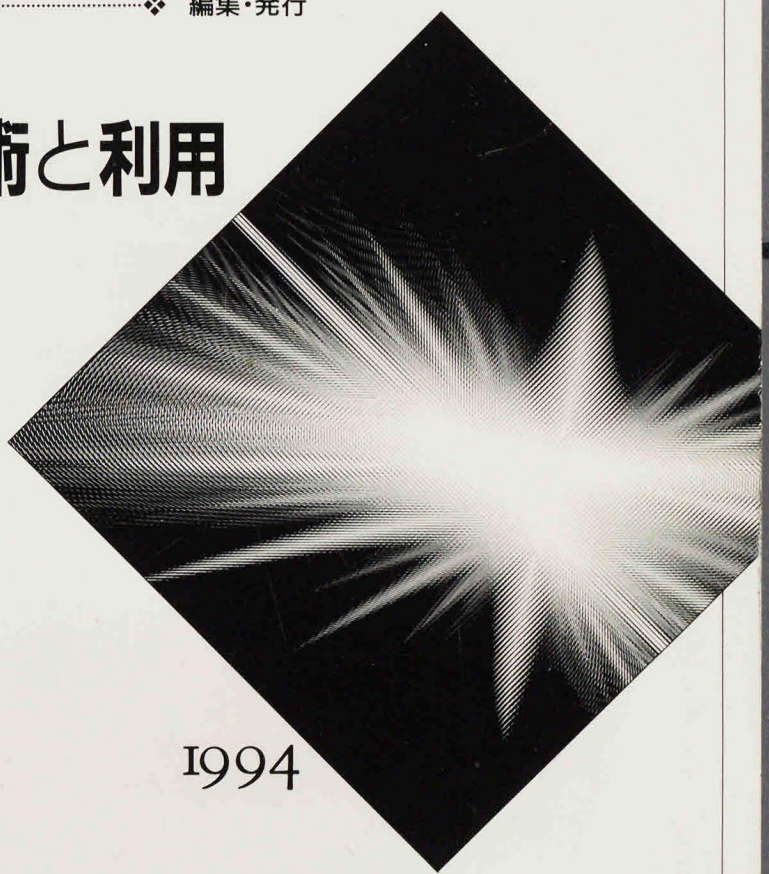
AI白書

通商産業省機械情報産業局電子政策課 ❖ 監修

❖

財団法人日本情報処理開発協会 ❖ 編集・発行

人工知能の技術と利用

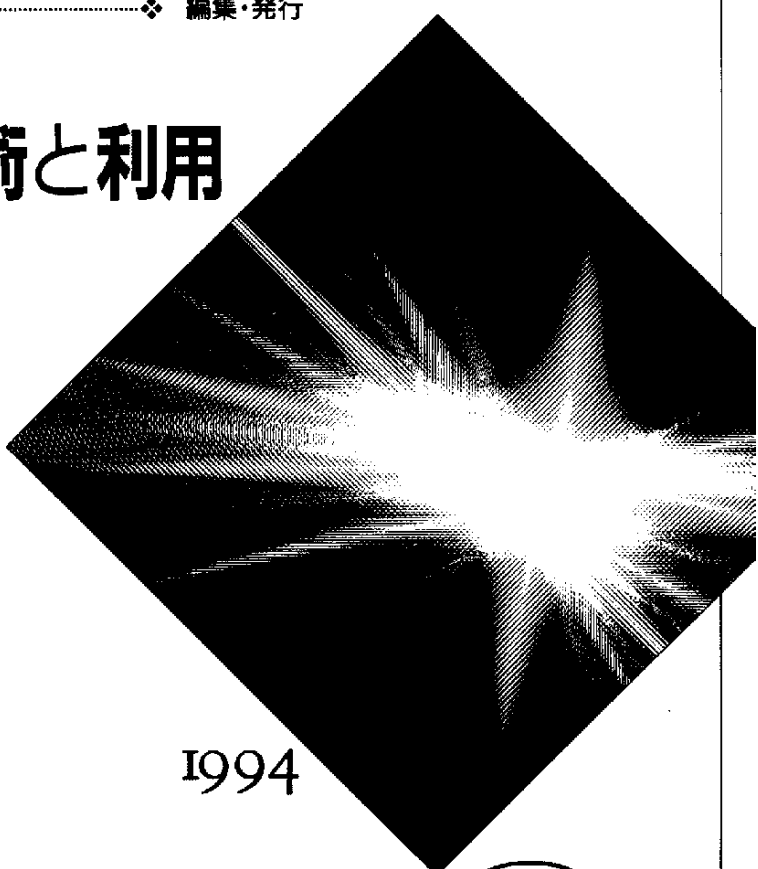


1994

AI白書

通商産業省機械情報産業局電子政策課 ❖ 監修
❖
財団法人日本情報処理開発協会 ❖ 編集・発行

人工知能の技術と利用



1994

財団法人
図書
'94.8.12
日本情報処理開発協会

ごあいさつ

情報技術の革新がますます進展する中で、情報システムの利用環境も大きく変化しつつあります。システムのダウンサイジングやオープン化、マルチメディア技術の活用、ローカルエリアネットワーク（LAN）の導入などネットワーク化が進められています。それとともにシステムの利用に対するユーザーのニーズも、単なる省力化や効率化から、意思決定支援などの非定型的業務における問題解決型処理へと多様化を見せています。さらには、人間の自然な行動への適応を目指すヒューマンインタフェースの重要性も高まっています。これらは情報技術のより高度で有効な活用を指向する構造的な変革と見ることができます。

こうした中で、知識を情報の一形態として体系的に扱うことにより人間により近い情報処理を目指す人工知能（AI：Artificial Intelligence）技術の研究開発の促進と社会産業分野での利用の拡大が期待されています。通商産業省においては、第五世代コンピュータプロジェクトに引き続き、1992年度から新たに「新情報処理（リアルワールドコンピューティング）技術開発プロジェクト」を発足させています。

本「AI白書」は、AI技術についての研究動向や利用状況を調査し、この成果を広く紹介することを目的に刊行しております。

調査および白書の取りまとめにあたりましては、当協会に「AI動向調査委員会（委員長　大須賀節雄　東京大学先端科学技術研究センター教授）」および技術と利用の各専門委員会とワーキンググループを設置し、多数の専門家、研究者のご協力を頂きました。

今回発刊する「AI白書1994－人工知能の技術と利用」では、総論で、1993年を中心としたAIを巡る主要な動きを概観し、AIの実用化について考察しています。AIの利用動向としては産業界のAI導入利用状況とともに、今回は特に、中小企業におけるコンピュータやAIの導入状況をアンケート調査をもとに分析しています。AI技術に関しては、全般的な動向とともに、AIにおける曖昧性、人工生命、機械学習の実現、応用、AIシステム開発体系、等の技術を、また、今回は特に知的インターフェース技術について最先端の研究開発動向を紹介しています。さらに、AI関連施策や海外の動向などを取り上げております。

AI技術および知識情報処理に関心を持たれる研究者、技術者、管理者、調査企画担当者など広い読者の方々にご利用いただける白書であると考えています。

最後に本書を取りまとめるに当たりご尽力いただきました大須賀委員長をはじめとする委員会委員各位、ならびに、原稿執筆、資料提供などにご協力いただきました関係各位に深く感謝の意を表する次第であります。

財団法人　日本情報処理開発協会
会　長　**影　山　衛　司**

委員会名簿

AI動向調査委員会

（敬称略、順不同）

委員長	大須賀節雄	東京大学先端科学技術研究センター教授
委　員	高橋　三雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻教授
〃	上坂　吉則	東京理科大学理工学部情報科学科教授
〃	栗田　昭平	中央大学経済学部講師、評論家
〃	古川　康一	慶応義塾大学環境情報学部教授
〃	佐藤　博樹	法政大学経営学部経営学科教授
〃	諏訪　基	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所情報科学部長
〃	武井　欣二	東京都立航空工業高等専門学校電子工学科教授
〃	岩下　安男	NTTデータ通信(株)国際部市場開発担当部長 （前(財)金融情報システムセンター　安全対策部長）
〃	那須　宗也	日揮㈱　第二事業本部副本部長
〃	市川　隆	(財)日本情報処理開発協会　常務理事
オブザーバ	古瀬　利博	通商産業省機械情報産業局電子政策課課長補佐
〃	西川　勇	通商産業省機械情報産業局電子政策課技術係長

AI技術全体動向ワーキンググループ

（敬称略、順不同）

主　査	古川　康一	慶応義塾大学環境情報学部教授
委　員	石塚　満	東京大学工学部電子情報工学科教授
〃	玉井　哲雄	東京大学教養学部情報・図形科学教室教授 （前 筑波大学大学院経営システム科学専攻助教授）
〃	寺野　隆雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻助教授
〃	武井　欣二	東京都立航空工業高等専門学校電子工学科教授
〃	麻生　英樹	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所 情報科学部情報数理研究室主任研究官

AI技術専門委員会

（敬称略、順不同）

委員長	諏訪　基	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所情報科学部長
委　員	仁木　和久	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所 情報科学部認知科学研究室長
〃	原島　博	東京大学工学部電子工学科教授
〃	大岩　元	慶応義塾大学環境情報学部教授
〃	石川　真澄	九州工業大学情報工学部制御システム工学科教授
〃	廣瀬　通孝	東京大学工学部機械情報工学科助教授
〃	森島　繁生	成蹊大学工学部電気工学科助教授
〃	山本栄一郎	(財)パーソナル情報環境協会　FRIEND21研究センター研究員
〃	遠藤　隆也	NTTアドバンステクノロジー㈱情報技術部統括部長
〃	黒須　正明	㈱日立製作所　デザイン研究所主任研究員

〃	西田　正吾	三菱電機㈱中央研究所システム基礎研究部第4グループマネージャ
〃	土井美和子	㈱東芝　研究開発センター情報・通信システム研究所 第三研究所主任研究員
〃	園田　隆志	富士ゼロックス㈱　基礎研究所主任研究員

AI利用専門委員会　　（敬称略、順不同）

委員長	佐藤　博樹	法政大学経営学部経営学科教授
委　員	岩下　安男	NTTデータ通信㈱国際部市場開発担当部長 （前(財)金融情報システムセンター　安全対策部長）
〃	梅澤　　隆	国士館大学政経学部教授
〃	南　　憲一	嘉悦女子短期大学経営情報学科専任講師
〃	仲村　俊彦	エー・アイ・ソフト㈱　代表取締役社長
〃	藤田　昌弘	(財)関西情報センター　理事、事業推進室長
〃	竹居　　淳	㈱竹居システム技術事務所　代表取締役社長

執筆協力者

西尾章治郎	大阪大学工学部情報システム工学科教授
高木　友博	松下電器産業㈱中央研究所電子機器基盤研究所主任研究員
沼尾　正行	東京工業大学工学部情報工学科助教授
藤田　正幸	㈱三菱総合研究所　戦略情報システム部応用知識システム室長
小長谷明彦	日本電気㈱　C&Cシステム研究所コンピュータシステム研究部研究課長
大槻　説乎	九州工業大学情報工学部知能情報学科教授
末永　康仁	日本電信電話㈱　ヒューマンインタフェース研究所 マルチメディア研究部主幹研究員
往住　彰文	東京工業大学工学部人文社会群助教授
三宅なほみ	中京大学情報科学部認知科学科教授
清水　重人	(財)大日本蚕糸会　蚕糸科学研究所主任研究員
渡辺　保之	㈱東輝　テクニカルセンター所長
早川　鐵郎	㈱テトラネット　代表取締役社長
竹林　洋一	㈱東芝　研究開発センター情報・通信システム研究所第二研究所主任研究員
國吉　康夫	電子技術総合研究所知能システム研究部自律システム研究室主任研究官

協力者および協力団体

渡辺　博芳　　帝京大学理工学部情報科学科助手

(財)高年齢者雇用開発協会

ナビタス㈱

事務局

市川　　隆	(財)日本情報処理開発協会　常務理事
茂呂　知明	(財)日本情報処理開発協会　AI・ファジィ振興センター主任部員

目　次

第Ⅰ編　総論

第1部 AIを巡る主要な動き

1 最近におけるAI関連の動き……2
2 AI利用の現状と展望……3
2.1 AIシステムの利用状況……3
2.1.1 情報化の現状とAI……3
2.1.2 AI利用ユーザの先鋭化……4
2.1.3 ホワイトカラーの生産性向上とAI……4
2.1.4 AI利用の推進とAI先端技術の普及に向けて……4
2.2 中小企業における情報化とAIシステムの利用状況……5
2.2.1 AIの利用状況……5
2.2.2 AIの効果評価……6
2.2.3 AI導入企業の特質……6
2.2.4 AIが中小企業に普及するための三つの条件……6
2.2.5 まとめ……7
3 AI技術の現状と展望……8
3.1 AI技術の全体動向……8
3.1.1 AI技術の成熟とブームの鎮静……8
3.1.2 新たなパラダイムの台頭と応用技術の開発競争……8
3.1.3 記号主義と結合主義の対立から統合へ……8
3.1.4 知識獲得の重要性……8
3.1.5 これからの10年の戦略研究・戦略商品としての知識獲得ツール……9
3.1.6 期待されるAIの新技術……9
3.2 ハイライト技術ー知的インタフェース……10
3.2.1 知的インタフェース技術を巡る環境……10
3.2.2 知的インタフェース技術の新しい展開……10
3.2.3 使いやすさの追求と認知科学……11
3.2.4 今後の課題ー真の「人間中心」を目指して……11

第2部 人工知能の実用化を目指してー新人工知能システムの構築ー

1 はじめに……13
2 人工知能実用化の意味……13
3 新しい情報の世界の確立……14
4 人間の知的行為の分析ー設計の場合ー……15
4.1 非決定型問題解決としての設計……16

4.1.1 モデルの構築 ……16
4.1.2 モデルの解析・評価 ……18
4.1.3 モデル修正 ……18
4.1.4 プロセス管理・制御 ……18
4.2 協同作業としての設計 ……19
4.3 創造行為としての設計 ……20
4.4 製造を可能にする設計 ……20
5 情報世界の構造 ……21
6 むすび ……22

第Ⅱ編 AI利用の動向

序 章 AI利用動向アンケート調査方法の概要 ……24
第1部 AIシステムの利用状況
1 AI導入・利用の状況 ……25
1.1 AI導入の状況 ……25
1.2 産業別導入状況 ……25
1.3 従業員規模別導入状況 ……25
1.4 個別AIシステムの導入状況 ……27
1.5 個別AIシステム未導入事業所の導入意向 ……27
1.6 個別AIシステム今後の利用意向 ……27
2 個別AIシステムの利用状況 ……27
2.1 AIシステム全般 ……27
2.1.1 AI要員 ……27
2.1.2 投資費用とその内訳 ……27
2.2 AI用言語およびツール ……29
2.2.1 所有本数 ……29
2.2.2 言語の種類と利用状況 ……29
2.2.3 AIツールの問題点 ……29
2.3 エキスパートシステム ……31
2.3.1 エキスパートシステム利用 ……31
2.3.2 適用業務と対象領域 ……31
2.3.3 開発目的と期待効果 ……31
2.3.4 システムの開発マシン ……32
2.3.5 エキスパートシステム実用化後の評価 ……32
2.3.6 開発体制 ……32
2.3.7 メーカやベンダへの期待 ……32

2.3.8 導入実用化の問題点……32
2.3.9 開発導入のための投資額……33
2.3.10 ドメインシェル利用状況・利用意向……33
2.3.11 その他の自由コメント……33
2.4 機械翻訳システム……35
2.5 知能ロボット……35
2.6 自動プログラミング……36
2.7 画像理解システム……36
2.8 音声理解システム……37
2.9 自然言語理解システム……37
2.10 ファジィシステム……37
2.11 ニューロシステム……37
2.12 AI新技術に対する認知度……37

第2部 中小企業におけるコンピュータとAI技術の利用状況

はじめに……38
1 中小企業の情報化とAI利用……38
1.1 中小企業の特徴と経営課題……38
1.1.1 業種・売上高・従業員規模……38
1.1.2 経営上の特徴と課題……39
1.2 コンピュータの導入と利用の状況……41
1.2.1 コンピュータの導入状況……41
1.2.2 コンピュータの利用状況……42
1.3 コンピュータ利用上の評価と今後の課題……44
1.3.1 中小企業のコンピュータ利用上の評価と問題点……44
1.3.2 中小企業におけるコンピュータ利用意向……45
1.3.3 中小企業へのAI導入の可能性……47
1.3.4 まとめ……47
1.4 AIシステムの利用状況と今後の利用意向……49
1.4.1 AIに関する認知度……49
1.4.2 AIの利用状況……49
1.4.3 AI導入を決める要因……51
1.4.4 今後のAI利用意向……52
2 中小企業のAI利用事例……52
2.1 プレス金型設計エキスパートシステム……52
2.2 煮繭工程基本エキスパートシステム……54

2.3 高齢化に対応するための「職場改善診断エキスパートシステム」……58
2.4 印刷機器製造業におけるエキスパートシステム……60
2.5 翻訳業における機械翻訳システム……61
3 課題と展望……64

第Ⅲ編 AI技術の動向

第1部 全体動向

1 AI技術の全体像……68
1.1 関連科学・工学……70
1.2 AI基礎技術……71
1.3 AI基盤技術……72
1.4 AI応用技術……72
1.5 AI実現技術……72
2 基調動向……72
2.1 共通する研究動向……73
2.2 AAAI-93……73
2.3 IJCAI-93……74
2.4 わが国の動向……75
3 個別動向……76
3.1 AI基礎技術の動向……76
3.1.1 経験的学習……76
3.1.1.1 経験的学習と知識獲得……76
3.1.1.2 決定木の自動作成システム……76
3.1.1.3 背景知識の利用……77
3.1.2 ニューラルコンピュテーション……80
3.1.3 AIにおける曖昧性……87
3.1.3.1 AIにおける曖昧性の分類……87
3.1.3.2 ファジィ理論・技術……90
3.1.3.3 確率ネットワーク……95
3.1.4 人工生命……98
3.1.4.1 人工生命とは何か……98
3.1.4.2 人工生命研究の流れ……99
3.2 AI基盤技術の動向……100
3.2.1 データベースからの知識獲得……100
3.2.1.1 大規模知識ベース構築のための要素技術として……101
3.2.1.2 対象メディアの多様化に伴う課題……102

3.2.1.3 対象データの大量化に伴う課題 ……102
3.2.1.4 関係データベースを対象としたアルゴリズム ……103
3.2.1.5 最近のシステム開発動向 ……104
3.2.1.6 今後の課題 ……105
3.2.1.7 おわりに ……105
3.3 AI応用技術の動向 ……107
3.3.1 モデルに基づく故障診断 ……107
3.3.1.1 経緯と知識処理における位置付け ……107
3.3.1.2 故障モデルを想定しない整合性に基づく(consistency-based)方法 ……108
3.3.1.3 アブダクション、仮説推論による方法とその高速化手法 ……109
3.3.1.4 高速化のためのフォーカシング・メカニズム ……112
3.3.1.5 確率ネットワークに準拠する方法 ……113
3.3.2 ORとAI ……115
3.3.2.1 ORとAIの関係 ……115
3.3.2.2 計画問題に対するAIとORの比較 ……115
3.3.2.3 計画型問題の特徴 ……116
3.3.2.4 計画問題へのアプローチ ……117
3.3.2.5 事例 ……119
3.3.2.6 ORかAIか ……119
3.3.3 機械学習の応用技術 ……120
3.3.3.1 クレジット入会審査システム ……120
3.3.3.2 遺伝子情報処理 ……122
3.3.3.3 知的CAI ……125
3.4 AI実現技術の動向 ……127
3.4.1 AIシステム開発体系 ……127
3.4.1.1 AIシステム化技術の全体像 ……127
3.4.1.2 人工知能理論とシステム化技術 ……128
3.4.1.3 システム開発方法論とその周辺 ……129
3.4.1.4 システムのライフサイクルと知識獲得活動 ……129
3.4.1.5 知識ベース技術の標準化動向 ……131
3.4.2 学習ツールと応用 ……132
3.4.2.1 学習ツールの現状 ……132
3.4.2.2 知識処理手法における学習ツール ……135
3.4.2.3 統計的推定技法に基づく学習とニューラルネットワークの学習 ……137
3.4.2.4 遺伝的アルゴリズムによる学習方法 ……144

第2部 ハイライト技術ー知的インタフェース

1 概観 ……151
2 知的インタフェース技術の歴史と全体像 ……153
2.1 知的インタフェース技術の歴史的変遷 ……153
2.1.1 道具、機械の進化からみた変遷 ……153
2.1.2 情報処理機器の発達段階からみた変遷 ……154
2.1.3 使い方からみた変遷 ……155
2.1.4 認識・生成技術からみた変遷 ……156
2.2 知的インタフェースの技術マップ ……156
2.2.1 分類の次元と座標軸 ……156
2.2.2 技術マップ ……159
2.2.3 具体的なインタフェース技術を対象とした技術マップ ……160
3 知的インタフェース技術の現状 ……162
3.1 知的インタフェース技術と理論、モデル、設計指針 ……162
3.1.1 理論／モデル ……162
3.1.1.1 コミュニケーションの理論／モデル ……162
3.1.1.2 知的インタフェースのための認知モデル ……165
3.1.1.3 知的インタフェースのためのAI技術／理論／モデル ……171
3.1.1.4 協同作業のモデル／理論 ……174
3.1.2 知的インタフェースのためのガイドライン ……177
3.1.2.1 インタフェースガイドライン ……177
3.1.2.2 メタファに関するガイドライン ……178
3.2 知的インタフェースの要素技術 ……179
3.2.1 対話のためのハードウェア装置 ……179
3.2.2 メディア技術 ……180
3.2.2.1 画像生成・画像理解 ……180
3.2.2.2 音声合成・音声理解 ……181
3.2.2.3 ハイパーメディア ……181
3.2.2.4 シンセティックメディア ……182
3.2.2.5 バーチャルリアリティ ……182
3.2.3 コミュニケーション技術 ……183
3.2.3.1 対話形式概論 ……183
3.2.3.2 自然言語による対話 ……185
3.2.3.3 画像・CGを用いたマルチモーダル・コミュニケーション ……186
3.2.3.4 バーチャルリアリティ ……189
3.2.4 知的支援技術 ……190

3.2.4.1 メタウェアとエージェンシーモデル……190
3.2.4.2 CSCW……194
4 知的インタフェース技術の研究動向……198
4.1 関連研究プロジェクト……198
4.1.1 日本の研究プロジェクト……198
4.1.2 外国の研究プロジェクト……200
4.1.2.1 マサチューセッツ工科大学メディア研究所……200
4.1.2.2 マサチューセッツ工科大学コーディネーション・サイエンス・センター……201
4.1.2.3 ロンドン大学ロンドンカレッジ心理学科……202
4.1.2.4 ゼロックス・パロアルト研究所（Xerox PARC）……202
4.1.2.5 ゼロックス・ヨーロッパ研究所……203
4.1.2.6 欧州コンピュータ産業研究センター……204
4.2 研究事例……204
4.2.1 AI技術と知的インタフェース……204
4.2.2 音声による知的インタフェース……208
4.2.3 バーチャルリアリティ……210
4.2.4 人物像の認識と生成を利用した新しいインタフェース……214
4.2.5 行為理解……216
4.2.6 CSCWと感性的認知……217
4.2.7 協同作業の認知的側面……219
5 知的インタフェースの課題と展望……221
5.1 知的インタフェースの実現目標と評価基準……221
5.1.1 知的インタフェースの基本的目標の変化と変容……221
5.1.2 知的インタフェースの評価基準……222
5.2 知的インタフェース技術の基本課題と展望……222
知的インタフェース関連用語解説……225

第Ⅳ編 通商産業省のAI関連施策の概要

1 AI関連施策の推進……230
2 第五世代コンピュータ・プロジェクト……230
2.1 第五世代コンピュータ……230
2.2 プロジェクトの概要……230
2.3 プロトタイプ・システムの概要……232
2.4 国際共同研究・国際研究交流……232
2.5 ソフトウェアの無償公開……232
2.6 プロジェクトの最終評価……233

3 電子化辞書プロジェクト……233
3.1 電子化辞書……233
3.2 プロジェクトの概要と現状……233
4 高機能AIシステム記述用言語プロジェクト……234
4.1 高機能AIシステム記述用言語－Common ESP……234
4.2 プロジェクトの概要……234
4.3 試験研究の成果……234
5 ファジィ理論の工学的応用プロジェクト……234
6 四次元コンピュータ・プログラム……235
6.1 四次元コンピュータ……235
6.2 研究開発の概念……235
6.3 研究開発基本方針……235
6.4 RWCP設立経緯……237
6.5 研究体制……237
6.6 研究開発内容……238
6.7 研究の評価・スケジュール……238
6.8 光技術に関する日米協力……239
6.9 RWCの応用分野……239
7 AIの普及啓蒙活動……239
7.1 AI・ファジィ振興センター……239
7.2 AIセンター事業の概要……240

第Ⅴ編 海外のAI関連施策とプロジェクトの概要

第1部 米国

1 概要……242
2 連邦政府の科学研究・技術開発政策……242
3 市場の現状……243
3.1 音声認識システム……243
3.2 ニューラルネットワーク・システム……244
3.3 ロボット……245
3.4 知識ベース・システム……246

第2部 欧州

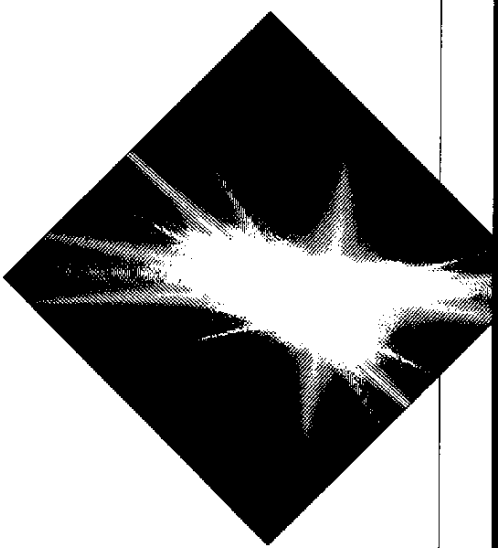
1 はじめに……248
2 英国……248
3 欧州共同体……248

4 フランス ……249

資料編

1 1993年のAI関連活動 ……252
2 AI利用動向調査集計表 ……261
3 わが国の主要AI関連機関 ……279

第Ⅰ編　総　論



第１部　AIを巡る主要な動き

1. 最近におけるＡＩ関連の動き

1992年後半から1993年にかけてのAIをめぐる主要なトピックスを中心に概観する。

(1) 政府プロジェクト

わが国におけるAI関連の動向を見るとき、政府による先端情報技術の研究開発プロジェクトが大きな役割を担っている。知識情報処理への応用を目的に1982年に開始された第五世代コンピュータ技術開発プロジェクトは、通商産業省から財団法人新世代コンピュータ技術開発機構に委託して、11年間にわたる歳月と約540億円の費用を投じ多くの成果を上げて1993年3月をもって研究開発を終了している。主な成果としては、世界最高の推論速度150MLIPSを達成した並列推論コンピュータ、並列論理型言語KL-1　および同言語に基づく高生産性を有する並列ソフトウェア開発技術などである。また、通商産業省は、第五世代コンピュータの後継プロジェクトとして、1992年度から新情報処理（リアルワールド・コンピューテング）技術研究開発プログラムを技術研究組合新情報処理開発機構（1992年7月13日設立、理事長関本忠弘）に研究開発を委託する方式で開始している。本プログラムでは、現実世界における多種多様な情報の、あいまいさ、不完全さ、変容性を許容しつつ妥当な判断や問題解決を行うことを可能とする情報処理技術をリアルワールド・コンピューテングの基本理念とした。これを実現するためのキーコンセプトを、「柔らかな情報処理（情報のあいまいさや不確実さを許容するとともに、学習、適応能力をもった情報処理）」および「超並列超分散情報処理（相互に複雑に関連する多様な情報を超並列超分散的に処理する情報処理）」としている。（本文235ページ参照）

AIに関する普及啓蒙事業を推進するために、財団法人新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)と財団法人日本情報処理開発協会(JIPDEC)とが共同で運営してきた「ICOT- JIPDEC AIセンター」が1993年3月31日をもって廃止され、以後は第五世代コンピュータ・プロジェクト成果の普及はICOT事業として、AIに関する技術および利用の動向調査や普及はJIPDECの事業として実施されている。

(2) AI関連の国際会議や学会

次に、AI技術の研究開発に目を転じるとその活動はますます盛んになっていると言えよう。内外におけるAI関連の国際会議や学会は、研究領域の広がりと深化とともにさまざまな会合が開催されている。総じて研究者の関心は、総花的な会議から特定テーマを議論するワークショップに移りつつある。伝統を持つAAAI-'93とIAAI-'93は1993年7月に米国Washington DCで、またIJCAI-'93は同年8月に仏国Chamberyで開催されているが、いずれも出席者が大幅に減少している。会議の内容については本文をご参照いただきたい。ここで特筆されることはIJCAI-'93において、AI分野で最高の賞といわれるComputer and Thought Awardが北野宏明氏に、また優秀論文賞が藤田正幸氏等および国吉康夫氏等に贈られたことである。またIEEE Emanual R. Piore Awardが長尾真氏の自然言語処理およびコンピュータ・ビジョン分野への貢献に対し贈られている。

1993年に国内で開催された主なAI関連の学会、ワークショップ、国際会議等は多彩で60件以上に達し、日本経済不況の最中ながらその活発な様子をうかがうことができる。このうち主なものは次のとおりである。毎年行われている学会全国大会では、人工知能学会が第７回大会を7月（八王子市）に開催している。この大会は、事例ベース推論（CBR）実用化時代の到来を印象づける応用エキスパートシステムの発表があった。例えば、配車計画作成システム（東芝）、水処理施設故障診断システム（三菱電機）、POS機器クレーム処理システム（日本電気）、変速機用歯車設計システム（本田技研）等である。また、情報処理学会は第46回大会を3月（新宿区）に第47回大会を10月（鳥取市）と2回開催しており、AI関係では新しいパラダイムに関する発表が行われている。まず人工生命(A-Life)のセッションが開設され遺伝的アルゴリズムの応用事例など5件の論文が発表された。推論パラダイムでは、アバウト推論（NTT）や帰納推論を応用した「緑内症診断のための知識獲得」（東京理科大学と東京大学医学部）が注目された。またリアル

ワールド・コンピューテングプログラムの研究として要素プロセッサ数百万個の超並列コンピュータ用オペレーテングシステム(OS)「超流動OS」（通産省電子技術総合研究所）が発表された。国際会議等では、ニューラルネットワーク国際会議IJCNN'93-NAGOYA（10月名古屋市）、カオス理論の工学的応用に関する国際会議（10月）、大規模知識ベースの構築と共有に関する国際会議（12月新宿区）、日仏機械翻訳ワークショップ（3月千代田区）などが開催された。このうち、大規模知識ベースの構築と共有に関する国際会議（KB&KS'93）は、当協会が主催し日本・米国・イギリス・フランス・ドイツの各国政府とヨーロッパ連合（EU）の後援のもとで開催した。今後の知識情報処理に不可欠な大規模知識ベースを世界的な規模で構築し共有を図る目的で、内外の研究者専門家により検討した。参加者は海外18カ国49人を含めて約430人であった。

(3)　AI市場

AI市場は、情報サービス市場の低調とともにはかばかしくない。AI関連市場は、AIハードウェア製品、AIソフトウェア製品、AIシステム開発サービス等の売上高で把握されるところであるが、これを示す統計が取られていないので市場規模を示すことができない。しかしながら、AI利用状況調査で見られるように、ユーザは、経済不況の中でネットワーク化、オープン化、ダウンサイジング化等情報化戦略の見直しに迫られている。エキスパートシステムについても効果の上がらないものは中止するなどが見受けられるが、スケジューリングや生産計画、資金運用計画などの計画型問題への適用を図るエキスパートシステムが前回調査に比べて5.3ポイント上昇している。また、ニューロ技術やファジィ技術を応用したAIシステムが開発されるなど積極的な取組みが行われている。高度情報技術としてAI技術への期待は高いものがあり、エキスパートシステムや知識ベースは汎用のソフト開発支援ツールの一つと考えられるようになってきているものと見ることができよう。

AI関連産業の動きとして、新しいエキスパートシステムのドメインツール、ソフト開発支援ツールとの一体化（例えば東芝のARESや日本電気のHOLON）などの新製品を販売するとともに、コンピュータメーカが有料ベースでエキスパートシステム構築のコンサルテーションやソフトウェア開発に進出した。

2.　AI利用の現状と展望

2.1　AIシステムの利用状況

ここでは、1993年7月～8月に実施したコンピュータ・ユーザを対象とする、「AI利用アンケート調査」の分析結果を踏まえて、AIシステムの利用をめぐる状況と普及へ向けての考察を行う。

2.1.1　情報化の現状とAI

バブル経済の崩壊後の経済の低迷によって、企業の情報化投資の勢いも鈍化し始めているようであるが、今日の日本経済の発展にとって情報化の果たした役割は非常に大きいものがある。しかしながら、企業における情報システムにおいては、財務会計・管理会計業務を中心とする単純な計算・集計のような業務への適用については、ほぼその導入が終わりかけており、一方で、企業の技術者やマーケティングチームによる、解析・予測・計画等何らかの意志決定に係わる業務についても、情報システム利用の進展に従前ほどの伸びが見られなくなりつつある。このことは、現状の情報処理技術の限界を感じさせるような徴候を与えているものとも読み取れる。

このような中で、パソコン、ワークステーションの低廉化に伴うダウンサイジング化やオープンシステムの普及に伴い、分散処理環境は整いつつあり、個人が、あるいは、部課単位の小集団が、情報能力を果敢に発揮することができれば、これまでにないインパクトをもたらす環境が揃い始めたことも事実である。

従前の情報システムに、これまで企業の熟練労働者や専門家が属人的に処理していた情報を組み合わせて、より戦略化することが可能となりつつあるのである。すなわち、従来の販売・物流や経理・財務といった組織的な情報と、生産管理、製造管理、経営管理といった属人的色彩の強い情報とのインテグレーションをエキスパートシステム（ES）によって行い、人手を介さない一貫したトータルな情報の流れを実現することによって、戦略的な情報システムを構築することが可能となる。

しかしながら、このようなシステムを構築する上で重要なポイントは、熟練者や専門家の有する情報をうまく組み合わせるためのAI技術が未だ未成熟であるという点である。今回実施したアンケート調査の中にも、「AIは情報処理の手法の一つに過ぎない、過度のフィーバは普及・発展を結果的に阻害する」、「現状のAIに使い道はない」、「AI冬の時代の感あり」、「現段階のES（特に計

画型）では、どうしても最終判断を人間しかも専門家に委ねざるを得ない、単純にES導入が省力化、素人への業務の移管とはならない」などの声が多く挙がっている。

したがって現時点では、オペレーションズリサーチ（OR）、数理科学、システム工学、統計解析などが提供している数々の数値処理的パラダイムに、AIのような記号処理的パラダイムを組み合わせて、情報システムの質的向上を図ることが重要である。今回の調査では、この点を裏づける意見として「ES、ファジィ、ニューロの融合技術の確立（それぞれの欠点を補完）」、「単純なルールベースシステムによるスタンドアローンのシステムはなくなっていく。一つの方向は、大規模システムの中で、サブシステムとしてESが埋め込まれていく。他は、ドメインシェルのような開発生産性を重視したパッケージとして使われていく」、「技術的には、OR、ニューロ、制約指向などを取り込んでいく」、「AIシステムと普通のシステムの明確な境界はなくなっていく」との意見として挙がっている。

2.1.2　AI利用ユーザの先鋭化

アンケートの中でいくつかの先進ユーザは、さまざまなエキスパートシステム開発の経験を内部に蓄積し、高度なファジィやニューロコンピュータの成果も織り混ぜながら、新しいシステム開発に挑戦している。このようなユーザでは、製造業の場合は、それぞれの現場のキースタッフがいわゆる知識エンジニアの役割を果たしながら、AIシステムを開発している。一方、非製造業の場合には、システム部等に専門のAI開発スタッフを擁している。

このような開発体制が採られている理由は、本格的な業務にAIを適用する場合、前述のように、現状ではツールの機能がまだまだ不十分であること、計画型問題などの場合は特に、個々の問題で利用する手法が異なってくることもあって、過去の試行錯誤、開発経験の積み重ねがないとなかなか成功しないためである。

製造業などでは、特に3Kと呼ばれる職場の熟練者が過去身につけてきたノウハウは、生産の状況に応じて現場の設備をどのように運用していくのかといった、生産計画、生産管理のような問題であり、このような場面で活躍していた熟練者が退職したり、新たな人材が供給できなければ、生産性が悪化するどころではなく、操業できなくなる事態も発生する。このような時代の到来はそう遠くはないわけで、エキスパートシステムを始めとするAI技術の応用開発を、地道に手掛けている企業とそうでないところでは、今後の環境変化の対応力に相当の差が出てくるものと思われる。

2.1.3　ホワイトカラーの生産性向上とAI

企業は、国際化、企業系列化、高付加価値化、ニーズの多様化、未経験意思決定領域の増大といった企業経営を取り巻く環境の変化に柔軟に対応していくことを求められている。そのためには、企業経営の基本業務に関連する情報化が一段落した今日、経営資源（ヒト、モノ、カネ）の有効活用を図るとともに、第4の経営資源である情報はもちろんのこと、第5の経営資源としてヒトを知力と捉えた情報化のあり方を考える時代に至っている。

ブルーカラーの生産性向上がほぼ終了した昨今、企業経営の効率化を一層高めるためには、ホワイトカラーの生産性向上しか残されていないと言われている。ホワイトカラーは、第4の経営資源である情報を駆使して日常の意思決定を行っており、このような情報を処理するさまざまな知恵をホワイトカラーは有しており、情報処理能力の高い人は、すでに表計算や簡易な統計処理を利用して、意思決定を行っているものと思われる。

このようなホワイトカラーの知力のような経営資源の情報化にAIは欠かせない要件ではあり、企業としてもある程度の投資も惜しみたくない分野ではあろうが、その実現には人材、経験、資金を必要とし、情報化の裾野を広げるための制約が大きい。しかも、この部分は人の知恵という、評価の非常にしずらい要素を含んでおり、システム化するとしても、その効果を、売上増のような具体的指標で著しにくい部分であるため、投資に対するリスクが大きくなってしまう。今回の調査でも、企業の日常活動の中で、AIを利用したいと考えている業務分野は相当な数にのぼるが、そこに投入できる投資額は非常に限られているとの印象は否めない。

2.1.4　AI利用の推進とAI先端技術の普及に向けて

前出の第5の経営資源である知恵の部分にAIを応用することによって、ホワイトカラーの生産性を高めることに寄与できるものと思われるが、第2の問題として、システム化を行うのは誰かという問題が残る。ダウンサイジングやエンドユーザコンピューティングという趨勢、AI技術者はなかなか育たない現状からすれば、やはり、ホワイトカラー自らがAIを利用する他はないのであろ

う。調査の中で寄せられた、「事務分野への適用が不透明である」、「自社開発となれば、専門的な知識とかなりの体力が必要なため、どうしても市販のものになってしまう。市販で安価で効果の大きいのがあれば前向きに検討したい」との声を尊重するならば、「誰でもが表計算や統計処理と組み合わせて簡単に使えるAIの仕掛け作り」を早急に行っていく必要がある。

一方、今回新たに実施した新技術に対する認知度調査では、AI研究者の活躍にもかかわらず、AI新技術を実際に利用している例は非常に少数であり、内容まで熟知している割合も高いとは言えない。このため、先端的なAIに取り組んでいるユーザからは、「計算機による知識利用の高度化のためのさまざまな標準化、知識ベースの公的な利用に関する制度・補助の充実が望まれる」、「AI新技術の実用例と、各技術の到達レベルに関する情報提供が活発化することを期待する」との声があがっており、AI新技術の啓蒙活動が必要であると思われる。

2.2　中小企業における情報化とAIシステムの利用状況

日本の製造業の大多数は、企業規模300人未満の中小企業に分類される。製造業にAI技術が普及していくかどうかは、中小企業にそれが受け入れられるかに左右されると言える。これまでの調査によると、大企業に比べ中小企業におけるAIの導入率が相当程度低いことが知られている。そのため調査では、中小企業分野にAI技術が導入されていくために、どのような条件整備が必要であるかを明らかにすることに焦点を絞ることにした。具体的には、AI導入企業とAI未導入企業を比較検討することから、後者が前者に転化するための条件を探ることにし、アンケート調査や訪問実態調査を実施した。

ここでは、それら調査の成果、特に、企業規模30人以上から300人未満の中小製造業に対するアンケート調査から、①中小製造業におけるAIの導入状況、②AIの効果評価、③AI導入企業にみられる特質、④AI普及の条件一の四つについて紹介することにする。

2.2.1　AIの利用状況

――導入企業は少ないが潜在的な利用ニーズは高い――

中小企業におけるAI（エキスパートシステム、機械翻訳システム、自然言語理解システム、知能ロボット、画像理解システム、音声理解システムのいずれか一つ以上）の導入率は、回答企業138社中の13社（9.4％）に留まった。他方、大企業を含めた調査である「一般ユーザ向けAI利用アンケート調査」（1993年7－8月）によって大企業に区分される企業規模300人以上におけるAI導入率は18.1％である。つまり中小企業のAI導入率は、大企業の約半分でしかない。ただし「一般ユーザ向けAI利用アンケート調査」は、製造業だけでなく全産業（例えばソフトウェア産業や大学などAIの導入率が比較的高い産業を含む）を対象としたものであり、今回の中小製造業調査との比較には留意が必要である。

中小企業における導入率は1割弱に留まったが、AI利用に対する潜在的ニーズは高いことに注目する必要がある。今後、エキスパートシステム、機械翻訳システム、自然言語理解システム、知能ロボット、画像理解システム、音声理解システムのいずれかを導入しようと考えている企業は、未導入企業の30.4％とかなりの割合となる（調査対象全体に対する比率では27.5％）。これによると中

図表Ⅰ-1-1　AI導入企業および予定企業のAIの効果評価

	導入および導入予定企業数（＊）	うち効果ありと回答した企業数（「十分」＋「まあ」）
エキスパートシステム	19社（5社）	19社（5社）
機械翻訳システム	13社（4社）	11社（3社）
自然言語理解システム	6社（2社）	6社（2社）
知能ロボット	19社（6社）	19社（6社）
画像理解システム	17社（5社）	17社（5社）
音声理解システム	9社（1社）	9社（1社）

（注）①企業数（＊）は効果評価に無回答であった企業を除く。②（　）内の数字は導入企業に関するデータ。

小企業におけるAI導入ニーズはかなり高いと言えよう。

2.2.2 AIの効果評価

――導入企業および導入予定企業の効果評価は極めて良好――

AIの導入企業と導入予定企業についてエキスパートシステム、機械翻訳システム、自然言語理解システム、知能ロボット、画像理解システム、音声理解システムのそれぞれの効果評価を調べると、極めて良好なものであることが分かる（図表I-1-1）。効果評価については「十分効果がある」「まあ効果がある」「あまり効果がない」「全く効果がない」の4段階で尋ねたが、今回取りあげたAI技術のいずれについても効果あり（「十分」＋「まあ」）がほとんどを占めた（無回答を除く）。この結果は、導入企業だけを取り出してみても当てはまることが分かる。

2.2.3 AI導入企業の特質

――企業経営と製品の効率化・高度化を目指し、設備面・人材面でAI導入の基盤が存在する――

AI導入企業および導入予定企業とAIを導入しておらずかつ今後も導入予定がない企業を比較し、後者との対比でみた前者の特質、すなわちAI導入企業の特徴を取り出すと次のようになる。

① コンピュータの導入時期が早く、またその利用が進んでおり、今後も積極的に活用しようとする経営姿勢が目立つ（コンピュータ積極活用）。

② ME機器（NC旋盤、NCフライス盤、マシニング・センター、産業用ロボット、CAD/CAMなど）の導入率が高い（積極的なME化）。

③ 汎用コンピュータ、パソコン、ME機器などを操作できる要員の正社員に占める割合が高い（情報関連要員の蓄積）。

④ 経営上の課題（該当するものすべて選択）として生産面では製造部門の生産性向上、事務部門の効率向上、納期短縮化、製品の精度向上が、また労務管理面では現場作業員の確保、職場環境の改善、労働時間短縮を挙げる企業が多い。今後、情報化を積極的に進める理由（該当するものすべて選択）としても納期の短縮化や製品の精度向上を指摘したものが多くなる（企業経営と製品の効率化・高度化）。

以上によるとAI導入企業および導入予定企業は、それ以外の企業に比べ、事務部門の効率化、さらに製造部門では生産性向上、納期短縮化、製品の精度向上が経営課題とされている。こうした課題が上位に挙げられている背景には、急速な円高、納入先企業の海外展開、NIEs諸国との価格競争激化など経営環境の変化に対応できるように、企業の競争力を維持する狙いがある（ちなみに会社の強みとして「価格の安さ」を挙げた企業は5.9%でしかなく、また「少品種大量生産」型の企業は9.8%に過ぎない）。前述した経営課題を実現するために、中小企業であってもME化やコンピュータ化を進め、さらにはAI導入を行ってきていると考えられる。またこうした企業は、コンピュータ化やME化を積極的に実施してきたため設備面のみならず、コンピュータ関連要員が蓄積されているなど人材面でもAIを導入する条件が整備されていることが分かる。

今後も、国内の中小製造業が生き残っていくためには、生産性向上、納期短縮化、精度向上など価格以外での競争力の向上を行い受注の安定化を図ることが求められると言える。こうした努力は中小企業のコンピュータ化やME化を一層促進することになろう。同時に、今後拡大が予想される製品市場分野は少品種大量生産ではなく、多品種少量生産などコンピュータ化やME化に適合的な領域と考えられていることも、コンピュータ化やME化を促進することになろう。さらにまた、人材確保や職場環境改善、労働時間短縮のためにもコンピュータ化やME化が進むことになろう。以上のようなコンピュータ化やME化の進展は、結果として中小企業の分野にAIが浸透していくための設備面や人材面での基盤を拡大することに貢献すると考えられる。

2.2.4 AIが中小企業に普及するための三つの条件

――啓蒙活動、適用可能業務に関する広報と適用業務の拡大努力、中小企業の技術力・予算規模に見合った技術の開発――

AIを現在導入せずかつ今後も導入予定がない企業を取り出し、AIを利用しない理由（該当するものはすべて選択）を調べると、次のようになる。すなわち、第1位は、「AIを適用する業務がない」（58.0%）、第2位が「AIに関する技術力がない」（29.0%）、第3位が「AIが何か良く知らない」（27.5%）、第4位が「AIを導入する予算が確保できない」（23.2%）である（以上20%以上の理由）。

「AIが何か良く知らない」とした企業が4分の1強を占めるが、このことは他の設問でも確認できる。AIを導入している企業および今後導入を予定している企業とそれ以外の企業についてAIに関する認知の程度を調べると、後者は前者に比べ認知度が低いことが分かる（図表I-1-2）。つまり、AI未導入企業で今後も導入予定がない

企業の中には、AIに関して知識がないためAIの導入を考えていない企業が少なくないと考られる。したがって、AIの導入を促進するためには、まずAIに関する情報の普及に努める必要があることが分かる。

また、AIを導入しておらずかつ今後も導入予定のない企業について、今後利用するための条件（該当するものすべて選択）を尋ねた結果は次のようになる。第1位は「適用できる業務があれば導入」（53.6％）、第2位が「パソコンで利用可能であれば利用」（30.4％）、第3位は「役に立つソフトがあれば導入」（23.2％）である（20％以上の選択肢）。

以上のAIを導入する予定がない理由とAIを今後導入するための条件の両者に対する回答からすると、今後一層、AIが中小企業分野に普及していくためには、①AIに関する啓蒙を十分に行う、②AIが適用できる業務に関する情報を正確に伝えるとともにAIの適用業務の拡大を行う、③ハードやソフトを含め中小企業の技術力や予算規模に見合ったAI技術を開発する（例えばパソコンで利用可能なAIソフトの拡大など）ことが求められていることが分かる。

2.2.5　まとめ

アンケート調査と各論の中小企業におけるAI利用に関する事例研究から次の点が指摘できる。

① 中小製造業におけるAIの導入率は、大企業に比べ相当程度低い。しかしながら、中小製造業においてもAI利用に対する潜在的ニーズはかなり高いことに注目する必要がある。

② 中小製造業ではAIの導入率が低いものの、AI導入企業および今後導入予定の企業におけるAIの効果評価は極めて良好である。

③ AI導入企業およびAI導入予定の企業は、コンピュータ化やME化に対して積極的で、情報関連要員の蓄積も進んでいる。さらに経営上の課題では企業経営や製品の効率化や高度化を目指している。こうした課題を達成するためにコンピュータ化やME化、さらにはAI技術の活用を行っていると言える。

④ 現在AIを導入していた企業であっても、企業環境の変化に適応し市場競争に生き残っていくためにはコンピュータ化やME化を促進する必要があり、そのことは結果としてAI導入のための基盤を整備していくことになろう。

⑤ AI技術が中小企業に今後さらに普及していくためには、AIに関する啓蒙を十分に行う、AIが適用できる業務に関する情報を伝えるとともにAIの適用業務の拡大を行う、ハードやソフトを含め中小企業の技術力や予算規模に見合ったAIを開発すること、などが重要となろう。

⑥ さらにAIが中小企業に普及し利用されるためには、AIにかかわる知識データベースの構築は、中小企業の人的資源やコスト負担を超えるものであるため、業界などが知識データベースを共同開発したり、あるいは市場からそれを購入できるような知識データベース市場を形成することも必要になろう。また、エンド・ユーザ自身で知識データベースの修正、追加が簡単に行うことができるインタ

図表Ⅰ-1-2　AIなどに関する認知度（「内容を十分知っている」+「内容を多少は知っている」（＊））

	導入および導入予定企業	導入予定がない企業
AI	62.7％	34.4％
エキスパートシステム	41.2％	19.5％
機械翻訳システム	64.7％	32.2％
自然言語理解システム	37.3％	17.2％
知能ロボット	53.9％	25.2％
画像理解システム	62.8％	24.1％
音声理解システム	66.7％	34.4％

（注）①（＊）他の選択肢は「言葉くらいは知っている」と「全く知らない」の二つである。②導入企業および導入予定企業でも認知度が100％でないのは、当該企業はエキスパートシステム、機械翻訳システム、自然言語理解システム、知能ロボット、画像理解システム、音声理解システムのうち一つ以上を導入ないし導入予定の企業であり自社が導入ないし導入を予定していないものについては認知度が低くなることによる。

フェースの開発が求められよう。

3. AI技術の現状と展望

3.1 AI技術の全体動向

3.1.1 AI技術の成熟とブームの鎮静

AI技術の歴史的推移を見ると、初期の研究室レベルの、狭い閉じた世界での「知能」の探求に始まり、より大規模な、知識を重視した専門家システムの追求へと、移行していった。いわゆる、ゲームにおけるAIの時代から、実用システムの展開への移行である。そして、研究の重点は、「推論」から、「知識」へとパラダイムのシフトが起こった。そこで、各種の専門家（エキスパート）システムの開発がなされ、AIブームが起こったわけであるが、現在は、そのブームも鎮静化し、AI技術が、再び厳しく問い直されている時代を迎えている。その主な理由は、Feigenbaumが指摘した知識獲得の困難性、すなわち、Feigenbaum Bottleneckである。知識獲得は、専門家に対するインタビューを通して行う、というのが一般的な知られた方法であった。この方法では、知識獲得の生産性が、1時間に1ルール程度という、悲惨な結果が報告されている。この限界のために、記号的な方法によるAI技術が行き詰まり、それに変わる、新たなパラダイムの模索が始まった。

3.1.2 新たなパラダイムの台頭と応用技術の開発競争

記号主義に対する新たなパラダイムとして台頭してきたのが、結合主義（コネクショニズム）と呼ばれるアプローチであり、ニューラルネットワークによる人工知能の実現が、その目標となった。ニューラルネットワーク自身は、1950年代のパーセプトロンの研究に遡るが、PDPと呼ばれる、Back Propagationによる多層ニューラルネットワーク学習アルゴリズムの開発により、新たな可能性を秘めたアプローチとして、再び注目を集めたわけである。その新たな技術は、多層化することによって、非線形判別関数を実現したことになり、その応用範囲が突然広がったわけである。そして、いくつかの興味ある応用研究がなされ、ニューラル・チップというハードウェアまで、開発された。

3.1.3 記号主義と結合主義の対立から統合へ

記号主義と結合主義は、技術的に見て、互いに長所・短所を持つパラダイムであるが、研究アプローチ、必要とする数学的素養の相違などから、研究者間で哲学的な論争・対立があった。この論争・対立は、AI研究の健全な発展にとっては、不幸なことである。記号主義的アプローチの長所は、知識表現の簡潔性、経済性、および、人間にとっての理解のし易さである。それは、知識が記号レベル、すなわち、（構造化された）言葉で記述されるからである。さらに、記号主義のアプローチでは、論理に基づく演繹的、あるいは帰納的推論が容易である。一方、結合主義では、知識は、ネットワーク上の重みの形で分散的に表現され、そのために、誤差に強く、ハードウェアの局所的なエラーにも柔軟に対応できる。すなわち、より生物に近い特性を持っている、ということができる。また、結合主義では、学習が例を繰り返し与えることで自然に行われる、という、大変興味深い特性をも持ち合わせている。これらの互いの長所を採り入れた統合システムを考えられないものであろうか。実際、人間は、記号処理が得意な言語脳と、パターン処理が得意な感覚脳の二つを持っており、その二つの脳をうまく使い分け、あるいは、協調させて、高度な能力を発揮している。安易な統合ではなく、深いレベルでの統合を目指すことが、今後のAI研究における大きな課題であり、AI技術を実際的な問題に役立てる上でも、是非追求すべき課題であろう。

3.1.4 知識獲得の重要性

記号主義と結合主義を統合するためのアプローチの一つとして、まず初めに、知識獲得、あるいは学習機能についての統合を試みることが考えられる。というのは、知識獲得、あるいは学習機能は、両アプローチの接点であり、これまでに開発された種々の技法を比較研究し、長所、短所を調べることによって、さらに高度な手法が生まれる余地があるからである。

ニューラルネットワーク上の学習については、2層の場合は、統計的な手法の一つである線形判別関数による方法と等価であることが知られている。さらに、ロジスティック関数を用いる方法では、多層ニューラルネットワークと統計的手法の関係も明らかにされている。これは、PAC学習（Probably Approximately Collect Learning）の理論とも関連があり、特に現実的な時間内に学習可能な対象の集合を明らかにするのに役立っている。

一方、記号主義における知識獲得の問題として提起された、Feigenbaum Bottleneckであるが、それは、知識獲得をインタビュー法に限ったために招いた虚偽のBottleneckであることが、次第に明らかになってきている。機械学習法として知られているルールの抽出技法は、

ニューラルネットワークによる方法と同じように、多くの例を与えて、その結果として、例を特徴によって分類するルールを自動的に抽出する。例えば、癌が再発するかどうかについての診断ルールは、多くの過去の症例のデータを機械学習システムに与えることによって、そのデータに潜む癌の再発を招き易い傾向を明らかにすることが可能となってきている。

機械学習システムで最も有名な方法は、Ross Quinlanによって開発された決定木を自動作成するID3、あるいは、その後継システムであるC4.5であるが、これらのシステムは、情報理論的に準最適な決定木を自動的に作る。この種のシステムは、データの各特性が、質的データであるときに、より適している。例えば、癌の大きさがある基準より大きいか小さいか、年齢が若年か、青年か、壮年か、などといった離散的なデータの場合である。一方、統計的な手法では、同様の分類問題を解く場合、むしろ、癌の大きさを実データで与えるといった具合に、量的なデータを扱うのに適している。

機械学習でのこれまでのアプローチをさらに発展させるアプローチとして、一階述語論理を基にしたシステムがいくつか提案されている。それらは、それ以前のシステムが命題論理を基にしているのと対比される。その機能的な違いは、一階述語論理に基づく方法では、背景知識を利用できる点である。この新たな能力により、扱える問題領域が、格段に広がり、複雑な状況における学習問題を扱えるようになった。例えば、部品となるプログラムを与えることによってクイックソートのプログラムを例から合成することも可能であるし、さらに興味深い例としては、新薬の合成などの成功例も報告されている。その場合、部品として与えるのは、ある薬を作るためのベンゼン核につながる種々の基の特性値などである。これまで開発した良く効く薬の例を与えることによって、それらの部品の中から最適な部品の組合せを見い出すわけである。

ところで、このような、論理的なアプローチでは、誤差のあるデータを扱うのが困難である。確率ネットワークと呼ばれる方法では、論理的な考察により、因果関係を分析し、変数間のある種の独立性の仮定を導き出す。そして、独立性が仮定できない場合に比べて飛躍的に効率の良い方法によって、複合事象の確率分布を求めることが可能となる。この方法は、従来ルールが曖昧性を持つときの専門家システムにおけるルールの適用後の確率の計算をより精度良く行うことを可能にする。この技術は、記号的機械学習のアプローチと確率統計的アプローチとの統合となっている。

3.1.5　これからの10年の戦略研究・戦略商品としての知識獲得ツール

知識獲得、あるいは機械学習の研究は、これまで述べてきたように、AI技術のレベルアップにとって、最も重要な課題の一つである。そして、その技術は、記号的な機械学習、ニューラルネットワークのアプローチ、および、確率統計的アプローチを組み合わせることによって、初めて、大きな発展が期待できる。これらの研究の進展を考えると、これからの10年の研究が期待される。これまで、第五世代コンピュータの研究を中核とした、演繹的な研究が10数年続いたが、次の10数年は、帰納的側面に着目すべきである。そして、その成果として、より本格的なAIの産業への応用が、新たな知識獲得ツールを基に展開されるであろう。

3.1.6　期待されるAIの新技術

知識獲得と関連したテーマとして、本書では、AI応用として、「機械学習の応用技術」(3.3.3)について、AI実現技術として、「学習ツールと応用」(3.4.2)について、それぞれ詳細な解説を行った。

その他の話題としては、AI基礎技術の動向の一環として、AI技術の現実問題への応用で欠くことのできない曖昧性の扱いについて、3.1.3で、その新しい技術動向を探った。特に、「確率ネットワーク」については詳しい解説を行った。確率ネットワークは、論理と確率を結び付ける、興味深いアプローチである。その他、個別テーマとして取り上げなかったが、AI技術動向として触れておくべきテーマとしては、事例ベース推論と、分散AIの台頭である。これらは、特に国際会議での発表を見ても、その進展ぶりが伺える分野である。また、「大規模知識ベース」も、その標準化動向とともに、注目に値するテーマである。

最後に、本書では、「ヒューマンインタフェース」を、ハイライト技術として取り上げた。「ヒューマンインタフェース」は、良いAIシステムを作るための必須の要素技術であり、また、それ自身が、AI技術を展開する格好の応用問題でもある。本書では、ヒューマンインタフェースの諸問題を網羅的に取り上げて、解説を試みた。その中で、CSCWや、バーチャルリアリティなどの技術についての最新の技術動向についても、取り上げている。

3.2　ハイライト技術ー知的インタフェース

3.2.1　知的インタフェース技術を巡る環境

人類がコンピュータという道具を手にして半世紀近くになろうとしている。この間、コンピュータのハードウェア／ソフトウェアの進歩にともなって、コンピュータとユーザとの関わり方にも変遷が見られる。特に最近では、ハードウェアのダウンサイジング（小型化）、マルチメディア技術の多様化、ネットワーク化などが進んできていることから、コンピュータの利用形態と、コンピュータに対する利用者の意識に変化が認められる。メモリがふんだんに使えるようになったことと相まってGUI（グラフィックユーザインタフェース）の技術が進み、CG（コンピュータグラフィックス）はVR（仮想現実感）の世界へと発展を遂げつつある。インタラクティブ（対話型）な応用ソフトでは、プログラムのコーディングの8割以上がヒューマンインタフェースに充てられていると言われる。利用形態の変化では、ワークステーションやパーソナルコンピュータに見られるように個人個人がマシンを占有して利用するスタイルが主流になってきた。高価なマシンを多人数でしかも無駄なく使わなければならなかった時代とは様変わりである。また、わが国においてもLAN(ローカルエリアネットワーク）や広域のコンピュータネットワーク利用がいよいよ本格化しはじめた。ネットワークを用いたコミュニケーション機能の活用がこれから情報技術の最も注目すべき利用形態になるものと予想される。このようにコンピュータの利用形態が大きく変化してきている。他方、利用者の意識の変化としては、コンピュータに対する自分の好みや要求を明確に持つようになってきたと見ることができよう。つまりお仕着せのシステムには満足することなく自分が望む機能やサービスを設計者に注文することが当たり前のこととなり、個性を強く主張するユーザが育ってきた。

利用形態の実態と利用者の意識とは相互に深い関係があることから、時代とともにユーザインタフェースの概念と実現技術にさまざまな変化を産み出している。その中で究極の要求としては「使いやすさ」を挙げることができよう。そこで「ユーザフレンドリー」というスローガンが掲げられるようになった。「使いやすさ」のターゲットも変化し始めている。「知的インタフェース」の目指す「使いやすさ」は、システムをユーザが受動的に使う上での使いやすさに止まらずに、むしろユーザがシステムに積極的に働きかける場合の「使いやすさ」をも包含する。そして、さらに「楽しさ」の要素も付け加わってきている。

ハイライト技術で扱う「知的インタフェース」の「知的」という用語の定義は必ずしも自明ではないが、ユーザが成し遂げたいと思っている仕事を支援する能力を備えた「使いやすい」インタフェースということができる。人間と機械とのインタフェースとして、古くは「マンマシンインタフェース」と呼ばれていた。「マンマシンインタフェース」はマシンを効果的に機能させるためのインタフェース設計という発想が背後に見え隠れするが、「利用者中心」あるいは「人間中心」という発想に基づくインタフェースを現す用語として「ユーザインタフェース」とか「ヒューマンインタフェース」が使われるようになってきた。

もともとヒューマンインタフェースと言うとき、そこには対話やコミュニケーションという側面があり、知的インタフェースではシステムと人間の対話機能が一層重要な役割を持つ。今後コンピュータネットワークの利用が普及しその利用形態が高度化するほど、コンピュータのコミュニケーション手段としての役割の占める比率が高まっていくものと考えられる。

3.2.2　知的インタフェース技術の新しい展開

知的インタフェース技術の動向を全般にわたって見てみると、①対話技術、②知的支援技術、③協同作業支援技術、④仮想現実技術などという技術開発が重要な技術課題としてクローズアップされてくる。これらには、前節に述べた環境の変化が反映されていると考えられる。

まず最初に対話性が非常に重視されている点を挙げる。知的インタフェースではシステムとユーザとの対話技術が基本である。対話技術を構成する要素技術の中で、入出力系に関しては、従来からのキーボード入力・CRT表示出力、アイコンの利用、GUIというレベルから、高度な機能を持つインタフェースとして、画像処理、音声処理、自然言語処理などの技術まで、関連する技術スペクトルは広い。対話性を向上させる上でさまざまな技術が開発されている。基礎的な研究として、作業達成のインタフェース行動を分析するためのモデルの構築とそのモデルを用いたシステム評価に関する研究が行われている。すでに古典とも言えそうであるが、S.K.Cardらが提唱したGOMSモデルなどが一例である。最近盛んに研究されているのがメタファを用いた対話技術である。ユーザにとって親しみのある現実世界からの類推の助けを借りることにより、システムの操作を容易にしようという手法である。デスクトップ・メタファのようにすでに

実用化されているものもある。通商産業省のFRIEND 21プロジェクトはメタファの考え方を大幅に取り入れている。対話技術で注目すべきもう一つのアプローチはバーチャルリアリティの技術であり、仮想世界の中でシステムと人間との対話を行うことによって、今までにない効果的なインタフェースの実現を狙っている。対話そのものの研究は自然言語理解の研究の一環として取り組まれてきているが、コミュニケーションをモデル化する基礎的な研究にも取り組みがなされており、T.Winogradの会話理論などがある。知的インタフェースに要求される「ユーザの意図を扱うことのできる対話」を実現するためには、従来のようにすべての情報をシステムの中に取り込んだ上で処理をする方式では限界があることに気がつき始めている。そこで扱う情報はコンピュータシステムの中に閉じこもることは許されないのであって、「環境を取り込み、環境に働きかける」ことを可能とする技術の追及が始まっている。その一つの試みが状況推論と呼ばれるアプローチである。

知的インタフェースの目的は知的支援の実現であり、現在の技術開発も人間の知的能力を引き出すための支援ツールとしての機能を実現する方向に向かっている。従来からCAD(Computer Aided Design)システムなどの研究開発が行われているが、より自由に人間の創造性を引き出すことを支援する技術を目指して発想支援の研究も始まっている。この種の支援システムの例としてKJ法による発想支援システムがあげられる。知的支援システムを設計する場合の基礎的研究は、認知工学の産みの親であるD.Normanが80年代後半に発表したUser Centered System Designという本の中に見つけることができる。この本は認知科学とヒューマンインタフェース技術とを結び付けた最初の本でもある。

コンピュータがコミュニケーションの要として機能するようになるとCSCW(Computer Supported Cooperative Work)と呼ばれる技術領域が形成された。「コンピュータ支援による協同作業」である。コンピュータが個人の知的な能力を引き出すための機能を果たすだけに止まらないで、コンピュータを介した個人と個人の協調作業やさらには人間の集団の中で意思決定をサポートするような機能を実現する方向の研究が進められている。現在すでに多数のグループウェアが作られている。前出の会話理論はこの分野のモデル研究／理論研究の糸口を提供した。この理論に基づいてThe Cordinatorという電子メールベースのグループウェアが開発されている。協同作業という観点からのモデルにはソフトウェア設計の上流工程の議論を支援するツールに使われているIBISと呼ばれるシステムなどで使われているものなどが、その一例である。

新しい対話の技法と新しい発想を刺激する可能性がある技術としてバーチャルリアリティ、つまり仮想現実の技術を捉えることができよう。ハードウェアとソフトウェアの進歩が新しいメディアを生み出した。コンピュータによって合成された人工的な世界の中に人間が入り込み、さまざまな疑似体験を行えるような仕掛けを仮想現実（バーチャルリアリティ）と呼ぶ。これによって、従来にない大容量の情報交換のパスを人間とコンピュータとの間に実現できるために、人間にとって今までに経験したことのない新しい実験が試みられつつある。

3.2.3　使いやすさの追求と認知科学

「使いやすさ」は知的インタフェースの最大の達成目標である。インタフェースを使いやすく設計するためのガイドラインがいくつか提唱されている。一方、システムと人間との整合を考えるうえでの理論的研究も80年代から始まっている。「ノーマンのモデル」と呼ばれるのがそれである。D.Normanはシステムと人間との全体の系のモデル化を試み、人間の認知活動を7段階に分けて考えた。目的達成のために実行する時点と実行結果が元の目標を達成したかどうかを評価する時点で、物理的世界と心理的世界との間の大きなギャップ（淵）が存在するが、人間がそのギャップをとるのを助けるのがインタフェースであるとして、インタフェース設計の指針を与え、認知科学とインタフェース技術との橋渡しをした。現在、知的インタフェースを考える上で、認知科学的アプローチが有力な手掛かりを提供することが期待されている。

3.2.4　今後の課題—真の「人間中心」を目指して

知的インタフェースの技術の変遷を顧みると、技術の進歩は必ずしも一直線に進んでいるわけでなく、何年か経つとまた再び同じような課題を取り上げて研究開発が行われているような印象を持つ。知的インタフェースの要素技術となる自然言語理解、文字認識・画像理解、音声認識などにも確かにそのような現象が見られる。しかし、2度目の挑戦では以前に行われた研究のレベルを確実に上回る水準を狙うことになる。コンピュータの性能向上とプログラミング言語や基礎理論の進歩が新たな技術展開をもたらすのである。したがって、この種の技術開発は、同じ課題を単に繰り返して取り組むのではなく、

あたかも螺旋階段を上るような進み方をするところに特徴がある。

「人間中心」のアプローチを進めている知的インタフェース技術が、一方で新たな課題を産み出していることも考慮しておく必要がある。たとえ「人間中心」であっても、とかくシステム設計者の「人間中心」になりがちであり、真の「人間中心」はユーザを本位とした設計でなければならないとの主張が最近改めて聞こえてくるようになった。この点を考慮した知的インタフェース技術の開発が今後の大きな課題といえる。

第2部　人工知能の実用化を目指して
――新人工知能システムの構築――

1. はじめに

人工知能がこれからの情報技術の中心的な概念となり、それを基にして情報分野で新しい方法論が確立されるであろう、と考えている人は多い。しかしながらそれらの人達も、人工知能の技術が本格的なものとなる時期はまだ先、と考えている。多くの人にそう思わせる最大の理由は、本格的な実用化への見通しが未だ立っていないゆえであろう。あるいは実用化ということの意味が明確にされていないと言うべきかもしれない。実用化の意味とは、人工知能技術が本格的な利用状態になったとき、人間社会の中でどのような位置づけになっているか、どのような利用のされ方をし、人間とどのような関係を作り上げているか、を明らかにすることである。これが明らかにされれば、実用化の目標がはっきりし、現状ではどのような技術が不足していて、何を研究すべきかが見えてくる。第2部ではこのような視点から人工知能の実用化への道を論じる。

2. 人工知能実用化の意味

人工知能の実用化に関しては、全く無関心な一部の人々を除けば、現在大きく分けて二つの考え方に集約される。一つは、細分化されている人工知能の中で、個々の研究分野で見い出された知見を直接、あるいは既存のソフトウェアと組み合わせて、応用技術とするという考え方である。例えば自動推論機能を用いて定理証明を行う、事例推論を問題解決に用いる、記号学習をゲノム解析に使う、などである。今日、応用に関する多くの研究者の考え方はこの型のものと考えられる。もう一つは、人工知能によって現状のソフトウェア技術のレベルをもう一段高め、従来と異なる新しい人間－機械関係を実現することをもって初めて実用化が果たされるとする考え方である。今日のコンピュータは、多かれ少なかれ、コンピュータ自身あるいはソフトウェアに関する知識を持たない限り、利用しにくい代物である。これは人間同士のコミュニケーションとは著しく異なっている。この最大の理由は情報に関する理解が未だ十分に成熟していないからであり、本来、技術問題に帰せられるべきものである。

上述した第1の考え方は、研究成果のテストの意味も含めて、比較的容易に理解できる。その分かりやすさゆえに、これが研究の目的と誤解されやすい。このような基本的な、あるいは要素技術の直接的な応用も重要である。これを通して人工知能の有用性を人々が感知できるからである。しかし、もし個々の分化した技術が、現実の問題解決システムに部品のように組み込まれて利用されるだけのものとしたら、人工知能は少し気の利いた特殊なソフトウェア技術という位置づけで終わることになろう。しかし、多くの研究領域で、発展途上の技術がこのような段階を経過することによってさらに前進し、新しい固有の技術分野を形成してきた。人工知能の研究者が、先を見通さないままに安易にこの段階に留まることは許されない。現に、これまで人工知能の分野で行われてきた研究には、このように単なる部品として使われるという性質とはかけ離れたものが多い。言語や推論に多くの研究努力が注がれてきたが、これらは単独で応用に用いられるというよりは、もっと基本的なレベルで新しいソフトウェアの体系を築く基盤になるもの、という性格のものである。

人工知能の実用化をこのように考えるのが第2の立場である。これは従来のコンピュータとはいわば異質の、新しい情報機械をもたらすはずであるが、それゆえにこのようなシステムを適切に表すキーワードがない。今日のコンピュータと比較して、表面的に、すなわちユーザの立場から見たとき、最も大きな違いは機械とのコミュニケーションの方法であろう。なぜなら今日のコンピュータの最大の問題の一つが、一般ユーザにとっての使いにくさにあるからであり、その改善こそが新しい技術に課せられ、期待されるものだからである。

今日の人間－コンピュータ間の会話は人間同士の会話に比べて著しく不便なことは言うまでもないが、この両者の違いの原因は一体何であろうか？　この原因を解明し、それに対する適切な方式を開発することが、人工知

能の実用化への道である。言うまでもなく、表面上の最大の相違はメディアにある。自然言語を始めとする人間向きのメディアとコンピュータ言語とでは表現の容易さが異なる。近い将来、あらゆる年齢層、職業層の人たちが気軽にコンピュータを使えるようにするには、メディアそのものの改良は不可欠である。しかし、これまでも、長い期間にわたって、できるだけ自然言語に近い会話用言語の開発が行われてきた。それにもかかわらず、自然言語による理解システムの実用化は成功していない。これは、理解するということの意味に関わっている。コミュニケーションの目的は相手に自己の意図を理解させることであるから、ヒューマンインタフェース(HI)の目的は、コンピュータに理解させるための人間の努力を最小にすることであらねばならない。

人間同士の会話と一言で言うが、実際には同じメディアを使いながら、人によって会話のしやすい人と困難な人がいる。より知的な人との会話は理解しやすく、奥も深い。したがって面白い。このように、会話を成立させる動機には話者の知能が深く関わっている。人間同士の会話では、このような人によるばらつきが人間ーコンピュータ間のものより小さいというだけに過ぎない。ときには高度の機能を提供してくれるコンピュータとの会話の方が容易である、あるいは少なくとも、より便利であると感じる人もいる。この両者の相違が単にメディアにのみ帰せられるものとしたら、この事実はどのように解釈したら良いだろう。これらの人達にとって、たとえメディア自体は自分の考えを表現するうえで不便なものであっても、その不便さが許容範囲にあり、会話の効果が大きければ、会話を行う十分な動機があることになる。

このようにHIの目的を費用（努力）／効果で表すという考え方は必ずしも一般的でないかも知れないが、コンピュータシステムの利用形態という大きな視点からみれば、単に表現の容易さ、という一側面に限定せず、全体としての効用を視野に入れた上で実用化を検討するという立場に立つ必要がある。これを前提に議論を進めるなら、HIを良くするということは、理解のための努力を最小にして、その結果の効果を最大にすることである。例として次のような表現を考えてみよう。

(1) 巡航時突風下でX型航空機の翼中央桁取付け部の最大応力はいくらか？

(2) 村単位で量った米の1反当たり平均収量の最大値とその村名は？

これらの自然言語文をコミュニケーションという場において理解するということはどういうことかを考えてみよう。もしこれらを従来の意味で純粋に自然言語処理の問題としてとらえると、言語処理とはこの外部表現を形態素解析、構文解析、意味解析を通して内部表現に変換することである。意味の処理には意味辞書が必要であるが、これをどのように作ったなら意味処理が適切に行えるであろうか？　おそらく、このような自然言語による質問を出した人はその解答を必要としている。例(1)において、この質問が主設計者から組立部品設計の担当者に発せられたものとしたら、主設計者は解答を要求しているのである。質問を受けた側はこの問題を解決することによって初めてこの会話における返答が可能になる。これがこの場合の「意味」である。「理解」をこのように定義すると、これは発話された状況に依存することになる。上述の状況の場合で言えば、意味辞書とはこの分野における知識ベースそのものであり、意味処理とは知識ベースを用いた問題解決システムに他ならない。通常の言語処理あるいは言語理解の定義とは異なるかもしれないが、人工知能システムとして実用化を考えるということは、従来の定義に関わらず、総合的なシステムとして必要な機能を備えたシステムを指向することであり、それには、(A)自律的問題解決機能を持つこと、(B)問題の多様性に適応できる柔軟性を持つこと、が要求される。

これを基本的な軸とし、関連技術として、知識獲得その他の多くの技術を、相互に関連づけたシステムを開発していくことが必要である。どのような技術をどのように関連づけていくか、を明らかにしていくことが人工知能の実用化にとって極めて重要かつ緊急の課題である。

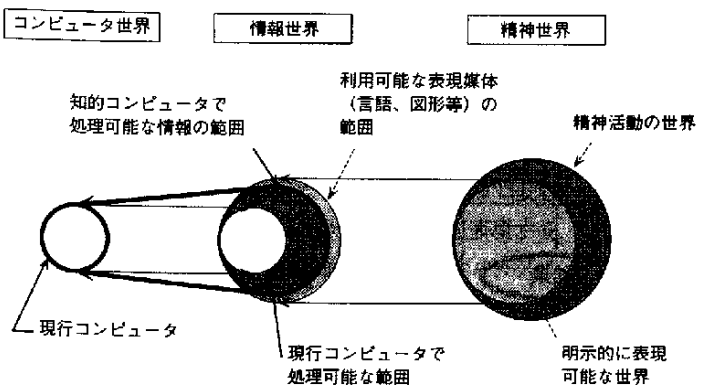
3. 新しい情報の世界の確立

技術的に見ると、人工知能研究は上記の目的を達成するために、機械的に処理しうる新しい情報世界を確立することと言える。ここで「新しい」と言ったのは「従来のコンピュータ科学で主として扱われてきた範囲を越えた」という程度の意味である。情報とは本来人間の精神活動を表現するための手段として人間によって開発され、人間のために存在してきた。しかしこれまでコンピュータ科学が扱ってきたのは、チューリングマシンという特殊機械によって定義される範囲の情報であり、これは情報世界のごく一部の、どちらかというと特殊な情報に偏っていた。人間はそれ以外にも多種類の情報を利用

している。その中には、新しい方法で定式化し、処理方式を明示的に表現できる種類の情報形式がある。適切な機械を開発することにより、その一部を機械的に処理可能な範囲に組み込むことができる。人工知能研究がこれまで人間の知能活動を研究対象としてきたのも、それに対応する情報がいかなるものであるか、を知るためであったと言える。

この考え方は妥当なものである。情報の世界は人間の知的活動に対応して考えられるべきものであり、情報処理機械はこの世界をできるだけ忠実に機械化するものとして開発されるべきものだからである。これを図式的に物ー情報ー精神　のように表そう（図表I-2-1）。精神は知覚や知能の働き、情報はこれら人の目には見えない知覚や意味を、言葉や図形・画像その他の媒体を用いて明示的なものにした、形式的表現の世界である。ここで意味とは、感覚器を通してすべての人に共通に認識された対象、すなわち具体的な物、あるいはその性質や振る舞いなど、あるいはさらにそれから抽象化された概念である。情報の中には各種思考法、問題解決の方法論の形式的表現なども含まれる。物は生体では細胞、あるいはさらにミクロに見てそれを形成するDNAや分子等、非生物ではシリコンのような素材でつくられる構造体である。これら相互間にはまだ大きなギャップがある。物と情報はどのように結び付くのだろうか？　情報と精神はどのように関連付けられるであろうか？　情報世界の構造とともにこれを明らかにすることも人工知能研究に含まれる。前者の問題は人間については一部の観測事実はあるものの、未だ不明の部分が多く、新しい興味ある研究対象になっているが、非生物に対しては一部が解明されてきた。これは言うまでもなくコンピュータ科学の主題であった。人工知能の目標は、コンピュータで扱える情報の範囲を人間の情報世界の中のできるだけ大きな部分をカバーするように拡大することである。そのためには「物」としてのコンピュータ機構から、情報世界を定義するのでなく、「精神世界」を反映するべき「情報世界」の構造をまず見い出して定式化し、それを処理する機構をコンピュータという物の世界に実現するという、従来のアプローチとは逆の発想が必要とされる。

図表Ⅰ-2-1　物ー情報ー精神の関係



4. 人間の知的行為の分析ー設計の場合

人間の知的行為を分析する目的は、人間の各種の複雑な知的活動に含まれる基本機能の組と、それらの関連を見い出すことである。人間のすべての活動を分析することは不可能であるし、必要でもない。いくつかの代表的な活動を選んで分析することにより、必要な大部分の機能を洗い出すことができる。その代表的な活動には、設計、製造、組立、検査、診断、制御、計画、意思決定、学習、プログラミング、教育などがあり、これまで比較的良く分析されてきた。これらをさらに詳細に分析することにより、人工知能システム設計に必要な多くの情報を得ることができる。紙幅の関係で、以下では設計のみを取り上げる。多くの知的行為の中でも、特に設計は常に時代の最新情報を用い、人間が持つあらゆる知的機能を駆使して行われるものであり、普遍化された設計活動の分析により洗い出される必要機能は、他の多くの知的活動を網羅すると言っても良いほどである。それと同時に、長い歴史の中で、分析され定型化の努力が続けられてきただけに、設計の内容はかなりの程度理解されている。人工知能システムの適用対象分野として最も重視すべき分野である。以下では設計活動を一般化して、その分析を行う。

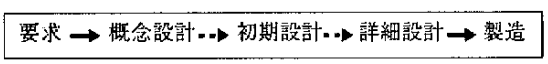
設計は作りたいと考えている対象物への一組の要求が与えられ、それを満たす物あるいはその作り方を見い出すことである。要求は対象とする実体の性質、与えられた環境下での機能や振る舞い、他の実体との関係、などである。これらはそれぞれ意味が異なるが、重要なことはこれらが同一の言語によって述語として表わされ、その言語表現を通して、設計という行為の中で必要かつ十分な役割を

果たすことである。これはシステムが持つ言語に対する要求であって、これらの表面的な意味の相違は、設計行為を表現するという目的に対しては無視される。したがって、以下ではこれらを総称して、単に「機能」と言う。多くの場合、要求と共に可能な対象物への制約条件が与えられる。もし、これらの制約も述語の形式で表わされるなら、これと同じ理由で、要求と制約間の違いは無視され、制約も特別の要求と見なされる。すると設計とは、「機能要求の表現から、その要求を満たす対象物の作り方（解の生成法）への変換」として定義される。

設計はまず基本概念を作ることから始まる。設計が非常に革新的なものであるなら、新しい概念が作られねばならない。この概念は仮説的な対象モデルとして表わされる。この概念設計段階で、粗い、しかし基本的なモデル構造が作り出される。次いで初期設計段階で、モデルは技術的な健全性や実現可能性等が各種の観点からチェックされる。このために各種の解析／評価の方法が用いられる。最終段階では詳細なモデルが作られ、そこから製造に関わるすべての情報が取り出される。これは詳細設計段階である（図表I-2-2）。すべての段階において対象モデルが中心にあり、もし対象モデルが与えられた要求を十分に満たさないと判定されたなら、モデルは修正される。すなわちすべての段階で行われる基本プロセスは同じものであり、いずれも発見的方法を取ることが必要となる。もちろん上流過程では発見的要素が強く、下流になるほど定型的になる、という内容の違いはある。大規模対象物を設計するときには、設計活動はそれぞれ異なった専門知識を要する部分設計に分割されねばならない。これら分割によって新たに作り出された部分設計は別々の担当者に分散して割り当てられ、並列に処理される。

このように設計にはさまざまな側面がある。目標達成には少なくとも、(1)非決定型問題解決としての設計、(2)協同作業としての設計、(3)創造し、それを対象モデルとして表現する行為としての設計、(4)製造を可能にする作業としての設計、の四つの側面が考慮されねばならない。状況によりこのあるものは省略される。

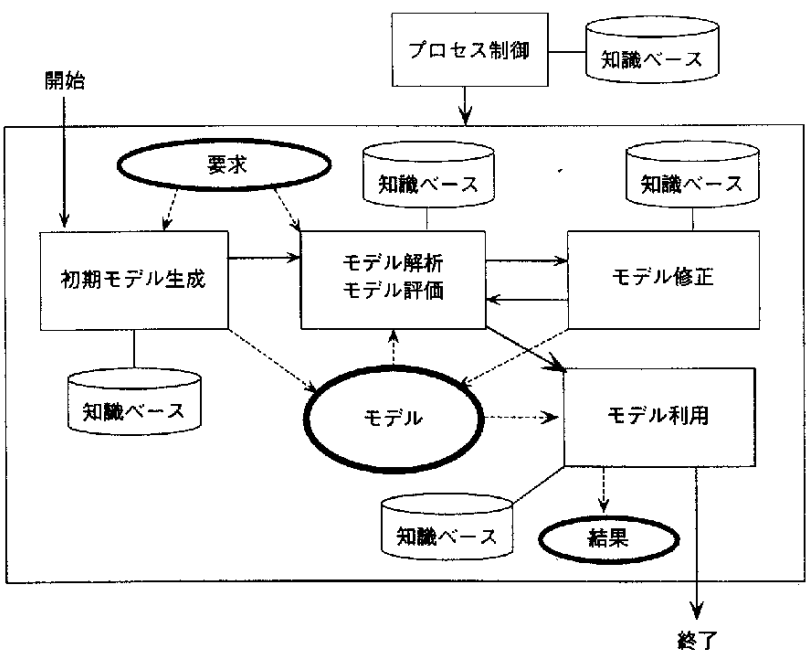
図表Ⅰ-2-2　設計プロセスの概要



4.1　非決定型問題解決としての設計

設計のすべての段階において、要求に合う対象モデルが作られ、詳細化されていく。これは要求に合う対象モデルを探し出す非決定過程である。非決定性は構造ー機能関係が双方向関係でなく、構造が定まってようやく機能が定まるという、構造から機能への一方向関係であるという事実から生じる。可能性としては無限の構造表現があるので、すべての場合について、前もってこの構造ー機能関係を網羅的に準備しておくことはできない。このため非決定型問題となる。この解決法の標準形式は図表I-2-3に示される。このプロセスは、(a)モデル構築、(b)モデル解析／評価、(c)モデル修正、(d)プロセス管理／制御、を要素として含む。

図表Ⅰ-2-3　非決定問題解決としての設計



4.1.1　モデル構築

機能と解の生成（製造）法とは異質の概念であるから、直接の変換は難しい。これを仲介す

るものが対象モデルである。したがってモデルは二つの面ー機能と解の生成法ーを持たねばならない。

実対象は機能を伴った物理的な実体、あるいはその抽象化された実体である。実体は一般的には要素から構成される構造体である。モデルはこの実対象の情報表現である。機能も、解の生成法も、対象構造に依存しており、対象構造から求められる。前者は「構造->機能」の関係、後者は「構造->解」の関係を用いる。この意味で、対象構造は対象モデルの最も基本的な概念であり、実対象の構造が既知のとき、対象モデルの構造が定まる。構造と機能とは異質の概念であり、その表現に必要な言語規則も異なる。ある種の機能表現、例えば対象が物理的な実体であるとき、それを作っている材料の特性などがモデル構造に付与される。この構造ー機能組から、これ以外の機能、例えば構造物の強度などが求められる。対象にある機能を与えたいときには、所要の機能が現われるようにモデル構造を操作する必要がある。それは機能が構造の従属概念であるため、機能を直接操作することができないからである。多くの場合、仮のモデルが作られ、それが所要機能を示すまで構造が操作される。多くの概念やアイデアが対象のこの構造ー機能関係に基づいて表現される。対象の構造あるいは機能のいずれかが未知であり、その未知項を知る必要が生じたとき、問題が生成される。すなわち問題はこの表現の一つの現われ方である。

現実の世界では、一つの対象構造に無限の機能表現が付帯しうる。しかし記憶の有限性のために、情報量は有限でなければならない。実際には各個人が持っている情報の世界は宇宙の忠実なコピーであるわけではなく、個人が興味を持つ範囲あるいは問題を表現するのに必要十分な有限個の機能表現のみが明示的に現わされる。もし人が対象の細部に関心を持たなければ、モデルにおいて構造の細部の表現は省略される。このようにして、たとえ具体的な物理モデルの場合でも、個人によってモデル表現は異なってくる。

このようにしてモデルは、外延としての構造と、内包としての機能表現から構成される。この関係が意味の基礎である。モデル構造は要素とそれらの相互関係で表わされる。対象モデルの表現においては、機能を表現する述語が単一の要素もしくは（部分）構造を表すノードにリンクされる。

対象モデルの構造は問題によって異なる。複雑な対象は異なった構造の複合を必要とする。したがって人工知能システムは豊富な構造表現が可能でなければならない。これらのことから知識表現に対し以下の要求事項が導かれる。

(a)モデルを表わすにはデータ構造と述語の組み合わせが必要である。データ構造は対象構造を表し、述語はモデルの機能、モデルに対する人間の知識、モデルへの操作などを表現する。これらの表現は、述語がデータ構造で表される対象本体の機能を表す、という意味付けがなされている。この述語とデータ構造の関係は、通常の述語において述語と項の関係と同じである。これはデータ構造が述語の項になるように、述語論理の構文規則を拡張することが必要であることを意味する。

モデルの概念が重要なのは、これが思考過程を、最終モデルが得られるまでのモデルの操作過程として明示的に表しているからである。モデル構築に関しては以下のように異なった方法がある。

(1)過去の事例、もしくはその変形を用いる。

(2)新しいモデルとして構造ー機能の新しい組を生成する。

(2-1)ボトムアップモデル生成

(2-2)トップダウンモデル生成

第1の方法は、設計等多くの技術問題に用いられている。事例推論(CBR) はこれを形式化したものである。ボトムアップ法は、存在する要素を組み合わせて新しいモデルを構築する。例えば通信端末としてのワークステーションを組み合わせてLANモデルが構成される。一方、トップダウン法はより一般的なモデル構築法である。この場合、構造は構造中の単一ノードをノード組に展開することによって生成されていく。どちらの場合も、要素の性質に依存して、モデル構築法をガイドする規則を準備することが可能であり、かつ必要でもある。また生成されたモデルが受け入れられるか否かをテストするにも規則が必要である。

もしこの規則が不適切であると、作られたモデル構造も不十分なものとなる。モデル構築を行うシステムを、より適応的でかつ強力にするためには、作られたモデルを評価することによって、規則自体を修正する能力をシステムに与える必要がある。これは成長的な自動モデル生成プロセスである。モデル構築に対する基本機能は設計と関連し後に述べる。モデル構築そのものに関する要求は、以下のように整理される。

(b)データ構造の操作には手続き的プログラムを必要

とする。手続きプログラムの利用はこの他の多くの場合にも必要になる。これには述語論理の構文規則を拡張して、任意の手続きプログラムを利用できるようにすることが必要である。

(c)多くの場合、ゴールに至る発見的プロセスにおいては、データ構造を試行的に変更してみることが必要となる。この場合、データ構造がまず変えられ、続いて構造ー機能関係の整合性を保つように、関連する機能を表す述語が修正される。これには、構造と機能は、相互に独立に操作することが可能なように、緩く結合されていることを要求する。

(d)ときには観察された機能が知識ベースとデータベースにまたがって保存される。また、重要なモデル事例を保存し、後に参照するために、対象構造をデータベースに保存することも可能でなければならない。これには知識ベースとデータベースが統合され、この両者間で情報の交換が可能であることが必要である。またデータベース・スキーマは、任意のデータ構造要素を含むように拡張されねばならない。

要求を表現することは、人間が自己の意図を要求という形で表すこと、を意味するが、これは容易なことではない。このためその支援手段が必要になる。ただしこのことは、要求が明示的に表現されていること、のみを要求するのであって、内容が常に正しく、かつ詳細であらねばならない、というわけではない。人間の出す要求は常に不完全であり、不正確である。ここで言っているのは、不完全、不正確な要求でも、明示的に表現されていれば、たとえ設計の途中でも人工知能システムはこれを受け付け、それを修正することができるだけの強靱さを持つことが必要である。

4.1.2　モデル解析・評価

モデル解析・評価は与えられた構造が示す機能を見い出す決定的過程である。これまで多くの問題領域で解析型（決定型）問題解決法が開発され、蓄積されてきた。さらに、新しい方法が今なお見い出されている。人工知能システムはこれら最新の方法を効果的に利用できるように、知識ベースへの付加が容易に行えねばならない。これらの方法はそれぞれ独立に開発され表現されるので、次の条件が必要になる。

(e)モデル解析・評価法はモジュール化された規則の形で表現されること

(f)知識ベースは知識の付加や変更が容易にできるよう管理されること

4.1.3　モデル修正

モデル修正は対象モデルに作用してこれを変える。対象の一部が変化するとそれが構造内に波及する。したがって、対象モデル（構造あるいは機能）の変更に伴って、この変更部分に関連する機能が、全体としてのモデルの整合性を保つように修正されねばならない。目的とする機能を持つように対象モデルを修正するには非常に高いレベルの知能を必要とする。多くの場合、モデル修正の適当な方法は知られていない。ただし過去に用いられた方法のあるものは再利用される。これらの方法は規則の形で表現され、知識ベースに蓄えられる。そして後にモデル修正の可能な方法として利用される。このほかの場合は、人間がモデル修正の方法を決定せねばならない。この場合、次の条件が必要になる。

(g)フレンドリーな人間ーシステム間インタフェースが準備されること

4.1.4　プロセス管理・制御

知識ベース方式においては、処理のプロセスは、作業に必要な大きな知識ベースを、異なる部分の処理向きの小さな知識の塊に分割し、これを実行手順を表わす構造に編成することによって実現される。これらの知識塊は前もって定められた一定の順序に従って、あるいは状況に応じて動的に、活性化されねばならない。分割された知識塊の一つを選び出す行為は、この知識を用いて対象レベルで行われる処理よりも高いレベルの処理である。したがって、図表Ⅰ-2-3のプロセスは、メタレベルで、知識塊を末端に持つ構造の形で表現される。制御知識もこのメタレベルに置かれる。このように、プロセス／制御の定型的な表現は対象モデルと同じ形式、すなわちデータ構造といくつかの述語の複合として表わされる。このときのデータ構造は対象知識（対象モデルを直接処理する知識）の分類構造を表し、そこに付加された述語はこの構造に基づく制御戦略を決定する。これをプロセス／制御モデルと呼ぶことにしよう。制御戦略は、常に最良のものが前もって求められているわけではなく、より良い戦略を求めて、このプロセス／制御モデルが動的に変更される場合がある。これはプロセス／制御モデルの設計問題である。ここで設計されるのはメタレベルで表わされている制御構造であるが、このプロセスは対象モデルの設計プロセスと同じ形で表わされる。これを実現するにはシステム内にはメタレベルよりさらに高い表現レベルが必要になる。このレベルはメターメタレベル

であり、プロセス／制御モデル設計の戦略が表わされる。このことから以下の要求が作られる。

(h)多重メタレベルアーキテクチャが必要である

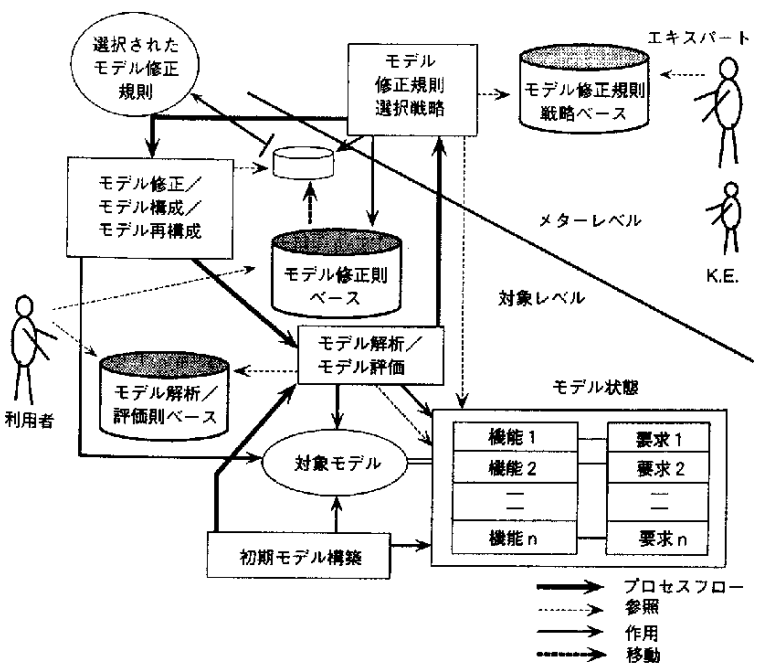
より現実的な非決定型設計過程は図表Ⅰ-2-4のように表わされる。この図においては、対象モデルが作られ、解析されて、現在のモデルと目標モデル間の距離を示す状態ベクトルが生成される。制御戦略は状態ベクトルに基づいて、モデル修正知識ベースから一組のモデル修正の候補とする規則を選び出し、それを現在の対象モデルに適用して、新モデルを生成する。選ばれたモデル修正規則が複数の場合、複数モデルが生成されるが、そのうちの一つが選ばれて、次のサイクルに入る。制御知識は問題に応じて異なってもよい。制御戦略ベース自身が可変で成長的であるためには、制御戦略が、モジュール化された規則の形で表現されていることが必要である。

4.2　協同作業としての設計

設計問題の第2の側面として、協同作業として設計行為を定型化することが必要である。設計対象が極めて小規模の場合を除き、設計に含まれる仕事の量も、広がりも、個人の能力を越えて大きくなる。この場合、設計作業を多数の小規模設計に分割し、各作業が個人によって達成されるようにせねばならない。たとえ対象が小規模であっても、もしその設計に際して異なった専門分野の知識が必要な場合には、設計の分割が行われ、異種専門分野の専門家に分散した上で協調を図らねばならない。このように、協調は問題を小問題に分割／分散することによって、各個人の努力が最大限に発揮され、設計目標を達成できるようにするということを意味する。これら分割によって生成された小問題間の依存関係はできるだけ小さいものとすることが好ましい。もしこれが大きいと、各担当者間で交渉が頻繁に必要となり、交渉に必要な時間や労力の総和が分割によってもたらされる効果を越えてしまうからである。したがって問題の分割とは、分割によって生じる各小問題間の依存関係を最小限に押さえるように、原問題を分割することである。一般には、どのような分割を行っても、小問題間の干渉をなくし、完全な独立問題にすることはできない。したがって、分割の目的は相互干渉が最小の分割法を見い出すことと同時に、各小問題間の関係を明示的に表現することである。

これら分割によって得られた各小問題は異なったエージェントに分散される。ワークステーションあるいはパソコンとデータリンクからなるネットワークシステム環境が整備されている場合、分散化は各小問題を個々のエージェントに割当て、分割によって求まった小問題間の関係に基づいて、各エージェント間の交渉条件を作り出すことである。

図表Ⅰ-2-4　より現実的な問題解決プロセス



分割と分散は、原則として、対象構造がある場合に可能になる。通常は対象構造は、異なる性質の異なる部品から構成されている。例えば、自動車はエンジン、ボディ、トランスミッション、サスペンション、その他の組立部品から構成される。きわめて革新的な自動車の場合、これとは異なる構成になるかもしれない。しかし対象が部品から構成される点は同じである。各組立部品の設計にはそれぞれの分野の専門家と技術が必要であり、したがってこの段階にくれば分割は容易である。しかし、設計の開始時には対象構造はまだできていない。この時点では、機能に関する設計要求のみが利用できる情報である。したがってこの要求が内容によって分類される。次いで、

各分割された要求の組に対して、個々の部分対象モデルが作り出される。これが未だ十分小さくなっていなければ、この部分対象モデルがさらに分割される。プロセスの分割に伴って知識ベースが分割され、その各分割部分が、それぞれ異なった部分プロセスの中で適切に用いられるようにされねばならない。

このように分割と分散は、設計プロセスと平行して、動的に行われねばならない。このプロセスの進行に伴って、対象の構造と共に要求の構造が形成されていく。あるいは、言葉を換えて、プロセスを分割することは、要求モデルを設計する、ことと言える。ここで要求モデルとは要求記述を末端要素とし、利用条件などいくつかの記述を伴った構造である。もしこの要求モデルの設計がうまくいけば、設計が順調に行われることを意味するから、原設計問題は効率良く解決される。要求モデルの設計に際しては、まず要求の仮構造が作られ、この仮構造を評価する。仮構造を評価することは、分割される部分設計を実行するということで、分割によって生じたすべての小設計問題がうまく行けば、この要求モデル設計は成功したことになる。逆に、もしある部分問題がこのプロセス分割（要求モデル設計）によって解決できなかった場合、要求モデルは変えられねばならない。

これは対象モデル設計の場合と同じであり、設計の基本プロセスである。また、形式的には要求モデルの表現は対象モデルの表現と同じである。違うのは末端要素が要求記述の述語であり、したがってこの構造が制御構造と同じように、メタレベルで表現されているという点である。このように分割はメタレベルにおける要求モデル設計と、対象レベルにおける対象モデル設計の相互に関連しあった作業である。このプロセスの表現は三つのレベルにわたっている。対象モデル設計には対象レベルとメタレベルが、要求モデルの設計には、メタレベルとメターメタレベルが関わるからである。このようにして、協同作業としての設計という側面からシステムには以下の機能が要求される。

(i) 設計行為の分割
(j) タスクのエージェントへの分散と、論理的処理ネットワークの構築
(k) エージェント間の交渉条件の設定とその実行
(l) 各エージェントによって得られた成果の統合

4.3 創造行為としての設計

設計はアイデアを創生しそれを対象モデルの形で具体化するプロセスである。設計の開始時には、対象のモデルに関する情報はきわめて乏しいから、設計はきわめて概念的なものである。終わりに近づくに従って、モデルに関する具体的な情報が蓄積されていくので、設計も具体化していく。

ルーチン的な設計の場合は別として（このときは設計はそれほど困難ではない）、最初は要求と、モデル構築法に関するいくつかのアイデア程度で出発せねばならない。このアイデアはモデル表現の形で具体化されていく。これは対象モデルの骨格を決定していくプロセスであり、トップダウンのモデル構築が進行する。自律的なシステムを目指す立場から、支援システムには、(1)ツールとしてのモデル構築機能、(2)概念設計プロセスを表現／管理する管理機能、が準備されねばならない。この目標を達成する上で必要な機能は、他の機能を遂行するために必要なものとしてこれまでに挙げられた諸技術の範囲内にあり、ここで改めて挙げることはしない。

4.4 製造を可能にする設計

以上挙げた三つの側面はいずれも構造－機能関係に焦点を当てた議論であった。設計の最終段階では、製造という面から対象モデルの仕上げを行わねばならない。これは対象モデルを、手持ちの機械や道具を考慮して、最小のコストで製造法を導き出すことのできるもの、に仕上げることである。対象の幾何学的形状の詳細に関する決定が必要になる。外形形状設計では、ソリッドモデルの技術に基づいた幾何学的推論が必要になる。抽象的な（あるいはトポロジカルな）構造から、物理的な（あるいは幾何学的な）構造へのマッピングが必要である。一般にこの操作は製造計画や組立計画など他の操作と密接な関係にある。これらの操作から情報のフィードバックは、再設計を要請する可能性がある。したがってこの操作は情報に依存してケースごとに定義されねばならない。しかしこの詳細は省略する。

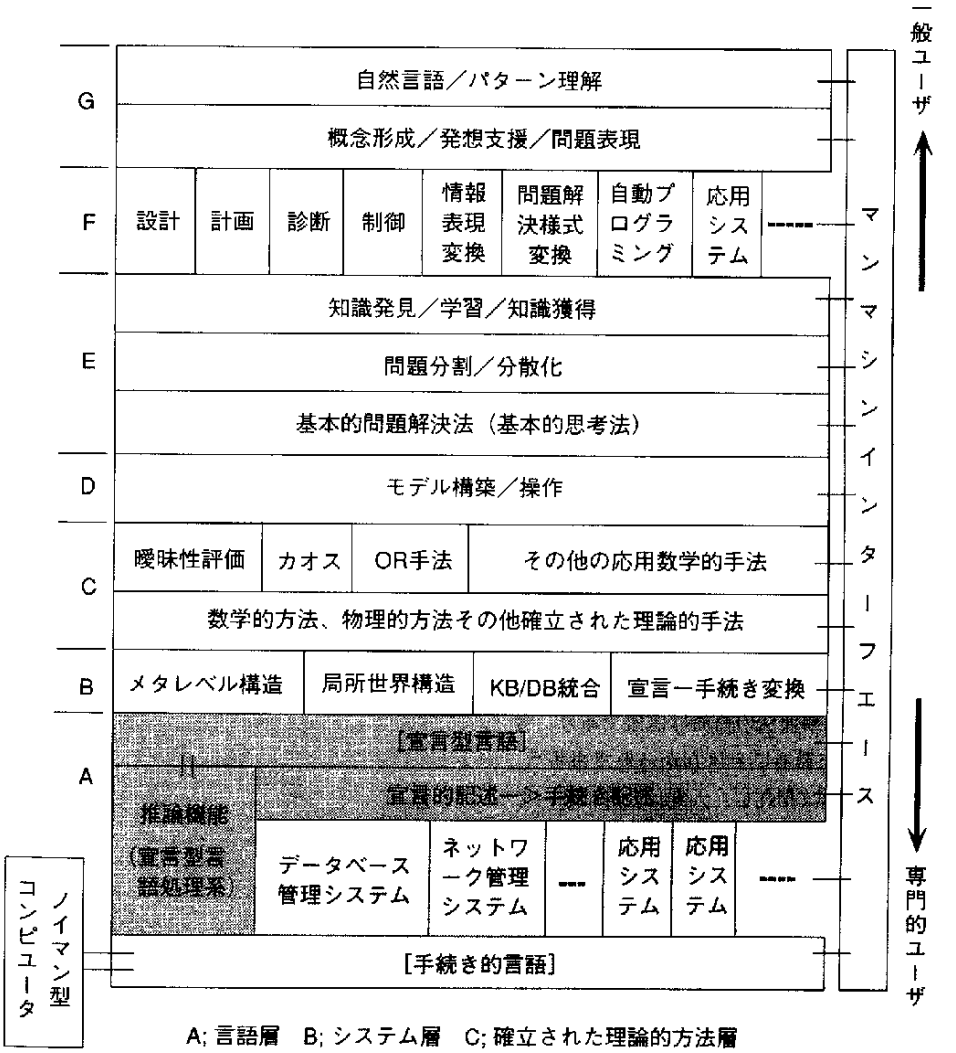
以上、設計活動に関して、その実現に不可欠なシステムへの要求項目を見い出す程度にやや詳細に述べた。他の諸活動についてもこのような分析を行うことによって、人工知能システムの持つ情報構造の全体がより明確になってくる。

5. 情報世界の構造

このような議論を通して知的システムの情報構造が形成される。図表Ⅰ-2-5はこの一つの提案である。この構造は、人間が要求する複雑で曖昧な情報処理要求に合う柔軟性を持つと共に、現在のハードウェア技術で実現可能な低いレベルの固定的な回路によって、このような高度処理を可能にするように構成されている。すなわち知的活動が要求する各種機能は、他の機能を内に含む複雑な機能が、それら要素機能の上位に置かれるように配置されている。要素機能として、基本的な知的機能の組と、複雑な機能をこれら単純な機能を用いて表現することのできる言語が必要とされる。上記の(a)から(l)までの諸要求項目を考慮したうえで、これらが構成されている。

図表I-2-5では最下部に手続き型言語が置かれ、これはハードウェア論理回路で処理される。上位レベル機能が下位レベル機能に展開されることを前提にするなら、これによって構造に含まれるすべての機能が、コンピュータで実行可能な範囲に入ることになる。なお、図示され

図表Ⅰ-2-5　情報世界の構造



A; 言語層　B; システム層　C; 確立された理論的方法層
D; モデル化層　E; 基本知的機能層　F; 各種知的活動層
G; ヒューマンインターフェース層

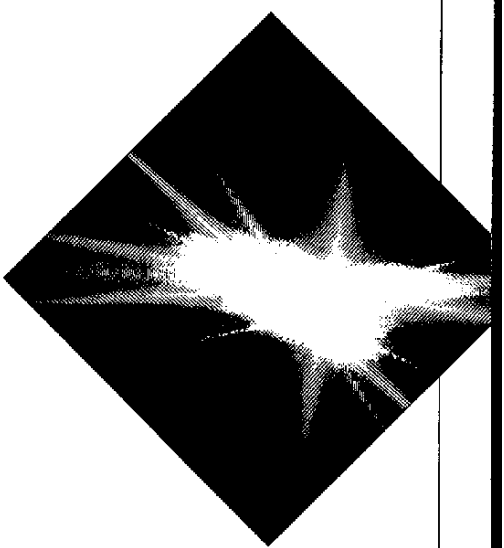
ているのは知的システムが持つことが期待されるすべての機能の一部であり、紙面の都合で表わされなかったこの他の諸機能も同じアイデアでここに含まれる。

6. むすび

第2部では人工知能の実用化の目標を自律機械の実現におき、それを現実のものとするうえで人工知能システムが備えるべき諸条件を明らかにするという立場で議論してきた。自律的処理の過程には多様な意思決定が含まれ、人間がそこに介入する。その理由は一つには人工知能は人間にとってあくまで一つの手段であり、すべては人間のコントロール下にあるべきである、という原則に基づくが、同時に、知識獲得が常に不十分のため、適切な情報が不足している状況は常に起こり得ること、さらに人間が自己の意図を正しく言語的に表現できない部分があり、人工知能システムが行う決定のもとになった知識が、必ずしも人間の意図にマッチしていないことがある、などの技術的理由にもよる。したがって結果的にマンマシンシステムとして使われることになるが、処理の基本を人間におくことを前提とする従来のコンピュータ利用の形態とは、人間―機械関係の考え方が本質部分で異なっている。

汎用でしかも自律型のシステムが存在しうるためには、標準的な問題解決法が存在せねばならない。もしそのようなものがなく、問題ごとに固有の問題解決法を定める他ないとしたら、コンピュータの利用は従来のプログラミングによるものと同様な方法しかなく、人工知能研究そのものが無意味になってしまう。しかし、もし標準的な問題解決法がないとしたら、人間でも、一部の特に優れた人を除き、問題解決法の修得は困難であり、今日のような文明の発達を見ることはなかったであろう。問題解決の基本的方法論は存在し、人間は教育によってそれを学ぶことができる。近代科学教育はそのようにして行われてきたし、現代文明社会が存在することがその間接的な証明になっている。教育が可能であることは、その多くを言語によって表現することができること、したがって、コンピュータ化の対象とすることが可能であることを意味する。本来、知識表現はできる限りこれを可能にするように定められるべきものである。

第Ⅱ編　AI利用の動向



序章　AI利用動向アンケート調査方法の概要

第1部のデータはすべてアンケート調査の集計結果に基づくものである。以下にアンケート調査方法の概要を紹介しておく。

[調　査　目　的]　財団法人日本情報処理開発協会（JIPDECという）では、わが国におけるAIの普及振興を図り高度情報化社会の形成に資するため、産業界のAI利用の現状と将来動向を調査した。

[調　査　対　象]　調査対象は、「コンピュータユーザー調査年報（日本経営科学研究所発行）」所載のコンピュータ利用事業所（以下、コンピュータユーザという）から産業別に等比で無作為にサンプル数4,022事業所を抽出した。

[調　査　方　法]　今回の調査では2種類のアンケートを同時に郵送した。一つは「コンピュータの高度利用に関する調査票」（調査票1）であり、AIの導入状況と潜在需要を導き出すためのアンケートである。他は、調査票ではAI導入と回答した事業所における個別AIシステムの利用動向を知るための「人工知能（AI）の利用に関する調査票」（調査票2）である。これらの回収結果に基づき集計分析を行った。

[調　査　時　期]　調査票1、調査票2とも1993年7～8月。

[有　効　回　答　数]　集計分析の対象となる有効回答数は、調査票1が952事業所（回収率23.7%）、調査票2が151事業所である。内訳は図表II-1-1 AI導入・未導入事業所数に示すとおりである。

[産業分類について]　この調査では次の産業分類で集計を行った。

基礎資材産業・・・・鉱業、ガラス・土石製品、化学工業、石油製品・ゴム製品、鉄鋼、非鉄金属・金属製品
加工組立産業・・・・機械・精密機器、電気機器、輸送用機器、電子計算機メーカー
生活関連産業・・・・水産・食品、繊維・紙・パルプ、その他製造
公共サービス関連・・建設、電力・ガス、運輸・倉庫・不動産
商業金融関連・・・・商業、金融、保険・証券
教育公務関連・・・・官庁・政府機関、地方自治体、学校・研究所・病院
情報サービス産業・・通信・出版・サービス・その他、ソフトウェア開発・計算センター
その他・・・・・・・組合・諸団体

図表II-1-1　AI導入・未導入事業所数
（1992年はアンケート調査を実施していない）

調査年	発送数	有効回答	導入事業所数	未導入事業所数
1993年	4,022	952	151（15.9%）	801（84.1%）
1991年	4,993	1,299	196（15.1%）	1,103（84.9%）
1990年	6,266	1,604	232（14.5%）	1,372（85.5%）
1989年	6,238	1,449	379（26.2%）	1,070（73.8%）
1988年	4,891	1,480	305（20.6%）	1,175（79.4%）

第１部　AIシステムの利用状況

1.　AI導入・利用の状況

第1章は、アンケート調査票1によるAIシステムの導入状況における利用意向の調査結果をまとめたものである。

1.1　AI導入の状況

わが国におけるAIシステムの導入状況は図表Ⅱ-1-1に示すとおりであり、コンピュータユーザのAI導入率は15.9％（952事務所のうち151が導入と回答）である。1991年調査（以下、91調査という）の導入率15.1％と比較して0.8％のごく微増であり大差はない。AIブームは去ったと一般に言われているが、根強い利用層が存在することも確かなようである。

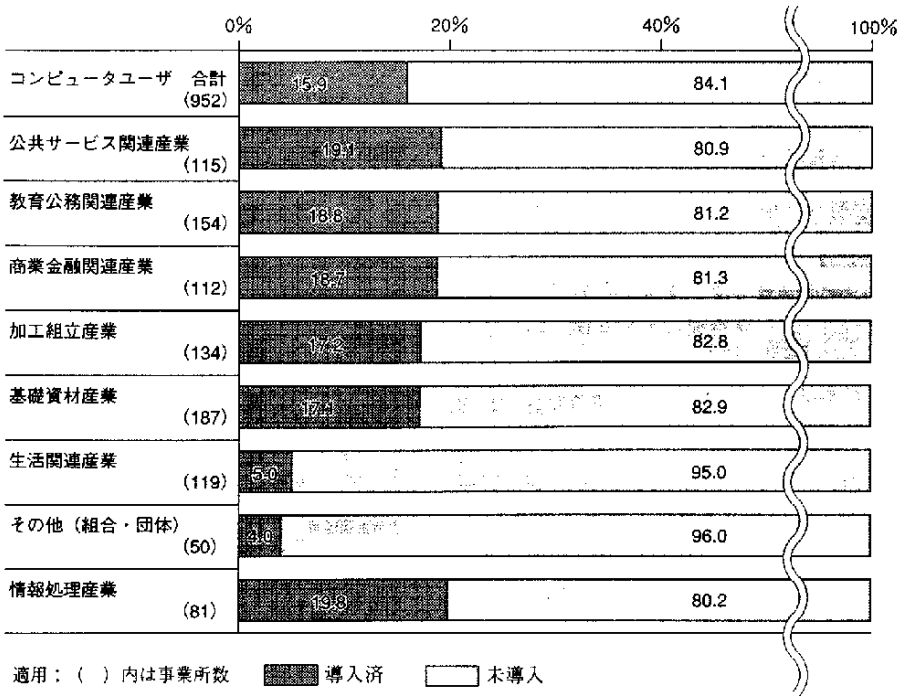
1.2　産業別導入状況

コンピュータユーザの産業別AIシステムの導入状況は、図表Ⅱ-1-2に示すとおりである。電子計算機メーカおよびソフトウェア開発・計算センターといったAI供給側業種を除いて見てみると、電力・ガス、建設の各業種における導入が高いため公共サービス関連産業が一番高く19.1％（91調査は13.6％；以下同様）である。次に、学校・研究所・病院等、導入が高い教育公務関連産業が18.8％（17.5％）、保険・証券、金融における導入が比較的高い商業金融関連産業が18.7％（14.2％）、輸送機器が比較的高い加工組立産業が17.2％（18.3％）、石油製品・ゴム製品、鉄鋼が高い基礎資材産業17.1％（22.1％）、以下、生活関連産業、その他（組合・諸団体）と続いている。景気の低迷を反映してか、'91調査で高い導入率を見せた当時の人手不足産業で下がっている点が注目される。

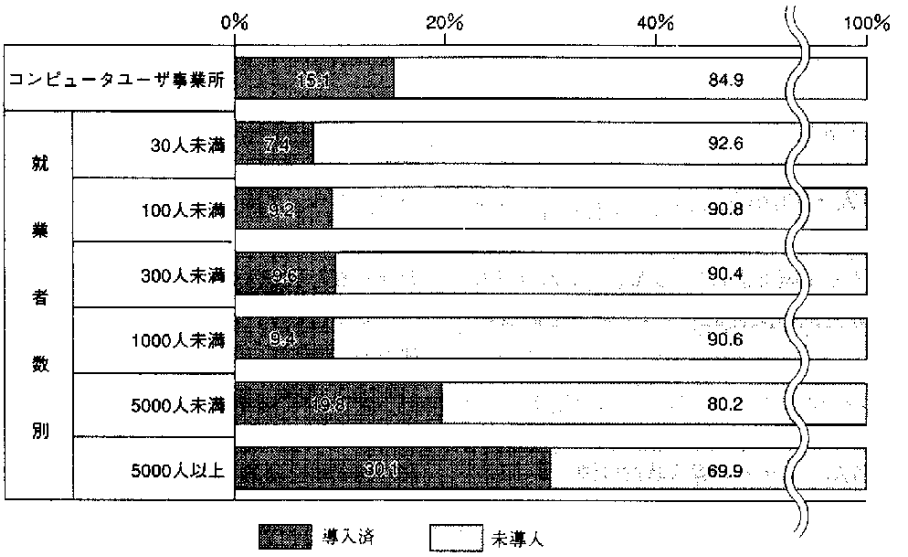
1.3　従業員規模別導入状況

コンピュータユーザにおける従業員規模別によるAIシステム導入状況は、図表Ⅱ-1-3に示すとおりである。これを'91調査と比較してみると、就業者数が300人未満

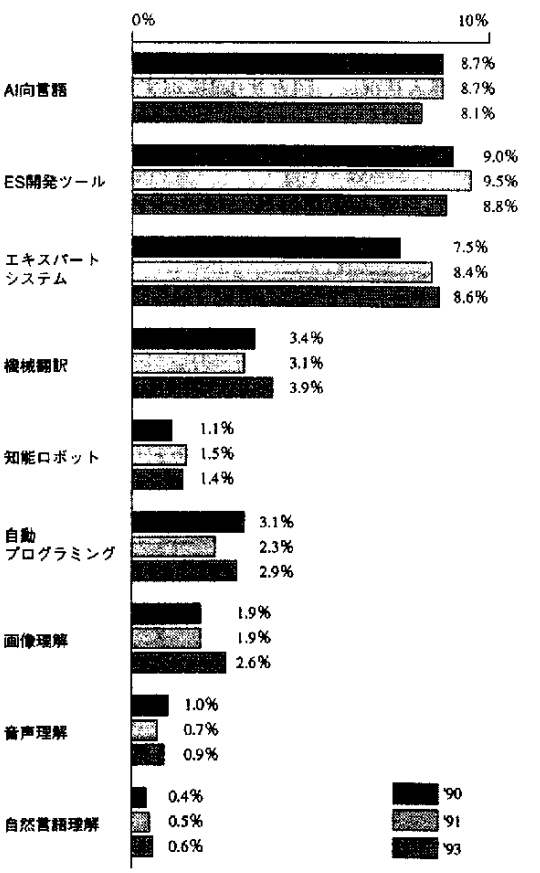
図表Ⅱ-1-2　コンピュータユーザ産業別AI導入状況



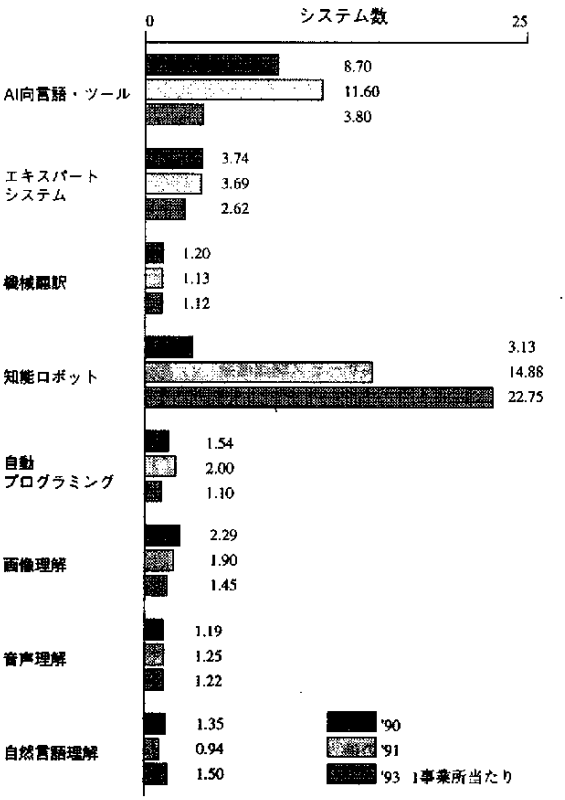
図表II-1-3　コンピュータユーザ規模別AI導入状況



図表II-1-4　個別AIシステムの導入状況



図表II-1-5　AI導入の1事業所当たりAIシステム利用数の推移



までは導入率が10%弱と前回と大差はないが（情報サービス産業が含まれているため）、300人規模以上1千人未満の企業では、導入率が10%弱であり、前回の20%弱に比べ低い。さらに、1千人以上5千人未満の企業でも20%弱であり、前回の35%に比べ相当低くなっており、景気低迷の影響が素直に出ているものと思われる。

1.4　個別AIシステムの導入状況

コンピュータユーザの個別AIシステムの導入状況をここ数年間の時系列として示したものが、図表Ⅱ-1-4である。これによると、エキスパートシステムや機械翻訳では、導入率は微増しているが、言語・ツール関連は減少しており、その他のAIシステムでは大きな変化はない。

また、AI導入事業所における1事業所当たりのAIシステム利用数の推移を図表Ⅱ-1-5によって見てみると、エキスパートシステムや機械翻訳でも減少傾向が見られる。しかし、その一方で、知能ロボットの利用数は増加している。

1.5　個別AIシステム未導入事業所の導入意向

個別のAIシステム未導入事業所に対し、今後の導入意向について調査した結果、図表Ⅱ-1-6に示すように、「現在検討中」とするものは、自動プログラミングが3.1%、エキスパートシステム2.1%、画像理解1.6%である。

図表Ⅱ-1-6　AI未導入事務所の今後のAIシステム導入意向

	未導入事業所の今後の導入意向			
	導入率	現在検討中	将来検討したい	導入する気はない
ＡＩ向言語	8.1	1.1	34.6	64.2
ＥＳ開発ツール	8.8	1.4	38.2	60.4
エキスパートシステム	8.6	2.1	46.6	51.3
機械翻訳	3.9	0.7	24.6	74.7
知能ロボット	1.4	1.2	30.7	68.1
自動プログラミング	2.9	3.1	55.9	41.0
画像理解	2.6	1.6	36.8	61.7
音声理解	0.9	0.9	41.7	57.4
自然言語理解	0.6	0.3	34.9	64.9

次に、「将来検討したい」を含めて導入意向を見てみると、最も高いものは、自動プログラミングシステムの59.0%で、「導入する気はない」との回答41.0%を大きく上回っている。次に、エキスパートシステムが48.7%ある。ただし、「導入する気はない」という意向も、機械翻訳、知能ロボット、自然言語理解、AI向言語、画像理解、ES開発ツールで60%を超えている。

1.6　個別AIシステムの今後の利用意向

産業分類別に集計した今後の個別AIシステムの利用意向について、30%を超える高い利用意向がある適用業務を中心に、これに関心を有する業種との関係を見ると図表Ⅱ-1-7のようであった。特に、エキスパートシステムでは、工程管理、計画・シミュレーション、生産管理など計画問題に意向が集中している。

2.　個別AIシステムの利用状況

第2章は、アンケート調査票2によるAIシステム導入事業所におけるAI利用状況の調査結果をまとめたものである。

2.1　AIシステム全般

2.1.1　AI要員

コンピュータユーザの現時点でのソフトウェア開発要員は図表Ⅱ-1-8に示すとおり、1事業所平均53.9人（91調査では88.7人）であり、そのうち0.9人（2.9%）がAIシステム開発に携わっている。AIシステム開発要員では、公共サービス関連産業が最も多く平均1.7人を擁する。次に、情報処理産業が2.0人、加工組立産業が1.1人と続く。これまでの調査結果と比べるとAI専用の要員を抱える事業所は減少していることが分かる。それでも、5年後には、AIシステム開発要員は、2.2人に増えるとしている。

2.1.2　投資費用とその内訳

コンピュータユーザの平成4年度のコンピュータ関連経費平均（回答151事業所）は9億9千万円（91調査10億3千万円）であり、AI投資額平均（回答204事業所）は図表Ⅱ-1-9に示すように2,268万円（91調査2,076万円）と、コンピュータ関連経費の2.3%（91調査2.0%）がAI投資であった。大半の事業所65%は100万円未満のAI投資しか行っていないが、13%は2,000－5,000万円の投資

図表II-1-7　AI利用意向の高い業務と業種

AIシステム / 適用業務 / 業種	エキスパートシステム																				知能ロボット								画像理解				
	故障診断	自動設計	工程管理	計画・シミュレーション	生産管理	資材管理	企業診断	資金運用	窓口相談	医務・損害査定	電力系統事故判定	成績処理	時間割作成	ソフトウェア開発	経営戦略	財務処理	顧客管理	物流管理	ブランド補修点検	基礎資材製品検査	生産ライン	製造各種検査	土木建設作業	CD／ATM	製品の定性的検査	図面の読み取り	製造製品検査	印鑑照合	帳票読み取り
ガラス・土石製品			○	○																												
化学工業				◎	○																											
石油・ゴム製品				○	○																											
鉄鋼			◎	○	○																◎	○				○						
非鉄金属・金属製品			◎	◎	◎	○									○			○		○	◎				○	○						
機械・精密機器				○	◎																											
電気機器	○	○	○	●	○										○					○	○	○										
輸送用機器			◎	◎	◎																○											
水産・食品					○																	○										
繊維・紙・パルプ					●																											
建設			◎																				○									
電力・ガス					○						○															○						
商業															◎	●	●	◎											○			
金融							●	●	●														◎					●	●			
保険・証券										●																		○				
学校・研究所・病院												○	○	○																		
通信・出版・サービス他															○		○															
ソフトウェア開発・計算センター														◎																		

(注)●：50％を超える意向がある業種　◎：40％を超える意向がある業種　○：30％を超える意向がある業種

図表II-1-8　AIシステムの開発要員（事業所当たり平均）

	現在	2～3年	5年後
ソフトウェア開発要員	53.9	52.7	57.2
うちAIシステム開発要員	0.9	1.4	2.2

図表II-1-9　AI投資額（事業所当たり平均）

項目		1993年	1991年	1990年
1.ハードウェア		569	752	540
2.ソフトウェア		1,235	1,203	1,060
	a.ツール・言語等の購入費	222	135	200
	b.内部人件費	518	667	480
	c.外注費	495	401	380
3.AIシステム開発要員教育・訓練		12	39	210
4.その他		452	82	60
合計		2,268	2,076	1,870

を行っている。

図表Ⅱ-1-9に示すように、平成4年度AI投資額2,268万円のうち55%がソフトウェア関連の投資であり、内訳は内部人件費22%、外注費22%、ツール・言語10%である。ハードウェアへの投資は25%であり、AI要員人材育成費0.5%となっている。'91調査との比較では、ハードウェア投資や人材育成費の減少が特徴である。

2.2　AI用言語およびツール

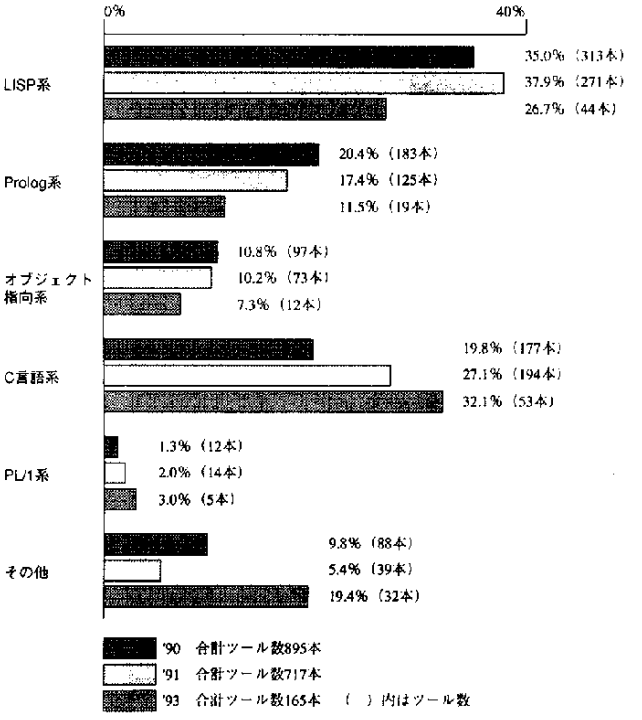
2.2.1　所有本数

AIシステムのシステム開発を支援するソフトウェアとなるAI言語およびツールの所有本数は、平均3.8本（市販のもの2.9本、自社開発0.9本）である。このうち市販の言語・ツール所有種類は1.1種類、自社で開発したものは0.1種類となっている。

2.2.2　言語の種類と利用状況

使用している言語の種類は、図表Ⅱ-1-10に示したように経年推移を見ると、AIに適しているLISP系、Prolog系言語から、汎用のC言語系へとシフトしていることが分かる。次に、言語・ツールがどのようなシステムの開発に用いられているかについては、圧倒的にエキスパートシステムが80%と多く、その他は機械翻訳で8%がある程度である。また、言語・ツールの利用状況は、図表Ⅱ-1-11に示す経年推移から、本格的に利用が増える傾向にあり、試験的に利用・あまり使っていないとする答えは減少していることが分かる。

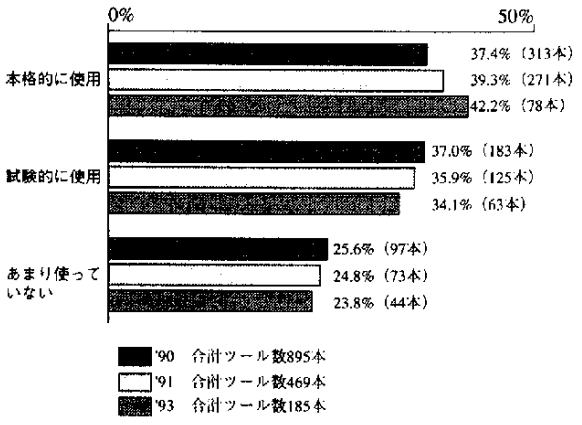
図表II-1-10　AI向言語・ツールの種類



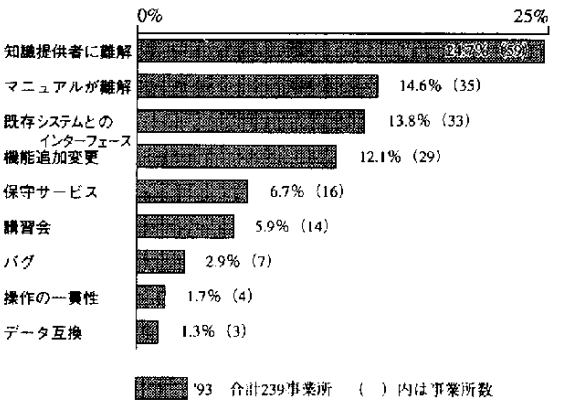
2.2.3　AIツールの問題点

今回の調査から現在提供されているAIツールの持つ問題点に関する設問を用意した。その結果図表Ⅱ-1-12に示すように、「知識の提供者が単独開発するには難解すぎる」、「マニュアルがわかりにくい」、「既存システムと

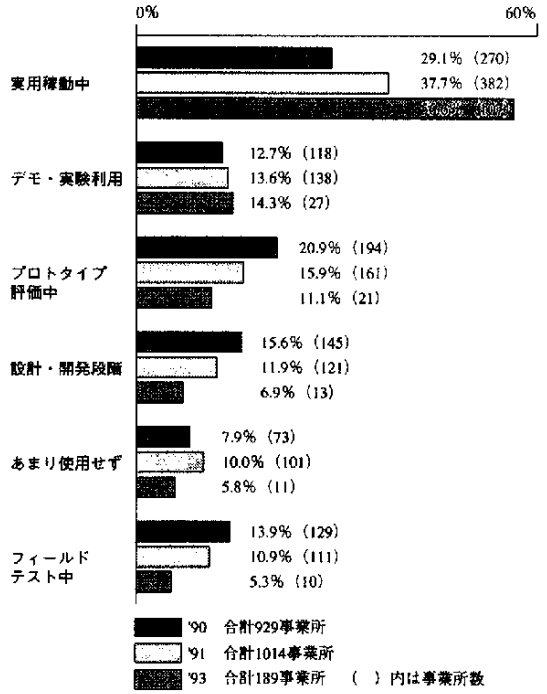
図表II-1-11　AI向言語・ツールの利用状況



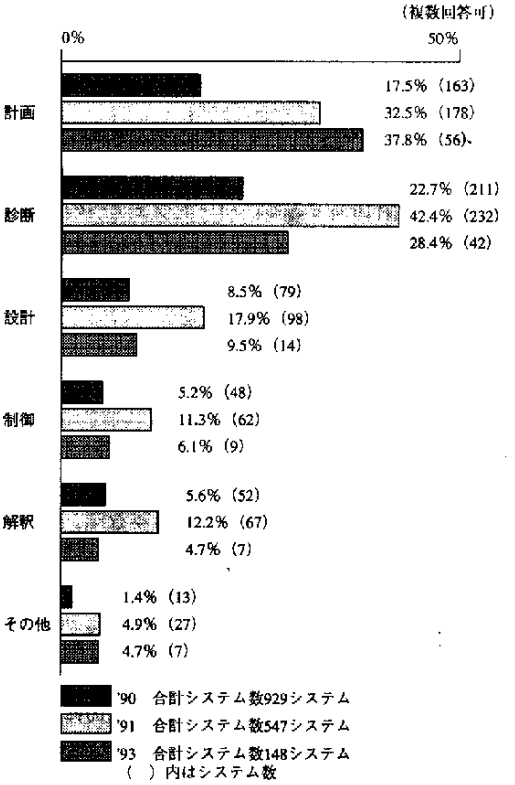
図表II-1-12　AIツールの問題点



図表II-1-13　エキスパートシステム利用状況



図表II-1-14　エキスパートシステム対象領域



のインタフェースが不十分」、「機能追加・変更に時間がかかりすぎる」などの回答が多かった。まだまだAIは難解なシステムのようである。

2.3　エキスパートシステム

本調査では、エキスパートシステムを、「知識ベースと推論機構および知識ベース管理機構とから構成されており、ある特定の分野の専門家の知識に基づいて構築された知識ベースを推論機構が解釈し推論することによって、ユーザの問題解決を行うためのシステム」と定義して調査を行っている。

2.3.1　エキスパートシステム利用

開発中・稼働中エキスパートシステムの事業所当たり平均保有数は、2.6システムであり、91調査時の平均3.7システムに比べ減少している。

システムの利用状況については、図表Ⅱ-1-13に示すように、「実用システムとして稼働中」が57%と'91調査に比べて大幅に増加したが、一方、「プロトタイプとして評価中」は11%、「設計・開発段階」7%、「フィールドテスト中」5%と斬減しているので、今後実用に供されるシステムの増加はそれほど期待できない。

2.3.2　適用業務と対象領域

本項以降は、各事業所ごとに主なエキスパートシステムのうち、詳しく記述して頂いた118システムについてまとめたものである（複数回答可の項目では合計システム数が118を超える場合がある）。

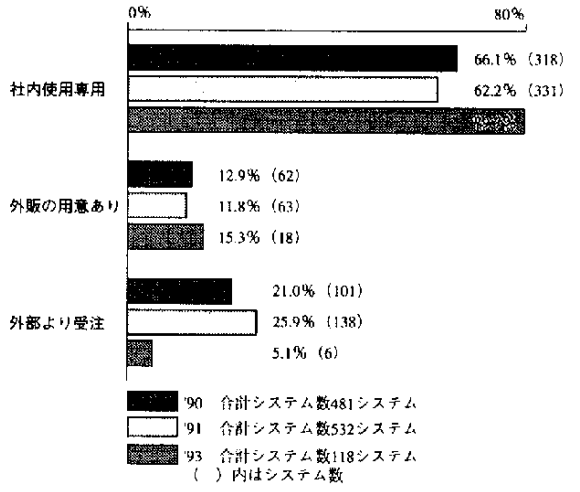
適用業務のうち、多く挙げられたのは、「計画・シミュレーション」21%、「故障診断」9%、「生産ライン操業管理」8%、「窓口相談」6%、「自動設計」、「プラント異常予知」5%である。

次に、エキスパートシステム対象領域の経年の推移について図表Ⅱ-1-14を見てみると、計画型が40%近くまで伸びてきているのに対し、診断形、設計型、解釈型、制御型は頭打ちとなっていることが分かる。現状のエキスパートシステムは、計画型に主たる用途が限定されつつあるように思われる。

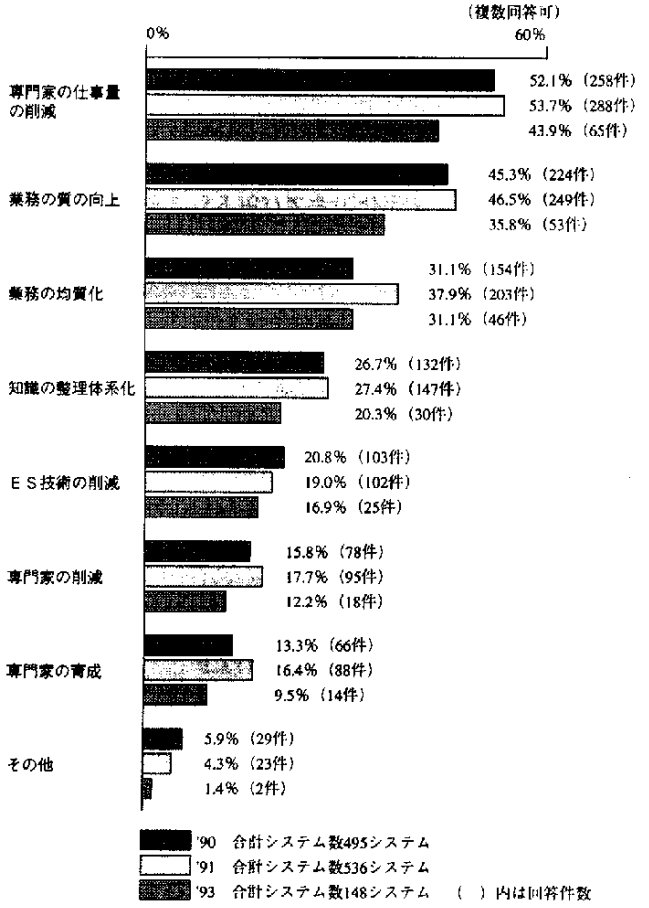
2.3.3　開発目的と期待効果

エキスパートシステムの開発目的は図表Ⅱ-1-15のようである。「社内使用専用」が主で、「外部か

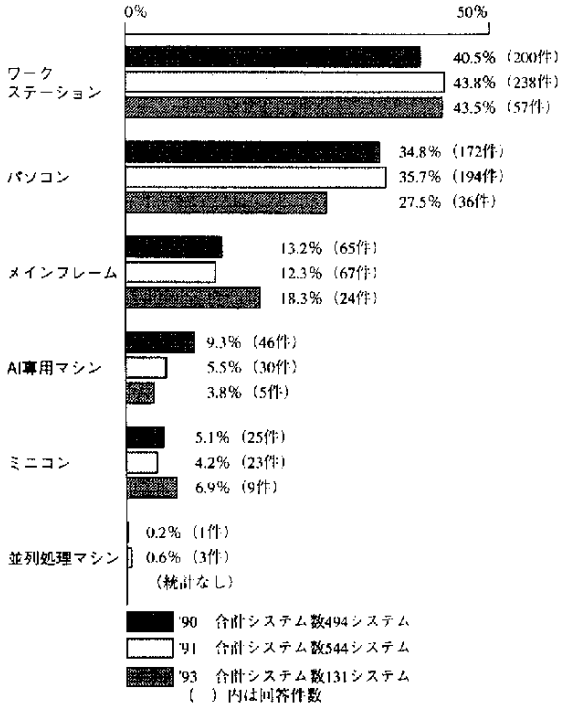
図表Ⅱ-1-15　エキスパートシステムの開発目的



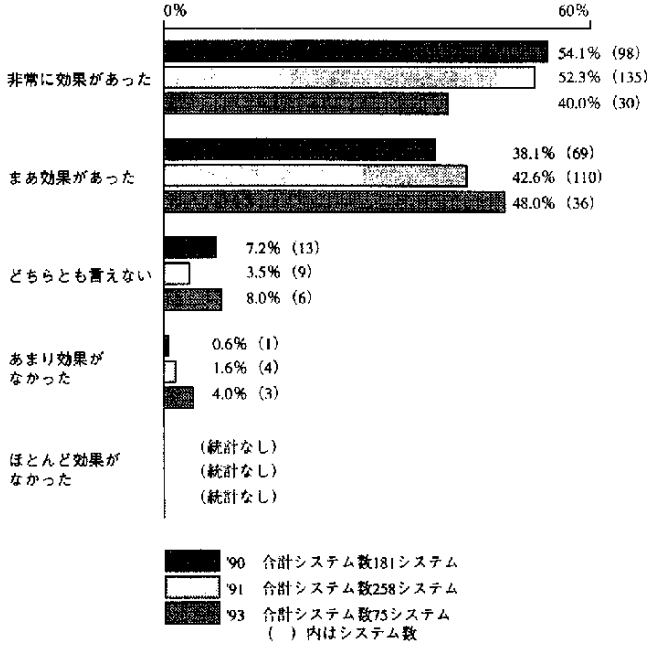
図表Ⅱ-1-16　エキスパートシステム期待効果



図表II-1-17　エキスパートシステム開発マシン



図表II-1-18　実用化エキスパートシステムの評価



ら受注して開発」は極端に減少し、「社内使用だが外販の用意もある」は前回（91年）・前々回（90年）調査と変化はない。

次に、エキスパートシステムの導入による期待効果については図表II-1-16に示すとおりでありこれまでの調査とほぼ同じ結果である。エキスパートシステム導入による期待効果として「専門家の仕事量の削減」、「業務の質の向上」、「業務の質の均質化」は普遍的なものといえよう。

2.3.4　システムの開発マシン

開発用マシン環境（図表II-1-17）については、「ワークステーション」や「パソコン」が多く両者合わせて71%を占めている。なお、今回は「パソコン」とした回答が減少している。「メインフレーム」とする事業所も18%あるが、商業金融関連や公共サービス関連で利用しているところが多いためである。しかし、産業全般にわたって「ワークステーション」と「パソコン」の比率はやはり高い。

2.3.5　エキスパートシステム実用化後の評価

実用エキスパートシステムに対する評価（図表II-1-18）は、「非常に効果があった」とするものが40%に減少し、「まあ効果があった」は逆に48%と増えたが、両者を合わせても88%と、91調査の95%に比べ減っている。

2.3.6　開発体制

エキスパートシステム開発体制については図表II-1-19に示すように、「専門家、知識エンジニア、情報処理部門の3者が協力するケース」が一番多いが、「専門家と知識エンジニアが協力するケース」ともども、知識エンジニアが介在するケースは少なくなってきており、「専門家と情報部門が協力するケース」が増えている。

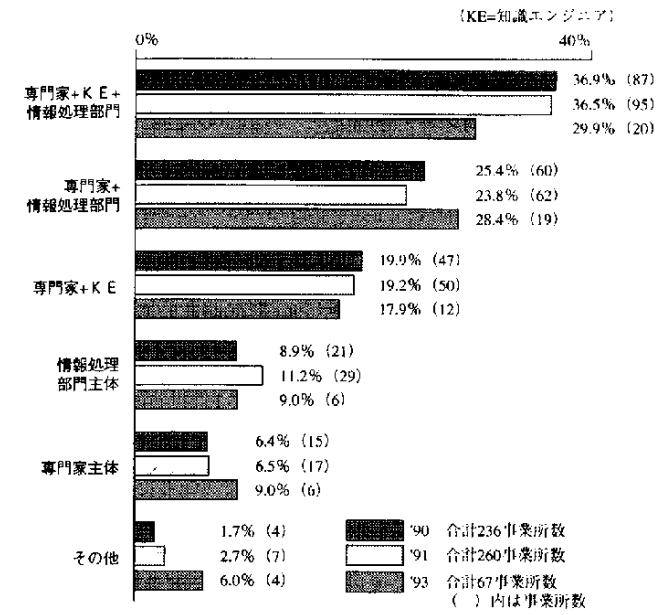
2.3.7　メーカやベンダへの期待

「メーカやベンダへ何を期待するか」については図表II-1-20に示すように、「知識表現・知識獲得の方法の開示」、「システム構築手順の提供」、「システムのパッケージ化」、「開発費の低減」、「メンテナンス」などが主たるものとして挙がっている。

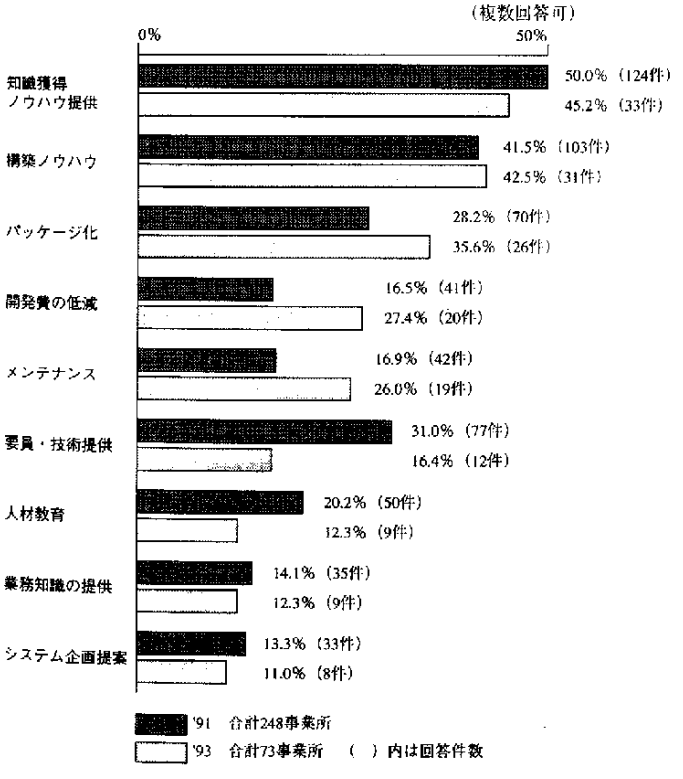
2.3.8　導入・実用化の問題点

エキスパートシステムの導入・実用化において、事業所が抱えている問題については図表II-1-21のとおりであり、「開発者がメンテナン

図表Ⅱ-1-19　エキスパートシステム開発体制



図表Ⅱ-1-20　メーカーやベンダへの期待



スまで関わらざるを得ない」、「知識エンジニアが不足である」、「知識獲得に障害がある」、「知識ベースのメンテナンスが困難」、「エキスパートシステム開発にコストがかかりすぎ、効果と引合わない」、「機能の追加、修正が困難である」などが主なものとして挙げられている。

2.3.9　開発導入のための投資額

図表Ⅱ-1-22は、エキスパートシステムに対する投資額を示したものである。投資額分布の山は二つある。一つは投資額500万以上5000万円未満の山であり回答事業所の35%に達する。もう一つは100万円未満の山で、割合は52%と明確な山を作っている。つまり、エキスパートシステム開発を行う際に数千万円を投資する企業がある反面、100万円程度で行っている事業所も半数はあることが分かる。

図表Ⅱ-1-23はエキスパートシステムに対する今後の投資見込みを示したものである。「大幅に増える」と見込む事業所はなく、「増える」、「やや増える」を合わせても、今後増えると予想する事業所は23%と少ない。

2.3.10　ドメインシェル利用状況・利用意向

本項は今回から新しく開始した調査項目であり、計画、診断、制御、設計、解釈などのタイプのドメインシェルについて調査した。ドメインシェルの利用状況については、「利用していないとするもの」が多く84%にのぼった。「利用している」とした回答の中では、「計画型」が9%、「診断型」5%となっており、その他のタイプは少ない。また、ドメインシェルの利用意向については、「計画型」がやはり多く20%あり、その他のタイプは10%前後となっている。

2.3.11　その他の自由コメント

将来のエキスパートシステム（ES）利用について、自由記述形式で回答した事業所の記述内容を要約した結果は以下に示すとおりである。

(1)適用分野・対象分野に関するもの

[建設]

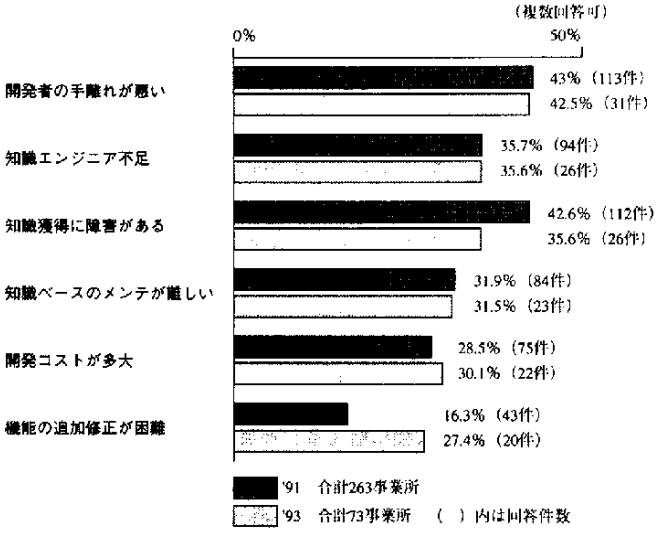
・土木建築の工程管理、施工計画

・建築物の設計、施工計画に関わる特殊専

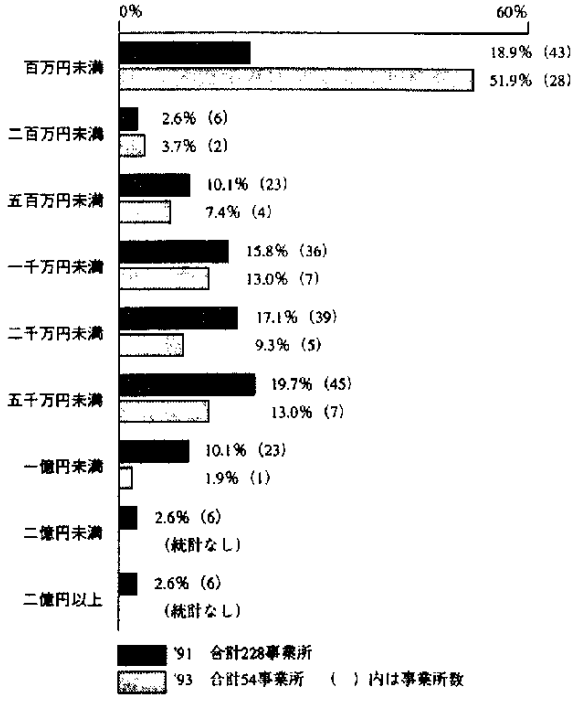
門技術の解析、最適化
・設計のインテリジェント化
[水産・食品]
・食品原材料および製品の栄養分析、添加物分析
・市場動向分析、販売計画支援
[繊維・紙・パルプ]
・人事考課、目標管理
[化学工業]
・プラント管理（機器保全、操業計画、異常予想）
[石油]
・診断システム（アラーム洪水の処理）
・パイプライン、坑井・油田管理
[鉄鋼]
・不良品対策
・工程負荷バランス検討用
・小物製品の母材からの取り合わせ（歩留り向上）
[転送用機器]
・設備の監視制御

(2)システム化方向性に関するもの
・一般的な技術として浸透しつつある
・パソコンを扱える知識エンジニアが増えれば、新規開発に取り組める
・ESを構築する場合、ツールを使用することは少なくなっていく、Cを利用すれば階層構造は表現できる
・専門家の知識全てをESがカバーするのは無理で、その一部をESが受け持つと

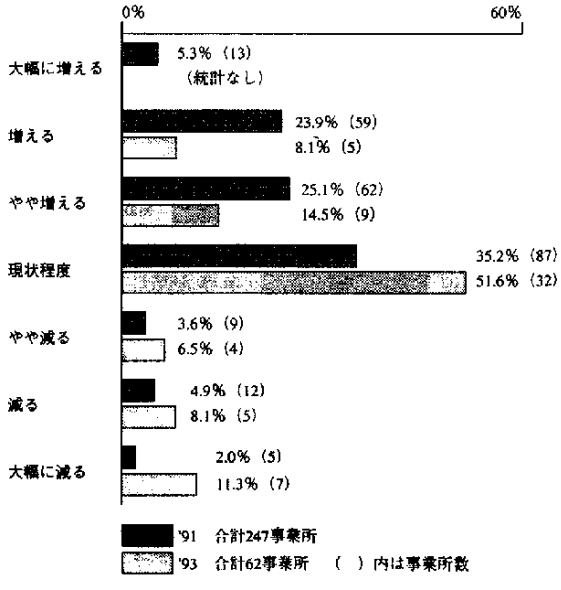
図表II-1-21　エキスパートシステム導入・実用化の問題点



図表II-1-22　エキスパートシステム投資額



図表II-1-23　エキスパートシステム今後の投資見込



良い

(3)将来の見通しに関するもの

・大脳生理学等の進展が必要

・人間の知識構造の表現が可能になれば発展するかも

・今後開発は中止したい

・現段階のES（特に計画型）では、どうしても最終判断を人間、しかも専門家に委ねざるを得ない。単純にES導入が省力化、素人への業務の移管とはならない。したがって、ESを核として、GUI（グラフィック・ユーザインタフェース）等によりマン・マシン・インタフェースを充実させることが重要になってくる。あわせて、ES自身の開発工期の短縮も課題となってくるであろう。

・従来型ES開発中止（遺伝的アルゴリズム、人工生命にトライ）

2.4　機械翻訳システム

本調査では、機械翻訳システムを「コンピュータを用いて、ある自然言語（例えば日本語）で書かれた文書を他の自然言語（例えば英語）に翻訳するシステムと定義した。

2.4.1　利用分野

機械翻訳システムの利用分野は図表Ⅱ-1-24に示すように、マニュアル、特許等技術文献、ビジネス文書、通信文メモ等の利用が多い。翻訳言語としては、英日が日英を若干上回っているがほぼ半々である。図表Ⅱ-1-25の利用形態から分かるように、「かなり人手で修正して利用」が多く、次いで、「人が翻訳する際の参考程度の使用」であり、「翻訳結果をそのまま利用」は非常に少ない。

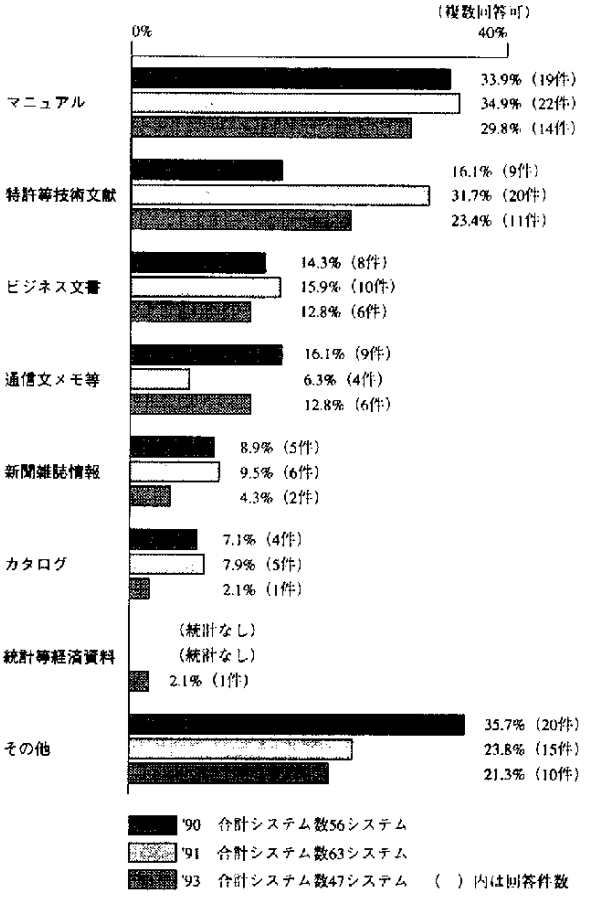
2.4.2　問題点

機械翻訳システムの問題点として、全体の64％が「翻訳精度の低さ」を指摘している。次に、「辞書の開発・維持・メンテナンスが大変である」24％、「原文入力に手間がかかる」12％と続いている。本格的な実用にはシステムの翻訳精度の向上が求められているとともに、辞書の開発も大きな課題となっている。

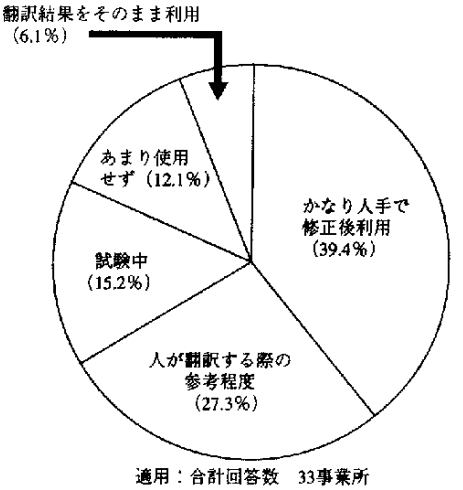
2.5　知能ロボット

本調査では、知能ロボットを「ロボットの中で、特に、高度のセンサー機能、推論機能、自律的な行動能力などを持つもの」と定義した。

図表Ⅱ-1-24　機械翻訳の利用分野



図表Ⅱ-1-25　機械翻訳システムの利用形態



適用：合計回答数　33事業所

現在の利用分野としては、CD/ATM、生産ライン、土木建設作業、検査、高度加工組立、補修・点検が挙げられている。特に、CD/ATMでは100台強導入していると回答した銀行が2行あった。今後の利用について、自由コメントでは、次のような応用例が挙がっている。

・ボーリングマシンの自動操作
・建設工事の自動化（フィールド・オートメーション）による建設コストの低減
・高熱、重筋作業のロボット化、ティーチングの迅速化
・高所（電力架空線）、危険区域（充電部の点検・補修）での利用
・施工管理
・電車線路調査補修
・車両輪フランジ調査

2.6　自動プログラミング

本調査では、自動プログラミングを「既存のプログラムモジュールを目的に合わせて再利用したり、仕様書の内容を理解するなどして、プログラムの自動作成を支援するシステム」と定義した。

2.6.1　自動プログラミングのイメージ

回答事業者が想定している自動プログラミングシステムのイメージは、図表II-1-26に示すとおり、「CASE」が半数以上で、次に、「プログラムジェネレータ」としている。「知識ベース型プログラミングシステム」とするものはない。このように、CASE、プログラムジェネレータなど、知識ベースを必ずしも利用しないシステムが含まれており、すべてがAIの範疇にあるものとは言い切れない。なお、「第4世代言語」とするものも少ない。

2.6.2　利用分野

現在の利用分野としては、シーケンスジェネレータ（プラント管理用プログラム）の開発、生産計画・資材計画処理、システム部門でのプログラム設計／製造工程、エンドユーザ部門が蓄積されたデータを活用し集計・解析業務に適用、生産管理システムの画面や帳票の作成、生産管理システムのプログラム等の作成、経営情報システム、COBOLジェネレータ、システム開発全般に使用、新資材システム・供給工事総合管理システムの開発、流通関連業務のソフト受託などが挙がっている。今後の利用としては、プログラミング結果の仕様書の作成、および、そのフローを利用したプログラミング不具合箇所の指摘、積算システムなどが挙げられている。

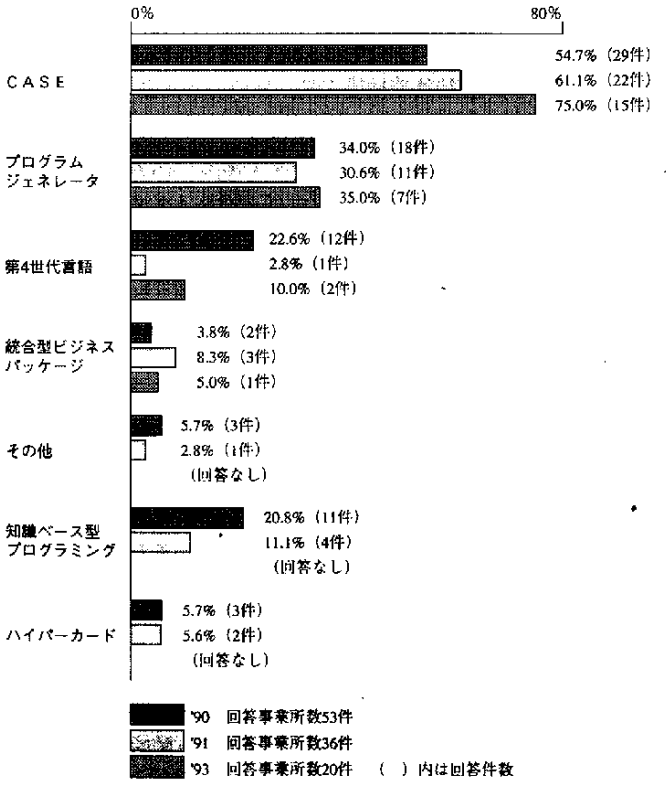
2.7　画像理解システム

本調査では、画像理解システムを「入力された画像情報から、対象物が何であるかを理解できるシステム」と定義した。

現在の利用分野としては、材料組織分析、ハイテク研究、図面の読み取り、帳票読み取り、リモートセンシングなどが挙げられている。

また、今後の利用分野としては、各種分析機器、溶接作業箇所のチェック、調色（コンピュータカラーマッチング：CCM)）、画像内に危険物の侵入を察知した場合の自動警報・監視システム、手書き図面のCAD化・DB化、積荷荷姿管理、景観評価システム、入札処理、果物（桃）の色調による等級付け（糖度による等級付けは光センサー（赤外線透過法）により実用化済み）などが挙げられている。

図表II-1-26　自動プログラミングのイメージ



2.8　音声理解システム

本調査では、音声理解システムを「音声情報を分析し、その内容を理解できるシステム」と定義した。

現在の利用分野に関しては、「音声操作」や「音声紹介」が多く、今後については、表計算操作、入出庫業務、在庫棚卸し、梱包、タクシー注文の自動化（お客の電話番号の入力）、各種証明書類の音声による確認発行業務、問診システムなどが挙げられている。

2.9　自然言語理解システム

本調査では、自然言語理解システムを「日常使用されている自然言語を構文的・意味的に理解するシステム」と定義した。

現在の利用分野に関しては、「データベースの検索」など、今後については、電話で注文を受けると自動的に納品伝票発行を行うシステム、表計算プログラムが挙げられている。

図表Ⅱ-1-27　AI新技術の利用状況

a. 実際に使用

1 ニューラルネットワーク／コネクショニズム	6.5%
2 ファジィ推論／ファジィ集合	6.5%
3 不確実推論／あいまい推論	5.3%
4 メタ知識／メタ推論	3.9%
5 事例ベース推論／メモリベース推論	3.2%
6 帰納推論	2.6%
7 グループウェア	2.5%
8 帰納学習	1.9%
9 制約／制約充足	1.9%
10 定性推論	1.9%

b. 内容まで熟知

1 仮想現実感	44.6%
2 ファジィ推論／ファジィ集合	36.1%
3 第五世代コンピュータ	32.7%
4 電子化辞書／大規模知識ベース	26.9%
5 グループウェア	25.5%
6 カオス／フラクタル	23.9%
7 ニューラルネットワーク／コネクショニズム	23.5%
8 メタ知識／メタ推論	19.0%
9 不確実推論／あいまい推論	18.4%
10 機械学習	18.2%

c. 全く知らない

1 オントロジー	81.7%
2 心の社会	74.4%
3 非単調論理／非単調推論	72.9%
4 PSI／PIM	72.7%
5 ATMS	71.2%
6 発想推論（アブダクション）	68.6%
7 協調問題解決	64.1%
8 制約／制約充足	63.6%
9 ヒューリスティックス	61.7%
10 状況推論	60.1%

2.10　ファジィシステム

本調査は、ファジィシステムを「あいまいさを数量化し、定量的に取り扱う理論（ファジィ理論）を応用した手法またはシステム」と定義した。ただし、家電等に組み込まれたものは対象外とした。

現在の利用分野に関しては、土木シールドマシンの方向制御、空調制御、下水処理制御、振動制御、プラント制御、反物（布地）の染めむら自動判定、CBR（事例ベース推論）の評価関数、感性の数値化、橋脚基礎の杭形式の選定（土質条件のあいまいさを考慮）、橋梁上を走行する際の運転者の感覚評価（橋梁形式の違いによる運転者の快適さを考慮）、自動販売機の温度制御および省エネルギー制御、送出ガスの圧力制御、眼鏡枠の自動組立ラインの研究開発、家電製品の機器制御など多数挙げられている。

2.11　ニューロシステム

本調査では、ニューロシステムを「人間の脳の神経回路網をモデル化したニューラルネットワークにより、情報を処理する手法またはシステム」と定義した。

現在の利用分野については、高炉内の熱状況の診断を各センサーの値により判断、組合せ最適化問題、翌日最大電力予測システム導入に当たっての基礎研究、企業財務診断、相場予測（実験システム）、赤外スペクトルの同定、記号の認識システム、材料の欠陥検査システムなどが挙がっている。

2.12　AI新技術に対する認知度

現在のAIに対する、「使い道はない」、「AI冬の時代の感あり」、「AI利用はまだ一般的なレベルではない」、「AIは情報処理の手法の一つに過ぎない、過度のフィーバーは普及・発展を結果的に阻害する」などの声を勘案し、今回の新しい試みとして、AI新技術の認知度を調査し今後のAI研究の一助とすることとした図表Ⅱ-1-27は、「実際に使用」、「内容まで熟知」、「全く知らない」と回答されたものの各々上位10位までの新理論技術を示したものである。

第2部　中小企業におけるコンピュータとAI技術の利用状況

はじめに

第2部では、従来は詳細に調査されることのなかった中小企業におけるAIシステムの導入・利用状況、及び、その前提基盤と考えられるコンピュータ利用や情報化状況について調査分析した結果について述べている。以下にそのための調査方法の概要を紹介しておく。

●調査目的と方法

財団法人日本情報処理開発協会では、従来より継続的に一般コンピュータユーザを対象にAI利用動向アンケート調査を実施してきた（第1部参照）が、わが国の産業の基盤を支えている中小企業について特に分析はしていなかった。今回、コンピュータのダウンサイジング等の動きもあり、導入条件も整ってきたと思われる中小企業におけるコンピュータとAIシステムの利用状況を調査し、その成果を公表することによって、産業界発展の一助となろうとするものである。調査方法は、アンケート（下記）とAIシステムを導入・利用している中小企業および中小企業関連団体に対する訪問ヒアリングを実施し、それらの結果をもとに分析した。

●中小企業向けアンケート調査

［調査対象］従業員数30人以上300人未満の製造業を首都圏、近畿圏、中京圏から合計1,199社を無作為に抽出した。

［調査方法］アンケート調査票「コンピュータの利用に関する調査票」を郵送し、その回収結果に基づき集計分析を行った。

［調査時期］1993年7月～8月。

［有効回答数］集計分析の対象となる有効回収数は、138社（回収率11.5%）、そのうちAI導入企業数は、13社（AI導入率9.4%）である。

1.　中小企業の情報化とAI利用

1.1　中小企業の特徴と経営課題

周知のように、わが国の製造業は圧倒的多数の中小企業から構成されている。例えば平成2年では、従業者規模20人以上の製造業の企業に限っても92,119社に上るが、そのうち従業者規模20人以上から300人未満の企業が96.3%（88,693社）をも占めている。従業者規模300人以上の企業は、わずか3.7%を占めるにすぎないのである［1］。

さらに事業所ベース（従業者数4人以上）で見ても、平成3年には従業者規模300人未満の事業所に勤務している従業者が製造業全体の72.1%を占め、出荷額でも51.8%に達している［2］。それゆえ、製造業における情報化・AI利用とその普及は、これら中小企業の動向に大きく左右されることは間違いない。

ここでは中小企業におけるAI技術の利用実態や普及の可能性を見る前に、AI技術利用のインフラストラクチャとなるコンピュータ利用や、AI技術の利用の背景・誘因となる中小企業の特徴および経営上の課題を見ておくことにする。

1.1.1　業種・売上高・従業員規模

業種を見ると全体では①その他製造が33.3%を占めて最も多く、次に②非鉄金属・金属製品（12.3%）、③電気機器（12.3%）、④機械・精密機器（10.9%）の3業種が、10%以上を占めている（図表II-2-1）。

この業種をAI応用システムの導入済み、あるいは導入を予定している企業（以下AI応用システムの導入済みおよび導入予定の企業も含めて「導入企業」と呼ぶ）と、AI応用システムを現在導入していないしまた今後も導入する予定もない企業（以下「未導入企業」と呼ぶ）とに分けてみると、両者とも業種の分布傾向はかなり類似している。しかし業種全体で見た場合に多かった3業種、その他製造、非鉄金属・金属製品、電気機器については、導入企業と未導入企業ではやや分布に相違が見られる。つまりこれら3業種はいずれも導入企業の方が未導入企業よりわずかに多い。例えば第1位のその他製造は導入企業、未導入企業とも最も多い業種であることに変わりはないが、導入企業37.3%に対して未導入企業で31.0%であり、さらに第3位の電気機器では導入企業17.6%に対して、未導入企業は9.2%となっている。

つまりAI応用システムの導入企業では、それらの

未導入企業よりも、①その他製造、②非鉄金属・金属製品、③電気機器の業種がやや多いといえる。

1992年度の年間売上高を見ると、全体では10億円以上20億円未満の企業が最も多く2割近く（19.6%）を占め、さらにその前後の企業（5億円以上10億円未満、20億円以上30億円未満）を合わせるとおよその企業半分（52.2%）が、年間売上高5億円以上20億円未満の間に集中している。

しかし導入企業と未導入企業とを比較すると明確な違いがある。導入企業では20億円以上30億円未満の企業が最も多く17.6%で、さらに5億円以上から50億円未満までに7割（70.5%）の企業が分布している。これに対して未導入企業では10億円以上20億円未満の企業が最も多く23.0%で、1億円以上から30億円未満に、やはり7割近く（68.9%）の企業が分布している。つまりAI応用システムの導入企業は未導入企業より、年間売上高は多い傾向にある。事実、年間売上高の平均を見ると導入企業は2,955百万円であるのに、未導入企業では2,187百万円で、768百万円ほど低い。

さらに5年前（1987年度）と比較した売上高の伸び率は、全体では20－49%の増加が最も多く31.9%であるが、減少したとする企業も15.2%ある。これを導入企業と未導入企業とで比較してみると、導入企業では売上高が20－49%増加した企業が37.3%であるが、未導入企業では20－49%増加した企業は28.7%にすぎず、逆に1987年度と比較して減少したとする企業が19.5%で、2割近くに及んでいる。

すなわちAI応用システムをすでに導入したり、これから導入しようとしている企業は、その導入を予定していない企業と比較すると年間売上高や売上高の伸び率が高いといえよう。

従業員規模は50人以上100人未満の企業が最も多く31.2%を占め、全体的にはその前後の規模に集中する傾向が認められる（図表Ⅱ-2-2）。だが従業員規模においても導入企業と未導入企業とを比較すると違いが認められる。両者とも50人以上100人未満の企業が最も多いことには変わりがないが、導入企業では37.3%なのに対して未導入企業は27.6%で、10ポイントほど低下している。また導入企業では100人以上150人未満の企業も21.6%を占めているが、未導入企業は50人未満に分布する傾向が強い。その結果、平均従業員規模は、導入企業が104.9人であるの対して未導入企業では85.4人に低下している。なお非正規従業員数は導入企業、未導入企業とも10人未満がほとんどを占めて、両者の違いはほとんどない。

図表Ⅱ-2-1　中小企業の業種別分布(1993年)

合　計	138 100.0
土石製品・ガラス	4 2.9
水産・食品	5 3.6
繊維・紙・パルプ	9 6.5
化学工業	8 5.8
石油製品・ゴム製品	7 5.1
鉄鋼	5 3.6
非鉄金属・金属製品	17 12.3
機械・精密機器	15 10.9
電気製品	17 12.3
輸送用機器	3 2.2
その他製造	46 33.3
不　明	2 1.4

上段：回答会社数
下段：割合（%）

図表Ⅱ-2-2　中小企業の正規従業員規模別分布(1993年)

合　計	138 100.0
10人未満	2 1.4
20人未満	5 3.6
30人未満	14 10.1
40人未満	16 11.6
50人未満	11 8.0
100人未満	43 31.2
150人未満	19 13.8
200人未満	14 10.1
250人未満	4 2.9
300人未満	6 4.3
300人以上	3 2.2
不明	1 0.7
平均人数	92.7 ——

上段：回答会社数
下段：割合（%）

1.1.2　経営上の特徴と課題

まず系列関係を見るとどの企業系列にも属さない独立企業が全体の69.6%を占め、次は大企業のグループ企業で15.9%を占めている。この系列関係について導入企業と未導入企業とを比較すると、独立企業は両者とも7割前後を占めている傾向には変わりがないが、導入企業のほうが74.5%に対して未導入企業は66.7%で、やや導入企業のほうが多い。一般にコンピュータやAI応用システムを含む機器の導入は親会社やそれに準ずる企業の強い指示があり、それゆえ独立企業より大企業のグループ企業や1社専属の下請け企業に

これらの導入が進んでいると考えらる。しかし調査結果を見る限り未導入企業と比べて導入企業に大企業のグループ企業や一社専属の下請け企業が特に多いわけではない。逆に未導入企業より導入企業は独立企業を多く含んでいる。

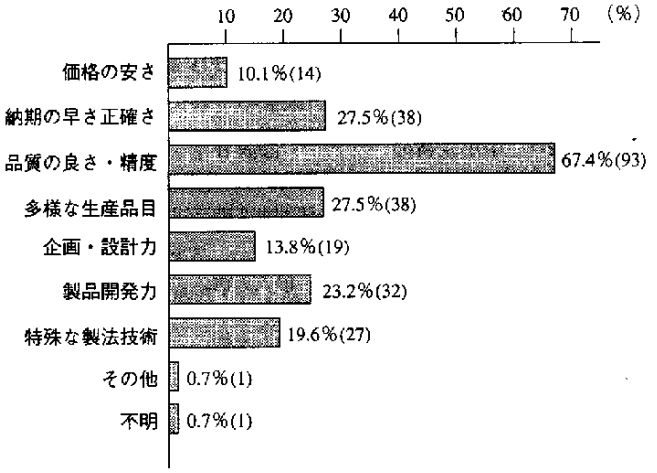
生産の特徴を見ると全体では多品種少量生産が65.2%であり、多数を占めている。しかし導入企業と未導入企業では生産の特徴はやや異なっている。導入企業では多品種少量生産が70.6%であるのに比べて未導入企業では62.1%に低下している。ところが逆に未導入企業では少品種大量生産は18.4%を占めているのに、導入企業では9.8%にとどまっている。つまり多品種少量生産が多数を占めることは両者とも違いはないが、その中で未導入企業は少品種大量生産のタイプの企業をやや多く含んでいる。

今後の経営戦略の一環として何を企業の「強み」としていくかについて、①価格の安さ、②納期の早さ、正確さ、③品質の良さ、精度、④多様な生産品目、⑤企画、設計力、⑥製品開発力、⑦特殊な製法技術、⑧その他、の中から二つ指摘させた。その結果を示したのが図表II-2-3である。全体では③品質の良さ、精度が最も多く67.4%を占め、以下20%以上指摘されたものを挙げると②納期の早さ・正確さ（27.5%）、④多様な生産品目（27.5%）、⑥製品開発力（23.2%）である。

これを導入企業と未導入企業の別に見ると、最も多く指摘された品質の良さ・精度を経営の「強み」としていこうとする企業は、導入企業と未導入企業とで若干の格差がある。つまり導入企業ではこれを指摘する企業は72.5%であるが、未導入企業では64.4%で8ポイントほど少ない。また全体では1割程度の企業が指摘している①価格の安さに関しては、導入企業は5.9%の企業が、それを指摘しているにすぎないが、未導入企業では12.6%の企業が指摘している。

現在直面している経営上の課題、問題点について①製造部門の生産性向上から⑭その他までの13の選択肢の中から当てはまるものをすべて選ばせた。その結果を示したのが図表II-2-4である。全体では①製造部門の生産性の向上（66.7%）、③受注の拡大（62.3%）が多く指摘されている。

図表II-2-3　中小企業における会社の「強み」(1993年)



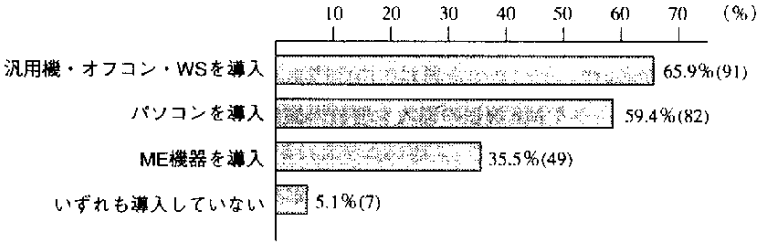
（2つ選択回答）回答会社数計138社　（　）内は回答件数

図表II-2-4　中小企業の経営上の問題・課題（1993年）

経営上の問題・課題 / 回答会社		①製造部門の生産性の向上	②事務部門の効率の向上	③受注の拡大	④受注の安定化	⑤納期の短縮化	⑥製品の精度の向上	⑦新規採用者の安定的な確保	⑧技術者・技能者の安定的な確保	⑨現場の仕事の従事者の安定的な確保	⑩適正な従業員数の配置	⑪労働時間の短縮化	⑫職場環境の改善	⑬その他	⑭不明
合計	138	92	48	86	55	31	43	31	55	26	18	35	42	4.0	3
	100.0	66.7	34.8	62.3	39.9	22.5	31.2	22.5	39.9	18.8	13.0	25.4	30.4	2.9	2.2

導入企業と未導入企業の別では、指摘された経営上の課題、問題点はかなり異なった傾向を示している。第1に、④受注の安定化を指摘する企業がわずかに未導入企業の方に多いのを例外として、すべての項目で導入企業の方が未導入企業を上回っている。導入企業1社当たりの指摘された課題、問題点の平均件数は4.8件で、1社当たりおよそ5件を指摘していることになる。これにひきかえ未導入企業の指摘は1社当たり平均3.7件で、明らかに未導入企業の方が経営上の課題、問題点の指摘件数は少ない。このことは導入企業が経営上の課題、問題点を実際に多く抱えているというより、導入企業の方が未導入企業に比較して経営上の課題、問題点に敏感であり、その結果、より多くの経営上の課題、問題点を指摘していると考えられる。

図表Ⅱ-2-5　中小企業のコンピュータ導入の有無(1993年)



（複数回答）回答会社数計138社　（　）内は回答件数

第2に、特に①製造部門の生産性の向上、②事務部門の効率の向上を指摘する導入企業は未導入企業より20ポイント以上多く、さらに、⑨現場の仕事の従事者の安定的な確保、⑪労働時間の短縮化、⑫職場環境の改善などの3項目に関しても10ポイント以上導入企業の方が多く指摘している。

つまりAI応用システムの導入企業は製造部門や事務部門の生産性向上の必要を認識しながら、また一方、労働時間の短縮や職場環境の改善などによる現場の仕事の従事者の確保をも望んでいる企業が多いのである。

以上、AI応用システムの導入企業のプロフィールを簡単にまとめると、未導入企業より従業員規模も大きく、売上高やその伸び率も高く、また生産性向上を中心とした経営上の問題点に対しても敏感な企業といえよう。

<参考文献>

[1]　中小企業庁編「平成5年版 中小企業白書」大蔵省印刷局刊、平成5年6月、付表pp.6.

[2]　中小企業庁編、前掲書、付表pp.7－8.

1.2　コンピュータの導入と利用の状況

ここではAI応用システムの利用の基礎となるコンピュータの導入程度、ならびにその利用状況を見ることにしよう。

1.2.1　コンピュータの導入状況

中小企業は、AI応用システムのインフラストラクチャとなるコンピュータやME機器をどの程度導入しているかを把握するために、選択肢として①汎用機、オフコンまたはワークステーションを導入している、②パソコンを導入している、③ME機器（NC旋盤、NCフライス盤、マシニングセンター、産業用ロボット、CAD／CAMなどを指す）を導入している、そして④いずれも導入していない、の四つの選択肢を用意し、該当するものをすべて選ばせた。その結果を示したのが図表Ⅱ-2-5である。全体では①汎用機、オフコンまたはワークステーションの導入と②パソコンの導入が、どちらも約6割を占めている。ME機器の導入は35.5%である。いずれも導入していない企業は5.1%（7社）なので、それ以外の企業では1社当たりコンピュータやME機器の導入件数は平均1.7件となり、①、②、③のうち二つ程度は導入していることになる。

このコンピュータの導入状況について導入企業と未導入企業とを比較してみると、次の2点が指摘できる。第1に、①汎用機・オフコン、ワークステーションの導入、②パソコンの導入、③ME機器の導入、のいずれについてもAI応用システムの未導入企業より導入企業の方が、これらを導入している割合は高い。それゆえコンピュータやME機器の導入件数の平均も、導入企業では1.8件に対して未導入企業では1.5件に減少している。

第2に、特に③ME機器の導入、に関しては導入企業は未導入企業より15.2ポイントも多い。

コンピュータやME機器の導入時期を見ると、全体で最も多いのは1985－89年の32.1%、次が1980－1984年の26.7%で、6割近くの企業では1980年代の10年間にコンピュータやME機器の導入が行われたことが分かる。しかし導入企業と未導入企業では、コンピュータやME機器の導入時期の頂点は異なっている。導入企業ではコンピュータやME機器の導入時期で最も多いのは1975－1979年で30.0%、これに次ぐのが1980－1984年と1985－1989年で、それぞれ22.0%である。これに対して

未導入企業では1985－1989年が最も多く38.3%、それに次ぐのが1980－1984年の29.6%である。つまり導入企業は未導入企業よりコンピュータやME機器の導入の時期が早い企業が多い。

次にコンピュータやME機器の導入を要員の側面から見てみよう。

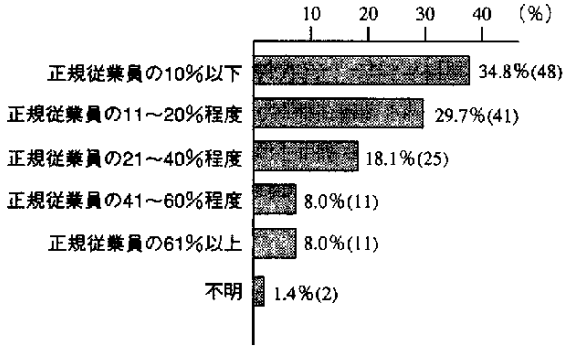
正規従業員の中でコンピュータやME機器などを操作できる従業員の割合を見ると、図表II-2-6に示すように全体では最も多いのが、正規従業員の10%以下がコンピュータやME機器の操作ができるとする企業で34.8%、次が正規従業員の11－20%以下の29.7%である。

導入企業と未導入企業を比較すると大きな違いがある。つまりコンピュータやME機器の操作ができる正規従業員の割合が10%以下である企業は未導入企業に多く、未導入企業が43.7%に対して導入企業では19.6%にすぎないのである。しかしコンピュータやME機器の操作ができる正規従業員の割合が11－20%程度、21－40%程度、41－60%程度、60%以上になると、いずれにおいても導入企業が多くなっている。特に21－40%程度では導入企業が25.5%に対して未導入企業は13.8%にすぎない。これらが示すように導入企業は未導入企業に比べて、コンピュータやME機器の操作ができる正規従業員の割合の高い企業が多い。

次に従業員に対するコンピュータ（端末、ME機器を含む）導入台数を見ると、全体では10人に1台以下が32.8%で最も多い。導入企業と未導入企業とではコンピュータの導入台数は、それほど大きな違いはないが、導入企業の方がコンピュータ1台当たりの人数は少ない、換言すれば1人当たりのコンピュータやME機器が多い企業は導入企業の方にやや多い。

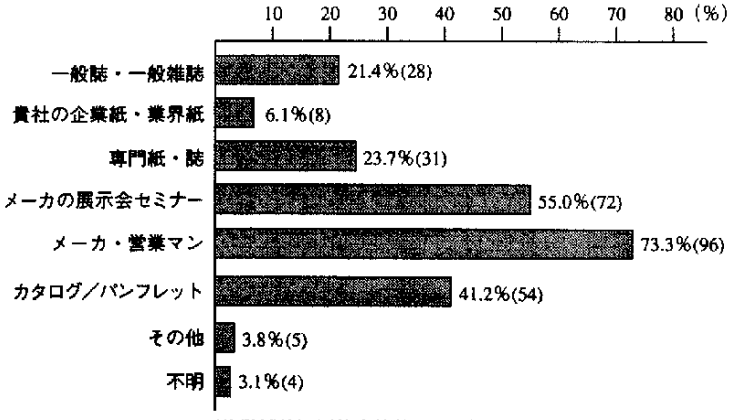
以上コンピュータやME機器の導入状況を見てきたが、AI応用システムの導入企業は未導入企業に比較して、AI応用システムのインフラストラクチャとなりうるコンピュータやME機器が数量的に多く、導入時期も早いだけでなく、コンピュータやME機器を操作することができる人材を企業内に多く蓄積してきている。

図表II-2-6　中小企業におけるコンピュータ等操作従業員の割合(1993年)



回答会社数計138社　（ ）内は回答件数

図表II-2-7　中小企業のコンピュータ等の情報源(1993年)



（複数回答）回答会社数計131社　（ ）内は回答件数

1.2.2　コンピュータの利用状況

コンピュータやME機器を利用するに当たって、どのようにソフトウェアを調達したかを尋ねた。そのため①外部に依頼したプログラムを利用している、②汎用のパッケージソフトを購入し利用している、③独自にプログラム（マクロを含む）を開発して利用している、の三つの選択肢を用意し、該当するものすべてを選ばせた。その結果、最も多いのは①外部に依頼したプログラムを利用しているが58.0%、次が②汎用のパッケージソフトを購入し利用しているで45.0%、③独自にプログラム（マクロを含む）を開発して利用している、は33.6%であった。1社平均では、この①、②、③のうち1.4件を利用していることになる。

導入企業と未導入企業を比較すると大きな分布の違いはないが、導入企業は未導入企業より、①、②、③のいずれにおいても利用している割合が高い。しかし、その違いは10ポイント以

下である。1社平均では、導入企業が1.5件に対して未導入企業では1.3件となっている。

次にコンピュータやME機器の情報源をどこに求めているかを見ると、図表Ⅱ-2-7に示すように第1位がメーカ・営業マンで73.3%、第2位はメーカの展示会・セミナー55.0%、第3位はカタログ／パンフレットで41.2%である。1社当たり平均2.2件のコンピュータやME機器の情報源を持っている。

導入企業と未導入企業の別では、どちらも全体で見た場合の第1位から第3位までは分布の傾向はほとんど変わらない。つまり導入企業も未導入企業もメーカ・営業マン、メーカの展示会・セミナー、カタログ／パンフレットを情報源としていることに違いはない。しかし全体では情報源として指摘されることが比較的少なかった一般紙・一般雑誌、貴社の企業紙・業界紙、専門紙・誌の3項目で、導入企業と未導入企業との違いが明確に認められる。つまり専門紙・誌では導入企業の34.0%が指摘しているのに対して未導入企業の指摘は17.3%（以下同様）、一般紙・一般雑誌では28.0%に対して17.3%、貴社の企業紙・業界紙は12.0%に対して2.5%である。この結果、コンピュータやME機器の情報源として指摘された1社当たりの平均件数は導入企業の2.5件に対して、未導入企業では2.1件になっている。

コンピュータやME機器の情報源として導入企業はコンピュータメーカやME機器メーカに依存しながらも、未導入企業に比べてさらに幅広い情報源を持つ企業が多いのである。

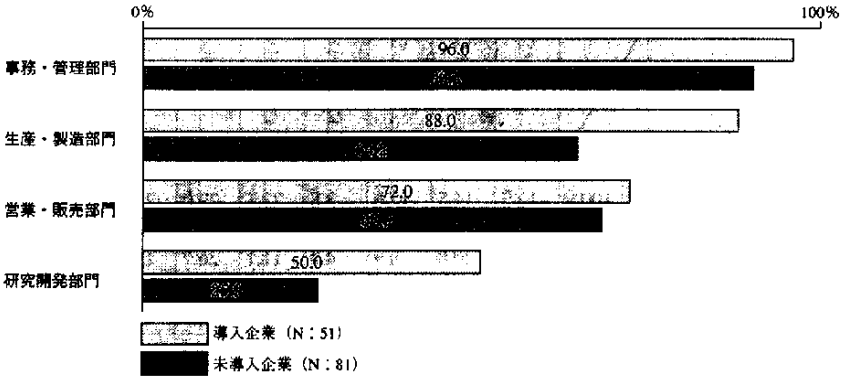
最後に部門別のコンピュータやME機器の利用状況を見てみよう（図表Ⅱ-2-8）。全体では事務・管理部門でのコンピュータやME機器の利用が最も多く、非常によく利用しているが64.8%、ある程度利用しているが27.5%、両者を合わせると事務・管理部門でコンピュータなどを利用している企業は9割を越えている。これに次いでいるのが生産・製造部門や営業・販売部門で、7割程度の企業がコンピュータやME機器を利用している（生産・製造部門：非常によく利用している30.5%、ある程度利用している42.7%、営業・販売部門：非常によく利用している39.7%、ある程度利用している29.8%）。研究開発部門はコンピュータやME機器の利用が4部門の中では最も少ないが、中小企業であるためか該当部門がないや不明が4割近くを占めている。

AI応用システムの導入、未導入別に見ると、次の2点が指摘できる。第1に、導入企業は未導入企業に比べて、4部門のいずれにおいてもコンピュータやME機器を利用している企業が多い。第2に、特に生産・製造部門や研究開発部門では、未導入企業に比較して導入企業はコンピュータやME機器の利用を図っている企業が多い。つまりAI応用システムの導入企業は、未導入企業と比較して、すでにコンピュータやME機器をかなり利用している企業が多く、特に生産や研究開発にまで利用している企業が多いのである。

以上、コンピュータやME機器の導入状況や利用状況を見てきたが、AI応用システムの導入企業はコンピュータやME機器の導入を積極的に進めてきた企業であり、それゆえコンピュータやME機器を操作することのできる人材も企業内に蓄積されている。またコンピュータやME機器に関する情報源を未導入企業より幅広く持ち、またその利用も導入企業は事務、営業部門に限らず、生産、研究開発にまで利用している。

換言すれば、AI応用システムの未導入企業では、インフラストラクチャとしてのコンピュータやME機器の導入やそのための人材の蓄積などが促進されるならば、これらの企業はAI応用システムの導入へと進む可能性は十分にあると考えられる。

図表Ⅱ-2-8　中小企業のコンピュータ・ME機器の利用状況（部門別）(1993年)



（注）・導入企業、未導入企業とも「非常によく利用している」、「ある程度利用している」の合計。

1.3　コンピュータ利用の評価と今後の課題

昨今、コンピュータ利用が中小企業にも普及拡大してきているが、中小企業におけるコンピュータ利用は、利用適用業務分野の発掘とコンピュータ利用を促進する環境を整えることが大企業に比べて困難である。

まず最初のコンピュータ利用適用業務分野の発掘においては、中小企業では企業規模が小さいがゆえに、おのずと選択幅が狭くなりコンピュータ利用に適したテーマが少なく、かつ見つけ難い。また、コンピュータを利用促進する環境を整えるに当たっては、中小企業に見合った設備コスト環境を作ることが難しい。

今回の調査での中小企業におけるコンピュータ利用における成果と今後の課題について中小企業が抱えている問題点を述べる。

1.3.1　中小企業のコンピュータ利用上の評価と問題点

コンピュータ利用上の問題点の数量的分布を図表Ⅱ-2-9で見ると、業務量の不足・不安定、技術力の不足、技術者（人材）の不足・教育体制の三つに色分けできる。これらは中小企業にとっては宿命的な問題点ともいえる。

コンピュータ利用はコンピュータの機構からして、ある程度の処理量がないとコスト的には成り立ち難い。企業内の使用においても、ある程度の定量的、定性的な運用が図られないとコンピュータ利用の導入効果を評価し難い。定量的なもととしては、一般的には受注高や生産高および人事管理などの情報管理が考えられるが、これらの情報管理においてコンピュータ利用で成果が得られる中小企業は中小企業の中でも上位規模の企業である。

図表Ⅱ-2-9「コンピュータ利用上の問題点」でみると、従業員100人未満で受注量、業務量の不足、および不安定をコンピュータ利用の問題点に挙げている中小企業が多い。小規模の中小企業は、より人間的な活動が主でコンピュータなどの機械が入る余地が少ないともいえる。

しかし、コンピュータ導入の総合評価（図表Ⅱ-2-10）では、「十分に効果があがっている」と「まあ効果があがっている」を含めると高い評価が出ている。この中で面白いことは、「十分に効果があがっている」と「まあ効果はあがっている」を比較すると従業員数の少ない企業の方が「十分に効果があがっている」が高く「まあ効果はあがっている」のほうはその反対となっている。これを見る限り必ずしも企業規模の大きい企業のほうがコンピュータ利用が有利とはいえない。

一方、「業務の多様化に対応できない」を挙げているのは上位規模の中小企業に現れている。下位規模では生産活動が小規模であるためか多様化の問題はそれほど起きていないようである。多様化によって、機械化対象部分の規模が狭まり、上位規模の中小企業であっても定量

図表II-2-9　中小企業のコンピュータ利用上の問題点（1993年）

コンピュータ利用上の問題点 ＼ 回答会社		①受注量・業務量が不足している	②受注量・業務量が安定していない	③業務の多様化に対応できない	④業務に適用できるハードウェアが少ない	⑤業務に適用できるソフトウェアが少ない	⑥設備の充実の予算が確保できない	⑦技術力が不足している	⑧プログラムの開発要員が不足している	⑨操作要員が不足している	⑩教育訓練体制が整備されていない	⑪事業内のレイアウトがうまくできない	⑫その他	⑬不明
合計	131	16	19	23	5	29	38	33	44	26	38	10	7	13.0
	100.0	12.2	14.5	17.6	3.8	22.1	29.0	25.2	33.6	19.8	29.0	7.6	5.3	9.9
従業員数 ～50人未満	45	7	9	4	2	5	12	8	10	11	9	3	2	8
	100.0	15.6	20.0	8.9	4.4	11.1	26.7	17.8	22.2	24.4	20.0	6.7	4.4	17.8
従業員数 ～100人未満	40	6	4	10	1	14	11	12	13	8	11	3	3	2
	100.0	15.0	10.0	25.0	2.5	35.0	27.5	30.0	32.5	20.0	27.5	7.5	7.5	5.0
従業員数 100人以上 ～	46	3	6	9	2	10	15	13	21	7	18	4	2	3
	100.0	6.5	13.0	19.6	4.3	21.7	32.6	28.3	45.7	15.2	39.1	8.7	4.3	6.5

（複数回答）上段：回答件数　下段：割合（%）

的には規模が小さくコンピュータ化が困難になっていると考えられる。

しかし定性的側面においては、製品や生産ラインの高品質化、高性能化を図るうえでコンピュータ利用を必要としている。コンピュータ利用・導入を進める目的（図表Ⅱ-2-11）を見ると、製品の精度の向上、納期の短縮を求めるものが100人未満の企業に高い傾向は興味深い。

中小企業におけるコンピュータ利用の問題点の第2点としては、コンピュータ利用を促進する環境を整えることの困難さを挙げている。図表Ⅱ-2-9で見ると、プログラム開発要員の不足、業務に適用できるソフトウェアが少ない、設備の充実予算が確保できない、技術力が不足している、操作要員が不足している等を、ほとんどの企業が問題点として挙げている。設備投資と利用効果のバランス、コンピュータ利用技術力の修得、コンピュータ利用技術のための開発要員の確保等は、中小企業では困難な項目であることが今回の調査ではっきりあらわれている。これらの点が中小企業でコンピュータ化を図る上で大きな問題といえるようである。

1.3.2　中小企業におけるコンピュータ利用意向

コンピュータ利用・導入を進める目的（図表Ⅱ-2-11）の分布を見ると、「生産性の向上、事務部門の効率の向上」などの効率的な企業運営面への利用、「納期の短縮化」「製品精度の向上」の質的、コスト的な方面への利用、「労働時間の短縮化」「職場環境の改善」への利用に色分けできる。

これを「経営上の課題」の調査分布と比較した場合ほ

図表Ⅱ-2-10　中小企業のコンピュータ導入の総合評価（1993年）

コンピュータ導入の総合評価 ＼ 回答会社		①十分に効果があがっている	②まあ効果があがっている	③あまり効果はあがっていない	④全く効果はあがっていない	⑤不明
合計	131	29	87	13	－	2
	100.0	22.1	66.4	9.9	－	1.5
従業員数 ～50人未満	45	13	28	4	－	－
	100.0	28.9	62.2	8.9	－	－
従業員数 ～100人未満	40	9	24	6	－	1
	100.0	22.5	60.0	15.0	－	2.5
従業員数 100人以上～	46	7	35	3	－	1
	100.0	15.2	76.1	6.5	－	2.2

上段：回答会社数　下段：割合（%）

図表Ⅱ-2-11　中小企業のコンピュータ利用・導入を進める目的（1993年）

コンピュータ利用・導入を進める目的 ＼ 回答会社		①製造部門の生産性の向上	②事務部門の効率の向上	③受注の拡大	④受注の安定化	⑤納期の短縮化	⑥製品の精度の向上	⑦新規採用者の安定的な確保	⑧技術者・技能者の安定的な確保	⑨現場の仕事の従事者の安定的な確保	⑩適正な従業員数の配置	⑪労働時間の短縮化	⑫職場環境の改善	⑬主な取引先の要請	⑭その他
合計	105	83	84	24	13	34	34	8	13	6	20	44	30	9	4
	100.0	79.0	80.0	22.9	12.4	32.4	32.4	7.6	12.4	5.7	19.0	41.9	28.6	8.6	3.8
従業員数 ～50人未満	29	20	21	4	3	12	10	3	2	2	4	15	6	4	1
	100.0	69.0	72.4	13.8	10.3	41.4	34.5	10.3	6.9	6.9	13.8	51.7	20.7	13.8	3.4
従業員数 ～100人未満	37	28	30	8	5	10	13	4	8	2	6	14	13	2	-
	100.0	75.7	81.1	21.6	13.5	27.0	35.1	10.8	21.6	5.4	13.2	37.8	35.1	5.4	-
従業員数 100人以上～	39	35	33	12	5	12	11	1	3	2	10	15	11	3	3
	100.0	80.7	84.6	30.8	12.8	30.8	28.2	2.6	7.7	5.1	25.6	38.5	28.2	7.7	7.7

（複数回答）上段：回答件数　下段：割合（%）

ぼ一致する（図表Ⅱ-2-12「経営課題とコンピュータ導入の目的」参照）。これを見る限りこれからの中小企業の経営ではコンピュータ利用に期待する面が大きく、将来さらに経営課題解決のために情報化が進む余地がある。

まずはじめのコンピュータ利用目的である「生産性の向上」、「事務部門の効率の向上」は、コンピュータ利用の典型ともいえるが、情報処理量と情報処理運用コストとの対比となる。情報処理量が少ないからといって情報処理運用コストが少なくてすむといったものではない。コンピュータ利用においては、ある程度の初期導入コストが必要であり、中小企業にとってはかなりな負担となる。特に、ソフトウェアの準備、データ入力、従業員の教育等は、ほとんどの中小企業がまったく新たな負担増となりそれに打ち勝つ付加価値を得ることは至極困難なことである。それゆえに、ソフトウェアの導入コストをおさえ、使用上での操作性を十分に考慮し、かつ成果目標が明確であるパッケージ・ソフトウェアをソフトウェア開発メーカは供給する必要がある。一方、それらの存在を指摘して中小企業を指導するコンサルタントも必要になろう。大企業のように企業の内部でコンピュータ要員を確保したり、教育したり、またソフトウェア開発をすることは中小企業では経営的に不可能であることを経営者に悟らせ、その代替策を指導する必要がある。

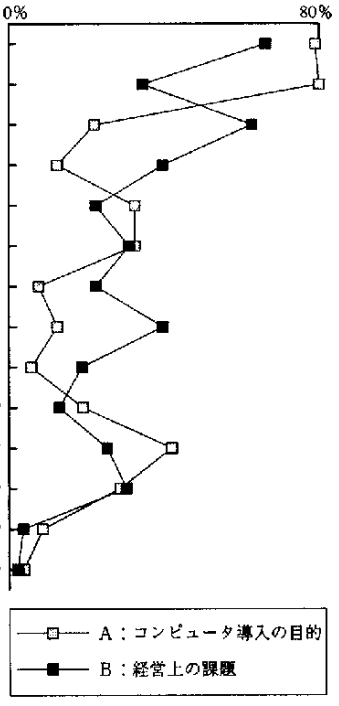
二つ目の目的である「納期の短縮化」、「製品精度の向上」は、これからの日本の中小企業が求めていく目標であろう。人手の不安定な生産手段に頼らない、機械化による納期の計画通りの見通し、それに伴うコストの引き下げ、製品精度の向上こそ日本企業が生き残る道であり、これにはコンピュータ利用を避けて通るわけにはいかない。コンピュータの有効的な使用技術を積極的に受け入れる手腕を持った経営者こそがこれからの中小企業には必要である。

三つ目の目的である「労働時間の短縮化」、「職場環境の改善」が、中小企業でも挙がったことは、日本も先進国の心構えができたといってよい。これらのことは日本企業が従来求めてきた生産高の増大、企業の規模拡大とは一部相反する面がある。大企業が求めている道を、中小企業でも模索しているということがいえる。

以上、これらの目標をかなえるには何がそれを可能にするかというソフトウェア（コンピュータ利用目標）は各中小企業の内部から生まれてこなければならないものであって、決して外から与えられるものではない。しかしハードウェアの選択やシステムの導入方法については外部の援助を有効に利用し自社のソフトウェアの確立を図る必要がある。残念ながら中小企業の内には、コンピュータ化においてはこの反対の現象がよくみられる。的確な利用計画もできていないのにハードウェアを購入したり、ソフトウェア開発に走ったりする傾向がそれである。そのような現象を避けるためには、ソフトウェアのパッケージ化、非プログラム化（非手続き言語の開発）を強く促進することで、裾野の広い中小企業が、各々においてソフトウェア開発することなしにコンピュータが使えるようにすべきである。日本のコンピュータ利用が日本語化という世界的に例をみない異質性を持ったソフトウェア体系になってきておりソフトウェアの供給数が予想以上に少ないようであるが、コンピュータの販売拡大が急速に進みつつあるところをみるとソフトウェアの流通経路を確立し互いに利用し合う環境を作る必要がある。

図表II-2-12　中小企業の経営課題とコンピュータ導入の目的(1993年)

	A：コンピュータ導入の目的（%）	B：経営上の課題（%）
①製造部門の生産性の向上	66.2	79.0
②事務部門の効率の向上	34.5	80.0
③受注の拡大	62.6	22.0
④受注の安定化	39.6	12.4
⑤納期の短縮化	22.3	32.4
⑥製品の精度の向上	30.9	32.4
⑦新規採用者の安定的な確保	22.3	7.6
⑧技術者・技能者の安定的な確保	39.6	12.4
⑨現場の仕事の従事者の安定的な確保	18.7	5.7
⑩適正な従業員数の配置	12.9	19.0
⑪労働時間の短縮化	25.2	41.9
⑫職場環境の改善	30.2	28.6
⑬その他	3.6	8.6
⑭不明	2.2	3.8



一方、コンピュータやME機器の利用に消極的な面について調査した結果が図表Ⅱ-2-13「情報化維持・縮小理由」である。これを見るとAI導入済みユーザには情報化を維持・縮小する理由を挙げている企業はなく、AI導入予定あり・導入予定なしのユーザが回答している。AI導入以前にすでにコンピュータやME機器の利用に消極的である。この中にはコンピュータを自社の企業活動に活かす環境作りができないでいる、または、コンピュータ・アレルギーが先行してコンピュータ導入を困難なものと考えている企業が多いのではないか。外部からの技術援助・指導によってコンピュータ利用の門戸を開く必要がある。

1.3.3　中小企業へのAI導入の可能性

生産活動は付加価値を付けることだと言われているが、先進国の生産する製品の付加価値は、ほとんどが知的な付加価値といえる。日本の企業も安定した付加価値を得るには、どうしてもコンピュータの力を必要とする。今日では、コンピュータ導入コストは適用環境さえ整えばどこの中小企業でも可能な状況となってきている。図表Ⅱ-2-10「総合評価」で十分に効果が上がっているという回答が従業員数50人未満の企業に高く、100人以上の企業の回答を大きく上回っている。企業の規模の大きいことと大量生産は結び付くかもしれないが、新たな付加価値を得るということになると必ずしも企業規模には関係なく企業体質にかかわってくる。これからの企業の生産活動は質の時代が大きくクローズアップされてきている。良いアイデアさえあればコンピュータ使用によって、高性能の製品の生産が十分可能となる。コンピュータに、いかに知能を与えるかは企業経営者の考え方で決まってしまう。コンピュータの有効利用こそ、人材の有効利用と共にこれからの中小企業に課せられた課題といえる。

中小企業の知能、知恵、知識という財産、すなわち、知的資源といえばまさにAIの適用対象そのものである。AIがすべて高度のものを要求しているわけではない。人間が作り出した知恵を従来では人手で実現していたものを、これからはコンピュータに代替させる時代である。中小企業経営者は人材をどのように生かすかとコンピュータをどのように使うかは同じ立場で考えるべき時代が来ていることを認識する必要がある。

1.3.4　まとめ

これだけコンピュータがダウンサイジング等で安価になっている時代にコンピュータが利用できない、あるいは、使用しないということは企業競争上も許されない状況となってきている。そのことを踏まえると、今回の調査から、中小企業のコンピュータ利用について次の二つの課題が投げかけられていると言える。

図表Ⅱ-2-13　中小企業の情報化維持・縮小理由（1993年）

情報化維持・縮小理由 ＼ 回答会社		①受注量・業務量が不足している	②受注量・業務量が安定していない	③業務の多様化に対応できない	④業務に適用できるハードウェアが少ない	⑤業務に適用できるソフトウェアが少ない	⑥設備の充実の予算が確保できない	⑦技術力が不足している	⑧プログラムの関連要員が不足している	⑨操作要員が不足している	⑩教育訓練体制が整備されていない	⑪事業内のレイアウトがうまくできない	⑫その他
合計	20	6	6	4	1	3	8	3	2	2	－	1	1
	100.0	30.0	30.0	20.0	5.0	15.0	40.0	15.0	10.0	10.0	－	5.0	5.0
AI導入済	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
	－	－	－	－	－	－	－	－		－	－	－	－
導入予定あり	5	2	2	2	－	1	2	－	－	－	－	－	－
	100.0	40.0	40	40.0	－	20.0	40.0	－	－	－	－	－	－
導入予定なし	15	4	4	2	1	2	6	3	2	2	－	1	1
	100.0	26.7	27	13.3	6.7	13.3	40.0	20.0	13.3	13.3	－	6.7	6.7

上段：回答件数　下段：割合（%）

図表II-2-14　中小企業のAIに関する認知度(1993年)

AI関連用語	従業員規模	調査数	認知度				
			知っている内容を充分	知っている内容を多少は	知っていることばくらいは	全く知らない	不明
(1) AI（人工知能）	合計	138	13	49	51	19	6
		100.0	9.4	35.5	37.0	13.8	4.3
	従業員数～50人未満	48	3	11	21	11	2
		100.0	6.3	22.9	43.8	22.9	4.2
	従業員数～100人未満	43	4	19	16	3	1
		100.0	9.3	44.2	37.2	7.0	2.3
	従業員数100人以上～	46	6	19	14	4	3
		100.0	13.0	41.3	30.4	8.7	6.5
(2) エキスパートシステム	合計	138	8	30	51	42	7
		100.0	5.8	21.7	37.0	30.4	5.1
	従業員数～50人未満	48	1	4	18	22	3
		100.0	2.1	8.3	37.5	45.8	6.3
	従業員数～100人未満	43	3	11	16	12	1
		100.0	7.0	25.6	37.2	27.9	2.3
	従業員数100人以上～	46	4	15	17	7	3
		100.0	8.7	32.6	37.0	15.2	6.5
(3) 機械翻訳	合計	138	16	45	57	14	6
		100.0	11.6	32.6	41.3	10.1	4.3
	従業員数　50人未満	48	-	11	24	10	3
		100.0	-	22.9	50.0	20.8	6.3
	従業員数～100人未満	43	5	19	17	1	1
		100.0	11.6	44.2	39.5	2.3	2.3
	従業員数100人以上～	46	10	15	16	3	2
		100.0	21.7	32.6	34.8	6.5	4.3
(4) 自然言語理解	合計	138	5	29	61	35	8
		100.0	3.6	1.0	44.2	25.4	5.8
	従業員数　50人未満	48	1	8	18	17	4
		100.0	2.1	16.7	37.5	35.4	8.3
	従業員数～100人未満	43	1	11	21	9	1
		100.0	2.3	25.6	48.8	20.9	2.3
	従業員数100人以上～	46	3	10	22	8	3
		100.0	6.5	21.7	47.8	17.4	6.5
(5) 知能ロボット	合計	138	9	40	69	12	8
		100.0	6.5	29.0	50.0	8.7	5.8
	従業員数　50人未満	48	1	10	27	7	3
		100.0	2.1	20.8	56.2	14.6	6.3
	従業員数～100人未満	43	2	15	21	2	3
		100.0	4.7	34.9	48.8	4.7	7.0
	従業員数100人以上～	46	6	14	21	3	2
		100.0	13.0	30.4	45.7	6.5	4.3
(6) 画像理解	合計	138	13	40	59	19	7
		100.0	9.4	29.0	42.8	13.8	5.1
	従業員数　50人未満	48	2	10	21	12	3
		100.0	4.2	20.8	43.8	25.0	6.3
	従業員数～100人未満	43	5	14	21	1	2
		100.0	11.6	32.6	48.8	2.3	4.7
	従業員数100人以上～	46	6	15	17	6	2
		100.0	13.0	32.6	37.0	13.0	4.3
(7) 音声認識	合計	138	13	51	56	10	8
		100.0	9.4	37.0	40.6	7.2	5.8
	従業員数　50人未満	48	1	15	21	7	4
		100.0	2.1	31.2	43.8	14.6	8.3
	従業員数～100人未満	43	5	19	17	1	1
		100.0	11.6	44.2	39.5	2.3	2.3
	従業員数100人以上～	46	7	16	18	2	3
		100.0	15.2	34.8	38.1	4.3	6.5

上段：回答企業数　下段：割合（%）

一つ目の課題は、コンピュータの使用上の問題点ー①データ処理の量に対する問題点と②使用するソフトウェアの開発に関する問題点である。二つ目の課題は情報化推進の目的ー①生産、事務部門の効率向上、②納期短縮、製品の精度向上、③労働時間の短縮、職場環境の改善ーである。この二つを結び付ける解決策を見つけ出す必要がある。これは中小企業の生き残りをかけて取り組むテーマといえる。

1.4 AIシステムの利用状況と今後の利用意向

1980年代半ばに起こったAIブームの背景では、ワークステーションの高機能化・低価格化というハードウェア的な要因が大きな役割を果たした。その当時、UNIX上のマルチウィンドウによるユーザインタフェースを活用した各種のAIツールが開発・販売され、各種アプリケーションの開発を促した。実際、大企業を中心にさまざまな分野への応用が試みられ、評価が得られた。

その後、景気の低迷という社会状況の変化はあるものの、パーソナルコンピュータの性能が向上し、MIPS値（単位時間当たりの命令実行回数を示す尺度）ではワークステーションに迫りつつある。また、ウィンドウによるグラフィカルな環境が実現しつつあり、アプリケーションの実用化に欠かせないユーザインタフェースの高機能化という点でも充実してきている。このような状況の中で、大企業で試みられたAI技術が今日、どのような形で中小企業に浸透しているのかという調査結果について以下に紹介する。

図表II-2-15　中小企業のAI導入状況（1993年）

回答会社＼AI導入状況		①導入済	②導入予定あり	③導入予定なし
合計	138	13	38	87
	100.0	9.4	27.5	63.0
従業員数～50人未満	48	2	9	37
	100.0	4.2	18.8	77.1
従業員数～100人未満	43	5	14	24
	100.0	11.6	32.6	55.8
従業員数～100人以上	46	6	15	25
	100.0	13.0	32.6	54.3
従業員数不明	1	—	—	1
	—	—	—	—

上段：回答企業数　下段：割合(%)

1.4.1 AIに関する認知度

AI（人工知能）、エキスパートシステム、機械翻訳システム、自然言語理解システム、知能ロボット、画像理解システム、音声認識システムの各用語についての認知度は、従業員数が50人以上の企業ではかなり高いが、50人未満の企業では低い（図表II-2-14）。

これらの用語の中には、機械翻訳や知能ロボットのように日常用語からの類推で意味がつかめるものもあるが、50人以上の企業では「内容を良く知っている」、「内容を多少は知っている」という高い認知を示す回答が、おおむね40%～50%以上得られている。ただし、エキスパートシステム、自然言語理解が、30%～40%とやや低かった。「全く知らない」という回答は、エキスパートシステムと自然言語が20%前後であるが、その他についてはすべて10%以下である。

これに対して50人未満の企業では、「全く知らない」という回答が、15%～45%であり、「内容を良く知っている」、「内容を多少は知っている」は、20%程度にとどまった。

1.4.2 AIの利用状況

AIシステム導入企業は、138社中の13社とほぼ1割にとどまったが、導入予定企業を含めると138社中の37%でかなりの割合を占めた。会社の規模別に比較すると、

図表II-2-16　中小企業のエキスパートシステム導入状況（1993年）

回答会社＼エキスパートシステム導入状況		①今後も導入する予定はない	②今後導入する予定がある	③現在導入・利用している	④不明
合計	138	98	24	2	14
	100.0	71.0	17.4	1.4	10.1
従業員数～50人未満	48	36	4	—	8
	100.0	75.0	8.3	—	16.7
従業員数～100人未満	43	31	11	—	1
	100.0	72.1	25.6	—	2.3
従業員数～100人以上	46	30	9	2	5
	100.0	65.2	19.6	4.3	10.9
従業員数不明	1	1	—	—	—
	—	—	—	—	—

上段：回答企業数　下段：割合(%)

図表II-2-17　中小企業のES以外のAIシステム導入状況(1993年)

AIシステム	従業員規模	調査数	導入有無			
			予定はない今後も導入する	予定がある今後導入する	利用している現在導入・	不明
(1) 機械翻訳	合計	138 100.0	100 72.5	11 8.0	4 2.8	23 16.7
	従業員数 ～50人未満	48 100.0	34 70.8	1 2.1	- -	13 27.1
	従業員数 ～100人未満	43 100.0	34 79.1	3 7.0	1 2.3	5 11.6
	従業員数 100人以上～	46 100.0	31 67.4	7 15.2	3 6.5	5 10.9
(2) 自然言語理解	合計	138 100.0	106 76.8	8 5.8	- -	24 17.4
	従業員数 ～50人未満	48 100.0	34 70.8	1 2.1	- -	13 27.1
	従業員数 ～100人未満	43 100.0	35 81.4	3 7.0	- -	5 11.6
	従業員数 100人以上～	46 100.0	36 78.3	4 8.7	- -	6 13.0
(3) 知能ロボット	合計	138 100.0	90 65.2	20 14.5	5 3.6	23 16.7
	従業員数　50人未満	48 100.0	29 60.4	5 10.4	1 2.1	13 27.1
	従業員数 ～100人未満	43 100.0	28 65.1	8 18.6	4 9.3	3 7.0
	従業員数 100人以上～	46 100.0	32 69.6	7 15.2	- -	7 15.2
(4) 画像理解	合計	138 100.0	91 65.9	19 13.8	4 2.9	24 17.4
	従業員数　50人未満	48 100.0	32 66.7	3 6.3	1 2.1	12 25.0
	従業員数 ～100人未満	43 100.0	29 67.4	7 16.3	2 4.7	5 11.6
	従業員数 100人以上～	46 100.0	29 63.0	9 18.6	1 2.2	7 15.2
(5) 音声理解	合計	138 100.0	98 71.0	13 9.4	- -	27 19.6
	従業員数　50人未満	48 100.0	32 66.7	3 6.3	- -	13 27.1
	従業員数 ～100人未満	43 100.0	31 72.1	5 11.6	- -	7 16.3
	従業員数 100人以上～	46 100.0	34 73.9	5 10.9	- -	7 15.2

上段：回答企業数　下段：割合（%）

AIに関する認知度と同じく、100人未満と100人以上では差が認められないが、50人未満の規模では50人以上に比較して導入済みが約1/3（4.2%）、導入予定ありが約2/3（18.8%）とかなり低い値を示している（図表II-2-15）。。

(1)　エキスパートシステムの利用状況

エキスパートシステム（ES）を導入している企業は、138社中の2社のみであるが、今後導入する予定のある企業は24社で、合わせて全体の約19%になる。導入済みの2社はいずれも従業員数100人以上の企業である。50人未満の企業で導入予定ありと答えているのは約8%にすぎない（図表II-2-16）。

ES導入済みの企業では利用分野として、事務管理（人事管理、予算管理）、製造（生産計画、在庫管理）、営業（顧客管理）、経理（財務管理、資金運用）を挙げている。導入予定のある企業では、製造部門、経理部門に対する需要が多く、事務管理部門、営業部門に対する需要は少ない。

大企業でAIが利用され始めた当初はエキスパートシステムが、他のAIシステムに比較して大きな比重を占めていたが、今回の調査ではそのような傾向は見られな

かった。この理由として、調査対象を製造業に限ったということもあるが、エキスパートシステムが他のAIシステムに比べて導入後も技術的な負担がかかるということが考えられる。

(2) エキスパートシステム以外のAIシステムの利用状況

エキスパートシステム以外のAIシステムについては、導入している企業が11社ある。このうち、50人未満の企業は2社のみで、残りの9社は50人以上の企業である(図表II-2-17)。

機械翻訳システムは4社で導入済みで、11社で導入予定。利用分野はビジネス文書、技術文書、マニュアルが挙げられている。

自然言語理解システムは導入済みはなく、8社で導入予定。利用分野はデータベースの検索、文書の自動要約・分類、ワープロ文書の添削が挙げられている。

知能ロボットは5社で導入済み、20社で導入予定。生産ライン、各種検査での利用が求められている。

画像理解システムは4社で導入済み、19社で導入予定。検査や図面の読みとりが利用分野で挙がっている。

音声理解システムは導入済みはなく、13社で利用予定である。利用分野は音声入力ワープロ、音声操作等である。

いずれのシステムも導入済みは少ないものの、それぞれ10社前後から20数社の企業で導入予定の意向がある。

ESを含めて何らかのAIシステムを導入済みの企業では、そのほとんどが導入の効果について「十分に効果がある」、「まあ効果がある」という肯定的な回答をしている（図表II-2-18)。

1.4.3 AI導入を決める要因

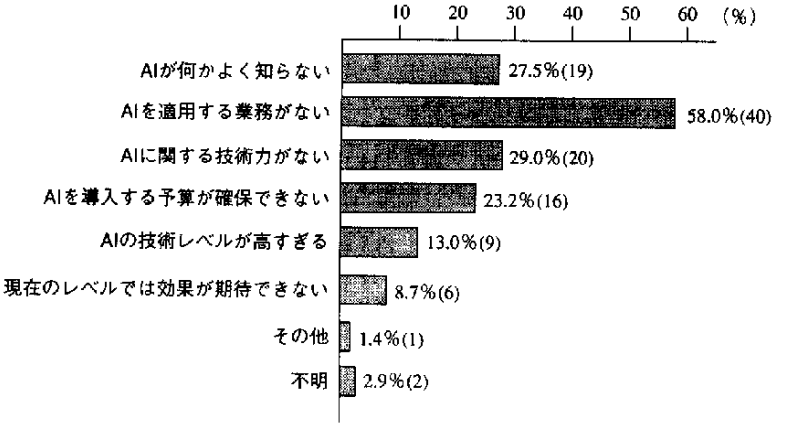
AIを利用しない理由として目立つのが、「AIを適用する業務がない」(58.0%) ということである。また、AIを利用するための条件として、「適用できる業務があれば導入」を53.6%の企業が挙げている。これら

図表II-2-18　中小企業のAIシステムの導入効果（1993年）

AIシステムの導入効果 / 回答会社		⑤ 不明	④ 全く効果がない	③ あまり効果がない	② まあ効果がある	① 十分に効果がある
合計	26	5	14	−	−	7
	100.0	18.2	53.8	−	−	26.9
従業員数 ～50人未満	4	2	1	−	−	1
	100.0	50.0	25.0	−	−	25.0
従業員数 ～100人未満	11	2	5	−	−	4
	100.0	18.2	45.5	−	−	36.4
従業員数 100人以上～	11	1	8	−	−	2
	100.0	8.1	72.7	−	−	18.2

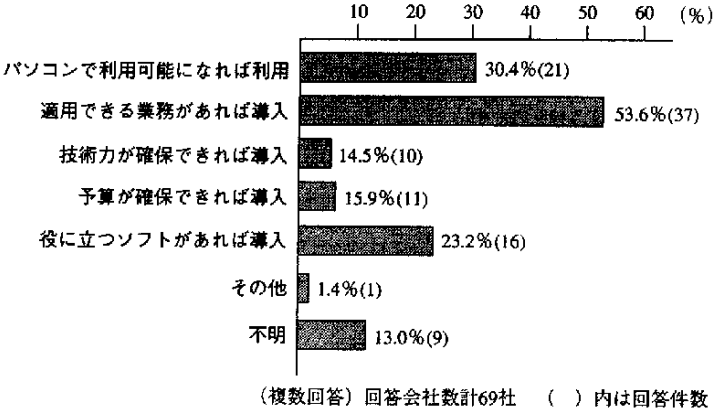
（各AIシステムの回答を合計）
上段：回答件数　下段：割合（%）

図表II-2-19　中小企業のAIを導入しない理由(1993年)



（複数回答）回答会社数計69社　（ ）内は回答件数

図表II-2-20　中小企業のAIを利用するための条件(1993年)



（複数回答）回答会社数計69社　（ ）内は回答件数

は、技術的要因（「AIに関する技術力がない」29.0%、「技術力ができれば導入」14.5%）、予算的要因（「AIを導入する予算が確保できない」23.2%、「予算が確保できれば導入」15.9%）を大きく上回っている（図表II-2-19、図表II-2-20）。

次に、AIシステムに対して「導入予定あり」という積極的な態度を取っている企業と、「導入予定なし」という消極的な態度を取っている企業の間に、AI（関連用語）についての認知という点で、差が見られた。「AI（人工知能）」という言葉に関して、導入予定ありの企業では、61%の企業が「内容を十分知っている」か「内容を多少は知っている」のに対して、導入予定のない企業ではこれに該当するのは34%である（図表II-2-21）。

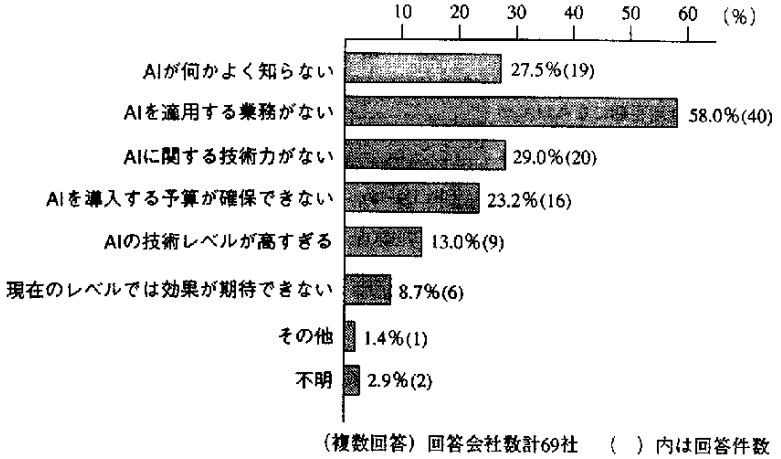
また、AIを利用しない理由として、「AIが何かよく知らない」を挙げている企業が27.5%あるのも見逃せない（図表II-2-22）。

図表II-2-21　中小企業のAI導入・未導入のAI認知度比較（1993年）

回答会社＼認知度／AI		①内容を充分知っている	②内容を多少は知っている	③ことばくらいは知っている	④全く知らない	⑤不明
合　計	138	13	49	51	19	6
	100.0	9.4	35.5	37.0	13.8	4.3
導入済・予定あり計	51	10	22	14	5	－
	100.0	19.6	43.1	27.5	9.8	－
導入済	13	3	5	3	2	－
	100.0	23.1	38.5	23.1	15.4	－
導入予定あり	38	7	17	11	3	－
	100.0	18.4	44.7	28.9	7.9	－
導入予定なし	87	3	27	37	14	6
	100.0	3.4	31.0	42.5	16.1	6.9

上段：回答件数　下段：割合（%）

図表II-2-22　中小企業のAI導入予定なしの理由(1993年)



（複数回答）回答会社数計69社　（　）内は回答件数

1.4.4　今後のAI利用意向

以上の結果から、技術的・予算的にはAI導入を阻害する要因は特に見られない。それにもかかわらずAIを導入済みの企業が10%、導入予定の企業が27.4%にすぎないという背景には、「AIが何かわからない」、「AIを適用する業務がみつからない」ということがある。

これは、AIの技術的な面に関する認知、および実際の応用面に関する認知が不足していることを示している。今後、AIが中小企業に普及するには、AIそのものに関する知識と、具体的なAIの利用に関する事例を集めAIの効果を周知徹底させることが必要であろう。

2.　中小企業のAI利用事例

2.1　プレス金型設計エキスパートシステム

(1)　開発目的

金型の設計は熟練を必要とする作業であり、若年設計者が複雑な金型の設計に対応することは困難である。一方、熟練設計者の高年齢化に伴い、ノウハウを何らかの方法で企業内に蓄積しなければならないというニーズもある。そこで、株式会社東輝では、経験の浅い設計者でも容易に金型の設計が行えるようにすることを目的にプレス金型設計支援用のエキスパートシステムを開発した。

(2)　金型設計と本システムの概要

プレス加工は金属その他材料の一部もしくは全域に永久変形（塑性変形）を与え、分離、成形、および接合などを行う加工である。プレス加工に使用されるプレス金型は、製品の形状、精度等を被加工材に忠実に転写するための一対の工具と考えることができる。この金型を正しく設計するには、プレス製品図面の情報を中心に、ユーザの要求する生産数、納期、価格などを考慮する必要があ

る。金型の設計は、通常、加工の順序を決定する加工工程の設計と各工程における個別の金型の構造・寸法などを決定する型仕様設計の2段階に分けて行われる。その後、金型仕様書をもとにCADオペレータが金型の図面を製図する。そこで、従来、熟練設計者によって行われていたこれらの設計業務を支援するエキスパートシステム（ES）を開発することにより、型設計の経験の浅いCADのオペレータでもシステムと対話しながら、設計業務を遂行することが可能になる。本システム全体の処理の流れを図表Ⅱ-2-23に示す。本システムはワークステーション上に、C言語とES構築用ツールを用いて開発している。

(3)　加工工程設計サブシステム

加工工程設計サブシステムは、プレス製品を加工する工程を設計する業務を支援する。システム構築のためのAI手法として事例ベース推論を採用した[1][2]。その理由は、工程設計のための知識を専門家から網羅的に獲得することは困難であることや、専門家も過去の設計事例をしばしば参照することから、専門家の設計パターンが事例ベース推論の処理内容に近いためである。本システムでは、設計知識の獲得が難しい曲げ工程については主に事例の解を採用し、知識獲得の比較的容易な知識についてはルール形式で表現し、修正知識として用いる。本システムの処理の流れを図表Ⅱ-2-24に基づいて説明する。

(a)問題としての入力……プレス製品は製品図で与えられるので、まず、図面で表現された情報をもとに問題記述を作成する。問題記述は製品の曲げ形状、穴、打出し、切欠きなどの形状、位置関係、公差などの情報を持つテキストファイルであり、図面を理解できる技術者であれば、特に専門知識を持たなくても作成することができる。

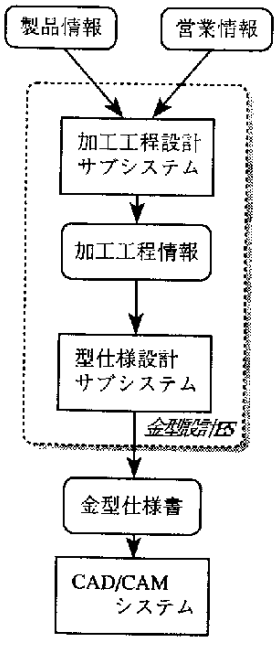
(b)問題解析……問題の解析を行い、キーを抽出するために定義された知識を用いて、問題の特徴キーを生成する。特徴キーには、「平面数」などの整数キー、「小穴の存在」などの論理キー、および「客先」などの列挙キーがある。

(c)事例検索……問題解析で生成されたキーと事例のキーの照合を行うことによって、与えられた問題に類似した事例を複数検索する。

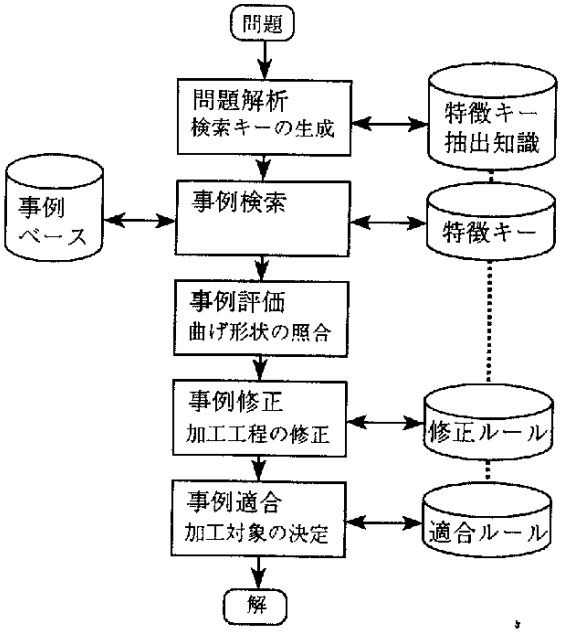
(d)事例評価……検索で得た事例について曲げ形状の照合と製品の特徴の詳細な評価を行うことにより、与えられた製品に最も類似している事例を一つ選択する。

(e)事例修正……与えられた製品と事例の特徴の差異に着目して、事例の解である加工工程を修正する。工程の追加や削除、複合工程への統合や複合工程の分

図表Ⅱ-2-23　金型設計エキスパートシステムの処理の流れ



図表Ⅱ-2-24　加工工程設計の処理の流れ



解などを行う。

(f) 事例適合……事例の解を修正して得た加工工程を与えられた問題に適用する。その際に解として得た加工工程の各工程で与えられた製品のどの形状を加工するかを決定する。

以上の処理によって、与えられた製品の加工工程を求めることができる。

(4)　型仕様設計サブシステム

製品の加工順序と個々の加工形状が加工工程設計サブシステムで決定されると、加工のための加圧力の計算を行い、仕様プレスのスペックを考慮しながら、工程ごとの金型構造と主要寸法などを決定する。金型の構造やプレート構成については、社内標準としてあらかじめCADのデータベースに登録されている。また、ストリッパーボルトの取付、パンチダイの固定方法など金型の詳細設計に関する仕様もある程度標準化されている。ここでは、製品の要求精度や生産数などの情報も考慮して、ダイセット形式、プレート構成をはじめパンチダイの材質、クリアランスの指定など設計上の主要情報を網羅した金型仕様書として必要な数値、条件等を出力する。したがって、型仕様の設計は、あらかじめフォーマットの決定されている型仕様書の各項目に適切な値を記入する作業となる。これらの適切な値を決定する知識は、ルール形式で比較的容易に表現できるため、AI手法としてルールベース推論を採用し、ES構築用ツールを用いて開発している。

(5)　まとめと課題

加工工程設計サブシステムについては、比較的単純な形状の製品に対する工程設計の結果、問題数の約9割について実用性のある解を導いたことから、より多くの事例の獲得、問題記述ファイル作成の負荷の軽減により実用化の見通しを得た。型仕様設計サブシステムについては、出力された型仕様書に基づいて比較的単純な単工程加工金型の製図を行うことが概ね可能である。今後の課題として、順送金型、トランスファー金型への対応が挙げられる。

<参考文献>

[1]　渡辺,他：プレス加工工程設計支援用事例ベースの検索法,情報処理学会第44回全国大会6Q-4(1992).

[2]　渡辺,他：プレス加工工程設計のためのルールを用いた事例の修正法,情報処理学会第46回全国大会1D-4(1993).

2.2　煮繭工程基本エキスパートシステム

最近の製糸工場においては、永年の経験による知識や勘、判断力を持った専門技術者が定年による退職の時期にきており、また、製糸に携わる若い技術者も非常に少ない状況にある。このような中で、古くからの伝統的な専門技術や工場固有の技術的ノウハウをいかにして残していくか、あるいは若い人に継承していくか、という深刻な問題が生じている。また、国内産業の減少から原料繭はますます小荷口化し、外国繭の取扱量も多くなっており、この面からも迅速な技術的対応が必要とされている。

このような状況の中で、一部の製糸工場ではエキスパートシステムを導入し、煮繭技術（注1）を主体とした専門技術の継承に対処しようとしている。さらに、このエキスパートシステムをパソコン通信のネットワーク上に搭載し、工場側のパソコンから、公衆電話回線を通して蚕糸科学研究所のホストコンピュータに接続し、技術診断を受けることができる蚕糸技術診断エキスパートシステムが開発された。

そしてこのたび、その実用化の第1号として日本蚕糸技術経営指導協会では蚕糸砂糖類価格安定事業団の助成を受けて、「煮繭対策基本エキスパートシステム」を構築し、ワークステーション上で運用した。

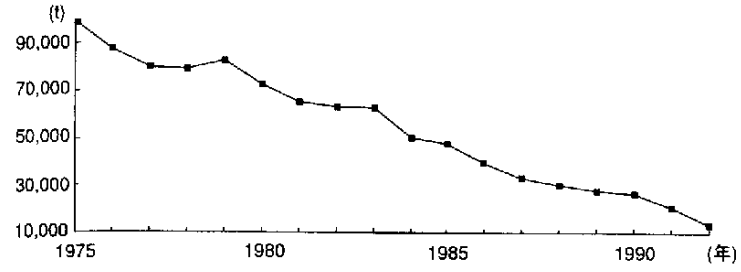
このシステムは、煮繭実務に際してその基礎となる汎用的な技術を幅広く盛り込んだもので、実用エキスパートシステムの基礎編ともいえるものである。なお、エキスパートシェルには「大創玄TB-UNIX版」を利用した。

(1)　背景

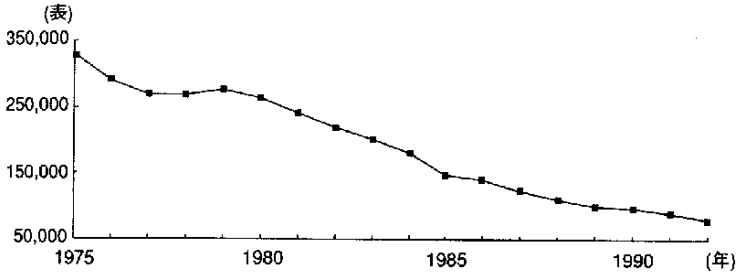
最近の蚕糸業の情勢は、図表Ⅱ-2-25、図表Ⅱ-2-26に示すように国内繭生産量、生糸生産量が減少の一途を辿っており、特に、最近10年間では繭生産量で約25％、生糸生産量で41％まで減少している。逆にここ5年間の輸入量をみると、図表Ⅱ-2-27、図表Ⅱ-2-28に示すように、繭では増加傾向を、絹2次製品では急激な増加を示している。生糸生産業は、一元輸入制度による生糸輸入量の制限や、繭糸価格安定制度による国内産生糸価格の保護など、保護条約や保護政策により産業の基盤が支えられてきた経過がある。しかし、1980年始めから着物ばなれ

(注1) 煮繭（シャケン）；養蚕農家で作られた繭は、最高温度100℃以上の熱処理により殺蛹（サツヨウ；発蛾を防ぐため繭の中の蛹を殺すこと）し、乾繭（カンケン）として貯蔵する。煮繭はこの乾繭を、湯と蒸気により繭層（ケンソウ；繭の糸の層）を膨潤軟化させ、1本の繭糸が切断することなく、またもつれることなく、解きほぐすための処置をいう。

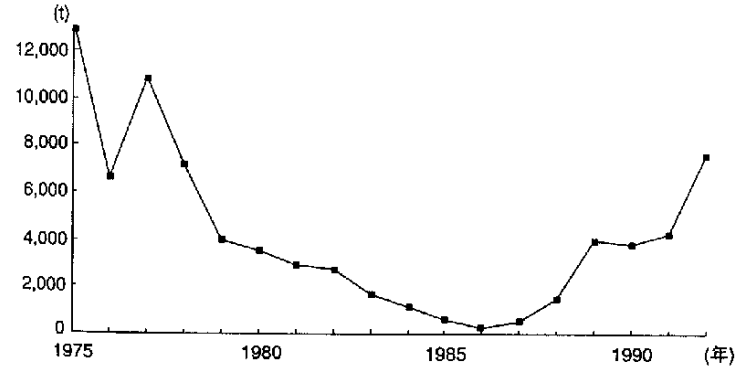
図表II-2-25　繭生産量の推移



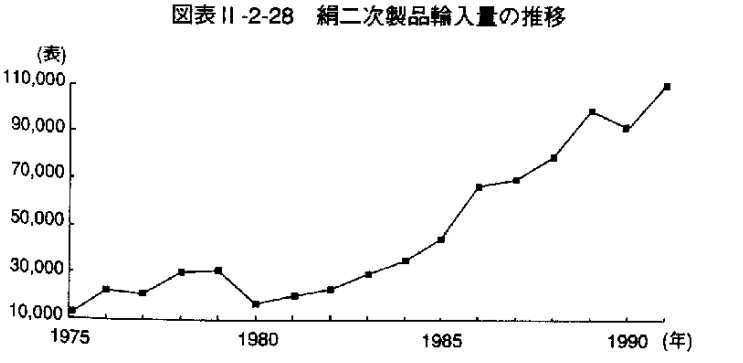
図表II-2-26　生糸生産量の推移



図表II-2-27　繭輸入量の推移



図表II-2-28　絹二次製品輸入量の推移



による和装用絹需要の減少と、中国を始めとする諸外国からの安価な生糸や絹製品の輸入増加などにより、国際的な競争力が低下し、大幅な生産量の減少となっている。

このような状況の中で、製糸工場では合理化による経費削減と人員合理化を余儀なくされ、さらに国内産繭の雑駁化と、輸入繭増加に伴う原料繭の多様化などのため、その技術的対応を迫られている。

製糸技術の中心である煮繭技術は、水、蒸気、湯、薬品、煮る時間などを組み合わせて行うが、用水の性質や煮繭機の種類あるいは経営指針により各工場さまざまな技術を持っている。また、永年の経験による知識や勘を持ったベテラン技術者は、煮熟繭（煮上がった繭）の触感や色を見ることで煮熟状態の良否を判断し、煮繭方法を変更するというように技術的な特異性を持っている。最近では、各製糸工場とも、このような熟練技術者が定年の時期にきており、かつ、その技術を受け継ぐ若い技術者も少ないため、技術の継承問題が起きている。

(2)　パソコン通信による蚕糸科学研究所ネットワークシステム

①BBS通信について

日本国内BBS通信(Bulletein Board System)を行っている全国のユーザは、大手BBSネットワークである「PC-VAN」で会員数が56万人を、また、「NIFTY-Serve」でも51万人を越えているといわれている（1993年5月末）。その他草の根BBSといわれる小さなBBSから大手商用ネットワークまで、数々のホスト局があり、趣味や実用面で利用されている。また最近では、地域の活性化や教育にとさまざまな利用体系ができている。利用者は若い人が主体で、主に同じ趣味を持っている人がグループ(CUG、SIG)やサークルを形成

して電子メールのやり取りや、電子掲示板の書き込みなどを行っている。

②蚕糸科学研究所ネットワークシステム

国内でのパソコンの普及に伴い、製糸工場でも煮繭工程における温度情報や、繰糸工程における生産情報などをパソコンに取り込み、生産管理に利用しようとする工場が増えてきた。

蚕糸科学研究所では、当研究所のパソコンをホスト局とし、これらの製糸工場や研究機関のパソコンとを電話回線で結び、情報交換を目的としたBBS通信システム「蚕糸科学研究所ネットワークシステム」を1988年に開設した。これまでにホストプログラムの変更や、通信用エキスパートシステムの導入などのシステムの向上を行ってきた。現在の登録ユーザ数は約30名であり、主な利用内容は次のとおりである。

i) 通信版エキスパートシステムの開発
ii) 業務連絡
iii) メールによる技術相談
iv) 文書などのテキストファイルやバイナリファイルの送受信
v) BASICプログラムなどのバイナリファイルの送受信
vi) 日本製糸技術経営指導協会による情報の提供

(3)　パソコン通信による技術診断エキスパートシステムの開発

①製糸技術とエキスパートシステム

エキスパートシステムの製糸技術への導入に関する研究は「煮繭のエキスパートシステム」(1988年,木下晴夫他）がある。ここでは、煮繭方法を煮熟繭の状態から判断し、その対策を示すというもので、実際の工場での運用に関しての研究を行っている。エキスパートシェルとしては「創玄」(エー・アイ・ソフト）を利用している。

一方、各製糸工場では技術的問題が発生すると、そのつど専門技術を持つ診断員を招いて問題の解決に当たっている。

そこで、この各製糸工場における技術的ノウハウを診断員の立場からとらえ、工場における技術と基礎的研究や幅広い知識をベースにした「製糸技術診断エキスパートシステム」を構築した。ここでは、ESシェルとして「大創玄」を利用した。

そして、この製糸技術診断エキスパートシステムをパソコン通信ネットワーク上に搭載することにより、電話回線を利用した通信版エキスパートシステムを構築した。

このエキスパートシステムでは、データの入力および結果の出力を、標準入出力装置（キーボードとCRTディスプレイ）ではなく、電話回線を通した工場側の端末に送る必要がある。そのために、ESシェル大創玄の入出力プログラムの書き換えを行った。

②知識ベースのブロック化

図表II-2-29は1985-1989年の5年間の診断要望項目についてまとめたものである。これによると、項目の86%は繰糸および煮繭の技術に関する問題である。

そこで、煮繭技術からみて診断項目を次の三つに分類し、知識ベースのブロック化を図った。

i) 節（ワ・サケ節、ズル節）
ii) 糸歩
iii) 糸故障

(4)　エキスパートシステムの実用化

1992年にエキスパートシステムの製糸工場への実用化を図るため、日本製糸技術経営指導協会により情報処理委員会が発足した。

初年度の事業として、若い技術者、特に将来の工務管理責任者としての候補者を対象に、汎用的な煮繭技術に関する内容の知識ベースに基づく「煮繭対策基本エキスパートシステム」の構築が決定された。構築に当たり煮繭の専門家やルール編集者などによる作成部会が設置され、種々の問題点に対する対策と、それに伴い副作用として発生する他への影響項目と影響度およびそれらの関連性などについて基本的な事柄を盛り込むこととした。そのため、知識ベースは

1) 状況判断
2) 原因別対策

の2本立てとし、問題点をそれぞれ四つのブロックに区分けした（図表II-2-30)。

i) 糸故障（ズル節系、薄皮飛付き系、ハクリ・ワ節系）

図表II-2-29　診断要請項目（1985-1989年）

診断要望内容	件数	内容
煮繭	35	(31)煮繭全般 (4)煮繭機
繰糸	55	(21)繰糸全般 (19)節・糸故障 (6)品質管理(繊度) (5)糸歩 (4)その他
その他	9	揚返し他
合計	99	

資料：日本製糸技術経営指導協会

ii) 糸歩
iii) 節（ズル節、ワ・サケ節）
iv) 解じょ

1)の状況別判断は、現状の煮繭状態がどのような状態にあるかを判断し、かつその煮繭対策を表示するもので、煮上がりの繭の状態や繰糸状況に関する幾つかの質問に答えるとそれに対し状況判定の画面が表示され、さらにその対策画面が表示される。

2)の原因別対策は、問題点を選ぶとそれに対する一次対策が一覧表示されるので、その一次対策の項目の中から一つ対策を選択する。その一次対策をとることで必ず他に影響を及ぼすので、その影響が一覧表示され、さらにその項目の中から一つ影響を選ぶとその影響に対する二次対策が表示される。

終了後は、同一知識ベースの繰り返し利用や、知識ベースの選択に戻って最初から実行するなどの選択が可能となっている。知識ベースのルール数は598である。

(5)　ワークステーションの導入

実用化を進めていくうえで、ワークステーション(WS)の導入を図った。

WSはサンマイクロシステムズのSPARClassic（メインメモリ32Mバイト、424MバイトHDD内蔵）を導入し、「大創玄」もUNIX版に更新した。

実用化に向けて知識ベースを構築していくと、ルール数はどんどん増えていき、システム全体が大きく重いものとなる。このような大きな知識ベースを扱うとき、パソコンに比べWSの優位性は大きい。また、マルチユーザ、マルチタスクという環境にあり、LANなどのネットワークが組め、拡張性が高い。

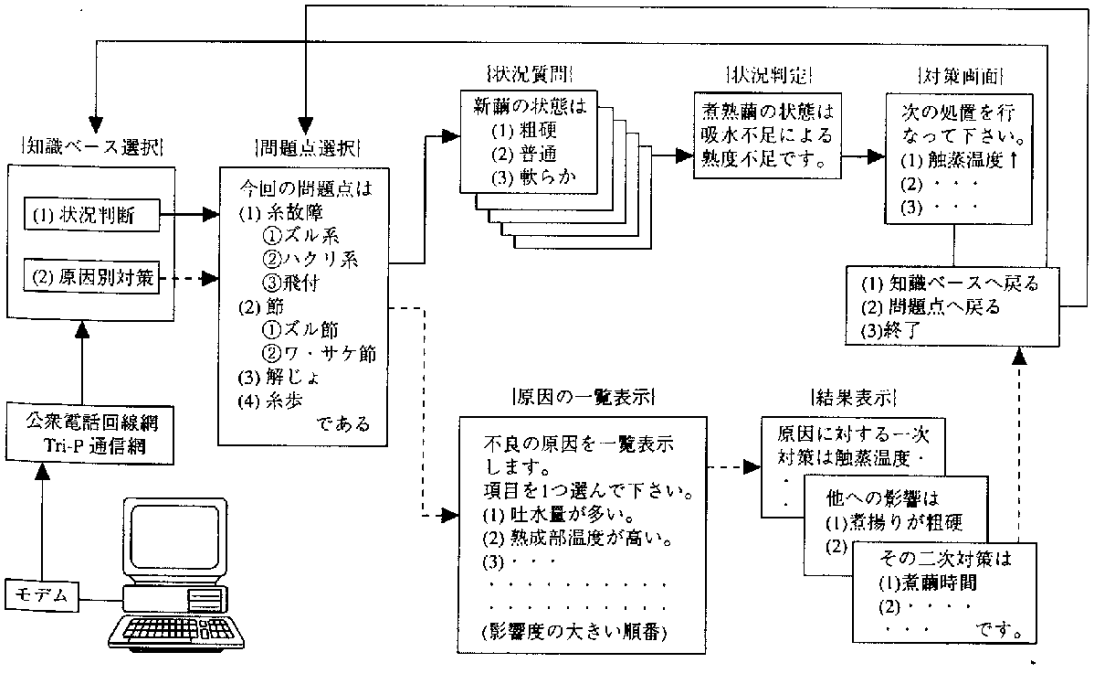
このシステムにおいては、工場側のユーザのパソコンはWSの1端末となり、電話回線を通して直接ホストである蚕糸科学研究所のWSの大創玄を起動させ、エキスパートシステムを利用する。このシステムは24時間稼動しており、ユーザは自由な時間に利用することができる。特に各工場では人手不足から作業に追われ気味であり、また工場幹部による技術指導も行き届かない状況にある。このような中で、工場の将来を担う若い未熟な技術者は自由な時間にパソコンに向かう中で煮繭技術を習得することができるようになった。システム全体の概要図を図表Ⅱ-2-31に示す。

(6)　電話回線使用料金対策（Tri-Pへの加入）

電話回線を介してコミュニケーションを行うので電話回線使用料金が問題となる。特に、ホスト局から距離が遠い場合や、今回のエキスパートシステム利用で接続時間が長時間に及ぶ場合は料金の負担が大きくなる。

そこでTri-Pへの加入を行い工場側利用者の通信経費

図表Ⅱ-2-30　煮繭対策基本エキスパートシステムの概要



低減を図った。このシステムは全国にアクセスポイントを97ヶ所持つ電話回線網で、各ユーザは遠距離のホスト局に直接接続しなくても、一番近いアクセスポイントに接続すればよい。したがってホスト局から遠距離ユーザほどメリットは大きくなる。

(7)　おわりに

今回の「煮繭対策基本エキスパートシステム」はこれで完成ということではなく、常に新しい知識や技術を習得した時に知識ベースに追加、修正を行っていきながら、より完成度の高いものにしていく必要がある。

また、次年度の計画として1工場をモデルに選定し、その工場固有の煮繭や繰糸に関する専門技術を知識ベース化し、固有技術の継承問題に対処しようということで計画が進められている。

2.3　高齢化に対応するための「職場改善診断エキスパートシステム」

(1)　はじめに

本格的な高齢化社会を目前にして、高年齢者にふさわしい雇用就業の場の確保による65歳までの継続雇用を実現することがわが国の緊急課題となっている。

こうした中で、(財)高年齢者雇用開発協会では、高年齢者の就業ニーズや職業経験・知識等に即した新しい「65歳雇用管理システム」の確立と、それらを実現するための企業における雇用管理全般にわたる見直しや整備について、具体的な方策を見出すこととし、「総合的雇用環境整備事業(アクセス65推進事業)」を展開している。

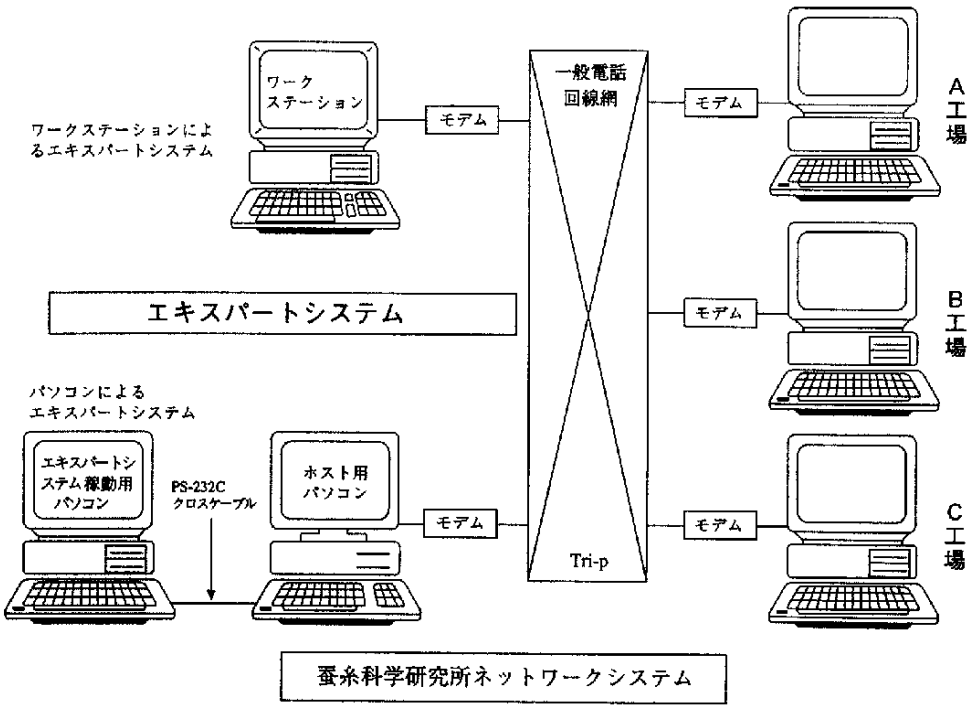
この事業は、現在企業において高年齢者の雇用を阻害しているさまざまな要因を総合的に把握・分析し、これに基づき阻害克服条件を明らかにするとともに、その条件整備を援助するというものであり、この事業の一環として、各種の「企業診断システム」の開発を進める中で、今般、高年齢者のための「職場改善診断エキスパートシステム」が開発された。

(2)　職場改善診断エキスパートシステム開発の基本的な考え方

企業における、急速な高齢化と今後の構造的人手不足への対応については、従来の経営思想や雇用制度、職場のあり方などを抜本的に見直すことが第一義であり、特に、職場環境や仕事の進め方を高年齢者の特性に合わせるための諸改善（職務再設計）は、その具体的かつ有効な方法であると考えられる。

高年齢従業員の加齢による機能低下を「使用機器類」や「作業姿勢」、「作業手順」、「作業環境」等を改善する

図表II-2-31　蚕糸科学研究所ネットワークシステムの概要



ことによって補完し、高年齢従業員の持つ豊かな経験や知識を活かすことによって、高年齢者が働き易く、しかも効率的な職場が実現される。

具体的に職場改善を進める際は、まず、「人に仕事を合わせる」という観点に立って現状の仕事のあり方や職場環境を見直すことが必要となるが、こうした場合には、特に職務分析やIE（生産工学）、人間工学等の専門的な知識と分析能力が要求されるため、専門家の援助が必要となる。しかし、現状ではこうした専門家が少なく、とりわけ、中堅・中小企業にあっては、改善ニーズは高いものの具体的な対応が困難な状況にあるといえる。

そこで、数少ない専門家の熟達した知識や経験を体系化し、各企業において「どの作業をどのように検討・改善したら良いか」、「どんな作業環境をどのように改善していったら良いか」等について、簡便に診断できるようなツールを開発することとした。

(3)　職場改善診断エキスパートシステムとは

職場診断エキスパートシステムは、各企業における各職場の実態や現状について、90項目にわたってチェックし、その結果を“複雑・多岐にわたる問題を専門家と同等レベルに解決することのできる知的プログラム（エキスパートシステム）”を活用して推論することにより、当該企業（職場）の“高年齢者の受け入れ易さ（就労可能性）”や“高年齢者の働き易さ（職務適合性）”といった評価を行うとともに、それぞれの職場にどんな問題点があり、どのように改善したら良いかを「職場環境」、「現場関係の作業条件」、「事務関係の作業条件」等の各側面から診断・アドバイスを行うものである。

①職場改善診断システムの構成

本システムの構成は図表Ⅱ-2-32のとおりである。

②診断の手順と具体的内容

具体的に診断を実施する際は、高年齢者雇用アドバイザーがハードおよびソフトを持参し、企業の担当者とのヒアリングを交えながら、現状を入力・診断を行うとともに診断結果の解説、アドバイスを行うこととしている（図表Ⅱ-2-33）。

③診断システムの活用と効果

当システムの診断結果（図表Ⅱ-2-34）は、中小企業等における高年齢者に働き易い職場づくりを進める際、具体的に“どのような職場、どのような方向で検討することからはじめたら良いか”を専門家のアドバイスと共に提示するものである。

これまで、“何か手を打ちたい”と考えていながら、なかなか具体化しなかった課題をはじめ高齢化対策全般についての検討・改善の端緒を得ることができることになる。当システムの活用によって、“ちょっとした工夫や改善”を行うことによって、高年齢者が現役として就労することが可能になるばかりでなく、生産性が著しく向上することができる。

なお、当システムは、平成5年12月より運用を開始したが、中堅・中小企業を中心にすでに多くの企業で活用されているところである。

(4)　職場改善診断システムの利用について

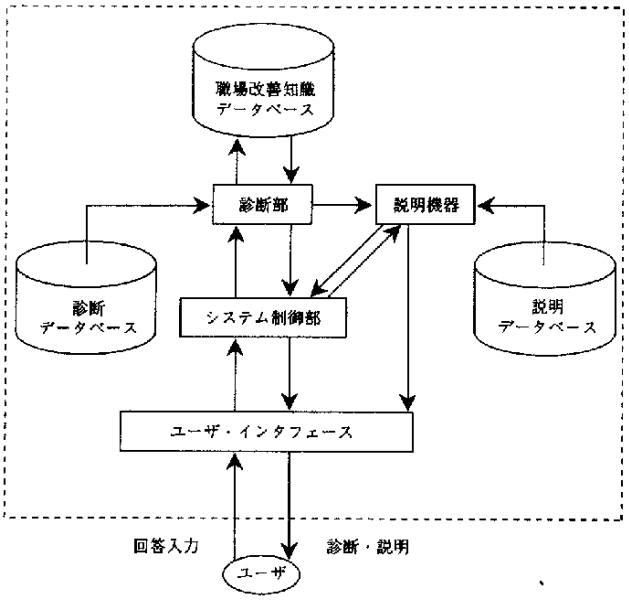
当診断システムは、各都道府県にある「高年齢者雇用開発協会」に申し込むことによって無料で利用することができる。

申し込みすると、各都道府県高年齢者雇用開発協会に委嘱された「高年齢者雇用アドバイザー」が直接訪問し、第三者の立場から客観的に現状をチェックし、診断を行うとともに、高年齢者の継続雇用等についての相談・助言のサービスも行う。

＜問い合わせ先＞

財団法人　高年齢者雇用開発協会
〒112　文京区小石川１-12-14日生小石川ビル
電話　03-3818-2261（大代表）

図表Ⅱ-2-32　職場改善診断システムの構成



2.4　印刷機器製造業におけるエキスパートシステム

(1)　業務内容

ナビタス株式会社は1966年に設立された、転写印刷機と印刷関連機器および資材を製造販売する印刷機器製造メーカである。創立時はホットマシン製造から始まり、その後転写印刷機、パッド印刷機など紙以外の物に印刷する機械を製造販売してきた中堅優良企業である。現在従業員100名、売上高40億円、海外にOEMとして製品を輸出している。

製品は、電気製品、スポーツ用品、プラスチックケース、ゴムボートなどいわゆるモノにプリントする印刷機である。ホットスタンピング(Hot stamping)は熱と圧力印刷を行い、パッドスタンピング(Pad stamping)は写真技術を応用しており、マイコン制御を必要とする。

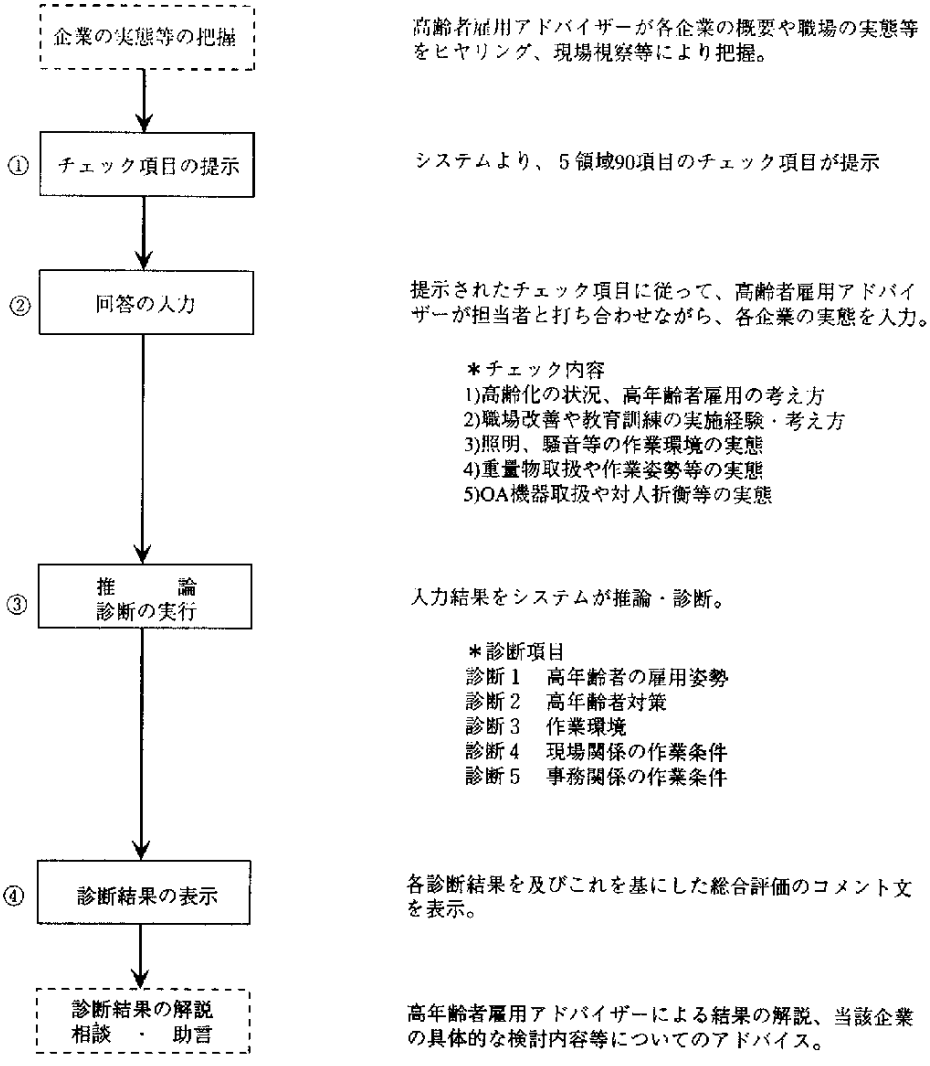
このように特殊な印刷機を製造するため、高度な技術が要求されると同時にユーザは中小企業が多いため、製品の低コスト化も要求される。

(2)　エキスパートシステム開発の経緯

①印刷トラブル診断システム

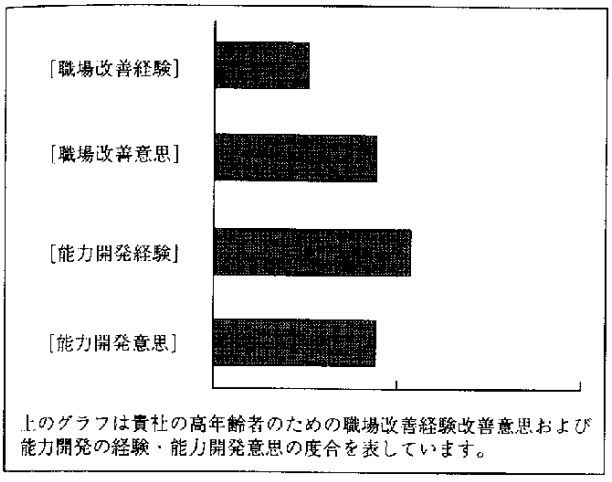
印刷機の故障時にそのトラブル対応が必要で、ユーザからの質問に答えなければならない。すべてのトラブルに技術者を派遣することは不可能であり、マニュアルを整備しているが、電話での応対で対処している。このために事務職でも応対可能なシステムを検討した。

図表II-2-33　職場改善診断の手順



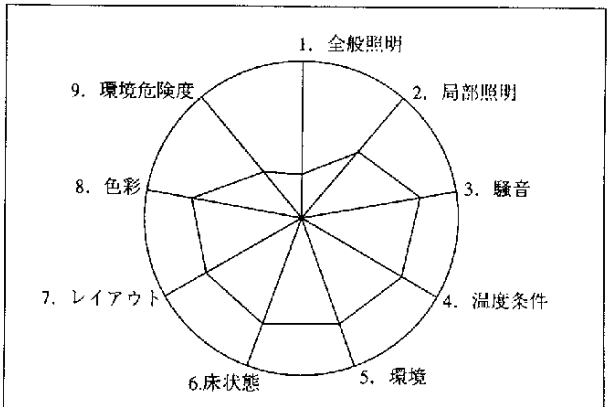
図表 II -2-34　診断結果の例

〈診断１　高年齢者対策〉



上のグラフは貴社の高年齢者のための職場改善経験改善意思および能力開発の経験・能力開発意思の度合を表しています。

〈診断２　作業環境〉



面積が小さいほど作業環境が高年齢者向きです。

トラブル時の現象とその故障原因とを整理し、モデルシステムは完成した。しかしこのシステムは故障の情報を数値化する必要があった。技術者であれば何とか数値情報として入力できるが、ユーザや電話応対する事務職ではそれは不可能である。すなわちインクが多く洩れているとか字がカスンデイルという現象を数値化することは難しい。熱の場合も暑いとかヤケテイルとか曖昧な表現となり、20度とか30度といった数値情報を把握するには温度計をすべての印刷機に取り付ける必要が生じる。これは製品の価格にはね上がり、低コストを要望するユーザに応えられない。このような曖昧な情報処理を可能にするような知識処理技術を導入しないと実用化は困難である。

また印刷機のようなそれほど高価でない製品に、知識処理のための高価なコンピュータを搭載することはできない。このためにパソコンレベルで曖昧処理ができるような技術の確立が望まれる。

②スタンプ機故障診断システム

比較的高価な印刷機には制御技術が導入されている。印刷中にトラブルが発生したときは、故障箇所を表示する自己診断機能を持っている。しかし印刷結果の文字に、滲みやカスリが発生してないかの検査は人手に頼っている。ユーザにとってこの検査は省力化を一番要求している作業である。検査の無人化は高付加価値商品の追及である。

印刷トラブル診断システムの経験の結果、故障とその原因の関係を整理したので、印刷機の故障診断を実用化に向けて開発を進めている。しかし印刷結果を認識するには画像処理技術を取り入れなければならない。それほど高額とならない画像認識技術の導入を必要としている。

(3)　課題

特殊印刷機械メーカのようなニッチ（すきま）産業は、合理化省力化を追及する情報化も必要であるが、製品にAI機能を搭載し高性能化することにより、付加価値の高い製品を生産することを追及する。このためには高価な情報機器を利用することは困難であり、廉価な機器が要求される。また情報表現も曖昧になりがちであり、より人間に近いAI技術の研究が必要と考える。

2.5　翻訳業における機械翻訳システム

(1)　経緯と業務内容の特徴

株式会社テトラネットは平成元年11月の会社設立以来、主にコンピュータ関連技術文書の英日翻訳、DTP編集を手掛けてきたが、平成5年3月よりロゴビスタ社の英日機械翻訳ソフトであるLogoVistaの全面採用に踏み切った。現在では、特殊なケースを除き、ほぼ100％何らかの形でこのソフトを使用している。

翻訳業務を開始した当初は、翻訳作業はすべて手作業で行っていたが、翻訳後のDTP編集も一括して受注することが多く、編集用の専用機としてCANNON EZPSを当初から使用していた。その後、カラー出力、スライド作成等の出力要求の多様化とともに、パソコンMacintoshによるDTP編集作業が増加してきた。

翻訳については、受注量の増加につれ、一定の翻訳品質を保ちながら量を拡大することが極めて困難であることが分かってきた。

①翻訳する量が増えると、人間の翻訳能力は急激に低下し、かつエラー率が急増する。

②複数の人間が分割して翻訳を行うと、全体の整合性を保つことが非常に困難になる。プログラムのモジュール分割と同じ問題に遭遇する。

特に受注するものの大部分が、英文自体はそれほど難しくはないが、1冊のページ数が平均250ページ程度のコンピュータ関連マニュアルであり、量に対する対策が極めて重要な要素であった。また、コンピュータ業界の特徴として、非常に短期間に翻訳編集を完了しなければならないという時間との戦いも大きな要素として存在していた。のんびり翻訳していたのでは、翻訳が終了しないうちに次の版が出てきてしまう。

このような状況は業務開始直後にすでに認識され、この問題を解決すべく、機械翻訳ソフトの評価および自社内での一部プロトタイプの試作をかなり早い時期から開始していたが、翻訳速度、翻訳精度のいずれもパソコンレベルでは満足できるものはなかった。

その後、パソコンの低価格・高性能化により以前は汎用大型機でしか実現できなかった機能が、手持ちのMacintoshにソフトを導入するだけで可能になった。翻訳速度、操作性と精度も一段と向上し、使用方法をうまく考えれば十分実用に耐えると判断した。

(2)　機械翻訳に対する基本的な考え方

機械翻訳に対する基本的な考え方は、次の通りである。

①機械翻訳からのアウトプットに最終成果物としての品質を期待しない。

②翻訳という作業を一連の工程としてとらえ、機械翻訳をこの工程の機械化における中心的な構成要素として考える。

③機械翻訳は、まだ発展途上にあるが、現時点でもたくさんのメリットがあり、この利点を多いに活用すべきである。

(3)　翻訳の工程

機械翻訳を最大限に活用するためには、作業工程の細分化が必須の要件となる。工程は次のように分かれる(図表II-2-35、図表II-2-36)。

①準備：翻訳原典の内容の調査、使用する用語等の確認を行う。

この工程は、さらに次のサブ工程に分かれる。

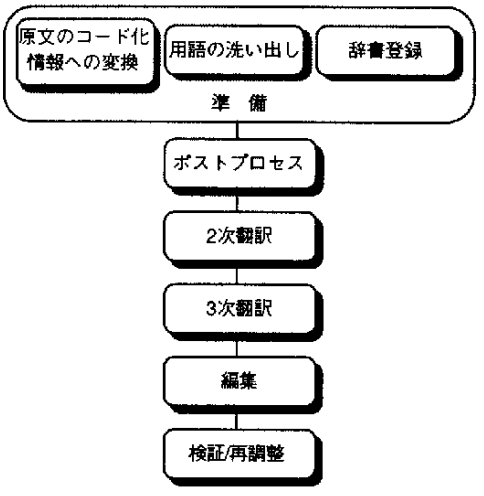
・原文のコード化情報への変換

最近ではフロッピーで原文が入手できることが多くなってきたが、ペーパーベースで依頼されたものは、OCRソフトを使用してテキスト情報にする。

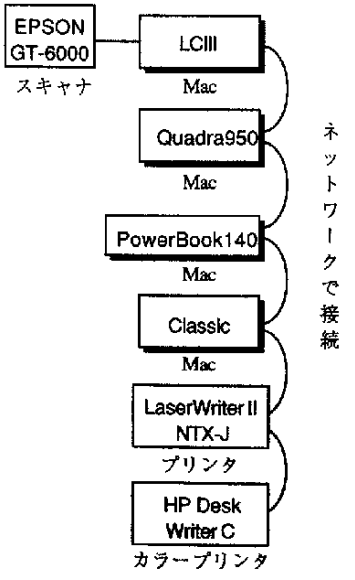
・用語の洗い出し

簡単なプログラムを使用して、テキスト文字列あるいはタイトル部分を検索し、原典に出現している単語を洗い出す。場合によっては、機械翻訳ソフトの未知語検索機能を使用して、辞書に登録さ

図表II-2-35　翻訳の工程



図表II-2-36　㈱テトラネットの社内システム



れていない用語を洗い出す。

・辞書登録

必要な新規用語を機械翻訳ソフトの辞書に登録する。

②機械翻訳：英語から日本語に機械翻訳する。一般に粗訳と呼ばれるものを作成する。この場合、処理はバッチ処理とし、インタラクティブな品詞指定、グループ区切り変更指示は基本的に行わない。

③ポストプロセス：機械翻訳からアウトプットされた文字列を簡単なプログラムを使用して文字列を置換する。主に、人称代名詞の削除、機械翻訳ソフトの言い回しの癖である付属語の部分、あるいはどうしてもユーザ辞書が採用されない部分を一括して置換する。

④2次翻訳：訳文の内容が正しいかどうかを確認し、英語からの直訳では分かりにくい部分を別の日本語表現に変える。同時に、この時点で、機械らしい表現を最低限の日本語に変える。また、いくつかの標準ルールが設定されていて、その指示に従って日本語を変更する。

⑤3次翻訳：2次翻訳のアウトプットは100％正しいという前提に立ち、日本語だけに着目して、より自然な日本語に変える。この際英語はまったく見ない。

⑥編集：各種DTPソフトを使用して、出版物としての体裁を整える。

⑦検証/再調整：さらに翻訳内容に手を加える。依頼主の指示に従い、原典にはない日本語独自の文章を追加したり、逆に訳文を削愛したりする。

(4)　機械翻訳のメリット

①翻訳速度が速い

人間に比べ、最低10倍程度は速くなる。

②翻訳結果に訳もれ等のミスがない。

翻訳対象物の量が増えると、このエラーが急増することが経験的にわかっている。

③翻訳結果が一定している

翻訳対象物が大きい場合には、複数の人間が分担して翻訳作業に当たることになるが、どうしても個人の持つ文体の癖がでてしまい、後で統一するのは至難の技である。また、同一翻訳者の訳文でも乱れがどうしても発生してしまう。

④最初のワープロ入力が不要になる。タイプミスもない

タイプミスがあると、前述の文字列一括置換のポストプロセス処理ができない。また、この時点のタイプミスは往々にして最後まで残ってしまうことが多い。

⑤正しい訳語が使用される

人間は勝手に解釈したり、手抜きをするので、用語を指定しても絶対に100%はその訳語が使用されない。

⑥英語のできない専門家が利用できる

内容が良く分かっている人が本来は翻訳に当たるべきであるが、いきなり英語を翻訳できるプロを見つけることは非常に困難である。機械翻訳のアウトプットは対訳の形で出力できるので、英語があまり得意ではない人でも気楽に翻訳作業に参加できる。

⑦英語のできない日本語のプロが利用できる

英語の強い人は、とかく日本語が弱い。このため、日本語の得意な人に、最後はチェックしてもらう必要がある。日英翻訳では、最後にネイティブの人に検証させるのと同じことである。基本的には、付属語を削除して簡潔な文にしたり、語順を入れ替える等の作業が多く実行される。

⑧辞書管理、成果物の管理等が容易になる

ペーパーレスが実現できる。また、用語の一覧なども簡単に作成できる。また、用語の統一等の標準化が促進できる。

(5)　機械翻訳の現状の問題点

①英語がだんだん口語的になってきているため、構文として解析するのが難しいものが増えてきている。

②英語のままで残したいものを一括して指示することが難しい

③オンラインドキュメントのように、タグや制御文字が埋め込まれているものは機械翻訳の対象として扱いにくい。

④個条書きの部分が弱い（主語が省略されていることが多いため）。

⑤プログラムのコーディング例など、翻訳対象外の部分を一括指示することができない。

⑥機械翻訳ソフトは、教科書や小説、あるいは日常生活で使用される言葉や表現をモデルにして開発されることが多いため、ビジネスの世界の言葉や表現に弱い。辞書だけでは解決できず、推論部分

の修正が必要なものもある。学習機能によって、徐々に解決できるが、安定するまでに時間がかかりすぎる。

⑦コロンやセミコロンなどのピリオド以外の区切り文字がうまく認識できない。

⑧括弧で囲まれたような補足的な文が文中に挿入されると、この挿入部分がノイズとなって、訳文が崩れることが多い。

(6)　今後の課題

①音声認識、音声出力が進歩すれば、自動通訳システムが可能である。

②もっとMIPSとメモリーが必要。

③翻訳機械が翻訳しやすいような英文にするためのプリプロセスが重要。複雑な英文を等価な平易な英文に変換すれば、機械翻訳の精度が飛躍的に向上する。一例としては、接続詞的な関係代名詞を接続詞に変換するとか、タグの自動プリプロセス、あるいは、英語にあって日本語にはない表現をすべて日本語に存在する英語表現で置き換えてしまうことが考えられる。

④ポストプロセスを充実させること。

「である調」、「ですます調」だけでなく、もっと多種多様な変換フィルタが必要である。また、機械翻訳のアウトプットの癖さえ把握できれば、自然な日本語に後で変換することは、さほど難しいことではないので、推敲ロジックの充実も重要となる。

(最後に)

まだ、このシステムは開発途上にあり、試行錯誤の繰り返しを行っている。実際には、ここで紹介した項目以外にも種々雑多なプログラムやエディタなどのサポートソフトが必要であり、解決すべき問題は山ほどある。ただし、機械翻訳ソフトを核に据えるという視点がないかぎり、紙と鉛筆という世界からの展開はなく、ノウハウの蓄積もできないことは事実である。また、一度機械翻訳を使用してしまうと、ワープロなしでは文章が書けなくなるのと同じように、絶対逆戻りはできなくなるはずである。

3.　課題と展望

(1)　コンピュータの利用形態の変化

ダウンサイジングが進み、コンピュータはかつてのように高価な機械ではなくなってきた。また、GUI(Graphic User Interface)に代表されるユーザフレンドリなインタフェースはコンピュータの利用を専門家から非専門家へと解放しつつある。さらに、さまざまなアプリケーションプログラムが開発・市販され、個別業務への適用が可能になっている。このような変化にともなってコンピュータの利用形態も必然的に変わってきている。

大型の汎用コンピュータが中心の時代には、1台のコンピュータの能力を最大限に引き出すことで、その付加価値を評価していた。しかし、上記のような利用環境の変化の下では、個人の仕事のレベルで、思考・判断のためにいかに活用するかということが評価の基準になってくる。

中小企業について考えてみると、特に日本の場合、今後、労働力供給が減少することが確実視されていることからも、個人の持っている知的な資源の活用のためにコンピュータの記憶能力・制御能力を利用することが重要である。

(2)　コンピュータ技術者の役割

中小企業においては特に、個人の果たす役割が大きい。コンピュータに関しても広い視野を持った優秀な技術者が、質の高い情報化の推進のために求められる。前節で述べたように、情報化の主役はコンピュータの専門家ではない個別業務の担当者たちである。このような状況のなかで利用者側のコンピュータ技術者に求められることは、

①業務の遂行に必要なハードウェア(周辺機器を含む)とソフトウェアの選択

②コンピュータシステムの設置・運用・保守

③コンピュータの活用方法に関する啓蒙

といった、コンピュータの利用環境を整備し社内のユーザをリードするような役割を果たすことになるだろう。

(3)　AI普及のために

AIを中小企業に普及させるための課題を以下にまとめる。

①啓蒙活動

今回の調査でAIを導入していない企業が、その理由として挙げていた中で最も多いのが、適用領

域がないということである。反面、80年代の後半から今日にかけて、すでにさまざまな分野でAIシステムが大企業を中心に開発・実用化されている。これらのシステムを事例集として、あるいは、公的な機関によるオープン利用のような形で広める必要があろう。また、適用領域がないという以前の問題として、AIに対する認知度が低いということがあるので、AIとは何かを知らせることから始めるべきである。

②技術者の育成・強化

目先の日常業務に追われがちなコンピュータ技術者にとって、新しい技術を自らの企業に導入するというのは容易なことではない。直接企業の利益にはならなくても技術者自身にイノベーションの機会を与えることが、長期的な企業の技術力向上には必要である。

③パソコンでの気軽な利用形態の実現

中小企業においても、コンピュータの導入はパソコンのレベルで最も多く進んでいる。大型機の端末やWSに比較すると、パソコンユーザの数はけた違いに多いはずである。したがってこれらのユーザをターゲットにした製品開発をベンダは心がけるべきであろう。

④安価な汎用システムの開発

エキスパートシステム構築ツールは比較的汎用性が高いため、製品の低価格化による普及が可能であった。しかし、画像処理・音声認識等の分野ではアプリケーションごとにハードウェアを用意しなければならず、コスト的に手が出しにくい状況にある。

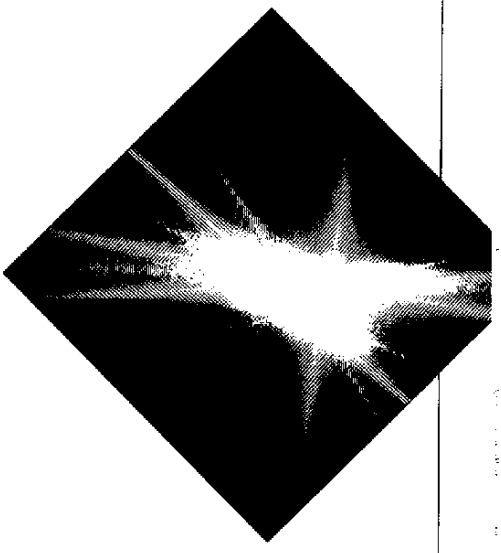
⑤業界ごとの共通知識ベースの開発

個別企業が知識ベース(KB)を開発するのは負担が大きいので、業界ごとに共通する知識については業界全体が共通KBとして開発する必要がある。この共通KBは将来に商品化も可能なものであろう。

⑥使い易いユーザインタフェースの提供

現場のエンドユーザが修正・追加しうるような使い易いインタフェースを備えることも普及のために重要である。

第Ⅲ編　AI技術の動向



第1部　全体動向

1. AI技術の全体像

AI技術のあり方は90年代に入って大きく変貌を遂げようとしている。しかも、最近の動きをみると、この変化は単なる進化に留まらず、基本概念の転換、すなわち、パラダイム・シフトの様相を呈し始めているといってよい状況にある。この動きを典型的に示す事実として、1991年と93年の人工知能国際会議における“The Computers and Thought賞”受賞講演が二つながら、この変革の主唱者たちに与えられているのである。

しかし、ここで注意しなければならないことは、これが一部で言われているように、直ちに「従来型のAIの死」を意味するものとするのは早計に過ぎるものである。従来型のAI、すなわち、“記号”に原点をおいたAI研究にある限界があることは事実であるにしても、人間の知的活動の上層には記号を媒介にした広大な部分があることは明白であり、そこを無視したAI技術は逆に不健全なものになる可能性が高い。従来型のAIが知的活動の非記号的な側面に疎かったのは事実であるが、記号を中心にして考えるという立場も一つの戦略としては十分に成立しうるものである。AI技術の全体像としては、どちらも無視できない存在である。

従来型AIにおける最近の目立った動きとしては、まず、ルールを基礎としたものから具体的な事実や経験の蓄積に基づくものへと、研究開発の対象が推移していることが挙げられる。例えば、推論の比重が減って学習への傾斜が強くなっていること、自然言語処理においては文法を離れて、多数の文例を集成したコーパスを用いるアプローチが注目を集めていることなどが典型的な事例である。また、相変わらずの個別技術の精密化が続く一方で、複数の技術を融合化して実用システムの構築を目指す動きが盛んになっていることも目立つものの一つである。さらに、一時かなり下火になっていた欧米における自然言語処理の研究に、息を吹き替えす気配が出ていることも落とすことのできない事実である。特に、従来と異なり、文脈や語用論的な現象に配慮したものが多くなっているのが最近の特徴である。

次に、AIに新しい次元を導入しようという革新の動きについて、少し詳しくみていくことにしよう。この変革の本質をどう捉えるかは人によって区々というのが現状であるが、一つの見方として次のように総括できそうである。すなわち、従来のAI技術は、主として、知的創造活動の所産を整理し、表現し、活用していくことに役立つものとして構築されてきており、知的創造活動そのものについては、せいぜいそれを支援する程度に留まっている。そのことは、AI技術の出発点が知識表現と推論に置かれていたことに端的に示されている。

知識を生み出すのは人間の仕事であり、それを転移可能な記号表現に変えてシステムに渡し、活用してもらうというのが、エキスパートシステムなどでの典型的なやり方であった。しかし、このような知識を固定的な既製品とするやり方では、新しい事態に柔軟に対応しうるシステムの実現は難しいことが明らかになって、創造的な知的活動のための新しいパラダイムの追求が必要と考えられるようになったのである。

また、外部的な背景として、分子生物学、分子遺伝学、神経生理学、大脳生理学、認知心理学などの著しい進歩によって、脳や心の働きについて深いレベルでの科学的な理解の糸口が見えかかっているという状況があることも確かである。

では、そのパラダイム・シフトの目指す新しい基本概念とはどのようなものであろうか。その本当の解はこれからの研究開発の帰趨に待つしかないが、その方向を考えるための手掛かりの一つが、1991年の人工知能国際会議におけるR.ブルックスの‘The Computers & Thought賞’受賞講演“推論なき知能”である。この受賞はブルックスの以前の論文“知識表現なき知能”に示されたAI研究への新しいアプローチの提唱と実践の業績によるものであるが、上記の受賞講演はそれをさらに一歩進めて、新しいパラダイムの根幹として、状況依存性(Situatedness)、体現性(Embodiment)、知的能力(Intelligence)、創発性(Emergence)の四つの概念を提唱している。

状況依存性というのは、知的能力が現実世界との密接な相互作用を通じて生まれてくるものであり、そうした

現実世界の支えがあって始めて適切に使用されるものであることを指している。従来のAIで扱われた問題は、閉じた世界を前提にして記号表現を用いて定式化されたものであった。ここで用いられる記号の意味はシステム開発者の意識の中にだけ存在するものであり、それを現実世界の表象に直接対応させるような手掛かりは含まれていない。したがって、そのようなAIで実現される能力は、明確な形で設定された問題を解決するだけのものであって、開かれた現実世界での移り変わる状況に適切に対応できるようなものにはなっていないのである。現実世界に直接関わりうる形での知的能力の基本条件が、すなわち、状況依存性ということの内容である。この状況依存性の基本条件を明らかにすることが新しいAI研究の中心課題であり、すでにAI白書の中で何度も取り上げられているコネクショニズムや状況理論、さらにはスキル獲得などAIの行き詰まり状況の打開を目指す新しい研究は、ある意味では、この流れの方向に沿ったものとみることができる。

次に、体現性というのは、知的能力が本当の力を獲得するためには物理的に実現する（embody）ことが不可欠であるという要請である。従来のAIではシミュレーションを主体にした実現が中心であったが、シミュレーションだけではそれをいかに大規模化しても真実から抜け落ちるものがある。体現性が重要なのは、一つには、知的能力に実体を与えることによって、それが現実世界で本当の活動ができることの確認ができることであり、もう一つには、"直接的に現実の世界と接続すること(接地: Grounding)によってエージェント（知的能力を体現したもの）内部の記号表現やシステム群が基盤を持ち、それによって始めてシステムの処理に現実的な意味が生じるからである"[1]。問題の本当の複雑さが現れるのは、AIシステムが現実世界に接地されたときであり、また、"人間の精神活動のうちで特に人間的と思われている事象が物理的な経験に結び付けられている場合が多いこと"が最近の研究で明らかになってきているのである[1]。

さらに、知的能力というAI技術の中心概念そのものが、新しい視点からの見直しを迫られている。従来のAIでは、知的能力の本源は計算エンジンにあると考えられてきたが、それは本源のごく一部でしかないことが進化の歴史から証明される。知的能力に関する進化の時間の多くは、動的な環境における知覚や運動に関する単純な働きを完全にすることに使われているのである。そして、このような低位の能力の基礎があって始めて上位の計算的な知的能力が発動しうるのである。したがって、知的能力を正しく構築するためには、単純な動物をボトムアップのモデルとして用いるのが有力である。知的能力は、現実世界との相互作用のダイナミクスによって決定されるのである。ブルックスのサブサンプション（包含）・アーキテクチャ[2]は、この考え方から生まれてきたものである。

最後に挙げられている創発性は、ある意味で四つの中で最も注目すべきものかもしれない。この性質は、知能がどこから生まれるかという問題に一つの答を与えるものである。AIシステムは多くの要素で構成されているが、それらの要素のどこに知能の核心があるのかという問いに対しては、すでにミンスキーが知識を司る特定の要素というようなものは存在せず、それ自身としては知能を持たない多くの要素間のやりとりの中から知能が発現するという考え方を示している。これが創発性ということの意味である。しかし、従来型のAIにおける創発性と、状況依存性・体現性を踏まえたAIのそれとは大きな違いがある。従来型AIは各要素と現実世界との接点が欠けているため、発現する動作は所定のものとはいわないまでも大体が予期の範囲のものである。それに対して、新しいAIにおける発現は、どういう振る舞いによってどういう動作の流れが生まれるか予想することができないものである。その意味で本当に創発ということができる。

以上のようなブルックスの提言を核にして、新しいAIを目指す動きが一つの流れを形成し、次第にその勢いを増しつつある。その証拠の一つは、米国AI学会の論文誌であるArtificial Intelligence誌が92年に特集"Situated Cognition, Emergent Functionality , Symbol Grounding"を組んだことである。この三つの表題にみられる"Situated""Emergent"、"Grounding"という語の意味は、いうまでもなく上述のものである。

このような主張をさらに広い視野に立って徹底したのが1993年度の同賞受賞講演、北野宏明氏による"Challenges of Massive Parallelism"である。幸いこれのエッセンスを日本語でまとめたものが人工知能学会誌に掲載されているので[3]、詳細はそれを参照していただくことにして話を先に進めることにする。

このような考え方の大きな方向転換を前にすると、われわれの"AI技術の全体像"もまた、大きな試練に立たされることになる。AI白書1993に述べられているように、このような全体像は1～2年のうちに変わるべきも

のではない。これはAIの動向を捉えるための座標系であるからである。しかし、いまAIが経過しようとしている方向転換（従来のものを否定するものではなく、それを包含するものであることに注意する必要がある）が、本当にパラダイム・シフトと呼ぶべきようなものであるとしたら、その変化がまったく読み取れないような座標系であっては、その精度が疑われることにもなりかねない。以下では、上にみたような変化が全体像の中にどのように反映されることになるかを、図表Ⅲ-1-1に沿って具体的に見ていくことにしたい。

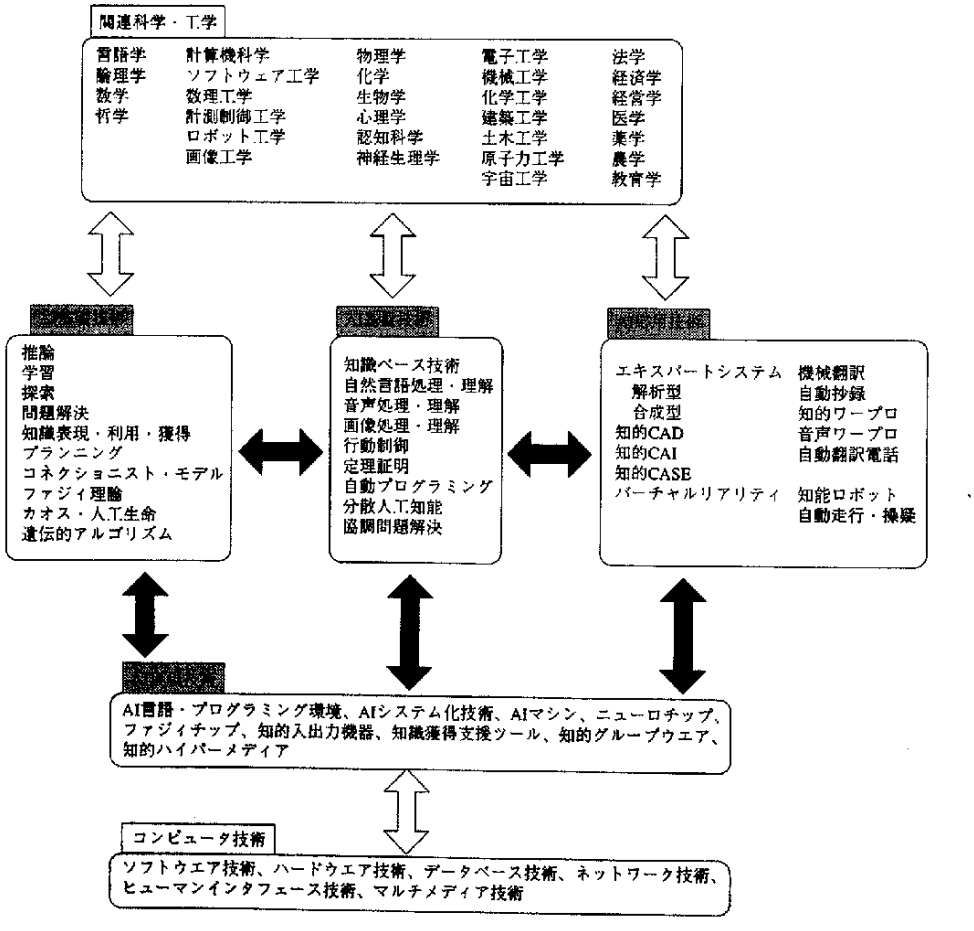
1.1　関連科学・工学

ここに挙げられているのは、AIがその成長のための養分を直接吸い上げている土壌ともいうべき学術分野である。学術研究は、すべてが高度な知的活動であり、その意味ではどの分野をとってもAIと無関係ということはありえない。ここに選んだものは、実績としてAIの発展に大きな影響があった、あるいは、近い将来にそれがありそうなものばかりである。

AIの新方向という観点からみてまず気付くことは、各分野からの影響力についてのバランスの変化である。状況依存性・体現性・創発性の三つに共通する分野といえば、それは哲学と心理学であり、さらに、この二つの連携をとる存在としての認知科学もますます比重を高めている。また、状況性を中心にしてみると、この考え方はもともと教育学の分野で育てられたものであることから、そこからの寄与が大いに期待されるとともに、人類学や社会学などにおけるフィールドワークからの成果も具体的な実例という意味でも、また、体現性重視という意味からも見逃すことができない。

このような分野ごとのバランスの推移とともに、同じ分野内での対立関係にある考え方の間でのバランスの変

図表Ⅲ-1-1　AI技術の全体像



化についても見る必要がある。例えば、哲学の場合を例にとると、従来のAIに影響力を発揮したのは、ヴィトゲンシュタインを思想的源泉とする英米系の論理実証主義哲学ないし分析哲学であった。これらはすべての意味を真／偽に帰着させて、徹底した形式化による合理性を追求する哲学である。これに対して、最近の新しい考え方のベースになっている哲学は、フッサールやハイデガーを始祖とする（ヨーロッパ）大陸系の現象学ないし実存主義哲学である。これらは分析哲学の極端な客観主義と、その対極にある極端な主観主義の接合を目指すもので、概念によって分節化される以前の個々の経験のレベルまで戻って、そこから世界を構成する諸対象の客観性を基礎づけしようとするものである。人間の認識が必ず自分の身体を通じてでなければ生起しえないことを、徹底的に明らかにすることがその哲学の出発点とされている。このような認識が環境との密接な相互作用から生まれることを考えれば、現象学と状況依存性との関係は自ずと明らかになるはずである。

さらに、AIと数学の関係についても相当な様変わりが起きつつある。よく知られているように、数学で展開された理論体系の枠組みは、古典的AIにおける知的システムの規範の役割を果たすものであった。それが実際的なシステムでは、そのままでは通用しにくいものであることはすでに経験済みのところである。これに加えてさらに新しい問題が認識されつつある。

AIの新方向の一つ、創発性の根底にあるのはカオスである。よく知られているようにカオスは非線形現象であり、これを扱う数学は力学系の非線形数学である。非線形の世界では、従来の数学的な手法の多くが無効化することになる。線形数学から非線形数学への転換は、AIにおけるさまざまな情報処理の考え方にかなりのインパクトを与える可能性がある。

1.2 AI基礎技術

ここではAIの基本的な枠組みが示されている。挙げられている11項目のうち、推論からプランニングまでの6項目はAIの主要な機能要素を列挙したものであり、その意味ではより基礎的な次元でのバリエーションを示す残りの5項目とは性質が異なっている。この6項目のうち、探索は問題解決の中に含められることもある。問題はここに認識機能に相当するものがないことである。これが省かれた理由は、いわゆる下位レベルの認識はコネクショニスト・モデルに一任するのがよいと判断したためである。

残り5項目のうち、ファジィ理論は技術の現状から知識表現や推論の項目に吸収するという考え方もありうるが、わが国における注目度の高さを配慮して明示化したものである。コネクショニスト・モデルについては、その内容が多義的であって簡単には説明ができない。ここで多義的というのは、コネクショニスト・モデルの中に知識表現を巡って三つの対立する考え方があることを指す。従来のAIにおいては、知識は記号表現としてシステムの内部に取り込まれて、記号操作の形で局所的に処理されるものとして扱われている。それに対して、典型的なコネクショニスト・モデルにおいては、知識はシステムを構成する各要素間の結合の強さとしてシステム全体に分散化されて表現され、それに対する操作も全体が関係する大域的な動作として実現される。これら二つの考え方においては、記号（集中）表現と分散表現との違いがあるにせよ、いずれもシステム内部に完結的に表現されたものとしての知識を認める点では共通である。それに対して、もう一つの考え方は、そうしたでき上がった概念に相当するものとしての内部表現を認めないものである。すなわち、世界の捉え方はそれに関与するものの構造とそれのなしうる識別の種類によってさまざまであるとする考え方である。いいかえれば、経験が違えば世界の見え方も異なってくるとするものである。したがって、認知とは一つの世界と一つの心が、その世界の一つの存在者の行うさまざまの行為の履歴に基づいて行う設定（enactment）であるということになる。この考え方は、明らかに、前述の現象学の考え方に倣うものである。従来のAIとこの「設定」の考え方の違いを確認するためには、次の表が便利である。

特性項目	従来のAI	「設定」の考え方
問題	明確な形で設定	表現不可能
解決法	発見的な方法	適応的な方法
推論法	ディダクション	アブダクション
動作内容	お仕着せ的	創発的
知識形態	記号的	ノウハウ的
性格付け	外発的	内発的
評価基準	妥当性	生存能力

表の特性項目は、AI基礎技術に挙げたものとかなり近い線をいっている。この表を通して、AIの新方向の一つがその基礎技術にどのような変革をもたらす可能性があるかを垣間みることができる。

1.3 AI基盤技術

ここでいう基盤技術は、基礎技術で確立された手法を利用して、応用システムを実現するのに必要な基本機能をサブシステムとして具体化・組織化するための技術を指しており、視覚・聴覚・言語能力など一まとまりの知的機能に相当する要素技術の集まりである。

基盤技術での主要な動きとしては、多様な知識利用に応じうる大規模な共用知識ベースの実現に向けての努力がある。なかでも実際的な手段として、既成の大規模情報源であるデータベースからの知識獲得が重視されている。

この技術での新しい動きとしては、アクティブ・ビジョンなどの例にも見られるように、外部からの信号を受けて、その表象内容を受け身に判定するものとされてきた認識機能が、実際には積極的な予測を含む能動的な活動であることが明らかになり、AIにおいてもこれに倣うことによって新しい可能性が拓かれるようになっている。これは基礎技術にふれた「設定」の考え方に通ずるものとみることができる。しかし、この意味での新技術が本格的に展開されるのはまだまだ先のことになりそうである。

1.4 AI応用技術

普通の意味での応用技術は、基礎技術や基盤技術をある特定の実際的な用途に役立つように調整し、具体化する技術を指すが、ここではこの技術によって実現される応用システムの種別を列挙している。このようなものを具体化する技術が注目されているという意味である。実用化の比較的進んでいるもの、話題になることが多いものなど、実績のあるものに絞ってあるので数としてはそれほど多くない。

これらのうち、現在も実用として中心的な位置を占めているのはエキスパートシステムである。

応用技術のうちで、上述の新方向との関連性が一番はっきりしているのは知能ロボットである。ロボットは認識系の機能と行動系の機能とを一体として持っているので、アクティブ・ビジョンなどの試みが容易であるためである。

1.5 AI実現技術

AIは人工的な手段によって、人間の知能に匹敵する知的機能を実現しようとする試みである。AI実現技術は、このような人工的手段に計算過程としての実体を与える技術ということができる。D.マーの情報処理系の3水準でいえば、これはアルゴリズムの水準に当たるものである。

この実現技術の具体化における最初の分岐点は、ノイマン型コンピュータによる記号処理の立場をとるか、ニューラル・ネットワークによるコネクショニズムの立場をとるかの選択である。従来型のAIでは、いうまでもなく前者の立場がとられてきたが、状況性、創発性などの新方向を追求するのには、後者の有利な点が多い。

本書では、実現技術の事例研究として学習ツールを取り上げ、特に機械学習の実現技術に焦点を合わせて、分類問題に対する主要手法である知識処理手法、統計的手法、ニューラルネットワーク手法、遺伝的アルゴリズム手法について、それぞれの概要を紹介している。

＜参考文献＞

[1] R.Brooks、五味隆志:複数の要素行動間の競合・協調により知能ロボットの行動を決める「サブサンプション・アーキテクチャ」、日経インテリジェントシステム別冊1992春号、1992.

[2] ICOT-JIPDEC AIセンター編:AI白書1992—人工知能の技術と利用、(財) 日本情報処理開発協会、1992.

[3] 北野宏明:AIマップ—AIにおける科学革命、人工知能学会誌、Vol.8,No.6、1993.

2. 基調動向

人工知能技術が応用面から注目を浴び、いわゆる「AIブーム」を招いてから10年が経過した。今日ではブームやフィーバーと呼ぶべき人工知能の流行現象は去ったが、関連する学会や展示会はさらにテーマを細分化・多様化しながら世界各地で開催され続けている。例えば、分野を限定しない主要な会議としては、全世界範囲であらゆる人工知能の分野の話題を取扱う国際人工知能連合会議(IJCAI)をはじめ、欧州人工知能会議(ECAI)、環太平洋国際人工知能会議(PRICAI)、カナダ、オーストラリア、日本韓国といった地域単位の会議がある。さらに、分野を限れば、知識表現／推論、論理プログラミング、学習、知識獲得、分散人工知能、エキスパートシステム、産業応用といった大きな国際会議から、少人数が参加して活発な討論が行われる各種のワークショップまで多種多様な動きがある。このような状況を見る限りでは、人

工知能の研究開発活動は引き続き活発であり、産業への人工知能技術の浸透は着実に進展しているといえよう。しかし、その一方では、各会議への参加者の減少や、研究分野のタコツボ化など、人工知能研究開発の普及にとって望ましくない事態も発生している。

以下では、1993年7月にアメリカ、ワシントン、D.Cで開催されたAAAI-93（アメリカ人工知能会議）[1]、9月にフランス、シャンベリーで開催されたIJCAI-93[6]、ならびにわが国で開催された諸会議を中心に人工知能の基調動向について報告する。

2.1　共通する研究動向

代表的な国際会議においては、ここ数年来の動向と等しく、学習に関する基礎的な研究の深化と、事例ベース推論を適用するシステムや実世界を対象とするロボット研究開発の増加が認められる。さらには、新たに分散人工知能に関連する研究が盛んになってきたこと、推論・プランニングなどの古典的な問題を分散・協調の枠組みで捉え直そうという動きが広がってきたことが挙げられる。

一方、人工知能理論の細分化への対応策として、全体セッションにおける招待講演では、研究方向の定まった最新の話題について権威者がごく基本的な内容を紹介するというスタイルが多くなってきており、さらに先進的な研究分野については出席者数を限った併設のワークショップで徹底した議論を行う方式が定着してきたと考えられる。特に、人工知能と経済・組織、人工知能とマルチメディア、人工知能と設計、人工知能と教育・娯楽など、これまでに省みられなかったような境界領域における議論はワークショップでしか見られないものである。

ところが、その一方では、図表Ⅲ-1-2に示したように主要な国際会議における参加者数の減少傾向は変わっていない。また、併設される各種の展示会においても同様の傾向が見られる。この理由としては、人工知能技術の普及が一段落したために、各分野ごとの応用指向の会議に出席者が流れていること、人工知能理論の細分化が著しいために少しでも興味の範囲をはずれると発表内容が理解できなくなる傾向が強まっていること、人工知能研究全体に影響を与え得るような大きなブレークスルーがここ数年見られないこと、世界的な経済状況の変化のために海外からの参加が困難になっていることが挙げられる。

2.2　AAAI-93

AAAI-93（アメリカ人工知能会議）は、1993年7月にアメリカ、ワシントン、D.Cで開催された。例年と同様、これに平行して、IAAI-93（AIの先進的応用会議）も開催された。そして、IAAIに対応する新しい用語として、ISAW(Intelligent Systems At Work)という表現が使われている。AAAI/IAAI-93では、2種類のロボット関連のコンテスト、20件のチュートリアル、16種のワークショップ、12件の全体セッション・招待講演・パネル討論が行われている。AAAI-93における技術セッションの分類と論文数を図表Ⅲ-1-3に示す。これらを見て分かるとおり、さまざまな分野の論文の研究紹介・発表が行われており、研究テーマ分類の詳細化が過度に進みすぎているような印象を受ける。その中で、特徴的な傾向としては、研究テーマ分類、AI技術の成熟、自然言語処理、学習、ロボティクスが挙げられる。

従来の研究テーマは、学習・知識表現・推論・自然言語処理などのように、大分類されていたが、AAAI-93ではこの分類は極めて詳細なものとなっている。これは、各分野の研究の深化を示すものである。しかし、一方では、事例ベース推論そのもののセッションは一つだけになっているものの、これに関する理論やシステムの発表

図表Ⅲ-1-2　主要な人工知能関連国際会議の開催場所と出席者の推移

会議名称	開催地	参加者数
AAAI-87	USA, Seatle	4900
IJCAI-87	Italy, Milan	3000
AAAI-88	USA, St. Paul	5300
AAAI-89/IJCAI-89	USA, Detroit	4750
AAAI-90	USA, Boston	4300
AAAI-91	USA, Anaheim	3600
IJCAI-91	Australia, Sydney	1600
WCES-91*	USA, Orlando	1000
AAAI-92	USA, San Jose	2700
AAAI-93	USA, Washington,D.C.	2400
IJCAI-93	France, Chambery	1800
WCES-94	Portugal, Lisbon	400

* WCES: World Congress on Expert Systems

はさまざまなセッションに分散されているという事実もある。さらに事例ベース推論について述べると、相談型・分類型の問題については基本的な技術として成熟してきており、AAAIにおいては大規模問題への適用結果に関する発表もあり、IAAIにおいてもHelp Desk Systemへの応用が数多くなされている。しかし、先進的な話題を扱うはずのCBRワークショップでは、技術の本質とは離れた詳細かつ些細な議論に終始する傾向も見られる。このような状況は、すべての人工知能分野において新しい研究方向を模索中であることを示すものといえよう。

AI技術の成熟については、Simon,H.A.,とFeigenbaum, E.A.の招待講演、ならびに、IAAIの発表にその状況を見ることができる。Simonは「実験科学としての人工知能」と題する講演の中で、基本的な技術が応用問題に比較的容易に適用できるがために、人工知能が形式的な理論のための理論研究に陥っている状況を批判し、実験科学としての側面を重視するように訴えた。Feigenbaumは「おりの中の虎：知識ベースシステムの応用」という講演で、知識ベースシステムは「虎」に相当する潜在的に十分な能力を有するものの、現在のところ「おり」が強いがためにそれが発揮されていないと述べ、AI技術の一層の普及にインフラ整備が重要なことを主張した。また、IAAIにおいては、特に新しい技術の適用成功例は発表されず、従来のAI技術をいかに実用システム化し利益を挙げるかという議論が中心である。

図表III-1-3　AAAI-93技術セッションの分類と論文数

自動推論	8
事例ベース推論	4
機械学習の計算複雑度	4
制約ベース推論	8
診断推論	4
談話分析	3
分散問題解決	8
知的利用者インタフェース	4
大規模知識ベース	4
機械学習	4
自然言語生成	4
自然言語分析	4
非単調論理	8
知識獲得の新しい手法	4
プラン生成	4
プラン学習	4
定性推論	4
実時間プランニング	4
物理システムに関する推論	8
知識表現と推論	4
行為と動きに関する知識表現	4
ルールベース推論	4
探索	8
統計ベースの自然言語処理	3
学習可能な自然言語システム	4
ビジョン処理	4

自然言語処理については技術セッション数が大幅に増加している。その中でも、特に、統計的な処理手法を援用する研究が多い。この中でも最優秀論文賞はCharniakなどの研究に与えられた。これは品詞タギングの新しいモデルとして統計処理に基づく方法を提案し、これをブラウンコーパスに適用して定量的な評価を行ったものである。学習研究については、さまざまな機械学習手法を計算理論的に分析する研究が多く見られる。

さらにロボット関連については、2種類のロボットコンテストが特徴的である。一つは、例年と同様、与えられたタスク（AAAI-93では実際の迷路を障害物を避けつつ探索しながら目標に到達する問題）を解く自律ロボットを各研究グループが開発して、その解の精度・速度を競うものである。もう一つは、会場でチームを組んで（レゴをベースとした）小さな自走ロボットを設計・実現し、迷路問題に対して勝抜きコンテストを行うものである。いずれも多くの観客を集めており、実世界を対象とするロボット研究を普及させようとするAAAIの意気込みを感じさせる。

2.3 IJCAI-93

IJCAI-93は1993年8月28から9月3日にかけてフランスのシャンベリーで開催された。そして16件のチュートリアル、28種のワークショップ、14件の招待講演、7件のパネル討論、2件の受賞講演が行われている。IJCAI-93における技術セッションの分類と論文数を図表III-1-4に示す。ヨーロッパでIJCAIが開催されるのは7年ぶりであり、米国中心のAI研究とは異なる側面がある。その特徴的な動向は、日本人の活躍、新しい特殊なテーマを対象とするワークショップ、分散AIや機械学習などの技術セッションに見られる。

IJCAI-93に参加した日本人は比較的多く100名程度にのぼる。従来の国際会議と異なるのは、その大部分が技術セッションやパネル討論、ワークショップでの発表者だったことである。特に、この会議では、若手研究者に

与えられる人工知能分野での最高の賞である Computer and Thought Award を日本人として初めて北野宏明が受賞したことが挙げられる。彼の研究は、大規模並列コンピュータ上での人工知能システムの開発・実現を対象としており、機械翻訳システムや記憶に基づく推論、遺伝的アルゴリズム、人工生命などとの関連が深い。彼の受賞講演も大規模並列人工知能の今後の重要性を主張する印象の深いものであった。さらに、ICOTの研究開発の成果の一つとして有限体上の定理証明を扱った藤田正幸等の論文と、ロボットビジョンの定性的な解釈問題を扱った國吉康夫等の論文が優秀論文賞を独占した。これら以外の発表でも、日本人の活躍の目立った会議であった。

ワークショップでは、知識の共有と再利用、機械学習と知識獲得の統合、人工知能と人工経済、帰納的論理プログラミング、大規模並列人工知能など先進的ではあるがまだ分野としては未完成なテーマを対象とするものが数多く見られる。これらの発表・討論には未熟なものも多いが、AAAI-93と同様に、人工知能研究の未来を予感させる萌芽的な研究もいくつか見られる。

技術セッションについては、図表Ⅲ-1-3に示したようにAAAI-93とは異なる分類がなされている。機械学習と知識表現・推論のテーマは以前からIJCAIで力点がおかれているものである。これらの発表はいずれも完成度が高く、しかも、AAAIでの発表に比較すると、ユニークな視点からの研究が多い。これは、投稿論文に対する査読の視点・方法の違いによるものであろう。特に知識獲得や分散AIのテーマについてはこの傾向が著しい。また、機械学習セッションの発表は詳細な議論に入り込み過ぎているように思われる。

図表Ⅲ-1-4　IJCA-93技術セッションの分類と論文数

機械学習	36
知識表現	32
自動推論	24
自然言語	24
分散人工知能	20
定性推論と素朴物理	18
ロボティクスと視覚	12
制約充足	12
プランニング	10
論理プログラミング	8
ニューラルネット	8
認知モデル	6
知識ベース	6
知的教育システム	4

2.4　わが国の動向

1993年にわが国で開催された人工知能関係の国際会議は、人工知能研究に直接的に関連するものに限っても、計算論的学習理論ALT，国際神経回路網IJCNN、大規模知識ベースに関する国際会議KB-KS、ゲノム情報処理に関する国際ワークショップなど、非常に数が多くなってきており、いずれも国際的なレベルに達している。これらの参加者数は世界的な傾向と同様に減少しつつはあるものの、計算機関連の研究分野として人工知能は着実に進展しているといえよう。

また、わが国の諸学会における人工知能関連の研究会は、人工知能学会、情報処理学会、電子情報通信学会、計測自動制御学会、神経回路学会、ファジィ学会などに恒常的にもたれており、共催の研究会が開催されることも多い。そのほか機械学会、電気学会、ロボット学会などの主要な学会においても人工知能関連の研究会がしばしば開催されている。最近の、研究レベルの向上は著しく、理論的研究ばかりでなく応用研究も非常に盛んである。特に、応用システムにおける人工知能技術レベルの高さがわが国の人工知能研究の特徴となっている。

今後の動向としては、知識共有と再利用や知識ベース技術の標準化の研究［2］、論理プログラミングの理論面・応用面での発展［4］、システム技術としての統合化［5、7］や、ニューラルネット、ファジィ理論、人工生命、自律的発展システムなどの新しい技術［3］の導入が重要なテーマとなってくると考えられる。

＜参考文献＞

［1］ Proceedings of 11th National Conference of Artificial Intelligence. 1993.

［2］ 人工知能学会誌：特集：知識の共有と再利用，Vol. 9, No. 1, pp. 29-33, 1994.

［3］ 計測と制御：特集：知能システム，Vol. 33, No.1, pp. 1-8, 1994.

［4］ Comm. ACM: The Fifth Generation Computer Project: Personal Perspective. Vol. 36, No. 3, pp. 48 - 101, 1993.

［5］ Gonzalez, A. J., Dankel, D. D.: The Engineering of Knowledge-Based Systems-Theory and Practice. Prentice-Hall, 1993.

［6］ Proceedings of 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Vol. 1 and II. 1993.

[7]　寺野隆雄：知識システム開発方法論．朝倉書店，1993.

3.　個別動向

3.1　AI基礎技術の動向

3.1.1　経験的学習

3.1.1.1　経験的学習と知識獲得

エキスパートシステムは、人工知能研究の実用化の顕著な例であるが、Feigenbaumも指摘しているように知識獲得がボトルネックになって、各分野への浸透が滞っている。

これまでに開発されてきた知識獲得の方法論は、専門家に対するインタビューを介して専門家の持っている暗黙的な知識をコンピュータで扱えるルールの形に変換するというものであった。このような方法は時間がかかるばかりでなく、得られたルールの信頼性にも問題を残すものであった。

インタビュー法に代わって近年注目を浴びているのが、経験的学習による知識獲得の機械化である。それは、専門家による判断、あるいはシステムの操作などのデータを集積し、それを機械学習システムによって決定木に変換する方法である。ここでは、そのようなシステムの仕組みと応用例について述べる。また利用可能なソフトウェア・システムを紹介する。

3.1.1.2　決定木の自動作成システム

データから決定木を作成する学習は、各データにそれが分類されるべきクラスが与えられているので、教師つき学習（supervised learning）と呼ばれている。例えば、図表III-1-5はチョコレートのシルエットであるが、ロボットによってこれらのチョコレートを箱の中の正しい場所に詰める作業を行わせるためには、このシルエットの画像解析をしてそれがどのチョコレートかを見分けることが必要となる。このとき、チョコレートの種類が分類すべきクラスに対応している。

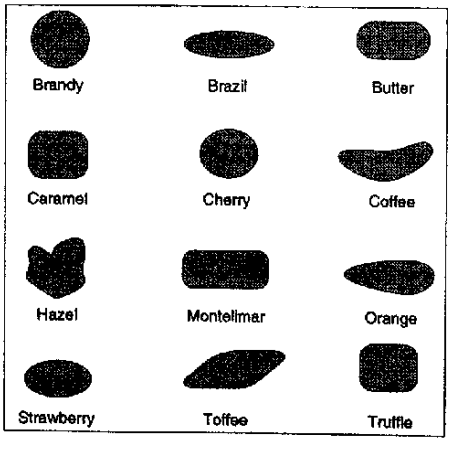
医師が患者を診察して、例えばその患者が胆石かどうかを判断するのも、決定木の作成問題として考えられる。そのときのクラスは、その患者が「胆石である」場合と、「胆石でない」場合の二通りである。

機械学習の他の重要な問題に、教師なし学習（unsupervised learning）がある。それは、分類すべきクラスが与えられていない場合の学習問題で、分類クラスを見つけること自体が問題となる。たとえば、自動車の市場調査で今利用者はどんな車を望んでいるのかを知るためにアンケート調査を行い、それを整理するときにクラスタリングを行うが、これは一種の教師なし学習である。

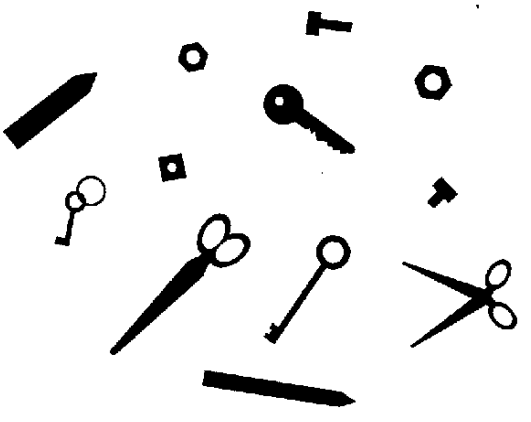
教師つき学習と教師なし学習は、このように目的が異なり、手法も異なる。ここで取りあげる経験的学習は、すでに述べたように教師つき学習に属するものである。教師つき学習に必要なデータは、いくつかの決められた属性についての値の組からなる集合である。集合の各要素は一つの観測レコードを表す。Quinlanによって開発されたID3 [1] では、各属性は離散値しか仮定していない。その後に開発されたC4.5では、連続値も許している。

次に、簡単な例を用いて、ID3による決定木の作成アルゴリズムを紹介しよう。（以下の例題は、Ivan Bratko

図表III-1-5　silhouetteからのブラックマジック・チョコレートの形



図表III-1-6　いくつかの物体のカメラ・イメージ



著“Prolog Programming”から採った。）

問題は、図表Ⅲ-1-6のような、鉛筆、はさみ、鍵、ボルト、ナットのシルエットを分類する問題である。シルエットの各例は、そのクラスの名前（鉛筆とかはさみなど）、および各例についての、大きさ、形、穴の数の3つ組で図表Ⅲ-1-6のように与えられるものとする。そのとき、ID3が行うべきことは、図表Ⅲ-1-7のような決定木を作ることである。

このよう決定木を作るには、どうすればよいであろうか。決定木は一つのルートから始まり、各分岐点で一つの属性を調べている。そして、例をその属性の値によって分類している。得られた例の各部分集合に対して、分類によって得られた部分集合がすべて同じクラスの物になるまで同じ処理を繰り返す。

すなわち、基本的には、決定木作成アルゴリズムは分割統治法（divide and conquer method）になっている。

ここで問題となるのは、どの属性を先に選ぶかによって決定木の形が変わり、その選び方によっては決定木が深くなってしまうことである。決定木の深さは、それを用いて未知のシルエットのクラスを決めるのに時間がかかることを意味するので、好ましくない。Quinlanが用いた方法は、情報量を選択基準とする方法である。例えば、今クラスが二つの場合を考え、n個のデータがあったときに、属性aはそれを1個とn-1個に分け、属性bは、それをn/2個ずつに分けるとする。そのとき、明らかに属性bによる分類の方が好ましい。それは、属性aを選んだ場合、その属性による判定の結果、ほとんどの場合は分類が進まないからである。これは、その判定によって得られる情報量が小さいことを意味している。逆に、属性bを選ぶと、結果として得られる部分集合の大きさは半分になるので分類が進む。このとき得られる情報量は1ビットである。

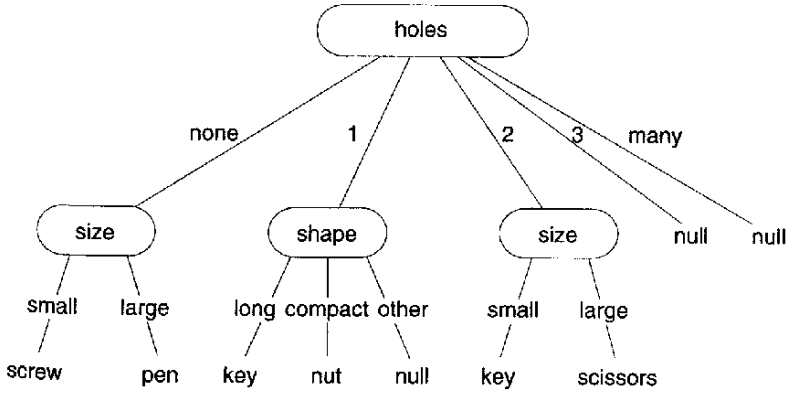
分割統治法の利点は、計算量が少なくて済むことである。最適な決定木を得るためには、各時点で情報量が最大となる属性を選ぶ方法では不十分で、場合によっては、他の順序の方が全体としてはコストの少ない決定木となることもあり得る。すなわち、常に情報量最大の属性を選んでいくと、局所的に最適な解に落ち込んでしまう危険性がある。これに対してBuntine等は、Bayesの定理に基づく、全体としても最適な解を得る方法を提案している。しかしながら、情報量によるID3の方式は、計算量が少ない割に結構精度が良いことが知られている。

入力データ中にノイズがある場合の処理が問題となる。ノイズは、例外的なデータとも考えられ、その存在により決定木は大変複雑なものになってしまう。具体的には、葉の部分に、たった一つの例外データが現れるような決定木が得られてしまう。この問題は、決定木を適当に枝刈りすることによって回避することができる。例えば、今100個のデータがあったときに、ある属性aを持っているデータが99個で、それがすべてクラスcに属し、持っていないデータが1個で、それが別のクラスに属しているときは、属性cによる分類を止めて、その葉のクラスをcと決めてしまう。

もう一つの問題は、観測データが含んでいる情報それ自身の問題である。データが分類するのに足るだけの十分な属性を持っていれば、このアルゴリズムによって適正な決定木が得られるが、もし不十分な場合には、同じ属性値の組にもかかわらず異なったクラスに属するデータが存在することになり、決定木を作ってもそれがクラスを一意的に決定できないものとなってしまう。

決定木作成システムが知識獲得にとって優れている点は、得られた決定木が人間よって容易に解釈できることである。これは、専門家が得られた決定木の妥当性を容易にチェックできるという点においても重要である。また、決定木をプロダクション・システムにおけるプロダクション・ルールに変換するシステムも開発されている[2]。

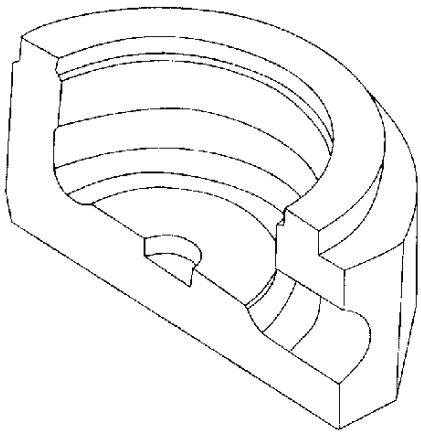
図表Ⅲ-1-7　図表Ⅲ-1-6のカメラ・イメージの属性表現から得られる決定木



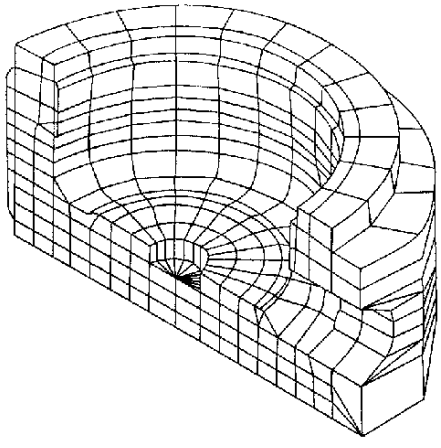
3.1.1.3　背景知識の利用

ID3およびその拡張のC4.5では、学習される決定木は命題論理で記述できることが知られている。ところで、背景知識を利用してより現実的

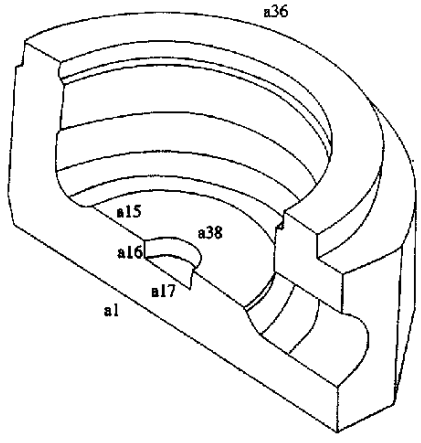
図表III-1-8　解析される構造物の例



図表III-1-9　図表III-1-8の構造物に対するメッシュの例



図表III-1-10　図表III-1-8の構造物に対するエッジの名前付け



な問題についての学習を行おうとすると、命題論理だけでは不十分で、一階述語論理、あるいはその部分集合であるHorn論理を必要とする。

例えば、例からのプログラムの合成でquicksortプログラムを学習させようとすると、リストの要素を、ある要素よりも小さいか等しいものと大きいものの集合に分けるpartitionプログラム、および二つのリストをつなげて新たなリストを作るappendプログラムの知識が必要である。

このような背景知識を与えて、それらの用語を用いて新たな概念の記述を学習するシステムが、いくつか提案されている。それらは、Muggleton & FengによるGOLEM、QuinlanによるFOILなどである。

例として、有限要素法でのメッシュの切り方を学習するプログラムについて述べよう。この例は、[3]から取ったものである。例えば、図表Ⅲ-1-8のような構造物に対して、図表Ⅲ-1-9のようなメッシュを求める問題である。有限要素法で最適のメッシュを決めるのは、それほど単純な問題ではない。メッシュは、対象物の形を正確に反映したものでなければならない。応力による変形が大きいと思われる箇所は、メッシュは細かくしなければいけないし、それが小さいと思われるところは粗くてよい。そして、最も粗いメッシュの 部分でエラーが十分小さければ、そのメッシュは満足すべきものとなる。もし、それを必要以上に細かくすると、その細かさの程度に比例したサイズの線型代数方程式を解かなければならなくなる。

どの部分のメッシュを細かくして、どの部分を粗くすればよいかを決めるには、対象物の形、負荷、境界条件などの多くのパラメータを考慮する必要があるので、大変難しい。普通、何回かメッシュを決め直すことが必要になる。一つのメッシュでの計算に数日を要することもあるので、その繰り返しは、大変高くつく。ここで紹介する方法は、そのメッシュの設計の自動化の試みである。

機械学習システムGOLEMは、正例、負例および背景知識を与えられて、その背景知識の下で、負例を含まない範囲で正例を一般化する。一般化の方法は、Plotkinの相対最小汎化（Relative Least General Generalization：RLGG）による。

RLGGは、最小汎化(Least General Generalization: LGG)を、背景知識がある場合に一般化したものである。これによって、背景知識として与えられた用語を用いて学習すべき概念が記述されることを可能とするので、部品を

与えて概念学習を行っていることになる。このため、そのような用語の定義を与えない場合に比べて、より複雑で実用的な概念の学習が可能となる。これは、学習システムに対して、バイアスを与えていることになり、全く零からの学習に比べて制限されているが、背景知識を利用できる点で優れている。その意味で、背景知識が最も重要である。

有限要素法の例での背景知識は、次のような5種類のデータから成る。ここで、各エッジには、図表Ⅲ-1-10のような名前を付けるものとする。

・各述語のモードと、その述語のボディに現れると予想される補助述語

例えば、determ (mesh (-,-)、mesh (-,-)) は、mesh述語は再帰的になる可能性のあることを示している。

・エッジのタイプ

重要で長いエッジ、重要で短いエッジ、重要でないエッジ、円、半円、円形の穴、半円の穴、など12種。例えば、not-important (a2)は、a2が重要でないエッジであることを表す。

・境界条件

自由、片側固定、両側固定、完全固定の4種

・負荷

境界条件と同様で、負荷なし、片側負荷、両側負荷、連続負荷の4種。

・幾何学的表現

エッジの隣接関係、対抗関係および同じ長さや同じ形を表す同等関係。

実験では、75の正例、618の負例、および588の背景知識が与えられた。そして、GOLEMによって得られたルールを図表Ⅲ-1-11に示す。

これらのルールは、エッジの形状や隣接関係などが与えられたとき、そのエッジをいくつのメッシュで切るか

図表Ⅲ-1-11　Appendix D:GOLEMによって導かれたルール

```
mesh (A, 1):- not_important(A).

mesh (A,1):- shoft_for_hole (A).

mesh (A,2):-
        important_short(A),
        neighbour (A, B),
        fixed (B),
        not_loaded (B).

mesh (A, 2):-
        important_short (A),
        neighbour (B, A),
        not_important (B),
        not_loaded (B).

mesh (A, 2):-
        important_short (A),
        free (A),
        neighbour (B, A),
        not_loaded (B).

mesh (A, 2):-
        free (A),
        one_side_loaded (A).

mesh (A, 2):-
        important (A),
        opposite (A, B),
        important (B).


mesh (A, B):-
        same (A, C),
        cont_loaded (C),
        mesh (C, B).
```

```
mesh (A,3):-
        important(A),
        not_loaded (A),
        neighbour (B,A),
        important_short(B).

mesh (A, 3):-
important_short (A),
        cont_loaded (A),
        neighbour (A, B),
        not_important (B),
        neighbour (C, A),
        C\==B,
        not_important (C).

mesh (A, 7):-
        important (A),
        one_side_loaded (A).

mesh (A, 8):- circuit (A).

mesh (A,9):-
        important_long (A),
        one_side_fixed (A),
        not_loaded (A).

mesh (A, 12):-
half-circuit (A).


mesh (A,B):-
not_loaded (A),
        same (A, C),
mesh (C, B).
```

を提案、1949年にはD.O.Hebbが学習の神経回路網レベルでのメカニズム（いわゆるHebbの学習ルールの原型）を提案した。N.Wienerがシステムの中を流れる情報のさまざまな働きに着目して"Cybernetics"を出版したのも1948年であり、この中でも計算機と脳の関係が論じられている。情報処理と結びついたニューラルコンピュテーションの研究の源流はこのあたりに求めることができる。

その後、1950年代末から1960年代の初頭にかけて、F.Rosenblattによって、学習するパターン認識ネットワーク「パーセプトロン(Perceptron)」が提案され、また、B.Widrowによる適応的なニューロンモデル「アダリン(Adaptive Linear Neuron)」および多数のアダリンの出力の多数決をとるような階層型ネットワーク「マダリン(Many Analines)」の提案などがあり、「学習／適応」に対する漠然とした期待の下に、工学的な研究がかなり盛り上がった。また、この時期には、E.R.Caianielloが神経方程式と記憶方程式を提案し脳の基本的機能を説明したりしているほか、電子計算機を使った科学技術計算の黎明期でもあり、B.G.Farleyらは、ニューロンモデルをランダムに結合したネットワークをシミュレートして、興奮パターンのダイナミクスを観察したりしている。

こうした状況に対して、M.MinskyとS.Papertは、1969年に「パーセプトロン(Perceptrons)」を出版し、パーセプトロン的なネットワークの計算能力および学習能力についての理論的な検討を与え、「学習／適応」への漠然とした期待に批判を与えた。これに加えて、当時の計算機のシミュレーション能力の不足などもあり、1970年代には、少なくとも米国においては、神経回路網モデルを使った学習／適応的な情報処理の研究は下火になった。しかし、この時期には、T.Kohonenによる連想記憶、競合的な自己組織化による特徴抽出（後のLVQ(Learning Vector Quantization)の原型）の研究、von der Mulsburgによる視覚系の競合的な自己組織化モデルの研究、東京大学の甘利による多くの理論的な研究、東京大学の中野による連想記憶モデル「アソシアトロン」の提案、大阪大学の福島による学習的な視覚認識モデル「コグニトロン」と、それを多数並列化し、位置ずれ不変な認識を達成する「ネオコグニトロン」の提案、などの研究がなされている。米国でも、S.GrossbergやM.Arbibといった少数の研究者を中心として、個別的なトピックスに関する研究が継続されていた。

1980年代に入って、D.Rumelhartらのいわゆるコネクショニスト・グループが、人間の認知過程を相互作用しながら並列に動作するモジュールの相互制約充足過程としてとらえ、その計算機構として神経回路網に類似した多数の簡単なユニットが相互に結合したネットワークを用いる研究を開始した。結果的に、彼らは1986年の論文で、多層の階層的なネットワークに対する学習アルゴリズムである誤差逆伝播学習を提案するに到る。誤差逆伝播学習は、ネットワークの出力と教師信号の間の誤差を一種の勾配法によって小さくしてゆくもので、そのアイデアはきわめて単純であり、同様のアイデアは他の研究者によっても過去に提案されていた。勾配法の宿命として、学習の初期状態の選びか方によっては、誤差を極小にする点で学習が停止してしまうという問題点がある。

にもかかわらず、彼らはいくつかの小規模な問題で誤差逆伝播学習がうまく働くことを実験的に検証してみせた。さらに、彼らのグループのT.Sejnowskiらによる誤差逆伝播学習法の英文のテキスト-音素変換の学習への応用（NETtalk）や、ソナー反響信号の識別への応用など、比較的規模の大きな問題での有効性が示されると、誤差逆伝播学習への工学的な期待が高まった。

一方、統計物理をバッククラウンドとするJ.J.Hopfieldは、1982年の論文で対称な重みの結合を持つ相互結合型のネットワークの動作がエネルギー関数の極小化過程として理解できることを示し、連想記憶のモデルを提案した。これは、中野の「アソシアトロン」をより洗練したものと言える。さらに1985年には、ネットワークを使って巡回セールスマン問題などの組合せ最適化問題を解く方法を提案、こちらでもまた、ニューラルネットワークモデルの工学的な有効性への期待が高まった。

こうした新しいトピックスの発生とワークステーションの普及と発達によるシミュレーション環境の飛躍的な改善とがあいまって、1980年代半ば頃から再びニューラルコンピュテーションの研究が活性化し、現在に到っている。

図表III-1-13は現時点の技術および研究分野を簡単なマップとして整理したものである。技術全体を大きく基礎技術と応用技術に分けた。さらに基礎技術を、研究の対象によって、実際の生物の神経系に関する研究（数理的、認知的なモデルの研究も含む）、工学的な情報処理モデルに関する研究、そして、ハードウェアやシミュレータなどのシステム化、実装技術に関する研究に分けている。一方応用技術は、主に学習機能を利用したパターン認識、

診断、予測、などへの応用と、最適化機能を利用した最適化、計画への応用に分けた。さらに、将来の方向として、知的システムの構築における要素技術としての応用が期待されている。以下の各節では、このマップでの分類に沿って、基礎技術、応用技術の動向を概説する。

(2)　基礎技術の動向

基礎技術は、生物系の研究、工学的なモデルの研究、そして、ハードウェアなどのシステム化研究に分けて概説する。

まず、生物系の研究における最近の大きな話題は、PET, SQUID, 光 CT などの無侵襲の神経活動計測技術、および、電位感受性染料を用いた光学的な神経活動計測技術の開発であろう。前者によって、人間を被験者として高度な認知過程における神経活動を解析することが可能になった。O.V.Lounasmaa らは、122チャンネルの SQUID を利用して、音を聞いたときの脳の活動部位を調べたりしている。日本でも超電導工学研究所によって200チャンネル規模の装置の研究開発が進められている。北海道大学の田村らは、光 CT によって脳の血流量および血液中の酸素濃度を計測し、人間がいろいろな課題を実行するときに、脳の酸素消費／供給が適応的に変化することを示している。

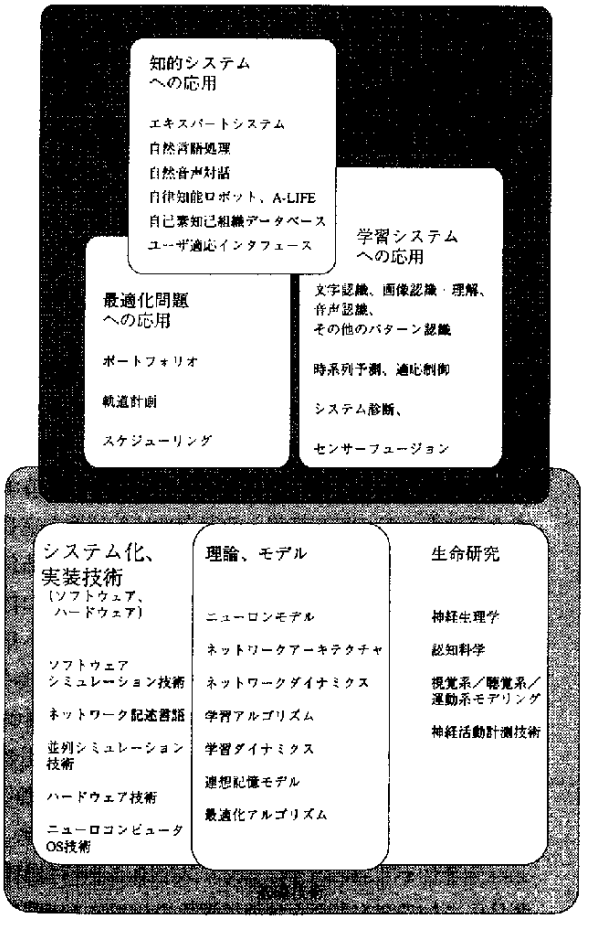
一方、後者は、神経組織に電位によって光学的性質が変化する特殊な染料を塗り、それをイメージセンサで観察するもので、多数の神経細胞の活動を同時に、高い時間空間分解能で記録することを可能にした。例えば、電総研の松本らは、128×128 の MOS イメージセンサによる観測システムを構築し、海馬のスライスの活動などを観察している。

また、従来からの微小電極を用いた神経活動観測技術も洗練され、猿などを用いてかなり高度な認知行動活動における神経系の働き方が観測されるようになってきている。例えば、電総研の山根らは、猿の下部側頭葉において、人の顔に特異的に反応するニューロン群を同定し、それらの活動が、さまざまな顔をどのように表現しているかを解析している。また、理科学研究所の田中らは同じく下部側頭葉において、ものの形がどのように表現されているかを解析している。また、東京大学の宮下らは、CGで生成したフラクタル図形を刺激として使い、図形の連合学習時の側頭葉の活動のダイナミクスを解析している。

このように、今後、脳の活動に関する観測データがある程度豊富に得られるようになることが期待できる。したがって、それらのデータを解釈して生物の神経系に即した情報処理のモデルを構築することが重要な問題となるだろう。これは別の言い方をすれば、神経回路網レベルでの知見に対して、情報処理システムとしての観点から意味付けを与えることでもある。T.Sejnowsky は、このような研究領域を「計算論的神経科学 (Computational NeuroScience)」と呼んだ。これに関連する代表的なトピックスとしては、海馬を含む記憶系のモデル化の研究、脳内での情報の表現様式の研究、学習の実現方式の研究などが挙げられる。

最近、ATR の川人らは、視覚野や運動野などの入出力に近い系の情報処理モデルを提案している。それは、入力から階層的に処理を行う順方向の回路によって、物理世界の近似的な逆モデル（例えば、網膜像から実際の物理的世界を復元するためのモデル）が構成され、逆方向のフィードバック

図表III-1-13　ニューラルネットワーク技術マップ



回路（高次野から低次野に信号を戻すような結合）によって、順モデルが構成されているという主張である。実際の脳の機能がこのようなモデルで捉えられるのかどうかを検証することは興味深い。また、D. Rumelhartらは、脳内の化学的なプロセスによる情報伝達をより積極的にモデルに含めていくことを提案しているが、これも興味深い方向である。

一方、工学的な情報処理モデルの研究に関しては、誤差逆伝播学習、Hopfieldネットワーク、Boltzmann Machineなどの提案以来、本質的に新しいアイデアは出ていないと言える。誤差逆伝播学習に対しては、さまざまな学習の加速法／改良法が提案されている。加速法には、学習の初期値設定を改良するもの、最適探索技法を改良するもの、学習事例の与え方を改良するもの、などがある。例えば、R.L.Watrous ら多くの研究者によって、誤差関数の二次微分情報までを利用して最適化探索を行う方法が提案された。また、過去の探索履歴や誤差の減り方をある程度記憶しておいて、それを利用して次の探索地点を決める方法も提案されている。なかでも、G. FahlmanのQuickPropは、現在の探索地点と一つ前の探索地点のデータから誤差関数を二次式で当てはめ、その最小点を次の探索地点にするという方法で、簡単な方法ながらかなりの効果があると言われている。

また、R.J.Williams を始めとする多くの研究者が、誤差逆伝播学習を階層的なネットワークの学習から回帰結合を含む一般的なネットワークの学習へと拡張することを提案した。そうしたネットワークを用いた時系列パターンの学習的な処理は最近の重要なトピックスである。また、シグモイド以外の入出力関数を持つユニットの使用や、平均二乗誤差以外の誤差評価関数の使用なども検討されている。例えば、T.Poggioらは、標準正則化理論の考え方から、関数近似に適したユニットの入出力関数を導出している。

一方、学習アルゴリズムがさまざまな問題に適用されてゆくにつれて、そもそもどの程度複雑な事柄ならば実際的な時間やデータ量で学習できると期待できるのか、という学習の本質的な能力に関する基礎的な疑問が問題になり、理論的な研究が盛んになっている。さまざまな学習問題に対して必要な計算時間や、学習サンプルの量などが評価されている。J.S.Judd は、3層のしきい素子ネットワークの学習が入力ユニットの数をスケールパラメータとしてNP 完全であることを示した。また、E.Baum は、経験平均の理論平均への一様収束性の速度の評価を与えるVC 次元の考え方を用いて、ニューラルネットワークの安定な学習に必要なサンプル数を導いている。

また、これに関連したトピックとして、限られた学習データから、できるだけ汎化能力の高い学習結果を得ることを目指すような研究も行われている。一般には、ネットワークの実現可能な関数の範囲ある意味で広いほど、その中の一つの関数を学習するために必要なサンプルは多くなる。そこで、問題にあったコンパクトな構造のネットワークを構成することが重要になる。このためには、AIC, MDL, Bootstrap, Cross-Validationなどの統計的なモデル選択技法を使ってネットワークの構造を選択する方法や、学習の評価関数に、ネットワークの複雑さを評価する項を組み込んで学習させることによって、学習の途中で自然に不要な結合が消えていくようにする正則化あるいは weight decay と呼ばれる方法などが提案されている。

現実的な時間とデータ量で学習的に獲得できる構造はそれほど大きなものでないとすれば、より複雑で大規模な課題を学習するためには、その問題に適した構造をあらかじめネットワークに組み込んでおくことが必要になる。この方向の研究としては、ネットワークをモジュール化する研究や、おおまかにモジュール化されたネットワークをさらに自己組織化によって洗練させる研究などが行われている。M.Jordan らは数個の部分ネットワークを使って、個々のネットワークの学習と、それらを入力に応じて自動的に切替えて使うことの学習とを同時に実現する学習アルゴリズムを提案している。

また、より高度な学習システムやより高性能な最適化システムを狙うものとして、論理的な推論、ファジィ推論、遺伝的アルゴリズムなどとニューラルネットワークとを組み合わせたハイブリッドなシステムへの期待が高まっている。ファジィ推論との組合せは、制御を中心としたいくつかの応用で有効性が認められ始めている。例えば、東芝の山口らは、ニューラルネットワークとファジィ推論とを組み合わせて、4ファンのラジコンヘリコプターの制御を実現している。遺伝的アルゴリズムは、主に、ニューラルネットワークの構造獲得に応用されている。また、カオスニューラルネットワークもわずかずつではあるが支持を広げているようだ。しかし、その工学的な有効性はいまだにはっきりとはしていない。

ハードウェア、シミュレーション技術は着実に進展し、商品化されているものも含めて複数のシステムが開発さ

れている。商品化されている専用の加速ハードウェアを用いたシステムのシミュレーションスピードは最も速いもので1000 MCUPS程度、普及型のもので、1-5 MCUPS程度（1 MCUPSは1秒間に誤差逆伝播学習の重みの更新を100万回行える速度）である。製品も一通りの淘汰を経て、ネットワークの構築や状態のモニタなどのインターフェースも使いやすいものになってきている。

チップとしての実現方法には、大きく分けてアナログニューロン方式とディジタルニューロン方式があり、どちらが優れているかに関する結論は出ていない。並列性と相性のよい光デバイスを利用したチップ化の研究もある。人工網膜チップ、ウエハースケール集積技術を用いたシステムなど、実用化に近づいたものが現れはじめ、一部には商品化されているものもある。現在の集積度は1チップあたり10－100ニューロン程度のものが多い。また、多くのチップを結合して使うタイプのものもある。

(3)　応用技術の動向

実用的な応用場面において大きな割合を占めているのは、ニューラルネットワークの学習能力を利用した、パターン認識、制御、診断、予測システムである。画像、音声の認識、ロボットの制御、故障診断、医療診断、自然言語処理、などへの応用が検討されている。また、多種の入力を統合するセンサーフュージョンへの応用なども試みられている。また、回帰結合を含むネットワークを用いて、ネットワークの内部状態によって処理の文脈を表現し、文脈を考慮しつつ、かな漢字変換や翻訳などの自然言語処理を実現する研究もある。

実際に使われているシステムの例としては、経済指標や株価・相場予測、債券格付け、製鉄業での高炉の制御や製造プロセスの異常診断、信号解析、家電製品の制御、文字認識、豆腐製造機械の制御、米の味の診断、果物の自動選別、などがある。これらのシステムでは、単純な誤差逆伝播学習の適用ではなく、問題領域に固有な構造を組み込んだネットワークの使用や、通常のシグモイド型のユニット以外のユニットの使用、複数の学習方式の併用、などの工夫が行われていることが多い。

一方、最適探索への応用としては、LSIの設計、証券ポートフォリオ、スケジューリング、などが試みられているが、多くは研究段階に留まっているようである。この分野は、他の多くの最適化技法との競合が厳しい。また、相互結合型のネットワークは結合の数が多くなり、計算時間がかかるため、実際に使われるようになるためには、高速な並列ハードウェアの実現が望まれる。

知的システムへの応用としては、エキスパートシステムにおける知識獲得の自動化にニューラルネットワークを利用する研究が多い。この他にも、知能ロボット、自動走行車、適応的プラント制御などへの応用が検討されているが、多くは研究段階である。しかし、これらは今後展開が期待される分野であり、こうした方向について、次節でもう少し詳細に検討する。

(4)　記号処理AIとの統合

すでに述べたように、ニューラルコンピュテーションの応用対象は、現在のところ、パターン認識や最適化といった既存の問題が主であるが、今後の重要な研究方向として、自律的な知能ロボットに代表されるような知的システムへの応用が考えられる。

知的な情報処理システムの実現を目指す研究としてはいわゆる人工知能の研究があるが、近年の人工知能の研究は、エキスパートシステムに象徴されるように、論理式などで表現される知識を形式的に処理する、記号処理を中心とした技術の様相を呈している。これに対して、現在のニューラルネットワークモデルの最大の特徴は図形、画像、音声などのパターン的な生のデータを大量に、しかも、適応的に処理することができる点にある。その反面、論理式などの構造的／記号的な対象を扱って深い論理的な推論を行うことなどは苦手である。

このような違いがあるが、記号的なAIにせよ、ニューラルネットワークにせよ、その処理の本質的な内容は、認識、診断、予測、制御にわたっており、共通性が高い。この意味では、同じ目標に対して、AIとニューラルネットワーク、あるいは、シンボリズムとコネクショニズムという二つのアプローチが存在している、と見ることができる。そこで、まず、知的なシステムを実現するにあたっての本質的な問題を、1)処理対象に関する情報と知識をどのように表現するか、2)知識をどのようにして獲得するか、3)推論／処理をどのように効率的に、計算量の組合せ爆発を避けつつ実行するか、の三つに整理し、このそれぞれについて、現在の記号処理的なAIとニューラルネットワークの特徴を対比して図表Ⅲ-1-14に示した。

このように整理してみると、ニューラルネットワークとAIにはかなり相補性があることがわかる。元来、人間と現在の計算機との関係自体がニューラルネットワーク的なシステムと記号処理的なシステムとが相互に補いあって高度な情報処理能力を得ていると見ることができるのであり、ニューラルネットワークのような、生に近

いデータを適応的に扱っていけるシステムと言語レベルの知識を扱える記号処理的なシステムとを他方のアプローチの長所を活かした形で統合していくことによって、両者の持つ欠点を回避し、柔軟な情報処理能力を持つ知的なシステムを実現しようと考えるのは自然である。

また、例えば、知能ロボットのように、パターン的な情報と記号的な情報の両方を柔軟に統合的に扱うことの必要性は、情報処理システムが扱う情報の多様化に伴い、これからますます増えてくると思われる。

通商産業省の第五世代コンピュータ計画においては、論理をベースとした情報／知識の表現を使い、並列推論マシンによる高速な知識処理を実現したが、その後を受けて、1992年度から10年間の予定でReal World Computing Programが始まっている。この計画は、時々刻々と変化し、不完全でかつ矛盾を含み複雑に関連しあった実世界の情報に対処するために、これまでの論理的な情報処理に加えて、人間のような直観的情報処理を取り入れることによって、人間と協働できるような柔軟な情報処理システムの技術基盤を確立することをめざすもので、そこにおいても、このような記号処理とパターン処理との統合は一つの重要な課題とされている。

以下では、先に示した知的情報処理の三つの問題に対応して、「統合」をとりあえず、情報／知識の表現の統合、知識の獲得における統合、探索における統合に分け、現在の状況を概観し、方向を探ることにしよう。

まず、処理対象の表現については、ニューラルネットワーク上で、木やリストのような構造的な対象を表現し、操作しようという試みがいくつかある。たとえば、P.Smolenskyらは木構造のデータを、木構造の中の位置を示すパターンベクトルとそこに付随する値を示すパターンベクトルとのテンソル積の和を取ることで表現する方法を提案している。しかし、実際的な効率までを考慮したものは少ない。

逆に、AIの側から見ると、例えば、一階の述語論理は表現形式としては十分強力であり、効率さえ厭わなければパターン的な情報を扱うこともできるためか、あまり研究はされていないようである。しかし、基礎技術の学習能力のところでも少し触れたように、この世界で生きていくために必要なもの以上に強力すぎる表現形式を用いることは、処理の効率や学習の面で不利であり、こうしたことを考慮すれば、まだまだ研究の余地があると思われる。この意味で、状況を考慮した論理システムを必要に応じて表現力を変化させる工夫と見ることもできるかもしれない。

階層型のニューラルネットワークによって、命題論理式で書かれた知識を実現することはできる。このやりかたで、エキスパートシステムなどを構築する研究も行われている。知識が命題論理の枠を越える場合には、回帰結合を持つようなニューラルネットワークによって知識を表現し、ネットワークの状態変化によってそれを使った推論過程を実現する試みがある。AIの側からのアプローチとしては、知識に確信度のような数値を与えて、その運用の制御に利用することが行われている。ファジィ推論なども

図表III-1-14　ニューラルネットワークと記号処理AIの比較

	ニューラルネットワーク	記号処理AI
データの表現	ニューロンの興奮度（実数）の集合 パターン的対象の表現が容易	論理式／リストの集合 構造的対象の表現が容易
知識の表現	ネットワークの構造と結像の結合の重み	論理式／ルール
知識の獲得	事例からの学習を主とする ボトムアップな獲得	専門家インタビューなど によるトップダウンな獲得
処理方式	数値演算 並列処理	記号操作／変形／推論 逐次＋並列処理
長所	自然な汎化能力を持つ学習 破壊や雑音への耐性 大量の生データ操作 曖昧、不完全な情報の扱い 並列処理向き	説明的知識の記述が容易 結果の説明能力 構造的対象の操作 健全性などの保証
短所	大量の学習用データが必要 結果の説明能力が小さい 追加的改良が難しい 構造的対象の扱いが困難	学習能力が小さい 曖昧、不完全な情報が扱いにくい 大規模なルールの管理が難しい 大量の生データの扱いが困難

こうした方向への有力なアプローチであるといえる。

二つを同じ表現形式で融合してしまうのではなく、とりあえず、うまく結合したハイブリッドシステムを作ろうという試みもある。例えば、農工大の大森らは、prologで実現された推論システムとネオコグニトロンをベースとするニューラルネットワークで実現された画像処理部を結合した画像理解システムを構築している。この他に、連想記憶の想起過程を、論理的な知識で支援することによって、偽記憶の問題などを解消しようという試みなどもある。

エキスパートシステムの知識獲得にニューラルネットワークを利用する試みは、現在、ニューラルネットワークとAIの統合への試みとして最も活発なものである。そのためには、ネットワークが、解釈しやすく、ルール化しやすい知識を学習するように、ネットワークのモジュール化を促す工夫や、学習後のネットワークからルールを抽出する工夫などが提案されている。逆に、記号的なルールで記述されたルールをネットワークの学習を加速するために用いる工夫もある。専門家の記述したファジィルールをニューラルネットワーク化し、それを学習の初期値として利用する試みや、定性推論による粗いモデルを初期学習に利用する試み、EBL（説明に基づく学習）やCBR（事例に基づく推論）などのAI技法をニューラルネットワークの学習の場面に応用する試みなどもなされている。

探索技法における統合としては、知識の表現のところでも触れたように、知識をネットワークのユニット間の値の間の制約と見なし、結合の重みによってそれを表現し、推論過程を、Hopfield NetworkやBoltzmann Machineなどによる制約充足過程として実現する試みがある。それらの多くは、命題論理レベルの知識を扱っているが、電総研の橋田らは、逆に、一階述語論理と同等な表現力／記号操作力を持つ形式システムを制約充足度の評価に基づいたダイナミクスによって制御することで、自然言語対話システムを構築している。

以上をまとめると、現在までに最も活発に試みられている統合は、知識の獲得のフェーズにおいて、ニューラルネットワークを補助的に利用することであり、情報／知識表現の統合や探索技法での統合は少しずつ試みられている程度であるといえる。しかしながら、真に知的なシステムを実現するために最も重要な問題は、この世界で知的に振る舞うために、処理すべき情報がどのような性質を持っていて、それをどのように処理することが必要なのかを明らかにすることであり、システム全体を記号処理で実現するかという表現の枠組みの問題、ニューラルネットで実現するか、あるいは、それらのハイブリッドで実現するか、というような処理メカニズムに関する研究も、上の問題の研究と並行して進めていく必要がある。

＜参考文献＞

[1] 平成3年度人工知能の技術と市場の動向に関する調査研究報告書、(財)日本情報処理開発協会(1992).

[2] Hush, D.R. and Horne, B. G.: Progress in Supervised Neural Networks - What's New Since Lippmann?, IEEE Signal Processing Magazine, Vol.10, No.10 (1992).

[3] ニューラルネットワーク研究の最新動向特集、システム／制御／情報Vol.36, No.10 (1992).

[4] Herts, J.,Krogh, A,. and Palmer, R. G.: Introduction to the Theory of Neural Computation, Addison Wesley (1991).

[5] 日経インテリジェントシステム別冊1992夏号、日経BP社(1992)

3.1.3 AIにおける曖昧性

3.1.3.1 AIにおける曖昧性の分類

「曖昧(ambiguity)」といっても、その意味は曖昧であり、漠然としている。知識は形式化して記述しなければコンピュータで利用できないのと同様に、曖昧さもある形式で記述するようにしなければ工学的な扱いにはならない。

知識処理において扱われている曖昧さを次のように分類できよう [8]。

(i) 制御の非決定性 (non-determinism)
(ii) 多義性 (polymeanings)
(iii) 不確実性 (uncertainty)
(iv) 不完全性 (incompleteness)
(v) ファジィ性 (fuzziness or imprecision)

以下、これらについて説明を加える。

(1) 制御の非決定性

非決定的制御は人工知能システムの本質的特徴である。断片的に知識を集積し、これを利用する推論の筋道を確定できないので、ある筋道を試行し、失敗したらバックトラックを行うという制御を行う。これが多様な状況に対処できる柔軟性、知的能力発現の源となる。

単純な探索では効率が悪いので、優先して探索すべき道を決める必要が生ずる。初期の人工知能研究で開発されたA* アルゴリズムなどのヒューリスティック探索は必ずしも正確でない（推定値である）評価関数をガイドにした探索法である。知識工学の時代となると推論（探索）も知識のガイドによって進めるという考え方がとられるようになる。ヒューリスティックな知識（必ずしも正しいとは限らないという意味で曖昧さを含んだ知識）がゴールへ到る推論を速めるために大幅に取り入れられるようになる。

ヒューリスティックな知識は非決定的制御をガイドするのに用いられる、対象問題に依存した知識である。後述の不確実性や不完全性を含む知識環境下では、問題に依存しない汎用の効率的推論制御法があり、研究が進展しつつある。

(2)　多義性

自然言語理解や画像・音声理解では解釈の多義性は通常である。自然言語理解では単語の意味の多義性、係受関係の多義性、代名詞の文脈上の多義性などが大きな問題となる。一般に、より広い文脈の情報、意味的制御を利用して多義性の解消を図る。

画像でも画像要素（線分や領域など）の解釈は多義となることが多い。これも一般に、より広い空間的位置関係などを利用して多義性の解消を図る。弛緩法(relaxation method) は反復演算により画像解釈の多義性を解消するシステマティックな方法である [16]。離散的弛緩法と確率を用いる確率的弛緩法とがある。音声理解で有名なHeasay-II [6] では音素、音節、語、文節、文といった解釈の階層があり、ある階層での解釈の多義性は上位階層での整合性により解消が図られる。Heasay-IIは、これを黒板モデルによる知識表現、制御構造により実現している。

(3)　不確実性

知識システムの対象とする問題では、真偽（1か0か）の2値で表せないような不確実な知識や事実も利用しなければならない場合がある。0.7だけ正しいといった種類の知識である。このような不確実性は従来はBayesの規則に従う確率量（便宜的にBayes確率とする）で表されてきたが、知識工学の当初には知識に付随する確実度をBayes確率として扱うことの不都合さの認識があった（主な不都合はBayes確率では無知量をうまく表せないこと [9]）。

それゆえに、まず開発されたのがMycinのCF(certainty factor)の方法である [19]。MycinのCFの方法は理論的裏付けを持ったものではないが、不確実な知識の扱いの一範例を示したことで大きな影響を与え、簡明であることより今日に到るまで多くのAIツールに導入されている。

Mycinに影響され、主観的Bayesの方法(subjective Bayesian method)と名付けた推論法が提示され [5]、Prospectorに用いられた。確率の線に沿う方法はその後に、数学的理論構成を持つDempster-Shaferの確率理論 [3、18、9] が導入され、Bayes確率やMycinのCFでは不十分な場合に利用されている。

Bayes確率に対比すると、Dempster-Shafer理論の基本確率は部分集合内を自由に移動する確率量としてモデル化されることが大きな違いである。無知量は全集合内を自由に移動する基本確率量として表現できる。Dempster-Shafer理論は集合の概念を含んでおり、汎用ツールとしてのインプリメントは、事象の知識表現に現われる部分集合が共通部分を持つことを許すと複雑になるが、互いに排他的な部分集合だけに限ると比較的容易である。

確率の使用は1980年代に確率ネットワーク(probability network) [13、14] の手法が提唱され、新たな発展があった。これは（Bayesの規則に従う）確率の意味を保持しつつ、ネットワーク化した事象間での確率情報の局所的伝播に基づき、効率的な推論を可能にしている（説明は3.1.3.3を参照）。

記号の真偽で扱える2値問題では、問題を分割した部分問題間の関係はANDとORで表され、問題は一般にAND／ORグラフで記述される。AND結合では複数の数値的確実度の最小値、OR結合では数値的確実度の最大値をとるのがどの方法にも共通したやり方で、他に適当な算出法はない。不確実性を伴う問題においてはAND／OR以外に結合(combination, COMBと表記) 関係も重要な役割を果たす。結合関係とはゴールが二つ以上の証拠によって独立に支持、または反証されるような関係である。これによって問題は例えば図表III-1-15のようなAND／OR／COMBグラフによって記述される。COMBノードでの確実度はBayes確率では（確率ネットワークの場合も）Bayesの規則により、Mycinの方法では得られている結合関数により、Dempster-Shafer理論ではDempsterの結合規則により算出される。確実度は推論ネットワーク中を伝搬し、最終解答も確実度付きで得られることになる。

ファジィ集合論から派生したファジィ論理は、論理式

を1～0の間の真理値付きで扱う連続値論理の一種である。Nilssonの確率論理(probabilistic logic) [12] は各論理式が確率を伴って与えられるとしたもので、論理と確率の最も合理的な考え方を示している。しかし、帰結の確率を一意に定める方法、論理式が多数になったときの計算量など、実用とするには多くの問題が残されている。

(4)　不完全性

例外を持つ知識、欠落部分がある知識、他と矛盾する可能性がある知識などを不完全な知識と称し、これらを扱う枠組みとしていくつかの非単調論理が提唱されてきた [1、11]。通常の論理は公理（知識）が無矛盾であることを前提にしており、正しいと導かれた結論は新しい公理が加わっても真であることに変わりはなく、この意味で単調である。不完全な知識は他と矛盾することにより否定される可能性を持つ知識（defeasible knowledge）であり、これを含むと推論は非単調になる。すなわち、ある公理系で導かれた結論が新しい公理が加わると否定されることがある。常識のような知能機能に接近するには、不完全な知識を含めて知識ベースの幅を拡大することが必要である。しかし、推論の非単調性に起因する低い推論速度の克服が、非単調論理の一つの大きな課題となっている。

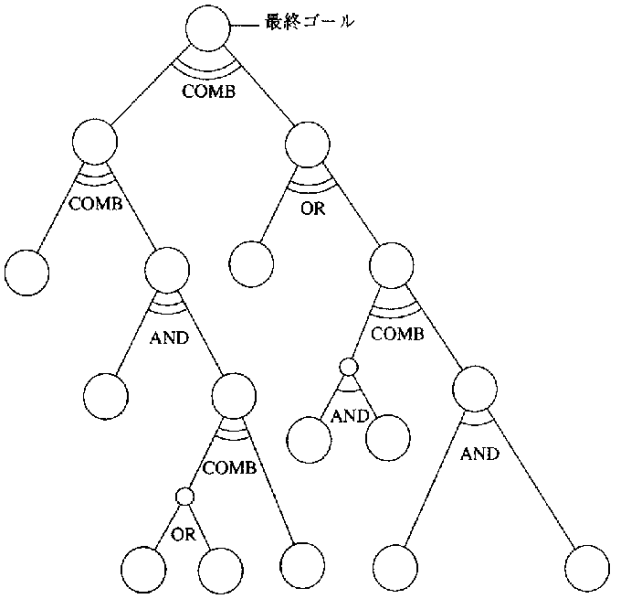
非単調論理の代表的枠組みにはMcDormot-Doyleの非単調論理、Reiterのデフォルト論理、McCarthyの極小限定(circumscription)、仮説推論などがある。このうち論理に基づく仮説推論 [15、10、7] はシンプルな形式でありながら、診断や理解、設計といった問題に直接的に適用できるといった実用的有用性も備えた枠組みである。

仮説推論を始めとする非単調論理では一般に複数の解釈が成立し、互いに整合しないモデルが得られることがある。この複数のモデルの中からpreferenceと呼ばれている選考基準に基づき最も妥当なモデルを解として選択することが行われているが、このpreferenceは確率的要素も反映して設定されることが多い。したがって、この場合は不完全な知識の操作の枠組みの中で、不確実性が扱われていると言える。重みを付された要素仮説を持つコストに基づく仮説推論では、要素仮説の重みの和であるコストを最小にするような最適解仮説（単純な場合は最小の要素仮説からなる解仮説）が求められている。

フレーム表現などにはデフォルト値の機能が含まれているが、この場合は知識の階層性に基づく推論のたどり方に依存して値を決定するという、実用的な方法が採られている。

矛盾の可能性を有する仮説を含む知識系において、推論のある時点で信じる知識と信じない知識に分けて知識の整合性の維持を図りながら推論を進める手法としてTMS (truth maintenance system) [4] がある。TMSは単一環境（環境とは真としている仮説の組)で動作するが、ATMS (assumption-based TMS) [2] は多重環境を保持して動作し、並列的推論等により高速化が図られている。

図表Ⅲ-1-15　AND/OR/COMBグラフの例



(5)　ファジィ性

"old"といっても50歳以上なのか、60歳以上、70歳以上なのか境界が明瞭でない。集合をその境界を明瞭にしないまま扱う手法にファジィ集合論があり、1965年のZadehの提唱以来発展を続けている。ファジィ集合で表現した論理やルールを用いて行うファジィ推論に関しても多くの研究がある。

<参考文献>

[1] Special Issue on Non-monotonic Logic, Artif. Intelli., Vol.13, No.1/2 (1980).

[2] deKleer, J.: An Assumption-based TMS, Artif. Intelli., Vol.28, pp.127-162 (1986).

[3] Dempster, A. P.: Upper and Lower Probabilities Induced by a Multivalued Mapping,Annuals of Math. Statistics,

Vol.38, pp.325-339 (1967).
[4] Doyle, J.: A Truth Maintenance System, Artifi. Intelli., Vol.12, No.3, pp.231-272 (1979).
[5] Duda, R. O., Hart, P. and Nilsson, N. J.: Subjective Baysian Methods for Rule-Based InferenceSystems, NCC (1976).
[6] Erman, L. D. et. al.: The Heasay-II Speech Understanding System: Integrating Knowledge toSolve Uncertainty, Computing surveys, Vol.12, No.2, pp.213-254 (1980).
[7] 石塚：仮説推論、日本ファジィ学会誌、Vol.4, No.4, pp.620-630 (1992).
[8] 石塚　満：曖昧な知識の表現と利用、情報処理、Vol.26, No.12, pp.1481-1386 (1985)
[9] 石塚：Dempster&Shaferの確率理論、電子通信学会誌、Vol.66, No.9, pp.900-903 (1983).
[10] 國藤：仮説推論、人工知能学会誌、Vol.3, No.1, pp.94-102 (1988).
[11] 松本、佐藤：非単調論理と常識推論、情報処理、Vol.30, No.6, pp.674-683 (1989).
[12] Nilsson, N. J.: Probabilistic Logic, Artif. Intelli., Vol.28, pp.71-87 (1986).
[13] Pearl, J.: Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems, Morgan Kaufmann, CA (1988).
[14] Pearl, J.: Fusion, Propagation and Structuring in Belief Network, Artif. Intelli., Vol.29, pp.241-288 (1986).
[15] Poole, D.: A Logical Framework for Default Reasoning, Artif. Intelli., Vol.36, pp.27-47 (1988).
[16] 坂上：画像処理における反復演算の応用、情報処理、Vol.23, No.7,　pp.641-650 (1982).
[17] Readings in Uncertain Reasoning, (G. Shafer, J. Pearl (Eds.)), Morgan Kaufman, Palo Alto, CA (1990).
[18] Shafer, G.: A Mathematical Theory of Evidence, Princeton Univ. Press (1976).
[19] Shortliffe, E. H. and Buchanan, B. G.: A Model of Inexact Reasoning in Medicine, Mathematical Biosciences (Elsevier Pub.) Vol.23, pp.351-379 (1975).

3.1.3.2　ファジィ理論・技術

(1)　ファジィ理論体系

一般に現実世界は連続的数値や単なる事例の集まりで構成される。人間はこれら現実世界での数多くの事例を汎化し、抽象化された概念を持つことにより知識を記号的に記述し処理している。これらの概念は通常明確な境界を持たずあいまいであるため、現実世界が前提となる世界への適用には記号論的アプローチは本質的な問題点を抱えていることになる。ファジィ理論の役割は、この概念の世界と現実の世界とを結ぶことにある。これまで応用としては、ファジィ制御があまりに有名でありその果たした役割は大きい。しかし、実はそれ以外にも多くの研究が行われており、それらの可能性の方が大きいと期待され、次のようなものがある。意思決定、管理、言語理解、画像理解、診断、予測、モデル、評価、データ解析、データベース、ヒューマンインタフェース、等。本来ファジィ理論は、人間と数学系との仲立ちとして、社会科学のような非工学分野での応用が期待されていた事から考えると、それは当然とも言える。事実ファジィ制御においても、人間のノウハウの記述や、オペレータとのインタフェースの向上といった目的で応用されている。本節では特に知識処理と関係の深い領域を中心に、ファジィ理論・技術の解説をする。

①ファジィ基礎理論

ファジィ基礎理論は、ファジィ集合論、ファジィ論理、ファジィ測度論の三つを中心に構成される。

○ファジィ集合論ー感覚の表現ー [1]

従来の集合論では境界が明確に規定されるため定性的表現をしにくく、人間の感覚にそぐわない場面が多々ある。ファジィ集合論は境界をあえてぼかすことによって人間の感覚を表現することを目的としている。ファジィ集合論は、数学的には従来の2値的な集合論を無限値に拡張することによって導かれる。つまり通常の集合論では、集合に属すか属さないかを明確に決められるような集合のみを理論の対象とするが、ファジィ集合論では集合の要素にその集合に属する度合を付与することによって不明確な場合を取り扱いの対象とする。この度合のことをメンバーシップ値と呼び、度合を決める特性関数の事をメンバーシップ関数と呼ぶ。

○ファジィ論理ー知識の表現と利用ー [2]

論理系とは命題の組み合わせや真理値の合成の仕方を定めることによって、複合されたものの真偽の判断を正確に行うための数学体系であると言える。これらの命題の真偽がはっきり決まらない場合、真理値を“0か1”ではなくて“0から1の間の値”にすれば、無限多値論理系が形造られる。これにファジィ推論を加

えたものがファジィ論理であるという捉え方が一般的である。ファジィ推論とは、"もしAならばBである"という知識があり、A'というAに近いが少し異なる前提が得られたときに、結論B'を求める推論である。

○ファジィ測度論－感覚的な評価尺度－ [3]

総合的な評価値を求める場合、それぞれの部分的な評価値に重要度をかけて合計するのが一般的である。ただしその総合的な評価値を求める際に、各評価値を足しあわせれば総合評価になるという仮定を使っている。しかし実際には各評価項目を総合する際、相乗効果や相殺効果があり単純な合計では正しい総合評価が求められず、これらに起因する評価値の変化分を測って加味する必要がある。この相乗効果や相殺効果を含んだ形で重要度を測る理論がファジィ測度論、総合的な評価値を求めるための統合理論がファジィ積分論である。

②ファジィ応用理論

ここでは知識処理と関連のある理論的応用を選択し、簡単に説明を加える。

○ファジィ制御 [4]

一般に自動化が困難であった系において、オペレータが行っていた制御動作を、その経験則を記述することにより機械上に実現しようとしたものがファジィ制御である。このプロセスは、定性的に記述された人間の運転ノウハウを、ファジィ集合によって表現(定量化)し、「IF x is big then u is・・・」といった形式のルールとして記述し、ファジィ論理をベースとして推論を行うことによって実行される。通常ファジィ制御器の入力変数空間をファジィ分割した領域がルール前件部として用いられ、その時にとるべきアクションが後件部に記述される。推論には制御規則を並列に並べ同時に発火させ、それぞれの制御規則の中間的な推論結果を統合して、最終的な操作量を決定する方法が用いられている。この方法は、複数の入力から単数もしくは複数の出力を決定することであり、多入力、多出力の非線型関数を実現している事に等しい。一般的なファジィ制御の構造を図表Ⅲ-1-16に示す。

したがって、このアプローチでは従来の数値的アプローチに比べ本質的な差異は見られず、制御成績が大きく改善されることは期待できない。つまり現在のファジィ制御の有効性は、制御器の設計、管理が容易になる点に留まる。ファジィ制御が本質的に有効であるのは、知識処理がさらに高度になった場合と考えることができる。例えば操作量決定のプロセスが、抽象度や目的に応じて多層に構成され、それらの間でのコーディネーションが必要である場合等がそれに相当する。これは別の言い方をすればまさに知的制御であり、知識処理部分の強化にファジィ理論が貢献できる可能性が高い。菅野ら [5] は目標とする飛行モードに対応した下位モジュールと、それを管理する上位モジュールによってファジィ制御器を構成し、言語命令によって無人ヘリコプターを制御することを可能にしている。フレア停止のような一連の動作シーケンスを実行するフィードフォワード動作も可能である。

○意思決定

通常意思決定とは、制約条件のもとで評価値を最大にする解を求めることに相当する。ファジィ理論を意思決定へ応用した場合、制約条件や目標の範囲を示す度合がメンバーシップ値で与え、両者の共通部分の最大点をとるという問題に帰着する。またエキスパートシステムによる問題解決も一種の意思決定とみることができ、特にファジィエキスパートシステムでなければ解決できないような問題の場合、これもファジィ意思決定の一つであるといえる。

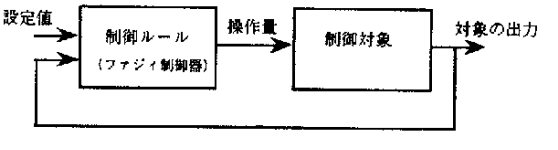
○診断

故障診断や医療診断において、特に予兆観測の初期段階ではそれが異常な現象であるのかそうでないのかはっきりしない場合が多くある。また判断基準そのものも感覚的である場合がある。これらは例えば故障木の探索による診断の場合事象の起こり得る可能性といった形でファジィ性が反映されるし、またエキスパートシステムによる診断の場合は、診断規則の記述がファジィルールになるといった形でファジィ性が取り入れられている。

○画像認識・理解・生成 [6～8]

画像認識・理解へのファジィ理論の応用の一種に、予備知識を従来の画像処理や認識技術に取り込もうというアプローチがある。具体的には不正確な対象モデルを知識として持つ事により、自然物のような対象物

図表Ⅲ-1-16　ファジイ制御の構造



体でも大体の特徴量から高速に認識することが特徴である。また、カラー画像の色調調整において、あらかじめ人間が自然に感ずる色調を調査しておき、それに近づけるように調整をする研究開発例がある。これらのアプローチはファジィ表現された経験則によって駆動される。

(2)　ファジィ理論と人工知能

ファジィ理論は知識表現に本質的に内在するあいまい性を許容し積極的に取り扱うという特徴を持つ。反面知識表現そのものには、ファジィ論理以外にルールやフレームといった人工知能で用いられる機構が必要である。人工知能・ファジィはともに人間の知的活動をとり扱っておりよく比較の対象にもなるが、それぞれの固有の特徴を融合することによって、短所が補われ長所が活かされる。

①ファジィ理論と人工知能との共通点

両者とも60年代後半から70年代前半にかけて知識表現の基本的枠組の構築され、その後エキスパートシステムやそれに類似した形態で応用が始まっている。ファジィ制御が提唱されたのは初期のエキスパートシステム開発と同時期であり、しかもプロダクションシステムのようにルールによる推論システムを持つことも同じである。さらに最近のファジィ理論の研究や応用事例の多くがルール形式の知識表現を用いており、また情報処理分野ではエキスパートシステムをベースにしたものが多い。

次に両者とも言語を中心に処理を行っている。人工知能では言語同志の関係よる知識表現が研究された。同様にファジィ理論においても、感覚や概念、さらにはアルゴリズムまでを言語を中心に表現しようという思想は、ファジィ理論の発展で一貫している根幹的思想の一つである。最も単純な場合、ファジィ集合では集合に付けられた言語ラベル（名前）の意味が、要素に帰着され説明される。さらに言語変数、修飾語の取り扱い、複合的概念の表現や処理が、ファジィ集合や推論合成規則に帰着される [2、9～11]。のちにそれらの考え方は、知識処理を明確に意識した、エキスパートシステムとの融合的概念に至る [12～14]。

最後に推論が挙げられる。人工知能で推論に関する研究は依然盛んであるが、ファジィ推論はファジィ理論において最も特徴的なものであり、現在でも研究が盛んな分野である。ザデーは常識的知識のファジィ理論的取り扱いを提唱している [15]。そこでは多くの場合知識は傾向命題であるとし、それを明示的に表すことによる処理方法を示している。例えば"Snow is white." は、実は"Usually snow is white."と解釈される。

②ファジィエキスパートシステム

現在ファジィエキスパートシステムと考えられるもののほとんどは、プロダクションシステムに基づいた知識処理を行っている。以下の形態であいまい性が処理され、通常組み合わさって出現する。

- 知識の記述におけるあいまいさ：知識そのものが不明瞭でありファジィ集合を使って表現される。(例：If x の身長が高い　then x は体重は重い)
- データにおけるあいまいさ：データが不完全であった場合、ファジィ集合を使って記述される。この場合知識記述がクリスプであっても、あいまいさを取り扱う機構が必要になる。(例：鈴木氏の身長はだいたい170cmぐらい)
- ルールの信頼性に関するあいまいさ：条件部と結論部の関係のあいまい性。マッチ度と組み合せて、推論結果のあいまい性を決定する必要がある。(例 :If x の身長が高い　then x は体重は重い(moderately true))

システムとしてはこれまでに、1978年に知識に含まれるあいまいさの処理がPRUF [12] として系統的にまとめられており、1984年以降にはエキスパートシステム、シェルとも多くの研究開発が行われている [16～19]。また最近多くのエキスパートシステムが開発されており [20～23]、エキスパートシェルも商用のものが多く見られる。例えばバスダイヤ編成エキスパートシステムでは、顧客の需要や、乗務員の労働条件を考慮に入れて、経済的に効率の良いダイヤグラムを作成する。ダイヤグラムの作成では、時間帯別の顧客数に合わせる必要のある運転間隔、交通渋滞の影響を受ける所用時間や折り返しの際の待ち時間等のバスそのものの運航に関係する要素ばかりではなく、乗務員１人１人の１日の労働時間や休憩時間、さらには休憩時間の分配等の労働条件に関係する要素、そして運航に際しての全体的経済性を考え合わせる必要がある。このシステムでは、“勤務時間が適当と思われる”や“運転時間が適当と思われる”等の感覚をファジィ集合を用い表現し、ダイヤ作成の専門家が持つ経験的判断基準による評価を実現している。また為替レート変動予測エキスパートシステムでは、専門家から得られたノウハウを、投資ルールとして記述し推論に利用している。このような判断においては、景気のような経済状態からくる売買の判断と、業種からくる判断、銘柄

そのものからくる判断とが全て正合性がとれているとは限らず、別々な観点からの違った判断結果が得られる。そのような中間結果を総合して最終的な判断結果を求めることにファジィ推論をうまく使っているといえる。

③自然言語処理

記号論的アプローチを基本とする知識処理において不確実性を取り扱う場合、多値の真理値や確信度、確率のような一種の確信性を表す尺度を付与する。しかしここで扱われる不確実性とは、事実の確からしさを外的に評価したものであり、内的な意味の解釈を伴ったものではない［24］。例えば、“朝方、小雨がパラついた”という命題では、この命題がどの程度確信できるかという評価をいきなり与えることから始まり、“朝方”とは何時ごろの事なのか、また“小雨”とはどの程度の雨の事なのかについては触れない。しかし現実には上記命題に対し、“何時”という時刻が存在し“何ミリ”かの雨が降るのであり、その事実から命題が評価されなければ、事実と知識を結び付ける事はできない。この問題を解決するには、意味内容に踏み込んだ処理が必要になる。つまり、記号と事実を結び付けた意味表現であり、それに基づいた推論である。ザデー［12-14］は以下のように言語処理に対するファジィ理論的アプローチを体系的に提示している。なおこのアプローチは、ファジィ理論を意義づける非常に重要なものである。

- 命題の真偽におけるあいまいさ：真理値空間上の可能性分布として定義されるファジィ部分集合により表現する。(例：0.8、true)
- 述語そのものがあいまいであった場合：ファジィ集合によって表現する。(例：約60kg、tall)
- “普通”や“たいてい”といった確率的かつあいまいな表現：この種の表現は表記上は表れなくとも、暗示的に意味に内在することが非常に多い。ファジィ量限定詞として処理する。(例：Most small cars are unsafe)
- あいまいな述語に対する強調や否定といった修飾：述語修飾詞として処理。(例：very)
- 命題全体に対する様相の表現：真理値限定、確率限定、可能性限定の3種の意味の限定によって表現。(例：Most Swedes are blond→If X is a Swede then (X is blond is likely)　)

また岩井［25］は概念の意味を次のようにファジィ集合を用いて表現している。Xi,Xjを概念、Pi及びPjをそれぞれの概念を説明する性質の集合とする時、それらの要素数から概念間の距離I(Xi, Xj)を、

$$I(Xi, Xj) = (Pi \cup Pj)\#/(Pi \cap Pj)\#$$

によって求める。目標概念CをXiが代表する場合、他の概念Xj等のCに対する帰属度（メンバーシップ値）をXiからの距離によって求める。この方法によって程度や傾向のようなあいまいさだけではなく、意味的にあいまいな対象を取り扱うことができる。この方法を情報検索に応用した例がある。

(3)　ファジィ理論とニューラルネットワーク

①ファジィ理論とニューラルネットワークとの関係

ファジィはニューラルネットワークに比べ知識が明示的に表現されるという特徴を持つ。反面学習機構を持たないため、ニューラルネットワークに期待する点も多い。

○ファジィから見たニューラルネットワークへの期待

メンバーシップ値をどう求めてファジィ集合を構成するか、また推論のためのルールをどうやって求めるかといった、いわば知識獲得の根本的課題が未解決である。そのためにニューラルネットワークの学習能力に期待し、以下のような点でニューラルネットワーク・ファジィの融合を試みる研究が多い。

- メンバーシップ関数の生成
- 論理操作の生成、論理操作の代替
- 推論規則（ルール）の生成

○ニューラルネットワークから見たファジィへの期待

一方ニューラルネットワークの立場からは、以下のような期待で融合が進められている。ニューラルネットワーク上では知識が分散されて埋蔵されてしまうため、知識が明示的に見えないといった問題がある。そのためファジィ知識表現を利用することにより、ニューラルネットワークの学習結果の解釈に利用したり、ファジィ推論規則の形式で得られる知識を初期状態としてニューラルネットワークの学習を行い高速化に貢献するといった方法が採用されている。またファジィ推論機構をニューラルネットワークに持ち込み、ネットワーク自体を構造化する試みもある。さらにニューロンの活性値分布そのものを、ダイレクトにファジィ知識表現に結び付け、あいまいな知識表現に貢献する試みもある。まとめると以下のようになる。

- 知識の解釈
- 初期知識としての利用
- 処理機構の構造化
- あいまいな知識の表現

②ファジィとニューラルネットとの融合

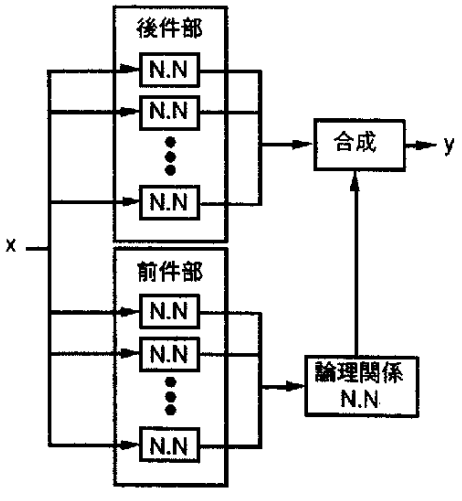
両者の融合には、単なる二つのシステムの連結から融合まで様々の形態があるが、特にファジィシステムとニューロシステムとが密接に融合して、推論プロセスを実現する場合について述べる。

○入力変数や出力変数が明確に定められ、ルール形式の知識表現が可能な場合

ファジィ分野においてルール表現が非常に一般的なため、この融合形態が最も多い。どの程度ファジィ推論機構をネットワーク上に直接的に表現するかの程度によって、様々の研究があるが、ニューラルネットを前件部命題や後件部命題に対応させ構造化し、ファジィ命題に使用されるファジィ集合やファジィ論理オペレータをニューラルネットワークの学習能力により求める基本的方法は全てに共通である。前件部と後件部及び論理オペレータをニューラルネットワークに置き換えた例を図表Ⅲ-1-17に示す。

この場合、前件部は“温度が高く圧力が高い”等の合成されたファジィ集合であるが、そのメンバーシップ値を算術式の代りにニューラルネットで求める。これは前述のメンバーシップ関数の生成に相当する。また後件部はアクションを示す算術式やスカラ量であるが、これらもニューラルネットによって実現される。学習方式にはバックプロパゲーションアルゴリズムが用いられる。林ら［26］はこの考え方により、人間の動作から得られたデータを学習に用い、振子が下に垂れ下がった状態から振り上げて立たせることに成功している。

図表Ⅲ-1-17　ニューロ・ファジィ融合形態の例



また山口［27］は双方向連想記憶(BAM)を用いてファジィ推論を実現するフレームワークを提唱し、学習によって模型のヘリコプターの飛行制御を行っている。B.Koskoは双方向連想記憶(BAM)を発展させ、Fuzzy Associative Memory(FAM)［28］としてファジィ推論に結び付けている。

○一般の知識表現に対応する場合

これらは、ファジィ知識をダイレクトにニューラルネットワーク上に展開するもので、本来知識とは不確実性を伴うものであるとの認識に立脚し、ニューラルネットワークを用いたあいまいな知識表現への貢献を目指すものである。FCM (Fuzzy Cognitive Map)［29］では、因果関係を有向グラフで表現した認知図(Cognitive Map)に、因果関係の程度の強さを導入している。CFS (Conceptual Fuzzy Sets)［30］では、連想記憶上の活性値の分布がファジィ集合に一致する。概念の意味は他の概念及びその活性値によって表現され、その活性値は連想記憶を通して計算される。

○ニューロンレベルでの融合

メンバーシップ値をニューロンへの入力の重み付けに対応させたファジィニューロン［31］が提唱されいる。またニューロンの入出力をファジィ数とし一般のファジィシステムを実現する試みも行われている。

＜参考文献＞

[1] Zadeh, L.A. : Fuzzy Sets, Information and Control 8, pp. 338-353 (1965)

[2] Zadeh, L.A. : The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, Part 1 and 2, Information Sciences, 8, pp.199-249, 301-357 (1975)

[3] 菅野：ファジィ測度とファジィ積分、計測制御学会論文集 8, pp. 218-226 (1972)

[4] E.H.Mamdani : Application of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant, Proc. IEE, Vol. 121, No.12, pp. 1585-1588 (1974)

[5] 菅野、西野、三輪：無人ヘリコプタのための階層型ファジィ制御システム、第8回ファジィシステムシンポジウム、pp. 53-56 (1992)

[6] 寺野、増井、田中、藤原：ファジィ論理によるカーネーション苗の判別、第6回ファジィシステムシンポジウム、pp. 287-290 (1990)

[7] Miyajima, K. , Nakayama, M. , Iwamoto, H. and Norita, T. : Top-Down Image Processing Using Fuzzy Reasoning, IFES'91 (1991).

[8] 源野、藤原、蚊野、福島：ビデオプリントシステムにおける感性画像処理、第7回ファジィシステムシンポジウム、pp. 403-406 (1991)

[9] Zadeh, L.A. : A Fuzzy-Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts, Int. J. Man-Machine Studies, 8, pp. 249-291 (1976)

[10] Zadeh, L.A. : A Fuzzy-Set-Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges, Journal of Cybernetics, 2:2, pp. 4-34 (1972)

[11] Zadeh, L.A. : Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, SMC-3, pp. 28-44 (1973)

[12] Zadeh, L.A. : PRUF-A Meaning Representation Language for Natural Languages, Int. J. Man-Machine Studies, 10, pp. 395-460 (1978)

[13] Zadeh, L.A. : The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems, Fuzzy Sets and Systems, 11, pp. 199-227 (1983)

[14] Zadeh, L.A. : A Computational Approach to Fuzzy Quantifiers in Natural Language, Comp. and Maths with Appls., 9, pp. 149-184 (1983)

[15] Zadeh, L.A. : A Theory of Commonsense Knowledge, in H.J.Skala, S.Termini and E. Trillas Eds., Aspects of Vagueness, Dodrecht : D. Reidel, pp 257-296 (1984)

[16] Baldwin, J. F. and Zhou, S.Q. : A Fuzzy Inference Language, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 14, pp. 155-174 (1984)

[17] Siler, W. : FLOPS : A Fuzzy Expert System Shell, Proc. of 2nd IFSA Cong., pp. 848-850 (1987)

[18] Farreny, H. , Prade, H. and Wyss, E. : Approximate Reasoning in a Rule-Based Expert System Using Possibility Theory : A Case Study, INFORMATION PROCESSING'86, pp. 407-413 (1986)

[19] Umano, M. : Implementation of Fuzzy Production System, Proc. of 3rd IFSA Cong., pp. 450-453 (1989)

[20] 古田：構造健全性評価のためのファジィエキスパートシステム、日本ファジィ学会誌、Vol.2 No.2、pp. 21-30 (1990)

[21] 前田、村上：医療ファジィエキスパートシステムとその応用、日本ファジィ学会誌、Vol.2 No.2、pp. 31-42 (1990)

[22] 甲斐沼：環境管理のためのファジィ・エキスパート・システム、日本ファジィ学会誌、Vol.2 No.2、pp. 43-52 (1990)

[23] 大内、関：バスダイヤ編成システム、日本ファジィ学会誌、Vol.2 No.2、pp. 53-61 (1990)

[24] 菅野：エキスパートシステム(概説)、応用ファジィシステム入門、オーム社、pp. 157-161 (1989)

[25] 岩井：システムの高度知能化と人間の類推・情報集約・意思決定プロセスのモデル化、第4回ファジィシステムシンポジウム、pp. 29-41 (1988)

[26] 林、野村、若見 (1990)：ニューラルネット駆動型ファジィ推論による推論ルールの獲得、日本ファジィ学会誌、Vol.2, No.4, pp. 585-597

[27] 山口、今崎、春木 (1990)：連想記憶によるファジィルールの推論・学習方式、電機学会論文誌C、Vol. 110-C, No.3, pp. 207-215

[28] B. Kosko : Fuzzy Associative Memories, in Fuzzy Expert Systems (A. Kandel ed), Addison Wessly (1987)

[29] B. Kosko : Fuzzy Cognitive Maps (1986) : Int. J. Man-Machine Studies, Vol. 24, pp.65-75

[30] T.Takagi, T. Yamaguchi and M. Sugeno (1991) : Conceptual Fuzzy Sets, International Fuzzy Engineering Symposium'91, PART II, pp. 261-272

[31] T. Yamakawa and S.Tomoda (1989) : A Fuzzy Neuron and its Application to Pattern Recognition, 3rd IFSA Cong. pp. 30-38

3.1.3.3 確率ネットワーク

確率は知識や事実の不確実性を数値的に表現する基礎として重要な役割を果たしている。この確率の扱いでは条件付確率等に関するBayesの規則が基礎となるが、そのまま知識処理における推論問題に適用するにはいろいろと困難が伴う。因果的な関係をネットワークで表し、確率に関する推論を局所的に情報を伝播させることにより効率的な実現を図ったのがPearlによる確率ネットワーク(probabilistic network) [1、2] である。別名、信念ネットワーク(belief network)、因果ネットワーク(causal network)、ベイズネットワーク(Bayesian network)とも呼ばれている。

確率ネットワークでは変数（複数の値をとる）をノード、このノード間の因果関係を条件付確率で重み付けされた有向リンクで表す。図表Ⅲ-1-18はその一例を示している。図表Ⅲ-1-18で変数A、B、C、X、Y、Zはそれぞれai、bj、

ck、xl、ym、zn (i,j,k,l,m,n = 1,2,・・・)という値をとるとすると（以下、ノード名あるいはその状態を大文字、その個々の値を小文字で表す）、(ai、bj、ck、xl、ym、zn)の同時確率についてBayesの規則より次の式が成立する。

P(ai,bj,ck,xl,ym,zn)

＝P(zn | ym,xl,ck,bj,ai) P(ym | xl,ck,bj,ai)

P(xl | ck,bj,ai) P(ck | bj,ai) P(bj | ai)P(ai)

確率ネットワークでは図表Ⅲ-1-18に関しこれを次のように考える。

P(ai,bj,ck,dl,em,fn)

＝P(zn | bj,ai) P(ym | xl) P(xl | ck,bj)

P(ck | ai) P(bj | ai) P(ai)

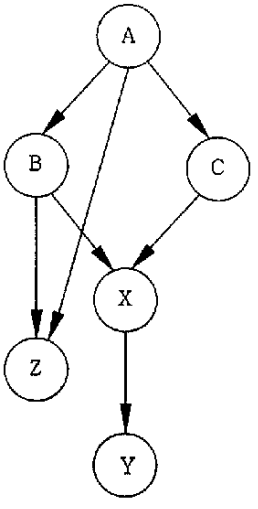
すなわち、xmに関しては

P(xm | ck,bj,ai)＝P(em | ck,bj)

であり、ck,bj が決まっているという条件下ではaiはxmの確率の決定には影響しない（独立である）とみなす。この独立性によりリンクを介する隣接ノードの状態が決まると、その他のノードは無視してこの隣接ノードの状態のみと平衡するようにノードの値の確率を決定することができる。リンクは因果的な関係を表すと考えれば良い。また、有向リンクでのループは存在しないとする。

観測された証拠としてある（複数の）ノード（証拠なのでEとする）の値の状態（確率）が与えられると、信念更新(belief updating)と呼ばれる確率ネットワークの働きは各変数X（入力変数、中間変数、出力変数のいずれでもよい）に対して、証拠状態Eが与えられた条件下でXの状態xの事後確率 P(X | E) を求めることである。これは信念関数 BEL(X)＝P(X | E) と呼ばれる。事後確率最大となる値は最も確率が高い結論を表すことになる。

図表Ⅲ-1-18　確率ネットワークの例



この計算を単結合(singly connected)ネットワークに対して、局所的な情報の伝播を通じて隣接ノードの状態が平衡がとれる方向にノードの状態変更を繰り返して、平衡状態を見い出すことで実現する。

変数Xはx₁か～xₙのいずれかの値をとるとすると、ベイズの規則

$$P(x|e)=\frac{P(e|x)P(x)}{P(e)}$$

より

$$\frac{P(x|e)}{P(\sim x|e)}=\frac{P(e|x)}{P(e|\sim x)}\frac{P(x)}{P(\sim x)}$$

となる。xの事前オッズを

$$O(x)=\frac{P(x)}{P(\sim x)}=\frac{P(x)}{1-P(x)}$$

とし、eに対する尤度比(likelihood ratio)を

$$\lambda(e|x)=\frac{P(e|x)}{P(e|\sim x)}$$

とすると、xの事後オッズは次のように与えられることになる。

$$O(x|e)=\frac{P(x|e)}{P(\sim x|e)}=\lambda(e|x)O(x)$$

これは事後オッズは事前オッズに尤度比λ(e | x)を掛けることで得られることを示している。

確率ネットワークではオッズではなく確率状態に関する更新を同様な考え方により行う。簡単な図表Ⅲ-1-19(a) の場合を考える。Xの値のYが得られる前の状態((x1,x2)とする）の事前確率が例えばP(X)＝(0.5, 0.5)のようであったとする。その後証拠Yが判明しP(Y | X)＝(0.7, 0.2)であるとの情報が得られたとする。(Y＝y1と判明しP(y1 | x1)＝0.7、P(y1 | x2)＝0.2の場合などに相当。）このとき、ノードXの状態の確率は次のように更新されるとする。

P(X | Y)＝α P(Y | X)P(X)

＝α (0.7, 0.2) (0.5, 0.5)

＝α (0.35, 0.25)

αは正規化係数で、α＝(0.35＋0.25)-1よりXの信念関数は次のようになる。

BEL(X)＝P(X | Y)＝(0.583, 0.417)

ここでYからその親ノードXに伝えられる情報を

λ Y(X)＝P(Y | X)

とすると、Xはこの情報を受けて自分の信念関数を更新することになる。上記の例の場合はP(X)＝(0.5, 0.5)であったので、BEL(X)＝α λ Y(X)である。

図表Ⅲ-1-19（b）のような場合には、親ノードUの状態が得られたことにより

$$\pi X(U)=P(X \mid U)$$

とすると、ノードXの信念関数は事前確率P(X)から次のように更新されるとする。

$$BEL(X)=P(X \mid U)=\alpha\, \pi X(U)P(X)$$

Xに親ノードU、子ノードYが存在して両者の状態が得られたときは

$$BEL(X)=P(X \mid U,Y)=\alpha\, P(Y \mid X)P(X \mid U)$$
$$=\alpha\, \lambda Y(X)\, \pi X(U)$$

とする。

図表Ⅲ-1-20のように複数の親ノードU、V、複数の子ノードY、Zが存在して、その状態が伝えられた場合にはBEL(X)の配列のi番目の要素は

$$BEL(xi)=\alpha\lambda y(xi)\lambda z(xi)\sum_{j,k} P(xi|uj,vk)\Pi\chi(uj)\Pi\chi(vk)$$

となる。ここでxiはXのとる値の集合の要素、uj、vkもそれぞれU、Vのとる値の集合の要素である。複数の親ノードがある場合にはP(xi | uj,vk)のような結合条件付確率を用いる必要があるので、P(X | U,V)の値をあらかじめ計算して各ノードに蓄えておくようにする。BEL(X)が定まると、このXノード新情報は隣接ノードにλとπのメッセージとして伝わることになる。

Xから親ノードUへは、UからXへ伝えられた関与分を除いた他ノードからの寄与分である。

$$\lambda\chi(ui)=\alpha\sum_{j}\left[\Pi\chi(vj)\sum_{k}\lambda y(xk)\lambda z(xk)P(xk|ui,vj)\right]$$

が伝達される。Xから子ノードYへは、YからXへ伝えられた関与分を除いた他ノードからの寄与分である。

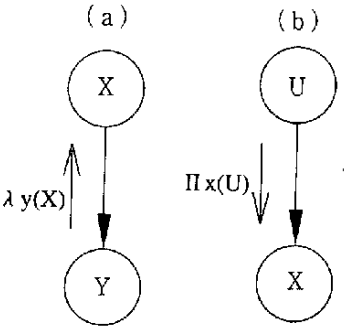
$$\Pi y(xi)=\alpha\lambda z(xi)\left[\sum_{j,k} P(xi|uj,vk)\Pi\chi(uj)\Pi\chi(vk)\right]$$

が伝達される。

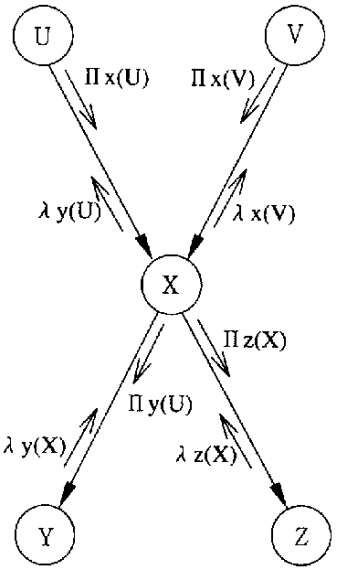
以上のように、観測された証拠ノード（複数可）を起点として、リンクの矢印の逆向きにλ、矢印と同じ向きにπという情報メッセージを流し、ノードの状態を更新していく。あるノードから出た情報メッセージの影響はそのノードに戻ってくることはないので、単結合ネットワークの場合は最大リンク長（ネットワーク直径という）で収束し、各ノードでのBEL(X)が得られる。

ネットワークが単結合でない場合は、単結合になるようにネットワークを切断する位置のノードの状態を仮定的に(conditioning)、形成された単結合ネットワークでこの計算法を適用する。仮定的に定めるノードをC（とる値を(c1, c2)とする）とすると、(c1,c2)＝(1.0, 0.0)と仮定して、各ノードの信念関数（BEL1とする）を求め、(c1,c2)＝(0.0, 1.0)と仮定して各ノードの信念関数（BEL2とする）を求める。そして、c1とc2のとる確率に応じてBEL1、BEL2を荷重平均して各ノードの信念関数を求めるようにする。図表Ⅲ-1-18の例ではノードAが証拠として観測されるか、または仮定的に状態を定めると単結合ネットワークとなる。

図表Ⅲ-1-19　確率ネットワークにおける確率状態の更新（例）



図表Ⅲ-1-20　確率ネットワークのノードでの情報伝達



＜参考文献＞

[1] Pearl, J.: Fusion, Propagation and Structuring in Belief Networks, Artif. Intelli., Vol.29, pp.241-288 (1986).

[2] Pearl,J.: Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems, Morgan Kaufman, CA (1988).

3.1.4　人工生命

3.1.4.1　人工生命とは何か

公にされている最近の定義によると、「人工生命」(Artificial Life) は、生物学的現象の根底にある基本的な動的原理の抽出に努めるとともに、この動的原理をコンピュータなど生物ではない物理メディア上に再生させて、従来とは異なる種類の実験的な操作やテストを可能にしようとする研究分野である [3]。

ここでいう生物学的現象の中核となるのは、もちろん、生命現象である。しかし、実際の研究者の視野はさらに広くて、生命の起源、分子の自己組織化、胚形成（成長、発達、分化）、動物行動（エソロジィ）、昆虫集団ダイナミクス、進化、種化（新種形成）、生態学的ダイナミクス、さらには、言語の進化、社会文化的進化までが取り込まれる勢いである。このような拡散化が起きるのはそれなりの背景があって、人工生命の研究には、もともと、ウィーナーのサイバネティクスに始まる複雑適応系の研究という動機づけがあったのである。複雑適応系というのは、数え切れないくらい多くの要素（エージェント）からなる系で、互いに隣接する要素の間には（かなりの強さをもつ）相互作用があり、そして、各々の要素には周りの状況の変化に自律的に適応できる能力があるものを意味している。生命体は、それ自身が一つの複雑適応系をなしているのである。

このように問題を拡大して考えるやり方に対しては、人工生命の研究者の間にも批判がある。もっと生命現象に特徴的な動的プロセスに絞って考えていくべきだという主張である。例えば、ヨーロッパにおける人工生命研究の中心の一人であるF.ヴァレラによれば、人工生命の実現にまず必要なことは、生き物にその特徴である自律性をもたらせている一組のプロセスが何であるかを理解することであるとされている。ここでいう自律性は、生き物をしてこの世にあらしめ、自分の存在を主張させ、さらに、あらかじめそれ向きに調整されていることを前提にしなくても、有意義で適切な世界（生存環境）を現出せしめるような、生き物の基本的で、根本的な能力を指している。このような生きた自律性に焦点を合わせることによってこそ、生命現象を身体離脱の抽象概念によって特徴づけようとする誘惑を自然に乗り越えられるものとしている。この考え方は、「AI技術の全体像」に述べた状況的認知の主張に関連するものである。

人工生命の目標は、この地上にある生命、すなわち、われわれに既知の生命だけを対象にしてその生物学的現象の本質を明らかにする新しい方法を提供することに限定されてはいない。さらに、ありうるかも知れない生命-それが何で構成されているにせよ、また、それが宇宙のどこに存在するにせよ-可能性として考えうるすべての生命についての「生の論理」の領域にまで研究の範囲を拡大することも目指している。既存の生命だけではなく、コンピュータその他の人工的な媒体上に新しい生命を合成しうる可能性を追求することも、人工生命の研究課題に入っているのである。生命現象を複雑適応系の考え方で解釈すれば、それは要素間の相互作用から生まれるものである。したがって、生命の本質はこの相互作用のあり方、形式の中に見いだされることになる。端的にいえば、人工生命の目標は、“生命の「論理的形式 (logical form)」を抽象することである”[1] ということになる。

分子生物学の成果によって、生物の基本設計図がDNAの二重らせん上にA、T、C、Gの記号の1次元配列として書かれ、それがアミノ酸の1次元配列に翻訳されて生命のもとであるタンパク質が合成される。生命現象は、このタンパク質の発揮する機能によって営まれるものである。タンパク質がどのような機能をもつようになるかは、基本的に、それを構成する20種類のアミノ酸の相互的な位置関係によって支配される。現在の分子生物学によって明かにされているのは、この辺りまでである。問題は、“1次元配列の情報から3次元の構造が創られる原理、そして、その構造から機能の生み出される原理”を明らかにすることである [6]。

生物学はこれまで、主に生命の物質的な基礎を追求してきたが、この段階になると、生命はある構造をもつ物質の性質というより、ある物質からなる構造の性質とみる方が考えやすくなる。人工生命は有機体を、多数の単純でルール支配の振る舞いをする要素が、生命様のグローバルなダイナミクスの中で非線形的に相互作用し合ってできている集合体として、合成しようとするものである。ここに、人工生命の目標と分子生物学の課題の間の接続点が見いだされるのである。

3.1.4.2　人工生命研究の流れ

(1)　人工生命の源流：ノイマンのセル構造オートマトンとウィーナーのサイバネティクス

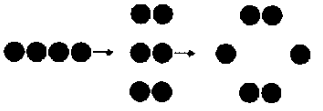
生命の論理的形式を計算機構によって実現する試みを最初に行ったのは、コンピュータの父と呼ばれるフォン・ノイマンである。ノイマンが目指したのは生命現象の一つ、「自己増殖」の能力である。すなわち、オートマトンが自分自身の生き写しを作ることができるようになるためには、どのような論理構成を持てばよいか、という問題を解くことであった。ノイマンはこれを後にセル構造オートマトンと呼ばれるようになった定式化を用いて解決した。セル構造オートマトンは有限オートマトンの何次元かの配列として構成されるもので、各有限オートマトンは各時点ごとに有限個の状態のどれかをとることになっている。どの状態をとるかは、その前の時点での自分を含めた配列中の隣接オートマトンの状態から一意的に決定される。ノイマンは29種類の状態をとるオートマトンによって、自己増殖機能を実現できることを示した。しかも、この増殖のためには、自分の設計図が必要で、その情報は生き写し作製のための指示として解釈される一方、生き写しに引き渡す設計図としても不可欠であることを明らかにした。これが正にDNAの役割そのものであることが、後に分子生物学におけるワトソンとクリックの仕事によって実証された。

ウィーナーのサイバネティクスについては、自動制御の基礎理論としてよく知られているのでその内容についての説明は省略するが、人工生命との関連では、つぎの2点に注目する必要がある。その第一点は、"通信と制御と統計力学を中心とする一連の問題が、それが機械であろうと、生体組織内のことであろうと、本質的に統一されうるものである"ことを具体的に明らかにしていることである。これは生命を持つものの現象と、持たないものの現象の間で本質的な類推が可能であることを保証するものである。第二点は、ノイマンが離散系の数学を用いて合成的にアプローチしたのに対して、ウィーナーは連続系の数学によって分析的にやったことである。両者の試みは互いに補完しあってより包括的なものになっているのである。

(2)　人工生命の胎動期：「ライフ・ゲーム」など

ノイマンとウィーナーの基本的なアイディアが広く知られるようになると、それの拡張や単純化、さらには生命現象の説明・合成のための新しいモデルの提案などの試みが各所で行われるようになった。それらのうちで影響力の強かったものとしては、セル構造オートマトンを模したコンピュータ・ゲーム「ライフ・ゲーム」（コンウェー）、生物進化における自然淘汰による適応化の原理を応用した学習アルゴリズム、特に「遺伝的アルゴリズム」（サミュエル、ホランド）、植物の形態形成における細胞間相互作用をモデル化した「Lシステム」（リンデンマイヤー）などがある。

これらのうち「ライフ・ゲーム」というのは、碁盤上のそれぞれの升目について黒石のある状態とない状態を考え、黒石の配置でできるパターンの変化を楽しむものである。パターンの変化は、各升目のつぎの状態がその現在の状態と周りの8個の升目にある黒石の個数によって定まるという規則によって推移する仕掛になっている。その変化の一例は次のようである。



単にこれだけの単純な仕掛けでも、得られる変化は非常に複雑で、最初のパターンがどんな図形に変わるかは予測不可能である。

こうした試みと並行して、複雑適応系の研究によってカオス理論の有効性が次第に明らかにされ、生命現象がカオスとして説明される可能性が注目されるようになった。

(3)　人工生命ワークショップ：研究分野としての人工生命の成立

1987年米国のロスアラモス国立研究所において、生命システムのシミュレーションと合成に関心をもつ約150名の計算機科学者・生物学者・物理学者・人類学者などが集まり人工生命に関するワークショップが開催された。主催者は人工生命の生みの親、C.ラングトンである。この会議はもともと生物学でのモデリングとシミュレーションに関心を持つ研究者の単なる情報交換を目的とするものであったが、そこから自然発生的に生まれた共通認識は次のようなものであった。すなわち、生き物的な振る舞いをする人工システムは、それが模倣するプロセスがわれわれの知っている生命の発達や機構の中での実際の役割をもつものかどうかとは無関係に、それ自身の権利として研究するに値する。この地球上で進化してきた生命を、ありうべき生命という広い文脈の中で見直すことによって、生命の可能性について普遍的な発言をなしうる理論生物学の創設に向かうことができる。この認識が生まれたことをもって、研究分野としての人工生命

の誕生とみなすことができる。

このワークショップを契機として、多数の人がこの分野とその方法てきアプローチに関心を持つようになり、新しいプロジェクトがスタートすることになった。1990年にサンタフェで開催された第2回ワークショップには約300人が集まり、これら新プロジェクトの成果報告を含めて70件の発表が行われた。さらに、91年からはヨーロッパでもAライフ国際会議が開かれ、続く92年には第3回のワークショップが400名を越える参加者を集めて開催された。

国内での研究はまだ散発的であり、学会あるいは研究会などの組織的な動きはこれからである。しかし、93年に入って啓蒙的なセミナーや講演会がいくつか開かれており、また、一部の研究所では研究プロジェクトが進められており、すでに成果の報告が出始めている。

3.1.4.3　人工生命の応用

人工生命は非常に新しい研究分野であり、技術的には極めて未熟である。したがって、この段階でその応用を云々しても、結果的に羊頭を掲げて狗肉を売ることになる心配がある。ここでは、研究の性質からみてどのような応用の可能性が期待できそうかという問題を設定して若干の検討を試みることにする。

応用可能性の観点からみたとき、人工生命研究の特徴として注目されるのはつぎの諸点である。その1は、人工生命は生命現象を扱うための一種の数学的な体系を用意するものであるということである。別の言い方をすれば、現実の現象を観察して、それを実際に方程式にのせるような作業は対象外であり、その部分の仕事は生物学や社会学、経済学などの助けが必要なことである。

その2は、人工生命研究は人工知能研究という側面をもつということである。ある生命体がその存続を確保していくためには、明らかに、基本的な認知能力、知的能力の働きが必要である。ただし、この能力はエキスパートの記号的な能力の中にではなくて、普通の昆虫の知能の中に最良の原型が見いだせるようなものである [2]。このような知能の実現のためには、状況的認知、創発機能性など人工知能研究の新しいパラダイムが必要になる。そして、ここから現在のAIが直面しているボトルネックを解消できる可能性が期待できるのである。

その3は、人工生命が複雑適応系としての性質をもち、多層にわたる生命体の多種多様な構造をカバーしている、ということである。すなわち、分子レベル、細胞レベルに始まり、最後は文化を持った社会集団に至るまで、非線形的な相互作用で結ばれた要素の集合体が対象になっている。このそれぞれが具体的な課題に対するモデルになりうる可能性を持つことに着目すれば、人工生命の応用範囲には一定の上限をひくのが困難なくらいである。

ここで、現在までに実際に話題に挙がった応用例を拾ってみると次のようなものがある。

- 複雑な交通網の制御
- 金融市場を対象にした市場予測
- 花びらのCG画像作成
- 自律ロボット
- 看護婦勤務計画作成
- 製鉄における生産順序決定
- 清酒の官能検査
- 自己診断機能をもつエキスパート・システム
- プログラム自動作成

これらの大半は、直接的には、遺伝的アルゴリズムの応用として展開されているものである [5]。

<参考文献>

[1] R.K.Belew：「人工生命とは何か―その1、その2」、日経AI別冊1991秋号、1991.

[2] P.Bourgine, F.J.Varela：Towards a Practice of Autonomous Systems, Proc. of the First European Conference on Artificial Life, 1991.

[3] C.G.Langton；Introduction, C.Langton et al ed.：Artificial Life II,1991.

[4] 稲吉宏明：人工生命への招待、情報処理、Vol.34,No.7、1993.

[5] 日経インテリジェントシステム：GAをはじめ活発化するA-life研究、同誌3月8日号、1993.

[6] 田中豊一、安中雅彦：ゲルの相転移と生命機能の基本原理、科学、Vol.63, No.2,1993.

3.2　AI基盤技術の動向

3.2.1　データベースからの知識獲得

データベースに格納されている超大量データの有効利用を目的として、多様な知識利用に柔軟に応じる大規模な共用知識ベースの構築が、今後の重要な研究課題として注目されている。その構築のためには、対象メディアの多様化に伴う課題と、対象データの大量化にともなう課題を解決しながら、大規模データベースに内在する知識を自動的に発見し、その獲得された知識をデータベースに付加して高度な知識ベースを形成する技術の開発が

急がれている。以下では、最近の研究動向と今後の展望も含めて、データベースにおける知識獲得に関して述べる。なお、本稿は、文献［16,17］に加筆修正を行ったものである。

3.2.1.1　大規模知識ベース構築のための要素技術として

コンピュータ技術の著しい発展とハードウェアの低価格化にともない、最近では、日々刻々と多種多様な（マルチメディア）の膨大な量の“生”データが充分に解析されないまま、データベースに格納されている。さらに今後も、医療、商業、経済、科学技術、CAD/CAMなどさまざまな分野におけるデータベースにおいて、データの質・量の両面から着実な拡張が見込まれる。なかには、利用者によって与えられる全データの数が数百万から数十億も格納された大規模データベース（very large databases; VLDB）が構築されることは確実である。データは、「知識」の根源である。しかし、データを大量に保有していることと有用な知識を多く持っていることとは全く別のことである。大量な共用データを有効利用するためには、格納されたデータをよく理解し、有用な知識を迅速かつ適格に発見する必要がある。ただし、ここでの知識とは、より具体的にはデータの領域間に内在する規則性（regularity）とか、異なる属性の値に関して成立する「IF THENルール」などを意味する。これら獲得された知識を、例えば、事実データ（fact data）のみより構成される従来のデータベースに付加することにより、

①データベースへの問合せ処理能力の強化
②推論エンジンとしての機能装備

をすることが可能になり、さらには、ルールの数が数千もあるような高度で共用の大規模知識ベース（very large knowledge bases; VLKB）の構築が見込まれる。

このような大規模データベースのデータ量に関する現実とその有効利用を目指して、データベースにおける知識獲得（knowledge discovery in databeses）の研究が最近注目を集めている。例えば、機械学習（machine learning）の分野の研究の牽引者であるD.Michieは、これまでの機械学習の研究および開発されたツールを今後如何に大規模データの解析に有用するかが重要な課題であることを強調している［16］。一方、データベースの分野においてもこの分野の研究の重要性が指摘されている。例えば、米国科学財団（NSF）で企画された1990年代のデータベースの分野の研究テーマを探るワークショップにおいて、データからの知識発掘（knowledge mining）の研究は最重要研究テーマの一つにランクされている［29］。最近では、VLDB国際会議など世界的によく知られたデータベース関連の学会でも、このテーマに関するセッションが設けられるようになった。さらに、人工知能関連の国際会議と連動して、データベースにおける知識獲得の研究のみにテーマを絞ったワークショップがすでに1989年、1991年、および1993年に開催された［24、21、23］。本稿では、データベースにおける知識獲得に関して、従来の人工知能における機械学習の研究などとの関連、最近の研究動向と今後の展望を中心として概説する。

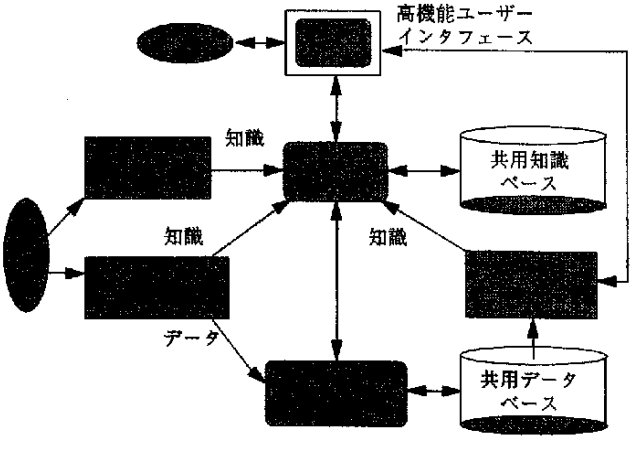
ここで、大量データからの知識獲得という言葉には、大きく二つの意味があることに注意しなければならない。最初の意味は、科学的発見（scientific discovery）に関連するもので、実験データのように対象世界で観測される大量の（通常は、数値）データから、最終的に導き出したい規則性を想定しながら、注目しているパラメータ値に関する標本データを知識獲得の対象とするものである。例えば、気体に関する大量の実験データから圧力、体積、温度に関するデータを抽出し、そのデータを対象としてボイル・シャルルの法則を導出するようなことである。したがって、法則の導出がうまくいかない場合など、実験を再度実行して標本データを採り直すこともありうる。それらのデータを全体的にみた場合の構造特性、データ間の関数関係などを発見し、標本化の統計的性質も考慮しながら対象世界で成立しているデータ間の規則性を推定するのが研究目的であり、人工知能技術の統計推定への支援が大きな課題となる。発見の方法としては、一般にトップダウン的であり、また、学習の理論の観点からは教師あり学習（learining with teacher）との関連が強いと思われる。このような科学的発見のための実システムとしては、P.Langleyらによって開発されたBACONシステム［13］が知られている。

もう一方は、ビジネスデータのように、各々のデータが現実を反映した貴重なデータである場合であり、そのような事実データを大量に格納した大規模データベースが与えられているという前提から出発し、そのデータベースに潜んでいる規則性やルールを発見する研究である。このようなデータベースには、それを利用する組織内でのさまざまな目的に対処できるように、非常に多種類の情報が格納されるのが通常である。したがって、データ間に成り立つ規則性やルールも一見そのような多様な情報のなかに埋れてしまいがちで、最終的に得られる

結果に関してある程度目標を定めて知識獲得を行うことは困難である。もし、目標が定まったとしても、科学発見の場合と異なり、それを導出するために対象となるデータを入力し直すことも通常は行われない。また、更新などのデータベースシステムならではの操作も考慮する必要があり、人工知能技術とデータベース理論を融合した応用が課題となる。知識獲得の方法としては、一般にボトムアップ的であり、また、教師なし学習（learning without teacher）との関連が強いと考えられる。本稿では、特に断らない限りは後者の立場からの議論を行う。

図表III-1-21に大規模知識ベースのシステム構成の一例を示したが、特に今後内容的にもより豊富な共用知識ベースを構築するためには、共用データベースから知識を獲得する高機能な知識獲得ワークベンチ（knowledge descovery workbench）の構築が急務である*1。その際、もし、データベースが単純ならば、ばらばらなデータを正確に一般化したり、一見したところ無秩序に見えるデータからある規則性を見い出すことができる。ところが、データが大量かつ複雑になるにつれ、このような知識を獲得するためにコンピュータを使って人間の作業を支援させたり、コンピュータに人間の代役を任せたりしなければ、データを簡単には処理できなくなる。つまり、機械学習の分野での研究成果、開発された技術を有効に利用することが重要になってくる。もちろん、人間の能力をそのままコンピュータに移し換えることは困難ではるが、コンピュータによる知識獲得のための実用可能なシステムはある程度実現している。例えば、少数ながらもすでに医療、CAD/CAM、科学、株の売買などの分野では、1980年代の前半からデータベースから有用な知識を獲得する研究は開始されており（文献［7］を参照）、実用システムも開発されている（例として、文献［25］参照）。また、大量データ内に存在する規則性を学習する方法もいくつか提案されている（文献［2］の9章参照）。このような状況下で実用的な知識発見のためのシステムが開発され、応用されていく可能性は十分にあると考えられる。すなわち、データベースから有用な知識の金塊（nuggets）を的確に掘り起こす機械学習技術を研究・開発をする絶好の機会を迎えているといえる。

図表III-1-21　大規模知識ベースのシステム構成例



3.2.1.2　対象メディアの多様化に伴う課題

人間の知識は、時と場合に応じて、文字、図形、音声などの種類の異なる媒体、いわゆるマルチメディア情報として実現される。ところが、これまでコンピュータに知識ベース化され、エキスパートシステムなどにおいて利用するために知識獲得あるいは知識表現の対象とされてきたのは、文字を媒体とするものがほとんどであった。今後、マルチメディアを対象とした大規模データベースの構築が今まで以上に推進すると考えられ、それに伴ってマルチメディア情報からの知識獲得が非常に重要な課題になってくると考えられる。ただし、マルチメディア情報の知識ベース化においては、“マルチメディアを対象とした知識表現の方法論の確立”と、それによって構造化されたデータを格納するための“知識ベースの柔構造化”の研究の推進が重要である。特に、データベースの研究の拡張として、マルチメディア情報を無理に加工することなく、かつ、データ間の複雑な相互関連性を保ちながら蓄積可能にする柔軟なデータベース・スキーマーの構築が重要であり、その実現のためにオブジェクト指向データベース［3］が現時点で最も可能性を備えたシステムと言える。さらに、構造的な柔軟さに加えて知識ベースに必要な演繹機能を併せもったデータベースが望まれ、演繹オブジェクト指向データベースシステムのさらなる開発が期待される［31、32］。

3.2.1.3　対象データの大量化に伴う課題

全データの数が数百万から数十億にも及ぶような超大量の共用データベースからルールを発見するには、非常に効率の良いアルゴリ

*1：この構築技術をさらに一般化し、データベースからの知識獲得工学（knowledge discovery engineering）へと発展させることが重要である。

ズムであっても、すべてのデータに適用するのは困難であろう。特に、それらのすべてのデータを従来の逐次的な方法で検索していたのでは、いくら強力な計算機と高速なアルゴリズムを採用しても計算時間が爆発的に増大してしまい、実用的な時間ではなかなか計算が終了し難い。そこで、現時点でこの問題を解決する方法としては次の二つが有力である。

①独立に計算が可能な領域に分けて、並列計算（parallel computing）を実行する。

②全データを検索せず、サンプリング(sampling)をして一部のデータからの情報を用いて有用なルールを導く。

並列計算の実行可能性に関しては、対象データを相互依存性のない領域にいかに分割して、知識獲得アルゴリズムを並列に実行するかが問題となる。そのアルゴリズムを実行するうえで、推論能力を要求されるような高度な計算を必要となる可能もあり、例えば、ICOTで開発されてきた大規模並列推論マシーンPIMの重要な応用領域とも考えられる。一方、データから任意に取り出したサンプルにアルゴリズムを適用してルールを発見する場合には、サンプルから導出されたルールが、構築された大規模知識ベースにおいて適当であるとは限らない。そこで、サンプルから導出されたルールの大規模知識ベースでの正確さを評価しておく必要が生じる。つまり、確率・統計の理論を用いて、全データを検索した場合との比較のもとで、得られたルールの正確さをいかに定量的に保障するかが重要な課題となる。

3.2.1.4　関係データベースを対象としたアルゴリズム

現在では、データベースシステムの典型と考えられている関係データベース（relational database）を対象として、コンピュータを使ってルールを自動的に機械学習するために最近提案されたアルゴリズムのうち次の2種は、データベースの構造を密接に反映したものとして注目に値する。

一つは、関係データベースの組において成立する従属性に注目してルールを求める組指向（tuple-oriented）のアルゴリズムである。G.Piatetsky-Shapiroは、組指向のアルゴリズムとして、すべての条件の並行検索（parallel check）を行い、しかも、各組へのアクセスを1回しか要求しないような方法を提案している［22］。このアルゴリズムは、従来から関係データベースの分野において、盛んに行われてきた関数従属性（functional dependency）の研究との関連性が非常に深い。この研究の発展として、G.Piatetsky-Shapiroは、組指向のアルゴリズムを使ってサンプルから導出されたルールが、全データベースに適用されたときの統計的な正確さの解析を行っている［22］。また、計算の複雑度と関連した学習理論として注目されているPAC学習（probably approximately correctly learning）（例えば、文献［28］と関連して、阿久津と高須は、関係データベースにおける関数従属性のPAC学習可能性について研究を行っている［1］。

もう一方は、属性間の概念的な階層構造に注目してルールを求める属性指向（attribute-oriented）のアルゴリズムである。J.Hanらは、属性指向のアルゴリズムとして、学習化に関する知識を概念木（concept hierarchy）として与え、属性ごとにその概念木を葉から根に辿っていきながら、各属性の値をより一般的な概念をもつ値に置き換え（例えば、“修士課程の学生”および“博士課程の学生”は、“大学院生”という一般化した値に置き換える）、その結果成立するルールを導出する方法を提案している［4、9］。得られるルールには、データベースに蓄えられたすべてのデータが満足する概念の特徴を表わす特性ルール（characteristicrule）と、あるクラスの概念を他のクラスの概念と区別する陳述である分類ルール（classification rule）が考えられる。例えば、ある大学のテニス部の学生の特徴を表わすルールは特性ルールであり、ある大学のテニス部の学生がその部の顧問の先生と異なったどのような特徴を持つかを表わすルールは分類ルールである。J.Hanらの研究は、関係データベースを対象として、与えられた概念木からこれら2種のルールを導くアルゴリズムを与えているが、これらのアルゴリズムは、教示学習（learning from examples）の一般化規則（generalization rule）である条件削除（dropping condition）規則、一般化木上昇（climbing generalization tree）規則に基づいている。さらに、園生らは、属性指向のアルゴリズムを用いてサンプルから導出されたルールが、全データベースに含まれる全体の組に適用されたときの統計的な正確さの解析を行っている［30］。

以上の組指向、属性指向のアルゴリズムでは、対象とする関係データベースの属性は最初に与えられたままを用いたが、その属性自体を変更したり、現在与えられているいくつかの属性の値から計算される属性を新たに追加することにより、何らかの規則性が得られる場合がある＊2。例えば、科学的発見に関連した大量データからの知識獲得では、気体の“圧力p”、“体積v”、“温度T”に関する大量の実験データがある場合に、新たにpv/T

を計算した属性を考えると、この値が（実験データなので）ほぼ一定であるという規則が得られる。ただし、一般的にこのように適切な属性を発見することは、データベースからの知識獲得の研究においては非常に難しい問題である。対象領域に関する背景知識、人工知能技術、統計推定技術などを駆使して、有意義な属性をシステマテックに導き出すための研究が行われている（例えば、文献［33］参照）。

さらに、データベースモデルとして最近特に注目を集めているオブジェクト指向データベース（object-oriented database）を対象とした知識獲得の研究も開始されている。例えば、上述の関係データベースに対する属性指向のアルゴリズムをオブジェクト指向データベースに拡張する研究が、西尾らによって行われている［20］。

3.2.1.5　最近のシステム開発動向

最近開発されているデータベースからの知識獲得システムのうち、注目に値するいくつかの例を簡単に紹介しよう。

まず、G.Piatetsky-Shapiroを中心とする米国GTEの研究グループは、ビジネスデータを対象とした知識獲得ワークベンチのプロトタイプシステムを既に開発している［25］。ビジネスデータベースは通常数値データより構成されるが、対象データの可視化（visualization）と代表的なデータ解析手法であるクラスター分析（clustering）、分類化手法（classification）、要約化手法（summarization）を用いることでデータ間に成立する規則性を発見するプロトタイプシステムを構築している。ワークステーション上でCommon Lispをベースとして作成されており、今後適用関係データベースとのインターフェースを開発し、実システムへ応用することを目標としている。

最近、米国MCCでD.B.Lenatらが中心となって開発が進んでいる知識ベースCYC［14］は、大規模知識ベースシステムの今後の構築可能性を探る意味でも非常に重要である。このCYCシステムを対象として、W.M.Shenは、$P(x,y) \wedge R(x,z) \rightarrow Q(x,z)$のタイプの規則性を発見する手法を開発している［27］。例えば、“xさんはyさんを非常によく知っている”、しかも、“yさんはz語を話す”。そのとき、常識的に“xさんはz語を話す”と考えられ、データ間に成立する多くの興味ある規則性が上記のような形式で記述され得る。このような常識的な知識（common-sense knowledge）を知識ベースCYCから発見し、それを付加することによって、より強力な知識ベースの開発が促進されると考えられる。

データベースが大規模化するにつれて、通常フィールド値に種々の誤りが生まれる可能性が高くなる（たとえば、正式には“two”と入力しなければならないところを、システムの大規模化に伴う初歩的な注意不足から誤って“2”と入力してしまうなど）。Washington州立大学のJ.C.Schlimmerは、このようなデータベースの大規模化に伴って発生する諸々の問題を解決するために、データベースから学習理論を用いてフィールド間に成立する規則性を見い出し、誤り検出を可能にするモデルを構築し、さらに実システムCARPERを開発している［26］。

マルチメディア情報を対象とした研究の重要性を先に述べたが、現時点では知識獲得システムが次々と開発されるほど進展しているわけではない。そのような状況のなかで、遺伝子形状を抽出する研究は活発に行われており、これらの研究は、3次元構造物に関するデータからの知識獲得技術の開発と関連すると考えられる。例えば、Rutgers大学のD.Cohenらの研究グループは、DNAの水化パターンを推測する研究を行っているが、そこでは、DNAのクリスタル構造をクラスター解析と人工知能における決定木（decision tree）技術を応用して類別化することを目指している［5］。方法論としては、まず、クラスター解析をしてパターンの分類を行ったうえで、特徴抽出を決定木で行っている。このような研究パターン認識に関する研究ともみなせるが、別の見方をすれば、DNAの構造に関する超大量のデータから形状物に関する特性を抽出するという意味で、知識獲得技術に関する研究とも考えられる。

最近、ノードとリンクの概念によって実世界の対象システムの表現を行うハイパーテキスト（hypertext）の考え方に基づいたソフトウェアシステムの開発が盛んに行われている。ハイパーテキストシステムも大規模化するにつれリンクの構造が複雑化し、その管理とリンク上のナビゲーション自体が非常に複雑になり、ハイパーテキストの利点が失われてくる。このような問題に対して、原は、大規模ハイパーテキスト構造に関して、概念設計レベルにおけるリンクの抽象化方策と、物理構造レベルおよびヒューマンインタフェースレベルにおけるリンクのクラスタリング手法による解決法を提案している［10］。その方法は、大量のリンクデータを格納したデータベースから大域的情報の抽出をはかる知識獲得の研究

＊2：従来のデータベースの分野における関連研究として、要約データ（例えば、文献［11］参照）に関する研究がある。

と考えることができる。

近年、通信ネットワークの統合拡大による物理的な規模の拡大、および、それにともなう管理に関する論理的な複雑度の急速な増大にともないネットワークマネージメントが困難になってきている。今後も、通信ネットワークが高度化するにつれて、情報伝送・処理システムにおけるMIB（Management Information Base）をはじめとする多種類の情報システムが増加し、論理的な構成の複雑さがより大きく性能に影響することは明らかである。河野らは、大規模データベースにおける知識獲得の手法を統合化された大規模通信ネットワークの状態に応じたマネージメントを行う一つの手段として導入することを提案している［12］。

以上の他にも、文献［23］では、地上基地あるいは人工衛星による膨大な量の宇宙観測データ、株価データなど大量に蓄積されたビジネスデータ、さらに、半導体生産などに関連した工学データベースを対象にした知識獲得応用システムの開発について興味深い結果が述べられている。

3.2.1.6　今後の課題

今後、機械学習の理論の応用してさらにこの分野の研究を発展するうえで、知識獲得の対象がデータベースシステムであることから特に留意しなければならない二つの問題を述べることにする。

［正の事例のみからなる学習］

一般に帰納学習における例からの学習（概念獲得）において、あるクラスに属する事例に関して帰納的にルールを導く際の理論的基礎として、完全性条件と無矛盾性条件がある［15］。このうち無矛盾性条件は、正事例(positive set)および負事例（negative set）からの観察をもとに有効な規則性を導くことに関連している。ところが、データベースに蓄えられているデータは事実の集合であり、反例が存在しないために無矛盾性条件を適用できず、ルールを一般化するうえでの自然な限界がない(つまり、例えば、“情報工学科の学生は、人間である”というような、あまりにも一般的で有効に使うことのできないルールが導かれてしまう)。このように正事例のみからの知識獲得を行うために、データベース構築時に必要な属性間の種々の制約や属性値の階層構造・包含関係といった制約を付加することによって、必要以上のルールの一般化（over-generalization）を行わないように制約を設ける必要がある。

［非単調な知識の発展］

大規模知識ベースのメインテナンスに従事している技術者の間では、「比率90/10の法則」ということが言われている。つまり、知識ベース内に蓄えられたデータのうち、規則性に反するたった1割のデータ（ノイズ）のために、全体システムの管理に要する時間の9割を要していることである［6］。データの更新が多い大規模データベースでは、ある時点で満足されていたルールがデータの更新後に満たされなくなる可能性も多分にあり、今後このような問題には特に留意しなければならない。つまり、少数のデータがルールを満たさないために有用なルールが捨てられるのではなく、例外を扱うための知識の非単調な発展（non-monotonic knowledge evolution）を考慮しなでればならず、例えば、完全性条件の緩和などの対策が考えられる。また、人工知能を含めた他の分野におけるこのような問題に対処する技術としては、次に列挙する方法が考えられる［6］。

- 例外処理（exception handler）
- ルールの動的改訂
- 再定義（overriding）
- デフォルト（default）論理
- 異常宣言述語（abnormality predicate）
- 確率の導入（例えば、PAC学習など）
- ファジィ論理

このような方法をベースとした非単調な知識の発展に関する研究は、今後最も興味深く、現実的に解決が急がれている問題である。

3.2.1.7　おわりに

ここ数年、データベースと知識ベースとの接点あるいは相違点に関する議論が多くなされている。Y.Freundlichは、それら二つの相違を図表Ⅲ-1-22のようにまとめている［8］。この表からも明らかなように、データベースにおける知識獲得の研究は、専門家を仮定しない一般の情報収集機構によって超大量に蓄積されたデータを対象として、多目的でより高度な情報システムである大規模知識ベースへ変換していくための核技術として非常に重要である。さらに、“知識の泉”ともいえる

図表Ⅲ-1-22　データベースと知識ベースの相違

比較項目	データベース	知識ベース
情報の収集者	事務員	専門家
利用目的	情報検索	多目的
情報の種類	事実	より高度な情報（知識）
理論的な要請	計算の理論	意味論的な解釈

大量の生データのなかから貴重な財宝を掘り起こし、情報化社会に還元するために非常に大切な機械学習およびデータベース技術の応用研究課題として、今後ますますの発展が期待される。

＜参考文献＞

[1] 阿久津達也、高須淳宏：関係データベースにおける関数従属性のPAC学習可能性について、第6回人工知能学会全国大会論文集,pp.327-330,東京(June 1992).

[2] 安西祐一郎：認識と学習,岩波講座 ソフトウェア科学16,9章,pp.294-327,岩波書店,東京(1989).

[3] Atkinson,M., Bancilhon,F., Dewitt,D., Dittrich,K., Maier,D., and Zdonik, S.: The Object-Oriented Database System Manifesto,Kim,W. ,Nicolas,J.M., and Nishio,S.(eds.): Deductive and Object-Oriented Database, pp.223-240, North-Holland, Amsterdam(1990).

[4] Cai,Y., Cercone,N., and Han, J:Attribute-Oriented Induction in Relational Database, 文献[24], pp.213-228(1991).

[5] Cohen,D., Schneider,B., Berman,H., and Kulikowski,C.: Learning to Predict DNA Hydration Patters,文献[21], pp.10-122(July 1991).

[6] Esculier,C.:Non-Monotonic Knowledge Evolution in VLKDBs, Proc.of the 16th International Conference on Very Large Data Bases, pp.638-649, Brisbane, Australia(August 1990).

[7] Frawley,W.J., Piatetsky-Shapiro,G., and Matheus, C.J.:Knowledge Discovery in Databases: An Overview, 文献[24], pp.1-27(1991)（同じ著者らによる同様の内容の論文が，AAAI AI magazine, Vol.13, No.3, pp.57-77(Fall 1992)に掲載されている）.

[8] Freundlich,Y. : Knowledge Bases and Databases: Converging Technologies, Diverging Interests, IEEE COMPUTER,Vol.23,No.11,pp.51-57(Nov.1990).

[9] Han,J.,Cai,Y., and Cercone,N.: Data-Driven Discovery of Quantitative Rules in Relational Databases, To appear in IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering(1993).

[10] 原良憲:ハイパーテキストデータベースにおける抽象化操作とクラスタリング手法，オブジェクトテクノロジーの高度応用に関するObaseワークショップ講演論文集, pp.3-10, 神戸(Jan.1992).

[11] Johnson,R.R.: Modelling Summary Data, Proc.of International Conference on Management of Data(ACM-SIGMOD 1981), pp.93-97, Ann Arbor, Michigan(Apr./May 1981).

[12] 河野浩之、西尾章治郎，長谷川利治:大規模データベースにおける知識獲得アルゴリズム・通信ネットワークにおける管理知識の獲得，第6回人工知能学会全国大会論文集, pp.335-338, 東京(June 1992).

[13] Langley,P.,Bradshaw,G.L., and Simon,H.A.: Rediscovering Chemistry with the BACON System, in Michalski, R.S.,et al.(eds.): Machine Learning:An Artificial Intelligence Approach, pp.307-329, Springer-Verlag(1984).

[14] Lenat,D.B. and Guha,R.V.: Building Large Knowledge-Based Systems,Addison-Wesley, Reading, MA(1990).

[15] Michalski,R.S.: A Theory and Methodology of Inductive Learning, in Michalski,R.S., et al.(eds.): Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach, pp.83-134, Springer-Verlag(1984).

[16] Michie, D.: March 15 Interview, AI Week, Vol.7, No.6, pp.7-12(1990).

[17] 西尾章治郎: 大規模データベースからの知識獲得と機械学習，人工知能学会誌，Vol.7, No.1, pp.13-16(Jan.1992).

[18] 西尾章治郎: データベースからの知識獲得,「語彙知識から世界知識へ一知識体系の構築を目指して一」ワークショップ論文集, pp.70-77, 東京(Jan.1992).

[19] 西尾章治郎: 大規模データベースにおける知識獲得,情報処理,Vol.34, No.3, pp.343-350, (Mar.1993).

[20] Nishio, S., Kawano,H., and Han, J. : Knowledge Discovery in Object-Oriented Databases, 文献[23], pp.186-198(July 1992).

[21] Piatetsky-Shapiro,G.(eds.): Proceedings of 1991 AAAI Workshop on Knowledge Discovery in Databases, Anaheim, CA(July 1991).

[22] Piatetsky-Shapiro,G: Discovery,Analysis, and Presentation of Strong Rules, 文献[24], pp.229-248(1991).

[23] Piatetsky-Shapiro,G.(ed.):Proceedings of 1993 AAAI Workshop on Knowledge Discovery in Databases, Washington, D.C.

[24] Piatetsky-Shapiro,G. and Frawley, W.J.(eds.): Knowledge Discovery in Databases, AAAIPress/The MIT Press, Menlo Park,CA(1991)（この成書は, Proc.of 1989 IJCAI Workshop on Knowledge Discovery in Databases, Detroit, MI(August 1989)を改訂増補して出版されたものである).

[25] Piatetski-Shapiro,G. and Matheus, C.J.: Knowledge Discovery Workbench: An Exploratory Environment for Discovery in Business Databases, 文献[21], pp.11-24(July 1991).

[26] Schlimmer,J.C.: Learning Determinations and Checking Databases,文献[21], pp.64-76(July 1991).

[27] Shen,W.M.: Discovering Regularities from Knowledge Bases,文献[21], pp.95-107(July 1991).

[28] 篠原歩,宮野悟:PAC学習ー確率的で近似的に正しい学習, 情報処理, Vol.32, No.3, pp.257-263 (May 1991).

[29] Silberschatz,A.,Stonebraker,M., and Ullman,J : Database Systems: Achievements and Opportunities, The "Lagunita" Report of the NSF Invitational Workshop, TR-90-22, Dept.of Computer Science, Univ. of Texas at Austin(1990).

[30] 園生賢一,河野浩之,西尾章治郎,長谷川利治:大規模データベースにおけるサンプルから属性指向によって導出されたルールの評価,第5回人工知能学会全国大会論文集, pp.181-184, 東京(June 1991).

[31] 横田一正: 演繹オブジェクト指向データベースについて,コンピュータソフトウェア, Vol.9, No.4, pp.285-300 (July 1992).

[32] 横田一正,西尾章治郎: 演繹・オブジェクト指向データベース,情報処理, Vol.31, No.2, pp.234-243(Feb.1991).

[33] Zhong, N.and Ohsuga, S.:GLS A Methodology for Discovery Knowledge from Databases , To appear in Proc. of the 13th International CODATA Conference entitled "New Data Challenges in Our Information Age", Beijing(1992).

3.3 AI応用技術の動向

3.3.1 モデルに基づく故障診断

3.3.1.1 経緯と知識処理における位置付け

診断問題はエキスパートシステムの初期から大きな対象であった。1970年代のMYCINを始めとする医療診断のエキスパートシステムが契機となって、1980年代のエキスパートシステムを中心とするAIブームが生まれたとも言える。これらの初期の診断型エキスパートシステムは、専門家の経験的知識（多くの場合、ルール記述）に基づき分類型の診断を行うことを特徴とするシステムであった。すなわち、観測される症候に基づいて原因を分類するのに必要な知識（事実的知識と経験的知識）を記述し、推論によって答を導くものであった。不確実性を扱うために、確信度を組み入れた推論法も考案された。この技術は医療診断だけでなく、電子装置、機械装置、プラント、経営等にも広く応用されるようになった。

分類のための経験的知識に大きく依存するこのような分類型診断技術は、問題状況が想定していた状況とうまく適合する場合には非常にすぐれた性能を発揮する反面、次第に次のような課題が明らかになってきた。

①知識ベースの対応の幅の狭さ

想定し知識ベースに記述した事態にはうまく対処できるが、少しでも知らない事態には無力となるという知識ベースの脆弱性（Brittleness of Knowledge-base)。故障診断でも起こり得る事態をすべて想定して分類的知識として用意することは困難である。

②知識獲得のボトルネック（Knowledge Acquisition Bottleneck)

経験的知識は効率的推論に極めて有効であるが、専門家等からのその獲得は容易ではない。(この問題に対しては知識獲得の自動化や学習の研究が別途進展している。)

モデルに基づく診断（Model-based Diagnosis）は、このような分類型診断の課題を認識し、診断対象のモデル（構造と動作情報）に立脚した診断のメカニズムを与えるものとして考案されてきた。すなわち、診断対象の構造と動作のモデルを知識として記述するだけで、症候が与えられると原因を同定する推論を行うものである。R.Davisの研究［1］やM.Genesereth の研究［2］あたりが、知識処理としてのモデルに基づく診断の研究の最初である。一般に分類型知識による推論が浅い知識による推論と呼ばれるのに対し、構造的モデルに基づく推論は深い知識による推論とも呼ばれる。

後に述べるように、実はこのモデルに基づく診断の定式化は、手続き的（procedual）ではない宣言的(declrative) 知識表現（あるいは制約）下での解の導出のメカニズムを扱うことになる。従って、単に故障診断問題だけでなく、広く宣言的知識表現あるいは制約下で

の問題解決に共通の課題を扱うことになる。先に述べたような知識ベースの対応の幅の狭さ、知識獲得のボトルネックといった問題は大幅に軽減される反面、推論の筋道をガイドする役割を果たす経験的知識に依存しないため、効率的推論の達成が大きな課題となる。なお、この分野の海外の主要な研究論文をまとめたものとして次の冊子が出版されており、技術的詳細を知るには大変役立つ。

W.Hamscher,L.Console,J.dekleer(Eds.):Reading in Model-based Diagnosis,Morgan Kaufmann Pub.,CA(1992)。

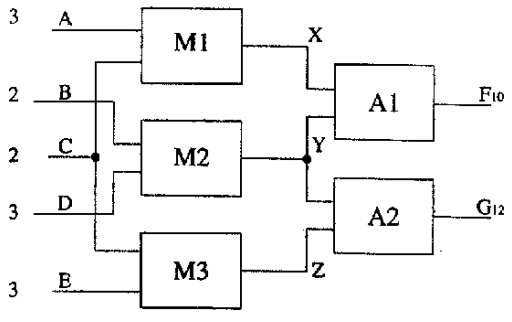
3.3.1.2　故障モデルを想定しない整合性に基づく（consistency-based）方法

まず最初に正常な動作を記述して、故障モデルは特に記述しないdekleer等のGDE（General Diagnostic Engine）[3]、あるいはReiterによりFirst Principle［4］と呼ばれる方法について説明する。dekleer（Xerox PARC）はATMS、Reiter（トロント大）はデフォルト論理で著名であり、実はこのモデルに基づく診断もこれらの技術と密接に関係している。

知識としては対象装置モデルとして、構成要素の正常動作とその接続関係を記述する。よく説明に用いられる例である図表Ⅲ-1-23を対象にして説明することにする。図表Ⅲ-1-23でM1、M2、M3は乗算数器A1、A2は加算器で、これらの正常動作と接続関係が記述されているものとする。このとき図表Ⅲ-1-23に示されるように入力A＝3、B＝2、C＝2、D＝3、E＝3のときF＝10、G＝12が観測されていたとすると、これはすべての構成要素を正常としたのでは説明できず、いずれか（2個以上の多重故障も含めて）が故障である。

GDEでは症状に対してまず競合集合（Conflict set）を計算する。競合集合は「その要素がすべて正常動作では（観測される症状）矛盾となる集合」のことである。図表Ⅲ-1-22の例では出力Fは12となるべきところが10であることから、この症状に対して競合集合は（A1、M1、M2）となる。出力GはB＝2、D＝3、E＝3でM2、M3、A2が正常のとき12となるのが正しいが、別の見方をとるとM2は無視し、A＝3、C＝2、E＝3とA1、A2、M1、M2が正常とするとYの値は4となり、G＝10と計算され観測値の12は矛盾となり（A1、A2、M1、M2）が競合集合になる。

図表Ⅲ-1-23　故障診断の対象の演算回路



GDEは新しい症状に対する競合集合を得ると、それまでの競合集合と合わせて極小の競合集合を計算し、故障原因を絞り込んでいく。これはATMSで仮説の極小の環境（environment）を計算するのに束（lattice）構造を利用するのと同様の方法を用いる。（競合集合はATMSのnogood、極小競合集合の計算は極小nogoodの計算に相当している。）上記の例では多重故障も含め、[A1]と［M1］と［A2、M2］と［M2、M3］が四つの故障候補として残る。

Reiterの方法はこの極小の競合集合の一つの効率的計算法を与えている。Reiterはこのような診断問題の論理的背景をもつ定式化も行っているので、繰り返しになる面もあるが彼の用語に従って説明することにする。

SDをsystem description、すなわち対象システムのモデルの記述、OBSをobservation、すなわち正常でない異常を表す述語とすると、診断とは

SD∪OBS∪｛(AB(C)｜C∈△｝∪｛¬AB(C)｜C∈COMPONENTS-△｝

が無矛盾となるような極小集合△∈COMPONENTSを見い出すことである。競合集合（conflict set）とは、dekleerのGDEと同様に、この中のどれかの要素が異常（故障）である部品の集合を表し、診断はすべての競合集合に含まれる要素を持つ極小集合（極小ヒッティング）を計算することになる。

Reiterはこの極小ヒッティング集合の計算を図表Ⅲ-1-24に示すようなHS木と呼ぶ木構造を造って効率的に行う方法を示した。図表Ⅲ-1-24ではシステムの要素部品を番号で表しており、HS木は任意の競合集合をルート節点として、次の手順を繰り返して作成する。

1）ルート節点の競合集合の各要素でラベル付けした枝を生成する。

2）子節点nについて、ルートからその節点までの枝に付けられたラベルの集合H（n）と共通要素をもたない競合集合があれば、節点nにその競合集合を置く。すでに節点に使われている競合集合があればそ

れを優先して用いる（図表Ⅲ-1-24の下線のもの）。共通要素をもたない競合集合がなければその節点に」印を付ける。

3）次の枝刈りを行う。

i) 4の付いた節点nがあり、H（n）⊆H（n'）であれば節点n'を閉じ、×印を付ける（その節点からはもう枝を生成しない）。

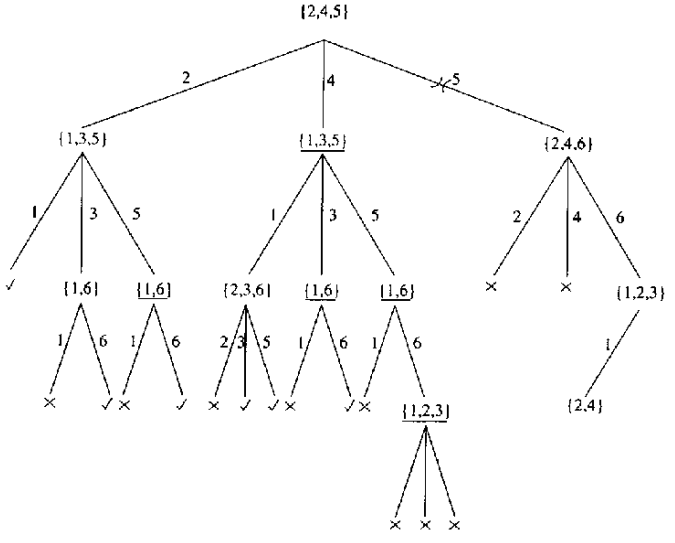
ii) 節点nがあり、H（n）＝H（n'）であれば節点n'を閉じ、×印を付ける。

iii) 節点nおよびn'があり、それぞれSとS'の競合集合をもち、S'がSの真部分集合であればα∈S-S'のラベルを持つ枝（図表Ⅲ-1-24でxの枝）を削除する。

このように得られたHS木の」印の節点nのH（n）は極小ヒッティング集合となっている。図表Ⅲ-1-24では競合集合が｛2、4、5｝、｛1、2、3｝、｛2、4｝、｛2、3、5｝、｛1、6｝のとき、極小ヒッティングを集合として｛1、2｝、｛2、3、6｝、｛2、5、6｝、｛1、3、4｝、｛1、4、5｝、｛3、4、6｝が得られている。しかしこのReiterの方法も必ずしも十分な効率とは言えない。

ReiterとdeKleerは彼らのモデルに基づく診断の枠組みを文献［5］で、次節の仮説推論、アブダクション（発想的推論）も含む広範な論理的枠組みへと定式化に発展させている。

図表Ⅲ-1-24　ＨＳ木の生成例［文献２より］



3.3.1.3　アブダクション、仮説推論による方法とその高速化手法
――故障モデルを想定するアプローチ

仮説推論は真か偽か必ずしも不明な知識、あるいは後に否定される可能性を有する不完全な知識を仮説として扱い推論を行う知識処理の枠組みである。この仮説推論は実はモデルに基づく診断（特に故障モデルを想定する場合）の基盤的枠組みとなっている。仮説推論はゴールの証明に必要な欠落している知識を発想するアブダクション（Abduction）のメカニズムである。

ここではまず論理に基づく仮説推論［6、7、8、9］について簡単に紹介することにする。この仮説推論では知識ベースを完全な知識（対象世界で常に成り立ち矛盾の可能性のない知識）の集合Fと、仮説（hypothesis）の知識（対象世界で常に成り立つとは限らず矛盾の可能性を持つ知識）の集合Hとに分ける。Hの部分集合をh、すなわちh⊆Hとする。

基本的な推論動作は次のとおりである。ゴールGが与えられたとき、まずFからGが演繹的に証明できるか確かめる。Fからだけでは証明できないとき、次の条件を満たすhを求める。

F∪h⊢G（FとhからGが証明できる；⊢は演繹的証明を示す論理記号）

F∪hは無矛盾

すなわち、完全な知識の集合Fだけからを証明できればそれでよいが、Fからだけではを証明できないとき、仮説の集合Hの中から無矛盾な部分集合hを切り出し、Fと合わせてGを証明するようにする。多くの場合、hは最小性（または非冗長性）、すなわちhの部分集合h'が上記の条件を満たさないことも要請される。

仮説推論の診断問題への適用の基本的な考え方は次の通りである。故障の可能性のない（常に正しい）システム要素を完全な知識Fとして記述し、故障の可能性を仮説Hとして記述する。起り得ない仮説の組合せの状況を矛盾として記述する（Fの一種である制約知識となる）。そして、故障の症状の観測ゴールGとして与える。論理に基づく仮説推論の場合、以上のいずれの記述も論理式として与える（推論の効率化のためには論理式をホーン節に制限した方がよい）。

Prologの推論機能を利用して仮説推論システ

ムを実現し、デジタル回路の故障診断へ適用した動作例を示しているのが図表Ⅲ-1-25である。この場合、ゲート間の結線は故障しないとしているので、完全な知識Fとして記述している。各ゲートは正常（ok）か、出力が1に縮退するstuckon、出力が0に縮退するstuckoffの故障の可能性があるので、これらを仮説として記述する。図表Ⅲ-1-25では、例えばa1ゲートが正常（ok）という仮説はhyp（stat(al.ok)）.のように標記されている。あるゲートはok、stuckon、stuckoffのいずれかであり、これらの状態を同時にとることはないので、同時に生じるのは矛盾であると定義する。

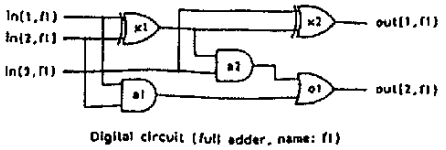
図表Ⅲ-1-25の下部はシステムの動作を示している。この回路は入力が3本、出力が2本あるが、最初に次のような観測がゴールとしてシステムに与えられる。

入力が0、0、0のとき、出力が0、0
入力が0、1、0のとき、出力が0、0
入力が1、0、0のとき、出力が0、0

例えばval（out(l,fl,) 0）は1番目の出力out（1,fl）の値が0であることを表している。この観測事象は正常の動作ではない故障の症状を表しており、すべてのゲートを正常としたのでは知識ベースから演繹的に証明できない。そこで、仮説推論機構はゲートの故障の仮説を導入し、観測事象の証明を成功させようと試みる。

この場合の仮説推論機構は、最初に可能な解仮説の多重故障も含むすべての組合せを推論するようになっている。その結果、与えた観測事象だけでは故障の原因を一意に絞り込むことはできず、図表Ⅲ-1-25の中段のように14種の仮説の組合せが得られる。

図表Ⅲ-1-25　仮説推論によるデジタル回路の故障診断



Digital circuit (full adder, name: f1)

```
|?-hypoth.
Hypothesis formation starts.
Please input knowledge base name
>'ex1.11'.
ex1.11 reconsulted 4552 bytes 0.763003 sec.
Please input symptoms
>((val(out(1,f1),0)&val(out(2,f1),0):-val(in(1,f1),0)&val(in(2,f1),0)&val(in(3,f1),0))
&(val(out(1,f1),0)&val(out(2,f1),0):-val(in(1,f1),0)&val(in(2,f1),1)&val(in(3,f1),0))
&(val(out(1,f1),0)&val(out(2,f1),0):-val(in(1,f1),1)&val(in(2,f1),0)&val(in(3,f1),0))).
Forming hypotheses...
Formed hypotheses are:
(stat(a1,ok) & stat(a2,ok) & stat(o1,ok) & stat(x1,stuckoff) & stat(x2,ok))
(stat(a1,stuckoff) & stat(a2,ok) & stat(o1,ok) & stat(x1,stuckoff) & stat(x2,ok))
(stat(a1,ok) & stat(a2,stuckoff) & stat(o1,ok) & stat(x1,stuckoff) & stat(x2,ok))
(stat(a1,stuckoff) & stat(a2,stuckoff) & stat(o1,ok) & stat(x1,stuckoff) & stat(x2,ok))
(stat(o1,stuckoff) & stat(x1,stuckoff) & stat(x2,ok))
(stat(a1,ok) & stat(x1,ok) & stat(a2,ok) & stat(o1,ok) & stat(x2,stuckoff))
(stat(a1,stuckoff) & stat(x1,ok) & stat(a2,ok) & stat(o1,ok) & stat(x2,stuckoff))
(stat(a1,ok) & stat(x1,stuckon) & stat(a2,ok) & stat(o1,ok) & stat(x2,stuckoff))
(stat(a1,stuckoff) & stat(x1,stuckon) & stat(a2,ok) & stat(o1,ok) & stat(x2,stuckoff))
(stat(a1,ok) & stat(x1,stuckoff) & stat(a2,ok) & stat(o1,ok) & stat(x2,stuckoff))
(stat(a1,stuckoff) & stat(x1,stuckoff) & stat(a2,ok) & stat(o1,ok) & stat(x2,stuckoff))
(stat(a1,ok) & stat(a2,stuckoff) & stat(o1,ok) & stat(x2,stuckoff))
(stat(a1,stuckoff) & stat(a2,stuckoff) & stat(o1,ok) & stat(x2,stuckoff))
(stat(o1,stuckoff) & stat(x2,stuckoff))

Observation:
val(out(1,f1),1):-val(in(3,f1),1)
is right?(y/n)
>n.
Observation:
val(out(2,f1),1):-val(in(2,f1),1)&val(in(1,f1),1)&val(in(3,f1),0)
is right?(y/n)
>y.
Observation:
val(out(2,f1),0):-val(in(2,f1),0)&val(in(1,f1),0)&val(in(3,f1),1)
is right?(y/n)
>y.
Observation:
val(out(2,f1),1):-val(in(2,f1),1)&val(in(1,f1),0)&val(in(3,f1),1)
is right?(y/n)
>y.
Verified hypothesis is:
(stat(a1,ok) & stat(x1,ok) & stat(a2,ok) & stat(o1,ok) & stat(x2,stuckoff))

Do you continue?(y/n)
>n.
yes
```

観測
仮説形成
第1ステップで形成される14の仮説
仮説選定のための質問応答

（Val（out（1,fl）,はout（1,fl）ノード出力値が0を表し、stat（al,ok）はalゲートの状態がokであることを表している。

仮説推論は矛盾に関する制約を基礎にして動作するため、単に複数の可能な解を生成するので終わるだけでなく、解を一意に絞り込む追加の質問を自動的に生成する質問一応答機構を実現できる。図表Ⅲ-1-25の下段では、次のような質問一応答が行われている。

入力が1のとき、出力1は1か？　　応答：no
入力が1、1、0のとき、出力2は1か？　応答：yes
入力が0、0、1のとき、出力2は0か？　応答：yes
入力が0、1、1のとき、出力2は1か？　応答：yes

この結果、解は一意に決まり、次のようになっている。

X2ゲートがstuckoff

故障診断の場合は、故障箇所の同定ができないときに追加の入力に対する出力から故障の範囲を限定していくことを行うが、これを模擬した動作が実現されている。質問は複数個生成させた可能な解仮説を二つのグループh1とh2に分け、一方のグループの仮説から証明でき、他方のグループの仮説から証明できないような入力一出力対を見い出す。そして、yesかnoかによって一方のグループを残し、他方のグループを棄却するようにする。すなわち

F∪h1 ⊢G2
F∪h2 ⊢/G2
（⊢/は左辺から右辺が証明できないことを表す）

となるようなGを見い出し、答えがyesのときh1、noのときh2を残して、残りが1組の仮説となるまで続けるようにする。このようにして、解の絞り込みに効果がある質問のみを生成することができる。最も少ない質問回数で一意の解に到達するようにするために、均等なグループ分け（7個と7個の仮説の組）に対して上記の関係となるような入力一出力対を見い出す必要があるが、これを行うのは事情に時間がかかる。図表Ⅲ-1-25の例では、3個と11個の仮説の組といったように、とにかく2グループの一方の仮説を残し、他方を棄却するのに有効な質問を生成する。

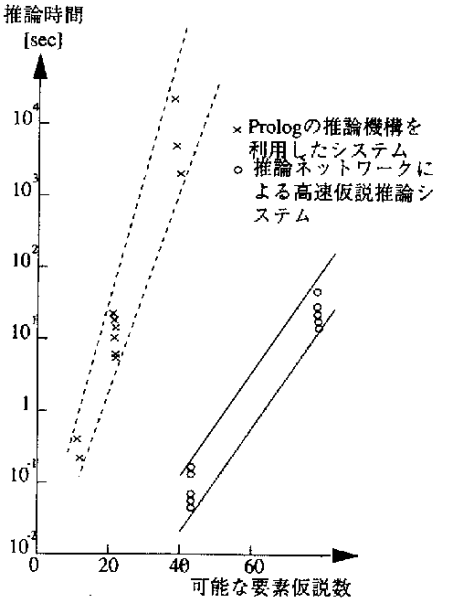
仮説推論は実用的にも有用な枠組みであるが、最大の課題は低い推論速度の克服である。実は仮説推論を始めとする非単調推論の計算複雑度はNP一完全、あるいはNP一困難であると証明されており、通常の意味での推論（探索）法の範囲に留まっていたのでは、最悪値評価で問題規模の指数オーダ以下となる推論時間は達成できない。宣言的表現の論理に基づく仮説推論に関しては、制約充足問題（Constraint Satisfaction Probiem: CSP）に等価変換でき、このCSPの計算複雑度もNP一完全となっている。

ここでは制約充足の立場での問題の構造を利用した高速化手法と、指数オーダとなる推論時間の壁を克服する一つの手法について紹介する。

ホーン説論理に基づく仮説論理はPrologの推論機構を利用すると比較的容易に実現できるが、推論速度が遅く実用的でない。推論速度を遅くする大きな原因はバックトラックであり、通常の証明の失敗によるバックトラックに加えて、仮説推論では組み合わされる仮説間の矛盾によってもバックトラックが発生することにより、一層大きな問題となる。推論パスネットワークによる高速仮説推論法［10］は、非効率なバックトラックを回避し、かつ計算コストが高い仮説合成の回数を最小にすることを特徴とする手法である。推論パスネットワーク形成フェーズと、このネットワークに沿う前向き推論の仮説合成フェーズとから成る。推論パスネットワークはゴール指向の後向きに推論によりゴールの証明に関与する知識のみを抽出してネットワーク化し、かつこれをコンパイルして仮説合成の回数を最小にする役割を果たす。推論パスネットワークの形成は命題ホーン節に対する線形時間の充足性判定アルゴリズムに基づいており、非常に効率的である。

図表Ⅲ-1-26は推論パスネットワークによる仮説推論システムの速度を、Prologによる仮説推論システムと比較

図表Ⅲ-1-26　推論パスネットワークによる高速仮説推論法による推論速度の向上［文献9,10より］



した例であり、1000倍以上の速度の向上を達成している。単解を求めようにすると、探索木中の解の位置に依存していずれのシステムでもより速く解を見い出せる場合もあるが、図表Ⅲ-1-26は探索の枝刈り効果をよく反映する全解探索の時間で示している。

この推論パスネットワークによる高速仮説推論システムは大幅な高速化を達成しているが、図表Ⅲ-1-26でも縦軸が対数軸でとられているように、依然として可能な要素仮説数に対して指数オーダの計算時間となっている。先にも述べたように、通常の意味では解の探索法の範囲に留まっていたのでは、この指数オーダ時間の壁は越えられない。この壁を克服する一つの有力なアプローチを以下に記す。

解仮説は一般に複数組得られるが、多くの場合、ある評価基準のもとで最適な解仮説を求めることが必要になる。ここでは、要素仮説に重みを付し、その重みの和を最小とする最適解仮説を求める仮説推論を考えることにする。重みは例えば、故障診断の場合にはシステム要素の故障の可能性を大小に対応して考えればよい。ここではこのような最適解計算の仮説推論に対して、0－1整数計画法の近似解法により準最適解を多項式オーダで求める方法の概要を紹介する［11］。

0－1整数計画法を適用するために、知識を等価な1次不等式に変換する（詳細略）。これより題論理表現の仮説推論を0－1整数計画法問題として定式化することができ、解仮説に含まれる要素仮説の重みの和を目的関数に設定することにより、これを最小化する0－1整数解を求めることで最適解仮説が得られる。しかし、知識ベース中のすべての知識を不平等に変換して0－1整数計画法を適用するのは、現れる変数の数が極めて大となり効率的でない。そこで、与えられたゴールの証明に関与する知識のみを抽出、簡単化し、この範囲の知識だけを対象にして0－1整数計画を適用する。

掃き出し補数法は0－1整数計画法の近似解法であり、準最適解を効率的に求めることができる。おおまかな手順を記すと、まず整数条件をはずして線形計画法の問題とし、これを効率的なシンプレックス法で解く。次いで、非整数度指数を減らすような掃き出しを行いつつ、目的関数の価を（最小化の場合）漸減させ、適宜0、1への丸めを行うことにより可能整数解を見い出す。続いて、見い出した可能整数解の周辺を局所探索することにより解の改善を行って、最適解に近い解を見い出す。

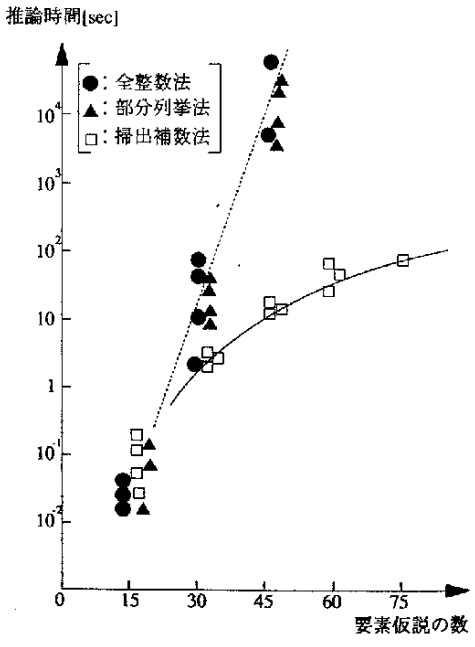
図表Ⅲ-1-27は問題（知識ベース）の規模を表す要素仮説数を横軸にして、求解の時間をプロットしたものである。図表Ⅲ-1-27に同時に示されている全整数法と部分列挙法は0－1整数計画問題の厳密解法であり、0－1整数計画問題もNP完全問題であることより、これらをゴールに関する知識の簡単化後に適用しても指数オーダの推論時間となっている。近似解法である掃き出し補数は非常に良い準最適解を多項式オーダで求めることができ、この性能が図表Ⅲ-1-27の結果にも現れている。Aリング(SA)や遺伝アルゴリズム(GA)があるが、本手法はこれらとは異なる一定の見通しを持った準最適解の高速探索法になっている。

3.3.1.4　高速化のためのフォーカシング・メカニズム

モデルに基づく診断の大きな課題は推論速度である。全ての可能性を探索するのでなく、可能性の高い箇所のみに焦点を当てて優先して探索を行うフォーカシング策、推論の効率化の有力な方法である。人間も実際にはこのように対処しており、AIの探索法としては最良優先探索(best-first search)的な動作となる。

ここではdekieerが彼のGDE(general diagnostic engine)と組み合わせて良好な結果を示しているフォーカシング・メカニズムについて紹介する［12］。前々節に記したGDEは次の3ステップ繰り返して診断を行うことになる。

図表Ⅲ-1-27　0－1正数計画法を適用した仮説推論システムの推論時間［文献9,11より］



1）Prediction :観測される（する）価に関してモデル（と現在想定している異常）を用いた予測を行う
2）Conflict Recognition :予測と観測との差異を認識し競合集合を作る。
3）Candidate Generation :各部品要素にモード（正常、異常）を割り当てる。
——これが診断となる。

GDEはすべての新観測に対してこのプロセスを逐次的に実行するが、この3ステップとも組合せ的爆発を起こすことになる。

フォーカシングは既知の競合集合から候補を生成し、予測に焦点を当て、新しい観測に関して少数の候補のみとの整合性テストにより競合認識を行うようにする。候補は事後確率の高い順に生成するのが良いのだが、この確率の算出には予測と各候補から獲られる競合集合を必要とし"鶏と卵"問題になってしまうので、推定値としての事前確率を用いる。それまでに生成した競合集合も含めて可能性の高い複数候補が生成されると、これらの候補を選別する検査点が提案される。候補の生成は次の場合に打ち切る。

1）最良の候補が次善の候補よりk2倍（例えばk2＝100）の（推定）事後確率になったとき。
2）K1個以上の候補が生成されたとき。（候補に対しては検査を行って絞り込みを行う。）
3）すべての生成された候補の確率の合計が可能な全候補の確率のk3倍（例えばk3＝0.75）を超えたとき。

複数の候補が存在する場合には検査によって識別を行うのだが、最小エントロピー法で検査点の決定を行っている。フォーカシングがないGDEでは4ビット・ディジタル加算器の故障診断に60秒かかっていたところを、以上のようなフォーカシング・メカニズムによる故障診断により、500ビットの加算器の故障診断が6秒で可能になったとしている。

3.3.1.5　確率ネットワークに準拠する方法

J.Pearlによる確率ネットワーク（Probabilistic Network）は知識をネットワーク状に表し、リンクで結成された隣接節点間で整合をとることを繰り返すことにより確率推論を行う方法である。H.Geffner、J.Pearl［13］はこの考え方に準拠し、診断の対象とするシステムのトポロジーを利用して制約を伝搬する事によって確率の高い診断を効率的に行う方法を示している。ここではその概要を紹介することにするが、dekleerのGDEの枠組のように故障モデルは想定しない場合を扱っている。

例として図表Ⅲ-1-28.aのようなX、Yを入力とし、Zを出力とする部品Cjを考える。X、Y、Zは変数だがCiも変数と考え、Ciの取り得る値を |ok, ¬ ok| とする。このようにして図表Ⅲ-1-28.bのように、変数X、Z、Ciに対応する節点が制約jを介してつながっていると考える。

あるシステムSに対して観測の集合Oが得られたときに、観測と矛盾しないシステムSの各部品へ状態 |ok, ¬ ok| を割り当てる。このような割り当ては一通とは限らないが、ある基準で最良の割り当てをとることとする（例えば故障部品数最小）。このような割り当て（ラベリング）をL（S,O）で表し、L（S,O）の良さ（merit）をN（S,O）ー例えば故障部品数で値が小さい程良いものとするーで表す。この方法で重要なことは、変数への最適なラベルづけを決めるという問題は隣接する変数に関する情報の伝搬だけで取り扱える、ということである。これはシステムSから作られる制約ネットワークが単連絡の場合であって、ネットワークにループが存在する場合には後述のようにループをカットセットで区切ることによって、単連結のネットワークにして扱う拡張を行う。

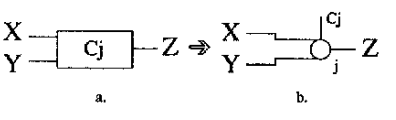
さて、制約kにつながっている節点の集合をPkで表し、PkからノードXを除いた集合をP_x^k（＝Pk-X）と表す。P_x^kは節点Xに対するポートkと考える。C（X）は節点Xにつながっている制約の集合とする。この制約伝搬アルゴリズムでは、各節点が状態を変化させるのに必要な情報はすべてポートを通して得られる。この情報をメッセージと呼び、節点Xが受取人で差出人がポートP_x^kであるようなメッセージをm（P_x^k-X）と書く。これはP_x^kに含まれる変数の値が制約kを通して変数Xに与える影響を表現している。

あるポートkから節点Xへのメッセージm（P_x^k-X）は、xiをXが取り得る値としたサブメッセージm（P_x^k-xi）から成る。サブメッセージは以下のような3つ組である。

m（P_x^k-x）＝（xi,Nk（xi）,Sk（xi））

ここでSk（xi）は「Xがxiである」としたときに、それを最も強く支持するP_x^kの各節点での変数値の組であり、Nk（xi）はSk（xi）に対する良さを表す重み（weight）である。（X＝xとなるのに必要なP_x^kのうしろ

図表Ⅲ-1-28　部品を介しての制約の表現法
［文献13より］



のサブネットワーク中の最小故障部品数)

節点XはXにつながれているすべてのポートからメッセージを受け取り、それをもとに自分自身の状態 $m(X)=\bigcup_i m(X_1)$ を次のように計算する。

$$m(X_i)=\bigcap_{k\in C(X)} m(P_X^k\rightarrow x_i)=(X_i, N(X_i), S(X_i))$$

ここで

$$m(X_i)=\bigcup_{k\in C(X)} S^k(X_i)$$

は観測と仮説X=Xiとに矛盾しないという条件の下で最良のラベル付けであり、

$$N(X_i)=\sum_{k\in C(X)} S^k(X_i)$$

はそのラベル付けの良さを表す重み（weight）を表している。

ポートkから接点Xへのメッセージは $m\left(P_x^k\rightarrow X\right)$ はサブメッセージ

$m\left(P_x^k\rightarrow X_i\right)=\left(X_i, N^k(X_i), S^k(X_i)\right)$　から成るが、このメッセージの作成法を説明する。

$P_x^k=\{Y_1, Y_2, \cdots, Y_n\}$ とするとNk (Xi) およびSk (Xi)

$$N^k(X_1)=\min_{\substack{y_1, y_2, \cdots, y_n \\ subject\ to\ C^k(x_1, y_1, \cdots, y_n)}} \sum_{j=1}^{n}\left[N(y_j)-N^k(y_j)\right],$$

$$S^k(X_1)=\min^{-1}_{\substack{y_1, y_2, \cdots, y_n \\ subject\ to\ C^k(x_1, y_1, \cdots, y_n)}} \sum_{j=1}^{n}\left[N(y_j)-N^k(y_j)\right],$$

は以下の用に作成される。

ここでyiはそれぞれ変数Yjの取り得る値をわたり、Ck (Xi, y1, …, ynは制約kによる各変数への条件を表している。重みN（yj）からyjを差し引くのは、ポートPkからのNへの貢献分を引いており、同じ故障を重複して数えないようにするためである。

部品の状態を表す節点Cは次のように初期化する。

m (C) = ((ok, 0, ( )), (¬ok, 1, ( )))

他の変数は次のように初期化する。

m (Y) = ((ΩY, 0, ( ))

ここでΩyは明示的に記された以外に値を表す変数記号として導入している。

X＝xというような観測値は、節点Xが仮想的なポートPkからのつぎのようなメッセージとして表現される。

m (OX→X) = ((x, 0, ( ))

以上のメッセージに伝搬による状態の更新計算プロセスは、分散的、非同期的にも実行できる。

ネットワークが単連結でなくループを含むような場合には、制約ネットワークをカットセットで単連結になるように切り分ける。そして5つ組のメッセージを流してカットセット部分が整合がとれるようにすることによって達成する。

このアルゴリズムの計算量は単連結のネットワークの場合には節点数に対して線形であり、ループのあるネットワークでも最悪ケースでexp（ループのカットセット数）と効率的であると報告されている。

＜参考文献＞

[1] M.R.Geneserth: The Use of Design Description in Automated Diagnosis. Artif. Intelli., Vol.24, pp.411-436(1984).

[2] R.Davis: Diagnostic Reasoning Based on Structure and Behavior, Artif.Intelli.,Vol.24, pp.347-410(1984).

[3] J.dekleer, B.C.Williams: Diagnosing Multiple Faults. Artif.Intelli., Vol.32,pp.97-130(1987).

[4] R.Reiter:A Theory from First Principle, Artif.Intelli., Vol.32, pp.57-96(1987).

[5] J.dekleer, A.Mackworth, R.Reiter: Characterizing Diagnosis and Systems, Artif.Intelli., Vol.56(1992).

[6] D.Poole,R.Aleliunas,R.Goebel: Theorist:A Logical Reasoning System for Defaults and Diagnosis, in the knowledge Forntier:Essays in the knowledge Representation (N.J.Cercone,G.MaCalla (Eds.)), Springer-Verlag, N.Y.(1987).

[7] D.Poole: A Logical Framework for Default Reasoning, Artif.Intelli, Vol.36, pp.94-102(1988).

[8] 國藤　進:仮説推論,人工知能学会誌, Vol.13, No.1, pp.94-102(1988).

[9] 石塚　満:仮説推論,日本ファジィ学会誌, Vol.4, NO.4, pp. 620-630 (1992).

[10] 伊藤,石塚:推論パスネットワークによる高速仮説推論システム,人工知能学会誌, Vol.6, No.4, pp.501-509(1991).

[11] 岡本,石塚: 整数計画法の近似解法を適用した準最適解計算の高速仮説推論法,人工知能学会誌, Vol.8, No.2, pp.222-229(1993).

[12] J.dekleer: Focusing on Probable Diagnosis. Proc. AAAI-91, pp.842-848(1991).

[13] H.Geffner,J.Pearl: An Improved Constrain-Propagation Algorithm for Diagnosis, Proc.IJCAI-87, pp.1105-1111(1987).

3.3.2　ORとAI（計画型問題を中心に）

3.3.2.1　ORとAIの関係

OR（オペレーションズリサーチ）は、第二次世界大戦中に、兵站などの軍事問題を科学的に解決する手段として開発され、戦後、産業への適用に範囲を広げて大きな分野に成長した。特に、コンピュータの発達は、ORという応用分野の存在が、コンピュータの市場拡大に貢献したという面も見逃せない。

AIがコンピュータの歴史と軌を一にして発展してきたことは、いうまでもない。したがって、ORとAIとの間には、少なくともコンピュータという共通項を介しての結びつきが、古くから存在した。より本質的には、アルゴリズムという面での共通性が認められる。AIで扱う記号を対象とする問題は、ORの組合せ問題と対応する。実際、ORで開発された分岐限定法のアルゴリズムと、AIのAに代表される探索アルゴリズムが本質的に同じものであることは、いまやよく知られているが [2]、それぞれが工夫された当時は、互いに独立に開発されたようだ。

しかし、ORとAIが同じような問題に対して適用され、その効果が比較されるという、競争的な関係が意識され議論されるようになったのは、AIが知識工学の名のもとに実用的な問題への適用を図るようになって以降のことであり、それも特に計画問題などのORが従来得意とした分野に本格的に進出し始めた、比較的最近の現象である。

問題解決のアプローチの違いとしてみた場合、ORは対象を数式モデルとして捉えるという意味で数理的であり、AIは記号によるモデル記述をするという意味で記号的であるといえるが、この違いは見かけほど本質的ではないし、その境界も必ずしも明確ではない。実際、AIの人間が計画問題に取り組んで、ORですでに知られている手法を再発見したり、制約充足問題の豊かな実例をORで扱ってきた問題に見い出したりしている一方で、ORワーカがそれまで扱ってきた問題をエキスパートシステムに衣更えして新展開を図ったりしている。

最近はAIでも、探索などのアルゴリズムの効率化に、以前にも増して注意を払うようになっている。例えばAAAI92の授賞（Award for Best Written Paper）論文は、Mitchell D.等の"Hard and Easy distributions of SAT Problems" [1]である。これは、命題論理の充足可能性問題（propositional satisfiability problem、この論文ではSATと略記）を扱ったものである。この問題は、NP完全の標準的な問題として有名であるが、実験的には平均的に簡単に解けるという報告が、よくなされている。この論文では、その挙動をより精緻な実験で分析し、節あたりの変数の数を尺度として、それが4.3あたりで困難度がピークに達することを示している。これまで簡単に解けるという実験結果が出ているのは、これより低いところか高いところのデータを使っているとのことである。

NP完全などの計算の複雑さの議論は、ORの専売ではないにしても、ORの種々のアルゴリズムの分析から発展してきたという経緯は否めない。そのようなテーマを扱った論文がAAAIで賞を受けたことは、AIでも知識の表現だけでなく問題の解法に関心が広がってきていることを示すものかも知れない。この賞は内容より論文の書き方を主な対象にしているようだが、しかし内容的にも現在の潮流を示す論文でなければ、選ばれなかったであろう。

ORの手法をAIの問題に適用した例には、例えば岡本・石塚による仮設推論への整数計画法の適用 [5] などがある。

3.3.2.2　計画問題に対するAIとORの比較

以降では、AIとORを対比させるために、適用分野としてスケジューリング問題を取り上げる。AIでは計画問題という言葉はplanningの訳として用いられ、ロボットなどが行動目標と状況に応じての動作の列を決定する問題を指すが、以下ではいわゆるスケジューリング問題を計画問題と呼ぶことにする。

この問題についてORとAIのアプローチを比較した最近の議論としては、AAAI 92におけるパネル議論が秀逸であった。それを紹介しよう。

パネル討論「スケジューリング技術：OR、制約に基づく探索、エキスパートシステムのいずれがいいか？」

このパネルは、スケジューリング問題を対象に、基本的にはAI かORかという問題設定で、論争的な討論になることを狙ったものである。パネリストは一応表題にあるような3分野に分かれているが、探索派とエキスパートシステム派との違いは少ない。なんといってもすごいのはORで登場した2人で、かたや線形計画法という分野そのものとその解法としての単体法の産みの親であるDantzig先生であり、こなたは整数計画法の関節列挙法を創始したE. Balas先生である。AIでいえばMcCarthyやMinskyが出てこないと、バランスがとれないというものである。彼らがスケジューリング問題用のエキスパートシステムの擁護になど登場するはずもないとすれば、せめてFeigenbaumあたりが出てこないとすわりがわるい。

最初にDantzigが話した。まず、司会者がスタンフォード大学の名誉教授（professor emeritus）と紹介したのに対し、emeritusというのは功績がない（without merit）という意味である。しかし、私はまだ現役の教授であると、先制パンチを繰り出した。そして次に、私はここにいるパネリストの中で唯一、計画問題に対してAIアプローチとORアプローチの両方を徹底的にやった人間であると、意外な発言をした。その趣旨はこうである。第2次大戦中、軍の物資調達・配備のスケジューリング問題を解くのに協力した。その方法として、数千のルールを適用するという、まさにエキスパートシステムのアプローチをとった。しかも、分散処理を用いて。というのは、まだコンピュータのない時代だから、人手により分散してルールを適用するという処理方法をとったわけである。戦後になって大学に戻ろうとするのを軍に引き留められ、この問題を解くのを機械化するという目標に挑戦することとなった。多数のルールを用いるという方法は、代替案を調べられないという点と、処理速度が遅いという致命的な欠点があった。そこで、線形計画問題として定式化することを考え、さらに単体法をグループで考案した。ルールとして記述したものの99％は線形不等式として記述でき、残りのルールは本質的なものではないことがわかった。この方法が、"古くさい"エキスパートシステム流のものより優れているのは、目的関数が明示的に設定できることと、判断の選択ができる点である。ESの方法では、この判断は強制されることになる。

次に立ったのがB. Allen：この人とインテリコープのW. Faughtが、エキスパートシステム派に分類されている。Dantzig先生の後ではやりにくいといいながら、ESアプローチの利点として解の説明ができること、変更の容易性、などを挙げた。また同じAI社会の制約下探索派に対しては、ほとんど同じことをやっているのに、制約という看板がないと論文を発表する機会が与えられないなどの政治的な状況があることを訴えていた。

3番目がM. Zweben。制約下探索の方法によればシステムとして相互作用型のものが自然にできることを強調した。

残りの3人は補足という形で発言した。とくに印象に残るのが、E. Balasの発言である。Balasは、ORとAIは互いに争うよりも共通の敵である無知や惰性と戦わなくてはならない。という提言から始めて、Dantzigほど攻撃的ではないように見えたが、その実なかなか辛らつなことを言った。鉄鋼会社の依頼を受け、転炉の工程計画の問題に取り組んだことがある。その問題をよく調べてみた結果、問題の核心となる構造はある種の巡回セールスマン問題に帰着することがわかった。このように問題の本質を構造的にとらえることが、ORのアプローチで可能となる。いくらユーザフレンドリなシステムを作ろうとも、この本質を逃しては役に立つものにはならない。

一方、計画型のエキスパートシステムに関しては長い経験のあるM. Foxは、どちらかというと両アプローチが一つに収斂していくという見通しを述べた。

論争（debate）としてみたら、このパネルの限りではORに軍配をあげたい気がする。後で、このパネルに出ていた人で、仕事でスケジューリング関連のESを作っているというヨーロッパ人と話をしたが、彼はDantzigという名前すらよく知らないようであった。一般にAIをやっている人間はORの知識にかけ、OR屋は往々にして最新の計算機技術に暗いということがあるだろう。

3.3.2.3　計画型問題の特徴

エキスパートシステム構築技術の議論として、対象とする問題の型による分類がよく行われる。最も大きな分類としては、分析型と合成型という2分法がある。両者の違いをさらに次のレベルの問題の型を分類することで示せば、分析型には診断、解釈、検査などの問題が含まれ、合成型には計画、設計、制御などの問題が含まれる。エキスパートシステムが開発されるようになった初期には、診断型のシステムに代表される分析型の開発例が圧倒的に多かった。しかしここにきて、計画、設計などの合成型の事例が増えている。

従来、分析型のエキスパートシステムは開発が比較的易しく、合成型はそれが難しいとされてきた。計画や設計型の開発例が診断型よりもむしろ多くなっている現状は、次のような理由によるだろう。

①エキスパートシステムの開発技術と経験が進み、これまで難しいとされていた分野に積極的に取り組むようになったと同時に技術レベルとしてもある程度対応できるようになったこと。

②診断型の問題の本当の難しさが分かってきたこと。実際、診断に関する知識はルール表現と馴染みがよく、ルールベースのエキスパートシステム構築ツール（いわゆるシェル）を使うと、かなり見栄えのするシステムが簡単に作れる。しかしそれを本格的な用途で使おうとすると、とたんに行き詰まることが多い。例えば故障診断の場合、どんな故障が起きるかあらかじめ想

定されているものに対しては正しい診断ができるが、診断システムに対するユーザの期待は、思いがけない事態に適切なアドバイスを与えてくれるというのが普通であろう。ところが、これは難しい。知識をどんなに増やしても、これでよいという保証がない。それに対し、計画型や設計型の場合は、システムを使う人が計画を立てる人や設計者で、エキスパートシステムが持つ知識の範囲を知りながら、限定した目的で使用するということが可能である [8]。

また、いわゆるAIブームのピークが去った結果として、単にAIシステムを自社でも作ってみようという動機で始められるエキスパートシステム開発はさすがに姿を消した。そのため、まず解決すべき問題があり、その問題に対してもっとも適合した解決手段を選ぶ。それが知識ベースのアプローチならそれを採用するが、しかしあくまでもORや統計手法などの他の技法と同じレベルで評価して、最適なものを選択するという、いってみれば当たり前のことが、あらためて意識的に行われるようになった。

3.3.2.4　計画問題へのアプローチ

ここでは計画型の問題を、「仕事、事象などのスケジュール単位を、時間軸上に割り当てる」問題と定義して考えることにする。例としては、生産計画、工程計画、プロジェクト計画、日程計画、配車・配船計画、飛行便スケジューリング、など多くのものがある。

●核となる概念

この問題を考えるには、次のような点が重要である。

①目標：数理計画法の用語を使えば、計画問題は、時間や資源に関する与えられた制約条件のもとで、ある目的関数を最適とする解を求めることとなろう。目的関数を最適にするとは、たとえば最短時間で仕事を終わるとか、仕事に要する労働力や原材料などの資源を最小にする、などといったことに対応する。制約条件を満たす解を実行可能解といい、実行可能解のうち目的関数を最適にするものを最適解という。ところで実際に計画問題を解く必要がある状況で、目標となるのはなんらかの最適解を得ることであるとは限らない。むしろ実行可能解が一つでも得られることが目標であったり、多くの実行可能解を得て、それから別の基準で選別することが目標であったりする。したがって、目標は最適解を求めることか実行可能解を得ることか、最適解ならどんな目的を最適化したいのか、実行可能解なら一つでよいか複数の解が必要か、またどんな性質の実行可能解が望ましいか、などを明確にすることが重要である。

②制約条件：制約条件にはスケジュール単位の前後関係など時間に関するものと、労働力、機械、原材料、エネルギー、などの資源に関するものとがある。対象とする制約の範囲とその性質を明らかにすることが重要である。

③計画の階層：計画は多くの場合、上位計画と下位計画という階層構造をなす。全社計画から事業所単位、部課単位の計画という組織構造に対応するものや、長期計画、中期計画、年次、月次、日次という時間的な階層によるものが典型的な例である。上位計画を与えられてそれを制約条件として下位計画を作る場合と、逆に下位の計画を積み上げて上位の計画を構成する場合とがあるだろう。もちろん、両者を繰り返して全体の斉合をとるという方法も実際的である。いずれにせよ、対象とする計画問題の上位および下位の計画があるかないか、あるとしたらそれらとどういう関係を持つべきかという考慮は重要である。

●基本要素

上に述べたことから、計画問題を構成する基本的な要素として、スケジュール単位、割り当て対象としての時間、制約条件の三つを挙げることができる。これらの基本要素のそれぞれにも多様な特性が考えられるが、その特性を定める主な属性を以下で挙げる。

①スケジュール単位
- スケジュール単位の内容（どんな作業か。またあらかじめすべてが数え挙げられるか、あるいは動的に不確定に生成されるか）
- 経過時間（確定的か確率的（確率分布あるいは平均と最長／最短時間の組などで与えられる）か、あるいはまったく不確定か）
- 先行作業、後続作業
- 希望／最早開始時刻、希望／最遅終了時刻
- 必要とする資源とその量

②割り当て対象としての時間
- 対象期間（期間全体の長さ、いつからいつまで）
- 連続時間か離散時間（例えば時間割のような）か

③制約条件
- 制約の内容（人（労働力）、予算、機械、原材料、エネルギー、など）
- 制約の種類：容量的制約（材料の量など）が代替制

約（使える機械など）か

●問題の種類（サブタイプ）の識別

一口に計画問題といっても、実はさまざまな種類の問題が含まれる。その種類を明らかにすることが、解法を考える上での鍵となる。計画問題の種類（サブタイプ）の識別は、上に挙げた基本要素とその特性を考慮することにより可能となる。

①PERT型

ORの手法PERTで扱うようなタイプの計画問題である。その特徴は、

スケジューリング単位：確定的

時間の前後関係：あり

所用時間：所与、確定的

時間：連続

資源制約：なし

すなわち、あらかじめ数え挙げることのできる作業単位とその所用時間および前後関係が与えられて、作業全体に要する時間、時間的な余裕のない作業経路（いわゆるクリチカルパス）などを求める。

なお、純粋なPERTでは資源制約を扱わないが、拡張として資源制約を考慮する場合もある。

②時間割型

例えば1週間の科目、教師、クラス、教室、が与えられて、時間割を作るような問題である。その特徴は、

スケジューリング単位：確定的

時間の前後関係：なし

時間：離散

資源制約：代替的

③ジョブショップ型

共通の機械あるいは製造ラインを用いる複数の仕事がある場合、どの仕事をどういう順序でどの機械にかけると効率が良いかという観点から、スケジューリングを行う。その特徴は、

スケジュール単位：確定

時間の前後関係：あり

所用時間：確定的な場合と不確定の場合がある

時間：連続

資源制約：代替制約　容量制約を考慮する場合もある

④OS型

コンピュータのオペレーティングシステム（OS）におけるジョブやタスクのスケジューリングに類する問題である。この問題の第一の特徴は、スケジューリングの対象となるジョブやタスクがどのように発生し、またどのくらいの時間を要するのか、あらかじめ知ることができない点にある。すなわち、

スケジュール単位：不確定

時間の前後関係：なし

所要時間：不確定

時間：連続

資源制約：代替制約

⑤生産計画型

通常、生産計画という場合は、生産設備や原材料などの制約条件のもとで一定期間における製品（一般に複数であってよい）の生産量を決める問題を指す。その限りにおいては、同じ“計画”問題といっても作業を時間軸上に割り当てるという他のタイプの問題とは異なる。ただこのような生産計画を上位の計画として、工場における具体的な製造の日程計画などが作られるのが普通であり、その意味でスケジューリング問題と連動する。その特徴は、

スケジュール単位：確定（ただしそれほど重要な要素ではない）

時間の前後関係：なし

時間：通常、離散

資源制約：容量制約、代替制約を考慮する場合もある

●解決のアプローチ

大きく分けるとORによるものとAIによるものとがある。AIよるものは、ルールベース型と制約充足問題として扱うものとに区分されることもある。

ここでは特にルール型の知識表現を用いたAIアプローチで計画問題に取り組むことを想定し、どんな種類の知識がルールの候補になるかを挙げてみよう。

①割り当てルール

スケジュール単位を時間軸上に割り当てていくためのルール。その際、作業の優先度と制約条件がルールを定める重要な要素になる。

・優先度

どの作業を優先的に割り当てるかという基準。優先度は実際の問題領域上の意味から決まるものと、よいスケジューリングをするためのヒューリスティックとして経験的に決められるものとがありうる。

・制約条件

制約を満たすことを配慮した割り当てルール。時

間的な前後関係を定めるルールや資源制約のうち局所的な特性を持つものが、ルール表現に向く。

②割り当て修正ルール

一度割り当てたスケジュールを修正するためのルール。これは、割り当てられたスケジュールが制約条件のあるものを満たさなかったり、資源の利用が平準化されていないというような不具合が合った場合に、適用される。順序は飼えずに前後に動かすもの、順序を入れ換えるもの、あるいは直列のものを並列化するもの、などが典型的である。

③制約変更ルール

割り当て後に、割り当て修正を行ってもなお制約条件を満たさない場合、どの制約をどう緩めるかという知識をルール化するようなものが典型的である。場合によっては、制約を強化するものも考えられる。

制約充足問題として考えるアプローチは、表現として記号的なものをとり、制約が主として論理式あるいは記号的な関係として表されているにしても、ORにおける数理的な定式化と共通する面が多分にある。論理的な制約条件を組合せ（整数）計画問題として記述することは一般に可能であり、またその解法も本質的に探索であって、AIの工夫とORの工夫とが類似するからである。

ORでは独自に、PERT、ジョブショップスケジューリングのような特定の問題に対する手法を開発している。また分枝限定法はより一般性のある解法であるが、これは既に述べたように、AIにおける探索解法ときわめて共通性が高い［2］。

3.3.2.5　事例

スケジューリング問題のためのエキスパートシステムの事例は、かなりの報告がある［3、6、4、10、12、14、15］。典型的なルール型のものから、ORの手法を組み合わせたものまで、多様なアプローチが試みられている。

例えば製鋼工程のスケジューリングシステムの例を、見てみよう［12、15］。これは、日本アイビーエムの東京基礎研究所で開発された技術をベースに、日本鋼管の京浜製鉄所の製鋼工程をスケジューリングするシステムとして開発されたものである。

基本的なスケジューリングの生成を管理するのは、開発者がスケジューリングエンジンと呼んでいる専用ルーチンである。スケジューリングエンジンが局所的制約解消やスケジュールの改善に用いる知識は、ルールベースとして表現される。またユーザ向けのインタフェースを工夫し、そのインタフェースを通してユーザがスケジューリングの全体的な戦略や評価を与えることを可能としている。開発者はこの方法を協調型スケジューリングと名付け、専門家に代わってスケジューリングを行うシステムではなく、専門家の意思決定を支援するシステムとすることにより、実用性を高めたとしている。実際、このシステムは高炉から圧延工程までを含めた一貫生産管理システムとして、1990年5月から実稼働に入っているとのことである。

3.3.2.6　ORかAIか

ORかAIかという判断は、必ずしも一意に決まるものではないし、その間の解、すなわち両者を融合した方法もありうる。知識的な処理が向くと思われるいくつかのケースを列挙すると、例えば次のようになる。

①目的関数や制約条件が曖昧であったり不確実な場合
②最適解より条件を満たす解が求まればいい場合
③制約条件が局所的であったり組合せ的である場合
④解を求める手順が重要な場合
⑤スケジューリングの専門家が実際にアドホックに計画を立てている場合

しかし、これらも絶対的な基準ではない。AIをベースとする人間はORを勉強することで、ORをベースとする人間はAIを学ぶことで、得るものが大きいはずであり、結局のところそれが個別の問題に適した方法を見い出す、一見迂遠にして最も近道となるであろう。

<参考文献>

［1］ Mitchell, D., Selman, B., and Levesque, H.: Hard and Easy Distributions of SAT Problems, Proc. AAAI-92, San Jose, California, July 1992, pp. 459-465.

［2］ 茨木俊秀：探索の高速化とその限界、人工知能学会誌、Vol. 6, No. 1 (1991), pp. 15-23.

［3］ 入澤直樹、浜崎孝志、山中止志郎：エキスパートシステムを用いた生産スケジューリング、オペレーションズ・リサーチ、Vol. 36, No. 3 (1991), pp. 141-145.

［4］ 大谷明、後藤周一、桑田喜隆、本條信隆、エキスパートシステムの諸事例-VI—生産計画立案支援システム、情報処理、Vol. 33, No. 11 (1992), pp. 1342-1347.

［5］ 岡本知樹、石塚満：整数計画法の近似解放を適用した準最適解計算の高速仮説推論法、人工知能学会誌、Vol. 8, No. 3 (1993), pp. 222-229.

［6］ 梶田賢作、渋木宏明、神川正博：鋳造工場におけ

る生産スケジューリングシステム、オペレーションズ・リサーチ、Vol. 37, No. 10 (1992), pp. 500-504.
[7] 小島昌一、森芳立：エキスパートシステムの諸事例-「一製紙プラント運転計画作成システム、情報処理、Vol. 33, No. 6 (1992), pp. 682-688.
[8] 後藤敏、林弘、溝口文雄、村上国男、(司会) 玉井哲雄：座談会エキスパートシステムの現在と未来、コンピュータソフトウェア、Vol. 6, No. 4 (1989), pp. 89-100.
[9] 関根史麿、他：プラント分野における計画問題の理論と実際、人工知能学会誌、Vol. 6, No. 6 (1991), pp. 31-36.
[10] 関根史麿、他：専門家モデルに基づく生産スケジューリング・システム、人工知能学会誌、Vol. 5, No. 2 (1990), pp. 50-58.
[11] 寺野隆雄、他：座談会：人工知能の理論と実際、人工知能学会誌、Vol.6, No.6 (1991), pp. 37-47.
[12] 沼尾雅之、小倉康嗣：エキスパートシステムの諸事例-7—製鋼工程スケジューリングシステム、情報処理、Vol. 33. No. 12 (1992), pp. 1443-1449.
[13] 沼尾雅之編：“特集：CIM現状”、情報処理、Vol. 33, No. 3 (1992).
[14] 宮辺裕、大力修：鉄鋼分野における計画問題の理論と実際、人工知能学会誌、Vol. 6, No. 6 (1991), pp. 25-30.
[15] 森下真一、沼尾雅之、戸沢義夫：協調型スケジューリングによる製鋼工程スケジューリング・エキスパートシステム、人工知能学会誌、Vol. 5, No. 2 (1990), pp. 40-49.

3.3.3 機械学習の応用技術

3.3.3.1 クレジット入会審査システム

株式会社三菱総合研究所では、1983年よりクレジットカード会社の委託により、“プロフィーリングシステム”と呼ぶ入会審査システムを開発し、1986年より運用を始めた。このシステムは現在3社で利用されている。帰納的学習研究の中で、オーストラリアのJ.R.Quinlan [1]が考案した“判別木(Decision Tree)”手法が利用されており、これを用いて審査実績ならびに利用実績に基づく審査判断基準の構築を行った。

(1) プロフィーリングシステムと学習アルゴリズム

クレジットカードの入会審査では、性別、年齢、勤務先、年収等、入会申込書の記入事項や、過去の借り入れ返済情報などをプールした個人信用情報センターの情報などの組み合わせにより、申込者のリスクの程度を判断する。この判断には、特定の属性値の組み合わせから想像される生活状態の苦しさといった、審査担当者が常識的に持っている知識が動員される。しかし、この知識は、定性的には有用な判断規則を多く含んでいるが、事例が非常に少ないため必ずしも統計的な裏付けがあるとはいえないものも多い。

審査に利用されてきた統計手法に判別分析法がある。これは、銀行の個人ローンなどの分野でスコアリング法と呼ばれ、古くから利用されてきた方法である。各属性値に対し、評価の善し悪しに応じて+1から-1などの連続区間値を与え、各個人の値の和をもとにリスク率を予想する方法である。事故者と正常者を判別するように判別分析の手法を利用すれば、実績に基づいた配点表を作ることが可能である。統計分析に基づきスコアリング法を使った与信システムのコンサルテーションをカード会社や銀行に対して専門的に行っている会社として、米国パロアルトの“フェアアイザック社”が古くから有名である。日本の大手クレジット会社としては、住友VISAカードが1983年に、いち早くフェアアイザック社を利用して、新聞等で話題になった。現在フェアアイザック社は日本で40社以上の顧客を抱えている。しかし、スコアリング法の信頼区間は、サンプルの多い大手クレジット会社でも30%程度のカバー率しかない。また、スコアだけで管理しようとする管理者と内容に習熟した担当者の間の意志疎通に問題があることも分かっている。

クレジットカード会社が検討していた方法は、属性の組み合わせで申込者の人物像を具体化させ、そのリスクの程度を評価するプロフィーリング法と呼ばれる方法であった（図表III-1-29）。

プロフィーリング法はスコアリング法と比べると、人間の審査方法に非常に近く、プロフィールという具体的な説明が付加されている点が優れている。また、単純に事故リスクを示すのではなく、利用率、利用者の収益性などの重要ではあるが、これまで利用されないできた統計値を得ることができる。

このプロフィールがQuinlanらの方法で作られる判別木の表現方法と非常に類似していることから、判別木法を利用してプロフィールの設計を行った。判別木の構成方法は、まず、全データを各属性で分類し、分類それぞれに正常・事故のラベルを適当につけることによって発生するエラーの最も小さい属性を選択し、分類を行う

(図表Ⅲ-1-28の例では業種を選択したときに18%という最も少ないエラーが発生する：ただし、実際にはシャノンのエントロピーを利用している)。以下、各々の分類に対して同じ操作を繰り返す（図表Ⅲ-1-28)。この方法の利点は、データを分割することによって問題となる統計上の誤差を分類木の大きさで制御しつつ、プロフィールごとに判別度の高い属性の組み合わせを選択できることである。プロフィールの判別能力は、5段階評価レベルでの事故率が0.4%～15%に分布しており、入会審査のためのみならず、マーケティング、更改審査、不審利用調査、会員ローン審査などにも利用され始めている。

現在40万件以上にのぼるデータが集められており、利用しているプロフィール分類は500種類あまりで、これに便宜的に5段階の評価を与えて入会審査に利用している。

(2)　プロフィール法の問題点とその解決

判別木法では、すべてのプロフィール（木の葉）の事故率が統計値として求められる反面、各属性値の組み合わせにデータが分散されるので、スコアリング以上にデータ量を相当大きくしなければ、多くの属性を質問項目として利用することができず、評価は大雑把なものになってしまうという問題が発生する。また、データ量が小さくなってしまった枝の分類は誤差に大きく左右されて正確さがなくなる恐れもある。これに対処する方法として、判別木生成の後で細かくなりすぎた枝を刈り取る方法（Pruning)、いくつかの属性の属性値をあらかじめ組み合わせた属性を作って、属性の種類を減らす方法、1回の分類で二つのグループしか作らない2進木法などが利用されている。しかし、それだけの方法ではまだ不十分であり、さらに進んだ工夫が必要であった。

クレジットカードの特徴として、入会審査で否認された申込の事故情報を得ることができないという問題がある。否認されたものを事故とみなすことは以下の二つの理由で不適切である。①入会者の事故率は低く、否認されたものも他社カードを保有していて正常利用者であったりする。②事故率よりも否認率の方が数十倍高く、否認のパターンを学習してしまう危険が大きい。この問題はスコアリングを含む統計的手法すべてにあてはまり、これを解決する方法として、①最初の学習は事故のみで行い、評価に否認率を加味する、②他社で事故を起こしたことがあるという理由による否認を事故に数える、③事故者と非常によく似た否認者を事故とみなす、などの方法がとられている。

図表Ⅲ-1-29　プロフィーリング法

例：定期預金10万円未満　独身　40歳代？
　　定期預金10万円未満　独身　20歳代○

利点

組み合わせによる特徴表現
人に近い説明力
複数の特徴をパターン化

問題点

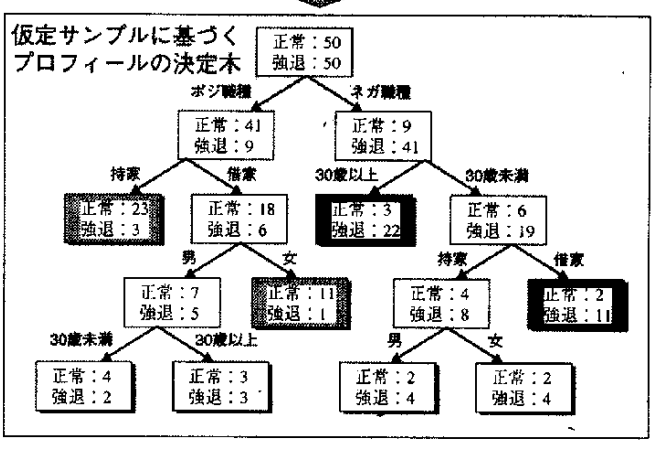
組み合わせの爆発
「爆発」の例：
17項目＆項目あたり5属性値
5^{17} ＝7000億通り以上

・最も有効な項目から順に利用
・ある程度の見分けができたら、分類を停止

図表Ⅲ-1-30　判別木の構築方法

仮想サンプル

	性別		住居区分		職種		年齢	
	男	女	持家	借家	ポジ	ネガ	30未満	30以上
正常者	23	27	30	20	41	9	26	24
強退者	27	23	20	30	9	41	24	26
合計	50	50	50	50	50	50	50	50



<参考文献>

[1]　J.Ross Quinlan, C4.5: Programs for Machine Learming, Morgan Kaufmann, 1993.

3.3.3.2　遺伝子情報処理

AI技術、特に学習理論の重要な応用分野の一つとして遺伝子情報処理［5］が注目されている。遺伝子情報処理はヒトをはじめとするさまざまな生物の遺伝子情報（DNA塩基配列情報、タンパク質のアミノ酸配列情報）を分子レベルで解明することを目的とする。これにより、遺伝病の解明や、より効果的な薬物の設計、分子レベルで動作するマシンの設計等が期待できる［3］。

遺伝子情報処理の技術領域は遺伝子解析向きのデータベースの構築、類似配列検索（ホモロジー検索）、タンパク質の構造予測（二次構造予測、三次構造予測）、共通パターン検索（モチーフ抽出）等多岐にわたる。本節では、確率的学習理論の応用の観点から、AI技術との関連が深いモチーフ抽出［7,9,10,11］について述べる。

(1)　モチーフ抽出

モチーフとは、同種のタンパク質をコードしている遺伝子の塩基配列あるいはタンパク質のアミノ酸配列を並置したときに、進化的に保存されている配列のパターンをいう。一般に、タンパク質の塩基配列やアミノ酸配列については、多数のデータが集められているが、その立体構造および機能について解明されたデータは少ない。そこで、もし、特定な構造や機能に対応した塩基配列やアミノ酸配列のパターンが同定できれば、未知の塩基配列やアミノ酸配列が与えられたときに、特定のパターンを含むか否かによりタンパク質の構造や機能を予測することが可能となる。すなわち、AIの立場からは、モチーフ抽出問題は帰納学習問題として定式化することができる。

モチーフの例として、シトクロムcの場合を示す。シトクロムcは呼吸鎖の電子伝達に関わる酵素であり、鉄を含有するヘム分子と結合することにより酸化還元反応を行う。また、種々の生物種について蛋白質を構成するアミノ酸配列が調べられ、分子進化の研究に使用されたことで知られている。図表III-1-31にアミノ酸配列の一部を示す。各配列において、各々のアルファベットがアミノ酸を表す。ここで、良く似たアミノ酸がなるべく揃うように配列を並置すると、共通パターン、すなわち、進化的に保存されている部位が得られる。シトクロムcにおいては、パターン“CXXCH”が進化的に保存されていることが知られている。ただし、“C”，“X”，“H”はそれぞれシステイン、任意のアミノ酸、ヒスチジンを表す。また、最初のXに現れるアミノ酸と次のXに現れるアミノ酸は異なっていても良い。このような領域が進化化的に保存されているのは決して偶然ではなく、タンパク質の機能発現および構造形式に深く関与しているため、突然変異が起こりにくいことによる。実際、シトクロムcの場合には図表III-1-32に示すように、“CXXCH”がシトクロムcとヘム分子の結合部位となっている［1］。

ここで注意しなくてはならないことは、モチーフにおける保存部位とタンパク質の機能／構造は必ずしも1対1に対応しているわけではないということである。例えば、シトクロムcにおいても、ミドリムシのシトクロムcは“CXXCH”の代わりに“AAQCH”を持つ。また、豚のアドレノドクシンは“CXXCH”を持つがシトクロムcではない。すなわち、配列を並置して得られるパターンはタンパク質の機能／構造を正確に表現するものではなく、例外を含む近似的な表現でしかない。モチーフ抽出において、確率的学習理論が有効な理由はここにある。

確率的アプローチによる遺伝子情報処理［7］では、このような観点から、確率的モデルによる規則表現（確率的規則）、訓練データへの過剰適合を避けるための情報量基準の採用、さらに、多量のデータを効率良く扱う

図表III-1-31　シトクロムCのタンパク質のアミノ酸配列の例

生物種	シトクロムCのアミノ酸配列の一部
Human	..FIMKCSQCHTVEK..
Mouse	..FVQKCAQCHTVEK..
Chicken	..FVQKCSQCHTVEK..
Snake	..FSMKCGTCHTVEE..
Prawn	..FVQRCAQCHSAQA..
Yeast	..FKTRCLQCHTVKE..
Hemp	..FKTKCAECHTVGR..
Tetrahymena	..FDSQCSACHAIEG..
Rhodopila	..FHTICILCHTDIK..
Microbium	..VFKQCKICHQVGP..
Pseudomonas	..VFKQCMTCHRADK..
モチーフ	..xxxxCxxCHxxxx..

ための確率的アルゴリズムの使用を提唱している。

(2)　確率的規則

確率的規則を用いると、例外を含む規則を簡潔に表現することが可能となる。例えば、シトクロムcの例では、「蛋白質のアミノ酸配列がパターン "CXXCH" を含めば確率137/244でシトクロムcであり、そうでなければ、確率9386/9389で他のタンパク質である」と表現できる。ここで、2番目の条件の確率を計算する際には、配列の全体数(9633)より最初の規則に照合した配列数すなわち、パターンCXXCHを含む配列の数(244)を全体数から除去し、規則ごとに対応する規則の条件を満たす配列数の中から条件確率を求めている。

このように、条件確率を付与することにより、分類規則の精度を定量的に評価することが可能となる。ここで注意しなくてはならない点は、遺伝子情報のようにノイズを含むデータからの学習の場合、分類精度の高い規則が必ずしも最適な規則とはならないことである。一般に、分類条件を複雑にすれば例外を減らすことができるが、確率的規則の場合には、訓練データに対する分類精度が向上するだけで、未知のデータに対する予測精度はかえって低下するという現象が生じる可能性がある。確率的アプローチでは、次に述べるMDL基準を用いることにより、このような過剰適合問題を回避している。

(3)　MDL基準

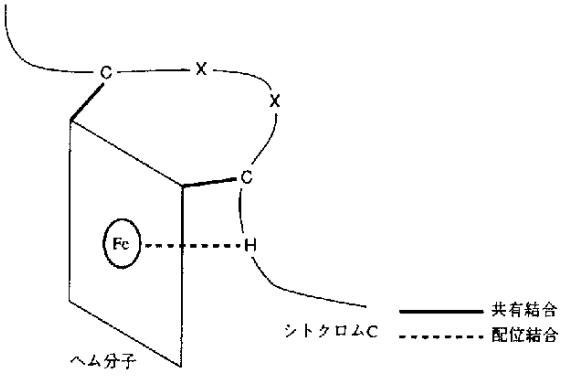
MDL基準とは、規則の複雑さと訓練データへの適合性のバランスからより適切な規則を選択するための情報量基準である［8］［12］。AIC等の情報量基準と目的は同じであるが、モデルの複雑さの定義の仕方により大きな自由度がある。

モチーフ抽出において、過剰適合が問題となるのは、配列データにさまざまなノイズが含まれているからである。例えば、同一の生物種のタンパク質においてもそのタンパク質のアミノ酸配列は一定ではなく、突然変異による変種が存在する。また、モチーフ抽出のように局所的な領域に着目している場合には、必ずしも目標としている分類カテゴリーと学習システムに与えられた訓練データのカテゴリーとが一致しているとは限らない。したがって、訓練データに最も適合したモチーフが必ずしも最適なモチーフとはならないところにモチーフ抽出の難しさがある。モチーフとして欲しいのは、例外がない分類規則ではなく、「髪の毛が長ければ女性である」のように多少の例外があっても多くの場合に正しいと予測できるような「安定的な」分類規則である。

このような安定的な分類規則を抽出するために、MDL基準では、規則の訓練データへの適合性を示す対数尤度と規則を符号化するために必要なビット数との和を最小化するような規則が最も望ましい規則と考える。例えば、シトクロムcを分類するパターンとして、CXXCH&LXTGXXXRとCXXCH & LXGXXXR&GPXLの二つを考える。前者の確率的規則としての対数尤度は355ビット、後者は342ビットである。一方、対応する確率的規則を符号化するための記述長はそれぞれ45ビット、62ビットとなる。訓練データへの適合度すなわち対数尤度だけから判断した場合には後者のパターンを持つ確率的規則のほうがより望ましい規則となる。しかしながら、MDL基準においては、両者の和が小さい前者の確率的規則のほうがより望ましい規則とされる。

このように、MDL学習はノイズを含むデータから有用で安定した知識を学習するための優れた指針を示している。しかしながら、モチーフ抽出のように比較すべき規則の数が組み合わせ的に増大するという問題を持つ。この問題を解決する方法として、確率的アプローチでは、遺伝子的アルゴリズムを用いた確率的探索を実現している。

図表Ⅲ-1-32　シトクロムCのモチーフ（CXXCH）の機能



(4)　遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムは、「適者生存」を原理として、探索空間の中で、探索点を表す「個体」を最適解に向けて「進化」させることにより、効率的な探索を行う確率的探索アルゴリズムである。このような探索戦略の有効性は理論的には保証されていないが、探索空間の形状によらず効率的な探索を行えることが経験的に示されている［4］。

文献［6］では、遺伝的アルゴリズムを用いることにより、タンパク質のアミノ酸配列データベ

ースより100種以上の安定したモチーフが抽出できたとの報告がある。さらに、遺伝的アルゴリズム適応度としてMDL基準を採用すると、探索空間にバイアスがあり、対数尤度を適応度とした場合に比べ、収束速度が向上したとの報告もある [7]。

(5)　HMMによるモチーフ表現

確率的アプローチでは、さらに、より分類精度の高いモチーフを実現するために、隠れマルコフモデル(HMM)を用いたモチーフ表現法が提案されている [7]。シトクロムcのモチーフ(CXXCH)をHMMで表現した例を図表III-1-33に示す。HMMでは、観測シンボルの出力確率、ノード間の遷移確率を調整することにより特定の文字列の集合だけを分類する非常に柔軟かつ強力な分類規則を表現することができる。例えば、シトクロムcの例では、2番目および3番目のノードではアラニン(A)等の比較的小さなアミノ酸が出現しやすいことがわかる。また、HMMを利用することの利点として、配列とモチーフとの相関を定量的に比較できることが挙げられる。文献 [2] では、HMMでロイシンジッパーと呼ばれるモチーフを表現したところ、複数の配列についてタンパク質データベースの記載誤りの可能性を指摘できたという。

(6)　今後の課題

遺伝子情報処理はAI、特に、確率的学習理論の応用分野として極めて重要な領域である。遺伝子データは年々増え続けており、遺伝子データからより有用な情報を取り出す技術は今後ますます重要になると予想される。このような技術の一つとして、確率的学習理論の役割は大きい。ただし、モチーフ抽出一つを取り上げても、その端緒に手がついたばかりであり、より有用な規則を抽出するためには、知識表現、学習アルゴリズムともさらなる発展が必要である。さらに、このような境界領域は情報処理技術者と分子生物学者の協調が不可欠であり、境界領域研究を促進するような研究環境が望まれる。

＜参考文献＞

[1] Aitken, Alastair: Identification of Protein Consensus Sequences, Ellis Horwood Series in Biochemistry and Biotechnology (1990).

[2] 藤原、小長谷：隠れマルコフモデルによる蛋白質のモチーフ抽出：人工知能学会全国大会,(1993).

[3] Davis,J:Mapping the Code:the Human Genome Project and the Choices of Modern Science,John Wiley and Sons,Inc,(1990).

[4] Goldberg,D.E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley Publising Company, Inc (1989).

[5] 金久、新田、田中、小長谷：知識情報処理技術とヒトゲノム計画,人工知能学会誌,vol.6,no.5, (1991).

[6] Konagaya,A,&Kondo,Y:Stochastic Motif Extraction using a Genetic Algorithm with the MDL Principle,in Hawaii International Conference on System Sciences(1993).

[7] 小長谷：確率的アプローチによる遺伝子情報処理,人工知能学会誌,vol.8,no.4,(1993).

[8] Rissanen,J:Stochastic Complexity in Statistical Inquiry,World Scientific,Series in Computer Science,vol.15(1989).

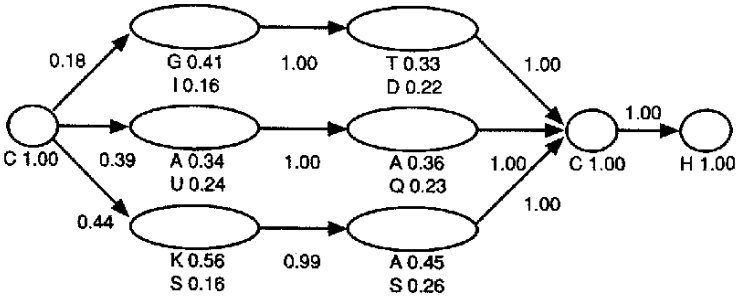
[9] Rooman,M.J.&Wodak,S.J.:Identifion of Predictive Sequence Motifs limited by Protein Structure Data Base Size,Nature,vol.335,no.1,pp.45-49(1988).

[10] Shimozono,S,Shinohara,A.Shinohara,T.,Miyano, S.,Kuhara,S.and Arikawa,S.:An Approach to Bioinformatical Knowledge Acquisition in Hawaii International Conferece on System Sciences(1993).

[11] Smith,H.O.,Annau,T.M.&Chandrasegaran,S.:Finding Sequence Motifs in Groups of Functionally RelatedProteins,inProc.Natl.Acad.Sci.USA,vol.87,pp.826-830(1990).

[12] Yamanishi,K.:A learning criterion for stochastic rules.Proceedings of the 3-rd Annual Workshop on Computational Learning Theory,(pp.68-

図表III-1-33　シトクロムCのモチーフ（CXXCH）のHMM表現例



81),Rochester,NY:Morgan Kaufmann(1990).

3.3.3.3　知的CAI

(1)　はじめに

ここでは学習者（人間）の発見学習を支援する教育システムについて考察する。

一般に、人間の知識獲得の方法は、発見学習と、教示学習に大別することができる。発見学習とは前提知識に基づく主体的な推論による環境からの知識獲得過程である。環境には道具、共同学習者および助言者も含まれる。教示学習とは、外部からの直接的な知識伝達過程である。もちろん伝達者は人間とは限らない。

学習者が目標知識を獲得すれば、発見学習も教示学習も共に知識獲得という目標を達成するが、この2種の学習方法は知識獲得の過程で果たす役割が異なる。教示学習は教師から学習者へ目標知識を伝達し、学習者がすでに持っていた知識に同化して、利用可能な知識を構築することが目的である。したがって、教示学習では、学習によって正しい知識が同化されたかどうかが最も重要な問題になる。これに反し、発見学習は、教師や共同学習者を含めた環境からの主体的な知識の選択、評価、仮説生成、検証等の知識獲得の過程を身に付けることも重要な目的である。

発見学習は古くから教育理論で扱われてきたが、コンピュータによる支援の問題として意図的に取り上げられたのは、J.S.BrownらのGuided Discovery［1］が最初である。この意味では、Guided Discoveryは教育システムの方法論のなかで、里程標としての重要な役割を果たした。しかし、Guided Discoveryは、支援環境を、人間の誤り発見のトリガーとして位置づけているので、支援と誤り発見とは、刺激と生産物の対として認識されたに過ぎず、支援を人間の認知過程とのダイナミックな相互作用として位置づけたものではない。

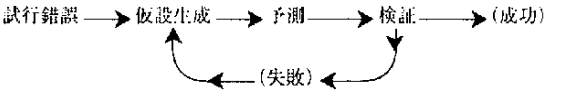
ここでは、与えられたデータベースから、規則を発見する学習をダイナミックに支援する方法を提案し紹介する。

(2)　発見学習の支援環境

①発見学習の支援に必要な機能

シャンクらの発見システム［2］の基礎になっている人間の発見過程は、下に示す四つの過程によって構成されている。この発想は非常に自然で、われわれの経験と一致するので、ここでも支援すべき人間の発見過程のモデルとしてこの過程を用いる。

上の過程をダイナミックに支援するためには次の三つの支援機能が必要になる。



1)人間の試行錯誤をダイナミックにフォローする機能

人間の試行錯誤をフォローするためには、第1に、人間と同じレベルの環境認識機能を持つ必要がある。第2に、学習者の操作や仮説の内容を正しく位置づけして、行き詰まりや混乱から学習者を救うために、間違った状態も含む状態空間（操作空間および仮説空間）を移動して試行錯誤をフォローする機能が必要である。環境認識機能を双方向インタフェースと呼ぶ。試行錯誤をフォローする機能を内部実験と呼ぶ。内部実験では、状態空間を認識し、移動する機能が最も重要である。これをメタ知識と呼ぶ。

2)仮説の真偽を判定する機能

内部実験には学習者が行っている操作や学習者が提示した仮説の真偽を診断する機能も必要になる。このためには、状態空間の中の任意の点が、正しいかどうか、または正しい状態に到達するかどうかを判定する機能が必要である。このような機能も、発見学習を支援するためのメタ知識と呼ぶ。

3)仮説の適用による予測の真偽の判定能力

学習者が仮説を正しく検証しているかどうかを判定するためには、システム自身が仮説を事例に適用して得られる結果と実際の結果が一致するかどうかを判定する検証機能を持つ必要がある。これは知識の演繹的適用による問題解決であり、すでに解決済みである。

②データベースからの発見に必要なメタ知識について

以下に内部実験で重要な役割を果たすメタ知識について述べる。

ここでは、対象領域として地理のデータベースを、発見の対象として米の成育条件を、環境として図表Ⅲ-1-34に示す表形式の正例と負例を、前提知識として図表Ⅲ-1-35に示す階層と、図表Ⅲ-1-36に示す一般的な植物の成育条件を用いる。図表Ⅲ-1-34の1行を組と呼ぶ。表の中の属性は全て図表Ⅲ-1-35の例に示すような一般性に関する半順序集合を前提として伴っている（要素1個の集合も含む）。

学習者は図表Ⅲ-1-37の操作を用いて、発見学習を行う。仮説は属性に関する表である。正例と負例の属性の値は半順序集合の基底に限られるが、仮説の属性値はこの限

りでない。すべての与えられた正例と負例に矛盾しない仮説を無矛盾な仮説と呼ぶ。無矛盾な仮説は一般に複数あるが、仮説のどの属性値を除いても無矛盾性が失われる場合、非冗長な仮説と呼ぶ。無矛盾性と非冗長性は仮説の必要条件である。最大限に一般化された仮説を簡明であるという。簡明性は仮説の十分条件である。二つの組p,qにおいて、pの全ての属性がqの属性よりも一般的でない場合、qはpよりも一般的であるという。二つの表P、Qにおいて、Pの全ての組がQの組よりも一般的でない場合、QはPよりも一般的であるという。

メタ知識の基本演算は一般性に関するサブサンプション検査、仮説が半順序集合の基底をカバーするかどうかを試すメンバーシップ検査および正例と負例に関する無矛盾性の検査である。

この基本演算を用いて次の2種の検査を行う。

1) 仮説の正当性の検証：メンバーシップ検査を用いて無矛盾性と非冗長性の検査を効率的（多項式時間の範囲で）に行うことができる。後述する一般化の方法を用いることによって、簡明性の検査も効率的に行うことができる。
2) 間違いの局所化：間違いの種類（Over-generalかOver-specificか）の検査と間違い位置の局所化を含む。Over-generalな場合は負例をカバーし、Over-specificな場合は正例（の一部）をカバーしない。

Over-generalな場合は負例に対して、順番に仮説を適用することによって、矛盾を起こしている負例を見つけて、負例をカバーしている属性値を検出する。例えば、仮説[Rainfall=a_lot]は負例Norilskをカバーしている。負例をカバーしている属性値を背景知識を用いて特殊化するか、または取り除くことによって、過度な一般化を除くことができる。この例では[Rainfall＝a lot]に[Temp=warm]を追加して特殊化することによって矛盾を除くことができる。

Over-specificな場合はOver-generalな場合と異なり、仮説を適用しても修正すべき属性を検出することはできない。この場合は有村らによって提案されたパターン言語の極小多重汎化法［3］を応用することによって非冗長な解を求めることができる。

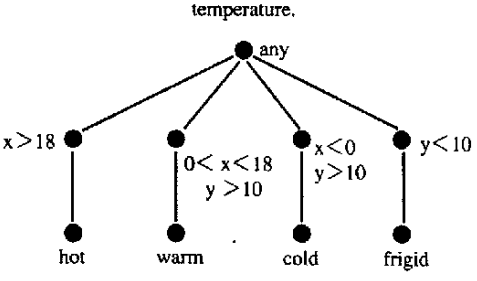
③メタ知識を用いた内部実験による支援

発見学習は介入を極力減ら

図表III-1-34　正例と負例の表

City	Rice Prod.	Temp.	Rainfall	Sunshine	...
California	yes	warm	a lot	medium	...
Niigata	yes	cold	medium	medium	...
Norilsk	no	frigid	a lot	weak	...
Bangkok	yes	hot	medium	strong	...
Sahara	no	hot	few	strong	...

図表III-1-35　属性の階層構造



x：the average temperature of the coldest month
y：the average temperature of the hottest month

図表III-1-36　植物の成育条件

growing condition of plant
with priority
1) rainfall, temperature
sunshine,soil
2) cultivated acreage, watering
ocean current,
3) population density, ...
.....

図表III-1-37　学習者に許される直接操作

Object	Tools				
Tables	creation	deletion	sorting	query	
Columns	creation	deletion	selection	move	copy
Rows	creation	deletion	selection	move	copy
Cells	selection	copy of value	edit of value		

すことが望ましい。したがって、システムの支援は学習者が行き詰まった場合に、次の一手を示すだけで十分である。対話の方略や具体例については省略する。

<参考文献>

[1] Burton,R.R.and Brown J.S.;An investigation of computer coaching for informal learning activities,in Intelligent Tutoring Systems eds.by D.Sleeman and J.S.Brown,Academic Press,79-98(1982).

[2] Shank,R.C.,Edwlson,D.J.;Discovery Systems, Proc. Artificial Intelligence and Education, Amsterdam, IOS, pp 236-237, (1989).

[3] Arimura,H.,Shinohara,T.,Otsuki,S.;A polynomial time algorithm for finding finite unions of free pattern languages.Proc.of 2nd.Nonmonotonic and Inductive Logic.Springer,LNAI 659,pp118-131(1993).

3.4 AI実現技術の動向

3.4.1 AIシステム開発体系

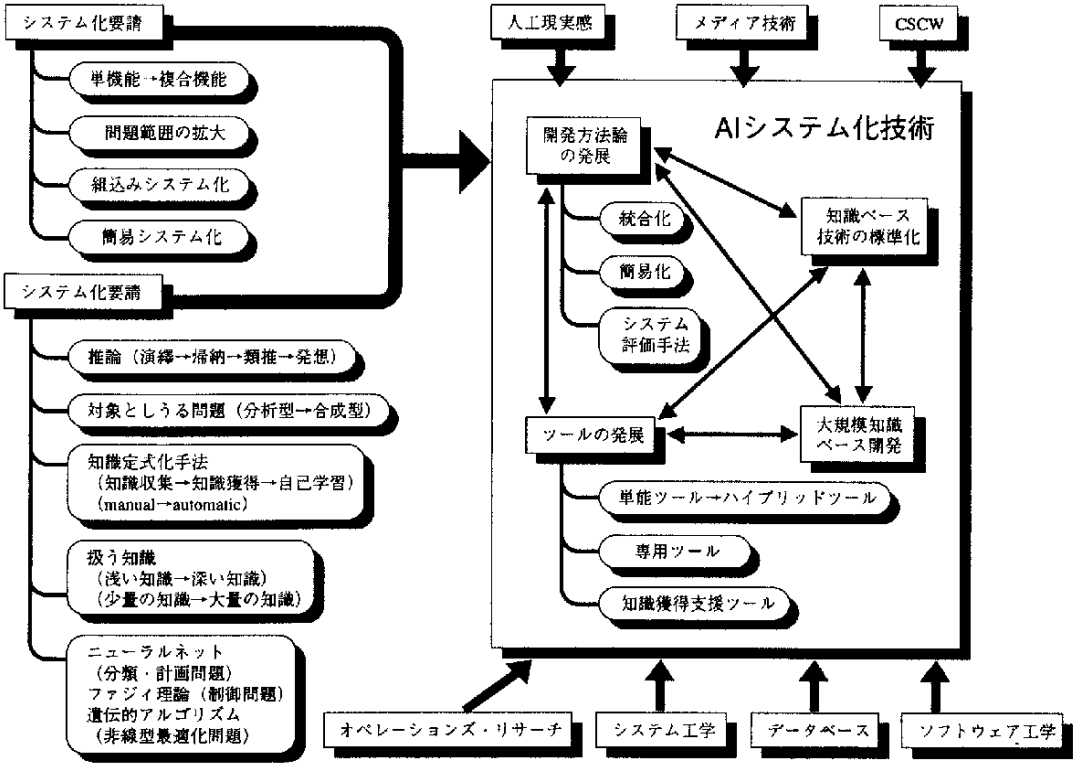
3.4.1.1 AIシステム化技術の全体像

現在のAIシステムは、人工知能技術のみに基づいているものは少なく、例えば機械学習・知識獲得や遺伝的アルゴリズムの適用など、さまざまな技術を統合化した形で実現される。AIシステムの実現にさまざまな技術が使われるのは次の理由による。第1には、人工知能における記号処理の困難さが、要求の定式化や計算量の爆発の点から明らかになってきたこと。第2には、システム機能の高度化と大規模化への要求が強くなったため、単一の技術によるシステムの実現が困難になってきたこと、そして第3にはネットワーク技術の進歩によってシステムの分散化が促進されてきたこと。

そのため、従来、知識工学技術の中心であった知識獲得問題、すなわち、専門家からの知識移転の方法論の問題は、徐々にではあるが、システム開発を系統的に行うためのより広い方法論の問題に置き換わりつつある。

AIシステム化技術の全体像は、図表Ⅲ-1-38のようにまとめられる。基本的には、利用者が望むシステム化要請とAI理論の発展とに支えられて、現在のAIシステム化技術は成立している。これには、開発方法論の発展とツールの発展とが車の両輪として存在する。これに加えて、最近の傾向として、大規模知識ベースの研究・開発活動の活発化、ならびに、米国・ヨーロッパを中心とする知識ベース技術に関する各種の標準化活動［16］もシステ

図表Ⅲ-1-38　AIシステム化技術の全体像



ム化技術に次第に影響を与え始めている。このAIシステム化技術は各種の周辺技術の発展にも支えられている。すなわち、人工現実感(Virtual Reality, Artificial Reality)、メディア技術、CSCW (Computer Supported Cooperative Work)などの最近のコンピュータ技術の影響を受け、また、オペレーションズリサーチ、システム工学、データベース、ソフトウェア工学などの従来から存在する問題解決技術、コンピュータ利用技術との関連性も深い [3、4、5]。

3.4.1.2　人工知能理論とシステム化技術

人工知能理論については、次のような発展が見られる。まず、推論手法として、従来の演繹推論の研究開発に加えて、帰納的な推論方式、さらには、類推や、発想推論など、より高度な手法の研究が進んでいる。この中で注目すべき傾向としては、大量の記憶情報・原始情報の価値を重視する立場をとる研究が人工知能分野でも盛んになっていることである。すなわち、コンピュータ処理可能なデータの収集が容易になるにつれ、最近ではテラバイト単位の大規模データベースを作成することは困難ではなくなっている。ところが、データを大量に保持することとそれを有効活用できることとはまったく別の問題である。データベースからの知識発見(Knowledge Discovery in Databases)、あるいは、データからの知識発掘(Knowledge Mining)の研究の目的は、通常の情報検索を越えた方法で、格納されたデータの陰的意味を理解し、あらかじめ知られていなかった有用な情報を発見する手法を確立することである [11]。

データベースからの知識発見システムのフレームワークを図表Ⅲ-1-39に示す。システムへの入力は、原始データを含むデータベース、データ定義辞書の情報、対象分野の領域知識、ならびに、発見すべき知識の視点を定める利用者からのバイアス情報である。知識発見システムは、状態空間の探索器と評価器からなる。これには上に述べたようなさまざまな手法が使われる。出力は発見された知識であり、利用者によって直接的に使われるとともに、新たな知識発見に必要な領域知識ともなる。

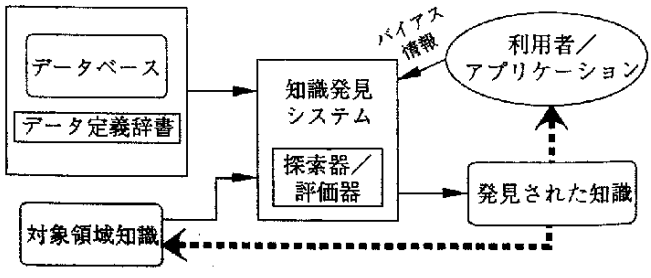
データベースからの知識発見の研究課題は以下のようにまとめられる。データベースの立場からは、時間的に変化するデータ、不適切な属性、欠損値、ノイズや不確実な情報を扱う枠組みの確立が重要である。また、人工知能研究の立場からは、より広い範囲で一般的に成立する知識獲得方法、データに対する無矛盾性の要請を弛めた正事例のみからなる学習方法、例外的な知識を柔軟に扱えるような非単調な知識の発展方法、複数種類のメディアの処理方法などが挙げられている。

システム化の対象としても、分類問題（classification problem）の形式に問題を定式化することが有用な、単純な解析型問題から、もともと組合せ的な性質を持つ合成型問題へと研究の中心が移ってきている。問題解決に必要な情報、すなわち、知識の定式化手法も、手作業を中心とする（マニュアルな）方法から次第に、これを自動化する方向へと発展してきた。専門家と知識技術者との間でインタビューを中心として行われる知識収集の作業も、特定の問題については知識獲得支援ツールを用いて効率的に行うことが可能となり、自己学習可能なシステムの実現性も考察されている。それに伴って、システムの扱い得る知識も、経験則を記号で記述しただけの浅い知識から、システムの構成・機能に基づくいわゆる深い知識へ、少量の知識から大量の知識を扱えるシステムへと変わってきている。さらに、これまでの人工知能の記号処理へのこだわりを離れて、ニューラルネットやファジィ理論 [12]、遺伝的アルゴリズムなどの研究も盛んに行われている [9]。

これまでの人工知能モデルにおいては1人の人間の内部で行われる知的活動が興味の中心であった。しかし、人間は単独で行動するだけでなく他人との協調活動も重要であり、その場合の知的であることの条件は個別行動のそれとは異なる。このような背景から知能モデルの中に相互作用の考え方を積極的に導入するという考え方が盛んになってきている。

推論の中に状況の概念を導入する方法、分散人工知能における分散協調型の問題解決方法やエージェントモデルなどは、いずれも知能システムの相互作用として位置づけることができる [6、7]。

図表Ⅲ-1-39　データベースからの知識発見システムの構成



また、知能的なシステムは、知覚・モデル化・プランニング・タスク実行・制御といった一貫したアーキテクチャで把握できるというのが従来のモデルであったが、それから離れて、低次元の活動から高次元の活動へと階層をなすという包含アーキテクチャの提案がなされており、注目を集めている。

3.4.1.3　システム開発方法論とその周辺

開発方法論については、前節に述べた知識技術者個人の能力に依存する面が強い探査型の開発から二つの方向へと発展してきている。その第1は、システムのライフサイクル全般を支援する方法論である。それに対し、第2の方向は、個々のシステムを容易に知識技術者なしで開発できるような簡易化の方法論の確立を目指すものである。

知識システムの規模の議論、ならびに、大規模知識ベースプロジェクトの進展とともに、知識システムの性能／効果を評価する手法の研究、知識ベースの標準化を目指す活動も行われるようになってきている。これらの研究・活動は、知識獲得支援の一環として理解することも可能であり、システム開発方法論の発展に大きな影響を与える可能性が高い。

開発方法論の発展はAIツールの発展も促す。AIツールについても、開発方法論の二つの方向と同様の傾向が見られる。これを分類すると、機能の高度化・利用目的の専用化・知識獲得支援の三つの傾向に分けることができる。1980年代はじめには、単一の知識表現をサポートする単機能ツールから複数の知識表現をサポートするハイブリッドツールが商品化され、最近では、特定のタスクや領域を対象とする専用ツールや知識獲得支援ツールが研究開発の中心となっている。また、事例ベース推論の諸機能をサポートするツールも発表されている。

知識獲得支援ツール、事例ベース推論ツールのサポートするタスクは、主に、分析型問題、それも分類型問題に限られるが、専用ツールについては、分類型診断問題と計画型スケジューリング問題を対象とするのもが多い。

従来のAIシステムは、実行可能な解を適当な処理時間で求める目的に使われることが多かったが、最近では、それに加えて最適性・実時間性が要求される場合が多くなってきている [4]。その場合には、発見的方法を重視する従来のAI手法のみでは不十分となる。オペレーションズ・リサーチ、特に、数理計画法は、特に、計画型・設計型の問題において、統合化システムの解の精度と処理速度の向上に重要となってきている。

3.4.1.4　システムのライフサイクルと知識獲得活動

大規模な知識システム開発のための方法論の確立は重要なテーマであるが、現在のところ決定的なものは存在しない [15]。しかし、ヨーロッパでは以下に述べるKADS(Knowledge Acquisition and Documentation System)と呼ばれる方法論が次第に普及してきた[2、13]。わが国でも、(財)日本情報処理開発協会によるシステム評価を目的とした調査研究がなされている [14]。

KADSではシステム開発の複雑さを減少させるために中間的なモデルを設定し、その中から適当なものを取捨選択することで開発の方法論・技術・ツールが決定される。この中間モデルは、組織モデル、応用モデル、タスクモデル、タスクの協調モデル、専門家モデル、概念モデル、設計モデルから構成される。専門家レベルは、さらに、対象領域に関する静的な知識、それを使う推論知識、基本タスク、戦略知識の4種類に分類される。これらは、再利用可能なモデル要素として記述されている。しかし、これらの記述はすべて概念レベルにとどまっており、特定のツールや言語に組込まれているわけではない。これが、概念レベルの方法論であるKADSの利点でもあり、すぐに具体的なシステム開発に利用できないという意味でKADSの欠点にもなっている。

それに対し、(財)日本情報処理開発協会による調査研究では、図表Ⅲ-1-40に示すような、プロトタイピングに基づくフェーズドアプローチによって構成されるライフサイクルモデルを重視している。ここでは、開発当初においてシステムとしての本質的な要求を定義し、システムを徐々に成長させていく各フェーズで、段階的に要求仕様を明確化していくこととなる。

まず、調査・計画フェーズでは、要求仕様、システムの位置づけ、開発プロジェクト体制、開発スケジュールを明らかにする。実験型プロトタイピングフェーズでは、目的を重点的に絞り、技術的に核になる知識・推論機能が実現される。発展型プロトタイピングフェーズでは、最終システムの機能を一応実現したレベルのプロトタイプを作成する。このフェーズの終わりには、システムイメージが明確になり実用システムの要求仕様を詳細に記述できるレベルになる。実用システム開発フェーズでは、実際に業務に組み込まれて利用されるシステムを開発する。このフェーズの作業は従来のシステム開発と基本的に変わりはない。運用テストフェーズでは、システムを評価し運用に耐えられるレベルまで洗練化する。運用・

洗練化フェーズでは、システムを実運用しながら、システムの問題解決能力を一層向上させていく。

このような立場に立つと、知識獲得作業は、単なる専門知識の収集ではなく、知識システム開発作業の一環として理解することが必要となる。すると、これは四つの活動ー知識の抽出・変換・構造化・洗練化ーに分類することができる。

知識の抽出段階は、対象問題を基本概念レベルで整理し、対象モデルを構築する作業である。ここでは、対象分野の基本的な知識の形態や、問題解決タスクの概念モデルを明確に整理することが重要である。この作業の中心は、人間ー専門家ーであり、知識技術者もしくはコンピュータは支援的な役割を果たすにすぎない。

知識の変換とは、知識システム開発ツールが提供するルールやフレームなどの知識処理の典型的な手法で、抽出した知識を記述する段階を指す。知識抽出段階における知識表現が、ツールの表現形式と合致していることが、知識システム開発上では理想的である。しかし、現状ではそれは不可能である。このため、実際の問題に合わせて知識ベースを作成する場合には、与えられた問題をしばしば強引に、人工知能の知識表現に整理・変換することが必要となる。

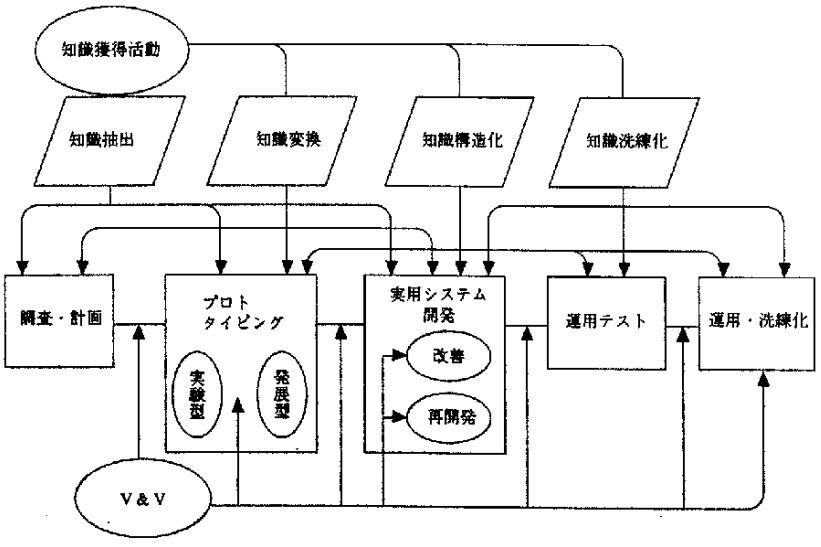
知識の構造化段階では、断片的な知識を統合し、問題解決の詳細な流れを同定するために知識相互の関連性を明確化する。ここでは、部分問題の特性を詳細に把握し、探索空間を明確に設定した上で、記述していく作業である。現在の知識獲得支援ツールは大部分この段階の作業を支援する。

知識の洗練化段階では、システムを動かしながら、知識ベースの検証・修正・拡張を行っていく。この段階では、知識の不備な部分を補い、さらに表層的な知識から深い知識を引き出し、あるいは複数の知識を統合してマクロ化する、などの作業を行う。また、システムの保守性を向上させるために知識構造を変更したり、知識表現の可読性を高めることも必要である。

システムがこのようなライフサイクルと知識獲得活動のもとで開発されると、次のフェーズに移る時点で、それぞれのプロトタイプの評価を行う必要が生ずる。一般にシステムを評価する場合の視点としては、社会的な視点、経済的な視点、技術的な視点の三つが存在する。技術的な視点に注目すると、システム評価の問題は、特にシステムのVerification（検証）とValidation（妥当性検査）（V&Vと呼ぶ）、ならびに、V&Vを行う手段としてのテスト(Testing)が中心となる。

検証とは、システムの内的な正しさを保証する作業、すなわち、システム開発時に生ずるエラーをなくす作業を指し、開発工程において正しくシステムを構築するための確認作業である。妥当性検査とは、完成したシステムが（陽には表現しにくい）ユーザの真の要求の目的を満たしているかを確認する作業である。すなわち、妥当性検査では、システムは正確に要求が反映しているのか（正確性）、ユーザにとり有用なものであるといえるのか（有用性）が重要となる。そして、正確性、有用性を確認するためには、通常要求仕様の達成状況を評価することとなる。

図表III-1-40　エキスパートシステムのライフサイクルと知識獲得作業



知識獲得における知識の抽出・知識の変換・知識の構造化・知識の洗練化の四つの作業とシステム開発のライフサイクル、システムの評価の関連は、同じく図表III-1-39にまとめられる。知識システム開発作業が進むにつれて知識の抽出・知識の変換・知識の構造化・知識の洗練化の順に中心となる作業が変化していく。図表III-1-40にあるように、実験型プロトタイピングでは知識抽出が、発展型プロトタイピングでは知識変換・構造化

が、実用システム開発では知識洗練化が作業の中心である。

3.4.1.5　知識ベース技術の標準化動向

(1)　概要

知識ベースシステムは、従来、知識がゼロの状態から再開発されてきた。似た分野のシステム開発にあたっても、以前に開発したシステムの知識ベースを再利用することはされていなかった。今後、知識の共有と再利用を促進するためには、知識表現、推論手法、さらには開発方法論を含めた知識ベース技術の標準化が重要な問題となる。

これは、FORTRANやCOBOL、LISPなどのプログラム言語が標準化の努力によって普及が促進された経緯、また、データベース検索言語SQLや、最近のX-Windowの普及の経過を見ても明らかであろう。しかし、これら従来のコンピュータ技術の標準化が成功を収めた背景には、前者のように標準化を推進する公的機関が存在した、または、後者のように事実上の標準がすでに存在していたという強い動機が存在する。それに対して、知識ベース技術に関しては、人工知能技術の進歩が非常に速い、圧倒的なシェアを持つ企業が存在しないなど、まったく状況が異なっている。ところが、最近、米国やヨーロッパでは、知識ベース技術の標準化に関する活動がさまざまな形で行われている。

(2)　標準化活動の背景

コンピュータ関連の産業においては、製品そのものよりも技術について標準化がなされる。そのため技術の実際の普及に先立ち、市場が主導的な役割を果たし、開かれた標準が、さまざまな会合でコンセンサスを得て、事実上作られていくことが多い。そしてある程度のコンセンサスができた時点で、それを公的・法律的にオーソライズする手続きがなされる。これには一般に非常に時間がかかる。

知識ベース技術に関する標準化活動は1990年代に入ってから開始されたばかりである。それに参画するメンバーの立場も次のようにさまざまなものがある。

(a) 知識ベースシステム利用者の立場

システム利用者の立場からは、AIシステムは問題解決システムとしての性能が高いこと、さらには、システムの移植性や保守性、あるいは、他システムとの統合性が重要である。人工知能理論や知識ベース技術を表に出す必要はない [16]。このような立場からは、利用者が意識しないで済むような標準化はきわめて望ましい。このような意識は、さまざまなレベルの応用システムを利用する大規模ユーザにとって強いものとなる。

このような要求が特に強いのは米国の国防省(DOD)や航空宇宙局(NASA)である。このような点から、システム利用者にとっては、AIシステム評価、特に、システムの検証・妥当性検査を重視すると同時に、他システムとの統合を意識した標準化活動が望まれる。

(b) 知識ベースシステム開発者の立場

システム開発者の立場からは、知識ベースシステムに対する開発要求の増加に対するシステム開発コストの低減が標準化への動機である。特に、知識ベースシステム開発ツール・言語、ならびに利用者やシステム間のインタフェースに対する標準化の要望は強い。しかし、知識ベースシステムを真に普及させようとするか、また、それを利用して市場の支配を狙うかの立場の違いは標準化活動をみているだけではなかなかわからない。前者の面からは、軍やNASA、エネルギー産業などに大規模システムを納入しているソフトウェア開発会社において、知識ベースシステム開発の必要性が高まっているにもかかわらず、その開発・評価基準が定まっていない現状に対し、不満・不安が高まっている。また、後者の面からは、標準化活動に合わせて新たなツールを開発し、それをビジネスに直結させたい、ツールベンダ・ユーザのグループが存在することが挙げられる。

(c) AI研究者の立場

知識ベース開発に必要な知識表現・推論機構などの要素技術は、最近10年あまりのAIブームを経て成熟の域に達している。このような状況のもとで、AI研究者の間で今後の知識ベース関連分野の研究の主導権を握ろうとする動きが活発になるのは当然のことといえよう。そのような活動の一つとして知識ベースの共有・再利用は大きなテーマとなってきている。その中でも、標準化のキーワードが非常に重要となってきている。

(3)　さまざまな標準化活動の動向

知識ベース技術に関連する標準化活動は、大きく、1)知識の変換・再利用を重視した標準化活動、2)対象領域を特化した標準化活動、3)標準化を支援する活動、4)知識ベース技術そのものではないが関連の深い従来型ソフトウェアに対する標準化活動の四つに分類することができる。最初の知識の変換・再利用の面からの標準化活動

は、さらに、1-1)問題解決・オントロジーレベルなどの知識レベルの標準化、1-2)強力かつ標準的な言語を設定しようという知識表現言語レベルの標準化、1-3)知識ベース間の変換を支援するための適当な中間言語を設定しようとする知識変換レベルの標準化、1-4)知識ベースシステム間の情報交換を支援するための質問言語・通信規約の標準化活動に分けることができる。

これらの関連と代表的な活動を図表Ⅲ-1-41に示す。

<参考文献>

[1] 人工知能学会誌：特集「事例ベース推論」. Vol.7, No.4, 1992.

[2] 人工知能学会誌：特集：知識の共有と再利用. Vol. 9, No. 1, pp. 29-33, 1994.

[3] ICOT-JIPDEC AI センター(編)：人工知能の技術と利用－AI白書－. 1990.

[4] ICOT-JIPDEC AI センター(編)：AI白書－人工知能の技術と利用. 1991.

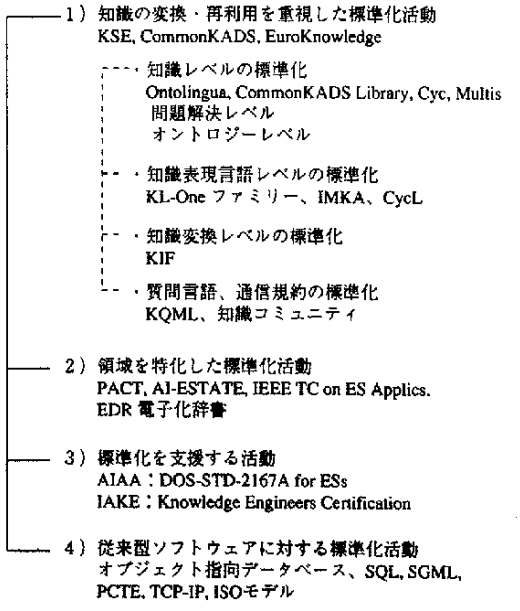
[5] ICOT-JIPDEC AI センター(編)：AI白書－人工知能の技術と利用. 1992.

[6] 石田亨，桑原：分散人工知能(1)：協調問題解決. 人工知能学会誌，Vol. 7, No.6, pp. 945-954, 1992.

[7] 桑原，石田亨：分散人工知能(2)：交渉と均衡化. 人工知能学会誌，Vol. 8, No. 1, pp. 17-25, 1993.

[8] 計測と制御：特集：知能システム，Vol. 33, No.1, pp. 1-8, 1994.

図表Ⅲ-1-41　知識ベース技術標準化活動のまとめ



[9] 北野宏明(編)：遺伝的アルゴリズム，産業図書，1993.

[10] 小林重信，寺野隆雄：知能システム技術の展望. 計測と制御，Vol. 33, No.1, pp. 1-8, 1994.

[11] 西尾章治郎：大規模データベースにおける知識獲得. 情報処理, Vol. 34, No.3, pp. 343-350, 1993.

[12] 高木英行：ファジィシステム，ニューラルネット，遺伝的アルゴリズムの融合化技術. 計測と制御，Vol.33, No.1, pp. 33-39, 1994.

[13] Tansley, D.S.W., Hayball, C.C.: Knowledge-Based Systems Analysis and Design - A KADS Developer's Prentice-Hall, 1993.

[14] 寺野隆雄（編）：エキスパートシステムの評価ガイドライン，オーム社，1992.

[15] 寺野隆雄：知識システム開発方法論. 朝倉書店，1993.

[16] 寺野隆雄：知識ベース標準化の動向と課題. 人工知能学会誌，Vol. 9, No. 1, pp. 29-33, 1994.

3.4.2 学習ツールと応用

3.4.2.1 学習ツールの現状

機械学習とは、「コンピュータが、その経験をもとに、より有効な判断を行えるように、自分のプログラムを作り替えること」を意味する。すなわち、機械学習システムは、「適当な例題群（データ、正答など）を入力として、それらを含むより広い問題の集合に属する（ほとんどすべての）問題を効率的に解く、簡単なプログラムを出力するシステムである」。この意味で、機械学習の手法は知識システムにおける知識獲得技術と深い関係がある。

機械学習機能を備えた学習ツールは、一般のAIツール［3］や知識獲得支援ツール［10］と同様、特定のAI応用システムの研究開発に伴って発展してきた。そして、主に、分析型問題、それも分類型問題に特化した形での学習ツールは、最近の人工知能技術の発展により、ツールは、実験段階から普及段階へ入ってきている。

学習ツールは、大きく帰納学習ツール、演繹学習ツール、事例学習ツールに分類することができる。さらに、最近では、これらを統合した形で Multi Strategy Learning［6］や帰納的論理プログラミング［7］、教師あり学習と教師なし学習との中間に位置づけられる強化学習［12］などの概念も提案されている。

帰納学習は、与えられた例題間の一般法則性を見出す

学習である。例えば、病状とその診断事例から一般的な診断規則を見出すような学習である。一般に学習というと帰納学習の意味にとることが多い。帰納学習の結果得られたシステムは、分類問題(Classification Problem)を解く能力を持つ。[14] にあるように、分類問題は、統計的手法、ニューラルネット、決定木、エキスパートシステムなど、さまざまな手法で解くことができる。実際、帰納学習のアルゴリズムはこれらの手法と深い関係がある。遺伝的アルゴリズムに基づく学習システム（分類子システム）[1] も帰納学習のツールに位置づけることができる。

帰納学習では、一般性を持つプログラムをいかに効率よく得るかが課題となる。このためには、効率の良さの判断基準を明確にするとともに、どのようなデータがあらかじめ人手可能なのかを十分に検討しておく必要がある。データに誤り、ノイズが存在する場合は、学習精度は当然ながら低下する。

演繹学習は、問題を解くのに十分な基礎知識をあらかじめコンピュータに与えておき、これをより効率的に利用できるようなプログラムを得るような学習方式である。例えば、機械装置の故障診断を行う場合、その装置のメカニズムに関する知識から効率的な診断規則を見出すような学習である。演繹学習では、はじめて与えられた例題を、基礎知識を使って解いた過程をもとに、類似問題を基礎知識まで遡らずに高速に解けるような規則をいかに見出すかが課題となる。

説明に基づく学習(Explanation-Based Learning)は、このための典型的な手法である。演繹学習では例題に誤りが含まれていても、その例題を解く過程で基礎知識によってその例題を棄却することができる。しかし、基礎知識に誤りがある場合は学習結果は信頼できないという性質を持つ。

事例学習または事例ベース推論（CBR; Case Based Reasoning）は、過去に経験した事例（問題とその解決法）を、統一した形式に整理して蓄積し、新たな問題が発生した場合に、蓄積された過去事例を直接問題解決に利用する方法である。CBRシステムは、問題解決システムとしては、汎用の探索器と、ルールベース推論に代表される演繹推論機構の中間に位置している。また、学習ツールとしても帰納推論と演繹推論ツールの中間に位置している。事例学習が最近注目を集めている第1の理由としては、人間の問題解決が過去の記憶の再利用という側面が強いというSchank等の従来の主張 [9] が見直されてきたことが挙げられる。第2には、CBRを知識システムの問題解決に適用することで、知識獲得の軽減・探索効率の向上が図れるのではないかという、CBRに対するより現実的な期待がある [4]。

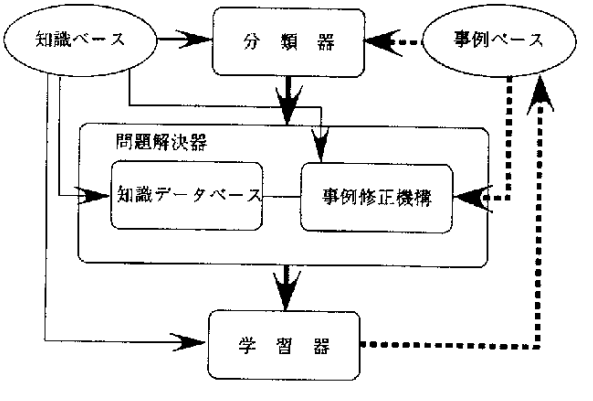
一般的な事例ベース推論では、入力された問題に対して、次のような手順で問題解決を行う [9、5]。

(1)入力問題から適切なインデックスを選び、事例ベースからそれに合致するような過去の事例を検索する。
(2)新たな問題に事例を適用する。
(3)事例をあてはめた結果成功すれば入力された問題を事例の形式に整理し、インデックスをつけて事例ベースに登録する。
(4)事例をあてはめた結果が失敗した場合は、成功するように事例に修復を加える。
(5)修復した事例を適用して成功した場合は、修復した事例を事例ベースに登録する。
(6)修復によっても成功しない場合（既存の事例の範囲では、問題解決が不可能の場合）は、一般的な問題解決の手続きによって解を求め、事例ベースに登録する。

実用システムにCBR機能を組込む場合は、事例だけでは解空間全体をカバーすることができないことから、CBR単独で問題解決を行う場合は稀であり、従来の問題解決機能、あるいは、高性能のエキスパートシステムとの共存が必要となる。CBRシステムの一般的なアーキテクチャとしては図表Ⅲ-1-42のような構成が得られる。事例ベース推論システムは、従来型の問題解決機構の前後に、それぞれ分類機構、学習機構を加えた形式のシステムとして一般的に理解することができる。

分類機構は、新事例を事例ベースの内容（過去の問題解決事例）と照合させる機能を持ち、広義の分類型問題解決器と理解することができる。分類問題を事例ベース

図表Ⅲ-1-42　事例ベース推論システムの構成



推論で扱う場合には、この部分を実現することで、対象問題の大部分をカバーすることとなる。

問題解決機構は、多くのCBRシステムにおいて、知識ベースシステムとして実現される。この意味では、実用的なCBRシステムを実現する上では、その前段階において十分な性能を持つ知識ベースシステムを開発しておくことが重要となる。また、人間・機械協調型システムにおいては、問題解決器の機能の一部または全部を人間に置き換えることもできる。

CBRシステムの学習器は、新事例に対する問題解決結果（成功例・失敗例）にインデックスを付け、事例ベースに新たに格納する機能を持つ。新事例に類似した事例がすでに事例ベース中に存在する場合は、これによって、その事例の能力が強化または抑制される。新事例に類似した事例が存在しない場合には、人手または機械による問題解決の過程が、コンパイルされて蓄積される。

知識獲得を効率化するような機械学習ツールでは、上の帰納学習、演繹学習、事例学習の機能のほかに、適切な情報を専門家から得るための対話制御の機能が重要である（図表III-1-43）。対話制御機能には、学習が効率良く行えるような問題を作成する機能、作成した問題を専門家に解いてもらうことで専門家の巧みな解法を獲得する機能などが必要である［11］。

機械学習システムは、人間と異なり、学習を重ねるにつれ、その学習能力は低下するという共通の弱点を持つ。したがって現実の知識システムに機械学習機能を導入する場合は、それぞれの手法を適切に組合せるとともに、その限界について十分な理解が必要となる。

＜参考文献＞

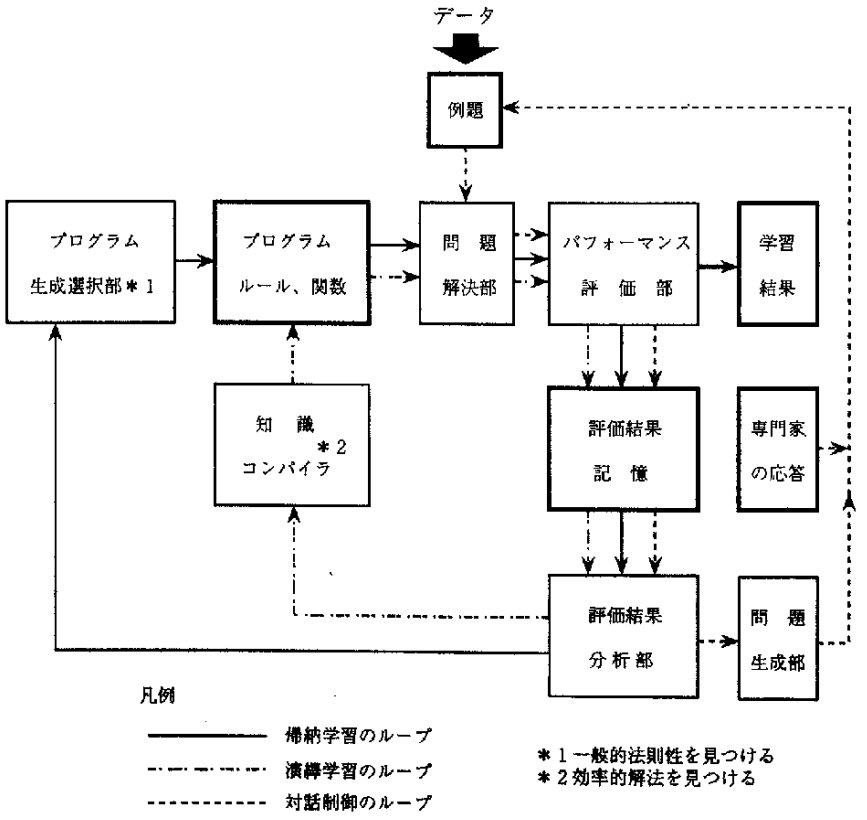
［1］ Goldberg, D. E.: Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning.Addison-Wesley, 1989.

［2］ 計測と制御：特集：知能システム，Vol. 33, No.1, pp. 1-8, 1994.

［3］ 小林重信，寺野隆雄：知識システムハンドブック，オーム社，1991.

［4］ 小林重信，寺野隆雄：知能システム技術の展望，計測と制御，Vol. 33, No.1, pp. 1-8, 1994.

図表III-1-43　機械学習ツールのアーキテクチャ



[5] Kolodner, J.: Case-Based Reasoning. Morgan-Kaufmann, 1993.
[6] Michalski, R.S.: Multistrategy Learning. Kluwer, 1993(Reprinted from Machine Learning, Vol.11, Nos. 2-3 (1993)).
[7] Muggleton, S. (ed.): Inductive Logic Programming. Academic Press, 1992.
[8] Quinlan, J.R.: C4.5: Programs for Machine Learning. Morgan-Kaufmann, 1993.
[9] Riesbeck, C.K., Schank, R. C.: Inside Case-Based Reasoning.Lawrence Erlbaum, 1989
[10] Scott, A.C., Clayton, J.E., Gibson, E. L.: A Practical Guide to Knowledge Acquisition. Addison-Wesley, 1991.
[11] 篠原靖志，矢沢利弘：知識獲得のための機械学習．電力中央研究所報告・調査報告：Y87016, 1988.
[12] Sutton, R. S. (ed.): Reinforcement Learning. Kluwer, 1992(Reprinted from Machine Learning, Vol.8, Nos. 3-4 (1992)).
[13] 寺野隆雄：知識システム開発方法論．朝倉書店，1993.
[14] Weiss, S. M., Kulikowski, C.A.: Computer Systems that Learn: Classification and Prediction Methods from Statistics, Neural Nets, Machine Learning, and Expert Systems. Morgan-Kaufmann, 1991.

3.4.2.2 知識処理手法における学習ツール

実用的な人工知能システム、例えばエキスパートシステムにおいては、対象分野に応じて知識ベースを構築しなければならず、多大なマンパワーが必要なことが問題で、「知識獲得ボトルネック」と呼ばれている。ここでは、それを解決する技術としての学習ツールについて述べる。

(1) 教示による学習ツール

エキスパートシステムの知識獲得ツールにおいては、ユーザが知識を容易に入力するための手法が求められている。そのような場合に用いられる学習パラダイムが教示による学習であり、教科書の内容のような体系的な情報を教師(ユーザ)から学習する。

EMYCIN, TEIRESIAS　このような学習を行うツールとして、EMYCIN, TEIRESIAS などがあり、人間が入力した知識を内部表現に変換し、それを古い知識と照合して、効果的に利用、格納することができる。それにより、知識を入力するユーザの負担を減らすことができるが、ある程度体系化された知識をユーザ側で用意する必要のある点では、学習機能のないシステムと変わらない。

(2) 例からの学習ツール

人間が抽象的な概念を学習する場合、具体例の助けを借りることが多い。また、多くの事例から一般的な法則を見つけて、活用することができる。このような例からの学習では、ある概念を満たす例（正例と呼ばれる）と満たさない例（負例と呼ばれる）とから、その概念を学習する。この学習パラダイムは機械学習において最も活発に研究されており、それに基づく学習ツールの開発も盛んである。

①一般化と特殊化による学習

例からの学習を行うには、概念を列挙して、一般的な概念から特殊な概念へと階層化し、その中で例を満たす概念を探索すればよい。例えば、人の特徴を背の高低と太り具合でとらえると、概念の階層は図表Ⅲ-1-44のようになる。最も一般的なのはすべての「人」を表す概念である。それを特殊化した概念として、背の「高」い人と「低」い人、「太」った人と「痩」せた人の概念が各々あり、それらの特殊化として、背が高くて太った人、高くて痩せた人、低くて太った人、低くて痩せた人の概念がある。例が与えられる前には、図中すべての概念が求める概念の候補である。

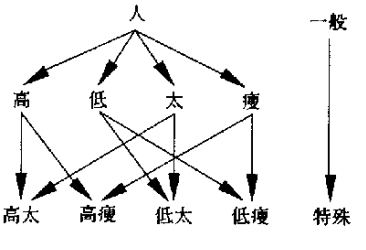
さて、順に次の例が与えられたとしよう。

1. (正例) 高くて太った人
2. (負例) 低くて痩せた人
3. (正例) 低くて太った人

最初の例が与えられると、候補が図表Ⅲ-1-45のように絞られる。2.の負例で一般的な「人」の概念が候補から削られ、3.の正例で概念の候補は「太」った人に絞られる。こうして、太った人が求める概念として学習される。

Meta-DENDRAL,LEXでは図表Ⅲ-1-44のような仮説空

図表Ⅲ-1-44　人の特徴の概念階層
（背の高低と太り具合）



間をバージョン空間と呼ぶ。上の手法は質量スペクトルから分子構造を推定するための Meta-DENDRAL と呼ばれるツールおよび記号積分を行う LEX システムに応用されている。

現実的な問題では概念の候補が無数にある。また、表現に「または」が許され、「高くて太っているか、または低くて痩せた人」などという概念があると、候補を絞り込めない。仮説空間の上限と下限の両方を押さえ、空間が収束したときをもって学習終了と判定できないのが普通である。

AQ,CN2　多くの学習ツールでは、バージョン空間のような理想的なアルゴリズムは用いられず、上限だけを押さえ、例との一致率が上がるか、規定の計算資源を使い切るまで計算を続けるアルゴリズムを用いている。Michalski らによる学習プログラム AQ がその一例で、最も一般的な記述から負の例を満たさない記述を見つける。AQ を拡張し、例の誤り（ノイズ）に対処したツールとして CN2 がある。

②決定木の学習

これは図表III-1-46に示されたような決定木を学習する手法である[1]。木は上から属性をたどるようになっている。図表III-1-46の場合、髪の色が赤ければ、概念のカテゴリに属し、黒ければ属さない。ブロンドの場合は目の色を調べ、青ければカテゴリに属し、茶色ならば属さないことになる。

決定木の学習では、正と負の例からこのような木を構築する。あらかじめ属性のセットが与えられているので、どの属性を選択し、木の根に近い側に配置するのかが問題となる。

CLS　最初の決定木学習システムである。計測および分類誤りに要するコストに注目したシステムによって駆動される「見通しスキーム」を用いて最小コストの決定木を求める。

ID3　CLS の後継として作成され、決定木の学習方式の評価を揺るぎないものにした。情報理論的なアプローチを採り、ある対象を分類するときのテスト回数の期待値が最小に近くなるように、エントロピーに基づくヒューリスティックにより、属性を選択する。

C4.5　ID3 上位バージョンとして、現在、公開されているのが、C4.5 [3] である。基本的な動作原理は ID3 と変わらないが、木の構築の打ち切りや後処理による枝刈などに工夫が凝らされている。主記憶が限られている場合にも、ウィンドウイングと呼ばれる技術により、例題集合の一部を部分的にロードしながら、学習を進めることができる。

NewID C4.5 とほぼ同様のシステムであるが、ウィンドウイングを行わない分、単純化されている。

AC2　オブジェクト指向表現を採用し、グラフィカルインタフェースを持つ、総合的なツールである。帰納推論エンジン部分には、ID3に近いアルゴリズムが採用されている。

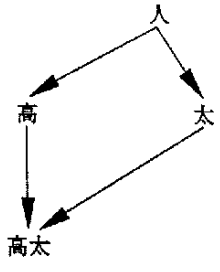
CART　2進木を決定木とした学習ツール。

Cal5　連続値や大小関係のあるデータを扱うようにデザインされた決定木構築システムである。

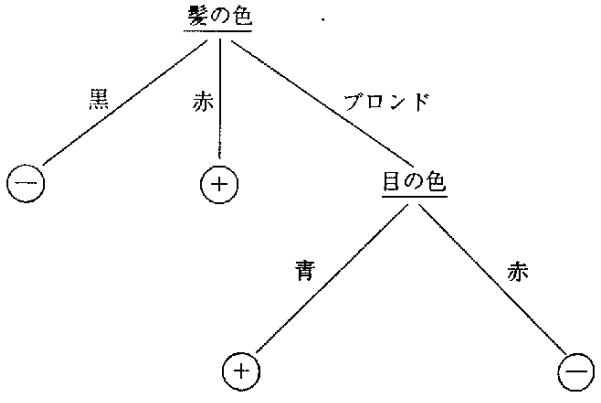
③論理プログラム学習ツール

決定木による表現では変数が扱えず、命題論理の表現能力と等価である。これに対し、コンピュータのプログラミング言語は、変数を用いたはるかに強力な表現能力を持っている。このレベルの表現を学習するツールは、当初、例による自動プログラミングシステムと呼ばれ、Lisp 上で研究されたが、副作用を含まない純 Lisp のプログラムだけしか、学習されないという限界から、実用には至らなかった。これに対し、Prolog のような論理プ

図表III-1-45　概念候補の絞り込み



図表III-1-46　決定木の学習（例）



ログラムでは、副作用を含まなくても、かなりの表現能力があるため、近年多くの学習ツールが実現されている。

MIS　論理プログラムの最初の学習システムである。学習過程における探索空間の爆発をユーザに質問することにより、避けている。学習ツールとしてより、論理プログラムのデバッガとしてよく知られている。

FOIL　ID3における決定木の構築手法を論理プログラムの合成に適用したシステムである。変数に対処するため、例を変数の値の組に変換し、生成中のプログラムに変数が追加されるたびに、例集合を増殖させる手法を用いている。

CIGOL　決定木の学習では、ノードの候補となる属性セットをあらかじめ与えておく必要がある。論理プログラムでも、節を構成する副述語があらかじめ与えられている必要があり、学習可能な範囲が制限されていた。新しい属性を生成する手法は、Michalskiによりいくつか提案され、構成的帰納と呼ばれている。新しい述語を生成するシステムとして良く知られているのがCIGOLであり、リゾリューションの過程を逆にたどることにより、述語の候補を発見することに特徴がある。述語を発見しようとすると探索空間はさらに大きくなるが、MIS同様、ユーザに質問して候補を選択することにより、対処している。

GOLEM　論理プログラムの手続き言語的な側面に注目し、決定的な項だけを含んだ、バックトラックのないプログラムに対象を限ることにより、学習を効率化したシステム。

CHAMP　FOILのようにユーザへの質問を行わない、バッチ方式の学習システムにおいて、新しい述語の生成を可能にしたシステムとして、CHAMP [2] がある。

<参考文献>

[1] J.R. Quinlan: 効率的分類手法の学習とチェス終盤譜への応用、知識獲得入門、共立出版(1987).

[2] キッスィリクン、沼尾、志村: 弁別に基づく構成的帰納学習、人工知能学会誌、7, 6,1027-1037 (1992).

[3] J.R. Quinlan: C4.5: Programs for Machine Learning, Morgan Kaufmann, San Mateo (1993).

3.4.2.3　統計的推定技法に基づく学習とニューラルネットワークの学習

(1) 概観

事例から一般的な法則を抽出することは統計やデータ解析手法の主要な目的の一つであり、実験科学を中心とする多くの分野で利用されている。人工知能の分野でも、パターン認識を中心としてさまざまな統計的手法が機械学習の手段として利用されてきており、近年研究が盛んなニューラルネットワークによる情報処理も、その学習技法の多くは、統計的な推定の一種とみなすことによって理解が容易になる。本節では、統計的推定技法に基づく学習についてニューラルネットワークも含めた形で述べてゆく。はじめに、全体的な概観を述べ、その後、いくつかの具体的な学習法に触れる。

統計的推定技法は、対象の確率構造の推定およびその推定の信頼性に関する広い範囲の問題に適用されるが、人工知能の分野はこれまでに

・パターン識別
・関数関係の抽出・近似
・時系列予測
・概念形成・クラスタリング

などの課題の学習に用いられてきた。

パターン識別とは、画像、音声などの入力情報（これらの情報は時間、空間的に広がりを持つパターンを形成しているため、パターン情報と呼ばれている）を、適切なクラスに分類する問題である。手書きの数字を読みとる問題（文字認識）や、人間の音声を聞きとる問題（音声認識）などが代表的なものであるが、その他にも、医療診断、故障診断などさまざまな識別課題が存在する。この課題の特徴的な点は、入力情報として現れる可能性のあるパターンが非常に多様であるということである。例えば、手書き数字の認識を考えても、人と場合によって、非常に多様な変形が起り得ることがわかる。そして、それらのすべてに対してうまく働く簡単な識別規則をあらかじめ考えておくことはかなり難しい。そこで、事例から自動的に識別規則を獲得する方法が必要とされ重要な研究課題とされてきた。

2番目の関数関係の抽出は、例えば、複雑な機構を持つロボットの腕の制御などに利用されている。ロボットの腕の運動制御においては、腕をある方向にある量だけ動かすために腕に取り付けられたアクチュエータにどれだけのトルクを発生させる必要があるかを知らなければならない（この関係を腕の逆ダイナミクスと呼ぶ）。この関係は原理的には腕の構造から導き出せるはずであるが、実際には摩擦等の定量化しにくい効果や、腕の形の変化による重力の影響の変化などのために、原理的な導出は容易ではない。そこで、実際に腕を動かしながらデ

ータを取り、この関数関係を学習的に獲得することが重要になる。

3番目の時系列予測のわかりやすい例としては、天気予報や、株、為替の変動予測が挙げられる。過去数日分のデータを入力として、明日の値を予測するのであるが、現象が多数の要素を含んで複雑な場合、この予測式を原理的に導き出すことはほとんど不可能である。したがって、データから帰納的に近似的な予測式を得ることが重要になる。

これらの3つの課題は、いずれも、ある入力（入力パターン、関数への入力値、過去の時刻の時系列の値）と、出力（入力パターンの属するクラス、関数の値、将来の時刻の時系列の値）との間の関係をデータから学習するものであり、入力と出力の間の関数関係の学習としてまとめて考えることができる。学習のためには、入力データとそれに対する望ましい出力データ（正解出力、教師出力）のペアが用意される。このタイプの学習は、入力に対する正しい出力（答）を教師が教えてくれるという意味で、「教師ありの学習」と呼ばれる。

これに対して、概念形成・クラスタリングは、データの中の分類構造を発見的に抽出するための技法であり、主に、未整理のデータを整理するために使われる。例えば、個々の自動車に関して、排気量、重量、ドアの数、さまざまな装備の有無などの多次元データが大量にある場合、クラスタリング技法を使えば、それらがおおまかに、軽自動車、大衆車、スポーツカー、高級車、といったようなクラスに分けられることが発見できるだろう。さらに詳細な解析を行えば、より細かい新規な構造を発見することができるかもしれない。また、例えば消費者の個人的な好みに関する情報をクラスタリングすることによって得られる構造は、製品開発などに利用されている。

クラスタリングはまた、対象を分類するために有効な対象の表現法を発見するためにも用いられる。ある指標を使って対象を表現し、その表現をクラスタリングした結果、対象がいくつかのまとまりにきれいに分類できれば、その指標は対象を効率的に記述するのに有効であったということになる。

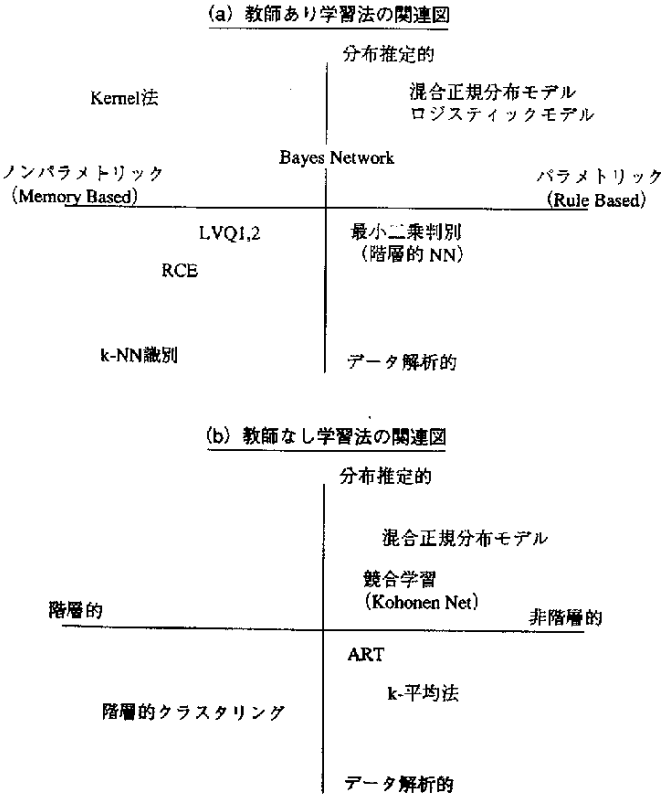
このように、対象に内在する構造を抽出するという意味で、クラスタリングも学習の一種である。クラスタリングを行う場合には、入力データをどのクラスに分類すべきかはあらかじめわかっていないので、学習のために与えられるデータは入力データだけである。このため、「教師なしの学習」と呼ばれる。また、教師なし学習を特に「自己組織化」と呼ぶこともある。

以下では、上記のような学習課題のうち、教師ありの学習としてのパターン識別課題、教師なしの学習としてクラスタリングを取りあげる。図表III-1-47に主な学習法の位置づけと関連図を示した。

統計的なパターン識別およびクラスタリング手法についての一般的な教科書としては［1、8、10、16］などがある。多変量データ解析手法については［13］、ニューラルネットワークについては[11]がよくまとまっている。

概説の最後に少しだけ歴史を振り返っておく。1950年代末にサミュエルのチェッカープログラムやローゼンブラットのパーセプトロンなどをきっかけとして学習機械の研究が芽生え、1960年代以降統計的なパターン認識の技法の研究が進んだ。それから30年以上の間にパーセプトロン学習に代わるものとしてバックプロパゲーショ

図表III-1-47　主な学習法の関連図



ン学習が生まれ、学習の高速化、学習問題の計算量や汎化能力、学習モデルの選択などについての解析が進められてきた（例えば［2、3、17、19、20］等を参照）。また、学習モデルを自己組織的にモジュール化する技法などによって（例えば［14］など）ある程度複雑な識別課題が高速に学習可能になってきている。しかし、いまのところ、パターン識別や関数近似等の古典的な課題を越える、より高度なタスクの学習に成功しているわけではない。したがって、1970年代に、記号処理的、知識集約的なAIの研究（これらは、ある意味ではパーセプトロンや統計的パターン認識の限定された学習能力への反省から生まれた）からなされた批判は、現在においても依然として妥当であると言える。開かれた実世界環境に対処しなければならない知的システムにとって学習能力は必須であるが、そのようなシステムを実現するためには、トータルなシステムの中において、学習をどのように使ってゆくかをさらによく考える必要があるように思われる。

(2)　パターン識別の学習（教師あり学習）

①　識別関数の学習

データの識別とは、入力されたデータを適切なクラスに識別する問題である。この問題を記述する変数は、個々の入力データを記述するための変数x=(x1,...,xn)およびそのデータの属するクラスを記述するための変数yとから成る。クラス数をKとし、yの取る値を1,...,Kとする。一般にxとyの関係は決定的（deterministic）ではなく、確率的である。xとyの同時分布をP(x,y)とする。この同時分布がこの対象の確率構造を規定する。

入力xに対してクラスのラベルを割り当てる関数d(x)を識別関数（classification function）と呼ぶ。クラスiをjに誤って識別したときの損失をr(i,j)（r(i,i)=0）とすると、識別関数d(x)を用いたときの損失の期待値（期待損失）は

$$R=\sum_{y=1}^{K}\int r(y,d(x))P(x,y)dx.$$

いま、

$$Si(x)=\sum_{y=1}^{K} r(y,i)P(x,y)$$

とすると、

$$R=\sum_{i=1}^{K}\int_{d(x)=i} Si(x)dx$$

であるから、xをSi(x)を最小にするクラスiに識別すればRは最小になる。統計的決定理論では、一般に、このような「期待損失を最小にする意思決定規則」をBayes解と呼んでいる［4］。識別問題の場合には、Bayes識別規則とも呼ばれる。

特に、r(y,d(x))が0/1損失、すなわちyとd(x)とが一致していれば0、異なっていれば1の場合には、Si(x)=P(x)-P(x,i)であり、Bayes識別規則は、入力xを確率P(x,y)が大きいクラスyに識別することに一致する。さらに、P(x,y)=P(y|x)P(x)であり、xを一つ固定すればP(x)は定数となるから、ある固定されたxに対してP(x,y)の値を最大にするyはxに対するクラスyの事後確率P(y|x)の値も最大にする。このことから、この識別規則は「事後確率最大識別」とも呼ばれる。すなわち、0/1損失関数の場合には事後確率最大識別はBayes識別（期待損失最小識別）である。

②　分布推定によるBayes識別

Bayes識別を実現するには、対象の確率構造P(x,y)が既知である必要があるが、現実にはこの構造は未知であり、有限個のデータ{xi,yi}(i=1,…,N)だけが与えられていることが多い。そこで、これらのデータから適切な識別関数を学習する必要が生じる。そのための方法として最も直接的なものは、データからP(x,y)を推定し、それを用いてRを最小にする（Bayes識別を行う）識別関数を構成する、というものである。

分布推定の方法はパラメトリックとノンパラメトリックの二つに大きく分けられる。P(x,y)が少数のパラメータを含む特定の分布形に従うことが分かっている場合には、その分布形をモデルとして最尤推定などによりデータからパラメータを推定することができる（パラメトリック推定）。

識別問題の場合には、それぞれのクラスからのデータの分布P(x|y)が多次元正規分布に従うと仮定することが多い［16］。例えば最も簡単な場合として、それぞれのクラスyからのデータの分布が中心μ_yだけが異なり、分散共分散行列Σが共通の正規分布に従うと仮定すると、各クラスyに属するデータxの分布は、

$$P(x|y)=\frac{1}{\sqrt{2\pi|\Sigma|}}\exp\left\{-\frac{1}{2}(x-\mu_y)^T\Sigma^{-1}(x-\mu_y)\right\}$$

と書ける。ここで、|Σ|はΣの行列式。さらに各クラ

スの出現確率をP(y)とすると、P(x,y)=P(x|y)P(y)である。

P(x,y)の対数をとって、クラスによらない部分を省くと、

$$L(x,y)=\log P(y)+x^T\Sigma^{-1}\mu_y-\frac{1}{2}\mu_y^T\Sigma^{-1}\mu_y$$

を得る。したがって、このL(x,y)を判別関数として識別を行えば、事後確率最大識別を実現でき、すでに述べたように、これは0/1損失の場合にはBayes識別になる。上のL(x,y)はxに関して線形の式なので線形判別関数(linear discriminant function)と呼ばれる。(歴史的に厳密に言うと、このあたりの用語は多少ややこしい。ここでの線形判別関数はいわゆるFisherの判別関数の2クラスの場合と同等であるが、多クラスの場合には必ずしも一致しない)。実際には、P(y)、μy、Σは未知なので、データから最尤法などの推定技法で適宜これらを推定して判別関数を構成することになる。識別のよさは、P(x,y)の推定のよさに依存する。0/1損失ではない場合や、各クラスの分散が未知の場合には識別関数の形は多少複雑になる［8］［16］。

この他に2クラスの場合に、

$$\log\frac{P(1|x)}{P(2|x)}=\alpha+\beta'x$$

のような仮定を置くこともしばしば行われる。これは、事後確率P(y|x)をxの関数とみて

$$P(1|x)=\frac{1}{1+\exp(-(\alpha+\beta'x))}$$

$$P(2|x)=1-P(1|x)$$

のように、ロジスティック関数1/(1+exp(-x))でモデル化していることになるため、ロジスティックモデルと呼ばれる［16］。多クラスへの拡張も行われているが、やや面倒である。

ロジスティック関数の代わりに、出力ユニットが1個の階層形のニューラルネットワークを使うこともある。この場合にも、ネットワークの結合重みなどのパラメータを最尤法で推定する。ネットワークのパラメータをまとめてwとし、入出力関係をf(x,w)とすると、データ(xi,yi)(i=1,...,m)が与えられたときの対数尤度関数は

$$\sum_i \delta_{yi,1}\log f(xi,w)+\delta_{yi,2}\log(1-f(xi,w))$$

となる。ここでδijは、i=jのとき1、それ以外のとき0である。この関数を最大にするネットワークのパラメータwを最急降下法などで求める。

分布形が仮定できない場合には、固定したモデルを使わずに、データの数に応じてモデルを複雑にしてゆくノンパラメトリック推定（Kernel法やRegression Treeなどが代表的）を用いることとなる。近年、計算機パワーの増大とともに、ノンパラメトリックな手法が実用的になってきており、問題の性質に合わせて、さまざまな構造（木構造など）を持ったモデルも使われるようになっている。

また、分布の形に関する仮定ができない場合でも、変数間のある種の統計的な独立性は仮定できることがある。このような独立性に関する事前知識を利用するのがBayesian Networks（あるいはCausal Networks）である。ここでは基本的な考え方だけを非常に簡単な例で説明する。

A,B,C,Dの四つの確率変数があり、それぞれ次のような値を取るとする。

A	a1：風邪である	a2：風邪でない
B	b1：熱がある	b2：熱がない
C	c1：頭痛がする	c2：頭痛がしない
D	d1：入院の必要あり	d2：入院の必要ない

今、この四つの確率変数の関係が図表III-1-48のようなネットワークで表現されているとすると、そのことは、

P(ai,bj,ck,dl) = p(dl | bj,ck) P(bj | ai) P(ck | ai) P(ai)

という関係がすべてのi,j,k,lの値の組み合わせについて成り立つことを意味している。

確率論によると一般には、

P(ai,bj,ck,dl)=P(dl | ai,bj,ck)P(ai,bj,ck)

であり、

P(ai,bj,ck)=P(bj,ck | ai)P(ai)

であるから、上記の関係が成りたつということは、変数の間に、

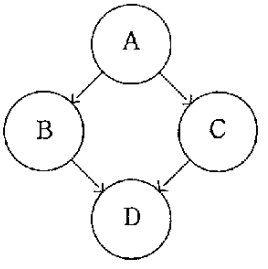
P(dl | ai,bj,ck)=P(dl | bj,ck)

（DとAがB,Cの下で条件つき独立）および

P(bj,ck | ai)=P(bj | ai)P(ck | ai)

（BとCがAの下で条件つき独立）という独立性が成り立つことを意味している。

図表III-1-48　Bayesian Network



前者は、例えば、熱があり、頭痛がするという条件の下で、風邪であるか否かと、入院

の必要があるか否かとが独立であることを意味し、後者は、風邪であるという条件の下で、熱が出るかどうかと頭痛がするかどうかが独立であることを意味している。

この例について、実際にこうした独立性が厳密に成り立っているかは疑問であるが、一般には、こうした独立性が近似的に成り立つケースはかなり多い。Bayesian Networksは、このような変数間の条件つき独立性をうまく利用して、効率のよい確率計算や確率の推定を行うための技法であるといえる。確率が求まれば、それを用いてBayes識別を構成することができる。

③K-最近傍識別法（K-Nearest Neigborhood Decision）

K-最近傍識別法（K-NN法）[7]は、その単純さのわりに識別力が強いことからよく使われている。この技法は、入力xが与えられたときに、学習用のデータ点の中からxに近いものを順にK個とり、それらの中で（重みつきの）多数決を取ってxの属するクラスを決めるというものである。この方法はノンパラメトリック分布推定を用いたBayes識別と密接に関係している。適切なKの値を決めることはそれほど簡単ではないが、多くの実際的な場合において、識別結果はKの値にそれほどセンシティブではない。

K-NN法のよいところは、全入力空間を一つの識別関数でカバーするのではないため、データの分布の局所性を反映した柔軟な識別が可能になることである。しかし、ノンパラメトリックな技法であるため、xの次元が高くなると性能が劣化する傾向がある。また、多数のデータ点（学習用データすべて）を記憶しておかなくてはならない、識別時にそのつど局所的な識別関数を構成することになるため時間がかかる、といった問題点も指摘される。しかし、これらは計算機パワーの向上によってそれほど問題にならなくなってきている。

④判別関数、判別空間

識別関数d(x)はクラスという離散値を出力する関数であるので、一般に、直接数式で記述することがむずかしい。そこで、識別関数を構成する一つの方法として、各クラスyに対して実数値関数gy(x)を与え、入力xをgy(x)を最大にするクラスyに識別する、という方法がよく使われる。このときのgy(x)を判別関数（discriminant function）と呼ぶ。例えば、すでに述べた事後確率最大識別では、事後確率P(y|x)をxの関数として見たものが判別関数gy(x)である。

より一般には、入力xを一旦別の空間に写像し、その空間において何らかの識別規則（例えば、各クラスの平均から入力パターンまでの距離によって識別する、など）によって識別を行うこともある。この場合、写像先の空間を判別空間（discriminant space）と呼ぶ。判別空間は、できるだけ同じクラスのデータがまとまり、異なるクラスのデータが離れるように構成するのが普通である。

そのための一つの方法として、各クラスの代表ベクトルcyを判別空間内に適当に定め、各xに対するg(x)の値がそれの属するクラスyの代表ベクトルcyになるべく近くなるように判別写像g(x)を構成することができる。すなわち、

$$I=\int \sum_{y} (g(x)-c_y)^2 P(x,y)dx$$

を最小にするg(y)を求めることになる。これを最小二乗判別写像と呼ぶ。

実際にはP(x,y)は未知であるから、学習用データから得られる経験分布で代用し、

$$I'=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (g(x_i)-c_{yi})^2$$

を最小にするg(x)を求めるのが普通である。この方法もBayes識別と密接に関係している。

階層形のニューラルネットワークを用いる識別では、ネットワークによって最小二乗判別写像を構成している。ネットワークの構造には、中間層、出力層にシグモイドユニットを用いるもの、中間層にシグモイドユニットを用い、出力層には線形のユニットを用いるもの、中間層にRadial Basis Functionと呼ばれるガウス形の入出力関数を持つユニットを用い、出力層には線形のユニットを用いるもの［19］、中間層にWavelet基底を入出力関数とするユニットを用い、出力層には線形のユニットを用いるもの、などいろいろなものがある。それぞれ一長一短であり、対象によく合ったものを選ぶことが重要である。

いずれの場合も、ネットワークパラメータは最小二乗法によって決める。そのための最小探索技法として誤差関数の微分係数(勾配)の情報を利用して最急降下を行うのが、誤差逆伝播学習（Error Back-Propagation Learning）［21］であるが、この他にも、学習を加速するための方法として二階微分の情報まで利用するNewton法やその近似手法、ネットワークの誤差関数の補間近似を利用するQuick Prop、ランダム探索技法の応用、遺伝的アルゴ

リズム（Genetic Algorithm）の適用など、さまざまな方法が試みられている。しかし、いずれの技法も一長一短であり、一般的に優劣を論じることはなかなか難しい。

中間層にシグモイド関数ユニットを用い、出力層に線形のユニットを用いた場合、ニューラルネットワークによる最小二乗判別は、Projection Pursuit（射影追跡）法による判別［9、12］とほぼ同等のものになる。ただし、Projection Pursuitでは単純な最急降下法で全パラメータを同時に学習することはせずに、対象をある軸に射影しながら、少しずつパラメータの値を決めてゆく。この最適探索技法がProjection Pursuitという名前の由来である。これはまた、分布モデルが多数のパラメータを持つ場合の高速な最尤推定の技法であるEM（Expectaion-Maximization）アルゴリズムとも関係している。

⑤RCEネットワーク

RCE（Ristricted Coulomb Energy）ネットワークは、L.Cooperが1982年に提案したパターン技法をニューラルネットワーク風に実現したものであり［6］、その本質はK-NN法に近い。RCEネットワークは中間層を一つ持つ。中間層のユニットはそれぞれ入力空間での超球をその担当領域（受容野）とし、その領域に入ってきた入力をあるクラスに識別する。すなわち、その超球内の領域をあるクラスに割り当てる。

新たな学習データxが得られたときには、xの識別結果が正しかったかどうかに応じて、そのデータを中心とする受容野を持つ新たな中間層ユニットを生成したり、すでにある中間層ユニットの受容野を縮小したりすることによって、最終的に適切な識別境界を得る。この技法は、コンピュータグラフィックスで曲面を記述する手法であるメタボールを識別境界の記述に用いていると考えると、直観的に理解しやすい。

⑥学習ベクトル量子化（LVQ）

学習ベクトル量子化（Learning Vector Quantization:LVQ）はT.Kohonenが1989年に提案したパターン識別用のニューラルネットワークモデルである［15］。あらかじめ、それぞれのクラスに数個のユニットを割り当てておく。それぞれのユニットiには一つのパターンwi（テンプレートあるいはコードブックベクトル）が割りあてられている。入力パターンxが与えられたときには、そのパターンに一番近いテンプレートを持つユニットが発火する。すなわち、入力パターンは、そのユニットが属するクラスに識別される。仮に、発火したユニットをwi*とする。

学習過程では、識別結果が教師の与える正しい識別と比較され、識別の正誤に応じて、wi*に修正が加えられる。この修正方法はいくつか提案されているが、例えば、最も簡単なLVQ1では、識別結果が正しかったときには、テンプレートを入力データに近づけ、誤っていたときには、テンプレートを遠ざける。これによって最終的には正しい識別をするようなテンプレートの配置が得られる。

(3)　クラスタリング（教師なし学習）

教師ありの識別では、データをどのクラスに分けるかはすでに決められていた。クラスタリングは、このクラス分け自体を自動的に生成するための方法である。すなわち、データが与えられたときに、それを効率よく扱うために、どのように分類しておけばよいかを求める技法である。こうした意味では、分類結果が何に使われるかを前提としないでクラスタリングについて一般的に議論することはあまり意味がなさそうに思えるが、実際的には「表現の近いデータを同じクラスにまとめる」という指針でクラス分けを行えば、それなりに有効なものが得られることが多い。また、逆に、こうした指針でクラス分けをしたときにきれいにクラスに分類されるようならば、対象の表現が適切であった、ということになる。

識別技法と同様、クラスタリングの技法も数多く存在する（例えば［1］など）。特に、クラスタリングの場合には、分類結果の評価に関してさまざまな考え方があり、わかりにくい。また、可能な分類の仕方の数はデータの数に対して指数的に増加するため、たとえ分類結果の評価基準が定められていても、それを最適にする分類を求めることは現実的には不可能である。したがって、クラスタリング技法は、近似最適化技法でもある。

①階層的クラスタリング

階層的クラスタリングには、ボトムアップとトップダウンの二つのアプローチがある。歴史的に最も古く、直観的にわかりやすい技法は、ボトムアップな技法である。これは、個々のデータをそれぞれ個別のクラス（クラスタ）とする状態から出発し、クラスを合併することによってより大きなクラスを生成してゆく。クラスの数が所定の数になったところでアルゴリズムは終了する。一方、トップダウンのクラスタリング技法では、すべてのデータが一つのクラスに属している状態を初期状態として、クラスの分割を繰り返すことによって、所定の数のクラスを得る。一般にボトムアップアプローチのほうが使われる頻度が高いようである。また、トップダウン、ボト

ムアップを組合わせたような技法もある。

ボトムアップな技法［13］ではまず、何らかの方法で、二つのクラス間の距離（近さでもよい）の評価を決める。例えば、それぞれのクラスに属するデータの中で、最も近くにあるものの間の距離をクラス同士の距離と定義してもよいし、クラスの平均の間の距離をクラス間の距離と定義してもよい。アルゴリズムは、中途段階でできあがっているクラスについて、すべての（あるいは実行可能な計算量に応じて適宜選択された）ペアの間の距離を評価し、最も近い二つのクラスを合併することを繰り返す。この技法は直観的に理解しやすいが、計算量の点ではかなりコストが高い。また、当然のことながら得られるクラスタリング木は2分木（binary tree）に限られる。

②非階層的クラスタリング

代表的な非階層的クラスタリング技法の一つはK-平均法（K-means）である［13］。この技法では、あらかじめクラスの数（K）を決め、とりあえずデータをそのクラス数に分けた状態から出発し、繰り返しデータを入れ換えてゆくことによって、最終的に望ましい分類結果を得る：

1.まずはじめにデータを適当にK個のクラスタに分ける。
2.それぞれのクラスタの平均を計算する。
3.各データを、それから最も近いところに平均があるクラスタに分類し直す。
4.分類し直しが起らなくなるまで2.,3.を繰り返す。

なお、一番はじめのクラスタ分けについては、すべてのデータをクラスタに分けるかわりに、適当にK個のデータを選び（クラスタリングの種と呼ぶ）、それらをクラスタ平均であると考えてもよい。

この技法は単純な割によい結果を生むことで知られている。ただし、最終的な分類結果は初期状態の選択にかなり依存する。したがって、いくつかの異なる初期状態からの実行を試みることが望ましい。

もう一つの代表的手法は逐次的な方法である。この方法では、データは逐次的に得られると考える。一つのデータが得られるたびに、アルゴリズムは分類結果に関する何らかの尺度を用いて、そのデータを既存のクラスのいずれかに分類するか、あるいは新しいクラスを生成する。同時に既存のクラスの分割、合併を試みる技法もある。逐次的技法の一般的な利点は計算資源が少なくて済むことであり、かなり大規模のデータも扱うことができる。

また、Carpenter and Grossbergによる適応共鳴理論（Adaptive Resonance Theory:ART）も基本的な考え方は逐次的なクラスタリング技法と似たニューラルネットワークの自己組織アルゴリズムである［5］。

この動作を直観的に説明すると、新しい入力が与えられたとき、それが既存のテンプレートのいずれかに十分近い場合には、テンプレートを修正し、そうでない場合には、ユニットが残っている限り新しいテンプレートを作成する、ということになる。こうして、最終的には、入力ベクトルをいくつかのクラスに分類するネットワークができあがる。

③競合学習：Kohonenネットワーク

Kohonenネットワーク［15］は、ニューラルネットワークの教師なし学習法の代表的なもので、基本的な動作はLVQと同じである（LVQはこの学習方式の教師あり学習への発展形である）。各ユニットはテンプレートベクトルを持ち、入力が与えられると、その入力ベクトルに最も近いテンプレートを持つユニットが発火する。発火したユニットのテンプレートベクトルは、入力ベクトルに近づくように修正される。

この学習がうまく進むと、入力信号がいくつかのクラスタに分割できる場合に、ユニットのテンプレートをそれぞれのクラスタの平均に収束させることができる。各ユニットが競合する結果としてそれぞれ別のクラスタを自分の担当とすることになるため、このタイプの学習は一般に競合学習とも呼ばれている。

さらに、Kohonenは、この学習方式を発展させて、入力信号の空間を、信号の間の近さを保ったまま神経細胞の空間に射影する"Feature Map"を自己組織的に形成する方法を示している［15］。これは、脳の内部の構造形成のモデルとして興味深いが、クラスタリングとの関係は薄い。

④分布推定としてのクラスタリング

識別の場合と同様、クラスタリングもデータの確率分布の推定と考えることができる。すなわち、データはいくつかのクラスから成る混合分布から得られていると仮定し、データに最もよくフィットする分布を最尤推定などで求める。ただし、識別の場合にはクラス数および各データがどのクラスに属するかの情報が与えられているため、推定をクラスごとに行うことができるが、クラスタリングの場合には、全体をまとめて推定を行わねばならない。したがって、推定は一般に難しくなる。識別の場合と同様、最もよく用いられる分布モデルは混合正規分布である［16］。

＜参考文献＞

[1] Aldenderfer, M. and Blashfield, R.:Cluster Analysis, Sage Publications (1984).

[2] 麻生英樹: 学習の数理的理論の展開,電子技術総合研究所彙報,vol.56,602-635 (1992).

[3] 麻生英樹: 汎化能力の高い学習アルゴリズムについて,電気学会光応用・視覚研究会資料,LAV-93-3 (1993).

[4] Berger,J.O.:Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis (2nd Ed.) ,Springer (1985).

[5] Carpenter,G.A. and Grossberg,S.:The ART of adaptive pattern recognition by a self-organizing neural network,Computer,77-88 (1988).

[6] Reilly,L.R.,Cooper,L.N.,and Elbaum,C.:A neural model for category learning,Biological Cybernetics, vol.45,35-42 (1982).

[7] Cover,T. and Hart, P.:Nearest neighbor pattern-classificaion, IEEE Trans. Inform. Theory, vol.11, 21-27 (1967).

[8] Duda,R. and Hart,P.:Pattern Classification and Sciene Analysis,Jhon-Wiley and Sons (1973).

[9] Friedman,J.H. and Stuetzle,W.:Projection persuit regression,J.Amer.Statist.Assoc.,vol.76,817-823 (1981).

[10] Fukunaga,K.:Introduction to Statistical Pattern Recognition,Academic Press (1972).

[11] Hertz,J.,Krogh,A., and Palmer,R.G.:Introduction to The Theory of Neural Computation, Addison Wesley (1991).

[12] Huber,P.J.:Projection persuit,Annals of Statist.,vol.13,435-475 (1985).

[13] Jhonson,R.A. and Wichern,D.W.:Applied Multivariate Statistical Analysis, 2nd Edition, Prentice-Hall (1988) (西田俊夫訳：「多変量解析の徹底研究」,現代数学社 (1992)).

[14] Jacobs,R.A. and Jordan,M.I.:Adaptive mixtures of local experts,Neural Computation,vol.3 (1991).

[15] Kohonen,T.:Self-Organization and Associative Memory, 3rd. Edition, Splinger-Verlag (1989).

[16] Krishnaiar,P.R. and Kanal,L.N. (eds.) :Handbook of Statistics vol.2 Classification,Pattern Recognition and Reduction of Dimensionality, North-Holland (1982)

[17] 栗田多喜夫：情報量基準による3層ニューラルネットの隠れ層ユニットの数の決定法，電子情報通信学会論文誌,vol.J73-D-II,pp.1872-1878 (1990).

[18] MacKey,D.J.C.:Bayesian interpolation,Neural Computation,vol.4,415-477 (1992).

[19] Poggio,T. and Girosi, F.:Reguralization algorithms for learning that are equivalant go multilayer networks, Science, vol. 247, 978-982 (1990).

[20]] Rissanen,J.:Statistical Complexity in Statistical Inquiry,World Scientific (1989).

[21] Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., and Williams, R.J.: Learning representation by back-propagating errors, Nature, vol. 323, 533-536 (1986).

3.4.2.4 遺伝的アルゴリズムによる学習方法

(1) 遺伝的アルゴリズムの原理

①進化と学習

進化は種を同じくする生物個体の集団において、繁殖と淘汰を繰り返すことによって、移り変わる環境に対する高い適応度を持った個体を発生させるプロセスである。この進化の原動力となるのは、遺伝的な“微小連続変異に働く自然淘汰の力”[5]である。そして、“進化の速度と方向はほとんどすべて自然淘汰によって決まり、突然変異、移住、遺伝的浮動はほんの二次的な影響しか与えない”[5]という考え方が広く支持されている。

進化のためには、何世代にもわたる親子の交代が必要であり、同一個体内においてこの変化を経過させることは不可能である。しかし、もし同じ個体が試行錯誤的に自分を変えながら短時間で生まれ変わることが許されるならば、その個体は進化のプロセスを真似ることによって、何回かのやり直しの後に高い適応度を獲得できるようになる。この結果は、‘経験を通して必要な機能に望ましい方向での安定的な変化をもたらすもの’という学習の定義にぴったりである。

進化は、遺伝と自然淘汰の組合せによるメカニズムによって生ずるものである。遺伝のメカニズムは分子生物学の発展によってその仕組みが解明され、それが意外に単純な原理によるものであることはすでに周知の事実である。これに対して、自然淘汰のメカニズムは生物の暮らすすべての環境条件が関与するものであるため、その本当の仕組みを知ることは不可能に近い。しかし、生存ないし適合の条件が単純化できる場合であれば、適応度の判定は容易である。したがって、原理的な側面だけか

らいえば、進化のプロセスは学習機構として大変に簡明であり、しかも自然界での多種多様な状況での実績を持った極めて汎用性の高いものである、ということになる。また、生まれ変わりの試行も一回に多種類のものに生まれ変わることにすれば、同時に多数の可能性を並行して試みることができる。これは従来の逐次的なメカニズムに代わって、学習に新しい並列処理の可能性を拓くことにもなる。

遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm、以下GAと略記）は、上記のような考え方に基づいて、従来の手法が不得手としていた種類の最適化問題や探索問題の解決を目標にして開発されつつある計算手法である。この開発の発端となったのは、米国の研究者J.H.Hollandによる"変化する環境に適応できるシステムの設計と作製の手法"という発想であった。これから明らかなように、GAの本来の目標は学習システムの開発手法の開発にあったのであり、現在までの最適化を中心にした発展は、ある意味では、その波及効果ないしは経過点とでもいうべきものである。この構想の萌芽は1960年代にみられるが、それが広く知られるようになったのは1970年代の中頃である。進化メカニズムの本質が微小連続変異の莫大な積み重ねにあることからも明らかなように、その計算には強力なマシンパワーが必要であるため、当時はそれほどの関心を呼ばなかったようである。これが大きな注目を集めるようになったのは、1985年にはじめてGA国際会議が開かれてから以降のことであり、わが国では1990年頃からである。

②GAの基本原理

1)基本概念

よく知られているように、生物体の形質的特徴はその染色体中に存在する遺伝子によって決定される。典型的な脊椎動物の染色体には数万個に及ぶ遺伝子が含まれていて、染色体中のどの位置にあるかによって、それに対応する形質的特徴の種類（例えば頭髪）が一意的に決まっている。同じ位置には異なる遺伝情報を持ついくつかの遺伝子、すなわち、対立遺伝子のうちの一つが入り、その特徴に付随するある性質（例えば頭髪であれば、その硬さや色など）を決定する。このような染色体上の位置のことを遺伝子座という。

各遺伝子が担う遺伝情報は、64種類の記号によってコード化されている。染色体上の遺伝子全体が担う遺伝情報のパターンを遺伝子型と呼び、それに対応する形質的特徴全体のパターン、すなわち、生物個体の特徴全体のあり方をその表現型という。遺伝子と形質的特徴との対応で注目すべきことは、遺伝子同士間で相互作用が発生する場合があることである。すなわち、複数の遺伝子の組合せにおいて、それらが同時に出現すると、形質的特徴の現われ方が別個に現われる場合とは異なるという非線形性が見られるのである。この現象をエピスタシス（非線形相互作用）という。

以上が自然界における遺伝現象に現われる主要因子であるが、GAにおいてもこれらに対応する各要素が用意されている。まず、染色体に対応するものはある長さを持った文字列である。文字列のための文字記号としては、{0、1} の2進記号が用いられることが多い。ただし、場合によっては0と1のどちらであってもよいことを示す必要があることがあるので、そのための 'don't care' 記号"#"がそれに付加されるのが普通である。また、遺伝子は記号1字で表されるのがほとんどである。対立遺伝子はその対応する形質的特徴の種類そのもので示すことが多い。遺伝子座には染色体を表す文字列での番号が対応する。遺伝子型には染色体を表す文字列のデータ構造が、表現型には具体的な形質的特徴のあり方全体に相当するものとしてパラメータ集合、別解群、あるいは、デコード化されたデータ構造が、それぞれ対応することになる。

これらの対応関係をまとめると下記のような表（図表Ⅲ-1-49）になる。

2)進化因子

生物界における進化の要因としては、前述したように、自然淘汰、突然変異、交叉、遺伝的浮動がある。これらの要因のうちで、どれがどの程度の働きをしているかについては、これまでさまざまな議論があって現在も未決着である。しかし、自然淘汰が進化の方向と速度を決め

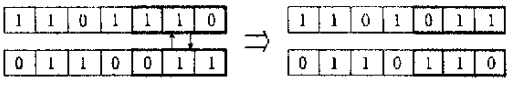
図表Ⅲ-1-49　自然界とGAにおける遺伝機構の対比

自然界	GA
染色体	文字列
対立遺伝子	文字、形質的特徴、検出子
遺伝子座	特徴内容
遺伝子型	データ構造
表現型	パラメータ集合、別解、解読結果
エピスタシス（非線形相互作用）	非線形性

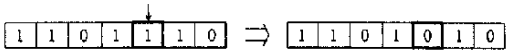
る中心的な役割を果たしていることは広く認められているところである。進化は新しい形質を産み出すものとして期待されているところから、突然変異に重きをおくのが当然と考えられやすいが、GAでは連続的な変化を重視する考え方が有力で、交叉を中心とするアプローチがとられている。また、遺伝的浮動は現在のところまったく考慮に入れられていない。

自然淘汰（selection）は、存在する同一種の生物集団の中で環境によりよく適合した個体が、次世代により多くの子孫を残しうることを指すものである。したがって、これをアルゴリズムとして定式化するためには、まず、出発点としての種集団の設定が必要であり、その中で各個体の形質的特徴を明らかにし、その特徴に対して適合度を評価するための手続を用意しなければならない。そして、低い適合度の個体を消滅させ、高い適合度の子孫を増殖させるメカニズムを設ける。

交叉（crossover）は、同一世代に属する二つの個体の間で、その遺伝子の一部を取り換え合うもので、一方の劣った部分が他方の優れた部分で置き換えられることになればよりよい個体が新しく誕生することになる。



突然変異（mutation)は、一つの個体において、その遺伝子の一部を対立遺伝子の対応する部分で置き換えるもので、その部分に対応する形質的特徴が変わることになる。



3)アルゴリズムの基本構成

GAによる問題の解き方を簡単に説明すると、まず、与えられた問題に対する解の候補を何個か作って集団を設定し、その集団の中で自然淘汰を含んだ生殖による世代交を繰り返す。交代のたびごとによりよい個体が得られるようにすれば、何回かの繰り返しの後には近似的に最適の解が得られることが期待される。ここで近似的というのは、このようにして求まる解が最適であるという保証を与える方法がないからである。

このような問題解決法を実現するためには、基本構成として次のような枠組みが必要になる。

①個体の表現：染色体に相当するデータ構造と表現記号が必要である。通常は二進配号列を用いる。

②適応度の算定方式：各個体に対して、その適応度を算定するための評価式が必要。

③遺伝演算子の実現：自然淘汰、交叉、突然変異の内容を具体化しなければならない。自然淘汰については、適応度に比例した数の子を残すようにするのが基本である。

④主要パラメータの設定：計算終了までの世代数あるいはその他の終了を判定するための基準、集団のサイズ、交叉を行う確率、突然変異を行う確率などを決める。

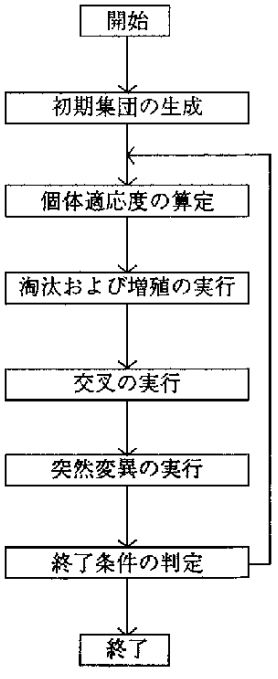
⑤初期集団の生成：初代の集団に入る個体を定める。普通は、一様乱数を用いて個体記号列の各ビットを決めていく。

⑥進化プロセスの構築：世代交代のプロセスは図表III-1-50のような手続で進行する。

(2)　学習への応用

GAの現在の応用は、主として、最適化問題と検索問題に集中しているが、HollandにとってGA開発の本来の目的は、機械に外界への適応能力を持たせるための学習機能の実現にあった［3]。Hollandが具体化した学習システムはクラシファイアシステム（Classifier System）と名付けられており、与えられた実行例から基本モデルに即した汎用的規則を帰納学習するものである。GAを帰納学習に適用した代表的な例としてはこのクラシファイアシステム（以下CS-1と呼ぶ）の外に、LS-1というシステムがある。こちらも基本的な考え方はHollandのものを踏襲するものであるが、ルールのまとめ方に大きな差異がある。そこでCS-1でのやり方をミシガン・アプローチと呼ぶのに対して、こちらをピッツ（ピッツバーグ）・アプローチと呼んで区別する。

図表III-1-50　GAの基本のプロセス



①ミシガン・アプローチ

Hollandのモデルをイメージ化すると図表III-1-51［3］のようになる。

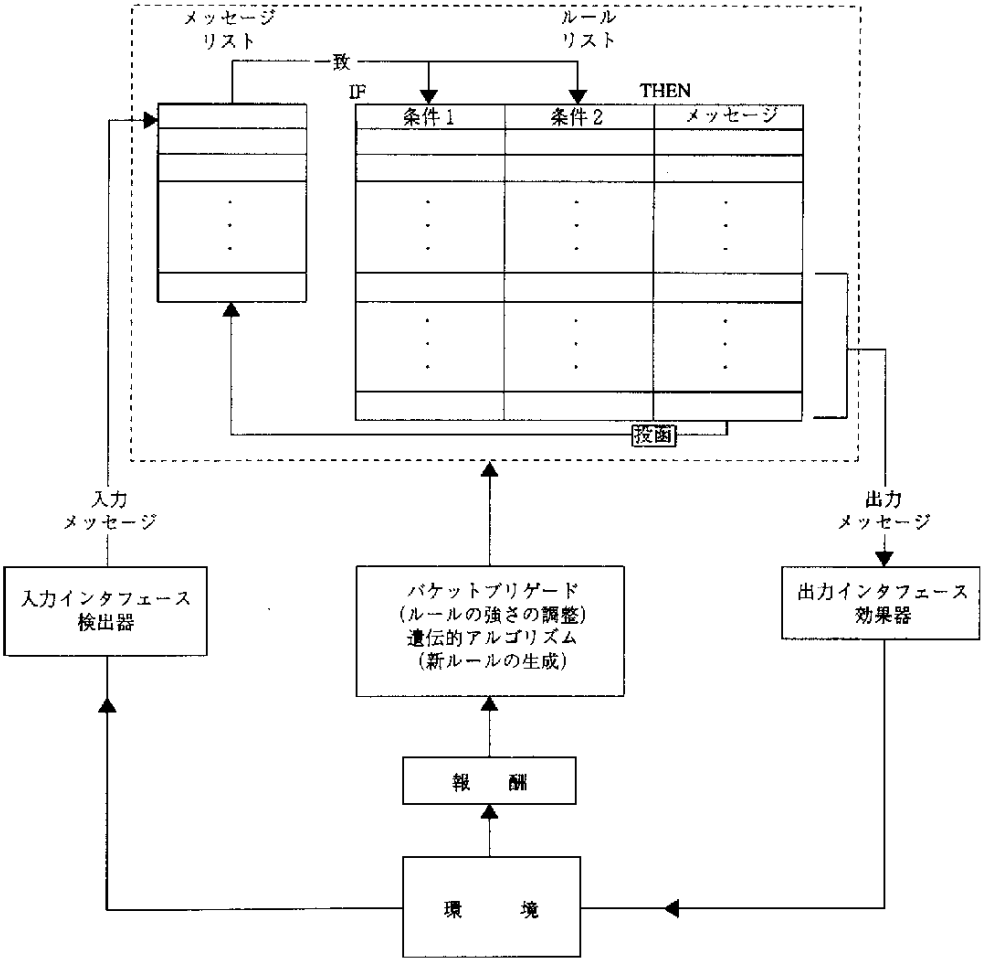
環境の状態が検出

器によって検知され、その情報がメッセージとしてシステムに送られる。メッセージは内部処理に利用されるだけではなく、一部は効果器に作用して環境に働きかけを行う。環境からは、時折、システムのパフォーマンスに対する評価データが“報酬”のかたちで与えられる。システムはこれに基づいて学習を行う。システムの計算的機能は、クラシファイア（classifier）と呼ばれる一種のプロダクション・ルールによって付与される。ルール間の相互作用もメッセージ交換によって行われる。複数のルールが同時にアクティブになることができるため、多数のメッセージが一度に行き交うことになる。したがって、それらはリストにまとめられて一括して動くとみてよい。

標準的なシステムの場合、ルールは二つの条件部と一つのメッセージ部で構成され、二つの条件がそろって満足されるときにメッセージが送出されるようになっている。メッセージ・リストには任意個数のメッセージが収容できるようになっているので、同時にアクティブになりうるメッセージの数には制限がない。ルール間の競合を制御する手段として、各ルールには過去それがシステムにどれだけ有用であったかの平均実績に基づく“強さ（strength）”の数値が与えられている。この数値は後述する“信用賦与アルゴリズム”によって自動的に調節されるようになっている。

以上がシステムの動作的側面であるが、これに対する学習的側面として“信用賦与”と“ルール発見”という二つのメカニズムが設けられている。信用賦与は既存のルールを評定するものであり、ルール発見は強さの低いルールを入れ換え、環境状況への対処が不十分な場合に新しいルールを補うものである。

図表III-1-51　クラシファイアシステム



a) 信用賦与

ある行為の結果がすぐに出る場合には、信用賦与はストレートな仕事であって問題はない。すなわち、その行為の元になったメッセージを出したルールには、行為の有効性に応じた報酬が支払われ、それがそのルールの強さに加算される。また、ルールはメッセージを出した時点で一定額の税金を支払うことになっており、報酬がない場合にはその分だけ強さが減ることになる。

難しいのは早期に布石的な働きをするルールで、後にならないと有効かどうか分からないものをどう評価したらよいか工夫が必要になる。これにはニューラルネットワークにおける誤差逆伝播に似たアルゴリズムが用いられている。すなわち、行為の元になったルールは、税金以外にさらに一定額の賭金を出すことが義務づけられている。この賭金は行為が有効であった場合には、このルールを起動したメッセージの送出元のルールに与えられることになっている。これを遡及的に必要なだけ繰り返して行けば、最終的には布石を行ったルールにもしかるべき見返りがあることになる。このやり方をバケット・ブリゲード・アルゴリズム（bucket brigade algorithm）と呼んでいる。

b) ルール発見

強さの低いルールを入れ換える場合、それに替わる“頼りになりそうな（plausible)”ルールをどのようにして発見すればよいかが問題になる。ルールベース・システムで帰納の全プロセスが成功するか失敗するかは、頼りになる新ルールの生成がどれだけ効率的に行えるかどうかにかかっている。そこで難しいのは、“頼りになる”ということをどう計算的に実体化するかである。これに役立ちうるのがGAにおける“スキーマ（schema）”の概念である。

スキーマ（複数形はスキマタ、こちらを常用する場合が多い。）は、{0, 1} のアルファベットに don't care 記号の＃を加えた文字でできる文字列のことである。その文字列の中で＃のあるところは、0でも1でもよいという意味になる。したがって、一つのスキーマはその中の＃を0または1で置き換えてできる0／1だけの文字列全部と等価とみることができる。一例を示すと、

1＃＃0＝ {1000, 1010, 1100, 1110}

クラシファイア・システムのルールは3文字のアルファベット {1, 0, #} でできており、それを一種の染色体と見做すことができる。また、各ルールに与えられている強さは、そのままそのルールの適合度を示すものとすることができる。したがって、そのようなルールの集まりは生物集団とみてよく、それにGAを適用することができる。

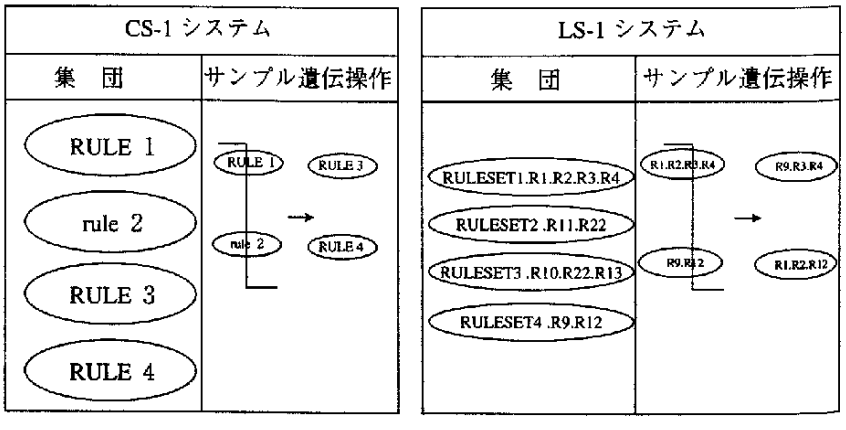
スキーマが重要であるのは、ある状況での適合度を支配するのが遺伝子の一部に偏在するのが普通で、それら以外は don't care だからである。したがって、適応度を高めて行くためには、意味のあるスキーマを追求してそれらをビルディング・ブロックとしてより優秀な染色体を構成させるようにアルゴリズムを工夫することになる。すなわち、スキーマは“頼りになりそうな”要素の集まりなのである。

②ピッツ・アプローチ

LS-1システムはピッツバーグ大学の S. F. Smith によって開発されたものである。ミシガン・アプローチとの本質的な相異点は、ルールを個別に扱わずいくつかのルールをまとめてルール・セットをつくり、評価や遺伝操作をすべてそれを単位にして行うようにしている点である。それを図解すると図表Ⅲ-1-52のようになる。

このように諸操作の対象を一段階高くしたことの意味は、ルール一個ずつについて信用賦与を行う必要がなくなり、特に、布石のルールと行為に直結するルールが一括評価されることから逆伝播の手数がなくなったことで

図表Ⅲ-1-52　CSシステムとLSシステム[1]



ある。この弱点としては、フィードバックのかかる頻度が少なくなるため、学習のための試行に手間がかかることになる。ポーカーに適用されて相当な性能をみせている。

さらに、LS-1のもう一つの特徴として、逆位（inversion）という遺伝操作の導入がある。これは突然変異の一種と見做せるものである。

(3)　GAの特徴と応用例

①特徴

GAに関する論文や解説類に述べられているGAの概括的な特徴をピックアップすると、その主なものは以下のようになる。

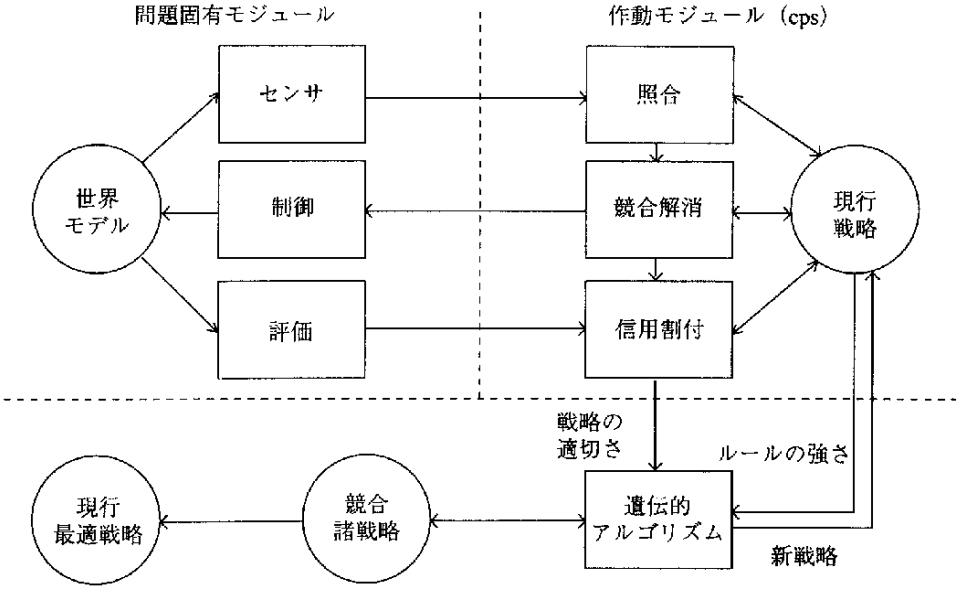
1) 組合せ問題のような計算量の多い問題の解を、多くの場合に、比較的容易に、しかも短時間に求めることができる。
2) 多点探索であることから並列処理に適している。
3) 種々の応用問題で発生する組合せ問題において、最適解が必ずしも必要でない場合においては、GAを用いて近似解を容易に求めうる可能性がある。
4) 実用的な問題においては、単純なGAだけで解を求めることは一般に困難であり、問題の特性を活かした工夫が必要になる。
5) GAは最適解の周辺には早く近づくが、局所探索能力が弱い。したがって、局所探索能力の強いヒューリスティックアルゴリズムとのハイブリッド化が有望。
6) 事前にその特性がある程度明らかになっており、かつ、考慮しなければならないパラメータの数が比較的少数であるような問題では、従来からの制御理論のほうがよい結果が得られることが多い。そうでない問題ではGAが有力である。

②応用例

GAは新しい分野であるため、その応用例もまだ実験的な段階を離れられないというのが現状である。特に初期のものでは、巡回セールスマン問題や8クイーン問題などの、最適化の難問に挑戦するというのが主流を占めたが、やがて、ガス・パイプライン制御、通信ネットワーク設計、鉄道貨物配送計画、戦闘機保守設計などといった現場的な最適化課題が多く取りあげられるようになってきている。わが国での興味深い応用例の一つとして、遺伝子情報解析におけるモチーフ（共通アミノ酸パターン）抽出への適用がある。（詳細は本書の第Ⅲ編第1部3.3.3.2に紹介されている。）

応用の動向としては大きく分類すると、GAの最適化能力を中心に活用するものと、その帰納的規則学習能力を重点的に利用するものの、二つの流れが認められる。ここでは学習機能に主眼をおくという趣旨から、規則学

図表Ⅲ-1-53　SAMUELシステムの概要[2]



習能力の応用、したがって、クラシファイアシステムなどいわゆる分類システムの応用を取りあげることにする。

a.ガス・パイプライン制御学習システムーミシガン・アプローチ

GAの古典的入門書の著者として名高いD.E.ゴールドバーグ（イリノイ大学）が開発したシステムで、天然ガスのパイプラインにおける流量制御を学習するものである。米大陸の南西部から北東部に向かう、多くの分岐を含むパイプラインをモデルにとり、特定の分岐点に設けられたガス圧制御用コンプレッサと貯蔵タンクのガス流出入制御バルブの制御を、出入のガス圧・流量、日付・時間帯、気温、法定ガス圧率などの情報に基づいて最適に行うことを、クラシファイアシステムによって学習する。これによって、膨大な計算なしで実際の状況に見合ったガス要求量が計算できるようになっただけでなく、パイプラインが破損してガス漏れを生じた場合に対処できるデフォルト規則の獲得にも成功している。

b.戦略獲得システム（SAMUEL）ーピッツ・アプローチ

戦闘機が敵のミサイル攻撃をかわして飛行するための、回避行動戦略を学習するシステムである。一組のセンサ、一連の制御変数、断続的に評価データを送るフィードバック機構だけからなるプロセスの弱モデルを用いて、そのプロセスを制御するためのルールを学習するところがこのシステムの本質である。システムの概要は図表III-1-53のとおりである。クラシファイアシステムとの違いは、ルールの記述に高水準言語を用いる点で、それによる一つのルールがクラシファイアシステムのルール集合に相当している。各センサからの信号が、並列的にルールの条件部に直結するようになっている。200世代にわたる学習で、99%の回避成功率に達するという性能が得られているようである。

＜参考文献＞

[1] Goldberg、D. E.：Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning, Addison-Wesley,.1989.

[2] Grefenstette, J. J. :A System for Learning Control Strategies with Genetic Algorithms, in Proc. of 3rd International Conference on Genetic Algorithms, Morgan-Kaufmann , 1989.

[3] Holland, J. H. :Adaptation in Natural and Artificial Systems, MIT Press, 1992.

[4] 樋口哲也、北野宏明：遺伝的アルゴリズムとその応用、情報処理、Vol.34, No.7、1993.

[5] 木村資生：生物進化を考える、岩波新書、1988.

[6] 北野宏明（編）：遺伝的アルゴリズム、産業図書、1993.

[7] Smith, S. F. ：A Learning System Based on Genetic Adaptive Algorithm,Ph.D. Thesis, University of Pittsburgh, 1980.

第2部　ハイライト技術ー知的インタフェース

1. 概　観

使いやすいユーザフレンドリなコンピュータ環境をユーザに提供するために「知的インタフェース」が重要な技術であるとの認識が高まっている。実際、パーソナルコンピュータなどの情報処理機器はもとより、家電製品などにおいてもその中に多数のマイクロプロセッサが使われるようになってきており、この先、高度情報社会の到来に伴い、気が付かないまま「知的インタフェース」のお世話になることが普通になるであろう。知的インタフェース技術は、将来にわたってますます重要な技術になっていくと考えられる。

このような「知的インタフェース」技術の特徴とは如何なるものであろうか。基本的には人間をその対象とするため「人間中心の技術」という特徴を持つ。そこで扱う情報はコンピュータシステムの中に閉じこもることは許されない。したがって、「環境を取り込み、環境に働きかける」ことを可能とする技術でなければならない。

「人間を支援」し「環境との相互作用を可能にする」情報処理の実現に向けての努力は、CAD（Computer Aided Design）システムなどの例でも見られるように、さまざまな形で進められてきているものの、幅広い技術の集積を必要とする総合的な技術であることから、いまだ十分な技術水準に達しているとは言い難い。今後ますます多くの研究開発努力がなされる分野であるとともに、将来型情報処理システムの中で重要な役割を演じると考えられるため、「知的インタフェース」の技術動向を調べることにより、情報処理の将来像の一端を描くことにもなる。

人間を支援する技術を実現するためには、人間の知的な活動を理解しようといういわば認知科学的アプローチと、知的な機械を実現するという技術開発的アプローチとの融合が要求されることから、知的インタフェース技術の動向を把握するためにはこれら二つのアプローチを包含する人工知能研究の動向の把握が不可欠である。また環境を取り扱う情報処理の観点からは、バーチャルリアリティ、パターン認識、ニューラルネットワーク情報処理、さらには状況推論等の最近の人工知能基礎技術の研究など幅広く技術の芽をとらえて見ることが肝要であろう。

効果的な「知的インタフェース」の実現には、さまざまなハードウェア、ソフトウェアの技術が不可欠である。これらの技術が総合されることによりはじめて「知的インタフェース」が実現される。別の見方をすれば、時代の技術の総合されたところにそれぞれの時代の知的インタフェース技術があるともいえる。

「知的インタフェース」という用語の中で、「知的」の定義は必ずしも自明ではないが、「使いやすい」インタフェースを実現するための必須条件の一つが「知的」であるというのが、多くの共通した認識であろう。人間と機械とのインタフェースとして、古くは「マンマシンインタフェース」と呼ばれていた技術が、次第に「ユーザインタフェース」とか「ヒューマンインタフェース」と呼ばれるようになり、最近では「知的ヒューマンインタフェース」あるいは単に「知的インタフェース」と呼ばれるようになってきた。

知的インタフェースの技術、到達目標などの現状と展望を論じるためには、それらが時代とともにどのような変遷をたどってきたかをとらえることが必要となる。「知的インタフェース」が出現する必然性を道具・機械の発達の流れの中でとらえて見る。コンピュータの出現に特徴づけられる現代の産業革命（本書の中では、第2.5次産業革命と呼ぶことにした）以降、初期の段階では「人間は対象に対して直接指示を与えて」いたが、次第に人間と道具・機械との間に介在するコンピュータの役割が増し、「対象との間にもう一段、人間の対話的な作業を制御するコンピュータ」が存在するようになった。その間、知的インタフェース構築のための要素技術が研究開発されてきた。いまコンピュータと人間とのインタフェースは、メディアの多様化と相まって人間の負担を軽減するとともに、人間の創造性を支援するツールとして機能することを目指して、研究開発が進められている。生み出されるべき技術は、人工知能技術と融合した知的インタフェース技術である。この技術は、コンピュータのハードウェア技術とAIを中心としたソフトウェア技術の進展と密接に関わって変遷の道をたどってきている。

知的インタフェースの技術の変遷を顧みると、技術の進歩は必ずしも一直線に進んでいるわけでなく、何年か経つとまた再び同じような課題を取りあげて研究開発が行われているような印象を持つ。知的インタフェースの要素技術となる自然言語理解、文字認識・画像理解、音声認識などにも確かにそのような現象が見られる。しかし、2度目の挑戦では以前に行われた研究のレベルを確実に上回る水準を狙うことになる。コンピュータの性能向上とプログラミング言語や基礎理論の進歩が新たな技術展開をもたらすのである。したがって、この種の技術開発は、同じ課題を単に繰り返して取り組むのではなく、あたかも螺旋階段を上るような進み方をするところに特徴がある。

ユーザ側からのフィードバックの影響もこの傾向に拍車をかけている。技術がユーザのニーズに追い付くと、ユーザはさらにその一段上を望むためである。

知的インタフェースの問題点を明確にさせつつ技術動向を論じるために、知的インタフェースが提供する機能に直接関わる技術と、それらの機能の背後にある実現手段とを区別することとする。機能に直接関わる技術として最近特に注目を集めているものとして、協調システム、知的コミュニケーション、ビジュアリゼーション、バーチャルリアリティなどがある。実現手段に関連するものとしては、エージェントモデル、マルチエージェントモデル、コネクショニストモデルなどの各種パラダイムを挙げることができる。

最近、AI技術に関する技術マップを描く試みが行われている。幅広い技術の集積を必要とする総合的な技術である「知的インタフェース」の各々の技術の相互の関係、発展の方向性の必然性などを考察することは、技術を理解するのみならず研究開発の戦略を立てる上にも必要であろう。そのためにまず技術の広がりをとらえるための座標軸を導入した。座標軸としては、機能、タスク、技術のそれぞれに関するものを設定して、各々の技術がどの辺に位置するかが見えるようにした。これについては、知的インタフェースの技術マップとして論じられる。

技術全般の傾向をまとめると、(1)対話性の重視、(2)知的支援、(3)協同作業、(4)仮想現実などというキーワードが浮き彫りになってくる。

(1)　対話性の重視

コンピュータと人間とのインタフェースは情報交換のチャンネルである。極めてプリミティブな情報はキーボードからの一つ一つのキーストロークであり、高度な機能を持つインタフェースなら自然言語が使われるかもしれない。しかし、そこで授受される「情報」が情報として意義を持つためには、受け手がその情報を解釈しなければならない。そのためにはあらかじめ知識を持っている必要がある。その知識が必ずしも十分ではないために、さらに相手との情報交換が必要になる。最近の技術動向として、インタフェース技術を対話技術としてとらえるようになってきている。

(2)　知的支援

初期のインタフェースの設計指針は、いわゆる人間学的観点から考えられたものが多く、その狙いも、作業効率を上げるための疲れないスムーズな計算機入出力を可能にするものであった。その当時キーストロークモデルなどが提唱された。次に現われたのが、「メタファ」に基づくインタフェースでビットマップとマウスなどの技術進歩がこの技術を可能にした。コンピュータの素人にとっても使いやすさを提供するものである。これに対して、知的インタフェースでは、人間の知的能力を引き出すための支援ツールとしての機能を実現する方向に向かっている。そこではコンピュータと人間との「統合されたシステム」のパフォーマンスを向上させることが技術開発課題になる。

(3)　協同作業

知的インタフェースが、コンピュータが個人に帰属する知的な能力を引き出すための機能を果たすのにとどまらないで、コンピュータを介した個人と個人の協同作業さらには人間の集団の中で意思決定をサポートするような機能を実現する方向で研究が進められている。CSCW (Computer Supported Cooperative Work) と呼ばれる技術領域を形成している。

(4)　仮想現実

ハードウェアとソフトウェアの進歩が新しいメディアを生み出した。コンピュータによって合成された人工的な世界の中に人間が入り込み、さまざまな疑似体験を行えるような仕掛けを仮想現実（バーチャルリアリティ）と呼ぶ。これによって、従来にない大容量の情報交換路を人間とコンピュータとの間に実現できるために、人間は今までに経験したことのない新しい実験を試みつつある。

知的インタフェースはさまざまな応用が期待されており、実際、すでにまだ未成熟ではあるがさまざまな形で実態が見えてきている。教育、ビジネス、コミュニケーション、情報検索、娯楽といったジャンルで事例が見受けられる。この分野の研究プロジェクトとしては、

FRIEND21プロジェクトや、文部省、科学技術庁等でサポートしている研究プロジェクト等を始め、海外の研究グループの活動がある。

「人間ーコンピュータ」の相互作用（インタラクション）が当初考えられていた以上に複雑であり、さらにそこで起こる相互作用は人間とコンピュータとの間の相互作用にとどまらず、外界までをも含めた相互作用の重要性を提起している。この相互作用の重視という観点は、AI技術に新しい視点からの研究開発の必要性を提起している。

「知的インタフェース」研究では、人間を重要で本質的な介在者とするため「人間中心の技術」という特徴を持つ。また、コンピュータシステムの中に閉じこもることは許されず「環境に働きかける技術」でなくてはならない。この点が、「知的インタフェース」研究の新しい流れであり、AI技術だけでなく情報技術一般に要求されている新しい課題でもある。一方で人間にとって真に望まれるコンピュータ支援とはいかなるものであるかの議論も始まっている。「知的インタフェース」研究では、人や組織や社会に及ぼす影響を考慮しつつ、「人間」、「コンピュータ」、「環境」の3者の相互作用を研究する必要がある。この中から将来の「知的インタフェース」（さらには情報処理システムあるいはAI技術）への展望、提言を読み取って頂ければ幸いである。

2. 知的インタフェース技術の歴史と全体像

本章では、知的インタフェースの歴史的変遷を概観し、さらには知的インタフェースの技術マップの構成を試みることにより、総合的技術である知的インタフェース技術の現状と動向、さらには、知的インタフェースの要素技術間の関係を明らかにする。このことにより、後の章における技術全般の議論における見通しを与え、知的インタフェース技術の今後の課題やその将来像を探る手掛かりにしたい。

2.1 知的インタフェース技術の歴史的変遷

人と動物の違いはなにか。道具を作ることであるとする工作人（ホモファベル）と、言葉に代表されるような知性にあるとする知性人（ホモサピエンス）との二つの用語があるように、知性と道具があったことが、人類を今日に導いたのである。

本節の目的は、知的インタフェース技術の歴史を紐とくことである。が、その前に、道具との関わり方（ヒューマンインタフェース）の変遷を明らかにし、その中で、知性がどのように関わってきたかを明らかにしていきたい。

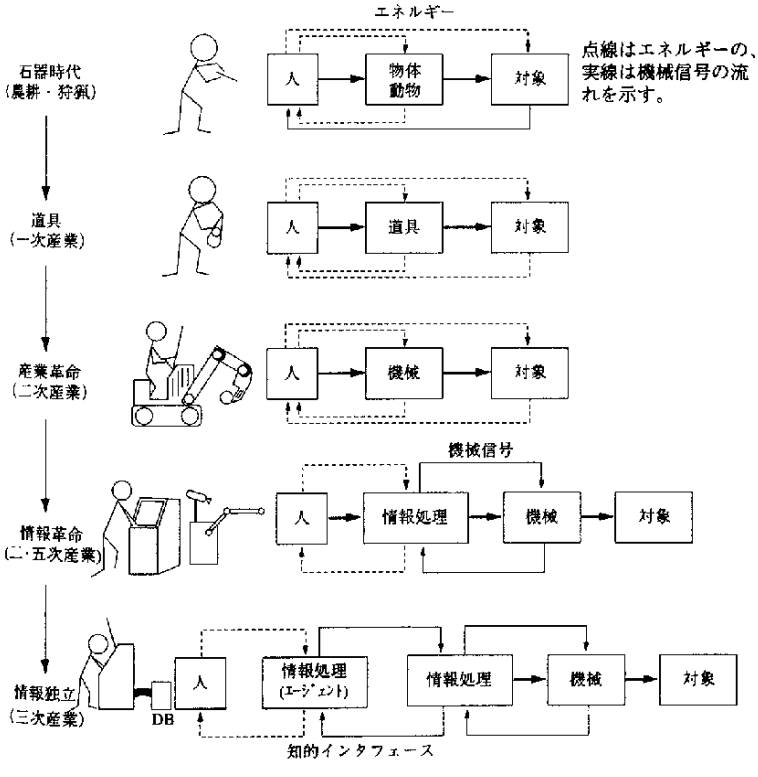
2.1.1 道具、機械の進化からみた変遷

今はヒューマンインタフェース（あるいはヒューマンコンピュータインタフェース）という言い方が一般的だが、かつてはマンマシンインタフェースと呼ばれていた（もちろんInternational Journal of Man-Machine Studiesのように現在でも、マンマシンという言葉を使うものもある）。マンマシンからヒューマンへの変遷には、人間の扱う道具が機械からコンピュータに変化したことが大きく影響しているように思われる。

図表Ⅲ-2-1は道具と機械の進化を示したものである［1］。第2次産業革命（1760年）で道具が機械になり、次に

図表Ⅲ-2-1　道具、機械からみたヒューマンインタフェースの進化

（文献［1］を一部改変して作成）



機械がコンピュータになった（これをここでは第2.5次産業革命と呼ぶ）。道具や機械が相手の第1次、第2次産業革命の時代には、肉体労働を道具や機械を使って行っていた。それが第2.5次産業革命以後、肉体労働はもとより、頭脳労働もコンピュータに取り込まれていった。第2.5次産業革命の時点では、人間は対象に対して、直接指示を与えていた。が、最近では対象システムの大規模化、ネットワークの発達による遠隔地からの操作など、対象との間にもう一段、人間の対話的な作業を制御するコンピュータがあるようになってきている。つまり、肉体労働も頭脳労働もコンピュータを介して、その先にある機械が実行する形になってきている。極言すれば、第2次、あるいは第2.5次産業革命時点までは、操作する人間の熟練度、技能により、使い方に差が出た。が、機械に伝わる指示に、熟練度や技能による差が出なくなる方向への技術開発が始まっている（これを第3次産業革命と呼ぶ）。熟練度や技能をコンピュータが知的にカバーすることを目指している。

2.1.2　情報処理機器の発達段階からみた変遷

前節では道具・機械との関わりからヒューマンインタフェースの変遷を見たが、本節では、情報処理との関わりに焦点を当ててみたい。人間がコンピュータを開発してから、50年が経ち、情報処理機器の発達も7年ごとに区切って考えると第6期にまで進化している。図表Ⅲ-2-2はGainesらがまとめた情報処理機器とヒューマンインタフェースとの変遷［2］、図表Ⅲ-2-3はコンピュータとの対話形式の変遷に

図表Ⅲ-2-2　情報処理機器の発達段階から見た変遷

	ヒューマンインタフェースの発展段階	ヒューマンインタフェースの特徴
第0期 1940-47	該当なし	コンピュータの設計者が利用者であった
第1期 1948-55	該当なし	人間が機械に合わせていた
第2期 1956-63	ブレークスルー	コンピュータ分野で人間工学が重視、ジョブ制御言語やコンソール、シミュレータ
第3期 1964-71	体験期	TSSの進展により対話型の経験を積む ヒューマンインタフェース関連の第1回会議 UNIXの登場
第4期 1972-79	規則形成期	ヒューマンインタフェースの設計規則を形成 Videotexサービス、パソコン、Visicalc登場
第5期 1980-87	理論形成期	ユーザにとって自然で系統的な規範の形成 Xerox Star,IBM PC,Apple Macintosh登場
第6期 1988-	理論実行期	人間に近い自動化の設計、マルチモーダルシステムの統合、感情の検出

（文献[2]を一部改変して作成）

図表Ⅲ-2-3　対話形式の変遷

	グラフィックダイアログ（世界を表現）	フォーマルダイアログ（コンピュータを表現）	自然言語ダイアログ（人間を表現）
第0期 1940-47 第1期 1948-55	（対話できるコンピュータがなく、該当なし。）		
第2期 1956-63	高価 ﾌﾗｲﾄｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ 限定された軍や企業使用のためのﾌﾟﾛｾｽｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	単純 ジョブ制御言語 （機械にｵﾍﾟﾚｰﾀがｱｸｾｽ）	出力のみ 自然言語出力 あらかじめ設定
第3期 1964-71	実用 疑似ダイアグラム ライトペン タッチスクリーン	標準 簡単なプロンプト メニュー 定型入力	原始的 キーワード認識
第4期 1972-79	現実感の創造 ウィンドウ アイコン ﾃﾞｽｸﾄｯﾌﾟｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	高度化 対話依存のプロンプト 対話型定型入力 知的定型入力	実用 限定領域の理解 DBMSの理解 ﾒﾀﾚﾍﾞﾙの理解
第5期 1980-87	安価 PCﾌﾗｲﾄｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ	統合化	高度化
	← マッキントッシュによる統合 →		
	←	LISPマシンの応用 →	
	←	第5世代プロジェクト →	
第6期 1988-	仮想化、マルチモーダル化		
	←	GUIの普及、標準化 →	
	← マルチメディア対応ワークステーション、パソコンの普及 →		
	←	臨場感通信、遠隔会議の応用 →	
	←	仮想現実感技術の応用 →	

（文献[3]を一部改変して作成）

ついてまとめたものである［3］。

人間がコンピュータに合わせていた第1期から、タイムシェアリングの第3期、ワークステーション全盛の第5期を経て、1993年現在、コンピュータはマルチ・モーダルのモデルを有し、感情検出まで行うパートナーとして位置づけられている。感性情報処理の研究は緒についたばかりであり、マルチ・モーダルに関してはハードウェア技術はそろったが、それを人間側の使い方が今一つ明確になっていない。Gainesらの予想より、現状は残念ながら、若干遅れ気味である。くしくもGainesらの予測は1993年までしかないが、今後3ー4年もまだ第6期に属しているとみるのが妥当であろう。

対話形式に関しては、ジョブ制御言語に始まって、現在はGUI（Graphical User Interface）など視覚的にわかりやすい形式になってきている。自然言語による対話は、データベースへの質問など限定された分野ではかなり複雑な対話が行えるようになってきている。が、コンピュータへの入力の点で、キーボードにしろ、音声にしろ、手書きにしろ、煩雑さの割には他の対話形式に比較してとび抜けた利点がないために、当初期待されていたより、汎用になっていない。

2.1.3　使い方からみた変遷

前の2節では技術を提供する側からみた変遷について述べたが、本節では使い方からみた（ニーズに応えるための）変遷を明らかにしたい。

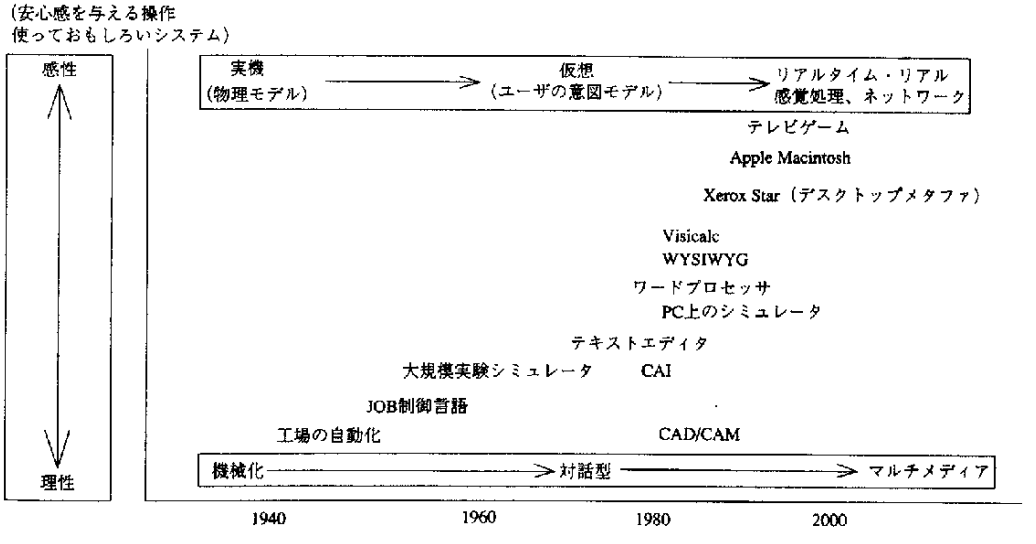
機械、コンピュータは当初、人間に楽をさせることを目的に進展してきた。このため、人間が機械やコンピュータとの接触を極力減らし、もし接触するとしても訓練を受けた人間のみが使えれば良いという考え方であった。

それがコンピュータの性能アップに伴い、次第に対話的な処理が行えるようになり（テキストエディタ、ワードプロセッサなど）、ユーザ層が広がってきた。ユーザ層の広がりにつれ、むりやり覚えて使うのではなく、楽しく使えることが求められるようになってきた。最近では機能や性能では差別化できなくなってきて、いかに楽に楽しく使えるかが売り文句になってきている。この楽しく使うものの典型例がアイコンに代表されるデスクトップメタファとゲームソフトの登場である。

また動画圧縮LSIや音声ボード、カメラが組み込まれたパソコンやワークステーション、ISDNのような広帯域ネットワーク、10Gbitの光伝送などの登場、パソコン通信の普及により、人間とコンピュータとの接触は速度・情報量といった量的側面だけでなく、使えるメディア面でも質的な接触のパイプが太くなりつつある。つまり、物理的空間におけるコミュニケーションチャネルが従来の人間と機械あるいはコンピュータとの接触から、人と人、ひいては人と社会へと広がってきた。同様に対話空間におけるコミュニケーションチャネルも文字、2次元図形、音声から動画、3次元図形へと展開してきた。

以上のような変遷を、人間を支援するための軸（図表Ⅲ-2-4の下の横軸）と、より楽しくするための軸（図表Ⅲ-2-4の縦軸）、より広いチャネルでコンピュータを使いこなすための軸（図表Ⅲ-2-4の上の横軸）の三つの軸に沿ってまとめると、図表Ⅲ-2-4のようになる［4］。

図表Ⅲ-2-4　使い方からみた変遷

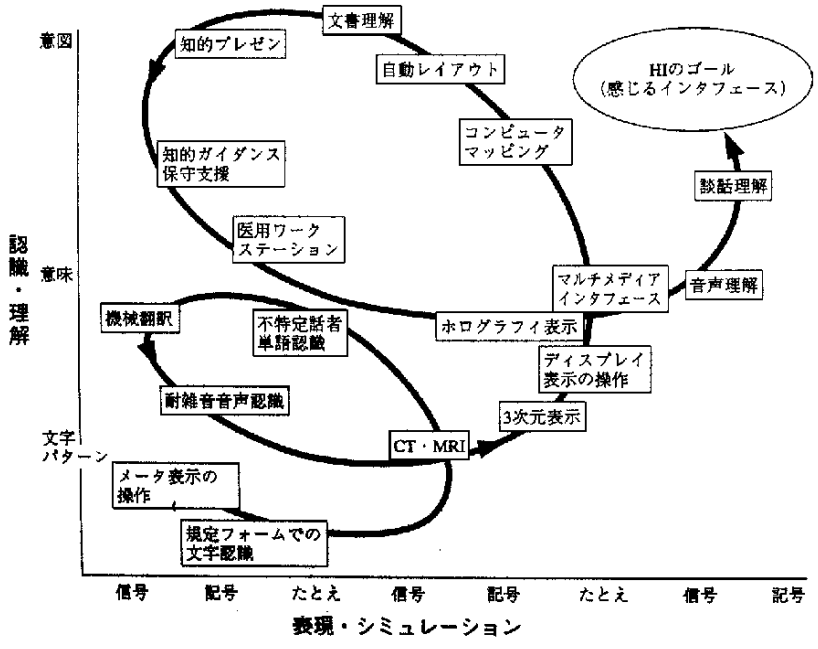


2.1.4　認識・生成技術からみた変遷

図表Ⅲ-2-4を人間の動作などを認識・理解するための技術の進展（図表Ⅲ-2-5の縦軸）と、人間に情報を提示するための表現・シミュレーションなどの生成技術の進展（図表Ⅲ-2-5の横軸）とに分解してみると、図表Ⅲ-2-5のような螺旋状の進展になる。

機械やコンピュータの認識や生成技術のレベルがユーザのニーズに達すると、ユーザはさらにそれを上回るものを望む。そこで、さらに一段高い認識や生成技術の開発に向かって行くわけである。つまり、技術がユーザのニーズに追いつくと、ユーザはさらに一段上を望むので、いたちごっこが繰り返され、図表Ⅲ-2-5のように技術は渦を巻きながら進展していくのである。特に横軸は信号をそのまま提示するレベル、それを解釈し記号とし、さらにはデスクトップ・メタファのように例えを使って提示するレベルへと進展していく。ある段階までいくと、もう一度、加工されていない直接の情報が要求されるという変遷を繰り返している。GUIは例えである。これに対し、現在注目を集めている仮想現実感技術も、仮想ではあるが触覚などの生のデータを人間に対して返せるかどうかが大きな技術課題となっており、まさに信号レベルの情報表示が求められているのである。

図表Ⅲ-2-5　認識・生成技術のレベルアップからみた変遷



＜参考文献＞

[1]　海保、原田、黒須、「認知的インタフェース」、新曜社（1991）

[2]　Gaines,B.Rand Shaw, M.L.G., "From timesharing to the sixth generation:the development of human-computer interaction. Part I", Int.J.Man-Machine Studies, Vol.24,pp.1-27（1986）.

[3]　Gaines, B.R. and Shaw, M.L.G., " Foundations of dialog engineering : the development of human-computer interaction. Part II", Int.J.Man-Machine Studies,Vol.24,pp.101-123（1986）.

[4]　土井、「ヒューマン・コンピュータ・インタフェースの動向」、計測自動制御学会第1回システム工学部会予稿集（1988）.

2.2　知的インタフェースの技術マップ

インタフェース技術は、ソフトとハードの多様な技術からなる総合的な技術であり、その目的も、入出力の人間工学的なサポートから、思考過程のサポートまでさまざまなことがさまざまのレベルで要求される。このことは、歴史的変遷をみることでもわかる。

この章では、総合的な技術である知的インタフェース技術の要素技術間の関係を明確にするため、知的インタフェース技術を分類／整理するマップの構成を試みる。これにより、知的インタフェース技術の現状を明らかにし、さらには将来の展開についても見通しを得たい。

2.2.1　分類の次元と座標軸

座標空間の上に技術を配置して、技術マップを考えることにより、知的インタフェース技術の展開を明らかにする。そのための「分類のための次元を表わす座標軸」を与えることが必要である。ここでは、インタフェースで実現すべき機能、タスクと外界との関係、用いられる技術の種別を表す、

次の三つの座標軸を考えることにする。

(1)　情報（処理）レベル、認知レベルに基づく座標軸
……機能に関する分類

(2)　タスクの社会性、開放性に基づく座標軸
……タスクに関する分類

(3)　技術の階層性に基づく座標軸
……技術に関する分類

AIマップ［1］では、上記「(1)機能に関する分類」に準拠した技術の展開を、アーキテクチャや言語の性質に従い論じているが、知的インタフェース技術を概観する場合、総合的な技術である性質を反映し、(2)のタスクに関する分類、(3)用いる技術に関する分類が必要である。

以下、各軸について考察する。

(1)　情報（処理）レベル、認知レベルに基づく座標軸

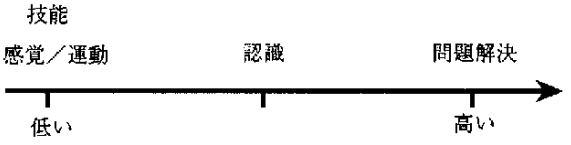
この座標軸は、図表Ⅲ-2-6に示すように、インタフェースの下位の機能レベルである感覚／運動レベルの支援から、認識のレベル支援、さらには上位の機能レベルである問題解決のレベルの支援までの広がりを表現する。この階層は、Norman等のインタラクションの7段階モデルにおける、知覚／実行、意図／評価、目標の3階層にほぼ対応する［2］。

初期のインタフェースでは、人間工学に基づき、この下位の部分、例えばキーボードの操作性等のみが考慮されていた［3］。　ビットマップデスプレィによるメタファの支援では、素人でも使いやすい計算機の使用環境の支援に焦点が移ったが、これらは「計算機と人間との間にある“実行のギャップ”と“評価のギャップ”の支援」、「通常の人が計算機を使う能力の支援」であり、主に認識レベルの支援といえる。対話の制御等を行う知的インタフェースでは、さらに上位の問題解決の部分のサポートが重要になる（図表Ⅲ-2-7参照）。

このように知的インタフェースでは、より高次の認知的レベルの支援だけが求められるようになるかというと事情はやや複雑である。知的秘書といった機能が要求されるようになると、相互に不十分な知識を補うための情報交換が必要で、認知レベルの上位だけでなく下位の部分のサポートも含めた「広いチャネル」を用いた、対話とインタラクションが不可欠になってくる。例えば、近年のVR（バーチャルリアリティ）技術で見られるように、下位の部分でのより太いチャネルでの感覚／運動の支援が再び重要になってきている。インタフェースの歴史で見たように螺旋を描いている。

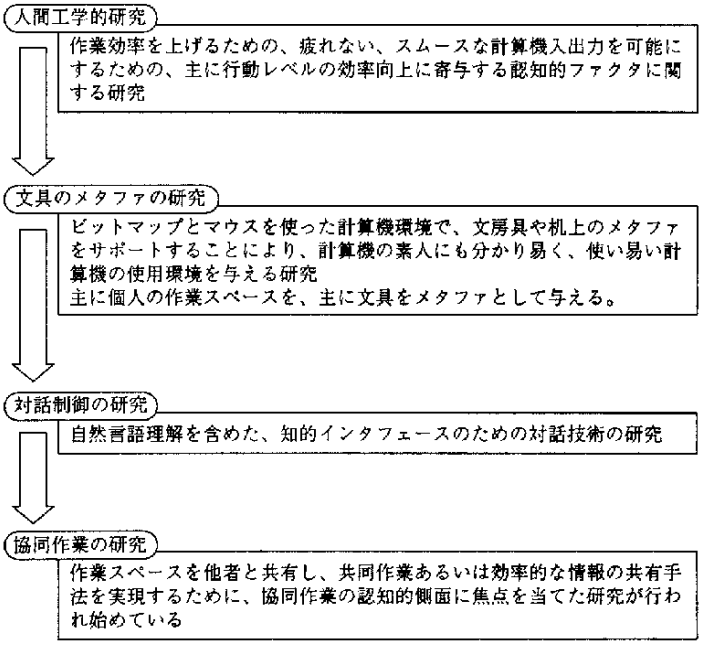
また、「情報（処理）レベル」、「認知レベル」という言い方は、インタフェースの機能を考えるときに、システムの提供する情報処理機能にシステム側から焦点を当てた場合に前者の用語を用い、対応する人間の情報処理機能に焦点を当てた場合に後者の用語を用いる。言い換

図表Ⅲ-2-6　情報（処理）レベル、認知レベルに基づく座標軸



通信や情報処理で使われるコミュニケーションのモデルに当てはめ、「信号レベルー分析合成レベルー認識レベルー概念レベルー意味レベルー意図レベル」のように、より詳細に記述できる（3.1.1.1参照）。

図表Ⅲ-2-7　インタフェースの認知科学的課題の変遷



えれば、「情報（処理）レベル」は情報処理技術の側面からの記述である。「認知レベル」はインタフェースの目標機能の記述ともいえ、インタフェース研究の多面性を示している。

図表Ⅲ-2-6は、各レベルで得られる機能や効果によって分類することもできる。図表Ⅲ-2-8(1)は、そのような各レベルで得られる機能の比喩表現と言えよう。(図の横軸は、図表Ⅲ-2-6の横軸に対応している。以下同様)認知レベルの低いところでは、人が使う便利な道具（ツール）を提供するにすぎないのに対し、高次のレベルでは、目的から操作への翻訳をも含めた知的な作業を行う「秘書」といった複合機能を実現する必要がある。図表Ⅲ-2-8(2)は、各レベルで得られる効果を示している。低次レベルでは、負荷無く計算機が使えるという意味で「楽する」ことのサポートが重要であったし、高次レベルでは「分かりやすく、楽しむ」ことのサポートが重要である。

先程述べたように、知的インタフェースの実現には、高次機能を求められている一方、バーチャルリアリティ等「人間と計算機とがより密接に、有機的に結合」することによる感覚／運動レベルの強化が必要である。また、一つだけを支援するのでなく、例えば「楽する」ことのサポートも「楽しむ」ことのサポートと同時に求められるのが普通であろう。このような意味で、各レベルが同時にサポートされることが実際には必要である。

この事情は、図表Ⅲ-2-9の感性を含めた情報（処理）レベル、認知レベルの拡張に示すことができる。ここでは、「感性」を感覚／運動、認識、問題解決等をすべて調和統合する高度な知的レベルとして位置づけている(4.2.6参照)。

この感性を満足する状態が図表Ⅲ-2-9(2)の「快適」な状態である。操作性、認知性、快適性は、それぞれ次のような内容である。

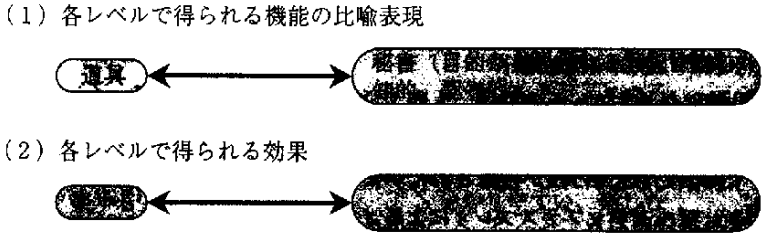
操作性＝疲れない、使いやすい
認知性＝分かりやすい、発想を刺激する
快適性＝面白い、楽しい、アメニテ

(2)　タスクの社会性、開放性に基づく座標軸

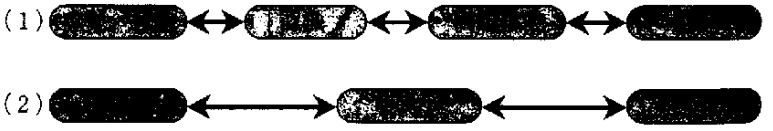
この座標軸は、コミュニケーションチャネルが従来の人とコンピュータとの接触から、コンピュータとの関わりが間接的となり、人と人、ひいては人と社会との関係へと広がってきたことを反映する。すなわち、システムの開放性、および相互作用のスコープにより分類できる(図表Ⅲ-2-10(1))。なお、図表Ⅲ-2-10(2)は、人間が「何」と相互作用するかに注目してまとめてある。すなわち、クローズなシステムでは、人間とコンピュータとの直接的な相互作用（H-M）が主であるが、次第にコンピュータ自体は表面に意識されないようになり人間と人間との相互作用（H-H）が表に出る。さらには、人間と社会や自然界とのコミュニケーション（H-N）に変わる。

図表Ⅲ-2-10(3)は、コンピュータが誰を支援し、また誰がそれにより恩恵を受けるようになるかの観点からの分類である。すなわち、クローズなシステムでは、個人が支援を受け、その特定の個人が恩恵を受けるのに対して、オープンなシステムでは、集団が支援と恩恵を受け

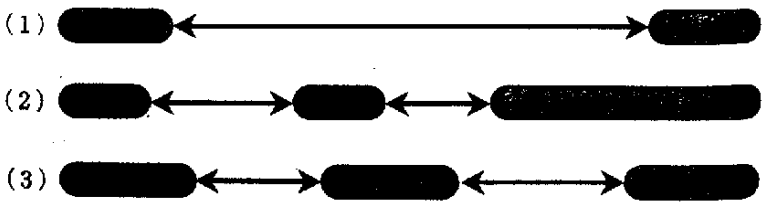
図表Ⅲ-2-8　図表Ⅲ-2-6とは異なった見方からの座標軸



図表Ⅲ-2-9　情報（処理）レベル、認知レベルの感性を含めた拡張



図表Ⅲ-2-10　仕事の社会性、開放性に基づく座標軸



るようになる。

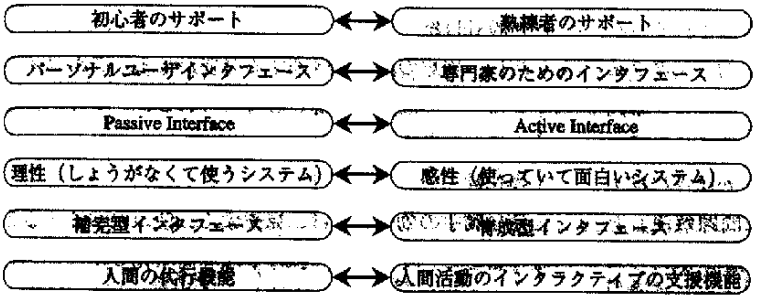
(3)　技術の階層性に基づく座標軸

技術の抽象レベル、種別による区別をして論ずる必要がある。図表Ⅲ-2-11は、技術の種別や階層性に注目して分類したものである。その内容としては、次のようなものである。

図表Ⅲ-2-11　技術の階層性に基づく座標軸

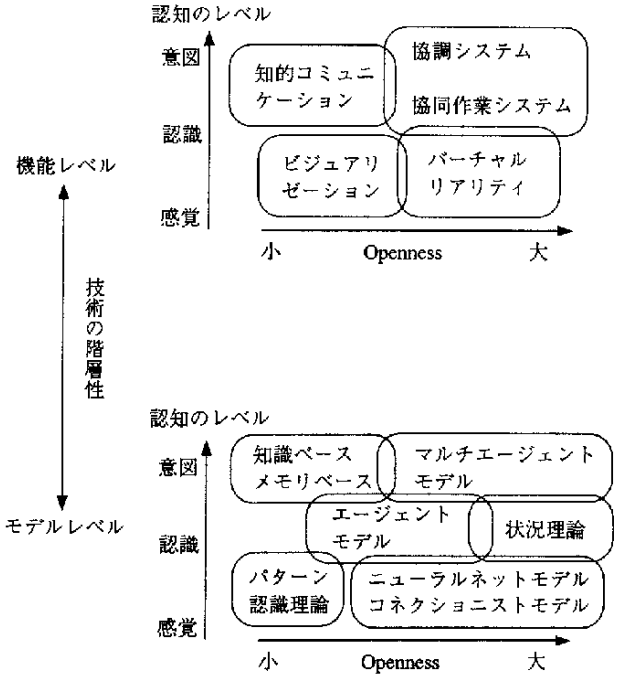


図表Ⅲ-2-12　他の分類座標軸



また、「楽する」ための技術の推移を表現する軸としては、自動化⇔対話型⇔マルチメディア⇔VR等を考えることができる。

図表Ⅲ-2-13　知的インタフェースのための技術マップ



○関連要素技術

ファジィやニューロ、あるいは多変量解析やSD法のように、直接はインタフェースの改善に結びつかないが、その基礎となり、あるいは評価の際に有用な技術。

○実現方式（内部仕様）

具体的な実現に使う技術。知的CAIのための知識表現形式として、フレームを用いるか、ネットワークを用いるかといったような、ユーザには結果としての効果としては感じられるが、その内部の違いは分からないような領域の技術。

○機能仕様（外部仕様）

GUIの機能を使ってどのような画面インタフェースを実現するかとか、AI技術を使ってどのような対話型のヘルプ機能を提供するかといった水準の技術。その違いはユーザに直接感知されうる。

(4)　その他の分類について

知的インタフェースの三つの分類座標軸について紹介したが、インタフェースへの要求の多様性を反映して、何に注目するかによって他の分類軸も設定可能である。また、分類の詳細化も可能である。そのような中から、図表Ⅲ-2-12に、いくつかを紹介しておく。

2.2.2　技術マップ

前節では、技術マップを構成するために必要な三つの分類の座標軸

(1)　情報（処理）レベル、認知レベルに基づく座標軸

(2)　タスクの社会性、開放性に基づく座標軸

(3)　技術の階層性に基づく座標軸

について述べた。この3軸を使って、技術マップの構成を試みたのが図表Ⅲ-2-13である。

縦の階層で技術の階層性を表わしている。ただし、簡略化して「モデル」レベルと「機能」レベルの2階層に分割している。また、それぞれの階層に属する平面の縦軸（奥行き

軸）は、「表層的な感覚レベル」から「人間の高度な知的レベル」への認知レベルを表わしている。さらに、横軸は「外界や状況との関連の度合いの強さ（OPENNESS)」を表現しており、タスクのオープン性、およびそれに対応した技術のオープン性を表現している。

知的インタフェースで実現すべき機能としては、人間と計算機とのインタラクションを重視する見地からは、ビジュアリゼーション、知的コミュニケーション等が重要であり、最近では情報処理の対象のオープン性を反映して、バーチャルリアリティ、協調システム等が重要になってきた。

また、機能を実現する要素技術あるいはモデル／理論としては、マルチエージェントモデル、コネクショニストモデル、状況理論等の各種パラダイムが注目されている。

この技術マップと歴史的変遷とから、知的インタフェースの開発や研究が、エンドユーザレベルのタスクの内容の変化に応じて遷移していることも読み取ることができる。知的インタフェースの目指すゴールが徐々に拡大しつつあり、言い換えると「より高度な問題解決」と「社会への係わりの広がり」を融合した機能が求められてきたと言える。このような流れの中で、上記の技術や、さらに学習の研究やCSCWの研究が1980年代以降盛んに行われるようになったとも言える。

しかし、本図からだけでは「快適さ」に関わる技術を読み取ることは難しい。その原因は、認知の各レベルの統合処理として位置づけられる感性情報処理が未熟な技術であることと、統合処理をうまく表現する座標軸が今のところないためである。この分野の技術を発展させることも将来の課題であろう。

2.2.3　具体的なインタフェース技術を対象とした技術マップ

前節では、やや抽象レベルの高いところで、知的インタフェースの骨組みを技術マップとして取り扱った。本節では、より具体的なインタフェース技術やインタフェースの設計目標を考慮に入れた技術マップについて考察する。

(1)　軸（次元）の設定

(1.1)実現領域

それぞれの人工知能技術が何を目標にした技術であるかという点を明確にする必要があると考える。その意味では、まず技術を群分けするために、「誰を支援するのか」といった観点と「それによって誰が恩恵をこうむるのか」といった観点からの分類を提起したい。この「誰」の部分に個人と集団を入れ、以下のように技術マップを3群に分けることを考える。「集団ー個人」という組み合わせは、実際には「集団ー集団」と区別しがたいため、ここでは省略した。

①個人ー個人の知的インタフェース技術

個人の知的能力を支援することにより、個人に対して恩恵を与える技術

②個人ー集団の知的インタフェース技術

個人の知的能力を支援することにより、集団に対して恩恵を与える技術

③集団ー集団の知的インタフェース技術

集団の知的能力を支援することにより、集団に対して恩恵を与える技術

(1.2)設計目標

次に、恩恵の内容を区別する必要がある。これはインタフェースの設計の目標とも考えられるが、具体的には次の三つが考えられる。

①操作性

使い勝手の効率を上げ、見やすく、使いやすくすることを目指し、そのために操作手順を簡略化したり、エラー訂正を簡便にしたり、身体への適合性を高める技術。

②認知性

分かりやすさを向上させる、すなわち初心者にとって分かりやすく、連想性が高く、一貫性があり、習熟性も良いようにすることを目指す技術。

③快適性

機器あるいはそのインタフェースを楽に、快適に利用でき、利用することにより面白さや楽しさを感じられるようにすることを目指す技術。

これらは、2.2.2の内容と対応づければ、

操作性＝疲れない、使いやすい

認知性＝分かりやすい、発想を刺激する

快適性＝面白い、楽しい

といった形になると考えられる。

(1.3)技術の種別

マップの軸のもう一つとしては、技術の種別を区別する必要がある。次のような内容が考えられる。

①関連要素技術

ファジィやニューロ、あるいは多変量解析やSD法のように、直接はインタフェースの改善に結び付かないが、その基礎となりあるいは評価の際に有用な技術。

②実現方式（内部仕様）

知的CAIを実現するための知識表現形式として、フレ

	操作性	認知性	快適性
基本概念	身体特性への適合 身体機能の延長	アフォーダンス マッピング ナビゲーション 認知機能の延長	アメニティ 動機付け
要素技術	マルチモーダル入力 HUD／HMD	ハイパーメディア ハイパーテキスト バーチャルリアリティ シミュレーション エージェント	バーチャルリアリティ 感性工学
実現方式	赤外線センシング方式 パターン認識応用方式 画像処理応用方式	知識のネットワーク表現 知識のフレーム表現 メタウェア エージェンシーモデル	
機能仕様	DataGlove Eye Gaze	HyperCard HyperTies フライトシミュレータ ドライブシミュレータ Knowledge Navigator	ウゴウゴルーガ DisneyLand スキーシミュレータ

	操作性	認知性	快適性
基本概念		演出効果 表現効果	人間中心（基本思想）
要素技術		グラフィックデザイン シナリオライティング 舞台演出 エージェント 情報フィルタリング	小集団活動
実現方式		最適表現自動生成方式 キーワード抽出方式 知識表現方式 構文解析技術	個人差識別法 特性検出検査法
機能仕様		GUI部品集 Knowledge Navigator gIBIS 悪文訂正機能	個別重視のJOB割当て

ユーザに直接感知されうる。

(1.4)マップの構成

以上を組み合わせると、目標（操作性、認知性、快適性）×技術種別（要素技術、機能仕様、実現方式）といった3×3のマップが実現領域（個人ー個人の技術、個人ー集団の技術、集団ー集団の技術ごとに3枚できることになると考えられる。

①個人ー個人の技術

これは、個人に帰属する知的な能力を高機能化、高水準化することによって、その個人自身が恩恵をこうむる（もちろんその結果、間接的に他者が恩恵をこうむることもあるが）ようにする技術の範疇である。知的な能力としては、一般の知能検査によって測定されるような項目が多く、したがってその評価基準としてもそれに準じたものになるケースが多い。従来の知的インタフェースの各技術はこの領域に属するものがほとんどであったように思われる。

ここで対象とされる知的能力には、記憶力、知識、理解力、推論力、判断力、計算力、知的機敏さ、独創性、柔軟性、連想力、直感力、洞察力などがある。例えば、認知性の要素技術としてのハイパーメディアは、人間の知識を外部的に支援するために提案されたものであり、快適性の要素技術としての感性工学は、独創性や柔軟性、直感力などを増幅するために提案されているものである。

②個人ー集団の技術

これは、個人に帰属する能力を高めることによって、その個人の属する集団が恩恵をこうむるようにする技術である。集団は最小2人から始まるから、伝達力などの場合のように、本人と相手といった最小構成の場合から、多数の聴衆を前にしたプレゼンテーションのような場面で必要とされる表現力などの場合が含まれる。ここには知能検査的な意味での狭義の知的能力は含まれていないが、人間の行っている知的活動に

ームを用いるのか、ネットワークを用いるのかといったような、ユーザには結果としての効果としては感じられるが、その内部の違いは分からないような領域の技術。

③機能仕様（外部仕様）

GUIの機能を使ってどのような画面インタフェースを実現するかとか、AI技術を使ってどのような対話型のヘルプ機能を提供するかといった水準の技術。その違いは

関わりを持つという意味では、広義の知的能力に含まれると考えて良いだろう。

ここで対象とされる能力には、情報伝達能力である表現力、伝達力と、社会的交渉能力である折衝力、説得力、指導力などがある。

なお、社会的交渉能力は、相手が人間であることを除けば、前項の個人的知的能力をダイナミックに切り替えながら駆使することである。もちろん積極性とか協調性、攻撃性といったパーソナリティ的な側面も重要ではあるが、知的能力としての側面では、個人的知的能力と大差はないといえる。したがって、計算機によってこの能力を支援するためには、状況の認識をどのように入力するかという点が鍵になろう。また、当然のことながら、その支援の形態は、計算機が人間の折衝や説得を代行するという方向よりは、人間が行う折衝や説得のための補助ツールとして知的な処理を行うという方向を考えるべきであろう。

③集団ー集団の技術

人間は集団を形成すると、個人の集合として以上の能力や特性を発揮する。その意味で、知的インタフェースとしても集団としての人間を考慮する必要があると考えられる。ただし、そのための検討は始まったばかりであり、グループウェア関連の機器を除くと、まだ試行錯誤の域を出ていない。

ここで対象とされる能力には、情報処理能力である情報伝播力、情報管理力、意思決定収束力、意思決定品質、人員管理力などと、その他の能力の指標と考えられる売上げ高、集団帰属性、自発的活動性などが含まれる。

＜参考文献＞

[1] 大須賀節雄、AIマップーAI研究のあり方、人工知能学会誌　Vol.7, No. 5 ,1992

[2] Norman, D.A. & Drapper, S.W., User Centered System Design, LEA, 1986

[3] Card, S.K., Moran, T.P. adn Newell, A., The psychology of human-computer interaction, Lawrence Erlbaum Associates, 1983.

[4] 人工知能の技術と市場の動向に関する調査研究報告書, 日本情報処理開発協会、1993.

3. 知的インタフェース技術の現状

3.1 知的インタフェース技術と理論、モデル、設計指針

3.1.1 理論／モデル

3.1.1.1 コミュニケーションの理論／モデル

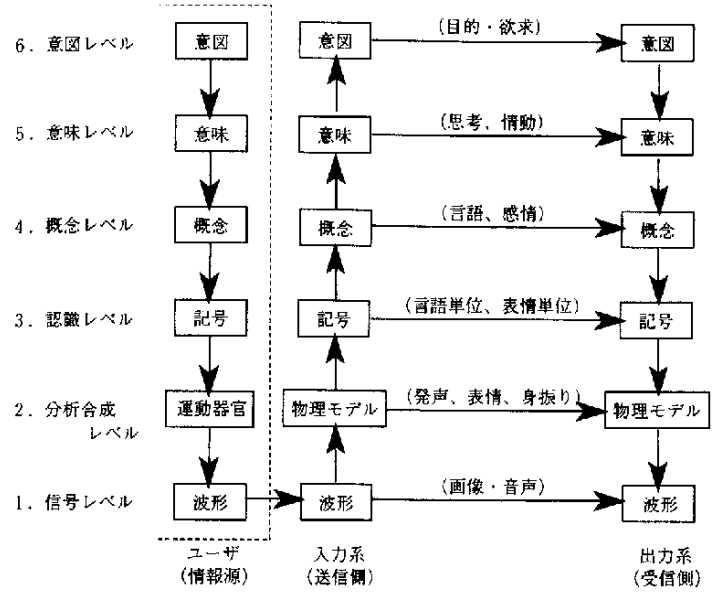
知的インタフェースによって、情報システムと利用者の間の真の整合を図るためには、利用者である人間自身の情報処理機能を解明し、これを巧妙にシステムに組み入れる必要がある。知的コミュニケーションモデルは図表III-2-14に示すように、人間における情報処理機能をそのまま模倣した形態をとっている。知的コミュニケーションのそれぞれのレベルにおける処理は、情報源あるいは受信者である人間の情報処理プロセスと情報生成プロセスに対応させることができる。

人間が会話においてある内容の情報を伝達する際には、意図や意味レベルで思考内容の整理が行われ、具体的な概念レベルあるいは言語を表わす記号レベルに情報変換されて文章化され、発声器官等の筋肉をコントロールして物理的な信号が外部に放出されることによって、音声や表情が相手から認識できるようになる。知的コミュニケーションシステムの送信側、すなわち知的インタフェースの入力部では、人間から受け取った信号から情報生成プロセスと逆のプロセスに従ってさまざまなレベルでの情報を抽出することができる。この抽出された情報は、それぞれのレベルで情報の伝達または情報の加工が行われ、出力系列信号として、知的インタフェース出力部から出力される。

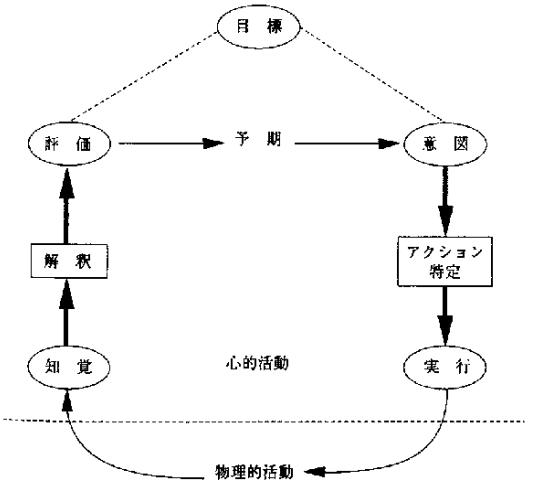
次にコミュニケーションの階層レベルについて考察してみよう。

	操作性	認知性	快適性
基本概念		集団意志決定	画面との一体感
要素技術		電子化KJ法 電子化デルファイ法	大画面表示技術 B-ISDN
実現方式	マルチカーソル制御方式	司会運営方式 投票支援方式	情報たれ流し方式 出会い演出方式
機能仕様	集団同時利用黒板	GDSS 電子対話 電子化会議	ビデオウォール

図表III-2-14　知的コミュニケーションの階層モデル



図表III-2-15　Normanの7階層モデル



従来のISDN実現に向け開発が進められてきたコミュニケーションシステムでは、情報源の中身には一切立ち入らず、信号対雑音比を基準とする忠実な信号の再現に重点が置かれ、情報源の解釈は受信者の主観に委ねられていた。これは最もベーシックなコミュニケーション階層に相当しており、図表III-2-14の第1階層の信号レベルに相当している。実際に通信システムで使われている音声の適応差分PCMや画像の動き補償予測符号化等の波形符号化方式は、このレベルに分類される。

表情を顔面モデルに基づいて解析したり、声道モデルを用いて音声分析して、その分析パラメータで情報を記述するのが第2階層の分析合成レベルである。いわゆる分析合成符号化あるいはモデルベース符号化がこの階層に相当する。

第3階層の認識レベルでは言語単位で情報を記述するもので、音声認識によって信号がシンボル系列に変換されたり、画像のセグメンテーション結果や顔表情の分類カテゴリーがシンボル系列に変換され、このシンボル情報のみが伝送される。

第4階層の概念レベルではシンボル情報に含まれる概念の把握が行われる。いわゆる音声認識における単語の位置の把握や文節の切り出しがこのレベルに当たる。したがって、アクセント情報や抑揚、自然な動き表出などが情報生成機能として含まれる。

第5階層の意味レベルでは概念が構造化され意味の把握が行われる。この段階で単語のかかり受け構造が明らかとなり、各単語は漢字記述が可能となる。また、表情表出の際の心理状態が推定され、より人間的な情報生成が可能となる。意味レベルでの情報変換が可能となり、質問応答システムや秘書機能、自動翻訳電話等、機械が人間と同等の立場で対話が可能な知的インタフェース構成に必要な要素がこの階層で満たされることになる。

第6階層の意図レベルでは、行間に含まれる意図情報やある発言に対する動機情報等が明らかにされる。したがって原信号の音声や画像自体は意味を持たず、真に伝えたい情報のみが伝達される。このレベルでの情報処理が可能となれば、さまざまなレベルでのコミュニケーションギャップを克服することが可能である。

このように送信側は人間の情報処理過程を、受信側は人間の情報生成過程をそれぞれシミュレートしている。知的インタフェースとは、このような知的コミュニケーションにおける送信側および受信側の機能を実現する技術である。

これに関連するものとして、図表III-2-15にNormanらの提案したインタラクションの7階層モデルを示す。これはユーザの遂行・評価過程を7段階の活動に区分するものである。これは1)目標の設定、2)意図の形成、3)ア

クションの特定、4)アクションの実行、5)システム状態の知覚、6)システム状態の解釈、7)目標と意図に照らしたシステム状態の評価である。タスク遂行の第1段階で目標の設定をし、2)から4)の三つの段階でアクションを実行する。また、5)から7)の三つの段階でアクションの結果を評価する。したがって、アクション実行過程が図表Ⅲ-2-14の知的コミュニケーションモデルにおける出力系に相当し、アクション評価過程が入力系に相当して、目標や予期に相当する部分が人間とのインタラクションを実現するための情報変換過程であるという位置づけができる。

この出力系と入力系とは人間の情報生成プロセスと情報処理プロセスにそれぞれ相当し、これを機械によってシミュレートすることが知的インタフェースの実現目標となる。しかし、人間の心的活動のマクロなモデルとは異なり、機械を用いた情報処理においては、評価や実行の知的レベルのさまざまな階層に詳細化されており、各々の階層レベルを明示したものが図表Ⅲ-2-14の知的コミュニケーションの階層モデルであると言える。

以上述べた知的コミュニケーションによって将来実現されると予想される夢の知的通信ネットワークのイメージを図表Ⅲ-2-16に示した。各端末には、個別の知識とデータベースが完備されており、そこには概念や意味レベルでのメディア構造化情報が存在している。符号化・復号化処理は、入力信号からの概念抽出と概念からの信号再生で構成される。ネットワークには各ユーザの持つ擬人化されたエージェントを統括するハイパーエージェントが存在して、複数のユーザ間の問題解決や協同作業を支援する。

このネットワーク実現のためには、未だ多くの解決しなければならない研究課題を含んでおり、長い年月を必要とするが、この実現のための個別技術は多くの有益な副産物をもたらすであろう。

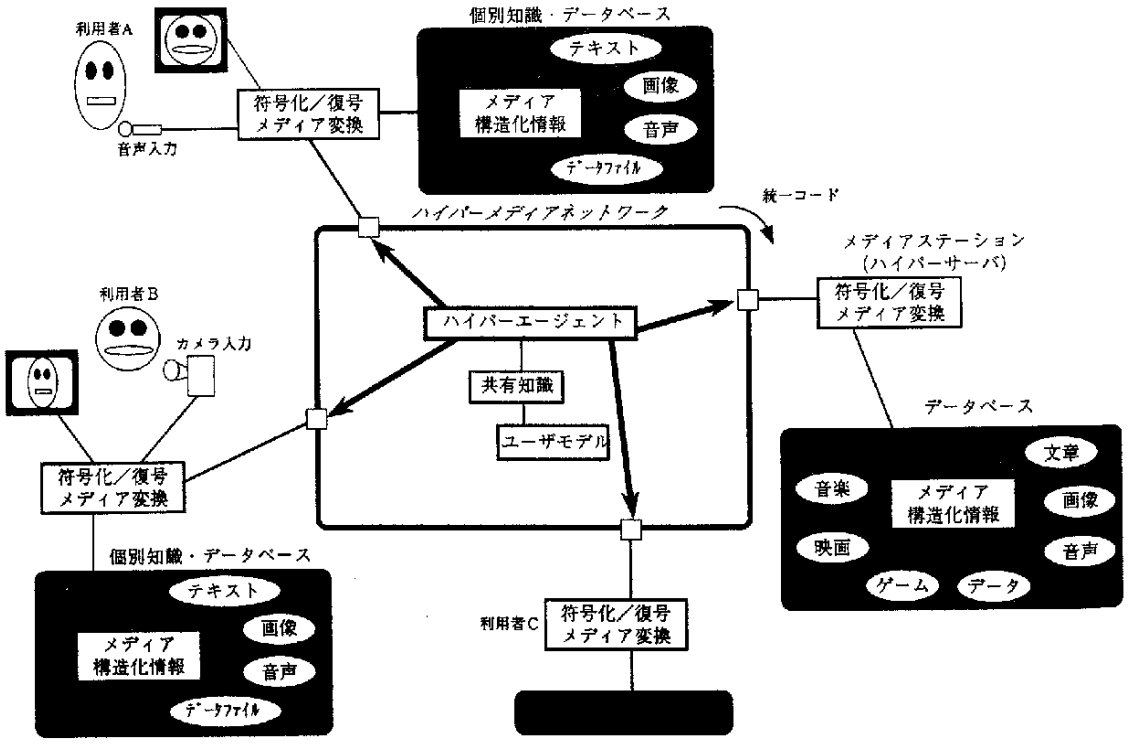
このネットワークによって実現される典型的な知的機能は以下のようなものである。

1)　Human-to-Human Communication

概念・意味情報伝達による知的通信を実現する。利用者間で入力メディアを変更できる。異なるハンディキャップを持つ人同士の会話も可能になる。個人のパーソナリティーに関する知識を持つ個人データベースに基づいて感性情報が付加される。

2)　Human-to-Machine Communication

図表Ⅲ-2-16　知的コミュニケーションネットワーク



データベース中に複数のメディアが概念・意味レベルで構造化されている。各ユーザに分散したデータベース検索が可能である。擬人化されたエージェントとの対話によりメディア検索を実現する。

3) Media Station

将来の放送局の形態の一つ。エージェントがユーザの趣向を分析し最適なメディア情報を選択。さまざまなメディアが時間的、空間的に構造化されている。

4) Intelligent Agent

表情を持ちユーザの趣向や感情等を理解する。単独でユーザとの対話が可能である。秘書や雑談の相手としての機能を含む。複数のユーザ間の問題解決や協同作業支援を行う。

従来のコミュニケーションモデルでは個々の情報メディアは独立に扱われており、メディア間の相互作用に関しては触れられてはいなかった。マルチメディアの普及によって、例えば視覚と聴覚のようにモダリティ（様相）の異なる諸感性が、互いにどう影響を及ぼし合うかについては視聴空間の問題として関心を持たれるようになってきた。感覚のある性質が様相間に共通して存在したり、複数の感覚が、単なる寄せ集めでなく競合／協同するという経験が指摘されている。このようなマルチモーダルインタフェースの感性の心理学的な検討は知的インタフェースにとって重要なテーマである。また、他のモダリティを刺激するインタフェースとして、触覚インタフェースや臭覚インタフェース等が検討されている。これらの扱う情報は知的コミュニケーションモデルでは記述が難しい感性に関わる情報を含んでいる。また、直接的に言語情報を介さないノンバーバルコミュニケーションの一例として、手話画像、表情画像、音声の"間"等が検討されている。

低い階層のコミュニケーションレベルでは、原信号にノンバーバルな情報が含まれている場合があるが、上位の階層に行くに従って客観記述が難しい情報は、自ずと切り取られて行く。したがって、これらのノンバーバル情報をいかに記述して情報として保存し、加工して再合成するかが、知的インタフェース研究の今後の課題である。

<参考文献>

[1] 原島　博、"知的画像符号化と知的通信"、テレビジョン学会誌、Vol.42,No.6,1988.

[2] Norman,D.A. and Draper,S.W.,"User Centered System Design",Lawrence Erlbaum Associates, 1986.

[3] 井口征士、"感性情報とは何か"、「感性情報・感性情報処理とは何か」論集、1993.

[4] 中村敏枝、"メディアにおける"間"の心理学的研究"、第2回感性情報の情報学・心理学的研究全体会議予稿集、1993.

3.1.1.2 知的インタフェースのための認知モデル

ここでは知的インタフェースのための認知モデルとして重要と考えられる、ユーザとのインタラクションのモデル、協同作業における認知モデルの概要を述べるとともに、認知モデルの実現方法としてのメタファ・メタウェア・マルチエージェントモデルおよびニューラルネットワークモデルについて紹介する。

(1) インタラクションのモデル

ユーザとの対話インタフェースに関するインタラクションモデルには、作業分析の目的でインタラクションプロセスを記述するモデルの流れと、作業評価の目的でインタラクションプロセスを所要時間等の指標によって評価するモデルの流れとがある。こうしたモデルを構成することにより、作業の効率が低下している箇所を検出したり、作業の中に重複した無駄な手順が入っていることを発見したりすることが可能となる。その意味で、この種のモデルは、作業の効率性の向上に寄与するものであるといえ、したがってまた、作業の認知性の向上を図るには、ユーザのシステムイメージの構築の容易さを調べたり、エラーの多発箇所を見つけたりする別な手法が必要である。

前者の記述モデルには、従来サーブリッグなど人間工学の分野で実施されてきた作業分析も含まれるが、近年のインタラクションモデルにおいては、単なる作業の流れの分析ではなく、対話プロセスとしての作業の流れが問題にされている。例えばReisnerは、質問応答システムに関して、対話の流れをBNF記法によって記述することを試みた[5]。またKierasは、対話の複雑さを表現する方法として状態遷移図を用いることを提案した[3]。しかし、近年最もインパクトの大きな記述モデルとしてはCard, Moran & Newellが提案したGOMSモデルを挙げるべきだろう[2]（図表Ⅲ-2-17）。このモデルでは、ユーザが情報機器を利用して行動している場面を、G(Goal), O(Operator), M(Method),S(Selection Rule)の四つの要素に分けて分析するのがよいと考えられている。ここでGはユーザが達成しようとしている目標であり、Oはユーザが実行する行為、Mは目標を達成するためのOの連鎖、Sは目標達成のために複数のMが利用可能な

ときの選択規則である。このような前提から導かれるモデルは基本的には上位のタスクをより下位の行為に分割して行くという木構造形式のものとなる。もちろん記述モデルといえども、単なる記述を目的としているわけではなく、記述された木構造に基づき、設計手順の自然さや完全さ、一貫性の有無などを評価することができる。

後者の評価モデルとしては、一般に所要時間が対話プロセスの評価指標として用いられている。著名なものにやはり Card, Moran & Newell が開発したＫＬＭ (Keystroke Level Model) が挙げられる［1］(図表Ⅲ-2-18)。これは、基本的な対話作業を単位動作に分解して行くという点で、GOMS同様に木構造形式のモデルとなるが、具体的には単位動作として、所定のもの、すなわちキー打鍵ないしはマウスのボタン押し、マウスによる画面上の点のポイント、キーボードとマウスの間などでの手の移動、処理結果の確認などの精神的な準備時間などが用意されており、かつそれらの単位動作には所定の時間が設定されている。設計者は対話システムの外部仕様に基づき所定の処理操作を単位動作に分解し、各単位動作の所要回数の累計として全体所要時間を求めるというものである。

記述モデルとしてはその後、例えば、中山、黒須がエディタの操作分析のために開発したNNTSモデルなどがある［8］。これは状態遷移図をベースとした上で評価モデルのように時間予測もできるようにしたものである。また黒須によるEDCモデルは、テレビ会議システムのようなグループプロセスを記述し、そこから行動指標を算出することにより、コミュニケーションの円滑さや深さなどを評価できるように考えられたものである［7］。また評価モデルとしては、例えば黒須等によるDTMがある［6］(図表Ⅲ-2-19)。これは車を運転しながら車載情報機器を操作するというような複合的な作業状況において、その並列的な作業の効率を時間指標により予測するモデルである。

これらのモデルの課題として、現状のモデルが一般に細かな作業を対象にしているのに比し、より上位の業務のレベルを対象にした評価を行えるような方式の開発が求められているといえる。

図表Ⅲ-2-17　GOMS

KEYSTROKE LEVEL

```
Model K2:
  GOAL:EDIT-MANUSCRIPT
  .   GOAL:EDIT-UNIT-TASK                          ..repeat until no more unit tasks
  .   .   GOAL:ACQUIRE-UNIT-TASK                   . . if task not remembered
  .   .   .   GOAL:TURN-PAGE (see below)           . . .  if at and of manuscript page
  .   .   .   GOAL:GET-FROM-MANUSCRIPT
  .   .   GOAL:EXECUTE-UNIT-TASK                   . . if an edit task was found
  .   .   .   GOAL:LOCATE-LINE                     . . .  if task not on current line
  .   .   .   .   CHOOSE-COMMAND
  .   .   .   .   (select GOAL:USE-OS-METHOD
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECIFY-COMMAND
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECIFY-ARG
  .   .   .   .   .   GOAL:USE-LF-METHOD
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECIFY-COMMAND)    . . . . .  repeat until at line
  .   .   .   .   GOAL:VERIFY-LOC
  .   .   .   GOAL:MODIFY-TEXT
  .   .   .   .   CHOOSE-COMMAND
  .   .   .   .   (select GOAL:USE-S-COMMAND)
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECIFY-COMMAND
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECIFY-ARG
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECTIFY-ARG
  .   .   .   .   GOAL:USE-M-COMMAND
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECIFY-COMMAND
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECIFY-COMMAND     . . . . .  repeat until at text
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECIFY-ARG
  .   .   .   .   .   .   GOAL:SPECIFY-COMMAND)
  .   .   .   .   GOAL:VERIFY-EDIT

Expansion of goals apperaing several times:
                    GOAL:TURN-PAGE
                    . LOOK-AT-MANUSCRIPT            .repeat twice
                    . ACTION
                    . MOVE-HAND                      .repeat twice
                    . TURN-PAGE
                    GOAL:GET-FROM-MANUSCRIPT
                    . LOOK-AT-MANUSCRIPT
                    . SEARCH-FOR
                    . LOOK-AT-DISPLAY               .optional
                    GOAL:SPECIFY-COMMAND
                    . GOAL:GET-FROM-MANUSCRIPT      .if not already selected
                    . CHOOSE-COMMAND                .if not already selected
                    . GOAL:TYPE-STRING
                    GOAL:SPECIFY-ARG
                    . GOAL:GET-FROM-MANUSCRIPT      .optional
                    . CHOOSE-ARG
                    . GOAL:TYPE-STRING
                    GOAL:VERIFY
                    . LOOK-AT-DISPLAY
                    . GOAL:GET-FROM-MANUSCRIPT      .optional
                    . COMPARE
                    GOAL:TYPE-STRING
                    : HOME                          .optional
                    . LOOK-AT-KEYBOARD              .optional
                    . LOOK-AT-DISPLAY               .optional
                    . TYPE-STRING
```

<参考文献>

[1] Card, S.K. Moran, T.P. & Newell, A. "The Keystroke-Level Model for user performance time with interactive systems " Communications of the ACM 23, 396-410 1980

[2] Card, S.K. Moran, T.P. & Newell, A. "The Psychology of Human-Computer Interaction " Lawrence Erlbaum Associates 1983

[3] Kieras, D.E. "An approach to the formal analysis of user complexity." International Journal of Man-Machine Studies 1985

[4] Kieras, D.E. "Towards a practical GOMS model methodology for user interface design." in "Handbook of Human-Computer Interaction" Helander, M. (ed.) Elsevier Science Publishers 1988

[5] Reisner, P. "Use of psychological experimentation as aid to development of query language." IEEE Transactions on Software Engineering SE-3, 218-229 1977

[6] 黒須正明、斎藤徹、上田陽一、森田祥一郎「複合作業に関する操作性評価モデルーDTMー」情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会50-5 1993

[7] 黒須正明「対話プロセスの記述モデルの提案ーEDCモデルー」情報処理学会グループウェア研究会1994(予定)

[8] 中山剛、黒須正明「エディタ評価法の検討」情報処理学会文書処理とヒューマンインタフェースシンポジウム p.35-41 1988

[9] 人間工学（1.3作業分析法)、工業デザイン全集第6巻、工業デザイン編集委員会編、日本出版サービス、1988.

図表III-2-18　KLM

T課題進行＝T課題獲得+T課題実行　（1）

T課題実行＝n_1Tk+n_2Tp+n_3Th+n_4Td+n_5Tm+n_6Tr　（2）

ここで
- Tk：打鍵（一般的には0.50）
- Tp：ポイント（1.10）
- Th：手の移動（0.40）
- Td：線分描画（0.90n+0.16l）
- Tm：精神的準備（1.35）
- Tr：システム応答

n_1、n_2、n_3、n_4、n_5、n_6：タスクによる回数
である。各Tの単位は秒。

適用例：プルダウンメニューから候補を選択

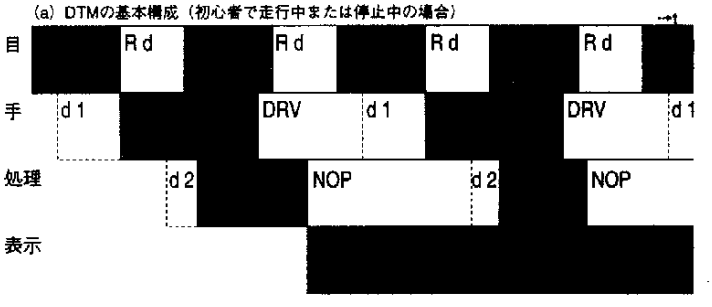
手順

1．マウスに手を伸ばす	H
2．マウスをメニューバーに移動	P
3．マウスボタンを押す	K
4．メニュー候補を確認	M
5．マウスを候補に移動	P
6．マウスボタンを離す	K

時間

T実行時間＝Th+2Tp+2Tk+Tm
＝4.35（秒）

図表III-2-19　DTM



注記：□は運転関連、■は移動関連、■はナビ関連の操作
NOPは該当処理なし、DRVは運転操作

(b) 単位動作とその所要時間（単位：秒）

動作種別			記号	所要時間	備考
手の動作	手の移動	往	Hn	0.019d	dは距離：cm
		復	Hd	0.016d	同上
	画面操作		O	0.6	
目の動作	視線移動		E	0.3	
	注視	画面	Rn	0.5	走行中、停止中
				1.1	駐車中
		前方	Rd	0.8	走行中、停止中
				不要	駐車中
処理（システム応答）			S	0.1～数分	処理により異なる
表示			D	任意	次の処理まで
時間差	RnとHn		d1	0.6	
	OとS		d2	0.8	Oの真中で操作が完了

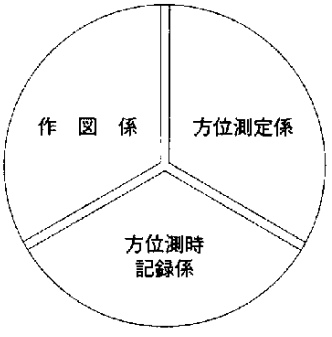
(2)　協同作業の認知モデル

コンピュータによる協同作業の支援を目的としたシステムの工学的研究は盛んに行われている［1］。しかしながら、協同作業における問題解決のメカニズムを分析した認知科学的研究は限られており、協同作業における認知モデルの提案も多くはない。そのなかで、三宅［2］とHutchins［4］の研究は、協同作業における作業者の問題解決過程を分析した数少ない研究である［5］。これらの研究では、協同作業における作業者の認知過程や、協同作業での道具の役割が、これまで考えられてきたものと違っているらしいことが示されている。よりよい協同作業支援システムとそのヒューマンインタフェースのためには、このような新しい知見が明らかにされなければならないだろう。

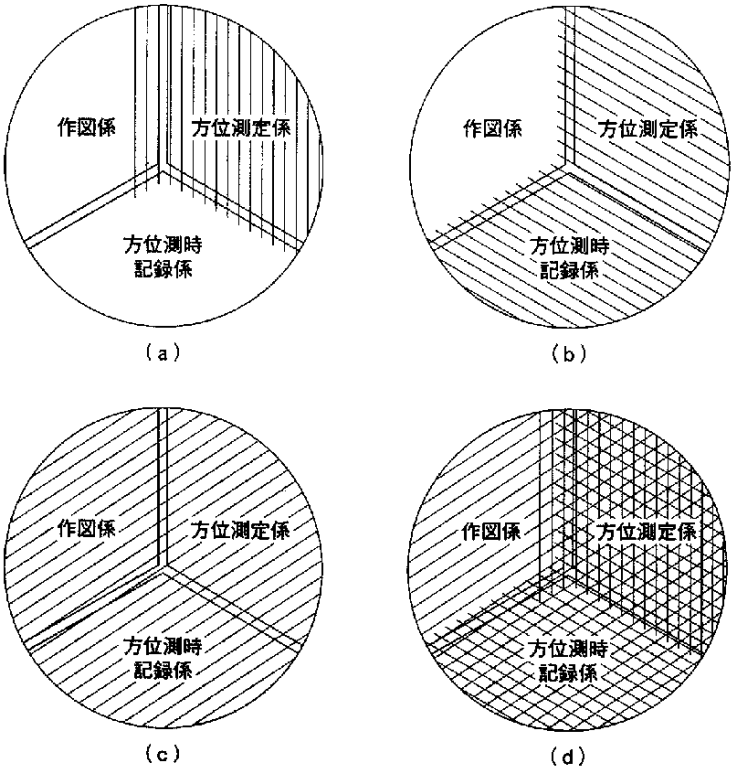
三宅の研究における協同問題解決の課題は、複雑なシステムとしてミシンを例にとって、そのメカニズムの理解を二人の被験者が共同で試みるというものである。その研究で三宅は、二人が場を共有して同じ問題を解こうとしていても、一人一人が解決しようとしている課題は個別であるということを明らかにしている。そして、二人が協同で問題解決することの意義は次のようであるとしている。一人だけで問題解決しようとすると、あるレベルの解が出たとき、その解の正当性を確認することができないし、そこで満足してしまい次のレベルに移動することができなくなることがある。課題解決の過程で部分的に「わかった」と感じることは、その先に当然あるまだ解決されていない部分を見えにくくする。そこで、場は共有していても視点は共有していない他人が存在し、一人の解決がもう一人の課題の解決につながらないことを指摘することが、当の本人の解決へのより深い吟味を要求するであろうとしている。協同による問題解決の利点は、二人が視点を共有するところから生まれるのではなく、むしろ完全には共有しないところから生み出される可能性が強いと指摘している。これまで、協同作業では作業者の知識が補完することで協同効果が生み出されていると考えられていたが、この研究では、これと違ったところに協同作業の意義があると考察している。

またHutchins［4］は、大きな船舶の操縦の世界での共同作業を分析している。彼はテクノロジー装置は、認知能力の増幅器や代用物としてより、むしろ表現の媒体であることを示している。航行作業における方向や距離などの主要な計算は、表現媒体のうえに情報を表現することで達成される。さらに、例えば水先案内の仕事にお

図表III-2-20　水先案内人の仕事



図表III-2-21　専門知識の重複



いて、作図係・方位測定係・方位測時記録係などの共同作業者の間には名目上の仕事分担があって、情報が時間どおりに伝播していくようになっている（図表Ⅲ-2-20)。しかしながら、実際には、決められた仕事分担に違反することで機能停止を防ぐことが頻繁に必要となる。仕事分担をうまくやりくりすることで、ここのチームメンバーの失敗に対してもシステムが安定に反応できるようになる。そのためには専門知識の重複、つまりある程度の機能の冗長性が必要になってくる（図表Ⅲ-2-21)。そしてこの冗長性は、システムが自分自身を維持していく過程で生み出されていく。チームメンバーはキャリアの過程においてさまざまな役割を経験しながら知識を吸収する。このことが、お互いの専門知識を埋め合わせると同時に、必要な機能の重複を維持するようになっているのである。さらに、ここで使われる道具の多くは、使用しているところが他のメンバーに細部まで観察できることが必要であり、Hutchinsはこれをオープンな道具と呼んでいる。この研究では共同作業者間の知識は完全に補完するものでなく、オーバーラップすることが必要であるとしている。そしてこのオーバーラップにより、オープンな道具を通してメンバー間の相互作用を可能にしている。オープンな道具の役割をさらに考察することが、コンピュータによる協同作業支援の重要なヒントであるとしている。

機械と人との相互作用における認知過程はNorman等が研究し認知モデルもいくつか提案されている [6]。しかしながら、それらの研究も、直接操作や、メタファ利用等のすぐれたヒューマンインタフェースが先にあり、それらに基づき後から認知モデルが作られたという部分もあるようである。協同作業支援においても、システム作りが先行しているが、これらの認知モデルも確立されていくことが期待される。

<参考文献>

[1] Proceedings of the conference on computer supported cooperative work, Austin, Texas, Microelectronics & Computer Technology Corporation (1986).

[2] N.Miyake, Constracutive interaction and the iterative process of understanding, Cognitive Science, 10, p.151-177 (1986)

[3] 三宅なほみ、理解におけるインターラクションとは何か、佐伯月半編、『理解とは何か』認知科学選書4、69-98、東京大学出版会、1985.

[4] E.Hutchins, The technology of team navigation, in J.Galegher, R.E.Kraut, and C.Egido, Intellectual teamwork (Lawrence Erlbaum, Hillsdale, New Jerey, 1990) [日本語訳、宮田義郎訳、チーム航海のテクノロジー、安西祐一郎ほか編、『認知科学ハンドブック』共立出版、1992年]

[5] 三宅なほみ、かかわり合いの統一理論を目指して、安西祐一郎ほか編、『認知科学ハンドブック』第1編相互作用、p.11、共立出版、1992.

[6] D.A.Norman, The psychology of everyday things (Basic Books, New York 1988)

(3) メタファ、メタウェア、マルチエージェントモデル

人が新しいことを学ぶとき、全くゼロから始めるのではなく、すでに知識として持っていることからの類推で学ぶことが多い [1]。例えば、あるメッセージをコンピュータを用いて自分の希望する相手に伝えるという機能（電子メール）を人に説明するのに、その機能だけを説明しても、なかなか理解されない。その場合に、郵便のようなシステムであると説明し、相違点だけを付け加えれば、理解されやすい。そのためデスクトップメタファに代表されるように、メタファ（修辞学の用語としては厳密には「隠喩」のことであるが、ヒューマンインタフェースの分野では、「たとえ」という程度の意味で用いられることが多い）を用いたシステムが使われるようになってきた。デスクトップメタファは、（書類、書類入れ、文房具などが置かれている）実際の机の上の世界をメタファとして、コンピュータ上に実現されている機能を表現したものである。

ところで、メタファは、「たとえ」であり、「たとえられるもの」と「たとえるもの」とは全く同一ではない。そのため、「たとえられるもの」と「たとえるもの」との間にミスマッチが生じる。このミスマッチ（「たとえられるもの」と「たとえるもの」の間の相違）の程度が小さければ、メタファの利用者は「たとえられるもの」を理解し、かつ「たとえるもの」との相違も理解することができる。しかし、ミスマッチが大き過ぎると、利用者には全く理解されない。

このミスマッチの度合いは、メタファを用いたシステムの個々のユーザの違いやユーザが置かれている状況あるいはシステムの状況によって異なってくる。例えば郵便についてよく知らない人に、郵便をメタファとして電子メールを説明しても理解されない。したがって、コン

ピュータ上の機能とそのたとえ方は、一対一に対応させるのではなく、さまざまな状況に応じて柔軟に対応づけられるようにしておく必要がある。

FRIEND21プロジェクトでは、この柔軟な対応づけを実現するためのモデルとしてメタウェアというモデルを提案している［2］。メタウェアでは、記号論における記号（表現）と対象（内容）および、その二つを結ぶ解釈項というパースの三角形に基づいて認知モデルを構成している。ここで、「記号」とは、ユーザに「対象」を説明するための「たとえるもの」であり、アイコンであったり、デスクトップであったり、あるいはもっと上位概念であったりする。「対象」とは、コンピュータ上に実現された機能であり、「たとえられるもの」である。「解釈項」は「記号」と「対象」との対応づけの根拠を示すものであり、「記号」と「対象」とが一対一に対応づけられている場合には、特に明記する必要はないが、メタウェアのように「記号」と「対象」との柔軟な対応付けを目的とする場合には、「解釈項」が重要な役割を担うことになる。このメタウェアの認知モデルに基づいて、マルチエージェントシステムにより、「記号」と「対象」とを柔軟に対応づけるための動作モデルがエージェンシー・モデルである。

<参考文献>

［1］　John M.Carroll,Robert L.Mack&Wendy A.Kellogg：Interface Metaphors and User Interface Design,Handbook of Human-Computer Interaction edited by M.Helander,Elsevier Science Publishers B.V.,pp.68-85（1988）

［2］　第4回FRIEND21成果発表会予稿集（1992）

(4)　ニューラルネットワークによる知的インタフェース

ニューラルネットワークは、次のような特徴からヒューマンインタフェースへの適用が期待されている。第1に学習能力により特定ユーザに適応したカスタムインタフェースが可能である。第2に学習した状況以外への汎化能力がある。第3にユーザやタスクの変動などに対する適応性がある。第4に多少の矛盾や誤りを許容できる。第5に断片的情報からユーザの意図を推測できる。第6に頻度情報を扱うのに適している。以下にいくつかの適用例を紹介する。

石川のタイプミス訂正モデルはUNIXコマンドのタイプミス訂正を目的とするものであり、候補からの距離情報だけでなく個人の誤り頻度をも反映した訂正に特徴がある［1］。同じく石川のマクロコマンド候補生成モデルは、コマンド系列の規則性を抽出し、頻繁に出現する部分系列をマクロコマンド候補としてユーザに提案する［1］。M.Blattnerらのコマンド名と引数の連想モデル［2］は、UNIXコマンド、データ構造システム、ニューラルネットワークの3種類のヒストリー機能を比較した。ニューラルネットワークはタイプミスにも対処でき、また想起時に関連コマンドも得られるなどの利点がある。

D.Staceyらは、ユーザおよびタスク同定のためのニューラルネットワークモデルを提案した［3］。3層ネットワークにおいて、長さ13の操作系列を入力とし、1個の操作は、現在のシステム状態（59種類）、ユーザのアクション（64種類）、現在の状態の継続時間（3種類）の合計126個の2値ユニットからなる。出力層はユーザ同定のために6ユニット、タスク同定のために23ユニットある。最も良い条件の場合、テストデータに対して70％程度の正答率が得られている。

データベースの検索では分類および質問の不正確さが問題である。D.Eichmannら［4］のソフトウェア再利用のためのニューラルネットワーク検索は、誤りや不十分な質問からの連想的検索、質問項目への適応による分類などを行う。ここではオンライン的学習が可能であること、教師なし学習ができること、厳密な照合でなくベストマッチが可能なことなどからS.Grossbergの自己組織化手法ART（adaptive resonance theory）を用いる。これにより概念間の類似性が学習できる。

L.Villegasら［5］の文書編集タスクのためのニューラルネットワークは、文書編集時のキーストロークとキーストローク間隔が記録される。12人の被験者にそれぞれ3個の文書作成させ、このうち12個を訓練用に、24個をテスト用に用いる。GOMSモデルに従い、入力層には39個のオペレータ（単語入力、1行削除、ポーズなど）を5時点分用いる。出力層には6個のタスク（句読点付け、読み返し、修正など）を用いる。隠れ層に5個のユニットを用いた3層ネットワークで学習を行った結果、学習データに対しては98.95％の正答率、テストデータに対しては91～100％の正答率を示した。長すぎて5時点に収まらない入力系列、短すぎて2個の出力が対応する入力系列、不馴れなオペレータの場合などに誤りが多かった。このアプローチはCAI、適応的インタフェースなど多様な応用例が考えられる。

上記のようにニューラルネットワークはユーザの意図を推定するといった局面にある程度の有効性を示してい

るが、次のような限界もある。第1に、曖昧さが存在せず記号情報のみで表現できる場合には、通常の記号処理のほうが効率的である。このように記号情報とパターン情報には利害得失があるので、両者を統合するアプローチが望まれている［6］［7］。第2に、大規模な場合、ニューラルネットワークでは学習時間の増大と極小値問題が深刻になる。これを解決する方法がモジュール構造ネットワークである［8］。これらの方向への新たな展開がニューラルネットワークのヒューマンインタフェースへの効果的な適用に必要である。

<参考文献>

[1] 石川眞澄：コネクショニストアプローチによるインタフェースのユーザモデル、人工知能学会誌、4巻4号、pp398-410(1988).

[2] J.Y.Uejio, M.M.Blattner, E.E.Schultz, and Masumi Ishikawa: A structured history for command recall, Proceedings of the 24th Hawaii International Conference on System Science , pp494-507(1991).

[3] D.Stacy et al. : Artificial neural network for analysing user interaction, in R. Beales & J.Finlay Eds., Neural Networks and Pattern Recognition in Human-Computer Interaction, Ellis Horwood (1992).

[4] D.Eichmann & K.Srinvas : Neural network-based retrieval from software reuse repositories, op. cit. (1992).

[5] L.Villegas & R.Eberts : Implementing a neural network for a cognitive text-editing task. op. cit. (1992).

[6] J.A.Barnden and J.B.Pollack : Advances in connectionist and neural computation theory, vol.1,Ablex (1991).

[7] AI白書1993、第Ⅲ編第2部ハイライト技術ーニューラルネットワークとAIの統合ー、日本情報処理開発協会（1993）.

[8] 石川眞澄：モジュール構造ニューラルネットワークの学習、人工知能学会誌、7巻2号、pp329-335(1993).

3.1.1.3 知的インタフェースのためのAI技術／理論／モデル

そもそも、AI技術と知的インタフェースの進歩は、密接に関連し、また相互に貢献してきた。AI技術がユーザとコンピュータとのコミュニケーションを進歩させる技術を発展させ、またAIでの難解な課題を解くため、AI研究者自らが知的インタフェースのユーザであった［1］。

そのような例として、自然言語理解、音声理解／合成、一連のパターン認識を挙げることができ、代表的な研究としてSHRDLU、HEARSAY等が知られている。今やAI技術は、知的インタフェースの構成部品として、あらゆるところで使われている。

しかし、図表Ⅲ-2-22に示すように、現在の知的インタフェースでは実現が難しく、知的な人間のコミュニケーションパートナーなら容易にできる能力［1］が多々あることが知られている。

これらの能力（機能）は、例えば知的CAI（Intelligent Computer Aided Instruction）で追及されている研究課題でもある。知的CAIの場合、教えるべき課題を事前に選定し、生徒の知っておくべき知識やそのテストの方法を事前に決定することができる。そのような場合、教授環境で起こりうる状況の多くをあらかじめ予想できるため、上記の機能を実現したかのようにシステムを振舞わせることも可能である［2］。しかし、教材がドリルの問

図表Ⅲ-2-22　知的な人間のコミュニケーションパートナーが持つ能力

- 不正確で不完全な多くの種類の情報に対して、受け入れたり補償したりできる。
- 会話のパートナーが、何時、何を誤解したかを了解し、その原因となった誤概念をなおすための説明を提供できる。
- 文章や質問における基本的な目標を、述べられた文章や質問と競合する場合ですら、推測できる。
- 会話の焦点の変化に追従できる。
- パートナーの興味や知識、理解の推定を更新し、その維持をできる。
- 現在の推定を考慮にいれた返答を構成できる。

題を離れた途端に、状況は極端に難しくなる。現在の知識ベースを主体としたAIアプローチの場合、問題がオープンになると無力になる。

知的インタフェースの担うべきタスクは、事前に課題を設定できないオープンな場合が多いと考える必要がある。今、知的インタフェースのためのAI技術／理論／モデルとして求められているのは、事前に課題を設定できないオープンな問題や状況を取り扱えるAI技術である。

そのような課題に挑むAI技術／研究として、常識推論、非単調論理、状況理論、状況推論、最近では即応システム等がある。本節では、状況推論を中心に紹介する。

(1)　状況推論［3］

従来のAIでは、外界に対して閉ざされた知能系を考えることが多かった。"閉ざされた"とは、外界がコンピュータの中ですべて記述されているものとし、その表現の上だけで推論を行うという意味で、例えば推論のためのデータ収集などを行わない。しかし、人間の知能がそうであるように、知的な振舞いというのは外部の状況の助けなしには存在し得ないという見方が出始めている。最近では、さまざまな意味と手段により外部の状況を参照しながら推論を行うことが考えられている。その一つが状況理論をもとにした状況推論の考え方である。以下に、状況推論の考え方を示すとともに、その二つの要素「状況内推論」と「状況に関する推論」について述べる。

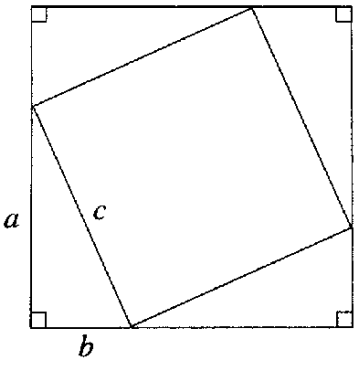
状況理論の特徴の一つは、表現や式の持つ意味がそれ単独では定まらず、外部の状況を参照してはじめて決まるという点にある。同じ内部表現でも外部の状況が異なればその意味が変化する。このように状況に依存する表現や、それを用いての推論を、状況の内部にいて、それに依存する推論という意味で「状況内推論」と呼ぶ。これは、例えば囲碁を打つ場合に、盤面の内部表現を持たなくても盤面を参照しながら手を考えられるようなものである。一部を内部表現に持ち、他を外部情報に頼ることになる。

①　状況内推論

BarwiseとEtchemendy［4］はこの考え方に基づき、状況の画面表示（視覚的具体情報）と論理式（言語的抽象情報）を同時に扱う推論を提唱し、知的CAI等に利用できることを示している。例えば、図表III-2-23に示すように、直角三角形の斜辺の長さの二乗が他の二辺の各々の二乗の和に等しいというピタゴラスの定理を証明する際に、画面表示を同時に見せることにより問題解決が容易になることはよく経験することである。このような視覚的情報を用いた状況推論は、人間が日常的に行っていることが知られている。

このような状況内推論をコンピュータ上に実現することを目指し、状況の表現等に関する研究［3、5］が現在

図表III-2-23　ピタゴラスの定理を証明するための図



上図において$ABCD$は一辺$a+b$の正方形であるからその面積は$(a+b)^2$になる。一方、同じ図を「観察する」ことによりその面積はc^2+4x（ただしxは元の三角形の面積、つまり$ab/2$である）に等しいことがわかる。従い$(a+b)^2=c^2+2ab$がわかり、これから$a^2+b^2=c^2$が導ける。この過程で同じ面積を表す二つの式が等しいという情報は図（状況）の側にしかなく、式による表現は存在しなかった点に注目されたい。彼らの分析によると、図による表現では情報の"*and*"が容易に表現できるが"*or*"の表現は困難である。別の言い方をすると、図示するためには本質的であろうがなかろうがすべてのことが決っていなければならない。例えば"三角形"の図はその角度、辺の長さ全部を決めねば書けない。従って抽象的な三角形は図示できない。論理式では逆に"*or*"の表現が容易で、ある記述に適合する具体例は複数存在することが可能である。この性質の差をうまく利用することにより推論が効率良く行えるのである。

行われている。そこでは、多重世界機構等の情報表現と処理機構を考えることにより、あらかじめすべてを表現しておく必要はなく、必要となったときに状況を参照してもよい等の状況内推論の特徴の実現を目指している。

状況内推論を実現した言語システムProsit［5］では、以上に述べた意味においてあらかじめすべての情報を内部に表現する必要はない。また、この状況への参照はゴールが与えられた時にはじめて起動される等の特徴を持つ。ゴールの解決に必要な情報だけが参照されるわけである。

② 状況に関する推論

状況推論は、推論に用いる規則自身が状況に依存するような推論を扱う必要がある。つまり、どのような状況で推論するかを自分でコントロールできなければならない。この機能を、「状況内推論」に対し、「状況に関する推論」［5、6］と呼ぶ。

状況に関する推論の例として、日常的な会話の中で「右」「左」を使う状況を考えて見よう。対話で使われる「右左」が、発話者の左右である場合、聞き手の左右である場合、さらには彼らが注目している場や物の（左右という座標があるとして）左右である場合の、以上3通りの場合が考えられる。われわれがスムースに会話できるのは、このような「状況に関する推論」をうまく行い、どのような状況で推論するかを自分でコントロールしているためである。

このような状況に関する推論の考え方は、知的インタフェースに不可欠な対話技術において重要であろう。ある状況に同調している場合には、さまざまな推論を省略することが可能になるが、別の状況では別の推論法が必要となる。状況の変化に伴いこれを切り替える必要がある。

③ 常識推論との比較

これまでに提唱されている常識推論の枠組みでは規則間の優先度は考えられておらず、二つ以上の候補は論理的には対等なものとして扱われてきた。このため、人間なら当然一方を選ぶような場面でもその選択ができないという欠点が指摘されている。

それに対しここで述べた状況推論の枠組みでは推論方法の指定が、推論から起動できる点において従来の枠組みにない記述力を備えている。

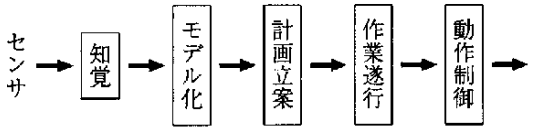
(2) 即応システムとニューラルネットワーク

以上では、推論や対話を一種の論理の拡張により柔軟に行わせる研究について紹介した。しかし、外界や状況を取り扱う論理システムとは異なった研究の流れがある。本節では、即応システムとニューラルネットワークについて紹介する。

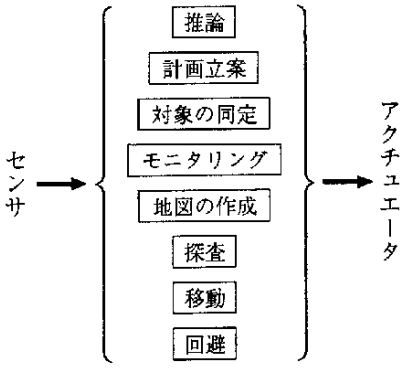
MITのBrooks等［7］は、図表Ⅲ-2-25のような「即応（Reactive）システム」あるいは「包摂（Subsumption）アーキテクチャ」と呼ばれる、従来とは異なった考え方に基づくシステムを提唱した。

Brooksの研究は、ロボットの研究を通して得られたもので、行動に基づく知能のアプローチである。図表Ⅲ-2-24のような、タスクの分割を行い、その一つが欠けると全体が動かないような階層システムでなく、図表Ⅲ-2-25の垂直に分割された各モジュールが環境と相互作用し、場合によれば視覚センサの障害の検出と回避動作の結合だけでも、十分知的な動作が可能であるとしている。ここでは、従来のような論理記述に基づく環境モデルを用いず、物理世界に根ざした表象や推論を行っている（この流れを汲んだ研究とし

図表Ⅲ-2-24　階層システム



図表Ⅲ-2-25　即応システム



即応システムは、包摂アーキテクチャとも呼ばれ、上位階層が直接の下位階層の入力だけを受ける図表Ⅲ-2-24のような階層性を持つのでなく、すべての下位階層の入力を受けるようになっている。上位階層がこのように付加されていくことにより、頑強な（ロバスト）システムが構築できる。

て、4.2.5節を参照)。

このような考え方を知的インタフェースの対話制御に用いる研究も行われている [8]。つまり、自然言語による対話のような状況を考えると、話し相手の行為は種々さまざまで、事前の予測が非常に困難である。したがって、相手の行為に柔軟に反応して自然な対話を行うためには、従来のようなプランニングを主体とする基本動作メカニズムで対応するのが困難である。このような観点から、対話の過程で生じる各状況にダイナミックに反応して動作するような即応システムの構成も研究されている。

最後に、オープンな世界を取り扱うAI技術のための、適応システムを構築する要素として、ニューラルネット情報処理技術が注目されている [9] ことを述べておく。

<参考文献>

[1] 仁木和久、人間ーコンピュータの相互作用、人工知能大辞典；丸善、1991.

[2] 仁木和久、知的CAIマシン、知的コンピュータシステム辞典、産業調査会出版、1990.

[3] 中島秀之、協調アーキテクチャ関連研究の現状、電子技術総合研究所調査報告221号、1991.

[4] Barwise, J. and Etchemendy, J. 、Information, Infons, and Its Applecations, University in Situation Theory and Its Applications, University of Chicago Press, 1990..

[5] Nakasima, H., Halvorsen, P, and Peters, S., Towards a computational interpretation of situation theory, In proc, of FGCS 88, 1988.

[6] Nakasima,H.and Tutiya,S.,Inference in a situation about situations,in Situation Theory and Its Applications II,University of Chicago Press,1991.

[7] R.A.Brooks, Intelligence without representation , Artificial Intelligence,Vol.47,pp.139-159,1991.

[8] 大澤一郎、自律エージェントのための行為の定式化、マルチエージェントと協調計算11、近代科学社、1993.

[9] ニューラルネットワークとAIの統合、AI白書1993、(財) 日本情報処理開発協会、1993.

3.1.1.4 協同作業のモデル／理論

(1) 協同作業のモデル

CSCWというのは、Computer Supported Cooperative Workの頭文字をとったもので、人間の協同作業をコンピュータを用いて支援する研究活動全般を指す。ここでの基本的な考え方は、「パーソナルコンピューティングからインターパーソナルコンピューティングに焦点をシフトさせ、将来のコンピュータ利用法を考えていこう」という点にあり、"PC(Personal Computer)" や "OA (Office Automation)" を超える新しい概念としてCSCWをとらえようとしている。このような動きの背景としては、「社会や組織における人間の活動のほとんどの部分は協同作業であるのに、コンピュータが協同作業を支援することはほとんどなかった」ことがあり、このことに多くの人が気がつき、その理由や支援形態のあり方について議論し始めたところからCSCWがスタートした。

CSCWの研究の最大の特徴は、その学際的な色彩にある。つまり、コンピュータや通信を専門とする技術畑の人たちから、認知科学、社会学、人類学の研究者まで非常に幅広い人々が研究に参加しており、これらの研究者がお互いに議論しながら研究を進めている。これは、CSCWそのものが「コンピュータによる支援 (CS)」と「協同作業 (CW)」という異なった概念から構成されていることに起因していると考えられる。そのため、CSに重点をおく工学系の研究者は、協同作業支援に有効な新しいツールの開発を目指しているのに対し、CWに重点をおく社会科学系の研究者は、協同作業そのものの分析や性質の解明、コンピュータの果たすべき社会的役割などに関心を持って研究を進めている。

そこで、このようなCSCW研究のベースとなる協同作業のモデル化の代表的な例を以下に紹介する。

① 会話モデル

言語行為理論 (Speech Act Theory) では、言語をある文脈の中での社会的行為として解釈するもので、Winograd らはこの言語行為理論を会話理論 (Conversation Theory) に発展させた [1] [2]。この理論は、図表III-2-26のような会話の可能性の状態遷移図として表現される。図中円は会話の状態を、アークは参加者AまたはBが取り得る言語行為を表わしている。具体的な言語行為としては、Request, Accept, Promise, Declare, Reject, Counterofferなどを要素としてモデルが組み立てられている。この状態遷移図は普遍的な会話構造を表わしており、話題、表現言語、意図、プランに無関係に一般的に可能な言語行為を示している点が重要である。The Coordinatorは、この会話モデルに基づいて設計された電子メールベースのグループウェアである。

② 議論モデル

議論のダイナミズムをモデル化したものにIBIS

(Issue Based Information System) モデルとよばれるものがある [3]。これは「複雑なシステムの設計プロセスは、関係者の会議論による」という立場からグループによるソフトウェア設計の上流工程の議論を支援するツールに利用されている。IBISモデルでは、図表Ⅲ-2-27に示すように設計問題に対する論点(Issue)に焦点を当てる。各論点(Issue)は、複数の立場(Position)を持つことができる。そして、各立場(Position)に対して、それを支持する論拠(Argument)とそれに反対する論拠(Argument)が存在し得る。これらの論点(Issue),立場(Position),論拠(Argument)に関するリンクの関係としては、一般化／特殊化、質問／提案、賛成／反対などがあり、このようなモデルをもとに議論のダイナミズムをとらえている。このIBISモデルでは、例えば、「Xをどうやればよいか？」という論点(Issue)に対して、「Aすべきである」という立場(Position)と「Bすべきである」という立場(Position)が存在し、Cさんは「Aの方が簡単だからAに賛成」、Dさんは「Bの方が安くできるからBに賛成」という論拠(Argument)を持つという形で表現される。

このモデルをベースに、ソフトウェアの設計の上流域における討論をハイパーテキストの形で構造化したのが、Conklinらにより開発されたgIBISツールである。MCCでは、このシステムを1年間実際に使用し評価実験を行い、IBISモデルの構造がソフトウェアの設計工程を表現するのにかなり有効であると主張している。

③　オフィスプロシージャモデル

オフィス内の作業や業務の流れ（ワークフロー）を、モデル化し、そのモデルに基づいてシステムが各担当者にアドバイスを与えるワークフロー管理システムが考えられている。その場合、伝票処理など作業が比較的定型化している業務では、基本的処理手順が決まっていてモデル化が容易であるが、複雑な意思決定になると組織の伝統や風土とも関連するためモデル化は困難となる。普通、ワークフローは、「グループ作業の手順」「関連する作業者」「関連するデータ」よりモデルが作られ、「次に行うべき処理は何か？」「納期はいつか？」「仕事に必要なデータはなにか？」「トラブルに対してどう対処するか？」などがモデルより求められることが要求される。

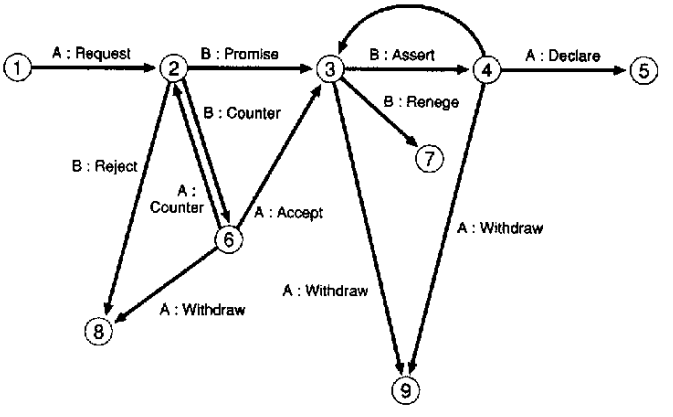
具体的なオフィスモデルとしては、種々のものが提案されており、オフィスワークそのものを扱ったものから、ソフトウェア開発保守作業を扱ったものまで多くのものが存在する [4] [5]。ただし、現実にはオフィスワークは必ずしもフォーマルな定型プロセスだけで動いていくわけでなく、インフォーマルな部分も重要である。このあたりが柔軟に取り込めるモデルの開発が今後重要になってくるものと思われる。

以上協同作業の代表的なモデル化例を紹介したが、グループウェアの機能はここで述べた作業モデルの質に依存する部分が大きく、今後ますますモデルの重要度が増すものと思われる。

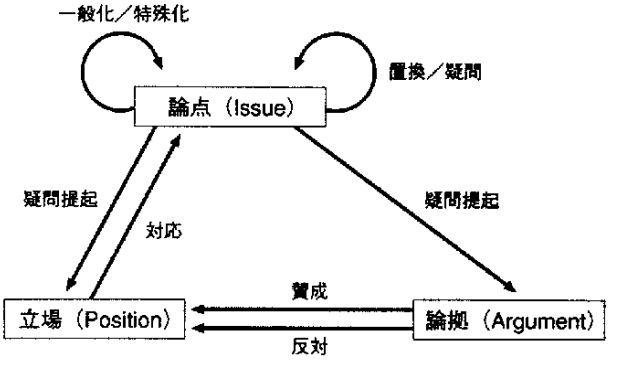
(2)　発想支援のモデル

協同作業は、作業者間の豊かな発想の交換によって大きな成果が得られる。このことから、CSCWの分野の中でも、発想のコンピュータ支援に注目が集まりだしている。また、人工知能技術の応用分野としても、発想支援

図表Ⅲ-2-26　会話理論に基づいたモデル[1]



図表Ⅲ-2-27　IBISモデル



が注目を集めるようになってきた。国藤は、創造活動をコンピュータで支援するには創造的環境と思考支援システムが必要であり、思考支援には発散的思考、収束的思考アイデアの結晶化、評価・検証の四つのプロセスの支援が必要であると考えている [6]。

発散的思考は、そもそも問題は何なのかを明らかにする問題提起と、提起された問題に関連する情報を収集し、分析する現状把握から成る。

収束的思考は、問題提起や現状把握を通じて得られた関連情報の中から、その奥に隠された本質を追求することである。問題の本質はこの段階では一義的ではない。問題のとらえ方によって、いく通りかの本質を見つけることが可能である。

これに続くアイデア結晶化では、とらえられたいく通りかの問題の本質を評価し、問題解決に最も有効な方法を採用する。ここでは、採用するための基準を顕在化する必要がある。

最後の評価・検証では、採用された問題解決法を具体的に実現し、現実世界で実践することによって、最終的な評価を行う。

ここで、創造活動を支援するには、思考支援システムの他に創造的環境が必要なことを忘れてはならない。創造的環境として最も重要なのは、人的環境である。創造性あふれる人達との交流を通じて創造活動が著しく進む。発想と協調は不可分の関係にある。

思考支援の四つのプロセスのうち、最後の評価・検証はオペレーションリサーチ等の分野で研究が進んでいて、最も実績のある部分である。これに対して、その前のアイデア結晶化は、正体のわからない人間の直感を最も必要とする部分であり、コンピュータ支援が難しい。これに対して、発散的思考と収束的思考の部分は、現在研究がホットに進行中の分野である。

創造活動を人間が行う場合、関連する情報を関係づけながら、新たな情報を生み出していくことが、その本質部分を占めている。そこで問題となるのは、情報をどのような形式で表現し、どのような形態で創造活動を行う人間に提示するかということである。文字と図形の融合した図式は、情報の簡潔な表現形式として、創造的な協調活動に大変有効である。

情報の表現形式として最も汎用性があるのは文字を用いた文章である。伝統的に、文章を書くことによって、知識人は創造活動を行ってきた。この活動を支援するワープロは、発想支援ツールとして、極めて汎用性の高いものであり、この出現によって、創造活動としての文書作成の方法は一変したと言ってよい。

しかし、発想をうながす情報の表現形態として、図形も大きな役割を果たす。図形は、情報を文字のように正確に概念規定はできないが、意味の把握が容易である。また、大量の図形情報の中から、必要な情報を見つけ出すといったことも、人間は比較的容易に行うことができる。同じことを文字表現で行う場合には、文章を端から読んでいかないと、見つけ出すことができない。いわば、文章表現は順次アクセスであるのに対し図形表現はランダム・アクセスが可能であると言ってもよい。

ここで、文章表現が機械可読であれば、キーワード検索によって簡単にアクセスが可能となる。しかし、これはキーワードを思いついたときにだけ可能であり、何を探しているのか意識できないような、いわゆるブラウジングを行っているときには、図形表現の方がはるかに発見が容易である。

ところで、文字表現と図形表現の中間形態として、図式表現も考えることができる。例えば、罫線を用いることにより、文字を枠組と組み合わせることが可能となり、表という分かり易い表現形式が得られることになる。論理的には罫線がなくても情報を伝えることができるが、分かり易さが罫線の存在によって格段に向上する。

罫線と並ぶもう一つの図式表現がカードである。カードという枠組は、表と違って自由に動かすことができる。発想法として日本で広く用いられているKJ法 [7] では、情報をカードで表現し、それを平面上に配置することが、創造活動の中心となる。これを空間配置と呼ぶことにしよう。カードの空間配置は発想過程のモデルとして極めて有効である。

空間配置で重要なのは、空間的な隣接関係が意味的な隣接関係を表現するように行うことである。一次元表現である文章では、隣接するのは前後の2箇所しかない。これに対して平面上では、前後左右ななめと、8枚のカードを周りに置くことができる。いわば、隣接関係の表現力が平面は文章の4倍あると言ってもよい。

表現力の少ない文章で複雑な関係を表現するには、文章の中に情報間の関係を表す情報を埋め込むか、または章・節・分節というような木構造を用いざるを得ない。これに対して空間表現の場合には、意味の隣接関係を直接表現することが可能となる。

＜参考文献＞

[1]　T. Winograd, "A Language Perspective on the Design

of Cooperative Work",CSCW'86, pp.203-220, 1986.

[2] T. Winograd and F. Flores, "Understanding Computers and Cognition",Addison Wesley 1986.

[3] J. Conklin and M.L. Begeman,"gIBIS:A Hypertext Tool for Exploratory Policy Discussion", CSCW'88, pp.140-152, 1988.

[4] C.A.Ellis and G.J.Nutt,"Office Information Systems and Computer Science" ACM Computing Survey, Vol.12, No.1. pp.27-60, 1980.

[5] T. Kreifelts et al,"Experience with the DOMINO Office Procedure Systems, ECSCW'91, pp.117-130, 1991.

[6] 國藤進「発想支援システムの研究開発動向とその課題」、人工知能学会誌第8巻第5号、pp. 552ー559、1993..

[7] 川喜田二郎「発想法」、「続・発想法」中公新書..

3.1.2 知的インタフェースのためのガイドライン

インタフェース設計のためのガイドラインを作ろうとする試みは数多く行われ、論文も数多く発表されている。また、インタフェースガイドラインと題された本も多数出版されている。しかしながら知的インタフェースのためとなると多くは見当たらない。次の3.1.2.1では、現在出版されているいくつかの代表的なガイドラインを紹介して知的インタフェースのガイドラインを得るための足がかりとしたい。さらに、続く3.1.2.2で、メタファに関する研究を紹介したい。メタファは知的インタフェースを構成する要素の一つとしてとらえられる。ここで紹介する研究は、メタファの分類を行った研究で、メタファのガイドラインにもなりうるものである。

3.1.2.1 インタフェースガイドライン

SmithとMoiserの"Guideline for Designing User-Interface Software" [1] はインタフェースガイドラインの中では古典といえるものである。もともとは軍事システムのためのガイドラインであるが、一般的なシステムについても通用するものである。データ入力、データ表示、操作手順、利用の手引き、データ保護に関して、計679項目の詳細な記述がある。"Open Look: Graphical User Interface Application Style Guideline" [6]、"OSF/Motif Style Guide" [8]、"Human Interface Guideline" [2] は、ワークステーションやパーソナルコンピュータ上の、グラフィカルインタフェースのガイドラインである。[6] はサン・マイクロシステムとAT&Tが共同で開発し、[8] はIBMが中心となって開発している。[2] は、マッキントッシュのソフトウェアを統一するために、ソフトウェア開発会社に提供しているガイドラインである。インタフェースフィロソフィから、設計原理、構成要素とそれらの詳細にいたるまで解説している。これらのガイドラインは、製品の設計に役立たせることを目的としているために具体的である。

Brownの"Human-Interface Designe Guidelines" [3] は、コンセプト、ディスプレイデザイン、用語法、色使い、グラフィックス、対話設計、データ入力、制御と表示のための装置、エラーメッセージとオンライン支援、ガイドラインの履行について説明している。またこれらのガイドラインを設計したその原理についても詳細に説明している。Brownはゼロックス社でシステム設計に携わっていたデザイナーである。Meyhewの"Principles and Guidelines in Software User Interface Designe" [7] は、比較的新しい本である。メニューや対話設計などのいくつかの項目について、原理とガイドラインを提供している。この本は文献リストも充実しており、現在出版されているガイドラインの全体を見渡すことができる。

これまで紹介してきたガイドラインは、コマンド言語やGUI（グラフィック・ユーザ・インタフェース）の直接操作による対話方式などの設計指針をカバーしている。しかしながら、マルチモード対話や自然言語を使ったインタフェースなど、知的と呼べそうなインタフェースについての指針を与えているものとなると多くはない。その中でShnaeidermanの"Designing the User Interface" [4] は、コマンド言語やGUIの直接操作による対話方式にとどまらず、音声利用などを含めた、広い意味での対話型システムの設計のための指針を与えている。この本で示されている「対話設計における八つの黄金律」は、対話型インタフェース設計の基本となるガイドラインである。またNormanの"The Psychology of Everyday Things" [5] は、ガイドラインを与えているものではないが、ユーザ中心のデザインのために必要な基本コンセプトについて、認知科学者の視点から解説している。メンタルモデルとデザインモデルなど、現在では、常識と思われる概念もこの本で提案している。知的インタフェースを考える意味でも重要な本である。

<参考文献>

[1] S. L. Smith & J. N. Moiser, Guideline for Designing User-Interface Software (The Mitre Corporation, Massachusetts 1984).

[2] Apple Computer, Inc., Human Interface Guidelines: The Apple Desktop Interface (Addison-Wesley Publishing, Co.Inc., 1987).

[3] C. M. Brown, Human-Computer Interface Design Guidelines (Ablex Publishing Corporation, New Jersey 1988).

[4] B. Shneiderman, Designing the User Interface (Addison-Wesley Publishing, Co. Inc., 1987).［日本語訳、東基衛、井関治監訳、ユーザーインタフェースの設計、日経BP社、1987年］

[5] D. A. Norman, The psychology of Everyday Thigs (Basic Book Inc., 1988).［日本語訳、野島久雄訳、誰のためのデザイン、新曜社、1990年］

[6] Sun Microsystems, Inc., Open Look: Graphical User Interface Application Style Guidelines (1990).

[7] D. J. Mayhew, Principles and Guidelines in Software User Interface Design (Printice-Hall, New Jersey 1992).

[8] Open Software Foundation, OFS/Motif Style Gude Release 1.1(Printice-Hall, New Jersey 1991).

3.1.2.2　メタファに関するガイドライン

コンピュータのユーザが、コンピュータを意識することなく自分の本来の仕事に専念できるようにするために、日常的な常識によりコンピュータの使い方を類推させる方法として、デスクトップメタファのように、メタファを用いてコンピュータ上に現実の世界を模倣するGUIが普及し、ヒューマンインタフェースにおけるメタファの重要性が認識されるようになってきた。

Hutchinsは、ユーザとマシンとの間のインタラクションの形態に関連した四つのメタファについて考察している［1］。四つのメタファとは、会話メタファ、宣言メタファ、モデル世界メタファ、協調操作メタファであり（図表III-2-28）、インタフェースの機能的な性質にとって、インタフェース言語の上での表現とその表現が参照していることとの間の参照関係が重要であることを論じている。そして問題は、どのメタファが良いかということではなく、メタファは、インタフェース設計および利用のあらゆる場面に存在し、重要な結果をもたらすこと、および人はいくつかの取りうるメタファのうちの一つに囚われていることを認識すべきであると述べている。

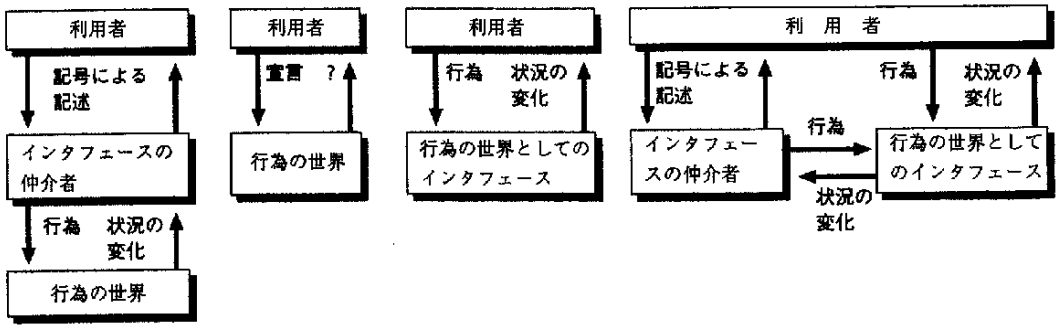
Carrollら［2］は、メタファに関する従来のアプローチを、メタファがどのように役立っているかを記述する操作的分析、メタファを構成しているのは何かを示す構造的分析、メタファがどのように作用するかを調べる実用的分析に分類している。そして、メタファを利用する場合にユーザがやりそうなメタファと現実との構造的な対応づけを考慮して、メタファを開発し分析する必要があり、メタファの外見のレベルだけでなく、仕事（人がやりたいこと）、方法（仕事を成し遂げる方法）のレベルでの対応づけが必要であると述べ、操作的、構造的、実用的分析を統合した統合的なメタファの理論が必要であるとし、メタファ利用の全体的なコンテクストとプロセスの重要性を強調している。

＜参考文献＞

[1] Edwin Hutchins：Metaphors for Interface Design, ICS Report 8703 (1986-04)

[2] John M. Carroll, Robert L. Mack & Wendy A. Kellogg：Interface Metaphors and User Interface Design, Handbook of Human-Computer Interaction edited by M. Helander, Elsevier Science Publishers B. V., pp.68-85 (1988)

図表III-2-28　インタラクション・メタファ



(a) 会話メタファ　(b) 宣言メタファ　(c) モデル世界メタファ　(d) 協同操作メタファ

3.2 知的インタフェースの要素技術

3.2.1 対話のためのハードウェア装置

対話のためのハードウェア装置は入力系と出力系（表示系）に大別されるが、前者としては図表Ⅲ-2-29に挙げられた装置が一般的なものである。最近ではこの他に、データグラブやデータスーツなどバーチャルリアリティ(VR)との関連で多様されているデバイスや、視線入力装置のように障害者用入力としても活用されているデバイスなどが加わっている。それぞれの装置の特徴と長所短所は表にまとめてある通りであるが、通常の用途の場合には、テキスト入力にはキーボードが、ポインティングにはマウスが用いられている。

図表Ⅲ2-29　入力装置の特性比較

装　置	用　途	長　所	短　所
キーボード	テキスト入力 コマンド入力 メニュー選択 カーソル制御	高速入力 多様な目的に適合	訓練が必要
機能キー	コマンド入力	入力が効率的	数に制限あり
カーソルキー	カーソル制御	簡単	長距離移動が大変
マウス	カーソル制御 メニュー選択 描画	習熟が容易 操作が効率的	微細で滑らかな制御困難 鍵盤との手の移動が発生
ペン	テキスト入力 コマンド入力 メニュー選択 カーソル制御 描画	習熟が容易 直接対象を指示可能	テキスト入力は低速
ジョイスティック	メニュー選択 カーソル制御	操作が効率的	微細で滑らかな制御困難 鍵盤との手の移動が発生
トラックボール	メニュー選択 カーソル制御	微細な制御可能	高速な操作が困難 鍵盤との手の移動が発生
タッチパネル	メニュー選択 カーソル制御	習熟が容易 直接対象を指示可能	テキスト入力には別手段
データグラブ	コマンド入力 カーソル制御	三次元的操作が容易	触覚的フィードバック無 用途が限定される
音声入力	テキスト入力 コマンド入力	習熟が容易（理想）	認識率の壁 用途が限定される
視線入力	コマンド入力 メニュー選択 カーソル制御	障害者等の特別なケースで有効	操作効率が低い 精度が低い

インタフェースの標準化という面では、キーボードについてはJISも制定されるなどある程度は進んでいるが、それでも周辺の機能キーの名称や配置などには及んでいない。またマウスについてはデファクト標準があるだけであり、ボタンの数やボタンへの意味づけについては各社まちまちの状況である。

最適な入力方式が何かについては議論が尽きず、例えばキーボードについては、左右の手に分割したものや「ハ」の字形に折り曲げたレイアウトのものなど、各種の案が提案されている。また文字の配列についても、英数配列では、大多数を占めるQWERTY配列とそれに対して入力の効率性を訴えるDVORAK配列との議論が有名である [3]。日本語の配列では、情報処理系のJIS鍵盤においても2種類があり、その他親指シフトなどさまざまな案が提案されている。確かに操作の効率という点では、標準的な方式よりも効率的な方式が存在するが、ほとんどの機器が標準的な方式を採用している現状では、利用者の便を考慮すると、そうした現状がやむを得ないとも考えられる。日本語の入力についても同様で、入力速度を重視すれば、現在一般化したかな漢字変換よりも2ストローク方式などのコード入力方式のほうが高速であるが、習熟性や一般性などを考慮すると、やはりかな漢字変換が優位といえる。ポインティングデバイスについては Card et. al [2] の実験により、マウスがカーソルキーやジョイスティック、テキストキーよりも優れていることが示され、それが契機とな

って爆発的に普及するようになった。しかし、近年は、デバイスの収納性などの観点も考慮して、小型のトラックボールが機器に一体の形で提供される事例も多くなっている。

出力系のデバイスとしてはCRTとLCDが代表的なものであるが、その他にもプラズマ表示やLEDなどが用いられる。またVRとの関係で、頭部搭載式のゴーグル型ディスプレイなどが、プレゼンテーションや監視作業との関係では、100～250インチ程度の大画面表示装置などが利用されている。さらに、監視作業においては複数のディスプレイを同時に観察するような状況も多い。

近年、表示性能は、色数や解像度、フリッカ、表示文字品質などの面で格段に向上してきた。今後は、目的に応じて、薄型化、大型化、色再現性などがさらに追及されることになるであろう。

CRTについては疲労や障害との関連が、人間工学や労働衛生の観点から深く研究されたが、それ以外の装置については、両眼立体視装置における船酔い現象も含めて、まだ研究の途上という状況である。

図表Ⅲ2-29に、こうした入力装置を比較してまとめた。各装置の用途としては、テキスト入力やコマンド入力といった文字入力関連のものと、カーソル制御やメニュー選択、描画などのポインティング関連のものがある。表に示すとおり、各装置は、操作効率や習熟性などの点で一長一短であり、目的に応じて選択する必要がある。

＜参考文献＞

[1] Brown, C.M.L. Human-Computer Interface Design Guidelines. Ablex Publishing Co. 1988.

[2] Card, S.K., English, W.K., and Burr, B.J. Evaluation of Mouse, Rate-controlled Isometric Joystick, Step Keys, and Text Keys for Text Selection of a CRT. Xerox Palo Alto Research Center, SSL-77-1 1977.

[3] Kroemer, K.H.E. Human Engineering the Keyboard. Human Factors 14(1) p.51-63 1972.

[4] Sherr, S. Input Devices. Academic Press 1988.

[5] Shneiderman, B. Designing the User Interface Addison-Wesley Publishing Co. 1987.

3.2.2　メディア技術

人間同士のさまざまな活動において、われわれは五感を駆使し、単に論理的な情報のみならず感性的な情報も交換することにより、多様なコミュニケーションを行っている。すなわち、人間の活動において、マルチメディア情報を扱うことは、何ら特別なことではなく、ごく普通のことであり、知的インタフェースを実現するための要素技術として、マルチメディア技術は重要である。

視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚の五感のうちでも、特に視聴覚は、人間がメッセージを伝えるための主要なチャネルであるため、古くから研究が進められ、画像生成（コンピュータグラフィックス）、画像理解、音声合成、音声認識などコンピュータの処理能力を利用して人間の能力に迫ろうとする分野に多くの研究成果が蓄積されてきている。一方、コンピュータの特性を生かした新しいメディアであるハイパーメディアやシンセティックメディア（インテリジェントパッド）、マルチメディア技術により仮想世界を構築するバーチャルリアリティ（VR）の研究も最近、盛んになってきた。

3.2.2.1　画像生成・画像理解

画像生成（コンピュータグラフィックス）は、モデリングとレンダリングという二つのプロセスに分けることができる。

モデリングとは3次元の形状データを作成することで、ポリゴンなどの基本的な形状を組み合わせることにより、建造物や動物など所望の形状を作成する。レンダリングとはモデリングにより作成された形状データに、質感や陰影を付け、現実感のある画像を生成することを意味する。

レンダリングの手法には、Zバッファ、スキャンライン、ラジオシティ、レイトレーシングなどがあるが、演算速度、画質などの用途に応じて使い分けられている。Zバッファは高速であるが、画質が悪いためプレビューなどに使われる。スキャンラインは比較的高速で画質もかなり良いが、質感の表現ではレイトレーシングに及ばない。ラジオシティは物体相互の拡散反射を一度計算すれば、視点の移動に対して再計算の必要がないため、CG専用マシンを使えば高速なレンダリングができる。レイトレーシングは画面の各画素ごとに光線の反射や屈折を計算するので、反射、透過、映り込みなどをリアルに表現できるが、その反面、膨大な計算時間を要する。

画像理解は、対象画像から種々の特徴や構造を抽出し、それを基に対象に関する記述を作り、この記述とあらかじめ作成してあるモデルとを照合することにより、対象画像が何であるかを判断するものである。記述として、画像そのものの特徴、画像の特徴を構造化したもの、三

次元記述などを用いるが、より抽象度の高い記述を用いるほど柔軟な照合が行える。しかし高レベルの記述を作るのは容易ではない。

具体的な手法としては、対象をどのようなレベルで記述し照合するかによって、種々の方法が研究されている。画像から線分や領域の特徴を抽出してモデルと照合する方法としては、弛緩法（Relaxation）やHough変換など対象物の位置や姿勢の変化を吸収する方法がよく用いられる。特徴構造レベルでの照合では、構造化された特徴として、線分で囲まれた領域や平行線などが利用されるが、これらの特徴は、対象物が変われば、それに適したものを見つける必要がある。三次元記述のレベルでは、画像から物体を構成する面などを抽出し、これを用いて三次元記述を行う。面を抽出するために両眼立体視やレンジファインダー等を使って直接距離情報を求める方法も使われている。

3.2.2.2　音声合成・音声認識

音声合成は、音声合成の元となる情報をどのような形で入力するかにより、いくつかの手法に分類することができる。

駅の構内放送など、いくつかの単語あるいは文節などの組合せにより目的とするメッセージが生成できるような場合には、録音再生方式が用いられている。録音再生方式は、単語や文節などの単位で実際の音声を録音し、単語や文節などに付与された番号を指定することにより、録音された音声を指定された順序でそのまま再生するものである。音質は良いが、イントネーションのつながりや発声のリズムなど、最初に録音された単位の間のつながりに不自然さが生じる場合がある。さらに、合成したいメッセージに必要な単語あるいは文節などを前もって録音しておかなければならないため、全く任意のメッセージを合成することはできない。

録音再生方式に対して、発音、アクセントおよびイントネーションに関する文字列（発音記号列）を入力することにより音声合成を行うのが、規則合成方式である。この方式では、個々の母音と子音に関するデータがあれば、どのようなメッセージでも合成することができる。コンピュータによるテキスト読み上げ装置などでは、この方式が用いられている。従来は、音質的に多少難があったが、最近ではかなり改善されてきている。

一方、音声認識は、理想的な入力手段としての期待が大きいが、まだまだ課題が多い。音声認識は、認識対象音声の発声単位や発声者の種類により分類される。

発声の単位で分類すると単語間にポーズを置いて発声する孤立単語音声認識、連続して発声する連続音声認識、さらに自由会話音声認識などに分類でき、発声者の種類で分類すると、発声者が事前にその音声を登録する必要のある特定話者音声認識と登録する必要のない不特定話者音声認識とに分類することができる。

特定話者の孤立単語および連続音声認識、不特定話者の孤立単語音声認識は実用の域に達しているが、他のものは、まだ研究段階といえる。

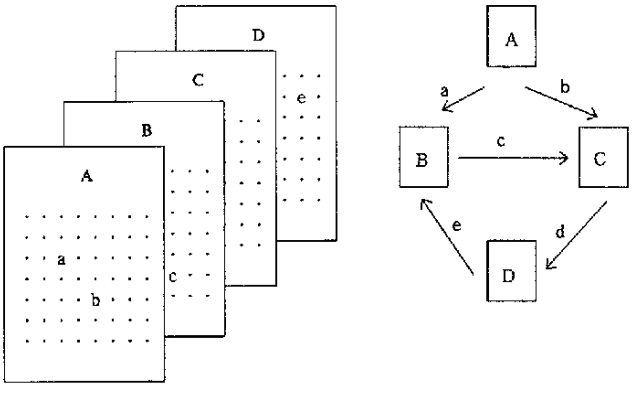
3.2.2.3　ハイパーメディア

ハイパーメディアとは、図表Ⅲ-2-30に示すように、個別の情報の間にその関連づけをしたもので、関連づけされる個別の情報をノード、関連づけをリンクと呼んでいる。ハイパーメディアのうち、扱う情報をテキストに限定したものをハイパーテキストと呼んでいる。

一般に、本や新聞などのメディアにおいては、情報は一定の順序に従って記述されており（線形な文書）、読者は、その順序通りに情報を取得していく。ところがハイパーメディアにおいては、個別の情報の間に関連づけがなされているために、その関連づけをたどることにより、関連した文書を参照したり、詳細を見たりすることができる（非線形な文書）。例えば、図表Ⅲ-2-30において、最初にAという文書を見ていて、その中でaという部分の詳細を知りたければ、そのリンクをたどることにより、その詳細を記述したBという文書に容易にアクセスすることができる。

ハイパーメディアの考え方自体は古くからあり、辞書

図表Ⅲ-2-30　ハイパーメディア



における参照関係“見よ項目”は、紙のメディアにおいてハイパーメディアの考え方を実現したものと考えることもできる。

1960年代後半のD.Engelbartのシステムやブラウン大学のIntermediaにより、コンピュータ上でのシステムとして実現された。

ハイパーメディアの特徴は、リンクを利用することにより、関連する情報に容易にアクセスできること、および利用者が新しい情報を付加したり、新しい関連づけをしたりすることができるので、利用者独自のメモなどを付加することができる点にある。

しかし、反面、課題も多い。

一つは、非線形な構造をしているため、利用者はリンクをたどることにより、情報の中を自分なりに自由に動き回ることができるが、そのため逆に情報の空間の中で、自分が今どこにいるのかが分からなくなる場合がある。特に構造が大きくなれば、その可能性は多分にある。したがって、この迷子の状態に陥らないようにうまく支援できる機構を開発することが必要である。

また、利用者が情報の中を自由に動き回れるといっても、情報の作成者が用意したリンクの範囲内でしか動き回ることはできない。そのため情報作成者の考えた情報の構造と情報利用者の意識とが大きくずれていると問題が起きる。したがって、情報作成者の意図を情報利用者にどのようにして伝えるかというのも重要な課題である。

3.2.2.4　シンセティックメディア

メディアは情報の伝達媒体であるとともに、情報に形を与えるものでもある。複数の種々雑多な情報は、同一のメディア上で編集され並べられて、統合された一つの情報となる。例えば、新聞上のさまざまな情報は統合されて一つの紙面を構成している。

このさまざまな情報を統合するというメディアの機能を拡張して、情報を編集して一つの情報にするだけではなく、機能も組み合わせて一つに合成できるようにし、情報と機能とをともに統合できるようにしたメディアをシンセティックメディアという。

インテリジェントパッド［4］はパッドと呼ばれる、紙のイメージを持ったメディアにより、ドキュメント（情報）もツール（機能）も統一的に表現できるようにすることにより、シンセティックメディアを実現したものである。テキスト、図、静止画、動画、音声などからなるマルチメディア情報がパッドで表現されるだけではなく、各種のシステム・サービス・プログラムやアプリケーション・プログラムといった機能もパッドとして表現される。紙を貼るようにパッドにパッドを貼ることで、情報の配置や機能の合成を統合的に扱えるようにしている。

インテリジェントパッドでは、基本的な部品がプリミティブ・パッドとして、あらかじめ用意されており、合成によって作られたパッドも再利用可能な形で登録しておくことができる。各プリミティブ・パッドはSmalltalkのMVC（モデル、ビュー、コントローラ）構造を持っており、Mがパッドの内部機構を、Vがパッドの画面上での形態を、Cがユーザ操作に対するパッドの反応を定義する。MからVへの更新伝搬とCからV、VからMへのメッセージ送出の2種類のリンクが張られている（図表Ⅲ-2-31）。

パッドの合成は、パッドP1にパッドP2を貼ると、二つのパッドの間には、P1からP2へは更新伝搬、P2からP1へはメッセージ伝達のパスが張られる。図表Ⅲ-2-32に合成パッドの例を示す。日本地図を描いた台紙の上に複数個のパーメータのパッドと帯グラフのパッドが貼られている。ここで、帯グラフは複数個のパーメータの値の割合を示すように定義されている。パーメータの値を変更すると、それが台紙に通知され、台紙の状態が更新されて、この事実が台紙上のすべてのパッドに知らされ、帯グラフの値が変更される。

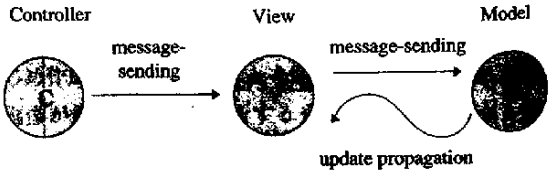
3.2.2.5　バーチャルリアリティ［5］

人間とコンピュータとのインタラクションは、最初はコマンド等の記号列を使って行われていた。やがてグラフィックな表現を用い現実世界を模倣することにより、デスクトップメタファなど利用者の日常生活に近い形でインタラクションが行えるようになり、コンピュータは人間にとって馴染みやすいものとなってきた。

バーチャルリアリティ（VR）は、さらに、利用者をコンピュータの中に作られた仮想の世界に没入させるような仕掛けを構築することにより、利用者にリアリティを感じさせ、より自然なインタラクションを実現することができる。

バーチャルリアリティを実現するための技術については、

図表Ⅲ-2-31　パッドの内部構造



3.2.3.4および4.2.3で詳しく述べるが、コンピュータの中に仮想世界を構築する技術、この仮想世界と利用者がインタラクションを行うための入出力技術が必要である。

仮想世界の構築においては、従来、光学、力学などいわゆる物理法則をシミュレートすることにより物理的なリアリティを実現するための技術が主に開発されてきた。しかし人間は物理的なリアリティにのみリアリティを感じているわけではなく、コンピュータゲームのように物理的なリアリティが乏しくてもリアリティを感じる場合がある。このような心理的なリアリティを実現する手法を編み出していくこともヒューマンインタフェースとして考える場合重要であろう。

入力技術としては、データグローブや磁気センサなど座標の入力技術が主として開発されている。しかし、座標の入力だけでは、物を強く掴んだときに大きく変形するようなことを表現することは難しい。今後は力の入力など体性感覚に関連した入力技術も必要になってくると思われる。

出力技術については、リアルタイムのコンピュータ・グラフィックス（CG）や立体視など視覚の技術が開発されている。CGは研究の歴史もあり、モデルに基づいてコンピュータが映像を生成し、それをリアルタイムで実現するための専用ワークステーションも開発されている。しかし視覚以外の感覚となるとまだまだであり、聴覚に関しても、音声はさておいても、音響をCGと同じようなレベルで生成する技術は、まだ開発されていない。

<参考文献>

[1] 財団法人マルチメディアソフト振興協会：マルチメディア白書1993年度版（1993）.

[2] 横井茂樹、安田孝美：コンピュータ・グラフィックス〔II〕、電子情報通信学会誌、Vol. 76, No.5, pp.529-537（1993）.

[3] 白井良明：記述と照合、電子情報通信学会誌、Vol. 71, No.11, pp.1142-1148（1988）.

[4] Y.Tanaka：A Synthetic Dynamic-Media System, Proc. of International Conference on Multimedia Information Systems,pp.299-310（1991-01）.

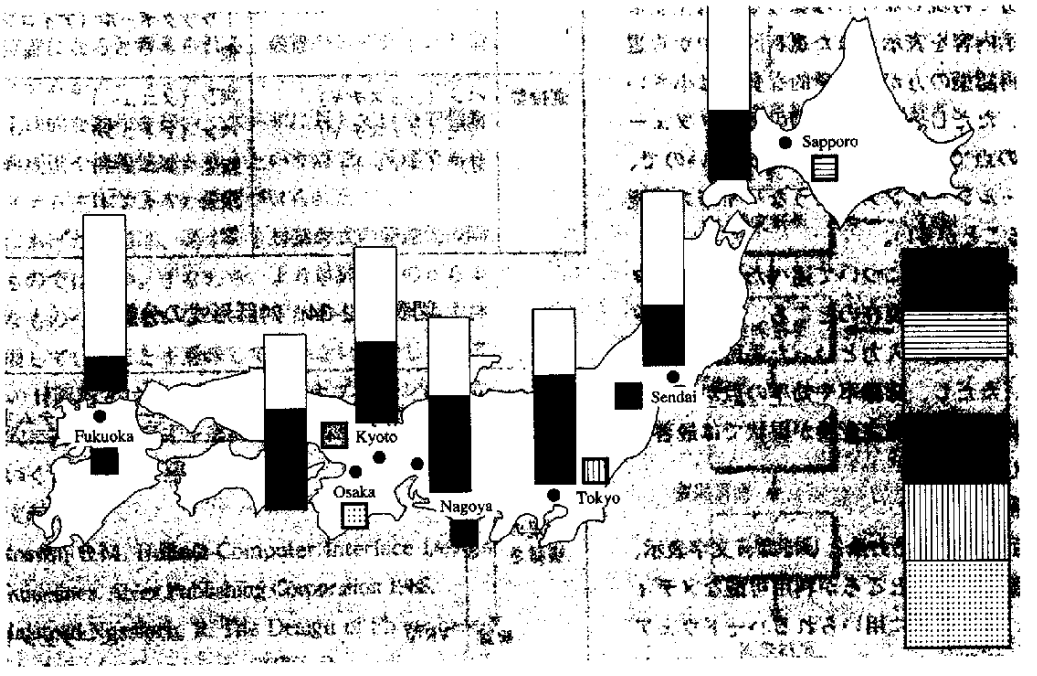
[5] 廣瀬通孝：バーチャル・リアリティ、産業図書（1993）.

3.2.3 コミュニケーション技術

3.2.3.1 対話形式概論

ユーザとコンピュータのコミュニケーション技術としての対話形式には、現在多数の種類が知られている。そこで、本項ではそれらの形式を、入力系、出力系、対話形式に分けて論じる。

図表III-2-32　合成パッドの例



① 入力系

コンピュータに対する入力手段には、キーボードや手書き入力装置、音声などを使った言葉による入力や、スイッチやボタン、機能キーなどのハードウェア部品を使った機械的な動作による入力、ポップアップメニュー（pop-up menu）やプルダウンメニュー（pull-down menu）、アイコン（icon）などのソフトウェア部品を使った画面上でのポイント動作による入力などがある。ここで、ソフトウェア部品による入力には、当該部品を画面上でポイントするためのポインティングデバイスとしてのマウスやトラックボール、ペン、ジョイスティックなどのハードウェア装置が別途必要になる［3］。

上記の各入力手段は、その目的に関して、機能の指示と、データの入力とに区別される。まず機能の指示については、図表III-2-33に示すように、直接型と間接型、再生型と再認型という二つの次元により、四つのカテゴリーに区別することができる。

ここで、直接型と間接型の別は、特定の機能をコンピュータに対して指示する際に、実行しようとする機能を、入力選択肢の表示されている装置、例えば操作パネルや表示画面の上で、直接できるやり方を直接型と呼び、そのやり方が間接的なものを間接型と呼ぶものである。

再生型と再認型については、人間の記憶情報の利用方法に関わる区別であり、指示内容をユーザが自分で再現しなければならない再生型よりは、指示内容を表示された選択肢の中から選べば良い再認型の方が心理学的な負担は小さいといえる。ただし一般に再認型のインタフェースは効率の点で再生型に劣ることが多いので、コントロールシーケンスのようなバイパス機能を用意することが多い。

以上、機能の指示について述べたが、データの入力については、現在のところ、キーボードか手書き入力か音声入力といった手段が利用可能である。ただし、認識率や効率の点からキーボードを使ったかな漢字変換が現状では最善の手段といえる。

② 出力系

対話場面における出力系としては、文字表示、音声、音響といったところが利用可能なメディアである。文字表示に用いられるハードウェア装置には、CRT(Cathode Ray Tube)かLCD(Liquid Crystal Display)が一般的であるが、LED(Light Emitting Diode)なども利用される。こうした表示装置のハードウェア的条件については、文字記号の輝度が25－50mL必要であるとか、背景とのコントラストが88％－94％必要であるといったガイドラインが設定されている［4］。

文字表示による出力は、最も一般的なものであるが、音声や音響に比べて感情的な喚起力に欠ける面がある。そのため、監視制御システムにおけるエラー表示のような状況では、音声や音響による警告出力が利用されている。

出力系のメディアとしてはこの他に、図形や画像があり、二次元的な平面のGUIから立体表示を中心とした三次元GUIへの拡張が始まっている。しかし、三次元表示に対応した適切な入力装置もしくは操縦装置がないこともあり、現在はまだ三次元表示の利用は試行段階というべきであろう。また、画像表示は、人物像を表示することにより、将来はエージェントによる対話処理の実現を可能にする基本技術としても重要である。

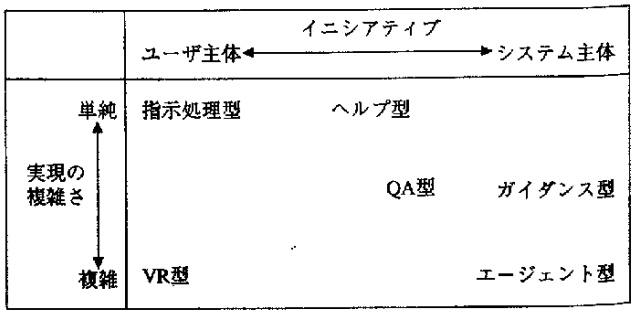
③ 対話形式

対話形式を分類する枠組みの一つとして図表III-2-34の

図表III-2-33　指示形式

	再生型	再認型
間接型	キーボード（コマンド）	マウス（メニュー） マウス（アイコン） トラックボール（メニュー） トラックボール（アイコン） 他
直接型	ペン（ジェスチャ） 指先（ジェスチャ） 音声（コマンド）	ペン（メニュー） ペン（アイコン） 指先（メニュー） 指先（アイコン） 他

図表III-2-34　対話形式の分類



ようなものが考えられよう。ここで、イニシアティブの軸のうち人間主体とは、人間が要求を出し、システムはそれに対して求められた情報を提供するというものである。他方、システム主体とは、システムの側が積極的に人間に情報を提供するというものである。また、システムの単純―複雑の軸は、そのインプリメンテーションにおける実現水準の複雑さを表したものである。

指示処理型は、ユーザのコマンド入力やメニュー選択という指示操作によって、ある機能が駆動されるような事態であり、最も一般的であり、かつ処理として低次元のものである。ヘルプ型は、指示処理型と同様、単純な仕掛けではあるが、システムの側の情報を多少とも利用しているという点で、表ではやや右側に位置している。QA型は同じように人間の要求が基本になっているが、場合によるとシステムの側が必要な情報が何かを判断し、補足的に情報を得ようとする点で、指示処理型よりは高度であり、かつシステムとしての主体性も含まれている。ガイダンス型は、それらよりもシステムの側が主体的に動き、ユーザをある目標に導いていこうとしている点で、システム主体的であるといえる。CAIシステムの対話形式として、QA型やガイダンス型が利用されるのもそのような事情と対応している。VR型とは、仮想現実(virtual reality)の世界における対話処理を意味しているが、現在のVRシステムでは基本的にはユーザの動作が基本になっており、それに従属する形でシステムが処理を行っている。その意味では現状はこの表において左下の位置になると考えられる。最後のエージェント型は、システムがエージェントというインタフェースを介して、主体的な動作を行い、ユーザに対して自分で判断した情報提供や情報処理を行うという点で、高度でありかつシステム主体であると位置づけられた。

ここにあげた分類は、必ずしも対話形式の発達的段階を表すものではない。すなわち、より単純なものからより複雑なものへ、あるいはユーザ主体からシステム主体へと発展していくことを意味してはいない。むしろ、これからの対話形式はこれらの豊富なオプションの中から、目的に適合した形式を選択し、組み合わせながら利用していくことになると考えられる。

<参考文献>

[1] Brown, C.M. Human-Computer Interface Design Guidelines. Ablex Publishing Corporation 1988.

[2] Halstead-Nussloch, R. The Design of Phone-based Interfaces for Consumers. CHI'89 Proceedings p.347-352 1989.

[3] Mayhew, D.J. Principles and Guidelines in Software User Interface Design. Prentice Hall 1992.

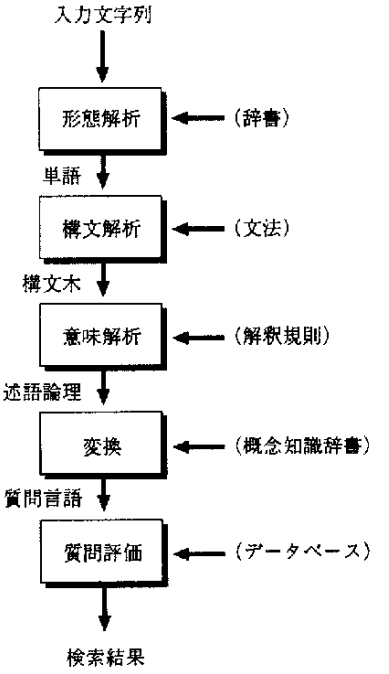
[4] Rouse, W.B. Design of Man-Computer Interfaces for On-line Interactive Systems. Proc. of the IEEE 63(6) p. 847-57 1975.

[5] Shneiderman, B. Direct Manipulation: A Step beyond Programming Languages. IEEE Computer 16 p.57-69 1983.

3.2.3.2　自然言語による対話

自然言語の解析では図表Ⅲ-2-35に示すように大きく五つの処理部分からなる。第1が入力された文字列を辞書引きし、単語に分ける形態解析である。形態解析が分析した単語の品詞の組み合わせのうち、文法的に正しい組み合わせを解析するのが第２の構文解析である。第3が、構文解析の結果得られた構文木を、解釈規則に則って述語論理に落とし込む意味解析から成り立っている。第4が、意味解析で得られた述語論理をデータベースに合わせた質問言語に変換し、データベースに対して問い合わせを行う変換部、第５が質問言語の問い合わせを評価する検索部になる。第4と第5の部分が、LUNAR［7］や

図表Ⅲ-2-35　データベースの自然言語インタフェースの解析の概要



TEAM［7］などのデータベースとの自然言語インタフェースに特有の部分である。第4の変換部で、述語論理を他の言語に変換すると、機械翻訳になる。

次に、自然言語によるインタフェースで問題になるのが、入力文の対象分野とデータベースなどのシステムの対象分野が合致しているかということである。コンピュータ販売のデータベースにハンバーガの値段を質問しても答は得られない。このようなデータベースの対象分野に合わない質問をあらかじめチェックするための機能を持つものもある［7］。

さらに日常の対話文では省略を含む表現が多々ある。これらに対しては省略のありえる語彙と、省略を許す語彙に関する知識を持つことで補う方式が検討されている［3］。

データベースの自然言語インタフェースでは、分野が限定されているので、以上のように省略語や照応関係に関しても、知識を持つことで比較的対応が可能である。対象を限定できないと、非常に多くの照応関係や省略語に関して知識を持たねばならず、実現はほとんど困難になってくる。大量の対話文を分析した結果を用いて、省略語を補完する試みもある［5］。

また同じ入力文でも、どのような文脈で発話されるかで、意味がまったく異なるという問題が生じる。「今何時？」という実に単純な質問でも、純粋に時刻を尋ねているのか、深夜に帰宅した夫に向かって妻が遅く帰ってきたことを非難しているのか、あるいは次の予定があるので会議を早く切り上げようとしてしているのか等々、種々の解釈が可能である。このような文脈依存の取扱いに関しては状況意味論［6］などが提唱されてはいるが、実用に耐えるものはまだない。

従来の自然言語インタフェースは言語を中心とした研究であったが、図形や色などの視覚情報と組み合わせたもの［1］や、システムの対象システムの状況への理解度に基づいたもの［2、4］などが次第に研究されるようになり、その対象を広げつつある。

<参考文献>

［1］　伊東、高木、六沢、清水、北岡、小原、「2次元図形世界における日本語文と視覚情報の付き合わせ処理」、電子通信学会論文誌（D）、VolJ69-D,No.7, pp.1083-1094（1986）.

［2］　大槻、竹内、「自然言語対話のモデルとCAIへの応用」、情報処理学会論文誌Vol,25, No.4, pp.665-671（1984）.

［3］　落合、森、奥井、「電子化辞書管理のための自然言語インタフェースーシステム依存構造の生成ー」、情報処理学会第46回全国大会3-217（1993）.

［4］　片山、中西、吉浦、平沢、「自然な日本語でワークステーションの操作法を尋ねられる質問応答システム」、日経エレクトロニクス、pp.225-243（1980）.

［5］　工藤、友清、「日本語の述部の特性を用いた省略の補完機構について」、電子情報通信学会論文誌、Vol.J76-D-II, No.3, pp.624-635（1993）.

［6］　特集「自然言語処理技術の最近の動向」、情報処理学会誌、Vol.33, No.73,（1992）.

［7］　ハリー・テナント、「自然言語処理入門」、産業図書（1984）.

3.2.3.3　画像・CGを用いたマルチモーダル・コミュニケーション

人間同志の会話では言語以外の九つの非言語（ノンバーバルランゲージ）が、重要な役割を果たしている［1］。九つの非言語とは以下のようである。

①人体（性別、年齢、体格、皮膚の色など）
②動作と表情
③目
④周辺言語（話ことばに付随する音声上の性状と特徴）
⑤沈黙
⑥身体接触（相手の身体に接触すること、またその代替行為による表現）
⑦対人的空間（コミュニケーションのために人間が利用する空間）
⑧時間（文化形態と生理学の二つの次元での時間）
⑨色彩

このうち、コンピュータとの対話では「動作」「表情」「目」に対する研究が、行われている段階であり、人間同士のコミュニケーションに比較すると、利用できるチャネルはまだ狭い。

(1)　動作

動作学で扱う対象は表情と、身振りや胴体、頭、脚、足、腕、手の諸動作と、姿勢の三つに分かれる。コンピュータとの対話では表情と手の動作に関して、研究されている。

手振りの認識（ジェスチャ認識）は、ボディランゲージとして、比較的はっきりしており、研究も比較的多い［6］。手話を認識し音声に変換する試みもある［2］。手話の場合は手振りのそれぞれがどのような単語を表すか

の手振りの文法があるのに対し、一般の手振りではこのような文法がない。また、同じ手振りでも、文化により解釈が異なるという問題もある。つまり、状況や文化に応じて異なる解釈ができるように、知識を整備する必要があるが、これらは未解決である。

手振りの認識以外では、人体自体の動作を認識することが検討され始めている。大規模プラントの現場の監視やビルの安全監視に遠隔操作のカメラが多く使用されている。これらの動画を監視員が四六時中見張っているが、その負担を軽減するために動画像認識を用いることが検討されはじめている［12］。ここでは挙動不審とは画像としてどのようなものであるかに関する知識が必要となる。

(2)　表情

動作の認識は、特定の言語を代替するような動作（表象動作）やある物体を指し示すような動作（例示動作）を認識することが焦点になっている。これに対し、表情の認識では人間の感情（感情表出動作）の認識が中心である点が大きく異なっている。

人間は社会的な動物で、非常に早い時期から相手（特に母親）の表情を読んでいる。表情の認識は古くから研究はあるが、遠隔会議の要素技術として最近多くの研究が行われている［7］。

認識した表情をCG（コンピュータグラフィックス）を使って再生する研究［10］や、表情のあるCGキャラクタ(Virtual Actor)を生成する研究［4］がある。Virtual Actorのように人形などに表情をつける場合は比較的うまくいくが、人間の場合には笑い顔がなかなか自然な感じにならない。

対話的にVirtual Actorの表情を生成し、本物の役者と競演させる試みもある［5］が、複雑な人間の顔の描画に時間がかかる、複数人が分担して口や目を動かすが、その協調が困難であるなど、自然に演技できるようになるにはまだ技術開発が必要である。

(3)　目

「目は口ほどにものを言う」ということで、会話の最中にどこを見るかというのは非常に重要である。対話時の目の機能としては

①話す・聞くの交代時期を調整する
②相手の反応をモニターする
③意思を表示する
④感情を表現する
⑤当該対人関係の性質を伝達する

の五つがある。

①の機能に対応するものとして、視線を抽出（視線追跡）して、ウィンドウやメニューの切り替えを行う試み［11］がある。が、視線が動くたびにウィンドウが切り替わったりするのはかえって煩雑になる恐れがある。

②の機能のモニタリングに焦点を当てたものとしては、作業中に正しく見えているかを検証するために、CGで生成した仮想被験者の視野をトレースする研究（図表Ⅲ-2-36）も行われている［8］。

③④⑤の機能に対応するものはまだない。

(4)　マルチモーダル・インタフェース

最近は音声対話の確認に顔を用い、発声を容易にする試みがある［9］。このような複数のモードを用いるマルチモーダル・インタフェースでは、提示する情報の質によってモードを使い分けることも検討されている［3］。

＜参考文献＞

［1］　マジョリー・F・バーガス、「非言語コミュニケーション」、新潮選書(1988).

［2］　Kurokawa,T., Motichi, T., and Watanabe, S., "Bidirectional Translation between Sign Language and Japanese for Communication with Deaf-Mute People", Advances in Human Factors/Ergonomics, pp.1109-1114(1993).

［3］　Neal, J.G., Dobes, Z., Bettinger, K.E. & Byoun, J.S., "Multi-modal references in human-computer dialogue", Proceedings AAAI-88, PP.819-823, St.Paul, MN(1988).

［4］　Thalmann, N.M. and Thalman, D., "The Artificial Life of Synthetic Actors", 電子情報通信学会論文誌、Vol.J76-D-II, No.8, pp.1506-1514(1993).

［5］　新井、安生、坂本、「インタラクティブCGシアター「カ・オ・リ」における顔のリアルタイムアニメーション」、情報処理学会研究報告、93-Im-12,pp.1-8(1993).

［6］　長谷川、横沢、藤木、石塚、「実時間動画像並列認識・動画像合成システムによる人物モデルの視線移動の実現」、第8回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム、pp.49-54(1992).

［7］　末永、間瀬、福本、渡辺、「Human Reader: 人物像と音声によるインタフェース」、電子情報通信学会論文誌, Vol.J75-D-II, No.2, pp.190-202(1992).

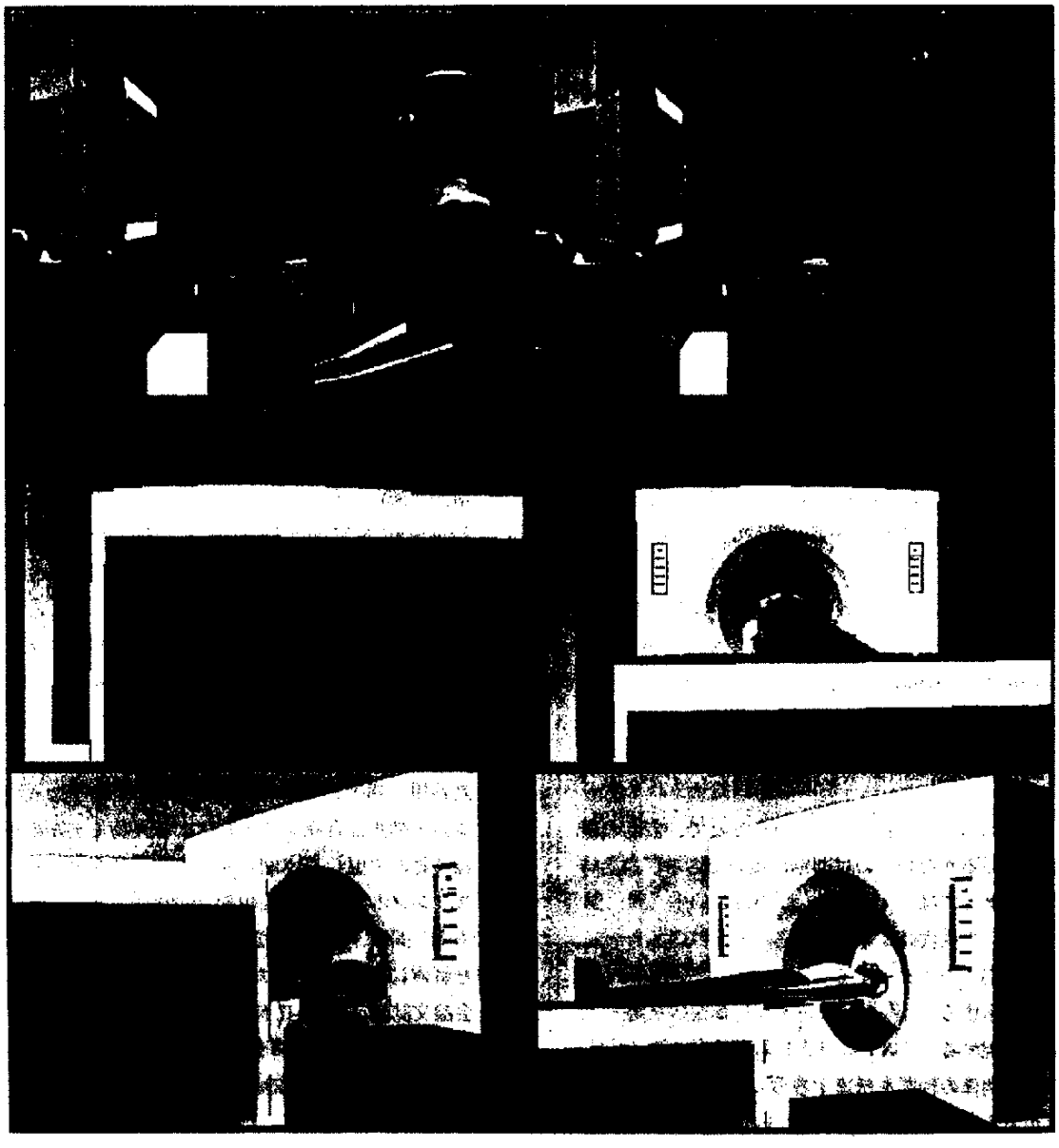
［8］　土井、福井、西田、「仮想被験者のための動作生成」、第8回NICOGRAPH論文コンテスト論文集(1993).

図表III-2-36　仮想被験者を用いた異なる機器配置での作業者の視野の確認例

（身長の異なる仮想被験者を用いて病院の新旧放射線検査室での視野を示す）

左上が身長155cmの技師が40cmのいすに座って検査中に患者の方を見ている様子、左中が旧検査室での視野、モニタがじゃまになって座った状態では患者が見えない、左下は新検査室での視野、モニタの脇から患者が見える、右上が身長170cmの技師が50cmのいすに座って検査中に患者の方を見ている様子、右中が旧検査室での視野、患者の足が見える、右下が新検査室での視野、患者の全身が見える

身長155cmの技師（いす40cm）　　身長170cmの技師（いす50cm）



旧検査室での技師の視野

新検査室での技師の視野

[9]　竹林、永田、瀬戸、新地、橋本、「音声自由対話システムTOSBURGII」、情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会、45-13, pp.93-100(1992).
[10]　原島、岡崎、崔、武部、「顔画像の主成分分析とその応用」、電子情報通信学会技術研究報告、HC90-28, pp.25-33(1991).
[11]　伴野、石井、岸野、「視線検出のための瞳孔抽出光学系の設計法」、電子情報通信学会技術報告、OS89-37(1989).
[12]　山足、谷、谷越、二川、「被写体の構造を持ったカメラ」、第7回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム、pp.461-468(1991).
[13]　山口、白井他、「信頼生の高い対応を優先した多段階ステレオ法」、電子情報通信学会論文誌、Vol.J74-D-II, No.7, pp.918-925(1991).

3.2.3.4　バーチャルリアリティ

(1)　バーチャルリアリティとは

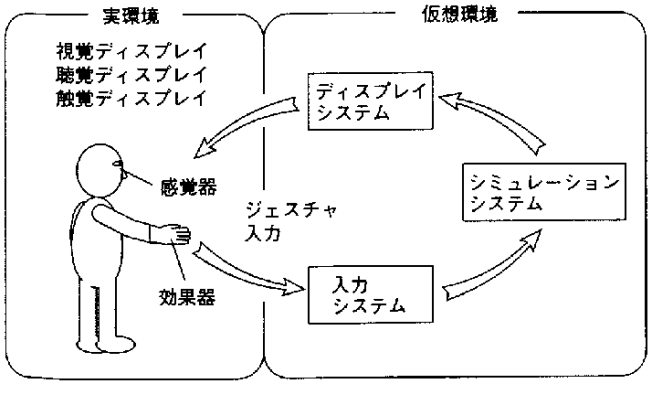
バーチャルリアリティ（人工現実感）とは、コンピュータによって合成された3次元の映像世界の中に入り込んで、いろいろな体験を行うことのできる技術のことである。

MITのDevid Zeltzerによると、バーチャルリアリティには、"Presence"、"Interaction"、"Autonomy"の三要素があるといわれている。"Presence"とは、コンピュータの内部に「没入」するという新しい視点の導入であり、"Interaction"とは、コンピュータと人間とが非常に高い自由度で相互に情報交換が行えることである。"Autonomy"とは、コンピュータの内部に現実と同様な振る舞いをする存在が合成されていることであって、これらの三つがすべて満たされたとき、「究極のバーチャルリアリティ」が完成することになる。

この三要素を実現するためには、図表Ⅲ-2-37に示すような三つのサブシステムが必要である。第1の"Presence"を支援するのが広い意味でのディスプレイ技術である。人間の種々の感覚器に対する人工的刺激をコンピュータによって作り出し、いわば、「人工的な現実像」を合成することがこのサブシステムの役割である。第2の"Interaction"を支援するためには、ディスプレイとは反対方向の情報の流れ、すなわち、コンピュータに対しての入力のサブシステムが必要である。第3の"Autonomy"の要素の生成を行うのは、シミュレーション・サブシステムの役目である。

これらの三つのサブシステムが図表Ⅲ-2-37に示すようなループを構成することにより、円滑な操作と認知感覚を生成するための機構が整うことになる。

図表Ⅲ-2-37　バーチャルリアリティのシステムを構成するサブシステム



(2)　ディスプレイ・システム

①　視覚ディスプレイ

視覚的臨場感を生成する要因として、(i)広い視界の広がり、(ii)立体的な映像表示、(iii)高い精細度などを挙げることができる。三つの要因の中でも、映像の中に自分が入り込んだように感じるためには、(i)の要因が重要で、100°近くの視野角が必要とされている。

広い視野を与える方法として、すでにオムニマックスのような全天周型のスクリーンが使用されている。しかし、この装置は大がかりであり、映像とのインタラクションがとれないなどの問題が多く存在する。そこで提案されているのがヘッド・マウンテッド・ディスプレイ（HMD）である。この装置は両目の直前に、レンズ系を介して小型ディスプレイを置いたものである。表示する映像内容は、三次元空間位置センサからの情報に連動している。頭部の位置と方向を計測する。すなわち、視線方向の映像が常に与えられるわけで、HMDをかぶった人間は広大な映像空間を見回すことができる。

HMDの技術的課題の一つは、高解像度で軽量な小型ディスプレイの開発である。ソニーが発表したバイザートロンと呼ばれるHMDは、0.7インチ程度の液晶デバイスを利用することで300g程度ときわめて軽量にまとめられている。

広い視野角を表示可能にするためには光学系の構成もまた工夫する必要がある。例えば、

米国 Concept Vision 社のARVISと呼ばれるシステムは片眼180°、両眼で240°という広い視野角を持っている。

② 聴覚ディスプレイ

聴覚ディスプレイとして、最近注目されているのが、三次元の音響システムである。これは、音源から鼓膜までの音波形のひずみをコンピュータでリアルタイムでシミュレーションし、三次元的に音源の位置を合成するシステムである。このシステムでは頭部の位置も計測しているので、頭を移動しても音源の絶対位置は不変である。

③ 触覚ディスプレイなど

触圧覚を表現するために、いろいろなディスプレイが考案されている。例えば、指先にブザーをつけてその振動で接触を感じさせたり、小型の風船に空気を送り指を圧迫するシステムは、すでに商品化されている。より高いレベルの触覚表現を行うためには、仮想物体を握ったときに指が拘束され、相応の反力まで感じさせるシステムなどが開発されている。

触覚のほかにも風覚ディスプレイ、平衡感覚ディスプレイなどいろいろなものが考案されている。

(3) 入力システム

入力のサブシステムとは、コンピュータに人間の動作をリアルタイムで入力するためのシステムである。

まず、バーチャルリアリティのシステムで良く使われるのが、磁気を用いた三次元の空間位置センサである。この装置は、ソースとセンサと呼ばれる二つのデバイスから構成される。ソースとは発振側のコイルで、微弱な磁界を三軸方向に発生する。センサとはその磁界を受信するコイルで、その位置における磁界の方向や強度を計測する。これらの情報に基づいて、3次元空間内の位置を知ることができる。もっとも、計測範囲は1.5ｍ立方程度とかならずしも広くない。

もう一つ良く使用されるのが、データグローブに代表される装着型のデバイスである。この種のデバイスは、体表面にいろいろなセンサを取付けることによって、その変形量を測定しようという原理に基づいている。手袋に限らず、顔の表情や全身の動作を入力することのできるデバイスも考案されている。手袋からの情報と、空間位置センサにより測定される手の位置、姿勢の情報とを組み合わせることで、作業者は仮想空間に自分の分身を持つこと（自己投射）が可能となり、仮想物体をつかむ、離すなどの操作が行える。

(4) 仮想世界の生成

以上述べたようなインタフェースのサブシステムを用いて、種々の仮想世界を作り上げることが可能である。

仮想世界には大別して、二つの種類が存在する。一つには、世界そのものを、すべてシミュレーションで作り上げてしまうというタイプのものである。この世界の生成のためには、リアルタイムのシミュレーションとコンピュータグラフィックスの技術が必要となる。もう一つは、遠方の世界を通信回線によって手元に引き寄せ、高い臨場感のもとで体験するというものである。このような世界はテレプレゼンス的世界と呼ばれる。狭い意味でのバーチャルリアリティとは、コンピュータの中にシミュレーションによって生成されるものであるから、必要とされる技術は若干異なってくる。しかしながら、シミュレーションプログラムが単に外に存在するものだと考えることにすれば、システム自体のインタフェースは明らかに相似である。

もちろん、この2種の世界の中間的存在も多々存在するわけで、今後さまざまな世界が生成され、実用に供されることが期待される。

(5) おわりに

バーチャルリアリティは、われわれにコンピュータの新しい使い方を提供する技術であるといっても過言ではない。事実、1989年に始めて使われたバーチャルリアリティという言葉は、このわずか5年の間に広く世の中に浸透してきた。そして現在では、さまざまな分野でいろいろな応用が模索されている。この魅力的な技術をどのように使用するかが1990年代のコンピュータ科学の大きな課題となるであろう。

3.2.4 知的支援技術

3.2.4.1 メタウェアとエージェンシーモデル

コンピュータの主な利用形態は、パーソナルユーザが情報社会にアクセスするための道具（メディア）になっていくと思われるが、その場合に、個人や社会のさまざまな日常的な情報活動のサポートをだれでも、いつでも、どこでも利用できるようにすることが重要な課題となる。FRIEND21プロジェクトでは、この課題に対処するため、コンピュータの行う仕事とユーザへの見せ方や操作方法（Look&Feel）とが、今までのGUIのように固定的に対応づけられているのではなくて、ユーザの違いやユーザがそれまでに行っていた作業により、柔軟に対応づけられる必要があると考え、それを実現するため、「メタウェア」と「エージェンシーモデル」という二つの考え方を提唱している。

(1)　メタウェア

メタウェアとは、メタファを基本とした人間とコンピュータとのインタフェースであり、ユーザが実行しようとする、あらゆるタスクに対して、そのときの状況やユーザの違いに応じてメタファを切り替えながら、ユーザに適応した表現と操作性を持つメタファが利用できる環境を実現するための概念モデルである。

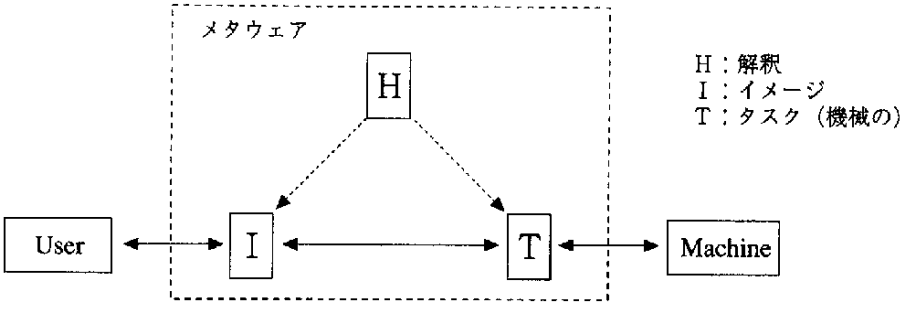
図表Ⅲ-2-38にメタウェアの概念モデルを示す。図において、Tはコンピュータが実行するタスクの集合、Iはコンピュータのタスクをユーザに対して表現（見せ方や操作方法）するイメージの集合、Hはタスクとイメージを結びつける解釈の集合であり、特定の解釈h∈Hを決めれば、t∈Tとi∈Iが決まる。この（h、t、i）の組がメタファである。例えば今、電子メールという機能（コンピュータが実行するタスク）を考えて、t＝電子メール、i1＝郵便の外見、i2＝電話の外見とし、(h1,t、i1)、(h2,t、i2）とすれば、h1は電子メールを郵便にたとえる解釈を意味し、h2は電子メールを電話にたとえる解釈を意味することになる。

(2)　エージェンシーモデル

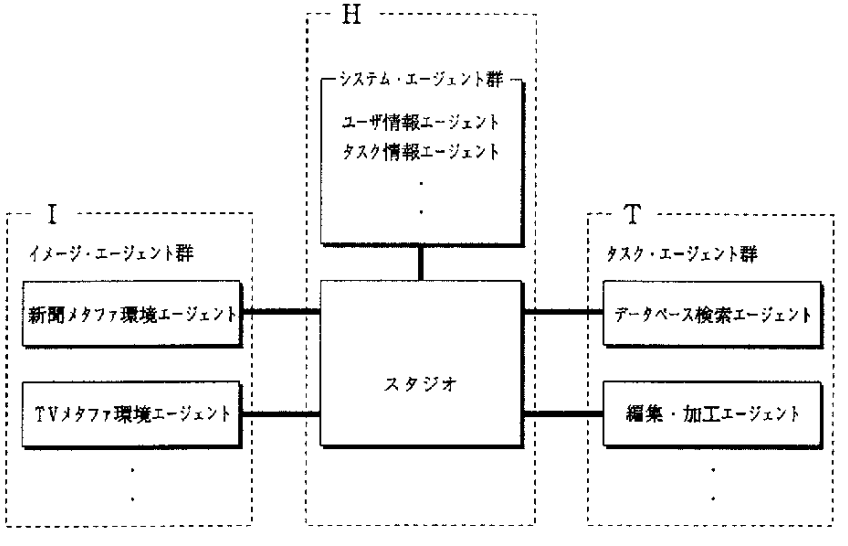
エージェンシーモデルとは、メタウェアの概念モデルをユーザ参加型の分散協調をベースとして実現するためのモデルである。図表Ⅲ-2-39に示すように、複数のエージェントがスタジオを介して情報を交換することによって、協調動作をする構成になっている。メタウェア概念モデルのIに対応するものとしてイメージ・エージェント群、Tに対応するものとしてタスク・エージェント群、Hに対応するものとしてシステム・エージェント群とスタジオが用意されている。

イメージ・エージェント群は、ユーザに対して、コン

図表Ⅲ-2-38　メタウェアの概念モデル



図表Ⅲ-2-39　エージェンシーモデル



ピュータ・タスクの見せ方や操作方法を提示するエージェントで、ユーザの操作内容をスタジオに書き込んだり、スタジオに書かれている内容をユーザに表示したりする。実現例として、新聞環境メタファ・エージェントやTV環境メタファ・エージェントなどがある。これらのユーザへの見せ方の例を図表Ⅲ-2-40に示す。

タスク・エージェント群は、コンピュータのタスク―例えばデータベース検索や情報の編集・加工など―を実行するためのエージェントである。

システム・エージェント群は、タスクとイメージとの対応を状況に適応させて変化させるためのエージェントで、そのために必要な情報として、ユーザの操作履歴などを獲得するユーザ情報エージェントやユーザの意図するタスクを選択するためのタスク選択エージェントなどがある。

スタジオは、各タスク群が情報を交換するために、各種の情報を読み書きする場所である。

(3)　アプリケーション

上述のメタウェアの性質を情報検索に応用して、システムの提供する新しい機能を利用者の状況に応じて利用者に提示する例を紹介する。

いま、データベースを検索し、検索結果を新聞のような形式で利用者に提示するソフトウェア（「新聞メタファ環境」と呼ぶ）がある。「新聞メタファ環境」では、新聞アイコンをクリックすることにより、ニュース記事データベースから検索された「今日のニュース」が新聞の形式で一覧表示される。さらに記事タイトルをクリックすれば、記事が拡大表示される（図表Ⅲ-2-41 (1)）。

この環境に、新しく開発されたソフトウェア（「番組メタファ環境」と呼ぶ）が追加された場合を考える。このソフトウェアは次の二つの機能を備える。

①　データベースの検索結果をTV番組のような形式で利用者に提示する。

②　①により提示中の記事と関連する記事群を検索し、すでに存在する新聞メタファ環境を用いて新聞の形式で利用者に提示する。

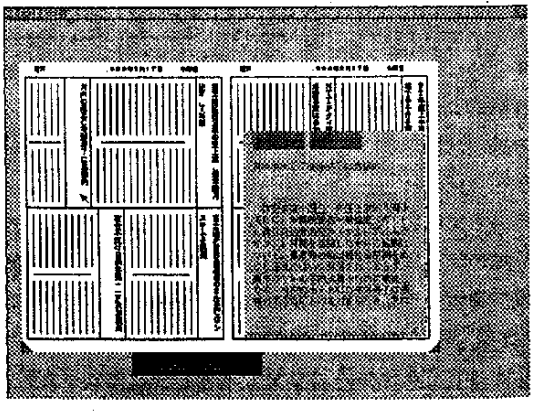
「新聞メタファ環境」に「番組メタファ環境」が追加されたとき、利用者は、TV用のアイコンが新たに画面上に現れることで新しい機能の存在を知ることができる（図表Ⅲ-2-41 (2)）。TVアイコンをクリックすると、対話マネージャが出現し、「番組メタファ環境」の第1の機能を利用者に説明する（図表Ⅲ-2-41 (3)）。この説明から、利用者は「今日のニュースをTVの形式で見る」ことができることを知る。ここで、対話マネージャアイコンをクリックすると、この機能が起動されて、データベースの検索結果が、TV番組の形式で提示される。

「番組メタファ環境」の第2の機能は、利用者が、番組メタファ環境でニュースを見ているという状況のもとで、新聞アイコンをクリックしたときに初めて示される（図表Ⅲ-2-41 (4)）。利用者が新聞アイコンをクリックすると、システムは従来通り「新聞メタファ環境」の「今日のニュースを新聞で見る」機能を起動する。それと同時に、対話マネージャが登場し、新しく追加された「番組の記事と関連する記事群を新聞で見る」機能が起動できることを利用者に示す（図表Ⅲ-2-41 (5)）。利用者が対話マネージャをクリックすると、この機能が起動され、新聞の表示は、今日のニュースから番組の記事と関連する記事群に変更される。

図表Ⅲ-2-40　TVメタファと新聞メタファの例



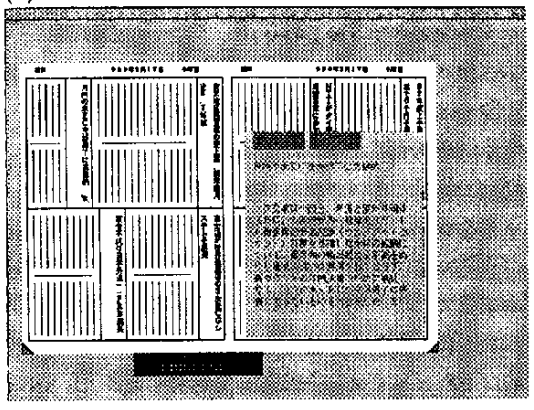
(a) TVメタファ



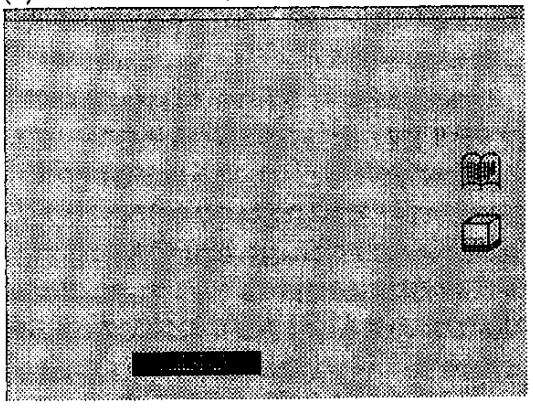
(b) 新聞メタファ

図表Ⅲ-2-41　状況に依存した提示の例

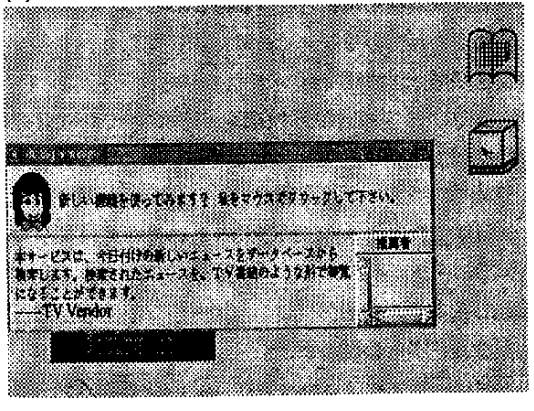
(1) 新聞メタファ環境



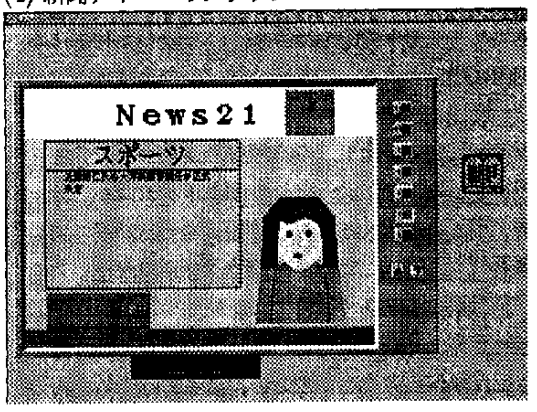
(2) ＴＶアイコンの出現



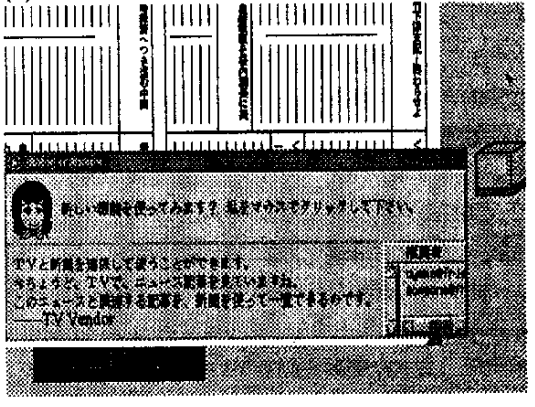
(3) 第１のサービスを開示



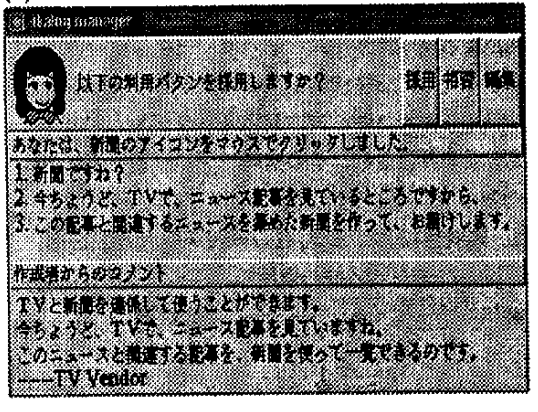
(4) 新聞アイコンのクリック



(5) 第２のサービスを開示



(6) 採用不採用の選択



利用者が新しい機能の利用を終える際に、対話マネージャは、その機能を起動したルールを今後も採用するかどうかの選択を利用者に求める（図表Ⅲ-2-41 (6)）。

このように、新しい二つの機能は、同時に利用者に知らされるわけではないという点で選択的に提示され、さらに機能の作成者が指定したルールに一致した状況において動的に提示される。

新しい機能が、そのときの作業の遂行状況に応じて動的に示されることにより、利用者が、選択された機能を試用し、その機能がそのときの作業の中で有用かどうかを評価・判断することが容易になる。また、状況に適した機能だけを選択的に提示するので、利用者が使い方を学習し、有用性を評価する労力は、新しい機能が一度に示された場合に比べて相対的に低くなると考えられる。

さらに、状況に依存して新しい機能を提示するこの方法によれば、利用者が新しい機能を無視して従来通りの作業を続けることができるので、利用者の意向を妨げない提示方法であるということができる。

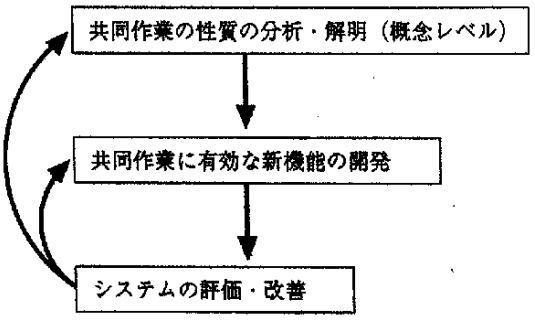
＜参考文献＞
[1]　第4回FRIEND21成果発表会予稿集（1992）.

3.2.4.2　CSCW

(1)　グループウェア技術

グループウェア技術は、人間の協同作業を支援する技術の総称であり、今後のオフィスや生産現場における知的支援機能の重要な部分を担っていくことが予想される。グループウェアの開発においては、通常図表Ⅲ-2-42のようなプロセスが取られることが多い。すなわち、まず対象となる協同作業を何らかの形でモデル化し、そのモデルをベースに支援機能や支援ロジックを決定し、システム開発を行う。さらに、開発されたシステムは、ある期間現場で評価され、その結果がフィードバックされてシステムの改善が行われる。そのような意味で、3.1.1.4で述べた「協同作業のモデル／理論」は、グループウェア開発のベースとなる重要な役割を果たすことになる。

図表Ⅲ-2-42　CSCWの研究プロセス



現在種々のグループウェアが開発されつつあるが、グループウェアの機能としては、例えば以下のようなものがよく取りあげられている。

①情報フィルタリング

電子メールやニューズシステムなどが盛んになると、情報が氾濫して、情報過多となるため、これをうまく管理して情報のオーバーロードを克服することが必要となってくる。このような事態に対処するため、必要な情報のみを、使いやすい形で取り出すことができる情報フィルタリングの機能を用意し、グループにおける情報の共有を促進することを目指した研究が行われている。代表的なものとしては、半構造化されたメッセージを利用することを特徴とするMITのInformation LensやObject Lensなどのシステムがある［1］。

②電子メールの高度化

The Coordinatorは、WinogradとFloresが協同で開発したもので、電子メールの高度化により、グループワークの協調支援を目指したものである［2］［3］。このシステムは、3.1.1.4で紹介した言語を社会的行為と考える会話理論(Conversation Theory)に基づいており、このモデルをもとに情報交換を支援しようとしている。具体的には、構造化した電子メールを用いることにより、会話の流れを追いかけ、ユーザに次に何をすべきかを示唆することにより協同作業を円滑に進めることを支援している。このシステムは実用化されており、いくつかの企業で実際に使用されている。

③協同型意思決定支援

会議における討論や投票をリアルタイムで支援したり、合意形成の過程を支援したりするもので、いわゆるグループDSS（意思決定支援システム）と呼ばれるシステムがこれにあたる。代表的なものとしては、アリゾナ大学のPLEXセンターなどがあり、実用に供されているものもある。理想的には、「根回し」などの支援が行えることが望まれる。

④グループスケジュール管理

個人のスケジュールを管理するとともに、複数の人間の共通の空き時間から会議の開催日程を決定したり、会議室や必要機器の予約を行ったりする。

⑤協同型アイデア生成支援

複数の人間がいろいろなアイデアを出して、それを整

理し、構造化して、一つのまとまったシナリオや文章にもっていくまでを支援しようというもので、アイデアプロセッシング用ツールといえるものである。

⑥協同執筆支援

複数の人間で文書を作成、修正していく過程を支援しようというもので、論文の執筆や提案書の作成など用途は多い。この場合、修正の提案や、コメントの付加などをどのように行うかが問題となる。代表的なものとしては、BellcoreのQuilt［4］があり、文書に関するコミュニケーションの支援や情報共有を支援することを目標としている。このシステムの技術的な特徴は、注釈を行うためにハイパーメディアのリンクを利用していること、文書の作成と伝達を統合していること、アクセス権等のユーザによるカスタマイズ化が可能なことが挙げられる。

⑦協同型ソフトウェア開発支援

ソフトウェアの開発は、プロジェクトの大規模化とともに、その拠点が地方に分散する傾向を強めており、地理的に分散したまま、ソフトウェアの仕様を検討したり、プログラムのデバッグを行うことが望まれている。3.1.1.4で述べたIBISモデルをベースにしたソフトウェアの上流工程支援システムgIBISは、設計に関する討論の過程をハイパーテキストの形態で構造化し支援しようというものである［5］。MCCでは、このシステムを1年間実際に使用し評価実験を行って、IBISモデルの構造がソフトウェアの設計工程を表現するのに有効であることを確認している。

⑧遠隔会議支援

地理的に離れた所にいる人々が、コンピュータをベースに会議を行う遠隔会議支援システムが多数開発（［6］～［9］）されており、今後オフィスや設計・教育支援などに利用されていくものと期待される。このような遠隔会議支援システムを構築するためには、画像・音声などのマルチメディア情報の伝送、コンピュータの処理やデータの共有、共有ウインドウの制御方式などが技術課題となる。

以上代表的なグループウェアの機能について紹介したが、今後さらに多種多様な協同作業支援機能が実現されていくものと期待される。これ以外にも、ロボットと人間の協調をめざした興味深い研究が安西研究室でなされている。以下、簡単に紹介する。

⑨PRIMEプロジェクトの概要［10］

PRIMEは、慶應義塾大学安西祐一郎教授を中心に1991年から開始されたプロジェクトで、従来のヒューマンインタフェースの研究にはない新しい問題を提起している。PRIMEとは、Physically-grounded human-Robot-computer Interaction in Multiagent Environmentの略であり、このプロジェクトの目的は、人間とロボットと計算機が共存するコミュニティにおいて生じうるさまざまなインタラクションを総括する新たなコンセプトを提唱することである。

具体的には：

1)パーソナルユース向きロボットハードウェア
2)Real-Time OSの開発およびそのロボットへの実装
3)マルチ移動ロボット環境における通信機構

といった基礎的な要素技術の研究・開発に加え、

1)ヒューマン・ロボット・コンピュータ環境のための基本モデルの構築
2)ロボットを含むCSCWの研究
3)マルチロボット環境におけるスケジューリング、プランニング
4)マルチロボットによる協調的地図生成
5)自律移動ロボットのための学習機構の研究
6)ヒューマンロボットインタフェースのための音声対話システムの構築
7)ニューラルネットのロボティクスへの応用
8)ロボットの人間社会に及ぼす影響

といった、多くの応用分野における成果がみられる。

従来のヒューマンインタフェースの研究が主に計算機中心のスタティックな世界を対象としていたのに対し、PRIMEプロジェクトでは、コンピュータに加えて人間に対しアクティブに作用しうる機械の代表としてロボットを考察の対象としている。この点で、従来ではみられなかった新たな研究課題、例えば：

・アクティブなシステムと人間とのインタラクションに関する研究
・複数のアクティブシステムを含む新しいタイプの分散環境研究
・記号的情報と非記号的情報の動的関連性に関する研究

が生じ、将来の知的ヒューマンインタフェースに関する研究の方向性を示唆するプロジェクトの一つとして期待される。

＜参考文献＞

［1］ K.Y. Lai and T. Malone, "Object Lens: A Spreadsheet for Cooperative Work", CSCW'88, pp.115-124, 1988.

［2］ T. Winograd, "A Language Perspective on the Design of Cooperative Work", CSCW'86, pp.203-220, 1986.

[3] T. Winograd and F. Flores, "Understanding Computers and Cognition", Addison Wesley 1986.

[4] M. Lerand, R. Fish and R.E. Kraut," Collaborative Document Production Using Quilt", CSCW'88, pp.206-215, 1988.

[5] J. Conklin and M.L. Begeman,"gIBIS:A Hypertext Tool for Exploratory Policy Discussion", CSCW'88, pp.140-152, 1988.

[6] 島村ほか「B-ISDN用多地点間マルチメディア通信会議システムPMTC」信学技報、OS90-34、1990.

[7] H. Ishii,"TeamWorkStation : Towards a Seamless Shared Workplace," Proceedings of CSCW' 90, 1990.

[8] H. Ishii and M. Kobayashi," ClearBoard : A Seamless Medium for Shared drawing and Conversation with Eye Contact," Proceedings of CHI'92, 1992.

[9] K.Watanabe, S.Sakata, "Distributed Multiparty DeskTop Conference System ; MERMAID", Proceedings of CSCW '90, 1990.

[10] Y.Anzai,"Human-Robot-Computer Interactionin Multiagent Environment", Proc. of HCI'93, pp.2-7, 1993.

(2) 発想支援システム

発想支援システムは日本を中心にして、現在研究がホットに進行中である [3、4]。この理由の一つは、杉山も指摘しているように [4]、KJ法が発想法のモデルとして枠組の広さ、経験の厚み、考察の深さなど、いずれの観点から見ても優れている上に、日本の社会で広く普及しているという事情によるものと思われる。また、発想支援システムとして完成したソフトウェアが最初に現われたのも、KJ法である [5]。

KJ法を行う場合の中心的な活動はカード操作である。カードに思いついたことを書き込んだり、意味を考えながらカードを配置することは、人間の思考そのものを表わしている。KJエディタを用いることによって、こうした思考過程が機械可読の情報として記録されることは、人間の発想過程を研究する上で有効なツールとなる。実用的にも、何かを検討した結果を後から理解するときに、貴重な情報を提供することになる。この点から、大規模ソフトウェアの仕様作成、関係者の合意形成に有効であろうという期待が持たれている。

KJ法のコンピュータ支援はこのように、発想支援として実用段階に達して商品も発売されているので、これに的を絞って、その問題点を論じることにする。まず問題になるのは、ディスプレイ画面の大きさである。

①一覧性の問題

KJ法で空間配置を行う場合、出発点ではカード間に関係はなく、平面上にばらまかれたカードを見ながら、関係のありそうなカードをグループ化していく。こうした作業を行うとき、全体が見渡せることが重要である。もちろん、一度にすべてのカードの内容を読み取れるわけではないが、読みたいときにどのカードでもすぐに読めないと、発想活動が著しく阻害される。

ところが、現在入手可能なディスプレイ装置は、分解能が1000×1000程度で、とても空間配置を行う平面全体を表現することはできない。しかし、こうした作業を行う場合に、書かれた内容を読むのは、平面上の一部のカードだけで、残りのカードは視野の周辺で眺めているだけである。この場合、カードの配置は見えていても、カードの内容を読む必要はない。

こうした状況をコンピュータ上に表現するため、カードの配置をグローバル画面、注目するカード群をローカル画面と二つの画面に分けて表示する方法が提案されている（図表III-2-43、図表III-2-44）[5、7]。ここで平面上を動き回る視線をシミュレートするため、マウスカーソルの動きにつれて、ローカル画面がグローバル画面上を動き回る、パニングと呼ばれる高速画面スクロール方式が実現されている。パニングでは、マウスカーソルがローカル画面から外に出るような動きをすると、これにつれてローカル画面がスクロールする。いわば、視線の動きを論理的にシミュレートしたものである。

この機能はカードの配置作業にも有効であり、動かしたいカードをマウスでドラッグしローカル画面の外まで引っ張っていこうとすると、その動きにつれて、パニングが起こるようになっている。

②サカディック抑制の問題

このように周到に用意されたカード操作のシミュレーション環境で実際にカード操作を行ったところ、速く操作を行うと気分が悪くなるという現象が報告されている [5]。実はわれわれが視線を動かしている間、視界が抑制されて盲になっていることが、生理学的にサカディック抑制として知られている。カードを速く動かすと、目があいたまま、動く映像が目に入ってくるため、気分が悪くなるのである。この現象は、例えば動く電車の窓から近くの外の景色を見つめると気分が悪くなるのと同じことである。

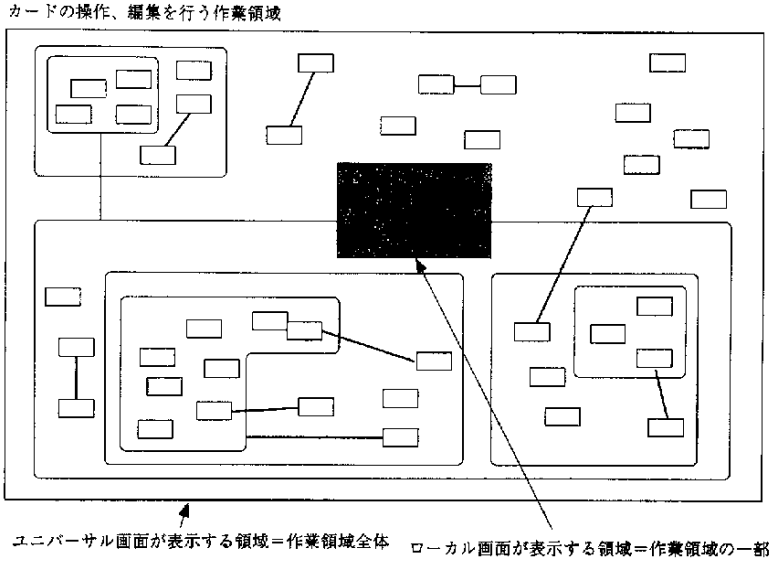
この問題は、今後ヒューマンインタフェースの問題として深刻になる可能性がある。例えば、バーチャルリアリティの実現手段として使われ出したヘッドマウントディスプレイの場合にも、表示速度が現在のところ遅いので、顕在化していないが、これが機器の使度を制限する可能性が高い。論理的な解決を図っただけでは、問題が解決しないところに、ヒューマンインタフェース研究の難しさがある。また、大画面ディスプレイはこの問題に限らず、ヒューマンインタフェース技術の改善にとって、最も重要な要素技術である。

③KJエディタによる協調作業

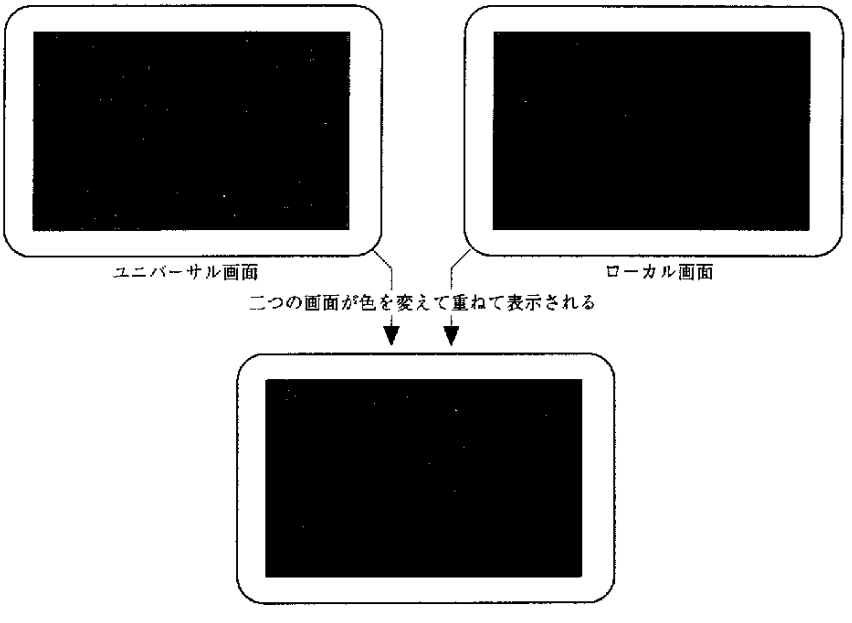
現在パニング機能を持ったKJエディタはネットワーク環境下でグループウェアとして実現されており、ソフトウェアの仕様のレビュー作業に用いられたことが報告されている [6]。

具体的には、協調作業者全員が一つの机を囲んで、その

図表III-2-43　作業領域と二つの画面（参考文献[7]より）



図表III-2-44　CRT上の二つの画面（参考文献[7]より）



机上でカードをともに操作する状況をシミュレートしている。各ユーザの画面には、共通の図解の状況が表示される。ある時点における図解に対する操作は、ユーザのうちの1人だけが行えるようにし、同時に2人以上のユーザがカードを操作して図解が混乱することを防いでいる。

この実験の結果、画面に表示されるカード操作がユーザ間のコミュニケーションに有効であることが示された。特に、図解中の特定の要素（カードやグループ）に全ユーザの焦点が集中されやすく、議論への各ユーザの意識の集中に効果的であること、並びに、議論された意見や指摘が全ユーザの承認のもとに図解中の適当な場所にその場で書き込まれるために、誤解や勘違いが生じにくいことが分かった。

反面、図解を操作する1人のユーザ以外のユーザは、受動的に図解を見ているだけであるため、ときに画面に表示されていない部分の図解を見たいという要求が生じ、フラストレーションの原因となることも分かった。

<参考文献>

[1] 國藤進「発想支援システムの研究開発動向とその課題」人工知能学会誌 第8巻第5号pp.552-559, 1993.
[2] 川喜田二郎「発想法」、「続・発想法」中公新書.
[3] 折原良平「発散的思考支援ツールの研究開発動向」人工知能学会誌 第8巻第5号 pp.560-567, 1993.
[4] 杉山 公造「収束的思考支援ツールの研究開発動向」人工知能学会誌 第8巻第5号pp.568-574, 1993.
[5] 小山雅庸、河合和久、大岩 元「カード操作ツールKJエディタの設計と試作」コンピュータソフトウェア、第9巻第5号 pp.38-53, 1992.
[6] 河合和久、塩見彰睦、竹田尚彦、大岩 元「協調作業支援機能を持ったカード操作ツールKJエディタの評価実験」人工知能学会誌 第8巻第5号 pp.583-592, 1993.
[7] 大須賀節雄（編）「ヒューマンインターフェース」知識工学講座第10巻 pp.48－49,1992.1993.

4. 知的インタフェース技術の研究動向

4.1 関連研究プロジェクト

4.1.1 日本の研究プロジェクト

知的インタフェース関連の日本国内の研究プロジェクトとして、通商産業省の「FRIEND 21プロジェクト［1］」文部省科学研究費重点領域研究「人間－機械・システム協調のための高次コミュニケーションに関する基礎的研究［2］」、科学技術庁の「知的生産活動における創造的支援に関する基盤的研究」、およびATRにおける関連研究［3］について紹介する。

(1) FRIEND 21

FRIEND 21（Future Personalized Information Environment Development in the 21st Century）プロジェクトは、通商産業省が1988年から6年間の計画で開始した「未来型分散情報処理基盤技術開発」の通称である。このプロジェクトにはコンピュータ、家電、印刷、出版等の14社が参加しており、21世紀のヒューマンインタフェースのためのアーキテクチャに関する研究を進めている。研究は、上記の14社が会員となって設立された財団法人パーソナル情報環境協会のFRIEND 21研究センターにおける研究と参加各社における研究の2本立てとなっている。

3.2.4.1ですでに述べたように、コンピュータの主な利用形態が、今後、パーソナル・ユーザが情報社会にアクセスするための道具（メディア）になっていくと考えられることから、本プロジェクトでは個人や社会のさまざまな日常的な情報活動をだれでも、いつでも、どこでも利用できるようにすることが重要な課題であると考えている。

この課題に対処するためには、ユーザの違いやユーザがそれまでに行っていた作業により、コンピュータの行う仕事とユーザへの見せ方や操作方法とを柔軟に対応づける必要があると考え、それを実現するため「メタウェア」と「エージェンシー・モデル」という考え方を提唱し、その実証のため、いくつかの応用分野を設定し研究を進めている。

(2) 人間－機械・システム協調のための高次コミュニケーションに関する基礎的研究

本プロジェクトは、1988年度に研究が開始され、1990年度までの3年間で研究が推進されたものである。対象分野を、高次コミュニケーションの基礎的研究、コミュニケーションの研究、知能インタフェースの研究、高次コミュニケーションシステムの構築に分けて研究が行われた。

高次コミュニケーションの基礎的研究―では、高次コミュニケーションを情報の認知から理解、推論、行動にいたる総合的なプロセスととらえて、人間－機械・システム協調のための基礎となる理論研究として、①人間と機械における情報の表現と意味に関する研究、および②

人間と機械における学習・推論と認知プロセスに関する研究を実施している。

コミュニケーションの研究では、コミュニケーション機構の解明のため、人間を中心とした機械との情報の相互作用の面および機械の側からの機械ー人間の知的コミュニケーションの面から検討し、①コミュニケーション機構の解明に関する研究、②知識処理に基づく高次コミュニケーションに関する研究の二つの分野について研究を行っている。

知能インタフェースの研究では、人間の情報の理解とメディアとがどのような関係を持つのかについて、①高次イメージインタフェースに関する研究、②情報の可視化による高次インタフェースに関する研究の二つの分野に分け、研究を実施している。

高次コミュニケーションシステムの構築では、①高次コミュニケーションシステム構築に関する研究、②高次コミュニケーションシステムの高信頼化に関する研究の二つの分野に分けて、高次コミュニケーションを実現するための知的情報処理システムの構成論に関して研究を行った。

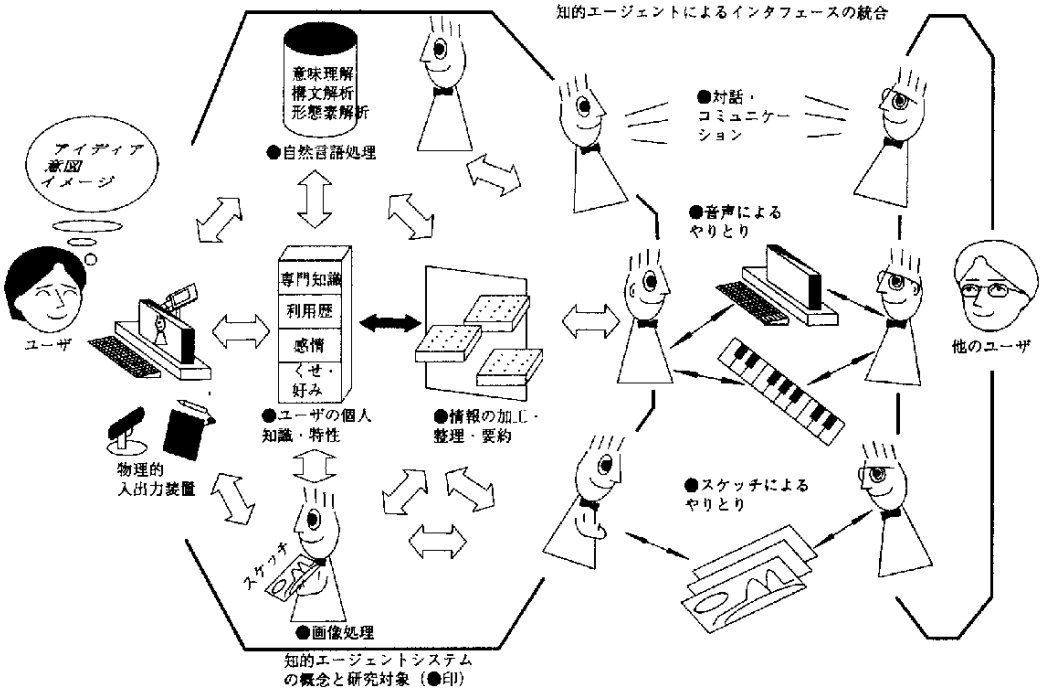
(3)　知的生産活動における創造的支援に関する基盤的研究

本プロジェクトは、1992年度にスタートし、第I期は3年間の計画で1994年度に完了する予定である。研究内容は、創造活動を支援するためのヒューマンインタフェースに関するもの、活動のマネジメントに関するもの、情報の可視化を支援するための並列コンピューティングに関するものと多岐にわたるが、ここではヒューマンインタフェースを中心に紹介する。

最終目標として、知的エージェントによるインタフェースの統合（図表Ⅲ-2-45）を目指して、自然言語処理、画像処理の研究を行っている。自然言語処理では、自然言語によるインタフェースを実現するため、日本語の統語論・意味論の構築や日常会話のモデル化、会話のための知識の構造化を進め、それに基づいて、会話システムの実現および各種の会話パターンを実現可能とするような統合された会話システムのモデル化を目指している。画像処理では、個人特徴に応じたスケッチの表現法と自動生成法、手書きスケッチからの意味理解と個人特徴記述法の抽出法、スケッチ間の自動マッチング手法などの開発を計画している。

また、人間の創造的活動の認知的な側面として、議論がまとまるまでの思考過程における個人知識の発展や情報機器利用に関する個人情報の発展のモデルを明らかに

図表Ⅲ-2-45　知的エージェントシステム



知的エージェントシステム
の概念と研究対象（●印）

したり、複数ユーザの協調活動のモデル化や電子的コミュニケーションの評価を行う予定である。

さらに知的ヒューマンインタフェースの基盤技術として、複数エージェントの並行協調動作による分散問題解決モデルを発展させ、自律動作する多様な道具群により、利用者の創造的活動を総合支援するためのアーキテクチャの研究を進めている。

(4)　ATRにおける関連研究

ATRは、情報通信の基盤技術研究を促進するため、基盤技術研究促進センターの出資により1985年に設立された。当初、ATR視聴覚情報研究所、ATR自動翻訳電話研究所、ATR通信システム研究所、ATR光電波通信研究所の4研究所でスタートしたが、ATR視聴覚情報研究所およびATR自動翻訳電話研究所は、1993年3月に7年間のプロジェクト期間を終了し、現在では、この二つの研究所に代わって、ATR人間情報通信研究所、ATR音声翻訳通信研究所が加わった四つの研究所から構成されている。

ここでは、知的インタフェースに関連の深い研究について紹介する。

ATR通信システム研究所では、臨場感会議システムの実現を目指し研究を進めている。臨場感会議システムは、互いに離れた場所にいる複数の人が、あたかも一堂に会しているかのような感覚で会議を行えるもので、仮想の会議室スペースを三次元CGで生成し、遠隔地にいる会議参加者の人物像も三次元CGで生成し、仮想スペースに合成している。人物像の三次元モデルは、あらかじめ遠隔地に送信しておき、会議中には、人の動きを認識し、この動き情報のみを遠隔地へ送ることにより、遠隔地において動きの再生を行っている。

ATR自動翻訳電話研究所では、音声認識、言語翻訳、音声合成などの要素技術を組み合わせて、ASURA (Advanced Speech Anderstanding and Rendering System of ATR) という音声翻訳システムを構築し、1993年1月にアメリカおよびドイツと国際公衆回線で結び、自動翻訳電話国際共同実験を行っている。

ASURAでは、発話者は文節ごとにポーズをおいて、文単位で発話するが、音声認識部、言語翻訳部とも約1,500語の語彙を扱うことができる。音声認識部は、前後の音の影響によって注目している音素の波形が変化することを反映した音素モデルを用いているので、連続音声認識性能が優れている。また、言語翻訳部では、扱える語彙や言語表現を増加させ、日本語の話し言葉の標準的な言い回しの約90%を扱うことができる。

ATR視聴覚機構研究所では、人間の情報処理メカニズムに学び、ヒューマンインタフェース技術の基礎を確立することを目指して研究を続けてきた。その一環として、視覚大脳皮質の計算理論の提案およびこの理論に基づいて陰影から形状を推定する視覚情報統合モデルを構築している。

＜参考文献＞

[1]　第4回FRIEND 21研究成果発表会予稿集(1992).

[2]　文部省科学研究費補助金（重点領域研究1）昭和63年度～平成2年度研究成果報告書「人間一機械・システム協調のための高次コミュニケーションに関する基礎的研究」(1992).

[3]　ATRジャーナル, NO.13 (1993).

4.1.2　外国の研究プロジェクト

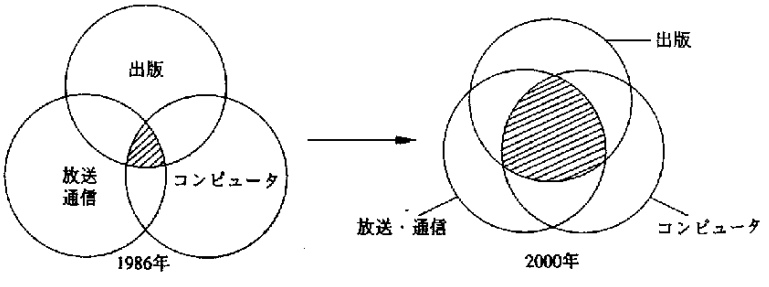
この項では、インタフェースを中心の研究課題としている「マサチューセッツ工科大学（MIT）メディア研究所」、「ロンドン大学」、「ゼロックス・パロアルト研究所」、「ゼロックス・ヨーロッパ研究所」、「欧州コンピュータ産業研究センター」、「マサチューセッツ工科大学（MIT）コーディネーション・サイエンス・センター」の六つの研究所を紹介する。

4.1.2.1　マサチューセッツ工科大学（MIT）メディア研究所

MITのメディアラボ（Media Laboratory）は、1985年にネグロポンテ（N.P.Negroponte）により設立されたメディア技術研究のための組織である。今から振り返ってみると、この研究所は、「感性化」の動きを先取りしていたととらえることもできよう。

ネグロポンテは、メディア技術を説明するのに、よく図表III-2-46のような図を用いていた。つまり、メディア技術は、出版と放送・通信とコンピュータという独立し

図表III-2-46　メディア技術



て進歩してきた三つのフィールドの共通部分に狙いを定めた新しい学際的領域であるというわけである。そして、この共通領域は今後ますます広がっていくはずであり、この部分に焦点を当てて研究を進めていくことが重要であるという信念のもとにメディアラボが発足した。

この研究所は、11のグループより構成され、大きくはテクノロジーオリエンテッドなグループとアートオリエンテッドなグループに大別される。前者のテクノロジーオリエンテッドなグループでは、印刷・グラフィックス・テレビ・コンピュータなどの幅広い技術をベースにしており、人間の意思・感情などを他人やコンピュータに伝達しようとするときのツールの研究開発が中心テーマになっている。一方、後者のアートオリエンテッドなグループでは、教育や芸術活動におけるコンピュータの役割に関する研究が進められている。

メディア技術が具体的に目標としているフィールドについては、この研究所のグループ構成および研究テーマを概観すれば把握できると思われるので、これを図表Ⅲ-2-47にまとめて示す。この研究所の特徴を一言で表現すると、"Enjoyability driven" な研究を行っている点であろう。つまり、研究者の感性が研究のベースになっていて、コンピュータ音楽やフィルム・ビデオなどのアートオリエンテッドなグループや教育に携わっているグループが大きな力を持っている点である。これは、ネグロポンテの言によると、「今までのメディアの発明を振り返ってみると、常にそれに直接関わっている人が発明を行ってきた。例えば、カメラを発明したのは写真家であるし、映画も同様である。そのため、教育や芸術へのコンピュータの応用を考える場合も、直接これらの活動を行っている人々を取り込んでいくことが重要である。」という考えに基づいている。

さらに、技術オリエンテッドなグループで開発されたヒューマンインタフェースやビジュアルインタフェースの新しい技術が、教育・芸術に携わっている人々に浸透していき、また教育・芸術の側からのニーズが技術オリエンテッドなグループにフィードバックされるという相乗効果も、このラボのねらいであろう。

4.1.2.2　マサチューセッツ工科大学コーディネーション・サイエンス・センター

マサチューセッツ工科大学コーディネーション・サイエンス・センター（MIT Center for Coordination Science）は、組織内や組織間の協調の問題や情報技術によるその支援を学際的な立場から総合的に研究するために設立された研究機関で、所長はProf. Thomas Maloneがつとめている。このCenter for Coordination Scienceの研究テーマとしては、

① Organizational structures and information technology
② Coordination technology
③ Coordination theory

の三つが掲げられている。具体的研究事例としては「情報フィルタリング」。すなわち「今後の情報過多の社会においては、本当に必要な情報のみをうまく提供・選択する機能が重要である」という立場から、Information LensやObject Lensと呼ばれる電子メール管理用グルー

図表Ⅲ-2-47　MITメディアラボのグループ構成

グループ名	研究内容
(1)Learning & Epistemology	創造性を重視した教育ツールの開発 LOGOの改良・普及など
(2)Human Interfaces	より豊かなヒューマン・インタフェースの開発
(3)Electronic Publising	既存のメディアの電子化、インタラクティブなどビジュアル・インタフェースの開発
(4)Speech Research	留守番電話の高機能化など
(5)Movies of the Future	動画像の帯域圧縮（CD-ROM化）、インタラクティブな映画の開発
(6)Vision & Modeling	画像認識・画像符号化などビジョンに関する研究
(7)Computer Graphics&Animation	コンピュータグラフィックスの表現・生成、アニメーションの製作
(8)Spatial Imaing	ホログラフィの開発とその応用
(9)Film & Video	映画の製作の支援技術の開発
(10)Visible Language Workshop (VLW)	グラフィックス関連技術の開発、CCDディスプレイや印刷技術など
(11)Music & Cognition	コンピュータによる作曲や演奏の支援 音楽の認知の研究

プウェアの開発を行っている。

4.1.2.3　ロンドン大学ロンドンカレッジ心理学科

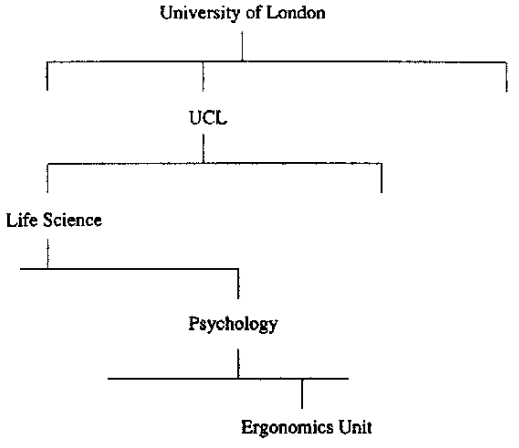
(Ergonomics Unit, Psychology Department, Univercity College London)

UCLはロンドン大学のいくつかあるカレッジの一つであり、その中にLife Science学部心理学科がある。Ergonomicsユニットは、心理学科の中にあり、Long教授のもとに1979年設立された。修士（一般人間工学コース、ヒューマンコンピュータ・インタフェース（HCI）におけるヒューマンファクターコース）および博士（HCI）課程がある。Long教授はその前にはCambridge大学の応用心理学の教授であった。研究グループには10人の常勤研究員と6人のドクターの学生がいる。バックグラウンドは、行動科学、行動心理、のほかに、ソフトや機械の工学者も含まれている。外部とは、London HCI Centre UCLという民間のHCIサービスグループから常勤のコンサルタントを得ている。心理学科の中と同様に、Ergonomics Unit内で、研究、開発、商用化（Commercial activities）などが組織化されている。

この研究グループのロンドン大学の中での位置づけは図表III-2-48のようになる。

グループの目標、ミッションは、HCIの一般的設計問題の解決を支援することである。そのために、ソフトウェア工学との対比において、Humann Factorに関する知識を獲得すべく研究を行う。コンピュータと人間とが仕事を効果的（effective）に遂行するためにインタラクションができるシステムの設計が目標。役割は第一義的には工学であり、サイエンスではない。対象は、専門家の

図表III-2-48　Ergonomicsユニットのロンドン大学での位置づけ



環境、分散ネットワーク、統合型広帯域通信、さらには、航空管制、オフィス管理、海上案内などの特殊な用途の技術も包含している。

研究を推進する戦略は次の通りである。まず、短期目標として、実務的な課題（例えばガイドライン作成、標準など）を設定し修士課程の学生に担当させる。中期目標は構造化された方法論の開発であり、ユーザとタスクとを峻別する必要性を説きつつ、むしろタスク中心の発想に重きをおいていて方法論を展開しようとしている。コンピュータと人間とのインタラクションの一貫性のある完全表現（工学的設計原理を狙う）が課題であり、心理屋さん達が工学を狙っている、という現象になっている。フォーマルな扱い、あるいは原理の追及は今しばらく取り組むのは諦めて長期的な研究テーマとしてしまってある。

代表的な研究プロジェクトは次の通りである。

●設計者のためのガイドライン

ヒューマンインタフェース設計のために300項目からなるガイドラインを作成し、実験評価を行った。認知科学的考察に基づいてこれらの項目が導出されているところに特徴がある。結果はルールになっているので、ルールベースシステムとしてまとめることによって、ガイドラインのサポートシステムを構築できるであろう。

●ユーザインタフェース構築ツール／評価システム

タスクの種類を三つのタイプ（ビデオ会議、情報検索、監視）に整理し、それぞれのタスクのためのインタフェースを設計／シミュレーション／評価するためのツールを開発中。タスク分析、ユーザ要求の分析等に心理学的考察が行われている模様。システムが具体的に作動しはじめて、データの収集が可能になると面白そうだ。

4.1.2.4　ゼロックス・パロアルト研究所

Xerox社は、アメリカとカナダに三つの研究所を持っているが、その中でパロアルトリサーチセンター（PARC）は、コンピュータサイエンスを中心とした研究所である。マウスとビットマップディスプレイによるデスクトップメタファなど、現在のコンピュータインタフェースには不可欠であるさまざまな概念とデバイスを生み出した研究所としても有名である。

研究の大きなテーマはコンピュータを中心としたシステム技術である。その下にいくつかの研究プログラムがあるが、その多くは流動的であり、外部に詳細は知らされていない。その中で「ユービキタス・コンピューティング・プログラム」は、現在PARCの中心的プログラム

であり、論文や学会での学術的発表だけでなく、一般向けの技術雑誌や新聞などにも発表されよく知られた研究プログラムである。この「ユービキタス・コンピューティング・プログラム」では、ソフトウェアばかりではなくデバイスも含めて研究が進められている。ユービキタスとは「ありふれた」という意味であり、この研究はコンピュータをオフィスに浸透させ、その存在を意識しないで使っているといった環境を実現しようとするものである。具体的には、ライブボード、パッド、アクティブバッジなどがある。これらは、それぞれ、黒板、ノート、手帳を電子化し、ネットワークで繋いだものと考えることができる。これらの背後には、コンピュータが隠され、ユーザはその存在を意識することなく、サポートを受けることができるのである。この「ユービキタス・コンピューティング」の研究は、ヨーロッパにあるEuroPARCとともに研究が進められている。

<参考文献>

[1] M.Weiser, The Computer for the 21st Century, Scientific American Vol.00 No.3 p.00(1991).

[2] M.Weiser, Some Computer Science Issues in Ubiquitous Computing, Communication of ACM, Vol.36 No.7 p.75(1993).

[3] P.Wellner, Interacting with Paper on the Digitaldesk, Communication of ACM, Vol.36 No.7 p.87(1993).

4.1.2.5　ゼロックス・ヨーロッパ研究所

EuroPARCは、Xerox社のヨーロッパ研究所であり、情報処理の中でも、心理学、社会学、組織学の視点に焦点を当てている。1986年に創設をアナウンスして、1987年にスタッフの募集を始め1988年にはTom Moranを所長にして研究所を開設した。1990年からはBob Andersonが所長。研究者22名（常勤、招聘等）、7人のドクターおよび研究費持ちの学生5名である。研究者は50％が情報技術、25％が心理学、25％が認知科学を背景としている。

外部との共同研究も積極的に取り組んでおり、ヨーロッパのアカデミック、および産業界の研究グループ、Xeroxのグループ、英国のグループなどと協力している。研究予算は、ESPRITプログラムのEUROCODE、ESPRIT基礎研究プログラムのCOMET、RACEプログラムのMITS、ならびに英国のResearch Councilからのプロジェクトを3件それぞれ担当している。

研究所の狙いは、情報、技術、仕事を統合する全く新しいシステムを開発することにある。そのために、組織学、社会学、心理学的な立場で研究を進めている。理論研究、新技術の設計と実験、現状技術ならびに実世界の作業の分析を行っている。

●Mutimedia Communication

コミュニケーションとコラボレーションの支援技術の開発。オーディオとビデオを主体。研究所全体にAVネットワークを張り巡らしてある。そのためのソフトウェアを開発して利用法の研究を進めている。遠距離間通信として、カリフォルニアのPARCとの間にデジタル映像回線を引いて、Portholesシステムを用いて研究を行っている。外部協力では、British Telecomと共同で英国、とオランダの協力を行っている。EUROCODEプロジェクトがサポートしているESPRITにも参加して、デンマークGreat Belt水路の世界最大の橋の建設で、双方の通信のための支援技術開発に参加している。

●Technology-mediated Interaction

技術和解のインタラクション。人が技術と交わる状況、技術を通して交わる状況、目前の仕事を技術により支援する見通し—などの研究。机の効用を調べて、ワークステーションとの違いを明らかにする。都市交通の制御室への新しいメディアの導入を検討中である。その他病院の現場、設計現場などがある。

●Environmental Interfaces

従来のワークステーションを超えるコンピュータの環境のインタフェースの開発。例えば、イベントサーバは、実時間のビデオ切り替えや、予定表に書かれたイベントの実行など。音声とは異なる音響（non-speech audio sounds）による、イベントの進行や予告を行うシステムを、研究所内で使っている。また、ワークステーションに表示した文書ではなく、机上の紙の文書と直接インタラクションすることをサポートするコンピュータ技術の開発を行っている。

●Activity-Based Information Retrieval (AIR)

記憶の補助技術開発。データに（発性）時刻を付けてストア。どの時点で必要となるか予見できない情報の検索を助ける目的。自動日記記録システム（automatic diary generator）を開発中。ラップタイム付きビデオデータを用いたダイアリーの第1版を制作した。ほかにstylus based notepadがある。オフィスでの情報、ワークステーションや紙も含むが、の詳細を蓄えるシステム。

●The Design Process

設計過程の研究を、現場も使って実施中。特にソフト

ウェア開発。CASEの流れ。

●Ecological Approach Design

Gibsonの生態学的心理学に基づく設計に関して研究中。つまり、人間と環境との相互作用、形が人間に想起させる行動との関係である。

●Design Rationale

デザイン空間分析（Design Space Analysis）と呼ぶ設計法の研究。代案とその利点を明示し、選択させる方法。設計知識の集積と構造化の研究の基礎的枠組として利用中。ESPRITのAMODEUS ESPRIT Basic Researchプロジェクトの一部として推進中なのは、種々のユーザモデルおよびシステムモデルを統合してHCIの設計に結び付ける方法を開発するプロジェクトである。

4.1.2.6　欧州コンピュータ産業研究センター

欧州コンピュータ産業研究センター（European Computer-Industry Research Center；ECRC）は、日本の第五世代コンピュータプロジェクトのICOT（(財)新世代コンピュータ技術開発機構）に対応して、1984年に設立された民間企業の共同研究所であり、米国のMCC（Micro Computing Corporation）のヨーロッパ版である。参加企業はフランスのBull、英国のICL、それにドイツのSiemensの3社である。ECRCの組織は、全体で80名。常勤研究者が56名ほど、その他Ph.Dの学生、システムエンジニア、総務系の職員など。現在15ヶ国の異なった国籍の職員が勤務している。出資（shareholder, stockholder）は、フランスのBull、ドイツのSiemens、それに英国のICLの3ヶ国、3企業である。組織自体の目標は、ヨーロッパ内の企業の技術レベル向上、技術的国際競争力の強化である。

設立の趣意は「情報技術の分野のプレコンペティチブで開発に長期間を要する研究開発を推進すること」とパンフレットに明記されている。長期的な基礎研究はまずできそうになく、比較的短期な目標を設定して研究を進めているのが実態である。技術的には、「宣言的手法Declarative technologiesに基づき、意思決定支援システムの分野でヨーロッパのさらに基礎的な専門性を促進することを目指す」とある。具体的にはプロトタイプの提供、あるいは競争的な商用領域で即戦力となる技術を提供することである。ESPRITプロジェクトからの研究費も流れ込んでいる。

知的インタフェース関連の研究テーマにはマジック（MAGIC；Multiple paradigm approaches, Advanced Graphics and Interactive Computing）プロジェクトがある。これは、マルティプル・プログラミング・パラダイムをサポートする環境の開発を狙ったもので、対象は分散システム、グラフィック・インタラクティブシステムである。

その他の主な研究プロジェクトは次の通りである。

●ロジックプログラミングと問題解決（LP; Alex Herold）

意思決定支援システムの構築ツールの開発。基盤は論理型プログラミングに置く。オブジェクトと制約充足推論がポイント。高度な表現、柔軟性、効率を狙い、ユーザが手続き型でなく宣言型でプログラムできる環境を提供すること。

●知識ベース（KB；Mike Freeston）

ロジックに基づいた知識ベースシステムの理論研究と実際的システム構築。オブジェクト指向など。他のデータモデルの研究も行う。

●並列分散システム（DPS；Mike Reeve）

KCM：UNIXにつながるバックエンドマシン開発。Knowledge Clunchingを狙う。

Elip Sys：複雑な意思決定システム向きのマルチパラダイムロジックプログラミングシステムの開発。

4.2　研究事例

4.2.1　AI技術と知的インタフェース

ここでは、AI技術をベースにした人間・コンピュータ協同型システムの例を示す。

(1)　表象ー吟味のループを持つ因果理解支援システム [1]

近年、システムの大規模化に伴い、発生する現象も複雑な様相を呈しており、システムを目的に沿った形で効率的かつ安全に運用していくためには、コンピュータの高度利用とともに、オペレータの的確な判断が必須となってきている。そのような点で、オペレータの技能や知識の向上が重要な課題となってきているが、現状の教育・訓練の形態は、運転マニュアルや機器ごとの機能説明書等を用いたクラス・ルーム・トレーニングとシミュレータを用いた模擬トレーニングが主体となっている。

これらは、ラスムセン流のタスク処理の観点からみると、スキル・ベースもしくはルール・ベースの判断のための訓練であり、深い知識に基づいたナレッジ・ベースの判断のための訓練としては不十分なものであると考えられる。つまり、操作盤のレプリカを用いた訓練を繰り返すことにより、操作の技能の向上や事前に定められたルールの的確な適用が可能となるが、事前に定められたルールというのは、あくまでも想定された前提のもとに

成り立つものであり、その前提が崩れたときには、オペレータが自分自身の持っている知識を結集してその場でできるだけ適切な判断を下す必要がある。このような未経験の事態に対処する能力の向上が実際には一番求められている点であり、そのためには、対象とするシステムの振舞いに関する深い知識を養成することができる教育・訓練システムを実現する必要がある。

このようなニーズは、スリーマイルアイランドやチェルノブイリの事故の経験からも指摘されている点であり、ブラックボックスとして対象をとらえ、教えられた手順だけを盲目的に行うスタイルではなく、自分自身で納得した知識を用いて確かめながら操作していくスタイルが重要ではないかと思われる。具体的には、「わかりにくい」という印象を持ったときに、「わかりたい」という人間の内から発する行為をメンタルモデルとの関わりから支援することも重要ではないかということである。つまり、その人が持つメンタルモデルが表象できるような環境を用意して、「あなたの理解はこのようなものですよ」ということを示し、さらにそのモデルを動かすことによって実システムとどこが違うのかを自分で見つけさせるような環境を作り出す方向である。また、表象したモデルを動かしてみて、おかしい所に気がついたときにはモデルを変更して、すぐに試してみることができることも重要であろう。このような、自分自身のメンタルモデルを表象・吟味できるような環境の構築を目指すのも、深い知識を養成したいというニーズに対する一つのやり方ではないかと思われる。

図表Ⅲ-2-49に、理解支援方式の枠組みを示す。基本的には、現象が与えられたときに、定性的変数間の因果シークエンスを導出し、その過程を通して学習者が理解を深める枠組みとなっている。この過程において、第1に対象に対して学習者は「視点」と「定性的観点」を用いて、階層型定性モデルを構築する。つまり、機器ごとの物理階層を変更し、さらにプラント変数の定性的表現を細かくしたり粗くしたりする。この定性モデルの変数間には、あらかじめ因果関係が記述してある。次に、初期状態を設定して定性シミュレーションを実行し、現象を追いかける。このときに定性的表現に起因する曖昧さが発生するが、コンピュータは学習者にその状況を提示して、その解消は学習者が実行する。学習者はその解消に当たって、現象の定量結果や変数の定性的変化のグラフを利用する。次に、コンピュータ側でこの定性シミュレーションの結果に基づき、因果シーケンスをツリー状に表示する。学習者は「納得できない」場合には「モデルの再構築」や「定性シミュレーションの任意の時点に戻る」という機能によって、納得できない点に対してモデルを代えて再試行を行う。

ここで述べた枠組みにおいては、学習者は主体的に「階層の選択」「主観的な定性情報の導出」「納得できるかどうかの評価」を行い、コンピュータは「物理モデルの提示」「定性シミュレーション」「定性シミュレーションにおける曖昧さの発生の提示」を行う。このような役割分担を行わせることにより、人間とコンピュータはそれぞれ得意な部分を担当し、しかもトータルとしては、人間の理解の深化を支援できる環境が実現できるものと思われる。

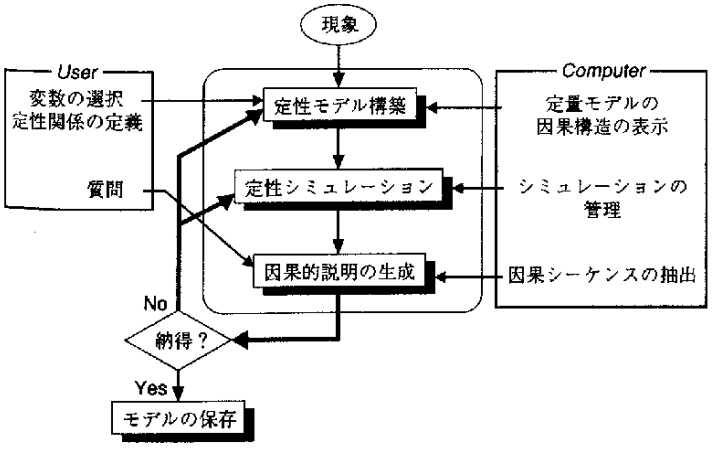
以上のような考え方に立って、メンタルモデルの表象・吟味のためのツールBECAUSE（Basic Environment for CAusal UnderStanding Enhancement）を開発した。図表Ⅲ-2-50に、システムの動作例を示す。

本システムの有効性に関しては、今後さらに検証していく必要があり、また機能的にも定量データの有効な利用などいくつかの課題が残っているが、メンタルモデルの表象・吟味のツールという立場からの理解支援システムは、今後重要性を増していくものと思われる。

(2)　事例とドメイン知識の融合による知識獲得支援システム［2］

知識獲得の支援に関しては、知識

図表Ⅲ-2-49　理解支援方式



の整理や洗練を支援する環境に関する研究、帰納的な学習により例題から知識を生成しようという研究、対象に関する理論的な知識を用いて演繹的に問題を分析・説明することにより適切な詳細さを持った対象知識を生成しようとする研究などが行われてきた。

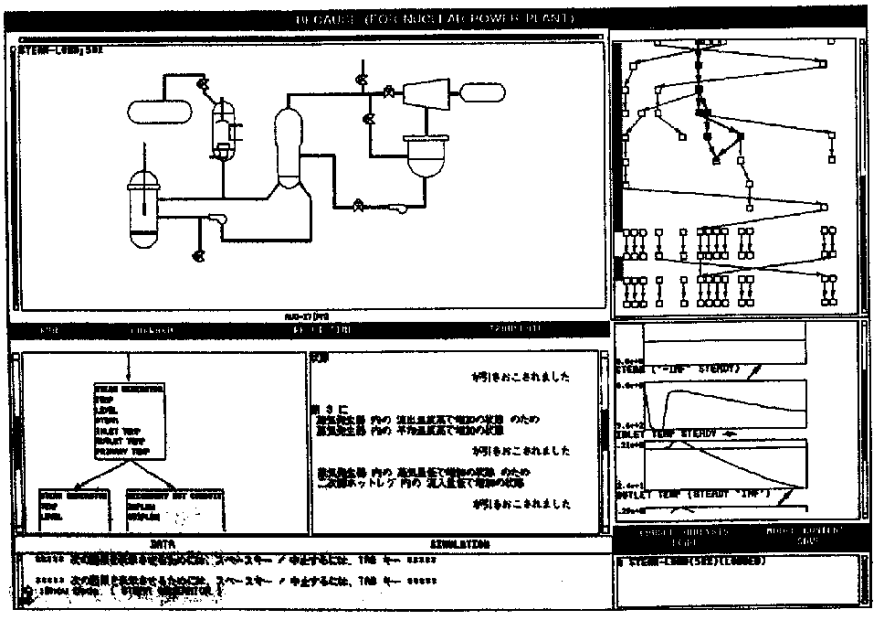
これらの研究の多くは、人間が意識下に持つ知識をコンピュータに移植する段階の支援を主眼としたものであった。例えば、人間の専門家に足りない知識を思い出させるための一手法として、学習対象の知識のあるべき姿についての知見を用いて専門家から得られた知識を分析し、その結果に基づきインタビューを行う方法が研究されている。これは、ちょうど博学な素人が専門家に問題の本質をついた質問をして知識を引き出す場合に相当するであろう。

これとは逆に、専門家はまったくの素人が起こす過ちを見ることにより、その過ちを起こさないための知識を容易に思い出すことができる。これは、古くから反面教師として知られている方法に相当しよう。このような意識外の知識を人間に思い起こさせるタイプの支援は、従来あまり取り上げられていなかった。人間というものは、なにか具体的な状況が与えられないと、内に持つ知識を外に出すのが困難な場合が多いことを考えると、このようなタイプの支援が今後重要性を増していくものと思われる。

ここでは、後者の立場に立った知識獲得支援システムを考える。すなわち、帰納的学習に用いる事例を単に知識生成のもとと考えるのではなく、専門家に意識外の知識を気づかせるきっかけとして用い、それをもとに対象知識の枠を広げて行こうとするアプローチをとる。具体的には、帰納的学習の技術を用いて例題から生成された出来の悪い知識を、同じく十分でない対象知識を持って解釈を試み、その過程や矛盾点を専門家に指摘することにより、専門家に知的刺激を与え、新たな対象知識を獲得したり、また新たな事例が必要なことを認識させたりすることを目指す。つまり、重点は、帰納的学習による自動学習ではなく、人間による解釈と修正におかれている。また、帰納的学習の観点から見ると、学習したい概念をむらなくカバーする例題を効率よく用意する過程を支援すると共に、対象知識を用いて、帰納的に生成された知識を、評価・修正する作業を支援していると考えることもできよう。

以上のような設計思想のもとに、事例を用いた帰納的学習と対象知識を融合した知識獲得システムKAISER（a Knowledge Acquisition Inductive System by Explanation-based Reasoning）を開発した。KAISERは、現在UNIXワークステーション上にインプリメントされている。KAISERは、図表III-2-51のような構成をとっており、構造的不都合および意味的不都合を検出して、専門家に提示する。それぞれの不都合の意味するところは以下のようなものである。

図表III-2-50　BECAUSEの動作例



・構造的不都合というのは、獲得しようとしている対象の知識にまったく依存せず、分類のために採用される学習アルゴリズムに固有の不都合である。KAISERで採用したID3の場合、例題の分布状況によって認識結果が不定となるような決定木を生成したり、例題の特徴を記述する値に含まれるノイズや例題が属する正解クラスの誤りなどにより過度に詳細な条件が生成されるなどいくつかの不都合が知られている。これらに対しては、各々の不都合を解消するための方略を用意しておき、これに基づき質問と選択肢を提示することにより、対話を通じて専門家が納得のいく形での不都合解消を目指す。

・意味的不都合というのは、事例から統計的に導出される範囲では問題と言えないが、領域知識に基づき解釈を試みた際に生じる不都合であり、具体的には、帰納学習により得られた決定木中の条件を、事前に与えられた領域知識中の個々の知識に対応づけることにより検出できる。この際、どの知識が不足か、どの知識が冗長かを推論して、知識の欠落や誤りなどの可能性を指摘する。この部分も、基本的には対話をベースにしており、不都合を検出したあと、質問と選択肢が示され、その中から人間が良いと思われるものを選択して総合的な知識の洗練を目指すことになる。

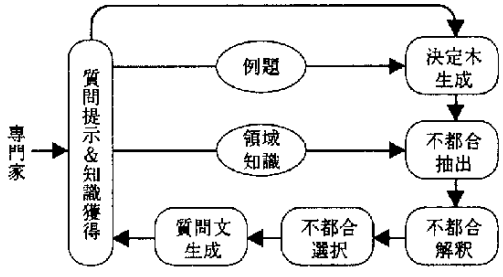
以上のようなシステムを構築し、変圧器の油中ガス分析を例に、事例と領域知識を融合した知識獲得を行ってみた。使用した事例は40例であり、対話を通じて構造的不都合・意味的不都合を解消することにより、最終的に図表Ⅲ-2-52のような決定木が得られている。このように、KAISERを用いることにより事例をベースに専門家の知識と融合した形の知識獲得が可能になるものと期待される。

＜参考文献＞

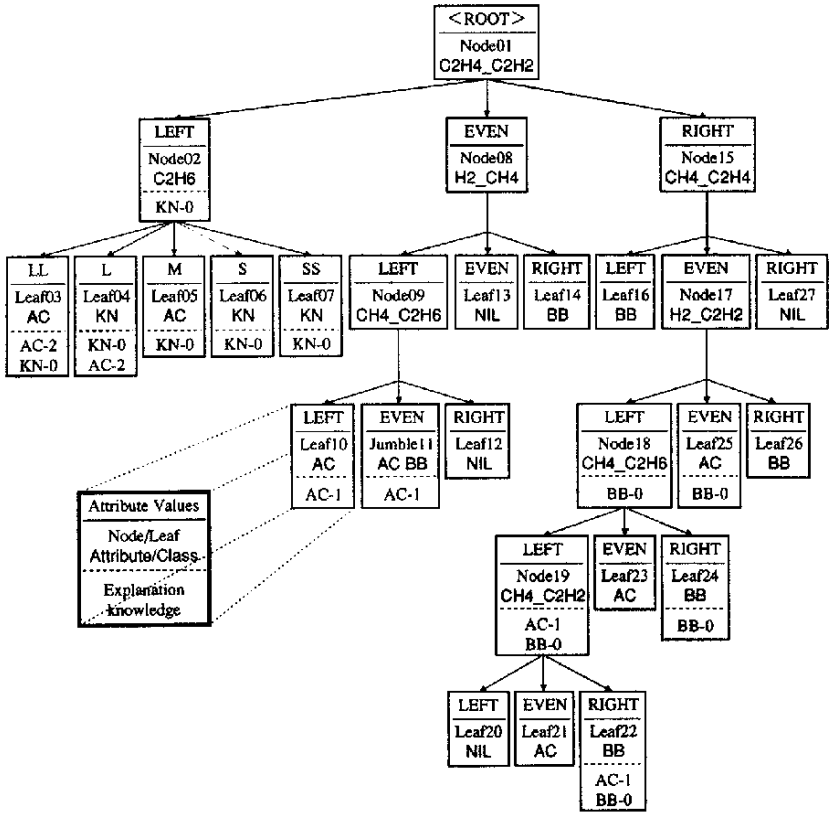
[1]　秋吉、西田:「大規模システムの挙動理解のための階層型定性シミュレーション」,情報処理学会論文誌, 32-1, 32/41 (1991).

[2]　辻野、西田「帰納的学習と演繹的説明付けに駆動された知識獲得システム：KAISER」人工知能学会誌,7-1,149/159(1992).

図表Ⅲ-2-51　KAISERSシステム構成



図表Ⅲ-2-52　得られた決定木



4.2.2　音声による知的インタフェース

人間の最も自然なコミュニケーション手段である音声メディアは、コンピュータとの対話メディアとしても重要視され、世界各国で巨費を投じて音声言語処理の研究が行われている。しかし、最新の連続音声認識の研究成果を実世界の応用システムに適用した場合、発話の制約が強く、リアルタイム性や耐雑音性能が不十分であるとの問題が明らかとなってきた。

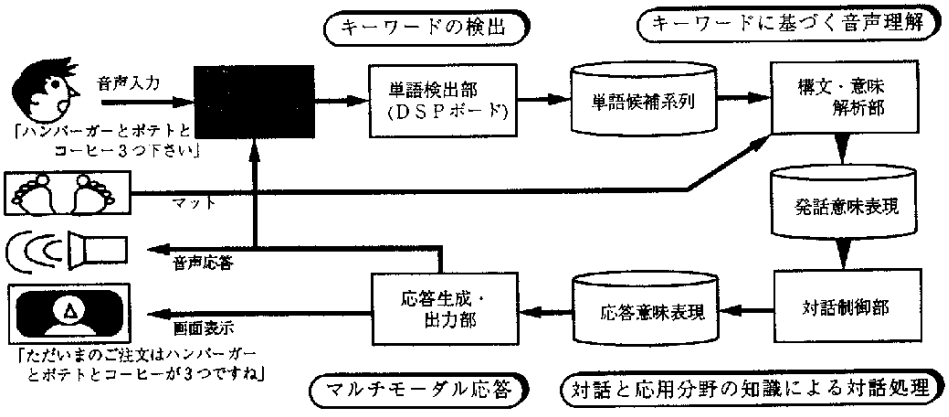
以下では、不特定のユーザに対して「何ら制約を設けない」というコンセプトに基づき試作された音声対話システムTOSBURG［1］と、それを発展させた音声自由対話システムTOSBURG II［2］について述べる。図表Ⅲ-2-53のように、TOSBURG IIは、キーワード検出部、自由発話理解部、ユーザ主導型対話処理部、マルチモーダル応答生成部、音声応答キャンセル部からなり、実時間で動作する。

TOSBURG IIはキーワードによる自由発話理解をベースにしている。連続音声中のキーワード検出は、雑音免疫学習により雑音や不要語に対するロバスト性を高めた認識辞書と単語特徴ベクトルの間の連続的なパターン照合により行う。図表Ⅲ-2-54にキーワードラティス（候補系列）の例を示す。

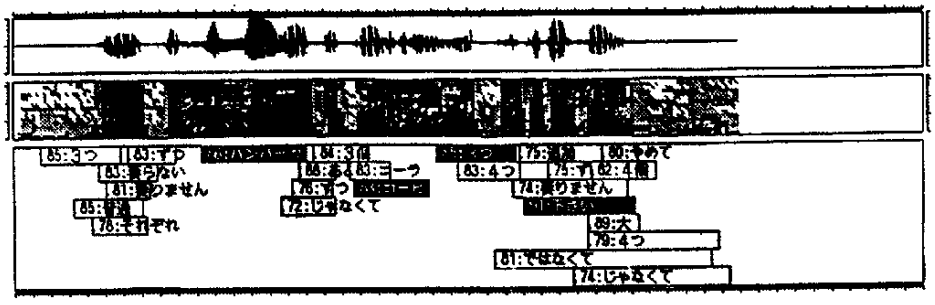
構文意味解析部では、入力音声を一字一句解析するのではなく、キーワードラティスを解析して意味表現を求め、複数の発話意味表現候補を対話処理部にわたす。図表Ⅲ-2-55は自由発話音声の解析例である。“ハンバーガー”、“下さい”などのキーワードから、“注文”などの行為を表すアクト、注文品、個数などの対話に必要な意味内容を得る。また、対話中の省略表現や不要語にも対応し、不明な点や曖昧な点は対話処理で補う。

対話システムの多くは、システム主導型の「穴埋め形式」の対話処理を採用しており、ユーザは型にはまった発話を強いられている。試作システムはユーザ主導型対話を目指し、対話中のさまざまな状況下で、システム応答に対してユーザの多様な発話を許し、対話の履歴や状況を考慮して省略表現された発話理解などを行う。また、状況に応じて適切な応答を生成し、ユーザが安心して対話できるように設計した。

図表Ⅲ-2-53　音声自由対話システムTOSBURⅡの構成



図表Ⅲ-2-54　キーワード候補系列の例

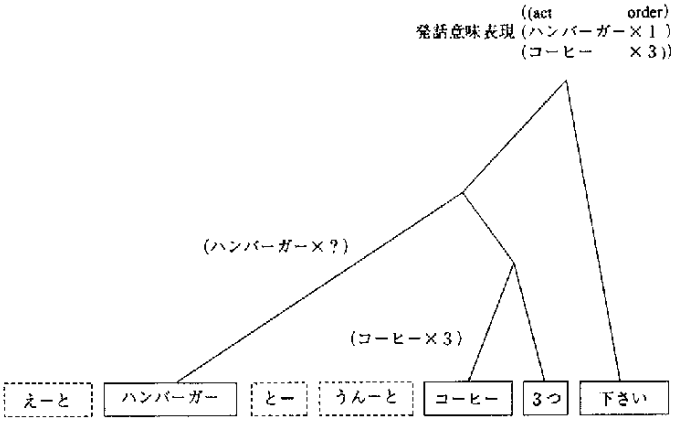


図表Ⅲ-2-56に示すように本システムでは、対話処理の流れを、ユーザの発話を理解するユーザ状態と、タスクを管理して応答を生成するシステム状態とに分けてモデル化した。このモデルの採用により、ユーザとシステムの状態変化を対話の進行状況に即して表現でき、ユーザ主導の多様な対話の流れに対応できた。図表Ⅲ-2-56のユーザ状態では、音声理解部からの複数の意味表現候補に対してユーザ状態に依存した解析を行い、直前のシステムの応答や対話の履歴情報との意味的な整合性を調べ、ユーザの発話の内容を理解する。例えば、自由発話で頻繁に起こるサイズなどの省略に対しては、直前のシステムの応答を参照して省略された品名、サイズ、数を補う。直前のシステムの応答内容と入力意味表現候補の内容が適合しない場合には、その候補のスコアを下げるなどの処理を行い、最も高スコアの入力意味表現候補を選択する。一方、システム状態では、対話音声の理解結果に従って対話の履歴情報を更新し、応答意味表現を生成する。入力意味表現は音声認識・理解の曖昧性を含むので、本システムでは、ユーザにシステムの理解が曖昧な点を確認するための応答を出力し対話を進める。さらに、本システムでは、発話理解の確信度や対話の進行状況などのシステムの内部状態を表す感情情報も応答生成・出力部に出力する。

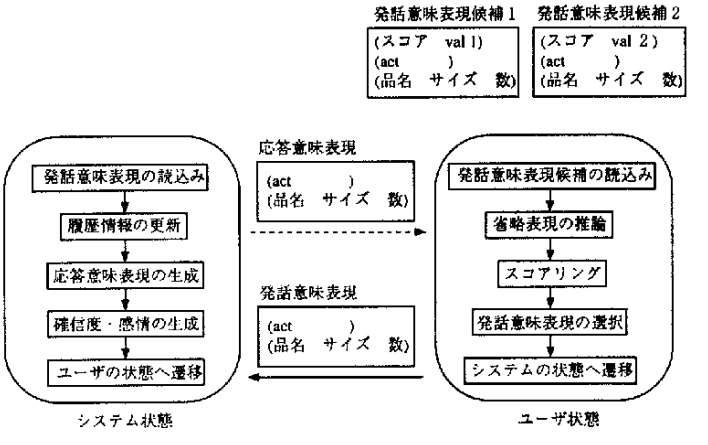
応答生成部では、応答意味表現とシステムの内部状態から、合成音声とおよび図表Ⅲ-2-57に示す応答文テキスト、店員の姿、注文品目と個数の視覚表示からなるマルチモーダル応答を出力する。このとき、店員の表情を対話状況に応じて変えるとともに、口の動きの開始タイミング・時間を合成音声に合わせている。音声応答出力は、曖昧な点を確認する場合などに、イントネーションを制御して強調点を伝える。マルチモーダル応答の採用により、合成音声がメッセージを聴覚的に、同時に応答文テキストを視覚的に提示することにより、合成音声の品質が不十分な場合でもユーザのシステム応答の理解を助け、また、音声メディアの一過性という欠点を補うことができた。

TOSBURG Iでは図表Ⅲ-2-57に示すような唇のアイコンを表示し、音声応答中はユーザの音声入力を受けつけないように設計した。しかし、人間同志の対話ではしばしば相手の応答を遮って発生しており、より制約の少な

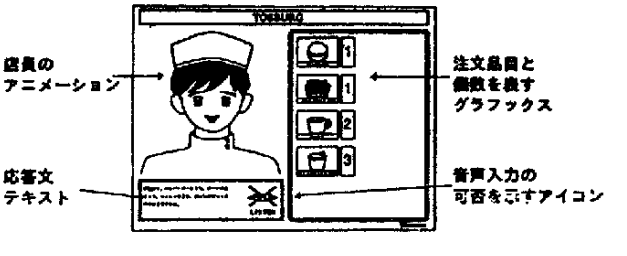
図表Ⅲ-2-55　意味表現と解析木の例



図表Ⅲ-2-56　対話処理における音声理解と応答生成



図表Ⅲ-2-57　視覚メディアによる応答



い自由対話（Spontaneous Interaction）を実現するために、TOSBURG IIでは、図表III-2-56に示すように音声応答キャンセル機能を組み込み、システムからの音声応答を遮って常に音声入力を可能とした。

以上述べた音声対話システムの試作以来、音声インタフェースの研究が加速化している。今後、コンピュータの高性能化とともに、応用分野を拡大しながら、音声による知的インタフェースの実用化が進展するものと期待される。

<参考文献>

[1] 竹林洋一、坪井宏之、貞本洋一、橋本秀樹、新地秀昭：“不特定ユーザを対象とした音声対話システムの試作”、人工知能学会研究会資料、SIG-SLUD-9201-4（1992）.

[2] 竹本洋一、永田仁史、瀬戸重宣、新地秀昭、橋本秀樹：“音声自由対話システムTOSBURG II—マルチモーダル応答と音声応答キャンセルの利用—”、情処学会HI研資,HI-45-13（1992）.

4.2.3 バーチャルリアリティ

(1) ディスプレイの研究

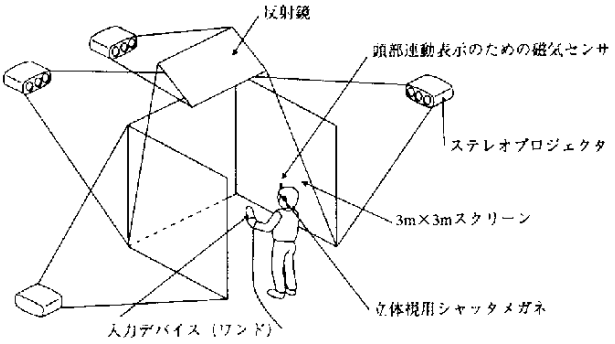
バーチャルリアリティ（VR：人工現実感）の研究事例として、まず種々のディスプレイの研究を挙げることができる。人工的に現実を合成するためには、種々の感覚刺激を作り出すディスプレイが必要になるからである。

① 視覚ディスプレイ

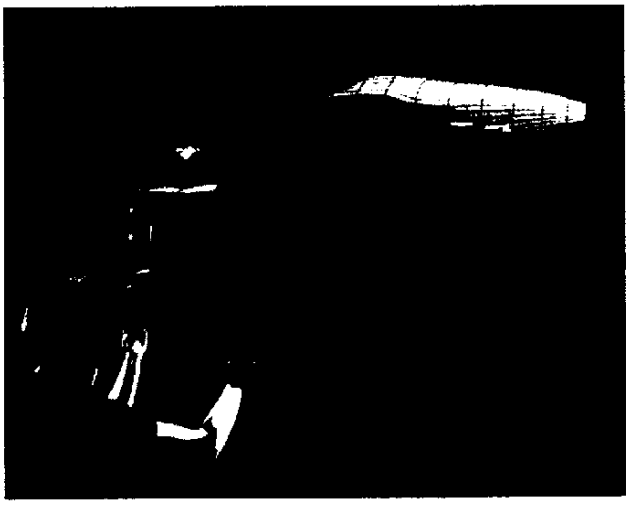
視覚においては（Head Mounted Display）に加えて、広画角の全天周型の大型スクリーンなどが研究されている。例えば、図表III-2-58はSIGGRAPH '92 において、米国各研究機関の連合が発表したCAVEと呼ばれるシステムで、4枚の10m四方の大スクリーンで観察者の周りを囲い、映像空間への高い没入感を得ることができるようにしたものである。映像空間には種々の科学技術計算の結果が表示されるようになっている。システムへの入力はワンドと呼ばれる一種の3Dマウスを用いて行われる。

また、NASAエイムズ研究所では、図表III-2-59のようなディスプレイが利用されている。

図表III-2-58　SIGGRAPH'92におけるCAVEの概略図



図表III-2-59　視覚ディスプレイ・（NASAエイムズ研究所）



図表III-2-60　触覚ディスプレイ（東京大学）



これは、ステレオ視可能な2台のCRTを6自由度のリンクで懸架して、いろいろな方向から三次元映像を眺められるようにしたものである。写真は、航空機の空力設計のための数値流体計算の結果を、実際の風洞実験を行っているのと同様に直観的に観察しているところである。

② 聴覚ディスプレイ

聴覚に関しては、コンボルボトロンなどのシステムが開発されており、このシステムを用いれば、三次元の仮想空間に合成された音原を定位させることができる。これは音源から左右両耳の鼓膜までの音波形の変形、すなわち伝達関数を高速シグナルプロセッサでシミュレーションすることによって実現したものである。同じような原理に基づいて、例えばローランド社などでは、スピーカを用いた三次元音像定位システムが研究開発されている。

③ 触覚ディスプレイ

触覚の表現は、現在ではごく限られた可能性が示されているだけであるが、例えば盲人用の点字出力装置に似た装置で仮想物体表面の凹凸を表現してみたり、マニピュレータ状のメカニズムによって、物体同士の干渉による反力を模擬することなどが試みられている。図表Ⅲ-2-60は、東京大学の触覚ディスプレイである。視覚や聴覚は蜃気楼や幻聴など、容易に錯覚を起こす感覚であるが、触覚はそうではない。したがって、合成触覚情報に対する確信度はきわめて高いものである。

④ 前庭覚ディスプレイ

加速度や平衡感覚などのような、いわば前庭感覚の合成も、古くはフライトシミュレーションなどで実現されてきた技術である。前庭感覚の合成という概念も、最近ではゲームマシンの普及により、一般レベルの疑似体験までブレークダウンされてきた。合成の原理は観察者を乗せたプラットフォームを多自由度機構で支持し、動揺を与えるというものである。例えば、図表Ⅲ-2-61は油圧シリンダ6本で支持された6自由度プラットフォームを、スキーのシミュレーションとして使用したものである。こうした前庭感覚ディスプレイは、装置が大型化するという問題はあるものの、それを使うことによってきわめて高い臨場感を得ることができる。

⑤ 風覚ディスプレイ

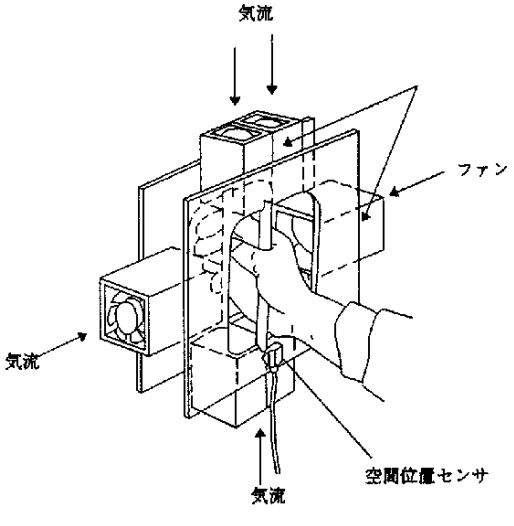
広い意味で触覚に含まれるのが、皮膚にあたる気流などの感覚である。こうした複合的な感覚を生成するディスプレイもまた試作されている。これは、図表Ⅲ-2-62に示すような構造の装置であって、超小型のファンを使って、いろいろな方向から手のひらに気流を吹き付け、気流のベクトルを生成することができる。

各ファンは最大0.5m/secの強さの気流を発生させることができる。現在のシステムでは図に示すようにファンが全部で六つあり、2自由度の気流ベクトルを生成できる。もちろん、ディスプレイには空間位置センサが装着されており、手の移動や回転に伴って表示されている空気流の情報は変化する。したがって部屋内部の空気流

図表Ⅲ-2-61　前庭覚ディスプレイ・（スキー・シュミレーション）



図表Ⅲ-2-62　風覚ディスプレイ（東京大学）



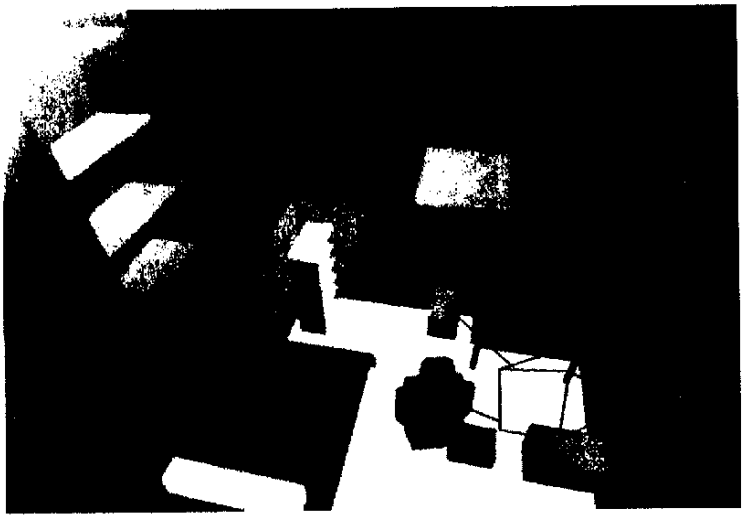
のような絶対空間に対して定義されたベクトル場を表示することができる。これは全部で6自由度を持つデータの表示ということになり、これを視覚だけで行うことはきわめて困難である。もちろん、風覚ディスプレイはそれ自体ではあまり高い表示成績を得ることはできないが、視覚ディスプレイと併用して使用した場合、視覚ディスプレイ単独の場合に比較して、認識誤差1/2に押さえることができるなどその効果は大きい。

(2)　仮想世界操作の研究

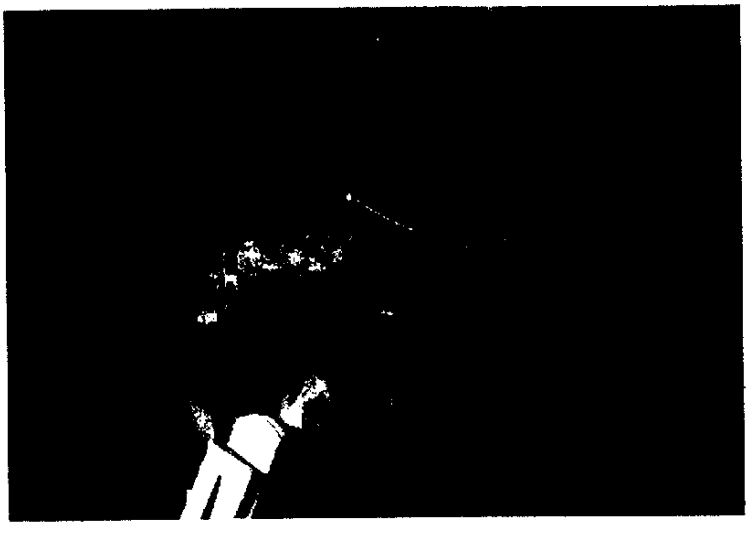
仮想世界を自由に操作するためのインタフェースの研究もまた行われている。図表III-2-63は、廣瀬の研究室で試作されたマジックボックスと呼ばれるインタフェースであって、仮想世界のミニチュアが自分の眼前の小さい箱の中に押し込まれている。箱の中の者を動かせば、仮想世界の中の物体も移動する。視点を変えたい場合は自分自身を掴んで移動すればよい。このような仮想世界は、掴む、眺めるなどという基本操作においてのみ、現実世界と相似性を有する。しかしながら、ある種の直接操作感を味わうことはできるわけで、それなりの存在意義はある。

また、図表III-2-64は、同じく廣瀬の研究室における仮想世界であるが、これは、データグローブではなく、三次元のポインタともいうべきデバイスを三次元マウスのように使用して、仮想空間内の地形を、まるで箱庭でも作るように作りあげたり、いろいろな物体を置いてみたりしているところである。この場合も、仮想空間内のアクチュエータの運動は、体性感覚と同一でなく、若干拡大して伝えられており、完全な相似性を持った操作空間ではない。その方が、結果的に操作性が高いことはいうまでもない。

図表III-2-63　仮想世界の操作ーマジックボックス（東京大学）



図表III-2-64　仮想世界ー地形の作成（東京大学）



(3)　臨場感伝達の研究

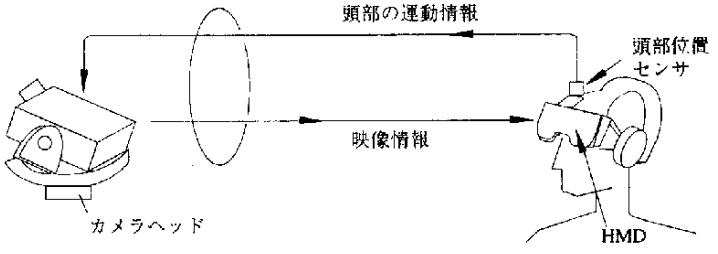
バーチャルリアリティの技術を用いることによって、遠方の状況を高い臨場感のもとで体験することが可能である。もっとも、臨場感という言葉はよく使われるわりに定義の難しい言葉である。視覚的には、視野の広がりが大きな役割を果たすことが知られている。HMDとそれに連動したカメラヘッドを図表III-2-65に示すように使用すれば、高い臨場感を得ることができるはずである。ところが、HMDとカメラヘッドが遠くへだたって、通信時間遅れが大きい場合、このシステムはうまく動作しない。HMDに供給される映像が、大きな時間遅れのために頭の方向と一致しなくなるからである。このような場合、三次元の空間を見回しているという臨場感は著しく損われる。

こうした問題を克服するために考案されたのが、東京大学で開発されているバーチャル・ドームと呼ばれるシステムである。図表Ⅲ-2-66に示すように、カメラヘッドとHMDの間に仮想の全天周スクリーンを挿入して、両者の動きを独立させ、時間遅れの影響を間接化しようというものである。バーチャル・ドームは①センサユニット、②通信ユニット、③仮想空間生成ユニットの三つから成る。まず、第1の要素であるセンサユニットは、遠隔地における全天周の映像情報を収集するために、回転するカメラヘッドを持つ。また、その他の感覚入力を収集するセンサ群も搭載されている。例えば、パノラマ画像情報から、外界の三次元形状を算出するようなシステム、周囲の三次元音源の位置を推定しうるシステムなどが現在利用できる。

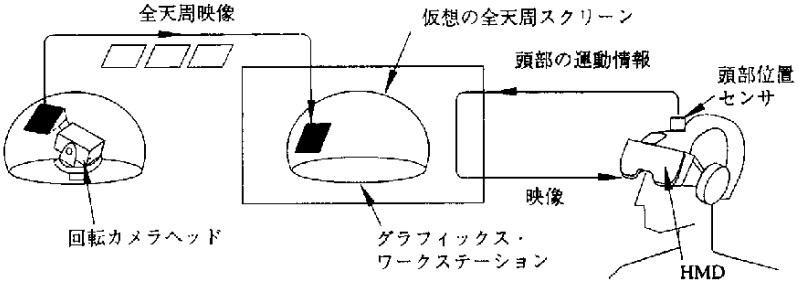
センサ・ユニットが収集した遠隔地の情報は、付加的情報（例えばカメラの撮影方向など）とともに、第2の要素である通信ユニットを使用してユーザ側に送信される。したがって、通信ユニットは、映像、音声、符号などの雑多な信号を送信できる必要がある。現在はNTSC回線とRS232C回線の組み合わせであるが、将来は画像圧縮機能を含むデジタル通信回線へと統合される計画である。

ユーザ側にはグラフィックス・ワークステーションが置かれ、第3の要素である仮想空間生成ユニットとして、送信された情報に基づいて遠方の世界の再構築を行う。例えば、回転カメラヘッドからの全天周映像は、グラフィックス・モデルとして表現されたドーム状の仮想空間スクリーンの対応する場所にテクスチャ・マップされる。あとは、HMD等、種々のインタフェース・デバイスを用いてその仮想世界を体験すれば、臨場感が伝送されたことになるというわけである。以上の説明を概念的に写真にしてみたのが、図表Ⅲ-2-67である。HMDを用いて仮想の映像を見回している様子がわかる。

図表Ⅲ-2-65　臨場感の伝達



図表Ⅲ-2-66　バーチャル・ドーム（東京大学）



図表Ⅲ-2-67　バーチャル・ドームの仮想映像



4.2.4　人物像の認識と生成を利用した新しいインタフェース

(1)　Human Reader

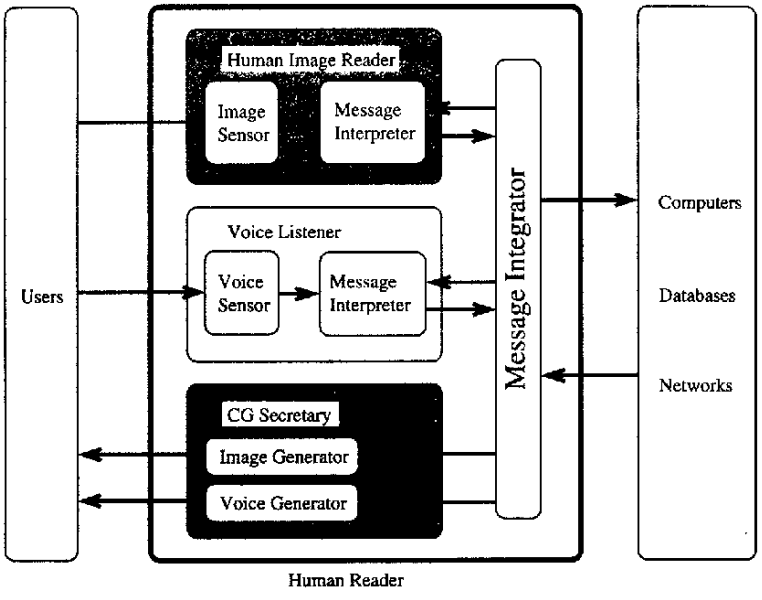
「目は口ほどにものをいう」のたとえにもあるように、人物像は人と人のコミュニケーションに重要な役割を果たしている。NTTヒューマンインタフェース研究所では、人物像と音声を利用するインタフェースの枠組Humann Reader [1] を提案し、その実現に必要となる人物像の認識と生成に関する研究を進めてきている。Human Readerは人間と機械の自然なインタフェースの実現を目指す枠組であり、コンピュータとの対話のみならず、屋内および屋外の人間のさまざまな活動場面への適用を前提としている。

図表III-2-68に示すように、Human Readerは画像と音声を利用したマルチモーダルインタフェースの実現を目指す枠組であり、Human Image Reader、Voice Listener、CG Secretary、およびMessage Integratorの四つの枠組からなる。Human Image ReaderはImage SensorとMessage Interpreterからなり、さまざまな人物像の認識理解を行う。Voice ListenerはVoice SensorとMessage Interpreterからなり、音声の認識理解を行う。Message IntegratorはHuman Image ReaderとVoice Listenerおよびコンピュータから送られるメッセージの統合を行い、それらに必要なメッセージを送る。CG Secretaryはコンピュータから送られるメッセージに基づき、音声と同期した人物像を生成する。以下では、人物像の認識と生成を行うHuman Image ReaderとCG Secretaryの概要を述べる。

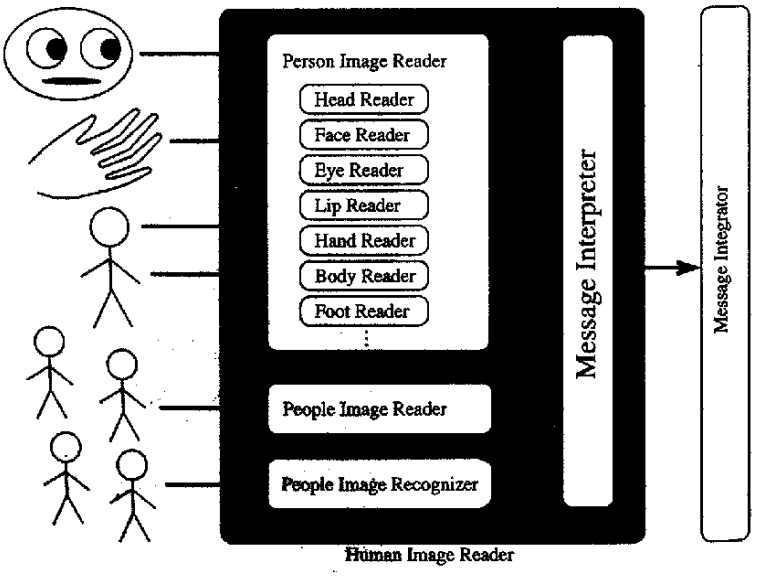
(2)　人物像の認識の枠組（Human Image Reader）

図表III-2-69に示すように、人物認識の枠組Human Image Readerは、さらに三つの枠組（人物の動作認識

図表III-2-68　人物像と音声を利用するインタフェースの枠組（Human Reader）（ハッチング枠内は人物像の認識と生成にかかわる部分）



図表III-2-69　人物像の認識の枠組（Human Image Reader）



Person Image Reader、人々の動作認識People Image Reader、人物の認識Person Image Recognizer）に分けて考えることができる。

① 人物動作の認識（Person Image Reader）

1)人物頭部動作の認識（Head Reader）

Head Readerは、人物の顔（頭）の向きおよび動きを検出するシステムである。現在のシステムではTVカメラでとらえた顔正面像の顔領域の重心と髪を含む頭部領域の重心との間のずれに着目して顔（頭）の向きを検出する。実験により、条件を選べば、人物頭部動作の実時間検出が可能であることが確認された。しかしながら、現状ではある程度大げさに頭を動かす必要がある。実際の人間は、目のみ動かして、ほとんど頭を動かさない場合も多いため、理想的には、頭の向きの検出機能と視線検出機能とを組み合わせた総合的な検出機能を実現する必要がある。

2)読唇（Lip Reader）

唇周辺のオプティカルフローに基づいて、英語で発音した10種類（0から9まで）の数字を認識する実験を行い、約70%の認識率を得た［11］。認識精度の向上、および、音声認識との的確な組み合わせが今後の課題である。

3)表情認識（Face Reader）

顔領域内のオプティカルフローから複数の筋肉による動きを求め、その特徴量をもとにして顔の表情を推定する実験を行った。この方法で、笑い、驚き等、いくつかの表情を検出できることが確認できた。しかし、認識精度の向上、上記Head Reader、Lip Readerとの組合せ等、具体的な検討は今後に残されている。

4)手指動作の認識（Head Reader）

天井と壁に設置した2台の超小型TVカメラからステレオ画像を入力し、画像処理によって、伸ばした人さし指の指先位置検出と親指の開閉（曲げ／伸ばし）検出を行い、スクリーン上のポインティング（あるいはカーソル操作）およびボタンセレクタの機能を実現する。グラフィックワークステーション上に構築された実験システムを用い、より優れたインタフェースの実現に向けて実験を進めている。

② 人々の動作認識（Peaple Image Reader）

人々の動作認識を行うシステムPeople Image Readerの具体例としては、在室／在籍／着席数モニタ、行列人数計測等、種々の応用システムを考え得る。一例としてx-t時空間画像を利用して歩行者の進行方向、速度、人数を実時間検出するシステムを実現した。

③ 人物の認識（Person Image Recognizer）

顔による個人の識別や照合、老若男女といった属性の認識を行うシステムPerson Image Recognizerは、セキュリティや人間へのきめ細かな対応という観点から、より優れたインタフェースの実現に大きく寄与する。まず、登録された特定人物の中からの個人識別を目標として、二次元情報、および、三次元情報を利用した顔認識の基礎検討を進めている。

(3) 人物顔画像の生成（CG Secretary）

TVニュースや学会講演等に見られるとおり、音声、文字、グラフ、図面等の情報伝達手段に加えて、人間の表情や体／手足の動作の視覚情報を併用することによって、より的確に内容を伝え得る。また、積極的に的確な質問をすることにより、より簡単に、より正確な答を引き出せる場合が多い。必要に応じてHuman Image Readerは、人間から的確な答を円滑に引き出すため、CG Secretaryと連携して動作する。CG Secretary実現のため、形状とカラーの同時計測が可能なスキャナによる人物像計測、正面像と側面像に基づく頭部モデルの自動作成、関数制御型異方性反射モデルによる頭髪テクスチャの生成、三角柱と房のモデルによる髪型のデザインおよび頭髪像の生成、表情生成、発話映像同期生成等の研究を進めてきている。

(4) 実験および考察

Human Image Readerの一部であるHead ReaderとHand ReaderならびにCG Secretaryをグラフィックワークステーション上で実時間動作する実験システムの形で具体化し、画面上のメニュー選択による対話型電子プレゼンテーション、メール、VTR制御等の実験を行った。その結果、人物像と音声の利用は、人間にとって本当に自然で使いやすい、優れたインタフェースを考える上で、非常に大きな効果と意味があることを改めて確認することができた。本文で示したHuman Readerの枠組はいわばプロトタイプであり、今後大いに発展成長を遂げるべき性質のものである。各枠組に関する今後の研究によって、次第により詳しい枠組の全体像が形成されていくことになろう。

＜参考文献＞

［1］ 末永、間瀬、福本、渡部：“Human Reader:人物像と音声による知的インタフェース”、信学論、J75-D-II、10、pp.190-202（1992）.

4.2.5　行為理解

(1)　はじめに

古典的なAIシステムの図式は、エンドユーザが現場の多様な情報を的確に取捨選択し整理し、所定の形式で記号記述して入力すると、外界の状況とは無関係に探索に基づく重い記号推論を行い、その出力を再びユーザが解釈して行動に移すというもので、柔軟性の欠如やユーザへの負担などの問題を抱えていた。

実は、上の入出力に関するユーザの作業自体が高度に知的な情報処理過程であり、これが完了した時点ですでに解決の筋道が見えてしまうことが少なくない。

現実世界の中で有効な知的システムとは、センサやアクチュエータを通して実世界と広いチャネルで密接に結合し、自律的に的確な情報収集をし、実時間で判断をし、臨機応変に行動するものでなければならない。

さらに、本当の意味で人間の役に立つためには、いちいち言語的に指示しなくても黙ってユーザの意図を理解し、適切に反応する能力も備える必要がある。

本稿では、上述のシステムイメージに向けた試みの一つとして、「行為理解」という新しい知的機能をコンピュータ上に実現する研究を紹介する。

(2)　行為理解に基づく作業教示

行為理解の抽象的な定義は、「ある者の行為を観察し、その意味を抽出し、これに基づいて適切な行動を生成すること」である。さらに、得られた計画を実演時と異なる積木の初期配置に対して適応させ、実行することにより、教示されたのと等価な作業を実行する。

試作したシステムの全体構成を図表III-2-70に示した。このシステムは、ロボット工学における「実演による作業教示」[1]という新しいロボットプログラミング法の最初の実現例である。

(3)　行為認識の原理

行為の観察から再利用可能な知識を抽出するためには、ある程度の抽象レベルの認識が必要である。

例えば組立作業中の人の手の動きを精密に計測し、忠実に再現できたとしても、わずかな誤差があれば作業に失敗してしまうし、環境の状態が少しでも教示時と異なれば破綻してしまう。

「積木Aを取って積木Bの上に置いた」といった定性的な情報を抽出しておけば、多少の誤差や環境状態変動に対して安定な記述が作れる。

行為の認識とは、行為主体の身体運動と、そこから因果関係で結ばれた環境変化との両方を観察し、定性的に記述することである。このためには、複雑な動的世界の中の何が主体で、どんな運動をし、どの現象がその結果かということを実時間で抽出できる必要がある。すなわち、注視点制御が非常に重要となる。

連続して行われる行為系列を定性的に記述するためには、意味のある単位で時間的に区切り（分節化）、各々の行為単位を既知の行為のいずれであるか同定（識別）しなければならない。

分節化の手法としては、視覚的注意の能動的制御に基づいた以下の方式を提案している。

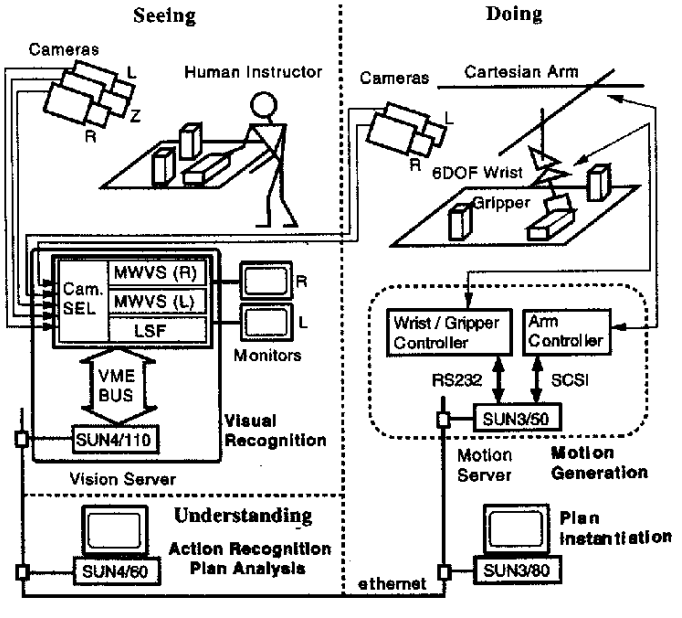
①まず、視覚的追跡によって常時計測される身体運動パラメータ（速度や軌跡など）の定性的変化を検出する。

②変化が検出された時点で、行為主体が働きかける対象を視覚的に探す。例えば、組立作業中に、手がテーブルに向かって下降し出したら、手の運動方向を目で先回りし、何か物体があるか探す。

③行為対象が発見された場合、それがこれまでの行為対象と異なる場合は、その時点が分節点である。

分節化が完了し、その過程で注視対象が正しく捕捉されると、「指示性」という性質によって単純な視覚特徴（明るさ変化や二次元図形の判定など）の定性的時間変

図表III-2-70　行為理解に基づく作業教示システム



化から直接に行為のタイプ（PICK,PLACE,TOUCHなど）を識別することができる［2］。

(4)　システムの概要

システム（図表Ⅲ-2-70）の概要は次のとおり；

教示者の動作は、2台のCCDカメラを用いた両眼立体視によって観察する。画像処理は視覚サーバによって行う。これは特殊なマルチプロセッサハードによって視野中の重要部分に複数の注視領域を設定する注視点制御を自動的に行う。運動発見、物体検出、エッジ接続検出等の視覚特徴検出は、各々独立したソフトウェアモジュールで並列的に処理される。

行為認識モジュールは、視覚特徴を入力とし、環境状態と動作の文脈を反映した階層並列型状態遷移を行い、各動作の時間分節化と行為識別を行うと同時に、視覚サーバに文脈に応じた注視点制御指令を送る。

計画具体化モジュールは、作業実行環境の視覚認識結果と行為認識モジュールから送られた記号的作業計画とを照合し、実行環境に合わせて計画を修正し、マニピュレータコマンド列に変換する。

動作生成モジュールは、このコマンド列を解釈し、直交座標型アームの先端に6自由度の手首機構と平行グリッパを持つマニピュレータを制御して教示された作業を実行する。

(5)　おわりに

本節で解説した行為理解機能は、人間の認知過程の解明に深く関わる研究課題であると同時に、将来の知能システム全般に適用されるべき基盤技術の一つであると思われる。将来の知的ワークステーションや住環境管理システム、あるいはロボットが、みな機敏に動く目を備え、ユーザの行動を常時観察することによって、タイムリーに反応したり、技能を自動獲得したり、ユーザの習慣を習得したりするようになれば大変おもしろい。

<参考文献>

［1］　國吉、井上、稲葉：「人間が実演して見せる作業の実時間視覚認識とそのロボット教示への応用」、日本ロボット学会誌、9巻3号、1991.

［2］　Y.Kuniyoshi and H.Inoue, "Qualitative Recognition of Ongoing Human Action Sequences", Proc. IJCAI 93, pp.1600-1609, 1993.

4.2.6　CSCWと感性的認知

(1)　知識メディアと知的協同作業

新メディアの展開は、しばしば感性の時代の幕開けの牽引力であるかのようにも語られる。実際のところ、マルチメディア化社会は人間の心の領域にどのような効果を及ぼすのか。とりわけ、人間の知的活動、知的協同活動においてどのような影響を持つのであろうか。

人間とメディアについて、伝統的な二つの考えを挙げることができる。①マルチメディアが人間の感覚器官、身体器官の拡張ないし増強をもたらすという‘メディア＝身体’、ひいては‘メディア＝環境／状況’パラダイム、②新メディアの双方向性や参加形態に本質的な意義を見い出す‘メディア＝社会’パラダイムの二つである。これに、認知科学の立場からもう一つのメディア観を提案できるだろう。人間の心的活動は、非常に多様な構造性を持った知識のネットワークに支えられているという観点に立つことで、①新しいメディア技術が、文字テクスト、映像、音などの材料をさまざまなレベルでオブジェクト（もの）化できる、いわば知識メディア技術を可能とし、②人間が、現在文字テクストを扱うことができる以上の自由さでそうした知識オブジェクトを扱う、いわば知識メディアリテラシイを得、③その知識メディアリテラシイが教育と文化の領域へ侵入したときに、人間の知性の①推論過程におけるメタ推論、多視点的推敲という多層化、②感情、動機づけ、創造性といった感性的な心的過程の統合化、という側面において、深化と精緻化が期待される、というメディア観が可能となる。いわば、‘メディア＝知識’パラダイムである。

近年の認知科学の文脈では、論理的推論といった知的過程だけではなく、これまでは反知的と見なされることの多かった感情、感性過程も同様の視点で扱うことができるという見通しが得られつつある［4］。人間における心的作業に自然な形で融合できるような知識オブジェクトを新メディア技術が提供できるならば、思考、学習、記憶、意思決定、コミュニケーションといった人間の心的作業の増幅を図る道がひらかれるというのは自然な発想であろう。現段階の新メディア技術がそのような水準にあるとは考えられないが、そうした方向を指向した研究が現われつつあるのは確かである。

(2)　認知支援のコンピュータ環境

現代認知科学の代表的成果といってよい、超高次の知識構造、事例ベース推論のメカニズムなどを利用して新メディア技術と融合させ、人間の認知機能を増大させるという試みが始まりつつある。認知機能の中でも社会的要請が高い、学習、対人スキルの習得などから具体的な実現化が行われている。Northwestern大学・学習科学研

究所（ILS）のEdelson(1991)が構築した事例ベース教育システムCreANIMateは、学習者の記憶、知識構造を考慮しながら‘適切な時に適切な例を示す’ことで、生徒による理科の学習過程を支援する。

[対話を通じた学習支援の例] [1]

今いる動物のどれかを使って、そのどこかを変えて新しい動物を作ってみよう。

生徒＞　戦えるちょうちょ。

なるほど、これが変える前のちょうちょだね。

[図を示す]

どうしてちょうちょを戦えるようにするのかな？

生徒＞　自分を護れるように。

いい考えだね。カンガルーネズミは、攻撃してくるものに向って砂をけって自分を護るんだ。見てみたい？

[ビデオ上映] 戦わないでも自分を護ることのできる動物は他にもいるよ。例えば、...（後略）

興味深いのは、こうした認知支援環境において自然に有効な役割を果たすのが、他者（他人もしくは他エージェント）であるという点である。Edelsonの例では、適切な例を与える教師、あるいはCreANIMateシステムがそれにあたる。人間の認知機能の増強を設計する時に、生態的妥当性を維持しながら、自然な能力増強を図るためには、他者の視点という要因を欠かすことはできないであろう。同様の発想に立ちながら、社会的適応のための助言を、一種の人工カウンセラーのように与えるシステムAbbyが、やはりNorthwestern大ILSで提案されている。こうして、認知機能支援のためのコンピュータ／メディア環境に、協同作業支援という視点が導入される。

認知機能増強のためのコンピュータ支援環境から出発し、協同作業支援環境へと接近するという方略は、一見したところ迂遠のもののようにも見えるけれども、直接に人間の協調行為を支援する方略と相互に補い合う側面を多く持っている。記憶、知識、推論、学習、意思決定などの認知的作業を増強するツールとしてコンピュータ支援環境を設計するという枠組の中で、作業の共同性、協調性、社会性を取り込むという方略は、今後ますます強調されると考えられる。

(3)　協同作業支援の基礎としての感性研究

協同作業に関する認知科学的ないし認知心理学的研究は、近年めざましい増加をみせ、共同認知collaborative cognition、分散認知distributed cognition、状況的認知situated cognitionなどの新しいパラダイムを生み出してさえいる。これらの立場は、人間の認知機能（思考、言語、記憶、学習、問題解決、創造、感情などの心的機能）の本質は、個々の人間の心（あるいは脳）の内部を探求することで明らかになるという立場をとらない。そうではなく、認知システムが機能している状況の中、とりわけ複数の人間からなる社会的状況の中での実際の行為actionの諸相をみることで認知の本質に迫ることができる、という発想を前面に出す。

おそらく、こうした認知研究における新しい思考法が新しい成果をもたらすのは確かであろうが、CSCW研究に寄与することができる認知科学あるいは認知心理学の成果は、むしろ、いまや伝統的と呼ばれかねない計算主義computationalismの立場からのものに注目すべきものがあるともいえるのである。CSCWが支援する認知活動は、究極のところは、感性、創造性といった、人間の認知活動が最高度に機能して初めて可能となるような側面を含んでいる必要があるだろう。そうした高度認知活動は、必然的に、記憶、知識、推論、学習、意思決定、言語などの下位認知活動が十分に機能することを要請するからである。そして現時点ですでに、感性、創造性のメカニズムに関する計算主義的認知科学がCSCW研究に提供できるものは、相当なものがある。

例えば、創造的思考のメカニズムとしてもみることのできる、ある自然言語理解プログラムを考えよう。理解という認知的作業の究極的な姿である、読み手の独自の視点・解釈、あるいは、創造的といってもいい側面に注目したのが、Yale大のKassら [2] による説明的理解のためのプログラムである。彼らのプログラムSWALEは、入力されてきた、新事実を記述したエピソードを読み、プログラムが持っている過去経験エピソード群を使いながら、その新事実を説明的に理解することを試みる。事例ベース推論のパラダイムに基づくメカニズムを持つ。SWALEが実現しているのは、自分が現在直面している新しい事件を納得して理解するために、①その事件はどこが新奇なのかを検出し、②自分の記憶の中から類似のエピソード構造体を探し出し、③そのエピソード構造体で現在の事件の解釈を試み、④解釈が無理ならば、エピソード構造体を変形してから再度解釈を試みる　ということを繰り返し、ついには納得できる解釈を得るという過程である。自分が持っている過去の体験エピソードに基づきながら、新奇な事態への適応を試みるというこの過程が、SWALEの出力に、思わぬ新鮮な‘読み’をもたらしている。Schank [5] がいう、‘機械的にかつ創造的に(mechanically and creatively)’なるものの実現であ

るのは確かであるといえよう。

一方、UCLAのMueller［3］によるDAY DREAMERは、白昼夢的な推論過程を実現した計算モデルである。白昼夢的思考には、願望充足などとして語られることの多い、感情にガイドされた推論過程、創造的ともいえるような思考過程、さらには、将来事象のシミュレーションあるいはリハーサルからの学習、などというさまざまな興味深い認知諸過程が含まれている。ある意味で、人間の認知システムがすべてのリソースを総動員して行っている非常に統合的な過程ともいえるものである。その中で、特に注目されるのは、記憶の中にあるエピソードを、現在の問題状況に適用して、飛躍的な解決を図るというセレンディピティ（思いがけないところから価値あるものを見い出す能力）の計算的実現である。Muellerはこれをセレンディピティ・ベース推論と名付けているが、基本的には事例ベース推論の変種とみることができる。

ここで取上げたのは、感性や創造性への認知科学的アプローチのごく一部に過ぎないが、本稿で検討した知識メディア、他者エージェントなどとならんで、人間の認知機能増強を考える時の重要な鍵概念となると思われる。

<参考文献>

[1] 1Edelson, D., Why do cheetahs run fast?: Responsive questioning in a case-based teaching system. Proc of the 1991 Intern. Conf. on the Learning Sciences, P138-144, 1991.

[2] Kass, A., Leake, D. and Owens, C., SWALE, a program that explains. In R. C. Schank, Explanation patterns: Understanding mechanically and creatively. Lawrence Erlbaum, 1986.

[3] Mueller, E., Daydreaming in humans and machines: A computer model of the stream of thought. Ablex,. 1989.

[4] 沼尾正行・大谷紀子（編） 感性への計算アプローチ, 日本認知科学会テクニカルレポート, 1993.

[5] Schank, R.C. 1986 Explanation patterns: Understanding mechanically and creatively. Lawrence Erlbaum.

[6] 徃住彰文, 感性の計算モデル. イマーゴ,3(6), 168-177,.1992.

4.2.7　協同作業の認知的側面

コンピュータによる協同作業支援という研究テーマが話題を呼ぶようになって、ほぼ10年が経つ。このCSCWという分野は、はじめから、人間の協同作業の解明という社会科学的な研究とその協同作業を支援するためのコンピュータ技術の開発という工学的な研究との学際協調を基本条件として形作られてきた。この種の協調はそう簡単ではない。けれど、その困難さがうまく乗り越えられれば、新しい人間研究のあり方の可能性が見えてくる分野でもある。ここでは、その可能性の方向を探りたい。

研究開発の現状からいうと、技術的に見ても応用面から見てもかなり程度の高いシステムが見られるようになってきた。研究の質も向上してきており、新しいアイディアを試作したというだけでは駄目で、ある程度はそれを実際使ってみての評価結果が添えられるようになってきている。具体例をいくつか挙げると、いくつもの映像や音声やテキストの流れを同時を取り扱う技術の粋をこらしたシステム（例えばOlivetti研究グループによるThe Pndora Multimedia System）、物を選択的に見る人間の特性を利用して映像を重ねて提示することで現実にはない協調作業用の空間を作り出そうとするシステム（NTTヒューマンインタフェース研究所、石井裕のグループによるTeamWorkStation、ClearBoard）など実験的な環境が開発される一方、自社の工場と管理者オフィスと部品提供会社との連絡を少しでもスムースにしたいという具体的な目的に沿って特定の現場での実用性に最重点を置いて開発され使用されているシステム（例えばBoeing社のEnhanced Factory Communications）もある。この辺りを概観するためにはACMの特集号［1］やSIGのビデオ［2、3］が手に入りやすい。

これらの例からすでに分かるように、この分野の研究方法には二つの方向性がある。片方は、現実の協同作業の詳細な分析を優先させる。そのもう一方で、技術的な開発を優先させる行き方がある。後者にCS（コンピュータによる技術支援開発）、前者にCW（協同作業研究）をあてて、二つの異質な研究グループがたまたまより集っているに過ぎないとする人もいないわけではない。

実際、CS研究とCW研究は性格的に正反対の面がある。後者は、まず人間の振舞いを観察するところから出発する。人間が今やっていること、できることをできるだけ細かく見て、現実の場面での種々複雑な作業を可能にしている認知能力そのものを詳細に分析する。前者は、技術的な可能性から出発して、これまで人間がやりたくてもできなかった認知作業を技術的にサポートできたらそれこそが革新的な解決になるのではないかと発想する。後者の研究のペースは人間が現実に何事かを成し遂げて

ゆくその課程を観察、分析できる速度に制限されるから、1研究に何年もかかる。前者は、アイディアの新しさや実装の早さ、効率の良さ、安さを競う世界だから、1研究のスパンはできるだけ短い方がよい。

これほど違うものであっても、協同作業を研究対象として人間そのものを研究しようとする認知研究者にとって、実はこれらの二つの行き方はそれぞれ独立ではない。協同作業を詳細に分析してみると、実際やっている本人自身でさえ気づかなかったようなところに協同作業を円滑に進行させる鍵が隠されている場合がある。そのような鍵が見つかってその働きが解明されれば、現実を詳細に分析してみることそのものが、新しく技術的なサポートを受け入れられる可能性を引き出すといえる。

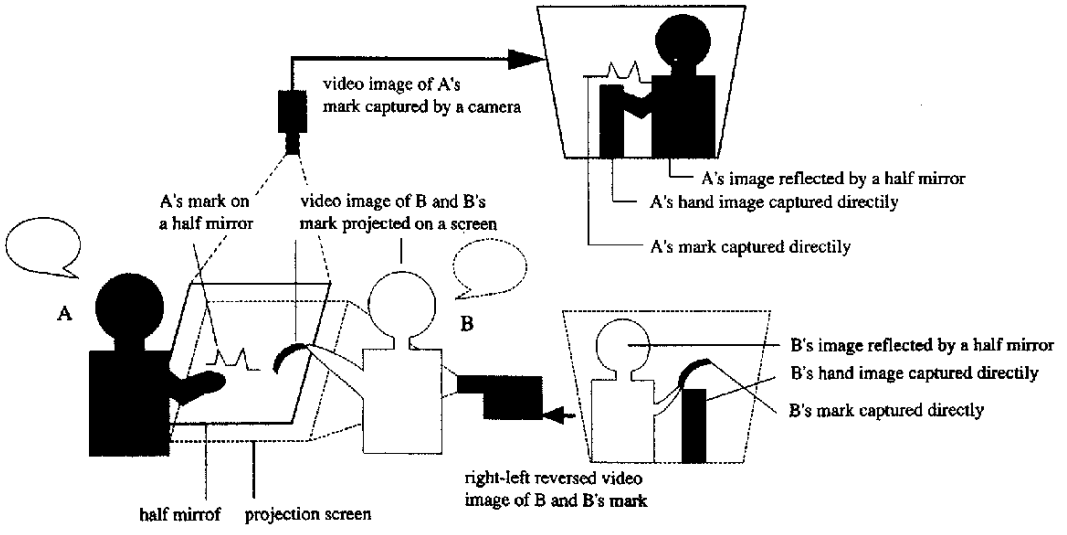
簡単な例を一つ挙げよう。ある仕事を2人でやろうとする場合、仕事の分割の仕方一つを取ってみても、どういう分業がどんな効果をもたらすのか、私たちはそれほどはっきり直感的に分かっているわけではない。一人一人の負担が少なくなる方がいいと考えれば、仕事は単純に二つに割るのが良いかも知れない。しかし、工事現場などには大抵何もしないで作業の背後から成りゆきを見守っている人がいるものだ。ああいう「後ろから見守っている人」の果たしている役割はどのようなものなのだろうか。

このような問いは、実験的な場面を使ってもある程度答えることができる。航空管制官シミュレーションゲームを使った実験を見てみよう。1人用のゲームにキーボードを二つ繋いで2人でできるようにする。ゲームにとりかかる前に「2人でやるとしたらどのような分業が好成績を修めそうか」を問うと、「飛行機を半分ずつ担当する」「責任空域を半々に分割する」「仕事の種類によって担当を決める」など、作業分割型の回答が多く出る。ところが実際ゲームをやってもらって成績を比較すると、このような作業分割型より、1人が1人でいつものようにゲームを行う背後からもう1人がモニタする役割分業型の方が成績がよい。この優位性は、モニタリングや援助の仕方のタイプを、「警告が出せるだけ」「具体的に打ち込むべきコマンドを口頭で伝えてもよい」「依頼されれば短期間役割を交代してもよい」など、さまざまに変えても、いずれのタイプでも見られる。現場に「何もしない人」がいることの背景には、このようなモニタリングの効果に対する経験的なノウハウが隠れている可能性がある。

さらに、このような場面でモニタのやっていることを詳細に観察してみると、モニタリングがうまくいくのは、モニタ係が実際手元の課題に集中している人の見ている範囲より少し範囲の広い、課題のより長期的なゴールに近い視点からものを見ている時なのではないかと推測される。別の実験で、共同でパズルを解く過程を分析した結果からも、モニタ係が課題を遂行している人と少し違った視点から課題を見ることができるとうまく助言できる、という結果が出ている。

しかし、2人で問題を解いているとき、一人一人互い

図表III-2-71　Clear Boradの仕組み(文献[4]より引用)



に相手がどこを見ているのかを直接目を覗き込むなどして同定することはできない。実際には相手の言葉遣いや身振りなど、微妙な手がかりをもとに相手の視点を同定していると考えられるが、それが必要な場合に有効に行われているとは限らない。実験状況からは、この視点の同定が有効に行われていないためにモニタリングがうまくいかず、その結果として協同作業の有効性が生かされないと考えられる結果も観察されている。

このような、人間が実際やっているのだけれども自分では気づいていない側面が明らかになってくることには、いくつか利点がある。一つには、新しい技術開発によってそのような側面を意識的に支援する環境を設計することができるようになるだろう。上の例でいえば、複数の人間が協同で問題を解こうという場面を支援するのに、モニタリングのための技術的な装置を提供することが考えられる。具体的には、例えば視点同定のための仕掛け、人が今どこを見ているのかをその人の視線の動きで追えるようにするなどの装置はおもしろいだろう。例えば先に挙げたClearBoardでは、いわばガラス越しに相手の目線が終えるので、相手が作業領域のどこを見ているかが一目で分かる（図表Ⅲ-2-71）。これがどのような効果を持つのか、今後の評価実験が期待される。

技術による支援を念頭に置いて協同過程を見直してみると、この他にもさまざまな分野での新しい研究の可能性が見えてくる。社内電子メールなど多方向コミュニケーションシステムの導入により会社の組織が変わる可能性を探ろうとする研究、データベースやネットワーク環境を利用した学習者の主体的な学習の効果を調べようとする教育実践研究などが実際始められている。現実には難しい問題も多いが、これからもCS研究とCW研究の有機的な相互作用を期待してゆきたい。

＜参考文献＞

[1] Communications of the ACM, 特集,"Collaborative Computing, Vol.34, No.12, 1991.

[2] CSCW '92 Technical Video Program, SIGGRAPH Video Review, Issue 87, 1992.

[3] InterCHI '93 Technical Video Program, SIGGRAPH Video Review, Issues 88-89, 1993.

[4] Ishii, H., & Kobayashi, M. ClearBoard: A seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact. Proceedings of CHI '92, ACM conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 525-532, 1992.

5. 知的インタフェースの課題と展望

第4章までに各種の知的インタフェースの諸技術について述べてきた。これらの諸技術は元々は“人間中心”のアプローチで進められている技術である。しかしながら、技術が具体的に人々の日常活動の中へ、そして社会システムの中に導入されていくと、設計者（デザイナー）が良かれと思って設計した知的インタフェース技術自体が、人や組織や社会にさまざまな影響を及ぼすことを忘れてはならない。

ここでは、もう一度基本に戻って、人と技術と社会の関係を視点に入れつつ、知的インタフェースの課題について考えてみる。

5.1 知的インタフェースの実現目標と評価基準

5.1.1 知的インタフェースの基本的目標の変化と変容

知的インタフェースは、当初は

・パッシブ(Passive)な存在

であり、人に対して

・単純に困っている問題部分を助ける

意味合いがあったと言える。

しかしながら、その機能を技術的にいろいろと工夫できるようになってくると、

・アクティブ(Active)な存在

となると共に、単純に困っている問題部分を助けると言った意味合いから、

・お節介な

ところも出始めている。

このような状況のもとにあって、知的インタフェースの設計者は、概ね以下のような知的インタフェースの基本的目標をもってデザインしようとする。

(a)トランスペアレンシーをねらう；T指向

(b)利用者のサポートをねらう　　；S指向

(c)利用者の強化をねらう　；A指向

これらは、設計者（デザイナー）が意識して指向する場合と、気づかずにそのように指向していたり、中には指向した意図に反して利用する人がそのように感じるもしくは思うこともあり、利用者によって指向も変容する。その上、一つの知的インタフェースが一貫性を持ってそのように指向し続けているわけでもなく、瞬間瞬間にこれらの指向が入り混ざっているのが実態であると思われる。このように指向も変容する。

5.1.2　知的インタフェースの評価基準

第4章までに述べてきた各種の知的インタフェース技術は、個別要素としてはプロトコル解析や認知心理実験などによって、その技術が評価されていく。しかしながら、その技術が実際の仕事の場や組織の中に導入されていくと、個々の知的インタフェース技術としての評価ではなくて、より上位のレベル、例えば人の情報環境として望ましいか、仕事・組織の目的に合っているかどうかなどが評価基準として求められるようになってくる。

ここでは、人と人との協同作業を支援する知的インタフェースを例にとって、その評価基準について述べる。

(1)　コミュニケーション・プロセスを支援する知的インタフェース

例えば、交渉におけるコミュニケーションには、提案、議論、評価の三つのフェーズがあり、2人の立場にとって、まずどの点が不一致であるかを明確にすることが大切で、そしてその上で不一致を解消していくようなコミュニケーションが行われている。不一致を減少させるためには、同意／了解／好み／追従、相違／不確実、命令／指図／指導、事実／意見／根拠、提案／言い直し、確認などを明確にするようなメッセージのタイプをやりとりすることが有効とされている。この場合に介在する知的インタフェースは、不一致をどの程度減少させられたかがその評価基準となる。

また、調整におけるコミュニケーションには、ゴール、活動、行為者および相互依存性の四つの要素があり、それらに関係して、ゴールを同定する、ゴールを分解し諸活動にマッピングする、行為者を選定し活動を割り当てる、および相互依存をマッピングするといった調整プロセスが存在する。相互依存性としてはある活動の出力が次の活動に必要条件となるもの、あるリソースが複数の活動にとって共有されたリソースとなっているもの、一つ以上の活動がある時点で起こらなければならないという同時性を満たしているものなどがある。これらの相互依存性をマネージメントする知的インタフェースは、諸活動を順番に配列したり、ある活動から次の活動へ情報を移動させたり、リソースを割り当てたり、諸活動の同期を図ったりするといった調整をどの程度できるかが、その評価基準となる。

(2)　共有タスク空間を創出する知的インタフェース

この場合の知的インタフェースは、机や黒板や共同の資料などに相当もしくはそれらを超えるような、協同作業のための空間を創出できたかどうかが、その評価基準となる。

具体的には、例えば協同作業への参加者が、各種のインタラクティブ技術による知的インタフェースを介して、創出された協同作業空間にどの程度インボルブメントしているか、またビジュアルもしくは各種の認識処理なども含めたマルチメディア処理技術による知的インタフェースによって協同作業空間がどの程度トランスペアレントになっているか、普段の個人作業空間との連続性がどの程度保たれているか、などがその評価基準となる。

すなわち、提供する知的インタフェースが、協同作業環境に参加しやすく、違和感なく使用でき、個人にあったシステムとなるようにデザインされ、便利で楽しくまた易しい協同作業環境となっているかが、その評価基準となる。

(3)　インフォーマル・インタラクションを支援する知的インタフェース

人と人とのふれあいにおけるインタフェースに比べ、情報機器を介した知的インタフェースというとどうしても冷たくて論理的な面が協調されるきらいがある。人と人とのふれあいにおいては、表面的な表現メディアにおいても、単に論理面でのコミュニケーションをしているわけではなく、例えば身振りや表情の中でも感情的な面や身体全体での喜びなども伝えあい、そしてそれらをわかち合っているわけである。機器類との関係においても、体験型のゲームマシンやフライトシミュレータのインタフェースを体験してみると、頭、心はおろか全身でもってインタラクションしている自分を感じたときに、面白く、楽しく、やったという喜びに包まれ、そしてそれを人に伝え合いまた体験をわかち合うことで新たなコミュニケーションが生まれ、楽しい環境が醸し出されてくる。

このようなケースに介在する知的インタフェースは、どの程度上述の人と人とのふれあいの状況に近い環境を提供できているかが、一つの評価基準となる。

5.2　知的インタフェース技術の基本課題と展望

“人間中心”のアプローチを進めている知的インタフェース技術が、一方で新たな課題を生じさせていることも考慮しておくことが大切である。

ここでは、知的インタフェースの設計者（デザイナー）が留意しておくべき基本的課題のいくつかと展望について述べる。

(1)　脱コンテクスト、奪コンテクスト

人と人との間に知的インタフェースが介在した時のコ

ミュニケーション構造とそこから出てくる認知機構の関係でまず課題となるのは、知的インタフェースがコンテクストの切り出しを容易にしたり、別のコンテクストを知的インタフェースが付加してくるところにある。例えば、あるメッセージの全体のコンテクストの中の部分的コンテクストを容易に切り出し、それを意図的に別の意図に使用する。これは通常の人と人とのコミュニケーションでもあることであるが、知的インタフェースの機能を活用することでそれが極めて容易になるとともに、カモフラージュされやすくもなる。また、普通の日常生活のコンテクストの中に、突然知的インタフェースが入り込み、今までのコンテクストを奪ってしまうこともある。

これらによって、通常の人と人との間で起きる課題と融合した複雑なヒューマンコミュニケーション環境を生じさせるのが知的インタフェースであることをデザイナーは十分に意識しておくことが大切である。

(2)　空間認知の不連続性

普通に生活している空間に、知的インタフェースを介して空間的にも別の世界のことが入り込んでくる。人にとってはその入り込んできた空間での認知と共に、実際には今までの空間での認知状態にもあるわけである。このような状況を創り出す知的インタフェースをデザインする者にとっては、この両方の空間にあることの不連続性をどのようにデザインしていくかということが大きな課題となる。シームレスにしていくのか、透明にしていくのか、それとも逆にその不連続性をより明確に出していくのかなどがデザイナーには問われている。

(3)　時間性の混乱

知的インタフェースが介在することで、今までのプロセスの記憶や過去の事柄に加えて、未来の展開などの予測をシミュレートさせることが容易となる。現在進行中の人と人とのコミュニケーションの中に、過去と未来が過剰に介入しはじめた場合に、普通の人はどのように感じ、それはどの程度まで許容できるものであろうか。

例えば、インテリジェント・チュータリングシステムなどにおける知的インタフェースでは、利用者の過去の経過より将来のその人の応答・解答傾向などを推定・提示しつつ進めることも可能であるが、どこまでそれを見せて良いかは、その人の内的進歩をどう考えるかによって異なってくる重要な課題である。

(4)　デザイナーの潜在性

例えば、何気ない知的インタフェースからのメッセージやレスポンスの仕方の中にもデザイナーとのコミュニケーションが潜在的に入ってくる。積極的に人と人とのコミュニケーションに介入しようとする知的インタフェースの場合にはデザイナーが顕在化する。健全な人と人とのコミュニケーションに介在する知的インタフェースのデザイナーはどのようにしておくのが適切なのだろうか。該当する知的インタフェースの特質だけではなく、使う人の特質にも依存する複雑な課題である。

(5)　外在化による内的考慮・外的考慮の混乱

人と人とのコミュニケーションには人の内的考慮・外的考慮がさまざまな影響を及ぼしている。そこに知的インタフェースが介在することで使う人の記憶や振舞いなどが容易に外在化させることができるようになると、様相はまた複雑となる。その人にとって今まで内的考慮と思われていたことも、知的インタフェースによってたちまちに外在化され、外的考慮の対象になることも考えられ、ある場合には混乱が生じる。知的インタフェースが請け負う外在化の機能は、それがあるからいつでも機能させれば良いというわけではなく、適切な使用が求められる。

(6)　インタフェースにおけるマイナス接面

人と情報機器のインタフェース（接面）というとき、人と情報機器との接面と、情報機器を使って仕事をするところとの接面の二つの接面が考えられている。これらは、いずれにしても自己にとっては外にある接面と考えられる。ところが前項で述べたように知的インタフェースが人の記憶や振舞いの外在化を進めるとなると、自己にとっては自身を見つめるといったいわばマイナス接面を知的インタフェースが生じさせることになる。このような影響を人に及ぼすものをデザインしていることも意識しておかねばならない。

(7)　人格化する知的インタフェース

上述のことを総合的に考えてみると、デザイナーが人と人とのコミュニケーションのサポートを狙おうがそれとも強化を狙おうが、使う人にとっては介在する知的インタフェースがあたかも一つの人格を持っているようなものと感じることすら出始めてこよう。人と人とのコミュニケーション自体の基本的課題をデザイナー自身が担うことにもなってくるわけである。

以上、知的インタフェース技術の基本的課題の例を述べた。これ以外にも人間にとっての基本的課題がいくつか考えられる。例えば、知的インタフェースにおいて各種の処理が自動化していくことは、人間の能力にとって必ずしも好ましい側面を持つとは言えない。かな漢字変

換という自動化機能は、基本的には人間の記憶の再認能力を利用している。人間の記憶情報の利用の仕方には再生と再認があり、前者は記憶内部の情報に基づき、人間が主体的に情報を再現する方法であり、後者は外部から与えられた情報に対して人間が受動的に受容または拒否の反応を示す形で、自分の判断を示す方法である。人々の知的生産活動が自動化機能の導入によって効率的にはなったものの、人の漢字の再生能力は確実に低下してきている。インタフェースの知的化をさらに進める前に、知的インタフェースの自動化によって何を得るかというシナリオを明確にしておく必要がある。

また、知的インタフェースを持った各種のメディア機器の導入によって、人々は、時間的および空間的な制約からの自由を得た。しかしながら、これらのメディア機器を介したコミュニケーションが、現実の生のヒューマンコミュニケーションに比して何か重要なポイントを欠いていることも指摘されている。知的インタフェースの単に新機能の開発や性能の向上を目指すだけではなく、ユーザの人間特性、ヒューマンコミュニケーション特性や業務特性などもう一度基本に戻って考えてみることが必要である。

さらに、さまざまなメディア変換技術、知的データベース技術、知的インタフェース技術などを統合した知的情報通信ネットワークが人々にとっての情報環境となってくることも想定される。このようなネットワーク環境に対しても、今までに述べてきたものと同様の課題を考えていかなければならない。

以上述べてきた諸課題に対応していくためには、設計者（デザイナ）の側からだけのアプローチだけでは不十分である。ユーザが知的インタフェースを持ったコンピュータやマルチメディア機器を使いこなしていくためには、ユーザに対してそれなりのコンピュータ・リテラシー教育もしくはメディア・リテラシー教育が大切になってくる。さらには知的インタフェースは、基本的に情報を扱っているので、情報の生態や情報倫理まで考えていかなければならないことを示唆している。

知的インタフェース関連用語解説（abc順）

アイコン
コンピュータの操作やその対象などをわかりやすく表現したグラフィックシンボルを指す。アイコンをクリックすることでコマンドが実行されるコマンドアイコン、ウィンドウが開かれるウィンドウアイコンがある。

B-ISDN
広帯域デジタル通信網のことで、通信帯域が広いため、動画像通信など、さまざまなメディアを活用した高密度な通信への利用が可能になる。

ビットマップディスプレイ
画面上の描画ドット数が多くグラフィカル表示に適したディスプレイ。従来の文字ディスプレイに対し、マウス等とビットマップディスプレイとの組み合せにより、アイコン等を用いた直接操作を可能にするなど、使いやすいインタフェースの実現に寄与している。

BNF記法
元来はプログラミング言語の構文規則を表現する表記法であるが、作業の階層的な構造を記述するために応用されたりする。

直接操作
コンピュータ内のデータ等を、ユーザが直接に操作しているという感覚を与えるインタフェースのことである。デスクトップメタファのインタフェースでは、文書やごみ箱を表現したアイコンで直接操作を実現している。

コンピュータリテラシー
リテラシーとは読み書きの能力をいう。コンピュータの読み書きに相当する能力とは、入力・出力・操作などコンピュータを総合的に使いこなせる能力をいう。

CSCW
CSCWというのは、Computer Supported Cooperative Workの頭文字をとったもので、人間の協同作業をコンピュータを用いて支援する研究活動全般を指す。このCSCWは、「コンピュータによる支援（CS）」と「協同作業（CW）」という異なった概念から構成されており、社会科学系と工学系の研究者が一体となって研究を進めている点に特徴がある。

DataGlove
手袋の表面に光ファイバーを埋め込み、指の屈曲に応じた光量の変化によって、指の曲がり具合をコンピュータに入力する装置。人工現実（VR）の研究で多用される。

デスクトップメタファ
コンピュータの操作環境をオフィスの机の上に似せて画面に表示することにより、一目瞭然で使えるようにしたもの。書類やフォルダなどがそれらの形に似せたアイコンなどにより構成されている。

DisneyLand
ディズニーのコンセプトを活かした遊園地。徹底した娯楽中心主義により、観客は物語の仮想世界に浸ることができる。

EyeGaze
眼球の動きを眼球表面での赤外線の反射光によって捕らえ、コンピュータ画面上のカーソル制御に用いる。機器の装着が不要なため、障害者への応用などが考えられる。

FRIEND21プロジェクト
21世紀のヒューマンインタフェースアーキテクチャを研究するために通商産業省が1988年度から6年間にわたって実施したプロジェクト。

画像の動き補償予測符号化
画面に写っている物体の移動量を検出し、前画面の対象物の位置を修正してから、現画面との間で予測誤差を計算する符号化法。

顔面モデル
人物の顔を三次元のワイヤフレームモデル等で記述し、その制御点を規則的にコントロールすることによって表情を付加できる。

GDSS
集団意思決定支援システムのこと。TV会議やプレゼンテーションソフトなどが統合化された環境で、従来の会議を電子的に支援するもの。

非単調論理
様相記号Mを用い、述語論理にM(p)「もし述語pを否定できなければ、pが成り立つものとする」を導入した論理。同じ公理系を用いても、複数の相反する結果が得られる特徴がある。また、人間の日常用いる推論のように、事実の増加が結論の減少を招くような論理系を意味することもある。

HMD
ヘッドマウントディスプレイの略。小型の液晶表示（LCD）を搭載し、ゴーグルのように頭を装着する立体表示装置。人工現実（VR）の研究で多用される。

知的インタフェース関連用語解説（abc順）

HyperCard
パソコンのMacintosh上で開発されたハイパーメディアソフトウェア。テキスト、図形、画像、音声など、メディアの表現力を活かした対話型プレゼンテーションが可能。

HyperTies
DOSパソコン上で実用化されたハイパーテキストソフトウェア。テキスト中に設定されたキーワードから、関連する説明に自由に飛んで検索することができる。

ハイパーエージェント
構造化記述されたハイパーメディアのネットワーク環境でメディアの統合・変換やユーザとの対話を実現するエージェントのこと。

ISDN
ディジタル技術によって通信の伝送系と交換系を統合し、音声・データ・画像・映像サービスを総合的に提供する通信網のこと。

状態遷移図
システムの動作について、それを状態とその状態で可能な遷移（およびそのための動作）に分けて記述する方法。作業の構造記述にも応用される。

状況理論
バーワイズ等により提唱された、状況や情報を形式的に記述するための集合論をベースとした理論。対象を言語に限定した理論として状況意味論がある。

常識推論
日常的世界で人間が行っているような素朴な（native）思考形式の実現を目指した人工知能研究。常識推論では、専門的知識よりも、むしろその基礎となる一般的知識や日常世界での知識が研究対象となる。

状況推論
一般的には、「状況」を取り扱える推論方式をいう。状況内にいて状況に依存した推論に加え、推論に関する規則自体が状況に依存するような「状況に関する推論」も扱えるように、状況理論に基づいて構成した推論方式も研究されている。

仮想現実感技術
コンピュータにより生成された世界の中で、視覚や聴覚などの刺激により種々の体験ができるようにする技術。臨場感のPresence、コンピュータと対話するためのInteraction、世界を模擬するためのAnatomyの3要素から構成されている。

感性情報
人間の直感や感性に関わる情報のことで、論理的に記述することが難しいノンバーバル情報や音楽情報等もこれに含まれる。

KJ法
人類学者の川喜田二郎（KJ）の開発した問題分析手法。個別の問題やアイデアをカードに記入し、それを段階的にグルーピングしてゆくもの。

メタファ
「データを消去するというコンピュータの機能」を「ごみ箱」で譬えるように、「譬えられる対象」と「譬えるもの」の対応を言う。

モダリティ（様相）
視覚や聴覚などの心理的な意味での感覚の様相。あるいは生理的な意味での感覚の形式や種類を意味する。

入力層、隠れ層、出力層
階層的ニューラルネットワークにおいて、外界からの入力が入るユニットの集合を入力層、外界に出力を出すユニットの集合を出力層、外界と直接的に接していない、言い替えれば入力層でも出力層でもないユニットの集合を隠れ層と呼ぶ。

7段階モデル
ユーザの視点と達成しようとするタスクの視点を考慮したユーザとシステムの相互作用のモデル。このモデルでは、(1)目標の設定、(2)望ましいシステムの状況の決定（意図形成）、(3)入力選択、(4)実行、(5)システム状況の知覚、(6)状態の解釈、(7)目標と状態との比較（評価）の7段階のステップを考慮し、(1)~(4)の間に生じる「実行の淵」、(5)~(7)の間で生じる「評価の淵」における認知的負荷の軽減がインタフェースの課題であることを示している。

ポップアップメニュー
コンピュータ画面のカーソル位置（あるいはその近辺）に出現するメニュー方式。カーソル位置に近いことから効率的操作が期待されたが、現在はあまり使用されない。

プルダウンメニュー
コンピュータ画面の上部にある帯状の領域の中から任意の選択肢を選ぶと、該当する選択肢が表示されるメニュー方式。現在一般的に利用されている。

声道モデル
音韻情報と関連の深い口腔から咽喉の部分を音響管モデ

ルとして物理的に記述し、そのパラメータを音声認識や音声合成に利用する。

サーカムスクリプション

極小限定ともいう。常識推論の実現アプローチの一つで、日常的推論で自然に働いている「対象世界の限定作用」を推論形式の面から定式化したもの。マッカーシーの標準モデルは、「例外的なものは、述べられている以外存在しない」を定式化したものと解釈できる。

サーブリッグ

作業分析のための人間工学的手法で、一連の作業を記号を用いて表現してゆく。これにより作業の流れのネックを発見したりする。

システムの開放性

システムと外界の間で、情報の流れが頻繁に起こり、かつ制約が少ない状態をいう。システムと外界との情報の流れがないとき、閉鎖的という。

適応差分PCM

過去の信号に基づく予測誤差を量子化する際に、量子化幅を直前の量子化値によって適応変化させるもの。32kbpsの標準方式（G.721）。

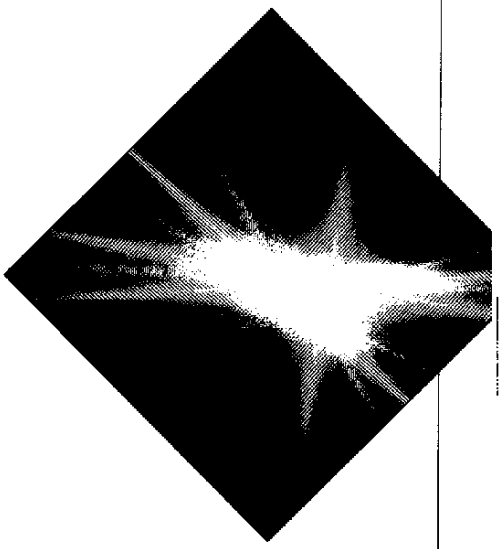
ウゴウゴルーガ

フジテレビの児童向け番組で、CGやクロマキーなどの技法を活用したマルチメディアの仮想世界を作り出しており、大人にも人気がある。

VR（バーチャルリアリティ）

コンピュータによって合成された人工の映像世界の中にユーザが入り込み、そこでいろいろな疑似体験を行うことのできるシステム。

第Ⅳ編　通商産業省のAI関連施策の概要



通商産業省のAI関連施策の概要

1. AI関連施策の推進

AIは、高度情報化社会を実現するための基盤となる技術であるが、広く社会の中で適用されるには、まだ多くの研究課題、技術開発課題等が存在する。このため、通商産業省としても、基礎的な研究開発プロジェクトの推進を中心として、多面的な施策を展開し、AI技術の発展や利用の促進を図っているところである。

本編においては、これらの施策のうち主要なものを紹介する。

まず、研究開発の代表的なものの一つに、「第五世代コンピュータ・プロジェクト」がある。知識情報処理を実現するために必要なコンピュータとして、第五世代コンピュータを開発するものであり、昭和57年度から平成4年度までの11年間にわたり研究開発を実施し、平成5年度からは第五世代コンピュータ技術と既存技術（UNIX）との融合に関する研究開発を実施している。また、これに関連するものとして、「電子化辞書プロジェクト」、および、平成4年3月まで実施された「高機能AIシステム記述用言語プロジェクト」がある。両者はいずれも、基盤技術研究促進センターからの出資事業として、株式会社を設立し、研究開発を推進してきた。

また、言葉の意味に含まれるような「あいまいさ」を持つ情報を処理するものとして、ファジィに関する研究を行う技術研究組合が設立され、平成2年度から研究開発を推進している。

次に、研究開発の代表的なものとして、従来のコンピュータが不得意な、人間の脳が行っているような高度かつ多彩な情報処理技術の実現を目指した、「四次元コンピュータ・プログラム（リアル・ワールド・コンピューティング・プログラム）」がある。平成3年度までのフィージビリティ調査を受け、平成4年度に設立された技術研究組合のもとに、研究開発を推進している。

さらに、研究開発以外のものとして、AIに関する調査研究・普及啓蒙については、(財)日本情報処理開発協会内に設置した「AI・ファジィ振興センター」の活動として実施している。

それでは、以上の主要なプロジェクトの具体的な内容を紹介する。

2. 第五世代コンピュータ・プロジェクト

2.1 第五世代コンピュータ

従来のコンピュータは、使用素子によって世代が分類されてきた。第1世代が真空管、第2世代がトランジスタ、第3世代がIC、第3.5世代がLSI、第4世代がVLSIという具合である。ところが、これらはすべてノイマン型コンピュータと呼ばれるもので、基本的には、処理の手順を手続き型言語によってプログラムに書き下し、これを逐次に実行することにより、求める機能を実現するものである。

ところが、これからの社会のコンピュータに対するニーズは、人間の知的活動に深く関わる機能を実現することにあると考えられるが、人間の知的活動は非常に複雑であるため、従来のコンピュータのように処理の手順を書き下すことは不可能に近い。

第五世代コンピュータは、高度情報化社会の中でユーザが求める知的な機能を実現するための、これまでのノイマン型コンピュータとはまったく異なるアーキテクチャを持つ並列処理型マシンであり、知的対話機能や知識ベースを用いた推論機能を持つ知識情報処理指向のコンピュータである（図表Ⅳ-1-1参照）。

2.2 プロジェクトの概要

第五世代コンピュータ・プロジェクトは、1990年代の高度情報化社会のニーズに対応するため、意思決定、設計、計画等の人間の知的活動を支援・代行するための情報処理である「知識情報処理」に最適な、革新的コンピュータを世界に先駆けて研究開発することを目的として、スタートしたものである。

このプロジェクトは通商産業省の情報化政策の一環として推進されているものであり、(財)新世代コンピュータ技術開発機構（ICOT：Institute for New Generation Computer Technology）に委託する形で実施されている。

研究開発は、全体の研究期間を前期（昭和57～59年

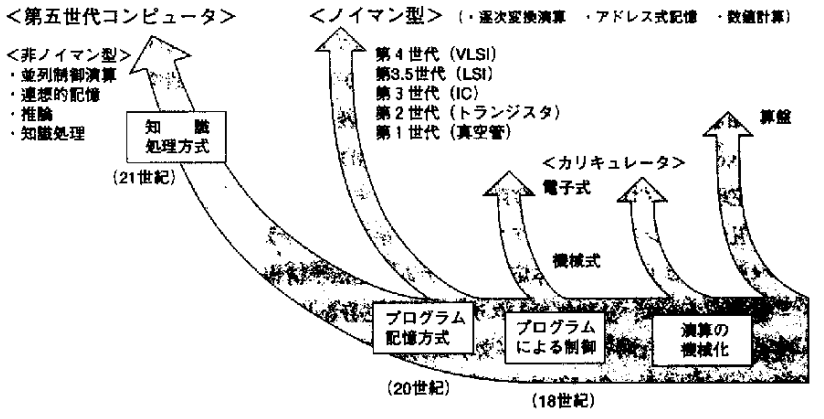
度)、中期（昭和60～63年度)、後期（平成元～4年度）に分けて進められた。平成5年度からは、今後の知識情報処理の研究をさらに発展させることを目的として、知識情報処理の研究基盤となる第五世代コンピュータ技術を既存技術（UNIX）に移植する後継プロジェクト（第五世代コンピュータの研究基盤化）を、平成6年度までの2年間の予定で実施している（図表Ⅳ-1-2参照)。

前期では、世界初のパーソナルタイプの逐次型推論コンピュータPSI等のハードウェアと逐次論理型言語ESP、世界初の論理型言語による本格的オペレーティング・システムSIMPOSを研究開発した。

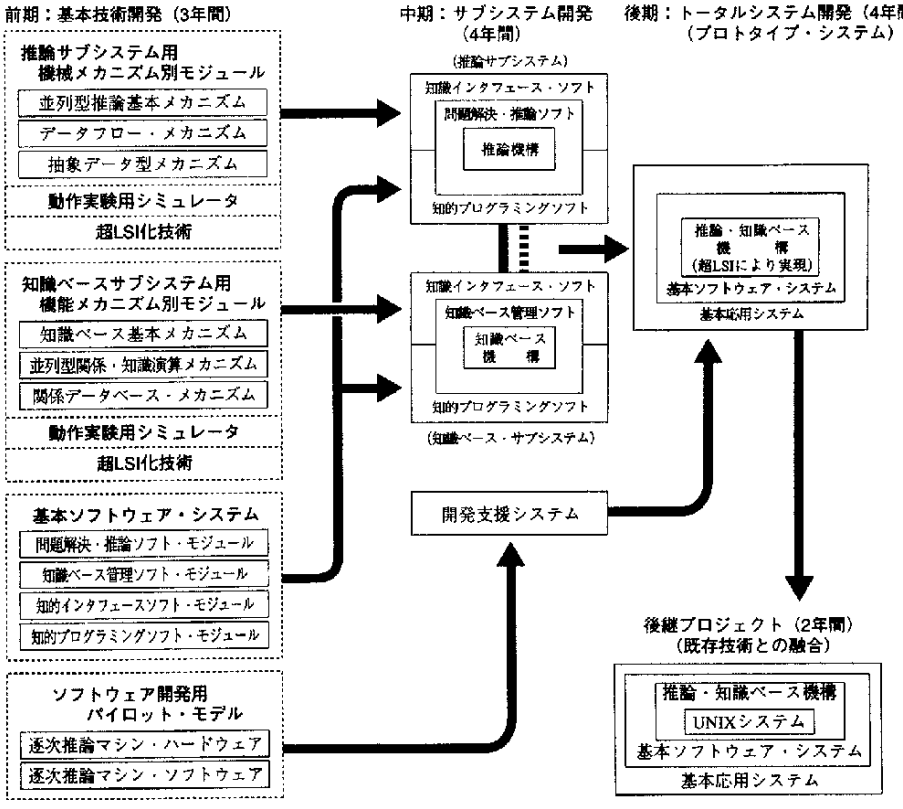
中期では、並列推論マシン実験機マルチPSI、並列論理型言語KL1、並列推論制御ソフトウェアPIMOS、知識ベース管理システムKappa、簡単な文章や談話を理解する談話理解実験システムDUALS等が研究開発された。

後期では、1,000台規模の並列推論機能を持つ統合的なプロトタイプ・システムであるPIM（Parallel Inference Machine）を開発した（2.3節参照)。

図表Ⅳ-1-1　第五世代コンピュータの位置づけ



図表Ⅳ-1-2　第五世代コンピュータの開発ステップ



2.3　プロトタイプ・システムの概要

後期においてはこれまでの研究成果を統合し、第五世代コンピュータ・プロトタイプ・システムを開発した。以下にその概要を紹介する。

①1,000台規模の並列推論機能を持つプロトタイプ・ハードウェア・システム

②ハードウェアの並列推論制御と知識ベース管理を行う基本ソフトウェア（OS）並びにそのユーティリティ群である知識プログラミング・システムからなる、プロトタイプ基礎ソフトウェア・システム（並列推論オペレーティング・システムPIMOS、並列型知識ベース管理機構Kappa-P、知識表現言語Quixote、制約論理プログラミング言語GDCC、並列定理証明プログラムMGTPなど）

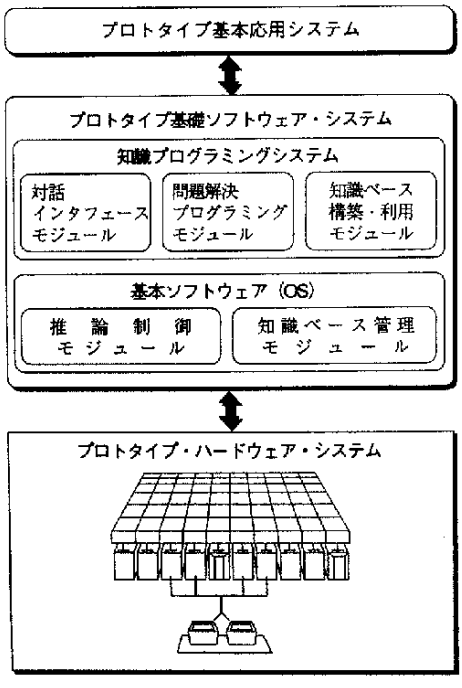
③第五世代コンピュータのアプリケーションともいうべき、プロトタイプ基本応用システム（遺伝子情報処理システム、法的推論システムHELLIC-IIなど）

図表Ⅳ-1-3にプロトタイプ・システムの概要を示す。

2.4　国際共同研究・国際研究交流

本プロジェクトでは、海外の研究機関にロジック・プログラミング開発環境を提供（PSIの貸与とマルチPSIの遠隔利用）し、相手機関がその上で行う応用プログラムの開発経験を本プロジェクトの研究開発にフィードバックすることを目的として、平成2年度から国際共同研究を行っている。

図表Ⅳ-1-3　第五世代コンピュータ・プロトタイプ・システム



共同研究の成果は、公開（論文の発表等）することを基本原則としている。現在、共同研究を進めているのは、以下の機関である。

①スウェーデン国立研究所（SICS）

ストックホルム郊外に位置する、スウェーデン技術開発庁（STU）と民間企業の共同出資により設立された研究所。共同研究のテーマは並列論理型言語システム、CADシステムおよび制約論理プログラミングである。

②オーストラリア国立大学（ANU）

キャンベラ郊外に位置する、オーストラリア有数の名門大学。共同研究のテーマは、定理証明である。

③米国オレゴン大学

第五世代コンピュータの研究基盤化に必要な並列論理型言語（KL1）のコンパイラ最適化技術や遺伝子情報処理への応用技術等に関する研究開発を実施している。

④英国ブリストル大学

第五世代コンピュータの研究基盤化に必要な並列論理型言語（KL1）のデバッガ高機能化手法や並列制約プログラミング技術等に関する研究開発を実施している。

以上の共同研究の他、従来から共同研究・研究交流を実施してきた米国・仏国・独国等と、研究者の受け入れ・招聘・国際会議等を通じて幅広く研究交流を実施している。

2.5　ソフトウェアの無償公開

第五世代コンピュータ・プロジェクトにより、並列推論マシン、並列推論ソフトウェア技術といった新しい技術が開発された。また、こうした技術開発に伴い、多くの先進的なソフトウェアが試作された。これらのソフトウェアは、基礎的な研究開発段階にあるため、多くの研究者に広め発展させていくべきものである。

ICOTでは、本プロジェクトの国際貢献の目的に鑑み、著作権が国ではなくICOTに帰属することとなるこれらのソフトウェアを、「ICOT無償公開ソフトウェア」として公開することとした。

これらのソフトウェアについては、できる限り多くの研究者に利用してもらうことによって、新しいコンピュータ科学への貢献を実践するため、無償かつ研究開発の障害となるいっさいの制約をはずしている。

2.6 プロジェクトの最終評価

11年間の本プロジェクトが終了するにあたり、平成5年3月30日の電子計算機基礎技術開発推進委員会（委員長：田中英彦東京大学工学部教授）において、本プロジェクトに対する以下のような評価（要旨）を受けている。

①世界最高の推論速度：

現在の汎用コンピュータの概ね100倍の性能

(150MLIPS)

(LIPSは1秒間の推論実行速度で、logical Inference per secondの略)

②並列ソフトウェアの高い生産性：

ソフトウェア危機の解決に貢献

③未解決の定理を証明：

従来技術では到達不可能であった研究領域

④知識情報処理分野における高い実用性の実証：

人工知能へつながる技術体系

以上のとおり、第五世代コンピュータ・プロジェクトでは今後の知識情報処理の基盤となる並列推論技術を確立しており、現在行われている既存技術との融合に関する研究開発によって、さらなる発展が期待されている。

3. 電子化辞書プロジェクト

3.1 電子化辞書

人工知能分野の応用技術の中で、人間が日常使用する言葉をコンピュータに理解させ処理させる自然言語処理技術の開発は必須のものとなってきている。このため、研究開発の研究基盤となる大規模で高品質な自然言語処理用データベース、すなわち電子化辞書が必要不可欠となる。このような背景のもと、(株)日本電子化辞書研究所（EDR）が設立され、電子化辞書の研究開発を推進している。

EDR電子化辞書は大きく4種類の辞書から構成される。文の構造を把握するために単語の文法的特性とその単語が表す概念を定義する「単語辞書」、単語が表す概念をコンピュータが理解できるように概念間に成り立つ関係を記述する「概念辞書」、文を生成するときに適切な単語を選べるように単語間の共起関係を記述する「共起辞書」、日本語と英語間の対応関係を記述した「対訳辞書」である。

3.2 プロジェクトの概要と現状

(1) プロジェクトの概要

プロジェクトは昭和61年4月にスタートし、平成7年3月までの9年間、研究開発を推進する予定である。研究開発テーマは大きく単語辞書、概念辞書、データ管理システム、実証評価システムの四つに区分され、段階的に研究開発を推進する。

(a)単語辞書

基本語辞書と専門用語辞書からなり、基本語辞書は日常一般に用いられる日本語および英語（各々約20万語）について見出し語情報・品詞情報・意味情報・対訳情報を与える。専門用語辞書は専門分野、特に本プロジェクトでは情報処理分野における文書・文献中に現れる専門用語（各々約10万語）を対象としたものである。

(b)概念辞書

これはEDR電子化辞書独自の本格的な意味処理のために使用されるものであり、現在、概念体系および概念記述の開発が進められている。各単語は、一般に複数の意味を持つことから、単語が表す概念は単語の数よりも多く、本プロジェクトでは日本語、英語それぞれ約40万語の概念見出しが設定されている。概念体系は、これら概念の上位—下位関係を体系的に規定し、概念世界全体の中でどこに分類されるかを表す。一方、概念記述は、各概念の間に成立する格関係、因果関係等の関係によって概念をコンピュータに理解可能な形式で記述するものであり、この概念記述と前述の概念体系が一体となって個々の概念の意味、概念相互間の関係を表現する。

(c)データ管理システム

各種研究開発用支援ツールとしての各システム、およびそれらを拡張・改良することによる辞書利用のための運用支援システムを各辞書の研究開発ステップに合わせて作成する。

(d)実証評価システム

電子化辞書の有効性・汎用性を実証評価し辞書開発にフィードバックするため、機械翻訳システムと音声応答・対話システムを対象として、各応用面からの研究開発を行う。

(2) 研究開発状況

現在まで蓄積してきた概念分類データを本格的な概念体系へ組み換えるとともに、概念体系中、上位に位置する項目間に概念記述をトップダウンに設定するこ

とにより自然言語処理で利用可能な概念辞書の試作版を作成した。また、言語処理に最低限必要な程度の情報に限定し、これを統計的に評価・改良を加えることにより、評価版第1版を完成したところである。

4. 高機能AIシステム記述用言語プロジェクト

4.1 高機能AIシステム記述用言語Common ESP

第五世代コンピュータ・プロジェクトで開発された逐次論理型言語ESPは、推論機能を有する論理型言語であるPrologに、オブジェクト指向プログラミング機能等を付加し、エキスパートシステムやシステムプログラム等の記述にも適した、AIシステム記述用言語である。

しかし、ESPはこのような優れた特徴を有しているものの、逐次型推論コンピュータPSI上でしか動作しないという制約があった。

そこで、このESPをベースとしてさらに高機能化を図り、汎用ワークステーション、ミニコンピュータ、メインフレーム等の上でも動作可能な、高機能AIシステム記述用言語Common ESPを試験研究することとした。

4.2 プロジェクトの概要

本プロジェクトでは昭和63年3月に(株)AI言語研究所（AIR）が設立され、以下のようなテーマについて平成4年3月までの4年1ヶ月間研究開発が進められた。

①Common ESP言語仕様および言語処理系

(a)Common ESP(CESP)言語仕様

第五世代コンピュータプロジェクトで開発したESPに関する知見を基に、オブジェクト指向と論理型という二つのパラダイムの柔軟な融合形態を作り上げるため、論理型機能の拡張、他言語インタフェース機能等の付加的機能、平行処理用機能について研究を行った。

(b)言語処理系

汎用計算機上で動作するのに十分な実行効率、高移植性、各種のAIプログラムを作成するのに必要な機能を持たせるための実行管理、プログラム管理等について研究を行った。

②実証評価

自然言語処理ツール、UNIXコンサルテーションシステム等四つの応用プログラムのテーマを取り上げ、CESPのAIシステムへの応用可能性について研究を行った。

③Common ESP最適処理系

CESPの一層の高機能化、実行の高速化に結びつくノウハウを得るため、CESPを先端的な応用テーマである知的コンパイラ、知的CAIのための汎用フレームワーク、代数的仕様に基づく実用システム開発支援に適用する研究を行った。

4.3 試験研究の成果

本プロジェクトで開発したCESPは、オブジェクト指向型PrologであるESPを一般に広くゆきわたっているUNIXワークステーション上で使用可能にすることにより、各種エキスパートシステムや機械翻訳、知能ロボット等の知識情報処理技術全体の研究開発基盤となり得るものである。また、これは他言語で書かれた既存プログラムを呼び出し有効活用することにより、ソフトウェアの生産性を向上し、また、世界に先駆けてPrologをオブジェクト指向化したものであることから、日本だけでなく世界的な標準となり得る可能性を持っている。

5. ファジィ理論の工学的応用プロジェクト

「あいまいさ」を持つ情報を処理するものとして、ファジィ理論の応用が注目されているが、そのファジィ理論の工学的応用を図るために必要な技術の確立を目標に、1989年、技術研究組合国際ファジィ工学研究所（LIFE：Laboratory for International Fuzzy Engineering Research）が設立された。

現在、この研究所には、コンピュータ・メーカはもちろん、自動車、鉄鋼等のメーカやソフトウェアハウス、証券会社等、幅広い業種から46社もの企業が参加しており、このことからも、ファジィについての関心の高さと、応用分野の広さがうかがえる。研究期間は約6年間、研究開発費総額は約50億円が見込まれており、ファジィに関し、基礎研究（理論面での研究）、基礎技術開発（開発環境の整備）および実証評価的な研究（応用システムの試作、評価）を行っている。これらの研究については、大学等との連携や諸外国の研究機関との研究交流を図りながら推進している。

研究のメインテーマは、ヒューマンフレンドリーシステムである。具体的には、人間とシステムとのコミュニケーションと、機械の知能化である。これらの研究は、前半3年間と後半3年間に二分されている。前半3年間は、比較的従来のファジィ技術を基礎とした研究を行ってき

たが、後半3年間では、先の研究成果の知見をもとに、次の五つの研究テーマについて研究を進めている。

(1)ファジィ・コンピューティングの研究—自然言語のファジィ処理—

通常の会話（自然言語）のままでコンピュータが言葉の意味を理解できるようにするための研究を行う。

(2)知的インタフェースの研究—人間と機械との会話—

人間とコンピュータが会話（情報交換）を行うことにより、問題の解決を導き出せるようにするための研究を行う。

(3)ファジィ連想記憶の応用研究—ファジィとニューロの融合—

ファジィとニューロの利点を組み合わせることにより、機械の知能化を図るための研究を行う。

(4)視覚情報（画像）の意味理解の研究—画像のファジィ認識—

通常の記号的な処理で認識することが難しい自然画像については、ファジィ理論を応用することにより比較的容易に画像認識が可能となるため、その手法についての研究を行う。

(5)高度知的ロボットの研究—複数ロボットの協調作業—

知的ロボットの要件としては、コミュニケーション機能のほか、自律的に行動できる自主性と外部の状況に適応できる協調性が求められる。ここでは、複数ロボットが協同して働く自律分散システムの研究を行う。

6. 四次元コンピュータ・プログラム（リアル・ワールド・コンピューティング：RWC）

6.1 四次元コンピュータ

コンピュータは、ハードウェアおよびソフトウェア技術の進歩に支えられて驚異的な発展を遂げ、大きな計算パワーを提供するようになった。

しかしながら、例えばパターン認識、不完全な情報に基づいた問題解決、学習能力といった分野において、コンピュータの情報処理は依然として柔軟性に欠け、人間の足元に及ばない。

四次元コンピュータは、現実世界に存在する多種多様な情報の、曖昧さ、不完全さ、変容性を許容しつつ、妥当な判断や問題解決を行うことを可能にする21世紀の情報処理技術であり、この基本理念を「リアル・ワールド・コンピューティング」と呼んでいる（図表Ⅳ-1-4）。

6.2 研究開発の概念

リアル・ワールド・コンピューティングは、より人間的で、柔らかな情報システムの基盤となり得るような新しい情報処理であるが、そのシステムは次のような特性によって特徴づけることができる。

①開放性（Openness）

予期していない状況に遭遇した場合にも、システムが自律的かつ適応的に自己を変化させたり拡張できること。

②頑健性（Robustness）

入力情報が雑音で汚れていたり、環境が変化したりしてもシステムの挙動が頑強かつ安定していること。

③実時間性（Real-Time）

システムが現実的な時間内に解を求めること。

人間はこのような実世界性を有した情報処理能力を維持しているが、その理由は、われわれの脳が情報を分散的に表現し超並列的に処理する能力、学習および自己組織化力、および情報統合能力を持つことに由来する。したがって、上記のような特性を持つリアル・ワールド・コンピューティングシステムを実現するためのキーコンセプトとして、次の二つが挙げられる。

①柔らかな情報処理

情報の曖昧さや不確実さを許容するとともに、学習、適応能力を持った情報処理

②超並列超分散情報処理

相互に複雑に絡み合った多様な情報を超並列超分散的に処理する情報処理

この二つのキーコンセプトを実体化するため、四次元コンピュータの研究開発の主要部分は、相互に関連し合う次の三つのカテゴリーに分けられる。

①柔らかな情報処理の基本原理の探求による革新的技術の理論基盤の確立

②システム基盤としての超並列システムの開発

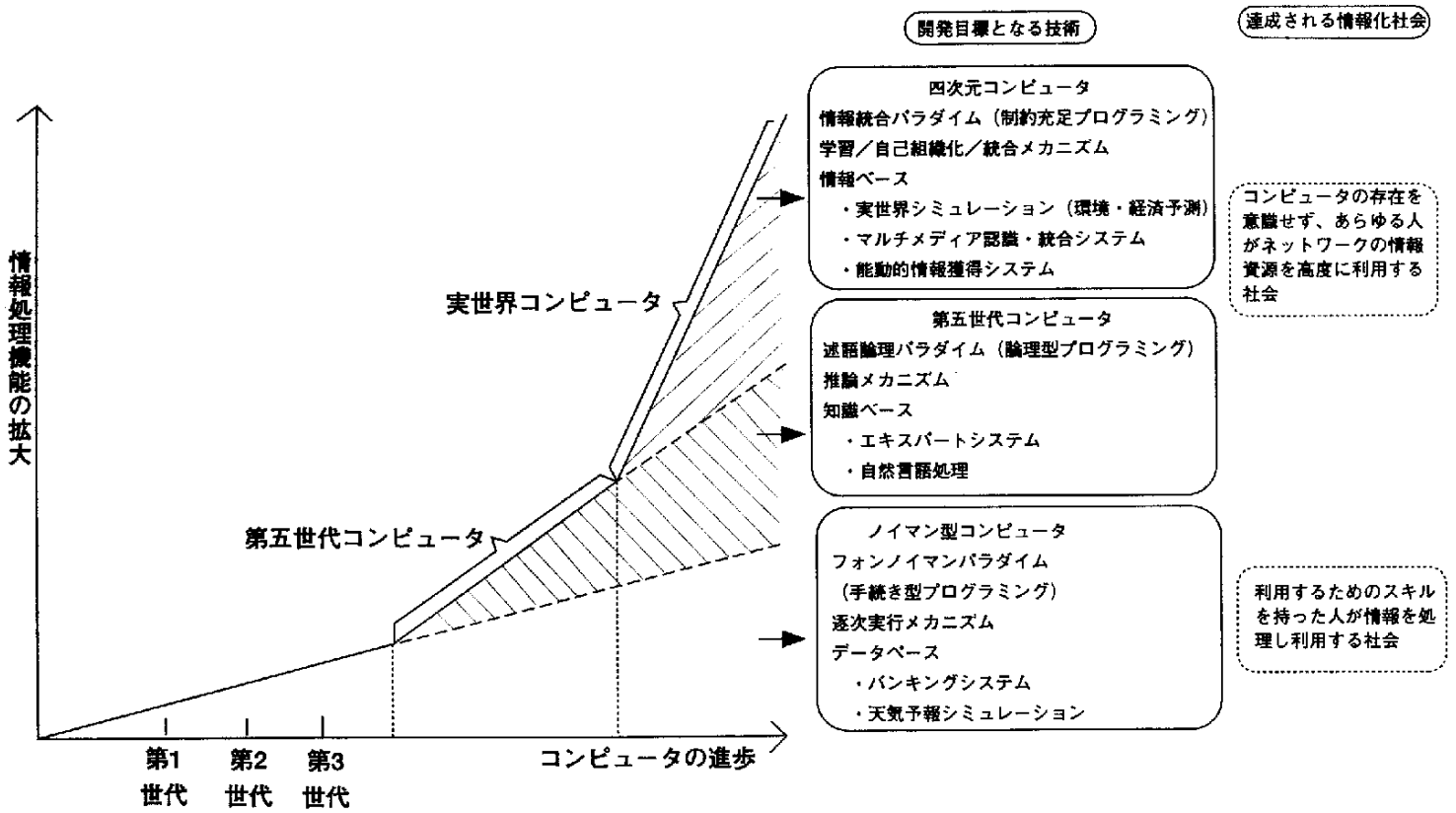
③広範な現実の応用システムを構成するための新しい要素機能の具体化

これらのカテゴリー分けに対応して、(a)応用のための新機能、(b)その理論基盤としての基礎理論、(c)(a)、(b)を支えるシステム基盤、という3層構造が、本研究プログラムの基本的枠組みとなる（図表Ⅳ-1-5）。

6.3 研究開発基本方針

本研究プログラムの主目的は、単一のマシンの研究を開発することではなく、重要でありながら未だ確立され

図表Ⅳ-1-4　コンピューティングシステム機能の拡大



ていない要素技術の可能性を探求することである。この挑戦的かつ極めて基礎的な目標を達成するために、プログラムは、次のような方針にのっとって推進されるべきである。

①柔軟な実施体制

本研究開発の推進に当たっては、統合性、象徴性、共通性の高い研究を集中研究所において、個別要素性の高い研究を分散研究所において、という研究課題の適切な配分を行い、両者間の有機的で柔軟な連携を確保する。

②競争原理の導入

研究開発の前期では、競争原理（さまざまなアプローチ間の競合による研究の効果的な進展）を導入し、中間評価時にはその結果に基づいて研究開発課題を絞り込む。

③学際性、国際性

本研究開発の基礎的かつ挑戦的な目標を達成するため、学際的、国際的な連携を促進する。そのため、電子技術総合研究所や大学等の研究機関との協同研究を積極的に行い、また、国内外の大学等の研究機関に対し再委託の公募等を行う。

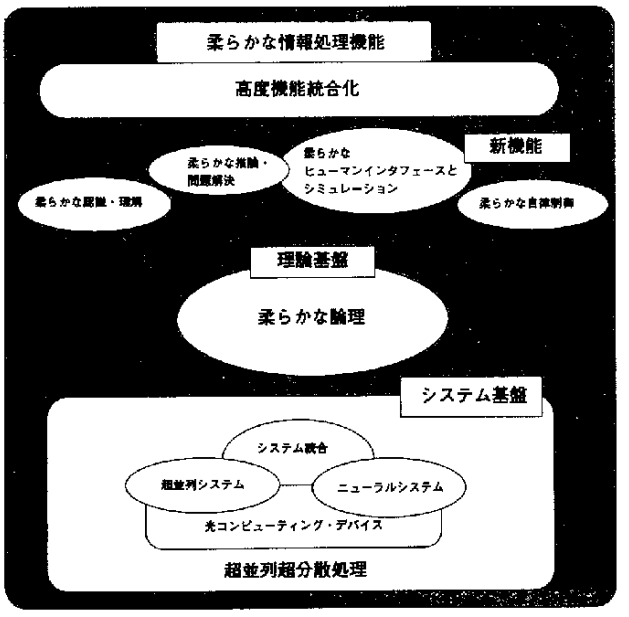
④研究成果の公開性

研究開発の公開性を保つため、研究開発の進捗状況および成果を国内外の会議等で報告、公開し、また、シンポジウムやワークショップ等を積極的に開催する。特に、本プロジェクトで研究開発された特許権等について、最大1/2の範囲内で受託者（民間団体・民間企業等）に帰属させることを認めた、初めてのプロジェクトである。

⑤研究インフラの整備

以上の柔軟な実施体制と研究成果の公開性を支えるために、世界的な規模の分散研究基盤として、高速ネットワーク環境の整備を行う。

図表Ⅳ-1-5　RWC技術開発項目の構成



6.4　RWCP設立経緯

通商産業省では1989年度から「新情報処理技術調査研究委員会」を設け、91年度にはその成果をもとにフィージビリティ調査研究委員会を設置し、新しい情報処理技術体系について検討を行った。また、国際的なワークショップを積極的に開催し、準備段階から国際的にオープンなプロジェクトとして活動を行った。

以上の結果を「リアルワールドコンピューティング基本計画書」にまとめ、具体的な研究開発計画を策定した。これらを踏まえ、92年7月13日に研究開発の中核的機関として「技術研究組合新情報処理開発機構(Real World Computing Partnership = RWCP)」が設立された。以後10年間で約700億円の予算規模の研究開発を開始し、現在は2年目である。

現在、組合員として参加している法人は、本邦法人16、海外法人4である。これらの外国法人は以下の通りである。

- ドイツ：GMD（German National Research Center for Computer Science）
- オランダ：SNN（Stichting Neurale Netwerken）
- スウェーデン：SICS（Swedish Institute of Computer Science）
- シンガポール：ISS／NUS（Institute of Systems Science, National University of Singapore）

6.5　研究体制

研究開発は、RWCPつくば集中研究所（以下「集中研」）内の理論・新機能研究部（情報統合研究室、能動知能研究室）、超並列・ニューロ研究部（超並列アーキテクチャ研究室、超並列ソフトウェア研究室、ニューラルシステム研究室）の五つの研究室で行われている。その他、光研究部が設置されており、以上計三つの研究部で研究が進められる。

研究開発は上記の集中研を中核として、組

合参加企業等からなるRWCP分散研究室（以下「分散研」）で並行して行われている。集中研と分散研はそれぞれ異なる役割を持っており、集中研では統合的かつ実証的な研究を、分散研では要素的かつ基礎的な研究を行っている。これらを図表Ⅳ-1-5に示すイメージで統合することにより、リアル・ワールド・コンピューティングの実現が図られる。

さらに、RWCP外部の研究機関についても、通商産業省工業技術院傘下の電子技術総合研究所、東京大学、京都大学、筑波大学等の国内大学のほか、オーストリア等3ヶ国の海外機関が密接な連係をとりつつ研究開発を進めている（図表Ⅳ-1-6）。

6.6　研究開発内容

RWC計画のテーマには以下の五つの中核となる柱があり、現在それぞれのテーマについて、基礎的・要素的研究が行われている。最終的には、これらが有機的に結合して、全体として「柔らかな情報処理」を実現するものである。各々の概要を以下に述べる。

(1)理論基盤の研究

新情報処理技術に要求される「柔らかな情報処理」、すなわち人間の右脳に相当する柔軟な情報処理能力を、情報処理の新しいパラダイムとして実現するための理論基盤を確立する。

(具体的研究課題)

・情報の表現、記憶、想起
・さまざまな情報および要素モジュールの統合
・情報および処理モデルの評価
・学習および自己組織化、等

(2)新機能の研究

新しい情報処理の機能として頑健性、解放性、実時間性に基づく柔らかさを実現する技術を確立する。

(具体的研究課題)

・多種多様な情報の柔らかな認識と理解
・大量な情報ベースを利用する柔らかな推論と問題解決
・人間と機械の円滑な対話のための柔らかな情報環境
・柔らかな自律制御、等

さらに、これらの要素技術を統合する方法を探り、その有効性を検証するために、典型的な問題への応用を試みる。

(3)超並列システムの研究

新情報処理技術を支える計算基盤を実現するために、汎用的な超並列システムに関する技術を確立する。

(具体的研究課題)

・超並列アーキテクチャ
・超並列オペレーティングシステム
・超並列システム用言語
・システム開発・プログラミング環境
・システム評価、等

(4)ニューラルシステムの研究

新情報処理技術を支える柔軟な計算基盤を実現するため、大規模ニューラルシステムに関する技術を確立する。

(具体的研究課題)

・新たなニューラルモデルの開発
・ニューラルシステムのハードウェア
・ソフトウェアの研究開発
・超並列システムとの統合、等

(5)光コンピューティングシステムの研究

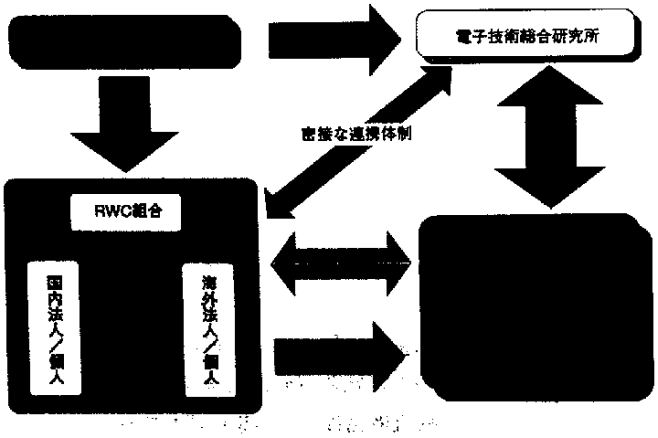
新情報処理技術が目指す柔らかな情報処理を実現する手段として、電子技術が不得意とする大容量情報伝達技術や画像情報などの直接処理を実現する光技術を確立する。

(具体的研究課題)

・光インターコネクション技術
・光ニューラルシステム
・光デジタルシステム、等

後述するように、光関連の研究の一部は日米共同で行う。

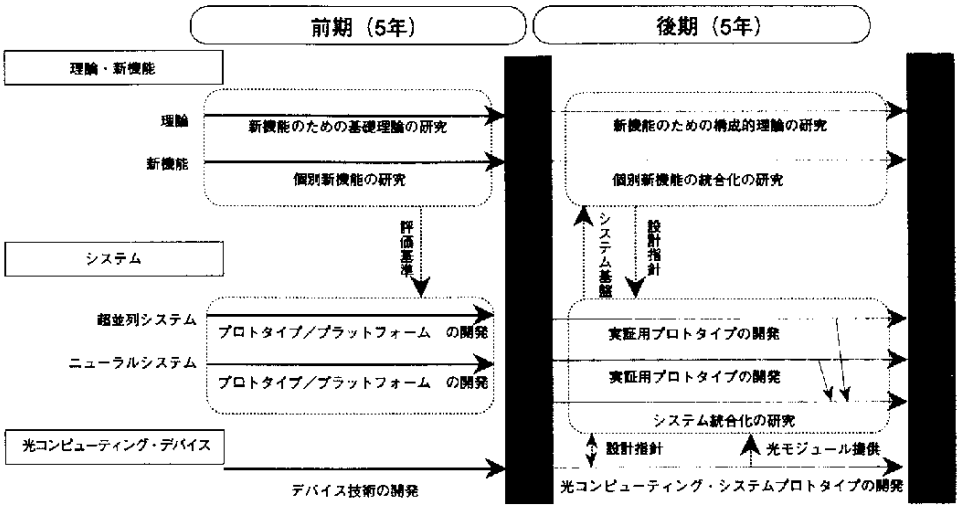
図表Ⅳ-1-6　RWC研究開発実施体制



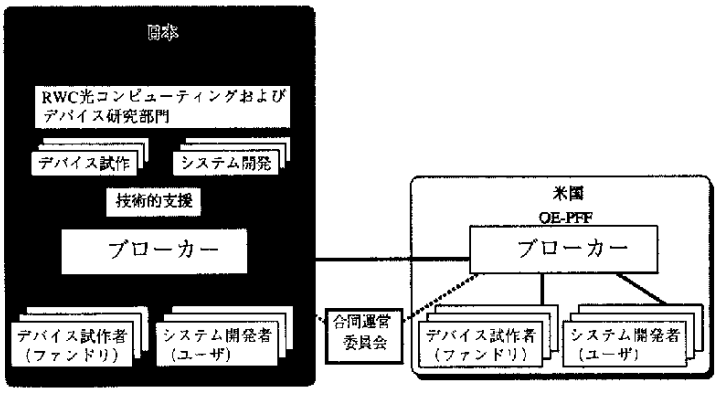
6.7　研究の評価・スケジュール

本プロジェクトでは、大学・電子技術総合研究所の有識者からなる評価推進委員会（委

図表Ⅳ-1-7　RWC研究開発スケジュール



図表Ⅳ-1-8　日米合同オプトエレクトロニクス・プロジェクト



員長：甘利俊一東京大学工学部教授）を設け、国内外の参加機関の決定、研究テーマの選定・評価等を柔軟かつ平等に実施する体制を常時とっている。特に、前半5年は個別の基礎技術分野を並行して研究するが、5年目の中間時点で各要素技術の将来の可能性を再評価し、後半の研究テーマの見直し・絞り込みを実施する予定である。

図表Ⅳ-1-7に10年間の研究スケジュールを示す。

6.8　光技術に関する日米協力

RWC計画の主要テーマの一つである光技術に関しては、US-Japan Joint Optelectronics Projectと呼ばれる技術開発計画が日米科学技術協力協定のもとで推進される。本プロジェクトの主たる目的は、ユーザが優れたオプトエレクトロニクス製造施設を利用できるようにすることにより、新規の優れたオプトエレクトロニクスデバイスやモジュールの試作品の入手が容易に行えるようにすることにあり、さらに日米両国間のコンピュータ用オプトエレクトロニクスを利用したデバイス、回路およびモジュールの斬新なプロトタイプを相互に流通・利用させる可能性を高めることとしている。

図表Ⅳ-1-8にその体制を示す（平成6年度から具体的に開始する予定）。

6.9　RWCの応用分野

RWCの応用分野としては、概して以下のようなものが挙げられる。

(1)科学技術解析の水準・領域の飛躍的向上

地球環境シミュレーション、癌等疾患の発見、遺伝子情報の抽出等

(2)ヒューマン・コミュニケーションの飛躍的向上

対話型コンピュータ、自律・共同作業・学習ロボット、自動目視検査等

7.　AIの普及啓蒙活動

7.1　AI・ファジィ振興センター

AIの利用の中では、エキスパート・システムの分野が

最も進んでおり、試験的なものも含め盛んに導入されるようになってきたが、開発手法が確立していない等の普及阻害要因も多い。このため(財)日本情報処理開発協会(JIPDEC)内のAI・ファジィ振興センターにおいて、AI技術の調査研究・普及啓蒙事業を展開している。

7.2　AIセンター事業の概要

①AI動向調査

わが国におけるAI市場および技術の動向について、経年的に調査研究しており、その一部を昭和62年に「AIビジョン」として取りまとめた。また、年度ごとの調査研究を分析し、「AI白書」として平成元年度から発行している。

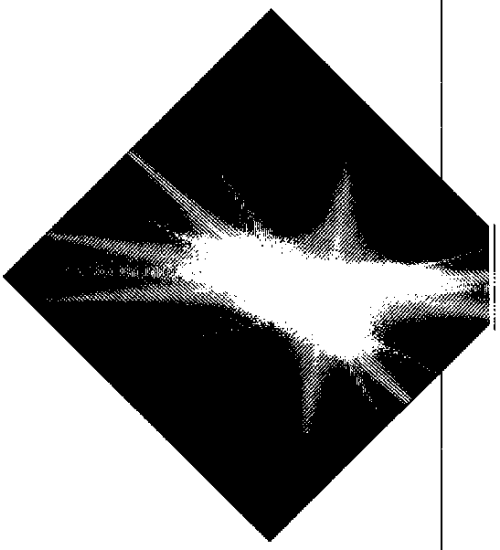
②普及啓蒙事業

AIの基礎技術やシステムについて、より幅広い層から理解してもらうため、技術講演会やAIツールの説明会等を開催している。

③機関誌の発行

AIやファジィシステムの利用動向を紹介する「AI・ファジィ・トレンド」を発行している。

第Ⅴ編　海外のAI関連施策とプロジェクトの概要



第1部　米国

1. 概要

企業環境の複雑性が増大するスピードと伝統的な情報システム技術が洗練化され、進歩するスピードとの間にギャップがあり、そのギャップを埋める手段として、AIシステムが不可欠のものになりつつあることは、AI白書1993で指摘しているが、1993年度のAI実用化状況をみると、大規模組織における大規模なタスクを処理するシステムのケースが目立ってきた。ケース・ベースド・リーズニング（事例ベース推論）はエキスパートシステムだけでなく、ユーザインタフェース、自然言語処理システム、あるいは診断型システム、計画型システムなどにまで統合例が増えている。

AIのビジネス化の面では、自然言語処理分野において音声認識システムの限られた環境での実用化気運が出てきて、米国においてはIBM、マイクロソフト、ドラゴン・システムズといった企業からパソコンの上で稼動する音声認識パッケージが売り出された。これらのパッケージは、音声、グラフィックス、イメージ、テキスト、データを統合的に同期させて扱うマルチメディア処理技術の一環として登場してきたソフトウェアである。

また、ニューラルネットワークの各種システムへの統合的な組込み例が登場しつつある。

AI技術の進展には、米国連邦政府の国防・宇宙計画によるAIシステムの応用が大きな刺激要素となってきたことは間違いないが、クリントン政権は1994年度予算において軍事・宇宙開発予算を大幅に削減した。例えばNASAの予算はおよそ半分に削減され、地球上空400マイルに宇宙ステーションを米欧加日露共同で建設しようとする「フリーダム計画」は、コスト節減のため打ち上げロケットをロシアに頼らざるを得なくなり、1993年11月に米露政府が調印した。軍事予算の削減は、一方でバーチャルリアリティへの依存を高めるという観測もある。

2. 連邦政府の科学研究・技術開発政策

クリントン政権は情報ハイウェイを21世紀へ向かっての社会の最も重要なインフラストラクチャとみなし、去る1993年9月には全米に光ファイバを敷設し、大学や病院、図書館などをつなぐ「情報ハイウェイ構想」を発表、計画を推進するために「大統領情報基盤委員会」を設置、これに沿ってまずAT&T、ヒューレット・パッカード、サンマイクロ・システムズ、ノベル、シノプティックス・コミュニケーションズ、エネルギー省、オレゴン大学、海洋大気科学大学が、産学官のコンソーシアムであるNational Infrastructure Testbed を組織した。米国では、すでに1990年12月、ときのゴア議員（現副大統領）の提案によるHPC法（High Performance Computing Act of 1990）が成立し、学術研究機関を結ぶNRENネットワーク（National Research and Human Resources Network）が、1995年度までの計画で建設されつつある。

ただ、米国企業は連邦政府が直接ネットワークの建設に主導権を握ることを嫌い、ネットワーク建設は民間主導で行うという考えが強い。マルチメディア情報通信を行うインフラストラクチャとしてはB-ISDNの建設に、3,000億ドルの投資が2015年前後までにかけて必要との推定があるが、1993年に入るとCATVオペレータと七つの地域電話会社が思い思いのパートナーと連携して、500チャネル以上の通信が可能なインタラクティブCATVのオペレーションを早期に立ち上げようという動きが、にわかに活発化してきた。光ファイバを敷設するか、既存ケーブルにデータ圧縮技術を導入することでマルチメディア双方向放送・通信が可能になること、バージニア州アレクサンドリア連邦地裁がベル・アトランティックに対し「地域電話会社のCATVビジネス進出を禁じた連邦CATV法は、憲法違反である」との判決を下したことが、電話会社とCATVオペレータ、映画・娯楽産業との提携を刺激しているためである。米国においては、CATVの契約者が全世帯の65%まで及んでおり、情報インフラストラクチャの厚さを物語っている。なお民間の共同研究開発会社MCC（Microelectronics and Computer

Technology Corporation）は、家からはもちろん、自動車や飛行機や街頭からでも、いつでもアクセスできるインタラクティブなマルチメディア・ネットワークFirst Citiesを建設するコンソーシアムを組織し、1995年に開通させようとしている。コンソーシアムのメンバーはアップル、カレイダ、ベルコア、コーニング、イーストマン・コダック、ノースアメリカン・フィリップス、タンデムなどである。

次に連邦政府自身の研究開発活動をみると、連邦政府は約700に及ぶ研究所を持っており、年間総予算は220億ドルに達している。なかでも巨大なのはエネルギー省、国防省、NASA、健康省、農務省、商務省で、研究所と予算は次のとおりになっている。

- エネルギー省　21研究所、90億ドル
- 国防省　27主要研究所（陸軍19、空軍4、海軍4）、70億ドル
- NASA　8研究所、100億ドル
- 健康省　直轄の国立健康研究所と病気管理センターと、他の14研究所、34億ドル
- 農務省　221研究所、8億ドル
- 商務省　国立標準技術研究所（NIST）を含む52研究所、6億ドル

しかし、クリントン政権はスリムで効率的な政府作りを目指す政策の一環として、研究所の規模を技術移転の面からみて、どれだけ産業に役立っているかによって評価することにした。これを契機に官民共に政府の巨額な研究開発費支出は、投資回収の実が上がっていないという見方が高まっている。政府研究機関の職員のコスト意識の希薄さ、非能率が、民間との共同研究から出る成果を阻害しているという批判があるものの、民間への技術移転は加速しつつある。例えば、エネルギー省の3大研究所であるサンデイア国立研究所（職員数8,600名）、ローレンスリバモア国立研究所（8,037名）、ロスアラモス国立研究所（7,550名）の研究所が、1991年に民間と結んでいた共同研究はわずか15にすぎなかったが、現在は192に達している [1]。これらの中には、当然、AI関連技術も含まれていると思われる。

3. 市場の現状

3.1 音声認識システム

まず音声認識の分野では、1993年春に音声認識ソフトウェア・パッケージが売り出された。IBMのVoice Type Control for Windows（語彙数64語、129ドル）、マイクロソフトのMicrosoft Windows Sound System（3,000語、289ドル）、SayIt のQualix Group（1,000語、295ドル）、Voice Navigator SWのArticulate Systems（1,000語、399ドル）、Dragon SystemsのDragon Dictate-30K（25,000語+ユーザー登録5,000 語、4,995ドル）、Kurzweil Applied IntelのKurzeil Voice（50,000語、6,000ドル）がそれだ。

Voice Type Control for WindowsからArticulate Systemsまでのパッケージは、"Open File"といった、あらかじめセットされたコマンドの発声に反応して、パソコンあるいはワークステーションが何らかの機能を実行するソフトウェアで、意味を理解しているわけではない。しかし、グラフィックス、イメージ、動画、テキストなどの情報と連動して表示することによりヒューマンインタフェースを非常に柔らかくするので、素人の一般人がコンピュータを操作できる環境を与える。カリフォルニア州政府が1991年以来運用している24時間稼動のInfo/California行政サービス・システムは、役所の窓口業務を放課後も市民に提供するサービスで、パソコンを埋め込んだキオスク（操作台）をスーパーマーケット、ショッピング・センター、図書館、学校などに設置し、オンライン・リアルタイムのインタラクティブ・マルチメディア・サービスを市民に提供している。内容は、求職、自動車登録更新、駐車場料金支払い、失業保険、疾廃保険、州政府の重要なサービスに関する問い合わせなど110 以上のトピックスで、タッチ・スクリーンで操作ができる。高品質のカラービデオ、ステレオサウンド、クレジットカード処理、ハードコピー、領収書発行などの機能があり、英語とスペイン語を音声認識する。このシステムはIBMが納入し、サーバーはIBM E/9000メインフレームである。IBMは1992年夏に、このようなインタラクティブなサービスができる情報システムをオンライン・リアルタイム・マルチメディア分散情報システム（商品名Ultimedia）として正式発売し、企業や組織での設置例が増えている。

IBMは1,000語以上が認識できる不特定話者連続発声認識システム（話言葉で、ビデオクリップ、イメージ、オーディオを検索）と、数万語の大語彙スピーチ認識システムVisitWriterをファミリー化し発売している。VisitWriterは、例えば医師が簡単なディクテーションを介して、医療情報管理の生産性を上げることなどを目的とするプロフェッショナル用システムである。Dragon

SystemsとKurzeil Applied Intelのパッケージも、後者の用途とみてよい。

さらに意味理解まで踏み込んだ実用化開発例もいくつかみられる。例えばMITでは1993年3月以来、アメリカン・エアラインズのSABRE座席予約システムに航空券発行用音声認識システムを接続し実験している。このシステムは音波を最小単位の音素（例えばflightのf）のストリングに変換し、その複数音素をあり得る複合語に組み立て、例えば記憶しているflight leaveとfly sleeveという複合語のいずれに近いかをマッピングし、次に出発する都市、出発日、目的地といったブランクになっている予約様式に入れ込める語までふるいにかける。さらにコンピュータは、記憶している情報からこの客が次に言うであろう後続文を予測し、"How about Nov.27 departure?"と聞く。このようにすべての必要情報が得られたのちに、システムはデータベースに接続して発券するという仕組みになっている。MITは近い将来、"Show me the Chinese restaurant nearest MIT,"と発声したら、市街地図を表示し、その上に自分のオフィスからの道順を表示するシステムの開発を行っている。

AT&Tは自社の開発活動を補強するために、ベルギーのLernout & Hauspie Speech Productsからライセンスを得て、フランス語、ドイツ語、その他の言語を音声認識するシステムの開発に取組み出した。

次の課題として、BBN、MIT、IBMなどの研究者らは、人びとが普通に話す仕方から理解し、知識の貯蔵所を自動的に組み立てるようなシステムの開発に取組み、仕事を理解しうるようなシステムを実現しようと考えている。

3.2　ニューラルネットワーク・システム[3]

ニューラルネットワークがヒューマンインタフェースを柔らかくする手段として、また物の認識の精度を高くする手段として、既存技術の各種システムに統合的に応用されるという現象は、広範な産業において広がり始め、ビジネスとしても離陸をし始めている。

インテルは1992年遅く、Nestor Inc.のニューラルネットワーク・ソフトウェアを搭載したニューラルネットワーク・チップを発売したが、このチップはPentium以上にトランジスタを集積したものである。モトローラ、ナショナル・セミコンダクタを始め、すべてのチップ・メーカーはニューラルネットワーク・チップを設計中で、これらは洗濯機や電子オーブンなどの家電製品に埋め込まれるとみられる。

地域電話会社の一つであるベル・コアでニューラルネットワークの研究を指揮しているJoshua Alspector部長は、『ニューラルネットワーク・チップは、パソコン上の情報フィルタリング・ツールとして機能するようになろう。電子メールを優先順位に従って並べたり、APニュースから必要な記事を選び出したりするだろう』とみている。すでに実務に使われている例として、次のようなシステムがある。

盗難あるいは偽造クレジットカードの発見　Nilson Reportによれば、世界のクレジットカード発行会社の1993年における盗難、偽造カードによる年間損害額は24億ドルになると予測されるが、これは1989年の損害額の3倍に当たる。従来、金融機関では、『盗難カードの買い物ビヘービアは、従来の消費パターンと異なるパターンを突然する』という現象をアルゴリズムで記述したエキスパートシステムによって発見し処置をしてきたが、アルゴリズムが安全第一に記述されるので、過剰警告になってしまう。ニューラルネットワーク・ソフトウェアを搭載すると、警告数がグンと絞られる。

デラアウェア州ウィルミントンのMellon Bankは、VISAカードとMasterカードのオペレーションに、Nestor Inc.が開発したニューラルネットワーク・ソフトウェア（コスト約100万ドル）を搭載し、120万アカウントを追跡しているが、6か月でコストを回収したという。従来はトランザクションの大きさなど、数個の要因を走査していたが、1日に1,000件もの詐欺可能性が警告され、担当部門のロードを越えていた。そこで1993年春にニューラルシステムを導入したところ、警告数が10分の1に減り、しかも担当部門は2時間以内で処理できるようになった。Mellon Bankの成功例に刺激されて、現在、ウィルミントンのFirst USA Bank、ペンシルバニア州のColonial National Bank of Horsham、およびオランダのEurocard Nederland（Rotterdam）が同システムを採用している。

工業環境における診断　IBMフランス社は、Nestor Inc.からニューラルネットワーク・ソフトウェアを購入し、Neuroscopeと呼ぶパソコン上で稼動する診断ツールを開発した。同社は、社内のモーター、クリーニング・ツール、空気式ロボットの故障予知と初期問題予知に使用、販売もしている。1993年には、米国市場でも売り出された。

無人自律地上走行車　カーネギーメロン大学では無人自律走行車Alvine（Autonomous Land Vehicle In a neural

Network）を開発しているが、これは陸軍の救急車を再構成した走行車で、ニューラルネットワークを搭載したコンピュータに学習させた結果、時速55マイルの無人走行実験に成功した。

その他のアプリケーション　カリフォルニア州の急成長企業Foster Ousley Conleyはニューラルネットワークを用いたシステムを開発、住宅不動産の鑑定に使用しているが、いまではこのシステムは多くの西部の州で使用され、最近はニューヨークやニュージャージーでも用いられるようになった。

ペンシルバニア州モントゴメリー郡の裁判所では、支払う必要のない陪審員に対する給付を未然に防ぐシステムにニューラルネットワーク・ソフトウェアを使用し、年間40,000ドルの不要支払いを予防している。

バージニア州Glen Allenの主要クレジットカード発行銀行 Signet Bankは、標準の大型OCRにニューラルネットワークを結合し、学生貸付申し込みの自動処理を行っているが、このOCRで1日に100万枚のキャンセルされた小切手の35%を処理している。

ボストンのFidelity's Disciplined Equity Fundや、フロリダ州のLBS Capital Managementでは、株式投資にニューラル・ネットウェア・ベースド・システムを利用し好業績をあげている。

米欧豪の航空会社はニューラルネットワーク・システムに搭乗時間、曜日、シーズンなどをインプットし、所与の旅客機の乗客予測と彼らがどういう料金を払うだろうかを予測しているが、従来のアルゴリズム・ベースのシステムより20%ほど予測精度が高いという。

カリフォルニア州パロアルトのベンチャー・ビジネスLexicus Corp.は、1993年8月、ニューラルネットワーク・ソフトウェアを搭載した手書き入力携帯型パソコンを発売した。

3.3　ロボット[4][5]

カーネギーメロン研究所（Carnegie Mellon Research Institute）では、連邦航空局から発注を受け、航空機の機体表面金属疲労検出ロボットANDI（Automated Non-Destructive Inspector）を開発中である。契約額は約200万ドル。世界の航空業界の激烈な競争下で航空会社は財務的に厳しい状況にあり、古い航空機を再生して飛ばしている。この再生の際に人間が細線のひびやリベットの緩みなどを裸眼で発見するのは非常に難しい。また特別にかけられた足場から人間の検査技師が電子センサを使って胴体をくまなく探しまわることは、たいへん退屈でかつ注意が散漫になる。

ANDIは電流を用いる蠅の脚の先の吸盤のような複数のセンサ（suction cup）を備えX線のように隠れたひびを突き止めることになろう。センサは航空機の金属表面に回転電場を起こす。リベットと表面にはごくわずかな間隙があるが、この隙間が大きかったり、ひびがあったりすると事故につながる。ANDIは口紅スティック大のカメラを前後部に備え、機体表面を4×6インチのサイズの映像として映し出す。次にワークステーション上のイメージ処理ソフトウェアが一つ一つのリベットを認識し、ANDIをそれらの場所へ誘導する。モーターが2本の背髄のような棒に沿ってセンサを前後に移動させる。センサが読み取った情報は、コンピュータの画面に映し出される。ANDIは疑わしいスポットを洗浄可能のペンキで印をつけていく。サクション・カップと複雑な空気式システムが上下前後左右の移動を自在にし、機体の全表面をくまなく検査可能にするという設計になっている（図表V-1-1を参照）。

ヒップ（腰）へインプラント（体に移植する組織）を移植する手術を受ける人びとは、世界で年間75万人にも達するといわれるが、現在の手術は原始的な方法で、医師が患者の脚（ふとももものつけ根から下の部分）をのこぎりで切り、ハンマーでたたいて大腿骨へ向かってトンネルを掘り、そこへセメントのインプラントを沈めている。人間は2.8mm以下の微細調整はできないといわれる。しかもセメントは10～15年経つと取り替えなければならない場合がある。セメントを使わずに、骨をつぎ合わせることができればより強い骨ができるのだが、このような精密な手術は手作業ではできない。

カリフォルニア州サクラメントのIntegrated Surgical Systems Inc.（ISSI）は、非常に精密に腰に穴をあけることができるロボットRobodocを完成し発表した。2人の医師の発明によるロボットで、現在、連邦食品薬品局（Food & Drug Administration）のテストを経て最終認可を待っている。サクラメントの整形外科医のウィリアム・バーガー（William Bargar）博士と彼の同僚の整形獣医のハップ・ポール（Hap Paul。故人）は自動ミリング・マシンが精密な穴をあける原理を応用できないかと考えた。課題は、一人ひとりの患者に合う精密な寸法の穴をカスタマイズしてあけることであった。バーガーの父親はIBMの退職者だったので、IBMに彼らを紹介した。1992年10月にISSIはRobodocを発表し、10人の患者

の手術に成功した。Robodocはワークステーションとイメージ処理装置に接続されており、外科医は人体内部をのぞき、3次元のコンピュータ・モデルを作り出し、マウスを操作しながら手術を行う。このテクノロジは、脳腫瘍や胎児の手術を放射線照射よりもっと精密に行うことに応用できるとみられている。従来、ロボットは体内をのぞくことだけしかできなかったのに対し、Robodocは手術をするところまで機能拡張した画期的な医療ロボットである。

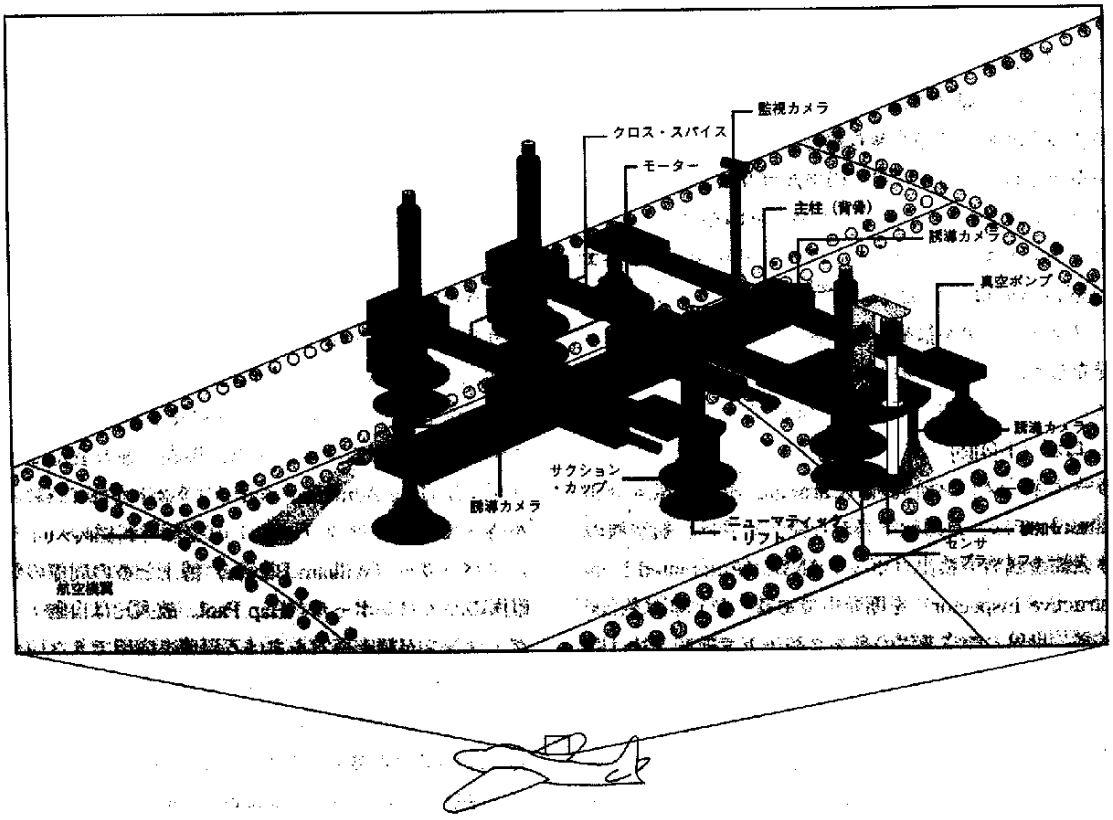
まず医療技師は、ロボットの作業のためにベアリング（軸受け）を与えるために患者の脚に三つのピンを置く。そして、患者の腰をCTスキャニングしその情報をワークステーションにインプットすると、骨と身体構造の3次元モデルが作られる。次に医師は適切な寸法のインプラントを選び、当該手術の形状とマップをマウス操作で行う。一つの手術の所要時間は150分だが、Robodocの作業は大腿骨の部分に限られ、25分で行う。小さな回転プロペラのついた細長いムチのようなRobodocは、ゆっくりと骨にトンネルをうがつ。医師は、1本の指を休止ボタンの上にのせ、ロボットの作業の進行状況を監視する。ISSIはRobodocを50万ドルで売り出し、1996年までに世界市場に向け数百システムを販売したいと考えている。

カーネギーメロン大学の医師と科学者らは、ヒップ手術の他の部分の手術も実行できるロボットと人工ソケット用ヒップの開発を進めており、もしこの試みが成功したならば、膝やかかとや肩を含む、どのような整形が必要な手術にも応用が可能になるとみられている。

3.4　知識ベース・システム

1993年7月にワシントンで開かれた第5回革新的AIアプリケーション会議（Fifth Innovative Applications of Artificial Conference）で受理された発表論文のハイライトは、前年に引き続きAIの成熟を反映して、現実世界（real world）の問題への成功裡の適用例で色どられ、それらの内容は全社的視野の一般管理ワークフローからソフトウェア設計、自動工程計画、コスト最適化、完成品検査にいたるまで広範で、大組織における大規模タスクのアプリケーションの増加傾向を示した[6]。

図表Ⅴ-1-1　航空機表面金属疲労検出ロボットANDI（参考文献[4]より作成）



会議録のまえがきには15例が挙げられているが、いくつかの興味ある例を挙げると次のようなシステムがある。

・AT&TのMPSA（Master Production Scheduler's Assistant）およびCOLES（Customer Order Loading Expert System）—メインフレームのユーティリティを強化・拡張したスケジューリングおよびカスタマ応答職員支援システム。

・CeliteのKBDA（Knowledge Based Design Assistant）—モジュール開発時間を大幅に減少させ、ほとんどのバグを除去するソフトウェア工学に対するAI技術の応用。

・IBMのQRES（Quality and Reliability Expert System）—ORとAIを統合したモデル・ベースのハイブリッド・システムで、製品の品質管理を行う。

・NYNEXのOPERA（Outside Plant Engineering and Resource Administration）—電子装置の選定、編成、設置に関する複雑なプロセスをエンジニアが1人で行う場合よりはるかに深い知識を生成する使いやすいエキスパート・システムで、多数のAI技法を統合している。

・IBMのDYCE（Diagnostic Yield Characterization Expert）—半導体製造における自動データ翻訳のための知識ベースド・システム・シェル。何百ピースものデータを自動的に分析、翻訳し、エンジニアや専門家の何十もの作業を遂行する。従来、数時間かかっていた診断を、数分台、あるいはケースによっては数秒に短縮した。

・米空軍のDRAIR Advisor（Deficiency Report Analysis Information Report）—空軍機のパーツの諸問題を分析し、素材欠陥報告書を生成する。年間1,900人年の省力化を目標にしている。

・NASAのPrincipal Investigator in a Box—宇宙航空士が宇宙で科学実験を行うのを支援するために知識ベースに基づく科学実験支援を行うコラボレータで、手続きリマインダとサジェッションを供給しながら、データ収集、分析、装置診断、トラブルシューティングを支援する。

＜参考文献＞

[1] Technology Policy–Firefeight Over The Weapon Labs;Business Week,June 7, 1993

[2] Computer Are Finally Learning To Listen;Business Week,November 1,1993

[3] Computers That Learn By Doing;by Gene Bylinsky,Fortune,September 6,1993

[4] A Robot Inspector For Airplanes; by Andrew Kupfer, Fortune, May 3,1993

[5] A Surgeon Whose hands Never Shake-Robots move from the factory to the operating room;Business Week,October 4,1993

[6] Preface, by Philip klahr and Elizabeth Byrnes ; Proceedings of the Fifth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference,July11-15,1993

第2部　欧州

1. はじめに

欧州諸国におけるAI研究開発は、日本の第五世代コンピュータ・コンセプトが1981年の「第1回第五世代コンピュータ・システム国際会議」で発表され、国際協力を呼びかけたのに呼応し、あい次いで着手された。この中で英国と欧州共同体（EC）は、情報技術について独立した研究開発計画を推進してきたので、AI開発動向を把握しやすいが、フランスはエレクトロニクスなどの産業振興政策に織り込まれる形で推進し、ドイツは民間と学界主導の発議に州政府が援助を与え、要請がある場合に連邦政府が援助する形が多いので、AI開発動向の概要を把握する情報が少ない。

2. 英国

英国では1984年下期にアルベイ計画が着手されたが、5年後の1988年には時のサッチャー政権が第2次アルベイ計画を否認し、産業活性化寄りのプリコンペティティブと呼ばれる前競争的研究開発はECのESPRITに協力する形で推進し、アカデミックな基礎研究はIEATP（Information Engineering Advanced Technology Programme）として続行することに決定した。この情報技術政策を総合してJEFT（Joint Framework for Information Technology）と呼んでおり、DTI（Department of Trade and Industry=通商産業省）と学者と学識経験者からなるSERC（Science and Engineering Research Council=科学工学研究評議会）が共同管理している。

アルベイ計画は1984年10月に着手され、456の企業、277の学界組織が協力して進められた。大学単独の開発プロジェクトは113、企業が大学と協力して進めるプロジェクトは198、合計311のプロジェクトに及ぶ大がかりな計画であった。同計画は、①VLSI、②ソフトウェア工学、③知的知識ベースド・システム（Intelligent Knowidge Based System）、④マンマシン・インタフェース、⑤並列アーキテクチャ、⑥データ通信技術、⑦大規模デモンストレータの7分野について、開発を行いたい企業や大学が、プロポーザルを提出するというボトムアップ方式で推進された。

IEATPは、デバイス、システムズ・アーキテクチャ、システムズ・エンジニアリング分野のアカデミックな研究、共同研究、諸標準の開発、技術移転、教育訓練をカバーしている。

3. 欧州共同体（EC）

1978年に出されたEC「欧州単一議定書」は、「ECは欧州産業の科学的、技術的基盤を強化し、欧州産業の国際競争力を高める」ことを目的としてECの研究開発を推進することにし、ECの研究開発施策に対して域内市場の確立や共通政策との密接な関係づけを行った。これに沿って「研究開発基本計画」（1987～1991年）（The Framework Programme for Community Activities in the Field of Research and Technological Development）が定められ、53億9,600万ECUを支出することが決められた。

このための研究開発分野は、①生活の質の向上、②情報と通信、③産業分野、④生物資源、⑤エネルギー、⑥開発用科学技術、⑦海洋資源、⑧欧州科学技術協力の8部門だが、情報と通信に全体の42%に当たる22億7,500万ECU（3,471億6,500万円）を支出することが決められた。このフレークワークのなかで、図表Ⅴ-1-2に示す諸計画が進められた。

これらの情報技術プロジェクトの中で最大のものが、プリコンペティティブな研究開発を行ったESPRITである。ESPRITは、(1)マイクロエレクトロニクス、(2)ソフトウェアおよび先端情報処理を含む情報処理システム、(3)CIMおよびオフィス・システムを含むアプリケーションの3分野に分け、情報技術のあらゆる局面をカバーするプロジェクトをボトムアップ方式で推進した。これら三つの分野は何らかのAIおよび知識工学とかかわりがあるが、特に(3)はAI関連プロジェクトが多い。(3)はさらに、①知識工学、②記号処理のためのコンピュータ・アーキテクチャを含む先端アーキテクチャ、③AI

技法がスピーチ、イメージ、およびマルチセンサ・アプリケーションに集約的に応用される先端的システム・インタフェース—にブレークダウンされて、多くのプロジェクトが推進された。

ESPRIT Iにおける知識工学関連プロジェクトは32プロジェクトで、240の企業と約50の大学および研究機関からの2,900人の研究者らが、協力して研究に当たった。ESPRIT Iが終了した直後には計画全体のレビューが行われ、基礎研究が追加され、予算はフェーズⅠの倍以上に増額された。このためESPRITにおいて協力する科学者とエンジニアは、いまや1,500の組織から参加する6,000人以上に達している。フェーズⅡでは、AI指向のプロジェクトが27プロジェクト追加された。ESPRITでECが最も強調したことは、ECとEFTA域内の国境を越えた協力のネットワークを確立することと、欧州の産業の国際競争力を短期につけることであり、ECの自己評価報告書は成功したと結論している。AIの領域では、計画はより共通のタイプのコンピュータ・システム上で稼動する実用的なシステムを開発できる研究開発に重点を置いた。

4. フランス— 軽電気自動車をベースにした公共輸送システム[3] —

輸送需要の上昇と自家用車の増加にともない汚染と混雑の問題が世界中の都市の大問題になっている。そこで世界の都市当局は、公共交通によるさまざまな解決策を考え始めている。このプロジェクトはESPRITではないが、フランスでは国立輸送技術研究所（INRET）と国立情報自動化研究所（INRIA）によって、軽電気自動車をベースにする公共輸送システムのコンセプトが開発・提案され、プロトタイプの開発が大企業と中小企業の協力のもとに進められている。これをみてすでにいくつかの市が実験参加を表明している。

小型の電気あるいは熱駆動の自動車の編隊による実験は、すでにモンペリエ市やアムステルダム市、ブラッセル市などで行われてきて、いずれも失望的な結果に終わっている。その原因は、ビークルの数が少ない（2例は約35台）、ビークルの配置が不適切である、帰路の管理ができていない、重負荷の公共交通を考えて設計されていない、低性能である、ビークルへのアクセスと料金徴収を考慮した設計になっていない、などによる。

しかし、次のような新技術によって、これらの問題は容易に解決可能になってきた。

- 都市利用に向く非常に高性能の電気車が、市場に登場してきた。
- ロケーション技法が、商業的に入手可能になった。
- 移動体についての通信技法が、低コストで入手可能になった。
- 需要に応じてビークルの編隊を管理し、それらを再配置するコンピュータ技法の開発が可能となった。
- 知的なスマート・カードを用いることによって、ビークルへのアクセスと料金徴収が容易にプログラムできる。

では具体的にどんな車が売り出されているかというと、フランスではMicrocarやLigierやEradといった小型電気自動車が最近、売り出された。ビークルの設計には、駐車場での自動的移動を考慮に入れなければならない。広い駐車場では、人は桟橋（quay）上の車から降りることになり、車はラインにのせられて自動的に移動し、ほかの桟橋へ移され、そこで人は乗車することになろう。

図表Ⅴ-1-2　情報技術分野の諸計画

計画（注）	着手年	期間（年）	予算額（10億ECU）
ESPRIT Ⅰ	1984	5	1.5
ESPRIT Ⅱ	1988	5	3.2
RACE	1987	5	1.1
DELTA	1987	2	0.04
DRIVE	1988	3	0.12
AIM	1988	2	0.04
合計	-	-	6.0

注:
ESPRIT=European Strtegic Programme for Research and Development in Information Technology
RACE=Research and Development in Advanced Communications Technology in Europe
DELTA=Developing European Learning through Technical Advance
DRIVE=Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe
AIM=Advanced Informatics for Medicine

あるいは、車同士をつないでトレインにする必要があるかも知れない。トレインにつなぐことは、1人しかのっていない車を使用者に戻したり多くの車を収容する場合に特に有効である。

この公共交通システムを利用しようとする人々は、同システムのオペレータと契約することになる。契約者はスマート・カードを保持し、ある確認手続き（例えば認証番号による）を行う。所在認知システムを装備している1台1台の車は、無線で中央制御施設に接続され、常に所在を把握されるので、予約が可能である。空車をある地点から他の地点へ移動させる指令が必要になるが、指令は人間のドライバーによって行うか、究極的には自動制御になろう。カスタマは、指定の駐車場で車を拾うことになろう。彼らは電話による空車の有無、場所の問い合わせと予約もできる。また、同じ方向と時間に行く他人との同乗もできる。

いまや新技術は、電気自動車利用、所在確認、通信、電子請求書発行、コンピュータ制御走行を実行する上述の公共交通システムを安いコストで実現することを可能にしつつある。フランスにおけるこのシステムの最初の実験は、1995年に行われる。INRIAとINRETSは、EUREKAあるいは他の関連の欧州プロジェクトのコンテキストで協力するパートナーを望んでいる。

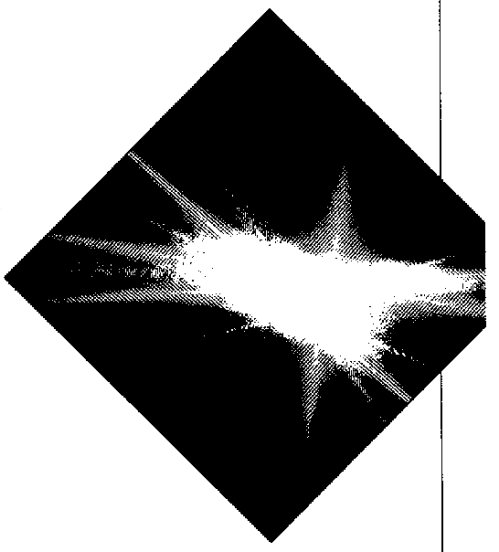
＜参考文献＞

[1] The Review of ESPRIT Workprogramme ; Commission of the European Community, brussels,July 25,189

[2] Knowledge Engineering In ESPRIT;by Luc Steels,Free University of Brussels and Brice Lepape,Commission of the European Community,IEEE Expert Intelligent Systems & Their Applications,Volume 8,Number 4,August 1993,Published by the IEEE Computer Society

[3] A Public Transport System Based on Light Electric Cars;by Michel Parent and Pierre-Yves Texier,ERCIM NEWS,January 1993

資料編



資料1．1993年のAI関連活動

年月	AI関連イベント	AI関連ニュース
1993年 1月	12日 ファジィ推論とエキスパートシステムに関する第4回ワークショップ「ファジィ集合と知的システムES, NN, GA, OR,カオスを含む統合システム」(日本ファジィ学会、於：大阪) 13－14日 1993年情報学シンポジウム「オブジェクト指向と利用者インタフェース」(情報処理学会、於：東京) 21－22日 第42回システム制御情報講習会「ウェーブレット／フラクタル／カオスの基礎と応用」(システム制御情報学会、於：大阪) 28日 第20回人工知能セミナー「メディア・アーキテクチャー知的環境構築のためのソフトウェア技術－」(人工知能学会、於：名古屋)	－東芝が英日・日英翻訳支援ソフトウェアをSunに移植して発売。 －星光産業がAIを利用して自動的に方位補正する車載用電子コンパスを発売。 －日本工業技術振興協会が感性工学をテーマに産学交流研究会を発足。 －ニチメンデータシステムが米国Neural Ware社製ニューロ・ツール「Professional Ⅱ/PLUS」の新版4.10版とデータ前処理用ツール「Data Sculptor」を発売。 －日立製作所がニューロ機能を備えたプラント制御用AIツール「EUREKA-Ⅲ」を発売。 －ノヴァが英日翻訳ソフトウェア「Super Transer/ej＜特許対応版＞」を発売。
2月	4－5日 第42回システム制御情報講習会「ウェーブレット／フラクタル／カオスの基礎と応用」(システム制御情報学会、於：東京) 24日 先端技術セミナー「ニューラル技術と自然言語処理」(原総合知的通信システム基金、於：東京)	－日本インフラロジックがファジィ推論システム開発支援ツール「TIL Shell Jr.」を発売。 －通産省が「知的生産システム（IMS)」計画の予備研究をスタート。 －松下電器産業がニューロ・ファジィ画像制御機能搭載のコピー機を発売。
3月	12日 先進情報技術シンポジウム「ソフトウェア開発とグループウェア」(日本情報処理開発協会、於：東京) 12日 SOFT関東支部学術講演会（ファジィフロント）(日本ファジィ学会、於：東京) 15日 第5回知能工学部会講演会「人　工生命研究の現状と展望」(計測自動制御学会、於：東京) 16－17日 第17回知能システムシンポジウム（計測自動制御学会、於：東京) 17日 第1回ファジィ制御研究会ミニシンポジウム（日本ファジィ学会、於：東京) 18日 EDR成果発表会（日本電子化辞書研究会、於：東京) 18－19日 第4回ロボテックス・自動化システム、	－ザックスがFA用ファジィ・コントローラ「FZC616」を発売。 －科学技術庁科学技術政策研究所が、組織における知識創造の促進をテーマに国際会議を開催。 －日立製作所が診断型エキスパートシステム構築ツール「ES/PROMOTE2/W-DIAG」を発売。 －オムロンと三菱電機がファジィ推論システム開発ツールを共同開発し発売。 －ファナックがAIでマシンや工具の状態監視機能を備えたドリルを発売。 －エイ・ティ・アール音声翻訳通信研究所が設立。 －通産省が第五世代コンピュータ研究開発計

年月	AI関連イベント	AI関連ニュース
3月 (つづき)	第3回ニューラルネットワーク合同シンポジウム（計測自動制御学会、於：東京） 19日 講習会「知識獲得とファジィ・ニューラルネット」（国際ファジィ工学研究所、於：東京） 22－23日 IEEE Workshop on Neuro-Fuzzy Control :Instrumentation andControl Applications（電気・電子工学技術協会（IEEE）、於：北海道室蘭市） 23－26日 情報処理学会第46回全国大会（於：東京） 24－26日 国際シンポジウム「知的ロボットから人工生命へ」（三菱商事等、於：東京） 28－31日 1993年電子情報通信学会春季大会（於：名古屋）	画の最終評価報告書をまとめる。
4月	2日 「手書き文字の認識手法の高度化に関する研究会」最終報告シンポジウム（郵政省郵政研究所、於：東京） 13日 講習会「カオス理論の基礎と工学への応用」（日本ファジィ学会、於：東京） 19－22日 第2回電力系統へのニューラルネットの応用国際フォーラム（ANNPS'93）（於：神奈川県横浜市）	－日本ユニシスがAIツール「GNOSIS-Ⅱ」実行版を発売。 －富士電機がファジィ制御によるデジタル温度調節計を発売。 －オムロンがファジィに対応するC言語コンパイラを発売。 －ライフボートがカナダのByte Craft社開発のファジィ制御用Cプリプロセサ「Fuzz-C」を発売。 －松下電工が人工現実感（VR）技術を応用したキッチン体験システム「VIVA」を全国のショールームに導入。 －松下産業機器がファジィ制御を用いた自動溶接機を発売。 －高電社が韓国の新聞ニュースを機械翻訳システムで和訳し、提供するサービスを開始。
5月	11日 学会誌特集セミナー「ファジィ理論と情報処理」（情報処理学会、於：東京） 19－21日 第9回ファジィシステムシンポジウム「拓く－基礎科学への展望－」（日本ファジィ学会、北海道札幌市） 20－21日 講習会「マイクロ知能化情報機械」（日本機械学会、於：東京） 25－26日 第3回ロボットシンポジウム（日本ロボ	－マイコムが独自開発のファジィチップを搭載した、モーター制御装置「FMD-100」を発売。 －イリス・インターナショナルが英語と独・仏・スペイン語を双方向翻訳するソフトウェアを発売。 －アシストマイクロがAIを利用した英語発音練習システム「AV1100」を発売。

年月	AI関連イベント		AI関連ニュース
5月 (つづき)		ット学会、於：大阪府豊中市)	―通産省工業技術院が研究開発プロジェクトを応用開発型から基礎研究重視型へ方針転換。 ―通産省主導のプロジェクト「リアル・ワールド・コンピューティング（RWC)」計画に、韓国、シンガポール、オランダ、スウェーデンが加入。 ―日本情報処理開発協会が「AI白書1993」を刊行、コンピュータエージ社より発売。
	27―28日	講習会「ヴァーチャル・ファクトリー生産の未来像ー」(日本機械学会、於：大阪)	
6月	1日	講習会「遺伝的アルゴリズムとその応用」(日本ファジィ学会、於：東京)	―電力中央研究所が技術論文のパソコン英日機械翻訳システム「P-CAT」を開発。 ―オービックが賃貸物件管理用の知的システム「スーパーハウジー」を発売。 ―日本電気がファクシミリで送られた日本語を機械翻訳システムで英訳し、パソコン通信で送信するサービスを開始。 ―富士通がニューロツール「NEUROSIM/L」新版3.0を発売。 ―アシーナ・アソシエイツがWindows対応でビジュアル・プログラミング機能を備えたAIツール「Symbologic Adept」日本語版を発売。 ―日立エンジニアリングが最適生産計画を立案するワークステーション用ソフトウェアを発売。
	7―8日	第10回第五世代コンピュータ・シンポジウム（新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)、於：東京)	
	11日	ファジィ技術に関するシンポジウム（日本学際会議、於：東京)	
	17日	講習会「画像と制御に対するニューロとファジィ処理によるアプローチ」(計測自動制御学会、於：名古屋)	
	22日	平成5年度計測自動制御学会関西支部講習会「人間の認知と感覚に対する理論とその応用」(於：大阪)	
	23―26日	第1回産業用バーチャルリアリティ展(IVR'93)（リードエグゼビジョンジャパン、於：千葉市)	
	24―25日	千里国際ニューラルネット・シンポジウム'93（SYNAPSE'93)（千里国際情報事業財団、於：大阪)	
	27日	第5回知能ロボットコンテストJAPAN'93(ロボットコンテスト実行委員会、於：仙台)	
	29日	第21回人工知能セミナー「エンドユーザコンピューティングとAI」(人工知能学会、於：東京)	
7月	6―7日	ロボティクス・メカトロニクス講演会'93(ROBOMEC'93)「生物に学ぶ機械システム」(日本機械学会、於：札幌市)	―人工知能研究振興財団が、1993年度AI研究助成テーマを募集。 ―サマーソフト研究所がエディタから英和辞書を参照できる英日翻訳ソフトウェアを発売。 ―島津製作所が試料中の元素の種類をAIで判
	7―8日	第4回インテリジェントFAシンポジウム(システム制御情報学会、於：大阪)	

年月	AI関連イベント	AI関連ニュース
7月 (つづき)	8－9日　第3回人工現実感とテレイグジスタンス国際会議（ICAT'93）（日本工業技術振興協会、於：東京） 12－13日　講習会「ファジィ理論の基礎（第5回）」（日本ファジィ学会、於：東京） 14－16日　第5回機械翻訳の理論的および方法論的問題に関する国際会議（TMI'93）（TMI'93組織委員会、於：京都） 14－16日　インテリジェントビークル国際会議（於：東京） 14－16日　第2回CASEジャパン'93（リードエグゼビジョンジャパン、於：東京） 15日　連続セミナー'93第2回「社会と文化とグループウェアーマルチメディアと協働ー」（情報処理学会、於：東京） 15－16日　平成5年電気学会電子・情報システム部門大会（於：千葉県野田市） 19－22日　第4回機械翻訳サミット（日本電子工業振興協会、於：神戸） 20－23日　神経回路学会第4回全国大会（於：福岡県飯塚市） 23日　講習会「デザインのためのファジィ」（日本ファジィ学会／日本デザイン学会、於：東京） 26－29日　1993年人工知能学会全国大会（於：東京）	定する電子線マイクロアナライザを発売。
8月	2－4日　先進メカトロニクス国際会議'93（ICAM'93）（ICAM'93実行委員会、於：東京） 30－31日　平成5年電気・情報関連学会連合大会（Rengo'93）「技術と人間との新しい調和を目指して」（電子情報通信学会／電気学会／情報処理学会／照明学会／テレビジョン学会、於：東京）	ー富士通がエキスパートシステムやニューラルネットワークの応用システム事例をまとめた「KSA知識情報システム事例集」を発行。 ーカテナがパソコンMacintosh向け英日機械翻訳ソフトウェア「Logo Vista E to J」新版2.0版を発売。
9月	5－8日　1993年電子情報通信学会秋季大会（於：札幌） 28日　講演会「カオス理論の基礎と工学への応用」（日本ファジィ学会、於：大阪） 28日　SOFT関東支部第14回学術講演会（ファジィフロント）（日本ファジィ学会、於：東	ー中央コンピュータシステムと日本ユニシスが大学向け時間割作成エキスパートシステムを開発し発売。 ー松下電器産業がファジィ補正により画質を向上させたカラービデオプリンタを発売。 ー紀伊国屋書店とノヴァが英文データベース

年月	AI関連イベント	AI関連ニュース
	京） 28－30日 第3回インテリジェントシステム・シンポジウム「ファジィ、AI、ニューラルネットワーク応用技術」（FAN Symposium）日本機械学会、於：北海道旭川市） 29－30日 セミナー「遺伝アルゴリズム／ニューラルネット／ファジィの新しい展開を探る」（システム制御情報学会、於：大阪） 30日 第22回人工知能セミナー「実用スケジューリング技術の現状と展望」（人工知能学会、於：東京）	のオンライン英日機械翻訳サービス「K-TRAN」を開始。
10月	4－7日 データショー'93（日本電子工業振興協会、於：東京） 5－8日 情報処理学会第47回全国大会（平成5年後期）（於：鳥取市） 13日 人工知能学会関西特別シンポジウム「人間と機械のためのメディアテクノロジー」（於：大阪） 13日 人工生命科学特選講座第1回「人工生命科学研究最前線」（千里国際情報事業財団、於：大阪） 14－15日 講演会「機械の知能化技術のわかりやすい理論と実施例」（日本機械学会、於：東京） 18－20日 ヒューマン・インターフェース・シンポジウム（計測自動制御学会、於：神戸） 19－22日 第16回情報理論とその応用シンポジウム（SITA'93）（SITA'93事務局、於：金沢） 20－21日 コンピュータシステム・シンポジウム（情報処理学会、於：東京） 21－22日 第6回PROLOG産業応用シンポジウム・展示会（INAP'93）（INAP'93事務局、於：川崎） 25－29日 International Joint Conference on Neural Networks（IJCNN'93-NAGOYA）（於：名古屋） 26－28日 第1回人工物工学国際シンポジウム（東京大学人工物工学研究センター、於：東京）	－ノヴァがパソコンMacintosh版日英・英日機械翻訳ソフトウェアを山種産業を通じて販売。 －山武ハネウェルがニューロ・ファジィ機能搭載のデジタル指示調節計「SDC30」・「SDC31」を発売。 －アイテックがKJ法を使った意思決定支援システム「ISOP」の個人向け版を発売。 －コマツがプラズマ加工機用診断エキスパートシステムを発売。 －イリスインターナショナルが機械翻訳ソフトウェア「Power Translator」のUNIX版、OS/2版、Macintosh版を発売。 －オートデスクがパソコン用VRシステム開発ソフトウェア「Cyberspace Developers Kit」を発売。

年月	AI関連イベント		AI関連ニュース
10月 (つづき)	29日	シンポジウム「生命、そして人工生命の可能性」(創成科学フォーラム事務局、於：大阪)	
11月	1－2日	'93国際先端ロボット技術会議（日本ロボット学会、於：東京)	－ファナックがAIを利用して圧力波形制御する電気式射出成型機「ファナックロボショットα-100A」を発売。 －ニューメディア開発協会が文字・音声・画像をオブジェクトとして扱うデータ交換規約を作成。
	2日	第2回ファジィ理論応用シンポジウム「建築・ファジィ・応用」(日本建築学会、於：東京)	
	3－5日	第2回IEEE国際ワークショップRO-MAN'93Tokyo「ロボットと人とのコミュニケーション－ロボット／コンピュータと人との調和を目指して－」(RO-MAN'93実行委員会、於：東京)	
	4－6日	第24回国際産業用ロボットシンポジウム（日本ロボット学会、於：東京)	
	4－6日	先進的ソフトウェアのためのオブジェクト技術に関する国際シンポジウム（日本ソフトウェア科学会、於：石川県能美郡)	
	8日	日本ファジィ学会関東支部第1会ミニワークショップ「知識獲得と知的システム」(於：東京)	
	8－9日	国際音声処理ワークショップ（電子情報通信学会、於：東京)	
	8－10日	第4回計算論的学習理論ワークショップ（ALT'93)（人工知能学会、於：東京)	
	9日～	AI講座（東京電機大学、於：東12月14日京)	
	10日	セミナー「第五世代コンピュータ」(中部科学技術センター、於：名古屋)	
	10－11日	Airtificial Life（人工生命）講習会（日本ファジィ学会、於：大阪)	
	10－12日	国際シンポジウム「インフォテック'93」(関西情報センター、於：大阪)	
	11－12日	「知能システムシンポジウム」、「システムシンポジウム」合同シンポジウム（計測自動制御学会、於：石川県能美郡)	
	11－13日	マシン・インテリジェンスに関する国際ワークショップ1993（人工知能学会、於：埼玉県比企郡)	

年月	AI関連イベント		AI関連ニュース
11月 (つづき)	12日	講習会「こんなところにも使えるファジィえーっ!!」(日本ファジィ学会、於：名古屋)	
	23－25日	コンピュータビジョン・アジア会議(於：大阪)	
	25－26日	シンポジウム「知識のリフォメーション」(情報処理学会、於：東京)	
12月	1－2日	「大規模知識ベースの構築と共有に関する国際会議1993」(KB&KS'93)(日本情報処理開発協会、於：東京)	－JUKIがAI制御サーボ・モーターを搭載した高速本縫いミシンを発売。 －横河ヒューレットパッカードがAIを利用して操作性を向上させた二次元機械系CADソフトウェア「PE/ME10」新版を発売。
	6日	人工生命科学特選講座「人工生命と自律ロボット」(千里国際情報事業財団、於：大阪)	
	6－7日	自然言語処理環太平洋シンポジウム'93(於：福岡)	
	9－10日	AIシンポジウム '93(人工知能学会、於：東京)	
	10日	先端技術フォーラム「21世紀の情報社会を拓くコンピュータ・テクノロジー人工物工学、超並列計算機、四次元コンピュータ、マルチメディアー」(精密工学会、於：東京)	
	11日	日本ファジィ学会関東支部第15回学術講演会(ファジィフロント)・第3回評価問題研究会合同講演会(日本ファジィ学会、於：横浜)	
	14－15日	コラボレーションアンドコンピューティングフォーラム(日本経済新聞社、於：東京)	
	15日	“マルチメディアとバーチャルリアリティ”フォーラム'93ーテレビがテレビでなくなる日ーマルチメディアとバーチャルリアリティの対話ー(テレビジョン学会、於：東京)	
	20－22日	バイオメディカル・ファジィ・システム研究会第6回年次大会(産業医科大学、於：福岡県飯塚市)	

年月	AI関連イベント		AI関連ニュース
1994年 1月	18日	第5回「自律分散システム・シンポジウム」(計測自動制御学会、於：京都)	ーモリサワが文字組版にファジィを利用して手動機感覚で使えるようにした組版編集機を発売。
	26日	第23回人工知能セミナー「デザインと知能化技術ーインダストリアルデザインの場合ー」(人工知能学会、於：名古屋)	ーコンピュータコンビニエンスがNTTと共同開発したカオス応用の眼疲労計測システムを発売。
	27日	第13回システム工学部会講演会「人工生命の現状と未来」(於：大阪)	ー三菱電機東部コンピュータシステムがオブジェクト指向Prolog系論理型言語「CESP」を発売。
	27日	国際AI財団特別セミナー「企業現場における知的生産性向上セミナー」(国際AI財団、於：東京)	「CESP」は第五世代コンピュータプロジェクトの成果の一つであるProlog系言語「ESP」を㈱AI言語研究所がUNIXワークステーション上で稼動するよう発展改良したもの。
2月	2ー4日	'94 FRIEND21国際シンポジウム (パーソナル情報環境協会、於：東京)	
	3日	講習会「デザインのためのファジィ」(日本ファジィ学会、於：大阪)	ーアシストマイクロが2万語以上の英単語を収録したAI利用の発音練習ソフトウェア「AV1200」を発売。
	4日	第24回人工知能セミナー「大規模知識ベースの実現を目指して」(人工知能学会、於：東京)	ーアイディが複写機に電子辞書を組み込み企業から送られてきた英文文書を翻訳するサービスを開始。
	15日	チュートリアル「ビジネスプロセス・リエンジニアリングとソフトウェア技術」(情報処理学会、於：川崎)	
3月	1ー2日	「感性工学研究フォーラム」シンポジウム (人間生活工学研究センター、於：神奈川県大磯市)	ー山武ハネウェルがニューロを利用したカラー画像認識装置を発売。
	7ー9日	国際シンポジウム「コンピュータと人間の共生」(情報科学国際交流財団、於：東京)	
	8日	講習会「ファジィ&ソフト・コンピューティングー柔らかな情報処理システム構築技術と実践的応用ー」(日本ファジィ学会、於：大阪)	
	10日	「言いたい放題の合宿合同研究会」ファジィ推論とエキスパートシステム研究会、第5回ワークショップ評価問題研究会第1回ワークショップ (日本ファジィ学会、於：大阪)	

年月	AI関連イベント	AI関連ニュース
3月 (つづき)	10日　GAとALに関する討論会（日本工業技術振興会、於：東京） 14－15日　「法律エキスパートシステムの開発研究」第2回シンポジウム（明治学院大学、於：東京） 17－18日　第4回ロボットセンサシンポジウム「知能ロボットを支えるロボットセンサの新技術」（日本機械学会、於：茨城県つくば市） 18日　日本ファジィ学会関東支部第16回学術講演会（ファジィフロント）（於：横浜） 22日　第6回知能工学部会　特別講演会「強化学習法：創発的学習の理論、制御と人工生物への応用」（計測自動制御学会、於：東京） 22－24日　日韓合同エキスパートシステム国際会議'94 (JKJCES'94)（人工知能学会、於：東京） 23－24日　第19回知能システムシンポジウム（計測自動制御学会、於：東京） 23－25日　情報処理学会第48回全国大会（平成6年前期）（情報処理学会、於：千葉県野田市） 26－29日　1994年電子情報通信学会春季大会（電子情報通信学会、於：横浜市） 28－29日　第4回ノンエンジニアリング・ファジィワークショップ in Toyama（日本ファジィ学会、於：富山市）	

資料2．AI利用動向調査集計表

以下に示す集計表は、1993年7～8月に実施した一般コンピュータユーザ（事業所）を対象にしたアンケート調査結果に基づくものであり、中小企業を対象にした調査結果は含まれていない。

2-1 AIシステム導入・未導入事業所数（1993年）

	発送数	有効回答数	AIシステム導入事業所数	AIシステム導入率
合　　計	4,022	952	151	15.9%

2-2 AI未導入コンピュータユーザのAIシステム別導入意向（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	現在検討中	将来検討したい	導入する気はない	無回答
AI向き言語	713	8	247	458	76
	100.0	1.1	34.7	64.2	—
エキスパートシステム用ツール	705	10	269	426	76
	100.0	1.4	38.2	60.4	—
エキスパートシステム	715	15	333	367	67
	100.0	2.1	46.6	51.3	—
機械翻訳システム	743	5	183	555	79
	100.0	0.7	24.6	74.7	—
知能ロボット	766	9	235	522	76
	100.0	1.2	30.7	68.1	—
自動プログラミング	773	24	432	317	57
	100.0	3.1	55.9	41.0	—
画像理解システム	759	12	279	468	77
	100.0	1.6	36.7	61.7	—
音声理解システム	772	7	322	443	78
	100.0	0.9	41.7	57.4	—
自然言語理解システム	771	2	269	500	78
	100.0	0.3	34.9	64.8	—
その他のAIシステム	703	3	195	505	118
	100.0	0.4	27.8	71.8	—

2－3 AI導入事業所のソフトウェア開発要員数（1993年）

上段：合計要員数、下段：平均要員数

	現在		2～3年後		5年後	
	ソフトウェア開発要員	AIシステム開発要員	ソフトウェア開発要員	AIシステム開発要員	ソフトウェア開発要員	AIシステム開発要員
合計	11,003	182	10743	294	11663	458
	53.9	0.9	52.7	1.4	57.2	2.2
基礎資材産業	1,284	35	1076	58	1163	86
	31.3	0.9	26.2	1.4	28.4	2.1
加工組立産業	947	33	971	49	1025	68
	31.6	1.1	32.4	1.6	34.2	2.3
生活関連産業	287	1	268	4	262	7
	14.4	0.1	13.4	0.2	13.1	0.4
公共サービス関連	969	44	852	59	959	86
	37.3	1.7	32.8	2.3	36.9	3.3
商業金融関連	4,896	10	4300	19	4409	28
	204.0	0.4	179.2	0.8	183.7	1.2
教育公務関連	763	11	870	17	980	33
	21.8	0.3	24.9	0.5	28	0.9
情報処理産業	1,766	43	2295	79	2729	130
	80.3	2.0	104.3	3.6	124	5.9
その他	91	5	111	9	136	20
	15.2	0.8	18.5	1.5	22.7	3.3

2-4 産業別AIシステム保有数（1993年）

上段：事業所数、中段：システム数
下段：事業所当たり平均保有システム数

	エキスパートシステム	機械翻訳システム	画像理解システム	音声理解システム	自然言語理解システム	知能ロボットシステム	自動プログラミングシステム	ファジイシステム	ニューロシステム
合計	73 191 2.6	33 37 1.1	20 29 1.5	9 11 1.2	4 6 1.5	12 273 22.8	20 22 1.1	13 17 1.3	11 12 1.1
基礎資材産業	21 75 3.6	4 3 0.8	5 9 1.8	1 3 3.0	— — —	— — —	5 6 1.2	2 4 2.0	2 1 0.5
加工組立産業	8 20 2.5	9 14 1.6	5 7 1.4	4 4 1.0	1 1 1.0	2 1 0.5	3 2 0.7	2 1 0.5	1 2 2.0
生活関連産業	1 2 2.0	2 2 1.0	1 1 1.0	— — —	— — —	1 20 20.0	1 1 1.0	1 1 1.0	— — —
公共サービス関連	12 32 2.7	2 2 1.0	1 1 1.0	1 1 1.0	— — —	2 5 2.5	1 1 1.0	5 7 1.4	1 1 1.0
商業金融関連	15 26 1.7	1 1 1.0	2 2 1.0	— — —	— — —	3 242 80.7	3 2 0.7	— — —	2 3 1.5
教育公務関連	11 19 1.7	12 11 0.9	6 9 1.5	3 3 1.0	2 3 1.5	4 5 1.3	4 4 1.0	3 4 1.3	4 4 1.0
情報処理産業	4 16 4.0	3 4 1.3	— — —	— — —	1 2 2.0	— — —	3 6 2.0	— — —	1 1 1.0
その他	1 1 1.0	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —

2-5 導入AI向き言語の種類（1993年）

（複数回答）上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答事業所数	Lisp系	Prolog系	オブジェクト指向系	C言語系	PL/I系	その他	無回答
合計	159 100.0	44 27.7	19 11.9	13 8.2	54 34.0	5 3.1	34 21.4	87 —
基礎資材産業	43 100.0	15 34.9	2 4.7	1 2.3	19 44.2	1 2.3	7 16.3	16 —
加工組立産業	14 100.0	1 7.1	1 7.1	1 7.1	7 50.0	1 7.1	3 21.4	7 —
生活関連産業	4 100.0	1 25.0	— —	— —	— —	— —	3 75.0	1 —
公共サービス関連	35 100.0	11 31.4	4 11.4	4 11.4	10 28.6	1 2.9	7 20.0	17 —
商業金融関連	24 100.0	7 29.2	3 12.5	— —	10 41.7	2 8.3	2 8.3	13 —
教育公務関連	25 100.0	5 20.0	8 32.0	4 16.0	5 20.0	— —	9 36.0	27 —
情報処理産業	10 100.0	4 40.0	1 10.0	2 20.0	3 30.0	— —	— —	3 —
その他	4 100.0	— —	— —	1 25.0	— —	— —	3 75.0	3 —

2-6 AI向き言語・ツールの利用状況（1993年）

	回答事業所数	本格的に利用	試験的に利用	余り使っていない	無回答
合計	178 100.0	82 46.1	63 35.4	33 18.5	68 —
基礎資材産業	50 100.0	26 52.0	15 30.0	9 18.0	9 —
加工組立産業	17 100.0	10 58.8	5 29.4	2 11.8	4 —
生活関連産業	3 100.0	— —	3 100.0	— —	2 —
公共サービス関連	34 100.0	18 52.9	14 41.2	2 5.9	18 —
商業金融関連	27 100.0	14 51.9	5 18.5	8 29.6	10 —
教育公務関連	32 100.0	7 21.9	19 59.4	6 18.8	20 —
情報処理産業	11 100.0	6 54.5	2 18.2	3 27.3	2 —
その他	4 100.0	1 25.0	— —	3 75.0	3 —

2-7 AI向き言語・ツールの問題点（1993年）

（複数回答）上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答事業所数	機能追加・変更に時間がかかりすぎる	データ互換性が悪い旧バージョンとの	操作の一貫性がない旧バージョンとの	保守サービスが不十分	インタフェースが不十分既存システムとの	知識提供者が単独開発するには難解	バグがある	講習会などの回数が少ない	マニュアルがわかりにくい	無回答
合計	118 100.0	30 25.4	3 2.5	4 3.4	16 13.6	33 28.0	59 50.0	7 5.9	14 11.9	36 30.5	128 —
基礎資材産業	36 100.0	8 22.8	— —	1 2.8	4 11.1	10 27.8	23 63.9	1 2.8	4 11.1	12 33.3	23 —
加工組立産業	7 100.0	1 14.3	— —	— —	— —	2 28.6	3 42.9	1 14.3	1 14.3	3 42.9	14 —
生活関連産業	3 100.0	— —	— —	— —	— —	2 66.7	1 33.3	— —	— —	1 33.3	2 —
公共サービス関連	28 100.0	9 32.1	2 7.1	2 7.1	8 28.6	10 35.7	11 39.3	4 14.3	3 10.7	5 17.9	24 —
商業金融関連	16 100.0	5 31.3	1 6.3	1 6.3	4 25.0	2 12.5	7 43.8	1 6.3	— —	1 6.3	21 —
教育公務関連	19 100.0	4 21.1	— —	— —	— —	7 36.8	12 63.2	— —	1 5.3	9 47.4	33 —
情報処理産業	6 100.0	3 50.0	— —	— —	— —	— —	2 33.3	— —	2 33.3	2 33.3	7 —
その他	3 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	3 100.0	3 100.0	4 —

2-8 エキスパートシステムの開発利用段階（1993年）

上段：システム数、下段：割合（%）

	回答システム数	実用システムとして稼働中	フィールドテスト中	評価改良中プロトタイプとしての	デモ・実験のみに利用	設計・開発段階	あまり使っていない
合計	189 100.0	107 56.6	10 5.3	21 11.1	27 14.3	13 6.9	11 5.8
基礎資材産業	75 100.0	50 66.7	3 4.0	6 8.0	5 6.7	8 10.7	3 4.0
加工組立産業	20 100.0	10 50.0	1 5.0	3 15.0	4 20.0	2 10.0	— —
生活関連産業	2 100.0	2 100.0	— —	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	32 100.0	16 50.0	5 15.6	1 3.1	4 12.5	— —	6 18.8
商業金融関連	25 100.0	22 88.0	— —	— —	1 4.0	— —	2 8.0
教育公務関連	18 100.0	— —	— —	8 44.4	7 38.9	3 16.7	— —
情報処理産業	16 100.0	6 37.5	1 6.3	3 18.8	6 37.5	— —	— —
その他	1 100.0	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —

2-9 エキスパートシステムの適用業務（1993年）

（複数回答）上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答システム数	プラント補修・点検	機械補修・点検	プラント異常予知	故障診断	プラント操業・管理	生産ライン操業・管理	情報管理	工程管理	生産管理	物流管理
合計	118 100	1 0.8	1 0.8	6 5.1	10 8.5	4 3.4	9 7.6	2 1.7	4 3.4	5 4.2	3 2.5
基礎資材産業	43 100	— —	1 2.3	4 9.3	1 2.3	3 7	7 16.3	— —	2 4.7	5 11.6	2 4.7
加工組立産業	14 100	— —	— —	— —	3 21.4	— —	1 7.1	— —	1 7.1	— —	— —
生活関連産業	2 100	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	18 100	1 5.6	— —	1 5.6	3 16.7	— —	— —	1 5.6	— —	— —	— —
商業金融関連	20 100	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
教育公務関連	11 100	— —	— —	1 9.1	3 27.3	— —	1 9.1	1 9.1	— —	— —	— —
情報処理産業	9 100	— —	— —	— —	— —	1 11.1	— —	— —	1 11.1	— —	1 11.1
その他	1 100	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

2-9 エキスパートシステムの適用業務（1993年）－つづき（1）

（複数回答）上段：回答件数、下段：割合（%）

	計画・シミュレーション	製品開発支援	自動設計	ネットワーク設計・管理	ソフトウェア開発	人材育成	調査・企画	企業診断
合計	25 21.2	2 1.7	6 5.1	2 1.7	1 0.8	1 0.8	2 1.7	3 2.5
基礎資材産業	15 34.9	1 2.3	－ －	1 2.3	－ －	－ －	－ －	－ －
加工組立産業	4 28.6	1 7.1	1 7.1	1 7.1	－ －	－ －	－ －	－ －
生活関連産業	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －
公共サービス関連	1 5.6	－ －	3 16.7	－ －	－ －	－ －	1 5.6	－ －
商業金融関連	1 5.0	－ －	－ －	－ －	1 5.0	－ －	－ －	3 15.0
教育公務関連	2 18.2	－ －	2 18.2	－ －	－ －	1 9.1	－ －	－ －
情報処理産業	1 11.1	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	1 11.1	－ －
その他	1 100	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －

2-9 エキスパートシステムの適用業務（1993年）－つづき（2）

（複数回答）上段：回答件数、下段：割合（%）

	窓口相談	クレジットオーソライズ	契約・医療・損害査定	CAI	時間割作成	医療診断支援	その他	無回答
合計	7 5.9	1 0.8	4 3.4	1 0.8	3 2.5	1 0.8	14 11.9	30 －
基礎資材産業	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	1 2.3	4 －
加工組立産業	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	2 14.3	6 －
生活関連産業	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	2 100	－ －
公共サービス関連	－ －	－ －	1 5.6	1 5.6	1 5.6	－ －	4 22.2	4 －
商業金融関連	7 35	－ －	3 15	－ －	1 5	－ －	4 20	6 －
教育公務関連	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	8 －
情報処理産業	－ －	1 11.1	－ －	－ －	1 11.1	1 11.1	1 11.1	2 －
その他	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －

2-10 エキスパートシステムの対象領域（1993年）

（複数回答）上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答システム数	解釈	診断	設計	計画	制御	その他	無回答
合計	121 100.0	7 5.8	42 34.7	14 11.6	56 46.3	9 7.4	7 5.8	27 —
基礎資材産業	42 100.0	1 2.4	7 16.7	2 4.8	26 61.9	6 14.3	2 4.8	5 —
加工組立産業	13 100.0	4 30.8	5 38.5	2 15.4	5 38.5	1 7.7	— —	7 —
生活関連産業	2 100.0	— —	— —	1 50.0	— —	— —	1 50.0	— —
公共サービス関連	20 100.0	— —	8 40.0	3 15.0	8 40.0	1 5.0	1 5.0	2 —
商業金融関連	22 100.0	1 4.5	12 54.5	1 4.5	8 36.4	— —	2 9.1	4 —
教育公務関連	12 100.0	— —	6 50.0	4 33.3	3 25.0	— —	1 8.3	7 —
情報処理産業	9 100.0	1 11.1	4 44.4	— —	5 55.6	— —	— —	2 —
その他	1 100.0	— —	— —	1 100.0	1 100.0	1 100.0	— —	— —

2-11 エキスパートシステムの開発目的（1993年）

上段：システム数、下段：割合（%）

	回答システム数	社内使用専用	社内使用だが外販の用意もある	外部から受注して開発	無回答
合計	118 100.0	94 79.7	18 15.3	6 5.1	30 —
基礎資材産業	42 100.0	37 88.1	5 11.9	— —	5 —
加工組立産業	13 100.0	10 76.9	3 23.1	— —	7 —
生活関連産業	1 100.0	1 100.0	— —	— —	1 —
公共サービス関連	20 100.0	16 80.0	4 20.0	— —	2 —
商業金融関連	22 100.0	20 90.9	2 9.1	— —	4 —
教育公務関連	11 100.0	8 72.7	2 18.2	1 9.1	8 —
情報処理産業	9 100.0	2 22.2	2 22.2	5 55.6	2 —
その他	— —	— —	— —	— —	1 —

2-12 エキスパートシステム導入により目指す効果（1993年）

（複数回答）上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答システム数	専門家の数の削減	専門家の仕事量の削減	専門家の育成	業務の質の向上	業務の質の均質化	知識の整理・体系化	ES技術の習得	その他	無回答
合計	120	18	65	14	53	46	30	25	2	28
	100.0	15.0	54.2	11.7	44.2	38.3	25.0	20.8	1.7	－
基礎資材産業	42	11	23	7	17	19	14	10	－	5
	100.0	26.2	54.8	16.7	40.5	45.2	33.3	23.8	－	－
加工組立産業	13	－	9	2	7	3	3	1	－	7
	100.0	－	69.2	15.4	53.8	23.1	23.1	7.7	－	－
生活関連産業	2	－	－	－	2	－	－	－	－	－
	100.0	－	－	－	100.0	－	－	－	－	－
公共サービス関連	19	1	13	2	11	8	4	2	－	3
	100.0	5.3	68.4	10.5	57.9	42.1	21.1	10.5	－	－
商業金融関連	22	3	13	1	8	6	4	4	－	4
	100.0	13.6	59.1	4.5	36.4	27.3	18.2	18.2	－	－
教育公務関連	12	－	2	2	4	3	3	5	2	7
	100.0	－	16.7	16.7	33.3	25.0	25.0	41.7	16.7	－
情報処理産業	9	3	5	－	3	6	1	3	－	2
	100.0	33.3	55.6	－	33.3	66.7	11.1	33.3	－	－
その他	1	－	－	－	1	1	1	－	－	－
	100.0	－	－	－	100.0	100.0	100.0	－	－	－

2-13 エキスパートシステム使用マシン（1993年）

（複数回答）上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答システム数	AI専用マシン	メインフレーム	ミニコン	ワークステーション	パソコン	並列処理マシン	その他	無回答
合計	119	5	24	9	57	36	－	－	29
	100.0	4.2	20.2	7.6	47.9	30.3	－	－	－
基礎資材産業	42	5	5	4	20	9	－	－	5
	100.0	11.9	11.9	9.5	47.6	21.4	－	－	－
加工組立産業	12	－	1	1	7	3	－	－	8
	100.0	－	8.3	8.3	58.3	25.0	－	－	－
生活関連産業	2	－	－	－	2	－	－	－	－
	100.0	－	－	－	100.0	－	－	－	－
公共サービス関連	19	－	6	－	7	9	－	－	3
	100.0	－	31.6	－	36.8	47.4	－	－	－
商業金融関連	22	－	8	1	7	9	－	－	4
	100.0	－	36.4	4.5	31.8	40.9	－	－	－
教育公務関連	12	－	3	2	6	2	－	－	7
	100.0	－	25.0	16.7	50.0	16.7	－	－	－
情報処理産業	9	－	1	1	7	4	－	－	2
	100.0	－	11.1	11.1	77.8	44.4	－	－	－
その他	1	－	－	－	1	－	－	－	－
	100.0	－	－	－	100.0	－	－	－	－

2-14 エキスパートシステムの利用状況（1993年）

上段：システム数、下段：割合（%）

	回答システム数	として稼働中実用システム	テスト中フィールド	改良中としてのプロトタイプ評価	のみに利用デモ・実験	設計・開発段階	いないあまり使って	無回答
合計	119 100.0	76 63.9	9 7.6	16 13.4	11 9.2	1 0.8	6 5.0	29 —
基礎資材産業	41 100.0	29 70.7	2 4.9	2 4.9	3 7.3	1 2.4	4 9.8	6 —
加工組立産業	13 100.0	9 69.2	2 15.4	2 15.4	— —	— —	— —	7 —
生活関連産業	2 100.0	1 50.0	— —	1 50.0	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	19 100.0	13 68.4	4 21.1	— —	2 10.5	— —	— —	3 —
商業金融関連	22 100.0	19 86.4	— —	— —	1 4.5	— —	2 9.1	4 —
教育公務関連	12 100.0	— —	1 8.3	7 58.3	4 33.3	— —	— —	7 —
情報処理産業	9 100.0	4 44.4	— —	4 44.4	1 11.1	— —	— —	2 —
その他	1 100.0	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —

2-15 実用エキスパートシステムの評価（1993年）

上段：システム数、下段：割合（%）

	回答システム数	非常に効果があった	まあ効果があった	どちらともいえない	あまり効果がなかった	ほとんど効果がなかった	無回答
合計	75 100.0	30 40.0	36 48.0	6 8.0	3 4.0	— —	1 —
基礎資材産業	29 100.0	7 24.1	20 69.0	1 3.4	1 3.4	— —	— —
加工組立産業	9 100.0	6 66.7	2 22.2	— —	1 11.1	— —	— —
生活関連産業	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —
公共サービス関連	13 100.0	6 46.2	6 46.2	1 7.7		— —	— —
商業金融関連	18 100.0	8 44.4	6 33.3	3 16.7	1 5.6	— —	1 —
教育公務関連	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
情報処理産業	4 100.0	2 50.0	2 50.0	— —	— —	— —	— —
その他	1 100.0	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —

2-16 エキスパートシステムの開発体制（1993年）

上段：回答事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	部門が実施して情報処理専門家が参画	してKEが実施専門家が参画	協力して情報処理部門が専門家とKE	主体となる専門家が	主体となる情報処理部門が	その他	無回答
合計	67 100.0	19 28.4	12 17.9	20 29.9	6 9.0	6 9.0	4 6.0	6 —
基礎資材産業	18 100.0	7 38.9	2 11.1	5 27.8	1 5.6	2 11.1	1 5.6	3 —
加工組立産業	8 100.0	3 37.5	— —	2 25.0	1 12.5	1 12.5	1 12.5	— —
生活関連産業	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	12 100.0	2 16.7	4 33.3	5 41.7	1 8.3	— —	— —	— —
商業金融関連	13 100.0	5 38.5	2 15.4	2 15.4	1 7.7	1 7.7	2 15.4	2 —
教育公務関連	10 100.0	2 20.0	3 30.0	1 10.0	2 20.0	2 20.0	— —	1 —
情報処理産業	4 100.0	— —	1 25.0	3 75.0	— —	— —	— —	— —
その他	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —

2-17 ES開発におけるメーカーやベンダーへの期待（1993年）

（三つまでの複数回答を集計）
上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答事業所数	システムの企画・提案	業界・業務知識の提供	方法の開示 知識表現・知識獲得	システム構築手順の提供	要員提供・設計―開発への技術	システムのパッケージ化	メンテナンス	人材教育	開発費の低減	無回答
合計	69 100.0	8 11.6	9 13.0	33 47.8	31 44.9	12 17.4	26 37.7	19 27.5	9 13.0	20 29.0	4 —
基礎資材産業	20 100.0	3 15.0	2 10.0	12 60.0	11 55.0	3 15.0	7 35.0	4 20.0	2 10.0	7 35.0	1 —
加工組立産業	7 100.0	— —	1 14.3	3 42.9	2 28.6	2 28.6	4 57.1	1 14.3	1 14.3	3 42.9	1 —
生活関連産業	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	12 100.0	2 16.7	1 8.3	6 50.0	7 58.3	2 16.7	3 25.0	4 33.3		3 25.0	— —
商業金融関連	14 100.0	1 7.1	2 14.3	6 42.9	7 50.0	3 21.4	6 42.9	6 42.9	2 14.3	5 35.7	1 —
教育公務関連	10 100.0	1 10.0	2 20.0	4 40.0	3 30.0	2 20.0	4 40.0	2 20.0	2 20.0	1 10.0	1 —
情報処理産業	4 100.0	1 25.0	1 25.0	1 25.0	1 25.0	— —	2 50.0	2 50.0	2 50.0	— —	— —
その他	1 100.0	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1 100.0	— —

2-18 エキスパートシステム導入・実用化の問題点(1993年)

(複数回答) 上段：回答件数、下段：割合 (%)

	回答事業所数	不足で役に立たない現在の技術では能力	コストがかかり過ぎるシステム開発に	不足である知識エンジニアが	ツールがない適切な開発用	知識獲得に障害がある	分野がないニーズのある適当な	一部しか移植できない専門家の業務の	かかり過ぎる想定に対して開発工数が	困難である機能の追加修正が	メンテナンスが困難知識ベースの	操作性が悪い	関わらざるを得ない開発者がメンテまで	その他	無回答
合計	71	15	22	26	9	26	4	16	18	20	23	5	31	5	2
	100.0	21.1	31.0	36.6	12.7	36.6	5.6	22.5	25.4	28.2	32.4	7.0	43.7	7.0	—
基礎資材産業	21	2	8	9	3	8	—	5	9	7	5	2	14	1	—
	100.0	9.5	38.1	42.9	14.3	38.1	—	23.8	42.9	33.3	23.8	9.5	66.7	4.8	—
加工組立産業	7	1	3	2	—	2	1	2	2	2	4	—	2	2	1
	100.0	14.3	42.9	28.6	—	28.6	14.3	28.6	28.6	28.6	57.1	—	28.6	28.6	—
生活関連産業	1	—	—	1	—	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—
	100.0	—	—	100.0	—	100.0	—	100.0	—	—	—	—	—	—	—
公共サービス関連	12	3	3	4	1	3	1	3	3	3	5	1	5	1	—
	100.0	25.0	25.0	33.3	8.3	25.0	8.3	25.0	25.0	25.0	41.7	8.3	41.7	8.3	—
商業金融関連	15	5	3	6	3	5	2	3	2	7	5	—	4	—	—
	100.0	33.3	20.0	40.0	20.0	33.3	13.3	20.0	13.3	46.7	33.3	—	26.7	—	—
教育公務関連	10	4	3	2	—	6	—	2	1	—	3	1	5	1	1
	100.0	40.0	30.0	20.0	—	50.0	—	20.0	10.0	—	30.0	10.0	50.0	10.0	—
情報処理産業	4	—	2	1	2	1	—	—	1	1	1	1	1	—	—
	100.0	—	50.0	25.0	50.0	25.0	—	—	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	—	—
その他	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	100.0	—	—	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

2-19 エキスパートシステム開発・導入のための1993年度投資額 (1993年)

上段：事業所数、下段：割合 (%)

	回答事業所数	百万円未満	二百万円未満	五百万円未満	一千万円未満	二千万円未満	五千万円未満	一億円未満	二億円未満	五億円未満	十億円未満	二十億円未満	二十億円以上	無回答
合計	54	28	2	4	7	5	7	1	—	—	—	—	—	19
	100.0	51.9	3.7	7.4	13.0	9.3	13.0	1.9	—	—	—	—	—	—
基礎資材産業	18	8	—	1	2	3	3	1	—	—	—	—	—	3
	100.0	44.4	—	5.6	11.1	16.7	16.7	5.6	—	—	—	—	—	—
加工組立産業	6	2	1	—	1	—	2	—	—	—	—	—	—	2
	100.0	33.3	16.7	—	16.7	—	33.3	—	—	—	—	—	—	—
生活関連産業	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	100.0	100.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
公共サービス関連	8	4	—	1	2	—	1	—	—	—	—	—	—	4
	100.0	50.0	—	12.5	25.0	—	12.5	—	—	—	—	—	—	—
商業金融関連	10	6	1	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	5
	100.0	60.0	10.0	10.0	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
教育公務関連	7	6	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	4
	100.0	85.7	—	—	—	14.3	—	—	—	—	—	—	—	—
情報処理産業	4	1	—	1	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—
	100.0	25.0	—	25.0	—	25.0	25.0	—	—	—	—	—	—	—
その他	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

2-20 エキスパートシステムの今後の投資見込み（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	大幅に増える	増える	やや増える	現状程度	やや減る	減る	大幅に減る	無回答
合計	62	—	5	9	32	4	5	7	11
	100.0	—	8.1	14.5	51.6	6.5	8.1	11.3	—
基礎資材産業	20	—	2	3	10	1	1	3	1
	100.0	—	10.0	15.0	50.0	5.0	5.0	15.0	—
加工組立産業	7	—	1	2	2	1	1	—	1
	100.0	—	14.3	28.6	28.6	14.3	14.3	—	—
生活関連産業	1	—	—	—	1	—	—	—	—
	100.0	—	—	—	100.0	—	—	—	—
公共サービス関連	10	—	1	1	5	1	1	1	2
	100.0	—	10.0	10.0	50.0	10.0	10.0	10.0	—
商業金融関連	11	—	—	1	5	1	2	2	4
	100.0	—	—	9.1	45.5	9.1	18.2	18.2	—
教育公務関連	8	—	—	—	7	—	—	1	3
	100.0	—	—	—	87.5	—	—	12.5	—
情報処理産業	4	—	—	2	2	—	—	—	—
	100.0	—	—	50.0	50.0	—	—	—	—
その他	1	—	1	—	—	—	—	—	—
	100.0	—	100.0	—	—	—	—	—	—

2-21 ドメインシェルの利用状況（1993年）

注：「利用している」との回答を集計。
上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	計画型	診断型	解釈型	設計型	制御型	無回答
合計	33	19	10	3	6	4	171
	100.0	57.6	30.3	9.1	18.2	12.1	—
基礎資材産業	13	11	2	—	2	2	28
	100.0	84.6	15.4	—	15.4	15.4	—
加工組立産業	7	5	2	—	1	1	23
	100.0	71.4	28.6	—	14.3	14.3	—
生活関連産業	—	—	—	—	—	—	20
	—	—	—	—	—	—	—
公共サービス関連	4	2	—	2	1	—	22
	100.0	50.0	—	50.0	25.0	—	—
商業金融関連	3	—	3	—	—	—	21
	100.0	—	100.0	—	—	—	—
教育公務関連	4		2	1	2	—	31
	100.0	—	50.0	25.0	50.0	—	—
情報処理産業	2	1	1	—	—	1	20
	100.0	50.0	50.0	—	—	50.0	—
その他	—	—	—	—	—	—	6
	—	—	—	—	—	—	—

2-22 ドメインシェルの利用意向（1993年）

注：「利用したい」との回答を集計。
上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	計画型	診断型	解釈型	設計型	制御型	無回答
合計	56 100.0	40 71.4	27 48.2	20 35.7	22 39.3	25 44.6	148 —
基礎資材産業	15 100.0	7 46.7	5 33.3	4 26.7	3 20.0	4 26.7	26 —
加工組立産業	11 100.0	9 81.8	6 54.5	6 54.5	5 45.5	6 54.5	19 —
生活関連産業	5 100.0	4 80.0	2 40.0	2 40.0	3 60.0	3 60.0	15 —
公共サービス関連	8 100.0	7 87.5	3 37.5	2 25.0	1 12.5	4 50.0	18 —
商業金融関連	3 100.0	2 66.7	1 33.3	— —	1 33.3	— —	21 —
教育公務関連	7 100.0	5 71.4	3 42.9	2 28.6	4 57.1	5 71.4	28 —
情報処理産業	5 100.0	5 100.0	5 100.0	3 60.0	4 80.0	1 20.0	17 —
その他	2 100.0	1 50.0	2 100.0	1 50.0	1 50.0	2 100.0	4 —

2-23 機械翻訳システムの導入状況（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	導入・利用している	外部のサービスを利用	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	163 100.0	32 19.6	1 0.6	21 12.9	109 66.9	41 —
基礎資材産業	34 100.0	3 8.8	1 2.9	7 20.6	23 67.6	7 —
加工組立産業	25 100.0	9 36.0	— —	3 12.0	13 52.0	5 —
生活関連産業	13 100.0	2 15.4	— —	1 7.7	10 76.9	7 —
公共サービス関連	21 100.0	2 9.5	— —	2 9.5	17 81.0	5 —
商業金融関連	19 100.0	1 5.3	— —	1 5.3	17 89.5	5 —
教育公務関連	30 100.0	12 40.0	— —	3 10.0	15 50.0	5 —
情報処理産業	17 100.0	3 17.6	— —	4 23.5	10 58.8	5 —
その他	4 100.0	— —	— —	— —	4 100.0	2 —

2-24 機械翻訳システムの利用分野（1993年）

（複数回答）上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答システム数	特許等技術文献	統計等経済資料	マニュアル	カタログ	ビジネス文書	通信文メモ等	新聞・雑誌情報	その他	無回答
合計	35 100.0	11 31.4	1 2.9	14 40.0	1 2.9	6 17.1	6 17.1	2 5.7	10 28.6	12 －
基礎資材産業	3 100.0	2 66.7	－ －	2 66.7	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	3 －
加工組立産業	10 100.0	3 30.0	－ －	8 80.0	－ －	2 20.0	2 20.0	－ －	1 10.0	2 －
生活関連産業	2 100.0	1 50.0	－ －	1 50.0	－ －	1 50.0	－ －	－ －	－ －	－ －
公共サービス関連	2 100.0	1 50.0	－ －	1 50.0	－ －	－ －	1 50.0	－ －	－ －	－ －
商業金融関連	1 100.0	1 100.0	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －
教育公務関連	13 100.0	3 23.1	1 7.7	2 15.4	1 7.7	3 23.1	1 7.7	1 7.7	8 61.5	7 －
情報処理産業	4 100.0	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	2 50.0	1 25.0	1 25.0	－ －
その他	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －

2-25 機械翻訳システムの使用マシン（1993年）

上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答システム数	AI専用マシン	メインフレーム	ミニコン	ワークステーション	パソコン	並列処理マシン	その他	無回答
合計	35 100.0	－ －	6 17.1	－ －	13 37.1	14 40.0	1 2.9	3 8.6	12 －
基礎資材産業	3 100.0	－ －	－ －	－ －	1 33.3	1 33.3	－ －	1 33.3	3 －
加工組立産業	10 100.0	3 30.0	－ －	－ －	6 60.0	3 30.0	1 10.0	－ －	2 －
生活関連産業	2 100.0	－ －	－ －	－ －	2.0 100.0	－ －	－ －	－ －	－ －
公共サービス関連	2 100.0	－ －	－ －	－ －	－ －	2 100.0	－ －	－ －	－ －
商業金融関連	1 100.0	－ －	－ －	－ －	－ －	1 100.0	－ －	－ －	－ －
教育公務関連	13 100.0	－ －	6 46.2	－ －	4 30.8	3 23.1	－ －	2 15.4	7 －
情報処理産業	4 100.0	－ －	－ －	－ －	－ －	4.0 100.0	－ －	－ －	－ －
その他	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －	－ －

2-26 機械翻訳システムの利用形態（1993年）

上段：システム数、下段：割合（%）

	回答システム数	そのまま利用翻訳結果を	修正して利用かなり人手で	参考程度人が翻訳する際の	試験中	いないあまり使って	無回答
合計	33 100.0	2 6.1	13 39.4	9 27.3	5 15.2	4 12.1	14 —
基礎資材産業	3 100.0	— —	1 33.3	1 33.3	1 33.3		3 —
加工組立産業	10 100.0	1 10.0	3 30.0	3 30.0	2 20.0	1 10.0	2 —
生活関連産業	2 100.0	— —	2 100.0	— —		— —	— —
公共サービス関連	2 100.0	— —	1 50.0	— —	— —	1 50.0	— —
商業金融関連	1 100.0	— —	1 100.0	— —	— —		— —
教育公務関連	11 100.0	1 9.1	4 36.4	2 18.2	2 18.2	2 18.2	9 —
情報処理産業	4 100.0	— —	1 25.0	3 75.0	— —		— —
その他	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

2-27 機械翻訳システムの問題点（1993年）

注：二つまでの複数回答を集計。
上段：回答件数、下段：割合（%）

	回答事業所数	ナンスが大変維持・メンテ辞書の開発・	かかりすぎる翻訳時間が	翻訳精度が低い	間がかかる原文入力に手	している担当要員が不足	その他	無回答
合計	28 100.0	8 28.6	— —	21 75.0	4 14.3	2 7.1	2 7.1	5 —
基礎資材産業	3 100.0	— —	— —	3 100.0	— —	— —	— —	1 —
加工組立産業	9 100.0	6 66.7	— —	6 66.7	1 11.1	1 11.1	— —	— —
生活関連産業	2 100.0	— —	— —	2 100.0	— —	— —	— —	— —
公共サービス関連	1 100.0	— —	— —	1 100.0	— —	— —	— —	1 —
商業金融関連	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	1 —
教育公務関連	10 100.0	2 20.0	— —	6 60.0	3 30.0	1 10.0	2 20.0	2 —
情報処理産業	3 100.0	— —	— —	3 100.0	— —	— —	— —	— —
その他	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —

2-28 知能ロボットの導入状況（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	148 100.0	12 8.1	27 18.2	109 73.6	56 －
基礎資材産業	31 100.0	－ －	10 32.3	21 67.7	10 －
加工組立産業	21 100.0	2 9.5	5 23.8	14 66.7	9 －
生活関連産業	12 100.0	1 8.3	3 25.0	8 66.7	8 －
公共サービス関連	19 100.0	2 10.5	2 10.5	15 78.9	7 －
商業金融関連	18 100.0	3 16.7	－ －	15 83.3	6 －
教育公務関連	27 100.0	4 14.8	5 18.5	18 66.7	8 －
情報処理産業	16 100.0	－ －	1 6.3	15 93.8	6 －
その他	4 100.0	－ －	1 25.0	3 75.0	2 －

2-29 自動プログラミングシステムの導入状況（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	160 100.0	20 12.5	50 31.3	90 56.3	44 －
基礎資材産業	33 100.0	5 15.2	11 33.3	17 51.5	8 －
加工組立産業	24 100.0	3 12.5	9 37.5	12 50.0	6 －
生活関連産業	12 100.0	1 8.3	2 16.7	9 75.0	8 －
公共サービス関連	21 100.0	1 4.8	4 19.0	16 76.2	5 －
商業金融関連	19 100.0	3 15.8	8 42.1	8 42.1	5 －
教育公務関連	29 100.0	4 13.8	7 24.1	18 62.1	6 －
情報処理産業	18 100.0	3 16.7	8 44.4	7 38.9	4 －
その他	4 100.0	－ －	1 25.0	3 75.0	2 －

2-30 画像理解システムの導入状況（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	148 100.0	20 13.5	35 23.6	93 62.8	56 －
基礎資材産業	31 100.0	5 16.1	8 25.8	18 58.1	10 －
加工組立産業	23 100.0	5 21.7	5 21.7	13 56.5	7 －
生活関連産業	12 100.0	1 8.3	3 25.0	8 66.7	8 －
公共サービス関連	17 100.0	1 5.9	3 17.6	13 76.5	9 －
商業金融関連	17 100.0	2 11.8	2 11.8	13 76.5	7 －
教育公務関連	27 100.0	6 22.2	6 22.2	15 55.6	8 －
情報処理産業	18 100.0	－ －	7 38.9	11 61.1	4 －
その他	3 100.0	－ －	1 33.3	2 66.7	3 －

2-31 音声理解システムの導入状況（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	156 100.0	9 5.8	40 25.6	107 68.6	48 —
基礎資材産業	31 100.0	1 3.2	8 25.8	22 71.0	10 —
加工組立産業	23 100.0	4 17.4	7 30.4	12 52.2	7 —
生活関連産業	12 100.0		4 33.3	8 66.7	8 —
公共サービス関連	21 100.0	1 4.8	4 19.0	16 76.2	5 —
商業金融関連	19 100.0		3 15.8	16 84.2	5 —
教育公務関連	29 100.0	3 10.3	10 34.5	16 55.2	6 —
情報処理産業	17 100.0	— —	3 17.6	14 82.4	5 —
その他	4 100.0	— —	1 25.0	3 75.0	2 —

2-32 自然言語理解システムの導入状況（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	148 100.0	4 2.7	28 18.9	116 78.4	56 —
基礎資材産業	29 100.0	— —	6 20.7	23 79.3	12 —
加工組立産業	24 100.0	1 4.2	7 29.2	16 66.7	6 —
生活関連産業	12 100.0	— —	— —	12 100.0	8 —
公共サービス関連	18 100.0	— —	1 5.6	17 94.4	8 —
商業金融関連	18 100.0	— —	2 11.1	16 88.9	6 —
教育公務関連	27 100.0	2 7.4	9 33.3	16 59.3	8 —
情報処理産業	17 100.0	1 5.9	2 11.8	14 82.4	5 —
その他	3 100.0	— —	1 33.3	2 66.7	3 —

2-33 ファジィシステムの導入状況（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	156 100.0	13 8.3	37 23.7	106 67.9	48 —
基礎資材産業	31 100.0	2 6.5	14 45.2	15 48.4	10 —
加工組立産業	24 100.0	2 8.3	8 33.3	14 58.3	6 —
生活関連産業	13 100.0	1 7.7	2 15.4	10 76.9	7 —
公共サービス関連	20 100.0	5 25.0	1 5.0	14 70.0	6 —
商業金融関連	19 100.0	— —	2 10.5	17 89.5	5 —
教育公務関連	28 100.0	3 10.7	5 17.9	20 71.4	7 —
情報処理産業	17 100.0	— —	4 23.5	13 76.5	5 —
その他	4 100.0	— —	1 25.0	3 75.0	2 —

2-34 ニューロシステムの導入状況（1993年）

上段：事業所数、下段：割合（%）

	回答事業所数	導入・利用している	今後導入・利用予定	予定なし	無回答
合計	154 100.0	11 7.1	45 29.2	98 63.6	50 —
基礎資材産業	31 100.0	2 6.5	13 41.9	16 51.6	10 —
加工組立産業	24 100.0	1 4.2	9 37.5	14 58.3	6 —
生活関連産業	12 100.0	— —	1 8.3	11 91.7	8 —
公共サービス関連	21 100.0	1 4.8	7 33.3	13 61.9	5 —
商業金融関連	19 100.0	2 10.5	1 5.3	16 84.2	5 —
教育公務関連	26 100.0	4 15.4	9 34.6	13 50.0	9 —
情報処理産業	17 100.0	1 5.9	4 23.5	12 70.6	5 —
その他	4 100.0	— —	1 25.0	3 75.0	2 —

2-35 AIの認知度（1993年）

上段：回答件数、下段：割合（%）

	合計回答件数	実際に使っている	内容までよく知っている	聞いたことがある	全く知らない	無回答
カオス／フラクタル	155	3	37	68	47	49
	100.0	1.9	23.9	43.9	30.3	—
人工生命	156	2	9	60	85	48
	100.0	1.3	5.8	38.5	54.5	—
グループウェア	157	4	40	66	47	47
	100.0	2.5	25.5	42.0	29.9	—
リアルワールド・コンピューティング	155	—	13	57	85	49
	100.0	—	8.4	36.8	54.8	—
第五世代コンピュータ	156	—	51	87	18	48
	100.0	—	32.7	55.8	11.5	—
電子化辞書／大規模知識ベース	156	2	42	89	23	48
	100.0	1.3	26.9	57.1	14.7	—
バーチャルリアリティ	157	2	70	71	14	47
	100.0	1.3	44.6	45.2	8.9	—
心の社会	156	—	8	32	116	48
	100.0	—	5.1	20.5	74.4	—
PSI/PIM	154	1	8	33	112	50
	100.0	0.6	5.2	21.4	72.7	—
コネクションマシン	152	—	17	48	87	52
	100.0	—	11.2	31.6	57.2	—
ヒューリスティクス	154	2	22	35	95	50
	100.0	1.3	14.3	22.7	61.7	—
ATMS	156	3	11	31	111	48
	100.0	1.9	7.1	19.9	71.2	—
非単調論理／非単調推論	155	2	16	24	113	49
	100.0	1.3	10.3	15.5	72.9	—
定性推論	155	3	24	37	91	49
	100.0	1.9	15.5	23.9	58.7	—
事例ベース推論	155	5	22	39	89	49
	100.0	3.2	14.2	25.2	57.4	—
帰納推論	154	4	27	49	74	50
	100.0	2.6	17.5	31.8	48.1	—
発想推論（アブダクション）	153	2	11	35	105	51
	100.0	1.3	7.2	22.9	68.6	—
状況推論	153	—	13	48	92	51
	100.0	—	8.5	31.4	60.1	—
メタ知識／メタ推論	153	6	29	45	73	51
	100.0	3.9	19.0	29.4	47.7	—
協調問題解決	153	2	17	36	98	51
	100.0	1.3	11.1	23.5	64.1	—
制約／制約充足	154	3	12	41	98	50
	100.0	1.9	7.8	26.6	63.6	—
不確実推論／あいまい推論	152	8	28	76	40	52
	100.0	5.3	18.4	50.0	26.3	—
ニューラルネットワーク	153	10	36	66	41	51
	100.0	6.5	23.5	43.1	26.8	—
ファジィ推論／ファジィ集合	155	10	56	76	13	49
	100.0	6.5	36.1	49.0	8.4	—
オントロジー	153	1	5	22	125	51
	100.0	0.7	3.3	14.4	81.7	—
機械学習	154	1	28	56	69	50
	100.0	0.6	18.2	36.4	44.8	—
説明に基づく学習	154	1	18	53	82	50
	100.0	0.6	11.7	34.4	53.2	—
帰納学習	154	3	19	53	79	50
	100.0	1.9	12.3	34.4	51.3	—

資料3．わが国の主要AI関連機関

(社)人工知能学会(JSAI)

Japanese Society for Artificial Intelligence

住　　所　〒162 東京都新宿区津久戸町4－7
　　OSビル402号室

電　　話　03－5261－3401

代 表 者　会長　堂下修司（京都大学）

設立時期　平成2年9月1日（任意団体として
　　昭和61年7月24日設立）

目　　的

人工知能に関する総合的な学問研究の促進を図り、会員相互間および関連学協会との交流の場を提供し、わが国のこの分野の学問および産業の進歩発展に貢献するとともに、国際的活動を通じて、世界のこの分野の進歩に貢献する。

AI関連の研究会・部署

人工知能基礎論研究会／ヒューマンインタフェースと認知モデル研究会／知識ベースシステム研究会／言語・音声理解と対話処理研究会／知的教育システム研究会／並列人工知能研究会

日本ソフトウェア科学会(J.S.S.S.T.)

JAPAN SOCIETY FOR SOFTWARE SCIENCE AND TECHNOLOGY

住　　所　〒113 東京都文京区本郷4－1－3－501
　　世界貿易センタービル7階

電　　話　03－5802－2060

代 表 者　理事長　片山卓也
　　（北陸先端科学技術大学院大学教授）

設立時期　昭和58年10月

目　　的

計算機ソフトウェアにかかわる科学・技術の研究を盛んにし、またその普及を図り、関係諸部門とも協力して学術文化の向上発展に寄与すること。

AI関連の研究会・部署

オブジェクト指向コンピューティング研究会／関数プログラミング研究会／プログラム合成/変換研究会／ソフトウェアプロセス研究会／マルチ・エージェントと協調計算研究会／言語と知能研究会／インタラクティブシステムとソフトウェア研究会／ソフトウェア工学の基礎研究会

(社)情報処理学会(I.P.S.J.)

INFORMATION PROCESSING SOCIETY OF JAPAN

住　　所　〒160 東京都新宿区西新宿1－24－1
　　エステック情報ビル27階

電　　話　03－5322－3535

代 表 者　会長　水野幸男（NEC）

設立時期　昭和35年4月22日

目　　的

電子計算機を中心とした情報処理に関する学術技術の進歩発展を図り、会員相互および関連学協会との連絡研修の場となり、もって学術文化の発達に寄与する。

AI関連の研究会・部署

人工知能研究会／自然言語処理研究会／ヒューマンインタフェース研究会

(社)電子情報通信学会 (IEICE)

THE INSTITUTE OF ELECTRONICS, INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

住　　所　〒105 東京都港区芝公園3－5－8
機械振興会館2階
電　　話　03－3433－6691
代 表 者　会長　大越孝敬
(産業技術融合領域研究所)
設立時期　大正6年5月1日

目　　的

電子工学および情報通信に関する学問、技術の調査、研究および知識の交換を行い、もって学問、技術および関連事業の振興に寄与する。

AI関連の研究会・部署

言語理解とコミュニケーション研究会／人工知能と知識処理研究会／パターン認識・理解研究会／ニューロコンピューティング研究会／知能ソフトウェア工学研究会

(社)計測自動制御学会(S.I.C.E.)

THE SOCIETY OF INSTRUMENT AND CONTROL ENGINEERS

住　　所　〒113 東京都文京区本郷
1－35－28－303
電　　話　03－3814－4121
代 表 者　会長　北森俊行（法政大学）
設立時期　昭和36年9月30日

目　　的

計測自動制御に関する学術および技術の進歩発達を図り、文化の向上並びに産業の発展に寄与する。

AI関連の研究会・部署

パターン計測部会／知能工学部会／ヒューマン・インタフェース部会／生体・生理工学部会／自律分散システム部会／ロボット工学部会／ニューラルネットワーク部会

工業技術院電子技術総合研究所(ETL)

Electrotechnical Laboratory

住　　所　〒305 茨城県つくば市梅園1－1－4
電　　話　0298－54－5021
代 表 者　所長　富山朔太郎
設立時期　明治24年

目　　的

エレクトロニクスの研究を基盤として、情報技術、エネルギー技術、標準計測技術分野の研究を有機的に推進し、科学・産業技術の振興に努める。

AI関連の研究会・部署

情報科学部：情報数理研究室、脳機能研究室、認知科学研究室、協調アーキテクチャ計画室／情報アーキテクチャ部：言語システム研究室、情報ベース研究室／知能情報部：推論研究室、自然言語研究室、音声研究室、画像研究室／知能システム部：視覚情報研究室、行動知能研究室、自律システム研究室、対話システム研究室／新情報計画室

(財)新世代コンピュータ技術開発機構（ICOT）

Institute for New Generation Computer Technology

住　　所　〒108 東京都港区三田1－4－28
　　三田国際ビル21階

電　　話　03－3456－2511

代 表 者　理事長　北岡　隆

設立時期　昭和57年4月

目　　的

新世代コンピュータ技術に関して、研究開発の推進、調査研究並びに普及の促進等を行うことにより、情報技術の進展および情報関連産業の振興を図り、もって情報化社会の発展に寄与する。

AI関連の研究会・部署

研究所（所長　内田俊一）

研究計画部／第一研究部／第二研究部

(株)日本電子化辞書研究所(EDR)

JAPAN ELECTRONIC DICTIONARY RESEARCH INSTITUTE, LTD.

住　　所　〒108 東京都港区三田1－4－28
　　三田国際ビル・アネックス

電　　話　03－3798－5521

代 表 者　代表取締役社長　加藤康雄

設立時期　昭和61年4月26日

目　　的

(1)コンピュータ・ソフトウェア（辞書的役割として利用可能なプログラムおよびデータベース）の研究並びに、これを利用したシステム研究

(2)前項にかかわる工業所有権の実施許諾およびコンピュータ・プログラムを含むノウハウ（著作権を含む）の許諾

(3)前各項に付帯関連する一切の業務

AI関連の研究会・部署

研究所（所長　横井俊夫）

研究管理部：第一研究室～第八研究室

(株)AI言語研究所(AIR)

AI Language Reserch Institute, LTD.

住　　所　〒247 神奈川県鎌倉市大船5－1－1
　　三菱電機㈱情報システム研究所内

電　　話　0467－48－4837

代 表 者　代表取締役社長　大野栄一

設立時期　昭和63年3月29日

目　　的

通商産業省の第五世代コンピュータプロジェクトを進めている（財）新世代コンピュータ技術開発機構（ICOT）により開発された先進的なAI言語ESP（Extended Self-contained Prolog）をさらに発展させ、コンピュータの機種を選ばず、汎用的、共通的に使用できる「Common ESP」を研究開発する。

AI関連の研究会・部署

研究管理部

日本認知科学会(JCSS)

Japanese Cognitive Science Society

住　　所　〒227 横浜市緑区長津田町4259
東京工業大学総合理工学研究科
システム科学専攻内

電　　話　045－924－5646

代 表 者　会長　安西祐一郎（慶応義塾大学教授）

設立時期　昭和58年10月

目　　的

認知科学の研究に携わる者の情報交換および討議を助成する。

AI関連の研究会・部署

学習と対話研究分科会／パターン認識と知覚モデル研究分科会／リプリゼンテーション&インタフェース研究分科会／基礎研究分科会／教育環境のデザイン研究分科会

日本ファジィ学会(SOFT)

Japan Society for Fuzzy Theory and Systems

住　　所　〒231 神奈川県横浜市中区山下町89番地1シイベルヘグナービル3階

電　　話　045－212－8253

代 表 者　会長　向殿政男（明治大学教授）

設立時期　1989年6月3日

目　　的

広く曖昧さを扱う概念や種々の不確かさの様相に関する研究、および主観性などにかかわる曖昧さを対象とするファジィ理論の研究、並びに、それらの応用を目指すとともに、内外との交流を深める。

AI関連の研究会・部署

研究例会／専門部会／姉妹学協会：国際ファジィシステム学会、(IFSA) 本部、IFSA日本支部

技術研究組合 国際ファジィ工学研究所(LIFE)

Laboratory for International Fuzzy Engineering Research

住　　所　〒231 神奈川県横浜市中区山下町89番地1シイベルヘグナービル4階

電　　話　045－212－8211

代 表 者　理事長　佐藤文夫

設立時期　平成元年3月28日

目　　的

ファジィ理論に関する基礎的な研究並びにその有効な利用研究を産・官（国立試験研究所等）・学（日本ファジィ学会、東京工業大学等）の連携のもとに総合的に推進し、かつ諸外国の研究機関との間で積極的に国際交流を図ることにより、高度な情報化社会の実現を目指す。

AI関連の部署

研究所（所長　寺野寿郎）

(株)エイ・ティ・アール音声翻訳通信研究所

住　　所　〒619－02京都府相楽郡精華町
　　光台2－2
電　　話　07749－5－1311
代 表 者　代表取締役社長　山崎泰弘
設立時期　平成5年3月

目　　的

異なる言語を用いる人と人が自由にコミュニケーションできるように、自然に話した音声を認識し、くだけた表現なども翻訳できる技術の開発を行う。

AI関連の研究会・部署

音声認識・音声合成・機械翻訳等

(株)エイ・ティ・アール通信システム研究所

住　　所　〒612－02京都府相楽郡精華町
　　光台2－2
電　　話　07749－5－1211
代 表 者　代表取締役社長　寺島信義
設立時期　昭和61年4月

目　　的

情報化が進み、電気通信への依存度が高まるに伴って、より人間的な高度の要求に対応でき、より人間的で使いやすい通信が必要となる。また、高度の要求を満たす通信システムを迅速・柔軟に実現できるとともに、より一層の安全性が必要となる。当研究所では、このような必要に対応できる「人間主体」の知的な通信システムを目標に、これを実現する基礎技術の確立を目指した研究を進める。

AI関連の研究会・部署

臨場感通信の研究／非言語的インタフェースの研究／通信ソフトウェアの自動作成の研究／セキュリティの研究

(株)エイ・ティ・アール人間情報通信研究所

住　　所　〒612－02京都府相楽郡精華町
　　光台2－2
電　　話　07749－5－1011
代 表 者　代表取締役社長　東倉洋一
設立時期　平成4年3月

目　　的

電気通信による、より豊かなヒューマンコミュニケーション実現のためには、人間がコンピュータ等の介在を意識せずに情報の形態や手段を自分にとって使いやすいように選べる、自然で柔軟性に富んだヒューマンインタフェース技術の確立が理想である。当研究所では、人間の優れた機能に学んだ情報生成・処理技術の確立を目指してヒューマンコミュニケーションメカニズムの研究を行う。

AI関連の研究会・部署

音声言語情報生成機構の研究／視覚情報生成機構の研究／情報生成統合機構の研究

日本神経回路学会（JNNS）

Japanese Neural Network Society

住　　所　〒305 茨城県つくば市梅園1－1－4
電子技術総合研究所
超分子部内（94年12月まで）

電　　話　0298－54－5260

代 表 者　会長　松本　元（電子技術総合研究所）

設立時期　平成元年7月21日

目　　的

高次脳機能の解明をめざす工学・医学・心理学などの分野の研究者および、その工学的応用を図ろうとする研究者の学際的協力関係を推進し、学際的情報の集積と提供、情報の交換、新しい人材の養成、国際学会、会議への協力等を行う。

AI関連の活動

英文学会誌「Neural Networks」の共同編集、邦文学会誌、ニュースレターの発行／情報交換用パソコン通信の運用／講演会、セミナー、講習会、大会の開催／神経回路網国際会議（IJCNN）主催

(財)人工知能研究振興財団

Artificial Intelligence Research Promotion Foundation (AIRPF)

住　　所　〒461 愛知県名古屋市東区白壁
3－12－13中産連ビル新館6階

電　　話　052－932－8951

代 表 者　理事長　薦田　国雄（東邦ガス）

設立時期　平成2年3月22日

目　　的

人工知能の研究に対する助成、人工知能に関する講演会、シンポジウム、セミナーの開催等を行うことにより、人工知能に関する研究の振興を図り、もって産業技術の高度化及び我が国経済の健全な発展に寄与する。

AI関連の活動

AI研究に関する助成／講演会、シンポジウム、セミナー、研究会等の開催／AIに関する調査研究、情報の収集・提供、相談・指導

(財)国際AI財団（IFAI）

International Foundation for Artificial Intelligence

住　　所　〒107 東京都港区元赤坂1－7－10
グランドメゾン元赤坂603

電　　話　03－3403－9805

代 表 者　理事長　羽倉　信也（㈱第一勧業銀行）

設立時期　昭和63年6月20日

目　　的

AIに関する国際交流、開発支援、調査研究普及啓発を行うことにより、わが国におけるAIの健全な発展を国際的観点から図るとともに、わが国経済社会の健全な情報化及び国際協調の実現に寄与することを目的とする。

AI関連の活動

AIに関する国際交流／AIに関する開発支援／AIに関する調査研究／AIに関する普及啓発

アジア太平洋機械翻訳協会(AAMT)

Asia-Pacific Association for Machine Translation

住　　所　〒103 東京都中央区日本橋小舟町
　　4－10大宮ビル
電　　話　03－3664－5637／5638
代 表 者　会長　長尾　真（京都大学教授）
設立時期　平成3年4月17日
名称変更　平成4年6月18日
関係団体　AMTA（アメリカ機械翻訳協会）
　　EAMT（欧州機械翻訳協会）
　　IAMT（世界機械翻訳協会）

目　　的

人工知能、自然言語処理分野の研究者、開発者、生産者、機械翻訳業、ユーザにいたるまでの幅広い会員を中心として、機械翻訳関連の技術調査、研究や利用実態調査、利用技術の開発研究を行い、また機器システム、利用技術の普及啓蒙を推進している。

また、欧州、米州の機械翻訳協会とも連携し、技術動向、普及動向の情報交換を経常的に実施し、この分野の健全なる発展と国際社会への貢献を目指している。

AI関連の活動

機械翻訳に関する調査研究／機械翻訳サミット（国際会議）、研究成果報告会の開催／展示会、ユーザ講習会／会員広報誌（AAMT版、IAMT国際版）の発行／関連資料の収集・提供

技術研究組合 新情報処理開発機構(RWCP)

Real World Computing Partnership

所 在 地　つくば研究センタ
　　〒305 茨城県つくば市竹園1－6－1
　　つくば三井ビル
　　電　　話　0298－53－1641
　　本　部
　　〒101 東京都千代田区東神田2－5－12
　　龍角散ビル
　　電　　話　03－5820－8681
代 表 者　理事長　関本忠弘
設立時期　平成4年7月

目　　的

リアルワールドには多種多様な情報が存在しています。そうした情報の曖昧さ、不完全さ、変容性を許容しつつ、妥当な判断や問題解決などを行うことを可能にする21世紀の情報技術体系「新情報処理」を確立することを目的としています。

AI関連の部署

つくば研究センター(常務理事・研究所長　島田潤一)
理論新機能研究部／超並列研究部

(財)ファジィシステム研究所(FLSI)

Fuzzy Logic Systems Institute

住　　所　〒820 福岡県飯塚市大字川津680－41
電　　話　0948－24－2771
代 表 者　理事長　山川烈
設立時期　平成2年3月15日

目　　的

ファジィ理論を応用した情報処理システムに関する試験研究・開発、国際交流、技術者研修等を行うことにより、より人間に近い思考・発想による情報処理技術の確立を図り、もって我が国及び世界の産業、経済の発展及び学術の進展に資することを目的とする。

AI関連の活動

試験研究・受託研究・共同研究／国際交流：海外研究員の招聘、国際会議の開催（隔年）／セミナー開催／情報収集・提供／技術相談・指導　等

(財)京都高度技術研究所(ASTEMRI)

Advanced Software Technology and Mechatronics Research Institute of Kyoto

住　所　〒600 京都市下京区中堂寺南町17
電　話　075－315－3625
代表者　理事長　堀場雅夫
　　(㈱堀場製作所代表取締役会長)
設立時期　昭和63年8月9日

目　的

京都地域における次期リーディング産業として期待される都市型先端産業などの基盤技術とされ、また伝統産業などの既存産業への波及効果も大きいソフトウェア技術、メカトロニクス技術及び関連する科学技術の諸分野に関する世界的なレベルの研究、開発、調査を行う。またその成果の地元産業への技術移転を図り、科学技術の振興と地域社会の発展に寄与する。

AI関連の活動

ソフトウェア研究の重要な一分野として人工知能の研究／講演会、セミナー、研究会等の開催、企業等からの受託研究

(財)千里国際情報事業財団(SIII)

Senri Internatinal Information Institute

住　所　〒565 大阪府豊中市
　　新千里東町1－4－2
　　千里ライフサイエンスセンタービル
電　話　06－873－2008
代表者　理事長　小林公平（阪急電鉄会長）
設立時期　平成元年4月8日

目　的

北大阪・千里地域の学術・研究機関等と連携を図りつつ、高度情報技術に関する国際的な教育研修、学術・研究、情報サービスに関する事業を行い、情報分野における技術交流を促進することにより大阪地域の発展に寄与する。

AI関連の活動

ニューロ・VRなどの幅広い分野において国際シンポジウムやセミナーを開催することにより、AI分野の研究者間の知的交流を深め、産業界及び学術関係者に対してその研究及び実用化の現状を広く紹介し、そのより一層の進展に寄与する。

日本Prolog協会

Prolog Association of Japan

住　所　〒150 東京都渋谷区広尾1－4－15
　　エストレーヤ広尾ビル
　　ソフネック（株）内
電　話　03－3407－8741
代表者　代表幹事　紀　信邦（アイザック）
設立時期　平成2年10月17日

目　的

Prolog言語の普及およびPrologに係わる市場の育成、企画開発、並びに応用分野の開発等に関する研究調査を行い、Prologの健全な発展を目的とする。

AI関連の活動　　研究会、講習会、情報交換会等の開催

機関誌他刊行物の発行及びネットワークによる情報の提供／Prolog標準化に関する動向等の情報提供／Prologに係わる諸団体との協力活動

日本LISP協議会(LS－JP)

Lisp Society of Japan

住　　所　〒104 東京都中央区銀座1－15－6
　　ニチメングラフィックス(株)内

電　　話　03－3562－3600

代 表 者　井田昌之（青山学院大学）

設立時期　平成4年6月30日

目　　的

人工知能関連技術としてLispの応用・関連技術の普及、向上を図り、国内外のLispユーザ及び、Lisp処理系提供者相互の情報交換・技術交流を促進する。

AI関連の活動

研究会、講演会、討論会、講習会等の開催／刊行物の発行／国内・国外のLispユーザ及び、Lisp処理系提供者相互の国際的な情報交換・技術交流

言語処理学会

Association for Natural Language Processing

住所　　〒606　京都市左京区吉田本町
　　京都大学工学部電気工学
　　第二教室長尾研究室内

電話　　075-753-5344

代表者　　会長　長尾　真（京都大学工学部教授）

設立時期　平成4年3月31日

目　　的

言語処理および計算言語学に関する学際的学問的研究の促進を図り、会員相互間および内外の関連学協会との交流の場を提供し、この分野の学問および産業の進歩発展に貢献する。

AI関連の活動

全国大会、研究会、講習会などの開催。会誌「自然言語処理」（年4回発行）およびその他の刊行物の発行。国内外の関連学会、諸団体との協力活動。学術的調査・研究の促進。

AI白書1994　　**定価5,500円**（本体価格5,340円）1994年7月26日　第1刷発行

監　　修　通商産業省機械情報産業局電子政策課
編集・発行　財団法人　日本情報処理開発協会
〒105　東京都港区芝公園3-5-8　機械振興会館内
電話 (03) 3432-9390

不許複製
禁無断転載

発売所　株式会社 コンピュータ・エージ社
〒100　東京都千代田区霞が関3-2-5　霞が関ビル30階
電話 (03) 3581-5201　ファックス (03) 3593-1860

万一乱丁・落丁がございましたら、お買い求め書店または発売所にてお取り替えいたします。

ISBN4-87566-142-8　C3060　P5500E

通商産業省機械情報産業局電子政策課 ❖ 監修

❖

財団法人日本情報処理開発協会 ❖ 編集・発行

発売所

CA コンピュータ・エージ社 定価＝5500円（本体5340円）

ISBN4-87566-142-8 C3060 P5500E

