

04-R 011

人工知能の技術と市場の動向に関する 調査研究報告書

平成5年3月



財団法人 日本情報処理開発協会

この報告書は、日本自転車振興会から競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて平成4年度に実施した「人工知能の技術と市場の動向に関する調査研究」の成果の一部をまとめたものです。

人工知能の技術と市場の動向に関する 調査研究報告書

財団法人 日本情報処理開発協会

序に代えて

1990年代に入って、人工知能（AI: Artificial Intelligence)技術のあり方は大きく変貌を遂げようとしております。しかも最近の動きは、この変化が単なる進化に止まらず、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見てよい状況にあります。

このようなAIをめぐるパラダイムシフトの動きの中で、最近、話題となっているテーマとしては、例えば、理論・技術面では、経験的学習、ニューラルコンピューション、ファジィや確率ネットワークなどによる不確実性の扱い、アーティフィシャルライフ（人工生命）、等々があります。また、ますます普及浸透していく機器やコンピュータを、人間にとってより使いやすいシステムとするためには、知的インタフェースの研究開発が重要になっています。さらにAIの利用面からは、人間との係わりにおいてAIでなければ解決できない問題を究明するためには、企業経営における意思決定支援システムが好個のテーマとなりましょう。

このような状況のもとに、当協会では、平成4年度人工知能の技術と市場の動向に関する調査研究を行いました。実施に当たりましては、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長）のもとに、AI技術全体動向ワーキンググループ（主査 古川康一 慶応義塾大学環境情報学部教授）、AI技術専門委員会（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企画室長）およびAI利用専門委員会（委員長 高橋三雄 筑波大学大学院教授）を設置して、委員による調査、海外調査員の派遣、文献調査等により調査研究を行いました。

本報告書は、この成果をとりまとめたものです。内容は、3編から構成されており、第Ⅰ編はAIの現状と展望の概説を、第Ⅱ編はAI技術全体の研究動向および人間とコンピュータとの対話にとってますます重要になる知的インタフェースについて、第Ⅲ編はAI利用として、企業経営および組織における意思決定支援とAIの適用についてまとめております。広く各界の方々に活用されることを念願する次第です。

最後に、ご協力ご指導いただきました委員をはじめ関係各位に心から感謝を申し上げます

平成5年3月

財団法人日本情報処理開発協会

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（センター長）
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
〃	諏訪 基	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所企画室長
〃	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	(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(株) 第二事業本部副本部長
〃	山本 欣子	(財)日本情報処理開発協会 常務理事
オブザーバ	佐伯 俊則	通商産業省機械情報産業局電子政策課課長代理
〃	西川 勇	通商産業省機械情報産業局電子政策課技術係長
〃	原 弘	(財)新世代コンピュータ技術開発機構・調査国際部部長

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	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企画室長
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
〃（前半）	上田 博唯	(財)パーソナル情報環境協会 FRIEND21研究センター次長
〃（後半）	山田栄一郎	(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	日本電子電話(株)ヒューマンインタフェース研究所 マルチメディア処理研究部部長
〃	黒須 正明	(株)日立製作所 デザイン研究所主任研究員
〃	西田 正吾	三菱電気(株)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	(株)東芝 研究開発センター 情報・通信システム研究第二研究所主任研究員
〃	園田 隆志	富士ゼロックス(株) 基礎研究所副主任研究員

AI利用専門委員会

(敬称略、順不同)

委員長	高橋 三雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻教授
幹事	大須賀節雄	東京大学先端科学技術研究センター教授 (センター長)
〃	岩下 安男	(財)金融情報システムセンター安全対策部長
委員	寺野 隆雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻助教授
〃	佐藤 修	東京経済大学経営学部経営工学科助教授
〃	佐々木浩二	(株)アドイン研究所 代表取締役社長
〃	戸田 光彦	(株)富士通研究所 国際情報社会科学研究所副所長
〃	田中 克己	日揮(株) SE本部ACT部第3グループリーダー
〃	土谷 茂久	東京大学先端科学技術研究センター
〃	牛島 正晴	東京大学先端科学技術研究センター

AIと組織検討ワーキンググループ

(敬称略、順不同)

主査	高橋 三雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻教授
〃	岩下 安男	(財)金融情報システムセンター安全対策部長
〃	寺野 隆雄	筑波大学大学院経営システム科学専攻助教授
〃	佐藤 修	東京経済大学経営学部経営工学科助教授
〃	土谷 茂久	東京大学先端科学技術研究センター
〃	牛島 正晴	東京大学先端科学技術研究センター

執筆協力者

石崎 純夫	産能大学客員教授
西尾章治郎	大阪大学工学部情報システム工学科教授
鈴木 譲	青山学院大学理工学部経営工学科助手
高木 友博	技術研究組合国際ファジィ工学研究所次長
國吉 康夫	通商産業省工業技術院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
山本 憲司	松下電器産業(株) 本社経理部システム開発グループ主担当参事
末永 康仁	日本電信電話(株) ヒューマンインタフェース研究所 マルチメディア処理研究部主幹研究員
竹林 洋一	(株)東芝 研究開発センター 情報・通信システム研究第二研究所主任研究員

事務局

山本 欣子	(財)日本情報処理開発協会 常務理事
市川 隆	(財)日本情報処理開発協会 AI・ファジィ振興センター所長
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

序に代えて

第Ⅰ編 AIの現状と展望

第1部 AI技術の現状と展望

- 1 AI技術の全体動向……3
- 2 ハイライト技術—知的インタフェース……………5
 - 2.1 知的インタフェース技術の現状と展望……………5
 - 2.1.1 知的インタフェースを取り巻く状況の変化……………5
 - 2.1.2 技術全般の傾向……………6

第2部 AI利用の現状と展望

- 1 企業経営における意思決定支援システム……………9
- 2 意思決定支援システムの概要……………10
- 3 企業経営における意思決定支援事例……………10
- 4 人工知能理論・技術の経営意思決定への適用可能性……………11

第Ⅱ編 AI技術の動向

第1部 全体動向

- 1 AI技術の全体像……………15
 - 1.1 関連科学・工学……………17
 - 1.2 AI基礎技術……………19
 - 1.3 AI基盤技術……………20
 - 1.4 AI応用技術……………20
 - 1.5 AI実現技術……………21
- 2 基調動向……………22
 - 2.1 AI本流の動向……………22
 - 2.2 反主流の台頭またはリバイバル……………23
 - 2.3 AI実用化の現実路線……………24
- 3 個別動向……………25
 - 3.1 AI基礎技術の動向……………25
 - 3.1.1 経験的学習……………25
 - 3.1.1.1 経験的学習と知識獲得……………25
 - 3.1.1.2 決定木の自動作成システム……………26
 - 3.1.1.3 背景知識の利用……………27
 - 3.1.2 ニューラルコンピューション……………35
 - (1)研究の流れと全体展望……………35
 - (2)基礎技術の動向……………40
 - (3)応用技術の動向……………42
 - (4)記号処理AIとの統合……………43
 - 3.1.3 AIにおける不確実性……………46
 - 3.1.3.1 ファジィ理論・技術……………46
 - 3.1.3.1.1 ファジィ理論体系……………46
 - 3.1.3.1.2 ファジィ理論と人工知能……………49
 - 3.1.3.1.3 ファジィ理論とニューラルネットワーク……………51
 - 3.1.3.2 確立ネットワーク……………55
 - (1)なぜ確立ネットワークなのか……………56
 - (2)確立ネットワークは何に使えるのか……………57

(3)確立ネットワークはどうやって構成するのか	60
3.1.4 アーティフィシャル・ライフ	62
(1)アーティフィシャル・ライフとは何か	62
(2)アーティフィシャル・ライフ研究の流れ	63
(3)アーティフィシャル・ライフの応用	65
3.2 AI基盤技術の動向	66
3.2.1 データベースからの知識獲得	66
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	67
3.2.1.2 対象メディアの多様化にともなう課題	69
3.2.1.3 対象メディアの大量化にともなう課題	70
3.2.1.4 関係データベースを対象としたアルゴリズム	70
3.2.1.5 最近のシステム開発動向	72
3.2.1.6 今後の課題	73
3.2.1.7 おわりに	74
3.3 AI応用技術の動向	77
3.3.1 モデルに基づく故障診断	77
(1)経緯と知識処理における位置付け	77
(2)故障モデルを想定しない整合性に基づく(consistency-based)方法	78
(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	
ー故障モデルを想定するアプローチ	80
(4)高速化のためのフォーカシング・メカニズム	85
(5)確立ネットワークに準拠する方法	86
3.3.2 ORとAI	88
3.3.2.1 ORとAIの関係	88
3.3.2.2 計画問題に対するAIとORの比較	89
3.3.2.3 計画型問題の特徴	91
3.3.2.4 計画問題へのアプローチ	92
3.3.2.5 事例	95
3.3.2.6 ORかAIか	96
3.4 AI実現技術の動向	97
3.4.1 学習ツール	97
(1)概要	97
(2)ニューラルネットワークツール	98
(3)その他の学習ツール	99

第2部 ハイライト技術ー知的インタフェースー

1. 知的インタフェースの概観	100
1.1 知的インタフェース技術の変遷と技術マップ	100
1.1.1 知的ヒューマンインタフェース技術マップ	100
1.1.2 人間社会との交流を目指す知的インタフェースの技術マップ	102
1.1.3 技術マップについて	103
1.1.4 機能レベルと実現手段レベルの技術マップ	106
1.1.5 認知レベルとOPENNESSを軸にした技術マップ	106
1.1.6 コミュニケーションモデルから見た技術マップ	108
1.1.7 知的インタフェースの認知科学的課題から見た変遷	109
1.1.8 キーボードと音声入力	110
1.1.9 目標から操作への翻訳	111
1.1.10 計算機科学の変貌とバーチャルリアリティ	111

1.2 知的ヒューマンインタフェースの実現目標と評価基準	113
1.2.1 インテリジェント機能からアメニティ機能へ	113
1.2.2 「楽」をキーワードとしたヒューマンインタフェースの実現目標と評価基準	114
1.2.3 実現目標と評価基準の整理・分類と考察	115
(1)個人－個人の知的インタフェース	115
(2)個人－集団の知的インタフェース	117
(3)集団－集団の知的インタフェース	119
(4)計算機による支援	120
1.2.4 分野・実現目標マトリクス	123
1.2.5 提案型インタフェース	124
1.2.6 共同作業を支援するインタフェース	125
(1)はじめに	125
(2)CC/SS/H指向の概要	126
(3)具体的システムの例	127
1.2.7 鮮明なインタフェース	130
1.2.8 ネットワークを含めた知的インタフェース実現目標	131
2 知的インタフェースの事例	132
2.1 音声による知的インタフェース	132
2.1.1 はじめに	132
2.1.2 音声認識・理解の技術動向	133
2.1.2.1 音声認識と音声理解システムの分類	133
2.1.2.2 音声認識システムの分類	133
2.1.2.3 HMMに基づく音声認識	133
2.1.2.4 ATRの自動翻訳電話システム	134
2.1.2.5 DARPAの音声言語システム	135
2.1.3 知的音声インタフェース実現へのアプローチ	136
2.1.3.1 知的音声対話インタフェース実現の課題	136
2.1.3.2 音声対話システム試作へのアプローチ	137
2.1.4 知的音声対話システム TOSBURG	137
2.1.4.1 TOSBURGのシステム構成	137
2.1.4.2 単語検出部	137
2.1.4.3 構文・意味解析部	139
2.1.4.4 対話制御部	140
2.1.4.5 マルチモーダル応答生成	141
2.1.4.6 音声自由対話システムTOSBURG II	142
2.1.5 音声による知的インタフェースの実現に向けて	143
2.2 行為理解	146
2.2.1 はじめに	146
2.2.2 行為理解の原理	146
2.2.2.1 行為の観察	147
2.2.2.2 分節化と識別	147
2.2.2.3 行為の文脈に従った注視点制御	149
2.2.2.4 行為認識アーキテクチャ	149
2.2.3 実演による作業教示	150
2.2.3.1 背景および目的	150
2.2.3.2 システムの概要	151
2.2.3.3 実験結果	152
2.2.4 将来の知能システムの基盤技術としての行為理解	153

2.2.5 おわりに	154
2.3 人物像の認識と生成を利用する新インタフェースの枠組(Human Reader)	155
2.3.1 はじめに	155
2.3.2 Human Reader	155
2.3.3 人物像の認識(Human Image Reader)	157
2.3.3.1 人物動作の認識(Person Image Reader)	157
2.3.3.2 人々の動作認識(People Image Reader)	160
2.3.3.3 人物の認識(Human Image Recognizer)	160
2.3.4 人物画像の生成 (CG Secretary)	160
2.3.4.1 頭部モデルの作成	160
2.3.4.2 発話映像生成	160
2.3.5 実験システム	162

第Ⅲ編 AI利用の動向

第1部 企業経営における意思決定支援システム

1. 意思決定支援システムの企業経営への適用可能性	167
1.1 企業経営と情報化	167
1.1.1 企業経営における情報化の進展	167
1.1.2 企業経営のモデルとAIの利用	169
1.1.3 企業経営と今後の情報処理について	171
1.2 経営情報システムの課題	172
1.2.1 はじめに	172
1.2.3 経営情報システム	172
1.2.3.1 経営情報システムの変遷	172
1.2.3.2 経営情報システムのタイポロジー	174
1.2.4 経営戦略と情報システム	174
1.2.4.1 経営戦略の概念と内容	175
1.2.5 経営情報システムの課題と展望	176
1.2.5.1 経営情報システムの課題	176
1.2.5.2 経営資源の蓄積と情報システムの役割	177
1.2.5.3 経営情報システムとしての人工知能の利用	178
1.2.5.4 現行の情報システムとAIの関係	179
1.3 意思決定をめぐる問題点と課題－社会的分野	180
1.3.1 先端情報技術と意思決定	180
1.3.2 社会的分野の特徴	181
1.3.3 人間の思考とコミュニケーション	183
1.3.4 情報技術による意思決定支援	184
1.3.5 AIへの期待	185
1.4 意思決定をめぐる問題点と課題－生産スケジューリング問題	187
1.4.1 マネージメントとスケジューリング	187
1.4.2 製造業におけるスケジューリング	188
1.4.3 スケジューリング問題とAI	189
1.4.4 スケジューリングシェル	190
2 意思決定支援システムの概要	192
2.1 意思決定支援システムの定義	192
2.2 DSSの分類	193
2.3 DSSの構成	195
2.4 市販意思決定支援システム	196

2.5 知的DSSへの期待	196
第2部 企業経営における意思決定支援事例	
1 日本の企業経営における意思決定支援事例	199
1.1 銀行における事例	199
1.1.1 金融業におけるAIの利用	199
1.1.2 第一勧業銀行における事例	201
1.1.3 その他の銀行における事例	210
1.1.4 問題点と課題	211
1.2 知的経営支援システム—マネージャーの仕事の質の革新と新しい情報システムの創出	212
1.2.1 経営とコンピュータ	212
1.2.2 Beginning User Computingの発想	213
1.2.3 知的経営支援システム COMPASSの誕生	215
1.2.4 COMPASSの開発成功の意味するもの	218
1.2.5 COMPASSの背景	218
1.2.6 COMPASSの開発プロセス①	219
1.2.7 COMPASSの開発プロセス②	221
1.2.8 COMPASSの成果	224
1.2.9 今後の楽しみ	225
2 米国のAIの意思決定支援への応用事例	225
2.1 顧客サービスへの応用	225
2.2 為替取引での利用事例	226
2.3 営業支援での利用	227
2.4 マーケティング分析での利用	229
第3部 AIの意思決定問題への適用可能性	
1 はじめに	232
2 人工知能理論・技術の経営意思決定における位置付け	232
2.1 人工知能理論と経営意思決定問題	233
2.2 人工知能技術と経営意思決定問題	233
2.3 人工知能ビジネスと経営意思決定問題	234
3 意思決定問題のオープン性と解決策	234
3.1 意思決定の範囲と規模	234
3.2 意思決定手法・システム工学的手法の高度化	235
3.3 インタフェースの高度化	235
3.4 人工知能理論の適用可能性について	235
4 日本型の意思決定方法と組織知能	236
5 おわりに	236

第 I 編 AIの現状と展望

第1部 AI技術の現状と展望

1. AI技術の全体動向

AI研究は、アラン・チューリングがデジタル・コンピュータの基本原理を与えたときから、すでにチューリング自身によって始められ、その後、沈浮を繰り返して今日に至っている。現在は、AI研究は再び冬の時代を迎えた、と言われている。それは何故であろうか、原因の第一は、AI研究に対する過大な期待が挙げられる。人工知能という言葉から、人間並みの知的な活動ができるものと思い、過大な幻想をいだくのである。そして、それが事実と反すると分かったとき、反動として、「AIは全く役に立たないまやかしである」と結論づけるのである。原因の第二は、実用技術として期待されたエキスパート・システムが「知識獲得ボトルネック」と「演繹的推論能力の限界」に阻まれて、応用の広がりが進展しなかったことである。第三は、ニューラル・ネットワーク、人工生命、ブルックスの「推論なき知能」に代表される、反記号的アプローチの台頭と、それに伴う従来の記号主義的アプローチへの批判である。

これらの要因の妥当性については、十分に吟味する必要があるが、ここでは、それはさて置き、これらの要因、批判を解消し、将来への展望を切り拓くための方策は何であるかの答を出すことを目指して、AI技術の現状の分析、問題を解決するのに必要なイノベーション、有望な技術の萌芽などを概観してみたい。

AI技術を産業面から捉えたとき、エキスパート・システムの技術はある程度定着したが、それが期待した程ではなかったのも確かである。その主な原因は「知識獲得ボトルネック」であることは既に述べた通りである。それでは、知識獲得ボトルネックの解消は、技術的に困難であろうか。その答は、少なくとも研究レベルでは、すでに解決の見通しを得ている。近年の知識獲得・学習研究の進展は目覚ましく、かつ多岐に渡っている。第一の注目すべきアプローチは、「事例に基づく推論」である。この方法によれば、単に事例を蓄積するだけで（特別な知識獲得のための処理をしないで）過去の事例を知識として使うことができるようになる。第二のアプローチは、経験的学習による機械学習である。これは、教師付き学習の一種で、R.キンランのID3、C4.5、R.ミカルスキーのAQ11などが知られている。また近年、目標言語を命題論理から一階述語論理の部分集合であるHorn論理に拡張して、正負の例と背景知識から決定木をPrologプログラムの形で出力する、帰納論理プログラミング（inductive logic programming）と呼ばれるアプローチの研究が急速に進展し、注目を浴びている。そのようなシステムの例に、S.マグルトンのGOLEM、R.キンランのFOILがある。これらについては、「3.1.1経験的学習」の項を参照されたい。

また、このアプローチに関連して、与えられたデータベースから知識を獲得する手法の研究も始められている。そこでは、データの集約化、クラスタ化による因子分析の方法が主流となっている。これは「教師なし学習」の一種である。これに関しては、「3.2.1データベースからの知識獲得」の項で詳しく述べられている。

「知識獲得ボトルネック」を解消する究極的な方法として、ニューラル・ネットワークによる学習が注目を浴びて久しい。その方法は、誤差逆伝播学習によるパラメータ・チューニングであり、最近その高速化の研究が進んでいる。また、記号処理AIとニューラルネットワークのアプローチの統合が、これから重要となることが予想される。それは、その両者が、記号レベルと信号レベルに対応することから相補性を有するからである。これらの話題については、「3.1.2ニューラルコンピュテーション」を参照されたい。

ニューラル・ネットワークには、「高速近似計算を達成する」という側面もある。これに類する方法として、遺伝アルゴリズム、ファジー推論がある。これらはとくに制御の分野で著しい成果を挙げている。これらについては、本書ではまとめた報告はないが、「2.2反主流の台頭またはリバイバル」、「3.1.3.1ファジィ理論・技術」に詳細な記述がある。これらの位置づけはいろいろ考えられるが、本書では、ある種の問題の近似解を求めるための高速超並列アルゴリズム／専用プロセッサとして位置づけている。

ニューラル・ネットワークに近い立場の新しい研究として、人工生命の研究も開始されている。ニューラル・ネットワークが脳のモデル化を目指しているのに対して、人工生命は生命現象のモデル化を目指しており、生命の起源、胚形成、進化、生態学的ダイナミックスなどの広範なテーマへの取り組みがなされている。その工学的な有効性は未知数であるが、新たな可能性を秘めた話題として、その詳細を3.1.4節で紹介する。

AI技術をより強力にし、応用領域の拡大を可能にするためには、演繹を超える推論能力の質的向上が望まれる。本書では、そのような技術として、すでに述べたニューラル・ネットワークなどによる高速近似計算の他に、確率ネットワーク、モデルに基づく故障診断および制約解消の3つのトピックスを取り上げた。

確率ネットワークは、不確かな知識に基づく推論から得られる結論がどの程度確からしいかを確率論に基づいて近似解を求める手法であり、近年理論的な発展を遂げた。本書では、その理論をできる限り平易に紹介した。

モデルに基づく故障診断は、装置のモデルに基づいて故障診断を行うもので、ルールベースによるアプローチと異なり、あらかじめ専門家がルールで診断知識を与えなくても、その装置の設計図や動作原理から故障をつきとめようとするアプローチである。そのため、計算の手間はかかるが、専門家の予期しなかったような故障の発見も可能となる。

また、このアプローチは論理による形式化が可能で、そのため、一般性がある。さらに、第五世代コンピュータのような、記号処理のための高速並列マシンの活躍が大いに期待される応用分野となっている。理論的には、従来の演繹に基づく推論を超えたアブダクションによる推論を必要とするが、それはまた機械学習の基本演算とも関連しており、今後の注目すべき方向に沿ったものとなっている。

一方、より宣言的で高水準な記述が可能な制約充足法は、ジョブ・スケジューリングなどの莫大

な計算を要する問題を処理する有望な手法としてAIの分野で技術が発展してきたが、高速化に関わる基本的なアルゴリズムは、実はオペレーションズ・リサーチ（OR）の分野で以前から研究されている線型計画法などと深く関連していることが知られている。本書では、その関連を「3.3.2ORとAI」で取り上げている。

AI技術の全体動向の最後では、AI実現技術の動向として、学習ツールの動向を取り上げた。学習研究は、基礎から実用研究まで幅広い取り組みが各所でなされているが、本書では、その中でも実用を目指して開発されたツールを取り上げて解説を試みた。学習研究の重要な側面の1つは、実験科学的な面であり、実際に使ってみて初めてその価値が分かることが多い。そのようなねらいから、「3.4.1学習ツール」で、現在のツールの状況をサーベイした。ただし、このサーベイは始まったばかりで網羅的ではない。今後、その充実を図っていきたい。

2 ハイライト技術—知的インタフェース

2.1 知的インタフェース技術の現状と展望

人工知能研究は、知的な機械を実現するという技術開発の側面と、人間の知的な活動を理解しようという科学研究の側面とを備えているが、知的インタフェースはこの二つの側面が融合することによって初めて実現できる技術である。したがって知的インタフェース技術の動向を把握するためには人工知能研究の動向の把握が不可欠である。効果的な知的インタフェースの実現には、人工知能研究で培われているソフトウェア技術のほかにハードウェア技術が占める比率も小さくない。これらの技術が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。知的インタフェースを取り巻く状況の変化を捕えるところから議論を始めることとした。

2.1.1 知的インタフェースを取り巻く状況の変化

(1) 知的インタフェース

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」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。

(2) 状況の変化

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辿ってきている。したがって、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捉えること

が必要となる。

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はなく、何年か経つとまた再び同じ様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。しかし、2度目の挑戦では前回のレベルを確実に上回る水準を狙うことになる。従って、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のが特徴である。この特徴はAI技術一般に言える。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、音声認識などの変遷を見ると、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ことにより、まさに螺旋階段を上りつつある。

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。

(3) 知的インタフェースの機能と実現技術

知的インタフェースの技術動向は、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、それらの機能を実現するために背後にある実現手段とを区別して論じる。前者の機能に直接関わる技術として最近特に注目をあつ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、ビジュアライゼーション、バーチャルリアリティなどがある。後者の実現手段としては、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、インタフェース実現の各種パラダイムを挙げることができる。

2.1.2 技術全般の傾向

(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、高度な機能をも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。そのためには予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捉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、いわゆる人間工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、「メタファー」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、知的インターフェースでは、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) 人間－機械、人間－人間、集団

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、更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。

第2部 AI利用の現状と展望

年々、情報技術の新しいトピックスがあらわれる。最近では「ねおだま」に略称されるネットワーク、オープンシステム、ダウンサイジングそしてマルチメディアへの関心が高い。また、エンドユーザコンピューティングやオブジェクト指向あるいはユーザインタフェースなどもよく聞く言葉である。かつて、AIもそうした時代を画する華やかな情報技術のトピックスであった。10数年が経過した現在、AIの地道な応用事例が増えてきている。

AIの可能性を検討するときの一つのポイントとしてエンドユーザコンピューティングがある。コンピュータのユーザには情報システムの開発／運用／保守にたずさわる情報技術者もいれば、経理や販売あるいは企画など、情報システム以外の部門での利用者もいる。情報技術者はコンピュータの仕事が本務であるのに対して、それ以外のユーザにとってはコンピュータは本来の仕事の道具にすぎない。この後者のユーザのことをとくにエンドユーザとよぶ。エンドユーザはそれぞれの仕事に精通しているものの、一般には情報技術の専門知識をもっていない。

エンドユーザとは情報部門を中心として見たときの末端の利用者という見方であるが、最近ではむしろエンドユーザを前面に出して、情報部門はサービスに徹すべきであるとする考え方もある。この意味でたとえばフロントユーザといった用語を使うことも考えられる。

コンピュータが高価であり、希少な設備であったときはユーザ（情報技術の専門家）がみずからコンピュータのプログラムを開発し、コンピュータを操作した。コンピュータを効果的、効率的に利用することが求められたからであり、そのためには、情報技術の専門家がコンピュータを使う必要があったからである。

情報技術の発展にともなって、オンラインシステムが一般化し、情報部門以外の一般部門にも末端装置が置かれることになった。エンドユーザは末端装置からデータを入力したり、情報要求を与えることによって求める帳票の出力を得ることができるようになった。しかし、それは情報部門が開発したシステムを利用しているだけのことであり、システム開発者と利用者とははっきりと区別されていた。

情報技術の驚異的な発展はコンピュータの利用の仕方にも大きな変化を与えた。それはエンドユーザがみずから自分の情報処理要求に応じたコンピュータの利用の仕方を工夫しはじめたのである。システム開発というほど本格的なものではないとはいえ、誰かが作ったシステムを受動的に利用する立場から、みずからの発想で積極的に情報技術を利用することになったのである。これをエンドユーザコンピューティングと呼ぶ。

エンドユーザはなぜ、情報部門から与えられるサービスだけでなく、みずからの工夫でコンピュータを利用したいと思うようになったのだろうか。それは必要性（ニーズ）と技術的な可能性の両面から考えることができる。

まず、パソコンやワープロ専用機の普及はコンピュータをはじめとする情報機器に対する恐怖感

をなくした。かつて、日本人にはキーボードアレルギーがあるといわれた。しかし、現在では多くの企業においてキーボードを打てなければ仕事にならない状況もめずらしくない。また、たとえば集計計算のために表計算ソフトを利用する経験をしてみると、コンピュータも意外と自由に使えるような自信がついてきた。

他方で、情報部門から与えられるサービスはどうしても標準的、定型的なものになりがちである。こんな情報が欲しいのにも思っても、なかなか自由にならない。新しい情報要求を出してもなかなか受け付けてもらえないし、また、頼むことができて、新しいシステムを構築したり、要求した結果を得るまでに時間がかかる。本来、エンドユーザのニーズは多様である。今日、明日の販売や生産活動を行う業務現場から、長期の経営計画策定を行う企画部門あるいは戦略的な意思決定にたずさわる経営会議まで、それぞれのレベルで多様な情報処理ニーズがあるはずである。しかし、情報部門の専門家の数や資源には限りがある。どうしても規模の大きなもの、すぐに結果の出るもの、効果が大きなものなどが優先され、特定の個人や部署あるいは単発の情報処理ニーズに即座に対応できる状況にない。また、企業の業務の多くがコンピュータ化されるにつれて、既存システムの保守のために情報部門の多くの資源が使われてしまう。

今後のエンドユーザコンピューティングの大きな部分は非定型的な雑多な情報処理ニーズにある。とくに企業組織の各段階における管理者あるいはスタッフの管理活動つまり意思決定活動支援が中心である。この意思決定活動における情報技術支援の可能性を検討することはまだ始まったばかりである。AIの重要な目的の一つは人間の判断をさまざまな形で支援することであり、したがってエンドユーザ支援において大きな役割が期待される。

意思決定活動支援とAIとの関わり、これが今年度の研究課題であった。以下の報告では企業経営における意思決定支援システム、経営戦略とAI、生産スケジューリングや銀行など、特定の業種におけるAI活用の実態、そして米国におけるAI事例などが、意思決定支援を視点に定めながら検討されている。従来の調査がAI技術あるいは市場そのものに深く入り込んだ内容になっていたのに対して、今年度はAI技術そのものからはちょっと離れて、概念的な検討が中心となった。これらの議論はいずれ、再度AI技術をベースとした市場動向を検討する際のフレームワークとして利用されるはずである。

以下に、第Ⅲ編AI利用の動向において展開されている調査研究成果の要約を示す。

1 企業経営における意思決定支援システム

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、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労働力として捉えるのではなく知力と捉える見方が重要である。基幹部分での情報化がほぼ終了しつつある現在、企業は経営資源を個別的、数値的に把握する

のではなく、経営資源を有機的・記号的に捉えて情報システムを考えるべき時代になっているのである。その意味で、経営資源の記号的側面を、AIを応用した意思決定支援システムによってサポートすることが期待されているのである。

そこで経営情報システムが、ヒトの知力を結集させる情報戦略実現の一手段として重要になってくるとともに、情報を組織化していくための基本的なフレームワークを提供する。経営情報システムとしては、1960年代のMISから始まって、MIS、SISそして最近のEIS (Executive Information system) の導入へと変遷している。しかしながら、これらのシステムの構築にあたっては、時間、自由度、陳腐化等のシステムリスクと、競争優位性の確保との比較衡量の上に立って進めるべきものである。その意味では、AI技術を経営情報システムに生かす場合にも、AIと従来システムとの性格をふまえて、適切な役割分担を考慮した整合性のあるシステムとしなければならない。

現在急速に進んでいるダウンサイジングの動きから考えると、企業の中で1人に1台のパソコンやワークステーションが配備され、それらをLANで結合する環境が一般化するのに近いと思われる。そのような企業の情報環境にあつては、企業経営における各層の意思決定の形態も変化していかざるをえないと考えられる。そこに、AIを応用した意思決定支援システムの貢献しうる領域が広がっている。

その場合に、意思決定にAIを含む情報技術を組み込んでいく際の問題点と課題について、検討しておく必要がある。意思決定にかかわる領域として、経営などの社会的分野と生産などの技術的分野（生産スケジューリング問題を例として）に大別して検討し、各々の問題点と課題を示した。

2 意思決定支援システムの概要

意思決定支援システム (DSS)の定義例に関する調査結果をいくつか紹介し、AI技術を活用する知的DSSを視野に入れた定義を示し、次にDSSを七つの機能タイプに分類した。これらは、データ指向タイプとモデル指向タイプの二分類にまとめられる。この分類に対応して、一般のDSSが、対話管理、データ管理、モデル管理、機能を提供するサブシステムから構成されることを述べている。これらのサブシステムを持つ「DSS生成システム」の具体例として、市販意思決定支援システムの代表的事例（9件）を取り上げ、その特徴と機能に関する調査結果を示している。現在の市販のシステムには、データベース管理、データ操作、統計解析・予測、モデル分析・シミュレーション、作図・作表・レポート作成の支援機能が提供されていることが判った。最後にAI技術を応用する知的DSSへの期待と、そのために行われている研究の状況を要約している。

3 企業経営における意思決定支援事例

企業経営の中で情報技術を活用した意思決定支援の事例について、日本と米国のものを紹介している。

日本の事例としては、AI利用が進んでいる銀行の多種類のシステムと家電製造大手企業の知的

経営支援システムを紹介。また、米国については、エキスパートシステムの経営意思決定支援への応用事例として、コンパック社、マニファクチャラーズ・ハノーバー信託会社、デュボン社、ニールセン社のものを紹介している。

4 人工知能理論・技術の経営意思決定への適用可能性

以上の検討、事例等を踏まえて、人工知能（記号処理を中心とした問題解決のための理論・技術であると定義）を、経営意思決定分野に適用するための諸問題について検討した。まず、現在の人工知能理論・技術の位置付けについて科学、技術、ビジネスの3つの次元から考慮し、ついで意思決定問題のもつオープン性に注目し、人工知能システム導入の意義を、意思決定の範囲と規模の拡大、従来手法の高度化、知的インタフェースの実現の3点から検討した。そして、この分野での基本的な人工知能技術・理論として今後、分散人工知能・機械学習・発想支援が重要な役割を果たすことを主張する。さらに、日本型の意思決定方法と人工知能理論の関連性について検討し、経営学的な組織研究と記号処理的な人工知能研究との中間的な位置付けとして、組織知能研究の重要性を指摘している。結論は人間の行為とコンピュータシステムの結合をはかる上で、経営意思決定問題に人工知能理論・技術を本格的に適用するための状況は整ってきているという点にまとめられる。

第Ⅱ編 AI技術の動向

第1部 全体動向

1 AI技術の全体像

昨年度の報告書にも述べられているように、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AI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。

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がかりとなるのは、1991年の人工知能国際会議におけるR. ブルックスの‘Computer & Thought’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 (Situatdness)、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が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白書の中で何度ももと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もち、それによって初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。” [Brooks 92] 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” が最近の研究で明かになってきているのである。[Brooks 92]

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 [AI白書 92] 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もっと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も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・体現性をふまえた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。昨年度の報告書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。それで以下では、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具体的にみていくことにしたい。

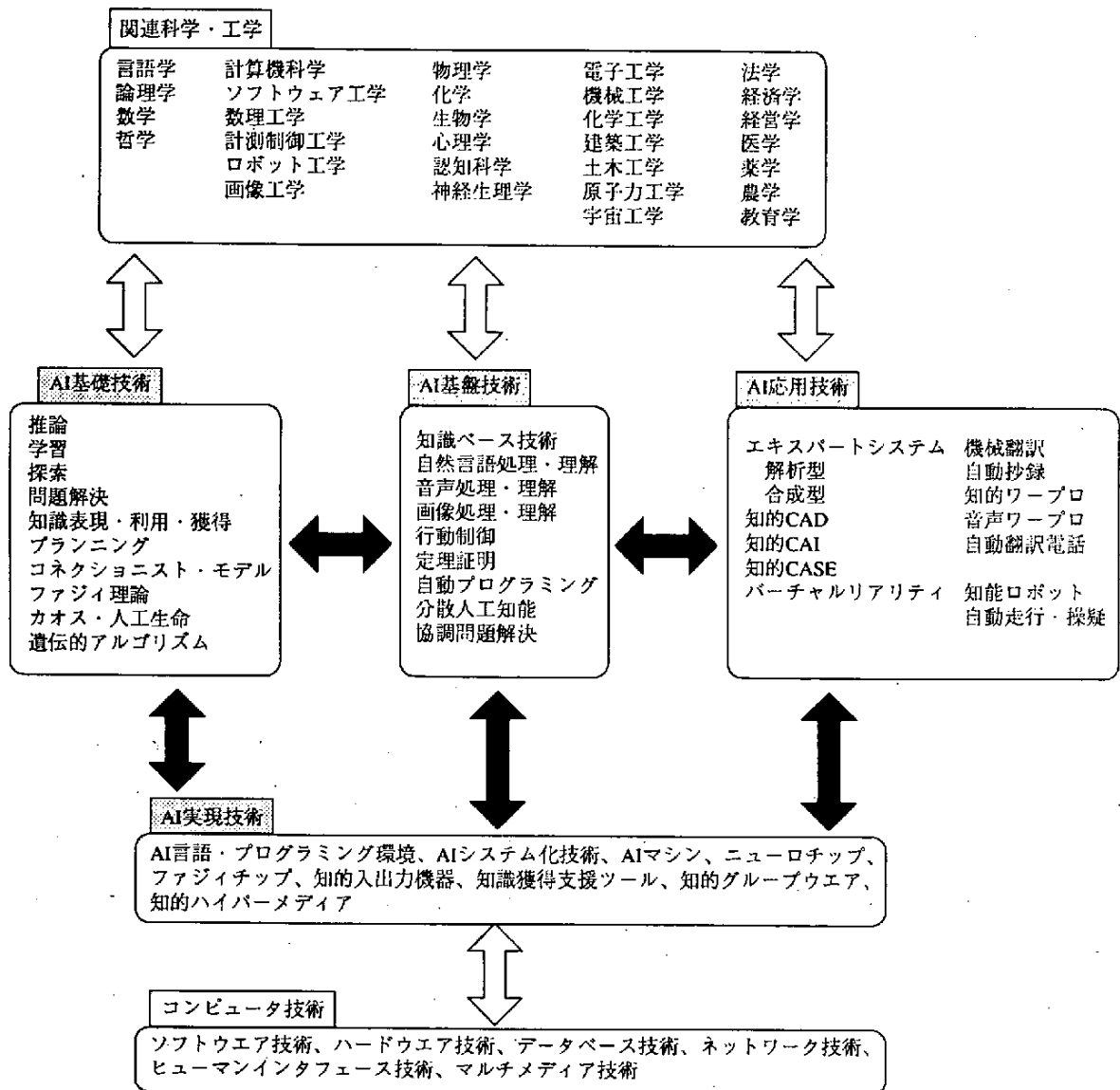
1.1 関連科学・工学

ここに上げられているのは、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・体现性・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、体现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中でのバランスの変化についてもみる必要がある。たとえば、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。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



図表 II-1-1 AI技術の全体像

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んが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。上げられている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まれることもある。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、ファジイ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、記号操作のかたち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、そうした出来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ところが、その世界の一つの存在者の行うさまざまな行為の履歴にもとづいて行う設定（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、つぎの表（図表Ⅱ-1-2）が便利である。

表の特性項目は、AI基礎技術に上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。

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	お仕着せの	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

図表Ⅱ-2-1

本年度は、この基礎技術における注目分野として、経験的学習、ニューラルコンピューテーション、AIにおける不確実性の扱い方（ファジィ理論、確率ネットワーク）、アーティフィシャル・ライフ（人工生命）の四つを取り上げて紹介している。

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・言語能力などひと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。本年度はこの課題を取り上げて詳しく紹介している。

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みられるように、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。本年度は診断型の問題で重要性の増している「モデルに基づく診断技術」と、計画型問題で話題になる「ORとの比較論」を取り上げて、それぞれの核心を解説している。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もっているので、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。知能ロボットについてはすでに繰り返して取り上げているので今回は見送りとする。

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。

本年度は、実現技術の事例研究として、学習ツールを取り上げ、ニューラルネットワークを用いたツールと従来手法に基づくツールの概要を紹介している。

<参考文献>

- [Brooks 92] 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「サブサンプリング・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.
- [AI白書 92] ICOT-JIPDEC AIセンター編：AI白書—人工知能の技術と利用、日本情報処理開発協会、1992.

2 基調動向

AIが応用面から注目を浴び、“AIブーム”を招来してからほぼ10年が経過した。実際、米人工知能学会（AAAI）主催の会議と欧州人工知能会議が、いずれも1992年に第10回の会議を開催しているのは偶然ではない。

ブームやフィーバーと呼ぶべきAIの流行現象は去ったが、このような学会や展示会はさらにテーマを細分化し多様化して開催されている。地域的には、全世界範囲の国際会議IJCAIと別に、環太平洋、欧州、カナダ、オーストラリアといった地域単位の会議が開かれ、分野では知識表現／推論、学習、分散人工知能などの基礎分野における個別会議やワークショップから、応用を中心とする会議まで多種多様な活動がある。（1991年度報告書pp.26-28 参照）。このような状況を見る限りでは、AIの研究は引続き活発であり、産業への技術の浸透は着実に進んでいると見ることができよう。

以下、1992年7月に開催されたAAAIを中心に、その他の会議（欧州人工知能会議 [1992年8月]、環太平洋人工知能会議 [1992年9月] など）資料を参考にして、AIの基調動向をいくつかの点に絞って見てみよう。

2.1 AI本流の動向

AIのメインストリームに見られる顕著な行動動向として、学習とくに事例に基づく推論の研究や応用の活発化と、分散人工知能の研究の広がりとを挙げることができる。

学習—特に事例に基づく推論（CBR）

機械学習に関する研究は、相変わらず活発である。とくに米国では、事例に基づく推論（CBR）が盛んで、研究だけでなく応用面からも多くの試みがなされている。実際、AAAIのツール展示では、Cognitive Systems社の商用化CBRツールReMindが大いに宣伝されていたし、Inference社も自社のツールの事例推論機能を強調していた。また、適用対象として法律分野は適合するところが大きく、判例に基づく（判例は英語ではまさにcaseである）推論にCBRを用いたシステムが、まだ研究段階のものとはいえいくつか作られている。たとえば、K.AshleyによるHYPO、K.BrantingによるGREBE（これは手法としては説明による推論（EBR）が中心だが）、E.L.Rissland等によるCABARETなどがある。

実用的な事例ベースは、規模が大きくなる。実際的な問題にきわめて大規模な事例ベースを構築し適用を進めている例が、NECの北野等により報告されている。SQUADと呼ばれるソフトウェア品質管理のアドバザシステムで、QC活動により集められた事例が、1991年12月現在で20,000件に達し、それを管理検索するシステムと体制が作られているという。

分散AI

分散人工知能とは、複数の知的エージェントが互いに交信し、協調あるいは衝突しつつ、自律的に動作し知能を発揮しながら、系全体として問題解決などの知的行動を実現するというシス

テムを、研究対象とする（91年度報告書参照）。

AAAI92では、E.H.DurfeeとK.P.Sycaraによる「分散人工知能ツール」と題するチュートリアルが開かれ、研究レベルとはいえずでにツールを論じる時期に来ていることを印象づけた。同じDurfeeは招待講演でも、ベストセラー書のタイトルをもじった「コンピュータが学ばなければいけないことは、みな幼稚園で習った」と題して、分散AIにおける社会的な知識の重要性を論じた。

日本では、通産省の「新ソフトウェア構造化」プロジェクトで、ソフトウェアの構造というユニークな視点から、知的エージェントによる分散型の知能システムの研究が進められている。

2.2 反主流の台頭またはリバイバル

最近のAI関連の学会で顕著に見られる傾向は、従来AIの傍流にあった遺伝的アルゴリズムやニューラルネットが、大きく脚光を浴びて取り上げられている点である。これをAIの本流の沈滞と見るか、AIの拡大・進展と見るかは、立場にもよるだろう。とくに、次のような分野の動向が目立つ。

・遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズムがJ.H.Hollandにより提案されたのは、1960年代前半に遡る。その基本的な考え方は、なんらかの方法でコード化された情報（DNAの遺伝子情報と類比される）に、交差や突然変異に相当する操作を適用し、またその結果に淘汰を施すことによって、新しく有効な情報を得ようというものである。数理計画法で定式化されるような最適化の問題に対して用いられることが多いが、ゲームや美術など広い範囲の適用が試みられている。

このアプローチは、McCarthyやMinsky以来の記号と論理を中心とするAI主流から見ると、異端に属すると言えよう。生物、生体から計算モデルを学ぶという方法論は、R.Wienerのサイバネティックスの流れを汲むものであるが、AIの主流は、生物の脳や神経の構造、あるいはその動作メカニズムから一定の距離を置き、抽象化された知能の構築を目指すところから出発している。Hollandとそのグループはミシガン大学を拠点とし、MIT、CMU、スタンフォードといったAIのメッカからは、地理的にも人間の交流という点でも、離れた存在であった（Holland自身はMITの出身であるが）。

このような遺伝的アルゴリズムやその拡張としての遺伝的プログラミングが、近年改めて注目されるようになったのは、Hollandの弟子であるD.GoldbergやJ.Kozaが精力的な研究を続け、その成果が論文や本、あるいはソフトウェアの形で広く知られるようになったこと、また次項の人工生命に見られるように、従来の記号中心主義のAIとは異なるアプローチに、一般的な関心が高まりつつある傾向があること、などによるだろう。

AAAI92では、「遺伝的アルゴリズムと遺伝ベースの機械学習」というチュートリアルがGoldbergとKozaによって開かれ、多くの関心を集めた。

・人工生命

人工生命（artificial life）という名称はC.Langtonによって創始されたようだが、研究の流れを

遇ればJ. Von Neumannのセルオートマンに行きつく。したがってこれも遺伝的アルゴリズムと同様に古く、またAIの本流からは無視されてきたという共通性を持つ。実際、遺伝的アルゴリズムとセルオートマンなどの研究を総称して人工生命と呼んでいる場合もある。

人工生命の内容については、3.1.4節を参照されたい。AAAI 92では、Langtonが文字通り“Artificial Life”と題する招待講演を行なった。

- ・ニューラルネット

遺伝的アルゴリズムや人工生命に比べると、ニューラルネットはやや先んじてリバイバルを果たした。遺伝的アルゴリズムや人工生命と共通するところは、生物の機構との関連が密で直接的な点である。その詳しい技術動向については、3.1.2節を参照されたい。

すでにIJCNN(International Joint Conference on Neural Networks)やICANN(International Conference on Artificial Neural Networks)のようなニューラルネット専門の国際会議が開かれているので、AAAI92では、学習という面からニューラルネットとAIのハイブリッドというテーマの小さいセッションがあった程度だが、ECAIやPRICAIではニューラルネットの分野の論文がかなり多く取り上げられ、いくつかのセッションを構成している。

2.3 AI実用化の現実路線

エキスパートシステムという形式、ネーミングによる実用化を図った時代は過ぎたともいえようが、ある意味でもっと現実的な考え方が出てきている。

- ・業務に使われるシステムの開発法

エキスパートシステムであろうが、従来型のシステムであろうが、業務で実際に使われるシステムを開発するアプローチには違いがない。このことを顕著に示したのが、AAAI92における「エキスパートシステムを業務現場で使えるようにするには」と題するW.J.Clancey と J.McDermottによるチュートリアルである。このチュートリアルは、適用システムとしてのエキスパートシステムは、それが利用される環境、使う人と組織、という要因を考慮にいれて設計されていかなければならないということを、種々の観点から論じたものである。

ClanceyもMcDermottも知識工学の分野で研究、実践と啓蒙に活躍してきた人間だが、エキスパートシステムにもっと利用者の視点を取り入れ、また利用環境としての現場の状況を考えなければならぬという主張は「何をいまさら」という感じも与える。しかし、実態としてはAIの適用という方法論が先行し、業務のどんな問題にどう取り組むかという目的が後回しになった傾向は否めない。それが、試作例は多くても実用的に使われているエキスパートシステムの数が思いのほか増えてこないという現実、結び付いているだろう。

知識工学の指導者達が、現時点でこのようなテーマのチュートリアルを行なうというのは、なかなかしたたかともいえよう。最後に聴衆から「今日の話はエキスパートシステムに特有の内容か、それともアプリケーションシステム一般にいえる話か」という質問が出たのに対し、

講師が「アプリケーションシステム一般に適用できる話だ」と臆面もなく答えていたのが、印象的である。

・R.Schankの場合（マルチメディア）

自然言語理解や学習を中心とするAIの中核的な領域で、次々と新しいアイディアを出し、またその強い個性でAI研究をリードしてきたR.Schankが、今度はマルチメディアだという。AAAI92でSchankは、「AIとマルチメディア」と題する招待講演を行ったが、そこでは外国語の会話学習、動物の生態の分析、架空の動物の合成、などの領域を対象とした画像と音声を用いるシステムの試作例を実際に動かしてみせ、この技術が持つ大きな可能性を強調した。適切な場面や事例を引き出すための知識の索引化（indexing）という問題が、事例ベース推論と繋がってくる。

最後に、自ら「どこがAIかという質問がでるかも知れない」といい、それに対し、「第一に、そんなことはどうでもよい」、といった後、「第二に、これは見かけによらず開発が難しい、難しければAIというものでもないが」とSchankにしては珍しく、やや歯切れが悪くなったのが、印象に残る。とにかく、面白い応用ということになれば、それがAIかどうかというのは問題ではないということは、多くの共感を呼ぶであろう。

・スケジューリング問題：ORかAIか

この内容については3.3.2節で述べるが、実際のスケジューリング問題に対し、アプローチとしてはORの手法もAI的なものも考えられ、対象に応じて適切な方法やその組合せを選択すれば良いという考え方は、共通の認識となりつつあるだろう。

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 of the 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。たとえば、図-1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なわせるためには、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、たと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ない、それを整理するときにクラスターリングを行なうが、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成る集合である。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 [Quinlan 79]では、各属性は離散値しか仮定していない。その後開発された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著“Prolog Programming”から取った。)

問題は、図-1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-2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-3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ふことである。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。たとえば、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。たとえば、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になってしまう。

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に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[Quinlan 92]

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な問題についての学習を行なおうとすると、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。

たとえば、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、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2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、[Dolsak and Muggleton 1992]から取ったものである。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。1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な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。

- ・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

たとえば、`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。たとえば、`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。正例を図2に、負例の一部を図3に、背景知識の一部を図4に示す。そして、GOLEMによって得られたルールを図5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を示している。たとえば、

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

は、Aが円ならばそれを8つのメッシュで切ればよいことを示している。なかには、次のような再帰的なルールもある。

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

これは、AとCが同等で、Cに連続負荷が与えられているときは、Aのメッシュの数はCのメッシュの数Bに等しくすればよいことを示している。

GOLEMによって得られたルール集合は、エキスパート・システムにおける知識ベースとして使うことができる。

Appendix A: 正例

% a - cylinder	mesh (a36, 12).	mesh (c7, 2).
	mesh (a37, 12).	mesh (c8, 3).
% mesh (a1, 17).	mesh (a38, 12).	mesh (c9, 1).
mesh (a2, 1).	mesh (a39, 5).	mesh (c10, 2).
mesh (a3, 8).	mesh (a40, 2).	mesh (c11, 1).
mesh (a4, 1).	mesh (a41, 1)	mesh (c12, 2).
mesh (a5, 1).	mesh (a42, 5).	mesh (c13, 1).
mesh (a6, 2)		mesh (c14, 2).
mesh (a7, 1).		mesh (c15, 8).
mesh (a8, 1).		mesh (c16, 8).
mesh (a9, 3).	% b - hook	mesh (c17, 8).
mesh (a10, 1).		mesh (c18, 8).
mesh (a11, 3).	mesh (b1, 9)	mesh (c19, 8).
mesh (a12, 1).	mesh (b2, 1).	mesh (c20, 8).
mesh (a13, 1).	mesh (b3, 2).	mesh (c21, 8).
mesh (a14, 1).	mesh (b4, 7).	
mesh (a15, 4).	mesh (b5, 1).	
mesh (a16, 1).	mesh (b6, 1).	
mesh (a17, 2).	mesh (b7, 1).	
mesh (a18, 1).	mesh (b8, 9).	
mesh (a19, 4).	mesh (b9, 1).	
mesh (a20, 1).	mesh (b10, 2).	
mesh (a21, 1).	mesh (b11, 7).	
mesh (a22, 2).	mesh (b12, 1).	
mesh (a23, 2).	mesh (b13, 1).	
mesh (a24, 1).	mesh (b14, 1).	

```

mesh (a25, 2).
mesh (a26, 1).
mesh (a27, 1).
mesh (a28, 2).           % c - paper mill
mesh (a29, 1).
mesh (a30, 1)             mesh (c1, 1).
mesh (a31, 3),            mesh (c2, 2).
mesh (a32, 2).            mesh (c3, 1).
mesh (a33, 2).            mesh (c4, 1).
% mesh (a34, 11).         mesh (c5, 3).
mesh (a35, 1)             mesh (c6, 2).

```

Appendix B: 負例

つぎの2つの集合を考える：

* エッジの名前の集合

$E = \{a1, \dots, a42, b1, \dots, b14, c1, \dots, c21\}$

* 有限要素の可能な分割数

$N = \{1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12\}$

また、正例の集合を考える。

$F = \{\dots, \text{mesh (a2, 1)}, \text{mesh (a3, 8)}, \text{mesh (a4, 1)}, \dots\}$

そのとき、負例の集合は、つぎの式により与えられる。

$\text{mesh (E} \times \text{N)} - F$

たとえば、以下のものが負例となる。

```

mesh (a1, 1).
mesh (a3, 1).
mesh (a6, 1).
...
...
...
mesh (c19, 12).
mesh (c20, 12).
mesh (c21, 12).

```

Appendix C: 背景知識

% 宣言

```

mode (important_long(-1)).      determ (mesh (_, _), imortant_long(_)).
mode (important (-1)).          determ (mesh (_, _), imortant(_)).
mode (important_short(-1)).     determ (mesh (_, _), imortant_short(_)).
mode (circuit (-1)).            determ (mesh (_, _), circuit(_)).
mode (half_circuit (-1)).       determ (mesh (_, _), half_circuit(_)).
mode (short_for_hole (-1)).     determ (mesh (_, _), short_for_hole(_)).
mode (long_for_hole (-1)).      determ (mesh (_, _), long_for_hole(_)).
mode (circuit_hole (-1)).       determ (mesh (_, _), circuit_hole(_)).

```

```

mode (half_circuit_hole (-1)).
mode (not_important (-1)).
mode (free (-1)).
mode (one_side_fixed (-1)).
mode (two_side_fixed (-1)).
mode (fixed (-1)).
mode (not_loaded (-1)).
mode (one_side_loaded (-1)).
mode (cont_loaded (-1)).
mode (neighbour_xy_r (-1,1)).
mode (neighbour_yz_r (-1,1)).
mode (neighbour_zx_r (-1,1)).
mode (neighbour_xy_l (1,-1)).
mode (neighbour_yz_l (1,-1)).
mode (neighbour_zx_l (1,-1)).
mode (opposite_r (-1,1)).
mode (opposite_l (1,-1)).
mode (same_r (-1,1)).
mode (same_l (1,-1)).
mode (mesh (-1,1)).

```

%エッジのタイプ

```

important_long (a1).
important_long (a34).
important_long (b1).
important_long (b8).

```

```

important (a3).
important_short (a9).
important_short (a11).
important_short (a13).
important_short (a15).
important_short (a19).
important_short (a22).
important_short (a23).
important_short (a25).
important_short (a26).
important_short (a28).
important_short (a31).
important_short (a33).
important_short (a35).
important_short (a40).
important_short (b3).
important_short (b10).
important_short (c4).
important_short (c7).
important_short (c13).

```

```
circuit (c15).
```

```

determ (mesh (_,_), half_circuit_hole(_)).
determ (mesh (_,_), not_important(_)).
determ (mesh (_,_), free(_)).
determ (mesh (_,_), one_side_fixed(_)).
determ (mesh (_,_), two_side_fixed(_)).
determ (mesh (_,_), fixed(_)).
determ (mesh (_,_), not_loaded(_)).
determ (mesh (_,_), one_side_loaded(_)).
determ (mesh (_,_), cont_loaded(_)).
determ (mesh (_,_), neighbour_xy_r(_,_)).
determ (mesh (_,_), neighbour_yz_r(_,_)).
determ (mesh (_,_), neighbour_zx_r(_,_)).
determ (mesh (_,_), neighbour_xy_l(_,_)).
determ (mesh (_,_), neighbour_yz_l(_,_)).
determ (mesh (_,_), neighbour_zx_l(_,_)).
determ (mesh (_,_), opposite_r(_,_)).
determ (mesh (_,_), opposite_l(_,_)).
determ (mesh (_,_), same_r(_,_)).
determ (mesh (_,_), same_l(_,_)).
determ (mesh (_,_), mesh(_,_)).

```

```

important (a39).
important (b4).
important (b11).
important (c2).
important (c5).
important (c6).
circuit (c18).
circuit (c19).
circuit (c20).

```

```

half_circuit (a36).
half_circuit (a37).

```

```

short_for_hole (a16).
short_for_hole (a18).
long_for_hole (a17).

```

```

circuit_hole (c21).
half_circuit_hole (a38).
half_circuit_hole (a42).

```

```

not_important (a2).
not_important (a4).
not_important (a5).
not_important (a7).

```

```

important (c8).
important (c10).
important (c12).
important (c14).

```

```

important_short (a6).
not_important (a12).
not_important (a14).
not_important (a20).
not_important (a21).
not_important (a24).
not_important (a27).
not_important (a29).
not_important (a30).
not_important (a32).
not_important (a41).
not_important (b2).
not_important (b5).
not_important (b6).
not_important (b7).
not_important (b9).
not_important (b12).
not_important (b13).
not_important (b14).
not_important (c1).
not_important (c3).
not_important (c9).

```

circuit (c16).
circuit (c17).

not_important (a8).

not_important (c11).

%境界条件

free (a39).
free (a40).
free (b2).
free (b3).
free (b7).
free (b9).
free (b10).
free (b14).
free (c6).
free (c7).
free (c11).
free (c12).
free (c13).
free (c17).
free (c18).

one_side_fixed (a34).
fixed (a13).
fixed (a14).
fixed (a15).
fixed (a16).
fixed (a17).
fixed (a18).
fixed (a19).
fixed (a20).
fixed (a21).
fixed (a22).

one_side_fixed (a35).
one_side_fixed (a41).
one_side_fixed (b1).
one_side_fixed (b4).
one_side_fixed (b8).
one_side_fixed (b11).
one_side_fixed (c2).
one_side_fixed (c3).
one_side_fixed (c5).
one_side_fixed (c8).
one_side_fixed (c10).
one_side_fixed (c14).

two_side_fixed (a36).
two_side_fixed (a37).
two_side_fixed (a38).
two_side_fixed (a42).
fixed (a23).
fixed (a24).
fixed (a25).
fixed (a26).
fixed (a27).
fixed (a28).
fixed (a29).
fixed (a30).
fixed (a31).
fixed (a32).

two_side_fixed (b5).
two_side_fixed (b6).
two_side_fixed (b12).
two_side_fixed (b13).

fixed (a1).
fixed (a2).
fixed (a3).
fixed (a4).
fixed (a5).
fixed (a6).
fixed (a7).
fixed (a8).
fixed (a9).
fixed (a10).
fixed (a11).
fixed (a12).
fixed (a33).
fixed (c1).
fixed (c4).
fixed (c9).
fixed (c15).
fixed (c16).
fixed (c19).
fixed (c20).
fixed (c21).

%負荷

not_loaded (a1).
not_loaded (a2).
not_loaded (a3).
not_loaded (a4).
not_loaded (a5).
not_loaded (a6).
not_loaded (a7).
not_loaded (a23).
not_loaded (a24).
not_loaded (a25).
not_loaded (a26).
not_loaded (a27).

not_loaded (c4).
not_loaded (c5).
not_loaded (c6).
not_loaded (c7).
not_loaded (c8).
not_loaded (c9).
not_loaded (c15).
not_loaded (c20).
not_loaded (c21).

one_side_loaded (a34).
one_side_loaded (a35).

cont_loaded (a19).
cont_loaded (a20).
cont_loaded (a21).
cont_loaded (a22).
cont_loaded (a30).
cont_loaded (a31).
cont_loaded (a32).
cont_loaded (a37).
cont_loaded (a38).
cont_loaded (a39).
cont_loaded (c10).
cont_loaded (c11).

not_loaded (a28).
not_loaded (a29).
not_loaded (a33).
not_loaded (a36).
not_loaded (a42).
not_loaded (b1).
not_loaded (b2).
not_loaded (b5).
not_loaded (b6).
not_loaded (b7).
not_loaded (b8).
not_loaded (b9).
not_loaded (b12).
not_loaded (b13).
not_loaded (b14).
not_loaded (c1).
not_loaded (c2).
not_loaded (c3).

one_side_loaded (a40).
one_side_loaded (a41).
one_side_loaded (b3).
one_side_loaded (b4).
one_side_loaded (b10).
one_side_loaded (b11).

cont_loaded (a8).
cont_loaded (a9).
cont_loaded (a10).
cont_loaded (a11).
cont_loaded (a12).
cont_loaded (a13).
cont_loaded (a14).
cont_loaded (a15).
cont_loaded (a16).
cont_loaded (a17).
cont_loaded (a18).

cont_loaded (c12).
cont_loaded (c13).
cont_loaded (c14).
cont_loaded (c16).
cont_loaded (c17).
cont_loaded (c18).
cont_loaded (c19).

%幾何学的関係

neighbour_xy_r(a34,a35).
neighbour_xy_r(a35,a26).
neighbour_xy_r(a26,a36).
neighbour_xy_r(a36,a4).
neighbour_xy_r(a4,a34).
neighbour_xy_r(b1,b13).
neighbour_xy_r(b13,b8).
neighbour_xy_r(b8,b7).
neighbour_xy_r(b7,b1).
neighbour_xy_r(b4,b6).
neighbour_xy_r(b6,b11).
neighbour_xy_r(b10,b14).
neighbour_xy_r(b14,b3).
neighbour_xy_r(c15,c9).
neighbour_xy_r(c16,c9).
neighbour_xy_r(c17,c11).
neighbour_xy_r(c12,c17).
neighbour_xy_r(c18,c12).
neighbour_xy_r(c13,c18).
neighbour_xy_r(c19,c1).
neighbour_xy_r(c20,c1).
neighbour_xy_r(c21,c3).

neighbour_yz_r(a39,a41).
neighbour_yz_r(a40,a39).
neighbour_yz_r(a35,a40).
neighbour_yz_r(a25,a35).

neighbour_yz_r(c20,c2).
neighbour_yz_r(c21,c4).

neighbour_zx_r(a1,a2).
neighbour_zx_r(a2,a3).
neighbour_zx_r(a3,a4).
neighbour_zx_r(a4,a5).
neighbour_zx_r(a5,a6).
neighbour_zx_r(a6,a7).
neighbour_zx_r(a7,a8).
neighbour_zx_r(a8,a9).
neighbour_zx_r(a9,a10).
neighbour_zx_r(a10,a11).
neighbour_zx_r(a11,a12).
neighbour_zx_r(a12,a13).
neighbour_zx_r(a13,a14).
neighbour_zx_r(a14,a15).
neighbour_zx_r(a15,a16).
neighbour_zx_r(a16,a17).
neighbour_zx_r(a17,a18).
neighbour_zx_r(a18,a19).
neighbour_zx_r(a19,a20).
neighbour_zx_r(a20,a21).
neighbour_zx_r(a21,a22).
neighbour_zx_r(a22,a23).
neighbour_zx_r(a23,a24).
neighbour_zx_r(a24,a1).

neighbour_zx_r(b5,b1).
neighbour_zx_r(b8,b9).
neighbour_zx_r(b9,b10).
neighbour_zx_r(b10,b11).
neighbour_zx_r(b11,b12).
neighbour_zx_r(b12,b8).
neighbour_zx_r(c1,c2).
neighbour_zx_r(c2,c3).
neighbour_zx_r(c3,c4).
neighbour_zx_r(c4,c5).
neighbour_zx_r(c5,c6).
neighbour_zx_r(c6,c7).
neighbour_zx_r(c7,c8).
neighbour_zx_r(c8,c9).
neighbour_zx_r(c9,c10).
neighbour_zx_r(c10,c11).
neighbour_zx_r(c11,c12).
neighbour_zx_r(c12,c13).
neighbour_zx_r(c13,c14).
neighbour_zx_r(c14,c1).

opposite_r(a11,a3).
opposite_r(a9,a3).
opposite_r(a31,a25).
opposite_r(a13,a1).
opposite_r(a15,a1).
opposite_r(a17,a1).

neighbour_yz_r(a42,a25).	neighbour_zx_r(a25,a26).	opposite_r(a19,a1).
neighbour_yz_r(a24,a42).	neighbour_zx_r(a26,a27).	opposite_r(a22,a1).
neighbour_yz_r(b5,b6).	neighbour_zx_r(a27,a28).	opposite_r(a23,a1).
neighbour_yz_r(b6,b12).	neighbour_zx_r(a28,a29).	opposite_r(a32,a22).
neighbour_yz_r(b12,b13).	neighbour_zx_r(a29,a30).	opposite_r(a33,a23).
neighbour_yz_r(b13,b5).	neighbour_zx_r(a30,a31).	opposite_r(a34,a37).
neighbour_yz_r(b2, b7).	neighbour_zx_r(a31,a32).	opposite_r(a36,a37).
neighbour_yz_r(b7,b9).	neighbour_zx_r(a32,a33).	opposite_r(a38,a37).
neighbour_yz_r(b9,b14).	neighbour_zx_r(a33,a25).	opposite_r(a39,a42).
neighbour_yz_r(b14,b2).	neighbour_zx_r(b1,b2).	opposite_r(b1,b8).
neighbour_yz_r(c15,c8).	neighbour_zx_r(b2,b3).	opposite_r(b3,b1).
neighbour_yz_r(c16,c10).	neighbour_zx_r(b3,b4).	opposite_r(b4,b1).
neighbour_yz_r(c19,c14).	neighbour_zx_r(b4,b5).	opposite_r(b10,b8).
opposite_r(b11,b8).	same_r(a33,a23).	same_r(c17,c18).
opposite_r(c6,c12).	same_r(a36,a37).	same_r(c18,c19).
opposite_r(c2,c14).	same_r(a38,a37).	same_r(c19,c20).
opposite_r(c10,c14).	same_r(a39,a42).	same_r(c20,c21).
opposite_r(c15,c16).	same_r(b1,b8).	
opposite_r(c16,c17).	same_r(c6,c12).	
opposite_r(c17,c18).	same_r(c2,c14).	
opposite_r(c18,c19).	same_r(c10,c14).	
opposite_r(c19,c20).	same_r(c15,c16).	
opposite_r(c20,c21).	same_r(c16,c17).	

neighbour, oppositeおよびsameは、引数のどちらがinputでどちらがoutputかは決まらないので、_rと_lの2通りを用意する。すなわち上の定義の他、それと全く同じである_lのついた下の述語の定義が必要となる。

```

neighbour_xy_l
neighbour_yz_l
neighbour_zx_l
opposite_l
same_l

```

_r述語と_l述語の違いは、モード宣言だけである。

Appendix D: GOLEMによって導かれたルール

mesh (A, 1):- not_important(A).	mesh (A,3):-
	important(A),
mesh (A,1):- shoft_for_hole (A).	not_loaded (A),
	neighbour (B,A),
mesh (A,2):-	important_short(B).
important_short(A),	
neighbour (A, B),	mesh (A, 3):-
fixed (B),	important_short (A),
not_loaded (B).	cont_loaded (A),
	neighbour (A, B),
mesh (A, 2):-	not_important (B),

important_short (A),
neighbour (B, A),
not_important (B),
not_loaded (B).

neighbour (C, A),
C\==B,
not_important (C).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.1.2 ニューラルコンピュテーション

本節では、ニューラルネットワークモデルによる情報処理（ニューラルコンピュテーション）の技術動向について述べる。最近の技術動向に入る前に、(1) 節で、研究の歴史的な経緯に簡単に触れるとともに、技術の全体的な展望を与える。その後、(2) 節で基礎的な技術の動向を、(3) 節で実用場面での応用技術の動向を概観する。最後に (4) 節では、人工知能研究との統合の方向について述べる。

(1) 研究の流れと全体展望

人間や生物の情報処理をめぐる研究を、人間をより深く理解したい、あるいは、神経回路の機能障害を治療したいという理学的、医学的なモチーフによるものと、そこから得られた知見を使って役にたつシステムを作りたいという工学的なモチーフによるものの二つに分けて考えることができるだろう。このうち、前者は歴史も古く、実際の生物を対象とした実験的な研究を中心に粘り強い研究が続けられてきている。その過程では、神経組織の染色法、微小電極による神経活動の観察法、さまざまな無侵襲の神経活動計測法、電位感受性染料による神経活動の光学的観察法、などの観測技術が開発されてきた。神経細胞の化学的、薬学的な活性についても、研究が活発に行われている。また、こうした神経回路網の活動をよりマクロなレベルで情報処理過程、認知過程としてモデル化

する研究も発展し、認知科学と呼ばれる分野を形成している。さらに、神経回路網は数学的に見れば強い非線形性を持った複雑なシステムであり、そうしたシステムの動的な振る舞いは数理的な解析の興味深い対象となってきた。

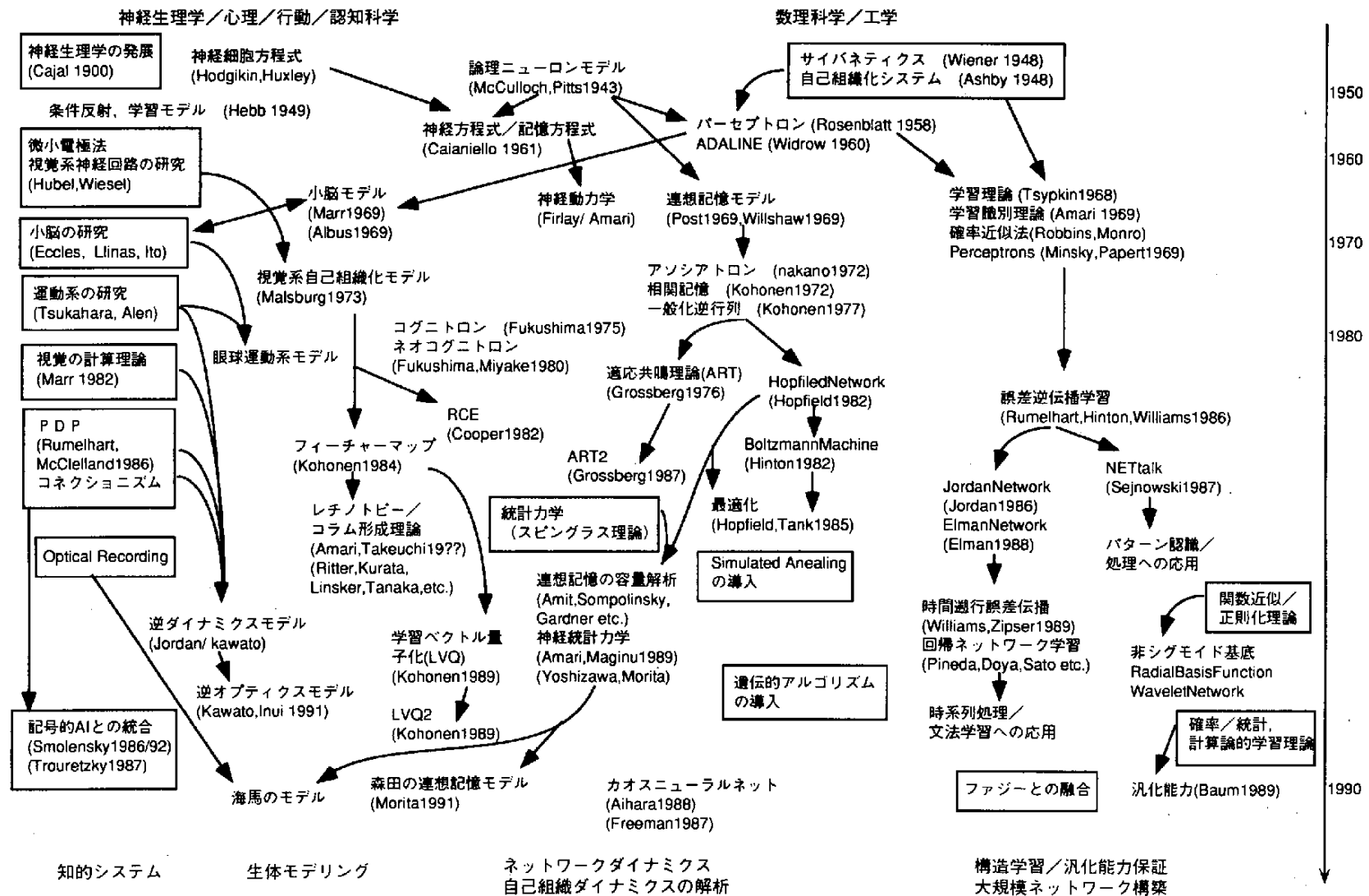
一方、工学的なモチーフによる研究は、神経回路網の構造や働き方からなんらかのヒントを得て、現在の計算機とは異なる性質を持つ情報処理システムを構築することを主要な目標としている。電子計算機の発明以来約半世紀を経て計算機のハードウェア、ソフトウェアは飛躍的に進歩し、数値計算、文書処理、データ管理・検索など多くの情報処理において人間を遥かに越える能力を持つに到っているが、その一方で、パターン認識や自然言語処理など、依然として計算機が人間に遠くおよばない情報処理分野が存在する。また、人間は主に学習によって高度な技能を獲得してゆくが、現在の計算機は主に直接的なプログラミングによってその情報処理能力を与えられるのであり、学習能力は貧弱である。このような、現在の計算機の欠点をカバーし、柔らかな情報処理を可能にするために、神経回路網における情報の表現や処理の方式がなんらかのヒントになるのではないか、という期待がある。

ニューラルコンピューション、あるいは、ニューロコンピューティングという言葉は、主に、工学的なモチーフの研究を指すものとして使われているが、近年、この二つの研究の流れの間の交流も増えていることから、ここでは、脳の情報処理システムとしての特性を解明することをめざす研究も含めた広い意味でニューラルコンピューション技術を考える。

図表Ⅱ-1-3 に主に工学的なものを中心として研究の歴史的な流れを示した。W.McCulloch と W.Pitts は1943年の論文で神経細胞を一種のしきい素子としてモデル化（いわゆる McCulloch--Pitts の論理ニューロンモデルの原型）し、それが多数結合したネットワークによって命題論理関数が計算できることを示した。また、1948年にはW.Ashby が脳の設計原理として「自己組織化」の考え方を提案、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。

図表 II-1-3 ニューラルコンピューションの研究の歴史的発展



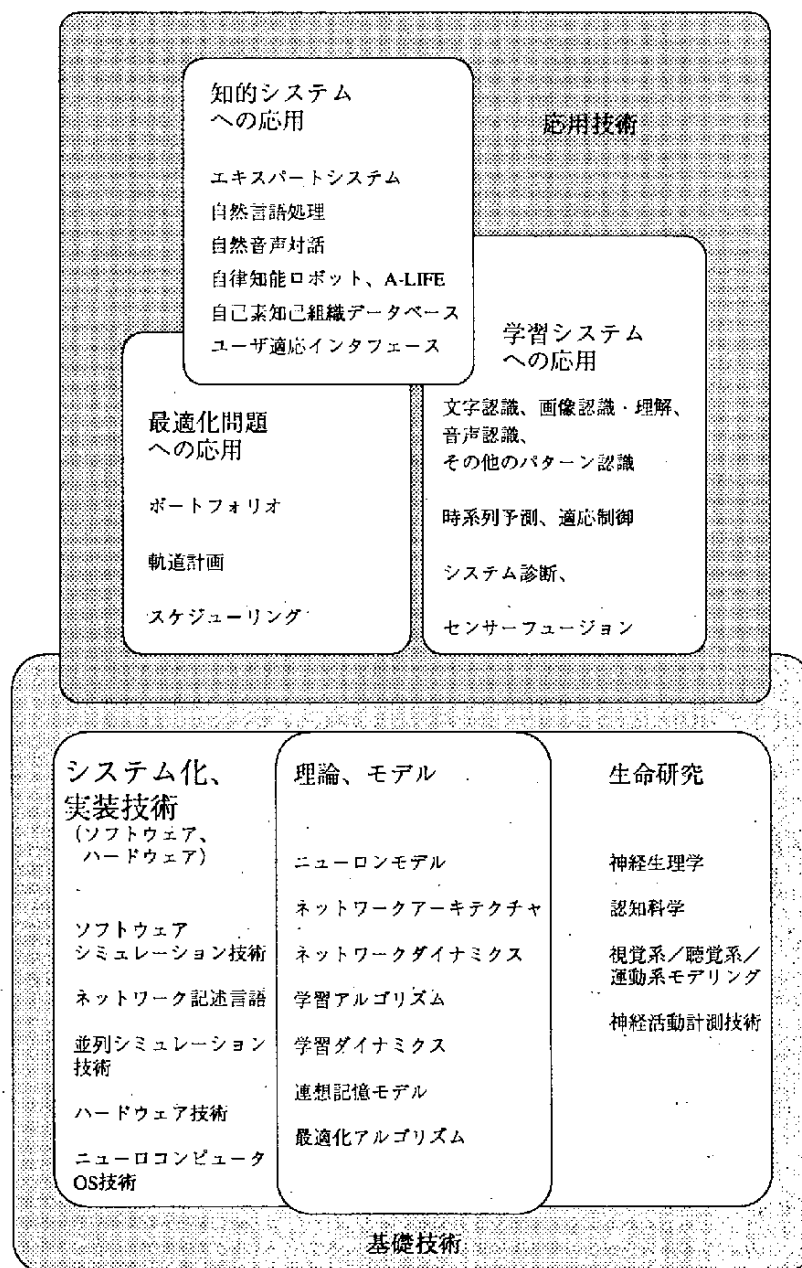
こうした状況に対して、M.Minsky と S.Papert は、1969年に「パーセプトロン (Perceptrons)」を出版し、パーセプトロ的なネットワークの計算能力および学習能力についての理論的な検討を与え、「学習／適応」への漠然とした期待に批判を与えた。これに加えて、当時の計算機のシミュレーション能力の不足などもあり、1970年代には、少なくとも米国においては、神経回路網モデルを使った学習／適応的な情報処理の研究は下火になった。しかし、この時期には、T.Kohonen による連想記憶、競合的な自己組織化による特徴抽出（後の LVQ (Learning Vector Quantization) 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、統計物理をバックグラウンドとする 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ーテーションの研究が活性化し、現在に到っている。



図表II-1-4 ニューラルネットワーク技術マップ

図表II-1-4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。たとえば、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。たとえば、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。従って、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あげられる。

最近、ATRの川入らは、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（たとえば、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ゆ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。たとえば、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。たとえば、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、そもそもの程度複雑な事柄ならば実際の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ゆ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なれば、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。たとえば、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ー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めざ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の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Ⅱ-1-5 に示した。

	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 パターンの対象の表現が容易	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

図表 II-1-5 ニューラルネットワークと記号処理AIの比較

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ゆ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かたちで統合してゆくことによって、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するのは自然である。

また、たとえば、知能ロボットのように、パターンの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5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3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、たとえば、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のよう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、この世界で生きてゆ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。たとえば、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は実現するか、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ゆく必要がある。

<参考文献> (ニューラルコンピューテーション)

- [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における不確実性

3.1.3.1 ファジィ理論・技術

3.1.3.1.1 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ー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3つを中心に構成される。

○ファジィ集合論 (1)-感覚の表現-

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は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、集合に属する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 (2)-知識の表現と利用-

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な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 (3)-感覚的な評価尺度-

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。

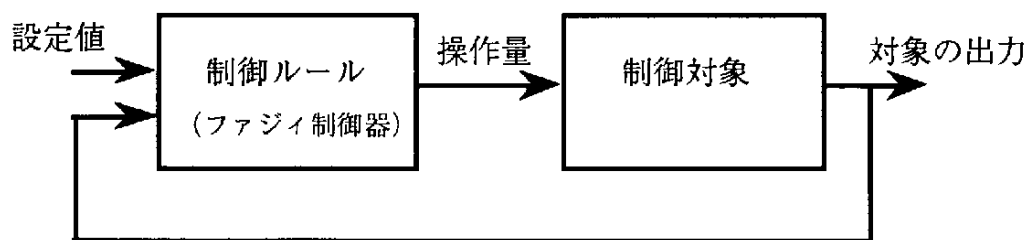
(2) ファジィ応用理論

ここでは知識処理と関連のある理論的应用を選択し、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、オペレータが行な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Ⅱ-1-6に示す。



図表Ⅱ-1-6 ファジィ制御の構造

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、とく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、とく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体でも大体的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。

3.1.3.1.2 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取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も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に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)。

最後に推論が上げられる。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

ファジ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) ファジエキスパートシステム

現在ファジ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、通常組み合わせられて出現する。

- ・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。マッチ度と組み合わせて、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。 X_i, X_j を概念、 P_i 及び P_j 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 $I(X_i, X_j)$ を、

$$I(X_i, X_j) = (P_i \cup P_j) \# / (P_i \cap P_j) \#$$

によって求める。目標概念Cを X_i が代表する場合、他の概念 X_j 等のCに対する帰属度（メンバーシップ値）を X_i 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。

3.1.3.1.3 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なになる。

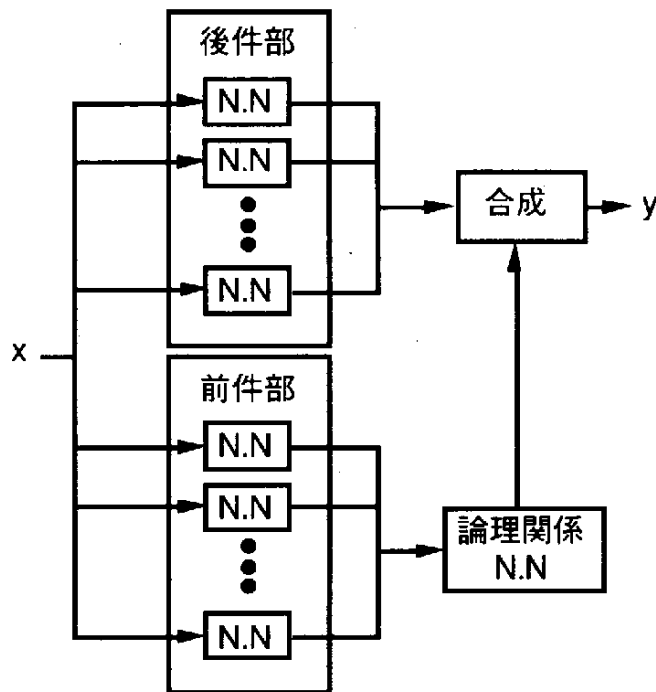
- ・知識の解釈
- ・初期知識としての利用
- ・処理機構の構造化
- ・あいまいな知識の表現

(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2つのシステムの連結から融合まで様々な形態があるが、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によって、様々な研究があるが、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Ⅱ-1-7に示す。



図表 II-1-7 ニューロ・ファジィ融合形態の例

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を求める。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。

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に重み付けに対応させたファジィニューロン(31)が提

唱されている。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, Dordrecht : 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

3.1.3.2 確率ネットワーク

既存の不確実な知識の処理の検討は、通常論理学的、計算論的、確率論的の3方法に大別されることが多い。論理学的方法は、非単調(nonmonotonic)論理{MACCARTHY1}を中心に、非数値的な手法を用いて不確実性(uncertainty)を扱う。計算論的方法は、確率演算では推論処理に問題があるとしてDempster-Shafer確率{DEMPSTER1}、fuzzy論理{ZADEH1}、MYCINのCF(certainty factors){SHORTLIFFE1}といった新しい演算を考案している。確率論的方法は、PROSPECTERにおける主観的(subjective)確率{DUDA1}に代表されるように、古典的な確率論の枠組みの中で推論処理に必要な計算能力を引き出している。

ここでは、確率論的方法による不確実な知識の推論処理形態として最も期待される確率ネットワークの概要、特になぜ確率ネットワークなのか、確率ネットワークは何に使えるのか、確率ネットワークはどうやって構成するのかについて説明する。

(1) なぜ確率ネットワークなのか

確率論的方法は、確率論の公理にしたがって各述語の生起確率を計算するので、論理学で定義される完全(complete)かつ無矛盾(consistent)な体系を提供するという利点がある。むろん、不確実性が確率論ですべて表現できるわけではない。むしろ、述語間の定性的な関係を首尾よく表現でき、直観的に正しい結論を導くという確率論の性能(fuzzy論理やCFを適用したのでは得られない)を利用したいという期待が、この分野の研究者共通にあるように思われる。

確率論的方法の従来の欠点は、計算量が莫大になるか、近似を余儀なくされて各述語の確率の値を正しく求めることができないことであった。

例えば、ある規則の前提部の述語の論理積を計算する際にそれらの同時確率を計算しなければならないこと、また適合する規則が知識ベース中に複数存在する場合の優先順位を決めなければならないことなどがあげられる。すなわち、推論処理を

外延的(extensional)アプローチ：不確実さを規則に付与された確信度として扱う(ルールベースシステム等で実現)。

内包的(intensional)アプローチ：不確実さを"状態(state)"や"可能世界(possible world)"[DUDA1]の部分集合に付与された確信度として扱う(モデルベースシステム等で実現)。

のように分類したときに[PEARL1]、確率論的方法を外延的アプローチで検討したのでは計算量が莫大になる。外延的アプローチは、むしろCFやfuzzy論理のような計算の効率を重視し、厳密な確信度の計算が要求されない場合に適当である。

一般的には、各々の規則の結論部の1述語(子)が前提部としてどの述語(親)を選ぶのかによって、全体の規則が表現される。述語の真偽を節点(node)で、節点の親から子への依存関係(dependency)を有向枝(directed edge)で表現した、loopをつくらない有向グラフ(DAG: directed acyclic graph)を確率ネットワーク、もしくは信念ネットワーク(Belief Network)という。ここで、図示する場合には節点と有向枝で表示されるが、断わらない限り必要な条件付確率の数値も別途設定される。Dempster-Shafer確率の場合にも同様な視覚表現が可能である[SHAFER1,LOWRANCE1]が、特に(主観的)確率の場合の信念ネットワークをベイズネットワーク(Bayesian network)、因果ネットワーク(Causal nets)等ということがある[PEARL1]。

以下では、 N 節点 $X_j, j=1,2,\dots,N$ の各々に α_j 通りの値をとる属性($\alpha_j=2$ のとき述語と呼ぶことがある。)を対応させる。また、確率ネットワークはそれ自身 N 節点の同時確率を表現しているので、同時確率 $P(x_1, x_2, \dots, x_N)$ を最大にするように値が既知の複数の属性から値が未知の複数の属性の値を求めることも可能である*1。この動作を確率ネットワークにおける演繹推論(deduction)、もしくは

* 1 属性、確率変数、節点の場合には大文字、属性値、実現値の場合には小文字で表現する。

は認識(recognition)とよぶ。確率ネットワークは内包的アプローチであるので、少ない計算量で認識の動作を行う必要がある。逆に、実現したN属性値からなる事例の長さnの系列

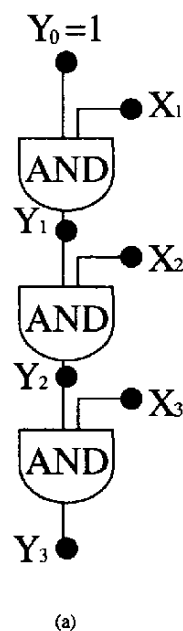
$$X^i=(X_1^i+X_2^i\cdots,X_N^i),i=1,2\cdots,n$$

から確率ネットワークを自動的に生成する動作を確率ネットワークにおける帰納推論(induction)、もしくは学習(learning)と呼ぶ。

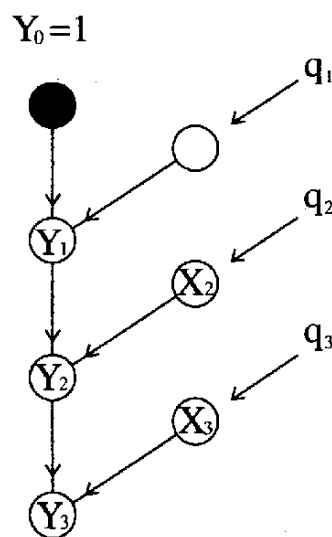
(2) 確率ネットワークは何に使えるのか

確率ネットワークの適用は不確実さが確率で表現される場合に限定されることはないが、これまでは分類・診断型の問題の事例(故障診断[GEFFNER1]、経済予測[ABRAMSON2]、医療診断[GEFFNER2])が多く報告されている。

確率ネットワークの伝播(propagation)の特性を例証するために、図表II-1-8 (a) の回路を用いることにしよう。回路は、3入力変数 $X_i \in \{0,1\}$, $i=1,2,3$ 、1入力定数 $Y_0=1$ 、2中間変数 $Y_i \in \{0,1\}$, $i=1,2$ 、および1出力変数 $Y_3 \in \{0,1\}$ からなっている。通常は、3入力のいずれもが1("ON")、したがって出力も1("ON")の状態にあるが、入力 X_i は故障によって、 $q_i=1-p_i$ の確率で0("OFF")の値をとる $i=1,2,3$ ($1/2 > q_1 > q_2 > q_3$)。故障は、各入力変数相互に独立であり、中間変数および出力変数は入力変数の関数として与えられるものとする。



(a)



(b)

- (a) 信念修正の過程を例証するために用いられた論理回路
- (b) (a)の回路に対応する Bayesian network
- (文献 [Pea88] より抜粋)

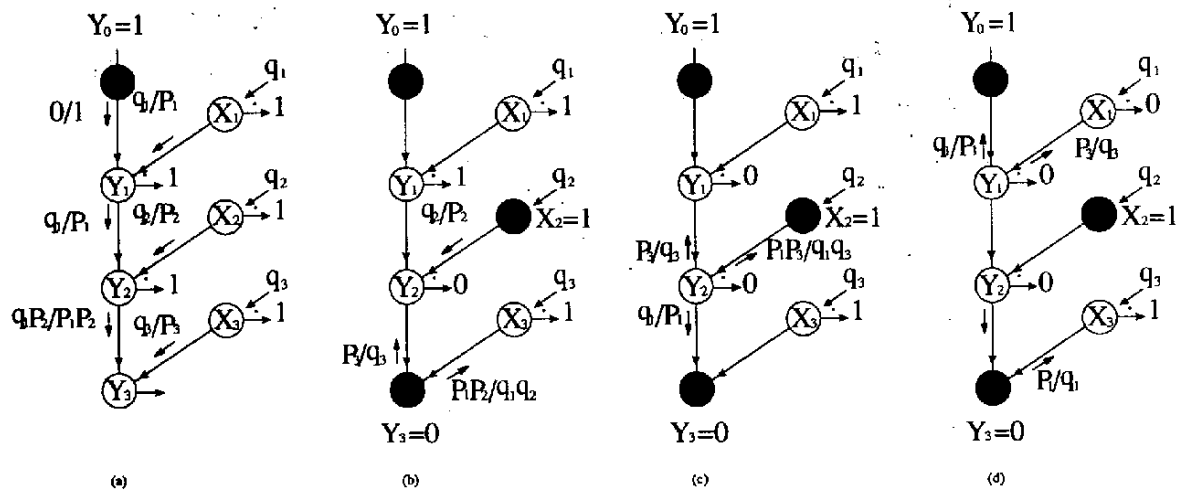
図表 II-1-8

X	$BEL^*(x)$	x^*	$\lambda_X^*(u_i)$	$\pi_{Y_i}^*(x)$
X_2	(0, 1)	1	$\lambda_{Y_2}^*(x_3) = p_2(p_1, q_1), \lambda_{Y_2}^*(y_2) = (p_3, q_3)$	$\pi_{Y_2}^*(x_2) = (0, 1)$
Y_3	(1, 0)	0		
X_3	$p_2(p_1 q_3, q_1 p_3)$	1	$\lambda_{Y_1}^*(x_2) = p_3(p_1, q_1), \lambda_{Y_1}^*(y_1) = (p_3, q_3)$	$\pi_{Y_1}^*(y_2) = (q_1, p_1)$
Y_2	$p_2(q_1 p_3, p_1 q_3)$	0		
X_2	$q_1 p_3(0, 1)$	1	$\lambda_{Y_1}^*(x_1) = (p_3, q_3), \lambda_{Y_1}^*(y_0) = (q_1, p_1)$ $\lambda_{Y_2}^*(x_3) = (p_1, q_1)$	
Y_1	$(q_1 p_3, p_1 q_3)$	0		
Y_3	$(0, q_1 p_3)$	0		
X_1	$(q_1 p_3, p_1 q_3)$	0		
X_3	$(p_1 q_3, q_1 p_3)$	1		
Y_0	$(0, p_1)$	1		

注) $\beta = 1$ として $BEL^*(x)$ を計算している。また、 $1/2 > q_1 = 1 - p_1 > q_2 = 1 - p_2 > q_3 = 1 - p_3$ から $BEL^*(x)$ を最大にする $x = x^*$ を見いだしている。

図表 II-1-9 観測 $e = \{X_2 = 1, Y_3 = 0\}$ を得た後の信念更新

まず、図表 II-1-8 (b) の確率ネットワークを構成する。認識の動作では、信念更新(belief updating)と信念修正(belief revision)という2機能がある。前者は、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、各々信念関数(belief function) $BEL(x) = P(x|e)$ を求めるための動作であり、観測 e のもとで変数 X の各々の生起する確率を求めることが目的となる。後者は、信念関数 $BEL^*(x) = \max_w w_x P(x, w_x | e)$ を最大にするように各変数 x に値を代入して、観測 e を前提にした w の事後確率を最大にする説明(best explanation)を求める動作である。ここで、 W を N 変数の集合、 WX を変数 X を除いた $N-1$ 変数の集合とおいた。 $BEL(x)$ を最大にする x は、 $BEL^*(x)$ を最大化する x とは異なる点に注意したい。



信念修正における $\pi^* - \lambda^*$ message の伝ぱん。観測 $\{Y_3=0, X_2=1\}$ が(a)の初期の説明 $\{X_1=X_2=X_3=1\}$ を (d)の新しく安定した(確率が最も高い)説明 $\{X_1=0, X_2=1, X_3=1\}$ へ切り換えている。(b)と(c)の中間状態は不完全な遷移情報に基づいた一時的な信念の宣言になっている(文献[Pea88]より抜粋)。

図表 II-1-10

以下、説明は信念修正を前提に行う{Pea86}では信念更新のみを扱っているが、{Per88}では図表Ⅱ-1-9で信念更新を、図表Ⅱ-1-10で信念修正を扱っている。)。いずれも、ネットワークが木で表現できる場合、すなわち単一結合(singly connected network)の場合、2種類のメッセージ λ^* および π^* を1時間単位に並列に隣接節点に受渡す操作を、高々ネットワークの直径(最も離れた2節点間の辺の数)の回数だけ繰り返している。現在の例も単一結合である。

単一結合である限り、任意の有向枝 $X \rightarrow Y$ に対して、節点 Y を含む Y より下流の情報がメッセージ $\lambda_Y^*(x) = \max_{w_{XY}} P(w_{XY}|x)$ に集約される。節点 X の値を $X=x$ と仮定した場合の節点 Y を含む Y より下流の最大尤度(各節点が値をとる同時確率の最大値)がこのメッセージになる。また、節点 Y を含む Y より下流の各節点の値の設定 w_{XY} を、 $\{X=x, e\}$ を頭部外延(head-extension)と呼ぶことがある。図表Ⅱ-1-8 (b)であれば、 $\{Y_2=y_2, e\}$ の頭部外延は、節点 Y_3, X_3 の値の設定に相当する。一方、任意の有向枝 $X \rightarrow Y$ に対して、節点 X を含む X より上流の情報はメッセージ $\pi_X^*(x) = \max_{w_{XY}} P(x, w_{XY})$ に集約されることになる。節点 X の値を $X=x$ と仮定した場合の節点 X を含む X より上流の最大尤度(各節点が値をとる同時確率の最大値)がこのメッセージになる。また、節点 X を含まない X より上流の各節点の値の設定 w_{XY} を、 $\{X=x, e\}$ を後部外延(tail-extension)と呼ぶことがある。図表Ⅱ-1-8 (b)であれば、 $\{Y_2=y_2, e\}$ の後部外延は、節点 X_1, Y_1, X_2 の値の設定に相当する。特に、

$$BEL^*(x) = \pi_{Y_j}^*(x) \lambda_{Y_j}^*(x) / \beta$$

が成立することに注意したい。ここで、 β は $X=x$ のとり得る値の各々に対しての $BEL^*(x)$ の値の合計が1になるように生起化した定数である。節点 X に対して、節点 X を含む X より上流の情報と、節点 X を含まない X より下流の情報が独立になっているのである。

以下、メッセージを隣接節点に受け渡す基本的な手順を説明する。節点 X の親を $U_1, U_2, \dots, U_n$ 、子を $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ として、1単位時間に節点 X では以下の3ステップを行う。

1. BEL^* の更新: $x^* = \max_x BEL^*(x)$ を求める。ここで、 $BEL^*(x)$ は以下で計算する。

$$BEL^*(x) = \beta \max_{U_k \leq k \leq n} \prod_{j=1}^m \lambda_{Y_j}^*(x) P(x/u_1, \dots, x/u_n) \prod_{i=1}^n \pi_{X_i}^*(u_i)$$

1. λ^* の更新: 以下の値を求めて親 U_i に伝播させる $i=1, 2, \dots, n$ 。

$$\lambda_X^*(u_i) = \max_{x, u_1, \dots, u_n} \prod_{j=1}^m \lambda_{Y_j}^*(x) P(x/u_1, \dots, u_n) \prod_{k \neq i}^n \pi_{X_k}^*(u_k)$$

3. π^* の更新: 以下の値を求めて子 Y_j に伝播させる $j=1, \dots, m$ 。

$$\pi_{Y_j}^*(x) = \beta \frac{BEL^*(x)}{\lambda_{Y_j}^*(x)}$$

ここで、 $P(x|u_1, \dots, u_n)$ は、各々の親が $U_1=u_1, \dots, U_n=u_n$ であるときに、節点が $X=x$ である条件付確率である。現在の例では、

$$P(y_i/y_{i-1}, x_i) = \begin{cases} 1 & (y_i = y_{i-1} \wedge x_i) \\ 0 & (\text{その他}) \end{cases}$$

に対応する。 $BEL^*(x)$ の更新で、 $u_1, \dots, u_n$ とともに最大化をはかっているのは、 $X=x$ の生起が節点 X の親 $U_1, U_2, \dots, U_n$ のみに依存するからである。また、 $\lambda_x^*(u_i)$ の更新で $U_i \rightarrow X$ の辺の影響を無視して決めている点に注意したい。節点 U_i を含む節点 U_i より上流からの情報は $\pi_x^*(u_i)$ に $i=1, \dots, n$ 、節点 Y_j を含む節点 Y_j より下流への情報は $\lambda_{Y_j}^*(x), j=1, \dots, m$ に集約されているのである。そして、各メッセージ $\pi_x^*(u_i), i=1, \dots, n$ および $\lambda_{Y_j}^*(x), j=1, \dots, m$ は、複数回伝播されてくる可能性がある。

現在の例では、観測を得る前に $\pi_{Y_i}(y_0)=(0,1), \pi_{Y_i}(x_i)=(q_i, p_i), i=1,2,3$ を設定しておく、 $\pi_{Y_{i+1}}^*(y_i), i=1,2$ はその初期値および λ^* メッセージの初期値のいかんによらず $\pi_{Y_2}^*(y_1)=(q_1, p_1), \pi_{Y_3}^*(y_2)=p_2(q_1, p_1)$ に収束する(図表Ⅱ-1-10(a): メッセージの受渡しを考えなくとも、各々の後部外延からわかってもらえると思う。)。この状態で、観測 $e=[X_2=1, Y_3=0]$ を得ると $\{X_1=1, Y_2=0, X_3=1\}$ (図表Ⅱ-1-10(b)) $\rightarrow \{X_1=1, Y_1=0, Y_2=0, X_3=1\}$ (図表Ⅱ-1-10(c)) $\rightarrow \{X_1=0, Y_1=0, Y_2=0, X_3=1\}$ (図表Ⅱ-1-10(d), 最適)の様に3回の修正で最良の説明が得られる。メッセージの受渡しは、観測が得て修正がなされた各節点から木の端点まですすむ。上記の3ステップでいくと、図表Ⅱ-1-9のような $BEL^*(x), x^* \lambda_x^*(u_i), \pi_{Y_j}^*(x)$ の修正がなされる。

以上は、単一結合の場合の議論であったが、多重結合(multiply connected network)を許す一般的なネットワークの場合には、膨大な計算量が必要になる。現在の例の様にすべての節点で上流・下流を定義することはできず、単一結合で用いた技法は適用できない。各節点が $\{0,1\}$ の2値をとると仮定すると、 $2N$ の各々に対してその説明の生起確率を計算して比較する必要がある。

対処としては、結果としてのネットワークが単一結合になるように節点をまとめあげるクラスタリング(clustering)、結果としてのネットワークが単一結合になるように辺を切断するコンディショニング(conditioning)、各変数に何度も確率的に値を代入して伝播をさせた後の節点の分布をみる確率的シミュレーション(stochastic simulation)などがある[Coo84]。G.H. Cooperは、信念修正・信念更新いずれであってもNP困難であることを証明し、ネットワークのクラスを前もって限定して計算量を低減させる必要があることを指摘している[Coo90]。

信念修正では、観測から事後確率最大の説明を計算していることになるが、通常のパターン認識のように1事象を認識するのではなく、複数事象の組合せを認識することになる。例えば、故障診断では複数の故障原因が生起する状況を説明することに対応する[GP87a]。

(3) 確率ネットワークはどうやって構成するのか

一般的には、節点 X_j を追加しながら、すでにある節点の集合 $\{X_1 \dots X_{j-1}\}$ の中のいずれを親にするかを決定すればよい。事例から生成する場合には、 X^2 検定などの統計的方法を用いる[SRA90, FC90]。専門家がマニュアルでネットワークを作成するための補助資料としてこの自動的に得られた結果を用いることも可能である。

一方、生成されたネットワークが木でなければ認識時に計算量が膨大になるという視点から、Chow and Liuのアルゴリズム[CL68]がよく用いられる。このアルゴリズムは、各2変数の相関性(具体的には事例から得られた相互情報量)の大きい箇所から順に辺を連結して、最終的に木を生成さ

せる。ただし、辺を連結することによってループが生成される場合には、その辺は連結しない。生成された木は、実際のネットワークで表現された分布との距離(Kullback-Leibler情報量)を最小にすることを保証する。一方、生成された木の一部を独立性の検定によって削除し、複数の木からなる集合を作成する試みもなされている[RP87]。

最近では、ベイズ的な立場から、 n 個の事例を得たもとで生起する確率が最も高いネットワークを選択する方法が提案されている[CH91]。他方、ネットワークや条件付確率の事前確率を設定する不自然さから、記述長最小(MDL: Minimum Description Length)原理[Ris84]に基づいてネットワークを選択するアルゴリズムが提案されている[鈴木92]。記述長最小原理は、事例を規則の記述とその例外の記述の2段階で記述を行い、両者の記述長の和を最小にする規則を選択するアルゴリズムを提供する。このアルゴリズムは、その特別な場合がChow and Liuのアルゴリズム[CL68]の拡張になっており、記述長を最小にするという一貫した基準から、複数の木からなる集合を作成している[鈴木92]。

<参考文献>

- [鈴木92] 鈴木, 大嶽, and 平澤. 記述長最小基準と状態分割の立場からみた確率モデルの選択方法について. 情報処理学会論文誌, 11月 1992.
- [Abr91] B. Abramson. Arco1: an application of belief networks to the oil market. In Proc. of the 1991 Uncertainty in AI (Morgan Kaufmann), pages 1-8, 1991.
- [CH91] G.F. Cooper and E. Herskovits. A Bayesian method for constructing Bayesian belief networks from database. In Uncertainty in Artificial Intelligence '91, pages 86-94, 1991.
- [CL68] C.K. Chow and C.N. Liu. Approximating discrete probability distributions with dependence trees. IEEE Trans. on Inform. Theory, IT-14(3):462-467, May 1968.
- [Coo84] G.F. Cooper. NESTOR: A computer-based medical diagnostic aid that integrates causal and probabilistic knowledge. PhD thesis, Department of Computer Science, Stanford University., 1984.
- [Coo90] G.H. Cooper. Computational complexity of probabilistic inference using bayesian belief. Artificial Intelligence, 42(2):393-405, 1990.
- [Dem68] A.P. Dempster. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. Ann. Math. Statistics, 38:325-339, 1968.
- [DHN76] R.O. Duda, P.E. Hart, and N.J. Nilsson. A subjective (B)ayesian methods for rule-based inference systems. In Proc., Natl. Comp. Conf. (AFIPS) 45, 1976.
- [FC90] R.M. Fung and S.L. Crawford. Constructor: a system for the induction of probabilistic models. In AAAI '90, 1990.
- [GP87a] H. Geffner and J. Pearl. A distributed approach to diagnosis. In Proc., 3rd IEEE conf. on AI Applications, 1987.
- [GP87b] H. Geffner and J. Pearl. An improved constraint propagation algorithm for diagnosis. In 10th Intl.

- Joint Conf. on AI (IJCAI-87), 1987.
- [GSS86]J.D. Garvey, T.D. Strat, and T.M. Strat. A framework for evidential-reasoning systems. In AAAI '86, 1986.
- [Mac80]J. MacCarty. Circumscription: a form of non-monotonic reasoning. *Artificial Intelligence*, 13:27-39, 1980.
- [Pea86]J. Pearl. Fusion, propagation and structuring in belief networks. *Artificial Intelligence*, 29:241-288, 1986.
- [Per88]J. Peral. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems*. Morgan Kaufmann, San Mateo, California, 1988.
- [Ris84]J. Rissanen. Universal coding, information, prediction, and estimation. *IEEE Trans. on Inform. Theory*, IT-30(4):629-636, July 1984.
- [RP87]G. Rebane and J. Pearl. The recovery of causal poly-trees from statistical data. In *Uncertainty in Artificial Intelligence '87*, pages 222-228, 1987.
- [Sho76]E.H. Shortliffe. *Computer-based medical consultation: MYCIN*, New York: Elsevier, 1976.
- [SRA90]S. Srinivas, S. Russel, and A. Agogino. Automated construction of sparse bayesian networks for unstructured probabilistic models and domain information. In M. Henrion, R.D. Shachter, L.N. Kanal and J.F. Lemmer (Eds), *Uncertainty in Artificial Intelligence 5* (North-Holland, Amsterdam), 1990.
- [SSM87]G. Shafer, P.P. Shenoy, and K. Mellouli. Propagating belief functions in qualitative markov trees. *Int. Journal of Approximate Reasoning*, 1:349-400, 1987.
- [Zad68] L.A. Zadeh. Fuzzy algorithms. *Information and Control*, 12:94-102, 1968.

3.1.4 アーティフィシャル・ライフ

(1) アーティフィシャル・ライフとは何か

公にされている最近の定義によると、「アーティフィシャル・ライフ」(Artificial Life. 以下、Aライフと略す。人工生命と訳されることが多い。)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 [Langton 91]。

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 (エソロジイ)、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、Aライフの研究には、もともと、ウイ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、Aライフ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。たとえば、F. ヴァレラによれば、Aライフ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。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。

Aライフの目標は、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あるだけではない。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、Aライフ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。端的に言えば、Aライフの目標は、“生命の「論理的形式（logical form）」を抽象することである” [Belew 91] 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。[田中 93] 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、生命はある構造を持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。Aライフは、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い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、Aライフの目標と分子生物学の課題の間の接点が見いだされるのである。

(2) Aライフ研究の流れ

Aライフの源流：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よばれるフォン・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

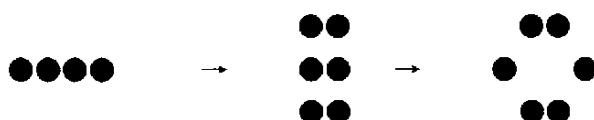
力である。すなわち、オートマトンが自分自身の生き写しを作ることができるようになるためには、どのような論理構成を持てばよいか、という問題を解くことであった。ノイマンはこれを後にセル構造オートマトンと呼ばれるようになった定式化を用いて解決した。セル構造オートマトンは有限オートマトンの何次元かの配列として構成されるもので、各有限オートマトンは各時点ごとに有限個の状態のどれかをとることになっている。どの状態をとるかは、その前の時点での自分を含めた配列中の隣接オートマトンの状態から一意的に決定される。ノイマンは29種類の状態をとるオートマトンによって、自己増殖機能を実現できることを示した。しかも、この増殖のためには、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。これは正に、DNAの役割そのものであることが、後にワトソンとクリックの仕事によって証明された。

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、Aライフ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。これは生命をもつものの現象と、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。さらに、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。

Aライフの胎動期：「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アが広く知られるようになると、その拡張や単純化、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。

Aライフ・ワークショップ：Aライフの成立

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Aライフに関するワークショップが開催された。主催者はAライフの生みの親、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も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持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す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、Aライフ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、つづく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、研究プロジェクトの企画も噂されている。

(3) Aライフの応用

Aライフ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、Aライフ研究の特徴として注目されるのは次の諸点である。その1は、Aライフ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、Aライフ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。ある生命体とその

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 [Bourgine 91]。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、Aライフ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、最後は文化をも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もつことに着目すれば、Aライフ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上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。

[日経インテリ 93]

<参考文献>

[Belew 91] 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。

[Bourgine 91] P.Bourgine, F.J.Varela: Towards a Practice of Autonomous Systems, Proc. of the First European Conference on Artificial Life, 1991.

[Langton 91] :C.G.Langton: Introduction, C.Langton et al ed.: Artificial Life II,1991.

[日経インテリ 93] 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.

[田中 93] 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ともなう課題と、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”データが十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 database; VLDB）が構築されることは着実である。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「IFTHEN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

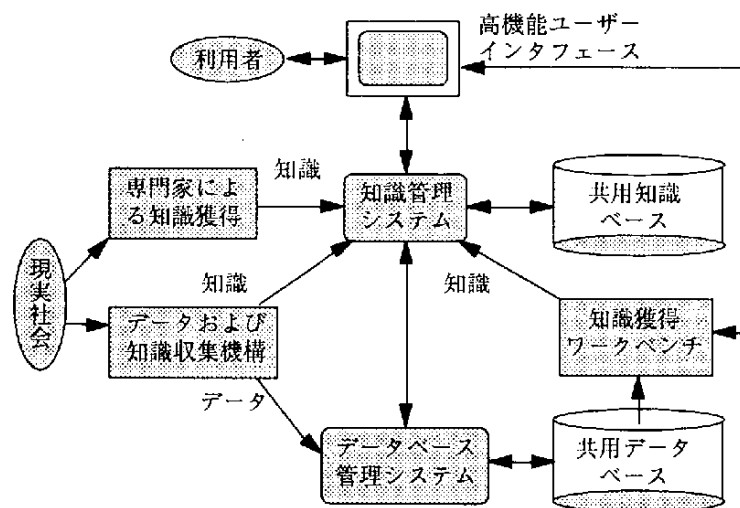
をすることが可能になり、さらには、ルール数が数千もあるように高度で共用の大規模知識ベース（very large knowledge bases; VLKB）の構築が見込まれる。

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 database）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操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 [26]。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既に1989年と1991年に開催された [21、19]。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とにする。

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 (learning 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かん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なわれない。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る、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 II-1-11 大規模知識ベースのシステム構成例

図表 II-1-11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 discovery 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あるが、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 [22] 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充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。

3.2.1.2 対象メディアの多様化にともなう課題

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

*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。

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、それにとま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 [29,28]。

3.2.1.3 対象データの大量化にともなう課題

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、それらの全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関分割して、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、確立・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

すべての条件の並行検索 (parallel check) を行ない、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 [20]。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 [20]。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 [25] 参照) 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全てのデータが満足する概念の特徴を表わす特性ルール (characteristic rule) 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なっている [27]。

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^{*}。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 p/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ムチェック

* 1 : 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。

に導き出すための研究が行われている（例えば、文献 [30] 参照）。

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、P.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 [22]。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 [24]。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ことが考えられる。

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謝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謝って“2”と入力してしまうなど）。Washington州立大学のJ.C.Schilimmer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出し、謝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 [23]。

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なわれており、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なったうえで、特徴抽出を決定木で行なっている。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な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なわれている。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、それにとまなう管理に関する論理的な複雑度の急速な増大にとまなないネットワークマネジメントが困難になってきている。今後、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]。

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、たとえば、“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なうために、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
- ・以上宣言述語 (abnormality predicate)
- ・確率の導入 (例えば、PAC学習など)
- ・ファジィー論理

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Ⅱ-1-12のようにまとめている [8]。この表からも明らかのように、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である。さらに、“知識の泉”ともいえる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の応用研究課題として、今後益々の発展が期待される。

図表Ⅱ-1-12. 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

<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.,Cerccone,N.,and Han,J.:Attribute-Oriented Induction in Relational Database,文献 [21] ,pp.213-228(1991).
- [5] Cohen,D.,Schneider,B.,Berman,H.,and Kulikowski,C.:Learning to Predict DNA Hydration Patters,文献 [19] ,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 [21] ,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 Cerccone,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ー知識体系の構築を目指してー」ワークショップ論文集, pp.70-77,東京(Jan.1992).
- [19] Piatetsky-Shapiro,G.(eds.):Proceedings of 1991 AAAI Workshop on Knowledge Discovery in Databases,Anaheim,CA(July 1991).
- [20] Piatetsky-Shapiro,G:Discovery,Analysis,and Presentation of Strong Rules,文献 [] 21,pp.229-248(1991).
- [21] Piatetsky-Shapiro,G.and Frawley,W.J.(eds.):Knowledge Discovery in Databases,AAAI Press/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).
- [22] Piatetski-Shapiro,G.and Matheus,C.J.:Knowledge Discovery Workbench:An Exploratory Environment for Discovery in Business Databases,文献 [19] ,pp.11-24(July 1991).
- [23] Schlimmer,J.C.:Learning Determinations and Checking Databases,文献 [19] ,pp.64-76(July 1991).
- [24] Shen,W.M.:Discovering Regularities from Knowledge Bases,文献 [19] ,pp.95-107(July 1991).
- [25] 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).
- [26] 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).
- [27] 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).
- [28] 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).
- [29] 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).
- [30] 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

(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（事実に知識と経験的知識）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、手続きの（procedural）ではない宣言的（declarative）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.):

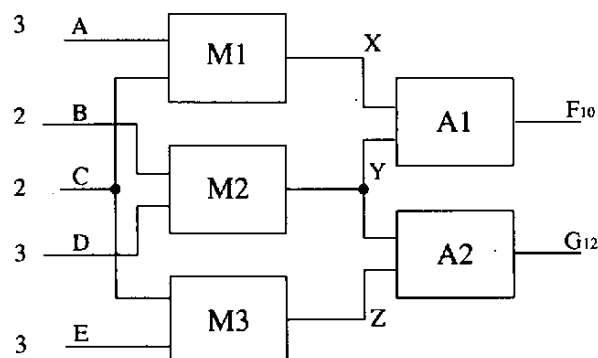
Reading in Model-based Diagnosis,

Morgan Kaufmann Pub.,CA(1992)

(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Ⅱ-1-13を対象にして説明することにする。図表Ⅱ-1-13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1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個以上の多量故障も含めて)が故障である。



図表Ⅱ-1-13 故障診断の対象の演算回路

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Ⅱ-1-13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。

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4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、即ち対象システムのモデルの記述、OBSをobservation、即ち正常でない異常を表す述語とすると、診断とは

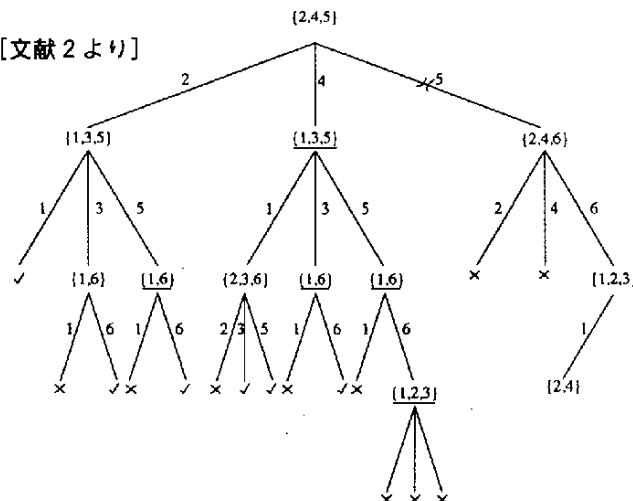
$$SD \cup OBS \cup \{ (AB(C) \mid C \in \Delta) \cup \{ \neg AB(C) \mid C \in COMPONENTS - \Delta \} \}$$

が無矛盾となるような極小集合 $\Delta \in COMPONENTS$ を見出すことである。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もつ極小集合 (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Ⅱ-1-14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Ⅱ-1-14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Ⅱ-1-14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) ✓の付いた節点nがあり、 $H(n) \subseteq H(n')$ 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 $a \in S - S'$ のラベルをもつ枝 (図表Ⅱ-1-14でxの枝) を削除する。

図表Ⅱ-1-14 HS木の生成例 [文献2より]



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Ⅱ-1-14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。

(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もつ知識）の集合 H とに分ける。 H の部分集合を h 、すなわち $h \subseteq H$ 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。

$F \cup h \vdash G$ (F と h から G が証明できる； $\vdash$ は演繹的証明を示す論理記号)

$F \cup h$ は無矛盾

すなわち、完全な知識の集合 F だけから G を証明できればそれでよいが、 F からだけでは G 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、ディ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Ⅱ-1-15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Ⅱ-1-15では、たとえば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。

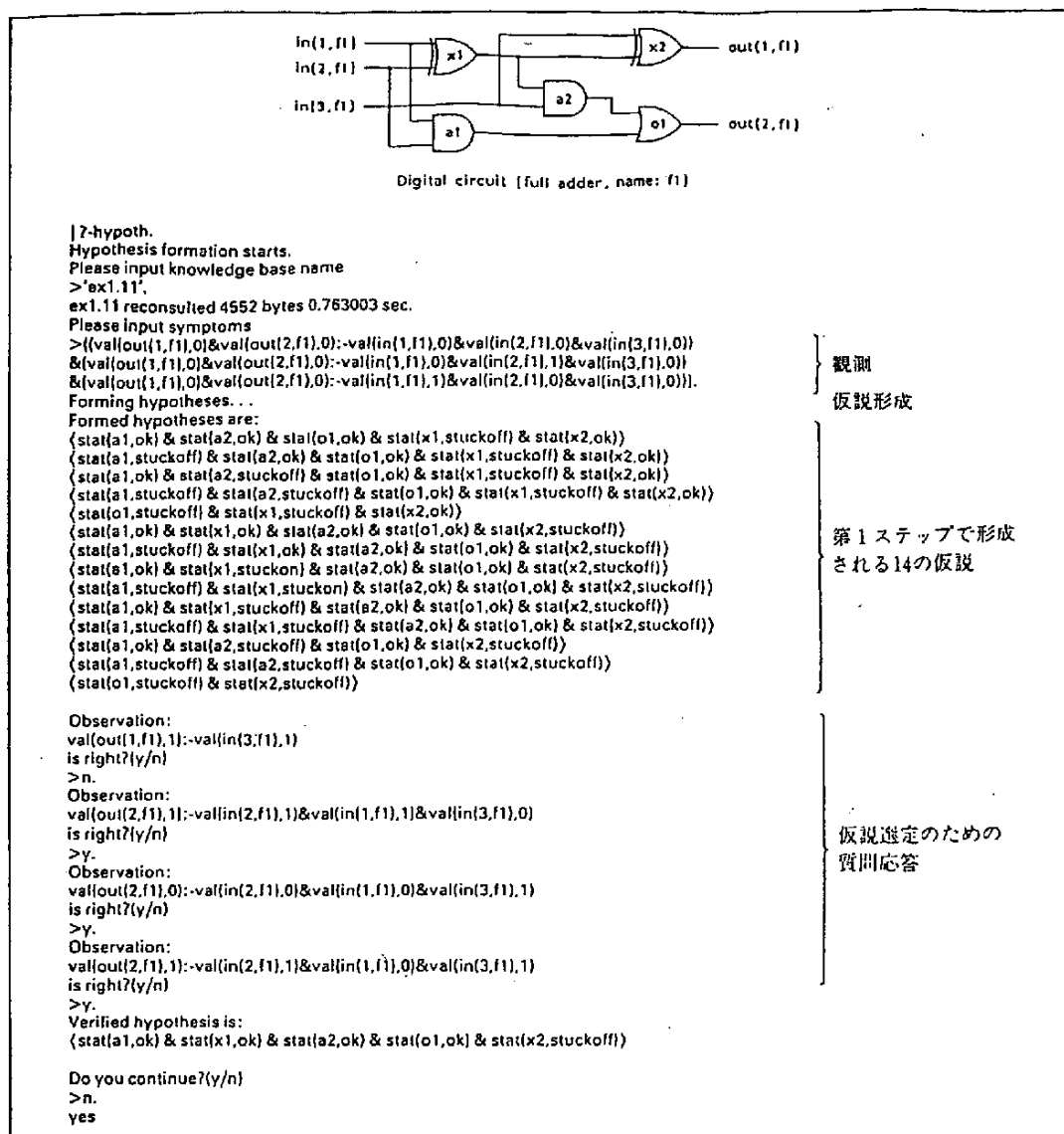
図表Ⅱ-1-15の下部はシステムの動作を示している。この回路は入力3本、出力2本あるが、最初に次のような観測がゴールとしてシステムに与えられる。

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 $\text{val}(\text{out}(1, \text{fl}), 0)$ は1番目の出力 $\text{out}(1, \text{fl})$ 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。



図表Ⅱ-1-15 仮説推論によるデジタル回路の故障診断

($\text{Val}(\text{out}(1, \text{fl}), 0)$ は $\text{out}(1, \text{fl})$ ノード出力値が0を表わし、 $\text{stat}(a1, \text{ok})$ は $a1$ ゲートの状態が ok であることを表わしている。

この場合の仮説推論機構は、最初に可能な解仮説の多量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Ⅱ-1-15の中段のように14種の仮説の組合せが得られる。

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-応答機構を実現できる。

図表Ⅱ-1-15の下段では、次のような質問-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2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-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

FUh1 ⊢ G2

FUh2 ⊢ 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-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Ⅱ-1-15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。

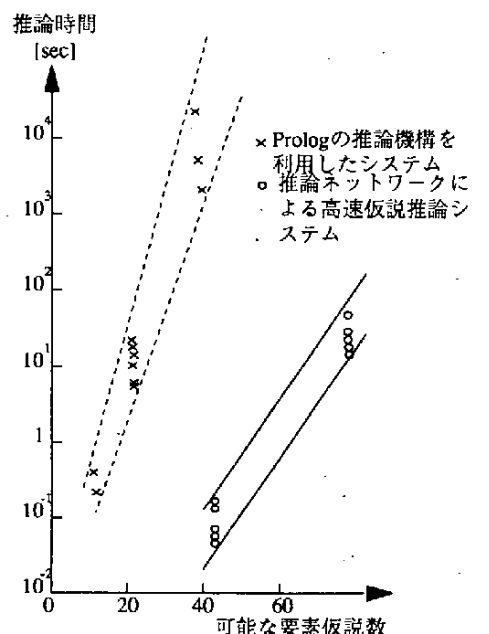
仮説推論は実用的にも有用な枠組みであるが、最大の課題は低い推論速度の克服である。実は仮説推論を始めとする非単調推論の計算複雑度はNP-完全、あるいはNP-困難であると証明されており、通常の意味での推論（探索）法の範囲に溜まっていたのでは、最悪値評価で問題規模の指数オーダー以下となる推論時間は達成できない。宣言的表現の論理に基づく仮説推論に関しては、制約充足問題（Constraint Satisfaction Problem: CSP）に等価変換でき、このCSPの計算複雑度もNP-完全となっている。

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、指数オーダー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せら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 II-1-16 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。単解を求めようになると、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 4 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。



図表 II-1-16 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]

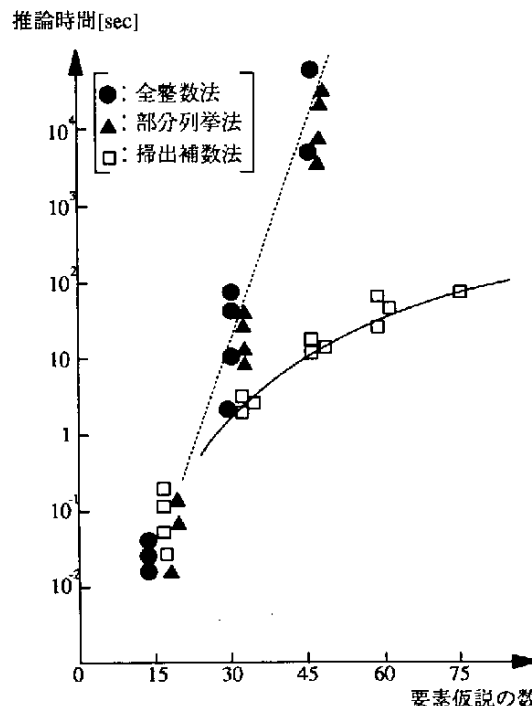
この推論パスネットワークによる高速仮説推論システムは大幅な高速化を達成しているが、図表 II-1-16でも縦軸が対数軸でとられているように、依然として可能な要素仮説数に対して指数オーダーの計算時間となっている。先にも述べたように、通常の意味では解の探索法の範囲に溜まっていたのでは、この指数オーダー時間の壁は越えられない。この壁を克服する一つの有力なアプローチを以下に記す。

解仮説は一般に複数组得られるが、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ー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、単純化し、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、目的関数の値を（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 II-1-17 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]

図表 II-1-17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 II-1-17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単純化後に適用しても指数オーダー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ーで求めることができ、この性能が図表Ⅱ-1-17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もった準最適解の高速探索法になっている。

(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はなく、可能性の高い箇所だけに焦点を当てて優先して探索を行うフォーカシング葉、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。

- 1) Prediction :観測される(する)値に関してモデル(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の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。

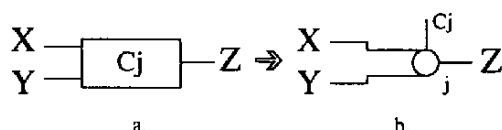
- 1) 最良の候補が次善の候補より k_2 倍(たとえば $k_2=100$)の(推定)事後確率になったとき。
- 2) K_1 個以上の候補が生成されたとき。(候補に対しては検査を行って絞り込みを行う。)
- 3) すべての生成された候補の確率の合計が可能な全候補の確率の k_3 倍(例えば $k_3=0.75$)を超えたとき。

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。

(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Ⅱ-1-18.aのようなX、Yを入力とし、Zを出力とする部品 C_j を考える。X、Y、Zは変数だが C_j も変数と考え、 C_j の取り得る値を $\{ok, \neg ok\}$ とする。このようにして図表Ⅱ-1-18.bのように、変数X、Z、 C_j 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。



図表Ⅱ-1-18 部品を介しての制約の表現法 [文献13より]

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 $\{ok, \neg ok\}$ 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 $N(S, O)$ (例えば故障部品数で値が小さい程良いものとする) 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、単連絡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 P_k で表し、 P_k からノードXを除いた集合を $P_k^X (= P_k - X)$ と表す。 P_k^X 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_k^X であるようなメッセージを $m(P_k^X - X)$ と書く。これは P_k^X 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 $m(P_k^X - X)$ は、 x_i をXが取り得る値としたサブメッセージ $m(P_k^X - x_i)$ から成る。サブメッセージは以下のような3つ組である。

$$m(P_k^X - x_i) = (x_i, N^k(x_i), S^k(x_i))$$

ここで $S^k(x_i)$ は「Xが x_i である」としたときに、それを最も強く支持する P_k^X の各節点での変数

値の組であり、 $N^k(x_i)$ は $S^k(x_i)$ 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 のうち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 $m(X) = \bigcup_i m(X_i)$ を次のように計算する。

$$m(X) = \bigcap_{k \in C(X)} m(P_x^k \rightarrow X_i) = (X_i, N(X_i), S(X_i))$$

ここで

$$m(X_i) = \bigcup_{k \in C(X)} S^k(X_i)$$

は観測と仮説 $X = X_i$ 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 $m(P_x^k \rightarrow X)$ はサブメッセージ

$m(P_x^k \rightarrow X_i) = (X_i, N^k(X_i), S^k(X_i))$ から成るが、このメッセージの作成法を説明する。

$P_x^k = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$ とすると $N^k(X_i)$ および $S^k(X_i)$ は以下の用に作成される。

$$N^k(X_i) = \min_{\substack{y_1, y_2, \dots, y_n \\ \text{subject to } C^k(x_i, y_1, \dots, y_n)}} \sum_{j=1}^n [N(y_j) - N^k(y_j)],$$

$$S^k(X_i) = \min_{\substack{y_1, y_2, \dots, y_n \\ \text{subject to } C^k(x_i, y_1, \dots, y_n)}}^{-1} \sum_{j=1}^n [N(y_j) - N^k(y_j)],$$

ここで y_i はそれぞれ変数 Y_j の取り得る値をわたり、 $C^k(X_i, y_1, \dots, y_n)$ は制約 k による各変数への条件を表している。重み $N(y_j)$ から y_j を差し引くのは、ポート P^k 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。

$$m(C) = ((ok, 0, ()), (\neg ok, 1, ()))$$

他の変数は次のように初期化する。

$$m(Y) = ((\Omega_Y, 0, ()))$$

ここで Ω_Y 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 P^k からのつぎのようなメッセージとして表現される。

$$m(O_X \rightarrow X) = ((x, 0, ()))$$

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。とくに、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、それもとくに計画問題などの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ワーカー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。

最近では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く。たとえば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、たとえば岡本・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。詳しくは、3.3.1節を参照されたい。

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、AAAI92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ねらったものである。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、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訳である。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ー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、どちらかという両アプローチが1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。もっと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。しかしここに来て、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わかってきたこと。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もつ知識の範囲を知らながら、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な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1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1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3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）
- ・連続時間が離散時間（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、実は様々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。

1.PERT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、

スケジュールリング単位：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、あらかじめ数え上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なう。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

4.OS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）の生産量を定める問題を指す。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ふ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によるものがある。AIによるものは、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。

ここではとく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取り、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举すると、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めればいい場合
- 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、一見迂遠にしてもっと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、渋谷宏明、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-「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] 関根史磨、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] 関根史磨、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-「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.

3.4 AI実現技術の動向

3.4.1 学習ツール

(1) 概要

知識獲得は知識処理の応用における一つの大きなボトルネックであり、この問題点に対処するために、さまざまな知識獲得ツールが研究・開発されてきている。こうした「知識獲得ツール」は、トップダウンな専門家からの知識獲得をよりスムーズに行えるようにするための支援をめざすものとボトムアップに事例だけを与えられて自動的／半自動的に知識を抽出することをめざすものの二つに分けてみることができる。

前者の例としては、ルールを記述するのではなく、エキスパートがシステムと質問応答を繰り返すことによってルールを形成してゆくようなシステムや、エキスパートの与える漠然とした制約条件に適合するルールを生成し、その中から適切と思われるものを選ばせるようなシステム、などがある。

以下では、「学習ツール」として、後者すなわち、ボトムアップに、比較的多数の事例から自

動／半自動的に知識を抽出することを目指すシステムをとりあげ、最近の技術動向を概観する。まず、(2)節では事例からの学習を得意とするニューラルネットワーク技術を利用したシステムについて述べ、その後、(3)節でそれ以外の技法によるシステムについて述べる。

(2) ニューラルネットワークツール

知識を事例だけから抽出するシステムとして一つの大きなカテゴリを成しているのは、ニューラルネットワークの学習機能を利用するものである。商品化されているニューラルネットワークツールは数十におよぶが、そのほとんどはパーソナルコンピュータやワークステーション上で動作するものであり、ソフトウェアのみのもの、アクセラレータハードウェアを利用する／できるもの、におおきく整理できる。シミュレーション速度は、MCPS (Mega Connections Per Second : 一秒間に100万結合分の処理ができる) や MCUPS (Mega Connections Update Per Second : 誤差逆伝播学習の重みの更新を一秒間に100万回行える速度) などの単位で評価することが多い。ごくおおまかに言うと、パーソナルコンピュータ上で動作する入門用のソフトウェアツールで0.1 MCUP程度、アクセラレーションボードを使うと、その10倍から100倍程度加速されるという感じである。アクセラレーションハードウェアにはDSP (Digital Signal Processing) チップを応用して、ニューロに固有のベクトル演算を高速化している簡単なものも多いが、最近の製品にはよりニューロ向きのアーキテクチャを実現しているものもある。たとえば Adaptive Solutions の CNAPS サーバーは、専用のデジタルチップを4つ使って1000 MCUPの速度をうたっている。

現在市場にある製品、特に、米国製のニューラルネットワークツールは、多くの製品が一通り淘汰された後の第二世代であるため、Hect-Nielsen Computer (HNC) の製品や Neural Ware の製品など、生き残っているものは、使用感もそれなりによくなってきている。また、最近のシステムでは、学習結果をエキスパートシステムのような知識処理システムや他の応用システムと組み合わせて使うことを想定しているものが多い。たとえば、Neural Ware の Designer Pack は、ニューラルネットワークを使って学習した結果をCの関数に自動的に変換する。これによって、他のシステムへの組み込みを容易にするとともに、関数使用時の実行時間の高速化を図っている。

また、さらに一歩進んで、規則的な知識の獲得にニューラルネットワークを利用することも試みられている。この場合には、単純にニューラルネットワークで変数間の関係を学習させるだけではなく、ルール化しやすいような学習結果を得るための工夫や、学習結果を解釈しなおしてルール化するための工夫が重要となる。

HNC の Database Mining System は、ニューラルネットワークをデータ解析ツールとして位置付け、解析結果の表示システム、感度分析ツール、結果の検定ツールなどと組み合わせることによって、高機能な半自動データ解析システムを構築している。これによって、従来の多変量データ解析ツールで問題となるモデル選択の手間が省けるという。このような方向は、現在のニューラルネットワークモデルの特徴である大量の生データ処理能力を活かすものとして興味深い。

(3) その他の学習ツール

最近では、学習というとニューラルネットワークがとりあげられることが多いが、それ以外の記号処理的な AI においても、学習技法の研究は進められている。

事例からの学習に関する研究としては、ID3 などの分類木を学習的に構築する方法がよく知られているが、他にも、形式規則の一般化技法を用いて大規模データベースから規則的な知識を学習する試みや、EBL (Explanation Based Learning: 説明に基づく学習) のように、少数のデータから効率よくルールを獲得する試みが行われている。しかし、多くは研究段階である。

また、事例から知識を抽出するのではなく、事例をほとんどそのままの形で蓄積し、それに対して事例ベース推論 Case-Based Reasoning (CBR) を用いるという方向もある。たとえば、Interface の ART-IM は CBR 機能を組み込んだエキスパートシステムである。

一般に対象間の関係は事例データに反映されるわけだが、それを関数やルールという形でコンパクトに記述しておくか、それとも事例をほぼそのまま蓄積しておいて、利用する場合に、事例の空間での位相的な情報を使って適当な内挿を行うか、は学習の戦略の二つの典型であり、学習対象によって適不適があることが知られている。古くは、パターン認識における識別関数の方法と k-NN (k Nearest Neighbour) などの最近傍評価の方法があり、ニューラルネットワークにおいても、LVQ (Learning Vector Quantization: 学習ベクトル量子化) や RCE (Restricted Coulomb Energy) Network など事例ベースの学習に近い戦略を用いた学習法がある。

事例ベースの学習の利点は、学習時間がかからないこと、事例の追加による学習が容易であること、既知の事例と新たな未知の事例との距離の近さによって、出力結果の信頼度のおおまかな評価ができること、などであるが、その反面、事例を蓄積するためのスペースが必要で、実行時に過去の事例の中から近いものを見つける最適探索をする必要がある。しかし、メモリやディスクが安価になっていることもあり、こうした方向は今後発展すると思われる。

また、(2) で述べた Database Mining System とも似ているが、事例からの知識の獲得プロセスを探索的な発見過程ととらえて、さまざまなデータ解析、学習ツールを集めたシステムを構築し、半自動的な知識獲得過程を実現する試みも現れている。たとえば、ESPRIT プロジェクトで開発されている MLT システムは 10 種類の学習アルゴリズムを利用しながら知識を発見してゆくためのツールである。

<参考文献>

- [1] 日経AI別冊1991春号、日経BP社 (1991).
- [2] 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] Uszynski, M. : Modified Specification of the overall architecture, ESPRIT 2154 Deliverable 1,1,2 (1992).

第2部 ハイライト技術—知的インタフェース

1 知的インタフェースの概観

「知的インタフェース」は、計算機と人間とのギャップを埋める情報処理技術として、AI技術と深い関わりをもって発達してきた。研究の初期においては、AI研究の副産物の趣すらあった。しかし、最近の「知的インタフェース」研究の動向は、初期の知的インタフェースの観点を越えるもので、外界とのインタラクションの重要性を提起しており、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ようにさえ見える。

「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。しかし、計算機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。

「知的インタフェース」研究は、「人間」、「計算機」、「環境」の3者のインタフェースを如何に取るかの研究である。

このような特徴を持つ「知的インタフェース」技術であるが、現状では様々な技術開発の試行が行われており、また余りにも広い技術領域をカバーする技術であるため、「知的インタフェース」技術とは何であり、また今後どの方向に進むべきであるかすらはっきりしない面がある。

このような観点から、現在知的インタフェース研究の一線で活躍されている方々に、このような知的インタフェース技術の変遷と技術マップ、さらにはその実現目標と評価手法について意見や展望、提言を頂き列挙したものが以下の節である。

列挙であるのでまとまらない点も有るが、自由な発想で示唆に富む内容もあり、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。

1.1 知的インタフェース技術の変遷と技術マップ

1.1.1 知的ヒューマンインタフェース技術マップ

(1) ヒューマン・コンピュータ・インタフェースの変遷

人間と機械とのやりとりをより楽に、楽しくするために種々の試みがなされてきた。それをより楽にするための軸（図表Ⅱ-2-1の下の横軸）と、より楽しくするための軸（図表Ⅱ-2-1の縦軸）と、より広く使いこなすための軸（図表Ⅱ-2-1の上の横軸）との3つの軸に沿って、年代順にその変遷を追うと、図表Ⅱ-2-1のようになる。当初（1930年代）、機械が人間をサポートし、いかに人間に楽をさせるかが焦点であった。したがって、人間と機械との接触を極力減らし、接触する場合は、多少使いにくくても訓練により、操作に習熟して使うのが一般的であった。

それが、計算機の性能アップにともない、次第に対話的な処理が行えるようになり（テキストエ

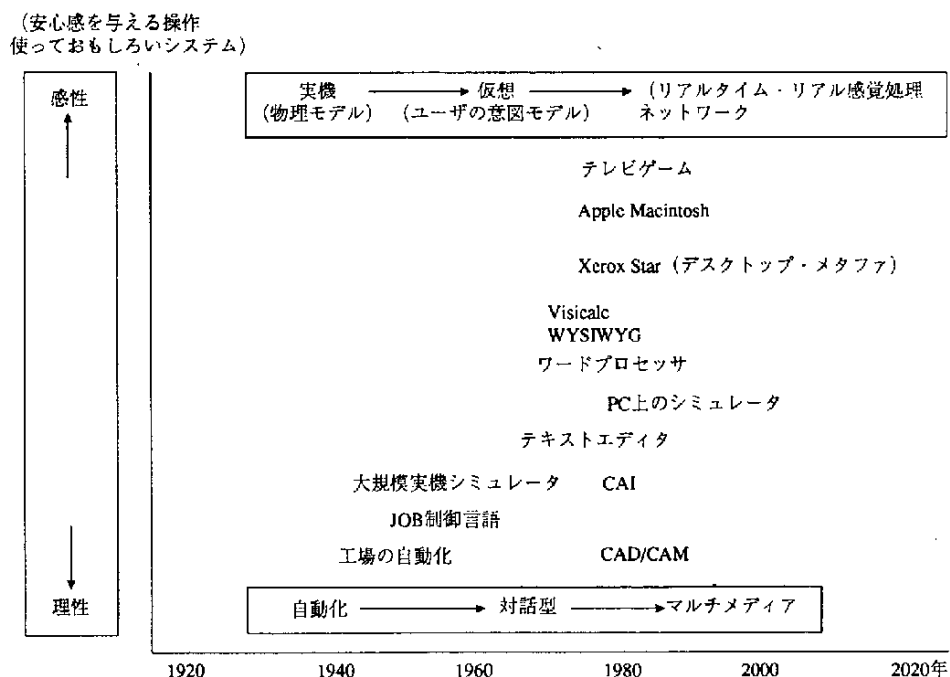
ディタ、ワードプロセッサなど)、ユーザ層が広がった。次第に、無理矢理覚え込んで使うというのではなく、使いやすさ、覚えやすさが求められるようになってきた。

最近では機能や性能では差別化できなくなってきた、いかに楽に楽しく使えるかで差別化するようになってきた。その典型例がアイコンに代表されるデスクトップ・メタファとテレビ・ゲームソフトの登場であろう。

また動画圧縮LSIや音声ボードの組み込まれたPC / WS、ISDNのような広帯域ネットワーク、10Gbitの光伝送などの登場により、人間と機械との接触は速度・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。つまり物理空間におけるコミュニケーション・チャンネルが従来の人と機械との接触から、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・チャンネルも文字、2次元図形、音声から動画、3次元図形へと展開してきた。

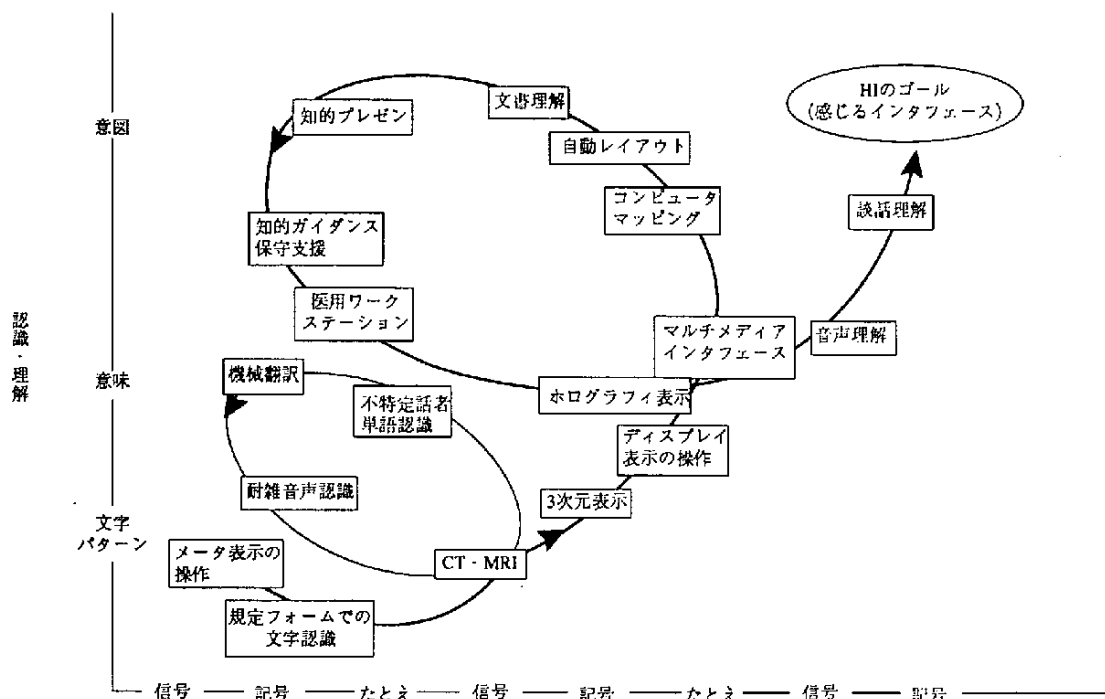
(2) 技術とユーザ・ニーズ

図表Ⅱ-2-1は技術面からみたマップであるが、これを技術とユーザ・ニーズとの絡みで見直すと、図表Ⅱ-2-2のような渦巻モデルとなる。図表Ⅱ-2-2は縦軸に機械側が人間の動作などを認知・理解するレベルを、横軸に機械が人間側に提示する表現・シミュレーションのレベルを示している。ただし、機械があるレベルに達するとユーザのニーズは、それを上回るので横軸は信号・記号・たとえのレベルが繰り返しあらわれる。これに追隨して、技術が渦を巻きながら進展してきている。技術がユーザのニーズに追いつくと、ユーザはさらにその一段上を望むというように、いたちゴッコが繰り返される。



図表Ⅱ-2-1 HCIの変遷

HI技術の発展モデル



図表II-2-2 表現・シミュレーション

1.1.2 人間社会との交流を目指す知的インタフェースの技術マップ

技術マップを考えると、やはり「知的インタフェース」という言葉のイメージをはっきりさせる必要があると思われる。私自身のイメージは、特に従来のAIとの関連で言えば、「人間の代行をする機能の実現」から「人間の活動のインタラクティブな支援」へ技術の焦点が移った点が最大のポイントであろうとおもわれる。実際、後者の方向を目指すべきであると言う意見が最近特に増えてきており、かつ後者の方向を目指したシステムの方が有用であるという実例も増えてつつあるのが現状であろう。

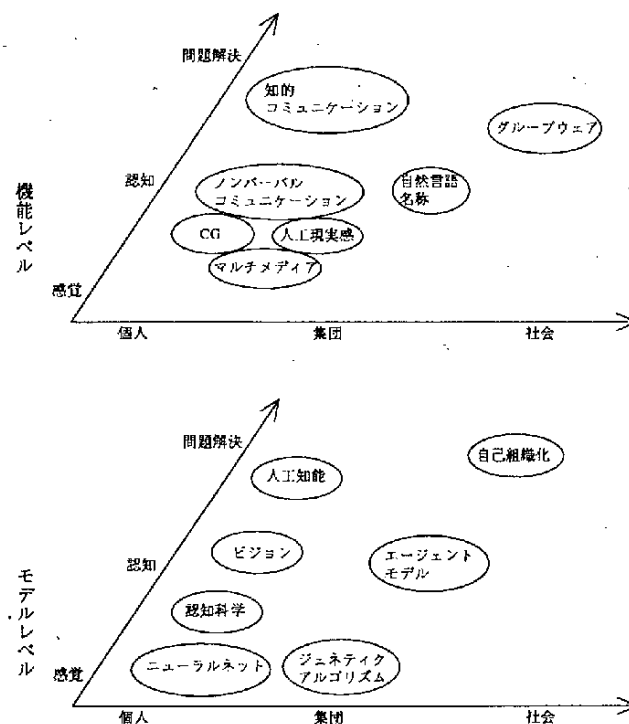
このような観点から「知的インタフェース」のベースとなる科学や技術を抽出してみると、以下のような技術が取りあげられよう。

- ・ 認知科学
- ・ ニューラルネット
- ・ AI技術
- ・ メディア技術
- ・ VR技術
- ・ CSCW (グループウェア)
- ・ ヒューマンコミュニケーション (自然言語、ノンバーバルコミュニケーション)

ここでは、エルゴノミクスや感性工学は「知的」という言葉としっくりこないように感じられたので除いてある。

さらに、これらを技術マップとしてまとめるにあたっては、「モデル」レベルと「機能」レベルの2階層に分割するのが分かりやすいのではないと思われる。また、それぞれの階層の縦軸・横軸は、例えば、縦軸は、「表層的な感覚レベル」から「人間の高度な知的レベル」へ、横軸は「外部や状況との関連度合の強さ」(Openness)で並べてみるのが考えられよう。このような考え方で先ほどの技術やその中で扱われるモデルを整理してみたのが、図表Ⅱ-2-3である。

図表Ⅱ-2-3のような形でまとめてみると、「知的インタフェース」の目指すゴールは、徐々に外側へ広がりつつあり、言い替えると「より高度な問題解決」と「社会へのかかわりの広がり」を融合した機能が求められてきていると言えよう。このような流れの中で、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てきたとも考えられる。



図表Ⅱ-2-3 技術マップ

1.1.3 技術マップについて

(1) 軸（次元）の設定

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

と集団をいれ、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－個人」という組合せは、実際には「集団－集団」と区別しがたいため、ここでは省略した。

①個人－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－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－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

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

判り易さを向上させる、すなわち初心者にとって判り易く、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、

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。

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。

②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。

③実現方式（内部仕様）

I-CAIを実現するための知識表現形式として、フレームを用いるのか、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。

4) マップの構造 (案)

これらを組み合わせると、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—個人の技術、個人—集団の技術、集団—集団の技術）ごとに3枚できることになると考えられる。

	関連要素技術	機能仕様	実現方式	ス
操作性				現方式
認知性				現方式
快適性				現方式
	適性			
		適性		

個人—個人の知的インタフェース

(2) マップの構成

①個人—個人の技術

	操作性	認知性	快適性
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
機能仕様	DataGlove EyeGaze	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
表現方法	赤外線センシング方式 パターン認識応用方式 画像処理方式	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	

②個人－集団の技術

	操作性	認知性	快適性
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	人間中心（基本思想）
機能仕様		GUY部品集 Knowledge Navigator gIBIS 悪文訂正機能	個別重視のJOB割当て
表現方法		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

③集団－集団の技術

	操作性	認知性	快適性
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
機能仕様	集団同時利用黒板	GDSS	ビデオウォール
表現方法	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

1.1.4 機能レベルと実現手段レベルの技術マップ

知的インタフェースの持つべき機能のマップとこれらの実現手段（メカニズム）の二枚のマップが必要であると考えられる。これらは、知的インタフェースのニーズとシーズと言い替えることもできよう。ニーズ主導のフェーズとシーズ主導のフェーズがスパイラル的に展開するものと考えられる。これらの二つのマップを分けて考えることが知的インタフェースの課題整理に役立つ。

各マップは、外界への開放性と認知レベルという二つの軸から成ると考えたい。ここでの外界への開放性とは、システムの用意した機能だけでなく、プリミティブを組み合わせることでユーザが新しい機能を作り出せることを意味している。この開放性軸に関しては開放度小・中・大の3種類、認知レベル軸に関しては知覚・認知・問題解決の3種類に分けられよう。

例えば、機能マップ上には、協調システム、知的コミュニケーション、ビジュアライゼーション、バーチャルリアリティなどが、実現手段マップ上には、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が考えられる。

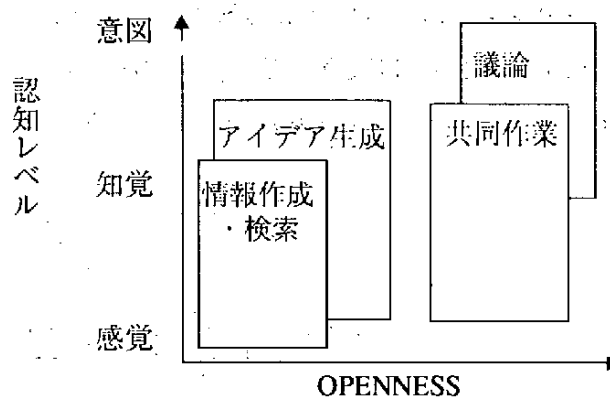
1.1.5 認知レベルとOPENNESSを軸にした技術マップ

ヒューマンインタフェースを考える場合、人間の認知レベルのどの部分に対応しているかという認知レベル（感覚－知覚－意図）の軸および個人に関するものかあるいは集団に関するものかとい

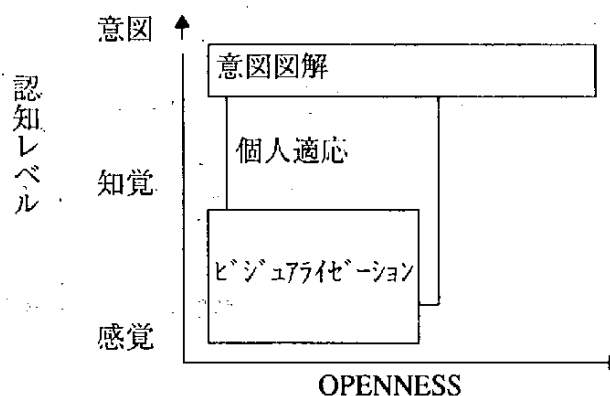
うOPENNESS（個人－社会）の2つの軸を考えるのが妥当だと思われる。

この2つの軸に対して、アプリケーション（タスク）レベル、機能レベル、モデル（実現手段）レベルの3つの切り口から、技術を対応づけることを試みる。

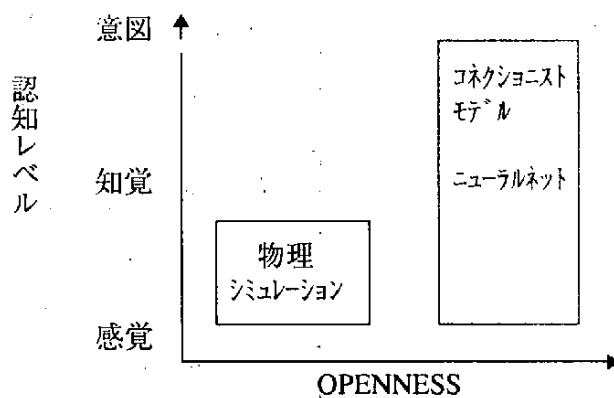
①アプリケーション（タスク）レベル



②機能レベル



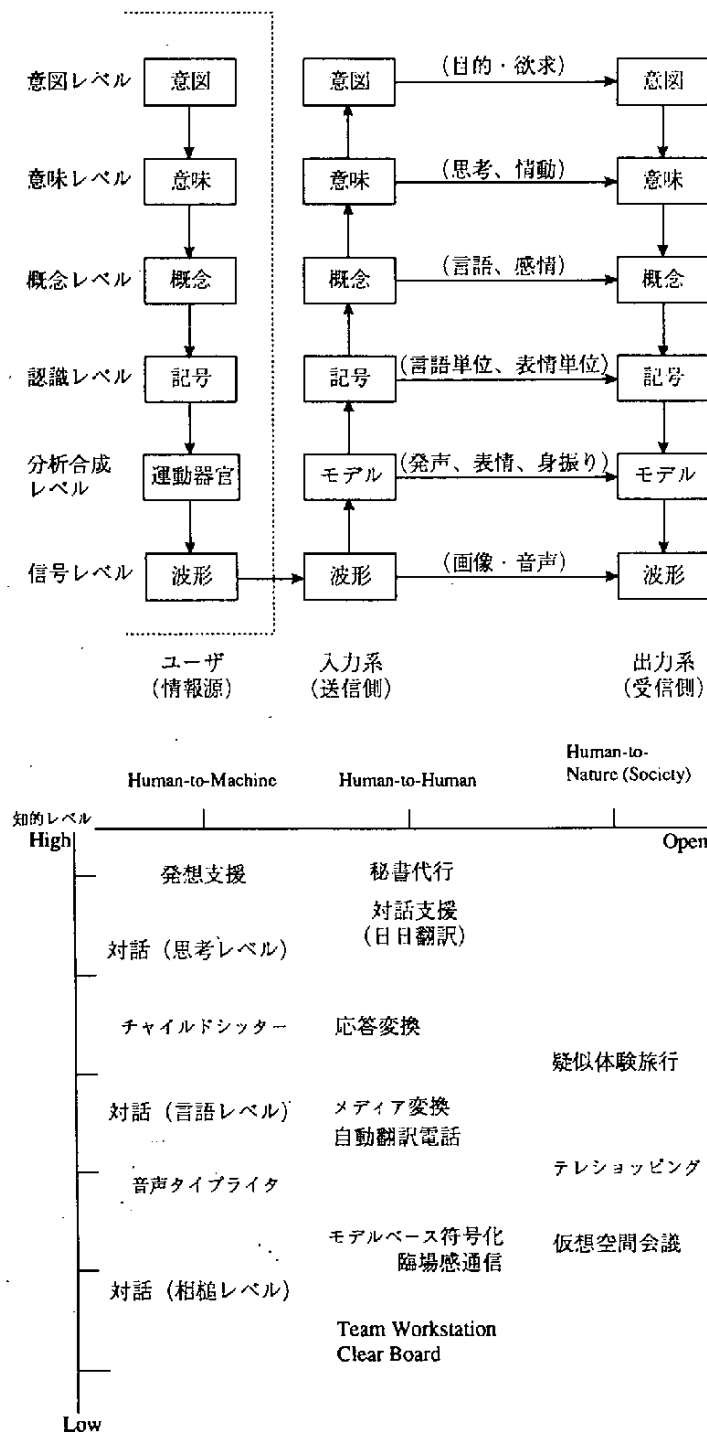
③モデル（実現手段）レベル



上記対応付けの結果、次の点をさらに検討する必要があるのがわかった。

- (1) OPENNESSの軸は機能レベル、モデルレベルでも必要か？あるいは、アプリケーションレベルと意味が異なるのか？例えば、マルチエージェントモデルを用いても、必ずしも社会的なアプリケーションを作る必要なし。
- (2) モデルレベルに認知レベルの軸は必要か？例えば、コネクショニストモデルは、感覚レベルの機能の実現にも利用できるだろうし、意図レベルの機能にも利用できるのでは？

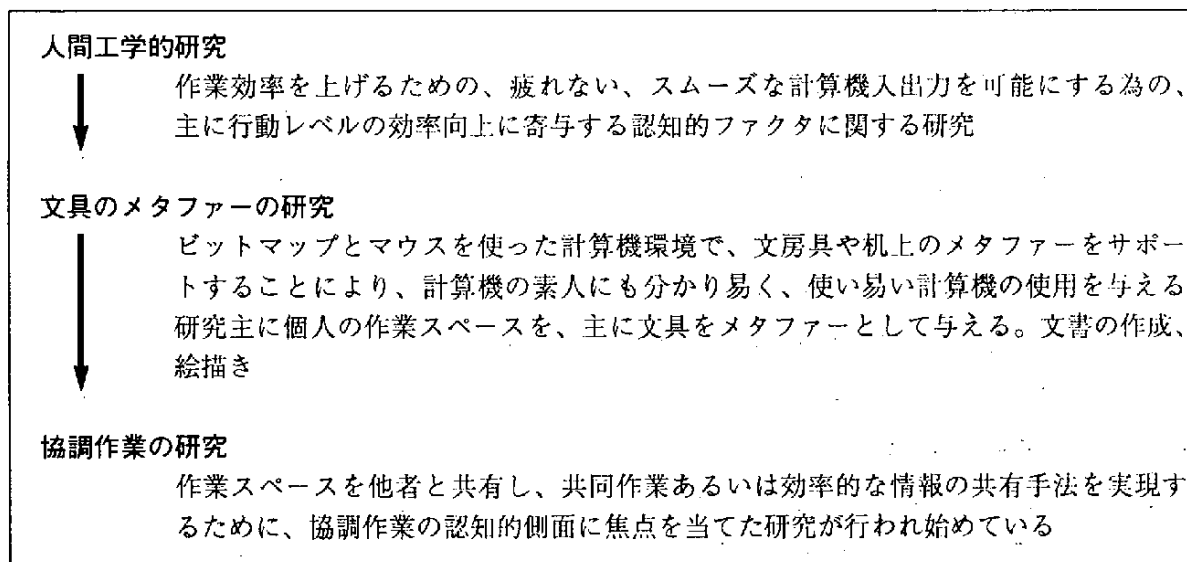
1.1.6 コミュニケーションモデルから見た技術マップ



1.1.7 知的インタフェースの認知科学的課題からみた変遷

知的インタフェースの研究の進化／変遷と共に、知的インタフェースにおける認知科学的課題も進化／変遷している。知的インタフェースでは、人間と機械（計算機）との間のあらゆるギャップを埋めることが目的であるが、そこに介在する人間をサポートするのが主目的である。従って、知的インタフェースにおける認知科学的課題の変遷を知ることで、知的インタフェースで、その時代時代で何を実現し、これから何を実現しようとしているかを見ることができる。

認知科学的課題の変遷は、図表Ⅱ-2-4のようにまとめることができる。



図表Ⅱ-2-4 認知科学的課題の変遷

計算機の入力効率を良くすることを主眼とした使用環境の支援から、素人でも使い易い計算機の使用環境の支援に関する研究へと認知科学的課題は変遷していった。これらは、「計算機と人間とのギャップの技能面の支援」、「通常の人々が計算機を使う能力の支援」等の課題である。

計算機を使って行う仕事の内容も大幅に変わってきている。昔は、計算機の得意とする計算等の特定の仕事の対象であったのに対し、いまでは「バラエティに富んだ仕事の環境の支援」が対象となりつつある。日常、人間が行う仕事自体が、計算機の情報処理の対象となり、知的インタフェースの認知科学的課題の内容も「仕事」指向になってきていると思われる。

このような、研究の流れの中での必然の方向として、最近「個人的能力から協調作業の支援へ」知的インタフェースの認知科学的課題も、大きく変わってきている。人間が行う重要な仕事の多くが、そもそも「協調作業」を主体とすることを反映しているためである。

認知研究は、広い意味で全て「協調あるいはインタラクション」の研究である。しかし、「協調あるいはインタラクション」の研究が真正面から取り上げられるようになったのは、認知研究においてすら最近のことである。従来の研究手法では、一方的なインタラクションが考えられがちであ

った。たとえば、授業に対する考え方であるが、「知識を持つ教師」が「未だ知識を持たない生徒」に知識の伝達を一方的に行う図式が普通に受け入れられていた。しかし、最近では、教育の場における「教師」と「生徒」の協調作業として教授を考えるべきであることが分かってきた。

人間と計算機の関係も、一方的なインタラクションを機械的に考えるのではなく、むしろ「ある仕事を行う協調作業」として捕えるべきであろう。

数年前に「人間中心」主義が提唱され、「人間－機械（計算機）」の支援のあり方が論議された。しかし、現在では「人間中心」で「仕事指向」であるが故に、計算機は協調作業の一要素ではあるが、目立たないことが要請されている。「計算機、ひいてはインタフェース自体は、透明に（意識されないように）なる」ことが要請され、「仕事の性質が表に現れるような インタフェース」が求められていると言えよう。

1.1.8 キーボードと音声入力

インタフェースを通じて、人間と計算機の間で情報が交換される。人間から計算機への情報の転送において、最大の情報量が送られる媒体はおそらくキーボードであろう。この点に、インタフェースとしてのキーボードの重要性がある。

人間同士の情報交換は音声で行なわれているため、究極のインタフェースは音声入力であって、キーボードはそれが実現するまでの、つなぎの手段であると一般には考えられている。しかし、この点は慎重に検討する必要がある。

まず、理想的な音声入力の実現できたとしよう。キーボードの必要性はなくなるのであろうか。これを、使い手である人間の側から検討してみよう。アナウンサーのようなプロフェッショナルであっても、1日にしゃべれる時間は4時間程度である。普通の人なら、この半分程度であろう。これに対して、タイピストは1日8時間打つことを続けても、ほとんど支障ない。普通の人でも、ブラインドタイプができるなら、やはり1日8時間程度を打ち続けることは不可能ではない。もちろん、入力量はタイピストに比べて落ちるであろうが、時間的にはタイピストとあまり変わらない。

このことはあまり気づかれていないが、テキスト入力の方法を考える時に大切な点である。ワープロが最も広い計算機の応用分野であることから分かるように、テキスト入力は最も重要で基本的な計算機への入力形態である。

ところで音声の役割は、テキスト情報を伝えるだけではない。感情を表現する手段でもある。計算機を使っていると色々失敗をすることが多い。その時、「クソ！」であるとか、「チクショウ！」といった叫び声をあげることはよくあることである。音声入力を使っていると、計算機に伝えたい情報の中に、このような感情表現がまじってしまう。もちろんAI技術の発達によってかなりの部分は除けるであろうが、完璧を期すことは、容易ではあるまい。

キーボードを用いていれば、この問題は起こらない。知的感情はキーボード、感情的情報は音声と自動的に人間は切り分けて表現するからである。問題となるのは、ブラインド技術の習得である。タイプ学校に何カ月も通わなければならないのなら、一般人が習得するわけにはいかない。

しかし、この点でもキーボードは理想的な媒体である。これもあまり知られていないことであるが、ブラインド技術の習得は数時間でよい[1][2][3]。問題は、数時間練習しなくても、1本指打法で直ぐにキーボードを使うことができる点である。このため、大部分の人が練習せずにキーボードを使い出してしまふ。練習しなければ使えない自転車や自動車なら、このようなことは起こらない。キーボードは理想的なテキスト入力手段であるが、易し過ぎるが故に、その事が理解されないという、皮肉な結果となっている。

それでは音声入力は不用かという、そういう訳ではない。テキスト以外に種々の情報入力に使える可能性がある。そうした可能性を音声入力技術の進歩にともなって検討することが、この技術の発展にとって大切である。

<参考文献>

- [1] 増田忠「キーボードを3時間でマスターする法」日本経済新聞社、1987年
- [2] 大岩元「5時間10分キー入力習得法」マグロウヒル、1990
- [3] 大岩元「TUTタッチタイピング」岩波書店、1991年（ビデオ+98ソフト）

1.1.9 目標から操作への翻訳

インタフェース研究の流れとして、コンピュータを道具として考える方向と、秘書として考える方向がある。ユーザがコンピュータに向かうとき、ユーザの頭の中には解決したい課題、すなわち目標があるはずである。コンピュータを使ってこの目標に到達するためには、目標からコンピュータの操作への翻訳を行わなければならない。2つのインタフェースの違いは、この翻訳をシステムが考えるか、ユーザが考えるかである。そして、この翻訳作業を行うことが知的と呼べる部分であろう。したがって、知的インタフェースとは、秘書のようにユーザの意図を理解し判断し処理するという、秘書型インタフェースと考えることができる。それに対して、道具型では、ユーザが目標から操作への翻訳を自然に行えることを目指している。すなわち、ユーザの知的作業を支援するインタフェースである。この道具型インタフェースは知的インターフェースと言うよりは、認知的インタフェースとされている。

しかしながら、道具型インタフェースにおいて目指す所は、ユーザが目標から操作への翻訳を自然に行えるようにすることであり、ユーザの知的作業の支援を目標としている。このようなインタフェース設計においても目標から操作への翻訳は暗に表現されているはずであり、この意味では、広く知的インタフェースに含めることができる。いずれにしても、目標から操作への翻訳という観点が知的インタフェースには重要であるだろう。

1.1.10 計算機科学の変貌とバーチャルリアリティ

バーチャル・リアリティとは、計算機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が行なえるようにした仕組みのことである。この技術は、これまでとは比較にならないほど大容量の情報交換路を人間と計算機の間に与えてくれる。このことは、これまでと一

線を描いた計算機の使用法を示唆することになろう。

これまでの計算機科学は、計算機それ自身の能力を極限にまで向上させることに努力を傾注してきた。言葉を変えていえば、いかに自律的に動作可能な賢い計算機を作り上げるかが最大目標であったといえる。ところが、人間と計算機とがより密接に結合できるとなれば、もうひとつの考え方が可能である。すなわち、人間と計算機を有機的に結合し、全体として高い情報能力処理を実現しようという考え方である。前者の代表格の技術がAI(Artificial Intelligence)であるとするならば、それと対応づける形で、後者の考え方はIA(Intelligence Amplification)と呼ばれている。

計算機単体を知能化するという前者の考え方は、すべての情報処理を計算機だけで実行しなければならず、これは技術的にかなりの困難をとまなうことが、だんだんと明らかになってきた。とりわけ人間のみせるおどろくほど柔軟な情報処理機能を実現することは、至難の業であるとされている。IAの考え方は、人間と機械とがそれぞれ得意な部分を分担して担当し、全体として高い情報処理機能を実現しようというものである。従って、ここで使われる計算機は極論すれば必ずしも「賢い」必要はない。こういう情報処理の新しい形態が可能であるための必要条件は、人間と機械の双方が密接に結合されることであり、そのためにバーチャル・リアリティの技術が必要であるというわけである。

もちろんAIとIAの考え方は対立的なものではなく、相補的な関係にあると見るべきであろう。より高度なIAの実現のためには、部分的にAIを使う必要もあるだろうし、きわめて高級なAIプログラムの演算結果を人間に伝えるためには、結局はすぐれたIAインタフェースが必要となるであろう。

一方、計算機の取り扱う情報の質も変化しつつある。これまではキーボードなどから一文字一文字の情報を入力されるなどのように、離散的情報が主として扱われていた。しかしながら、現在急速に重要度を増しつつあるのが、ビデオ映像をはじめとするマルチメディア情報である。前者をdiscrete mediaとするならば後者はcontinuous mediaである。両者は情報量において決定的な差を有している。これからの計算機のメタファーはだんだんとテレビやオーディオ機器のそれに近づいていくことになるであろう。こうした新しいパラダイムに向けての一連の変化とかかわりあいを持つのがバーチャル・リアリティの技術というわけである。

バーチャル・リアリティの技術が今後本格化していくために、種々の技術開発が必要なことは言うまでもない。よりリアルな表現を可能とする高解像度ディスプレイ、人間の動作をより忠実に計算機に伝えるための3次元トラッキングシステム、高速描画可能なグラフィックス・ワークステーション等である。しかしながら、こうした技術的障害は、計算機の演算速度の向上、半導体メモリの集積度向上、など現在の計算機技術のトレンドを眺めるに、かならずや解決されるであろうと予測される。

むしろ、不連続な変化が必要なのは、技術以外の部分であろう。リアリティを「現実感」と約す場合が多いことからわかるように、最終的に表示された情報を感じるのは人間それ自身であり、

人間それ自身にかかわる深い理解が不可欠である。これまでわれわれが作ってきた機械は、自分自身で動くことを前提としたものがほとんどであるが、バーチャル・リアリティにおいて使われる機械群は、人間と高い密接度で結合して使用されることが前提である。つまり、最初から人間との2体問題として設計されなければならない、新しい設計論が必要となる。例えば、機械を設計する際に必要な物理量を、人間にとっての感覚量に変換することが、今後のきわめて重要な課題である。どこまで物理量を洗練していかなければならないかを知るうえで、人間側の測定もまた重要だからである。

そしてもうひとつ重要なのが、広い意味でのソフトウェアの開発である。現在は不十分ながらハードウェアがある程度は出来上がったところである。テレビ受像機があるだけでは決してそれを楽しめないように、バーチャル・リアリティのハードウェアを使ってどんな仮想世界を作りえるかが重要である。つまりこれまでは芸術的分野の専売特許であったある種の演出的技法を積極的に吸収する必要がある。

いずれにせよバーチャル・リアリティは20世紀の終わりにおける計算機技術の大胆な変貌を象徴的に体現した技術である。その変化は工学技術のみならず、非常に大きな分野を巻き込みつつ進展し、われわれの知的能力や身体感覚は全く新しい次元に進化することになるであろう。

1.2 知的インタフェースの実現目標と評価手法

1.2.1 インテリジェント機能からアメニティ機能へ

ヒューマンインタフェースに対して要求される機能や実現目標は、いわゆる「人間工学」の時代から振り返ってみると、次のような形で変遷してきたと考えられる。

- ↓・疲れない
- ↓・使いやすい
- ↓・分かりやすい
- ↓・おもしろい
- ↓・発想を刺激する
- ↓・楽しい

つまり、初期の段階では、インタフェースは「ネガティブなファクターを除去する」ことに焦点が当てられていたのに対し、徐々に「単なるマシンではなく、人間にとっての付加価値を創造する」点にインタフェースの役割がシフトしつつあると、とらえられるのではないと思われる。

この点を一言で言うと、

- 「人間工学的インタフェース」
- ↓
- 「認知的インタフェース」
- ↓
- 「アメニティ型インタフェース」

ともいえるし、また

Passive Interface



Active Interface

とも言えよう。なお、この時のPassiveには、「世界がclosedである」、Activeには、「世界がopenであり、人間の能力を広げる」というイメージがある。

さらに、このような形でヒューマンインタフェースの実現目標が変化して行くと、当然のことながらその評価基準も変わって行かなければならない。つまり、人間工学の時代の「タイプを打つスピード」「疲労度」のような人間の物理特性ではなく、快適性のような心理量が問題となっていており、それに応じた新たな評価基準を探究していくことがこれからの課題となるものと思われる。

1.2.2 「楽」をキーワードとしたヒューマンインタフェースの実現目標と評価基準

ヒューマンインタフェースの実現目標は、歴史的に見ると、人間工学的なインタフェースから認知的なインタフェース、そしてアメニティ型インタフェースへと変遷してきている。このながれを別の言葉で表現すれば、

疲れない→使いやすい→分かりやすい→面白い→

発想を刺激する→楽しいというながれである

とも言えるし、

Passiveインタフェース→Activeインタフェース

とも言えるし、

楽（らく）インタフェース→楽（たのしい）インタフェース

と言い換えることもできる。

したがって、「HIの実現目標は、利用者の負担を軽減すること（楽〔らく〕）あるいは、利用者に積極的に使いたいと思わせること（楽〔たのしい〕）」と言ってもよいだろう。

一方、知的という観点から見れば、個人の知的能力を高めることから、他者への情報伝達能力の向上、さらには組織全体としての知的能力の向上へと目標が拡大してきている。

そして、これらの目標を実現するためには、インタラクションがひとつの重要なファクターになる。

ヒューマンインタフェースの評価は、アプリケーション（タスク）や対象ユーザから独立して論じることが難しい。したがって、まずアプリケーションを決定し、そのアプリケーションを使用するユーザの能力を規定する必要がある。

対象とするユーザ層と代表的な作業項目が決まれば、Shneidermanが述べているように（B.Shneiderman 'Designing the User Interface'）、5つの測定可能なヒューマンファクタが中心的な評価基準になるとと思われる。（ただし、この基準には「楽しい」という視点はあまり入っていない）

- 学習時間：対象とするユーザ層の一般的なメンバが、一連の作業を行うのに必要なコマンドの使用法を覚えるまで、どの程度時間を要するか。
- 実行速度：標準的な一連の作業をどのくらいの時間で遂行できるか。
- ユーザが引き起こすエラーの割合 標準的な作業を実行中に何回、

どのような種類のエラーが起きるか。エラーを起こし、訂正する時間は実行速度と関連があるが、エラーの発生はシステムを使う上で避けられない要求である。

○主観的満足度：ユーザがシステムを使ってみて、どの程度気に入ったか、これは、インタビューで満足度を表す尺度や自由なコメント欄のあるアンケートにより確かめられる。

○長期にわたる記憶：1時間、1日、1週間後に、ユーザが一度習得した知識をどの程度覚えていられるか、記憶力は、学習時間と深く関連し、使用頻度も重要な要素である。

それぞれの項目は、すべて同時に満たされるわけではないので、対象とするユーザ層と代表的な作業項目に応じて、トレードオフを考える必要がある。

1.2.3 実現目標と評価基準の整理・分類と考察

以下に、「個人－個人」「個人－集団」「集団－集団」という分類に従って、知的インタフェースの実現目標と評価基準を整理してみる。これらの目標は、開発された技術がインタフェースの向上にとって、どのような方向で、どの程度貢献できているのかを評価する基準となるものであり、技術開発のための技術開発を回避するためのものである。従って、次の段階では以下の各目標を、できうなら定量的に評価する方式なりモデルを開発する研究が必要になると考えられる。

(1) 個人－個人の知的インタフェース

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。

1) 各個人の知的能力

①記憶力

多量の情報が正確に記憶できるか。評価の指標としては保持されている情報の量ということになる。ただし、人間の記憶にはアイテム型の記憶とイベント型の記憶があり、またメディア形態としてもテキスト型やイメージ型がある。したがって単純にそのデジタル換算値を出すことによって人間の記憶を支援する量的な測度とすることは困難ではある。計算機の磁気ディスクや光ディスクなどの開発は、基本的にはこの能力の支援と考えられる。

②知識

与えられた情報を、目的にしたがって再構成し、的確に検索できるか。評価の指標としては、保持された情報をいかに的確に正確に再現できるかということになる。人間の記憶情報の利用の仕方には再生と再認という区別がなされているが、後者の方がはるかに容易であるため、そうした特性を利用しながら人間の情報検索を支援することがポイントとなる。その意味では、技術自体は知的ではないにしてもメニューやアイコンの発明は再認記憶の利用という点で、この能力の支援といえる。また、ハイパーテキストの概念は、元来は人間の長期記憶の延長とし

て考えられており、現在の情報検索方式がまだ最適なものではないにせよ、方向としてはこの能力の支援技術といえる。

③理解力

与えられた情報を、適切な枠組みに整理できるか。知能検査的にいえば、文章の内容を理解するとか、図形の関係を理解するといったような、具体的な能力の断片の総体ということになるが、その現象の把握はともかく、メカニズムの理解については解明の途上といえる。また、この能力は、理解した情報を何のためにどのように利用するかということとも関係が深いので、一律に定義することは困難でもある。したがって知的インタフェースによって人間の理解力を支援するという命題は、その意味の解釈の段階で議論が噴出する状況といえよう。知的エージェントのような概念では、本人に代わって問題を理解することが必要になるため、本人の価値観や目的意識にまでさかのぼった情報の事前準備が必要となろう。

④推論力

論理的な推論を、的確にすばやく行えるか。推論については、それが発散する課題でないかぎり、前提を明確にすれば、プロセスを規定することは比較的明快といえよう。知的インタフェースの面からも、従来研究対象とされることが多かった。

⑤判断力

バランスのとれた適切な判断を行えるか。知的能力は人間の適応能力の一つであるが、その中でも適応力らしさの強い能力といえる。従来、心理学ではP系（知覚系）とJ系（判断系）という区別がなされ、知覚と同等のウェイトが与えられてきたが、そのメカニズムについてはまだ十分解明されていない。むしろ、選択肢と反応時間といったような外的な関係について研究されてきた。判断力も理解力同様、本人の価値観や目的意識との関連が強く、知的インタフェースによる代行は困難な課題となろう。

⑥計算力

多量の複雑な計算を、正確にすばやく行えるか。人間の場合、例外的な人を除き、暗算には限度がある。また筆算でも常に正確に計算を行うことは難しい。この点は、計算機にとっては極めて容易な部分であり、あえて知的インタフェースとさえ呼ばれないほど一般的な能力として認知されている。

⑦機敏さ

状況に応じて、機敏な枠組みの切替えができるか。人間の判断には枠組みがつきまとう。正方形がその周囲の図形枠によって菱形に見えたりするのもその一つであるが、機敏さにとってはその状況の認知とそれに対する適切な枠組みの選択という二つの能力が必要になる。計算機自身が行う判断に枠組みが必要かどうかは別として、計算機に人間的な判断を行わせるには、やはり枠組みという概念を導入せざるを得ないであろう。

⑧独創性

平均的な発想と異なる視点の設定ができるか。人間の判断は社会的な影響、すなわち周囲の人間の考え方の影響を受けやすい。しかるに独創性とはその逆の発想をいう。この能力は、可能な選択肢をバイアスなしに列挙することを出発点にすると考えれば、むしろ計算機に適した能力といえるかもしれない。ただし、選出した結果が単にユニークであるだけでなく、真に独創的であるためには、ある目的意識に従った重み付けが必要となろう。

⑨柔軟性

複数の観点から問題を把握することができるか。水平思考といわれるような知的側面のことであり、第一段階としては独創性と同じく、可能な選択肢をバイアスなしに列挙できることが必要となる。独創性と異なるのは、それがユニークであるかどうかは問われるのではなく、その状況にどの程度適合した解がそれらの選択肢の中から見出せるかという点が重要なことである。計算機にとっては、可能な選択肢の列挙までは、条件の入力が適切でありさえすれば、容易な課題といえるが、その次のステップは独創性同様、困難である。

⑩連想力

与えられた情報から、関連した情報を自由に検索できるか。人間の場合、すでに学習した知識の道筋を再生することや、新規に道筋を生成することに該当するが、計算機の場合、一旦設定されたパスをたどることは容易である。しかし、新規なパスの生成は、生成されたリンクの有意味性が評価されねばならないため、今後の研究課題といえよう。

⑪直感力

必ずしも論理的ではない筋にそって思考を展開できるか。人間については、創造性研究といったような分野で検討されているが、そのプロセスはまだ解明されていない。知的インタフェースにここまで要求すべきかという点も議論されるべきではあろう。

⑫洞察力

複雑な論理的展開の可能性から重要な筋を見出すことができるか。可能な選択肢の生成が前提になる点では、独創性や柔軟性と近い能力であるが、洞察力の場合にはある課題解決状況においてそれが問われるものである。したがって、課題の提示が適切であれば、チェスや囲碁の問題を解くプログラムのように、知的インタフェースにとっては困難というよりは挑戦的な課題であるといえる。

(2) 個人－集団の知的インタフェース

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。集団は最小二人から始まるから、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。

なお、②は社会的交渉能力と分類はしたが、この能力は、相手が人間であることを除けば、前項の個人的知的能力（これは必ずしも相手が人間とは限らなかったが）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るだろう。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。

①他者に対する情報伝達能力

○表現力

情報に対し、注目性と審美性が高く、判り易い外部形式を与えられるか。この問題は、グラフィックデザインの能力といえる。現在GUI環境において提供されているユーザインタフェース構築ツールには、表現力の高い部品が直接提供されていたり、それを作成する環境が提供されている。こうした作業の中で、ユーザの負担している部分を徐々に自動化していくことが、この点での知的インタフェース化といえよう。

○伝達力

他者に伝えたい情報を、的確に、すばやく伝達できるか。情報は表現するだけでは他人に伝わらない。相手に理解できるように、人を見て表現力を駆使する能力が伝達力であるといえる。その意味では、知的エージェントを考える場合、適切に代名詞を用いたり、適度に報告内容を省略したり、または補足したりする能力がこれに該当する。相当に高度な内容といえる。

②他者に対する社会的交渉能力

○折衝力

他者との交渉で、必要な情報を積極的に提示し、結論に集約させられるか。個人的知的能力としては、理解力、推論力、判断力、機敏さ、柔軟性、洞察力などが関連しているであろう。知的インタフェースとしては、こうした個人的能力に対する側面支援を行うという形で寄与することができるだろう。

○説得力

他者との交渉で、自分の考えを相手に理解させ、更に同意させられるか。個人的知的能力としては、理解力、推論力、判断力、柔軟性、洞察力などが関連しているであろう。

○指導力

他者との交渉で、自分の考えに従って行動を起させることができるか。個人的知的能力としては、判断力や洞察力などが関連しているであろう。

(3) 集団－集団の知的インタフェース

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。

1) 情報処理に関わる能力

①情報伝播力

組織内部に情報がすばやく正確に伝播するか。従来は、集団構成員間のコミュニケーションには口伝えや書類（含む回覧板や掲示板）が用いられたが、情報通信機器の導入により、この点は速度や情報量、正確さ等の点で大幅に改善された。今後の課題としては、知的な処理として、情報の事前（事後）加工やフィルタリングなどが挙げられる。

②情報管理能力

情報の共有化が進み、守秘事項がきちんと保管されているか。この点は、組織運用や組織構成の観点も重要であるが、情報処理機器の導入により、情報管理が量的・質的に向上したといえる。知的な処理としては管理業務の自動化ということになる。

③意志決定収束力

意志決定に時間がかからないか。意志決定には幾つかのパターンがあり、典型的には、専制的なリーダーが一方向的に決めてしまう場合もあれば、民主的なリーダーが参加者の合意のもとに決定する場合もある。情報処理機器としては、意志決定のための情報検索表示といったプロセスの支援と、決定そのものの支援とが考えられる。前者は、記憶力や知識といった個人的知的能力と表現力や伝達力といった情報伝達能力との総合力といえる。また後者はKJ法やデルファイ法などの発想・意志決定支援の手法のコンピュータ化や電子投票装置、電子黒板などのグループウェア機器による支援が考えられる。特に後者においては情報の加工が重要な役割を占めるため、知的インタフェースの役割は大きいといえる。

④意志決定品質

意志決定の内容がよく練られており、後悔することがないか。意志決定の収束性が高くても、その内容が貧弱であっては問題である。ただし、情報の質の評価は最終的な結果を持たないと下すことが困難であるため、情報機器によるサポートは、品質を向上させるための努力を支援するといった形態に留まると考えられる。その意味では、前項で触れた、発想・意志決定支援手法のコンピュータ化やグループウェア機器が、そこで扱われている情報の中身にまで触れていくという発展形態が予想される。

⑤人員管理能力

成員の所在と活動内容の確認が逐次なされているか。従来は行先表示板のような機器が利用されていたが、コードレスホンやポケットベルなどの通信機器の発達により、こう

した能力の支援が進展してきた。

2) その他の能力

①売上高

組織全体として高いプロフィットをあげられるか。組織活動の最終的な評価指標としては、営利組織の場合には売上高ということになるであろう。ただし、情報機器としての寄与は、間接的、総合的なものになる。

②集団帰属性

成員の集団に対する自我関与の度合いが強いのか。組織の結合力は、各成員がその組織にどの程度帰属意識を持っているかに関わる。情報機器としての寄与は、プロパガンダ的な側面で可能性が有るが、間接的なものになるであろう。

③自発的活動性

成員が集団の目標に対して自発的・積極的に活動しているか。集団構成員の動機付けの問題ともいえるが、情報機器としての寄与は、やはり間接的なものになるであろう。

(4) 計算機による支援

①計算機はどこまで支援すべきか、また支援出来るか

最近注目を浴びている人間中心の立場から指摘されている点でもあるが、人間にとって本当に意味のある計算機による支援というのは、何から何まで計算機が代行してしまうことではないといえる。したがって、上記の目標については「べき」論の観点からフィルタリングを行っておく必要がある。なお、その結果においては、計算機の得手、不得手が混在することになるであろうが、そこでの不得手こそ、知的インタフェースとして我々が研究に注力すべき課題といえるであろう。

ここに「べき」論について私見を付記してみる。まず、「個人—個人」の領域については、記憶力は積極的に支援すべきと思われる。しかし、知識の方は人間の側にどこまでの情報を管理させ、計算機でどこまでを担当するのかを識別しておく必要があるように思う。長期記憶の延長とはいっても、内部記憶と外部記憶の間には明確な差があり、そこにインタフェースの課題が残されるはずである。理解力や推論力、判断力については、計算機があまりに最もらしい回答を出すことについては人間の自主性や主体的な思考力を損なうのではないかと危惧がある。ただし、人工衛星が軌道をそれるような危急存亡の状況、特に量的・時間的に人間の処理容量を超えてしまうような場合においては、一切を任せてしまうことにも意味があるといえる。計算力については計算機の支援は問題無い。機敏さについては、単に処理の高速化という意味では問題が無いが、人間の思考プロセスに関わる点では理解力等と同様の問題点を含んでいるといえる。独創性については、人間が独創性を発揮するための素材を提供するという点で、支援する意義はあると考えるが、独創性の発揮される範囲が、逆に素材が提供される範囲に影響されることが考えられ、安

易な素材提供は危険性をはらんでいると考えられる。この点は、例えばレゴやキッドピクスが真に幼児の創造性開発に有効かどうかといった形でまず議論されるべきであろう。柔軟性についても連想性についても、素材提供という点で独創性と同様の課題を含んでいるであろう。直感力については、せいぜいが直感力を刺激するような形で情報環境の提供といった限度に留めるべきであると、個人的には考えている。洞察力については、考えられる思考のパスを人間に対して候補として提示する、といった点においては計算機による支援は有効であると考えられる。

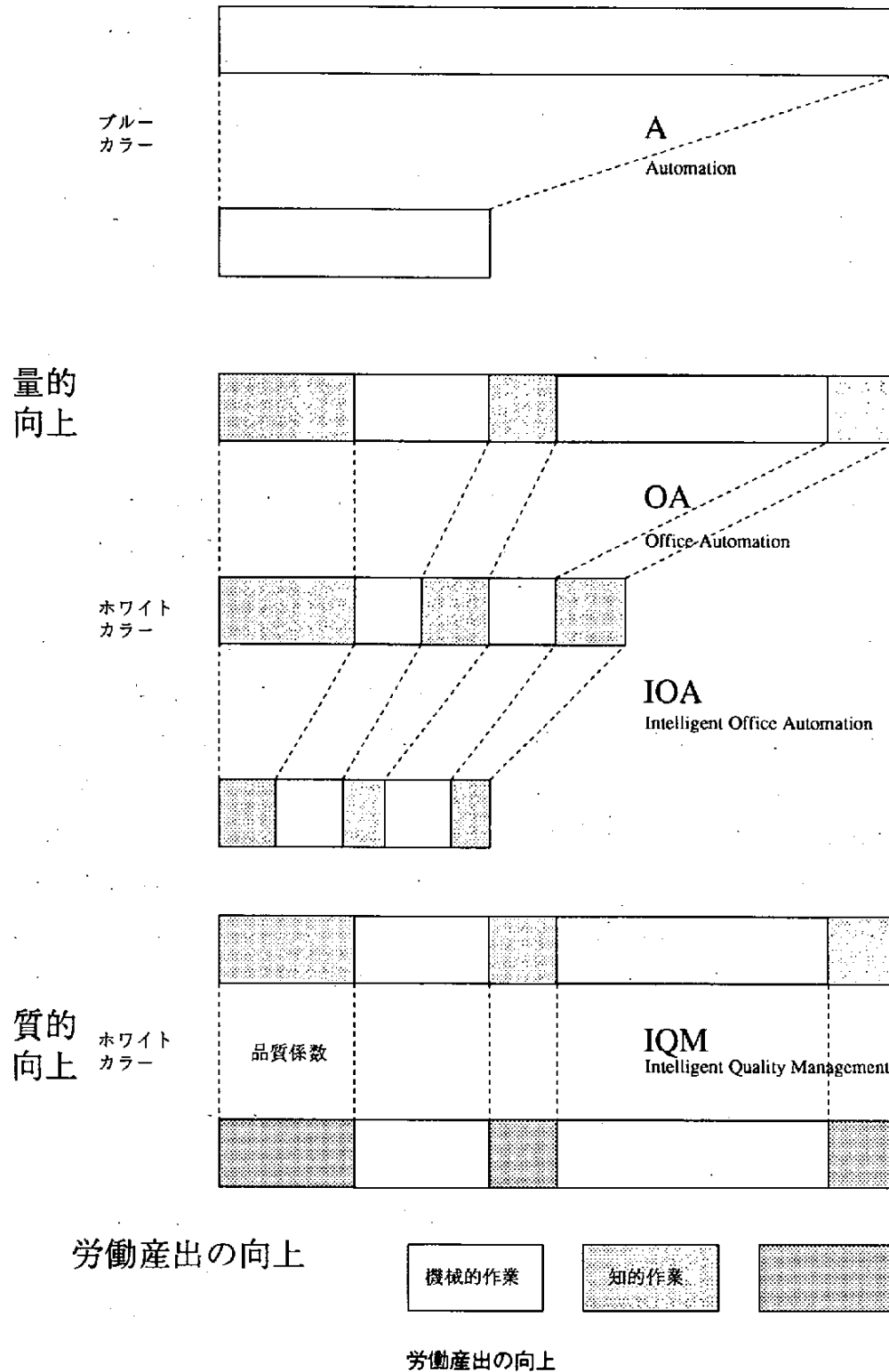
次に「個人－集団」の場合であるが、まず情報伝達能力については、表現力も伝達力も、人間（特にデザイナーや演出者、シナリオライターなど）の能力を外在化させ、計算機の中に封入する（言うは易しく・・・であるが）ことができれば、ユーザ、特に一般水準のユーザにとっては有用であろう。しかし、社会的交渉能力については、折衝力、説得力、指導力のいずれをとっても、直接的な支援ではなく、関連する「個人－個人」能力の支援という形でしか可能ではないだろう。

「集団－集団」の場合、情報処理に関わる能力の支援については一般的には積極的な支援が可能であり、また望まれるといえる。すなわち情報伝播力については情報通信機器により、早く、正確に、多量に情報が伝達されることに意義はないと考えられる。もちろん場面や状況によって、送るべき情報のメディアや量に制約を加える必要が（従来の人間生活習慣との関連、あるいは人間の本来的心理性向との関連から）出てくることもありうる。情報管理力については、人間社会の伝統的ルールにしたがった形で情報機器が導入されるならば、これも問題は無いであろう。意志決定収束力については、決定内容の質の評価はあくまでも人間に任されるべきであるが、その途中経過の効率化という点では、積極的に情報機器による支援が進められるべきであろう。したがって意志決定品質の問題は、ユーザの側にリザーブしておくべきと考える。人員管理力のようなのは個人のプライバシーをどのようにすれば尊重したことになるかの議論がなされれば、ある範囲において積極的に推進されて良いと思われる。その他の能力については、売上高にしても、集団帰属性にしても、自発的活動にしても、人間そのものの行為に関する指標であり、計算機が直接的に関わることは困難であり、またその程度に留めるべきであろう。

②計算機による支援の究極の目標は何か

計算機によるインタフェースの支援の究極の目標は、やはりそのインタフェースを搭載した機器が開発され、利用される環境に設置され、初期の目的を十分に果たすことにあると考えられる。その意味では、利用環境の中心をなすオフィスにおける生産性の向上が、知的インタフェース評価の究極も目標といえるだろう。添付した図には、ブルーカラーにおける機械的作業がオートメーションにより、その生産性向上に成功した事実にならって、知的作業の生産性向上の量的側面と質的側面がどのように達成されうるかを概念的に単純化してまとめている。一般に生産性の指標としては、投入・算出比が用いられているが、オフィス作業における投入と産出を具体的に規定することは極めて困難ではある。しかし、このような知的生産性の議論を抜きにすると、ヒュ

マンインタフェースの技術は単なる知的遊技に陥ってしまう危険性を孕んでいると考えるべきだろう。



1.2.4 分野・実現目標マトリクス

人間の知的活動は多種多様であり、これらのいずれかの側面において人間を支援できるものを広く知的インタフェースととらえたい。ただ活動分野を指定しない限り実現目標や評価基準に関しては一般的、抽象的なことしか言えない。言い替えれば、具体的実現目標や評価基準は如何なる知的活動であるかに依存するところが大きい。従って以下では、どのような活動分野が考えられるかを述べ、さらに抽象的ではあるが分野横断的な実現目標例を示す。これらの分野・実現目標のマトリクスを具体的に検討することにより、実現目標や評価基準が明確になるものと考えられる。

1. 活動分野例

- A) 文書作成
- B) 図表作成
- C) 計算
- D) マルチメディアデータの処理
- E) データベース作成・検索
- F) 印刷 (DTP)
- G) アイデア生成——知的増幅器、KJ法
- H) 議論——議論 (論争) 支援システム
- I) 共同作業——共同での文書、プログラム作成
- J) 知的秘書——名刺情報管理、電話、手紙、ファイル整理

2. 実現目標例

- 1) 対話の柔軟性を保つため、一つのことを行うのに多種類の方法が存在する。たとえば入力方法として、キーボード、マウス、音声など好みのモードが使用可能である。また対話方式として、コマンド入力、メニュー方式、ダイレクトマニピュレーションなど多様な方式が可能である。
- 2) ユーザの肉体的・精神的疲労が少ない。
- 3) 使っていて楽しくなる。
- 4) 処理速度が速い。たとえば検索の際、ページをめくるような感覚で扱える。
- 5) 回覧がハードコピーと同じ程度に良好である。
- 6) マニュアルを読む必要が無いほど操作が一環している。オンラインマニュアルやヘルプが充実している。
- 7) 初心者と熟練者では応答が異なる。初心者に対しては分かり易い表示やユーザの教育を重視した応答をし、熟練者に対しては速度や機能を重視した応答をする。
- 8) 個人対応性を有する。たとえば同一の入力に対しても過去の履歴を考慮に入れ、2回目以降は異なる応答が可能である。オンラインマニュアルやヘルプも個人適応的であり、ユーザにとって必要にして十分なものが表示される。
- 9) あいまいな、あるいは間違っただけの入力をした場合でも、ユーザの意図をコンテキストに基づいて推測してくれる。
- 10) 非効率な利用を行うユーザに対して、より効率的な利用法を提案してくれる。たとえばマクロコマンドを提案したり、エディタでのキーボードマクロなどの教示である。
- 11) 使用頻度を考慮し、初心者や使用頻度の少ないユーザは忘れがちであるということを考慮に入れた応答をする。
- 12) インストールが容易である。

1.2.5 提案型インタフェース

(1) 実現目標

人間が行う知的活動において、種々の代替案を提案して、知的活動の生産性をあげることでできる提案型インタフェースであること。ただし、支援すべき知的活動には文書作成や設計など異なる分野がある。ここでは知的活動に関わる人間の利害を考慮した提案をなしえるかどうかに関心をあてる。

(2) 利害の異なる複数の人間が関わる知的活動における提案型インタフェースの目標と評価基準

①実現目標製品の設計を例にとれば、

- ・顧客は安く高機能
- ・営業は高利潤で納期が確実に守れること
- ・設計者は新規機能の開発を納期なしに行えること

を望んでいる。このように知的活動に参加する立場により、達成目標がことなり、かつ相反している場合が非常に多い。

これらの相反する達成目標をユーザの言葉で与えると、それらの達成目標を最適化した製品／システムの代替案を作成するのが提案型インタフェースである。さらには達成目標の折衷案を見だし、提案できることが望ましい。賢いリーダーあるいはオブザーバの役割を果たすのが、複数作業に対する提案型インタフェースである。

通常の設計作業では、互いの利害関係を明確に認識することが難しい。提案型インタフェースにより、利害関係を認識して合理的かつ円滑に設計作業を行うことができる。

②評価基準

賢いリーダーの役割を果たす複数作業のための提案型インタフェースは次の評価基準を満足したとき、インタフェースとしての目標を達成できたと考える。

- ・基本設計／異本概念は作業に携わるユーザの言葉で与えることができる。(特殊な使用記述言語を使用しない。)
- ・作業に関わるユーザが製品／システム毎に達成目標などの制約を変更できる。
- ・代替案はユーザに運用状態が容易に把握できるように(視覚的に)提示される。
- ・提案型インタフェース自体が代替案を比較評価する定量的な評価手法を包含している。
- ・利害の異なる種々のユーザに対応する評価値を含んだ評価手法である。

(3) 個人ユーザが関わる知的活動における提案型インタフェースの目標と評価基準

①実現目標

ユーザが個人で行う知的作業には文書作成、情報収集、収集した情報や手紙などの管理業務がある。例えば、情報収集ではある情報を得るために複数のキーワードによる検索を行う。が、別のユーザが行えば、まったく異なるキーワードによって検索するかもしれないし、異なるデータベースから検索するかもしれない。文書作成の場合にも、図表の配置など、通常は、論理的に参

照している箇所に近くて、頁の右下に一意に配置しているかも知れない。しかし、別のより美的な評価基準から異なる図表の配置を行ってみることも可能である。

このように、ユーザが個人で作業を行うときに思いつくことのない作業方法などを提案するのが、提案型インタフェースである。この提案型インタフェースは賢い秘書的な機能である。

②評価基準

賢い秘書にあたる個人ユーザのための提案型インタフェースはつぎの評価基準が満たされたとき、実現されたと考える。

- ・ユーザの言葉で達成したい作業目標を与えることができる。
- ・ユーザにあわせて、制約条件を変更あるいは学習できる。
- ・代替案はユーザがその違いを評価できるように（視覚的に）提示できる。

1.2.6 共同作業を支援するインタフェース

(1) はじめに

人と人とを結ぶコミュニケーションを支援したり、グループの共同作業を支援するコンピュータ技術、マルチメディア技術が望まれるようになってきている。これらは、CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) とか協調活動支援システム、グループウェアと呼ばれる研究として、新たなインタフェースとして大きくとりあげられつつある。

これらの研究は、人間の知的生産活動支援を目的としたコンピュータ環境のあり方を考える視点に大きな影響を与えている。すなわち従来のコンピュータ環境は、電子メールやファイルサーバによる情報交換・共有の手段は提供されているものの、パーソナルコンピュータやワークステーションの言葉が示すように、個人にとってのワークに焦点があてられていたと言える。これに対し、CSCW、グループウェアの考え方にもあるように、その焦点は個人からグループへ、さらには組織や社会のレベルにまで移ってきたと言えよう。すなわち、個人にとってのコンピュータとのインタフェースから、複数の人々にとっての共同作業環境におけるインタフェースのデザインが課題となってきた訳である。

ここでは、

- ・人々の活動をコーディネートしようとするコーディネートッド・コミュニケーション指向のもの、
- ・コンピュータやマルチメディア技術によって、共有された仕事の空間を創出しようとするシェアード・ワーク・スペース指向のもの、
- ・インフォーマルな情報を含めた人々の間のコミュニケーションを支援しようとするインフォーマル・インタラクション指向のもの、

の視点より協同作業環境におけるインタフェースについて概観する。(以下では、上記の各々を略して CC指向、SS指向、II指向と書く。)

(2) CC/SS/II指向の概要

①コミュニケーション・プロセスの支援

グループの中での人と人とのインタフェースでは、具体的な内容としてどのような情報が流れて、どのようなコミュニケーションやコラボレーションが行われているのであろうか。具体的状況として、会話、論議、交渉、調整におけるコミュニケーションの例などが検討されている。

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3つのフェーズがあり、2つの立場にとって、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、同僚／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。

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4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な条件となるもの、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、ひと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ジメントするために、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が行われる。この場合には、調整者を含む多くの行為者からなる多重の対話モデルの中のインタフェースでのコミュニケーションが行われる。

上で述べた内容と構造とプロセスをどのようなメディアでどのようにサポートしていくか、また対象とする進行しつつあるタスクをどのようにみえるようにしていくかが、協同作業環境のインタフェースをデザインする時のまずは基本となる。

②協同作業空間の創出

協同作業を進めるにあたっては、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もしくはメディアをデザインし提供する必要がある。

参加者の顔とタスクを行うマルチウィンドウのディスプレイを協同作業空間として提供するというのが従来の多くのシステムの例では見られた。それに対し、個人の日常の伝統的なデスクトップ作業環境とコンピュータ作業環境を融合すると共に、個人の作業空間とグループの協同作業空間をシームレスにつなぎ合わせる新しいシステムとして、ビデオのオーバーレイ技術をもちいたシステムなど、従来の協同作業空間の考え方を超えた例なども検討されている。

今後も、これらを超える新しい協同作業空間を創出していくことが、デザインにおける大きな課題である。

また、この協同作業空間をPTAしていくことが大切になってこよう。ここでいうPTAとは

Participation, Transparensy Adaptationといったこれからのヒューマンインタフェースのひとつの基本原理を表したものである。Pの例としては各種のインタラクティブ技術により参加者が協同作業空間にインボルブメントしていけるようにすることが、Tとしては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って協同作業空間をトランスペアレントにしたり普段の個人作業空間との連続性を保ったりすることが、またAとしては各種の個人性支援技術などが関連する。

このようなPTAの考え方でもって、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することで、便利で楽しくまたやさしい協同作業環境のインフラストラクチャが提供されるようになるだろう。

③インフォーマル・インタラクションの支援

2.1節のコミュニケーションの内容と構造は、主として論理的な側面に主眼をおいたもので、どちらかと言えばCC指向の内容に相当するものが多いと言えよう。

人と人とのふれあいにおけるインタフェースに比べ、情報機器を介したインタフェースというどうしても冷たくて論理的な面が強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訳ではなく、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あっている訳である。機器類との関係においても、体験型のドームマシー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時に、面白く、楽しく、やったという喜びにつつまれ、そしてそれを人に伝えあいま体験をわかちあ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。

このような視点からも、全人的ふれあいにもつながる、相手の置かれた状況やその様子などをもインフォーマルにわかちあえるようにするために各種の映像、音響技術などを用いるII指向のインタフェースが大切になってくる。

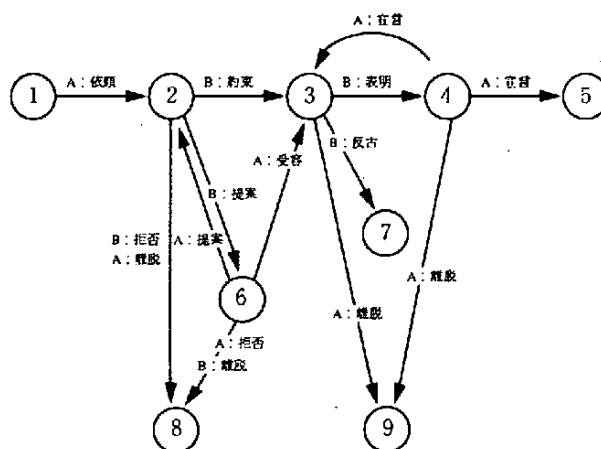
(3) 具体的システムの例

①CC指向の例

a) The Coordinator

これは、電子メールを高度化すること、すなわち構造化した電子メールを用いて会話のシーケンスを制御し、利用者が次になすべきことを示唆することによって、グループワークのコーディネーションを目指そうとするものである。ここでのコーディネーションの基本的考え方は、言語を社会的行為と考える言語行為理論 (Speech Act Theory) に基づいている。行動のための会話を構成する言語行為ネットワークの例を、図表Ⅱ-2-8に示す。それぞれの円は起こり得る会話の状態を、矢印は言語行為を表している。例えば、最初の行為はAからBへの依頼で、何らかの充足条件を規定しており、Bはその条件を受け入れるか、拒否するか、逆提案によって

充足条件の変更を交渉するかを選択可能で、一方Aも返答以前に依頼を取り下げたり、条件を変更することもできる。このように、ここでは協調行動に向けて、依頼や関与的意図が行き交っている。人々の会話はこのような言語行為からなる一連の構造でモデル化できることを前提として、The Coordinatorではこのモデルをもとにグループにおけるコーディネートされたコミュニケーションを支援しようとするツールである。

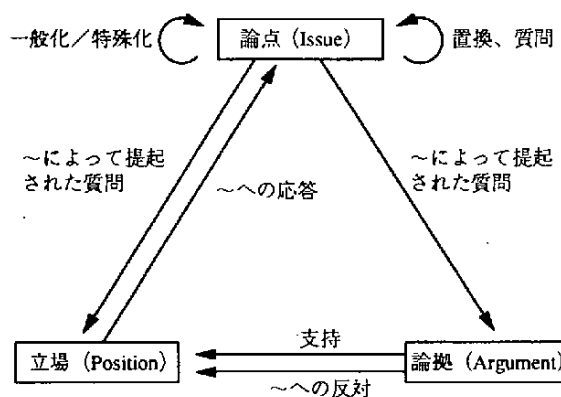


図表 11-2-8 言語好意のネットワークの例

b) gIBIS

これは、グループによるソフトウェア設計の上流工程の討論の支援を行うハイパーテキストのシステムである。ここでのコーディネーションの基本的考え方は、システムの設計プロセスは複数の関係者の会話により成り立つというもので、その会話の構造は、図表 11-2-9 に示す、IBIS (Issue Based Information System) モデルに従っている。このモデルは、設計問題に対する論点 (Issue) を中心を置き、各論点に対する複数の立場 (Position)、そして各立場に対する論拠 (Argument) が存在するとの前提に立っている。

gIBISとはGraphical IBISを表したもので、このモデルを基本に、グラフィカルなハイパーテキストの形に構造化して、グループによるソフトウェアの設計プロセスの支援を目指している。



図表 11-2-9 論議における会話の構造

c) Information Lens, Object Lens

Information Lensは、グループにおける情報の共有を支援するために、必要な情報のみを使いやすい形で抽出することのできる情報フィルタリングの機能を提供する。Object Lensは情報フィルタリングの機能に加え、スケジューリング、コンピュータ会議などのマネージメントを行うためのユーザインタフェースを提供する。

前者では、半構造化されたメッセージを用いて、受け取ったメッセージの分類、それに対する処理、その次の処理に対する指示などの機能を自動的に行えるようにした機能が付いている。後者では、半構造化されたオブジェクトに加えて、能動的なルールを用いて自律的な動作をするオブジェクトを付加することにより、電子メール、ハイパーテキスト、オブジェクト指向データベースやルールベースの知的エージェントなどを統合したユーザインタフェースの構築を指向している。

②SS指向の例

a) Team Work Station (TWS)

通信と連動した半透明ビデオオーバーレイ技術とデスクトップコンピュータ技術によって、分散した各グループメンバーの個人作業空間映像をフュージョンすることにより、日常の個人作業空間とシームレスな協同空間を提供するシステムである。具体的システムは、論理的に連続した個人用の画面と共有空間用の画面を具備し、机の上方に取り付けられたCCDカメラによって机上の紙の資料や手書きの画像そして実際のものなども含めて離れたユーザの机上の様子と合成して共用空間として用いることができる。このような構成なので、ダイナミックな協同描画や手のジェスチャによるポインティングなどのプロセスをも共有できる。

c) Clear Board

大きなガラス板をはさんで互いの顔を見ながら会話をし、ガラス板を共有空間としてその両側から描画を行うと言うコンセプトを遠隔で通信リンクを介しても可能としたのがClear Board-1である。

このシステムは、顔の表情やジェスチャそれに視線の方向が分かるように等身大のテレビ電話機能と、共有画面に直接カラーマーカでビデオ描画できるグループウェア機能を兼ね備えている。具体的システムは、ハーフミラー、偏光板、スクリーン、カメラ、液晶プロジェクタなどから構成される。ハーフミラーの上部に取り付けられたカメラはユーザの上半身像とハーフミラー上に書かれたビデオ描画像をひとつの連続した映像として撮影し、ビデオリンクを介して相手側に送り、送られた映像は左右反転されて見えるように液晶プロジェクタによりスクリーンに投影される。ここで偏光板はビデオループを防止するために、スクリーンの表面とカメラのレンズの前に軸が直交するようにそれぞれに取り付けられている。

上記のビデオ描画をコンピュータ描画に置き換えたシステムがClear Board-2である。透明ディジタイザと電子ペンを用いることにより、協同描画結果の記録と再利用、他のコンピュー

タのアプリケーションで作成した資料や画面などの利用も可能としている。

③II 指向の例

a) CRUISER

映像と音声を使用するテレコミュニケーションをマルチメディア交換ネットワーク上に実現したもので、人々がお互いに容易にアクセスできる情報環境を提供することによって、インフォーマルなインタラクションを活発化しようとするものである。動画像とコンピュータグラフィックスの技術を融合して、在席しているユーザの個室に接続できるリンクとユーザが歩きまわれる廊下を仮想的な世界として提供し、個室の映像にブラインドが下りていない場合には映像と音声によりお互いにインタラクトできるシステムである。歩きまわりながらの社会的ブラウジングを電子的に行えるようにしたものと言える。

b) Video Window

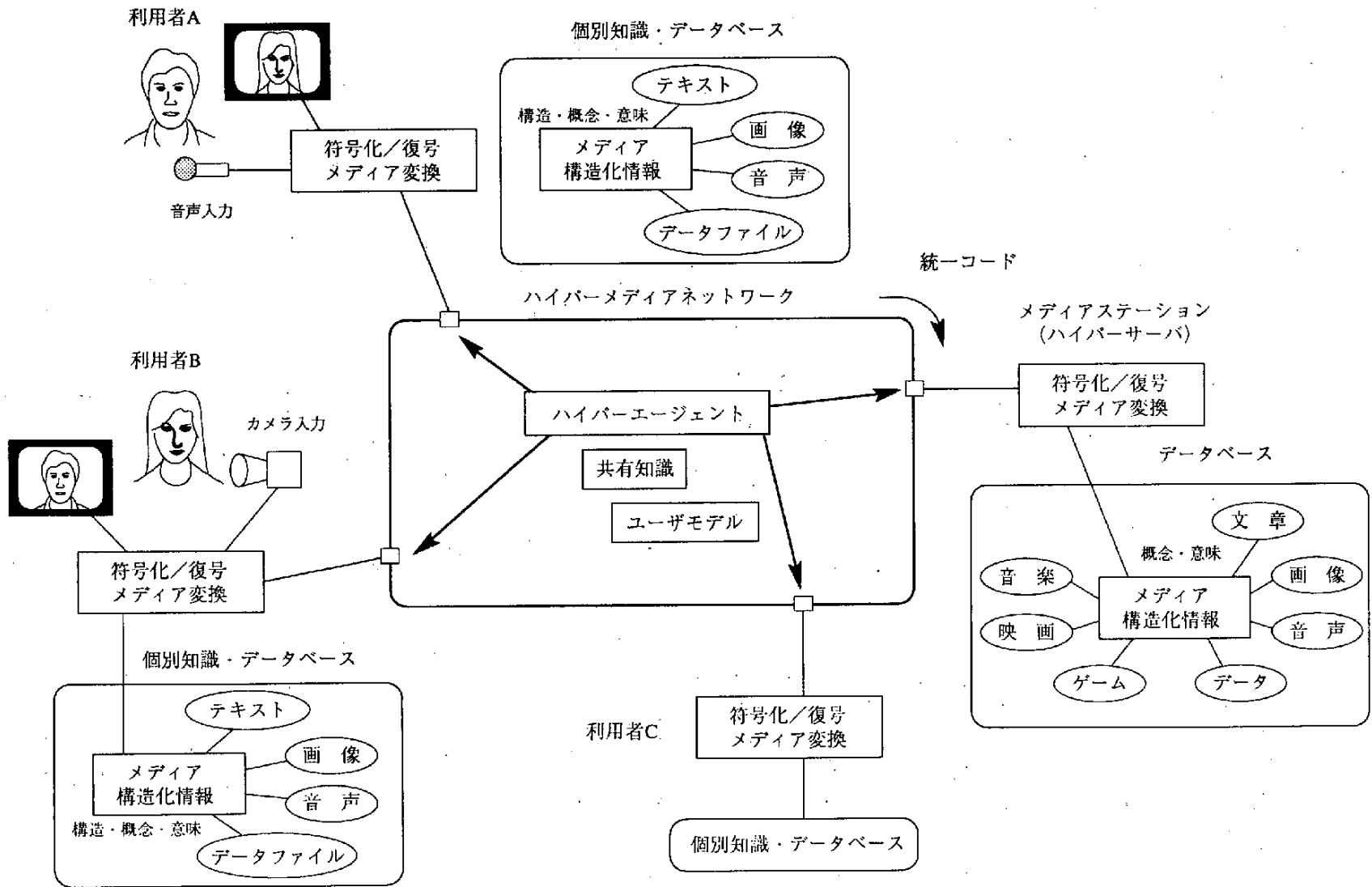
離れている会議室間を、側面に設置されたビデオウォールと呼ぶ大型スクリーンを介して結んだ、臨場感のあるテレビ会議システムである。双方向音声リンクを空間的に配置し、2台のテレビカメラによる通常の2倍の幅の映像スクリーンを具備することにより、お互いにあたかもひとつの部屋にいるかのような状況を仮想的に作り出して、等身大のインタラクションの環境を提供しようとしている。

1.2.7 鮮明なインタフェース

インタフェースの具体的な実現目標と評価基準は、そのシステムのアプリケーションに存在する部分が多く具体的に述べることはできない。あいまいな言い方でいうならば「インタフェースを意識させないインタフェース」である。もともとインタフェースが意識されたのは、さまざまなシステムにコンピュータが組み込まれ、多機能となるに従い操作が難しくなってきたためである。なにか操作をしていて、使い勝手が悪いときに、ああこのインタフェースは良くないと感じるのであって、使い勝手がよいときにはインタフェースの存在を意識しないであろう。

アイコンを使ったデスクトップメタファのインタフェースも、Xerox社のStanで最初に発表されたときには、コンピュータユーザの注目を集めたものである。しかし、現在は、Macintoshをはじめとして、パーソナルコンピュータの上でも実現され、ありふれたものになっている。このインタフェースしか知らない人にとってはごく自然なものであるにちがいない。したがって、インタフェースを意識させてしまうかどうか、良いインタフェースの評価基準になりえるのではないだろうか。

それでは、どのようにインタフェースを設計すれば、インタフェースを意識させないインタフェースができるのかと言われると答えはない。デスクトップメタファについていえば、あとからは直接操作環境があるとか、ノーマンの言うようにデザインモデルとユーザモデルが一致しているからであるとか言うことはできるが、開発されるまえにそのような思想があったのではないだろう。結局は作ってみて、使ってもらって評価するしか無いのかもしれない。



2. 知的インタフェースの事例

2.1 音声による知的インタフェース

2.1.1 はじめに

音声は人間の最も自然なコミュニケーション手段であり、音声の分析、合成、知覚、認識などに関する様々な研究が行なわれてきた。特に、音声はコンピュータとのコミュニケーション手段として魅力的なメディアであるため、音声情報処理の研究が巨費を投じて世界各国で活発に行なわれている。

また、最近のコンピュータのダウンサイジングとマルチメディア化の進展に伴い、音声入出力機能を標準装備したパーソナル・コンピュータやワークステーションが急速に普及してきた。コンピュータの入出力インタフェースは、キーボード、マウス、ビットマップディスプレイ、マルチウィンドウ、アイコンが標準となり、音声入出力、3Dグラフィックス等の新しいメディアを取り込みつつある。中でも音声への期待は大きく、Alan Kayは、図表 II-2-10のように、音声はコンピュータとの対話のための中心的メディアとなると予想している。

マルチメディアによるヒューマンインタフェースは、高機能である反面、使い勝手が良くないという問題が指摘されている。また、動画やフルカラーのアニメーション等を利用して、人目を引くマルチメディア応用のデモ・システムが開発されているが、大半のマルチメディア・システムは、複数のメディアを単に記録/再生したり、入出力しているに過ぎず、メディアの内容理解やユーザの意図理解などの知的機能は有していないため、ユーザへの負担が増大している。音声、ジェスチャー、画像理解などのパターン理解技術や、知的グラフィックス、情報検索技術などのAI技術を応用したマルチメディア・インタフェースのデモ・システムが開発され、将来の知的システムのビジョンを提案しているが、実際の応用場面を考慮していないシステムが多い。音声認識を用いたデモ・システムも同様であり、性能不十分のデモ用の(fake)システムが開発され、人々に過度の期待を抱かせてきた。

	Yesterday	Today	Tomorrow
Where	Machine room	Desktop	Wherever you are
Who	Expert	Individuals	Collaborative groups
What	Edit	Lay out	Orchestrate
How	Remember & type	See & point	Ask & tell
Desired	Response time	MIPS	Accountability
Power	.05-.1 MIPS	1-4MIPS	50-100MIPS
Style	Data/procedures	Object-oriented	Rules
Operation mode	Subservience	Independence	Freedom

図表 II-2-10 計算機の発展 (Kayによる)

音声によるコンピュータとのインタフェース実現については、これまで、単語や文の音声認識性能向上や、合成音声の品質向上を目指したメディア交換の研究が主として行なわれてきた。すなわち、音声入力とはキーボードに代わるコンピュータへのデータ入力手段として、音声タイプライタなどの研究が実験室レベルで行なわれてきたが、先に述べた計算機環境の急速な発展により、コンピュータとの自然な対話を実現するための中核メディアとして音声言語の重要性が認識されるようになり、日本、米国、EC諸国で音声理解や音声対話の研究が活発に行なわれている[1-4]。

以下では、音声の知的インタフェース実現に関連した音声認識、音声対話の研究動向を概観し、筆者の研究チームで試作した音声対話システムを中心に、知的音声インタフェース実現について述べる。

2.1.2 音声認識・理解の技術動向

2.1.2.1 音声認識と音声理解システムの分類

“音声認識”に対して、“音声理解”という用語が技術用語として用いられている。音声認識 (Speech Recognition) は、音声信号から言語表記への変換を意味し、音声ワープロやディクテーション・システムに対応する。一方、音声理解 (Speech Understanding) は、音声の意味的内容の理解を表し、質問応答システムや音声対話システムの必須技術となる。音声認識の方がより広い意味で用いられ、音声理解とは必ずしも明確に区別できるわけではない。最近では、音声理解の方が音声の知的インタフェースとより密接に関連しており、コンピュータとの自然な対話を目指した音声対話の研究が内外で盛んになってきている。

2.1.2.2 音声認識システムの分類

音声認識は、図表Ⅱ-2-11に示すように、話者登録方式、発話単位、語彙数の観点から分類できる。このうち現在実用化されているのは、特定話者の連続／離散単語認識と不特定話者の小語彙の離散単語認識だけである。単語音声認識方式には、単語を認識の基本単位にする方式と、音韻等を基本単位とする方式がある。単語を基本単位とする場合、単語パターンを音響的特徴で表現するため、高い認識性能が期待できるが、比較的語彙数の少ない認識システムにしか適用できない。研究室レベルでは、不特定大語彙連続音声認識システムの研究が行なわれている。不特定話者方式は、音声の登録が不要であるという利点があり、話者適応方式は不特定の話者の標準パターンを基本とするため、比較的少数のパターンで各ユーザに適応できるという利点がある。発声に関しては、文、文節、連続単語、単語と発声に対する制約が増えるが、認識は逆に向上する。認識対象語彙数と認識率も相反する関係である。

音声を用いたインタフェースの設計の際には、用途に応じて、処理速度、メモリー容量、認識性能、発話様式等の点を考慮し、上述した音声認識方式を適宜選択する必要がある。

2.1.2.3 HMMに基づく音声認識

計算機性能の向上と音声データベースの充実に伴い、統計的認識手法や確率モデルが有効利用できるようになり、ニューラルネットワークやHMM (Hidden Markov Model、隠れマルコフモデル) の

項 目	内 容	
ユーザの 音声登録方式	特定話者	システム準備 な し
		ユーザ登録 すべての登録
	不特定話者	システム準備 多数話者より作成
		ユーザ登録 不 要
	話者適応	システム準備 多数話者より作成
		ユーザ登録 一部を登録
入力音声の 発話単位	音 節	「お」「ん」「せ」「い」「に」「ん」「し」「き」
	単 語	「おんせい」「にんしき」
	連続単語	「おんせいにんしき」
	文 節・文	「おんせいにんしきをする」
認識対象語彙数	少	～100 語程度
	中	～1,000 語程度
	大	1,000 語程度以上

図表Ⅱ-2-11 音声認識システムの分類

研究が世界各国で活発に行なわれ、音声認識性能の大幅な向上をもたらした[5]。その中でも、1970年代にIBMで導入されたHMMは、現在のところ最盛期にあり、1987年開始されたDARPAの音声言語理解のプロジェクトや、ATRの翻訳電話プロジェクトでも採用されるなど、多くの研究機関で音声認識の手法として広く用いられている。このHMMの出現により、音声認識精度が大幅に向上し、音声によるコンピュータとの対話が現実味をおびてきた。

次に、音声による知的インタフェース構築の基盤となる音声認識システムの中から、代表的なシステムとして、ATRの音声翻訳電話システム[6]と米国のDARPAの音声言語プロジェクトのBBNのシステム[7]について説明する。

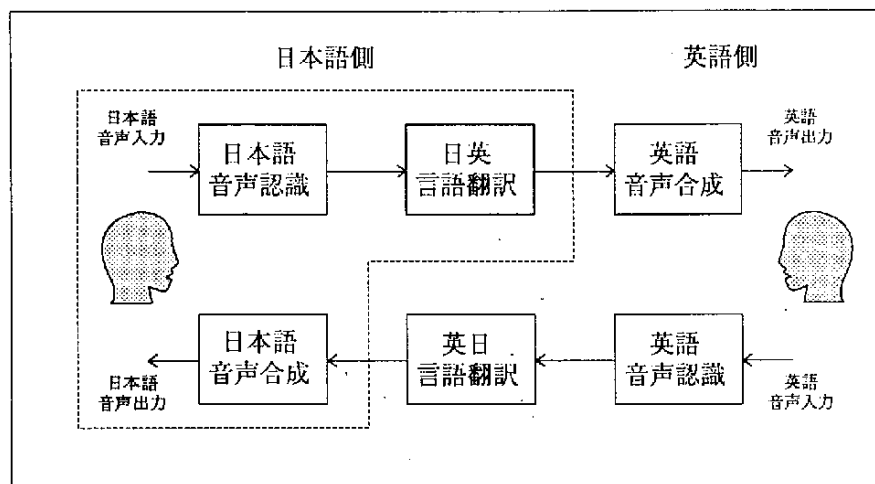
2.1.2.4 ATRの自動翻訳電話システム

ATRでは、異なる言語間の音声コミュニケーションを目指した自動翻訳電話実験システム"ASURA" (Advanced Speech Understanding and Rendering System of ATR)を開発した。図表Ⅱ-2-12に示すように、日英間の自動翻訳電話の場合、日本語入力音声は、日本語音声認識、日英言語翻訳されて、英語テキストの形で伝送され、英語側で英語音声合成される。英日翻訳も同様である。国際会議に関する問い合わせをタスクとして、音声認識部と言語翻訳部ともに約1,500語の語彙を扱っている。

文節音声認識を基本としており、文節の間にポーズをおいて文単位で発声する。文節音声認識は、SSS-LR方式[8]を用いている。音素モデルは、HMMをベースに隠れマルコフ網で表現され、逐次状態分割 (SSS) アルゴリズムにより自動生成される。話者適応を行なっており、異なるマイクロホンや室内騒音にも対処している。文節単位の文音声の認識は、音素環境依存一般化LR構文解析で行なっている。

言語翻訳部は、解析し、変換、生成部から構成される。音声認識の結果得られた文候補を、統

語・意味・語用論的に単一化文法で解析し、省略表現などの多様な話し言葉に対処する。変換部は、処理系と変換規則とを分離し、種々の言語への拡張が容易である。生成部は、解析部と同様に単一化文法をベースとし、慣用表現にも対応する。



図表 II-2-12 ATRの自動翻訳電話システムASURAの概念図（参考文献 [6]）

日本語の音声合成部は、可変長単位を最適接続する方法により行ない、韻津は数量化分析により、基本周波数、音素継続時間長、パワーを制御して行なう。

以上述べたシステムは、日本のATR、米国のCMU、ドイツのSiemens AGの、3ヶ所をつなぎ、3ヶ国語の音声翻訳通信実験システムがオンラインで稼働した。リアルタイムでは動作しなかったが、1986年から始まったATRの自動翻訳電話プロジェクトを通じて、音声認識、音声合成に関する多くの研究成果が得られた。

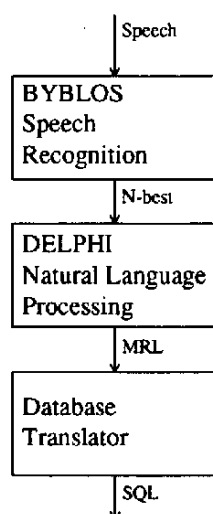
2.1.2.5 DARPAの音声言語システム

音声理解の研究が初めて本格的に行なわれたのは、1970年代の米国のDARPA (Defense, Advanced Research Projects Agency) の音声理解プロジェクトであり、自然言語処理やAIの研究も盛んな時期で、CMU、SRI、BBNなどで、音声による質問応答システムの研究が行なわれた。このプロジェクトにより、多くの研究成果が生まれたが、1970年代後半に実際に稼働した音声理解システムは、CMUのHARPYだけで大部分のプロジェクトは未完に終わった。

1987年に再び始まったDARPAの音声言語理解プロジェクトは、計算機パワーの増大と強力なHMMの利用を背景に、対話音声データベースの整備を行ない、自由な発話を認識対象として、CMU、BBN、SRI、MITなどで、ユーザにとってより制約の少ない音声理解システムの研究開発が進められている。また、ATIS (Air Travel Information system)のプロジェクトについては、人とコンピュータとの対話を模擬して、対話データベースの構築が精力的に行なわれている。

BBNでは、HARC (Hear And Respond to Continuous Speech)音声対話システムの研究を進めている。HARCは、音響処理システムとして、HMMをベースとしたBYBLOS連続音声認識システムを用い、

言語処理システムとしてDELPHIシステムを用いている。HARCシステムのブロック図を図表Ⅱ-2-13に示す。BYBLOSは、入力音声単語Bigramモデルに基づいてForward-BackwardサーチでN-bestの候補を出力する。DELPHIは、N個の文章の候補を再評価して、動詞のカテゴリ分けを主体としたMapping Unitと呼ぶ定式化に基づいて解釈し、データベース検索言語SQLに変換する。BBNでは、言語処理ではMapping Unitの動詞から名詞や形容詞への拡張と、語順の利用、部分的パーズングの導入なども検討している。



図表Ⅱ-2-13 BBNの音声理解システムHARCの処理の流れ（参考文献 [7]）

音声による知的インタフェースの実現に関連して、知的音声理解や音声対話の研究は、前述したATRとDARPAの他に、EC諸国[3]や、国内でも、大阪大学[9]、豊橋技術科学大学[10]、京都大学[11]、京都工芸繊維大学[12]、早稲田大学[1]、電総研[2]、日本電気[13]、NTT[14]、日立製作所[15]、東京大学[16]、東芝[17]、KDD[18]などで精力的に行なわれている。

2.1.3 知的音声インタフェース実現へのアプローチ

2.1.3.1 知的音声対話インタフェース実現の課題

音声メディアの自然でフレンドリな特徴を利用し、ユーザとコンピュータとのニューマンインタフェースとして研究が盛んになってきている音声対話システムは、テキストを一字一句入力するのではなく、意図や意思の伝達を目的としている。このため、音声対話によるインタフェースは、発話の制約が少ない自由発話の理解と、リアルタイム応答生成が不可欠である。

前章で述べた内外で行なわれている最新の不特定話者大語彙連続音声認識の研究成果を音声対話システムに適用した場合にも、リアルタイム処理や耐雑音性能が不十分であることが指摘されている。また、発話際の文型に関する制約が強く、不要語、言い直し、言い淀み、省略、ポーズ、対象外の単語を含む自由な発話（Spontaneous Speech）に対処できないという問題がある。

実際の応用場面では、上述した自由発話への対処は必須であるが、すべての音声言語現象を文法

で完全に記述することは困難である。さらに、音声認識により生ずる曖昧性や誤認識に対しても、ユーザに対しても、不安を与えず対話をスムーズに進行する必要がある。以下に、音声対話システム実現の課題を挙げる。

- (1) 発話環境へのロバスト性の向上
- (2) 多様な話し言葉への対処
- (3) リアルタイム処理の実現
- (4) 誤認識、曖昧性の対話処理での吸収
- (5) 多数のユーザによるHIの評価

2.1.3.2. 音声対話システム試作へのアプローチ

現状のマルチメディアの応用の大部分はテキスト、画像、音声などのデータの単なる入出力にすぎず、メディアの理解や生成機能の実現には至っていない。また、通常の大語彙連続音声認識システムは、雑音や自由発話に対してロバスト性が不足している。これに対して、試作システムはハンバーガショップでの注文システムを想定して、不特定のユーザに対して何ら制約を設けずに、通常の話し言葉でコンピュータと自然に対話できるシステムの構築を目指した。そして、多人数のユーザによるHI評価を重視した。この様なシステム実現のために、誤りや曖昧性を含む音声理解の他に、対話用の音声合成、対話制御のための知識処理、視覚メディアの利用など、種々の知識やメディアの融合を試みた。また、HIの観点からリアルタイム処理が必須であり、DSPを用いたアクセラレータも開発し、知的音声インタフェースとして、音声対話システムを試作した。

2.1.4. 知的音声対話システムTOSBURG

2.1.4.1 TOSBURGのシステム構成

試作した不特定話者音声システムTOSBURG(Task-Oriented dialogue System Based on speech Understanding and Response Generation)の構成を図表Ⅱ-2-14に示す。試作システムは、キーワード検出、キーワードに基づく音声理解、応用分野の知識を利用した対話処理、音声を含むマルチメディア応答により構成されている。これらの各要素技術は個別に研究される場合が多いが、試作システムは音声による知的インタフェース実現のために、これらの統合を試みた。

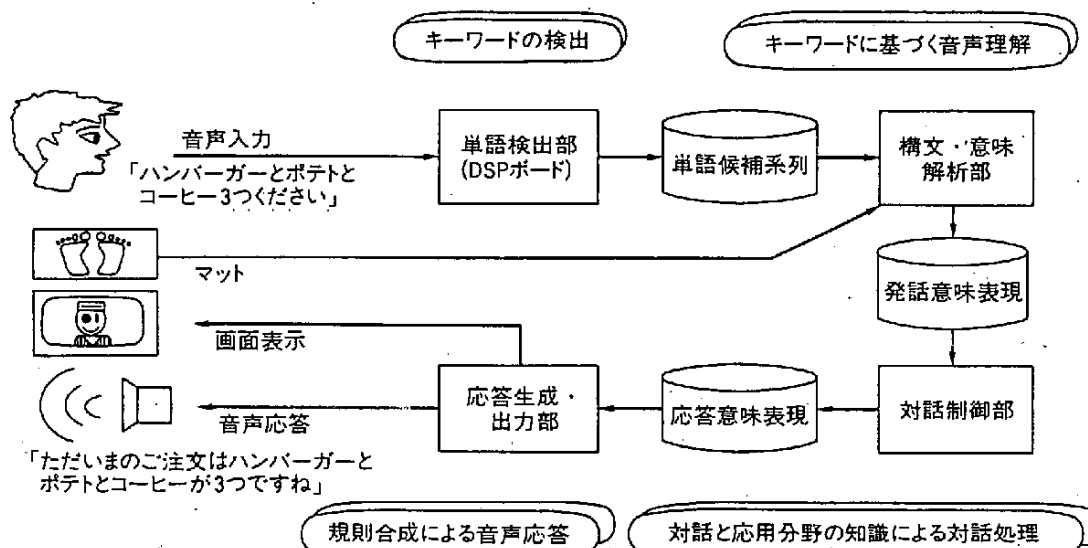
不特定ユーザ用の実システム構築のため、図表Ⅱ-2-15に示す49個のキーワードで対話が成立する不特定ユーザ用の簡単なタスクを選定し、ワークステーションとDSPボード用いて、実時間で動作する音声対話システムを作成した。また、ユーザ主導型のフレンドリーでロバスト性な対話の実現を目指した。音声メディアのほかに、システムへの入力には人物を検知するためのマツを用い、システムからユーザーへの応答は、応答メディアとしてテキスト表示、注文品と店員の表情の表示も利用し、複数のメディアを併用するマルチモーダルな構成とした。

2.1.4.2 単語検出部

試作した音声対話システムの最大の特徴は、雑音や不要語に強い雑音免疫法によるキーワード検

出をベースにしている点である。

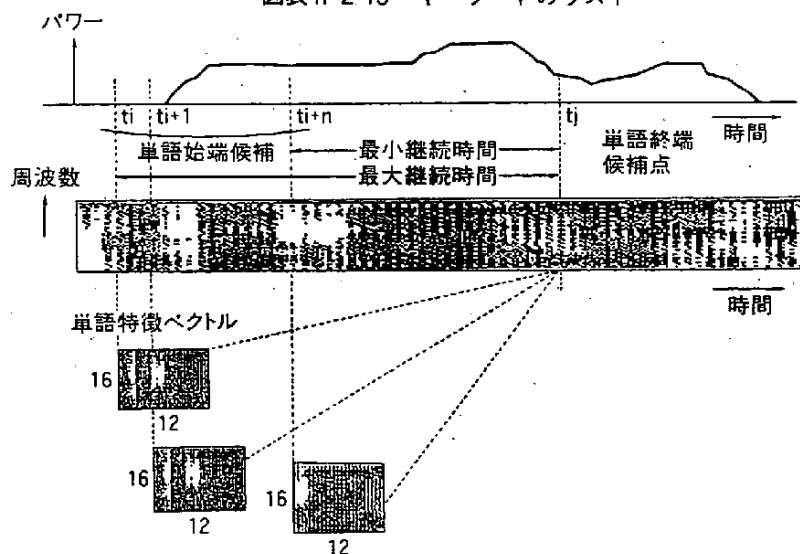
連続音声中のキーワードを検出するために、図表Ⅱ-2-16に示すようにキーワードの存在を仮定して、認識辞書と単語特徴ベクトルの間の始末端自由なパターン照合を連続的に行ない、各キーワードの尤（ゆう）度を常時求める。ここでは、存在を仮定した単語の始末端候補点の間を線形にサンプルして得られた固定次元ベクトル（単語特徴ベクトル）と認識辞書との類似度を複合類似度法によって求め、尤度に変換した後、キーワード候補を検出する。



図表Ⅱ-2-14 音声対話システムTOSBURGの構成

ハンバーガー	チーズバーガー	フィッシュバーガー	ポテト	フライドポテト					
コーヒー	アイスコーヒー	コーラ	オレンジジュース	一個	二個	三個	四個		
五個	一つ	二つ	三つ	四つ	五つ	はい	ええ	そうです	いいえ
違います	違う	要らない	要りません	取消し	あと	それから	それと	追加	
ではなくて	じゃなくて	やめて	下さい	お願いします	ちょうだい	ずつ			
全部	それぞれ	みんな	大	中	小	大きい	普通	小さい	

図表Ⅱ-2-15 キーワードのリスト



図表Ⅱ-2-16 ワードスポッティングによる単語検出

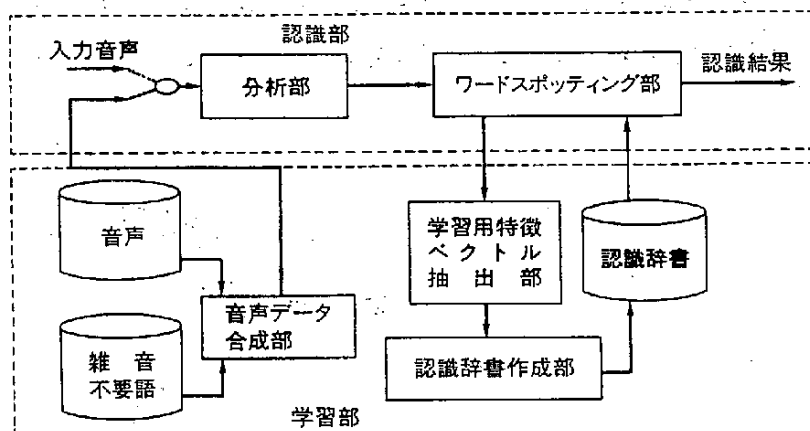
また、認識辞書は、図表Ⅱ-2-17に示すように雑音のない学習用音声データに、雑音／不要語のデータを付加し、雑音が重畳した音声パターンを合成し、徐々に雑音の割合を増やす雑音免疫法により作成する[19]。

このようにして検出したキーワード候補系列は、キーワードが検出されるごとに、構文意味解析部に送られ、パイプライン的に自由発話の意味内容を求めることができる。検出されたキーワード候補系列の例を、図表Ⅱ-2-18に示す。

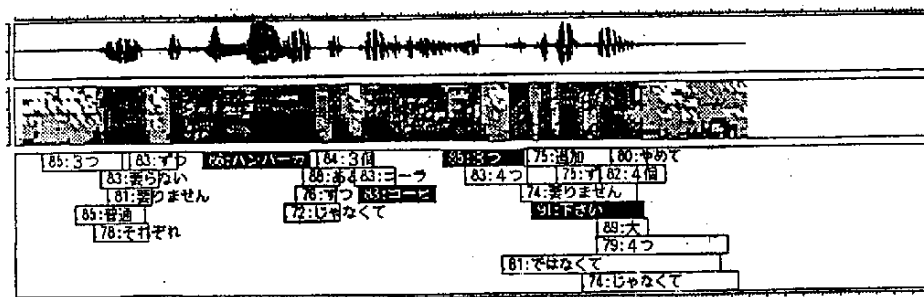
2.1.4.3 構文・意味解析部

不特定ユーザとの実用的な（real-worldの）音声インタフェース実現のためには、“えー”、“あのー”、などの不要語、言い淀み、省略を含む自由発話に対応することが必要である。また、即座にユーザへ応答を返す必要がある。このため、連続音声の中のキーワードに基づく新しい自由発話音声理解方式を開発した[20]。

この方式では、発話の始末端を決定せずに、キーワード系列の構文と意味解析を同時に行なう。



図表Ⅱ-2-17 雑音免疫学習法による認識辞書の作成



図表Ⅱ-2-18 キーワード候補系列の例

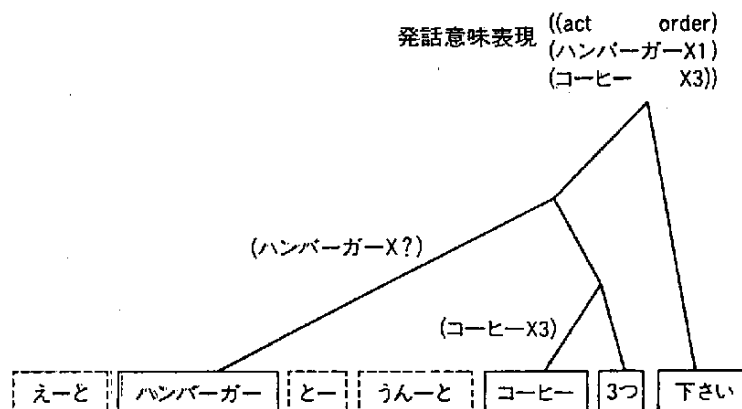
キーワードが検出されるごとに、その時点までに検出されたキーワード候補系列から直接発話の意味内容を求める。タスクをハンバーガ店での注文に限定し、キーワード以外の発話を見捨てることにより、多様な話し言葉の理解を可能とした。

図表Ⅱ-2-19は、不要語を伴う自由発話音声の解析例である。“ハンバーガ” “コーヒ” “下さい”などのキーワードから、“注文”、“追加”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自由発話から得ることができる。さらに、従来の一文（一発声）ごとに行なう音声認識の枠組にとどまらず、対話中の省略表現や不要語にも対応できる意図理解の実現を目指し、不明な点や曖昧な点は知的対話処理で補うこととした。

2.1.4.4 対話制御部

試作した音声対話システムでは、ユーザに極力制約を与えない対話方式を採用した。これまでの対話システムの多くは、システム主導型の“穴埋め形式”の対話処理を行っており、ユーザはシステムの発話要求にしたがって、制約された範囲で書き言葉の文法どうりの発話を行なう必要があった。

試作システムではシステム応答に対して、対話中の様々な状況で多様なユーザの発話を許し、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が行なえる。



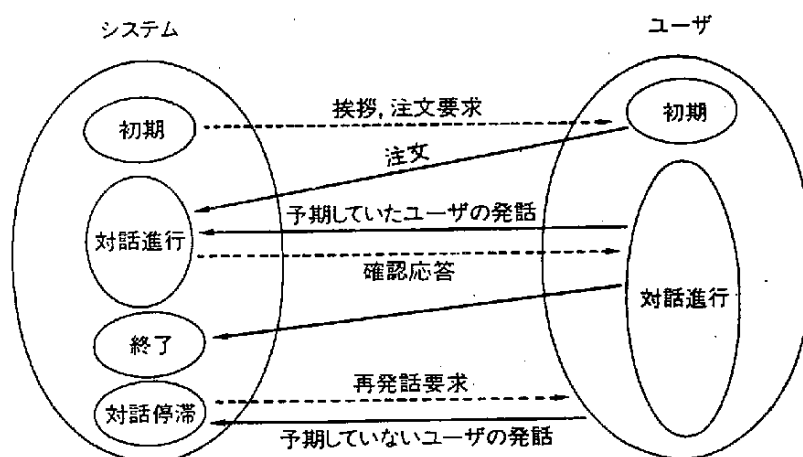
図表Ⅱ-2-19 意味表現と解析木の例

また、状況に応じて適切な応答を生成し、ユーザが安心して気楽に対話できるような構成とした。

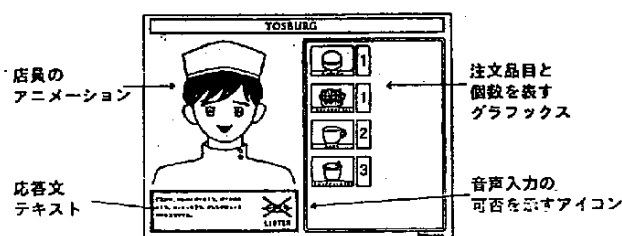
図表Ⅱ-2-20に示すように、本システムでは対話の状態を、ユーザの発話を理解するユーザ状態と、タスクを管理して適切な応答を生成するシステム状態とに分け、対話の流れをそれらの間の遷移としてモデル化した。これによりユーザとシステムの状態変化をタスクの達成手順に依存した記述ではなく、対話の進行状況に即した記述で表すことができ、ユーザ主導の多様な対話の流れに対応することができる。また、キーワードの検出誤りや構文意味解析処理による曖昧性に対処するために、本システムでは必要に応じてユーザの発話に対して確認または曖昧な部分についての質問などの応答を返すことにより対話を進行している[17]。

2.1.4.5 マルチモーダル応答生成

応答生成部では、対話制御部から渡される出力意味表現とシステムの内部状態から、合成音声とその応答文テキスト、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。図表Ⅱ-2-21にその構成を示す。ここで、合成音声や応答文テキストは、挨拶や確認などのメ



図表Ⅱ-2-20 対話のモデル



図表Ⅱ-2-21 視覚メディアによる応答

ッセージ出力に用い、注文品目と個数のグラフィックス表示により、システムが理解している注文内容を可視化してユーザに示す。また、店員の表情を対話状況に応じて変えるとともに、その11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[17]。

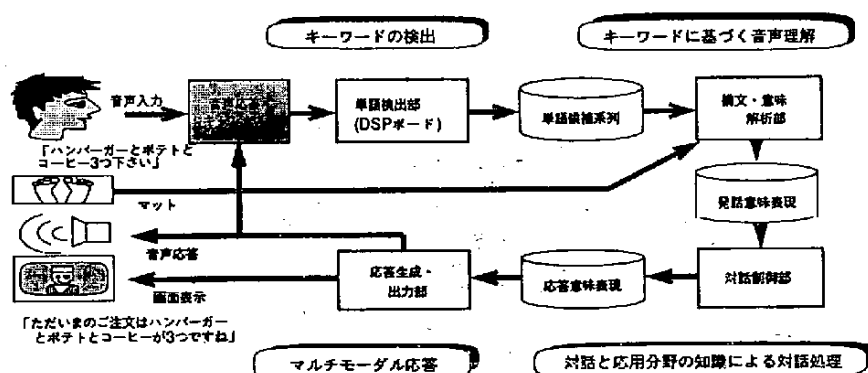
合成音声応答の生成・出力では、対話制御部から渡される出力意味表現とシステムの内部状態に応じて、合成音声の韻律を制御して強調表現を行う。例えば、追加注文の際に個数をユーザが発声せず、システムがこの省略された個数を推論したときに、確認のため、個数を強調する韻律を合成音声に付加して出力する。音声合成方式はターミナルアナログ型ホルマント合成であり、文節的特徴の合成単位はCV音節、韻律的特徴の合成には藤崎モデル[21]を利用している。

本システムでは、各種メディアの特長を利用できる。例えば、合成音声に対話状況に即したメッセージを視覚的に伝え、それと同時に応答文テキストを視覚的に表示することにより、合成音声の品質が十分でない場合でも、ユーザはシステムの応答を容易に理解できる。また、音声メディアのもつ一過性という欠点を補うことができる。

2.1.4.6 音声自由対話システムTOSBURG II

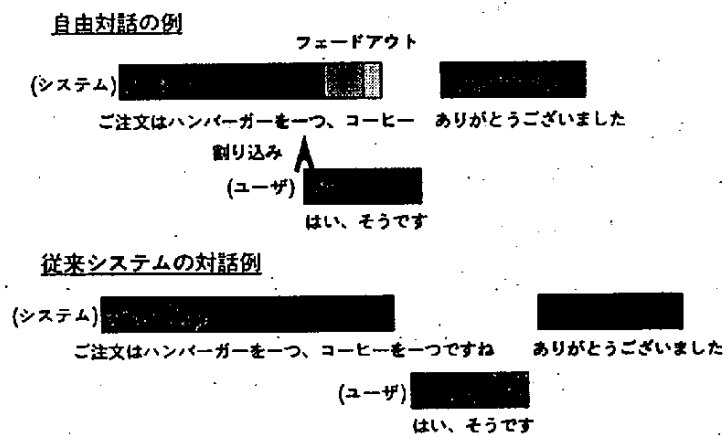
音声応答が入力音声に混入し誤認識の原因となるため、TOSBURGでは音声応答中は図表Ⅱ-2-21に示すような唇のアイコンを表示し、ユーザの音声入力を受けつけないよう設計した。しかし、日常の人間同志の対話ではしばしば相手の応答を遮って発声しており、より制約の少ない自由対話（Spontaneous Interaction）を実現するために、TOSBURG IIでは、図表Ⅱ-2-22に示すように音声応答キャンセル機能を組み込み、システムからの音声応答を遮って音声入力を常に可能とした[22]。

音声応答キャンセル部は、適応フィルタを用いてスピーカー、マイクロフォン間の伝達関数を逐次推定し、マイクロフォン信号中から音声応答成分を常時引き去り、システムからの音声応答中でも入力を可能とする。



図表Ⅱ-2-22 音声自由対話システムTOSBURG IIの構成

図表Ⅱ-2-23に自由対話と従来のシステムにおけるタイミングの比較を示す。マルチモーダルインタラクションでは、視覚的なメディアを利用して、音声メディアによるシステムの応答出力の終了を待たずに相手の伝えたい情報の内容が理解できるため、その時点で次の入力を行えば、よりテンポの良い対話可以实现できる。マルチメディア対話に関してプロトタイプの構築は机上の実験よりも強力であり、対話における音声メディアの有用性が示された。



図表Ⅱ-2-23 自由対話と従来の対話における発声のタイミングの比較

2.1.5 音声による知的インタフェースの実現に向けて

以上本文では、音声認識の技術動向を概観し、試作した音声自由対話システムを中心に、知的音声インタフェースについて検討した。

実世界で役立つ音声インタフェース構築のためには、環境雑音や自由発話に対する音声認識や音声理解のロバスト性が必要であり、また、ある水準以上の音声認識精度が不可欠である。そのためには、まず低レベルの信号処理やパターンの認識の充実が大切である。筆者等が雑音下の音声認識のために開発した雑音免疫学習法は、計算機パワーを活用した強力な学習処理であり、低次の処理で認識性能が大幅向上を可能とした。低次レベルの処理が貧弱な場合、どんな巧妙な高次の知識処理を駆使しても音声理解の高度化は困難である。しかし、音声認識エラーは不可避であり、音声理解の曖昧性の問題にも積極的に対処し、自然言語等の高次処理も採り入れ、両者を適切に統合する必要である。

音声等の信号やパターンを対象とする音声・文字等の各メディアの処理やパターン認識のコミュニティと自然言語等の記号を対象とするAIコミュニティの間の交流が現状では不足している。パ

ターン認識の分野では、雑音や変形が多いパターンを処理対象として、表層的なパターンからシンボルへのメディア変換を研究目標としている。そして、統計的手法やニューラルネットに基づく低レベル（low-level）の認識方式や認識精度向上に研究の重点を置いている。一方、AIの分野では、厳密性を重視し、限定された（well-defined）世界の中で、記号ベースにhigh-level（上位）の研究を行っているが、実世界のパターンデータを扱う場合が少なく、toyモデルの研究に陥りがちである。ニューラルネットワークの研究分野も、現状ではパターンレベルの研究が主流であるが、AIや認知科学研究者も参入し、上位レベルの研究も盛んになりつつある。今後各メディア、AI、パターン認識、認知科学、HI等の研究コミュニティー間のギャップを埋めることが、音声およびマルチメディアによるコンピュータとの自然な対話実現のために必須である。

音声等のメディア理解に基づき、コンピュータとの知的インタフェースを構築する場合、音声認識・理解等のロバスト性と認識性能向上に加えて、ユーザのモデル化、ユーザとシステムの対話のモデル化、ユーザとシステムと処理対象のモデル化、さらにユーザとシステムと対象と状況のモデル化が必要となる。これらのモデルの記述に、自然言語は威力を発揮する。すなわち、実世界の音声等のマルチメディア・データと言語や記号とのリンクを言語メディアを介して行うことにより、マルチメディアの理解が可能となり、より高次の推論や情報処理が実現できるわけである。この知識や情報の表現メディアとしての自然言語と、コンピュータとの対話メディアとしての音声を、今後のマルチメディア・インタフェース技術の中で、中心的役割を演じることは確実である。

今後、音声認識の研究と音声インタフェースの研究が加速化され、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] 小林哲則、白井克彦：“ネットワークモデルによる会話音声理解における焦点の表現法”、信学技報、SP85-15 (1985)
- [2] 速水悟、伊藤克旦、田中和世：“音声対話システムの構築とそれを用いた会話音声収集”、信学技報、SP91-101 (1991)
- [3] Peckham, J.: "Speech Understanding and Dialogue Over The Telephone: An Overview of Progress in the SUNDIAL Project", EUROSPEECH '91, pp. 1469-1472 (1991)
- [4] Goodine, D., Hirschman, L., Polifroni, J., Seneff, S. and Zue, V. : "Evaluating Interactive Spoken Language Systems", ICSLP '92, pp. 201-204 (1992)
- [5] Lee, K. F. : "Automatic Speech Recognition", Kluwer Academic Publishers (1989)
- [6] 嵯峨山茂樹 他：“自動翻訳電話実験システムASURAの概要”、音講論、3-4-17 (1993-3)
- [7] Bates, M., Bobrow, R., Fung, P., Ingria, R., Kubala, F., Makhoul, j., Nguyen, L., Schwartz, R. and Stallard, D. : "Design and Performance of HARC, The BBN Spoken Language Understanding System", ICSLP '92, pp. 241-244 (1992)

- [8] 永井明人、鷹見淳一、嵯峨山茂樹：“逐次状態分割法（SSS）と音素コンテキスト依存LRパー
ザを統合したSSS-LR連続音声認識システム”、信学技報、sp92-33 (1992)
- [9] 吉田英昭、野村康雄、山下洋一、溝口理一郎：“対話管理システムにおけるMOPを用いたユ
ーザ発話の予測”、音講論、2-p-22 (1991-10)
- [10] 中川聖一、大黒慶久、橋本泰秀：“構文解析駆動型日本語連続音声認識システムSPOJUS-
SYNO”、信学論 (D-II), J72-D-II, 8, pp. 1276-1283 (1989-8)
- [11] 荒木雅弘、河原達也、西田豊明、堂下修司：“キーワード抽出に基づく意味解析による音声対
話システム”、信学技報、SP91-94 (1991)
- [12] Kobayashi, Y., Omote, M., Endo, H. and Niimi, Y.: "SUSKIT-II - a speech understanding system based
on robust phone spotting", 信学論、E74, 7, pp. 1863-1869 (1991-7)
- [13] 渡部隆夫 他：“自動通訳のための不特定話者連続音声認識システム”、信学技報、SP91-115
(1992)
- [14] Okada, M.: "A Unification-Grammar-directed One-Pass Search Algorithm for Parsing Spoken
Language", ICASSP'91, S10. 9, pp. 721-724 (1991-5)
- [15] 村山秀樹、天野明雄、北原義典、市川憲：“連続音声入力による情報検索システム”、音講論、
3-6-11 (1991-3)
- [16] 大野澄雄、深瀬聰、広瀬啓吉：“音素系列全体の特徴を考慮したワードスポッティング法の検
討”、音講論、1-4-4 (1993-3)
- [17] 竹林洋一 他：“不特定話者音声対話システムTOSBURGの開発”、音講論、1-P-16 (1992-3)
- [18] 武田一哉 他：“連続音声認識に基づく内線番号案内システムの試作”、音講論、3-4-15 (1993-
3)
- [19] 竹林洋一、金沢博史：“ワードスポッティングによる音声認識における雑音免疫学習”、信学
論 (D-II), J74-D-II, 2, pp. 121-129 (1991-2)
- [20] 坪井宏之、橋本秀樹、竹林洋一：“キーワードオスポッティングに基づく連続音声理解”、信
学技報、SP91-95 (1991-12)
- [21] 藤崎博也 他：“日本語単語アクセントの基本周波数パターンとその生成機構のモデル”、音響
誌、Vol. 27, No. 9, pp. 445-453 (1971-9)
- [22] 竹林洋一、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TOSBURGII-
マルチモーダル応用と音声応答キャンセルの利用-”、情処学会HI研資、HI-45-13 (1992)

2.2 行為理解

2.2.1 はじめに

従来のAIシステムは、極めて限定された入出力の間を、探索を基本アルゴリズムとする重い記号処理で結合したアーキテクチャをとっていたため、エンドユーザへの過度な負担、現場の状況の多様性への不適応、実時間性能の低さ、など多くの問題を抱えてきた。

問題解決の対象となる現場の多様な情報を的確に取捨選択し、整理し、システムが受け付ける形式にのっとって明示的に記号記述し、キーボードから入力することは、人間にとっても楽な作業ではない。実はこ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既に解決の筋道が見えてしまうことが少なくない。

端末に表示される記号的な推論結果を現場にフィードバックしようとする時にも、大きな困難が生じる。現実世界の状況は多様かつ時々刻々変化している。そこでの問題解決は、あらかじめ明示的に記述された固定的手順を順次実行することでは達成できないことがしばしばある。

実行者は、現実の状況を実時間で認識し、これに合わせて臨機応変に計画を変更し、その場で使えるものは使い、突発事態に対処することが要求される。これもまた極めて高度な情報処理過程であり、極端な場合、事前の計画立案など全くなしに臨機応変さだけで問題解決していけることも多い。

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ンネルで密接に結合し、自律的に情報収集をし、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、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。

これらの機能の開発は、単に実用的見地からでなく、広く人間や動物の知能の本質を解明するという意味からも非常に重要な意義がある。

本稿では、「行為理解」という新しい知的機能を計算機上に実現した例を紹介し、これを通して、実世界に開かれた知的システム構築への道筋を探る。

2.2.2 行為理解の原理

行為理解とは、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。

上の文中の「ある者」、「観察」、「行為」、「意味」、「適切な行動」が具体的に何を指すかによって、さまざまな副問題が定義される。

本稿では、以下のような副問題を取り上げる。

他者（人間）が一本の手を用いて行なった物理的行為（組み立て作業など）を視覚によって観察し、どういう種類の操作をどのような順序で行なったか、またそれによってどういう状態になったかという記号的な計画記述を自動生成し、記憶する。この計画を、与えられた状況に合わせて変更した上で実行し、観察したのと同等の意味を持つ行為系列を再現する。

2.2.2.1 行為の観察

行為の観察から再利用可能な知識を抽出する為には、ある程度の抽象レベルの記述が必要である。

例えば組み立て作業中の人の手の動きのみを精密に計測し、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変化すれば破綻してしまう。逆に、どの物体とどの物体をどう組み合わせたかという定性的な記述を生成し、これに基づいて同じ変化を達成する手の動きを再生成すれば、動き自体は異なっても、等価な作業が達成できる。

では、視覚的観察を元にそのような定性的な状態変化記述を生成するにはどうすればよいか？伝統的なAIの枠組では、環境の初期状態と最終状態の完全な記述を生成し、適用可能なすべての操作の知識に基づいて組合せ探索をし、初期状態と最終状態を結ぶ手順を求めることになる。しかし、この手法は、必要な計算量、領域知識の量などの観点から、ほとんど実用にならない。もっと悪い事に、最終状態を視覚でいくら観察しても、隠れた部分などの影響で、完全な状態記述は生成できない。

人間が実演する作業を連続的に観察し、定性的行為系列を抽出できれば、それを作業手順の知識としてそのまま再利用できる。

この時、重要なのは、人間の身体運動だけでなく、それが環境にどのような定性的変化をもたらしたかという事も併せて観察することである。

まとめると、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。

2.2.2.2 分節化と識別

連続して行な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。

人間が他者の行為系列を観察する際に、誰でも共通のはっきりとした区切り目(分節点)を用いていること、およびそれら分節点には、行為の意味を知る上で極めて重要な情報が含まれていることが、実験心理学的に確認されている。

分節化の手法としては、以下のものを提案している。

- (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、組み立て作業中に、手がテーブルに向かって下降しだしたら、手の運動方向を目で先回りし、なに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。

識別は、ある行為の開始点と終了点において、行為対象の視覚的スナップショットを抽出し、両者の変化を求めることによって行う。

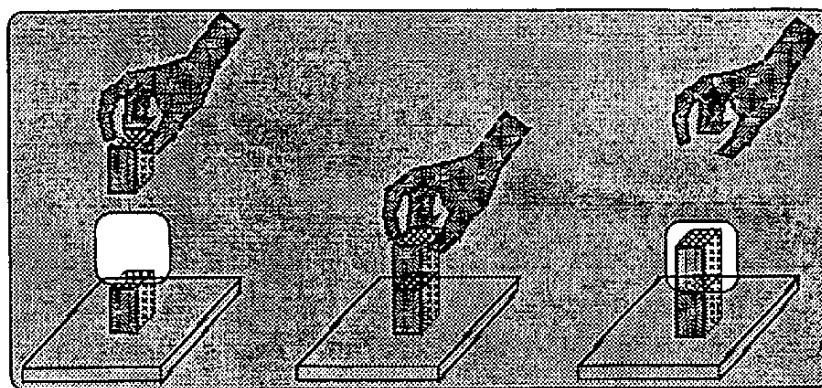
以下に具体例を二つ挙げる。

(1)積木のピックアンドブレースにおけるPICK（取った）、PLACE（置いた）、NO（何もしなかった）の識別（図表Ⅱ-2-24）

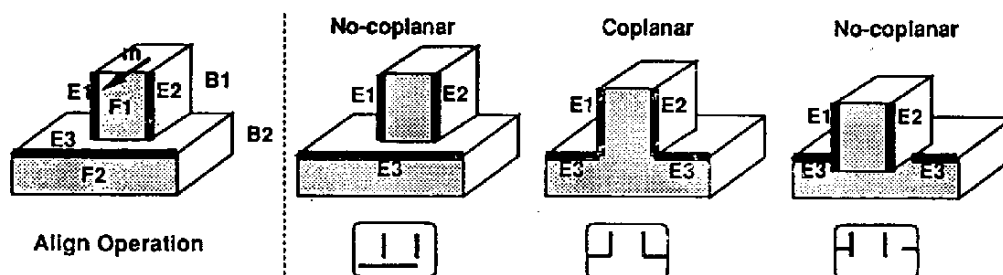
照明が一定で物体色が既知であれば、濃淡値の変化（増／減／不変）のみに基づいて識別可能。

(2)面合わせ操作の識別（図表Ⅱ-2-25）。面が合った状態では、特定の線分junctionが出現する。

これを検出するだけで識別可。形状モデルのマッチングは不要。



図表Ⅱ-2-24



図表Ⅱ-2-25

2.2.2.3 行為の文脈に従った注視点制御

人間の行為系列を両眼立体視によって連続的に観察した場合、システムに入力されるステレオ画像の流れには膨大なデータが含まれる（筆者らのシステムでは、約8MB/秒）。この入力画像データ全てを一様に処理して、各画像フレームごとに完全な環境のモデルを更新し、それを解釈して行為を認識するというといった手法では、実時間処理は到底困難である。

従って、行為の文脈に応じて、処理する範囲や処理の種類を動的に制御することが必要となる。

前述の分節化と識別の手法は、このような動的な注意の制御のもとで有効に機能する。これらを実時間で効率良く正しく行なうためには、追跡、探索、注視などをタイミング良く的確に制御しなければならない。

これは、どこを見るかを決める空間的注視点制御と、注意の切替えを行なう時間的注視点制御からなる。さらに、広い範囲を粗く、重要な狭い範囲を精密に見るという両方の見方を並列に処理する階層的注視点制御を導入する事で、全体の安定性と多様な事態（例えば、面合わせ操作を中断して別の部品を取りに手が大きく動いた場合）への対処が可能となる。

2.2.2.4 行為認識アーキテクチャ

上述の注視点制御を実現する認知アーキテクチャを図表Ⅱ-2-26に示した。

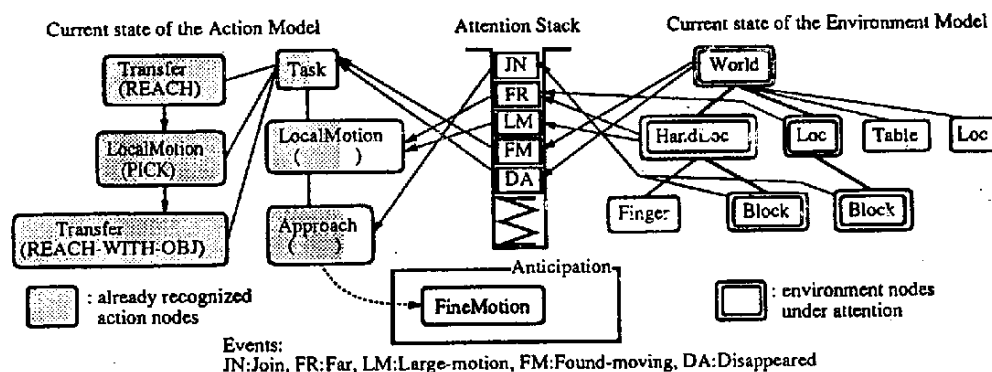
主要部分は、空間領域を表現する環境モデル、時間領域を表現する動作モデル、および両者を動的に関連づける注視点スタックからなる。

両モデルは、分散ノードの集合によって表現され、認識中の各時点で注意の対象となっているごく一部のみが活性化される。

各ノードは、大きい領域（または長い時区間）は粗く、小さい領域（または短い時区間）は細かく記述することとし、さらに各領域中で情報量の多い部分は重点的に小領域で囲み詳細に記述するという階層構造をとっている。

これにより、各記述要素の情報量が平均化されている。

環境モデルノードには各々の要素を担当する視覚特徴検知器が接続する。



図表Ⅱ-2-26

例えば、Worldノードには、視野全体の粗い像を連続的に時間差分して常時大きな動きを検出する運動発見器が、HandLocノードには、手や指の特徴を実時間で追跡する手追跡子が接続する。

これら特徴検知器から抽出された視覚情報は、環境モデルノードにおいて定性的情報に変換され、時間分節化を起動する事象や行為識別のための情報として注視点スタックに伝達される。これらの情報は適切な動作モデルノードに与えられ、分節化や識別、次の動作の予測などが生成され、注視点スタックに返される。

2.2.3 実演による作業教示

これまで述べた行為理解機能の一つの応用例として、ロボット用の全く新しい作業教示システムの実現例を紹介する。

2.2.3.1 背景および目的

将来の知能ロボットは、整備されない環境下で、様々な職種の人間を補助するため多種の作業に従事することが期待される。

このような状況下での作業教示には、熟練したプログラマや高度な設備を必要とせず、最小限の手間と時間で、高度なセンサ利用を含むロバストなプログラムを生成できることが要求される。

人間がマニピュレータを操作して作業を実行することにより教示する方式(Teaching by Guiding)は、作業知識の明示化が不要で使用法が簡便という利点があり、産業用ロボットの教示に広く使われている。

しかし、この方法には柔軟性、ロバスト性、センサ利用、安全性などに関する問題点があり、これらを改良あるいは拡張しようとする試みもある。

教示作業時にセンサの情報を収集し、教示者の指示に従ってセンサ利用コードをプログラムに埋め込む方法、教示者の特定の動作について位置と力を計測し、動的な制御則を抽出する方法、単一のピックアンドブレース操作の対象物の初期位置と最終位置を視覚で計測し、移動経路を自動生成する方法などがその例である。

筆者らが提案する「実演による作業教示」は、教示者が行なう手作業をシステムが視覚で観察することにより、記号化された動作列を抽出し、これをもとにロボットプログラムを自動生成する教示法である。

2次元図形の運動から行動の意味を抽出する試みは従来からなされている。

また、人間が操作するマニピュレータの位置姿勢と力情報を記号化し、ピックアンドブレース動作列を自動抽出して環境モデルと実世界との整合性を保つ試みが、ロボットの遠隔操作を対象として行なわれている。

しかし、本教示法の実現のためには、3次元の実世界中で人間が手を用いて行なう動作列の視覚認識が必要となる。

2.2.3.2 システムの概要

今回試作した教示-実行システムの構成を図表Ⅱ-2-27に示した。

このシステムは、人間が実演した積木の組み立て作業を視覚によって観察し、記号的な作業計画記述を自動生成する。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。

教示者の動作は、2台のビデオカメラを用いた両眼立体視によって観察する。

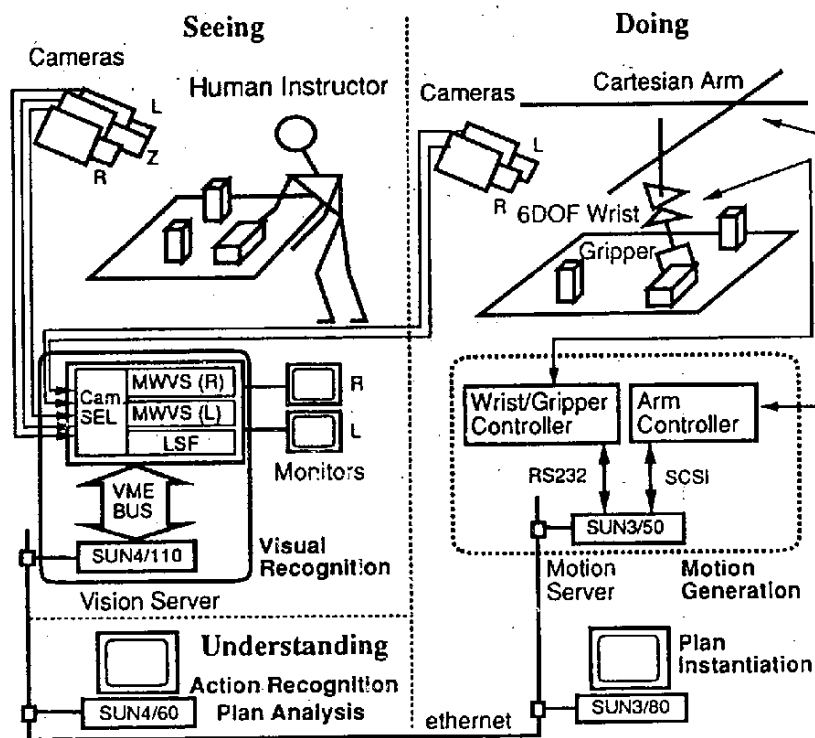
視覚特徴検知器は環境モデルからの要求に応じて、ethernetで結合された視覚サーバを制御し、入力画像から定性的視覚特徴情報を抽出する。

この処理は、特殊なマルチプロセッサ画像処理ハードウェアを用い、視野中の重要な部分に注視領域を設定する注視点制御を自動的に行なうことによって高速化されている。

行為認識モジュールは環境モデルと動作モデルに基づいて、各動作の区切り目を検出し（分節化）、行為の種類を決定し（識別）、前後の状態（中間状態）を記録する。

記号化された行為列はプログラム生成モジュールに送られ、マニピュレータコマンド列に変換される。

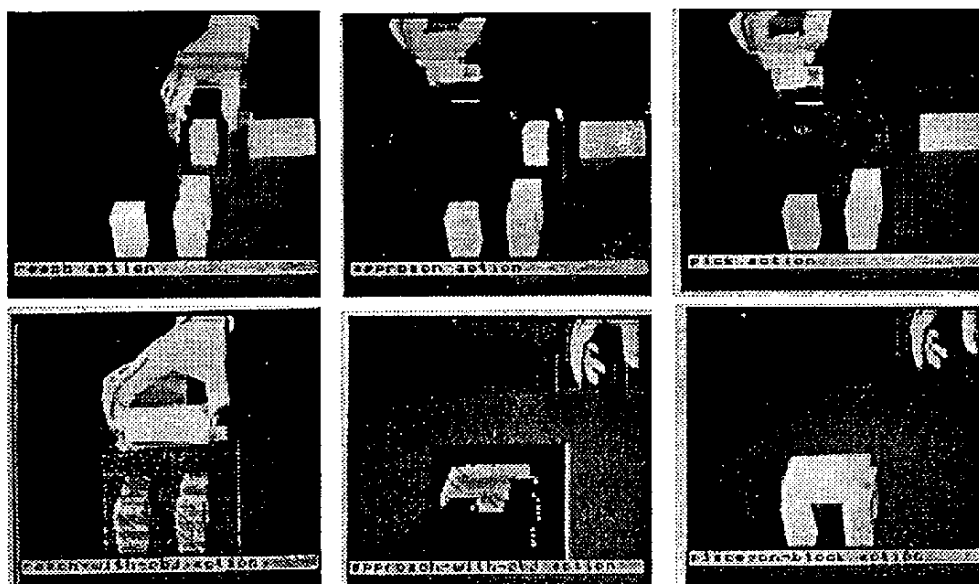
作業実行モジュールはこのコマンド列を解釈し、直交座標型アームの先端に6自由度の手首機構を取り付け、並行グリップを支持する構成のマニピュレータを制御して教示された作業を実行する。



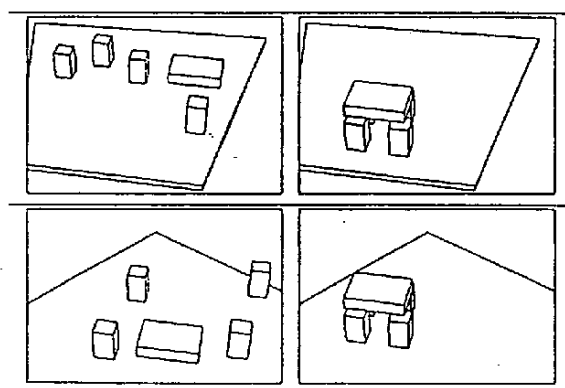
図表Ⅱ-2-27

2.2.3.3 実験結果

教示作業の認識中のモニタ画面の例を図表Ⅱ-2-28に示す。画面の下段に、物体操作タイプの認識結果が実時間で表示されている。教示—実行における初期状態と最終状態を図表Ⅱ-2-29に示す。上段が教示時、下段が実行時である。実行時の初期状態は教示時と違ってある。システムはこれを視覚認識し、教示作業を認識して得た作業計画を自動的に修正して、新しい環境状態に適合したロボットコマンド列を自動生成した。これをロボットマニピュレータによって実行し、教示されたのと同様な構造物を組み立てることができた。



図表Ⅱ-2-28



図表Ⅱ-2-29

2.2.4 将来の知能システムの基盤技術としての行為理解

行為理解機能は、ロボットの作業教示に限らず、広く将来の知能システム一般のための新しい基盤技術となる可能性を持っている。

この可能性を表すキーワードをいくつか挙げ、簡単な解説を試みよう：

行為ベースプログラミング、観察学習、知的助手、協同作業、ホームロボット、介護ロボット、社会ロボット。

行為ベースプログラミング：

前述の「実演による作業教示」がその代表例である。テキストを打ち込むのではなく、人間がシステムに対して適当な行為系列を実演して見せることによってプログラミングを行なう。ユーザはシステムにやらせたいことを明示的にプログラム言語で表現する必要はない。システムはユーザの意図を汲んで、適応的なプログラムを自動生成する。

観察学習：

知識ベースシステムにおいて、エキスパートの行為を常時連続的に観察することで自動的に知識獲得を行なう。観察した具体的な行為の集積をもとに、ある程度普遍性の高い規則を抽出する機能が鍵となる。

この機能を実現する第一段階として、上述の実演による作業教示システムでは、観察した作業の上位構造（作業目標や、手順の相互依存関係、階層性など）を自動抽出する手法を実現している。

知的助手、協同作業、ホームロボット、介護ロボット：

いずれも、行為理解機能の発展形が重要な要素技術となる。つまり、観察した行為をそのまま実行するのではなく、相手の行為に対して自分は何をすべきかという高次の判断を行い、行動する機能である。

この機能は現在筆者らが基礎研究を進めているが、これが実現すれば、ユーザの作業の進行状況に応じてその時点でのユーザの意図を推測し、先回りして道具を用意したり、手助けをするような知的助手や協同作業システムの構築につながる。これらはロボットに限るものではなく、ワークステーションがユーザのマウス操作やキー入力を観察し適切なコマンドを自動実行したり、ホームオートメーションにおいて、家人の行動を観察して家電製品の制御を行なうなどの例も考えられる。さらに、ホームロボットや、身体障害者の身の回りの世話をする介護ロボットの基本機能としても有望である。これらさまざまなシステムが行為理解機能を備えていれば、ユーザはいちいちボタンを押してコマンドを入力したり、口頭で命令を発する必要が少なくなり、多くの場合、何かをしようとしてわずかにアクションするだけで、システムがさっと動いてくれることになるだろう。

社会ロボット：

行為理解機能がさらに進めば、多数のロボットが互いの行動を意識しながら協調し合うこと

によって一つの社会を作ったり、人間社会の中にロボットが自然に溶け込むようなことも夢ではない。

既に筆者らは、「マルチロボットにおける観察に基づく協調」に関する基礎研究を開始している。これは、複数台の自律移動ロボットが、相互の行動を観察し理解することで、適切な協調行動を行なうというものである。最終目標としては、数十台以上の規模で、相互の行動の観察に基づく社会構造の自律形成と、そうしてできた社会による高度な協調作業の達成を目指そうとしている。

社会形成の基本原則としては、既に「注意構造」という概念を提案している。

2.2.5 おわりに

本稿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。

こういったものこそ、真にユーザフレンドリだといえよう。

もちろん、変にお節介のシステムやトンチンカンな反応をするシステムは使いづらいだろうから、適切な意図推論は必須であるし、反応行動をメタレベルで制御する「性格」（出しゃばりであるとか引込み思案であるとか）パラメータのようなものの導入も考慮する必要があるだろう。

<参考文献>

- [1] 國吉, 稲葉, 井上: 「実時間動画像認識に基づく行為の理解の研究」、第5回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.435-436, 1987.
- [2] 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.
- [3] 國吉, 稲葉, 井上: 「教示操作列の順序解析と中間状態集約に基づく階層的組立作業計画の生成」第9回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.927-928, 1991.
- [4] 國吉: 「観察に基づく協調—第1報: 協調行動パターンの分類に関する検討—」第9回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.583-584, 1991
- [5] 柴田, 國吉, 稲葉, 井上: 「線分の局所的接続関係の検出に基づく面合わせ操作の認識」、第9回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.167-168, 1991.
- [6] 國吉, 稲葉, 井上: 「構造化視覚ウィンドウ群による変形物体追跡システム」、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'92講演論文集, pp.613-618, 1992
- [7] Y. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Inoue, "Teaching by Showing: Generating Robot Programs by Visual Observation of Human Performance", Proc. 20th Int. Symp. on Industrial Robots", pp.119-126, 1989
- [8] Y. Kuniyoshi, M. Inaba and H. Inoue, "Seeing, Understanding and Doing Human Task", Proc. IEEE Int.

Conf. Robotics and Automation, pp.2-9, 1992

- [9] Y. Kuniyoshi and H. Inoue, "Indexicality and Dynamic Attention Control in Qualitative Recognition of Assembly Actions", In Computer Vision -- ECCV '92, Lecture Notes in Computer Science, vol. 588, pp.874-878, Springer-Verlag, 1992.
- [10] Y. Kuniyoshi and H. Inoue, "Qualitative Recognition of Ongoing Human Action Sequences", Proc. IJCAI93, (to appear), 1993.

2.3 人物像の認識と生成を利用する新インタフェースの枠組 (Human Reader)

2.3.1 はじめに

「目は口ほどにものをいう」などという。我々人間は、言葉が全く通じない場合であっても、笑い顔や泣き顔はすぐ判る。簡単な手の動作や、体の動きで意志が通じる場合も多い。視線や顔、あるいは、体の向き、歩行速度等によっても、ある程度は感情や意志が読み取れる。人間は日常のコミュニケーションにおいて、全く自然に、かつ巧みに人間の発信する様々な信号を利用している。ヴァーガス[1]は、コミュニケーションのための非言語メディアを、人体、動作、目（視線、目つき）、周辺言語（音声上の性状と特徴）、沈黙、身体接触、対人的空間、時間、色彩の9種類に分類し、豊富な例を示しつつ興味深い考察を行なっている。人間の発する各種の信号を確実に検出する手段があれば、それを人間と機械および人間と人間のコミュニケーションに利用出来る。なかでも顔や身振り手振り等の人物像は音声とともに特に重要な信号を含んでおり、これらの利用を考えることは極めて自然である。

人物像研究の歴史は意外に古く、既に1970年代にCatmulによる手の画像生成[1]、Parkeによる顔の画像生成[2]、Ekman-Friesenによる顔表情の組織的分類 (Facial Action Coding System)[3]等の先駆的な研究の報告がある。コンピュータの飛躍的能力向上とともに、最近、人物像を対象とした画像認識[4]、画像生成[5]、分析合成符号化[6]の研究が注目を浴びている。また、Boltの"Put That There" システム[7]によって示された、腕装着型電磁センサによる腕の方向の検出と、音声を用いたインタフェースの概念も特筆される。しかし人体装着型のデバイスは人間にとって煩わしいものである。やはり人体に何らデバイスを装着することなく、手の動きや顔の表情等を直接検出することが望ましい。このためには人物画像の実時間認識が重要な技術となる。

本文では、NTTヒューマンインタフェース研究所で研究を進めている人物像と音声を利用するインタフェースの枠組Human Reader[7]の概要を述べるとともに、その実現を目指して進められて来ている人物像認識生成の研究の概要を一部の実験例とともに報告する。

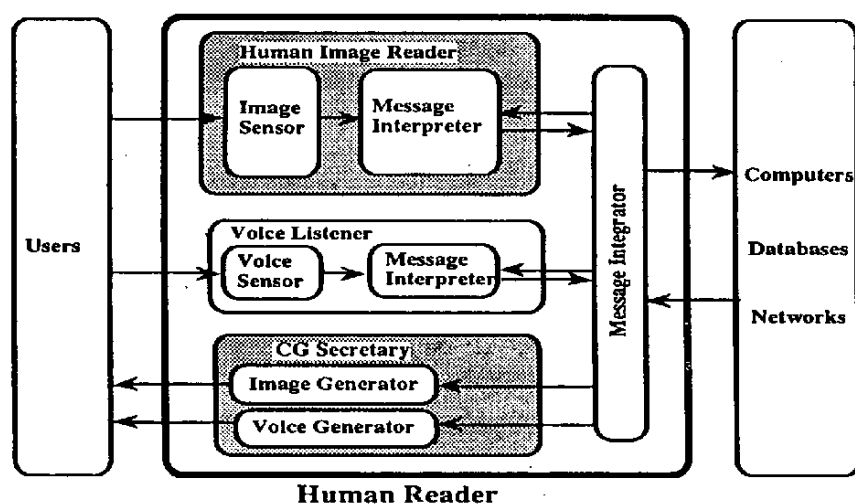
2.3.2 Human Reader

一見極めて複雑に見える問題も、基本的処理の枠組を考えることにより、解決すべき問題を整理し、実現すべき処理全体を把握する道が開ける。また、目的に応じ、一部を切り出して実際のシステムに早期に応用することも可能となる。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Human Reader[7]を提案し、

その実現に必要な人物像の認識と生成に関する研究を進めて来ている。手始めとして、これまでに人物頭部の3次元モデルの作成[8]、頭部動作の検出[9]、手指動作と音声による指示入力[10]、読唇[11]、顔表情の読取り[12]、顔画像認識[13]、頭髮を有する顔画像の生成[14]、時空間画像による歩行者の計数[15]、物体表面の形状とカラーの同時計測[16]、動輪郭追跡[17]、画像中の直線成分検出[18]等の研究を行なっている。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様々な活動場面への適用を前提としている[7]。

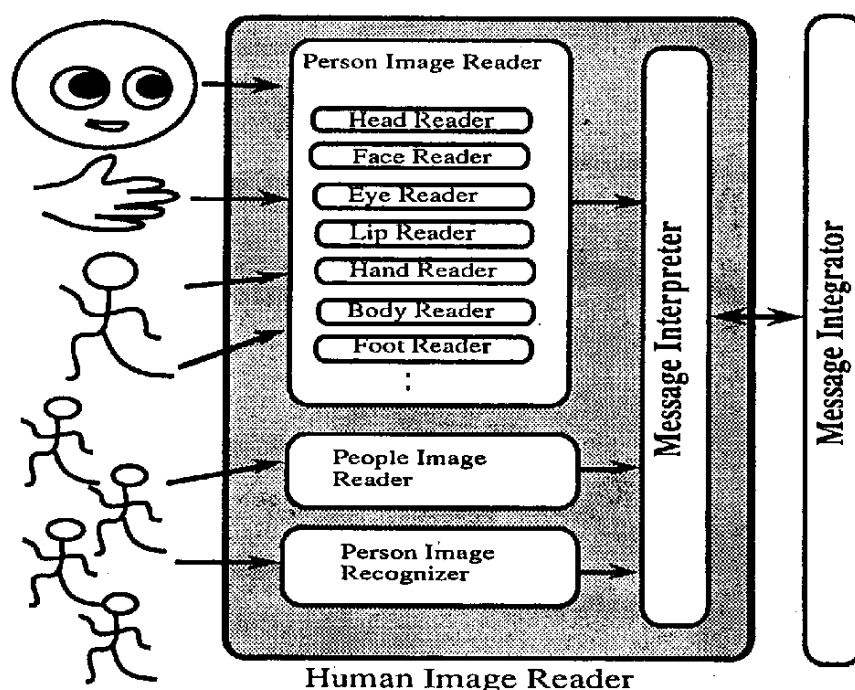
図表II-2-30に示すように、Human Readerの枠組は、Human Image Reader、Voice Listener、CG Secretary、および、Message Integratorの4つの枠組からなる。Human Image ReaderはImage SensorとMessage Interpreterからなり、様々な人物像の認識理解を行なう。Voice ListenerはVoice SensorとMessage Interpreterからなり、音声の認識理解を行なう。Message IntegratorはHuman Image ReaderとVoice Listener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ない、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し、人間と機械とのやりとりを助ける。以下、本文では、これらのうち、人物像の認識と生成に関わる部分であるHuman Image ReaderとCG Secretaryを中心に述べ、それらの一部を現代のコンピュータで実時間動作する実験システムの形で実現した例を示す。



図表II-2-30 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、本文で重点的に述べる人物像の認識と生成にかかわる部分)

2.3.3 人物像の認識 (Human Image Reader)

確実な人物像認識センサが実現すれば、自動ドア等で使われる種々の従来型センサと組み合わせて、より快適で安全な環境を実現できる。また、確実な個人識別（同定）システムが実現すれば、それは単にセキュリティへの応用だけでなく個人対応のきめ細かい多くの応用を生むであろう。図表Ⅱ-2-31に示すように、人物像認識の枠組Human Image Readerは、さらに3つの枠組（人物の動作認識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。以下で各枠組を構成するサブシステムについて簡単に説明する。



図表Ⅱ-2-31 人物像認識の枠組 (Human Image Reader)

2.3.3.1 人物動作の認識 (Person Image Reader)

(1) 人物頭部動作の認識 (Head Reader)

顔の向きから、その人物が意図するおよその方向、位置、あるいは対象を、また動きから Yes/No などの意志を読み取ることができる。Head Readerは、人物の顔（頭）の向き及び動きを TVカメラでとらえた正面像のみから検出するシステムである[9]。画像処理によって抽出された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。処理速度は汎用ワークステーション(SUN4)で、毎秒最大7フレーム（128 X 120画素／フレーム）である。

顔から約1メートル離して設置した小形CCDカメラを使用した場合の検出精度は、頭回転角に換算して約6度（上下／左右方向とも）であり、例えば、顔を向けることによってモニタ画面上のウインドウ選択を行なう場合、実際に人間の顔から約1メートル離しておかれた21インチCRTモニタ画面上（画面角約20度）で2×2個のウインドウの指定が確実にできる。検出された顔の正面方向を上記モニタ画面上にカーソル表示することによるフィードバック機能を利用すれば、6×4（=24）個程度のウインドウの指定も可能である。また、上記と同じ条件で、頭を片側20度以上に回転しさえすれば、通常速度（1秒間に約1.5ないし3往復）の縦振り動作は“Yes”、同じく横振り動作は“No”と確実に解釈される。

これにより、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、顔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)

映像による唇の読み取りを行なうシステムLip Readerの実現に必要な基礎技術検討の一環として、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。

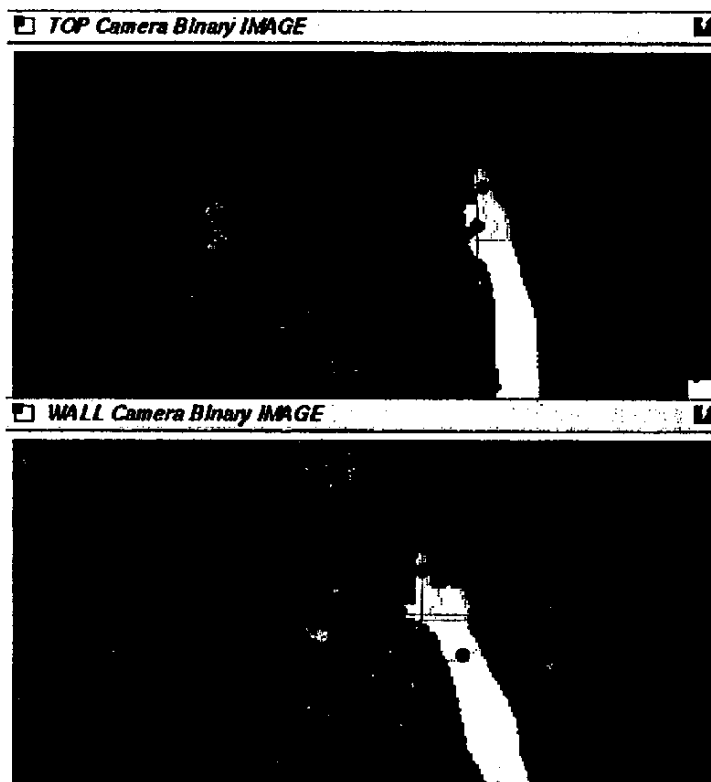
(3) 表情認識 (Face Reader)

顔表情の認識を行うシステムFace Readerの実現に必要な基礎技術検討の一環として、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[12]。顔領域内にあらかじめ設定した領域の各々について動きの平均を求め、これに基づいて表情を検出する。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。しかしながら、より具体的な検討は今後に残されている。

(4) 手指動作の認識 (Hand Reader)

Hand Readerは、TVカメラを入力装置とする手指動作認識システムである。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トの機能を実現する。さらに、これを、単語認識のための音声認識ユニットをも結合したマルチモーダルインタフェースの実験システムとして実現した[10]（図表Ⅱ-2-34参照）。

図表Ⅱ-2-32に画像処理による指先の検出例を示す。実験の結果、グラフィックワークステーション(IRIS-4D/I20GTX)を使って、10コマ／秒の処理が可能であり、精度2度（検出された指示位置をスクリーン上にカーソル表示することによるフィードバックなし）、精度0.6度（同カーソル表示によるフィードバックあり）でポインティングできることを確認した。また、確実に親指の開閉が検



図表 II-2-32 Hand Readerにおける指先の検出



図表 II-2-33 CG Secretaryの表示例

出可能であり、人さし指による位置指定と組み合わせることにより、ボタンセレクトとして使用できることが確認された。

2.3.3.2 人々の動作認識 (People 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／在席／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ることが出来る。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[15]はその一例である。

2.3.3.3 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なうシステム 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、2次元情報による顔認識の基礎検討を中心に進めている[13]。

2.3.4 人物顔画像の生成(CG Secretary)

TVニュースや学会講演に見られるように、音声、文字、グラフ、図面等の便利な手段に、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、よりの確に内容を伝え得る。また、意志の度合、感情表現等、視覚情報が極めて重要なものもある。言葉のみでコミュニケーションを行なう場合でも、単に相手の話を聞くよりは、積極的に的確な質問をすることにより、より簡単に、より正確な答えを引き出せる場合が多い。言葉による質問に加えて、表情やジェスチャを加えることができればなおさら効果的である。また、留守番電話に対して話す時の違和感は誰しも経験であろう。相手が話をききながらうなづいてくれるならば、会話はより円滑なものとなる。必要に応じて Human Image Reader は、人間からの的確な答えを円滑に引き出すため、CG Secretary と連携して動作する。

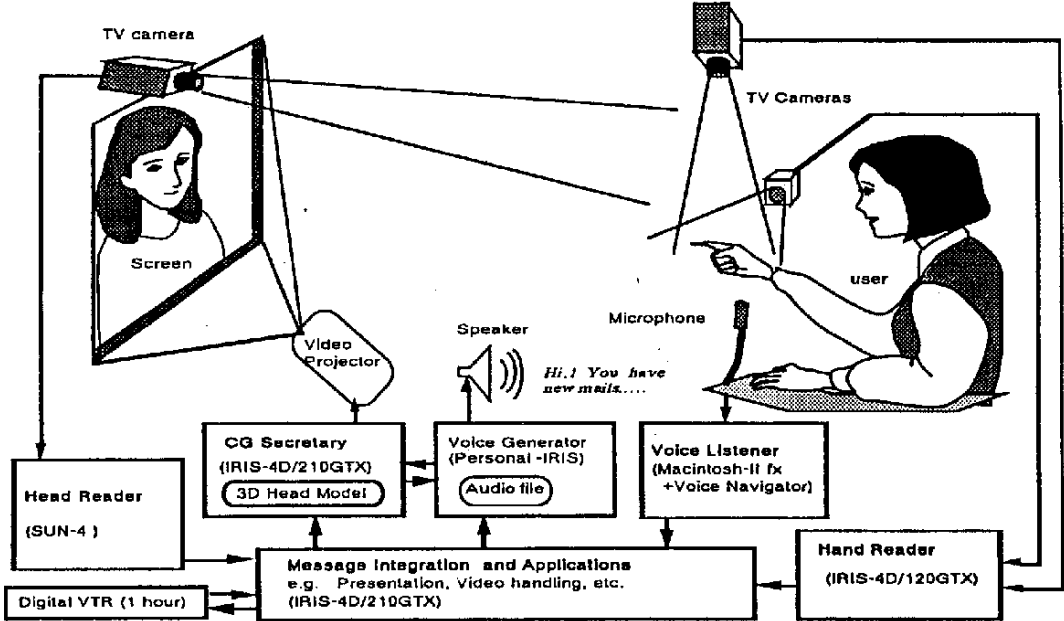
2.3.4.1 頭部モデルの作成

まず CG Secretary となる人物の頭部を CG にて生成できるようなモデルを作る必要がある。筆者等は、先に物体の 3 次元形状とその表面テクスチャを同時計測可能な入力装置[12]を用いてマネキン人形頭部の形状およびその表面テクスチャを計測した。出来上がった CG Secretary の頭部モデルは約 8,000 の三角形パッチからなる頭部形状と 512 × 256 画素からなる表面テクスチャにより構成される。一方、頭髪像は「三角柱と房のモデル」[14]を用いて別に生成する。また、CG Secretary が口を開いた時に見える歯の部分に関しても、簡単な三角形パッチを用いたモデルを用いて生成する。

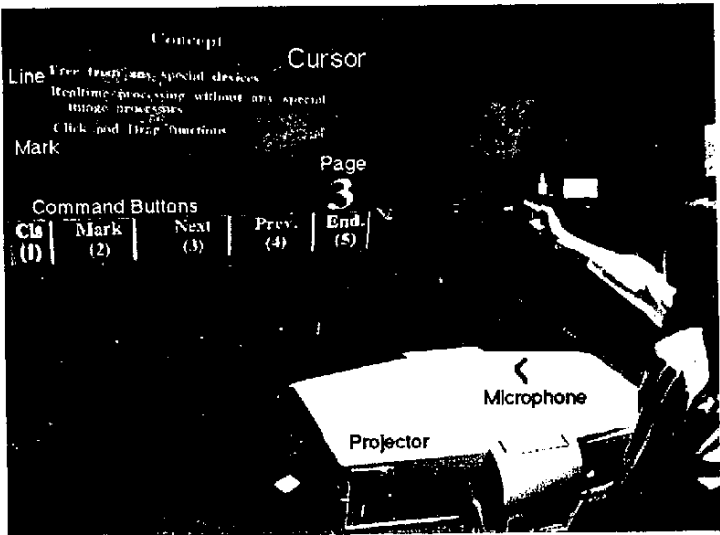
2.3.4.2 発話映像生成

CG Secretary の口の動きの生成に関しては、あらかじめ実際の人物が話した時の口の動きを抽出し、この抽出結果に応じて頭部モデルを変形するという手法を用いた。人物の口周辺 5 ケ所に青いマークをはり、この人物の会話を VTR にて音声とともに記録する。次に、この VTR を解析し、マーク位置を自動抽出し、タイムコードと共に記録する。抽出されたマーク位置に従って頭部モデルの口の開き方を制御する。音声に関しては、ワークステーション(Personal IRIS)の音声合成機能を利用

用する。あらかじめPCM録音した人間の声を音声ファイルから読み出し、D/Aコンバータを用いて、直接波形再生を行い、スピーカに出力する。これにより、CG Secretaryを音声と同期するほぼ実時間の映像として再生することができた。CG Secretaryの映像の一部を図表Ⅱ-2-33に示す。



図表Ⅱ-2-34 実験システムの構成



図表Ⅱ-2-35 電子プレゼンテーションの実験風景

2.3.5 実験システム

図表Ⅱ-2-34に実験システムの概要を示す。Head Readerは前方のカメラを、Hand Readerは上と横のカメラをセンサとして、画像処理を別々のワークステーションで行なう。Voice Listenerはマイクの音声信号を単語音声認識装置（Articulate Systems社のVoice NavigatorとMacintosh IIfx）で処理して登録キーワードの認識を行なう。なお、指向性マイクロホンを使用することにより、ヘッドセットの着用をさげ、非接触で自由なインタフェースを構築する。この実験システム上に、以下にのべるアプリケーションについて実験プログラムを作成し、動作と効果の確認を行った。

(1) 電子プレゼンテーション

スクリーン上にスライドやビデオを表示してプレゼンテーションを行う。図表Ⅱ-2-35にこの実験風景を示す。Hand Reader, Voice Listener, Digital VTR, Message Integratorがプレゼンテーションを行うアプリケーションプログラムの中で結合して動作している。マーカーを打つ、下線を引く、ページをめくる、スクリーン上のメニュー選択によるVTRの操作などが可能である。例えば、指でさしながら、「ここから」「ここまで」と発話することで、下線を引くことができる。

(2) スクリーン制御

スクリーン上にCG Secretaryが現れ、ガイダンスに従って、メニューの選択でメールやVTRの表示を行える。Head Reader, CG Secretary, Voice Generator, Digital VTR がアプリケーションプログラムの中で結合して動作している。現在、ユーザの在不在の検出、スクリーン上の2 X 2 (= 4) 枚のウインドウの選択、メニュー項目の中断などが可能である。

上記(1)、(2)とも人体に装置を装着しない自然なインターフェースの基本例としての良好な動作が確認され、人物像と音声を利用した新しいインタフェースの実現に向けて確実な一歩を踏み出すことができた。

2.3.6 おわりに

本論文では、人物像と音声を利用するインタフェースの枠組Human Readerの概要と、その一部分であるHuman Image Reader とCG Secretary の基本的な部分を現代のコンピュータで実時間動作するシステムの形で具体化し、実験を行なった結果について報告した。

実験例を示したHead ReaderやHand Readerは、Human Readerの最も基本的な情報獲得機能を実現するためのサブシステムに過ぎないが、それでも、キーボードとマウスに代表される既存の手段に加えて、人物像と音声を利用することは、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と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行くことになろう。

<参考文献>

- [1] E.Catmul, "A system for computer-generated movies", Proc.ACM Annual Conference, pp422-431, 1972.
- [2] F.I.Parke: "Computer generated animation of faces", Proc.ACM National Conference, 1, 1, pp451-457 (Aug'72)
- [3] P.Ekman and W.V.Friesen, "The facial action coding system", Consulting Psychologists Press, Inc., 1978.
- [4] D.Terzopoulos, K.Waters: "Analysis of facial images using physical and anatomical models", ICCV'90, pp727-732 (Dec'90)
- [5] L.Williams: "Performance-driven facial animation", Computer Graphics, SIGGRAPH'90, 24, 4, pp235-242 (Aug'90)
- [6] 相澤、原島、斎藤：構造モデルを用いた画像の分析合成符号化方式、信学論、J72-B-I、3, pp.200-207 (Mar'89)
- [7] 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 (Feb'92)
- [8] T.Akimoto and Y.Suenaga: "3D facial model creation using generic model and front and side views of face", IEICE Trans, Vol.E75-D, No.2, pp.191-197 (Mar'92)
- [9] K.Mase, Y.Suenaga, T.Akimoto: "Head Reader-a head motion understanding system-", IEEE Conf.on SMC, pp970-974 (Oct'87)
- [10] 福本、間瀬、末永："動画像処理による非接触ハンドリーダ", 第7回HIシンポジウム(Oct'91).
- [11] 間瀬、ベントランド：オプティカルフローを用いた読唇、信学論、J73-D-II, 6, pp796-803 (Jun'90)
- [12] K. Mase: "Recognition of facial expression from optical flow",IEICE Trans,E--74, 10, pp.3474--3483(Oct'91).
- [13] S.Akamatsu, T.Sasaki, H.Fukamachi, Y.Suenaga, "A robust face identification scheme-KL expansion of an invariant feature space-" Prof. SPIE, 1607, pp71-84 (Nov'91)
- [14] 渡部、末永：三角柱と房のモデルによる頭髪像の生成、信学論、Vol.J73-D-II, No.3, pp.367-373 (Mar'90)
- [15] K.Mase, A.Sato, Y.Suenaga and K.Ishii: "A fast object estimation method based on spacetime image analysis", MVA'92, pp.199-202 (Dec'92)
- [16] Y.Suenaga and Y.Watanabe.: "A method for the synchronized acquisition of cylindrical range and color data", IEICE Trans., Vol.E74, No.10, pp3407-3416 (Oct'91)
- [17] 上田、間瀬、末永： 弾性輪郭モデルとエネルギー最小化原理による輪郭追跡手法、信学論、Vol.J75-D-II, No.1, pp.111-120 (Jan'92)
- [18] 森本、尺長、赤松、末永：可変フィルタによるハフ変換の高精度化、信学論、Vol.J75-D-II, No.9, pp.1548-1556 (Sep'92)

第Ⅲ編 AI利用の動向

第1部 企業経営における意思決定支援システム

1 意思決定支援システムの企業経営への適用可能性

1.1 企業経営と情報化

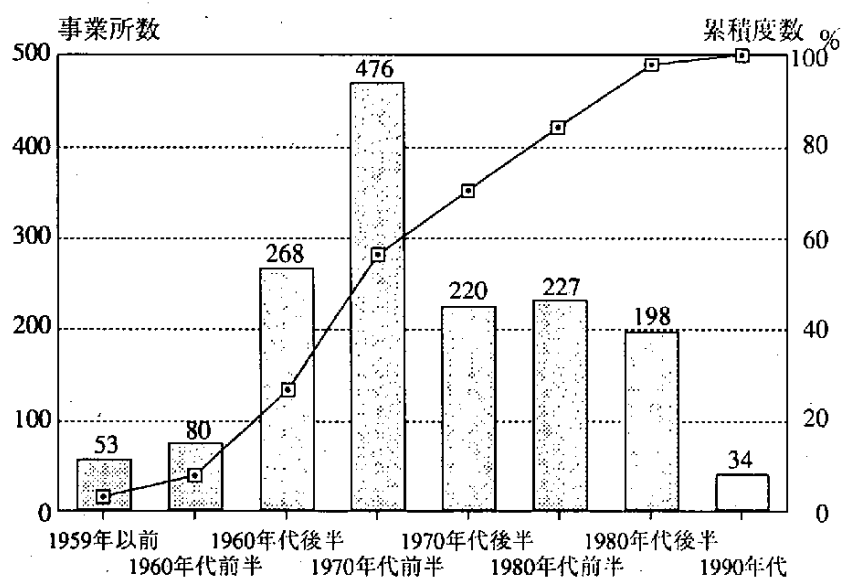
1.1.1 企業経営における情報化の進展

- ・企業経営にどのような形で情報化が浸透して行ったか
- ・情報化白書のデータにより追跡

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。しかしながら、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。例えば、銀行における預金、融資、為替などの基幹業務を処理する勘定系システム、及び、いわゆる経営情報システムに相当する情報系システムの骨格を完成させた第3次オンラインシステムにおいては、都市銀行では500～1000億円の投資が行われたと言われている。その省力化効果を、第3次オンラインシステムの完成が相次いだ昭和60年前後から今日に至るまでの業務量と職員数の変遷を使って検証して見よう。全国銀行（都銀、信託、長興銀、地銀、第二地銀）の昭和60年と平成3年のデータを比較してみると、預金口座は5億9千万口座であったものが7億3千万口座に、預金量は236兆円であったものが428兆円に、他行為替は3億8500万件が7億300万件に増大した。しかしその一方で職員数は37.8万人が37.3万人と小幅の減少となっており、人員を増加することなく、業務量の増加を第3次オンラインシステムの導入によってカバーしたことがよく分かる。このように、情報システムを抜きにして、銀行の経営は成り立たない状況になっていることがよく理解できる。

さて、企業においては、どのような時期からどのような業務に情報化を取り入れていったのであろうか。企業における情報化の進展を、情報化白書等のデータから探って見ることにする。平成3年にJIPDECが1,252社の事業所に対して行ったAIアンケート調査によれば、図表Ⅲ-1-1に示すように、コンピュータの導入については1970年代前半に行ったとする事業所が最も多く約34%を占めており、約90%の事業所は1980年代前半までに導入を終えている。

次に、情報システムの適用業務について、1975年のコンピュータ白書と、1988年・1992年の情報化白書を基に比較してみると図表Ⅲ-1-2のような結果が得られた。図表Ⅲ-1-2によれば、計算・集計のような業務への適用については、情報検索・提供、輸送のような分野・部門を除きほぼ情報システムの導入が成熟期を迎えていることが分かる。一方、解析・予測・計画等なんらかの意思決定に係わる業務についても適用の度合いが飽和を迎えつつあり、計算・集計等業務に比べ適用率が低いにも拘らずこのような傾向を見せ始めているのは、解析・予測・計画等なんらかの意思決定に係わる業務への支援に供する新たな情報技術の提供が十分でないことを物語っているのではないだろうか。



図表Ⅲ-1-1 コンピュータの導入時期

(単位：%)

部門・分野	計算・集計等業務			解析・予測・計画等業務		
	1991年まで	1988年まで	1973年まで	1991年まで	1988年まで	1973年まで
経理・財務	92.1	89.1	59.7	41.4	36.1	21.8
人事・労務	86.8	85.0	72.0	25.7	28.8	22.1
営業	75.5	73.4	64.2	50.6	44.3	38.6
購買・在庫	75.4	75.2	49.1	32.9	31.2	24.9
情報検索・提供	48.7	31.8	—	23.2	13.0	—
生産	47.8	44.7	32.0	40.1	37.9	29.1
技術・設計	28.0	28.0	14.9	24.1	26.8	33.7
輸送	22.5	17.9	—	9.5	6.9	—
企画・調査	19.1	21.6	11.1	17.5	24.4	22.1
通信	16.2	12.7	—	3.4	2.4	—
広告・宣伝	5.7	5.7	2.9	2.3	2.4	1.1
回答事業所数	947	898	1059	474	377	574

図表Ⅲ-1-2 業務別コンピュータ適用状況の推移

1.1.2 企業経営のモデルとAIの利用

- ・製造業を事例に企業経営の主体である各部門間の意思決定の内容と各部門間の情報の流れ
- ・AIを応用したときに情報の流れにどのような変化が生じたか

製造業においては、生産工程のコスト削減や熟練労働力の補完という意味合いで、他の業界に先駆けてエキスパートシステムの検討や導入を行った企業も多く、金融機関における税務相談ESなどの取り組みに較べると、実務的な開発例が多いように見受けられる。大手鉄鋼メーカーなどでは、既に数十例を手掛け、生産工程における計画や診断に適したツールを独自に開発している企業もある。

以下では、企業経営のモデルとして製造業を取り上げ、企業経営の主体である各部門間の意思決定の内容と各部門間の情報の流れを分析し、AIを応用したときにこの情報の流れにどのような変化が生じたかについて考察する。

図表Ⅲ-1-3は製造業における各組織間の情報の流れを模式的に表したものである。各部門の四角で囲まれた中の内容はその部門が行っている主たる意思決定の項目を列挙している。各部門の意思決定の結果としてのアウトプットにより他の部門との情報の流れが形成されいく。

例えば、製造部門においては、次のようなデータを意思決定のための情報として利用する。

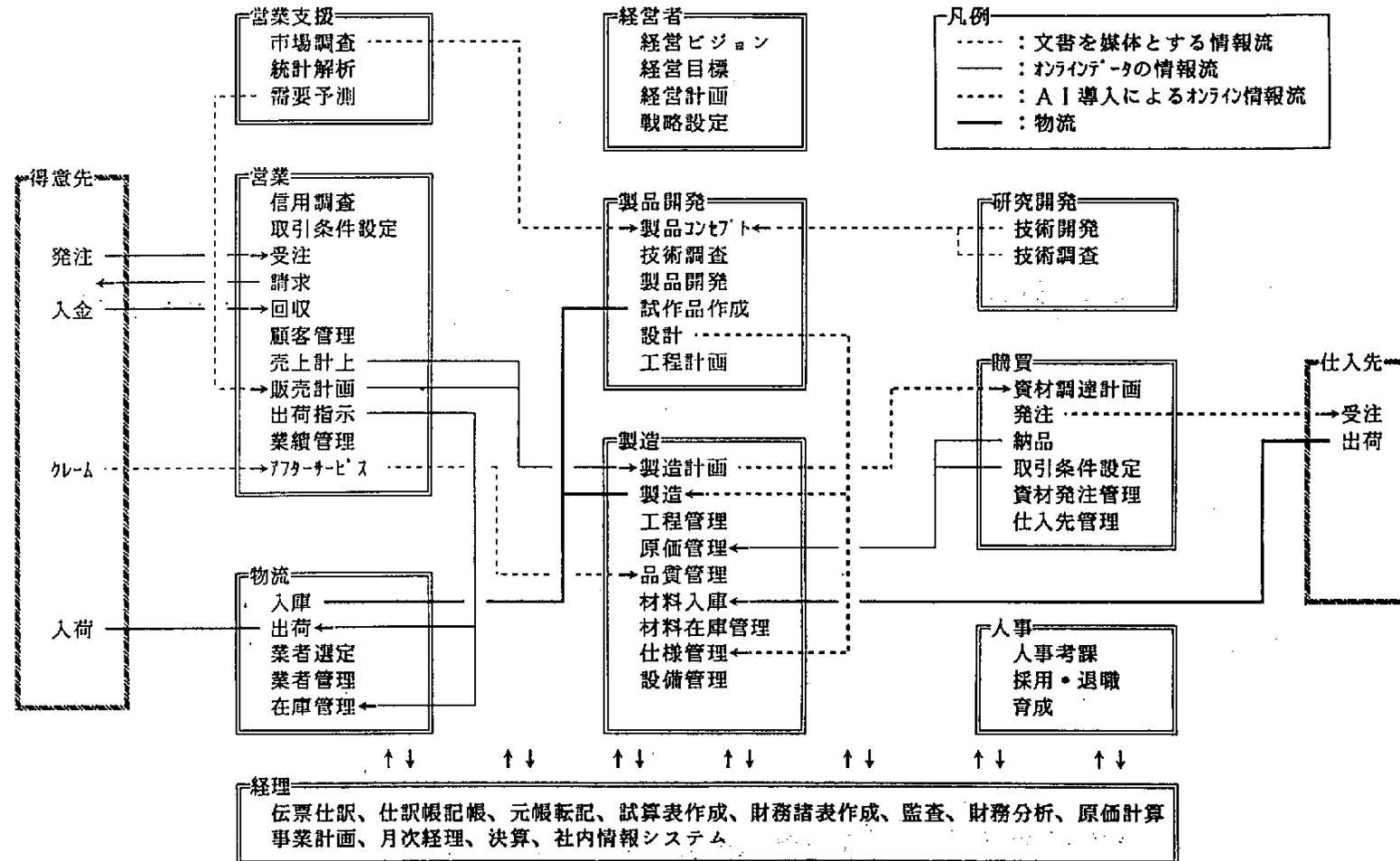
- ① 受注（残）データ、資材・半製品在庫数等を基に作成した生産計画データ
- ② オーダ別進捗状況
- ③ 工程別進捗状況
- ④ 資材発注データ

また、意思決定のノウハウとして利用している知識として次のようなものが考えられる。

- ① 製造工程別稼働能力（機械設備、要員）
- ② 製品別標準工程
- ③ 製品別工程別情報（稼働率、生産性、歩留り率、良品率）
- ④ 外注先稼働能力
- ⑤ 資材情報（仕入先、リードタイム）

さて、各部門のアウトプットは図表Ⅲ-1-3では省略したが経理部門を中心として、オンラインによる情報流として他部門からデータが収集されているが、まだまだ文書という媒体によって他部門に伝達されることも多い。このような文書を媒体とする情報は、専門性の高い情報であることが多いためオンライン化され難かったが、AIの導入によってオンラインの流れとして組み込むことができたものの代表例については図表Ⅲ-1-3に示すとおりである。AI等の意思決定を支援する情報技術が発展することにより、企業における情報の流れがオンライン化され、投資の効率化と、経営情報の収集が容易となるであろう。しかしながら、実際は、図表Ⅲ-1-3にも現れているように、経営層、研究開発、営業支援、製品開発の分野において情報技術によるサポートが遅れているのが現状である。裏を返していうならば、情報技術として期待できる市場がまだまだ残されているというこ

図表Ⅲ-1-3 製造業における業務の流れ



とになるのではなからうか。

1.1.3 企業経営と今後の情報処理について

- ・基幹部分での情報化がほぼ終了しつつある現在、企業はどのような情報化を目指そうとしているのか
- ・企業経営の中の意思決定支援に情報化の重点が移行していく

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、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、だい5の経営資源としてヒトも労働力として捉えるのではなく知力と捉える見方が重要である。

従来の経営資源（ヒト、モノ、カネ）については、個別的、数値的な把握に留まり、経営にフィードバックして、活用するまでには至っていない。さらに、第4、第5の経営資源については、考慮すらされていない。経営資源を個別的、数値的に把握するだけでは今後の競争には勝てない。また、SISのStrategyに対応するシステム的な要素を見いだすことも出来ない。今や、経営資源を有機的・記号的に捉えて情報システムを考えるべき時代になっているのである。

経営資源を記号的に把握するとは、次のような見方をとることである。

- ・ヒトを単に労働力として見るのではなく、知力という観点から、スキル、適性、能力別単金のような記号情報として捉える。
- ・商品としてのモノの場合、その商品の持つイメージ、販売対象等々の記号として
- ・設備としてのモノの場合、機能、性能、スループット等の記号として
- ・カネの場合は、資金調達方法としての長期借入金、短期借入金、増資等の手段の違い等の記号として
- ・情報の場合は、その種類、アクセス権の範囲、配布先、保存期間、格納の形式等の記号として

企業における情報システムにおいては、営業、製造、経理などの各部門で個別のシステムを導入していたが、有機的に連結されたトータルなシステム化は遅れている。しかし、パソコン、ワークステーションの低廉価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、有機的な連携が可能な状況が現出しつつある。また、エンドユーザ・コンピューティングの進展により、第一線の専門家がコンピュータを駆使して処理することも可能となっている。

前節でも述べた内容とも関連するが、経営資源を記号的に処理できるシステム環境を情報技術が提供することが出来れば、より戦略性が高く、他企業に対して参入障壁となるような情報システムを構築することが可能となる。その意味で、前出の経営資源の記号的側面を、意思決定支援システムによってサポートすることが期待されているのである。

1.2 経営情報システムの課題

1.2.1 はじめに

現代の企業経営を論ずるとき、情報技術を抜きにしてそれを語ることはできない。この点については前節において既に検討されている。そこで当該節では、現在までに導入され様々な領域にて効果をあげている情報システム（MIS：Management Information System、DSS：Decision Support System、SIS：Strategic Information System/Strategic use of Information Technology等）につき考察し、さらにこれら情報システムについて経営戦略の観点からも検討を加える。最後に経営情報システムの課題とAI (Artificial Intelligence)の関係について述べる。将来の企業活動での、さらなる情報システムの高度利用のためにも経営情報システム、経営戦略、組織、そしてAIの関連を整理しておくことは有用なことと思われるからである。

1.2.2 環境の変化と企業対応

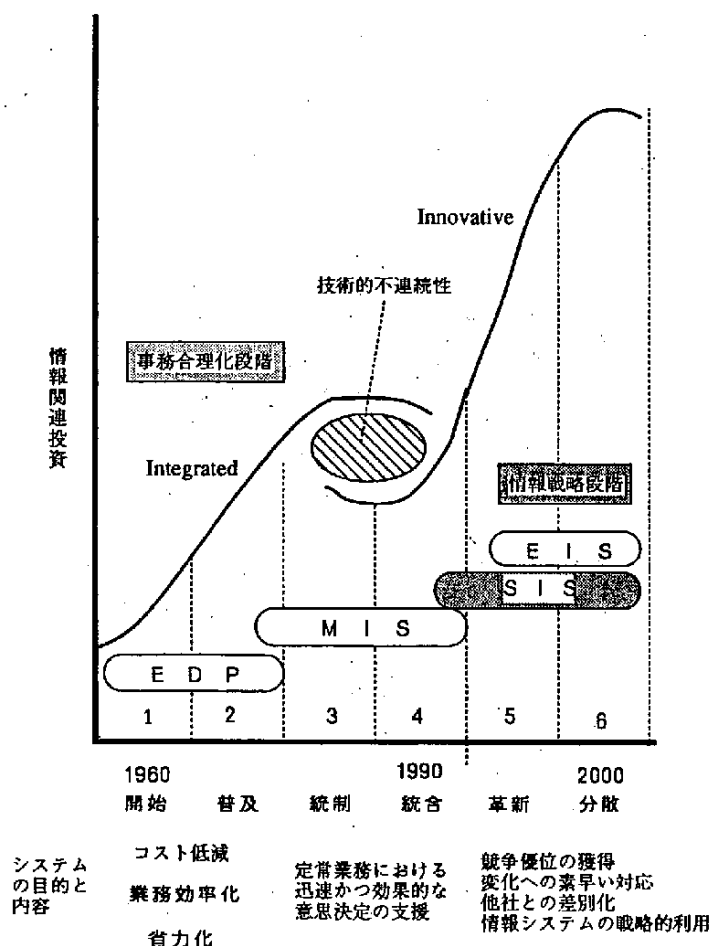
企業を取り巻く環境は常に変化している。企業経営は時としてこの変化に柔軟に対応しつつ、他方で自ら積極的に市場環境に働きかけ環境創造していくことも同時に求められている。環境が変化し、不透明であればあるほどその不確実性を減少させようとする努力の連続が経営そのものとも表現できよう。そこで、企業は市場の何らかの変化の兆候を的確且つ速やかに把握し、自らの対応を決定しなければならない。また、予測不可能な将来に対しては、経営理念を構築し、ビジョンを定めて経営に取り組む必要がある。そのための仕組み作りに企業は挑戦することとなる。

1.2.3 経営情報システム

1.2.3.1 経営情報システムの変遷

経営情報システムは企業の情報戦略実現のための一手段であり、戦略的な意思決定にかかわる情報を組織化していくための基本的なフレームワークのことと考えられる。これを情報の収拾、分析、評価、報告の体系へと定式化したものを、一般に情報システムと呼んでいる [1]。その変遷はおおよそ以下のように要約されよう。1960年代のMIS導入に始まり、EDPS(Electric Data Processing System)による業務の効率的処理が行なわれるようになった。これによりコンピュータの適用業務が急速に拡大したが、そのときの適用業務は受発注伝票の処理などの定型事務の置換が中心であった。1970年代に入ると、カネとヒトを要するわりには、コンピュータの導入は経営上のインパクトに乏しいとの指摘が多くなされ、あらたにDSSが提案された。1980年代に入ると、コンピュータと通信の時代となり銀行システム、座席予約システム、POS(Point Of Sales)等が導入され世間の耳目を集めることとなった。ちょうどそのころ、米国よりSISが我が国に紹介された。米国ではStrategic Information Systemという表現より、Strategic Use of Information Technologyとされる方が一般的なようである。ここで「情報技術の戦略的利用」と表現されていることからわかるとおり、彼らは情報技術を利用して、どのように経営戦略を達成してしていくかを重視している。我が国のようにSISという固有の領域を設け、先ずシステムありきといった観点からの議論には違和感がある。1990年代に入ると日本でも、運輸会社や流通産業等でのSISでの成功ストーリー*1 が伝わるようになった

その一方で、多くの我が国企業におけるコンピュータの利用状況は、依然として業務処理中心の利用であり、戦略策定等の経営上の意思決定支援目的で情報システムを活用できていない状況といえよう。最近では、EIS(Executive Information System)と呼称される企業のトップマネジメント向けシステムの導入が徐々に検討されつつある [1]。EISが上記の他のシステムと異なる点は、定期的かつ定型的な形態の情報提供システムではないこと、及び、大量のデータの中から経営者が必要とするであろう情報を選別できるようなモデルを備えていること等である。従来のデータ收拾取り纏め型システムとEISの目的やコンセプトの差異がそこにある。しかしながら、この優れたEISも内蔵するモデルが柔軟性に乏しいため、新たなユーザニーズに対応しながら、動的にモデルを変更することまではできていない。これは在来の情報技術による問題解決の限界であり、AIによる対応が期待されるところである。(図表Ⅲ-1-4)

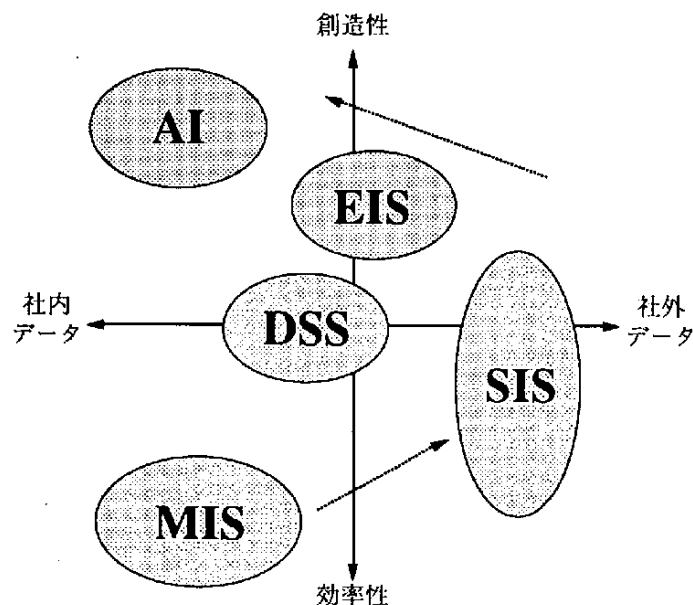


図表Ⅲ-1-4 ノーランのステージ理論

* 1 : SISの成功事例として我が国では花王、コクヨ、ヤマト運輸、セブンイレブン米国ではアメリカン航空、アメリカンホスピタルサプライが有名である。日本の企業の成功事例は、システム開発の当初よりSISを構築しようと意識したものではなく、日常業務を行なう中から（そのプロセスから）生まれたもので、結果的に世間からすぐれたSISと称されたものが当初は多かった点は興味深い。

1.2.3.2 経営情報システムのタイポロジー

経営情報システムは、いくつかのタイプに区分することができる。田中英之、小幡孝一郎 [2] の分類によれば、第一に財務情報システム、第二にマーケティング情報システム、第三に人的資産情報システム、第四に意思決定支援システムとしている。第一の財務情報システムは、経営管理システムと呼称されることもあるが、総勘定元帳、固定資産管理、売掛金管理、棚卸資産管理、給与等の会計処理、決算処理等の財務会計を中心とする内向きシステムで、1960年代に導入された初期経営情報システムである。第二のマーケティング情報システムは、コンビニエンス・ストアに導入されているような、末端の日々の顧客動向を的確につかみ、それを翌日の仕入れ・品揃えに速やかに反映させ、売上の確保ないしは増加を達成するようなシステム、あるいは、航空会社の座席予約システム等の営業活動支援情報システム、在庫管理情報システム等の例がある。1990年代のSISがこれに多く該当しよう。第三の人的資産情報システムは、社員の個人情報、自社の長期ビジョンと人材雇用、源泉としての人材ファイルなどを対象としたシステムである。対象となるデータが、財務やマーケティング等の数値データではない点が異なるだけで、基本的にはMISの範疇に属すると考える。第四の意思決定支援システムは半定型、ないしは不定型問題にかかわる意思決定を支援しようとするものであり、将来的にはAIに置換されていく可能性がもっとも高い領域である。(図表Ⅲ-1-5)



図表Ⅲ-1-5 経営情報システムの発展過程とその特徴

1.2.4 経営戦略と情報システム

当節では、企業が経営情報システムを戦略的に活用しようとするに際して、最低限必要と思われる経営戦略につき概説し、企業経営における意思決定支援について、考察を深めるうえでの基本的視点を提供しようとするものである。

1.2.4.1 経営戦略の概念と内容

1.2.4.1.1 経営戦略の概念

経営戦略は、多数の要因から構成され且つまた極めて抽象的な概念である。C.W. Hofer & D. Schendel [4] は、経営戦略とは「組織がその目的を達成する方法を示すような、現在ならびに予定した資源展開と環境との相互作用の基本パターン」と定義している。また、奥村 昭博他 [2] は、経営戦略について、それは場当たりの決定によるのではなく、企業の将来的方向や在り方を想定しながら、現在の決定に何らかの指針を与えようとするものとしている。経営戦略は、企業全体に関わる戦略である「企業戦略」(Corporate Strategy)と、個々の事業分野に関わる戦略である「事業戦略」(Business Strategy)あるいは「競争戦略」(Competitive Strategy)とに区分できる。企業戦略と事業戦略(競争戦略)は独立のものではなく、整合化していることが必要である。基本的にこのような機能面から2つのアプローチがあるが、経営戦略の性格は企業環境の変化に伴い変化している。先ず第一は「分析型戦略」といわれるものである。分析型のアプローチは、戦略的な問題ないしは課題の発見という「探索」の部分と、具体的な戦略の内容についての環境分析(産業分析、競争市場分析、競争相手分析等)、自社能力分析(ヒト、モノ、カネ、情報)を通じて長期経営計画を立案し、資源配分を決定する「策定」の部分と、戦略代替案の「選択」という過程を経て構築される。我が国企業の多くは、このスタイルの戦略策定を今日行なっている。分析型戦略の当該モデルは、環境が安定的に推移し、右上がりの曲線の上に自社の将来像を想定できるような状況下において有効である。しかしながら、近年のごとく、構造的な変化が生起しているような環境下では、そもそも環境の分析、予測自体が困難であり、分析的に戦略を構築することは妥当なアプローチとは言い難い。そのときには、精緻な合理性を戦略として追及するのではなく、組織のもつ創造性を重視して戦略を考える「プロセス型戦略」へとシフトすることが必要である。これを奥村 [6] は「行動してから検証する」戦略と表現している。「歩きながら考える」とも「出た目で受ける」とも表現できよう。これを形成するプロセスのポイントは、経営者が思い描くロマンやビジョン、あるいは、自分はこうなりたいという「思い」を基本に戦略を構成することにある。従来の知識体系を形成している前提条件を変えていきながら、新たな知の体系を生みだしていこうとするもので、偶発性への対処に適し、現場からの戦略の創出を期待したアプローチである。従って、今日求められる経営情報システムは、このプロセス型戦略に対応できるものでなければならないが、現行の殆どのSISは、前者の分析型戦略には良くフィットしたシステムとなっているものの、後者には必ずしも適合するものとなっていない。

1.2.4.1.2 経営戦略の内容

経営戦略は、企業とそれを取り巻く環境との関連性について検討するものである。その関わり方について、伊丹 敬之 [7]、矢作 恒雄他 [8] は4つの観点から考察できるとしている。まず第一にドメインの定義、第二に資源展開の決定、第三に競争戦略の決定、第四に組織間関係の決定である。第一のドメインとは、企業の生存領域のことをいい、現在から将来にわたって「自社の事業

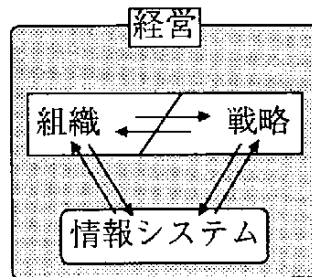
は如何にあるべきか」を決定することである。第二の資源展開とは、競争に必要な経営資源を如何に蓄積しそれを配分すべきかであり、ヒト、モノ、カネ等の物的資源と技術、ノウハウ、ブランドイメージ等の情動的経営資源とがある。第三に、どのようにして競争優位を確立するかについてが競争戦略の決定である。第四に、組織間関係の決定とは、企業活動の境界を定め、不足する経営資源を要素市場から如何にして調達するかを決定をいう。以上の4つの内容は、相互に密接に関連しておりそれらの整合性をどのように確立するかが経営戦略を構築するうえで重要な点である。従って、情動的経営資源の一要素である経営情報システムは、システムのための議論ではなく他の資源との関わりの中で初めて決定されることを理解してその適用を検討すべきである。

1.2.5 経営情報システムの課題と展望

1.2.5.1 経営情報システムの課題

システムの開発にあたっては、ユーザから様々な要求が出され、それを満たすべく機能を追加して仕様が決定されていくうちに大規模になり、完成したシステムは、容易に機能を変更したり、さらに追加したりできない状況に直面する。このような問題を抱える企業のシステム部門はよく見かけるところである。また、情報システムを積極的に活用し、短期的には業績を高めながらも、長期的には不利益になるというケースもある。例えば、提携先とオンラインでコンピュータを接続し、必要な時に必要なものが即座に入手できる（ジャストインタイム的な）システムのネットワークを構築し、それによりコストを削減することを目標として開発するような場合がある。これにより企業は競争力を強めることができるが、同時にネットワークの構築により、かえって自社の戦略的自由度が束縛され、長期的には足枷となってしまうような場合が該当する。さらに、システムの構築期間は、早くても2年から3年を要し、金額的にも大規模な投資をして開発されることが多い。こうして出来上がったシステムも、より高度な機能及びネットワークを備えた後発企業のシステムの登場により、機能が相対的に劣化し、本領を発揮する前に陳腐化のリスクに晒される。時間、自由度、陳腐化等のシステムリスクと、システム構築による競争優位性の確保との比較衡量が、経営情報システムの構築にあたって注意を要するポイントである。さらに留意すべき事項として、組織と経営戦略に関する「組織は戦略に従う」(Organization follows Strategy.)^{*2} というA.D.Chandlerの論理と、「戦略は組織に従う」(Strategy follows Organization.)という野中郁次郎他の研究[9]により指摘された論理を満足させつつ、さらに情報技術と経営戦略との関係について、「情報システムは戦略に従う」、「戦略は情報システムに従う」という視点と、情報技術と組織との関係についての、「情報システムは組織に従う」、「組織は情報システムに従う」という視点からの検討も必要である。これらの戦略、組織、情報技術の相互浸透を、開発者のおかれた状況により適切に組み合わせて、整合性のあるシステム構築を進めなければ役に立つ戦略情報システムの開発はなし得ないとする。(図表Ⅲ-1-6)

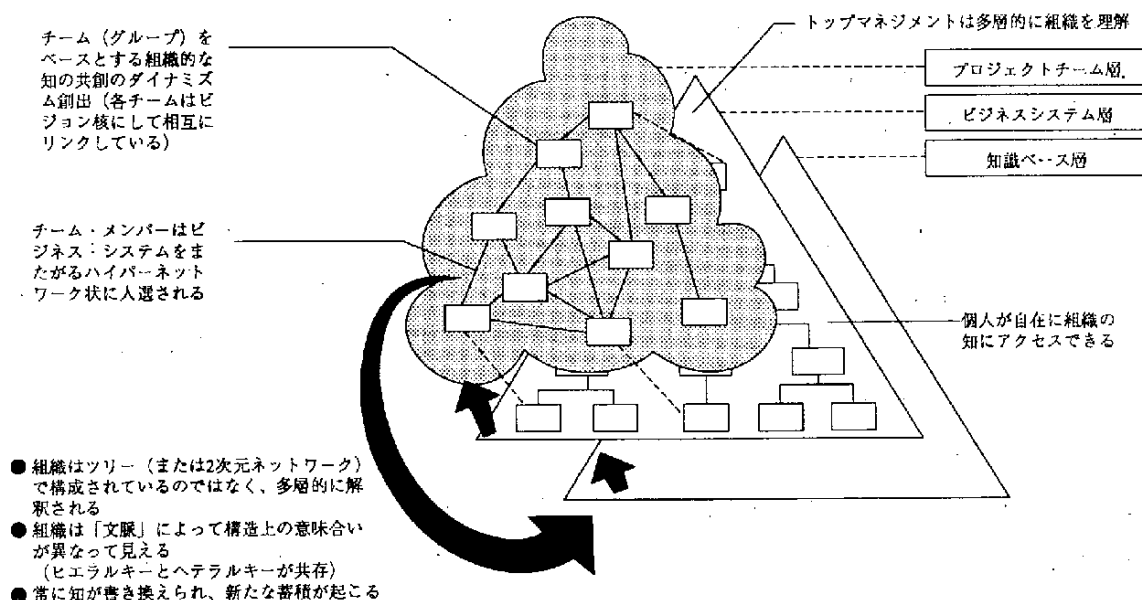
* 2：暗黙知、暗黙的知識(tacit knowledge)は、語ることで分節化された明示的知識(articulable knowledge)を支える、語れない部分に関する知識である [19]。



図表Ⅲ-1-6 情報システム、組織、戦略の相互浸透

1.2.5.2 経営資源の蓄積と情報システムの役割

経営資源には物的と情動的経営資源があり、特に後者が益々重要になるということは4.1.2で既に述べた。最近の経営組織論は「組織は、個人の持つ知を共有し、増幅し、組織固有の知を創造するために形成される」という観点に立ち、企業組織における「知識」経営資源の研究へと進展している。野中〔10〕は、組織内での知識変換プロセスに焦点を当て「分節化、内面化、共同化、連結化」の4パターンがあると指摘し、各々を次のように定義した。即ち、「分節化」とは暗黙知（注4）から形式知への変換過程を、「内面化」とは形式知から暗黙知の変換過程を、「合同あるいは共同化」とは暗黙知から暗黙知への移転過程を、「連結化」とは形式知から形式知を創る過程を意味する。このうち連結化の過程において、コンピュータ等の媒介を用いて分類・加工、組み合わせなどによる知識の創造が行なわれるとしている。ここで対象としている「組織」は、「個人を主体とする集団レベルのプロセスを支援する仕組み、仕掛け」と理解され、創造プロセスを活発化させることをその重要な役割としてとらえていることに特徴がある。（図表Ⅲ-1-7）



図表Ⅲ-1-7 ハイパーテキスト型組織の概念

この組織を通じて、個人－集団レベルの知を「組織的に」組織固有の知の体系へと収束させていくとする狙いである。このような性格を有する組織として野中は、「ハイパーテキスト型組織」を提案している [11] [図表Ⅲ-1-7]。これは、「組織における通常の業務活動（ルーティン）の中の知の活用・処理と、知の集中的な創造活動とを区分し、公式組織による効率的な業務処理の文脈から、必要に応じてチームによる知識創造の文脈に自在に転換し、さらにその知的成果を組織全体の共有財産としてストックしていくための、新たな組織デザイン」 [12] と定義している。換言すると、オペレーションを徹底的に行なうビジネスシステム組織と同等に、それを人材プールとして活用し創造プロセスを起動させる機能横断的なチームが常時生まれ、母体となる組織へ知的成果をフィードバックしているような組織と考えられている。このチームに成果が出ると、恰も図書館に行き本を返却するかのごとく自らが体験し蓄積した知識（ときに暗黙知）を棚卸し、分節化・インデックス化させて普遍的な知識ベースを構築し、第三者の利用ができるようにする。この「インデックス化した知を持つ図書館」としての機能を持つ企業組織を「ハイパーテキスト型組織」という [11]。ここで期待されている知的成果の還流方式については、マニュアルの更新、データベースの更新、論文の作成、発表、講演をあげ、これらを電子的なデータベースに蓄積・共有し利用すると提案されている [11, 12]。情報システムの利用を含んだユニークなアイデアとなっているが、具体的なシステム・イメージに欠ける点は否めない。この研究に先立ち、梅村 恭司 [13] は「情報の散歩道システム＝アベニュー」を提案している。そのコンセプトは、データベース・システムに、ユーザがコミュニケーションあるいはフィードバックできる仕掛けを有し、データベースの検索、分類の機能が通信と融合することによって、一つのコミュニケーション・システムを誕生させるものである。これは、蓄積型の通信に情報の検索機能が付き、ユーザから情報を吸収しつつ、価値観が似ているユーザ・グループの形成をも促す機構があり、さらにそのグループ内部で構造を持つ情報を育てる仕掛けがあるコミュニケーション・システムとしている。

両研究は、全く別に行なわれたものであるが、“知識をいかに効率よく共有化するか”についての提案という意味で共通の認識に立ち、一方は経営学上の組織論からアプローチし、他方はネットワークとかグループウェアのような視点からのアプローチしたものである。よって立つ基盤は異なるものの、その適用対象が企業等の組織や集団であるという共通性から、極めて補完的な内容になっていることは興味深い。このように、今、正に求められている課題は、情報システム、組織、戦略、の三者を一体として議論を展開できることであり、その時初めて、現実企業に抱える問題に解答を与えていくことが可能となる。

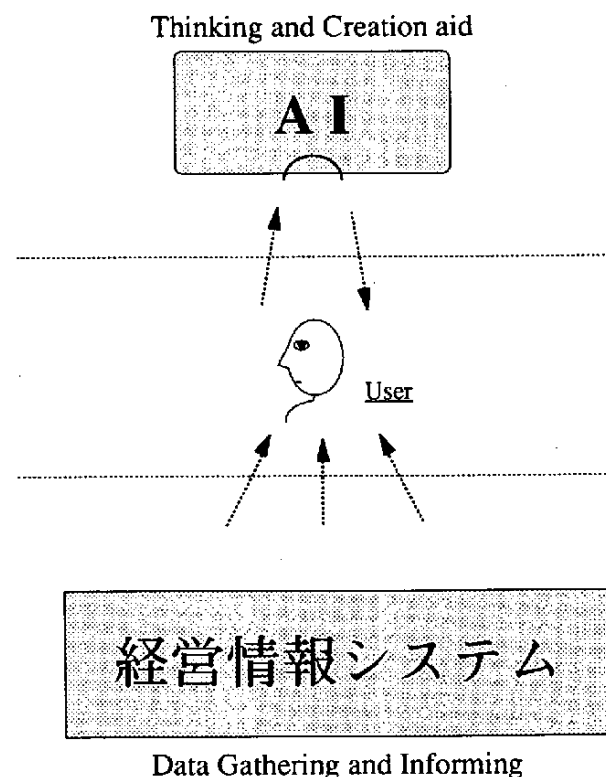
1.2.5.3 経営情報システムとしての人工知能の利用

知的成果の還流を文書的、電子的に行なおうとするハイパーテキスト型組織は、「アベニュー」という新たな情報システムの試みを取り込むことにより、現実の企業への適用可能性が高まったと考えられる。類似の例としてGE社では、自社の電化製品サービス技術員の蓄積された経験や（しばしば直観的な）知識を含むデータベースを用いて、顧客の電話による問い合わせに答えるといっ

たシステムも既にある [12]。今後の問題は、容易に第三者に表現しうるような形式知以外の、説明するのもかなり困難と思われる暗黙知を、所謂ナレッジエンジニアの介在なしに、ユーザ（組織構成員）がどのようにして形式知に変換してデータベース化するかにある。暗黙知を形式知に変換する支援システムは、上記の議論を現実のものとするために必要な技術であり、人工知能の適用が大いに期待される分野でもあると考える。

1.2.5.4 現行の経営情報システムとAIの関係

経験知等の人に依存する企業内知識の蓄積を支援することは、従来の経営情報システムの得意な分野ではなかったといえよう。一方、AIは財務情報を蓄えて分析したり、POSのように顧客の隅々まで設置し、それをネットワーク化することも不可能ではないが、AIを用いるメリットを積極的に見いだすのは難しい。その分野にはこれまでどおりの方式で対処するほうがより効率的であろう。AIと在来システムは、一方が一方を否定するという関係に両者があるのではなく、その適用対象と目的とするところを考慮して、いずれの解決策（システム技術）がその分野に、より妥当かによって対象技術を選択するといった、いわば「棲み分け」が必要である。それ故に、企業の経営情報システムの構築にあたっては、両者の性格の差を上手に活かし、AIの配下で在来システムが、恰もその手足のごとく機能するといった階層関係をもたせることが極めて重要である。そのような複合システムが、近い将来生ずることになると考えられる。（図表Ⅲ-1-8）



図表Ⅲ-1-8 経営情報システムとAIの関係

<参考文献>

- [1] 日経マグローヒル 「日経情報ストラテジー」 1992.7. P.69
- [2] 田中、小幡 「経営情報システム」 都市文化社 1992.9.10 第一刷
- [3] M.Eポーター他 戦略経営「業界構造を変え新事業を創出する情報革命進展する情報技術を競争優位にどう取り込むか」ダイヤモンドハーバードビジネスOct.-Nov.1985
- [4] C.W.Hofer,D.Schendel 奥村、野中他訳 「戦略策定ーその理論と手法」千倉書房 1983.2.10
- [5] 石井、奥村他 「経営戦略論」 有斐閣 1985.9.30 第1版
- [6] 奥村昭博「経営戦略」日本経済新聞社 1989.2.20 第1版
- [7] 伊丹敬之 「新経営戦略の論理」 日本経済新聞社 1984
- [8] 青井、矢作他 「リーダー企業の興亡」 ダイヤモンド社 1989.6.22
- [9] 戸部、寺本、鎌田、杉之尾、村井、野中「失敗の本質」ダイヤモンド社 1984.6.29 [10] 野中郁次郎 「知識創造の経営」 日本経済新聞社 1990.12.15
- [11] 野中郁次郎他 企業の条件「21世紀に向けての日本企業の普遍的知の構築 (3) 知識創造力を高めるハイパーテキスト型組織」ダイヤモンドハーバードビジネスAug.-Sep.1992
- [12] 野中郁次郎他 企業の条件「21世紀に向けての日本企業の普遍的知の構築 (4) 組織のダイナミズムを高める“経験の知のマネジメント”」
- [13] 伊丹、加護野、伊藤編 「日本の企業システム」第一巻 企業とは何か
第三章 野中郁次郎 企業と知識創造 組織的知識創造の理論 有斐閣
- [14] 竹内郁夫編、監修 「AI奇想曲」ー情報の散歩道(梅村恭司) NTT出版 1992.1.27 第一刷

1.3 意思決定をめぐる問題点と課題ー社会的分野

1.3.1 先端情報技術と意思決定

情報技術の発展にともなって、人間が行う意思決定を情報技術によって代替することができる、あるいはさらに進んで、数値計算や論理的な推理においては情報技術が人間よりはるかに優れているところから、企業経営の意思決定においても情報技術で最適解を探索すべきだ、と考えられるようになった。今日もっともなじみの意思決定モデルによれば、すべての代替案、各代替案のもたらす結果の確率分布、そして可能な各結果の主観的価値が知られており、最大の期待値を持つ代替案が選択される、とされている。決定は環境条件によって一義的に規定されるので、十分なデータが与えられれば、情報技術のほうが良い意思決定をすることができることになる。

十数年前に大きな期待をになってMISが登場して以来DSS、ESS、EISなどが次々と現われ、最近では「SISのおかげで近頃社長の判断はピッタリ当たる」などと、戦略的意思決定はコンピュータ・システムにお任せくださいといわんばかりの広告が氾濫している。しかしながら（とくに日本では）現実の経営における成功例はほとんどなく、過大な期待の反動として経営者の間には、人工知能を含む情報技術全般に対する不信感さえ生まれている。

情報技術の格段の進歩にもかかわらず、なぜ経営など社会的分野における意思決定への利用が進まないのでしょうか。その理由としては従来、技術的に未解決の問題が残っていること、その効果が金銭的に把握できないため十分な投資が行なわれ難いこと、ピラミッド型の組織構造による運用上の壁があることなど、技術的・資金的・経営技術的な問題点があげられてきた。しかし先端情報技術が意思決定に有効に活用されない真の理由は、もっと根本的なところにあるように思われる。

1.3.2 社会的分野の特徴

先端情報技術が経営など社会的分野の意思決定に有効に活用されない第一の理由として、社会的分野における(1)問題の性質と(2)意思決定の方法が、技術的分野のそれと異なることが十分認識されていないことがあげられる。

(1) 問題の性質

(a) 体系化

技術的分野では問題が体系化されているのに対して、社会的分野では体系化されていない。

(b) 因果関係

技術的分野では因果関係が明確である。目標も必要な情報も明確で意思決定の結果がどうなるかもわかっており、論理的に答えをだして検証することができる。これに対して社会的分野では因果関係があいまいである。人間のとらえる世界全体が、もともと合理的でも、固定的でも、秩序だったものでもなく、あいまいで、多義的で、流動的なものである。現実の社会は無数の事実や特徴で構成されており、それらの構成要素がどう絡み合って、どんな事態に発展するかは、不明確である。

(c) 再現性

技術的分野の問題は再現性があり、計量的、客観的、中立的、没歴史的に問題を解決できる。しかし社会的分野の問題は再現性がない。人間の現実社会を取り巻いているのは、普遍的命題の体系ではない。

(d) 等質性

技術的分野の問題は、等質的で合理的な閉じた世界であるのに対し、人間は非合理的な欲望や情念に動かされており、偶然の出来事で運命が変わっていく歴史的社會に身を置いているので、社会的分野の問題は非等質な開いた空間である。

経営戦略の分野においても最近、上記のような社会的分野の特徴が認識されてきている。かつて戦略は論理的思考の産物とされ、探索—策定—選択が合理的に行われるべきで、個人の意志や、組織内・外のドロドロした政治的問題や、感情的対立や、社会的特質といった非合理的要因の入り込む余地はないとされていた。このような分析型戦略論は長い間、経営戦略論の中心にあり、日本の経営には戦略がないといわれてきた。しかしながら、環境の変化が激しくなり先行きの不透明さが増すにつれて、分析的な戦略をトップダウンで実行するという従来の方式が行き詰まり、ミドルが環境との接触を通じて創発的に産み出す戦略が重視されるようになっている。現実の経験の再解

釈が戦略の定義の再検討を迫り、創発的戦略 (emergent strategy, [1]) という概念が生まれて、最近その重要性が認識されるようになったのである。

また組織の面でも、伝統的にはタイトな階層型であるべきだとされてきた。しかしながらIBMや旧ソ連に見るように、このような組織では変化の激しい環境に適応できないことが明らかとなり、最近ではサブシステムに自律性を持たせた柔らかい組織 (loosely coupled system, [2]) への移行が進んでいる。ここでも実社会の動きが経験の再解釈を余儀なくし、組織の概念そのものを変えつつある。

(2) 意思決定の方法

意思決定に関する主な理論としては、完全な情報と合理的人間を仮定した「古典」理論、認知的能力と知識に関する仮定を緩めた「制約された合理性」の理論、さらに目標の単一性という仮定が緩められた「コンフリクト」の理論があるが、いずれも意図的選択の理論である。つまり、選択とは、個人ないし集団の目的という名のもとに、現在の行為の（将来の結果についての）期待をベースに、意図的に行われるもの、と考えられている。

意図的選択の理論においては、選択は、次の四つの事柄に左右されると仮定されている。(a) 代替案 (alternatives) についての知識 — 意思決定者は、代替的行為の集合を有しており、それらは状況によって規定され、明瞭にされている、(b) 結果についての知識 — 意思決定者は、各代替的行為の結果を、あるいは少なくともその確率分布を知っている、(c) 矛盾しない選好基準 (preference) — 意思決定者は、行為のもたらす各結果を自分の主観的価値で比較できる確固とした尺度を有している、(d) 決定ルール — 意思決定者は、結果の評価に基づいて一つの行為案を選択するルールを持っている。

技術的分野における意思決定は、このような意図的選択の理論によって充分説明される。しかしながら、現実の社会において行われている意思決定の過程を観察すると、もっと雑然としている。

意図的選択の理論は、選好は知りうるものであり意思決定者は自分の選好がわかっている、そして選好は安定的、無矛盾、詳細かつ外生的である、と仮定している。しかしながら、そのいずれも個人及び組織の選択行動の経験的観察事実とは一致しない。選好は変わるもので、それも選択の結果変わる。選好は、首尾一貫せず詳細でもない。そこで最近、現実社会における意思決定のあいまい性を理解しようとして、意思決定の中心は産物としての決定であるという仮定と目標や因果関係が明瞭であるという仮定とを緩めた「あいまい性と一時的秩序」の理論が生まれた [3]。

池田 [4] がいうように、現実の社会を観察すると、『…よく熟考された意思決定においてさえ、古典的な「合理的」人間像が非常にまれにしかあてはまらないことは、容易に指摘できる。例えば、人間のような限られた情報処理能力しか有しない者が決定の機会に可能な選択肢全てを探索することは、物理的にも時間的にも不可能に近いことは明らかである。たとえ「全ての選択肢」の探索が可能な場合であっても、変転極まりないこの世界では各々の選択肢の採用によってもたらされる結果は不確実さに満ち満ちており、ときの経つにつれて意外な結果がもたらされないという保証はど

こにもない。…さらに譲って、意思決定者の手元に選択肢に関する十分な情報があると仮定してみよう。そうだとすると、彼はなおかつそれを十分に利用せず、またそれに公平に接するのではないことは、社会心理学における選択的接触の研究から明らかである。見れども見えず、聞けども聞こえず、ということはしばしば生ずるのである。』

日本人の思考は、明晰性や一貫性に欠けており、曖昧 (ambiguous) であると論じられることが多い。そのように見えるのはおそらく、他の国の人々のかけている眼鏡には、日本社会が持っている原則、あるいは日本人の思考の論理がよく見えないからなのである〔5〕。現実社会の経験的観察は人間の思考や意思決定の概念の再構築を迫っている。

このような社会的分野における問題と意思決定の特徴を考慮すると、情報技術によって人間の意思決定を代替する試みが成功するとは思われない。企業経営のような社会的分野における意思決定においては、あくまでも人間が主体で情報技術は補助的な役割を果たすことになるのだが、この点が明確に認識されていないために情報技術の有効な利用が阻害されている。

1.3.3 人間の思考とコミュニケーション

経営など社会的分野の意思決定に先端情報技術が有効に活用されない第二の理由は、人間の思考とコミュニケーションがどのようなものであるかが充分理解されていないためである。

(1) 思考

人間は、いかなる言語でも表すことができない暗黙的な推理 (tacit inference) と広義の言語で表される陽表的な推理 (explicit inference) を融合的に行っている。暗黙的推理は直観的で包括的な思考であり、陽表的推理は論理的で分析的な思考である。暗黙的認識は、陽表的認識を創りだし、それに意味を与え、その使用を制御する、精神の基本的能力であり、陽表的推理は、それと融合的に行なわれる暗黙的推理によって意味づけられることによって機能する〔6〕。例えば医師は血液検査や尿検査をするがその結果によって自動的に診断を下すのではない。手をとったり身体を叩いたりしてその間にいろいろ問診し、あるいは顔色や唇の様相を見て総合的に判断する。

『われわれは語ることができるよりはるかに多くのことを知ることができる〔7〕』。すべての知識は基本的に暗黙のものである。知識には言語的・分析的な陽表知と非言語的・包括的な暗黙知があるが、この二つは画然とは分けられない。人間はこれら両方の知を駆使して、ものごとを知覚し、学習し、行動する。暗黙知はそれだけで所有されることができのに反して、陽表知は暗黙的に理解されることを頼みにしている。したがって、すべての知識は、暗黙的であるか、あるいは、暗黙知に根ざしているかのいずれかである。人の顔を識別し、コミュニケーションを交わし、スポーツや技能を体得できるのも暗黙知が働いているからである。

人間の知識は、暗黙知を広義の言語で表す分画化 (articulation) と、事物そのものからその事物の意味へと注目を移す内面化 (internalization) を繰り返すことによって創造される。暗黙知が広義の言語で表されると、再現、保蔵、運搬、再配列などの記号的操作が可能になる。適切な記号化によって知的能力が促進される。例えば、一連の数値データを紙面にプロットしグラフにするだけで、元

の数値を知っただけでは予感もされないような機能的関係が明らかにされる。また記号的操作により、記録された知識の系統的蓄積、及びこれらの記録の新たな観点からする再配列及び再考察が可能となる。さらに、思考過程を助ける記号の操作によって概念を再組織して新たな推理を引き出すことができる。このように思考の力は記号の使用によってこの上なく増進する。人間の動物に対する知的優位性は、ほとんど全く記号的操作の能力に起因している。

しかしながら記号的操作は、それが暗黙的推理によって意味付けられてはじめて人間の知識を豊かにすることができる。上記のグラフの例のように適切な記号化によって知的能力が促進されるが、記号の操作それ自体は何ら新情報を提供するものではなく、ただその結果の読み取りによって行使される暗黙的な精神的な力を助けるがゆえに有効なのである。すなわち、記号が同定され、意味が知られ、公理はなにものかを断定するものと理解され、証明はなにものかを証示するものと認知されなければならないのだが、この同定し、知り、理解し、認知することは、形式化されない暗黙的推理である。『確かにわれわれの思考の力は記号の使用によりこの上なく増進するものではあるが、依然として、究極的には、われわれが動物と共有するあの同じ形式化されない知能の媒体の内部で作動するものである〔8〕』。

(2) コミュニケーション

すべての知識が基本的には暗黙的なものであるとすると、その伝達や共有、さらにはそれを通じた知識の創造はどのようにして行なわれるのであろうか。人は暗黙知を広義の言語に仮託ないし表現する (sense-giving 意味付与)、そしてそれを別の人間が、その言語のなかから意味を読み取りないしそれに意味を帰属させる (sense-reading 意味読解)。このような意味付与 → 意味読解の過程が組み合わされてコミュニケーションとなる。語れない知識が伝わりあるいは共有されるのは、発信者が示そうとしていることの意味を受け手がつかもうとして努力する知的協力が、受け手の側に期待できるかぎりにおいてである。意味付与とは、手振りや身振りを含む (広義の) 言語をもって表現すること、あるいは、言語という手段に意味を仮託することであり、意味読解とは、そこで起きていることはまだ把握されていないがはっきりと存在し粹付けとなっている意味によって支配され活用されている諸細目自体に注目し、その行為を通じて得られた全体像たる意味へ到達することである。

いままでに行ったこともない国に旅行して得た新しい経験について友人に手紙で報告する場合を考えてみよう。まず景色や出来事を知的に理解するという意味読解がある。つぎにこの経験について言葉による説明を構成する意味付与があり、そして友人の側には、報告された経験を再生するためにこの言葉による説明を解釈する意味読解がある。このようにしてコミュニケーションが行われる。

1.3.4 情報技術による意思決定支援

これまで述べてきたように社会的分野においてはあいまい性が支配的であり、人間は暗黙的推理と陽表的推理を融合的に行うことによってこのような世界に対応している。これに対してノイマン

型コンピュータやこれまでの人工知能は、基本的にアルゴリズムに基づく直列集中情報処理原理に立脚しており、陽表的な側面すなわち計算及び論理的推論しか取り扱えなかった。したがって少なくとも社会的分野においては、人間の意思決定を情報技術が代替するということは不可能である。それでは情報技術は人間の行う意思決定をどのように支援することができるのであろうか。

既に述べたように人間の思考の力は記号の使用によって大きく増進し、人間が動物よりも知的に優位にあるのは、ほとんど全く記号的操作の能力に起因しているといえる。そしてこの記号的操作に関しては、情報技術は人間をはるかに上回る能力を持っている。人間は直観的思考に優れているが、計算と論理的推論はあまり得意でない。情報技術は人間が行う思考の陽表的側面の一部をより良く代替することが可能であり、これを通して人間の思考と助け意思決定を支援することができる。

広義の言語による表示とその読み取りを通して人間の知的能力が促進されるが、情報技術は暗黙知の文章表現を容易にするばかりでなく、データをいろいろなグラフや画像など目で見て直ちにわかる形で表出することも容易にする。さらに、記号的操作によって、記録された知識の系統的蓄積と、新たな観点からするその再配列及び再考察が可能になる。また、ある状況の本質的諸要素を縮小した規模で描き出すことによって想像上の操作が容易になるので思索的想像力を助ける。論理記号により、通常の言語では全く不可能であろうような複雑な論理的推論が可能になる。このように記号的操作は人間の思考の力を著しく増進するが、これらの記号的操作はいずれも情報技術を使用することによって容易になる。

暗黙的な知識が意味付与によって広義の言語に仮託ないし表現されると、伝達が可能になる。意味情報の伝達には表情や身振りや雰囲気を含む対面接触が最も適しているが、この伝達方法には時間的、空間的、組織的な制約がある。しかし情報技術を使って対面接触を補完することによりこのような制約を克服することができる。

March & Olsen [3] のいうように、『正当性は、プロセスの妥当性に大きく依存する（中略）計画、情報収集、分析、諮問そして良き意思決定を特徴づけるその他の可視的なことなどは、それらが決定の結果に実質的に役立つものというよりは、意思決定の正当性の象徴でありシグナルである』。このような意味で情報技術による記号的処理は、意思決定の正当化にも役立つ。

解釈枠組が固定的であるならば、人間の思考に進化はない。記号的操作が暗黙的思考に一致しないとき、無意味なものとしてそれを却下する場合と、自分の経験を解釈すべき参照枠を改変してそれを取り込む場合とがある。後者は常に具体的な生活世界やその歴史に照合しようという姿勢で、村上 (1992) のいう解釈学的反省である。情報技術を活用して思考を支援することにより再解釈能力が拡大し、解釈枠組が試行錯誤を容認する創発的なモード [9] に変えることができる [10]。

1.3.5 AIへの期待

企業経営における意思決定に関してAI研究に期待されるのは、人間と同じことを無理してコンピュータにやらせることなく、その研究の中で、人間というものをより良く理解することである。人間の情報処理の過程を逐次解明していき、人間がある行動をするのはどういう認知能力に基

づくのか、どういう推論をしているのか、どういう連想能力を持っているのか、どういう判断を下しているのかを明らかにすることにより、AI開発と実社会におけるニーズとのギャップを狭めることが求められている。

もう一つの期待は、ヒューマンフレンドリーな機械をつくることである。情報技術が人間の思考を支援できるのは、上で述べたように、人間が融合的に行なっている暗黙的推理 (非言語的・包括的思考) と陽表的推理 (言語的・分析的思考)のうち、陽表的側面を効果的に代替することが可能だからである。陽表的推理が機能するのは、それが暗黙的推理によって意味を賦与されるかぎりにおいてである。従って、思考している者が自ら直接情報技術と対話する場合 (エンドユーザコンピューティング) に、その支援が最も有効になる。このように、コンピュータをいかに使いやすい機械にするかがこれからの大きな課題であり、この面でのAIに対する期待は大きい。

少なくとも社会的分野における意思決定に関しては、今後とも情報技術が主役となることは考えられないが、AI研究の進展により情報技術が得意とする仕事の範囲がさらに広まって、より良く人間の思考を支援することが期待される。

<参考文献>

- [1] Mintzberg, H. (1978) "Patterns in strategy formation," *Management Science* 24-9.
- [2] Weick, K. E. (1976) "Educational organizations as loosely coupled systems," *Administrative Science Quarterly* 21.
- [3] March, J.G. and J. P. Olsen (1986) "Garbage can models of decision making in organizations," in J. P. March and R. Weissinger-Baylon (Eds.), *Ambiguity and Command: Organizational Perspectives on Military Decision Making*, New York: Harper & Row. (遠田雄志他訳(1989)、『あいまい性と作戦指揮』東洋経済)
- [4] 池田謙一 (1986) 『緊急時の情報処理』認知科学選書9、東京大学出版会
- [5] 村上泰亮 (1992) 『反古典の政治経済学』中央公論社
- [6] Polanyi, M. (1969) *Knowing and Being: Essays by Michael Polanyi*, (Greene, M. Ed), London: Routledge & Kegan Paul Ltd., (佐野安仁ほか監訳 (1985) 『知と存在—言語的世界を超えて』晃洋書房)
- [7] Polanyi, M. (1966) *The Tacit Dimension*, London: Routledge & Kegan Paul Ltd., (佐藤敬三訳 (1980) 『暗黙知の次元：言語から非言語へ』紀伊国屋書店)
- [8] Polanyi, M. (1958) *Personal Knowledge*, London: Routledge & Kegan Paul Ltd., (長尾史郎訳 (1985) 『個人的知識：脱批判哲学をめざして—』ハーベスト社)
- [9] Weick, K. E. & R. L. Daft (1983) "The effectiveness of interpretation system," in Cameron, K. S. and D. A. Whitten (Eds.), *Organizational Effectiveness: A Comparison of Multiple Models*, San Diego, Cal.: Academic Press, pp.71-93.
- [10] 土谷茂久 (1993) 「柔らかな組織の戦略学習」、寺本義也ほか著 (1993) 『学習する組織』、同文館

1.4 意志決定をめぐる問題点と課題—生産スケジューリング問題

1.4.1 マネージメントとスケジューリング

マネージメントとは、“経営目的を達成するために、人、物（設備、機械、材料、等）、時間をいかに効率的・経済的に活用するかを考える（つまり意志決定する）こと”である。

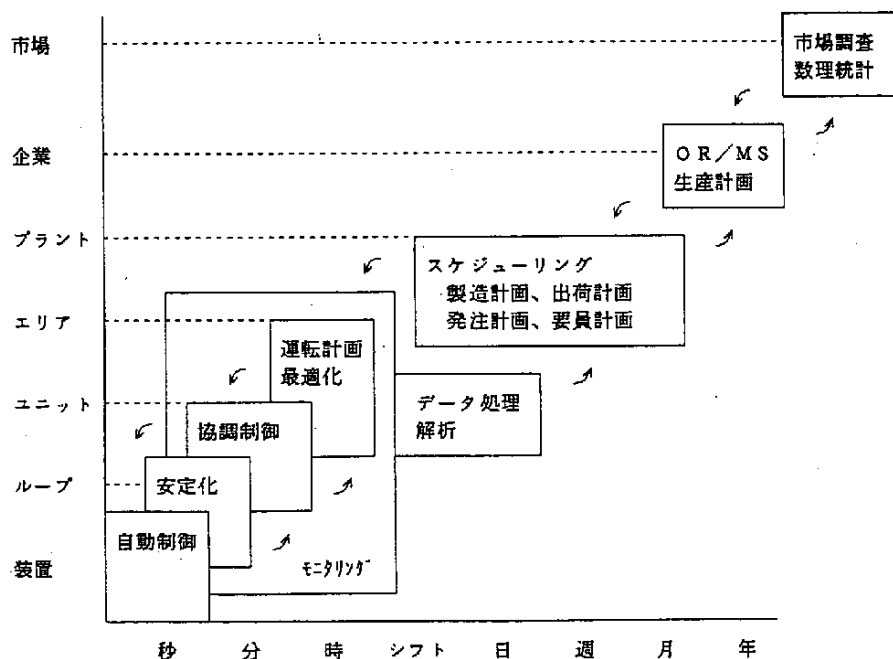
より具体的には、経営の目標を達成するための計画を立案し、その計画を効果的に実行できるように組織化し、命令、指揮、調整し、最後に計画通り遂行されたか否かを測定・評価するという一連のサイクルがマネージメントである。

このような管理のサイクルは、次のように表される。

計画（Plan）→ 実行（Do）→ 管理（See）

これをマネージメントサイクルと呼ぶ。

このようなサイクルは企業のあらゆる階層で自己相似的に行われる。経営のトップでは、マクロな情報判断から経営計画が立案され、各部門に指示し、期末に達成度が評価される。各部門では、経営計画を部門の計画に具体化し、さらに下層に指示しその成果を評価すると共に上部に報告する。各個人は、与えられた目標を達成すべく己の行動計画を実行し、結果を上層に報告する。特に、プロセスプラントにおけるこのような例を図表Ⅲ-1-9に示す。



図表Ⅲ-1-9. 製造業におけるマネージメントサイクル

このように、マネージメントにおいて計画は極めて重要な部分であり、計画はマネージメントの基礎と言っても過言ではない。しかし、その計画も正しい管理があって初めて効果を発揮する。正しい状況認識、正しい意志決定がなければ計画倒れとなってしまう。

そこで、ここでは、スケジューリング（計画）問題を例として、意志決定問題を捉えていこうと思う。

計画にも種々あるが、時間的な観点から見ると、予算計画のように殆ど時間的要素の無いもの、列車のダイヤのように厳密に時間が決められるもの、そして、単に順序だけが問題になるもの等様々なものがある。代表的な計画問題を、時間に注目して分類すると、

配分問題

レイアウト問題

順序問題

時刻表問題

となる。

①配分問題

この問題では、国家予算の配分や都市計画における土地の区割り等、ほとんど時間的要素を含まない。石油精製プラントにおいて灯油、ナフサ、等の生産量を線形計画法によって求めるのもこの例である。

②レイアウト問題

この問題は、コンテナの中にいかにバランス良く、沢山荷物を詰め込むかというような問題である。生地や鉄板からいかに無駄無く、効率的に型を取るか、敷地にいかに建物や設備を配置するか、等の問題である。

③順序問題

各業務の順序を決めるということは、重要な生産スケジューリング問題である。複数の機械で複数の作業を処理する場合、どの機械にどのような順序で作業を行えば良いかという問題や、どの商品をどの消費地にどのような順序で運ぶかという配送計画等もこの種の問題である。この場合、実際の製造における各作業や配送の時刻は、現場の職長が指示したり、あるいは上流からの成行きで決まる場合もある。

④時刻表問題

この問題は、上の順序決めの問題の延長にある。生産スケジューリング問題でも、各作業の開始・終了の日が小日程計画としてまとめられる。さらにより厳密な時刻を定めるものとして、列車ダイヤの編成がある。

ここでは、主に前記③、④の例に見られる生産スケジューリングに着目して見たい。

1.4.2 製造業におけるスケジューリング

従来の生産スケジューリングは、上位の管理部門からの生産指示に基づいて、具体的な製造計画を作成することに留まっていた。この場合、いくつかのオーダー（何をいつまでに何個欲しい）に対し、原材料や製品の在庫状況や機械設備の能力、生産のプロセス、等を制約条件として、どのような順序で生産すればよいかを立案するものである。

この場合、情報の流れは、ほとんど一方的で上流で決められた生産指示をどのように達成するかが大きな関心事である。このため、営業情報や管理部門の都合によって修正要求が頻発し、製造現

場ではそれへの対応が大きな問題であり、合理的で最適なスケジューリングは行われなかった。

従って、生産スケジューリングは、企業の意志決定システムの中で重要な位置を占めることが少なかった。その理由をもう一度整理すると、

- ①需要が安定している
- ②製品品種が少なく、ロットサイズが大きい
- ③相対的に設備能力が大きい
- ④倉庫が大きい（または、在庫経費への関心が低い）
- ⑤納期管理が緩い

等となる。つまり、生産スケジューリングは、余裕のある設備に救われて重要な意志決定問題ではなかったと言える。しかし、市場環境の多様化、経済性の追求から過剰な設備も過剰な在庫も許されなくなって来ている。そのため、生産活動における生産スケジューリングの重要度は、飛躍的に高まってきた。

さらに、POP（Point Of Production）やJIT（Just In Time）方式のように生産状況に即応した管理、生産状況と販売状況の木目細かいマッチングを計る生販統合化、製造管理システムから来る運転データをもとにスケジュールの進捗を管理するダイナミックスケジューリングなど、生産スケジューリングを中心に据えた情報の流れが生まれつつある。

1.4.3 スケジューリング問題とAI

エキスパートシステムは人工知能（AI, Artificial Intelligence）技術の中で比較の実用化レベルの高い分野であると言える。それは、エキスパートシステムが、人、特に熟練者の知識や経験を知識ベースとして記憶しておき、その中の知識を問題に応じて検索、利用して、熟練者と同じような判断を出力するために、非論理的（悪構造）の問題にも対応できるからである。

スケジューリング問題も部分的には、線形計画法のように定式化可能な良い構造を持つものもあるが、より実際的な問題においては多目的指標による組合せ最適化となり、様々な価値感、例外条件や経験、勘、等が支配している悪構造の問題と言える。

しかも、定式化可能であっても、混合型整数計画問題のように規模の増大に伴い、天文学的に計算時間を要する組合せ爆発の問題が待ち受けている。このため、一般のスケジューリング問題では、最適な解を得ることが困難であり、多く実際の計画業務においては、

最適性は2の次にして、とりあえず実行可能な解を見つける。

最適に近い解を与えると考えられている経験的手法を使う。

という考えに基づいて実用に供しているのが現状であろう。

このような考えは、ヒューリスティックスをベースとするスケジューリングエキスパートシステムに適しており、スケジューリング担当者の経験を知識ベース化したスケジューリングシステムが多く開発されるようになってきた。

1.4.4 スケジューリングシェル

スケジューリング問題解決への知識ベース導入の高まりと共に、汎用エキスパートシェルの利用ではなく、スケジューリング問題に特化したエキスパートシェルが出現するようになってきた。これが計画型ドメインシェルまたはスケジューリングシェルといわれるものである。

スケジューリングシェルの主な機能は、

①ガントチャート表示機能

スケジュール結果を表示するものである。但し、ガントチャートは、単に結果としてのスケジュールを表示するだけでない事が多い。現実の生産現場にあった良いスケジュールを作成する為には、ユーザとシステムが会話し協調する事が望ましい。そのためのユーザインターフェースがガントチャートである。

②汎用的なディスパッチングルール

ジョブを生産工程に投入するための規則や方法などをルール化したもので、最早到着順、最小納期余裕順、最小加工時間順、指定品種優先、等を標準的に持つものである。

③スケジューリング戦略

各種ルール適用の優先順序付け、ジョブの割付順等、スケジュール生成の戦略が用意されている。

④知識ベースとルール記述言語

知識ベースにアクセスする言語としては、LISP、C言語が一般的であるが、専用の言語やコマンド体系を用意するものもある。

である。

以上のような機能を持つスケジューリングドメインシェルが、近年多数市販されるようになってきた。ここでは特に知識ベースシステムにこだわらず、スケジューリングシステムとして発表されたものを対象に調査した結果を文末の表にまとめておく。

最後に、スケジューリングシステムへの問題点を列挙する。

- 1) スケジューリングの担当者は居る。しかし、彼が、合理的なスケジュールを作るとは言えない。従って、スケジューリング担当者を専門家としたエキスパートシステムは有効だろうか。
- 2) エキスパートシステムはヒューリスティックスを基本としているので最適解の保証は得られない。
- 3) 生産スケジューリング問題は、ダイナミックな多目的最適化問題である。目的や最適性は時々刻々変化する。従って、ある時点での最適化を目指すよりも変化に強く、それまでの状況を踏まえごく近い将来（例えば2～3日）での部分最適化を目指すべきである。
- 4) 生産スケジューリングにおいては、顧客の要求、部門間の力関係、当事者間のネゴなど、およそシステムのとは言えない問題に支配される事が多い。これらはその時々のフェースツーフェースの交渉により解決される事が多く、コンピュータで決められたスケジュール通りに

運用出来ない事も多い。このため、フレキシビリティのあるシステムとすべき事はいうまでもないが、人間的エゴを排除するためのシステムと考える事も必要であろう。

1. システム名	AIMAX-P	DAISS	FACTOR	IA/PLIX, JSTX	IR-SCELLA	S2ガン太
2. 開発会社名	富士電気総合研究所	ニッパゲ-ナスタム	Pritsker Corp.	富士通、富士フジA	旭エンジニアリング	インテック
3. 初版発売日	92年6月	91年4月	86年	89年4月	92年9月	-
4. 価格	-	1,000万円	-	400万円	500万円	800万円
5. 対象領域	パッケージ組立加工	ディレクト系	製造業一般	FA	FA、パッケージ	射出成形工場
6. プラットフォーム	Astation	HP9000, SPARC2	AS400, SPARC, VAX, HP	Astation, A-60, 80他	FMR, HP9000	PC9801
7. 記述言語	C, FORTRAN/EX	C++	C	C	C	C
8. 外部インターフェイス	C, FORTRAN, ファイル	C, ファイル、通信	ファイル	ファイル、通信	C, ファイル、通信	無し
9. 入力方式	対話、ファイル	対話、ファイル	対話、ファイル	対話、ファイル	対話、ファイル	対話
10. インポート表示	有り	有り	有り	有り	有り	有り
11. 時間単位	分	秒	-	秒	-	分
12. 基本方式	ディレクトリ、知識ベース	ディレクトリ、知識ベース	ディレクトリ	PERT	手続き言語による	手続き言語による
13. 基本思想	自動生成	自動生成、協調	自動生成、協調	自動生成	自動生成	自動生成、協調
14. 複数解の処理	最適化	最適化	ルールによる	最適化	初めの実行可能解	最適化
15. 解無しの処理	表示のみ	制約緩和とルール変更	表示のみ	ルールの変更	制約緩和とルール変更	表示のみ
16. ユーザインターフェース	C, FORTRAN	C, C++	C	C	C, 断点プログラム	ディレクトリによる

1. システム名	SCHEIKER	SCHEDT	TOPS-DIRECTOR	Viol
2. 開発会社名	日本IBM	三菱重工薬師	日本IBM, CIMTOPS	錦東洋情報システム
3. 初版発売日	90年10月	92年4月	92年4月	90年4月
4. 価格	380万円	-	4000万円(ソフトウェア込み)	1000~1200万円
5. 対象領域	電気、機械	化学プロセス	金型工場、など	電気、機械、石油化学
6. プラットフォーム	RS6000	VAX, DECstation	RS6000	SUN, EWS4800
7. 記述言語	C	C	C	不明
8. 外部インターフェイス	通信	ファイル、通信、他	通信	ファイル、通信
9. 入力方式	対話、ファイル	対話、ファイル	対話、ファイル	対話、ファイル
10. インポート表示	有り	有り	有り	有り
11. 時間単位	分	-	分	秒
12. 基本方式	知識ベース、手続き言語	独自開発	ディレクトリ、知識ベース	ディレクトリ、知識ベース
13. 基本思想	協調	自動生成	自動生成、協調	自動生成、協調
14. 複数解の処理	対話による	最適化、初めの解	最適化	最適化、回数指定
15. 解無しの処理	制約緩和とルール変更	制約緩和とルール変更	制約緩和とルール変更	制約緩和とルール変更
16. ユーザインターフェース	グラフィックス、ダイアログ	C, 専用キー	グラフィックス、ダイアログ	Viol, Lisp

図表III-1-10 市販スケジューリングツール

<参考文献>

- [1] FMSにおけるインタラクティブスケジューリングシステムの開発とディスパッチング規則の選択に関する知識獲得、日本機械学会論文集（C編）、Vol.56、No.524、日本機械学会、'90.4
- [2] AIとエキスパートシステムその神話と伝説と事実、M.S.Fox、日経AI別冊、1990夏号
- [3] プラント分野における計画問題理論と実際、関根史磨、Vol.6、No.6、人工知能学会誌、'91.11

2 意思決定支援システムの概要

意思決定に関する研究の先駆者の一人であるH.A.Simon は、次のように意思決定を広義に解釈している [1] :

意思決定することのなかにどのようなものが含まれるかを理解するためには、この言葉は広義に一すなわちそれは管理することとほとんど同義となるくらい広く一解釈されなければならない。我々の通念では、意思決定者ははるかに狭い機能を果たすものとして考えられている。

さらに、彼は決定手続きが既知であるかどうかにより意思決定を分類している。すなわち、

(1) プログラム化しうる意思決定 (programmable decision)

(2) プログラム化しえない意思決定 (nonprogrammable decision)

に分けている。決定問題を処理する明確な手続きがすでに存在し、問題発生たびに処理手続きをつくる必要がないものをプログラム化しうる意思決定と呼び、そうでないものをプログラム化しえない意思決定と呼んでいる。この両者の間には、多くの中間的な意思決定が存在するが、プログラム化された意思決定は反復的であり、自動化し易いものである。プログラム化されていない意思決定では、当面する状況に対処するための決まった手続きが無く、知的で適応力のある問題指向の解決が必要となる。

G.A.Gorry等は、「プログラム化しうる／しえない」という分類を「構造化された／されていない (structured/unstructured) 」という、より抽象的な表現にし、さらに中間段階として「半ば構造化された (semistructured) 」意思決定というカテゴリーも分類している [2]。

2.1 意思決定支援システムの定義

意思決定支援システム (DSS : Decision Support Systems) というシステム概念は、1960年代における経営情報システム (MIS : Management Information Systems) への過大な期待に対する反省として、Gorry 等により最初に提案された [2]。彼らが提案したDSSは、「構造化されていない／半ば構造化された」意思決定を支援すべきシステムである。彼らの提案以来、DSSという用語は様々な意味で使用され、種々の定義づけがなされている。

P.G.W.KeenとM.S.Scott Mortonは、半ば構造化された意思決定のみをDSSの支援対象であるとしている。彼らによるDSSの定義は、次の通りである [3] :

DSSは、マネージメントの意思決定過程における計算機の役割についての一つの視点を表す。意

意思決定支援とは、計算機を下記の目的で使用することを意味する。

1. 半ば構造化された仕事における意思決定過程についてマネージャーを援助する。
2. マネージャーの判断に代わるのではなく、支援する。
3. 意思決定の効率ではなく、効果を改善する。

その他にも、次の例のように様々な定義がある。

(1) M.J.Ginzberg & E.A.Stohr [4]

DSSは、自動システムに意思決定の全過程を行わせることが不可能であるが、望ましくない場合に意思決定活動を支援するために使用される、計算機に基づいた情報システムである。

(2) J.L.Bennet [5]

DSSは、マネージャーが半ば構造化された意思決定の仕事を行う場合に、意思決定の助けとしてマネージャーが使用する、計算機に基づく技術の一貫システム（ハードウェア、ソフトウェアと説明の資料）である。マネージャーの判断に代わるのではなく、支援する点を強調する。単に意思決定の効率を改善するのではなく、効果を改善することに焦点をあてる。

(3) 広内哲夫&小坂武 [6]

意思決定支援システムとは、企業の計画・管理業務に携わるマネージメントを支援する経営情報システムである。

(4) R.H.Bonczek, C.W.Holsapple & A.B.Winston [7]

一般的用語でいえば、DSSは、特定の利用領域についての知識を使用して、その領域の構造が明確でない問題を意思決定者が解決する援助を行う計算機システムである。

本節では、AI技術の活用を前提とする立場を採り、将来の知的DSSを視野に入れて次のように定義する。

意思決定支援システムとは、構造が明確でない問題を意思決定者が解決する場合、その問題領域の知識・情報を使って意思決定を支援する、計算機に基づいたシステムである。

知識ベースの利用により、構造化されていない意思決定の一部もDSSの支援対象と考えるべきであり、最近進歩が著しいAI技術を活かす知的DSSに求められるものである。知的インタフェースに基づき、ユーザである意思決定者が決定問題を構造化し、手続きを明確化していく過程を支援することが重要だからである。

2.2 DSSの分類

DSSは視点により各種の分類が出来る。J.J.Donovan とS.E.Madonickは、組織における意思決定が影響を及ぼす範囲に注目し、下記の分類を提案している [8]。

(1) 制度化されたDSS (institutional DSS)

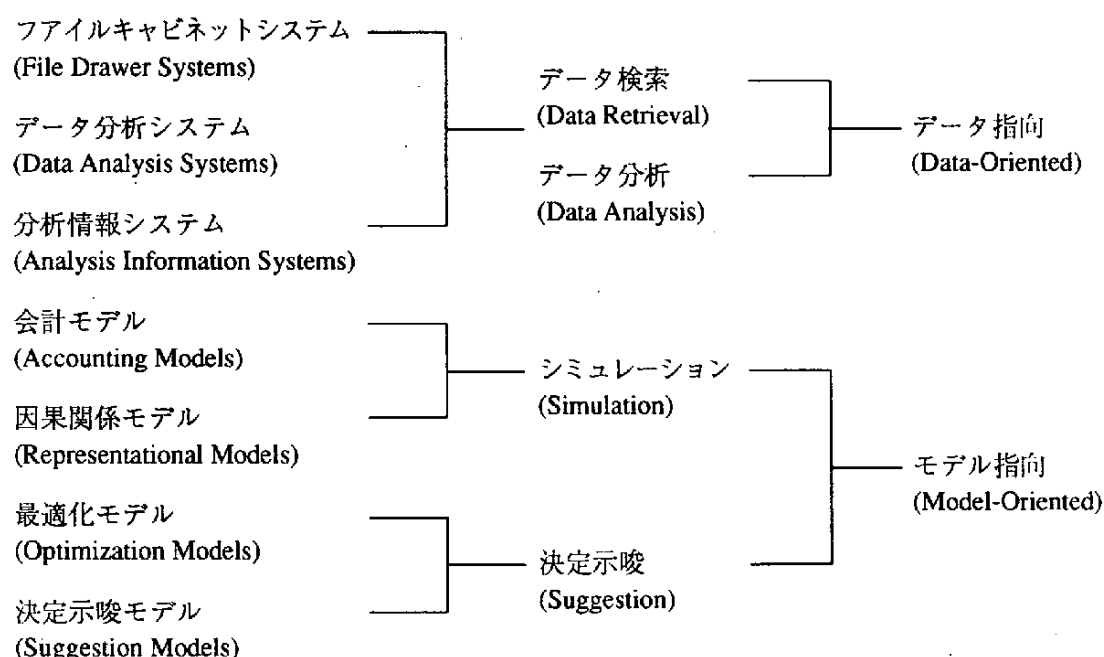
(2) 特殊目的のDSS (ad hoc DSS)

制度化されたDSSは、比較的構造が明確な業務管理等に関する意思決定に主に使用され、組織内

のデータを使った同種の意味決定が数多くなされる。特殊目的のDSSは、比較的構造が明確でない戦略的計画等の意思決定に主に使用され、組織外のデータも使用した意思決定がなされるが、前者程多くはない。したがって、制度化されたDSSではシステムの使いやすさ、処理速度が重要であり、特殊目的のDSSでは、外部データのシステムへの容易な同化、モデルの容易な実現と柔軟性が重要である。制度化されたDSSは、MISやオフィスオートメーションとして考えられている各種システムと重複する部分が多い。

次に、DSSの機能的分類について考える。S.L.Alter は、56例のDSSシステムを検討した結果、DSSの一般的支援機能として、次の6機能を挙げている〔9〕：①個別情報の検索、②特定のデータ分析手段の提供、③事前に決められた方法でデータを要約し、レポート形式で提供、④提案された意思決定の帰結を評価、⑤意思決定を提案、⑥意思決定を行う。

さらに、これらの機能に注目して、56例が図表Ⅲ-1-11の7つのタイプに分類出来るとしている。



図表Ⅲ-1-11 既存DSSの機能による分類（参考文献〔9〕）

図表Ⅲ-1-11において、

- (1) ファイルキャビネットシステムは、データファイルへのアクセス機能
- (2) データ分析システムは、オペレータを使ってデータを加工する機能
- (3) 分析情報システムは、一連のデータベースと小規模モデルへのアクセス機能
- (4) 会計モデルは、計画されている行動の結果を、会計上の定義に基づいて、(シミュレーション) 計算し、評価する機能
- (5) 因果関係モデルは、シミュレーションモデルであるが、(4) と異なり、会計上の定義以外の因

果関連メカニズムのモデル化機能を有するもの

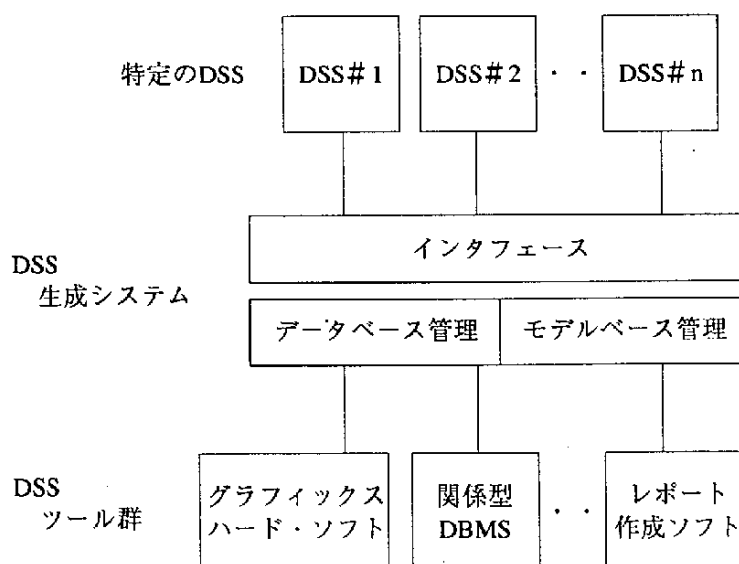
(6) 最適化モデルは、制約条件に対する最適解を計算して、行動の指針を提供する機能

(7) 決定示唆モデルは、充分構造化された意思決定に対して、決められた計算手続きに基づいて、意思決定そのものを示唆できる出力を提供する機能

である。これらの機能は、図表Ⅲ-1-11のように、データ指向／モデル指向の機能に大される。上の説明から明らかなように、これらの機能は、組織における計算機利用として考えられる殆どの機能を含んでいる。したがって、データベース・マネジメント・システム等単機能システムも含まれている。「意思決定支援」という用語の意味する範囲が広く、そのためのDSSの範囲も広くとられた結果である。この分類は、DSS研究開発の初期に行われた調査に基づいているが、現在でも基本的に変わりはない。

2.3 DSSの構成

既存のDSSは一般に、(1)対話管理、(2)データ管理、(3)モデル管理、の機能（または、その一部）を有している。このデータ管理機能とモデル管理機能は、それぞれ、図表Ⅲ-1-11のデータ指向、モデル指向の単機能DSSに対応するものと考えれば良い。R.H.Sprague とE.D.Carlson は、これらの機能を持つ各種のDSS—特定のDSS (Specific DSS)と呼ぶ—を実現するために、図表Ⅲ-1-12のようなDSS開発のフレームワークを提案している〔10〕。すなわち、DSS生成システム（DSS Generator）を核として、DSSツール群（DSS Tools）を組み合わせることにより、様々な特定のDSSを実現する。DSS生成システムと特定のDSSの関係は、エキスパートシェルとエキスパートシステムの関係と同様であり、一つのDSS生成システムに特定の目的のための情報やモデルを追加したり、カスタマイズすることによって、特定のDSSが多数生成される。



図表Ⅲ-1-12 DSS開発のフレームワーク（参考文献〔10〕）

2.4 市販意思決定支援システム

市場で意思決定支援システムと名づけて販売されているコンピュータ・システムの事例を図表Ⅲ-1-13に示す（システム名称のアルファベット順に配列：参考文献〔11〕と関連資料に基づき作成）。これらのシステムは、2.3節のDSS生成システムとDSSツールを組み合わせたシステムと考えればよい。

図表Ⅲ-1-11ではDSSをデータ指向とモデル指向に大別した。それに対応して、図表Ⅲ-1-13のシステムに、重点を置く機能により、データ指向型・モデル指向型・トータル指向型に分類した（「特徴」の欄参照）。トータル指向型システムは、データ操作・分析機能とモデルによるシミュレーションや決定支援機能を共に提供する総合的システムであり、図表Ⅲ-1-12のDSS生成システムの各サブシステムに対応する管理機能を持っている。最近ではトータル指向型システムへのニーズが強く、モデル指向型／データ指向型システムも他のシステムと連携してトータルな機能を提供可能な構成にしている（例：モデル指向型のFCS、IFPSはデータ指向型のFOCUSと連携してデータ検索機能を強化）。

最近の情報システムが分散処理指向になるに伴い、DSSも分散処理指向のシステムがトレンドになっている。マイクロメインフレームリンクによるDSS、分散形DSSと呼ばれる製品群であり、パーソナル・コンピュータ（PC）やワークステーション（WS）上のシステムと大型コンピュータ上のシステムがネットワークで結合して利用できる形態になっている。図表Ⅲ-1-13では、このタイプのシステムを「特徴」欄に（分散）と記して示した〔例：ASの「特徴」欄のトータル指向型（分散）〕。

図表Ⅲ-1-13の「主な機能」欄を観察すると、現在のトータル指向型市販システムには、次のような機能が実現されていることが判る。

- ・ データベース管理
- ・ データ操作
- ・ 統計解析・予測
- ・ モデル分析・シミュレーション
- ・ 作図・作表・レポート作成

システムの開発／販売開始時期で判るように、市販システムは、1980年代に活発な開発・商品化活動が行われている。これらのシステムのなかには、1980年代後半以降のSIS（戦略情報システム）ブームのなかで、SIS構築ツールと位置づけられているものが多い〔12〕。

2.5 知的DSSへの期待

図表Ⅲ-1-12の開発フレームワークでは、DSS生成システムから特定のDSSを構築する作業や特定のDSSを改造する作業は、DSS専門家（DSSのシステム構成、支援機能構築の専門家）に依頼することが多くの場合に必要になる。これらの作業をユーザ自身が行うためには、DSS生成システムの機能を向上させ、DSS専門家が自身の知識に基づいて行っている支援を（部分的にせよ）システム機能で代替しなければならない。またDSSが、助手ではなく、コンサルタントとしてユーザの意思

決定過程をガイドし、支援できる機能も望まれる。これらの機能を提供するには、AI技術を応用して知識の蓄積と利用を可能にする知識管理と推論機構を備えた、知的DSSが必要になる。最近、このような知的DSSを実現するための研究が盛んに行われている（〔13, 14〕参照）。すなわち、DSS構築のための従来のシーズである経営科学、システム分析、データベース技術等とAI技術を組

名 称	特 徴	主な機能	開発者 国内出荷時期
ACTIVE-DSS	・トータル指向型 ・知識ベース プロダクション ルール利用を提唱	・レポート作成 ・データ入力・操作・管理 ・情報検索 ・計画・分析手法 OR/MS/意思決定型手法 モデル・シミュレーション ・モデル構築	東洋情報システム 1984年6月
AS (Application Systyem)	・トータル指向型 (分散) ・グラフ出力機能 ・ファイル操作	・データベース・ファイル 入力・操作 ・簡単な統計予測・モデル分析	IBM 1983年6月
パーソナルAS	・パソコン用 ・汎用機との接続可	・基本機能 (データ操作, グラフ表示, レポート作成) ・統計分析機能 ・開発支援機能	1988年9月
DSP II (Decision Support Partner II)	・データ指向型 (分散) ・三次元データベース ・エンドユーザー言語 ・マイクロメイン フレームリンク	・三次元データベース操作 ・グラフ表示 ・経営モデルシミュレーション	日本電気 1988年
DSS 1100-J	・データ指向型 ・モデル記述・結合 ・時系列予測・データ分析	・データベース操作	日本ユニシス 1982年7月
EXCEED 2/H EXCEED 2	・データ指向型 (分散) ・ワークステーション用 ・管理計画業務向け ライン中間管理職向け ・エキスパートシステム との連携	・EXCEED 2 対応のホストシステム ・レコードファイル機能 ・データ加工解析 予測, シミュレーション ・作表, 作図	日立製作所 1988年3月
FCS	・モデル指向型	・モデルシミュレーション ・統計予測	ESP (英) 1983年9月
FOCUS	・データ指向型 (分散) ・一般データベース との結合	・データベース・ファイル 入力・操作 ・統計解析・時系列解析・予測 ・簡単なモデル分析	IBI (米) 1981年4月
PC/FOCUS	・パソコン用 ・一般データベースとの結合	・FOCUSのパソコン版 ・FOCUSとの結合使用可	1984年夏
IFPS (Interactive Financial Planning System)	・モデル指向型 ・会計モデルによる 分析機能	・会計モデルによる シミュレーション ・レポート作成	Comshare (米) 1982年8月
STRACT (Strategic Interactive Information System)	・トータル指向型 (分散) DSSファミリ 7システムを統合 ・RDBを中核 ・多国語サポート	・データベース操作 ・グラフ表示 ・統計解析 ・時系列予測 ・経営モデル	富士通 1988年8月
RACTパートナー	・WS/PC用 ・ホストとの接続が簡単	シミュレーション	1988年9月

図表III-1-13 市販意思決定支援システムの事例

み合わせて知的支援機能を実現する試みがなされている。現状では論理プログラミング等に基づく推論機能、およびフレーム・スクリプト等を使った知識表現に焦点が当たっているが、効果的な知識獲得機能の実現とそのために機械学習技術をDSSへ取り込むことが将来的に重要になろう。

意思決定が実際には複数の関係者の協力で行われることが多いことから、グループ意思決定支援システムの研究開発が今後の課題である [13]。このためにもAI技術を利用した知的支援機能の実現が期待される。

<参考文献>

- [1] ハーバート A. サイモン：意思決定の科学，産業能率大学出版部，1979.
- [2] Gorry, G.A. and M.S. Scott Morton : A Framework for Management Information Systems, Sloan Management Review, Vol.13 No.1 1971.
- [3] Keen, P.G.W. and M.S. Scott Morton : Decision Support Systems: An Organizational Perspective, Addison-Wesley, 1978.
- [4] Ginzberg, M.J. and E.A. Stohr : Decision Support Systems: Issues and Perspectives, in Decision Support Systems, North-Holland, 1982.
- [5] Bennet, J.L.: Chapter 1, Building Decision Support Systems, Addison-Wesley, 1983.
- [6] 広内哲夫, 小坂武：意思決定支援システムーDSS構築の方法論，竹内書店新社，1983.
- [7] Bonczek, R.H., C.W.Holsapple and A.B.Whinston : Developments in Decision Support Systems, in 'Advances in Computers, Vol.23', Academic Press, 1984.
- [8] Donovan, J.J. and S.E. Madnick : Institutional and ad hoc DSS and their Effective Use, DATA BASE, Vol.8 No.3 1977.
- [9] Alter, S.L. : Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenges, Addison-Wesley, 1980.
- [10] Sprague, R.H. and E.D. Carlson : Building Effective Decision Support Systems, Prentice-Hall, 1982.
- [11] 企業経営の羅針盤として導入が進むDSS，日経コンピュータ，1988.3.28.
- [12] SIS支援ソフトウェア一覧（コンピュートピア別冊），1990.12.
- [13] 戸田光彦：DSSの新しい研究動向，第1回システム工学部会研究会他合同研究会資料，計測自動制御学会，1989.
- [14] Toda, M. et al. : Information Structuring and Its Implementations on a Research Decision Support System, Decision Support Systems, Vol.7 No.2 1991.

第2部 企業経営における意思決定支援事例

1 日本の企業経営における意思決定支援事例

1.1 銀行における事例

1.1.1 金融業におけるAIの利用

(1) 金融業におけるAIの利用分野

金融業界はコンピュータ活用が最も進んだ産業であり、さらにその上AIといった新しい技術を求めているのには、次のような背景がある。

- ・基本的にサービス産業であり、また顧客要求レベルは常に上昇している。
- ・市場変化や新製品登場がめまぐるしく、事業機会が大きい反面、競争が激しい。
- ・グローバルゼーションを含めた時間的・空間的拡大が急速に進行している。

膨張し続ける情報量や、24時間活動し続ける世界市場に対応しつつ、より質の高い情報サービスを、個別の顧客にいかにかきめ細かく行なっていけるかが、生き残る上での差別化の課題となる。しかも、一方では、それへの対応要員の著しい不足と大幅なコスト削減という問題にも対処することが要求される。そこで、専門的業務知識をコンピュータに蓄積し、活用するというAIへの期待が高まっているわけである。

欧米におけるAIの利用の調査 [6] と国内についての調査 [1] などによると個人向けおよび企業向けサービス、国際金融市場、証券市場サービスへと領域が拡大されている。サービスは、銀行、証券、保険に大別される。銀行はリテイル・バンキング、ホールセール・バンキング、インターナショナル・バンキングに区分される。現行のAIアプリケーションをAIセンターの方式で分類すると図表Ⅲ-2-1のようになる。[4]

個人や中小企業を顧客とするリテイル・バンキングでは、簡単な業務を支援するESが使われ始めている。窓口担当者が問い合わせへの回答、融資審査、現金処理など窓口相談業務にESを使うことによって作業が軽減され、これが全体としてのコスト低減に結びつくことを目指している。大企業を顧客とするホールセール／投資バンキングでは、企業財務や長期融資関連ESが使われ始めている。

インターナショナル／商業バンキングでは、国際的な支払い処理や融資関連にESが使われ始めている。

証券では、トレーディングやディーリング関連のESが盛んであり、また、市場開拓、引受業務、調査・分析についても関心が高い。

保険では、保険引受業務について、ほとんどの大手保険会社がESを導入している。次いで、クレーム管理、財務計画でESが使われている。ESの開発は、生保のほうが損保よりいっそう積極的である。

図表Ⅲ-2-1 金融業におけるAIシステムの利用分野

分類	利用分野／システム	利用企業	分類	利用分野／システム	企業
(1) 判 断 型	1. 企業評価システム 2. 融資判断システム 3. クレジットの入金審査 4. 国別カントリーリスク分析 5. 営業店経営評価システム 6. 店舗立地選定システム 7. 予算査定システム 8. 企業リスク診断システム 9. (担保) 不動産評価システム 10. 生保の契約査定システム 11. 生保の給付金査定システム 12. 損害保険査定システム 13. 故障診断システム 14. システム監査 15. テレックス電文解析 16. 機械翻訳システム 17. ダイレクト・メール分析システム 18. 保険代理店経営アドバイス・システム 19. 内部監査	日本開発銀行、日本生命、SEPAC銀行、 パークレイズ銀行など アメリカ銀行、メロン銀行、SEPAC銀行 アメリカンエクスプレスなど ダイヤモンドクレジット、フェア アイザック など 第一勧銀など 日本海上火災保険など SEPAC銀行など 日本生命など、AIG 日本生命、安田生命、協栄生命、千代田生命 クーパース&ライブランドなど UBS銀行など SEPAC銀行など 住友銀行、さくら銀行、ジェネラル銀行など 住友生命 イクイタブル保険	(2) 計 画 型	1. 経営計画システム (全店・支店別) 2. ALM (資産・負債管理) 3. ポートフォリオ選択システム 4. 為替トレーディング・ディーリング 支援、リスク回避ヘッジング・シス テム 5. 金利為替相場等の予測システム 6. 情報システム設計 7. 支店レイアウト設計	安田生命など 山一証券、メリル・リンチ、 バンカーズ銀行、ジェネラル銀行など バンカーズ銀行、SEPAC銀行 ケミカル銀行など
			(3) 管 理 型	1. 予算管理システム 2. 人事管理システム 3. システム運用管理 4. ネットワーク監視システム	SEPAC銀行など SEPAC銀行など
			(4) コ ン サ ル テ ー シ ヨ ン	1. 資金運用相談システム 2. 資産・土地等の運用相談システム 3. ローン相談システム 4. 年金相談システム 5. 税務相談システム 6. 事業継承相談システム 7. 企業向け税務相談システム 8. 保険商品の設計提案支援システム 9. 海外旅行・外貨両替相談システム 10. 各種必要書類アドバイス・システム 11. クレーム処理アドバイス・システム 12. 自動車事故処理システム 13. 事故・異例事態対応処理システム 14. 社員教育システム	第一勧銀・三菱・三和・拓銀・あさ ひちエースの各銀行、野村・山一・・・ 大和の各証券、APEXなど 東海銀行、住友生命など 第一勧銀、拓銀、第一生命など 日債銀 明治生命など 東京銀行、東海銀行 SEPAC銀行 さくら銀行など

今後特に強化が図られるアプリケーションとしては、トレーディング、通信管理に加え、バックオフィス・システムがあげられる。

(2) 金融DSSのAIの技術動向

第3次オンラインの完成により、意思決定に必要な情報をとるための基盤が整い、これを基に、付加価値を創出するためのDSSの高度化が進められた。高度化の主要技術としてAIの導入が注目され、各種ESが開発された。その特徴は、

- ①定量的・静的ルールに基づき結論を導く。
- ②明確なルールに基づき結論を導く。
- ③ルールの抽出が容易でない。
- ④スタンドアロンの利用が主である。

これに対する実用上の課題は、

- ①定性的・動的ルールも取り扱うことができる。
- ②不明確・非線形ルールも取り扱うことができる。
- ③ルールが自動的に抽出できる。
- ④分散／リアルタイムの処理や他システムとの連動ができる。

これらを解決するための対策として、それぞれ

- ①ファジィの応用
- ②③ニューロの応用
- ④ES同士や基幹システムとの連結

が試みられている。

1.1.2 第一勧業銀行における事例

AI応用に注力しているわが国金融業界でも、第一勧銀の取組みの熱心さは注目に値する。(1)
AI導入の背景とシステム開発の概要

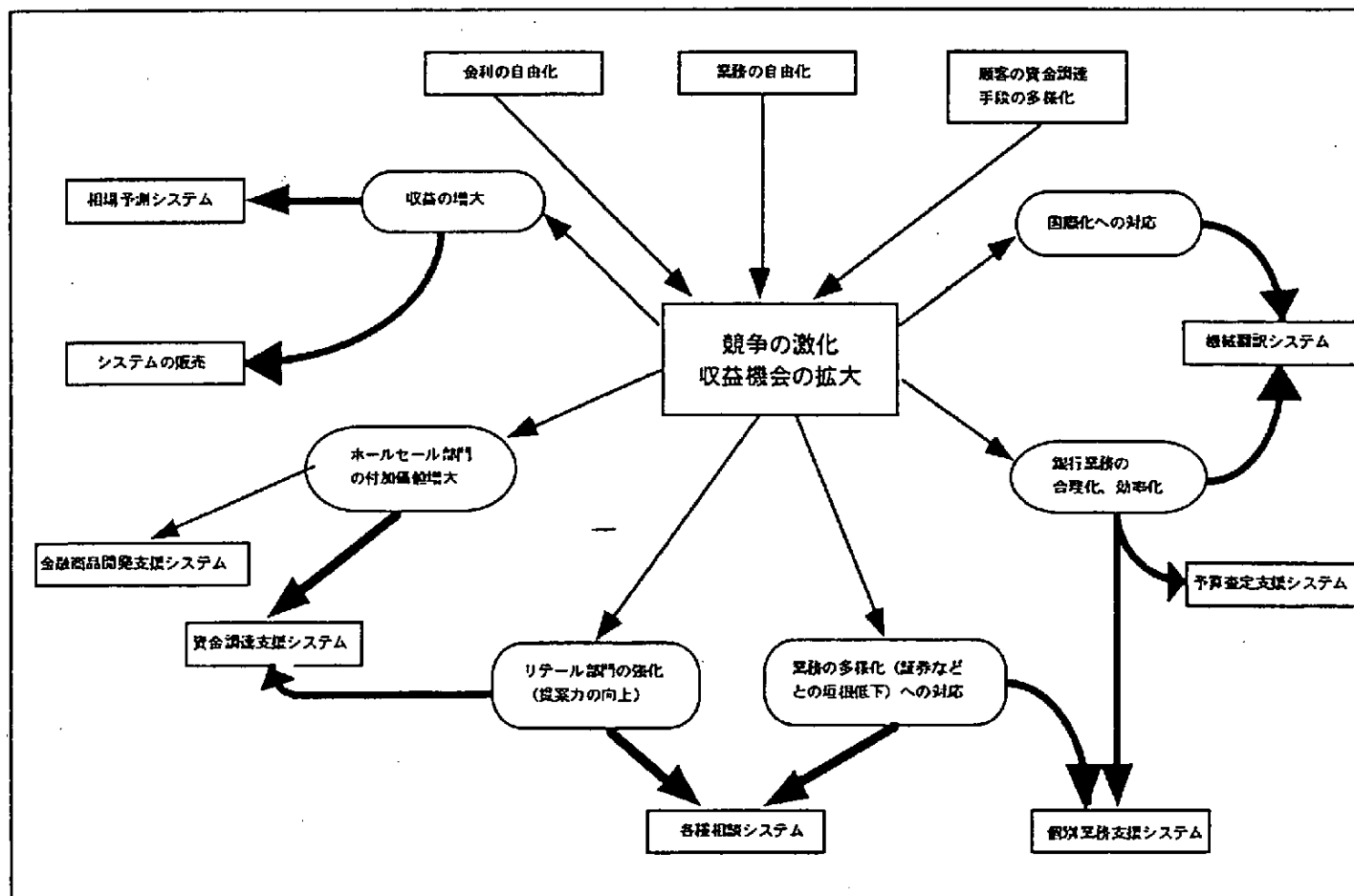
急激に進む金利の自由化と規制緩和を背景として、激化する金融競争を勝ち抜くために、AIによる差別化を目指している。

第一勧銀はわが国で一、二を争う規模を有する。このため、情報量が多く、また、ホールセール
の強みをリテール強化にも活かせる点である。地域密着度の強い地銀、信金と競争していくためには、これら地元金融機関が行っていないような、客にとって便利で分かり易くかつきめ細かい新しいサービスが必要である。情報量を活かすためにはAIの利用が効果的である。

例えば、資金運用や相続相談にESによる高度サービスを提供することで、個人資産家との関係を密接にすることができる。また、ニューロによる相場予測システムを提供することで銀行のイメージアップやシステム購入先の金融機関との関係強化がはかれる。

以上の背景とAI導入システムの関係を整理したのが、図表Ⅲ-2-2、またシステム開発の概要を示したのが図表Ⅲ-2-3である。[2]

図表Ⅲ-2-2 金融業界の状況と第一勧銀におけるAIシステム



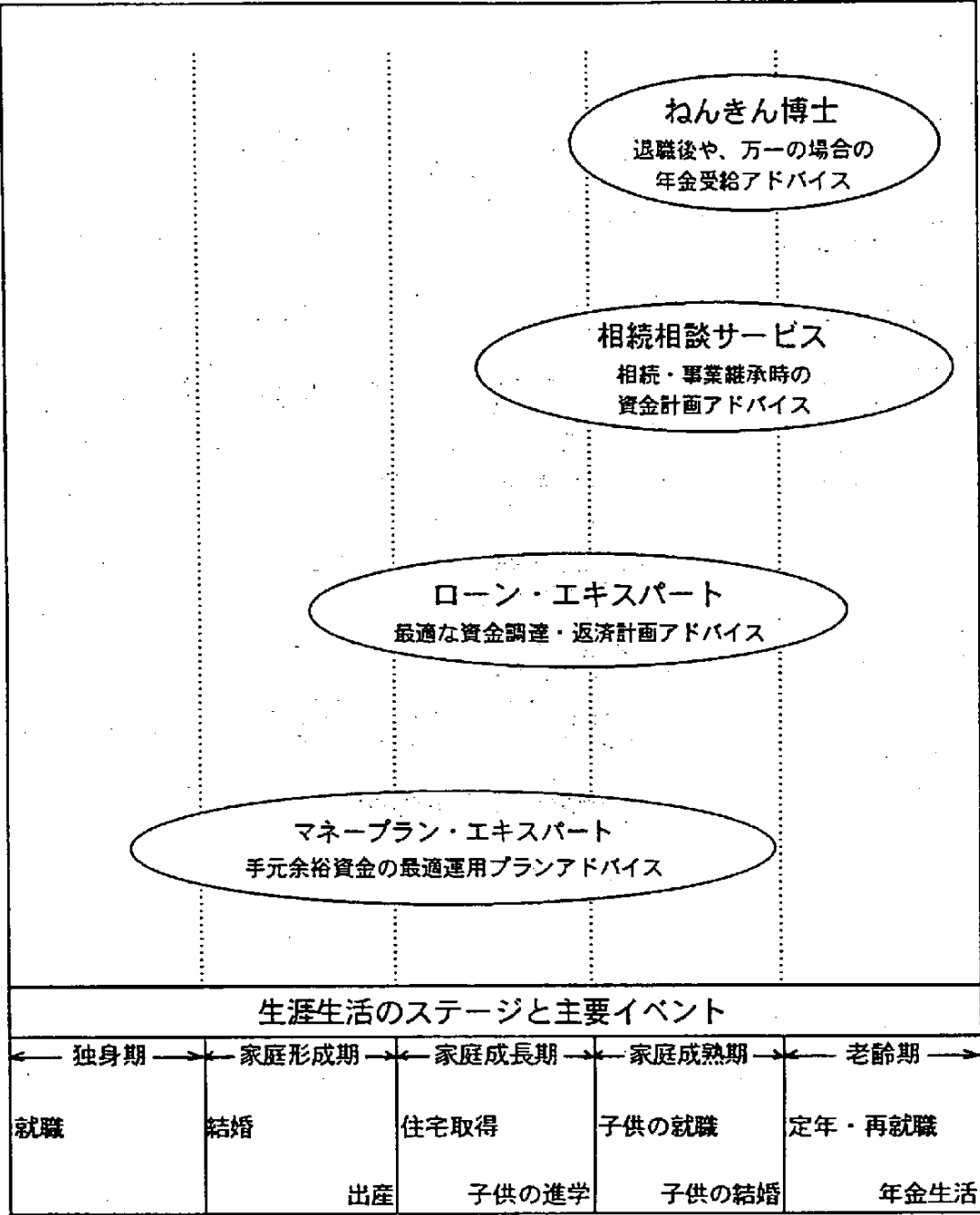
目的	システム名	概 要	AI手法	稼働時期
営業店の 渉外支援	マネープラン・エキスパート	運用目的、期間、金額により最適な商品を組み合わせた標準運用プランを作成。シミュレーションや説明機能がある。	ES	1988年 4月
	ローン・エキスパート	住宅ローンなどの資金計画、返済計画、融資審査や取扱処理手順、必要書類の案内などの手続き業務支援。	ES	1988年 7月
	ねんきん博士	年金受給資格の判定や年金額の計算、有利な受給方法のアドバイスやシミュレーションなどシルバー層への年金相談サービス。	ES	1989年 4月
	相続相談サービス	顧客の財産概要を把握し、有利と判断される対策の生成、およびシミュレーションや提案により相続対策のアドバイスを行う。	ES	1990年 9月
本店の 営業支援	天才くん	個別企業向けオーダーメイド商品企画システム。スワップ、オプション、先物などを組み合わせ、新商品を作る。バックオフィス業務もサポート。	ファジイ	1990年11月
	私募債アドバイス・システム	企業のバランスシート、P/Lを使い、私募債起債の可能性、基準をクリアするための対策を示すシステム、営業活動の戦略的支援が目的。	ES	1991年 2月
業務効率化 本店の	予算査定ES	国内営業点の動作、備品について申請件数の80%を自動的に査定。特例は注意マークを付加し、専門家に委ねる。	ES	1987年 8月
	公庫代理貸し付け支援システム	金融公庫などの代理貸し付け業務における審査サポートや取り扱い処理手順、必要書類の案内を行う。	ES	1991年 4月
	機械翻訳システム	海外店事務手続きや各種マニュアル類の翻訳支援。金融専門用語辞書を新規作成した。一般文書、記事類も翻訳。	文法・辞書・推論	1990年10月
予測など	債権先物利回り予測システム	債権先物の1日から5日後の上げ下げ予測、利回り予測、ピーク・ボトム予測。	ニューロ	1990年 7月
	外債先物予測システム	外債の1日から5日後の上げ下げ予測、利回り予測、ピーク・ボトム予測。	ニューロ	1991年 1月
	為替相場予測システム	円ドル相場を対象に翌日のオープニングレート、上げ下げの傾向、変動レンジを予測。	ニューロ	1991年 3月
	ALM（資産負債総合管理）システム	ALMの基礎データとなる指標金利、相場の動向を予測し、ALMシステムと一体となって管理を行う。	ES	1991年 3月

図表Ⅲ-2-3 第一勧銀のAI応用システム概要

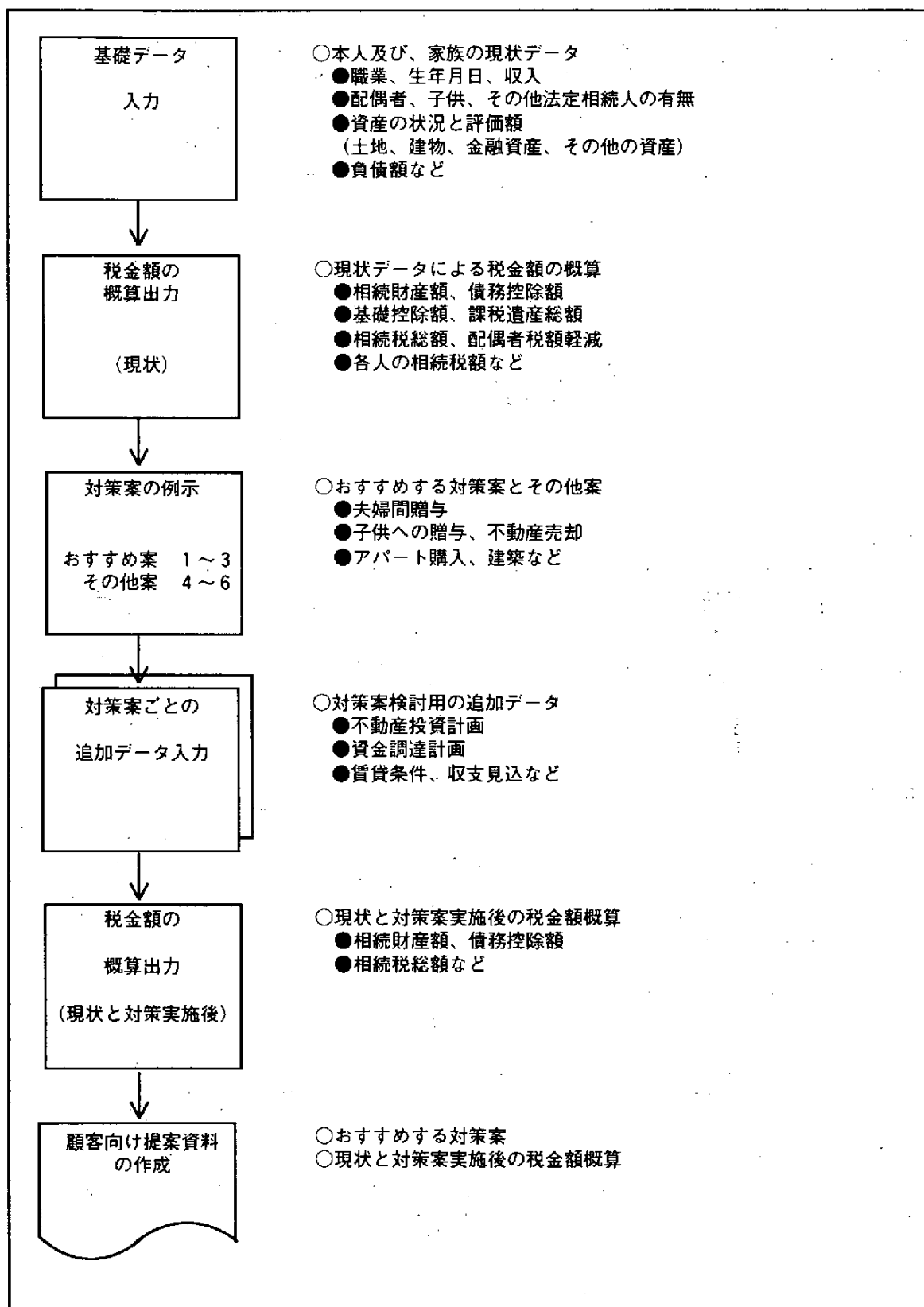
(2) 営業店の渉外支援システム

個人客の掘り起こしや関係強化といったリテール強化のための提案型営業の武器として期待されたのが、AI利用の相談システムである。顧客のライフサイクル全体をカバーできるように、4つの個人向け相談システム、即ち、マネープランES、ローンES、相続相談サービス、「ねんきん博士」がある。ライフサイクルの主要イベントとの時間的関連づけは図表Ⅲ-2-4の通りである。

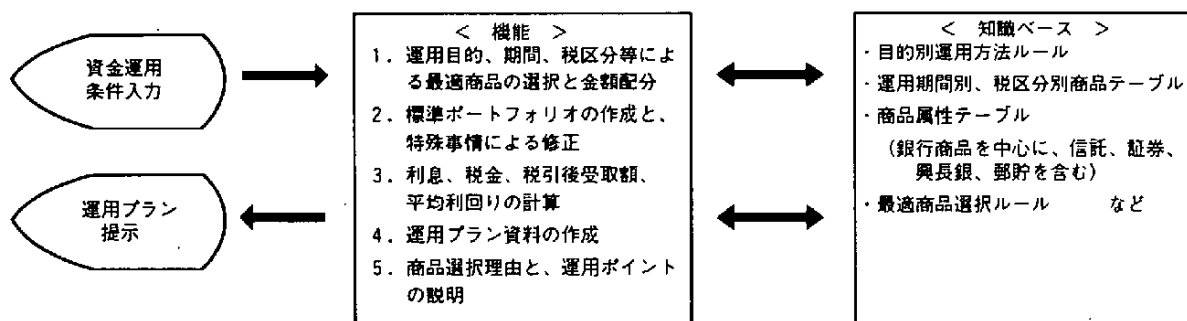
また、それぞれの処理機能や知識ベースなどの処理概要を図表Ⅲ-2-5～Ⅲ-2-8に示す。第一勧銀ではこの4つで、営業店の渉外支援システムは一応完成としている。



図表Ⅲ-2-4 個人向け総合相談サービス



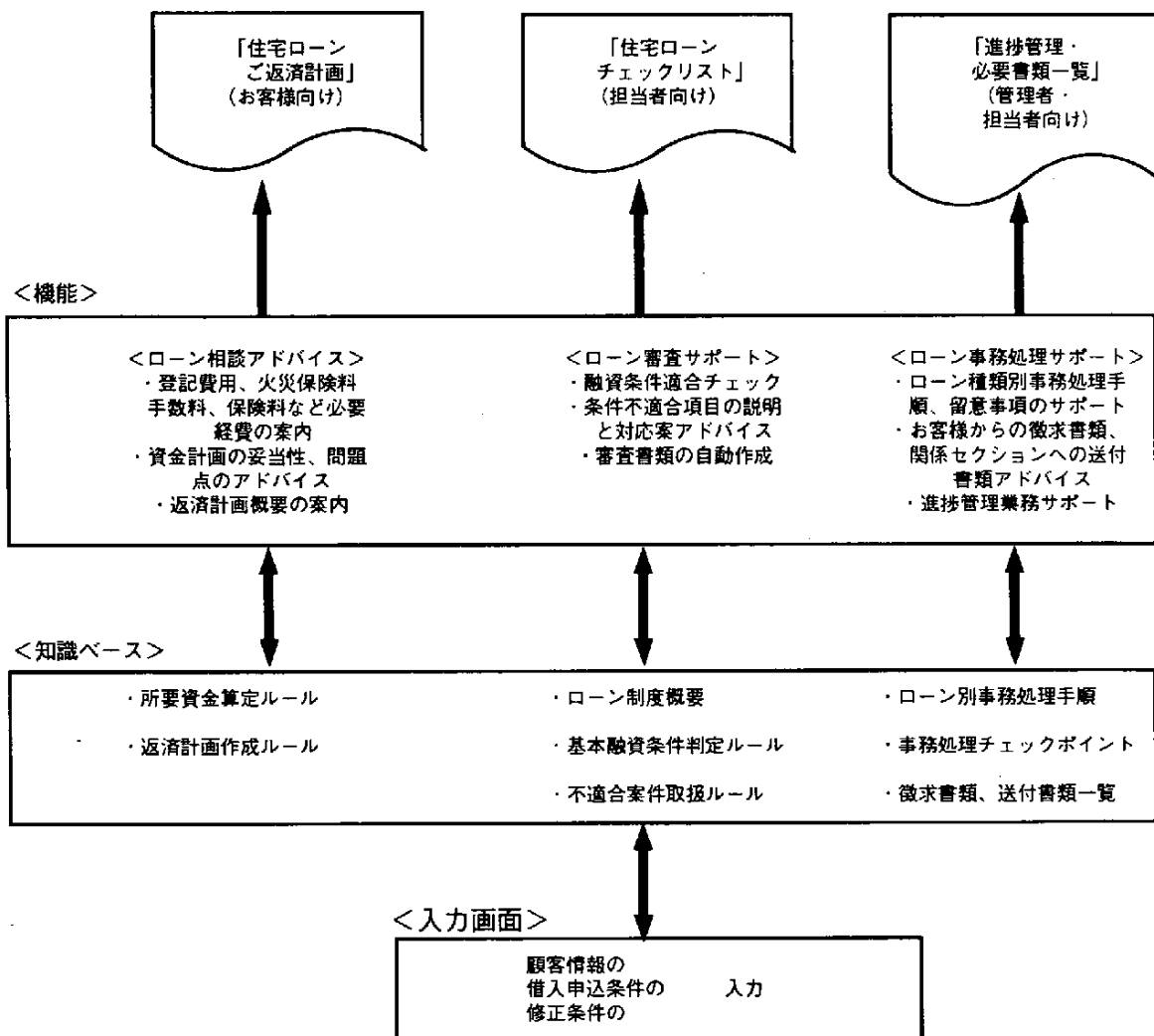
図表Ⅲ-2-5 相続相談システムの処理概要



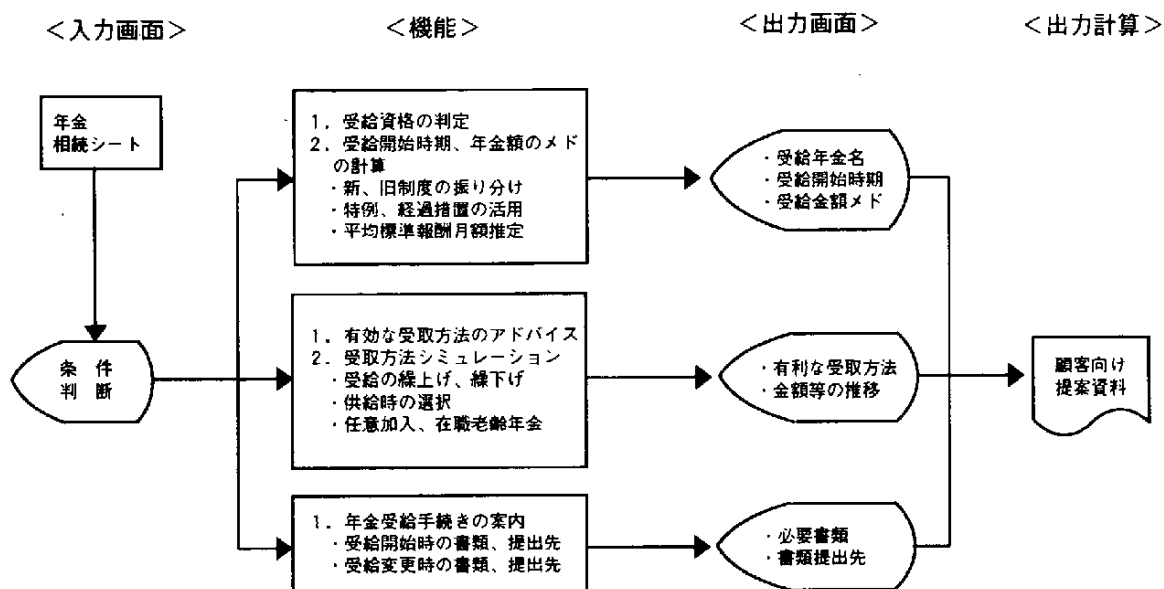
注・銀行商品：期日指定定期、普通定期、MMC、NCD、外貨貯金、国債定期、
利付国債、割引国債、抵当証券、金投資口座、大口定期、スーパーMMC
・信託商品：貸付信託、金銭信託、ビッグ
・証券商品：公社債投信、中期国債ファンド
・興長銀：利付金融債、割引金融債、ワイド
・郵 貯：定額貯金

図表III-2-6 「マネープラン・エキスパートシステム」の処理概要

<出力計表>



図表III-2-7 「ローン・エキスパートシステム」の概要



図表Ⅲ-2-8 「ねんきん博士」の処理概要

相続相談サービス・システムの入力データは、本人および家族の年齢や職業、収入、法定相続人の数や本人との関係、それに資産状況とその評価額などである。現時点での相続税額を計算できるほか、今後の地価の値動きを適当に設定すれば、何年か後の推定相続税額をシミュレーションできる。次のステップでは財産構成から最も有効と思われる対策案を選定・例示し、それを適用した場合の相続税額を表示する。顧客の要求に応じて複数対策案の中から選ぶことが可能である。

最後に個別対策案ごとに、より詳細なデータ（不動産投資計画や賃貸条件など）を入力し最終的な対策案を決定する。妻子の人数や不動産がさら地かそうでないかなどによって対策案が異なるため、システムなしに相談にのることはかなり難しかった。ルールは「金融資産がある場合は妻子に生前贈与する」、「さら地がある場合は相続人に相当の地代で賃貸し、相続人が上物を建築する」等数百ルールがのっている。対策案に従って顧客が上物を建てることになれば、第一勧銀は建築費用を融資するチャンスが生まれる。

「ねんきん博士」では現在の年齢、転職や休職経験の有無、働き始めた年齢といった条件を入力すると年金受給資格の判定や受給額、受給開始時期などを推定して出力する。有利な受給方法をアドバイスしたり、必要書類をガイドする機能もある。熟年層へのサービス強化という意味以外に、年金の受け取り口座を獲得するのがこのシステムの狙いである。

マネープラン・ESは資産運用を支援するもので、運用目的や金額、期間などの条件に応じて最適な金融商品を組み合わせた運用プランを作成し、同時になぜそのプランが最適かを説明する機能がある。窓口で、あるいは訪問先で客の要望を聞き、マネープラン・ESを使って資産運用プランを提示できればある程度の預金を獲得できる可能性がでてくるという。

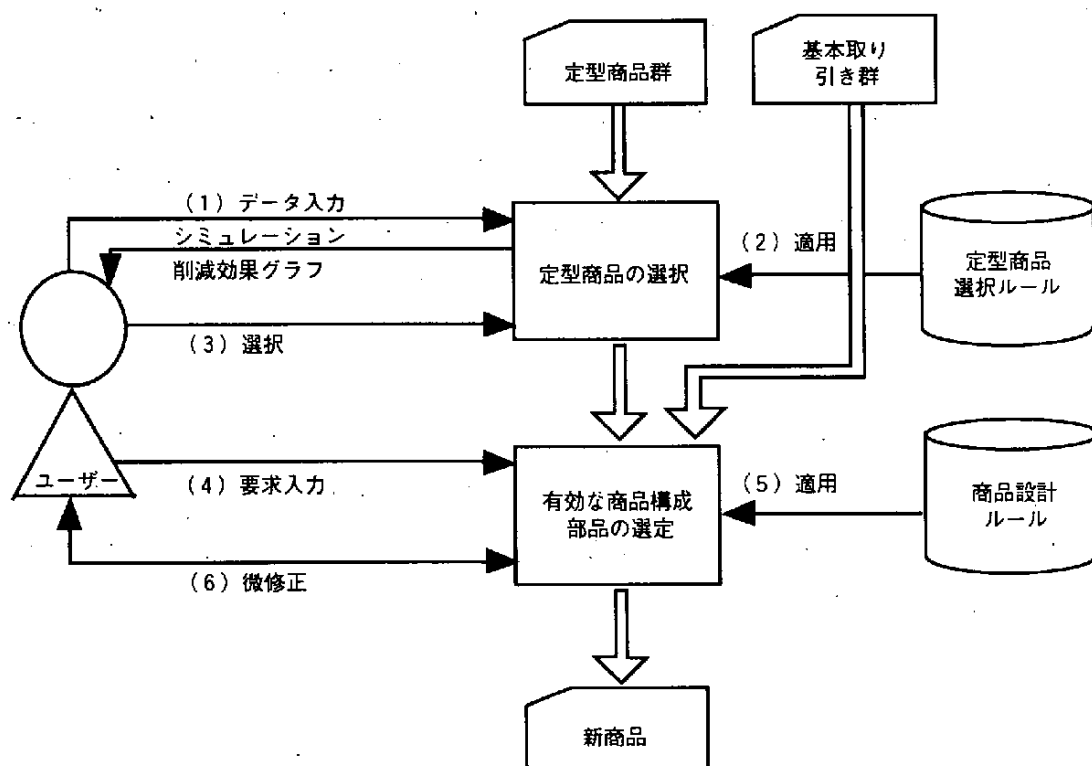
一方金を借りる顧客にとってのわずらわしさは、窓口の行員はローンに関する詳細な知識を持っていないことが多いため、客の方があらかじめ銀行からいくら借りるか計算し、必要な書類を揃えねばならないということであった。ところが「ローン・ES」を使えば、たとえ行員に知識がなくても必要な金額や返済方法、期間などを入力すれば借りれるかどうか、書類は何が必要などが分かる。

約300頁の処理手順マニュアルをコンピュータに組み込んであり、個別ローンに対応した、受付から実行までの一連の処理手順と必要書類とを約2600通りの組合せの中から判断し選び出すことができる。とくに、「進捗管理表・必要書類一覧」はローン事務処理の取扱処理手順を指示しており、店内事務の工程管理上から大変有効である。

(3) 本店の営業支援システム

本店の業務支援のうち特にホールセールや中小企業との関係強化を狙ってシステムの開発を行なった。「天才くん」と私募集債アドバイスシステムの2つからなる。「天才くん」は企業の資金調達や運用を支援するためのもので、スワップやオプション、先物などの技法を組み合わせ、金融商品設計の支援を行なう。

「できるだけ低金利でかつ為替相場変動などのリスクが少ない」資金調達が望まれるので、複数の金融商品の組合せがポイントとなる。金利や為替動向に関する顧客の見通しに基づいて商品进行設計するので「金利が上昇気味」「大幅上昇する」といった曖昧な表現を効率的に取り扱うためにファジィ推論を利用している。



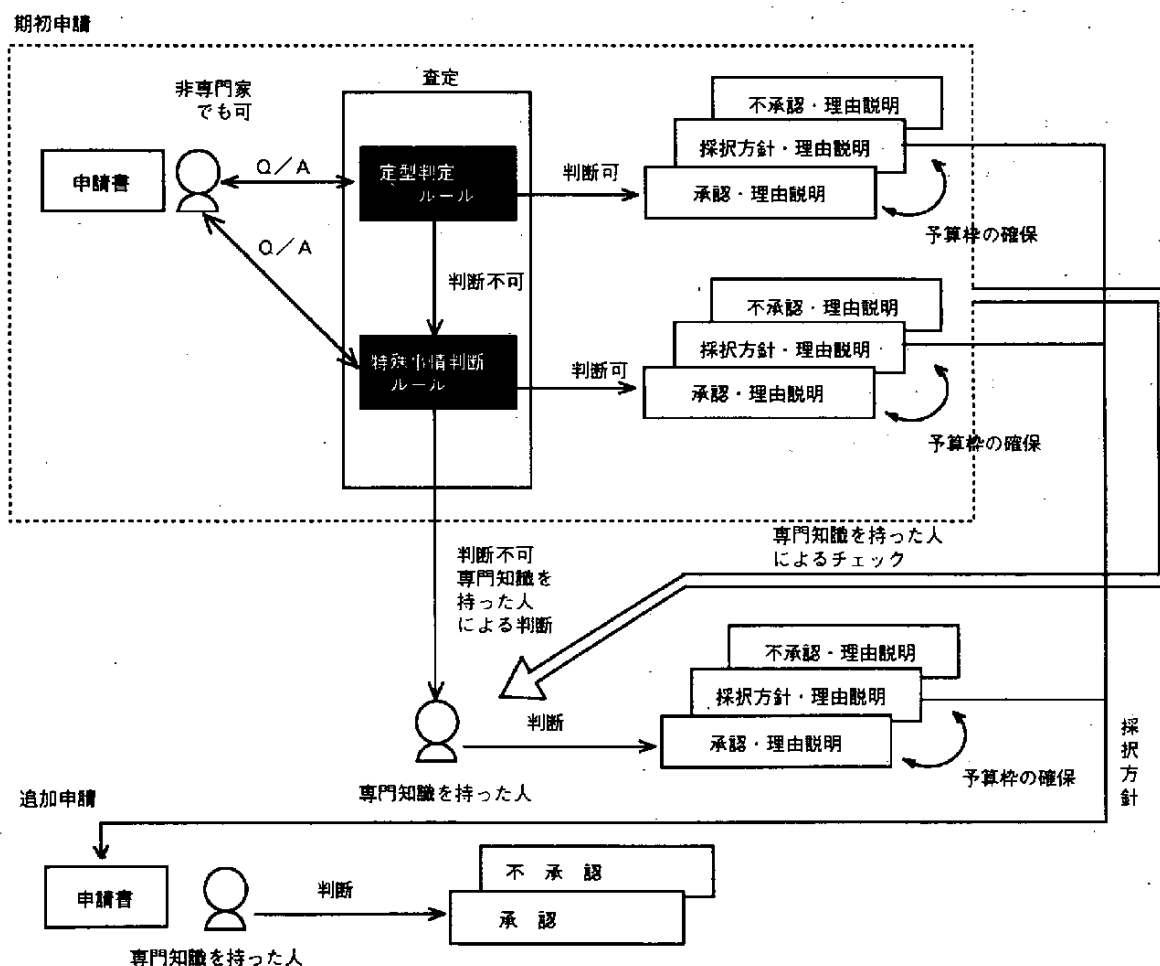
図表Ⅲ-2-9 商品企画システム「天才くん」の処理の流れ

(4) 本店の業務効率化システム

最も早い時期に開発されたのが予算査定ESである。本システムの目的は、①専門家による査定業務処理の準自動化、②査定の均質化・精度の向上、③査定業務運用体制の簡素化である。支店からは什器・備品、事務機械等の購入・更新を目的として半期に一度、経理部宛申請がなされる。これを経理部では期初に査定を行ない、事務機械類については事務企画部、備品類は管財部が担当する。従来は各主管部が1次査定を行ない、その結果を2次査定で調整し最終結果を出していた。

本システムではこの双方の見解をルール化し、知識ベース化した。この結果、当初に両者の判断基準をおり込んだためF調整Gの場面は不要となった。しかし、全てをこの知識ベースにおり込めたわけではない。定型的基準で査定できるものと支店の特殊事情（顧客サービス上本機械の設置が必要等）で対応しなければならないケースがある（この場合Wマークを表示=Warning、専門家が再チェックする）。

この結果、全体の8割位（申請件数の）までは自動判定できるようになった。本システムの正当率を評価した結果、97%に達している。



図表Ⅲ-2-10 予算査定システム処理の流れ

(5) 予測システム

資金運用面での収益向上を最終目的として、ニューロコンピューティングを活用した予測システムを開発している。その中核となっているのが債券先物相場予測システムであり、人間でも60%しか当たらなかったところ、75%の正当率を発揮した。ニューロの問題点は、その根拠となる理論的仕組みを明確に説明できない点と学習に50分程度の時間がかかることである。相場の終わった日の夜にその日の相場を学習させ翌日に備える必要があり、ニューロで売買されるのは1日1回に限定されている。

(6) 今後の展開

列挙すると次のようになる。

- ①相談系の4システムの連携によるサポートの総合化。
- ②AIシステムの勘定系や情報系といった基幹システムの接続による総合化。
- ③コンピュータシステムの運用支援への適用。
- ④バックオフィス業務の効率化支援への適用。
- ⑤本格的な経営意思決定支援への適用。

1.1.3 その他の銀行における事例

金融業界では、従来までのESを使ったMSSに加えて、最近はファジィ推論やニューロ技術などを使った新しい研究が行なわれている。以下に富士銀行、三和銀行の例を紹介してみよう。[3]

(1) 富士銀行における事例

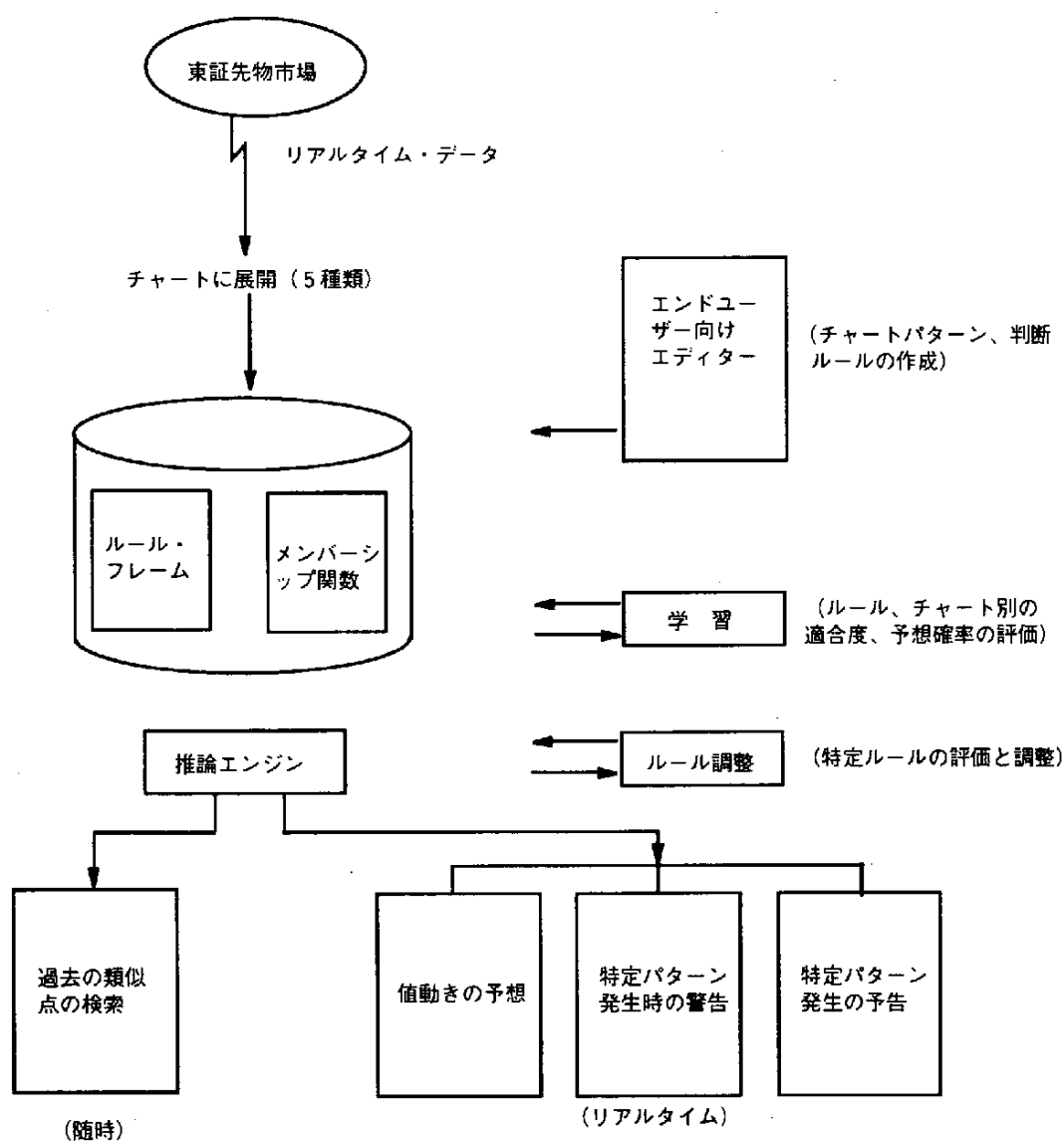
富士銀行では、債券先物デイトリングの支援システムに、ESとファジィ推論を組み合わせ、リアルタイムにMSSを構築した。その概要は、まず時々刻々の東証などの先物相場データと日足などの所定期間の足データを入力する。これをワークステーション上で、ローソク足、移動平均線など5種類のチャートに展開する。次に、特定の値動きパターン発生時のアラーム表示、特定パターン発生予告、値動き予想などをリアルタイムに行なう。ディーラーのいろいろな分析検討材料とするため、問い合わせ応答型の処理で過去の特定のパターンの検索もできる。

メンバーシップ関数の形は、IF-THEN形ルールに合わせて「ファジィ値」を指定することによって規定される（指定しない場合は前もって登録してある標準値を使う）。たとえば、「もしXが27銭以上ならばYと表示を出す」というルールがあった場合、実際のXが27銭より少ない場合は、指定したファジィ値によってXに対するルール適合度（ < 1 ）が決定される。またIF部、THEN部ともに複数の条件を同時に取り扱うことができる。

システムの最大の特徴は、ルール適合度評価をもとに、現場で利用しながらユーザ自身がルールを改良していける点にある。エンド・ユーザ向けのわかりやすいルール・エディタもそのために開発している。

(2) 三和銀行における事例

90年2月から私募債引受支援ESを稼働させ、従来本部で行なっていた判断業務をより顧客に近い全国300ヶ所の支店側で行えるようにした。



図表Ⅲ-2-11 富士銀行の債券（先物）ディーリング支援システム

1.1.4 問題点と課題

AIを導入するに際し、共通的な問題点は、

- ①AIシステムの基となるルール（知識）をどう集め整理するか
- ②成功の見通しが明確になりにくいAIシステムの開発費をどう負担するか
- ③開発したシステムを現場（エンドユーザ）にどう活用してもらうか
- ④AIシステム開発のノウハウをどう蓄積するか

などである。特に、一番目の問題は重要であり、これに対しては、知識記述の簡便化ツールのほか、本質的にルールを自動作成するニューロの開発・利用が進められている。しかし、第一勧銀の例で触れているように今までのニューロによる学習は大変遅く、実用には今一步である。現在ニューロの中にファジィフィルターを組み込み飛躍的に学習速度を高める試みがなされている。

1.2 知的経営支援システム——マネージャーの仕事の質の革新と新しい情報システムの創出

1.2.1 経営とコンピュータ

○松下電器グループは、松下幸之助創業者の経営理念に則って経営を推進しているので、まず経営とコンピュータということから始めてみたい。

松下幸之助経営理念を思い切って縦軸と横軸に大きく分けて考えてみよう。まず縦軸は、いつの時代も変わらない不変の真理。すなわち、会社の存在意義は産業人たるの本分に徹すること、お客様第一に徹すること、また全員が経営に参画し、自主的に責任をもってやっていく。これらのことはたぶん世界中のどの会社も求める不変の真理であろう。

他方、縦軸は、経営の実践のしかた。すなわちR & D、マーケティング、生産、物流等に関し、その時代に最もふさわしい先進的なやり方でいく。したがってどんどん変わる。こうして縦軸と横軸とをうまくミックスして、いかに大をなしても常に一商人たるの観念を忘れない、というのが松下グループの創業以来の基本理念である。

○そこで我々は経営理念の実現支援のツールとして、コンピュータをいかに使いこなすかという非常に高度なテーマを創設し、それに向かって果敢に挑戦した。

まず、“お客様”に関してコンピュータをもっとうまく使えないか、例えば、お客様満足度というのは経営の生命であるが、満足度を測る方法は必ずしも的確なものを持っていない。ところが満足度とかその変化を読み間違えるとたちまち経営は行詰まる。そこでコンピュータの可能性に着眼し、お客様満足度の測定や極大化のための仕組みを見つけ出し、それをシステム化していく、こういうやり方で経営とコンピュータの融合を図れないか。あるいは“全員経営”について、速やかに全部門全階層の衆知を集めるために、コンセプトの確立、情報の共有化、創造性の発揮へ向けてコンピュータの可能性を利用できないか。このように、経営理念とコンピュータの融合を目的として努力を積み重ね、ようやく研究開発された成果の一つが今回の知的経営支援システムである。

○このような、経営そのものをまともに対象とした情報システム化はいまだ実例がない。またそう簡単にできるものではない。なぜなら、情報システム化と言うのは経営管理との関係でとらえないと実現できないからである。それを図示したのが図表Ⅲ-2-12である。

進化の段階	①混乱の段階	②管理の段階	③品質の段階	④効率の段階	⑤価値の段階
業務の仕方	業務に追われる	目先の業務はこなせる	制度・仕組みを見直す	コンピュータによる自動化・効率化	経営理念へ向けトータルマネジメント
コンピュータ化の度合	ハンド主体	自然発生的部分的	現行システムを無理につなぐ	統合化されたネットワーク	知的、戦略的システム化
社員の意識	後向きの仕事にイヤ気	身の回りで精一杯	前向きにターゲット設定	使命感に燃えやる気	未来に向かって創造的

図表Ⅲ-2-12 情報システムの進化論

まず第一は混乱の段階というか未開発の段階。この段階は日常の業務量をこなし切れず、管理も不十分でハンド作業主体。社員の意識も後ろ向きの仕事が多く、イヤ気がさしている人が多く見られる。

次は第2の管理の段階。自分の目の前の仕事はかなりうまくやれるようになってきた。したがってコンピュータも自然発生的に部分的に入ってくる。社員の意識も前向きになってきている。

次の第3の品質の段階になると、仕事の目的に照らして制度とか仕組の見直しが始まってくる。あるいはいろいろなシステムをつなぎ始める。ただしかなり無理につなぐ。しかし目標管理が可能になってくる。

次の第4の効率の段階になると、コンピュータによる自動化、省力化、効率化が進んでくる。SISなどはここに入る。この段階に入った頃から、いよいよ第5の価値の段階ということで、冒頭に述べたような経営理念、お客様第一とか全員経営を支援するようなシステムが可能になってくる。知的なシステムができるようになる。

○以上のようなわけで、経営理念の実現に向けてコンピュータ化をやろうと思ったら、自分の事業場の経営が5つの進化の段階のどこにあるかをまず認識し、現在の業務の仕方、コンピュータ化の度合、社員の意識、それを支えるリーダーシップ力等々のレベルを確認し、各々について具体的な事実をたくさん知ることから始めなければならない。

そこで次のBeginning User Computingの発想が不可欠となる。

1.2.2 Beginning User Computingの発想

○Beginning User Computingは、我々の情報システム化の基本的考え方である“仕事のできる人がコンピュータを使う”を英語表現した私の造語である。いわゆるEnd User Computingに対比して、我々の基本的考え方をよりの確に表現するため新しく言葉を作ったのである特に、User Computer化の“終わり”(End)でなく“始まり”(Beginning)であるという意味を強調するためである。英文法的に正しいかどうかはよく分からないが、我々の目的である経営理念をより一層完遂するためのコンピュータ利用は、この考え方がベストではなかろうか。

○“仕事のできる人がコンピュータを使う”についても少し修正を付け加えるならば、「誰のどのニーズをどのように解決するのか」あるいは「どのようなデータを出力するから、誰がどのように使うのだ」といったことが情報化の基点であり、仕事をする人そしてシステムであるという考え方に立つ。これは当たり前のことであると思うのだが、現実はずしもそうではなくて、むしろその逆のシステム側からユーザ側への押し着せが時々見受けられるので、あえて主張しなければならないのである。

○要するにBeginning User Computingの発想の目的は次のとおり。すなわち、経営理念の実現支援ツールとして情報システムの開発導入をリードする責任は仕事をする人、すなわちユーザ側にある。同時に開発されたシステムの価値や評価はユーザの責任である。したがってシステム側としてはいかにユーザニーズの実現を専門的に支援するか、さらにいえばユーザの期待以上のできば

えを実現させるところに、その存在意義を求めていかなければならない。

- これまでの情報システム化はシステム部門中心に進化してきたことは周知のとおりであるが、歴史的に見てもそれはまた必然的なことであった。しかしこれからはいよいよ潮流として Beginning User Computing の必要性和可能性が現出してきたのである。それを念のためユーザ側とコンピュータ側の両方から見てみよう。

○ユーザ側の状況

経営環境変化が加速化・多様化・グローバル化している中で、もはやほかから命令されてやるという形のピラミッド組織ではハイスピードなマネージメントは不可能である。したがって各部門各階層の各々が、すなわちいわゆるユーザが知的かつ緻密に決断実行したり支援できる環境・インフラを用意するしかない。しかもその改善とかメンテナンスもできる限りユーザ自身が主体的にかつ容易に行えるものでなければいけない。システムができあがって安心していると翌日から陳腐化が始まるからである。要は自問自答しながら仕事を進めるスタイル・状況に持っていかなければいけない。又、ハイスピードとか即断即決といっても、同時に併せて三回念を押すというようなこともビルト・インされていないと失敗する恐れが大きい。Beginning User Computing の真の背景は以上のようなところに存する。

○コンピュータ側の状況

システム部門はどちらかというと大規模思考が根強く、またバックログを持っており小回りがききにくいと言われている。ところが一方ハード・ソフトは日進月歩でどんどん大衆化している。したがってユーザ自身が主体的に解決しなければならない。あるいは解決可能な領域が増えてきている。こういったことを考慮に入れてこれからの情報システム化を考えていく必要がある。システム部門は機動力のあるシステム化諸能力を専門的に強化し、ユーザ支援へと急速に意識改革しなければならない。Beginning User Computing のもう一つの背景は以上のようなところに存在する。

○Beginning User Computing の時代の到来

以上のように、ユーザ側とコンピュータ側の間には、いまだ固くて厚い厚い“ベルリンの壁”が存在するとはいえ、所々で急速に崩壊が必然化しはじめている。すなわち、ユーザ部門ではコンピュータ活用の実力を装備し主体性をもって推進する。システム部門はユーザ支援の最先端のスキルをどんどん磨く。こういうスタイルのシステム化が不可欠となりつつある。こういうやり方でいくと、システムは毎日新しく成長発展していくことが可能だし、ユーザとシステムはお互いに誘発されながら意識も変わり成長していく。こうしたシステムとユーザの結束できる舞台をひたすら求めていくことが、これから特に大切であり、これが Beginning User Computing の狙いである。そして、Beginning User Computing の典型的な事例の一つが次に述べる COMPASS の誕生である。

1.2.3 知的経営支援システム・COMPASSの誕生

○松下グループは、野村総合研究所の挑戦意欲と、松下精工(株)はモデル事業場として名乗り出たことにより、'89/6から着手し、'91/1から「知的経営支援システム」の開発・実用化に入った。

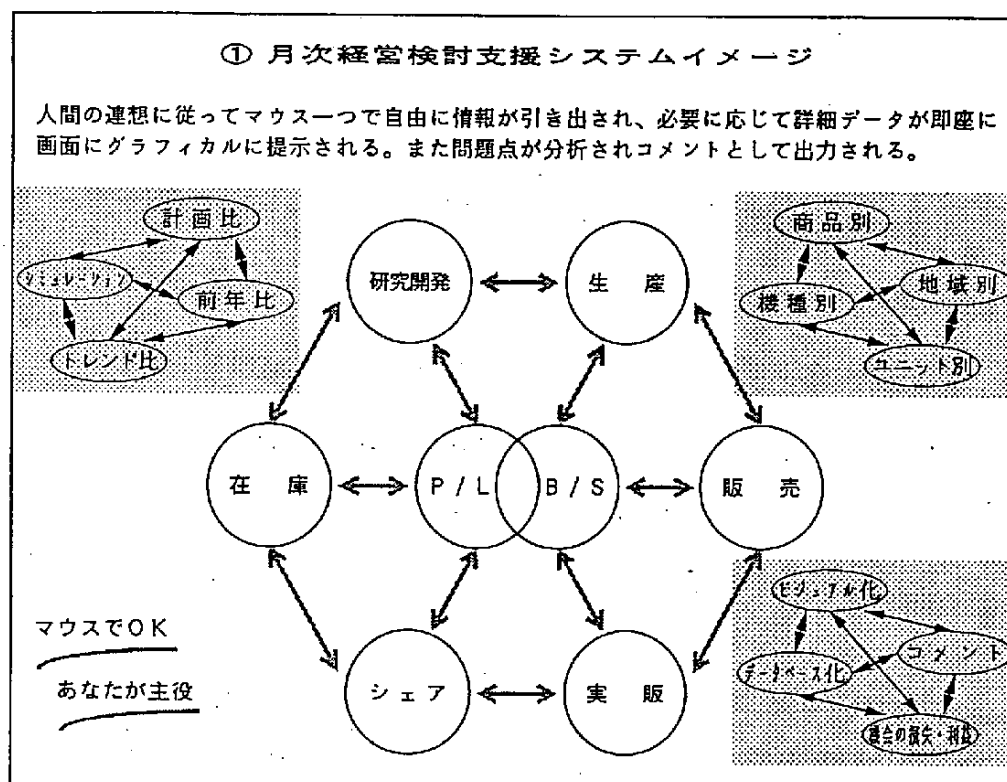
COMPASSとは、その愛称で、COMPUter-mind ATTRACTIVE Simulation Stageの略であり、同時に経営の羅針盤として育ててほしいという願いをも込めている。これは以下の説明から分かるように、仕事のできる人がリーダーシップをとってコンピュータを使う、というすでに述べたBeginning User Computingの考え方をマネジメント層の領域で具体化に成功した初めての事例である。

(その後COMPASS導入事業場は順次増加しつつある。)

○COMPASSは現時点では次の3つのシステムから成り立っている。

- ①月次経営検討支援システム (図表Ⅲ-2-13)
- ②事業計画策定支援システム (図表Ⅲ-2-14)
- ③ディリー・生・販・在、進捗管理・分析支援システム

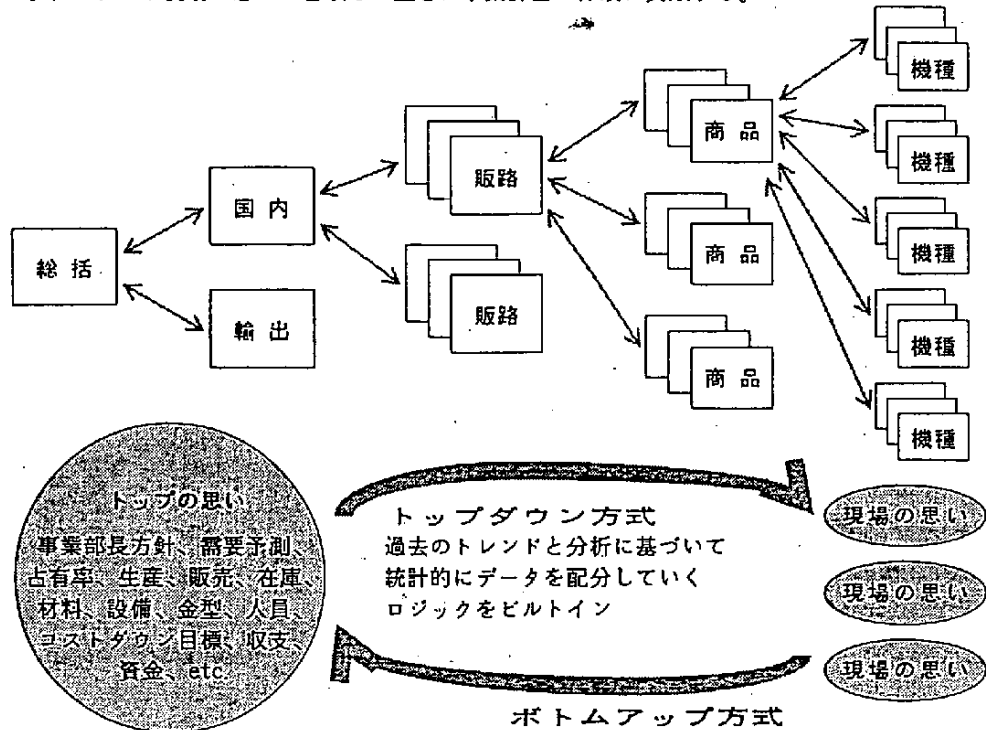
次に、図表Ⅲ-2-13と図表Ⅲ-2-14の構造図を下記に示す。



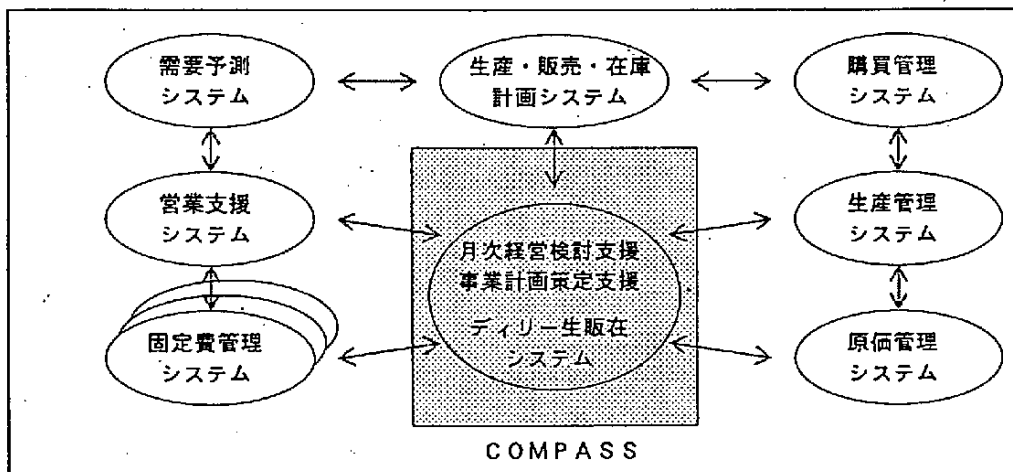
図表Ⅲ-2-13 月次経営検討支援システムイメージ

② 事業計画策定支援システムイメージ

販売・生産・在庫・シェア・利益等の繰り直しをスピーディに何度でも繰り返すことが可能になり、トップと現場の思いが合致した生きた事業計画の作成に貢献する。



次にCOMPASSが各種の基幹システムと有機的につながる例を下に示す。



これを見て分かるように、COMPASSはまさに経営の中核を支援するシステムである。

図表Ⅲ-2-14 事業計画策定支援システムイメージ

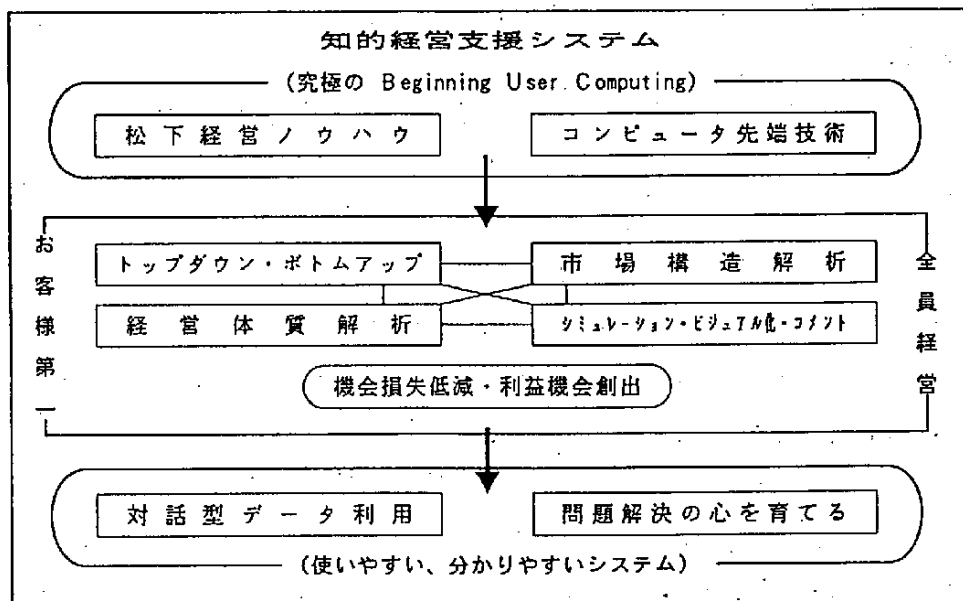
○これらのシステムの特徴は次の3つに集約される。

①特に①の月次経営検討支援システムに見られるが、各部門の情報を統合し、内蔵された分析ロジック、診断ロジックなど各種経営ノウハウと融合させることにより、表・グラフ・図表・地図・カタログ・コメント等、仕事する人の求める連想と切り口と形態で問題や分析結果の情報を柔軟に取り出すことができる。

②とくに②の事業計画策定支援システムに見られるが、経営トップの想いを過去3～5年間の販売実績や収支構造、原価構造に基づいてブレイクダウンし、システムから計画案を提案させることにより、あるいは逆に、現場の想いをボトムアップで積み上げつつトップの想いと対比させることにより、当事者は何度もシステムと対話、試行錯誤しながらトップと現場の思いが合致した生きた計画の策定へ到着することができる。

③3つのシステム全てに共通に見られるが、マウスの操作によって本をめくる感覚で使用でき、しかも求めるページに即アクセスできる。さらにどのような情報にアクセスすべきかも提示するので、現場感覚に立ったスピーディな意志決定に貢献できる。

○以上を要約すると図表Ⅲ-2-15のようになる。



図表Ⅲ-2-15 知的経営支援システム

1.2.4 COMPASSの開発成功の意味するもの

- 松下の経営理念の実践ツールとして、経営トップを始めとする各階層のマネジメントのニーズやノウハウをコンピュータ先端技術と融合させたいこと、とくに経営計画や経営検討といったマネジメントの最も重要な領域の業務の効率化と思考プロセスの高位平準化をコンピュータを武器にして実現したいこと。
- すなわち、情報システム化の最も困難でいまだどこも成功していないマネジメント領域になんとしてもコンピュータの先端技術の導入に成功し、経営管理層の知的・創造的活動を支援強化したいと言うことと同時に、その前提として最も時間と手間のかかる事業計画策定業務や決算分析検討資料の作成過程を可能な限り自動化することにより、当該責任者に対し、さらに高度な討議対策等により多くの余裕を創出したいこと。
- このことを念のために業務の観点から言えば、仕事をしている人が主体者となって、現在最も困っていることで、かつ最も願望の強い業務に関してコンピュータを武器とした革新に挑戦したわけである。
- なお、経理担当の平田取締役が“それは面白い考えだ”と言って予算をつけ励ましてくれたこと、本社経理部の松田部長が暖かく、かつ厳しく指導してくれたことが推進の大きな力になったのは言うまでもない。

1.2.5 COMPASSの背景

- 従来の情報化は概ね各部門がシステム部門と一体になって、主に業務に関する大量データの高速処理を中心に進められてきたが、他方、経営の基本を検討する場である事業計画や、月次の経営検討あるいは日々の生産販売在庫進捗検討等では、現場第一線やトップ層で次のような課題が多く発生し、その解決が強く求められていた。
- まず現場第一線では
 - ①何度も作成資料見直しや修正が要請され、そのつど莫大な労力と時間を費やしてホストコンピュータからの各種出力結果をパソコンで再入力・再集計したり、あるいはハンド作業を追加したりして各人各様の加工修正をしている。
 - ②各種コンピュータシステムが固定的かつバラバラでつながっておらず、そのための情報の共有化がされていないため、各部門で類似資料の重複作業をしている。
- 要するに情報が一元的に加工・管理できていないため、膨大な労力と時間を費やして膨大なペーパーが作成されるが、生産性は極めて低くなり、同時に経営に有効にフィードバックできない。
- 次にトップ層では
 - ①資料ばかり膨大にあるが、経営戦略上の本当の問題が分かりにくい。また欲しい情報が必要なときに手に入らないので、迅速で的確な意志決定や方向づけができにくい。
 - ②経営のトップポリシー、市場動向、生産実態等を迅速にブレイクダウンし、何度も試行錯誤を

くり返し、現場感覚でかつ科学的に課題を分析対応できる仕組やツールがないので、過去の成功体験や偏った情報源あるいはカンに頼りすぎている恐れがある。

○以上のような複雑多岐なマネジメントの現実の課題を背景に、その解決へ挑戦を試みた結果、前記のようなCOMPASSが誕生したというわけである。

どこの会社でもたぶん同じような問題があるだろうと思うが、当然のことながら取り組んでも必ずしもうまくいくというものではない。このことは進化論として述べたとおりである。日頃から経営理念の実現へ向けて緻密な経営管理が行なわれ、かつ情報システムの的にも周辺の個々のシステムがある程度揃い、パソコンやワークステーションの分かる人材のいる事業所において、一丸となって挑戦すれば成功の可能性が出てくる。言いかえれば経営管理がある程度のレベル以上ないと成功しない。

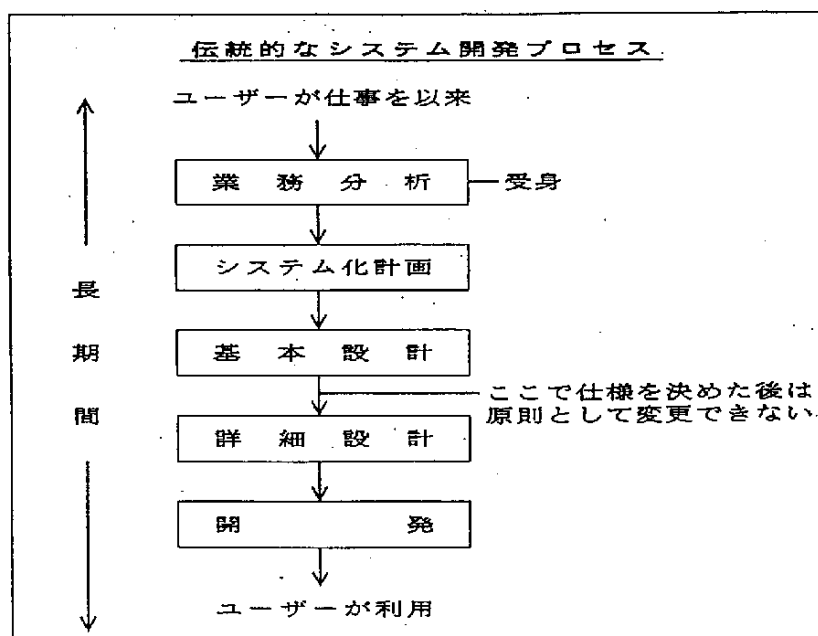
1.2.6 COMPASSの開発プロセス①

○これから、Beginning User Computingの代表事例であるCOMPASSを通してBeginning User Computingのためのシステム開発プロセスの特徴を述べてみたい。

COMPASSで初めて経験した開発プロセスによって、新しい時代の情報システム化の典型的な手法が見えてきたと思われる。

○まず従来の伝統的なシステム開発は概ね次の図表Ⅲ-2-16のようなプロセスである。

これだと、ユーザ側がシステム側に仕事を依頼してからユーザが利用するまでの間は概ねほとんどブラックボックスになっている。そして基本設計のあたりまでくると変更は困難になる。長時間かけて費用も巨額である。このようなやり方が必要な仕事は当然のことながら今もあるのだがウエイトは減ってきてつつある。今必要なシステムとはBeginning User Computingでやらなければならないものであり、それが急増している。

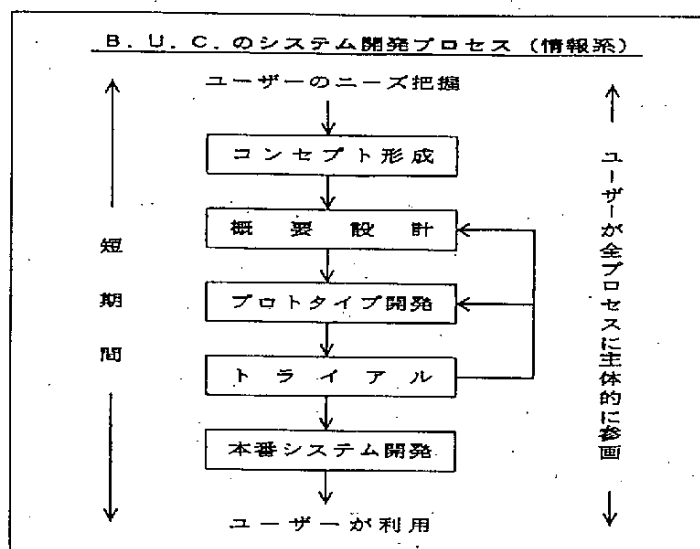


図表Ⅲ-2-16 伝統的なシステム開発プロセス

○Beginning User Computingのシステム開発は概ね図表Ⅲ-2-17のようなプロセスである。

この場合、ユーザに実際に何としてもやりたいこと、あるいは非常に困っている事実がある、それをまずしっかり把握しなければならない。そして全体的あるいは先見性をもってその解決策を考えていくことが開発プロセスそのものとなる。このプロセスの大きな特徴はコンセプト形成に多大な時間をかけるということと、プロトタイピングの手法を用いることの2つである。これはBeginning User Computingのシステム化を特徴づけ、かつ業務系システムと一線を画す最も重要なプロセスである。

ユーザつまり仕事をする人は、全プロセスに主体的に入りながら情報部門の専門の支援を受けつつコンセプトを固め、プロトタイプを開発・トライし、具合が悪ければまた元に戻るというやり方を何回もくり返していく。今回我々は使いやすいシステム、分かりやすいシステムをひたすら求めていくうちに、このようなやり方が有効であることが経験的に自然発生的にパターン化できた。



図表Ⅲ-2-17 B.U.C. のシステム開発プロセス (情報系)

○さて次に現実の開発場面を少し描写してみよう。

まずコンセプト形成にあたっては、ユーザとシステムとのミーティング・ヒヤリングが何回も徹底して行なわれ、何をしたいのか、業務目的、業務主体、活用場面、処理手順等を具体的に把握する。この場合システムでの実現可能性は離れて、真にユーザの実現したいことを業務の本質に追って議論しなければならない。日常はいつも当該仕事を全社的視野で眺めているわけではない。部分部分の専門家はいても全体を見ながら仕事をしている人は現実にはいないので、このプロセスは多大の労力と時間を必要とする大変な仕事であるが最も重要なステップである。

続いて課題の整理と対応策の検討へと進むが、この場合特に状況構築と構想化の能力が要求される。これも高度な能力であるが、この能力に欠けていると良いシステムにならない。そしてそれらの結果を系統的に翻案してプロトタイプとして、具体的なアウトプットの姿としてユーザ

に見せることになる。そうするとユーザにとってはゴールが非常に分りやすくなるので、知恵を付け加えることが容易になる。

そしてプロトタイプ→トライアルを何回も何回もくり返していく中から次第にシステムのイメージが固まっていくと同時に課題の共有化も図られていく。

このように従来の業務系システム開発ではほとんど考えられない開発途上の大きな知恵の結集や仕様変更が、Beginning User Computingの場合ではむしろ頻繁に行われる。ユーザはシステムを見たり使ったりして初めてニーズがより一層明らかになるということも現実である以上これらのことはシステムの価値をより一層高めるために極めて重要といえる。

○開発メンバーは概ね毎月2回位集まった。構成はユーザ部門およびシステム部門の責任者から担当者に到るまで、さらに必要に応じてトップも出席する。そしてワイワイガヤガヤと経営のあり方について語り合うのである。その中からコンセプトの共有化、新たな気づきや付加価値の創造が行われていく。かくして今後の新しい情報システムのあり方なり作り方を皆が肌で感じとりながら貴重な経験を積み重ねてゆく。そしてこれが今後の非常に大きな差別化のための財産となって蓄積されていく。

○なおここでぜひ一言付け加えておきたいことがある。それは良く質問されることであるが、「このシステムではどんなことができますか？」ということである。もちろんそれは非常に大切なことであり、ていねいに対応してはいるが、それに加えて、それ以上に重要なことは、このシステムに触発されて「自分は一体何をしたいか」を真剣に考えることなのである。案外このところを十分に考えないケースが目につく。時には意識して無視する人もある。そして当システムのアラ捜しだけで結局は何もやらない。このあたりの山をクリアするとシステム化のスピードも一気に早まり中身も充実してくる。当システムは、当事者たちが最もやりたいことに挑戦した結果なのである。そしてこのことが“仕事のできる人がコンピュータを使う”というBeginning User Computingの最も大切な本質なのである。

1.2.7. COMPASSの開発プロセス②

○次にCOMPASSを事例にしてBeginning User Computingの開発プロセスを、もう一つ別の側面から描いてみたい。

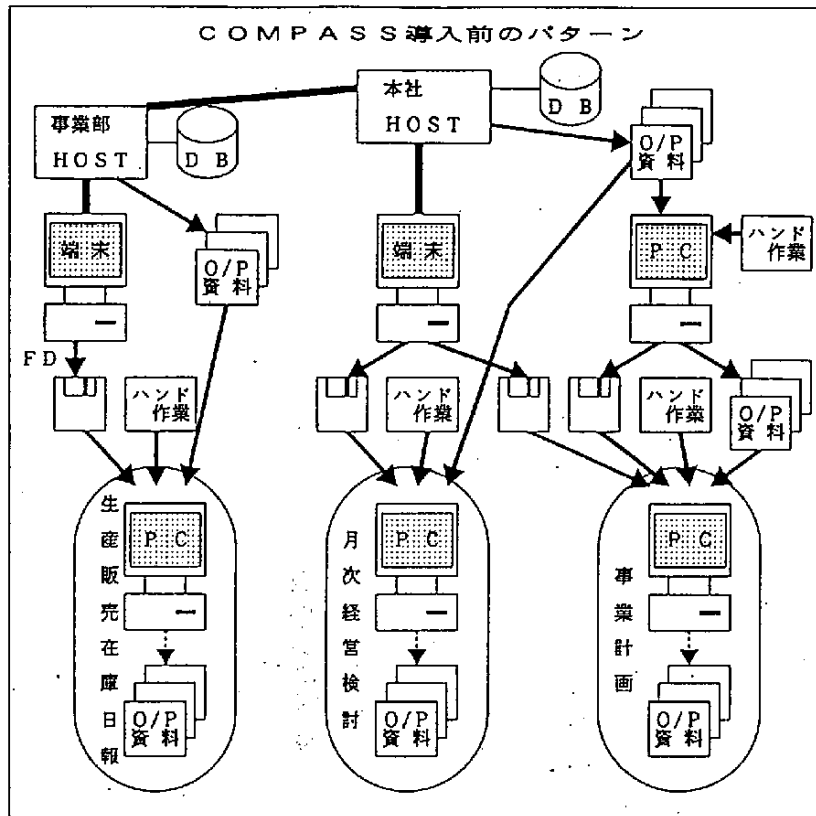
COMPASSの経験を通じて、新しい時代の情報化プロセスのモデルケースが見えてきた、あるいは創出できたのではないと思われる。

○すなわちCOMPASSの開発プロセスは次のように2段階をたどっていった。

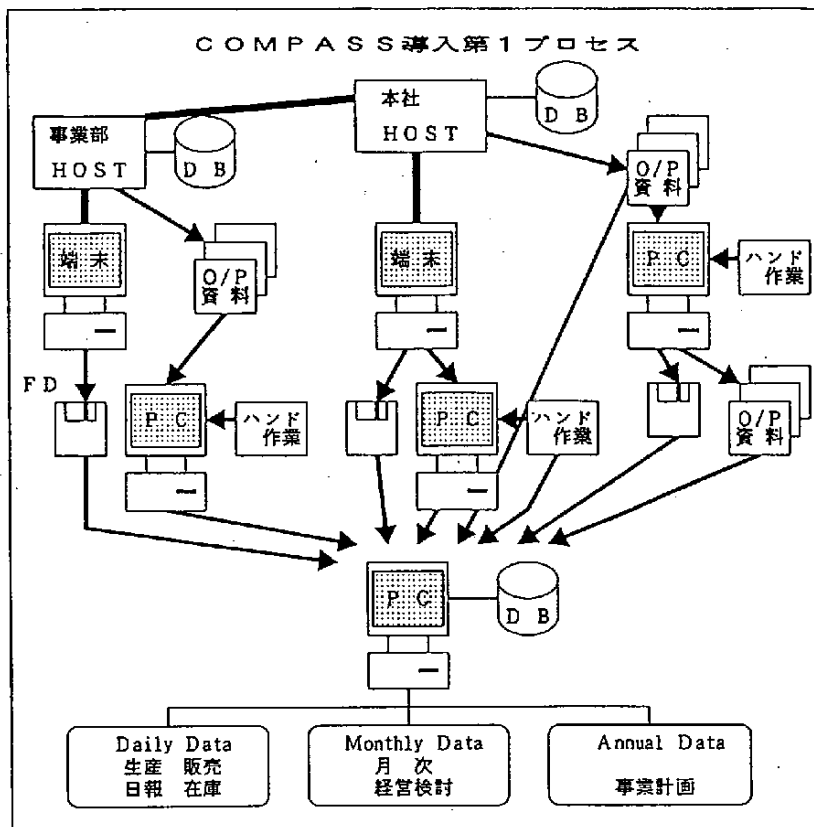
まずCOMPASS導入前のパターンは図表Ⅲ-2-18のようであった。

この場合、とにかくふりかまわずに、入力から出力に至るまで力仕事で各種経営検討資料を作成利用していた。どこの会社でも特に経営検討や、そのための資料作りは現在ほとんどこのような形になっているのではなかろうか。

○COMPASS導入第1プロセスでは図表Ⅲ-2-19のようなシステム化の進化を実現した。



図表Ⅲ-2-18 COMPASS導入前のパターン



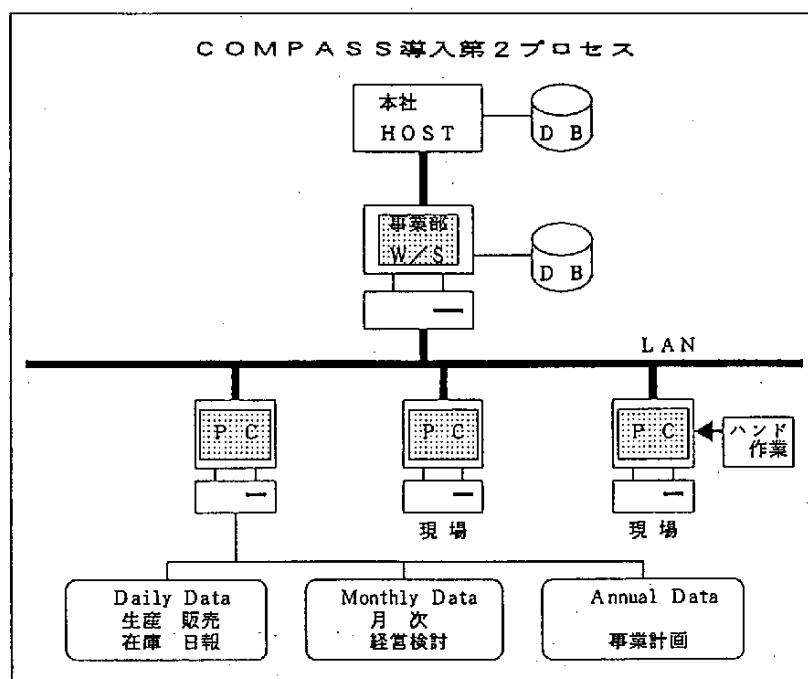
図表Ⅲ-2-19 COMPASS導入第1プロセス

この図からも分かるように、まず出力側の後工程から取り組んでいった。すなわちどのような出力が必要かを固めることからスタートした。その結果システムの目的が非常にわかりやすく、大勢の人々の意見を聞くことができたのである。これが大きな特徴である。そのためにデータベースを構築するための全ての入力情報を受け皿として一つのPCに統合化したのである。この過程で周辺システムの改善の必要が見えてくればそれも着手した。これにより、いわゆる後工程であるアプリケーション部分がまず実用的レベルに達し、先行した松下精工（株）では'90/1から遂に実用化に入った。出力は全てプロジェクターで投影され、検討会議もノーペーパーになったのである。それは画期的なことであり、内外に大きな反響を呼んだ。

なお、ここで非常に重要なことは、ハンド作業であれ、再入力であれ、とにかくデータを受け皿に流し込むということである。よく見受けることであるが、全てのシステムが揃ってから次のシステムを考えたりつないだりするという考え方にとらわれていると、COMPASSは極めて困難かまたは永久に不可能であろう。

○ところでこの段階では今述べたように入力される情報は、必ずしも事業計画や経営検討の目的に沿って一元的に整備されているとは限らないので、所要の目的である情報の一元化を行うためには第2プロセスが必要であった。

○そこでCOMPASS導入第2プロセスは図表Ⅲ-2-20のようなシステム化の進化を'93/5を目途に取り組んでいる。



図表Ⅲ-2-20 COMPASS導入第2プロセス

この段階では、情報はあらかじめワークステーション上に集め、業務内容、活用目的に即して加工し、それらの情報をワークステーション内のデータベースに持つ仕組みを作ること、さらにワークステーションに接続されたパソコンからユーザの求めに応じて随時迅速に所要の情報が取り出せること、これらの要請をかなえることが可能になる。こうなると第1プロセスでの問題は解決され、インフラ部分とアプリ部分の両面のバランスがよくなることが分かる。

○以上のようなシステム化のプロセスは、出来上がったものを眺めてみると当たり前に見えるかもしれないが、従来の発想の延長線上では概念的にも、技術的、コスト的に見てもその理解や実現は困難であり、さらにその普及拡大に際しては最も力を入れて訴えて行かねばならないのが現実である。

我々はあるべき有効な情報システム化を一心不乱に求め続けていくうちに、最近盛んに言われ始めているオープンシステムやダウンサイジングまで結果としてすでに実現してしまったのである。

1.2.8 COMPASSの成果

○全体・部門・個人・階層をデータベースとネットワークで結び、情報の共有化、課題の共通認識、議論しながらの経営検討や事業計画作りの舞台の提供、加えて自らの手で情報加工やシミュレーション等々、業務の効率と質の画期的向上への仕組みを提示した。

○経営ニーズや現場の課題に密着してコンセプトの形成からプロトタイピングの導入、システム本番に至るまでの新しいタイプの情報システム化のノウハウの蓄積を通じて、新しい型のマンパワーが誕生・育成されつつある。

○松下精工に続いて松下グループの複数事業場において導入が進み、大きなうねりを発生させることができた。

○要するに経営検討、事業計画等、経営の根幹に関して、経営データの蓄積と活用のための全く新しい具体的な構造とシステムをハード、ソフト両面にわたり提示し、その浸透が始まりつつある。

○情報システム部門とユーザ部門との新しい関係が始まり、ホストコンピュータやシステム部門中心のシステム化から、“仕事のできる人がコンピュータを使う”を核にしてユーザとシステムとの相乗効果が期待できる新しい関係へ向けて風土改革がスタートしつつある。

○学会発表や雑誌の紹介記事により、日本国内に大きなインパクトを与え、情報技術の進歩にも微力ながら寄与できた。

主な講演発表例を次に示す。

- ①91.11.26 大阪市立大学商学部「現代経営会計研究会」
- ②92.9.27 JASAG「第4回日本シミュレーション&ゲーミング学会」
- ③92.10.23 日本科学技術情報センター「第29回情報科学技術学会」
- ④92.11.24 関西生産性本部「11月例会」
- ⑤92.1.18 日本情報処理開発協会「第4回AI利用専門委員会」

1.2.9 今後の楽しみ

- ①当システムをよりスピーディ、より低コストでかつ早く普及するために、いくつかのパターン化した標準パッケージを開発する必要性が生じてきたので、'93/3から着手開始。これも画期的な取り組みと思っている。
- ②ニーズの把握からコンセプト形成に到るまでが最も大切かつ決め手になるので、トータルのシステム思考のできる人材を開発する。
- ③同時にシステムのメンテ・改善のできる、要するに仕事に分りコンピュータスキルに強い人材の育成を図る。
- ④Beginning User Computingに終わりはない。現レベルを基盤にさらに次の新しい進化へ向けて新たな模索を始める。

2 米国のAIの意思決定支援への応用事例

本節では、米国でのAI技術、特にエキスパートシステムの最近の応用事例を4つ紹介する。

2.1 顧客サービスへの応用

コンパック(Compaq Computer Corp.)は、1991年の3月に顧客サポートセンター(Customer Support Center)を開設して、顧客からの電話による相談の受けつけ範囲を従来の販売店だけでなく、最終消費者にまで拡大してこれに対応できる体制を実現した。これをスムーズにそして安価に実施するために、エキスパートシステムSMART (Support Management Automated Reasoning Technology)システムを開発した[1]。このサポート対象の拡大により、問い合わせの電話は倍増した。

従来からの方法では、急速に拡大する製品系列の知識とサポートすべき顧客の増大に顧客サポート要員の教育・訓練が追いつかず、効率的な対応ができないので、同システムが開発された。SMARTシステムは1991年8月からオンラインでのケース開発を開始し、その12月には最初のLANが完成した。

顧客からの問い合わせの電話があると、顧客サポート要員は電話で得られる情報を従来から利用されている応答記録(Call logging)システムに入力する。この段階で問い合わせに応じられる場合もあるが、これ以上の技術知識を必要とする場合には、顧客サポート要員はSMARTシステムを起動する。SMARTシステムは、応答記録システムに既に入力された情報を元にデータベースを検索し、類似のケースを探してこれらを類似度の高い順に表示する。類似度は両者の類似性を0から100までの数字に数量化したものである。

SMARTは、これらの可能なケースを弁別するのに最適な質問を表示し、顧客サポート要員が質問の答えを入力していく。答えの入力の度にSMARTはデータベースを再検索して類似度を再計算し、類似のケースを限定していく。類似度が70以上になると、SMARTはそれを答えとして表示するので、顧客サポート要員は表示された対策を顧客に回答する。その問い合わせが終了すると該当

するケース情報を応答記録システムに付記して終了となる。

既存のケースで該当するものがない場合には、顧客サポート要員は得られた情報をケース開発者に転送する。ケース開発者はそのケースを分析し、問題点を解決して新しいケースに作り直し、新ケースとしてケースのデータベースに追加する。ケース開発のスタイル（質問の順序等）、開発手続きも標準化されており、技術革新や製品系列の急成長に対応できるようなケースの迅速な開発を可能にしている。

SMARTシステムの特徴には次のようなものがある。第1に、従来、知識ベースシステム開発の障害には、知識の表現方法の選択や知識の普及のさせ方があった。しかしSMARTは、知識表現の方法をケースに統一することにより、知識の表現方法の選択の問題を回避すると共に、技術知識のない顧客サポート要員にも知識を扱い易くしている。

第2に、VAX上の既存の応答記録システムとの統合を実現している。SMARTシステムはVT220端末エミュレータ上でのWindowシステムで動作するので、Windowの動的データ交換(Dynamic Data Exchange:DDE)を介して既存の応答記録システムとのデータ交換を行う。

第3に、システムを出来るだけ既存の市販製品で構成して、カスタマイズはできるだけしないという、オープンアーキテクチャを追及して開発されていることである。このため、SMARTシステムは安価に早く実現し、将来の拡張や変更への対応力も残している。例えば、データベースは標準的な関係データベース管理システム(Sybase/SQL)を使い、通信プロトコルにはTCP/IPを使っている。

第4に、SMARTシステムの応答速度を高め、問い合わせの一貫性を実現するために、幾つかの工夫がなされている。まず、問い合わせの対象となるケースベースを9つの領域（NOVELL, LAN Manager, BANYAN, Unix, DOS, Windows, OS/2, ハードウェア全般、ソフトウェア全般）に分けている。次に、頻出の質問は該当する全ての質問で共通に使われるようになっている。更に、顧客サポート要員数の拡大に伴い、各々50以上の端末を繋ぐ2つのLANを構築した。各々のLANは同じファイルサーバとデータベースサーバを持つが、同期化プログラム(SYNC SMART)を使うことで両者の一貫性を維持している。

SMARTシステムは顧客サポート要員の対応能力を拡大し、投資は1年で回収できて、更に高い内部収益率や現在価値を実現するほどの成功を収めた。

2.2 為替取引での利用事例

MHT (Manufacturers Hanover Trust：マニファクチャラーズ・ハノーバー信託会社)では、外国為替取引支援にTARA (Technical Analysis and Reasoning Assistant)というエキスパートシステムを利用している[2]。為替取引の分析アプローチは2つに大別される。第1は、貨幣の需給を予測する事により相場の動きを予測するというファンダメンタル分析(Fundamental Analysis)であり、噂や専門家の意見等を含む多様な情報源からの多様な情報を総合して為替相場の動きを予想する。第2は、過去の為替市場の情報から為替レートを直接に予測しようとするテクニカル分析(Technical Analysis)

であり、為替市場についての過去の多量のデータを経験的に得られた多数のルールに当てはめたり、統計的に処理したりする。ディーラーは通常この両方を総合して予測する。

TARAは為替取引データをリアルタイムに処理して、テクニカル分析をするシステムである。過去の多量の為替市場データを経験的に得られた多数のルールに当てはめてリアルタイムに処理し、ディーラーの意思決定に供すると共に、多数のルールの自動改訂を行う。このようなリアルタイムのルールの適用・更新は従来は不可能であったが、エキスパートシステムを応用することで可能になった。

TARAプロジェクトは1987年1月に発足した。Symbolicsコンピュータ上でLisp言語のエキスパートシステムシェルのKEEを用いて開発した。開発・運用上には様々な障害があった。技術的な課題は、為替市場データのリアルタイム処理と知識ベース処理を統合し、十分に早い応答時間を達成することであった。社会心理的な障害は、多様な癖を持つディーラーの関心と協力を得る事とディーラーの教育であったが、論理的で応答の早くフレンドリーなユーザインターフェースが幸いした。

TARAは次の4つのサブシステムから構成されている。(1)国際市場データ即時処理サブシステム、(2)グラフィックユーザインターフェース、(3)モデル開発最適化プログラム、(4)テクニカル分析とファンダメンタル分析による取引戦略知識ベース。TARAは複数の通過、債券、そして金利を処理して、30種類のテクニカル分析戦略をリアルタイムにあてはめて、売買の指示を提案する。判断に影響する複数の要素を同時に分析し、通過の種類や状況によってどの分析戦略(チャート)を使うべきかを提案するのに知識処理を使っている。

プロジェクト開始後6カ月後から試験と改良を始めた。What-if分析、過去の履歴データの分析が追加され、文字とグラフィックのユーザインターフェースが強化された。1988年の5月からTARAは本格的に運用を始めたが、システムの成績が良いので12月には1台のSymbolicsコンピュータが為替取引業務に追加導入され、更にもう1台が改良されて別の取引業務に投入された。

TARAは実際の運用で威力を発揮し、収益性の高い成功したシステムになった。またこのため、ディーラーにも受け入れられて日常的に積極的に使われるようになり、1988年末にはシステムの追加投入が要求される程であった。TARAが成功したのは次の3つの理由による。第1に経営者層の強い支持があり、必要な知識技術者とコンピュータ資源が優先的に投入できたことにある。第2に、最高のディーラーを中心に多数のディーラーの知識を投入して長期間に亘って改良を進めた。そして第3に、強力なAI開発環境が利用できた。

TARAのテクニカル分析は非常に強力で、客観的で完全な分析を提供する。しかし、主観的データや主観的判断を重視するファンダメンタル分析が弱い。この点を強化するのが今後の課題である。

2.3 営業支援での利用

食品のパッケージとしては従来から、瓶や缶が使われていた。デュポン(Du Pont)社はこれらに代わる食品パッケージとしての合成樹脂パッケージ市場を開拓する武器としてエキスパートシステム

を効果的に利用している[3]。デュボンが開発したシステムはPackage AdvisorというIBM-PC及びその互換パソコンベースのシステムで、顧客の要求する性能を備えた低価格の食品用合成樹脂パッケージを選択する。

食品用パッケージは用途に応じて一定の強度と酸素遮蔽性能を持たなければならない。このため、通常は構造樹脂(structure resin)と酸素遮蔽樹脂(oxygen barrier resin)とを組み合わせでパッケージを作る。しかしこの両者の候補は各20種ほどあり、その組み合わせは400種類ほどになる。各々の合成樹脂には耐熱温度や加工可能・容易性等の特徴があり、必要強度、食品の種類、保存期間、必要な酸素遮蔽能力、パッケージの使われ方（電子レンジやオープンにかける等）、その他（透明度等）の要素を考慮しなければならない。従来は営業担当者にこれだけの商品技術知識を要求するのは不可能であった。

デュボン社のPackage Advisorは、営業担当者が持ち歩くラップトップ・コンピュータに実装されるので、営業担当者は客先で顧客の要求（必要な性能）のデータを入力するだけで、顧客の要求と食品衛生に関する法的規制(FDA:Food and Drug Administration regulation)の要求を満たす合成樹脂の組み合わせとその価格を、価格が安い順に表示し、更に、使用上の注意を表示する。営業担当者はこれを合成樹脂販売促進に利用する。

Package Advisorが出力する素材の組み合わせはデュボン社の製品だけでなく、競合他社固有の製品も差別なく表示するので、客観的な評価システムとして顧客の高い評価を得ると共に、デュボン社の製品系列自体に対する信頼も得ている。このシステム自体が商品として価値があり、ライセンス提供の形で顧客に販売もされている。システム販売のための紹介ビデオも作られている。合成樹脂パッケージの利用者はこのシステムをその他の食品のパッケージの検討に利用する。

デュボン社は1987年5月からPackage Advisor開発計画に着手し、9カ月後の1988年2月に導入された。開発開始から3カ月後には最初のプロトタイプが完成し、その後プロトタイピングが繰り返された。プロトタイピングの過程で、最初は予想もしなかったパッケージ設計上の要因（例：取っ手の形や位置、積み重ねに対する剛性等）が表出してきたので、これらも最終的なシステムには組み込まれた。また、専門家の不正確・不完全な知識も明らかになった。更に、プロトタイピングの過程で顧客や営業部隊にシステムが紹介されたので、顧客の一部はシステムに強い関心を示し実用化を心待ちにするようになったので、これが後の導入をスムーズにした。

Package Advisorは、インフォメーションビルダー社(Information Builder Inc.)のLevel 5シェルによるフロントエンドのエキスパートシステム部分と、dBaseⅢのプログラムをClipperで翻訳したバックエンドのデータベース部分よりなる。フロントエンドのエキスパートシステム部分はユーザインターフェースであり、ユーザに必要な質問をして、処理に必要なデータを揃えてバックエンドに渡す機能を持つ。ユーザからの入力を最小限にして、出来るだけ入力データから推論されたデータでこれを補うように設計することで、ユーザの負担を最小限にするように努めている。

バックエンドのデータベース部分は、エキスパートシステム部分により起動され、2つのデータ

ベース検索を行う。最初に構造樹脂データベースが検索され、条件に合致する構造樹脂が抽出される。次に、酸素遮蔽樹脂のデータベースが検索され、ユーザの条件に合致し、かつ、構造樹脂と合成できるものが検索される。可能な組み合わせが見つかり、必要な酸素遮蔽樹脂の厚さとパッケージの原材料費が計算される。最後に見つかった組み合わせは費用の安い順番に並べ替えられ、フロントエンド部分に渡されて出力される。

Package Advisorの開発には結局5万ドルかかり、更に初期の改良に殆ど同額がかかった。しかし、システムを顧客に提供することに対するライセンス料金とシステム導入によるその他のマーケティング通信費の節約で、この費用はカバーされた。更に、Package Advisorは、次の3つの目標を全て達成した(1)酸素遮蔽樹脂の顧客に、デュボン社が技術的なリーダーであることを印象づける、(2)デュボン社製品系列の価値を示す、(3)合成樹脂の売上を伸ばす。同社の経営者は、Package Advisorの開発で、合成樹脂の売上高は3割増え、この結果、生産設備の増強が実現したと信じている。

更に、Package Advisorは、営業担当者の自信を高め、営業活動をより積極的なものにし、営業活動の効率を向上させた。同社の顧客とのマーケティング・コミュニケーションにおいて、これ以上の成功を治めたシステムは余りない。Package Advisor開発プロジェクト成功の鍵は、経営者の強い支持にある。専門技術者の慢性的不足と営業担当者の技術知識不足によるマーケティング活動の効率の低さが経営者にとっては最大の課題であったが、Package Advisorはこれを見事に解決した。

2.4 マーケティング分析での利用

ニールセン社(A.C.Nielsen)は、POSシステムで収集する多量のPOS(Point of Sales)データを分析してマーケティング・レポートを自動作成するシステムである、SPOTLIGHTシステムを開発してデータの顧客であるメーカーに提供している[4]。ニールセン社の情報工場(information factory)は、POSシステムによって小売店から多量のPOS情報を収集するが、その解析に専門家の多量の時間が費やされており、その処理能力の限界がPOSデータの有効利用の障害になっていた。SPOTLIGHTシステムの導入により、従来1件当たり2～4週間かかっていたレポート作成が15分から数時間で出来るようになった。

SPOTLIGHTシステムは、ユーザの要求に応じて様々な分析レベルでレポートを作成できる。製品次元では、標準バーコード(Universal Product Code:UPC)で識別される個別製品から製品系列、あるいは製品市場全体のレベルで対応できる。市場次元では、個々の小売店舗から地域、州、あるいは全米のレベルで対応できる。期間の次元では、1週間から125週間までのデータを保持している。そして尺度としては、価格や取引高のデータを持っている。これらのデータを利用して、SPOTLIGHTシステムは次の5種類のレポートを生成する。

- (1)概要(executive overview)：以下のレポートの中の重要情報をまとめる
- (2)製品別概要(product profile)：製品別の売上動向と主要な動きをまとめる
- (3)競合製品概要(competitive profile)：競合製品の売上と競争状況を説明する

(4)特記市場動向(exceptional market profile)：特殊な市場の動きとその説明変数を示す

(5)製品傾向図(product trend chart)：取引高、価格、販売促進等の事実を整理する

SPOTLIGHTシステムは、メインフレームとパソコンからなるシステムである。それは以下の部分からなる。

(1)メインフレームのデータベースから必要なデータを抽出する部分

(2)メインフレームとパソコンの間でデータや指示情報を交換する部分

(3)ユーザインタフェース部分

(4)P C上でデータ検索をしてエキスパートシステムにデータを渡す部分

(5)エキスパートシステム部分

(6)出力整形部分

SPOTLIGHTシステムの特徴は次のようにまとめられる。

(1) データを分析して情報を抽出する部分がルールベースのエキスパートシステムになっているので、ルールの変更が容易である。

(2) 既存の市販パッケージを組み合わせてシステムが構築されている。例えば、メインフレームとパソコンの間でデータや指示情報を交換する部分はSIMPCという通信パッケージが、出力整形部分にはCHARTMANというグラフィックパッケージとWordPerfectというワードプロセシングパッケージが、エキスパートシステム部分にはECLIPSEが使われている。商用パッケージの利用は開発期間を短縮すると共に、処理結果の修正やカスタマイズを容易にする。

(3) エキスパートシステムの判断結果はコード化されていて、そのコード値によって出力する文章、グラフ、表が選択されるので、出力の修正が容易である。記憶されている文章を変えることで、異なる言語にも容易に対応できる。

(4) オブジェクト指向でシステムが構築されている。システムを構成する全てがオブジェクトとして作られているので、保守、修正が容易である。

(5) 導入や利用に当たっての訓練が僅かですむように設計されている。拡張メモリを追加しなくても、IBM-PC及びその互換機上で動作する。利用のための訓練は1日あれば十分である。

上記のような特徴により、SPOTLIGHTシステムの開発は48人／月で完成した。このシステムは顧客に非常に好評で、開発費用はたった6カ月で回収してしまった。例えばあるメーカーはSPOTLIGHTシステムを250の代理店と19の地域センターにマーケティング分析用に配布して使わせている。このシステムの成功により、ニールセン社は今後更に知識ベースシステムを開発・提供していく予定である。

<参考文献>

- [1] Acorn,T.L. and Walden,S.H. : SMART:Suppor Management Automated Reasoning Technology for Compaq Customer Service, in Scott,A.C. and Klahr,P.(eds.), Inovative Applications of Artificial Intelligence 4, AAAI Press, 1992.

- [2] Byrnes,E. et al : TARA: An Intelligent Assistant for Foreign Traders, in Schorr,H. and Rappaport,A.(eds.), Inovative Applications of Artificial Intelligence, AAAI Press, 1989.
- [3] Topolski,A.S. and Reece,D.K. : Packaging Advisor : An Expert System for Rigid Plastic Food Package Design, in Schorr,H. and Rappaport,A.(eds.), Inovative Applications of Artificial Intelligence, AAAI Press, 1989.
- [4] Anand,T. and Kahn,G. : Making Sense of Gigabytes: A System for Knowledge-Based Market Analysis, in Scott,A.C. and Klahr,P.(eds.), Inovative Applications of Artificial Intelligence 4, AAAI Press, 1992.

第3部 人工知能理論・技術の 経営意思決定への適用可能性

1 はじめに

1980年代に起こったいわゆるAIブームの中で研究・開発がすすんできた、人工知能技術は、特に、エキスパートシステム技術は、工学的な問題を扱う限りにおいて、着実にさまざまな分野に浸透してきている [1]、[2]、[3]、[4]。人工知能技術に基づくシステムは、従来、専門家の特定のタスクを代替・支援することを目的としていた。これは、コンピュータによる対象タスクの自動化・効率化をめざすものであったといえよう。

それに対して、企業経営などの非技術分野における意思決定問題に人工知能理論・技術を適用することを考えると、このような従来のアプローチに加えて、道具としてのコンピュータを使いこなすための視点が重要となる。このような問題は、Simonの言う「人工物の科学 (Sciences of Artificial)」 [5] を対象としており、従来のエキスパートシステムが対象にしてきた分野・タスクに比較して、はるかに定義しにくく構造が不明確なためである。もちろん、知識システム技術は、悪構造の問題に新しい接近方法を与えた [6]。しかし、完成したシステムがコンピュータ上のものである限りにおいて、そのシステムの抜いうる問題は、もはや構造・定義が明確な良構造・良定義の問題になっている。悪定義・悪構造の程度が強い問題については、アプローチの方法はあきらかになっていない [7]。

それでは、経営意思決定の分野では、人工知能理論の適用は本質的に難しいのであろうか。第1部で述べたように、経営意思決定問題の解決には、人間の直観的思考と論理的思考能力の両方が必要である。コンピュータによって人間の直観的思考を援けるとともに、論理的思考能力を増大させることはできないのだろうか。実際のところSimon等の目指した「人工物の科学」は、このような経営意思決定問題を科学的に扱いたいという望みから出発している。

第3部では、人工知能を記号処理を中心とした問題解決のための理論・技術であると定義し、経営意思決定分野にこれを適用するための諸問題について議論する。以下では、現在の人工知能理論・技術の位置付けについて考案する。ついで、意思決定問題のもつオープン性とそれに対する人工知能理論を適用した解決の可能性について述べる。さらに、日本型の意思決定方法と人工知能理論の関連性について論ずる。

2 人工知能理論・技術の経営意思決定における位置付け

人工知能に関連する事象を分析するには、科学、技術、ビジネスの3つの次元からの検討が必要である。[2]、[3]。科学の次元は、人間の知能の本質をさぐり、複雑な問題解決手法の開発と分析を行うものである。技術の次元は、理論的成果をシステム開発の道具となるように洗練し整備する

ことが目的となる。ビジネスの次元は人工知能技術を使った応用システムの実現と利用を目指すものである。

2.1 人工知能理論と経営意思決定問題

科学の点では、統計的な意思決定理論が古くから知られる [8]。しかし、これらの手法は定量的かつ定型的な情報に基づく意思決定を支援するもので、定性的、非定型的な問題を扱うことは難しい。そこで、最近では、意思決定論と知識処理技術とを融合して、資源制約あるいは不確実な情報のもとに意思決定を行う方式について理論的な研究が進展している [9]。

記号処理に基づいて経営意思決定問題を扱うアプローチも、もちろん存在するが、これに対しては、Winograd等は、たとえば [10] において、合理主義的な伝統に基づく人工知能研究の意義を否定して、人間同志の協同作業を支援する計算機システムの重要性を主張している。これは、Simon等の意識にもかかわらず、実際の複雑な意思決定問題については記号処理仮説 (Physical Symbol Hypothesis) が十分な成果を上げることができなかったという現実を反映している。その意味では、さまざまな人工知能理論は存在するものの、それらが経営意思決定問題の分析のツールとしては使われていないのが現状であろう。

しかし、最近では、分散人工知能の研究の中には、社会現象も含めて人工知能の研究対象としようという動きが活発になってきており、人工知能理論をこのような問題の分析に利用しようという気運は非常に高まってきているといえる [11]。

2.2 人工知能技術と経営意思決定問題

技術の次元では、経営意思決定問題に特化した、知識獲得や開発方法論が重要な問題となる。これは、[2]、[3]、[4] などでも議論されている人工知能のシステム化技術の問題であり、経営意思決定問題に特化される性質のものではない。すなわち、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。

その中では、分類型意思決定問題に関する限り、実際の経営意思決定の場面でも利用可能な技術が提供されてきている。このような問題については、統計的な手法、決定木を用いる帰納学習手法、ニューラルネット、エキスパートシステムなどの各要素技術は同列に扱うことが可能であり、対象とする問題のドメイン・タスクの性質に応じて適切な手法を選択できるレベルに達しているし、各手法間の関連性も明確になってきている [12]。

しかし、生成検査を伴うような、または、大規模な探索を伴うような意思決定問題については、他の分野と同様、決定的な手法は存在しない。経営意思決定問題を扱う場合は、問題の定式化の時点で分類問題への定式化可能性について検討することが重要である。

2.3 人工知能ビジネスと経営意思決定問題

ビジネスの次元では、いわゆるAIツールの開発・普及が問題となる。第2部で紹介したように、米国を中心にさまざまな意思決定支援用のコンピュータツールが発表されているし、それらを利用した応用システムの事例も多い。実際、最近の高機能なスプレッドシート・ツールをうまく使える場合は、小規模な問題であれば、知識技術者あるいはプログラマに頼らないシステム開発が可能となる。

ただし、これらのツールは、人工知能理論・技術の適用を表に出しているものは少なく、また、[2]、[3]、[4] に示したような最新の人工知能技術を実装したものは存在しない。これらのツールの機能の高さは、その利用者インターフェースの洗練によって達成されている場合が多い。したがって、悪定義・悪構造な問題に対する現在の意思決定支援ツールの適用可能性は必ずしも明確でない。

また、意思決定者は、重要な問題に対処するときには、コンピュータによる出力結果を無視して直観的な判断を下すことも多いので、ツールの導入に際しては慎重な態度が必要である。

3 意思決定問題のオープン性と解決策

経営意思決定問題に関連する非定型業務はそのドメイン・タスクの境界が厳密に定義できないという意味で開いたシステム（Open System）[13] になっている。そこでは、従来の人工知能システムが指向する自動化は実現できず、人工知能システムを含むコンピュータシステムは、組織構成員の情報を媒介することが重要となる。このような状況のもとで、人工知能システムを意思決定の枠組みに導入する意義は以下の3点にまとめられる。(1) 意思決定の対象となるデータや知識の範囲・規模を拡大する役割、(2) 従来からあるさまざまな意思決定手法・システム工学的手法を高度化する役割、(3) 高度な利用者インタフェースを提供する役割。また、それらの基礎となる人工知能理論としては、特に、分散人工知能、機械学習、発想支援が重要である。

3.1 意思決定の範囲と規模

第1部で述べた経営情報システムの分析にも見られるとおり、経営意思決定問題におけるデータベースの位置付けは非常に重要である。これは一つの企業組織に留らない広い範囲で必要となる。その一方で、データベースを柔軟かつ高度に利用するためには、データ量は少ないほど良い。これを達成するためには、「データベースからの知識発見」[4] とよばれる人工知能による情報圧縮技術の確立が重要である。

また、高度な処理を行うためには、問題解決知識が必要となるが、これを知識ベースにまとめるには、膨大な手間がかかる。分類問題に対象問題が定式化できる場合には、2で述べたような機械学習手法を適用することができるが、大規模な意思決定問題に対応するためには、人工知能技術として「大規模知識ベース技術」[4] の確立が望まれている。

3.2 意思決定手法・システム工学的手法の高度化

従来から行われていた統計的意思決定手法やシステム工学的手法を大規模な意思決定問題に適用しようとする、人手では手におえなくなる、距離的に離れた複数の構成員の意思決定への参加が不可能となるなどの問題が生ずる。これらの解決には、人工知能技術による情報処理の支援と情報の媒介が不可欠である。この点では、知識獲得の研究において、さまざまな支援ツールの開発が試みられている [1]。

さらに、開いたシステムのもとでは、それに関与する構成員の自由なコミュニケーションが必要となる。この手段として、電子メールシステムはすでに分散環境下における意思伝達手段として不可欠なものとなっているが、人工知能の観点からは、定型的なメール処理の自動化、小人数での緻密な情報交換の支援技術、グループウェアを利用した意思決定の支援技術などが必要となっている [11]、[20]。

3.3 インタフェースの高度化

経営意思決定問題に人工知能技術が利用されないのは、計算機と意思決定者との間の距離が大きいことも一つの理由である。これは、広義のインタフェースの問題である [14]。知的インタフェースの動向については、第Ⅱ編集第2部で詳しい議論がなされているので、一般論についてはここでは述べない。経営意思決定支援システムのインタフェース固有の問題点としては、対象のオープン性から、画面に表示しうる適当なメタファが存在しないことが上げられる。

3.4 人工知能理論の適用可能性について

分散人工知能 [4]、[15] は、複数の知的エージェントで構成されるシステムを記述・理解・解析する手法を提供するとともに、分散問題解決とマルチエージェントシステムの在り方を研究するための人工知能の分野である。企業組織における意思決定問題には、複数の構成員の協調作業が不可欠であり、分散人工知能は、これらをコンピュータで支援するための理論的基礎を提供できる可能性が高い。

機械学習 [1]、[16] は、従来、理論的な興味のみから研究が行われていた。しかし、学習可能なシステム実現に対する要望はきわめて強く、最近では、知識獲得支援の研究開発との流れとも合流して、さまざまな理論的実践的な成果が上がってきている。その中でも、分類問題に対する帰納的学習手法やデータベースからの知識発見手法は意思決定問題への適用可能性が高いと考えられる。

発想支援 [2]、[17] は、類推に関する理論的な研究と、グループウェアや人間機械協調問題解決 (CSCW; Computer Supported Cooperative Work) などの実践的な研究開発の中から生れてきた新しい人工知能のテーマである。これは、経営意思決定問題における生成検査的な側面を支援しうる理論として今後の発展が期待されている。

4 日本型の意思決定方法と組織知能

日本型の経営意思決定はボトムアップあるいはミドルアップ・ダウンの形式で行われることは良く知られている [18]。このような組織は自律性が高く環境の変化に対して柔軟に対応していくことができる。これは、人工知能技術などをはじめとする新規技術・高度技術を組織へ導入し、根付かせることが容易であることを意味する。たとえば、Greeneは、日本の組織における人工知能技術の成功例について、経営的な立場から議論を展開し、日本企業の優秀さの根拠づけを行っている [19]。組織の問題を考えるに際しては、グループ作業の分析とそれを支援するシステムの実現が重要である [20]。また、組織論、経営論のテーマを人工知能研究の枠組みで研究しようという動きも表われている [21]。しかし、このような立場から経営意思決定問題の研究開発を進めるには、上で紹介した分散人工知能、機械学習、発想支援など、現在の人工知能が提供できる理論的な枠組みは、あまりにも貧弱である。

そこで、経営学的な組織研究と記号处理的な人工知能研究との中間的な位置付けとして、最近、組織知能 [22]、[23] の概念が経営意思決定の分野で注目されている。組織知能とは、組織が総体としてもつ知的な問題解決能力として定義される。これは、人間の知能と機械のもつ知能（人工知能）とがからみあった集積体として把握することができる。組織知能の実現には、人間と計算機との協同作業や、両者のもつ知識の統合が不可欠である。たとえば、丹羽は、知識共有システムの概念を提案している。これは、計算機上に実現された知識ベース群とそれに不足する知識を補う人間との情報交換と知識の共有を実現することで、組織知能を実現使用というものである [24]。

今後は、このような組織研究の立場から、(1) 人工知能技術を用いた高度なグループウェア、(2) 組織構成員の分散・協調作業の理論的な意義づけ、(3) 問題解決システムまたは学習システムとしての組織の役割の明確化、などの研究開発が進展することが期待される。

5 おわりに

第3部では、記号処理を中心とする人工知能理論・技術に範囲をしばって、これが経営意思決定問題に果たす役割について考察した。このような分野の問題は、1980年代のAIブームにもかかわらず、ほとんど研究開発がなされていない。しかし、ここで議論したように、経営意思決定問題に人工知能理論・技術を本格的に適用するための状況は整ってきていると考えられる。

最近のAI Journal誌で、Bobrowは、人工知能の研究テーマとして2点を指摘している。それは、「特殊化」と「統合」の概念である。真の人工知能システムを実現するためには、対象問題を分析することで、一般化された人工知能理論を目的に合わせて特殊化し、同時に、問題解決には領域に特化した知識を用いなければならない。一方では、問題を解決するためには、さまざまな知識表現形式を統合するとともに、記号処理以外の手法を取扱う必要もある。この中で、もっとも重要かつ困難な統合対象が、人間の行為とコンピュータシステムとの統合である [25]。経営意思決定問題はまさにこの範疇に属している。今後の一層の研究開発を期待したい。

<参考文献>

- [1] ICOT-JIPDEC AIセンター（編）：人工知能の技術と利用－AI白書－.1990.
- [2] ICOT-JIPDEC AIセンター（編）：AI白書－人工知能の技術と利用－.1991.
- [3] ICOT-JIPDEC AIセンター（編）：AI白書－人工知能の技術と利用－.1992.
- [4] ICOT-JIPDEC AIセンター（編）：AI白書－人工知能の技術と利用－.1993.
- [5] Simon,H.A.（稲葉元吉、吉原英樹（訳））：新版システムの科学.パーソナルメディア、1987.
- [6] 寺野隆雄：知識システム開発方法論.朝倉書店、1993.
- [7] Davis,R.,Shrobe,H.,Szolovits,P.:What Is a Knowledge Representation? AI Magazine, Vol.14,No.1,pp.17-33,1993.
- [8] 石谷久、石川眞澄：社会システム工学.朝倉書店、1992.
- [9] 榎本哲夫：意思決定論に基づく異種情報源の融合と協調、計測と制御、Vol.32, No.3,pp.229-236,1993.
- [10] Winograd,T.,Flores,F.,（平賀譲（訳））：コンピュータと認知を理解する。産業図書、1989.
- [11] 竹内郁雄（編・監修）：AI奇想曲.NTT出版,1992.
- [12] 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.
- [13] Hewitt,C.:Offices Are Open Systems.ACM Trans.Office Information Systems,Vol.4,No.3,pp.271-287,1986.
- [14] Norman,D.,（野島久雄（訳））：誰のためのデザイン？新曜社,1989.
- [15] 人工知能学会誌：特集「分散人工知能」.Vol.5,No.4,1990.
- [16] 人工知能学会誌：論文特集「学習」.Vol.7,No.6,1992.
- [17] 人工知能学会誌：論文特集「発想支援システム」.Vol.8,No.5,1993.
- [18] 野中郁次郎：知識創造の経営、日本経済新聞社、1990.
- [19] Greene,R.T.:Implementing Japanese AI Techniques-Turning the Tables for a Winning Strategy.McGraw-Hill,1990.
- [20] 西垣通（監修）：組織とグループウェア.NTT出版,1992.
- [21] Masuch,M.,Warglien,M.(eds.):Artificial Intelligence in Organization and Management Theory,North-Holland,1992.
- [22] オペレーションズ・リサーチ：編集：組織知能.Vol.33,No.3,1988.
- [23] Matsuda,T.:Organizational Intelligence:Its Significance as a Process and as a Product. Proc. International Conference on Economics/Management and Information Technology'92,pp.219-222,1992.
- [24] Niwa,K.:Knowledge Sharing Systems for Organizational Intelligence.Proc.International Conference on Economics/Management and Information Technology(CEMIT)'92,pp.227-230,1992.
- [25] Bobrow,D.G.(ed.):Special Volume:Artificial Intelligence in Perspective.Artificial Intelligence, Vol.59,Nos.1-2,1993.

— 禁無断転載 —

平成 5 年 3 月発行

発行所 財団法人 日本情報処理開発協会
東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号
機械振興会館内
電話 (0 3) 3 4 3 2 - 9 3 9 0

04-R 011