資　料

人間主体の知的情報技術に関する調査研究

平成１０年３月

財団法人　日本情報処理開発協会
先　端　情　報　技　術　研　究　所

財団法人
図書
日本情報処理開発協会

KEIRIN

この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

人間主体の知的情報技術調査ワーキンググループ

主　査	奥乃　博	日本電信電話（株） 基礎研究所 情報科学研究部　主幹研究員
委　員	大須賀　昭彦	（株）東芝　研究開発センター S&S研究所　研究主務
〃	加藤　俊一	中央大学　理工学部 教授 電子技術総合研究所　知能システム部 ヒューマンメディアラボ　ラボリーダー
〃	國藤　進	北陸先端科学技術大学院大学　情報科学研究科　教授
〃	杉本　重男	図書館情報大学　図書館情報学部　助教授
〃	長尾　確	（株）ソニーコンピュータサイエンス研究所 リサーチャー
〃	速水　悟	電子技術総合研究所　知能情報部　主任研究官
〃	宮崎　収兄	千葉工業大学　工学部　情報工学科　教授
〃	森下　真一	東京大学　医科学研究所　助教授
〃	山名　早人	電子技術総合研究所 情報アーキテクチャ部　主任研究官
〃	横田　実	日本電気（株）C&Cメディア研究所　担当部長
幹　事	山上　宣彦	（財）日本情報処理開発協会 先端情報技術研究所 技術調査部主任研究員
〃	武田　浩一	（財）日本情報処理開発協会 先端情報技術研究所　技術調査部主任研究員

人間主体の知的情報技術に関する調査研究

目　次

1　総論

1.1　調査ワーキンググループ設立の動機 ……3

1.2　調査の概要 ……3

1.2.1　調査方針 ……4

1.2.2　調査対象 ……4

1.3　調査活動の経緯 ……6

1.4　調査結果の要約 ……6

1.5　調査結果の概要 ……9

1.5.1　データマイニング ……9

1.5.2　WWW情報検索 ……9

1.5.3　エージェント拡張現実感―エージェントによる実世界と情報世界の統合― …10

1.5.4　知的ネットワークエージェント ……10

1.5.5　マルチモーダル情報統合システム ……10

1.5.6　ネットワークとデータベース ……10

1.5.7　ディジタル図書館の立場から見た提言 ……11

1.5.8　個人の可能性を広げる情報基盤 ……11

1.5.9　知識創造プロセスとその支援環境 ……11

1.5.10　知的文書インタフェース ……11

1.5.11　大域文書修飾 ……12

2　米国の研究開発動向

2.1　はじめに ……13

2.2　CIC研究開発計画の概要 ……13

2.2.1　CIC研究開発計画設置の経緯 ……13

2.2.2　概要 ……13

2.2.3　プログラムコンポーネントエリア ……14

2.2.4　CIC研究開発計画組織 ……16

2.3　人間主体の情報処理技術分野における米国政府の研究開発 ……16

2.3.1　目標 ……16

2.3.2　HuCS領域の研究開発 ……17

2.3.3　1998年度のテーマ ……18

2.3.4　1997年度のHuCS領域の成果 ……22

2.4　おわりに ……24

3　注力すべき技術課題と研究シナリオ

3.1　データマイニング ……25

3.1.1　市場からのニーズ ……25

3.1.2　技術的シーズ ……26

3.1.3　今後の米国における方向性 ……35

3.1.4 研究開発が遅れている日本の課題 ……36
3.1.5 ビジネス的成功をねらうための一つの研究アプローチ ……36
3.2 WWW情報検索 ……39
3.2.1 はじめに ……39
3.2.2 World Wide Web ……39
3.2.3 WWW情報検索サービスの分類 ……41
3.2.4 WWW情報検索サービスの問題 ……42
3.2.5 分散型WWWロボット ……43
3.2.6 投機的情報検索 ……45
3.2.7 WWW情報検索サービスの未来 ……47
3.2.8 WWW情報検索のアプリケーションとしての重要性 ……47
3.2.9 分散コンピューティングへ発展するシナリオ ……48
3.2.10 おわりに ……49
3.3 エージェント拡張現実感—エージェントによる実世界と情報世界の統合— ……51
3.3.1 はじめに ……51
3.3.2 拡張現実感 ……52
3.3.3 拡張現実感の技術 ……53
3.3.4 拡張現実感の実例 ……56
3.3.5 エージェント拡張現実感 ……57
3.3.6 エージェント拡張現実感の実例 ……58
3.3.7 おわりに ……65
3.4 知的ネットワークエージェント ……69
3.4.1 概要 ……69
3.4.2 エージェントの定義 ……69
3.4.3 知的ネットワークエージェントへの期待 ……69
3.4.4 ネットワークエージェントの構成 ……70
3.4.5 知的ネットワークエージェントの応用分野 ……71
3.4.6 知的ネットワークエージェント開発の課題 ……72
3.4.7 国として取り組むべき課題 ……73
3.4.8 システム事例：知的ネットワークエージェントPlangent ……73
3.5 マルチモーダル情報統合システム ……78
3.5.1 はじめに ……78
3.5.2 研究状況 ……78
3.5.3 背景 ……80
3.5.4 技術的特徴 ……80
3.5.5 研究開発課題 ……82
3.6 ネットワークとデータベース ……86
3.6.1 これからの情報システム技術の課題とマルチメディア情報ベース ……86
3.6.2 ネットワークとデータベース関連技術の動向 ……87
3.6.3 日米欧比較 ……88
3.6.4 わが国として取り組むべき課題 ……90
3.7 ディジタル図書館の立場から見た提言 ……92
3.7.1 はじめに ……92
3.7.2 ディジタル図書館の研究開発活動—アメリカを中心として ……92
3.7.3 なぜディジタル図書館が重要か ……93
3.7.4 提言 ……94
3.7.5 おわりに ……96
3.8 個人の可能性を広げる情報基盤 ……98

3.8.1 「高度情報化」と「高度高齢化」……98
3.8.2 「高度情報化」の現状と問題点……99
3.8.3 人間中心型情報基盤の技術課題……104
3.8.4 事例研究「感性エージェントと新しいデータベースサービス」……108
3.8.5 プロジェクトの進め方と実証評価の方法論……117
3.9 知的創造プロセスとその支援環境……121
3.9.1 知識創造環境……121
3.9.2 要素技術……122
3.9.3 日米欧研究の現状……124
3.9.4 人間中心知的システムの胎動……126
3.10 知的文書インタフェース……128
3.10.1 情報電子化の時代……128
3.10.2 情報端末としてのパソコンの問題点……128
3.10.3 電子情報の世界と現実世界の融合……130
3.10.4 読み書きのための端末の必要性……130
3.10.5 電子文書のデータ形式……131
3.10.6 自然な操作インタフェースの実現……133
3.10.7 紙を目指した情報端末……134
3.10.8 国レベルでの研究推進の必要性……136
3.11 大域文書修飾（GDA）……139
3.11.1 はじめに……139
3.11.2 タグ集合とタグ付け……139
3.11.3 意味タギング……140
3.11.4 自然言語処理ツールの入出力の標準化と統合……144
3.11.5 応用……145
3.11.6 おわりに……146

4 海外調査報告

4.1 CIKM'97……149
4.1.1 概要……149
4.1.2 テクニカルプログラム……150
4.1.3 チュートリアル……156
4.1.4 GIS '97 ワークショップ……157
4.1.5 NPIVM '97 ワークショップ……162
4.1.6 セッション構成……164
4.2 COMDEX/FALL '97……166
4.2.1 概要……166
4.3 ICDE'98……168
4.3.1 概要……168
4.3.2 内容……168
4.4 Extempo社……172
4.5 Franz社……173
4.6 富士ゼロックス パロアルト研究所……174
4.7 スタンフォード大学 メディカル情報部門……175
4.8 スタンフォード大学 言語・情報研究センター……176

付録A 「データ工学国際会議 ICDE'98」出張報告……178

1 総　論

1.1 調査ワーキンググループ設立の動機

この数年の間にパーソナルコンピュータやインターネットが急速に普及し、情報処理技術の分野に大きな変革の波が押し寄せてきている。これにともない、従来、コンピュータとは縁の無かった人々が新しい利用者層を形成しつつあり、インターネットなどの開放型ネットワークを通じたコンピュータの新しい利用方法や使いやすさへの要求はますます強くなってきている。

このような中で、従来は種々の制約のために実現困難であった電子図書館、電子商取引、遠隔医療診断などをはじめとしたさまざまなサービスが、現実味をもって取り上げられるようになってきている。これらのサービスは、開放型ネットワーク上に構築された情報環境の中で提供されるもので、これらが身近に提供されるようになれば、経済的効果も含め、社会に大きなインパクトを与えることは間違いないと思われる。また、情報サービスの内容も大きな広がりを見せるものと予想される。

しかしながら、このように人々を取り巻く情報環境が豊かさを増すと同時に複雑にもなり、その結果、利用者はその情報環境の全容を理解することが困難になってきている。さらに、望む情報を得るためのコンピュータの操作も、実際には宣伝文句ほど容易ではなく、ますます複雑になっていき、習得が難しくなっているという状況も一方では生じている。

このように、情報技術を取り巻く状況は大きく変わってきており、新たなニーズに応え、課題を解決するために、従来の情報処理の理論や技術を超えた技術革新が求められている。

この機会を機敏に捉え情報処理技術のイノベーションの進展する方向を見定め、それに向かって適切な研究開発投資を行うことが、日本の将来の情報産業を発展させる鍵となる。

このような観点から、前年度のネットワーク及びＡＩ関連新技術に関する調査研究で、インターネットに代表される開放型ネットワークに関連する新技術、および、知的なユーザインタフェースを目指すＡＩ技術を中心に、将来の情報産業の土台を生み出すと思われる基礎技術分野や重要と思われる研究テーマについて検討してきた。

今年度は、それらの研究テーマを「人間主体の知的情報技術」として包括的に捉え、わが国の強みを踏まえた上で、さらに具体的な目的を持った応用に切り込んで、そこにおける新技術やその実用化に関して調査する。また、その研究を効果的に進めるに必要なインフラストラクチャの整備やそのような研究開発投資の将来における社会への波及効果について調査する。

1.2 調査の概要

本ワーキンググループで調査対象として取り上げるべき人間主体の知的情報技術は整理すると下記の4つの軸になろう。

1.計算機と通信ネットワークを通じて、人々が各種情報を容易に利用できるようにする技術
2. 人間の知的活動を増幅する技術
3. 使いやすさ、使い心地のよさを重視
4. 社会生活で幅広く利用できる情報環境を提供する技術

1.2.1 調査方針

・日本で国の研究プロジェクトを走らせる場合を想定し、研究テーマの新しい切り口を示して情報技術の研究シナリオを描く
・わが国が研究レベルにおいて米国などと互角のものをえらんで調査分析し、わが国の有するHCIS関連技術のどれを伸ばしていけばよいかを明らかにする
・潜在需要や需要シフトを捉え、研究を実施する動機を明確化する
・その技術がどのように役立つかをアプリケーションなどを示して明らかにし、社会への波及効果を分析する

1.2.2 調査対象

技術分野を下記の3つの技術を軸として整理してみる
・情報端末としてのコンピュータシステム（パソコン、モーバイル端末など）
・インフラストラクチャとしてのネットワーク、およびデータ／情報／知識ベース
・マルチメディアを対象とするヒューマンインタフェースおよびＡＩ技術
このワーキンググループでは主にこれらのミドルウェア層、および、ユーザインタフェース層を構成すると思われるソフトウェア技術、および関連する基礎技術に重点をおいて調査する予定である。
おおよその調査対象となると考えられる研究分野について以下にリストアップする。これらの分野、研究テーマの実現上の問題点、利点、社会的インパクト、研究開発投資額、期間などを分析する。
また、5年から10年先における基礎技術の開発に注目し、現在、商品が出ている領域は除外し、将来における土台となる技術をリストアップしていく。

1. ネットワーク上の処理を含むデータベース技術
・探索境界がオープンな分散データベース管理
・情報リポジトリ
・インターネット上の情報検索
・情報フィルタリング
・コンテンツ処理／意味理解
・データマイニング

2. ネットワークを含めたコンピュータの新しい利用形態
   ・エージェント指向コンピューティング
   ・発想支援、知的創造支援環境
   ・共同作業支援
3. マルチモーダル・インタフェース技術や関連AI技術
   ・音声、図形、画像などのパターン認識処理や知識処理技術の利用
   ・操作の簡単化のためのAI技術の利用
   ・状況依存処理
   ・仮想現実感
   ・拡張現実感
   ・感性情報処理
4. モーバイル・コンピューティング等の新しいコンピュータ技術と利用
   ・端末となるコンピュータとその機能（ユーザインタフェース）
   ・ウェアラブルコンピュータ
   ・ワイヤレス・ネットワーキング（媒体とプロトコル）
5. 社会サービスおよびそれを構成するに必要な情報処理技術
   ・電子図書館
   ・電子美術館
   ・遠隔教育システム
   ・遠隔医療診断システム
   ・高齢者介護
   ・その他の公共サービス
6. その他

本ワーキング・グループでは主にこれらのミドルウェア層、および、ユーザインタフェース層を構成すると思われるソフトウェア技術、及び関連する基礎技術に重点をおいて調査を行うこととした。つまり、ネットワーク技術の進展によりモーバイル・コンピューティング等の技術は、近い将来に実現可能なものと仮定をおいて、調査を進めた。また、5～10年先における基礎技術の開発に注目し、現在、商品が出始めようとしている領域は除外し、将来の基盤技術あるいは、新しい技術の萌芽となるような技術あるいは研究テーマをリストアップするように心がけた。

上述したように、人工知能およびネットワークに関連する研究分野は、拡大し、発展している。このような状況においては、わが国の研究開発力がすべての分野において卓越することは不可能と言っても過言ではないであろう。したがって、分野を選別し、選別した分野に人材費用という資源を集中化するという戦略が重要となる。本調査ワーキンググループでは、そのような戦略をたてるための調査を主眼とした。

1.3 調査活動の経緯

本ワーキンググループでは、まず、日頃の研究開発を通じて各委員が感じているこれからのネットワークと人工知能に関する問題意識や研究課題を持ち寄り、討論を行った。時間が限られているなかでの議論であり、また、関連する研究分野が多岐にわたるので、今期の調査では、深い問題の堀起こしというよりは、どのような問題があるのかを広く浅く調査することに重点を置いた。

本ワーキンググループの活動経緯は下記の通りである。

第1回会合	10/31	奥乃主査「聖徳太子コンピュータ」「情報科学辞典のオンライン化とその利用法」
海外調査	11/9～	宮崎委員、武田、「ACM CIKM'97」
	11/17	「COMDEX/FALL'97参加」
第2回会合	11/27	長尾委員「Agent Augmented Reality : Agents Integrate the Real World with Cyberspace」
第3回会合	12/16	山名委員「WWW情報検索システムの現状と投機的検索システム」
		杉本委員「ディジタル図書館に関する国際シンポジウムから」
第4回会合	1/23	森下委員「データマイニング」
		國藤委員「知識創造プロセスとその支援環境」
第5回会合	2/17	橋田講師「大域文書修飾」
海外調査	2/18～	奥乃主査、加藤委員、山上、「IEEE ICDE'98参加」
	3/1	米国カリフォルニア州ベイエリア調査

1.4 調査結果の要約

本WGの調査活動を通じて、次のような特徴が明らかになってきた。

1. 企業が意思決定に情報処理技術を活用し始めたこと。
2. WWWのような半構造化データが飛躍的に増えたこと。
3. テキストデータだけでなく、静止画像に加えて、動画像や音声などがインターネットで公開され始めたこと。
4. モバイルコンピューティングによって、情報サービスがいつでも、どこでも、誰でも、が強く意識され始めたこと。
5. エージェント技術が実用システムに応用され始めたこと。

意思決定への活用　企業が意思決定に情報処理技術を使い始めたということは、情報の食物連鎖という観点から見ると、次のように捉えることができる。企業が持つデータを電子化・オンライン化し、管理するのを情報処理の第1ステップとすると、組織内でそのようなデータを共有化するのが第2ステップである。第3ステップは、組織内で保有するデータを組織間で共有化し、取り引きの迅速化を図るのが第3ステップである。

生産・調達・運用支援統合情報システム（CALS[注1]）は、まさにこの第3ステップに対応する概念である。単純な電子的データ交換（EDI）に留まらず、データフォーマットの違いを認識し、それを相互で変換したり、さらには、使われている用語の違いを共通の用語（オントロジー）を介して、変換したりする機能も含まれる。

データが意思決定に使われるというのは、データベースからその持つ意味を引出して、判断を下す材料になるということである。上記の3ステップでは、データそのものを使用しているが、その持つ意味は不問に付されている。

エキスパートシステムが開発された動機の1つに、ルーチンワークはコンピュータシステムに任し、ルーチンワークでは片付かないような難しい作業に人が専念するというのがあった。今、大量のデータを前にして右往左往している状況を、その意味を解析して対処しようとしているのである。

情報検索では、元になる1次情報から、索引などの2次情報を作成して、1次情報へのアクセスを容易にする工夫がなされている。通常は2次情報までしか考えないが、1次情報や2次情報を活用して、データを解析し、意思決定のための情報を提供する3次情報も考えられる（図1-1）。

	情報検索	インターネット
用語	分類表	???（オントロジー）
1次情報	図書, 雑誌, 会議資料, 規格資料, 技術報告, 学位論文,政府刊行物, 特許広報, 新聞, …	ネットニュース, メール, WWW, Gopher, FTP, …
2次情報	図書目録, 書誌, 索引, 抄録, …	検索エンジン, カタログ, ディレクトリ, …
3次情報	弁理士業務, 経済アナリスト,	メタ検索エンジン, …
…		

図1-1 情報の食物連鎖

同様に、インターネットで提供される情報に対する検索でも、生のデータを1次情報とすれば、検索エンジンやカタログは2次情報を生成するシステムである。さらに、メタ検索エンジンは、検索エンジンから得られた情報を統合してよりユーザに意味のあるデータを提供する。これは3次情報を抽出することに相当すると考えられる。データマイニングは、この情報の食物連鎖をたどって行くことに相当すると考えられる。

このように情報処理技術は、コンピュータを使用することによって人間の能力が最大限引き出せるようにすることである。本WGで設定した人間主体の知的情報技術は、今後ますます重要になろう。

注1 CALS は、1985年頃、米国国防省の資材調達の効率化のために始まったシステムであり、Computer-Aided Logistics Support の頭文字である。それは、1988年頃には Computer-Aided Acquisition and Logistics Support を意味するようになり、1993年頃には、Continuous Acquisition and Life-cycle Support、さらに現在では、Commerce At Light Speed の略語と考えられるようになった。このように、国防調達システムから電子商取り引き（EC）へと発展していったわけである。

情報公開の意味　情報処理が重要であるといっても、その対象となるデータがなければ、情報の食物連鎖を辿ることは不可能である。インターネット時代になり、コンテンツビジネスの重要性が叫ばれている。しかし、コンテンツは新たに作らなくても、既存のデータをオンライン化すれば、コンテンツビジネスのチャンスは広がると考えられる。

1例として、米国の特許業務をあげよう。

米国特許商標局提供の過去二年間の特許情報を、米国政府の援助を受けたIMS 社が1993年頃から1996年まで提供していた。全文検索で検索された特許は、図を除く全文が無料で得ることができた。1994年1月1日から1995年7月末までの統計情報によると、総数158万8千件の特許、その総容量 37.7GBのデータが転送されたという。

この無料サービスの運用の結果、このようなサービスがビジネスになるということが判明したためか、米国政府は IMS 社への援助を中止した。代わりに1960年代から現在までの全特許に対して、アブストラクトの検索サービスをCNIDR (Clearinghouse for Network Information Discovery and Retrieval) で提供するようになった。

さらに、最近では、IBM 社 (http://www.patents.ibm.com/) からアブストラクトの検索と、画像イメージによる特許本文が提供されている。本文のテキストは、インターネットで無料では得られず、IBM 社のページあるいは、商用データベースから有料で入手しなければならない。

米国化学会のケミカル・アブストラクト・サービス部門（http://info.cas.org/chempatplus/）が提供している化学特許検索のサービス (Chemical Patent Plus) では、1971年からの米国特許が収録されており、93年1月からは、全ページが画像イメージとして入手できる (有料サービス)。さらに、化学式は、Java を使った3次元表示が提供されている。たとえば、マウスを動かすとそれに伴って、分子構造が回転をするようになっている。

このように、特許データベースが公開されたことを通して、さまざまなサービスが始まり、それに伴って、新たなビジネスチャンスが拡大していくと考えられる。また、情報処理技術を活用して、その検索や表示を工夫することによって、さまざまなサービスが派生することになり、それがさらに、新たな情報処理技術誕生の芽となっていく。

インフラストラクチャ　わが国でも情報公開法案が具体化しつつある。それにともなって、霞ヶ関の各官庁が保有する情報を活用した「行政情報市場」が拡大するのではないかと期待されている。また、衆参両議院の議事録や、地方自治体議会の議事録といった立法機関の情報、さらには、判例などの司法機関の情報が公開されるようになると、さまざまな情報市場が形成されていくと考えられる。

すでに、昨年度、判例を分かりやすく説明するエージェントシステムについては「平成８年度ネットワーク及びＡＩ関連新技術に関する調査研究報告書」（NAI-WG報告書）で報告をした。

また、公共的な企業が有するデータベース、たとえば、電力や電話用の電柱の位置を示すデータベース、が公開されると、電柱についているID から、その位置が知ることができ、GPS と併用すれば、モバイルエージェント (長尾委員の報告を参照) がより知的なシステムと発展していくことができよう。

次期の検討課題　人間主体の知的情報技術の研究開発は、技術が先にあるシーズ指向ではなく、応用がまずあるというニーズ指向が重要であると考えられる。とくに、重要なのは、応用がその有効性を確認するためのプロトタイプシステムの開発ではなく、具体的な製品やサービスに結び付いていくような研究開発に重点をおくということである。

各省庁とも保有データベースの電子化と公開を検討しており、一部はすでに公開されている。中には、公開しても民間では使われないからという理由で公開の対象が省庁内あるいは省庁間だけのものもあろう。しかし、どのような情報であれ、公開されれば、それを活用する分野はあるはずである。

次期は、具体的なデータベースとしてどのようなものがあるかを調査し、それらがどのような応用に使用することができるのかを検討していくのが、適切かと考えられる。とくに、情報技術の育成に直接の関係がなかった省庁では、適切な研究者との連携がうまくとれない可能性がある。そのような場合への対応、たとえば、データベースの保有者やファンディング提供者と研究開発者との情報交換の場を作っていくことも重要であろう。

1.5 調査結果の概要

調査報告では、下記の点に留意をした。

1. 特徴、利点、実現にあたっての問題点、実現時期、必要なインフラ、
2. 現在の研究状況、研究体制（産学協同、国際協同研究など）
3. 普及の条件、情報産業や社会への波及効果
4. 日米比較（技術力、市場の受け入れの容易さ、インフラなど）

各委員の報告の概要を以下に示す。詳細は、次章で詳しく述べる。

1.5.1 データマイニング ——森下委員

情報系データ処理の新しい流れとして注目され、現在市場が拡大しつつあるデータマイニングについて、以下の点をまとめる。

1. 市場からのニーズ
2. 技術的シーズ
3. 今後の米国における方向性
4. 研究開発が遅れている日本の課題
5. ビジネス的成功をねらうための一つの研究アプローチ

1.5.2 WWW情報検索 ——山名委員

World-Wide Web情報検索（WWW 情報検索）の最新動向をサーベイし、WWW情報検索の重要性と現在の

問題点を指摘する。そして、それらの問題点を解決するための試みの例として「分散型WWWロボット」及び「投機的情報検索システム」について紹介する。最後に、WWW情報検索を例題として、これからの研究開発がどうあるべきかを論じる。

1.5.3 エージェント拡張現実感—エージェントによる実世界と情報世界の統合— ——長尾委員

拡張現実感とソフトウェアエージェントの技術を統合して、人間と情報世界を密に結び付けるための技術を開発する。そのような枠組みをエージェント拡張現実感と呼ぶ。拡張現実感は実世界の状況や対象と情報とを結び付ける技術であり、エージェントはユーザーの意図を理解し、情報世界を探索する技術である。この両者の統合によって、ユーザーの実世界状況を認識し、蓄えられた個人情報を利用して、そのユーザーにとって適切な情報を見つけ出して提示する、新しいタイプのヒューマンセントリックな情報システムが実現できる。

1.5.4 知的ネットワークエージェント ——大須賀委員

人間のネットワーク活用を知的に支援するソフトウェアの実行形態のひとつとして、モバイルエージェントはネットワーク負荷の低減、リアルタイム性の向上、プロトコルのカプセル化に有効であり、システムに非同期かつ自律的な振舞い、環境変化への動的適応、異種システムとの相互運用性、頑健かつ耐故障性のよさをもたらす。このようなモバイルエージェントを中心に知的ネットワークエージェントのアプリケーション、実用化に向けた課題について述べ、エージェントシステムの実例としてPlangentを紹介する。

1.5.5 マルチモーダル情報統合システム ——速水委員

人間同士の対面対話において人は、音声言語を用いた情報伝達を行うだけでなく、視線や表情、身振りといったさまざまな情報をあわせて用いることで、コミュニケーションを行っている。こうした従来型のインタフェースを越えて、人間とコンピュータの新しいインタラクションを実現するものとして、画像、音声、自然言語などを用いた「マルチモーダル情報統合システム」に関心が高まっている。本節では、マルチモーダル情報統合システムの研究動向について、情報統合、ノンバーバルコミュニケーション、対話性の三つの観点から技術的特徴を整理して述べるとともに、研究開発課題について述べる。

1.5.6 ネットワークとデータベース ——宮崎委員

インターネットの普及に伴い、従来のデータベース管理技術を超えた広い意味でのデータベースと情報管理、利用の分野はますます重要になってくる。将来の情報システムは、誰でも、どんな情報でも、いつでも、どこでも、簡単で迅速に情報を利用できる方向に向かっている。このことを踏まえ、ネットワークとデータ

ベースの分野の技術動向を概観し、取り組むべき課題を検討する。

1.5.7 ディジタル図書館の立場から見た提言 ——杉本委員

海外で進められているディジタル図書館に関するさまざまな活動をアメリカを中心として紹介し、ディジタル図書館の重要性および必要とされる研究開発課題について提案する。

1.5.8 個人の可能性を広げる情報基盤 ——加藤委員

日本は世界一の高齢化社会となり、また、地球環境問題についても大きな貢献を期待されている。このような中で我々は発想の転換を求められており、新しい発想に基づく情報基盤の技術開発が必要である。この節では、高度情報化の現状と問題点を指摘するとともに、日本の社会が情報の利用を基礎において健全に発展していくために、各利用者の背景によらず個人の特徴に適応した情報環境として人間中心型情報基盤 HCII を提案する。また、このような技術開発を行うプロジェクトの進め方と実証評価の方法についても論じる。

1.5.9 知識創造プロセスとその支援環境 ——國藤委員

人間の創造的問題解決プロセスは、問題提起、知識収集、仮説生成、仮説検証のステップからなる。仮説検証のステップは、さらに定性的・論理的モデリング、定量的モデリング、そしてその結果を利用したシミュレーションに分けられる。これらを支援するツールおよび環境は、21世紀の社会を生きる人々にとって重要なものとなるであろう。将来的には、形式知のみならず暗黙知までも利用可能な環境を提供できるようになる。資源の少ない日本がこれからの分散と協調の時代に豊かな生活を維持していくためにも、知識創造支援グループウェアの研究開発が必要である。

1.5.10 知的文書インタフェース ——横田委員

文書は意志決定／コミュニケーションの基本データだが、その電子化において、

・パソコンは誰でも使える道具には進化していない。

・ワープロ等は進化するにつれ使いこなせないものになりつつある。

・電子出版，電子図書館など情報の電子化が進んでもそれを読む端末がない。

という問題意識から、

1. 読み書きのための情報端末の必要性
2. 電子文書のフォーマット，作成環境の問題
3. 自然な操作を実現するための知的支援

→人間の意図を抽出する認識技術，マルチモーダル技術の必要性

→内容理解のための文書構造を持ち込む必要性

4. 研究推進のための理由づけ

・エディタ（ワープロ）はパソコン利用の基本

・仮名漢字変換を必要とする日本語事情（非アルファベット文化圏）

・利益優先の企業ではできないテーマ

・人間の意図を汲むというAIの永遠のテーマへの挑戦

1.5.11 大域文書修飾 ——橋田講師

インターネットの普及により、ネットワーク上に膨大な文書が蓄積されつつある。インターネット上でユーザにより高度なサービスを提供するために、大域文書修飾は、文書データに対し現在の未熟な自然言語処理技術でも実用的に利用できる仕掛けの提供と、それを使った応用プログラムの開発、普及の推進を目的のひとつとしている。もうひとつの目的は、その応用を広く利用してもらうことにより、ネットワークに知識処理や自然言語処理の研究にとって有用なデータを蓄積することにある。この節では、そのような仕掛け、すなわち、大域文書修飾で策定している、文書の意味的・語用論的な構造を明示するSGMLタグ集合、および、ツール、応用について述べる。

2 米国の研究開発動向

2.1 はじめに

ここでは、米国の研究開発動向について、米国政府の進めているCIC（Computing,Information,and Communications）研究開発計画のうち、本調査研究に関連のあるものを中心に概観する。

CIC研究開発計画は現在、米国連邦政府の情報技術研究開発の中心的な計画であり、計算機システム、情報、通信分野における研究開発を推進することによって、将来に亘り米国の産業競争力を維持し、市民に豊かな生活をもたらすことを目標としている。その目標のひとつとして「情報へのユニバーサルアクセス（Universal Access to Information）」が挙げられている。これは、市民がいつでもどこでもあらゆる情報に容易にアクセスできるようにするというものであり、これを実現するためには現在のものよりも更に高性能な通信ネットワーク技術、開放型ネットワークに分散した情報を管理する技術、計算機の専門家やあまり計算機に縁のない人々にとっても使いやすい計算機システム技術が不可欠である。これらの技術のうち、高性能通信ネットワークは本調査研究の対象である人間主体の知的情報技術のインフラストラクチャとして重要である。また、他の2つの技術は人間主体の知的情報技術の主要なテーマである。

以下では、まずCIC研究開発計画全般について述べたあと、上記の観点から計算システムと通信ネットワークの使いやすさの向上を目指すHuman Centered System分野を中心にその目標と成果を概観する。

2.2 CIC研究開発計画の概要

2.2.1 CIC研究開発計画設置の経緯

米国では、国民的情報基盤の構築を国家戦略として、NII (National Information Infrastructure) 構想を打ち出し、それを実現する具体的な情報技術の研究開発計画である HPCC (High Performance Computing and Communications) 計画を1991年から1996年まで進めていた。HPCC 計画は、米国連邦政府の情報技術研究開発の中心的な計画であったが、多くの優れた成果をあげ、情報インフラストラクチャ構築の推進力となったという評価を受けた。そのため、1997年からは、計画および運営組織の構成が整理され、新たに設けられたCIC (Computing, Information, and Communication) 研究開発計画がHPCC のあとを引き継いでいる。CIC研究開発計画は5年間の計画で、21世紀の米国に安全で高水準の生活を提供するという目標にむけて、基礎的な研究からアプリケーション開発まで幅広いスペクトラムをもって資金援助が行なわれる。

2.2.2 概要

米国政府は21世紀に向けて、計算機科学、通信技術、情報技術に力を入れていくことが、科学上の発見や

産業の発展に貢献し、そして公共の利益となると認識している。強力な高性能計算機と高効率で低コストの計算機の開発、先端的ネットワーク技術、ソフトウェア技術、World Wide Web の急成長により、科学技術が比類ない進歩を遂げたばかりでなく、国民生活の中に情報技術を取り込んでいくことが容易になってきた。技術的、歴史的、社会的に大きな転換点となる現在、計算機、通信、情報システムの研究は、非常に重要である。

米国連邦政府のCIC（計算、情報、通信）研究開発計画は、米国における計算機科学、情報技術、通信技術の研究を進めるべく長期の研究開発に投資し、豊かな市民生活と米国経済の競争力を維持することを目標としている。研究開発には12の連邦省庁が参加しており、以下のことを目的として実施している。

・連邦省庁の任務遂行を支援
・長期の国家安全保障
・よりよい自然環境の理解と管理
・ヘルスケアの改善
・子供たちの教育の改善
・生涯学習および遠隔学習のツールの提供

実質的にリーダであり続けるためには、米国の大学、産業、政府が最も先端的な技術を最も容易に利用できるようにする必要がある。CIC 研究開発計画は、これらの技術開発を推進し、21世紀の米国における安全で高水準の生活にむけて注がれる主要な推進力となる。
計画に参画した連邦省庁の1997年度の予算は10億850万ドルであった。それに対して1998年度の大統領要求は11億370万ドルである。

2.2.3 プログラムコンポーネントエリア

CIC研究開発計画は、以下の5つの部分領域(PCA, Program Component Area)から構成され、21世紀に向けて、研究開発投資の舵とりを行なう。

・HECC (High End Computing and Computation)
　高性能計算分野
・LSN (Large Scale Networking)
　大規模ネットワーク（次世代インターネットイニシアティブを含む）
・HCS (High Confidence Systems)
　高信頼システム
・HuCS (Human Centered Systems)
　人間主導型システム

・ETHR (Education, Training, and Human Resources)

教育訓練、人的資源

以下に、各PCAについて述べる。

(1) HECC（High End Computing and Computation）

HECC 研究開発は、最先端ハードウェアとソフトウェアの革新、および、計算集約的ならびに情報集約的科学技術アプリケーションに必要なモデリングやシミュレーション用のアルゴリズムに対して出資し、情報処理分野における米国の指導的地位の礎を提供する。この領域の研究には、量子コンピューティング、バイオコンピューティング、光コンピューティングなどの先進的概念も含まれる。

(2) LSN（Large Scale Networking）

LSN研究開発は、ネットワーク技術、および、サービス、性能の向上をとおして高性能通信分野における米国の指導的地位を確保する。重要な研究開発領域には、大規模ネットワーク技術と管理、ネットワーキングソフトウェア技術がある。

(3) HCS（(High Confidence System）

HCS研究開発は、高水準のセキュリティ、保護、信頼性、情報サービスの回復性を達成するために必要な技術に注力する。これらの技術を使ったシステムは、構成部品の故障と悪意による操作に耐性があり、改造や構成変更による損害や脅威に対応できる。アプリケーションには、国家安全保障、法律の執行、生命および安全にかかわるシステム、個人のプライバシー保護、および国家情報基盤（NII）の重要な要素の保護がある。発電送電システム、遠隔通信、銀行業務、臓器移植、自動外科支援、運輸も高信頼情報処理および通信技術を必要とする重要なシステムである。

(4) HuCS（Human Centered System）

HuCS研究開発は、計算機システムと通信ネットワークのアクセスしやすさおよび使いやすさを向上させるものである。科学者、技術者、教育者、学生、労働者、そして一般大衆はHuCS技術の潜在的な受益者である。このような技術には、共同研究室、知識リポジトリ、情報エージェント、マルチモーダル対話（音声、触覚、ジェスチャー認識など）を可能にするシステム、仮想現実環境などがある。

(5) ETHR（Education, training, and Human Resources）

ETHR研究開発は教育訓練技術を向上させる研究を支援する。この領域には、カリキュラムの開発、および、計算科学、計算機科学、情報工学の奨学金、研究奨学金が含まれる。ETHRには情報利用による学習ツール、生涯学習、遠隔教育の研究とともに教育技術への学際的研究の適用も含まれる。これらの技術は科学技術教育の質を向上させ、市民の知識と生産性の向上をもたらす。

2.2.4 CIC研究開発計画組織

国家科学技術評議会（NSTC）の9つの委員会のひとつである計算・情報・通信委員会(CCIC)は、その下部委員会であるCIC 研究開発小委員会を通して、12の連邦省庁によって行われる研究開発計画を大学および産業界と調整する。CIC研究開発小委員会は各PCAに対応する5つのワーキンググループを有しており、5つの研究開発計画を直接運営する、実効的な事務部門である。各研究開発計画の企画、予算策定、実行、レビューを行なう。

1998年度は、組織の大枠では変更されていないが、いくつかの点で変更がみられる。変更のひとつめは、1997年度にあったFNC (Federal Networking Council)が廃止されたことである。FNCの研究開発に関わる部分はLSNに統合され、研究開発以外の部分は各省庁に移管された。ふたつめは、技術政策小委員会が追加されたことである。技術政策小委員会は、1996年度までのHPCC計画におけるInformation Infrastructure Task Forceの技術政策ワーキンググループである。技術政策小委員会は、関連する技術政策課題を見極め、処理、解決することにおいてCCICを支援する。もうひとつの変更は、高性能計算、通信、情報技術および次世代インターネットに関する大統領の諮問委員会の設置である。

この諮問委員会は、大統領令により1997年2月11日に設立され、21世紀において米国の繁栄のために肝要である情報技術の開発と利用を加速するために行政機関の活動を支援するよう要請された。この委員会は、科学技術政策局（OSTP）を通じて 国家科学技術評議会(NSTC) に助言を与えるものである。委員会のメンバーは著名な研究者と産業界のリーダであり、大学、通信ネットワーク産業、計算機製造業、娯楽産業、ソフトウェア産業、遠距離通信産業、および、図書館や医療などアプリケーションを利用する分野を代表している。ライス大学のケン・ケネディとサン・マイクロシステムズのビル・ジョイが副議長に指名された。

クリントン大統領は委員会を作成する政令の中で、以下の項目の独立査定を諮問している。

- 高性能計算および通信（HPCC）プログラムの実行の経過
- 次世代インターネットイニシアティブの計画立案と実行の経過
- HPCCプログラムの改善の必要性
- HPCCプログラムのコンポーネント間のバランス
- HPCC研究開発が先端的計算、通信技術およびアプリケーションの分野で米国の指導的地位確保に貢献しているどうか
- その他の問題

2.3 人間主体の情報処理技術分野における米国政府の研究開発

2.3.1 目標

HuCS研究開発の目標は、計算システムと通信ネットワークのアクセスしやすさと使いやすさを向上する

ことである。計算機および情報、通信技術は今日、非常に速く進歩しているが、HuCS技術は、市民がいつでもどこでも情報に容易にアクセスすることを保証する（情報へのユニバーサルアクセス）ために必要である。

2.3.2　HuCS領域の研究開発

Human Centered Systemは、情報へのユニバーサルアクセスを実現するために、開放型ネットワーク上に分散して情報を蓄積し、情報を維持管理するとともに、あらゆる利用者にとって使いやすいシステムを提供し、人間の知的活動を増幅する技術である。科学者、技術者、教育者、学生、労働者、一般大衆はすべて、HuCS 技術の潜在的な受益者である。1997年度の主なテーマを以下に挙げる。

・電子図書館プロジェクト（Digital Libraries Initiative）[注1]
　ネットワークアクセス用にディジタル形式で情報を収集、格納、組織化する先進的な方法を開発する大学主導の研究
・人間可視化プロジェクト（Visible Human Project）
　人間の組織体の解剖学上の構造をディジタルイメージで蓄積する図書館の構築、評価
・STIMULATE（Speech, Text, Image, and MUltimedia Advanced Technology Effort）
　計算機システムとのマルチモーダル対話

1998年度の HuCS領域の概要は、以下のとおりである。

・「知識リポジトリ」と「情報エージェント」
　大量のマルチメディア情報および複数情報源からの情報を処理、分析、提示する。
・「共同研究室」
　知識リポジトリへのアクセスを提供し、知識共有、共同執筆、遠隔器具の制御を容易にする。
・マルチモーダル・ヒューマン・システム対話システム
　音声、触覚、ジェスチャー認識、合成などのマルチモーダル・ヒューマン・システム対話を可能にするシステム
・バーチャル・リアリティー環境と、その科学研究、ヘルスケア、製造、訓練への応用

表2-1に、HuCS領域における12の参加省庁ごとに1997年度の決算と1998年度予算要求額を示す。
HuCS領域の予算は、CIC研究開発予算（1998年度大統領要求で11億370万ドル）の約1/4を占めていること、

[注1] 電子図書館プロジェクトは1998年に終了し、引き続いて電子図書館プロジェクトのフェーズ2（DLI2）が開始される予定である。DLI2は1998年から4年間の予定で行われる。助成機関もいままでのNSF、NASA、DARPAに加えて新たに議会図書館、医学図書館(National Library of Medicine)、人文基金(National Endowment for Humanities)も参加する予定であり、助成金も増額される。研究内容に関しても、技術的スコープを更に広げ、HuCSとしての電子図書館（経済的、社会的なコンテクストで評価のできる電子図書館）を目指し、プロジェクトに依存していたコンテンツから、さらに一般的なコンテンツを扱うようにテストベッドの相互運用性と技術の統合化を進めることをねらっている。

1997年度から1998年度にかけて増額しており、増加率（17%）が全体の増加率（1997年度は全体で10億850万ドルで、増加率は9.4 %）に比べても大きく、この領域が重要視されていると思われる。

表2-1　HuCS関連予算の年度別変遷（単位 百万ドル）

省庁名	1997年度	1998年度要求
DARPA	103.7	137.9
NSF	57.8	60.2
DOE	14.9	9.9
NASA	4.5	2.2
NIH	27.3	29.3
NSA	—	—
NIST	13.7	13.6
VA	1.8	9.2
ED	11.4	—
NOAA	0.5	0.5
EPA	0.6	—
AHCPR	4.2	5.5
TOTAL	240.4	281.3

2.3.3　1998年度のテーマ

HuCS領域の1998年度活動テーマを以下に示す。

(1)　知識リポジトリ

知識リポジトリはマルチメディアコンテンツ（テキスト、音声、画像、ビデオ）を含む巨大な電子的データベースで、さまざまなデータベース管理ソフトウェアを使う分散異機種計算機システムである。このような複雑なデータベースの管理を容易にする応用プログラムの必要性は非常に大きい。また、効率的なデータの分析と結果の提示を支援する知的な「情報エージェント」の応用プログラムにも大きな必要性がある。

DARPAにおける HuCS の技術的重点分野は、知的システムとソフトウェア開発、製造自動化と設計エンジニアリング（MADE）、言語理解技術に焦点を当てたテキストビデオスピーチ（TVS）技術、オンデマンドでロジスティクス情報を得る資源組織化である。

DARPAの知的システムとソフトウェア開発プロジェクトは、革新的ソフトウェアと知的システムの能力向上につながる新しい情報処理技術を開発するものである。高性能知識ベースライブラリなどの進歩により、情報システムは急を要する状況においていっそう効率的に意思決定を行うタスクを達成できるようになる。

また、計算集約的な防衛システムを支援するために、効率的なソフトウェア作成を支援する。

DARPAは、モジュール式のヒューマン・コンピュータ対話技術の研究を支援している。この研究により、文書理解、機械翻訳、音声理解の技術は、容易で、低コスト、すばやい技術移転とアプリケーション開発ができるようになる。また、情報の知的統合分野では、情報融合、集成、および、何百もの異種分散データ源からの情報アクセス、選別、統合を行う要約ソフトウェアをすばやく構築できるツールと技法を開発する。TVSの分野では、人間のオペレータの遂行能力を基準として用い、多言語のテキスト抽出と音声の筆写を行う最初のプロトタイプを開発する。

NSFの知識ネットワークプロジェクトは新しい世代のネットワーク、データベース、共同作業技術に焦点を合わせ、学習、知的システム、計算への新しいアプローチを強調する。

(2) 共同研究室

共同研究室は、地理的に離れたところにいる研究者が一緒に働き、同一の遠隔資源を利用することができる仮想的な研究室である。共同研究室は、知識リポジトリと情報エージェントを作る先進技術をもとに構築する。共同研究室はマルチメディア情報を作成する新技術も必要である。例として、DARPAのIntelligent Collaboration and Visualization がある。これは、遠隔器具を制御して、地理的に分散した研究者が自分の作業机から高価な研究資源にアクセスできるようにするソフトウェアばかりでなく、大規模分散システム上での先進的な共同作業のミドルウェアを含む。

DOEは、共同作業環境を支援する拡張性のある標準ベースのソフトウェアインフラストラクチャを構築している。これは、ATMにより省庁間に共同作業環境を用意し、最先端のアプリケーションを支援する。このソフトウェアインフラストラクチャは2つの国家共同研究室パイロット計画（ディーゼル燃焼共同研究室とMaterials MicroCharacterization Collaboratory）で試験されている。

(3) Regional Technology in Educational Consortia

教育省（ED）の Regional Technology in Education Consortia (RTEC) は、州および地方教育政府機関を以下の点で支援する。

・包括的な教育技術計画の発展
・既存資源の取り出し
・未来の技術的な必要と革新の予想

1998年度、RTECsは、インターネットと遠距離通信技術を含めていろいろな手段を通して、いっそう容易に教育者がアクセスできる最も価値のある技術資源を作ることにも注力する。

(4) マルチモーダル・ヒューマン・システム対話

今日のグラフィカル・ユーザインタフェースは、モニタ、キーボード、マウスの付いたデスクトップコンピュータを操作する熟練した健常ユーザを対象としている。あまり技術指向でないユーザでも計算能力を比較的安価に入手できるようになると、身体能力、教育、あるいは文化にかかわらず、熟練者にも初心者にも、

あるいは頻繁に使わないユーザにも容易にアクセスできるインタフェースが将来の洗練されたシステムには必要となってくる。また、目の不自由な人々はブライユ点字強化インタフェースを必要とし、タイプすることが不可能な人々は最近の視線追跡技術を必要とする。HuCS研究開発は、音声認識および合成技術を探究するとともに、表情、触覚、ジェスチャーで操作するコンピュータの研究を行う。このようなプロジェクトには、光学式文字認識（OCR）のイメージ品質効果の評価と試験の方法を開発するものがある。これにはDARPAが資金提供し、NISTが研究を行っている。NSFとEDのNational Institute for Disability and Rehabilitation Researchとの共同プロジェクトWeb Accessibility Initiative は、Webの発達がアクセス障壁を増大させるのではなく、取り除くことを目指している。

人間主体のアプリケーション開発環境は、ユーザに個々のニーズを満たすようにサービスと応用を適応させることができる。"More than Screen Deep" は、1996年、NSFによって支援された研究であるが、「ノマディック」（何時でも、どこでもアクセス可能な）コンピューティングに向かう一般的な動きも直接支援することを示している。HuCS研究は、無線を使う携帯型、腕時計型装置、また、家庭の器具に埋め込みの計算機システムを支援するインタフェースを含む。

音声、テキスト、イメージ、マルチメディア先進技術（STIMULATE）は、人間のコミュニケーションを調査し、コンピュータとの対話を改善しようとする大学研究者に資金提供する。NSF、NSA、DARPAは省庁連携プロジェクトを実施している。そのプロジェクトは、以下のものを対象としている。

・テレビ、ラジオ、新聞記事から速報をユーザに提供するフィルタ
・コンピュータ化された翻訳プログラム
・表情、ジェスチャー、音声イントネーションなどの人間のコミュニケーションを理解する「人間型」コンピュータ

(5) 仮想環境

1998年度の仮想環境研究開発は、仮想的に作り出される環境、先進的モデリング技術、仮想空間でのグループ共同作業に注力する。仮想環境は、コンピュータによって生成された多次元の対話的な「世界」で、ユーザの周りの光景がユーザの制御に応えてリアルタイムで変化するように作られる。このような制御により、運動感覚的深さ知覚を作り出し、ユーザが仮想環境にある仮想オブジェクトを直接操ることによって対話的に仮想世界を変更することができる。知的な実時間応答と仮想環境に埋め込まれた多次元感覚情報により、複雑な科学、医療、製造工程に関係する探求を容易にすることができる。

仮想環境の設計を支援するエキスパートシステムは、特殊作業用の複雑な環境を構築し、モデル化するために必要である。携帯型あるいは装着型の拡張現実システムは、現場で軍用あるいは民間用の装置を保守するような仕事で、人間の遂行能力を拡張することができる。これらのシステムは非常に正確な追跡と、仮想環境を注意深く実世界と整合させる技法が必要となる。また、高品質の視覚、力覚、触覚ディスプレイが必要となる。

HuCSにおける仮想環境研究開発では、新しい知識表現と共同研究室の技術を開発する必要がある。例えば、視界、聴覚、触覚から来る高品質の知覚情報は、計算機システムによって生成され、DARPAとNSFによって開発された特殊なインタフェース装置によってユーザに届けられる。これらの装置は、ちょうど実世

界と同じように仮想環境と相互作用しているという感覚をユーザに与えることができる。同時に、これらのツールはユーザの意思決定能力を拡大する「知能増幅」を提供するものである。

(6) 計画および管理における複雑な状況のシミュレーション

戦場管理と計画、非常時管理、複数省庁連携、産業における競合と協力は、HuCS 技術を必要とする連邦政府の別の応用である。これらの分野のそれぞれで、人間主体のシステムは、複雑な状況について情報豊富な概観を示すことができる。たとえば、訓練と評価のためにこれらの状況をシミュレートしたり、状況認識や意思決定のために実際の状況をモニタする実時間入力に使うことができる。これらのアプリケーションは、シミュレーションを生成し、保守する特別なオーサリングツールや、シミュレーションを詳細な階層に分割する能力も必要とする。例えば、製品製造では、これらの技術は製品のトータルライフサイクルを支援し、設計、開発、試験、製造、訓練と使用、維持管理と修理の各工程を改善することになる。

(7) 遠隔医療

遠隔医療は、患者と医師が別々の場所で、相談、診断、治療ができるものである。これらの活動で、イメージおよびさまざまな医療器械（例えば、MRI、断層撮影とソノグラム）からのデータが統合されて、3次元表示環境で見ることができる。例えば、このような先駆者的な3次元表示技法は、コーネル理論センターにおいて肺気腫と肺癌を診断するために使われている。

(8) 診断支援システム

患者のデータを有用でアクセスしやすい情報と知識に変換することは今日医療従事者の課題である。現在の病院関連の環境は、いっそう正確な診断、もっと良い治療計画、いっそう効果的な病気予防を成し遂げるために科学研究と融合する必要がある。

VA、NIHと組んで、Agency for Health Care Policy and Research（AHCPR）は、コンピュータ・ベースの患者記録アプリケーションと、医療従事者向へ診断支援システムの開発を行う。この研究開発の目的は、ヘルスケアの結果、医療の有効性、品質、コストを改善するために、コンピュータとネットワークの使用を評価することである。研究トピックには、旧システムからのデータ移転を容易にするオブジェクト技術、音声認識、医療専門家による本国帰還の慢性病と障害を持った母集団の遠隔モニタ、地域のネットワークの臨床医の間でコンサルテーションを行うためのマルチメディア電子メール、臨床医の間でいっそう効率的なコミュニケーションを可能にする知的辞書とネットワークがある。ヘルスケアデータのセキュリティ、プライバシー、保全性は地域リポジトリで管理される。そこではユーザ登録、認証にキーテクノロジーを用いている。

(9) 人間可視化プロジェクト（Visible Human Project）

人間可視化プロジェクトでは、NLM は人間の組織体の解剖学上の構造を蓄積するディジタルイメージ図書館の構築、評価を継続する。このような図書館で記述される生物学的構造を利用し理解するためには、解剖データを写真のようにリアルなイメージにして表示する医療画像処理システムと、先進的コンピュータ技術および通信技術とを統合し、容易に学生、研究者、医療従事者によって操作できるようにすることになる。

(10) SIMA:アプリケーションを生産するためのシステムインテグレーション

NISTのSystem Integration for Manufacturing Applications（SIMA）計画は、Manufacturing Collaboratory and Operator Interfaces for Distributed and Virtual Manufacturingなどのプロジェクトの産業界および大学の研究者とともに作業している。研究分野は、情報インタフェース、共同作業技術、遠隔操作、バーチャルマニュファクチャリングである。NIST は、先進的製造システム・アプリケーション間の相互運用性を向上させる方法の開発、詳細設計、検証、および展開を支援する。

2.3.4 1997年度のHuCS領域の成果

主要な成果を以下に示す。

(1) GALAXY会話システム

MITの計算機科学研究所では、DARPAの支援によりGALAXY会話システムを開発した。この研究は、音声認識と言語理解を用いてユーザとの対話できる会話システムの開発をめざしている。

(2) 気候視覚化システム（CLIMVIS）

気候視覚化システムCLIMVISは、ノースカロライナ州のAshevilleにあるNOAAの国立気候データセンター（NCDC）で開発されたもので、オンラインで利用可能な数値データを視覚的に表示する対話型のツールである。ユーザは、データと表示方法を選択するプロセスを行って、視覚的な表示を生成する。CLIMVISのようなシステムにより、人々が高度で複雑なデータベースを管理し利用することが容易になり、また、知的な「情報エージェント」がデータを分析し、結果を効果的に示すことができるものである。

(3) 知的な部屋（Intelligent Room）

「知的な部屋」では、その中で人々は通常と同じように話をし、身振り手振りで表現して活動することができる。特別なメガネを身につければ、そこから見える画像をとおして多くの計算資源および通信資源を自在に操ることができる。その部屋にいる人は、分散型共同作業活動などで問題を解くことに全力を注ぐことができる。また、精神的外傷の治療、危機管理、高速応答展開で行動訓練をすることが可能となる。知的な部屋は、先端的ヒューマン・コンピュータ対話および共同作業技術を探究している MIT 人工知能研究所のヒューマン・コンピュータ対話プロジェクトの一部で、DARPA によって支援されている。

(4) インターネットとVRML

UCSDとSDSCのチームはインターネットとVirtual Reality Modeling Language（VRML）を使って心理療法における視覚的合図の効果を調査しており、今回、VRMLを使って仮想都市の光景を作成した。アプリケーションには、高所恐怖症や他の恐怖症の治療などある。患者はその超高層ビルの最上階から見おろすことになる。

(5)　チェサピーク湾の仮想環境

NSFが資金提供しているチェサピーク湾の仮想環境は、音波データを対話的な仮想環境の中で利用することを目的とした、CAVE自動仮想環境（CAVE）ソフトウェア、Vis5D科学技術視覚化パッケージ、Vanilla Sound　Serverを統合する研究ツールである。これは、地理的に分散したユーザが高速ネットワークを通して計算機の操作や視覚化、また、リアルタイムにマルチモーダル対話できるようにする広域情報環境を一体化するものである。たとえば、大学の海洋学研究者がある施設にあるリモートのスーパーコンピュータ上で数値的シミュレーションを走らせていると、他の施設の研究者がそれを観察することができる。技術が改良されるにつれて、すべての研究者が有効性を最大にするように模擬環境を操作できるようになる。CAVEの3方向の壁と天井は、このタイプの研究に最適な環境を提供する。

(6)　電子視覚化研究所（EVL）

イリノイ大学シカゴ校の電子視覚化研究所（EVL）ではDARPAとNSFから支援を受け、高度に没入的な対話型環境でデータを探究するために、研究者は最新のコンピュータグラフィックスおよび対話型技術を使うことができるようになっている。EVLは計算機科学者が科学技術計算用の仮想環境ツールと技法を収集、保守、開発、分配、評価するインフラストラクチャを提供する。これらの中には、コンピュータ・ベースのモデル、シミュレーション、データライブラリ、プログラム作成用ライブラリ、ユーザ・インタフェースがある。ライブラリとユーザ・インタフェースには視覚、聴覚、触覚、および動きベースの情報出力装置も含む。CAVE の Multi Mega Book は別の時代、別の世界にいるような没入体験を作るために設計された。

(7)　人間の動きのシミュレーション

スーパーコンピュータで人間の動きをシミュレートすることによって身体の筋肉の力を推測することができる。テキサス - オースティン大学の研究者に NASA が資金提供しているが、さまざまな活動で筋骨格系の力を決定する制御理論と数学的なモデルを結合した。跳躍、歩行についてのグラフィカルモデルでは、ビデオテープに録画された被験者の映像から関節の角度を求めることができる。それぞれの筋肉は、腱を結んでおり、時系列の　3要素の骨格エンティティによって表される。跳躍している人物の3次元シミュレーションはIBM SP2で800時間を費やした。

(8)　ヘルスケアにおける HuCS 技術

HuCS 技術が肺気腫と肺癌の診断を支援する。近代的な 3次元放射線医療工学、特にコンピュータトモグラフィ（CT）と磁気共鳴（MR）画像処理は、診断映像で定期的に示されるものより多くのデータを得ることができる。たとえば、コーネル大学医学部からの肺の3次元画像では、癌の可能性のある小結節が明るい緑で強調されて、隣接した管と容易に区別できる。代表的な患者のデータベースと関連して使われる画像解析は、未来の医療分析、診断、意思決定支援システムの不可欠な部分である。NLMはヘルスケアでこれらの技術の使用を促進する。

(9) 生物学作業台（Biology Workbench）

イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校にあるNCSAの計算生物学グループが開発した生物学作業台は、共同作業用ソフトウェアツールであり、アルツハイマー病、癌、エイズなどの病気の治療法を見いだすために必要な情報に研究者と医者がアクセスできるものである。この作業台を利用することで、ユーザがブラウザで遠隔データベースのデータに効率的にアクセスし、処理することができるようになる。生物学作業台のホームページでは、研究者がタンパク質配列をWebベースのソフトウェアに入力して、必要な分子の3次元表示の位置を示すことができる。かつては分子生物学者が何週間もあるいは数カ月をかけて見いだしていたが、今や数分でできる単純な仕事となった。

2.4 おわりに

米国政府の掲げている情報へのユニバーサルアクセスは、市民が情報に容易にアクセスできることを目指すものであり、そこで鍵となる技術は、高性能通信ネットワークインフラストラクチャと人間主体の情報処理技術である。したがって、米国政府はそのような研究開発を推進していく必要があると考え、この分野の研究開発にかなりの予算を投入している。

このように、米国政府の研究開発では、市民に利益をもたらすことを市民にアピールする目標やビジョンを掲げ、情報通信技術を利用した将来イメージを示し、市民に対し研究開発の必要性を訴えるというやり方をとっている。従来、米国ではインターネットなどを始めとして軍事関連で研究開発予算を多くとっていたが、冷戦が終結し、軍事関連の予算は次第に取り難くなっている状況にある。このため研究開発の目標として公共の利益を前面に押し出すようになってきたのだと考えられる。このような米国の方針は、情報技術の研究開発の推進にとってたいへんうまくいっているように見える。

次の章で紹介されるように、本調査研究でとりあげている人間主体の知的情報技術分野は、日本でも技術的に引けを取らない分野だと考えられる。この技術的潜在力を引き出し、開花させるために、米国の研究開発のあり方は非常に参考になるのではないかと思われる。

3　注力すべき技術課題と研究シナリオ

3.1　データマイニング

3.1.1　市場からのニーズ

バーコードやクレジットカードなど最近のデータ収集技術の大幅な進歩と、記憶装置の劇的な低価格化により、情報収集はたやすい作業になり、山に例えられるほど巨大なデータ（数ギガからテラ）がすでに存在する。特に、従来は敬遠されがちだった、時間情報（タイムスタンプ）の入った履歴データの収集も可能になってきている。

この山のようなデータベースから属性やデータ間に成り立つ規則を絞りだし、例えば営業戦略を立案する上で役に立つ、規則・法則のたぐいを得たいという自然な欲求が生まれる。ただし現行のデータベースシステムは検索・集計の簡易化と効率化を目標につくられており、残念ながら規則生成を目的には作られたわけではない。

しかし第一段階として、生データをデータベースシステムに格納し検索可能な状態にすることが考えられる。このようなシステムは大福帳システム・Information Warehouse ・Data Warehouse等と呼ばれている。そして検索可能になった次の段階としてデータマイニングがある。

次の節で紹介するように、データマイニングやデータウエアハウスの研究開発は米国を中心に非常に活発ではあるが、計算機市場を拡大させるという観点からの貢献度は「ゆるやか」である点に注意が必要である。理由としては、巨大データベースを収集できる企業がかぎられていることが考えられる。例えば、銀行でいえば都銀や地銀クラスであれば巨大な顧客データベースや口座へのアクセスの履歴をもっているが、信用金庫クラスでデータマイニングが価値あるような量のデータをもっているとは限らない。また、流通業でいえば、全国的なチェーンをもつ百貨店やコンビニ、そして通信販売会社はデータマイニングする価値のあるデータベースをもってはいるものの、限定された地域で展開する小規模な企業の場合はデータマイニングの必要性が不明確であり、データマイニングシステムの売り込みは困難になってくる。

このように大規模なデータベースをもち、数十人の情報部門をもつような大企業は比較的大きな投資、例えば数億円の資金を、並列計算機とデータマイニングの組み合わせたシステムに投資できるであろう。しかしそれ以外の企業は外部に委託して自らのデータをデータマイニングしてもらうような、いわゆるアウトソーシングのようなことを体力的にせざるを得ないのではないか。シンクタンクがこのようなサービス業務を今後発展させ収益性の高いビジネスに結び付ける可能性がある。例として、最近テレビ等で話題になっている企業倒産の予測をするシステムではデータマイニング技術が使われている。

また企業ではないが、科学者は巨大なデータベースを構築しており、例としてゲノム情報、気象情報、天文情報等がある。分子生物学者や医学研究者は、ゲノム上に散在する複数の因子がどのように組み合わさり病気などの現象を引き起こすか解析するため大きなデータベースを構築している。データマイニングはこの作業の効率化に大きく貢献することが期待されている。症状が出る前の人を事前にチェックできる知識の発

見は、早期に病気を予防する手立てを与え、製薬会社の開発ありかたに新たな方向性を与えるであろう。ただこの場合も企業のケースに似ており、科学者で巨大なデータベースを蓄積でき、かつ並列計算機のような大規模システムを購入できる機関は限られている。

以上の状況を鑑みると、データマイニングを軸とした大規模システムを現実に購入できる企業や機関には限りがあるため、計算機システムの市場を大きく切り開くような潜在性をデータマイニングに期待するのは無理があると思われる。むしろ、知識を売って行くシンクタンクのような企業を大きく伸ばすことにデータマイニングは貢献するであろう。科学データからの知識発見技術は、バイオ産業など計算機以外の他の産業へ影響を及ぼすようになると考えられる。

データマイニングには意味のある巨大なデータベースの存在が欠かせない。そして抽出された知識はデータベースを構築した組織の所有物にもなりうるし、科学データベースなら共有の財産にもなるであろう。ただ産業として魅力ある物にするには、データマイニングした知識を例えば特許化することが考えられ、後に議論する。

3.1.2 技術的シーズ

OLAP

Information (Data) Warehouse等の利用形態は、従来のオンライン・トランザクション処理 (OLTP) よりは、データ検索・集計等のデータ解析作業が中心となる。従って問い合わせの高速処理が望まれ、オンラインで実行できるほどの速度が望まれ、OLAP (On Line Analytical Processing) の名のもと研究開発が盛んである。

特に頻繁に使われ、かつ速度が要求されるのは効率的なアクセスパスが設定されていないデータベースへの非定型の問い合わせであり、典型的な例は集計作業である。例えば、顧客 (Customer) が部品 (Part) をどの問屋 (Supplier) からいくら (SalesPrice) で購入したかを格納した関係 R から、部品と顧客の組合せごとの売上表をつくる作業を考えよう。この目的のためには、次のような問い合わせ文をつくればよい。

```
SELECT Part, Customer, SUM (SalesPrice) AS Sales
from R
GROUP BY Part, Customer ;
```

ユーザはさらに、部品と問屋との組合せや、部品別等の様々な組合せで売上高を集計する問い合わせをするであろう。属性を次元の軸と見立てると、多数の属性にたいする GROUP BY 問合せは多次元の空間中のデータ分布をみる作業に似ているため、多次元問合せと呼ばれ、出力されるテーブルはデータキューブと呼ばれる。

多次元問合せ最適化手法

テーブルの属性集合の任意の部分集合に関して GROUP BY 処理を行う要求をユーザが何回にもわたって

行う状況で応答時間を短縮することを考えよう。各属性に効率的なアクセスパスがはられている状況では、それらのパスを有効に用いて従来型の問合せ処理を行えばよいが、属性の数が 10 を超えるような状況ではすべての属性にアクセスパスを用意するのはデータ更新時のパスの保守を考えるとあまり現実的な選択ではない。むしろ、問合せの可能性のある仮想ビューをあらかじめ実体化（materialization）して、準備しておく方法が次善の策として考えられる。近年のデータベース分野では仮想ビューの実体化や保守に関して研究が進んでおり、これらの技術は多次元問合せを最適化するのに有効である。

多次元問合せにおける仮想ビューの実体化の方法について述べる。属性集合のすべての部分集合についてGROUP BY 処理を行った仮想ビューを実体化して保存しておけるほど記憶スペースがある場合には、任意の部分集合についての問合せに対して即座に応答できる。しかし記憶スペースに限りがある場合には、そのスペース内に収まるように、実体化しておく仮想ビューの組合せを選別する必要がある。もし実体化していない仮想ビュー V に対する問合せがあった場合は、すでに実体化してある仮想ビューのどれか（例えば W）を使って V を生成することになるが、生成にかかるコストが最も小さいビュー W を利用すればよい。このコストは問合せの応答時間そのものである。記憶スペースが大きければ、実体化できる仮想ビューの数も増やせるので、コストを小さくすることができる。つまり実体化する仮想ビューを格納する記憶スペースは応答時間とトレードオフの関係にある。

現実には記憶スペースが固定されているので、スペースの制約から実体化できない仮想ビューを生成するためのコストが最小になるように、実体化すべき仮想ビューの組合せを選ぶことが望ましい。残念ながらこの問題は集合被覆問題と本質的に同等なので、最適化問題はNP 困難である。しかし幸い効率的な近似アルゴリズムをつくることができる。コスト削減する（応答時間を短くする）利得がもっとも大きい仮想ビューから順番に、記憶スペースがなくなるまで実体化してゆく貪欲なアルゴリズムを使ってできる仮想ビューの組合せは、コスト削減の利得という観点からは最良の組合せのよい近似解になることを Harinarayan らは示した［11］（詳しくは、最良の組合せの利得の約63％以上の利得があることが保証されている）。

データマイニング

多次元問い合わせは、従来型の検索・集計作業を効率化するのには有効であるが、データベースに潜む規則性を導き出すようなデータ解析の作業には向かない。

例として、数十の属性を含むデータベース、例えば銀行における数百万顧客の関係テーブルを考えよう。属性としては、当座取引有無・公共料金引落有無等の２値属性や、血液型等の離散属性、普通預金残高・年齢・取引期間等の数値属性があるとする。例えば

「先月発売した金融商品 A が売れている顧客層を明日の朝まで特定したい」

とする。いま条件 X を満たす顧客は高い確信度で金融商品 A を購入するというルールを

$$\text{条件 X} \Rightarrow (\text{金融商品 A} = \text{yes})$$

と記述する。データマイニング・システムとは条件 X を自動的に抽出してくれるようなシステムのことである。例えば、

（当座取引有無 = 1）や、
（当座取引有無 = 1）かつ（公共料金引落有無 = 1）

などが条件の例である。このような条件部をもつルールを離散値属性間結合ルールと呼ぶことにする。離散値属性が数十数百ある場合には、システムが自動的に確信度の高い条件を取り出してくれると助かる。

また数値属性を使った条件としては、預金残高が区間 $[X, Y]$ に入ることを示した

$$\text{預金残高} \in [X, Y]$$

が考えられる。このような条件部をもつルールを数値属性間結合ルール（１次元版）と呼ぶことにする。システムは金融商品 A の購入者をできるだけ高い確信度で含む区間 $[X, Y]$ を計算することが期待される。数値属性が数十数百ある場合には、やはりシステムが自動的に確信度の高い条件を取り出してくれると助かる。

また年齢と預金残高のペアがある連結領域 R に入ることを表現した

$$(\text{年齢、預金残高}) \in R$$

も条件として考えられ、システムは確信度の高い領域 R を求めて欲しい。このような条件部をもつルールを「数値属性間結合ルール（２次元版）」と呼ぶことにする。

以上のような規則を大規模データベースから高速に抽出しようとするのが、データマイニング・システムの一例である。以下、これらのルールを計算するための最適化手法を紹介する。また、後半では決定木や回帰木を生成する際に最適な区間や領域を計算することが役立つことを述べる。

離散値属性間結合ルール

スーパーマーケットの多くでは、商品にはバーコードのついたシールが張ってあり、レジにはその読みとり装置がついている。この装置は、金額の計算と同時に、どの商品とどの商品が、いつ、どのような人に、どれだけ売れたかがコンピュータに入力されたのである。このデータは特別な仕掛けを新たに作らなくても収集できる上に、顧客を知る重要な情報源となる。収集したデータから例えば「目玉商品 A を購入した顧客は高い確信度で日用品 B を購入する」という規則が得られたとすれば、目玉商品 A が他のどの日用品 B の売上に貢献するかが明瞭になる。さらに目玉商品 A を購入した顧客の何パーセントが日用品 B を購入するかが分かれば、売上の予測にもある程度つながる。

他の例では、銀行における顧客データベースから「普通口座を保有する顧客の１%は過去にカードローン支払いを延滞したが、普通口座を保有しかつサービス A を利用する顧客の場合は 0.05% しか支払延滞者がいない」という規則が得られたとする。この規則を発見出来れば、支払延滞率を下げるための有効な対策と

して、サービス A を顧客に勧めることを検討することができる。以後、「目玉商品 A を購入した顧客は高い確度で日用品 B を購入する」という規則を

$$(\text{目玉商品 A} = \text{yes}) \Rightarrow (\text{日用品 B} = \text{yes})$$

と表現する。

結合ルールの評価

では結合ルールの価値はどのように測るか？　条件部を満たすデータが結論部も満たす割合を確信度（confidence）と呼び、条件部と結論部を同時に満たすデータの全データに対する割合をルールのサポート（support）と呼ぶ。特に断らない限り以下ではサポートはルールのサポートを指すことにする。条件部を満たすデータの割合は条件のサポートと呼ぶ。規則の価値を測る上で確信度が高いことが重要であることは当然であるが、ルールのサポートもある程度高いことが望ましい。

例えばルールのサポートが0.01%　のルールは0.01%の顧客にしか当てはまらない出番の少ないルールであり、あまり価値がないからである。技術的な制約から言えば、非常に小さいサポートをもつルールまですべて探そうとすると、その数は容易に莫大になる。ユーザーにとっても、解析する気になるルールの数はせいぜい数千のオーダーであろう。極端に小さなサポート値のルールを排除し、かつルールの数を自然に制限する方法としては、出力するルールのサポートの最小値（最小サポートと呼ぶ）を設定するのが有効である。

Apriori アルゴリズム

IBM アルマデン研究所の Quest プロジェクトは、結合ルールを出力する本格的なシステムを世界に先駆けて開発した［2］。Quest システムはユーザーが最小サポートと最小確信度を与えると、すべての結合ルールを出力する。効率的に結合ルールを生成方法を設計する際に特に考慮しなければならないのは、データベースのサイズが大きく主記憶には入らず、2 次記憶に置くしかない場合である。一方ルールの数は数千程度以下である場合がほとんどである。そこでデータベースの走査は 2 次記憶上で行うものの、ルール生成に必要な中間的なデータ構造は主記憶内に保持しながら計算することで実行効率をあげたAprioriアルゴリズム［3］を紹介する。

ルール「$(A = a)$ かつ $(B = b) \Rightarrow (C = c)$」のサポートと確信度は、

条件 $(A = a)$ かつ $(B = b)$
条件 $(A = a)$ かつ $(B = b)$ かつ $(C = c)$

の各々のサポートから計算できることに注意しよう。すなわち後者の条件のサポートがルールのサポートそのものであり、ルールの確信度は、後者の条件のサポートを前者の条件のそれで割ったものである。従って、ルールを生成する際には、条件を生成し、そのサポートを計算すれば十分である。ではどのような順番で条

件を生成するべきか。

条件「$(A=a)$ かつ $(B=b)$ かつ $(C=c)$」を $\{A=a, B=b, C=c\}$ のように集合表現し、条件集合と呼ぶことにする（条件集合はその要素である各条件がすべて—どれかではない—満たされる条件を意図していることに注意）。最小サポート以上のサポートをもつ条件集合を大きい条件集合と呼ぶことにする。例えば $\{A=a, B=b, C=c\}$ が大きい条件集合でない場合、ルール「$(A=a)$ かつ $(B=b) \Rightarrow (C=c)$」のサポートは最小サポート以下なので、このルールは考察外となり、$\{A=a, B=b, C=c\}$ もルール生成に貢献しないので考察の対象からはずせる。この性質から一般に、ルール生成に関しては、大きい条件集合だけを生成してゆけば十分であることがわかる。

また $\{A=a, B=b\}$ が大きい条件集合でない場合は、$\{A=a, B=b\}$ を部分集合として含む任意の条件集合 — 例えば $\{A=a, B=b, C=c\}$ — も大きい条件集合になり得ない。すると、要素数の少ない条件集合から生成し、大きい条件集合か否かを調べてゆき、ある条件集合 —例えば $\{A=a, B=b\}$ — が大きくないと判定された場合にはそれを包含する条件集合 —例えば $\{A=a, B=b, C=c\}$ — を生成しないような戦略をとることで、大きな条件集合になりえない条件集合のサポートを無駄に計算しなくてすむ。最小サポートの設定方法にも依存するが、小さすぎない適切な値を設ければ、大きな条件集合とそのサポートの組を主記憶内に保持することができる。

次に各条件集合のサポートの計算方法について述べる。条件集合のサポートを計算する際には、2次記憶にあるデータベースを少なくとも1回は走査し、各レコードが条件集合を満たすかを調べ、満たされた条件集合のサポートを更新する必要がある。2次記憶上にあるデータベースを走査するのは処理のボトルネックとなるので、各条件集合ごとに走査するのではなく、1回の走査で複数の条件集合のサポートを計算することで効率を上げたい。Agrawal らは、要素数が1の条件集合すべてについてそのサポートを計算し、大きい条件集合か否かを判定し、続いて要素数が2の条件集合でその任意の部分集合が大きい条件集合であるものについてサポートを計算する、という作業を繰り返すことで大きい条件集合を枚挙する戦略を示した［3］。

この計算過程を分析してわかる性質のひとつに、要素数が1の条件集合のサポートを計算している際に、かなり早い段階で、例えば $\{A=a\}$ と $\{B=b\}$ が大きな条件集合であることが判明する場合がある。このケースでは要素数1の条件集合のサポートの計算中ではあるものの、並行して $\{A=a, B=b\}$ のサポート計算も開始すれば、データベースの走査回数を減せる可能性が出てくる。Brin らはこの着想に基づき Agrawal らの戦略を拡張した方法を提示し、その有効性を実証している［5］。

Agrawal らの Apriori アルゴリズムを実装する際には、各レコードが満たす条件集合をすべて見つける手続きを効率化する必要がある。この高速化にはハッシュ木を使う方法による実装方法［3］やハッシュ表を使う方法［14］が提案されている。またデータを並列計算機上に均等分散して置けば、入出力を並列化できることに加えて、条件を満たすデータ数を集計する操作も自然に並列化でき、良好な台数効果も確認されている。

尚、最近はサポートと確信度だけでルールを評価するのではなく、伝統的な統計学の尺度で、例えば条件間の correlation を評価基準として用いることが提案され、その計算方法が考察されている［6］。

数値属性間結合ルール（１次元版）

離散値属性間結合ルールは離散値をもつ属性を扱ったものである。現実のデータベースでは通常、年齢や預金残高のような数値属性が存在する。これら数値属性を離散値をもつ属性として考えても良いが、数値間の順序も考慮した結合ルールがあれば有用である。例えば「預金残高が $V1$ 以上 $V2$ 以下の顧客は高い確信度でサービス A を利用する」というルールから、サービス A を勧めるべき顧客層が浮かび上がってくる。このルールを離散値属性間結合ルールの形式に習って、

$$(\text{預金残高} \in [V1, V2]) \Rightarrow (\text{サービス A} = \text{yes})$$

のように記述する。

いま区間 $[V1,V2]$ があらかじめ与えられていれば、条件「預金残高 $\in [V1,V2]$」を満たす顧客が何％の確信度で条件「（サービス A = yes）」も満たすかは容易に計算できる。しかし現実には区間そのものを見つけることに興味がある。しかも高い確信度を与える区間が分かれば、サービス A を利用する顧客をうまくモデル化したことになる。ここで問題になるのは、区間の取りかたは自由度が大きいことである。極端な例としては、ごく僅かなデータしか含まない極めて短い区間で、高い確信度を与える区間がいくつもありうる。いくら確信度が高くても、ごく僅かなデータしか含まない短い区間で意味のあるルールとは言えない。

いま条件「預金残高 $\in [V1,V2]$」を満たすデータの全データに占める割合を（預金残高に関する）区間 $[V1,V2]$ のサポートと呼ぶことにする。ユーザーは考慮する区間がもつべきサポートの最低限の値を与える。すると、そのしきい値以上のサポートをもつ区間の中でルールの確信度を最も高くする区間 $[V1,V2]$ が、サービス A を利用する顧客を一番特徴づけていると言える。このような区間を確信度最大化区間と呼び、ルールを最適確信度結合ルールと呼ぶことにする。これと双対的な概念として、ルールの確信度の最低限の値を与え、サポートが最大になる区間を求める問題が考えられる。このような区間をサポート最大化区間、ルールを最適サポート結合ルールと呼ぶ。

確信度最大化区間、およびサポート最大化区間を計算する初歩的な方法は、全ての区間を生成し、最大の区間を選択することである。データがソートされていれば、この方法の計算時間はデータ数の２乗に比例する。実は、計算幾何学的方法を使うと線形時間で解けることが知られている［7］。

この方法の計算時間上のボトルネックは、データを対象とする数値属性でソートしておく必要のある点にある。２次記憶上にある数百万件のデータを各数値属性毎にそのままソートするのは通常時間がかかるので、この計算時間を短縮しない限りは、計算幾何学的手法を用いた線形時間アルゴリズムも活かせない。

一つの解決案は、与えられたデータベースを、データの識別子と数値属性毎の値のペアへと垂直分解し、その数値属性値でソートする。このように分解したテーブルは今日の計算機の主記憶に十分格納できるので、ソートも十分速く実行できる。

もう一つの方法は、データ全体をソートしない方法である。かわりに、ランダムアルゴリズムを用いて、数値属性の値を細かい区間（バケット）に分割する。ただし、各区間に入るデータ数がほぼ均等になるように。このような均等なバケットを多数生成した後に、いくつか連続するバケットを繋ぎ合わせて確信度／サポート最大化区間をつくる。バケット分割処理を並列化してより一層の高速化もできる。バケット数として

は数千程度用意すれば、最大化区間が非常に高い精度で得られる［7］。

数値属性間結合ルール（２次元版）

次に、１つの数値属性だけでなく、複数の数値属性を条件部に含む結合ルールの生成について述べる。例えば、年齢と預金残高を使ってサービス A を特徴づける結合ルールとしては、次のようなルールが頭に浮かぶ。

$$(\text{年齢} \in I) \text{ かつ } (\text{預金残高} \in J) \Rightarrow (\text{サービス A} = \text{yes})$$

区間 I と区間 J の直積がつくる矩形領域は、サービス A を利用する顧客のいる範囲を大まかに教えてくれる。また、領域に入る顧客数の最低値をユーザーが与えると、最もサービス A を利用する顧客の確信度の大きい領域をみつけることが興味の対象になる。つまり１次元の場合に導入した最適確信度結合ルールの発見問題は２次元以上の場合にも自然に拡張できる。

更に一般的な形状をした連結領域 R を使えば、より柔軟にサービス A を利用する顧客を高い確信度で特徴付けられる。ルールとしては「年齢と預金残高が図の領域 R 入る顧客は高い確信度でサービス A を利用する」ことを意図した次の形のルールを求める。

$$(\text{年齢、預金残高}) \in R \Rightarrow (\text{サービス A} = \text{yes})$$

この場合にも１次元の場合と同様に最適確信度／サポート結合ルールを自然に定義できる。

まず、２つの属性が張る平面を格子状に分割し、ピクセルを生成する。通常は 20×20 から高々 1000×1000 のピクセルへと分解する。格子分解する作業をソートで実行すると時間がかかる。１次元の場合に用いたランダムサンプルを使う方法が有効である。

次にピクセルを繋ぎ合わせて矩形領域や連結領域をつくる。最適確信度／サポート結合ルールを生み出す領域を求める計算量は、矩形領域や連結領域等のどのタイプの領域を求めようとするかによって大きく異なる。矩形領域の場合は、問題を１次元の場合へ還元して解く方法が知られている限りベストで、ピクセル数を n とすれば $O(n^{1.5})$ の計算量で解ける。

矩形領域よりは一般的な形をした連結領域であるx-単調領域（y 軸に平行な線との交わりが必ず連続か空となる領域）を考える。x-単調領域を対象にした最適確信度／サポート結合ルールは$O(n\ m)$（m はデータ数）で計算できるが、$O(n \ln m)$ で計算することは P=NP でない限り不可能である［8］。幸いイメージの濃淡度情報から x-単調領域を取り出す問題はイメージ処理の分野でよく調べられており［1］、浅野らの方法を変形することで、x-単調領域を対象にした最適確信度／サポート結合ルールの近似解を$O(n \ln m)$で求めることができる［8］。

x-単調領域は一般的な形を表現することができるが、領域の境界が不必要にギザギザになる場合が多く、訓練用のデータでは確信度が最適な領域となっても、未知のテストデータに対しては、確信度がそれほど上

がらないという問題点がある［18］。そこで領域の境界がより滑らかな直交凸領域 — y 軸だけでなく x 軸に平行な線との交わりも必ず連続か空となる領域—を用いた最適確信度／サポート結合ルールの近似解生成方法が提案されており、$O(n^{1.5} \ln m)$ で求めることができる［18］。また未知のテストデータに対しても良好な確信度が得られることが実験的に確認されており、後に述べる決定木や回帰木の予測精度もx-単調領域を用いる場合に比べて上がることが知られている［9、13］。

数百万件のデータで二次元結合ルールを生成する場合、単一プロセッサーでは格子分解が計算時間を支配することが実験により確かめられている。並列計算機を用いれば、格子分解を並列化してこのボトルネックを解消し、巨大データを高速に扱うことが検討されている。

決定木

例えば、患者がある病気（例えば糖尿病）であるかどうか検査を行なって判定する診断システムを考えよう。どのような検査をすると効率良く判定が出来るかを過去の病院の患者たちの健康診断データから診断システムを導出したい。このように、複数の数値属性（健康診断の数値）が与えられた大量のデータを、目的とする属性（例えば糖尿病であるかどうか）が満たされるクラスと満たされないクラスに分類するためのデータ構造として、代表的なものに決定木がある。決定木は木の高さ（一人の患者に対する検査の最大数）が小さく、木の端点数（用意すべき検査パターンの数）が小さいことが望ましい。決定木構成技術は意思決定支援システムとしてデータマイニング及び人工知能の分野でも非常に重要と考えられる。

病院において患者の過去の病歴がデータベース化されているとしよう。この過去のデータの蓄積から、どのような症状や健康状態の人に病気 A の病歴があるか否かを経験的に判定する知識を生成すれば、新たな患者が A を患っているか否かを判定するための助けになり便利である。また例えば、保険会社に蓄積された、利用者の過去の事故歴のデータベースから、特定の交通事故を起こしやすいか否かを経験的に判定する知識などを取り出したいというニーズがある。

木の各ノードはレコードに対するテストであり、テストで Yes と出たデータは左の枝に進み、No と出たら右の枝へ進む。決定木の各頂点でのテスト文には結合ルールに対応するものが用いられる。例えば、条件部の属性として最低血圧（数値）、血糖値（B）、コレステロール値（C）を考えて、血圧がある値以上か、もしくは他の値が　＋かーかでテストを行ない、最終的に、結論部として成人病症候群である（○）かない（×）かを判定する。このとき、テストの順番により、いろいろな決定木が作れるが、深さが小さく、頂点数も小さい決定木で良い判定が出来れば理想的である。

最小の決定木の構成問題は NP 困難といわれており［10］、従って、何らかの近似的な解法が必要になってくる。これに対するアプローチは様々なものがあり、有名なものに Quinlan のエントロピーを用いたヒューリスティクス［15］がある。この方法は決定木を上（根の方）から作っていくが、各段階で行なう判定を選ぶ時に、各々の条件文による判定でデータ集合がどのような分布に分割されるかを計算する。そこで、分割のエントロピーを計算し、それが最小になる（すなわち、分割の各成分で目的となる属性の分布がもっとも偏っている）条件文を選ぶ。この方法は、条件の属性が離散値をとるデータに対して、かなりいい決定木を生成する。Metha らによる SLIQ はエントロピーの代わりに Gini インデックスを利用したアプローチをと

り、数千万件のデータに対しても現実的な時間で動作するシステムの構築に成功し注目されている［12］。

また Quinlan は、数値属性を持つデータに対しては数値属性たちの間に相関がある場合、従来の方法では不十分であることを指摘している［16］。例えば、属性として「体重」と「身長」を考えてみる。健康診断では、単一のルール

$$0.85 * 22 * (\text{身長})^2 < \text{体重} < 1.15 * 22 * (\text{身長})^2$$

がかなり良く「健康」の判定を行なう。ところが、属性を1つづつ単独でテストする一次元ルールだけだと、結果として非常に大きな決定木を用いないと同等の性能を持つ決定木は作れない。

この欠陥を補うために、２つもしくは３つの数値属性の組を考え、対応する平面もしくは空間を、直線もしくは平面で二つの領域に切ることにより作った領域ルールでデータ分割を行なう試みもされている。しかしながら、直線や平面による分割は、計算時間が掛かる上に、分割の自由度が低いために、決定木の大きさを大幅には改善しない場合が多い。従って、それほど効果的ではないとされている。

そこでテスト文として（エントロピーを最小化し、情報量のゲインを最大化する）最適結合ルールを用いて数値属性を効果的に扱う方法が提案されている［9］。特に、２次元の最適結合ルールを判定に用いると、上述した数値属性たちの間に強い相関がある場合など、決定木の大きさは激減する。実際、身長と体重から「健康」を判定するには、判定文を（身長、体重）$\in R$）の形（R は 条件＝「健康」に対応する領域）に取れば、単一の判定（高さ１の決定木）で良い診断を行なうものが出来る。このような単調な領域族をもちいたエントロピー最適化は、ピクセル数をn、データ数を m とすると実質的には直交凸領域で$O(n^{1.5} \ln m)$、x-単調領域で $O(n \ln m)$ 時間で求めることができる。

回帰木（Regression Tree）

決定木が離散値属性の値を予測するためつくられる2分木であるのに対して、目的の数値属性の値を予測するための2分木として提案されたのが回帰木（Regression Tree）［4］である。例えば、為替レートや金相場の値動きを蓄積したデータベースから、各通貨がどのような値動きをしたとき、金の値がどの程度変化するかについて確度の高い経験則が得られれば、将来の予測に役立てることができる。

回帰木の各ノードはレコードに対するテストであり、レコードはテストを満たす場合は左の部分木に進み、満たさない場合は右の部分木に進む。この手順を繰り返すことで、各レコードは最終的に葉ノードに到達する。このような回帰木を現在あるデータベースから構築し、各葉ノードごとに、その葉ノードに到達する全レコードの目的の数値属性の平均値を計算しておく。そして目的の数値属性の値が未知のレコードが与えられたとき、回帰木のテストを繰り返し適用し、到達した葉ノードの平均値により目的の数値属性の値を予測することにする。

予測精度を上げるためには各ノードのテストをうまく選択する必要がある。その際に標準的に用いられるヒューリスティクスは、テストによる分割後に、各レコードの数値属性値とそれが属する部分集合の平均値の差の平方の平均（誤差自乗平均）を最小にするようなテストを選択する方法である［4］。テストの種類

であるが、離散値属性に対する条件や、数値属性をある値の上下で2分割する条件が従来は用いられていた。数値属性の場合は、区間や領域を用いてデータ分割を行うことが決定木の場合と同様に自然であり、予測精度をあげる可能性がある。誤差自乗平均を最小化する領域を計算する問題は、エントロピー最小化問題と同様の方法で解くことができ、ピクセル数をn、データ数をmとすると実質的には直交凸領域で$O(n^{1.5} \ln m)$、x-単調領域で $O(n \ln m)$ 時間で計算できることが知られている［13］。さらにある値の上下で2分割する条件を使う従来の方法に比べて、未知のデータに対する予測精度を高めることができることが実証されている［13］。またx-単調領域を利用する場合よりも、直交凸領域を使ったほうが予測精度は良好な値をとる傾向にある。

3.1.3 今後の米国における方向性

今後の米国におけるデータウエアハウスやデータマイニングの技術的方向性を予測するのに、以下のような重要国際会議での発表内容の推移を見守ることは役立つと思われる。

- ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems
- ACM SIGMOD Conference on Management of Data
- International Conference on Very Large Data Bases
- Knowledge Discovery and Data Mining

まず最初の ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems は理論的色彩が強い会議であるが、近年の傾向を見るとデータマイニングに関する論文のセッションが毎回1つはできている。発表内容は例えば、データマイニングの計算量的限界（NP 困難等）の考察や、全データからデータマイニングするのではなくサンプリングにより精度の劣化を抑えつつ、計算時間を短縮する技法、計算幾何学の技術を使った効率化等の論文が見られる。

次に2番目の ACM SIGMOD Conference on Management of Data では理論的色彩も多少あるが、実用可能なアルゴリズムや実装方法の提案が主流であり、産業界からの発表も多い。IBMアルマデン研究所のアガラワラの結合ルールに関する記念すべき論文もこの会議で発表され、また、実体化したビューを使ったOLAPの応答時間を短縮する方法もスタンフォード大学のグループによりこの会議で発表されている。1998年度に採録された論文のタイトルをみても3セッションほどはデータマイニングとデータウエアハウスの論文が発表されるようである。

3番目の International Conference on Very Large Data Bases は、ACM SIGMOD Conference on Management of Data に比べさらに実用研究に近く、企業からの発表も多い。近年は、データマイニングの並列化や、決定木、回帰木の予測精度の向上をねらった現実的解法が提案されている。

1～3番目までの会議が技術的シーズに的を絞っているのに対して、4番目の Knowledge Discovery and Data Mining では、データマイニング技術を使ってどのような問題が解けたかについての発表が多く、応用指向が強い。この会議はKDDと略称で呼ばれているが、近年アジア地区を中心として Pacific-Asia KDD も開催されており、アジアにおける研究開発も活発化している。

どの会議も倍率が平均して6～7倍あり、発表内容も充実している。参考のために1998年度の各会議のURLを以下に挙げる。

・ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems
ACM SIGMOD Conference on Management of Data
http://www.boeing.com/companyoffices/sigmod98/

・International Conference on Very Large Data Bases
http://www.research.att.com/conf/vldb98/

・Knowledge Discovery and Data Mining
http://www.aaai.org/Conferences/KDD/kdd.html

・The Second Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining
http://www.sd.monash.edu.au/pakdd-98/

これらの会議の内容から見て取れるように、米国における研究活動は層が厚く、理論、実装技術、応用に至るまで広くそして深くカバーしている。さらに、ハードウエアやOSの技術でも米国は他国を圧倒的に引き離しており、追随するのは困難である。

3.1.4 研究開発が遅れている日本の課題

米国の圧倒的優位な状態で、日本の立場は苦しい。VHS のビデオ再生機が寡占状態になっており、レンタルビデオ屋でも VHSのビデオしかおいてない状態で、新たな録画方式を広めることは不可能に近いのに似ている。データマイニング産業で日本が選ぶ道は、データマイニング向けハードウェアの研究ではないように思う。いまから追随するのでは、多少論文の形にするのが精一杯であろう。米国では計算機産業の大きな柱になろうとしているのに残念であるが、隙間産業を狙って新たなビスネスの種を見つける努力をすべきであろう。

ソフトウェア技術に関しては日本の貢献はある程度知られているので、今後もソフトウェアへの投資は持続すべきであろう。しかしソフトウェアだけで大きな利潤を生み出すのは、困難であろう。はじめにも述べたようにデータマイニングに大規模な投資ができる国内の企業や機関の数が限られており、大量に売れたときはじめて莫大な利益が得られるソフトウェアにとっては厳しい状況である。

3.1.5 ビジネス的成功をねらうための一つの研究アプローチ

利益を生み出すためには応用に力点を置くのが有効と考える。具体的には、金融予測、経済予測等の分野でデータマイニングツールを他国よりうまく使いこなすノウハウを溜め込むのはどうか？ データマイニングでは意外に自動的に理想の知識が得られるわけではなく、パラメータのチューニングが重要である。チューニングは学術論文にはなりにくいものの、運用の要になり、スキルを向上させると、質のよい知識が抽出できるようになる。記号で表現された知識は顕現性が高いので、できれば特許のような形でおさえる事はど

うか？

科学データベースに関しても、ただデータマイニングするだけでなく、得られた知識を特許化して特許料で稼げる体制をつくることができないだろうか？ というより、その方向で考える必要があると思う。私自身はゲノム情報から特許を抽出するデータマイニングシステムに興味を持ち研究を行っている。

＜参考文献＞

[1] Tetsuo Asano, Danny Chen, Naoki Katoh, and Takeshi Tokuyama. "Polynomial-time solutions to image segmentations." *Proc. 7th ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, pages 104-113, 1996.

[2] Rakesh Agrawal, Tako Imielinski, and Arum Swami. "Mining association rules between sets of items in large databases." *Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data*, pages 207-216, May 1993.

[3] Rakesh Agrawal and Ramakrishnan Srikant."Fast algorithms for mining association rules." *Proceedings of the 20th VLDB Conference*pages 487-499, 1994.

[4] L. Breiman, J. H. Friedman, R. A. Olshen, and C. J. Stone. *Classification and Regression Trees*Wadsworth, 1984.

[5] Sergey Brin, Rajeev Motwani, Jeffrey D. Ullman, and Shalom Tsur."Dynamic Itemset Counting and Implication Rules for Market Basket Data." *Proceedings of the 1997 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*,Tucson, Arizona, pages 255-264, May 1997.

[6] Sergey Brin, Rajeev Motwani, and Craig Silverstein."Beyond Market Baskets: Generalizing Association Rules to Correlations." *Proceedings of the 1997 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*,Tucson, Arizona, pages 265-276, May 1997.

[7] Takeshi Fukuda, Yasuhiko Morimoto, Shinichi Morishita, and Takeshi Tokuyama. "Mining Optimized Association Rules for Numeric Attributes." *Proceedings of the 15th ACM SIGACT-SIGMOD-SIGART Symposium on Principles of Database Systems*,Montreal, Canada, pages 182-191, June 1996.

[8] Takeshi Fukuda, Yasuhiko Morimoto, Shinichi Morishita, and Takeshi Tokuyama. "Data Mining Using Two-Dimensional Optimized Association Rules: Scheme, Algorithms, and Visualization." *Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Montreal, Canada, pages 13-23, June 1996.

[9] Takeshi Fukuda, Yasuhiko Morimoto, Shinichi Morishita, and Takeshi Tokuyama. "Constructing Efficient Decision Trees by Using Optimized Numeric Association Rules." *Proceedings of VLDB 96*,VLDB Endowment, Bombay, India, pages 146-155, September 1996.

[10] L. Hyafil and R. L. Rivest."Constructing optimal binary decision trees is np-complete." *Information Processing Letters*, 5:15—17, 1976.

[11] Venky Harinarayan, Anand Rajaraman, and Jeffrey D. Ullman."Implementing Data Cubes Efficiently." *Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, Montreal, Canada, pages 205-216, June 1996.

[12] Manish Mehta, Rakesh Agrawal, and Jorma Rissanen."Sliq: A fast scalable classifier for data mining."

Proceedings of the Fifth International Conference on Extending Database Technology, 1996.

[13] Yasuhiko Morimoto, Hiromu Ishii, and Shinichi Morishita,"Efficient Construction of Regression Trees with Range and Region Splitting." *Proceedings of VLDB 1997*,VLDB Endowment, Athens, Greece, pages 166-175, August 1997.

[14] Jong Soo Park, Ming-Syan Chen, and Philip S. Yu."An effective hash-based algorithm for mining association rules." *Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data*,pages 175-186, May 1995.

[15] J. Ross Quinlan. "Induction of decision trees." *Machine Learning*, 1:81-106, 1986.

[16] J. Ross Quinlan. *C4.5: Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann, 1993.

[17] Ramakrishnan Srikant and Rakesh Agrawal."Mining Quantitative Association Rules in Large Relational Tables." *Proceedings of the 1996 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*,pages 1-12, June 1996.

[18] Kunikazu Yoda, Takeshi Fukuda, Yasuhiko Morimoto, Shinichi Morishita, and Takeshi Tokuyama. "Computing Optimized Rectilinear Regions for Association Rules." *Proceedings of Knowledge Discovery and Data Mining 1997 (KDD '97)*, AAAI, Newport Beach, USA, pages 96-103, August 1997.

3.2　WWW情報検索

World-Wide　Web情報検索（WWW情報検索）の最新動向をサーベイし、WWW情報検索の重要性と現在の問題点を指摘する。そして、それらの問題点を解決するための試みの例として「分散型WWWロボット」及び「投機的情報検索システム」について紹介する。最後に、WWW情報検索を例題として、これからの研究開発がどうあるべきかを論じる。

3.2.1　はじめに

1969年のアメリカ国防総省高等研究計画の出資によるARPAnet（Advanced Research Project Agency Network）に始まるインターネットの歴史は、1994年頃からの WWW（World-Wide Web）ブームにより、研究者たちだけのものから、一般大衆のものへと大きな変化を遂げた。

この変化は数値で見ても明らかであり、インターネットに接続するコンピュータ台数は、1994年1月に220万台であったものが、1995年1月に580万台、1996年1月に1440万台、とほぼ倍々で増加した。そして、1997年1月に2180万台、1998年1月に2970万台と1996～1997年の伸び率は多少鈍化したものの、ここ2年は年間約800万台のコンピュータが新たにインターネットに接続され続けている［1］。

1998年1月には、世界の約300万組織、2970万台のコンピュータがインターネットに接続され、1998年2月現在のWWWサーバ数は全世界で約192万台［2］、それらのサーバから提供されるHTMLページ数は2億ページを越えると推測される。

このような膨大な情報の中から、必要な情報を瞬時に、かつ、的確に見つけ出すための仕組みがWWW情報検索サービスである。そして、インターネット上の膨大な情報を有効に利用するためにWWW情報検索は必要不可欠な存在となっている。

3.2.2　World Wide Web

1994年頃からインターネットが一躍注目されるようになったのは、インターネットを介して文字、画像、音声などの情報を広く世界中に発信できるWWW（World Wide Web）サーバとそれにアクセスするソフトウェア（WWWブラウザ）が普及し、インターネットがマルチメディアを具現化する媒体として活用されるようになったからである。

WWWは、欧州のCERN［3］と呼ばれる高エネルギー物理学の研究所が開発した分散データベースである。1993年に、このWWW上のデータにアクセスするためのWWWブラウザを米国のイリノイ大学の研究グループが開発し、Mosaic［4］という名で無料で一般に公開したのをきっかけとし、爆発的にその利用が進んでいる。

図3.2-1に示すように1995年以降、WWWの利用が急速に進み、現在では、WWWを使えば、世界の政治・経済・観光情報、各企業の製品情報、さらには、映画や音楽等の趣味にいたるまで、世界中のありとあらゆ

る情報を手に入れられるようになっている。

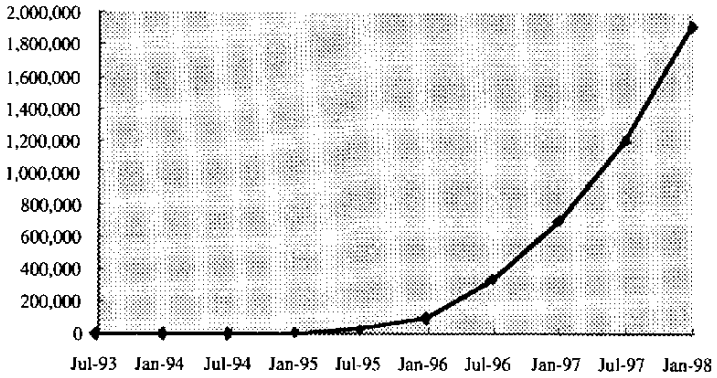


図3.2-1　WWWサーバ数の推移［2］

1998年2月の時点でのWWWサーバ数は、約192万台［2］であり、インターネットに接続される全コンピュータ台数に占める割合は、約6.5%である。また、図3.2-2に示すようにこの割合は年々増加しており、WWWサーバによる情報提供が、積極的に押し進められていることがわかる。

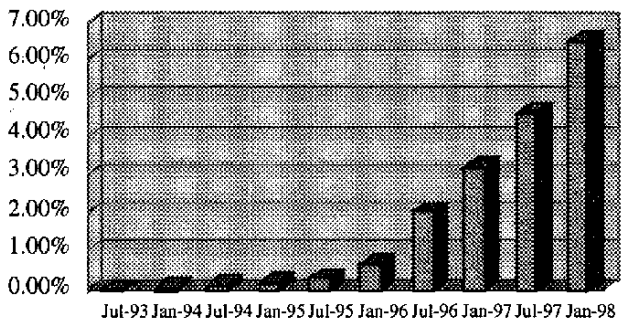


図3.2-2　インターネット接続コンピュータ台数に占めるWWWサーバ台数の割合推移［1］［2］

3.2.3　WWW情報検索サービスの分類

WWW情報検索サービスは、そのデータベースの構築によって図3.2-3に示すように、大きく3つに分類できる。

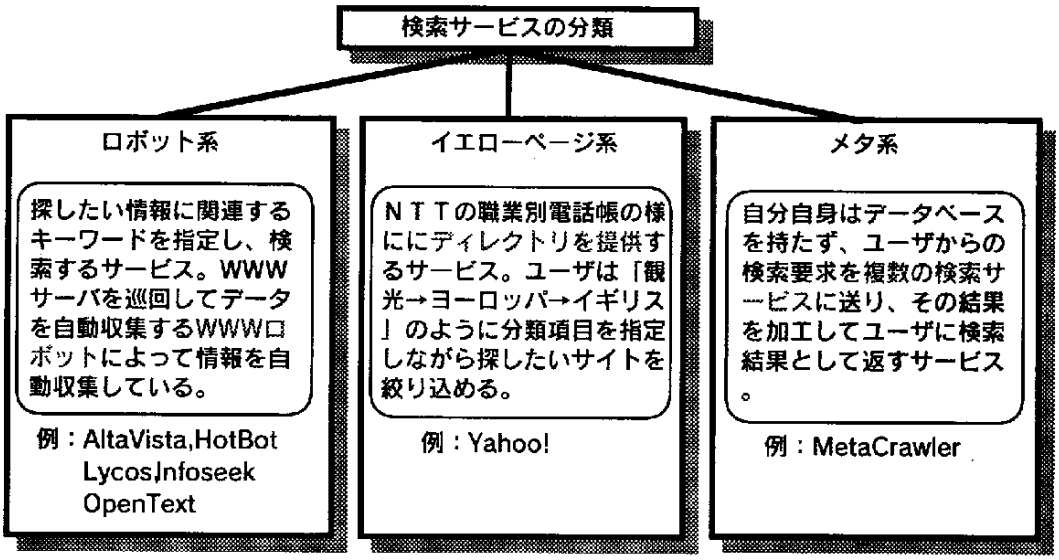


図3.2-3　WWW情報検索サービスの分類

①ロボット系検索サービス

ロボット系検索サービスは、WWWロボットやスパイダーと呼ばれるWWW探索プログラム（一般にWWWロボットと呼ぶ）を用いて、インターネット上で見つけることのできる全WWWサーバー上の情報を定期的に収集し、その情報の索引付けを自動的に行う検索サービスである。例として、AltaVista［6］、HotBot［7］、Lycos［5］、Infoseek［8］、OpenText［9］等が挙げられる。これらの検索サービスでは、探したい情報に関連するキーワードを入力することによって、目的のサイト（WWWサーバ）を検索できる。

ロボット系検索サービスでは、コンピュータによって自動的に全世界のデータを収集しているため、情報量が多いという利点を持つ。一方、各HTMLページの要約を自動的に生成したり、索引付けを自動で行うため、要約の完成度が低くかったり、キーワードを入力して検索しても、目的とするサイトが何万件と出てしまい、目的のサイトを絞り込むのに膨大な時間がかかったりするという欠点を持つ。例えば、人間が文章を読めば、「この文中でインターネットという単語は出てくるが、この文は、日本の経済について書いた文である」と理解できても、コンピュータには、それが理解できず、「インターネット」に関連のある文と判断し、キーワードとして「インターネット」を付加してしまう。つまり、人間が索引付けをする時には、内容を考えた索引付けができるが、コンピュータは、出てくる単語を単純に索引とするため、キーワード検索した際に、本来関係無いようなサイトまで検索結果として表示されることになる。

②イエローページ系検索サービス

イエローページ系検索サービスは、Yahoo!［10］に代表されるディレクトリー型の検索サービスである。WWWのアドレスを示すURL（Universal Resource Locator）を、芸術、ビジネス、教育...、のように分野別に整理して並べてあるので、NTTの職業別電話帳のような使い方ができ、分野を決めてから探す時に便利である。データの入力は、基本的に人手で行うため、ロボット系検索サービスに比較してデータ量が2～3桁少な

く、有名なページやユーザが登録したページ以外を探すことが出来ないといった欠点を持つ。一方、人間が索引を作成し、かつ、要約を書いているので、索引と要約の信頼度が高い。

③メタ系検索サービス

メタ系検索サービスは、自分自身でデータベースを持たず、ユーザからの検索要求を複数のロボット系検索サービスやイエローページ系検索サービスに送り、その結果を加工・編集して、ユーザに検索結果として返す検索サービスである。例としては、MetaCrawler［11］等、多数のサービスがある。MetaCrawlerでは、検索要求をAltavista、Excite［12］、Infoseek、Lycos、Webcrawler［13］、Yahoo!、の６つ検索サービスに同時に送り、これら６つの検索サービスからの結果の重複を除去した上で、１つの検索結果のページとしてユーザに返す。

AltaVistaをはじめとする多くの検索サービスでは、検索の絞り込みを行うためのオプション指定を数多く持っているが、メタ検索サービスでは、それらの内の一部のみが利用可能である場合が多い。例えば、MetaCrawlerでは、AND検索、OR検索、節一致検索の３つのみを用意している。

このように、メタ検索サービスは、複数の検索サービスの結果をまとめて表示してくれるので便利ではあるが、詳細な検索指定ができないため、「どの検索サービスを使ったらいいかわからない場合」など、初心者向けの検索サービスと言える。

3.2.4 WWW情報検索サービスの問題

WWW情報検索サービスの問題点として、以下の4つが挙げられる。

①検索対象データの陳腐化
②全WWWデータに対する検索対象WWWデータ数の割合の低下
③検索速度
④検索品質

これらの問題は、大きく①と②の問題と③と④の問題の２つに分類できる。

最初の①と②の問題は、インターネット上からWWW上のデータを自動収集するWWWロボットの処理能力に起因する。例えば、WWWロボットの処理能力が1000万URL／日（HotBot［7］の場合）であり、全世界のWWWデータ数が 2億URL であるとすると、全てのデータを収集するのに20日以上を要することになる。ところが、インターネット上の情報の移り変わりは激しく、「検索できても、検索の結果得られた20日前のリンク先が存在しない」という問題が発生する。また、同様のことは、古いリンク先情報をデータベースから消去しない場合にも発生する。

特に1996年秋までは、WWWサーバの増大に伴って、WWW情報検索サービスがデータベースとして保持するURL数も増大していたが、1996年秋以降、WWW情報検索サービスのデータベース量は最大でも1.4倍程

度の増加の8,000万URLにとどまる。すなわち、現在、世界中の全WWWのデータを検索できる検索サービスは存在しない。この問題を解決するには、ロボット自体を分散化して、高速なデータ収集を可能にするか、あるいは、世界中の約192万のWWWサーバ自身に検索のための機能を付加して、分散検索を可能にする以外には方法がない。しかし、後者の方法は、プロトコルの統一など、標準化という大きな壁が立ちはだかる。

もう一方の③と④の問題は、単一データベースに起因する問題である。現在の検索サービスは、ロボットにより収集したWWWデータを単一データベースとして構築している。単一データベースは、構築が単純で効率的であるが、対象となるWWWデータの増加に伴いデータベース構築に時間がかかったり、検索時に多数の検索要求を並列に処理する能力が低かったり、という問題が発生する。また、多数の情報を検索するために、検索アルゴリズムを単純化せざるを得ず、高度な検索のアルゴリズムの搭載が困難となる。

このような問題点を解決するには、ロボット自体を分散化すると共に、データベースをも分散化しなければならない。

現在、①と②の問題に一つの解決策を与える方法として、WWWロボットの分散化に関する研究を、早稲田大学の千里眼［14］、京都大学のMo-n-do-u［15］、東京大学のODIN［16］、大阪府立大学の検索デスク［17］、WIDEプロジェクト（慶応大学及び北陸先端大学院大学）、電子技術総合研究所、IBM、シャープの協力の元に行われており、3.2.5で紹介する。

また、③と④に対する一解決策として、投機的情報検索システムを3.2.6で紹介する。

3.2.5　分散型WWWロボット［18］

分散型WWWロボットは、複数のWWWロボットをネットワーク上の複数の拠点に分散配置し、それらを協調動作させることにより、互いに重複しないWWWサーバのデータを分散収集することによって、高速化を図ろうとする仕組みであり、インターネット上での分散コンピューティングの一つの応用例である。

分散型WWWロボットは、図3.2-4に示すように、全体を管理するPublic Robot Server Manager（PRSM）と個々のWWWロボットであるPublic Robot Server（PRS）から構成される。PRSMは、PRSに対して担当WWWサーバの分配や、収集開始などを指示し、全体を管理する。一方、PRSは、PRSMの指示に従って、WWWサーバのデータを収集する。なお、PRSで新規に発見されたWWWサーバのデータは、PRSMに送られ、どのPRSが担当するかが決定される。このように、PRSはPRSMからの指示に基づき各々互いに重複しないWWWサーバを担当しWWWデータを収集する。

収集されたデータは、最終的に図中のSearch Service Serverに再配布することにより、検索サービスのためのインデックス作成を行う。

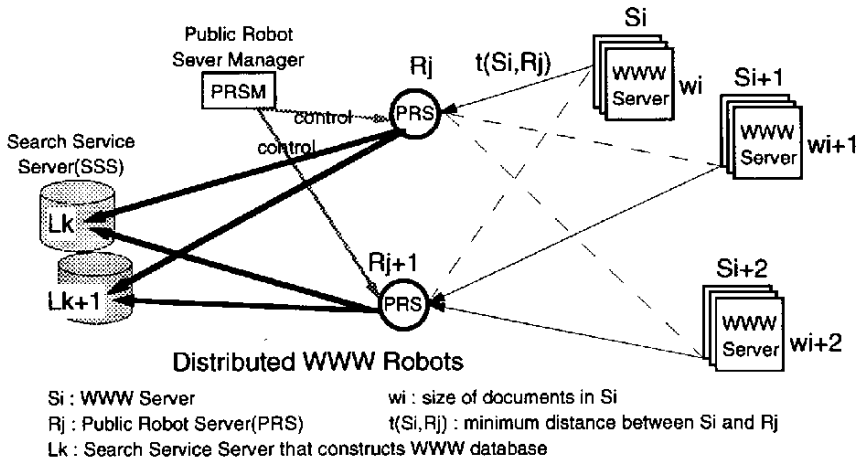


図3.2-4　分散型WWWロボットの構成

分散型WWWロボットにおいては、PRSとWWWサーバ間のデータ転送速度が、全体の収集時間を決定する大きな要因となる。このため、PRSの分担では、PRSとWWWサーバ間のサイト間距離を考慮した分散を行っている。

WWWロボットの分散による収集及び再配布時間の短縮を調べるために、日本国内の約半分にあたる6,980ドメインを対象に、計算により予備評価を行った結果を図3.2-5に示す。なお、分散ロボットであるPRSを東大、早大、電総研、及び京大の4個所に配置し、収集したデータを最終的に4つのSearch Service Serverに再配布すると仮定している。

図中のトータルコストは、PRSが担当する全WWWサーバのデータを収集し再配布を終えるまでの時間(hour)を示す。

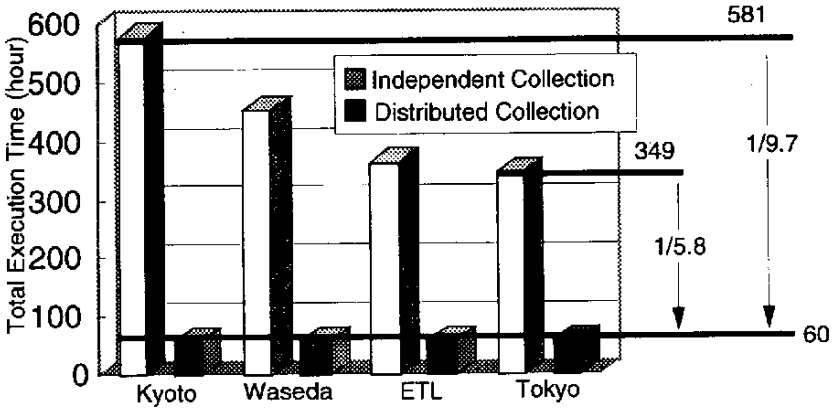


図3.2-5　分散型WWWロボットによる処理時間の短縮

図3.2-5に示すように、WWWロボットに分散協調の機能を設け、各ロボットの設置場所に応じて収集の分担を変更する場合、4台のPRS使用時、集中型に比べて5.8～9.7倍の速度向上が得られることがわかる。

この結果は、分散型WWWロボットにおいて、分散コンピューティングの効果が顕著にあらわれているこ

とを示している。つまり、インターネットのような広域ネットワークを対象とした場合、ネットワーク上のデータ転送遅延が大きく、分散コンピューティングによりこの遅延を隠すことができれば、分散台数以上の性能が得られることを示している。

3.2.6 投機的情報検索 [20]

投機的情報検索は、「高速」かつ「効率的」な検索絞込をサポートするシステムである。ユーザからの検索絞込のリクエストが無い段階からユーザの検索絞込を想定して（複数想定する）絞り込みを開始するため投機的情報検索と呼ぶ。さらに、本システムは、並列コンピューティングや分散コンピューティングで問題となる余剰計算機資源を使うことにより投機的情報検索を実現しているという特徴を持つ。つまり、計算機資源に余裕があれば、投機的情報検索を行うが、計算機資源に余裕がなければ、投機的情報検索は行わず、通常の検索サービスのみを提供する。

ユーザの検索絞込の想定にあたっては、検索要求の約40％が同一の検索要求であり、検索語を類義語で置き換える場合が約20%、さらに約15％が検索語の追加、約8％が検索語の削除という傾向［21］を用いている。そして、検索後の追加や置き換えに関しては、検索対象データから自動的に出現頻度の高いキーワード、あるいは、既に入力されている検索語の類義語を計算して用いている。また同時に、ユーザに対して、それらのキーワードを画面上に提示するという方式をとる。これは、検索結果の絞込においては、DIALOGと呼ばれるデータベースシステム中のRANKコマンド［22］や、AltaVista［6］のLiveTopics のように、検索結果中に含まれるデータ中に多く含まれるキーワードをユーザに提示し、その中から検索絞込のためのキーワードを選択させ、絞込を行う方法が有効である［23］ことがわかっているからである。

図3.2-6に投機的情報検索の概要を示す。

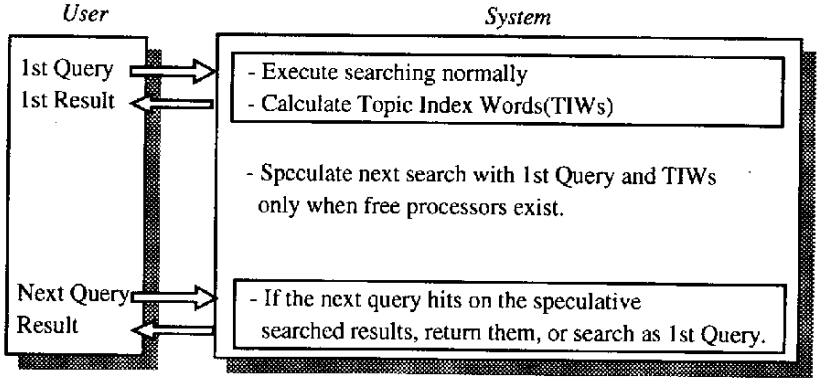


図3.2-6 投機的情報検索

・実行方法

臨界投機実行と呼ぶ実行方式［24］を用いることにより、ユーザからの検索リクエストがない間は、次に入力されるであろう絞込のための検索語を予想しながら、予想する検索語毎にタスクを起動し、検索の絞込を自動的に進めていく。そして、ユーザから実際に絞込の検索要求があった段階で、予測が正し

ければ、直ぐに結果を返す。一方、予測が外れた場合には、臨界投機実行の実行方式に従って、該当タスクの実行を停止させる。また、臨界投機実行では、図3.2-7に示すように計算機資源に余りがある場合（free）に限り投機的実行を行い、計算機資源に余りがない場合（busy）には、投機的実行を行わない。

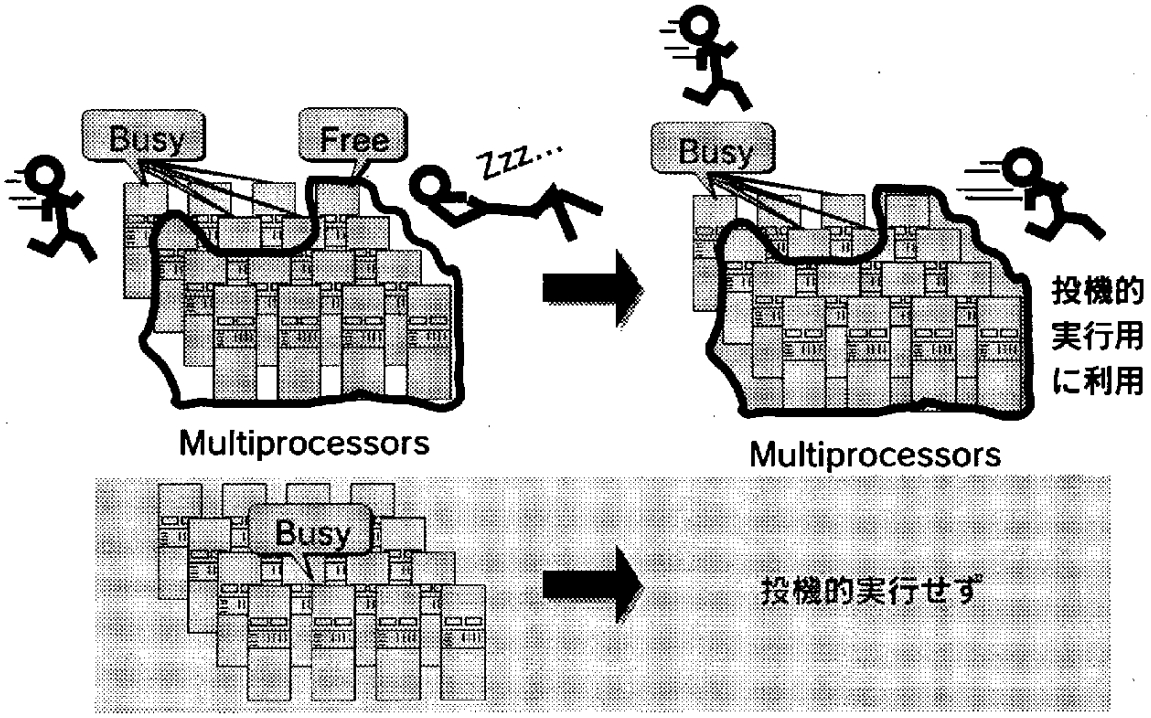


図3.2-7　臨界投機実行の仕組み

・実験結果

これまでの実験結果から、ユーザの検索リクエストの42%に対して投機的な情報検索がヒットしていることが判明している。すなわち、ユーザの10回の検索中、4回について想定した絞り込みが当たり、ユーザに対して検索結果を短時間で返すことができている。これは、ユーザの立場からは「高速な検索ができた」ことになり、システム側の立場からは「本来ならば無駄に放置されていた計算機資源を有効に使うことができた」ことになる。

このように、投機的情報検索では、並列コンピューティングや分散コンピューティング時に無駄となっている暇なプロセッサ（計算機資源）を有効利用し、ユーザの検索をサポートする仕組みを提供している。

3.2.7　WWW情報検索サービスの未来

現在、WWWロボット系のWWW情報検索サービス分野における日本独自のシステムは、富士通のInfoNavigator［25］やNTTのTITAN［26］の二つである。富士通のシステムは、富士通の開発したAP3000と

呼ばれるワークステーションクラスタをプラットフォームとして用いており、AP3000の性能を示すための一つのアプリケーションとして提供されている。一方、TITANは、純粋に検索アルゴリズムの実証のために作られたものであり、何れもWWW情報検索サービスの提供による利益の追求を目的としたものではない。

このように、現在のWWW情報検索サービスは、一つの情報産業として成り立つという面からも、採算のとれる水準に至っていない。このため、たとえWWWロボットで全WWWデータを集めることができたとしても、巨大なデータベースの構築に必要な、高性能コンピュータへの投資が思うように出来ないといった悪循環が生じている。さらに、このままの状態が続けば、世界中のWWWデータの検索ができなくなる可能性もある。

このような悪循環を断ち切るには、例えば、世界中のWWWの情報を収集するといった、WWW情報検索サービスを提供する全サイトにとって共通の利益となる部分に対しては、お互いに協力するという体制も一つの選択肢であり、その際には、3.2.5で示した分散型ロボットのような仕組みが重要となるであろう。さらに、収入源として、現在の広告収集以外に、電子課金システムによるユーザ負担（例えば1検索1円）も一考に値する。そのためには、インターネット上での電子課金システムの早期実現が望まれると共に、電子情報の共有に対するユーザの意識改革が必要である。

3.2.8　WWW情報検索のアプリケーションとしての重要性

WWW情報検索は、これまで述べてきたようにインターネットの発展に欠かすことのできないものであるが、一方で、WWW情報検索は、「現在のインターネット上で最も多くのユーザが利用しているアプリケーションの一つ」でもある。さらに、WWW情報検索は、一つの技術により構成されるものではなく、並列処理技術、分散処理技術、さらには、文字や図形などのパターン認識や知識処理などのAI技術など、総合的技術が必要とされるアプリケーションである。

このように多岐に渡る総合的技術から構成され、かつ、多くのユーザが利用するアプリケーションは、今後の情報産業発展にとってのキラーアプリケーションとしての可能性を持つ。

すなわち、WWW情報検索に限らず、「多岐に渡る総合的技術から構成され、かつ、多くのユーザが利用するアプリケーション」を対象とした研究開発は、一旦、「研究開発→利益→研究開発」という正のフィードバックを得ることができれば、そのアプリケーション自体が産業として発展するとともに、多岐に渡る総合的技術についても研究開発が飛躍的に進む可能性を秘めている。

3.2.9　分散コンピューティングへ発展するシナリオ

本項では、WWW情報検索を例題として、分散コンピューティングの研究へと発展するシナリオを考えてみる。

・目的

インターネット上での分散コンピューティングを推進することにより、新たなコンピューティング産業

分野を切り開く。

・現状分析

現状では、分散コンピューティングは米国企業が中心となり研究開発が進められている分野。日本は、自前のワークステーションやパソコンのシェアが小さいこともあり出遅れている。しかし、インターネットの急速な発展により、今後、分散コンピューティング産業は欠くことの出来ない産業となると予測。

・当面の課題

インターネットを使った分散コンピューティングの事例が少ない現在、どのような問題点、解決すべき点があるのかを明らかにするためのFSが必要不可欠。FSにあたっては、21世紀の高度情報社会において必要となる曖昧情報検索技術、すなわち、大量の曖昧情報の中から瞬時に必要な情報を取り出すアプリケーションを例題として取り上げ、分散コンピューティング技術の研究開発を進める。なお、本アプリケーションは、インターネット上において必要不可欠なものであり、需要が大きくFSのアプリケーションとして適する。

・技術的問題点

現在のサーバ、クライアントはインターネットやイントラネットの普及によって飛躍的に伸びている。しかし、現在のサーバ・クライアント間のシステムは、１対１、１対多の通信を基本として構成されている。これは、昔のホストコンピュータと端末との関係に等しい。今後は、多対多の通信をベースとしたシステムに移行することにより、より高機能で高速なシステムとなって行く。例えるならば、汎用計算機が複数のワークステーションやパソコンに置き換わったダウンサイジングと同様である。しかし、現在のサーバやクライアントは、多対多の通信を仮定して構成されておらず、さらに、多対多の通信を使うアプリケーションも少ないことから、研究開発が進まない現状にある。このような現状を打開するためには、まず、多対多の通信が有用となるアプリケーションを示すことが重要。

・規格化

分散サーバ・クライアントが協調して分散コンピューティングを行うには、サーバ・クライアント間での通信プロトコル、データフォーマットの規格化が必要となる。各種データの扱いについて、規格化を行い、データ流通の高効率化を目指す。

・国の役割

規格化が図られていない現在、分散サーバ・クライアントが協調して各種処理を行うことは困難。規格化は、一企業のみではできず、多くの企業の賛同を得る必要があり、コンピュータ産業、さらに、プロバイダやインターネット利用企業の参加が不可欠。

さらに、いくつかの疑問に対する回答例を示す。

・インターネットを使った分散コンピューティングが必要不可欠か？

現在のスーパーコンピュータ、汎用コンピュータの能力をパソコン一台とインターネットで達成できる分散コンピューティングは、価格性能比から21世紀の産業基盤として必要不可欠な存在となると予

想される。これは、スパコンが並列機へと変化しているのと同様である。また、誰でも必要な時に必要なだけ利用できるスパコンは、分散コンピューティングの各種産業への応用を可能とし、電子・情報産業の市場規模を増大させる。

・なぜ国が行う必要があるか？

日本は、分散コンピューティングの分野において、リードできる会社が現存しない。しかし、2000年で2.5兆円市場、さらにその後の発展が予測されるインターネットの基幹技術（ハードウェア、ソフトウェア）をおさえることが重要。また、サーバ、クライアント連携における規格化では、国のサポートが必要不可欠。

・体制はどうあるべきか？

利害関係の一致するプロトコル等の規格、さらには、分散コンピューティングの導入部分、電子課金システム等については、共同して研究開発を行うことが重要。一方、各社が特徴を出さなければならないアプリケーションに依存した部分で競争段階の技術については、個別に研究開発を行うのが望ましい。例えば、WWW情報検索であれば、データの分散収集部分については、利害関係が一致する技術として、共同で研究開発を行い、検索アルゴリズム等の競争段階の技術にについては、個別に研究開発を行う。

・なぜアプリケーション提示が必要？

「分散コンピューティング＝遅い」という固定観念を一掃し、アプリケーション次第では、スーパーコンピュータ以上のことが可能となることを示すことが、この分野の技術革新を進める上での第一歩。インターネットを使った技術革新は、デマンドサイドから可能性を示すことが重要。

3.2.10 おわりに

これまで日本は、どちらかというと個々の要素技術のボトムアップで研究開発を進めてきたが、これからは、それらの成熟してきた要素技術を有機的に結び付けていくことが重要であると感じる。既に家電分野ではこの総合技術が日本の強みとなっているのは事実の通りである。

このような総合技術をこれからはコンピュータ分野に生かして行くことが求められている。その際、これまでボトムアップで積み上げてきた要素技術群を組み合わせることで、はじめて達成される総合的なアプリケーションを題材とした研究開発が重要となってくるのではないだろうか。ここで、注意しなければならないことは、アプリケーションのみを最終目標とせず、同時に研究開発が進んでいく個々の要素技術の応用を絶えず考えていくことである。

3.2.9で述べたシナリオは一例であり、本当に正しいかどうかというよりも、こういう考え方を持って研究を進めていくことが最も重要だと考える。

＜参考文献＞

[1] Internet Domain Survey: http://www.nw.com/zone/WWW/top.html

[2] Netcraft Web Server Survey: http://www.netcraft.co.uk/survey/

[3] CERN: http://www.cern.ch/

[4] NCSA Mosaic Home Page: http://www.ncsa.uiuc.edu/SDG/Software/Mosaic/

[5] Lycos: http://www.lycos.com/

[6] AltaVista: http://altavista.digital.com/

[7] HotBot: http://www.hotbot.com/

[8] Infoseek: http://www.infoseek.com/

[9] OpenText: http://index.opentext.com/

[10] Yahoo!: http://www.yahoo.com/

[11] MetaCrawler: http://www.metacrawler.com/

[12] Excite: http://www.excite.com/

[13] Webcrawler: http://www.webcrawler.com/

[14] 千里眼: http://senrigan.ascii.co.jp/

[15] Mo-n-do-u: http://www.kuamp.kyoto-u.ac.jp/labs/infocom/mondou/

[16] OIDN: http://kichijiro.c.u-tokyo.ac.jp/odin/

[17] 検索デスク: http://www.bekkoame.or.jp/~asaisan/

[18] 山名,田村,河野,亀井,原田,西村,浅井,楠本,篠田,村岡 ： 分散型WWWロボットによるWWW情報収集, 第9回データ工学ワークショップ, (1998.3)

[19] S.Kamei,H.Kawano,T.Hasegawa, *"Effectiveness of Cooperative Resource Collecting Robots for Web Search Engines"*, Proc. of Pacrim'97, Vol.1, pp.410-413, 1997

[20] 山名,小池,児玉,戸田,山口: 臨界投機実行のWWW情報検索への応用, 信学技報, Vol.97,No.226,(CPSY97-60/SWoPP'97),pp.69-74 (1997.8)

[21] P.D.Bruza,S.Dennis: *"Query ReFormulation on the Internet:Empirical Data and the Hyperindex Search Engine"*, Proc. of RIAO'97, Montrrol, pp.488-499(1997.6).

[22] RANK command: http://www.doalog.com/dialog/publications/rank-qrc.html

[23] G.Grefenstette:"SQLET: Short Query Linguistic Expansion Techniques, Palliating One-Word Queries by Providing Intermediate Structure to Text", Proc. of RIAO'97, Montrrol, pp.500-509(1997.6).

[24] Hayato Yamana, Mitsuhisa Sato, Yuetsu Kodama, Hirofumi Sakane, Shuichi Sakai, and Yoshinori Yamaguchi: "A Macrotask-level Unlimited Speculative Execution on Multiprocessors", Proc. of ICS'95, Balcelona, Spain, pp.328-337 (1995.7)

[25] InfoNavigator: http://infonavi.infoweb.or.jp/

[26] TITAN: http://titan.navi.ntt.co.jp/

3.3　エージェント拡張現実感—エージェントによる実世界と情報世界の統合—

3.3.1　はじめに

インターネットのようなワールドワイドな情報発信と受信の基盤が整いつつあることが背景にあり、情報空間あるいは情報世界という考えが生まれている。これは、電子メールや電子掲示版、さらに電子図書館のような、コンピュータネットワークを用いて、情報をやりとりしたり、蓄えたり、加工したりする環境である。つまり、情報世界とは、人間が実世界とは異なる、ある意味で間接的な様式で関わりを持つ世界である。

将来、人々が実世界から情報世界に活動の幅を広げていくことになると、その両者を結び付け、実世界での生活に情報世界での活動をうまく反映させてやることが必要になってくるだろう。

本稿では、そのような試みの例として、拡張現実感と、筆者の提案するエージェント拡張現実感について述べる。

拡張現実感（augmented reality）とは、もともとは仮想現実感から派生した研究領域で、実世界の映像に仮想的な物体の映像を重ね合わせるという発想に由来している。拡張現実感の研究は、透過型ディスプレイを用いて実世界の映像に仮想世界のCG映像を重ね合わせることから始まっている。このような考えは、1968年のSutherlandによる戦闘機のコックピットの研究［13］にまで遡ることができる。

また、仮想現実感に immersion 型（Head-Mounted Displayを使って、仮想世界に没入するタイプ）の他にfish-tank型（水槽を覗くように、実世界からディスプレイに写った仮想世界を見ているタイプ）があるように、拡張現実感にも、透過型ディスプレイを使って実世界に情報世界を映像として重ねる以外の方法が考えられる。

そのアイディアは、より一般的な情報の重ね合わせ、あるいは、情報提示の同期による相互補完という方向に発展してきている。たとえば、カーナビゲーションのような形態である。

カーナビゲーションシステムは、実世界における現在位置と地図（情報世界）上の現在位置の間に常に関連を持たせ、現在位置とユーザーの目的に関連のある情報を提示することができる。このようなシステムは、実世界を情報的に拡張しているという意味で一種の拡張現実感と言える。

さらに、筆者はいわゆるソフトウェアエージェントの技術［5、20］を用いて、拡張現実感のアイディアを発展させている。それをエージェント拡張現実感（agent augmented reality）と呼ぶ［8］。それは、エージェントの自律性や能動性を、拡張現実感の機能である実世界の認識や状況依存の情報処理に導入して、より広範囲な情報サービスに応用しようという試みである。例として、買物支援や道案内（と現在位置周辺の情報案内）という、日常生活に密着したものがある。

エージェント技術を使って情報サービスをするシステムには、たとえば、ジェネラルマジック社のテレスクリプトがある［19］。テレスクリプトは、分散された処理環境にプログラムを転送し、実行させる仕組みで、テレスクリプト言語というプログラミング言語で書かれたプログラムをエージェントと呼んでいる。プレースと呼ばれる処理環境はテレスクリプト言語のインタープリタで、複数のエージェント間のメッセージ交換をサポートしている。

エージェント拡張現実感は、エージェントプログラムに実世界の状況認識能力を持たせ、人間とのインタラクション、また他のエージェントとのコミュニケーションを可能にして、ユーザーの実世界状況に依存した情報サービスを行なう枠組である。

以下では、拡張現実感とエージェント拡張現実感についてそれぞれ解説し、その技術と実例を紹介する。

3.3.2 拡張現実感

拡張現実感は、仮想現実感と異なり、現実世界に立脚した情報処理を目指すアプローチである。もともとは、透過型ディスプレイを利用して現実と仮想のオブジェクトを重ね合わせるという研究から始まっているが、実世界を情報的に拡張するという、より一般的なアイディアに発展している。その背景として、インターネットによる情報世界の拡大や、モーバイルあるいはユビキタス・コンピューティングという、日常生活の中にコンピュータを融け込ませようとする技術の進展がある。

今後、コンピュータが小型化し、それを身に付けるなどして、常に携帯するようになると、人間が今どんな場所で何をしているのか、これから何をしようとしているのか、に依存して情報を提供してくれるシステムが望ましくなるだろう [25] 。たとえば、ある人がある場所に行こうとしてある駅にいるとき、それを認識して、今乗るべき電車の発着場所や発車時刻を教えてくれる、という具合である。

拡張現実感の機能としてはさまざまなものが考えられるが、筆者の考えるその代表的なものは以下の通りである。

1. 人間に伴って移動し、時に人間とは異なるやり方で実世界の状況認識を行なう。これに関連して、ウェアラブル・コンピューティングという、コンピュータを身に付けるというアイディアがある [12] 。また、状況認識のやり方には、たとえば、バーコードや赤外線によるID認識、GPSによる位置認識などがある。これは、ある意味で人間の状況認識能力を拡張していることになる。
2. 実世界状況に依存した情報処理と情報表示を行なう。たとえば、美術館や博物館で、各展示物に関する解説を、ユーザーの興味に従って行なったり、図書館やお店で、ユーザーの探しているもののところまで案内する、という具合である。これによって、その状況でなければ意味をなさない情報を提供することができる。このためには状況と（発話を含む）人間の行動から、人間の目的や意図を認識する能力が不可欠になる。
3. 繰り返される人間の行動やあらかじめ入力された所有者の個人的データから、その人間の習慣や嗜好などを獲得し、その人間に合った適切な振舞いをする。特定の人間に特化された情報は、暗黙的にその意図を認識する手助けになり、提示すべき情報の選択や、インタラクションを開始するきっかけを決めるのに役立つ。これは、人工知能における機械学習の実世界ドメインへの一つの応用例と言える。たとえば、Webページのカスタマイズやパーソナライズされた新聞などが参考になるだろう。
4. 人間の行動や（時間を含む）状況と情報内容を結びつけて記憶する（たとえば、ある場所で何をしたか、誰とどこで会って何を話したか、など）。これは、人間の記憶容量を間接的に拡張し、状況（に付随する属性）を検索キーとして記憶を呼び出すという役割を持つことになる。これは、状況の何ら

かの属性と画像や音声などの情報を組み合わせてインデックス付けするという技術が必要になる。ただし、後述するForget-me-notのように非常に単純なやり方で人間の行動の履歴を状況に関連づけて記録することができる場合もある。

3.3.3 拡張現実感の技術

基本となる技術は、実世界認識技術、状況に依存した情報処理技術、情報表示技術である。状況に依存した情報処理の実現法として、ユビキタス・コンピューティングとモーバイル・コンピューティングがある。

3.3.3.1 実世界状況認識

比較的単純なやり方でユーザーを取り巻く状況の認識を行なうことが拡張現実感を実現する一つの近道である。そのような技術には、機械可読な認識タグを用いて実世界の対象を認識するためのID認識の技術、また絶対位置や相対位置に基づいてユーザーの環境を推定する位置認識の技術などがある。

ID認識　実世界の対象に認識タグを添付し、それにエンコードされたIDを認識することによって、その対象に関連する情報を呼び出すことができる。IDのエンコードのやり方はさまざまであり、主なものでは赤外線やバーコードを用いるもの、電磁誘導方式による非接触の認識タグ（コイル状のもの）、またスマートカードのようなバッテリー不要のICチップを用いるものなどがある。ID認識を利用した例として後述のNaviCamがある。

位置認識　3次元の位置計測も実世界状況を知る有力な手段である。これには、室内の限られた範囲のような狭い領域ではPolhemus社の磁気センサーやジャイロセンサーなどが利用可能である。

また、より大規模で汎用の位置計測システムが衛星を使ったGPS（Global Positioning System）である。現在のGPSの精度は、誤差範囲が半径約100メートルであるが、ディファレンシャルGPSという、地上の固定局による補正情報を用いる手法により数メートルの精度にまで高めることができる［24］。

また、GPSの使えない（衛星の電波の届かない）屋内などでの位置認識には、PHS（Personal Handyphone System）の各基地局の位置情報を利用できるかも知れない。あるいは、さまざまな場所に、赤外線などによって場所を表すIDを発信する装置を埋め込んでおき、携帯型システムがそれを受信することによって自分の位置を知る、というID認識を位置認識に利用するやり方も考えられる。アクティブバッジと呼ばれるシステムは、これに近い発想で、個人が身に付けているバッジが自分のIDを発信して、コンピュータが埋め込まれた環境側にユーザーの存在を知らせるという仕組みになっている［16］。

3.3.3.2 実世界状況に依存した情報処理

拡張現実感の最も重要な点は、実世界状況に依存した情報処理が行なえるということである。これは、人間が日常的に直面する状況にコンピュータの注意を向けさせてやろうという試みであり、ヒューマンインタ

フェース研究の流れを大きく変えるアイディアである。そのためのアプローチは大きく分けて2つあり、1つはユビキタス・コンピューティングで、もう1つはモーバイル・コンピューティングである。

日常環境そのものをインテリジェント化するもので、ユビキタス・コンピューティングと呼ばれている。もう1つは、携帯型システムが環境に埋め込まれた何らかの手がかりに基づいて、その個人の状況に合った情報処理をするというモーバイル・コンピューティングである。

ユビキタス・コンピューティング　実世界状況に依存した情報処理の実現法の一つに、Xerox PARCのWeiserの提唱するユビキタス・コンピューティング（ubiquitous computing）がある［17］。これは、日常的な空間の至るところにコンピュータを忍び込ませ、人間の知的活動をサポートするという考えである。

実世界のさまざまな場所に埋め込まれたコンピュータは、それぞれが今どこに置かれているかを知っていて、人間がその場所でどのような情報処理を行なっているかを知っていれば、人間の行動に合った適切な振舞いをすることができる。このようにユビキタス・コンピューティングでは、コンピュータを実世界にばらまくことによって、パターン認識などの人工知能の技術を導入することなく、状況に依存した高度な情報サービスを提供することができる。

前述のアクティブバッジは、人間が常時携帯（服に張り付けるなど）して、その個人のIDを常に環境に発信している。　個々のバッジは、ある建物の中に置かれている装置に対して、本人の身分証明をすることができ、正当なバッジを付けている時にしか開かないドアや、名前を呼んで挨拶してくれる部屋や、どこにいても、その人のいるところにかかってくる電話や、その人の好みを反映した、娯楽などの情報サービスを実現することができる。

東京大学の坂村らのトロンプロジェクト［11］は、ユビキタス・コンピューティングとほぼ同様のアプローチで環境をインテリジェント化することを考えている。ただしこれは、拡張現実感を実現しようとする試みというより、日常的な電子機器に埋め込まれたコンピュータのCPUや操作仕様から、パーソナル・コンピュータのOSやGUIに至るまでの広範囲なコンピュータの利用環境に一貫性を与えようという試みであり、まだ社会的インパクトをもたらすには至っていないと思われる。

モーバイル・コンピューティング　モーバイル・コンピューティング（mobile computing）は、移動コンピュータや無線ネットワークを含む分散コンピューティング環境を目指すアプローチである。それには、移動コンピュータや無線ネットワークに適したOSやネットワークプロトコル［15］の研究が含まれている。ここでは、モーバイル・コンピューティングのアプリケーションに焦点を当てて説明する。

モーバイル・コンピューティングに基づく拡張現実感システムは、携帯型のシステムが実世界の状況認識を行ない、さらに無線ネットワークを通じて関連情報にアクセスするという形態が考えられる。後述するウォークナビはそのようなシステムの一例であり、携帯型のコンピュータがGPSや赤外線によりユーザーのいる環境を知り、移動体通信を使ってインターネット（World Wide Web）にアクセスし、ユーザーの位置に合った情報案内を行なうことができる。

ユビキタス・コンピューティングと比べた場合の、モーバイル・コンピューティングの利点には、たとえばプライバシーの保護があるだろう。ユビキタス・コンピューティングでは主に環境側が情報処理を行なう

ので個人情報が環境に遍在してしまう可能性がある。それに対してモーバイル・コンピューティングでは、特定のユーザーに密着した携帯型コンピュータが主体となって情報処理を行なうので、個人情報をできるだけ外に漏らさないようにすることができるため、個人情報を使って積極的にカスタマイズする、システムのパーソナライゼーションが実現できる。

3.3.3.3 情報表示

拡張現実感における情報提示のもっとも基本的なものは、実世界映像とCG映像を重ね合わせるオーバーレイという手法である。その他に、画像や音声などの複数のコミュニケーションチャネル／モダリティを有機的に統合するマルチモダリティという手法がある。

オーバーレイ Rank XeroxのWellnerらによるデジタルデスクというシステムでは、通常の机にコンピュータの画面をプロジェクターを用いて投影することにより、紙などの実世界の対象と情報世界の対象を重ね合わせるという手法を用いている［18］。机の状態の認識にはカメラを用いる。これによって、(1) 紙に書かれた単語を指さすと辞書引きして、その内容を紙の近くに表示する、(2) 表に書かれた数字の列を指でなぞると、その合計を表示する、(3) 普通のペンで書いた図形をコピーして他の位置に表示する、などの操作が実現できる。

オーバーレイの他の例としては、日立で開発されたオブジェクト指向ビデオがある［14］。これはビデオ映像にグラフィックオブジェクトをスーパーインポーズするもので、ユーザーは重ねて表示されたグラフィックオブジェクトを直接操作することで実世界の対象そのものを操作できる。具体的には実世界の対象は、工場における制御装置で、オペレータがその装置のビデオ映像を選択すると、対応するグラフィックのコントローラが重ねて表示される。その映像は制御装置が操作されている状況とその効果を、実世界映像とコンピュータ画像を巧みに利用して表示している。同様に、ビデオ映像とスーパーインポーズを利用して情報提示するシステムに後述するSony CSLのNaviCamがある。

また、古くから研究が行なわれている、透過型ディスプレイを用いて実世界の視覚的状況に情報世界の内容を重ねるやり方もオーバーレイの一種と言える。これの代表的な例は、ノースカロライナ大学のBajuraらによる医療支援のシステムである［1］。これは、妊婦の腹部に、超音波によって得られた胎児の映像をスーパーインポーズして表示するもので、擬似的に医師に患者の体を透視する能力を与えていることになる。同様の例に、コロンビア大学のFeinerらによるKARMAというシステムがある［3］。これは、プリンターの保守のためのシステムで、プリンターのスイッチやトレーの動かし方などを示すために、透過型ディスプレイを使ってCG画像をスーパーインポーズする。このシステムは、ユーザーの顔の向きから得られる視点に基づいて、提示すべき情報を自動的に生成するための知識ベースを用いている。

マルチモダリティ 当然ながら、視覚的に情報を統合する以外にも実世界を拡張する情報を提示することができる。その代表的な例が、統合された複数のモダリティ（modality）を用いるマルチモーダルインタフェース（multimodal interface）である。モダリティとは、視覚、聴覚、触覚などの感覚（sense）を用いて外界を知覚するやり方であり、またそのような感覚に働きかける情報伝達のやり方である。

後述するSony　CSLのショップナビとウォークナビでは、画像情報と音声情報を連動させ、相互の情報の補完を行なっている。これには、ある種の冗長性が含まれるが、ユーザーが注意を払う情報の受信手法をあらかじめ限定しておくよりも、ユーザーがその場の状況に応じて自由に注意の置きどころを選択できる方がよいであろう。その意味では、モダリティ間の適度の冗長性は不可欠のものとなる。

ちなみに、マルチモーダルインタフェースに関しては、筆者の他の解説［22、21］があるので、合わせて参照していただけると幸いである。

3.3.4　拡張現実感の実例

拡張現実感の研究レベルでの実現例について述べる。

3.3.4.1　Forget-me-not

前述のユビキタス・コンピューティングの応用例として、Rank　XeroxのLammingらによって開発されたのが、Forget-me-notと呼ばれる個人情報管理システムである［6］。ParcTabと呼ばれる携帯型システムは赤外線で常にIDを送信している。それによって、その個人の行動履歴を自動的に作成することができる。たとえば、電話を使った場合、電話に内蔵されたコンピュータがParcTabからのIDを受けとり、誰がいつどこに電話をかけたかを記録する。また、どの部屋でいつ誰と会ったかなどの記録も、相手がやはり自分のParcTabを持ち、部屋に内蔵されたコンピュータがIDを受け付けることで処理される。それらの記録は、その個人のデータベースに集計される。また、電子化された文書を他人に渡す場合も、文書固有のIDを渡し、IDを使ってどこからでもその内容を取り出せるようにしておけば、いつ誰にどんな文書を渡したかという記録も簡単に残すことができる。

このシステムの重要な点は、自分の行動履歴に依存した情報の問い合わせや操作を、時間をキーにすることによって容易に行なえるということである。これは、人間の記憶を間接的に拡張しているという意味で、筆者の考える拡張現実感の重要な一つの機能を実現していると言うことができる。

3.3.4.2　Chameleon

トロント大学のFitzmauriceによって開発されたChameleonは、空間位置センサーを装備した携帯型システムである［4］。これは、実世界における位置に依存した情報を表示するインタフェースで、例として、壁に貼った地図の前で、特定の場所の近くにChameleonを持っていくと、その場所に関連した情報が表示されるという、アクティブマップと呼ばれるものがある。Chameleonは機器そのものの実世界における位置を重要な入力手段の一つと捉え、それに依存した情報処理を行なうという点で、やはり拡張現実感の一つの重要な機能を実現している。

3.3.4.3　NaviCam

Sony CSLの暦本によって開発されたNaviCamは、小型のビデオカメラを装着した携帯型ディスプレイを持

ち歩くタイプの拡張現実感システムである［10］。ビデオカメラからの映像はリアルタイムにワークステーションに取り込まれて処理される。実世界状況の認識を容易にするために、実世界の対象にカラーコード(赤と青のストライプによってIDをエンコードしたもの）を添付する。このカラーコードによって複雑な認識技術を用いることなく、実世界の状況や対象を同定することができる。

システムは、カメラから得られた映像の上に、認識したカラーコードに従って生成されたメッセージ（テキストやグラフィックス）を重ねた画像を合成する。生成された画像は液晶ディスプレイによってユーザーに提示される。画像認識を含む処理は、NTSC信号とビットマップ画像の変換以外はすべてソフトウェアで行なっており、毎秒10フレーム程度の頻度で画像を更新している。

たとえば、壁にかけられたカレンダーの前にNaviCamを差し出すと、ディスプレイにはカレンダーの映像の上にデータベースから得られたスケジュール情報がスーパーインポーズされる。これは、虫めがねのメタファーを利用した情報アクセスと言える。NaviCamは実世界の対象を「情報的に」拡大して表示することができる。

3.3.5 エージェント拡張現実感

エージェント拡張現実感は、拡張現実感にエージェント指向の技術を統合するアプローチで、実世界を認識するエージェントによってユーザーのいる世界と情報世界を密に統合しようという試みである。

3.3.5.1 実世界エージェント

エージェント指向インタフェースに拡張現実感のアイディアとその技術を統合することによって、実世界状況を認識しユーザーの意図を暗黙的に理解して、情報世界を動き回って適切な情報を検索するシステム、あるいは実世界状況に依存したタスクをユーザーに代わって遂行するシステムが考えられる。これを、実世界エージェント（real world agent）と呼ぶ［8］。

たとえば、電子メールの管理を行なったり、インターネット上の情報検索を行なうエージェントシステムは、すでにいくつか実現されている［7、2］。ただ、それらの研究では、ユーザーの目的や意図を伝達する手法、つまりヒューマン・エージェント・インタラクションに関する手法には、まだ十分に注意が払われていないと思われる。筆者が以前に関与していた擬人化エージェントの研究では、人間同士が対面式のコミュニケーションにおいて用いるようなバーバルなモダリティとノンバーバルなモダリティを統合して、人間とエージェントとが円滑なコミュニケーションを行なえるようにする試みを行なっていた［9］。しかし、擬人化のための技術が不十分なことや、考慮すべき心理学的・社会学的要因が非常に多いために、まだまだ効率的な意図の伝達を扱うには至っていない状態である。

実世界エージェントは、実世界認識という新たなモダリティを用いることによって、ユーザーの意図をより容易に認識することができるため、人間とのインタラクションを大きく改善できる可能性がある。

つまり、人間とエージェントが環境や状況を共有していることを暗黙的に理解できる場合には、言葉のようなあいまいな情報伝達手段が有効になると思われる。実世界エージェントは、人間のいる状況、その人間

の習慣・興味などを知った上で、言葉を理解する。人間はエージェントがそういったことを知ってくれていることを前提として、安心して言葉を使うだろう。たとえば、実世界エージェントは、本や本棚といった対象物を認識するとそれに対して人間が聞いてくると思われる質問を想定して、そのための文脈を用意してから、人間の言葉を認識する。もし本を見ながら「この本の著者はどんな人？」などと聞いた場合には、「この本とはどの本のことですか？」などという余計な事を聞かずにちゃんと答えてくれるだろう。また、その人間の好みを知っていれば、その人に合った本を本棚が紹介してくれる、ということも実現できる。

3.3.5.2 実世界エージェントの機能

また、実世界エージェントの重要な機能の一つとして、システムの挙動がユーザーの習慣や嗜好のような個人情報に依存して決まるというパーソナライゼーション（personalization）がある。これは単に提示すべき情報の内容やタイミングを決めるのに役立つだけではなく、エージェントが自分の遂行すべきタスクやその実行のタイミングを決定することにも利用されるだろう。

たとえば、街中を歩いていて、突然ハンバーガーを食べたくなったときに、そう発話すると、エージェントがユーザーのお気に入りのハンバーガー屋をその付近において探索し、発見するとユーザーが習慣的に注文しているものを前もってその店に伝達する、という具合である。このとき、ユーザーがその店に到着する推定時刻も同時に伝達する。これは、たとえばWWW（World Wide Web）において情報を提供し、オンライン注文などのサービスを行なっている店のみで利用可能であるが、それが将来、より一般的になるであろうことは十分に予測できることである。

このようなパーソナライゼーションを行なうことには、プライバシーの問題が伴う。つまり、個人情報を使ったカスタマイズは、個人情報を外部に漏らしてしまう可能性がある。これに関してはかなり慎重に設計する必要がある。たとえば、お店が宣伝用のエージェントを個人に向けて派遣し、その個人と対話してその人向きの情報を提供するときは、ある程度その人の個人情報を参照することになる。このときお店のエージェントが個人情報を持ち帰らないように、その場で消滅してしまうように設計することができるだろう。

3.3.6 エージェント拡張現実感の実例

以下で、筆者らの試作した、エージェント拡張現実感に基づくシステムを紹介する。一つは、ショップナビと呼ばれる個人の買物支援のシステムで、もう一つは、ウォークナビという歩行者のためのナビゲーションシステムである。いずれも、試作段階であるが、近い将来に十分に利用可能になるであろうアイディアを多く含んでいる。

3.3.6.1 ショップナビ（ショッピングアシスタント）

たとえば、今日の料理の食材をスーパーマーケットに行って買う場合、物理的に見て選べるのだから情報は特に必要ない、ということはないだろう。一見同じようでも、産地が違ったり、味が違ったり、製造日が違うということがあるからである。もし、製造元からの情報があれば、より自分に合ったものを選択できる

だろう。ただ、そういう情報はモノにうまく結びついていないと役に立たない。つまり、情報と現実のモノとの結びつきが肝心なのである。

また、買物というのは個人的な情報に強く依存している。その場合の個人情報には、何を食べたいかとか、いくらまでお金を使うか、などが含まれている。そのような個人情報と商品、店、製造元などの分散された情報を結び付けるために、エージェントの技術が役に立つ。実世界エージェントは人間が今何を見ているか、何に興味があるのか、などを認識して情報を検索することができる。

エージェント拡張現実感に基づくこのシステムをショップナビと呼ぶ。ショップナビは、エージェントがユーザーの見ている方向や対象を認識して、店内と商品の情報案内を、音声、テキストとグラフィックスを用いて行なうシステムである。図3.3-1はこのシステムを使って、ある商品（牛肉）とインタラクションしようとしている様子を、図3.3-2はその商品から得られた調理例（すきやき）の情報が携帯型ディスプレイ上に表示された状態を示している。

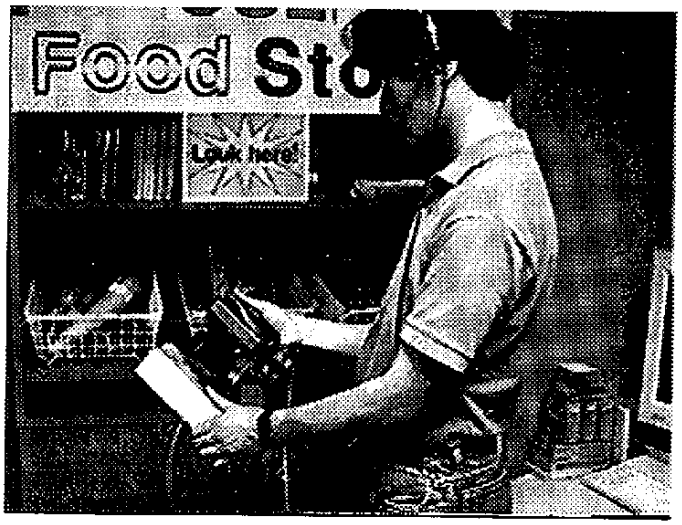


図3.3-1　ショップナビの使用風景

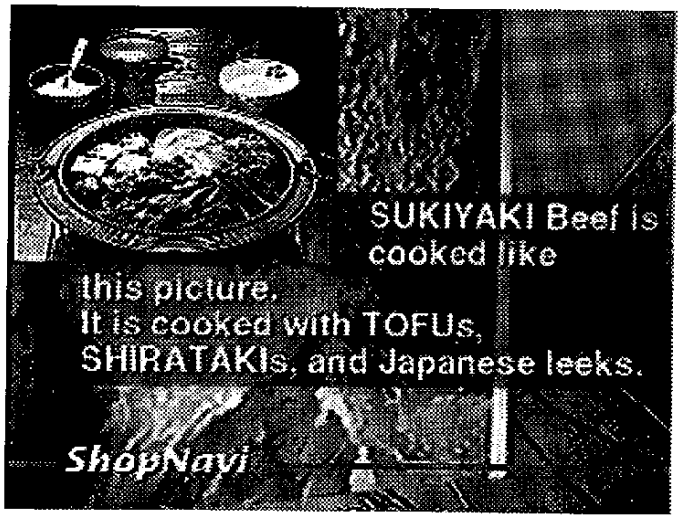


図3.3-2　ショップナビのディスプレイ

このシステムは、個人情報と店の情報と商品の情報を組み合わせてユーザーをサポートする。予算は個人情報であり、この上限をエージェントが常に意識してくれている。ちょっと高い肉を買おうとして予算をオーバーしそうになると注意してくれる。それでも買いたい場合は、エージェントに言って、個人情報を更新することができる。また、すきやきを作ろうと思ったら、家にはどんな材料が残っているかを調べてくれ、何を買えばいいのかを買物に行く前に教えてくれるだろう。また、店と情報をやりとりして、これこれのものが安いですよ、と言ってくれる。また、商品に付けられたバーコードによるIDから、エージェントがその商品を認識するとその店の管理する（パブリックな）データベース、あるいは、ネットワークを通して製造元のデータベースなどの情報世界にアクセスして情報を取ってくることができる。将来的にはお金のやりとりも無くなるだろう。近い内に通常の貨幣に取って代わると言われている、電子マネーあるいはデジタルキャッシュによって、知らない間に清算されているということも考えられる。

ショップナビは、場所や見ている方向を認識するために3次元位置センサーを、また、対象を認識するために電磁誘導方式のタグとその認識装置を利用している。電磁タグはバーコードと違って印刷ではないので、その表面が外に見えていなくても構わない。タグ用のセンサーが近づくだけでIDを読みとることができる。将来的には、このようなタグシステムは、一般に普及して、バーコードに取って代わるだろうと言われている。それによって、近い将来に、商品をカートにいれてゲートをくぐると、値段が集計されて電子マネーで自動的に支払われる、ということが可能になるだろう。このような、機械が容易に読み取れる方式のIDをモノに貼り付けるやり方は、実世界と情報世界をつなぐために十分に利用できる。

ショップナビには複数のセンサーが使用されているため、携帯システムとワークステーションをつなぐケーブルがいくつか存在するのだが、将来的には無線を使うことになるだろう。さらに、処理のプログラムのほとんどの部分は、携帯システムの内部で実行されなくても構わなくなるかも知れない。携帯システムが行なうのは、たとえば、ユーザーの声をデジタル信号に変換し、声の信号やタグの信号を含むセンサー情報をエージェントに託してネットワークに流し、ネットワークから得られた情報を特別な加工を行なわずに提示する、などの比較的単純な処理だけになると思われる。人間は、その程度のことができる小型で軽量のシステムを持ち歩けばよいようになるだろう。店内にいるときは店で大部分の情報処理をしてもらって、その結果をもらってくる、というような仕組みになると思われる。

3.3.6.2 ウォークナビ（歩行者ナビゲーター）

ウォークナビは、GPSを使って、ユーザーの現在位置を認識して、音声などから認識されたユーザーの意図に従って、位置に関連する情報をWWW（World Wide Web）から検索し、ナビゲーションや情報案内を行なうシステムである［23］。

図3.3-3はこのシステムの使用風景を、図3.3-4はナビゲーションのための地図と写真によるランドマークが示された状態を示している。

図3.3-3　ウォークナビの使用風景

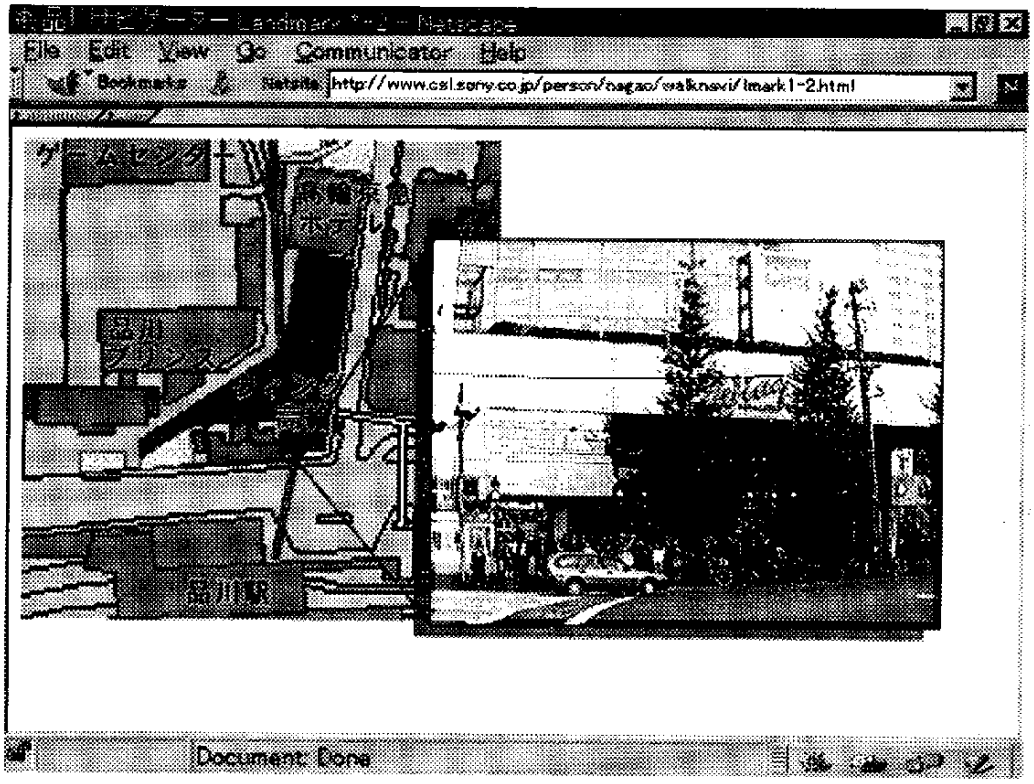


図3.3-4　ウォークナビのディスプレイ

(1) ウォークナビの構成

ウォークナビは、位置認識、音声対話、情報表示、移動体通信を行なう携帯型システムと、位置情報（緯度/経度）とWWWのURL（Uniform Resource Locator）を関連付けるWWW地理情報サーバー（Geographic WWW Server）から構成される。

ウォークナビのシステム構成は、図3.3-5のようになっている。

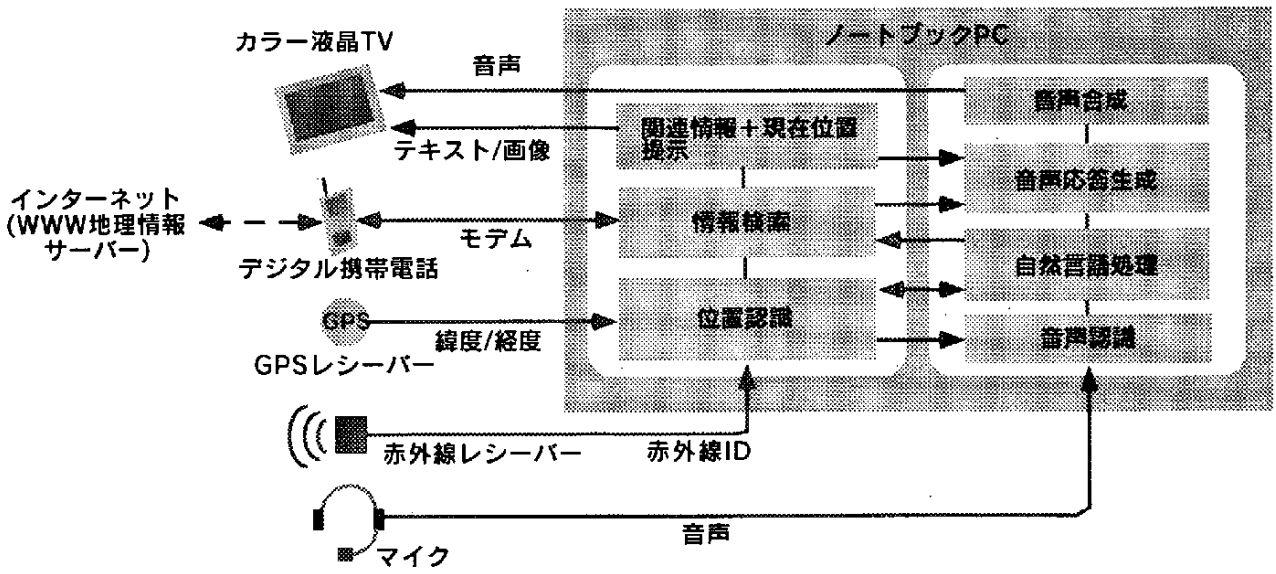


図3.3-5　ウォークナビのシステム構成

位置認識　　GPSによって得られた緯度/経度情報と電子化された地図から、自分が現在いるエリアを計算する。ただし、GPSの精度は、現在のところ最大誤差が半径100メートルなので、それだけでは正確な位置を知ることはできない。そのため、何らかのランドマーク情報が赤外線によるIDやユーザーによって与えられた場合、それを用いて現在位置を補正することもできる。将来はディファレンシャルGPSなどの技術を用いることも可能であろう。

音声対話システム　　携帯型システムにおけるユーザーの主な入力手段は音声である。これは、歩きながらの入力においては適切であると考えられる。また、システムからの出力は音声とテキスト及びグラフィックスである。テキストとグラフィックスは小型の液晶ディスプレイに表示される。これは、音声出力が記憶に残りにくいので、音声と同じもしくは一部の内容をテキストによって同時に表示する必要があるためであり、さらに、現在位置を表す地図情報や目印となる建物などの情報を直感に合うようにビジュアルに表現するためである。

音声認識や自然言語処理のモジュールは、位置認識のモジュールによって制約を受け、状況に合った辞書や知識ベースが選択される。

WWW地理情報サーバー　WWW地理情報サーバーは、緯度/経度（あるいは住所）とURLを関連付けることができる。携帯型システムは、移動体通信を使って、この地理情報サーバーにアクセスし、位置情報に依存して、関連URLを検索することができる。URLを登録するとき、何らかの索引（カテゴリー情報）を付与することができ、それを用いて検索効率を上げることもできる。

WWW地理情報サーバーは、任意のユーザーが自発的に地理情報とWeb情報を関連付けて登録できるものであり、また緯度/経度情報が与えられれば、誰でも自由にその周辺位置に関係のあるWeb情報を検索し、ア

クセスできるというものである。

図3.3-6は、WWW地理情報サーバーの画面例である。

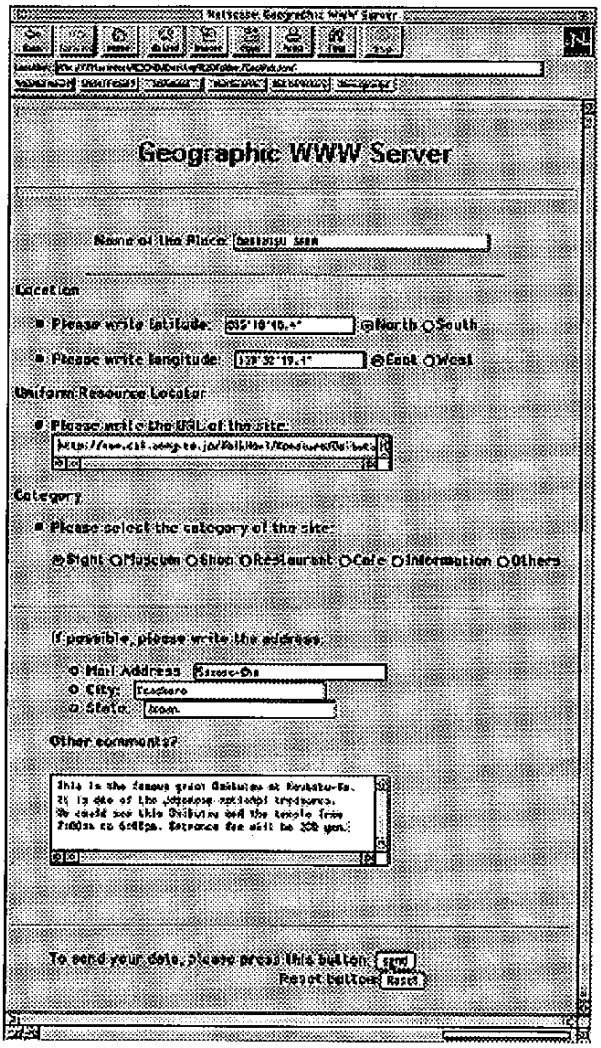


図3.3-6　WWW地理情報サーバーの画面例

WWWのオープン性は大きなポテンシャルを秘めている。たとえば、特定地域のローカルな情報はその地域の住人によって発信されるものの方が、情報提供を行なう組織が収集して公開する情報よりも、概して信頼性が高く、速報性もある。また、タウンページのような静的な情報と比較して、WWW上の情報は常に変化するのが特徴である。つまり、イベント情報など、時間とともに変化する情報をうまく提供することができる。したがって、WWW地理情報サーバーは、オープンで動的な知識源であるWWWと実世界を結び付けるために、実世界における位置（緯度/経度）と情報世界における位置（URL）を関連付ける重要な役割を果たす。

また、URLに地理情報を関連付けることは情報のフィルタリング技術としても有効であると考える。なぜ

なら、今後WWWには、ショッピング情報やレストラン情報など、現実世界のサービスと密着したものが普及していくと予測できるが、キーワードなどによる検索では、意識的に候補を限定する条件を付けない限り、実質的に意味のない情報が大量に得られてしまうからである。この点で、位置情報を暗黙のフィルタリングの条件とすることによって、ユーザーの認知的負担を軽減し、より効率的にユーザーの意図を反映した検索が行なえるであろう。

(2) ウォークナビの機能

ウォークナビの主な機能は、ナビゲーションと情報案内である。その他には、実世界エージェントを使った予約機能が考えられる。

ウォークナビのナビゲーションは、カーナビゲーションの場合と異なり、「次の交差点を右に曲がってください」のような精密度の高いものではない。それは、GPSのみによる位置測定がそれほど高い精度を出せないことと、ユーザーが向かっている方向を認識できないためである。後者に関しては、電子コンパスを用いるという考えもあるが、とりあえず歩いている人の自由度を考慮したナビゲーションを考える必要がある。その一つの方法は、さまざまな方法でランドマークとなる目印の情報を提示して、ユーザーを目的地まで誘導するやり方である。「近くにレンガ色の高い建物がありますか?」のような質問をし、ユーザーがあると答えたときに、「そこまで行ってください」のように誘導するとか、ないと答えたときには、別の目印に関する質問をする、などである。また、写真を提示して、「この風景の見えるところまで行ってください」のように指示することもできる。これによってユーザーの位置と向きを同時にナビゲートすることができる。

ウォークナビの情報案内は、WWW上の情報検索を、位置情報と音声入力を考慮して行ない、検索結果を解析して、音声とイメージを使って提示することによって行なわれる。まず、GPSからの位置情報とWWW地理情報サーバーを使って、関連するURLを絞り込む。次に、URLの指すページの内容を自然言語処理の技術を用いて解析して、ユーザーの意図に合う情報が載っているかどうか調べる。このとき、地理情報サーバーにおいてURLに添付した索引情報が利用可能な場合は、それも用いる。たとえば、「この近くに、花屋はありますか?」のような質問がなされたとき、地理情報サーバーで調べたURLの内、花屋を示しているものが見つかったときは、それに関する情報を提示する。なければ、「半径Xメートル以内（Xは任意に設定できる）には花屋は見つかりません」のように応答する。また、複数見つかった場合は、ユーザーにさらなる絞り込みの条件を要求することができる。さらに、上で述べたナビゲーション機能によって、特定された場所への道案内ができる。

実世界エージェントを使った予約機能とは次のようなものである。たとえば、ユーザーがレストランに行こうとしていることをエージェントが認識したときに、ユーザーにそのレストランで何を注文するかを前もって聞いておき、ネットワークを通してレストラン（のエージェント）にその注文とユーザーが到着する推定時刻を伝達するというものである。これは、実世界状況の認識によって、できるだけ暗黙的にユーザーの意図の候補を絞り込んで、意図認識をより容易に行ない、エージェント間のコミュニケーションを現実のサービスに結び付けようという試みである。

ユーザーの発話音声の理解や、Web上のコンテンツの検索などにおいては、自然言語処理の機能が不可欠である。これは、まだ発展途上の技術であるが、タスクやドメインを注意深く検討することによって、また

キーワードやタグなどの表層的な情報を効果的に使うことによって、ある程度実用的なものを実現することが可能であろう。さらに、ウォークナビはコンテンツがなければ役に立たないが、WWWを情報源とすることで、ローカルで草の根的な最新の情報を利用することができるであろう。

3.3.6.3　実世界エージェントの課題

実世界エージェントの抱える課題はおおむね次のようになるだろう。

1. 情報世界と実世界の連結
2. 人間とのインタラクション
3. 他のエージェントとのコミュニケーション
4. パーソナライゼーションのための学習
5. パーソナライズされた情報検索とフィルタリング
6. ユーザーのプライバシーの保護

1.に関しては、バーコードなどのIDやGPSによる位置などを使って実世界の対象や状況を特定し、それに何らかの形で情報世界へのアクセスポイントを関連づけることで一応対処できる。ただし、IDと情報内容が適切に対応づけられなければ意味が無いので、IDが無数に存在するようなときに破綻しないように、メンテナンスを効率良く行なう工夫が必要である。

2.に関しては、実世界認識が手がかりになって、人間の意図をより容易に認識できる可能性がある。ただし、状況が特定できたときに、どのようなインタラクションを行なうべきかは、タスクの性質や4のパーソナライゼーションも同時に考慮して設計すべきだろう。

3.に関しては、ユーザーの個人情報がエージェント間のコミュニケーションに有効に活かされる工夫や、6のプライバシーの保護を十分に考慮する必要がある。

4.は個人情報をどのように取得するかということである。これに関しては、ユーザーにプロファイルデータやスケジュールデータを事前に登録してもらうのがてっとりばやいが、それでは役に立たないこともある。ユーザーの繰り返される行動から何かを抽出したり、過去のインタラクションの履歴をうまく利用することも考えられる。強化学習や記憶に基づく学習などのメカニズムが利用できるかも知れないが、これは今後の課題である。

5.は4.で獲得した個人情報をどのように利用するかということである。情報検索や情報フィルタリングへの応用が最も有望であり、研究事例もいくつかある。ただし、過去の研究は主に個人のプロファイルデータが事前に与えられた場合を扱っており、個人情報の獲得と合わせて議論すべきであろう。

最後の6.は、これらの個人情報をエージェントが扱うことにより不都合が生じないための工夫の問題である。現在は、公開鍵暗号システムのような暗号化の技術が盛んに研究されているが、エージェントのような能動的なシステムを暗号や認証によって保護するだけでは不十分かも知れない。これらは、エージェントが日常的になればどんどん深刻化する問題であるから、できるだけ早急に柔軟で安全なアーキテクチャを考えるべきである。

3.3.7 おわりに

以上、エージェントの応用に関する新しい方向性として、拡張現実感との統合によるエージェント拡張現実感について述べた。情報世界が身近になりエージェントのような自律的なインタフェースの必要性が高まってくることは疑いないことであるから、今後さらにこのような方向の研究が進むであろう。

携帯型コンピュータはますます小型化し、さらに何らかの状況認識機能を持つことになるだろう。また、日常的な電子機器に埋め込まれて見えなくなったコンピュータがユーザーの認識機能や通信機能などを持つようになると思われる。このとき、携帯・移動型と環境埋め込み型のコンピュータたちがエージェントの仲立ちによって相互に密に通信し合い、人間の生活をその状況に応じて支援することになるだろう。

そして、実世界エージェントは人間の心理的・生理的側面にも注意を働かせるようになると思う。たとえば、将来、腕時計には血圧や脈拍を測る仕組みが内蔵され、帽子には脳波や脳磁場の測定器が付けられ[注1]、エージェントはそれらに基づき、ユーザーの心理状態を知ろうとするのである。たとえば、緊張しているとか、いらいらしているとか、落ち込んでいるとか、のような状態を感知すると、それを考慮して対応してくれるようになるだろう。

また、エージェント拡張現実感は人同士の結び付きを支援することにも貢献するだろう。たとえば、パーティなどの参加者の中で興味の一致する人をエージェントが情報世界において探しだし、ユーザーに知らせるのである。これによって、初対面の相手とも比較的楽に会話をすることができるようになると思う。また、電話で話そうと思ったときに、事前にエージェントに相手の都合（手が塞がっているとか、別の相手と話をしている最中だとか）をプライバシーを侵害しない程度に調べさせ、問題がなければ電話する、ということも可能になるだろう。エージェントはユーザーのプライバシーを守りつつ、他のエージェントからの問い合わせに答えて、必要に応じてユーザーの現在の状態を伝達するようになると思われる。

このように情報世界と人間を密につなぐエージェントによって、人間には新たな創造性が生まれ、人間同士には時間や空間を越えた強い絆が生まれると筆者は考えている。そのための準備を今から少しづつ始めていくべきだろう。

謝辞

本稿で述べられている研究の内、筆者に関するものは、Sony　CSLの暦本純一氏やその他の人々の協力のもので行なわれました。音声認識は電総研の伊藤克亘氏と速水悟氏によって開発されたものを使用しました。さらに、計量計画研究所の乾裕子さんと慶應義塾大学の早川由紀さんにはシステムの設計と実装に協力していただきました。ここに記して感謝いたします。

＜参考文献＞

[1] Michael Bajura, Henry Fuchs, and Ryutarou Ohbuchi. Merging virtual objects with the real world: Seeing ultrasound imagery within the patient. *Computer Graphics*, Vol.26, No.2, pp. 203-210, 1992.

[注1] そんなものを携帯して常に動作させたら、現在の携帯電話をはるかに越える強力な電磁波が出て被害甚大だと思われるかも知れないが、同時に強力な電磁波シールドも発明されているだろう。

[2] Oren Etzioni and Daniel Weld. A Softbot-based interface to the Internet. *Communications of the ACM*, Vol.37, No.7, pp. 72-76, 1994.

[3] Steven Feiner, Blair MacIntyre, and Dor'ee Seligmann. Knowledge-based augmented reality. *Communications of the ACM*, Vol.36, No.7, pp. 52-62, 1993.

[4] George W. Fitzmaurice. Situated information spaces and spatially aware palmtop computers. *Communications of the ACM*, Vol.36, No.7, pp. 38-49, 1993.

[5] Michael R. Genesereth and StevenP. Ketchpel. Software agents. *Communications of the ACM*, Vol.37, No.7, pp. 48-53, 1994.

[6] Mik Lamming and Mike Flynn. Forget-me-not: Intimate computing in support of human memory. In *Proceedings of the FRIEND21 International Symposium on Next Generation Human Interface*, 1993.

[7] Pattie Maes. Agents that reduce work and information overload. *Communications of the ACM*, Vol.37, No.7, pp. 30-40, 1994.

[8] Katashi Nagao and Jun Rekimoto. Agent augmented reality: A software agent meets the real world. In *Proceedings of the Second International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-96)*, pp. 228-235. AAAI Press, 1996.

[9] Katashi Nagao and Akikazu Takeuchi. Social interaction: Multimodal conversation with social agents. In *Proceedings of the Twelfth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-94)*, pp. 22-28. The MIT Press, 1994.

[10] Jun Rekimoto and Katashi Nagao. The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'95)*, pp. 29-36, 1995.

[11] Ken Sakamura. Human interface with computers in everyday life. In *Proceedings of the Ninth TRON Project Symposium*. IEEE Computer Society Press, 1992.

[12] Thad Starner, Steve Mann, Bradley Rhodes, Jeffrey Levine, Jennifer Healy, Dana Kirsch, RosalindW. Picard, and Alex Pentland. Augmented reality through wearable computing. *Presence*, 1997.

[13] Ivan Sutherland. A head-mounted three-dimensional display. In *Proceedings of the Fall Joint Computer Conference*, pp. 757-764, 1968.

[14] Masayuki Tani, Kimiya Yamaashi, Koichiro Tanikoshi, and Masayasu Futakawa. Object-oriented video: Interaction with real-world objects through live video. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'92)*, pp. 593-598. ACM Press, 1992.

[15] Fumio Teraoka, Yasuhiko Yokote, and Mario Tokoro. A network architecture providing host migration transparency. In *Proceedings of ACM SIGCOMM'91. ACM* Press, 1991.

[16] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcao, and Jonathan Gibbons. The active badge location system. *ACM Transactions on Information Systems*, Vol.10, No.1, pp. 91-102, 1992.

[17] Mark Weiser. Some computer science issues in ubiquitous computing. *Communications of the ACM*, Vol.36, No.7, pp. 74-85, 1993.

[18] Pierre Wellner. Interacting with paper on the Digital Desk. *Communications of the ACM*, Vol.36, No.7, pp. 86-96, 1993.

[19] Jim White. The foundation for the electronic marketplace. *General Magic White Paper*, 1994.

[20] 西田豊明. ソフトウェアエージェント. 人工知能学会誌, Vol.10, No.5, pp. 704-711, 1995.

[21] 長尾確. マルチモーダル・ヒューマンコンピュータインタラクション—エージェント指向と実世界指向—計測と制御, Vol.35, No.1, pp. 65-70, 1996.

[22] 長尾確. マルチモーダルインタフェースとエージェント. 人工知能学会誌, Vol.11, No.1, pp. 32-40, 1996.

[23] 長尾確, 暦本純一, 伊藤純一郎, 早川由紀, 八木正紀, 安村通晃. ウォークナビ: ロケーションアウェアなインタラクティブ情報案内システム. 田中二郎（編）, インタラクティブシステムとソフトウェアIII, pp. 39-48. 近代科学社, 1995.

[24] 渡辺恭人. Mobile & Ubiquitous Computing環境における物理的 位置情報に関する一考察. 夏のプログラミングシンポジウム講演論文集. 情報処理学会, 1995.

[25] 暦本純一.Augmented Interaction: 状況認識に基づく新しいインタラクションスタイルの提案. 竹内彰一（編）, インタラクティブシステムとソフトウェアII, pp. 9-17. 近代科学社, 1994.

3.4 知的ネットワークエージェント

3.4.1 概要

インターネットに代表されるネットワーク技術の進歩と普及により、今日、我々は世界中の情報やサービスにアクセスできるようになりつつある。また、パーソナルメディアの出現は、その利用形態を多様化させている。これらの技術革新により、ネットワークを活用する新しいビジネスやサービスの可能性が広がり、さらには、社会のしくみがネットワーク上に構築される、いわゆる「情報ネットワーク社会」も現実のものとなりつつある。来るべき情報ネットワーク社会においては、お年寄りから子供までが、生活に必須のサービスや趣味の情報を得るためにネットワークを活用することになる。しかし、現状のネットワーク利用技術は、これらの人達にとって決して使いやすいものとはなっていない。このような背景から、人間のネットワーク活用を知的に支援する Human-Centered Intelligent System としての知的ネットワークエージェントの必要性が高まっている。

3.4.2 エージェントの定義

以下にエージェントの基本特性を示す。エージェンとは、少なくともこれらの性質を備えたソフトウェアであると定義される［1、6、14］。

・自律性（autonomy）

エージェントは、自分の行動や内部状態を変更するしくみを持ち、外部からの直接的な指示を受けることなく、自律的に行動する。

・社会性（social ability）

エージェントは、プロトコルや共通の言語を用いて、他のエージェントと、あるいは人間と情報交換やコミュニケーションを行なう。

・反応性（reactivity）

エージェントは、自分がおかれた外部環境を認識し、そこで生ずるさまざまな変化に適切に応答する。

・自発性（pro-activeness）

エージェントは、自分の目標の達成に向けて自発的に行動を起こす。

3.4.3 知的ネットワークエージェントへの期待

エージェントを Human-Centered の観点でネットワーク活用支援に向けた際の要件、つまり、今後のネットワーク社会へ向けて、どのようなエージェントが求められているかを考える。我々がネットワークを活用して行なう仕事は、主に遠隔地の情報収集やサービス利用である。これらは、情報収集を行ないながら、その内容によって利用するサービスを決めるといったように、相互に影響し合っている。これを人手で行なう

には、自分が必要とする情報/サービスが何であり、それはネットワーク上のどこに存在し、どうすれば入手/利用でき、どう組み合わせれば目的を満たすのかなどを明らかにする必要があり、大変な手間を要する。こういった作業を効果的に支援するエージェントには、以下の能力が期待される。

・人間が何を求めているかを簡単な伝達で的確に把握する。
・ネットワーク上のどこで何をすべきかを自ら考える。
・ネットワーク上のどこへでも訪ねていく。
・個人の好みを把握している。
・過去の経験を活用する。
・人間の欲しいものを見分け、取捨選択する。
・各所の状況を把握する。
・各所の状況に応じて柔軟かつ適切に処理を変更する。
・周囲に迷惑をかけない。
・外部からの刺激に対して頑強である。
・人間や他のエージェントと協力し合って効率的に仕事をすすめる。
・許された時間内で効率よく結果をだす。

このようなエージェントは、情報ネットワーク社会における人間の活動を助けるものとなる。他の移動オブジェクトや検索エンジンなどに基づくエージェントと区別するために、ここでは上記要件を満たすエージェントを知的ネットワークエージェントと呼ぶ。

3.4.4 ネットワークエージェントの構成

図3.4-1にネットワークエージェントの基本構成を示す。エージェントを動作させるマシンには、プラットフォームと呼ばれる基本部分が設置される。プラットフォームは、各種通信を支援する通信基盤と、エージェントの移動・生成・削除などを管理するエージェント管理、どこにどういったエージェントが存在するかを管理する位置管理から構成される。エージェントはプラットフォーム上に生成され、ユーザやソフトウェアに対するインタフェース、エージェント間のインタラクション、他のプラットフォームへの移動などを駆使して処理をすすめる。

知的ネットワークエージェントを構築する際には、個々の知的エージェントの機能・特性をどのようなものにするか、プラットフォームにエージェントをどう支援させるか、エージェント間のインタラクションをどういったレベルで、どう設定するか、などをバランスよく設計する必要がある。

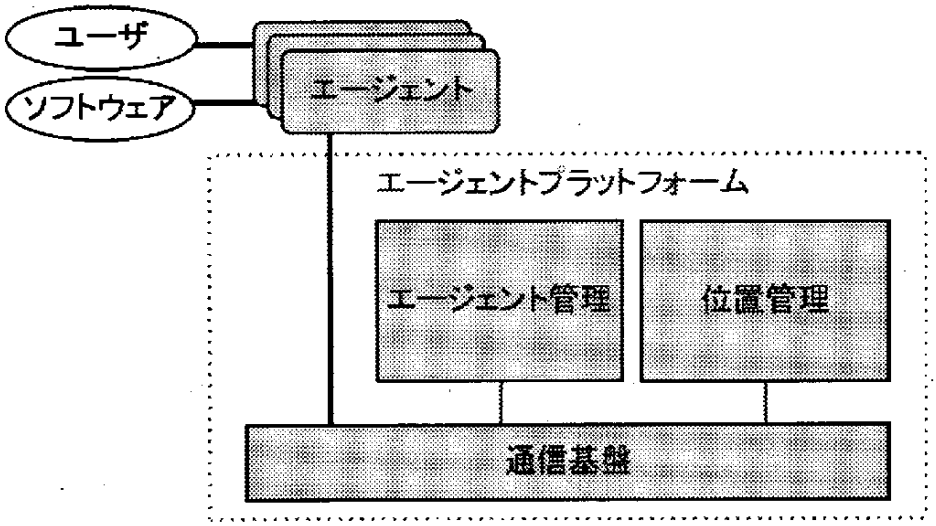


図3.4-1　ネットワークエージェントの基本構成

3.4.5　知的ネットワークエージェントの応用分野

以下に、知的ネットワークエージェントの特徴を活かした応用システムの例をいくつか示す。

・分散データ活用システム

インターネットのような広大なネットワークから人間が真に必要とする情報を収集するシステムや、形式の異なる分散データベースや内部構造の複雑なデータベースから必要な情報を収集するシステムなどは、知的ネットワークエージェントの特性を活かした応用である。CALSやECなどもこの範疇に含まれる。

・ワークフロー処理システム

処理の流れが固定的でなく、収集した情報の内容やその時の状況、相手側の状態などに応じてその後の処理が決定し、処理の結果によってまた必要な情報が決まるといった複雑な依存関係を持つワークフロー処理にも知的ネットワークエージェントを適用できる。

・グループ作業支援システム

グループによる分担作業の支援。異なる環境上で異なるツールを用いて作業が行なわれていても、エージェントがそれらの間を柔軟につなぐことができる。

・ネットワーク上のマシン保守・管理システム

定期的にネットワークを巡回してマシンを保守・管理するシステム。エージェントによる利用状況の監視やマシンの環境設定、新規ソフトウェアの自動インストールなども可能となる。また、遠隔機器の操作に知的エージェントを活用する試みもある。

・異種システムの柔らかな結合

部門や会社間をまたがって結合された広域システム。エージェントが異なるシステム間を柔軟につな

ぎ、情報やサービスを広域に提供する。

3.4.6 知的ネットワークエージェント開発の課題

以下に、知的ネットワークエージェントを開発する上での課題について整理する。

・知性

知的ネットワークエージェントの知性をいかに実現するかは大きな課題である。人間の要求の把握、行動の決定、個人の好みの把握、過去の経験の活用、対象の取捨選択、状況に応じた処理の決定など、知的ネットワークエージェントの要件の多くは知性をベースとするものである。推論技術や学習技術が深く関わってくる。

・コミュニケーション

エージェントがコミュニケーションする方法、そのための言語やオントロジーの定義などは、知性に次ぐ重要な課題である。これらの技術によって、エージェントは他のエージェントや人間と協力し合って効率的に仕事をすすめることが可能となる。エージェントコミュニケーション言語や知識交換言語の研究、オントロジー記述言語の研究、特定のドメインにおけるオントロジー定義の試みなどが行なわれている。

・セキュリティ

人間の代理人として仕事をするエージェントをどこまで信用するか、プライバシーをどう保護するかなどは、真剣に考えるべき課題である。これについては、計算機をエージェントの攻撃から保護する観点、エージェントを計算機の攻撃から保護する観点、エージェントを他エージェントの攻撃から保護する観点で議論されている。

・信頼性、安全性、実時間性

システムの制御などを行なうエージェントには、性能要求を満たしつつ、安全・確実に仕事をこなすことが求められる。エージェントの柔軟性は、動作の非決定性、不確実性にもつながる性質であるため、与えられた目標の達成に向けたエージェントの動作をいかに保証するかも課題となる。

・開発方法論や支援環境

開発者の立場で見たとき、エージェントそのものがこれまでに扱ったことのない概念である。エージェントをいかに捉え、ネットワーク上でエージェントを活用するアプリケーションをいかに構築するか、その開発方法論や支援環境の整備が課題である。エージェントの利点をうまく活かす、新しい開発方法論や支援環境が望まれる。

3.4.7 国として取り組むべき課題

・基礎研究の推進

知的ネットワークエージェントには多くの利点があるが、研究課題も残されている。3.4.6節で述べた技術課題、すなわちエージェントの知性、コミュニケーション、セキュリティ、信頼性、安全性、実時間性などに関する基礎研究、開発方法論や支援環境などについての実用化研究は、国が中心となって着実にすすめるべきものと考えられる。

・共通基盤の整備

広域なネットワーク上でエージェントを活動させるためには、プラットフォーム、エージェント管理、位置管理やセキュリティ機構などの整備が必要である。これらは、さまざまなエージェントが相互に情報交換/移動可能となるように仕様を共通化した上で、広く普及させなければならない。この種の活動は、国が強いリーダシップを発揮してすすめるべきものである。このとき、FIPA［16］、OMG［17］、Agent Society［15］などがすすめるエージェント技術の標準化活動とも協調する必要がある。

・アプリケーションの構築

情報ネットワーク社会における知的ネットワークエージェントの有効性を実証するために、大規模アプリケーションを構築し、評価実験を行なう必要がある。日本主導で海外の機関も巻き込むなど、世界規模での広域実験が望まれる。このとき、基盤技術は国が中心となって整備するが、アプリケーションの開発、運用、管理、拡張は企業や大学が主体となってすすめることが好ましい。評価の方式についても、世界中からの利用実績がフィーバックされるしくみや、利用されないアプリケーションエージェントが自然に淘汰されるしくみなどを工夫したい。

3.4.8 システム事例：知的ネットワークエージェントPlangent

Plangent（Planning Agent）は東芝 S&S 研究所で研究開発中のエージェントシステムで［7、11、12］、知的ネットワークエージェントの知性や行動力をある程度まで実現した事例である。Plangentのエージェントは、プランニング機構（知性）とネットワーク移動機構（行動力）を持ち、エージェントが自らの行動計画を立てながらネットワーク上を動きまわる点に特徴がある。図3.4-2に示すように、各エージェントは、人間の頭脳に相当するしくみとしてプランニング機構を、手に相当するしくみとしてプラン実行機構を、足に相当するしくみとしてネットワーク移動機構を持つ。このエージェントがユーザからの要求を受けとると、以下のように行動する（図3.4-3）。

(1) ユーザの要求に対するプランニング

ユーザからの要求を受けとったエージェントは、プランニングによって、どこで何をするかといった自分の行動計画（プラン）を立てる。

(2) ネットワーク上の移動

その行動計画に基づいて、必要な情報やサービスのある場所まで移動する。

(3) 行動計画の実行

移動先の情報やサービスを活用して計画を実行する。

(4) 予期せぬ事態に対する再プランニング

予期せぬ事態によって計画の実行が失敗した場合、再プランニングによって、状況に合った行動計画を作り直す。

(5) プランニング～行動計画の実行～再プランニングの繰り返し

目標が達成されるまで行動計画の作成と実行を繰り返す。

(6) 最終報告

最後にユーザのところへ戻って結果を報告する。

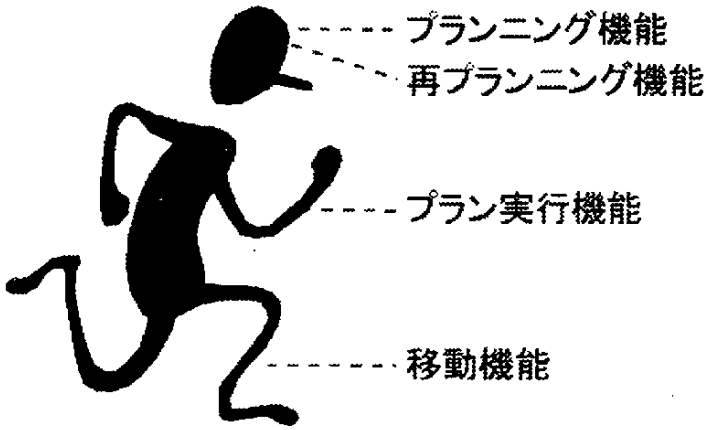


図3.4-2　各エージェントの機能

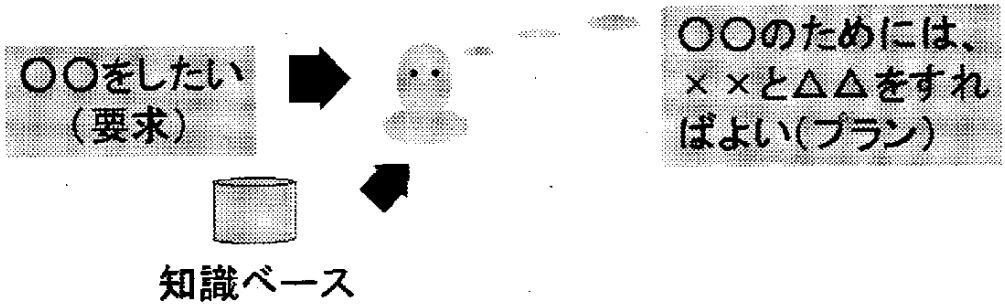


図3.4-3　エージェントの動作概要

プランニングとは、ユーザの要求を満足するための行動計画（ここでは、ネットワーク上のどこへ移動して、何を実行するかといった計画）を立てる機能である（図3.4-4）。計画を立てる際には、プラットフォーム上におかれた知識ベースを利用する。Plangentのエージェントは、最初に立てた計画を実行し、これが何らかの原因で失敗に終わった場合には、再プランニング（プランの立て直し）を行なう。このようなプラン

ニング機構を持ったエージェントには、以下のような利点がある。

・エージェントが自分で行動計画を立てるため、ユーザが細かい作業手順を指示しなくてもよい。
・予期せぬ状況変化が生じた場合、計画実行の失敗をきっかけとして再プランニングが起動され、新たな状況に合った計画が柔軟に作成される。
・収集する情報に不足や誤りがあっても、再プランニングによってそれを補う行動計画が作られるため、ネットワーク上に分散した不完全情報やクチコミ情報（不確実情報）を活用することが可能となる。
・システム構成やサービスの内容などが変化した場合、ローカルな知識を修正するだけ対応できる。次にこの場所を訪れたエージェントは、修正された知識を参照し、最新の状況に合った行動計画を作成する。

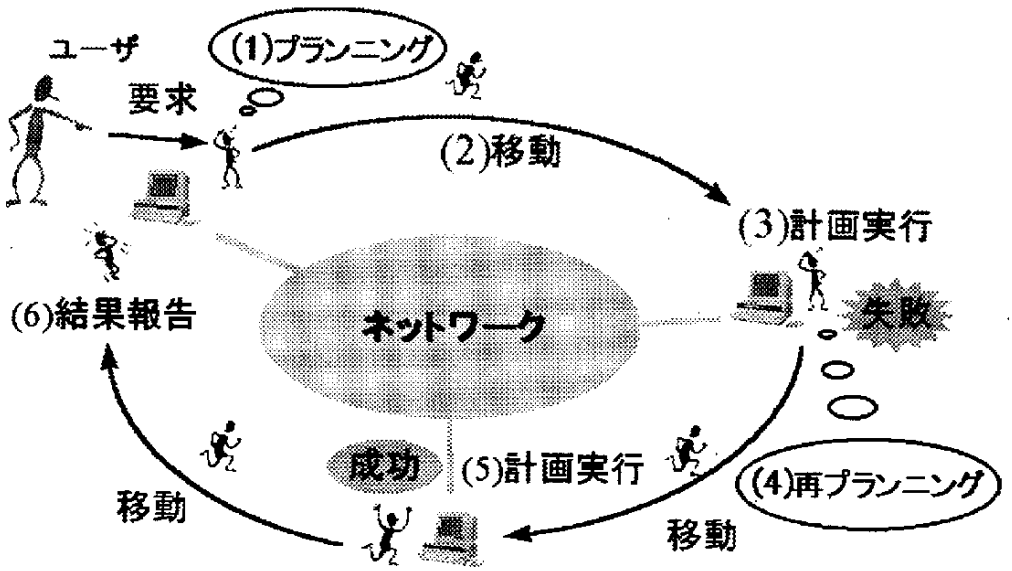


図3.4-4　プランニングによる行動計画の生成

Plangentのエージェントは、ネットワーク上を自律的に移動し、移動先でそれまでの仕事を継続する（図3.4-5）。移動先では、情報の収集やサービスの利用をローカルな処理として行ない、他の場所へ移動する際には、実行結果のみを持っていく。このような移動エージェントには、以下のような利点がある。

・エージェントが自分で処理内容を持ち運ぶため、事前にサービスプログラムを作り込む必要がない。
・環境情報やユーザの利用情報などといった移動先の状況が容易に把握できる。また、移動先の環境への適応も比較的容易である。
・エージェントが移動した後に通信回線を切断することができるため、携帯機器を使用している際に通信コストを抑えたり、または通信路が細い/不安定な環境でも比較的安定して動作する。
・過負荷状態の計算機を避けて余裕のある計算機へ移るなど、ネットワークに接続された資源を有効活用できる。

・リモート機器を操作する場合などに、操作エージェントを機器側に送り込むことができる。ネットワーク経由の制御に比べ、実時間性が高まる。

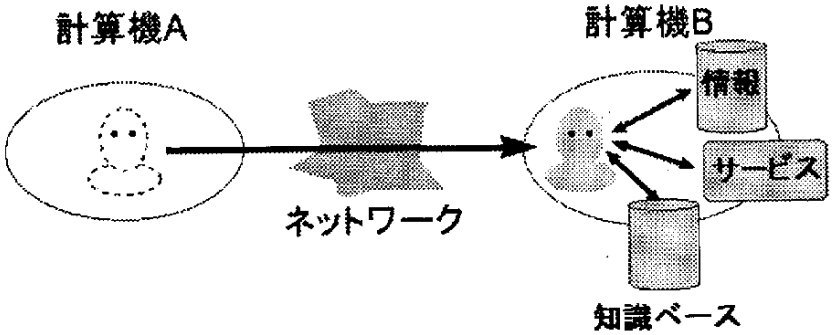


図3.4-5　エージェントの移動

移動オブジェクト型のエージェントシステムはいくつか存在するが［1、3、5、8、9、10］、Plangentは知性や動作の柔軟性といった知的ネットワークエージェントの特性を備えたシステムとなっている。Plangentに関する技術情報や評価版ソフトウェアは［26］にて公開されている。また、他のネットワークエージェントについても［18、19、20、21、22、23、24、25、27］などで情報やソフトウェアが公開されている。

＜参考文献＞

［1］　服部文夫：ネットワークエージェントによる情報収集と流通，情報処理，Vol.38，No.1（1997），pp.30-35.

［2］　服部正典，田原康之，大須賀昭彦，本位田真一：PlangentII: インテリジェント・ネットワークエージェント－分散環境におけるコンポーネントの検索/獲得問題への適用，ソフトウェア工学の基礎III（FOSE'96），近代科学社（1996），pp.194-197.

［3］　飯田一郎，西ヶ谷岳：モーバイルエージェントとネットワーク，情報処理，Vol.38，No.1（1997），pp.17-23.

［4］　Karjoth,G., Lange,D.B., and Oshima,M.: A Security Model for Aglets, IEEE Internet Computing, Vol.1, No.4（1997），pp.68-77; http://computer.org/internet/ .

［5］　Kiniry, J. and Zimmerman, D.:A Hands-on Look at Java Mobile Agents, IEEE Internet Computing, Vol.1, No.4（1997），pp.21-30; http://computer.org/internet/ .

［6］　木下哲男，菅原研次：エージェント指向コンピューティング，ソフト・リサーチ・センター（1995).

［7］　永井保夫，田原康之，入江豊，大須賀昭彦，本位田真一：PlangentI: インテリジェント・ネットワークエージェント,人工知能学会ホットトピックスと並列人工知能研究会,SIG-HOT/PPAI-9602-6（1996），pp.29-36.

［8］　インターネット高度利用のカギ「行動するオブジェクト」,日経バイト3月号（1998），pp.224-229.

[9] 西田豊明：ネットワーク社会とエージェント，情報処理，Vol.38, No.1（1997），pp.10-15.

[10] 西田豊明：ネットワークエージェント，情報処理，Vol.39, No.3（1998），pp.258-260.

[11] Ohsuga,A., Nagai,Y., Irie,Y., Hattori,M., and Honiden,S.:PLANGENT: An Approach to Making Mobile Agents Intelligent, IEEE Internet Computing, Vol.1, No.4（1997），pp.50-57; http://computer.org/internet/.

[12] Tahara,Y., Kagaya,A., Ohsuga,A., Nagai,Y., and Honiden,S.:An Agent Oriented Language Plangent, 10th Conference on Object-Oriented Programming Systems Languages and Applications（OOPSLA'95），Workshop 1, Objects, Scripts and the Web（1995）.

[13] Tahara,Y., Hattori,M., Ohsuga,A., Nagai,Y., Irie,Y., and Honiden,S.:Plangent — An Intelligent Multiagent System for Network Computing, in Proc. 2nd International Conference on Multi-Agent Systems（ICMAS-96），AAAI Press（1996），pp.460-460.

[14] Wooldridge,M. and Jennings,N.,R.（eds.）: Intelligent Agents, Lecture Notes in Artificial Intelligence 890, Springer-Verlag（1995）.

[15] Agent Society：http://www.agent.org/

[16] FIPA：http://drogo.cselt.stet.it/fipa/

[17] OMG：http://www.omg.org/

[18] Aglets：http://www.trl.ibm.co.jp/aglets/

[19] April:：http://www.fujitsu.co.jp/hypertext/Products/Software/April/Eindex.html

[20] Ara：http://www.uni-kl.de/AG-Nehmer/Ara/

[21] Concordia：http://www.meitca.com/HSL/Projects/Concordia/

[22] Kafka：http://www.fujitsu.co.jp/hypertext/free/kafka/

[23] MOA：http://www.opengroup.org/RI/java/moa/

[24] Monja：http://www.melco.co.jp/rd_home/java/monja/index.html

[25] Odyssey：http://www.genmagic.com/agents/

[26] Plangent：http://www2.toshiba.co.jp/plangent/

[27] Voyager：http://www.objectspace.com/Voyager

3.5 マルチモーダル情報統合システム

3.5.1 はじめに

人間同士の対面対話において人は、音声言語を用いた情報伝達を行うだけでなく、視線や表情、身振りといったさまざまな情報をあわせて用いることで、コミュニケーションを行っている。こうしたさまざまな情報伝達手段を組み合わせることで人は、従来のキーボードとマウス、ディスプレイによるグラフィカルユーザインタフェース（GUI）では実現不可能なコミュニケーションを行っている。

こうした従来型のインタフェースを越えて、人間とコンピュータの新しいインタラクションを実現するものとして、画像、音声、自然言語などを用いた「マルチモーダル情報統合システム」に関心が高まっている。IJCAI-97 においても、関連するものとして、“Intelligent multimodal systems”［IMS 97］と“Animated interface agents: making them intelligent”［AIA 97］の二つのワークショップが開催されている。

本稿では、画像・音声・自然言語などを統合したマルチモーダル情報統合システムの研究動向について、情報統合、ノンバーバルコミュニケーション、対話性の三つの観点から技術的特徴を整理して述べるとともに、研究開発課題について述べる。

本稿では、人間と多様な情報のやりとりを対話的に行う人工的なシステムを「マルチモーダル情報統合システム」と呼ぶが、対話に重点を置いて「マルチモーダル対話システム」と呼ばれたり、人間とコンピュータとのインタフェースとしての視点から、「マルチモーダルインタフェース」と呼ばれることも多い。これは、直接操作の基本となるグラフィックスや、言葉を表示する音声やテキストなどの複数のコミュニケーションチャンネルが同時に、相互補完的に利用でき、言葉や行為のモダリティを働かせてインタラクションができるようなシステムのことである［長尾 96］。「モダリティ」というのは、情報伝達において用いる認知的手法あるいは様式のことである。この場合に、単にコンピュータとのインタラクションの手段として複数のメディアやチャンネルが利用できるというだけでなく、有機的に統合されることが重要である［長尾 96］。

たとえば、音声、身振り、表情などの複数の情報伝達様式を組み合わせて、人間との情報のやりとりを対話的に行うものなどがあげられる。ここで、マルチモーダル情報統合において、入力・認識の技術のみならず、出力・表現手法の研究も重要である点に注意が必要である。

3.5.2 研究状況

これまで、マルチモーダル情報統合システムに関するさまざまな提案や研究開発が行われてきた［長谷川 96、長尾 96、田村 95］。具体的には、

・音声認識とセンサー［Bolt 80］、マウス・キーボード［西本 96、吉岡 97］、タッチパネル［神尾 94］などとの統合、

・身振りや表情の認識と合成［FG 95、Pavlovic 97、長谷川 97］、
・画像による読唇と音声認識の統合［Vo 93、Stork 96］、
・顔画像認識による人物識別と音声対話の統合［Hasegawa 95］、
・CG による擬人化エージェント［Nagao 94、呂 94、長谷川 94、Hasegawa 95］、
・プレゼンテーションにおけるテキスト・グラフィックス・音声の統合［Bordegoni 97］

などが主として取り上げられてきた。多様な情報伝達様式を有機的に統合した情報統合システムが理想的なものである。

マルチモーダル情報統合システムの研究にはさまざまな要素がある。紙面がある程度限られているので、いくつかの研究の事例を以下に紹介するが、これ以外にもさまざまな研究が行われている。

まず上げられるのは、音声認識と磁気センサーによる指さしを組み合わせた“Put That There”である［Bolt 80］。これは巨大なスクリーンに向かってすわり、ある対象物を指さして“Put That”と言い、つぎに別の点を指さして、“There”と言うと、その対象物が移動するというものである。

Human Reader［末永 92］は、視覚による頭部と手指の検出を行って、人間の状況を理解し、音声認識との統合を行うものである。スクリーンの前に座った利用者の顔および手指の動作を正面、側面および上面に設置した 3 台の小型テレビカメラでとらえ、実時間画像処理を行うとともに音声コマンドの認識も行う。また CG による顔画像の合成と音声合成との統合も行っている。

TOSBURG Ⅱ［竹林 94］は、ハンバーガーショップでの注文システムを想定して、ワードスポッティングをベースとする音声認識によって自由な話し言葉による音声対話を目指すものである。アニメーション、合成音、応答文テキストによる応答生成を行っている。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さえぎった音声入力を可能としている。

Talkman［Nagao 94］は、人間と自然なインタラクションを行うエージェントを目指して試作された、人間的な顔と表情を持ち、音声言語で対話するシステムである。連続音声認識技術による音声対話と、3 次元的な顔のグラフィックスによる多様な表情のリアルタイム生成を行う擬人化エージェントのプロトタイプである。

RWC つくば研究センターでは、人間の身振りに対して連続 DP 法を用いたスポッティング認識を行い、ジェスチャー認識を行っている［高橋 94］。また音声とジェスチャーの認識を統合した音声・ジェスチャー・マルチモーダル対話システムを作成している［Nagaya 96］。

電総研では、システムに、人間の行動や発話を見聞きし、また自らも発話や行動によって人間に情報を伝える能力を持たせることを目指して、音声認識、音声合成、画像認識、画像合成を統合したマルチモーダル対話システムの研究開発を進めている［Hasegawa 95、Hayamizu 97］。このシステムの特徴は、第 1 に、画像による人物識別と音声対話を組み合わせることで、識別された人物の名前を、システム側から呼んで話しかけるという「自発性」を実現したことである。また複数の人物を識別することで、第三者への伝言機能を実現している。さらに 3 次元的な顔のグラフィックスにおいて、ユーザとの視線の一致を行うようになっている。

また MrBengo［新田　97］は論争を支援する知識ベースシステムに、顔認識、表情合成、音声認識、音声

合成、WWWブラウザなどのモジュールを統合したマルチモーダル実験システムである。

3.5.3 背景

こうした研究の背景としては、現在、普通に使われているコンピュータシステムのインタフェースを超えて、実世界と相互作用できるような人工物やその人工物のためのインタフェースの実現を目指そうという流れがある。アプリケーションとしてのイメージも、これまでのいわゆる計算機ソフトというイメージから、電子秘書や情報執事といった、自律的な実体のイメージをもったものが指向されるようになってきている。

人間の行動や発話を見聞きし、また自らも発話や行動によって人間に情報を伝える能力をシステムに持たせたいと考えると、そこで対象としなければならない情報の内容や、情報を伝えるためのメディアや伝達様式は、従来のものとは、大きく異なってくることが予想される。

対象となる情報の内容は、より日常的で、生活に密着し、より人間的なものとなるだろう。ちょっとした情報を相互に伝えあい、共有しあうことになるだろう。数値やテキストから音声や動画像の連続的なメディアに伝達媒体が変化するのも、そこで伝えたい内容が、文字で表わされるようなものだけから、たとえば、微妙なニュアンスや感情といったものにまで広がる可能性があるからであると考えられる。

3.5.4 技術的特徴

マルチモーダル情報統合システムの研究にはさまざまな要素がある。大きく分類すると、情報統合、ノンバーバルコミュニケーション、対話性の三つの側面がある。

(1) 情報統合

情報統合というのは、音声や画像などの種々の情報を統合的に処理することである。組み合わせる情報の種類や、統合の仕方によって、さまざまな情報統合が考えられる。たとえば、音声認識と画像認識を統合することで、これまで単独では得られなかった認識性能を達成することの例として、画像認識による読唇との統合によって、騒音中の音声認識性能を向上させるという、情報統合によってある特定の情報伝達機能の性能を向上させることがあげられる。音声と画像の組み合わせ以外にも、音声認識とセンサー・マウス・キーボード・タッチパネルなどとの統合がある。

画像認識による読唇と音声認識の統合については、音声認識にとって典型的な情報統合の例である［Vo 93］。画像認識手法には、モデルを設定して特徴量を求めるもの、主成分分析などによって画像の全体から特徴をもとめるものなど、さまざまなものがある［Stork 96］。人間と機械によるspeechreading（読唇）については、1995年に、NATOのワークショップが開催されている［Stork 96］。

また“Put That There”の場合には、指示語のさす対象物は、音声だけでは特定できず、指示動作との統合によってはじめて曖昧性を解消することができる。

複数の情報伝達様式の統合による新しい機能の実現というのも、その技術的な特徴である。たとえば、画

像認識による人物識別と音声合成の統合によって、システムから話しかけるという「自発性」を実現したり、人物識別と音声対話の統合によって、第三者への伝言機能を実現したりするというのが、この例である［Hasegawa 95］。また複数の情報伝達様式の統合による学習の試みとして「インターモーダル学習」と呼ばれるものがある［赤穂 97、麻生 97］。

ここで注意すべきことは、入力（認識）の統合だけでなく、出力（合成）についても情報統合の対象であることである。たとえば音声認識を行う際に、擬人化エージェントによる表情の表出によって、認識結果についてのシステムの状態（認識結果についての確信の程度など）を示す［Nagao 94］ということも、情報統合の一例である。

(2) ノンバーバルコミュニケーション

ノンバーバルコミュニケーション（あるいはノンバーバルインタフェース）というのは、言葉によらない対話という意味で、身振り、表情、視線、韻律などを用いた情報伝達のことである。これには、入力・認識系と出力・表出系の二つの側面がある。

身振りや表情の認識については、1995 年から、顔とジェスチャーの自動認識についての国際会議[FG 95]が開催されており、近年、研究が活発化している［Pavlovic 97、長谷川 97］。

人間が、人間同士のコミュニケーションにおいて、自らの体を用いて生成でき、また認識（理解）できるものは、発話であり、身振りや表情である。身振りと言っても、さまざまな動作がある。表情についても、幸福、悲しみ、恐怖、嫌悪、怒り、驚きの基本 6 表情だけでなく、対話において出現するものにはさまざまなものがある［Ekman 75、黒川 94］。

身振りや表情などの身体動作は、標識（emblem）、例示子（illustrator）、情感表示（affect display）、調整子（regulator）、適応子（adaptor）に分類できる［黒川 94］。標識は、「ことば」にいいかえ可能で、音声言語と類似の性質をもつ。親指と人さし指で作る「お金」や手話などがその例である。例示子は、発話の内容や流れと結びつき、発話内容を強調、精緻化、補足するものである。対象を指さしたり、対象の形や大きさを空間に描いたり、出来事のリズムを示す動作などがこれに相当する。情感表示は、情動（感情）に伴う表情や身振りである。調整子は、発話権の授受を制御したり会話の流れを円滑にする動作である。適応子は、身体的要求を満たしたり、情緒を管理したりといった、状況に適応するための身体動作で、頭をかく、足を組む、相手との距離を変えるなどの動作がこれに属する。

たとえば、CG（擬人化）エージェントが顔だけを持つ場合と、腕と体を持って仮想空間内で行動する場合では、伝達の対象となる情報の内容の種類は、後者の場合が、格段に多いことが予想される。

またこれらの情報は、それ自身がある種の意味内容を伝達するだけでなく、調整子の例のように、対話の制御にも使用される。音声対話において、韻律は、発話権の授受やタイミングを制御するという役割を持っている。身振りや表情にも、対話において同様の役割がある。

韻律や身振りなどは、対話の制御という点では、対話の意味内容や特徴的な表層の言語表現に対して補助的に働く。したがって、対話の制御のための情報伝達としては、その現象が必ず起こるわけではない。また、非常に微妙なものであり、パターン認識の対象として難しいという性質がある。この性質は、認識を難しくするだけでなく、その前段階の学習も難しくするという点に注意が必要である。

(3) 対話性

マルチモーダル情報統合における対話性の実現において、対話の文脈との関係や対話の時間的側面との関係が重要である。

自然言語（テキスト）による対話システムや音声による対話システムには、それぞれ固有の技術的特徴と研究課題があるが、マルチモーダル情報統合システムにおける対話性というのは、情報統合やノンバーバルコミュニケーションの両方にも関係する技術的特徴である。

たとえば、マウスなどのポインティングデバイスと音声認識の統合を行うような場合、マウスで指示された項目に音声認識の対象となる語彙を絞って音声認識を行うことによって、音声認識性能を向上させることが考えられる。これは対話の文脈を特定する手段として、情報統合を利用するものである。

また、あいづちやうなずきなどを利用して、対話の時間的な側面を制御する新しい情報伝達様式によって、より生き生きとした、円滑な対話を実現することが考えられる。人間にとって、多様な内容を扱える対話や、自由なタイミングの対話が可能となることは、重要である。たとえば［坂本 94］では、人と人の対話過程における発話とうなずきや視線の一致などの情報について、ラベル付けを行いデータベース化して解析を行っている。

3.5.5 研究開発課題

これらの技術的特徴をもったマルチモーダル情報統合システムの実現に向けて、わが国としても関連する領域における研究開発を支援する必要があるものと考えられる。

このうち研究開発課題として、とくに重要、かつ緊急性が高いものは、つぎの２つである。

・情報統合技術

実世界における曖昧さ・不確かさを含む不完全な画像・音声などの情報を統合的に処理し、認識・理解や総合的判断、行為の決定に利用するための技術。

・学習・自己組織化技術

現実世界との相互作用を通してシステムが自律的に情報を収集し、自らの機能を適応・進化させるための技術。

情報統合技術は、マルチモーダル情報統合システムにおいて、音声や画像などを用いた多様な情報伝達様式を統合する技術である。情報統合によって、ある特定の情報伝達機能の性能を向上させたり、統合による新しい機能の実現を目指すものである。

このために、音声認識、音声合成、画像認識、画像合成などの個別的なパターン処理技術の向上も必要であるが、情報統合技術はこれら個別的な技術の融合領域、あるいは境界領域であり、個別の技術に対しても情報統合のわく組みからの新しい視点や価値観の導入がより重要である。

さらに、現在のコンピュータシステムを超えて、実世界と相互作用できるようなより高度なマルチモーダ

ル情報統合システムを実現するためには、学習・自己組織化技術がより重要となる。

ノンバーバルコミュニケーションや対話性についての技術的特徴のところでも述べたように、実世界と相互作用できるような人工物や、そのインタフェースの実現のためには、その対象の多様性が大きいということが問題である。カテゴリーが決まっていても、多様性が大きいために、その認識や合成を行うことが難しい。また、明確なカテゴリーが存在しなかったり、その役割が明確でなかったりするという点が、重要なポイントである。

たとえば、音声認識においては、話者変動、語彙の増加、環境音などによる認識性能の低下というよく知られた問題以外にも、自由なタイミングでの音声対話が難しいことや、１つのタスクで動作するシステムを他のタスクに移植することが難しいといった問題がある。また身振りなどの動画像認識においては、認識実験の対象とされているカテゴリー数がまだ少ないということの他に、カテゴリーの決定自身が難しい。

こうした多様性が大きく、明確なカテゴリーが存在せず、また役割が明確でないような性質の現象を扱っていくためには、カテゴリー間の識別性能を高めるという、通常のパターン認識手法の高度化だけでなく、学習・自己組織化という側面で、教える手間を減らし、言葉では教えにくいことを教えられるようにし、また、対話における状況と内容の関係を教えられるようにすることが求められる。

これらの研究開発課題は、基礎的な研究を必要とする困難な課題であり、わが国としても、これらの課題の解決を目指す研究開発を支援することで、マルチモーダル情報統合システムの実現に寄与することが望まれる。

＜参考文献＞

[AIA 97]　Proceedings of the Workshop on Animated interface agents:making them intelligent, IJCAI-97（1997）.

[赤穂 97]　赤穂, 速水, 長谷川, 吉村, 麻生：EM 法を用いた複数情報源からの概念獲得, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J80-A, No. 9, pp. 1546-1553（1997）.

[麻生 97]　麻生, 速水：機械学習におけるインターモーダル学習の位置付け, 人工知能学会情報統合研究会資料 SIG-CII-9710-1（1997）.

[Bolt 80]　Bolt, R. A. :Put-that-there : Voice and gesture at the graphics interface, ACM Computer Graphics, Vol. 14, No. 3, pp. 262-270（1980）.

[Bordegoni 97]　Bordegoni, M., Faconti, G., Maybury, M. T., Rist, Th., Ruggieri, S., Trahanias, P., Wilson, M.: A standard reference model for intelligent multimedia presentation systems, Proceedings of the Workshop on Intelligent multimodal systems, IJCAI-97, pp. 85-99（1997）.

[Ekman 75]　Ekman, P. and Friesen, W.V.:Unmasking the face, Prentice-Hall（1975）[工藤訳, 表情分析入門, 誠信書房]

[FG 95]　Proceedings of the International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition（1995）.

[長谷川 94]　長谷川, 横澤, 石塚：自然感の高いビジュアルヒューマンインタフェースの実現のための人物動画像の実時間並列協調的認識, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J77-D-II, No. 1, pp. 108-118（1994）.

[Hasegawa 95] Hasegawa, O., Itou, K., Kurita, T., Hayamizu, S., Tanaka, K., Yamamoto, K., Otsu, N. : Active agent oriented multimodal interface system, IJCAI-95, pp. 82-87（1995）.

[長谷川 96] 長谷川修, マルチモーダル対話, 人工知能学会誌, Vol. 11, No. 5, p. 812（1996-09）.

[長谷川 97] 長谷川, 森島, 金子：「顔」の情報処理, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J80-D-II, No. 8, pp. 2047-2065（1997）.

[Hayamizu 97] Hayamizu, S., Sakaue, K., Hasegawa, O., Itou, K., Yoshimura, T., Hasida, K., Akiba, T., Asoh, H., Akaho, S., Kurita, T., Tanaka, K., Otsu, N. : Multimodal interaction system at the Electrotechnical Laboratory, Proceedings of Real World Computiong Symposium, pp. 16-22（1997）.

[IMS 97] Proceedings of the Workshop on Intelligent multimodal systems, IJCAI-97（1997）.

[神尾 94] 神尾, 松浦, 正井, 新田 :マルチモーダル対話システム MultiksDial, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J77-D-II, No. 8, pp. 1429-1437（1994）.

[黒川 94] 黒川隆夫：ノンバーバルインタフェース, オーム社（1994）.

[呂 94] 呂, 吉坂, 神谷, 一色, 宮井 :人体の動作を利用した擬人化エージェントに対する考察 -- モジュール型人体動作生成とその応用について --, 情報処理学会 ヒューマンインタフェース 研究報告 54-6, pp. 41-48（1994）.

[Nagao 94] Nagao, K., Takeuchi, A. :Speech dialogue with facial displays: Multimodal human-computer conversation, Proc. ACL-94, pp. 102-109（1994）.

[長尾 96] 長尾確：インタラクティブな環境をつくる, 共立出版（1996）.

[Nagaya 96] Nagaya, S., Seki, S., Oka, R. :A theoretical consideration of pattern space trajectory for gesture spotting recognition, Proceedings of the International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 175-182（1996）.

[西本 96] 西本, 志田, 小林, 白井 :マルチモーダル入力環境下における音声の協調的利用 –音声作図システム S-tgif の設計と評価, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J79-D-II, No. 12, pp. 2176-2183（1996）.

[新田 97] 新田, 長谷川, 秋葉, 神島, 栗田, 速水, 伊藤, 石塚, 土肥, 奥村：論争支援マルチモーダル実験システム MrBengo, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J80-D-II, No. 8, pp. 2081-2087(1997).

[Pavlovic 97] Pavlovic, V. I., Sharma, R., Huang, T. S. :Visual Interpretation of hand gestures for human-computer interaction: a review, IEEE Trans. PAMI, Vol. 19, No. 7, pp. 677-695（1997）.

[坂本 94] 坂本, 綿貫, 外川：マルチモーダル対話解析, 人工知能学会研究会資料 SIG-SLUD-9401-6, pp. 39-46（1994）.

[Stork 96] Stork, D. G., Hennecke, M. E.（ed）:Speechreading by humans and machines, NATO ASI Series, Springer（1996）.

[末永 92] 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, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J75-D-II, No. 2, pp. 190-202（1992）.

[高橋 94] 高橋, 関, 小島, 岡 :ジェスチャー動画像のスポッティング認識, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J77-D-II, No. 8, pp. 1552-1561（1994）.

[竹林 94]　竹林洋一：音声自由対話システム TOSBURG Ⅱ－ユーザ中心のマルチモーダルインタフェースの実現に向けて－，電子情報通信学会論文誌，D-II，Vol. J77-D-II，No. 8，pp.1417-1428（1994）．

[田村 95]　田村秀行，池田克夫（編）知能情報メディア，総研出版（1995）．

[Vo 93]　Vo，M. T.，Waibel，A. :Multimodal human-computer interaction，Proceedings of International Symposium on Spoken Dialogue，pp. 95-102（1993）．

[吉岡 97]　吉岡，荒井，管村，嵯峨山：音声認識機能を含むマルチモーダルインタフェースをもつ住所入力システムの開発と評価，電子情報通信学会論文誌，D-II，Vol. J80-D-II，No. 5，pp. 1007-1015（1997）．

3.6 ネットワークとデータベース

3.6.1 これからの情報システム技術の課題とマルチメディア情報ベース

情報システムの歴史の中でも現在は大きな転換点になるのではないかという予感がある。「インターネット」と「マルチメディア」の２つが最近の大きな流れとなっている中で、この２つの流れが将来の情報システムを大きく変えていくのではないかということは容易に予測できる。しかし、この２つの流れを踏まえて情報システムの将来がどうなっていくかの明確なビジョンは確立されていない。

本稿のテーマである「ネットワークとデータベース」という分野は上記の２つの流れと密接に関連し様々な研究開発が行われておりその将来の予測は研究開発動向の分析だけからは困難である。そこでネットワークとデータベースを広い意味で考えることにより、将来の情報システムについて考えてみたい。情報システムは単体コンピュータの定型的利用から分散化・機能の高度化などが行われ、様々な応用に用いられるようになっている。最近のモバイルコンピューティングなどもネットワーク技術の中に位置づけることができる。一方、広い意味でのデータベースと情報管理・利用の分野は情報システムの変遷の中で将来はますます重要になっていくと考えられる。

上記のような観点から情報システムの最近の動向を見ると将来のシステムは４つのＡと２つのＳ（4A2S）で特徴づけられるのではないかと考える。４つのＡとはAnyone（誰でも）、Anything（なんでも）、Anytime(いつでも）、Anywhere（どこでも）である。ここでAnything（なんでも）はAny information（どんな情報でも）と置き換えても良いし、Anywhere（どこでも）は（どこにあっても、どこにいても）の２つを同時に意味していると考えることができる。これに対し２つのＳは Simple and Speedy（簡単で迅速に）である。したがって、4A2Sは１つにまとめると「いつでも、どこでも、だれでも、なんでも、簡単で迅速に、情報が利用できる」ことを意味している。このように書くとあたりまえのようだが、現状の情報システムは種々の制約により4A2Sが実現されているとは言い難い。しかし、ネットワークとその利用技術の発達と情報のマルチメディア化の流れは確実に将来の4A2Sの実現に向かっていると考える。したがって、情報システム技術の研究開発を4A2Sの実現という観点から分類や検討を行うことができる。本稿のテーマであるネットワークとＤＢは4A2S情報システムの実現という観点から見ればまさにその中核となる技術と考えて良い。

4A2Sを将来の情報システムの実現すべき特徴と考えたとき、ネットワークとデータベースに関連する研究分野はこれらのAまたはSを実現の観点から捉え直すことができる。そしてそれら技術の延長上に4A2S情報システムを展望することができる。しかし研究開発においては4A2Sのような抽象的な表現よりはもう少し具体的なシステムイメージを描くことが必要である。ここでは4A2Sを実現するシステムとしてマルチメディア情報ベースを考えたい。マルチメディア情報ベースは世界中に存在する各種のメディアで表現された情報を任意の場所から柔軟に検索・利用を可能とするシステムである。マルチメディア情報ベースを実現するためには関連する技術のレベルアップだけでなく統合が必要である。また、マルチメディア情報ベースは将来の情報システムの中核部分となるものであり、その研究開発を通じて情報システム技術全般の向上が可

能となる。

3.6.2　ネットワークとデータベース関連技術の動向

ネットワーク環境におけるデータベース技術は分散データベースやオンラインデータベースなど長い歴史がある。分散データベースはコンピュータネットワークに接続された複数のサイトにデータベースを分散配置し、処理効率の向上や障害対策などを図ったシステムである。分散データベース機能はすでに多くの商用データベース管理システムで実装されている。分散データベースを発展させたシステムとしては複数の異なったデータベースを管理するマルチデータベース、異機種分散データベース、連邦データベースなどとよばれるシステムがあり技術的には一定の水準に達している。オンラインデータベースはネットワークを利用した情報検索システムであり、文献情報検索や各種の情報提供サービスとして利用されている。データベース管理と情報検索の両分野は共通事項も多いが、利用形態が異なるため別々の研究分野と考えられる場合が多かった。また、データベースの更新を高速で行う必要がある応用に向けたシステムはオンライントランザクション処理システムと呼ばれ別の分野として扱われることも多い。また、電子図書館はデータベースと密接に関連しているが、これについては別項で詳説される予定である。

最近のインターネットの普及に伴い、データベース管理技術と情報検索技術の両分野にまたがる様な研究や、新しいメディアを扱うための研究が盛んになっている。新しい分野としては様々な情報源を統一的に扱ったり、大量のデータから知識を発見したりする研究などＡＩ技術と関連の深いものが多い。一般の情報処理技術者や利用者の間で話題となった分野としてはマルチメディアデータベース、データウェアハウス、データマイニングなどがある。また、ウェブデータベースという呼び方をする場合が有るようにWWWも広い意味でのデータベースと考えることができる。従って、最近はWWWやそのブラウザなどの関連ツールを踏まえた研究開発が盛んになっている。ネットワークとデータベースに関連する最近の話題には以下のものがある。

・インターネットとデータベース（Anytime, Anywhere）
・モバイルデータベース（Anytime, Anywhere）
・異種情報資源の統合利用（Anything）
・マルチメディアのサポート（Anything）
・情報の視覚化（Anyone, Simple）
・データ構造、高速化技術（Simple and Speedy）
・情報源間の交渉/協調機能（またはエージェントデータベース）
・情報源からのデータマイニング／知識発見
・ＣＳＣＷや教育など新しい応用

インターネットとデータベースに関してはWWWブラウザからのデータベース検索やウェブ検索サーバー

などがすでに実用化されている。しかし、これらの機能は比較的単純なレベルにとどまっており、各種情報資源の有効利用や、データベース機能をインターネット環境で十分に発揮するような形態とはなっていない。モバイルデータベースではクライアントが頻繁に移動する環境でのデータベースの管理がもっとも重要であるが、サーバーの移動なども考慮したモバイルコンピューティング環境でのデータベースの役割の変化なども問題になっている。これら2つの分野では基本的な情報アクセス機能以外はまだ十分研究されていない。これに対し異種情報資源の統合利用ではＤＢＭＳで管理される構造化データや、ウェブやＳＧＭＬ文書などの非構造データを統合的なインタフェース、例えば問合せ言語で利用可能とすることが主な課題である。このテーマは様々な角度から研究されているが、インターネット環境での種々の情報の有効利用を行うためには不可欠な課題である。また、これらと関連した開放系での問合せ機能の研究開発では従来のマルチデータベースの様にあらかじめ定められたサイトだけでなく、任意のサイトへの自由な問合せを実現することを課題としている。問合せ機能では属性などの構造情報が利用でき必要情報だけを送ることを指示できるので、WWWでのキーワード検索より精度の高い検索が可能である。マルチメディアのサポートではマルチメディア情報の検索や表示が主な課題である［1、2］。研究開発課題としては画像・映像の内容検索やその基礎となる時間的・空間的なデータ記述のためのデータモデル、分散ビデオサーバーなどがある。内容検索は技術的にはかなり進展しているが実用化にはまだまだ問題が多い。データ構造や高速化技術はデータベース分野では古典的な課題であるが、新しいメディアやハードウェアの導入に伴ってこれらの技術の見直し・改良も進んでいる。マルチメディア情報ベース実現の観点からこれらの技術の現状を考えるとマルチメディア内容検索技術はまだ制約が多く技術的なボトルネックになる可能性がある。したがって、マルチメディア情報にテキスト情報を付加する従来の方法の併用が必要になる。この関連で注目されるのが本報告書の別項にある「大域文書修飾」の方法である。この方法を拡張して通常の文書だけでなくマルチメディアデータにタグを埋め込むような拡張を行うことにより、マルチメディア検索の機能と性能を向上することが期待できる。

ここまでのテーマは4A2Sの各要素との関連が比較的明確であるが、以下のテーマは直接的な関連はあまりないかもしれない。情報源の交渉/協調機能は各種の高度なデータベース応用のためにデータベースなどの情報源に知的な処理を導入するアプローチである。データマイニング/知識発見では大量のデータの中から意味のある情報をどのようにして得るかが課題である。汎用的な方法も各種研究されているが、ドメインによって方法を使い分けたり、ドメイン知識を用いる方法が有効である。重要なデータほど企業秘密とされる傾向があるため、重要な研究内容が必ずしも発表されない場合が有る。ＣＳＣＷのためのデータベースは重要なテーマであるが、ＣＳＣＷ研究の一環として作業環境や作業手順との関連を重視する必要が有り、リポジトリのように独自の領域として成長していくと思われる。この他の新しいデータベース応用としては教育や地球観測（EOSDIS :Earth Observing System Data and Information System）、エレクトロニックコマース、健康管理システム、電子出版などがある［3］。

3.6.3　日米欧比較

米国の情報技術に関しては本研究所で一昨年度調査を行った［4］。研究開発分野は５つに大分類され情

報管理はその１つとなっている。情報管理分野には情報管理システム、データベース設計と管理、検索言語、等が含まれる。この分野では90年代に入って、政府の出資を受けることが難しくなっている（本調査によれば情報技術分野の資金の内情報管理分野の割合はあまり大きくなく減少傾向にあると推測されている）。その中で比較的ホットなのはインターネットとの関連の部分である。具体的には「分散マルチメディアデータベース」と「マルチメディア情報検索」がある。

分散マルチメディアデータベースはＨＰＣＣのデジタル・ライブラリ・プログラムの中で取り上げられている。このプログラムでは分散した各種の情報をネットワークでどこからでもアクセス可能とすることが課題であり、あらゆる情報が対象となる［4］。これは前節で異種情報資源の統合利用と述べたテーマに対応している。従って、図書館の電子化を主な課題とする日本の電子図書館プロジェクトと比較して対象領域が広い様に思われる。ただし、個々のテーマでは図書館への応用を意識したものが多い。また、米国ではもう一つの流れとして公共／大学図書館を中心に行われているデジタルライブラリ研究があり日本のものに近い。

マルチメディア情報検索ではマルチメディア情報の検索や表示が主な課題である。マルチメディア情報の扱いは以前から情報管理／データベースの重要な課題であるが、最近のマルチメディア技術の発達によりますます重要になってきた。本委員会でも電子美術館やヒューマンメディア技術などでマルチメディア情報の検索の重要性が議論された。

欧州の研究開発プログラムの代表であるESPRITでは情報技術分野はソフトウェア技術、部品とサブシステム技術、マルチメディアシステムの3つに大分類されている［5、6］。ソフトウェア技術は4つのテーマに分類され小分類として34のタスクがあるが、そのうち10のタスクがテーマ3の「分散システムとデータベース技術」に属している。これらのタスクは分散システムのモデリングと開発、インターオペラビリティ、分散システム管理」、ミドルウェア、情報インフラ、高性能分散ＤＢＭＳ、統合ＤＢＳ、ＤＢＭＳの機能拡張、ＤＢＳ応用のための環境、情報への直観的アクセスである。また、大分類のマルチメディアシステムには12のタスクが有り、「マルチメディア記憶と検索」の様にデータベースと関連の深いタスクが含まれている。このようにEspritではデータベースは分散システムやマルチメディアシステムと密接に関連する分野と位置づけられ研究が行われている。

日本ではかつてインターオペラブル・データベースの研究開発プロジェクトがあったが、これは技術的には分散／マルチデータベースに対応するテーマであった。また、第5世代コンピュータプロジェクトにおける知識ベースの研究開発は知識処理とデータベースの統合を目指すアプローチを取っていた。最近ではいくつかの電子図書館プロジェクトがある。大学関連では平成8年度から科学技術研究費重点領域研究として「メディア統合及び環境統合のための高機能データベースシステムの研究開発」（略称:高度データベース）が開始された。ここでは「高度応用のための情報ベースモデルとその実現技術」、「マルチメディア情報ベース技術」、「分散発展型データベースシステム技術」、「協調能動型データベースシステム技術」の4班で研究が行われており、前節で述べた研究テーマの大部分に関連する研究開発が行われている。これらの研究の中には電子図書館に有用な技術もかなりあると思われるが、図書館への応用を目指した研究は明示的には行われていない。

3.6.4　わが国として取り組むべき課題

ネットワークとデータベースに関連するわが国の研究開発は産業界を含んだものとしては電子図書館プロジェクトが関連するが、それ以外にはいくつかのプロジェクトで副次的に取り上げられている程度である。それに対し米国ではディジタル・ライブラリ・プログラムが日本の電子図書館プロジェクトと比較し広い視野で情報資源の問題を捉えているのをはじめ、情報管理が情報関連の5大分野の1つに位置づけられるなどかなりの政府資金が投入されている。また、欧州のEspritでもデータベース技術が情報技術の中でも重要な技術の1つとして位置づけられている。情報管理/データベース技術は情報インフラの重要な構成要素であり、情報産業の振興のためにより積極的な取り組みが望ましい。

本分野のプログラムとしては情報管理やデータベース一般をテーマとする案ともう少し焦点を絞った形にする案の両者が考えられる。一般的なテーマでのプログラムとする場合はEspritと同様に主な技術課題といくつかの応用をあげ総合的な研究開発を行う。しかし、このようなプログラムは情報技術一般にかんするプログラムができてその一環として実施するのでなければ困難であろう。これに対しより明確な目標を掲げたプログラムの方が実現が容易で効果がある。このようなプログラムの候補として前述の「マルチメディア情報ベース」を考えたい。マルチメディア情報ベース（ＭＩＢ）は世界中に存在する各種のメディアで表現された情報を任意の場所から柔軟に検索・利用を可能とするシステムである。ＭＩＢにより4A2Sを具体化するシステムが実現できると同時に、将来の情報システムの中核技術の研究開発を行うことができる。

ＭＩＢを実現するためには関連する技術のレベルアップだけでなく統合が必要である。また、技術開発だけでなく応用システムを開発し実用性の検証と改良のための検討を並行して行っていく必要が有る。ＭＩＢの研究開発に関連する要素技術の主なものを以下にあげる。

・インターネットとデータベース（Anytime, Anywhere）
・異種情報資源の統合利用（Anything）
・マルチメディアのサポート（Anything）
・情報の視覚化（Anyone, Simple）

ＭＩＢの研究開発において重要なのは個々の要素技術の研究と同時にそれらの技術を有機的に統合して実験的な応用システムを実現することである。この観点からはテキストや数値情報の処理技術ははＭＩＢの基礎として使用可能な段階に有るが、マルチメディアデータのサポートについては現在の技術では不十分である。このため、マルチメディア検索などの技術の研究開発が重要であり、従来技術の延長だけでなく新しいアプローチも必要になると思われる。従来の技術ではマルチメディアデータにテキスト情報を別に索引として持たせるか、マルチメディア情報自身の内容検索が中心であるが、これらだけでは十分な機能を持ったシステムの実現は困難かもしれない。また、マルチメディア情報を対象とした情報統合についてはまだあまり研究されていない。

ここで注目されるのがテキスト情報をマルチメディア情報に埋め込んで行くタグ付け(文書修飾）技術で

ある。タグ付けは例えばニュースのシーン記述や写真のキャプションなどをデータそのものに埋め込むことで検索などの情報利用を容易にできる。マルチメディアデータのデータベース化や各種の情報の電子化時にタグ付けを行い、タグつきデータを流通させることにより情報の高度利用ができる可能性もある。タグ付けは内容を理解する必要が有るので当初は人手で行うが、並行して音声認識や画像認識による自動タグ付けの研究を行うことにより将来は半自動的なタグ付けを行うこともできる。ＭＩＢの研究開発ではタグ付けが重要な役割を果たすので、マルチメディア情報のタグ付けとその応用の研究が重要である。また、技術開発だけでなく情報の収集とタグ付け、すなわちコンテンツが非常に重要となるのでコンテンツ作成の支援も必要である。

ＭＩＢの応用としては地域経済の統合情報システム(企業情報、交通網などの地図データ、住民関連情報、物流情報など）や防災情報システム（危険物の所在、警察・消防の情報、避難情報、食料情報など）など情報が１つの機関だけではなく複数の機関に散在し、総合的な情報利用が困難な分野が考えられる。

＜参考文献＞

[1] 重点領域研究「高度データベース」総括班、「高度データベース」平成9年度公開シンポジウム論文集」、1998年1月.

[2] V.S. Subrahmanian, Principles of Multimedia Database Systems, Morgan Kaufman, 1998.

[3] A., Silberschatz, M. Stonebraker, J. Ullman（Editors）,Database Research: Achievements and Oppurtunities Into 21st Century, ACM SIGMOD Record, Vol. 25, No.1, March 1996.

[4] 日本情報処理開発協会先端情報技術研究所、米国の先端情報技術に関する調査研究、1997年6月.

[5] Esprit Information Package, Part I: Genaral Information, Dec. 1996.

[6] Esprit Information Package, the 1996 Esprit Work Programme, Dec. 1996.

3.7 ディジタル図書館の立場から見た提言

3.7.1 はじめに

1990年代に入ってからのインターネットの爆発的な広がり、また全米情報基盤（National Information Infrastructure, NII）と世界情報基盤（Global Information Infrastructure, GII）の重要性の認識等により、ネットワーク上での情報資源の開発と情報アクセス環境の実現への投資が進められてきている。こうした環境下でディジタル図書館（Digital Library, DL）の重要性が認められ、わが国を含めアメリカを中心として世界各国で盛んにDLの研究開発プロジェクトが進められている。本稿では、海外で進められているDLに関するさまざまな活動の特色をアメリカを中心として紹介し、さらに必要とされる研究開発の課題について提案したい。

3.7.2 ディジタル図書館の研究開発活動—アメリカを中心として

ディジタル図書館に関するプロジェクトは以下のように大別できる。

(1) 図書館（および美術館、博物館）を中心とする資料のディジタル化を中心としたディジタルコレクション開発プロジェクト。

代表的なものに、歴史資料を集めているアメリカ議会図書館（Library of Congress, LoC）のAmerican Memory、議会情報を提供するLoCのTHOMAS、雑誌記事の大きなディジタルコレクションを作成しているJSTOR、アメリカ建国当時の文学作品の電子テキストを集めるヴァージニア大学のEarly American Fiction（EAF）プロジェクトなどがある。これらはいずれも既存の資料（議事録のように新たに作り出されるものも含めて）を電子化し、ネットワークを介して提供しようとするものである。利用形態はさまざまであり、American MemoryやTHOMASのようにインターネットで自由にアクセスでき、JSTORでは契約した図書館を介して利用者に提供している。EAFでは電子テキストの経済モデルを実験することを含めてプロジェクトを進めている。また、アメリカでは電子図書館間の協力のためにNational Digital Library Federation（NDLF）を設け、ディジタル図書館の推進のために協調する場を設けている。

(2) 新しい情報技術の研究開発を目的としたもの。

代表的なものにNSF、NASA、DARPAが共同助成をしたDigital Library Initiative（DLI、1994年－1998年）がある。ミシガン大学ほか6大学で進められたDLIは1998年秋に終了し、新たに第2段階の助成（DLI2）が予定されている［DLI2］。DLI2では先の3機関に加えて議会図書館、医学図書館（National Library of Medicine）、人文基金（National Endowment for Humanities）も助成機関として参加予定である。NSFはERCIM（European Research Consortium on Informatics and Mathematics）と共同してディジタル図書館に関連する多言語情報アクセスやメタデータ等の分野での重要なトピックを考えるワーキンググループを作っている

［NSF-EU］。新しい情報環境の登場によって人間の知的作業形態が変化し、知識や情報へのアクセス方法が変わってきた。こうした背景の下、NSFは1998年からKDI（Knowledge and Distributed Intelligence）と呼ばれる大規模な研究助成プログラムを開始する。KDIでは世界に広がる巨大な分散環境における人間の知的活動に関する理解を深め、知的活動環境を高めるためのさまざまな要素技術、利用環境、方法論、人間的要素等に関する先端的研究の推進をめざしている［KDI］。

(3) メタデータに関する研究開発。

メタデータ、すなわちデータに関するデータは大きな情報空間の中での情報アクセスのために重要な役割を果たす。カリフォルニア大学サンタバーバラ校のAlexandriaプロジェクトではGazeteerと呼ぶ地理情報のメタデータ、ミシガン大学のUMDLプロジェクトでは知的エージェントによる検索のためのConspectusと呼ぶメタデータ、スタンフォード大学のInfobusプロジェクトでは個々の資料だけではなくデータベース全体に関するメタデータ等の研究が進められた。一方、1995年頃からインターネット上の情報資源の発見（resource discovery）に用いるメタデータとしてDublin Core Metadeta Element Set（Dublin Core）の開発が進められてきた［DC］。これはインターネット上にある多様な資源情報に共通な情報を表すための基本項目を決めたものであり、最近ではネットワーク上の資源のみならずオフライン情報資源の検索のために利用することも提案されている。また、World Wide Webコンソーシアム（W3C）では、多種の基準によるメタデータ記述のための基本的枠組みを与えるResource Description Framework（RDF）や、WWWで提供される資料内容の評価付け情報を表すPlatform for Internet Content Selection（PICS）等の検討が進められている。

3.7.3　なぜディジタル図書館が重要か

「今までの図書館でも十分に利用できるのになぜ莫大なコストをかけてディジタル図書館を開発する必要があるのか」という問いはごく自然なものである。この問いに対する答えは立場によっていろいろであろうと思われるが、いくつかの典型的と思われるものには以下のようなものがある。

(1) 保存とアクセスを両立させたい。
(2) 増え続ける資料、新しい形態の資料、利用者の変化等に対して、新しい時代に即した図書館環境を作り上げたい。
(3) ネットワーク環境が不可欠な将来の教育や研究、さらにより一般的な利用に向けて知識と情報の蓄積を進めたい。
(4) インターネットの登場で人々の情報アクセス行動が大きく変化し、将来は従来のアクセス行動とはまったく異なってしまうことが予想される。そのため、新しい時代の情報アクセス環境を明らかにしたい。
(5) 将来の知的作業は、基本的にネットワークを基盤として行われることになる。旧来の図書館の枠組みにとらわれず知的作業の環境の中心的要素としてディジタル図書館を実現したい。

(6) 図書館をモデルに新しい情報流通の形態と社会環境を明らかにしたい。

ディジタル図書館の研究開発には、ネットワーク基盤、データベース基盤に関わる技術から、自然言語処理、マルチメディア情報処理、ユーザインタフェース等のより人間に近い分野の情報技術までさまざまな情報技術を総合することが必要とされている。現在の情報技術では十分な能力を持ったディジタル図書館がすぐにでき上がるとは考えにくい。また、ディジタル図書館の実現のために必要とされる技術やノウハウは、いわゆる図書館のみならず、電子商取引、社会的観点から見た情報環境、知的財産権やコンテンツ選択など広い分野に関連し、長期にわたる研究開発が必要な分野であると思われる。

ディジタル図書館、あるいはより広い意味で、知的作業環境に関してどのような研究が行われようとしているのかを示すため、下記に、先に示したNSF-ERCIM共同のプラニングワーキンググループとDLI2を簡単に紹介する。

NSF-ERCIMのワーキンググループは、下記の５つのトピックに対して組織されている。

(1) Optimized Search and Retrieval（分散環境における効率的な情報検索技術）
(2) Interoperability（ディジタル図書館、データベース等の情報資源間の相互利用性）
(3) Metadeta（メタデータ）
(4) Multilingual Information Access（多言語情報アクセス）
(5) Intellectual Property and Rights Management（知的財産権と権利管理）

DLI2は1998年秋から助成を始めるもので最長5年間、助成額は5年間で4000ないし5000万ドルである。また、人間の情報アクセスを助けるさまざまな技術（Human Cetered Research）とディジタル図書館を支えるいろいろなシステム技術（System Centered Research）の研究、適切なサイズのコレクションを持つテストベッド開発とその応用（Testbeds and Applications）、大学学部レベルでの教育におけるテストベッドと応用の計画（Planning Testbeds and Applications for Undergraduate Education）を柱として、助成を進める。

3.7.4 提言

将来の情報アクセス行動は、従来のように特定のデータベースで情報を検索するというのではなく、ネットワーク（インターネットあるいはいろいろなイントラネット）から情報を得ることになる。現在のインターネット上の情報アクセスは利用者自身の情報アクセス技能に拠るところが大きい。しかしながら、将来は誰もが必要な情報をできるだけ容易に見つけられる環境を実現していくことが必要である。また、ネットワークは個人による情報アクセスばかりではなく、グループによる情報アクセス、あるいはグループないでの情報共有、個人あるいはグループによる情報発信等、広く人間の知的作業基盤としてとらえる必要がある。

また、この知的作業基盤は言語や文化の壁を越えて利用できるものになる必要がある。

こうした知的作業基盤の実現には、

(a) 自然言語処理、マルチメディア処理技術と組み合わさった高機能な情報検索技術あるいは情報発見技術
(b) 個人およびグループのための作業環境を与えるユーザインタフェース技術、協調作業環境技術

といった情報技術の研究開発は、

(c) こうした研究を進めていくための研究者が（安心して）利用できる大規模な情報資源
(d) 実際的な利用の場で技術をテストするためのテストベッド作りのための環境

といったコンテンツ寄り、利用者の現場寄りな観点から情報技術研究のための環境を作ることが必要である。また、言語や文化の壁を越えた知的作業基盤のためには国際間での協調的な研究開発が必要とされる。以下、筆者が重要と考える点について述べる。

(1) 実用および研究に利用できる電子化情報資源の開発

自然言語処理の研究にコーパスや辞書、シソーラスが欠かせないのと同様に、ディジタル図書館あるいはネットワーク上での情報アクセス環境を研究するのに、内容の分かった、かつ内容に信頼の置ける情報資源（データベース）が必要である。無償、あるいは限られた予算でも利用でき、かつ研究者が知的財産権問題にわずらわされずに研究に利用できる情報資源を準備することが重要である。（これは、かならずしも著作権が無い資料のことを意味するのではなく、簡単な手続きで利用できるものであればよい。）

また、情報資源は既存のものと新規に開発するものが考えられる。新規情報資源の蓄積には時間がかかるが、それらが将来長期にわたって利用および再利用できることを前提に蓄積を進めることが必要であろう。さらに、単に蓄積するだけではなく、利用促進のための適切な組織化とそれに関する情報の提供、およびトレーニングの機会の提供なども“情報アクセス環境の底上げ”のために重要であると考えられる。

(2) メタデータ

ネットワーク上には形態、内容ともに多種多様な情報資源が提供される。情報資源へのアクセスには目録や索引、抄録といったさまざまなメタデータが必要である。しかしながら、情報資源の種類があまりに多様であるため、すべての種類の資源を詳細に表すことのできる単一のメタデータ基準を定義することは困難である。また、ネットワーク上の大量の資料に関するメタデータを人手で記述することも困難である。そのため、多様な資料に共通な性質のみを定義したDublin Coreのような簡潔なコアメタデータの重要性が増すことか予想される。コアメタデータに関して重要と思われる点を列挙する。

(a) メタデータを作成するためのツール

(b) 機械的なメタデータ作成機能

(c) 1次資料そのものによる検索（例、全文検索）、詳細なメタデータ基準（分野や資料の形態に依存）による検索機能とコアメタデータによる粗い検索機能とのシームレスな結合、特に不均一な分散情報環境での検索機能。あるいは複数のメタデータ基準に基づく検索機能。

境界領域や複合領域の検索、あるいは複数の言語にまたがる検索の場合、同じ意味が異なる表現で表されることや同じ表現が違う意味に使われることがある。また、情報専門家は意味が明確に定義されたControlled Vocabularyを使うことができるが、そうでない人（例えば、資料の著者自身）がメタデータを記述する場合は自由な表現、すなわちNon-Controlled Vocabularyで記述する場合が多い。こうしたVocabularyの間のマッピング、あるいは検索対象に合わせたVocabularyの自由なスイッチングが要求される。

今後、既存の情報資源、新しい情報資源を問わずネットワーク上への提供がますます進んでいくことは疑えない。そうした情報資源へのアクセス性を高める上でも、メタデータに関する大規模な取り組みをしておくことが、将来の情報アクセス環境の構築に欠かせないと考えられる。

(3) 多言語情報アクセス

インターネット上の事実上の共通語は英語である。多くの資料が日本語のみで記述されるわが国では、情報の輸出入のアンバランスがよく言われる。また、我々にとって外国語（特に英語以外）の資料からの情報入手は容易ではない。特に、わが国を含むアジア・太平洋地域には非常に多くの言語があり、かつ今後の経済交流、文化交流の発展を考えると、ネットワーク上での多言語情報アクセス環境は非常に重要な要素であると考えられる。

多言語情報アクセスには自然言語処理技術と情報検索技術、情報抽出技術等を組み合わせることが要求される。また、入出力なしに情報にアクセスすることはできないので、多言語文書の表示、入力技術が重要である。さらに多言語環境を指向した協調作業環境技術、ユーザインタフェース技術も重要である。

3.7.5 おわりに

世界全体を瞬時に結びつけることのできるネットワーク上で大量の情報を発信し、蓄積し、アクセスし、共有することは人類にとっては未経験のことである。本稿で述べたようにディジタル図書館の研究開発はいろいろな観点から進められている。これらに共通する点は、人間の行うさまざまな知的活動を支える環境を作り上げるための情報基盤作りを目指している点であると考えられる。こうした情報基盤作りには、情報技術と（メタデータを含む）コンテンツの両方を視野に入れた研究開発が非常に重要であると考えられる。

＜参考資料（URL）＞

[DC] Dublin Core Metadata Element Set : Resource Page, http://purl.org/metadata/dublin_core/

[DLI2] Digital Libraries Initiative-Phase II, http://www.nsf.gov/pubs/1998/nsf9863/nsf9863.htm

[NSF-EU] EU-NSF Supported Programme for Planning Meetings Between US DLI Projects, http://www.area.pi.cnr.it/ErcimDL/EU-NSF.html

[KDI] NSF9855-Knowledge and Distributed Intelligence-Proposal Solicitation, http://www.nsf.gov/pubs/1998/nsf9855/nsf9855.htm

3.8 個人の可能性を広げる情報基盤—Human-centered Information Infrastructure—

3.8.1 「高度情報化」と「高度高齢化」

アメリカ合衆国の高度情報化戦略は、ブッシュ政権下でスタートしたHPCC（High Performance Computing and Communication)、クリントン政権下で提唱された国家情報基盤「情報スーパーハイウェイ」NII（National Information Infrastructure）、そして、世界情報基盤GII（Global Information Infrastructure）へと発展し、世界中を巻き込んで技術開発競争、情報基盤整備競争、そして、各国の情報産業の生き残りをかけた競争が展開されつつある。

このようなトレンドにおける情報基盤整備は「いつでも、どこでも」情報にアクセスすることを可能とするための通信基盤整備 FTTH（Fiber to the Home）と、ネットワーク上に大量の情報を蓄積し、提供するためのソフトウェア基盤技術の開発に主眼が置かれ、21世紀の初頭（2005年～2015年）に製品化され、ビジネスの場や家庭に普及することを目標に進められている。

技術的な話題としてはインターネット上の分散データベースWWW（World Wide Web）やこれにアクセスするための種々のブラウザ、或いは、図書・書籍・ビデオ・音楽等のマルチメディアコンテンツそのものがデジタル化された電子図書館 Digital Library と、その情報提供サービス技術等、枚挙にいとまがない。また、ビジネスの分野では、マスメディア産業や電話産業入り乱れての、ケーブルネットワークやサテライト通信の（再）編成・組織化、ベンチャー企業によるデータベースサービスの隆盛など、活発な動きが報道されない日はない。

我国においても、急展開するアメリカ合衆国の影響を受けて、通信基盤整備やソフトウェア基盤整備のための様々な施策が通産省、郵政省、文部省等により行われており、また、民間の動きも活発である。

本稿でははじめに、このようなトレンドが目標としている21世紀初頭の社会を、「日本」的なコンテクストや事情という視点から検討し、「現在のトレンドでの技術開発が我々に何をもたらすのか？」「何をもたらさないのか？」を考察する。

人口動態予測によれば、2015年には我国の人口構成の高齢化と少子化がどの国よりも急速に進み、約４人に１人が65歳以上の高齢者となる。今後の10～15年間には、我国は未だどの国も経験のしたことのないスピードで高齢化が進むのである。同時に地球環境の面からは、二酸化炭素の排出量の規制なども厳しくする必要があり、モノやエネルギーの大量生産、大量消費は、許されなくなると考えられる。

このような制約の下で、我国の社会が健全な成長を続け、日本列島に住む人たちの生活が成り立っていくためには、以下に示すような発想の転換、パラダイムシフトと、これを可能とする情報基盤技術開発が必要である。

(a) 「高齢者＝社会的弱者、非生産従事者」という発想から転換し、「高齢者＝高度情報化時代の消費者」さらには「高齢者＝高度情報化時代の生産活動の担い手」に位置付ける。そのためには、生産活動の多様化と同時に、生産に従事する人間の多様化を可能とする技術開発を進める必要がある。

(b) モノに付加価値をつけ「一品種一生産」で、消費者に必ず受け入れられるモノ作りをして、省資源・省エネルギーの下でも高い収益を上げられるようにする。そのためには、一人ひとりの消費者の多様な嗜好・ライフスタイル等を正確に「計測」し、これにあったモノ作り、モノの提供を可能とするような技術開発を進める必要がある。

(c) 「情報コンテンツ」そのものを高度情報化時代の主力商品と位置付けて、多様な生産活動従事者と多様な消費者の間で、情報の生産・流通・消費のサイクルを確立させて、高い収益を上げる。そのためには、情報基盤そのものが人間の多様性に適応して、情報へのアクセスを保証し、情報の発信を可能として、欲しい情報を手に入れ、届けたい人に適確に情報が届けられるような技術開発を進める必要がある。

以上のような分析から本稿では、誰でもが個人の経験・知識・年齢・嗜好・文化などの背景の違いによる壁を越えて情報基盤を利用できる情報環境として、人間中心型情報基盤 HCII（Human-centered Information Infrastructure）という概念を提唱したい。

このような情報基盤技術は、「高齢化先進国としてのやむを得ないコスト」ではなく、「高度情報化・高度高齢化社会に向けたチャンス」ととらえたい。「高齢化」に関しては、従来のような「アメリカ合衆国での技術シーズを我国に導入する」という図式が当てはまらない。なぜならば、アメリカ合衆国には今後の20年間、高齢化に対処するという社会的ニーズがないため、この分野の技術開発へのドライビングフォースが無いからである。その一方で、我国での技術開発、社会への提供と検証が、21世紀の世界の社会インフラ整備のお手本、すなわち、国際標準となりうるのである。

3.8.2 「高度情報化」の現状と問題点

3.8.2.1 情報へのアクセス技術の観点から

近年のマルチメディア技術、ネットワーク技術、インタフェース技術を含む情報技術の急速な発展にもかかわらず、最先進国のアメリカ合衆国を含めて、社会的・産業的に、次のような問題点が認められる。

(1) マルチメディアコンテンツ（１次情報）とコンテンツへのアクセス情報（２次情報）の爆発的な増大による情報洪水。

(2) 情報機器利用者の急激な増加、多様化に対して、インタフェース技術や利用者対応技術が追いつかない。

(3) 情報技術により仕事の効率化（生産性、クオリティの向上）が図れる部分と、図れない部分との格差が広がる。

このような問題点に対処しないままでは、多種多様な背景を持つ広範な利用者の側に、「情報機器」「情報サービス」への拒否感が定着すると共に、新産業の開拓や、既存産業の情報化を進める上でのボトルネッ

クとなることは明白である。

上記のような問題点を技術面から抜本的に解決し、我国の情報関連産業の競争力の強化に結びつけるためには、以下のような技術が求められる。

(i) 「欲しいと思う情報」「自分に役立つと思われる情報」を、情報洪水の中から確実にピックアップできる技術。

(ii) 「この情報を欲しいと思っている人」「この情報が役立つであろう人」を、見つけだして、的確に送り届ける技術。

(iii) 「アルファベット」「キーボード」を使わずに、「こんな」「感じ」で情報機器を使いこなせるようにする技術（以心伝心）。

(iv) 「利用者・消費者の感性を理解する」技術。

(v) 「利用者・消費者の感性に受け入れられるものをつくる」技術。

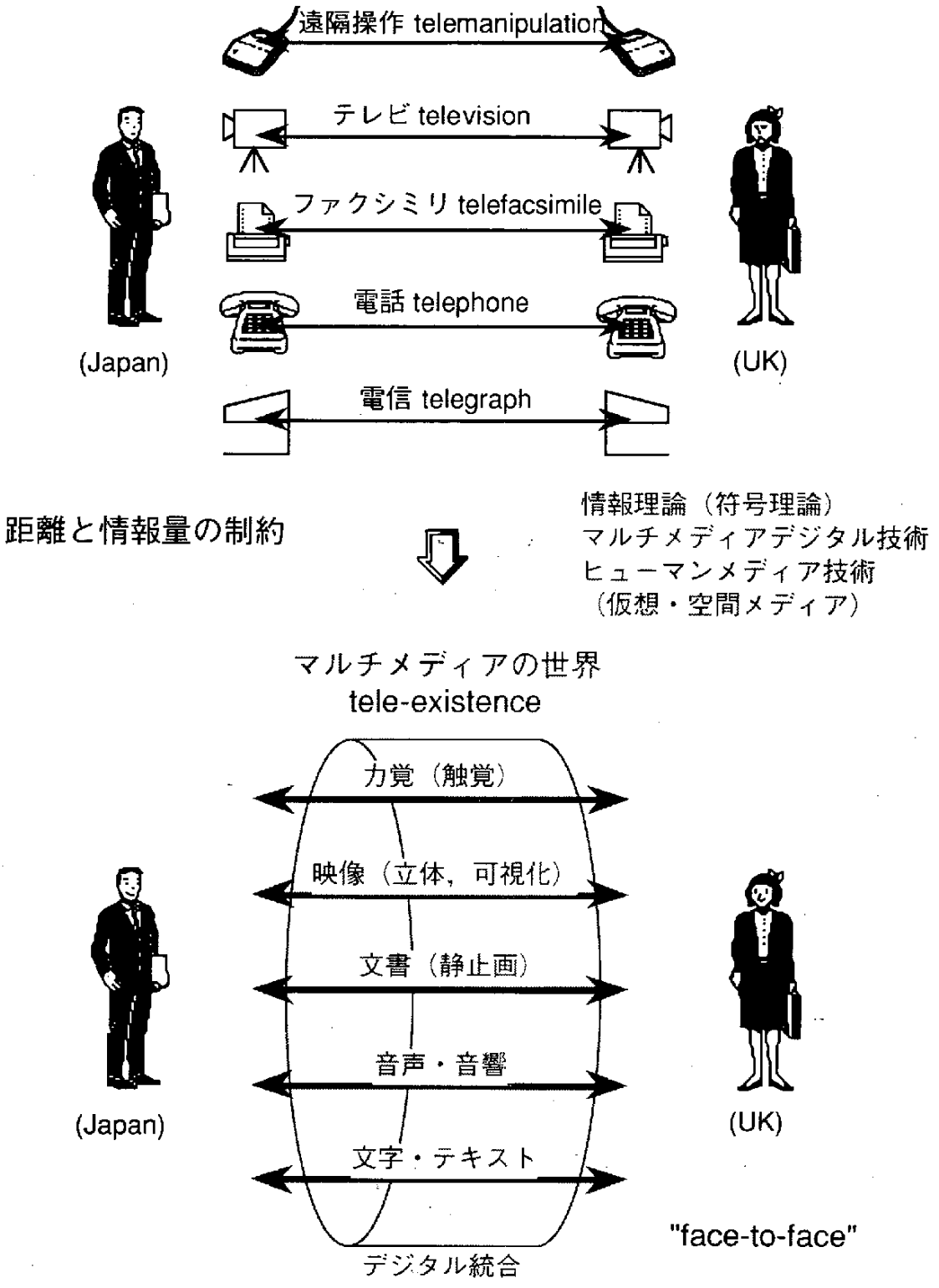
本研究グループは、これらの技術開発により、情報機器・情報サービスの利用者層を拡大し、情報関連産業の裾野を大きく広げる意義をもつ。

3.8.2.2 コミュニケーション技術の観点から

人間中心型情報基盤 HCII は、人間と人間、人間と機械の間の情報授受でのコミュニケーションギャップを克服するものとも位置付けられる。ここで「コミュニケーション」とは、いわゆる伝送通信ではなく、人間と人間、人間と機械がメッセージを伝え合って相互作用するものを意味する。

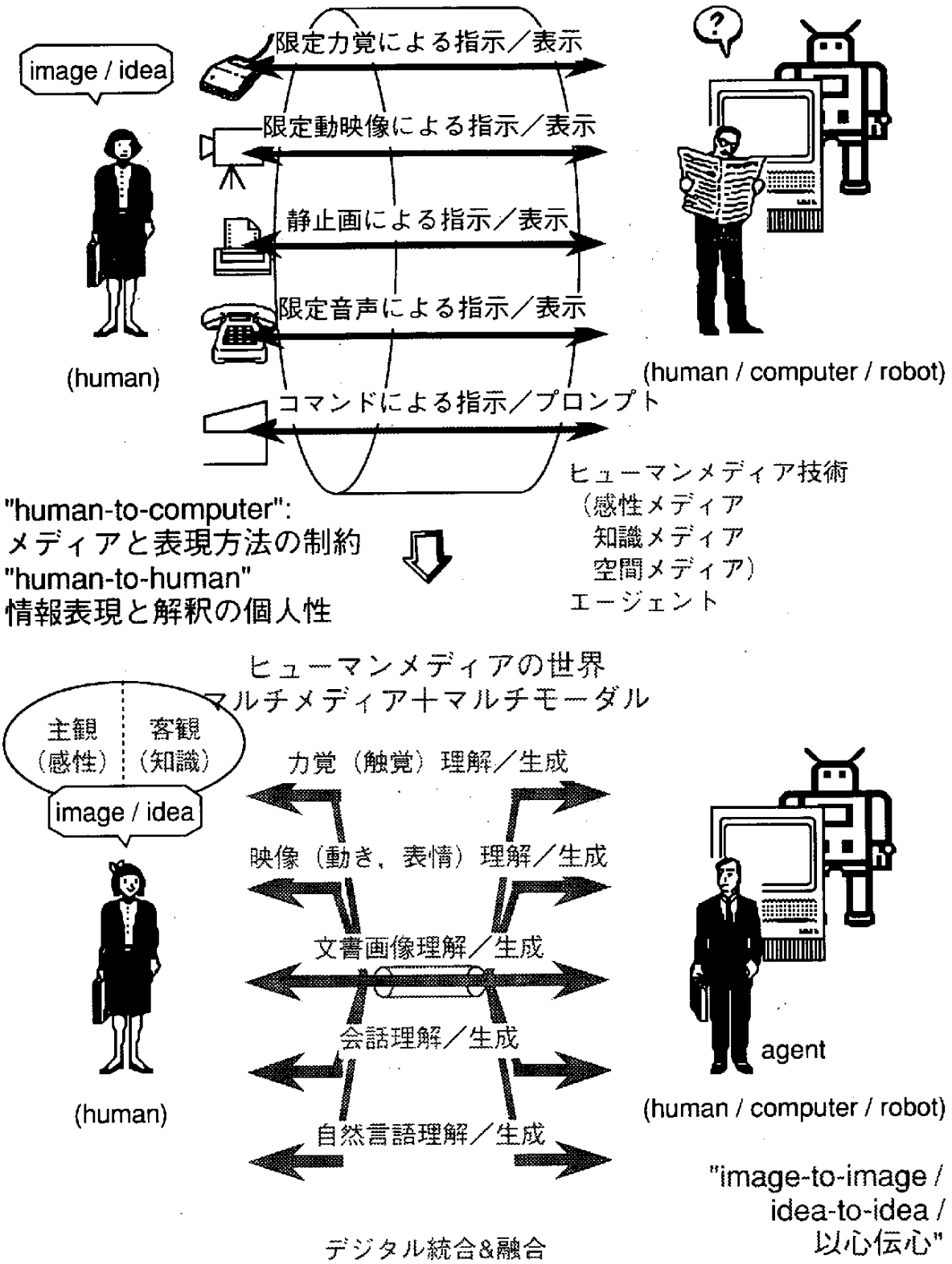
2015年（Fiber to the Homeの時代）には、全ての家庭に光ファイバーが入るとされている。この時代までに、何時でも、誰でもが、どこからでも、世界中の人と（あるいは世界中の情報機器）と社会や文化の壁を超えてコミュニケーションできるようにするための確固とした情報基盤を実現することが、人間中心型情報基盤 HCII の将来の目標である（図3.8-1（c））。

では、従来どのような技術開発課題に取り組んできたか、また今後、新たにどのような技術開発課題に取り組んでいかなければならないかを考えよう（図3.8-1（a）～（c））。



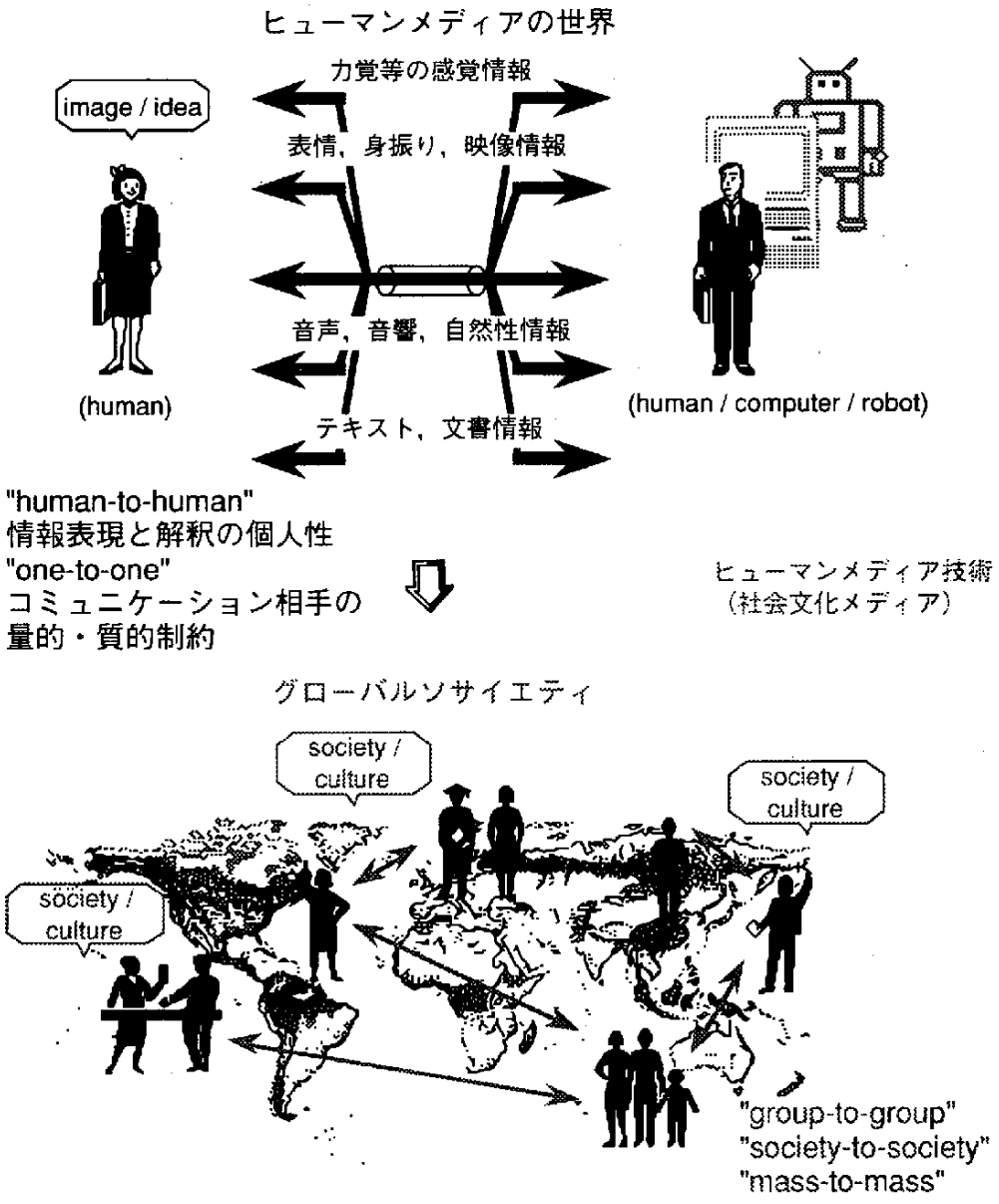
(a) 過去～現在までの課題

図3.8-1　人間中心型情報基盤 HCII とコミュニケーション



(b) 現在～近未来までの課題

図3.8-1　人間中心型情報基盤 HCII とコミュニケーション



(c) FTTH（Fiber to the Home）時代の課題

図3.8-1　人間中心型情報基盤 HCII とコミュニケーション

19世紀の電信や電話の発明以来、現在に至るまでの伝送通信の技術目標は、離れた場所の間の距離（空間的ギャップ）と、伝えられる情報量の制限の克服であった（図3.8-1 (a)）。

これらの課題は、現在に引き継がれ、マルチメディアデジタル統合技術等により、face-to-face の通信を実現しようとしている。今日のマルチメディア・マルチモーダルインタフェースの研究は、各メディアが伝えられる情報の性質上のギャップを克服するものとも位置付けられ、例えば、視覚や聴覚などで異なった障害を持つ方々のスムーズな通信にも威力を発揮しよう。

では現在から21世紀初頭に向けて、どのような技術が必要となるだろうか？ face-to-faceの通信は、マルチ

メディア通信ではあっても、いわば「言いっ放し、伝えっ放し」の世界である。本来のコミュニケーションでは、相手に解かりやすいようにマルチメディアメッセージを伝え（相手は時として、計算機やロボットの場合もありうる）、また受け取ったマルチメディアメッセージから相手の意図を理解することが必要である（図3.8-1（b））。

例えば、経験・知識・年齢・嗜好・ライフスタイル等で個性の異なる人々の間で、主観による考え方の違い（主観的ギャップ）を越えて、コミュニケーションを成り立たせることが、次のステップとなろう。これらの課題は、現在から21世紀初頭へとつなぐ人間中心型情報基盤 HCII で、human-to-human のコミュニケーションを実現して行くことと位置付けられる。

このようにして実現されたコミュニケーション技術は、なお one-to-one のコミュニケーションである。これがFiber to the Home（FTTH）の時代以降に全世界的に展開していくためには、文化的なギャップを克服するための、社会文化的な視点をもカバーしうる情報技術が必要となろう（図3.8-1（c））。

3.8.2.3 情報コンテンツ産業の観点から

"Human Centered"を、高度情報化時代の産業の「主力商品」の一つと考えられる「情報コンテンツ」の発信技術・提供技術とヒューマンインタフェース技術から検討すると、以下のような、我国の産業界に固有の問題点を指摘することができる。

(a) 海外（特にアメリカ合衆国）から入るマルチメディアコンテンツ（１次情報）、コンテンツへのアクセス情報（２次情報）、さらに、情報提供サービス技術そのものの急速な流入により、「業界標準」という名で実際には「USスタンダード」化が進んでいる。

(b) 日本国内向けや海外（非英語圏）向けのマルチメディアコンテンツ（１次情報）の発信や、コンテンツへのアクセス情報（２次情報）、さらに、高齢者を含めた利用者への情報提供サービス技術が整備されていない。

(c) 「三つのC」すなわち、コンテンツ産業（Content）／コンピュータ産業（Computer）／コミュニケーション産業（Communication）のミスマッチにより、情報関連産業が全般的に伸び悩んでいる。

現在、アメリカ合衆国で急速に技術開発が産業化に結びついているのは、個々の要素技術開発も、情報基盤整備のグランドデザインの中に位置付けられて進めているためと考えられる。「三つのC」それぞれが、新しい技術とそのビジネスへの適用に貪欲・積極的である。例えば、電子図書館Digital Libraryプロジェクトには、三舎が一体となってチームを作って研究開発を進めており、研究成果が、すぐにもフィールドで産業化に向けたテスト可能な体制を作り上げている。

3.8.3 人間中心型情報基盤の技術課題

3.8.3.1 利用者中心 vs 人間中心

1980年代よりDon Normann らによって「利用者中心のシステム設計」（User-centered System Design）が提唱されるようになり、基礎研究としては認知科学が発展し、現実のシステムではユーザインタフェース（特にグラフィカルユーザインタフェース）が大幅に改善されるようになった。

本節でははじめに、「利用者中心」の優れた点と限界を分析し、我々が目指すべき「人間中心」をどのように実現するかを考察しよう。

「利用者中心のシステム設計」の最も優れた点は、旧来のシステム設計の考え方が、計算機内部での個々の処理やトランザクションの速度や効率だけを問題にしていたのに対して、「生身の利用者が使う」上でトータルなスループットに関して速度や効率、安全性に注目した点である。このような発想の結果、例えばDOSのコマンドの利用を余儀なくされていた利用者は、windowsにより、コマンド名称やパラメータ列を正確に覚えていなくても、同等の処理が容易に行えるようになった。また、複雑なプラント施設の運転用モニタは、多数のメーターの監視盤から、運転状況の把握が容易なグラフィカルインタフェースに置き変わってきている。

その一方で、システムの利用目的や本質的な利用方法はあらかじめ定められている。すなわち「特定の情報機器・情報サービスの『利用者』に対して、どのようなインタフェースを提供するか？」が主要な課題であって、どの利用者も同じ目的意識で同じ使い方をすることが大前提である。

これに対して、「人間中心のシステム設計」の特長は、「利用者、一人ひとりは同じ経験・知識・年齢・嗜好・ライフスタイルではない」ことを前提に、一人ひとりに適応した機能・サービス・インタフェースを提供することに主眼を置いていることである。

これらの立場・考え方の違いを、データベースシステム技術を例に比較してみよう。

(a) 「計算機中心」の段階

データベース管理システムは、計算機システムの基本ソフトウェアの一つとして、大量のデータを計算機の二次記憶内に効率的に格納することから出発した。従って、ファイルの物理構造や、実世界のデータ間の関係をファイルシステムにインプリメントする際の効率が最も重要（計算機中心）であった。

(b) 「データ中心」の段階

データベース管理システムが期待されている役割は、計算機システムの構成はもとより、データの物理的な構造や、応用プログラム群とは独立にデータを管理することである。そのために、実世界、或いは、対象とするビジネスの場面での複雑な関係の記述を容易に行えることを重視し（データ中心）、これとその物理的な格納形式との対応関係などはシステムが自動的に管理する。

(c) 「利用者中心」の段階

ビジネスの場面や実世界でのデータ間の複雑な論理構造を、計算機が理解できる形に翻訳して与えることは非常に難しい。従って、ユーザインタフェースをグラフィカルにして、ダイアグラムの描画でデータベースのスキーマ設計などを行っている。また、このようなダイアグラムがデータベースの視覚的な操作言語となるシステムもある。これは、明確な目的をもったデータベース管理システムの操作・運用を、その利用者やシステム管理者が理解しやすくするためのものである。

(d) そして「人間中心」の段階へ

一人ひとりの利用者の主観的・直感的な情報の判断・解釈の仕方や情報の表現・伝達の仕方（＝一人ひとりは異なった個性を持った人間）にマッチした情報機器・情報サービスを提供するのが、人間中心の段階である。自分の好みのメタファーをヒューマンインタフェースとし、自分自身の経験・知識・嗜好を計

算機システムに理解させて、自分独自の使い方を可能とする。

3.8.3.2 人間中心型情報基盤の技術課題

一人ひとりの利用者の主観的・直感的な情報の判断・解釈の仕方や情報の表現・伝達の仕方にマッチした情報機器・情報サービスを提供する基盤技術を確立するためには、以下のような技術課題に取り組む必要がある。

すなわち、マルチメディアコンテンツ（例：設計図面、イラスト、写真、動画など）で構成されたマルチメディアデータベースを素材に、

(1) 人間（本人）の代りに、情報の内容を吟味して、インターネットやデータベースから情報を取り出す技術。

(2) 日常の情報機器の利用を観察して、その利用者の知識や興味、感性を（情報機器が）理解する技術。

(3) マルチメディアで、主観的な表現で、データベースを操作する技術。

(4) 一人ひとりの感性を理解し、また、感性の違いを理解するために、感性の共通点や相違点を比較するための提示技術。

(5) 「利用者・消費者の欲しいもの」を理解して、これにマッチするマルチメディアコンテンツを高品質に作成し、提示する技術。

これらの技術課題をブレークダウンすると、以下のような独創的な技術開発や新規技術の開発が必要なことがわかる。

(1) 独創的な技術開発課題

独創的な技術開発とは、従来は不可能と考えられていたことを可能にする技術開発で、また、その方法論を明らかにする技術開発である。これらは「新しいアイデア」を世に問う研究として位置付けらる。

(a) 感性エージェントメカニズム

利用者による入力機器の操作やサーバーの操作を定常的にモニタし、図案、自然画像、テクスチャ、家具等の立体物を検索したり、オフィスなどの3次元空間のレイアウトを行う操作の中に、各人による評価尺度の違いを発見し、これを自動的に計測するためのアルゴリズム。

利用者による評価の事例が少ないことを自律的に検出し、事例を補うために利用者に能動的に問いかけるアルゴリズム。

クライアント側に評価尺度のモデルを置きつつ、各利用者が各自の評価尺度に基づいて、内容検索できるサーチエンジンのメカニズム。

各サーバーのコンテンツ・内部仕様の違いを意識することなく、壁材を扱う複数のサーバーや家具を扱うサーバーから、求める情報を統一的に検索できる、複合コンテンツ検索のためのメカニズム。

(b) 感性コーディネーション

検索すべき家具等の立体物やこれを並べるオフィスなどの3次元空間に関して、色彩や模様、形状などに制約条件のある場合に、全体として利用者の要求を満足させるように内容検索するアルゴリズム。

(2) 新規技術開発

様々な原理的な研究の成果を踏まえ、産業の場面で適用可能な新規技術の研究開発であり、いわば、可能性の幅を広げる技術開発である。これらは「頑健さ・処理能力」を世に問う研究として位置付けらる。

(a) 感性モデル化技術

様々なコンテンツのカテゴリー（例：図案、自然画像、テクスチャ、家具等の立体物、オフィスなどの3次元空間）に対する主観的評価尺度を計測しモデル化するアルゴリズム。

(b) 感性検索技術

上記それぞれの主観的評価尺度に基づいて、内容検索するアルゴリズム。

(c) 拡張可能データベースのための感性モデル利用技術

一人ひとりの利用者の主観的評価基準そのものをメタデータとして動的に管理・共有し、データベースを運用するためのメカニズム。

(d) 主観情報の可視化技術

印象語などの概念語間、家具などのコンテンツ間、概念語とコンテンツ間の関係を、デザイナー等の利用者が空間的・直感的に観察し、理解できるように仮想空間上に展開して提示するメカニズム。

(e) 多次元インタフェース技術

仮想空間を利用したインタフェース上での利用者の自然な動作から意図を抽出し、マルチメディア情報の提示方法を変更したり、データベース操作を起動するためのメカニズム。

3.8.3.3 期待される成果

グローバルな波及効果としては、

(1) 情報洪水が「洪水」でなくなり、有用な情報資源として利用できるようになる。利用する人が、爆発的に増える。

(2) 経営者、老人、家庭婦人、子供など、誰でもが情報提供サービスを享受できるようになる。

(3) 従来仕事の効率化（生産性、クオリティの向上）が難しかった、工業デザインや創作などの過程が効率化される。

また、我国の産業に固有の問題に対する波及効果としては、

(a) マルチメディアコンテンツの作成、配付の形態が多様化し、誰でもが自分のスタイルで、情報資源にアクセスできるようになる。

(b) 海外（非英語圏）向けのマルチメディアコンテンツ（1次情報）、コンテンツへのアクセス（2次情報）、さらに、情報提供サービス技術が可能となる。

(c) コンテンツ産業（Contents）／コンピュータ産業（Computer）／コミュニケーション産業（Communication）のミスマッチが解消され、情報産業が他の産業や国民生活に浸透していく。

結果として、情報機器・情報サービスは特殊な技能を持った人のものではなく、家電化し、あらゆる世代の人、あらゆる地域の人の、生活の一部として利用されるようになる。また、誰でもがコンテンツの発信者、

誰でもがコンテンツの受信者となり、経験や文化の違いを超えて、世界の人々がコミュニケーションできるようになる。

その他、個人の感情、気持ちまでを踏まえたアンケート分析が可能となり、より精度の高い、調査分析環境が提供される。従来、定量的な調査分析が不可能であったリサーチャー、マーケッティング分野の拡大が期待される。

3.8.4 事例研究「感性エージェントと新しいデータベースサービス」

3.8.4.1 技術的内容

以下の節では通産省工業技術院産業科学技術研究開発制度で進められている「ヒューマンメディア」プロジェクトのサブテーマの一つ「感性エージェントとヒューマンメディアデータベース」を事例として取り上げて、「人間中心型情報基盤」の基盤技術開発の観点から整理する。

独創的な技術課題、新規技術開発課題を関連付けて図示すると、図3.8-2のようになろう。

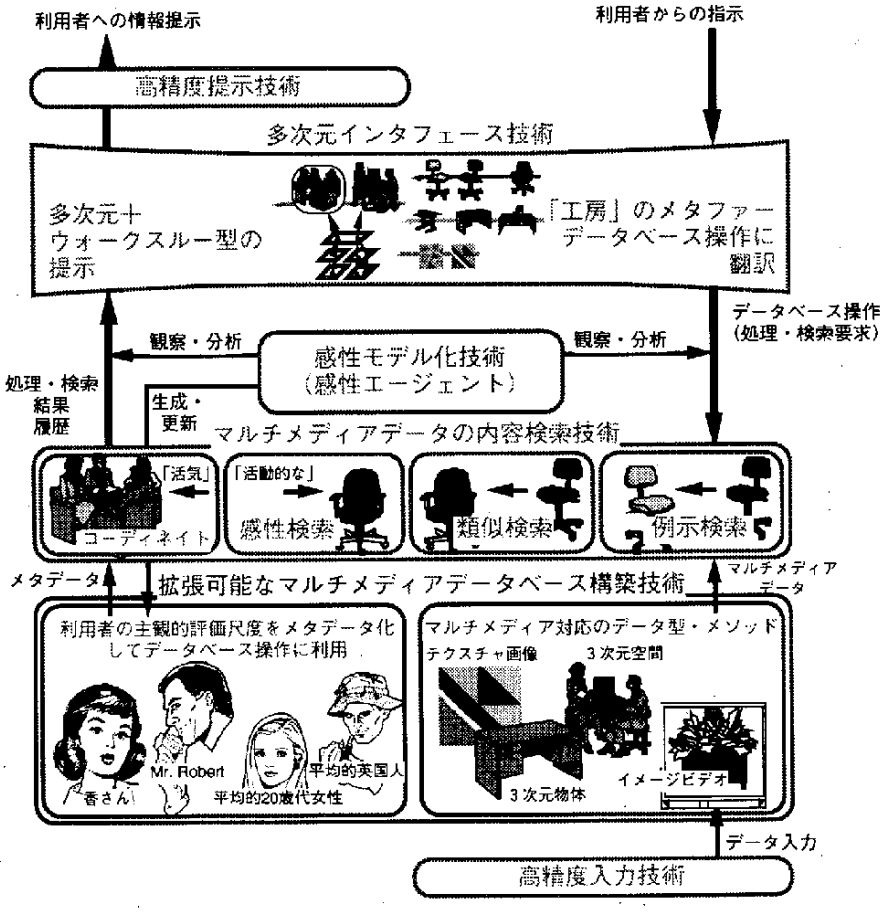


図3.8-2 ヒューマンメディアデータベースの技術課題の関係

3.8.4.2 ヒューマンメディアの基礎技術

(1) 感性モデル化の基礎技術と感性検索への利用技術

典型的なコンテンツのカテゴリー（図案、自然画像、テクスチャ、家具等の立体物、オフィスなどの3次元空間）を対象に、複数の利用者の各人がそれぞれのコンテンツのカテゴリーに対して共通的あるいは個別的にもつ主観的評価尺度を、工学的にモデル化する。また、そのモデルに基づいた内容検索アルゴリズムを確立する。

(2) 感性エージェント技術

評価尺度をモデル化するために、システムは利用者による入力機器の操作やサーバーの操作を定常的にモニタし、各人による評価尺度の違いを自動的に計測する。また、利用者による評価の事例が少なくて評価尺度のモデル化が難しい情報に関しては、利用者に能動的に問いかけて情報を補う。

また、クライアント側に評価尺度のモデル（これはプライバシー情報の一種）を置きつつ、データベースサーバー上で内容検索できるサーチエンジンのメカニズムを実現する。

(3) 感性コーディネーション技術

検索すべき家具等の立体物やこれを並べるオフィスなどの3次元空間に関して、色彩や模様、形状などに制約条件のある場合に、検索された複数の立体物等が、全体として利用者の要求を満足させるように内容検索するアルゴリズムを開発する。

(4) 内容検索可能なデータベース構成技術

データベースサーバー上に、複数の利用者がそれぞれの評価尺度のモデルをメタデータとして置き、様々なコンテンツのカテゴリを各自の評価尺度の工学的モデルに基づいて、内容検索できるサーチエンジンを実現する。

また、利用者が、統合的にクライアントの情報端末のインタフェースで操作して、壁材を扱う複数のサーバーや家具を扱うサーバーから、各サーバーのコンテンツ・内部仕様の違いを意識することなくコンテンツを検索できる、複合コンテンツ検索技術を開発する。

(5) 多次元インタフェースの基礎技術

印象語などの概念語間、家具などのコンテンツ間、概念語とコンテンツ間の関係を、デザイナー等の利用者が空間的・直感的に観察し、理解できるように仮想空間上に展開して提示し、また、新たな分析を容易に行えるインタラクション機構を持ったインタフェースを開発する。

3.8.4.3 視覚感性のモデル化技術

単なる光信号のセンシングのレベルから一歩踏み込んで、信号的に何らかのまとまりを感じて主観的に情報を取捨選択し、解釈するレベルでの人間の視覚感性を工学的にモデル化することを目的とする。

対象として幾何学的な模様などを含まないテクスチャ画像を選び、複雑な知識処理を介さないと考えられ

る段階での視覚情報処理過程を探る。そのために、テクスチャから計測される種々の画像特徴と人間（被験者）の示す主観的な評価尺度との関係を分析し、その間の相関関係・因果関係を求める。

具体例として、壁紙や床材などで利用されるフルカラーの人工的および自然テクスチャ画像に対する、視覚感性の工学的なモデルとこれに基づく処理アルゴリズムを開発する。印象語（ソフトな、暖かい、等）をキーとして、印象語でイメージされるようなテクスチャ画像を検索することを可能にする。

テクスチャ画像の分析は、1980年前後を中心に、精力的に取り組まれ、分析目的に応じて様々な物理的特徴量が考案、提案されてきた。物理的特徴量そのものに関しては、既に出尽くした感が強い。現在でも、画像の領域識別、領域分割等を目的として、取り組みが続いている。近年、Wavelet 変換によるテクスチャ画像の解析手法等が見られるが、その取り組みが本質的でなく、結果も従来より良いものとは言えないものである。

従って、主観的な評価尺度に合わせられるテクスチャ画像の解析と記述化を行う。どのような物理特徴量と、主観的な評価尺度の分析法を組合せた、頑健なアルゴリズムを構成するかがポイントとなる。

3.8.4.4 画像の感性検索技術

設計図面、図案、イラスト、写真（カラー、モノクロ）等の静止画、および、動画を対象に、利用者の提示する例示画に対して、類似の画像を検索するアルゴリズムを開発する。

類似の画像検索では、対象画像の構造にのみ依拠した画像特徴量を利用する場合、一人ひとりの利用者の主観的な評価尺度のモデル（視覚感性のモデル）を併用する場合の双方を可能とする。また、多様な画像特徴量の記述法の中から、対象とするコンテンツに最適な画像特徴量を選択するアルゴリズムも開発する。

感性検索技術は、以下のような部分問題に分割できる。

(a) 画像特徴量の高度化

人の視覚特性を考慮して、画像からのパターンの切り出しや、画像比較時のパターンマッチングに対応した特徴量抽出を行い、より人間の感覚に近付いた類似画検索を可能とする。種々の画像特徴の数量化を試み、人の感覚に応じた尺度を再現するような画像特徴量の設計を行う。

(b) 画像特徴量の統合

人間が様々な観点から類似度を判断している過程を工学的に実現するため、適切な画像特徴量を選択し、統合する方法についても開発する。コンテンツの種類によって、最適な画像特徴量の組合せを選択できるように、統合方法（画像特徴量の選択や統合の際の重み付け）を動的に変更する方法を導入する。

(c) 画像特徴量の汎用化と類似検索への利用

対象とするコンテンツ（画像・映像）を一般化して、様々なカテゴリーの画像に適した類似検索を可能とする。また、カテゴリー間にまたがった類似検索を可能とする。そのために、カテゴリー別の画像特徴量の傾向を把握し、分類を行い、この結果に基づいて、頑健な工学的モデルと類似検索アルゴリズムを開発する。

3.8.4.5 拡張可能なマルチメディアデータベース

オブジェクト指向関係データベース上に、視覚感性モデル化技術、感性検索技術や多次元インタフェース技術を含むソフトウェア群をデータベース管理システムの機能拡張として実装し、マルチメディアデータベースと感性モデルとの適合性や拡張可能性について、実証評価する。これは共通的なテストベッド、また、実証プロトタイプシステムのマルチメディアデータベースサーバーとして位置づけられる。

具体的には、工業デザインに関連する種々のカテゴリのコンテンツ（マルチメディアデータの形式で格納されている）を、それぞれの利用者毎にモデル化された主観的評価尺度に関するメタデータを用いて、データベースから検索する。また（多次元インタフェース技術とリンクさせて）検索の履歴や最終結果をその利用者の主観的評価尺度に応じて自動的に仮想空間内に配置し、より高度なインタラクションができることを目標とする。

より詳細には、以下の技術の研究開発を行う。

(a) マルチメディアコンテンツ向きのデータ型

種々のカテゴリのコンテンツの特徴を表現する物理特徴空間、一人ひとりの利用者の主観的評価尺度、これを反映した主観特徴空間等、マルチメディアコンテンツを対象とした主観的な内容検索に基本的に必要なマルチメディアデータを、オブジェクト指向関係データベース上に操作性良く格納するためのデータ構造、索引構造を開発する。

(b) 拡張可能技術

多数の利用者の間でマルチメディアコンテンツは共有しながら、同時に、各自は自分の主観的基準のメタデータを利用してマルチメディアコンテンツを内容検索できる、主観的基準の多様性に対する拡張可能性を実現する。また、新しいカテゴリのマルチメディアコンテンツをデータベースシステムに導入する際に、既知のカテゴリの物理特徴空間等を利用して、半自動的に新しいデータ型を定義できる、コンテンツの多様性に対する拡張可能性を実現する。

(c) 主観的評価基準の記述の統合

あいまいさの程度・確からしさや、要求を満たす度合いを、統合的なグラフィカルユーザインタフェースやアプリケーションプログラムインタフェースを通じて制御・指定しながら、主観的な評価基準に基づく「あいまい性」を伴う検索機能をオブジェクト指向関係データベース上に実現する。

3.8.4.6 フルカラー画像の高精度提示技術

工業デザイン関係等のコンテンツを素材（実世界）から高精度にデジタル化してマルチメディアデータベースに取り込むための技術、また、利用者に微細な変化や微妙な違いを正確に知覚できるように、デジタル化されたコンテンツを提示するための技術と位置づけられる。

具体的には、人間の初期視覚の性質に基づいた視覚モデルを高度化し、様々な強さの明暗の対比・色彩の対比のある画像を、自動的に、より明瞭にデジタル化し、また、提示するような画像変換技術を開発する。

また、カラー画像に対する心理学的知見に基づいて、これを工学的に利用可能な形にモデル化し、利用者（消費者）の主観的な嗜好・基準・目的に合わせて色彩の構成を動的かつ適応的に変更する技術を開発する。

3.8.4.7 マルチメディアデータベースの多次元インタフェース技術

実証プロトタイプでは、利用者（デザイナーや消費者）が常に接する部分である。利用者への情報の提示と、利用者からの情報の抽出に関して整理すると、次の２つのメカニズムの研究開発が必要である。

(a) 利用者への情報の提示

印象語などの概念語間、家具などのコンテンツ間、概念語とコンテンツ間の関係を、デザイナー等の利用者が空間的・直感的に観察し、理解できるように仮想空間上に展開して提示するメカニズムを研究開発する。

例えば、仮想空間内に提示する個々のコンテンツの属性値に基づいた意味空間を生成し、利用者の感性モデルに応じてコンテンツもしくはそのアイコンを仮想空間内に表示する環境を提供する。仮想空間では、三次元に時間軸を加えたり、空間の構成中に新たな空間を作る機能等を実現し、コンテンツの属性値の多様性への対応を実現する。また、仮想空間のスケール、提示するコンテンツやアイコンのサイズ、距離等の量は、利用者の示す主観的基準に適応させる。アイコンについては、単体ではなく、グループとしても操作できる機能を用意する。

(b) 利用者からの情報の抽出

仮想空間を利用したインタフェース上での利用者の自然な動作から意図を抽出し、マルチメディア情報の提示方法を変更したり、データベース操作を起動するためのメカニズムを研究開発する。

例えば、仮想空間内に提示された印象語などの概念語間、家具などのコンテンツ間、概念語とコンテンツ間の関係を、デザイナー等の利用者が空間的・直感的に観察できると同時に、新たな分析や検索を容易に起動できるインタラクション機構を持ったインタフェースを開発する。

多次元インタフェース技術の研究開発では、異なった背景を持つ利用者毎の感性モデルに適合したインタフェース構成ができるように、選択方式や表示方法等について複数の方式を設定し、複数の人間で共同体験可能な没入型大型三次元画像装置上での比較実験を行い、方式の評価を行う。

3.8.4.8 現在までの到達点

(1) 自然画像を対象とした感性のモデル化、感性検索アルゴリズム

電子技術総合研究所では、フルカラー絵画を対象に、印象語などのあいまいな言語表現から、それにふさわしい絵画を自動検索するメカニズム（電子美術館）の研究開発を進めている。具体的には、絵画の色彩・配色の特徴と、これを鑑賞する人間が持つ主観的な解釈（印象）との相関関係に注目し、各利用者個人の解釈のモデルを統計的に構築して、印象語にふさわしい色使いの絵画の推定、また、ある絵画にふさわしい印象語表現の推定を行っている。

最近は、学習の精度の評価とこれを利用した段階的学習の制御アルゴリズムの研究を行っている。検索の試行毎に、追加学習を行うアルゴリズムを開発し、インタフェースに組み込んで実験を行った。検索結果が

主観評価に合わない場合、利用者は主観的な表現をシステムにフィードバックする。システムは、その絵画が既学習であれば、その絵画に与えた主観的表現を置き換える。学習絵画でない場合は、これを新たに学習絵画に追加し、統合特徴空間を再構成する。

これにより、システムは段階的に一人一人の利用者の主観的評価基準を適合化できると共に、評価基準の経時変化にも柔軟に対応できる。またこのメカニズムは、平均的な利用者のモデルから、特定の利用者のモデルを利用者に負担無く構築するメカニズムとしても利用できると考えられる。

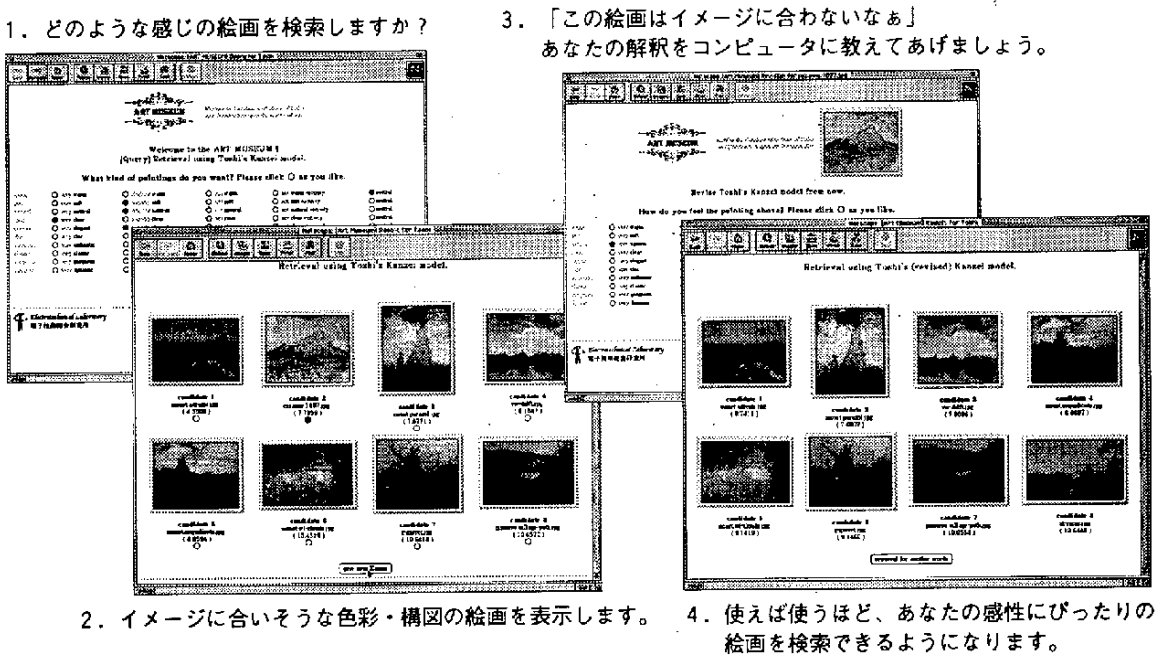


図3.8-3　感性検索と追加学習による主観的基準の段階的修正

(2) 画像メディアの多様化（3次元物体への拡張）

従来より、3次元物体の検索には超二次関数で物体の索引を記述する方法や、物体をOctreeで表現し検索する手法などがあるが、これらの方法だけでは主観的類似度が検索に反映されない。本研究では、多面体を構成している頂点に注目し、多面体を等間隔のセルに分割し、頂点密度分布を物理特徴ベクトルとして使用した。

物体間の主観的な類似度の尺度を学習するため、利用者に学習用の物体を提示し、類似度を回答してもらう。利用者の主観的評価基準を反映した空間を構成するため、本研究では、多次元尺度法を用いた。

実験では被験者から得られた学習物体の類似度から主観特徴空間を構成した。そして物理空間と主観空間の関係を求める際、重回帰分析で有意検定を行ない、物理空間と主観空間での対応づけが適切に行なわれるようにした。物体500個に対し、学習用物体は物理特徴のクラスタリングから選ばれた代表68個とした。主観特徴空間の次元数はストレスが収束し小さな値となる6次元とした。

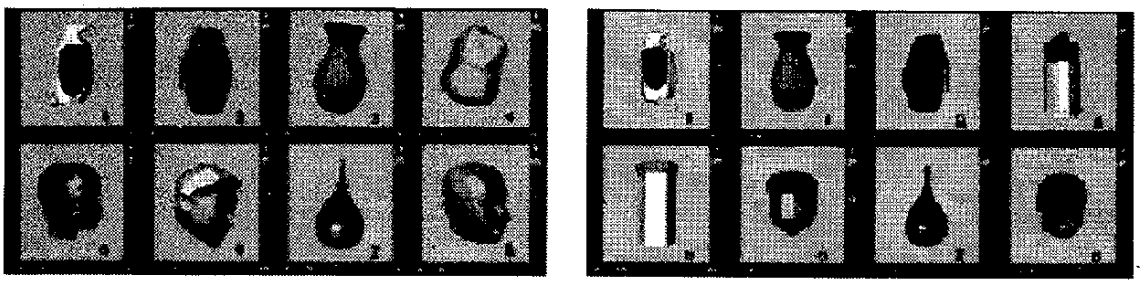


図3.8-4　3次元物体の主観的基準に基づく感性検索（被験者1、被験者2）

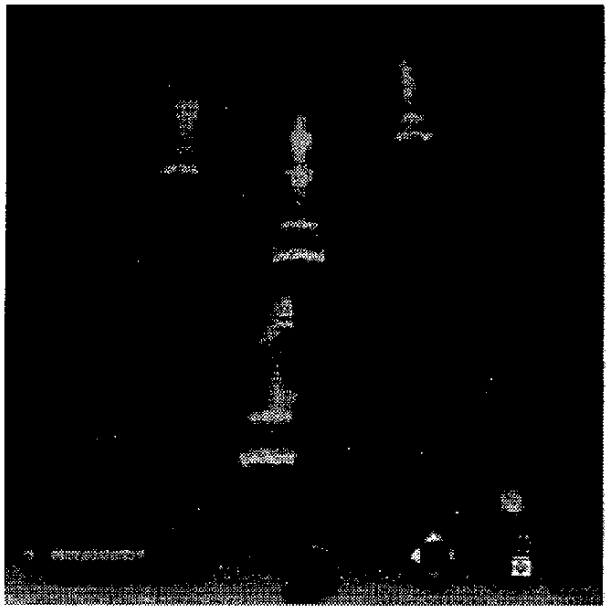
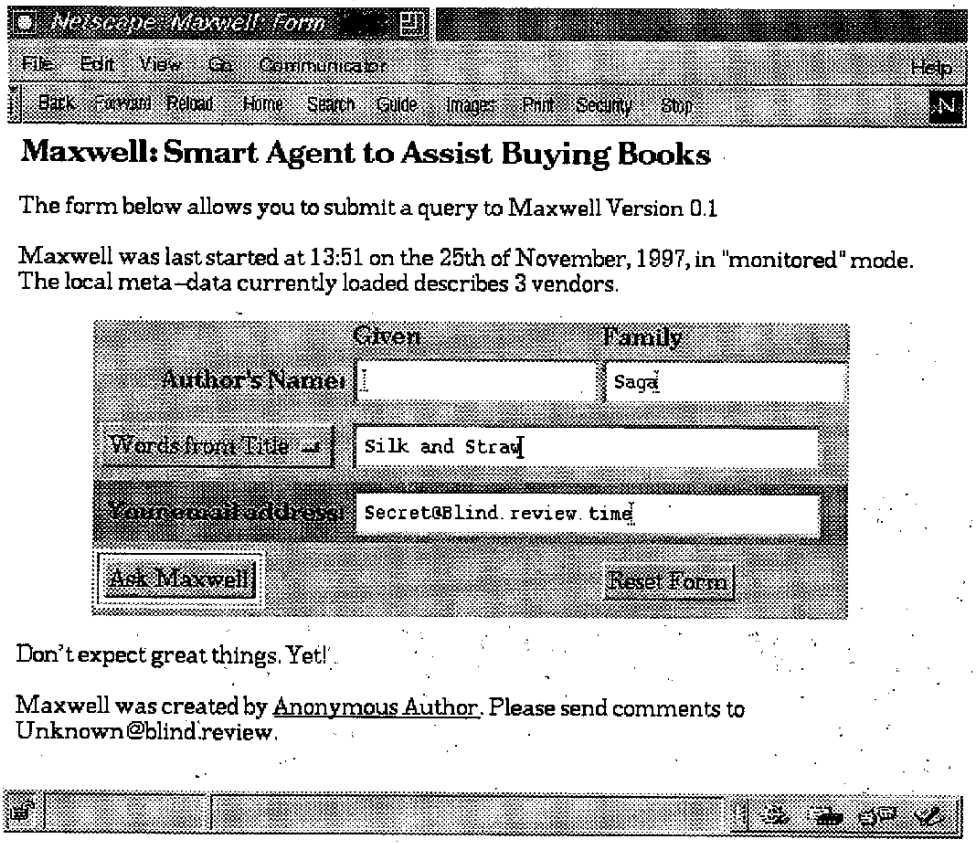


図3.8-5　ある被験者の主観的類似度空間を3次元表示

(3) 複合型情報提供サービス

電子技術総合研究所と（財）イメージ情報科学研究所では、利用者が個々のサーバーのデータベースの構造を知る必要なく、単一のインタフェースから複数のサーバーに検索質問を送り、また、それぞれからの回答を内容レベルで整理・統合して利用者に提示する複合型情報提供サービスを行うインタフェースエージェントMaxwellの研究を始めている。

現在は、主としてテキスト情報から構成された本のカタログサービスを例に、キーワードとタグを手掛りに内容レベルで整理・統合するアルゴリズムを試作している。



Date: Fri, 21 Nov 1997 18:12:29 +/-1200
Subject: Maxwell 0.1: Results for Request 11
The results of your request (ID=11) to Maxwell are...
4 publications:
Publication:
　Title: Memories of Silk & Straw: A Self-Portrait of Small-Town Japan
　Authors: Junichi Saga and Garry O. Evans.
　Available from:
　　Barnes and Noble in Paperback at $3.40
Publication:
　Title: Memories of Silk and Straw
　Authors: Junichi Saga.
　Available from:
　　Barnes and Noble in Paperback at $10.95
　　Amazon in Paperback at $3.40
　　Internet Book Store in PaperBack at ¥9.38.
Publication:
　Title: Memories of Silk and Straw: Self-portrait of Small Town Japan
　Authors: Jun'ichi Saga and Garry Evans.
　Available from:
　　Internet Book Store in Cloth at ¥18.25
Publication:
　Title: Memories of Silk and Straw: Self-portrait of Small Town Japan
　Authors: Jun'ichi Saga and Garry Evans.
　Available from:
　　Internet Book Store in Paperback at ¥11.99

図3.8-6　Maxwellの検索質問用のインタフェースと検索結果の例

(4) フルカラー類似画像検索システム

電子技術総合研究所では、白黒の二値画像として記録された図形・ロゴを対象に、手書きスケッチから類似図形を検索する画像対話型の商標・意匠データベースTRADEMARKを開発した。オムロンは、この基本アルゴリズムを発展させて、カラー画像の印象を表す特徴量抽出技術を導入した類似画像検索システムの試作を行っている。これは、人間の視覚系のように、形状を知覚するチャネルと色彩を知覚するチャネルの、それぞれでの評価や統合的な評価の過程をシミュレーションし、複雑な対象の類似度をモデル化している。

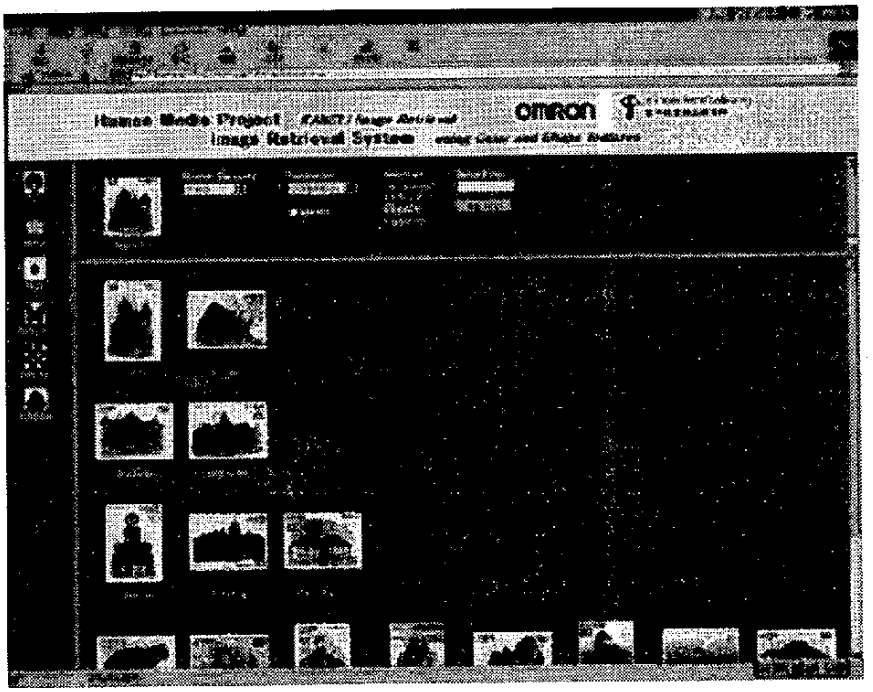


図3.8-7　フルカラー類似画検索システムでの検索例（切手の図案）

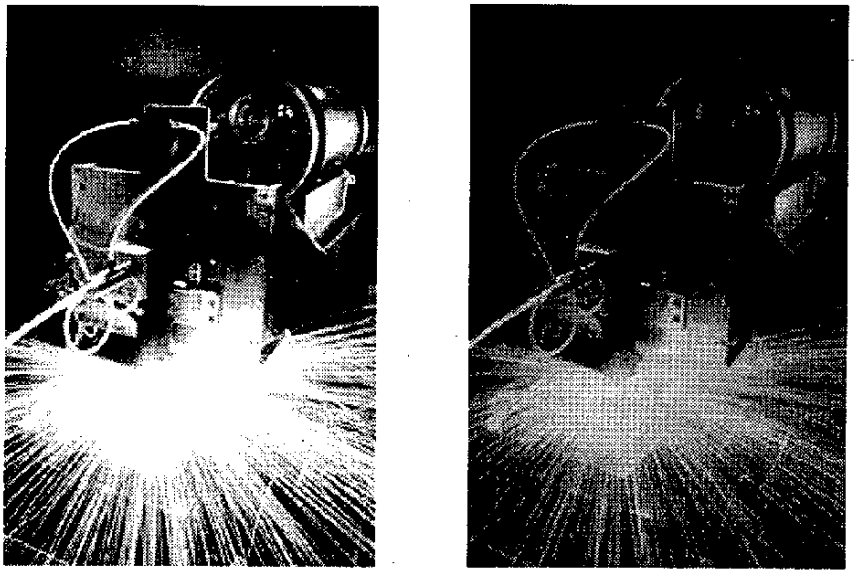
図3.8-8　構図（モノクロ）と色彩の両方に注目した類似画検索
上段：構図のみ　中段：色彩のみ　下段：構図と色彩の両方を統合評価した。

(5) フルカラー画像の高精度提示技術

電子技術総合研究所では、初期視覚の神経生理学的現象の数理的なモデル化の研究を行っている。これは網膜の神経細胞の光受容機構である受容野細胞の機構に基づいており、主に側抑制機構に着目して、光受容レベルでのコントラスト調整機能と、心理物理量に関する一般則であるウェーバー則とを関連付けて初期視覚の光調整機能をモデル化したものである。

このアルゴリズムは、元々視覚感度の良好な、光のダイナミックレンジの中間部をある程度抑えながら、その分を明部および暗部に割当てることにより明部および暗部の視認性を向上させるものである。

凸版印刷は、この理論とアルゴリズムを発展させて、視覚特性のもう一つの強力な調節機能である明暗順応に注目し、側抑制と明暗順応を統合したモデルを構築し、また、アルゴリズム化を行った。大域的明度情報、中域的明度情報、局所的明度情報をそれぞれ相互作用させることにより、画像に適応的にコントラストと明るさを改善することが可能となった。



原画像　　高精度変換結果

図3.8-9　明部・暗部が混在する画像での画質の改善

3.8.5　プロジェクトの進め方と実証評価の方法論

3.8.5.1　ソフトウェア開発プロジェクトの方法論

情報、特に様々な背景を持つ人々が利用することを前提とするようなソフトウェアシステムは、多様なコンセプトに基づき、多様なアプローチで様々にトライし、その中から自然淘汰的に優れたものが生き残るのが最近の傾向である。現在、世界を席捲しているUNIX、Macintosh、Windows 等の基本ソフトウェアは、いずれもこのような経過をたどって、広く使われる基盤技術となった。さらに、それら優秀なソフトウェアは、

互いに他の利点を取り入れ、より優れたものに混血していくという形態も現われている。これにより、ソフトウェアシステムの進歩はハードウェアには無い競争形態を獲得し、その進化の早さも加速される傾向にある。

このような特徴をもつソフトウェアシステムに対し、通常の大型プロジェクトのように、最初に大掛かりな長期計画を立て、一つだけの最適なシステム作りを目指したとしても、技術や環境の急速な変化に対応し切れず、計画の終わり頃には無意味になるような危険があろう。

そもそもハードウェア開発のプロジェクトが、分析的、要素の積み上げで進められる理由は、特定のハードウェアの進歩を数少ない技術、数値目標（メトリックのある目標）に帰着できるからである。それを可能としているのは、対象とするハードウェアを作る物理的手段は最初から限定されており、その物理的構造の制約から、どのパラメータが目標達成に良好な感度をもつかを分析し、選ばれたパラメータの値を改善する努力を行う、というように筋道が物理的／物性的／構造的に与えられるというハードウェア特有の性格にあるといえよう。

これに対し、ソフトウェアシステムは、目標に対する物理的制約はほとんどない。どのような目標を設定するか、どのようなアプローチをとるか、どのような制約を想定するか等は、ひとえに研究者や開発者のアイデアとセンスにかかっている。

さらに、人間中心型情報基盤技術の研究開発は、人間との接点を持つことに大きな特徴がある。人間の利用者にとって新規で有用な情報システムの研究開発を目標としているのであるから、利用者達からのフィードバックを取り入れながら進めることが効果的である。その場合、最初から一つのシステム、一つのアプローチに絞ってしまったのでは、ほとんどフィードバックする余地がなくなってしまうであろう。いくつかの類似のプロトタイプシステム作成を並行して進め、その中から生まれてきたアイデアや比較的小さな単位の技術要素を用いてさらに、次の世代のプロトタイプシステムを計画作成する、というような進め方が効果的であろう。

3.8.5.2 実問題を指向した研究開発のスタイル

情報技術の歴史を顧みると、優れた「技術」は良質な利用者達の協力の下に育てられてきている。人間中心型情報基盤技術の研究開発においては、まさにこの点に特に留意して推進することが重要と考える。プロジェクトを進める過程において、アイディアをプロトタイプシステムとしてまとめる努力をすることにより、新しいアイディアが利用する立場から評価を受けることとなり、利用者からの要望に応えうる成熟した技術へと成長・進化して行くことに期待したい。

取り組むべき実問題によって、具体的なアプローチが明確になる。ただし、実問題の設定に際して考慮すべき重要な観点は次の３つである。

(i) 実問題自身として十分な成果がえられること。実問題を要素技術や基本機能を研究開発するための単なる応用事例として扱ってはならない。各問題の特徴を十分に生かし、それ自身として十分に存在感のある成果を上げるものでなければならない。つまり、その実問題に対する成果として十分に評価されるものでなくてはならない。例えば、未来の情報都市のようなものを想定し、その中で、国民の生活を豊かにする情報技術、それにより実現される応用システム、社会基盤のプ

ロトタイプを試作することを目標とする。

(ii)　適切な共通化を計っていくこと。様々な仕様の共通化、ソフトウエアの共有化、研究環境の統一化等可能な限りの共通化を心掛けることが重要である。ただし、共通化に走るあまり、各実問題の自由な展開を拘束するような事態にならぬよう十分に気をつけねばならない。プロジェクトの最後に共通なものが得られるという設定も考慮すべきである。

(iii)　要素技術のマイルストーンに対して確実な成果が得られること。システムが開発され、実問題対応の機能が実証されるというだけでは成果としては不十分である。各要素技術に国家プロジェクトとしてふさわしいマイルストーンを設定し、それぞれの目標に対して十分に実感のある成果が得られなくてはならない。

3.8.5.3　プロトタイピングの実際例

3.8.4節で取り上げた「感性エージェントとヒューマンメディアデータベース」の研究開発の場合、どのような実証用プロトタイプシステムを試作しつつあるかを、「実問題」の具体例として紹介しよう。

人間中心型情報基盤技術の中核的な役割をはたすと考えられるヒューマンメディア技術の方法論・アルゴリズム・メカニズムの妥当性を評価するために、実証デモシステムを開発する。

実証デモシステム（図3.8-10参照）として、大型スクリーンを利用した簡易版の「ヒューマンメディアルーム」を開発する。この上に、工業デザイナーが消費者と共に、オフィス内で使用するオフィス家具、什器、家電製品をデザインし、また、天井・壁紙・絨毯・クロスと総合的にコーディネイトする過程を支援する、感性デザイン・コーディネイト支援システムを作成する。

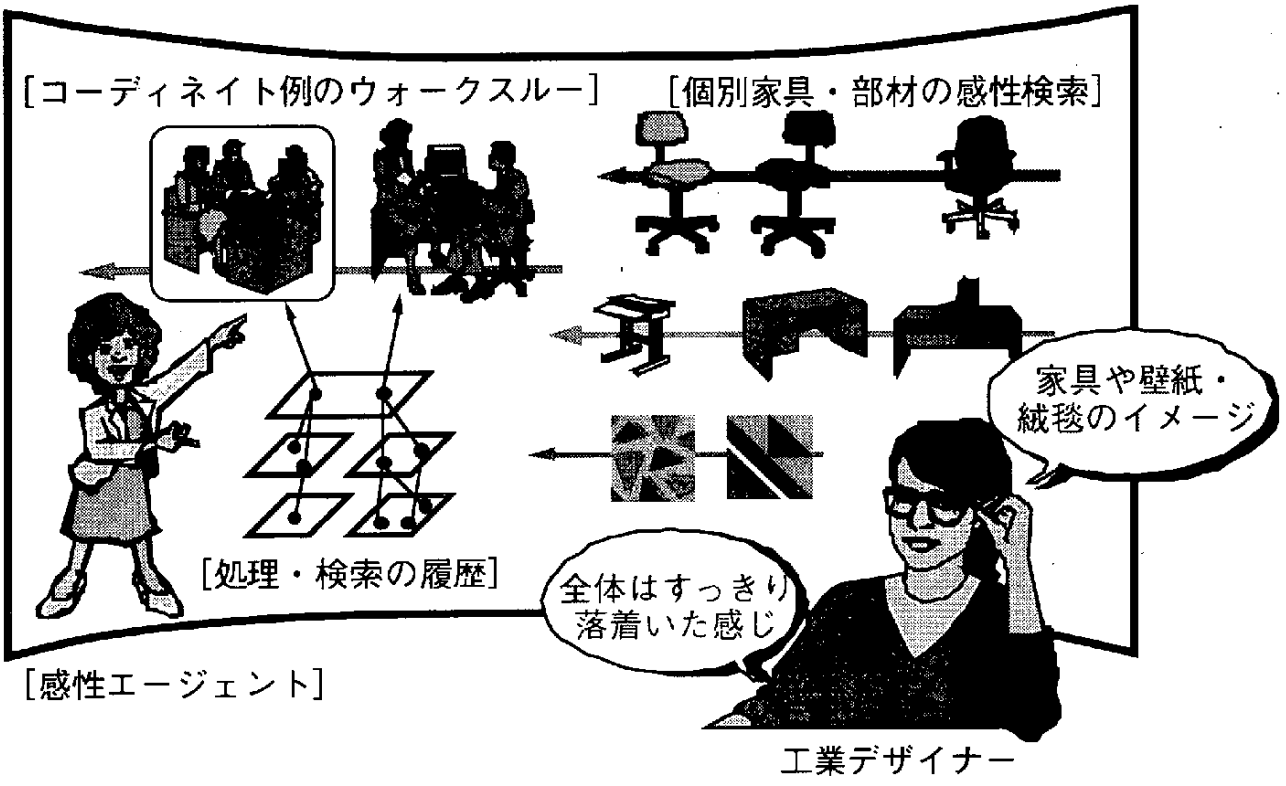


図3.8-10　実証デモシステムのイメージ図

また、より高精細でリアリティのある６面スクリーンで囲まれた空間(CAVIN) を利用した「ヒューマンメディアルーム」を開発し、感性デザイン・コーディネイト支援システムを作成する。

それぞれのアルゴリズムが機能していることを示すに必要な規模のデータを集積したデータベース、人数の利用者を対象に、待てる時間で、高い精度で主観的基準と一致した結果が出てくるプロトタイピングを行う。

3.9 知識創造プロセスとその支援環境

3.9.1 知識創造環境

人間の知識創造プロセスは『問題提起、知識収集、仮説生成、定性的・論理的モデリング、定量的モデリング、予測・シミュレーション』［JSAI 93］からなり、知識創造プロセスを支援する環境を構築するには『問題提起環境、知識収集システム、発想支援環境、大規模知識ベースシステム、大規模モデルベースシステム、大規模・複雑系シミュレータ』［KUNIFUJI 98］が必要である。

人間の創造的問題解決プロセスの第一ステップは「問題提起」である。ここでは、そもそも問題は何か明らかにすることから出発する。そこで、問題提起を支援するプレゼンテーション環境の構築が必要である。第二ステップは「知識収集」である。提起された問題に対して、関連知識を収集し、現状の分析(現状把握)を行う。はじめは内省的に自分自身の経験的記憶の思い出しから始め、ついで文献検索、データベース検索、インタビュー、現場調査などのあらゆる知識収集手段を通じて、与えられた問題の関連知識を分析する。そこで、大規模データベースシステムの利用、インターネットやスペースコラボを用いた経験知の知識収集が有用である。第三ステップは与えられた問題の本質追求による「仮説生成」である。知識収集を通じて得られた膨大な関連知識の奥に隠されている問題の本質を追求し、問題解決のための本質的仮説を読み取っていく。全てを説明する概念が形成されたとき、問題の本質にあたる仮説が形成されたと見なされる。このプロセスの中心は仮説の生成であり、発想支援システムの構築とそれを利用したユーザのひらめきが必要である。ここでは形式知のみならず暗黙知も総動員し、優れた経験に基づく直観が尊重される。

後半の3ステップは自然科学の方法論に則って、順次仮説を検証していくプロセスである。問題解決の第四ステップは「定性的・論理的モデリング」である。ある仮説を採択したら、定性的あるいは論理的にどのような帰結が得られるかを推論する。既存の知識ベースの知識を用いて定性的あるいは論理的に推論し、現実の世界でテスト可能な実験に落としていく。そこで、大規模知識ベースシステムなどの高度利用が考えられる。問題によっては、大規模・複雑すぎてあるいは時々刻々変化し再現性が保証できない。このような場合、第五ステップとして「定量的モデリング」が必要である。大規模・複雑系としてモデルを作成を支援するために、ノウハウ型知識を蓄積したモデルベースシステムの利用が考えられる。最後の第六ステップはモデリング結果を利用した「予測・シミュレーション」である。大規模・複雑系シミュレータあるいはスーパコンピュータの高度利用により、21世紀に派生する様々な問題（地球環境問題、南北問題、人口爆発問題、エネルギー問題、資源枯渇問題等）に対する各種代替案の国家を越えるアセスメントが可能となる。

以上の考えを図式化したのが図3.9-1［KUNIFUJI 98］で、それぞれのシステムの事例をまとめたのが表3.9-1である。この図3.9-1の一つのサイクルを循環することで問題解決のための新しい知識が創造される。大規模・複雑な問題になればなるほど、このサイクルが何回も螺旋階段的に遂行される。「仮説生成」プロセスで触れたように、知識には形式知と暗黙知［NONAKA 90］がある。従来から行われてきた研究は形式知を形式知に変換（連結化、結合）するツールの研究開発のみであった。これからの時代は、形式知を暗黙知に変換（内面化、刷り込み）するツール、暗黙知を形式知に変換（分節化、外在化）するツール、あるい

は暗黙知を暗黙知のまま伝達（共同化、伝承）するツールの研究開発すら必要である。人工知能、マルチメディア、仮想現実感、ネットワーク、エージェントなどの技術を利用すれば、内面化支援ツール、分節化支援ツール、共同化支援ツールすら構築できるし、実際そのような研究開発の動きが「発想支援システム」の研究［JSAI 93, FUJITSU 91, KUNIFUJI 92, 93, SICE 94, 95a, 95b, 97, JSAI 96,97］として、この分野の若手研究者層に力強く台頭しつつある。

我々知的システム研究者にとって「なすべきことは余りに多き、なせしことが余りに少なき（セシル・ローズ）」が研究開発の現状であるが、上記の知識創造プロセスの解明とそれに基づく世界レベルの知識創造環境が構築されれば、21世紀における宇宙船「地球」号の大規模・複雑系としての営存を保証し、新たなる知識創造社会の到来を告げる機縁となるであろう。

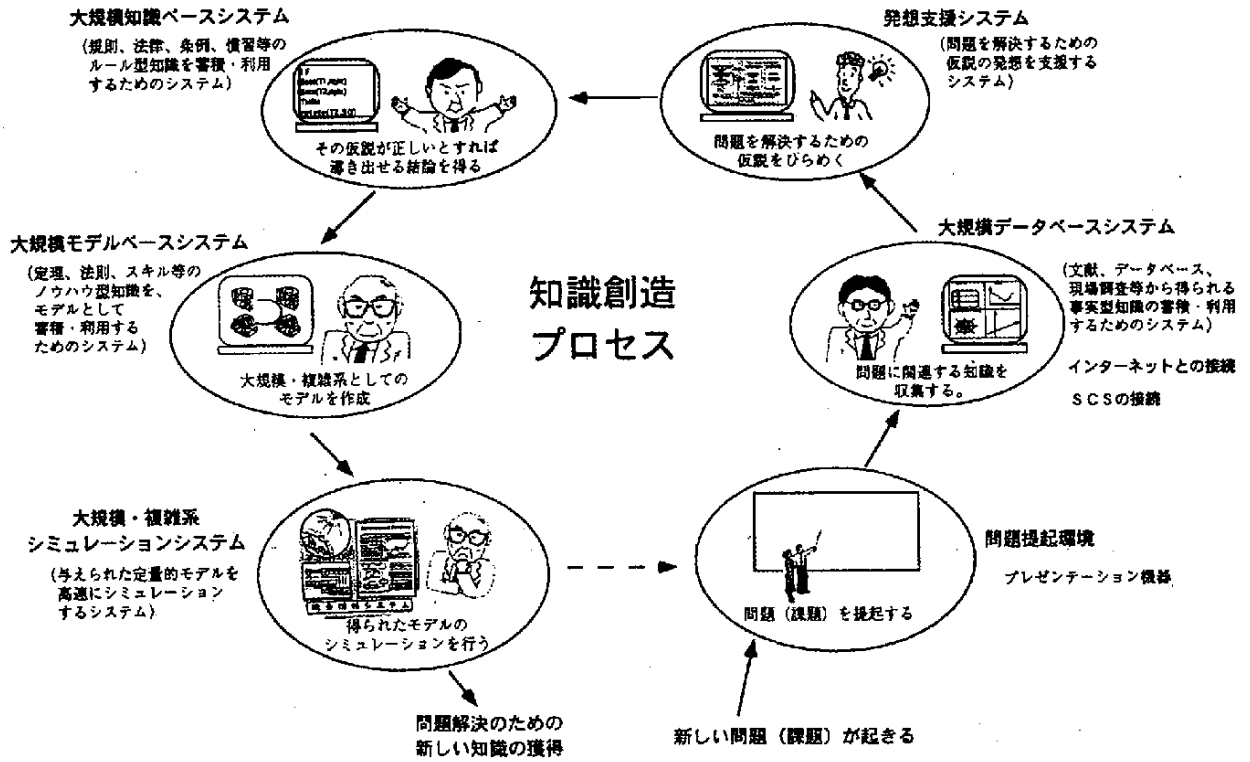


図3.9-1　知識創造プロセス

3.9.2　要素技術

ここでは知識創造の前半の仮説生成（知識創造）プロセスである問題提起環境、知識収集システム、発想支援環境に係わる要素技術について述べる。後半の仮説検証のプロセスは、創造された仮説知識がどのようなレベルの知識かに応じてその検証の方法が異なっている。

人文科学・社会科学等の自然言語レベルのテンタティブな仮説の場合、厳密な意味での検証可能性の確認の手段はなく、代わりに説明可能性概念でその仮説の有効性を納得する。すなわち、その仮説が多くの事例

を説明可能ならその仮説の尤もらしさが上がり、その有効性を納得する。その仮説が論理的知識の場合、知識ベースシステムを用いて論理的推論で検証するのが妥当である。定性的知識やモデル的知識の場合、それぞれ定性推論システム、モデルベースシステムを用いて検証するのが適切である。定量的知識の場合、解析可能な数理モデルがあればその数理モデルを解析するモデルベースシステムを用いて検証する。解析が困難でも、そのモデルをシミュレーションする大規模・複雑系シミュレータがあれば、統計的に予測・シミュレーション可能な場合もある。このように検証可能性のプロセスを如何に支援するかは、従来からある伝統的学問の方法論に委ねる必要がある。

3.9.2.1 問題提起環境

問題あるいは課題を明らかにするプレゼンテーション環境は、暗黙知レベルでふと気にかかる曖昧模糊とした問題が、そもそも何かを抽出するための環境である。手書き入力可能なPDA、(野外・探検モードでの)モバイル端末、ウェラブルコンピュータ等の新しいデバイスを最大限に活用し、ブレインストーミング支援ツール、アウェアネス支援ツール、各種お絵描きツール等の発散的思考支援ツールを構築し、「新しい酒は新しい革袋に」の精神で、次世代のための問題提起(プレゼンテーション)環境を構築する必要がある。

3.9.2.2 知識収集システム

知識収集の仕方もフィールドワーク経由、図書館あるいはデータベースから直接入手、インターネットや静止衛星経由など、様々な知識収集手段がある。その中で最も注目されるのは、KDD あるいはデータ(テキスト)マイニングと言われる大量のデータの中に埋もれている情報の中から何らかの規則性や仮説を発見する知識発見手法の利用である。従来は主としてキーワードからの部分照合によって如何に文字列を高速検索するかが問題だったのが、KDD あるいはデータマイニング手法を用いることによって、ある程度機械的に知識発見する手掛かりを得るようになった。これからの21世紀情報洪水時代に対処するためにも、各種情報フィルタリング機能を備えた知識収集システムを構築することが必要である。

3.9.2.3 発想支援環境

個人あるいは集団の知的問題解決過程に則してインスピレーションを促す発想支援環境[JSAI 93, FUJITSU 91, KUNIFUJI 92,93, SICE 94,95a,95b,97, JSAI 96,97]は、主として収束的思考とアイデア結晶化を支援する機能からなる。上記、問題提起支援環境と知識収集支援システムを通じて、一般に膨大な知識がデータベースに蓄積される。このような膨大な知識を整理・統合する中で、問題あるいは課題の本質は何かを追求していく。例えば、頭の中のイメージの世界を2次元の計算機のディスプレー上に可視化し知識表現することで、しっかりした問題意識と専門知識をもつ人間は暗黙知を形式知に変換することが容易になることが期待される。すなわち彼らのインスピレーションが知的触発される。勿論、個々人は固定観点に捕らわれることが多いので、他の人々の観点から見直した知識の切断面をも表示・提供(例えば、可視化)することが、知の触媒作用を醸成する。発想支援グループウェアを用いた協創が最も期待されるプロセスであり、暗黙知から形式知を抽出する発想支援環境の構築が必要である。

3.9.3 日米欧研究の現状

マイケル・ポライニは知識を形式知と暗黙知に分け、源泉知から変換知への変換過程を次のように分類している。形式知を形式知や暗黙知に変換する過程をそれぞれ連結、内面化と呼び、暗黙知を形式知や暗黙知に変換する過程をそれぞれ分節化、共同と呼んでいる。従来の計算機（あるいは人工知能）で生まれた技術はこのカテゴリーでは連結のための技術であり、ニューロネットワークの技術は内面化の技術の一つである。発想支援グループウェアの技術はこのカテゴリーでは、まさに分節化や共同化を支援する技術であり、欧米においてはアウェアネス等の支援あるいは暗黙知の支援として研究が行われている。そこにおいては、マルチメディアグループウェア研究の一つとして、仮想現実感技術をも利用して、そこにその人が実際に存在するかのような、その人の持つ雰囲気、本音あるいは暗黙の気配が感性（あるいは暗黙知）として伝わる創発メディア環境をいかに構築するかが課題である。そのためにサイバースペース、バーチャルラボラトリ、バーチャルメトロポリタン等の様々なビッグプロジェクトが進行中である。ここではこのような問題意識から見て、優れたセンスと創造的コンセプトで世界をリードしている国内外の研究グループを紹介するに留める。

① GMD）Streitzグループ：協調作業を支援するインフラとして、建物の中に各種CSCWを埋め込んだルームウェア［STREITZ 98］や双方向臨場感通信システムDOLPHIN［STREITZ 94］を、GMD 内に実装し、未来会議を想定した応用領域で評価実験中である。建物自体にデジタルデバイスを埋め込むという発想が斬新である。

② MIT）石井グループ：Tangible Bits［ISHII 97］という革新的ユーザインタフェース体系とそれに基づく新しいインタフェースの研究開発を行っている。トランスボード、メタデスク、インタッチ、トライアングル、アンビエントメディア［WISNESKI 98］等の独創的 HCI を次々に具体化しつつあある。算盤のように手で触れることが出来るインターフェースが彼の独創的コンセプトで、いわば視覚・聴覚・触覚等の人間の５感全てを利用したインタフェースの研究開発を行っている。

③ 慶大）岡田研究室：日本のアウェアネス研究の草分けで、アウェアネススペースを実現した大部屋仮想オフィス［HONDA 97］における脳波を利用したバイオフィードバックや各種臨場感通信システムの研究に見られる気配・本音の伝達といった多様かつ斬新な双方向グループウェアの研究開発を行っている。

④ JAIST）國藤研究室：発散的思考支援ツール、収束的思考支援ツール、意思決定支援ツールの各種研究開発を行っており、国内外で最も系統的に発想支援グループウェアの研究開発を行っている。Web アウェアネスの提供［SICE 97］、ブレインストミーング支援環境の構築［SICE 97］、グループの合意形成を支援するグループナビゲータの構築［KATO 98］、組織知の流通促進を図るノウハウ支援ツールの研究［KADOWAKI 98］等は産業界からも注目されている。

表3.9-1　代表的システムの例

具体的システム事例		データベース （事実型知識）	知識ベース （ルール型知識）	モデルベース （ノウハウ型知識）	シミュレーション
1	環境アセスメント支援システム	・環境変化データ ・環境問題関連データ ・住民からの環境問題に対する苦情データ	・要因分析、因果分析等による環境分析 ・法規制等の規範的解析 ・人の住める環境保全のための評価基準（主観的評価基準、客観的評価基準）	◎ ・システムダイナミクス等によるモデル生成 ・複合汚染等の環境変数の予測式の作成	◎ ・大規模・複雑系モデルの予測シミュレーション
2	研究コミュニティ形成支援システム	・社会要望の提示データ ・論証のガイド／支援データ ・科学不正の告発データ	・分野毎の体系化知識 ・文献サーベイ知識 ・専門家情報知識	・有用ソフトの公開ノウハウ ・使用例の開示ノウハウ ・注意事項（コツ）情報	・実測データの適用 ・コミュニティ形成シミュレーション ・シミュレーション結果による新しい問題の発見
3	法的知識システム	◎ ・個別事件データ ・判例データベースの事実部	◎ ・法的概念階層 ・法的概念記述 ・判例データベースの判断部 ・法律条文	◎ ・法的常識 ・法的学説 ・法定理	▲ ・法廷論争シミュレーション ・陪審員制度シミュレーション
4	対話理解システム	◎ ・テキストデータ ・新聞記事 ・文献データベースの概要、本文 ・百科事典	◎ ・統語解析・意味解析のための文法 ・大規模電子化辞書 ・機械翻訳用文法と辞書	▲ ・文脈・状況に基づく解析のためのモデル ・談話理解のためのモデル	▲ ・不完全知識（単語、文法）下での対話理解のためのプランニング ・対話戦略シミュレーション
5	プラント設計支援システム	◎ ・設計基礎入力データ ・設計事例データ	◎ ・設計基準 ・設計ルール	◎ ・設計ノウハウ ・最適化アルゴリズムに基づくモデル化	◎ ・プラント設計用CAD/CAMによるシミュレーション
6	ベンチャービジネス設計支援システム	・顧客動向データ、ユーザーのニーズ分析データ ・各社の技術水準データ ・投資家リスト ・成功例、失敗例データ	・ビジネスPR戦略知識 ・相互補間領域の判断知識 ・投資家とのマッチ度知識	・人脈の拡張ノウハウ ・資金調達・交渉ノウハウ	・動向予測 ・市場規模の判断 ・収益予測
7	研究開発マネジメント支援システム	◎ ・顧客からの研究開発ニーズの分析データ ・新製品情報 ・特許情報	▲ ・研究開発のニーズの本質とシーズの関連図分析、あるいは品質展開アプローチ	・研究開発のニーズを実現する新製品コンセプトのモデル試作	・新製品の実現可能性、普及効果やリスク分析に関する予測シミュレーション
8	ネットワークを媒介とした集団形成・意思決定システム	・意見、信条、事例	・討論方法、集団知、組織知	・知識の構成・集成モデル、個人内の意思形成モデル、社会モデル	・集団知形成シミュレーション、社会の安定性シミュレーション
9	意思決定支援システム	◎ ・マーケットデータ ・顧客データ ・財務データ	◎ ・経営管理ルール ・代替案発見のためのデータベースからの知識発見ルール	▲ ・管理科学的分析・説明モデル ・予測評価用最適化モデル ・戦略的プランニング用発見的知識 ・シミュレーション用統計・会計モデル	▲ ・最適な代替案の選択 ・代替案の改良のためのシミュレーション ・販売・生産計画のためのシミュレーション
10	組織ダイナミクス分析支援システム	・組織に内在する各種データ ・フィールドデータ	・組織依存のルール型知識（組織に内在する各種規則、組合規則、国の規則等）	・組織のもっているノウハウ型知識	・組織のリストラシミュレーション（→ビジネス・プロセス・リエンジニアリング） ・組織の合併や吸収のシミュレーション

◎：研究中の課題で、それぞれのコンテンツとしての知識が必要

▲：部分的に研究中の課題で、それぞれのコンテンツとしての知識が必要

なし：これから研究すべき課題

3.9.4 人間中心知的システムの胎動

人間中心知的システム（Human Centered Intelligent Systems）の研究開発動向を予測するには、ヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）の歴史に学ぶ必要がある。1980年代以前は HCI は技術中心の設計で、現状の技術に合わせて人間がコンピュータの操作法を習熟する必要があった。1980年代になって、コンピュータのパワーに余裕が生まれ、直接操作インタフェース等のユーザ中心の設計がなされるようになった。この勢いは1990年代になっても続いており、年配者、主婦、子供のユーザも操作のし易い初等的学習者にとって学び易いHCI となりつつある。それでは2000年代以降の HCI はどの様になるだろうか。人間中心に知的に設計された HCI は、実にこの時代のデファクトスタンダードになるのではないだろうか。これからは「揺り籠から墓場までコンピュータのお世話になる時代」である。「いつでも、どこでも、誰とでも」コミュニケーション、コンピューティングできる情報環境が次々と提供されるであろう。電脳時代の知の技法に注意し、次世代人間中心知的システム研究で取り上げるべき課題を提案すると、それは知識創造支援環境の構築ということになる。コンピュータの究極の進化形態は、人間の知的生産のツールである知識創造支援グループウェアを建築物を含むアーキテクチャの中に埋め込む事である。それらは将来的には、形式知のみならず暗黙知をも利用可能なアウェアネス支援環境の構築を提供しうる。我が国が協調と分散の時代である21世紀のリーディング国家になるには、新しい集団問題解決のツールである知識創造支援グループウェアの研究開発プロジェクトを、今直ぐにでも立ち上げなければならない。

＜参考文献＞

[FUJITSU 91] 富士通研究所国際情報社会科学研究所編: 発想支援システムの構築に向けて、第７回国際研シンポジウム報告書、富士通国際研(1991).

[HONDA 97] 本田新九郎、富岡展也、木村尚亮、大沢隆治、岡田謙一、松下温: アウェアネススペースを実現し気配を考慮した大部屋仮想オフィス、情報処理学会第21回グループウェア研究会資料、pp.151-156(1997).

[ISHII 97] H. Ishii and B. Ullmer: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between Peaple, Bits and Atoms, Proc. of CHI'97(1997).

[JSAI 93] 特集「発想支援システム」、人工知能学会誌、Vol.8,No.5,pp.551-618(1993).

[JSAI 96] 人工知能学会・計測自動制御学会共催: 合同研究会「AIシンポジウム'96」特集テーマ: 発想支援システム、機械振興会館(1996).

[JSAI 97] 人工知能学会主催: 1997年度人工知能学会全国大会・チュートリアルTrack 2:オフィスの知的生産性を向上させる発想支援ツール、早稲田大学(1997).

[KATO 98] 加藤直孝: 合意形成プロセスにおける参加者の視点情報の共有に基づくグループ意思決定支援システムの研究、北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士論文(1998).

[KADOWAKI 98] 門脇千恵: 組織情報の共有過程分析に基づく情報共有促進支援法の研究、北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士論文(1998).

[KUNIFUJI 92] 國藤研究室主催: 第一回「発想支援ツール」シンポジウム講演論文集、三菱総合研究所(1992).

[KUNIFUJI 93] 國藤研究室主催: 第二回「発想支援ツール」シンポジウム講演論文集、富士通幕張システラボ(1993).

[KUNIFUJI 98] 國藤進: 知識創造プロセスとその支援環境、人工知能学会誌Vol.13 No.1, pp.26-27(Jan. 1998)

[NONAKA 90] 野中郁次郎: 知識創造の経営、日本経済新聞社(1990).

[SICE 94] 計測自動制御学会主催: 第15回システム工学部会研究会「発想支援技術」、東京工業大学百年記念館(1994).

[SICE 95a] 計測自動制御学会主催: 第17回システム工学部会研究会「発想支援ツール」、ハイテク交流センター(1995).

[SICE 95b] 計測自動制御学会主催: 第18回システム工学部会研究会「発想支援技術」、鹿児島大学(1995).

[SICE 97] 計測自動制御学会主催: 第19回システム工学部会研究会「発想支援システム」、北陸先端科学技術大学院大学(1997).

[STREITZ 94] N. A. Streitz, J. Geiβler, J. M. Haake, and J. Hol: DOLPHIN: Integrated Meeting Support across LiveBoards, Local and Remote Desktop Environments, Proc. of ACM CSCW'94, pp.345-358(Oct. 1994).

[STREITZ 98] N. A. Streitz, J. Geiβler, and T. Holmer: Roomware for Cooperative Buildings: Integrated Design of Architectural Space and Information Spaces, Springer's LNCS 1370, pp.4-21(1998).

[WISNESKI 98] C. Wisneski, H. Ishii, A. Dahley, M. Gorbet, S. Brave, B. Ullmer, and P. Yarin: Ambient Displays: Turinig Architectural Space into an Interface People and Digital Information, Springer's LNCS 1370, pp.22-32(1998).

3.10 知的文書インタフェース

電子技術の急速な進歩によりコンピュータの小型化／高性能化は飛躍的な進化を遂げ、今やかつてのメインフレームを凌ぐ性能のコンピュータをパソコンとして個人で使える時代になった。更にWWWの出現によりパソコンを使えば、様々の情報を世界中からネットワークを介して入手することができるようになった。

しかしながらパソコンはその利用環境や目的が時代と共に急変しているにも関わらず、相変わらず「プログラムを実行するマシン」という従来のコンピュータのコンセプトをひきずったままである。TVスタイルのディスプレイ、キーボード／マウスによる入力手段という基本デザインはワークステーション誕生当時から何も変わっておらず、素人が電子情報を読むための道具にはなっていない。

マルチメディア時代になっても文書情報は情報伝達のための最も基本となるメディアであり、電子化された文書を誰もが読み書きできる道具として新しいコンセプトの情報端末が必要な時期にきている。本章では21世紀の高度情報化技術の「大衆化」を実現するための知的な文書情報インタフェースについて論ずる。

3.10.1 情報電子化の時代

パソコンとインターネットの普及により、誰もが気軽に情報を発信したり、ネットワークを介して世界中の情報にアクセスすることが可能になってきた。高度情報化社会という言葉は10年近く前から叫ばれていたがようやくそういう時代が現実になろうとしている。このようなインフラの普及を契機に電子出版や電子新聞という、従来、紙に印刷されて配布されていたメディアのディジタル化が進みつつある。

このような情報の電子化は知識の大衆化を促し、誰もが公平に高度な知識情報に接することが可能な社会を実現する。例えば、どこに住んでいても国会図書館の蔵書を読んだり、国立博物館の展示品を観賞したりできるようになれば中央と地方との間の情報格差を縮めることが期待される。また、電子化は紙への無駄な印刷を止めることで紙の消費を減らし、貴重な森林資源の枯渇を防ぐことにもつながる。

このようにネットワークを活用した電子化社会の未来は明るいが現実にこのような電子化された情報、特に文書を簡単に扱える情報端末が存在しないという大きな問題がある。

3.10.2 情報端末としてのパソコンの問題点

パソコンはオフィスでの文書作成や表計算を利用した各種帳票作成になくてはならない道具として定着している。これらは従来、紙に手書きで作成されていたものであるが、コンピュータの清書機能、編集機能、表計算機能などを利用することで文書作成の効率は飛躍的に向上した。ネットワークの普及によりそのまま電子化された状態で利用されることが期待されているが、現実には一旦紙に印刷されてから配布、回覧されていることが殆んどである。その理由はパソコンが文書作成装置としては優れていても作成された文書を読み書きする道具になっていないためである。

一方、家庭ではこのような文書作成や表計算のニーズが少ないためパソコンの導入があまり普及していな

かったが、WWWの出現によってインターネットを介した新しい情報発信／情報サービスが台頭し、これらの情報にアクセスするための道具としてパソコンが利用されるようになった。しかし、ここでもパソコンが情報を読むための道具として使い難い問題が顕在化しつつある。

1. 汎用コンピュータであることの問題

   パソコンはそもそも汎用コンピュータとして作られており、ソフトウェアさえ変えれば何でもできるように作られている。しかしながら、汎用性が高いがゆえにその操作法や環境設定、必要なソフトの組み込みにはノウハウが必要となり使いこなすのが難しい。素人が情報アクセスのために利用するのなら、機能が限定されても操作の単純な専用端末の方が適している。

2. 電子文書表示の問題

   パソコンのディスプレイは基本的にTVのデザインであり、本を読むように机に水平に置いて使えない。また、その表示解像度は低く、印刷物に遥かに及ばない。更に紙の資料のように気軽に書き込むこともできない。電子化された情報を「読み書き」するためには新しい機器形態、表示デバイスの出現が必要である。

3. キーボードの問題

   パソコンの入力装置としてはキーボードとマウスが定番になっているが、誰もが使う道具としては必ずしも理想ではない。ペン入力の方が適している状況も多くある。また、キーボードの使えない人はいても、ペンを使えない人はまずいない。特に子供やお年寄りに慣れないキーボードの使用を強いるよりペンで気軽に入力してもらう方が負担が少ない。我々が日常、紙やペンを気軽に使って情報を書きつけているように気軽に入力する手段が必要である。

4. 電子文書のデータ形式の問題

   ワープロで作成される電子文書はそのワープロ専用のファイル形式になっているのが普通で、それを読むためには同じワープロを使う必要に迫られる。一方、WWWではどのようなブラウザでも情報が読めるようにページ記述言語HTML（HyperText Markup Language）で記述する約束になっているが、HTMLにはレイアウト機能が殆んどなく、ワープロで作成するような本格的な文書が作成できない。今後、複雑なレイアウトを持つ新聞や雑誌を電子的に読むためには表示デバイスに依存しないポータブルで高品質出力を可能とするデータ形式を確立する必要がある。

5. 操作指示の問題

   ワープロや表計算ソフトは利用者の多様な要求に応えるために様々の機能を備え、それに伴う操作の複雑化によりせっかくの豊富な機能を使いこなすことが困難になりつつある。

   キーボードやマウスによるメニューのクリックだけで作成者の意図を伝えるには限界がある。また、作業が高度になる程システムが自動化してくれる恩恵は大きいのだが、利用者の意図と合わない場合にはかえって使い難くなるというジレンマに陥る。

3.10.3 電子情報の世界と現実世界の融合

これまではコンピュータの中の電子情報の世界と、本やノートという物理世界は分離していたが、「情報の電子化」とはその間をシームレスにつなぐことに他ならない。

現実世界と電子情報の世界を融合する技術としてAugmented Relity（仮想現実感）[注1]が注目されている[1]。Virtual Reality（仮想現実感）はコンピュータにより全く仮想の世界を電子的に構築して人間があたかもその世界に入り込んだかのように電子情報にアクセスできる仕掛けとして注目されたが、仮想世界をリアルに構築するには莫大な工数や高価な装置が必要となる。また人間が仮想世界のオブジェクトを触ったり動かしたりするインタラクションの実現にはまだ技術革新が必要である。むしろ、身の周りの道具やメモ等の身近な現実世界と電子情報をうまくリンクさせて人間の作業を知的に支援しようという立場からAugmented Reality（拡張現実感）が提唱された。例えば、机の上をTVカメラで撮影しておき、紙の上に書いた内容や人間の動作を電子的に取り込むとか、メガネを通して見ている製品の保守の手順がメガネ越しに投影されるなどの研究がなされている。このような技術は人間と機械の自然なインタフェースを実現するために今後益々重要になるが、電子的な「紙と鉛筆」の実現もAugmented Realityのひとつと位置づけて良いであろう。

3.10.4 読み書きのための端末の必要性

紙の文書なら、

・読むこと

・書き込むこと

が誰にでもできる。このような紙の文書では当たりまえのインタフェースが現在のパソコンでは満たされていないのが現実である。

例えば、文書を読むためにはフラットで高精細の薄型ディスプレイが必要となる。少なくともA4サイズで300dpiの解像度は欲しい。しかし現状のディスプレイ装置の表示ドット密度は一般に100dpi前後であり、オフセット印刷の6000dpiとの比較は論外としても標準的なプリンタの出力品質600dpiにも遥かに及ばない。また、この解像度ではA4サイズの用紙1ページを原寸表示しようとしても字が潰れて読むことができない。大型のディスプレイを用いる手もあるが、大きな字はかえって読み難い上、ページ全体をひと目で見渡すことが困難になる。LCDパネルを利用したディスプレイの薄型化も普及してきたが、まだCRTの「忠実な」置き換えである。人間工学的には視線を下げる方が疲労が少ないと言われているが、水平に置いて読むようにはなっていない。更に、いずれのディスプレイも自己発光型であり、本を読むように目を近付けて長時間見続けることは疲労の原因であり、CRTの場合は更に電磁波の生体への影響が不安である。

一方、文書への書き込みに関しても古くからペン入力装置が開発されているが、以下のような問題がある。

・ペンとディスプレイとの間の感触（滑べり、タッチなど）が不快

・ペン先と実際の表示位置との視差が大きい。（LCDパネルの上にはペン位置検出もしくは保護のために

[注1] 実世界指向インタフェースと呼ぶ立場もある

ガラス板が置かれていることが多くペン先と表示位置の間に距離が生じるため）

・描画速度が遅く筆跡がペンの動きに追従できない

・圧力で動作するタイプは手を置くことで誤入力が発生。（抵抗膜をディスプレイ表面に張るタイプ）

入力デバイスの問題以外に更にシステム側の障壁もある。システムから見ると「書き込み」とはペンやマウスのイベントを取り込んで画面に表示する処理になるが、このようなソフトが常に動いている訳ではない。例えばパソコンのデスクトップ画面では表示されているアイコンをクリックすることはできても、勝手に文字を書き込めるようには作られていない。物理的な紙や本なら自由に書き込めるのに、コンピュータでは書き込みを受け付けるかどうかをシステム側が勝手に決めている、ということである。

3.10.5　電子文書のデータ形式

紙の文書を電子化する際の悩ましい問題は「どういうデータ形式に統一するか？」を決めることである。電子文書の実現形態には以下に述べるいくつかアプローチがあるが（図3.10-1）、各々文書作成／編集に専用のツールを要求することが多く、組織で共有しようとすればツールの統一が必要となり、場合によっては使用するマシンのスペックまで決めかねない。逆にワープロ開発メーカは他社製品との非互換性により顧客の囲い込みを図ることになる。

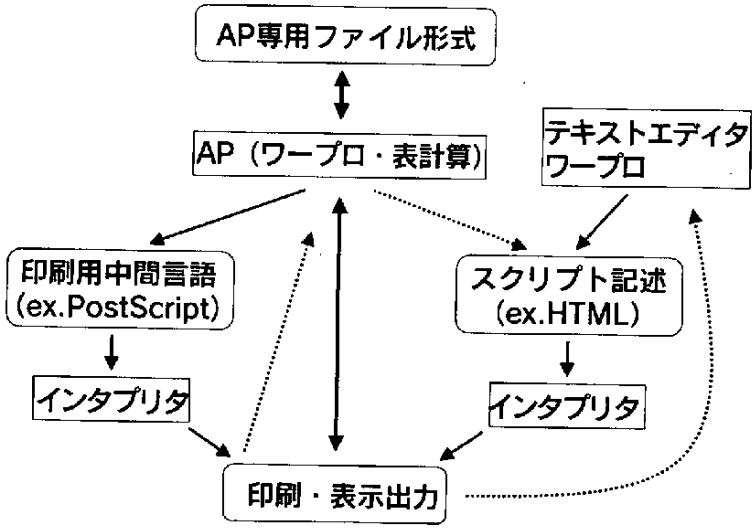


図3.10-1　電子文書のデータ形式

(1)・アプリケーション専用ファイル形式

ワープロの持つ機能を最大限に利用しようとすればそのワープロ独自のファイル形式で格納するのが最も効率的である。この場合、文書を共有するには使用するワープロソフトを統一することになる。組織としてそのような意志決定が可能なら文書共有を実現する最も簡単な方法であり、現実的なアプローチと言える。但し、特定製品に縛られることになり、他社が新しい製品を出してきても簡単に乗り換えることはできなく

なる。個人の好みや慣れを無視して特定ツールを強要することにも議論があろう。

(2) 印刷用中間言語への変換

Adobe社のPostScriptはプリンタの解像度に依存しないポータブルな印刷出力形式（中間言語）である。印刷イメージは一旦、PostScriptで記述された中間言語形式に変換されてプリンタに渡され、プリンタ側では内蔵されたインタプリタがハードウェアの解像度に応じて最終的な印刷出力を実行する。PostScriptはレーザプリンタのような高品質印刷を目的とする場合の標準出力形式として普及しており、多くのワープロソフトでサポートされている。

PostScriptを文書印刷用に特化して改良したものがPDF(Portable Document Format)であり、これもWWWにおける文書表示用標準形式として普及しつつある。

これらはいずれも中間言語を解釈／実行する専用プログラムが必要となるが、出力ハードウェアに依存しない「ポータブル性」という点で優れている。基本的にはディスプレイもプリンタと同じように扱える(c.f. DisplayPostScript）。

難点は元データ → 中間言語 → 印刷／表示という、印刷を目的とした一方向の変換処理のため、編集が不可逆であること。即ち画面を指したり、情報を書き込もうとした時に表示イメージと元のデータ表現との対応をとることが原理的に難しい。

(3) スクリプト言語による記述

SGMLは電子文書のページ記述言語として早くから標準化されていたが、どんな文書でも扱える代わりに仕様が大きく複雑で、結果的に使い難いことから実際の利用はそれほど普及していなかった。しかしその簡略版であるHTMLはWWWのページ記述に利用されたことから一気に普及し、現在その拡張仕様であるXMLが注目されている。

このようなスクリプト言語は簡単な文書の記述／表示には非常に有効であるがレイアウト機能や使えるフォントが限られており、通常のワープロに較べると自由なページ構成が作れない。また、(2)と同様にインタプリタによる解釈実行が一方向であり、表示イメージを操作しようとするとインタプリタと逆向きの対応づけが必要となる。

(4) 複合文書

近年、ワープロ文書やスプレッドシートを組合せて自由にページを構成できる複合文書技術も注目されており、OpenDocやOLE、ActiveX技術が開発されている。いずれも技術的なポイントは、はめ込まれている文書から編集に必要なアプリケーションプログラム（ワープロやお絵描きソフト等）を起動する仕掛けを実現することである。複数のオフィスツールを統合するために開発された経緯から各コンポーネントとしてアプリケーション専用ファイル形式をそのまま組み込めるのが普通である。

OpneDocはこのような部品の組み込みを一般化した枠組を提供しようとしたものであり、利用者が自分の好きなツールを組み合わせてページを構成できるよう開放した点で興味深い試みであったが広まるには至っていない。最近は同様の試みをJavaで記述することによりWebブラウザのプラグインとして提供するアプロ

ーチが現われている。

今後の電子文書普及には特定製品やハードウェアに因われないオープンでポータブルなデータ形式の確立が必要である。また、最終的には誰がどのようなツールで作成しようとも受け取った電子文書は自分の使い慣れたツールで操作できるべきである。

何らかの標準的な中間表示フォーマット

＋

上書き情報を扱うための複合文書構造の確立

が必要となろう。

3.10.6 自然な操作インタフェースの実現

(1) 手書き入力の活用

自然な入力インタフェースとしてペン入力がある。FAXや筆談のように手書き入力をそのままの形で利用できる用途も多い。更にこれらの手書き情報を電子情報としてコンピュータで扱えればより高度な情報活用が可能となる。例えば手書きメモの一部を「To Do リスト」として登録し、メニューで呼び出したり検索する試みが提案されている [2] 。紙に書いた場合は忘れてしまえばそれまでであるが、電子情報ならカレンダと同期させて必要なタイミングで画面に表示する、ということも可能になる。手書き情報も電子的に取り込むことによりこれまでに無かった新しい利用方法を開拓できる。

(2) ユーザの意図の抽出

ユーザの意図抽出は様々なレベルが考えられる。例えばフリーハンドの手書き情報を清書する応用を考えてみよう。絵や図形の入力はペンを使う方が圧倒的に簡単であるが、「奇麗に」書くのは難しい。この矛盾をシステムが解決してくれれば簡単に奇麗な絵が描けることになるが、実現はそう簡単ではない。例えば直線を描く場合、最初から「直線を描こう」としている書き手にとって、入力に曖昧さはなく（限りなく直線に近い線を描いていると本人は自覚している）、認識は簡単そうに見える。しかし、これは現在のコンピュータが最も苦手としている問題領域になる。

そもそもペンの動きだけからは利用者が文字を書いているのか絵を描いているかをうまく識別することが難しい。例えば短い直線と漢字の一部は区別できない。「絵の入力モード」に限定した場合でも、どういう直線を描きたいのか、例えば端点を別の図形に接したいのか、離すべきか、利用者の意図を一意に固定できない。これは自然言語処理において、一つの例文だけを考えると簡単に解釈できそうに思えても、いろいろな例外を扱えるように知識を与えるうちに単純な認識ができなくなる事情と同じである。個々の判定アルゴリズムは作れてもマクロな「状況判断／認識」ができないことに起因している。一つのアプローチとして「垂直に交わる」「接する」等のよく使いそうな幾何学的制約をシステムに組み込み、奇麗な図形を描かせる試みがある [3] 。

また、近年のワープロソフトは多くの機能を実現しているがためにその操作が非常に複雑化してしまい、

結局普通の利用者には使いこなせないのが現状である。このような複雑な操作をキーボード＋マウス＋メニュだけで操作することにそもそも問題がある。ペンやもっと画期的なポインティングデバイスの創造が望まれる。例えば「領域選択＋消去ボタン」より「不要な部分を2重線で消す」という動作の方が馴染み易い。あるいは利用者の繰り返し操作を認識してシステム側が支援することにより入力効率を上げる試みもある［4］。

ジェスチャー入力も含めて、人間の何気ない操作から意図を理解し、少ない操作で望みの処理を実行してくれるような仕掛けが必要である。現時点のコンピュータの知能レベルはそれほど高くないので、むしろ状況に合わせた利用上の工夫が重要であろう。

(3) 文書の内容理解

文書処理ソフトは基本的に文字コードを表すバイト列を処理しているに過ぎない。最近のワープロソフトはスペルチェックや文体チェック機能もついているが文書の「内容を理解」してくれている訳ではない。

例えば紙の資料ではメモや覚書を自由に「上書き」できることがメリットである。このような「上書き」を電子化情報で実現する場合、上書き情報を本文とは別のレイヤとして構築し、文書上に重ね合わせて表示する方法が一般的である。しかし、このような方法では本文が編集された時に上書き情報だけが元の位置に置き去りにされてしまう。これは文書の内容を理解せずに単なる位置情報だけでリンクしていることから生じている。

文書処理をより知的にしようと考えると、文書テキストは自然言語処理に適するような構造（例えば単語や品詞等）を常に反映したものになるべきであろう。

3.10.7 紙を目指した情報端末

これまで述べたような問題の解決方法の一つとして、報告者は紙のような操作感で利用できる情報端末、「紙指向端末」の研究／試作を進めている［5］。

(1) 紙指向インタフェース

紙指向端末は紙の持つ良さとコンピュータの持つ能力の融合を目指している。

＜紙の持つ良さ＞	＋	＜コンピュータの得意技＞
・読み易い		・検索／加工が自由
・自由に書き込める		・複製／配布が簡単
・ページ全体が見える		・大勢での共有が簡単
・扱いが簡単		・大量データの高速処理

これらの融合により、印刷物のように読めて、ペンで自由に書き込みができ、且つ、書き込まれた情報が

共有／検索できるような情報端末が実現できる（図3.10-2）。印刷物のように読めることから紙への無用な印刷を減らすことができる。自分だけのメモを書き込めることにより紙による書類配布と同じにできる。更に書き込み情報を共有することにより後述するようにコミュニケーション手段として利用できる。ペン入力が簡単で奇麗に書けるようになれば伝言メモや簡単なメールを手書きのまま送ることも普及するであろう。紙指向端末の狙いの一つは、難しいワープロ操作を覚えずとも手書き情報を活用してもっと気軽に情報交換を実現することにある。

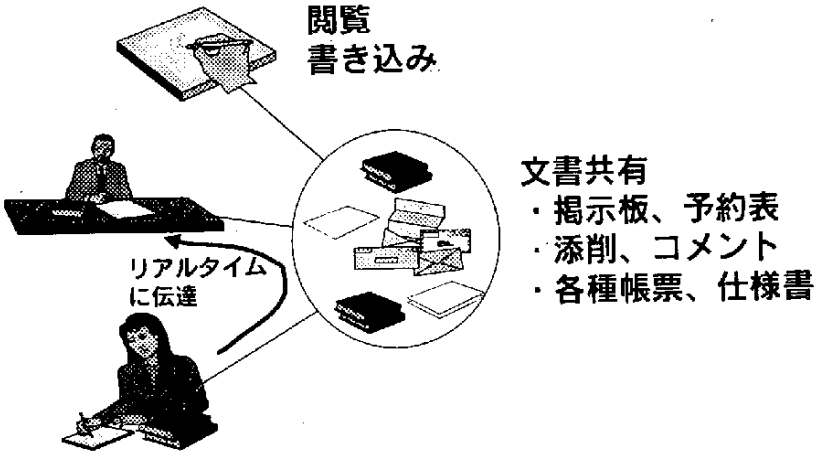


図3.10-2　紙指向端末コンセプト

(2)　紙指向端末による文書共有

文書やメモは物理的な移動により情報伝達／共有を実現するが、紙指向端末は「書かれた情報」をネットワークを介してリアルタイム共有することでそれを実現する。

例えば会議開催通知の例を考えよう。1枚の通知に各参加者が希望日を書き込むことができ、それが全員に見えるならば集計や編集作業は不要となる。このような情報共有は従来ホワイトボードやWebで実現されるのが普通であるが、前者においては汎用の文書にはなっていない、アプリ専用エディタの利用を強いられる等の問題があり、後者ではHTMLベースの文書しか扱えない、自由な書込みができない等の不便さがあった。

この解決のためには「共有文書」という汎用化した枠組を実現した。即ち、種々の文書／帳票を作成するだけで、それらが掲示板や共有文書になる仕掛けである。これにより、例えば仕様変更の書き込みがメンバ全員に即伝わるような仕様書を作成することができる。

共有される文書情報はサーバで集中管理される方が安全性や一貫性維持の点から望ましく、紙指向端末は情報の読み書きというユーザインタフェースに特化し軽量化すべきである。そこで文書共有システムの実現方法として、文書オブジェクトをサーバに置き、描画処理部のみを端末にダウンロードして文書イメージを表示する「複合文書分散共有方式」を開発した［6］。また、ユーザインタフェース画面はページ単位の表

示を基本とし、これらの共有文書を一冊にまとめたバインダとして見せる本メタファを採用した［7］。これによりユーザは目次やページめくり等の慣れ親しんでいる操作で共有文書を利用することが可能となる。

複合文書共有システムはJavaで試作中であり、紙指向端末のソフトウェアとしては小型リアルタイムOS［8］とJavaVMをベースとするシンプルな構成で実現している（図3.10-3）。

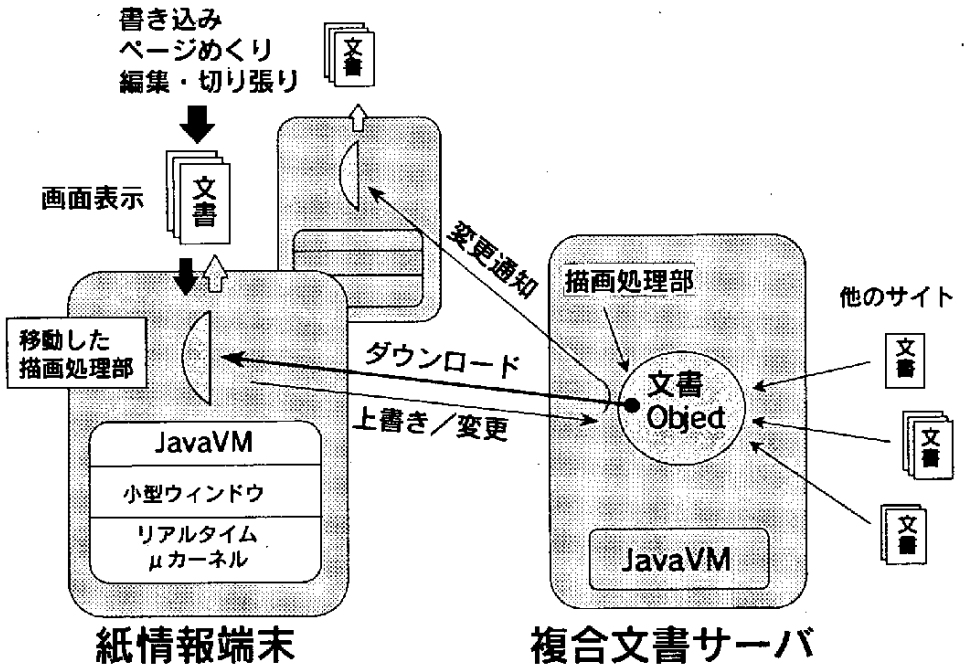


図3.10-3　リアルタイム文書共有システム

(3)　ペン入力一体型の超高精細ディスプレイ

紙を目指すには少なくともA4サイズ／300dpiの解像度が欲しいところであるが、その実現には900万画素が必要となり現時点では消費電力やバスの転送速度等から考えて実現が難しい。現実解としてはA4より一回り小型のサイズで180dpi前後の液晶パネルを最初の開発ターゲットと考えている。余白を除けばA4文書のテキスト部分を全文表示できること、人間の眼の分解能から1ドットを識別できないギリギリの解像度と考えられるからである。

書き心地の向上にはペン先の材質やドライバソフトの工夫をしているが視差の低減のためにはセンサ機構を液晶パネルに内蔵する方式を研究中である［9］。入力機能付き液晶パネルによりペン入力のための余分なハードは不要となり、視差の低減（ペン先と液晶の間はガラス1枚）と装置の薄型／軽量化が同時に達成できる。

3.10.8　国レベルでの研究推進の必要性

本章では電子文書の読み書き、知的な編集機能の必要性について述べた。文書情報は人間同士のコミュニ

ケーションの最も基本となる情報メディアであって、意志表示や意志決定のために不可欠な情報表現形式である。ネットワークが活用できる時代になれば、これらの文書情報の電子化は必然の流れであり、またその作成／編集を誰でも簡単に効率良くできるようにするためのエディタやワープロ技術は今後も重要な課題である。従来の紙と鉛筆の物理世界と電子情報の世界をシームレスに接続するには自然言語言語処理や認識技術等の知的支援が必要である。

・日本語入力問題

キーボードはアルファベットのための入力装置であって漢字仮名混じりの日本語入力には向いていない。我が国は仮名漢字変換技術でこのハンディを克服してきたが、誰もが簡単に入力できるためにはペン入力の活用等のより自然なインタフェースの実現が急務である。

最近では音声入力技術も実用化の域に到達しつつあることもあり、これらの自然言語処理技術、認識技術を駆使して日本語の効率良い入力方法を確立することが重要である。日本語入力処理は非英語圏の人々に共通する問題であり、日本のその先端技術を活かして率先して取り組む課題である。

・情報の大衆化

一部の専門家の間でしか利用されていなかったインターネットが誰にでも開放されたことで、新しいビジネスチャンスが生まれ社会の活性化が実現されている。これを一過性のブームにせず、高度情報化社会を実現するには誰もが電子情報にアクセスできる「情報の大衆化」が重要である。そのためには電子情報を「読み書き」するのに相応しい情報端末、誰もが簡単に扱える情報端末の実現が急務である。情報は大勢の人が共有してこそ力になり、それによる社会の活性化は最終的に国力の強化につながる。

・市場競争原理の功罪

かつては通産省大型研究開発プロジェクトに代表されるように、国をあげて欧米諸国に追いつくための努力がなされてきたが、その目的がほぼ達せられた今日では、むしろ国が主導するよりオープンな市場での企業間の健全な競争による技術革新が重視されている。

しかしながら、市場原理は両刃の剣であり、競争によってより良い製品が生き残る健全性がある一方で、技術の善し悪しよりも沢山売れること、社会や将来よりも自分が儲かることが優先される危険がある。現にパソコン市場は一部米国企業による寡占により新しい技術が育たないとう状況になりつつある。新しい情報端末の普及のような社会インフラに関わるような技術は世の中に定着するまで時間が必要であり、競争原理で動いている企業では取り組み難い。新しい流れを生み出す研究開発はプロトタイプ試作、特定地域での実施評価の段階までを国の支援で立ち上げることが必要と考えられる。但し、思惑の異なるメーカー各社を集めて無理矢理歩調を合わせる旧来方式ではなく、むしろ優秀な研究者をリーダとするベンチャー的な小グループで競わせることが望ましい。ある意味で国家レベルでのベンチャーキャピタルの実現と言える。利益優先の企業では取り組めない課題、だが将来、国民の生活を豊かにする上で必要なテーマは国が投資して育てる機構が必要である。

・永遠のテーマとしての人工知能

人間にとっての自然なインタフェースの実現には、最終的に人間の意図を理解する知能／知性が必要となる。第五世代コンピュータで盛り上がった人工知能研究には一時の勢いが見られないが、知能の実現はすべての技術領域にブレークスルーをもたらすものであり、視点を変えて何度でもトライすべき課題である。人間の認識／理解には五感がフルに連携して働いていると考えられるが、最近のディジタルカメラやセンサ技術の進歩は目覚しく、より高度な認識レベルを実現できる期待がある。基礎研究として民間企業が取り組むには難しいテーマであるが故に、長期ビジョンに基づいた国の研究支援が必要である。微力な水の流れも何時かは堅い岩に穴を開ける時が来ることを信じてやまない。

＜参考文献＞

[1] 歴本，“実世界指向インタフェースの研究動向”，ソフトウェア科学会，コンピュータソフトウェア，Vol.13, No. 3, May 1996

[2] L.D. Wilcox, et. al.,“Dynamite: A Dynamically Organized Ink and Audio NoteBook”, CHI97, March 1997

[3] 五十嵐，計算機は落書き帳を越えられるか？, ｂｉｔ, Vol.29, No. 9, September 1997

[4] 増井，“予測／例示インタフェースの研究動向”，ソフトウェア科学会，コンピュータソフトウェア，Vol.14, No. 3, May 1997

[5] 横田他“紙を目指した情報端末”,情処，第56回全国大会，1B-02, March 1998

[6] 羽根，河村，横田，“UIを分離した複合文書による情報共有”，情処インタラクション'97，pp.95-101, Mar. 1997

[7] 齋藤，新，羽根，河村，横田，“本指向ユーザインタフェースの提案” 情処第54回全国大会，Mar. 1997

[8] 黒岩，石井，高野，横田，“MKngプロジェクトにおける携帯端末サポート” 情処第54回全国大会，Mar. 1997

[9] N. Ikeda, H. Hayama, and S. Kaneko, “A New TFT-LCD with Built-In Digitizing Function”, Proc. of IDW'97, pp.199-202, Nov. 1997

3.11 大域文書修飾（GDA）

3.11.1 はじめに

機械が人間なみに言語の「意味」を理解するという自然言語処理の主要な目標を達成するにはあと1世紀以上かかるだろう。この長期目標に関する基礎研究への投資に根拠を与えるためには、未熟な技術を有用なものにするような新たな応用を見出す必要がある。それらの応用は、同時に、こうした基礎研究の推進に貢献するようなものであることが望ましい。特に、人間の知識の使用に関する巨大かつ良質のデータを集成することが上記の目標の達成に不可欠であるが、それを研究目的のためだけに行なうことは経済的に困難と考えられるので、そうしたデータベースが応用の副産物として自動的に生成されるような枠組を考えたい。

大域文書修飾（GDA）［5、4］は、文書の意味的・語用論的な構造を明示するSGML (XML)のタグ集合を策定、公開し、そのタグを含むテキストを入出力するツールや応用プログラムの開発と普及を推進することにより、インターネット等でこのタグ集合を広めることを目指すプロジェクトであり、未熟な技術の実用化と基礎研究用のデータという、上記の二重の目的を持っている。GDAタグは現在の技術で機械が文書の意味的・語用論的な構造を理解することを可能にするので、タグの情報を利用することにより、機械翻訳、情報検索、情報抽出、要約、質問応答、事例に基づく推論、データマイニングなど、自然言語処理や人工知能のさまざまな応用の品質が飛躍的に向上する。したがって、こうした技術が安価に利用できるとすれば、自分の文書にタグ付けして公開することを多くのユーザに動機付けることになり、巨大なタグ付きコーパスがインターネットを中心として自動的に生成・成長するだろう。このコーパスは、意味やコミュニケーションの構造を明示しているので、事例に基づく知識ベースとなる。

3.11.2 タグ集合とタグ付け

GDAタグ集合は、章、節、段落、タイトルなどの文章の構成を表わすタグ、統語範疇を表わすタグ、曖昧性を表わす選言的タグ（alternate tag）に加えて、主題役割（thematic role）や修辞関係（rhetorical relation）などの意味関係、照応、言語行為、テンス、アスペクト、量化や否定や様相演算子の作用域、語義などを表わす属性からなる。タグの多くと属性の一部はTEI[注1]やEAGLES[注2]などの既存のガイドラインに基づいている。GDAでは多くのタグは任意的である。また、意味関係についてはEDRコーパスやGeneralized Upper Model[注3]など、照応についてはMUC[注4]のコーパスやLancasterコーパス［3］の仕様も参考にして設計している。GDAタグ集合の仕様書のドラフトを昨年の夏から公開している[注5]。コメントをいただければ幸いである。

GDAタグ付きテキストの例を図3.11-1に示す。

[注1] http://www.uic.edu:80/orgs/tei/

[注2] http://www.ilc.pi.cnr.it/EAGLES/home.html

[注3] http://www.darmstadt.gmd.de/publish/komet/gen-um/newUM.html

[注4] http://cs.nyu.edu/cs/faculty/grishman/muc6.html

[注5] http://www.etl.go.jp/etl/nl/GDA/tagset.html

```
<v ctyp=fx><ad><n id=bk>本</n>を</ad>
        <v><ad>お母さんに</ad>
            <v><v obj=bk>読んで</v><v>もらう</v></v>
        </v>
</v>
```

図3.11-1　GDAタグ付きテキスト

<v>エレメントは動詞または動詞句、<n>エレメントは名詞または名詞句、<ad>エレメントは副詞や後置詞句や連体詞などある。ctyp属性は統語的構造、obj属性は目的語を表わす。fxは交差を含む前向きの依存関係である。日本語では、省略されたctypの値はfx(前向きの依存関係)と解釈される。

GDAタグ付きコーパスを作成中だが、そこではGDAタグの仕様全体を使うのではなく、さしあたりは統語構造と意味関係と照応だけに関するタグ付けを行なっている。後述のように、そのような単純な部分集合でも自然言語処理の応用の精度を高めることができる。

人手によるGDAのタグ付け作業を支援するソフトウェア・ツールを**タギングエディタ**と呼ぶ。現在のタギングエィタはGNU Emacsのモードのひとつとして実現されている。そのウィンドウ表示の例を図3.11-2に示す。

```
.v_ad_n.....$| 本
  |  |______$| を
  |ad........$| お母さんに
  |v_v......$| 読んで
    |v......$| もらう
```

図3.11-2　タギングエディタのインタフェース

ウインドウは左右に分かれ、左側にタグの入れ子構造を、右側にその構造の各部に対応する文字列を表示している。実線の枝はエレメントでない文字列を、点線の枝はエレメントになっている文字列を示す。タギングエディタは、タグの範囲の指定、タグと属性の編集、id属性の自動設定などの機能を持つ。タギングエディタも公開中[注6]である。GDAタグ集合以外でもSGMLであれば比較的簡単にカスタマイズできる。

3.11.3　意味タギング

言語の主も重要な目的は意味内容を伝達することだから、タギングによって意味を明示した言語データは言語研究において有用な資料となる。また、意味に関しては形態論や統語論ほどには研究が進んでいないの

[注6] http://www.etl.go.jp/etl/nl/gda/TE/

で、意味タギングの必要性はきわめて高い。一方、自然言語解析においては、文章の意味的・語用論的構造を検出できる程度に応じて、翻訳、検索、質問応答など、多くの技術の精度を高めることができる。また、意味的・語用論的構造は自然言語生成への入力でもある。したがって、意味タギングを施されたテキストや音声は、自然言語の解析と生成の両面にわたり、研究用の資料として貴重である。

しかし、意味に関する研究が未熟であるということは、意味タグの仕様を定めるのが難しいということでもある。そもそも意味とは何かが明らかでないので、文章の意味を十分に明示するようなタギングの方法はない。意味タグの目的は、理想的には知識表現言語（knowledge representation language）や機械翻訳用の中間言語（interlingua）のそれと同様だが、言語の意味を完全にとらえられるような知識表現言語・中間言語はさしあたり作れないと考えられる。現実問題としては、意味タグを無闇に詳細化して知識表現言語を目指すよりは、目的に応じた粒度の意味タグを設計する方が有益だろう。

言語学や自然言語処理における研究開発の現状に照らすと、意味タグによって明示すべき情報としては、深層格、修辞関係、照応、否定や量化の作用域、テンス、アスペクトなどがある。以下ではこれらのうち、GDAで実際にタギングを行なっているものを中心に述べる。

3.11.3.1 意味関係

意味タグのうちで最も広く用いられているのは、深層格（deep case）—またはθ役割（theta role）あるいは主題役割（thematic role）—に関するタグである。表層格—または文法機能（grammatical function）—が統語的な依存関係（dependency; いわゆる係り受け）にある2つの統語的構成素のうち、依存する側がされる側に対して持つ統語的な関係（主語、目的語など）を示すのに対し、深層格は意味的な関係を示す。たとえば「扉が開く」においては、「扉が」の表層格はSUBJECT（主語）で深層格はTHEME（主題）である。一方、「健が扉を開く」においては、「健が」の表層格はSUBJECTで深層格はAGENT（動作主）、「扉を」の表層格はOBJECT（目的語）で深層格はTHEMEということになるだろう。つまり、2つの文が「扉」と「開く」の間の共通の関係を述べていることを、深層格によって捉えることができる。

また、文と文の間の意味的な関係を示す修辞関係（rhetorical relation）に関しても試験的にタギングが行なわれている。修辞関係とは、修辞構造理論（rhetorical structure theory; RST）[7]で提案されたもので、CAUSE（原因）とかCONCESSION（逆接）などがある。たとえば、「雪が降った。電車が遅れた。」の第1文は第2文に対してCAUSEという修辞関係に立つ。

深層格と修辞関係は、いずれも基本的には表層の形を捨象して意味的な関係を捉えるために考えられたものである。前者は主として文内の関係、後者は文間または節間の関係ということになっているが、文や節という表層の形にこだわらなければ、両者を区別する必要はないだろう。また実際、深層格と修辞関係の間の区別は明確ではない。たとえばCAUSEは、「癌で死ぬ」の「癌で」の深層格にもなっていると考えられる。これが深層格か修辞関係かという判断を意味タギングに持ち込むのはタギングのコストを増すことになり望ましくない。そこで、以下では深層格と修辞関係をまとめて意味関係（semantic relation）と呼ぶ。

意味関係のタギングには形態論や統語論のタギングよりも常識的な知識が大きく関わるので、機械化も難しい。助詞の「で」のような曖昧な手掛りしかない場合や、「雪が降った。電車が遅れた。」のように明示的な手掛りがない場合のタギングには人間の手が必要である。しかも、人間にとっても意味関係の決定は難

しいことが多い。

たとえば、Generalized Upper Model[注7] などの言語オントロジーでは、意味関係を概念体系の中に位置付けている。これは、意味関係とは意味的な2項関係であり、一般的な語彙的意味に対して開かれているということである。したがって、意味関係の種類には際限がない。何種類のどのような深層格があればよいかに関して永年にわたり議論されてきたが、万人が満足するような決着を見ていない。

タギングのコストを軽減するには、意味関係の分類を大雑把にするとともに、人間が判断しやすい規準を用いることが重要である。たとえば、'The door opened.' の主語 'the door' はTHEME、'Tom opened the door.' の主語 'Tom' はAGENTを表わすが、この区別は英語の場合には表層の文型からわかるので、わざわざタギングによって表示する必要はない。また日本語でも、「席を離れる」の「席を」は通常の目的語と違ってTHEMEやPATIENT（被動作対象）ではなくSOURCE（起点）を表わすが、「離れる」の項目を含む辞書の存在を前提すれば、その旨のタギングは不要である。たとえばPenTreebankでは、応々にして判断が難しいAGENTやTHEMEなどの深層格を避け、SBJ（主語）などの表層格と、LOC（場所）やDIR（方向）などの判断しやすい意味関係を用いて部分的に意味タギングを行なっている。これに対し、EDRコーパスでは27個の意味関係（EDRの用語では「関係子」）によるもう少し詳細なタギングを用いている。

意味関係の種類を際限なく増殖させる主な原因のひとつは、意味関係が一般の語の意味と同じく、プロトタイプ的な構造を持ち [2] 、合成や重ね合わせが可能だという点にある。たとえば、「卵を手で温める」の「手で」は「温める」に対してLOCATION（場所）とINSTRUMENT（道具）という意味関係を両方とも持っているように思われる。このような場合を扱うために、ひとつの要素（統語的構成素または文の集まり）が複数個の意味関係を持てるようにしておくことが望ましい。

意味関係を複雑化する別の要因として、比較や共参加者（joint participant）など、単なる2項関係に留まらない意味関係がある。たとえば「健は浩より太郎を気に入っている」という比較を含む文は、「浩が太郎を気に入っているよりも健は太郎を気に入っている」および「健は浩を気に入っているよりも太郎を気に入っている」という2つの解釈を持つが、いずれの解釈であるかを特定するには、何と何が比較されているのかをタギングによって明示す必要がある。GDAタグ集合[注8] では、前者の解釈を明示するために、

健は<seg rel=cmp-sbj>浩より</seg>太郎を気に入っている。

のようなタギングを用いる。これは、「浩より」が比較（cmp）の意味関係を持つことに加えて、「健は太郎を気に入っている」と比較すべき内容の中で「浩」が主語（sbj）になっている、つまり、「健が太郎を気に入っている」と「浩が太郎を気に入っている」とが比較されていることを意味する。

3.11.3.2 語義

一般に、単語(や句)の語義を特定する手段としては以下のようなものがある。

[注7] http://www.darmstadt.gmd.de/publish/komet/gen-um/newUM.html

[注8] http://www.etl.go.jp/etl/nl/GDA/tagset.html

・意味素性の組合せ
・概念識別子
・同義語の集合
・意味領域

意味素性（semantic feature）はIPAL辞書[注9]など、概念識別子（concept identifier）はEDR辞書［17］など、同義語の集合はWordNet［10］（WordNetでは同義語の集合をsynsetと呼ぶ）などで用いられている。これらについては徳永［14］の解説に譲るが、そこに述べられていない最近の話題として、CoreLex[注10]を挙げておく。これは、生成辞書（generative lexicon）［12］の考え方に基づく電子化辞書であり、これまでにWordNetの中の約40,000個の名詞を126個の意味タイプ（semantic type）に分類している。各意味タイプは、より基本的な意味素性の集合によって表現され、生成辞書で言う体系的多義（systematic polysemy）のパターンに対応する。

意味領野（semanic field）は、意味素性に似ているが、語句の意味そのものではなく、その意味に関連する文脈をとらえる。たとえば、「バット」の意味領野としては「野球」などが考えられる。つまり、意味領野だけでは語の意味を特定することはできないが、語句に意味領野のタグを付けることによって多義性を解消することができる。意味領野を用いて語義タギングを施したコーパスの例に関しては、Wilson and Thomas［16］を参照されたい。

語義のタギングを施した大規模な日本語のコーパスはなかったが、岩波国語辞典に基づいて毎日新聞の記事に対する語義タギングの作業がRWC知的資源ワークショップで進行中である。これは基本的に人手によるタギングを想定しているが、自動的なタギングに関しては、たとえばLDOCET[注11]の語義に基づいて多義語の86%が正しく語義タギングできるという報告［15］があるので、機械による補助を取り入れるのはかなり有効であろう。

3.11.3.3 照応

照応に関するタギングは文章の意味構造を決定するのに必須だから、意味に関するタギングの中でも重要性が高い。照応のタギングを大規模に行なった例としては、ランカスター大学のコーパス［3］の他、MUCの情報抽出課題のためのシステム開発および評価用に作られたコーパスなどがある。ランラスター大学でもMUCでも、代名詞による直接照応に限らずさまざまな現象を扱っているが、それらの範囲はかなり異なる。GDAでは、これらの成果を踏まえ、照応に関するタグの設計を進めている。

3.11.3.4 その他

量化や否定や様相演算子の作用域（scope）、事象様相と言表様相、テンス、アスペクト、名詞句の数や定・不定などに関しても意味的な曖昧性が生ずる。GDAタグ集合は仕様の上ではこれらに対応しているが、

[注9] ftp://ftp.mgt.ipa.go.jp/pub/ipal/
[注10] http://www.cs.brandeis.edu/~paulb/CoreLex/corelex.html
[注11] http://www.awl-elt.com/dictionaries/dictres.html

そのようなタグを用いた大規模なタギングは実際にはまだ行なわれていない。こうした側面に関するタギングの可能性と有用性に関する研究は今後の課題である。

3.11.4 自然言語処理ツールの入出力の標準化と統合

GDAは自然言語処理のさまざまなツールの入出力形式をタグ付きテキストとして標準化することを含意する。これは、図3.11-3に示したような統合的なアーキテクチャを意味する。このようなツールは、実際にはゼロから作るのではなく、たいていは既存のツールにwrapperをかけるだけで安価に作ることができる。このアーキテクチャにより、（データへのアクセスを含む）多様なソフトウェアツールを再利用し、統合（プラグアンドプレイ）することが可能となり、自然言語処理システムの開発と管理が簡単になる。この方式によってタギングエディタにパーサや意味タガーをプラグインすれば、機械による解析の結果を用いて人間の負荷を軽減することができる。

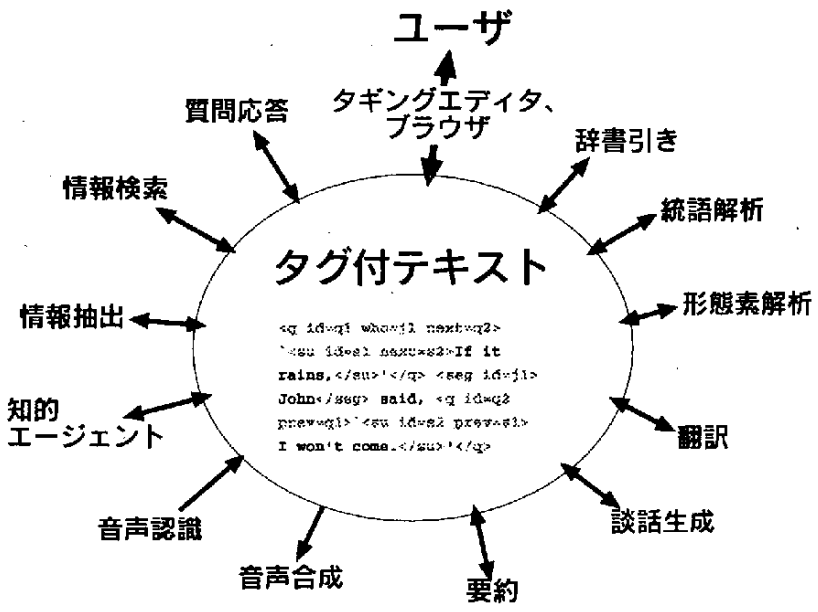


図3.11-3 標準インタフェースによる統合型自然言語処理環境

同様の統合アーキテクチャはすでに最近いくつか提案されている。LT-NSL［9］はTEI［13］に基づくSGML形式の標準フォーマットを用いた統合アーキテクチャである。TIPSTERアーキテクチャ[注12]では、タグを元のテキストに埋め込むのではなく、元のテキストとそれに対するタグを別のファイルとして扱うデータベース管理システムを核としてさまざまなツールを結合する。GATE[注13]［1］およびCorelli［18］はTIPSTER

[注12] http://www.tipster.org/arch.htm

[注13] http://www.dcs.shef.ac.uk/research/groups/nlp/gate/

アーキテクチャを実装・拡張したものである。TIPSTERアーキテクチャはもともと情報検索と情報抽出の統合開発環境として考えられたものだが、GATEとCorellyでは機械翻訳などにも及ぶ。

GDAは、一般ユーザをタグ付けデータの提供者としてこうした統合環境に組み入れることにより、これを単なる開発環境ではなく利用環境へ広げようという試みである。TIPSTERなどはインターネットにおける分散サービスも視野に置いているが、GDAの文脈ではこれはたとえば辞書の分散管理などに有用なので、これらのアーキテクチャとの連携を考えたい。

3.11.5　応用

GDAタグは自然言語処理のさまざまな応用の品質を劇的に向上させる。たとえば、タグの情報を用いることによって機械翻訳の精度の大幅な向上が期待される。ヨーロッパ語の間での機械翻訳は、文章の種類によってはかなり理解可能であり、ブラウジングのための翻訳としては何とか使えるレベルに達している。しかし、情報発信のための翻訳としてはまだ不十分であり、タグの利用によって情報発信のためのこなれた翻訳の可能性を視野に入れることができる。系統の異なる言語の間での翻訳はブラウジングに使えるレベルにも達していないが、タグの利用によって理解可能な翻訳にすることは可能であろう。

[19] は日本の主要メーカが開発した商用の8つの日英翻訳システムの性能を調査しているが、GDAタグの設計に当たっては、そこで指摘されているような問題を含むさまざまな問題の解決を意図した。たとえば、「何でも、ワームホールという現象を利用すれば、遠く離れた世界に瞬時に行けるのだそうだ」の英訳はかなり難しく、8つのシステムによる翻訳のうちで最もまともなものは

> It is possible to go to the world away instantaneously far if the phenomenon such as anything and wormhole is used.

であった。ここでは「何でも」の係り先と意味が正しく解析できていないが、明らかにこの問題は統語構造と語義のタグによって解決できる。統語構造と言ってもさほど詳細なものである必要はない。「何でも」が文副詞であることがわかる程度の大雑把なもので十分である。また、語義タグを用いるには共有可能な語義の体系(ontology)を整備する必要があるが、語義タグを用いなくても、パターンに基づく翻訳 [8] と統語構造のタグを組み合わせることによって多くの場合に対処可能である。たとえば下記のような翻訳パターンを用いることが考えられる。

'何でも、*X そうだ' → 'they say *Y'　　where *X → *Y.

*Xと *Yは変項である。A→ B は「A は B に翻訳できる」と読む。変項と→の両辺はSGMLのエレメントと単一化可能とする。活用や語順に関する詳細は割愛した。

統語解析や照応解析などの言語的な解析は、情報検索や要約などではこれまではあまり用いられていなか

ったが、これはこうした解析に手間がかかる割には得られる結果の信頼性が低いためである。しかし、GDAのタグを用いれば、言語的な解析の手間を軽減し、かつその結果の信頼性を格段に高めることができるので、これまでそうした解析を使っていなかった応用においても高度な自然言語処理の手法が有用となる可能性が高い。情報検索は質問応答に近いものになるだろう。データマイニング、ネットワークエージェント、事例に基づく推論などに関しても同様の可能性が考えられる。

要約もそのような応用のひとつである。英語と日本語の文書に関して実験したところ、統語構造、意味関係および照応に関するタグがあれば、言語に依存しない非常に簡単なプログラムでも要約が十分に可能である［11］。意味関係のタグ付けにはかなりの揺れがあるが、この揺れは要約の結果にはほとんど影響しない。

この要約プログラムは、意味的・語用論的な依存関係のネットワークをタグ付き文書から構成し、このネットワークの上で活性拡散［6］によって各語句の重要度を評価し、この重要度と照応や統語論にまつわる制約に従って(必ずしも文全体ではない)語句を抽出する。また、意味表現から文章を生成する一般的な技術を用いれば、単なる語句の抽出にとどまらず、さらに柔軟な要約が可能だろう。

3.11.6 おわりに

現在、GDAタグ集合仕様書の英語版と日本語用のタギングマニュアルを作成中であるが、タギングマニュアルは各言語用に必要である。フランス語、中国語、ドイツ語、インドネシア語、およびタイ語のタギングマニュアルの作成は今年度中に着手したい。

3.11.4節で述べたように、GDAは他のいくつかのプロジェクトと部分的に重なっているので、標準化と共有を目指す（GDAを含む）これらのプロジェクトの性質により、プロジェクトの間での連携が重要である。特に、UNLはタグ付きテキストではなく中間言語に基づく統合的自然言語処理のプロジェクトであるが、GDAのタグ付きテキストとUNLの中間言語との間での自動変換を可能にすれば、両プロジェクトの成果の普及する範囲を足し合わせて拡大することができる。タグ付きデータによる統合という構想は、自然言語処理のみならずさまざまな領域で実現が試みられている。たとえば音声認識と音声合成のための標準タグを策定しようという動き[注14]もある。動画像などにも及ぶマルチモーダルなデータの統合的な処理についてもタグ付きデータによるアプローチが有効であろう。

言うまでもなく、GDAの最大の課題は、いかにしてタグを普及させるかという点にある。タグの普及は、タグ付けのメリットとそのコストとの関係にかかっている。GDAタグの最大のメリットは、タグ付けされた文書が機械翻訳（特に多言語翻訳）や情報検索や質問応答などの多くの用途に再利用できることである。こうした多種の応用技術を統合する文書処理環境は、特に、多量の文書処理の需要をかかえ、また専門のタグ付け作業者を養成したりタグ付けを外注したりできる大手の機関ユーザにとってきわめて有用かつ現実的な技術であろう。

しかし、教育を含めてこうしたインフラを整えるには手間と時間がかかる上に、オペレーティングシステム等の場合と違って、タグ付けのメリットはタグの仕様や技術内容の公開と共有を前提としており、また、タグの応用に関してはいわゆるキラーアプリケーションのようなものもさしあたりは存在しない。したがっ

[注14] http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/ssml.html

て、特定の企業がデファクト標準を握って独占的な利益を上げるなどということは考えにくいので、企業が独自にタグの普及を推進することはないだろう。しかし、タグ付けが普及すればユーザはより高度なサービスを享受でき、情報処理産業全体の市場規模も拡大するはずである。インターネットが研究者のツールとして始まったのと同様に、GDAタグも研究コミュニティを出発点として普及させるのがよいだろう。さしあたっては、タグに関連するさまざまなツールや応用技術を開発しながら、タグの普及を図る必要がある。

＜参考文献＞

[1] Cunningham, H., Humphreys, K., Gaizauskas, R., and Wilks, Y. (1997). Software Infrastructure for Natural Language Processing. In *Proceesings of the Fifth Conference on Applied Natural Language Processing.*

[2] Dowty, D. (1991). Thematic Proto-Roles and Argument Selection. *Language*, 67 (3), 547-619.

[3] Garside, R., Fligelstone, S., and Botley, S. (1997). Discourse Annotation: Anaphoric Relations in Corpora.In Garside, R., Leech, G., and McEnery, A. (Eds.), *Corpus Annotation — Linguistic Information from Computer Text Corpora*, pp.66-84. Longman.

[4] 橋田浩一 (1997) 大域文書修飾. 『人工知能学会全国大会(第11回)論文集』, pp.62-63.

[5] 橋田浩一, 杉村領一, 柏岡秀紀, 内山将夫, Neumann, C.J.(1997). 大域文書修飾: 標準タグによる言語データの大規模な構造化と再利用.『言語処理学会第3回年次大会発表論文集』, pp.135-138.

[6] Hasida, K., Ishizaki, S., and Isahara, H. (1987). A Connectionist Approach to the Generation of Abstracts. In Kempen, G. (Ed.), *Natural Language Generation: New Results in Artificial Intelligence, Psychology, and Linguistics*, pp.149-156. Martinus Nijhoff.

[7] Mann, W.C., and Thompson, S.A. (1987). Rhetorical Structure Theory: Description and Construction of Text Structures. In Kempen, G. (Ed.), *Natural Language Generation: New Results in Artificial Intelligence, Psychology, and Linguistics*, pp.85-96. Martinus Nijhoff.

[8] Maruyama, H. (1993). Pattern-Based Translation: Context-Free Transducer and Its Applications to Practical NLP. In *Proceedings of Natural Language Processing Pacific Rim Symposium '93*, Fukuoka.

[9] McKelvie, D., Brew, C., and Thompson, H. (1997). Using {SGML} as a Basis for Data-Intensive {NLP}. In *Proceesings of the Fifth Conference on Applied Natural Language Processing.*

[10] Miller, G.A. (1995). WordNet: A Lexical Database for English.*Communications of the ACM*, 38(11), 39-41.

[11] 長尾確, 橋田浩一, 宮田高志 (1997). GDAタグを用いた文書の要約に関する一考察.『シンポジウム「実用的な自然言語処理に向けて」』.

[12] Pustejovsky, J. (1995).*The Generative Lexicon.* The MIT Press, Cambridge, MA.

[13] Sperberg-McQueen, C.M., and Burnard, L. (1994). *Guidelines for Electronic Text Encoding and Interchange (TEI P3).* ACH, ACL, ALLC.

[14] 徳永健伸 (1997). 辞書と情報処理. 松本裕治他, 『単語と辞書 (岩波講座『言語の科学』第3巻)』, pp.155-190. 岩波書店.

[15] Wilks, Y., and Stevenson, M. (1997). Sense Tagging: Semantic Tagging with a Lexicon. cmp-lg/9705016.

[16] Wilson, A., and Thomas, J. (1997). Semantic Annotation. In Garside, R., Leech, G., and McEnery, A. (Eds.),

Corpus Annotation—Linguistic Information from Computer Text Corpora, pp.53-65. Longman.

[17] Yokoi, T. (1996). The {EDR} Electronic Dictionary. *Communications of the ACM*, 38 (11), 42-44.

[18] Zajac, R. (1997). An Open Distributed Architecture for Reuse and Integration of Heterogeneous NLP Components. In *Proceesings of the Fifth Conference on Applied Natural Language Processing.*

[19] 横山晶一 (1995). 翻訳困難な例文の翻訳とネイティブチェック. *AAMT Journal*, 11, 38-59.

4 海外調査報告

本ワーキンググループの活動の一環として行った2回の海外調査について報告する。

(1) 第1回海外調査
・日程： 1997年11月9日（日）から11月19日（水）
・調査員： 宮崎 収兄 委員、武田 浩一
・主な調査先：CIKM'97（米国ネバダ州ラスベガス）、COMDEX/FALL'97（米国ネバダ州ラスベガス）

(2) 第2回海外調査
・日程： 1998年2月18日（水）から 3月1日（日）
・調査員： 奥乃 博 主査、加藤 俊一 委員、山上 宣彦
・主な調査先：Extempo社（米国加州サンノゼ）、Franz社（米国加州バークレー）、富士ゼロックスパロアルト研究所（米国加州パロアルト）、スタンフォード大学メディカルコンピュータサイエンス学科（米国加州スタンフォード）、スタンフォード大学言語・情報研究センター、ICDE'98（米国フロリダ州オーランド）

なお、付録Aに加藤委員によるICDE'98調査報告もあるのでそちらも合わせて参照されたい。

4.1 CIKM'97

4.1.1 概要

名称： Sixth International Conference on Information and Knowledge Management（CIKM97）
日時： 1997年11月10日（月）から11月14日（金）
場所： Monte Carlo Hotel（米国ネバダ州ラスベガス）
主催： ACM SIGART, SIGIR
協賛： ACM SIGLINK, SIGGROUP

開催地であるラスベガスは観光地として有名で、米国でもっともホテルの収容人数の多い都市である。会場はMonte Carlo Resort & Casinoという数千人収容のホテルであり、国際会議参加者の団体割引き価格が一般の宿泊客のものより高かった。このため、割引期限を過ぎてから予約した参加者の方が宿泊費が安くなるという珍現象が起きた。これは、会議参加者はカジノにお金を落とさないからというのが理由らしい。

本会議はACMのSIG AI（人工知能）とSIG IR（情報検索）の共同主催で行われている会議で、今回が第6回であり会議名のように情報と知識管理について様々なトピックスの論文が発表されている。データベース関係のセッションが多いが、データベース分野の主流であるSIG MODが関係していないためか、招待講演以外は著名なデータベース研究者の発表はほとんどなかった。情報検索とデータベース分野は重複する部分

もあり、インターネットの普及により両分野は共通する課題が多いが、研究者の交流はあまり活発では無いようである。開始時間（チュートリアルは午前8時から）が事前に知らされなかったり、直前にパネルが招待講演に変更になったり、招待講演が追加されるなど良く言えばダイナミックな、悪く言えば準備不足の会議運営であった。本会議は3会場パラレルで行われ、2つのワークショップは並行して開催された。日本からの発表は本会議1件、2つのワークショップで各1件であったが、本会議では韓国からの参加者がかなり多かった。全体の参加者は100名前後で、日本からの参加者は我々を含め5名であった。

4.1.2 テクニカルプログラム

(1) 基調講演 "New Times - New Customers"（Ross Park, Bull Worldwide Information Systems）

年代ごとに一般市場と計算機市場がどうであったかを振り返り、次の時代はどのようになるかを予測し、将来に向けた計算機技術に何が求められるかを論じた。講演の中では、各年代の社会をその時の大統領の似顔絵で象徴させており、ここがアメリカらしいと感じた。日本の場合は、首相は時代のシンボルにはならないであろう。

・60年代～70年代

大量消費の時代。

Technology driven の市場。技術のサイクルは長い。

計算機の世界では：集中型のバッチ式、ベンダーが完全な計算機環境を提供。

・80年代

市場の細分化。

質が最大の観点（日本車の侵略）

計算機の世界では：特化されたアプリケーション、ワークステーション、パーソナルコンピュータ、分散コンピューティングの第一の波。

・90年代～現在

個別化、just in time production

本質的でないものはアウトソーシング。

市場が技術をドライブする。スピードが速くなった。

計算機の世界では：パッケージによる部門別ソリューション、オープンシステム、user-centric computing

・次に来るものは

ユーザ定義型の製品。

計算機の普及。

仮想会社。

自由契約者。

計算機の世界では：applicable technology（電子商取引、ホームコンピューティング）。アプリケーションパッケージはフレームワークに進化する（プラグイン可能になる）。

(2) 招待講演 "Scalable, Interactive Information Visualization" (Raghu Rama krishnan, University of Wisconsin, Madison)

講演者は演繹データベースの研究で知られているが、現在はVisualizationの研究を行っている。現状の技術ではブラウザは異種データへのアクセスの容易さに利点があり、ＤＢは大きなデータ集合への問合せを効率よく行うことができる。しかし、両者の利点を組み合わせたスケーラブルでインタラクティブなビジュアル表現を行う問合せツールはまだない。このようなツールによってカジュアルユーザがＤＢの問合せ機能を利用できるようになり、その実現はＤＢ分野にとっての挑戦的課題である。

このテーマでの現状紹介の後、DEViseというシステムの説明があった。DEViseでは表によるビジュアライゼーション、知的バッファリングなどがキーである。応用として、ウェブの検索エンジンを複数用いたエンジンやドキュメント・レポジトリなどがある。

データマイニングとの関連が質問され、ＤＭはビジュアライゼーションの重要な応用分野であるとの回答であった。

(3) 招待講演 "Evolution of Legacy Information Systems"(Antonio Pizzarello, Peritus Software Systems)

Legacy Systemは業界にとって重要な問題になっている。ここではこの問題の解決法ではなくて課題について述べる。講演者はGE、Honeywellを経て現在Peritus Software Service Inc. にいる。この会社は5年前に設立されソフトウェアの保守を科学的に扱っている。ソフトウェア保守にはCorrective（バグ修正）、Perfective（機能の強化）、Adaptiveなどいくつかの面がある。PeritusではFormal Techniquesを用いてアプローチしている。アプリケーションシステムの進化はMISの変化への対応から会社の変化への対応へと変わってきている。ビジネスルールはcondition-actionの形であるが、それらがプログラムに埋め込まれている。これらのルールの抽出は複雑であるが、ルールの形に抽出することによって簡単化ができる。また、Legacy Systemの要求分析の諸問題についても議論し、それらの過程や形式的取り扱いについて述べられた。大きなプログラムでは重要な部分がどこか見いだし、そこに注目することが重要である。

(4) 招待講演 "Cognitive Prostheses" (Kenneth M. Ford, NASA Ames Research Center)

講演者は、NASAのAmes研究センターの副所長であり、内容はNASAの情報技術研究紹介であった。NASAは情報技術の研究に非常に力を入れている政府機関であり、聴衆もNASAの研究には興味があるようで、質問が活発に出ていた。

NASA　Ames研究センターは、シリコンバレーにあり、2000エーカーの土地に5000人を擁している。研究開発予算は約6億ドルで、そのうちの1/3が情報技術に当てられているとのことである。キーフレーズとして、"future of space is information technology"を掲げていた。

現在、NASAの情報技術研究は、以下のものに向けられている。

・自律システム

物体認識などの視覚、モデルベース自律システムなど。

・高性能コンピュータとネットワーク

Information Power Grid（分散型高性能コンピュータ）、次世代インターネット（NGI）など。

・Human-Centered System

仮想環境における知的設計、宇宙空間における機器（ロボットなど）の診断など。

Human-Centeredとは、人間の知能を増幅することであり、人間を機械に置きかえることではないということが指摘されていた。

(5) 基調講演 "Relational Programs: An Approach for Enhancing the Safety of AI-Based Control Systems" (Farokh B. Bastani, University of Texas)

基調講演だが講演者の研究の紹介であった。Relational ProgramはAIプログラムを安全にするための方法である。対象分野はリアルタイム反応システム、埋込システム、安全性が重要なシステムであり、ドメインに依存する。このようなシステムの例としては化学プロセス制御や自動車制御システムなどがある。このようなシステムの制約には安全性（起きてはならないアクション）、機能性（起きるべきアクション）、QoSがある。AIシステムで重要な探索問題では問題が複雑でリアルタイム性や信頼性の確保が困難である。複雑な問題には分割統治のアプローチがあるが、要素解の統合が問題である。これらの問題を解決するのがRelational Programの目的である。

Relational Programはプログラムを関係（relations）として考える。探索の統合は関係の共通部分を取ることである。安全性の要求を制約条件Aで表すとすると、機能性の要求Bを加えるのにはそれとの共通部分をとる。さらに性能上の要求Dを加えるにはまた共通部分を取る。このようにして安全性を確保し機能条件や性能条件を満足するプログラムを作ることができる。ゴールの和を取ることもできる。

Relational ProgramをCLPの違いについての質問があり、Priorityがあることが一番大きな差であるとの回答があった。

(6) 招待講演 "Mapping on the Internet" (John Haller, MapInfo Corporation)

MapInfoでは、地図データベースをインターネット上で公開することを計画しており、地図を閲覧するアプリケーションを開発中とのことである。インターネット上でデータベースの公開が一般的になってきており、インターネットが仮想的な巨大データベースとして利用できるようになってきた現在、タイムリーであると思われる。地図の情報は利用も多いと考えられるので、インパクトも大きいはずである。

地図閲覧用のアプリケーションは、クライアント、ウェブサーバ、アプリケーションサーバから構成される。クライアントはおもにユーザインタフェースを担当し、位置指定、領域選択、描画、選択部分のハイライトなどを行う。ウェブサーバは、ネットワークを通してクライアントと直接情報をやり取りするもので、html生成、アプリケーションディスパッチ、現在どの状態にあるかを管理する状態管理などを担当する。アプリケーションサーバは、地図データを管理し、実際のアプリケーションに特化した制御を行う。

(7) 招待講演 "Managing Multimedia Information in Database Systems: Future Trends" (William I. Grosky, CS Department, Wayne State University)

プログラムではパネルセッションの予定であったが、招待講演に変更となった。講演者はIEEE Multimedia

MagazineのEditor-in-Chiefであり、講演はComm. ACM, 40-12, pp.72-80, Dec. 1997に掲載の同名の論文に基づいている。

DBシステムを新しいデータ型に対応させるための研究開発の概要と将来についての展望が述べられた。

・MMの表現に関連するＤＢの発展の歴史の概要

・MMデータの性質

・MMデータモデリング

従来のデータとの違い、ツール、MPEG4, MPEG7

・マルチメディアとデータベースシステム

—MM問合せ処理

ブラウジング、類似検索、効率問題、索引技術、最適化など

—トランザクション管理

—バッファ管理

— 記憶管理

—リカバリ

・将来

商用システム、MMコミュニティ、ＤＢコミュニティ、標準化など

(8) 招待講演 "Conceptual Modeling for Intelligent Agent in the IRO-DB Federated DBMS" (G. Gardarin, University of Versaiilles)

ファイナルプログラムで追加された招待講演である。講演者は分散データベースシステムの研究やマルチデータベースシステム（連邦データベースシステムとほぼ同義）の提唱者として知られており、次回のCIKMのGeneral Chairである。IRO-DBのIROはIntelligent Relational Object の略である。

IRO-DBの目的は連邦オブジェクト指向関係ＤＢの実現と問合せ可能なようにドキュメントの統合を行うことにある。本システムの要件としては、Integrated Solution、自動統合（知的エージェント）、早いレスポンス、保守の容易さ、等がある。共通データモデルとしてはODMGのモデルを用いる。スキーマは3階層で情報交換のプロトコルはTCP/IPの上に構築し、Remote Object Access Protocol を用い、ドキュメント転送のためにBLOBをサポートする。

機能アーキテクチャはLocal、Communication、Interoperableの3階層からなり、Local階層は関係、オブジェクト、ドキュメントの3種がある。ドキュメントを扱うために、エキスポートスキーマを指定する概念モデリング、エキスポートするインスタンスを抽出するための知的エージェント、エキスポート・インスタンスの具象化を行う。SGMLドキュメントやLatexドキュメントからタイトル、著者、キーワード、アブストラクト、セクションなどを抽出しＤＢのインデックスとする。ドキュメントのフォーマット記述にはFDL（フォーマット記述言語）を用いる。このアーキテクチャは知的ラッパーによるアプローチの1種である。

将来はWebとMultimediaを扱う予定である。問題点としては、ドキュメント構造の発見法、問合せ言語の拡張、MMデータ型をサポートするためどんなライブラリをが必要か、問合せの最適化などがある。

(9)　一般発表

一般発表はセッションごとに報告する。

B-1: Time in Information Systems

近年、動画などを扱うことも増えてきており、情報システムにおけるデータとしての時間の取り扱いがひとつの研究テーマとなっている。最初の発表は、Modeling Temporal Primitiveと題するもので、時間の取り扱いに関する基礎的な理論のようであった。発表のしかたとしてはあまりよくなく、背景やモチベーションなどの説明もなかったため、わかりにくかった。さらに、国際会議は活発な討論を行う印象をもっているが、会場から質問がひとつもでなかったのには驚いた。2番目の発表は、Case-Based Reasoning という、過去の情報に基づいて問題解決を行う方法についての研究で、これにTime-Extended Situationという時刻の情報を含める拡張を提案している。3番目の発表は、T-regular Expressionというもので、日本からの発表であった。これは、正規表現に時間の概念を導入し、それによってビデオデータベースをビデオの内容で検索しようとするものである。情報処理の基本的な事柄である正規表現を拡張してビデオの内容を記述し、ストリングマッチングに相当する方法でデータベース検索に使おうとするところがユニークであり、参加者も興味を持ったようで活発な議論が行われた。

C-1: Transactions in Multidatabases

このセッションでは真理値データベース環境における広域トランザクション管理に関する発表があった。最初の発表はGlobal Concurrency Control and Recoveryに関するものである。この論文では、広域直列化可能なスケジューリングを保証するため、Rigit Conflict Serializability の概念の導入を提案している。提案方式により故障しがちなマルチデータベース環境でも広域直列化可能な実行が保証される。2番目の発表は広域並行処理制御に関する論文で、楽観的スケジューリングの導入により効率的な制御を行う方法を提案している。なお、2番目の論文のタイトルは最初の部分がCommit-Reordering Validation からLocal-Order Restoring Validationと変更されアルゴリズムの略称もCOREVからLOREVに変更されるなど、当初の論文と発表内容にかなりの変更があった。3番目の発表はODMG93標準にあるオブジェクト指向マルチデータベースの広域ネスト型トランザクションの実現方法を提案している。

A-2: Knowledge Based Systems

このセッションでは知識ベースにおける推論や知識発掘に関する研究が発表された。最初の発表はタキソノミイの確率的知識ベースからの確率的演繹の効率化のために線形プログラミングのアプローチを用いる方法を提案している。2番目の論文では自然言語で書かれたテキストソースからの知識発掘の方法を提案している。テキストと領域の知識ベースから概念仮説を生成しもっとも確度の高い知識を選ぶ方法を論じている。3番目は知識獲得に関するものであったがキャンセルされた。

C-2: AI in Query Processing

このセッションでは、データベースとAI手法に関連する発表が行われた。最初の発表は、マルチ情報源の

環境において知識の改訂が可能な分散知識ベースシステムが提案された。2番目の発表は、さまざまな長さのシーケンスを効率的に類似検索するために、長さとシーケンス間の相対距離に基づくインデクス法を提案している。3番目の発表は、オブジェクト指向データベース管理システムのインデクス構造の更新について論じている。

B-3: Multimedia Information Systems

イメージ情報検索関連と航空機のナビゲーション関連の発表が行われた。最初の発表はイメージデータベースの内容検索を行うために、イメージからアイコンイメージを生成しそれを用いた検索を行う方法を論じている。検索の為の表現方法を提案し、検索にあたってはシグネチャファイルによる方法を用いている。2番目の発表は航空機の高度情報から地図上の位置を判定しナビゲートする方法を論じている。3番目の論文は1番目と同じく画像の内容検索を論じている。問合せは形と色に基づいて記述し、色問合せと色領域問合せがある。実現のためにはＤＢＭＳと画像の解析が重要である。ＤＢＭＳとしてはO2を用いている。ビジュアルなインターフェースや検索例を用いた発表が行われた。

A-4: Data Mining

データ発掘の研究が発表された。最初の発表は半構造ドキュメントからの関連ルールの生成方法の提案である。関連ルールの生成はデータ発掘の主要な課題であるが、従来の方法は構造化されたデータを対象としている。この論文では文献データベースのように構造化された部分（タイトル、著者など）と非構造的な部分（アブストラクト、本文など）からなるドキュメントを対象としている。非構造的な文書からの発掘を行うために概念階層を作成し、それを用いたデータ発掘を行う。実データを用いた性能評価も行っている。次のデータ発掘のアプローチを用いた内包問合せ処理を論じている。本発表の方法では以下のようにして内包解を得る。まず、通常の問合せ処理を行い解（外延解）をえる。外延解は多数のタプルからなるので抽象化して少数の内包解で表す方がよい。このため概念階層を用い属性指向のアルゴリズムにより抽象的な形の解に変換する。

B-6: Databases II

データベースセッションの最初は、オブジェクト指向データベースの問合せ言語と関係データベースの問合せ言語を融合する試みについて発表された。オブジェクト指向問合せ言語の標準にはO2に基づくものと、SQLを拡張するものが提案されている。この試みは、新たなオブジェクト指向問合せ言語を提案することではなく、既にある標準に対して有用な拡張を提案するために行うとのことである。元になる言語は、フロリダ大学の知識ベース管理システムのオブジェクト指向問合せ言語であるOQLとSQL2である。2番目の発表は、Enterprise Modelを使って、大きな組織におけるタイムリーで必要性に応じて選択的な情報の効率的な自動配布法を提案している。3番目は、Pharosというスケーラブルな分散アーキテクチャについて発表された。このシステムは、インターネット上の情報源のように、フォーマットも内容もさまざまな情報源から、欲しい内容の情報源を探し出してくるものである。従来のウェブの情報検索では検索精度上の問題があったが、このシステムでは検索精度の改善のために階層的なメタデータ構造を採用している。これは、すべての情報源

についての粗いメタデータをすべての分散したサーバに格納し、大まかな検索をローカルに行えるようにする一方、詳細なメタデータはトピックに応じて別々のサーバ群に振り分けて格納して、リモートに検索を行うというものである。

4.1.3 チュートリアル

チュートリアルは2つのコースに参加したのでそれぞれを報告する。

(1) Software Agents for Information Retrieval (T. Finin, C. Nicholas and J. Mayfield, UMBC)

エージェントの入門、必要性から、エージェントで情報検索を行う応用までが解説された。教材としてよくまとまっていると感じた。

・なぜ情報検索にエージェントが必要か？

米国の電子図書館プロジェクト（DLI）で発行している雑誌（D-lib Magazine, Nov., 1995）に、情報検索システムが現在直面している重要な問題が挙げられている。エージェントはそれらの問題の多くに適用できる可能性がある。そのうちのひとつに分散型情報検索がある。非常に情報量が多くなってくると、情報を分散しておくことが必要になってきて、分散した情報を検索するのにエージェントは非常に有効である。

・エージェントとは？

どのようなプログラムがエージェントであるかに関して一般的なコンセンサスはないが、いくつかのキーコンセプトがある。

協力（cooperation）：他と通信し合うことのできる共通言語が必要

自律性（autonomy）：任務を遂行するために自主的に活動する。

適応性（adaptation）：環境や利用者に適応したり、経験から学習する。

移動性（mobility）は、エージェントの基本的な性質ではないが、分散システムには重要である。

基本的には、エージェントは大規模分散アプリケーションのパラダイムで、自律的な協調処理における相互作用に力点があり、このパラダイムはまだ発展途上である。

・エージェントの理論

知識表現と推論、BDIモデル、rational agents、speech act、機械学習、ゲーム理論など。

・エージェントの技術

エージェントアーキテクチャ（クライアントサーバモデルを一般化したもの、メディエーティドアーキテクチャ、マルチエージェントシステム）、エージェントプログラミングシステム（言語：マルチスレッド、通信支援、セキュリティ支援、データベース管理支援など。代表的なものにJava、Telescript、Safe-Tcl、Agent-Tcl）、エージェントコミュニケーション（オブジェクト共有：CORBA、知識共有：KQML、KIF、FIPA）など。

・情報検索エージェント

Knowbot（MetaCrawler、SavvySearch）、Adaptive（Fab）、Filtering（これまでに検索した内容に基づくフィルタリング、人間との共同作業によるフィルタリング）、FireFlyは共同作業によるフィルタリングを採用、Proactive（Marimba、Pointcast）、分散型検索、（SAIRE（NASA EOSDISの検索）、UMDL。ユーザインタフェースエージェント、仲介エージェント、バックエンドエージェントの3層ある。）など。

(2) Multimedia Database Systems（V.S. Subrahmanian, University of Maryland）

以下のような内容でマルチメディアデータベース技術全体が簡潔に解説された。

・マルチメディアデータベース入門

マルチメディアデータベースとは何か、その例、研究課題など。

・イメージデータベース

画像データベースの基礎、データ圧縮、イメージの領域分割、イメージの内容による類似検索（変換モデルと距離モデル）など。

・テキスト／ドキュメントデータベース

テキストデータベースのキーワード検索の課題と検索方法。

・ビデオデータベース

指定したビデオの取り出し、ビデオの内容検索の2種の問合せ。内容検索の方法、ビデオ問合せ言語、データ圧縮など。

・マルチメディアデータベース

各種のメディアを統合するMMデータベース。メディアの抽象、マルチメディア問合せとその言語など。

・マルチメディアデータのディスクからの検索

ディスクとその性能、RAID、ビデオサーバ、など。

・マルチメディアデータのCD-ROMからの検索

CD-ROMのデータ構造、バッファ管理とスケジューリング、など。

・分散マルチメディアプレゼンテーション

分散したマルチメディア・サーバー・システムからリアルタイムで検索を行いプレゼンテーションを行うためのスケジューリング問題。

4.1.4 GIS'97ワークショップ

GIS'97（ACM Workshop on Geographic Information Systems）は、地理情報システムに関するワークショップで、CIKM'97に付随して2日間に亘り開催された。今回は5回目である。来年からは独立してシンポジウムを開催する予定とのことである。構成は、基調講演がふたつと一般発表が6セッションで、出席者は30人強であった。

日本では、地理情報システムというと地図作成やグラフィック関係のものと思われがちである。もちろんそのような視覚化の側面も大いにあるが、位置情報に関連するデータベースという側面も大きい。このワークショップがこのCIKMという情報と知識管理に関する会議の中で開催されるのは、GISのデータベースという側面に焦点を当てているためと思われる。

ふたつの基調講演はなかなか面白いトピックを取り上げていた。そこで挙げられたキーワードは、ユビキタスコンピューティング、分散処理、ユーザインタフェース、相互運用性、データ管理などであったが、一般発表の中でそれらをテーマに取り上げたものはそれほどなく、従来の研究の延長上に止まっているものが多かった。その中で、日本からの発表が1件あったが、ユーザインタフェースに関連するといえるもので興味深かった。他に、相互運用性、データの保守、更新など地理情報システムの現在の問題点を解決しようとする研究が少数あった。

(1) 基調講演：Smart Map

情報スーパーハイウェイが整備されつつある中で、将来の地理情報システムはどのようになっていくかが論じられ、そのひとつの姿として、Smart Mapというものが提案された。講演者は、NCGIA（National Center for Geographic Information and Analysis）の所長であるとともに、メーン大学のDepartment of Spatial Information Science and Engineeringの助教授でもある。NCGIAはメーン大学にあり、空間情報科学のアクティビティの高い大学のコンソーシアムとして機能しているようである。（http://www.spatial.maine.edu/）

講演の概要は以下のとおりである。

(a) 地理情報システムの最近の変化（地図の保守管理システムを超えて…）

現在のGISは、デスクトップ仕様高性能ワークステーションを前提とし、地図の生成および保守管理を目的として設計されている。このような制約の下で設計されている現在のGISのコンセプトは拡張性に乏しく、爛熟期に来ている。このため、インターネットを中心とした最近の流れの中では、使いやすさ、プラットフォームとユーザタスクのギャップが大きくなってきて、汎用パッケージのGISは行き詰まりつつある。

WWW、仮想現実、GPSなどが出現してきて、GISは新しいコンセプトが求められている。将来の空間情報技術のキーワードは、ubiquitous（いつでもどこでも）とdistributed computing（分散処理）である。

(b) Smart Map（Personal Spatial Assistance）

Smart Mapは、携帯型（Mobile、Ubiquitous）でマルチモーダルインタフェースをもつシート型の地図表示用機器である。ネットワークで他の情報源と接続（Distributed）されており、GPSの機能により現在地を知ることもできる。人間に対して位置の情報に関するさまざまな支援を行うことができる。利用法としては、ルート計画、制約条件を満たす経路探索や場所の選定、道案内などがある。情報はネットワークを通じて最新のものに更新されているので、古い情報に惑わされることもない。また、現在のGISのように使い方に習熟する必要はなく、紙の地図か画面上の地図かといったハードウェア制約を超越して直感的に使うことができる。Smart Mapに対する指示は、ペン、指、自然言語などで行うことができ、場所と時間に応じて表現(表示地図の大きさ、方向、領域）が変わったり、利用者の過去の指示や行動を考慮して柔軟に応答することが

できる。

・Smart Mapに含まれる情報

—ユーザ環境の情報

—空間、時間に依存する出来事（天候、交通情報、イベント情報 など）

—ユーザプロフィール（タスク、目標、行動パターン）

・Smart Mapの機能

—適応スケーリング（拡大縮小、表示位置の移動）。

—適応方位変更（ユーザの向いている方向に合わせて表示する地図の向きが変わる）。

—適応主題（当面の問題に関連した地図上の対象物を示す）。

—常にネットワークに接続され、いろいろな機器と通信できる。

—ユーザコミュニティに適応。

—目標物（ランドマーク）、ルート、測量に関する知識を集積している。

・技術的な課題

—フラット、折り畳み可能、丸めることが可能なスクリーン

—マルチモーダル、マルチメディア入出力

—位置独立、インターネットに常に接続されている

—情報が実時間で更新される

—知識と知能の統合

Smart Mapの実現のためには、認識的、形式的、文化的、技術的な研究が必要である。

(2) 基調講演：Earth System Science Challenges for the Next Generation GIS

地球科学の課題と次世代GISの話題を中心にNSFの情報技術研究紹介が行われた。講演者はNSFの地球科学研究助成セクションでプログラムマネージャを統括する立場にあるようである。

(a) Earth System ScienceがGISに求めるもの

Earth System Scienceは、動的で統合的なシステムとして地球を取り扱う科学である。地球はたいへんな複雑系で、固体地球、海洋、大気、電離層、生物圏などを含み、膨大な入力変数と膨大な状態変数を扱わなければならない。特に、膨大な観測データを処理し、提示するシステムが求められる。Earth System Science が観測データなど空間データ処理に求めるものをまとめると、以下のようになる。

Earth System Challenge

i) Data Challenge

膨大なデータの管理（例：気象データは年30TB）

データの分散、検索

データの解釈（視覚化など）

データの融合（依存関係、異なったスケールの統合的扱い）

ii) Model Challenge

次元（3（空間）+1（時間）次元の処理モデル、連続、独立変数としての時間を導入）

スケール（空間：分子サイズから全地球、時間：μ秒から数億年）

複雑さ（有限要素、統計的、計算集約的）

iii) Disciplinary Boundary

意味的相互運用性（新しい専門用語、暗黙のメタデータ）

文化的な障壁

リモートセンシングや地球環境データベースなどEarth System Scienceのチャレンジのために、次世代GISが必要と結論づけた。

(b) 次世代GISの開発

GISは、視覚化を通して空間情報を取り扱う統合化システムである。現在のGISは、解析などには強力なツールであるが、データの相互運用性が悪く（機種ごとにデータフォーマットが異なる、地図ベンダごとにフォーマットが異なるなど）、使い勝手もよくない、時間が扱えないなどの問題点がある。

現在、ISIS（Integrated Spatial Information Systems）という次世代GISを産学官連携で開発していく計画が始まっている。参加機関は、NSF, Federal Geographic Data Committee, OpenGIS Consortium, University Consortium of GISである。OpenGIS Consortiumには、GISベンダ、CADベンダ、コンピュータ関連会社が名を連ねている。

・現在のGIS

長所：頑強性、強力、空間関係の解析に強い。

短所：データの相互運用性に欠ける、2.5次元（中途半端な3次元）、学習が難しい

・次世代GISに求めるもの

データは完全に互換性がある、完全4次元（空間3次元＋時間）、

動的な予測モデリング、

複雑ではあるが直感的でユーザフレンドリである。

・ISISの産学官パートナーシップ

FGDCのメンバには議会図書館が入っている。

OGCのメンバ

GIS/CADベンダ：ESRI, Intergraph, Autodesk, Bentley, MapInfo など

コンピュータ系：マイクロソフト、オラクル、NEC、日立、IBM、DEC、HPなど

(c) 関連するNSFのテーマ

・KDI（Knowledge and Distributed Intelligence）

複雑系の学際的な理解を目指す。次世代ネットワーク（NGI）、知識ネットワーク、学習知的システ

ムのテーマがある。

・LEE（Life and Earth Environment）

USGCRP（U.S. Global Change Research Program）

(3) 一般発表

発表のテーマを大きく分類すると以下のようになる。

・問合せ処理
・空間データのモデリング
・アプリケーション
・データの相互運用性
・空間データの保守と更新

この中で興味深かったものは、問合せ処理のテーマで日本から発表されたものと、データの相互運用性に関するもの、空間データの保守と更新に関するものであった。

問合せ処理では、空間関係（近い、北の方向にある、など）に基づく類似性モデルや空間データの更新におけるトランザクションの同期などの基礎理論に関するもの、空間データのインデキシングを四分木で行う手法や並列処理によりデータベース処理を高速化する方法など空間データベースのインプリメンテーションに関するもの、もうひとつは日本からのもので、動的に地図表示を生成する方法について発表された。細かいところをつつくと言った感がある研究もあり、たとえば、トランザクションの同期についていえば、空間データの場合、同期を問題にするほど書き換えが頻繁に起こるとも思えないこともあり、研究の動機がよく理解できなかった。この中で最もアプリケーション指向と思われ、興味深いものは日本からの発表であった。これは、利用者からの指定や状況（交通状況、天候など）によって空間データから動的に表示地図を生成するシステムである。その際、欲しい地図を生成するような指定を利用者が正確に行うことは容易でないので、過去に行われた指定を参考に利用者の問合せを支援する仕組みを持っている。

空間データのモデリングでは、ディジタル標高モデルやTINなどのサーフィスモデルの話題が多かったようである。アプリケーションでは、土地利用の変化を解析するシミュレーションを並列計算機で行ったことが報告された。PVMやMPIを使い、SUNワークステーション12台、155MbpsのATMで台数効果7.8倍とのことである。

空間データの相互運用性については、基調講演でも指摘されており、GISの大きな問題となっている。現在、データの相互運用性はフォーマット変換によって実現されており、GIS処理の80%がデータ変換で占めるようになっているという報告もある。別の解決法は空間データフォーマットの標準化を行うものである。これは現在進められているが、単一の標準に収束する見込みはなく、複数の標準が乱立することになると考えられている。この発表で提案された解決法OGDI（Open Geospatial Dataset Interface）は空間データへアクセスする標準のインタフェースを提供するAPIで、GISと空間データの間に位置する。各種の空間データフォーマットにアクセスするために、空間データフォーマットに対応するドライバを準備することになる。地図

の配布メディアとしてはインターネットを使うことを前提としており、インターネットプロトコルgltpを使うことで、URLを使って空間データにアクセスできる仕組みになっている。OGDIはソースコードをフリーウェアで提供しているこのことである。

GISにおけるもうひとつの重要な課題は、空間データの保守と更新である。特に、複数情報源環境における更新は重要である。これは、単に分散している情報を管理することにとどまらず、いろいろな種類の地図の対応づけの問題を含んでいる。たとえば、大縮尺の地図と小縮尺の地図を重ねてみると、大きさが同じになるように調整してみても必ずしもぴったり合うとは限らない。これには誤差の問題もあれば、地図投影法の違いもある。地図のどれかが更新されたときにそれが他の地図にも正しく反映されるようにする必要がある。このためには、対応する地図上のオブジェクトが同じ物であることを認識できなければならない。発表では、このような地図の統合化を行うツールを開発中であり、まず建物データベースについて統合化の試みを行ったことが報告された。

4.1.5 NPIVM'97 ワークショップ

NPIVM'97（Workshop on New Paradigms in Information Visualization and Manipulation）は情報のビジュアライゼーションを主題としたワークショップで、6つのセッションで19の発表が予定されていたがキャンセルされたり、別のセッションで発表され、17件の発表が行われた。テーマがビジュアライゼーションなだけにパソコンとプロジェクタを使ってデモを交えた発表もかなりあったが、原稿の棒読みを行うなど学生の練習用発表程度のものもあった。出席者は40人強であり、日本からはNTTの発表が1件あった。以下にいくつかの発表の概要を紹介する。予稿集はコピーであり、正式なProceedingsは後日発行される予定である。

Perceptual and Interpretative Properties of Motion for Information Visualization:

Motionを情報伝達に使う研究の方向を論じている。静的なグラフィックスの利用と比べ、Motionを使ったビジュアライゼーションはアニメーション程度で十分研究されていない。

A flexible architecture for user-adaptable visualization:

Diva（DIstributed Visualization Architecture）プロジェクトの紹介。複数のユーザ、ユーザとのインタラクション、共同作業、動的データなどをサポートするアーキテクチャを論じている。ビジネス過程のredesign/re-engineeringへの応用を考えている。

Multi-Dimensional Representations - How Many Dimensions? :

データの多次元表現の次元の数を論じている。100から200という多数の次元を用いたビジュアライゼーションの方法とその有効性をを実例の画面を示しながら論じた。

Effective Virtual Design of Multi-Dimensional Data Models and Interfaces:

ビジネス分析のための企業シミュレーションを目的とした研究。仮想デザインと言う方法を用いる。

Phonet Telephone Call Database 3D Exploration Applet:

電話の交信記録のデータベースから情報を見いだし3次元で表示するためのツール。Java Appletとし実現し、3D表現にはVRMLを用いている。

EmVis - A Visual Communication Analysis Tool:

電子メールを解析し組織内の通信パターンや組織の構造を分析するためのツール。

3D visualization of rule processing in active databases:

アクティブデータベースのルールの関連や処理を3次元表示するツール。JavaとVRMLを用いている。

Visualizing Document Authorship Using N-grams and Latent Semantic Indexing:

文書内のワード群の出現パターンを図示することにより、古文書などの著者の推定を行う研究。

3D Visualization Technique for Retrieval of Documents and Images:

データをスクリーンに3次元的に配置しインタラクティブにマルチメディアデータの検索を行う方法の研究。ユーザはデータの配置された空間の中でデータの図を見て操作しながら半自動検索を行う。

Ideas for Information Querying within a 3D Information Space:

（通常の）データベースを3次元空間にビジュアライズして配置してSQL類似の言語で問合せを行うシステム。

Effective visualization of hierachical graphs with the cityscape metaphor:

階層グラフを都市のビルのメタファーにより3次元表示する方法の研究。

Visualization of Financial Information:

経済データのビジュアライズは従来の方法では不十分なので各種を組み合わせて使う。地図上のグラフや並列座標表示などいくつかの方法が示された。

Interactive Information Visualization in Neuroimaging:

神経回路のビジュアライゼーションの研究。

Exact ime and Near-Realtime Visualization for the Expelimentalist:

実験結果を解析し検討するためのビジュアライゼーションをガイドとして使う方法の研究。データの時間的変化を動的に示す方法が中心。

Integrating Agents into Virtual World:

分散した作業環境をＶＲで表示し、ソフトウェアエージェントをその中に統合することにより作業を支援するシステムの研究。

Multiple Presentation of WWW Documents Using Style Sheets:

予稿になかった発表。マルチ表現Mosaicの発表。スタイルシートを用い、フォントのサイズやイメージのサイズを変更する。また、ホームページの関連の構造を表示する。

VRML Data Access:

VRMLをDBの外部情報ソースとのインタラクションに使う。また、VRMLの永続状態を設ける。この2つを実現するためのVRML DBWGにおける標準化検討の状況報告。

4.1.6 セッション構成

チュートリアル

T1: "Models in Information Retrieval" (Fredric C. Gey, University of California)

T3: "Data Warehousing and OLAP for Decision Support: Foundations and Techniques" (Laks V.S. Lakshmanan, Concordia University)

T4: "Software Agents for Information Retrieval" (T. Finin, C.Nicholas and J.Mayfield, UMBC)

T5: "Multimedia Database Systems" (V.S. Subrahmanian, University of Maryland)

テクニカルプログラム

基調講演: "New Times - New Customers" (Ross Park, Senior VP, Bull Worldwide Information Systems)

A-1: Information Retrieval

B-1: Time in Information Systems

C-1: Transactions in Multidatabases

A-2: Knowledge Based Systems

B-2: Video and Audio Systems

C-2: AI in Query Processing

招待講演: "Scalable, Interactive Information Visualization"
(Raghu. Ramakrishnan, University of Wisconsin, Madison)
"Evolution of Legacy Information Systems"
(Antonio Pizzarello, Peritus Software Systems)

A-3: Rule Analysis

B-3: Multimedia Information Systems

C-3: 招待講演 "Cognitive Prostheses"（Kenneth M. Ford, NASA）

基調講演: "Rational Programs: An Approach for Enhancing the Safety of AI-Based Control Systems"（Farokh B. Bastani, Editor-in-Chief of IEEE TKDE, University of Texas at Dallas）

A-4: Data Mining

B-4: Databases I

C-4: Media Servers

A-5: 招待講演 "Managing Multimedia Information in database systems: Future Trends"（William I. Grosky, Wayne State University）

B-5: Query Processing

C-5: Information Processing

招待講演: "Mapping on the Internet"（John Haller, MapInfo Corporation）

招待講演: "Conceptual Modeling for Intelligent Agent in the IRO-DB Federated DBMS"）（Georges Gardarin, University of Versaiilles, France）

A-6: Search Algorithms

B-6: Databases II

C-6: Memory Management

ワークショップ

W1: GIS'97

基調講演: "Smart Maps"（Max J. Egenhofer, National Center for Geographic Information and Analysis）

Session 1: Query Processing（3件）

Session 2: Terrain Modeling and Visualization（3件）

Session 3: Spatial Modeling（3件）

基調講演: "Earth System Science Challenges for Next Generation GIS"（Alan Gaines, National Science Foundation）

Session 4: Query Processing 2（3件）

Session 5: Raster-based GIS（2件）

Session 6: Data Integration and Application（3件）

W2: NPIVM'97

1 Perceptual Issues and Users （3件）

2 Systems and Issues （3件）

3 Communications and Databases （3件）

4 3D Visualization Techniques （3件）

5 Applications of Information Visualization （3件）

6 WWW and VRML （4件）

4.2 COMDEX/FALL'97

4.2.1 概要

名称： COMDEX/FALL'97

日時： 1997年11月17日（月）
（開催は、1997年11月17日（月）から1997年11月21日（金）まで）

場所： Las Vegas Convention Center and Pavilions
Las Vegas Hilton
Sands Expo and Convention Center
（米国ネバダ州ラスベガス）

COMDEXは世界最大のコンピュータ見本市で、今回は11月17日から11月21日まで、米国ラスベガスの3会場で開催された。今回の調査では、展示会に11月17日のみ参加した。報道によれば、今回は過去最高の22万人を超える来場者が世界各地から集まったとのことである。しかし、会場が広いためか、混雑していると感じられたのはマイクロソフトのブースなどいくつかだけで、あとのところは比較的ゆったりとしていたように感じた。

今年の展示で最も目立っていたのは、やはりマイクロソフトだったが、もうひとつ目を引いたのは韓国の企業であった。LG、三星電子、現代などがメイン会場に相当なスペースを取って、ノートPC、大型液晶ディスプレイなどを展示しており、韓国が、特にハードウェアの分野では急速に成長していることが伺える。特に驚いたのは、三星電子の出展していた30インチの1枚ガラスTFT液晶ディスプレイLT300U1である。このディスプレイは幅60.96cm、高さ457.2cmであり、UXGA方式で、解像度は1600ピクセル×1200ピクセルであった。この大きさは世界最大とのことである。この調子で行くと、壁ディスプレイができるのもそう遠い将来ではなさそうである。

一方、シャープは、20インチの液晶ディスプレイを展示していた。こちらの解像度は1280ピクセル×1024ピクセルである。日本企業で液晶ディスプレイの最大のものであった。液晶の大きさでは韓国に遅れをとったようだが、こちらは、消費電力の少ない反射型液晶ディスプレイを展示していた。解像度は640ピクセル×400ピクセルで、消費電力は0.3Wとのことである。15cmくらい離れたところから蛍光燈で照らしていたが、比較的よく見え、実用化は近いようであった。反射型液晶が実用化されるとバックライトが不用になり、携帯型機器の消費電力が大幅に低減されるようになるため、電池が長持ちし、携帯型機器の普及を加速することになるだろう。

マイクロソフトは、Windows 98のベータ版、Windows CE 2.0、Exchange Server 5.5などの話題の新製品を紹介するステージの前はかなり混雑していた。さらにマイクロソフト用のソフトウエアを開発する企業の「パートナー・パビリオン」にも大量の企業が出展、パソコン業界における地位と同様の圧倒的な存在感を示していた。

Windows CE 2.0の展示に合わせて、各社の CE 対応の機器が展示されていた。シャープはWindows CE 2.0搭載の PDA mobilonを展示していた。カラー液晶は6.5型で256色表示、画面解像度は640ピクセル×240ピクセルである。幅186mm、奥行き95mm、厚さは29.6mm、重量は495gとのことである。日本企業は組込み型の機器とそのソフトウェアに強いといわれているが、Windows　CEはPDAや組込み用に使えるとのことなので、現在の日本の得意分野でも標準を奪われてしまい、現在の汎用ソフトウェア分野のようになるのではないかという危惧もあり、Windows CEの成長は脅威でもある。

4.3 ICDE'98

この節では、データ工学に関する国際会議ICDE'98の報告を行う。また、付録にある加藤委員の報告も合わせて参照されたい。

4.3.1 概要

・名称： 14th International Conference on Data Engineering（ICDE'98）
・開催日： 1998年2月23日（月）～1998年2月27日（金）
・開催場所： Adam's Mark Hotel（米国フロリダ州オーランド）
・主催： IEEE Computer Society
・協賛： ORACLE

データベース研究での主要な発表の場は3つある。最も歴史のあるVLDB（Very Large Data Bases）、ACMのデータベース研究会（SIGMOD, Special Interest Group on Management of Data）が主催するSIGMOD、それにIEEE Computer Society が主催するICDE（Data Engineering）である。それぞれ、すみわけをするために、会議の名称が少しずつことなり、研究分野もそれに応じて、少しずつ異なっている。

ICDEでは、産業界が短期的に見込みがある分野、たとえば、OLAP（On-Line Analytical Processing）やData Warehousing のように企業の意思決定に役立つ研究が、会議の中心的な話題となっているように思えた。

ICDEは大きな会議であるとの評判があったが、今回は運営のまずさからか—例えば、会議案内のWeb ページは会議開催3ヵ月前からダウンしており、参加のために必要な情報がなかなか得られなかった—、参加者は250名程度であり、そのうち日本からの参加者は20名程度であった。

4.3.2 内容

ICDE'98は、チュートリアルが4件、基調講演が2件、パネルが4件（内1件は全体パネル）、論文セッションが18、産業セッションが5であった。論文セッションには、27カ国から252件の論文が投稿され、56件が採録された。産業セッションは、招待あるいは採録された論文11件で構成されていた。ICDE'98でのキーワードは、WWWとデジタルライブラリーである。他の分野の研究者が積極的に研究開発を進めるこの2つの分野をいかにデータ工学の観点から取り込んで行くかが、データ工学の今後の進展に重要な鍵となるという認識があるからであろう。

セッションの構成を以下に示す。

セッション構成

・基調講演1： “Databases: The Next Generation”

（Andrew Mendelsohn, Oracle）

・基調講演2： "Safeguarding and Charging for Digital Information"
（Hector Garcia-Molina, Stanford University）

・全体パネル： "Future Directions in Database Research"

・論文1： Semistructured Data（3件）

・論文2： Mobile and Disconnected Database Operations（3件）

・論文3： Parallel Database Systems（3件，内1件日本―中野，今井，喜連川（東京大学生産技術研究所））

・論文4： Queries and Views（4件）

・論文5： Recovery and Buffer Management（3件）

・論文6： Spatial and Temporal Databases（3件）

・論文7： Indexing in Data Warehousing（3件）

・論文8： Video and Image Databases（3件）

・論文9： Architectural Issues in Data Mining Systems（2件）

・論文10： Cooperation and Workflow Management（3件）

・論文11： Access Structures（3件）

・論文12： Association Rules and Dependencies（3件）

・論文13： Concurrency Control（3件）

・論文14： Query Processing in Spatial Databases（3件）

・論文15： Mining of Association Rules（3件）

・論文16： Server-based Database Systems（3件，内1件日本―原，春本，塚本，西尾（大阪大学））

・論文17： Visual Databases and Visualization of Multimedia Data（3件）

・論文18： Management of Objects（3件）

・産業セッション1： Database Engines（2件）

・産業セッション2： Data Mining（3件）

・産業セッション3： OLAP and Data Warehousing（3件）

・産業セッション4： Multimedia and Workflow Systems（3件，内1件日本―石川，加藤，小野，吉沢，久保田，金谷（富士通研究所））

・産業セッション5： The Web and Databases（3件）

・パネルセッション1： WWW and the Internet―Did We（the Database Community）Miss the Boat?"

・パネルセッション2： "Data Warehousing Lessons From Experience"

・パネルセッション3： "Migrating Legacy Databases and Application"

会議は3セッション並列に行われたため、すべてのセッションに出ることはできなかったが、人を集めていたのは、WWW　関係したデータベースのセッション、企業の意思決定に役立つような　OLAP（On-Line Analytical Processing）やData Warehousingに関するセッションであった。

1. WWWに関する研究

Webデータは、HTML 言語で記述されているが、従来のデータベースシステムで扱うような構造化されたデータではないので、半構造化データ（semistructured data）として位置付けられている。半構造化データを従来の枠組で扱うための拡張の提案、あるいは、半構造化データを扱うためにグラフ構造を用いたデータモデルの提案などが発表された。

Webデータについては、データベース研究者がネットワーク研究者や情報検索研究者の後塵を拝しているので、いかに主導権を取り戻すかがパネル討論などで議論がされた。現在、W3C 等で議論されているXML（eXtended Markup Language）の仕様はデータベース研究者の目からは重要な機能が欠けているので、積極的に仕様設計に加わるべきであるとの意見が出され、賛同が得られていた。

2. OLAP（On-Line Analytical Processing），Data Warehousing

大容量の記憶装置が利用しやすくなるにしたがって、企業の意思決定に役立てるために、時系列データベースや空間データベースへの要求がますます高まっている。Data Warehousing のセッションでは、そのようなデータベースの管理方法、あるいは、そのようなデータベースと既存データベースとの統合方法などが議論された。

OLAP セッションでは、時系列データベースや空間データベースからの予めさまざまな知識を発見しておくのではなく、要求があるとすぐに知識発見でき、企業の意思決定に役立てるための様々な技術について議論が行われた。データマイニングや知識発見は、基礎研究のレベルではなく、実用研究のレベルで議論されている。

3. マルチメディアデータベース

データベース研究におけるマルチメディア情報の扱いは、情報の意味の処理に立ち入らず、データベースシステムの枠組の中で、マルチメディアデータの扱いを考えるというものである。

したがって、マルチメディアデータを検索するためのキーは、予め与えられているか、あるいは、既存の技術で簡単に抽出できるものに限られている。その上で、マルチメディアが扱えるようなデータモデルの拡張、データベース演算の拡張が議論されている。

マルチメディアデータを1次情報とすると、その特徴は2次情報となるが、どのような2次情報を使用するのか、どのように表現するのか、あるいは、どのように2次情報を得るのかについては、本会議の話題ではないので、実際にシステムを開発する上では、大きな課題が残っているように思えた。ICDE'98 では、マルチメディア関係の発表が少なかったのは、このような問題意識のずれが原因ではないであろうか。

また、日本では時系列データベースや空間データベース、さらにはマルチメディアデータベースは、仮想現実を実現する VRML のために研究がされている。企業の意思決定か、アミューズメントかで日米の問題意識の差が現れているとも言えよう。

米国の情報処理技術業界が盛況である理由として、会議で面接をした参加者から以下のようなものが得ら

れた。

1.政府からの援助—基礎研究ではなく、製品として結びつく可能性のある研究へ重点的に資金が配分されている。
2.競争—規制緩和と情報公開により、新規分野への進出が容易になり、さまざまな応用システムが開発されている。

日本は、米国と同じ市場で競争するのではなく、日本の独壇場となっている分野、たとえば、ビデオゲームや家電、で情報技術の開発を行うというように特化した方がよいという意見もあった。

4.4 Extempo社

・名称： Extempo Inc.
・所在地： 650 Saratiga Ave., San Jose, CA 95129-2051
・訪問日： 1998年2月19日（木）
・面会者： Keith Wescourt（Director, Product Management）
・WWW： http://www.extempo.com/

Extempo社は、1995年にBarbara Hayes-Roth（スタンフォード大学コンピュータサイエンス学科）が中心となって設立されたベンチャー企業である。同社の業務は一言で言うと、ソフトウェアエージェントに性格（character）を持たせるためのソフトウェア部品の開発と個性を持ったエージェントを開発するためのシステムの開発と販売である。従来の対話システムでは、性格は対話を生成するシステムの中に非明示的に埋め込まれていた。それにたいして、性格を規定するパラメータ群を用意し、それを調整することによって、所望の個性を持たせる。個性があるというのは、対話型システムにおいて、そのインターラクションで適応的であるが、何らかの一貫した性格（特徴）があるように振舞うということである。ランダムに応答するのでは、インターラクションは画一的でないから面白いが、個性を実現することは難しい。

個性を持ったエージェントについて具体的なイメージは次のようになろう。報告者の一人である奥乃が子どもの頃よく見たＴＶのコマーシャルにヤン坊マー坊の天気予報というのがあった。この２人に個性をもたせ、対話型で天気予報を案内するのである。たとえば、「ぼけとつっこみ」言う性格を与え、面白おかしく天気予報を提供するシステムが考えられよう。解説風の天気予報システムをできよう。

Extempo社では、個性を持ったソフトウェアエージェントとしてバーテンダー、自動車セールスウーマン、アニメの主人公などを作成し、インターネットを介したデモに供している。

個性を与えるために、スタンフォード大学ではブラックボードシステム BB1 を使用していた。同社が商用するにあたって、スタンフォード大学で作成されたプロトタイプシステムを使用するかが大きな課題であったが、結局プロトタイプシステムは使用せず、その概念だけを採用したとのことである。Wescourt 氏によれば、大学から産業界への技術移転には２通りあるとのことである。

・直接技術移転が可能なもの
・概念だけが技術移転となるもの

生化学（biochemistry）などは、前者に属し、大学の研究室がいきなりベンチャー企業へと変身することが可能である。ソフトウェアでは、オペレーティングシステムや言語処理系などのシステムプログラムは直接技術移転が可能であるが、応用プログラムの場合には大学で開発されたものをそのまま商用に供するのは極めて難しいとのことである。

4.5 Franz社

・名称： Franz Inc.
・所在地： 1995 University Avenue, Berkeley, CA, USA 94704
・訪問日： 1998年2月19日（木）
・面会者： Jim Veitch（Technical Director）
・WWW： http://www.franz.com/

Franz社は、1984年にカリフォルニアバークレー校（UCB）のコンピュータサイエンス学科の有志によって設立されたソフトウェア会社である。現在、業務の中心は、ANSI標準言語であるCLOS（Common Lisp Object System）を中心とするダイナミックオブジェクト指向開発ツールの開発と販売である。Franz社の名は、UCBで開発された Lisp システムであるFranz Lispからとられている。設立当時、Lisp関係のベンチャーは10社以上あったのが、現在残っているのは、Franz社だけである。

本訪問では、このような厳しい競争の中生き残ってきた同社の経営方針を調査するとともに、今後の同社の方向を探ることとした。

同社は、数式処理システムMACSYMA をDEC VAX上で走らせるためにFranz Lispサポートを提供することを最初の業務としてスタートをした。この時点での資本金は自己資本が主であり、ベンチャー資本からの借入れがなかったことが、他のLisp関係のベンチャーとが異なっているところである。

1986年にANSI Standardとなったcommon Lisp処理系を開発し、Allegro Common Lispを販売。その後、Common LispのためのObject SystemであるCLOSを開発し、販売している。なお、CLOSは、ANSI Standardとなっている唯一のオブジェクト指向プログラミング言語である。

Lispは、日本では過去の遺物のようなプログラミング言語として産業界では捉えられ勝ちであるが、米国では、実時間システムなどを含むさまざまな実用システムに使われている。

1. 組み込み型システムに使用

例えば、MIT 人工知能研究所（AI Lab）のPatric Winston教授らが設立したAscent Technology 社は、米軍全体のスケジューリングシステムをLisp構築し、$20M の売上を得たという。また、MIT AI Lab のRodney Brooks教授らが設立したIS Robotics 社では、Microrobotと L という組込みシステムのためのLispを開発し、販売している。AT&T（Lucent Technology）では、交換機に適用し、10msの応答を得ている。

2. モデリングに使用

例えば、Nintendo や Sony PlaceStation 用のゲームの開発があげられよう。

同社が、Lispというニッチの世界で生き残ることができているのは、Lispを使ったシステムが実用に供されるように製品開発を行ってきたことと、ベンチャー資本からのコントロールが少なかったことが主要因であると考えられる。

4.6 富士ゼロックスパロアルト研究所

・名称： FX Palo Alto Laboratory, Inc.（FXPAL）
・所在地： 3400 Hillview Ave Bldg 4 - Palo Alto CA 94304
・訪問日： 1998年2月19日（木）
・面会者： 加藤満左夫 Ph.D（Chairman），Jonathan T. Foote, Ph.D（Senior Research Scientist），Bernardo Mont-Reynaud, Ph.D（Senior Research Scientist），内藤 真吾（Research Scientist），John Boreczky（Research Scientist），田中 圭（Research Scientist），堀内 昭男（Corporate Secregary）
・WWW： http://www.fxpal.xerox.com/

FX パロアルト研究所は、1995年に富士ゼロックスが設立した研究所である。同研究所は、ゼロックスパロアルト研究所（PARC）の真下の敷地にある。両研究所の研究員は、自由に行き来ができるようになっている。奥乃が「聖徳太子コンピュータの研究」について講演を行った。同研究所は、『将来の職場環境（Work Environment of the Future）』とくに、「将来の職場」と「将来の文書」はどうなるのかを明らかにするというスローガンの下に、次に示す3つのミッションを設定している。

1.コアソフトウェア技術研究
2.情報処理技術の大学との共同開発
3.ソフトウェア会社との新製品開発の折衝

しかし、実際には研究の大枠を規定しているだけであり、個人ベースの研究が進められている。現在、35名程度の研究員と5名程度の技術サポート部員を擁しているとのことである。

本研究所を訪問するきっかけとなったのは、スタンフォード大学滞在中の方から、シリコンバレーでは、FXPAL とフィリップスの研究所がヒューマンインターフェース関連の研究員を多数募集しているとの情報があったからである。今後の研究開発に注目したい。

4.7 スタンフォード大学メディカル情報部門

・名称： Section on Medical Informatics, Stanford University
・所在地： MSOB X-215 Route 5, Stanford, CA 94305-5479
・訪問日： 1998年2月18日（金）
・面会者： Lawrence Fagan, Ph.D, M.D.（Associate Director, MIS Program）,Angel R. Puerta, Ph.D（Research Associate）

メディカル情報部門（Stanford Medical Informatics, SMI）は、医系大学院（Medical School）[注1]とコンピュータサイエンス学科との学際分野として設置されている。このグループは、メディカルコンピュータサイエンス専攻も担当しており、コンピュータサイエンス学科の知識システム研究所（KSL）にも属している。主な研究分野は、知識とデータが生物医学の分野でどのように利用されるかのモデル化と、そのモデルの検証である。

具体的には、健康管理と臨床医学における知識とデータの獲得、表現、処理、管理についての新しい方法について精力的に研究を行っている。

副部門長の Fagan 博士の主な研究分野は、次の通りである。

1. Pen（小型のモバイル端末）あるいは音声を用いたインターフェース、
2. 臨床情報や意思決定システムへのアクセス方法、
3. 時間制限のあるデータ解釈と治療計画立案

従来の人工知能技術を医療に適用するために、計算資源に制限があったり、応答時間が決められているような制約のある環境での知的情報処理の研究とシステム開発を行っている。

Puerta 研究員は、SMI の Research Scientist であり、昨年海外調査を行った IUI '97（International Conference on Intelligent User Interface）のco-chairを務めた。Puerta博士は、モデルベースドユーザインターフェース開発環境の研究に従事している。このシステムは、Mecanoと呼ばれており、ユーザインターフェースの共有可能な基本的なモデル群を提供している。このようなモデル群を使用して、ユーザインターフェースを生成するための設計用と実行用のソフトウェアツールを構築することを狙っている。

Mecanoを使用して、医療でのユーザインターフェース設計だけではなく、ヨーロッパ地域の情報提供ツールのインターフェース設計にも応用している。

また、IUI 会議をより国際的にするために、日本の研究者の会議参加だけでなく、会議運営にも積極的な協力を欲しいと要請された。

[注1] 米国では、医学教育は日本でいう医学部はなく、大学院で行われる。医系大学院を卒業すると、医学博士（M.D.）の学位が授与される。

4.8 スタンフォード大学 言語・情報研究センター

・名称： Center for the Study of Language and Information（CSLI）
・所在地： Ventura Hall, Stanford, CA 94305
・訪問日： 1998年2月18日（水）
・面会者： 菊井 玄一郎　客員研究員（NTT 情報通信研究所 主任研究員）
・訪問日： 1998年2月20日（金）
・面会者： 森 辰則 客員研究員（横浜国立大学工学部電子情報工学科 助教授）

4.8.1 概要

CSLIは、スタンフォード大学の独立研究所のひとつで、コンピュータ科学、言語学、論理学、心理学、哲学などの学問領域の境界を超えた交流を行ない、相互に協力することで、新しい科学分野の研究を行なう場を提供することを目的としている。その分野とは、生物やコンピュータが情報をどのように獲得、処理、伝達するかを認知科学的に探ること、そして、人間と計算機との理想的なインタラクション環境を提供することである。体制的にも実質的にも外に開かれており、参加企業および国内外の研究者の絶え間ない研究交流がある。

4.8.2 菊井 玄一郎客員研究員のプロジェクト

菊井氏は、NTT情報通信研究所においてはTITANという検索エンジンシステムを開発されてきた。CSLIでは、検索のための基礎研究として、問い合わせの翻訳に取り組まれている。一般に翻訳結果は複数存在しうるので、検索結果はそれぞれの翻訳された検索文に対して得られる。そこで、さらに、ユーザが与えた検索文の意図を理解するように検索結果をクラスター化している。

辞書には、NTT情報通信研究所が開発した和英辞典を使用し、得られた英語のランキングをつけるにはCSLIが使用権を有する New York Times のコーパスを利用している。

4.8.3 森 辰則客員研究員のプロジェクト

森氏は、2月にCSLIに来られたばかりである。研究を進める上でのデーターベースやコーパスについての問題点についてお聞きした。横浜国大では、知的なマニュアルシステムを構築するために、以下のような研究に従事されてきた。

1. 複数文書間の相互参照付け、
2. 文書中の重要語の抽出とその定義へのリンク付け。

これらの研究では、企業からマニュアルを借りていたために、成果の公開が自由にできないという問題点があった。

また、平成9年からは、農林水産省の「増殖情報ベースによる生産支援システム開発のための基盤研究」の一環として、同省が保有するデータベースと生育診断や病害虫発生予測などのソフトウェアシステムとを統合した高度な生産支援システムの開発のための研究にも従事されている。

国が保有するデータベースは、確実に公開されるようになってきており、そのための情報処理技術、とくに、情報の高度活用のための知的処理技術への要求はますます高まってきている。

企業の情報の公開は、たとえば、マニュアルの公開は、著作権との絡みから難しいことは十分に理解できるが、研究の対象としての使用を許可し、その研究成果を公開することができれば、得られるメリットは少なくないと考えられる。たとえば、ユーザからマニュアルやシステムについてのフィードバックが得られたり、あるいは、新たなマニュアルの使い方のノウハウが取得できよう。

付録A　「データ工学国際会議ICDE'98」出張報告

海外調査の一環として参加したICDE'98については4.3節で報告しているが、同行した加藤委員による別の報告もあるので、ここに掲載する。4.3節も合わせて参照されたい。

A.1　概要

データ工学国際会議は今回で14回を数える、データベース分野では歴史のある国際会議の一つである。カバーする範囲は、理論よりのPODSやACM SIGMODに比べると、理論の比重は小さい一方、データベース分野の様々な話題が含まれており、何でもありの感がある。

米国のIEEEが主催する会議であるが、27カ国から200名ほどの参加があり、5日間の会期中、チュートリアル5セッションを含め、3トラックで23セッションがもたれた。論文は252件の投稿に対して採録が56件と、競争率としては高い方の会議である。報告者(加藤)はチュートリアルを含むいくつかのセッションに出席し、発表を聴講すると共に、質疑にも参加した。

最近のデータベース分野で話題になっている課題（マルチメディア、World Wide Web、インターネット、データウェアハウス、データマイニングなど）が広くカバーされていた。論文としてのクオリティはある水準に達しているものの、論文発表やパネル討論などで、内容的にはあまり深く突っ込んだ議論は少なく、全般的な印象としては、やや物足りなかった。

近年のNIIやGIIの研究開発での話題が、内容的には分散型マルチメディアデータベースサービスで、システム開発者・データ提供者・利用者が一体となって開発に取り組んで成果を上げた事例(例：World Wide Webや電子図書館など)も多い。このように、情報システムの研究開発では、本来、利用者はどんなニーズを持ち、どんなデータを対象に、どんな使い方をし、どんな情報の提示の仕方をしてほしいのかを明確にすることが重要である。しかし、データベース分野プロパーの技術からの貢献は少ないといわれている。これは、データベース研究者のスタンスが、「計算機中心」主義からは脱したものの、利用者不在で「データ中心」主義に留まっているためであろう。

以下では、出張者(加藤)が参加した中で、印象に残ったセッションでの発表の概要と感想を記す。

A.2　セッション1：半構造化データ（Session 1. Semi-structured Data）

(1)　半構造化データの変更履歴の表現法と問合せ法

Representing and Querying Changes in Semi-structured Data

S. S. Chawathe, S. Abiteboul, J. Widom

Stanford University, USA

「半構造化データ」とは、ある種の構造はあるが、必ずしも定型的な形式ではなく、不規則・不完全な部

分も含まれたデータをいう。例えば、HTML文書が半構造化データの例である。
スタンフォード大学では、1995年頃より、半構造化データに含まれたオブジェクト間の関係・オブジェクトと属性の関係を記述する枠組みとして、ネットワーク的なグラフ構造で表現するOEMモデル(Object Exchange Model)を開発してきた。

本論文では、OEMグラフに、新しい(オブジェクトや属性の)ノードの作成、(オブジェクトや属性)のノードの値の更新、リンクの追加や削除等のOEMグラフ上での変化分(delta)を、履歴情報と共に記述・管理する枠組みとしてDOEM(delta OEM)モデルを提案している。DOEMモデルとこれに対する問合せ言語Chorelは、実際上はOEMモデルとその問合せ言語Lorel上に構成されている。変更に関する履歴を、タイムスタンプを値とする特殊な属性記述として、各ノードやリンクに付加することで実現した。これによって、例えば、「97年1月以前に追加されたレストランガイド」の検索は、下記の質問で行える。

Select R

>From guide.<add at T>restaurant R

Where T<4Jan97

(2) グラフを用いた正則パス表現の最適化

Optimizing Regular Path Expressions Using Graph Schemas

M. Fernandez, D. Suciu

AT&T Labs, USA

正則パス表現は、半構造化データへの問合せをスキーマティックに記述するための枠組みである。

本論文では、質問処理の最適化のために正則パス表現を利用し、このグラフを(本論文で提案している)枝刈り規則や書き換え規則によって、単純なグラフに変換して、処理するためのアルゴリズムを紹介している。本論文では、この書き換えの際の計算量(計算の複雑さ)も検討している。

(3) WebOQL：文書・データベース・Webの再構成

WebOQL: Restructuring Documents, Databases and Webs

G. O. Arocena, A. O. Mendelzon

University of Toronto, Canada

HTMLで作成された文書(表題、著者、参照リンクURLなどの情報が完備している)間の関係を木構造でモデル化し、文書の検索(navigate)に利用する。属性が取る値は、表題・著者・参照リンクURLともに、実際の値としてテキスト文字列を取る場合と、木構造へのラベルを値とする場合がある。

このような構造の上で、従来のselect from where式に検索条件を与えて文書を検索したり、新たなWebの参照リンクの構造を定義することも出来る。また、本論文では、このような処理に便利なHTML文書の構成法についても提案している。

[本セッションに対する評]

Semi-structured dataに相当する概念は、新しい話題ではない。1980年代には、画像などの不定長のデータを含むマルチメディアデータをどのように意味的に構造化していくか、データのスキーマ設計法がマルチメディアデータベースでの主な議論だった。1990年代に入って、オブジェクト指向データベースのスキーマ設計が主要な話題となり、意味的にオブジェクト間の関係の記述を行えるようにしようとした。1995年以降は、世界的に普及したWorld Wide Webを対象とするようになり、Markup Languageで記述されたSGML文書やHTMLで記述されたWebページなどのノード間の関係の意味表現を論じている。

目先は次々と変わってきているが、「使える技術の蓄積」という視点から過去20年を振り返ると、データ間の意味関係の発見、記述、管理の問題はほとんど解決していないと思われる。

A.3 パネルセッション1：WWWとインターネットーデータベースコミュニティは船に乗り遅れたか？ー

Panel Session 1: WWW and the Internet

— Did we (the DB Community) Miss the Boat? —

M. Rabinovich (AT&T Labs)

M. Bowman (Transarc), A. Levy (Univ. of Washington), S. Malaika (IBM), A. Mendelson (Univ. of Toronto), H. Garcia-Molina (Stanford Univ.)

A. Levyは、WWW分野でのデータベース技術的な研究課題として、世界中に無数に存在し、誕生・消滅が繰り返されているウェッブサイトの管理を上げている。また、ウェッブサイトをモデル化するための視点として、内包的記述・外延的記述(intentional / extentional description)、静的・動的記述などを考えている。

S. Malaikaは、ウェッブの特徴をデータベース技術と対比させて分析している。

(a) URLは、非常に一般性があり、データ量の増大にも対応しうるルールで、拡張性もある。

(b) HTTPは、非常に簡単で、かつ、実際の計算機システム上に作成しやすい。

(c) HTMLは、データの表現(presentation)に優れている。

(d) ウェッブのためのブラウザが普及しており、これさえあれば、どのサイトでも検索できる。

(e) CGIによって、情報処理と結び付けることが出来る。

(f) 何よりも、実現のコストが非常に安い！

また、Javaに関しては、仮想機械 JVM (Java Virtual Machine)上で、計算機の機種もオペレーティングシステムも問わずに動かせるメカニズムであることに、もっと注目すべきと強調している。

さらに今後は、XMLについても注目していくべきだろう。

H. Garcia-Molinaは、WWWを、次のように特徴づけた。

(a) 半構造化データから構成されたデータベースで、

(b) 単一のメカニズムで、どのデータもアクセスでき、

(c) 単一のメカニズムで、世界中のデータを統合することができ、

(d) 実際のビジネスとも既に結びついており、

(e) ウェッブのリンクをたどって、次々とデータを見て回ることも出来て、

(f) 一方、検索のためのエンジンも完備されつつあり、

(g) 情報をフィルタリングして提供することも可能。

データベース技術からの貢献としては、ウェッブ構造の基本原理(意味論)を明らかにすることであろう。

[本セッションに対する評]

本国際会議中で最も参加者の関心を集めたセッション(パネル)の一つである。過去5年間、データベース分野の最大の問題は、世界的規模の分散データベースに発展したWorld Wide Webの開発やHTML、HTTPプロトコルの設計・標準化に、データベース研究者は何の貢献もしてこなかったことである。この点を「データベース研究者自身は、どのように考えているのか？或いは、考えたら良いのか？」は、今後のデータベース技術の進む方向をうかがう上でも重要な試金石である。

出張者自身の問題意識である「人間中心のシステム設計」の立場からパネル討論を聞き、論点を整理すると、World Wide Webの教訓は以下のようになろう。

(a) 計算機のソフトウェア開発に必要な環境・基盤整備が進み、データベースシステムの技術開発は、素人集団(=CERNなどの物理学者)でも可能となった。

(b) 「一般的で頑健なシステム技術」という計算機の基本ソフトウェアとしてではなく、「アプリケーションソフトウェア(=テキスト、数値、画像データの共有、交換)」として開発したので、極めて安価にかつ能率良くプロトタイピングが出来た。

(c) アプリケーションの目的が明確で、また、利用者のデータベース利用に関する技能もよく知っている「利用者自身」が設計し、標準化を進め、運用してきたので、導入しやすく、馴染みやすいシステムが構築できた。

パネル討論での議論は、World Wide Webの開発やHTML、HTTPプロトコルの「分散データベースシステムとしての不完全さ」を克服するための技術課題などに焦点を絞って進められた。新しい技術やそれを利用したシステムが社会に受け入れられ、大きな影響を与えられるかどうかは、技術の提供する機能のみならず、サービスの使い勝手や、これを用いた生活の全体像から検討し、また、評価するべきである。データベース研究者・技術者は、「一般的で頑健なシステム技術」の開発の立場から歩み出していない点、出張者にはやや不満だった。

A.4 セッション6：時空間データベース（Session 6: Spatial and Temporal Databases）

(1) 点および区間の概念に基づく時間データモデル

Point- Versus Interval-based Temporal Data Models

M. H. Bohlen, R. Busatto, C. S. Jensen

Aalborg University, Denmark

時間を「点」でとらえるか「区間」でとらえるかは、時間により変化するオブジェクトの情報を管理する上で、重要な問題である。

例えば、人事情報を例に挙げると、ある人があるポストに在職していた期間（すなわち区間）をデータベースに格納していても、データベースへの問合せは、特定の時期（すなわち点）に関して問合せを作成する場合が多い。一方、複数の人の履歴に関して、全員がそろって○○課にいた時期、誰かが○○課にいた時期のように、時間の区間に関して意味的な演算が必要な場合も多い。

本論文では、時間を「点」「区間」の双方で捉えて、より柔軟に利用者の問合せに対応するメカニズムを検討している。

(2) 時間間隔の歪みを考慮した類似時系列データの効率的な検索法

Efficient Retrieval of Similar Time Sequence under Time Warping

B-K. Yi, H. V. Jagadish, C. Faloutsos

University of Maryland, USA

長い期間にわたる時系列データ間に類似度を定義し、与えられたキー（テンプレートに相当）となる時系列データと類似の長大データを検索するのは、時間データベースの重要な話題の一つである。

本論文では、音に関するパターン情報処理の分野で長らく用いられてきたタイムワープ法（キーパターンと対象パターンとの類似度に関して、時間軸方向のズレをそれぞれの時間間隔を歪ませて一致させ、振幅方向のズレだけで類似度を定義する）を、大量・長大なデータに対して適用できるようシステム化した。また、類似検索の性能を再現率と処理時間で評価した。

(3) 高次元空間における最隣接データの高速な検索法

Fast Nearest Neighbor Search in High-dimensional Space

S. Berchtold, B. Ertl, D. A. Keim, H-P Kriegel, T. Seidl

University of Munich, Germany

本論文では、高次元空間に配置された点データの高速な検索を実現する手法を提案している。計算幾何学の分野では、空間を等距離の点データ間で分割するボロノイ線図による手法が知られている。本論文はこのアイデアに基づき、特に最隣接の点のみを高速に検索する手法に特化させたデータ構造（NN線図）と、そのアルゴリズムを定式化した。また、検索時間の計算機シミュレーションによる評価も行った。

[本セッションの評]

時空間データベースは、地理情報などの空間オブジェクト、株価の変動・ビデオデータなどの時間オブジェクトを含むデータベースの基本的なデータ構造化の手法として重要である。もとになるアイデアは、パタ

ーン情報処理の分野で1970年代より研究開発が進められてきている。これらの方法論を、大量・長大データ向きに拡張したものと位置付けられよう。

A.5 セッション17：マルチメディアデータベースの可視化 (Session 17: Visualization of Multimedia Data)

(1) 画像データベースの統合化メカニズム

Global Integration of Visual Databases

W. Chang, D. Murthy, A. Zhang, T. F. Syeda-Mahmood

State University of New York, USA

テキスト、画像、ビデオなどの個別のメディアで構成された異種のデータベースを統合する枠組みとして、メタデータベースとメタサーチ機能をもつメタサーバーを提案している。メタデータベースは、このシステムが管理するオブジェクトの階層構造と、個々のオブジェクトがどのサーバーに格納されているかの情報を管理する。本研究の範囲内では、画像(テクスチャ画像)などは、テクスチャー特徴(1種類のみ)が事前に計算されて、オブジェクトに含めて管理されており、メタサーチで類似検索を実行することも可能である。

(2) 「指先にアルプスを」仮想現実と地理情報システム

The Alps at your Fingertips: Virtual Reality and Geoinformation Systems

R. Pajarola, T. Ohler, O. Stucki, K. Szabo, P. Widmayer

ETH Zurich, Switzerland

地理情報を格納するデータベースを対象に、利用者の視野に入る地理データを事前に先読みしてスムーズな移動を可能とするメカニズムを実現した。また、地理情報の可視化手段として、2次元的な地図の表示だけではなく、仮想現実技術を利用した3次元的表示機能も提供している。

[本セッションの評]

マルチメディアデータを対象とした試みではあるが、パターン情報処理の立場からマルチメディアデータベースに関わってきた報告者の視点からは、非常に物足りないと感じられた。データベース技術からのアプローチは「基本ソフトウェアとしてのデータベース管理システムの機能を、システム開発者が想定して設計して、かなり小規模のプロトタイプを作成して、機能が動作していることを検証する」に終始しているように思われる。本来、このようなシステムの設計に際しては、利用者は、どんなニーズを持ち、どんなデータを対象に、どんな使い方をし、どんな情報の提示の仕方をしてほしいのかを明確にしてから、取り組むべきである。

本書の全部あるいは一部を断りなく転載または複写（コピー）することは、
著作権・出版権の侵害となる場合がありますのでご注意下さい。

人間主体の知的情報技術に関する調査研究

© 平成10年3月発行

発行所　財団法人 日本情報処理開発協会
先端情報技術研究所
東京都港区芝2丁目3番3号
芝東京海上ビルディング4階
TEL(03)3456-2511