

# 研究展望

## REVIEW

## 研究展望

# 土木分野の情報利用技術を展望する

PROSPECTIVES FOR INFORMATION PROCESSING TECHNOLOGY IN THE CIVIL ENGINEERING FIELD

太田 順\* ・ 田村治幸\*\* ・  
小方修二\*\*\* ・ 池田将明\*\*\*\* ・  
長峯 洋\*\*\*\*\*

Jun OTA, Haruyuki TAMURA, Shuji OGATA  
Masaaki IKEDA and Hiroshi NAGAMINE

Key Words: computer aided design, computer graphics,  
database, artificial intelligence, expert system

### 1. はじめに

情報処理技術の急激な進展は、機器使用者の増大と利用対象範囲の拡大をもたらしている。それは、機器の小型化と高性能化、操作の容易性などが相まって、実務者が直接利用出来る環境が整いつつある段階へと移行を始めたことを意味する。すなわち、情報化の潮流が変化しつつある時代に突入していることを認識させられる今日この頃である。

一方、ここ数年来、内外の政治・経済・社会すべての面において劇的な変化が起きている。例えば、国際的には冷戦体制の崩壊、ヨーロッパ大連合と北米自由貿易圏の経済ブロック化の動き、国内ではバブルの崩壊と景気の後退、そして政治の変革、等々。これらの変化は情報化の進展と密接な関係を持ち、産業の情報化においても、その見直しと新しい方向の模索が始まっている。

いわゆる景気後退による情報化投資の見直しと問題解決のキーは、やはり人と組織が重要との認識が改めて広がりつつある。また、ダウンサイジング、オープンシステム化、マルチメディア化の動きとともに、エンドユーザコンピューティング、アウトソーシングの傾向など、情報産業を含む利用環境に構造的な変化がおきている。地域を含む家庭や社会システムの情報化にも変化が見られる。電話の多様化をはじめ、ファクシミリ、ワープロ、パソコンの普及、そしてビデオゲームの浸透などニーズ

が多様化している。従って、これまでの生産者型でなく消費者主導の情報化を目指す必要が顕著になり、人間中心主義的な考え方の導入など人にやさしい情報化を目指す方向が望まれている。

電算機利用委員会は、土木工学の分野で取り扱われる各種情報処理に関する問題の研究・調査及び土木界における情報の有効利用を図ることを目的として1974年に発足した。1983年には土木情報システム委員会と改組され、建設活動の各段階（調査、計画、設計、積算、施工、管理等）での情報のあり方とともに建設活動全体での情報のあり方（収集、蓄積、処理、伝達等）について調査研究を行と共に、毎年、土木情報システムシンポジウムを開催して、土木分野における情報処理に関する研究成果の発表と討論を実施している。

当委員会は設立以来19年になり、今や成人の域に達しつつある。本論文では、情報化の潮流の変化をふまえて、土木におけるCADの将来展望、データベースの動向と利用技術、そして人工知能とエキスパートシステムの利用展開についての概要を紹介する。

### 2. 土木 CAD

#### (1) CADの日本への導入

CAD (Computer Aided Design) の始まりは1962年マサチューセッツ工科大学 (MIT) でサザランド (Ivan E. Sutherland) が考案したスケッチパッドシステムとされている。日本へのCAD導入はその5年後くらいと言われているので既に25年が経過していることになる。

土木分野では、1960年代に現在のCADという認識を持たず、各種土木構造物の自動設計システムあるいは一貫設計システムとして産声を上げた。やがて、1980年代前半からグラフィックディスプレイ装置を利用した各種図化システムや設計システムが、橋梁メーカーやゼネ

\* 正会員 (株)大林組 情報システムセンター副所長

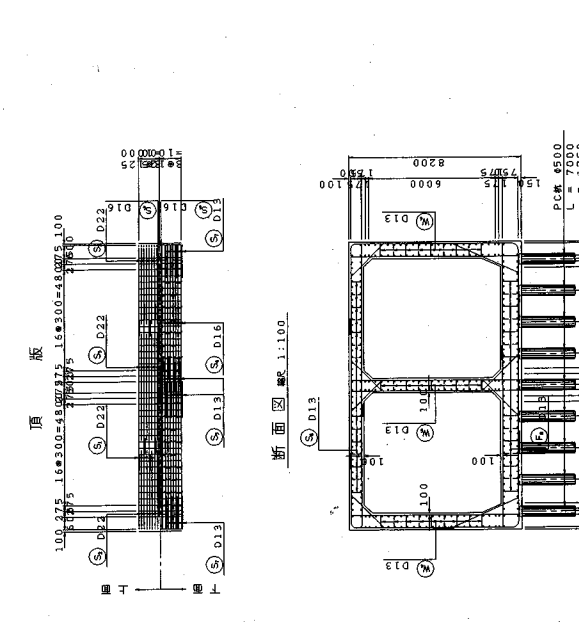
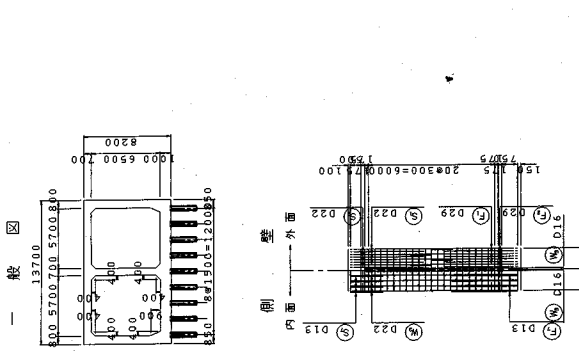
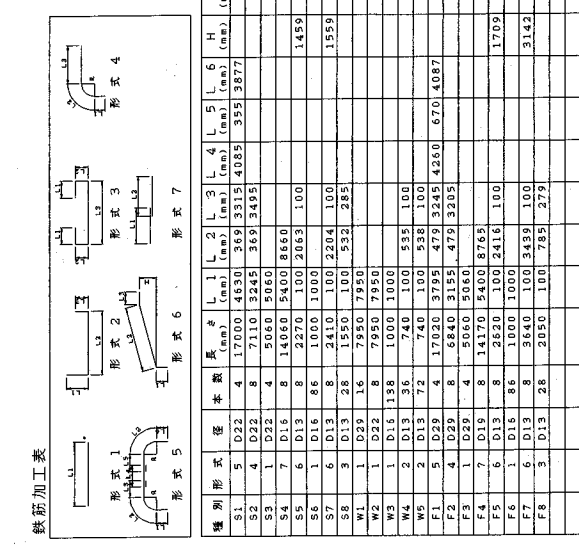
\*\* 正会員 東急建設(株) 施工本部 土木設計部 設計課副理事

\*\*\* 正会員 (株)建設技術研究所 道路交通本部 技術第2部 課長

\*\*\*\* 正会員 工博(株)フジタ 技術研究所 生産技術研究部グループリーダー

\*\*\*\*\* 正会員 清水建設(株) 土木東京支店 OAシステム部 課長





鉄筋重量表 (Reinforcement Weight Table)

種別	径	長さ	本数	総重量 (kg)	一本当り重量 (kg)	質量	概要
S1	D22	17000	4	15600	5160	206.720	
S2	D22	7110	8	3040	21.634	122.915	
S3	D22	5060	4	3040	15.382	61.530	
S4	D16	14060	8	1560	21.934	175.469	
S5	D13	2270	8	0.995	2.259	18.069	
S6	D16	1000	86	1.960	1.560	134.100	
S7	D13	2410	8	0.995	2.398	19.184	
S8	D13	1550	28	0.995	1.542	43.183	
W1	D29	7950	16	5.040	40.068	641.088	
W2	D22	7950	16	3.040	24.168	193.944	
W3	D16	1000	198	1.560	1.560	215.280	
W4	D13	740	36	0.995	0.736	56.507	
F1	D29	17020	4	5.040	85.781	343.123	
F2	D29	6840	8	5.040	34.474	275.789	
F3	D29	5060	4	5.040	25.502	102.010	
F4	D19	14170	8	2.250	31.882	255.060	
F5	D13	2620	8	0.995	2.607	20.895	
F6	D16	800	86	1.850	3.250	134.890	
F7	D13	3050	8	0.995	2.822	22.878	
F8	D13	2050	28	0.995	2.048	57.113	

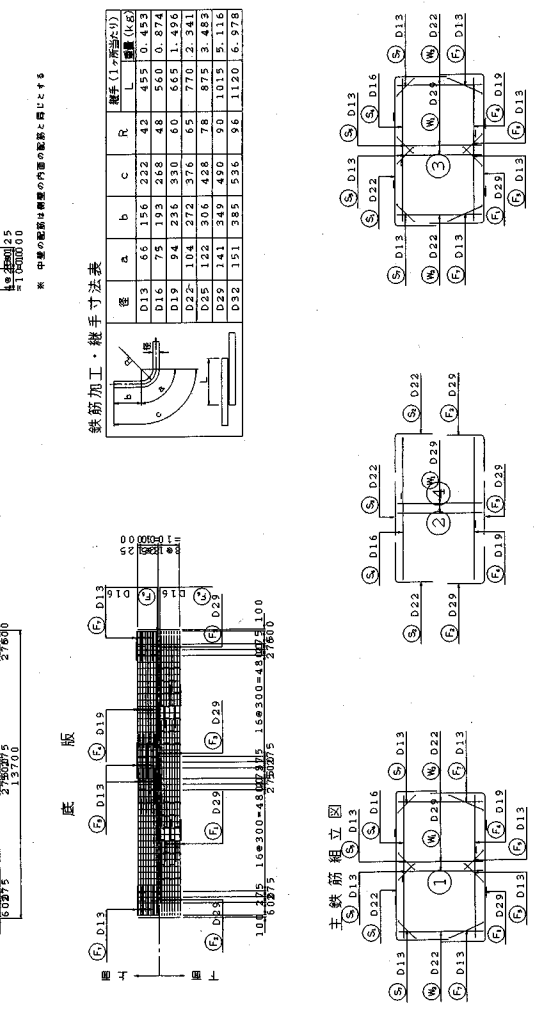
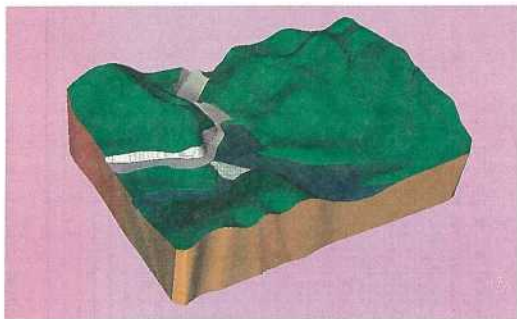


図-3 自動設計製図システム出力例 (西松建設(株)提供)



写真一 ダム設計の適用例 (大成建設 (株) 提供)

CAD化と言う言葉に置き換えた場合、土木CADを利活用していく上での問題解決はまだまだ進んでいないのが現状である。

建設プロセスに添って土木CADの活用場面を想定してみよう。まず、設計段階をみると、設計標準や数量算定方法が設計を担当する機関によりまちまちであり、情報システムを開発する側、利用する側の双方に大きな負担となり、利用効率が上がらない原因となっている。

一方、施工段階では、CADは設計の成果品を生産するためのツールとしてのみ利用され、施工と直接連動していないための不都合が生じている。例えば、設計された成果品が詳細設計であっても、そのまま施工に展開できないため施工者が再度図面を描き数量算定などを行わなければならない場合が多い。

さらに、施工が進むにつれ現地の地形・地盤と設計との間に不整合が生じ、設計変更を行う場面が発生する。その場合、変更箇所を素早くかつ正確に修正し、再度数量算定と積算を行わなければならない、作業負担の増加が発生している。

このような問題を解決するためには、建設分野全体を見据えて土木CADシステムの位置づけを検討する必要がある。そこで、将来の土木CADのあるべき姿を、中立な立場で研究し提案することは、今後の各機関、組織で土木CADシステムを開発・運用・保守していくための支援につながり意義あることと考える。

#### (4) 土木CADの活用例

実際に土木CADを活用している事例を2次元土木CAD、3次元土木CAD、コンピュータグラフィックス(CG)に分類して、以下にその活用例を示す。

##### a) 2次元土木CAD

2次元土木CADは、Computer Aided Design というより Computer Aided Drafting で製図を主体とした土木CADシステムと言える。土木CADの汎用性を重視し単なる製図ツールと割り切って安価なパソコンで土木CADを活用する場合と、一貫設計を重視し設計計算書も同時に出力する専用土木CADシステムとして活用をはかる場合とに大別できる。



写真二 造成設計の適用例 (東急建設 (株) 提供)

汎用性を重視した場合その適用範囲は広いが作業効率は良いとは言えない。製図業務の作業効率向上を図る一つの手法としてシンボル(部品)を用意し、画面上にそれを配置するだけで製図を済そうという考え方もある(図一2)。一貫設計あるいは一括処理を行い作業効率向上を図る場合は、その適用範囲は限定して開発を行う必要がある。2.(1)でも述べたが1960年代後半から橋梁設計、RC構造物設計の分野では自動設計システムとして橋梁メーカ、ゼネコンなどで開発が進められてきた(図一3)。

##### b) 3次元土木CAD

3次元CADで土木向けとして市販されているアプリケーションソフトは、ゴルフ場あるいは一般の土地造成設計への適用を図った専用CADシステムがある。しかしながら、土木用汎用3次元CADは、現時点では見当たらない。現時点では、3次元CADはダム(写真一)、道路、鉄道、各種造成設計(写真二)などの適用例が報告されているが、まだまだ日本国内では普及しているとは言いがたい状況にある。

土木分野での3次元CADの普及を妨げる主たる要因は、他業種用に開発された汎用3次元CADを基本にしているため、一般の土木設計者が使うためには多大なインターフェース整備コストが必要であることであろう。インターフェース整備コストをかけないで普及を図ろうとすると、ユーザ教育費用・期間が膨大になる。20~30日程度の集中教育によりやっと設計者が使える状態になる3次元CADも珍しくない。

##### c) コンピュータグラフィックス(CG)

CGはここ数年、ビジュアルプレゼンテーションのツールとしてゼネコン各社、コンサルタンツ、企業者それぞれに導入活用が進み適用例の報告が急増し、その適用範囲は土木分野全体に広がっている。写真一3、写真一4に修景計画での比較設計例を示す。

最近では土木、建築の垣根を取り払いそれぞれの長所を生かした作品作りが進んでおり、インフラ部分は土木



写真-3 修景計画例 1 (岩手県日向ダム提供)

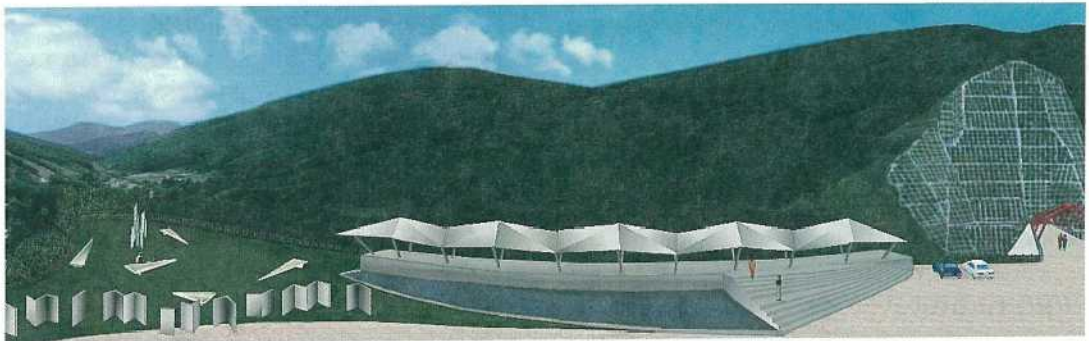


写真-4 修景計画例 2 (岩手県日向ダム提供)

設計者が、建物は建築設計者が制作する例も多い。さらに、企業内にCG制作専門部署を設置し、全てのCG制作工程を自前で処理する傾向も出てきた。また、パーソナルコンピュータでのCG処理も行われるようになり品質も向上している。

#### (5) 土木CADの課題と将来

高度情報化社会の現在、土木CADの普及を妨げる要因は数多く挙げられるが、主要な項目について2, 3考察する。

##### a) 土木CADの基礎技術が未整備

例えば、結果としてのCGあるいは景観図、完成予想図に対する評価は非常に向上している半面、これらの結果を得るまでに要する時間あるいはコストに対する正当な評価はまだ得られてはいないと思われる。これは、CGシステムとCGのモデリングシステムが現状の基礎技術では全く別システムであることに起因する。

##### b) 情報ネットワークのインフラが未整備

LAN (Local Area Network), WAN (Wide Area Network)などを土木CADの情報伝達手段に使おうとすると、一般の土木技術者が簡単に使える状態ではない。普通の電話をかけるような簡便な情報伝達を可能にする基盤整備が必要であろう。

##### c) 建設プロセスでの標準化の遅れ

研究の概要でも述べたが、計画、設計、施工、維持管

理といった一連の建設プロセスでの生産管理は、関連するそれぞれの機関や組織が全く別個に行い土木CAD情報の流通は図られていない。標準的な土木CAD情報の流通システムの整備が必要であろう。

土木CADの将来を語る時、土木CADと結合し活用が推進する技術として、CAE (Computer Aided Engineering), CAM (Computer Aided Manufacturing), CAT (Computer Aided Testing) などが見え隠れする。

また、基礎要素技術としてのオブジェクト思考プログラミング・インタフェース、グループウェア、仮想現実感 (VR) あるいは人工知能 (AI) などを利用した土木CADシステムが構築される日が近々訪れるものと期待している。

一部地域の3次元地形データの数値化情報は既に販売されており、これに3次元地盤ボーリングデータなどがデータベース化されて流通すれば、3次元土木CADが一般的に利用されることになろう。

CADは設計の道具として意識する場合と設計手法として言う場合とが混在している。土木CAD小委員会では、「CADは道具である」という認識に立ち、

- CADをどこにどう使えば何がどう変わるのか?
- CADを合理的に使うにはどうすればよいか?
- CAD利用を活性化するためには建設プロセスの中の何が問題なのか?

を追及し、①土木CADに必要なCAD情報とは？、②土木CADに必要なCAD機能とは？、③土木CADとして求められるCADシステムの運用方法とは？、について研究を深めようと考えている。

### 3. 土木データベース

#### (1) 土木情報処理の現状

土木構造物を生産管理するために扱う情報は、発注者、建設コンサルタント、建設企業、施設管理者で共通性があるにもかかわらず、各機関や組織が別々のシステムを用いて単独に運用し、情報の共有化が殆ど計られていないように思われる。

建設企業をみると、工事量の増大に伴い専門技術者が不足するという共通の悩みが取り上げられており、日々発生する貴重なデータやノウハウを有効活用する意味において各種情報の整備が急がれている。

近年、「戦略情報システム(SIS)」という言葉が産業界で流布され、建設分野においても戦略、戦略的な検討場面に適用できるのではという考えが一部にある。しかし、その基盤となる情報はあくまでも日々の様々な業務から発生する各種のデータであり、建設分野に携わる機関、企業では独自の思想で整備する情報の内容を検討し、情報システムの構築を図っているのが現状ではないかと考える。

#### (2) 土木データベース小委員会

最近では建設省の支援のもとに企業間の取引に代表される情報交換業務の効率化・高度化を図ろうとする試みとして『CI-NET(Construction Industry Network 構想)』が始められており、建設分野においても電子的な情報交換を行おうとするEDI(Electronic Data Interchange)化の機運が高まっている。

このような現状を踏まえ、各機関、組織が保有する情報を共有の財産として体系的に整備し、最新のエレクトロニクス技術を活用して、土木分野に適した効率的なデータベースのあり方を提案することを目的として、土木データベース小委員会が発足した。

本小委員会は、官民の建設事業およびデータベースに携わる21名の委員で構成されている。活動の概要は、研究の第1ステップとして下記の4項目について事前調査による現状分析を行ってきた。

- ・土木分野において特有で重要な情報は何か
- ・建設プロセスにわたって、共通性、共有性のある情報は何か
- ・関連組織間にわたって用いられる情報は何か
- ・関連組織のデータベースはどうなっているのか

活動を通じて、土木分野においては、各建設プロセスにわたって共有性があり、特有で重要な情報で各組織間にわたって用いられる情報として、①地理・地質情報、

#### 土木情報システム委員会

(担当副委員長：花村義久)

土木データベース小委員会(小委員長：小方修二)

├地理、地質データベース分科会(主査：楠 達夫)

├図面、画像データベース分科会(主査：鳥本康弘)

└実績、維持管理分科会(主査：渡部 篤)

図-4 土木データベースの小委員会の構成

②図面・画像情報、③実績情報であると判断された。

1993年7月にこれらを研究テーマとする分科会を設立し、具体的な研究活動を進めている(図-4)。

#### (3) 土木データベースの最近の動向

現状のデータベースの出発点であると言われているGE社の初版IDS(Integrated Data Store)が出版されたのが1963年であり、実質的にコンピュータ技術と結びついて大きく発展していくのは、もう少し後の1970年代に入ってからである。

土木分野においても、高度情報化社会が急速に進展し、コンピュータ関連技術の飛躍的發展の中で、

- ・建設業に対する国民のニーズの複雑・多様化
- ・「情報はパワーである」という情報に対する価値感の変化
- ・先端技術(CAD, AI, データ通信等)を支える情報の発生源

などデータベースは大きな社会的テーマとして論議され、各機関・組織で開発されている。

データベースは、その目的や解釈により、いろいろな定義の仕方や言葉の意味を持っている。土木分野におけるデータベースを表現するとすれば、「建設プロセス全体にわたって事業に関係するあらゆる組織が新しい価値を創造するために、必要とする情報を人やコンピュータに的確に供給することのできるデータの基地」と言えるのではないかと考える。

土木データベースの現状としては、発注機関でのデータベースの構築は委託業務であり、数値・文字情報が主となっている。建設コンサルタント業界にあっては、CAD等に組み込まれたデータベースが主体となっており、組織全体を統一した情報活用の高度化を目指したデータベース・システムについては開発段階である。一方、コンピュータ・メーカーは、データベースを構築する際に必要となる各種のソフトウェア群(DBMS)を提供している。

従って、現在土木分野のデータベースを構築し、それを稼動している機関としては、発注者(JACICを含む)以外では大手の総合建設会社に限られるようである。

データベース構築を支援するDBMSを形態別に分けると、①階層構造、②ネットワーク構造、③リレーショ

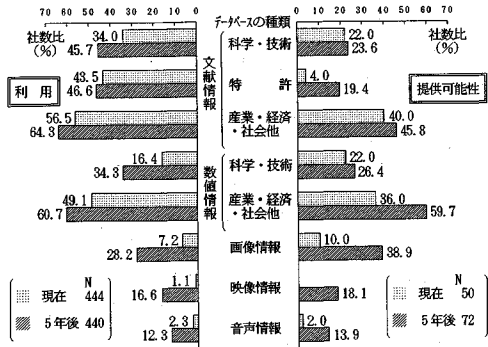
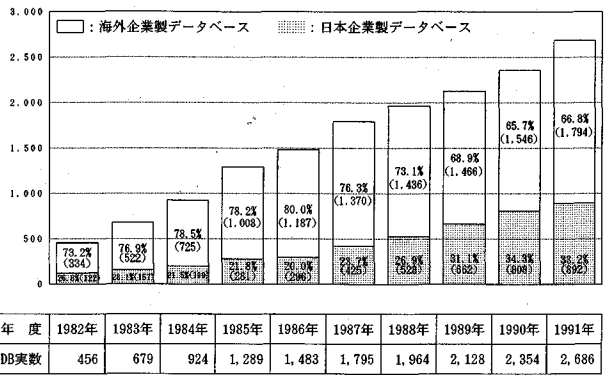


図-5 データベースの利用と自社データベース提供可能性の状況と5年後予定



<資料>「データベース台帳総覧」(通商産業省)より作成

図-6 わが国で利用できるデータベース数の推移

ナル構造の3つに大別されるが、それぞれの特徴を活かして多くの分野で利用されている。

建設分野では、不定形情報を多く扱うことから、リレーショナル構造が圧倒的に多いようである。

データベース・システムについては、利用できるデータベースとして外部データベースと商用データベースがある。概要は以下の通りである。

a) 外部データベース

情報化白書1993「(財)日本情報処理開発協会編」(図-5)によると、879社対象のうち約半数の444社(50.5%)がなんらかの外部データベースを利用しており、このうち、オンラインでのデータベースサービスの利用が395社(89.0%)と多いことが注目されている。

利用している情報は、文献情報では「科学・技術」、「特許」、「産業・経済・社会」の各分野とも比較的使用度が高く、数値情報では「産業・経済・社会」分野が高率を示している。また、今後の利用としては、画像、映像、音声情報の利用に対する期待も高いようである。

b) 商用データベース

通商産業省の「データベース台帳総覧」(図-6)によると、1991年度の商用データベース数は、2,686件で前年比14.1%増加した。統計をとり始めた1982年度が456件であるから、9年間で6倍に増えたことになる。同図に見るように、国産データベースの割合は上昇傾向にあるが、まだ海外製データベースが約3分の2と多数を占める状況は変わっていない。

また、利用面からは、(財)データベース振興センターが92年秋に実施した「データベース・サービスに関するユーザの意識調査」によると、91年度のユーザ1社あたり商用データベース利用金額は、3,061万円のうち81.5%(2,496万円)が国産、18.5%(565万円)が海外製になっている。この比率は、90年度は、73.1%と26.9%で、国産が上昇傾向にあり、提供面では海外優位、利用面では国産上位といえるようである。

建設分野でのデータベース・システムを見てみるとその傾向は以下のとおりである。

① インハウスデータベース・システム

工事实績、成果品、図書、技術資料、報告書等の文字情報が中心で、事務系部門で活用されているケースが多く、技術系ではCAD、数量計算、工程管理等での個別システムの内構築されるデータベースが主体となっているようである。

② パブリックデータ・システム

JACICを例にとってみると、利用率が高いのは人事情報、受注等の非技術的情報が主体となっている。これは、土木特有の単品性が強く、その割にデータ量が多いことに起因していると考えられ、ニーズが高いにもかかわらず、採算性等から構築が遅れているものと考えられる。また、国土数値情報、ゼンリン地図についてはGISへの入力として利用されているようである。

全体的な傾向として「技術者のための技術者利用に耐え得るデータベース・システムが希薄」な印象を受ける。

以上のような現状を踏まえて、前述した「土木分野に適するデータベース」に到達するためには、以下のような問題点や課題点が列挙される。

- 1) 各機関や組織及び各建設プロセスで用いる情報に、流通/受渡しが無く、有用な情報がクローズされている傾向が強く、このことが土木分野のデータベース発展の阻害要因となっている(情報公開、著作権等との関係を考慮する必要がある)。
- 2) 土木特有の情報の中で、有用で共通性のある地理、地質および図面(画像)情報の取扱いは未だ困難である。
- 3) CAD, AI, GIS等の先端技術での利用を前提としたデータベースの在り方が今後の課題となる。
- 4) 土木分野で取り扱う情報は、広範囲で且つ膨大な量が必要であるが、単品性が強いことから企業単体ではデータベース整備に対して経済的に非常に困難な状況である。



(4) 今後の課題

前述したように、土木分野は多くの組織や機関が相互に協力しながら、調査・計画、設計、施工、維持管理のプロセスを時間の流れを伴いながらの建設ステップを進んでいく。この分野の高度情報化を考えたとき、あらゆる技術の基盤となるデータベースの整備が重要であると考えられる。

土木データベースを考える場合、「土木データベースは社会資本データベースである」という共通認識のもとに、利用体系や利用技術等を念頭におきながらデータベース技術、コンピュータ・ネットワーク技術、ファイリング技術等を検討する必要がある。

また、近年注目されているデータベースとして、数値、文字、図形（画像）、音声等のマルチメディアを取り扱うDBMSによるエンジニアリング・データベース・システムが揚げられる。本小委員会の研究活動により、土木分野において具備すべき機能について具体的に示していきたいと考えている。

4. AI 技術

(1) システム開発の限界と AI 技術

コンピュータの小型化と低廉化にともない、多くの業務にコンピュータは不可欠の道具となってきた。土木分野においても、構造解析や設計、それに計画・管理業務など、様々な分野で業務の効率化や高度化のために、多大な労力をかたむけてソフトウェア開発を進めてきた歴史がある。

しかし、これまでにコンピュータを用いてシステム化された業務の範囲は、我々が日常行っている業務全体から見ると、その中のほんの一部でしかない。例えば、建設工事の工程管理業務を例に図示すると、図-7のようになる。同図においてシステム化されている部分は、日程や出来高計算と工程図の作成などで、これを行うための条件設定や処理結果の評価など、その他の大部分は技術者により処理されているのが現状である。

このように、コンピュータが行える業務が限られる理由にはいくつかあるが、その中でも重要な事実、従来のシステム開発技術が、FORTRAN や C 言語など、問題解決の手順（アルゴリズム）を記した、いわゆる手続き型言語を用いているところにある。

一般に、人間の問題処理方法は表-1のように、①手続き的処理、②知識処理、③コネクショニズムに分類されるが、この中の①がこのようなプログラミング言語で対応できる。しかし、この他の②と③が対象とするような問題は、一般に悪構造問題（Ill-defined Problem）と呼ばれ、従来の手続き型言語で記述することは難しい。

この問題を解決するためのシステム化技術として AI（Artificial Intelligence, 人工知能）がある。つまり、

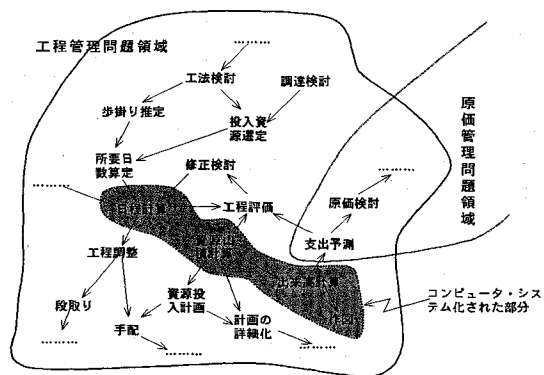


図-7 工程計画問題領域とシステム化の限界<sup>8)</sup>

表-1 人間の行動から見た問題処理方法の分類

①手続き的処理	経験的に記憶された行動パターンに従って無意識的、 手続き的 ⇨ プログラム
②知識処理	記憶された知識や個人の規範に従って意識的、発見的 ⇨ 知識ベース・システム
③コネクショニズム (connectionism)	脳に焼き付けられたパターンに従って、無意識的、 反射的 ⇨ ニューラル・ネットワークやファジィ制御

②と③という方法で処理される問題では、問題解決のアルゴリズムを明確に記述することが難しいために、これまでと異なる発想によるシステム化技術が必要となる。そして、このような方法は、より人間が考える方法に近いものと考えられる。ここに、人間の思考過程を研究し、これをコンピュータ技術の向上に役立てようとする AI の原点がある。また、システム化の限界を打破し、システム化範囲を拡張するための技術として、AI 技術を位置づけることができる。

(2) 人工知能小委員会

土木情報システム委員会では、以上のような現状認識に基づき、1987年に人工知能小委員会を発足させた。いらい6年余りにわたって、調査研究活動を進めてきたが、本年度は図-8に示したように4つの分科会を発足させ、新たな組織構成で取り組んでいる。平成5年10月現在のメンバー構成は、大学3校3名、ゼネコン10社17名、コンサル3社3名、その他1社1名の計17組織24名で、大林成行副委員長（東京理科大学）の指導のもとに活動を進めている。

(3) これまでの AI 技術

AI 技術の中で最も実用化が進んでいるといわれるのが知識ベース・システム（Knowledge Based System）である。これは、人間の知識をコンピュータに蓄積し、

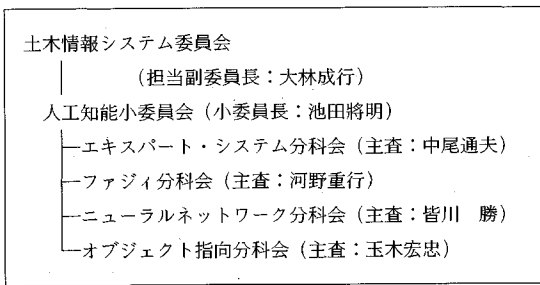


図-8 人工知能小委員会の構成

これを利用して問題解決を行おうとするシステム化技術で、対象を専門分野に限定することにより、実用化に成功したことから、エキスパート・システム (Expert System, 以後 ES と略記する) とも呼ばれる。

周知のように、従来のシステム化技術では、問題の特性や解決方法、それに各段階で必要となる処理手続きなど、問題解決に必要な全ての知識を FORTRAN などのプログラム言語で一体化して記述する。これに対して、ES では、問題解決のための知識を知識ベースに記録し、汎用問題解決機構である推論機構 (Inference Engine) が、その知識に基づいて推論を進めることによって、問題解決が遂行される。つまり、従来のプログラムの内容を、①問題解決のための知識と②その適用順序に分離し、適用順序決定機構を汎用化したところに、ES の基本的な特徴がある<sup>9)</sup>。

ES における知識表現モデルは、一般的に、①論理モデル (Logic-based Model)、②意味ネットワークモデル (Semantic Network Model)、③ルールモデル (Rule Model)、④フレームモデル (Frame Model) に分類される。この中で、論理モデルは、唯一論理的根拠を持つ反面、非常に狭い範囲の問題しか扱えないという欠点がある。また、人間の連想能力に関する研究から考案された意味ネットワークモデルは、概念間の意味的關係を視覚的に表現することが容易であることから、概念間の關係を試行錯誤的に検討する手段として用いられる。

これまでの ES 開発では、全ての知識を IF-THEN 形式のプロダクション・ルールで記述する方法が取られていた。この理由は、人間が判断しやすいことと、定形化によりコンピュータ処理が容易であることによる。しかしながら、全ての知識をルールだけで処理することには限界があることから、知識を判断規則と静的な事実知識に分けて、“判断規則はルール、事実知識はフレーム”で記述する、いわゆるハイブリッド型の ES 開発ツールが、現在では一般的となっている。

#### (4) オブジェクト指向

フレームとは、人間の長期記憶モデルとしてミンスキーにより提案されたフレーム理論 (Frame Theory) に基づく。同一の概念を持つ知識群をフレームと呼ばれ

る枠で定形化して記述する考え方で、システム論から発生したオブジェクト指向プログラミング (Object Oriented Programming) と合い通ずるところがある。実際、現在実用化されている ES 開発ツールでは、両者の考え方が融合化された方法が取られている。例えば、個々の属性値を持ったフレームをツリー構造で階層的に關係付けることにより、その上下間に情報の継承 (inheritance) を自動的に行わせることができる。

また、各フレームの中に付加手続き (attached procedure) と呼ばれる独自の処理機構を内蔵させることにより、従来より複雑な問題に対しても、柔軟なプログラミング方法を提供している<sup>10)</sup>。例えば、各フレームの付加手続きを用いることにより連鎖反応的な処理機構を構築することも可能である。例えば、エージェント指向など、AI 技術の新たなパラダイムを形成するためのシステム化技術が、このような研究の流れの中から生まれつつある。

#### (5) 曖昧性の取扱い

例えば土質特性を表す  $N$  値や土質分類、それに岩盤分類や安定性評価など、我々が普段行っている情報処理活動には、曖昧な情報や信頼性の低い情報が多く存在するし、また、そのような状況下で各種の評価を行っている。このために、従来より広い問題領域をシステム化の対象とする AI システムでは、このような曖昧性 (ambiguity) を合理的に取り扱う技術が非常に重要となる。

この曖昧性と良く似た現象に不規則性 (randomness) を確率分布で現し、これを確率論により処理する方法があるが、ここでいう曖昧性とは基本的に異なる。例えば、石塚は曖昧性を①制御の非決定性 (non-determinism)、②多義性 (multiple meanings)、③不確実性 (uncertainty)、④不完全性 (incompleteness)、それに⑤ファジィ性 (fuzziness) の 5 つに分類している<sup>11), 12)</sup>。ここで、制御の非決定性とは、問題を解決する筋道を事前に決定することができない性質のこと、また多義性とは、物事を一意に定義できない特性で、言葉の意味理解などで問題となる特性のこと、また、不確実性とは情報や知識の確からしさのこと、不完全性とは、常に正しいとは限らない知識の特性、そしてファジィ性とは、概念間の境界の曖昧性を意味する。

制御の非決定性は、AI の基本的な問題解決方法である発見的方法 (heuristic) が、これを実現している。また、多くの ES 開発ツールで確信度 (Certainty Factor) を取り扱うことができるが、これは曖昧性の中でもルールや事実の不確実性を表現している。また、我々が使う言葉の曖昧性を ES に取り入れる方法としては、1965 年に米国のザディ (L. A. Zadeh) により提案されたメンバーシップ関数を用いたファジィ表現機能を備えた

ツールも出てきている。しかし、多義性や不完全性については、常識など膨大な知識を利用したより高度な推論を行う必要があり、実際のツールで解決できるようにはなっていない。

なお、不確実性の表現方法として、確信度の代わりにメンバーシップ関数を用いるツールも出来てきている。この場合、ルールの数を少なくできるとか、ルール間を補完した推論を行えるなどの利点がある。しかし、確信度でもメンバーシップを用いた場合でも、これらの値をどのように決定するのが問題となる。これを解決する方法として、後述するニューラル・ネットワークの利用が研究されてきている。また、推論過程そのものに曖昧性を持ち込むためには、並列コンピュータを用いた並列推論の実現が必要不可欠といわれている。いずれにせよ、より多くの曖昧性を組み込んだES、すなわちファジィESは、今後の知識処理の主流を占めるものと考えられる。

#### (6) コネクショニズムの実現

表-1で示したように、人間の知的活動を知識処理だけで説明することはできない。例えば、車の運転中に何か危険な状況を察知した場合、我々は急ブレーキにより危険を回避するが、このような場合の状況判断は瞬間的に行われ、それに伴う行動は反射的に行われる。そして、これらの判断や行動は経験を積むほどよりの確になるのが一般的である。この例のように、瞬間的な状況判断では、言葉で表された知識を用いて意識的に判断するのではなく、一種のカンのような方法が用いられる。このような問題解決方法は、知識を文字や記号でなく別の方法で表すということから、非記号主義あるいはコネクショニズム(connectionism)と呼ばれる。

コネクショニズムの代表例としては、頭脳のメカニズムの研究から最近注目を集めるようになったニューラル・ネットワーク(neural network)がある。人間の脳は、成人男子で約1400g、表面積はほぼ新聞紙1ページ分の約2250cm<sup>2</sup>あるといわれているが、これらの数字を他の動物の脳と比較すると、重量では鯨や象より軽く、表面積ではイルカより狭い。つまり、人の脳の優秀さは、その重さや表面積の大小によって決まるのではなく、脳を構成する140億個といわれる膨大な数の神経細胞と、それらの複雑な結合の仕方によるということ、また、この神経ネットワークの結合は、人間の成長とともに進化することが、これまでの生理学的研究で解明されてきている<sup>13)</sup>。

すなわち、ニューラル・ネットワークとは、我々の頭脳の中にある神経ネットワークによる情報処理機構を人工的に実現化しようとしたもので、1960年代に盛んになった神経回路モデルの研究、その中でも特にローゼンブラッド(F. Rosenblatt)による自己学習能力を持つ

神経回路モデル、いわゆるパーセプトロン(perceptron)の研究(1958)に端を発する<sup>14)</sup>。ローゼンブラッドの研究は、コンピュータの能力的限界などの問題から、結局は実現化に至らなかったが、1980年代に入って、カリフォルニア工科大学のホップフィールド(J. J. Hopfield)が、相互結合型ニューラル・ネットワーク(1982)を考案したことで、再度注目を集めるようになった。また、1986年には階層型ニューラル・ネットワークにおける効率的な学習方法、いわゆるバックプロパゲーション法(back propagation)をルメルハート(D. E. Rumelhart)が開発して以来、文字や音声の識別や、ロボットのセンサー情報の総合判断、レーダ情報による潜水艦の識別など、急激に実用化が進んだ<sup>15)</sup>。

#### (7) 今後の課題<sup>16)</sup>

以上、AIの現状をシステム開発技術という観点から述べてきた。端的にいって、現状は理想と現実の間で、ブレイクスルーとなる新たな技術の開発が待望されている状況にある。これまで主に知識表現と推論方法について述べてきたが、この点に関しては、従来からのルールやフレームだけでは限界があるということから、ニューラル・ネットワークなどのコネクショニズムとの統合化が試行されている。つまり、理論的な推論と感覚的な思考を組み合わせることにより、より人間に近い問題処理機構の構築が研究されている。また、前述したエージェント指向などの自立的推論機構の実現も期待される研究の一つである。

また、ESのための知識獲得(学習)も、現在ES開発に携わっている者が直面している大きな問題の一つである。これに対しては、ニューラル・ネットワークが、プログラムやルールを必要とせず、学習により知識の蓄積を行う方法であることから、知識の獲得と蓄積の自動化を解決する方法の一つとして期待されている。同様に、ESの確信度調整や、ファジィ推論のメンバーシップ関数の設定などに、ニューラル・ネットワークを適用する方法が、ツールの上で実現してきている。また、過去の事例を蓄え、これに基づき推論する事例ベース推論(Case-Based Reasoning, CBR)も知識獲得のボトルネック解消策として期待されている。

#### 5. おわりに

土木は、交通網や通信網となる施設を建造する技術である。また、交通網を通して流通する物資やエネルギーを供給するための施設を築く技術でもある。情報を頭脳や鞆に詰め込んで移動する人間も、解釈を拡大すれば一種の通信網である。その人間が居住したりリフレッシュしたりする土地や空間を造るのも土木である。すでに有史以前に発祥していたとされる土木技術は、発芽してから一気呵成に開花した情報技術に触発され、新場面を迎

えたといえよう。

本論で扱った CAD, データベース, AI は, 土木分野の技術的な情報の利用場面において, 未解決な問題点を数多く抱えている。建設事業は所定の地点に建造物を単品で生産する。建造物の規模も大きく, それが計画され, 施工が行われ, 供用に至るまでの過程では複数の機関や企業が参画し期間も長期に及ぶ。そのため, 一連の建設プロセスで扱われる情報項目の質・量や, 支援のための情報システムに要求される諸機能にも, 一般製造業のそれとは自ずと違いがある。機関や企業間での情報の伝達や, 経験や知識を踏まえた技術的な判断業務も重視される。土木分野で CAD やデータベース, AI などの技術を用いて情報利用をするためには, こうした要件を念頭においた土木向き, あるいは土木用の情報システムを造り込む必要がある。

情報システム造りは手間, 暇がかかる。機関や企業がまちまちに取り組んでいると, あとで相互に情報利用をする場面で支障をきたすような情報システムとなりかねない。土木向き, 土木用の情報システムを作成する過程においては, 土木分野で情報利用に携わっている技術者が寄り集まって, 個々の利害を離れた観点から情報システムの要件を研究, 調整する場が必要となる。土木 CAD 小委員会, 土木データベース小委員会, 土木人工知能小委員会は, こうした役割りを担うために設立されている。

技術が芽生え成長し普及すると, 複数の技術を組み合わせることで相乗的な利用効果を得ようとする複合化の段階へと発展する。土木分野での情報利用の技術は, より高度な相互利用に向けて大きく膨らみ始めている。例えば, データベースが CAD にデータを供給し, そのインタフェースを AI が司るといった相互利用が着目されるようになった。今後は, 情報資源の有効活用を図るための技術であるコンピュータネットワークなどの通信系の技術が, ますます重要視されるだろう。そして, 良質の情

報が瞬間に大量に扱えるようになると, 入手した情報を業務に役立たせるために情報活用の知識や技法を身に着けなければならない。情報システム委員会では, こうした方面の研究も重要であると考えている。

施工技術の高度化により土木工事の内容が大規模化し, 地球環境に与える影響も拡大している。次世代の子供たちに住みやすい環境を守り継いでいくためには, 施工中のみでなく, その事前や事後においても環境の点検, 整備, 確認が欠かせない。土木分野で情報利用に係わる技術者には, そのための支援に情報技術を生かし応用する責務がある。

#### 参 考 文 献

- 1) ACES 22号 シビルエンジニアリングシステム協会編。
- 2) ACES 23号 シビルエンジニアリングシステム協会編。
- 3) ACES 17号 シビルエンジニアリングシステム協会編。
- 4) 土木学会：建設支援のための土木建設システム。
- 5) 日本情報処理開発協会：情報化白書 1993。
- 6) 通商産業省：データベース台帳総覧。
- 7) データベース進行センター：データベース・サービスに関するユーザの意識調査。
- 8) 池田将明：工事マネジメントにおける知的工程システムの開発に関する実証的研究, 京都大学博士論文, 1992。
- 9) 上野晴樹：エキスパート・システム概論, 情報処理 Vol. 28, No. 2, 1987。
- 10) 春木良且：オブジェクト指向への招待, 啓学出版, 1989。
- 11) 上野晴木, 石塚満：知識の表現と利用, オーム社, 1987。
- 12) 石塚 満：人工知能ハンドブック, オーム社, 1990。
- 13) 山田 博：能とコンピュータ, NTT 出版, 1990。
- 14) 福島邦彦：知的コンピュータシステム事典, 産業調査会, 1989。
- 15) 合原一幸：ニューラルコンピュータ, 東京電気大学出版局, 1988。
- 16) (財) 日本情報処理開発協会：AI 白書 1993, コンピュータ・エージ社, 1993。

(1993. 10. 22 受付)