

昭和62年度科学技術振興調整費による
科学技術庁委託調査研究報告書

ソフト系科学技術の研究開発の現状 及び今後の展開方向についての調査

昭和63年3月

財団法人 政策科学研究所

ソフト系科学技術の研究開発の現状 及び今後の展開方向についての調査

昭和63年3月

財団法人 政策科学研究所

まえがき

本調査報告書は、科学技術庁科学技術政策局が昭和62年度科学技術総合研究委託費を用いて行った「ソフト系科学技術の研究開発の現状及び今後の展開方向についての調査」を当研究所が受託実施した成果をとりまとめたものである。

ソフト系科学技術は、科学技術会議11号答申及びそれをふまえた科学技術政策大綱(昭和61年)においても、基礎的先導的な分野の一つとして重点的に振興を図るべきとされている。

我々の当面する問題解決・意思決定を支援するものとして、この十数年来、ソフト系科学技術は関心を集めてきたが、近年いわば全体のフェーズがシフト・転換しつつある。コンピュータの利用形態の革新の進行や人間の知的活動の解明をはじめとする基礎的知見の急速な蓄積がこの間なされており、また高度情報化・国際化等を背景としたニーズの変化もある。これらの動向を把握することは時宜をえたことである。

こうしたソフト系科学技術の特徴を整理し、多くの分野にまたがって生成、展開している研究開発の動向を抽出することは膨大かつ専門的な作業を要するが、本年度においてはその基幹的な要素を把握することができた。本領域に特有な研究推進メカニズムの解明など、今後ともその重要性に鑑み調査の継続を望みたい。

本調査内容は極めて多岐にわたるため、当研究所に設置した委員会委員各位の熱心な御討議をはじめ、ヒアリング・アンケートへのご協力やレビュー作業を含め、多くの専門家の御助力を賜った。篤く御礼申し上げたい。また、概念をめぐる論議など検討の余地の大きな本テーマに付随した調整と委託管理に大きな労をとられた担当部局にも敬意を表したい。

本報告書が、ソフト系科学技術の動向と課題についての継続する調査研究や今後の関連の振興施策の検討に資することができれば幸甚である。

昭和63年3月

財団法人 政策科学研究所
理事長 渡辺 茂

目 次

まえがき

目 次

調査の概要	1
第Ⅰ部 ソフト系科学技術の概念	7
第1章 概念規定検討の枠組み	7
1.1 概念規定検討の視点	7
1.2 ソフト／系／科学技術とその枠組み	8
第2章 概念規定の検討	12
2.1 ソフト概念の慣用的用法	12
2.2 ソフト概念規定の展開とソフト系科学技術の変遷	13
2.3 ソフト系科学技術の概念規定に関する調査	21
第3章 ソフト系科学技術の概念規定	26
3.1 ソフト系科学技術の概要	26
3.2 ソフト系科学技術の暫定的概念規定	34
第Ⅱ部 ソフト系課題技術の研究開発動向	45
第1章 ソフト系科学技術の背景動向	45
1.1 基盤的条件の変化—情報処理・通信技術の革新	45
1.2 ソフト系科学技術に期待する諸課題の変化	46
1.3 問題解決への「合理的」取り組みの経験の蓄積	47
1.4 背景としての文明史的ソフト潮流	48
1.5 科学技術の全体的な展開動向	49

第2章	ソフト系科学技術の新たなフェーズと構成	52
2.1	史的流れにみるソフト系科学技術	52
2.2	ソフト系科学技術の基盤・関連分野の構成	56
第3章	既存の学問分野におけるソフト系科学技術の動向	61
3.1	全体的な研究動向	61
3.2	主要関連学問分野例にみる研究動向	75
	(1) 方法論的学問	75
	A. システム論	75
	B. 情報処理	82
	C. 意味論・価値論	85
	D. 情報科学	93
	E. 数学	96
	F. 数理科学	101
	G. コンピュータサイエンス	104
	(2) 対象論・課題対応的学問	115
	H. 政策科学	115
	I. 社会工学	118
	J. 社会学	123
	K. 経済学	127
	L. 組織論	130
	M. 心理学	135
	N. 言語学	141
第4章	ソフト系科学技術フロンティア分野の動向	147
4.1	フロンティア分野の概要	147
4.2	人工知能	149
4.3	研究・技術マネジメント	160
4.4	科学技術政策	178
4.5	地球規模課題に対するソフト系科学技術	184

第5章	ソフト系科学技術の実用レベル（技法）の概要	189
5.1	概要	189
5.2	技法の分類	194
5.3	主に認識局面において活用される技法群	202
5.4	主に予測局面において活用される技法群	217
5.5	主に戦略（設定）局面において活用される技法群	225
5.6	主に計画局面において活用される技法群	226
5.7	主に決定（判断・選択）局面において活用される技法群	231
5.8	主に管理運営局面において活用される技法群	253
補	Fuzzy理論について	259
第6章	我が国のソフト系科学技術の研究体制	272
6.1	国際的にみた特徴	272
6.2	研究人材の現状と養成	281
6.3	ソフト系科学技術の学会組織	288
6.4	ソフト系科学技術とシンクタンク	291
6.5	ソフト系科学技術推進上の課題	297
第7章	今後の調査課題	302

資料編

資料Ⅰ－1. 第6章付属資料

資料Ⅰ－2. 学会・大学関係資料

資料Ⅱ. アンケート、ヒアリング調査関係資料

資料Ⅲ. 訪米調査資料

調査の概要

1. 調査の目的

我が国の今後の経済社会の発展に当たっては、ハード系科学技術のみならず、ハード系科学技術の成果を効果的に使いこなしたり、人間的要素や社会システムを含む複雑な問題を解決していくためのソフト系科学技術を発展させていくことが重要な課題となっている。

本調査は、ソフト系科学技術の研究開発の動向を把握する一方、ソフト系科学技術に対する社会的なニーズ等を調査し、これらをもとに今後の研究開発の展開方向等について検討することを目的とする。

2. 調査の内容と方法

調査の目的を達成するために、昭和62年度においては主に、ソフト系科学技術の研究開発の動向調査を行い、今日のソフト系科学技術の特徴の抽出を行なった。このなかでは、特に我が国の研究開発の特徴と先行的な米国の研究動向の把握を試みた。また、ソフト系科学技術の概念についての定着した規定のないことに鑑み、この予備的な検討を行なった。

調査は、〈図1〉の体系に基づいている。

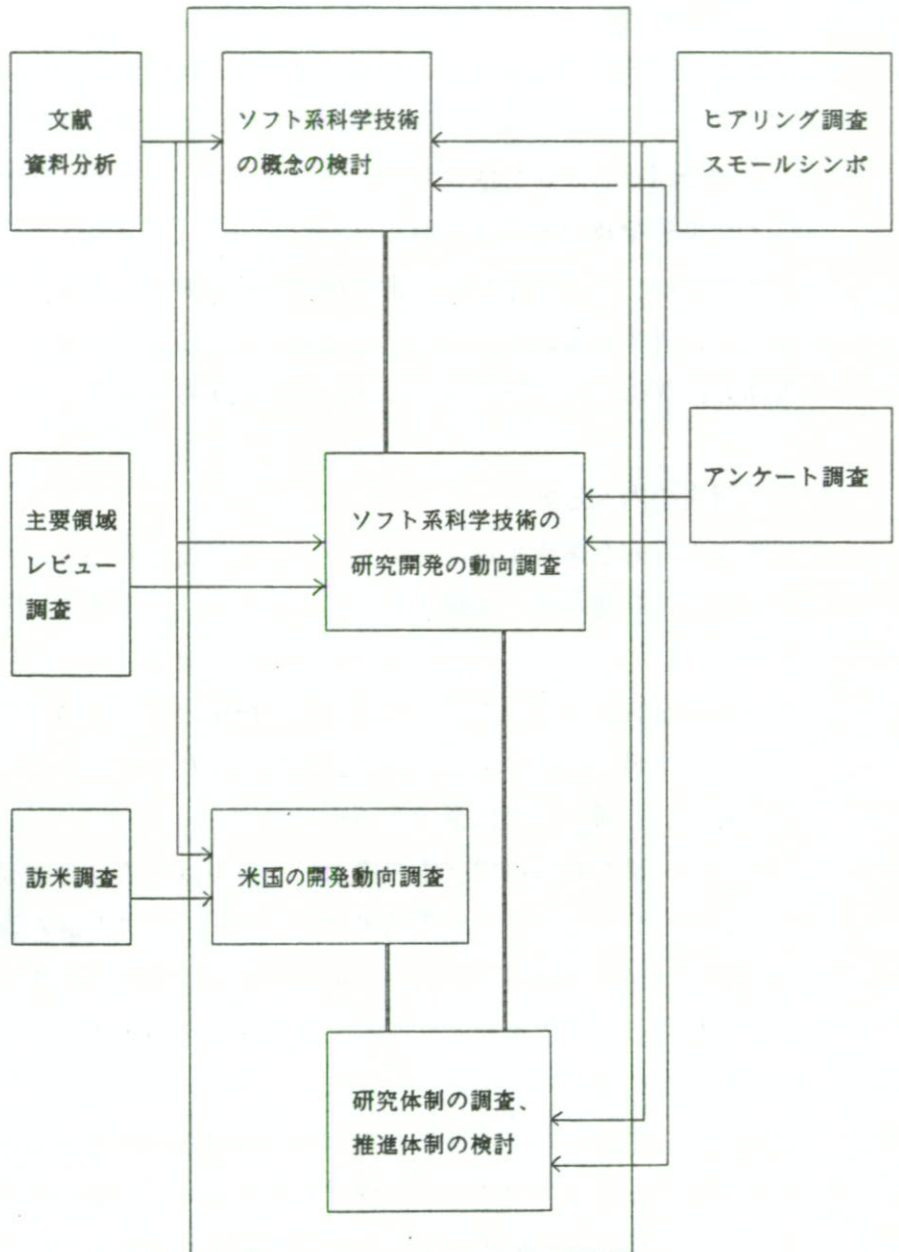
第1に、ソフト系科学技術の概念については、既存の関連概念資料分析、有識者ヒアリング、ならびに専門家アンケートのソフト選好調査により検討した。

第2に、ソフト系科学技術の研究動向については、既存の総説・解説を含む文献資料分析、専門家ヒアリング、ならびに専門家アンケートによって情報を収集し分析した。

第3に、米国におけるソフト系科学技術の動向についてはソフト先進国として主にフロンティア領域の例を検討することとし、国内の文献資料分析、有識者ヒアリング、専門家アンケートの国際情報分析により概査し、さらに訪米現地調査を行い分析した。

第4に、研究体制については、学協会・大学関連の資料分析、有識者ヒアリ

ング、ならびに専門家アンケートによって、その概要と振興上の提言類を収集し分析した。



<図1> 調査の体系

☆ヒアリング調査

ソフト系科学技術の指導的研究者を対象に、延べ35人回、ソフト系科学技術のイメージ、各領域の研究開発動向と将来展望、活用ポテンシャル、振興上の課題等についてヒアリングした。(標準的なヒアリング・クwestionsおよび協力者リストは資料編所収)

☆スモール・シンポジウム

ソフト系科学技術の性格と概念、ならびに活用の期待される課題等について、外部有識者を招き、スモール・シンポジウムを開催し議論を深めた。

- ・ 昭和63年1月18日『科学技術史・科学論におけるソフトの位置付け』
- ・ 3月 1日『ソフト系科学技術に期待するもの』
- ・ 3月 2日『人間の知的活動の合理化の展望』
- ・ 3月 3日『社会科学とソフト系科学技術の方法をめぐって』

☆専門家アンケート調査

ソフト系科学技術関係研究者を対象に、現在の専門分野と履歴、関心領域とその背景的学問分野、研究動向、我が国の国際水準と外国の特徴、代表的研究者や研究組織、研究推進上の問題点や振興策などの調査項目を含むアンケート調査を実施した。本アンケート調査は研究開発動向等の集積的・発見的な把握を目的としており、殆どが自由記入形式で回答者負担の高い内容であったが、2割を越える回収協力を得た。(アンケート調査票および回答者の専門分野リストは資料編所収)

アンケートの発送・回収状況は以下のとおりである。

a. 第1次アンケート実施状況('87.12.11→'88.1.17)

《対象者》

① ソフト系関連学会誌関係総説・解説執筆者

日本計画行政学会 (財)情報通信学会 研究・技術計画学会 (社)計測自動制御学会 (社)情報処理学会 (社)電子情報通信学会 日本自動制御

協会 オフィス・オートメーション学会 日本ロボット学会 日本環境学会 環境情報科学会 国際交通安全学会 組織学会 (社)日本オペレーションズ・リサーチ学会 日本開発工学会 日本経営工学会 (社)日本品質管理学会 日本未来学会

② シンクタンク年報 (NIRA) 研究者リスト

《発送有効数》	305名	(移動・不明での返送17名を除く)
《有効回答数》	77名	(回答不能として返送3名を除く)
《有効回答率》	25.2%	

b. 第2次アンケート実施状況 ('88.1.23~3.15現在)

《対象者》

① ソフト系関連学会誌関係総説・解説執筆者、理事または編集委員

日本行政学会 (社)日本エム・イー学会 日本応用心理学会 (社)情報科学技術協会 人工知能学会 日本認知科学会 日本心理学会 日本システム工学会 日本マクロエンジニア学会 日本ソフトウェア科学会 地域社会学会 日本地域学会 日本都市学会 (社)日本都市計画学会 日本交通学会 (社)日本鉄道技術協会 日本バイオフィードバック学会 バイオメカニズム学会 応用統計学会 日本グループ・ダイナミクス学会 日本経営学会 日本行動計量学会 日本創造学会 日本統計学会 日本人間工学会 日本リスクマネジメント協会

② ハード関連基幹学会 ソフト関連特集・シンポジウム出席者

日本機械学会 土木学会 日本化学会 高分子学会 化学工学協会 大気汚染学会 燃料協会 電気学会 応用物理学会 日本原子力工学会 精密工学会 バイオメカニズム学会

③ 学術専門誌・一般誌 関係解説者

「技術と経済」「科学朝日」「日本の科学と技術」「学術月報」
旧「自然」「AIジャーナル」「現代化学」「現代経済」「経済セミナー」 官公庁広報誌(「プロメテウス」など)

④ ソフト系代表的成書・解説書著者

- ⑤ 企業技報・研究機関紀要 関係論文執筆者
- ⑥ 第1次アンケート回答者推挙専門家
- ⑦ 第1次対象者選定対象学会・年報補遺

《発送有効数》	494名	(移動・不明での返送 9名を除く)
《有効回答数》	105名	(回答不能として返送10名を除く)
《有効回答率》	21.2%	

c. 合計

《発送有効数》	799名	(移動・不明での返送26名を除く)
《有効回答数》	182名	(回答不能として返送13名を除く)
《有効回答率》	22.8%	

☆主要領域レビュー調査

ソフト系科学技術の構成・関連領域の代表的な14領域について、外部専門家に当該領域の研究開発動向のレビューを依頼した。

☆米国現地調査

ソフト系科学技術のフロンティア領域(事例として、人工知能、研究・開発マネジメント、科学技術政策、地球規模課題)での米国の研究開発動向を主体に、現地調査を実施した。

現地調査には、次項の委員会メンバーの平沢委員、永野委員、丹羽委員に分担実施して頂いた。

3. 調査の体制

本調査の実施に当たって、関連の外部専門家を含む「ソフト系科学技術調査委員会」を、(財)政策科学研究所内に設置し、調査内容の検討を行なった。また、委員会委員からなるコア・グループに属した外部委員には調査活動自体の一部を担って頂いた。委員会の外部メンバーは以下の<表1>のとおりである。

＜表1＞ソフト系科学技術調査委員会（外部委員）

委員長	山田圭一	筑波大学大学研究センター	教授
	松井好	立教大学社会学部	教授
	増川重彦	前（財）工業開発研究所	主任研究員
	平澤冷	東京大学教養学部	教授
	永野三郎	東京大学教養学部	教授
	森俊介	東京理科大学理工学部	講師
	丹羽富士雄	筑波大学社会工学系	助教授
	直井優	大阪大学人間科学部	助教授
	太田健一郎	横浜国立大学工学部	助教授
	塚原修一	国立教育研究所	研究員
	名城鉄男	（財）未来工学研究所	主任研究員
	小林信一	東京工業大学工学部	助手
	富山哲男	東京大学工学部	助教授
	鈴木宏正	東京大学教養学部	助教授

（敬称略順不同）

なお、財団法人 政策科学研究所内部の調査研究担当者は以下のとおりである。

担当責任者	主任研究員	大熊和彦
	全	伊東慶四郎
	全	栗原清一
	研究員	猪瀬秀博
	研究補助員	神山明子

4. 調査研究期間

昭和62年9月16日～昭和63年3月31日

第 I 部 ソフト系科学技術の概念

第 1 章 概念規定検討の枠組み

第 2 章 概念規定の検討

第 3 章 ソフト系科学技術の概念規定

第1部 ソフト系科学技術の概念

第1章 概念規定検討の枠組み

1.1 概念規定検討の視点

ソフト系科学技術振興の必要性がうたわれている[1]。この背景には次のような状況がある。① ハードな科学技術の高度化に伴い、それを補完すべきソフト系科学技術の必要性が高まっている。② 科学技術の対象が複雑、大規模、一過性といった再現不可能ないし困難な広域自然現象や巨大技術へと拡大し、思考実験や模擬実験の重要性が益々増大してきた。③ このような契機により自然科学分野で発展したソフト系科学技術の方法論が、人文・社会科学の対象である人間や社会を含む諸現象にも適用され、新しい学際的成果を生み出している。④ 特に近年、一方では計算機ハードの発展・普及に支えられ、また他方では人間それ自体、なかんずく認知・判断・思考過程にかかわる知的営為全般への学問的アプローチが活発となり、その理解が深まってきた。⑤ 同様に地球規模大の拡がりをもち、科学技術から政治、経済、社会にまたがる重層的な関連とを備えた複合的な課題が発生し、その解決が迫られている。これらはいずれもソフト系科学技術と深く関わり、ソフト系科学技術による解明が待たれている領域である。

しかしながら一方、新しい学際的な学問分野の常のごとく、ソフト系科学技術自体の捉え方は研究者により一様ではなく、多様な定義ないし解釈が存在している。従ってまず、このような混乱から脱却するために、ソフト系科学技術の概念を整理し、概念規定を明確にする必要がある。

概念規定の検討を進めるに際し、まずその検討方針および目標について述べる。

本調査研究は、2年間の予定で行われ、今年度は第1年度に相当する。第1年度には、ソフト系科学技術の開発者側の調査を行い、次年度、使用者側の実態調査に移る予定である。従って、今年度はソフト系科学技術の開発者側、つまり学問状況について、まず詳細な検討を加える。そこでソフト系科学技術の概念規定も、第1には、その学問領域を規定することから始めるべきであろう。そのためにはトーマス・クーンにならって、ソフト系科学技術のパラダイムを明確にする必要がある。

[1] 科学技術会議11号答申及び政策大綱（1986年3月28日閣議決定）

第2に、この規定は、今後の調査研究の前提であると共に、次年度の調査によって必要ならば修正されるべき暫定的なものであるべきであろう。従ってこの段階の規定としてはブロードで柔軟な構造であることが望ましい。

第3に、また今後の調査の前提となる暫定規定として、現時点においては可能な限り包括的な規定に留めておくべきで、今後の調査領域を排他的に限定することによって重要領域を排除することのないよう慎重に配慮すべきであろう。

第4に、この概念規定はソフト系科学技術の研究動向を踏まえ、今後学問的発展が予想される研究フロンティアが明示的に浮かびあがる構造になっていることが望ましい。同様に、今後重要性を増すことが予想される課題群への対応についても配慮すべきであろう。

第5に、当然のことながら、慣用的、断片的な規定も含め、従来使用されてきた概念規定との整合性を図ることも重要であろう。

以上のような方針のもとに、具体的には以下に述べる方法により、概念規定の検討を進める。

- ① ソフト系科学技術の構成要素を、「ソフト」、「系」、「科学技術」に分解して捉え、その各々についてまず検討する。ただし、これらの3要素への検討時間の配分は等価ではなく、「ソフト」にそのほとんどを充てる。
- ② 「ソフト」に関する慣用的用法や従来の概念諸規定を整理し、それら規定に基づく学問領域のその後の展開をも分析することにより、概念規定の変遷を跡づける。
- ③ アンケート調査、ヒアリング調査、海外調査による新しい知見を解析し、概念規定の作成に生かす。
- ④ その際、「ソフト系科学技術」と理解されている概念規定固有の対象領域と方法論の抽出を図り、学問領域のパダライムを学問の対象領域と方法論の両者から規定することを試みる。なぜならば、通常の学問と同様にソフト系科学技術は、この両面を備えているからである。

以上のごとく、ソフト系科学技術の概念規定を、文献調査および実態調査に基づき、次章において帰納的な進め方により検討していくものとする。

1. 2 ソフト／系／科学技術とその枠組み

本調査においては、ソフト系科学技術を、① 学問レベル、② 実用レベル、③ 課題レベルの3段階に区分して取り扱うことにする。そして、前節でも述べたように、今年度は、特に重要である学問レベルにおけるソフト概念の明確

化に努め、実用レベル、課題レベルにおける規定は、学問レベルの規定の反映として取り扱い、それを準用することとする。

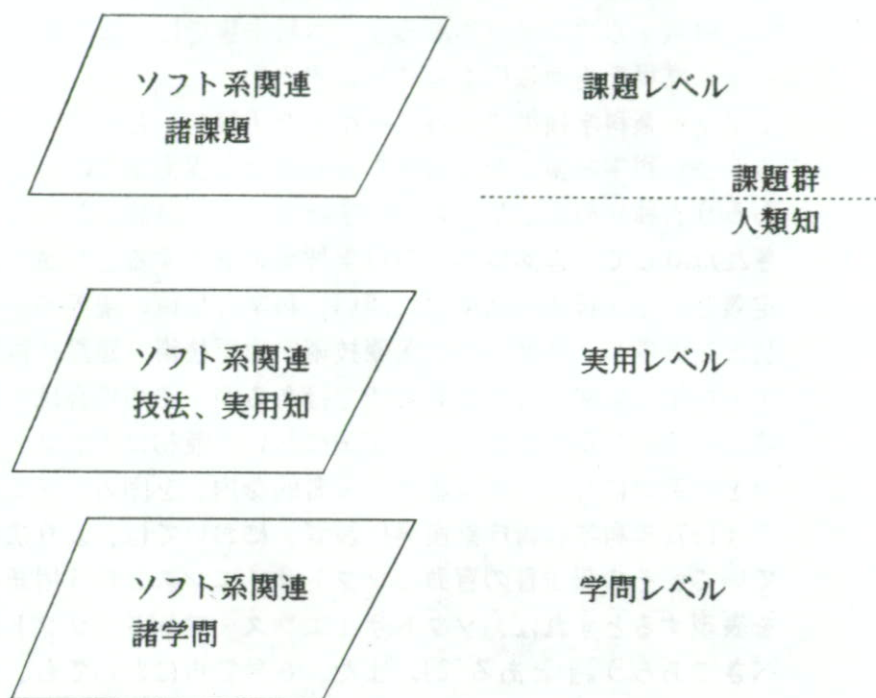


図1. 1 ソフト系科学技術の規定レベル

ソフト系科学技術の概念構成要素として最も重要な「ソフト」概念については、章を改めて詳述するのでここでは触れない。「系」と「科学技術」について考えてみよう。

「系」の解釈については、2通り考えられる。第1は狭義に、「系」=systemと捉える立場。第2は、より広くカテゴリー上の同類を意味する語と解釈する立場。この場合「関連する」という程度の意味となる。第1の立場の用例は、たとえば、一般システム論研究者ピーター・チェックランドのsoft system methodologyに見られるように、既に学問的に確立された概念となっている。もっともチェックランドの“system”の意味は後述のように「考察の対象」という程度の広義の意味であり、要素と要素間の関係や全体性といったシステムの概念構成要件を備えた狭義のsystemを意味してはいない。一方、日本において、ソフト系科学技術なる用語は科学技術会議11号答申で初めて用いられた。

しかし類似の言葉としては5号答申以来、「ソフト・サイエンス」が用いられていた。このような経緯から11号答申に至って、その後開発されたソフト技法等をも加えたソフト関連科学技術という意味で「系」なる語を付加して用いたと解釈するのが妥当であろう。本報告書では、より広義の規定でもあるこの第2の立場を当面採用することにする。

ソフト系科学技術の「科学技術」を「科学」と「技術」の和集合概念と考えるか、「科学技術」なる固有の独立概念と捉えるかは、議論が分かれることであろう。独立概念としての「科学技術」は、英語においても「S&T」と略記されたりして、自然科学系の科学技術を意味することが多い。さらにまた別の定義として、技術の高度化に伴い、科学と技術の境界が不明確になりつつある状況を考慮し、産業技術、医療技術、通信技術、建設技術等に対置される「科学」技術と解釈することも可能ではあるが、この場合は一層限定的な狭義の意味になる。しかしながら、わが国において最初に「ソフト・サイエンス」の検討を体系的に行い、5号答申の実質的な内容を固めたソフト・サイエンス検討会（1970年科学技術庁計画局に設置）においては、より広義の立場が採用されていて、その報告書の冒頭にソフトサイエンスという用語は「厳密にその内容を表現するとすれば、ソフトサイエンス・アンド・ソフトテクノロジーというべきであろう。」とある[2]。また、6号答申においても、ソフトサイエンスは「情報科学、システム工学、管理科学における新しい分析フレームや方法論・手法、行動諸科学や社会科学で開発されて来た新しい理論モデルや知見を総合することを通して」発展を図る「総合的な科学技術である」と規定し、その関連領域を自然科学や工学に限定していない[3]。更にまた、11号答申においても同様の主旨が貫かれていて、「人文・社会事象」をも「対象として扱う科学技術を発展させ、理論的モデル構築及び数式的表現、人間行動の解析、システム設計等の基礎的な理論、手法の確立を図って行く必要がある」と述べている（傍点筆者）[4]。本報告書ではこのような経緯を踏まえ、また、ソフト系科学技術対象領域が、自然システムに限定されることなく、例えば人間の行動や

[2] ソフトサイエンス検討会、「ソフトサイエンスに関する調査検討」、
p 3、科学技術庁計画局（1971）

[3] 科学技術会議6号答申（1977）

[4] 科学技術会議11号答申（1984）

組織、あるいはグローバルな諸課題に対しても有効であり、それらの固有分野ないし自然科学との境界領域で著しい成果を挙げつつあることをも考慮し、「科学技術」を自然科学に限定しない「科学」と「技術」の和集合と捉える立場に立つこととする。このような解釈によりソフト系科学技術の独自性が、逆により明確に示されることになるであろう。

結論として、本報告書においては、ソフト系科学技術をソフトに関連するソフト科学、ソフト技術、ソフト技法等の全てを包含する概念と考え、それらを学問レベルと実用レベルにおいて整理し、諸課題との関連を明確にしていくこととする。

第2章 概念規定の検討

2.1 ソフト概念の慣用的用法

日常的に見聞する事象を学問の対象とする場合、混乱をさけるために、その学術用語の定義は、日常用語とも可能な限り一致していることが望ましい。特にその概念の円滑な普及や社会への浸透を考慮するとき、このことは重要である。しかし、例えば熱力学の諸概念に見られるように、学問的な厳密さを表現する必要上、日常用語との用例の違いを許容し、日常用語と多少乖離した定義ではあってもそれを明確にして用いることもまた通常行われているところである。

ソフト系科学技術の「ソフト」概念を検討するに際し、本報告書ではまず日常語の用例を分析し、その語感を確認することから始める。

(1) 日常英語としてのsoft

英語のsoftの意味はhardに対置され、「柔らかく、柔軟である」が第1義である。しかし、口語ではeasyやsillyの意味にも用いられ、語感としては必ずしも良い響きをもっていない。英語を母国語とする学者にとって、従ってsoft scienceやsoft technologyはネガティブ・イメージに映る部分があることも否定できない。

和製英語であるsoft scienceから連想する学問分野として、一般の米国人学者はsocial scienceをそれとして挙げることが多い。この語感が示唆するところは、「ソフト」の概念化にとっても重要であると考えられる。彼等は、自然や機械のように、人間の意思や解釈により自由に変えることのできない「硬い」存在ではなく、人間や社会といった「柔らかい、柔軟な」対象を扱う学問領域をまず想像するのではなかろうか。一方、システム論を背景とする学者にとっては、チェックランドによる明確な概念化が既知のためか、その延長線上にsoft scienceをイメージすることができ、和製英語による新概念を積極的に評価し、受け入れる空気が強い。チェックランドのsoft systemとは、「人間を含む自律的な対象」を意味するが、厳密には節を改めて後に述べることにする。

(2) 日本語のソフト

日本語の「ソフト」には英語にみられる否定的意味はない。「ソフトな人格」というように、英語同様、「柔らかい、柔軟な」という語感とその根底をなしてい

る。計算機のハードウェアに対するソフトウェア、ソフト・ドリンク、ソフトエネルギーパス、ソフトノミックス等の用例もこの語感の中で理解することができる。「ソフトノミックス」について多少詳しくみてみよう[1]。

「ソフト」という用語は、計算機の機械部分であるハードウェアに対して、その機械を適切に運用するためのコンピューター言語やプログラム等をさすソフトウェアから来ている。ここから「一般的に物質系またエネルギー系全体をハードと呼び、これに対して情報系全体をソフトと呼ぶ」という認識を示した後に、第1次、第2次産業内部で生産される物財の比率が国民経済全体の中で低下し、サービスを提供する第3次産業の比率が相対的に拡大することを「サービス経済化」ないし「ソフト化」と称したのを援用して、「ソフト化」の内容を「サービス化」の他に、産業社会の動向を踏まえて、さらに「知識集約化」、「文化産業化」、「システム化」、「情報化」も加え、推移しつつある経済の全体像を表現するために「これらすべてを含めてソフト化と呼ぶこととしたい」と述べている。

自然の摂理に支配される「硬い」物質とエネルギーに対して、人間の意思の下にある情報を切り離し、その「柔らかい、柔軟な」側面をとらえてソフトと表現することは、日常語の語感のうえからも納得できるであろう。

2. 2 ソフト概念規定の展開とソフト系科学技術の変遷

我が国において、ソフト系科学技術がどのように取り扱われてきたか、その変遷を概念規定の側面から位置づけ、その規定に基づきその後展開されたソフト系科学技術の内容と対比させてみよう。

(1) 1970年代前半

我が国においてソフトサイエンスが初めて体系的に検討されたのは1970年代初頭であり、施策対応により、その後数年間にわたりソフトサイエンスの集中的な展開が図られた。

(a) ソフトサイエンス検討会（1970.5～1971.4）

ソフトサイエンスに関し、我が国で最初に体系的検討を行った標記検討会の報告書によれば、ソフトサイエンスの定義として、まず次のような見解が述べられている。「情報科学、行動科学、システム工学等の発達に伴い、人間や社

[1] 館 龍一郎／経済の構造変化と政策の研究会編『ソフトノミックス』
（日本経済新聞社、1983年）

会現象を含めた広い対象を自然科学的手法によってアプローチする1つの境界領域の知的な科学技術が発達しつつある。ソフトサイエンスを広義に定義づけると、この新しい境界領域の科学技術であるといえるが、未だこれ自体が黎明期にあるので明確に定義づけがなされていないのが現状である」〔2〕。そしてソフトサイエンスの概念としては、明確な規定を行わず、ソフトサイエンスの必要性、ソフトサイエンスの特徴、ソフトサイエンスの研究分野、ソフトサイエンスの性格、ソフトサイエンスの基礎となる知識分野の各項に関し、短い例示を行い、いわばソフトサイエンスの属性を挙げることにより間接的に概念規定を行うことを試みている。これらの内、概念規定に関し示唆的であると思われる、ソフトサイエンスの特徴および研究分野について述べた部分を抜粋しておこう。

ソフトサイエンスの特徴は、

- 「① 自然現象、技術だけでなく、人間あるいは社会、知的活動等のソフトな因子をも包含して顕現化されている諸事象を対象とする。
- ② これらの諸事象の情動的側面あるいは、システムとしての側面をとらえ、処理するソフトな技術を基幹とする。
- ③ 広範囲の分野の知識を有機的に結びつけて、個々の目的に役立てるための理論、手法の体系的集合である。」

上記①に述べているように、ソフトサイエンスの対象としては、a. 自然現象、技術だけでなく、b. 人間あるいは社会、c. 知的活動等を挙げていることに注目しておきたい。いわば、ソフトサイエンスの検討の当初から現在においても通用するカテゴリー区分が意識されていたことに敬意を表したい。また、②でソフトの方法論として、情報処理とシステム理論を暗示している点にも注目したい。これらは自然科学の枠内で当初発展させられた自然科学的手法であるが、前段の引用にもあるように、それらを「人間や社会を含めた広い対象」に適用することによって新しく発達しつつある境界領域を広義のソフトサイエンスと定義づけようとしている。ソフト系科学技術の歴史的展開動向については、第Ⅱ部において詳述されているが、1970年代は、まさに自然や工学的人工物を対象として発展させられてきた情報論、システム論、制御論等の自然科学的手法が、時代的要請を受けて、自然・工学システムとの類比から人間・社会

〔2〕ソフトサイエンス検討会、『ソフトサイエンスに関する調査検討』科学技術庁計画局（1971.6）

システムなかんづく複雑・大規模・重層的な諸事象にほぼそのまま適用された時代であった。そこに当時の研究開発のフロンティア領域を設定したことは、十分理解できる。

そのソフトサイエンスの研究分野として次の3点を挙げている。

「① 作業や事業の計画・スケジューリング、決定、予測、管理、評価、資源の配分ならびにそれらの実施のための組織の高度化

② 人間を中心として含む組織や社会等複雑な事象をシステムとしてとらえ、その目的からの分析、適用、設計、改善

③ 認識、学習、創造等高度の知的活動の分析とその応用」

②と共に③が付加されている点にも注目すべきであることを付記しておこう。

(b) 科学技術会議5号答申(1971年)

ソフトサイエンス検討会の検討内容を受けて、ソフトサイエンスの定義に関し5号答申では、「システム工学、情報科学、数理科学などの発達」により「多様化し、複雑化した社会・経済事象の科学的・総合的な分析・解明に手がかり」が得られ、「新しい科学技術手法が開発され、社会問題などの解決に応用されはじめている」が、「このような科学的・総合的な進め方」を可能とする「科学技術手法(本答申において「ソフトサイエンス」という)」のことでありと規定している。要するに前項でも述べたように、自然科学的手法を人間・社会システムに適用して開発された新しい領域となっているが、その重要分野の例として、やはり同様に「分析、予測、管理、評価、創造などについての科学的手法のほか、手法開発の基礎となる情報科学、行動科学、社会生態学、創造・判断・認識その他の知的活動に関する科学技術」を取り上げている点を強調しておこう。

(c) 科学技術庁計画局委託(財)未来工学研究所実施ソフト調査(1971~1974)

5号答申で指摘されたソフトサイエンス振興のための施策を受けて、1971年10月から1974年3月まで、未来工学研究所を委託先とするソフトサイエンスに関する集中的な研究プロジェクトが実施された。これらは合計18項目にのぼるサブプロジェクトから成り、その中でソフトサイエンスの概念や定義に関しても多様な立場から検討が加えられた。その報告書を通覧すると5号答申までの規定が、当時の時代背景を映して変質していく様子を読み取ることができる。以下、具体的に記してみよう。

・『ソフトサイエンスの実態調査と新しい科学技術分野の考察』(1972.3)

ソフトサイエンスが識者の間でどのように受け取られているか、アンケート調

査に基づく実態分析結果がここに報告されている。本報告書は、その後の定義の変化の契機となる重要なものである。

ここでは、ソフトサイエンス検討会の定義と、未来学者ダニエル・ベルの定義とを比較しつつ、アンケート調査の解析を進めている。ベルの定義とは、ソフトサイエンスをIntellectual Technology（知的技術）と同義に位置づけるものである。知的技術の代表的事例としてリニア・プログラミング、システムズ・アナリシス、情報理論、決定理論、ゲーム理論、シミュレーションを挙げている。

アンケート調査結果によると、「科学」としての側面を強調した検討会の定義が、知的「技術」としての側面を強調したベルの定義より49：33の割合で支持率が高くなっている。しかし、ソフトサイエンスのイメージに関する問いに対しては、逆に「各種社会問題を解決する総合技術」や「知識・理論・手法の総合化の技術」など技術としての側面に近いイメージが持たれていて、混乱状態であることを示していると指摘している。しかしながらこの解釈は、その後の推移から判断するならば、必ずしも正しくはない。アンケート解釈のための対置概念は、科学か技術かではなく、課題指向か手法中心かとすべきであったであろう。そして、定義においてもイメージにおいても、公害問題、交通問題等の社会問題への関心が高まっていた当時の時代背景を映して、課題指向の方が強く、知的技術という手法中心の概念はアピールしにくかったと考えられる。

・『ソフト・サイエンスに関する情報システム設計についての基本事項の調査研究』（1972.3）

本研究は、ソフトサイエンスに関する情報システムの設計についてのものであるが、ソフト・サイエンスの現状に関し、米国の事情を多少述べている。すなわち「情報、オペレーションズ・リサーチ（OR）、システム等に関する学問の体系づけが行われ、とくに米国においてはインテレクトチュアル・テクノロジー（知的工学）、メタ・サイエンス（思考科学）などの名前のもとにいわゆるソフト・サイエンスの体系づけがさかんになりつつある。」

・『社会開発関連研究開発課題の発掘』（1972.3）

ここでは、社会開発の理念の検討が進められているが、ソフト・サイエンスの定義を「人間および技術をふくみ、構成要素間の複雑な相互依存および相互作用に立脚した複雑なシステムの、行動、制御、計画、デザインにかかわる理論的および応用科学・技術の総体」と位置づけ、5号答申までの定義とはかなり異なる方向を打出している。そしてその研究開発分野としては、①社会的工

学分野（公害・交通問題などのいわゆるハードな公共的問題に対する従来の理工学や情報技術などの応用）と②社会工学ないし政策科学分野（社会・文化的なシステムそのものに対するシステム的なアプローチ）とをあげていて、後者がより重要であると述べている。このカテゴリー区分もまた、ソフト系科学技術の研究動向を考察するに当たって、極めて示唆的であることを注意しておきたい。

このように、これらプロジェクト研究の初年度においては、ソフトサイエンスの捉え方としてソフトサイエンス検討会が指摘した3つの可能性の内、社会的課題の解決を強調する立場と、思考や知的作業のための技法に力点を置く考え方に2極分化する兆候がみられるが、公害問題を初めとする社会問題解決への期待が高まり、次年度以降前者の立場への傾斜を強めていくことになる。

・『ソフトサイエンスの情報システムに関する調査研究』（1973.3）

この分野では、2年度目の終了時においてもなおソフトサイエンスの明確な定義づけをさける立場をとって、ソフトサイエンスの属性の分析にとどめている。それによれば、ソフトサイエンスは、①問題解決型である、②扱う対象に必ずしも制限がない、③在来の学問と深くかかわりあっている等の諸点を指摘し、どちらかといえば更に課題指向の傾向を強めている。また、ソフトサイエンスをハードサイエンス一般との対比において捉える視点が、より明確になっていることも注目すべき点であろう。ソフトサイエンスは特定の学問分野に相当する個別概念ではなく、はるかに広範な領域に関係する、いわば類概念のようなものであると考えられてきている。

・『日本型科学技術開発システムの基本設計』（1974年3月）

3年間にわたるソフトサイエンスに関するプロジェクト研究の、この最終総括報告書において、ソフトサイエンスの定義は、次のように規定されている。「『ソフト・サイエンスとは、現代社会における複雑な政策課題の解明を目的とし、人間や社会現象を含めた幅広い対象を、情報科学、行動科学、システム工学、社会工学、経営工学など最近急速に進歩しつつある意思決定の科学化に関する諸分野の理論や手法を応用して、自然科学的方法によって学際的に研究しようとする、新しい総合的科学技術』であり、簡単にいえば『現代社会の諸問題を、総合的、科学的に解明し、政策決定に資するための予測、計画、管理、評価等の新しい科学技術』ということである。

その特長は、①自然現象や科学技術だけを対象とするのではなく、人間や社会的要因をもった諸問題を対象とするものであること、②これら諸問題を情報

やシステムの面から把握し、その解決方法を研究するソフトな知的技術を基幹とするものであること、③広い分野の知識を有機的に結合し、個々の目的に役立てるための理論、方法の体系的集合であること、などの諸点に見ることができる。」

ここで、まず注目すべき点は、ソフトサイエンスの目的を「政策課題の解明」に限定したことである。この点を強調するならば、ソフトサイエンスは、政策科学および“応用政策科学ないし政策工学”であると解釈できる。事実、その後の我が国におけるソフト系科学技術の展開は、5号答申に基づくもうひとつの施策、総合研究開発機構の設置をてこにして、政策課題指向のプロジェクトを推進することになる。これは一方では、当時の時代背景に基づく強い要請が社会の側にあったためであろうし、また他方、第Ⅱ部で述べる学問展開のうねりと重ね合わせて考えるならば、当時の学問状況から判断し、人間・社会システムをやや楽観的に取りあげようとしていたこともまた明らかである。結果として、政策課題の解明という、人間・社会システムの中でも最も複雑な課題に対して、未成熟な学問で対処することとなり、本格的な成果を生み出させないまま、研究者の間でたちまちソフトサイエンスの方法論に対する期待が失われ、現在もなお、政策課題の研究は実態として、この規定通りのソフトサイエンスの体を成すにいたってはいない。と同時に、我が国においてその後、広義のソフトサイエンスを総合的に取り上げる契機を見い出せないまま今日にいたっている。しかしながら外国においては、決して速い速度ではないが、後述のように70年代中頃以降、ソフトサイエンス検討会の定義に類した広義のソフトサイエンスの領域で、しかし主として「政策課題の解明を目的とする」分野ではない領域において、研究内容が新しいフェーズに入りその成果も蓄積されつつある。概念規定を見直すべき必然性があるとすれば、まずこのあたりにその理由がある。

(2) 1970年代後半以降

1974年3月、「総合研究開発機構」が設立され、現代社会が直面している様々な政策課題の調査研究を推進する体制が整備された。しかし、ソフトサイエンス検討会が定義づけようとした広領域にわたるソフトサイエンスの規定に照らしてみるならば、ここで推進される分野は限られた範囲であるといわざるをえない。このような規定は6号答申によって一度見直される。その後11号答申による再規定にもかかわらず、科学技術白書は、現在もこの6号答申による

規定を一貫して踏襲している。

(a) 科学技術会議6号答申(1977年)

6号答申においては、ソフトサイエンスを次のように定義している。

「ソフトサイエンスは、近年著しい発展を遂げつつある情報科学、システム工学、管理科学における新しい分析フレームや方法論・手法、行動諸科学や社会科学で開発されてきた新しい理論モデルや知見を総合することを通して、複雑多岐にわたる諸問題の解明、解決、更には意思決定の科学化などに資する理論や方法・手法を開発し、その応用を図る総合的な科学技術である。」

6号答申における修正点としては、「日本型科学技術開発システムの基本設計」(1974年3月)と比較し、次の2点が重要であろう。第1は、「政策課題の解明」という強い限定を削除したこと。第2は、ソフトサイエンスの関連学問領域を再整理し、自然科学的方法論を人間・社会システムに適用するという構図をとりやめ、自然科学および、人文・社会科学におけるそれぞれの成果・知見を総合するという新しい形式によってソフトサイエンスを規定している点である。

第1の点に関しては、この修正を踏まえた新規施策対応が、その後ほとんど図られていないことから、結局『基本設計』の規定が現在もなお実質的に存続することになっている。また、第2の点は、人間・社会システムを対象とするソフトサイエンス研究の認識の深まりを考え合わせると、この時点で人文・社会科学側に起源がある方法論をも取り込むべきであるとした事情が了解できるであろう。ただし、我が国におけるその実態は、後述のように従来ソフトサイエンス方法論に対しては限定的な認識が強く、方法論抜きで、課題の面白さで、勝負する方向へとソフトサイエンスの研究が傾斜していく。

(b) 科学技術会議11号答申(1984年)

11号答申では、ソフト系科学技術の概念を明確に定義づけることはせず、ソフト系科学技術の振興上重要と考えられる研究分野を例示的に指摘している。5号答申に比し、6号答申では、新たに「社会的意思決定や合意形成」「環境影響評価」等を重要課題として挙げているが、11号答申ではさらに、「ソフトの蓄積」、「人文・社会事象、知識、情報というソフトな因子をも対象として取り扱う科学技術」、「人間の集団的行動を取り扱う理論」、「研究開発活動そのもの」等の新規な重要分野を指摘している。

また、ハードとソフトの関係において重要となるソフトの機能に関しても、その重要性を指摘している。すなわち、①ハードの運用・利用のためのソフト、

②ハードとハードのインターフェイスとしてのソフト、③ハードの開発を先導するためのソフト等。このような指摘は、工学・広域自然システムの研究開発において大規模・複雑化が一層推し進められた結果、再び自然・工学システムにおけるソフトの重要性が見直されたものとして興味がある。

(3) 概念規定変遷のまとめ

1970年ソフトサイエンス検討会以来のわが国における行政側のソフトサイエンスの概念規定の変遷をまとめておこう。

(a) 対象領域

1970年、当初規定以来、一貫してソフトサイエンスの対象領域としては、自然・工学システムだけではなく、人間・社会システムをも含めた定義となっている。問題は、この対象領域の切り方である。当初は、a. 人間を中心として含む組織や社会等の複雑な事象という課題レベルに繋げやすい切り口と、b. 認識、学習、創造等の知的活動を含む予測・評価・意思決定・管理等の知的技術 (intellectual technology) という方法論に直結した切り口とが共存していたが、3年間に渡るソフト調査を進める間に、切り口としては課題レベルに絞られ、その最終報告ではさらに「政策課題の解明」という極めて限定的な目的が付加された。その後、1977年に至りこの限定ははずされたが、課題レベルで対象領域を捉える姿勢は現在も続いている。

(b) 方法論

1970年、方法論としては、情報処理やシステム論という自然科学の枠内で当初発展させられたものに限定されていたが、前項でも触れたように、それを人間・社会システムに適用して、認識、学習等の知的活動を含む知的技術として機能させることを意図している。その後3年間のソフト調査の間に知的活動の部分が削除され、予測、評価、意思決定等の実用レベルの方法論に絞られ、1974年には、「意思決定の科学化」に関する理論や方法にさらに限定される。1977年、これは見直され再び枠は拡大されるが、社会的諸課題の解明や意思決定の科学化等に資する理論や方法・手法という、実用レベルの方法論に重点をおいている。その後現在に至るまでこれは変わっていない。

(c) ソフトサイエンスの体系

1970年、ソフトサイエンスの体系としては、自然科学的手法を人間・社会システムに適用することによって発展しつつある「新しい境界領域の科学技術」と規定している (ソフトサイエンス検討会)。1971年には、上と同様の位置付

けながら、「科学的・総合的な進め方」を可能とする「科学技術手法」（5号答申）と変えている。しかし、1974年には、やはり同様の位置付けのもとに「新しい総合的科学技術」（基本設計）と規定しなおし、1977年においても「総合的な科学技術」（6号答申）と変えていない。ただし、位置付けは、自然・工学システムの方法論と人間・社会システムの理論モデルや知見を総合する図式とし、総合の内容と関係を変えている。その後現在までこの位置付けは変えられていない。

2.3 ソフト系科学技術の概念規定に関する調査

ソフト系科学技術関連領域の概念規定に関し、識者に対するヒアリング調査、および外国文献を含む文献調査を実施した。

(1) ヒアリング調査

我が国の識者による概念規定の代表的な事例を表2.1にまとめる。この規定は、ヒアリング調査において、他の質問項目と共に、口頭で回答されたものであり、多くの場合、学問的な厳密さは、さほど考慮されていない。

事例A～Eは主として対象領域による規定であり、F～Jは方法論によるものである。A、Bは人間・社会システムと自然・工学システムとの境界領域に対象を絞っている。Aは自然科学の側からそれを扱うことを述べ、方法論上の立場をさらに限定している。Cは散逸構造の物理システム、思考回路や生命などの自己組織系、さらに人間・社会システムの自律的側面などを対象としている。自律的現象は、対象を構成する要素により原理確定的に記述できない点に特色がある。Dは、実体として存在している対象そのものではなく、人間の思考によって生み出される対象に注目している。例えば、概念や情報。Eは、従来科学的アプローチが困難であった領域に関するものであり、意思、意識、価値、世界観などの主観的側面、及び感性、情動等の非合理的側面までをも含んでいる。G、H、Iはいずれも「知的技術」に関わる手法であり、これらがコンピュータによって支援されることが多いことからFとも共通している。Jは、対象の“全体性”に関わる視点を提供する手法に関するものであり、広義のシステム論が、そのような側面を備えている。

このようにみえてくると、Eの一部を除けば、いずれの規定もシステム検討会の「見解」の部分集合であり、その範囲内ないし、単純な延長線上に含まれるものと考えられる。

表 2. 1 我が国の識者によるソフト系科学技術のとらえ方の代表的事例

-
- A. 社会・経済活動と科学技術とのインタフェースを科学技術の側から扱う
 - B. 科学技術と人間がかかわる領域、例えば研究開発活動それ自体を対象とする
 - C. 自律的な対象の自律性にかかわる部分を扱う
 - D. 形而上的な性質をもった分野を対象とする
 - E. 人間の意志や欲望等がかかわる部分を扱う
 - F. コンピュータを手法としたもの
 - G. モデリングやシミュレーションを手段とする
 - H. 合意形成や価値の共通化を図る
 - I. 知的作業過程の科学化にかかわる
 - J. 個別知識の統合化、総合化にかかわる
-

(2) 文献調査

外国文献にも“soft” methodなど、softを修飾語とする学術用語が散見されるが、体系的な用例は非常に少ない。ソフト系科学技術にほぼ相当する内容を意味する代表的な例を次に挙げておこう。

・Harbert A.Simon, “The Sciences of the Artificial”(1981); (稲葉元吉、吉原英樹 訳「システムの科学」(1987))。

サイモンはカーネギー・メロン大学教授で、1978年ノーベル経済学賞を受賞した。彼の研究領域はきわめて幅広く、計算機科学から心理学、組織論、経営学、設計論等にわたっている。その中心テーマは、人間の意思決定過程に関する研究であり、例えば経営学の分野では「限定的合理性のもとで満足化を図る経営行動」という視点から企業組織をとらえようとするところに特徴がある。

サイモンの“artificial”は、人工的な構築物だけではなく、組織や社会といったいわゆる有体物以外の対象までも含み、文字通り、人間が作りだしたものすべてを包含する幅広い概念である。従って、あるがままの自然の物体や現象を扱う自然科学に対置した学問として“artificial” scienceを設定し、その特質を「人工物の内側にある自然法則とその外側にある自然法則との間の薄い界面に見出される」としている。その意味するところは、人工物の特徴を次のように捉えることによって理解される。人工物は、①「人間によって合成され」、②「外見上は自然物を模倣しているかもしれないが、多かれ少なかれ、

自然物の実質を欠いていて」、③「その機能、目標、適応によって特徴づけることができる」。また、④とくに設計に際しては、「記述法のみならず命令法(べきである)によって論議されることが多い。」

このように、人間の思考や行動によって形成される人工的な世界の本質を解明しようとするところに、ソフト系科学技術に通じるサイモンの広さと深さを読みとることができる。そして人工物を人工物たらしめている本質こそ、“ソフトな概念”を考察するに際して、重要な示唆を与えていると考えるべきであろう。

・Peter Checkland, “Systems Thinking, Systems Practice”(1981); (高原康彦、中野文平監訳、「新しいシステムアプローチ」(1985))

チェックランドは、英国ランカスター大学教授で、一般システム論研究会の元会長でもある。1969年以来、システム論の新しい方法論を開拓すべく、100以上の研究事例を通して研鑽を重ねてきた方法論をまとめたものが、本書である。

本書で提唱されているsoft system methodologyは、「人間活動システム」を扱うための方法論である。チェックランドによれば、現実に実在する対象を、次の四つの概念モデルに分類して捉えることが、全体論的な考察のために便利であるとしている。すなわち、自然システム、人工的物理システム、人工的抽象システム、人間活動システム。この概要については、表2. 2にまとめる。なお、ソフト系科学技術の諸相を考察する際、この概念区分を参照すべきことを付記しておこう。

さて、人間活動システム(human activity system)は、人間の意図的活動を理解するための概念モデルであり、現実世界における人間の実際の活動それ自体を記述したものではない。人間の意図的活動は、他の3システム類型とは異なり、原理確定的に構造化することが本来困難な対象である。このようなやっかいな対象を、その本質を損なうことなく扱うための方法論がsoft system methodologyである。

従来の伝統的システム方法論は、対象システムを操作可能なモデルに構造化し、シミュレーション等を通じて理解を深めていこうとするものであるが、意味のある構造化が困難な対象に対しては、当然のことながら有効に機能しなかった。システム論におけるこのダイレンマは比較的早くから認識されていて、様々な試みがなされるが、チェックランドの試みは、その中でも多数の事例研究を踏まえた本格的なものとして評価されている。

表2. 2 チェックランドによるシステムの類型概念

自然システム	自然の摂理のままに支配されている実体的対象や現象
人工的物理システム	特定の機能を発揮させるために構成された実体的対象や現象
人工的抽象システム	人間の内的過程を経て抽象化された対象
人間活動システム	人間の自己意識によって実現される活動

soft system methodologyを手短に説明するなら、以下のようになるであろう。人間活動システムでは他のシステム類型とは異なり、望ましい目的を所与とすることができない。そこで方法論としては現象学的立場に立つことになる。その概略を図2. 1に示す。まず、通常システム論とは逆に、システムではなく、システムが置かれている問題状況の明確化に勉める(1、2)。問題状況関連システムを特定の視点に基づき定義し(3)、それを具体化してモデルにまとめる(4)。そして、問題状況と比較し(5)、実行可能な行為の体系を作り出し(6)、問題状況の改善を行う(7)。このように、soft system methodologyは、直接的な問題解決のための方法論ではなく、学習過程を支援することによって有効な実践活動を生み出そうとするものである。

ここで用いられているソフトの概念は、“構造不確定な”という意味であり、彼はそのようなシステムを扱うための独自の方法論を提示した。“ソフトな方法論”の対置概念は、構造確定的なシステムに対する従来のシステム方法論の全てであり、それを“ハード”な方法論と定義している。ソフトサイエンス検討会以来の、我が国におけるソフトの概念は、このような方法論上の差異に注意を払うことなく、同一のものとして扱ってきた。

ところでチェックランドの4類型概念モデルであるが、これらはいずれも実在する実体そのものを区分したのではなく、対象の特定の局面を理解するための概念モデルであることを既に述べた。そこで、実体的対象はこの4類型概念ないしその組み合わせにより全て理解しうるかということ、そうではなく、第5

の類概念として、知識を超越したところに存在するシステム（超越システム）を想定する必要があることを述べている。知識の創造が役割であるところの学問としては、従って、4類型概念の枠組みをいかにして超越システムに適用していくべきかに興味がある。チェックランドは、人間活動システムに対する方法論上の特異性に着目したが、サイモンは人工的抽象システムと人間活動システムの対象としての特質に注目しているといえる。このようにチェックランドの対象区分の類型概念は、チェックランドやサイモンの学問上のパラダイムを規定している。次章において、ソフト系科学技術の実態をしらべたうえで、この分類概念を参考にしてソフト系科学技術のパラダイムを明確にすることとしよう。

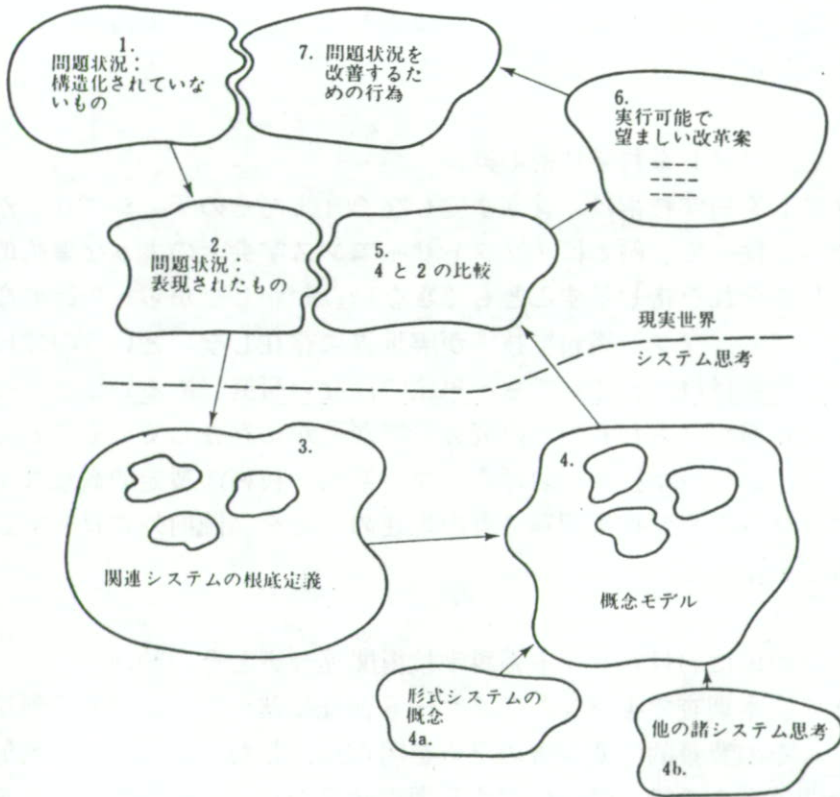


図2. 1 ソフトシステム方法論(Soft System Methodology)の概念図
 出典：中野・高原監訳 P.チェックランド『新しいシステムアプローチ』
 オーム社(1985)

第3章 ソフト系科学技術の概念規定

我々は、ソフト系科学技術の概念を導くうえで、多少困難な問題に逢着している。概念規定をまとめるに当たり、前章において、ソフト系科学技術の既存の概念規定について若干の考察を加えた。しかし、これらの諸規定を所与のものとして受けとめるには、あまりにも規定間の隔たりが大き過ぎるようである。また、多数決などで決めうる性質のものではなく、学問の展開状況を踏まえたうえで、ある種の合理的な判断が必要となるであろう。しかしながら、もしそうであるとしても概念規定そのものが未確定である状況下で、我々は、いかなる範囲の学問の展開状況を考慮すればよいのであろうか。

同種の問題は、英国政府の委託により実施されたテロテクノロジーの概念規定に関するチェックランドの調査研究においても見られる[1]。チェックランドが採用したソフトシステム方法論を参考としつつ、本調査において実施した調査・分析について本章でまとめる。

3.1 ソフト系科学技術の概要

ソフト系科学技術は、言うまでもなく、まだそのディシプリンが確立されていない。従って、例えば「ソフトサイエンス学会」のような集約的な形で、実態としてそれを指し示すこともできない。しかしながら、先行的な概念規定に照らしても、ソフト系科学技術が実世界に存在しないというのではなく、そのように定義付けられていても不思議ではない研究、あるいはより積極的にそのように定義づけられるべき研究分野等が確かに存在していることもまた事実である。そこで、本調査におけるソフト系科学技術の暫定的概念規定を行う前に、まずソフト系科学技術関連分野の現在の状況を、国内外に亘って調査し、その概要を確認しておこう。

(1) わが国におけるソフト系科学技術関連分野とその動向

まず、本調査で実施したアンケート調査に基づき、ソフト系科学技術関連分野と、その背景的学問分野の2点を明らかにしたい。また、背景的学問分野を含む関連学会の設立動向に関する調査結果から、当該分野の動向をも一瞥して

[1] Peter Checkland, 'A systems approach to terotechnology: defining the concept', *Terotechnica*, 1, 83~88 (1979).

おくことにしよう。

ソフト系科学技術関連分野の専門的研究者は、ソフト系科学技術をどのように捉えているであろうか。アンケート調査では、敢えて直接的に、研究者独自の概念規定を問うことを避け、より実態が表明されることを期待できる、研究者各自のソフト系科学技術関連関心領域の回答を求めた。研究上の関心領域がソフト系科学技術分野に属するかどうかは、回答者個人の判断に委ねられている。このようにして得た回答者独自のソフト系科学技術観に基づくソフト関連関心領域を集積することにより、現在いかなる領域が、研究者によって「ソフト」と考えられているかを分析した。

なお、アンケート対象者は、本調査の主旨に鑑み、ソフト系科学技術に関する従来諸規定の中から、最も広義の規定であるソフトサイエンス検討会の「見解」、すなわち5号答申の規定を参考規定として選び、その範囲に属する専門研究者とした。具体的には、本調査が開発側調査であるので、当該関連学会及び学会誌・情報誌・一般誌の中から該当する役職者及び総説執筆者を中心に選出した。総説執筆者は単なる論文の著者に比し、より広い見識を備えていることが期待される。

さて、図3.1に本調査から得られたソフト系科学技術関連領域を示す。本図は、上記関心領域を構成するキーワードから成るもので、アンケート所載の関心領域を記述する文章からキーワードを抽出し、概念の相互近隣関係を考慮してそれをマッピングし、集積したものである。この中の主な領域を列挙してみよう。コンピュータ関連ソフト、各種情報処理、AI、エキスパートシステム、認知・思考・学習過程、価値、意識、感情、問題発見、問題解決、実用レベルの知的技術諸方法論、知的活動領域、行動、組織、社会、都市・地域・地球規模の諸課題等。これらは、18年前にソフトサイエンス検討会が指摘した「ソフトサイエンスの典型的な研究開発分野」にほぼ含まれる。ソフトサイエンス検討会は、次の3分野を挙げている。「①作業や事業の計画・スケジューリング、決定、予測、管理、評価、資源の配分等、ならびにそれらの実施のための組織の高度化、②人間を中心として含む組織や社会等複雑な事象をシステムとしてとらえ、その目的からの分析、適用、設計、改善、③認識、学習、創造等高度の知的活動の分析とその応用」。我が国の研究者が判断するソフト系科学技術関連分野の現在の状況は、ソフトサイエンス検討会が指摘する3分野と比較すると、さすがにその学問の発展の跡を感じさせるが、基本的には上記の分野のトレンドの中に包含される。ただし、次の2点について付記する必要

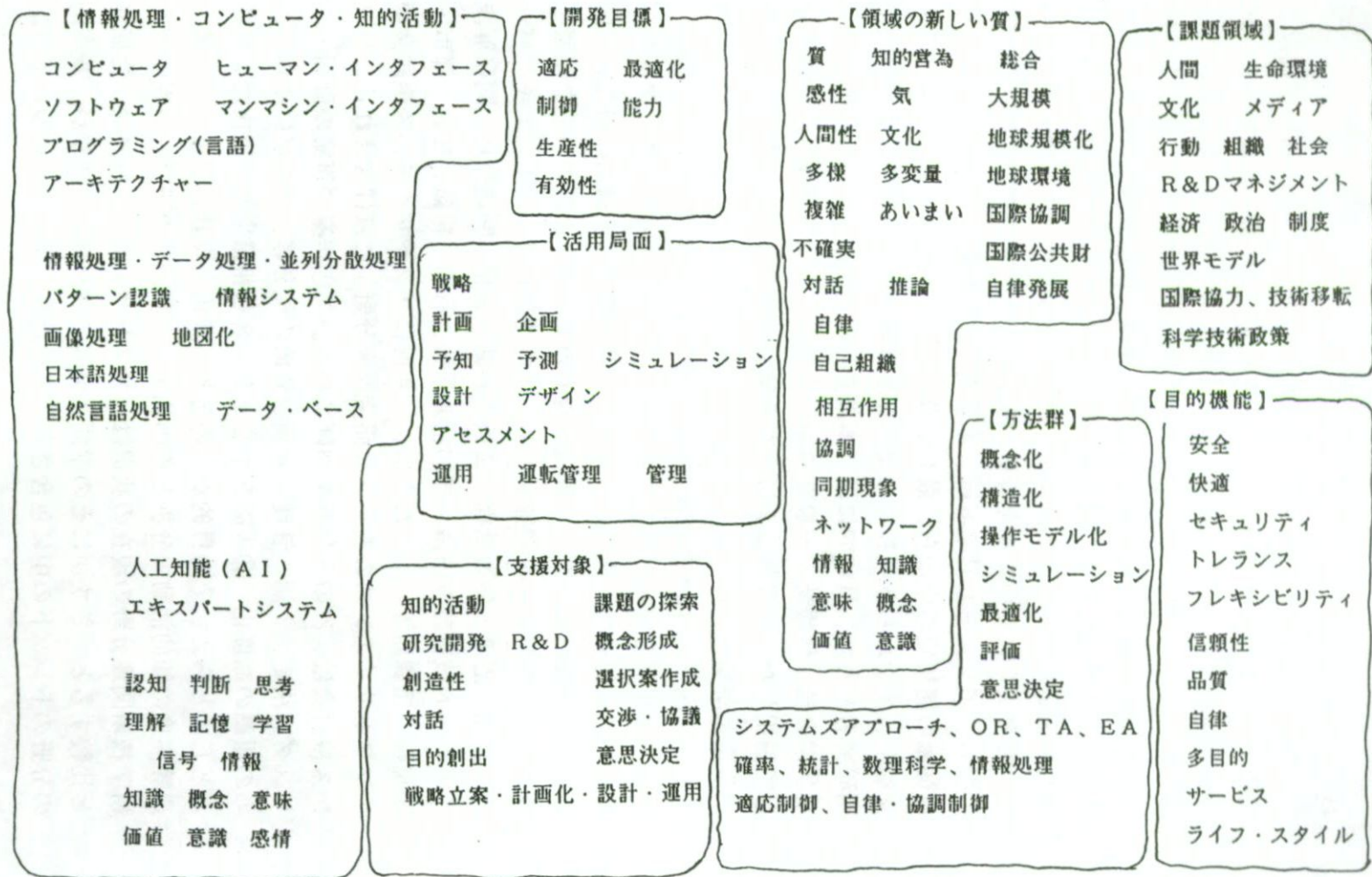


図3.1 ソフト系科学技術の関連領域(キーワード表現)

があらう。

第1は、コンピュータ関連ソフト、言語処理等を含む各種情報処理分野に関してであるが、ソフトサイエンス検討会では、これらをソフトサイエンスの「研究開発分野」に含めないで、「実験装置あるいは研究手段としてコンピュータシステムを主に用いる」と「性格」の項で指摘している。その後のコンピュータ・ハードの発展と普及を考え合わせると、この間の相違は十分に理解できるであらう。第2の点は、「価値、意識、感情」についてである。価値・意識・世界観などという人間の主観的側面は、感性、情動等の人間の非合理的側面と同様、ソフトサイエンス検討会の「ソフトサイエンスの概念」からは除外されている。しかし、11号答申にいたる過程で、意思決定や合意形成等人間の価値的側面の分析はその後含めることになる。一方、感性、情動等の人間の非合理的側面については、少なくとも従来の行政上の規定の中には、それらを含めるとする記述はない。

以上をまとめると、従来の行政上の諸規定領域の和集合と、現在のソフト系科学技術の活動領域とは、感情、情動等の非合理的部分の取り扱いを除いて、ほぼ一致していることがわかる。

次に、これら関心領域の背景的学問分野についてまとめてみよう。上記アンケート調査で記された関心領域の背景的学問分野を集積し分類したのが図3.2である。自然科学・工学から、人文・社会科学まで広く分布しているが、ソフトサイエンス検討会以来、11号答申にいたるまでの諸規定に関連して例示された基礎ないし重要学問分野との違いはあまりない。ただし、ここでも時代の推移を感じさせる新学問分野の登場が注目される。例えば、ファジー、トポロジー、フラクタル、散逸構造論、CG、設計論、ロボティクス、自然言語処理、AI、知識工学、認知科学・工学、価値工学、思考心理学、ネゴシエーション、テクノロジー・マネジメント（技術経営）、サイエンス・ポリシー（科学技術政策論）、テロ・テクノロジー、維持工学など。

最後に、このような関連学問分野を担当する我が国の学会の動向を、その設立年度を指標として図示しておこう（図3.3）。最近数年間に、上記のような新学問分野の学会の設立ラッシュが見られ、ソフト系科学技術の新しい動きを感じさせる。なお研究動向の詳細については第Ⅱ部で述べる。

(2) 外国におけるソフト系科学技術関連分野とその動向

外国では、「ソフト系科学技術」なる用語が使用されていない。従って、我が

区分	人間・社会系	工学・技術系	自然科学系
対象論系	<ul style="list-style-type: none"> ・認知科学 ・言語学、言語哲学 ・認知・思考・行動心理学 ・社会学、人間関係論 ・行動科学、組織科学、組織行動学 ・経営学、政治学、行政学 ・経済学(理論、計量、公共、国際)、財政・金融学 ・法学 ・文化人類学、比較文明学 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工知能 ・自然言語処理技術 ・計算機言語 ・シミュレーション言語 ・データベース技術 ・電子・電気工学 ・化学工学 ・土木工学、水理学 ・テロ・テクノロジー ・知脳ロボット ・パターン認識、CG、CM ・ソフトウェア工学 ・制御・計測工学 ・通信工学 ・機械工学 ・プロセスシステム工学 ・都市工学、建築学 ・維持管理工学 	<ul style="list-style-type: none"> ・脳科学、大脳生理学、自律神経学、神経解剖学 ・生体情報処理、神経・知覚・運動生理学 ・生物学、生科学、生物物理学、遺伝子工学 ・発生・進化生物学 ・精神医学、公衆衛生学、疫学、薬学 ・流体力学、熱力学、物性論、量子化学 ・環境化学、生態学、農学、地理学 ・地球・宇宙物理学
方法論系	<ul style="list-style-type: none"> ・情報・知識論；符号理論、計算理論、計算機言語、記号処理言語、データベース理論、知識工学、エキスパートシステム、神経回路網理論 ・システム論；一般システム論、システム思考、システム分析、構造化モデリング技法、多目的最適化技法、最適制御論、適応システム論、ネットワーク論 ・哲学、認識論、実践論 ・意味論、価値論 ・交渉、合意形成論 ・意思決定論 ・組織論、制度論 	<ul style="list-style-type: none"> ・人間論；教育論、認知工学、創造工学、人間工学 ・計画、設計論；経済社会計画論、計量経済モデル、都市・国土計画論、プロジェクト計画論、設計論、工業デザイン論 ・経営・管理論；経営戦略論、R&Dマネジメント、OR、工程管理論、品質管理論、効用理論、安全・信頼性工学 ・価値工学、経営組織論、産業組織論 ・政策論；サイエンスポリシー、政策科学、社会工学、テクノロジー&環境アセスメント、行政組織論、制度論 	<ul style="list-style-type: none"> ・理論・実験物理学
基礎論系	<ul style="list-style-type: none"> ・数学；論理代数、ファジー代数、ファジー集合論、確率論、関数論、離散数学、解析学、数理解析 ・数理科学；数理計画法、グラフ理論、多変量解析、組合せ最適化論、待ち行列論、動的システム論、数値計算法、数式処理、神経回路網理論 ・統計学；回帰分析、分散分析、共分散分析、多変量分析、主成分分析、相関分析、判別分析、クラスター分析 ・論理学 		

図3.2 ソフト系科学技術の背景的学問分野

国の調査において明確になったソフト系科学技術関連分野をもとにして、国内外の比較分析を行うべきであろう。ここでは、その全分野にわたってではなく、ソフトサイエンス検討会以来、常に方法論上の中心的学問領域に位置づけられてきたシステム論を事例としてとりあげ、その研究分野の概要と動向について見てみよう。

システム論は、互いに関連し合った次の4分野から成る。一般システム論、システム工学、システム分析、システム技法。一般システム論は、最も抽象化・一般化の進んだレベルでシステムを扱い、実体的対象領域固有の事象が捨象されていることが多い。システム工学は工学分野の題材に関するシステム論であり、システム分析は、政治・経済・社会システム等の非自然科学的分野を中心としたシステム論の応用分野である。システム技法は、システム論を実用的な個別分野に適用するための手法のことである。これらの分野は、それぞれ固有の学会を形成したり、また実体にかかわる対象分野の学会の一部を占めていたりして、別個の活動組織に分かれている。そこで、方法論としての全体像をつかむ目的からは、最も幅広い学際的分野である一般システム論の領域をとりあげるべきであろう。

図3.4は、アメリカの一般システム論研究学会 (International Society for General Systems Research) における研究領域を示したものである。同学会は1954年に設立され、システム論全体の源流でもある。現在では会員の約4割が米国以外という国際学会に発展している。さて、図3.4は、学問的発展段階と背景学問領域とを両軸として、一般システム論研究学会の発表分野に含まれる各学問分野の位置を線図で示したものである。宇宙の数理モデル・非線形ダイナミクス・大規模気象モデルのような物理科学系モデル、脳や生態系のような生物科学系のシミュレーションモデル、AI・パターン認識・エキスパートシステムの思考情報処理モデル、ファジー理論・情報理論・OR・意思決定論などの数理科学的方法論、ゲームの理論・最適化理論・組織論などの社会科学分野における数理的方法論、心理学・経営学・社会計画などにおけるシステム分析、そして人間活動に関わるソフトシステム方法論など。我が国にはこのような広がりを持った学会は存在せず、OR学会、情報処理学会、組織学会、あるいは機械学会などのハード系諸学会、などに分属した状態になっている。そしてシステム論をソフト系科学技術の方法論の中心であると位置付けるならば、図に示されているような幅広い研究領域を、外国におけるソフト系科学技術の実態を示す1断面と解釈することができる。この広がり、ソフトサイエンス

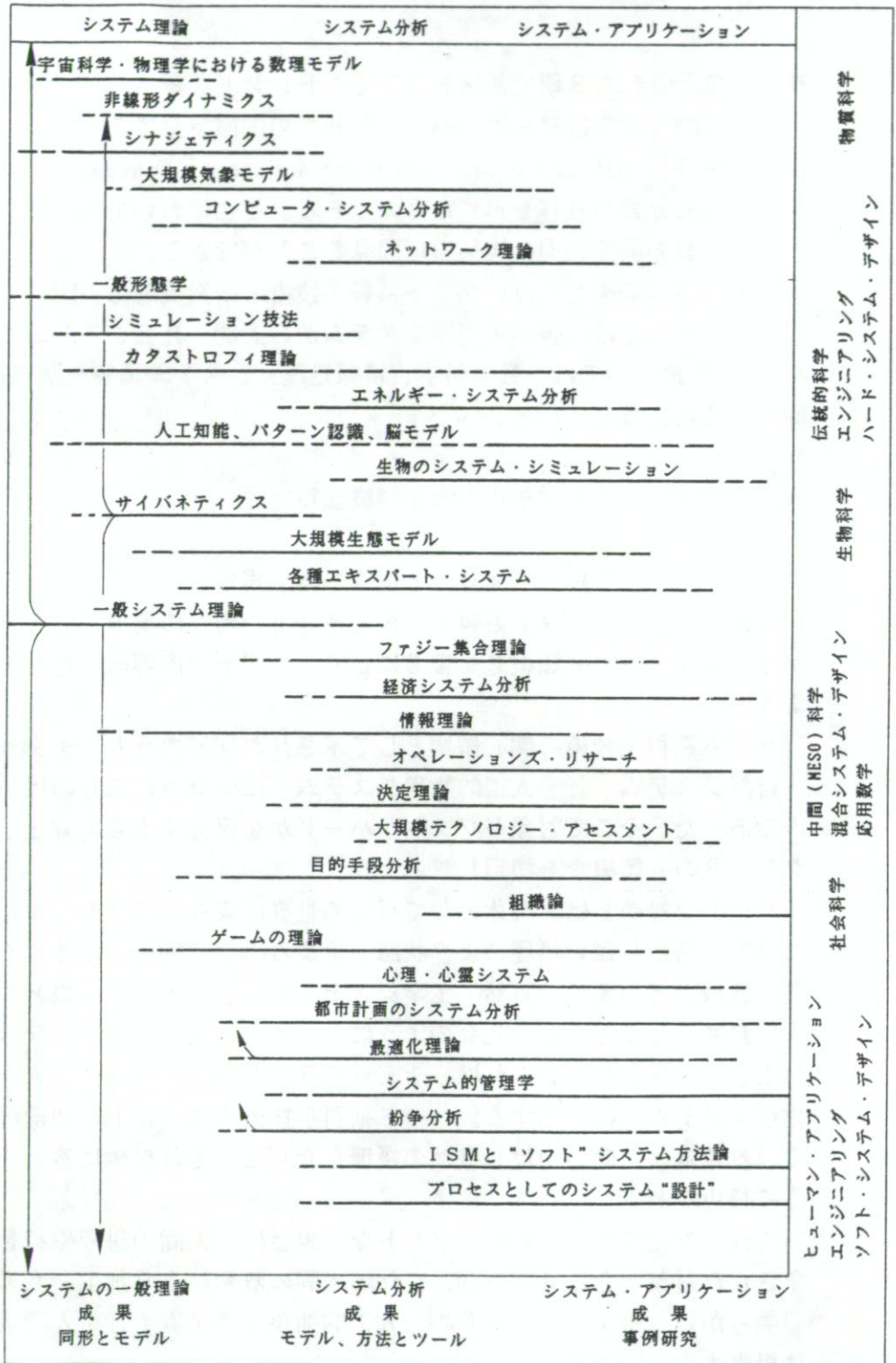


図 3. 4 米国の一般システム論研究学会における研究領域
出典 ; Len Troncale, 1988 (in press)

検討会で示された3研究領域およびそのトレンドと基本的には一致している。

また、図3. 5はヨーロッパの同じ分野の国際学会である European International Conference of Cybernetics & General Systems Research における学会発表分野の推移を示したものである。ここにおいてもまた、同様に幅広い研究分野の展開動向の実態を垣間見ることができる。

以上、述べて来たようにソフト系科学技術の研究実態は、国内外を問わず、対象領域としては、自然・工学システムから人間・社会システムにおよび、また、方法論としては、数理科学、情報処理、システム論等を基礎とした、知的技術全般に及んでいる。

3. 2 ソフト系科学技術の暫定的概念規定

(1) ソフト系科学技術関連分野と従来の概念規定

前節において、ソフト系科学技術関連分野の現在の実態的状况を確認した。チェックランドの分類概念を参考にして、まずその内容的な特色をまとめてみよう。

ソフト系科学技術の関心領域として示された回答のうち、チェックランドの「自然システム」と「人工的物理システム」に区分されるものはわずか1例のみであった。そこで対象がソフトかハードかを区分する考え方として、チェックランドの分類概念を援用してみよう。

ハードな対象とは、実体として現実の世界に実在している対象をいう。これは自然の動かし難い摂理により状態が決まるので“硬い”と考える。物体・物質・機械などの多くの自然・工学システムおよび、医学の対象となる人間や、人口動態としてとらえた社会のように、一部の人間・社会システムもハードの対象として扱われる。これは、チェックランドの「自然システム」と「人工的物理システム」に対応する。ハード系科学技術の方法論上の特徴は、実体としての対象自体に問いかけ、自然の摂理を介して、それ自体に答えてもらうところに特色がある。

これに対比させるならば、ソフトな対象とは、人間の思考や行動を通して表象された対象となるであろう。これは人間の解釈により加工・変形しうるので“柔らかい”。チェックランドの「人工的抽象システム」と「人間活動システム」に相当する。

自然・工学システムであっても、それが大規模であるとか、複雑・多岐にわ

1974年		1988年
数学	<u>数学的システム理論</u>	
	<u>ファジー数学とファジーシステム</u>	<u>ファジー集合</u> <u>ファジー集合とシステム</u>
情報・コンピュータ	<u>データベース設計</u>	<u>人間機械系並列分散処理</u>
	<u>国際通信システム</u>	<u>コミュニケーションとコンピュータ</u>
AI、思考 生命系	<u>信号システム</u>	<u>AI</u>
	<u>認知と学習</u>	<u>認知と学習のサイバネティクス</u> <u>人間性、構造、概念化</u>
	<u>生体・神経系システム</u>	<u>バイオサイバネティクス</u> <u>生物学・医学でのサイバネティクス</u>
システム	<u>一般システム方法論</u>	
	<u>サイバネティクスと哲学</u>	<u>設計とシステム</u>
工学	<u>工学システム</u> <u>工学システム方法論</u>	<u>ロボティクス・FMS</u>
	<u>システムと決定理論</u>	<u>コンピュータ支援システム理論</u>
経営・管理	<u>システム分析</u>	<u>経営と管理におけるイノベーションシステム</u>
	<u>マネジメント</u>	<u>組織とマネジメントにおけるサイバネティクス</u>
	<u>マネジメントにおける組織的問題解決</u>	<u>政府のサイバネティクス</u>
社会経済	<u>健康管理システム</u>	
	<u>社会経済システムの構造とダイナミクス</u>	<u>社会経済システムのサイバネティクス</u>
グローバル	<u>都市・地域計画へのシステムズアプローチ</u>	<u>科学技術についてのシステム研究</u>
	<u>エネルギーシステム</u>	<u>平和研究のためのシステム工学</u>

図3.5 一般システム論研究欧州国際学会の発表分野とその推移

たる場合や、一過性の対象で再現が不可能な対象などでは、そのような自然・工学システム自体に回答を求め難いので、実体である自然・工学システムを解釈・模擬し、概念やモデルなどの形で表象された対象を扱うことになる。そのための方法論としては、表象された対象を思考実験やシミュレーションにより操作して、擬似実態的知識を集積して理解を深める。システム工学によるモデルのシミュレーションなどがこれに相当する。このような対象領域と方法論を用いる分野をソフト系科学技術の第1類とする。

人間・社会システムの多くの事象は、対象を実体として捉えただけでは、その本質を理解したことにはならないことが多い。そこで人間・社会システムの実態的側面の一部を、複雑ではあるが原理確定的な擬似自然・工学システムと捉え、第1類と同じように思考実験やシミュレーションを行い擬似実態的知識により理解を深めることもある。例えば、システム分析やORなどの手法により、意思決定モデルや世界モデルを操作する場合などがその例である。このような場合をソフト系科学技術の第2類とする。

また、さらに人間・社会システムの内的過程自体に内在する不確定性やあいまいさに着目し、そのような対象自体のより深い面までを捉えようとする場合もある。例えば自然言語処理、思考過程、交渉、合意形成などに関する場合である。このような対象に対しては不確定性やあいまいさを導入して“柔らかい”モデルを立てたり、モデル自体を対話型で柔軟に変化させたり、対象システムをモデル化するところから始めるのではなく、それが置かれている状況を記述し明確化するところからはじめる方法 (soft system methodology) などが考えられる。このような場合をソフト系科学技術の第3類とする。以上をまとめて表3.1に示す。

このようにソフトな対象を人間の思考や行動を通して表象されたものと捉えると、実体として存在する自然・工学システムや人間・社会システムを対象にしてはいても、その扱い方において、実体的対象を概念やモデルに抽象化し、「人工的抽象システム」ないし「人間活動システム」というソフトな対象として取り扱う場合を明確に分離できるであろう。

そこで次にこのような「ソフトな対象」という概念を用い、行政上の従来の概念規定による対象領域との異同を調べてみよう。ソフトサイエンス検討会、5号答申、「基本設計」にいたる行政側概念規定によれば、ソフトサイエンスでは自然科学の方法論を人文・社会事象に適用することになっている。その際人間・社会システムはほぼ人工的抽象システムとして取り扱われることになる

表 3. 1 ソフト系科学技術関連分野の特徴

	対象の特徴	対象の具体例	方法の特徴
ハード	実体として存在する対象 自然の摂理により決まるので “硬い”	多くの自然・工学システム (物体・物質・機械など) 一部の人間・社会システム (医学・人口統計など)	自然・人工システム自体に問いかけてそれ 自体に答えてもらう
ソフト	表象された対象 人間の解釈により加工・変形 されるので“柔らかい”	大規模、複雑・多岐にわたる自然・工学システム (自然環境のモデル、脳のモデル、宇宙衛星制御用ソフト ウェアなど) 一過性の自然・工学システム (気象モデル、生命系モデル) これらは、自然・工学システム自体に回答してもらう手段 がほとんどないので、自然・工学システムを解釈・模擬し、 表象された対象(モデルなど)を扱うことになる。[第1類]	表象された対象を思考実験やシミュレーシ ョンにより操作して、模擬実態的知識を集 積して理解を深める。 (気象モデルによる数値シミュレーション、 システム工学による工学モデルのシミュレ ーション)
		人間・社会システムの多くの事象は、対象を実体として捉 えただけでは理解したことになる。 そこで人間・社会システムの実態的側面を、複雑ではあるが 原理確定的な疑似自然・工学システムと捉える。 (ゲームのモデル、生態学的社会モデル、世界モデルなど)	同上 (システム分析、ゲームの理論、意思決定 モデルなど)
		また、さらに人間・社会システムの内的過程自体に内在 するあいまいさや不確実性に着目し、その本質的側面も捉え る。 (自然言語処理、思考過程、交渉、合意形成など)	状況記述、不確実性、あいまいさ等の導入 (soft system methodology)

であろう。なぜなら、自然科学的方法論のみでは人間活動システムとして取り扱うことは困難であり、また、ハードな対象である自然システムや人工物理システムとして取り扱うことを意図していないであろうからである。

6号答申にいたって、行動諸科学等の人文・社会科学系の方法論も用いることになるが、そのことにより人間・社会システムの一部は人間活動システムとして取り扱われることになる。

また11号答申では、自然・人工システムに関する科学技術の高度化・複雑化に伴う新たな課題として、自然・工学システム固有の問題をも取り挙げるべきであるとしている。これは自然・工学システムを数理モデルなどの人工的抽象システムとして取り扱うことを意味している。

以上をまとめて対象領域の概念を図示すると図3. 6のようになる。

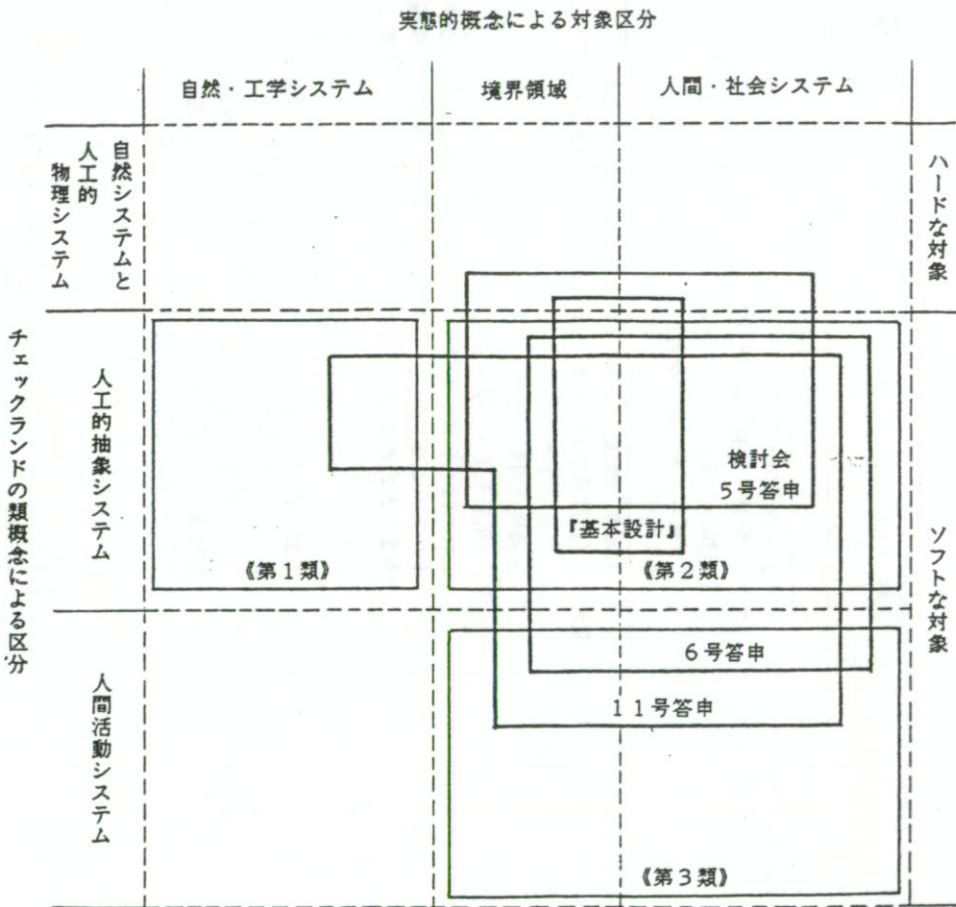


図3. 6 従来の行政上の概念規定領域の概念図

第1類から第3類までは、方法論上の限定を加えていないので、区分領域全体を覆っている。それに対して、行政上の概念規定は、単に対象領域としての広がりを示したのではなく、ソフトサイエンスを規定する際の問題意識や課題例の大きさ、あるいは方法論に伴う限定等を考慮して概念図として示してある。これらの判断材料となった主な点を表3. 2にまとめておこう。

(2) 暫定的概念規定の提案

前項において、「ソフトな対象」についての概念規定を行った。それは、外界に現実存在する実体世界が、知覚され、人間の内的諸過程を経て再び外界へ表象されたものを意味している。表象されたものは、外界においても表象世界を形成している。表象世界もまた知覚され、内的諸過程を経て新たな表象世界を形成する。このような表象世界は、実体世界そのものではなく、人間の認識や解釈によって、一般に何らかの変形が加えられている。実体世界はその内在原理であるところの自然の摂理によって確定的に支配されているので“硬い”存在であるのに対して、表象世界は人間の内界の主観によって加工・変形するので“柔らかい”存在であると解釈できる。表象世界をソフトな対象と呼ぶ必然性がそこにある。

さて、このようなソフトな対象を、前項において3類型に区分した。第1は、自然・工学システムの表象であり、特に実体として把握することが困難な大規模・複雑・一過性といった対象の表象に関してはソフトとして扱う意味がある。第2は、人間・社会システムの表象であるが、特にそれを原理確定的な疑似自然・工学システムと捉える場合である。そして第3は、同じく人間・社会システムの表象であるが、特に人間・自然システムの内的過程自体に内在するあいまいさや不確定性を陽に含む形で捉えようとする場合である。

近年、大気循環モデルのような大規模な自然システムに対する模擬の必要性の増大や、人工衛星の実時間制御のような複雑な工学システムの出現により、第1類のソフト系科学技術の必要性が見直されてきた。また人間それ自体への本質的な理解を求め、人間の思考過程やあいまいさを含む人間・社会システムを扱うことも第3類のソフト系科学技術として試みられるようになってきている。また、各種社会予測のような、人間・社会の実体的側面を注意深く分析し、人間・社会システムの実態を第2類のソフト系科学技術として精密に実現しようとする試みも積み重ねられている。

このように、ソフト系科学技術の様々な領域でその発展が図られている様子

表3. 2 行政上の概念規定の内容とソフト系科学技術関心領域との比較

	ソフト・サイエンス 検討会／5号答申 (1971年)	『基本設計』 (1974年)	6号答申 (1977年)	11号答申 (1981年)	ソフト系科学技術 関心領域 (本調査)
目的／課題 問題意識	環境・都市問題等の 社会問題	複合的な政策課題	資源エネルギー、環 境、防災、教育、医 療等の複雑多岐にわ たる諸問題	高度複雑な科学技術の 潜在的な可能性を引き 出す 都市・交通・生活環境 等の社会問題	---
研究対象と 方法論	問題解決の手法 人間を中心として 含む組織・社会 認識・学習・創造等 の高度な知的活動	意思決定の科学化に 関する理論、方法	問題の明確化から解 決までの各段階で 必要な手法 社会的合意形成 アセスメント	問題の分析・明確化・ 解決までの手法 人間の集団的行動の分 析、取り扱う理論・ 方法論 研究開発活動そのもの 知識を取り扱う科学技 術	問題発見から問題解決 まで 認知から始まる知的 活動の各過程 高度シミュレーション 悪構造問題
基礎・背景 学問	情報科学 システム科学 数理科学 社会生物学 行動科学 知的活動に関する 科学	情報科学 行動科学 システム工学 社会工学 経営工学	情報科学 システム工学 管理科学 行動諸科学 社会科学	システム工学 社会工学 行動科学 政策科学 情報科学 数理科学	システム論 情報処理 AI 認知科学 行動科学 組織科学 経営科学 政策科学

を考慮し、ソフト系科学技術の第1類から第3類までの全ての和集合を、まず考察の対象として捉えておくべきであろう。そのように考えたとき、これらを一括して表現するソフト対象の規定案として、次のものを提案しよう。

ソフト系科学技術の対象は、「人間の思考や行動によって形成される世界を明示的に表象したもの」である。

次にソフト系科学技術の方法論について考えてみよう。まず、ハード系科学技術の場合には、ハードな対象である実体世界の内在原理によって検証する手段をその方法論と位置づけることができる。自然・工学システムそれ自体に問いかけ、その内在原理であるところの自然の摂理を介して、回答を得る。そのための方法論がハード系科学技術である。このように考えると、ソフト系科学技術の方法論は、「表象された対象を思考実験やシミュレーションにより操作して疑似実態的知識を得るための手段」とであると定義づけることができる。これは対象を疑似自然・工学システムと捉えたことに相当するので、第1類および第2類に対する方法論である。第3類に対しては、その対象が、本来悪構造のものであるから、注意深く構造確定的な良構造へ導くことが重要である。一般的に言えば、そのための方法論がそれに相当する。

ソフトな対象はそれ自体に内在原理を持たないため、ソフトな対象に関わる検証は、表象世界を実体世界に還元して行う。従って、ソフトの研究は、実体世界から表象を得る第1過程、表象された対象を操作する第2過程、操作された表象を実体世界と照合したり実体世界に還元したりする第3過程からなる。図3.7に実体世界と表象世界、および外界と内界の関係を示した。第1類と第2類は、論理整合的検証レベルの範囲内で、実体世界と表象世界との変換を行うが、第3類は、対象内在的理由から論理整合的検証レベルを保つことが困難であることを示している。しかしながら、学問研究においては、論理整合性の確保をめざして努力することは言うまでもない。

このような背景のもとに、ソフト系科学技術の暫定的な概念規定を次のように提案しよう。

ソフト系科学技術とは、「人間の思考や行動によって形成される世界を、明示的に表象し、論理整合的に操作するための手法、ならびにその基礎となる理論や法則」のことである。

人間の思考や行動によって形成される世界とは、現実には存在している実体的世界ではなく、認知に基づき人間の内面に形成される世界を意味する。このような領域を内界という。内界を外在化させ、明示的に表象して形成される世界

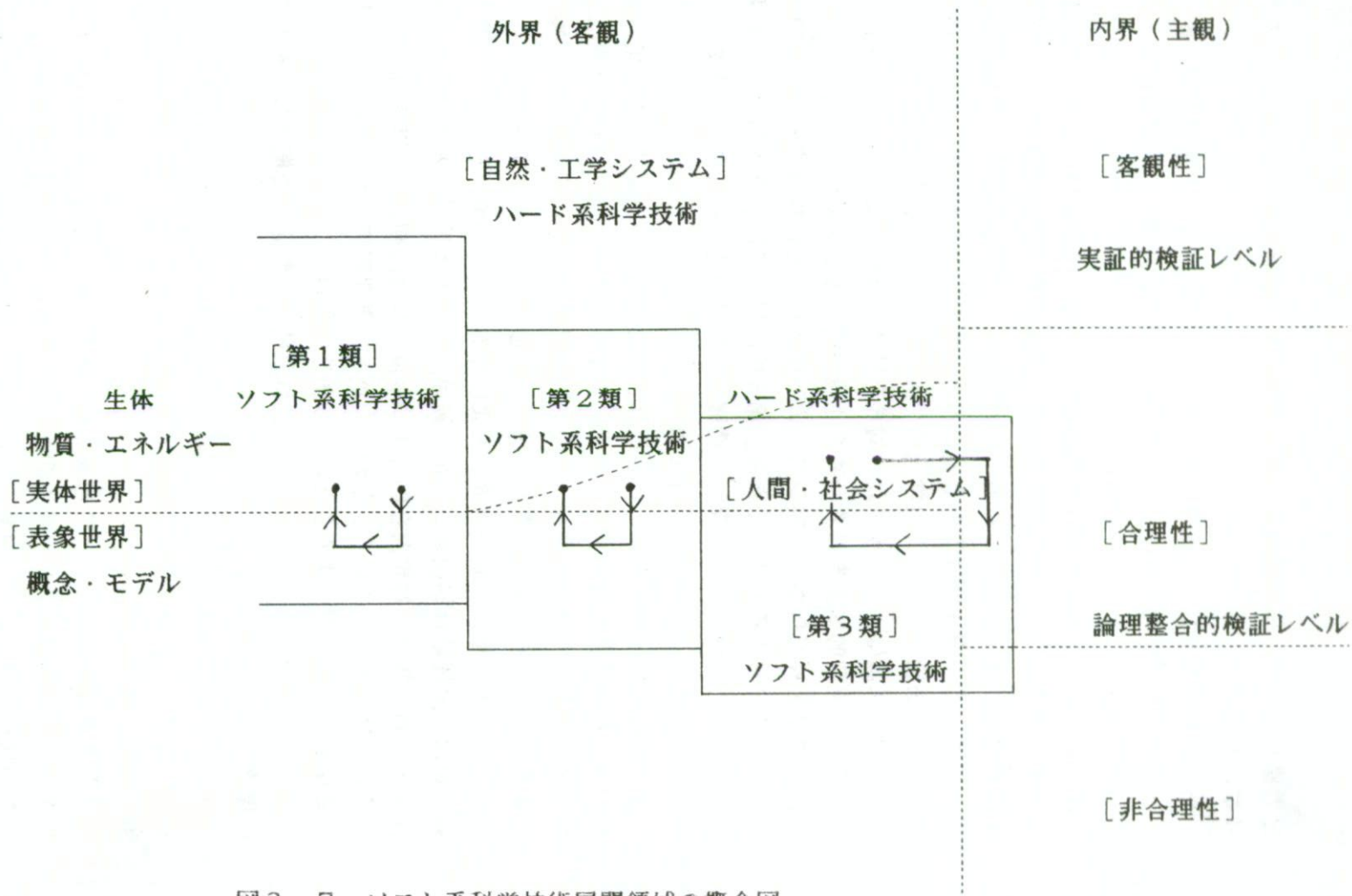


図3.7 ソフト系科学技術展開領域の概念図

を表象世界という。

表象世界は、概念、知識、情報、あるいは何らかのパフォーマンスなどによって構成されている。ソフト系科学技術が扱う対象としては、内面的な思考の世界にとどまっているものではなく、それが表現されて客体化されている必要がある。

さて、そのような表象は、単に記述されたものであることが多いであろう。これは、ソフト系科学技術で扱う対象ではあるが、ソフト系科学技術そのものではない。

また、表象されたものが、その対象固有の方法論でのみ取り扱われるような場合、その方法論を敢えてソフト系科学技術と称する必要はなく、その対象の名称で呼ぶべきであろう。

ソフト系科学技術は、対象領域の個別性を越えて、共通性・一般性を有する方法論を典型とし、そのような共通化・一般化を志向する方法論の体系を含むものと考えらるべきであろう。このような限定を付加するとすれば、ソフト系科学技術は、「表象世界を扱うための一般性の高い方法論」ということになる。

調査の初段階で行う概念規定としては、確定的な“硬い”規定ではなく、今度の調査次第で柔軟に対応できる暫定的で“柔らかい”規定であることが望ましい。そのためにここでの概念規定は広範な学問レベルで行い、とくに次年度において課題からの絞り込みにより、重要課題領域志向の定義づけを行う余地を残した。

(3) 実用レベル・課題レベルの暫定規定

実用レベル・課題レベルに適合する暫定規定は、次年度の“使用者”側の調査結果を待ってから決めるべきであるが、上記学問レベルの暫定規定から判断し、ソフト系科学技術により扱われる実用的な課題例を想定して、実用レベル・課題レベルに適合する2、3の規定を例示的に検討した。

表3. 3に、ソフト系科学技術を中心にして取り組むべき課題例を示した。個人レベルの問題から組織、社会レベルへと配列してある。このような課題例を参考にして、実用レベル・課題レベルの規定を挙げてみよう。

知的活動支援技術

主体間調整技術

複合課題解明技術

システム計画・設計・管理技術

戦略策定・組織化技術

このように実用レベル・課題レベルの概念規定は、重要な課題や対象に依拠した比較的狭い規定となるであろう。

表3.3 ソフト系科学技術を中心にして取り組むべき課題例

<ul style="list-style-type: none">・創造性の開発（感性エンジニアリング、問題発見型対話ソフト）・自己表現・説明の支援（イメージ・デザインの創成）・思考力の拡大（情報analytical tool、CAI・CAD・CAR）・意思決定の支援（入力情報・判断選択肢の削減）・ヒューマン・インタフェースの適切設計（認知的、人間工学的）
<ul style="list-style-type: none">・組織創造性のマネジメント（R&D組織マネジメント）・コミュニケーションの効果的拡大（共感・相互理解、各種制約を越えた交流）・集団的意思決定の合理化（情報処理系整備、決定手続き、環境設計）・組織行動の設計・修正の合理化（外部環境・主体状況の予測・評価、戦略・戦術設定、ネゴシエーション）
<ul style="list-style-type: none">・社会的合意形成・価値共有化の支援・科学技術の社会調和的コントロール（科学技術政策）・情報環境の人間化、データ・ベースの構築・各種社会計画の支援（予測・計画・評価・管理技術）・複雑・長期・巨大システムの構築・運用（宇宙システムの模擬・運用）・不透明・国際化時代の国家戦略の策定・地球規模での問題発見・問題解決の支援（環境・資源エネルギー・人口、係争・平和、文化交流・技術移転）

第Ⅱ部 ソフト系科学技術の研究開発動向

- 第1章 ソフト系科学技術の背景動向
- 第2章 ソフト系科学技術の歴史的流れと構成
- 第3章 既存の学問分野におけるソフト系科学技術の動向
- 第4章 ソフト系科学技術フロンティア分野の動向
- 第5章 ソフト系科学技術の実用レベル（技法）の概要
- 第6章 我が国のソフト系科学技術の研究体制
- 第7章 今後の調査課題

第Ⅱ部 ソフト系科学技術の研究開発動向

第 1 章 ソフト系科学技術の背景動向

『ソフトサイエンス検討会』（科学技術庁、1970～71）、『科学技術会議5号答申』（1971）、『日本型科学技術開発システムの基本設計』（科学技術庁委託研究、1971～74）などのソフト系科学技術に関する我が国初期の検討から10数年を経た。その間に、我が国はオイルショック、高度成長から安定成長への転換などを経験し、国際的な地位が高まり、また科学技術の面でも、情報処理、通信技術革新の波及、技術摩擦の回避や国際協力への要望の強まりなど、ソフト系科学技術をめぐる基盤的条件や背景には大きな変化を生じている。本章では、これらのソフト系科学技術の背景動向について取りまとめる。

1. 1 基盤的条件の変化—情報処理・通信技術の革新

1970年初めに検討されたソフト系科学技術においてもコンピュータの利用を重要な前提としていた。しかし、ここ10数年のあいだのコンピュータおよびコンピュータを介在させたネットワークの技術的發展、社会的普及は著しいものがある。コンピュータを中心とした情報処理・通信機器の機能や役割、社会の中における位置付けなどには大きな変化が生じてきた。そして現在は、コンピュータ普及を軸とする高度情報化社会へ突入しつつある時代である。

1970年当時には、コンピュータは第3世代と呼ばれ、技術的にもICを中心としたハード革命による普及と、ようやくタイム・シェアリング・システムの時代であった。コンピュータの利用も、計算支援、データ処理、一部の業務管理的用途にとどまっていた。しかし、10数年のあいだに、LSI、超LSIなどの半導体素子の高度集積化、その結果としてのコンピュータの高性能化、超高速、大容量化、さらには低価格化をもたらし、コンピュータの普及は大いに進展した。同時にパーソナル・コンピュータの登場と普及も進み、コンピュータは一部の専門家の道具から、非専門家を含めた個人が利用する道具に変質した。利用者層の変化は、利用の形態や方法にも当然変化を招く。次第にエンド・ユーザを指向した処理システムへと変質し、また日本語処理の普及にみられるように、我が国の社会の中に溶け込んで、定着していった。認知科学的成果を受けヒューマン・インタフェースもより総合的に対話適応的にすなわち機械を相手にしている状況での人間の認識のあり方をふまえつつ、見直され始めた。しかも、現在第5世代コンピュータの開発が進められ、コンピュータは、知識情報処理

のツールになりつつある（表1. 1）。

このようなコンピュータの発展と普及は、コンピュータに関連する諸科学の進展をもたらしただけでなく、ソフト系科学技術に対しても重大な影響を与えた。初期のソフト系科学技術が採用した多くの手法がコンピュータのソフトウェアとして実用化し、しかも初期には不可能であった大規模、大量のデータを取り扱えるようになり、情報の収集、蓄積が進むことになった。また、従来はコンピュータとは縁のなかったような分野においても、コンピュータの利用が進み、科学技術の各分野で情報化が進んできた（表1. 2）。その結果、従来はソフト系科学技術とあまり関係のなかった分野や問題領域もソフト系科学技術との関連を深めるようになってきている。

表1. 1 ソフト系科学技術との関連からみたコンピュータの発展

	過去 → 現在 → 将来
機能	計算支援 → 知識支援 → 思考支援
アクセス条件	CPU → TSS・パソコン → ワークステーション
ネットワーク	(スタンド・アロン) → 通信ネットワーク、データベース
利用形態	計算機 → エキスポート・システム → 人間-計算機共同システム

表1. 2 関連諸領域におけるコンピュータ利用の進展例

環境評価・土地利用	コンピュータ・シミュレーション、大規模データベース・画像技術の利用
経営情報システム	エキスポート・システムの導入(DSS)
教育工学	人工知能の応用(CAE)
医療	診断へのエキスポート・システムの導入
大規模システム	開発、運転等での知識情報処理の利用、 大規模シミュレーション
人文科学	テキスト・データベースの利用、コンピュータ民族学・考古学等の登場
化学	コンピュータ・ケミストリ(分子設計や計算“器”化学)
流体力学	スーパー・コンピュータの利用(数値風洞や高度シミュレーション)

1. 2 ソフト系科学技術に期待する諸課題の変化

我が国の経済社会の変貌に伴い、我が国各層で直面している課題領域と問題の性格は、拡大・多様化している。とくに、ソフトな科学技術が喧伝されはじめた10数年前の状況とは、今日は明らかに大きな違いがある。

ソフト系科学技術の適用によって合理的な問題解決・意思決定をすすめることが期待される対象の変化は、ソフト系科学技術の研究課題の変化をもたらさずにはいない。このような動向を受けて、従来から展開され、それなりの有効性を発揮し蓄積されてきた研究開発の方向のみならず、新たな研究課題領域への浸透あるいは新領域の割出、課題そのものの重点のソフト等がみられる（第Ⅱ部 第3章参照）。

とくに当時顕在化していなかった経済技術・文化摩擦や引き続き平和問題など国際的調整課題の発生、さらに国際化等のトレンドの中での我が国のポジションの変化などは、我が国をめぐる主客の条件を大きく変えている。このため高度・安定成長期にみられた環境の傾向外挿的变化、先行指標の存在といった枠の中で調整課題への対応、最適化戦略に代わって、将来の不透明・不確実さ、予測し難い不連続な変化の想定といった枠の中での創造的な課題対応、適応戦略へと戦略の性格が変わってきている。

また、環境問題での、地球規模化・緩慢不可逆化、複合汚染・生活公害の重要化、環境の質の重視にみられるように課題の解明・解決に関しても、関与要因が多様化・複合化する一方、目標設定・評価基準・関連行為主体の構成案が多種多彩となり、問題の複雑さが増している。

こうして、ソフト系科学技術に期待する諸課題は変化し、従来のように問題の設定や評価基準の明確な課題というシステム分析・システム工学的アプローチの得意とした構成確定的な対象からさらに拡大し、従来のアプローチより改善・進化させていく必要に迫られていることを意味している。そもそも問題の設定自体が困難であり、評価基準に多様性のある構造の不確定な対象への対象の性格を正面からとらえた新たなアプローチが求められるに至っていることをも示している。

現在、期待される課題例は、第Ⅰ部第3章に掲げてある。

1.3 問題解決への「合理的」取組みの経験の蓄積

10数年前の段階から今日に至るあいだには、コンピュータの発展などにも助けられ、ソフト系科学技術の実用化は大いに進展した。実用化の進展は、ソフト系科学技術に関する経験の蓄積を進めた。それらの経験は、ソフト系科学技術の有効性と問題点を浮き彫りにし、ソフト系科学技術の現在および将来のあり方に大きな影響を与えるにいたった。経験の蓄積から学んだことは、問題の予想外の複雑さ、方法論の適合性の欠如、またこれらの前提となるデータの収

集・蓄積の欠陥などである。この間の経緯は以下のように整理できよう。

① ある意味では楽観的であった従来のソフト系科学技術は、その適用を進めるにつれて、対象となる問題そのものが予想以上に複雑であるという事実直面した。

たとえば、社会的問題には機械的システムにはない本質的な困難が存在することが明らかになった。また、大規模な問題には小規模な問題にはない要因が存在することに気づいた。

問題そのものに内在するこれらの予想せざる困難は、問題の多因子性、不確実性、主観性、大規模性、主体の多様性、状況依存性、多義性、あいまい性などと表現できる。結果として、問題や対象の捉え方そのものを見直す必要を生じ、ソフト系科学技術が、より基礎的な次元に立ち戻って再検討する傾向をもたらせている。

② 従来の方法論が、問題に接近する方法として必ずしも適切でないような場合があることに気づいた。

例えば、上に掲げたような各種の性格を有する問題に対して、安易な方法論によって対応することは、問題の解決にとって適切であるとはいえない。この場合、より適切な方法論の選択と開発のニーズが生ずることになる。しかし、対象の性格によっては、従来の方法論の延長では本質的に対応不可能である場合もあり、新たな方法論の創出が課題となってくる。

③ 問題把握、方法論の適否を云々する以前に、問題の解決にいざあたろうとしたときに、問題を明確にする、あるいは方法論を適用する前提となるデータがあまりにも不十分であることに気づくケースがみられる。

このような事態は社会的領域で多く見られる。社会的問題の場合、問題を記述するのに十分なデータが存在しない、あるいはデータが散在していて利用可能性の観点からは無いに等しい場合も見られる。科学技術や教育分野での統計データの見直し、指標化の模索はこのような背景を持ったものである。データの収集・蓄積そのものが不十分であったことを反省し、最近では、大規模なデータベースの開発に取り組む例が見られるようになった。

1. 4 背景としての文明史的ソフト潮流

ソフト系科学技術の課題領域、基盤的領域の両方の研究動向に今日影響を与えているものに社会的、思想的な大きな変化があり、これは社会・経済や科学技術での文明史的といえるソフト化の潮流である。ここ1～2世紀のあいだに

築かれ、主流を形成した社会・経済の近代的観念、科学技術の近代的観念が、現実の社会・経済の変容を前にして、あるいは、科学技術の現実を前にして、超克すべき観念として狙上に載せられている。

社会・経済のソフト化は、ソフト化、サービス化、情報化などの表現を借りて説明されている。ソフトノミックスなどの言葉に象徴されるように、物質的豊かさの追及から精神的・文化的豊かさの追及への価値観のシフトは、「現物」によって構成される従来の「世界」から離脱し、新たに情報や、サービスによって構成される「世界」を現出させることになる。旧来からの「物質」的側面に偏った見方では、「世界」の実像が捉えきれない状況をもたらしている。たとえば、情報化の進展は、社会・経済のあり方を固定的なものから、複雑かつ、流動的な融通無碍な存在へと変質させている。

また、産業においても、多くの分野でソフト化・サービス化が進展している。産業の確立期における主要な関心は生産技術の確立であり、その意味での技術開発・技術導入が重要な戦略であった。ひとたび産業が成立すれば、設備投資を主体とする大量生産によるコスト戦略が重要になる。そして現在は、多くの産業において市場指向の商品開発が重要な関心事になり、多品種少量生産を主眼とする市場差別化戦略およびそれを保証する意味での技術開発戦略が重要になっている。我が国の産業の段階的発展は、社会・経済をソフト化させる要因の1つである。

社会・経済システムのソフト化は、前近代、前産業社会への回帰を意味するのではない。むしろ近代化、産業化の成長を継承しつつ、産業化社会の問題を克服し、ハードとソフトの調和を図ることが必要な時代である。その意味でソフト系科学技術が果たすべき役割は大きい。

1. 5 科学技術の全体的な展開動向

このようなソフト化の思潮は、社会・経済の領域で生じているばかりでない。科学技術の分野でも、その進展傾向や対象の扱い方、問題の設定の仕方などにソフト化といえるような変化が生じている。

科学技術の進展についての近年の特徴的な傾向として、相互に関係しつつ今後の科学技術の新局面を導く三つの軸を認めることができる（科学技術会議11号答申）。

- 1) 科学技術の緻密化、高機能化の進展
- 2) ハード中心の科学技術から知能化、総合化等ソフトの比重を高めた科

学技術への移行

3) 科学技術と人間との関わりあいの強まり

社会及び経済からの要求の高度化、多様化に対応して、成熟の度合いを高めてきた科学技術は、これまでのハード的なものを中心とした展開から知識、情報をはじめとするより知的なものを重視した展開へ移行しつつあるという認識が共通のものとなっている。ここでは状況・雰囲気等のより高度な情報の処理や生物機能に学んだ生産社会システムの摩擦を図る技術への関心も高まっている。また、この際に科学技術の高度化に伴うその社会への適用に際して起こりうる諸問題をできるだけ事前に解明・解決するような方向が求められている。例えば、今日でいえば、急速な環境変化への人間の対応や原体験機会の減少による人間の基本的機能へのインパクト、ライフサイエンスの展開により現実化した人間の尊厳あるいは倫理との関係などをよく検討し、人間や社会との新たな調和ある関係を求め、より人間を重視し、それに立脚した方向で科学技術を発展していくことが求められている。

科学技術のもつ潜在的な可能性を引き出し、これを人間及び社会にとってより良いものにしていくためのソフト技術の発展を図る等、全体としてハードとソフトの調和のとれた科学技術にしていく必要性は、さまざまな角度から唱えられている。

とくに近年では、ハード中心の科学技術に対する批判が、公害や人間疎外などの科学技術の「利用」形態に対する批判のみならず、認識体系としての不完全さに対する批判と重なって強まっている。個別の学問体系でも、進化論や生命の発生・分化についての生命科学のみならず、ミクロの量子論からマクロの宇宙論に至る多様な分野で新たな仮説が提唱されている。これらと軸を合わせて一種の監視、すなわち、部分と全体の関係の見直し、隠された摩擦や超越的現象への解明、意識の構造の解明等への強い関心をもつ各種のニューサイエンスも広く知られるようになってきている。「もの」と「エネルギー」に偏重したともいえる科学技術が人間の「こころ」をどのように自らのパースペクティブの中に取り入れるかという点で新しいパラダイムを検索し始めていることは確かな歴史的評価といえよう（ソフトノミックス・フォローアップ研究会『科学技術の歴史的展望』1985）。コンピュータの出現は「もの」言語の中に「こころ」言語を登場させたとも言え、「意識」的現象やその記述表現を従来の科学技術領域のように拒絶しない状況となっている。

情報化の進展する今日、「情報」が人間的概念としての「こころ」に関わる

「意味」の問題をぬきに論じられないという点で、科学技術がどのような展開を示すかは文明史的にも重要な影響があろう。

以上のような、ソフト系科学技術が直面し、基盤となっている条件の変化は今後のソフト系科学技術の全体像の形成に強く影響していくと思われる。

1. 基盤的条件の変化－情報処理・通信技術の革新
2. 期待する諸課題の変化－創造的環境適応－戦略性へ
3. 問題解決への「合理的」取組みの経験の蓄積－成果と新たな批判課題
4. 背景としての文明史的ソフト潮流－高度情報社会の経済社会・文化
5. 科学技術の全体的な展開動向－ソフトの比重の高まり

第2章 ソフト系科学技術の新たなフェーズと構成

2.1 史的流れにみるソフト系科学技術

(i) 70年代初めのソフト系科学技術

ソフト系科学技術は、我が国では70年代初めに強い関心を集めて登場した。

この時期は、いわば複雑な政策課題に対して工学的アプローチ、とくに数学モデルによる問題の解明と解決策の検討に新しい期待が生まれた時期である。

これは、第2次大戦での作戦研究等で誕生したオペレーションズ・リサーチ(OR)などが、戦後さらに展開し、目標・評価基準の明確な「人・資源からなるシステム」の運用方法の革新をに貢献してきたためである。システム分析(SA)などが、政府・企業経営など特定の分野で、複雑な意思決定を要するケースにも有効性を認められ、インダストリアル・エンジニアリング(IE)など独立分野群を生み出しつつ、欧米で活発にその適用が試みられた。この成功の基礎には、システム的な見方、システム工学の確立がある。

さらに、社会工学等の提唱の背景には、学問的には、工学分野での著しい進歩に対し、社会についての認識と実践の立ち遅れという自覚があったといわれ、これらが、社会についてのモデル構成と社会変革の方法の改善が工学モデルによって可能になるであろうという期待をいだかせていた。

また、これらの背景には、人類にとって未経験な大規模システムの開発を試みた米国における巨大プロジェクト、例えば50年代のミサイル開発プロジェクト、60年代のジェミニ計画からアポロ計画へのNASAプロジェクト等の遂行経験の中で、数々のプロジェクト管理技術(技法)が生み出され、日程管理や資源管理、さらには評価・計画化等の高度な知的技術群が、実用化されてきたといった点が指摘される。

こうした一連のアプローチ・方法・技術に関して、我が国での普及・開発が遅れていることに“ソフト・サイエンス・ギャップ”として、危機感がついていた。科学技術庁内のソフト・サイエンス検討委(71年)、三ヶ年にわたる「日本型科学技術開発システムの基本設計」調査研究(71-73年度)はこの頃取り組まれた。社会的にも、主に文献的にこれらの海外成果(提言レベルのものも含まれる)の吸収が図られ、予算管理上のPPBSや開発管理上のPERT等の手法導入は一部ではブームのように試みられた。

(ii) 70年代以降近年までのソフト系科学技術

70年頃から我が国では、「技術進歩＝成長」プロセスで発生した社会問題、例えば資源・エネルギー・環境・都市問題とその結果生じた多種の係争問題に直面し、問題解決を指向するとされたソフト系科学技術に対して強いニーズが向けられた。海外での社会開発プロジェクトもその解決モデルとして盛んに紹介された。国内的にもNIRAの設立やシンクタンクの活発化、国際的にもIIASA等の機関の設立があった。

問題解決のためのシステム・モデルを前提とした予測・評価・計画などの手法は定着改良され、環境アセスメント、テクノロジー・アセスメントが試みられ、多くの成果を生み出した。特に、漸くオンライン化段階にも入りコンピュータの実用的利用が広く可能になったことを受けて、社会の多様な局面でソフト系科学技術の利用経験が積まれた。OR関連の方法も数学的モデルを広く解釈し、数量・数式が用いられなくともグラフ・表・数学的思考法を応用し深化する試みも始められるようになった。一連の数理科学的アプローチが精緻化した。なお、70年代には米国NASAでは、概念設計とフイージビリティ・スタディの技術が定着した。

こうした進展にも拘わらず、近年のソフト系科学技術の歩みは、むしろ問題把握・問題解決の困難さが明らかとなる過程でもあった。

例えば、対象が人間・組織・生態を含む複雑なシステムであるのに対し、これらの理解の不足や、モデル構成・分析上の制約から擬似的に工学システムを援用していたのが実態であり、十分な実用的アプローチには至らなかったといえる。一方、数量化の進み易い分野は膨大な数式処理に入り、複雑さを増した結果、高コスト化したり、意思決定上、分かり易さや使い易さを失う傾向をもみせ、ソフト系科学技術のイメージ低下をもたらした。

導入された技法群は、その活用環境の差異等に基づく困難さに直面し、一部は定着したものの、大部分は現場で個別の工夫をされ具体事例・個別組織に経験的に分散蓄積する、ないし、その制約の大きさや過度の複雑さから姿を消した。コンピュータ技術もまだ成熟しているとはいえない難しいハンディキャップもあった。紛争解決に際しても、合意形成をはじめとする人間・組織等の行動メカニズムの把握と調整には、非合理的側面を含む人間行動の深い理解が必要であることが明らかになった。

こうした事態から、例えば、一部で政策科学・社会工学の終焉が唱えられる程、オプティミスティックな態度は消え去った。ひき続き発生する政策課題や

合理的アプローチの遅れた分野ではなお、開発された方法論による基礎的な解明は進んだが、とくに方法論・技法の精緻化にむかう研究者は激減し、より基礎的ないし伝統的な分野への展開回帰が認められてきた。

社会的にはオイル・ショック後の不透明な時代に突入して、不確実・あいまい・不連続な環境への適応が問題となりはじめた。国際協調と国益重視の微妙なバランス状況下で国際的地位を高めた我が国では、多くの局面で先行指標のない課題が生じはじめ、いわば、ソフト系科学技術に直結した期待のある試行錯誤が繰り返されるようになった。目標創出型・システム合成的なアプローチが重要となり、戦略指向、プロセス重視、パフォーマンス重視の傾向が強まっていることもその一例といえよう。

(iii) 今後のソフト系科学技術

ソフト系科学技術は、前述のように、蓄積・深化と一方での制約の明確化という面をのぞかせながら、取り扱う課題と手持ちのツール群を拡大しつつ今日に至っている。

近年の動向の中で、今日と将来のソフト系科学技術に従来以上に決定的にインパクトを与えつつあるのが、コンピュータを中心とする情報処理通信技術の“革命”である。超高速大容量のスーパーコンピュータの実用化、タイムシェアリングやパソコン形態の普及はソフト系科学技術の活用条件を全く変え、知的情報処理、データ・ベースやネットワークが関心をもたれている。

この“革命”過程で、インパクトを相互に与えつつ急激に進展したのが、思考・行動の解明に関する「ABCサイエンス」、すなわち、人工知能・脳科学・認知科学等の成果である。これらは方法としても大きな展望を与えるものである。行動・組織・社会・国家等の本性に係る知見も各分野で蓄積されており、今後の問題解決・意思決定をめぐる総合的な方法を予感させるものがある。

すなわち、目的そのものの創成、人間を含む複雑な「自己組織的システム」の構造と挙動の理解、「設計（概念創造）に対し、科学的・総合的な取り組みを本格的に開始する時代の曙光が見え始めた」といってよい。また、従来科学的アプローチが拒まれていた多くの分野、すなわち「創造的な行為」、「問題発見やアイデア、デザイン発想のような思考過程の初期段階」、「戦略形成のような組織・社会の問題解決・意思決定上の基本的な枠組みを定める段階」等に対し、ソフト系科学技術によるアプローチがなされ、また、その成果の新たな活用分野が広がる展望が生まれてきている。もとより、人間そのものの理解につながるこうした研究によって、直ちに核心的なところへ肉薄できるものでは

表2. 1 ソフト系科学技術の中心領域のシフト・イメージ

	第①フェーズのソフト系科学技術	第②フェーズのソフト系科学技術	⇒	第③フェーズのソフト系科学技術
代表的課題	～'60's 未経験の大規模システムの建設 (アポロ計画)	'70's～ 資源・環境問題への対応	⇒	'80's後半～ 創造的な行動 知的資源の開発
ソフト系科学技術の対象	目的が当初から明確な、 複雑な技術・人工システム	目的(目標水準)の調整の可能な、 環境を含む複雑なエコ・システム	⇒	目的そのものを創成する、 人間を含む複雑な自己組織的 システム
ソフト系科学技術の 目ざしたもの	効率的に(投入資源量を最小に) 目的を達成するための管理手法 による最適化 (戦術の選択)	システム・モデルに基づく計画・ 予測・評価技術による対象への 取り組み方式間の調整 (システムの選択)	⇒	戦略的な目標の設定に基づいた 構成要素の組織化 (戦略の選択)
基盤技術としての の計算機	本格実用化	バッチからオンラインへ 集中処理から分散処理へ	⇒	エンドユーザー指向の複合分散処理 知識情報処理へ
成 果	・OR、IE、システム工学 ・ブレストリング、デファイ法、関連樹木 法・マトリクス手法、ネットワーク手法・シフト法、 創造手法 PERT, CPM, PPBS PATTERN ・モンテカルロ法、多変量解析、因子分析法 ・線形計画法、動的計画法・待ち合わせ 理論、ゲーム理論 ・Industrial Dynamics (ID) Urban Dynamics (UD)	・SA、システム分析 ・ISM、DEMATEL、価値分析 グラフ理論、システム・ダイナミクス ・World Dynamics (WD)	⇒	人間等に対するより深い理解に基づく 総合的なソフト系科学技術 (社会学・政策科学・広域科学の 新展開) (人工知能) (知識・創造工学)

ないが、今後のソフト系科学技術の目指す方向とはいえそうである。

これらの動向をフェーズ表として大勢を示したものを表2. 1に示した。第3フェーズは、いわば今日的な課題と将来的な課題を含んでいる。また、いうまでもなく、第1フェーズ、第2フェーズの取り組みや方法のブラッシュアップは依然として大きな学問分野として研究され、成果の有用性はいうまでもない。

2. 2 ソフト系科学技術の基盤・関連分野の構成

(i) 学問分類の困難な時代

科学技術の分類については、近世までには世界の秩序を示す世界観や、人間の認識能力を整理するものとして、大いなる関心をもって種々の検討と提言がされてきた。しかし、今日では学問は効率化を図るため研究領域・方法を限定した、「細分化、専門化」が進行するとともに、「相互浸透・融合化」も進行している。そもそも独立したdisciplineを掲げる学問は自らを体系化するため周辺のものを取り込もうとする論理をもっている。さらに学問間でインパクトを与えあうレベル群も錯綜している。このため従来のような対象・方法の単純な階層構造によって分類できるのは、典型的な伝統的分野に限られるようになってきている。一方で課題対応的な学問や技術の発生がある。OR、QC(品質管理)、SE(システム工学)、行動科学などはその例であり、最初は目的指向、問題解決型であるが、当初の成功のあと、方法の確立、原理の追求のスタイルを共通のものとし、disciplineの確立した学問の形式になっていく傾向がある。

また、新しい学問の誕生の際には、関連の既存学問の成果を基本的には継承・再編する形をとるため、既存の学問体系の中に明瞭な形では位置づけにくい。さらに、新しい学問ではその中心のシフト、境界の移動が活発であり、内包的な定義になじまないことが一般的である。ソフト系科学技術関連の学問はとくに新生期のものや、新たに再編されて成立したものが多く、その傾向が強い。

個別の学問分野自体の構成も、各分野との相互作用や方法・対象の特化で広い分布をもっており、旧来のまとまりの中で、あるいはその周縁で多彩な動きをしている。

したがって、今日の科学技術を単純な次元のイメージで捕らえることは、特に困難である。さらに、ニューサイエンスをあえて正面から据えなくとも、一方で近年の多くの学問群で生じたパラダイムの転換や目的論の復活などの中で、

諸科学は再編を迫られつつある。また、情報概念の通底やサイバネティクス等の提唱を経て、今日、哲学を中心に新しいグランド・セオリー構築の兆しがみられ、困難な諸学の総合化・統合が新たに試みられる基礎が形成されてきている。ソフト系科学技術の位置づけは一層困難になっている。すなわち、今日は学問分類が困難な時代ということが出来る。

(ii) ソフト系科学技術のが既存学問の構成イメージ例

しかし、今日のソフト系科学技術については、関連専門家の中に共通のイメージの重なりもみられる。その動向を俯瞰する作業の前提としても、学問レベルのソフト系科学技術の基盤・関連分野を構成する既存学問のイメージを仮に簡便な形でまとめておくことは、問題の整理の一助とはなると思われる。

そこで学問レベルのソフト科学技術の構成イメージを図2. 1に示す。同図は、人類の知的ストックとしての科学技術の多くの切り口のうちの一つであり、「方法」と「対象」の軸での区分をアレンジしたものである。。これは「ソフト-ハード」の軸で科学技術の諸分野を配置してみた場合の、ソフト寄りの切断面であり、これにソフト側にある構成科学技術をも投影させたイメージを示している。

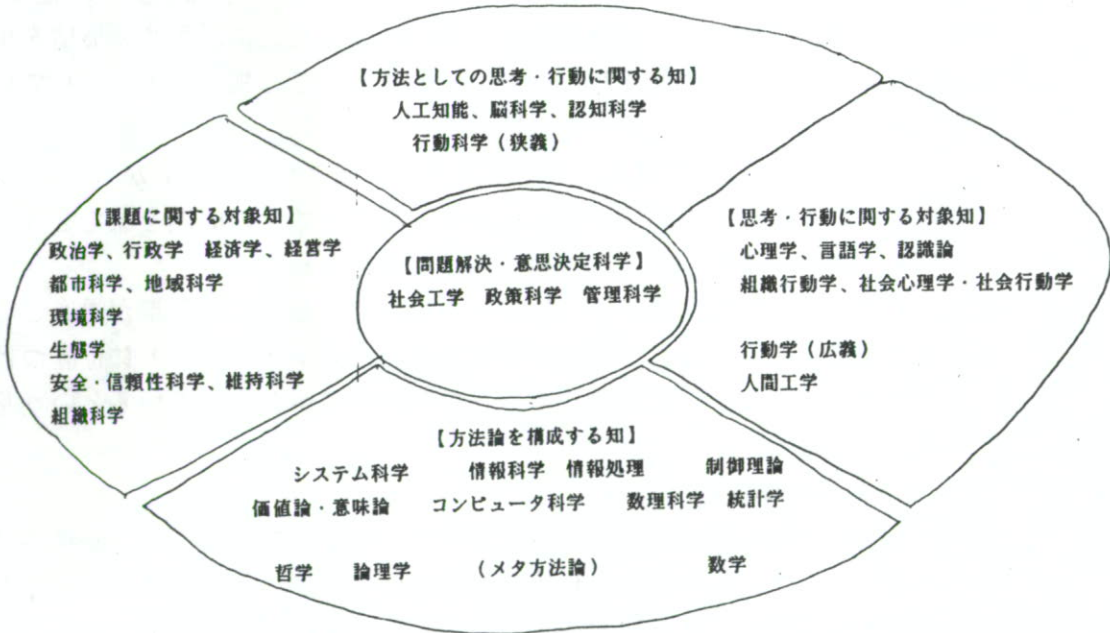


図2. 1 ソフト系科学技術の既存学問構成イメージ例

これらは前節の、また後述する関連学問動向にみられるダイナミズムとの兼合いでとらえることが必要であり、こうしたスタティック（静的・固定的）な整理は便宜上のものであり、留意が必要である。

ソフト系科学技術を構成し、また関連している科学技術群を区分するために、同図では、学問領域を5つに大区分し、平面内に再配置して表現している。

1) 対象をシステムの・情報論的に把握する方法を主体とし、かつ、価値論・意味論・意識論といった社会科学での伝統的な把握方法を組み込んだ「方法論学問」の区分がある。

これには、方法論を基礎づける、ないし、汎方法的なものを含んでいる。

2) 主に対象の解明に即した学問領域として、問題の解明にあたり、その対象知を活用する源となっている領域があり、これが「問題に関する対象知」にあたる区分である。ソフト系科学技術による支援の期待される問題領域の、関連する対象や問題の理解に役立つ内容を包含している。

3) とくにソフト系科学技術が課題レベルで利用される場合には、この「問題に関する対象知」のうち、個人レベル・組織集団レベルの人間の「思考」「行動」の本性の解明につながる知が有力な働きをする。とくにこの部分の領域を取り出して「思考・行動の解明に関する対象知」として区分する。

4) さらに、この「思考・行動の解明に関する対象知」は、近年の進歩の中で知的情報処理モデルの提起など、新たに方法論的に活用する展望を生み出している。方法論に転化した思考・行動についての知を「方法としての思考・行動の対象知」としてさらに区分する。

5) なお、とくに「問題解決・意思決定を指向した学問」群があり、これは各区分の学問的成果を目的的・総合的に援用してその機能を果たそうとしている。課題対象的学問とでもいふべき特徴をもっている。

図2. 1の5区分間の関係では、外周上の相対する2組の学問群が通底していることに留意したい。なお、同図の学問名は、その全体がソフトに位置づけられるのではなく、各々の固有の比率でソフトの内容が含まれているという意味での例示である。

(iii) ソフト系科学技術の類型

ソフト系科学技術は上述のように既存の多くの学問群にわたって基礎づけられているが、ソフト系科学技術自体を横断的にみると、その対象の性格と方法・アプローチから大きく三類型することができる。これは、歴史的な登場の順番とも符号しているが、各々今日も固有の研究領域が存在している。

第1は、自然ないし自然法則に支配された人工的構成物を対象とするが、これが複雑・多様化する中で、構造や機能の把握、設計や運用が困難化したために生まれた。システムティックなアプローチを行う一連の数理的学問群で構成されている。

今日でも宇宙や情報通信を舞台とした巨大システムや地球規模の環境問題などを対象に、その自然工学的システムズ・アプローチの精緻化が図られている。

第2は、第1の自然科学・工学的な方法・観点をもって、人間や社会現象を含めた広い対象にアプローチしようとする、境界領域の知的科学技術である。自然科学・工学システムによるアプローチは、システム全体の目的・境界・構成が明確にでき、各構成要素の関係を客観的に定式化できるものであるが、このシステムと同様な概念で、構成要素に人間を含み、その集合としての行動や判断によって状況が変化するような対象を、把握・定量化しようとする指向をもっているところに特徴がある。第1類型のソフト系科学技術の成果をもとにスタートしている。

対象は、もちろん工学的システムとしてとらえきれないので、工学的システムの特性として扱えるように、対象を自然科学的な実体を類比させて表現する。

第3は、人間や社会を含む対象が情報可塑的であることから、工学的システムズ・アプローチに本質的な限界のあることをふまえ、対象のもつ情報可塑的特性も含めて扱おうとするアプローチである。対象に対するシステムの視点を他の類型と同様に基本としているが、分析にあたってその構造、機能、プロセスなどについての表現を各方面で発見的 (heuristic) に探索中であるのが現状である。これまではコンセプチュアルな分析事例が見られる程度である。

しかし、この類型は、人間の思考や行動の解明の深まり、あいまいさ、不確実さ、不斉合さ、不完全さを扱う理論の展開、さらに数々の知的情報処理モデルの提起ととりわけコンピュータを利用した検証等の成果をうけて、急速に成長しつつある。

これら3類型に区分したソフト系科学技術の特徴を大略的に示したものが表2.2である。ここには学問レベルのソフト系科学技術を、対象や方法論上の特色で区分した内容を略示し、合わせて方法の例、当面の課題例を記した。

表2.2 ソフト系科学技術（学問レベル）類型

	対 象	方法論上の特色	方法例	課題例
第1 類型	自然や(自然法則に支配された)人工物で、複雑・多様なもの (確率的不確かさを含む)	自然科学・工学的システムズ・アプローチ システム全体の目的・境界・構成を明確にし、各構成要素の関係を客観的に定式化することによって、全体の機能やふるまいを模擬する。	(分析) 制御理論 数理計画法 (合成) システム設計	地球環境モデル 大規模システム制御
第2 類型	人間や社会現象を含めた複雑・多様、不確実、あいまいなもの	「模擬」自然科学・工学的システムズ・アプローチ 自然科学的なシステムズ・アプローチで扱うように、対象(人間・社会現象)を自然科学的実体に類比させて表現する	(分析)第1類のほか 数量化理論 システム・ダイナミックス 意思決定分析 構造化技法 (合成) 組織設計	独自に開発した、 ・組織管理 ・政策分析 ・国際的数理経済モデル等の深化
第3 類型	人間や社会現象を含めた複雑・多様、不確実、あいまいなもの	ソフト・システムズ・アプローチ 人間や社会現象の、実体的存在として捕捉し難い側面を、明示的に取り扱うことをめざす	(分析) (現在ヒューリスティックに模索中であり、コンセプチュアルな分析定式化中) (合成) Checkland ソフトシステム方法論 Simon 人工物論(Science of the Artificial)	人工知能

第3章 既存の学問分野における ソフト系科学技術の動向

学問レベルのソフト系科学技術の研究は、方法論的な学問分野でも、対象論・課題対応的な学問分野でも行われている。それらは既に確立したdisciplineの中心的な部分でその動向の支配的な要素となっていたり、あるいは周縁部で独自の拠点を形成する形で、その内容・方法を豊かにすべく研究されていたりする。

これらの動向を横断的に見れば、今日のソフト系科学技術の性格を特徴づけ、将来の展開を示唆するような基本的な傾向を抽出することができよう。以下にその大要を述べるが、相互に関係しあっているものも多い。

3.1 全体的な研究動向

(1) 方法論的研究動向

ソフト系科学技術では、人間の思考、意思決定の能力を加味した情報システムの解析・設計を扱うことになるが、これらの研究対象には、内容や構造面であいまいな点が多い。すなわち、ソフト系科学技術の方法の困難さは、対象のもつ

- (i) 複雑さ (complexity)、多様性 (variety)
- (ii) 不確実性 (uncertainty)
- (iii) あいまい性 (ambiguity)

に基いている。また、研究成果を評価する評価軸自体も単純でないことから、伝統的な工学的アプローチでは解決の容易な問題は少ない。

工学システムと比較したこれらのシステムの扱いの難しさは次のようなものである。

- (a) 対象は、既に現実社会の一部として存在しており、その機能、構造が不明確な場合が多い。データの入手可能性・信頼性にも問題があることが少なくない。
- (b) 人間の集団または個人としての意思・能力が介在し、心や生理的な状態によってシステムの状態が変化することがある。そのためシステム特性の定量化が困難であり、その構造やパラメータが不安定である。
- (c) システムの構成要素は、物理的・空間的にも極めて多種・多様であり、それらの因果関係は多面的・多次的である。

(d) システムに対して研究者が任意の変化（操作）を加えることは許されないことが一般的である。

(e) システムの目的や政策効果の評価が、明確に定まらないことが多い。したがって、方法としては典型的な大規模システムへのアプローチとなることが多い。なお、価値・意識等を正面から取り入れたアプローチはまだ問題意識程度にとどまっている。

① コンピュータ、人工知能の利用

コンピュータが超高速・大容量化し、知識処理をも扱いうるようになった。タイムシェアリングやパソコンという形態で、身近で低コストで利用することができるようになった。この2つの要因がソフト関連の方法の基盤を一変させた。ソフトウェアからデータ・ベース、ネットワーク化など利用環境の革新も並行して進み、今や全ての科学技術・学問分野にインパクトを与えている。

70年代には、自然言語処理、画像処理、知能ロボット等の分野でのハード・ソフトの成果を生み出した。80年代には知識工学というアプローチとそれの中のエキスパート・システムが登場、後者はとくに、「問題解決実行メカニズム」とそのための「知識」を分離することによって、一気に汎用的な展望を与えるに至った。これらの成果は、方法論としての人工知能の姿を、現状での制約はあるとしても、広く納得せしめたといえる。

端的な計算という範囲内でも、大規模数値計画法や非線形計画法をはじめとする数理科学的アプローチや、形の科学ともいわれるフラクタルやカタストロフィ理論が応用研究者の身近にひき寄せられつつある。データ構造や算法の改善による進歩とあわせ、超高速シミュレーションの具体化は、コンピュータを共通の方法とする計算「器」科学を現実のものとし、計算に要する時間に起因する大規模モデルの制約を取り払いつつある。既に、有限要素法や多変量解析等のいわば初期のソフト系科学技術の成果はソフトウェア・パッケージ化され、誤用の危惧すら取り沙汰されている。問題解決の手段としての“計算”は、その使い方を問題とする段階に入った。

こうした中で、ヒューマン・インタフェースへの関心が強まっており、後述するような人間の知的活動の認知科学的理解をふまえて、利用者支援のあり方が深く問われることになった。「想像や創造のメカニズム」を刺激する情報・メディアの条件、デザイン・エンジニアリングやvisual thinkingの条件が具体的に模索されている。

② 知的情報処理モデルの利用

コンピュータ、人工知能の利用という前項と極めて密接な関係のある動向の一つが、知的情報処理とその方法の一般化である。

コンピュータの知的機能の向上、人間の思考過程の情報处理的解明などに基礎づけられて、知的情報処理を含む各種の情報処理モデル（数値に限らない）とシミュレーション手法の開発と活用が、多くの問題領域でなされている。非定量対象や不確実な対象へのアプローチも拡大している。これにともなって、従来の科学的方法論の主流が、演繹的あるいは帰納的な論理に基くものであったのに対して、「発見的、モデル構築型の方法論」もまた重要なツールであるとの認識が定着しつつある。

この結果、直観・イメージ・創造性・価値などにつながる知的ステップや、言語以前の情報処理、アージ型情報処理などの諸提案が生まれ、知的過程の未解明な部分へのアプローチが始められた。

こうした動向から、情報処理モデルという共通の方法論的土壌の上に、問題解決のための多分野からのアプローチ・知の集積が可能となり、各分野の成果を相互に活用しあうことを通して、人工知能が各分野を結びつけるという新しい関係が成立しつつある。

コンピュータに知的な問題解決能力をもたせるには、人間が行う問題解決過程について様々なモデルを構築し、その中で形式的取扱いが可能なものを技術として蓄積していくことが必要である。

③ 悪構造 (ill-defined) システム・不明確な問題へのアプローチ

これも、コンピュータの利用に結びついた動向の一つといってよい。良く構造化された線形システムや手続決定論的システムは、計算上の困難さのある問題を除いて、従来から取り組みの対象とされてきた。コンピュータによる問題解決においても、50年代～60年代には、明確に構造化されたパズルのような問題を主な対象としていたのに対し、60年代から70年代は、大量の意味論的情報を含んだ問題をも対象とするようになった。さらに今日では、目標があいまいであるとか、問題の系統的記述が経時的にも変化する等の場合、すなわち悪構造システム対象とする研究が注目され始めている。デザインの過程はその一例であり、シミュレーション・プログラムの作成が始まりつつある。組織戦略・政策問題等への取り組みもその蓄積の上に展望できるものと評価されている。

こうした悪構造システムへのコンピュータを介したシステムズ・アプローチとしては、大略二つの方向があるが、本質的にはコンピュータとの対話が想定されている。

一つは、現実の悪構造システムと、従来からシステム技法の対象として適していた良構造システムとのギャップを、人間のもつ発見的能力 (heuristics) によって埋めようというアプローチである。対話的なコンピュータの利用による対話型のシステムズ・アプローチである。

もう一つは、第5世代コンピュータに象徴されるコンピュータの知的機能の拡大とパーソナル化を背景とし、問題解決の各ステップを人間 (専門家) とコンピュータとの対話の繰り返しによって行い、人間のもつ強味とコンピュータのもつ強みをうまく組み合わようとするアプローチである。この場合、人間の知識は部分的であるにせよコンピュータ・システムに移転され、代行される。また、不明確な現象や問題を、そのまま正面から扱うことを試みるファジィ理論のようなアプローチも、各ステージで具体的に展開している。従来このような問題は、明確で扱いのよくわかっているモデルで近似的に表現したり、大規模複雑システムを幾つかの単純なモデルの組み合わせで近似的に記述することによって取り組まれてきた。これに対して最近では、一層的確な意思決定や最適設計・制御を行う必要から、より“正確な”モデルが模索されている。

情報における不確実性の取り扱いについては(i) 数値的不確実性尺度の導入、(ii) 非整合情報のもとでの推論 Hypothetical Reasoning、(iii) 不完全情報のもとでの推論 Default Reasoning、などの処理方法が提案されているが、未だ確立された体系はない。今後の課題である。

つぎに、対象論・課題対応的学問動向の中で方法に関連する特徴を特記しておく、以下のようになる。

④ 「自己組織」的観点の導入

多数の要素からなるシステムに、自律的な自己形成能力によってマクロな構造や機能が付与されたとみなされる現象を、自己組織化現象と呼ぶが、近年、知識体系や社会組織、神経回路網を含む生物系、非生物系を問わず、多くの学問領域に共通したキー・ワードとなっている。ホロンのようにアナログ的な濫用のおそれを指摘する声もあるが、いわば要素還元的な観点に対し、横断的で全体的な観点を強く印象づける契機となっている。

「自己組織」に関する議論は、自己言及に関する論理学・数学の、また、組

織化上の秩序・無秩序関係に係る散逸構造論・シナジェティクス、あるいは自己再生・自己増殖のモデル、さらに自己相似の概念からフラクタル・カオスに関連している。特に、目的創出・体现システムは、戦略・学習等の中心概念の一つであり、現代組織論や集团的・社会的システムでの学習過程による問題解決論などの中心概念となりつつある。

なお、自己組織性を典型的に表象させる生体システムは、恒常性、動的平衡、最適性と適応性、非線形性、リズム等々の特性をそなえることから、今後、システム論、非線形理論等を発展させていく上で問題の宝庫ともいえる。

⑤ 着実な事例調査、有効なサブシステム構築指向

社会工学や政策科学などの分野では、70年代前半まで、システムティックなアプローチによって問題解決にあたれるとする楽観的な認識を反映して、包括的な一般理論、グランド・セオリーの構築を指向する傾向が強く、少なからぬ研究の焦点がそこにむかっていた。しかし、その困難さを経験して、現在は着実な事例調査を積み上げ、これをベースにフレームそのものを見直そうとするアプローチが主流のようである。くわえて、政策立案・遂行主体との関係も問われるようになっている。現実の調査研究に際しても、基本的なデータの入手自体に最も大きな制約のあることが多く、データの信頼性、データ・ベースの構築とその構造への関心が従来以上に強い。また、数量化理論や数理統計学の支援を受けて、仮説検証型から構造探索的な解析手法をも駆使した対象認識が進められている。

また、企業内での意思決定支援システムにおいても、当初の“理想的”な情報トータル・システムへの指向から、実践的かつ地道なサブ・システムへの関心が強まっている。経営における意思決定に関するマネジメント情報の提供をコンピュータによって体系的に行おうとするMIS (management information system) は、米国において70年頃から、我が国では75年頃から急速に関心を喪失させた。その原因としては、各階層によって必要な情報の質と量が異なっているという事実の認識に混乱がみられたこと、意思決定の多段階のモデル作りが明確に行われていないこと（そのため経営常識と一致した最適解も与えられなかった）、蓄積データが過去のもので未来状況が反映されていない一方で、データベース化に膨大な労力を要したこと等が指摘された。これらの背景には、経営に関する意思決定をコンピュータに依存する程には、予測理論や数学モデルの構築が進んでいないことがあげられよう。

今日では、TSSやパソコンの普及を受けて、意思決定者（とくにトップ・マネジメント）自らの働きかけで作動する対話型のシステム、DSS (decision support system) が提唱され、OA (office automation) の構成要素として80年代に入って注目されている。ここでは、意思決定者にとって真に有効な情報提供のあり方が検討され、MISにみられるような「言うは易く行うは難し」的なトータル・システム指向から、実践的なサブ・システム構築へと関心がシフトしている。その中で、定型的なプログラム化された管理情報は、既にソフトパッケージ化してきている。

これらの動向は、あえていえば、当初の楽観的な原理・アプローチへの信頼から、具体的経験を経て、堅実な事例研究蓄積へと、いったん基礎に立ち返った段階ともいえよう。

⑥ 適用対象の拡張

実験計画法や品質管理等の領域でも、基本的な手法や技法には大きな革新がみられないが、適用領域の拡大が急速になされ、経験の蓄積が行われた。実験計画法では、割りつけやデータ解析の方法は基本的に変わらないが、対象が製造過程から製品開発や設計管理に拡張した。品質管理でも、統計的品質管理として生産管理にシフトして用いられていたが、品質管理概念の拡張と、とくに日本企業での全社的な取り組みの中で、トータルQCとして展開し、対象・体制ともに拡張することとなった。これらの例は、最近のものではないが、手法・技法が確立するとともに生じた一般的な傾向である。

(2) 対象・課題対応的研究動向

A. 基礎的学問動向からのインパクト

ソフト系科学技術の重要な基礎的对象の一つとして「人間」がある。システムにおいて人間が関与する場合、1) システム設計者、2) システム分析者、3) システム利用者、4) 機能負荷体としてのふるまいをするが、それらの場合に人間（個人・組織・社会）の「思考」、「行動」をどう把握・表現するかに係る知見が急速に蓄積し、この上にソフト系科学技術の新たな可能性が生まれている。

① 人間の「思考」の解明の進展

近年最も劇的な進歩を遂げているのが、人間の知的機能の解明に関する分野

である。いわゆる、ABCサイエンス（A：人工知能 Artificial Intelligence, B：脳科学 Brain Science, C：認知科学 Cognitive Science）や情報の論理構造の具体化を図る情報科学は相互に影響しあいつつ、今後一層「思考」の全体像の理解にむけて着実かつ急速な展開を行うと期待される。

人間の思考法の分析自体は、人工知能ひいてはそれを包含する情報処理技術が形成される以前から、心理学その他の人文科学分野での研究目標とされてきた。しかし、人間の知的機能の一部を情報処理の観点から明らかにしたのは、これらの蓄積と神経生理学の進歩とともに、何よりもコンピュータの登場によっている。

極めて原始的ではあるが知能機械的な性格をもったコンピュータの登場とともにスタートした人工知能（AI）は、人間の知能あるいは思考過程の分析を通じて、類似機能を機械的に実現することを目的としている。AIは、コンピュータが実務的情報処理の面で大発展したのに対し、楽天的予測と挫折の繰り返しの道を歩んだ。例えば汎用の問題解決機を一挙に実現しようとする夢から、知識や自然言語など自然情報を分析し、ごく一部分にせよ再構成してみるという着実なアプローチをとりうるようになって実用との接点をもつようになった。AI研究は、自然知能の解明のための一つの方法論であり、ここでコンピュータは知的モデルのシミュレーションの手段になった。これが、従来神経科学や神経心理学、認知心理学、言語学、情報科学などに分散していた関心を統合した認知科学を生み出す契機となった。

認知科学は、認識に関する経験科学を指向し、「認識の情報処理機構」に関するモデルを構成するアプローチによって思考に関する諸現象に新しい説明を与えた。認知情報処理モデルには、数理的方法、神経回路網モデルを構成する方法、知覚・運動系のモデルを構成する方法、さらには並列分散処理モデル等、また記号処理レベルでの種々の知識表現、学習・計算モデル等が提案され、強いインパクトを与えている。現在では、知覚、記憶、思考、言語からさらには情動のような問題を含めて新たなモデルの研究が行われている。70年代後半より、一般的な問題解決法ではなく、各分野の専門家（エキスパート）がもつ知識を扱うことになって「知識工学」がスタートした。特に、問題解決法を実行するメカニズムと問題解決用知識を分離し、エキスパートの行動にみられる直感や判断という現象の説明を行ってきた。知識工学は、分析、設計、意思決定など現実的諸問題の解決において、専門家のもつ知識をコンピュータに内部表現し、推論プロセスの相当部分を代行させ、人間とコンピュータとの対話を高

知的レベルを引き上げる新しいコンピュータ利用技術の開発をめざすものといえる。

人間がこうしてコンピュータという人工の頭脳を得、しかも広くアクセス可能になったことは、新しい社会の出現を意味し、壮大な「思考」の世界を形成し始めたことになる。したがって、人間-コンピュータ系を含めた「思考」の解明と設計へと発展することとなろう。

ただし、こうした展望は人間とコンピュータとのコミュニケーションの自由さが前提であり、現状では人間側の研究が著しく不足している。当面は機械的アルゴリズムがわかっていない高度な知的機能の解明が期待される。

これらの知的ベースを提供している人間の意思決定・問題解決過程の解明についてはおよそ次のような展開がある。

ごく最近までの認知科学や人工知能の研究のほとんどは、どのように知的システムが動くかという関心にもとづくものであったが、ここ5年程は、どうしたらシステムが知的になるか、という学習の問題が関心の一つとなってきた。学習のメカニズムに対する有力な仮定には、コネクショニスト仮説(ネットワークの相互連結の強さの変化)や適応性のあるプロダクション・システム(既存プログラムに付加する新しい命令生成)がある。

(i) 評価・選択

人間の知的プロセスの中でも意思決定にかかる評価・選択についての研究は、従来主に経済学、統計学、ORの領域においてなされ、これらを基礎に、「主観的期待効用 (subjective expected utility)」の理論として洗練された、選択についての数学的モデルを確立させた。これは、複数の目的を最もよく達成せよという要求に対して、制約条件が明細に記述され、選択可能なものと結果(あるいは、その確率分布)が既知であるという仮定の下での合理的選択を支援する強力な推論ツールとして発展し、応用範囲が拡大した。

しかし、複雑な現実世界では、こうした合理性については、コンピュータの進歩にも立ちほだかる計算の複雑さや、これらの仮定に含まれる情報の条件が厳しすぎることから、有効な舞台が少ないことに徐々に関心が向けられてきた。時間経過に伴う評価基準の変化等なお本格的な研究が必要なものも多いが、より現実的な意思決定プロセスの解明が進んできた。

人間の合理性に制約があることは50年代に既に強調されたが、近年経済学分野で、市場や投資行動のより現実的な理解のために、選択に関する新しい仮

定を立てる試みがなされてきた。例えば、最適化という目標に代えて、サイモンの提唱する満足化 (satisficing) —— 明確に示された念願水準への到達、という新しい仮定の導入による新しい経済学の体系化がなされた。

また、近年、選択の理論についての心理学的アプローチがようやく活発化し、同様に主観的期待効用の理論を補完する一連の重要な研究がなされてきた。ゲームの理論の領域では、例えば、「囚人のディレンマ」をはじめ広範な経験的研究が進められ、変則的な人間の選択を説明するモデルが提案されてきた。

不確実、不整合、不完全な情報下での人間の選択についての過去10年間の経験的研究の蓄積は豊富であり、選択に関する一般的な経験則が集められている。この中には、人間の錯覚や心理的傾向による歪みを生むヒューリスティックな事例が数多く含まれている。今後これらを総合して、経験的に見出された意思決定の理論にまとめるという膨大ではあるが興味深い課題が残されている。これらの結果については、人間行動の現実的モデルの作成にも貢献するものと期待される。

(ii) 問題発見、目標設定、行動計画

人間の問題解決プロセスである問題発見、目標設定、行動計画は、従来から主に心理学サイドで研究され、最近では、前述のような人工知能研究者によっても研究されるようになった。

実験室的な思考実験研究や、専門家の実践プロセス研究、あるいは科学的な問題解決プロセス研究等の経験的な研究から、現在では、幅広い知的活動に適應できる記述が可能になってきた。

問題解決は、一般に、可能性のある解の膨大な集合の中から、高度に選択的な探索を行うことによって進められる。これは網羅的な探索ではほとんど不可能であり、探索をガイドするヒューリスティクス (経験則) を用いて行われる。その第一は、「丘のぼり (hill climbing)」であり、それは、次のステップを見とすすのに最も有利な場所を決定するための方法である。第二には手段-目的分析 (means-ends analysis) であり、現状と目標 (goal) を比較し、その違いを減らすための行動を求めて記憶を探索する方法である。また、第三には、とくに専門家 (expert) による場合のように大量の知識に依存した方法である。この知識は記憶に蓄えられ、問題解決者が、関連を合図する契機を認知したときに、いつでも呼び戻すことができるようになっている。現代の問題解決理論の一つは、こうした専門家の知的活動に見られる直感や判断という現象の解明

が進んだことである。これが前述のエキスパート・システムの開発へとつながっている。

なお、重要なことは、問題解決の一番初めの段階の理解が最も遅れていることである。すなわち、問題がどう提起されるか（そして提起されるべきか）、そして、問題が明らかにされたら、その解決のためにどう表現されるか（フレームづけ）ということの解明である。これらは強いニーズのある問題発見法やCAD等の設計支援ツールの進歩を支える基礎的な知識を構成している。

なお、この段階に最も関連する創造性については、認知科学でも未開拓な分野であるが、次の三種の情報処理過程が関与しているといわれる。第一には、研究の歴史は古いが「発見法」とよばれるルールの適用である。これは探索の手続きであって、対象領域に固有な知識の内容についての吟味ではない。第二には「説明機構」であり、ものごとを納得するために、既有知識との一貫性を見出すプロセスである。納得状態にはいろいろなレベルがあり、創造性の高い人はこの状態が深い。第三は「質問生成機構」であり、より深い納得状態を得るための「問い」の生成である。

② 行動の解明

人間および動物の行動に関する科学的研究を指向する行動科学は、ソフト系科学技術に対する知的関連を考える場合には、特に、広い意味での行動諸科学（behavioral sciences）である。これは未だ単一の科学としては成立せず、行動（behavior）を扱う諸科学——心理学、社会学、文化・人類学、教育学、言語学、人間工学、精神医学、また生物学や生理学、さらには政治学や経済学・経営学まで関係する広範な領域にわたる科学群の学際的な領域といえる。これらの行動を扱う個々の科学は、専門によって対象も異なり、当面問題としている行動のレベルも異なっている。近年、これらの学問の中で、行動に対する知見の蓄積が成長し、幾つかの領域では行動についての革新的な概念が提起されつつある。

行動科学は、米国において50年代の初めのフォード財団の行動科学部門の設置以降定着したが、一定の方法論・態度を前提とする運動の性格を帯びていた。これが近年まで主に三つの傾向をもった流れとして展開されてきた。

すなわち、一つは既存社会科学領域の科学化であり、経営学におけるモチベーション理論等の成果を生み展開中である。行動を一定の方向にむけて発動し、推進し、接続させる過程、ないしは、それにかかわる機能全体をおおまか

に示す「動機づけ」については、行動の範囲や種類あるいは性質によって、その要因の範囲や種類についての見方にバラエティがある。さらに研究者によって動機づけ要因に関する用語も異なり、統一的なものが得られていないのが現状である。しかし、動機づけ観は、大まかにいえば、生得的、生体内発生的・エネルギー賦与的な要因に重点をおく見方へと移行しているといえよう。機械的アプローチが行動の決定因を刺激-反応としたのに対し、有機論的アプローチは思考と情緒が行動の決定因として、認知的・情緒的過程を重視したことになる。

また一つは、意志決定者としての人間の行動の科学の構築であり、これも、特に経営学における近代組織理論、すなわち組織を意志決定のシステムとみる組織観と結合して展開した。特に十数年来の不確実、不整合、不完全情報下の人間の選択についての経験的蓄積は、新たな理論化のベースとなるものとして期待される。これは、特に前項にも深く関連している。

第三には、行動の観点からの統一理論の構築であり、これは今日になってその見通しを論じうるようになった。すなわち、社会的存在としての人間のふるまい（社会行動）、精神的存在としての人間のふるまい（意識行動）、自然的存在としての人間のふるまい（生体行動）の統合である。ここでもキーとなっているのは意識行動についての認知的アプローチの進展である。

こうして最近では「行動」という概念をもとに、統一的な、社会性のある事象を取り扱う必要が強調され、諸科学間で学際的な研究活動が徐々に始まりだしている。従来の行動科学のみならず、社会科学（人間科学）・哲学的人間学等のアプローチも重要な要因として、人間を含めた行動研究の総合化が唱われるに至っている。

従来のこうした研究の直接的背景となったのは、心理学とくに比較心理学や行動心理学から発展した行動理論ないし行動学 (behavioristics) と生物学から発展した比較行動学 (ethology) である。近年は、動物行動の社会的側面が強調され、生物学にも社会生物学 (sociobiology) や行動生態学 (behavioral ethology) が台頭し、人間行動にも力点を置く動きもある。そのため、発達心理学や社会心理学もその一列に加わるようになった。しかし、行動の「生存価」(なんのためにあるのか) の解明と包括的理論の展開の試みを、一気に人間に適用し、生得的な動物行動や社会生物学的現象をアナログカルにとらえるには距離が大き過ぎる。生体と環境とを一つの系として扱う、今日の行動科学全体の共通の立場から着実な研究が端緒についている状況であるといえよう。社会

文化の中の間行動を把握するものとして文化人類学からの知見・観点の提示は極めて大きい。

また、組織の中の間行動を分析する理論は、特に組織の時代に生きる現代の我々の諸問題に深くかかわって重要である。これには、心理的・社会的・経済的あるいは精神的な人間の本性と組織の関係を論ずる組織行動学の領域がある。我が国では組織論との分化も不十分とされるが、60年頃誕生した米国では、既に第2世代に入りつつあるといわれ、モチベーション論から認知論の展開が見られる。ここでは、知覚・学習・コミュニケーション等の認知科学のテーマに加え、パーソナリティ、モチベーション、行動、リーダーシップ、環境その他と、認知との関係も論じられるようになってきた。また、異常時の社会行動であるパニック現象の研究も進んできた。

このような知見をもとに、人間行動の包括モデルの試みも登場してきた。

思考、行動の解明は、人間個人の心理、意思決定の研究、個人としての人間の知能に基く人工知能研究など、人間に関する研究はまず個人を対象に始まった。しかし、複雑化する社会変化に伴い、人間集団としてのグループあるいは組織、さらには社会・国家レベルまでが研究対象として広がっている。前述したように、集団心理、集団意思決定、組織知能の研究など個人をベースとした知見から対象を拡大したものや、マクロな組織・集団行動論の誕生など、これらのレベルの問題の解明も今後目ざましく進もう。

A. 課題動向からのインパクト

学問群の対象分野では、もちろん現在の社会的状況を反映した研究課題が発生しており、この問題の発見や解明、解決の具体的支援への貢献が期待されている。これらを横断的に眺めると幾つかのソフト系科学技術の動向上の特徴が認められる。

ここでは、ソフト系科学技術の全体としての発展が、例えば、工学的方法の課題・適用領域への応用とその経験の蓄積・工夫・フィードバックにより、開発された成果の転用によるのみならず、各課題領域からの独自の取り組みが、ソフト系科学技術の基礎・方法領域に波及し貢献するというダイナミズムが強くなってきている点に留意すべきである。方法的な側面の濃い一部の傾向は、前述の方法論的学問群の動向の特徴に若干示してある。

① 問題の総合化・複合化傾向

ソフト系科学技術の直面している問題は、従来から複雑で総合的な性格をもつ対象であるが、今日一層その性格を強めている。例えば、環境問題では、個別の緊急事象の解決のみならず、変化の防止・保全・回復に加え、望ましい環境の創造、さらに資源としての積極利用まで問題の幅は拡大し、対応手段も対応主体も一層複雑多様になってきている。

このような傾向は、関連する学問分野や実践分野での知見を総合して問題解決に当たる必要を生じさせ、従来以上に専門家群の学際的・業際的な協力を求めている。

② 人間そのものをまるごと扱う枠組みの顕在化

問題解決のための種々の代替案の選択にあたり、問題の性格が総合化・複合化・長期化し、関係全体も多様化したことは、評価が同時に多目的になされ、かつ多彩な価値観をもつ集団全体の合意をめざす必要が増したことを意味している。したがって人間の選好に対するより深いアプローチが求められているといえる。

また、社会基盤整備の目標一つをとっても、従来の経済性と機能を第一とする考え方から、快適さ、うるおい、豊かさ、景観に対するニーズとなって現われており、地域の歴史・文化的背景まで含めた方向の検討が重要となっている。問題とされる内容も、質的なもの、人間の主観的なもの、それも多次元的性格のものを対象とするようになり、いわば心理的イメージの全体像や生活構造のパスペクティブなど人間そのものをまるごと扱う評価の枠組みが求められているといえる。

③ 対象課題の変化

(i) 「問題解明」型→「問題解決」型→「問題発見」型

緊急に対応すべき課題がなくなったわけではないが、今後の経済社会は、大規模で緩やかな変化、時期を予測できない不連続な変化などの特徴をもつ課題に直面しつつあり、政策管理面での有効な支援ツールが求められている。環境問題を例にとれば次のような経過を見ることができる。

環境問題および環境行政の流れを大きくとらえると、次のような3つのタイプに区分でき、環境研究も対応した特徴づけができる。第1期は(～80年頃)緊急の個別的な公害事象が発生しこれに個別の規制手段が中心となった時期である。公害事象の測定や現象把握のための環境モデル開発、人間影響の把握、

除去技術の原理等が中心研究課題であり、これらはいずれも現象解明を目的とする「問題解明」型研究といえよう。第2期は（80年～現在）経済社会的制約のため対処が困難な問題（因果関係の複雑さ、多様な利害生体の関与など）と直面し始めた時期であり、これに必要な研究は問題解明型の研究に加え、多様な代替施策の複雑な組み合わせの中から各種制約下で最も適切な施策を見出すことに関する「問題解決」型の研究といえよう。今後は、国際化を含め更に一層社会的な諸問題と複雑にからみ、その発生メカニズム自体も、また予知困難な偶発的要因からなる破局的攪乱も含め、生ずる問題の予見も容易ではない課題が増加するので、これらに対応できるソフト系科学技術の開発が求められている。

（ii）国内的、地域レベル→国際的、地球レベル

取り扱う課題の空間的な拡がり、関連主体の拡がりもまた、多くの分野で認められる傾向である。生態学の研究対象をとってみても、人口増・食糧問題を背景とした国際生物学事業計画（65～74年）の時代は生産生態学あるいは（個別）生態系生態学が生まれ盛んになったが、70年代の公害・環境問題を背景とした Man and Biosphere 国際共同研究時代（71年～）には集水域のような複合生態学が対象とされ、都市生態学が生まれ、80年代に入ると景観生態学ができた。現在では、地球規模の環境問題の指摘を契機に、地圏・気圏と生物圏の相互作用を研究しようとする International Geosphere Biosphere Program が90年頃から発足しようとしており、地球生態学や進化生態学の成立が想定される。

（iii）新たな問題領域の発生

我が国の高度情報社会化や国際化の進展に伴って直面する問題領域には新たな内容が加わっている。

例えば・ヒューマン・インターフェースの認知的関心

人間の創造性支援

- ・情報通信システムの巨大化
- 信頼性、事故・プライバシーを含む安全性
- ・人間の情報適応不全現象
- ・伝統的価値観の崩壊と多様な価値観の共存
- ・経済・社会、科学技術を含む文化の国際協力
- ・外国人労働者、留学生・研究者の流入

・国際経済秩序の不安定化

などが顕在化し、従来の固有の学問を越えた取り組みが求められている。既に新しい内容をもつ学問分野が生成し始めているものもある。

3. 2 主要関連学問分野例にみる研究動向

本節では、上述のようなソフト系科学技術の進展を、個別のディシプリンをもつ学問分野のなかで支え、またソフト系科学技術の統合的な成果のインパクトを受け、関係を強めている関連の諸学問分野のうち、とくに興味深い分野の研究開発動向についてのレビューを紹介する。レビュー分野は以下のとおりである。

方法論的性格の強いものでは、A. システム論 B. 情報処理 C. 意味論・価値論 D. 情報科学 E. 数学 F. 数理科学 G. コンピュータサイエンス、また、対象論・課題対応的性格の強いものでは、H. 政策科学 I. 社会工学 J. 社会学 K. 経済学 L. 組織論 M. 心理学 N. 言語学 を取り上げた。

(1) 方法論的学問分野

A. システム論

システム論の研究には、大きく分けて2種類の流れがある。一つはシステム概念を包括的に体系化しようとするものであり、いま一つはより実際的な問題解決プロセスを一般的に扱おうとするものである。

システム論が扱おうとする範囲はきわめて広い。例えば、ヨーロッパにおけるシステム理論の学会での成果は年々Progress in Cybernetics and Systems Researchにまとめられている。その内容は以下になっており、これはほぼシステム論が着目してきた研究の流れと見てよいと考えられる。

VOL. 1 : 一般システム論、工学システム、生体・神経系システム

VOL. 2 : 社会／経済システム、認知と学習、教育、マネジメント

VOL. 3 : 一般システム方法論、ファジー理論、生体・神経系システム

VOL. 4 : 認知と学習、社会／経済システムの構造とダイナミクス、健康管理システム、工学システム方法論

VOL. 5 : マネジメント、経営管理／問題解決、地域計画におけるコンピュータの役割、制御と評価、計算機言語

- VOL.6 : 生体サイバネティックス、システム解析、工学システム方法論、
数理システム論
- VOL.7 : 一般システム理論、マネジメント、認知と学習
- VOL.8 : 一般システム理論、数理システム論、ファジー理論
- VOL.9 : 生体/薬学におけるサイバネティックス、認知と学習におけるサ
イバネティックス、健康管理システム
- VOL.10 : 社会/経済システムの構造とダイナミクス、工学システム方法
論科学技術におけるシステムズリサーチ
- VOL.11 : データベース設計、国際情報システム、人工知能、記号論システ
ム、サイバネティックスと哲学、今後の展望

(1) システム概念の一般化

一般システム論の基本的な共通了解事項は「要素とそれらの間の関連」という点である。システム理論に関する主要な論議はウィーナー [1] に始まり、ベルタランフィ [2]、ポールディング [3]、メサロヴィッチ [4]、[5]、アコフ [6] と1950年代から1970年代にかけ次々となされた。文献 [7] にはこれらの展望がまとめられている。わが国においては、公文の「社会システム論」[8] がこの流れの一つの成果と考えられる。

概念としてのシステム理論の研究は、まず「システムの分類」に始まり、その後関係構造の機能に着目する、という展開を行なう。システム理論が最初に問題としたのは、[9] によれば「部分の総和は全体に等しくはない」という点であった。この時点で要素還元主義とは離れる。そうであれば次には、部分はいかにして全体を構成するか、という要素間の関連が問題となる。この関係構造の結合方式に着目することで、システム理論は「同型性」という重要な視点を提供する。

これを数学的に押し進めた研究の成果が、メサロビッチ、高原による「一般システム理論」[10] である。ここで、subjective morphismなる同型性の概念を強調し、カテゴリセオリーによってモデルの構造の保存を数学的に展開した。高原らは、おもに線形制御系に着目してその一般システム理論的取扱いを展開し続けたが、例えば因果律を多変数系に拡張することすら困難であったように、その後、この方面の研究が急速に進展したとは言えない状況にある。

まず、システムの分類に関する代表的な研究のレビューを示す。ポールディングはシステムを「複雑さ」という基準で以下の9階層に分類した。

- ① 枠組みのレベル（静的構造システム）
- ② 時計運動のレベル（確定的単純時間変化システム）
- ③ サーモスタットのレベル（制御メカニズム：所与の制約の中で均衡を維持するように働く）
- ④ 細胞のレベル（自己維持構造システム）
- ⑤ 植物のレベル（遺伝社会システム）
- ⑥ 動物のレベル
- ⑦ 人間のレベル
- ⑧ 社会組織のレベル
- ⑨ 神のレベル

分類各階層の特徴は直観的には明らかであるが、村越〔7〕は、これら貫くシステム概念がはっきりしないために、第5階層から上の形式的な差異が不明瞭であることを指摘している。

アコフの分類は次のようであり、分類の概念の体系化を目指す。

- ① 抽象システム（全要素が概念）
- ② 具象システム（2つ以上のものが実在であるシステム）
- ③ 閉システム（環境を持たないシステム）
- ④ 開システム（環境を持つシステム）
- ⑤ 静的システム（構造、状態変化のないシステム）
- ⑥ 動的システム（構造、状態が変化するシステム）
- ⑦ ホメオスタティックシステム（要素、環境が変化しても内部は変化しないシステム）
- ⑧ 状態維持システム（内外部の構造変動に対し決められた方法で反応し、構造・状態を保つシステム）
- ⑨ 目標追求システム（内外部の構造変動に対応を選択し、構造を保つシステム）
- ⑩ 多目標追求システム（初期に設定された複数目標を追求するシステム）
- ⑪ 合目的システム（共通する性質の異なる目標を持つ多目標追求システム）
- ⑫ 目的システム（決められた制約に合わせて目標を変化させるシステム）

明らかにこれらはシステムの属性を異なる視点から分類したもので、必ずしも排反なものではない。

公文の社会システム論〔8〕においては、システムの分類を要素間の関連によって単純化する。

ここでは、まずシステムとは「主体が客体を認識する形式」と定義され、さらに

① 客体を把握する形式として、

1-a : 存在の質それ自体を把握するための形式

1-b : 存在とその存在の場の中で、場との関連において把握するための形式

② 主体を認識の対象として把握するための形式として

2-a : 自己維持・複製能力を持つ存在を把握するための形式

2-b : 自己意識を有する存在を把握するための形式

と4分類される。この結果、システムの形式はそれぞれ

① 最も単純かつ一般的な、構造のみを有する「論理システム」

② ①の枠組みに例えば時間という第2の枠組みが重なった「物理システム」

③ 物理システムにさらに「内部」と「環境」の概念が加わり、相互のやりとりによる自立制を有する「生体システム」

④ 主体は客体に対するイメージを有し、これに基づき合理的行為をとるといふ「主体システム」

に分かれる。

公文は、動学方程式体系で記述された社会システムモデルは、あくまで②の物理システムにとどまり、パーソンズに始まる構造-機能主義もなお③の生体システムのレベルであって、これらのみで社会を論じるのには不十分であり、かつその限界を明らかにするには④の主体システムの特徴を体系化せねばならない、と主張する。さらに、この立場から「環境の認識主体としての主体」、「行為者としての主体」、「自立統制者としての主体」等を定義し、客体としての「環境」や「財」との関連、さらに複合主体の存在する社会システムが論じられている。

システム方法論は常に何らかの「モデル」を呈示して接近を行うため、このような概念の整理によってそれらのモデルの限界が本質的にどこにあるかを論じることは有用であろう。しかし、これらの流れはあくまで「行為」という概念を整理し、体系化しようとするものであり、直接現実の何らかのデータと対応させようとするものではないことに注意しなければならない。

(2) 問題解決のシステムズ・アプローチの一般化

一般システム理論の流れには、以上の様な概念体系の整理を目指すものの外、

問題解決のシステムズアプローチの一般化を目指す流れがある。G.J.Klir [11] によるシステム関連構造の分類と抽出の研究、P.Checkland [12] によるシステムミックアプローチ、L.Troncaleによるシステム科学の形態学的分析 [13]、さらにH.A.Simonによる経営組織論から人工知能への一貫した研究等があげられよう。

G.J.Klirはシステムの再構成問題を取り上げている。一般システム理論の主眼はあくまで問題解決を指向するもので決して概念指向ではない、というG.J.Klirの主張は、一般システム理論の以上の立場とは異なるものである。G.J.Klirのシステム再構成問題とは、システムをサブシステムに分解する際、どのような構造であれば情報が失われないかという点に着目したものである。Klirはこのようなシステム構造の数学的特性を定義し、またGSPS (General System Problem Solver) と呼ぶアルゴリズムを示した。

続いて問題解決の方法を一般化するChecklandによるシステムミックアプローチ [12] を述べるが、その前にSimon [15] の事実前提と価値前提の分類に従って問題解決プロセスを事実思考型と価値思考型に2分しておこう。[16] によれば、問題解決は図3. 1のように分類できる。すなわち、モデルを事実としての「対象の記述」と見るか、「要求水準の設定→実現のための問題把握」の一段階と見るかが相違点となっている。

Warfieldの問題解決チャートは、いずれかと言えば事実指向型の解決を目指している。しかし、ソフト系科学技術を実際の問題に適用して次第に明らかになったことは、技法のハードな適用で解決する問題は実際にはきわめて少ないということであった。実際の問題が単一の評価基準で尽くせる場合は工学システムですら多くはなく、いわゆる多目的最適問題となると、意思決定者の主観性、学習効果、首尾一貫性が大きな課題となることは当初から指摘されていた。ことに、複数の人間が係る問題では、実際上はもちろん、理論面でもアローの不可能性定理のため、合意形成というソフトなプロセスを必要とした。これらの問題では、パレート最適性までしかハード的接近では得られないのである。また、状況の不確実性は、確定的な決定方式の価値を減じる。なにより問題の自然科学的なモデル化が実際上不可能となった。

問題の記述ではなく、把握に重点をおく価値指向型問題解決過程は、こうして事実指向型問題解決過程を批判しつつ次第に重視されるようになった。既に紹介した高原の論文 [13] もこの点を強調している。問題の明確化は、ここでは「何がしたいのか」「何をやらせたいのか」の機能展開に重きが置かれる。

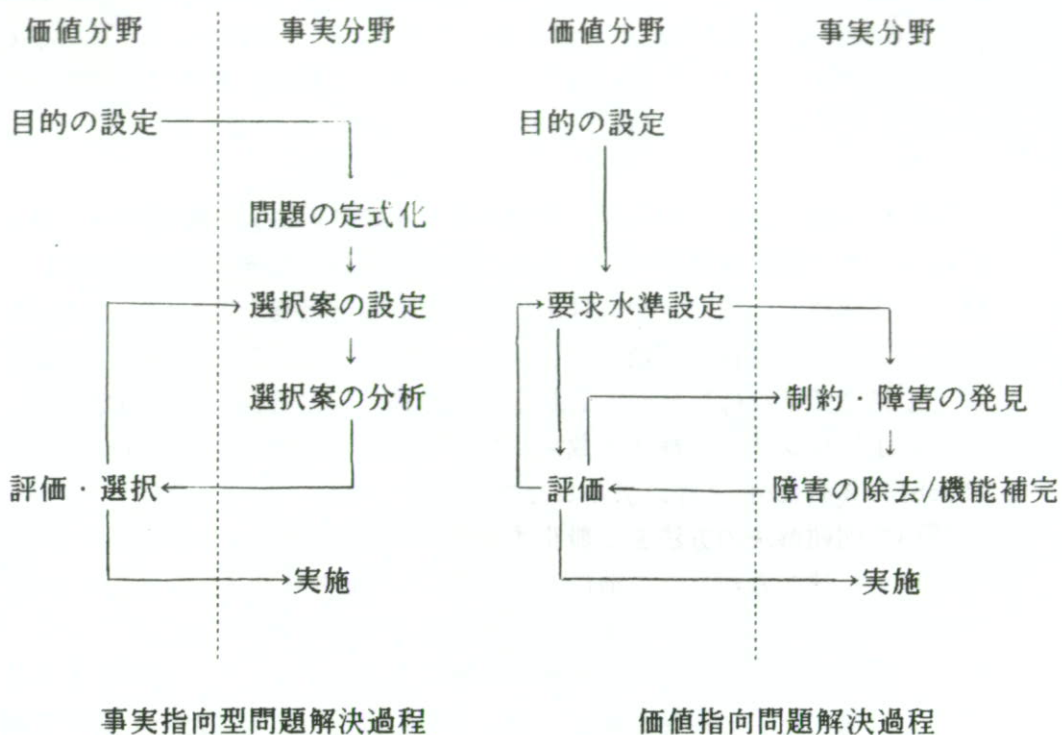


図3.1 問題解決プロセスの2類型

Checklandのシステミックアプローチはこの代表的なものと考えられる。ここでは、モデルが意思決定主体に依存するものであることが強調されている。このモデルは価値モデルと呼ばれるもので、主観性・反証不可能性を許容する。[16]では、このモデルの様々な形態や価値論、欲求の分類が包括的に述べられている。

最後に、L.Tronealeのシステム方法論の形態学的分析についてここで触れておこう。L.Tronealeは文献 [14] でシステム方法論を一般化のレベルから

- ① 一般システム理論
 - ② システム理論
 - ③ システム方法論/技法
 - ④ システム分析
 - ⑤ 実システムへの適用
- の5段階に分類した。

これに基づいて、現存の様々な方法論を一般化のレベルと自然科学から人文科学への段階の2軸から位置付けることを試みている。

(参考文献)

1. N.Wiener, "Cybernetics", MIT Press, 1965
2. L.von Bertalanffy, "General System Theory ; Foundations, Development, Applications", George Braziller, 1968
3. K.E.Boulding, "General Systems Theory - The Skelton of Science", General System Yearbook, Vol 1, Univ. of Michigan, Ann Arbor, 1956
同タイトルでManagement Science, Vol 2, No. 3, 1956
4. M.D.Mesarovic, "Towards the Development of General Systems Theory", Neue Technik, Aug.1963
5. M.D.Mesarovic, "Views on General Systems Theory", Proceedings of The Second Systems Symposium at Case Institute of Technology, John Wiley & Sons Co., 1964
6. R.L.Ackoff, "Towards A System of Systems Concepts", Management Science, Vol.17, No.11, July, 1971
7. 村越、システムモデルの分類、早稲田大学システム科学研究所紀要、No. 13, 1982
8. 公文、社会システム論、日本経済新聞社、1979
9. 松田、システムと機能概念について、早稲田大学システム科学研究所紀要、No.13, 1982
10. M.D.Mesarovic and Y.Takahara, "General Systems Theory : Mathematical Foundations", Academic Press, 1975
11. H.J.J.Cavallo, G.J.Killr, "Reconstructability Analysis of Multi-Dimensional Relations : A Theoretical Basis for Computer Aided Determination of Acceptable Systems Models", Int. J. of General Systems, Vol. 5, 143/171, 1979
12. P.Checkland, "Systems Thinking, Systems Practice", John Wiley and Sons., 1981
13. 高原、問題解決へのソフトシステムアプローチ、オペレーションズリサーチ、1985年3月
14. Len Troncale, "The Systems Sciences ; What are They? Are they One,

or Many ?" European Journal of Operational Research, (special issue on systems science), 1988 (in press)

15. H.A.Simon, "Administrative Behavior (邦訳：経営行動)、ダイヤモンド社、1957

16. 村越、問題解決と価値モデル、早稲田大学システム科学研究所紀要、No. 15, 1984

(東京理科大学 森 俊介)

B. 情報処理

情報処理系と一般に呼ばれているものには、その目的・機能・性能・振舞などのあらゆる側面において、さまざまな種類のものがある。処理系自体を構成するやり方も経験的なものが多く、組織立った研究はそれほど多くはない。ここでは、情報処理系に関する手法論の主なものの研究動向を示す。

(1) 情報処理系の本質とその構成方法

数学や物理学、化学などの分野では、ほとんどの場合、連続かつ解析的な数量体系が基礎とされている。量子力学に現れる離散値の体系も、統計や確率の手法を用いて連続量としてモデル化されている。したがって、モデル化したシステムの抽象的な定式化やその振舞の解析には、従来からある解析的な手法、たとえば微分・積分方程式や関数論、場の理論などが適用できる。

これに対して、電子計算機をその核としている情報処理システムでは、離散的な空間を扱うために、連続系を対象とした解析は、多くの場合不可能である。情報処理系を対象とする数学理論である計算の理論の研究も進展を見てはいるが、実用規模のシステムに適用できる段階にはほど遠い。すなわち、個々の計算規則と現実のプログラムとを与えて、その性質を数学的な手段で解析することが、まだまだ不可能な段階にある。

このような事情から情報処理系においては、その構成形態を解析可能なものに限ることによって、全体としての解析を可能とする方向が探究されてきた。すなわち、まず構成要素として性質が明確に把握できるものを用意し、それらを組み合わせるやり方自体も、その意味づけがきちんとできるものだけを採用する。こうすることによって、全体として巨大になりがちな情報処理系の解析

が可能となる。ここでは、構成の手法、構成の形態、および構成の支援という側面についての研究動向を示す。

(2) 構成手法論

一般に情報処理系で行なわれている処理は、情報の形式変換や簡約という操作であると考えられる。処理系の部分部分は単純な操作しか行なっていない場合でも、所期の目的を達成するためには膨大な数の操作要素が必要となり、全体としては巨大で複雑な系となる。このような情報処理系を構成する際の、全体手順の戦略を与えるものが、構成手法論である。昔からシステム作りには使われてきた知識ではあるが、電子計算機ソフトウェアという離散領域において巨大システムを作る必要が生じる以前には、単なるノウハウ程度の扱いしか受けてこなかった。ところがソフトウェアの出現以降は、独立した概念として意識され、研究されてきた。そのいくつかを以下に示す。

(a) モジュール化…プログラミングにおけるサブルーチンの使用に端を発した方法で、システム全体を独立性の高い部分の集合体として構成するやり方である。これについてはParnasの研究（仕様記述法、1972）が先駆的である。これに続くLiskov（設計手法論、1972）やMyers（複合設計法、1975）の研究などによって、モジュールの概念、他のモジュールに内部情報を見せない情報隠蔽、インターフェースプロトコル等が明確となった。

(b) 階層的開発…系全体をいきなり細かく分割するのではなく、全体として大きくいくつかに分け、それぞれの部分をさらに再帰的に分けていく方法である。この方向の研究としては、Wirth（段階的詳細化法、1971）、Dijkstra（構造化プログラミング、1972）、Mills（トップダウンプログラミング法、1971）などが初期のものである。Dijkstraの構造化プログラミングでは、さらにデータの構造に対しても、段階的な詳細化を行うことを提案している。

(c) 抽象データ…データについても抽象度の高いものを導入する方法である。すなわち、実際にどう実現されるかではなく、外から操作したときの振舞のみを用いてシステムを作っていく。階層的開発ともよく適合する概念で、具体的にはLiskov（プログラム言語CLU、1974）の研究が有名である。

(d) データ形式駆動法…情報処理系を外界とのインタフェースである入力やデータの形式をもとにして構成する方法である。内部での処理の形式が入力および出力データの形式に強く依存することから考えられた。研究・開発としてはWarnier（ワーニエ法、1969-）およびJackson（ジャクソン法、1975）に

よるものが代表例である。

(3) 構成形態論

情報処理系では、その複雑化につれて物理的・論理的諸要素の構成についての考慮が必要となってきた。その代表的な例は、処理装置が複数個存在する並行・分散システム構成である。初期のころは、中央処理装置と入出力装置といった主従関係のものが主であり、問題もそう大きくはならなかった。しかし処理装置が複数個になったり、時分割による多重プロセス制御が一般的になってきたりした段階で、並行処理の問題の明確化が必要となってきた。

(a) 共有メモリ方式…並行的に動作している活動、すなわちプロセスどうしが、何らかの通信を行なう場合に、共通の記憶装置を介して行なう方法である。データの受渡しのほかに、動作の同期にも用いられる。これに関して初めて明確な仕組みを提案したのはDijkstra（セマフォ、1968）である。これを受けて、安全確実な同期の方法をBrinch-Hansen（臨界領域つき共有変数、1972）が提案し、さらにそれを言語としたものをHoare（モニタ、1974）が提唱した。Hoareのモニタは、それ以降現在に至るまで、オペレーティングシステムの重要な構成原理として採用されている。

(b) メッセージ通信方式…受け渡されるデータを特別な領域に置かずに、プロセス相互に直接やりとりする方法。動作の同期にも用いられる。Hoare（CSP, 1978）の研究から始まった。この方法では、共有メモリ方式のような臨界領域等の概念が不要で、理論的にもすっきりした基礎が与えられる。

(4) 構成援助システム

情報処理系の構成については、以上のべたとおりさまざまな手法や理論が展開されるが、いまだに完全自動化からはほど遠く、処理系の作成者の力量にまかされる部分が多い。そこで、構成に際して有用だと思われる情報や、各種のシミュレーションおよび推論などの結果を提供することによって、作成者の手助けをするシステムが考えられるようになってきた。ごく初期的には、エディタやデバッガといったユティリティ・プログラムがこの役目を果していた。それ以降は、この種のユティリティを総合化した形でのソフトウェアツールという形で研究が進められた（1960年代）。その後、構成すべき情報処理系が複雑化するにつれて、援助システムの組織化と理論づけとが必要となった。

(a) 援助システムの組織化…個々のツールがバラバラではなく、組み合わ

せても利用できるようにすることで、具体的には、個々のツールの入出力仕様やデータ形式を統一すること、および全体を管理する親ツールを導入することが主なものである。これらのツールは、結局ひとまとめとなって、ユーザインターフェースという概念を構成するに至った。この方面では、Gol-dbarge (Smalltalk, 1972, 1980) のシステムが有名である。このSmalltalkシステムでは、言語処理系、エディタ、デバッガ、ファイル管理、ライブラリ管理などがすべて統一的な概念のもとに組織化され、一体のものとしてシステム作成者に提供される。

(b) 理論づけ…支援ツールが有用であるのは、それがその利用者の要求事項にうまく対処できる場合である。そのためには、支援ツールが、動作の基盤として、システムを利用する人間の行動パターンをよくわきまえていること、すなわちユーザモデルを持っていることが必要となる。このユーザモデルの研究は、テキストエディタに関するものから始まったが、最近ではCard(問題解決モデル、1983)の研究が名高い。また、情報処理系と利用者との間の相互作用をつかさどるツールとして、ユーザインターフェース管理システムがKasik (UIMS, 1982) によって提案され、各所で開発が進められている。

(東京大学 川合 慧)

C. 意味論・価値論

言語は、単に人間開発のコミュニケーションの媒体としてのみでなく、個人の思考の媒体としても、文化や社会体制の構成基盤としても必要欠くべからざるものと見なされ、そうした言語とその意味との関係は、ギリシャ時代以来の多くの哲学者の中心的関心領域の一つであり続けてきた。それについての歴大な見解や学説の集積は、例えば、オグデンとリチャーズの共著になる古典的な名著に纏められている。

また、価値という概念も、人により用法や意味内容に大きな差異がみられたことから、古来、多くの哲学者達が研究の対象としてきた。諸家による見解の差や、拡がりの状況は、例えば、見田による労作 [1] に体系的にまとめられている。

以下では、これら二著作を参照の原典として利用しつつ、意味論・価値論の現勢地図と今後に予想される展開の想定を行うこととする。

(1) 言語学・記号学での限定的発展

コミュニケーションの媒体となるのは言語のみではない。表情、身振り、態度などの身体的行為、スケッチ、図面、絵画、写真、楽符、演奏などの表現、彫刻、家具、建築、庭園といった構造物も、人間同志、人間と社会とをつなぐコミュニケーション媒体である。

また、言語のみでなく、シンボル、パターン、イメージといったものも、諸思考の媒体となる。さらに、文化や教育体制の構成基盤としても、宗教の教義、法制の条文、諸規定といった言語媒体によるもののみでなく、身体的行為として躡けられた立居振舞いや席次の規範があり、標識、装飾などの視覚的・聴覚的シンボル表現、建築、庭園などの構造物による空間の秩序付けや意味付けがある。上記に引用した二著作のなかにも、多くの識者がその点を指摘していることが記録されている。そのなかで記号（その一部として言語がある）は、他の媒体とくらべて標準化の度合いが高く、人々の共通理解を得やすい媒体であることも手伝って、詳細な検討の対象として採りあげられ、“論”もしくは“学”としての形態が整えられてきた。意味論・価値論が記号を中心に据える方向で発展してきた背景として、合理性と客観性とを目標にし、再現性と実証性とを尊んで成功した自然科学の発展の影響がある。相対性と歴史性とが本質と思われる人文科学や社会科学の分野においてすら、恣意性、主観性の混入は注意深く排除されてきた。その累積結果として、厳密な分類枠組の設定、それに基づく概念規定、論理的処理などで検討を進めうる分析的な研究成果が集積する一方で、状況や個性に依存するような、特定の主体にとっての総括的な意味や価値といったテーマは等閑視され、研究成果が蓄積されないままで推移することとなった。

例えば、パースに代表されるような記号学の分野では、人間を含む世界から不純さや曖昧さを排除して抽象化を進めていった結果、記号、事物、記号の使用という三項関係で世界は表現できるという命題に達し、その前提に立っての“論”や“学”の形成が進んできた。（〔3〕～〔6〕）そして、記号のうえでの対応関係づけという閉じた静的な体系での詳細化（時として同義反復）が進んでいる。この体系のなかでは、記号間の合理的関係を検討する学問は統辞論もしくは文法学、記号と事物との関係を検討する学問は意味論もしくは弁証学、記号と事物と記号使用者との関係を検討する学問は語用論もしくは修辞学と呼ばれている。そして、記号の意味という概念は、記号の指示する事物のこ

とであるという論者が多く、記号の使用者による用法が意味であるとする論者、記号の使用者の内なる観念こそが意味であるとする論者を凌駕している。

しかし、記号と事物との関係を曖昧さの少ない客観的なものにしていこうと努力すればするほど、常識的なニュアンスでの意味という概念からは遠ざからざるを得ず、むしろ語義と表現した方が適切な内容へと変質していく。その究極の形態として数学や論理学やコンピュータ言語が位置づけられるであろう。近年のコンピュータ技術の著しい発展は、この立場に立脚しているものであり、自然言語のコンピュータによる機械翻訳技術、コンピュータによる推論技術などは、このニュアンスでの“意味論”の具体的応用例と言えるであろう。（[7]～[9]）。近年のコンピュータによる機械翻訳技術、コンピュータによる推論技術などは、このニュアンスでの“意味論”具体的応用例と言えるであろう。他方、記号の意味を用法として捉える立場や、記号の使用者の内なる概念として捉える立場は、具体的な展開に限らず、応用例も見出しにくい現状である。（[3][4]）

見田は、価値と価値意識とを異なる概念として区別している[2]。価値は「主体の欲求をみたま客体の性能（属性、特性、能力、力）」と定義されるのに対して、価値意識は「価値判断の基準・物差として主体に担われている志向性」と定義されている。この明解な二分法の整理は諸家の見解の集約として出されているものであるが、上記の意味論の三項関係の立論と併せて考えてみると、自然科学のみならず、人文科学や社会科学からも、何故に常識的な意味での主観的価値の問題が脱落しがちであったか、何故に価値の創造といったテーマが扱われにくかったかが了解できる。

すなわち、再現性のある計測可能なものとして価値や価値意識を把握し、記述しようとする、類型化もしくは要因分析というアプローチをとったうえで、構造、機能、性格、形成過程もしくは変容過程という概念に押し込めてから、価値と価値意識とを客体と主体とに振り分けざるを得ない。そのような表現方法をとった場合の価値もしくは価値意識は、必然的に静態的な内容と化し、うまくいっても過程をパターンもしくはステージとして近似するような内容になってしまう。例えば、場合や状況に依存して客体を記号で表現し（潜在価値をパラメータとして）、立場や意図に依存して主体を記号で表現し（価値意識をパラメータとして）、さらに客体・主体間で交信される情報を記号で表現すれば、理論的には、検討対象となる世界の記述によるモデル表現を構築することが可能な筈であるが、そのモデルをシミュレートして確定的な推論が得られるのは、

パラメータ群が所与のときだけであるから、それはつまり、結論が既知でそれを説明する場合か、結論を特定の立場から解釈する場合かに限られることになる。パラメータ群が未知の新規な場合についての推論展開力は、このように整然と区分された分類概念ではでてこないのである。

(2) 神経生理学と認知科学からの寄与

人類の歴史的産物である自然言語と、行為観察ならびに内観（省）という方法を足場にして展開されてきた意味論および価値論に、新しい立論の根拠を与えてくれたのは神経生理学であった。その研究は、簡単な反射神経の機構解明から始まり、運動や姿勢の制御、視聴覚の機構、記憶や学習といった高次の脳機能にまで、自然科学の分析的な方法による解明が進み、（〔10〕～〔12〕）そして、脳と神経系には場所により機能分化が見られること、神経の興奮と抑制という信号（電氣的）のやりとりによって、脳において思考が担われていることなどが判明してきた。

一方、社会においては、電気信号を媒介として情報を処理するコンピュータが著しく発展し、有効性を実証してきたこともあって、生物の神経過程とコンピュータの情報処理過程との類似性は多くの研究者の着目するところとなった。そして、人間の思考過程も一種の情報処理であり、特に、理性による論理的思考はデジタル演算である、とする認識が一般化されるようになった。

このような認識モデルの出現によって、人間の内界と外界との相互作用の過程として生じる情報処理の結果が意味や価値である、とする見方での立論展開の道が拓かれた。しかし、現実はいそれほど単純ではなく、神経生理学の分析的手法は、大脳の連合野の情報メカニズムを解明することができずに足踏みしている。むしろ、脳幹ではもとより、大脳皮質ですら、コンピュータ類似のデジタル信号による情報処理のみでなく、アナログ信号や場のバイアスに左右される情報処理の寄与が大きいという見解や、大脳神経系全体の網目構造によって並列分散型の情報処理が行われているという見解も出されるに至っている。そのような立場の嚆矢となる脳内情報処理のモデルとして、プリブラムのホログラフィ説が有名である。（〔13〕）

コンピュータ技術の著しい発展を背景として、言語学、心理学、行動科学、神経生理学、コンピュータ科学などの諸学が合流して、主として理性を扱う認知科学が成立するに至った。その動向はガードナーの著作に詳しい。（〔4〕）しかし、どちらかと言うと、認知科学は、物質過程もしくは肉体過程よりも、

情報過程もしくは精神過程に引き寄せられていて、情意現象は解析の外に置かれてしまっているとさえ言える状況である。言わば、現状では、コンピュータからの情報处理的類推によって、どこまで人間の精神活動をシミュレート可能かを検証してみることによって研究者は精力を集中していると言ってもよいかもしれない。（〔15〕～〔18〕）

このような情報処理モデルでは、意味は学習によって蓄積された知識の関係群であり、価値は蓄積されたルールの体系であると見做されている。そして、いかに矛盾なく知識を関係づけて蓄積していくか、ルールの体系をどうやって築いていくかという記憶と学習の問題に多くの研究者の関心が集まっている。しかし、現在のコンピュータ技術が立脚するYES、NOの二値論理によって学習過程をシミュレートしようとする、正しい知識・矛盾しない知識を識別して記憶させる方法に困難が大きいことと、推論が演繹型でしか行えない制約がある。矛盾する知識の内的処理や帰納型の推論の実施方法をどうするかという問題は一つの大きな壁となっている。たとえば、コンピュータ応用の有望な分野として、人工知能ということが言われだしてから久しいが、特に難しいのは、一般人の日常的な生活で出会うような平凡でいてかつ多様な状況において、常識的な判断をする人間の思考過程をコンピュータでシミュレートすることである。逆に、よく定義づけられ、論理的な推論の積み重ねで説明もしくは解釈へと到達できる専門領域において、専門家の知識・経験をコンピュータにのせるエキスパートシステムの構築は比較的容易であり、昨今の発展が著しい。

(3) 実践論と心理学からの問題提起

現実世界ではよく体験するところであるが、“悲しいから泣くのか、泣くから悲しいのか”よく分からないことがある。思考と感情と身体行動とは分離できない相互作用の網で結び合わされているようである。また、信念や自信が行為の成就に強い影響力をもっていることはスポーツの世界でもビジネスの世界でも常識である。ところが、先述した人間の思考過程の認知科学モデルは、情報処理という局面を切り出して構成されてきたものであるだけに、このような相互作用を適切には再現しにくい。このモデルで行動と情報処理とを結合する途は、因果論的扱いと目的・手段論的扱いとの二つが考えうるが、これらの方法によって多様な状況に動的に対応できるほどの融通性をもたせることは極めて困難である。心身・環境一体的・浮動的世界観は、理路整然とした科学の体系が取り扱うことを最も不得意としてきたところである。

しかし、ともあれ、現実世界から新しい領域を学問の領域として切り取ってきたような人達は、その創造の過程においては科学の枠外で活動していたと言ってもよいのではなかろうか。彼らは共通して、理論よりは体験を大切にし、演繹的推論よりは帰納的推論を重視してきた。そのような創造者の特に著名な例として、ケインズ[19]、西田幾太郎[20]、メルロ・ポンティ[21]をあげることができるであろう。そのひとりである西田幾太郎は「学問は畢竟lifeの為なり、lifeが第一等の事なり、lifeなき学問は無用なり」と断じ、行為的自己を追求した。彼はそれまでの哲学が理論の自律性を追いすぎて自己目的化しすぎたと批判し、実践と行為を彼の哲学の中心課題に据えた。そして、表現的自己形成としての制作（ポイニシス）、自己自信に関係すると共に他者に関係する実践（プラクシス）について考察し自己超越へと向かっていった。また、メルロ・ポンティは、身体的実存ということ唱えた。彼は、「主体と場（世界）とは共に生まれる」とか、「主体は（場との相互作用で）新たな意味作用を産みだし、身振り、表情、言語が出現する」とか、「思惟は超越の一様態である言葉によって世界の内に出てしまう」とか表現している。彼はまた、間主体性ということを行っているが、それは人間相互の間の共同的世界の存在を前提としていることであって、了解はその共同部分によって、主として身体性レベルで生じると考えていた。

一方、分析的方向に偏りがちであった心理学の分野でも、心と身体との関係が改めて重要なテーマとして復活する兆しが見られる。例えば、科学が見はなしていた“わざ”や“からだ”を認識の原点として見直す試み、[22][23]関係希求の全身的表現として位置づけられる記号操作[24]を扱ったものなどを具体的研究成果の例としてあげうるであろう。

意味論・価値論は、主体・客体の分離、記号の関係づけの情報処理という単純化した近似モデルから出発しながらも、主体と客体との相互作用の観点、心（情報）と身体（物質）との相互作用の観点などを再び取り込んでいかざるを得ないところにまで成熟してきたと言えるのではなかろうか？

そのような観点に立って自然言語の構成と機能との説明の学としての文法を眺めてみると、主体と客体とを明確に区別する体系としての英語に立脚する文法[25]よりも、主・客の交流と“事”の世界を表現するのに適したものとして発達してきた日本語に立脚する文法[26]に、新しい活躍の場が用意されつつあるように思われる。時枝が指摘するように、客観的概念を扱う“詞”が、主観的關係づけを示す“辞”と結合されて日本語の文が構成されているものならば、

この言語体系の方が相互作用し変転するダイナミズムの表現により適合していると思われるからである。

意味論・価値論が将来どのような形態をとって、どのような内容のものとして発展していくか、ということについては客観的な想定を示すことはできない。しかし、筆者には、意味と価値という概念は、生命現象に深く根ざしたものと思われてならない。とすれば“生命とは何か”ということとの関連で、それらの概念を適正に位置づけていかざるを得ないであろう。ノーベル賞受賞学者であるアイゲンは、生命とは“効率よく自己複製する自己組織型のシステム”であるとする理論を発表しているが[27]、筆者はこの概念が意味と価値の概念のベースにもなると考えている。生命現象における自己組織化ということは現代科学の重要な関心テーマの一つでもある[28][29]。分離脳の研究でやはりノーベル賞を受賞したスペリーが、科学の領域から“価値”のテーマが排除され続けてきたことを不満としつつ、科学の手による宗教・倫理・科学の再結合を説いていること[30]には大いに勇気づけられる。

(参考資料)

1. 「意味の意味」オグデン／リチャーズ共著、石橋幸太郎訳、外山滋比古解説、新泉社（'82）
2. 「価値意識の理論—欲望と道徳の社会学—」見田宗介、弘文社（'87）
3. 「記号・論理・メタファー」中村雄二郎他、新岩波講座・哲学3、岩波書店（'86）
4. 「世界と意味」山田晶他、新岩波講座・哲学4、岩波書店（'85）
5. 「一般記号学—パース理論の展開と応用—」エリザベート・ヴァルター著、向井周太郎／菊地武弘／脇坂豊共訳、勁草書房（'87）
6. 「記号理論の基礎」Ch.W.モリス著、内田種臣／小林昭夫共訳、勁草書房（'88）
7. 「意味の世界—現代言語学から視る—」池上嘉彦、NHKブックス330、日本放送出版協会（'78）
8. 「意味論—意味構造の分析と記述—」池上嘉彦、大修館書店（'83）
9. 「論理と意味」長尾眞／淵一博、岩波講座・情報科学7、岩波書店（'83）
10. 「脳の設計図」伊藤正男、自然選書、中央公論社（'80）
11. 「脳科学の現在」酒田英一／安西祐一郎／甘利俊一、中公新書、中央公論社（'87）

12. 「脳とコミュニケーション」岩田誠、朝倉書店（'87）
13. 「脳の言語」K.H.ブリブラム著、須田勇監修、岩原信九郎／酒井誠共訳、誠心書房（'78）
14. 「認知革命—知の科学の誕生と展開—」ハワード・カードナー著、佐伯晔／海保博之監訳
15. 「情報処理心理学入門Ⅱ—注意と記憶—」D.H.リンゼイ／D.A.ノーマン共著、中溝幸夫／箱田裕司／近藤倫明共訳、サイエンス社（'84）
16. 「記憶と意識の情報処理」R.L.クラッキー著、梅本堯夫監修、山口潤訳、サイエンス社（'86）
17. 「パターン認識と図形処理」長尾真編、岩波講座情報科学21、岩波書店（'83）
18. 「心をもった機械—ソフトウェアとしての感情システム—」戸田正直、ダイヤモンド社（'87）
19. 「ケインズ」西部邁、20世紀思想家文庫7、岩波書店（'83）
20. 「西田幾太郎」中村雄二郎、20世紀思想家文庫9、岩波書店（'83）
21. 「メルロ・ポンティ」廣松渉／港道隆、20世紀思想家文庫9、岩波書店（'83）
22. 「“わざ”から知る」生田久美子／佐伯晔、認知科学選書14、東京大学出版会（'87）
23. 「からだ：認識の原点」佐々木正人／竹内敏晴／佐伯晔、認知科学選書15、東京大学出版会（'87）
24. 「なぜ人は書くのか」茂昌雄二／汐見稔幸、認知科学選書16、東京大学出版会（'88）
25. 「ことばからみた心—生成文法と認知科学—」大津由紀雄編、認知科学選書13、東京大学出版会（'87）
26. 「日本語文法—口語編—」時枝誠記、岩波全書、岩波書店（'78）
27. 「自己組織化」日本生物物理学会編、生命科学の基礎2、学会出版センター（'77）
28. 「情報システムとしての人間」石井威望／小林登／清水博／村上陽一郎共編、ヒューマン・サイエンス2、中山書店（'84）
29. 「生命現象のダイナミズム」石井威望／小林登／清水博／村上陽一郎共編、ヒューマン・サイエンス2、中山書店（'84）
30. 「融合する心と脳—科学と価値観の優先順位—」ロジャー・スペリー著、

D. 情報科学

情報を中心テーマとする情報科学では、情報の表現と変換とがおもな研究対象となる。この変換操作は、ある目的を持って行なわれるもので、ふつう計算と呼ばれる。情報科学は、計算の機構に関する科学、あるいは計算機科学と呼ばれることも多い。

(1) 情報の表現と情報量

情報の表現のみを扱う研究分野としては符号理論がある。これは、概念的には雑音の多い通信路を使って正しく情報（符号）を送る方式を研究する理論である。また、情報の授受によってシステム状態の確率が変化することから、情報量の概念が導かれる。これらは主に通信や蓄積を目的としたものである。

(2) 計算の理論

情報を変換する操作は計算と呼ばれるが、計算という処理自体の意味づけや定義づけについての研究は、今世紀に入ってから始まった。

(a) 計算手順存在の予想…今世紀初頭までは、計算というものの本質を考えた研究はなかったといっても過言ではない。次々と出現する問題が順々に解かれてゆく中で、計算に対しては極めて楽観的な見方しかなかった。その代表例がHilbertの予想（1880年代）のひとつである。彼の、「世の中のありとあらゆる問題に対応して、それを解く機械的に実行可能な手順、すなわちアルゴリズムが存在する」という予想は極めて常識的で疑う余地はないように思われていた。

(b) 計算可能性の研究…ヒルベルトの楽天的な予想に否定的な答を示したのが、Gödel（不完全性定理、1931）である。不完全性定理では、一般にある決められた論理体系の中には必ず、その論理体系では証明できないものが存在することが示される。逆にいえば、ある種の計算のアルゴリズムが存在すると仮定すると、矛盾が生ずることが示される。

(c) 計算の形式的定義…ゲーテルが扱った「計算」は、自然数に置きかえ

られるような抽象的なものであった。これに対して、われわれが計算と思っている操作をより素直な形で定義しようとする研究が、Turing (チューリング機械、1932)、Church (ラムダ計算、1932)、再帰的関数 (1930年ごろ) といったぐあいに行なわれた。これらはすべて、計算を実行するための抽象的な機構である計算モデルを定義し、それで考え得るすべての種類の計算ができることを示すという研究であった。その結果、機構的にはまったく異なるように見えるこれら、およびその他の計算モデルが、能力的にはすべて同等であることが判明した。そこで、これらすべてが、唯一の計算の定義であるというChurchとTuringの提唱 (1936) が確立するに至った。

(d) 計算量の理論…計算モデルの概念が確立すると、次は問題ごとの計算量が研究対象となった。すなわち計算量は、各計算モデルにおける基本単位操作で数えた、アルゴリズムの実行時間として定義される。計算量ではとくに、問題が小さいうちに現れる特殊なもの以外の、漸近的な振舞が問題とされるようになった。問題のサイズを N とするとき、 $\log N$, $N \log N$, N の多項式、 N の指数関数、などに比例するアルゴリズムがいろいろ研究され、今日に至っている。

(e) NP完全問題…一般に、計算量が多項式である問題の集合を P で表わす。 P に属する問題は、アルゴリズムが実質的に実行可能である。これに対して、問題の解法の中に、入力データによって定まるパラメータに従った場合分けがあり、その個々の場合が P に属する問題であるとき、この問題は集合 NP に属するという。 N は非決定性 (non-determinism) を表わし、非決定的な計算モデルで多項式時間を要する問題を意味している。 NP に属する問題は、解を求めるには非常な時間がかかるが、その解が正しいことを確かめるのは容易であるという性質を持っている。 NP の中でももっとも難しい問題群は NP 完全と呼ばれ (Cook, 1971)、 $P=NP$ ではないかという予想が立てられた。この予想はいまだに未解決である。

(3) 計算モデル

計算の理論で考案された計算モデルは、数学的な計算可能性やアルゴリズムの計算量を研究する目的で作られていた。これらのモデルの提案が、最初の電子計算機が世に出る10年以上も前に行なわれていたことから考えて、これは当然のことであるといえよう。ところが電子計算機が発明され、それが他の計算モデルと同等の能力を持つことがわかると、実用的な計算を記述する計算モデ

ルが重要となってきた。すなわち、種々の問題を解くアルゴリズムを、できるだけ自然な形で記述できるようなモデルが必要となったのである。この研究は、具体的にはプログラミング言語をめぐる諸分野を対象とすることとなった。

(a) 計算モデルから言語へ…異なる計算モデルからは異なるプログラミング言語が作られた。その中でも命令型の言語は、現実の電子計算機をモデル化したもので、Fortran (1958-)、Algol (1958-)などが代表例である。別のモデルであるラムダ計算 (Church, 1932) からはLisp (McCarthy, 1962)が作られた。第3のモデルである再帰的関数や、その他のモデルに対応する言語は、1970年代後半から作られるようになった。

(b) 命令型言語…データ領域の内容を書き変えていくことによって計算が進行していく命令型言語では、計算の手順を構成する自由度が大きすぎて、正しいプログラムを作る上で大きな困難さが存在した。この自由度を制限して正しくプログラミングできるようにする方法として、構造化プログラミング (Dijkstra, 1972) が提唱された。この動きを言語としてまとめたものがPascal (Wirth, 1972, 1975) である。Pascalはその後のプログラミング言語に大きな影響を与えた。

(c) 作用型言語…データに演算を次々と作用させることによって計算を行なう作用型言語は、ラムダ計算をその基礎としている。代表的言語はLispである。この型の言語は、現実の計算機の束縛から自由な形でプログラミングできるため、おもに記号処理の分野で非常によく使用されている。実行効率の要請から命令型言語の要素 (配列や反復など) も取り入れられている。現在では、計算モデルとして有用な数多くの要素を取り込んだ共通仕様の Common Lisp (Steel, 1980) が使われている。

(d) 関数型言語…関数を合成してゆくことで計算を行なう関数型言語は、1970年代の後半から研究されるようになった。その基礎は再帰的関数の計算モデルであるが、実用化の発端は構造化プログラミングの提唱である。この提唱により、プログラムを数学的な関数としてとらえることの有用性が明らかとなった (1970年代後半より)。また、関数であるプログラムに関する代数を構築することによって、仕様からプログラムを「計算」する方式 (Bac-kus, 1978) も研究されている。これとは別に、関数の計算をグラフの簡約としてとらえ、その手順を作用型言語の要素である結合子 (コンビネータ) を使って記述する言語 (Turner, 1980) も考案された。結合子言語の実行に適したハードウェアの設計・開発も行なわれている。

(e) 論理型言語…一階述語論理の体系は、永らく論理学の基礎として位置づけられ、研究されてきた。そのイメージは静的なものであり、およそ計算とは縁がないものとして扱われてきた。その状況を変えたのが、背理法による定理証明の自動化 (Robinson, 1965) である。この方法では、ある公理系 A のもとで定理 T を証明する場合、A から T を導き出すかわりに、A に T の否定をつけ加えた新しい公理系 A' が矛盾を含むことを示す。このために行なわれる推論の過程が、計算のモデルとして利用できる可能性が示されたのである。その後、実際に、制限された論理体系であるホーン節をもとにした言語 (Colmeraner, Kowalsk, 1974) が提案され、Prolog として結実した。Prolog は、データ構造の照合と結合とおもな計算機構とする言語で、プログラムを「どう計算するか」を記述する手続き的なやり方ではなく、「何を計算するか」を示す宣言的なやり方で書くことが可能である。

(東京大学 川合 慧)

E. 数学

計算機の発達にうながされ開拓され発展してきた数学の諸分野のなかでは、扱う対象が本来的に無限で連続的な場合と、初めから有限離散的な場合とが区別される。前者の代表例は数値解析などであるが、そこでは、計算機の持つ物理的制約のために無限連続量を有限で離散的なものに置き換えなければならない。この手順、いわゆる離散化の過程では、例えば、どのようにすれば結果の誤差を最も小さくできるかということが大きな問題となってきたりする。たとえば、各種の偏微分方程式を解くきわめて有効な方法としてよく使われる有限要素法などでは、与えられた領域をいかに上手に三角形分割するかといった問題が重要になる。

これに対して、扱う対象そのものが有限離散的な場合がある。これらの分野は旧来は組合せ理論の名のもとに研究されてきたが、これからは離散数学とでも総称するのが適当であろう。ここで言う離散数学とは、旧来の組合せ理論を含みはするが、計算機の発達に呼応して発展してきた組合せ最適化、ネットワークフロー理論、グラフ理論等の分野にむしろ重点が置かれている。この文脈の中で考えるとき、最も大事な鍵となる概念は「アルゴリズム」である。

(1) 計算可能性の理論

「アルゴリズム」という概念を数学的に厳密に定義すれば、それはTuring機械による計算可能性の概念となる。通常の間ゆる計算機は、数学理論上のTuring機械に等価に対応するものと考えてさしつかえない。厳密に言えば、読み込み書き込みのできるテープが無限長であることがTuring機械において本質的であるが、現実の計算機の記憶容量が、計算途中で支障をきたさない程度に十分大きければ、計算力において通常の計算機とTuring機械は同等と見なせる。

歴史的には、Turing機械によって計算可能な関数全体のなすクラスと、それとは全く独立な方法で定義された帰納的関数という概念の全体のなすクラスが一致することが分かり、このことから、「人間があるアルゴリズムを構成して解きうる問題」とはTuring機械によって解きうる問題にほかならないと考えることが妥当であるという認識に至った (Churchの提唱)。ここにおいて初めて「アルゴリズム」という言葉が厳密に定義されることとなった。これらは、主に1930年代の研究結果である。

(2) 計算量の理論

しかし、ここで言う計算不可能いし解きうる問題とはあまりに広範な概念であり、逆にこの意味で解き得ない問題というのは余りに非現実的なものとなってしまふ。

これに対して、有限で離散的な対象を扱った問題は、いざとなれば「すべての場合をつくして」調べれば必ず解が求められるわけで、計算可能性の理論の立場からみれば全く自明である。しかし、現実的な立場から言うと、「すべての場合をつくして」解を求める方法は、問題のサイズが大きくなるとともに計算時間が指数関数的に増大するため、実用的ではないことがほとんどである。

そこで効率的なアルゴリズムとそうでないものを区別すべきであるという認識が生まれてきた。ここで言う効率的なアルゴリズムとは、問題のサイズを n としたとき、解を得るまでの計算時間が n のある多項式で押さえられるようなもののことを言う。このような多項式時間のアルゴリズムが存在する問題全体のなすクラスを通常 P と書く。これに対して、非決定性のTuring機械で多項式時間の手間で解きうる問題全体のなすクラスを NP と書く。 P が NP の部分クラスになっていることは自明であるが、 P が NP の真部分集合であるのか、クラス P と NP が一致するのかわかるとは明らかになっていない。(大多数の研究者は、 P と NP は一致しないと信じている。)

このような事情を厳密に定式化したものが計算の複雑さの理論である。この理論の発端は、Cook (1971) が命題論理式の充足可能性問題が NP - 完全であることを証明したことに始まる。これを出発点として、グラフの頂点被覆問題、ハミルトン路問題、集合分割問題といったいくつかの組合せ論的な問題が NP - 完全であることが、Karp (1972) によって示された。これを基礎として同様の論法で、効率的な解法 (アルゴリズム) が見いだされていなかった多数の問題が NP - 完全であることが明らかにされた。これら NP - 完全であることが示された問題の数は幾何級数的に増え、例えば、この分野の代表的なテキストのひとつである Garey and Johnson (1979) の巻末には主要な NP - 完全な問題だけでも 200 以上が列挙されている。今日では、組合せ論的な問題のほとんどが、多項式時間の手間の効率的なアルゴリズムが確立されている少数の問題と、NP - 完全ないしそれ以上の難しさをもつことが明らかな残り大多数の問題に類別されている。

与えられた問題がいったん NP - 完全であると分かれば、その問題に対しては多項式時間の効率的な解法は存在しないであろうと考えるのが、この分野に携わる研究者の現在の常識である。というのも、もしひとつでも NP - 完全な問題に対して多項式時間の効率的なアルゴリズムが見つければ、それはすべての NP - 完全もしくは一般に NP に属するすべての問題に対して効率的な解法が存在することを意味する。逆に言えば、とてもその様なことがありうるとは考えられず、それゆえ、NP - 完全と判明した問題については、それを厳密に解く効率的なアルゴリズムを作ることはあきらめるのが普通である。

以上のように、計算の複雑さの理論は計算可能性の理論と比べて実際的かつ実用的である。現在、日本でも情報科学あるいは情報処理といった名を冠した学科が各方面の大学に新增設されているが、上で述べた諸概念やその基礎的理論が学部レベルで十分に教えられているところはなはだ少ないことは残念である。

(3) 数理計画法

数理計画法一般は、離散数学の範疇に入らないが、その中の線形計画法はすぐれて組合せ論的であると言え、また、計算の複雑さの理論からみても極めて重要かつ興味深い研究課題である。

線形計画法の定式化とそのいわゆる単体法による解法は、良く知られたよう

に、1950年代前半にDantzigによって確立された。単体法自身は、一般に極めて効率的なアルゴリズムであり、現在では、変数の数が数千にものぼるサイズの問題が単体法またはその改良版によって解かれ、実際に様々な現場で大きな成果をあげている。

このように単体法は、実用的には極めて有効であり、かつまた、経験的には制約式の数の4～6倍程度以内の回数の枢軸変換で最適解に到達することが知られている。しかしながら、理論的には単体法は多項式時間のアルゴリズムではないことが明らかにされている。単体法が多項式時間内で最適解に到達しないような巧妙な例を示したのは、Klee and Minty (1972)である。

その後、線形計画法を解く多項式時間のアルゴリズムが存在するか否かは重要な未解決の問題であったが、当時は全く無名だったソ連の学者Khachianが1979年に、単体法とはおよそかけ離れたアイデアに基づいた解法である楕円体法を基礎として線形計画法に対する多項式時間のアルゴリズムを提示した。しかし楕円体法は解法としては性能が悪く、実用化には至らなかった。

それゆえ解法としての単体法の優位は長くくずれなかったが、最近Karmarkar (1984)によって提案された新解法によってその地位が危うくなりかけている。単体法が多面体の頂点から頂点へ辺をたどりながら最適解に近づいていくのに対して、Karmarkarの方法は実行可能領域のなす多面体の内部を歩いていく一種の内部経路法になっているのが特徴である。また、単体法で見られるピボット操作のような組合せ論的な手続きをやめて、「線形性」を「非線形」の解析場の滑らかな所に埋め込むという点でこの方法は思想的に影響が大きい。ここ数年の研究で、簡単な改良あるいは拡張によって、Karmarkar法は単体法と同等あるいはそれ以上に速いアルゴリズムになるとの報告が多数なされている。この分野での日本の研究者の反応はす早く、かなりの数にのぼる研究者達が強い関心を持ってこの新解法の研究に取り組んでおり、既に様々な形でその研究成果が報告されている。

(4) 組合せ最適化の理論

ネットワークフローの理論は、Fulkersonらの人々が中心になり、1950年代後半にその基礎が築かれた。その当時は、まだ計算の複雑さの理論は確立されておらず、ネットワーク上の最大流問題に対するFord and Fulkersonによるラベリングアルゴリズムではそのままでは有限時間内での収束さえ保証されていなかった。ラベリングの手順に簡単な工夫をこらせば、彼らの解法が多項式オ

オーダーの手間ですむアルゴリズムになることはEdmonds and Karp (1972) によって最初に示された。その後、この最大流問題に対する様々な改良されたアルゴリズムが提案されているが、その改良の基本的なアイデアはソ連の学者Dinitz とKarzanovによるものである。

ネットワーク上の最短経路問題は、ある意味で、最大流問題の双対問題になっている。これについては古くからDijkstra法が実用的で速いアルゴリズムとして知られている。理論的には、ネットワークの頂点数を n としたとき、Dijkstra法はオーダーとして $O(n^2)$ の手間がかかるアルゴリズムであり、現在では $O(n \log n)$ またはそれ以上に速いアルゴリズムが各種提案されている。

最小費用流問題は、その特別な場合として最大流問題及び最短経路問題を含んでおり、ある意味でネットワークフロー問題の最も一般的な問題定式化になっている。しかし、この問題を解くアルゴリズムとして一般的に最も良く知られた主双対法は、多項式時間の手間ですむという意味での効率的な解法ではないことが明らかにされている。(Zadeh (1973))。つい最近になって、この最小費用流問題に対する強多項式オーダーのアルゴリズムがTardos(1985) によって見いだされた。Tardosのアルゴリズムはscaling methodと呼ばれる少々特殊なテクニックを駆使しており、解法としては主双対法が実用的であると思われる。

ネットワーク上の最小費用流問題は線形計画法の特別な場合であるから、それが多項式時間の手間で解けること自体は上述のKachachian、Karmarkarらの結果によって明らかである。この場合の多項式時間とは、入力データの数値をすべて2進展開したときのビット数の総和を L 、頂点数を n 、辺の数を m としたとき、 L と n と m のある多項式で計算時間が押さえられるということを意味している。これに対してTardosの強多項式解法は、計算の手間を押さえる多項式が、 L を含まず n と m とだけによる多項式に取れるということを明らかにしている。これは、手間を押さえる多項式が各辺上の容量や単位流量当りのコストによらず、頂点の数 n と辺の数 m だけによるものにとれるということを意味するものである。この結果は、ある意味で自然なことである。反復計算の中での計算量が、与えられた容量やコストの小さな変化に伴って増大することは考えることだが、反復計算の繰り返しの数そのものが大きく変化するとは考えにくい。この様に考えるとき、一般の線形計画法においてもその計算の手間を押さえる多項式が、入力データ長 L によらず、変数の数 n と制約式の数 m とだけによるものにとれる強多項式のアルゴリズムが存在しうると考えても不自然ではないが、こ

の問題は未解決である。

グラフ理論は、陰に陽に計算機の発達に刺激されながら、戦後急速に発展し、研究者の数が増大した分野である。ただ、グラフ理論中の各研究課題やトピックは、相互に独立したものが多く、理論全体としての有機的な関連性が薄いことが残念な点である。

ここでは、四色問題を一つだけ例にあげて述べてみたい。というのも、実際に言葉の真の意味で「計算機によって証明された」と言える数学の定理としては、この四色定理がこれまでに確立された唯一の例と言えるからである。もちろん、数学基礎論的なアプローチからの定理の自動証明といった試みは計算機の発達の初期の段階から勢力的に研究されてきたものの、「新しい数学の定理」が「計算機によって証明された」と言えるまでのレベルにまで到達していない。(将来ともその様なレベルまで到達するといったことは起こらないであろうと、少なくとも筆者は信じている。) 四色定理に対する Appel and Haken (1976) の証明では、計算機を利用して全ての可約配置からなる不可避集合を構成しかつその一つ一つの場合について定理が成立していることを確かめた。彼らは、その際、千数百時間にのぼる長時間にわたって大型計算機を使用したという。これはとても人力の及ぶところではなく、「計算機によって証明された」と言われるゆえんである。この類のことが、数学の研究の歴史の中でそうたびたび起こるとも思えないが、計算機が無視し得ない道具となってきたことを如実に語る良い例になっている。純粹数学への計算機の応用としては、このほかにも、例えば、実験的整数論と呼ばれている分野などがその良い例になっている。

(東京大学 中村政隆)

F. 数理科学

数理科学のここ20年ぐらいでの出来事の内、特に重要と思われる分野について、順に解説する。なお、いずれの分野においても計算機の発達が非常に重要なファクターであり、これを無視して議論を進めることはできない。

(1) 動的システム論

これは、いわゆる制御理論とは別であって、1975年の「Li-Yorkの定理」が

契機となって、カオスと呼ばれる微細構造を微分方程式論として扱う手法が盛んに研究されるようになってきた。日本では、京大の山口らが1978年頃から研究を始めた。

応用として、そのような微細構造の持つ自己相似性を計算機でシミュレートする、いわゆるフラクタルの研究があり、Mandelbrot (MIT) が1978年に定義したMandelbrot集合が有名である。現在、コンピュータグラフィックスの進歩によって、様々な自然界に見られる図形（例えば雲、波、山々の遠景など）をフラクタルを用いて表現することが行なわれている。

一方、システムダイナミクスと呼ばれる理論が1970年頃からMITを中心に研究されるようになった。これは、システムの状態をある種のオートマトンとしてとらえ限定された定量化を行なうものであるが、所詮連続系ではなく、あまり有望視されていない。

(2) 数値計算法

これは、計算機の発展によって急速の進歩を遂げた分野である。特に、差分法、有限要素法 (FEM)、境界要素法 (BEM) などに代表される偏微分方程式の (線形化) 近似解法は、計算機無しでは決して実用化する事が出来なかったと言って過言ではない。また計算機の高速化、特にここ数年のパイプライン方式のスーパーコンピュータは、その構造がこれらの高次線形方程式を解くことに向いていることから、構造設計・流体計算・気象予報等を対象として大いに利用されている。特に、Navier-Stokes非線形圧縮性流体系方程式は、数値解法は知られてはいたが、高速の計算機無しで解くことは全く不可能であった。それがスーパーコンピュータで実用的に解けるようになったことはきわめて有意義なことである。FEMがボーイングの技術者によって発表されたのは1958年であり、現在ではパーソナルコンピュータ上でも利用できるまでになった。

(3) 数式処理

これは、代数式を数値計算によって近似的に処理・計算するのではなく、数式のまま記号処理によって扱うものであり、記号処理言語 (例えばLispなど) の発明、実用化に依る所が大きい。応用として、物理学・化学・工学での計算を行なったり、数式処理システムと数値計算とを組み合わせ、高精度演算を行なったりするなどがある。実用化システムとしては、Macsyma (MIT)、Reduceなどがある。日本では理化学研究所の佐々木などが研究をしている。

これらのシステムでは、いわゆる代数計算の中、因数分解は一応ほとんどでき、微分・(不定)積分もほぼ完全に出来るようになってきている。多項式の連立方程式の解も数式処理できるものもある。原理的に解けないところは解けないといって停止するようになっており、実用的にはほぼ完成の域に達している。

(4) 神経ネットワークシステム論

Wienerのサイバネティックス以来のシステム論的な知能の取扱いは、1960年代のパーセプトロンを絶頂として、計算神経学と呼ばれる学問が形成されたにも拘らず、その後一時期全く停滞した。大きな理由は、計算機の情報処理原理、即ちデジタル・直列的な記号処理が意外に強力であり、一方で神経回路網的なアプローチはハードウェアのサポートや数学的な原理の未熟で不足があったからである。また、神経整理学もこの時期にはまだかなり問題点を抱えていた。

しかしながら、この状況が1980年代に一変した。一つには、神経回路網モデルの研究の進歩(神経場の興奮力学による並列計算・自己組織化—シナプティック—の理論など)があり、また一方でVLSI技術の進歩で神経回路網を実現するような並列コンピューティングの可能性が高まったことであるが、何よりもアメリカを中心にしたコネクショニズムの動きである。

コネクショニズムは記号処理的な人工知能研究と呼応する認知科学の反省から生まれている。即ち、人間の知能活動を記号処理的な原理でとらえようとする認知科学に対し、それを支えるメカニズムとしての神経網の動きを積極的に評価するものである。特に、情報処理の新しい考え方として出てきている分散処理と結びついたり、あるいはハードウェアを開発する動きとして盛んに研究されるようになってきている。だが、新しいパラダイムとして、ニューロ・コンピューティングは評価できるが、まだまだ議論の余地は大きいようである。米国ではGrossberg、Kohonen、Rumelhart、Minskyなどの研究者が、日本では東京大学の甘利・中野、NHKの福島などが有名である。

(5) 学会など

計算機関係は、ACMやIEEEなどがまず重要である。制御関係であればSIAMあるいはIEEEであろう。数理科学全体を通じてみた場合、これを押さえる学会や組織はなく専門化した学会(例えばORならば米国OR学会)を見るべきである。日本では意外に組織化されておらず、とりあえずとしては情報処理学会や数学会、計測自動制御学会などがあり、分野ごとに対応する学会が一応存在するよ

うである。

雑誌については、上記学会誌以外に数理計画法関係では、Mathematical Programming Society、ニューロンネットワークについてMathematical Biology誌やBiomathematica、Cybernetica等、統計関係ではAnnals of Statisticsが挙げられる。

数理科学関係で有力な研究機関としては、東京大学工学部、同理学部、東京工業大学、京都大学工学部、同理学部、同数理解析研究所等がある。

(東京大学 富山哲男)

G. コンピュータサイエンス

(1) ハードウェア

コンピュータの歴史において、ハードウェア特にデバイスの進歩は驚異的である。1940年代に真空管でスタートした計算機は、半導体の実用化によって、1950年代のトランジスタ化、1960年代のIC化を経て1970年代のLSIの時代に入り、そして現代はVLSIによる高集積度化、高速化、高機能化を追い求める時代である。さらに高速化・高密度化・低エネルギー消費を図るために、シリコンデバイスからガリウム砒素素子・ジョセフソン素子・光素子などの開発が精力的に続けられている。

これらの結果、IBMに代表されるいわゆるメインフレームクラス計算機の巨大化が絶え間なく続いた。さらに、1975年以降のDECのVAXに代表されるスーパーミニクラスと呼ばれる計算機の登場、そして1970年代後半にはApple、IBM PCなどのいわゆるパーソナルコンピュータが出現した。また1980年代にはXEROX Starに始まるワークステーション概念の登場があった。一方でCrayなどのパイプライン処理に基づくスーパーコンピュータが開発され、実用化が進んだ。半導体技術の進歩のみならず、磁気記憶技術の進歩は大容量・高速・高密度補助記憶機器を可能にし、さらに大容量・高密度を目指した光記憶装置の開発・実用化も進んでいる。

これらにより、Number cruncherと呼ばれるスーパーコンピュータ、巨大メインフレームシステム（これらはどちらかと言えば巨大なスーパットを活かした事務処理などの応用向きであろう）から、実時間処理に多く用いられるミニコンピュータシステム、さらには個人専用ワークステーション、そして組み込

みシステムとしてのマイクロチップまでのハードウェアの階層が、我々の社会に大きな影響を与えている。情報処理形態も初期のバッチ処理から、1970年代のTSS処理、リアルタイム応用を経て、現在はパーソナルコンピュータによる個人専用化、そしてネットワークによる分散処理にと発展している。

一方、ハードウェア全体の構成（俗にアーキテクチャと呼ばれる）は、その原理をvon Neumann が提案したプログラム内蔵・逐次実行という方式を黎明期から現在に至るまで踏襲してきているが、ソフトウェア側の進歩とデバイス技術の進歩でようやく並列処理（例えばデータフロー型など）の可能性が生まれつつある。わが国の第五世代計算機と称されるものも、そもそもの発想はそのようなアーキテクチャをPrologの処理系として開発することにあつた。

ハードウェアの進歩は、従来、夢ないし、高価すぎると思われていたソフトウェア技術を実現するという点でソフトウェアシステムに大きな影響を与えている。一昔前ならば、メモリの制約は絶対であり、マシンのスピードから言って僅かでも早いアルゴリズムの開発は至上命令であつた。しかし、それが現在ではハードウェア資源はほぼ無限であると考えて良くなり、結果ソフトウェアのパラダイムが変わってきた。即ち、メモリを浪費してでも、速度を遅くしてでも、より快適な、より高機能なシステムを求めることが正当化されるのである。また、パターン処理、人工知能などの応用が実現可能な技術として考えられ始められ、1980年代に入って一層その傾向が強くなってきた。

(2) ソフトウェア

① 基本ソフトウェア

ソフトウェアシステムの基礎として挙げられるのはいわゆるOperating System (OS) であろう。1950年代の計算機システムにはOSはなく、せいぜいモニタと呼ばれる監視プログラムが付属していた程度である。しかし、計算機のスピードがオペレータのそれを上回ると、効率よくシステムを使うためにOSが重要となってきた。初期のOSとしては、IBMのシステム360の他MITのMulticsシステムが有名である。

OSの関連重要概念にシステムの仮想化がある。記憶容量の制限をなくす仮想記憶はもちろん、個々の機械の差異を吸収する仮想システム、仮想入出力の概念は、現在の計算機技術の基礎となっている。今日では、全てのソフトウェアシステムの基礎としてのOSの重要性が認識されており、異システム間での互換性の無さが情報交換などの点で不便以上の問題となる。現在ではこの点で、AT

&Tで開発されたUNIXシステム、あるいは東京大学で開発中のTRONなどが重要視されている。

② プログラミング言語

初期の計算機言語は機械語そのものしかなかったが、1950年代中頃にIBMが発表したFortranの後、いわゆる高級言語が続々と様々の原理・考え方（パラダイムと呼ぶ）に基づいて開発されている。Fortranの直後にCobolが開発され、科学技術用言語としてのFortranと事務処理用のCobolの双壁という時代が長らく続いた。1960年代にはヨーロッパではAlgolが開発された。この三つに加えFortranとCobolの後継者としてのPL/Iによって代表される言語は手続き型言語と呼ばれる。

これら初期の言語では、特にFortranのGo to文に見られるようにいくつかの欠点があり、これを批判する動きとしての構造化プログラミングが出現した。これ自体はモジュール化概念を生み、1970年代のPascal、その後継者であるModula-2の開発で一応終止符を打つが、この運動の副産物としてソフトウェア工学が誕生した。手続き型言語自体は、現在でも非常に重要な言語であり、UNIXシステムの記述に用いられ有名になったC言語は、UNIXの普及とともにその地位を確固たるものにしていく。

一方、1950年代に既に開発されていたLispに代表される関数型言語は、Lispが人工知能研究者に偏愛されたこともあって、かなり遅くまで誤解され続けてきた。しかしながら、1980年代ハードウェアの進歩でLisp専用マシンが開発されると、折りからの知識工学ブームも手伝い、きわめてポピュラーなものになった。

ソフトウェア工学（とほんの僅かの人工知能）研究からは、さらに抽象データ型言語、さらに対象指向型言語という概念が生まれた。抽象データ型言語とはモジュール化を推し進め、データ「型」とそれに対する演算を一塊にし外部からのアクセスを許さない（情報遮蔽と呼ぶ）ものである。この考えを採用したAdaが米国国防省の組み込みシステムの標準言語として採用されたのが1980年である。対象指向言語は、その考え方をさらに展開し、全てのデータはオブジェクトと呼ばれる塊であり、これにメッセージを送ることで計算を行なうものである。その最大の利点はオブジェクト単位による情報遮蔽と、クラス概念によるプログラムコードの再利用であろう。いくつかの言語系が既に提案されているが、1970年代から米国Xerox Parc研究所で開発されたSmalltalk-80は有

名である。またLispなどに対象指向の機能を持たせる研究も盛んである。

1980年から始まった日本の第五世代計算機開発計画は、Prologに代表される論理型言語を一挙に桤舞台に押し出した。英国のKowalskiによって提案された論理型プログラミング・論理型言語は、関数型言語とともに人工知能研究の中で重要な地位を占めるに至った。その理由は、現在のvon Neumann型計算機の基本原則であるTuring Machineが、論理による記号処理の忠実な実装であるからである。また、データベース研究などとの関連性も指摘されている。現在、その専用マシンの開発や各種応用システムがICOTで精力的に行なわれている。

以上の言語研究の流れで、いくつか注目すべき点がある。それは、インタプリタやコンパイラの開発の過程で「言語」に関する理解が促進されたことで、この時作られた理論が現在の自然言語処理のもとになっている。また、言語開発の歴史をより高度な言語が開発されてきたとみるより、より柔軟なパラダイムが追求されてきたという方が適切であろう。「柔軟」とは、その言語を用いて表現したいことが簡単に表現できる、ということであり、様々の応用向き言語（例えば大規模システムの挙動シミュレーション用言語としてのSimula-67や、ドキュメント出力用PostScriptなど）が何故開発されてきたか、ということの説明になるであろう。自然言語とは異なり、プログラム言語は融通が効かないのである。

③ ソフトウェア工学

ソフトウェア工学は基本的には、1970年代初めの構造化プログラミング議論に端を発する。ソフトウェア危機と呼ばれて久しいが、現在でもそれを（工学的に）解決する手段としてのソフトウェア工学の重要性が指摘されている。ソフトウェア危機とは、現在の速度でプログラムの需要が増えていくと、そのうちに地球上の全人口を追い越してしまうであろうということを目指す。従って、プログラミングの効率・生産向上、バグの無いあるいは少ないプログラミングのための技術・手法を扱う。また、言語の開発もある意味でソフトウェア工学の対象である。

トピックスとしては次のようなものがある。プログラミング環境、自動プログラミング、プログラムの正当性・停止性の検証、要求仕様の記述、様々のプログラミング原理（例えばincremental programming, rapid prototypingなど）。

(3) コミュニケーションとネットワーク

ここ10年位の間急速に進歩したことは、計算機技術と通信技術の結合である。具体的には、計算機の持つ情報処理能力を衛星通信、光通信といった広帯域の通信網と結合することで飛躍的に高めるものである。従来、一企業内での計算機ネットワークの構築はそれほど珍しいものでもなかったが、国際的な通信業に対する政府規制の緩和によって不特定多数あるいは特定多数を相手とする計算機ネットワークが、付加価値ネットワーク、パソコン通信、科学技術用ネットワークとして実用に供されるようになってきた。このことは、既存の電話回線網の利用のみならず高品質高速デジタル回線の普及が引金となっているし、一方で異機種間の接続を可能にする規格（例えばIOSのOSI等）の制定も重要なファクターである。

これに関連して重要なのはEthernetに代表されるローカルエリアネットワーク（LAN）の普及である。従来、計算機間の結合は少し離れると、専用線か既存の電話回線の利用しかなかったが、これまでは送信速度に限界がありまた品質も極めて悪い。しかし、LANを利用すると1～100 Mbps前後の速度で誤りのほとんど無い通信が可能であり、またこれらLAN上での通信の交換性も規格化によって保証されるようになってきている。そして、従来のTSS処理を超えたワークステーションをネットワーク上で結合した環境が実現されている。

その結果出現した重要な概念として分散処理がある。即ち、CPUもファイル、周辺機器もすべてネットワーク上に分散しており、どのワークステーションからでも同様にアクセスできる体制が可能になる。排他制御・セキュリティの保証など技術的な問題はもちろんあるが、情報・資源を共有することによって新しいメリットが生じる。この結果として、LANによる集中処理の分散化と、分散処理の集中化という相反することが同時並行的に起きてきた。即ち、いままで大型計算機を用いて集中処理されていた情報が、LANの普及によってワークステーション上できめ細かく処理できるようになり、また一方では今まで小さな計算機で独立に処理されていた情報を、それらの計算機をLANに接続することで集中して統一的に扱うことが可能になったのである。

LAN規格としては Ethernet（Xerox, DEC, Intel社の共同開発）が有名であるが、そのほかにトークリング方式のIBM社のものもあり、さらに高速・高信頼性のものとして光ファイバを応用したものを各社展開中である。このようなLANの上のプロトコル体系としてはもともと米国のARPAネットワーク用として開発されたTCP/IPが有名である。この上位階層に位置するものとして、ドキュメント交換用規格や、Sun Microsystems社で開発されたNFSなどネットワーク

上の資源を共有を可能にするものがある。

(4) データベース

データベースはもともとデータバンクとも呼ばれていたが、「大規模（補助）記憶装置上のファイル」というもの辺りがその発祥である。1960年代にはいる辺りまでは、それぞれの目的に応じてその度ごとにデータベースシステムを開発していたが、これでは応用プログラム（データベースを使用するシステムの事）を変更する度にデータベースを作り替えなければならず、これを解決するためにデータモデルという考え方が生まれてきた。即ち、応用とは独立なデータベースシステムを開発し、応用はデータそのものとは全く独立なインターフェース（これをスキーマと呼ぶ）を介してデータにアクセスする。

この考え方でポイントとなるのは、データそのものと全く独立なインターフェースであり、データを論理的にどの様に解釈するか（つまり物理的な配置などとは無関係に）を決定することである。このようなスキーマを決定することをデータモデリングと呼び、データベースシステムの開発においては重要な意味を持つ。歴史的に有名なデータモデルとしては、階層構造を持つ階層モデル、有向グラフに基礎をおくCODASYLモデル、集合論をもとにして2次元の表を表現する関係モデル、「実体」と「関係」という世界観に基づくEntity-Relationモデル、関係モデルの中いわゆる非正規形を発展させたNested Relationモデル、論理プログラミングと関係の深い論理型データベースなどがある。これらはいずれもそれを実現する適用システムが存在し、広範囲に利用されている。

データベースシステムを論じる際忘れてはならないことは、データベースシステムの方ではなくむしろその中に入れるべきデータ（情報）をいかにして収集するか、という方法論・実行手法である。現在、米国では商用データベースと呼ばれているものが数多く存在し、特に技術関係（化合物データベース、材料データベース、科学技術文献情報データベース）などでは他国の追随を許さず、しかも他国には最新の情報へのアクセスを許さない等の傾向が出ているが、基本的に情報そのものをMachine readableの形でいかにして収集するかという点で、わが国は大きく立ち遅れていることに注意すべきである。

(5) 応用

コンピュータサイエンスの発展は他の分野への波及効果が非常に大きく、かつ極めて多岐に亘る。例えば、コンピュータの機械工学への応用は、その生産

様式のみならず、個々の機械に持たせることが出来る情報処理能力によって高機能化が図れるようになり、その結果としてその機械の設計方法までが変化してしまっただ。自動車はそのよい例である。だが、それだけでも大変な分量となるので、ここでは恣意的に選んだいくつかの分野に限ってまとめる。

① 人工知能とくに知識工学

コンピュータサイエンスは既存の科学をその応用分野としてカバーしていることは間違いない。今や、自然科学・社会科学・人文科学の多くの分野でコンピュータは、単なる計算ツールとしての枠を超えて基本的な必須の道具としての位置を占めつつある。それは、コンピュータのもつ情報処理パラダイム、即ち数理論理学あるいは数学的手法が、それらの分野で有効な原理として17世紀以来用いられているからであろう。そのパラダイムの延長上に位置しながら、より強力な情報処理能力を提供する手法としての人工知能（あるいは知識工学）が、そのような既存の科学体系を包括する勢いで成長している現実は当然とも言える。

人工知能研究の多くは、1950年代に始まるが、未だに未解決の問題が少なくない。チェスのチャンピオンはついに出来たが、碁の名人はかなり遠い。一方、従来「パターン処理」などと呼ばれてきたビジョンや音声の認識の研究は、1980年代には入ってからは完全に実用技術となった。これは古くから研究されてきた、自然言語理解がすぐモノになりそうに見えながらもなかなか実用化されないのと対照的である。

② シミュレーションとグラフィックス

コンピュータの驚くべき高速大量計算能力（俗にNumber crunchingと言われる）の最大の恩恵を受けたものは、自然科学におけるシミュレーション技法とそれを視覚化するグラフィックス技術であろう。これまで、差分法・有限要素法・境界要素法などの数値近似解法では、Navier-Stokesなどに代表される（非線形）偏微分方程式の実用規模の問題は、実質有限の時間内には解けないものと相場が決まっていた。しかし、これを1 GFLOPS程度のベクトル計算のパイプライン処理の可能なスーパーコンピュータを用いて、実用的な時間内で解けるようになった意義は、工学や物理科学などにおける数値シミュレーションが利用容易になったという点から見て非常に大きい。もともと、解法の改善など地道な努力は積み重ねられていたが、それ以上に1980年代以降のハードウェア発

達の恩恵は大きい。

このことと、いわゆるコンピュータグラフィックス・ビジョン・イメージ処理技術の1970年以降の進歩は、計算機上に作り出したイメージを「もっともらしく」見せることを可能にした。これの直接の御利益はコンピュータグラフィックスによる画像のマスメディアでの利用であろうが、前述のシミュレーション技術の進歩と共に、科学技術の発展に与える影響は大きい。コンピュータの持つ機能としての「記号処理」が「イメージ処理」に拡大された訳である。

グラフィックスの研究の流れで、特筆すべきは標準化運動であろう。グラフィックス機器ほど各社各様の規格が用いられていたところはなく、通信機器や後述のNC機械に比較してその無政府状態は極めて憂えるべきものであった。このような状態を解決するために、米国ではANSIのCore規格が制定され、ヨーロッパではGKSが開発されこれは後にISO規格となった(1985年)。現在ではさらに、PHIGSと呼ぶ新規格が検討されている。

③ ドキュメンテーション

現在、計算機の持つパワーを直接に利用して革命が起きつつあるのは、出版である。従来出版はかなり特殊な技能・設備を要し、素人が自分で本を出版することは不可能であった。しかし、最近のパーソナルコンピュータの普及と安価なレーザプリンタの開発により、個人が自分のためにドキュメントを印刷出版する、いわゆるDesk Top Publishingが可能になった。特に米国では、Apple社のMacintoshコンピュータとレーザプリンタを嚆矢とするDTP革命の波が、会社における情報伝達形式をまさに革命的に変えようとしている。すなわち、個人レベルで作られた情報が、人にアピールしやすい体裁で流通させ易くなり、会社に流れ込む情報量が飛躍的に増加しつつある。日本においてもこの傾向は同じであるが、できあがる文書の品質が全く異なり、相当に差があるというのが実状である。

④ CAD/CAM/CAE/CIM

CAD (Computer Aided Design)、CAM (Computer Aided Manufacturing)、CAE (Computer Aided Engineering)、CIM (Computer Integrated Manufacturing) と呼ばれる概念は今や産業界においては常識である。CADは設計を、CAMは製造を自動化するものであり、その中心技術は製品の持つ論理的構造(機械ならば形状、VLSIならばその配線)を計算機内にモデル化し、製造に必要な情報をそ

れから自動的に生成し、自動的に製造・組立・検査を行うものである。1963年に発表されたMITのSketchpadがその発祥であるが、現在では例えば機械形のCADでは、三次元部品モデルを扱うことができ、VLSIの設計では不可欠なツールとして位置付けられている。

CAMは1957年のMITで発売されたNC (Numerical Control) 方式の工作機械がその初めである。NCは機械加工技術のその後の大進歩の基礎となる技術であり、計算機を用い機械加工をミクロンオーダーで行う技術である。なお、この技術がこの後で、プロッタに応用されたのは興味深い。

CAEはそのCADとCAMを統合し、さらに解析・シミュレーションの技術を含むものであり、これらを統合したものを全てCIMと呼ぶようである。このような技術は設計と生産の両方にまたがり、歴史的に米国はCADに強く、わが国はCAMに強かった。このような状況が、1980年代に入って米国における製造の復権、日本における設計の重視と共に、変わってきたことは言うまでもない。

⑤ ロボティックス

ロボティックスは歴史的には人工知能の枠組みで研究されてきた。人工知能が人間の知能一般を計算機上に実現することを目指しており、その自然な延長として人間の手や足を含んだ系としてロボティックスが研究されてきた。したがって、本来ロボティックスは推論、視聴覚による認識、マニピュレータによる外界への働きかけなど全てを含むものである。MITのAI LabやStanford大学などでは、このような観点からロボティックスが1960年代から既に研究されていた。

一方、1960年代にはすでにCAMがNC技術として普及し始めた。この技術の延長として、産業用ロボットという概念が生まれたのは1964年の米国ユニメーション社のユニメートであり、これが1960年代に華々しく視覚認識の技術と共に、産業界に自動化技術の鍵として導入されたことは記憶に新しい。

しかしながら、本当の意味でのロボティックス研究は上述の人工知能研究の流れにあたり、わが国でのロボティックス研究で米国に比して大きく遅れているところでもある。その例としては、米国CMU大学でのNavlabプロジェクトであり、視覚ガイドによる無人ビークルの研究はこれ単独で、わが国の極限作業ロボットプロジェクトなどに匹敵するだけの内容がある。もちろん、機械工学的な見地からは別の結論を導けるであろう。

⑥ 日本語処理

ロボティクス研究と並んで、わが国のコンピュータサイエンスが大きく貢献したのは、(一面当り前ではあるが) 計算機での日本語処理である。これは単に日本語が計算機で処理できるようになったということではなく、例えばかな漢字変換技術に見られるように自然言語処理研究にかなり本質的な貢献をしたことである。さらに日本語処理の成功は、従来計算機に載りにくいと思われてきた多くの言語にとってその計算機処理への道を開いたということで評価できるであろう。

(6) 利用技術

コンピュータサイエンスにおいて本質的な部分を占めるのは、恐らく数学でもなく、記号処理パラダイムでもなく、「センス」であろう。プログラミングは工学・技術か、あるいは芸術であるかとよく問われる。かなり大部分のプログラミングは技術ではあるが、俗に「美しいプログラム」と呼ばれるプログラムが存在することも事実であり、そのようなプログラムを書ける人が「ハッカー」と呼ばれる人たちでもある。そのような「センス」にわが国のコンピュータサイエンスは最も欠けていて、米国のコンピュータサイエンスが最も強力である。それを象徴するいくつかの項目を検討する。

① ソフトウェアツール

米国Bell研究所の開発したOS、UNIXは今では事実上の標準OSとなりつつあって、わが国のΣ計画においても基礎OSとして採用されたことは良く知られている。このUNIXはOSとして見たとき、もちろん非常に良くできた非凡なOSであることも事実であるが、それよりもいくつかのユニークな考え方を具現したということによって評価されるべきである。

その一つがソフトウェアツールである。これは、簡単なしかし基本的なツール群とそれらを組み合わせる手段だけを用意しておくことで、どんなに複雑なこともそれだけで間に合わせるといった思想である。もちろん効率などの点で、専用ツールに劣るであろう。しかしそのようなハンディ以上に拡張可能性などの柔軟性の方が、結局そのような非効率性を補って余りあるものがある、という考え方であり、実際CPUが高価であったときはそれは欠点であった。しかしハードウェアの進歩によってUNIXのような考え方の優れていることが証明された。

② ドキュメンテーション（マニュアル）

日本の（特に計算機関係の）製品は、ハードウェアとしてはexcellentであり、ソフトウェアもまあまあであるが、マニュアルはjokeであるとよく評される。これは残念ながら事実であり、米国の製品が日本の製品に唯一優れているのはこのマニュアルであろう。さらにApple社のMacintoshなどのように、マニュアルすら不要を目指す思想もある。

これは、日本と米国の文化の差から生じていることは事実であろう。米国の消費者の持つ背景が恐ろしく多様であり、そのためにメーカーがマニュアルを書くときに、如何に分かりやすく正確に書くか、という点で米国（あるいは英語文化圏）に相当の技術の蓄積がある。しかし、それは単に技術としてのテクニカル・ライティングが進んでいるのではなく、どうやら小学校辺りからの教育の中での蓄積、特に大学などでのレポートの書き方、プレゼンテーション技術の教育の重視などの差であるようだ。これを改善するには小学校での「読み書き算盤」の徹底教育、特にいかして自分の言いたいことを他人に的確に簡単に伝えるかの訓練の導入などが必要であり、単に研究環境だけの問題ではない。

③ 設計思想

ソフトウェアシステムの実現において「設計思想」の問題は非常に重要である。なぜなら、ハードウェアが同じならば、その後は単純にソフトウェアが「センス」良く実装できるかどうかで勝負が決まるからである。日本と米国のソフトウェアの最大の差は決してルールや言語の問題ばかりではなく（ましてやハードウェアの問題ばかりではあり得ない）、優れたソフトウェアを設計できるかどうかの「センス」「思想」の問題も重要である。これに関して日本はこれまで決定的に遅れていた。もちろん、「計算」や「コンパイラ」などの「やり方の分かっている」ソフトウェアシステムについては日本のコンピュータサイエンスもかなりの実力を持っているが、統一的なシステムを一貫した思想に基づいて実現することが出来ていない。その意味では、東京大学のTRON計画（坂村ら）は、注目すべきプロジェクトである。

Apple社のMackintoshは優れたユーザインターフェースを有することで知られているが、このようなパーソナルコンピュータは一朝一夕に出来るものではなく、当然その陰にはXerox社のPARC研究所での長期に亘るマン・マシン・インタフェ

ースの在り方に関する地道な研究がある。このような努力があつて初めて、マウス、ビットマップディスプレイ、プルダウンメニューなど、1980年代を代表するインタフェース技術が存在する。このような技術が日本のコンピュータサイエンスの土壌から生み出されなかつたことは残念である。

(8) 学会・研究所、日本と米国の比較

コンピュータサイエンスにおける重要な学会は、まず米国IEEEのComputer SocietyとACM (Association for Computing Machinery) であり。この次にそれぞれの分野での学会 (例えば人工知能であればAAAI (American Association for Artificial Intelligence)) があるが、基本的にはこの二つに集約されている。日本でのこれに対応するのは、情報処理学会、ソフトウェア科学会、電子通信学会、計測自動制御学会、人工知能学会などである。また、国際的な団体としてはIFIP (International Federation for Information Processing) 挙げることが出来る。

重要な雑誌としては、いくつかの出版社系雑誌の他は上記学会の学会誌であろう。特にIEEEは非常に多くの種類のジャーナルを出版しており、またACMはSpecial Interest Groupと呼ばれる活動で有名であり、例えばACM SIGGRAPHはグラフィックス関係では極めて重要である。

コンピュータサイエンス関係の研究活動の活発な大学としては、米国ではMIT、Stanford、CMU、UCB、Yale、University of Texas (Austin校) 等を挙げることが出来る。研究所としてはIBMの3研究所、AT & T Bell研、XEROX PARC、DEC Systems Lab、Schulumberger、SRI、MCC (日本のICOT対抗) などが非常に活発である。日本では京大、阪大、九大、東工大等が非常に有力であり、特に京大は工学部、数理解析研究所の二カ所で有力な研究が行われている。研究所としては、ICOTと工業技術院の電総研がある。

(東京大学 富山哲男 鈴木宏正)

(2) 対象論・課題対応的学問

H. 政策科学

(1) 概念

政策科学は1950年代にアメリカで提唱されたものであり、客観的分析を中心

とする政治学に対して、プラグマティックな委託研究を重視する状況を反映したものとされている。ついで1970年代になると、Policy SciencesおよびPolicy Analysisなどの雑誌が創刊されている。両者の相違については、政策科学が理論的考察に力点をおき、政策分析は具体的問題を扱うという語感がアメリカではあるらしい。実際、両誌の1980年頃までの掲載論文を分析した結果によれば、Policy Sciences誌は一般理論や方法論を探究する傾向にあり、Policy Analysis誌は具体的事例研究を中心としている。

政策科学は、語義からいえば政策の科学であるが、多くの場合、政策として公共政策が念頭におかれている。Policy Sciences誌の初代編集長 E.S.Quade は、「オペレーションズ・リサーチ、システム分析など意思決定科学と行動科学の結合をめざす一種の学際的な行為」と政策科学を定義づけている。この定義によれば、政策科学の背景学問として意思決定科学と行動科学が存在することになる。初期の意思決定科学は、効率ないし合理性を追求するための数量的分析という傾向が強かった。ごく大雑把にその流れを示せば、1920年代のインダストリアル・エンジニアリングから、1940年代のオペレーションズ・リサーチ（ないし文字通りの作戦研究）、50年代のシステム分析などをへて政策科学に到達したといえる。この流れは、しだいに広い視野を求め、より複雑な問題を扱う概念と手法を追求してきた過程ともいえよう。その背景には、解決を必要とするさまざまな社会問題の出現と、そのような問題に取り組み得る専門家集団の出現という事情がある。そうした取り組みの過程で手法の面では、定量的変数を主とした分析から定性的変数の導入へ、効率性に準拠する分析から公正、平等など別の目標軸の導入などへの展開がなされた。これに対して、背景学問としての行動科学は、政策の策定や評価にさいして主観ないし価値観の問題を避けて通れないことを意味している。すなわち、分析対象となるシステムが単純なものであれば、システムの目的なり評価基準なりに関して多くの人々の合意を比較的容易に形成することが可能であるが、政策過程においてはそれが容易でない場合があるからである。

(2) 政策科学の諸領域

政策科学の領域は、次のように分類されよう。

第1は、メタ領域である。（公共部門あるいは社会の）全体としての目的、将来に関する想定、許容されるリスクおよび革新の度合、政策形成システムのあり方、などが含まれる。

第2は、望ましい政策代替案を見いだすための発見的手法の領域である。

第3は、政策代替案の分析・評価などを行なう領域である。

第4は、選択された政策の実現過程に関する領域である。

今後、政策科学は、より複雑な問題を取り扱おうとする方向に進むものと想定される。その第1の方向は、より大きな不確実性の取り扱いである。従来のシステム分析では、生起しうる事象や生起する確率が既知の場合がしばしば取り上げられてきたが、確率が事前に明らかではなかったり、そもそも何が生起するかわからないような場合がそれにあたる。

第2は、価値観が多様化する状況のもとでの政策課題の評価方法である。多目的な評価関数の導入、合意形成のための意見工学、社会的受容問題、などがそれにあたらう。

第3は、政策分析と、現実の政策決定過程との関係について分析を深めることである。政策科学によって分析がなされたとしても、最終決定は分析以前の他の要素によって左右されてしまうことが、現実にはしばしば生じるとすれば、公共政策を決定する場合に、どこまで合理的な手段を適用できるかが政策科学の大きな問題であらう。

(3) 日本における研究組織

まず、研究者の所在については、大学の組織で「政策科学」の名称を冠したものは、埼玉大学大学院政策科学研究科と、筑波大学大学院経営・政策科学研究科であり、いずれも修士過程のコースである。関連する組織として社会工学の名を冠した学科、大学院などが、東京工業大学と筑波大学に存在する。そのほか、大学の経営工学科などにも研究者が散在している。大学以外では、国の機関では防衛庁など、民間では各種シンクタンク、企業の研究部門の一部などに専門家が所属している。

政策科学の専門家の養成は、領域によって事情が異なるように見受けられる。意思決定科学の専門家の養成は、各大学の経営工学科などで広く行なわれているようであるが、それ以外の領域では、専門家の養成はそれぞれの教授などによって個別に進められている。また、大学以外では、各研究機関等においても専門家の養成が独自になされているものと想定される。

関連する専門学会としては、オペレーションズ・リサーチ学会、計測自動制御学会、日本計画行政学会などがあげられよう。そのほか、経済政策、都市・土木・建築・交通などの諸分野、環境や資源問題等の個別領域を対象とする学

会においても、政策科学的な研究活動がなされている。

学術雑誌としては、最初に掲げた英文誌のほか、上掲の各学会の学会誌などがあげられよう。

参考文献

『オペレーションズ・リサーチ 政策科学特集号』1981年9月

江藤 肇「学問論の流れと新構想学際学問の流れ」宍戸ほか『社会工学概論 上』214—227頁、学陽書房、1986年

I. 社会工学

(1) 社会工学の範囲

現在までのところ、社会工学は確立された専門分野とは言えず、その定義は論者によってさまざまである。

まず語義を検討すれば、ひとつの解釈として、社会工学は社会科学領域における応用諸分野を全体として指示する言葉であるとされよう。すなわち、自然科学系の学問を科学と工学に区分することがあるが、社会科学系において同様の位置をしめる言葉が社会科学と社会工学であると考えられる。また一方でこの言葉は、社会を対象とし、工学を方法とする分野であるとも解される。こうした定義によれば、工学的アプローチをもって社会を研究する学問一般が社会工学であることになる。

また歴史的経緯をみれば、社会工学ないしそれに密接に関連した概念を提唱した近年の代表的な例として、K. Popperの唱えた Social Engineering (1940年頃) や、ランド研究所の Social Technology (1960年代) などがあげられよう。江藤によればそれらは図1のように整理され、予測ないし予測と計画という点では共通であっても、出発点の問題意識あるいは方法が異なっている。

いっぽう、日本で行われている研究活動のなかで社会工学に該当する部分を特定化するひとつの方法として、大学で社会工学の名を冠した組織を取り上げてみると、東京工業大学の社会工学科（社会工学専攻の修士および博士課程を含む）と筑波大学社会工学類（筑波大学の「類」とは学部段階の学生組織をあらわす。教官組織である社会工学系、修士課程の経営・政策科学研究科、博士課程の社会工学研究科を含む）のふたつがそれに該当する。東京工業大学は1

学科＝6講座、筑波大学はおおむね3学科に相当する大きさを有するが、所属するスタッフの専門は社会システム論などのほかに、経済学、政治学、社会学などの社会科学分野、経営工学、都市計画、地域計画など多岐にわたっている。

以上の議論をふまえるならば、第1に、社会工学とはかなり広い範囲を指示し、内部に複数の独立した専門分野を含み込んだ大学の学部くらいに相当する大きさのものとなる。第2に、社会工学の構成要素となる専門分野のなかにはこれまでかなり独立に発展してきたものも含まれるはずであり、それらの領域が社会工学の構成要素であるとしても、その発展過程は、それぞれ別個になされたといえよう。第3に、そのなかで社会工学に共通する性質として、政策指向、未来指向などを設定することができよう。

以下ではさしあたり、社会工学として重要ないくつかの領域をレビューする。

(2) 社会工学の諸領域

最近出版された概論書（宍戸、1986）にそってレビューを行う。同書は社会工学の原点となる4つの領域として、社会システム論、社会・経済計画、経営工学、都市・地域計画を掲げ、記述を行なっている。

① 社会・経済計画

社会・経済にかかわる将来の重要な趨勢として、国際化と科学技術の進歩があげられる。国際化の帰結として2種類の変化が引き起こされよう。第1は、自由世界の一体化であり、その内容は、交通・通信の発展、変動相場制による通貨調整の進展、企業の多国籍化などである。第2は、国益重視による分裂化である。今後は両者の緊張関係のもとに国際社会システムが運営されるであろう。

国際経済摩擦については、日本の大きな貿易黒字が自らを孤立化に追い込む危険があり、アメリカなどで保護主義が高まる傾向をみせている。これに対する経済的対策として、円高、内需拡大、構造調整、海外進出の4つが考えられるが、それらを連携して作動させることが重要である。また政治・外交上の問題としては、アメリカの国際的指導力の低下と、アメリカ政府の国内的統括能力の低下とが進行しているので、こうした事態に対処する必要がある。

今後の日本がとるべき道としては、内需主導型の成長、経済援助の充実、海外直接投資、科学技術面での指導性の発揮などが考えられる。

② 経営工学

近年の重要な問題のひとつに日本的経営の問題がある。これが取り上げられる理由は、第1には日本企業の生産性・競争力の原因であると目されること、第2には、国際化、高齢化が日本的経営に及ぼす影響が日本の将来を占うポイントであると目されることによる。日本的経営が日本独自なものであるのか、将来くずれるのか、については論者によって意見が異なるが、その帰結は日本経済の将来にとって重大問題である。

③ 都市・地域計画

21世紀にむけての日本の最も重要な都市・地域問題は、東京圏への集中・地方分散のあり方である。この問題に関する議論は、まず、それ自身が目的（価値判断レベルの選択）なのか他の目的のための手段であるのかを明らかにするべきである。これまでは、地方分散政策と他の目的の国家政策が結果的に相殺して東京への集中を促進してきたと考えられる。今後は中央政府による政策介入よりもコミュニティ間の競争による誘導政策が効果を発揮するであろう。経済政策が市場というフィルターを通して実現することを忘れてはならない。また、これまで都市・地域政策ではハード面の政策（たとえば高速道路の建設）が強調されすぎていたが、今後はソフト面の政策（たとえば料金政策）をうまく組み合わせていくことが重要である。

都市・地域政策の対象は複雑なシステムであるから、(計量的な)モデル自体によって具体的な計画編成を行なうことは現状では無理であり、モデルによる定量分析は政策変数と主要(目的)内生変数の関係を定性的に明らかにするためのものとして位置づけることが適当である。

④ 社会システム論

社会工学の立場から社会システムという言葉を用いる場合に、人間集団としての社会システムだけにとどまらず、人間を、それを取り囲んでいる物理環境や情報、エネルギー、生態学的システムなどとの関係においてとらえるような考え方を含めて、広い範囲にわたって検討していくべきである。

経済システムや政治システムを市場機構や自由競争にすべてゆだねるのではなく、社会指標や意識調査などによって社会状態をたえずモニターしながら計画的に対応していくことがますます重要であり、そこにおいてデータバンクのはたす役割が大きなものとなってきている。システムズ・アプローチにおいて

は、人間がコンピュータと対話しながら、その過程で専門家の知識も十分に活用していくような「しなやかなシステム・アプローチ」が重要である。

社会工学のあり方としては、1) 現実の社会に生じるさまざまな問題をいかに解決するかという課題にとりくむ、2) 社会科学の中のひとつの新しい専門分野を建設する、3) 社会科学のさまざまな専門分野にとっての共通の基盤技術となる、という3つの可能性があるが、第2のものが重要である。近年、学問の専門分化が進行しているが、それらを新しい立場から総合することが必要になり、そのさい「ホロン」という考え方が重要である。また、創造の科学を追求するために、帰納と演繹のほかに「推測」という方法が重要な手がかりとなる。社会システムのモデルとしては、物質的世界（ハードウェア）と社会・政治・経済（ソフトウェア）の内側に、世界観、物質観、価値観など意識の世界を対象とする「メタソフト」の部分を検討すべきである。これについては、頭脳のメカニズムを理解し、その成果を取り入れていくべきである。

(3) 研究動向のまとめ

① 社会工学は、既存のさまざまな分野を含み込んだ広い範囲をさす概念である。その中で、政策指向、未来指向などの性質が共通点として指摘できる。それらの研究は、しばしば既存分野の研究の一環として行なわれている。また、科学技術政策学のように、新しい専門分野として立ち上がりつつあるものも存在する。この意味では、研究フロンティアが推移するというよりも、拡張しているという色彩が強い。

② 以上のような活動を行なう組織として、2つの大学に社会工学の組織があるほか、他の学科などにも社会工学としての研究に従事している研究者が多数存在する。大学のほか、シンクタンクとよばれる民間独立研究機関も無視できない実力を有していて、とくに研究成果の量とバラエティの側面に関してそのことがあてはまる。ただしシンクタンクにおいては、研究成果が常に公表されるとは限らず、また長期にわたる経験を体系的に整理する機会が必ずしも充分でないなど、若干の問題が存在する。

③ 政策指向の研究を行なうさい、かつては工学のモデルを社会現象に直接にあてはめるような研究が少なくなかった。近年では、システムの目標設定ないし価値観のレベルの選択と方法・手段の区別、政策意図と帰結の関係の予測、社会的合意形成、などの問題も重視されている。全体として、社会システムの複雑性に対する理解が深まっているといえよう。個別的な研究成果は充実しつ

つあるにしても、社会工学全体を対象とするグランドセオリーないしパラダイムの形成には現状では成功していないと考えられる。こうした成果は今後に期待される。

④ 研究者の養成機関としては、上記のような大学、研究機関があるが、社会工学の内容が多様であることに対応して、研究機関あるいは研究指導者の指向性に応じて養成される研究者も多様であると推察される。

⑤ 定期刊行物としては、和文の『計画行政』、英文の“Socio Economic Planning Science”など、この分野と関連する表題を有する雑誌のほか、既存分野の学術雑誌にも社会工学の研究成果が掲載されている。

(参考文献)

宍戸ほか『社会工学概論 上、下』学陽書房、1986年

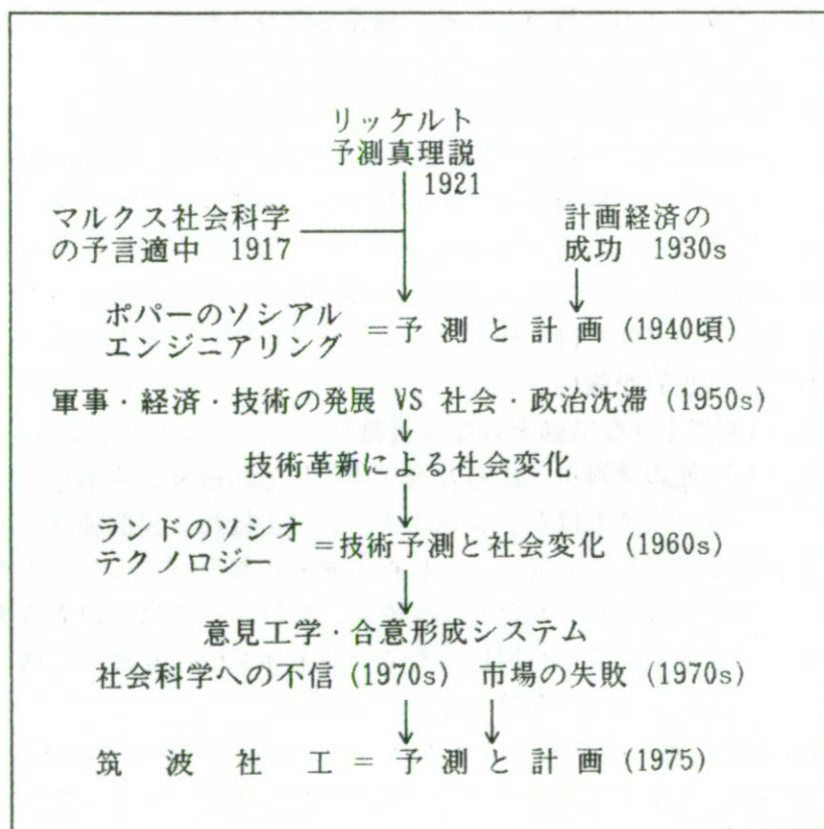


図3.2 社会工学論の歴史

宍戸ほか『社会工学概論 上』学陽書房、1986年、161頁より。

J. 社会学

(1) 起源

社会学とは、人間の社会的共同生活を研究する科学であり、社会科学のひとつの専門分野である。社会学の起源は、A. Comteが『実証哲学講義』において「社会学」の名称を用い、この学問の体系を作り上げたときに遡るとされているから、その時期は19世紀の前半期に該当する。また日本では、東京帝国大学に社会学講座が置かれたのが19世紀後半のことである。すなわち、社会学そのものは長い歴史を有する学問である。

(2) 課題と体系

上記の定義によれば、社会学が社会科学一般とほとんど同義であるという解釈も成立しよう。実際、初期の社会学はいわゆる総合社会学の立場をとり、社会学をもって社会科学そのもの、あるいは社会科学の基本科学であるとした。

しかし現在では、より限定された領域を指示する場合が普通である。すなわち、社会学では、社会的現実をパーソナリティ体系、社会体系、文化体系という3つの構成要素にしばしば区分する。社会学はそれらのすべてにかかわるにしても、とくに社会体系に分析の焦点をおき、それとの関連においてパーソナリティ体系や文化体系を取り上げることが普通である。このような立場から社会学の基礎領域として、個人の社会的行為を研究対象とする「社会的行為論」、個人間の相互作用を研究対象とする「社会過程論」、共通目標をもつなどした個人間の関係を研究対象とする「社会集団論」、社会体系の構成要素の関係を研究対象とする「社会構造論」、社会体系の変化を研究対象とする「社会変動論」などがたてられている。

以上のような社会学の領域分類は、政治学、経済学、教育学といった他の多くの社会科学領域が、社会の機能的分野に対応したタテワリにされているのに対して、横断的な性格をもっている。そのため社会学の内部には、社会の機能的分野や応用領域に対応したさまざまな分科社会学が含みこまれている。教育社会学、宗教社会学、科学社会学、医療社会学などはその例である。

(3) ソフト系科学技術における位置づけ

以上のように社会学は、社会およびそれを構成する人間の社会的行為などを対象とする学問であるから、その全体が「ソフト系科学技術」の範囲に含まれるともいえる。しかし実際には、社会学の一部分を構成する社会哲学ないし歴

史哲学の色彩が強い領域をのぞいた、経験的研究として実証可能性を有する部分がソフト系科学技術（あるいはソフト系科学）に含まれるものと考えられる。

社会学史の流れをみると、そうした経験的研究の本格的発展は今次大戦前後からのことであり、現在もなお発展中である。以下では、ソフト系科学技術に含まれる社会学の代表的な領域として、社会調査法、計量社会学、数理社会学などを取り上げ、個別にレビューを行う。

(4) 社会調査法

社会調査とは、一定の社会または社会集団の社会事象に関するデータを、主として現地調査によって、直接に収集し、記述し、分析する過程をさし、社会学における実証手段として最も一般的に利用されてきた研究方法である。その特徴は、調査者自身が最適と考える質問や測定方法を採用できることにあり、官庁統計などのデータと比較して、直接的に個人単位の情報が得られる点ですぐれている。また、学術的な社会調査では調査の手続きが明示され、再調査、追調査によって調査の妥当性を検証する可能性が論理的に保持される点も特徴といえよう。

社会調査法を構成する下部領域として、調査対象選択法、データ収集法、データ整理・分析法などがあげられる。このうちデータ整理・分析法は、本レビューでは計量社会学として別に取り扱う。

① 調査対象選択法

社会あるいは社会集団の全体を調査対象とする悉皆調査と、その一部分を抽出して調査対象とする標本調査とがある。後者については、全対象者（母集団）から調査対象者を抽出する方法（標本抽出法）が統計学の分野を中心としてすでに研究されていて、研究のための技術として完成度が高いものとなっている。

この領域における今後のフロンティアとしては、調査対象がより「ソフト」な場合の取扱いがあげられる。すなわち上記の選択法では、あらかじめ母集団が明確に定義され、それを前提として調査対象者の選択法がつけられている。これに対してここでソフトな場合というのは、母集団の全体像が明らかにされない状態で調査を開始し、母集団とそれがもつ性質を事後的に推定するような方法である。

② データ収集法

社会調査で普通に用いられているデータ収集の方法には、面接調査（調査員が対象者に面接して口頭で質問を行い、回答を聞き取る）、留置調査（調査員が調査票を配布し、記入済みの調査票を回収する）、集合調査（対象者を一ヶ所に集めて調査する）、郵送調査（調査票を郵便で送付し、郵便で回収する）、電話調査（電話で質問を行い、回答を聞き取る）などがある。これらの方法は、調査に要する費用や時間、予想される回収率や結果の信頼性などが異なる。また、おそらく質問や回答の選択肢を目で読むか耳で聞き取るかなどのちがいに起因して、回答傾向がデータ収集方法によっていくらか異なることが知られている。

上記のいずれの方法を用いるにしても、質問のしかたが重要である。類似の内容であっても質問のしかたによって回答が変わることは日常的にも経験されることである。それゆえ質問は統制された形式で提示されることが普通であり、回答も、はい、いいえ、どちらともいえない、などの固定した選択肢によって回答を求めることが多い。質問項目の設定に関しては尺度構成などとして、個別の質問文の作成についてはワーディングとして以前から研究が進められてきている。

③ データベース

以上の記述とは視点を異にした、今日の社会調査の課題として、データベースの整備があげられる。過去に実施した社会調査はもはや繰り返すことができない点で貴重な資料であり、それとの比較において現在の調査結果を位置づけられる意味からも重要なデータである。それゆえ、可能な範囲で社会学の共通財産として活用されることが望ましい。しかし現状では、調査票、分析用データ、(分析用データを作成するさいの) コーディング・マニュアルなどは調査実施者の手元に保管されているために、処分あるいは散逸の危機にさらされている。これらを体系的に収集・整理することが求められている。

(5) 計量社会学

社会調査から得られたデータの整理・分析手法は、統計学、心理学、経済学などの隣接領域と共通する内容も多く、必ずしもすべてが社会学の独自の貢献であるわけではない。そのなかで計量社会学が取り扱うデータの特徴はつぎのようなものである。第1に、数量的変数よりも質的変数（カテゴリーカル・デー

タ) がしばしば使用されることである。第2には社会調査が社会を対象とすることから実験がほとんど不可能であること、第3に、比較的少数の対象者に関して(質問項目が多数であるという意味で)豊富な情報が得られることが多いこと、などがあげられる。以上の帰結として計量社会学は、隣接領域の計量的手法と比較すると、つぎのような諸点に特徴を有する。しばしば用いられる手法とともに示す。

- ① 質的変数の処理 : 属性相関係数、クロス集計など
- ② 個別データが包含する情報の縮約表現手法 : 林の数量化理論、潜在構造分析、一般共分散構造分析など
- ③ 非実験的データから因果関係を推定する手法 : エラボレーション、パス解析など

以上の領域は、いずれも今後の発展が期待されるが、これとは別の今後のフロンティアとしては、非定型データの分析手法の開発があげられる。非定型データとは自由回答のようなデータを意味する。これまでの社会調査では、あらかじめ固定された選択肢によって回答をもとめることが多かったが、これは、本来的には(たとえば「はい」から「いいえ」まで)連続的に分散している回答者の意見をいずれかの選択肢に強制的に割り当てていたことを意味しよう。このような処理によって計量分析の手続きはより単純なものとなっていた。しかし今後は、ソフト系科学技術の諸領域(とくに情報処理技術、AI、認知科学など)の成果を活用することによって、そうした複雑なデータの処理が発展することが期待される。なお非定型データは、自由回答に限らず、一般の文書、映像、行動観察記録、録音記録、などの形でも存在するものであるが、近年では「ソフトデータ」とも呼ばれて研究が進められている。

(6) 数理社会学

数理社会学は、数学的論理にもとづいて社会事象を記述し、説明することを目的とする領域である。すなわち数理社会学は、理論社会学の一部分であり、この点で経験的社会学の一部である計量社会学とは明確に区別される。そして、他の科学技術分野と同様に、理論的社会学と経験的社会学の協同によって社会学の発展がなされることが期待される。

数理社会学の一般的な手順としては、数理モデルの定式化、数理モデルの解析、結果の評価という段階をふむことになる。しかし、数理社会学のモデルは、今日では既存の数理モデルの借用ないし拡張からなることが少なくなく、今後

の大きな発展が期待されている。

(7) 研究体制

学会組織として、社会学を包括する「日本社会学会」があるが、より関連の深い学会として、「数理社会学会」と「社会経済システム学会」があげられる。数理社会学会は、会員が100名程度の小規模学会であって設立されて間もないが、社会学の有力な若手研究者が集中している点で注目される。

研究者の所属機関は大学が中心であり、全国に散在している。ただし、ソフト系科学技術に含まれる社会学の研究者は、必ずしも多数ではない。

専門家養成の場として、多くの大学に博士課程を有するコースがあるが、ソフト系科学技術に含まれる社会学の専門家養成としては、必ずしも充分とはいえない。その理由としては、ほとんどの大学で社会学が文学部に属しているために、学生の数学の基礎知識が必ずしも充分でなく、入学後の数学的訓練も充分でないことが指摘できよう。むしろ、上記の数理社会学会や、その前身である「数理社会学研究会」が若手研究者の育成に大きな役割をはたしてきた。

○主要な研究機関

北海道大学、東北大学、東京大学、大阪大学、関西学院大学、九州大学。

○主要な雑誌

- ・社会学評論、現代社会学、理論と方法
- ・American Sociological Review、American Journal of Sociology、Journal of Mathematical Sociology

(参考文献)

見田、栗原、田中（編）『社会学事典』弘文堂、1988年。

海野、原、和田（編）『数理社会学の展開』数理社会学研究会、1988年。

K. 経済学

経済学におけるソフト系化学技術との関わりを論じる前に、実社会の経済状況のソフト化が、経済学にどのような影響を与えてきたかを論じなければならない。

実経済の構造的な変化はソフトノミクスという言葉に象徴される。この用語は1982年頃、大蔵省の長富氏によって提唱され、やがて米国でも知られるようになった。経済のソフト化は、1.情報化、2.金融化、3.国際化、4.省資源化、5.投機化等、6.サービス化によって特徴づけられる。これらの流れは1980年代の社会経済活動を表わすキーワードとして直観的にも受け入れられるものである。

これにより経済学はつぎのような問題に直面することになった。第一の問題は、現行の「国民経済計算」が経済の実態を反映しにくくなったことである。いわゆる経済のunderground化の進行である。例えば株の売買による利益が国民経済計算には計上されないため、統計上の所得と実態としての所得に格差の生じる場合が現われたのである。このことは消費に関しても同様であり、何にいくら使ったかが、家計調査を行なっても判然とはしなくなってきた。この典型は消費関数の計測にみられ、1960年代は消費関数を計測すると見事に直線を呈したが、80年代にはいるとかなりのバラつきを見せるようになってきている。

第二に、経済構造の金融化、投機化である。近年、コンピュータプログラムが株式の売買を自動的に行なうに至ったことは象徴的である。製造業においても、ファンドマネージャーが一人で大きな利益を生み出す、という事態が現出することになった。このようにして、モノ作りを中心に据えてきた従来の経済学は、大きな転機を迫られることになった。

このような状態では、経済政策も変化する。例えば、公共投資により内需喚起を行なおうにも、投資額の8割もが地価騰貴となって地主のものになる可能性が生じた。しかも、その大部分は証券市場に回り、挙句には米国の国債購入にまわることも考えられる。株式への関心が高まったのは今に始まったことではない。しかし、従来の株式相場が基本的には経済の実態を反映していた点は決定的な相違である。かくして、現在はカジノ資本主義という名称すら与えられるに至っている。こうした事態は、以前のような乗数効果による経済政策の策定をきわめて困難なものにした。かつてのように経済学の理論に則して政策を評価し、政策の効果を数字で議論することがきわめて難しくなった。

以上の2点はいずれもマクロなデータからは現実が見えにくい、という経済構造の変化を示すものであり、従来の「経済学」という視点に疑問を投げかけることになった。

これらの現実からの課題に対し、経済学は今のところ未回答である。このため、マクロで考えても仕方がない、身近などが問題なのかの方が重要である、

という経済学者ではない論者の主張が実感をもって受け入れられ、経済に対する関心が高まっても経済学に対する関心は低いままとなっている。何より、経済学が解決すべき問題がもうひとつはっきりしない点が、経済学に対する期待の小ささとなっていると言えよう。実際、米国では1980年代、反ケインズ主義、市場万能主義が台頭し、いかに経済政策が不要かという論調が中心となった。

以上の状況に対し、突破口としての可能性はどこにあるだろうか。

一つは、このような小さな政府論に代表される強者の論理に対する反省が兆しとして見え始めている点である。例えば、ブラインダーは“Hard Heads, Soft Hearts”で、論理+倫理を唱えている。これは、1970年代のラディカルエコノミクスへの一種の回帰現象と言えよう。

いま一つは、例えば分散自律系制御理論のような新しい制御理論の概念の導入である。元来、制御理論は、安定化、最適化、という経済活動の政策的側面を自然に表現するため、経済学に多くの影響を与えてきた。ポントリャーギンやカルマンの功績は工学では言うまでもないが、経済学でも1950年代、その影響下に多くの研究論文が書かれた。この意味では、新しい制御概念は抵抗なく経済学に受け入れられよう。

フラクタル、カオス、カタストロフィという非線形数学からのインパクトも同様である。従来の経済学が専ら線形数学の上に記述されていたのに対し、まったく立場を変えた数学の適用が、新しい光を経済学に投げかける可能性は十分有ろう。しかし、1970年代の数理経済学がきわめて高度な現代数学を取入れながら結局は下火となったように、新しい数学もそれが不毛な使い方をされるかどうかにかかっているといえよう。

これに対し、ソフト系科学技術の方法論と経済学との関連は不明な点が多い。例えば、ソフト系科学技術の一つのパラダイムとして生体系システムのアナロジーがある。確かに経済システムは機械系よりは生物系に近い。しかし、問題はそれがどの程度共通言語としての数学に乗るかである。経済学の一分野として地位を築いたゲーム理論は、主体の判断を取り込んではいるが、現象の記述からなかなか踏み出せないうらみが感じられる。

(東京理科大学 森 俊介)

Ｌ．組織論

H. Koontzは、経営管理論の現状を「Management theory Jungle」と呼んでおり、1980年に11の学派が存在していると指摘している。現在、組織論への貢献は、社会学・経済学・心理学・哲学・物理学・生物学等多くの分野で行われているが、本稿では、社会科学ことに経営学分野の組織論に焦点を合わせ、とくに1960年代に生まれて1970年代に発展したContingency Theoryを中心に、組織論の流れ、現状、展望を行う。

(1) 組織論の系譜

現代の組織論は、F.W. Taylorに始まる科学的管理論とM. Weberの官僚制論への批判から生まれ、組織の一般均衡理論として C.I. Barnardによる「The Function of Executive」(1938年)、及びH.A. Simonによる「Administration Behavior」(1947年)、H.A. SimonとJ.G. Marchによる「Organization」(1958年)により開花することになる。これらの近代的組織論の特色は、意思決定を中心コンセプトに個人と組織間の誘因・貢献を重視し、均衡のための組織構造と組織過程を分析している点にあり、内部指向性の強さと組織の均衡と普遍性への指向に注目される点がある。

Barnardは、実業界で経営トップを務め、ロックフェラー財団の理事長をした実務家であり、ハーバード大学の社会学者のグループの影響を受けている。Barnardの主張は、協働と組織の理論と、公式組織における職能の二つにある。Barnardは、「二人以上の人々の意識的に調整された諸活動ないし諸力の体系」を公式組織と定義し、伝達と貢献意欲と共通目的が公式組織の三要件であると考えている。彼は、人間が協働するのは自然であり、協働に適さない人は病理的ケースであると考え、組織を均衡状態に保ちそれを存続させることが経営者の職能であると主張している。

Simon, March, Cyert等のカーネギー学派の意思決定論によると、人間の情報収集・処理・予測能力には限界があり、完全に合理的ではあり得ず、最大化の基準ではなく、満足化の原理で行動すると考えている。カーネギー学派は、人間のより現実的なモデルに基づいて、認知という側面から組織における意思決定のあり方を解明しようとした点に特色があるとされている。MarchとSimonは「Organization」において、組織における命題を三つに分類している。第一に、「組織におけるメンバーは主として受動的な機械であり、仕事を遂行し、指示を受けるが、行動を起こし影響力を行使するという点ではほとんど重要で

ない」という命題であり、これは科学的管理にみられる特色である。第二に、「メンバーは態度、価値、目的を組織的に持ち込むと仮定し、メンバーが組織内に参加することを動機づけられ、それへの誘因がなされねばならない」という命題であり、官僚制、人間関係論にみられる。第三に、「組織メンバーは意思決定者である」という命題であり、これはプランニングの過程についての経済学者の業績と組織内コミュニケーションと問題解決についての心理学者の業績にみられる特色である。Simonは、人間の社会行動は合理的な側面と非合理的な側面の境界にあり、従来の最大化行動を採る“経済人”に代わって、制約された合理性のなかでの満足化する“経済人”を分析している。Simon等は、彼等の想定する現実的な人間観に基づいて、組織理論を体系化し、動機づけによる組織の均衡理論を提示した。近代的組織論は、Contingency Theory が環境と組織の関係を明示的に取り入れたオープンシステムのモデルであり、かつ環境が異なると有効な方法も異なると考えている点でContingency Theoryとの相異があるものの、組織内のコンフリクト、組織のプランニング等Contingency Theoryの展開の基本的役割を果たしている面も見逃せない。

(2) 組織論の現状 — Contingency Theory について —

Contingency Theory という言葉は、ハーバード大学のP.R. LawrenceとJ.W. Lorschの「Organization and Environment」(1967年)で名付けられたが、1950年代、60年代に英米の社会—技術システム論の実証分析のなかにその萌芽が見られる。

Contingency Theoryの特色は、組織についての実証的、学際的研究であることと、異なった条件の下で組織がいかに機能するかを説明するという意味で条件的(Contingent)であることなどである。いいかえると、あらゆる環境にたいして普遍主義的な組織や、組織の一般理論化はあり得ず、環境が異なれば有効な組織化の方法(組織の有効性)も異なる。それ故、彼等は環境と組織の適合(fit)を重視しており、一般理論と特殊理論の中間すなわちMertonの「中範囲の理論」を指向している。Contingency Theoryの固有な変数は大きく三種類あり、第一は環境・技術・規模等のコンテクスト変数、第二は組織構造や管理システム、組織過程、個人属性等の組織特性変数、第三は組織のパフォーマンスや有効性を示す組織成果変数である。Contingency Theoryは、コンテクストと組織特性と組織成果の三種類の変数の適合関係を実証的に分析することを指向する(図3.3)。

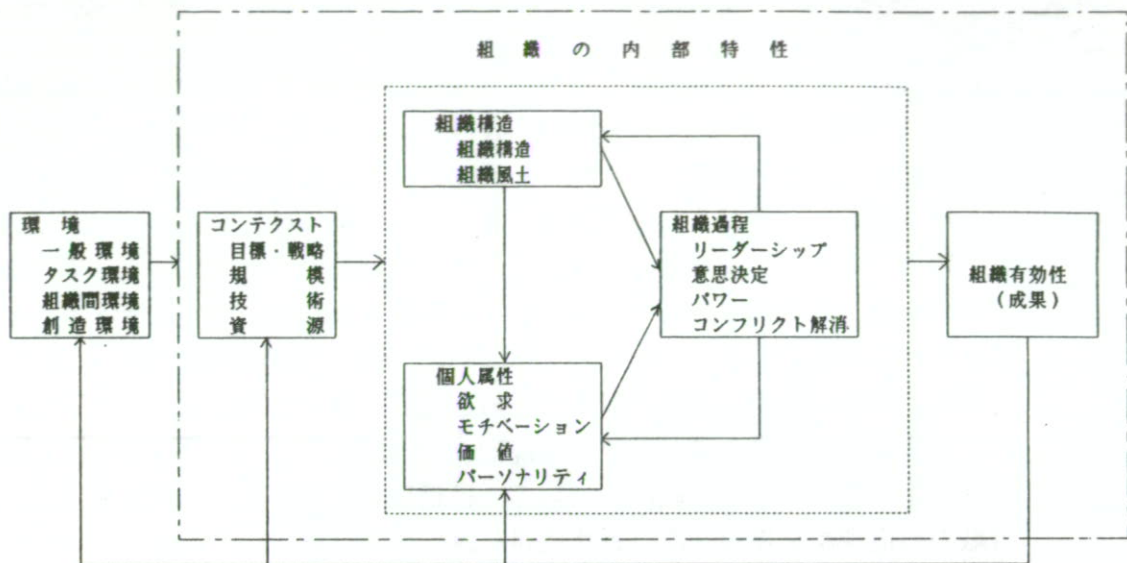


図3.3 組織現象の統合的コンティンジェンシー・モデル
 (出所)「組織のコンティンジェンシー理論」 占部都美 1979年

Contingency Theoryは、1970年代に日本に紹介され、組織学会やその学会誌とも言える『組織科学』等で条件適合論、状況適合理論、環境適応理論等の訳語のもとに批判的・発展的展開が行なわれている。

Contingency Theoryに対する批判としては、第一に、環境が変化した場合のダイナミックな適応過程や調整メカニズムを説明していないという指摘がある。Child等によるこのような批判は本質的であり、最近のエコロジー・モデルや自己組織化等の組織論の新しい分野の開発が望まれている。第二に、業績に大きな影響を与えるはずの「戦略」が無視されているという指摘がある。このような批判は、“組織は戦略に従う”という立場から戦略論を組み立てた H.L. Ansaff、さらに R.E. Miles と C.C. Snow の戦略的経営等に見られる。

(3) 組織論の展望と新しい組織

1960年代、70年代を通じて、組織論はContingency Theoryの精緻化と批判を中心に展開してきたと言える。このなかから、一つは統合的Contingency Modelを開発しようとする動きが(図1参照)、もう一つには新しい組織論の展開を求め動きも見られる。

今日、新しい組織論として確立しているものはない。しかしながら、組織のエコロジー・モデルや、自己組織化 (Self-organization) モデル等、新たな

組織論の創造への動きが見られている。従来、既に組織が存在していることを前提として組織論が展開されてきたが、組織の生成の過程、組織化の過程に注目した動きがある。K.E. Weickは、「組織とは組織化の過程である。組織化の過程は、組織の下位者（例えば従業員）が上位者（例えば意志決定者）の権限を受け入れることにより（意志決定者への）権限の集中が可能になるという、相互依存関係により統制される。また（従業員間での）組織の目標の一致は組織化の必要条件ではなく、個人は多様な目標を持って組織に参加している。さらに組織の生存条件には、柔軟性と安定性という相反する二つのバランスが求められている。柔軟性だけでは一体感や連続性が失われ、安定性だけでは変化への対応が難しい。」（「The Social Psychology of Organizing」1969年）と考え、組織論は修正されるべきであると主張している。

Weickは、組織論のなかに以下のような新しい考え方を導入しようとしている。彼によると、従来先ず組織が存在し、その組織により個人が統制されていると考えられていたが、組織は個人の行動の結果生まれるものである。Barnardによると、組織を構成するものは共通の目的を持った個人であるとされているが、Weickは多様な異なる個人が自分達の目的達成の手段として組織に参加しており、組織を構成するものは人間そのものではなく、人間の行動（手段）であり、個人は自分の目的実現のため多数の異なる組織に参加していると考えている。このため Weick は各個人の目的は異なっても手段が一致しているならば組織は生成され、組織内の個人間を連結するものは互酬的關係であると考えている。Weickは、異なった目的を持つ個人がその行動の連結（手段の共有）により組織が成立すればつぎに組織の維持という共通の目的が生まれる可能性があり、この共通目的の実現のために分業等の多様な手段が生じる、といった形の組織化のプロセスが成立すると考えている。Weickの組織観は、組織に参加する個人の目的は異なり、その参加も部分的・流動的であることから、ルース・カップリングと呼ばれている。このような組織観に立って、D.T. CombellやWeickは、生物進化モデルとも呼べる変異 - 淘汰 - 保持の三つの過程から、組織進化論を提唱している。

近年、わが国でもWeick等の組織観の展開に立って、自己組織化（Self-organization）の研究が行われている。彼らによると、自己組織化とは自ら変化を創造、ないしカオス（混沌）や“ゆらぎ”を作り出し、そこから秩序を形成する組織である。清水博によると、生物が生きることのなかで“ゆらぎ”の意味は重要であると述べている。即ち、“ゆらぎ”とは統計的な平均からのず

れであり、生命の生存のためにはこの“ゆらぎ”と呼ばれる平均からのずれの自由度の果している役割は大きい（「生命を捉えなおす」1978年）という。野中郁次郎によると、組織進化とは情報の創造であり、自己組織化とはカオスのなかから新しい情報（秩序）を創造することを意味している（「企業進化論」1985年）。自己組織化モデルは、現在まだ理論モデルと呼べる段階に達したものではないが、成熟産業の転換力や内外の創造型・革新型企業のなかに自己組織化モデルとも呼べる動きが見られており、学際的な研究が期待されている。

新しい組織創造の動きとしては、ネットワーク、ネットワーキングと呼ばれているもののなかにも見られる。D.E. Williamsonは、市場と組織が経済活動を行う代替制度であると見ており（「Market and Hierarchies」1975年）、今井賢一・伊丹敬久・小池和男等は組織と市場に加えて中間組織というコンセプトを提唱している（「内部組織の経済学」、1982年）。

Williamsonや今井等の一連の研究は、組織間結合ないし組織と市場の代替・選択としてネットワーク論への貢献が見られるが、ネットワーク論のコンセプトは R.E. Milles と C.C. Snowに負っている面が大きい。わが国においても、ネットワーク論については、寺本義也、今井賢一、金子郁容等により精力的に行われているものの、Milles 達と同様に現在までのところ、理論というよりもイメージにすぎないとも言える。

MillesとSnowによると、彼等のダイナミック・ネットワーク・モデルは、以下の四つの構成要因からなる（「Organization: New Concepts for New Forms」、1986年）。第一に、これまで一企業内に垂直統合されていた製品の設計・開発・生産・マーケティング・流通・原料供給等の諸機能が分割され、独立した企業となる。第二に、各々の分割された機能は、ブローカーと呼ばれる一企業あるいは個人や集団の仲介者を通じて連結される。ブローカーを含めて各機能は相互対等のパートナーである。各機能は単一であるとは限らず複数であるケースもある。第三に、各機能を結びつけるものは、これまで企業内で行われていた計画とコントロールから、報酬の支払いや契約による市場機能をベースとしたものになる。第四に、これらの機能を統合するものは、従来のかかる信頼関係からコンピューター情報になる。Milles 達によると、米国では映画製作や高級ファッション、玩具製作等ですでにその萌芽が見られる。

ネットワーク組織は、情報通信技術の発達や制度の自由化に伴い、企業やフォーマル組織だけでなく、インフォーマルな組織や集団等の多様な結合を生んでいる。企業においては、研究開発組織等の創造型組織の外部化や外部資源の活

用、さらに生産コストの安い場所への生産拠点の移転や生産の外部化等を行い、これらについて市場化されたソフトな結合（ネットワーク）を図ろうとする動きが急速に進んでいる。今井・金子によると、ネットワークの形成は、これまでの企業と企業の境目を変えて自己組織化を図り、新しい情報創造の場を作り出すことになり、新しい結びつきが生じるという意味から自己を固定的なものと考えないで、他との相互作用のなかで学習し、その上で自己の情報基盤に立ち戻るということが重要であることを指摘している（「ネットワーク組織論」1988年）。

（経済同友会 経済研究所 内藤洋介）

M. 心理学

(1) 認知心理学20年の動向

① 略史

認知心理学は、1960年代からアメリカにおいて形をととのえ始め、1967年、現コーネル大学教授 Neisserが、名著の誉れ高い「Cognitive Psychology」（大羽訳「認知心理学」誠信書房）を出版して、その地位を不動のものとした。それまでの心理学の強固な研究パラダイムであった行動主義、すなわち、刺激と反応との関係だけを研究の対象とすることへの公然たる反旗が、この本の出版によってひるがえされることになった。

そこで強調されたのは、認知方略、情報の内的変形、加工などの用語による認知現象の説明である。これは、後に表象主義とよばれるドグマにつながっていく。つまり、人間の頭の中でおこっていることをモデル化して、イメージ、命題、メンタルモデルなどの心的表象を説明概念として使って、認知現象を記述していくべしとのドグマである。

そして、1969年雑誌「Cognitive Psychology」が発刊され、それ以後またたく間に、認知心理学は、心理学の新しい研究パラダイムとなるに至っている。その強力な援軍となっているのがコンピュータである。なぜなら、認知心理学は、見たり、覚えたり、考えたり、学んだりする人間の頭の動き（認知機能）を、コンピュータの情報処理になぞらえて考えていこうとするものだからであり、また、モデル検証や実験の道具としても、コンピュータを利用していこうとするものだからである。したがって、その間の認知心理学の動向は、コンピュータの動向に強く依存したものとなっている。

サイモンとニューエルが、1956年に、コンピュータ上で、あたかも数学者がするかのよう、数学の定理証明をするロジック・セオリストを実現して見せ、さらに翌年からとりかかった、人間の思考過程をシミュレートする一般問題解決機（GPS）の開発に成功するに及んで、認知心理学者も、認知機能を、コンピュータにのせる事のできる形で表現することに全力を注ぐようになった。それは、計算主義、あるいは記号主義とよばれるドグマ、すなわち、人間の認知機能をコンピュータ上を動く記号で記述するべし、との研究信念を生み出すまでになった。

一方では、表象主義、他方では、計算主義、この両者を是とする新しい科学、認知科学も形をととのえ始め、それとも緊密な関係を保ちながら、1970年代に入り、認知心理学は、新しい展開をとげることになる。なお、本稿では、認知科学と認知心理学とをあえて区別をせずに話を進める。

ニューエルらによる人間の認知機能にできるだけ近い人工知能を実現しようとの試みは、言語的指示を理解して積み木を色々と置き換えることのできるWingrad (1972) のSHRDLU、人間の認知機能の一般モデルを意図して作成されたAnderson (1973) のシミュレーション・モデルHAM (Human Associative Memory) へと展開してきた。70年代の後半から、人工知能も単なるモデルから、実用を目ざしたエキスパート・システム、判断支援システムに大きな関心が注がれるようになってきた。たとえば、1976年に開発された感染症の診断と処方箋を指示するMYCINは、あまりに有名である。

これに呼応するかのよう、人間の認知現象の研究も、知識表現とその運用を中核的な問題として展開された。すなわち、文章、物語などの言語素材や常識、日常的行為についての知識をどのように形式的に表現するか、それがどの程度まで心理的妥当性を持つのか、さらにその運用のメカニズムは、どのようなものが精力的に研究された。

しかし、一方では、人間の認知機能には、計算主義ではおよそ記述することのできない部分のあることを示す現象が、認知人類学や教育心理学の方面から続々と発見されるにおよび、人間の認知機能への新たな見直しが始まったのも、70年代後半からである。

コンピュータにも、1980年代前半より大きな変化の子兆がある。従来のフォン・ノイマン型の系列処理マシンに代わる並列処理マシン実現のきざしである。これを受けるかのように並列分散処理 (Parallel distributed processing) モデル、時には、認知要素間の結合を強調するところからコネクショニズムと

もよばれるパラダイムが、生体の情報処理モデルとして急速に関心を集めている。これを加速したのが、カリフォルニア大学サンディエゴ校のRumelhart教授が、1986年にMcClellandとともに編集した「Parallel Distributed Processing」(MIT Press) 全2巻である。

② 具体的研究の動向

認知心理学の具体的研究は、4つに大きく分けることができる。

〈認知の仕組〉 情報処理システムを3つに分け、それぞれの処理特性を吟味する研究アプローチが、認知心理学の初期、つまり、1960年代、70年代前半の研究を特徴づけている。その3つとは、感覚情報貯蔵庫、短期記憶貯蔵庫、長期記憶貯蔵庫である。

感覚情報貯蔵庫では、入力された情報を高々500ミリ秒の間、ほとんど物理的な特性をそのまま保存する。その間に、課題の解決に必要な情報が選択的に抽出される。

短期記憶貯蔵庫では、課題解決に必要な情報が、感覚情報貯蔵庫と、次に述べる長期記憶貯蔵庫とから引き出されて、加工される。心的リハーサルなど特別な意志的努力がなされないなら、ここに情報がとどまる時間は、20秒程度である。また、保存しておける情報の単位(チャンクとよばれる)は、 7 ± 2 くらいとされている。こうした制約のもとで、どのような処理メカニズムが働いているかが研究されてきた。

長期記憶貯蔵庫には、膨大な知識が格納されていて、その量にも保存時間にも、はっきりした制限がない。ここでの知識の保存のされ方、そして運用のされ方が、主要な研究上の関心とされてきた。

〈知識の分類・表現〉 長期記憶の中に貯蔵されてる知識は、種々雑多である。これをどのように分類するかは、研究の枠組みを設定する上でも重要である。エピソード的知識と意味的知識の区分、宣言型知識と手続き型知識との区分が提案されている。また、それらをどのように形式化して表現するかについても、スキーマ、スクリプト、フレーム、意味ネットワーク、Memory Organization Pocketsなど多数の試みが行われてきた。

〈知識の獲得・変容〉 人は、生まれてから膨大な知識を身につける。これがどのような学習メカニズムによっているのかについては、計算主義と表象主義の枠外での知見は、豊富であるが、認知心理学では、まだ見るべきものはない。コネクショニズムのパラダイムが、かつての連合学習の理論をどれだけ越えら

れるかが、注目されているところである。

〈知識運用〉 かつての再認、再生といった単純な場面での知識の運用から、判断や推論などの高次の認知活動における知識の運用へと関心が向けられるようになってきた。この問題は、知識の性質とセットにして論じられてきた。意味ネットワーク・モデルでは、ノード（概念とそれを特徴づけている属性に対応）とリンク（ノード間の関係と強さを表現）の上を興奮が拡散していく活性化モデルが提案されている。また、AndersonのACT（Adaptive Control of Thought）では、「もし、～（条件部）、ならば～（行為部）」という形の手続き型の知識の運用がモデル化されている。

③ 学会と機関誌

1977年にアメリカで、Normanらによって“Cognitive Science”が刊行され、その2年後にCognitive Science Society (of America) が設立された。本邦では、日本心理学会年次大会の発表セッションに始めて「認知」が用意されたのが、1980年である。ほぼ50～60件の発表が毎年なされている。

1984年に「日本認知科学会」が誕生し、心理学者、言語学者、コンピュータ科学者、哲学者を中心に会員数約800名に達している。1988年からは、雑誌『認知科学の発展』も刊行される。さらに、日本情報処理学会でも、後述するインタフェース関連の研究発表が活発になされている。

おおまかな評価をここで述べておけば、アメリカと本邦との間には、すべての面で、5年の遅れはある。それは、ひとえに、柔軟な研究組織を組むことがむずかしい日本の大学をはじめとする官庁研究機関に問題があるとも言えるかもしれない。

(2) 今後の展開

認知革命と呼ぶにふさわしいまでに知の科学の様相が一変した20年の歩みである。今後に期待される研究の方向を示すのは、かなりむずかしいがその萌芽は指摘できる。

① ヒューマン・インタフェースの研究

頭脳マシンであるコンピュータの普及は、人間と機械との関係を一変させた。機械を相手にあたかも人と対話をするかのようなヒューマン・マシン・インタフェースが出現してきたのである。これをいかに人間にとって親しみが

あって、しかもわかりやすいものにするかは、今後ますます重要になってくる。

かつて、環境の物理的設計に人間の動作特性や身体的・生理的特性をいかに反映させるかという問題意識から人間工学が誕生したように、コンピュータとのインタフェースの設計に人間の知的特性をいかに反映させるかを考えなければならなくなってきた。こうした問題意識を具体的に解決していくために、人間工学に代わって、新たに認知工学という分野が形成されつつある。

認知心理学サイドでの具体的課題としては、次のようなものが考えられる。

i) 人間のインタフェース行動の分析：インタフェース行動には、広範な行動レパートリーが含まれる。人間工学で対象とされていたものは無論のと、人間の認知機能の特性までが、認知工学では、取り上げられることになる。とりわけ、言語行動は重要である。コマンドやメニュー、エラー・メッセージ、さらにマニュアルまで、コンピュータとの知的インタフェースを中心的にささえるものは言語だからである。

ii) インタフェース設計の技術化：ドキュメンテーション・エンジニアリングという領域が認知工学の1分野として、有望視されている。つまり、インタフェース関連の言語情報の作成、保存、管理を技術化できないか、というものである。ワープロのシステム設計の領分で、悪文チェッカー、校正機能、あるいはアイデア・プロセッサのような構想支援などの形で実現しつつあるものが、今後、人間の表現過程についての知見を生かしながら急速に発展していくことが期待される。

iii) インタフェースのユーザ側からの評価：インタフェースの品質評価の標準化が、今後、一つの大きな問題となってくるはずである。現在は、雑誌などで個別的な苦情やチェックの形で行われているが、今後は、一定の標準化されたチェックを経ないと出荷できなくなるような体制がととのってくるかもしれない。その際、当然のこととして、ユーザにとって、という視点が最優先とならなければならない。そこに、認知心理学の知見が貢献できるはずである。

② 認知現象への生態学的アプローチの展開

人間の認知現象を計算主義のパラダイムで研究をすすめてきたところ、皮肉なことに、およそ計算的でない現象が続々発見されてきた。これを計算パラドックスと称する人もいる。いずれにしても、人間の認知現象の説明に、文脈、もっと大きく言うなら文化をも取り込んだパラダイムが必要になってきているようである。これは、知の文化的相対主義をもたらすことになり、およそ普遍性を

旨とする科学にふさわしくない議論へと展開していく可能性をひめている。

しかし、一方では、これまでの認知心理学では想像もつかなかった新しい知の世界を見せてくれることになるかもしれない。それは、西洋合理主義に代表されるような知の世界ではなく、あいまいで、非合理的で、非分析的な、いわば東洋的な知の世界、そして、情動知や、思想、道徳、さらに想像性などをも含んだものになるはずである。

認知工学の分野でのもっとも活発な研究活動をしている研究者は次の通りである。

*Norman 教授 (カリフォルニア大学サンディエゴ校、Institute of Cognitive Science) 認知科学の問題提起者であり、枠組み作りのうまさに定評がある。最近では、インタフェースの問題についてのプロジェクト・リーダーとして、この領域の研究をリードしている。

*Negroponte 教授 (MITのMedia Laboratory) 人間とコンピュータとをつなぐ新しいメディアの開発に取り組んでいる。

*Schneiderman 教授 (Maryland 大学) ユーザ・サイドに立ったインタフェース研究を手堅く実践している。

*溝口文雄助教授 (東京理科大工学部) 人工知能用インタフェースの設計、とりわけアイコン利用の問題に関心を持っている。

*佐伯胖助教授 (東京大学教育学部) インタフェースの哲学とも言うにふさわしい論陣をはり、インタフェース設計への指針を与えている。

*加藤隆氏 (日本アイ・ビー・エム東京基礎研究所、認知工学) 認知工学セクションのリーダーとして、企業でのその可能性を広く探っている。

*伊東裕司助手 (慶応大学文学部) プログラム言語の学習の問題に取り組んでいる。

*海保博之助教授 (筑波大学心理学系) 加藤とともに、マニュアルのわかりやすさの問題を研究している。

*三宅芳雄氏 (NTT武蔵野電気通信研究部) わかりやすいマニュアルの書き方をいかに支援するかを、ライター訓練の立場からおこなっている。

(筑波大学 海保博之)

N. 言語学

(1) 言語学の体系と歴史

言語学とは、言語の科学的研究をする学問である。言語は、人間であればほとんど誰もが、無意識のうちに使いこなしているものであり、人間の思考や行動のあらゆる局面で重要な役割を果たしている。したがって、言語の研究は、単にことばや発声、文学、語彙などの研究にとどまらず、究極的には人間の思考、理解などの精神的活動の局面までも研究の対象とすることになる。

言語学といっても、音声学から形式言語学、社会言語学、心理言語学など多様な下位部門を有している。いずれの研究もソフト系科学技術と関係を有するが、近年の人工知能、自然言語処理などと関係が深い分野は、形式言語学である。以下ではまず、形式言語学を中心に、言語学の研究内容を外観する。

① 言語学の体系

形式言語学は以下のような下位分野を包含している。

- ・音声学 phonetics 人間が発声器官を使って発する言語音の研究をする。
発音の方法、メカニズム、物理的性質の分析などを行う分野。形式言語学の範囲には入らないが、ソフト系科学技術の一部であるマン・マシン・インターフェイスとくに音声合成の分野とは関連がある。
- ・音韻論 phonology ことばとして意味をもつ最小単位の音、すなわち音素 phoneme の体系やパターンを研究する。
- ・形態論 morphology 言語に用いられる基本的な要素である形態素morpheme の分析を行う。語幹、活用、活用、語形成などの研究を行う。
- ・語彙論 lexicography 特定言語の語彙体系の分析を行う。

(以下については後で詳細な説明を行う)

- ・統語論 syntax 文を構成する語、句の配列の原理と過程を分析する。語句や文の構造を説明するのが文法である。文法をさらに進め、文の構造や成分の配列に関心を集中したものが統語論といえる。
- ・意味論 semantics 言葉の意味について研究する。
- ・語用論 pragmatics 特定の状況の中で話し手が伝えようとしている意味を分析する。
- ・談話分析 discourse analysis 言語の理解や、会話の成立について研究する。

② 生成文法 generative grammar

1950年代にN.チョムスキー (Noam Chomsky, MIT) により始められる。

言語を数学的な方法で捉えるという特徴を有する。物理学や数学が、有限の規則や原理から、無限に解を生成することができるように、文法は、ある言語に属する全ての文を生成し、かつ、いかなる不適格な構造も生成することがない。文法は有限の規則から成っており、無限の文を生成することができる、と考える。

言語には、表層構造と深層構造がある。表層的には異なる文であっても、深層においては同じ内容を持つことがある。深層構造は、文の構造の抽象的（特定の言語に依存しない）なレベルである。そこから多様な表層構造が生成される。文法とは、深層構造から表層構造への変換規則（生成規則）を説明するものでなければならない。

深層構造は、句構造規則 phrase structure rules により、あるいはその規則を複数回適用することによって、多様な句構造を持つ文を生成する。さらに、変形規則 transformational rules、すなわち句構造規則によって生じた構造内の要素を移動する規則によって表層的に多様な文を生成する。生成文法の目的は、このような規則を明らかにすることである。

生成文法は、言語学的には、言語の習得の問題などと関係が深いが、ソフト系科学技術との関連においては、形式言語や機械翻訳の問題と関連が深い。

③ 意味論、語用論、談話分析

文法的に正しいとしても、文や句として成立するとは限らない。例えば、「花が歩く」という文は文法的に正しくとも、文としては成立しない。このような問題を考える上で意味が重要になる。人間が言葉から何等かの意味を理解する行為の基礎にある規則や法則は、簡単なようでいて、奥深い問題である。

意味論では、単語の意味を意味素性 semantic features、つまり特定の単語の意味の成分によって記述する。たとえば、「少年」という単語から、「生物である」、「人間である」、「女でない」、「成体でない」などの、意味の成分を抽出し、記述することができる。このような意味素性の分析によって、文法的に正しくとも意味のない文と意味のある文を区別することができる。

また、各種の単語を区別するために、同義語、反義語、同意語、上下関係などの語彙関係に基づいて分析をすることも、意味論の研究のひとつである。

しかし、このようなことばの意味だけでは、ことばの中の意図までは理解できない。そこで、話し手によって意図された意味を研究する語用論が登場する。語用論においては、文脈、前提などが注目される。言葉の理解のためには、単に単語の意味だけではなく、文や会話の中には直接現れてこない「状況」が重要である。ことばは状況の中で意味を持つのである。

このような意味の分析をさらに進めたものが、談話分析である。文法的に誤った文であっても、また意味の点で不適切に単語が用いられたとしても、我々は意味を理解することができる。人間は、談話を解釈することができる。人間が談話を理解するためには、文と文のつながり、人間がもつ知識（スキーマ）や推論能力などの一貫性、会話の方法、協調などが重要であるとされる。

談話の解釈、理解の分析は、もはやことばそのものから離れ、人間の精神活動にまで対象を広げている。ことばの意味の研究は、はじめは単語や文のレベルにとどまっていたが、ことばやそれをういた会話や談話を解釈する、理解するという人間の知的行動そのものを明らかにするという本質的な問題にむかっている。

④ 言語学の歴史とソフト系科学技術

言語学は古くて新しい学問である。文法や形態素に関する研究は紀元前からインドで行われていたし、語源の研究などはギリシアでも行われていた。また、複数言語の類縁性や共通となる母国の研究なども行われていた。

しかし、現代的な、科学といえるような形に言語学が整ってきたのは、19世紀以降といってよいであろう。19世紀始めのグリムの音法則は、言語の法則性という方法論的規律をもたらした。これによって言語が科学的研究の対象になった。19世紀後半のソシュールの構造言語学は、1930年代以降の音素、形態素といった方法論につながって、今日の言語学、とくに音韻論、形態論の基礎を築いた。これは、生物学に「遺伝子」概念が登場するのに似ている。

上でも述べたチョムスキーの生成文法は1950年代に入ってからのものである。これによって統語論を科学的な方法で処理するための方法論が成立した。生成文法は、従来の実証主義、経験主義的な方法から、形式的、数学的方法への転換をその特徴としており、言語学の他の領域にも影響を及ぼした。

このように、言語学における方法論的な洗練はたかだか、ここ200年程度のことである。しかも、生成文法はここ30年程度の研究であるし、語用論や談話分析などはたかだか、10数年の間に登場してきた研究である。近年の意味論や

それに関連する語用論や談話分析などの進展は、情報科学の進展と同時代に起こったものである。次に述べるように、内容的にも共通する部分が多い。言語学と情報科学の両分野に分かれて研究が進められており、どちらかが他方に影響を及ぼしているようにもみえるが、内容的には一体化して進展してきたとみるのが適切であろう。

なお、最近では認知科学とも密接な関係を持つに至っている。

(2) ソフト系科学技術との関連からみた言語学

言語学の研究はそのほとんどがソフト系科学技術と関連を有するといってもよい。情報科学における人工知能に関する分野の目指すところは、結局人間の言語活動のモデル化であるということもできる。例えば、音声合成は音声学や音韻学と関係があるし、それを意味のある発話にするとすれば、語用論の問題である発話行為と関連がある。構文解析器は、統語論や意味論と関連がある。意味論の語彙構造は、情報検索におけるシソーラスに対応する。

しかし、現在のソフト系科学技術にとって主要な関心は、人工知能の研究と言語学との関連にある。情報科学の立場からは、言語学との関連は、計算言語学、自然言語理解、機械翻訳などの名前によって整理されることになる。

① 言語理論、計算言語学との関連

統語論は、人工言語である計算言語の文法体系の構築と関連がある。しかし、今日的には、言語学とのこのような関連はあまり重要でない。

今日的には、チョムスキーの生成文法とオートマン理論との関係の方が重要である。生成文法はオートマン理論と表裏一体の関係にある。両者の関連においては、句構造規則（句構造言語）が重要な概念となる。言語学においては、表層構造（自然言語）の生成が問題となるが、オートマンや計算言語においては、生成規則そのものが重要である。生成される言語は、表層的な多様なものである必要はなく、形式的でよい。

また、言語学とほとんど同じ様な研究を、情報科学的観点から、また計算機応用を前提とする立場から、計算言語学という名称のもとに行っている。しかし、応用的観点を除けば両者が目指すものにそれほど差があるとは考えられない。

② 自然言語、機械翻訳との関連

自然言語理解は、意味論、語用論、談話分析と密接な関係にある。自然言語理解のためには、統語解析だけでなく、意味の解析が必要となる。しかも、真の理解をするためには、膨大な知識が必要となることはすでに述べた通りである。初期の自然言語理解は、エキスパートシステムのように、真の理解ではなく、会話による「理解したフリ」に過ぎなかったが、最近では、真の理解のために、知識そのものの処理方法に関する研究に至っている。すなわち、知識表現や知識データ処理、推論などである。関連する理論やモデルには、フレーム理論、スキーマ理論、概念依存理論、スクリプト理論、意味ネットワーク、単一化文法など多数がある。

音声合成の場合には、情報科学の分野で行うことはモデル化に過ぎず、人間の発する音声とは一致しえない。しかし、このあたりになると、情報科学が、言語理解のモデル化を行っているというだけでなく、言語学においても、言語そのものから離れ人間の精神活動へ研究の対象が移るので、結局、言語理解のモデル化をやっていることになり、両者の区別はほとんど意味を持たない。また、認知科学とも関連を有することになる。

機械翻訳は自然言語理解と文の生成の両方をすることになる。生成は、抽象化された形式言語の段階では済まず、特定の言語の正しい表現を生成する必要がある。

(3) 研究体制（一部計算言語、自然言語処理等を含む）

① 関連する重要な研究組織

日本

- ・ 日本言語学会
- ・ 計量国語学会
- ・ 対話研究会（ATR、事務局京都大学工学部長尾真）
- ・ 日本認知科学会
- ・ 日本論理文法研究会
- ・ ICOT
- ・ 工業技術院電子技術総合研究所

海外

- ・ Association for Computational Linguistics（米国）
- ・ Center for the Study of Language and Information, Stanford Univ.
（米国）

- ・ Amsterdam colloquim, Univ. of Amsterdam (オランダ)
- ・ Institute for Language, Logic and Information, Univ. of Amsterdam (オランダ)
- ・ M I T
- ・ Carnegie Mellon Univ.

② 我が国における養成機関

- ・ 筑波大学
- ・ 上智大学
- ・ 国際基督教大学

③ 雑誌

- ・ Linguistic and Philosophy, Reidel. Holland
- ・ CSLI Report, Center for the Study of Language and Information, Stanford Univ.
- ・ Groningen-Amsterdam Studies in Semantics, Foris, Holland
- ・ Journal of ACL, Association for Computational Linguistics
- ・ 計量国語学

(参考文献)

1. Winograd, T. (1972) Understanding Natural Language, Academic Press.
淵一博他訳、『言語理解の構造』、産業図書、1976
2. Yule, G. (1985) The Study of Language, Cambridge Univ. Press.
今井邦彦他訳、『現代言語学20章』、大修館書店、1987
3. 郡司隆男、『自然言語の文法理解』、産業図書
4. 白井賢一郎、『形式意味論入門』、産業図書、1985
5. 山梨正明、『言語理解』、東京大学出版会、1983

(東京工業大学 小林信一)

第4章 ソフト系科学技術 フロンティア分野の動向

4.1 フロンティア分野の概要

(1) フロンティア分野とは

ソフト系科学技術の広範な研究活動の動向の把握をする上で、前章のような、確立したdisciplineをもつ既存学問分野の動向に加えて、新しい対象・方法へのアプローチを試みている先行的分野の動向を見ておくことは、今後のソフト系科学技術像をイメージする上で欠かすことができない。これら先行的分野は、既存学問分野にあって中心的な部分をおしあげている場合もあるが、むしろ周縁的であったり、新たな領域の創出にかかわっているケースが少なくない。そこで本章では、とくにフロンティア分野の位置づけをした上で事例を選択し、研究動向とともに、ソフト系科学技術先進国としての米国（本調査アンケートでも裏づけられている。第6章参照）の対応および我が国の対応について、現状を検討する。

フロンティア分野を選び出す基準としては、研究開発側からみた先行性を基本とするが、同時に、活用するニーズ側での課題が近い将来一層重大化するという将来課題性を、合わせもっていることを条件とする。

① 研究開発側の先行性は、ソフト系研究活動全体のテーマ・内容・方法にインパクトを与え、将来の全体像の形成動向をや中心のシフトを索引するという、成果のポテンシャルが高く波及効果の大きな分野に認められよう。しかも潜在的ではなく、現実にある程度の研究活動の集積が始まっているところが対象となろう。

② 活用ニーズ側での将来課題性は、我々の今後直面する課題として、社会経済的な重要性（とくに戦略的な）、公共性、緊急性の高い課題群、ということが含意されている。この課題が中長期的にも重要である一方、研究開発の成果の実用的な熟度、有用性がある程度期待できることも条件となる。

したがって、これらの性格をもつフロンティア分野は、研究動向を持続的にフォローし評価する態勢をとり、必要な場合には公共的な支援を重点的に行うという文字通りの「基盤的先導的分野」(科学技術政策大綱1986年)の中の先導分野として位置づけるべきものである。

(2) フロンティア分野の選択の考え方と例

学問的なフロンティアの所在を“客観的”に導出することは不可能である。科学技術史上の経験からも、次世代への芽はその時点では分散的潜在的に試みられており、将来の展開像をもとにフロンティアを予測するには先見的な洞察が必要である。

しかし、本調査では、ソフト系科学技術の今後の展開方向がある程度見渡せるもの、すなわち、ソフト系科学技術関連の研究者の関心のシフト動向（本調査での専門家アンケートはその資料の一つである）ならびに、一定数の研究者が既に研究に従事しはじめている先端的テーマ群（学会等で新しく関心を集めているテーマ群）の中から、幾つかの具体的な領域を例示的に設定し、そこでの動向を検討する。ソフト研究者の関心のキー・ワード例を今回の専門家アンケートを用い第Ⅰ部図3. 1に集積してある。

なお、システムについてのとらえ方について横断的包括的な関心が強く、方法論についての目的的な位置づけ指向の強いとされる一般システム論関連の国際学会での近年のシンポジウム・セッションの立て方は興味深い。第Ⅰ部図3. 5に、70年代半ば以降のセッション名をあげてある。ここでも、あいまいなものをおぼろげとして扱うファジー集合や生体・組織などの自己組織系、企業や行政のマネジメント、社会経済や科学技術のシステムの体系的とらえ方、地球規模の諸問題等の関心が、従来の一般システム論の新展開や情報・コンピュータ・人工知能の関連研究と並んで研究の焦点となっている。

科学技術会議11号答申での重要課題の例示は、「人文・社会事象、知識・情報といったソフトな因子をも対象として取り扱う科学技術」、「人間の集団的行動を取り扱う理論・方法論」、「研究開発活動そのもの」が挙げられていることは前述のとおりである。

抽出基準としては、前述したソフト系科学技術の三種類（第Ⅰ部第2章3節参照）の各々の分野を代表するものを含んでいること、また、科学技術庁の所管する対象課題と接点のあることとした。補足的な基準として、成果の活用レベルにおいて、（個人－組織－国・社会－国際的拡がりの）各階層に分散されていること、並びにこの課題が今後我が国で極めて重要となると考えられるものとした。

その結果（表4.1参照）

- ① 人工知能応用
- ② 研究・技術マネジメント
- ③ 科学技術政策

④ 地球レベルの課題（環境・資源・エネルギー・人口、文化、平和等）を、本調査でとりあげることとする。これらの動向の概括によってソフト系科学技術のフロンティア分野に含まれる主要な特徴と課題が整理しうることが期待されている。以下にこれらを分野別にまとめた。

ソフト系科学技術の先進国といわれる米国では、前章の構成・関連分野の研究動向にも表われているように、多くの分野で国際的な研究を先導している。ソフト系科学技術の今後の動向を占うこれらソフト系科学技術のフロンティア分野例で、米国ではどのような研究開発が行われているかについては極めて興味深いが、特に訪米現地調査を行い、専門家ヒアリング等により、その整理・分析を行った。また、これと対比的に我が国の現状を分析した。

表4. 1 ソフト系科学技術のフロンティア分野例

分野	学 問 レ ベ ル 課 題 例	
	第1類 (工学的システム・アプローチ) 第2類 (疑似工学的システム・アプローチ) 第3類 (ソフト・システム・アプローチ)	課題レベル
人工知能関連	第3類 (方法論としてのAIなど)	個人
研究・技術 マネジメント	第2類 (組織・管理手法など) 第3類 (創造性、組織知能マネジメントなど)	組織
科学技術政策	第2類 (政策分析) 第3類 (戦略設定など)	国家・社会
地球規模課題	第1類 (大規模環境モデルなど) 第2類 (国際的数理計画モデルなど) 第3類 (文化・制度など)	国際

4. 2 人工知能

(1) 全体的研究動向

A. はじめに

人工知能 (Artificial Intelligence : AI) の研究は、電子計算機出現後の'50年代半ばから開始された。当初は計算機の処理能力上の制約もあり、パズルやゲームなど比較的単純で閉じた世界の問題を扱っていたが、'60年代半ば以降は、かなり複雑な問題をも扱うようになり、探索 (search) や推論 (inference) 中心の研究から、知識 (knowledge) の研究へとその重点が移行していくこと

となった。

人工知能の研究は一口でいえば、人間のもつ知的な機能をコンピュータの上で実現しようとするものであり、これには大別して二つの側面がある。一つは人間の知的機能発現の構造や過程を解明しようとする科学的な側面であり、いま一つはコンピュータの機能を高め、人間にとってより有用なシステムを作ろうとする工学的な側面である。これらはAIという車の両輪にもたとえられ、本来切り離すべきものではないが、研究領域の拡大にともなって、'70年代後半には「認知科学」と呼ばれる分野と、「知識工学」ないし「知識情報処理」と呼ばれる分野が、それぞれ新たに形成されることとなった。人工知能はこれら両分野を含む広大な学問領域を包含しており、ますますその対象領域を広げつつある。

B. 認知科学的研究

サイエンスとしての認知科学は、「こころの科学」、「知識の理解・生成・発達についての科学」であり、これらは従来、心理学、言語学、人類学、行動学、哲学等の諸分野で取り扱われてきたものであるが、更に計算機科学という新しい方法論が加わり、これらの諸学問分野を横断・統合する形で、人間の知能に対する共通の関心を軸に成長、発展している学際科学である。当面の主要な研究課題としては、人間の知覚、記憶、発達、熟達、言語、学習、思考、信念システム、感情、意識、性能、相互作用などがあげられている。この分野の研究は、脳神経生理学に近いものから心理学や行動学に至るまで、換言すれば極めて実体に即したミクロなレベルから人間総体としてのマクロなレベルに至るまで、様々な視点からの研究があり、コンピュータによるモデル・シミュレーションも多様な段階について検証が進められている。

もとより、人間が自らを解明しようとする努力は、古来休むことなく続けられてきており、人間解明のための努力は人類に課せられた永遠の課題であろう。この限りにおいて、認知科学もまた完了することのない永遠の研究テーマを持ち続けることであろう。腰を落ち着けて長期的に取り組むべき分野である。コンピュータを媒介とした、人間の情報処理プロセスに関する研究は、ソフト系科学技術の基礎的研究に最もふさわしい分野でもあろう。

C. 人工知能の基礎技術

知識情報処理の分野では、画像認識、自然言語処理、高度なエキスパートシ

システム、知的教育支援システム、ロボット工学などが、当面の重要技術課題となっている。しかし、これらの技術を高度なレベルで実現するためには、解決されねばならない問題群が山積みしている。

① 知識の取扱い

AIが真に有効となるためには、知識システムに膨大な知識の蓄積が必要であり、更に時代や環境の変化、新しい知見の発掘等に伴って、知識の更新や組み替え等の再組織化が必要となるのは自明である。また、知識ベースに蓄えられた知識を利用して、より高度な情報を生成・抽出する機能も必要不可欠といえる。従って、知識の表現（記号化）・知識の利用（推論）・知識の獲得（学習）・更新と組織化、等についての方式を確立していく必要がある。これらはいずれも未だ研究段階にあるが、最も緊要の課題は知識獲得における学習機能についての認知科学的解明と高度な学習機能を備えたシステムの開発である。

1) 知識の表現：計算機は記号を処理する機械であり、知識を計算機上で取り扱うためには、概念としての知識を計算機処理向きにモデル化・形式化・記号化する必要がある。極端な言い方をすれば、'60年代半ば以降の人工知能の歴史は知識表現の方法に関する研究の歴史であるとさえ言えよう。これまで、認知科学志向の研究者を中心に、プロダクション・ルール・モデル、フレームモデル、意味ネットワーク・モデル、黒板モデルなどが提唱され、各種のエキスパート・システムや知識処理システムが試作されている。また、知識や推論の論理的・一貫性を重視する立場から、1階述語論理に基づく知識表現モデルも広く試みられている。但し、厳密に論理の一貫した知識処理しか許さないシステムは、その人工知能としての実用性において限界があるため、論理の枠組をより柔軟化して、あいまいな知識や不完全な知識などをも扱い得るようにその適用範囲を拡大しようとしているのが現状である。

2) 知識の利用：何らかの方式で表現された知識の集積が知識ベースであり、これを運用してより高度な情報の生成をはかるのが知識情報処理システムの基本である。近年では知識を記憶・記述する知識ベースと、それを利用・処理する推論機構とは分離して構築されているのが普通である。人間が行う推論には様々なタイプ（演繹、帰納、類推、等）があるが、これら推論プロセスの具体的なアルゴリズムは未だ知られていないため、人工知能における推論機構としては、探索と演繹推論および経験則としてのヒューリスティックスの一部適用のみが、これまでのところ実用レベルに達しているにすぎない。演繹以外の推

論が可能になれば、より高度な知的機能を実現できると考えられ、帰納推論、類推、非単調推論、デフォルト推論、サーカムスクリプション、妥当性維持、フレンジイ推論などが現在、研究者の関心を集めている。

3) 知識の獲得・学習：知識の表現法とその利用技術が仮に確立されたとして、次に必要なことは、対象世界に関する知識、すなわち世界についての事実や法則を、いかにして計算機に蓄えるかの問題がある。これらの事実や法則は一般に膨大であり、かつ常に変化するものであるため、全ての知識を予め人間が計算機に与えておくことは、極めて制限の強い閉じた世界を対象とするのではない限り、不可能と考えられる。従って、計算機自身が外界から必要な知識を獲得していく機能、更には、環境から情報を取りこみ、知識として利用できる記憶情報にまで構造化・高度化して蓄えていく学習機能が不可欠となる。このような、計算機による知識の獲得と学習には、システムに備わっている推論の能力によって様々の段階がある。例えば、最も低レベルのものでは a) プログラムやデータを全て人間が整理体系化して入力する推論なしの情報取得の段階（従来のコンピュータ利用スタイル）、ついで b) 計算機の外部で既に知識化された情報を一括して、または人間とのやりとりを通じてインタラクティブに取得する段階（現在の多くのエキスパートシステムはこれの初歩的段階にある。自然言語理解、画像理解、テキスト理解などの面で高度化を要す）、更には c) 個々の真実を集め、それらを一般的な知識として利用可能なものにまで汎化・体系化する段階、がある。高レベルになるほど学習システムに推論の能力が要求され、類似推論、帰納推論などを伴う学習が必要となる。c) の段階の学習に達すれば、新規則の発見、理論の形成、知識構造の形成などを含む構成的推論の段階となり、問題の発見などにも寄与できるものと考えられるが、これらは今後の課題として残されている。

② マン・マシン・インタフェース

知識情報処理システムの究極の目的は、人間とコンピュータ（及びそのネットワーク）との協働により、人の知的営為活動を強化・支援することである。従って、人間とコンピュータとの間でスムーズに情報の授受が行えることは極めて重要であり、コンピュータをして自然言語や画像、音声、テキストなどの理解を可能ならしめることが急務である。

1) 自然言語理解：自然言語の処理に関する研究は人工知能研究の歴史の中で常に主要なテーマの一つであったし、現在もなお多くの研究者の関心を集め

ている。これまでも多様な成果が挙げられ、着実に進歩を遂げているが、一方で人間が使用する言語の機微は奥深く、自動翻訳一つをとってみても、十分な実用に耐え得るシステムは未だ実現していない。自然言語の処理に際しては、便宜上、形態素解析（単語の認定）、構文解析（文法）、意味解析、文脈解析の4つのフェーズに分けて論じられることが多いが、これらは相互に関連し強く融合し合ったものとして扱う必要がある。又、意味解析や文脈解析のフェーズでは、推論や常識の採用も不可欠であり、ここでも前節に述べた知識の取扱いに関する基礎技術の充実が待たれる。

2) 画像・図形認識：図や画像は文字列や数式に比べて遥かに多量の情報を凝縮して表現することができる（それは、1枚の設計図あるいは1枚の写真の内容を全て文字の列で表現しようとしたときに要する情報量と比較すれば明瞭である。また例えばほぼ満足できるgraphics workstationのdisplayでは1,000×1,000程度のpixelを持ち、256色程度のカラー表現が可能である。この場合、1画面当りの情報量は1MByteであり、英文字100万字分、通常のテキストにして50～100頁分の情報量となる）。計算機に知識を与えるにも、また計算機の処理結果を表示させるにも、図面や画像を媒介とすることができれば、その効用は大きい。一般に、図面の場合には、個々の目的に応じて人間が周到に作成したものであるから、その読解は比較的容易であり、事実CAD/CAM/CAEの分野で一部実用に供されている。しかし、航空写真や衛星画像、テレビ・ビデオ画面のような画像の場合には、ノイズや障害物、雑多な関心対象外被写体などが共存するため、効率よく必要な情報を引き出すには工夫を要する。もともと画像は3次元立体の2次元平面への射影にすぎないから、画像における奥行情報の欠落を、陰影や明度・材質の変化等に着目して補うことも必要となる。画像の認識においては、局所的に点、線、面とそれらの位相情報を抽出するフェーズ (low-level vision) と、個々の局所情報を総合して有意情報を抽出するフェーズ (high-level vision) がある。後者において高度な知識情報処理が重要となる。

③ 並列分散処理のアルゴリズム

AIの飛躍的進歩のためには、高度な並列分散処理が実現されなければならない。画像処理や自然言語処理における大量情報の速かな処理、超大型知識ベースの高速探索といった高速処理のためのみならず、現行のvon Neumann型逐次処理方式の限界を越えて、人間が行う自然な知覚、認知、判断、推論により近

い処理方式を探るシステムを作るという意味からも実現が望まれるのである。

ハードウェアとしてのいわゆる並列処理マシンは、各種のものが設計・試作され、極めて並列度の高いコネクション・マシンも試作から実用の段階に入りつつあるが、このような並列処理システムの人工知能分野での有効な利用法（ソフトウェア）については、単純な方式による処理の高速化以外には、殆ど何も分っていないのが現状である。並列処理方式が持つ可能性や限界についても、今のところ確たる知見はない。ハードウェア技術の進歩の速さからみて、大規模な並列処理マシンがやがて実現するのは確実であり、また人間における情報処理が並列的に行なわれていることに、疑いの余地はない今日の状況からみて、並列処理のアルゴリズムに関する研究は、今後極めて重要な位置を占めるものと考えられる。このことは、計算機科学の立場からの並列処理の可能性と限界を明らかにする作業の他に、人間における並列的な情報処理の具体的なプロセスについて、もう一步深いレベルでの認知科学的研究の必要性をも示唆しているものといえよう。

D. 人工知能の応用

① 高度エキスパート・システム

ある特定の専門分野に関して、コンサルテーション等を支援するエキスパート・システムは、これまでもおびただしいまでの数にわたって作成されている。これらはいずれも扱う対象を極く狭い領域に限定したうえで、その分野の専門家のヒューリスティックスやノウ・ハウを、計算機で処理可能な形式に整えてシステム化したもので、柔軟性や汎用性には欠けるものが多い。とはいえ、実務の役に立つという意味では人工知能の応用の中でも実用技術への最短距離に位置しており、知識ベース、推論エンジン、マン・マシン・インタフェースのいずれの面においても、前章に述べた知識情報処理の基礎技術の充実と相俟って、より知的で柔軟なエンジン・システムの開発が、今後共各方面で精力的に進められるであろう。将来の問題としては、過度の情報集約や情報格差が生じないように、例えば公共性、汎用性の高い知識ベースについては公開を原則とし、誰もが利用できるような知識ベースの構成法や利用法について、ある種の標準化を進める必要などが生じるかもしれない。

② ロボティックス

状況判断、行動計画立案等が可能で、ある程度自律的に行動することのでき

る知能ロボットは、F A・O A・極限作業における利用の他に、高齢者介助や心身障害者のための福祉利用の面でも有望視されている。知能ロボットの開発は、人工知能と機械工学・制御工学等を統合する技術であり、主として米国のMIT、Stanford大、CMU、SRI International等で精力的に研究が進められている。工場生産ラインの自動化、省力化に関して最も成功を取めている我国において、単機能ロボットの利用率は極めて高いが、上記の意味で知能ロボットの開発研究という面で、米国対し大きく立ち後れている点が心配される。

なお、自律ロボットの場合、例えば重いものや固いものを人の足に落とすと危険であるとか、ガラス製品は壊れやすく人に傷をつけやすいなど、ごくあたりまえの物理 (naive physics) に関する知識だけは、一般常識の全てを与え、安全の観点からは是非わきまえさせなければならない。この点も今後に残された課題である。

③ C A D

CAD/CAM/CAE/CIMは産業界の真剣な取組みの結果、今やあらゆる産業分野で不可欠の常識技術となっている。このうち特にCADにおいては、単に3次元形状や3次元部品モデルを扱うだけでなく、概念設計、基本設計、詳細設計の全てのプロセスにわたって統合的に支援できる知的CADシステムをめざす研究が各所で進められている。設計のプロセスには、仕様によって明確に規定されている部分と、そうでないあいまいなままの部分とが混在する。このあいまいな部分についての決定は設計者の経験や勘によって定められることになるが、こうした部分についても設計の自動化を支援しようとするのが知的CADである。各産業分野の常識や経験則、セールス・ポイントなどを知識ベース化し、構成的推論を実現するなどがキー技術となろう。

④ 教育への応用

教育には様々な側面があり、人間である教師を通じてしか行えない側面 (例えば人格教育) もある。しかし一方で、一人の教師が対応できる学生・生徒の数や、一人一人の学生に対して割くことのできる時間には限りがある。従って、個々の学生のレベルや個性に、より適合した密度の濃い教育を実現すべく、高度に知的な教育支援システムの開発が望まれている。また、今後のゆとりある社会においては、国民総生涯学習の時代が訪れる可能性もある。誰もが自ら望む学習を気軽に行えるよう、この面でもコンピュータの支援が望まれる。高度

に知的な教育支援システムにおいては、様々な学習者の履修歴や思考傾向・理解レベル等についてのモデルを内蔵し、対象学習者と柔軟に対応しつつ、個々の学習者の特性に合わせて必要な教育を授けることができるシステムの実現を目標としている。

⑤ 一般ユーザのためのマン・マシン・インタフェース

コンピュータは今後、職場にも家庭にも普及し、一般大衆がコンピュータと接触する機会は益々増大する。従って、コンピュータについての専門的な知識を必要とせず、誰にでも利用できる計算機システムが必要である。そのため、自然言語を理解し、ユーザのレベルに合わせて応答のできる、一般ユーザのためのマン・マシン・インタフェースとしてのAIの役割が重要となっている。ここではある程度の自然言語理解とユーザモデルの確立が当面の最重要課題である。

E. 各国の動向

コンピュータのハードウェア、アーキテクチャ、オペレーティング・システム、核言語等を含めて、「知識の取扱い」により適合した計算機システム作りをめざす我国の「新世代コンピュータ」開発計画は、世界の注目を集めることとなり、先進各国においても、この計画に触発される形で、いくつかの組織やプロジェクト（合衆国ではMicroelectronics and Computer Corporationの設置とALFAOMEGAプロジェクト、Department of DefenseのAI分野への挺入など；欧州では英国のAlveyプロジェクト、西独のパターン認識と知識処理システム開発プログラム、ECCのEuropean Strategic Program in Information Technology、英独仏三国企業共同のEuropean Computer Industry Research Centerなど）が設置・推進されている。第5世代コンピュータの開発に関して、ICOTを中心とする我が国のプロジェクトは、その規模の大きさ、期間の長さ、組織のユニークさ、野心の大きさ、等において群を抜いている。目標が達成されるか否かは今後の推移に待たねばならないが、仮に十分な成功をおさめたとしても、それによってようやくAIシステムを開発するための環境が整備されるに過ぎないことに注意しなければならない。今後はむしろ、第5世代コンピュータを用いて、いかに有効な人工知能システムを開発していくことができるかが、より重要な問題となろう。そのためには広い裾野をもった幅広い研究が至るところで進められている必要がある。AIプログラムは少数の計算機科学者の手に負える代物

ではなく、各方面の高度な技術や、豊富な経験と学識、そして人間と人間社会に関する深い理解があって初めて、真に人類社会にとって有益な人工知能が実現されうるものと考えられるからである。

(2) 訪米調査

人工知能の研究においては、米国が断然他を引き離して、これまでのところトップの座を確保しつづけている。中でも東のマサチューセッツ工科大学(MIT)、西のスタンフォード大学を双壁として、イェール大学、カーネギー・メロン大学(CMU)、イリノイ大学、テキサス大学、カリフォルニア大学、ラトガーズ大学などが人工知能研究のメッカであり、民間企業ではIBMの基礎研究所、MCC (Microelectronics and Computer Technology Corporation)、SRI (Stanford Research Institute)-International、ゼロックスのPARC (Palo Alto Research Center) などにおいて活発に研究が行われてきている。

今回は、昭和63年2月8日から2月19日までにわたって、これらの大学・研究所の一部につき訪問調査を行ったので、その中から特徴的な動向につき報告する。

① MIT : MITにはDepartment of Electrical Engineering and Computer Scienceがあり、Area I からArea VIIまでの分科をもっている。このうちArea IIがComputer Scienceの専攻分野となっている。こうした学科とは別に、各学部・学科を横断する形で特定の分野について共通の関心をもつ研究者がグループとなってLaboratoryを構成しており、AI関連では、Artificial Intelligence Labo, The Media Labo, Laboratory for Computer Scienceなどがある。

AI Laboは、18人のfaculty member (研究と教育両面担当の教授会メンバー)、8人のacademic staff (研究担当の教授・助教授・専任講師)、41人のresearch and support staff (研究助手ならびに技官) からなり、94人の大学院学生と合わせて、161名にも及ぶ巨大な研究グループである。ここでは、知識表現 (中心的研究者 : Prof. M.Minsky)、並列分散処理による問題解決 (Prof. G.J. Sussman)、学習 (Prof. P.H.Winston)、自然言語処理 (Prof. R.C.Berwick)、画像認識 (Prof. S.Ullman)、大規模並列処理マシン (Prof. W.J.Dally)、高度エキスパートシステム (Prof. R.Davis)、ロボティクス (Prof. C.Atkeson 他多数) など、人工知能の基礎から応用に至る殆ど全分野にわたる研究が行われている。このLaboの研究資金としては、DARPA (Defence Advanced Research

Project Agency)、ONR (Office of Naval Research)、AFOSR (Air Force Office of Sponsored Research)、NSF (National Science Foundation)、その他20以上にのぼる多数の企業からの基金が充当されている。

② Yale University : Department of Computer Scienceの中にAIの研究グループがある。MIT、Stanford、CMUなどにくらべれば規模は小さいながら、認知科学系人工知能の大御所Prof. R.SchankとITS (Intelligent Tutoring Systems)の嚆矢Prof. E.Solowayを擁し、優れた研究が少なくない。Schankのグループは人間の自然言語理解、記憶構造、学習過程、知識再編成の際の解釈、等に関する認知モデルを、Solowayのグループは人工知能の教育への応用、およびプログラミングの各プロセスに関する認知科学的観点からの分析を試みている。

③ Rutgers (State University of New jersey) : Computer Science Departmentの中にAIおよび知識ベースの研究グループがあり、小規模ながら比較的活発に活動している。今後の重点分野として、あらゆる分野における設計プロセスのコンピュータ化を掲げ、Prof. Amarelを代表者としてThe Rutgers Center for Computational Studies of Designの設置をNSFに提案している。

④ CMU : 大規模な計算機科学科をもち、コンピュータのアーキテクチャから人工知能の応用まで幅広い分野をカバーして、先端的研究や画期的なシステムの開発に当たってきている点はMITやStanfordにも匹敵する。CMUの特長は、米国認知科学会の設立に大きく貢献した H.A.SimonやA.Newellが心理学科に在籍していることで、これら人文科学や社会科学と計算機科学とを有機的に結合して、新分野を開拓しようとする努力が払われている点にある。またインフラストラクチャーとしてのコンピュータネットワークを重視し、常に最新のキャンパスネットワークを構築・運営するとともに全国ネットワークに加入して、研究間のネットワークを密にする努力が払われている。

⑤ University of Illinois at Urbana-Champaign : 大型計算機やスーパーコンピュータの開発で先導的役割を果たしてきただけに、コンピュータのアーキテクチャやシステム構築に関しては、現在も力を入れている。また、最近では人工知能の研究にも熱心に取り組んでおり、Beckman Instrumentsの創始者Beckmanからの4千万ドルに及ぶ寄付を基金として1988年12月の完成をめざし

て建設中の“Beckman Institute for Advanced Science and Technology”は注目に値しよう。同研究所は、「知」に関する総合的・学際的研究をめざして、人工知能、認知科学、情報科学、計算機科学、神経科学、生命科学、行動学、材料科学、等の諸科学・技術分野を統合する形で研究者を組織し、研究プロジェクトを組みつつある。

⑥ MCC：日本のICOTに対抗すべく、企業間共同研究開発を禁ずる米国の法律を改正して、1983年に発足した。現在、純米国企業約20社（Shareholders）の共同出資と政府（主として軍関係）出資で運営され、参加企業の商業活動に利益をもたらさうような内容に限定して研究とシステム開発を行っている。当面のAI関連研究テーマとしては、「常識」に相当する知識体系を具備した大規模知識ベースの構築、時間とともに変化する事柄についての推論が可能なエキスパートシステムの開発環境整備、各種推論技法の実現などを掲げている。

⑦ SRI International：SRIはStanford大学との連携のもとに、利潤追求を要しない研究所であるため、長期的視野に立つ優れた研究が少なくない。同時に、研究成果のうち汎用性のあるソフトウェアやAIシステム開発ツールを整備して、実費に近い価格で希望者に配布しており、その社会への貢献度は高く評価される。

(3) 我が国の現状

我が国における人工知能の研究は、質・量ともに米国にくらべて遥かに劣っているといわざるをえない。人工知能の基礎をなす知識の表現、推論、学習のいずれにおいても、その基本的な考え方や方法論は米国からの輸入に頼っており、我が国に固有のオリジナルな考え方や概念で世界に通用するに至っているものは、残念ながら何もない。

米国と我が国の現状を比較するとき最も心配される点は、米国におけるMIT、Carnegie Mellon大学、Stanford大学のごとき人工知能研究のメッカと呼べる大学関連研究組織が、我が国の場合皆無に等しいことである。

企業内においては、日本電気、富士通、日立、東芝、日本IBMなどの各計算機メーカーを始め、多くのソフトウェア会社、大手企業のソフト部門等において、かなりのマンパワーを割いて人工知能分野の研究に取り組んでいるが、企業内研究の場合、その最先端部分は公表されることが少ないため、学会全体の研究

活性化への寄与は小さい。

通産省が推進している第5世代コンピュータプロジェクトは、コンピュータのハードウェア、アーキテクチャ、オペレーティングシステム、核言語等を含めて「知識の取扱い」により適合した計算機システム作りをめざしており、人工知能研究のための環境を整備するという点でも、人材を育成するという点でも大きな効果が期待できる。しかし、人工知能という研究分野は、特定のグループが一定の期間努力すれば多大な成果が上るというタイプのものでは無く、生命科学、認知科学、行動学から言語学、計算機科学、知識情報処理に至る広範な学問分野にわたる地道な研鑽努力と、学際的・総合的な視座からの諸学の統合を経て初めて可能な総合的科学技术である。このような観点から、イリノイ大学で建設中のベックマン・インスティテュートに相当するような学際的・総合的かつ永続的な研究組織が我が国にも設置されることを切望したい。

(東京大学 永野三郎)

4.3 研究・技術マネジメント

(1) 全体的研究動向

A. はじめに

研究・技術マネジメントは二重の意味でソフト系科学技術と言える。それは、研究開発活動およびマネジメント活動の両者が共に、「人間の思考や行動によって形成される世界を、操作モデル等を用い明示的に表現するなどして、合理的に取り扱うための方法」が適用できる対象だからである。それらに、ソフト系科学技術という新しい光を当てることにより、既存の研究視点とは異なった有効な成果を獲得できる可能性も生まれる。

以下では、研究・技術マネジメントにおける最近の研究を、ソフト系科学技術の視点からレビューする。一般に、十分に確立された分野におけるレビューは、それぞれの分野の研究史を踏まえて近年の研究動向を記述する形式をとることが多い。しかし、確立していない新しい領域のレビューでは、どのような範囲のものを当該領域の研究成果とみなすかについて、研究者の間で意見の一致をみない可能性がある。こうした研究成果の選択にかかわる議論を避けるために、以下ではレビューの対象となる研究成果を一定の機械的な方式によって

選択し、それらを適宜に整理するという形式をとるものとする。

レビューの対象は、下記の3つの雑誌の'81年から'85年までの号に掲載されたものを主とした。さらに、それらを含む21の研究・技術マネジメントに関する雑誌を対象に文献調査を行った次の報告(vi)を参考にした。

(i) Research Policy

(ii) Human Systems Management

(iii) Journal of Management Studies

(iv) (財)機械振興協会経済研究所、「民間企業等のR&Dマネジメント及び各国R&D政策の文献調査」昭和62年3月

これらの文献に抄録されている論文のうち、研究・技術マネジメントに関する論文を選び出したところ139編を得た。その内容を検討した結果、研究・技術マネジメント(R&Dマネジメント)の最近の研究状況については、

(i) 研究開発プロセスの段階毎のマネジメント

(ii) 研究開発プロセス全体に係わるマネジメント

(iii) 創造的人材の確保と育成に関するマネジメント

の3分野に分類して概観するとよいとの結論に達した。

B. 研究開発プロセスのマネジメント

R&Dマネジメントの視点から研究開発活動を区分すると、



の順で進行すると考えられる。したがって、この順にR&Dマネジメント研究の内容を概観する。

① 研究開発戦略の策定

まず、企業戦略と研究開発戦略とをリンクする必要があるとの提唱がある。両者に一貫した結合がないために、研究開発戦略が円滑に進行できないばかりか、企業戦略自身が失敗する事例の多いことが類推される。多くの企業において、企業戦略に占める研究開発や技術の比重が飛躍的に高まっている現状では、

両戦略の密接なリンクが重要課題になっている。この分野の研究では、研究開発課題の優先付けを企業戦略に合致させている具体的な事例の紹介、(研究計画作成プロセス毎の)両戦略の結合性を評価するための判断基準の研究、両戦略担当者の意識のギャップやコミュニケーションの少なさなど具体的問題点の指摘と改善策の提示に関する研究がある。

次に、明解な研究開発戦略を策定すべきであるとの提唱がある。この分野の研究では、製品の多様化から研究者個人の評価方法などに及ぶデュポン社の研究開発戦略の紹介、日本の研究開発戦略はプロダクトイノベーション型であるのに対しアメリカのそれはプロセスイノベーション型であるという既存の仮説とは異なる仮説から、アメリカ企業の研究開発戦略の在り方を研究したもの、市場の熟知やトップの柔軟さなどの分析次元を用いて技術革新戦略の文献調査を行ったものがある。

研究開発戦略ではその目標設定が重要である。この分野の研究では、高利潤を得ることを目標にした場合の課題を研究したもの、不確実性の時代にあって高い生産性を得ることを目標にしているフォード社の事例報告などがある。また、研究開発の目標の立て方に関して、企業トップの参加が必要であるなどの課題の指摘のほか、販売しているものが知的サービスや知的製品、材料などのタイプによって研究開発目標が相違するという研究もある。

② 研究プロジェクト選定

研究計画の策定と研究プロジェクトの選定は、同時並行的に行なわれる。そこで両者を共に扱うことにする。この段階では先ず、環境の状況を把握することが肝要である。具体的には、市場規模を系年的に予測する手法の研究、技術発展の要因を外部状況と内部状況に分けて技術予測の活用を論じたもの、あるいは規範的対外的や一変量対多変量などの次元を用いて技術予測手法を整理した研究がある。またアメリカの場合、独占禁止法が企業間の共同研究を促進したと言われておりその実態解明を試みた研究がある。

個別プロジェクトについては、その内容を明確にすると共にできる範囲内で経費を算定しなければならない。この分野に関しては、段階毎に実施する、意志決定者や目標を明確にするなどの作業指針を示した、計画と予算の手法に関する研究、研究開発の段階毎に適切な経費算出方法の研究、研究開発予算の予測法に関する研究がある。なお、ある種の個別プロジェクトの場合、それが成功して製品が社会に普及した時の社会に対するインパクトを事前に評価してお

くこと、すなわちTA (Technology Assessment) も必要である。そのような必要性を指摘したり、具体的方法や評価項目を検討した研究がある。

プロジェクトの選択に当たっては、各プロジェクトの評価が重要な課題になる。この分野の研究では、中期戦略事業に評価が有効であるとか、研究評価には評点法がよいとか、などの指摘がある。一方、大規模研究開発プロジェクトやエネルギー研究開発など具体的分野に関する評価法の研究がある。さらに、これらをまとめるような、評価手法の系統的紹介に関する研究がある。

次に、プロジェクト選択では、200弱の事例を対象に新製品開発プロジェクトの選択に関する要因を重回帰分析で解明したものがある。それによれば新規性、資源との適合性、市場競争力等が有力な要因であったとのことである。また、この分野の研究ではプロジェクト選択手法に関する研究が多い。例えば、リニアプログラミング法やダイナミックプログラミング法の紹介、効用理論やゲーム理論などの紹介、あるいは誰にとって有益かなど選択の基準を明示した選択プロセスの提案などがある。

すべての技術を自社で開発することは必ずしも適当でないことが多い。共同開発や技術導入あるいは外部委託が有利なことがある。この作業も研究プロジェクト選定の一環である。まず、技術導入では、研究開発期間やリスクに関する技術導入の長短を示して、比較判断の項目と留意点を紹介したものがある、また判断項目として製品のライフサイクル、学習曲線、製品生産のライフスタイルなど、より広い見地から論じたものがある。また、外部委託研究に関しては、事例を対象に分析を行い委託契約の満足度が高いこと、研究開発期間などがその説明要因であることなどの研究、委託を判断する時の判断基準を提示した研究などがある。

⑨ 研究プロジェクトの進行管理

研究開発の進行については研究の性格等条件に合わせたマネジメントが求められる。具体的には、基礎・応用・開発という研究の性格によってマネジメントの課題が異なるという研究、なかでも基礎研究は資金や企業戦略などの視点から評価しなければならないという指摘、一方基礎研究と開発研究との相互貢献が大きくなっているなどの指摘がある。なお研究の性格に関しては、相対的にアメリカは基礎重視、日本は開発重視の傾向がある。それらの視点から日米の研究開発マネジメント比較を行い、よりよいマネジメントの参考に資そうとする研究がある。製品のライフサイクルという視点から研究開発のマネジメン

トを考えることも有効であり、実際にその視点から検討した研究がある。

このように研究や製品の性格によって、マネジメントの性格が規定される一方、環境の変化に柔軟に対応できる体制の確立や手法の採用が必要である。研究では、モニタリングの意義や課題を論じたものがある。事例を対象にした研究としては、不確実な環境変化や技術変化への対応策に関する要因分析がある。研究プロジェクトで苦悩が大きいのは中断の決定である。判断基準としては外部基準と内部基準のほか、プロジェクト決定時との相違や複合影響要因などが挙げられ、多面的なアプローチの必要性が強調されている。

進行管理においては財政管理あるいはそれに基づいた判断が必要になる。この分野の研究では、ライフサイクル／コスト、不確実性など財政管理のための検討項目を論じたもののほか、適切な研究開発支出の算定の方法、10パーセント程度の支出超過は節約で処理できるもののそれ以上の超過が見込まれる場合はプロジェクトの再評価が必要である、など実証的な研究がある。

共同研究のマネジメントも進行管理の大きな対象である。特に、他社や他機関と共に行われるので、自社内で行うマネジメントとは異なる課題がある。研究では、日本の新日鉄を対象にした共同研究の事例紹介、いくつかの事例分析により企業の共同研究は競争前段階のプロジェクトに有効であるという仮説を導出したもの、共同研究組織（Consortium）が円滑に機能するための条件に関する研究がある。

④ 研究プロジェクトの結果の評価

研究プロジェクトが終了した時点で、その結果を評価する必要がある。特に失敗したプロジェクトの場合には、類似の失敗を繰り返さないためにもその評価が必須である。この分野の研究では、研究の前提として研究開発プロジェクトの定義の必要性を論じ、その定義を用いてプロジェクトの効果を、パフォーマンスと適応性（利益／コスト）で測定することを提案したものがある。また、より一般的にアウトプットの質や目標達成度など評価項目について論じたものがある。実証的には、生物医学研究の効果の測定、特許引用分析による効果の測定、アルコア社の業績評価の手法の紹介などがある。

C. 研究開発全体のマネジメント

研究開発全体のマネジメントに関しては、

(i) 研究開発活動を構造的に把握する

- (ii) 成功・失敗の要因分析を生かす
- (iii) 研究マネージャーを確保・育成する
- (iv) コミュニケーションを円滑にする
- (v) 研究開発マネジメントを効率化する

などの課題があると思われる。これらの課題に即して研究開発マネジメントに関する諸研究を概観する。

① 研究開発活動の構造的把握

研究開発マネジメントを成功させるには、研究開発活動を構造的に把握しておく必要があると思われる。そして、研究開発活動を構造的に把握するには、先ず研究開発プロセスそのものを把握する必要がある。従来の、研究→開発→生産→マーケティングという線形モデルに対置して、研究・知識と開発→…→マーケティングとの相互作用をモデル化したクラインのモデル、技術革新過程を人工心臓の開発など事例研究から逐次的アプローチと経験的アプローチとに二分したものの、さらに研究、技術、市場機能を結合するパイプラインモデルなどが提唱されている。

現実の研究開発の動向把握に当たっては、半導体を事例研究の対象にした需要構造プル型の仮説が出されている。しかし、研究開発活動や特許取得を説明要因としつつも、多面的で複雑な研究開発の動向把握は柔軟にすべきであるとの指摘とそれに沿った具体的研究がある。

技術革新の要因分析に関しては、従来シーズプル型かニーズプッシュ型か種々論じられてきた。このテーマに関しては現在も種々のモデルが提示され、研究されている。例えば、デマンドプル対サイエンスプッシュあるいはテクノロジープッシュ、デマンドプル対ディスカバリープッシュ、イノベーションドライブ対マーケットドライブなど諸類型が提示されている。さらに、提示された対のうちどちらか一方が成立するという報告よりも、技術の分野、ライフサイクル、環境条件等によって、その出現の型が異なるという報告が多い。

事例研究を基に、シーズプッシュ対ニーズプル以外の技術革新促進要因を研究したものがある。具体的には、ノルウエーの捕鯨業を対象に企業のコスト低減動機が技術革新を促進したという分析、英国トラクター産業を対象に技術革新促進要因を価格競争とそれ以外の要因とで説明しようとしたもの、製造業を対象にいくつかの要因の組み合わせで技術革新が促進されたという分析、さらに技術革新の担い手は技術革新の最大の利益享受者であるという分析、などが

ある。

研究開発支出の面から研究開発活動の要因を分析したものもある。例えば、産業の集中度など環境面から分析したもの、トップの理解など内部状況から分析したもの、成長産業と成熟産業との比較研究から要因分析を試みたもの、企業を単位に研究開発支出と売り上げ高との関係を分析したもの、さらに支出を阻害あるいは抑制する要因を論じたものまで多様である。研究開発支出を一国の視点から眺めると、産業、経済、社会、国際活動に与える影響が大きい。そのような面から分析したものもある。

② 成功・失敗の要因分析

研究プロジェクトの効果分析のところで述べたように、成功例や失敗例を分析し、それぞれ共通の要因を抽出することは、将来の研究開発マネジメントにとって重要である。研究としては失敗例や阻害要因の研究が多く、技術の性格（複雑性など）、技術基盤、組織（意思決定の方式など）、コミュニケーション、市場調査などいくつかの分野毎に阻害要因が挙げられている。また、成功要因としては、技術を逐次組み込んだこと、技術導入の容易性などが挙げられている。さらにアメリカのエレクトロニクス産業を対象に、研究開発の成功・失敗に関する文献の分析が行われている。失敗の体験を成功にむすびつける研究開発マネジメントを提唱したり、失敗が次の成功につながり、成功が次の失敗につながるという学習サイクルモデルを提唱した研究もある。

③ 研究マネージャーの確保・育成

研究開発マネジメントの成否がそのマネージャーの資質に大きく依存することは再現を要しないだろう。研究開発マネージャーに関する研究としては、専門分野における能力や研究企画能力などマネージャーに必要な能力を論じたもの、研究者や技術者が研究開発マネージャーに転進する際の失敗のパターンや留意点、養成方法、組織の在り方を論じたもの、などがある。アメリカにおいては、日本に比較して研究者や技術者が研究開発マネージャーになることは少なく、それが日米の研究開発マネジメントひいては研究開発の大きな相違点とみなされていた。しかし、日本の研究開発方式の良い点を採用するという見地から、研究者や技術者の研究開発マネージャーへの転進策採用が増えているように思われる。

④ コミュニケーションの円滑化

研究開発の成功に円滑で広範なコミュニケーションが寄与していると指摘されてから久しい。しかし、未だ種々の課題が残っているようであり、研究開発マネジメントのコミュニケーション問題を扱っている研究は多い。例えば、コミュニケーションパターンなどR&D組織内のコミュニケーションプロセスの分析、ゲートキーパーの役割の研究、アイデアがインフォーマルなチャンネルを通じて流れるなどコミュニケーションフローの研究、などコミュニケーションの実態を分析したものがある。また、技術革新成功要因としてのコミュニケーションの在り方、研究開発部門と製造部門との意識ギャップの指摘など円滑なコミュニケーションを阻害している要因の抽出とその対応策などを論じたものもある。また、フェース・ツー・フェースのコミュニケーションに関する論文の分析を行い、コミュニケーションと業種、コミュニケーション率と空間距離などの次元で分類したものがある。

良好なコミュニケーションには、研究開発部門と他部門との良好なリンクが前提になる。研究では、コダック社の事例を紹介したもの、特にマーケティング部門とのリンクを扱ったもの、多数の分野を傘下に収めている企業での他分野とのリンク、研究開発から市場化までのトータルなリンクを提唱するもの、などがある。リンクは横方向ばかりでなく、縦方向についても考える必要がある。特に、企業管理部門とのリンクは、前述の企業戦略と研究開発戦略との結合という役割からも重要である。実際、「革新技術の採用」と「決定権を持つエリート」との関係などが分析されている。

⑤ 研究開発マネジメントの効率化

研究開発の有効なマネジメントをテーマにした研究がある。例えば、目標についての十分な討議など研究開発マネジメントを有効にする諸策の提示、経営科学の研究開発マネジメントへの応用の提唱、ニーズよりもシーズを重視するなどアメリカ人気質（ヤンキー気質）に適した研究開発の提唱などの研究がある。

有効なマネジメントには、適切なマネジメント手法の活用が必要である。研究としては、具体的な計画手法を提示したもののほか、統合性や柔軟性の次元で手法を分類して紹介したもの、コンピューター利用による研究開発の効率化手法を分類して紹介したものなどがある。

D. 人材の育成と確保

研究開発人材は、本来、前節の「研究開発全体のマネジメント」の一部として扱われるものである。しかし、その内容の重要性に鑑がみ一節を立てることにする。研究開発人材に関する研究は、

- (i) 創造的人材の発掘と育成
- (ii) 研究従事者のマネジメント
- (iii) 研究開発グループのマネジメント
- (iv) 創造性発揮の環境整備

に分類できる。

① 創造的人材の発掘と育成

人材の発掘に当たっては、リーダーシップやコミュニケーションに関して社会学者を活用すべきであるという提唱がある。また、研究開発部門への女性進出に関する調査から、その問題点と解決策とを提示するものがある。

研究開発には企業家精神が必要であり、その面からいくつかの研究がある。例えば、長期的展望から企業家精神の必要性を論じたもの、大企業内の企業家の育成策を検討したもの、企業内ベンチャーの課題とその対応策を研究したものなどがある。

② 研究従事者のマネジメント

研究開発従事者には常に創造的な活動が要請されるので、そのマネジメントには課題が多い、この分野の研究としては、リーダーシップや動機付け、環境整備など研究従事者のマネジメントの在り方、研究従事者の活性化策の提示、研究従事者のストレスとその解消法、研究従事者のタイプ毎の適切な報酬制度、研究従事者の欲求分類を示しその分類に沿ったマネジメント法などに関する研究がある。また、研究従事者の創造性発揮の要因分析を行い、いくつかの要因を抽出すると共にその対応策を検討したものもある。

研究従事者のマネジメントには、個人の業績を評価する必要がある（トータルな最適性を考えた場合、個人業績の評価が必要か否かには慎重な検討を要することは言うまでもない）。研究としては、個人の生産性の評価は困難であるとの注釈付きで測定手法の比較を行ったもの、論文や特許の引用度数による評価法を提案したもの、評価には慎重な態度が必要でありその留意点を述べたものなどがある。

③ 研究開発グループのマネジメント

研究開発の巨大化に伴い、個人で研究を遂行する形態は少なくなり、グループで研究を実施することが多くなっている。そのような研究開発においては、研究従事者のグループを対象にしたマネジメントが重要になる。この分野の研究としては、研究開発の内容が研究型から開発型に変容しているという現状把握分析、目標の確定などいくつかの分析項目による研究開発組織の生産性の要因分析、プロジェクトグループの業績や活動内容からそのライフサイクルを確認しようと試みた分析（なお日米の分析によれば、グループが創造的な仕事ができる期間は5年を超えないとのことである）、高い業績をあげている研究グループの特徴をリーダーシップや自由度などの次元から比較したものなどがある。これらはいずれも現象の分析であるが、容易にグループマネジメントの在り方に対する方策を抽出することができるものである。当初小人数で出発したグループが次第に大規模になることは日常的である。そのようなグループの規模拡大に伴うマネジメント課題について研究したものもある。

グループ成果の評価を個人の業績評価と同日に論じることには無理がある。この分野では、グループ成果の評価手法の内容や具体的プロセスを提示する研究がある。

④ 創造性発揮の環境整備

研究開発の創造性に関しては、アイデアのマネジメントが重要である。この分野の研究としては、人の情報処理過程とのアナロジーで効果的なアイデアマネジメントを考察したもの、200強のプロジェクトを対象にした調査から、アイデア源（研究論文や市場など）とアイデアのタイプ（革新、改良など）との間に関係があるなどの分析を行ったものがある。また、今まで棚あげしてきたアイデアの、棚下ろしに関する方法と課題を論じた研究もある。

さらに、企業内図書館を再編成したり、研究手段や実験技術を整備したりすることにより、独創性や技術革新の成果が向上したという報告がある。これらは創造的な研究開発のためのハード面の環境整備と位置付けられる。

E. 研究開発マネジメント研究の特徴

前節までの動向分析から、研究開発マネジメント研究の特徴を要約すると以下ようになる。

① 理論の精密化

既存の仮説の見直し、理論や仮説の成立条件の明確化、要因分析、枠組を用いた対象へのアプローチなど、研究開発マネジメントに関する理論が充実しつつある。

② 実証研究の多様化

研究開発過程においても、対象業務や対象国においても、また手法に関しても、その研究対策は広範になりつつある。また日本の研究開発マネジメントに対する関心が高まっているように思われる。

③ パラダイムの待望

精密化した理論と多様化した実証を結びつけるより広範なパラダイムの出現が待たれているように感じられる。「ソフト系科学技術」概念がそこに貢献するように思われる。

(2) 訪米調査

研究開発マネジメントの関して行った訪米調査は、次の3つに大別できる。

(i) International Conference on Technology Management への出席

(ii) R&D/Technology Management Conference への出席

(iii) 研究開発マネジメント研究者への訪問調査

(i)は学会の研究発表大会、(ii)は実務者を対象にしたシンポジウム、(iii)は研究者を対象にした面接調査とそれぞれ性格が異なる。しかし、(i)と(iii)は学界での研究の現状把握という点で共通であるためそれらをまとめ、以後、学界での研究動向と産業界での活動として調査結果を報告する。

A. 学界での研究動向

技術マネジメントに関する国際会議はマイアミ大学がユネスコの協賛で開催したものである。今回が第1回目であり、今後2年毎に開催する予定とのことである。今回このような会議を開催した背景として、主催者であるマイアミ大学のクハルル教授は次の3点を挙げた。

① 環境の変化

技術の変化が広範かつ急速であり、また日本を初めとして国際競争が激化していることが挙げられる。

② 研究対象の拡大

従来主として製造業が多かった研究開発マネジメント研究の対象が、教育、

サービス、医療、ソフトウェアなどに広がると共に、従来の研究成果の展開や見直しが必要になってきた。

③ 目標の変化

従来は「規模の経済」に見られるように生産者側の視点が重視されていた。しかし、「スコープの経済」に見られるようにニーズ指向を重視しなければならない状況が生まれている。また、研究規模の拡大や国際競争の激化に伴い、産・官・学や産・産など共同研究の重要性が増加する見通しであり、そうなれば共同研究に関する研究開発マネジメントの研究を重視する必要がある。

このような背景を認識して、国際的に多種多様な研究を発表することによって、研究のフロンティアを認識すると共に、研究者の交流をはかるのがこの国際会議の目的であった。

登録された論文数は16ヶ国、142編に及んだ。そのうち最も多かったのが米国で101編を数えた。次に多かったのはカナダで他は数編以下であった。

しかし、登録された論文がすべて発表論文集には掲載されず、掲載されたのは15ヶ国、89編に過ぎなかった。なお、アメリカの割合は70%を占め、やはり最も多かった。執筆者の所属別では、大学が最も多く(58%)、ついで企業(28%)、国立研究所(12%)、国際研究機関(1%)の順であった。アメリカでは大学や企業の発表が相対的に多く、アメリカ以外では国立研究機関が多いという傾向が見られた。

なお、発表論文集の目次は以下のように構成されていた。

科学技術政策／技術革新過程／研究開発マネジメント／技術予測と技術計画／技術移転／国際技術移転／製造部門の技術マネジメント／サービス部門の技術マネジメント／技術企業家精神／人類、社会、文化／教育・訓練／技術の経済分析／技術マネジメントの手法／技術マネジメント一般

しかし、掲載された89編の論文に目を通したところ、このような章立ては必ずしも適当でないことが明らかになった。論文のタイトルが必ずしも論文内容を正確に表現しておらず、一部便宜的な分類が行われた可能性があるからである。そこで、論文内容から再分類したところ以下のような結果を得た。

① 科学技術と社会・経済

科学技術が市民、社会、文化に与えるインパクトの分析など7編。

② 科学技術政策

米国、日本、メキシコ、開発途上国、ハイオなど国や地域や特定の技術分野に関する政策の紹介や政策策定に利用する手法の研究など11編。

③ 技術の国際移転

国際移転の支援システムなど政策の分析、自動車やAIなど具体的技術の国際移転分析、技術移転のインパクト分析など9編。

④ 技術移転

宇宙開発、超伝導、NCなど具体的技術の移転、管・学・から産業への技術移転の在り方など10編。

⑤ 技術戦略

戦略の分析、マネジメントの分析や国際比較、技術評価、リスク分析など31編。

⑥ 技術マネジメント

AIやロボットなど具体的技術マネジメントの研究、システム化などマネジメントの体系化研究など21編。

なお、ここでは国際技術移転や（分野間）技術移転も技術戦略の一部と考えられるものの、掲載論文数が多いので、それぞれ独立の項目としている。また、技術戦略と技術マネジメントを区別することは容易ではない。ここでは、視野の広さ狭さ、長期的か短期的か、総合的か局所的か、共通的か個別的吗、企業戦略と近いか遠いかなどの基準で判断して分類した。しかし、明解に分類できなかったものも少なからずあった。

次に論文の性格を次のように分類した。

① 現象理解

主として叙述的にあるいは理解を容易にする枠組等を用いて、研究対象の現状を記述するものである。一種ケーススタディになっているものもある。仮説を提示したり、具体的事実を紹介したりしている。

② 仮説検証

最も理論的な研究と言える。主として統計データを収集したり、既存の統計データを用いて統計的に仮説の検証を行っている。

③ 施策提言

現状や検証された仮説を踏まえて、問題点を克服する施策を体系的に提唱するものである。

なお、私見であるが、学会発表においてはこれらの性格別の比は、現象理解型と施策提言型1に対して仮説検証型2程度が望ましいと思われる。

分野別にどのような性格の論文がいくつ掲載されていたかを分析したものが下表である。上段の数字は論文数を示し、下段の数字は各性格別の割合を示している。

表4. 2 論文の性格別構成

	現象理解	仮説検証	施策提言	合計
(1) 科学技術と社会・経済	3 43%	3 43%	1 14%	7 8%
(2) 科学技術政策	5 46%	2 18%	4 36%	11 12%
(3) 技術の国際移転	6 67%	2 22%	1 11%	9 10%
(4) 技術移転	5 50%	4 40%	1 10%	10 11%
(5) 技術戦略	8 26%	10 32%	13 42%	31 35%
(6) 技術マネジメント	4 19%	8 38%	9 43%	21 24%
合計	31 35%	29 32%	29 33%	89 100%

(上段 実数、下段 構成比)

この表から、科学技術政策の分野では、現象理解型と施策提言型の研究が多く、仮説検証型の研究が少ないことが読み取れる。現象に関する事実が蓄積されている一方で、施策提言という学問応用のニーズが高いことを意味していると言えよう。したがって、仮説検証型研究の充実が強く望まれている分野と言える。これに対して、技術の国際移転と技術移転の分野では、現象理解型の研究が最も多く、次いで仮説検証型が多く、施策提言型は少ない。一時期技術移転が大きな話題になり、多数の施策提言がなされたことを考えると、現在はそのようなニーズが失われたと考えてよいのではなかろうか。技術戦略と技術マネジメントはこれと正反対の傾向を示している。すなわち、施策提言型の研究が最も多く、仮説検証型が次に多く、現象理解型が最も少ない。これは研究のニーズが非常に大きい反面、それに応える理論や現象理解が充実していない傾向を示していると言える。

以上のような国際学会とマイアミ大学のクハリル教授、オクラホマ大学のキャッシュ教授、バラード教授およびジョージア工科大学のロッキーニ教授との面

接調査結果とをまとめると、

(1) 日本の研究開発に対する関心が高い。

学会においても直接的間接的に日本に触れた研究が10編以上を数えた。

(2) 非製造部門の技術マネジメントに関心が広がっている。

(3) 技術戦略の重要性に対する認識が深まっている。

B. 産業界での活動

産業界における研究開発マネジメント活動を認識する目的で、ニューヨーク市で開催された「研究開発／技術マネジメント会議」に出席した。この主催者はThe Conference Boardといい、1916年に設立された非営利法人である。この組織の目的は、経営者が適切に意思決定できるようサポートしようとするもので、その活動は報告書やセミナーによる情報提供と共に経営者の人的ネットワークの構築であるという（プログラムディレクターのエルバースさん）。会員は3600以上の組織であり、その国籍は50カ国以上に及び、また組織としては企業のほかに労働組合や大学、官庁がある。事務所はニューヨークなどアメリカ国内に4カ所あるほか、ベルギーやカナダにもある。

なお、事業収益は報告書等の販売とセミナー参加費他である。技術に研究開発に会員の関心が深まり、そのようなテーマに関するセミナーを開催したのは5年前からという。したがって、今回のセミナーは6回目に当たる。

セミナーは2月29日の午前、午後および3月1日の午前の1日半にわたって行われた。会場は貿易センタービル内にあるViata International Hotelで開かれ、出席者は200人強であった。

この「研究開発／技術マネジメント会議」の課題は、

(i) 研究開発は組織の競争力を高める触媒である。

(ii) 共同研究を推進して、(その相手と)共に発展する。

(iii) 研究開発は世界を変える競争の手段である。

というものであった。

この主テーマのもとに、次の6つのセッションが設けられた。

(a) 競争の危機に立ち上がれ：国家的緊急事態である。

(b) 研究開発：世界を変える競争の手段である。

(c) 競争は自社の研究開発から始まる。

(d) 共同研究：新しい相手、新しい未来。

(e) 中規模成長企業の研究開発。

(f) 研究開発：組織の競争力を高める触媒。

次に、各セッションのスピーカーとその内容を紹介する。

(a) 競争の危機に立ち上がれ：国家的緊急事態である。

スピーカー：B. R. Inman ウェストマーク・システム社会長

基調スピーチの性格から、科学技術の振興に関する国民の合意の歴史を概観し、創造性の重視、その育成基盤の整備など現代この分野が抱えている課題と解決の方向を述べた。

(b) 研究開発：世界を変える競争の手段である。

スピーカー：W. J. Spencer ゼロックス企業研究グループ副会長

「国際研究－競争の前線か？」というテーマで、ゼロックスの国際企業としての経験を紹介し、そのような経験に基づいて、言葉の障害など国際協力の問題点と優れた人材の確保など国際協力の利点を挙げた。

スピーカー：P. Kramer フィリップス・インターナショナルB.V. の上級副社長

「大西洋を股にかけた研究開発認識」というテーマで、主としてアメリカとヨーロッパを股にかけて活躍してきたフィリップスの活動を報告すると共に、市場を拡大し創造性を高めてきた欧米の多国間協力を紹介した。

スピーカー：R. W. Schmitt (現) レンセラール工科大学学長

「日本の技術：競争的視点」というテーマで、西欧の創造性は独立的であるのに日本のそれは応用的であると創造性の違いを示し、次いで、ステップ・バイ・ステップ改良など日本の研究開発の特徴を西欧のそれと比較し、最後にNICsとの対応など今後のアメリカの研究開発の課題を概観した。

(c) 競争は自社の研究開発から始まる。

スピーカー：S. E. Eisenstat パウエル・ゴールドシュタイン・フレイザー&マーフィー

当セッションのテーマで、研究開発が品質向上と価格低下につながる重要要因であること、「エンジニアリング・サイエンス」(基礎工学)の能力向上が必要であること、産・官・学などの研究協力が必要であること、など研究開発の全般的課題を紹介した。

(d) 共同研究：新しい相手、新しい未来。

スピーカー：R. Z. Gassin ジョンソン&ジョンソン社の科学技術担当副社長

「咬める以上のものを咬み取るな：共同研究の成果を消化しなさい」と

いうテーマで、おうおうにして共同研究に過大な期待をしたり、自社内で消化できる以上の成果を得ようと欲張ることが多く、それが共同研究の失敗や共同研究相手との紛争につながる、という視点から共同開発の在り方を論じた。

スピーカー：R, M, Goodan カルジェネ社研究開発担当副社長

「ダビデとゴリアラの物語を書き直す：共同開発に関する小企業の実験」というテーマで、ダビデとゴリアラのような競争関係ではなく、共同研究によってオペレーティング利益など多様な利益が得られること、戦略目標の一環性など成功の条件が必要なことを論じた。

スピーカー：J, E, Cornell ハリス社半導体部門担当上級副社長

「コンソーシアム結合を強める」というテーマで、半導体を事例にトランジスターから高集積回路への製品開発の歴史と、独立独歩から超共同（地球規模の共同）に至る共同の歴史との関係を述べ、今後の課題について論じた。

スピーカー：D, M, A, Rogers DEC社の政府助成研究マネージャー

「新しい研究開発協力：未加工のダイヤモンド」というテーマで、創造性が産・官・学の協力の下に技術革新に結びつく過程を、ダイヤモンドがその原石から製品になるまでの過程とのアナロジーで説明し、それぞれのステージでの機能と課題とを論じた。

(e) 中規模成長企業の研究開発。

スピーカー：J, W, Brown ストライカー社会長

医療器具メーカーであるストライカー社の経験を下に、当初義肢メーカーから出発し、ユーザである医師とのコミュニケーションを充実した研究開発マネジメントを実施したことにより、人工血管など人工臓器、介護機器等にまで製品を拡大していった過程およびマネジメントを紹介した。

(f) 研究開発：組織の競争力を高める触媒。

スピーカー：R, N, Foster マッキンゼー重役

「協調的再組織化時代の技術マネジメント」というテーマで、通常科学における複雑化コストとパラダイム変化に伴うビックバンコストとが「見えざるコスト」とであると指摘し、その課題と対応策を論じた。

スピーカー：R, G, Mcvicker クラフト社技術品質担当副社長

「研究開発とトップマネジメントとの結合」というテーマで、研究開発部門とトップマネジメントとのコミュニケーションが不十分であったクラ

フト社が技術戦略委員会を設けて、その課題に取り組み成功した事例を紹介した。

スピーカー：R, J, Horman ユナイテッドテクノロジー社科学技術担当副社長

「研究開発勢力に対する適正な資源配分」というテーマで、国防関係の部署にいた経験を踏まえて、資源配分の際の評価や決定の考え方や課題を紹介した。

スピーカー：L, J, Baccel バウシュ&ローム社研究開発エンジニアリング担当副社長

「マーケティング／製造／研究：ギャップの縮小」というテーマで、コンタクトレンズ開発の経験を基に、技術開発プロセスに沿って、マネジメントの課題と対応を紹介し、なかでも日本のQC活動に類似しているタイガー・チームの活動とその成果を紹介した。

このように、この会議はテーマ、その内容と組み立て、スピーカーの人選などよく準備されていることが認められた。発表内容から、その特徴を抽出すると以下ようになる。

- ① 日本の研究開発に対して、冷静で客観的な理解を深めている。
- ② 効果的な共同研究の在り方を研究している。
- ③ 企業戦略と結びついた研究開発戦略の重要性に対する認識が深まり、その在り方を研究している。

(3) 我が国の現状

研究開発のマネジメントに関しては、個別的に成功談（場合によっては失敗談）の紹介として、経験事例とその一般化や抽出された仮説などが、経営関係の諸雑誌に掲載されることが多い。また、個別企業のマネジメントの実施例をもとに、あるいはいくつかの事例を集積して、単行本として出版されているものもある。一方、研究開発マネジメントの研究が掲載できる学術雑誌は多くなく、従来は経営関係やOR関係の雑誌に発表されていたようである。昭和60年に、研究・技術計画学会が設立されたことにより、初めて研究開発マネジメントに関する本格的な学会ができ、論文もその学会誌である「研究・技術計画」に掲載できるようになった。しかし、まだ日が浅く、関連論文の蓄積は少ないのが現状である。

一方、企業においては研究開発マネジメントは緊急かつ最重要課題であるた

め、国内の研究とはほぼ独立に、多様な試みが行われている。外国の事例を参照にしたり、QCなどその源は外国であるものの、日本的に十分消化された手法も多い。そのように開発された手法やその経験は、例えば日本能率協会、科学技術と経済の会、日科技連などが主催するセミナーや経験交流会を通じて、経験レベルのノーハウが共通理解として豊富に蓄積されているのが現状である。

したがって、我が国における研究開発マネジメント研究の特徴は、

- ① 豊富で多様な経験レベルの知識が蓄積されている（現状理解）。
- ② 国際化等の環境条件から、研究開発マネジメントや研究開発戦略の重要性が強く認識されている（施策提言）。
- ③ しかし、前者から理論を抽出して一般的な応用を促進し、後者の施策を理論面から補強し、あるいは両者を結合するような理論研究は充実していない（仮説検証）。

と言えよう。

（筑波大学 丹羽 富士雄）

4. 4 科学技術政策

(1) 学問状況

科学技術政策論は、まだ学問的に体系化されていない。英語名のScience Policyは、Science, Technology, and Public Policyの略であると理解されているが、ハーバード大学行政大学院の同名の専攻課程前主任ハービー・ブルックス教授によれば、その意味するところは、policy for scienceであり、Public Policy（公共政策論）の一分野に位置付けられている。ちなみに、Policy Science（政策科学）は、彼によればscience for policyの意味であり、政策科学のための科学的な方法論およびそれに基づく研究に相当する。日本語の「政策科学」は、政策全般に関する学際的な総合的学問であると理解されているが、西欧的科学観のもとでは、“science”と称する以上、科学的な厳密さが要求される。従ってPolicy ScienceはPublic Policyよりもはるかに狭い領域のことを意味している。

またScience Policyの領域について、後述のAAAS（American Association for the Advancement of Science）の調査によれば、policy for scienceの他に、science in policyを加えている[1]。前者は、研究開発の支援・環境整

備・管理、および科学技術成果の移転等に関わる政策の研究を意味し、その中心課題は研究開発資源の配分問題である。一方、後者は、公共政策に対する科学技術の影響力が増大している状況をふまえ、例えば宇宙政策、エネルギー政策、環境政策、軍事政策等において、その政策形成や評価に資することを目的とした研究領域である。

Science Policyは米国、英国、スウェーデンで先行的に研究が始められた。米国では、1957年のスプートニク・ショックが契機となって、科学技術政策の必要性が認識され、ハーバード大学に前記専攻課程の前身となる講座が開設されたのが始まりである。その後徐々に研究体制が整備され、現在では全米21の大学院にコースが設置されている。欧州では、1960年にOECDの中に科学政策委員会（その後科学技術政策委員会に発展）が設けられ、1966年には英国サセックス大学にScience Policy Research Unit (SPRU)が発足した。またスウェーデンのレント大学にResearch Policy Instituteが設置された。最近では欧米のみならず、中国、韓国にも科学技術政策研究所が設置されており、日本でも1988年7月から科学技術庁内に同名の研究所が発足する予定になっている。

関連学会および学会誌には次のようなものがある[2, 3]。AAAS/CSEPP (Committee on Science, Engineering and Public Policy, 米)、NCAR (National Council of the Advancement for Research, 米)、STS (Science, Technology and Society, 米)、4S (The Society for Social Studies of Science, 米)、ICSPS (International Council for Science Policy Studies, 国際科学史・科学哲学連合内)、EASST (European Association for the Study of Science and Technology, オランダ)、JSSPRM (Japan Society for Science Policy and Research Management, 研究・技術計画学会, 日本); Research Policy (SPRU)、Science and Public Policy (英, Science Policy Foundation)、Scientometrics (ハンガリー)、Science of Science (ポーランド科学アカデミー)、Social Studies of Science (英)、4S Review (4S)、Science (AAAS)、Bulletin of Science, Technology & Society (STS)、研究技術計画 (JSSPRM)。

科学技術政策の研究分野には、幾つかの源流が存在する。第1は、公共政策論の政策分析から発したものであり、科学技術政策の政策評価、形成過程分析、施策対象分析等、科学技術政策自体に最も近接したところで研究が進められる [1] Committee on Science, Engineering and Public Policy, "Guide to Education in Science, Engineering and Public Policy" AAAS (1985)

もの。第2は、政策の対象であるところの科学技術ないし研究開発の側からのアプローチで、対象となる科学技術分野の特性、状況、問題点の把握等が行われる。第3は、行動学、組織論、社会学、経済学等、人文・社会科学を背景とした研究で、行政組織、社会受容、国際協力等多様な局面がある。第4は、科学技術史、科学技術論、科学技術哲学から発展した分野で、科学技術の発展分析、技術構造連関分析、倫理問題等、科学の科学、研究に関する研究の多くの分野を含む。上記の学会や学会誌にはそれぞれこのような歴史的背景が秘められていて、その学問的な方法論の違いによって、定性的・記述的な研究から、定量的・理論的研究まで、あるいはミクロな事例分析やマクロな統計分析などといった多様なタイプの研究が行われている。科学技術政策論の背景となる関連学問領域の例を図4. 1に示しておこう[1]。

さて、科学技術政策論がこのような学際的な学問分野であるとして、これはソフト系科学技術といかなる関係にあるであろうか。科学技術政策論が研究対象とすべき科学技術政策問題は、そもそもそれが発生する複雑な基盤を抜きにしては論じることが出来ない。これは、多様な関連主体間の価値観を反映し、不確定要素や質的要素を含み、境界不定や構造不確定であるいわゆる悪構造問題の典型であろう。このような質の「科学技術」や「政策」、あるいは抽象化された「行政組織」や「組織行動」という“ソフトな対象”に対して、限定的ではあるが科学的に有効な方法論によるアプローチを行おうとするところに、ソフト系科学技術の本質を見いだすべきであろう。状況の構造化、内的過程の表象・モデル化、その適切な模倣と修正等の反復を通して、最終的には良構造の問題への転換を図ろうとするところにその特色がある。そのような方法論ないし方法論の集合をソフト系科学技術と捉えるならば、科学技術政策関連学問領域はソフト系科学技術に対して多様なフロンティア領域を提供しているといえる。

(2) 米国調査

Science Policy 関連の前記21大学院専攻課程に関する実態調査（内11専攻は訪問調査、2専攻は電話によるヒアリング調査、残りは書面による資料収集）、AAAS、STSの年次学会への参加、政府・議会関連機関（NSF、OTA、下院科学

[2] 中山 茂、科学政策研究の動向、研究技術計画、2、200(1987)

[3] (財)工業開発研究所、“民間企業等のR&Dマネジメント及び各国R&D政策の文献調査”(財)機械振興協会経済研究所(1987)

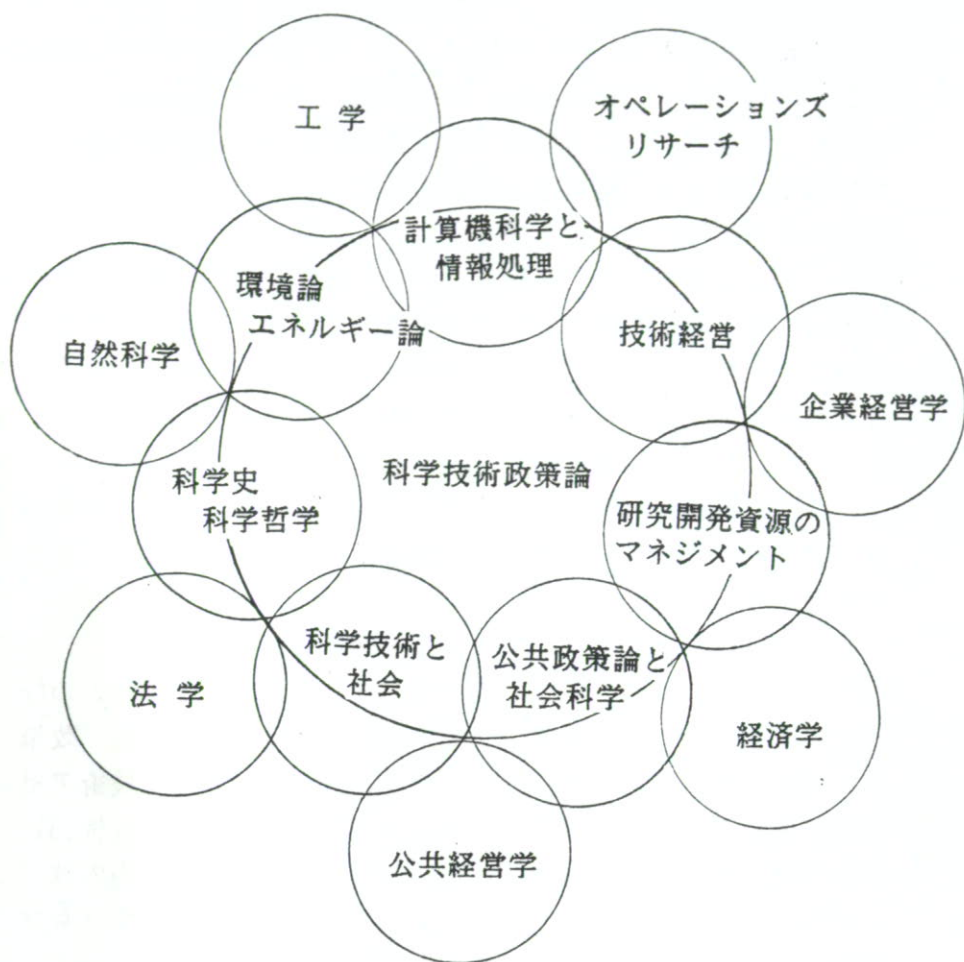


図4.1 科学技術政策論関連分野

技術委員会作業部会)への訪問調査等を行った。ソフト系科学技術の開発者側と使用者側の両側にわたる調査であるが、その結果を概括的に述べると次のようになる。

ソフト系科学技術の方法論は、科学技術政策の研究レベルにおいては、コンピュータの支援をうけ、その高度化、精緻化が益々進行しているが、実用レベルでは逆に、基礎的で平易な手法の使用が普及し常識化されている反面、高度な手法は表立った形ではほとんど利用されていない。

米下院科学技術委員会が行った3年間にわたる科学技術政策公聴会(Science Policy Study - Hearings)の膨大な記録とその基礎調査報告書、およびこ

これらの総括報告書(調査時点において取りまとめ中)の作成過程においても、またOTA (Office of Technology Assessment) やNSF (National Science Foundation) で作成された多数の科学技術政策関連調査報告書においても、ソフト系科学技術の際立った適用例を見出すことはできない。また調査対象者の回答によれば、彼等の手になるオリジナルな手法は、「個別ヒアリング」程度である。しかしながらこのことは、必ずしも高度な手法の非実用性を示しているわけではなく、むしろ研究レベルの成果物である“高度”な情報が、加工プロセス抜きで引用されていると考えるべきであろう。丁度、ワンチップ電卓用カスタムVLSIの加工技術を知らないで、カード電卓を操作しているようなものである。これに対して、基礎的なソフト技法、たとえば、因子分析、クラスター分析、多変量解析、コンテンツ・アナリシス、一対比技法、関連樹木法、マトリックス評価技法等の統計解析技法、数量化技法、構造化技法、評価技法等は常識的に広く使用されている。

AAASの調査によれば、科学技術政策関連分野を職業としている研究者・実務者が使用する分析的手法は、大学(院)在学中のカリキュラムの枠組みで順位をつけると上位から次の順になっている[4]。経済分析(57)、政策・組織分析(51)、統計分析(46)、モデル化とシミュレーション(42)、技術アセスメント(39)、戦略計画(37)、リスク・アセスメント(35)、社会・行動分析(31)、技術分析(29)、実態調査(27)、技術予測(27)、OR(26)。ただし()内の数字は重要度が高いと回答した者の%を示す。このような分析手法は、いずれもソフトな対象に関わるものであり、多くは対象固有でないソフトの一般的手法を含んでいる。

例えば政策分析手法では次の分野がある[5]。記述的・説明的な政策研究(Policy Studies)、政策の位置づけや評価を目的とした記述的な政策評価(Policy Evaluation)、政策担当者の意思決定に関わる公共経営学(Public Management Science)、政策分析の定量的方法を主とした政策科学(Policy Science)。これらのうち、定性的・記述的分野では、ソフト系科学技術の概念化や構造化に関わる手法が、また経験的分野では統計解析手法等が、そして定量的分野では最適化に関わる手法が中心となっている。

一方、研究教育レベルについてみてみよう。21の大学院専攻過程は、それぞれ固有の歴史的背景を映して多様な特色を示している。ハーバード大学、ジョージア工科大学、MIT、スタンフォード大学、カリフォルニア工科大学、MIT、AAAS [4] Committee on Science, Engineering and Policy, "Graduate Education and Career Directions in Science, Engineering and Public Policy", AAAS(1986)

ージワシントン大学のコースは、具体的な政策研究を主題としていて、連邦政府機関に最も近い位置で研究が進められている。第2のタイプとして、工学教育を基礎としたコースがある。スタンフォード大学は数理モデルによる政策分析に特色があり、エネルギー政策、資源政策、科学技術の経済政策的側面等を課題としている。MITには2種類のコースがあるが、その内の1つがこのタイプに属し、多様な個別技術の政策的側面を取り扱っている。ミシガン大学は地域開発問題を主題にしている点に特色がある。ヴァンダービルト大学、ワシントン大学は研究開発マネジメントと科学技術政策を同一コースの中で取り扱っている。カーネギー・メロン大学は、コンピュータシミュレーションに特色があり、環境、エネルギー問題のようなマクロレベルの課題の他に、研究開発モデルのような行動モデルも扱っている。このような工学ベースのコースが全体の半数弱を占めている。第3は人工・社会科学系の諸科学を背景としているタイプで、全体の約半数のコースがこれに該当する。コーネル大学は技術の社会的問題を主題にしている、環境問題、技術アセスメント、軍縮問題等に対して積極的に発言している。デンバー大学は、科学技術政策の意思決定問題やリスクマネジメントを主題としている。人文・社会科学をベースにしているが、第4のタイプとして科学史・科学哲学からのアプローチに特色があるコースとして、ジョージア工科大学をあげることができる。

科学技術政策論は、米国においても高々30年の歴史があるのみで、固有の方法論の体系が確立されているわけではない。しかし、基礎的なソフト系科学技術教育は、他の人文・社会科学系学部と同様、非常に充実していて、他の国にはない特色を示している。

(3) 我が国の状況

科学技術政策を主題とする学会、研究・技術計画学会が設立されて3年目を迎えるが、我が国におけるこの分野の研究・教育態勢はようやく整備されはじめた段階にある。研究・技術計画学会の個人会員のうち、大学の研究者の割合が2割以下と少ないことが、何よりその実態を示しているように、ニーズは高くてもシーズに乏しいのが現状である。

科学技術の政策志向的な性格をもつ講義は、1960年代末から東京工業大学社会工学科で開講されているが、現在でもそのほかに、埼玉大学政策科学研究科 [5] William N. Dunn (ed.) "Policy Analysis: Perspectives, Concepts, and Methods," JAI Press (1986)

(修士課程)、筑波大学経営-政策科学研究科(修士課程)、同社会工学研究科(博士課程)、長岡技術科学大学計画・経営系(修士課程)、東京大学基礎科学科第二(学部)、同総合文化研究科広域科学専攻(博士課程)など、わずかな大学で行われているにすぎない[6]。

また研究所としては、シンクタンクを除くと、東京大学先端科学技術研究所の1部門の他に、やや本格的な科学技術庁科学技術政策研究所が設立される段階にある程度である。

シンクタンクにおける取り組みは、1974年総合研究開発機構が設立され、政策課題の解明を主題とした調査研究の推進体制が整えられて以来、活発に展開されているが、実用的な課題レベルにおける調査研究が中心で、ソフト系科学技術に関連した基礎的な方法論の開発や蓄積には、一部の例外を除いて、十分な対応がなされているとはいえない。米国の状況と比較し、このようなソフト系科学技術の基礎部門の立ち遅れは早急に是正されるべきであろう。

(東京大学 平澤 冷)

4. 5 地球規模課題に対するソフト系科学技術

課題レベルの話題は、次年度において詳しく検討する予定であるが、その中でも1970年代を通じてソフト・サイエンスにより著しい展開が図られたグローバルな課題に対する取り組みが、現在どのような状況にあるのか注目される場所である。ソフト系科学技術の開発者側フロンティア領域の一つとしてこの分野をとりあげる理由がそこにある。

(1) 研究状況

地球規模の課題とは、たとえば、エネルギー・環境・人口・食糧等の長期予測に関わる問題、世界平和維持・戦争防止・軍縮等の実現を図るための手段やシステムに関わる問題、貿易摩擦・通貨戦争・国際金融等の世界経済や国際的な企業活動に関わる問題等、自然・技術・政治・経済・社会等にまたがる重層的・複合的・広域的な課題のことである。

このような課題に対しては、まず総合的・学際的なアプローチが必要である
[6] 山田圭一、Science of Scienceの系譜とその体系化、研究技術計画、2、207(1987)

が、その成果を蓄積し、さらに統合していくための努力も欠かすことができない。政策科学、社会工学、広域科学等の新しい学際的な学問領域の設定と展開、その方法論の源となるシステム論や情報処理論、そしてさらにその基礎を成す数学、統計学等、また一方、個人・組織・社会等の諸階層にかかわる記述的な諸科学やマイクロからマクロにいたる自然科学の体系的な知識。地球規模課題に対しては、このように広範な関連諸科学を背景としてアプローチする必要があり、そのトランス・ディシプリナリーな学問領域としてソフト系科学技術を捉えることができる。

地球規模課題に対するソフト系科学技術の寄与の様子を、多少時代をさかのぼり考察することによって、この分野におけるソフト系科学技術の現在のフロンティア領域を明らかにしよう。

米国において、現在最も関心の高いグローバルな課題は軍縮であろう。ソフト系科学技術を用いる軍縮へのアプローチにも様々な側面がある。ゲームの理論を応用した戦争モデルによる直接的なシミュレーション、シナリオライティングと手順分析を主体とした合意形成プロセスの意思決定シミュレーション、宇宙兵器システムモデルによる多段階攻撃防御系のシミュレーション、核の冬を模擬する自然環境モデルによる認識の深化等、複雑・多岐にわたる問題の実態的知識を得るための模擬実験が中心的な研究テーマである。

しかしながら、このような複雑・大規模な課題に対するモデルは、大部分が最適制御モデルであって、適応制御型にはなっていない。最適モデルでは、外的条件が決定されると、通常自然システム（非自立的システム）のように、一意的に最適条件が定まるという“硬い関係”によってモデルが形成されている。そして、意思決定に際しては、いくつかの最適モデルの挙動をシミュレーションにより比較し、それぞれのモデルに対応する戦術の中から、最適なものを選ぶことになる。

ローマクラブのSDモデル以来、経済効果を評価尺度とする様々な世界モデルが作成され、地球規模問題の予測に利用されてきた。中でも、最大規模のものとして、米政府関係機関を動員して行われた「2000年の地球」に関するシミュレーションを挙げることができる。このモデルも本質的には最適制御系であり、エネルギー需給、資源制約、環境変化、農業生産、人口動態等の部分システムの挙動を明らかにし、そのネットワークにより相互作用を考慮して地球系の将来予測を行っている。

エネルギー、環境、人口、食糧等に関するサブシステムは、その後米国を中

心とする国内研究機関やIIASA (International Institute for Applied Systems Analysis)のような国際的な研究機関等で様々なモデルが開発され運用されている。

例えば、エネルギー問題に関しては、現在50程度の世界モデルが稼働中であり、総合エネルギーモデルの他に、石炭、石油、天然ガス、原子力、新エネルギー等のエネルギー源別のより詳細なモデルが整備されつつある。中でも石油と天然ガスに関しては、データベースも強化され、政治、経済、技術の各要因を盛り込んだモデルにより、需給関係の推移や、コスト変動の予測が可能となっていて、対OPEC戦略のための有力な武器となっている。

ところで、ローマクラブの「成長の限界」が、警告としては有効であっても実体の模擬としては不十分であったことに象徴されるように、“硬い関係”で表現される最適モデルでは、本来“柔らかい関係”から成る実体を十分に模擬することは困難である。そこでモデルとしては外的条件の大幅な変化に対して、単に系の外生変数を変えるだけではなく、評価関数やモデル自体を変化させる適応モデルを考慮することになる。

最適型から適応型への転換は、いくつかの観点から試みられている。第1は、モデルの中にあいまいさや不確実性を導入することによってモデルを柔らかくしようとする立場であり、第2は、複雑さの表現形式を工夫することにより、モデルの構造自体を柔らかくしようとする立場がある。第3は、モデル化すべきシステムに注目するのではなく、システムが置かれている状況の明確化に力点を置く立場であり、結果として状況適的なモデルを得ようとする。第4は、対話型モデルによる方法である。モデル自体は最適型であり、予めモデルや評価関数の変更内容を組み込んでおくのではなく、シミュレーションの結果を研究者が解釈・判断し、必要なモデルの修正をその都度直接行う。従って、容易にモデルの修正が行えるような工夫を凝らしてある点に特徴がある。第5は、人間や社会の自己形成的な側面を模擬しようとする立場であり、状況に合わせたモデル形成を最小の根底ルールを前提として、コンピュータの中で実現しようとするものである。

このように、様々な立場があるにしても、自然とは異なる人間や社会の、本質的にソフトな挙動を模擬することは容易ではなく、AI支援技術との結合等本格的な展開は将来に残されている。とはいえ、スーパーコンピュータやワークステーションの普及により、この分野の最近数年間の発展はめざましく、今後大きな展開が期待される。

(2) 米国調査

地球規模大の広域的課題に関する研究は、米国で最も盛んである。研究機関の数も多く、また大学に在籍する研究者も多い。

エネルギー需給の世界モデルのセンターでもあるスタンフォード大学 (Department of Engineering-Economic Systems, Terman Engineering Center) では、政治・技術要因を考慮した計量経済モデルに相当する数理モデルを開発している。技術要因の評価は、期待される経済効果に変換して相互に比較することによって決定する。政治要因は、仮定したシナリオを表現する数式に直して導入する。天然ガスの予測モデルが最近整備された。いわゆる第2類のソフト系科学技術 (第1部第2章参照) に相当する。

シンクタンクにおける研究も盛んで、例えば未来資源研究所 (Resources for the Future) では、エネルギー・材料部門、環境評価部門、再生資源部門で様々なシミュレーションが行われている。新しい試みとして、例えば「カリフォルニア州エジソン電力会社の広域的な運用モデル」のように今後投資すべき最適なエネルギー源の選択を、経済効率の他にリスクを考慮して評価するモデルとなっている。リスクは、最終的に経済的な負担額に変換されるが、そのプロセスは興味深い。我が国のように2種類の原子力発電所の場合では、故障時に同型炉を停止させることになると、その損害額は莫大となり、確率との積によるリスク負担額は無視できない。

国際食糧政策研究所 (International Food Policy Research Institute) では、食糧供給予測モデルを開発している。第3世界の食糧生産高のデータは推定値が多く、供給モデルの作成に対しても細かい配慮が必要となる。

ランド (The Rand Corporation) では1200名の研究者が1700台のコンピュータを保有していて、この部門での研究も多方面にわたっている。中でも軍事がらみの戦略研究に特色がある。最近では、いわゆる第2類のソフト系科学技術は減少し、第3類に属する研究が多い。膨大な研究報告書 (ないし要約) は購入できる。

シンクタンクではないがバットル (Battelle Memorial Institute) では、シアトルに新しく研究センターを設立し、人間・社会工学部門の受託研究を開始した。広域課題については、予定されてはいるがまだ本格的には行われていない。

(3) 我が国の研究状況

この方面の研究体制の整備は、データベースも含め我が国は非常に遅れている。

第1類のソフト系科学技術に属する、広域自然の数値シミュレーションモデルに関しても、1970年代中頃までは、研究者層が厚くなる傾向にあったが、第一次ブームの去った80年代に入ってからむしろ減少傾向にある。二酸化炭素による温室効果、フロンガス等によるオゾン層の破壊問題等では、人工衛星による観測手段が我が国では限られていることもあって、米国との差は益々広がっている。また熱帯雨林を中心とする、森林資源の開発による生態系の乱れについても、我が国はその影響評価を十分に行い、対策を用意しておくべき立場にあるが、開発のアセスメントに関する研究も少ない。このような研究分野は、個人レベルの研究ではなく、組織的な対応が必要な状況になっている。

しかしながら、例外的に、エネルギー関係、特に石油に関しては、日本エネルギー経済研究所にセンターが設置され、整備された。この種の対応が望まれる。

(東京大学 平澤 冷)

第5章 ソフト系科学技術の 実用レベル（技法）の概要

5.1 概要

(1) 実用レベルのソフト系科学技術

実用レベルにあるソフト系科学技術（第1部 図1.1参照）として、ここでは以下のような内容と位置付けをもつものとしてとらえよう。すなわち、我々の直面する種々の予測・評価など問題解決・意思決定を支援する知的ツールとして、課題レベルのソフト系科学技術への対応を図るべく、実用に供されているソフト系科学技術である。この実用レベルにあるソフト系科学技術は、学問レベルのソフト系科学技術に支えられ、また逆に学問レベルに対し、経験フィールドを形成してその進展を刺激するとともに、問題意識や研究素材を提供している。

実用レベルのソフト系科学技術は、方法的な内容としての“ソフト”な手法・技法の知的体系、及び、実践的な対象知としての実用知から構成されている。実用知は、問題解決に必要となる、関連する対象や要素についての理解・把握や実践行為のために活かされる知であり、これは学問レベルにある該当する対象知を実践上の目的に即して再編・統合したもの、並びに、（学問レベルに完全には組み込まれていないが対象についての具体的な知の豊富な源である）経験知によって構成されている。

こうした実用レベルの手法・技法や実用知は、ソフト系科学技術の重要な内容を構成している。いわば学問レベルがサイエンス的側面を示しているのに対し、実用レベルはテクノロジー・エンジニアリング的側面を示す関係となっている。

実用レベルでの概念の整理は、本年度のような開発サイド調査のみならず、活用フィールドでの実態をふまえて行うことが必要と考えられる。次年度にこの活用側の調査が行われ、そこで技法群の有効性等とともに論議されることになっている。

本章においては、実用レベルにあるソフト系科学技術のうち手法・技法群の概要を紹介することとする。これらの実態的側面については、次年度の利用者側調査によって本格的に検討される予定であり、今回の成果は中間的なものである。

(2) 技法開発の経過

システムに関する学問、制御工学、OR(オペレーションズ・リサーチ)、情報理論、サイバネティクス、基礎数学、コンピュータの相互浸透的な発展を受けて、第2次大戦後、実践的、目的指向的な立場で複雑な社会に対処していく方法は著しい進歩を遂げた。1970年前後には、我が国でもソフト系科学技術として、新しい総合的知的技術の姿が広く紹介された。

60年代から70年代にかけてのソフト系科学技術の特徴の一つが、实用レベルにある手法・技法群の開発への傾注にあったことは前述のとおりである。これは問題解決に対するシステムティックな段階発想、すなわち、問題発見・設定→構造化・モデル化→シミュレーション→最適化等のフローの考え方の定着と、米国のNASA等の大型プロジェクトの遂行から生み出され有効性が印象づけられた予測・計画・管理等の技法群への関心が背景にあった。従って、開発・利用経験の遅れの自覚のあった我が国では、当初は、大勢としてはこれら实用技法が有効性を発揮する環境条件や全体のシステム要因の検討・理解が不十分なまま、文献的導入(なかには提案のみで実証経験にまで至らぬものも少なからずあった)に走っていたといっても過言ではない。その後は、欧米の開発技法や新しいシステム概念に刺激された手法の開発が一部で進められる一方で、我が国風土に即した改良や提案もなされてきた。我が国独自の創造技法としての、KJ法、NM法、ZK法なども定着した。

今日、こうした手法・技法に関連するものの中でも、数理計画法など歴史の古い分野ですら、学問的にはなお研究課題が残され取り組まれている。しかし、全体としてみると、これらの技法群の精緻化の努力の一部は複雑化するのみで、実際的な問題解決・意思決定の有効な支援と結びつかないケースが多くなり、技法への関心を急速に喪失させる一因となったことは否めない。また、技法の多さや、その具体的な運用上のノウハウの必要性の壁などが、適切な用法の理解を妨げ、関心倒れとなったこともある。

例えば、問題に対する最適な解を決定する学問として、实用レベルのソフト系科学技術の骨格的な基礎となっているORにあっても、近年は不新鮮、専門的、無効果などの観点から失望感を与え、その普及は当初に考えているほどではなくなったとも評されている(近藤『オペレーションズ・リサーチ入門』NHKブックス1978)。

しかし、最近の高性能コンピュータの広い普及は、グラフ理論、論理数学、集合論などを含む数理的なアプローチの発展と相まって、適切な問題設定と理

論や手法の本質的理解さえ誤らなければより有効性を発揮する。ソフト系科学技術の技法群は、今日さらに多様なメニューをもって我々の身近にあり、改良・進化を続けているのである。

一連の手法・技法類の、この間の主な定着・改良・進化パターンは、次のようなものである。

① 定着化・常識化したもの。

組織内での実際的適用のために単独で工夫されたり、手続き化したものも多い。データ解析や数理科学手法の一部はソフトウェア・パッケージ化した。これらは70年前後までに開発されたいわゆるシステム技法の大きな成果といえよう。逆に具体的な成果をみないものは姿を消した。

② コンピュータの発達に伴い手法の実用化したもの、運用の効率化が図られたもの。

コンピュータの高度化・普及が、大量のデータ処理・高速演算を可能にしたため、データ・ベースとの連携や、手法間・情報ベース間のシステムの運用が目指された。計算上の制約が取り払われ、具体化したものも少なくない。しかし、一方で、複雑な情報処理を前提化し、使い易さ、わかり易さ等の面で、また、コスト・パフォーマンス上疑義をもたらすケースも頻出した。

③ 他の手法と組み合わせ、系統的に運用される形態を生み出したもの問題により、問題解決ステップがスキップ・前後・協奏したり、フィードバックした方が合理的である。性格に即して系統的に統合された新しい方法として組み直された。

④ 方法論の学問的な基礎を固めることを目指したもの。

方法に学問的な裏付けの弱いものや、学問的に関心と呼ぶものでは、基礎的な研究が指向された。一部のフロー問題はなお未解決な点を残している。

⑤ 方法の本質的な限界が認識され、レベルに合わせた使われ方をされるようになったもの。

(3) 手法・技法をめぐる近年のニーズ動向

実用レベルの手法・技法については、この適用分野・段階でのニーズが近年大きく拡大・変化したものが少なくない。相互に関係しているが主なニーズ動向を例示すると次のようになる。

① 課題の性格と環境が変化した。不確実性下での問題解決・意思決定の支援という局面が重視される一方、配慮すべき関係要因が拡大・複雑化した。さら

に多目的性格のものや評価主体の多様化したものが増えた。その中で事実指向・分析型のアプローチから価値指向・総合型のアプローチが重用される傾向にある。

② 定型的 (programmed) ないし管理的 (administrative) ・業務的 (operational) なプロセスの支援から、非定型的 (non-programmed) ないし戦略的 (strategic) なプロセスへの支援へと期待がシフトした。両者には支援技法とその活用システムの具体的形態や内容に差異があり、新たな開発ニーズが発生していることを意味している。従来とは問題の難易度、出現頻度、自由裁量の余地、危険性の程度・内容、創造的方法の必要性などに大きな違いがある。

③ 利用者が業務管理担当者からトップマネジメントにシフトした。このことは内容的には前項の別表現ともいえるが、組織内外データ処理を含む専門家向きの大規模モデル指向のシステムにおいて、その迅速な運用、考え方と結論のわかり易い表現、モデルやデータ操作の対話的な利用 (コンピュータと人間の長所の統合、フレキシブルでかつ創造的な利用)、或は、プロセス重視 (必要な時、場所、人、目的) への適応性等のニーズが顕在化した。OAシステムの一環としてのディジジョン・ルームのソフトウェア・ハードウェアの設計にもかかる検討対象である。

④ 創造技法へのニーズが一層強まった。態度技法を含む創造技法については、最近そのプロセスの科学的解明が緒についたばかりだが、新製品・新技術・新規事業への創造的企画などの戦略的重要性が高まった企業では一層関心を寄せる対象となり、極めて多数の技法開発・提案が行われている。

⑤ 組織的な技法への関心が高まった。組織的な問題解決能力の増大や、組織ないし集団としての意思決定の方法について、日本的経営風土の変質との兼合いや経営生き残り戦略の環境下で、関心が高まっている。このことをうけてコンピュータや情報機器を利用した会議や情報管理など組織的技法を支える技術の開発・提案が活発である。

⑥ 高度情報社会での基礎技術との結合が求められている。これらの技法が、情報通信技術の革新、例えば、コンピュータの知能機械化・パーソナル化、ヒューマン・インタフェースの充実、一般データ・ベースへのアクセス、メール機能を含むネットワーク化等々を基礎に、一層の展開が求められ、かつ、その可能性の拡大がみこまれている。すなわち、今後は、利用可能で的確な技術を用い管理者レベルの意思決定を支援する技術体系から、人工知能等を用い企業レベル等の意思決定を支援するためソフトウェア等を結合し、あらゆるテクノロ

ジーを動員しながら、本質的かつ重要な問題解決・意思決定における創造性向上を達するマン・マシン・システムの構築が指向されていくとみられる。

(4) 次世代フェーズで展開の期待される手法・技法

これまでの技法をさらに成熟・新展開させると共に、今後、情報技術や人間の思考過程等の解明に関する科学の進歩、実践的な問題解決・意思決定の経験をふまえた次世代型の手法・技法の展開が期待されよう。

① 人工知能の利用

第3章で略述したように人間の問題解決過程の解明の努力とこれをふまえた人工知能の進展によって、今日多様なシステムが作られ始めている。例えばエキスパート・システムが作られているタスクは急増しており、医療診断などの診断、自動設計、コンピュータ・システム設計、分子・化学反応設計などの設計、プラントや電車の制御、生産計画や実験計画での計画などのフェーズで実用レベルにあるものも多い。こうして専門的に訓練された人間のレベルで、その高度な知識を蓄積して推論を行い、専門分野の難しい問題を解くことができるようになっており、パソコンで動くものも含めると多数が実用化されている。これらが学習機能を備えると強力なツールとして発展しよう。

なお、複雑なものを複雑なままで扱おうとするファジー理論の応用も同様にコンピュータを利用して展開している（若干の説明は後述する）。

② ソフト・システム・アプローチ

ソフト系科学技術での、これまで最も発展し中核的な技法を支えているものはシステム思考である。システム工学やシステム分析に象徴されるシステム思考が前提としている仮定は、対象としての問題は、既知の（所与の）目的を実現するために、代替手段をあげることができ、その間の選択をとくに量的な（経済的な効率性の）評価を通じて行う問題として定式化できる、というものである。しかし、現実の多くの問題では目的設定自体が問題であり、そもそもこのことが可能であるには対象の構造が十分わかっている場合である。また代替案自体も列挙とその量的評価のための処理が困難であり、そもそも、選択の際の評価基準・成果尺度もあいまいであるケースが普通である。経済的な無理な“最適化”を強行すると悪い結果を生み出すことがある。

したがって、このような非構造的な問題に直面したときの、複雑なものを複雑なままで扱うソフトなアプローチが求められている。方法論の中に、目標を生成するメカニズムを取りこんだものを開発することも一つの方向であるが、

P.チェックランドは、目的の明確化・最適化・問題解決の代わりに、世界観、好ましさと実現可能性、状況改善と学習という概念をもちこんだソフト・システム方法論（第1部 図2.1を参照）を提唱している。従来の“ハードな”方法の代表として米国RAND社の開発したシステム分析との比較を表5.1に示す。ただ、この“ソフト”方法論はアルゴリズム的なものではなく、十分な経験と成熟が必要である。

このような新しい試みは他にもなされつつあるが、いずれも構造的に類似である。すなわち、現実世界の直接的な照合の困難さを避け、むしろ論理的な明示性を重視し、また対話・議論を、現実世界との接点として、また状況改善と学習のキーとして重視していることに共通点がある。

④ 創造技法

創造過程についての研究の歴史は長いが、科学的なアプローチな未だ緒に付いたばかりとって過言ではないが、近年の数々の創造性向上セミナー・講習の活発化や出版物の多さからみても、創造性についての社会的なニーズは一層強まっている。

問題を事前に発見する力、問題解決に際し多角的にヒントを生み出す力、そして解決のためにねばり強く挑戦する態度など「創造的な能力」という概念には、思考力から性格、態度といった全人格的な可能性が含まれている。

この創造的な能力を十分に発揮させる「しかけ」を目的的に準備設計するものが創造技法といえようが、このツールないし環境として今日の情報処理通信技術のポテンシャルが注目されている。また、認知科学的な成果や数々のイメージ・シンキングなど全てのメディアの可能性をふまえた総合的な発想法のインパクトも大きい。

すなわち、現在も高度情報社会にふさわしい創造技法の準備が求められ、また、取り組みが進められている。設計行為を対象にそのプロセスの扱いが目的となっている建築設計や製品デザイン、コンセプトの設定作業の中では、とくに、先行的な試みがなされており、これらの体系化が創造技法の新しい展開のブレーク・スルーをおこす可能性もある。

5.2 技法の分類 [1][2]

(1) 実用局面からの分類

オペレーションズ・リサーチ（OR）、システム工学、システム分析などで

表5.1 “ソフト”システム方法論と“ハード”システム方法論比較

“ソフト”システム方法論	RAND社(1950年代)
(a) 出発点：明確に定義されていない問題状況が存在すると感じられる社会システムに対する、改善のための衝動。	出発点：依頼主が問題をもち込んだ時点で分析者がかなりの部分を“所与”と考え得るような、相対的に明確に定義された問題を解くという衝動。
(b) 表現：“構造”と“過程”の構成要素とそれらの間の関係を調べて表現する。問題状況の改善に関連するシステムを試験的に定義する。	分析：意思決定者の目的を調べることによって、分析する。目的は所定のことを実行するシステムに対するニーズとして表現されている。
(c) 定式化とモデル構築：関連システムの根底定義を定式化する。次にそれらシステムの概念モデルを構築する。	同定と比較：定められたニーズを満たすような代替システムを同定し、モデル構築し、それらを成果尺度によって比較する。
(d) 改良：形式システムモデルと既存のシステム思考によって概念モデルを改良する。	選択：ニーズに最もとく合致し、かつ実行可能な代替案を選び出す。
(e) 比較：現実の状況での“実態”と概念モデルを比較する。次にその比較結果を用いて実現世界における望ましくかつ実行不可能な改革案を定義する。	対応する比較ステージは存在しない：両アプローチでは、その当初からどんな改革が必要かは明らかである。
(f) 実施：同意の得られた改革案を実行する。	実現：設計したシステムを実現する

(出典：高原・中野監訳 P.チェックランド『新しいシステムアプローチ』(オーム社1985))

は、問題解決・意思決定に対して、モデル構築やモデル最適化による体系的(システムティック)アプローチを強調しており、各々そのプロセスの手続きの流れを考察し一般化している。これらのステップは理論的に開発されたというよりは、むしろ事例研究から一般化されたものである。したがって、提示されて

いる基本的なフローは共通だが、バリエーションは多い。典型的にはホールが示した、問題定義づけ→価値システム設計→システム合成→システム解析→最適化→意思決定→アクションのプランニングのようなロジックがある。また、現実のフローでは、スキップ・入替・フィードバック・協奏等で、問題に応じたステップが変化することが一般的である。これらのステップは認知・思考・判断プロセスのユニット・レベルのものから複合化レベルのものが混在していることが多い。

人間の認知・思考・判断プロセスは、これをいわば「単位操作」的にとらえると、以下のようなユニットで構成されていると考えられる。

すなわち①状況分析②問題発見③問題設定（問題やシステムの明確化であり、目標や境界を設定することである）④概念化（定義づけ）⑤モデル化（要素抽出、関係づけ、構造化、定式化、数理化、数量化）⑥模擬（シュミレーション）⑦最適化⑧評価⑨（システム）選択、によって構成されているとみることができる。

したがって、実用レベルの各技法は、問題解決・意思決定の支援として機能する場合には、これらの認知・思考・判断プロセスの何らかのユニットにかかわっていることになる。どのユニットに関連しているかということをもって、各技法の機能的な性格を特徴づけ区分することができるはずである。

しかし、現実の人間の問題解決の局面は、認知・思考・判断プロセスのユニットというよりは、一般にはこれらのユニットの複合した形態であられる。そこで本節においては、実用レベルのソフト系科学技術としての複合的な技法群を、それが最も有効性を発揮すると思われる問題解決・意思決定の局面で分類し、その大要を紹介する。

すなわち、人間実践の性格区分については、実用的なイメージをとりやすい①「認識」②「予測」③「戦略」④「計画」⑤「決定」⑥「管理運営」の6局面に区分することとした。

もとより、技法群は膨大に提案されており、適用課題の広さも千差万別であり、また、広範に定着・成熟しつつあるものから、あまりよく知られていないもの、十分な成熟度をもたないものまで多岐にわたっている。また、こうした技法類自体、歴史的に成長・進化したり、適用フィールドやステップを拡張しており、固定的にとらえられないものも多い。したがって本稿では極めて大局的な観点から整理し、次節で比較的新しいものを中心に若干の解説を加えることとした。

表5. 2に、主に活用される局面別に主要技法を分類し、(もちろん、多くの局面にまたがって有用なものが多いが)、各々の技法が認知・思考・判断プロセスのどのユニットと関係が深いかを略示した。一般的なシステム技法の詳細については、竹村編『システム技法ハンドブック』(日本理工出版会 1981)などを参照されたい。

(2) その他の分類

多数の技法を分類するには、実用的な局面による区分の他にも幾つかの区分が考えられる。よく検討される軸として例えば次の四種類がある。

(1) 探索的接近法と規範的接近法

前者は現在までの情報に基づいて将来の姿を探るもので、分析的な事実指向型過程の方法に近い。後者はあるべき姿を設定して、そこに到達するまでのキーや障害を予測し意志決定を行う。これは、逆に価値指向型過程に近いといえる。

(2) 静学的方法と動学的方法

すなわち、目標時点のみの像を求めるか、または時間的な経過抽出できるかの分類である。用いられる側から言えば、動学的情報が得られればそれに越したことはないが、そのために難しいパラメータ推定が生じたり、方法の論理性があいまいになったりしてはかえって好ましくないことになる。

(3) 計量的方法と記述的方法

これは、扱う要素の客観性に関する点である。客観的に計量可能な変数を対象とする方法に対し、SDはややあいまいな変数も扱える。さらに技術予測では、過去のデータがない場合、専門家の主観的な情報をも必要とする。これらは多くの場合計量性の低いものである。

(4) 論理指向形開発と応用指向形開発

これは上の3種とは異なり、前述第3章のシステム論のレビューで述べた発展の段階に関するものである。言うまでもなく、ソフト系科学技術の技法には、現場の問題解決から生まれたものが多いが、ファジーや人工知能のように理論的な発展が先じたものもある。

例えば主な技法を(探索-規範)(記述-計量)の軸でその性格を区分してみると図5. 1のようになる。

表5.2 ソフト系技法の性格一覧 (1/2)

主な活用局面	認知・思考 判断 プロセス	状況分析	問題発見 (問題/ システムの明確化) 目標設定 境界設定	概念化 (定義 づけ)	モデル化 要素抽出 関係づけ 構造化 定式化 (数理化 数量化)	模 擬 (シミュ レーション)	最適化	評 価	(システム) 選 択	(注)
	方法 技法例									
認 識	個人の洞察 (創造技法)	◎	◎	◎	◎	○	○	◎	◎	
	発散型 (BSなど)	◎	◎		○					
	収束型 (WDなど)	◎	◎		◎					
	結合型 (KJ法など)	◎	◎	○	◎			○		
	態度技法	○	◎							
	社会調査法	◎	◎	○	○			○		
	マトリックス	○	◎		◎			○		
	形態学 (解析技法)	○	○	◎	◎					
	多変量解析 (構造分析・構造化技法)	○	◎	○	◎		○	◎		
	ISM	○	◎	○	◎		○	○		
HSA	○	◎	○	◎		○	○			
ボトルネック	○	◎	○	◎		○	○			
SSA	○	◎	○	◎		○	○			

	Qアナリシス visualQA SKETCH 自動作図化 FMS DEMATEL GMDH	○	◎	○	◎		○	○	
予	(判断法) シナリオライティング デルファイ クロスインパクト (外挿・時系列) 時系列解析 (関連・因果法) 計量経済 ※	◎	○	○	○	◎	◎	○	
測		○	○		◎	○	◎	○	
戦	エグゼクティブ 見解 エグゼクティブグループ 市場分析法 (競争戦略)	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎
略	ホートフォリオ ポジショニング (策定プロセス) PDPC LENS	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	○
		○	◎		○	○	◎	○	○

※規範的予測、一般シミュレーションは計画局面技法に分類

(続く)

表5.2 ソフト系技法の性格一覧 (2/2)

主な活用局面	認知・思考判断 プロセス	状況分析	問題発見 (問題/ システムの明確化) 目標設定 境界設定	概念化 (定義づけ)	モデル化 要素抽出 関係づけ 構造化 定式化 (数理化 数量化)	模擬 (シミュレーション)	最適化	評価	(システム) 選択	(注)
	方法 技法例									
計 画	(数理計画法)		○		○	◎	◎	○	○	
	(シミュレーション技法) モンテカルロ				○	◎	○	○		
	SD		○		◎	◎	◎	◎	○	
	計量経済モデル (OR一般)		○	○	○	◎	◎	◎	◎	○
	(システム分析)		○	○	○	◎	◎	◎	◎	○
決	(最適化・満足化) 単一属性効用関数				○	○	◎	◎	◎	
	多目的最適化				○	○	◎	◎	◎	
	多属性効用関数				○	○	◎	◎	◎	
	満足化トレードオフ				○	○	◎	◎	◎	

定	(不確実性下意思決定技法)							
	ベイオフ表			○	○	○	◎	◎
	決定樹木	○	◎	◎	○	◎	◎	◎
	確率的決定樹木	○	◎	◎	○	◎	◎	◎
	(確率情報条件下決定技法)			○	○	◎	◎	◎
	(評価主体多様性)							
	ゲーム理論		○	○	○	○	◎	◎
	合意形成手法		◎	○	○	○	○	◎
	(プロジェクト評価法)							
	決定論		○	○	○		◎	◎
	経済論		○	○	○		◎	◎
	OR系		○	○	○		◎	◎
	信頼性分析		○		○	○	◎	◎
アセスメント	○	○		○	◎	○	◎	
管 理 運 営	(グラフネットワーク)							
	PERT	○	○	◎		◎	◎	◎
	CPM		○	◎		◎	◎	◎
	RAMPS		○	◎		◎	◎	◎
	GERT		○	◎		◎	◎	◎
	デルタチャート		○	◎		◎	◎	◎
	PATTERN	○	○	◎	○	◎	◎	◎
	PPP		○	○		○	○	○
	PLRP		○	○		○	◎	◎
FAME		○	○		○	◎	◎	

記述的	シナリオライティング	関連樹木法
	デルファイ法 AI	
	構造分析	PATTERN
	クロスインパクト法	
計量的	SD	グラフネットワーク
		多目的最適化モデル
	計量経済モデル	最適化モデル

図5. 1 主要技法の性格分類例

5. 3 主に認識局面において活用される技法群

我々が直面する問題解決・意思決定では、事実や状況の認識、問題点の認識、アイデア・解決策・適応策の発見・発想など、広く認識局面における展開が重要であるが、ここで活用される技法には数多くのものがある。

この技法群には、予測・戦略・計画等の別の局面にあっても、要因のリストアップなどに有効なものが多い。また、組織的になされれば、認識の共有化を図れることから、そのまま合意形成における有効なステップとなる。

認識のためには最終的に個人の直観・洞察が働くにせよ、これのみでは安定性・説得力を欠くことが多く、問題が複雑化すれば組織的な、あるいは系統的な手順ないし活動スタイルが不可欠で、技法のニーズは強く、かつ開発されてきている。データの収集法・分析法にあっては、既に70年代初めのソフト系科学技術の提唱期でも基本的なツールは整備されていた。近年にあっては、コンピュータの著しい発展にあってもなお高度に人間的な活動として残されている探索展開型の創造工学手法のさらなる開発が求められている。また、形態学・グラフ理論・マトリックス等を援用しコンピュータを用いる構造化技法が、とくに70年代以降大きな進歩を遂げている。構造化技法は、問題を設定・明確化することを通じて、システム工学・システム分析の得意とする最適化等のステップにもちこむことを可能とさせる、重要な技法である。

以下に、その代表的な技法を例示する。

(1) 創造（工学）技法〔1〕

高橋監修・編著『創造開発技法ハンドブック』（日本ビジネスレポート1981）では、創造技法を300以上のものから100に絞りこみ、次のように分類している。

- I 発散発見技法——主に問題点をみつけたり、アイデアを出すために用いるもの
- II 統合収束技法——主に情報をまとめたり、あるいは手順を踏んで解決してゆくのに用いるもの
- III 態度養成技法——何かを解決するというよりは、創造的な態度を身につけるためのもの

このそれぞれは、次のような技法グループから構成されている。

I 発散発見技法

- (a) 自由連想技法——類似、近接、反対の3つの連想を用いてアイデアを出すやり方（例、ブレインストーミング）
- (b) 強制連想技法——課題とヒントを強制的に結びつけてアイデアを出すやり方（例、形態分析法）
- (c) 類比発想技法——本質的に似たものをヒントとしてアイデアを考えるやり方（例、NM法、シネティクス）
- (d) 特殊発想技法——催眠や睡眠、またイメージヒントなどを用いて発想するやり方
- (e) 問題点発見技法——課題を分析して問題点をさがし出すやり方
- (f) インタビュー技法——インタビューによって問題を発見したりアイデアをさがす方法
- (g) 情報収集具技法——データを集めたり、整理をしたりする道具やシステム

II 統合収束技法

- (a) 一般統合技法——情報をまとめあげるための方法で、さまざまな分野に用いることができる
- (a') 一般統合技法（カード利用タイプ）——一般統合技法の中でカードを用いるやり方
- (b) 技術開発技法——主に、製品開発や設計などに用いる技法

- (c) マーケティング技法——販売や広告など、主に予測のために用いる技法
- (d) 予測技法——未来予測や技術予測など、主に予測のために用いる技法
- (e) 計画技法——解決策を、効率よくすすめるための手順を考える技法

Ⅲ 態度養成技法

- (a) 精神統一技法——発想のためなどに心身をコントロールし集中する方法
- (b) カウンセリング技法——主に、人間関係の問題や悩みを解決して安定を得るための技法
- (c) サイコドラマ技法——劇を演ずることによって心の自由さ、行動の創造を生む技法
- (d) 思考変革技法——思考を柔軟に、変化出来るようにするための思考訓練の技法

(2) 社会調査法

社会調査とは、社会または社会事象について、現地調査（フィールド・サーベイ）により、統計的推論のための資料を得る事を目的とした調査である。国勢調査、市場調査、世論調査等が歴史的に実施・経験されてきた。この過程で質問紙法から深層面接法まで 実用調査としての技術を確立させ、データの収集技法・抽出法、実験計画法からデータ処理に至る「社会調査法」という一般的方法体系を蓄積・進展させて来ている。

(3) 解析技法

システムについての解析技法には、i) 社会・人文科学で開発利用された多変量解析技法、ii) 組織的意思決定過程の解明のためのシステム分析技法、iii) 工学分野での制御理論の諸技法、iv) 事務処理とくに計算処理を伴う事務等の合理化の一連の分析に端を発したソフトウェアエンジニアリング技法がある。データが数値的に与えられた場合、これらを分析し、なんらかの有用な情報を抽出しようとする際の多くの技法がある。

a. データ構造の抽出法——赤池情報量基準

統計的分析については、直観に基づく仮説の措定からデータによる検証という方向の認識プロセスのみならず、データ構造の抽出から新たな仮説の提示という方向での認識プロセスが不可欠であり、この繰り返しの仮説の純化に

よって対象の本質に迫ることができる。とくに、観測ノイズのみを除きデータから有意な情報を自動的に抽出する統計的方法が積極的意味をもっており、分析目的に応じた仮説構成法とその評価法が要請されてきた。伝統的な数理統計学の検定論では、手続き上のあいまいさ、煩雑さがあったが、我が国の70年代の国際的な貢献の一つに赤池情報量基準(AIC)があり、これを有効に処理することができるようになった。統計モデル(仮説)の評価法に関する問題点を解決し、構造探索的な局面での解析の自動化に道を拓くものと評価されている。

b. 多変量解析法 [3]

データ解析法として知られている多変量解析法は、計量経済学のような理論モデルに重きをおく立場よりは、データをして語らしめる、という立場から用いられる技法である。ソフト系科学技術が対象とする問題では、まずどのようなモデルが考えられるのか、データをもとに検討する必要がある。このような場合の第一歩として有効であり、計量心理学、計量行動学、社会調査論等で広く用いられている。必要な計算が面倒なため技法の歴史は古いがコンピュータ利用の発展に伴いポピュラーとなった。近年はパソコンレベルのコンピュータパッケージも市販されている。

多変量解析法の基本となるのは、以下のような線形スカラー化である。すなわち、 n 種類のベクトルデータが N 個得られているとする。これを

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \quad (i=1, \dots, N)$$

と記す。 x_i は平均0に正規化されているものとする。多変量解析法では、あるベクトル a にこの x_i を投影しスカラー化した $x_i^T a$ を考え、この分散や相関を最大化するようなベクトル a を求めるものである。以下、 x_i を N 個行方向に並べた (N, n) 行列を S と記す)

(a) 主成分分析法

$\{x_i\}$ のサンプルによる相違を最も強調するようなベクトル a を求める。これは $\{x_i a\}$ の分散が最大となるような a を求めることで達成される。すなわち、

$$\max. \sum_{i=1}^N (a^T x_i) (x_i^T a) = a^T S^T S a$$

$$\text{subject to } a^T a = 1$$

これは $S^T S$ の固有値問題となる。固有値の大きい軸を数個選べば、もとの n 次元の情報を縮約して検討できることになる。

(b) 判別分析

上のデータ行列を 2 組に分ける。この両者の差を最もきわだたせるような a を求める。このためには、 x_i, a がそれぞれの組内でよく集中し、かつ各組毎の平均値、 μ_1 ($=x_i, a$ の第 1 組 ($i=1, \dots, N_1$) の平均値)、 μ_2 ($=x_i, a$ の第 2 組 ($i=1+N_1, \dots, N$) の平均値) が最も離ればよい。すなわち、

$$\max. \frac{a^T (\mu_2 - \mu_1)^T (\mu_2 - \mu_1)^T a}{a^T \left\{ \sum_{i=1}^{N_1} (x_i - \mu_1)^T (x_i - \mu_1) + \sum_{i=N_1+1}^N (x_i - \mu_2)^T (x_i - \mu_2) \right\} a}$$

これも、固有値問題となる。

(c) 正準相関分析

上の観測データ x_i に加え、もう一組の観測データ y_i が得られているものとする。これを、 (N, m) データ行列 R とする。このとき、それぞれを a と b に射影し、それらの間の相関が最も高くなるようにする。すなわち、

$$\max. \sum_{i=1}^N (a^T x_i) (y_i^T b)$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^N (a^T x_i)^2 = 1, \quad \sum_{i=1}^N (b^T y_i)^2 = 1$$

これは重回帰分析の拡張であり、やはり固有値問題に帰着する。

多変量分析には、この他、回帰主成分分析法などがある。いずれも適用によって直ちにモデルなり理論が得られるというのではなく、結果の十分な考察の手助けに活用すべきものである。

一方、質データまたは質データも含む場合には、尺度構成法や数量化理論による処理が行われる。さらに質データのみの場合にはクラスター分析、潜在構造分析が利用される。

(d) 尺度構成法 [4]

おもに計量心理学の分野で開発された方法である。人間は、基本的には間隔尺度の判断基準を持っているが、これに確率的な誤差項が加わったため判断があいまいとなり、順序尺度でしか信頼できるデータが得られないというモデルを仮定し、もとの間隔尺度を求めようとするものである。文献 [5] にも見られるよう、詳細にみると様々な手法が開発されてきた。

尺度構成法の基本的モデルの一つであるサーストンの一対比較法のモデルは次のようなものである。いま、評価主体 j に n 個の代替案を見せ、その好ましさを判断させるものとする。この代替案は、本来は間隔尺度の「好ましさ」 x_i を持っているが、ここに判断誤差 e_{ij} が加わるため、回答は本来の尺度の順にならないものと仮定する。サーストンは、この e_{ij} にさまざまな仮定をおくことで、5種類のモデルを述べた。このうち、最も単純かつ実用的なモデルは、 e_{ij} がすべて互いに独立、平均0かつ分散が等しい正規分布に従うとするものである。このとき、代替案 i が代替案 k より「好ましい」と判断される確率は $P(x_i + e_{ij} \geq x_k + e_{kj})$ と書ける。すなわち $z = e_{ij} - e_{kj}$ とおくと、一般性を失わず z の分散を1とできるので、

$$\begin{aligned} & P(x_i + e_{ij} \geq x_k + e_{kj}) \\ &= \int_{x_k - x_i}^{\infty} N(z) dz \end{aligned}$$

となる。ここで $N(z)$ は平均0、分散1の正規分布確率密度関数である。従って一対比較の判断データを十分集めれば、最尤法により $\{x_i\}$ を推定することができる。同様のモデルは、一対比較の他、「代替案がどの好ましさのグループに属するか」という場合にも適用でき、トーガソンのカテゴリ判断の法

則として知られている。

以上は、判断の尺度を一次元上に表わしたものであるが、近年よく用いられる多次元尺度構成法は、一対比較の結果得られた親近度を、多次元空間に配置しようとするものである。

(e) 数量化理論 [5]

数量化理論は、Ⅳ類を除き、名義尺度、順序尺度を変数に含む場合の多変量解析法といえる。Ⅰ類、Ⅱ類は、アイテム・カテゴリと呼ばれるダミー変数によって名義尺度または間隔尺度を表した場合の、それぞれ重回帰分析と判別分析に対応する。Ⅲ類は正準相関分析に近い。Ⅳ類はこれらとは異なり、一対比較の親近度データをもとに、それらをよく再現するような空間座標を多次元空間内に求めようとするものである。

(4) 構造分析技法 [6]～[19]

構造分析とは、要素間の関係構造を図などに表示して、構造の把握を容易化しようとするものである。構造分析は、その多くがISM (Interpretive Structural Modeling) [6] に端を発している。基本的な原理は次のようなものである。

まず、構造を分析したい問題の要素が、 $[a_1, a_2, \dots, a_n]$ と n 個の要素から成り立っているものとする。対象全体の構造は不明であるが、要素を 2 個ずつ取り出した時は、それらの間の 2 項関係についての指示ができるものとする。

ここで、2 項関係の種類が問題となる。数学的には、順序構造は推移性と比較可能性を持つ関係を弱順序、さらに反対称性を持てば全順序、反射性と推移性を持てば半順序の関係と言う。[7] 今、要素間の 2 項関係をグラフであらわすことを考えてみよう。[8]

因果関係、大小関係のように方向を持つものは順序構造をとる。図 5. 2～3 のように、これらを有向グラフであらわし、「相関関係」「親近度」等方向がない関係は無向グラフであらわすことが自然である。

すなわち、2 項関係は、このような一対比較表を作成することで完全に表現できる。これを隣接行列と呼ぶ。また、この隣接行列をブール演算で $(n-1)$ 乗すると、間接的な関係の有無が表される。これを可到達行列と呼ぶ。

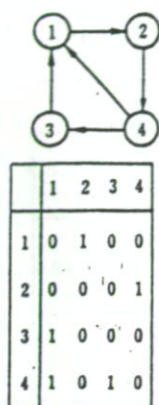


図 5. 2
有向グラフとその隣接行列

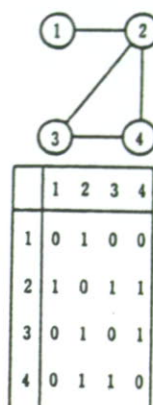


図 5. 3
無向グラフとその隣接行列

(a) ISM[6]

ISMは有効グラフに対し、推移性を前提とした上で、できる限り2項関係の評価の回数を減らすように工夫したアルゴリズムである。まず、任意の要素 a_i を取り出し、他のすべての要素 a_j と (1) $a_i R a_j$ が成り立つか、(2) $a_j R a_i$ が成り立つかを調べていく。これは可到達行列の行、列1本ずつを尋ねたことになる。この結果、 $\{a_j\}$ はそれぞれの成否によって次の4通りに分類されることになる。

$$L = \{a_j \mid a_i R a_j \text{ 成立かつ } a_j R a_i \text{ 不成立} \}$$

$$F = \{a_j \mid a_i R a_j \text{ 成立かつ } a_j R a_i \text{ 成立} \}$$

$$V = \{a_j \mid a_i R a_j \text{ 不成立かつ } a_j R a_i \text{ 成立} \}$$

$$D = \{a_j \mid a_i R a_j \text{ 不成立かつ } a_j R a_i \text{ 不成立} \}$$

このとき、推移性を前提とすれば、図5. 4のように多くのブロックが決定されることになる。従って、この段階で決定できなかった2項関係部分のみを改めて判断主体に尋ねれば良いことになる。こうして得られた可到達行列をブロック対角化し、さらにその各ブロックをブロック三角行列化することで、階層関係までを自動的に作図させることができる。

L	M_{LL}	$M_{LF}=0$	0 ⋮ 0	$M_{LV}=0$	$M_{LD}=0$
	$M_{FL}=1$	$M_{FF}=1$	1 ⋮ 1	$M_{FV}=0$	$M_{FD}=0$
第 i 行	11 … 1	11 … 1	$m_{ii}=1$	00 … 0	00 … 0
V	M_{VL}	$M_{VF}=0$	0 ⋮ 0	M_{VV}	$M_{VD}=0$
	$M_{DL}=1$	$M_{DV}=1$	1 ⋮ 1	M_{DV}	M_{DD}
	L F			V D	

図5.4 a_i を軸とした二項関係の推定と決定される部分

このようにISMは比較的少ない判断から一貫した手順で構造分析を行なうことができる。同様なものに、要素間の関係を部分的に調査し、関係の強さ、要素の重要度を示すことの出来るDEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) 法、問題間の関係の強さを連続量で示し、プライオリティを数量的に定められる我が国(財)流通システム開発センターのSAD法がある。

ISM法は便利な方法である一方、可到達行列を容易に作成できる問題は、要素間の距離が遠いほど判断がしやすくなる順序関係に限られる。因果関係、影響関係のように間接的影響の有無が離れるほど不明確になったり、推移性を前提とできないフィードバックのあるシステムの分析には向かない等の問題点もある。

これらの問題点の解決のため、ISM以降の構造分析法の多くは、隣接行列を入力データとしている。

(b) HSA

日立の開発したHSA[9]はシステム開発における統合型の分析・評価技法であるPPDS (Planning Procedure to Develop Systems) [10]の一部である。ISMではフィードバックグループを含む図の表示に対して無力であったので、一旦適当な枝を取り除き、階層構造化してからあらためて図に最低限のフィードバックパスを加えることでループのある構造を表示しようとしたも

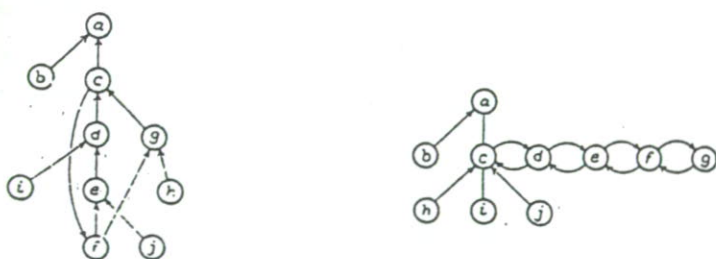
のである。

次のような手順による。

- ① 隣接行列をデータとして与える。
- ② 可到達行列を作成し、グループ階層化を行う。ISMの場合、フィードバックグループのあるグループはすべて同一階層となる。
- ③ 上位のグループに直接関係を持ち、かつその階層でループの一部を形成している要素の抽出。これらを候補集合と呼ぶ。
- ④ 候補集合とフィードバック枝を順次たどりつつ、最小の枝でフィードバックを除去し階層化できるような関連を見いだす。
- ⑤ ループが除去されればISMでグラフが図示できるので、この後にフィードバック枝を付加する。

この④アルゴリズムはきわめて巧妙なものであり、階層化ができないことをループの検出条件に用いている。

詳細は文献〔9〕を参照されたい。



イ. HSAによる階層構造化 ロ. ISMによる階層構造化

図5.6 HSAの例とISMとの比較

(c) ボトルネック法 [20]

フィードバックループのカットすべき枝をより直接的に求める方法である。原理は、以下のようなものである。

- ① 強連結グラフ内の節点間の最短経路をすべて求める。
- ② グラフ枝kについて、そこを通過する最短経路数を求める。
- ③ ②の通過数が多いほど、そこはグラフ内のボトルネックになっているものと考えられる。これを主要枝と呼ぶ。
- ④ ボトルネックとなっているパスを切断し、グラフが強連結でなくな

るかどうかを調べる。

⑤ 強連結でなくなれば、グラフを階層的なサブシステムに分割できるので、①のプロセスを続ける。

⑥ グラフがなお強連結であれば、次のボトルネックを切断して④の操作を続ける。

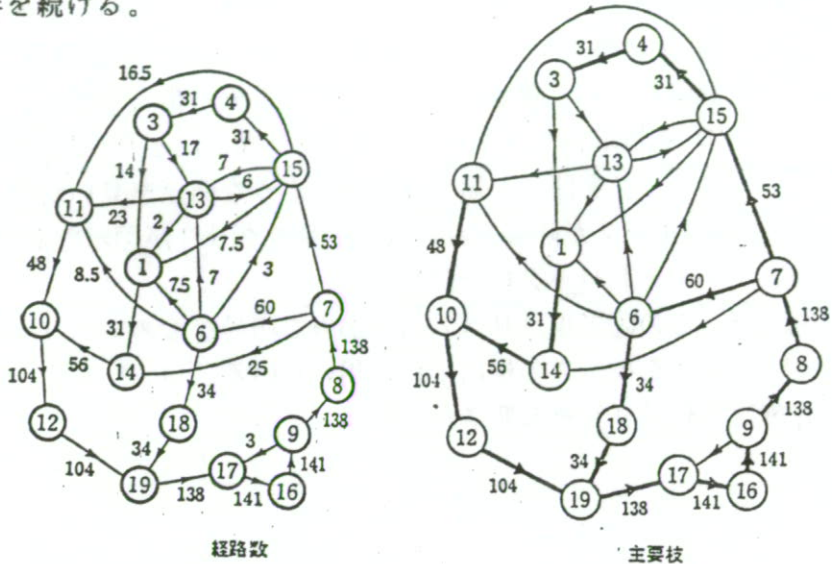


図5. 6 経路数と主要枝 (ボトルネック)

(d) SSA

SSA [12] は複雑な構造の見やすさへの接近として、図5. 7に示すよう、「互いの関係の強いものはできる限り近く配置する」「できる限りグループ化する」「できる限り図の交差点数を減らす」ような作図アルゴリズムを目指している。この方法は無向グラフを出発点とし、相互関連の強いサブシステムを見いだすDCMPOS [13] と呼ばれる発見的アルゴリズムを適用する。

DCMPOSでは、グラフの強連結部分集合を逐次抽出できる。こうして得られたサブシステムと各要素の関連の強さを数量化3類を用いて体系化する。

これによりシステムの分割を計算機により自動的に行う。

SSAにおいては、さらにこのサブシステムの取捨選択がシステムの分割にどのように影響するかを構造的感度分析と定義している。

意思決定者は計算機と対話的に要素間関係を与えつつ、どのようなシステムの分解が適切であるかを知ることができるようになっている。

以上のように、HSA、SSAのいずれも、問題発見と明確化の方法を、計

算機上で論理的に実現したシステムと言える。

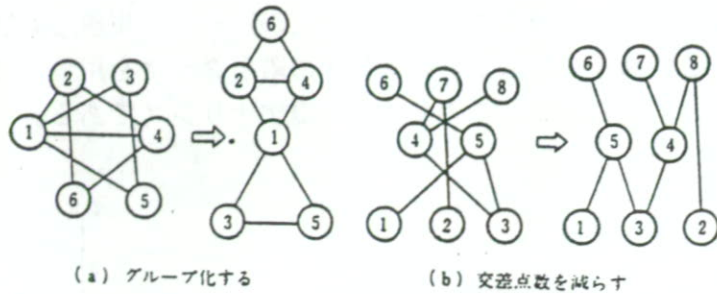


図5.7 図構造のみやすさ

(e) Q-アナリシス [14]

Qアナリシスは、システムの2つの集合X, Yの要素間結合を位相幾何学における複体としてモデル化しようとしたものである。ここでは無向グラフを扱う。

- ① 図5.8に示したように、X, Yの要素間の関連を接続行列で表現する。
 - ② Yの要素 y_i を構成要素とした単体で要素 x_i を表現し、こうして y_i を通して x 間の関連が表現される。
 - ③ 単体間の関連も得られる。
- このように、Qアナリシスでは高階の関連も分析できる。

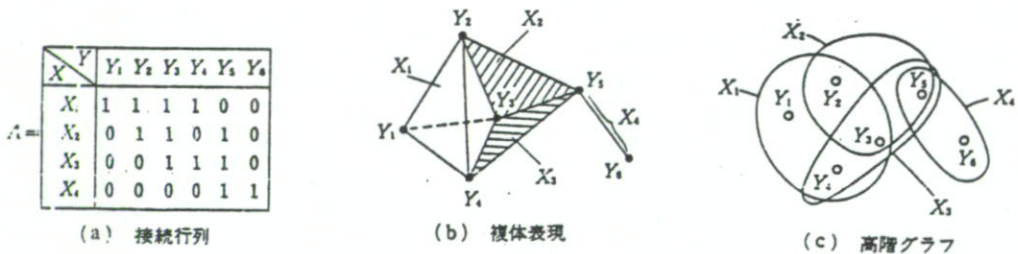
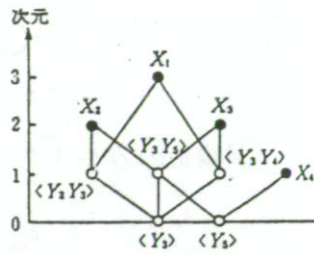


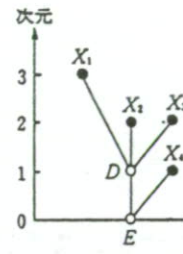
図5.8 Qアナリシスの分析手順

(f) Visual Q アナリシス [15]

Qアナリシスでは、複体の構造は3次元までしか図示できない。それ以上の複体は数式に頼ることになる。このため、大規模な問題に対して限界があった。そこで図5.9のように2種類の階層グラフを用いることで視覚的に表現しようとした方法が、このVisual Qアナリシスである。



イ. 隣接階層グラフ



ロ. Q結合階層グラフ

図5.9 Visual Qアナリシスの構成

イ. の隣接階層グラフでは単体を●、2つの単体が共有する辺単体とこれを構成する要素 (y_j) を○で表してある。このように単体の結合関係と共有される要素が明示できる。

ロ. のQ結合階層グラフでは、単体x間の階層的関連をその階数に応じ示される。この方法は大規模システムの場合にも2次元表示が可能なものとなっている。

(g) SKETCHシステム [16]

さきに述べたように、階層グラフの見やすさの一つに交差点数の少ないことがある。このSKETCHシステムでは、みやすさとして

1. 交差点数の少ないこと。
2. 枝ができる限り直線的であること。
3. 隣接点はなるべく近くに配置すること。
4. バスの合流、分流が把握しやすいこと。

をあげ、階層内の接点の配置を自動的に行おうとするものである。

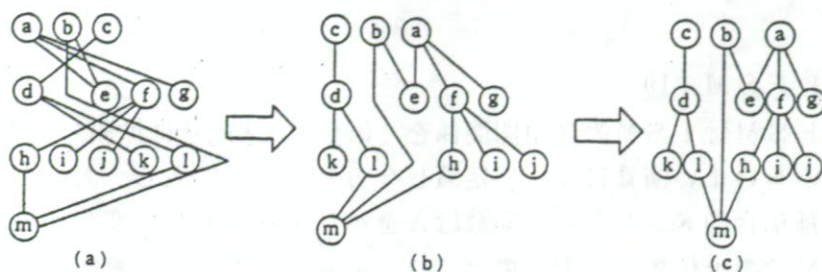


図5.10 SKETCHの原理

(h) 自動作図化手法 [17]

原らによって開発された、自動作図化手法も、無向グラフを見やすくするように節点を配置するものであるが、階層構造でなく、強連結構造グラフを対象としている。本方法は3連結な平面グラフに対し直線描画可能な頂点配置を与えるバリセントリック写像 [18] を基本としている。手順は以下の通りである。

- ①まず、強連結グラフから発見的方法により平面グラフ（交差点を持たないグラフ）を抽出し、初期解とする。
- ②バリセントリック写像を施す。
- ③節点の配置をバランスよくなるよう並べかえる。これは枝の長さの分散が小さくなればよい。
- ④①で除去した枝、節点を付加する。

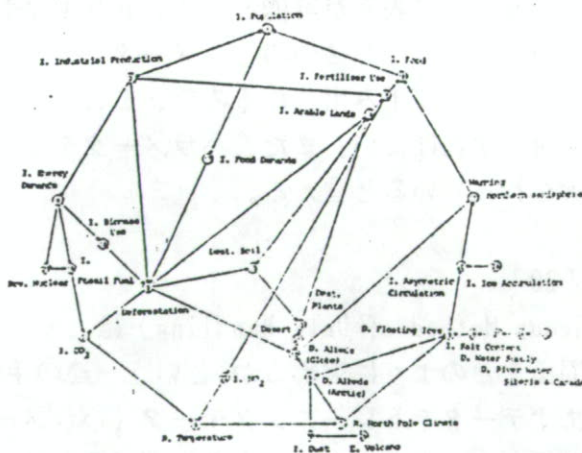


図5.11 自動作図化手法の適用例

(i) FSM [19]

FSMはISMの2項間関係を[0,1]の連続量に拡張し、推移律をファジィのあいまい演算によって定義しなおしたものである。あいまい演算においては補集合のメンバシップ関数は λ をパラメータとして変化する。このため、ISMでの上位集合、下位集合、フィードバック集合、無関与集合は

$$L = \{ a_k \mid \bigvee_{j=1}^N a_{kj} < p \leq \bigvee_{l=1}^N a_{lk} \}$$

$$F = \{ a_k \mid p \leq \bigvee_{j=1}^N a_{jk}, \quad p \leq \bigvee_{l=1}^N a_{kl} \}$$

$$V = \{ a_k \mid \bigvee_{j=1}^N a_{jk} < p \leq \bigvee_{l=1}^N a_{kl} \}$$

$$D = \{ a_k \mid \bigvee_{j=1}^N a_{jk} < p, \quad \bigvee_{l=1}^N a_{kl} < p \}$$

とパラメータ p によって変化する。このような集合が定めれば、ISMと同様の手順により階層グラフ表示が可能となる。FSMにおいては、基本的な考え方はISMと同じであっても2つのパラメータ (p, λ) の与え方により少しずつ異なるグラフが生み出されるので、これらから使用者にとって分かりやすいものを選択すればよい。また、パラメータを変化させることは、一種の構造感度分析を行っていると言える。

(5) GMDH [20]

GMDH (Group Method of Data Handling) は、 $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ の非線形関数関係をどのように定めるか、という一連の手順である。図5.12に示すように、まずデータをトレーニングデータ(パラメータの同定に用いる)とチェックングデータ(当てはまりのよさを調べる)に分ける。 $\{x\}$ の群の1次式、2次式 \dots 等のパラメータを前者で推定し、それらの中の当てはま

りの良いものを後方でチェックして選ぶ。この組み合わせを繰り返すことで、非線形関係を決定していく。この手順は元来生体系の自己組織化の概念から出発している。

この方法は、データに対する当てはまりは非常に良い反面、得られたモデルが何等かの理論や仮説の検証を示すというものではない。しかし、環境問題などでは関係構造式を理論的に導くことは難しいことが多く、このようなヒューリスティックな方法によらざるを得ないということも事実である。

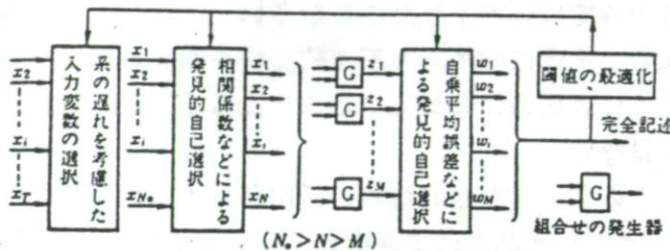


図5.12 GMDHの手順

5.4 主に予測局面において活用される技法群

広義の計画的行為においては、「変化と問題を発見する技術」（予測技術）「政策を立案し決定する技術」（狭義の計画技術）「落とし穴を回避する技術」（管理技術）が必要である研究開発ガイドブックが、とくに現時点の意思決定に重要な影響を与えるのが将来に対する予測である。将来環境が不透明感を増し、かつ先行指標のなくなった我が国では適切な予測が今後重視される。

第2次大戦後、工学システムでのウィナーフィルタ・カルマンフィルタなどの信号推定理論と応用の成果は、社会経済システムへの適用に大いなる期待がかかったが、社会システムには特有の困難があった。予測の意義そのものも異なっている。社会システムにおいては、予測値自体が重要である場合、現状の分析・評価に関心のおかれる場合、理論の検証にポイントのある場合等、異なるアプローチの立脚点があり得る。

予測技法は、既に多くの成書にまとめられているが、例えば、判断法、外挿・時系列法、関連・因果法の三類型に区分することができる。将来に対する規範的予測法や確率統計的な一般シミュレーションは、戦略局面・計画局面を支援するものとして後述する。

(1) 判断法

個人の洞察に基く直観的推論や集団的推論であるが、総合化は難しい。

社会システムにおける予測の流れの一つに、経営のマネジメントに端を発するOR、技術予測の分野がある。

このような分野では、言うまでもなく予測の役割は大きい。ことに技術予測には、計量経済モデルによる予測とは異なる要請がある。第1に、5年、10年を単位とする長期的予測が必要である。第2に、過去の延長として将来技術を予測するのみでは、不十分なことが多い。これは、近年の技術革新を見れば明らかである。そこには多くの不連続な技術開発があった。第3に、技術を経済変数のように客観的に数量化することは多くの場合難しく、記述的な表現に頼らざるを得ない。

一方、このような主観的情報の活用に対する批判も少なくない。このような方法は、「新しい水晶球にすぎない」との言葉は、その代表的なものと言えよう。

a. シナリオライティング法

将来のある時点へ至るまでに生じそうなことを、そのまま文章化し記述するものである。対象に制限がないため広範囲な事業を必要に応じ扱えるが、これ単独では全体の論理的整合性のチェックが難しい。従って他の方法で得た情報を骨組として、これに肉付けを行うためのものと考えらるべきであろう。しかし、逆にどのような方法も最後にはなんらかの「解釈」が必要なことを考えると、あらゆる場合に用いねばならない方法でもある。実施に際しては、5.3節に述べた問題発見の技法も利用される。

b. デルファイ法

デルファイ法は、1960年代の前半創始された手法で、意見が収束するまで参加者にアンケートを繰り返すというものである。

ある技術課題の実現時期を個別にアンケート質問し、回答の分布の広がりが多い場合には、その分布と各回答者の位置を示しつつ再度アンケートを行う。必要ならコメントを求めることにより、見落とした問題点のチェックを図る。こうして、回答の分布がほぼ収束するまで繰り返す。

この方法は、大規模な調査を容易に行える利点のある反面、技術間の相互関

連が得られないため、しばしば競合関係にある技術がすべて実現するという結果になりやすい。また質問する専門家を十分吟味しないと、重要な少数意見が分布の中に埋もれることもある。

また質問があいまいさを含むと、調査は無意味なものとなる。

c. クロスインパクト法 [22]–[28]

クロスインパクト法は、(以下、X-I法と略記)・技術間の相互影響を扱うため開発されたものである。当初の方法からさまざまな改良を経て現在に到っている。

1965年のGordonらの方法では、事象の生起確率と事象間の相互影響関係を与え、後述するモンテカルロシミュレーションにより当初に与えた確率を修正していた。[22]しかし、この手順には論理的な欠陥のあることが指摘され、[23]一時クロスインパクト法は全く省みられなくなった。

1975年になって、J.C.Duparrinらはその欠点を修正する根本的な改良手法を発表した。[24]

予測事象をn個とするとき、

- (1) 確率の推定：予測時点までに事象iが生起している確率を $P(i)$ 、事象jの生起及び非生起を条件とする条件付確率 $P(i|j)$ 、 $P(i|\bar{j})$ を専門家に尋ねる。
- (2) 確率の数学的整合性：事象の生起、非生起の組み合わせ状態は $m = 2^n$ 個存在し、それぞれに状態確率 π_k ($k=1, 2, \dots, m$) が

$$\pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_m = 1; \quad \pi_k \geq 0$$

の条件下に存在し、すべての確率はこれにより表現されねばならない。例えば確率論的に正しい一次、二次の結合確率は

$$P^*(i) = \sum_{k=1}^m \theta_{k,i} \pi_k$$

$$P^*(i, j) = \sum_{k=1}^m \theta_{k,i} \theta_{k,j} \pi_k$$

と表わされる。ここで、

$\theta_{x_i} = 1$; π_{x_i} が事象 i 生起の状態に対応するとき
 $= 0$; π_{x_i} が事象 i 非生起の状態に対応するとき

とする。そこで、推定された確率データと正しい体系の確率との誤差の自乗和

$$\Phi = \sum_{i=1}^m \{ P(i) - P^*(i) \}^2 + \sum_{i \neq j}^n \sum \{ P(i|j)P(j) - P^*(i,j) \}^2 \\ + \sum_{i \neq j}^n \sum [P(i|j)\{1 - P^*(j)\} - \{P^*(i) - P^*(i,j)\}]^2$$

を前述の状態確率の制約の下に最小化する。

これをベースに、さらに実際的な改良が加えられた。[25]

第一は、実現の可能性に対する判断と確率の数値の対応の専門家間での統一のため、確率の数値と文章表現の対応に関するアンケートを予め行うこととした。

第二に、条件付確率は因果関係を明示できないため、これを明示する確率モデルが開発された。例えば、事象A「雨が降る」から事象B「タクシーが進む」というような一方向の影響しかない場合を考えてみよう。明らかに

$$P(B|A) \geq P(B)$$

であるが、このとき

$$P(B|A)P(A) = P(A|B)P(B)$$

のため、つねに

$$P(A|B) \geq P(A)$$

となってしまう。すなわち条件付確率は因果関係に直結しない。さらに、「AはBを促進するが、BはAを抑圧する」ような場合、もはやこれを条件付確率で表現することは不可能と言ってよい。

そこで、条件付確率の代わりに「当初（将来の一時点でも良い）事象 j のみが生じた場合、予測の目標時点 T で事象 i の生起している確率」 $P(j \rightarrow i)$ を用いる。マルコフモデルを適用することにより、2次結合確率が計算され、先の Duperrin らの方法を適用できる。

さらに、動学的な拡張 [27] や連続形変数を扱う方法 [28] も発表されている。

(2) 外挿・時系列法 [29] [30]

過去から現在までの傾向の延長線で将来を予測しようとする方法である。

このカテゴリーには、現在の情勢に類似した過去の事象の諸要因に基き予測する歴史的類接法、過去の指標の傾向の単純外挿法、さらに時間を独立変数として使うデータ系列を一定の処理をして外挿する時系列法への発展形がある。ここでは時系列解析法 — 逐次決定モデルについて、概要を述べる。

社会・経済システムにおいては、短い周期でデータを抽出すれば一見不規則な変動を続ける系列となることが多い。たとえば毎日の株価や為替レートの動き、商品の販売量、水や電力の消費量等はこのような動きになる。このような時系列データの解析には、工学システムの同定と同様に自己回帰モデル (AR モデル) (イ)、移動平均モデル (MA モデル) (ロ)、自己回帰-移動平均モデル (ARMA モデル) (ハ) 等の適用が自然なものと考えられる。 x_t を観測データ、 ε_t を白色ガウス性確率変数として、それぞれ

$$x_t = a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} + \dots + a_n x_{t-n} + \varepsilon_t \quad (\text{イ})$$

$$x_t = \varepsilon_t + b_1 \varepsilon_{t-1} + b_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + b_m \varepsilon_{t-m} \quad (\text{ロ})$$

$$\begin{aligned} & x_t + a_1 x_{t-1} + \dots + a_n x_{t-n} \\ & = \varepsilon_t + b_1 \varepsilon_{t-1} + b_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + b_m \varepsilon_{t-m} \quad (\text{ハ}) \end{aligned}$$

と定式化される。この n , m をモデルの次数と呼ぶ。このような時系列モデルの同定法は、制御工学、信号処理の分野でよく研究されている。[31] この時系列モデルでは、観測データ系列 $\{x_t\}$ を「定常」かつ「エルゴード的」な確率過程の一見本過程とする。[29]

経済成長のように時間とともに増大する系列は定常ではないので階差 ($x_{t+1} - x_t$) や前年度比 (x_{t+1}/x_t) をとることが多い。

この条件は、ARモデルでは(I)で

$$1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2} - \dots - a_n z^{-n} = 0$$

のすべての根の絶対値が1未満であることである。このとき、ARモデルは ∞ 次のMAモデルで表わせるので、これを反転可能と言う。MAモデルは定義から常に定常過程であることに注意されたい。これから、両者を結合したARMAモデルでは、少ないパラメータで効率的な表現が可能であろうと期待できる。

また、「任意の定常過程は、過去の観測から完全に決定される決定論的部分と、 ∞ 次元MA過程の和で一意に記述される」というウォルドの分解定理は、この時系列モデルの一般性を与えている。

具体的な次数の決定法、パラメータの推定法は多くの成書に譲る。[29]

この時系列モデルの特長は、比較的少数のパラメータで一見不規則なデータ系列を非常に忠実に再現できることが多い点であろう。

x_t をベクトルに拡張する多変量時系列モデルの方法論も確立しており、これらを用いると2~6変数からなる時系列モデルが数百の変数からなる計量経済モデルを上回るほどの予測精度を示した例のあることが文献[32]に見られる。また、このような逐次体系では、フィードバックの存在するシステムの解析も可能である。フィードバックメカニズムは様々な問題において存在すると考えられるが、このような確率的要因を含むダイナミックなシステムの分析には時系列モデルはきわめて有効と考えられ、スペクトル解析やステップ応答、最適制御等の工学的接近を実証的に行う道を開く。こうして、1970年代後半から時系列モデルを社会・経済システムに適用したモデルが多く開発された。[奥村、マクロ経済モデル vs 時系列モデル、経済セミナー1984年2月]

この反面、時系列モデルの安直な適用は、しばしば「理論なき計測」に陥りがちであるとの批判を忘れてはなるまい。[33] 工学系のシステムにおいては、多くの場合データのサンプル時間に比較すればその構造は「定常的」と考えられるが、社会科学の分野では「何が定常的な構造であるか」自体が研究の対象になり、様々な立場が有り得る。すなわち、分析にどのようなモデルを用いるかは方法論の本質に直結するのであって、単なるデータ解析の優劣の問題ではないことになる。

(3) 関連・因果法

近代的な予測モデルの多くが属しているが、論理的な推論、変動についての仮想モデル、ならびにそのモデルに対する統計的なアプローチによるものを含んでいる。

予測対象となる変数に系統的に関連している1つまたはそれ以上の先行変数から導かれる先行指標法、予測（独立）変数の残差を最小限にすることによる予測方程式から導く回帰モデル法、国家経済の諸要素間関係を示す連立方程式の統合システムによる計量経済モデル法、ある産業の需要変化が直接的かつ累積的に他産業にどう影響するかを示すマトリックス・モデルによる投入・産出モデル法、生産・消費・投資などの各経済主体（産業部門など）間の流れを産業連関表にまとめ、相互の全体的関連を念頭におきながら将来の産業構造を推定するような産業連関分析法、さらにこの考え方を相互関係のもとに発展する技術を定量的に分析する技術連関法などが、この類型に属していよう。

計量経済モデル — 回帰モデルと同時決定体系の概要を以下に述べる。

計量経済学的モデルとは、過去の実績値の中に目的対象とその要因間の関係構造式を決定しようと言うものである。これには、次のような線形回帰モデルがよく用いられる。[34]

$$y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \cdots + a_n x_n + \varepsilon \quad (1)$$

誤差項 ε にはしばしば「平均0、分散 σ^2 の正規分布に従う確率変数」という仮定が導入され最小自乗法を適用する。社会・経済システムでは、上のように唯一の構造式でことが足りる場合は少ない。例えば、GNPは定義として消費と投資の和で表わされ、この消費はGNPの関数となろう。また、投資は市場の利子率に影響されよう。そして、観測データはこの複雑な構造中のある均衡点として得られていると考えられる。言うまでもなくあらゆる構造式をモデル内で決定することは不可能なため、考察の対象を限定し「モデル内で扱う他の要因から決定される変数：内生変数 $y = (y_1, y_2, \cdots, y_n)$ 」と「内生変数の決定にのみ現れる変数：外生変数 $x = (x_1, x_2, \cdots, x_n)$ 」に分けて

$$B y + \Gamma x = e$$

の形の構造方程式によるモデル化を行う。Bは (m, m) 、 Γ は (m, n) のパラメータ行列となる。このようなパラメータ推定問題は同次方程式体系と呼ばれ、多くの研究がなされている。[32] [34]

このタイプのモデルの推定の難しさは2点ある。一つは被説明変数が相互作用を及ぼしつつある値で均衡するというものであるため、ある式の誤差要因が他の式に影響を及ぼし、この結果説明変数が誤差項とは独立でなくなる点と、今一つは、上式 の両辺に正則な行列Fを掛けて導かれる別の形式

$$F B y + F \Gamma x = v$$

とが、同じxについて解いた式（誘導系という）を持つため、

$$y = -B^{-1} \Gamma x + v$$

両者が統計的に観測上同等となる、すなわち何らかの先験的なB、 Γ に関する制約がないと構造式を決定できなくなる点にある。後者を識別性の問題と呼ぶ。前者の推定の問題に対しては、完全情報最尤法、2段階最小二乗法、制限情報最尤比法等が用いられる。[32] [34]

いずれの推定法も、識別性の条件が満たされていなければ推定量を一意に決定することは当然ながらできない。

この同時方程式体系の各時点ごとに均衡状態に達するという考え方は、左辺が結果で右辺がそれとは独立な原因系であるという記述とは根本的に異なり、システム中の個々のミクロ因果関係をモデル化するという逐次的な体系とは別の概念である点には注意が必要である。

計量経済学モデルは1950年の簡素なクラインモデル以降次第に精緻化され、大規模・複雑化していった。我が国でも、経済企画庁のEPA世界モデル等多くのモデルが開発された。モデルの大規模化には批判もあり、近年やや反省の傾向にあるが、この方法論が基本的に自然な考え方であり、従って有力なものであることには疑いない。

しかし、この計量経済学モデルの第一の意義は、考察したい理論あるいは仮説を過去のデータにより検証する点にあり、機械的にデータに対するあてはまりの良さのみを追及することは決して本質ではない点は強調しておきたい。

5.5 主に戦略（設定）局面において活用される技法群

今日、「戦略発想」「戦略思考」「戦略行動」「戦略組織（経営）」が盛んにうたわれている。この背景には、将来の不透明感の増す一方、国家も企業も厳しい競争的環境におかれ、環境対応を誤ると致命的なダメージを受けるという認識とこれを主体的に切り拓こうとする意志がある。

戦略とは、“生き残り”“成長する”ために有利な条件を実現するための全局的な作戦行動であり、決定と遂行とのダイナミックな相互作用を通じた一連の経時的な意思決定の流れとして存在する。戦略には、① 環境と主体能力の評価バランスに立った状況発想、② 常に全局的に要因と関係を読みとる全体的視野、③ 手段－目的の連鎖群の中で全体動向のポイントとなる重点要因集中、④ 長期的動向に応じ安定した目標および行動方式を明らかにする長期志向、さらに⑤ 変化する状況の徴候をとらえ臨機応変の柔軟性などが必要とされる。

ここでは戦略的な意思決定の要として、与えられた目的を契機にした環境の認識と能力の認識という接点をとらえ、その局面での代表的な方法・技法を例示しよう。なお、近年は環境変化の激しさ、不連続性から分析型の資源配分方法群から、プロセス重視型・組織論的アプローチへの関心が増している。戦略策定への合理的接近が戦略策定を公式化しようと努力したのに対し、プロセス的接近は、主に戦略を意思決定ないし情報処理の流れとしてとらえたうえで、戦略策定のむしろ非合理的な側面を顕在化させてきたといえよう。

(1) 戦略策定技法

戦略決定の技法群の中には、経営のトップマネジメントであるエグゼクティブないしエグゼクティブ・グループ見解法というべきものが通常みられるが、トップの洞察力・意志を支える意思決定支援システムが必要である。

また、商品マーケティングで消費者の嗜好を的確に構造的に把握するために、市場をサブグループに細分化しターゲットを戦略的に分析するセグメンテーション分析やエリア・マーケティングなどの市場分析技法もこの類型に属す。

一方、経営の製品ミックスを総合的観点から検討する製品ポートフォリオ・マネジメント（PPM）、さらに広く経営資源分析法、マーケットでの自他のブランドや事業領域のポジションを把握するプロダクト・ポジショニング分析・事業領域ポジショニング分析等は、同様に自らの主体的条件を把握する競争戦略の検討技法である。

(2) 戦略決定手続き技法

組織的に戦略策定をすすめる、決定者の意思や問題解決の意図を表現すると共に、意見や経験の集約と機敏な修正、最重点事項の確認などにはPDPC（過程決定計画図、Process Decision Program Chart）が有力である。これは時間の流れにしたがって逐次に決定することを、問題の発生の当初から計画するための一種のグラフを利用する技法である。とくに相手のある場合や、環境が時間的に変化しその予測が困難な、不確実性の条件下での決定に利用できる意思決定の方法といえる。

一方、もっぱら組織的な検討技法として、合意形成効果もあるLENS等も戦略決定とその手続きに有力な方法である。

LENSはICAにおいて開発された、問題発見から解決までを一貫して行う方法論である。基本的には、いくつかの小グループに分かれ、グループ毎のプレーストリーミング、ガードによる抽出と取りまとめを各段階毎に繰り返すし進めるが、グループのメンバーが固定していない点に特徴がある。

段階としては、

- ① 対象となる問題の特性の抽出
- ② 問題点のグルーピングと各グループ毎の問題発生の原因となる矛盾点の抽出。
- ③ 各グループ毎の解決策の提示
- ④ 実験的戦略の検討
- ⑤ 実行計画の策定を、インパクト、調査研究、訓練、デモンストレーションの4項目に分類し、検討する。

からなっている。

5.6 主に計画局面において活用される技法群

ここでは計画は、問題解決のための手段として、代替的行動案を提起し、その可能な組み合わせをつくり、より望ましいものを選択するステップである。オペレーションズ・リサーチ（OR）やシステム分析の中心的な部分である。

「計画」は「予測」と深い関連を持つ。この段階で述べる方法論は、予測手法で触れたように、規範的方法と呼ばれるものを概説する。

「計画」の段階で最上位にあるものは、「目的」である。次いでその実現ためにどのような問題が生じ、どのように対処するか—というトップダウンの規

範的アプローチを行う。このように意思決定者のとる具体的な行動に関わってくる点が「分析」「予測」の段階とは異なっている。文献[35]には、企業における長期計画の意義と特徴が次のように述べられている。

(a). 長期計画は予測ではない。むしろ、予測が困難であるからこそ長期計画が必要となる。

(b). 長期計画は、現在の意志決定がどの程度将来の不確実性に対応できるかという未来性を問うものであり、将来の意思決定ではない。ここで、柔軟に過ぎる長期計画は短期的状況に適度に対応してしまい長期計画の意味を損なう。逆に、硬直的に過ぎる長期計画は将来に対し過度に楽観的になりがちである。(c). 長期計画は危険の除去ではなく、危険の負担の試みである。

従って、不確実下の意思決定と危険の組織的検討、創造的代替案の作成等が必要である。これらは社会システムにおける計画一般の問題にもそのまま当てはまる。

(1) 数理計画法 (MP)

経営、ロジスティックスの問題等、最も実際によく用いられる方法が数理計画を用いるモデル化である。これは、問題を「与えられた制約条件」下での「ある目的関数」の「最適解」を求める数学的問題に定式化するものである。すなわち、 x を変数として

$$\min. f(x)$$

$$\text{subject to } g_j(x) \leq 0 \quad (j=1,2..m)$$

$$(g(x) \leq (0,0,..0)^T)$$

となる。 $f(x)$ 、 $g_j(x) \leq 0$ ($j=1,2..m$) がすべて線形関数の場合、線形計画モデルと呼ばれる。石油精製のプラントや輸送計画、回線等のネットワークフローモデル、割当問題では、問題が基本的にこの線形計画問題になる。企業の利益に直結することが多く、その解法について多くの研究がなされ、現在では $10^3 \sim 10^4$ のオーダーの変数を持つ問題も解かれている。

数理計画法については、本報告第Ⅱ部3章に学問レベルのレビューがある。

数理計画法には、線形計画法 (LP)、非線形計画法 (NLP: 整数計画法、二次計画法、凸計画法、分枝限定法、最大傾斜法を含む)、動的計画法 (DP)

がある。

(2) シミュレーションの技法

シミュレーションは「模擬すること」と訳され、計算機上でモデルを動かして計画に必要な予測を行うのみでなく、自動車や飛行機の訓練用模擬運転、ビジネスゲーム、兵棋演習から乱数による定積分の数値計算までを含むきわめて広い概念である。工学においては、後述するモンテカルロシミュレーションに端を発している。形態的にも原理的にも実際のシステムに近い、スケールモデルを用いさまざまなテストを行なうことも、建築、航空、船舶等で古くから行なわれてきたが、費用の点と計算機技術の進歩から、計算機上で現実のシステムの挙動を再現することが増えた。数値風洞や数値顕微鏡といわれるものは、その典型である。人間に対する訓練用シミュレータも同様である。

a. モンテカルロシミュレーション

シミュレーションの技法で重要なものに、モンテカルロシミュレーションがある。古くはビュフォンの針による円周率の測定に始まるように、定積分のような確定的な問題に対しモンテカルロシミュレーションを適用すると比較的容易に近似値を計算できることもある。このような技法は計算機の発達した現在では、きわめて利用しやすいものとなっている。

モデルには、システムダイナミクスや計量経済モデルのように確定的な変数と構造を本質に置くものと、時系列モデル、持ち行列モデルのように確率変数を挙動の本質に持つものがある。モデルの構造が単純なら、全体の挙動がどのような統計的性質を持つかが数学的に得られるが、一般には難しい。このような場合、その確率変数に乱数を用い、シミュレーションを繰り返して全体的な挙動を調べる方法が有力である。これをモンテカルロシミュレーションと呼ぶ。文献[37]には、線形計画モデルの制約式にモンテカルロシミュレーションを行い、中東からの石油供給量の変動が日本のエネルギー種類別需要に与える影響の分析をした例がある。

モンテカルロシミュレーションの注意点として、いかに良い乱数を用いるかという点と、乱数を用いる手順が数学的に整合的なものであるかという2点を挙げておく。

b. システムダイナミクス[38]～[40]

実世界の問題においては、客観的な物理量ではないけれども、何らかの方法で数量化して扱いたい変量がよく現れる。例えば、「好ましさ」「不安感」等の主観的な変量や、「技術水準」「機能」のように尺度の存在は誰にも認められても、具体的な客観的物理量での表現が難しいものがこれに相当する。また、「環境劣化度」のように個々の汚染要因は物理量であっても、これを何らかの形で総合化しようとするれば、次第にあいまいさを含むようになる場合もある。

このような変量を積極的にモデルに取り入れるような方法論として、システムダイナミクス(SD)を取り上げる。これは、社会システムのシミュレーション技法として、「成長の限界」[38]で用いられ、あまりにも有名になった。SDは、元来企業内の新製品開発・意思決定支援のためにフォレストラーを中心に開発されたものである。[39][40]このようなマネジメントでは、市場ニーズ、技術レベル等の多くの非定量的な変量とそれらの相互関係を考慮して合理的な決定を行わねばならない。

SDは、「水源」から「貯水槽」への「流量」を「バルブの制御」で調節するという、自動制御の基本的モデルを拡大したものと見える。ただ、自動制御では、何らかの意味で最適な制御則を求めることが目的であるのに対し、SDでは「変量の時間変化の記述」が目的となることが大きな相違である。「水源」「貯水槽」「流量」「バルブの制御量」は、各々「ソース」「レベル変数」「フロー変数」「レート変数」と呼ばれる。レベル変数、フロー変数、レート変数には電流方程式と同じく、流れの保存則が適用される。レート変数を制御する「情報」の流れには、このような制約はなく、これらから種々の補助変数が生成されることも多い。

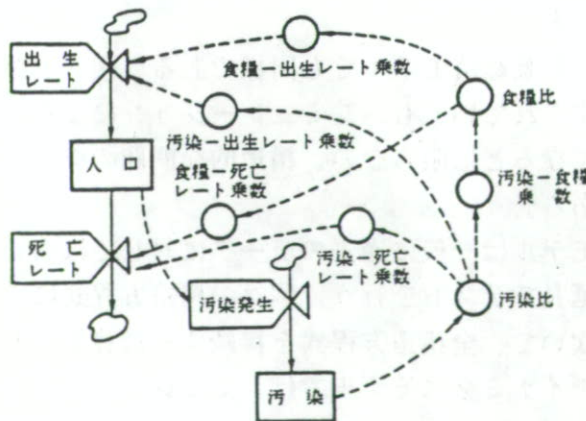


図 5.13 システムダイナミクスの基本構造

SDはこのようにシステム内の因果連鎖の構造が明確であり、論理を追いやすい点に最大の長がある。このため、定量性の低い変量も含む柔軟なモデル構築が可能であり、数多くの社会システムへの応用例がある。物理的量のフローやレベル変量の構造は比較的明示しやすいのに対し、「情報」と「判断」がレート変数あるいはフロー変数にどう影響するのかという構造は複雑になることが多い。また、どのようなパラメータ値を与えてシミュレーションするべきかとなると、さらに難しい問題となる。通常は、これらのパラメータに最小値、最尤値、最大値と呼ぶ幅を設定し、この範囲で値を変えたときの各変数の挙動の変化を調べることにより、システムに関する情報の明確化と抽出を行う。それでもなお多くの恣意性が残ることは避けられないため、結果の解釈は慎重に行われる必要がある。

c. 計量経済モデルのモデルのシミュレーション

ソフト系科学技術の対象となる問題では、人間に対するシミュレータのほか、システムダイナミクス、計量経済モデル等で予測を行なう場合が主なものである。システムの挙動をモデル化した後、これを動かすことによって将来予測を行おうとすることは自然なことであるが、実際にはそれ以上にモデル自体のテストの意味がある。例えばシステムダイナミクスモデルでは、各構造式それぞれが十分精密な場合でも、それらを積み重ねた全体的な挙動がどうなるかは、シミュレーションによってテストをしなくては不明なことが多い。大規模なモデルでは、特に問題となる。

モデルの挙動が余りにもおかしい場合はそれぞれの構造式のパラメータや、全体的な構造自体を見直す必要がある。

また、パラメータや外生条件を変化させた場合の挙動の変化の検討（感度分析）も必要である。

これらは、計量経済モデルでも同様である。個々の構造方程式がどれほど高い精度で推定されていても、シミュレーションによる全体的な予測精度はそれにつれて高くなるとは限らない。構造的な問題のチェックは別個に行わねばならないのである。

計量経済モデルは一般に過去のデータに対しては高い適合度を持つので、その将来への延長でテストを行う。個々の構造方程式について予測値を求める部分テストに次いで、全構造方程式を接続する最終テストを行う。

システムダイナミクスモデルではシミュレーションを過去の時点から始めて、

どの程度実績値に追従できるかでテストすることもできる。モデルによっては、現状値から時間軸を測るテスト（Backcastingと呼ぶ。）も可能である。

ただし、本来の目的とは異なる方法でシミュレーションを行った場合に結果の信頼度が下がるのは当然であるので、これらのテストの適合度を絶対視する必要はない。あくまで、これによってモデルの構造上の問題点が強調されることが多いので、それらの発見のために行うのである。

線形計画モデルのような科学的モデルでも、制約条件を様々に変化させ、モデルの挙動をチェックすることが多い。

このような手段によってモデルや対象となるシステムの理解が進む。実際にモデルのシミュレーションで予測を行うのは、このようなテストを十分行った後である。すなわち、「予測もしなかった」値がシミュレーション結果で得られたとすれば、第一にモデルの式や構造がチェックされる。その上で個々の変数の挙動が納得できるものになった場合にのみ、シミュレーションは初めて意味を持つのである。逆に言えば、シミュレーションによる予測結果はそのプロセスの副次的な産物であるとさえ言えよう。

5.7 主に決定（判断・選択）局面において活用される技法群

決定局面としては、ここでは「評価」とこれをふまえた「判断・選択」を想定する。

工学システムのように、システムが明確に定義され、かつその目的が明らかであれば何等かの「最適解」が明示される。しかし、社会システム等ではこれらは不明確であり、機械的方法では評価できないことが多い。そのため、システムの目的の設定にむけた情報の縮約（モデル化）を行うことで問題を簡明化し、その後で評価関数による最適化（評価の側面にむけた情報の縮約）を行う。

社会システム評価の段階における方法論とその特徴、問題点をまとめると、表5.3のようになる。

実際の問題で重要なことは、「どのように評価するか」より「なぜ評価できないのか」の理由の明確化にあると思われる。

表 5.3 システム評価のあいまいさの側面、方法論と
その特徴および問題点

システムの 評価側面	方法論	評価	問題点
1. 多因子性	<ul style="list-style-type: none"> 多目的長期化法 多属性効用関数 	<ul style="list-style-type: none"> 因子の相互関係を考慮しつつ、部分的情報を積み重ねて次元化する 	<ul style="list-style-type: none"> 効用関数は同定が困難 次元化の論理を明示しにくい
2. 不確実性	<ul style="list-style-type: none"> 期待効用、リスク分析（時系列、回帰分析、技術予測など） 	<ul style="list-style-type: none"> 不確実性の度合を確立で表現する。（予測手法を活用する） 	<ul style="list-style-type: none"> 確率情報のむずかしさ 予測モデル作成がむずかしい
3. 時間軸	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション、モデル分析 	<ul style="list-style-type: none"> 因果、波及過程を明示する 	<ul style="list-style-type: none"> モデル作成の可能性
4. 非定量性	<ul style="list-style-type: none"> 構造分析 尺度構成法、数量化理論 	<ul style="list-style-type: none"> 構造情報を分析する なんらかの基準で定量化する 	<ul style="list-style-type: none"> どこまで構造がわかっているか 仮定の妥当性
5. 主観性	<ul style="list-style-type: none"> 効用関数 尺度構成法、数量化理論 	<ul style="list-style-type: none"> なんらかの共通の価値基準のうえに数値化する 	<ul style="list-style-type: none"> 評価基準設定がむずかしい 評価主体と評価対象の主観性
6. 大規模性	<ul style="list-style-type: none"> 構造モデル 分解原理 	<ul style="list-style-type: none"> 大規模システムを中小規模に分解する 構造情報を利用 	<ul style="list-style-type: none"> 全体をどの程度明確化できるか 計算量が莫大
7. 評価主体の多様性	<ul style="list-style-type: none"> (合算形成) (ゲーム理論) 	<ul style="list-style-type: none"> (特定の問題への理論的接近、実際の問題への適用はむずかしい) 	<ul style="list-style-type: none"> 多様な評価主体をどこまでカバーするか

(1) 最適化・満足化

① 単一属性効用関数[48][49]

不確実な状況下で最も好ましい方策を選択するにはどうすればよいか、というのは古くからの問題である。その前の問題として、この「好ましき」とは一体何なのであろうか。このような主観的なものを、定量的にモデル化できるかどうかを検討しなければならない。「好ましき」を $[0, 1]$ 等で数値化するという発想は、ある意味で自然なものと言えよう。しかし対象はそれ自体が明らかな選好関係を持つ場合でも、「好ましき」の数値は人により、また場合により異なるであろう。

そこで、この「好ましき」をただちに一般的に数値化するのではなく、まず代替案集合を限定した上で、その中で好ましきの大小順序関係を与えられるかど

うかから、主な論点を略述する。

この数学的表現は、次のようになる。

(定理一順序効用関数)

ある集合の要素A, B間に成り立つ二項関係を $A R B$ とする。Rは因果関係、大小関係等任意である。

代替案の集合 $\{f\}$ が高々加算個の要素からなり、弱順序構造(比較可能性と推移性を持つ)であれば

$$f_1 R f_2 \text{ かつ } f_2 R f_1 \rightarrow f_1 \sim f_2 \text{ (同値関係)}$$

$$f_1 \sim f_2 \rightarrow U(f_1) = U(f_2)$$

$$f_1 R f_2 \rightarrow U(f_1) \geq U(f_2)$$

なる関数—順序効用関数が存在する。

代替案が連続的なものであっても、同値関係にある要素の集合(同値類)がR順序稠密な加算個の部分集合を持てば、上の定理が成立する。[41][42]

次に、この数値に距離尺度の意味を付与できないか検討する。そのため、代替案の選択結果が幾つかの場合に確率的にわかれるものとする。

代替案集合を $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ 、将来生じ得る結果を $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$ とする。 θ_j の不確定性は、代替案の選択により変化するものとする。

f_1 を選択して θ_j の結果となる確率を、 P_{1j} として、結果 θ_j に対しては順序効用関数 $U(\theta_j)$ が存在するものとする。すると代替案の選択は、各効用関数 $U(\theta_j)$ を得る確率の選択となる。

ここで順序効用関数の数値を距離尺度とみなして代替案 f_1 の期待効用を次のように定める。

$$E_1 = \sum_{j=1}^m U(\theta_j) P_{1j}$$

このとき、この $\{E_1\}$ の大小関数と $\{f_1\}$ の選好関係とを一致させられる。[41] このような $U(\theta_j)$ を $U_0(\theta_j)$ と記し、von Neumann-Morgensternの基数効用関数と呼ぶ。

例えば、 $U_c(\theta_1) = \alpha U_c(\theta_2) + (1-\alpha) U_c(\theta_3)$ であるとは、確率 α で θ_2 を確率 $(1-\alpha)$ で θ_3 をひく「くじ」と、確実に θ_1 を得ることとが、無差別になることである。これは、効用関数を同定する手順をも示している。この場合、 θ_1 の効用値が α であっても、必ずしも $\theta_1 = \alpha \theta_2 + (1-\alpha) \theta_3$ とは限らない。すなわち、 θ_1 とこの右辺の値の大小関係により、評価者がリスクに対し回避型か、志向型か、中立型かが示せることになる。

効用関数は様々な分野の意思決定問題に現われ、数学的にはよく研究されている。効用関数の同定法の比較は、文献[43]にある。

次に述べる多目的最適化法等においては、この効用関数が理論のベースとなる。

②多目的最適化問題—パレート最適解について [41] [42]

本項では、評価因子が複数個存在する場合に、それらの間のトレードオフを考慮しつつ総合的な評価を与える方法論を述べる。ここでは基本的な問題と方法を概説するにとどめる。

評価因子が n 個あるものとし、いずれも大きいほうが「より好ましい」ものとする。選択の対象を代替案と呼ぶ。代替案 i は n 個の評価因子からなり、それらをベクトルで表わし

$$f_i = (f_i^1, f_i^2, \dots, f_i^n)$$

とする。代替案の集合 Ω 中から、最も好ましいものを選択したい。ここで代替案 i が代替案 j より総合的に判断して「好ましい」場合

$$f_i R f_j$$

と記す。この総合的な好ましさについて、次の基準を導入する。

$$k, f_i^k \geq f_j^k \iff f_i R f_j$$

これをパレート最適性と呼ぶ。自然な基準と考えられる。このとき、すべての代替案間に R の関係を与えること（比較可能性）は成り立たないが、推移性

$f_1 \succ f_2$ かつ $f_2 \succ f_3$ ならば $f_1 \succ f_3$

は成立する。つまり、 Ω は R の意味で半順序集合となる。このとき、 Ω には、より好ましい代替案が存在しないような極大部分集合 P が存在する。すなわち、

「 $\forall f_1 \in P, f_k \succ f_1$ なる $f_k \in \Omega$ が存在しない」

のである。これをパレート最適解集合（あるいは非劣解集合）と呼ぶ。従って、総合的な判断は、このパレート最適解集合のみに着目すれば十分となる。

ついで、このパレート最適解集合を、實際上よく現れる数理計画モデルの場合に求める方法を概説する。

$$\max. f(x) = \{f^1(x), f^2(x), \dots, f^n(x)\}$$

$$\text{sub.to } g(x) \leq 0$$

と定式化される。ここで、パレート最適解を3種に分類する。

(イ) 完全最適解 x^*

$\forall x \neq x^*$ に対し、 $\forall k, f^k(x^*) > f^k(x)$ となる。

(ロ) パレート最適解 x^0

$f(x) = f(x^0)$ かつ $\forall k, f^k(x) \geq f^k(x^0)$ となる x が存在しない。

(ハ) 弱パレート最適解 x^*

$\forall k, f^k(x) > f^k(x^*)$ となる x が存在しない。

この例を図5.14に示す。

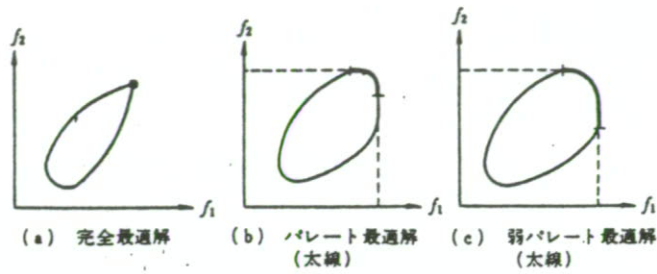


図5.14 パレート最適解集合の例

主な方法は次の3種である。

a. 最小成分最大化法

$$\max. \{ \min. w_k f^k(x) \} : \sum_{k=1}^n w_k = 1, w_k \geq 0$$

$$\text{sub.to } g(x) \leq 0$$

弱パレート最適解 x^* は、この解となる。

b. 重み付け最適化法

$$\max. \left\{ \sum_{k=1}^n w_k f^k(x) \right\} : \sum_{k=1}^n w_k = 1, w_k \geq 0$$

$$\text{sub.to } g(x) \leq 0$$

$f(x)$ 、 $g(x)$ が凸関数のとき、パレート最適解 x° は、この解となる。

c. ϵ -制約法

$$\begin{aligned} & \max. f^k(x) \\ & \text{sub.to } g(x) \leq 0 \\ & j \neq k, f^j(x) \geq \epsilon^j \end{aligned}$$

パレート最適解 x^0 は、この解となる。

従って、 w 、 ϵ をパラメータとして変化させれば、種々のパレート最適解を得られる。

重み付け最適化法には凸性の条件があるが、実際には非凸の最適化モデルは少ないためよく用いられる。 ϵ -制約法は線形計画モデルでは容易であるが、目的関数が非線形の場合には、制約式が線形であっても非線形制約最適化問題を解かねばならなくなる。

以上のように、パレート最適集合は代替案中から機械的に選択できる。評価の多因子性の問題は、この後どのようにして総合的判断を行うかにある。

③ 多目的最適化法

多目的最適化法は、近年の社会的ニーズを受けて大きく進展したものの一つであるが、ここでは、代表的な手法とその考え方を概説する。

a. 目標計画法

評価因子に目標値 f^0 を与えることができ、任意の代替案 f とこの目標との距離 $\|f - f^0\|$ を定式化できたものとする。一般的にはミンコフスキーの距離を用い

$$\min. \left[\sum_{k=1}^n w_k \{ |f^k(x) - f^k(x^0)|^p \}^{(1/p)} \right]$$

$$\text{sub.to } g(x) \leq 0 : w_k \geq 0$$

となる。目標水準の決定は比較的容易であっても、重み w_k の与え方は難しいことが多い。これは②b. 重み付け最適化法の一変形と考えられるが、上式の

解はパレート最適解になるとは限らない点に注意が必要である。

b. SWT (surrogate worth trade-off) 法 [44]

Haims等 (1975) により発表されたもので、その概念を図5.15に示す。意思決定者は各評価関数の値に対し、効用関数 $U(f)$ を潜在的に持つものとする。この $U(f)$ が一定となる f の集合を無差別曲面と呼ぶ。今、簡単のためこれとパレート最適解集合 $P(f) = 0$ のいずれも下に凸で f についてなめらかなものとしよう。 $-(\partial f^i / \partial f^j)$ の無差別曲面上の値を限界代替率 m_{ij} 、パレート最適解集合上での値を許容交換比 r_{ij} と呼ぶ。

これは、 f^j を1単位改良するのに f^i の何単位の改悪を必要とするかの比である。

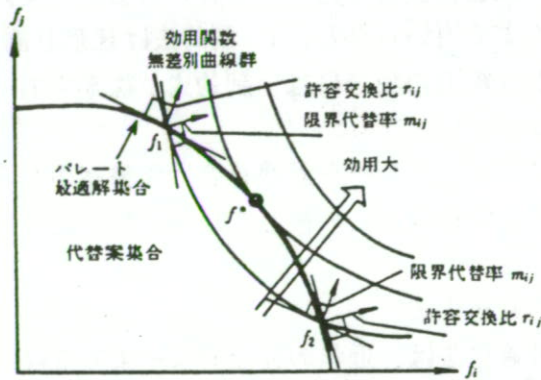


図5.15 SWT法の概念図

すると、最適解では両者があらゆる (i, j) について一致するのは

$$\Phi = U(f) - \lambda P(f)$$

を $\{f^k\}$ を変数とみた場合の最適条件から明らかである。

Haims は、代替案の各評価関数につき

$$W_{ij} = r_{ij} - m_{ij}$$

を序数的に表わし、これを代理価値 (Surrogate Worth Function) と呼んだ。

図5. 15に示されるよう、 f_1 では $W_{1j} < 0$ 、 f_2 では $W_{1j} > 0$ 、 f_3 で $W_{1j} = 0$ となる。すなわち $W_{1j} < 0$ なら f_1 を、 $W_{1j} > 0$ なら f_2 を改良すればよい。

ここで、 r_{1j} は重み付け最適化法では (w_j/w_i) に一致し、 ϵ -制約法では双対関数の最適条件から

$$-(\partial \Phi / \partial \epsilon_j) = \lambda_j = -(\partial f^1 / \partial f^2) = r_{1j}$$

となる。 m_{1j} は与えられていないので、意思決定者が対話的に r_{1j} の値を見つ、 W_{1j} を序数的に答え、すべての $W_{1j} = 0$ となる代替案を見出そうとするものである。

この方法には、 W_{1j} に符号のみに着目して最適解を含む領域を逐次狭める方法[45]等、様々な改良手法がある。

c. 一対比較による方法

意思決定者は、全パレート最適解に直接順位付けを行うことは不可能でも、任意の代替案間に一対比較によって $f_k \succ R f_i$ の関係を与えられるものとする。すると、予め求めておいた代替案集合に構造分析法を適用することによって、効率よく最適解を見出せよう。[46]

小林ら[47]は、重み付け最適化法を基本に用い、一対比較の結果をフィードバックすることによって次第に意思決定者が潜在的に持つ重みに収束させていく方法を示している。

④ 多属性効用関数 [41][42][48]

評価因子が複数ある場合、(A). 評価する意思決定者がどの程度の首尾一貫性を保つのか、(B). 意思決定者の学習効果をどう扱うか、(C). 選択された代替案がなぜ「最適解」であるのか、という問題点を常に考慮せねばならない。これらの点が何らかの形で明示できなくては、最適性も説得力に欠けることは避けられない。(C). への一つのアプローチとして、線形計画モデルにおいて「実績値」に最も近い端点を求め、これを最適解とするような重みベクトルの領域とその代表値を定め、これを基準に用いる逆問題の応用[49]があるが、なお残った問題は大きい。

これに対し、各評価関数を一度効用関数で表現し、次にこれを総合化して最適解を探索する方法は、「単属性効用関数の同定」と「単属性効用関数による

多属性効用関数の同定」という2段階のあいまいさを含む反面、意思決定者の論理はわかりやすいものとなっている。

一般的には代替案 f_i の効用関数は $u(f_i)$ であるが、これを各評価関数の値の簡単な関数に分解表現できれば、取り扱い是非常に容易化され、実際の問題に応用しやすくなる。

前述の効用関数 u^k が各評価関数 f^k に対して与えられているものとする。この効用関数ベクトル $u(u_1, u_2, \dots, u_n)$ は以下の条件の下に、一意にスカラ一化される。すなわち、複数の評価因子からなる代替案を一次元に尺度化して比較可能となる。

a. 選好独立性 : f を $[f^1, f^2]$ の2群に分割する。同じ f^2 を持つ2つの代替案 $f_a = [f_a^1, f^2]$ と $f_b = [f_b^1, f^2]$ 間の選好関係が、 f^2 の値によらず一定のとき、選好独立という。

b. 効用独立性 : 特定の評価因子 k について、 u_k が k 以外の評価因子の値に無関係に与えられるとき、 k は他から効用独立という。

すべての評価因子に対しこれが成立するとき、 $u(f)$ は

$$\text{(加法表現)} \quad u(f) = \sum_{k=1}^n w_k u_k(f^k)$$

または

$$\text{(乗法表現)} \quad u(f) = \prod_{k=1}^n [1 + \lambda w_k u_k(f^k)]$$

で表わされる。これは、ある評価因子に対する不満足度を必ず他の評価因子で埋め合わせできること、ある評価因子だけを考えると、他の因子の変動という状況変化の影響を受けないこと、というかなり強い要請となっているが、最適解の付近であれば成立すると期待できよう。

(加法表現)式のパラメータの求め方の例を示す。 $u_k(f^k)$ はいずれも評価因子の最悪値 f^k で0、理想値 f^k で1を取るものとする。

いま、 $w_1 = 1$ とし、1, 2以外の因子を固定しておき、

$$u(f_1, f_2, f_3, \dots, f_n) = u(f_1, f_2, f_3, \dots, f_n)$$

となる f_2 を求める。これを（加法表現）式に代入して w_2 を得られる。同様にしてすべての w_i を求められる。理論に忠実には無差別くじを用いる。いずれにせよ、一貫性のチェックは必要である。効用関数が同定できれば、あらかじめ求めておいた代替案集合や制約条件下での最適化により最適解を得られる。

言うまでもなく、このような効用関数の数値は多くのあいまいさを含む。しかし、同定の過程で明らかになる意思決定者の態度（リスク回避型かどうか）や評価因子間の相互影響の検討等が、数値的な最適解以上に重要な意味を持つ。

多属性効用関数は、Keeneyらにより、米国で原子力発電所立地問題や環境評価の問題にさかんに応用され [48]、我が国でも交通システム等の評価に用いられた。[50]

また、多属性効用関数について、先の選好独立性や効用独立性の条件を緩め、一般化する表現形式の研究も進んでいる。[51]

⑤ AHP [52]

AHPは、数多くの評価因子を考慮しつつ最も好ましい代替案を選択するために1984年、Saatyにより発表された方法である。この方法の主眼は、まず評価因子間の相対的な重要度得点をPATTERNと同様に階層化し、各レベルにおいて評価因子間の一対比較を繰り返しつつ与えようとするものである。多属性効用関数のウェイト付の手順の複雑さを簡易化し、かつ判断主体の判断の首尾一貫性をチェックしようとする。これは以下の手順による。

- a. 判断主体は各要素間の一対比較をし、得点を与える。
- b. 各階層レベル毎に、要素間の比較行列Aを作成する。ここで、kが1より好ましい、と判断された場合、 a_{ki} には整数（3が推奨されている）のべき乗を、逆なら好ましくなさに応じその逆数を与えていく。即ち、好ましさの序列が指数関数になるようにする。
- c. Aの固有値と固有ベクトルを求める。ここで、b. で好ましさを指数関数で表わした意味が明らかになる。もし、すべての一対比較が完全に首尾一貫していれば、唯一の非0（これは要素数に等しい）の固有値と固有ベクトルを得るはずであり、矛盾があってそこから外れるほど第一固有値の寄与が下がるためである。これにより、判断主体の首尾一貫性をチェックできる。
- d. 以上を各レベル毎に繰り返す。こうして、最低レベルの評価因子のウェイト

トを求める。

e. これを各代替案毎に行ない、最終的な評価得点を求める。

このAHPは近年応用される例が増えつつある。[53]

⑥満足化の考え方

ところで、果たして「最適化」が、人間を組み込んだシステムにおいて必要か、または可能かということについては議論があり、経済学の分野では長い論争があった。人間の行動原理は必ずしも最適化ではなく、人間の判断能力および情報収集能力から、「満足化」によるとするほうが妥当と主張したのは、H. サイモンである。この場合、意思決定をある希求水準を満足する解によって行うるので、選好の推移性や比較可能性などの高度の仮定は不要となる。ただ、それ以上の目的向上解がないことを保証することが出来ればなお良い。そこで、トレードオフ情報を参考としつつ満足パレート解を得ようとするような、最適化との中間的な方法、DIDASS (Dynamic Interactive Decision Analysis Support System) あるいは「満足化トレードオフ法」が提案されている。

(2) 不確実性条件下での意思決定[41][42][54][55]

将来の状況について、客観的な情報のない不確実性条件下での意思決定は、意思決定主体の考え方——意思決定戦略によって様々に異なってくる。

① ペイオフ表と意思決定戦略 [35]

代替案集合を $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ 、将来生じ得る結果を $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k\}$ とする。この Θ を自然の状態とも呼ぶ。 f_1 を選択して θ_j の結果となった時、意思決定者は u_{1j} の効用を得るものとする。 θ_j が実現する確率を $P(\theta_j)$ とする。

一例を挙げよう。ある自動車会社の新車計画を、 f_1 : 省燃費大衆車を造る
 f_2 : 高出力高級車を造る、 f_3 : 両種を造る、のいずれか

に決めたい。将来の状況として、 θ_1 : 好況となる、 θ_2 : 現状程度で続く、 θ_3 : 不況となる、の3通りを考え、各組み合わせで得る利益と $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ のそれぞれが実現する確率が表5.4のようになっているものとする。これをペイオフ表と呼ぶ。

表5.4 自動車製造のペイオフ表 (単位 : 億円)

代替案 \ 結果	θ_1 : 好況	θ_2 : 現状	θ_3 : 不況	期待効用
f_1 : 大衆車	16	4	0	6.8
f_2 : 高級車	22	2	-10	6.6
f_3 : 両種類	20	8	-8	8.4
確 率	0.3	0.5	0.2	

ここでは、簡単のため効用値を利益額でそのまま表わすこととする。意思決定の戦略として、以下のものが知られている。

a. 期待効用最大化基準

各結果の生起確率を用い、効用の期待値を最大にする代替案をとる。

$$\max_i U_E (f_i) = \max_i \sum_{j=1}^m u_{i,j} P (\theta_j)$$

b. ラプラス基準

各結果は、事前には等確率で生じるものとし、その期待効用を最大にする代替案をとる。すなわち、

$$\max_i U_L (f_i) = \max_i \sum_{j=1}^m u_{i,j} / m$$

この例では、 $\{U_L (f_i)\} = \{20/3, 14/3, 20/3\}$ となり、 f_1 または f_3 が採用される。

c. マキシミニ基準

各代替案を選択した場合の最悪値を考え、これが最も良いものを選ぶ。

$$\max_i U_w(f_i) = \max_i \{ \min_j u_{ij} \}$$

この例では、 $\{U_w(f_i)\} = \{0, -10, -8\}$ となり、 f_1 が採用される。

d. マキシマックス基準

各代替案を選択した場合の最良値を考え、これが最も良いものを選ぶ。

$$\max_i U_w'(f_i) = \max_i \{ \max_j u_{ij} \}$$

この例では、 $\{U_w'(f_i)\} = \{16, 22, 20\}$ となり、 f_2 が採用される。

e. フルビッツ基準

$U_w(f_i)$ と $U_w'(f_i)$ をパラメータ α で結合する。

$$\max_i U_H(f_i) = \max_i \{ \alpha U_w(f_i) + (1 - \alpha) U_w'(f_i) \}$$

この例では、 $\alpha \leq 5/8$ なら f_1 が、 $\alpha \geq 5/8$ なら f_2 が選択される。

f. ミニマックス基準

機会損失の考え方である。実現した状況において最善であった選択と、実際に選択した代替案との差をregret値と呼び、この最大値を最小にするものを選ぶ。

$$\min_i U_s(f_i) = \min_i [\max_j \{ \max_k u_{kj} - u_{ij} \}]$$

この例では、 $\{U_s(f_i)\} = \{6, 10, 8\}$ であり、 f_1 が採用される。このミニマックス基準は、統計的決定問題にしばしば用いられる基準であることを付け加えておこう。

以上は $\{\theta_j\}$ を評価因子と見れば多属性効用関数と等価な問題であり、各基準がどのような選好関係を意味するかも明らかにされている。[29] また、評価因子が複数の場合に拡張することもできる。どの基準が優れているのかを

一概に言うことはできないが、期待効用の考え方は将来の可能性の分析と評価を統合する方法であり、また理論的にも多くの研究がなされているため、実際の問題にしばしば適用される。

② 決定樹木法／確率的決定樹木 [35]

ペイオフ表は一段階の決定しか扱えないため、これを多段階に拡張すると、図5.16のように樹木状に展開した決定樹木（デシジョントリー decision tree）が得られる。これを逐次たどることにより、各分岐点の評価や、最終的な期待効用値を得ることができる。

しかし、その分布や値域に関する情報がない。また、途中の分岐点では、下位レベルの評価はそこでの期待値ペイオフに基づいているので、上位レベルの分布の分数が大きいと、下位のあいまいさに強く影響することもある。

そこで、分岐が需要の大—中—小のような数値レベルを表わす場合は、これを連続した確率密度関数で置き換える方法が考えられる。これを確率的デシジョントリーと呼び、図5.17のように表わされる。これにより樹木は大幅に簡素化でき、またリスク分析も可能となるが、それだけ上位のレベルの不明確さも伝播することも忘れてはならない。

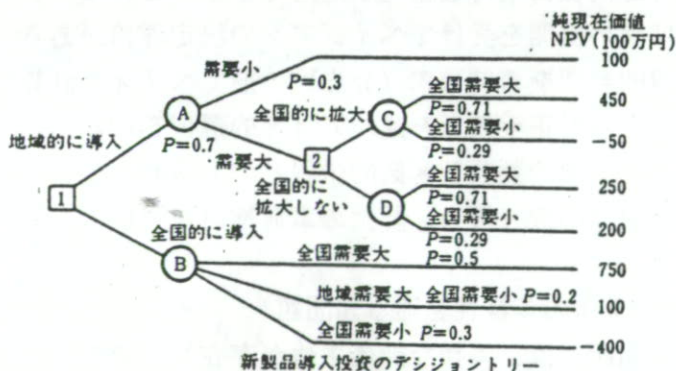


図5.16 デシジョントリーの構成例 [35]

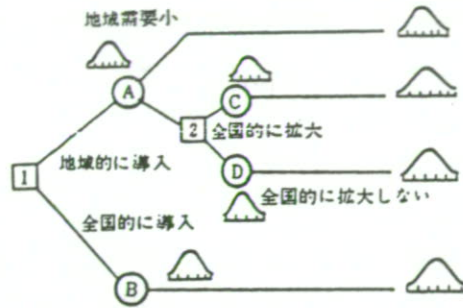


図5. 17 確率的デシジョンツリーの構成 [35]

(3) 客観的ないし主観的確率所与条件下での意思決定 [35]

一方、将来の状態について客観的な情報—各状態の起こる確率をもっている場合（いわゆるリスクの場合）での通常的意思決定基準は、前出のペイオフ（表）の数学的期待値に基づくものである。しかし、この推定確率には不確実性があり、確率分布を応用したリスク分析による意思決定の支援情報をさらに整えることができる。

客観的確率が存在しない場合にも、主観的に確率が決定できるならば、リスクの場合と同様に期待値原理が適用できる。これについては主観的確率に関する確率理論の展開を受けてベイジアン決定理論がある。すなわち、意思決定者の主観的判断を事前確率（分布）の形でペイオフ計算すると共に、新しい追加情報による修正手続きを通して合理的選択を図る。このベイジアン決定理論により、主観的判断と客観的情報との有機的結合、意思決定者の参画、逐次的多段階決定の取り扱い、計画の事前検討が可能となる。

(4) 評価主体の多様性を巡る諸問題

実際の問題では、多様な評価主体が存在し、その中で「最適な」決定をする問題が多い。この場合をさらに分類すると (a). 評価主体の立場と利害関係が全く異なる場合（例：都市で消費する電力施設を郊外に建設する場合の、それぞれの地域の評価主体）、(b). 利害は一致するが立場が異なる場合（例：計算機のメーカーとユーザー）、(c). 利害も立場も同じであるが、判断が異なる場合（例：企業同一部署内の意思決定等）等となる。これらの相違によって、「最適解探索」のプロセスの意味が異なる場合がある。例えば、上の (a). では問題が明確になれば直ちに最適解に収束するとは期待できない。最適点が

本来異なるためである。従って、プロセスは説得と妥協点の探索が主になろう。これは合意形成のプロセスとして知られている。

これに対し、(c).は共通の目的を持つため、各評価主体は本来共通の最適解を持つものと考えられる。この場合は、あいまいさの排除が意思決定を促そう。

そこで、(a).あるいは(b).の場合が問題となる。

ここでは、ソフト系科学技術の技法の基礎となる、決定と行動の理論的な問題点を述べておく。

① Arrowの一般不可能性定理－問題の難しさ

評価主体が多様であり、お互いに意見の一致を見ないとき、多属性効用関数の評価因子を複数の評価主体と見なせば、そのまま合意形成の問題に適用できそうに見える。

しかし、実は以下に述べるようきわめて難しい問題が生じる。簡単のため、1評価因子の場合を考える。各評価主体は、代替案集合 $\{\theta_j\}$ に対し単調な評価関数を持つものとする。このとき、評価主体の集合 $\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ に民主的な効用関数 U があるとすれば、それは次のような自然な要件を満たさねばならないと考えられる。

- (1). 個人の選好の無制約性 : 他の主体によって選好を左右されないこと。
- (2). パレート最適性 : 全員が $\theta_i \succ \theta_j$ と選好すれば、全体の効用関数についても $U(\theta_i) \succ U(\theta_j)$ でなくてはならない。
- (3). 無関係対象からの独立性 : θ_i と θ_j との選好関係は、他の代替案に依存しない。例えば、あとから代替案に追加や削除があっても、それにより他の選好構造が変わることはない。
- (4). 非独裁性 : 唯一の評価主体の選好のみで定まるような、全体的な選好関係があってはならない。

Arrow の一般不可能性定理は、代替案が3以上なら、これらを満たすような決定方式が存在しないことの証明である。(証明は文献 [56] 参照) すなわち、多属性効用関数による接近法は、いずれかの条件の成立が保証されない。

また、加法あるいは乗法型の効用関数を用いる際、どのように重み付けを行うべきであるかも、現在のところ明らかでない。たとえば、すべての意思決定者に同一の重みを与えることは、角度を替えて見ると少数意見の排除につながる。

基数効用関数は、理論的基礎に意思決定者の選好に無差別くじを用いているが、そのアプローチをそのまま複数の評価主体の場合に適用できるかどうか問題が残ろう。

田村ら [57] は、博愛主義的独裁者なる概念を導入しているが、これはU・を論理のみで決定することを捨て、倫理の基準を導入したことに他ならない。

このように、評価主体の多様性の問題の解決法は、現在までのところ存在しない。しかし、実際上の合意形成は、問題とシステムの把握・理解がどの程度進み、また各評価主体の立脚点と判断の相違点がどの程度まで明確化して相互理解が可能になるか、すなわち共通の価値体系を見出せるかどうかに依存する部分が大いと思われる。様々なシステム方法論は、少なくともこの点を支援するものとして役立つものと考えられよう。最終的な判断はシステム論とは別の次元の価値を導入せねばならないものと思われる。

② ゲーム理論について [58]～[60]

意思決定者が複数存在する場合の行動を理論的に扱うものとして、ゲーム理論がある。ここでは、その考え方の簡単な紹介のみにとどめる。

ゲーム理論の出発点として、表5. 3のペイオフ表を考えてみよう。ここでは、「意思決定者の決定」と「自然の状態」との間に、意思決定者が得られる効用（ペイオフ）が与えられていた。この「自然の状態」が「意思決定者2のとり決定」であるとならうか。

「自然の状態」とは異なり、互いに相手の出方を考慮した上で決定を行うことになる。意思決定者の関係によって「協力ゲーム（意思決定者が協力しあう場合）」「非協力ゲーム」があり、ペイオフの状況により「0和ゲーム（全体の得失は常に一定）」、「非0和ゲーム」がある。

さらに、意思決定者が複数存在する場合、意思決定者が互いに部分的な協力関係を結ぶこともあろう。この場合の得失も、同様に考えられる。

これを次のように定式化する。各主体 i のとり決定を x_i とし、

$$x = (x^1, x^2, \dots, x^n) = (x^i, x^{-i})$$

のように決定ベクトルを表わす。 x^{-i} は i 以外の主体がとり決定ベクトルとなる。次にこの決定の結果各主体が得る効用を

$$v = (u^1(x), u^2(x), \dots, u^n(x))$$

とする。結果の均衡解として、次の概念がある。

a. 支配戦略均衡解 x_d

$$\forall i, \forall x^{-i}, u(x_d^i, x^{-i}) \geq u(x^i, x^{-i})$$

これは非常に強い決定であり、どの主体にとっても x_d 以外の決定はすべて損となる。このような決定方式の存在は困難と考えられる。

b. ナッシュ均衡解 x_n

$$\forall i, u(x_n^i, x_n^{-i}) \geq u(x^i, x_n^{-i})$$

これは x_n においては、どの主体にとってもそれ以外の決定がすべて損になるという、弱い均衡解である。

次に、意思決定者が2階層からなり、下位の者は、上位の者の決定の範囲内でのみ決定できるものとしよう。すると、上位の者はその上で最適な決定を下せる。上位の者を x_1 、下位の者を x_2 としよう。

c. スタックルベルグ均衡解 x_s

$$x_{s1} = \max_{x_1} u_1(x_1, x_{s2}) ; x_{s2} = \max_{x_2} u(x_1, x_2)$$

このような階層構造下の決定問題は、企業対消費者のように社会システムに多く見られるものである。[61]

ゲーム理論は従来、理論面の研究に比べ実システムへの適用例が少なかったが、近年、電力料金に適用して負荷適応電力料金システムの評価に用いる報告が発表されるようになった。[62][63] このほか情報の果たす役割への接近やフリーライダー問題（ただ乗り問題—情報の不正な申告により公共システムから不正な利益を受けとる可能性）への接近等、ゲーム理論の範囲と可能性は社

会システムにおいてきわめて広い。[61][64]

しかし、ゲーム理論にはなお理論的に未解決の部分も多く、今後の研究に待たれるところが大きい。

⑧ 合意形成手法

複数の評価主体のからむ決定の具体的な局面に合意形成問題があるが、これに関していくつかの手法の提言と経験がなされている。集団における意思決定については、単にどう決めるのか、といった「決め方」だけではなく、決定までのプロセスが問題となる。複数の意思決定者による意見交換、情報の抽出の各自への情報のフィードバック、各自の態度変更といった過程の繰り返しによって、合意形成へ近づいて行くという原則が重要である。

近年、コンピューターによる、合意形成のための支援システムの開発が進んでいるが、これらの基本的な特徴は大量のデータ処理や、各意思決定者へのフィードバックを、コンピューターを用いて迅速かつ有効に行なおうとする点にある。

いずれにせよ、集団による意思決定もまた、集団の一つの知的活動過程として、既に本章に於いて個人レベルでのそれについて述べてきたのと全く同じ様に、問題の設定から分析・評価といったステップに従って進むととらえることができる。この場合、LENS、あるいはブレン・ストーミングといった集団的発想技法やゲーミング・シミュレーションなどは、レベルの差こそあれ、そのまま集団による問題や目的、評価軸の共有化すなわち合意形成手法の重要な構成要素となっていることがわかる。

LENSと比較・議論される手法として、PD法、SINPL法などあげられるが、いずれも、問題の設定から解決までの集団活動を一貫してシステム化していこうとする点で共通している。この時、合意形成過程について、決定されるシステムに関係のある人々を初期の段階から参画させるしかけや、参画する人々の相互理解に留意していることが特徴である。

最終的な決定—決め方—の問題をめぐっては例えばSCR法やECR法などが提案されている。これらはいずれも多数決方式における投票内容の多情報化と集計方法の改良ととらえられる。具体的には、基数効果値の導入によって選好関係を順序化する点、反対意見の大きさ、集団全体の中での意見の一致度などまでを評価基準にとり入れようとする点に特徴がある。

(5) プロジェクトの評価方法

決定局面での実用レベルのソフト系科学技術で代表的なものに、研究開発を含むプロジェクトの評価の問題がある。あるプロジェクトを行う場合の評価時点により事前評価、中間評価、事後評価、追跡評価があり、評価の目的、評価情報の質・量や評価結果の利用方法が異なるため区分されている。

評価手法の分類で定説となっているのが次の3分類である。現実には、複数の手法を同時に補完しつつ用いることが多い。

①決定論的評価法——評価項目と評価基準を設け、各項目について各喜寿による直観的比較による格付けを行ない、各項目の重みづけによる総合得点（スコアリング）の順位、または図形像の特徴（profile）などで評価する。チェックリスト法や評点法が最も多く使用されている。

研究課題の価値判断、特定プロジェクトの採否の判断、優先順位などの手がかりを得る手法である。

②経済論的評価法——プロジェクト成果を費用と収益との対比でとらえ、経済的立場から評価する経済性評価法で、指標公式法と経済性計算法がある

③OR的評価法——ORの手法を用いて、プロジェクト活動で発生する諸事象を数学的モデルに表現し、要因を多次元またはダイナミックに変化させ、将来を予測してプロジェクトの評価を行う方法である。

決定論的評価の特徴をあげると、

- (a) 本質的には直観的評価法であるが、個人的判断、集団による協議の恣意をある程度客観化し、定量化できる。
- (b) 評価項目と基準の統一により、時間、場所、組織などの制約を超えて、多くの人を評価に参加させうる。
- (c) 定量化し難い項目についても、多くの人を評価に参加させうる。
- (d) 評価目的に併せて上手に使える、実用性が高い。研究開発活動の評価では基礎研究から開発研究まで応用でき、歴史もあり経験を介した修正自由度もあり最も実用的に展開している。

経済論的評価法については、次のような特徴をあげられる。

- (a) 定量評価であるので客観性が高く、理論的根拠も比較的しっかりしているものが多い。
- (b) 適切なパラメータを選び、正確なデータにより指標を計算すれば実用性も高い。
- (c) 研究成果を経済的メリットの形で把握するので、評価結果を経済的メリッ

トの形で把握するので、評価結果を研究開発の投資計画に直結でき、研究費のプロジェクトへの配分のみならず総枠決定等にも役立つ。

(d) 評価指標計算のための正確なデータが得難い場合（たとえば基礎研究等）には適用が無理である。

OR的評価法の特徴としては、次の諸点があげられる。

(a) 評価要因を多次的にまたダイナミックに変化させることにより、研究成果にどのような影響があるか定量的に判断ができ、感度のチェック等も可能である。

(b) 評価要因および評価結果が客観的、定量的に数値化されるので、問題点が明確になり、討論への参加が容易である。

(c) いくつかの固定された課題に対してのミクロ資源配分等にはきわめて有効である。

(d) 評価が大がかりになる場合が多く、コストがかさむ欠点がある。したがって米国でも軍・宇宙関係のプロジェクトで試みられていたに過ぎない。近時のコンピュータ利用環境の変化はこれを克服する方向にある。

(6) 信頼性分析

信頼性が工学として取り上げられるのは、第2次世界大戦以降とされているが、軍事電子部品を対象としていた。統計的信頼度管理や信頼度設計やさらに一般管理にからむ信頼性技術が確立されているが、ここでは故障物理から展開しシステムの信頼性評価に関連したいくつかの考え方にふれる。

F T A (fault tree analysis) は、信頼性や安全性の確保のために樹木状系統図を利用する方法である。重大故障などから出発し、その原因となる故障、さらに遠因となる事象まで遡り、全ての原因を列挙する。これらの原因が一つでも故障が起こる場合、同時発生時のみ故障が起こる場合とで、ORあるいはA N Dなどの論理ゲートで結びつけたものである。E T A (event tree analysis) は、F T A と逆の順位法で事象を解析する。これらにより重要なポイントとなる事象・部品が明らかにすることが容易になる。F M E A (failure mode and effect analysis) は、設計段階での信頼性解析技法であり、故障の波及効果を検討する方法で、やはり樹木図で表現するとわかり易い。

(7) T A (テクノロジー・アセスメント)

システムの事前評価はその効果・長所に注目して行うものが多いが、T A は

マイナス面、それも二次三次の波及効果・影響に注目した評価とみることができるといえる。

一般には、アセスメントの範囲の設定→主要な技術について考察→技術開発期の社会状態の推測→インパクト影響範囲の明確化→インパクト予備分析→問題解決のための代替技術の明確化→代替案を含めた各種技術のインパクトの詳細な分析、という概念的手続きによる。

5. 8 主に管理運営局面において活用される技法群

管理運営についての洞察やノウハウは集団作業と同じく歴史が古い。管理技法についての関心は、米国が戦中戦後、大型プロジェクトを手がけるなかで、プロジェクト全体を有効適切に管理するための科学的手法を求め、理論と実践の両面からアプローチし開発蓄積した各種の管理技法が知られるようになってからである。

現実にプロジェクトの大規模化と複雑化を受けて、不確定要因や変更要因は増大し、計画時の予算や工期は狂いを生ずることが多い。繰り返しの性質をもたぬ、こうしたプロジェクトのスケジューリングを効果的に行うことは、極めて重要な要請である。

(1) グラフネットワーク法—スケジューリングの方法

a. PERT/CPM [65]

システムを発注を受けてから稼動するまでをとっても、ソフトウェア、ハードウェアの各々について仕様を定め、設計、部品発注、組み立て、試験・・・というプロセスを経て、さらに納入して全体を組み立て、稼動に至る多様な工程がある。個々のサブシステムのスケジューリングが悪いと、納期が非常に遅れてしまう。このような工場での工程計画管理の問題には、古くからグラフネットワークを用いるPERT (Program Evaluation and Review Technique) やCPM (Critical Path Method) がある。

これは、図5. 18のように工程の作業順序と工程iから工程jへの所要時間 T_{ij} をグラフネットワークで表わしたものである。各工程をノード、ノードを結ぶ線をパス(あるいはブランチ、アーク)と呼ぶ。これから作業日程の計画をたてられる。

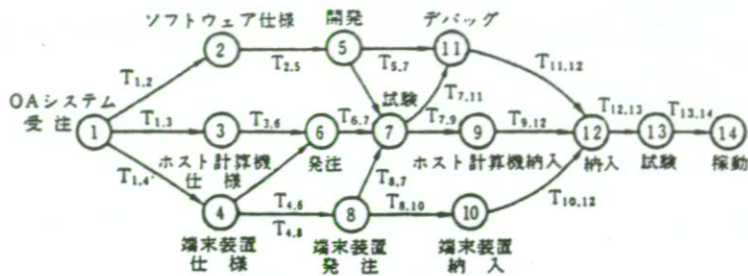


図5.18 PERTの例

このスケジューリングの図で、最長の時間経路をクリティカルパスと呼ぶ。これは最短の工期を意味する。この図から、各行程の自由余裕や独立余裕と呼ばれる余裕時間を得られ、これから人員の再配置等が導かれる。

プロジェクトの進行管理に関するPERT/TIMEから、さらに人材・資源の効率利用や原価低減・組織内情報同期化を図るPERT/MANPOWER, PERT/COSTが更に生み出された。

b. GERT/PAF-確率的ネットワーク [66]

工程に幾つかの技術選択や技術開発の不確実性がある場合には、またノードへの入力やノードからの出力にANDやExclusive OR等の条件を付けられるようノード表現を拡張した、GERT [66] やPAF [67] を利用するのが有効であることが多い。いずれもノードに機能を与え、ネットワークの方程式を解くか、モンテカルロシミュレーションにより評価を行う。

また、計算機のスケジューリングによく用いられたペトリネット [68] もこのグラフネットワーク法の一つである。

これらの方法は、要素間の関連構造も明示されるため、大規模なシステム技術開発の表現に適しており、しばしば大規模なネットワークが作成される。確率を含むネットワークのシミュレーションはモデルのチェックが難しいため、その解釈には十分な注意が必要である。

c. デルタ・チャート

PERTのような代表的ネットワーク技法は、研究開発のようなフレキシブルな管理対象には十分適合せず、記法の限定も検討範囲を狭めがちである。そこで、フローチャート形式で、従来の事象活動に加え、決定・論理の機能を加

え表現することで、自由度を与えつつ計画を明確に示すデルタ・チャートが生み出されてきた。

デルタ・チャートの複雑化に伴い、古くから業務進捗度を示すのに利用されてきたバー・チャート方式のガントチャートを併用するなどの工夫もされている。

(2) P A T T E R N - 非定量的対象を含む計画・評価管理 [35]

規範的技術予測手法の典型的方法としても知られる、PATTERN (Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers) は、FTA (Fault Tree Analysis) [69] やデシジョン 트리と同じく樹木状展開法の一手法であり、関連樹木法に定量的評価を加えたものである。ハネウエル社で J. V. Sigford らにより開発され、アポロ計画に用いられて有名になった。

これは関連樹木作成ブロックと研究開発提案ブロックからなり、図5. 19のように構成され、上位にプロジェクトの目的を置き、それを実現するための要件や分類を樹木状に展開していくものである。

樹木状展開法の特長として、多くの判断要素を系統的に展開することにより、不均衡や見落としなどのひずみを比較的防止でき、また各レベルにおいて展開したグループの責任の所在を明確化できる点がある。一方、これはあくまである時間断面の表現であるので、時間が推移すれば更新が必要となるが、これには多大な労力を要する。

さて、PATTERNでは、各レベルの要件の重要度を、図5. 20のような各段階の評価基準に従って与えていき、最後にこれらを総合化していく。たとえば、図5. 20では中位2レベル(D, E)では、1. 費用・有効度、2. 要求事項、3. 科学技術上の意識、の3評価基準から見た重み付けがなされる。レベル*i* (*i*=1, 2, ..., *I*)での要件*j* (*j*=1, 2, ..., *J*)の評価基準*k* (*k*=1, 2, ..., *K*)から見た重要度を*S*(*j, k; i*)とし、評価基準自体の重要度を*a_k*とすると、この要件の相対的重要度は

$$\sum_{j=1}^J S(j, k; i) = \sum_{k=1}^K a_k = 1$$

に対し

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^K a_{kS} (j,k;i)$$

となる。そこで、例えば最下位の項目Gの欠陥が最上位の目的に与える総合的影響度R₀を

$$R_0 = \prod_{i=1}^I r_{i0}$$

のように求める。開発段階とタイミングによって図5.21のように補正することもある。これらの詳細は文献[35]を参照されたい。

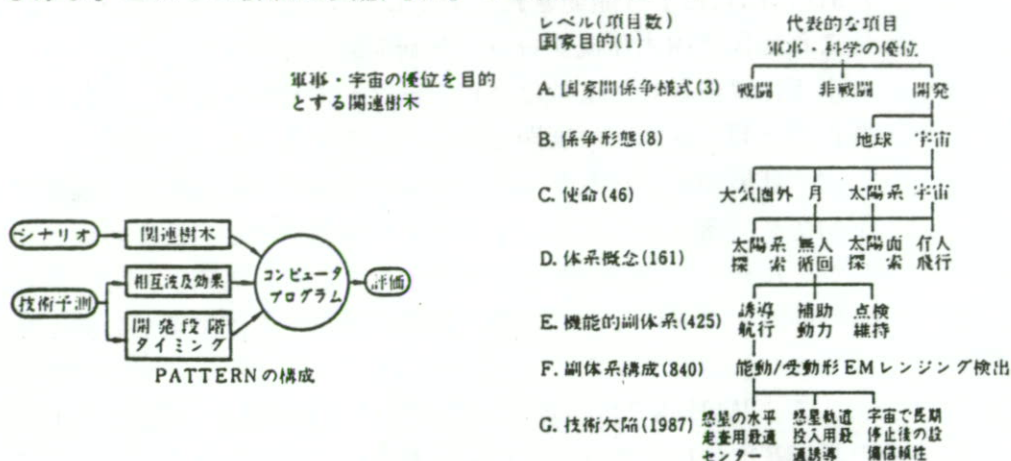


図5.19 PATTERNの関連樹木の例 (文献[34])

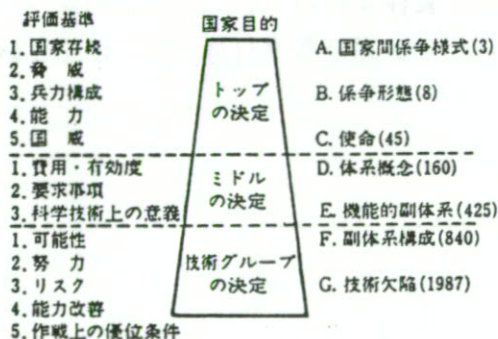


図5.20 PATTERNのレベルと評価基準の例 (文献[34])

PATTERN には、先に述べた動学的推移を取り入れにくい点の他、要件間の相互影響を表現できない問題点もある。重要度の行列に因子分析を適用した例もあるが、[70] その有効性については不明である。むしろ、他の手法との併用が好ましいと思われる。

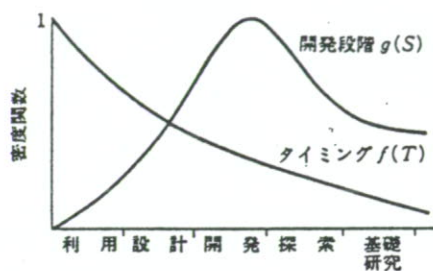


図5.21 開発段階とタイミングによる補正 (文献 [34] より)

このような計画・評価技法を予算配分に結びつけたものが、PPBS (Planning & Programming Budgeting System) である。

(4) その他の管理技法

NASAにおけるアポロ計画からは、さらに在来システム技法の組み合わせを含め多くの技法が誕生した。

将来の資金・要員の確率的推定をコアとするPLRP(Probabilistic Long Range Planning)、管理限界との関係を統計的予測するFAME(Forecast & Appraisal for Management Evaluation)もその一つである。

なお、PPP(Phased Project Planning)と呼ばれるプロジェクト立案の手順がある。次のフェーズにおける計画と打つべき手を定め認識させている。これは個々のハードウェアシステムの開発に極めて大きなリスクと不確実性が含まれていることから、明瞭なフェーズ区分を行ったものである。我が国での経験に乏しい初段階での作業が、実は非常に豊富な知識の上に立って実施されていることに留意したい。

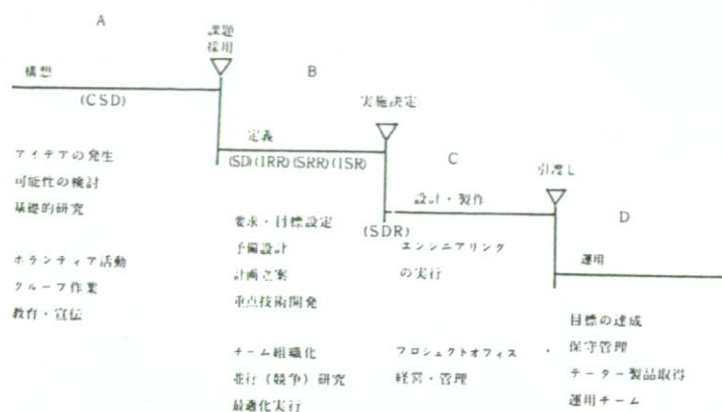


図5. 22 NASAのプロジェクトの考え方
 (出典 工業開発研究所『21世紀へむけての先端技術研究開発環境のあり方に関する研究』総合研究開発機構1986)

また、マネジメントの人材の重要性を反映し、GREMAX(Goddard Research Engineering Management Exercise)のような育成システムの開発も進められている。

研究開発のような、創造力の発揮、組織のパフォーマンスの間われる「質の管理」に関する技法には、研究人材の資質向上・動機づけにより品質・生産性の向上を図る一連の処遇・確保策、また、開発プロセスの明示化のためのドキュメント管理など多面的な方略があり、各組織独自のやり方を蓄積改善・進化させている。統計的手法の活用をコアにした品質管理までも、研究開発部門を含む全社的な運動としてのTQCへと結実させているところも少なくなく、我が国はこの面では高度成長期に急速に先進国化した。

補. Fuzzy理論について [71][72][73]

(1) 数学的定理

不確実な状況を扱う方法としてFuzzy理論、(あいまい理論)が提示されて久しい。これは、「真」と「偽」の2値でなくその中間に「あいまいな」状況を数学的に $X \in [0, 1]$ で表現しようとするファジーメンバシップ関数によって特徴付けられるものである。従来のシステム方法論と異なり、主観性、人間との関わりを非常に強く前面に打ち出している点が注目される。

例えば、「あす雨が降るか」という問いには、「確率0.3で降る」と、「あす雨が降らないか」という問いに「確率0.8で降らない」という判断がなされたものとしよう。人間の回答であれば、このように $g(E_1) + g(E_1^c)$ が1に等しくないことはきわめて自然である。ここで、このデータを見る2つの立場が有り得る。

第一は、この「確率として正しくない数値」を確率論にあうよう修正しようとするもので、技術予測方法のX-1法がこの立場をとる。

第二は、この数値自体は「正しい数値」であり、判断の体系が不十分であるため、これを確率から拡張しようとするものであり、以下にのべるあいまい理論がこれにあたる。すなわち、[Aか非Aか]という古典的な二値論理から多値論理や様相論理等を表現しようとするものである。

詳細は多くの文献、例えば [71] 等を参照されたい、ここでは、基本的な概念の紹介と、知識工学への応用例を紹介するにとどめる。

Xを全体集合、EをXのあいまいでない部分集合、AをXのあいまい部分集合とする。Eに関しては、定義関数を次のように定められる。

$$\begin{aligned}x_E(x) &= 0 \quad (X \in E) \\ &= 1 \quad (X \notin E)\end{aligned} \quad (1)$$

あいまい集合に関しては、xのAへの所属の強さを $[0, 1]$ で与えることにより

$$A = \{x \mid h_A(x) \in [0, 1]\} \quad (2)$$

と定義される。 $h_A(x) = 0$ であればxはAに属さず、 $h_A(x) = 1$ であれば

通常の集合と同様にAに属する。 $h_A(A) = 0.7$ のような値であれば、 $h_A(A) = 1$ ほどではないが、0.7程度に属すると考える。

このメンバシップ関数は、「~のようだ」「ほぼ~だ」という日常言語で普通に用いられるあいまいさを表すものと考えられ、古典的な2値論理に対する様相論理の表現と言える。

さて、(2)を次のように記すことが多い。

$$A = \int_x h_A(x) / x \quad (3)$$

集合間の演算については、次のように定義される。 $a \vee b = \max. \{a, b\}$ 、 $a \wedge b = \min. \{a, b\}$ とおくと、 $A \cap B$ 、 $A \cup B$ を表す定義関数がそれぞれ

$$x_{A \cap B}(x) = x_A(x) \wedge x_B(x) \quad (4)$$

$$x_{A \cup B}(x) = x_A(x) \vee x_B(x) \quad (5)$$

となることに対応して

$$h_{A \cap B}(x) = h_A(x) \wedge h_B(x) \quad (6)$$

$$h_{A \cup B}(x) = h_A(x) \vee h_B(x) \quad (7)$$

とする。ここで、束 $([0, 1], \vee, \wedge)$ は完備分配束であり、可換律、結合律、吸収律、分配律が成り立つことは明らかであろう。すなわち、これらの法則に関して通常の集合演算 \cap 、 \cup を含む束となっている。

異なる点は矛盾律および排中律である。通常の集合演算では、 E^c を E の補集合として

$$E \cap E^c = \phi \quad (\text{矛盾律}) \quad ; \quad E \cup E^c = X \quad (\text{排中律}) \quad (8)$$

が成立するが、あいまい集合においては A^c が

$$h_{A^c} = 1 - h_A \quad (9)$$

によって定義されるため、(8)は成立しなくなる。ただし、(9)から

$$(A \cup B)^c = A^c \cap B^c \quad (A \cap B)^c = A^c \cup B^c \quad (10)$$

$$(A^c)^c = A \quad (11)$$

成立することは明らかである。

なお、Fuzzy理論では演算に関してこの他にも様々な形式が定義できる。
[71]

次に、2つの集合X, Yのあいまい部分集合A, B間の関係を定義する。
通常の場合の場合に対応して

$$h^R : X \times Y \rightarrow [0, 1] \quad (12)$$

とする。これを拡張すれば関数の合成に当たるあいまい関係の合成、その逆問題等が導かれる。

さらに、XからYへの写像 $f : X \rightarrow Y$ をあいまい集合に拡張する。これは、
拡張原理として次のように与えられる。

(拡張原理)

$$f : A \rightarrow f(A)$$

$$\begin{aligned} h_{f(A)}(y) &= \sup_{x \in f^{-1}(y)} h_A(x) && \text{if } f^{-1}(y) \neq \phi \\ &= 0 && \text{if } f^{-1}(y) = \phi \end{aligned} \quad (13)$$

逆像については、

$$f^{-1} : B \rightarrow f^{-1}(B)$$

$$h_{f^{-1}(B)}(x) = (h_B \circ f)(x) \quad (14)$$

となる。ただし $(h_B \circ f)(x)$ は h_B と f の合成を意味する。

こうして拡張された関数は、非あいまい集合における関数と同様の関係、例

えば

$$A \subset B \leftrightarrow f(A) \subset f(B) \quad (15)$$

$$f(A \cup B) = f(A) \cup f(B) \quad (16)$$

$$f(A \cap B) = f(A) \cap f(B) \quad (17)$$

$$f(f^{-1}(A)) \subset A \quad (18)$$

$$f^{-1}(f(A)) \supset A \quad (19)$$

等が成立する。

ここで、あいまい集合の強 α -cut、弱 α -cutを次のように定義する。

$$A_{\alpha} = \{x \mid h_A(x) > \alpha\} \quad (\text{強}\alpha\text{-cut}) \quad (20)$$

$$A_{\alpha}^{-} = \{x \mid h_A(x) \geq \alpha\} \quad (\text{弱}\alpha\text{-cut}) \quad (21)$$

この A_{α} はあいまい集合ではない。このとき、強 α -cutにおいては

$$f(A_{\alpha}) = f(A)_{\alpha} \quad (22)$$

は成立するが、弱 α -cutにおいては一般に成立しない。しかし、

$$f^{-1}(B)_{\alpha} = f^{-1}(B_{\alpha}) \quad (23)$$

$$f^{-1}(B)_{\alpha}^{-} = f^{-1}(B_{\alpha}^{-}) \quad (24)$$

は成立する。[71]

この α -cutの考え方は、ルベグ積分の定義でも現れることに注意しよう。

以上はFuzzy集合の基本的な数学的性質である。Fuzzy集合に関する数学的研究は盛んになされており、その全貌を尽くすことは到底不可能なので、ここでは以下、応用上重要な意味を持つ、あいまい測度 [71]、あいまい積分 [74] を紹介するにとどめたい。

(2) あいまい測度

確率論と Fuzzy 論との関係はしばしば対立的に議論されてきた。数学的には、確率論がその基礎に完全加法族を持つのに対し、Fuzzy はこの条件を緩めて体系化することに努力が払われてきた。

あいまい測度は、この数学的基礎になるものである。

まず、確率測度 p は次の集合 X 上の σ -加法族 β 、

$$\phi, X \in \beta \quad (25)$$

$$E \in \beta \rightarrow E^c \in \beta \quad (26)$$

$$E_i \in \beta \rightarrow \bigcup_{i=1}^{\infty} E_i \in \beta \quad (27)$$

の上に、

$$p(E_i) \geq 0, \quad p(X) = 1 \quad (28)$$

$$\forall E_i \cap E_j = \phi \rightarrow p\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} E_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} p(E_i) \quad (29)$$

で定義される。

あいまい測度 g においては、(27) の加法性の条件を単調性の要請のみで置き換える。すなわち、

$$g(E_i) \geq 0, \quad g(X) = 1 \quad (30)$$

$$E, F \in \beta, \quad E \subset F \rightarrow g(E) \leq g(F) \quad (31)$$

とする。

あいまい測度には様々な種類が提案されているが、[71] ここではそのうち菅野の λ -あいまい測度を示す。これは (27) の拡張であると考えられる。

$$g(E_i) \geq 0, \quad g(X) = 1 \quad (32)$$

$\lambda > -1$ をパラメータとして

$$\forall E_i \cap E_j = \phi \rightarrow g\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} E_i\right) = \frac{1}{\lambda} \left[\prod_{i=1}^{\infty} \{1 + \lambda g(E_i)\} - 1 \right] \quad (33)$$

明らかに $\lambda = 0$ の場合確率測度に一致し、また λ の正負により劣および優加法性が表現される。

これは必ずしも $g(E_i) + g(E_i^c)$ が 1 に等しくないことを表わす。すなわち、ある命題の真理値の表現を $g(E_i)$ とするとき、 $g(E_i) + g(E_i^c)$ と 1 との差が、その真理値自体のあいまいさを表わすものと解釈できる。このような意味で、あいまい測度は人間の判断のあいまいさを柔軟に表現できると言えよう。

なお、この λ -あいまい測度は、文献 [75] において確率測度と同形であることが示されていることを付言する。このことは必ずしも Fuzzy 測度が確率論の範囲を出ていないことを示すものではない。むしろ両者が数学的に両立することを主張することにより、応用上の問題点を相互から議論して明らかにできることを示すものとして、重要な意義をもつと考えられる。

(3) あいまい積分

集合に測度が (X, β, g) として定義されれば、これを用いて積分を定義できる。ルベグ積分の定義と同様に、まず関数 $h \in [0, 1]$ の β -可測性を

$$\forall \alpha, F_{\alpha} = \{x \mid h(x) \geq \alpha\} \in \beta \quad (34)$$

すなわち任意の α -cut が β に属することで与える。

そこで、

$$0 \leq \alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_3 \cdots \leq \alpha_n \leq 1 \quad (35)$$

に対し

$$E_i = \{x \mid \alpha_i \leq h(x) < \alpha_{i+1}\} \quad (36)$$

とすれば

$$F_{\alpha_i} = \bigcup_{k=i}^N E_k \quad (37)$$

であることから

$$\text{(ルベーク積分)} \quad \int h \, d\mu = \sum_{i=1}^N \alpha_i \mu(E_i) \quad (38)$$

$$\text{(あいまい積分)} \quad \int h \cdot g = \bigvee_{i=1}^N \alpha_i \wedge g(F_i) \quad (39)$$

と記述する。あいまい測度の定義 (34) のため、(39) はEではなくFにより記述される。

この極限として、定義域 $E \in B$ におけるあいまい積分は

$$\int_E h \cdot g = \sup_{\alpha \in \{0, 1\}} [\alpha \wedge g(E \cap F_\alpha)] \quad (40)$$

で定義され、ルベーク積分とは、 $+\rightarrow V$ 、 $\times \rightarrow \wedge$ 、の関係で対応する。

形式的にはルベーク積分と同様であるが、測度とは異なりもはや両者に包含関係はない。

(4) 知識工学への応用

以上に述べたように、Fuzzy理論は人間の判断のあいまいさをできるだけ保存したままで体系化しようとしている。従って、実際の問題の評価への応用としては、やはり人間の判断をどのようにモデルに組み込むかという分野に最も活用されている。すなわち、あいまい制御 [76] やエキスパートシステムという、いわゆる知識工学への応用である。

ここでは、数値的な制御則にかえて、“if A then B”というルールがとられる。

このモデル化では、Bが数値的でなく、“very”, “more or less”というように、そのレベルの記述的な表現も用いられる。従って、確率よりもFuzzyメンバシップ関数による表現がある意味で自然である。このため、ファジー理論は近年AIとの関連で応用される機会が増えつつある。

(参考文献)

1. 創造性企画のためのソフトテクノロジー・ノウハウブック、日本開発工学会、1987
2. 寺野寿郎、システム工学入門、共立出版株式会社、1985
3. 奥野忠一、芳賀敏郎、矢島敬二他、多変量解析法、日科技連、1971
4. 田中良久、心理学的測定法、東京大学出版会、1961
5. 小林龍一、数量化理論入門、日科技連、1981
6. J.N.Waefield, Developing Interconnection Matrices in Structural Modeling, IEEE trans, on SMC, Vol.14, No.1, 1974
7. 田村担之、構造モデリング—理論とアルゴリズムを中心として—、計測と制御、Vol.18, No.2, 1979
8. M.ベザット、G.チャートランド、L.レスニャック・ホスター (秋山仁、西間隆夫訳)、グラフとグラフの理論、共立出版、1981
9. 薦田志久、春名宏一、中尾和夫、サイクルを含むシステムの階層構造分析法—HSA、電気学会論文誌C、Vol.100, No.12, 1980
10. 春名宏一、中尾和夫、薦田志久、梶 博行、目的樹木作成技法—PPDS—の開発、計測と制御、Vol.22, No.2, 1983.
11. 寺野寿郎他、ボトルネック法による強連結グラフの分割法とその応用、計測自動制御学会論文集、Vol.12, No.6, 1976
12. 春名宏一、薦田志久、構造的感度解析法 (SSA) の提案、電気学会論文誌、54-C23, Vol.99, No.8, 1979
13. C.L.Owen, DCMPOS-An Algorithm for the Decouposition of Nonsirected Graph, Emerging Methods in Environmental Design and Planning.(ed. G.T. Noore. 100/146, MIT Prass. 1968
14. R.H.Atkin, Fros Cohonology in Physicsto q-connectivity in Social Sciance. Int. J. Man Machins Studies, Vol.4, No.2, 139, 1972
15. K.Sugiyama and M.Toda, Visual O-Anaklysis and Its Applications to a Structural Study of Technology Innovations, Fujitu IIIAS-SIS Resaatch Rep., No.19, 1981
16. K.Sugiyama and M.Tode, Methods for Visual Understanding of Hiarach ical System Structure. IEEE. Trans. on System Man and Cybernetics. SMC 11-2, 1981
17. 原 良憲、茅 陽一、強連結成分を有するシステムの自動作図化手法、計

測自動制御学会論文集、Vol.20, No.6, 1984

18. W.T.Tutte. How to Draw a Graph, Proc. of London Math. Society, Vol. 3, No.3, 740/768, 1963
19. 田崎栄一郎、あいまい理論による社会システムの構造化、数理科学、No. 191, May.1979
20. 池田三郎他、GMDH（発見的自己組織化法）と複雑な系の同定・予測、計測と制御、Vol.14, No.2, PP185/195, 1975
22. T.J.Gordon and H.Hayward : Initial Experiments with the Cross Impact Matrix Method of Forecasting, Futuras, Vol.1, No.2, 1968
23. N.C.Dalkey : An Elementary Cross Impact Model, Technological Forecasting and Social Change, Vol.4, 1972
24. J.C.Duperrin and M.Godet : SNIC 74-A Method of Constructing and Ranking Scenarios, Futures, August, 1975
25. Y.Kaya, M.Ishikawa and S.Mori : A Revised Cross Impact Method and Its Applications to a Forecast of Urban Transportation Technology, Technological Forecasting and Social Change, Vol.14, No.3, 1979
26. M.Ishikawa, M.Toda, S.Mori and Y.Kaya : An Application of the Extended Cross Impact Method to Generating Scenarios of Social Change in Japan, Technological Forecasting and Social Change, Vol.18, 1980
27. 森 俊介、茅 陽一 : 動学的予測のためのクロスインパクト法の拡張、計測自動制御学会論文集、Vol.20, No.9, 1984
28. 森 俊介、茅 陽一 : 連続型変量を含む拡張X-I法、第23回自動制御連合講演会、1980年11月
29. 例えば砂原善文編 : 確率システム理論I-III、朝倉書店、1982
30. G.E.P.Box and G.N.Jenkins : Time Series Analysis : Forecasting and Control, Holden-Day, 1970
31. 相良節夫、システム同定、計測自動制御学会、1981
32. 森棟公夫、経済モデルの推定と検定、共立出版、198533. 佐和隆光、虚構と現実、新曜社、1984
34. J・ジョンストン、(竹内他訳) : 計量経済学の方法(上)(下)、東洋経済新報社、1979
35. 北川賢司 : 研究開発のシステムズアプローチ、コロナ社、1977
36. 石谷 久、シミュレーション工学I-III、シミュレーション、Vol.3, No.

- 2-Vol.4, No.2, 1984-1985
37. 大山達雄、1次エネルギー供給制約下におけるわが国のエネルギーシステムの安定性分析、エネルギー需給の計量分析、経済企画庁研究シリーズNo.40, PP117/164, 1983
38. D.Headows at al., The Limits to Growth. 成長の限界、ダイヤモンド社、1973
39. J.W.Forrester, Principles of systems, Wright Allen Press Inc., 1968
40. J.W.Forrester,、ワールド・ダイナミクス (小玉陽一訳)、日本経営出版会、1972
41. 市川惇信編 : 多目的決定の理論と方法、計測自動制御学会、第1章、PP13/27, 1980
42. 市川惇信編 : 意思決定の数理 (1)~(3)、計測と制御、Vol.13, No.11, 1974~Vol.14, No.2, 1975
43. 田村担之、森 好宏、単属性効用関数を同定する種々の方法の比較、第9回システムシンポジウム予稿集、1983年8月
44. Y.Y.Haims W.A.Hall : Muitibjective Optimization in Water Resource Systems Analysis, elsevier Scientific Pub., 1975
45. 石川真治、茅 陽一 : 多目的計画における選好解指標、電気学会論文誌C、Vol.97, No.12, 1976
46. 田村担之他 : I S Mによる多目的システムの選好構造記憶-I P S M-、計測自動制御学会論文集、Vol.15, No.3, 1979
47. S.Kobayashi and A.Ichikawa : An Interactive Aloritha for Multipie Criteria Problens by Comparisons of Pareto Dptimal Solutions, Optical Control Systems, Decision structures, and Economic Applications, Bunshodo, PP203/210, 1978
48. R.L.keeney et al : A Utility Function for Exanining Policy Affect ing Salgon in the Skeena rivewr, IIASA-RM-76-5, 1976
49. 森 俊介、茅 陽一 : 大規模システムへの逆問題の応用、電気学会論文誌C、Vol.99, No.8, 1979
50. 電気学会技術報告 (II部) 第265号、システム評価の技術とその応用、1988年2月
51. 田村担之、森 好宏 : 単属性効用関数を同定する種々の方法の比較、第

9回システムシンポジウム予稿集、1983年8月

52. L.Saaty, "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures", J. of Mathematical Psychology, Vol.15, 234/281, 1977
53. 丹羽富士男、浅野浩志、一対比較法及び階層分析法による新エネルギー技術の評価、エネルギー・資源、Vol.9, No.2, 1988
54. R.シュレイファー：意思決定の理論（関谷 章訳）、東洋経済新聞社、1974
55. 市川惇信：評価理論の展望、計測と制御、Vol.18, No.7, 1979
56. 佐伯 胖：決め方の論理、東京大学出版会、1980
57. 田村担之、行村啓介：凸依存性によるグループ効用関数の同定、計測自動制御学会論文集、Vol.18, No.3, 1982
58. G.Owen：Game Theory, W.B.Saunders Co., 1968
59. 鈴木光男、中村健二郎：社会システム、共立出版、1976
60. 今井晴雄：最近のゲーム論の展開と応用、季刊現代経済、No.16, 1981
61. 浅田 彰：経済メカニズムにおけるインセンティブ、季刊現代経済、No.49—現代経済学のフロンティア、日本経済新聞社、1982
62. 茅 陽一：電力時間帯別料金制の動学モデルによる検討、第2回エネルギーシステム・経済コンファレンス予稿集、1985年1月
63. 喜多 一、西川淳一：電力負荷適応料金制のゲーム・モデルについて、第2回エネルギーシステム・経済コンファレンス予稿集、1985年1月
64. 小野善康：寡占企業間の斉合的な相互推論、季刊現代経済、No.49—現代経済学のフロンティア、日本経済新聞社、1982
65. 関根智明：PERT、CPM、日科技連、1977
66. 立田浩之：GERT入門（1）～（4）、オペレーションリサーチ、Vol.19, No.10～Vol.20, No.1, 1974～1975
67. J.H.Vanston,Jr., Steven P.Nichols and Richard M.Soland：PAF - A New Probabilistic Computer Based Technique for Technological Forecasting, Technological Forecasting and Social Change, Vol.10, 1977
68. J.L.Peterson：ベトリネット入門（市川惇信他訳）、共立出版、1984
69. 井上成恭監修：FTA安全工学、日刊工業新聞社、1979
70. W.T.Kartin and J.M.Sharp：Reverse Factor Analysis：A Modification of Relevance Tree, Technological Forecasting and Social Change, Vol.3, 1973

71. 菅野道夫 : あいまい理論 (1)~(4)、計測と制御、Vol.22, No.1, 4, 5, 6, 1983
72. 石塚 清 : 不確かな知識の取り扱い、計測と制御、Vol.22, No.9, 1983
73. A.Zedeb : Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. International Journal of Fuzzy Sets Systems, Vol.-1, No.1, 1978
74. 菅野道夫 : Fuzzy測度とFuzzy積分、計測自動制御学会論文集、Vol.8, No.8, 1972
75. 塚本弥八郎 : 確率とFuzzy測度の同形性、計測自動性学会論文集、Vol.19, No.3, 1983
76. 菅野道夫他 : あいまい制御、計測と制御、Vol.22, No.9, 1983

第6章 我が国のソフト系科学技術の研究体制

今回の調査では、ソフト系科学技術の我が国の研究体制については、直接的な調査課題とはなっていないが、調査過程で入手した情報や既存資料の分析によって、次のような特徴が抽出できた。

6.1 国際的にみた特徴

(1) 我が国のソフト系科学技術の研究水準

我が国のソフト系科学技術の国際的な研究水準を検討した。研究水準に関しては『日本型科学技術開発システムの基本設計』（科学技術庁71-73年度委託研究）では「ソフト・サイエンス・ギャップ」として立ち遅れが自覚されていた。研究水準を示すことは容易なことではないが、(この「研究評価」という問題自体がソフト系科学技術の一つのテーマである)その方法としては、客観的な方法と主観的な方法がある。例えば、前者には研究論文の数やその引用数による評価、後者には評価能力のある関係者の判断を調査する方法が考えられる。いずれの方法も問題がないわけではないが、ここでは今回入手した資料・アンケートに基づき両方の方法による結果を示した。

(a) 研究論文数による評価

ソフト系科学技術を直接の対象としての研究論文数を調査した例はないので、近年発表された研究論文数に関するデータの中から関連するデータをいくつか紹介する。

表6.1は、1986年に米国NSFが発表した“Identifying Areas of Leading Edge Japanese Science and Technology”からソフト系科学技術に関連のある分野のデータを抽出したものである。このデータは研究論文数による分析によく用いられるSCI(Science Citation Index)のデータベースに基づいている。日米の著者による研究論文数を研究分野別に調査したものであるが、そのうちソフト系科学技術と関係が深いと思われるCOMPUTERS, LIBRARY & INFORMATION SCIENCE, PROBABILITY & STATISTICS, APPLIED MATHEMATICS, OPERATIONS RESEARCH & MANAGEMENT SCIENCEの5分野を取り上げた。

米国と我が国とでは、巖然たる差があることは明らかである。研究論文数で見ると、我が国は米国の10分の1以下程度といっていいただろう。我が国の研究

表6. 1 ソフト系科学技術関連分野の研究論文（日米比較）

	分野	日/米	期 間		増加率 (%)
			73-77	78-82	
論文 数	COMPUTERS	日	140	202	44.3
		米	1997	2968	48.6
	LIBRARY & INFORMATION SCIENCE	日	6	14	133.3
		米	1019	745	-26.9
	PROBABILITY & STATISTICS	日	177	210	18.6
		米	1801	2804	55.7
	APPLIED MATHEMATICS	日	188	108	-42.6
米		1436	1976	37.6	
OPERATIONS RESEARCH & MANAGEMENT SCIENCE	日	109	77	-29.4	
	米	627	940	49.9	
シ ェ ア	COMPUTERS	日	2.4	3.7	54.2
		米	59.4	54.4	-8.4
	LIBRARY & INFORMATION SCIENCE	日	2.1	3.2	52.4
		米	70.5	71.0	0.7
	PROBABILITY & STATISTICS	日	3.1	4.0	29.0
		米	53.5	53.5	0.0
	APPLIED MATHEMATICS	日	3.1	2.0	-35.5
米		39.9	36.0	-9.8	
OPERATIONS RESEARCH & MANAGEMENT SCIENCE	日	5.2	3.4	-34.6	
	米	49.6	41.1	-17.1	
A I	COMPUTERS	日	0.4	0.5	25.0
		米	1.6	1.5	-6.3
	LIBRARY & INFORMATION SCIENCE	日	0.0	0.2	-
		米	1.9	1.9	0.0
	PROBABILITY & STATISTICS	日	0.6	0.6	0.0
		米	1.4	1.5	7.1
	APPLIED MATHEMATICS	日	0.6	0.3	-50.0
米		1.1	1.0	-9.1	
OPERATIONS RESEARCH & MANAGEMENT SCIENCE	日	0.9	0.4	-55.6	
	米	1.3	1.1	-15.4	

注) A I : Activity Index(分野特化係数)

全世界の研究分野別シェアに対する当該国でのシェアの比
出典) "Identifying Areas of Leading Edge Japanese Science
and Technology", NSF, 1986

論文が全論文に占めるシェアは、数パーセントである。このような中であって、COMPUTERS, LIBRARY & INFORMATION SCIENCE, PROBABILITY & STATISTICS の3分野については、研究論文数シェアの両方とも近年増加傾向にある。しかし、APPLIED MATHEMATICS, OPERATIONS RESEARCH & MANAGEMENT SCIENCE は共に減少傾向にある。

ただし、この種のデータベースを用いると、我が国の場合国内の学術雑誌に掲載された研究論文のほとんどがデータに含まれないために、小さい値になる傾向があることに留意する必要がある。事実、これらの分野の国内学術雑誌はSCIの収録対象となっていない。このこと自体が我が国のソフト系科学技術の水準を示しているともいえる。すなわち、我が国のソフト系科学技術の水準が高ければ、当然我が国の関係学術雑誌が収録の対象となるはずだからである。

分野特化係数 (Activity Index) は、全世界の研究論文の分野別のシェアに対する当該国の分野別のシェアの比である。したがって、その値が1を越えるならば当該国のその分野は国際的にみて平均以上に重点を置かれていることを示している。

我が国の分野特化係数はいずれも1を大きく下回っている。国際化した研究論文の比率でも我が国では他の研究分野に比べてソフト系科学技術が相対的に弱い分野であることが明らかである。一方米国はソフト系科学技術に対して平均以上の力点が置かれていることがわかる。したがって、我が国のソフト系科学技術の水準は、国際的にみて、とくに米国と比較すると低い水準にあるといわざるをえない。

(b) 研究者による専門分野の自己評価

図6. 1は、本調査の一環として実施したアンケート調査から、過去(15年程度前)と現在の我が国のソフト系科学技術の国際的研究水準の評価結果を整理したものである。

これによると、回答者は少ないが、ソフト系科学技術の課題領域に関する対象知の分野や自然言語処理、および傾向が明確でない脳科学等を除くと、ほとんどの分野で、過去15年程度のあいだに研究水準が向上したと判断されている。いずれの分野でも、国際水準に比べ「相当遅れている」もしくは「数年リードされている」との評価から、「数年リードされている」もしくは「国際水準である」へ評価が向上している。

とくに、研究水準向上の評価が顕著なのは、都市・交通・環境問題、大規模

1 都市・経済・行政	3 (回答数)	11 KE, AI, ES	12
1. 抜き出ている		1. 抜き出ている	×
2. 国際水準	×	2. 国際水準	×××××××
3. リードされている	※	3. リードされている	※※++
4. 相当遅れている	※+	4. 相当遅れている	※+++++
5. N. A.		5. N. A.	※
6. D. K.		6. D. K.	
2 その他対象知	5	12 ナンパ認識	7
1. 抜き出ている		1. 抜き出ている	
2. 国際水準	※×	2. 国際水準	※※※※××
3. リードされている	++	3. リードされている	+
4. 相当遅れている	※	4. 相当遅れている	+
5. N. A.	※×	5. N. A.	
6. D. K.		6. D. K.	
3 生態学等	3	13 認知科学	12
1. 抜き出ている	+	1. 抜き出ている	++
2. 国際水準	×××	2. 国際水準	※※※×××
3. リードされている		3. リードされている	※※※×××
4. 相当遅れている	++	4. 相当遅れている	++++
5. N. A.		5. N. A.	
6. D. K.		6. D. K.	
4 都市・交通・環境	9	14 計算言語学	7
1. 抜き出ている	※×	1. 抜き出ている	
2. 国際水準	※※××	2. 国際水準	※
3. リードされている	※×	3. リードされている	※※×××
4. 相当遅れている	+++++	4. 相当遅れている	++++
5. N. A.		5. N. A.	
6. D. K.		6. D. K.	×
5 経営・組織・R&D	5	15 脳科学等	9
1. 抜き出ている		1. 抜き出ている	+
2. 国際水準	×	2. 国際水準	※※※※××
3. リードされている	※×	3. リードされている	×
4. 相当遅れている	※++	4. 相当遅れている	※※++
5. N. A.		5. N. A.	
6. D. K.	※	6. D. K.	
6 大規模システム	10	16 伝統的ソフト技術	8
1. 抜き出ている	×	1. 抜き出ている	
2. 国際水準	※※××××	2. 国際水準	※※××××
3. リードされている	※※	3. リードされている	※※++
4. 相当遅れている	+++++	4. 相当遅れている	++
5. N. A.		5. N. A.	
6. D. K.		6. D. K.	
7 人文・教育応用	7	17 制御理論	9
1. 抜き出ている	※	1. 抜き出ている	
2. 国際水準	×××	2. 国際水準	※※×××××
3. リードされている	※※	3. リードされている	※+++++
4. 相当遅れている	※+++	4. 相当遅れている	+
5. N. A.		5. N. A.	
6. D. K.		6. D. K.	
8 計算機応用	7	18 数理科学	16
1. 抜き出ている		1. 抜き出ている	××××
2. 国際水準	××	2. 国際水準	※※※※×
3. リードされている	※※※×	3. リードされている	※※※※×
4. 相当遅れている	+++	4. 相当遅れている	※+++++
5. N. A.	※	5. N. A.	++
6. D. K.		6. D. K.	×
9 制御技術	7	19 計算機	5
1. 抜き出ている		1. 抜き出ている	
2. 国際水準	※※	2. 国際水準	××
3. リードされている	×××	3. リードされている	※※×
4. 相当遅れている	※+++	4. 相当遅れている	+++
5. N. A.	×	5. N. A.	
6. D. K.	+	6. D. K.	
10 自然言語処理	4		
1. 抜き出ている	※		
2. 国際水準	※×		
3. リードされている	※		
4. 相当遅れている	+		
5. N. A.			
6. D. K.			

凡例

× 現在の評価数

＋ 過去（～15年前）の評価数

※ 上記2つの重なり部分

図6. 1 ソフト系科学技術の国際的研究水準の変化（アンケート結果）

システム・セキュリティ、人文・教育分野におけるソフト系科学技術の応用、人工知能・知識工学であり、「相当遅れている」を中心とした評価から「国際水準である」へ評価が向上している。制御理論等では「数年リードされている」から「国際水準である」へと評価が向上している。評価の変化の傾向が読取れる分野のうちそれ以外の分野では、若干の評価の向上もしくは、評価は全体として向上しているが必ずしも評価が収斂していない。

研究水準の評価が特徴的なのは認知科学、数理科学である。前者は、過去の研究水準については「抜き出ている」から「相当遅れている」まで評価が分散しているのに対し、現在の研究については「数年リードされている」ないし「国際水準である」に評価が収斂している。この分野が比較的新しい分野であり、15年程度前には必ずしも研究分野として確立していなかったために、過去の研究水準の評価ベースが異なっていることなどを反映したものかもしれない。

一方、数理科学は、過去においては「相当遅れている」から「国際水準である」に回答が分散していたが、現在は全体としては評価が向上し、「数年リードされている」から「抜き出ている」の範囲に回答がシフトした。「抜き出ている」という評価がこれほど多く認められる（有効回答15人中4人）分野はこの分野だけである。しかし、この「抜き出ている」との判断は、ファジィ理論関係者の回答であり、この分野全体の傾向というよりはファジィ理論関係で評価が高いと判断すべきである。

(c) 総合評価

したがって、ソフト系科学技術の研究水準は向上し、現在ではほとんどの分野で国際水準に達したと判断されているとみていいであろう。しかし、この判断は、前述の研究論文数による評価、あるいはアンケート調査の他の質問項目における回答などと照し合せると、かなり楽観的な判断だと考えざるをえない。これは、アンケート調査が我が国のソフト系科学技術の開発面での中心的、代表的人材を対象としていること、そしておそらく我が国の平均的もしくは全体としての研究水準ではなく、回答者たち自身がリードしている我が国のソフト系科学技術の最先端の部分に関する研究水準の評価であるためであろう。一方、研究論文数による研究評価は先端部分の比重が大きいとはいえ、ソフト系科学技術全体を評価するものである。

以上のことを考慮すると、「我が国のソフト系科学技術の研究水準は全体としては、米国などと比較するとかなり遅れている。また我が国の中でも他のハ

ード系科学技術に比べて得意な分野とはいえない状況にある。しかし、我が国の研究活動をリードするトップ層の研究水準は向上しており、国際的な水準に達したと考えられる分野も少なくない」と評価できる。

(2) 我が国のソフト系科学技術の開発体制・研究風土

つぎに、我が国のソフト系科学技術の研究開発体制、研究開発の風土の特徴について、主に、研究者アンケート調査の結果に基づいて整理する。

(a) ソフト系科学技術の研究開発体制

我が国のソフト系科学技術の研究開発体制は、必ずしも十分なものではない。NIRA（総合研究開発機構）はソフト系科学技術の政策課題対応の研究開発において中心的な推進組織として位置付けられるべきものである。しかし、設立以来15年近く経る間に、ソフト系科学技術の研究開発のフロンティアは大きく変化したので、ソフト系科学技術を支える基盤的科学技術の基礎的研究の体制が問題である。

現在のソフト系科学技術の基盤的科学技術の研究は主として、大学研究者やその他の機関の研究者によって推進されているが、中核的研究組織はないといっ

てよい。研究推進上の研究会や学会などが組織されることはあっても、研究センターなどの形態をとるにはいたっていない。

関連研究組織の中では、国際的にも高い評価を得ているICOT（新世代コンピュータ開発機構）がある程度である。

研究体制面では、現在のソフト系科学技術は各分野ごとに研究開発が推進されており、したがって学際的研究の条件もよいとはいえず、ソフト系科学技術として十分に組織化されていないといえる。

また、縦割り行政や各種の法制上の制約が、ソフト系科学技術の課題領域面等での有効な研究開発を阻害しているとの認識も強い（アンケート及び計画行政学会）。

(b) 研究資金

ソフト系科学技術は、問題解決型の科学技術であるので、研究開発側と成果を利用する側の交流が必要である。この交流を保証するプロジェクト研究などの形態は極めて少ない。しかし、ソフト系科学技術の分野に限らず我が国では米国などと比較し、産学官の連携が十分に機能していない。そのために、我が

国では基盤的研究開発の領域と課題領域との交流が十分でない。

また、情報処理関連など一部の産業界で実施されている研究課題を除くと、ソフト系科学技術の研究開発のほとんどは、大学研究者のわずかばかりの研究資金によって支えられている。さらに、産学官の連携が十分でないことは、米国のような産学官の連携を通じた研究資金の確保を困難にしている。したがって、ソフト系科学技術の研究開発においては研究資金の不足が重要な問題となっている。

(c) 情報基盤の整備状況

また、コンピュータに関連する各種情報機器、情報基盤などの研究開発環境の充実が遅れていることも、多くの研究者に共通して認識されている。

現在のソフト系科学技術はコンピュータ関連技術と切り離すことができない。しかも、コンピュータなどの情報基盤は、研究開発に直接的に必要なツールとして重要であるというだけでない。現在では、コンピュータは情報交換、データ・ベース利用のツールとして、研究活動にとって間接的にも重要なツールとなっている。

しかしながら、我が国の場合コンピュータの普及が十分ではない。人工知能関連の分野ではワーク・ステーションといわれる研究開発用のミニコンの普及が米国などに比べると十分でない。また、とくにソフト系科学技術の課題領域と密接な関係にある人文・社会分野の研究現場でのコンピュータの普及は非常に遅れている。もっとも、近年のパーソナル・コンピュータの普及は、これを補う可能性もある。また、コンピュータの普及にとどまらず、豊富なソフトの流通も十分とはいえない。課題対応分野では、現状把握や現状分析のための前提となるデータベースの充実が遅れていることも問題となっている。

また、米国においては研究者間の迅速かつフレキシブルな研究交流を進める上で、研究者間を繋ぐ情報通信ネットワークが重要な役割を果たしている。我が国でも研究者ネットワークの整備が話題になっているとはいえ、全国規模もしくは国際規模の研究者ネットワークは実現できていない。ソフト系科学技術の研究開発の組織化を進める上でも研究者ネットワークは重要になると考えられる。

(d) ソフト系科学技術をめぐる研究風土

我が国の研究風土には、ソフト系科学技術の推進においてプラスの側面とマ

イナスの側面がある。

しばしば指摘されていることは、①学際的な研究協力、研究交流の欠如、②新分野に対する保守性、③独創的研究の欠如、などである。これらはソフト系科学技術に限らず我が国の科学技術全般に当てはまることである。ソフト系科学技術に固有な問題としては、④ソフトに対する社会的な要請の弱さ、⑤「ソフト」的なもの、情報など（コンピュータのソフトウェアに限らず、各種の「知識」など）の価値を評価しない傾向、などが指摘されている。

ソフト系科学技術の重要な機能の一つが社会的な問題解決を目指すことにあ
る以上、その合理的解決を必要とする状況がなければ、ソフト系科学技術が育
ちにくいのは当然といえる。また、ハード系科学技術に対して、ソフトな科学技
術の学術的な評価基盤が弱かったり、社会的に評価されにくい傾向がある。この
ことは、前述したソフト系科学技術の関連分野の研究論文数データのActivity
Index（分野特化係数）がいずれも1に満たない小さな値であったこと、つま
り我が国では科学技術全般の中で、ソフト系科学技術が相対的に「弱い」こと
に端的に現れている。また、コンピュータ・ソフトの価値を十分に認めない風
潮や、知的所有権に対する認識、ひいては基礎研究への関心の弱さなどの社会
的風潮にも端的に現れている。いずれも、今日認識が改善されつつあるので、
その意味ではソフトに対する認識も変る可能性がある。

もっとも、応用・開発に強い我が国の研究開発の特徴は、ソフト系科学技術
の推進において利する可能性も指摘されている。とくに人工知能、知識工学分
野の研究開発においては、ソフトとハードの関係に対する留意が有効な研究開
発につながる可能性をもっている。ICOTの取組みが評価されていることのひと
つの要因はこの点にあるかもしれない。基礎的研究が直ちに意味のあるソフト
系科学技術の研究開発に結びつくわけではない。また、ファジイ関連の分野で
も、基礎的、理論的研究と実用化が平行して行われており、いくつかの分野で
は、基礎的研究開発と応用との有効な連携がみられる。

(3) 米国およびその他の先進諸国の特徴

米国ソフト系科学技術の研究開発は、世界をリードするものとなっている。
それは、15年前も現在も同様である。まえに紹介した研究論文数に関するデー
タの Activity Index（分野特化係数）からも理解できるように、ソフト系科
学技術に関連する分野は、米国の科学技術全体の中でも相対的に「強い」分野
である。アンケート調査でも、米国の主導性は明らかである。15年前はほとん

どの分野が米国の独壇場であった。現在は、その他のヨーロッパ諸国が分野によってはソフト系科学技術の先進国として登場してきているが、米国はどの分野でも世界をリードする国と見られている。

我が国と比較した、米国のソフト系科学技術の研究開発上の特徴をアンケート結果から整理すると以下のとおりである。

- ①研究体制・基盤
 - ・産学の関係が緊密
 - ・研究資金が潤沢であり、フレキシブルな利用が可能
 - ・公的部門が大規模なプロジェクトをリード
 - ・ソフトに対する必要性の認識、ソフトを認める風土
 - ・学際的研究を推進する上での資金・組織面での裏付け
 - ・豊富なコンピュータ等の研究ツール
 - ・研究間のネットワークの整備
 - ・研究評価システムの確立

- ②研究のスタイル
 - ・学際的な研究、そのための研究組織の整備
 - ・実証研究、ケース・スタディの蓄積
 - ・基礎的研究開発の重視
 - ・独創的な研究の評価
 - ・問題意識が鮮明
 - ・新テーマへの対応が迅速
 - ・研究資源（人・資金）の重点、大量投入

- ③研究者
 - ・異分野からの参入
 - ・研究者の流動性の高さ
 - ・研究者の層の厚さ
 - ・若手研究者の活用制度の確立
 - ・ソフト系科学技術に関連する養成カリキュラムの整備

もっとも、これらの特徴の中には、「新テーマへの対応が迅速」、「研究資源（人・資金）の重点、大量投入」のように、ひとつ間違うと、流行の浮沈みが激しく、研究資金が得やすいテーマに偏るなどの、必ずしも好ましくない結果をもたらす可能性を内在しているものもある。しかし、我が国のソフト系科学

技術の推進を図る上で、学ぶ点が多いといえる。

6. 2 研究人材の現状と養成

(1) ソフト系科学技術の研究人材の出身学問分野

(a) ソフト系科学技術の研究者の所属機関

現在のソフト系科学技術の研究開発を支える研究者は、大学に偏っている。このことは、現在のソフト系科学技術の研究開発体制が研究者個人を中心として構成されていることと関係がある。図6. 2は、アンケート調査回答者に関して、ソフト系科学技術の分野別に大学に所属する研究者の割合を示したものである。

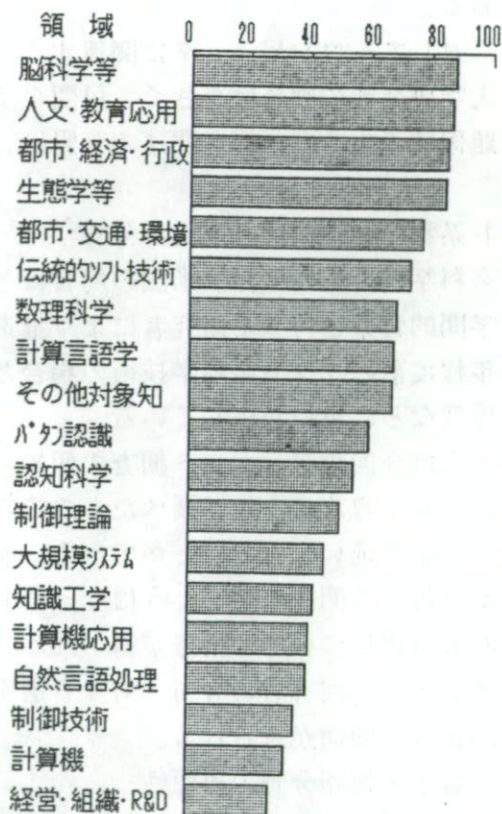


図6. 2 各領域の研究者のうち大学関係者の割合 (%)

大学研究者のシェアが大きい分野は、

①ソフト系科学技術を支える関連基礎的研究分野

脳科学等

②課題対応領域に関連する対象知の分野

都市・経済・行政、生態学・環境関連等

③課題領域の中でも15年程度前の旧世代のソフト系科学技術に関連する分野

都市・交通・環境問題

④基盤的分野

意思決定や社会システム論などの伝統的ソフト系科学技術の成果の流れを汲むもの、数理科学

⑤認知科学関連の分野でも基礎的傾向の強い分野

計算言語学

などである。

これらに対して、コンピュータに関連する基盤的研究および応用的研究の分野では、大学研究者の割合は小さく、民間企業に所属する研究者の割合が高い。また、課題領域の中でも、経営関連の分野は、民間企業の割合が高い。

(b) ソフト系科学技術研究者の出身分野

ソフト系科学技術の特徴は、米国の場合ほどでないにせよ、我が国においても多様な学問的背景を持った研究者により推進されていることである。このことは、15年程度前のソフト系科学技術の場合と根本的には同じである。ただし、多様さの程度などに違いが生じている。

資料6. 1は今回のアンケート調査の回答者の出身分野を、最終学歴(大学・大学院)の学科・専攻によって調べたものである。年齢階層別に集計してあるので、時代による違いをみることができる。また、比較的最近になってからソフト系科学技術との関連を持つようになった分野(脳科学、言語学など)の場合には、参入世代についての情報が得られる。

今回のアンケート回答者の分布(対象者選定方法は調査概要参照)からみると、以下のような傾向がみられる。

①電気・電子・情報分野の重要性

電気・電子・情報分野は、一貫して中心的な出身分野であり、その割合は増大している。

②既成分野からソフト系の分野への人材養成基盤のシフト

数学、応用化学などの学科は高齢者では多く、ソフト系科学技術の分野の生成とともに転入してきた研究者と考えられる。しかし、中堅、若手層では、制御工学、システム工学・科学、数理・計測工学等のソフト系科学技術関連の学科・専攻の新設を反映して、これに対応する「応用物理」、「その他工学」の出身者のウェイトが増してきており、出身分野の代替傾向が読取れる。①の場合にも、情報工学関連の学科・専攻の新設の影響が現れている。

③近年のソフト系科学技術の動向に対応した研究者の参入

脳・神経科学分野の場合には中堅以上が参入する傾向がみられる。これは、医学系分野の人材養成が第1に医師の養成にあり、若手はまず臨床系の研究に携わる傾向にあることと無縁ではないと思われる。

一方、言語学の場合には、若手の参入が顕著である。言語学は、近年の認知科学・人工知能の進展に伴って、重要になってきた分野である。

④出身比率では中程度であるが、一貫して関連を有する学科の存在

心理学、経済・商学、土木・建築などのソフト系科学技術の支援を求める課題領域と関連する学科・専攻、および、転入研究者の供給源としての物理学、地学などは、それほど多くはないが一貫して、研究者を供給している。

15年前のソフト系科学技術に関する調査（『日本型科学技術開発システムの基本設計 2次報告書各論6』）によると、当時のソフト系科学技術研究者の出身分野としては、電気工学、経済学が多く、化学、機械、物理、教育などがこれに続いている。これらの分野は現在でも現れるが、電気が電子・情報を含めてそのシェアを伸ばしているのに対し、他の分野は相対的に低下している。

その代わりに重要になってきたのが、当時、養成機関が僅少でしかなかったような分野、すなわち、制御工学、システム工学・科学、数理・計測工学等に代表されるような分野で、その後一定数の養成機関が設置された結果である。

ソフト系科学技術のニーズの拡大や推進の成果が現われたものであると評価することができる。しかし、このことは同時に、フロンティアの変化が著しいソフト系科学技術に関連する人材の養成は、後手にまわることが多いことを示している。

また、言語学のように従来はあまり関係のなかった分野とも関連を深めており、ソフト系科学技術と関係を持つ学問分野にも変化がみられる。

(c) ソフト系科学技術の分野別にみた出身学問分野

資料6. 2は、同様に研究者アンケート調査から、分野別に出身学問分野の対応関係を調べたものである。

これによると、分野別にみて、参入してくる学科が一定の範囲に限定されているのはパタン認識、計算機関連の分野である。自然言語処理、計算言語学、制御理論もやや少ない。それ以外は多くの出身分野の研究者を抱えており、多い分野では10種類の出身学科分野の研究者から構成されている。このように、ソフト系科学技術の分野は、極めて多様な学問養成分野と関連を有するという特徴を持っている。これは、全体のみならずソフト系科学技術を構成する下位テーマの多くについても当てはまる傾向であることがわかった。

また、学科・専攻の分野別にみると、電気・電子・情報の出身者は、ソフト系科学技術の極めて多くの分野と関連がある。やや多くの分野に人材を供給しているとみられるのが、経済・商学、物理学、機械工学、応用科学、応用物理などである。一方、比較的限定された範囲に人材を供給しているのが、心理学、医学である。医学の場合、脳科学等に集中して人材を供給しているが、医学と脳科学等が強い関連を有するかというと、そうではない。脳科学等は極めて多くの出身分野と関係を持ち、脳科学等のほうからみれば、医学はその一部でしかない。

しかし、1987年に国際シンポジウムが引き続き開かれた医療人類学や医療アセスメントの動向からすれば今後ソフト系科学技術との関与は増していこう。

(2) ソフト系科学技術の研究人材の養成機関

(a) ソフト系科学技術の養成の特徴

アンケート調査では、研究者に当該専門分野の研究者養成機関の回答を求めた。

旧世代ソフト系科学技術に関する分野に関しては、上でも紹介したような、電気・電子・情報工学、制御工学、システム工学・科学、数理・計測工学等のソフト系科学技術関連の学科・専攻については、旧帝国大学系の国立大学をはじめとする有名大学にある学科・専攻名が上げられた。それ以外の分野については、学科・専攻などの養成機関が上げられることはほとんどなく、むしろソフト系科学技術に関連する研究を行っている講座名、研究室名もしくは個人などのより小さい単位の回答が多かった。

ソフト系科学技術に関連する学科・専攻などがすでに設立されている場合に

は、その学科・専攻が養成機関として機能しているのに対して、現在のソフト系科学技術のフロンティアと関連が深いような分野の場合には、いまだ養成組織が確立しておらず、より個人的な養成の段階に留まっていることがわかる。

(b) ソフト系科学技術に関する養成機関の設立状況

上で指摘したように、15年程度前のソフト系科学技術推進の成果のひとつは、電気・電子・情報工学、制御工学、システム工学・科学、数理・計測工学等のソフト系科学技術に関連する人材養成機関の設置である。そこで、昭和61年現在設置されている大学の学科および大学院専攻のうち、ソフト系科学技術に関連するものを抽出し、設置年を調べた。その際、ソフト系科学技術に関連する学科・専攻をなるべく広く抽出した。抽出された学科は179学科、専攻は109専攻である。一覧は資料編に添えた。

図6.3、図6.4は、それを設置年別に整理したものである。学科の場合、経営工学関係、ついでシステム・計測・制御工学関連の学科の設立が1955年以後に多く、その傾向は65、66年にも残る。その後関連学科の設置は減少するが、69、70年頃から、情報工学関連の学科の設立を中心に、関連学科の設立が増加する。この時期は前回のソフト系科学技術に関するプロジェクト（『日本型科学技術開発システムの基本設計』）が実施された頃に相当し、プロジェクトが終了した75、76年に設置のピークを迎える。増加期の前半である73～76年には環境工学関係の学科の設立が増える。システム・計測・制御工学関連の学科は数は少ないが、やはりこの時期に増設されている。その後は、関連学科の新設は減少するが、近年若年入学人口の増加に伴う大学・学部の新設に伴い、ソフト系科学技術関連でも、情報工学関連および機械システム関連の学科を中心に新設されている。

大学院については、70年以前の設置はまれである。学科新設に対応したタイムラグを示して、71、72年頃から、ソフト系科学技術関連専攻の新設が増加し、79、80年まで増加を続ける。やはり情報工学関連の専攻の新設が多いが、77、78年には、環境工学関連の専攻の新設が多い。最近では情報工学および工学その他の専攻の新設が多いが、後者は従来大学院とくに博士課程（後期課程）がなかった大学で、学部や修士課程から独立した形で、より学際的な専攻を後期課程に設置するようになったためである。

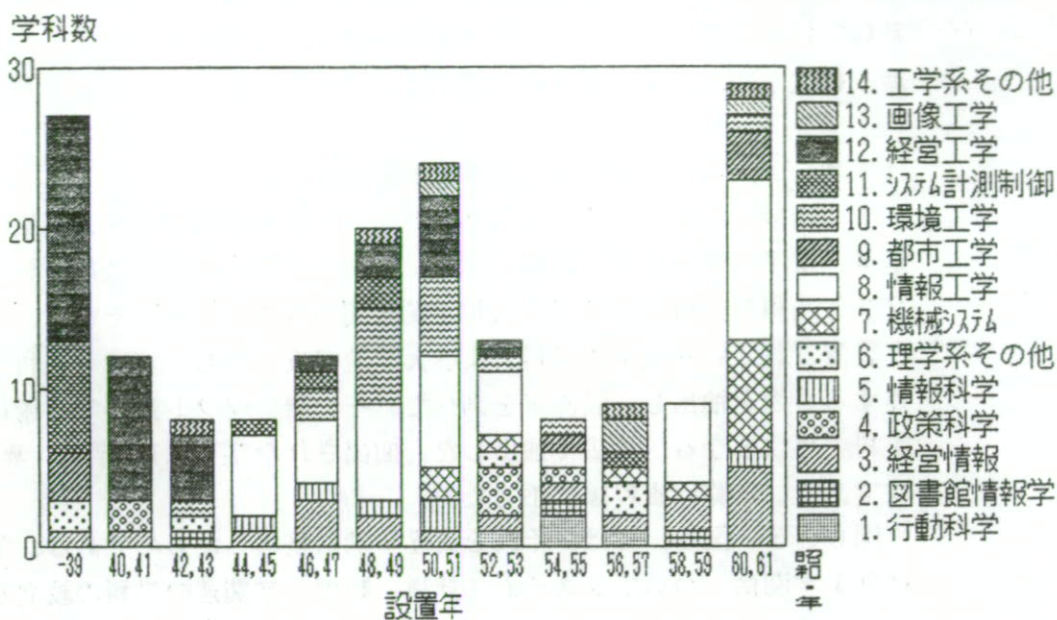


図6.3 ソフト系科学技術関連学科の設置状況

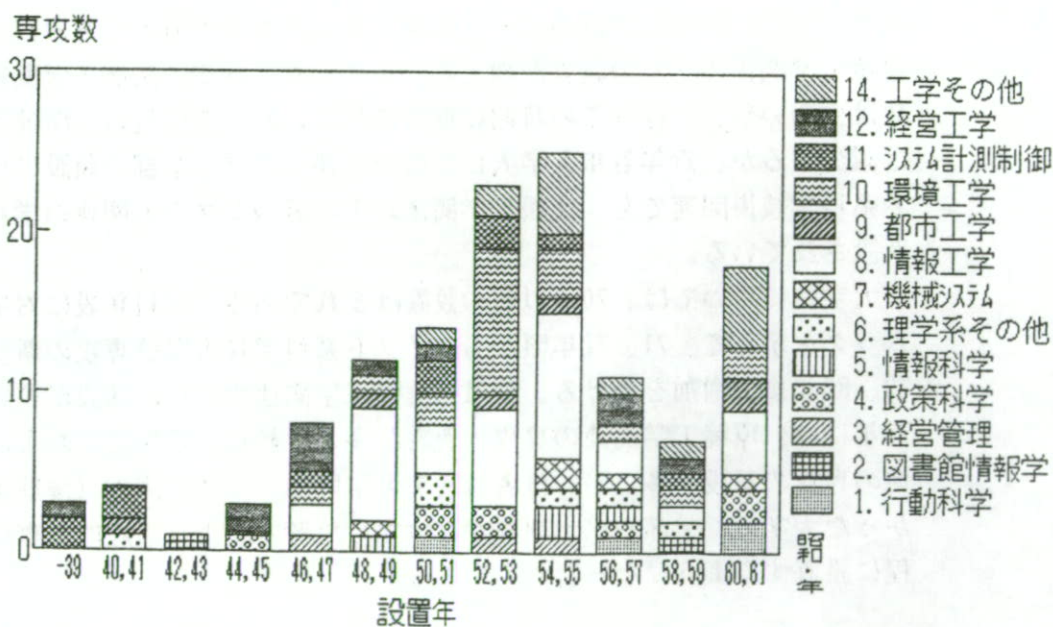


図6.4 ソフト系科学技術関連専攻の設置状況

(c) 研究人材養成上の問題点

学科・専攻いずれの場合にも、前回のソフト系科学技術に関するプロジェクト（『日本型科学技術開発システムの基本設計』など74年まで）が実施された頃とほぼ対応して、ソフト系科学技術関連の学科・専攻が設置されている。大学における学科・専攻の設置は数年前から準備が始まるので、このデータに現れたソフト系科学技術に関連する学科・専攻の新設は、前回のソフト系科学技術に関するプロジェクトの成果であるとはいえない。しかし、前回のプロジェクトは、ソフト系科学技術に対するニーズをタイムリーに反映したものであったことは、確かである。

しかもほぼ同時進行的に人材養成機関が設置されたことによって、プロジェクトが終了した後は、ソフト系科学技術推進の人的条件は整っていたといえる。後でみるように、このことがシンクタンクに対する新卒者の人材供給を保証したと考えることができる。前回のプロジェクトは、ある意味で幸運だったといえる。

一方、現在の学科・専攻の新設はどちらかというと、70年前後のソフト系科学技術の流れを引継ぐものであって、現在のソフト系科学技術に関するフロンティアの変化に対応したものではない。70年前後のソフト系科学技術関連の学科・専攻の一部は、ソフト系科学技術の変質に適応してきた。その意味で現在のソフト系科学技術を支える上で重要な役割を果しているものもある。しかし、たとえば認知科学を中心とする研究動向の変化に対応するような学科・専攻の設置があるわけではない。さきにも述べたように、現在のソフト系科学技術は中核となるような研究組織がないことが際立った特徴である。大学における養成組織がないということは、大学においては中核となるような研究組織がないことを意味する。このことは裏を返せば、現在のソフト系科学技術に関する基盤的研究は、少なくとも大学においては、既存の組織の中に埋没する形で進められていることを意味する。

この点に、現在のソフト系科学技術推進を検討する上で十分留意する必要があるだろう。

6. 3 ソフト系科学技術の学会組織

(1) ソフト系科学技術に関する学会の設立動向

ソフト系科学技術の研究動向の変化に伴い、近年新たな関連学会の設立が顕著である。日本学術会議の調査結果などに基づき、ソフト系科学技術に関連する学会を抽出し、その設立年を調べた。抽出された学会に関する情報は付録に添えた。米国の学会についても同様に付録に添えてある。

第I部図3. 3は、主要なソフト系科学技術関連学会の設立年を整理したものである。1970年代はじめにCAI学会、日本行動計量学会、日本開発工学会、環境情報科学会、バイオメカニズム学会などが設立されている。その後、オフィスオートメーション学会、日本計画行政学会、日本創造学会などの設立を経て、ここ2～3年は日本認知学会、人工知能学会、日本ソフトウェア科学会、情報通信学会、情報理論とその応用学会、日本教育情報学会、日本マクロエンジニアリング学会、日本ロボット学会、社会・経済システム学会、研究・技術計画学会などの多くのソフト系科学技術関連学会が設立されている。

学会の設立にもみられるように、ソフト系科学技術の近年の変化には急激なものがある。1970年代までの学会の設立は、当時のソフト系科学技術に対応しているといえる。まえにみたような学科・専攻の新設とほぼ時期を一にしており、当時のソフト系科学技術の研究・教育体制は1970年代にほぼ完成したといえよう。それに対して、現在のソフト系科学技術は人材養成、研究組織面での対応はないまま、研究開発が先行し、学会組織がまず形成されたといえる。

もちろん、以前からある電子情報通信学会や日本自動制御協会、計測自動制御学会、情報処理学会などは、ソフト系科学技術にとって重要な学会であることに変わりはない。これらの基幹的な学会は学会内部の分科会的な活動によってソフト系科学技術の変化に対応している。いくつかの学会について学会内部の研究会の設置状況を調べた。結果は付録に掲げた。

例えば、情報処理学会では1982年に「知能工学と人工知能」研究会が設置されている。日本ソフトウェア科学会では1984年に「知識プログラミング」研究会が、電子情報通信学会では1986年に「人工知能と知識処理」研究会が設置されている。一方、人工知能学会が設立されるのは1986年であり、分科会活動が新規学会の設立に先行する。

このほかにもソフト系科学技術に関連する分科会の設置例は多い。詳細は付録を参照されたい。

(2) 研究者の根拠を置く学会

ソフト系科学技術に関連する学会が広い分野にわたっていることは、研究動向を考えれば当然予想できることである。アンケート調査では、その実態を明らかにした。

今回の調査の回答者が所属する学会は国内外あわせ、また一部に学会のような明確な形態をとるに至らない研究会的な集まりを含めて、全部で287学会が抽出された。なお、研究領域が特定できる有効な回答者に限れば281学会になる。表6. 2に示すように、281学会のうち172学会は、回答者1人だけによってあげられた学会である。複数の回答のあった残りの109学会が程度の差はあれ、ソフト系科学技術に関連の強い学会とみて、これを指標としてさらに分析してみると以下のようなになる。なお、表6. 3にはソフト系科学技術の関連分野別の関連学会数を整理した。

資料6. 3は、所属する回答者の多少、関連分野の多少に基づいて、関連学会を整理したものである。ソフト系科学技術全体との関係の多少については、当該学会の所属回答者数によって3段階に分類した。また、ソフト系科学技術の関連分野の広がり調べるために、関連分野数、また回答者の分散状況を指標として2分類した。

それによると、ソフト系科学技術全体と関連が強い学会は、情報処理学会、電子通信情報学会、計測自動制御学会、IEEE、電気学会、日本ソフトウェア科学会などであり、特定のやや専門化の進んだ学会というより、歴史の古く規模の大きな基幹学会が主体である。

その他に日本オペレーションリサーチ学会、日本認知科学会などのソフト系科学技術に関連の深い学会がこの分類に含まれる。

関連度が中程度の学会の中には、ソフト系科学技術に関連する学会が多い。新しいソフト系科学技術の研究動向に対応する上では、必ずしも新設学会に身を置かなくてもよい。既存学会の分科会でも対応可能であることは前述のとおりである。したがって、ソフト系科学技術に関連する新しい学会への参加率はそれほど高くないことになる。それに対して、関連度の低い学会群には、どちらかという研究者の出身分野に関係すると思われるような周辺的分野の学会が多い。

いずれにしても非常に多くの学会と関連があることは事実である。このことはソフト系科学技術の関連分野別にみても同様である。付録には回答者の研究分野別と学会の対応分野を整理して掲げている。電子通信情報学会、情報処理

表6. 2 アンケート回答者の所属人数別学会数

所属人数	学会数	%
1人	172	61.2
2	45	16.0
3	21	7.5
4	10	3.6
5-10	23	8.2
11-20	4	1.4
21-30	3	1.1
31-	3	1.1
計	281	100.

表6. 3 アンケート回答者の分野別学会所属状況

分野	(a)	(b)	(c)	b/a	c/a
	回答数 (有効)	のべ 所属数	学会数		
都市・経済・行政	4	24	22	6.0	5.5
その他対象知	5	17	16	3.4	3.2
生態学等	4	20	19	5.0	4.8
都市・交通・環境	11	49	26	4.5	2.4
経営・組織・R&D	6	22	17	3.7	2.8
大規模システム	10	46	29	4.6	2.9
人文・教育応用	7	37	26	5.3	3.7
計算機応用	8	42	36	5.3	4.5
制御技術	9	34	25	3.8	2.8
自然言語処理	4	20	11	5.0	2.8
KE, AI, ES	13	59	23	4.5	1.8
パタン認識	7	32	21	4.6	3.0
認知科学	13	65	38	5.0	2.9
計算言語学	8	42	28	5.3	3.5
脳科学等	17	80	57	4.7	3.4
伝統的ソフト技術	10	44	28	4.4	2.8
制御理論	12	48	23	4.0	1.9
数理科学	18	84	34	4.7	1.9
計算機	7	27	8	3.9	1.1
計	173	792	281	4.6	1.6

学会、人工知能学会、計測自動制御学会、IEEE、日本オペレーションリサーチ学会、日本機械学会、日本認知科学会などは多くの分野と関連をもっている。分野別では、認知科学、数理科学、脳科学等などの分野が非常に多くの学会と関連を持っている。関連学会がもっとも少ない分野は自然言語処理、計算機関連であるが、それでも多い。

もっとも回答者の少ない分野では関連学会も少なくなる。このことを考慮すると、計算機関連、人工知能・知識工学、制御理論は学会が集中する傾向がみられ、逆に認知科学、計算言語学は比較的多様な学会と関連があるといえる。

多様な分野の学会と関連を持つことが現在のソフト系科学技術の特徴であることは、このようなデータにも現れている。

6. 4 ソフト系科学技術とシンクタンク

シンクタンクは民間におけるソフト系科学技術の開発機関として主たるものの一つである。既往資料に基きその概況を以下に示す。

(1) ソフト系科学技術におけるシンクタンクの役割

我が国のシンクタンクの歴史は戦前期の満鉄調査部（1907年設立）などに遡ることができる。しかし、ソフト系科学技術との関連では、1966年～73年のいわゆる「シンクタンク・ブーム」の時代が重要であろう。この時期に代表的シンクタンクを含む多数の組織の設立をみた。

「シンクタンク・ブーム」の背景としては、まず第1に、高度成長の結果としての経済構造の変化、あるいは高度成長のひずみとしての資源問題、環境・公害問題など、解決すべき政策課題が噴出した状況がある。これらの政策課題に対しては、従来の個別科学技術による取組みに代って、総合的、学際的アプローチによる意思決定が求められた。もう1つの重要な背景として、軍事開発および宇宙開発に代表されるような米国におけるシステム的方法論の成功があった。

米国のシンクタンクではシステム的方法論を社会的な課題に適用しようとする試みが盛んに行われ、このことは我が国にも紹介された。社会的課題に対して、工学的なアプローチであるシステム工学や特に米国RANDコーポレーションの開発したシステム分析、システムズ・アプローチを適用していくことは、従来の方法とは本質的に異なった新鮮な方法であったし、また、適用されるべき課題が眼前にあったのである。これを支えるコンピュータ技術の発展も顕著

となっていた。

このように解決すべき社会問題と、その手法としてのシステム的方法論という、ソフト系科学技術の特徴づける課題と手法の両方の条件が整ったと思われる中に、まさにそれを担うべき組織としてシンクタンクは生まれた。当時設立されたシンクタンクが、従来のシンクタンクと異なり、学際性、政策・問題解決志向、未来志向、システム的方法の適用などの顕著な特徴を持つようになったのは、必然の成行きであった。

なお、現在にいたるまでシンクタンク業界の中核として活躍しているシンクタンクの多くはこの時期に設立された。前回のソフト系科学技術に関する一連の調査研究（科学技術庁ソフトサイエンス検討会 1970、同委託研究：日本型科学技術開発システムの基本設計 1971～74）は、まさにこのような背景の中で実施された。

ただ、米国におけるシンクタンクの、社会開発の方向への転換も大きな困難にぶつかった。研究全体のサポート体制、研究主体の動機の問題も従来と差があったが、なによりも、新しい課題へのアプローチの仕方そのものに困難のあることが明らかになった。システム工学やシステム分析のハードな概念を、それらが生まれてきた工学や国防上の問題より、かなりソフトな問題に対して適用することの困難性は、60年代のカリフォルニア州の公共政策面での一連の重要な経験などをふまえ、70年代になってからは、米国では広く認識されてきた。現在、上述したように新しいアプローチの構築を求めて模索中とあってよい。

生まれながらにして、ソフト系科学技術を担う中核的組織として位置付けられたシンクタンクであったが、当時のシンクタンクは欧米のシンクタンクを目標とした「理念先行」とも評され、「システム幻想」「第三者による技術的解決」

の神話の雰囲気（東大新聞研編『日本のシンクタンク』東大出版会）に包まれていた。一方、我が国では、歴史的に行政組織が政策立案をほぼ一手に引き受けており、これらを知識化する方法論は十分取り組まれているとはいえない。また、シンクタンクも官公庁の「事務・調査補助」的な業務がかなり多く、いわば政策研究機関としての評価や価値を問わずにいられるような領域で成長してきた。ただでさえ本来の機能のためには新たに方法論の構築が求められる状況に加えて、経営環境も厳しいまま、多くのシンクタンクは当面する課題の委託調査研究の業務に忙殺されてきたといえよう。その結果としての政策研究市場の未成熟、財源の脆弱さ、終身雇用慣行等の中での人材活用の困難などの諸条件の下で、シンクタンクは理念と現実のギャップに直面することになる。ちよ

うどオイルショックやそれに続くインフレと不況の時代という条件も重なり、シンクタンクとソフト系科学技術は、「未来学ブーム」とも重ね合わされたバラ色の時代から、困難の時代へと突入することになった。（なお、シンクタンクの活性化を図るため1974年のNIRA（総合研究開発機構）が設立されている。）

こうして、一部ではソフト系科学技術に関する成果が生まれてはいるが、シンクタンク業界全体としてみると、ソフト系科学技術の創造的な研究開発には十分な取組みができていないというのが、今日に至るまでの経過であろう。

このことは、過去に実施された調査でも明らかである。表6.4は、シンクタンクの役割と実際に果たしてきた役割についてのシンクタンク機関の意識を調査したものである。「将来の諸問題を解決するための具体的な政策メニューの提示」、「各種の意思決定に必要となる基礎的なデータ、情報の収集・分析及び提案」、「総合的・学際的アプローチにより問題を解決するための新たなシステム手法の開発」、「政策形成に必要なアイデア、ビジョンの提案」などがシンクタンクの果たすべき本来の役割であると考えられている。しかし、現実には「各種の意思決定に必要となる基礎的なデータ、情報の収集・分析及び提案」、「当面の諸課題を解決するための政策メニューの提示」、「政策形成に必要なアイデア、ビジョンの提案」などがシンクタンクが果たしてきた役割の集計順位である。「将来の諸問題を解決するための具体的な政策メニューの提示」、「総合的・学際的アプローチにより問題を解決するための新たなシステム手法の開発」については、理想と現実のギャップが大きい。既存シンクタンクでは業務の重心を従来の研究開発から経営コンサルタント、ソフトウェア開発などの事業に移動したところも少なくない（シンクタンク年報 1985～86）。

しかし、一部のシンクタンクは、この間徐々に問題発見、問題解決能力を身につけつつある。近年は、国際化した問題への対応力を備え、また金融・情報系の新たなシンクタンクの創設も続いている。我が国においてシンクタンクを受け入れる社会的基盤が今後どう確立するのか重要な転換期にあるといえよう。

なお、米国において、保守主義的な立場を強調し、かつてのように研究成果としての政策的アイデアを学際的に学者が参加論議するというプロセスを経ずに、保守的政策を直接議会や国民に主張する“アドボカシータンク(advocacy-tank)”と称される政策研究所の急成長が指摘されている(山本正、月刊NIRA 1987. 2)。米国の政策研究の分野では、政策研究やシンクタンクそのもののあり方についての論議が活発化しそうなことを付記しておく。

表6.4 シンクタンクの役割認識と実際に果たしてきた役割

(%)

役 割	シンクタンクの役割	シンクタンクの実際に果たしてきた役割
a. 将来の諸問題を解決するための具体的な政策メニューの提示	21.9	10.4
b. 各種の意思決定に必要な基礎的なデータ、情報の収集・分析及び提案	18.7	27.8
c. 総合的・学際的なアプローチにより問題を解決するための新たなシステム手法の開発	17.4	8.2
d. 政策形成に必要なアイデア、ビジョンの提案	16.9	15.0
e. 当面の諸問題を解決するための具体的な政策メニューの提示	9.5	15.1
f. 政策の効果についての第三者の立場からの評価	7.3	7.3
g. 意思決定に必要な政策代替案の提示	5.0	4.9
h. システム分析を駆使できる政策立案者、プロジェクトマネージャーなどの人材の育成	2.9	2.9

(注)シンクタンク・アンケート(回答263機関)による

出典:「シンクタンク年報 1983-84」(総合研究開発機構 1984)

(2) シンクタンクの研究動向

シンクタンクの実施する研究領域の変化は、主としてソフト系科学技術を採用すべき課題の変化、ソフト系科学技術に対するニーズの動向を反映していると考えられる。表6.5は、1974年以降の研究領域の推移をまとめたものである。ちょうどNIRAの設立以降の変化であり、同時に前回のソフト系科学技

表6.5 シンクタンク年報による研究領域の年次推移

(%)

年度 研究領域	74/75	76/77	78/79	80/81	82/83	84/85
国土開発・利用	23.1	22.1	32.0	24.9	26.7	29.2
産 業 (科学技術)	13.9	16.1	13.4	13.1	13.3 (2.1)	10.8 (3.0)
経 済	9.4	6.1	4.9	10.1	9.9	8.2
交 通	12.0	10.4	10.8	8.8	7.8	6.0
環 境 問 題	9.5	9.3	7.9	7.4	6.8	6.4
資源・エネルギー	4.3	4.3	5.2	6.5	6.4	5.3
国民生活	8.4	4.4	4.6	6.2	5.7	6.0
国際問題	7.0	10.6	9.5	5.9	5.6	5.6
通信・情報	5.3	4.1	3.8	5.0	5.4	7.9
政治・行政	1.4	3.4	2.3	4.6	4.2	5.9
福祉・医療・教育	3.4	5.5	4.9	4.1	5.2	4.5
文 化	—	0.7	0.7	3.3	2.0	1.2
そ の 他	2.4	3.4	0.1	—	—	—

但し()内は内数

資料)五十嵐雅郎「これからのシンクタンク」および「シンクタンク年報1981-82」、
「同 1983-84」、「同 1985-86」より作成

術に関するプロジェクト以降の変化である。この表によると、個別の領域ごとに変動があるものの、趨勢として明らかな増加もしくは減少を示しているものはほとんどない。重要な研究領域としては、国土開発・利用、産業、交通、経済、国際問題などがあげられる。

資料6.4はシンクタンク研究員を対象とし、今後のシンクタンクの研究領

域の伸展状況の予測結果を整理したものである。これによると、資源エネルギー、通信・情報、都市・地域、研究開発・技術開発、科学技術政策、国際経済などが、今後重要な研究領域となってくると予想されていることがわかる。これらの中でも、研究開発・技術開発、科学技術政策、通信・情報などの比較的科学技术そのものと密接な関係のある領域の重要性が増すという判断は、その後の推移と対応している。

現在でも、一部のシンクタンクはこれらの課題に取り組んでいる。情報・通信もしくは人工知能・知識工学に関連する領域については、基盤的研究開発にシンクタンク関係者が直接的に参画しないまでも、それらの政策課題への応用、政策現場への導入などについては、研究・技術・マネジメントや科学技術政策とともに今日の重要な課題として、一部のシンクタンクで積極的に取組まれている。

(3) シンクタンクにおけるソフト系科学技術人材

シンクタンクにおける研究者の特徴は、多様な人材の集合体であることである。シンクタンク研究者の出身学科・専攻は人文・社会科学の分野から自然科学・工学・農学・医学などの分野まで、あらゆる分野の学科・専攻にわたっている。また、シンクタンクに所属する前に、他の職業（研究・実務）経験を有する人材も多い。このような多様性はシンクタンクの資産であるともいえる。

シンクタンクの人材の多様性は、「シンクタンク・ブーム」の頃に短期的に人材ニーズが高まったために、中途採用が多かったこと、大学紛争のために大学から人材の流出があったことなどによるが、このような多様性はその後失われつつある（資料6.5）。近年は、他の職業経験を持たない学部または大学院の新卒者の採用が増えている。

しかし、その一方で出身分野に変化が生じている。初期には法律・経済、理学・工学系の研究者が多かったが、最近の若手研究者には土木・建築・都市工学、社会学系の出身者が増加している。とくに、資料6.6に示すように、近年はソフト系科学技術に関連の深い学科・専攻の出身者が増加している。この図でソフト系工学というのは具体的には、社会工学、経営工学、管理工学などである。これらは主としてソフト系科学技術の課題領域と関連が深い学問領域である。これらの他に、ソフト系科学技術の課題領域に関連のある都市工学や環境工学、また基盤的領域と関係の深い制御工学・計測工学・システム工学あるいは情報工学などの分野も含めると、ソフト系科学技術に関連する学問領域

の出身者が着実に増加してきたと推測できる。『日本のシンクタンク』（東京大学新聞研究所編、1985）のデータから推計すると、これらソフト系科学技術に関連する学科の卒業生は全研究者の1割弱、大学院修了者の約2割である。もともと関連学科・専攻の設置は昭和40年代後半からであるから、これらのほとんどは若手研究者であろう。

したがって、シンクタンクの研究者は、初期の非常に多様な時代から、やや多様性の程度を低下させつつも、ソフト系科学技術分野での教育を受けた人材が参入する時代へと変化を遂げてきたとみられる。すでにのべたように、現在のソフト系科学技術の研究開発を担う人材についても、若年層ではソフト系科学技術関連分野の出身者が参入しつつある。1960年代半ば以降を中心とするソフト系科学技術関連学科・専攻の設置は、それなりの成長を上げているといえよう。また、シンクタンクについては、シンクタンク・ブーム時代の転職者による人材確保に続く時代の人材確保のルートをソフト系科学技術関連学科・専攻の設置が保証したとみることができる。

6.5 ソフト系科学技術推進上の課題

(1) 我が国のソフト系科学技術の問題点

我が国のソフト系科学技術推進上の問題点については、関連する議論の中でも触れたが、ここではまず、研究者アンケート調査での指摘事項を簡単に整理して提示する。

- ①研究体制
 - ・ 中核的な研究組織の欠如
 - ・ 産学官の連携、交流の不足
- ②研究資金
 - ・ 研究資金の不足
 - ・ 使いにくい研究費（交流のための旅費など）
- ③研究環境
 - ・ 研究現場での最新コンピュータの不足
 - ・ 研究交流用の通信ネットワークの欠如
 - ・ 各種データベースの不備
 - ・ 研究補助者の不足
 - ・ ソフト系科学技術になじまない行政、法制上の制約
 - ・ 雑用による研究時間の不足
- ④研究者
 - ・ 研究者の流動性の不足
 - ・ 少ない異分野からの参入
 - ・ 若手研究者の不足と活用システムの欠如

- ・養成組織、カリキュラムの不備
- ⑤研究スタイル
 - ・学際的研究協力の不足
 - ・実証研究、ケーススタディの蓄積の不足
 - ・利用側との交流の不足
 - ・研究評価システムの不備
- ⑥研究の風土
 - ・新分野に対する保守性
 - ・独創的、基礎的研究の不足
 - ・ソフトに対する認識不足、低い評価
 - ・ソフト系科学技術に対する社会的要請の欠如

これらの問題点の多くは、ソフト系科学技術に限らず、我が国の科学技術全般に対して指摘される問題点とほぼ同じものが多い。ソフト系科学技術にとって重要な問題点としては、研究交流の必要性ソフトに対する学術的・社会的評価の低さや、大学研究者のうち誕生間もない分野では伝統的な教育業務等の負担から研究専心環境の少なさ等の回答がある。

(2) 問題点の再検討の必要性

ソフト系科学技術の推進策を検討する上で重要なことは、これらの問題点をそのまま並べてとらえることではなく、ソフト系科学技術の研究動向や歴史的経緯との関連で問題点を捉え直すことである。そのための手がかりはすでに述べてきた。例えば、70年前後までのソフト系科学技術の発展課程は、

- 問題の発生 → 米国からのツールの導入
- シンクタンク・大学の養成組織の設置
- 『日本型科学技術開発システムの基本設計』のプロジェクト
- 学会の設立

といった図式で模式的に捉えることができるであろう。それに対して、現在のソフト系科学技術は進行中であるのであくまでも仮説的ではあるが、

- 基盤的研究の進展 → 学会の設立 → 本プロジェクト

と捉えることができよう。つまり、70年前後のソフト系科学技術は問題・課題先行型であったのに対して、現在のソフト系科学技術は研究先行型である。そのような背景を持つがゆえに、「社会的要請の欠如」、「利用側との交流の欠如」という問題の持つ意味は、現在のソフト系科学技術にとってより重要な問題で

ある。

また、「養成組織の不備」、「中核的研究組織の欠如」についても、1970年頃のソフト系科学技術との対比するとその意味は重要である。1970年頃のソフト系科学技術の場合、周囲の条件が幸いして特別の振興策を実施しなくとも、教育、研究体制はある程度整備されたと考えられる。しかし、現在のソフト系科学技術は、基盤的研究先行型であり、人材養成の体制や研究を組織化する体制については現在のところ皆無と云ってよい。

「学際的研究協力」、「人材の交流」といった問題も現在のソフト系科学技術の研究内容の広がりゆえに重要である。通り一遍の学際性、人材交流の必要性ではない。「〇〇学」、「〇〇学」といった個々の具体的な分野の協力体制が現実に必要なものとなっているのである。

本年度はアンケートなどを通じて問題点を把握したが、上げられた問題点の再検討と再構成が必要であり、これは次年度に集中して検討されるべき課題である。

(3) 検討すべき課題

ソフト系科学技術の振興策も、このような問題点の把握のうえに立って検討されるべきである。また、本年度はアンケートによってソフト系科学技術の研究開発側からみて必要とされる振興策を把握したが、それらは断片的なものでしかない。問題点の場合と同様に、ソフト系科学技術の研究動向や歴史的経緯、人的、物的条件との関係を分析した上で、必要な振興策が検討される必要がある。

アンケートで把握された振興策は、上で紹介した問題点の改善を求めるもの（これについては、上に掲げた問題点をそのまま振興策に読み代えればよい）、問題点をもたらす原因の改善を求めるもの（予算の単年度主義の是正、研究者の契約任期制の導入など）などである。残念ながら、振興策として具体的かつ適切な提案はほとんどなく、理念的、個別的な提案が多かった。その意味では、振興策を検討する際に、振興策の目標として、あるいは配慮すべき点として位置付けるべきものである。

そこでここでは、以上の分析およびアンケートの結果などを踏まえて、今後の振興策の検討に際して、考慮すべき事柄をまとめておく。

・基礎的研究に重点が置かれている状況の下では、ソフト系科学技術がどの

ような方向を目指すべきかを明らかにし、関連する人材や研究組織を、方向づけし、組織化していく必要がある。

・また、基礎的研究の成果をいかに応用、開発に結びつけるべきか、あるいは、具体的な政策課題、社会的問題に適用するためにはどのような研究が必要であるのかを明らかにすることが、現在進められている基盤的研究を真にソフト系科学技術たらしめる上で必要である。

・多様な個別科学技術の分野の研究者や研究組織を、ソフト系科学技術の名の下に動員する具体的な仕組みを案出する必要がある。1970年頃のソフト系科学技術が外国からの手法の導入と応用に主眼が置かれたために、基盤的研究、課題領域に関する研究とややもすると遊離しかねなかった。そのために、現在のソフト系科学技術の多大の影響を与えている基盤的研究は、当時のソフト系科学技術とは関係なく発生してきたともいえる。あるいは、当時のソフト系科学技術は、重要な基盤的研究に対して十分な配慮をして来なかった。その結果、ある意味では当時のソフト系科学技術は基盤的領域の研究成果を取込むことなく、気がついたら時代遅れの「旧式技術」になってしまったともいえる。このようなことを避けるためには、ソフト系科学技術を、よその分野から道具を借りてきて、ユーザーにそれを提供するといった「仲介屋」科学技術と捉えるのではなく、基盤的領域から課題領域まで含む科学技術として、シーズとニーズの融合的発展を図る必要がある。そのためには、文科系の学問から工学的分野までを含む多様な科学技術分野を有機的に結合し、動員する仕組みを、ソフト系科学技術推進体制の中に持つ必要がある。

・現在のソフト系科学技術を担う研究人材に必要な専門的能力・知識を明らかにし、それを達成するのに必要な人材養成の形態や養成組織の具体的方策を検討する必要がある。望ましい人材としては、専門家ヒアリング等では広いスペクトルをもった分布があるが、端的にいえば、1) 数理的学問の基礎を十分に身につけた人材、2) 問題発見等創造的過程でセンスの良いソフィステートされた人材、3) 学際研究、ニーズ側との共同研究を推進する上でのコーディネート機能等をこなしうる人材等があげられている。従来の既成学問中心の縦割り型の人材養成組織がソフト系科学技術の人材養成において有効であるか否かを評価する必要がある。

・シンクタンクが従来のソフト系科学技術の研究開発において果たしてきた役割を評価した上で、新しいソフト系科学技術の進展の下で、シンクタンクが果たすべき役割を明らかにする必要がある。

ここに上げたことは、検討課題であり、検討結果ではない。今後は、このような事柄を考慮しつつ、ソフト系科学技術の振興策を検討する必要がある。

第7章 今後の調査課題

a. 昭和62年度調査研究の結果に基づき、当該領域でなお今後調査すべきと考えられる課題には、例えば次のようなものがある。

I. 概念規定

- ・ 暫定規定案に対する研究者・有識者の共感度
- ・ 課題レベル、利用ニーズ側からみたイメージ、特性の把握
- ・ 政策レベルでの有効性・対象明示性・斉合性のある概念規定
- ・ 諸概念規定の階層的構造、ネットワーク構造

II. 研究動向

- ・ 今回レビュー以外の関連領域の把握、調査
- ・ 研究プロジェクト、研究資金ベースにみた研究動向
- ・ 個別研究領域の研究動向の「総合化」（人間個人情報での整理、研究フロンティア別の再整理）
- ・ 活用側との相互作用、連携の実態
- ・ 関連科学技術のライフ・サイクル分析、技術連関分析
- ・ 学会・大学コース設立活動動向の科学社会学的解明
- ・ 民間・官庁開発セクションの実態
- ・ 非論文形態（報告書類）での研究開発動向とそのデータ・ベース、実態分析

III. 振興策ほか

- ・ ソフト系振興による国際貢献、国際環境適応の可能性分析
- ・ 関連周辺分野の振興策との協調の条件分析
- ・ ソフト系科学技術に対する利用側のニーズ実態
- ・ ソフト系に固有な振興策、研究体制のあり方
- ・ 振興波及効果の大きなプロジェクト・共同研究（国内外・産官学・分野横断）のフィージビリティ・スタディ
- ・ ソフト系開発センター（組織・施設の集中・分散）のフィージビリティ・スタディ
- ・ ソフト人材の必要な資質と養成体制
- ・ ソフト人材の将来の必要需要と現状、潜在的研究者層の所在調査
- ・ ソフト系に固有なR&Dマネジメント、ならびにソフト関連基礎研究シフトに伴うマネジメントのあり方

- ・ ソフト系の移転メカニズム、課題適用への条件解明
- ・ シンクタンク機能、官庁政策研究機能のあり方と将来ビジョン
- ・ 研究成果の流通・蓄積とデータベース化

b. 本来、本調査は、開発側利用側の双方からアプローチしてはじめてそのダイナミズムに基づく実態把握が可能となる。次年度以降利用側の実態調査に新たに取り組む中で、開発側の補完調査を加え、研究開発の現状と将来展望をとらえ直すことが必要である。

c. 従来から、新しい性格をもった科学技術が登場するに際しては、概念規定、とりわけその固有な方法論ないし観点を表現することを通じて、加速度的にその自立が促されることが指摘されている。今年度はその調査期間の中でソフト系科学技術の概念規定を社会に問う形でまとめることを急がなかったが、この概念規定の重要さの認識ゆえでもある。しかし、一連のソフト系科学技術の構成要素が既存のdisciplineをもった学問群の中で分散して取り組まれていては、新たな総合化に伴うダイナミズムを享受する前提を確保することができず、その学問としての自立を促すことはできない。また、市民権をもつ概念規定の存在を前提にしてはじめて公共的な支援策も検討することができることから、継続する関連調査の中でさらに議論を詰め、なんらかの帰結を得ることを成果の一つとすべきである。

資料編

資料Ⅰ-1. 第6章付属資料

資料6. 1	専門家アンケート回答者出身学科(年齢ランク別)	1
資料6. 2	専門家アンケート回答者現在専門分野-出身学科対応表	2
資料6. 3	アンケートにみる学会の重要度・関連度	3
資料6. 4	研究分野の将来性	4
資料6. 5	シンクタンク研究員年齢別経歴構成	
資料6. 6	シンクタンク研究員の年齢別出身学科構成	

資料Ⅰ-2. 学会・大学関係資料

資料6. 7	ソフト系科学技術関連学術研究団体一覧(国内)	5
資料6. 8	ソフト系科学技術関連団体一覧(米国内)	8
資料6. 9	ソフト系科学技術関係大学学科設置状況	22
資料6. 10	ソフト系科学技術関係大学院専攻設置状況	26
資料6. 11	ソフト系科学技術関連学会活動分科会動向	30

資料Ⅱ. アンケート、ヒアリング調査関係資料

資料1.	研究者アンケート調査表	36
資料2.	アンケート回答者の現在の専門分野一覧	41
資料3.	ヒアリング項目表	43
資料4.	ヒアリング対象者一覧	45

資料Ⅲ. 訪米調査資料

①	人工知能	46
②	研究技術マネジメント	49
③	科学技術政策・地球規模問題関連	53

全体	-44歳	45-54	55歳-				
42電気・電子・情報	47 26.6	42電気・電子・情報	21 32.8	42電気・電子・情報	18 30.0	42電気・電子・情報	8 15.4
31数学	13 7.3	55その他工学	6 9.4	31数学	6 10.0	31数学	5 9.6
45応用物理	11 6.2	45応用物理	5 7.8	45応用物理	6 10.0	44応用化学	5 9.6
13心理学・哲学	9 5.1	11言語学・文学	4 6.3	71医学	5 8.3	71医学	4 7.7
41機械工学	9 5.1	41機械工学	4 6.3	13心理学・哲学	4 6.7	82教育	4 7.7
71医学	9 5.1	24経済・商学	3 4.7	41機械工学	3 5.0	13心理学・哲学	3 5.8
24経済・商学	8 4.5	13心理学・哲学	2 3.1	43土木・建築	3 5.0	24経済・商学	3 5.8
43土木・建築	8 4.5	21政治学	2 3.1	24経済・商学	2 3.3	35生物学	3 5.8
44応用化学	8 4.5	31数学	2 3.1	32物理学	2 3.3	43土木・建築	3 5.8
11言語学・文学	6 3.4	32物理学	2 3.1	53経営工学	2 3.3	32物理学	2 3.8
32物理学	6 3.4	43土木・建築	2 3.1	61農学・造園学	2 3.3	36地学・地理学	2 3.8
55その他工学	6 3.4	44応用化学	2 3.1	11言語学・文学	1 1.7	41機械工学	2 3.8
82教育	5 2.8	25社会学	1 1.6	14その他人文	1 1.7	52航空工学	2 3.8
53経営工学	4 2.3	38その他理学	1 1.6	36地学・地理学	1 1.7	11言語学・文学	1 1.9
21政治学	3 1.7	46原子力	1 1.6	38その他理学	1 1.7	21政治学	1 1.9
35生物学	3 1.7	51船舶工学	1 1.6	46原子力	1 1.7	48金属工学	1 1.9
36地学・地理学	3 1.7	52航空工学	1 1.6	54工芸	1 1.7	53経営工学	1 1.9
52航空工学	3 1.7	53経営工学	1 1.6	64農業経済	1 1.7	61農学・造園学	1 1.9
61農学・造園学	3 1.7	73薬学	1 1.6	21政治学	-	73薬学	1 1.9
38その他理学	2 1.1	75その他保健	1 1.6	25社会学	-	14その他人文	-
46原子力	2 1.1	82教育	1 1.6	35生物学	-	25社会学	-
73薬学	2 1.1	14その他人文	-	44応用化学	-	38その他理学	-
14その他人文	1 0.6	35生物学	-	48金属工学	-	45応用物理	-
25社会学	1 0.6	36地学・地理学	-	51船舶工学	-	46原子力	-
48金属工学	1 0.6	48金属工学	-	52航空工学	-	51船舶工学	-
51船舶工学	1 0.6	54工芸	-	55その他工学	-	54工芸	-
54工芸	1 0.6	61農学・造園学	-	73薬学	-	55その他工学	-
64農業経済	1 0.6	64農業経済	-	75その他保健	-	64農業経済	-
75その他保健	1 0.6	71医学	-	82教育	-	75その他保健	-
合計(有効)	177		64		60		52

資料6. 2 専門家アンケート回答者現在専門分野一出身学科対応表

学 科	都 市 経 済 行 政	そ の 他 対 象	生 態 学	字 体	都 市 交 通 環 境	経 営 組 織 R&D	大 規 模 ツラスタム	人 文 教 育 応 用	計 算 機 応 用	制 御 技 術	自 然 富 産 地 理	K E A I E S	パ ー タ ン 認 識	認 知 科 学	計 算 重 要 学	属 科 学 等	伝 統 的 ソ フ ト 技 術	制 御 理 論	数 理 科 学	計 算 機	合 計 人 数	関 連 分 野 数
学 科	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	3
理 学 ・ 文 学	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	4
心 理 学 ・ 人 文	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
そ の 他	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
社 会 学	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
経 済 学	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
政 学	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	1	2	0	0	13	5
物 理 学	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5	5
生 物 学	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1
地 球 学 ・ 地 理 学	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
そ の 他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
情 報 工 学	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	2	0	9	9
電 気 工 学	0	0	0	0	0	0	3	2	3	1	3	0	5	3	2	2	0	0	3	0	47	13
機 械 工 学	1	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4
土 木 工 学	0	0	0	1	1	1	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	7	5
応 用 物 理 学	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	2	1	0	1	1	2	0	0	11	6
力 学	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
原 子 工 学	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
船 舶 工 学	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	0	0	0	1	1
航 空 工 学	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	3
空 間 工 学	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	3
工 学	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
そ の 他	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0	4
農 学 ・ 造 園 学	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	2
医 学	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	3
薬 学	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	2
保 健 学	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
そ の 他	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	5	4
校 育	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
合 計 人 数	5	5	4	11	7	9	7	8	9	9	6	12	7	12	6	17	9	12	10	6	173	
関 連 学 科 分 類 数	4	4	4	5	6	6	5	5	6	6	3	6	2	6	4	18	7	4	9	2		

(アンケート結果より)

資料6.3 アンケートにみる学会の重要度・関連度

	幅広い分野と関連を持つ	比較的特定分野と関連を持つ
重要度高い学会	情報処理学会(50/13) 電子情報通信学会(44/13) 計測自動制御学会(33/10) 人工知能学会(27/11) IEEE(26/9) 日本OR学会(23/9) 日本認知科学会(19/7)	電気学会(19/6) 日本ソフトウェア科学会(14/5)
重要度中程度の学会	日本心理学会(12/6) 日本機械学会(10/7) 日本ヒューマンマシン学会(9/6) 日本行動計量学会(8/6) I F S A(8/5) 日本教育心理学会(7/5) 日本品質管理学会(7/5) 日本ロボット学会(7/4) O A 学会(7/4) 日本人同工学会(7/4) 日本自動制御学会(7/4) 日本計画行政学会(6/4) 日本経営工学会(6/4) A A A I(5/5) 日本M E 学会(5/3) 日本都市学会(5/4) 日本創造学会(4/4) 計量言語学会(4/3)	土木学会(9/4) 日本数学会(8/3) 日本自動制御協会(8/4) A C M(8/4) 都市計画学会(6/1) 日本地域学会(6/3) 研究・技術計画学会(6/3) 日本語学会(5/2) 大気汚染学会(4/1) 日本教育工学会(4/2) 日本生理学会(4/1) 日本統計学会(4/2) 理論計量経済学会(4/2) 米國神経学会(4/1) 日本教育学会(4/2) 日本神経学会(4/2)
重要度の比較的低い学会	日本気象学会(3/2) 日本循環器学会(3/2) 日本音響学会(3/3) A V I R G(3/2) 日本英文学会(3/2) A C L(3/2) 日本環境科学会(3/2) 組織学会(3/3) 日本生態学会(3/2) 精密工学会(3/3) 日本経営学会(3/2) L S A(3/2) 日本内科学会(3/2) テレビジョン学会(3/3) 日本新聞学会(2/2) 日本財政学会(2/2) システム学会(2/2) 流体力学会(2/2) 日本哲学会(2/2) Human Factory Soc. (USA)(2/2) 日本自律神経学会(2/2) 情報理論とその応用学会(2/2) 流れの可視化学会(2/2) 国際経済学会(2/2) 日本化学会(2/2) 日本民族学会(2/2) 日本地理学会(2/2) 日本社会心理学会(2/2) 日本ミラーソン学会(2/2) 日本水産学会(2/2) バイオメカニズム学会(2/2) Soc. of Social Economics(2/2) American Economic Ass. (2/2)	応用統計学会(3/1) 造園学会(3/1) R S S(3/1) 化学工業協会(3/1) 不動産学会(3/1) I S I(3/1) 日本動物学会(3/1) 日本火山学会(2/1) 交通工学研究会(2/1) 日本海洋学会(2/1) 日本細胞生物学会(2/1) 日本応用動物昆虫学会(2/1) 金融学会(2/1) 社会・経済システム学会(2/1) 日本経済政策学会(2/1) 国語学会(2/1) 日本動物行動学会(2/1) 日本生物物理学会(2/1) 日本経済工学会(2/1) 日本原子力学会(2/1) 日本昆虫学会(2/1) 日本発生生物学会(2/1) 関西言語学会(2/1) A I C H E(2/1) 比較文明学会(2/2) 日本地質学会(2/2) C A I 学会(2/2) 日本航空宇宙学会(2/2) 日本英語学会(2/2) 応用物理学会(2/2) 人文地理学会(2/2) 日本教育方法学会(2/2) 日本物理学会(2/2)

凡例：学会名（所属数／関連分野数）

（アンケート結果より分析）

注）関連度

重要度

1. 7以上 か又は、
2. 所属 = 2 < 分野数

- 高 14～
 中 4～13
 低 2～3

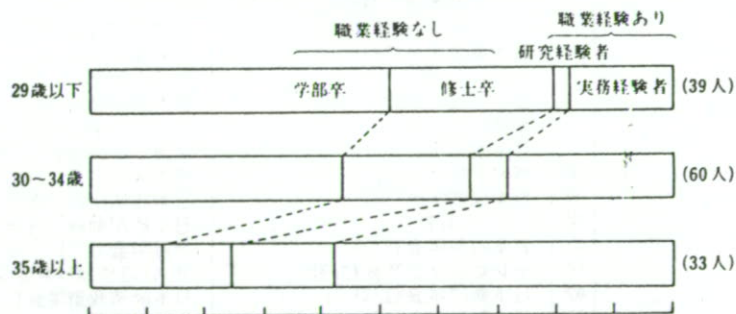
資料6. 4 研究分野の将来性

(単位は%)

将来性判断 分野	将来性判断			平均	標準偏差
	大きく伸びる	大きく伸びる + 伸びる	ほとんど伸び ない		
資源エネルギー	47.7	90.5	1.0	3.366	0.701
通信・情報	45.5	89.2	1.8	3.329	0.715
都市・地域	36.1	90.4	0.8	3.257	0.645
研究開発・技術開発	34.5	82.5	2.3	3.147	0.755
科学技術政策	23.4	71.4	2.9	2.919	0.775
国際経済	21.6	73.7	3.4	2.919	0.759
福祉・教育・医療	19.8	67.4	2.9	2.844	0.766
外交・国防	16.4	54.3	13.1	2.577	0.915
産業構造	16.0	59.7	4.2	2.715	0.780
環境・公害	14.1	62.6	2.9	2.738	0.731
交通・流通	12.2	68.8	2.9	2.780	0.689
芸術・文化	8.0	40.6	21.6	2.273	0.894
一次産業	7.0	26.8	25.3	2.086	0.852
あなたの会社	8.1	62.8	6.1	2.648	0.717

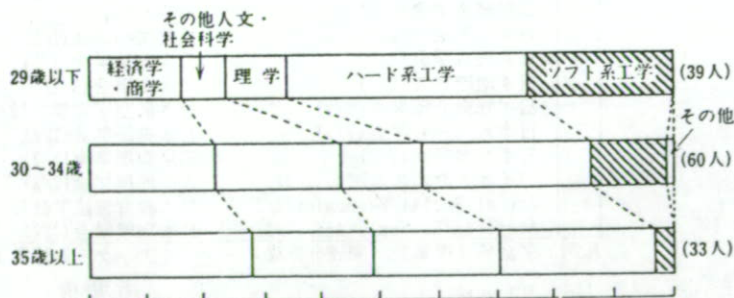
出典；東京大学新聞研「日本のシンクタンク」（東大出版会1985）

資料6. 5 シンクタンク研究員年令別経歴構成



出典；山田・塚原「科学技術のライフサイクル」（東大出版会1986）

資料6. 6 シンクタンク研究員の年令別出身学科構成



出典（同上）

資料 I - 2. 学会・大学関係資料

資料 6. 7 ソフト系科学技術関連学術研究団体一覧（国内）

出典：(1) 日本学術会議監修 『全国学術研究団体総覧 1988』
 （大蔵省印刷局）

(2) 『技術と経済』（(社)科学技術と経済の会）

コード：無印は、出典(1) 記載の学術研究団体の番号

は、出典(2) によるもの（通し番号）

コード	学会名	設立年	個人会員数
1	日本語学会	1938	通常約1000
7	日本音声学会	1926	普通 459
15	国語学会	1944	通常 1960
16	計量国語学会	1941	308
61	日本哲学会	1949	普通 1746
62	哲学会	1884	
66	日本人間学会	1985	
67	日本科学哲学会	1968	正 394
80	意匠学会	1959	正 275
81	日本デザイン学会	1953	正 1200
118	日本教育工学会	1984	正 876
124	日本教育情報学会	1985	専門775一般527
181	日本心理学会	1927	正 4330
182	日本理論心理学会	1956	正 115
183	日本基礎心理学会	1981	正 412
186	日本人間性心理学会	1982	283
187	日本創造学会	1979	正 334
188	日本教育心理学会	1959	正 3400
189	日本応用心理学会	1946	正 1000

関連学術研究団体一覧

コード	学会名	設立年	個人会員数
195	日本社会心理学会	1960	正 740
196	産業・組織心理学会	1985	正 225
201	日本グループ・ダイナミックス学会	1949	正 566
203	日本行動計量学会	1973	正 977
214	日本行動分析学会	1980	226
411	理論・計量経済学会	1949	1660
413	日本経済政策学会	1940	普通 1111
415	社会・経済システム学会	1982	一般 345
422	日本地域学会	1962	500
423	日本計画行政学会	1977	1222
451	組織学会	1959	普通 1004
463	日本リスクマネジメント学会	1978	正 132
468	オフィス・オートメーション学会	1979	正 885
476	日本統計学会	1931	正 1062
612	科学基礎論学会	1954	普通 469
614	(社)情報科学技術協会	1950	普通 812
615	(社)情報処理学会	1960	正 23009
616	C A I 学会	1974	正 600
618	応用統計学会	1981	正 746
635	日本自動制御協会	1957	正 1176
636	(社)計測自動制御学会	1961	正 7935
637	(社)日本経営工学会	1950	正 1724
638	(社)日本品質管理学会	1971	3098
639	(社)日本オペレーションズ・リサーチ学会	1957	正 2275
640	人工知能学会	1986	2000
695	(社)電子情報通信学会	1917	正 31205

関連学術研究団体一覧

コード	学会名	設立年	個人会員数
698	(財)情報通信学会	1983	正 1140
699	日本ソフトウェア学会	1983	正 1202
700	情報理論とその応用学会	1986	正 163
705	画像電子学会	1972	正 1539
731	(社)日本都市計画学会	1951	正 3277
864	システム農学会	1984	215
871	(社)環境情報科学センター	1972	正 1230
895	日本生理学会	1922	一般 3145
909	日本神経科学協会	1974	専門 620
1139	日本医療情報学会	1983	正 864
1154	日本人間工学会	1964	正 1423
# 1	日本認知科学会	1983	
# 2	日本マクロエンジニアリング学会	1985	
# 3	研究・技術計画学会	1985	
# 4	日本セキュリティ・マネジメント学会	1986	

また、今回のアンケート調査によって以下の学会が挙げられた。

交通工学研究会	日本経済情報学会
信頼性技術協会	日本データプロセッシング協会
日本資材管理協会	システム監査学会
コンピュータグラフィック協会	日本シミュレーション学会
視聴覚情報処理研究会 (AVIRG)	リハビリテーション工学協会
リハビリテーション医学会	日本計算機統計学会
ヒューマンインタフェース学会	日本意識工学会

資料6. 8 ソフト系科学技術関連団体一覧（米国内）

出典； Koek, K. E. (eds.) "Encyclopedia of Associations"
22nd edition Volume 1 (Gale Research Company) (1988)

コード； 出典記載の番号

註； Section 4. Scientific, Engineering, and Technical Organizations のうち、比較的活動規模が大きいと思われるものについて収録した。これ以外に、Section 9. Public Affairs Organizations 等にも関連団体が見られると思われる。

[凡例]

コード	団体名（略称）	キーワード（出典記載のもの）
	設立年	会員数
	記事（主要な分野・会員等）	

5588	AMERICAN ANTHROPOLOGICAL ASSOCIATION (AAA)	人類学
	設立 1902	会員数 10000
5639	AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA)	建築学
	設立 1857	会員数 50000
5657	AMERICAN ASSOCIATION FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AAAI)	
	人工知能	
	設立 1979	会員数 14000
	人工知能	
5658	COGNITIVE SCIENCE SOCIETY (CSS)	人工知能
	設立 1979	会員数 800
	心理学、人工知能、認知科学	
5660	SPECIAL INTEREST GROUP ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE (SIGART)	
	人工知能	
		会員数 10094
	A special interest group of the Association for Computing Machinery	
	人工知能	
5682	IEEE CONTROL SYSTEMS SOCIETY (CSS)	自動制御
		会員数 9820
	自動制御システム	

5705 SPECIAL INTEREST GROUP ON COMPUTER AND HUMAN INTERACTION
(SIGCHI) 行動科学

会員数 2400

A special interest group of the Association for
Computing Machinery

コンピュータと人間の相互作用

5852 ASSOCIATION FOR COMPUTING MACHINERY (ACM)

コンピュータ・サイエンス

設立 1947 会員数 75000

- ・コンピュータ科学者、エンジニア、物理科学者、ビジネス・システム・スペシャリスト、アナリスト、計算やデータ処理に関心をもつ社会科学者
- ・研究、設計、開発、作成、技術やコンピューティング・テクニックの応用を含む情報処理の発展。一般的情報処理、貯蔵、検索、送信／コミュニケーション、あらゆる種類のデータ処理に適した言語の奨励。過程の自動制御やシミュレーションの促進。

5853 COMPUTER AND AUTOMATED SYSTEMS ASSOCIATION OF SME (CASA/SME)

コンピュータ・サイエンス

設立 1975 会員数 12000

Sponsored by Society of Manufacturing Engineers
コンピュータ、自動システム

5856 IEEE COMPUTER SOCIETY (CS) コンピュータ・サイエンス

設立 1951 会員数 85000

コンピュータ

5857 IEEE SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS SOCIETY (SMCS)

コンピュータ・サイエンス

会員数 4269

- 人間や機械を含む総合的システム・自然システムの理論的
- ・実用的研究システム、人間、サイバネティックス

5858 INSTITUTE FOR PERSONAL COMPUTING (IPC)

コンピュータ・サイエンス

設立 1983 会員数 5000

パーソナル・コンピュータ

- 5861 SOCIETY FOR COMPUTER SIMULATION (SCS)
 コンピュータ・サイエンス
 設立 1952 会員数 2300
 コンピュータ・シミュレーション
- 5862 SOCIETY FOR INFORMATION DISPLAY (SID)
 コンピュータ・サイエンス
 設立 1962 会員数 2287
 ディスプレイ
- 5863 SPECIAL INTEREST GROUP FOR ARCHITECTURE OF COMPUTER SYSTEMS
 (SIGARCH) コンピュータ・サイエンス
 会員数 4724
 コンピュータ・アーキテクチャ
 A special interest group of the Association for
 Computing Machinery
- 5864 SPECIAL INTEREST GROUP ON COMPUTER GRAPHICS (SIGGRAPH)
 コンピュータ・サイエンス
 設立 1968 会員数 11790
 コンピュータ・グラフィックス
 A special interest group of the Association for
 Computing Machinery
 ←Special Interest Group on Computer Graphics and
 Interactive Techniques
- 5865 SPECIAL INTEREST GROUP FOR COMPUTER PERSONNEL RESEARCH
 (SIGCPR) コンピュータ・サイエンス
 設立 1962 会員数 460
 コンピュータ従事者の選抜、養成、評価、管理
 A special interest group of the Association for
 Computing Machinery
 ←(1966)Computer Research Group
- 5866 SPECIAL INTEREST GROUP FOR COMPUTERS AND SOCIETY (SIGCAS)
 コンピュータ・サイエンス
 会員数 1289
 コンピュータの社会への応用
 A special interest group of the Association for

Computing Machinery

- 5867 SPECIAL INTEREST GROUP FOR DESIGN AUTOMATION (SIGDA)
コンピュータ・サイエンス
設立 1965 会員数 1977
コンピュータの工学設計への応用、特に電気工学分野
A special interest group of the Association for
Computing Machinery
- 5868 SPECIAL INTEREST GROUP ON MANAGEMENT OF DATA (SIGMOD)
コンピュータ・サイエンス
会員数 4737
データベースの技術開発、管理、評価
A special interest group of the Association for
Computing Machinery
- 5869 SPECIAL INTEREST GROUP ON MEASUREMENT AND EVALUATION
(SIGMETRICS) コンピュータ・サイエンス
会員数 1886
コンピュータ・システムの性能の測定、評価
A special interest group of the Association for
Computing Machinery
- 5870 SPECIAL INTEREST GROUP ON MICROPROGRAMMING (SIGMICRO)
コンピュータ・サイエンス
設立 1968 会員数 1801
マイクロプログラム・コンピュータの開発
A special interest group of the Association for
Computing Machinery
- 5871 SPECIAL INTEREST GROUP ON OPERATING SYSTEMS (SIGOPS)
コンピュータ・サイエンス
会員数 8058
コンピュータ・オペレーティング・システム
A special interest group of the Association for
Computing Machinery
- 5872 SPECIAL INTEREST GROUP ON SECURITY, AUDIT AND CONTROL
(SIGSAC) コンピュータ・サイエンス
設立 1980 会員数 1241

- コンピュータ・セキュリティ、会計検査、管理
A special interest group of the Association for
Computing Machinery
- 5873 SPECIAL INTEREST GROUP ON SIMULATION (SIGSIM)
コンピュータ・サイエンス
設立 1965 会員数 2074
コンピュータ・シミュレーション
A special interest group of the Association for
Computer Machinery
- 5874 SPECIAL INTEREST GROUP ON SMALL AND PERSONAL COMPUTING
SYSTEMS APPLICATION (SIGSPCSA) コンピュータ・サイエンス
設立 1975 会員数 4000
小型、パーソナル・コンピューティング・システムの応用
A special interest group of the Association for
Computer Machinery
- 5875 SPECIAL INTEREST GROUP FOR SYSTEMS DOCUMENTATION (SIGDOC)
コンピュータ・サイエンス
設立 1947 会員数 4000
データ処理、情報処理、データ入力
A special interest group of the Association for
Computer Machinery
- 5879 SPECIAL INTEREST GROUP ON SOFTWARE ENGINEERING (SIGSOFT)
コンピュータ・ソフトウェア
設立 1976 会員数 10424
ソフトウェア制作、評価の技術
A special interest group of the Association for
Computer Machinery
- 5950 AMERICAN ASSOCIATION OF COST ENGINEERS (AACE) コスト評価
設立 1956 会員数 6000
コスト評価、コスト管理
- 5971 ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA (ESA) 生態学
設立 1915 会員数 6100
生態学者、動植物やこれらと人間の関わりに関心をもつ科
学者

- 5979 IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY (PES) 電気
 会員数 21286
 電力システム工学
- 5983 ASSOCIATION OF OLD CROWS (AOC) 電子工学
 設立 1964 会員数 24000
 電子戦
 with the full cooperation of the U. S. Department of
 Defence
- 5988 IEEE AEROSPACE AND ELECTRONICS SYSTEMS SOCIETY (AESS)
 電子工学
 会員数 8502
 航空宇宙産業、電子システム
 A society of the Institute of Electrical and
 Electronics Engineers
- 5989 IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY (APS) 電子工学
 会員数 6963
 電磁気学、理論・応用
 A society of the Institute of Electrical and
 Electronics Engineers
- 5990 IEEE CIRCUITS AND SYSTEMS SOCIETY (CSS) 電子工学
 会員数 13383
 回路 方法、アルゴリズム、マンマシン・インタフェース
 A society of the Institute of Electrical and
 Electronics Engineers
- 5995 IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY (IES) 電子工学
 会員数 5334
 電子工学、電気科学の産業的プロセス管理への応用
 A society of the Institute of Electrical and
 Electronics Engineers
- 6000 IEEE RELIABILITY SOCIETY (RS) 電子工学
 会員数 3845
 信頼性などの原理・実践
 A society of the Institute of Electrical and
 Electronics Engineers

6002 INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE)

電子工学

設立 1963 会員数 274000

評議会；海洋工学、パワー・エレクトロニクス、
ロボット工学と自動化、半導体回路

学会；音響・言語・信号処理、航空宇宙と電子システム、
アンテナと伝播、
放送・ケーブル・消費者電子工学、放送技術、
回路とシステム、コミュニケーション、
構成要素・混成物・製造技術、コンピュータ、
消費者電子工学、制御システム、教育、電気絶縁、
電磁気適合性、電子デバイス、
エンジニアリング・マネジメント、
薬学・生物学における工学、
ジオサイエンスとリモート・センシング、
産業電子工学、産業応用、情報理論、計器と測定、
磁気学、マイクロ波理論と技術、
原子核とプラズマ科学、海洋工学、パワー工学、
専門的コミュニケーション、量子電子工学と応用、
信頼性、技術の社会的意味、音波・超音波、
人間とサイバネティックス、自動車技術

←American Institute of Electronics Engineers
(founded 1884)

←Institute of Radio Engineers (founded 1912)

6017 ASSOCIATION OF ENERGY ENGINEERS (AEE) エネルギー

設立 1977 会員数 6200

エネルギー管理、コジェネレーション

6030 ENERGY RESEARCH INSTITUTE (ERI) エネルギー

設立 1980 会員数 2500

代替エネルギー資源

6034 INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENERGY ECONOMISTS (IAEE)

エネルギー

設立 1977 会員数 2200

エネルギー経済学

- 6036 INTERNATIONAL COGENERATION SOCIETY (ICS) エネルギー
 設立 1978 会員数 3600
 コージェネレーション
- 6061 AMERICAN ACADEMY OF ENVIRONMENTAL ENGINEERS (AAEE) 工学
 設立 1955 会員数 2400
 環境工学
- 6063 AMERICAN CONSULTING ENGINEERS COUNCIL (ACEC) 工学
 設立 1973 会員数 4660
 コンサルティング・エンジニアリング企業
- 6069 AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) 工学
 設立 1852 会員数 105953
 民間エンジニア
- 6087 INSTITUTE OF INDUSTRIAL ENGINEERS (IIE) 工学
 設立 1948 会員数 42000
 ・産業エンジニア
 ・人間・材料・器具・エネルギーを集積させたシステムの設計・改良・設置
- 6102 NATIONAL SOCIETY OF PROFESSIONAL ENGINEERS (NSPE) 工学
 設立 1934 会員数 75000
 プロフェッショナル・エンジニア
- 6105 SOCIETY OF AMERICAN MILITARY ENGINEERS (SAME) 工学
 設立 1920 会員数 28000
 軍事エンジニア
- 6112 SOCIETY OF MOTION PICTURE AND TELEVISION ENGINEERS (SMPTE)
 工学
 設立 1916 会員数 9000
 動画、テレビジョン
- 6143 THE COUSTEAU SOCIETY (TCS) 環境特性
 設立 1973 会員数 220000
 環境に関する教育・研究・評価
- 6177 NATURAL RESOURCES DEFENCE COUNCIL (NRDC) 環境特性
 設立 1970 会員数 62000
 天然資源、土地利用、沿岸保護、大気汚染・水質汚濁、原子力安全性、エネルギー生産

- 6187 SIERRA CLUB (SC) 環境特性
 設立 1892 会員数 401000
 自然、自然と人間の相互関係
- 6250 WORLD FUTURE SOCIETY (WFS) 未来
 設立 1966 会員数 30000
 未来予測
- 6290 AMERICAN INSTITUTE FOR DESIGN AND DRAFTING (AIDD)
 グラフィックス
 設立 1959 会員数 3500
 設計・製図、CAD
- 6301 AMERICAN SOCIETY FOR PERFORMANCE IMPROVEMENT (ASPI) 人間工学
 設立 1966 会員数 1100
 人間活動を通じた生産性向上
- 6302 HUMAN FACTORS SOCIETY (HFS) 人間工学
 設立 1957 会員数 4330
 ・心理学者、エンジニア、生理学者など
 ・システムやデバイスの発展にヒューマン・ファクタが関連する部分
- 6303 MTM ASSOCIATION FOR STANDARDS AND RESEARCH (MTMASR) 人間工学
 設立 1951 会員数 1000
 産業工学、産業心理学、人間工学
- 6306 AMERICAN PRODUCTION AND INVENTORY CONTROL SOCIETY (APICS)
 産業工学
 設立 1957 会員数 62500
 最適在庫を決定するための生産・在庫調整管理
- 6309 SOCIETY LOGISTICS ENGINEERS (SOLE) 産業工学
 設立 1966 会員数 9500
 logistics=目標、計画、オペレーションを支援するための、
 必要物に関連する管理工学・技術活動、計画、供給、資源
 維持といった技術・科学
- 6313 AMERICAN SOCIETY FOR INFORMATION SCIENCE (ASIS) 情報管理
 設立 1937 会員数 4000
 記録された専門情報の利用、構成、貯蔵、検索、評価、普及

— (1968) American Documentation Institute

6324 SPECIAL INTEREST GROUP ON INFORMATION RETRIEVAL (SIGIR)

情報管理

設立 1966 会員数 1845

情報の貯蔵、検索

A special interest group of the Association for
Computing Machinery

6377 AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY (AMS) 数学

設立 1888 会員数 20000

数学者

6384 MATHEMATICAL ASSOCIATION OF AMERICA (MAA) 数学

設立 1915 会員数 20000

大学の数学教官、ビジネス・専門にツールとして数学を利用する者

6385 SOCIETY FOR INDUSTRIAL AND APPLIED MATHEMATICS (SIAM) 数学

設立 1952 会員数 6800

- ・数学者、エンジニア、計算機科学者、ビジネスマン、物理科学者、生物科学者、教育者、社会科学者など
- ・産業に役立つ新しい方法・技術への数学の応用の推進、数学・産業・科学各界間の情報交換手段の提供

6462 SOCIETY FOR NEUROSCIENCE (SN) 神経科学

設立 1969 会員数 10000

神経系に関する研究

6503 OPERATIONS RESEARCH SOCIETY OF AMERICA (ORSA)

オペレーションズ・リサーチ

設立 1952 会員数 7000

最適化、確率モデル、決定分析、ゲーム理論などの方法論的問題に従事するまたは関心をもつ数学者、教育者、従業者

6622 AIR POLLUTION CONTROL ASSOCIATION (APCA) 汚染管理

設立 1907 会員数 8000

大気汚染、危険廃棄物管理の問題

6632 WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF) 汚染管理

設立 1928 会員数 32000

水質汚濁管理

- 6649 SPECIAL INTEREST GROUP ON PROGRAMMING LANGUAGES (SIGPLAN)
プログラミング言語
設立 1966 会員数 10509
プログラミング言語
A special interest group of the Association for
Computing Machinery
- 6653 AMERICAN PSYCHOLOGICAL ASSOCIATION (APA) 心理学
設立 1892 会員数 58000
心理学
- 6695 AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY CONTROL (ASQC) 品質管理
設立 1946 会員数 49000
品質管理；品質向上、品質工学、信頼性工学、品質コスト
管理、品質検査開発・運営、検査機能管理、エンジニア・
科学者のための確率・統計、生産責任・防止
- 6696 INTERNATIONAL ASSOCIATION OF QUALITY CIRCLES (IAQC) 品質管理
設立 1977 会員数 6000
クオリティー・サークル (QC)
- 6707 INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL SCIENCES (IES) 研究
設立 1959 会員数 3300
環境科学
- 6711 SOCIETY OF RESEARCH ADMINISTRATORS (SRA) 研究
設立 1967 会員数 1800
研究管理の能率・有効性の向上
- 6719 MACHINE VISION ASSOCIATION (MVA) ロボット工学
設立 1984 会員数 4000
機械視覚
A division of the Society of Manufacturing Engineers
- 6722 ROBOTICS INTERNATIONAL OF SME (RI/SME) ロボット工学
設立 1980 会員数 11500
産業ロボット
- 6723 AMERICAN SOCIETY OF SAFETY ENGINEERS (ASSE) 安全性
設立 1911 会員数 20000
安全性工学、事故防止、安全計画

- 6795 AMERICAN STATISTICAL ASSOCIATION (ASA) 統計学
 設立 1839 会員数 15000
 統計学の理論・方法論・応用
- 6796 BIOMETRIC SOCIETY (IBS) 統計学
 設立 1947 会員数 6000
 生物学者、統計学者、統計テクニックを研究データに応用する者
- 6801 ECONOMIC SOCIETY (ES) 統計学
 設立 1930 会員数 6000
 経済学者、統計学者、数学者
- 6802 INSTITUTE FOR ECONOMIC RESEARCH (IER) 統計学
 設立 1971 会員数 12000
 株式市場、関連する金融現象の科学的研究
- 6803 INSTITUTE OF MATHEMATICAL STATISTICS (IMS) 統計学
 設立 1935 会員数 3000
 数学者、統計学者
- 6817 IEEE SOCIAL IMPLICATIONS OF TECHNOLOGY SOCIETY (SITS) 技術
 会員数 2930
 電子技術の社会的局面の歴史、電気・電子技術の社会・工学に及ぼす影響、工学・関連技術の実践における専門的・社会的・経済的影響
 A society of the Institute of Electrical and Electronics Engineers
- 6826 IEEE COMMUNICATIONS SOCIETY (CS) 電気通信
 会員数 23421
 近年の電気通信の発展に伴う情報の収集・普及、コンピュータの通信への応用
 A society of the Institute of Electrical and Electronics Engineers
- 6827 IEEE INFORMATION THEORY SOCIETY (ITS) 電気通信
 会員数 4960
 通信過程の基礎、情報の送信・利用、ディジタル・アナログ通信送信のコーディング・ディコーディング
 通信システム、検知システム、パターン認識、学習、自動

化を含む分野における情報理論的テクニック開発の研究
A society of the Institute of Electrical and
Electronics Engineers

6841 SPECIAL INTEREST GROUP ON DATA COMMUNICATION (SIGCOMM)

電気通信

会員数 4976

コンピュータ利用可能なデータ通信

A special interest group of the Association for
Computing Machinery

6867 INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS (ITE) 輸送

設立 1930 会員数 7700

輸送工学

6869 TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB) 輸送

設立 1920 会員数 5600

輸送システム

20909 INVEST TO COMPETE ALLIANCE (ITCA) ビジネス

設立 1985 会員数 25000

・個人、製造業・サービス産業の企業

・税制改正立法化によるインパクトに対する抗議

21065 ASSOCIATION OF HUMAN RESOURCES MANAGEMENT AND ORGANIZATIONAL
BEHAVIOR (HRMOB) 行動科学

設立 1975 会員数 2800

・研究者、従業者

・人的資源管理と組織行動に関する研究の理論と実践の提携

21072 ASSOCIATION OF COMPUTER CONSULTANTS (ACC)

コンピュータ・サイエンス

設立 1986 会員数 2000

コンピュータ販売者、コンピュータ・ユーザ、計理士、コ
ンサルタント、商社

21111 INTERNATIONAL SOCIETY OF POLITICAL PSYCHOLOGY (ISPP) 心理学

設立 1978 会員数 1400

・心理学者、精神科医、精神分析学者、政治学者、歴史学者、

社会学者、経済学者、人類学者、官吏

・政治心理学の発展・応用

研究グループ 政治心理学者の倫理的・社会的責任
社会研究における法的権利と責任
政治心理学に関する養成

資料6. 9 ソ 科学技術関係大学学科設置状況

1. 行動科学
 - 北海道大学文学部行動科学科(52)
 - 金沢大学文学部行動科学科(55)
 - 新潟大学人文学部行動科学課程(55)
 - 千葉大学文学部行動科学科(56)
2. 図書館情報学
 - +慶應義塾大学文学部図書館・情報学科(43)
 - 図書館情報大学図書館情報学部図書館情報学科(54)
 - +愛知淑徳大学文学部図書館情報学科(59)
3. 経営情報
 - 佐賀大学経済学部管理科学科(50)
 - 滋賀大学経済学部管理科学科(47)
 - 横浜国立大学経営学部第一部管理科学科(48)
 - 小樽商科大学商学部管理科学科(40)
 - 香川大学経済学部管理科学科(46)
 - *神戸商科大学商経学部管理科学科(37)
 - +広島修道大学商学部管理科学科(44)
 - +横浜商科大学商学部経営情報学科(49)
 - +文教大学情報学部経営情報学科(55)
 - +摂南大学経営情報学部経営情報学科(57)
 - +上武大学経営情報学部経営情報学科(60)
 - +名古屋商科大学商学部経営情報学科(59)
 - +中部大学経営情報学部経営情報学科(58)
 - +甲子園大学経営情報学部経営情報学科(60)
 - +阪南大学商学部経営情報学科(60)
 - +文教大学情報学部情報システム学科(60)
 - +産業能率大学経営情報学部情報学科(53)
 - +南山大学経営学部情報管理学科(60)
 - +専修大学経営学部情報管理学科(47)
4. 政策科学
 - 東京大学教養学部教養学科第三(相関社会科学)(52)
 - 九州大学経済学部経済工学科(52)
 - 和歌山大学経済学部産業工学科(40)
 - 東京工業大学工学部社会工学科(41)
 - 筑波大学第三学群社会工学類(52)
 - 一橋大学社会学部社会問題・政策課程(55)
5. 情報科学
 - +京都産業大学理学部計算機科学科(46)
 - 東京大学理学部情報科学科(50)
 - 東京工業大学理学部情報科学科(45)
 - +東京電機大学理工学部情報科学科(60)
 - +東京理科大学理工学部情報科学科(51)
 - +東海大学理学部情報数理学科(49)
6. 理学系・その他
 - 東京大学教養学部基礎科学科第一(相関基礎科学)(37)
 - 東京大学教養学部基礎科学科第二(システム基礎科学)(56)

- +甲南大学理学部経営理学科(34)
- +慶應義塾大学工学部数理科学科(56)
- 埼玉大学理学部生体制御学科(52)
- 京都大学理学部生物物理学科(42)

7. 機械システム

- 東京農工大学工学部機械システム工学科(58)
- *都立科学技術大学工学部機械システム工学科(60)
- +金沢工業大学工学部機械システム工学科(60)
- +豊田工業大学工学部機械システム工学科(56)
- 畿徳工業大学工学部機械システム工学科(60)
- 長岡技術科学大学工学部機械システム工学課程(51)
- +東京工科大学工学部機械制御工学科(60)
- *都立科学技術大学工学部航空宇宙システム工学科(60)
- 名古屋工業大学工学部第一部生産システム工学科(60)
- 豊橋技術科学大学工学部生産システム工学課程(51)
- 信州大学繊維学部繊維システム工学科(61)
- 東京商船大学商船学部船用制御工学科(52)

8. 情報工学

- 電気通信大学電気通信学部計算機科学科(52)
- 山梨大学工学部計算機科学科(45)
- 筑波大学第三学群情報学類(52)
- 東北大学工学部情報工学科(59)
- 徳島大学工学部情報工学科(48)
- 九州工業大学工学部第一部情報工学科(46)
- 大阪大学基礎工学部情報工学科(45)
- 静岡大学工学部情報工学科(46)
- 岩手大学工学部情報工学科(50)
- 九州大学工学部情報工学科(46)
- 京都大学工学部情報工学科(45)
- 山形大学工学部情報工学科(58)
- 茨城大学工学部情報工学科(44)
- 新潟大学工学部情報工学科(52)
- 宇都宮大学工学部情報工学科(51)
- 福井大学工学部情報工学科(50)
- 信州大学工学部情報工学科(49)
- 名古屋大学工学部情報工学科(60)
- 東京工業大学工学部情報工学科(49)
- 群馬大学工学部情報工学科(48)
- +畿徳工業大学工学部情報工学科(60)
- +相模工業大学工学部情報工学科(52)
- +東京工科大学工学部情報工学科(60)
- +東洋大学工学部情報工学科(51)
- 豊橋技術科学大学工学部情報工学課程(51)
- +金沢工業大学工学部情報処理工学科(45)
- +福山大学工学部情報処理工学科(60)
- 電気通信大学電気通信学部情報数理工学科(48)
- +玉川大学工学部情報通信工学科(47)
- 東京農工大学工学部数理情報工学科(51)
- 金沢大学工学部電気・情報工学科(59)
- 長岡技術科学大学工学部電気・電子システム工学課程(51)
- 東京工業大学工学部電気・電子工学科(49)

熊本大学工学部電気情報工学科(61)
名古屋工業大学工学部第二部電気情報工学科(60)
名古屋工業大学工学部第一部電気情報工学科(60)
琉球大学工学部電子・情報工学科(55)
*都立科学技術大学工学部電子システム工学科(60)
電気通信大学電気通信学部電子情報学科(58)
横浜国立大学工学部第一部電子情報工学科(60)
+久留米工業大学工学部電子情報工学科(59)
+九州東海大学工学部電子情報工学科(60)

9. 都市工学

九州工業大学工学部第一部開発土木工学科(39)
京都大学工学部交通土木工学科(38)
+日本大学理工学部交通土木工学科(55)
鳥取大学工学部社会開発システム工学科(60)
名古屋工業大学工学部第一部社会開発工学科(60)
名古屋工業大学工学部第二部社会開発工学科(60)
東京大学工学部都市工学科(37)

10. 環境工学

大分大学工学部化学環境工学科(49)
+福井工業大学工学部環境安全工学科(54)
宇都宮大学工学部環境化学科(49)
+九州共立大学工学部環境化学科(53)
埼玉大学工学部環境化学工学科(50)
神戸大学工学部環境計画学科(51)
+大阪芸術大学芸術学部環境計画学科(46)
熊本大学工学部環境建設工学科(49)
北見工業大学工学部環境工学科(51)
九州工業大学工学部第一部環境工学科(49)
大阪大学工学部環境工学科(43)
+埼玉工業大学工学部環境工学科(51)
山梨大学工学部環境整備工学科(49)
九州芸術工科大学芸術学部環境設計学科(61)
東京農工大学農学部環境保護学科(48)
愛媛大学農学部環境保全学科(50)
島根大学農学部環境保全学科(47)

11. システム・計測・制御

神戸大学工学部システム工学科(47)
+日本工業大学工学部システム工学科(49)
東京大学工学部計数工学科(37)
神戸大学工学部計測工学科(33)
+慶應義塾大学理工学部計測工学科(32)
京都大学工学部数理工学科(34)
+日本大学生産工学部数理工学科(49)
東京工業大学工学部制御工学科(35)
大阪大学基礎工学部制御工学科(36)
九州工業大学工学部第一部制御工学科(35)
+東海大学工学部制御工学科(44)
+豊田工業大学工学部制御情報工学科(56)

12. 経営工学

- +慶應義塾大学理工学部管理工学科(34)
- +関西大学工学部管理工学科(34)
- +福岡工業大学工学部管理工学科(40)
- +中央大学理工学部一部管理工学科(37)
- +日本大学生産工学部管理工学科(41)
- +長崎総合科学大学工学部管理工学科(47)
- +中央大学理工学部二部管理工学科(37)
- +九州東海大学工学部経営管理学科(51)
- +東京理科大学理工学部経営工学科(42)
- +近畿大学理工学部一部経営工学科(41)
- +東京電機大学理工学部経営工学科(52)
- +日本文理大学工学部経営工学科(42)
- +摂南大学工学部経営工学科(50)
- +成蹊大学工学部経営工学科(37)
- +金沢工業大学工学部経営工学科(40)
- +大阪工業大学工学部第一部経営工学科(51)
- +武蔵工業大学工学部経営工学科(34)
- +大阪工業大学工学部第二部経営工学科(51)
- +東和大学工学部経営工学科(49)
- +東海大学工学部経営工学科(36)
- +大阪電気通信大学工学部経営工学科(40)
- +東京理科大学工学部第一部経営工学科(40)
- +法政大学工学部経営工学科(24)
- +広島工業大学工学部経営工学科(40)
- +近畿大学工学部経営工学科(37)
- +愛知工業大学工学部一部経営工学科(37)
- +青山学院大学理工学部経営工学科(40)
- +東京理科大学工学部第二部経営工学科(51)
- +足利工業大学工学部経営工学科(48)
- +玉川大学工学部経営工学科(37)
- +北海道工業大学工学部経営工学科(42)
- +早稲田大学理工学部工業経営学科(43)
- +千葉工業大学工学部二部工業経営学科(25)
- +神奈川大学工学部工業経営学科(37)
- +千葉工業大学工学部一部工業経営学科(25)
- +芝浦工業大学工学部一部工業経営学科(40)

13. 画像工学

- 千葉大学工学部画像応用工学科(57)
- 千葉大学工学部画像工学科(57)
- +東京工芸大学工学部画像工学科(51)
- 九州芸術工科大学芸術工学部画像設計学科(61)

14. 工学系・その他

- 九州芸術工科大学芸術工学部工業設計学科(43)
- 大分大学工学部組織工学科(48)
- +東亜大学工学部組織工学科(56)
- 長岡技術科学大学工学部創造設計工学課程(51)
- 大阪大学工学部電子制御機械工学科(61)

注) 括弧内は設置年(昭和)、大学名の前の*は公立大学、+は私立大学を示す。

資料6. 10 ソフト系科学技術関係大学院専攻設置状況

1. 行動科学
北海道大学文学研究科行動科学専攻(57)
新潟大学人文科学研究科行動科学専攻(60)
千葉大学文学研究科行動科学専攻(60)
大阪大学人間科学研究科行動学専攻(51)
2. 図書館情報学
+慶應義塾大学文学研究科図書館・情報学専攻(42)
図書館情報大学図書館情報学研究科図書館情報学専攻(59)
3. 経営管理
小樽商科大学商学研究科経営管理専攻(46)
+慶應義塾大学経営管理研究科経営管理専攻(53)
筑波大学社会工学研究科経営工学専攻(54)
4. 政策科学
筑波大学経営・政策科学研究科経営・政策科学専攻(51)
九州大学経済学研究科経済工学専攻(56)
筑波大学社会工学研究科計量計画学専攻(51)
東京大学総合文化研究科広域科学専攻(60)
東京工業大学理工学研究科社会工学専攻(45)
一橋大学社会学研究科社会問題・政策専攻(52)
埼玉大学大学政策科学研究科政策科学専攻(52)
東京大学総合文化研究科相関社会科学専攻(60)
5. 情報科学
東京工業大学理工学研究科情報科学専攻(49)
東京大学理学系研究科情報科学専攻(54)
+東京理科大学理工学研究科情報科学専攻(55)
*大阪府立大学総合科学研究科情報科学専攻(57)
6. 理学系・その他
神戸大学自然科学研究科システム科学専攻(55)
+岡山理科大学理学研究科システム科学専攻(58)
+慶應義塾大学理工学研究科数理科学専攻(51)
京都大学理学研究科数理解析専攻(50)
埼玉大学大学理学研究科生体制御学専攻(56)
東京大学理学系研究科相関理化学専攻(41)
7. 機械システム
長岡技術科学大学工学研究科機械システム工学専攻(55)
豊橋技術科学大学工学研究科生産システム工学専攻(55)
名古屋工業大学工学研究科生産システム工学専攻(60)
東京工業大学総合理工学研究科精密機械システム専攻(48)
東京商船大学商船学研究科船用制御工学専攻(56)

8. 情報工学

- 豊橋技術科学大学工学研究科システム情報工学専攻(61)
- 山梨大学工学研究科計算機科学専攻(49)
- 電気通信大学電気通信学研究科計算機科学専攻(56)
- 九州大学総合理工学研究科情報システム学専攻(54)
- 東京大学工学系研究科情報工学専攻(47)
- 北海道大学工学研究科情報工学専攻(48)
- 東北大学工学研究科情報工学専攻(48)
- 名古屋大学工学研究科情報工学専攻(48)
- 九州大学工学研究科情報工学専攻(49)
- 京都大学工学研究科情報工学専攻(49)
- 九州工業大学工学研究科情報工学専攻(50)
- 静岡大学工学研究科情報工学専攻(50)
- 茨城大学工学研究科情報工学専攻(51)
- 群馬大学工学研究科情報工学専攻(52)
- 徳島大学工学研究科情報工学専攻(52)
- 東京工業大学理工学研究科情報工学専攻(53)
- 信州大学工学研究科情報工学専攻(53)
- 福井大学工学研究科情報工学専攻(54)
- 岩手大学工学研究科情報工学専攻(54)
- 豊橋技術科学大学工学研究科情報工学専攻(55)
- +金沢工業大学工学研究科情報工学専攻(55)
- 宇都宮大学工学研究科情報工学専攻(55)
- 新潟大学工学研究科情報工学専攻(56)
- 熊本大学工学研究科情報工学専攻(58)
- 広島大学工学研究科情報工学専攻(61)
- +成蹊大学工学研究科情報処理専攻(47)
- 電気通信大学電気通信学研究科情報数理工学専攻(52)
- 九州芸術工科大学芸術工学研究科情報伝達専攻(52)
- 東京農工大学工学研究科数理情報工学専攻(55)
- 長岡技術科学大学工学研究科電気・電子システム工学専攻(55)
- 琉球大学工学研究科電気情報工学専攻(60)
- 名古屋工業大学工学研究科電気情報工学専攻(60)
- 筑波大学工学研究科電子・情報工学専攻(55)
- 東京工業大学総合理工学研究科電子システム専攻(49)
- 横浜国立大学工学研究科電子情報工学専攻(60)

9. 都市工学

- 横浜国立大学工学研究科計画建設学専攻(60)
- +日本大学理工学研究科交通土木工学専攻(54)
- 東京工業大学総合理工学研究科社会開発工学専攻(48)
- 名古屋工業大学工学研究科社会開発工学専攻(60)
- 筑波大学社会工学研究科都市・地域計画学専攻(53)
- 東京大学工学系研究科都市工学専攻(41)

10. 環境科学・工学

- 大分大学工学研究科化学環境工学専攻(54)
- 東京工業大学総合理工学研究科化学環境工学専攻(49)
- 北見工業大学工学研究科化学環境工学専攻(59)
- + 福井工業大学工学研究科環境安全工学専攻(60)
- 宇都宮大学工学研究科環境化学専攻(53)
- 埼玉大学工学研究科環境化学工学専攻(54)
- 筑波大学環境科学研究科環境科学専攻(52)
- 神戸大学自然科学研究科環境科学専攻(56)
- 北海道大学環境科学研究科環境計画学専攻(50)
- 神戸大学工学研究科環境計画学専攻(55)
- 熊本大学工学研究科環境建設工学専攻(53)
- 九州工業大学工学研究科環境工学専攻(53)
- 大阪大学工学研究科環境工学専攻(47)
- 広島大学工学研究科環境工学専攻(52)
- 北海道大学環境科学研究科環境構造学専攻(51)
- 山梨大学工学研究科環境整備工学専攻(53)
- 東京農工大学農学研究科環境保護学専攻(52)
- 北海道大学環境科学研究科環境保全学専攻(52)
- 島根大学農学研究科環境保全学専攻(53)
- 愛媛大学農学研究科環境保全学専攻(54)
- 東京農工大学連合農学研究科資源・環境学専攻(60)
- 北海道大学環境科学研究科社会環境学専攻(52)

11. システム・計測・制御工学

- 東京工業大学総合理工学研究科システム科学専攻(52)
- + 東京電機大学理工学研究科システム工学専攻(56)
- 神戸大学工学研究科システム工学専攻(51)
- 広島大学工学研究科システム工学専攻(52)
- + 東京電機大学理工学研究科応用システム工学専攻(58)
- 東京大学工学系研究科計数工学専攻(41)
- + 慶應義塾大学理工学研究科計測工学専攻(36)
- 神戸大学工学研究科計測工学専攻(39)
- 京都大学工学研究科数理工学専攻(38)
- * 大阪府立大学工学研究科数理工学専攻(50)
- + 日本大学生産工学研究科数理工学専攻(55)
- 東京工業大学理工学研究科制御工学専攻(39)
- 九州工業大学工学研究科制御工学専攻(40)
- 東京工業大学総合理工学研究科物理情報工学専攻(47)

12. 経営工学

- +慶應義塾大学理工学研究科管理工学専攻(38)
- +日本大学生産工学研究科管理工学専攻(45)
- 東京工業大学理工学研究科経営工学専攻(39)
- +青山学院大学理工学研究科経営工学専攻(44)
- 電気通信大学電気通信学研究科経営工学専攻(46)
- *大阪府立大学工学研究科経営工学専攻(46)
- +東京理科大学理工学研究科経営工学専攻(47)
- +東海大学工学研究科経営工学専攻(49)
- +大阪工業大学工学研究科経営工学専攻(50)
- +武威工業大学工学研究科経営工学専攻(56)
- +金沢工業大学工学研究科経営工学専攻(57)
- +東京理科大学工学研究科経営工学専攻(58)

13. 14. 画像工学・工学その他

- +東京工芸大学工学研究科画像工学専攻(53)
- 大阪大学工学研究科プロセス工学専攻(51)
- 東京農工大学工学研究科材料システム工学専攻(61)
- 神戸大学自然科学研究科生産科学専攻(54)
- 新潟大学工学研究科生産科学専攻(61)
- 熊本大学工学研究科生産科学専攻(61)
- 千葉大学工学研究科生産科学専攻(61)
- 岡山大学工学研究科生産開発科学専攻(60)
- +玉川大学工学研究科生産開発工学専攻(55)
- +豊田工業大学工学研究科生産基礎工学専攻(59)
- *姫路工業大学工学研究科生産工学専攻(56)
- 北海道大学工学研究科生体工学専攻(54)
- 広島大学工学研究科設計工学専攻(52)
- 大分大学工学研究科組織工学専攻(54)
- 長岡技術科学大学工学研究科創造設計工学専攻(55)

年度 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987

(エレクトロニクス研究グループ)

年度	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
機構部品	352	386	391	398	407	410	426	408	
磁気記録	417	454	485	507	541	582	631	599	
超伝導エレクトロニクス				224	232	245	245	236	
電子デバイス	449	504	552	589	602	629	684	689	電子ディスプレイ 388
電子部品・材料	488	520	565	593	607	664	712	685	
電磁界理論									
半導体・トランジスタ	509	521	554	570	597	626	666	630	
光・量子エレクトロニクス	509	582	608	639	668	681	725	690	
マイクロ波	381	398	405	410	400	416	439	437	有機エレクトロニクス..... 1180 超高速光エレクトロニクス. 176 光集積回路..... 1187
医用電子・生体工学	457	488	503	501	497	505	511	485	(情報・システム研究グループ) MEとサイバネティクス オフィスシステム 382
画像工学	521	598	649	690	698	747	785	788	言語処理とコミュニケーション 384
電子計算機	616	642	681	714	711	728	733	648	コンピュータシステム 378
オートマトンと言語	413	449	467	464	463	482	506	472	コンピューターション 人工知能と知識処理 718 ソフトウェアサイエンス 419 データ工学 348
パターン認識と学習	549	594	632	681	680	705	714	719	パターン認識・理解 フォールトトレラントシステム 326 並列処理 1185 ネット理論 1181

情報処理学会 研究会の設置状況と会員数の推移

年度	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
会員数	12001	13821	15308	16319	18928	18333	19378	21803	24825	

計算言語学	182	211	256	284	335	384	461	537	548	
データベース管理システム	292	374	341	373	372	376	426	485	473	
人工知能と対話技法	175	257	308	358	402	548	724	949	1042	
記号処理	136	166	222	245	290	335	406	441	473	
ソフトウェア工学	294	389	409	430	379	461	533	587	604	
マイクロコンピュータ	233	273	286	320	348	379	407	404	300	
計算機アーキテクチャ	195	242	286	299	310	330	392	413	407	
計算機システムの解析と制御	182	216	208	207	219	232	313	372	361	
医療情報処理	131	178	188	183	174					
イメージ・グラフィック	132	210	227	249	273	321	387	419	406	
電子装置設計技術	(28)	134	146	220	247	289	341	404	405	
コンピュータ・ネットワーク	232	350	349	339	334	322	357	449	445	
分散処理システム										
日本語入出力	(25)	(11)		254	237	247	283	309	334	
日本語入力方式										
日本語文書処理										
文書処理と ヒューマン・ファクター										
総合CAD/CAM	(16)	(3)		294	317	427	515	580	584	
コンピュータ・グラフィックスとCAD グラフィックス										
数値計算	(7)	(4)		222	223	254	285	285		
数値解析										
ソフトウェア基礎論	(3)	(4)		294	322	381	382	419		
ソフトウェア基礎論										
情報システム							415	383	380	
プログラミング言語							458	445		
情報学基礎									317	
データベース理論	(21)	(21)	(13)	(9)						
データベース工学										
情報処理教育	(15)	(16)	(11)	(8)						
情報処理専門教育										
教育調査委員会										141

凡例： _____ ; 委員会 ; 研究委員会
 数 ; 会員数 () ; 委員数 [] ; 開催回数

日本ソフトウェア科学会 研究会の設置状況と会員数の推移

年度	1983	1984	1985	1986	1987
会員数	516	1092	1319	1519	

関数的プログラミング

数式処理

知識プログラミング

プログラム合成/変換

ワイルド指向コンピュータ

論理と自然言語

ヒューマンインタフェース

人工知能学会 研究会の設置状況と会員数の推移

年度	1986	1987
会員数	1660	

人工知能基礎論

ヒューマンインタフェースと
認知モデル

人工知能ツールと
知識システム

日本オペレーションズ・リサーチ学会 研究部会・研究グループの設置状況

年度 1982 1983 1984 1985 1986 1987

- 凡例： _____ ; 研究部会…設置期間2年(1年は延長可能)
 _____ ; 常設研究部会…6年程度の部会設置が妥当性を失わない分野(1984-)
 ; 研究グループ…終了研究部会を対象とした学会活動
 註： 地域ごとに同一・類似テーマについて複数の部会等がある場合は統合して記述

創造性開発の数学モデルと
 創造性開発の数学モデルと

経営コンサルタント 経営研究 日本的システム科学.....
 政策問題 政策科学/政策問題.....
 予測とその周辺課題 予測と周辺課題
 交通問題 交通問題 交通・流通システム.....
 環境システム
 決定理論と 決定モデルとその応用 決定理論と
 その周辺/応用 その応用.....
 混雑現象と 待ち行列 待ち行列
 待ち行列 システム

分散システム

未来分析 社会経済分析.....
 確率モデルとその応用 確率モデルとその応用.....
 数理計画法 数理計画.....
 システム最適化 最適化とその周辺

OR/MSとシステム・マネジメント

ビジネスゲーム
 エネルギーモデル
 OR・マネジメントシステム
 第3世界とマイコン.....

信頼性・保全性

現場のOR教育

意思決定のための会計情報

分散システム

ORに関する数学的研究

D.P. 動的計画法

地域政策

OR業務の創造的マネジメントシステム設計

新社会システム

最適化とその応用

対話型OR

日本心理学会 大会の部門とテーマ数

年度 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986

部門	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
原理-方法	3	1	1	3	2	4	2	3	2
方法-測定		2	1						
数理					2				
数理-計量							1	1	1
生理	7	9	5	12	12	17	11	17	13
脳波-誘発電位			3						
感覚-知覚	13	13	11	13	14	20	15	17	15
知覚									
感覚-知覚									
認知			3	5	8	9	9	9	10
行動	8					3	5	3	4
行動									
動作			2						
動機づけ-感情	2								
情動-感情				2					
情動-動機					3				
情動-感情						4			
感情-情緒							3		
感情-情緒								3	
感情-情緒									4
感情-情緒									
動機づけ			1	1					
動機づけ						2			
動機づけ									1
学習	5	6	6	9	6	11	8	8	7
記憶	5	4	3	6	4	9	6	5	5
思考	1	1	1	2	2	2			
思考-言語							8	5	7
言語	4	2	3	4	3	4			
言語									
遺伝-本能	1								
本能-遺伝			1	2	2				
発達	18	18	7	17	15	26	17	13	14
人格	7	7	6	8	8	14			
パーソナリティ							9		
人格									9
社会	6	6	8	11	16	16	9	12	10
社会-集団									
社会-文化									
社会-集団-文化									
社会-集団									
臨床	8	9	7	11	12	18			
臨床-障害							12	13	13
心身障害									
非行-犯罪	1								
矯正-非行-犯罪			1	1	1				
非行-犯罪						2			
非行-犯罪							1	1	1
社会病理									
産業	4	4	4	5	4	7			
産業-交通							5	4	4
教育		4							
教育			2	2	3	3	1	3	2
特殊教育			3	2	3	4			

昭和62年度 科学技術庁委託調査研究

ソフト系科学技術分野の研究者に対するアンケート調査票

☆ご回答の内容については、ご本人の承諾を得ずにお名前を出して引用することはありません。

☆本アンケートについてのご質問があれば

(財) 政策科学研究所

までお問い合わせ下さい。

〒100 東京都千代田区永田町2-4-11

☎ 03-581-2141

(担当者 主任研究員 大熊和彦、伊東慶四郎)

☆本アンケートは、できるだけ 3月5日(土) までにご投函下さい。

【回答者ご本人に関する各事項を空欄にご記入下さい】

F-1 氏名、年齢

フリガナ		年齢
氏名		才

F-2 勤務先・連絡先 ※アンケート結果要約の郵送先とさせていただきます。

勤務先組織名	
役職名	
住所	

F-3 最終学歴の学部学科(相当)名

F-4 主な内外所属学会(3番目までは研究活動の基礎をおく順番にご記入下さい)

1番目:		4	
2番目:		5	
3番目:		6	

F-5 大学卒業(相当)時以後の専門領域の推移

例 応用化学→品質管理→情報科学→経営科学→

└──────────┘

【ソフト系科学技術に関連したあなたの研究活動とその分野の動向等についてお伺いします】

A-1 ソフト系科学技術に関連し、あなたが最近取り組んでいる研究課題、および著作（学術的なものに限定しません）のうち、主なものをそれぞれ3つ以内選びご記入下さい。

a. 研究課題

①	
②	
③	

b. 著作（論文・論説・解説、成書類の名称）

①	
②	
③	

A-2 (1) ソフト系科学技術に関連するあなたの最も重要な「関心領域」をご記入下さい。「関心領域」とはあなた個人の関心の高い研究領域を意味し、研究成果や研究実施の有無を問いません。

--

(2) あなたの上記「関心領域」の研究推進上関係のある「背景的学問分野」を列举して下さい。「背景的学問分野」とは、方法論上の基礎となる学問や、共通の対象であっても扱うレベルが異なる先行学問領域などを意味します。

--

A-3 あなたの現在の「専門分野」をご記入下さい。ご記入いただく、「専門分野」は、「関心領域」と重なっていても結構です。またソフト系科学技術の構成分野に限定せずに、ソフト系科学技術の成果などのインパクトをうけるものでも結構です。「専門分野」としては、パターン認識、創造性開発手法など、ある程度の研究者群の存在が想定される大きさで、かつ大学の学科（情報科学、環境科学など）や大規模学会（化学、機械など）の名称のように広すぎないレベルでお答え下さい。

--

*これ以降は、すべて、この「専門分野」についての設問です。

A-4 当該専門分野では、近年および近い将来に（1970～2000年位）、中心的テーマ、フロンティア領域、研究上のキー・コンセプトなど研究内容に変化が認められますか。また想定できますか。もしあれば具体的にご指摘下さい。

a. ある

b. ない

A-5 当該専門分野で、近年および近い将来（1970～2000年位）の研究の進展を支えた（あるいは、支える）重要な理論・方法・知見等にはどのようなものがありますか。またその中に大きな変化が認められますか。具体的にご指摘下さい。

A-6 当該専門分野で、これまで（過去15年程の期間を中心に）生み出された代表的な研究成果をお教え下さい。またその研究成果の代表的な活用事例ないし応用領域などがあれば（また想定できれば）具体的にお教え下さい。

【当該専門分野の研究体制などについてお伺いします】

B-1 我が国における当該専門分野の関連研究者の数は、およそ 人（うち大学 % 民間 %）

活発な活動をしている研究者（所属組織）・研究機関の名をできるだけ挙げて下さい。

B-2 我が国の当該専門分野の研究者の養成コースとして機能している大学(院)の学科・講座などがあれば、その名称を列举して下さい。

- a. ある
- b. ない

B-3 内外の当該専門分野の重要な研究組織(学会ないしその分科会、私的研究グループなど)および学術専門雑誌の名称を具体的にお教え下さい。

研究組織	
学術専門誌	

【当該専門分野の研究水準や国際的特徴についてお伺いします】

C-1 当該専門領域での研究主導国とその研究機関例および我が国の研究水準について、過去(15年程前)と現在の評価をお教え下さい。

過去(15年程前) : 国際的な研究主導国と
その研究機関例

現在 : (同上)

我が国の
研究水準

1. 抜き出ている
2. 国際水準にあり競合状態である
3. 他の先進国にリードされている(数年遅れ)
4. 相当遅れている
5. 比較できない(研究内容のすみわけ状態など)
6. わからない

(同上)

C-2 我が国と比べて、外国の研究先進国で特記すべきソフト系科学技術の研究事情の特徴があればお教え下さい。

【当該専門分野の研究推進上の問題点や振興策などについてお伺いします】

D-1 我が国の研究推進上の問題として特に重大だと思われるものをご指摘下さい。

キーワード例 研究人材、研究資金、設備、学術基盤・社会基盤、研究の場、研究推進メカニズム、マネジメント

D-2 研究者の側からみて研究成果の利用面に問題があればご指摘下さい。

キーワード例 情報・知識の不足・誤解、利用基盤条件、制度・風土

D-3 国の行う研究開発振興策として有効と思われるものを例示して下さい。その場合対象がソフト系科学技術であるために特に配慮すべき点があればご指摘下さい。

キーワード例 研究プロジェクト発注増・モデル重点研究、予算制度・運用方式改革、基盤・基礎技術支援、研究機関助成、人材・情報交流制度、人材育成機関設置、研究開発指針（ガイドライン）などの整備、ソフト系科学技術の成果の積極活用、社会的評価基盤（顕彰等）などの整備

資料2. アンケート回答者の現在の専門分野一覧

環境心理学、野外観察学、景観体験学
 環境変化、影響評価、植物-環境相互作用
 都市・地域・地区・土木施設の計画と設計
 交通計画、都市計画
 土地利用
 環境緑地学
 沿岸域学
 地球物理学
 エネルギー経済
 経済立地論
 地域研究
 環境アセスメント
 都市システム論、都市モビリティとモデリング、都市環境計画、予測等
 都市経済論
 自然地理学的土地分類
 大気汚染
 都市土地利用論

資源分布時空論、海洋生物生理生態
 水産システム工学
 時間生物学(生物振動論)
 循環系、骨筋関係、神経系、代謝系の宇宙医学
 及びその他の宇宙医学、生理学に関する分野一般
 心電図のコンピューター処理
 ヒューマンエソロジー(を含む動物行動学(エソロジー))
 植物組織培養学
 生物学(全般)
 行動学(但し動物学の範疇をこえて)
 人間工学
 人間工学、システム工学

情報セキュリティ、符号理論、移動通信方式
 システムセキュリティ
 巨大システムの安全性
 原子力システムの安全性評価、原子力政策科学
 フォールト・トレラント・システム
 災害情報論
 原子炉設計、原子炉制御
 システム監査、セキュリティ・マネジメント
 信頼性工学
 システム安全工学

政策科学(とくに科学技術政策)
 材料工学、知的所有権(経営面)
 経営情報システム
 経営戦略論、組織論
 R&Dマネジメント
 研究マネジメント
 情報制度論
 経営管理会計、経営科学(多目原計画法)、財務
 管理、不確性の評価・分析(7.5-他)
 多目的意思決定分析
 多目的意思決定
 技術哲学
 社会システム論(情報科学的アプローチ)
 公共経済学「公共選択理論」
 応用ミクロ経済理論
 国際経済学
 資源論のメタ分析(理解力、利用の生産性能力) 社会と労働組合の在り方
 社会システムの概念化、モデリング、最適化
 コンピューター民族学
 (人文化学におけるコンピュータ応用、モデル論的アプローチ)

プログラミングによるエンジニアの心理モデル
 人間 Parallel Distributed Processing 及び
 ヒューマンインタフェース

こころの場所の学問(その創造)
 教育課程論
 人間形成論、交通教育学(含安全学、危険学)
 心身相関(特に東洋医学との関係に於て)

システム制御理論、信号処理
 制御工学
 非線形システムの制御理論
 通信方式、環境電磁工学、電気応用計測
 化学プロセスの運転管理技術の知能化
 数値解析、計算数学
 プロセスシステム工学
 システム制御理論と応用、特に適応制御
 制御理論
 信号処理
 通信トラヒック工学
 電力系統工学
 情報通信システム
 コンピューターアーキテクチャ
 制御工学、制御理論とその応用
 プロセスシステム工学
 マイクロコンピュータ応用
 数値解析
 流体力学の数値解析、プログラム開発(非線形)
 サーボ系の制御
 パソコン、ワークステーション、OS、コンパイル、ネットワーク

数理的-一般システム理論
 離散事象システム(とくにベトリネット関連)
 離散事象システム論
 ネット理論
 システム工学システムズ・アプローチ
 数理工学(情報幾何学、グラフ理論)
 数理科学(応用数学、確率論、数理モデル、統計学)
 科学方法論(仮称)
 オペレーションズ・リサーチ(軍事)
 時系列解析
 複雑系としての数学

データベース
 シミュレーション、MC応用データベース
 データベースシステム、アルゴリズム論、ソフトウェアの高信頼化技法
 情報の検索と流通利用

テキスト・データベースを用いた科学史上の新しい手法の研究

情報科学、人工知能
機械学習(知)、人工知能、認知科学(知)
認知科学とくにインターフェイス関係
最適化理論、パターン認識、推論
医療における意思決定
官能検査、感覚と感情の計量
人工知能の基礎(知識表現、推論)
認知科学(インテリジェンス技術)とヒューマンインターフェイス技術
授業改善、教育工学
知能ロボット
マシーンインテリジェンス
知識工学
コンピューターケミストリー
デザイン方法論

知識工学

人工知能の産業社会分野への応用
教育工学
教育メディア論
設計における創造性発動機構の解明と
モデリング化
創造性育成法
病院経営工学、創造性工学
インターナル・コントロール・システム
連想記憶(学習理論)モデル
子どもの文法獲得のメカニズム
環境構造の分析と概念の因果関係の成立とその言語化
権力の構造的歴史心理的分析

あいまい工学

ファジー理論、ネットワーク理論
信頼性、待ち行列理論
質的なものの数量化の方法論
ファジー理論(特に制御、エキスパートシステム、意思決定、画像処理への応用)
ファジイ理論

並列処理、コンピュータ・キタウ、プログラミング言語、ソフトウェア科学
論理プログラミング
プログラミング言語
並列処理、プログラミング言語
情報処理システム設計、診断
情報システム処理能力分析、評価
システム監査技術
問題解決、構造化手法
プログラミング言語、並列処理

形式化に重点を置く言語学
語用論的知識を活用する意味論
形式意味論(言語情報処理と認知)
計算言語学
言語学(意味論、語用論)
言語心理学、思考心理学
計算言語学
構造シンセシスへの知識工学的接近

自然言語処理
自然言語処理、パターン認識、機械翻訳
) 自然言語処理
日本語処理
自然言語処理
エキスパートシステム、自然言語処理、機械翻訳

音声情報処理
パターン認識、学習、画像処理、多変量データ解析分野の理論的(数理的)基礎、その他
数理情報科学一般
CAD/CAM技術(主に組み立て、加工、組立)
コンピュータグラフィックス、ロボティクス工学
生体情報工学(視覚情報処理)
パターン情報処理
パターン認識
パターン認識

(およびコンピュータの応用システムの研究)

神経生理学、神経薬理学

記憶の神経生理学、行動発現の脳内機構

脳生理学

神経生理学

生体の計測、同定、制御

(神経回路の情報処理)

応用神経情報工学

大脳の神経科学

パターン認識を中心とする生体情報処理

バイオフィードバック、心理的セルフコントロール

神経心理学

生物情報科学

MIS、知識工学、大規模システムの計画法

企業情報システム

品質管理

教育測定学、テスト理論、テスト開発

実験計画法

保健管理学

素粒子物理実験

企業戦略

火山現象の物理学

有機合成

鉱床学、地球化学

資料3. ヒアリング項目表

☆ソフト系科学技術の概念規定等については、さしあたり先生が現在お持ちのイメージでご判断ください。

ただし、既に伝統的な科学技術分野として確立している、狭義の計算機ソフトウェアについては、ソフト系科学技術の基盤的科学技術の一つとみなし、今回のソフト系科学技術そのものの検討の直接的な対象からははずす考え方です。

◎各先生に対するヒアリングでは、以下のような項目について質問をさせて頂き、直接的なご回答・ご示唆または調査方法についてのご教示をお願いすることになります。できるだけご意見をお伺い致したく存じます。

1. ソフト系科学技術に関する全体的イメージ・概念規定

<ソフト系科学技術のイメージ等についてお伺いします>

- ・ソフト系科学技術の概念規定
- ・ソフト系科学技術の最近20年間の変化

2. ソフト系科学技術の研究開発の内容

<先生のソフト系科学技術関連の専門活動についてお伺いします>

- ・ソフト系科学技術関連の研究開発に携わった経過
- ・過去の関連研究開発の実績およびその典型事例
- ・現在および今後の研究開発の計画と展望

<先生の専門活動の研究開発の進め方についてお伺いします>

- ・関連する内外学会・研究会、学術・情報誌
- ・研究開発体制

研究組織、交流・発表機会、研究資金の性格など

<先生のご専門の分野についてお伺いします>

- ・中心的テーマおよび主な手法の推移、世代的イメージ
- ・周辺諸科学技術からの影響、周辺諸科学技術への影響
- ・活用可能な問題領域と展望
- ・我が国の開発の特徴、水準・開発力（推移）、および外国事情
- ・研究者の量的質的状況、分布状況、および育成形態
- ・とくに優れた研究者・機関・団体

3. ソフト系科学技術の活用面の現状と将来展望

＜ご専門の分野での成果の実社会での活用をめぐってお伺いします＞

- ・ 成果の代表的活用事例、その利用主体・中心的手法
- ・ 成果の普及度、活用状況、活用上の問題点
- ・ 近い将来見込める成果の活用の展望

4. ソフト系科学技術の先端分野、体系化およびその評価について具体的に

＜ソフト系科学技術の先端的中心的分野についてお伺いします＞

- ・ 先端的中心的分野とその評価
- ・ その進展に寄与する科学技術、進展により貢献の期待できる領域

＜ソフト系科学技術の体系的捉え方と全体的な評価をお伺いします＞

- ・ ソフト系科学技術の体系化に有用な軸・視角
- ・ 基盤的な諸科学技術、とくに推進力となるもの
- ・ 影響を与える周辺科学技術、また、期待される問題領域・機能
- ・ ソフト系科学技術の世代的性格
- ・ ソフト系科学技術の効用
- ・ 研究開発の遅れ・歪みの有無とダメージの内容

5. ソフト系科学技術の振興策

ソフト系科学技術の振興につながる直接的・間接的な方策として有効と考えられるものをお教え下さい。現在の振興上の問題点、関連主体のとるべき留意点をご指摘下さい。

6. 参考資料

先生のソフト系科学技術関連のレビュー・解説等のなかで代表的な著作を二、三お教え下さい。

また、関連分野で他の研究者による注目すべきレビュー・解説等をご指摘願えましたらお教え下さい。

7. 今後の調査の進め方

ご専門の、および関連の分野で、さらにヒアリング・アンケート調査、シンポジウム等を進める場合、推薦する対象者の氏名、調査の有効な方法についてお教え下さい。

また、ご専門の分野の研究開発と成果の活用について近年の進捗状況をレビューすることになった場合、その適切な方法や推薦できる研究者についてお教え下さい。

資料4. ヒアリング対象者一覧(敬称略、順不同)

相磯秀夫 慶大教授, 伊理正夫 東大教授, 伊藤 滋 東大教授, 茅 陽一 東大教授, 佐伯 胖 東大助教授, 清水 博 東大教授, 菅野道夫 東工大教授, 鈴木則久 日本IBM, 直井 優 大阪大教授, 長友信人 宇宙科研教授, 平沢 冷 東大教授, 松井 好 立大教授, 宮川公男 一橋大教授, 山田圭一 筑波大教授, 吉川弘之 東大教授, 山本 泰 東大助教授, 村上陽一郎 東大教授, 西脇 与作 慶大助教授, 烏井弘之 日経編集委員, 南 正名 (財)家族計画国際協力財団, 秋元常彦 東芝, 浜野保樹 放送教育開発センター助教授, 市川伸一 埼大助教授, 橋爪大三郎 社会学者, 佐和隆光 京大教授, 海保博之 筑波大助教授, 坂元慶行 統計数理研助教授

資料Ⅲ．訪米調査資料

① 人工知能関連

1. 訪問日程

昭和63年2月 8日	マサチューセッツ工科大学
2月 9日	エール大学
2月11日	ラトガーズ(ニュージャージー州立大学)
2月12日	カーネギーメロン大学
2月15日	イリノイ大学
2月16日	(MCC)マイクロエレクトロニクス&コンピュータテクノロジーコーポレーション テキサス大学
2月18日	SR I インターナショナル
2月19日	ゼロックスパロアルトリサーチセンター カリフォルニア大学

2. 訪問先組織、面会者

- ※ MIT (Massachusetts Institute of Technology)
Ms. Elizabeth Deepe (AI Labo. : Secretary of the Director)

- ※ Yale University
Dr. D. Gelernter (Dept. of Computer Science: Associate Professor)
Dr. Ilse Ipsen (Dept. of Computer Science: Assistant Professor)
Dr. S. Slade (Dept. of Computer Science: Assistant Director)

- ※ Rutgers (State University of New Jersey)
Dr. C. A. Kulikovski (Dept. of Comp. Science: Professor, Chairman)
Dr. S. Weiss (Dept. of Computer Science: Research Professor)
Dr. S. Amarel (Dept. of Computer Science: Professor)

- ※ CMU (Carnegie Mellon University)
Dr. M. Henrion (Dept. of Social and Decision Sci.:

Associate Professor)

- Dr.H.Tokuda(Dept.of Computer Science: Assistant Professor)
- ※ University of Illinois at Urbana-Champaign
 - Dr.G.W.Gear(Dept.of Computer Science: Professor,Head)
 - Dr.S.Huroga(Dept.of Computer Science: Professor)
- ※ M C C (Microelectronics and Computer Technology Corporation)
 - Mr.M.F.Eaton(International Liaison Office:Director)
 - Mr.A.Akera(International Liaison Office:Staff)
- ※ University of Texas at Austin
 - Dr.G.S Kovak,Jr.(Artificial Intelligence Laboratory:
Associate Professor,Director)
- ※ S R I International
 - Dr.J.D.Lawrance(Artificial Intelligence Center: Assistant
Director)
- ※ X E R O X P A R C (Xerox Palo Alto Research Center)
 - Dr.Allen Bell(Intelligent Systems Laboratory :
Chief Engineer)
- ※ University of California at Berkeley
 - Dr.W.G.Oldham(Dept.of Electrical Engg and Computer Science:
Professor,Director of Electronics Research Labo.)

3. 収集資料リスト

- (1) Pamphlet on Artificial Intelligence Labo.
- (2) Guido to Graduate Study in Area II . Computer Science

- (3) Brochure on Research and Graduate Study, Electrical Engg
and Computer Science
- (4) Copies of three Technical Papers
- (5) Bulletin of Yale Univ. Graduate School
- (6) Brochure on Computer Science at Yale
- (7) List of Computer Science Research Report
- (8) Pamphlet on Department of Compt. Science
- (9) The facility Mini Manual
- (10) Bulletin of Graduate School
- (11) Graduate Program in Computer Science
- (12) Computer Science Undergraduate Program
- (13) Copies of two Technical Papers
- (14) Copies of Proposals for Grants Program
- (15) Faculty Research Guide, Department of Computer Science
- (16) Granduate Studies in Computer Science
- (17) Accent on Research 1986
- (18) Accent on Research 1987
- (19) List of Technical Reports 1987, Computer Science Department
- (20) Annual Report on College of Engineering
- (21) Brochure on Department of Computer Sci.
- (22) Pamphlet on 1987 Research in Computer Sci.
- (23) Pamphlet on Bockman institute
- (24) Pamphlet on MCC
- (25) Recent Articles of Interest 1986
- (26) Recent Articles of Interest 1987
- (27) Bulletin of College of Natural Sciences
- (28) Annual Research Review on Computer Sci.
- (29) Pamphlet on Artificial Intelligence Labo.
- (30) Review of ARO(US Army Research Office)Sponsored Research in AI
- (31) Technical Report Listing
- (32) Brochure on AI Center
- (33) AI Center Technical Note System
- (34) AI Center Software Systems

- (35) Digests of Recent Research : Intelligent Systems Laboratory
1983 - 1986
- (36) EECS/ERL(Dept.of Electrical Engineering and Computer Science/
Electronics Research Laboratory) 1988 Research Summary

② 研究・技術マネジメント

1. 訪問日程

昭和63年2月15日	ジョージア工科大学
2月17～19日	技術マネジメントに関する国際会議 出席および発表(マイアミ市)
2月22日	マイアミ大学
2月25日	オクラホマ大学
2月29日～3月1日	研究開発/技術マネジメント会議 出席(ニューヨーク市)

2. 訪問先組織・面会者

- ※ Georgia Institute of Technology
Frederick A. Rossini, Professor, Technology and Science
Policy Program, School of Social Sciences
Director, Technology Policy and Assessment Center
- ※ First International Conference on Technology Management
Tarek M. Khalil, Professor and Chairman, Department of
Industrial Engineering University of Miami
Johnson Aizle Edosomwan, Program Manager, Manufacturing New
Products Planning IBM Americas Group Corporation
M.A.Dorgham, Editor-in-Chief, The International Journal of
Technology Management, UX

Otto Keck, Researcher, International Institute for Environ-
-ment and Society, Wissenschaftszentrum, West Germany
Reinhold Lettraborf, Ministerialrat, West Germany

※ University of Miami

Tarek M. Khalil, Professor and Chairman, Department of
Industrial Engineering

David J. Suzanth, Associate Professor, Department of
Industrial Engineering

※ The University of Oklahoma

Don E. Kash, Research Fellow in Science and Public Policy
Professor, Science and Public Policy Program

Steve Ballard, Director, Science and Public Policy Program

※ R&D / Technology Management Conference

Lita M. Blvers, Conference Program Director, The Conference
Board

Joseph A. Saloon, Senior Vice President, M/A-COM Components

Roland W. Schmitt, President, Rensselaer Polytechnic
Institute

Joshua Lederberg, President, The Rockefeller University

F. Peter Boer, Senior Vice President and Group Executive-
Corporate Technical group

James K. Brown, Executive Director-Management Euctions
Program group, The Conference Board

S. Allen Heininger, Corporate Vice President-resource
Planning, Mansanto Company

3. 収集資料リスト

- (1) Frederick Rossini and Barry Bozeman, "National Strategies for Technological Innovation," *Administration & Society*, Vol. 9 No.1, May '77
- (2) School of Social Science, Georgia Institute of Technology, "Master's Degree program in Technology and Science Policy"
- (3) International Association for Impact Assessment, "Impact Assessment Bulletin", Summer '82
- (4) Frederick A. Rossini and Alan L. Porter, "Framework for Integrating Interdisciplinary Research", *Research Policy*, Vol.8 '79
- (5) T.M.Khalil, B.A.Bayraktar and J.A.Edosoman "Technology Management 1" *Inderscience Znterprises*, '88
- (6) Steve Ballard "Strategy for Excellence, Science and Public Policy Program ", December '87
- (7) Don E. Kash and Steve Ballard, "Academic and Applied Policy Studies", *American Behavioral Scientist*, Vol.30, July/August '87
- (8) Steve C. Ballard and Thomas E. James, "Participatory Research and Utilization in the technology Assessment Process", *Knowledge:Creation, Diffusion, Utilization*, Vol.4, No.3, March '83
- (9) Steven C. Ballard and Timothy A. Hall, "Theory and Practice of Integrated Impact Assessment", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol.23 '84
- (10) Michael D. Devine, Steven C. Ballard and Irvine L. White, "Energy from the Western States of the USA", *Energy Policy*, September '8
- (11) Barry Bozeman, Michael Crow and Albert Link, "Strategic Management of Industrial R&D", *Lexington Books*, '84
- (12) Steven C. Ballard, et al, "Water and Western Energy: Ipects, Issues, and Cholces", *Westview Press*, '82
- (13) James K. Brown and Lita M, Elvers edt, "Research & Development; Key Issues for Managemant" *The Conference Board*, '83

- (14) Debra M. Amiaon Rogers, "New Research Alliances; Diamonds-in-the Rough", presented at the Conference Board, '88
- (15) Robert M. Goodman, "Revelting David and Goliath:A Small Company's Experience in Collaborative R&D", presented at the Conference Board,'88
- (16) Louis J. Baccel, "Marketing/Manufacturing/Research, Closing the Gaps", presented at the Conference Board,'88
- (17) S. Allen Heilinger, "R&D and Competitiveness - A Bottom Line Summary", presented at the Conference Board, '88
- (18) Stuart E. Eisenstat, "Remarks at Conference Board Conference", presented at the Conference Board, '88
- (19) W.J.Spencer, "Some Thoughts on the Internationalization of Research", presented at the Conference Board, '88
- (20) F. Peter Boer, "Cooperative Research, New Partner, New Promise", presented at the Conference Board, '88
- (21) Roland W. Schmitt, "Japanese Technology - A Competitive View", presented at the Conference Board, '88

③ 科学技術政策・地球規模問題関連

1. 訪問日程

昭和62年10月26日	スタンダード大学
27日	ワシントン大学
28日	ハーバード大学
	研究推進会議(NCAR)
29日	マサチューセッツ工科大学
	米科学財団(NSF)
30日	ジョージワシントン大学
	米科学推進協会(AAAS)
昭和63年 2月6、7日	科学技術と社会学会(STS)
8日	ウィルソンセンター
	食糧政策研究所
	米科学財団(NSF)
9日	下院科学技術政策委員会(CSTP)
	未来資源研
	技術評価局(OTA)
10日	コンファレンス・ボード
	ニューヨーク大学
11日	産業研究所(IRI)
12~15日	米科学推進協会年会
16日	ケースウェスタンリザーヴ大学
17日	ノースウェスタン大学
18日	バツテル記念研究所
	オハイオ州立大学
19日	ヴァンダービルト大学
22日	南カリフォルニア大学
	ランド

2. 訪問先組織、面会者

※ Stanford University

Assoc. Prof. John P. Weyant (Dept. of Engineering
Economic Systems)

- ※ Washington University
 Assoc. Prof. P. Derby (Dept. of Engineering and Policy)
 Prof. Robert P. Morgan (")
- ※ Harvard University
 Prof. Harvey Brooks (Program in Science, Technology, and Public Policy)
 Prof. Lewis Branscomb (")
 Assoc. Prof. Dorothy S. Zinberg
- ※ National Conference on the Advancement of Research
 Dr. Norman Waks (NCAR Executive Secretary; Chief Management Scientist, the MITRE Corp.)
- ※ Massachusetts Institute of Technology
 Prof. Eugene B. Skolnikoff (Director, Center for International Studies)
- ※ National Science Foundation
 Mr. Robert S. Cutler (Senior Staff Associate)
- ※ The George Washington University
 Prof. John M. Logsdon (Program in Science, Technology, and Public Policy)
- ※ American Association for the Advancement of Science
 Dr. Stephen D. Nelson (Manager, Science Policy Studies)
 Dr. Albert H. Teich (")
- ※ Science, Technology, and Society Conference
 Prof. Rustom Roy (Conference Chair; Director, STS)

Program, Pennsylvania State University)
Mr. Wil Lepkowski (News Editor, Chemical & Engineering News)

- ※ The Wilson Center
Dr. Ronald A. Morse (Assistant Director for Development Secretary, Asia Program)
- ※ International Food Policy Research Institute
Dr. Leonardo A. Paulino (Chief Researcher)
- ※ U.S. House of Representatives
Mr. John D. Holmfeld (Study Director, Science Policy Task Force, Committee on Science and Technology)
- ※ Resources for or the Future
Dr. Hadi Dowlatabadi (Fellow)
Mrs. K. Storek (Public Affairs)
- ※ Office of Technology Assessment
Dr. Martha C. Harris
- ※ The Conference Board
Mrs. Lita M. Elvers (Conference Project Director)
- ※ New York University
Prof. James L. Bess (Department of Organization and Administration Studies)
Prof. Robert A. Burnham (Dean, School of Education)
- ※ Industrial Research Institute
Mr. Charles F. Larson (Executive Director)

- ※ Massachusetts Institute of Technology
Prof. Richard de Neufville

- ※ Annual Meeting of AAAS
Prof. John A. Dillon, Jr. (Provost and Dean of Graduate Studies, Spalding University)
Dr. Christopher T. Hill (Senior Specialist in Science and Technology Policy, Congressional Research Service)
Dr. Alan K. Engel (President, International Science & Technology Associates, Inc.)
Dr. Philip M. Smith (Executive Officer, National Research Council, National Academy of Sciences)
Dr. Donald N. Langenberg (Chancellor, The University of Illinois at Chicago)
Dr. Alvin W. Trivelpiece (Executive Officer, AAAS)
Assoc. Prof. David J. Roessner (Technology and Science Policy Program, Georgia Institute of Technology)
Assistant Prof. Lois S. Peters (Center for Science and Technology Policy, Rensselaer Polytechnic Institute)
Mrs. Debra M. Amidon Rogers (Manager of U. S. Sponsored Research, Digital Equipment Corporation)

- ※ Case Western Reserve University
Assoc. Prof. Leonard H. Lynn (Management Policy)
Prof. Michael J. Ginzberg (Management Information Systems)
Prof. Michael S. Fogarty (Director, The Regional Economic Issues)

- ※ Northwestern University
Prof. Gerrit Broekstra (J. L. Kellogg Graduate School

of Management)

- ※ Battelle Memorial Institute
Dr. Ivan L. Kinne (Director, International Operations)
Dr. Stephen M. Millett (Manager of Forecasting and
Strategic Planning Studies)
- ※ The Ohio State University
Prof. Sven B. Lundstedt (School of Public Administration)
Prof. T. Sueyoshi (" ")
- ※ Vanderbilt University
Prof. Kazuhiko Kawamura (Center for Intelligent Systems)
Prof. Robert W. House (Director, Management of Technology Program)
- ※ University of Southern California
Prof. Philip H. Birnbaum (School of Business Administration)
- ※ The Rand Corporation
Mrs. Ann. W. Wang

3. 収集資料リスト

- (1) Graduate Studies in Engineering-Economic Systems
- (2) D.A. Dunn, Public Policy Analysis
- (3) Graduate Studies in the Department of Engineering and Policy
- (4) John F. Kennedy School of Government
- (5) L. Branscomb, Comparative National Science Policy
- (6) NCAR
- (7) Graduate Program in Science, Technology, and Public Policy
- (8) Guide to Education in Science, Engineering and Public Policy

- (9) Graduate Education and Career Directions in Science, Engineering and Public Policy
- (10) Bulletin of Science, Technology & Society
- (11) The Wilson Center
- (12) Getting America Reading for Japanese Science and Technology
- (13) Foreign Policy
- (14) Food in the Third World: Past Trends and Projections to 2000
- (15) Science Policy Study-Hearings
- (16) Science Policy Study Background Report
- (17) Resources for the Future
- (18) OTA PUBLICATION
- (19) National Research and Development Policies for 1988 and Beyond: The CORETECH Agenda
- (20) Corporate R&D Strategy, Innovation and Funding Issues
- (21) Getting More Out of R&D And Technology
- (22) Trip Report I.R.I STUDY MISSION TO JAPAN
- (23) Managing the High Technology Firm
- (24) TECHNOLOGY AND POLICY PROGRAM
- (25) GRADUATE STUDY IN POLITICAL SCIENCE
- (26) AAAS Annual Meeting Program
- (27) GENERAL SYSTEMS
- (28) JAPANESE TECHNICAL INFORMATION : OPPORTUNITIES TO IMPROVE U.S. ACCESS
- (29) GLOBAL ISSUES
- (30) WETHERHEAD SCHOOL OF MANAGEMENT
- (30) THE GRADUATE SCHOOL
- (31) MANAGEMENT IN ACTION
- (32) Managing in the Political Environment
- (33) VANDERBILT UNIVERSITY BRAZIL SCIENCE & TECHNOLOGY MANAGEMENT PROGRAM
- (34) THE RAND CORPORATION
- (35) A New Methodology for Modeling National Command Level Decision-making in War Games and Simulations