

情報工学研究連絡委員会報告  
ーソフトウェア開発の戦略研究ー

平成9年6月20日

日本学術会議  
情報工学研究連絡委員会

この報告は、第16期日本学術会議情報工学研究連絡委員会の審議結果を  
取りまとめ発表するものである。

委員長 萩原 宏（第5部会員、京都コンピューター学院情報工学研究  
所所長）

幹事 大須賀 節雄（早稲田大学理工学部教授）

堂下 修司（京都大学大学院工学研究科・工学部教授）

委員 稲垣 康善（名古屋大学工学部教授）

牛島 和夫（九州大学工学部教授）

柴山 潔（京都工芸繊維大学工芸学部教授）

志村 正道（東京理科大学理工学部教授）

寺田 浩詔（高知工科大学情報工学科長）

土居 範久（第4部会員、慶應義塾大学理工学部教授）

戸田 巖（第5部会員、富士通株式会社常務取締役）

瀧 一博（慶應義塾大学理工学部教授）

細谷 僚一（NTTソフトウェア㈱取締役）

# ソフトウェア開発の戦略研究

## 目 次

1. はじめに
2. 独創的研究者の育成
3. 情報工学専門教育カリキュラムの観点から
4. 産学の役割分担と産学協同
5. 次世代情報技術のパラダイム
6. 情報工学の戦略研究課題

# ソフトウェア開発の戦略研究

## 日本学術会議 第5部

### 情報工学研究連絡委員会

#### 1. はじめに

日本学術会議情報工学研究連絡委員会は、第16期の委員会発足当初より、我が国の科学技術、特に情報工学分野の全般的な振興策について、諸外国と比較しつつ議論を行ってきた。とりわけ、計算機科学とソフトウェア技術の推進方策については、詳細に検討を行ってきた。

計算機科学研究の推進策については、情報学研究連絡委員会との協力のもとに、計算機科学に関する国立研究所として計算機科学高等研究所の設立構想をまとめ、「計算機科学研究の推進について（勧告）」を平成9年5月28日開催の第125回総会に提出し、採択された。

ソフトウェア技術研究の推進策については、日本工学アカデミー情報専門部会の活動を支援するとともに、本委員会では「ソフトウェア開発の戦略研究」として、振興策の策定に取り組んだ。日本工学アカデミーの報告は、「日本のソフトウェア問題について」—現状分析と将来対策—[7]に発表されたが、本委員会の報告では、それらの分析を参考にしつつも、それとは独立に議論を行い、委員各自の意見を集約し取りまとめた。

ソフトウェア技術は、単なるプログラミング技術に留まらず、ハードウェア、システム構成、情報処理のあらゆる情報工学の基盤をなすものである。従って本報告は、ソフトウェア開発を中心課題に据えて、長期的及び中・短期的方策、人材育成と産業振興、基礎研究と応用研究など、総合的に多様な視点から、将来における我が国の情報工学全般の振興策を取りまとめたものである。

#### 2. 独創的研究者の育成

「独創的研究者の育成」という課題は、多方面から、幾たびとなく論じられているが、抽象論に終わり、未だに実効性が乏しい。ここでは、「教育からの取組み」として、従来とは少し異なる視点から根本に立ち帰って捉え、文化論的立場、教育制度及び教育における実践の立場から全般的にこの問題を論ずる。更に21世紀の学問・技術、特にその先端としての知能情報技術のパラダイムを概観し、情報技術においては、「利益を生むのは(労働でなく)智である」との立場から、独創性教育の緊急性を論ずる。

##### 2.1 はじめに

独創性とは何か、独創的研究／研究者をいかに育てるかということに関し、我が国では幾多の論議が繰返し繰返し行われてきた。独創的研究の必要性を疑うものは誰もいない。しかし我々の基本的姿勢において、無意識のうちにそれに反することを行っているかもしれない。つまり自分を別のところへ置いておいて、自己の外の事柄として唱えてみても何も出てこない。

「創造性」それ自身を直接論じてみても効果がない。創造とは、我々の積極的な知的・精神的活動の「結果」である。(従って、ここでは「創造性」を直接には定義していない。)それを成り立たせている基盤的要因を分析し、それに至るプロセスを論じて、一步一步進んでいかなければ効果をあげることは出来ない。(科学の本質はプロセスにある。本報告も可及的にプロセスとして論じている。)基盤から整えていかなければ、いろいろな対策も砂上の楼閣となる。その場合「かくあるべし」という議論の前に、「創造性」を阻害する要因を分析し、それを取り除くことが必須条件である。「重い錘りをつけて水に浮んでいて飛び上がれ」といってもそれは精力を使い果たすだけである。錘りが重すぎれば沈んでしまう。まず錘りを軽くすることやはずすことが先決で、そうすれば自然に浮いてこよう。ここではこのような従来と異なる観点から、文化論的立場、教育制度的観点、及び教育実践の立場に立ってこの問題を論ずることとする。

## 2.2 文化論的考察

今論じようとしているのは科学・技術における「創造性」であるが、それは深く、科学を行う人々のものの考え方と、科学を育む土壌としての文化・社会に根ざしている。科学は意識上の問題であるが、その展開の方向はそれに対応する人の態度に大きく依存する。さらに意識は無意識によって支配されている。ここでは日本の文化について、情報論的に述べる。まず、「創造性」を阻害する我々の社会的習慣を端的に示す句を並べてみる。

◎群れる、付和雷同 (自主性・自律性・主体性・個性の喪失)

◎寄らば大樹の陰 (既存枠組内への埋没、安定思考)

◎和を以て貴しとなす (対立概念・論争の否定。 cf. 二元論。 2 値論理。 CISC/RISC)

◎生かさぬよう殺さぬよう、(異端者無視、生殺し。 cf. ソクラテスの弁明、ガリレオの宗教裁判)

◎論より証拠、終わり良ければ全て良し (プロセス・理由軽視、結果重視主義)

◎出る杭は打たれる、創業者損失・二番手利得 (他人の後をキャッチアップせよ)

◎理屈を言うな、書生論、沈黙は金、物言えば唇寒し秋の風 (筋道立てて考えるな述べるな)

◎知に働けば角が立つ [夏目漱石草枕] (合理的精神の排除 — 日本と西洋文化の相克)

◎和魂洋才 (成果の輸入、木に竹をつぐ、二重構造、十二単の文化)

◎仏作って魂入れず (もの・ハード指向、概念・ソフト軽視) 等々

これらから「創造性」を引き出すために必要と思われる自主性、新しい事柄の開拓、深い思考とその論述・討論・論議、などの要因が習慣的に軽視又は排除されていることがみてとれる。このような文化は、我が国の二千年の歴史の積み重ねの上に形成されてきた。地勢学的に我が国は、東洋の東端にあり、他からは隔絶され、温和な気候と自然の下で生きてきた。文化的には、我が国はその基盤をほとんど外国からの移入に頼って形成してきた。例えば神話の天の岩

戸、鶏鳴、鳥居、金鶏などの原型は朝鮮半島にあると思われるし、文化の基本である漢字は中国から、精神文化の中心である仏教とその芸術は印度から中国・朝鮮を経て、政治の基本である律令制は中国から、都市計画(風水)も中国から、道德律である儒教は中国から、古典書も漢籍として中国から、さらに近代に至って、近代国家・社会や文明は欧米からそれぞれ移植してきた。そして我が国はそれらを他との交渉なく、独自に醸成し、消化し、洗練し、融合して日本文化を形成した。即ち、他が構築した枠組を受け取り、それをこなすという伝統的思考は二千年の重みがある。その極致が「活花の文化」、「相撲の文化」であるともいえよう。しかしそれは一方向性の受け身の文化であった。消化された文化は他に発信されることなく、また中国などに逆輸出されてインタラクティブに影響し合うこともなかったし、他の地域に転送され、そこからの reaction を得ることもなかった。つまり「sink」の文化、ブラックホールの文化、吹きだまりの文化であった。「日出づる国」は「文化の没する国」であった。我が国から外国への働きかけは、豊臣秀吉にしる、「大東亜戦争」にしる、武力的なもので、文化的発信ではなかった。ようやく、第二次大戦後において、交通・通信網の著しい発展により、地勢学的ハンディキャップが解消され、我々が育んできた経済活動や製造技術を通じて、他民族と相互に交流するようになったことは、二千年の歴史において特筆すべき大転換であったと言える。このこと自体は高く評価すべきである。しかしこれらは、受け入れて消化したものを吐き出したということであり、その根幹となる科学や文化は未だに輸入に頼っている。もう輸入して消化する文物・制度も少なくなった。とすれば、やはり我々は自分で新しい枠組を作り、それを世界に発進せざるを得ない。更に、そのためには輸入するにしても成果物としての文物制度の輸入でなく、それを成り立たせている思想、方法論、考え方などのメタ的なプロセスをも輸入せざるを得ない。我々はずっと、さきに列挙したような文物を成果物として受け取ってきたが、それを成り立たせている精神は学ばなかった。このことに関して、明治初期の外国人教師であったドイツの医学者ベルツは下記のように述べている。

「わたくしの見るところでは、西洋の科学の起源と本質に関して日本ではしばしば間違った見解が行われているように思われるのであります。人々はこの科学を年にこれこれだけの仕事をする機械であり、どこか他の場所へたやすく運んで、そこで仕事をさすことのできる機械であると考えています。これは誤りです。・・・これらの(外国人)教師は熱心にこの精神(科学の精神)を日本に植えつけ、これを日本国民自身のものたらしめようとしたのであります。しかしかれらの使命はしばしば誤解されました。・・・日本では今の科学の成果のみをかれらから受け取ろうとしたのであります。この最新の成果をかれら(西欧)から引継ぐだけで満足し、この成果をもたらしめた精神を学ぼうとしないのです。」

この指摘は今でも当てはまるであろう。「創造性」を論ずるときに、この課題をどうするのかを真剣に考えなくてはならない。これは文化の根幹のパラダイムシフトに係わることであり、そう簡単ではないし、多くの混乱を生じるかもしれない。それをやめて、「和魂洋才」で進むしかないかもしれない。

ふりかえって、近代の科学技術をここまで展開してきた西洋は、まさに、自己の文化的伝統の上に、自己の原理に基づいて自己の学問・科学・技術を構築し、今日の文明を築いてきた。そこには、我々が持っているような二重構造的な悩みは少ない。西欧においても、文化の担い

手は移ってきた。即ち、インド、中近東、ギリシャ、ヘレニズム、ローマ、中世、イタリア諸国、中央ヨーロッパ、イギリス、アメリカと伝播し、それぞれの新興国は文化を輸入して育ててきた。しかしそれらは孤立したものでなく、常に多民族間のインタラクションの下に、相互的に受信と発信を行い、そこで普遍性を形成して、dynamic に発展してきた点、我が国の文化的状況と大きく異なる。

この原理的差異をどう考えるかは非常に大きな問題である。「文明は普遍性を旨とするが、文化は個別性に根ざす」という句がある。文化即ち個人の潜在意識や態度、社会の制度、習慣のあり方を変えることは至難であろう。しかし、我々が長い間文物制度をノウハウとして輸入して、自分のものとしてきたそのアプローチの仕方を一段上げて、それを成り立たせている西欧的思考の哲学や方法論などを移入して学び、それを消化して日本的思考や文化と融合させて我がものとしていくことは可能であると考え、それを制度・政策として意識的・積極的に推進していくことが、今後の「創造的」学問、技術の発展に必要不可欠であると言える。(勿論最終的には、独自の方法論を確立することが目標であるが。)

これが、今後取り組むべき第一の命題である。

## 2.3 教育制度と施策・実践について

人の思考態度や習慣は、生まれた日から家庭や身の回りの人などで自然に形成されていくものである。これを制度として変えていくことは不可能に近い。また社会全般の改変も無理であろう。しかし教育については、「創造性の開発」という一つの目標を掲げれば、それが社会を動かす原動力となり得ることは、明治以来の日本の教育が示している。この問題を大学以前の初等中等教育と大学(院)における教育について考えてみたい。

### 2.3.1 大学入学試験と初等中等教育

現在、これらの初等中等教育の最終目標は、大学入学試験への合格に尽きる。幼稚園から大学受験合格を唯一の人生目標として設定し、知識を覚え込み(理解ではない)、決まりきった問題を一刻も早く解き、一点でも多く取るテクニックの向上に全精力を傾ける。これはもはや教育ではなく訓練である。人の基本的な態度や習慣は、10才位までに形成され、また、知的な活動の基本も20才位までに形成されると考えられる。その全時期において、その柔軟な頭を縛り、大切な個性、自主性、自発性、未知への挑戦意欲、思考力を抑え込んでいる。良い大学へ入るのは、専門家として将来の充実した人生を生きるための一つの手段・ステップであるのにも拘わらず、それが人生目標となってしまう、大学に入った後は、目標を喪失し、意欲を失い、頭の柔軟さを失った抜け殻の状態であるという一般的傾向がみられる。

その主原因は大学入学試験にある。大学入学試験が不可避だとすれば、これを打破するには入学試験方法を改善するしかない。現在の入学試験問題は、覚え込んだ個別的知識の量のテストが中心で、知識の質(体系化など)や理解の深さのテストになっていない。また、定まった枠の中での機械的な知識運用が中心で(「考えるな、とにかく覚えろ」との指導)、系統的な思考能力や発想能力は入学試験には却って有害であるとさえいわれる。特に大学入試センター試験では、穴埋め選択式ということもあり、必然的に断片的な知識とその運用になってしまいがちで

ある。「共通一次試験以来学生の質が変わった(下がった)」とよく言われる。これには、他の要因もあるが、この試験方式が若いときに自然に身につけておくべき「創造性」学習に必ずしもプラスにはなっていないことは、多数の大学関係者が感じていることである。もし、この方式を続けるのなら、きちんとした勉学をやっていれば誰でも合格できる程度の高校卒業資格試験的なものとした方がよいのかもしれない。

しかし一方で、入学試験の本番である大学が行う二次試験の行い方はもっと初等中等教育に大きく影響を与えている。ここでも主として定型化された断片的知識の覚え込みと、定型化された知識の素早い運用が試されている。これも演繹推論の一種ではあるが、このような定型化された演繹は、今や、コンピュータ自体が代行してくれる時代になりつつある。試されるべきは、学問への意欲、未知の課題への取組み方(方法論)、目標を見出し、その目標達成に向かって論旨を組み立てて展開していく能力、そのために必要な基本的なコンセプトとしての知識・概念の深い理解力(個別的知識ではなく)で、個別的知識の覚え込みはそれらを支え、考えるための具体例(インスタンス)を与える素材であり、目的ではない。少なくとも、(1)知識テスト(2)理解度テスト(3)推論能力テスト(4)未知問題解決能力テストの4側面にわたって、多様な出題をすべきである。(2)～(4)においては、必要な知識は問題の中で全て与えておけばよい。つまり知識は知的活動の成果物であり、「創造性」というからには知識を生み出す能力を重視すべきであろう。(但し、いわゆるIQテストではない。)

このようなテストでは、出題、採点に多大の労力が必要であり、全教員が入学試験に直接参画すべきである。今、大学教員の大半は、監督として勤務奉仕はしているが、入学試験のプロセスに参画していない。誰かが作った問題について、誰かが採点した結果を集計した合計点で上から順に定員まで合格させたその結果を受け取っているだけである。大学において、どのような教育をすべきか、そのためにはどのような素養を身につけた学生の入学が望ましいのかについて、何の判断も下せないでいる。教員全員が自ら出題し、採点し、評価し、選抜するというプロセスへの参加が必要である。このように述べると、多分、入学試験の客観性が失われるという批判が出てこよう。しかし、一点の差までも形式的客観性にこだわった結果が入学試験を無味乾燥なものにしてしまっている。入学試験の評価に、その道の専門家としての識見に基づく教員の主観が入って当然である。教員は自己の学問的識見にもっと自信と信念を持つべきである。主観なくして「創造」はない。(注:どんな客観も、始めは仮説であり主観である。それが論証され実証されて普遍化していくプロセスこそ学問である。出来上がった客観をうのみにしてはならない。)入学試験は受験生を試すと同時に、教員も試される場であり、受験生と大学との交互作用の場であると考えた方が、積極的な意味が出てくる。そこに各教員の識見や各学科や大学の多様な特徴が出てこよう。今の日本の大学がどの大学も同じようで、のっぺらぼうで、ただ所在地が異なるだけというのも、一律な入学試験に一因があり、それが結果的に、幼稚園、小・中・高校生の若い頭を紋切り型に染め上げていると言える。そしてそれが大学における「創造的」教育の実施を一層困難なものにしている。入学試験の仕方をこのように変えることにより、一律的な偏差値はほとんど意味がなくなるであろう。大学や学科を自己の責任で選ぶことで目的意識も出てこよう。このようにすれば、一時期混乱が生ずるかもしれないが、予告して、計画的に一步一步やればよい。二度行っている入学試験の後期試験で少人数に試みしてみるのも良い。いずれにしても、大学教員、行政当局、小・中・高校の教員が意識改



革をして、共同して取り組むことが必要であろう。

これが、ここで主張したい第二の命題である。

### 2.3.2 学部・大学院教育における実践

大学、特に工学における教育のあり方については、「変革期の工学教育」[2]に具体的にまとめられている。その中で、「3.2 工学教育の目標」として下記の一節がある。

「工学教育を通じて育成すべき能力として、創造性、目標設定能力、および専門的知識があげられる。(中略) 目標を設定し、それを遂行する能力は、次のように分類できる。

- (1) 目標設定型：環境を認識し、その環境の下で目標を設定できる。
- (2) 目標達成型：目標が与えられたときに、それに到達する過程を見出し得る。
- (3) 過程実現型：目標とそれに到達する過程が与えられたとき、それを実現できる。

(中略) 重要なことは、これらの能力開発を積極的に教育課程に組み入れることである。」

この分類は、「知識工学」(田中幸吉編、朝倉書店、1984年)の中の「3.1.2 推論と推論系」[3]で述べられていることと関連している。そこでは人工知能の立場から、知的推論を、目標発見型、目標指向型、目標到達型、計算実行型、知識探索型、知識再生型の6段階に分けているが、これは人間(研究者)にも同様に当てはまる。これらは階層的入れ子構造をなしており、別々ではない。(3)は(2)のために必要であり、(2)は(1)を支える。即ち、(3)→(2)→(1)ではなく、(1)→(2)→(3)の関係にある。創造的研究の目標は(1)であり、当然博士課程の教育目標である。修士課程は主として(2)に重点を置き、学部課程は(3)に重点を置くことになるが、重点の置き所は異なるものの常に全体像を意識させた上で、一貫した「創造性教育」を行うべきである。それは学部一年生から始めることが好ましい。

次に、創造的教育に欠かせないと思われる幾つかの基本的項目を並べてみる。

- (1) 教師はただ出来上がった知識を説明するだけでなく、自己の考え方や意図を述べ、価値観を示し、経験、失敗体験を伝え、生きた学問のプロセスとして話すこと。もともと教育とは教師と学生の交互作用である。
- (2) 学生に勉学する態度を意識させること。自ら学ぶ意欲と目的意識を持たせること。
- (3) 未知への憧れと好奇心と挑戦意識を持たせること。そして、なぜそうなのか、それでよいのか、もっとよい他の方法はないのかななどの疑問をいだかせること。
- (4) 現在時点での平板的知識ではなく、その歴史的発展の流れと必然性、限界を、dynamicな生きた過程として教え、未来への展望を与えること。(温故知新、科学史、技術史)
- (5) 方法論やアプローチの仕方を修得させること。(哲学、科学論、技術論)
- (6) 覚え込むこと、理解すること、考えることを一体とした勉学の習慣を養わせること。
- (7) 考え方や推論能力を養わせること。(答えまで教えずに、自ら考えさせる)
- (8) 一段階上位の基本概念として、一般化・体系化して、系統的に把握させること。(どうせ覚えるのなら、末端の個別知識よりも、基本概念を覚えさせる)
- (9) 相互に関連させてその意味を深く理解させること。('情報'とは、本来要素間の関係記述

である。)

(10) 個別知識は、一般化概念と関連付けてその具体例として説明すること。 等々。

これらの諸項目は、人工知能研究の課題と全く同じであり、教育とはまさに人間知能・自然知能の開発である。人工知能と人間知能はまさしく *reflective* な関係にある。このような事項は、言わば専門家であることのリテラシともいえるべきものであり、できるだけ早い段階で学部一年生から教え、しかも、以降の各講義で具体例とともに折に触れて繰返し繰返し教え、想起させ、徐々に身につけさせていくべきもので、一度話しをして済むものではない。学部は学部なりに、修士は修士なり、そして博士では、昔から言われているように「学のうんのう」(学とは知識でなく知的能力である)を極めるレベルまでこのような態度と手法が習得できれば、それが多くの創造的研究の基盤となろう。

このような主旨で、学部一年生の情報学概論において行われている実施例を示す。上記の諸項目について「情報科学を学ぶ基本態度」を総体的に述べ、その後の勉学の出発点としている。勿論、かなり難しいとみられている幾つかの基本概念も含めて述べているが、可及的に身近な例や、人間が皆無意識に日常行っている実例を挙げて概念的に把握させようとしている(数式は使わない)。そして、今すぐには理解できなくとも、後日一つ一つ理解を深めていくことができること、大学で学ぶ(個別)知識は、数年しか役に立たないと言われるが、これらの事柄は一生涯有用であることなどを説明している。以下の標語は、基本的態度を日常的格言により表現したもので、これを学習の座右の銘とすべきことが要求されている。

#### 情報科学を学ぶ基本態度 (1年生・情報学概論)

1. HOW TOからWHAT TOへ、WHAT TOからWHYへ
2. 温故知新
3. 則に従い、則を超えよ
4. 科学はプロセスである
5. 情報処理、ソフトウェアもプロセスである
6. まず腕より始めよ人工知能(「我考える。故にコンピュータあり」)
7. コンピュータ、情報なければただの箱
8. 森に入りて、木を見て、森を見ず
9. 知識は考えるための「素材」であり、考えた「結果」である
10. 覚え込むより、考えよ、深く理解せよ(人は考える葦である)
11. 利潤をうむのは、労働でなく智(知)である。(知能価値説: cf. 労働価値説)
12. 互いに関係させて、一般化して考えよ。
13. 起承転結

アインシュタイン: 教育は学校で習った全てを忘れ去った後に残っているものである。

ポール ゴーギャン: 我々はどこから来たのか。我々は何者か。我々はどこへ行くのか。

ルネ デカルト: 我思う。故に我あり。(Je pense, donc je suis.)

メーヌ ド ビラン: 我欲す。故に我あり。(Je veux, donc je suis.)

—————我欲す。故に我思う。故に我あり。

(Je veux, donc je pense, donc je suis.)

次のリストは、情報工学を学ぶ上で専門家の常識として身につけておくべき基本事項のリス

トであり、このうちからいくつかを選んで説明が行われている。また、情報の学問分野のマップ、データと情報、アナログとデジタルなどの基本概念の説明、人と機械を総合した情報処理の構図、日本と西洋のものの考え方、デカルトの方法論の4原則等の基本概念を習得させている。

### 情報科学の基礎概念（1年生・情報学概論）

1. Why-What-How To/ Philosophy-Methodology-Science-Technology
2. Signal/ Code/ Data/ Information/ Knowledge/ Concept/ Ontology
3. Signal/ Noise
4. Entropy/ Channel capacity/ Coding theory
5. Communication model/Cooperative/ Agents
6. Pattern/ Symbol
7. Analog/ Digital/ Sampling theorem/Digital filter
8. Syntax/ Semantics/ Pragmatics
9. Axiomatic/ Denotational/ Operational
10. Deduction/ Abduction/ Induction
11. Partial ordering/ Lattice/ Total ordering
12. Abstraction/ Implementation
13. Theory/ Practice
14. Analysis/ Modeling/ Synthesis/ Design/Evaluation
15. Calculation/ Computation/ Decision
16. Algorithm/ Semi algorithm/ Meta-algorithm
17. Schema/ Model/ Class/ Instance
18. Intension/ Extension
19. Propositional logic/ Predicate logic/
20. Phrase structure/ Topological structure
21. Von Neumann/ Turing machine
22. Automaton---Finite state a./Pushdown a./Linear bounded a./Turing machine
23. Formal language--Regular L./ Context free L./ Context sensitive L.
24. Combinatorial/ Sequential
25. System architecture/ Feedback system/ Automaton
26. Physical/ Logical/ Virtual/ Real
27. Sequential/ Concurrent/ Parallel
28. Data structure/ Information structure/ Memory structure
29. Structure--Relational/ Network/ Hierarchical
30. Graph theory/Tree structure/ List
31. Cognition/ Recognition/ Understanding
32. Artificial/ Natural
33. Logic/ Probabilistic
34. Reflection/ Recursion/ Iteration
35. Top down/ Bottom up
36. Deterministic/ Non deterministic
37. Human/ Machine

(順不同。数学関係は除く)

これに対する学生の反応は様々である。受験慣れしてしまっている態度との間にミスマッチが生じ、フラストレーションを起こしている人も多い。しかし、他方では、これまでの受験勉強への反省、新しい目的意識の発現など、「良かった」というレポートを書く人もかなりおり、今後に期待が持てる。しかし、理想を言うならば、前節で述べたような初等中等教育の改善が

伴えば、まさに鬼に金棒であろう。いずれにせよ、このような基本的な、考える教育は、「創造的教育」には必要なステップであろう。

### 2.3.3 研究者の養成と社会での評価

教育に次いで重要なのは若手の研究者の育成である。最近時々、若手の研究者がこじんまりしていて、考え方が年長層より保守的であるとの声を聞く。それはなぜだろうか。

第一は、彼らが、共通一次試験世代であることかもしれない。共通一次試験が始まってから十数年経ち、その世代の人は今や学界・産業界で第一線の立場にある。第二は、彼らが研究を始めたとき、情報科学のみならず全ての学問分野が著しく発展し、高度化複雑化しており、その一方で分野の枠組がほぼ固まり、その結果狭い特定の分野に埋没してしまっていることであろう。第三は、業績評価が厳しくなっていることである。それ自体は正しい。しかし、業績とは研究内容、特に独創性に対する評価であるべきなのに、それに反するような、形式的な論文数評価に陥ってしまっている。それが教員採用人事、さらには任期制の再任評価にも用いられる趨勢にある。未知の問題に取り組み、独創的にやろうとすれば失敗も多く、論文は少なくなり、また科学研究費もとりにくい。とすれば、目先の、だいたいやり方が見えているこまごまとしたテーマで、手取り早く成果を挙げるしかない。しかし、考えてみれば、これらの評価を下すのは、年長の教員自体である。制度が悪いのではない。ここでも大学教員の責任と資質が問われている。

要するに、入学試験にしろ、教育にしろ、若手育成にしろ、一般的議論とともに、教員一人一人が教育の現場でいかに「独創性」開発に取り組むかが問われている。(まず随より始めよ、独創的開発。)

これが、最も重要だと考えられる第三の命題である。

ところで、このような創造的能力を身につけた卒業生が社会に出たとき、きちんと評価されるであろうか。果たして、企業は本当にそのような人材を求めているのであろうか。そのような能力を試すような入社試験の問題が出されるだろうか、また、そのような創造性がより発揮できるような仕事の内容と環境が用意されているのであろうか。この辺についても、教育の問題と並行して議論していく必要があるだろう。

## 2.4 おわりに

創造性の開発は、21世紀において我が国の情報科学・技術・産業が次のステップへ発展するための最重要課題である。当面の対策は種々必要であるが、長期的には、一見廻り道のように見えるが、科学の成果のみでなくその思想、方法論や考え方を学び、それを小学校から大学まで一貫して教えるための社会的基盤を整備し、教育制度を整え、教育関係者が自ら実践していく以外にこれを克服する道はない。なおここでは、我が国の学界あげての対応が必要と考えて、全分野的に述べたが、知能処理自体を研究対象とする情報科学では研究者により一層の創造性が要求されよう。

## 3. 情報工学専門教育カリキュラムの観点から

本章では、大学の理工系情報系学科における情報工学/情報科学の専門教育カリキュラム(策定作業時は"J95"と仮称、最終的には"J97"と称することになった)[5]の策定を行っている立場から、産業構造の転換や情報工学分野の発展に対処するための専門教育カリキュラムの意義や役割について提言する。

### 3.1 大学の情報系専門学科の役割

#### 3.1.1 大学教育課程とその入出力

大学における4年間の学部教育の在り方の検討では、

◎大学教育課程への入力である初等中等教育(特に、高校や高専の教育)の内容、すなわち大学での専門教育を履修するために入学前に必要な知識；

◎大学教育課程の出力である産業界の期待や要求、すなわち大学卒業後の進路；  
の2点について十分に考慮することが必要である。

一方、大学教育の現場においては、近年の大学改革の嵐の中で、具体的には、i) 一般教育課程の再編；ii) 大学院の重点化；iii) 社会人/職業人の再教育(リフレッシュ/リカレント教育)の励行；iv) 入学資格の門戸拡大(高専/短大卒業生の編入など)；v) 自己点検・自己評価；vi) シラバスの整備；などが実施されている。

このうち、i)～iv)が教育カリキュラムに与える影響は大きく、大学改革では教育カリキュラムの抜本的な改革が目玉あるいは必須となっている。

具体的には、

◎入学者の多様化による専門教育に必要な前提知識(先修知識)の多様化や未履修者の入学；

◎編入や飛び級による専門教育期間の多様化や短縮；

◎一般教育と専門教育とが融合される中での、専門教育の本質の確保；

などによって、「画一的ではなく多様化に対応できる柔軟性を備えた専門教育カリキュラム」が要求される。専門教育カリキュラムの設計においては、この「多様性への配慮と専門的知識修得の実現とのトレードオフの調停」が、困難ではあるがクリアすべき課題となる。

#### 3.1.2 大学院及び産業界との関係

3.1.1節で述べた大学専門課程の入力条件の変化は出力にも影響を及ぼす。

学部の卒業者(出力)の受け皿としては、産業界だけではなく大学院も存在する。そして、入力条件の変化の影響、及び大学改革の実例のうちii)の大学院の重点化施策によって、実際には、

◎「社会で通用する知識を修得した」という自信を持つために大学院進学を希望する(一種のモラトリアム)学生が増えている；

◎産業界が開発現場の即戦力にならない(と思う)学部卒業生の採用を避ける；  
などの現象が目立ってきている。

このため、学部の教育カリキュラムも「学部だけの閉じたカリキュラムではなく、大学院も視野に入れた」、さらには「学部教育と大学院(特に、博士前期課程)教育とを一体化した」専門教育カリキュラムの編成が必要となっている。

## 3.2 産学における教育と研究

### 3.2.1 教育と研究との関係

学問とは「一定の理論に基づいて体系化された知識と方法(原理)を修得すること」であり、「教育的価値」を持つものとして考えられる。この意味で、教育は「新規な概念へ対応(対処)する力の修得」である。一方、教育によって身につけた原理や一般性を打ち破る独創性(originality)を新たな原理として位置付けようとする過程が研究である。独創性は研究には必要であるが、教育には必ずしも必須でない。むしろ、教育においては一般性(generality)や普遍性(universality)の追求が重視される。

「原理の講述や体系化」が教育であり、「原理の発見や適用(適応化)」が研究であるとする、大学は前者に、産業界は後者に力点をおくのが普通である。しかし、大学には、「教育機関として以外にも研究機関である」という立場がある。産業界の研究機関は研究に重点をおけば良いが、大学の教員は教育と研究の両者をこなす義務がある。

### 3.2.2 学問体系における科学/工学と技術の位置付け

学問体系として、理学あるいは科学(science)は、「自然現象の解析(analysis)や理解、その体系化や法則化を中心とする発見の学問」と位置付けられる。一方、工学(engineering)は、「理学を基に人工物の設計や合成(synthesis)を行う発明の学問」とされる。

さらに、産業界のように、工学と技術(technology)とを区別して考える場合もある。この場合の技術とは、「工学に一般性を与え、効率良く製品を生産する手法を追求する技能の一般化/体系化」とされる。産業界の現場で、理工学を中心とする研究機関と技術の開発機関とを区別して設けている場合があるのはこれによる。

### 3.2.3 研究の種々の範ちゅう

研究は、その具体的な内容や目標によってさらにいくつかの範ちゅうに分類できる。大学教育の立場から目を向ける必要のある研究の範ちゅうとしては、

(1) 基礎研究(basic research)：基本的概念や原理についての研究及び科学を基にした知識の発展；

(2) 戦略研究(strategic research)：すぐには応用(実用化)できないが、そのために必要となる知識の発展；

(3) 応用研究(applied research)：科学的概念の実現性の証明及び実用化研究；  
の3種が考えられる。

特に、(2)の戦略研究は、最近の産業構造の転換による研究体制の変化とともに出現し、その重要性が国内外で指摘されている[8]。

### 3.2.4 大学における研究と教育

3.2.1節で言及した産学の教育と研究に対する姿勢の相違からは、

◎大学 → 基礎、理論、教育重視

◎産業界 → 応用、実現、研究重視

という図式が描かれる。しかし、3.2.1節でも述べたように、教育と研究の両方を遂行する必要がある大学では、上記のような図式をそのまま適用するのは不適當である。

すなわち、大学が分担すべき役割は、

◎基礎研究だけではなく、戦略研究さらには応用研究の一部も取り込むこと；

◎それらの研究を行うために必要な知識や能力を教育すること；

と考えて良い。

産業界に直結する高等教育機関としての大学(大学院も含んで良い、あるいは含むべきである)における教育(すなわち、一般性の追求)と研究(すなわち、独創性の追求)にはトレードオフがあり、大学における教育カリキュラム構成に重要な影響を及ぼす。

特に、情報工学は科学(理学)と工学の両者の学問的特質を兼ね備えており、その意味で、情報工学教育がカバーすべき知識体系は非常に多岐に渡るのが特徴的である。

### 3.2.5 大学における戦略研究と専門教育

戦略研究は「開発に関連する知識の発展」を目標とするものであり、大学における専門教育の成果が基礎研究に対してよりも直接的に(如実に)効く。

一方、戦略研究の目標である「知識の発展」のためには、事例教育に埋没しないことが重要であり、一般的な原理と事例との関連を教授することが望ましい。このように、一般性を追求する点で、戦略研究は応用研究よりも教育カリキュラムの影響が大きい。

また、情報工学に関連する産業は先端科学産業であり、大学の専門教育で学習する情報工学一般の基本的知識とのギャップが広がりつつある。大学においては、このギャップを埋める研究として戦略研究が当てはまり、戦略研究と専門教育との関係は深い。具体的には、小さくても独創的なもの(情報工学における例：プログラミング言語；コンパイラ；オペレーティングシステム；コンピュータアーキテクチャ)を作る能力を養う教育が必要であり、物作りの実験/演習に補完された教育が戦略研究につながる。言い換えると、教育の観点を失うと戦略研究はできない。教育の原理や思想が見えることが重要であり、それが独創的な知識の普及、宣伝、ネーミングにつながり、戦略研究のシーズとなる。

### 3.2.6 卒業研究の役割

ほとんどの大学の理工系学部には、教育と研究の両方の性質を兼ね備えるものとして卒業研究がある。卒業研究は、教育面からは「教員と学生との1対1の個人的実験/演習」と、研究面からは「研究者としての第一歩」と、それぞれ位置付けられる。卒業研究は教育カリキュラムの最後に位置し、「専門教育課程のまとめを行う」という重要な役割を帯びている。従って、いわゆる飛び級やリカレント/リフレッシュ教育における「卒業研究の未履修/免除」の影響は大きく、専門教育カリキュラムにおけるこれへの対策は必要である。

例えば、産業界から大学に委託される研究と専門課程の卒業研究との関係などについては、大学における教育原理との整合性あるいは活用方法などについて配慮する必要がある。

## 3.3 ソフトウェア開発の戦略研究のための情報工学専門教育

### 3.3.1 産業構造の転換と情報工学教育へのその影響

「産業構造の転換」とは、具体的には、次の(1)～(4)の諸点であり、それが情報工学教育に及ぼした影響について考えてみる。

(1) 情報インフラの整備：「科学技術創造立国」を謳う科学技術基本法の施行(1995年11月)及びそれに基づく科学技術基本計画の閣議決定(1996年7月)などによって、情報インフラ(基盤；infrastructure)の整備事業が重点的に予算化された。これは既存の情報処理産業の高度化を促している。このため、それらの産業に人材を供給する大学の情報工学専門教育の高度化・先端技術教育化をもたらしている。

(2) 新しい情報産業の創出：コンピュータやインターネット利用の爆発的な普及は社会的・文化的にも様々な影響力を行使し、それによって生み出された諸概念(例えば、仮想商店街、電子取引、電子出版、仮想社会など)が情報流通をもとにする新しい情報産業を創出している。これらは、情報工学分野の学問及び情報処理技術のブレークスルーと持ちつ持たれつの関係であり、それらの産業を支える技術者の基礎知識を教授する情報工学教育が求められている。具体的な科目例としては、情報セキュリティ、ヒューマン－コンピュータ・インタラクション(HCI)などがある。

(3) 国際的競争力の強化：日本の情報産業(特に、ソフトウェア産業)は米国に比べて大きく立ち遅れている。一方で、それを支えるハードウェア製品の基盤産業である半導体産業は、ワークステーション(WS)やパーソナルコンピュータ用汎用CPUでは米国に独占を許し、メモリは韓国に、ASICは台湾に、それぞれ追いつかれ抜かれようとしている。このような状況で、戦略研究の必要が説かれたわけであり、このシーズを創出するためには、3.2.5節で述べたように、国際的競争力を見据えた戦略研究を遂行できる人材の教育が大学の情報工学専門教育において必要となる。

(4) プロフェッショナルとしての達成感の実現：プロフェッショナルとは「ある技術のスペシャリスト(specialist)」であり、その育成は産業界だけではなく、大学の専門教育においても求められている。特に、情報工学は幅広い広がりを持つ学問分野となっており、情報工学の一般的な(広いが浅い)知識の修得(ジェネラリスト(generalist)の養成)だけでは専門教育にはなり得ないことに注意する必要がある。「色々なことを知っているけれども、深くを語れる知識をひとつも持たない」ではなく、「1分野でよいから専門分野に関しては、どこもブラックボックス化せずに語れる」人材を産業界に輩出することが必要である。

### 3.3.2 情報工学の発展とその教育への影響

最近10数年間の学問分野としての情報工学の発展は著しい。特に、その専門教育に多大な影響を及ぼしている事項を列举すると次のようになる。

- (1) ソフトウェア科学/技術の比重が大きくなった。
- (2) コンピュータシステムの応用/適用分野が著しく拡大した。
- (3) コンピュータあるいは情報インフラの整備がハードウェア、ソフトウェアともに進んだ。
- (4) ヒューマン－コンピュータ・インタラクションを中心とする「柔らかな技術」が重要となった。

また、情報工学教育そのものの様変わりも著しい。特に、次の2点は重要な事項である。



(5) コンピュータリテラシあるいは情報リテラシの教育環境が充実してきた。

(6) 情報工学関連学科が増大し、その教員や教育環境が充実してきた。

列挙した情報工学の変遷が情報工学教育に及ぼした具体的な影響について考察してみよう。

まず、(1)の点では、「メインフレーム中心からマイクロプロセッサ中心へ」が背景にあり、マイクロプロセッサをコンピュータシステム構築用の高機能部品として活用することによるコンピュータシステムの多様性が、情報工学(特に、ソフトウェア系分野)教育の守備範囲を拡大している。

(2)の点では、「情報工学の学際領域への進出」があり、情報工学教育でカバーすべき範囲も拡大・多様化の一途をたどっている。それが教育方法や環境に与える影響も大きい。特に、情報工学分野の拡大によって、コンピュータの応用分野の科目が増大している。

(3)の点は、具体的に、分散化、ダウンサイジング、パーソナル化、台数の拡大、マルチメディア化、ネットワーク/通信の高速化/高機能化、インターネットの活用などを指し、そのために必要な技術の基盤作りが情報工学教育に求められている。

(4)は、コンピュータ側に立つ技術あるいはコンピュータ機能だけを考えた技術ではなく、人間の心理や生理に踏み込んだヒューマン-コンピュータ・インタラクションなどの講義科目の重要性を示している。

また、(5)(6)の点では、コンピュータユーザ層の拡大(低年齢化と高年齢化)が情報工学教育カリキュラムの多様化を促している。また、これらによって「コンピュータリテラシ教育と情報工学専門教育とが完全に分離独立して扱えるようになった」ことが情報工学専門教育の設計に与える影響も大きい。

### 3.3.3 産業界から期待される情報工学教育

産業構造の転換期において産業界が大学に求める人材としては、「産業構造の転換や激変に対応力のある人間」であろう。そのためには、創造力はもちろんのこと、情報工学の学問的本質でもある「数ある選択肢(alternative)を列挙し、それらを比較検討・評価して、対象に対して最適な選択肢を選ぶ能力の修得」が要求される。

一方、情報工学を修めた人間が就くことの期待できる産業としては、i) システムエンジニア(SE); ii) 基本ソフトウェア開発者; iii) 応用ソフトウェア開発者; iv) システムLSI開発者; v) ハードウェアシステム開発者; などがある。

しかし、例えば、SEという職業でも、情報工学の学問的本質である「モデル化→物作り→評価/最適化」のすべての過程をこなすことができる能力を修めていることが肝要である。特に、バブル期に増産されたSEには、「物作り」能力だけを問われて、「モデル化」や「評価/最適化」の能力が欠如している場合が多く見られた。

また、1980年代以降に生じたいわゆる「ダウンサイジング」では、それまでのメインフレーム全盛からマイクロプロセッサへSEの対象となるコンピュータアーキテクチャが激変している。メインフレームの専門家であっても、マイクロプロセッサという別解に目を向けられないSEでは、産業構造の転換に耐えられないのである。

また、システムLSI開発者とはいわゆる半導体メーカのSEであり、現在の半導体産業が最も渴望している職種である。この職種に要求される能力は「ハードウェアとソフトウェアの両

方を視野に入れ、それらのトレードオフを適切に決定することのできる技能」である。まさに、情報工学を修めた人間に最適な職種であり、情報工学専門教育課程の出力として考慮すべき産業である。

3.1.1～3.1.2節でも述べたように、初等中等教育における「情報処理(情報リテラシ、コンピュータリテラシ)」教育の重要性が指摘されている。しかし、現状は、特に、それを教える教員不足が深刻であり、これを是正するためには、「情報工学専門教育を修めた者を初等中等学校における情報リテラシ教育者として就ける道を開く」というような抜本的な対策も必要であろう。情報工学専門教育課程の出力(卒業/修了者)をその入力条件(初等中等学校における情報リテラシ教育)の整備に活用するのである。

## 4. 産学の役割分担と産学協同

産と学の役割は異なる。これを、人材養成(4.1節)、研究開発(4.2節)、について考察する。

### 4.1 人材養成の役割分担

右肩上がりの高度成長の時代には、企業は均質で白紙の人材を大量に採用し確保して彼等を自らの手で教育しながら明日の成長のために備えてきた。白紙というのは専門能力を問わないと云う意味である。これまで、我が国の産業界が新卒者を獲得する際には、専門能力よりは潜在能力や協調性を重視してきた。白紙の人材を戦力に育てるには年単位の時間がかかる。数ヶ月の新入社員教育、数年のOJTを通じて専門能力を付けさせようというものである。供給より需要が上回る時代にはそれでよかった。右肩上がりの成長が企業内教育のコストを隠蔽していたからである。バブル経済に至る道筋では、旺盛な需要に応えようとして、とにかく人を抱えておくことが力になったかもしれない。バブルがはじけて企業による供給が消費者の需要を上回るようになると、白紙の人材を将来への投資として囲い込むことは、企業にとって著しい重荷になる。それらの人たちに専門能力を付けさせる企業内教育のコストが高くつく時代になってきたといえよう。

#### 4.1.1 情報技術者の養成と確保

情報技術者の養成・確保が声高に叫ばれたのは、1987年4月通産省産業構造審議会情報産業部会情報化対策小委員会が「高度情報化を担う人材の育成について」と題して中間まとめを報告したのがきっかけである。これによれば、西暦2000年までには情報技術者の必要数が215万人に達する。これに対して現状のまま推移すれば供給数は118万人で差引き97万人が不足するというものであった。

この報告を視野にいれて、1988年6月文部省教育改革情報化専門部会は「情報技術者の養成確保について（中間まとめ）」を発表した。大学等で西暦2000年までに養成すべき数として150万人を掲げ、情報関係学部・学科の入学定員の増加を年率7～10%とする目標を示した。一方、情報関係学部・学科の量的拡大が質の低下を招くことのないように、教員の養成、カリ

キュラムの開発、施設・設備の充実に努めるべきことを述べている。

文部省の「中間まとめ」を受けて、多くの大学において、情報関係学科等が設立されてきた。しかし、そこでの教育を担当する真の専門家の数は少なく、カリキュラム等、多くの問題を残したままの出発であった。文部省では翌1989年7月に情報処理学会に対して、「情報処理教育の改善のための調査研究」を委嘱した。情報処理学会では「大学等における情報処理教育検討委員会」を組織して調査・検討を重ね、先ず理工系情報専門学科におけるモデルカリキュラムJ90を1991年3月に提言した。

我が国の国立大学理工系学部の情報系専門学科が初めて誕生したのは1970年であった。専門学科の誕生と前後して専門学科の必要性や内容、カリキュラム、設備などが文部省を中心に検討された。そこでは「情報科学はそれ自体、広範な学問であって、そのための専門学科を画一化することは好ましくない。特に大学における専門教育を単一の基準で律することは困難である」としてカリキュラムを例示はするものの「標準あるいは基準として解すべきではなく、各大学、学部の事情に即して弾力的に組織すべきである」と述べている。我が国では既存の分野のバランスが重視されて新しい分野の芽が育たない傾向が強い。上の文言には「広範な学問」と述べることによって「情報科学が既存の分野と密接な関係にあり既存の分野を拡大するものであっても決して犯すものではない」と宣言し、情報専門学科の誕生を何とか認めてもらうための苦心が読みとれる。当時専門学科の出身者は当然存在しなかったので、新しい学科に集まった教員は、電気工学や電子工学、物理学や数学などの出身者からなり、カリキュラム編成にも既存の分野の色を引きずってしまうことがしばしばであった。「広範な学問」と規定することによって、引きずることがほとんど問題にされなかった。

一方、米国の計算機科学学会ACMでは、コンピュータサイエンス（CSと略す）の大学教育について、1968年にカリキュラム68という提案を行った。これは、電気工学、物理学、統計学といった既存の学問領域に対してCSが独立な学問領域であり、独立の学科を作って教えるべき内容をもったものであることを初めて宣言したものである。ACMは、10年後にカリキュラム78を、さらに1988年の検討案を経てカリキュラム91を提案している。

1989年当時我が国の情報系専門学科の問題点は、最初の情報学科が発足して20年たっているにもかかわらず専門性についての共通な理解が各大学、各教員の間で必ずしも得られていない点である。学問が広範であるとしても、情報系専門学科のアイデンティティを明確にするために、専門学科ならば、これだけは習得しておくべき科目を示し、卒業生の専門能力について共通の尺度を明らかにする必要がある。検討委員会では情報系専門学科の卒業生の専門能力を明確にするためにはコアとなるコンピュータの基本を論理のレベルからきちんと身につけさせる教育がすべての情報系専門学科で行われなければならないという問題意識で、ACMカリキュラム78を1989年度に集中的に検討した。このカリキュラムは1978年当時のメインフレームの影響が色濃く残っているものの、コアの部分はまだ十分通用するので情報系専門学科で教えるべき最低条件として、カリキュラム78に10年間の学問の進歩を反映させたカリキュラムを各学科の事情を考慮して作るべきであるという結論に達した。

検討委員会では、様々の特徴を持つ広範な情報系学科に共通に使える最小限のモデルカリキュラムJ90を示すことにした。内容は紙数の関係で省略する。カリキュラム78を基礎にしているためにやや旧式ではあったものの、このようなカリキュラムの存在に気がついてない情

報系学科も当時存在していたので、あるいは情報系学科を発足させたものの自らカリキュラムを主体的に編成できない学科もあったので、J90はそれなりの役割を果たすことができた。

1992年12月通産省産業構造審議会情報産業部会情報化対策小委員会が、再び中間報告を発表した。それによれば、必要数は194万人、供給数は140万人で、差引き54万人不足するという下方修正になっている。1987年報告に比べて、ソフトウェア生産性向上施策等による需要減が21万人（215－194）、一方人材育成努力による拡大が22万人（140－118）としている。

情報産業にとって、高度成長時代には次から次へと舞い込んでくる仕事をこなすには大学で専門能力を身につけたかどうかを吟味している余裕はない。1980年代を通じて情報専門学科を持つ大学の数はきわめて少なかったから、吟味するまでもなくほとんど非専門学科出身から採用するしかなかったからである。彼等を企業内で教育するコストは右肩上がりの時代には目立たずむしろ将来利益を生む投資と考えられていた。しかし、不況による情報化投資の手控えなどにより需要が減退すると教育のコストが重くのしかかる。千人採用していた企業が、3百人に採用を減らし、さらに百人に絞った。千人の内訳をみれば、非専門のもの9百人と専門能力を持ったもの百人を採用していたことになる。これを専門能力を持ったもの百人にとどめた結果だと解することができよう。1987年報告の不足数はこの千人に対応し、1992年報告の不足数は、ここでいう百人ではとても足りないということを意味している。求められているのは量よりも質＝専門能力である。

ソフトウェア開発を「人・月」で見積もり、達成度をプログラムの「行数」で数えることが相変わらず行われている。いずれも開発担当者の専門能力の差を無視した計数である。情報産業にとって、専門能力を持った人材をどれだけ確保できるか、時間はかかるが、それが今後の鍵であろう。

#### 4.1.2 専門能力の重視

我が国の産業界が新卒者を獲得する際には、専門能力より潜在能力や協調性の方を重視してきたようだ。数カ月の新人社員教育、数年のOJTを通じて専門能力を蓄えさせようとする。情報産業の場合には、上に述べたとおり、専門能力を持った新卒者を求めようにも情報処理専門教育を行っている大学は少なかったから、非専門学科の出身者を採用せざるを得なかった。

1994年4月経済同友会から「大衆化時代の新しい大学像を求めて」と題する提言が発表された。新聞の要約によれば、「大企業であればあるほど良い就職先であるという大企業神話と、より序列の高い大学を卒業することが就職に有利だという学校神話を変える必要がある」として、企業に対して、「新卒一括採用に関わらず通年採用を採り入れる」「入社試験では学生の出身大学を聴取しない。学習歴を重視すべきである」「大学院、研究所で実績を積んだ者を適切に処遇できるよう職種・能力別給与体系を構築すべきである」としている。これらのことを裏返せば、企業は採用に当たって、一括採用にこだわっていた、出身大学の名前にこだわっていた、何を学んできたかにはこだわっていなかった、大学院を出ても学部卒後2年、あるいは5年としか待遇しなかった、と正直に表明しているとも受け取れる。これらを改めるべきであるというのだから、実現されればそのインパクトはきわめて大きい。

ぜひ学習歴を重視していただきたいと思う。専門学科に対してカリキュラムを調査してみるのも一つの方法だろう。個別科目のシラバスも公表されている。その際に必然的に大学の名前

がでてくることになる。採用側は、優の数や可の数にこだわらず、なにをどのようにして学んだかを調べてみることを勧めたい。どのようにというのは、演習や実験を通してどのような鍛え方をしているかみることである。学習した科目をどれだけ身につけているかを評価してほしい。工学系の場合には、実験科目や演習科目での学習経験を調べるのがよいと思う。成功経験よりも失敗経験の方がよいかもしれない。失敗の原因をきちんと分析整理して知識化できているならばめたものである。

最近になって企業側から「今後は独創性のある専門家としてグローバルに活躍できる人材が必要なので、大学でそのような人材を育てよ」としばしば言われる。その一方で「自分の気に入らない部下を窓際に追いやっているようなことがないか」についてはあまり問われていない。

企業にはほんとに独創性を認める環境が用意されているのか。異質のものを認めて、その特徴を積極的に活用する用意があるのか。日米電子技術者の意識調査（日経エレクトロニクス誌1995年9月25日号）によれば、

(a) 技術者が足りないと思う人の割合                      米国21.0%    日本76.5%

(b) 技術者が十分活用されていると思う人の割合    米国80.2%    日本16.8%

と対照をなしている。専門能力を持っていても我が国ではセクシオンの壁が強く適所で専門能力を発揮できないことに不満を持っていることを示している。技術者側からみて宝の持ち腐れが生じているのだ。このことを雇用者側はどのように評価しているのだろうか。個別に(a)を足し合わせたために1987年の報告ができあがったのではないか。独創性と創造性を持った人材を求めているのであれば、独創性や創造性に対して「企業側はこのように対処すべきである」という文言を上同友会の提言に含めてほしかった。

「それでも地球は回る」と言わしめたように、新しい概念や提案は周囲の理解が得られないことの方が多い。天才の数はそんなに多くないし、教育で作り出せるものでもない。むしろ、指示待ち人間ではなく、提案型人間、問題発見型人間がほしいと言い換えた方が人材要求の目的に適っていると考えられる。これなら教育で育てることができる。つまらないように見える提案でも、門前払いせずに必ずまな板の上に載せて吟味してやる度量と余裕を大学では教師が企業では上司が常に心がけることである。

独創性や創造性をつぶすことはたやすい。当麻喜弘東京工業大学名誉教授はエッセイの中で独創性を阻害する要因として、以下を挙げておられる。

(1)研究テーマの必然性を厳しく問いたす。(2)研究テーマの従来との差異を厳しく問いたす。(3)得られるメリットを厳しく問いたす。(4)詳細なスケジュールを提出させる。(5)予算の正確な根拠を説明させる。(6)進捗状況を頻繁に問いたす。(7)失敗を厳しく責める。(8)組織の統制を強める。(9)流行を追わせる。(10)他からの遅れを責める。(11)論文を数多く読ませる。(12)大量の申請書を書かせる。

#### 4.1.3 新しいコンピュータサイエンス教育カリキュラムJ97の開発

情報処理学会情報処理教育カリキュラム調査委員会では、J90の提言以降も、精力的に情報処理教育について調査・検討を続けてきた。その重要な一環としてJ90提言以降のCSの発展をふまえて新しいCSカリキュラムの策定作業を1994年8月から精力的に行ってきた。その中

間報告書[5]は1997年3月に提示されている。詳しくは3章を参照されたい。特筆すべきことは、策定作業には1970年以降に発足した情報系専門学科（東京工業大学、東京農工大学、京都大学、大阪大学、九州大学）の卒業生のみによってワーキンググループを編成し策定作業を行ったことである（主査：柴山潔・京都工芸繊維大学教授）。委員13名の平均年齢40歳である。我が国では依然として長老の意見を尊重する習慣が根強く残っている。長老の一言が若手の提案を踏みつぶし、若手が発言の意欲をなくす。カリキュラム等の検討でも一般には同じことがいえる。従って若い世代のみによる策定が実施できたことは画期的なことと云ってよいだろう。実際問題としてこんなことが画期的だと評価しているようではだめで、当たり前になっていくことによって今後の展望も開けると考える。提案しただけでは意味がない。これを今後いかに実質化していくかが重要である。情報処理学会では情報系専門学科のアクレディテーションを学会として取り上げていくことを検討しており、それを軌道にのせていくことによってJ97の実質化と実践を期している。

## 4.2 研究開発における役割分担

### 4.2.1 成功事例の抽象化・一般化・汎用化

研究開発における産学協同の形態としては以下があり得る。

- (a) 個別企業が抱えている問題解決を学に委託する。
- (b) 学の生み出したシーズを事業化する。
- (c) 産の生み出した技術を抽象化し、一般化し、概念化してそれに適切な名前を付けて事実上の世界標準にすることを旨とする。

ここでは(c)について議論する。

産の最終目的は利潤の追求である。新日鐵が君津に新しい製鉄所を建設し自動化を徹底して遂行した話がNHK新電子立国・コンピュータ製鉄で紹介された（1996年5月26日放送）。建設は1960年代後半から始まった。構内に光ファイバーを張り巡らし、製鉄プロセスの制御や生産管理を徹底的に自動化しコンピュータ化した。当時、海外にも真似する技術はなかったのですべて自分たちで模索しユーザの立場で新しい方式を考え作り上げていったという素晴らしい成功物語である。当時世界の最先端を行っていたに違いない。後に、LANやMAPが我が国に紹介されたときに、当時の建設に関わった技術者たちは、それらの方式はすべて自分たちが君津でやったことばかりだと誇らかに語ってくれた。では何故それが日本発の方式として事実上の世界標準にならなかったのか。

製造工程の自動化や生産管理の自動化で企業としての目的を達したと判断したことが一つの理由であろう。もう一つは新日鐵が君津で作上げた技術は事例（インスタンス）であって、一般性や汎用性があったかどうか分からない。一般的な、あるいは汎用性のある概念や方式を示されてそれならば我々もすでに考えていたことだとか、すでにやっていると云うことはよくあることである。それらは実は一般的な概念や方式の1事例にすぎないことがよくある。その1事例を生み出すことがどれだけ大変であり、時間や費用や人がかかったとしてもである。

このような新しい独創的な事例を独創的であると正當に評価し、それを抽象化し一般化し、汎用性のあるものに仕上げ、それに適切な名前を付けて世に問うのが学の役割であろう。企業

秘密という壁が立ちだかっているのは承知しているが、産と学の役割分担として上のようなことが可能な産学間の仕掛けを作り上げることが重要だと考える。

情報処理学会の発足こそ1960年であったが、我が国最初の理工系情報系専門学科が発足したのが1970年であったから、君津で生み出された技術をさらに学問的な目で見直すだけの実力が学の側になかったかもしれないが、これらの技術を知的資源として蓄積しあわよくば事実上の世界標準にまで持っていこうという着想は産の側になかったのではないか。

#### 4.2.2 失敗事例の知識ベース化

「失敗は成功のもと」ということわざがある。「成功のもと」に転化させるにはその失敗の原因を詳しく分析できることが前提である。同じ失敗を繰り返さないことも重要である。このためには失敗を公表し多くの目でその原因を追究できる体制を構築しなければならない。失敗を非難し罰を与えるような枠組みの中ではこの実現は無理である。

デンバー新国際空港はマンハッタンの2倍の面積を持ちヒースロウ空港の10倍の幅を有する。悪天候でも3機同時に離発着が可能という。空港の施設は予定通り完成したのだが画期的なBaggage Handling Systemが完成しなかったために、開港が大幅に遅れた。文献[6]では、何故、Baggageシステムが納期に間に合わなかったか失敗の原因について、情報公開法を抛り所に資料を取り寄せて分析した結果を報告している。このシステムは以下に諸数値を示すように極めて大規模・複雑なシステムである。

○17マイル以上のトラック、○5.5マイルのコンベア、○4000台のテレカー、○5000台のモータ、○2700台のフォトセル、○59台のレーザ式バーコードリーダー、○311台の無線読み取り機、○150台以上のPC/WS/コミュニケーションサーバ

最初の計画の策定、UAを主航空会社にするための計画の変更、あまりに小規模のプロトタイプ、等調査結果が述べられている。この報告は、下記の一文で締めくくられている。「このような調査研究をいくつか重ねた後に、プロジェクトの失敗原因の知識ベースを構築しそれを維持管理して行く体制をソフトウェア技術者のコミュニティで確立すべきである。もし、ソフトウェア技術の専門家集団がプロジェクトの失敗に関する知識ベースを構築しないならば、過去に生じたと同じ理由でプロジェクトは失敗を重ね、誰も失敗の理由を知らないままになるだろう。」

また、「この報告をまとめるために、情報公開法に基づいてデンバー市当局など関係部署にシステム提案書、システム仕様書、すべての設計文書、中間状況報告書、中間評価報告書、ソースリストなど多数の情報提出を求めたところ、趣旨に賛成といいながら回答をよこさなかったところ、まったく音沙汰のなかったところがかかりあった」と述べている。

日経コンピュータ誌に「動かないコンピュータ」という記事が非定期的に連載されてきた。これらの記事の対象となった一事例（開発費：数百億円、規模：数百万ステップ）の責任者にインタビューを試みた。ある規模を超えるとソフトウェアの開発管理がとたんに困難になるという反省が先ず聞かれた。実際には受注時における日本的慣行とか、要求仕様がいつまで経っても決まらないとか、興味深い事実が次々に語られた。最高責任者が、失敗をかなり克明に分析して文書を作成しているが、特定の個人の責任を追及することになってはいけなくて極めて狭い範囲にしか配付していないとのことであった。

私企業のソフトウェア開発の失敗事例の原因記録を蓄積することが不可能だとすると、税金でまかなわれたプロジェクトが対象になる。かつて、電電公社が発注したソフトウェアの開発過程についてかなり詳細な記録が報告されていたように記憶する。しかし、この場合でも失敗事例の分析記録ではなかった。

中立的な学の立場で、このような知識ベース構築の音頭取りができないだろうか。そもそも、税金で遂行したプロジェクトには失敗ということはあるえないのかもしれない。これも公開性、透明性と同一線上にある問題である。

#### 4.2.3 大規模集積システム設計教育研究センターの発足

大規模集積システム設計教育センター(VDEC)は平成8年度に東京大学に設置された全国共同利用施設である。これまで大学では情報エレクトロニクス機器の設計・試作を行うことが困難であった。VDECはこれを可能とするものである。センターでは大学の教員・学生が設計したLSIの製作をまとめて民間会社の最先端製造工場に委託しているのでクリーンルームの維持など高額な費用が発生しない。1回の試作には多くのユーザが相乗りするマルチチップ計画になっているので、極めて低い費用でVLSIの設計試作教育を行うことが出来るようになった。我が国の情報エレクトロニクス研究教育にとって画期的なセンターである。

大学で設計したLSIを民間会社の最先端製造ラインに製造を委託して教育研究に用いるプロジェクトは1980年に米国で最初にスタートした。欧州でも次の年から準備を始めて1989年ユーロチップ・プロジェクトとして結実した。アジアでも韓国・台湾で同様なプロジェクトを1992年に開始している。米国では17年を経過して全米ですでに170余の大学がこのプロジェクトに参加している。その結果VLSI設計の出来る学生が実業界に多数輩出され、このことが情報産業において米国が事実上世界を支配する基盤を築いた大きな理由の一つといえよう。

我が国では大学関係者の永年の要望にもかかわらず、そして17年の間に日本の半導体産業は半導体メモリの世界市場を制覇する時期もあったにもかかわらず、何故このようなプロジェクトを開始できなかったのかその理由を分析してみることはこの分野の産と学の我が国における関係を理解する上で重要である。

遅ればせながらVDECが出来たことは、人材の養成ばかりかそこで設計されたLSI自体に、そして情報産業の将来に、産学の役割分担の重要な事例と位置づけられるであろう。

## 5. 次世代情報技術のパラダイム

ここでは次世代の情報技術の重要課題の一つとして、知的メディア理解システムと高複雑システム、およびそれらの関係について述べる。これには情報技術の新しいパラダイムやアプローチの仕方が必要であり、この点からも、2章で述べたような独創的能力を持った研究者の育成が待たれる。

### 5.1 コンピュータ技術と情報技術の動向と展望



コンピュータ・情報技術の動向は図1のように、コンドラチェフの波(Kondratieff wave)に従って、いくつかの世代に分けて考えられよう。今年(1997年)はフォンノイマン型の本格的な実用計算機—ENIACやABCコンピュータ—が作成されて約半世紀になる。この第一世代時期において、中心的課題は、ゼロから出発して、いかにして高速で、大規模で、かつ信頼性の高い、低価格のコンピュータハードウェア及びソフトウェアを作成するかというコンピュータ自体の作成技術に関するものであり、また巨大なシステムを産業やビジネスの目的に応用することであった。この意味でこの時期はコンピュータ技術(Computer Technology — CT)の時代であり、コンピュータは工業用やビジネス用などの特別な訓練を受けた専門家のためのものであったと言える。その結果、コンピュータは著しく変化しダウンサイジングによる個人使用化及び情報通信ネットワークとの一体化により、誰もが、いつでもどこでも日常の情報活動におけるToolとしてコンピュータが使用されるようになった。またコンピュータは計算するための道具としてのみではなく、広く、情報処理のツールとして用いられるようになり、コンピュータがいかにして有用な情報資源にアクセスするか、さらにコンピュータの上にいかにして有用な情報処理機能を実現するかという第二世代の情報技術(Information Technology — IT)の開発が中心課題となった。また、コンピュータが高度化複雑化するにつれ、能力は向上したが、他方では人とコンピュータの関係はますます疎遠なものとなり、人とコンピュータとの知的協力のためのインタフェースとして、メディア技術の開発が必須のものとなってきた。この意味で、第二世代は、ネットワークメディアコンピューティング(NMC)の時代とも言える。さらに、将来的には、第三世代の技術として、人や実世界と一体となったコンピュータとしての実世界コンピュータ(Real World Computer — RWC)へと展開する方向にあるが、メディアやネットワーク技術はそのための基本技術でもある。図2には種々のメディア処理や理解システムの今後の展開の方向が示されている。

現在はまだ各々のメディアが別々のシステムを形成しているだけであるが、将来的にはそれらが相互に結合され、最終的には知的能力と感性能力を併せ持つ仮想人間システムとして形成されていくものと考えられよう。

## 5.2 マルチメディア・マルチモーダル人間機械インタラクションシステム

人にしろ、機械にしろ、各システムやエージェントは、他と互いに隔絶されたままでは、知識や概念の形成はあり得ない。それらは、相互のインタラクションの上に始めて一つの共有系として成り立つものである。対話は、このようなコミュニケーション、理解、協調のためのインフラストラクチャ機能である。人又は機械は表1のように、チャネルとしての多くのメディアにより、いくつかの異なった情報処理コミュニケーションのモードにより、相互作用を実現している。通常、マルチメディアという話と、マルチモーダルコミュニケーションという話との関係は曖昧で多様な用いられ方をするが、ここでは、それらを明確に区別して、表1のように2次元的な関係として捉えてみた。視像系は具体的でトポロジカルな又はグラフィックな情報を瞬間的に平板的に一覧するには極めて有効であるが、その作成にはかなりの時間と労力を必要とし、必ずしもリアルタイム的な頻繁な相互的コミュニケーションには適さないし、さらに、深い意味や意図・目的・概念、推論過程、因果関係などの高次の抽象的情報をやりとり

するのにも適さない。むしろ、これらの情報は言語や言葉による対話に依ることがより自然であるといえる。

従って、これらの対比的に異なる性質を持ったチャネルの結合は、相互補間的に働いて、強力な働きをする。さらに言語系については、話し言葉は、即興的で頻繁なやりとりを伴う情報の交換を、気軽にかつ、書いたりキーボードを打ったりする特別の努力無しに、自然体で行うことができる。しかし、一方明確な体系的な伝達は文字言語によらなければならない。従って、人間-機械インタフェースとしては、グラフィックス、話し言葉、文字言語のマルチモーダルインタフェースは必須のものとなる。

しかしながら、現在のコンピュータは、ほとんど全てにおいて、コード化されたコマンドや文入力のためのキーボード、CRT上でのメニュー選択のためのマウス入力、言語や図形や映像表示のためのCRTしか有していない。これらは入出力チャネルとしては、いわゆる視像表示-手操作系といえるものである。もう一つの人間とコンピュータのインタフェースの問題点は、コンピュータへの指示はコンピュータが即実行できるような末端の個々の操作コマンドを一つずつきちんと与えてやらなければならないことである。このことはいわゆるプログラム理論等というところのoperational semanticsのレベルでの情報交換に相当する。(semanticsには、この他、denotational semantics、axiomatic semanticsがある。)コンピュータは、指示された操作の意味、その妥当性や人間の意図や目的を理解することなく、盲目的に実行しているに過ぎない。この意味で、今のコンピュータは人間とのコミュニケーションにおいて、知的能力を持っていないと言える。人間・機械コミュニケーションにおける知的能力は、ユーザやオペレータなど人間の側に背負わされている。このため、人は、コンピュータシステムの複雑な内部の構造や働き等を、一人のエキスパートとして修得した後に、その上に、自分の行いたいことを分解してコード化することが要求される。しかも、一般的に言って、人の指令に対する機械からの適切な応答が返されないために、人とコンピュータの間に誤解が生じてしまうこともある。それを避けるためには、細心の多大な絶えざる注意力が人に要求され、スムーズなフレンドリーなインタラクションを阻害している。人と人との間のコミュニケーションにおけるのと同様に、人と機械の間においても、コミュニケーションは相互的で、交互作用的で、かつ相互の意図や目的を理解しあうものでなくてはならない。従って、今後の知的な協調システムは、(1)ユーザの意図・目的を理解した上で、それを解釈推論し、それを実現する一連の操作をコンピュータ自身が生成・実行すること、及び(2)そのプロセスをユーザと対話しながら進めること、が要求されてこよう。このためには、入出力チャネルとしての、キーボード、マウス、ディスプレイ、音声入出力、及び、コミュニケーションモードとしてのグラフィックス、書き言葉、話し言葉、等の各々の特質を最もよく活かす役割分担や機能分担と複合の仕方などの体系的な研究がなされなくてはならない。

このような高次レベルでのインタラクティブなコミュニケーションは、単に人とパーソナルコンピュータやワークステーションの間で必要なだけでなく、人とコンピュータを含む各種の高度複雑系、例えば大規模な制御系やハイテク航空機などにおいてより重要な課題となっている。

### 5.3 知的なインタフェースシステム開発へのアプローチ

具体的なアプリケーションを行う通常のコンピュータやデジタルシステムに対して、これと一般的なカジュアルユーザを繋ぐ知的インタフェースシステムを設計するためには、人の行動及びコンピュータの振る舞いの分析やモデル化、及びそれらの間のインタラクション条件のモデル化が行われなくてはならない。このシステムの持つべき機能は、(1) ユーザ側の要求の意図・目的を解釈・理解する知的能力、(2) メディア処理能力、(3) ターゲットとなるコンピュータの動作のノウハウに関するエキスパートとしての能力である。このようなインタフェース開発における実験の第一ステップは、ユーザとコンピュータを仲介する人間エキスパートとしてのオペレータの振る舞いを観測し、分析し、それを virtualなインタフェースシステムとしてモデル化していくことが必要となる。人を機械になぞらえて、virtualなシステムとみなす実験の仕方は、Wizard of Oz方式と呼ばれている。最終的目標は、人のオペレータの行っている行動や思考、メディア処理能力などのすべてをモデル化し、完全に機械に置き換えることであるにしても、それらには限界があり、知的インタフェースシステムは図3のように、人と機械が機能を分担し、混合して働くHybrid Wizard of Ozシステムとして実現されなければならないであろう。即ち、ターゲットとなるコンピュータとのやりとりの部分はターゲットコンピュータ自体に埋め込まれるとしても、エンドユーザとの意図レベルでの交信や深い理解にはある程度人間オペレータの介在を必要とするであろう。実際には、この人手によらなければならない部分は、エンドユーザ自体が分担せざるを得ないかもしれない。しかし、このようなインタフェースマシンにより、エンドユーザは、コンピュータ操作の細部に精通しなければならないという煩わしさから開放され、使いやすさが相当に向上するであろう。

## 5.4 統合化の方法論

統合化の問題は、複雑な系を扱うときに、従来の分科・細分化の逆の過程として最近重視されるようになってきた手法である。一般的には、17世紀以来4世紀、近代科学を支えてきた基本原則は、デカルト(R. Descartes)の方法序説に述べられているように公理的な要素還元主義である。(1996年は、丁度デカルト生誕400年に当る)しかも、その要素への細分化は、個々別々のディシプリン(分科)として、独立的に行うことにより、問題を単純化して定式化し、それぞれの分科の内部において公理的に扱うことを可能にしてきた。計算機・情報科学は、この原則を究極まで推し進めたものと言えよう。しかし、最近科学の扱う問題が複雑化し、要求が高度化するにしたがって、この手法は、トータルなかつ知的な計算機・情報システム、社会システム、環境システム、脳・生体系など、極めて複雑なシステム全体を扱うときに大きな障害となることが認識されるようになってきた。これらのシステムでは、天文学的な数の状態集合やその上での関数・関係が存在するが、人にはそれらのうち極く部分的にしか観測・分析・記述し得ず、小分けにした各分科においてさへも、公理論が形成できない。(さらに、公理論にはゲーデルの不完全性という壁もある。)しかも、状態間のマッピングは複雑に絡み合っていて、単純な独立分解は、要素分野(分科)間の相互作用の欠落が生じる。独立分解は文脈自由文法(CFG)に相当し、これについては形式的公理的に扱うことができるが、相互作用を伴う分解は文脈依存方法(CSG)又はそれ以上のクラスの問題で、もはや公理的には扱えない。即ち、

独立分解において、各々の分科においては、分科間の相互作用は無視されているので、逆に、各分科を結合しただけでは元の全体は復元できない。この問題は、卑近な例として多変数確率分布の分解について述べれば、よく知られた次の式に該当する。

$$P(x, y, z) = P(x) \cdot P(y | x) \cdot P(z | x, y) \\ \neq P(x) \cdot P(y) \cdot P(z)$$

さらに情報量の観点から、エントロピー $H$ については、

$$H(x, y, z) \geq H(x) + H(y) + H(z) \quad (\text{但し等号は、} x, y, z \text{が無相関なとき})$$

が成り立ち、一般的には、独立分解は、情報量の損失を招くことになる。

## 5.5 統合化問題の例: 音声言語理解・対話系

音声言語の過程は、人の情報処理能力のほとんどあらゆる側面が関与する高複雑系(Highly complex system)である。人は自由に行っているが、この過程を公理的に記述できない。このため研究においても、音声処理、言語処理、概念処理などの統合系として探究されなければならない。しかしながら、これまで、これらの各専門分野は、別々のグループによって独立に研究されてきた。各ディシプリンは各々独自の研究手法を有してはいるが、それらは互いに独立ではなく、複雑に相互に絡み合った音声対話系をこのように独立分解して扱うことは方法論的に限界があり、それらの統合化の手法の開発は、今我々が直面している音声対話研究のデットロックを打開するために、どうしても乗り越えなくてはならない課題である。この問題は、あらゆる次世代の知的情報処理システム実現の共通課題である。

統合を実効あるものとするには、複雑系を統合するための方法論を十分に討議し、いくつかの基本的な問題、例えば各処理レベル間の制約条件の明確化、ill formedシステムを取り扱う一般的手法の確立、デジタル世界とアナログ世界の結合法などを体系的に解き明かす地道な努力を推進していくことが必要と思われる。また異分野グループの研究者間の「対話・協調」を積極的に推し進める必要があろう。

音声言語理解及びその上での対話の過程は、先に述べたように、部分観測性やアナログ・デジタル問題などを含む高複雑系であるといえる。人の話し手や聴き手はもともと、この過程を全体的に捉えており、音声、言語、概念のように意識的に区別してはいない。音声言語過程を、音声レベル、言語レベル、概念・知識レベルという3つの分科に分けて、全過程をそれらの3軸に投影して考察することは、それなりに有効ではあるが、図4のいわゆるVennダイアグラムに示すようにそれらの三側面は互いに絡み合っていて、相互作用(いわゆるcross term)が相当に存在し、相互に依存するものと考えられよう。例えば音声(S)のみから見た場合、言語との相関部分(S-L)や概念系との相関部分(S-C)は、縮退してしまって、現われてこない。S-Lの部分は音声(S)と言語(L)を一体とした複合アプローチから抽出されなければならない。またS-L-C、つまり音声、言語、概念全体にまたがるような側面は、対話のメカニズムや問題解決タスクなどのより

上位のアプローチからの助けが必要となるであろう。ここでは、このような統合化問題の1例として、音声・言語理解系をとりあげたが、情報科学において、従来の個別な学問的ディシプリンの壁を超えた新しいアプローチが必要となつてこよう。それには、関連する諸分野の研究者が、共通的な目標を設定し、それに向かって個別のディシプリンを超えて横断的に探究する(trans-disciplinary)という手法が必要となつてくる。特に、日本において、研究者は自己の専門を死守するという姿勢が強く、分野の転換や拡大には保守的であつた。そのような異分野の結合の必要性は、情報科学全般について言えることであり、我々は意識的にそれに取り組んでいく必要がある。21世紀にはこの問題が科学の中心課題となる。このテーマを探究していける独創的研究者の育成は、情報科学・技術振興の急務であろう。

## 6. 情報工学の戦略研究課題

### 6.1 はじめに

情報工学の発展には、長期的に見れば、人材養成の問題が第一義的に重要であることは言うまでもない。しかし、当面の戦略研究課題を考える上では、既成の情報工学研究者・技術者を目的基礎研究の方向に転換させる方策を論じ、具体的に戦略的と考えられる研究領域を指摘しさらに、我が国に情報工学の高度研究体制をどのように確立するかを考察することが急務であると考えられる。むしろ、人材養成の問題は、このような過程のなかで、自然にかたち作られるとも考えられる。

以上の様な観点から、ここでは、まず現在の研究者・技術者を戦略研究の方向にどのように誘導するかを論じ、ついで情報工学の戦略的課題と考えられる領域として、単なるコーディング技法としてのソフトウェアの問題ではなく、システム実現の領域が有力であることを示し、さらにこのための高度研究体制として、最近、日本学術会議より勧告された「計算機科学研究の推進」の中心提言である「計算機科学高等研究所の設立」のみならず、既成の研究者を含めて、より広範な高度研究体制の樹立が望まれることを述べる。

### 6.2 情報工学研究者・技術者と戦略研究

我が国における情報工学ことにソフトウェア工学とこれに関連した産業の不振には、社会的・経済的背景などを含めて、多くの阻害要因があることが指摘されている[7]。これらの阻害要因の除去はすべて緊急の課題である。しかし、情報工学とくにソフトウェア工学に従事する研究者・技術者の人的資源の観点から見ると、資質に優れた多くの研究者・技術者が、依然として在来型のメインフレームを中心とした開発を進めている。大企業に囲い込まれていることが大きな問題であると考えられる。

優れた着想を高い機動力を発揮して実現に移すことが要求されるソフトウェア開発の領域は、組織的な障害が多い大企業組織とは本来なじまない側面を含んでいる。したがって、より個人の能力が直接的に発揮でき、その努力が経済的にも報いられるような社会的環境を整えること

が、現有の優れた研究者・技術者を活用するために、当面、非常に重要な課題になるのではないかと考えられる。

我が国のソフトウェア産業が、諸外国ことに米国に比べて、かなりの遅れをとっていると言う、後向きの議論がしばしば行われている。たしかに、パーソナル・コンピュータあるいはワークステーション向けの基本ソフトウェアの領域を見れば、米国製ソフトウェアの独壇場の感があることは否めない。しかし、戦略研究は「誰にとっても始めてのフロンティアで、世界と互角に公正に競争していくこと」[8]であるとすれば、これら基本ソフトウェアの領域で、改良的な研究・開発を進めることは必ずしも得策ではなく、我が国が既に強い技術領域での研究の推進によって、フロンティアをうちたてることが強く求められているのではないかと考えられる。

幸い、我が国には、諸外国に比べて、必ずしも劣ってはいず、むしろ進んだソフトウェア技術の領域が存在する。種々の実時間制御ソフトウェアあるいは組み込み型のコンピュータ応用の領域がそれである。この領域での人的資源を活用する方策を立て、活力と機動力を与えるような、環境を作ることがまず第一に重要ではないかと考えられる。

### 6.3 情報工学における戦略研究

戦略研究の目標としては、前掲の「誰にとっても始めてのフロンティアで、世界と互角に公正に競争していくこと」の他に、「近い将来に応用される可能性を持つものに特別の照明を当てる」こと、及び「ゆっくりながら堅実に改善を図って行く我が国得意のグレード・アップ方式では、この競合的な世界の中で生き残ることは難しいこと」などが併せて指摘されている。これらの指摘は、換言すれば、近い将来の我が国の産業に寄与すること、我が国が既に得意としている分野について、その優越性を保持すること、ならびに、研究手法を大胆に変革することが求められていること、などを意味していると考えられる。以下、このような視点から、我が国の情報工学の戦略研究課題のひとつとなり得るものを提案する。

近い将来の情報技術を変革する原動力になると考えられる周辺技術は、集積回路技術と光通信の進歩であると見てよい。情報工学にとって幸運な事実、これらの技術領域はいずれも我が国が高い技術水準を維持していることである。

シリコン集積回路技術は、行き詰まりが懸念されながらも、着実な改良が積み重ねられ、少なくとも今後10年間程度はこれまでの集積度の増大傾向を維持すると見られている。これは現状の集積度の約100倍程度の素子が1チップ上に集積されることを意味している。またこれは同時に、論理素子の動作速度がほぼ10倍程度の向上を見せることをも意味している。従って、このような集積回路技術の進歩は、単独のプロセッサの性能向上に活用されることは勿論であるが、複数のプロセッサとそれに付随する記憶装置ならびに周辺のハードウェア機能などを含めて、かなりの規模のシステムが1チップ上に集積可能となることを意味している。このようなシステムの典型的な応用分野は、必ずしも汎用コンピュータの形態を見せない、いわゆる組み込み型の領域が主要な対象となると考えて差し支えない。

光通信技術は既に広く利用され、通信の革新が進行しているように見えるが、現状では、単に在来型の電気通信技術を補完する形態での利用が進められているに過ぎない。本来、光通信

技術は、このような発想では律しきれない、革新的な情報伝達環境を実現する可能性を持つものであり、すでにこのような明確な認識を持った研究も我が国において進められつつある。光通信の真価が発揮される状況のもとでは、現在の通信の形態の延長上には無い、新しい情報伝達環境が展開し、この技術の影響を最も劇的な形で受ける領域は、非常に多数の人々が日常利用する機器類であろう。現状で言えば、いわゆる情報家電と称される領域がこれにもっとも近い。

これらの観点を総合すれば、我が国が現状で不得意としている、汎用型コンピュータ、特に逐次代入型処理機械、の存在を前提とした情報処理環境ではなく、より高度の知的機能を持ち、誰もが利用可能な、可搬型の情報機器類の開発ならびに組み込み型情報処理システムの研究を強力に推進することが最も緊急の課題として浮かび上がる。幸いにして、この分野はこれまで我が国の産業が最も得意としてきた領域であるが、皮肉にも、学界あるいは国家からの組織的な援助がほとんど行われてこなかった領域でもある。多くの汎用コンピュータ類が、特にアーキテクチャならびに基本ソフトウェアの領域で、諸外国の後塵を拝している現状の中で、この領域の産業の製造ならびに研究・開発の空洞化が現実のものとなった状況を想像すると、慄然たるものがある。

我が国の情報工学研究を、米欧の模倣を脱し地に足のついた、先進的研究に転換させるためにも、我が国の産業の現状と将来の展望を持った戦略研究をこの領域で開始することは緊急の課題であると考えられる。このような領域での戦略研究課題としては当面次のようなものが挙げられる。

#### (1) 統一的システム記述手法の研究

チップ上にすべてのシステム機能が完結的に集積される状況では、まずシステム機能の記述から始まり、それをハードウェアとソフトウェア機能の協調によって実現する段階に至るまで、一貫した開発・設計援助環境が存在することが望ましい。

現在のシステム設計援助手法は、いわゆるハードウェア・ソフトウェアの協調設計 [co-design] の試みがあるものの、特にソフトウェアの記述の領域で、逐次代入型処理機械に固有な意味論的乖離のために、多くの問題が発生しており、この問題の解決には、新しいソフトウェア・パラダイムの導入以外には、決定的方策がない。

この問題は、新しいシステム機能記述とその実現を、ハードウェアとソフトウェアとを統合して、統一的に取り扱う手法を導入しない限り解決しない、本質的な問題である。従来から、ハードウェア、ソフトウェア共に、設計環境を輸入技術に依存する傾向が強かった。このような事態を打開するためにも、新しい発想で、特に我が国が得意とする組み込み型機器、可搬型の機器等の設計を対象として、斬新なシステム記述環境の研究を、産官学共同で、戦略的に推進する好機であると考えられる。

#### (2) ソフトウェア・ハードウェアの統合的实现手法の研究

すでに指摘したように、誰にも使える知的な処理機械の実現が大きな課題となることが予想される。このような機械の実現には、従来のプログラム記憶方式の処理機構のみならず、自己学習機構などを持つ、新しいアーキテクチャを想定することが必要となる。また、2値論理に限らず、多値、アナログなどを含めた、柔軟なシステム構成手法の採用が求められると考えられる。このように種々の機能が混在するシステムを、プログラム制御とハードウェア機能とを

統合的に用いて、実現する手法の研究は、非常に興味ある先端的な研究を誘発する可能性を含んでいる。

この研究は、前述のシステム記述手法の研究とも密接に関連しており、統合的な研究の展開が期待される。具体的には、設計限界、検証限界、検査限界などの克服を原理的に保証する手法の探索が課題となる。

### (3) 省電力情報処理機構の研究

既に明白になっているように、現在のプロセッサ構成のままで、予想される集積密度を完全に利用することは、クロック・スキューの解決、電力密度の制約などから、論理的にも物理的にも、不可能であると考えられている。特に可搬型の機器の効用は、電池寿命に大きく左右されるので、システムの省電力を保証することは大きな課題である。

電力・速度積の制約の下で、与えられた電力消費密度を満たすようなシステムを実現するためには、全く新しいシステム・アーキテクチャの導入が求められる。したがって、省電力を原理的に保証するシステム構成法の研究は、非常に重要な戦略的研究の課題となると考えられる。

### (4) 高機能処理機構の研究

知的なシステムに求められる機能には、組み合わせ論的な爆発を伴う問題がしばしば発生する。したがって、いわゆるソフト・コンピューティング型の解法が求められる局面が多い。新しい処理アルゴリズムの探索を含めて、非決定論的な処理機構の開発が重要な課題となるであろう。

### (5) 高度なヒューマン・インタフェースと新しい情報表示装置の研究

使用者の感性に応じて快適なインタフェースを適応的に提供する、柔軟なインタフェース機能はこの種の応用領域では決定的な重要性を持っている。新しい発想のヒューマン・インタフェースの研究に集中的な努力を誘導することは重要な戦略的課題であると考えられる。

また、省電力型で、快適な入・出力インタフェースを提供できる情報表示装置の研究は、情報工学の研究領域とは言い難いかもしれないが、非常に重要である。現在の液晶表示装置の領域で維持している世界的な優位を失うことがあってはならないという意味で、戦略的な重要性があると考えられる。

## 6.4 おわりに

戦略的研究の推進に当たって最も重要なことは、「ゆっくりながら堅実に改善を図って行く我が国得意のグレード・アップ方式では、この競争的な世界の中で生き残ることは難しい」と指摘されているように、改良型研究には決して研究資金を投じないことである。問題の本質を見つめた、新しい発想を誘発するために最も重要なことは、その方向に研究を誘導するような、具体的な行動をとることである。このような施策が具体的に実施されない限り、戦略的研究の構想は画餅と帰するであろう。

## 文 献



- [1] 堂下修司：大学院教育からの取組み－独創的研究の推進と独創的研究者の育成－，産業構造の転換と情報処理教育シンポジウム論文集，情報処理学会，pp.35-42 (1996年11月).
- [2] 文部省高等教育局工学の振興に関する調査研究協力者会議(座長：市川惇信)：変革期の工学教育，文部省高等教育局・工学の振興に関する調査研究協力者会議報告書 (1989年).
- [3] 堂下修司：推論と推論系，「知識工学：3.1.2」，田中幸吉・編，朝倉書店 (1984年).
- [4] 柴山潔：大学の理工系情報学科における新しいコンピュータサイエンス教育カリキュラム J95－産業構造の転換に対する大学専門教育からの取組み－，産業構造の転換と情報処理教育シンポジウム論文集，情報処理学会，pp.25-34 (1996年11月).
- [5] 柴山潔：理工系情報学科におけるコンピュータサイエンス教育カリキュラムに関する総合的研究，文部省科学研究費補助金・研究成果報告書，基盤研究(B)(1) No.07308025 (1997年3月).
- [6] A.John Swarts: Airport95-Automated Baggage System?, Software Engineering Note, Vol.21, No.2, pp.79-83 (1996).
- [7] 日本工学アカデミー情報専門部会情報工学振興策WG(主査：大須賀節雄)：日本のソフトウェア問題について－現状分析と将来対策－〈最終報告〉，EAI Information, No.64, (1997年3月).
- [8] 伊藤正男：我が国の学術体制を巡って－戦略研究と高度学術体制－，学術月報 (1995年5月).
- [9] 堂下修司：音声・言語・概念の統合的処理による対話の理解と生成，人工知能学会誌，Vol. 12No.1, pp.3-12 (1997年1月).

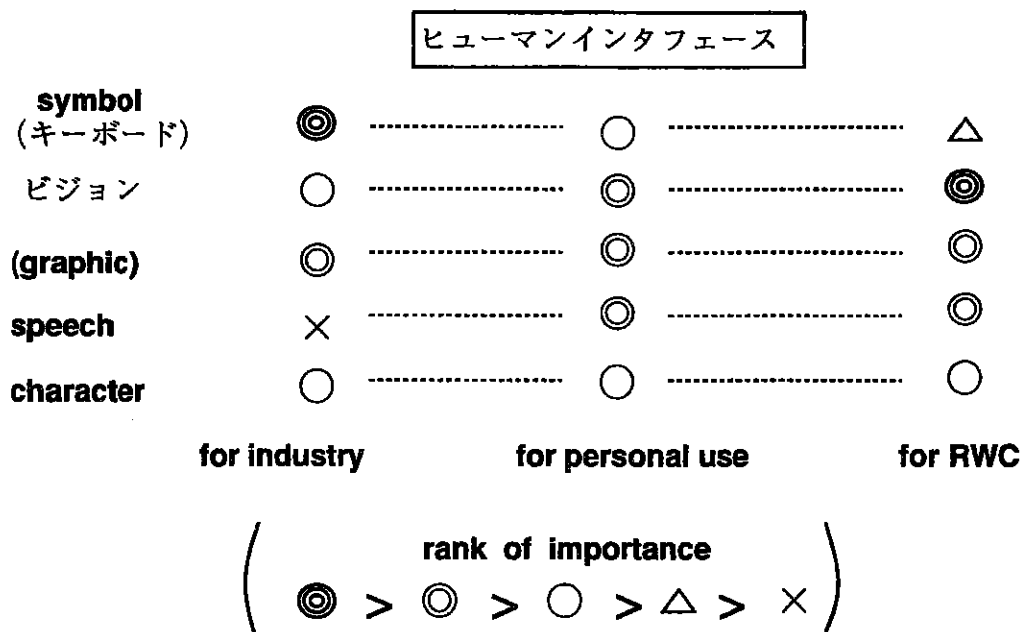
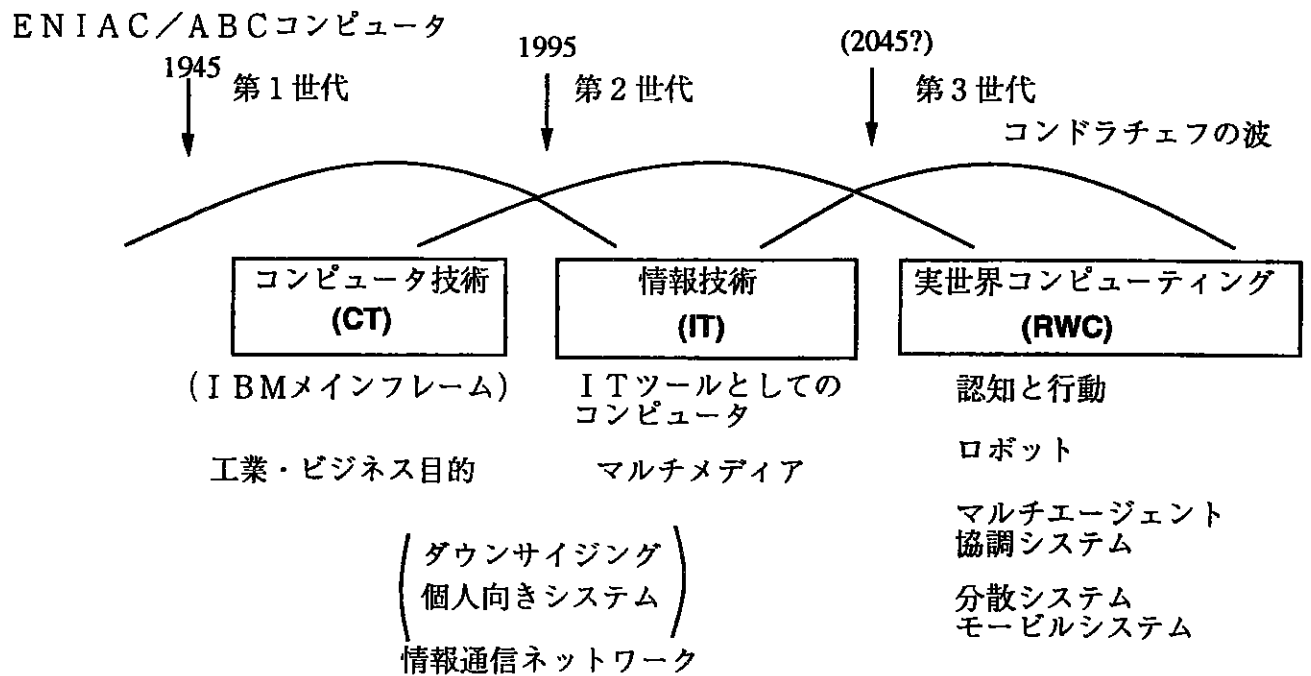


図1 コンピュータ・情報技術の展開

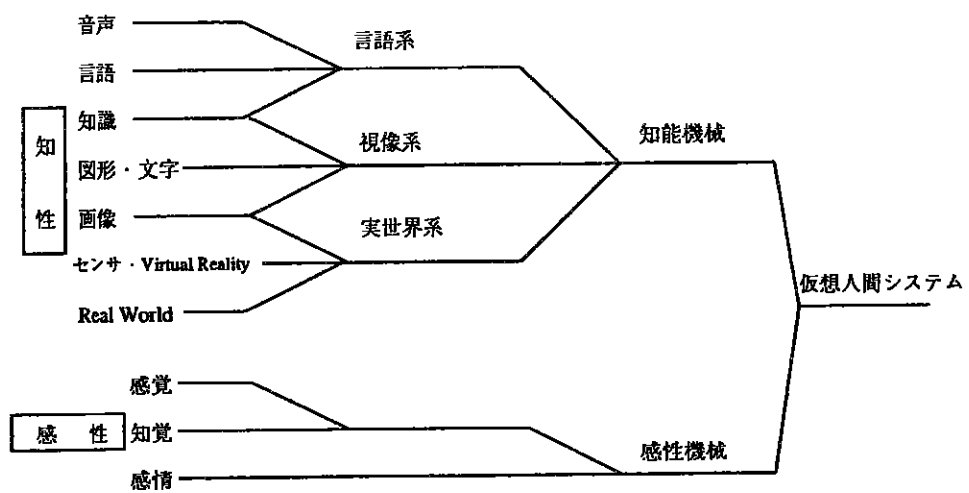


図2 メディア処理系の将来展開

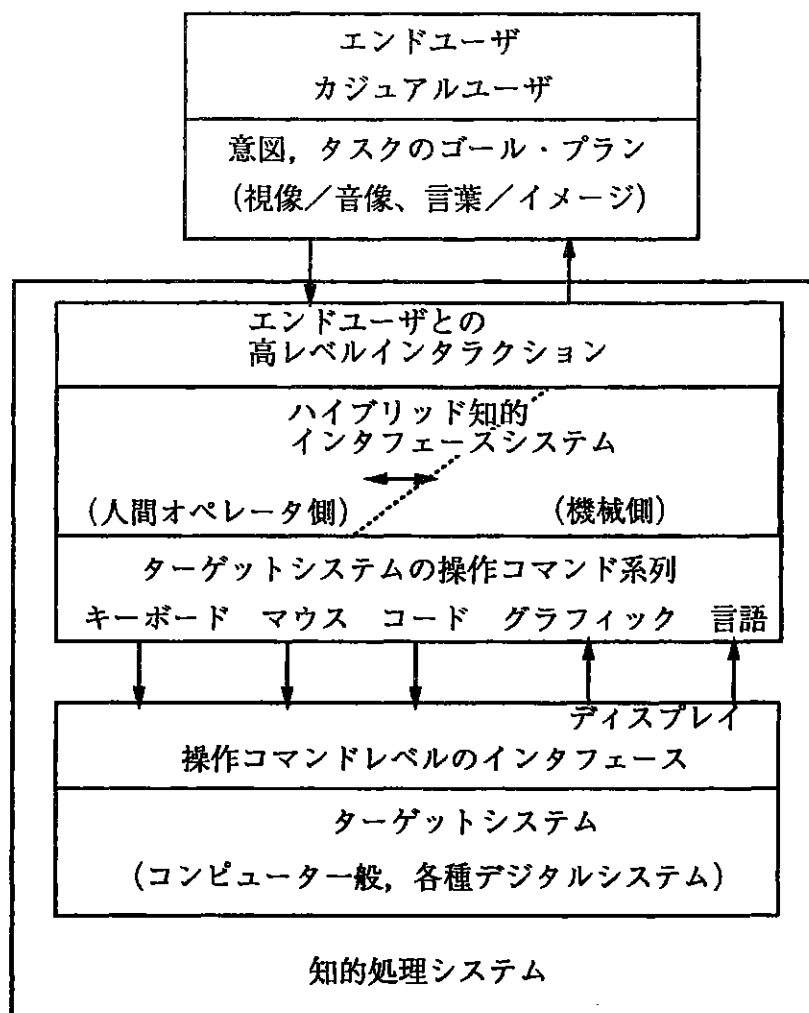


図 3 知的機械のためのハイブリッドインタフェースシステム

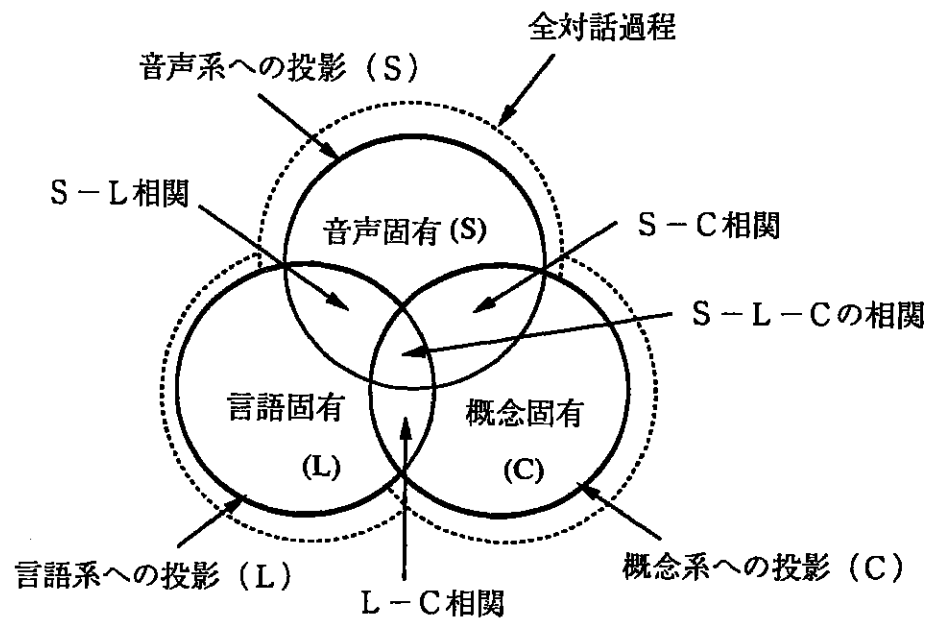


図4 複雑系の分科と統合：音声対話系における音声・言語・概念処理分野間の相互関係

表1 人間機械インタラクションのためのマルチメディア/マルチモーダルコミュニケーション

		特質	信号/データメディア	
			音像系	視像系
情報モード	言葉	意図、概念、カテゴリーの記号的記述	音声言語 音声対話 音声識別 音声鍵 音声アイコン	書き言葉 手書き 活字 キーボード メニュー選択 キーボード マウス
	図像	トポロジーの記述		グラフィクス 手書き 計算機作成
	パターン	感覚、感情の知覚的信号	音声の韻律 音楽 声楽 器楽 環境音	絵画 風景
			ダイナミック過程	トポロジ空間
情報空間全体				