

# 大学教育での情報関連教育に関する考察

中村 彰<sup>†</sup>

A Proposal of a Guide Line to the Literacy of Computer and Information  
Tools for the Students as Fundamental and Basic Curriculums  
of Non-Computer Science.

Akira NAKAMURA

(平成6年3月1日受理)

## Abstract

Today, it is well recognized that many disciplines are stimulated by many kinds of information processing and informational concepts in some sense. The terminological concept of 'Information' that is frequently used as an adjective form in various technical terms, however, has many aspects depending on the view point of the purpose of individual disciplines, to induce an obscure context of 'information'-related subjects. Personally, this obscure situation in the concept of information seems to be a rather chaotic confusion for the coming new paradigm.

In this report, considering the information tools and environments are provided as those which are positively utilized by individual discipline, a possible guide line of literacy in information-related subject was examined.

## 1 序論

大学改革の一貫として、全国の大学では現在様々な取り組みがなされている。この大学改革の大きな幹の中の一つの枝葉として新しく取り入れられるべき事柄に、いわゆる情報教育があると考え。大学改革は、平成3年6月に発表された「大学設置審査内規」の変更に依るものであり、その中身は制度や将来構想など種々の側面が存在するが、大学教育の中身と密接に関連するものとしては、1) 一般教育の改革と、2) 専門教育の改革の2つの柱が関係する事柄がある<sup>1)</sup>。大学教育の中で、情報教育は情報科学教育と情報処理教育に分けて考えることが出来るが、これら2つの範疇をまと

<sup>†</sup>情報処理研究室

めて「情報関連教育」と呼ばせていただく。そして、情報関連教育が、一般教育の範疇で考えるべき部分と専門教育の範疇で考えるべきものに当面のあいだは区別して考察する必要があると考えられる。ここで「当面のあいだ」と言っているのは議論の過程としてのことである。将来の大学教育、或いは社会の要求と変革に伴い、この区別分けが不要となることが十分に考えられることも事実であろう。本論文では、大学教育での情報関連教育における可能な指針について議論を行いたい。ただし、制度・設備の観点からの議論については、物理的制約もあるので、ここでは取り扱わず別な機会にゆずることにしたい。

## 2 情報関連教育を取りまく大学教育の現状と背景

### 2.1 様々な問い直し

大学教育での情報関連教育に関して、今更「情報化社会に対応する人材の云々...」の下りを持ち出す必要はないほどに、その必要性を取り立てて議論する必要はない。唯一つ指摘しておく必要のあることは、「情報」が現在の学問体系にその根を深くおろしている事実だけであろう。工学的な側面からは、Shanon に始まる「ビット情報の伝達」に関する重要な専門分野の目的が存在するし、理学・応用理学的な側面では、「数理科学」の新しい展開が期待される研究の場でもあると捉えることも可能である。この辺りが直接的に従来の「情報」の概念と結びつける接点であろう。しかしながら、「Shanon の情報理論」が精緻な数学的定義付けがなされてはいるものの、人間にとって本質的に大切な「意味の概念」を扱うことが出来ない。現在においては、「情報」の概念ははるかに広い領域で且つ深くその「双頭の生き物の根」を浸透させていることを見過ごしてはならない。

もう8年ほど以前になるが、現代の科学のある種「行き詰まり」「未解決の問題」などを様々な角度から見つめ直した書物が出版された<sup>2)</sup>。この書では、いわゆるニューサイエンスの動向を、物質、生命、意識に関する3つの側面から概観し、「何が今問題になっているのか」を問い直したものである。また、物質主義に挑み生物学から文化人類学に転じ、Wiener や Neuman ら

と共にサイバネティクス学会をつくった Gregory Bateson の「精神と自然」には、物質主義の内部矛盾を論理階型構造の手法で対峙させている<sup>3)</sup>。この中の最後の思索では、「... 'パワー' とか 'エネルギー' とか '緊張' とかという疑似物理的なメタファーは要注意の代物でありまして、...」という Bateson の遺言じみた深い思索の結論から、教育に関する最後の警鐘を感じざるを得ない。さらに、柴谷篤弘氏の「構造主義生物学原論」には、その内容は別にして、氏の全く独自の「純粹に内発的に」行われた発生生物学への転換の直感的思考が、既に数年前に「紋様形成」と定義されていることを知った事実、あるいは、その物理学的基礎付けが既に 1952 年に Turing によって解かれていた事実を回顧している<sup>4,5)</sup>。こう言った例は、現在の学問分野において枚挙に暇がないほどに存在していると考えてよい。このような事例は筆者には、現在の「科学」の抱える自己矛盾をヒシヒシと感じる時代背景が醸し出す「新しいパラダイム」への苦悩の足音の様に直感的に思えてならない。現代の科学における中心的存在である「物理」の分野においてさえも、この種の苦悶が真面目に問い直されている現状も見逃せない<sup>6)</sup>。こうした新しい Paradigm の変化の潮流に関しては、改めて考察の機会を設けたいと考えているが、ともすれば恒久的な定義付けの曖昧な「情報」という概念が加わり、この潮流は別な視座からの検討も余儀なくされている。

もう一つの例を挙げることが出来る。「情報」「科学」「計算」という概念を直接研究の対象としていない研究者が、これらに関わる現実を批判的に問い直した例もある。国際経済論と知識産業論を専門とした Fritz Machlup は 10 年ほど以前に「情報」と「科学」についての学際的定義を試みている<sup>7)</sup>。そこでは、人間の精神（認知科学）にとっての情報を制限的に定義し、神経システム、遺伝システム、社会システム、人工システム、信号伝送、負のエントロピーなどの現在情報関連の先端分野で取り上げられている対象を選び、それらを受け入れるべき人間を見据えた観点からの検討を加えている。彼の「情報」の概念に対する認識は、「情報は人間の精神を対象として送り出され、人間の精神によって受け取られる。... (中略) ... (フィードフォワードやフィードバックなどにみられる情報の伝達に対し) あまりにも多くのサイバネティクス研究者が、機械部分 A が機械部分 B に何かを「伝

える」といった擬人的な表現を受け入れてきた。],「このような意味での情報とは,「作用」の言い換えであり,いかなる意志,精神,認知的行為も含まれていない。」また,「(こうした認識の下で)情報理論でシステムについて説明するとき,情報を云々するのは,悲しむべき言葉の誤用でしかない。」とまで言い切る。更に,認知科学,とりわけ計算心理学や計算言語学においてさえも,「計算」という言葉の意味が数値計算を扱わずプログラムやコンピュータの処理を扱うことと同義であることを指摘し,「計算」という言葉の意味の拡大が後戻りの出来ない状況にあると嘆いてもいる。

明瞭ではないが,こうした従来の科学への問い直しと,今までとは異なる「規範」を求めるの胎動を,従来の範疇にはない方法論的に新規の手法の出現の予感と,新しい価値基準の待望とが側面援護している様に思われる。そして,これら胎動の時期と「情報」の問い直しの時期と重ね合わせると,新規の規範,あるいはこうした議論の拠り所に,「情報」が関与できる余地があるものと考えられる。

## 2.2 情報の概念と体系

今の状況に於いて否応なしに「情報科学」という言葉を受け入れている状況が感じとれる。日本語で「情報科学」「計算機科学」「数理科学」をどう区別しているかは,それと関わりのある分野で様々な別個の概念を産み出していると思像できる<sup>8)</sup>。また,ある種の「処理」と「その結果」を伴う言葉として,「情報処理」「データ処理」「数値処理」「データ分析」等々がある。後者の一連の「処理」を伴う言葉は,現実的な目的に密接に関連しており,大同小異の概念で捉えることができるが,前者の「科学」に関する場合には,分野毎でその「情報」概念の整合性に関して不一致が著しい。それは,関わりのある専門分野で「科学」に対する期待あるいは理想とする概念が異なるからである。「数理科学」は「情報科学」なる概念が出現する以前に既に存在していたものであるが,雑誌の「数理科学」(昭和38年7月ダイヤモンド社刊行,昭和50年4月サイエンス社継続刊行)には情報科学の概念をも包含した内容となっている。「計算機科学」は,日本では組織工学(システム工学)者などが精力的にその対象を模索していた<sup>9)</sup>。いわば,従来の人

間の能力では計算しきれなかった事柄が計算機により計算可能となったことに伴い、計算機による模擬実験を含む新しい意志決定が行われうることに科学的発展性を求めたものが契機になったものと考えられる。あるいは、文部省の科学研究費の内容をまとめた、京都大学の坂井利之氏らの報告書にその意義を認めることができるかも知れない<sup>10)</sup>。

日本語の「情報科学」という字句から普通に読み取れるものからは、情報の概念の探索と情報処理機器の利用を通した新しい科学の新展開を意識したものであろうと想像できる。いづれにしても、「情報科学」を標榜する多くの専門分野にはこれらの名称の中身に、ある種の共通性が存在することは確かである。一方、そこから帰結される目的あるいは関連する専門分野により、概念の中身が異なることも確かである。

そもそも人により分野により「情報」なる概念に捉え方の違いがあり明瞭でない以上、「情報科学」に対し画一的な概念を持たせることに現時点ではさほどの意味はなく、また、こだわる必要もないと考える。各専門分野でこれに対する明確な概念付けが行われていれば混乱は当面は生じないものと考えてよい。

最近、「情報」が勝手に一人歩きをしているかのような判断をされかねない事態が、教育の現場に定着しつつある状況も見受けられる。「コンピュータサイエンスのカリキュラム」(別冊 Bit, 國井利泰編, 共立出版, 1993年1月)には、多少気になる記述が存在している。この本は、國井氏が編者になり、ACM (The Association for Computing Machinery) と IEEE (The Institute of Electrical and Electric Engineers) の「Computer Science の教育」のためのカリキュラム構成に関する答申の翻訳資料を中心に据えて、「コンピュータに関する学問体系とその教育カリキュラムの基礎資料を提示する」ことを目的としている。氏らは、コンピュータサイエンスは、「情報関連学部・学科における教育研究を考える上で重要である」とし、「専門性に乏しくただ情報という言葉のみをキーワードとした学部学科は、独立した研究教育機関としての存在意義を提示できないまま、いずれ消え去るであろう。なぜならば、文系・理系を問わず、いかなる専門分野も研究教育上の知識、内容とその成果はすべて情報という形態をとり、情報として提示さ

れるのにほかならないからである」と指摘する。この背景には、物質と対置される情報の理解には「情報科学」の定着が必要であるが、まだ「夜明け」の段階であると考えられているからである。学問体系が見出せないでいる情報科学であるなら、その専門教育カリキュラムを作りようがないと筆者には思える。氏は更に「専門性を欠いていることだけが共通の特色で、卒業生は何ら特技を持たないので、どの仕事をやらせても中途半端で、役にたたない」との社会からの意見を援用して、ある種の「歯がゆさ」を感じつつ、コンピュータサイエンスを「全ての問題処理をコンピュータ上の計算手順に転換することにより自動化する方法を発明・発見する学問分野」と規定し、「文系と理系のあらゆる学問分野にとっての新しい基礎科目にコンピュータサイエンスの中心部分を加えることが必要である」と断言する。敢て付け加えるなら、「コンピュータ・サイエンス」のかわりに「計算機科学」と称していたとしても、この断言には違和感を覚えるのである。この國井氏の論理の展開には、Fritz Machlup や Gregory Bateson の苦悩と問い直しの一読を勧めたい気持ちもあるが、「情報科学」や氏の言う「コンピュータ・サイエンス」の置かれている現状についての分析については、十分に頷ける部分も認めうる。少なくとも、何か実際に計算機を用いた処理を行い、「情報」をキーワードとする専門分野で教育研究をする上での必要事項が共通にいくつか存在するであろう事は理解できる。先に述べた ACM や IEEE の委員会におけるコンピュータ・サイエンスのカリキュラムの検討は 1968 年 1978 年 1988 年 1991 年の 4 回の改訂を経て行われているが、國井氏が抱いたのと共通するある種の「いらだち」と「歯がゆさ」が感じられる変遷の過程を伺うことが出来る。

情報科学の未熟さと概念と理念・目的の多様さについては既に指摘したところであるが、もう少し早い時期（昭和 54 年）から大学の教養課程で独自に取り上げていた内容をまとめた好著もあるが、やはり、「情報科学」の体系を規定しそれを定義し得ていない<sup>11)</sup>。

実社会においても、「情報」は否応なしに様々な様式において入り込んでいる現実を省みたとき、そのとき、計算機の利用と言うことが殆どの場合、直接的・間接的に共通していると考えられる。一方社会を構成する世代の

中にも、計算機の利用に関して利用する世代間の不連続が存在する。大学の例では、教官の世代別構成はおよそ30代、40代、50代以上の3つに区分する事が出来るが、40代半ばを境にして計算機利用の頻度と目的に大きな不連続が認められている<sup>12)</sup>。実社会の状況ではもっと明瞭にこうしたこの種の不連続が認められることが容易に想像できる。この不連続に関して、信州大学工学部と放送教育開発センターおよび信越放送では、「これからの人間社会においては、あらゆる活動分野でいかにコンピュータを上手に利用するかが大変重要である」との認識のもとに、単にその幅広い応用を紹介するだけでなく、それらの処理の基本理念をも解説し、コンピュータへの誤解と拒否反応を取り除く試みを行っている。具体的には、情報工学、生産システム工学、電気電子工学の12名の教官が分担し、放送利用の公開講座を企画しテキストを作成している<sup>13)</sup>。内容は、コンピュータの構造・構成・動作に始まりCプログラム言語の紹介、コンピュータ通信の概説、数値シミュレーションと予測、画像処理の概説、音声合成・認識、自動制御の概説、コンピュータと教育、医療・金融機関での利用、家庭での利用、人工知能の動向を、目的・用語・方法・具体例を取り入れて理解してもらえるようにしたものである。45分の放送時間で講義できる内容には制約があり、内容的には必ずしも整合性と統一のとれた構成にはなっていないし、導入から専門的内容まで旨く取り扱っているのとそうでないものとのチグハグは感じられる。しかし、普段から計算機を研究したり道具として利用している職種の人間とそうでない職種の人間の間の不連続を補う意味で、評価されて良いものと思っている。

情報関連の教育現場を取りまく状況で最後に指摘したい教育姿勢を紹介したい。國井氏の立場と関連があるかもしれないが、昨年に翻訳がでたもので、Alan W. Biermannの著した「やさしいコンピュータ科学」がある<sup>14)</sup>。著者はこれを「コンピュータの本である」と断り、コンピュータについて「それが何で」「どんな仕組みで」「何が出来て、何が出来ないか」について、Pascal言語を通じて具体的に解説する。ただ、それだけの500頁程の書物である。普通の日本の感覚なら、『(何々科学の)理念と目的を明確にした上で「その目的・理念の遂行にはこのような教育体系が必要であり、…」、従っ

て教育カリキュラムの内容は、理念と・目的に合理的に整合性が取れている。』とその取り組み方法の正当性を主張するところを、米国的な合理性に根ざし、現在の情報関連を取りまく状況で（この状況の判断は個人の主観に依存してもよい）「何が必要か」を考究し、個人で実践してしまう姿勢である。勿論、Pennsylvania 大学に情報科学科（Department of Information Science）を設立するのに参画した20年前当時の米国の実状においても、「情報科学」と「計算機科学」を区別することが困難であったことを述べた、山田尚勇氏の指摘する状況が依然として存在していることも事実であろう<sup>15)</sup>。著書で取り上げられている言語が「何故 Pascal であるのか？」などには一切答えず（実際、プログラム言語などは何であってもいいので）、特定の計算機言語という共通語で、著者が信じる講義を信じる目的に即して自由に展開している。取り上げる内容は、これは、著者の見識に大いに依存するものである。そして、この本を通じて学習した学生が独自の考えを持ってくれさえすれば、「批判」であろうと「更に発展」してくれようと満足なのであろう。付記しておきたいことは、著者は、それまでの「理念・目的・体系」について省みなかった訳ではなく、逆に、十分に議論の内容を熟知していた事実である。著者の哲学は、計算機を作ることや動作のための電子的論理回路を知らしめるのでなく、コンピュータをどう使うかを知ることが重要であるとするものである。

### 3 問題は何辺にあるか

私は、残念ながら、情報教育はどうあるべきかという問いに対する明確な答えを現在は持っていない。また、社会も「情報」や「情報科学」についての確固とした概念と体系があるわけでもない。日本語では「情報科学」という言葉にある種の「学問」あるいは「体系」をより強く感じるところから、わが国では心地よい「音色」として受け取られている部分もある。しかし、その前に「情報」という概念を整理しておく必要がある。そして、この概念は一筋縄では片づかないことも知っているのである。

先の山田氏の論文によれば、米国で言う「情報科学」「情報」とは、昔は

もう少し限定的な意味を持っており、「身近な情報」たとえば「書籍の情報」などといった「整理・分類」の意味合いをもち、「情報科学」は「図書館科学」と同義語であったという<sup>15)</sup>。現に、そのための計算機利用環境は、図書館の自動検索や貸し出し管理の自動化が北アメリカや英国では日本よりずっと早く10年以上も前に既に広く普及していた経緯からも指摘できるところである。山田氏は更に、「Computer Science はコンピュータを中心として発展してきたというだけのものであり、アメリカにおいてはその所属学科も、数学、物理学、電気学、商学、統計学、心理学、行動科学、図書館学などまちまちで、したがって Computer Science が究極的には独立した学問として存在することに対して疑問を持つ論議もけっこうなされてきた」のようにも指摘している。この論議の論旨は、「... コンピュータに関連するということが唯一の統一原理で集められた Computer Science の諸科目は、早晩ほかの学科に分散吸収されてしまうであろう...」というものである。

ここまでの議論から指摘できることは、大学教育において行うべき情報関連教育の主眼がいくつか考えられることである。即ち、1)「普遍的な」新しい共通の概念の情報科学の教育を行うことにあるのか、情報処理の教育を行うことにあるのか、それとも、2) 特定の学問の視座にたった情報関連教育を行うことに考慮すべきであるのか、3) 全く別の観点から、広く社会の要求に添った情報関連環境を講義・体験させることにあるのか、あるいは、4) 科学の見直しの一貫としての情報関連概念を整理すべきであるのか、5) もしくは以上の組み合わせとして捉えるべきか、などが挙げられ、目的と内容を整理しなければならないであろう。

現在の情報関連教育の問題と混乱の根源は、これらの教育目的と内容が整理検討されていないことに由来するものだと考えられる。そして、これらは個々の大学・学部の理念と目的により設定されるべき問題である。

#### 4 問題点の議論

個々の大学・学部に設置された学科・課程の理念と目的は様々であり、ここで一々議論することは出来ない。そこで、以下の項目に対して整理するこ

とによって、大学における情報関連教育の在り方について検討する材料を整理してみたい。取り上げる項目は、学問の一つの規範として何時も考えられなければならない「科学」とその概念が一義的には定まらない「情報」について現状を再認識し、計算機への思惑を整理し、情報科学・情報処理について暫定的な枠組みを整理し、学問と計算機の接点を比較するものである。

#### 4.1 「科学」に関して

「科学」に関して広く受け入れられているその「姿勢」については改めて述べる必要がない。指摘しておくべき事柄は、「科学の見直し」についての様々な取り組みがかなり古い時代から行われてきていることである。掲げてある文献はほんの一部の議論の側面だけであることは承知しているが、参考文献の2, 3, 6, 7, 16, 17には、特に私が指摘したい内容が含まれている。Wienerは1947年当時に時間の非可逆性と生命現象の共通性を指摘し、Henri Bergsonの指摘する時間とNewtonの力学の時間との決定的な差異の本質を、「刺激→(いくつかの伝達)→応答の構図」からの刺激への「フィードバック」という非可逆性と重ね合わせた<sup>16)</sup>。この時期、「散逸構造論」でノーベル化学賞を1977年に受賞したIan Prigogineは、1946年当時すでに別な立場から「化学現象における過去と未来の対象性」に答えを見いだそうとしていたと言われている<sup>18)</sup>。Prigogineの時間の非可逆性についての内容は、「(化学反応系に於いて)系は系に与えられたエネルギーを消費し系の内部にエントロピーを生成し、それを外部に放出することにより系の秩序(構造)が生まれる」と考える。1944年のSchrödingerの「Negentropy」と生命との結びつきの思想が形成された時期に、WienerやPrigogineの思索がなされていたことは、科学の歴史・発展という人文科学的な事例においても「構造的秩序」の形成がなされつつあったと言えるかも知れず、なにがしかの歴史の時間軸の符合が感じとれる。

Fritz Machlupの論文「情報科学の学際的定義」では、かなり強烈な「(現在の)科学批判」を展開している<sup>7)</sup>。彼は、現代の科学の主流に対しても問い直しを要請している。ギリシャ・ローマの時代から存在していた「科学の意味」が被ってきた排除の歴史的過程を分析する：経験的知識、非体系的

知識, 非自然科学, 非専門家の実用知識, 哲学, 検証不可能な知識, 技能 (アート) 等の本来の科学には備わっていた価値が, 「科学」からの「除外」の歴史に有ったことを指摘する。この具体的側面の一部は「科学見直し叢書」においても指摘されている<sup>17)</sup>。Gary Zukav の「踊る物理学者たち」では, その道の専門家でない著者が物理学の系符を「深遠な (知の) 冒険活動」であることの意義を見だし, 近代物理学を作り上げた人々の業績と哲学を辿り, その思想に迫ったものである<sup>6)</sup>。

一方, 科学を論じ見直すときに, 1912年にGeorge Sartonによって設立された「ISIS」の活動を忘れてはならない。これが契機になり, 1924年にはThe History of Science Societyが設立される。いわゆる科学史・科学哲学の存在と活躍は, 現在において「科学」に対する規範の変化しつつある状況を認めないわけにはおけないであろう。

#### 4.2 「情報」に関して

「情報」という概念のもつ2つの側面を指摘したい。一つは計算機の技術と通信の技術を統合的にまとめた「情報技術」としての側面である。この中での「情報」の位置づけは, 「データ→情報→知識」といった知識集約の階層構造を想定したものである。即ち, 「正しいデータ」からの「正しい情報の抽出」と「誤りのない伝達と処理」を経て「正しい知識」が形成されるとする「知識の構造」に裏打ちされた概念である。謂わば, 多くの情報科学や情報処理技術の教科書や論文に取り上げられるような内容を対象とする。ここで扱う「情報」を, 筆者は「可換量的情報 (量的評価の可能な情報)」概念と仮に呼ぶことにしたい。この可換量的情報概念が「科学」にもたらした影響と内容は大きい。「データ→情報→知識」という構図から更に「真理」へと進むこの「階層構造の想定」は, 現在の「科学」の手法に添った「客観的思考・認識の体系」であり, 現象の説明を行う上で重宝な基盤であると多くの研究者に映ったからである。

他の一つは, 「知識は単なる情報の蓄積から成り立つものではない」とする立場である。あるいは, 「情報を扱うのは人間である」とする考え方である。従って, 「役に立たない情報」「真実でない知識」を受け入れようとする

立場と言い換えてもよい。情報を「意志決定にとって価値あるデータである」ものとか「社会・生体システムでの情報概念」に不信を持ち、その意味の不明確さを指摘する立場である。筆者はこちらの「情報」を「非可換量的情報（量として取り扱うことの困難な情報）」概念と仮に呼ぶことにする。歴史的には、産業技術が社会にもたらした影響を再検討する立場と同じ次元の事柄かも知れないが、可換量的情報概念でいう情報技術が、社会・経済活動に与える影響に肯定・否定あるいは楽観・悲観の対立の構図があり、1960年代から議論されている。前者の概念で言う「情報技術」が招来する社会の経済活動に対する楽観・悲観の2つの対立構図があるが、この概念はこの対立の悲観乃至警鐘の立場にも通じる。「人工知能」の否定的議論もこの側面に根ざしているものが多いものと考えられる。ついでながら、この非可換量的情報概念が情報技術以前までの概念に歴史的には近いものである。数学者の森毅氏は、「コンピュータピア・エコロジストとして、ムシの保護を訴える。ムシたちに栄えあれ」と断じている<sup>19)</sup>。

新しい可換量的情報概念は、その誕生以来、量に還元できる情報量の技術の体系を、それまでの既存の様々な広い分野の学問の理念に即して問い直すことなく、その不確かな思想を謳歌してきたという批判は免れないであろう。Tom Forester と Perry Morrison の著書「コンピュータの倫理学」には、「情報技術」が社会に入り込むことによって生じている様々な現実的事象について数多くの例を検証し、且つ、一人一人の人間に問いかける検討課題を問い直す機会を提供している<sup>20)</sup>。

また、既存の学問分野においても、可換量的情報概念のもつ意義に対して注意深い洞察を加えなかった失態を理解すべきであると思う。勿論、少なからぬ批判・警鐘の論議は当初から展開されてはいたが、多くの様々な学問領域では可換量的情報概念に対して「注意」が常には払われていなかった筈である。どちらかと言えば、「真剣に深い洞察を加えるべき概念ではない事柄であろう」程度にしか認識していなかったのではないかと判断できる。

何れにせよ、可換量的情報概念と非可換量的情報概念は、恐らく今日に至り、共通の議論の「土表」にのる下地が出来上がったものと判断できる状況にあると考えられる。そこで、情報関連教育を考える場合、これらの2つ

の側面からの啓示が必要となるものと結論できよう。

### 4.3 計算機への思惟

計算機の誕生の経緯を知れば、その役目・目的はかなり明瞭になるが、ここでは改めて題材に取り上げることを行わない、寧ろ、計算機に対する「思い」を分類してみることにする。

計算機への関与の仕方によって、つぎのような2つの立場を想定できる。

#### (1) 計算機の機能やその統合利用環境の実現を考究する立場

演算をつかさどる装置の構築やその体系化を目的とするものである。広く計算機の利用環境の整備や創造に関する内容を扱い、主に工学的な対象となるものである。

#### (2) 計算機の利用を念頭におく立場

計算機的能力・機能が集約された環境を利用するもので、やはりいくつかの立場の違いが存在する。最も直接的には、様々な学問分野において計算機あるいはその統合利用環境が提供する機能を利用し、個々の学問領域においての考察を深めたり一助とするものである。この場合、計算機やその統合利用環境の仕組みや機能・欠点についての予備知識が少なからず必要であることは言うまでもない。この立場には、既存の様々な業務に利用できる応用プログラムを作成する技術やそのための計算機の統合利用環境を構築するための必要な知恵を(1)の立場の領域に還元応答(feed back)する部分も含むものと考えたい。計算機の統合環境を構築し実現することを考究する分野では、それが利用される専門領域の詳しい内容までは守備範囲に含めることが到底出来ないからである。もし、こうした利用する立場から要求される機能の統合利用環境への還元応答がなければ、利用者のことを考えない独善的な機能の環境であり、利用者から乖離したものとなるからである。もう一つの利用の立場は、「如何に」利用することが可能であるかを考えるものである。Prolog-KABAという計算機の人工知能言語は、3人の大学生によってパソコンに移植されたが、その解説をした著書

には開発者の専門として「ソフトウェア科学」という言葉が使われている<sup>21)</sup>。「ソフトウェア工学」という言葉は、既に書物の題にもなっておりその理念・目的は知ることができる。わざわざ「科学」と言っている背景にはここで言う「如何に」といった意味が込められていると考えられる。接尾語の「工学」と「科学」は決して同義のものではない。「科学」と言うからには、計算機の利用を通じてこれまでにはなかった新しい概念と体系化の期待が込められている。Turing 機械の最大限の可能性と人間の思考過程と結び付けて実現すること考える「人工知能 (Artificial Intelligence, AI)」に代表される立場が存在する<sup>22)</sup>。Hubert L. Dreyfus は、この立場への批判を展開する<sup>23)</sup>。このような議論に対しては、個々の専門分野への計算機の能力の過大な期待と評価に対しての内なる模索と反省の意味を見いだしたものと考えたい。また、「人工知能」の推進派の人々の中にあっても理念がわかれており、人工知能から「人工生命 (Artificial Life, ALife)」への概念の分派も見られる。この人工生命と哲学・倫理学を結び付け肯定的に捉えている例も見受けられる。Peter Danielson は、社会学や倫理学での現代的題材である「Prisoner's Dilemma」などに新しい視点と手法を提供している<sup>24,25)</sup>。筆者との私信によれば、彼は「(Dreyfus 兄弟は) 心を組み立てることについて AI への基本的疑義を申し立てており、私の場合は道具としての AI の機能を利用して比較的単純な行為に介在する機微の問題を理解することに興味を抱いている。したがって、AI よりは ALife に近いものである」と述べている。この種の題材に対しては、行動科学や倫理学や社会学あるいは人工知能と異なった立場からも興味を持たれており、最近では物理学者が統計力学的手法でとり組んだ研究もある<sup>26)</sup>。

Dreyfus 兄弟に代表される計算機の還元なき独走への根強い批判を、多くの分野からの問い直しが具現化しつつあるある状況を肯定的に受けとめ、改めて計算機によって「科学」の手段としてその機能を付加させようとする新しい「潮流」であると考えたい。

現在の計算機の利用環境を考える上でもう一つ忘れてならない利用形態がある。それは計算機とそれを利用する人間の接点が議論された時点から既に話題になっていた事柄でもある。いまでは、総称して Multi-Media 環

境と呼ばれている<sup>27,28)</sup>。Multi-Media 環境の定義には幾つかの物理的条件が想定されているようであるが、基本的なその思想として、制御や効率と言った表層の機能を考えるよりも、新しい「知の可能性の追及」という側面を全面に出したほうが良いものとする。

#### 4.4 情報科学・情報処理の位置づけ

情報科学・情報処理の位置づけは既に多くの書物で論じられている。しかしながら、それらの多くは特定の学問・専門領域にとっての位置づけであることが多いことは、既に指摘したとおりである。一方 Fritz Machlup がこうした内容を批判的に分析しているように、「情報」「情報科学」「科学」を個々の専門分野における関連性を問い直し、Tom Forester と Perry Morrison が例示している情報技術が社会に投げ掛けている内容を分析し、「情報処理」を考え直す必要があると思われる。

本当に「情報科学」が学問として成り立つためには、深い洞察と目的の絞り込みが必要であると思われる。既存の学問の永い時間軸の歴史のなかで、今言われている「情報科学」の歴史は余りにも短い存在である。そして、それが対象とする目的や分野は余りにも広領域に分散しており、本当に「情報科学」を専攻する者（個人）がそれらの広領域の分野を理解しうるのだろうか」という疑問は何時も感じるところである。あるいは、こうした広領域の分野の一つ一つを対象とする個々の学問領域の専門家が、専門領域の壁を払い例えば情報科学の旗印の下に集参する状況（学際的状況）を想定してみても、本当にそこに集参する人が同じ階層で議論ができるものか疑問に思える。学際的手法は、謂わば、幾つかの数少ない特定の学問領域で枠を取り払い、共通の対象に対して異なる側面からの議論を行って成し遂げることに意義と有用性があるのであり、不特定の学問領域の集合を指して言うものではないと思っている。

そのためには、個々の専門領域と「情報」の関わり方のあるべき姿勢を議論する必要があるように思える。今でも、特定の学問分野で特定の情報処理（データ処理？）のみがお決まりの手続きや流行のように行われていて、処理の意義や目的についての議論が疎かにされている傾向があること

は、憂うべき事柄であるように思える。こうした受動的利用から能動的利用への転換が、利用する立場からの最も重要な課題であると思われる。また、「情報処理技術」の具現化されていく細目の中味が、現在のように1年と経たないうちに次々に付け加わり変化していく状況は、例えそのものが純粹に「改善」的なものであるにせよ、「真理」を大事にする既存の専門分野からは大きな「信用」を得ることにはつながらないはずである。

既存の学問における「情報」との関連がもう少し整理されるまで時間が必要であると思う。しかしながら、今は万能でないが、計算機の機能を手段として利用することの有用性までを否定するものではない。

#### 4.5 学問と計算機利用の接点

計算機の利用については幾つかの形態が想定できるが、単なる報告書の作成などに代表される利用はここでの対象に考えないことにする。その理由は、従来の方法によっても報告書の作成については可能であり、学問の新しい展開には直接的には結びつかないと考えられるからである。

既存の様々な学問領域において計算機の利用が従来には無かった手法として新しく試みられている例は数多くある。それらは、従来取り組む方法がありながら処理の時間的制約が阻んできた事柄の検証的なものが多いことも一つの特徴である。この範疇に入るものは、一概に理系の分野でのものばかりではない。例えば、パソコンが発売になった初期の時点で既に、William R. Bennet の BASIC 言語を取り上げた好書があり、様々な学問対象での計算機利用の具体例と可能性を取り上げた教科書として出版されている<sup>29)</sup>。そこでは、伝染病の伝搬の模擬実験、言語と情報、経済学、Julesz 立体視、記号と暗号など、1970年代初期までに既に学問の対象として行われている様々な分野での計算機利用の例示を見ることができる。初期の計算機利用の普及を図る意味でも啓蒙的な意義を認めることができる。現在では、計算機の処理能力の利点を活用したこれまでは試みられていなかった分野への利用も急速な増加を見ている。我々が個々の学問領域で計算機を利用する場合、能動的な姿勢が求められるが、そのためには、計算の処理の過程で使用される算法については少なくとも知っておく必要がある。

もう一つの側面がある。それは、計算機の出現によってこれまでは無かった新しい概念と目的を形成するもので、計算機あるいはその統合利用環境そのものの可能性を迫る分野である。この立場は、計算機の利用環境が提供する機能を人間の機能に近づけたり実現させようとする立場と、人間にとって便利な存在あるいは人間の意志と計算機の機能を融合させようとする立場とに大別することができよう。計算機の提供する機能は従来の学問領域では期待できなかったものであり、これ故に新しい手段としての利用の普及とその可能性が注目されていることは論を待たない。以下に、計算機が提供する機能と利用の形態をまとめてみた。

#### イ. 小型化・廉価性と高速性

小型化と廉価性は、計算機の多彩な機能と相俟って多くの不特定多数の利用の需要を喚起した。最も多い利用は、既存のソフト（文書処理、集表計算、簡易データ・ベース等）の個人利用の形態をとっており、広い専門領域での共通の道具・文房具に位置づけられる。

#### ロ. 正確性と高速性（古典的利用）

正確性と高性能性は一般には信頼性と考えられがちであるが、必ずしも直接的には信頼性とは結びつかない。計算機の正確性は、プログラム（教えられた処理手順）への忠実性を反映しているだけで、学問的な信頼性と直接的には結びつかない。誤ったプログラムの記述も忠実に実行するからであり、また、利用者にとって計算機の動作環境（Operating System）やプログラム言語を機械が理解できる言葉に翻訳する機能（Compiler）の不完全性については一般には知ることができないからである。何れにしても、このプログラム忠実性を利用したいいわゆる多変量解析等で多用される繰り返し計算を含む科学技術計算と傾向予測および計算機模擬実験が、計算機の誕生当時から利用されている対象である。分野は、経済学、心理学、地学、化学、物理、数学、工学等々枚挙に暇がない。元々の計算機の開発の歴史もこうした利用が契機である。いわば、古典的利用であるが、多様な形態を内包している。

#### ハ. 大容量記憶機能と高速性

計算機の補助記憶装置を利用した様々なデジタル情報を格納することにより多様なデジタル情報の加工や抽出が可能である。当初は、補助記憶装置の制御は特定の計算機の動作環境によって異なっていたことと記憶形式の共通化がなかったために、異なる機種の間でのデータの互換性がなかったが、現在では記憶内容を共通化できる環境になりつつある。こうしたことから、文学作品・記事・論文・事象の記録と検索・抽出利用が公開性と規模の拡大の2面から改善されている。また、計算機そのものの記憶装置の増大により、多量のデジタル（ビット、数値）情報を扱う画像・映像処理や音声処理に急速な利用の需要が高まっている。

## 二. 制御機能

古典的には、計測機器の制御と組織工学関連の自動制御が上げられる。一方、個人や一般社会に深く入り込み、現代の社会生活の一部となっている電子機器（Audio Visual）とその利用者を結ぶ制御機能も新しいこの種の機能として位置づけられる。この非古典的側面は、計算機と音楽との融合や最近の Multi-media 環境がこれにあたる。

## ホ. 計算機間のビット情報の相互移動機能（通信）

異なる計算機を結ぶ事が利用者側の立場から考えられ、計算機ビット情報網の実現が世界的規模で既に実現されている。こうしたビット情報網は普通に考えると、小規模→中規模→大規模のビット情報網へという縦構造の拡大が予想されるが、計算機の独立性と対等性を考えた個々のビット情報網の自立した横構造のものが定着しつつある。こうした計算機の自主・独立性は必然的に分散処理の概念と結びつき、個々の計算機が特定の仕事と機能を担当する形態が主流である。地球規模でのこの通信機能は、現在の日本では Inter Net という非営利ビット情報網で実現されている。国内では種々のビット情報網がある（BITNETJP, SINET, JUNET, JAIN, N1, TISN, WIDE）。商用のものも含めると相当な数になる。フランスの MINITEL は、国が将来の状況を見据えて実現されたものであるが、米国の幾つかの州でも導入されている。つ

いであるが、こうしたビット情報網は理念・目的と規範を見定めない限り、付加される機能は際限なく膨らんでいくことも懸念される。

#### ハ. その他の新しい分野への可能性と計算機利用環境の改善

計算機のもてる可能性を開拓する努力と機能の改善を行う努力が行われるのは当然である。ビット情報の高速伝達（ビット情報の圧縮）と画像処理の Algorithm 開発や、人間同士の意志の伝達の改善を図るための疎通媒体としての利用を考慮することや特定の機能を実現する Expert System 等の開発は直接的な結果である。一方、認知科学と人工知能などに代表される分野では、個別の学問分野では未だ未解決の分野に手段・方法論を導入し、機能・機構仮説（モデル）を見いだすことや体系化への努力が行なわれている。また、その実現を想定した新しい可能性を目指した分野も存在する。

#### ト. 付随する問題

計算機の利用が新たに社会に及ぼす影響を考究する立場も重要な事柄である。これは計算機が直接的に誘起するものではなく、それを利用する事により招来される事柄に関するものである。哲学・倫理の問題、知的財産権（所有権）の問題等の社会的側面を見逃すことはできないであろう。そして、これらの分野を考究するとき、計算機の利用環境と形態を実際に体験する機会も必要である。

他方、Computer Science の分野をのぞく学問領域での計算機との接点として、つぎのような形態にまとめることが可能であろうと思われる<sup>30)</sup>。

##### A. 全ての学問領域で共通の省力化の手段としての接点

個別学問分野での成果の報告・提示の手段としての文房具利用が共通の形態として考えられる。計算機の小型化・廉価性の機能に根ざしたものである。

##### B. 個別学問分野で既に考えられていた方法論の検証と模擬実験への接点

多くの自然科学の専門領域において現状での中心的な接点と考えられる。数値・数式処理のみならず、統計学を基礎とした統計処理・多変量

解析なども多用される手段として挙げられる。現象・事象を説明するための仮説の検証や計算機模擬実験が含まれる。設計・デザインなどもこの範疇の一例と考える。また、自然科学分野での工学的な利用にとどまらず、心理学・経済学等の社会・人文分野の利用もこの範疇に入るものが多い。

#### C. 計算機の処理能力に着目した新しい評価・推定手段の開発と応用

以前は、多変量解析、最適化問題や数量化の問題などは、計算機の可能性を追求した新展開の結果の産物であったが、現在では常用の手段としての地位を得ている。大量のデータの記述・記録・検索機能や組織工学的利用においても同様の経緯を経ている。従って、今後の計算機利用の新展開につながる考究分野が存在する。Algorithm 研究などの数理科学的分野との関連が深い。

#### D. 計算機の処理能力の認知・記号論理に着目した研究

計算機の新しい可能性を追求するところは前項の開発と応用に共通する部分はあるが、認知科学や人工知能など科学の普遍的な未解決の領域に迫ろうとするところが主旨である。具体的なものとして、人間の知能や大脳生理の基本となる動作機能に迫る研究なども含まれる。これらの成果はこれまでの平面的な演算素子とは異なる新しい概念の素子の開発にも還元されようとしている。また、従来の科学の専門領域の枠を越えた学際的な取り組みの対象となっているのも特徴である。Neural Network や Generic Algorithm への処理の方法論の新展開も期待されている。

#### E. 人間の意志と計算機の機能を融合させる利用環境

人間の意志疎通には様々な伝達形態が組み合わさって実現されているが、これらの伝達形態を計算機にも取り入れて人間との接点の幅を確保することにより、計算機と人間の融和を図るものである。様々な教育利用などはこの範疇に含まれる。また、意志疎通のための多様な媒体を取り入れた Multi-Media 環境の提唱などもこの一例である<sup>31)</sup>。

#### F. その他接点および上記の統合的利用

最近の計算機の利用環境は個々の計算機に各々の機能を専門的に発揮させ、ビット情報網を介して相互に機能を分担させる分散機能が効率的であると考えられている。また、ビット情報網は地球規模で整備されている状況は研究者同士の簡便で迅速な情報の交換の場も提供している。まだまだ管理運営上の解決されなければならない問題は存在しているものの分野を問わない利用が定着しつつある。

#### 4.6 大学における情報関連教育の考え方

情報科学の概念については、様々な学問分野において肯定的・否定的にも種々捉えられており、Computer Scienceのような明確な定義付けが定まっていない現状であることは既に述べたところである。我々の大学が「情報科学」や「Computer Science」を学問の基礎としその考究を目指すなら、これらを基盤とした情報関連教育の構成を論じることはできる<sup>8,32)</sup>。しかしながら、大学・学部の追求する学問がComputer Scienceが目指す以外の様々な分野を含むとき、情報関連教育をどの様に構成すればよいのであろうか。例えば、前節で取り上げた個々の学問分野と情報処理の接点が広く考えられるとき、どの様な情報関連教育の構成が考えられるであろうかと言う問題が切実なものとなる。

Computer Scienceが計算機を中心に据えた専門領域であり、計算機の固有の能力を更に改善し、新しい可能性を追求する分野である事を考えると、このComputer Scienceが作り出す機能を、我々の大学・学部を構成する個々の学問領域で利用することを初めに想定するのが自然な選択であろう。勿論、これら既存の学問領域においてComputer Scienceに新しい発展性を提供・付加させることは可能でありComputer Scienceの分野においてもそのことを望んでいる筈である。しかし、これは前者の接点と比較するなら二次的な目的と考えることができる。

大学で取り上げるべき情報関連教育の内容は欲を言えば切りがない。また、現実的な問題として、担当できる教官の能力と陣容の制限もあるし、教

育設備・環境の制限もある。従って、1) 能力的に最小限必須の共通項を定め(第1段階)、2) 担当能力と教育設備とを勘案し、大学・学部を構成する個々の学問分野にとって必要な最大公約数的な教育内容を定める(第2段階)。3) そして、未だ担当能力があるなら、個々の専門領域で特異的に利用されている内容について組み入れる(第3段階)。という3つの教育内容の選定過程が妥当な方法と結論できる。3番目の個々の専門領域で特異的に利用されている教育は、基本的には各々の専門分野で担当すべきであるし最も適当でもある。問題は、1番目の最小限の共通項と2番目の最大公約数を決定する方法である。筆者は、この2つの教育内容を定めるのに、計算機の能力と機能および専門領域と計算機との接点を手掛かりに行うのが合理的であると判断する(4.5節)。共通項は情報関連教育に於いては「情報関連導入教育(Computer Literacy at First Stage)」であり、最大公約数的内容は「情報関連基礎教育(Computer Literacy at Second Stage)」であろうと考える。当然のことながら、3番目のものは「情報関連専門教育(Computer Literacy for Individual Decipline)」ということになる。

これまで述べてきたところは、計算機利用をほぼ理屈抜きに肯定的に捉えた議論であったが、情報関連教育の範疇の中での重要な視点を指摘したい。計算機の利用が否応なしに我々の社会にもたらしている否定的な側面、あるいは今までの人間社会には無かった新たな未解決の問題が発生していることも見逃してはならない事柄である<sup>7,19,20,23</sup>)。これは、未だ体系化されていないものであるが、情報関連基礎教育において是非取り上げられるべき重要なものであると考える。

## 5 結論

筆者は、「情報科学」の「情報」に込められた概念の混乱とその分析を行い、大学における「情報関連教育」の3つの形態とその内容選定の指針を計算機の能力・機能と大学での個々の専門分野の計算機との接点の公約数的な対象に見つけるべきことを指摘した。但し、計算機やその集約的利用環境の構築を第一義的に考える分野での教育はこの範疇ではない。これらの分

野での教育は、目的に照らせば取り上げるべき内容やそのための基礎教育内容も自明であると思われるからである。計算機利用の否定的あるいは計算機の利用がもたらす新たな社会への変化の事例もこれに加えるべきであることは、真に能動的な計算機の利用を考えるうえで重要な情報関連教育の指針であることを忘れてはならない。これは、Computer Science などの分野の教育にも必ず準備されなければならないものと信じる。

大橋力氏が提唱する「情報環境学」もこうした視座からの別な切り口の捉え方であろう<sup>34)</sup>。その著書の3章には著者の考える「情報」への問題提起に深く関係する事柄を取り上げている。そして、「Paradigm の移行」に関して「情報」が新しい契機としての役割を果たしうる可能性を議論している。こうした「問い直し」を情報関連教育に含めることの重要性を指摘しておきたい。

そこで、情報関連入門教育と情報関連基礎教育についての内容は、様々な専門領域から構成される大学・学部によって依存する。また、そのために必要な基礎科学の教育内容については、基礎科学の分野と専門教育の分野との連携の下に細かく検討されるべきであり、一概に規定できない。我々の大学で情報関連教育として、取り上げることを検討してもよい項目を掲げて、一つの例として示しておく。

#### 情報関連導入教育

##### 講義

情報処理機器の現状と個別学問分野との関わり

情報の量的取り扱いとエントロピーとビット情報量

論理回路と自動機械の数理的基礎と符号化と計算機の仕組み

##### 実習・演習

動作環境と人間と計算機との対話

文書処理・報告書作成能力の函養

電子郵便の機能と小規模の伝言板 (News) 機能

## 実用集表計算による基本統計処理と結果の視覚表示機能

## 情報関連基礎教育

## 講義

言語と自働機械 (Automaton) と計算処理の基本的算法

手続き型プログラム言語と非手続き型プログラム言語

情報技術と知的財産権の提供する新しい社会問題と科学の議論

## 実習・演習

手続き型プログラム言語の基本算法とデータ・ファイルへの入出力

非手続き型プログラム言語とデータ・ベースおよび計算処理算法

## 参考文献と脚注

1. 平成3年6月24日、大学設置・学校法人審議会大学設置分科会決定の「大学設置審査内規」・「平成5年度以降の大学設置に関する審査の取り扱い方針」に詳しい。
2. 「パラダイム・ブック」新しい世界観—新時代のコンセプトを求めて、C+F コミュニケーションズ編・著、日本実業出版社 (1986)
3. トーマス S. クーン, 中山茂訳「科学革命の構造」, みすず書房 (1971); Thomas S. Kuhn, 'The Structure of Scientific Revolutions.', The University of Chicago Press (1970)
4. G. ベイトソン「精神と自然」生きた世界の認識論, 佐藤良明訳, 思索社, (昭和57年, 1982); Gregory Bateson, "Mind and Nature: A Necessary Unity", John Brochman Associates, Inc., NY (1979)
5. 柴谷篤弘, 「構造主義生物学原論」, 朝日出版社, (1985)

6. Alan Turing, "On Computable Numbers, with application to Entscheidungsproblem." (1937) の計算可能理論と共に 1952 年には, "The Chemical Basis of Morphogenesis." を発表し, 非線形の拡散過程について「紋様」の発生する可能性を示した。
7. G. ズーカフ, (佐野・大島訳)「踊る物理学者たち」, 青土社 (1985): Gary Zukav, "The Dancing Wu Li Masters" - An Overview of the New Physics - , John Brockman Associates Inc., N.Y. (1979)
8. F. マクラップ, 赤木昭夫訳「情報科学の学際的定義」, pp.167-193, 赤木昭夫編, "別冊国文学・知のパラダイム", 別冊第6号, 学燈社 (昭和60年): Fritz Machlup, "Semantic Quirks in Students of Information" in THE STUDY OF INFORMATION (Ed. Fritz Machlup), John Wiley & Sons Inc., N.Y. (1983) からの翻訳。
9. 中村 彰, 「情報科学は学問か?」—秋田大学の情報科学課程4コースの目標についての私見, 情報科学研究紀要, Vol.2, pp 65-80, (1993)。
10. Bit 別冊「コンピュータサイエンスのカリキュラム」において, その編者である國井利泰氏は「コンピュータサイエンス」に対して「全ての問題処理をコンピュータ上の計算手順に転換することにより自動化する方法を発明・発見する学問分野」と規定している。
11. 坂井利之編, 「情報科学の基礎研究」, オーム社 (1990): 1986, 1987, 1988 年度の科学研究費, 総合研究「日本における情報科学の基礎的研究のあり方についての総括的研究」をまとめた内容のものである。
12. 小野厚夫, 川口正昭, 「情報科学概論」, 倍風館 (1983); 小野厚夫, 川口正昭, 補訂版「情報科学概論」, 倍風館 (1992)
13. 中村彰, 並木信明, 谷口清, 「秋田大学における情報処理ニーズと情報機器利用環境」—情報処理センターのアンケートを素材として—, 秋田大学総合科目研究紀要「情報化社会に生きる」, pp.122-135, (1991)

14. 松本光功編著,「コンピュータへの招待」—信州大学放送公開講座テキスト, 森北出版 (1991)
15. 和田英一監訳, Alan W. Biermann 著,「やさしいコンピュータ科学」, アスキー出版局 (1993): (原題) Alan W. Biermann, "Great Ideas in Computer Science", MIT Press (1990)
16. 山田尚勇,「アメリカのだいがくにおける情報処理教育」—教科課目はいかにして決まるか, 別冊 Bit「コンピュータ・サイエンスのカリキュラム」, 國井編, pp.317-331, 共立出版 (1993)
17. N. ウィーナ (池原, 彌永室賀, 戸田訳),「サイバネティクス」第2版—動物と機械における制御と通信—, 岩波書店 (1962); Norbert Wiener, 'Cybernetics' 2nd Ed., M.I.T Press, Cambridge, Massachusetts (1961)
18. 成定薫, 横山輝雄, 高田紀代志, 下坂英, 杉山滋郎他編著,「科学見直し叢書 (全4巻)」; 第4巻「科学とは何だろうか」, 木鐸社 (1991)
19. I. プリゴジン, G. ニコリス (小島陽之助, 相沢洋二訳),「散逸構造」, 岩波書店 (1980); Iria Prigogine and G. Nicolis, 'Self-Organization in Nonequilibrium Systems' - From Dissipative Structure to Order through Fluctuation, John Willey & Sons, Inc., N.Y. (1977)
20. 森毅,「コンピュートピアの悪夢」, pp110-111, 赤木昭夫編, "別冊国文学・知のパラダイム", 別冊第6号, 学燈社 (昭和60年)
21. Tom Forester, Perry Morrison, 久保正治訳「コンピュータの倫理学」, オーム社 (1992): Tom Forester, Perry Morrison, "Computer Ethics", Basil Blackwell Ltd., Oxford(UK) (1990)
22. 芝山悦哉, 桜川貴司, 荻野達也,「Prolog-KABA 入門」(1986); 同じ岩波の全集である「ソフトウェア科学」には,「ソフトウェア科学とは, 人間の思考過程を解明し体系化することを目的とする」と規定している。
23. Patrick H. Winston, 'Artificial Intelligence' 3rd Ed., Addison-Wesley, N.J. (1992)

24. H. L. ドレイファス, 黒崎・村若訳, 「コンピュータには何ができないか」—哲学的人工知能批判—, 産業図書 (1992) : Hubert L. Dreyfus, "What Computers Can't Do." revised edition, The Limits of Artificial Intelligence, Harper & Row, Publishers, Inc., N.Y. (1979)
25. Peter Danielson, "Artificial Morality", Routledge, N.Y. (1992)
26. Puncar R. Luce and Howard Raifu, 'Games and Decisions', John-Wiley & Sons, N.Y. (1957)
27. Natalie Glance and Bernardo Huberman, "The Dynamics of Social Dilemmas", SCIENTIFIC AMERICAN, March, pp 58-63 (1994); *ibid.*, "Social Dilemmas and Fluid Organizations.", in Computational Organization Theory. Ed. by K. M. Carley and M. J. Prietula, Lawrence Erlbaum Associates (1994)
28. 浜野保樹, 「ハイパーメディアと教育革命」, ASCII 出版 (1990)
29. アラン・ケイ他、浜野保樹訳 「マルチメディア」, 岩波 (1993) ; "On Multimedia Technologies for the 21st Century", Ed. by Martin Greenberger, The Voyager Company, Santa Monica, California (1990)
30. William Ralph Bennett, Jr., "Scientific and Engineering Problem-Solving with the Computer", Prentice-Hall, Inc. (1976) : W. R. Bennett, Jr., 大月卓郎, 市川朗訳, 「文科系のための問題演習」 「理科系のための問題演習」, 現代数学社 (1983)
31. 文献 8) では Computer Science は工学の一部であると規定している。
32. E. M. ロジャース, 安田寿明訳 「コミュニケーションの科学」—マルチメディア社会の基礎理論, 共立出版 (1992) ; Everett M. Rogers, 'Communication Technology' — The New Media in Society, Macmillan, Inc. (1986)
33. 有澤, 寛, 土居, 廣瀬, 深澤, 村岡, 安村, 「コンピュータサイエンスをいかに学ぶか」, bit 別冊, 共立出版 (1993)

34. 大橋 力, 「情報環境学」, 朝倉書店 (1989)