

解説

認知科学—知識工学の周辺†



佐伯 胖††

1. はじめに

知識工学、人工知能、認知科学、など、いろいろな言葉が使われているが、それぞれの研究領域はそれほどはっきりと互いに区別できるものではない。同一の研究が、あるときは知識工学とよばれ、またあるときは人工知能研究とよばれ、またべつのときは認知科学とよばれる。研究者集団もそれほど異なっているわけではなく、同じようなひとびとが、あちらの学会にもこちらの研究会にも顔をだし、表題が異なっても内容はさほどの違いのない話をしていることが多い。

もちろん、知識工学、人工知能、認知科学などの領域がなんの違いもないと言うわけではない。知識工学といえば、なんとなくエキスパート・システムの研究者が比較的多くなるようだし、人工知能といえばパターン認識や自然言語処理の研究者が若干多く加わってくるのではないか。認知科学となるとさらに心理学者、言語学者、哲学者などがより多く加わってくるように思われるのである。したがって、たとえ同一の研究者が同じ内容の話をしたとしても、討論の内容は大いに異なるし、得られる知見も異なる。また、研究が目指していることも少しずつ違ってくるようである。知識工学といえば、知識を持った計算機をどう作るかということに強い関心があり、人工知能といえば、知識の表現やその利用だけでなく、知的システムのあり方について、より広い立場からの検討がなされる。認知科学となると、もっと一般的に人間の知識や理解がそもそもどのようなものかについて研究しようというしだいである。

認知科学の立場からいえば、計算機に知識を持たせること自体はそれほど関心のある話ではない。計算機に知識を持たせようという試みを一方でながめながら、他方では、人間の知識や理解について、そもそも

それがなにかを考えようというのである。このことは、別に認知科学者とよばれる人たちの専売特許ではなく、知識工学者も頭の隅では常に考えていることであるし、また、考え続けてほしいことでもある。そういう観点から、本論では、知識工学者が考えていること、考えていてほしいことを、あらためて確認しておこうという主旨で論を進めていくつもりである。

ちなみに、標題に「認知科学—知識工学の周辺」とあるが、これはべつだん認知科学というものが知識工学の周辺にある一分野だと筆者が認めているわけではない。むしろ筆者の立場からすれば、知識工学こそが認知科学の周辺にある一分野である。ただ、読者の立場にたち、また本号の特集のテーマを尊重して、せめて、周辺にでも読者の視野の中になんとか入れておいてほしいという願いをこめたものと解していただきたい。

2. 知識はどのようにして発見されたか

認知科学や認知心理学の歴史の中で、知識という言葉が使われはじめたのはいつごろからだろうか。

手元の文献をながめてみたところ、1972年以前の認知心理学関係の文献には、知識という言葉はほとんどでてこない。まさかと思われる読者がいたら、たとえば認知心理学の古典、Neisser¹⁾を開いてごらんになるのもよいだろう。索引に知識とか知識表現とかがあらわれはじめたのは、1973年ごろからである。1973年には、Norman²⁾が「記憶、知識、および質問応答」という論文をだしており、AndersonとBower³⁾は、彼らのHAMとよばれるシステムの解説の中で、「知識の構造」という一章を設けている。1974年には、Gregg⁴⁾、Kintsch⁵⁾などが、知識とか知識表現とかを中心的なテーマにして論じており、1975年には、BobrowとCollins⁶⁾が“Representation and understanding: Studies in cognitive science”という著書を発表している。(邦訳の題名が『人工知能の基礎—知識の表現と理解』となっていることは、なかなか

† Cognitive Science: An Approach to Knowledge Engineering
by Yutaka SAYEKI (Dept. of School Education, University
of Tokyo).

†† 東京大学教育学部

か興味深い。米国では、知識の表現と理解の研究が始まりました。それが認知科学という新しい研究領域の誕生なのです、というのが訴えたかったことなのだろう。ところが、我が国では、少なくともそういう言い方では誰も買ってくれないだろうという判断が訳者か出版社の中にあったことはまちがいない。) 1977年には、Bobrow と Winograd⁷⁾による KRL(Knowledge Representation Language) が発表されている。それ以後、知識とか知識表現という言葉が至るところで使われはじめたことは、よく知られているとおりである。知識工学ということばがさかんに使われはじめたのも、おおむね 1970 年代の後半からではないだろうか。1977 年の人工知能学会での Newell, A. の講演で、問題領域に固有の知識を計算機内に適切に表現することの重要性が確認され、専門家の知識を利用した問題解決システムの構築へむけて大きく時代が展開した。

では一体なぜ 1972 年以前には知識という言葉がほとんど使われておらず、またそれ以後ではなんの抵抗もなく使われるようになったのであろうか。そもそも、1972 年に一体なにがあったというのだろうか。

1972 年にあったことといえば、第一に Winograd^{8),9)}の“Understanding natural language”(邦訳『言語理解の構造』)がある。もう一つ、工学系の方にはあまり読まれていないかもしれないが、やはり時代を画した著者として、Tulving と Donaldson¹⁰⁾がある。しかし、この二つの著書のインパクトを正しく評価するためには、どうしても、それ以前の記憶と言語の研究について知らねばならない。つまり、知識という言葉は、記憶と言語に関する認知心理学の研究の結果として登場してきた言葉であるということである。したがって、今日でも、もし人が知識について研究しようとするなら、記憶と言語についての研究から始める以外にないし、得られる研究成果もなんらかの形で記憶と言語に関する研究とむすびついていなければならないといえよう。そのことは、いわゆるエキスパート・システムを設計する際にもいえることである。

記憶研究は Ebbinghaus, H. の“Über das Gedächtnis”が出版された 1885 年に始まるとされる¹¹⁾。それは、よく知られているように、無意味綴のリストをくりかえし学習する際に、初めの学習からの時間の経過が長いほど、再学習に要する試行回数が増加する、という事実の発見であった。1930 年ごろになって、無意味綴というのが本当に無意味かどうか疑いがもたれてきた。人は無意味綴を見てもさまざまな単語を連想

する。そして、そのような連想が豊富にわきおこってくる単語ほど、容易に学習されるのである¹²⁾。そこで、無意味綴の有意性(どれだけ多くの有意単語を連想するか)を測定したり、単語のリストの学習に対する影響を調べたりの研究が続いた^{13)~15)}。それならいっそのこと有意単語のリストを学習させてはどうかという研究が生まれはじめたのは、やっと 1950 年代である。その結果、単語同士の意味的干渉、あるいは体制化に関する研究が発展し、頭の中で、単語をなんらかの意味のまとまりとして相互にむすびつける働きがあることを明らかにした。

このような状況の中で、Quillian¹⁶⁾の意味ネットワークのモデルが提唱された。つまり、単語の意味というものが頭の中でどのような連想の網目(ネットワーク)として表象されているのかということについて具体的なモデルが提唱されたのである。しかし、ここで注意していただきたいことは、Quillian のモデルが高く評価された背景には、自然言語に関する実験的研究が 1960 年代の後半に大変盛んになっていたことがあげられる。ちなみに、Quillian のモデルの妥当性が検証されたのは、“a は b である”といった文の正誤判定に要する反応時間の測定による¹⁷⁾。また、Norman と Rumelhart¹⁸⁾は、Quillian のモデルを生成意味論、とくに Fillmore¹⁹⁾の格文法 case grammar とむすびつけて論じ、発展させたのも、心理学に言語研究が大幅に取り入れられてきていたからであった。先にあげた Tulving と Donaldson¹⁰⁾は、記憶や言語の研究が単語のリストの学習から脱して、文や文章の理解の研究をすべきであることを強く印象づけるものであった。

Winograd^{8),9)}が登場したのは、そのような背景のもとである。彼の論文は、Cognitive Psychology という専門誌の新年号一冊がすべて彼のその論文だけのために使われるという、まさに異例中の異例、劇的ともいえる形で発表された。(おまけに、その専門誌の出版社の Academic Press は、ほとんど同時に、別の単行本としてまったく同じものを出版したという、念のいれようである。)

3. なにが切りすてられたか

このように、知識ということばが認知科学の分野でなんの抵抗もなく使われるようになってきたのは、記憶や言語の研究の急激な発展の結果であるといえる。それはまた、計算機に人間と自然言語で対話させよう

という永年の“夢”の実現へ向けての多くの人々の努力の結果でもある。しかし、今振り返ってみると、それは一種の問題解決過程であった。ともかく、さまざまな分野の人々が、自然言語で対話ができるような計算機システムを作り上げるという至上命令のもとに、記憶の心理学から言語学、定理証明などの推論の手続きに関する計算機技術などを巧みに寄せ集め、うまく作動させるべく、それぞれ「使えそうな」知恵を持ち寄ったにすぎない。そこには、「こまかい話は切り捨てて」という、一種の実用主義が幅をきかせ、本質的な問題を切り捨ててきた面がないわけではない。

3.1 連想—無意識から意識へ

たとえば、Ebbinghaus 自身気づいていたことだが、無意味綴の単語リストの学習で、表面的にはまったく無意味と思われる綴りでも、学習の難易度にきわめて大きな違いがある。つまり、無意味綴からでも、人々が無意識のうちに意味の連想を行ったり、単語らしさ（音韻的にもスペリング的にも）の判断を瞬間的に行っていることが明らかにされはじめてきていた。また、一見ばらばらな（有意味な）単語のリストを与えても、頭の中で、さまざまな観点からの組みかえを行い、なんらかの意味で一つのまとまりになりそうなもの同士をまとめ直すという、いわゆる体制化が無意識のうちに生じる。しかもその場合のまとまりの原理は、きわめて多様であり、物事のカテゴリ、機能上の関連性、エピソード構成、などの多種にわたり、それが、年齢や職業、さらには文化の違いによっても、大きく影響するものであることもわかってきていた。ところが、こういった、ほとんど無意識のうちの情報処理過程、特に、連想にもとづく概念の予備的形成過程とも言うべきプロセスは、ほとんどなんら解明されていないうちに、あっさりと切り捨てられ、明確に言語化された知識の処理のみに研究者の関心が移ってしまった。

たまたま本年が Ebbinghaus の記憶研究の出版百周年に当たり、日本心理学会でもそれを記念してのシンポジウムが開かれた。また *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* でも、7月号 (Vol. 11, No. 3, 1985) で、Ebbinghaus 記念特集が組まれ、世界的に著名な 15 名の記憶研究者が Ebbinghaus の再評価を試みていることは大変望ましいことである。さらに、並列処理の計算機システムに対する関心から連想記憶のモデルが新しく注目されはじめ^{20), 21)}、認知心理学の分野でも、Mc-

Clelland と Rumelhart²²⁾⁻²⁴⁾ が単語らしさの認知モデルを分布型の記憶のネットワークであらわし、計算機シミュレーションに成功している。*Cognitive Science* 誌の 1985 年の 1—3 月号 (Vol. 9, No. 1) は、ネットワーク型の連想記憶モデルの特集号である。

3.2 イメージ研究の発展

人工知能や知識工学によって脳へ追いやられつつも、それなりに研究の長い伝統を背負って続けられてきたものに、イメージの問題がある。人間の思考過程を考える際に、イメージの役割は無視できないものである。それに対し計算機というものは、しょせん、記号の系列的処理の機械である。したがって計算機科学の発展によってもたらされたのは、言語の意味を記号間の関係で表現し、思考や推論を記号の演算に還元して処理する技術である。もちろん、いわゆる画像処理という分野があり、そこではものの形を認識する計算機が開発されているが、それは、画像情報を当面の問題解決過程に必要な情報の記号列に還元する技術であって、頭の中で画像（すなわちイメージ）を作り出したものごとの意味を考えたり、吟味したりするはたらしきの解明を目指したものではなかった。

もっとも、人によっては次のような議論で反論するかもしれない。すなわち、人間もしょせんは記号処理機械であるはずだ。人間の脳細胞は互いにパルスを送り合っている情報ネットワークに過ぎない。したがって、イメージというものもなんらかの形で記号処理システムに置き換えられる筈である、と。実際、1970 年代の後半からはじまったいわゆる「イメージ論争」は、イメージが頭の中では言語の意味と本質的には同一の表象（つまり、命題のようなもの）で表されるという立場と、そうではなく、イメージは目で外界の事物をみるのと本質的にはおなじ、視覚的な表象（つまり、“絵”のようなもの）で表されているという立場との論争であった。前者は“命題派”とよばれ、Pylyshyn²⁵⁾ を筆頭に、Anderson と Bower²⁶⁾ は、計算機シミュレーションによる人間の思考過程の研究を支持する人たちによって主張されたものである。後者は“アナログ派”とか、単に“イメージ派”とよばれ、必ずしも論者の意見がすべて一致しているわけではないのだが、いちおう Pavio²⁶⁾ を筆頭に、Kosslyn と Pomerantz²⁷⁾、Shepard²⁸⁾ ら、伝統的な心理学実験にもとづいた研究を論拠に、命題派を批判していた。結果的には、イメージ派の人たちによって、次々と興味ぶかい実験事実が明らかにされた。たとえ

ば、イメージの心的回転、心の中でのイメージのスキミング、イメージの大きさによる“解像度”の変化、視野の限界、イメージの残効 after effect などである。もちろん、Anderson²⁹⁾ が主張するように、このような実験事実も計算機シミュレーションが原理的にできないという証拠はなく、なんらかの知識表現によって、同じ結果をシミュレートできるかもしれない。しかし、問題は原理的にいってそれが可能か否かという話ではなく、通常のいわゆる言語的知識や命題的知識とまったく同一に扱って良いか否かという問題である。その点に関していえば、明らかにイメージの知識は視覚系特有の情報システムを背後にもっているものと考えないわけにはいかない。Pylyshin³⁰⁾ も、1980年代には、もはやイメージは命題に過ぎないという考えをすて、代わりに、それは言語では表現できない“暗黙知” tacit knowledge であると主張している。

3.3 文脈、状況、日常性の重視

1972年に発表された『人間の問題解決』という著書で、Newell & Simon³¹⁾ が扱ったのは、数理論理学の証明問題やパズル解きであった。彼らは、問題解決のプロセスは、基本的にはあらゆる課題に共通しているもので、研究対象がたとえばパズル解きであろうとなんであろうと、それによって明らかにされた人間の情報処理過程に関する一般理論は、あらゆる問題解決に共通して当てはまるにちがいないという、漠然とした期待を抱いていたにちがいない。しかし、Simon³²⁾ 自身が早くから気づいていたことだが、解法手続きの形式についていえばまったく同型とみなされる問題でも、その問題の意味づけが異なると困難度がまるでちがってくるのである。たとえば、三目並べのゲームとある種の数字カードのゲームとは数学的にはまったく同型であるが、プレイする人にとっての意味づけがまったく異なるため、一方のゲームに習熟しても他方のゲームがやりやすくなるということはない。手続きとしての同型性が学習にはきわめて転移しにくい点については、Reed, Ernst & Banarji³³⁾, Gick and Holyoak³⁴⁾, etc. がある。

文脈や状況がわれわれの思考にとってきわめて重要であるということを最もみごとに示したのは、いわゆる4枚カード問題である。4枚カード問題というのは、次のようなものである。「今、表にアルファベットの文字、裏には数字が書いてあるカードがあり、たまたまそのうちの4枚が、“E”、“F”、“T”、“8”となっていたとしよう。さて、この4枚について、母音の文

字の裏は奇数であるという命題が正しいか否かを確かめるためには、どのカードをひっくり返してみる必要があるにして十分か。」この問題に対する大学生の正答率はきわめて低く、通常は20%程度である。（正答は“E”と“8”である。）しかし、この問題を具体的に身近な状況の文脈の中にうまく埋め込んでやれば、たちまち70%ぐらいの正答率にまでたかまるのである。（たとえば、60円切手が貼ってある封筒はのりづけしてある、という命題の当否を確かめるためにどの封筒を調べるべきかといったようなもの。正答は“60円切手の貼ってあるもの”、および“のりづけしていないもの”となる。）4枚カード問題の研究の歴史は古く、おびただしい数の研究がなされてきた^{35), 36)}。我が国では、佐伯³⁷⁾、上野³⁸⁾、小谷津ら³⁹⁾のものが知られている。

私たちの思考が文脈や状況に支配されているということは、比較認知研究の立場からも指摘されてきた。すなわち、異文化の人々の知能を調べようとして、実験室的な場面での問題解決能力を測定してもほとんど意味をなさない。彼らは実際生活の中ではみごとな情報処理能力を発揮しているのに、彼らの生活場面と切りはなされた状況では、まるで見当はずれの解答を出すのである^{40), 41)}。この問題は、最近では、私たちの文化の中でも、日常生活の中での思考や問題解決能力と学校の教室やテスト場面での思考や問題解決能力との違いに関心が向けられている。すなわち、日常性の中での思考研究⁴²⁾や日常生活の中での記憶の研究⁴²⁾があらためて注目されてきているのである。

このように、人間の知的活動が、人々の生活場面、社会、文化に強く影響されているという事実は、計算機による知識表現に対する重大な挑戦でもある。それは、知識の共有性、あるいは、共約可能性の否定である。たとえば、内科医の医学知識と一般に人の病氣に対する考え方の違いは、単に知識の量が異なるのではなく、背後に引きずっている社会、日常性、常識、などの違いが大きい。これは、たとえば、内科医と精神医、あるいは、心理療家などの間で同じような言葉でも背後の知識がきわめて異なるために、コミュニケーションの行き違いが生じるという問題にもなる。あるいは、英語圏で開発されたエキスパート・システムを日本に導入するとき、単に言葉を機械的に翻訳すればこと足りるとするとんでもないことになりかねない、というような考え方の根拠ともなるであろう。いずれにせよ、これからの知識工学者が無視する

わけにはいかない重要な問題である。

3.4 シンボルの意味—符号と象徴の違い

最近、認知科学における計算的アプローチにたいする批判があちこちからわきおこってきている。Kolers と Smythe⁴⁴⁾は、人間の頭の中でのシンボル操作は、計算機の中での記号の演算過程とは本質的に異なっていると指摘している。彼らは、シンボルというものについて、Goodman⁴⁵⁾の分類にしたがい、分節可能な、また複製可能なシンボルと分節不可能な、複製不可能なシンボルとにわけ、前者がいわゆる計算機がその内部で操作するシンボル、つまり、符号としてのシンボルであり、後者がたとえば芸術作品のように、分節も省略もできない、全体が一つのものとしてなにかを表象している、濃密な (dense な) シンボルである。Kolers らはさらに、シンボルには、個人的な歴史や思い入れを取り込んだ個人的シンボルと他者と共有できる共有的シンボルとがあり、個人的シンボルは分節不可能であるとする。個人的シンボルは体験した本人が自らの体験を自分自身の表現意図からシンボルに表象しているものであり、他人は、ある程度まで共感はできても、同一の経験を共有できない。こう考えると、個人的なシンボルは自分自身が外界を理解しなおし、納得し、新しい世界をつくりだす働きとして表出したものである。

考えやすくするために、次のような例を考えてみてはどうだろうか。読者の中にはマイカーをお持ちの方も多だろう。長年自分の車を手入れし、あちこちに小さな飾り付けをしたり、旅先で得たシールを貼ったりして、さまざまな思い出のあるシンボルで満ちているにちがいない。ひるがえって、自分が愛用しているマイコンを考えていただきたい。マイコンをそのように飾り付けている人はまれであろう。さらに、自分が愛用しているソフトを考えていただきたい。もうそこには、個人的な経験の思い出や楽しみをなんらかのシンボルとして盛り込むことなどまったく不可能であることに気づかれるであろう。マイカーの中のあちこちのシンボルはすべて個人的な、分節不可能なシンボルだが、コンピュータのなかの演算記号は、まったく共有的な、分節可能なシンボルである。

私たちがものごとを理解するとき、ときに、きわめて自分流にいかえる。独得の図式で現したり、他の人にはチンプンカンプンのラベルを付けたりする。そういうことが一切できないとしたらどうだろう。もしも諸君の作った計算機システムの名前が国会図書館で

なんらかの分類基準にしたがって命名され、それ以外の命名がたとえ仲間うちの会話や自分だけのメモにさえ許されないとしたらどうだろうか。私たちの頭は「死んで」しまうだろう。人間の知識の利用過程では、このように、自分自身の自我が深く関与したプロセスが不可欠なのである。知識を自分で納得するというプロセスを考えたとき、Kolers と Smythe⁴⁴⁾ (1984) の指摘は十分考察に値するのではないだろうか。また、このことは、計算機システムが人間と離れて、それ自体に知的活動が自立的に存在するという幻想に対する痛烈な批判でもある。

4. 知識工学の変革

革命というものは、常に“周辺”から起こってくる。もしも、将来、知識工学に大きな変革が期待されるとしたなら、それは、ほかならぬその周辺、すなわち、認知科学から起こる。上で見てきた通り、今までの人工知能研究では、中心的には扱え切れなかったけれども、人間の知的情報処理活動の中で、最も中心的で、また、創造的でもある活動が、連想、イメージ、状況理解、の三つである。この三つを、これからの研究でどこまで解明し、工学的技術の中に取り込めるようになるかに、知識工学が本当に人間の知識の工学として発展するか否かがかかっていると考えるしだいである。

人工知能研究や知識工学研究には、二つの思想がある。第一は、人間の脳の代替物を作ろうという考え方であり、計算機の機能をどこまでも人間の脳の機能に近づけようという考え方である。もう一つの思想は、インタフェース中心主義の思想である。つまり、計算機をあくまで人間の知的活動を助ける道具と見なし、それを最適化しようというのである^{46)~48)}。この二つの思想は、互に対立するものではなく、互いに補い合う関係にある。すなわち、従来の計算機では扱い切れないような、人間の柔軟で創造的で、しかも状況にみごとに適合的であるという側面を突きつけられたことをまっすぐに受け止めて、それを取り込んだ新しい計算機を開発しようという試みが起こってくれば、それは、結果的には、素晴らしいインタフェースを生み出すことになるにちがいないし、逆に、素晴らしいインタフェースを開発しようとするのが、人間の知的活動の素晴らしさを解明することになり、それが、計算機を人間の頭脳に近付ける人工知能開発に新しい挑戦を突きつけることになるだろう。

ただ、従来の知識工学研究は、極端に前者、すなわち代替主義に偏っていた。その結果、知らず知らずの間に、現在の計算機技術の枠内で比較的容易に機械的処理ができそうな側面にのみ関心が向き、真に新しい情報処理の原理を、人間の知的活動そのものの研究から導き出すことを怠ってはいなかっただろうか。そこで、この際、発想を変えてみて、連想やイメージ化を助け、ものごとを納得したり吟味したりすることを助けるにはどうしたらよいかを考える、インタフェース中心主義に立ってみてはどうだろうかと提案するだけである。

参 考 文 献

- 1) Neisser, U. : *Cognitive Psychology*, Appleton-Century-Crofts (1967).
- 2) Norman, D. A. : *Memory, Knowledge and the Answering of Questions*, In R.L. Solso (Ed.), *Contemporary Issues in Cognitive Psychology* : The Loyola Symposium, John Wiley & Sons (1973).
- 3) Anderson, J.R. and Bower, G.H. : *Human Associative Memory*, Winston (1973).
- 4) Gregg, L.W. (Ed.) : *Knowledge and Cognition*, John Wiley & Sons (1974).
- 5) Kintsch, W. : *The Representation of Meaning in Memory*, Lawrence Erlbaum Associates (1974).
- 6) Bobrow, D.G. and Collins, A.M. (Eds.) : *Representation and Understanding : Studies in Cognitive Science*, Academic Press (1975). 淵一博監訳 : 人工知能の基礎, 近代科学社 (1978).
- 7) Bobrow, D.G. and Winograd, T. : *An Overview of KRL, a Knowledge Representation Language*. *Cognitive Science*, Vol. 1, pp. 3-46 (1977).
- 8) Winograd, T. : *Understanding Natural Language*, *Cognitive Psychology*, Vol. 3, pp. 1-191 (1972).
- 9) Winograd, T. : *Understanding Natural Language*, Academic Press (1972).
- 10) Tulving, E. and Donaldson, W. (Eds.) : *Organization of Memory*, Academic Press (1972).
- 11) Ebbinghaus, H. : *Über das Gedächtnis-Untersuchungen zur Experimentellen Psychologie*, Dunker & Humboldt (1885). 宇津木保訳 : 記憶について—実験心理学への貢献, 誠信書房 (1978).
- 12) Glaze, J. A. : *The Association Value of Nonsense Syllables*, *Journal of Genetic Psychology* Vol. 35, pp. 255-258 (1928).
- 13) McGeoch, J. A. : *The Influence of Associative Value upon the Difficulty of Non-sense Syllable Lists*, *Journal of Genetic Psychology*, Vol. 37, pp. 421-426 (1930).
- 14) Mandler, G. : *Associative Frequency and Associative Prepotency as Response Measures of Nonsense Syllables*, *American Journal of Psychology*, Vol. 68, pp. 662-665 (1955).
- 15) Underwood, B.J. and Schulz, R.W. : *Meaningfulness and Verbal Learning*, Lippincott (1960).
- 16) Quillian, M.R. : *Semantic Memory*, In M. Minsky (Ed.) *Semantic Information Processing*, The MIT Press (1968).
- 17) Collins, A.M. and Quillian, M.R. : *Experiments on Semantic Memory and Language Comprehension*, In L.W. Gregg (Ed.) *Cognition in Learning and Memory*, John Wiley & Sons (1972).
- 18) Norman, D. A. and Rumelhart, D. E. : *Explorations in Cognition*, W.H. Freeman (1975).
- 19) Fillmore, C.J. : *The Case for Case*, In E. Bach & R.T. Harms (Eds.) *Universals in Linguistic Theory*, Holt, Rinehart and Winston (1968).
- 20) Kohonen, T. : *Associative Memory : A System Theoretical Approach*, Springer-Verlag (1977). 中谷和夫訳 : システム論的連想記憶—情報工學心理学のために, サイエンス社 (1980).
- 21) Kohonen, T. : *Self-Organization and Associative Memory*, Springer-Verlag (1983).
- 22) McClelland, J. L. and Rumelhart, D. E. : *An Interactive Activation Model of the Effect of Context in Perception, Part I. An Account of Basic Findings*, *Psychological Review*, Vol. 88, pp. 375-407 (1981).
- 23) Rumelhart, D. E. and McClelland, J. L. : *An Interactive Activation Model of the Effect of Context in Perception, Part II, The Contextual Enhancement Effect and Some Tests and Extensions of the Model*, *Psychological Review*, Vol. 89, pp. 60-94.
- 24) McClelland, J. L. and Rumelhart, D. E. : *Distributed Memory and the Representation of General and Specific Information*, *Journal of Experimental Psychology : General*, Vol. 114, pp. 159-188.
- 25) Pylyshyn, Z. W. : *What the Mind's Eye Tells the Mind's Brain : A Critique of Mental Imagery*, *Psychological Bulletin*, Vol. 80, pp. 1-24 (1973).
- 26) Pavio, A. : *Imagery and Verbal Processes*, Holt, Rinehart and Winston (1971).
- 27) Kosslyn, S. M. and Pomerantz, J. R. : *Imagery, Propositions and the Form of Internal Representations*, *Cognitive Psychology*, Vol. 9, pp. 52-76.
- 28) Shepard, R. N. : *Form, Formation and Trans-*

- formation of Internal Representations, In R. L. Solso (Ed.) Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium, Lawrence Erlbaum Associates (1975).
- 29) Anderson, J. R.: Arguments concerning Representations for Mental Imagery, *Psychological Review*, Vol. 85, pp. 249-277 (1978).
 - 30) Pylyshin, Z. W.: The imagery Debate: Analogue Media Versus Tacit Knowledge, *Psychological Review*, Vol. 88, pp. 16-45 (1981).
 - 31) Newell, A. and Simon, H. A.: Human Problem Solving, Prentice-Hall (1972).
 - 32) Simon, H. A.: The Sciences of the Artificial, The MIT Press (First Edition, 1969; Second Edition, 1981).
 - 33) Reed, S. K., Ernst, G. W. and Banerji, R.: The Role of Analogy in Transfer between Similar Problem States, *Cognitive Psychology*, Vol. 6, pp. 436-450.
 - 34) Gick, M. L. and Holyoak, K. J.: Schema Induction and Analogical Transfer, *Cognitive Psychology*, Vol. 15, pp. 1-38 (1983).
 - 35) Wason, P. C.: Reasoning about a Rule, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol. 20, pp. 273-281 (1968).
 - 36) Johnson-Laird, P. N. and Wason, P. C.: A Theoretical Analysis of Insight into a Reasoning Task, *Cognitive Psychology*, Vol. 1, pp. 134-148.
 - 37) 佐伯 胖: 情報処理と「視点」, サイコロジー, No. 9, pp. 54-60 (1980).
 - 38) 上野直樹: 視点と理解, サイコロジー, No. 24, pp. 30-37 (1982).
 - 39) 小谷津孝明, 伊東昌子, 松田真幸: 4枚カード問題における課題素材効果と視点教示の効果, 基礎心理学研究, 第3巻, 第1号, pp. 23-29 (1984).
 - 40) Bronfenbrenner, U.: The Ecology of Human Development, Harvard University Press (1979).
 - 41) Cole, M. and Scribner, S.: Culture and Thought: A Psychological Introduction, John Wiley & Sons (1974). 若井邦夫訳: 文化と思考サイエンス社 (1982).
 - 42) Rogoff, B. and Lave, J. (Eds.): Everyday Cognition: Its Development in Social Context, Harvard University Press (1984).
 - 43) Neisser, U. (Ed.): Memory Observed: Remembering in Natural Contexts, W. H. Freeman (1982).
 - 44) Kolars, P. A. and Smythe, W. E.: Symbol Manipulation: Alternatives to the Computational View of Mind, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol. 23, pp. 289-314 (1984).
 - 45) Goodman, N.: Languages of Arts, Bobbs-Merrill (1968).
 - 46) Card, S. K., Moran, T. P. and Newell, A.: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates (1983).
 - 47) Norman, D. A. and Draper, S. W. (Eds.): User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates (in press).
 - 48) 佐伯 胖: ヒューマン・インターフェース研究の新しい展開, 昭和59年度先端的コンピュータに関する調査研究報告書(技術動向編)-Ⅲ, (財)新世代コンピュータ技術開発機構, pp. 214-223 (1985).

(昭和60年8月15日受付)