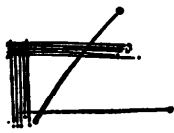


展 望



コネクショニズムの展望

(V) 批判と課題†

住 文 彰 住 性

1. はじめに

人工知能学や認知科学におけるコネクショニズムへの熱狂はめざましいものがあり、現場の研究者をひきつけてやまないばかりでなく、その余波は一般論壇にまで及んでいる。あれほど人工知能の不可能性を説いた Dreyfus and Dreyfus⁹⁾ のような哲学者までもがコネクショニズムに対しては、いくばくかの親近感をいだいているようなのである。

一方、伝統的な人工知能学や認知科学を支えてきた思考法は、“古典的”計算主義、“古き良き”AI などと呼ばれはじめ、今にも退役を迫られているかのようである。

はたして、コネクショニズムは人工知能学や認知科学に対して、計算観の変更、知能観の変更をせまる新しいパラダイムなのであろうか？ 過去30年間の“認知革命”を通じて、人工知能学と認知科学が到達した知の科学は、今、コネクショニズムという認知“反革命”に遭遇しているのであろうか？

本稿では、コネクショニズムに対する批判や疑問の諸相を整理することを通じて、コネクショニズムの登場によって、人工知能学や認知科学に何がもたらされたのかを考えることにする。

2. コネクショニズムのもついくつかの側面

ひとくちにコネクショニズムといっても、その実態はまったく多様なものであることには注意をしなければならぬ。まず、

- 1) 脳のモデル
- 2) 計算技法
- 3) 認知のモデル

という三つの側面について、コネクショニズムの意義

を簡単に整理してみることにしよう。

脳のモデルとしてのコネクショニスト・モデル

近年の神経科学の急展開を背景として、神経系の計算モデルを提供できる可能性が考えられている。コネクショニスト・モデル、あるいは、最近、神経形態システム (neuromorphic system) と呼ばれはじめたような計算モデルが、神経科学での知見の解釈や説明的理論を提供することが期待されるのである。しかしながら、Anderson と Rosenfeld²⁾ によると、コネクショニズムに対する神経科学の側での反応は、人工知能学や認知科学において見られる熱狂に比べると、はるかに保守的であるという。過去20年の神経科学の成果は、主として実験的知見の蓄積と、分子レベルのメカニズムへの下降によってもたらされたものであって、神経系についての理論的分析への興味は強いものではないというのである。Anderson と Rosenfeld はそれでも、神経科学とネットワーク・モデリングが影響を与えながら、システム論的神経科学への関心が増大しつつあるという印象を述べているが、具体的な成果は将来にまつべきものようである。

こうした現状をみると、コネクショニストが、ネットワーク・モデルと脳の神経構造との関係を述べるにあたっては、たいへんに慎重であるのうなづくことができる。たとえば、Rumelhart and McClelland¹⁵⁾ が、しばしば「脳に類似した」あるいは、「神経系にヒントを得た」ネットワーク構造の研究という慎重な言及のしかたをするのも、現在のコネクショニスト・モデルが神経科学での知見を必ずしも正確に反映したのではなく、また、ネットワーク・モデルがただちに神経系の計算モデルを提示することができるわけではないという認識にたつてのことであろう。

コネクショニズムに対する熱狂の一部には、知的な機械/プログラムが、「心の計算モデル」などという迂遠な方法によってではなく、「脳の計算モデル」によって一挙に可能になるのではないかという期待がお

† Perspectives on Connectionism (V) Criticism and Future Problems by Akifumi TOKOSUMI (Department of Psychology, University of the Sacred Heart).

住 文 彰 住 性 聖心女子大学文学部心理学科

そらくあるだろう。「心の計算モデル」の根底にあるのは、心=知識=記号という、伝統的な人工知能学や認知科学がとってきたデフォルト的な思考法である。

このような、人間が行っている認知、記憶、学習、思考といった心理的活動は記号の演算とみなすことができるという、記号主義的な思考法に対する不満がひろがりをはじめているのは確かである。とはいえ、脳の計算モデルもまた、まだ遠いところにあるというのも確かなのである。

計算技法としてのコネクショニスト・モデル

コネクショニズムのもうひとつの役割は、新しい計算技法の提供である。人工知能学という領域には、人間の思考や推論の方式との直接の経験的な対応を特に追求するというよりも、そのような認知科学的な探求を可能にするための計算技法の探求という側面もあるから、コネクショニスト・ネットワークが、これまで計算量の壁などで、解くのが困難であったようないくつかの問題に解を与えることができるということは大きな意義がある。

たとえば、現在のネットワーク・モデルの再興に大きな役割をはたしたものに Hopfield によるネットワークの定式化があるが、Hopfield らはこのネットワークを使って、巡回セールスマンのような組合せ最適化問題に近似解を与えられることを示している⁶⁾。最適化問題のようにグローバルにコストが極小になる解をみいださなければならない問題では、ローカルな極小値を避ける方策が必要であるが、そのための技法もさまざまなものが提案されている。ボルツマン・マシンで用いられている模擬焼きなまし法 (simulated annealing) などはその代表的なものである¹⁾。

あるいはまた、コネクショニスト・ネットワークは学習によって、自己の挙動を決定していくという重要な側面をもっているが、これも、人間の学習や知識獲得の方式はどうなっているのかという問題とは独立に、計算技法の問題として扱い、改良を加えていくことが可能である。すなわち、ノード間のリンクの重みづけを決定するための、ネットワーク形成の計算技法の問題ということになる。いうまでもなく、コネクショニスト・ネットワークではほとんど普遍的に用いられている技法は Rumelhart and McClelland によるバック・プロパゲーション法であるが、最近はこれと異なった枠組みの提案もある¹⁰⁾。

当然ながら、新しい、効率的な計算技法は工学的な意義ももつ。人工知能学および工学という流れの中で

のコネクショニズムの意義については、國藤¹¹⁾、河原⁹⁾ に体系的に述べられているので参照していただきたい。

認知アーキテクチャとしてのコネクショニスト・モデル 現在のコネクショニズムのムーブメントを特徴づけているのは、それが認知のモデルとして語られているという点であろう。もちろん個々の研究はさまざまな動機づけと背景をもっており、上にまとめたような、神経系の計算モデルという方向づけや、新しい計算技法という方向づけを強調するものも多い。しかしながら、それらの多くも人間の認識、思考、学習といった知的処理の方式としての含意をしばしば語るのである。とりわけ、Rumelhart and McClelland が UCSD で率いた PDP グループからの研究は、認知のモデルとしてのコネクショニスト・モデルということを明確に表明していた¹²⁾。そして、現在みられるコネクショニズムへの熱狂は、コネクショニスト・モデルが認知のモデルのための新しいパラダイムを提供できるという期待にささえられている。

しかしながら、コネクショニズムの再興から数年を経て、コネクショニズムの認知観、知能観のどこが新しいもので、どのような限界があるのかについても次第に理解が進んできたといえる。以下では、もっぱら認知のモデルとしてコネクショニズムが何を提供できるかについて整理を試みよう。

3. コネクショニスト・モデルと認知のモデル

古典的計算主義の認知観

伝統的な人工知能学や認知科学の根底にある認知観、知能観、ひいては人間観は、人間の行っているさまざまな知的な情報処理は、記号の計算過程として理解できるというものである。Newell¹²⁾ が物理記号システム仮説 (Physical Symbol System Hypothesis: PSSH) と呼んで主張する知能観は、そうした思考法の中で、もっとも明示的で強いものである。彼らは、人間が示すような、環境に対してほとんど任意の関数であるかのように、しかし合目的に行動する柔軟な適応性を知能の重要な性質と考える。そして、汎用チューリング・マシンで与えられるような、計算可能な最大の関数のクラスを計算することのできる汎用記号処理機械だけがそのような性質をもつことができるという。いうまでもなく、人間の脳もそのような汎用記号処理装置である。

コネクショニズム以前の人工知能学者や認知科学者

のすべてが、これほど強い仮定を意識的にもっていたとは考えづらけれども、物理記号システム仮説から導かれる次のような特徴が、認知システムを考察する際の、いわばデフォルト的な思考法としてあったということはいえるであろう。

1) 知的な情報処理システムを記号の計算システムとして考える、

2) 記号計算のクラスとして、汎用チューリング・マシンで特徴づけられるような汎用の計算クラスを考える、

3) 知的な情報処理システムは環境から独立な内部表現をもつと考える。

コネクショニズムにたつ認知観は、こうした思考法に対してどのような新しい立場をうちだしているのだろうか。

認知システムの記号性をめぐって

コネクショニズムに立つ側からしばしば強調されるのは、記憶の分散表現 (distributed representation)¹⁵⁾などにみられるような、新しい記号概念の提案である。しばしば、前記号的 (subsymbolic) であるとか、前概念的 (subconceptual) と呼ばれるレベルの表現がコネクショニスト・モデルによって可能になるというのである。この背景には、記号主義に対する、現象学や解釈学的な方向づけをもった研究者からの絶え間ない批判があったし、認知科学の内部でも知覚過程、学習過程、身体動作の制御過程などのモデルのために、あらかじめ研究者がラベルを貼りつけておくのではない、記号の生成過程を扱うための概念が待望されていたのは確かであろう。

しかしながら、コネクショニズムが現在提出できるこうした“前”記号概念に、認知理論の中でどのような地位を与えることができるかについては、多くの問題があるといわざるをえない。コネクショニズムと新しい記号概念をめぐる話題は堀⁷⁾に詳しく、また石川⁸⁾、河原⁹⁾もふれているので詳細は省くが、1) “前”記号的表現のために用いられている micro feature などは、認知科学でもはや古典的な、意味素性による表現などかわるところなく、具体的な新しい記号表現の提案はまだない、2) 記号の概念への翻訳なしには、システムの挙動に関する説明的理論が得られない、などの問題が指摘できる。

認知計算の汎用性をめぐって

興奮/抑制のリンクだけで結合された多数の素子のネットワークという単純なアーキテクチャが与えてく

れる計算のクラスは、認知のモデルのために十分なものと見えるであろうか。

認知のアーキテクチャが行う計算が汎用的 (universal) であるという古典的計算主義の仮定は、認知システムに最大の柔軟性を保証するためにおかれたものである。ここでいう汎用の計算クラスとは、チューリング・マシンが行うような、記号と記号の組合せせからなる記号表現に対する読み、書き、複写、といった操作として定義される。

ところで一方、Pylyshyn¹⁴⁾によれば、コネクショニスト・モデルのような状態遷移モデルは有限状態オートマトンとして特徴づけられるという。そしてこの違いは、Fodor and Pylyshyn⁶⁾によれば、両者に次のような本質的な違いをもたらすという。

生産性 (productivity) システムが、原理的に、つまりある理想状態のもとでは無限の表現能力をもつという性質である。人間の認知システムもそのような性質をもつと仮定されており、伝統的な認知科学研究のほとんどはこの性質を理論的前提としている。もちろん実際の認知システムは、記憶容量、計算速度、時間的制限、さまざまな妨害などによって、そのような能力を発揮できないのであるが、原理的には、これまで表現したことのないどのような、たとえば命題、知識表現、文でも表現できる能力をもっていると考えられる。Chomsky が、人間の言語能力は生成的 (generative) である、つまり原理的に無限の数と長さの文を生成できるというとき、この生成性はここでいう生産性と同一の概念である。ところで、やはり Chomsky が示したように、文法の生成性は、文法を状態遷移規則と考えたのでは実現できないのである。言語能力だけでなく、知識表現、推論における命題表現などにかかわる認知能力もこのような表現力が必要であるとしたら、そうした能力を与えるためのアーキテクチャは、有限状態オートマトンではありえない、すなわちコネクショニスト・ネットワークではありえない。

実は、Rumelhart and MacClelland は、こうした生産性という能力が人間の認知計算にとって本質的ではないという考えを表明している¹⁶⁾、そうした主張を徹底させるならば、認知の理論における能力と運用 (competence and performance)、認知計算の再帰性などについて大幅な枠組みの変更を主張しなくてはならなくなるであろう。

体系的 (systematicity) システムが扱うことのできる、記号表現の組合せ構造についての性質である。

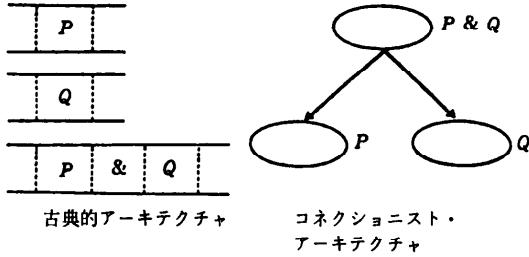


図-1 古典的アーキテクチャとコネクショニスト・アーキテクチャにおける複合命題 ($P \& Q$) の表現

Fodor and Pylyshyn による、推論の体系性を例に挙げてこの性質を考えてみよう。まず、今日は雪が降っている (P)、今日は日曜日である (Q)、今日は雪が降っていて、今日は日曜日である ($P \& Q$) という命題を、古典的計算アーキテクチャとコネクショニスト・アーキテクチャそれぞれで表現するとどうなるかを考える。

古典的アーキテクチャでは、チューリング・マシンがテープ上に書き込むような、 P 、 Q 、 $P \& Q$ という記号表現が必要で、それぞれの記号は命題の意味内容に対するトークンの役をはたしている。古典的アーキテクチャでは、 $P \& Q$ という複合表現の内容は、 P と Q という要素表現トークンを経由して得られる P と Q の内容を必ず含むことになる。コネクショニスト・アーキテクチャでは、ネットワーク上のノードが P 、 Q 、 $P \& Q$ それぞれを示す。ここで、ノード $P \& Q$ はたまたま $P \& Q$ というラベルがついているだけであって、このノードがトークンとなっている命題内容は、ノード P 、ノード Q のそれとは構造的にまったく関係がないということは重要である。

さて、Fodor & Pylyshyn によれば、推論の体系性とは、あるシステムが $P \& Q$ なる状況を表現できるならば、そのシステムは P という状況、 Q という状況も表現できるはずであるという性質である。人間の認知能力も当然このような性質をもっている。「今日は雪が降っていて、日曜日である」ということを理解できる人が、「今日は雪が降っている」を理解できないということは考えられないであろう。このような性質は、古典的記号計算アーキテクチャにあってはまったく当然のように実現されている。ある状況を $P \& Q$ という複合トークンを使って表現するためには、その部分である P と Q の存在が必要だからである。

ところが、コネクショニスト・アーキテクチャのように構造的な記号表現を用いないシステムは、体系性という性質をもたない。仮に $P \& Q$ というノードを

造ったとしても、そのノードはノード P やノード Q とまったく独立で並列的な要素を表現するだけで、 P は $P \& Q$ の部分であるといった性質は自動的に生じてこないのである。人間の認知システムは明らかに体系性という性質を有しているからこのようなアーキテクチャは認知アーキテクチャとして適切なものとはいえない。計算アーキテクチャ一般を考えても、知的推論にとって本質的な、体系性という性質をもたないようなアーキテクチャにいったいどのような価値があるだろうか。このように Fodor & Pylyshyn は認知アーキテクチャとしてのコネクショニスト・ネットワークを批判するのである。

体系性という性質は、古典的計算主義においてさまざまに提案された知識表現法の基礎にあるものといえる。フレーム表現、論理式、プロダクション・ルールなどの知識表現法が可能にした知識の高次の構造化なしには、これまでの認知科学の進展は考えられなかったとさえいえるほどであるから、こうした構造化を放棄することで失うものは途方もなく大きいと考えざるをえない。

このように認知のためのアーキテクチャという観点からの批判に加えて、Fodor and Pylyshyn はコネクショニズムが認知科学の枠組みの中で、今後生き延びるためにとり得る道までも検討している。それによるとコネクショニストには次のような選択の余地しかない。

選択 1 古典的計算主義に対抗して非構造的表現の道をあくまで歩む。上で検討したように認知システムの生産性と体系性からみて、この選択は適当でない。

選択 2 心的表現についてはネットワーク・アーキテクチャをあきらめるが、心的プロセスのモデルとしてコネクショニスト・モデルを主張する。実はこの選択は、D. Hume 以来の伝統的連合主義がついに解決できなかった問題をかかえこむことになる。それは、連合 (association) は、原理的に構造依存的な関係ではないので、表現に構造をもたせても推論などの構造操作における意味的な一貫性を確保することができないということである。せつかく心的表現に構造性を導入するならば、その表現の上での心的プロセスも構造依存的な性質をもつものにした方がよいだろう。という結論、古典的記号計算のアーキテクチャを選択することになる。

選択 3 コネクショニズムを実現法 (インプリメンテーション) の理論とする。つまり、記号操作の古典

的計算アーキテクチャを実装するための道具だとしてコネクショニスト・ネットワークを用いる。この選択にはとりわけ反対すべき点はなく、実際、すでにコネクショニストの側からもこの線にそった研究がいくつか発表されている。ただし、この道をとると、コネクショニズムに“記号レベルの分析からの解放”であるとか、“神経科学にもとづく認知モデルの実現”といった魅力を求めているものは、失望を味わうであろう。

選択 4 コネクショニスト・モデルに認知モデル一般についての基礎を求めるのはあきらめ、ある種の認知過程のモデルとなる可能性を追求する。統計的推論などの過程には適切なモデルとなるかもしれない。

どの選択もコネクショニズムにとってはきびしいものであるが、選択 2, 3, 4 で指摘されているような点は、Fodor & Pylyshyn のように特にコネクショニズムに批判的な立場をとる者だけでなく、認知科学者一般にひろがりつつある共通の認識でもあるだろう。

認知システムの環境からの独立性をめぐる

以上のような、認知の記号性や汎用性、構造的性についての議論は、対立する考えを提示することで具体的な議論のきっかけを与えたという点にコネクショニズムの功績を考えてもよいが、必ずしもコネクショニスト・アーキテクチャの選択を迫るようなものではない。もちろん、コネクショニズムからの問題提起をまったく無視するようなことをしても、従来の古典的計算主義のパラダイムで見落とされていた問題が解決されるわけもないのであるから自覚的な対処が必要であるが、選択 3, 4 などを通じて古典的な計算概念を拡張してゆくのが、可能な一つの道であろう。

しかしながら、古典的計算主義のパラダイムが内包していた、システムの内部表現は環境から切り離して独立に考えることができる、という思考法については、コネクショニズムが将来、本質的なパラダイム転回を引き起こす可能性はあるように感じられる。

もともと、Newell の物理記号システム仮説が“環境に対してほとんど任意の関数であるかのような”という特徴を知能システムに与えたのは、入力に一对一に対応して動作が決まってしまうような単純なシステムではなく、もっと広い状況や環境、履歴に対応して動作を決定できるような柔軟性を確保するためであった。そして、意味レベルもしくは志向レベルの記述で、システムの目標、プラン、意図、信念などと呼ばれるものを反映させて動作を決定することのできるような柔軟性を確保するためであった。その結果、現

在、古典的計算アーキテクチャに基づく認知のモデルは、人工知能学の文脈にあるものでも、認知科学の文脈にあるものでも、知識を大量に保有し、システムが置かれている環境とは独立にそうした知識を操作して理解、推論、学習といった認知処理を行うというかたちをとっている。

コネクショニズムが提供できる(可能性がある)と感じられるのは、まったく異なる認知システム、あるいは認知観、知能観である。コネクショニズムがもつ魅力のうちで最大のものは、自己の状態を、入力の状態と、出力(つまりシステムの目的)に適合させて決定できるという自己組織化(学習)の能力であろう。この能力を、一時的なネットワークのリンク結合形成のためのものとはしないで、環境との継続的な連合のために使うことができれば、システムと環境の間の絶え間ない会話が可能になり、環境へ柔軟に適應する、というよりもむしろ、環境の中で生きるシステムのモデル化ができる可能性がある。こうした観点を極端におしすすめてみよう。知覚器官あるいは周辺機器から環境についての情報を適宜とりこみ、必要があれば何らかの行動や意思決定を行いながら、自分の目標の達成をめざす情報処理システムというのが伝統的な知能システム観である。これに対して、環境の中での自己のより適應的な生存を図るためのインタフェースをむしろ知能の目的と考え、知能はインタフェース装置である知覚器官あるいは周辺機器を最大限機能させるためのものである、という環境志向的、あるいはインタフェース志向的な知能システム観が成立することになる。

実はこうした人間観は、程度の差こそあれ、心理学史上、繰り返し現れているものでもある。たとえば、19世紀に W. James は、現代コネクショニズムの源流ともいえるような、連想による想起、推論などのメカニズムの提案をただでなく、環境の中で生きる生体のメカニズムという観点からの心理学を主張した。また、環境志向主義のより先鋭的な現れは J. J. Gibson の生態光学であろう。視覚についての理論が主であるので“光学”という名がついているが、この知覚理論の根幹は、視覚系は、環境内にある事物の価値や意味を(推論系などの介在なしに)直接知覚する、逆にみると、視覚系は生体が環境の中で適應的に生存するためにそのような能力をもつものとして進化をとげているというものである。

Norman¹³⁾ が環境を一種の知識データベースとして扱うような認知システムの考えを示唆しているのも、

環境から分離した内部表現の存在に頼る古典的な認知アーキテクチャへのアンチ・テーゼと考えられるのである。

こうした、環境の中で生きる認知システムという、それ自体は新しくはない思考法に、将来のパラダイム転回の予感を感じるのは、環境とシステムとのインタフェースを可能にする、コネクショニズムという計算技法がいまや手に入るからである。単なるアイディアと、計算という実体をともなったアイディアとは、理論化の深さ、進展の速度などがまったく異なるというのは、認知革命の間の認知モデルの展開においてまのあたりにしたことなのである。

4. おわりに

コネクショニズムが認知のアーキテクチャに関してどのような寄与ができるかを、さまざまな批判を通じて整理することを試みた。非記号的表現、非構造的表現を含む認知アーキテクチャなど、コネクショニズムがきっかけとなっておきた議論には興味深いものがある。しかしながら、古典的な計算主義に基づく認知アーキテクチャの思考法がおしすすめてきた認知の科学の先端は、ロジックに基づく各種の推論機構、TAU, XP などの超高次の知識構造に基づく自然言語理解機構^{9),16)}など、コネクショニスト・モデルでは当分追いつくことができない地点に達している。人工知能学や認知科学の提出する認知のモデルが完全にコネクショニスト・モデルに置き換えられてしまうという事態はおそらくありそうもない。一方、コネクショニスト・モデルが存在理由を見いだすことができるような、認知の部門もおそらく存在するであろう。現在のコネクショニスト・モデルは、まだ古典的認知科学の成果からの借り物で運営されている面が多いから、必ずしも認知のアーキテクチャのためには魅力的とはいえないものであるのは本文で検討したとおりであるが、古典的計算アーキテクチャが魅力的とはいえない局面もまた多いのであって、この認知の科学における二大勢力は、それぞれが得意な領域を確定するべく、当分の間、努力を続けなければならないであろう。そうしてみると、かりにコネクショニスト・モデルが認知アーキテクチャの相当部分を担うことができるということになったとしても、それは古典的計算観にたっすすすめてきた認知革命の継承、あるいは修正と考えるとよいであろう。

そうではなく、コネクショニズムが認知のモデルと

してパラダイム転回的な影響をうみだす可能性がもしあるとすれば、それは環境の中で機能する知能システムの計算的実現という道を通じてであろうと思われる。

参考文献

- 1) Ackley, D. H., Hinton, G. E. and Sejnowski, T. J.: A learning algorithm for Boltzmann machines, *Cog. Sci.* 9, pp. 147-169 (1985).
- 2) Anderson, J. A. and Rosenfeld, E. (Eds.): *Neurocomputing: Foundations of Research*, MIT Press, Cambridge (1988).
- 3) Dreyfus, H. L. and Dreyfus, S. E.: *Making a mind versus modeling the brain*, *Daedalus*, 117, pp. 15-43 (1988).
- 4) Dyer, M. G.: *In-depth understanding*. MIT Press, Cambridge (1983).
- 5) Fodor, J. A. & Pylyshyn, Z. A.: *Connectionism and Cognitive Architecture: A critical analysis*, *Cognition*, Vol. 28 pp. 3-71 (1988).
- 6) Hopfield, J. J. and Tank, D. W.: *Neural computation of decisions in optimization problems*. *Biol. Cybernetics* 52, pp. 141-152 (1985).
- 7) 堀 浩一: コネクショニズムの展望 (Ⅲ) 認知科学からの期待, *情報処理*, Vol. 29, No. 9, pp. 1000-1003 (1988).
- 8) 石川真澄: コネクショニズムの展望 (Ⅰ) 概論, *情報処理*, Vol. 29, No. 7, pp. 666-672 (1988).
- 9) 河原英紀: コネクショニズムの展望 (Ⅳ) パターン処理の観点からの期待, *情報処理*, Vol. 29, No. 9, pp. 1004-1008 (1988).
- 10) 河原英紀, 入野俊夫: 3層構造のニューラル・ネットワークによる任意の連続写像の近似的実現とパターン処理への適用, *信学技報*, PRU pp. 88-54 (1988).
- 11) 國藤 進: コネクショニズムの展望 (Ⅱ) 人工知能の観点からの期待, *情報処理*, Vol. 29, No. 9, pp. 993-999 (1988).
- 12) Newell, A.: *Physical symbolic systems*, *Cognitive Science*, 4, pp. 135-183 (1980).
- 13) Norman, D. A.: *The Psychology of everyday things*, Basic Books, New York (1987).
- 14) Pylyshyn, Z. W.: *Computation and cognition*, MIT Press, Cambridge (1984).
- 15) Rumelhart, D. & McClelland, J.: *On learning the past tenses of English verbs*. In J. McClelland & D. Rumelhart (Eds.), *Parallel distributed processing*, Vol. 2, Psychological and biological models, MIT Press, Cambridge (1986).
- 16) Schank, R. C.: *Explanation Patterns*. LEA (1986).

(昭和63年10月3日受付)