

脳の新しいモデル：思考する記憶機械 PATON

大森 隆司

■研究のねらい

人間の脳は、言語の理解や抽象的な思考などに代表される、シンボリックな情報処理の機能を持っている。しかし一方で、我々は視覚や聴覚の感覚的なイメージを思い起こし、そのイメージの上でものを考える、いわゆるイメージ思考の能力も持っている。ところが現在の科学は人間の脳のそのような思考能力の合理的なメカニズムについては、実験事実はおろか仮説的な理論すら持っていない。人間の脳はサルなどの動物と根本的に異なるのではなく、人間に特異的なシンボル処理もまた動物がもつ認識や記憶の能力の延長に考えなければならない。従来の工学的なシンボル処理やパターン処理の枠組みでは、動物の脳でも可能なシンボル処理およびイメージ思考のメカニズムを説明することはできない。

そこで、本研究は脳の記憶系における記憶の利用のプロセスに注目し、人間の脳のシンボル情報の処理機能もまた動物が持つ記憶の操作機能の延長にあると想定した。そして、脳記憶系の構造および注意系の働きの自然な表現である記憶モデル PATON が、認識・連想といった記憶関連の単純機能の延長にどのような高次認知機能を持ちうるかを示した。また、その理論はどのようなものか、ということをも明らかにする研究を行なった。

■研究の成果

1. 記憶モデル PATON

記憶モデル PATON は、人間やサルの脳の記憶系と同じ基本構造を持っており、さらに必要に応じて特定の感覚情報に注目する注意の機能を持っている。PATON は外部入力を受けるパターン層（大脳皮質の感覚性連合野のモデル）と側抑制の機能によって活動パターンが直交化される性質を持つシンボル層（海馬系および前頭前野のモデル）の二層構造を持ち、それらが相互結合することによって連想記憶の機能を実現している。

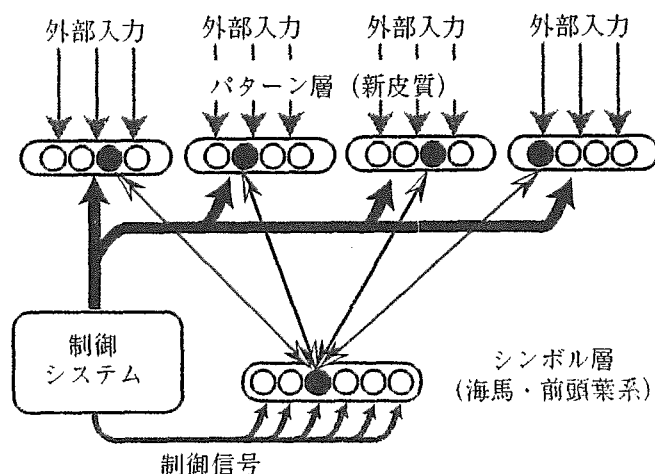


図1. 記憶モデル PATON の基本構造

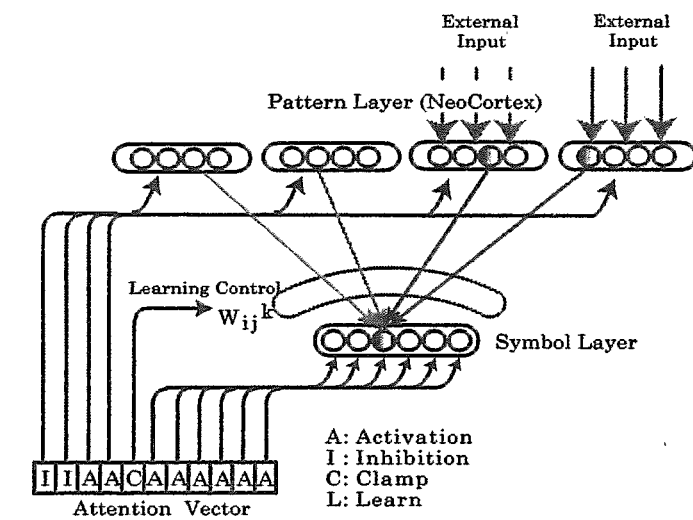
シンボル層とパターン層の二層からなり、それに注意システムが制御信号を送る。

パターン層は入力信号のモダリティ毎に分離された属性領野の集合体であり、それぞれの属性は外界にある事物の特定の情報次元（例えば大きさ・色・形・速さなどの次元を持った情報）を符号化している。シンボル層のシンボル細胞群は、パターン層のすべての属性領野と双方向対称に結

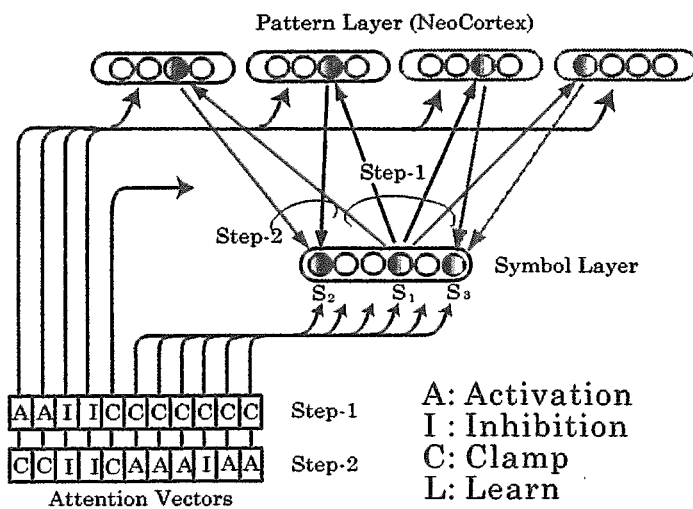
合し、パターン層の活動を受けてそれらを認識する。その際、シンボル細胞は相互に側抑制の結合を持ち、一つの細胞のみが興奮・学習する競合学習の性質を持つとする。これにより、外界の事物を表現するパターン層の活動パターンを相互作用のない細胞で記憶・表現でき、それが以後の記憶パターンの独立した制御に有効に働く。

PATON にはこの二層の他に、それぞれの属性領野およびシンボル細胞に制御信号を送る注意システムがある。制御信号は個々の属性領野を抑制する（抑制しない）ことで、外界の事物に対応する特定の情報次元を無視する（注目する）ことができる。同様に、制御信号はシンボル層の個々の細胞を抑制する（しない）ことで、特定の課題で認識されるべき対象を限定したり、後述の連想課題で不要な記憶を想起しないようにすることができる。

2. PATON による基本認知動作：認識・想起・連想



(a) 外界からの信号の記録および認識



(b) 認識結果からの想起とその再認識による連想動作

図 2. PATON の基本動作

PATON の基本動作は、

- (a) パターン層への外部入力を受けての記録（パターン層とシンボル層の間の結合の学習）および認識（シンボル細胞の興奮）
- (b) 認識の結果からの関連パターンの想起および想起結果の再認識

の二種類がある。このうちの記録および認識は外界からの信号を対象としたものであるが、それと同等の動作は想起した記憶に対しても行われる。その際は、外部からの入力は無視され、自分の頭で想起した記憶パターンをそれまでとは別のものとして認識する、という動作を行なう。

通常は、ある記憶パターンを想起してそれを再度認識すると同じものとして認識する、というのが連想記憶の原理であるが、PATON ではそれを別のものとして認識するために注意システ

ムがその認識に相当するシンボル細胞を抑制することで、別のものへの連想を可能とする。この動作は、入力と記憶のマッチングをとってもっとも近いものを見つける方法である。

注意による制御はまた属性領野に対する抑制としても機能する。その場合は、抑制された属性、すなわち外界の事物の特定の感覚属性は認識や連想過程に利用されない。この性質により、たとえ同一の記憶を持っていたとしても、その瞬間にどの属性に注意を向けているかで、同一事物の認識結果が変わるという現象が起きる。もし直前の入力によって注意の向きを制御することができるなら、入力の組み合わせによって同一事物を多様なものとして認識されることが可能となる。これは一般に認識の文脈依存性、あるいは状況依存性と呼ばれ、これまでの工学的な知能システムの研究の未解決の問題である。

3. 片言の会話の理解

PATON では、特定の属性に注意を向けるとその属性を共有している、あるいはその属性において類似している記憶項目間の連想が容易になる。それが文脈依存の連想の基本的なメカニズムである。文脈依存の連想を頻繁につかう処理に、言語処理がある。言語では直前にどういう話をしていたかによって次に出てくる言葉の意味が変化する現象が頻発する。例えば以下の例を考えてみよう。

Case 1

C1 : 犬は人の友達です
Q1 : 犬は何に似てますか
A1 : ネコですね

Case 2

C2 : 犬の遠吠えは恐いです
Q2 : 犬は何に似てますか
A2 : オオカミですね

Case 1 の文では、犬はネコに似ている。しかし Case 2 の文では犬はオオカミに似ている。しかしネコとオオカミが似ているかということ、それは違う。これは、二番目の質問文の前にある文脈文の影響で、頭の中での犬とネコ、および犬とオオカミの類似性が変化した、と考えることができる。

通常、こういう犬・ネコ・オオカミといった動物の知識に基づいた判断の問題は、それぞれの単語に対応した知識を辞書から探し出し、それらのマッチングを取ることで解決される。ところが全ての起きうる状況・文脈の組み合わせ（ここでは人と友達・遠吠えは恐いという状況）に対してあらかじめ知識を用意することは現実には不可能である。これが人工知能の基本的な問題となっている。

それに対して我々は、PATON の上で犬・ネコ・オオカミの各種属性をパターン層で表現し、それを記録して連想の動作をするコンピュータシミュレーションを行なった。その結果、PATON では文脈によって「人との親しさ」や「遠吠えの声」を表現する属性領野に注意を向けておくだけで、すなわち犬・ネコ・オオカミの各文脈条件における関係を事前に知識として与えなくとも、犬からの連想動作で上記の文例と同等の連想関係が実現出来ることが示せた。これは連想記憶を使うことで記憶項目間の関係が各瞬間で検索されたためであると考えられる。現実には、脳はその時その時のタスクに応じて必要な領野のみを活性

化させて課題を解いているということはよく知られており、それとの対応関係は明白である。

4. PATON の理論：状態遷移機械

さて、それではこのような文脈依存の連想やある種の言語の理解の背景にある理論はどのようなものであろうか。PATON の理論の解明は、単にこれらの動作のメカニズムが分かるだけでなく、PATON が表している現実の脳にもあると思われる、ある種の思考動作の理論を提供することであり、それは現在まったくと言っていいほど分かっていない脳の思考の解明への大きなステップとなると期待できる。

PATON の注意による抑制は等価的に回路のコネクションを変更して想起パターンに影響を与えるが、認識・想起・連想といった基本動作は全て記憶の想起である。そのため、我々は PATON の活動の過程に連想記憶のエネルギー関数の理論をあてはめることができる。その理論では、記憶の想起とは全てネットワークの状態をエネルギー極小の状態に変えて行くプロセスであり、あるコネクションを与えられると、記憶の想起パターンはいくつかの離散的な安定状態の一つに落ち着く。これは、注意によって特定の領野やシンボル細胞が抑制されていても同様である。

ここでもしこの離散的な安定状態を一つの状態と考えるなら、PATON の連想動作は状態間を次々と移り変わって行く状態遷移の動作と考えることができる。その状態自体は PATON の記憶、すなわち学習で獲得された外界の事物を思い起こした心理的な状態であり、連想はそのような心理状態が次々と変化して行くことを表している。一方で状態遷移機械とは現在のコンピュータの理論的な基礎であり、ひとたび PATON が状態遷移機械と言えらるなら、例えばある種の計算については PATON は万能であるということが証明出来る。すなわち、我々が心理的に次々ともものを思い浮かべること自体が一つの計算過程であり、それだけでかなりの高度の計算が実現できるはずだ、ということが示唆されている。現時点ではそれが現実世界でどのような課題に対応し、我々は実際にどのような計算をしているのか、といった点については未解明である。また、PATON の計算自体は現在のコンピュータでも実現可能であり、脳と類似の計算をする思考機械が作れる可能性も示唆される。

■今後の展開

PATON は脳の思考系のモデルとして大きな可能性があることは分かってきた。しかし、それが例えば音声や視覚といった現実世界の信号でどのよう

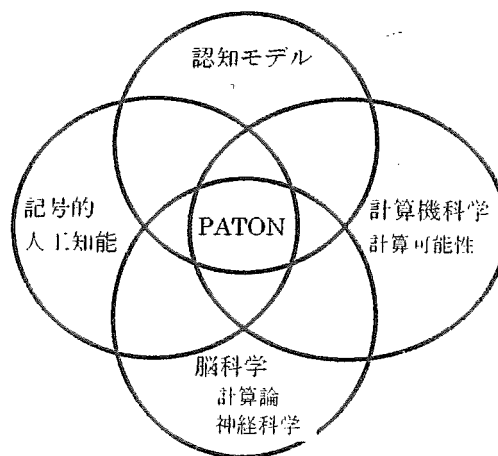


図3 思考行動のモデルと他の科学・理論との関係

に働くか、実際の脳では制御システムはどこに対応し、連想過程はどのように実現されているか、あるいは連想記憶による状態遷移機械といった新しい原理による計算機としての発展の可能性はどうか、といった点はまったくといっていいほど手付かずであり、これからの課題として残っている。

■発表論文リスト

- 伊藤、大森隆司(1995) エッジの向き、運動方向、速さを自己組織的に抽出する視覚系モデル、日本神経回路学会誌 2 : 77-83
- Omori T., Mochizuki (1995) A. PATON: A Model of Context Dependent Memory Access by an Attention Mechanism, in R. Moreno-Diaz and J. Mira-Mira Ed. : Brain Processes, Theories and Models, p134-143, MIT Press,
- Emura M., Omori T. (1995) Model of Case Memory Restructuring by Feature Map and Teacher Signal, Proc. of ISANN95 : D1-07/10
- 望月、大森隆司 (1996) PATON: 文脈依存性を表現する動的神経回路網モデル、日本神経回路学会論文誌 3 : 81-89
- Omori T., Mochizuki A., (1996) Computational Theory of Memory and Representation and Attention System, in Ono, McNaughton, Molottchnikoff, Rolls Eds. "Perception, Memory and Emotion: Frontier in Neuroscience" : 549-565, Elsevier Science Ltd.,
- Mitsumori, Tsuji, Omori(1996): "Hybrid Architecture for Image Understanding by Mutual Evaluation of Symbol and Pattern processing", Proc. of ICONIP96-HongKong : 444-449,
- Omori T., (1996) "Theory of Symbol and Pattern Integration by Associative Memory with Attention", Proc. of MFI96(Int. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems) : 438-445,
- Mizutani K., Omori T. (1997): A Model of Logic Like Inference by Memory Model PATON, Proc. of ICANN97(Int. Conf. on Artif. Neur. Net.) : 775-780,
- Omori T., Mochizuki A., Nishizaki M. : ICONIP97, accepted