

人間の情報処理モデルとしての記号主義とコネクショニズムの融合モデル

電子技術総合研究所 認知科学研究室
仁木 和久 niki@etl.junet

1. はじめに

人間が行なっている情報処理能力を、古典的記号主義の技術の延長により将来実現できるかは疑問である。「記号主義でどこまで行けるか？」を具体的に考えるため、記号主義パラダイムに基づく「従来からの認知モデル」と超並列分散パラダイムの「コネクショニストモデル」の融合モデルとして人間の情報処理モデルを考察し、記号主義の位置づけを試みる。

なを、曖昧さを避けるために用語の定義を幾つか行なう。記号主義=Simon, Newellらの提唱する古典的記号主義およびその発展。人間の情報処理モデル=人間の現実に行なっている“情報処理様式”のモデル。融合=とけて一つになる、ただし統合という言葉を使えるほど「統べ合わせる」支配・制御構造、統一原理が明確でない。

2. 記号主義パラダイムは何を捨てたか？

記号主義は、明らかに人間の情報処理モデルを目指して提唱された。しかし、その全てを対象としたのではなく、鋭い洞察によりその一部を選択し、一つの計算系を構成した(表1参照)¹。すなわち、汎用的であること記号的であることの2つの制約を体现したクラスを物理記号系として形成し、このクラスが生成的なクラスになっていること、このクラスに入る系の構成を決定することが出来ることを明らかにした。この性質を利用し、他の制約条件を満足する系の探求する際の出発点として使うこともできる。事実、記号系は、生産的なクラスである。

記号主義は「情報処理仮説」であり、それを具体的に実現するデジタル計算機の発達によりその

表1. 心の満足すべき制約条件¹

1. 環境に対して、(ほとんど)任意の関数であるかのように行動する(汎用性)。
2. 実時間で動作する。
3. 合理性を示す。すなわち、効果的に適応行動がとれる。
4. 環境についての膨大な知識を使用する。
5. 誤りや、予期せぬ出来事、あるいは、未知の出来事に際して、耐性がある。
6. 記号(とそして、抽象化の能力)を使用する。
7. (自然)言語を使用する。
8. 自覚的であり、自己についての意識がある。
9. 環境から学習する。
10. 発達を通して、能力を獲得してゆく。
11. 進化によって発生してきた。
12. 脳の中で、物理系として実現可能である。
13. 物理系として実現可能である。

性質が実験的に明らかにされてきた。AIの研究は、まさにその歴史であるが、記号主義が表1の全ての制約を満足するまで拡張できると考えるのは妄想である。

例えば、暗黙に仮定されていることの多い「合理性」制約は、上記の2つの制約から自動的にには得られない¹。学習に関しても、予め世界が限定できない環境からの学習機構を記号系だけにより設定することは困難である。

3. 認知モデルとコネクショニズム

記号主義が人間の実現している能力のいくつかを捨てたのなら、従来の記号主義パラダイムに基づく「認知モデル」もいくつかの能力に欠けている筈である。この事情は、最近のコネクショニズムパラダイムの台頭を考察することにより自明となる。コネクショニストモデルの特徴は、記号主義の特徴と相補的であり、それ故この対比的考察により、記号主義の問題点を明白にすることができる。

記号主義と対比したコネクショニズムの特徴は、つぎの2点に集約できる。

- 1) 分散表現
- 2) ダイナミックス

分散表現は、表現要素間の関連性を表現するため、content-addressable記憶、カテゴリー知覚、認知、actionの生成等を本質的に表現できる。コネクショニズムによるダイナミックスには、人間の認知の数十ミリ秒原理を実現する超並列処理の面と、世界の状況そのものから情報構造を取り出し、インクリメンタルに学習する自己組織化能力にかんする特徴がある。これらの特徴は、記号主義の生産性(productivity)、体系性(systematicity)等²とは別次元の補完的特徴である。

- これらの特徴を反映したコネクショニズムは、「人間の情報処理モデル」に対し、
- ① 感覚や行動の表現を可能にする。しかも、外界との受容・行動を処理系の適応的振舞いの一部として取り込み、外界との適応的な相互作用能力を持つことを可能にする
 - ② 人間的なメモリ(連想記憶, multiple-memory¹パラダイム)の表現

等の特徴を提供し、記号主義の弱点を補強できる。

また、記号主義は「単純なメモリ」のみを記号の表象媒体と使っているのに対し、コネクショニズムでは感覚器内の状態として「感覚記憶」を、

連想記憶の表層状態として「短期記憶」、連想記憶を含めた全ての「構造」として「長期記憶」を表現している。「短期記憶」レベルは、記号主義の「単純なメモリ」に相当し、

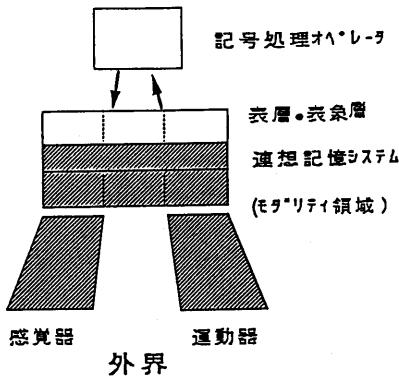


図1. 記号主義とコネクショニズムの融合モデル

操作性の良い「記号処理」の対象であるだけでなく、次に示すように、外界の状態を反映できる重要な位置にある。

- 以上の事実に注目し、「人間の情報処理システム」を記号処理とコネクショニズムの2面性を持ったシステムとして捕らえ、2つの性質(レベル)を分離かつ融合する「結構」³として『連想記憶』を据えたモデル(図1)を示す^{4,5}。図中斜線部がコネクショニストモデルで構成される部分で、連想記憶の表層・表現層を介して記号処理部と相互作用する。本モデルでは、先程の①に加え、
- (2-1) 各モダリティは固有の「結構」をもち、同時にその状態の表象への投射ができる
 - (2-2) 分散表現記憶の性質から生ずるcontent-addressable記憶の性質を使い、状況依存情報処理の能力を持つ
 - (3) 記号処理能力を本質的に持つ等の特徴を持つ。

このモデルでは、メモリの表層(表現層)レベルを記号処理は「黒板」として使い、場合によってはコネクショニストモデルと無関係に表象を操作できる。しかし、一般に記号処理の結果はメモリの表層レベルの状態(表象)を変え、このことが連想記憶を介して無意識の処理を起動する。無意識処理の中には行動の発現も含まれる。連想による情報処理が特に有効になるのは、処理に必要な情報が不足している状況であり、デフォルト推論、類推推論、メタファーあるいは日常の推論過程で活用される。また、連想記憶は様々なモダリティの表象を結合・関連づける事ができるのが特徴である。このような連想記憶を使う事により、各モダリティ特有の情報処理を活用し、その結果を他の表象系で利用することができる。

4. 記号主義パラダイムの拡張の方向

「人間の情報処理」をどれだけ、記号主義自身が実現しているか?、実現できるか?、という観

点から見直すと、①②に対応した2つの大きな問題点が浮き彫りにされてくる。

- 1) Open-worldの取扱, 取り込み
- 2) 記号的に記述しにくい知識やスキルの抽出や取扱

これらは、いずれも大きな課題であるが、私見としては、記号主義では完全には取り扱えない問題であり、コネクショニズムのようなダイナミックな学習過程が不可欠と考える。その意味で、「人間の情報処理の理解」のためには、本論で示したような「融合」モデルが不可欠と考える。

しかし、「情報パラダイムの拡大」あるいは「機械による知能の研究」の立場で記号主義を環境を取り扱えるように拡張することは重要な研究課題である。そこでは、人間や環境を完全なOpen-Systemとして捕らえず、ある種の合目的性や制約の下にモデル化できることを前提として、環境あるいは人間と機械との間の「ある様式を持った相互作用」系を考えることになる。そもそも「機械」には、実現しようとする目的があり、また完全な自律性を目標としていないため、このようなアプローチで構わないことになる。

5. おわりに

記号主義は、不滅である。科学的思考や言語活動を始めとする意識レベルで記号的に行なわれる人間の知的活動は、それだけが全てで無いにしても、十分生産的である。また、別のパラダイムで解明された事象や原理を「知識」や「記号」のレベルで再構築するのは、記号主義の得意とするところである。限定された世界では、全く等価な作用を作り出すことができる。一方、コネクショニズムは、真のOpen-world外界との相互作用系を探るツールを提供していると考えられる。より良い「情報パラダイムの拡大のために」また「人間の理解のために」双方の研究の深化が今必要である。謝辞 本研究の機会を与えて下さった情報科学部田村部長、討論を頂いた認知科学研究室諏訪室長、石川主任研究官ほか研究室の皆さんに感謝致します。

参考文献

- 1) ニューウェル; 物理記号系, 認知科学の発展, 産業図書, p. 47(1984)
- 2) Rumelhart, MacClenland; PDP, MITpres(1986)
- 3) ビリシン; 認知科学の計算理論, 産業図書(1988)
- 4) 仁木; 記号主義からみた柔らかなフロンティア, 情報フロンティア(1988, 2月)
- 5) 仁木; 記号主義とコネクショニズムの接点: 連想記憶, 日本認知科学会第6回大会(1989)