

1J-08 自律ロボットを用いた認知発達モデル化*

1J-8

開 一 夫 (電子技術総合研究所)

1 はじめに

本研究の目標は人間の認知発達、特に乳幼児期における発達過程の情報処理モデルを構築することである。これまで、人間の認知発達に関する研究は発達心理学を中心に数多く行なわれている。しかし、こうした研究は新生児・乳幼児等を対象とした実験観察から膨大なデータを提供しているものの、それらを解釈・説明するための情報处理的モデル構築はほとんど試みられていない。認知発達モデルを情報处理的観点から構築することの意義は、従来の定性的なモデルを精緻化できるだけでなく、認知発達研究のための新たな方法論を提供できる点にある。本稿では、情報処理パラダイムに基づく認知発達過程のモデル化の可能性と問題点を明確するとともに、認知発達モデルが機械学習あるいは人工知能に与えるインパクトについても考察する。

2 認知発達モデルと自律ロボット

本研究において中心となるアイデアは、人間の認知発達モデルを構築する上で自律移動ロボットを用いることにある。つまり、ここでは自律移動ロボットを認知発達の主体として捉え、人間の発達過程であられる行動と同様の振る舞いをロボット上で創出させることによって、認知発達のメカニズムをモデル化するという構成的アプローチをとる。

自律移動ロボットを用いることの利点は、一般的な計算機におけるI/Oの貧弱さをカバーできる他、認知発達における能動性をモデルの中に採り入れることができる点である。これまで、学習に関する計算機モデルでは主に静的な環境(データセット)から受動的にデータを受け取る場合のみを考慮し、学習者が環境に対して自ら働きかける場合については考慮されていなかった。これに対し、ロボットにおける学習の最大の特徴は学習主体(ロボット)が「動く」ことによって環境に直接働きかけることが可能な点

である。つまり、ロボット学習では能動的な学習(active learning)を行なうことができるし、また、行なうことが必要となってくる。特に認知発達の根幹となるべきPiaget[1]がいうところの感覚運動期から具体的操作期における情報処理モデルを構築しようとした場合、認知主体と環境との相互作用をモデルの中に採り入れる必須となる。自律ロボットを用いることで、この条件は自然にモデルに取り込むことが可能となる。

3 感覚運動期における空間概念の獲得過程

本研究では、人間の発達過程の中で特に乳幼児期における次の3つの過程に狙いを定めてモデルの構築を行なう：

- i. リーチング行動における感覚運動情報の統合過程
- ii. 感覚運動期における空間概念の獲得過程
- iii. 感覚運動的概念から操作的概念の移行過程

ここでは、ii.の過程における発達心理学からの具体事例をとりあげる。

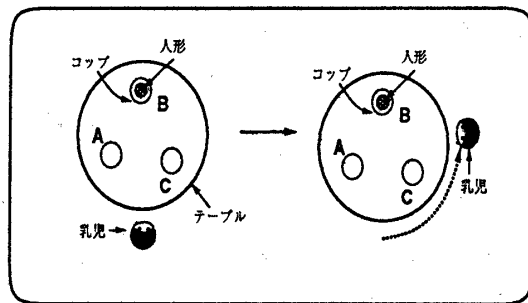


図1: 空間概念の自己中心性を確かめるための実験

図1は乳児における空間概念の自己中心性を確かめるための実験である[3]。人形を中央のコップに入れたあとで、乳児がテーブルのまわりを回ると、人形の相対的な位置は中央から右側へと変化する。しかし、1歳前後の乳児では、自分と3つコップの位置関係が変わったにもかかわらず、最初の状態と同様に中央のコップから人形を探そうとする。しかし、18カ月～24カ月頃になると、正しく右側

*Modelling Cognitive Development by using Autonomous Robots,
Kazuo Hiraki,
Electrotechnical Laboratory, 1-1-4 Umezono, Tsukuba,
Ibaraki, 305 Japan E-Mail: khiraki@etl.go.jp

のコップから人形を取り出すことができる。さて、この間、乳児の空間表象にはどのような変化が起こったのであろうか？あるいは、何が空間表象を変化させたのか？

これまでの発達心理学ではこれらの問いに対し、単に“自己中心的空間表象から概念的空間への発達の移行”としか答えていない。本研究では、こうした直観的説明ではなく、1歳児および2歳児に対応したロボットの行動をそれぞれ実装し、それらの行動で用いられ得る表象間の違いを明らかにし、さらに、1歳児の表象から2歳児の表象へ変換するための問題を、次節で述べる表象変換モデルから考察する。

4 表象変換モデル

表象変換 (Representation Change) とは、内部表象の変換プロセスを認知機構全体における中心プロセスとして捉えるもので、認知発達のような長期的な時間スケール上での構造的・質的变化を扱う上で必要不可欠な枠組である。表象の変換を行なうための機構は一般に次のように定義できる：

Given:

他のプロセス (P)：表象変換はそれのみではなんら意味をなさない手続きである。つまり、学習や問題解決といった他の認知過程と相互作用することが前提となる。

初期属性 (I)：プロセス P における計算対象を表現するための属性の集合。例えば、 P を帰納的な学習プロセスとすると、事例を表現するための属性の集合。

変換オペレータ (O)： I および N (後述) の部分集合を定義域としてもつオペレータの集合。

評価基準 (E)：プロセス P のある時点における状態を評価するための基準。この基準に基づいて表象変換モジュールの起動・終了の判断を行う。

選択基準 (S)： O から実際に適用するオペレータを選択する基準、および、そのオペレータが適用される属性を I と N から選択するための基準。

Generate:

新属性 (N)：プロセス P における“新たな”表象 (プロセス P における計算対象を表現するための新たな属性の集合)

表象変換のアイデアは、先行研究として我々が行った、Acorn-II と呼ばれる感覚情報から抽象的な概念の学習を行なうためのシステムにおいてその有用性が確認されている [2]。本研究では認知発達モデルとしての表象変換モデルの一般性を確かめることが研究の中心となる。

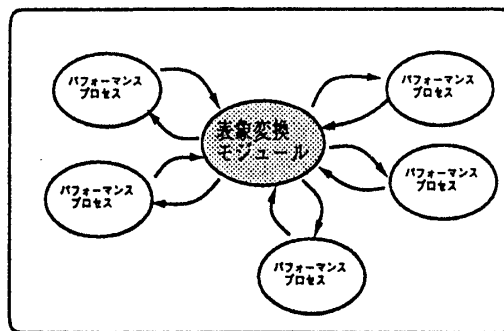


図 2: 表象変換と他のプロセスの関係

5 本研究の展望

本研究を行なうことによって期待される情報処理関連分野への貢献を以下にまとめる。

機械学習研究への貢献：センサ・データから抽象的概念を学習するための方法および能動的学習機構の提唱が可能となる。

ロボティクス研究への貢献：学習ロボットのための基本メカニズムおよび新たなセンサフュージョン手法の提供できる。

マルチエージェントシステム研究における貢献：認知発達における他者の役割 (特に母親の役割やコ・アクションと呼ばれる現象) のモデル化を行なうことにより、マルチエージェントシステムにおける協調的な学習機構のための基本的枠組を提供できる。

これらの他にも、認知科学における基本的問題の1つである Symbol Grounding Problem [4] や、シンボルとパターンの統合処理の問題に対しても本研究は少なからず貢献するものと思われる。

参考文献

- [1] Piaget, J.: *Origins of Intelligence*, New York: Basic Books, 1954.
- [2] Hiraki, K.: Abstraction of Sensory-Motor Features, *Proc. of Sixteenth Annual Conference of Cognitive Science Society*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 415 - 420, 1994.
- [3] Bower, T.G.R.: *Human Development*, W.H. Freeman and Company, 1979.
- [4] Harnad, S.: The Symbol Grounding Problem, *Physica D*, 42, pp. 335-346, 1990.