

赤ちゃんの不思議をロボットで探る



随 筆

浅 田 稔*

Exploring Wonders of Baby with Robots

Key Words : Infant Development, Cognitive Developmental Robotics, Vowel Imitation

1 赤ちゃんとのロボット

赤ちゃんとのロボットがどんな関係にあるか、いづかる読者も多いかもしれないが、大いに関係あるということ、ここでは両方の立場から示そうと思う。これまで、赤ちゃんに関する研究を進めてきた主要な分野は生物学(神経科学)的アプローチと行動学/発達心理学的アプローチであった。近年の非侵襲型のイメージングテクノロジーは、これまでミステリーであった脳活動を視覚化し、その不思議に迫りつつある。しかし、明らかにされつつある言語や推論などの高次認知機能が生得か学習かの議論も含めて、どのように構築されたかの発達過程は、単一の大人の脳の観測だけでは明らかでない。高次認知機能の獲得の際、親を含む他者との社会的交わりが重要な役割を果たしていることを指摘するまでもないが、外部からの観察だけでは、どのように獲得されていくかの内部の機構がわからず、歯がゆい思いがするのはこの分野の研究者に限らないだろう。すなわち、発達やコミュニケーションに対するアプローチが現状では不足しているように思える。

かたや、ロボティクスの分野では、人間との共生を目指して、ヒューマノイドをはじめとする知能ロボットの開発が盛んであるが、知能自体は設計者が行動手順を明示的に書き下し、ロボットはそれらを指定された条件に合わせて再生する形で実現されて

いる。自ら学んで知的に発達して行くイメージとは程遠い。すなわち、知能は設計者側にあり、ロボット側にはないように思える。それでは、人間と同じように考え、学び、知能を発達させるロボットはどのように設計すればいいのだろうか? この問いは、逆に人間自身がどのようにして、知能を獲得しているのかという問いの裏返しになる。もし、人間の知能獲得過程が明らかになれば、それは知能ロボットの設計論に反映されるだろう。残念ながら、そこまで至っていないのが現状である。

そこで、我々は、人間の発達の出発点と思われる赤ちゃんに着目し、モデリングと検証、特に実際のロボットを使った実証実験を示すことで、赤ちゃんの発達の新たな理解を目指す「認知発達ロボティクス」[1]を提唱し、研究を進めてきた。以下では、認知発達ロボティクスの基本的な考えを具体例を交えながら示し、その可能性を探り、今後の課題を提示する。最も重要な帰結は、多様な分野のアプローチの融合が不可欠だと言う点である。

2 認知発達ロボティクス

従来のロボットの設計では、研究者がロボットに実現してもらいたい行動を「このときには、こうしなさい。そうでないときは、あしなさい」と事細やかに書き込んでいた。ちょうど受験勉強で丸暗記しているようなもので、「なぜ、そうしないといけないのか」とか、さらには、「このとき」という状態をどのように定義するのかについて、一切知らされていない。これでは、応用も利かないので、新規の行動も生まれず、研究者がありとあらゆることを尽くして書き込む必要があるが、ほとんど不可能に近い。人工知能の研究では、「フレーム問題」と呼ばれている。

そこで、ロボット自身が少しでも、自ら考えてい



* Minoru ASADA

1953年10月生
大阪大学大学院基礎工学研究科後期課程
修了(1982年)
現在、大阪大学大学院工学研究科知能・
機能創成工学専攻 教授 工学博士
ロボット学
TEL : 06-6879-7347
FAX : 06-6876-8994
E-mail : asada@ams.eng.osaka-u.ac.jp

く過程を考えると、赤ちゃんの発達過程が参考になる。もって生まれた、より正確には、受精から始まって胎児期の発達時期も含めて獲得した能力と、お母さんとのやり取りをはじめとする社会的環境の中で、赤ちゃんがさまざまな認知機能を発達させる事実は、ロボットが環境との相互作用を通して、世界をどのように表現し行動を獲得していくかといった、ロボットの認知発達過程の可能性を示唆する。我々は、この過程を人工的に構築することで、赤ちゃんの認知発達過程の新たな理解と新たなロボット設計論を目指す「認知発達ロボティクス」を提唱し、さまざまな研究を行っている。

コンピュータの中で、知能を構築する従来の人工知能研究と異なり、「認知発達ロボティクス」では、ロボットという身体がもっている可能性(身体性)が大きな意味をもつ。一つは、お母さんのような養育者と社会的環境のなかで、さまざまな相互作用が可能なこと。種々の感覚情報が運動系とが未発達な状態から密接に結びつけられながら、発達していく過程は、身体が実世界に存在するダイナミズムなしには語れない。ただし、身体があれば、それでいいかということだけで足りない。お母さんという養育者がきちんと対応しないと、発達の経過や結果が期待したものになる保障がない。つまり、社会的環境が重要である。特に、知的行動をヒトのレベルまで求めるなら、ヒト特有の言語獲得にいたる過程(言語創発)が、ロボットの基本能力をどこまで前提とし、どのように社会的環境と相互作用させるかに依存する。

従来のロボティクスでは、ヒトと共生するロボットのコミュニケーション技術として、トップダウン的に言語構造を与えていたので、言語の創発過程が生まれず、表層的な言語コミュニケーションに留まり、限られたコンテキストでの定型的な応答しかできない。認知発達ロボティクスでは、言語創発に至る過程そのものを人工的に構成することで、人間の認知発達過程の理解とともに新たなロボット設計論を目指している。

2.1 認知発達ロボティクスの設計論

従来、人間の発達に関する議論として「氏」と「育ち」の二元論があった。前者は、遺伝子が全てを支配し、どのように発達するかが全て事前に決

まっているという考え方で、後者は逆に環境因子がどのように発達するかを決めているという考え方である。現在では、このような両極端な考えではなく、さまざまなレベルで両者の複雑な相互作用が人間を発達させているとのコンセンサスが広がりつつある[2]。

認知発達ロボティクスは、このコンセンサスに基づき、設計論として、両者に相当する二つからなる。すなわち、前者に相当する「事前にどのような能力をロボットに埋め込んでおくべきか?」の内部構造設計論と、後者に相当する「どのような環境を準備してロボットを発達させるか?」の環境設計論である。従来のロボティクスでは、前者のみを考慮する場合が多く、また、明示的な行動を設計するので、内部構造設計論も異なる。認知発達ロボティクスでは、後者の環境設計論で発達すべき認知能力獲得に必要な学習能力などが埋め込まれる。学習を進める環境設計のポイントは以下の二つが考えられている。

1. 学習環境内における学習者や物体の空間的配置やその時間的变化、いわゆる学習スケジュール。非明示的介在。
2. 親が子供に直接教えたり、子供が見よう見まねで親の行動を再現するなど、他者の明示的介在によって学習していく場合。明示的介在。

後者は教示を意味するが、ロボットの脳に直接書き込むのではなく、環境を介して、ロボット自身が自らの身体を通じて、情報を取得し、情報を解釈していく過程を持つことが重要である(身体性)。高度の認知能力を明示的に授けるのではなく、発達の段階を経て獲得することを目指すので、現在の研究は、乳児や幼児などの初期発達段階を扱っている。そのため、獲得される能力のレベルが高くないが(これが、現状の認知発達ロボティクスの弱点でもあるが)、発達段階の重要なポイントを示していると考えられる。そのような研究に一例として、言語コミュニケーションに繋がる音声模倣例を以下に示すが、このほかにも、初期共同注意の発達の学習や語彙獲得、「心の理論」に関連する共感の発達などの研究を行っている。

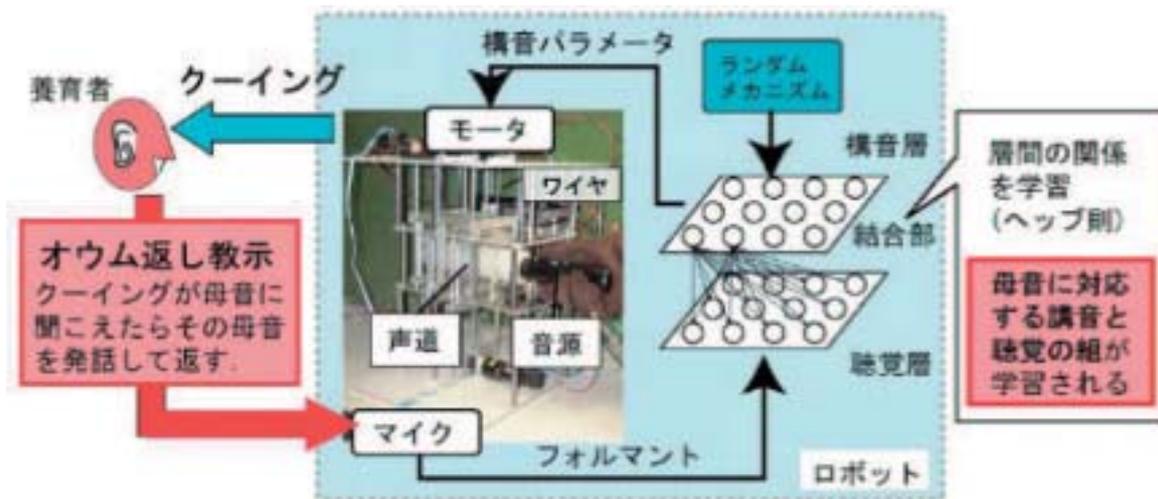


図1: 母子間相互作用モデルによる音声模倣ロボットシステム

3 母子間相互作用モデルに基づく

ロボットによる音声模倣

模倣能力は新たな行動獲得のための学習戦略であり、ミラーニューロン[3]に代表されるように、他者の行動を理解するためのベースでもある。音声コミュニケーションにおいても模倣は大きな役割を果たすと考えられるが、乳児がどのようにして母国語の音韻を獲得するかは明確な神経科学的過程は明らかではない。ここでは、構成的手法によって、そのモデル化を試みる。

乳児は、センサモータ系と音素の関係について外部から明示的に知識が与えられておらず、また未成熟のため養育者の音をそのまま真似できないにも関わらず、養育者と共通の音素を獲得することができる。すなわち、模倣は低位のセンサーレベルでの類似性を意味しない。行動学的知見として、乳児のクーイングに対する養育者のオウム返しが乳児の発話を促すことや母音様のクーイングが母親の発話を促すようである。そこで、「乳児の母音様のクーイングに対する養育者のオウム返しが音素獲得を導く」という仮説をたて、母子間相互作用の構成論的モデリングを試みる。認知発達ロボティクスの観点から、二つの設計課題を解決しなければならない。

- どんなメカニズムが赤ちゃん(ロボット)に埋め込まれるべきか?
- 養育者の行動はどうあるべきか?

二つの設計課題に対し、母子間相互作用モデルとして図1に示す構造を考えた。ロボットは入力として養育者からの音声を受け、フォルマント抽出器により聴覚層にフォルマントベクトルを入力する。フォルマントは、母音識別に有効な特徴で、音声スペクトルのピークを指し、低い周波数から順に、第一フォルマント、第二フォルマントと呼ばれる。豊長類のコミュニケーションにも利用され、そのため生得的に埋め込まれているようである。

構音層は音源からの音声をシリコンチューブを5つのモーターで変形することで発声するための構音ベクトルを出力する。聴覚層、構音層、それぞれ自己組織化によりクラスタリングされると同時に二つの層間でヘブ学習によりクラスターを連結する。養育者は、ロボットが発声する音声がいずれかの母音に聞こえたならば、その母音を返すというオウム返し行動をとる。最初、母音の範疇も発声の仕方も知らなかったロボットが相互作用による学習を通じて、母音の範疇獲得、ならびに発声の仕方と同時に獲得する。

音声発声は通常、声道の形状で決まるフィルター関数によって音源が変調された結果だとみなされ、音声生成の「ソース-フィルター理論」と呼ばれている。ここでは、パイプレータを音源とし、シリコンラバーチューブを5つのモーターで変形可能な声道に見立てた。

実験結果、紙面では、学習結果による母音発声を聞いていただくことができないので残念だが、大方

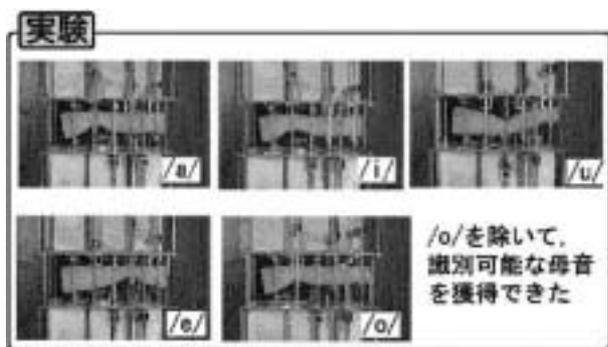


図2: 母音発声に対応するシリコンチューブの変形

の人々には、/a/, /i/, /u/, /e/ に関して、ほぼ再現できたとの評を得ている。/o/は構造的に発声できなかったようである(図2参照)。環境因子として日本人の養育者の代わりに、スウェーデン人にした場合、スウェーデン語の母音が獲得される。このことが、先に述べた獲得結果は個別だが、獲得過程が客観視できるという点である。

学習開始時点では、聴覚層、構音層ともに白紙状態だが、胎児の場合、母親の音声バイアスにより、既に構造化されている可能性がある。養育者が母親の場合、このバイアスが生誕後の学習のよい初期値となる可能性が考えられる。このほか、生得的に音を聞くと口を開けるなどの行為が埋め込まれているとの報告もある。これら生得的行動と相互作用による学習との密な統合が、今後、連続母音、子音、単語、短文と模倣対象が拡張するに従い、より高次の表現が構築、記憶、再生されることになり、その構造的発達過程再現が今後の大きな課題である。なお、詳細な議論は、文献[4]を参照されたい。

4 おわりに

認知発達ロボティクスは、挑戦的であるがゆえに、当然未熟で、多くの問題も抱えている。ここで示した例は、人工的に再構成するために、身体や環境を極端に単純化し、強い仮定をおいている。これは、実際の人間の脳と心の発達過程との差異を最も大きくしている一つである。基本課題は、何を示すために、どのスケールに焦点を当てるかという点で、これによりビルディングブロックが決まるであろう。これにより、なんらかのアナロジーが見出せないかと考えている。

これまでの認知発達ロボティクスの各研究は基本的には、単一の機能ないし能力に焦点を当てている。今後は、複数の能力なり機能を創出する過程が再現されることが望まれる。共同注意で物体に注視するだけでなく、物体に触れたり、養育者と音声やジェスチャを通じてコミュニケーションする方が自然である。そのとき、どこまでを生得的機能として埋め込み、どこから環境との相互作用による学習/発達に基づく機能発現を期待するかは重要な課題である。その際、行動学的知見や神経科学的基盤との整合性を保ちながら、構成的手法の旨みを活かして行きたいと考えている。

最後に、参考文献として、以下をあげておく。認知発達ロボティクスの入門書としては、筆者をはじめ多くの研究仲間との共著「知能の謎 - 認知発達ロボティクスの挑戦」[5]がある。より詳細な議論は、ロボット知能の設計論を体系化した「ロボットインテリジェンス」[6]にある。これは、大学の学部生から院生向けに著した。

参考文献

- [1] Minoru Asada, Karl F. MacDorman, Hiroshi Ishiguro, and Yasuo Kuniyoshi. Cognitive developmental robotics as a new paradigm for the design of humanoid robots. *Robotics and Autonomous System*, Vol. 37, pp. 185 - 193, 2001.
- [2] マット・リドレー(著) 中村桂子(訳) 斉藤隆央(訳) やわらかな遺伝子. 紀伊国屋書店, 2004.
- [3] G. Rizzolatti and M. A. Arbib. Language within our grasp. *Trends Neuroscience*, Vol. 21, pp. 188 - 194, 1998.
- [4] Yuichiro Yoshikawa, Minoru Asada, Koh Hosoda, and Junpei Koga. A constructive approach to infant's vowel acquisition through mother-infant interaction. *Connection Science*, No. 4, pp. 245 - 258, 2003.
- [5] 瀬名秀明, 浅田稔, 銅谷賢治, 谷淳, 茂木健一郎, 開一夫, 中島秀之, 石黒浩, 國吉康夫, 柴田智宏. ブルーボックス B1461 知能の謎 - 認知発達ロボティクスの挑戦. 講談社, 12月 2004.
- [6] 浅田稔, 國吉康夫. ロボットインテリジェンス. 岩波書店, 2006.