きびきびと動くロボットを目指して

「心身一元論」に立脚した人工知能システムの構築に向けて

特集解説

キーワード

ロボット, 身体性, 環境とのインタラクション, 創発システム

正員 石黒章夫

名古屋大学大学院工学研究科

1. はじめに

1950年代に産声を上げた人工知能は、現在までに長足の発展を遂げ、今やわれわれの周りには、これまでに培われてきた人工知能技術がいたる所にさまざまな形で用いられている。

しかしながら、一方でこれまでの人工知能技術をもってしても実現が困難な馴染み深い人工物がある。ロボットである。残念ながら、SFや漫画に出てくるような自律的なロボットは、いまだ夢のまた夢という状況にある。

本稿では、これまでの人工知能の考え方を俯瞰し、特に自律的なロボットの構築にあたっては、パラダイムシフトとでも呼ぶべき考え方の大きな転換が必要であることを述べる。そして、今後この問題に対してどのような取り組みが必要となるかの私見を示す。

2. これまでの人工知能アプローチの基本的思想

これまでの人工知能研究において、バックボーンとなった基本的思想は、SimonとNewellが提唱した「物理記号仮説 (physical symbol hypothesis)」に端を発する。これは端的に述べれば、記号を操作することにより知能の実現が可能であるという考え方である。この考えは、エキスパートシステムなどの分野では大きな成功を収め、1997年にはIBMのコンピュータがチェスの世界チャンピオン、カスパロフに勝利するという輝かしい結果をもたらした。このエポックメイキングなニュースに関しては、読者諸氏の記憶に新しいことであると思う。

ところが、いざ対象がロボットということになると、どうやらこのアプローチの旗色は悪いようである。確かに、自動車工場などでは職人さながらの器用さで、複雑な仕事を黙々とこなすロボットが現在多数稼働している。しかし、一見すると高度に見えるこれらのロボットの動きは、あらかじめオペレータによってプログラム化された、いわば「作り込まれた」行動に過ぎない。さらには、このようなロボットが作業中に起こる不測の事態に対処する能力は、非常に限定されたものとなっている。なぜ自律的に判断して、環境に対処しながら「きびきび」と動くロボットの実現は難

しいのであろうか？

3. これまでの人工知能が忘れてきたもの：身体と行動主体出力の両義性によるインタラクションダイナミクス

留意すべきことは、エキスパートシステムなどでは適切に機能したアプローチが、ロボットには必ずしもうまくあてはまらないということである。これはなぜであろうか？

ロボットとエキスパートシステムなどの知能システムとの間の最大の相違点とは、ロボットは身体という物理的実体を有しており、これを介して環境と相互作用することが出来る点につきる。あるいは、いささか雑な言い方をすれば、ロボットは「動く」ことができることが知能発現において大きな違いを生んでいると言ってもよいだろう。

言うまでもなく、ロボットはモータなどのアクチュエータを有しているが、アクチュエータ出力には「タスクの達成」と「行動主体 (ロボット) と環境との関係の変更」という二つの意味があることに留意されたい。すなわち、所望のタスクを実現するロボットの行動 (アクチュエータ出力) はセンサからの信号に何らかの情報処理を施すことにより決定されるが、このアクチュエータ出力は同時に次の時点で観察されるセンサ入力のある程度規定する働きも併せ有している。この「アクチュエータ出力の両義性」により、ロボットとその環境との間には、身体を介して多数の複雑な「カップリング」が結果として生じることになる。そして、このカップリングの中から知能が発現するのである (換言すれば、ロボット単体のみでは知能の発現をうんぬんできないことになる) ^{(1) (2)}。

従来の人工知能アプローチが、ロボットの行動制御において適切に機能しなかった最大の理由の一つは、身体を介して生じる行動主体とその環境との間のカップリングから派生するインタラクションダイナミクスを軽視 (もしくは全く無視) してコントローラを設計しようとしたことにある。

4. 心身一元論的人工知能の必要性

前述のように、これまでのロボット制御に関する多数の研究では、身体・環境とロボットを切り離して知能の発現を議論していた。不幸にもこのことに気が付くまでに長い年月を必要としたわけである。

このような背景から、近年、ロボット制御のための新し

Toward a Robot that Can Elicit Agile Behavior.

By Akio Ishiguro, Member (Graduate School of Engineering, Nagoya University).

い人工知能の考えが提唱されている。このアプローチの背後にある考えとは、次のようにまとめることができる：(1) ロボットの行動は、ロボットと環境との相互作用の結果発現する創発的な現象である（行動は予定調和的に決定できない）、(2) 外から眺めて、ロボットの行動が知的に見えるのは、ロボットが環境と適切な相互作用を行っていることに他ならない、(3) ロボットの頭脳（コントローラ）だけでなく、身体機構や取り付けられているセンサやアクチュエータの種類、特性、数といった身体的特性（身体性）も知能発現に大きな影響を及ぼす。

私見ではあるが、ロボット制御の観点から眺めて、これまでの人工知能研究の最大の収穫の一つは、（特に物理的実体を有する行動主体の）知能の発現に関しては、「心身一元論」的思想に基づいた議論の必要性に気がついたことであろう。

しかしながら、一口に身体性や環境とのインタラクションダイナミクスを考慮してコントローラを設計すればよいといってもこれは大変な難問である[†]。

最近、ホンダが開発したヒューマノイドロボットは世間の耳目を驚かせたことだと思う。しかし、その歩き方に何か「ぎこちなさ」を感じるのは筆者だけではないだろう。この「ぎこちなさ」はもちろん人間との身体的特性の違いに起因するところも大きい、むしろ身体性や環境とのインタラクションダイナミクスを反映してコントローラを設計する難しさを暗示しているように思われる。

5. そしてもどかしさ...

では、上述の考えに基づいてロボットのコントローラを構築するためには、どのようなアプローチが考えられるのであろうか？現時点で最も有力なアプローチとしては、強化学習や進化的計算手法（遺伝的アルゴリズム等）を利用することが考えられる。これらの手法に共通するのは、コントローラの詳細な仕様を天井下的に決定するのではなく、評価関数の下である種の淘汰圧をかけながらコントローラを構築するという点である。いささか雑な表現ではあるが、一見すると「やせがまんの」な方法を採用することにより、逆に設計者が陽に意識しなくとも身体性や環境とのインタラクションダイナミクスをコントローラの設計に反映することが可能となる。

筆者らは、以前、物体識別を行うロボットを進化的計算手法を用いて設計することを試みた⁽³⁾。ここで取り上げた問題とは、環境内に直径の異なる二種類の円柱を置き、ロボットに識別させるというものである。一見すると極めて単純な問題に思われるかもしれないが、実際のロボットのセンサを通してこれらの円柱を眺めると、知覚見せかけ問

題（perceptual aliasing problem）^{††}が発生し、適切な識別は困難であった。そこで、遺伝的アルゴリズムを用いて一方の円柱を赤外線近接センサからの情報を頼りに環境内から見つけだす（異なる直径の円柱や環境を取り囲む壁を無視しなければならない）コントローラを進化的に構築してみたところ、環境内を探索し、遭遇した物体を周回しながら識別するという、（少なくとも筆者には）思いもよぬ興味深い行動が発現した⁽³⁾。

筆者らはこの研究を通して、環境とのインタラクションダイナミクスを反映したコントローラの創発的設計に気をよくしたものの、いざ問題を複雑化すると、ブートストラップ問題（bootstrap problem）が発生し、進化は遅々として進まなくなるといふもどかしい状況に陥った。このため、評価関数や経験させる環境を徐々に複雑化させていくといった工夫が必要となる。従来の設計に比べて「一步引いたやせがまんの」設計手法は、心身一元論的な考え方を反映できる可能性のあるものの、現段階では設計者が依然として積極的に介入する必要がある、いきおい問題ごとにアドホックな手法が求められることになる⁽⁴⁾。この問題をいかにして設計論に昇華させるのが今後の課題である。

6. ま と め

行動主体の知能発現において、われわれは「心身一元論」的に議論する必要があることにやっと気づき始めた。21世紀には、この考えに基づいた種々の強力な設計方法が開発されていくことになるだろう。筆者も微力ながら何とかこれに加わりたい（夢？）と願っている。いささか柔らかすぎる文体となってしまったが、お許し願いたい。本稿が、多くの人に新しい人工知能技術の構築に対しての興味を喚起することができれば、筆者としては望外の喜びである。

（平成12年9月3日受付）

文 献

- (1) R.Pfeifer and C.Cheier, "Understanding Intelligence", MIT Press (1999)
- (2) 伊藤宏司編, 「知の創発：ロボットは知恵を獲得できるか」, NTT出版 (2000)
- (3) 中村弘, 石黒章夫, 内川嘉樹, Rolf Pfeifer, 「環境との相互作用を用いた自律移動ロボットの識別能力の実現」, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.17 (2000) (印刷中)
- (4) 浅田稔, 「実環境におけるロボットの学習・進化的手法の適用と課題」, 計測と制御, Vol.38, No.10, pp.650-653 (1999)

石 黒 章 夫（正員） 1964年生まれ。1991年3月名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程電子機械工学専攻修了。工学博士。同大学助手を経て1997年6月より名古屋大学大学院工学研究科計算理工学専攻助教授、現在に至る。この間、スイス連邦チューリッヒ大学人工知能研究室に客員研究員として滞在。ロボット工学、創発システム、生体情報処理機構などの研究に従事。

[†]身体性が異なると環境とのインタラクションダイナミクスも異なるとすると、われわれはロボットとはあまりにも身体性がかけ離れており、「ロボットの身になって」考えることはできないからである。

^{††}同一の状況を異なる状況と知覚したり、異なる状況を同一の状況と捉えてしまう問題