

身体性による知能の発現

Emergence of Intelligence Based on Physical Embodiment

浅田 稔*
Minoru Asada

* 大阪大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Osaka University

19YY年MM月DD日 受理

Keywords: Physical Embodiment, Environmental Complexity, Learning from Easy Missions, Development, Self

1. はじめに

本稿では、身体性が知能の発現に、いかに本質的であるかを説明することを試みる。筆者の研究目標は、身体を有する物理的実体(ロボット)が環境、特に他者の存在によって、行動の複雑さを露呈する基本的内部構造の構築であり、結果として現れる行動の「観察者」の立場からの形容が「創発的」であったり、「知的」であったりすると考えている[MB93]。このことは、「創発」や「知能」を直接的かつ明示的に構築する事の矛盾や困難さを表している。知的行動を発現するためには、システムと物理的環境(複雑で、不確定だが、自動的に統一のとれた自然の拘束集合を含む)とが「意味のある」相互作用をするために物理的身体が必要である。このことが、正しいエージェントの設計、環境からの学習、豊富な意味のあるエージェントの相互作用を生み出す。

身体性の本質は、主体の「多様な感覚情報」、「多自由度の運動能力」を、物理的実体として限られた処理能力の範囲で、タスクを遂行するために「抽象化」することであり、その結果として「知的」振舞が可能になると考えられる。環境構造の複雑さ、特に「他者の存在」が、抽象化のレベル向上を必然的に伴うことを、視覚を例に説明を試みる。

2. 身体性の意味

身体性の意味は、以下のようにまとめられる。

- (1) 環境の多様な構造を知覚できる能力と環境に働きかける多様な運動能力は不可分であり、密に結合していること。
- (2) 限られた資源(メモリなど)や処理能力の範囲でタスク(究極のタスクは、存続すること)を遂行するために、知覚・運動空間を抽象化すること。
- (3) 抽象化は、身体への基本埋め込みと経験(環境との相互作用)に依存するので、抽象結果は、身体を有する主体中心の主観的表現であり、その評価は行動結果でなされる。
- (4) 実世界では、エージェント間、エージェントと環境の間の相互作用は、並列、非同期であり、充分複雑である。エージェントは与えられたタスクを遂行するために増加する環境の複雑さに対応しなければならない。

身体性の重要性を強調するためには、人工知能研究の新たな側面で、この重要性を発揮できる具体的なタスク領域が必要である。すなわち、チェスが人工知能の標準問題としての役割を果たしたように、実世界における知的行動の様々な側面を捉えていると考えられる新たな標準問題が必要である。

そのようなタスク領域として、ロボットによるサッカー競技、ロボカップ[KAK⁺97]をとりあげる。ロボカップは、広範な最新技術が集積され、試される標準問題を提供することにより、人工知能とロボティクスのあらたな研究課題を生み出す試みである。

筆者の研究グループは、既に、(1,2,3)に関連した手法を発表している。それらは、ボールをゴールにシュートするタスクに対して、自分の知覚空間(ここでは視

覚)と運動空間を経験を通じて抽象化し、状態・行動空間を形成している。一つは、オフラインの学習であり[ANH96]、もう一方はオンライン学習である[TAH96]。

さらに、敵や味方などの他のエージェントが存在する環境では、相互作用の複雑さが一挙に増す。学習者が視覚情報を通して環境を観測するとき、敵や味方などの他のエージェントも環境の一部として観測され、区別がない。そこで、環境の複雑さを定義することにより識別の可能性がないか探る。

3. 環境の複雑さ

生物は、各種がそれ自身の「知能」を身につけていると考えられるので、知能の違いはエージェント(知覚、行動、認知能力)と環境に依存すると考えられる。もし、エージェントが同一の身体を持つなら、知能のレベルの違いは、環境との相互作用の複雑さの違いによって生じると考えられる。筆者らの視覚移動ロボットの場合、相互作用の複雑さは、味方、敵、審判などの他のエージェントの存在によって変わる。以下では、相互作用の複雑さのレベルに対する筆者の考え方を示す。

- (1) 自分の身体と静止環境: 自分の身体や静止環境は、自身の運動と直接的に相関がとれる画像中の観測部位として定義される(例えば、他の多くの人たちと手のひらを重ねあわせた状況を観測していて、自分の手を発見するとき、自分の手をちょっと動かすだけで分かたり、視線を変えると、静止環境に対するオプティカルフローは、逆方向に流れたりする。)理論的には、自分の身体と静止環境の区別は、「静止」の定義が相対的であるため、参照フレーム(基本座標系:これもタスクに依存)に依存し、非常に困難な問題である。通常は、重力の方向など、自然の拘束を利用して、基準座標系を設定している。
- (2) 受動エージェント: 学習者や他の能動エージェントの行動の帰結として、移動したり、静止するものとして受動エージェントが考えられる。ボールが典型例で、静止しているかぎり、静止環境である。しかし、運動中では、静止環境より複雑な相関関係を持つと予測される。
- (3) (他の)能動エージェント: 能動的な他のエージェントは、みずからの行動指針を持つため、学習者の運動司令に対して、単純で直接的な相関を持たない。そのため、当初、雑音や外乱とみなされるが、後に、より複雑で高度な対応関係(協調、競合、応援、無視など)をもつものとして発見される。

る。複雑度は一挙にあがる。

まとめると、環境構造の複雑さが、他者の存在により飛躍的に増大し、限られた資源でこれに対処するために、必然的に「知覚・運動能力」の抽象化を伴い、これにより獲得される状態行動要素が、主体にとってのシンボルとなり、世界観となることである。このような観点から、環境の複雑さを経験を基にモデル推定し、それをを用いて結果として協調行動を学習する手法を提案している[UAH98a]。但し、他者の存在を含む環境の複雑さの変化は、より適切な抽象化を導くために、うまく構造化してやる必要があるであり、エージェントの環境設計問題として考慮する必要がある。

参考文献

- [ANH96] M. Asada, S. Noda, and K. Hosoda. Action-based sensor space categorization for robot learning. In *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 1996 (IROS '96)*, pp. 1502-1509, 1996.
- [KAK⁺97] H. Kitano, M. Asada, Y. Kuniyoshi, I. Noda, E. Osawa, and H. Matsubara. "robocup: A challenge problem of ai". *AI Magazine*, Vol. 18, pp. 73-85, 1997.
- [MB93] D. McFarland and T. Bösser. *Intelligent Behavior in Animals and Robots*. MIT Press, 1993.
- [TAH96] Y. Takahashi, M. Asada, and K. Hosoda. Reasonable performance in less learning time by real robot based on incremental state space segmentation. In *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 1996 (IROS96)*, pp. 1518-1524, 1996.
- [UAH98a] E. Uchibe, M. Asada, and K. Hosoda. State Space Construction for Behavior Acquisition in Multi Agent Environments with Vision and Action. In *Proc. of International Conference on Computer Vision 1998 (ICCV98)*, 1998 (to appear).

著者紹介



浅田 稔(正会員)

1982年大阪大学大学院基礎工学研究科後期課程修了。同年、大阪大学基礎工学部助手。1989年大阪大学工学部助教授。1995年同教授。1997年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻教授となり現在に至る。この間、1986年から1年間米国メリーランド大学客員研究員、知能ロボットの研究に従事。1989年、情報処理学会研究賞、1992年、IEEE/RSJ IROS'92 Best Paper Award受賞。1996年日本ロボット学会論文賞受賞。博士(工学)。日本ロボット学会、電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会、日本機械学会、計測自動制御学会、システム制御情報学会、IEEE R&A, CS, SMC societiesなどの会員
asada@ams.eng.osaka-u.ac.jp