

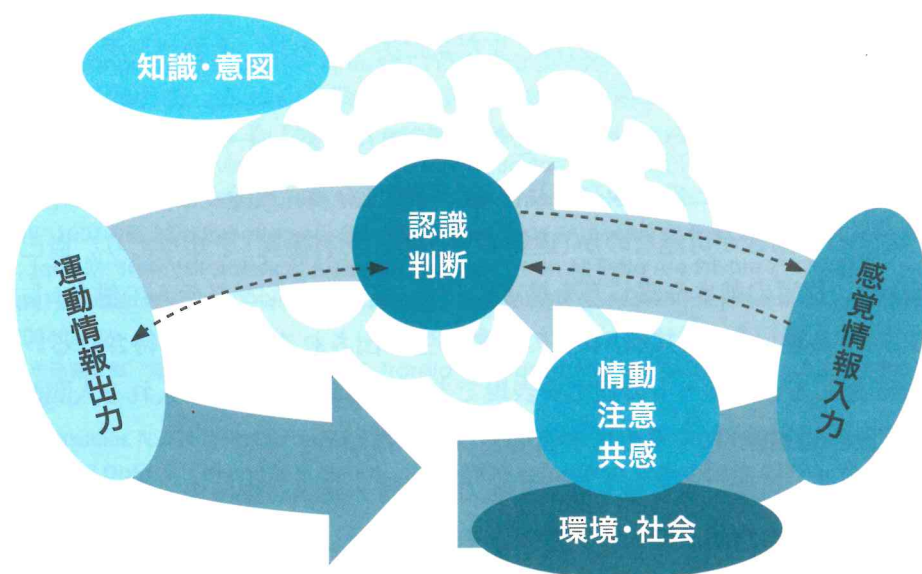
(2) 主な技術

まず、ディープラーニングの現状と感覚運動ループの出現と、認知発達ロボティクスの考え方を紹介する。次に、認知発達ロボティクスにおける身体性と、予測誤差最小化に基づく社会的相互作用創発の一例を、ミラーニューロンシステムの発達、利他的行動の創発に沿って紹介する。

ディープラーニングの現状と感覚運動ループの出現

ディープラーニングは元々、ヒトの視覚システムのモデル化から始まっているので、音声も含めたマルチモーダルな感覚情報からの認識・判断が得意であり、言語データとも組み合わせた音声や画像の出力も可能である。しかし運動出力に関しては、ロボットの試行回数には限界があるので厚みがなかった。最近、やっと環境を含んだループが完成し、ディープラーニングのロボットの行動生成への適用が始めている。入力から出力までを一つのネットワークとして表現し、全体を“End to End Learning”する形態を取ってロボットの動作を学習する機構を使って、入手可能な高次の入力データ（画像や映像）から、必要な高次の出力（複数の関節時系列出力）を直接得るパラダイムである。環境を含んだループにより、入力（感覚）から出力（運動）への即応的な応答（自動的かつ無意識的な行動）の実現が可能になり、感覚運動ループと呼ばれる（図2-2-26）。

■ 図2-2-26 ディープラーニングの現状の適用範囲



認知発達ロボティクス

感覚運動ループによる学習は、環境内での行動学習の基本であると同時に、人間の認知発達過程の構成的理解の手がかりになる。感覚運動ループによる学習に知識・意図の拘束条件が加わることで、専門家のスキル（経験知による行動規範）の獲得が明らかになり、身体が環境にさらされ、限られたリソース下で実時間の応答の要求に応じるために、関連しないものを処理対象としない注意機構が必要になる過程が明らかになる。さらに、社会的な環境の中での他者とのやり取りを通じ、情動、そして共感などのメンタルな機能が人工システムにも芽生える可能性もある。これらの研究課題を追求してきたのが、認知発達ロボティクスである。認知発達ロボティクスの目的は、ロボットや計算モデルによるシミュレーションを駆使した人間の認知発達過程の構成的な理解と、その理解に基づき人間と共生するロボットの設計論を確立することである。その中核

となるのは、ロボットの「身体性」とそれに基づく社会的相互作用である。基本的な神経構造から始まり、身体性や社会的相互作用に基づき、学習手法を介して、機能分化が段階的に生じる過程を描いている（詳細は、『AI白書2017』[2]を参照）。

身体性

身体性の思想そのものは、哲学者Merleau-Pontyにより1945年に書かれた名著“Phénoménologie de la perception”（日本語訳名は『知覚の現象学』[3]）がその礎であろう。Merleau-Pontyは、主観と客観に加えて身体性という次元が創発し、そこでは、同じ肉厚の身体が、触れたり見たりする主体と同時に触れられたり、見られたりする物体にも与えられうるとし、主観と客観の2つの極の間の繰り返される交流の場を身体が与えると主張する。すなわち、客観的物理世界と主観的経験を結ぶメディアとしての身体的重要性を指摘している。これは、認知発達ロボティクスにおける「身体性」の基本概念的根幹である。「身体性」を獲得することで予測学習が可能になる。

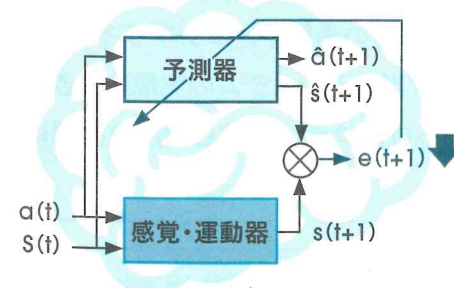
予測誤差最小化原理に基づく社会的相互作用創発

予測学習とは、身体や環境からのボトムアップな感覚信号と、脳が内部モデルを基にトップダウンに予測する感覚信号の誤差を最小化するように内部モデルを更新したり、環境に働きかけたりすることである。認知発達過程に適用する際、2つの過程が考えられる。一つは、自己の感覚・運動経験を通じた予測器の更新による予測誤差の最小化過程で、自己認知、目標指向動作などが含まれ、認知発達初期過程に対応する（図2-2-27 (a)）。それに対し、社会的な環境では、予測した運動の実行による他者運動起因の予測誤差の最小化が課題で、模倣や援助行動などが対象である（図2-2-27 (b)）。以下では、前者の例として、MNS（ミラーニューロンシステム）の発達を、後者の例として、他者行動の予測から利他的行動に至る過程を紹介する。

■ 図2-2-27 予測誤差学習



(a) 自己の感覚・運動経験を通じた
予測器の更新による予測誤差の最小化
→ 自己認知、目標指向動作など



(b) 予測した運動の実行による
他者運動起因の予測誤差の最小化
→ 模倣、援助行動など

