

巻頭言

運 動 を 理 解 す る

伊 藤 宏 司*

ピアニストの絶妙な指の動き、体操選手のダイナミックな身のこなし、あるいは“能”、“ダンス”、“手話”といった身体表現など、人間の運動の巧みさは、はかり知れないものがある。このような運動/行動を支える制御メカニズムの枠組みを計算論的な立場から解析・理解する問題を運動理解 (Movement Understanding) と呼んで。

たとえば、日頃、何気なく行なっている「水を飲む」動作を考えてみよう。まず、私達はコップを見て、その形、大きさ、距離、方向などを測る。次に、コップをとるために手を伸ばす。そのとき、コップの形、取っ手の有無によって、それに適した形に指を整える。腕を前に出す動作と手先・指の形をつくる動作が並列に行なわれることに注意しよう。さらに、コップの材質・重さによって、指先の力および手首その他の関節のかたさをあらかじめ設定する。このためには、対象物に対する知識が必要となる。ものをつかもうとして、予想より重かった場合、思わず落としそうになることはよく経験することである。

握ると同時にコップを口元に運ぶ。このとき、コップを水平に維持するため、水の量により速度を微妙に調節する。触れたことを確認してから、コップを傾け水を飲む。最後に、元の位置に運び、机からの反力を確認後、手を離す。今度は、腕を伸ばす動作と手先・指の離脱動作は並列ではなく、逐次的に行なわれなければならないことに注意しよう。一見単純に見える「水を飲む」という動作も、分解すれば、このように複雑な運動シーケンスから成り立っている。

ウィナー以来、生体の基本原理はフィードバック

(ホメオスタシス)にあるとされてきた。しかしながら、私達の身体は100以上の自由度をもつ筋骨格系から成り立っている。しかも、大部分の動作は「水飲み」動作のように環境との相互作用の下で行なわれる。したがって、人間のような巧みな運動を実現するには、多自由度で非線形な運動機構および環境との複雑な相互作用に対応した広範な、そして膨大な知識のサポートが必須条件であり、それに基づいた多様な機能が要求される。

まず、視覚・触覚・力覚などのさまざまな感覚入力情報の認識結果に基づいて、外部環境がどのような状況にあるか、またどのような規則性を持っているかを内部的に表現する必要がある。たとえば、環境を表現した世界モデル、身体および運動機構のモデル、身体像、空間地図などである。また、ある動作を実現する運動系列を生成するためには、外部環境および運動の目的に応じて、内部モデルを操作できる能力を持っていなければならない。それによって、実際に運動しなくても、運動が環境に及ぼす結果を内部的に予測でき、多くの可能な運動の中から目的を達成するための運動プログラムを生成することが可能になる。ここでいう運動プログラムとは、動作指令の単なる連鎖系列ではなく、身体運動が効率的に、円滑に行なわれるように組み上げられた階層的な指令構造である。ついで、四肢の軌道・力制御、対象物のマニピュレーション、姿勢・歩行の制御など、個々の運動が遂行・制御される。このように、運動の制御メカニズムは並列・階層構造になり、下位側ではフィードバック制御が中心となり、上位側では内部モデルを活用したフィードフォワード制御が中心となる。

運動/行動理解における最も重要な課題のひとつは冗長性を解くことにある。これは網膜上に投影された2次元イメージから、3次元の形状や運

平成4年1月30日受付

* 豊橋技術科学大学

〒441 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

動を復元する画像理解の問題と同じである。あるタスクを実行する運動系列は多様であるし、手がある位置から他の位置へ動かす時空間パターンは無数にある。また、機構的にも、筋・関節レベルの自由度は非常に冗長である。私達は筋を収縮させることによって関節を回転し、手先や道具を空間内で位置決めする。あるいは、筋力を制御することにより関節トルクを生成し、対象物に加える手先の力・モーメントを決定する。このように、身体の運動は作業(手先)、関節、筋の三つのレベルで制御されている。したがって、何らかの拘束条件のもとで、作業空間、関節空間、筋空間の間で、運動および力を変換する必要がある。人間はこれらの機能を環境との相互作用から学習的に獲得する能力をもっている。

一方、知能ロボット(ロボティクス)は人間や生物の知能・動作を機械で実現しようとするもので、人間の持つ知的な制御能力をロボットに付与しようとするにはかならない。したがって、運動理解の立場からすれば、生体とロボットを同じ土俵で統一的に扱うことが可能である。

このように、運動理解の問題は、脳科学、認知科学から制御理論、人工知能、さらには最近のニューラルネットまでさまざまな分野からのアプローチが必要であり、またそのような立場から活発な研究が行われている¹⁾⁻³⁾。その成果は、リハビリテーション、スポーツ科学、コンピュータ・アニメーション、神経科学など多くの分野に関連することになり、今後の発展が期待される。

文 献

- 1) P. Morasso et al : Human Movement Understanding, North-Holland (1986) .
- 2) 伊藤宏司・伊藤正美 : 生体とロボットにおける運動制御, 計測自動制御学会 (1991) .
- 3) 生体・生理工学シンポジウム論文集, 1~6, 計測自動制御学会 (1986-1991) .