

# 主論文の要約

## 論文題目

不確実環境下における打撃動作の知覚-運動制御メカニズムの解明

## 氏名

高御堂 良太

従来の運動制御・学習研究では、ヒトの身体運動を計算論的、情報処理論的な観点から理解しようとする試みが主流であった。しかしながら、このような観点からの研究では、外界において生じる出来事を正確に把握することが困難な場合に、どのようにして正確な運動を実現するか（外部事象の不確実性）、あるいは、自己の冗長な身体関節や筋の力発揮に伴い生じるノイズをどのように制御するか（身体内部の不確実性）という問題点が生じる。このような不確実環境への対処という問題点から、産業ロボットの開発など、応用的な研究領域では、歩行等の比較的単純な運動課題に関しても、私達ヒトの身体運動を正確に再現することが出来ていないのが現状である。

そのため、これらの従来研究の問題点を解決するために、本研究ではこの外部事象の不確実性、身体内部の不確実性という 2 つの不確実性によって身体運動が影響を受ける環境を不確実環境と定義し、野球型競技の打撃動作を題材として、熟練の競技者が不確実環境下において正確な身体運動を実現する、知覚-運動制御メカニズムの解明に取り組んだ。野球型競技の打撃動作では、投げられたボールの情報が制限された状況下での判断や意思決定を要求され（外部事象の不確実性）、かつその中で全身の冗長な自由度を協応させて、かつ最大限の筋出力を発揮して打具を加速させる必要がある（身体内部の不確実性）。そのため、野球型競技の打撃動作は不確実環境下における身体運動の典型であるといえる。

具体的な本研究の取り組みとしては、まず、不確実環境下における対処方法の 1 つとして、他者の身体運動という事前運動情報を用いた予測の利用という方法を仮定して、ソフトボールの打撃動作を題材に実験的な検証を行った。実験に当たっては投手の投球動作速度という事前運動情報を操作することにより、打者の事前運動情報を利用した球速予測、球速知覚、インパクトタイミングの調節を検証した。その結果、打者は投げられたボールがいつ、どこに到着するかを正確に把握することが困難な不確実環境下においては、ボールが投げられるよりも以前の投手の投球動作情報を利用して、投げられるボールの知覚やスイング動作の調節を行っていることが明らかになった。

またさらに、上記の実験において計測した、身体関節の位置情報や、地面反力データを基にキネマティクス、キネティクスの観点からの動作分析を行った。分析の結果、打者は投手の投球動作速度という事前運動情報の違いに応じて、有意に異なる打撃動作を実行しており、不確実環境下における事前運動情報を利用した運動パターン生成が明らかになった。特に、投手の投球動作からボールの軌道情報へと利用する情報源が切り替わり、外部事象の不

確実性が減少するに伴い、制御対象が粗雑な準備動作の調節から精緻な主動作の調節へと移行していく、打撃動作における段階的な知覚－運動制御メカニズムが本研究の結果からは示唆された。

また、これらの実験研究に加えて、不確実環境下における2つ目の対処方法として、競技者に課せられるルールや道具などの課題の制約に応じた運動パターン生成という方法を仮定し、実際の競技場面を対象とした観察的研究を実施した。具体的には、投手の平均的なボール速度（時間的な制約）とボールの材質（インパクトの制約）という2つの課題の制約を仮定し、課題の制約の異なる競技レベル間（高校、大学、実業団）での検証を行った。検証に当たっては、上述の実験研究において重要性が示唆された、打者が投手の事前運動情報を利用して行う準備動作に着目した分析を行った。分析の結果、競技レベル間での課題の制約の違いに応じた、異なる準備動作パターン生成が明らかになった。またさらに、実業団選手における競技成績との比較から、選手間での準備動作パターンの違いには、個々の目的という内的な制約の違いが反映されていることが示唆された。これらの観察的研究の結果は、課題の制約に応じて身体内部の不確実性を減少させ、準備動作パターンを生成する際に、個々が重視する目的の違いに応じて、異なるパターンが生成され、実際の競技場面で見られる個性的な身体運動の発現に繋がっていることを示唆している。

これらの本研究の取り組みの結果に共通していることとして、運動の対象となる出来事（ボールの飛来等）が生じる以前に、先行して行われる予測や準備動作の重要性が挙げられる。すなわち本研究の結果は、私達ヒトが不確実な環境下における身体運動を実現するためには、実際に生じた出来事に対する知覚や主動作よりもむしろ、それ以前の事前情報を基にした予測や準備動作等が重要であることを示唆している。結論として、本研究で観察されたこのような打撃動作における知覚－運動制御メカニズムは、外部事象や身体内部の不確実性が含まれる不確実環境であるからこそ、観察されたものであると考える。すなわち、将来が不確かであるということは、実験研究で明らかにされたように、より以前の時点からの予測や準備動作を行って、それに備えることを促し、また、冗長な身体自由度は観察的研究で見られたように個々がどのような基準（制約）によって、これを制御するかの違いを生み、個性的な運動パターンを顕在化させる。そのため、「複雑さ」や「冗長性」、そして「不確実性」といった、計算論的な観点からの理解を困難にする要因こそが、私達ヒトの機械とは異なる、不確実な環境下における柔軟で個性的な知覚－運動制御、すなわち「ヒトらしい」身体運動の形成に重要な役割を果たしていることが本論文の結果から示された。