

## 他者運動観察と自己運動制御の関連

## 学位論文内容の要旨

我々人間は、日々の生活において他者とスムーズにすれ違うなど様々な行為を何の造作もなく行っているが、そこでは他者の行為を正確に把握し、その行為に適した自己の行為を決定する必要がある。従って、他者運動の知覚は人間が行う多様な行為の基礎となると言える。この他者運動を読み取る能力に関してスポーツの現場では、運動経験が豊富な人はそうでない人に比べて、同じ動きを観察してもその運動の良し悪しなど運動間の差異を読み取る能力に優れている、つまり自己運動制御能力（できる）と他者運動観察能力（観える）が関連すると考えられている。しかし、これは経験的あるいは定性的な観点に限った研究で示されているだけで定量的に明確に示されているわけではない。そこで本論文では第1章の文献研究において、身体運動の観察に関する1) 心理学的先行研究の現状および、2) 神経科学的先行研究の現状を検討し、それらの研究の現時点での到達点を明らかにした。

1) に関して身体運動の心理学的知覚研究では、自己の動作を観察することは稀であるにも関わらず自己運動が他者運動に比べて識別しやすい事から、身体運動の知覚に観察者の運動経験が関与すると考えられている事を明らかにした。2) に関しては、身体運動の観察に知覚系だけでなく運動系が関与する可能性を検討したミラーニューロンに関する一連の研究から、身体運動の知覚に観察者の運動経験が関与すると考えられている事を明らかにした。これら2つの異なる分野からのアプローチは、共に他者運動観察に観察者の運動経験が関与する可能性を示している。しかし、これらに共通する問題として、観察者の運動技術を運動経験という定性的な観点で評価しており運動技術の定量的な評価が行われていない事、観察映像において提示される身体動作間の定量的な分離根拠が明確に示されていない事を指摘した。加えて、自己の運動技術が他者運動観察に関与するのであれば、我々の運動は筋の収縮力によって関節周りのトルクを発生させることにより生じるため、このトルク発揮という自己運動を生成する際の情報が他者運動の観察に関与する可能性がある事を指摘した。以上の先行研究の検討結果から本論文の目的として、1) 運動技術レベルと運動観察能力の関連を定量的に検討する事、2) 動作間の差異を識別可能にする要因を実験的に検討する事と整理し提示した。そして続く2つの章でその課題を実験的に検討した。

第2章では、技術レベルが高い者において近位関節から遠位関節への運動連鎖に特徴がある投球動作を課題として採用し、運動技術レベルの差が運動観察能力に関連するという仮説を、関節運動の位相差という共通の指標により定量的に検討する事を目的とした。実験は運動実験と観察実験で構成された。まず運動実験では、全実験参加者（ $n=40$ ）に2次元での上肢のみを用いた投球動作を全力と全力の5割の2条件で各1投ずつの2試技を実施させ、高速度カメラで撮影した。その運動学データから肘関節と手関節の伸展角速度の増加開始時の位相差を算出し、2条件ともに10%以上の正の位相差が存在する者を技術レベルが高い群（ $n=10$ ）、2条件ともに負の位相差が存在する者を技術レベルが低い群（ $n=10$ ）として抽出した。次に観察実験では、まず基準動作として熟練者の投球動作を基に上肢各関節を繋ぐスティックピクチャアニメーションを作成した。そして、投球技術レベルを分類する指標にした肘関節と手関節の関節運動の位相差を基

準動作から 1/120 秒ずつ段階的に減少させた投球動作（遅延動作）を 15 セット分作成し、小さな変化から大きな変化に向かうように順次配列した一連の観察映像を作成した。これを動作解析により分類した 2 群（ $n=20$ ）に提示して基準動作と異なると感じた瞬間にコンピュータアニメーションと連動したマウスを押すよう求めた。実験の結果、技術レベルの高い群は技術レベルの低い群に比べて基準動作と遅延動作の差異が有意に小さい段階で識別が可能であった。以上の結果、運動技術レベルと運動観察能力が関連する事が定量的に確認された。

第 3 章では、運動技術レベルが運動観察能力に関与するのであれば、トルク発揮という自己運動を生成する際の情報が身体運動の観察に関与する可能性があるという仮説を、運動実験と知覚実験という 2 つの実験を通して検討した。まず運動実験では、遅延動作の基準動作に対する差異を自己運動として表現することにより、第 2 章の技術レベルの高い群が示した運動識別の感度の妥当性を再評価した。実験では、参加者（ $n=10$ ）は 2 次元での上肢のみを用いた投球動作で、通常の投球動作（通常投球条件）と遅延動作の基準動作に対する差異を反映した投球動作（変化投球条件）を交互に 3 球ずつ計 6 試技を実施した。その運動学データから肘関節と手関節の伸展角速度の増加開始時の位相差を算出した。その結果、全実験参加者において通常投球条件では肘関節と手関節の伸展角速度の増加開始時の位相差に 10%以上の正の位相差が存在するのに対し、変化投球条件ではその正の位相差が消失するか有意に減少した。この肘関節と手関節の位相関係は基準動作と遅延動作における差異と位相差の減少という共通の傾向を示す。この結果から第 2 章の技術レベルが高い実験参加者において実際に動きを出力するという運動制御の観点から基準動作と遅延動作の 2 つの運動の識別が行われていた事が確認された。この事は同時に、実験参加者は運動観察において視覚的に観察可能な軌道や関節角度の違いから、本研究で用いた投球動作の定量的指標である肘関節と手関節の関節角速度の位相差の違いを見出し、自己の運動制御において本来の自己のトルク発揮パターンを崩しその異なる角速度の位相関係を構築するトルク発揮パターンを生成した事を示す。

次に知覚実験では、遅延動作観察時のどの瞬間に基準動作と異なると判断しているかを検討することから、投球動作のいかなる情報から動作を識別しているかを明らかにすることを試みた。そのために、第 2 章の技術レベルの高い群（ $n=10$ ）を対象に遅延動作の観察中に基準動作と異なると感じた瞬間にコンピュータアニメーションと連動したマウスを押すという課題を採用し、その判明した瞬間と基準動作における肘関節と手関節の角度、角速度、筋トルクの時系列データを同期して比較検討を行った。その結果、参加者の遅延動作が基準動作に対して異なると検出した時点は、角度や角速度の増加開始前であり筋トルクの急激な増加開始時付近であった。この結果から、基準動作のトルク発揮パターンと遅延動作のトルク発揮パターンという、トルク発揮パターンの差異の抽出から動作の識別を行った可能性が示された。

第 4 章の総括では第 2 章と第 3 章の結果をもとに他者運動観察と自己運動制御の関連を包括的に検討し、第 5 章では本論文の結論を次のように導いた。1) 投球動作のような近位から遠位への運動連鎖が生じる運動に関して、その運動の技術レベルと運動を識別する能力は関連する。2) 他者運動を観察する際、視覚的に直接に観察可能な角度という幾何学情報あるいはその時間的変化である角速度という運動学情報だけではなく、筋トルクという自己運動情報も関与する可能性がある。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 田 憲 政  
副 査 准教授 保 延 光 一  
准教授 柚 木 孝 敬  
教 授 山 本 裕 二(名古屋大学教授)

学位論文題名

## 他者運動観察と自己運動制御の関連

本論文は、他者の運動を観察する能力と自己の運動を制御する能力の関連を実験的に検討した研究であり、5つの章から構成されている。

第1章は文献研究であり、運動の観察に着目した研究を自己運動との関連という観点から検討した。その結果、他者の運動の観察と自己の運動の関連は、実験心理学研究分野と神経科学研究分野で検討されており、観察者自身の運動経験が他者の運動観察に関与する可能性があることを実験的に示していることが、それら研究の共通の到達点であることを明らかにした。また、観察者自身の運動経験ではなく運動制御能力が、他者の運動観察に関連することを検討するためには、運動制御能力が運動経験の有無として判断されている現状に対して、実際の身体運動の定量化と運動制御能力、すなわち運動技術の定量的評価を行う必要があること、そして運動技術が異なる動きの観察実験方法を確立する必要があることを課題として提起した。さらに、これらの課題が克服されれば、1) 運動技術レベルが高い者は動きの違いを検出する精度が高い(仮説1)、2) 筋トルク発揮という自己の運動生成情報が他者の運動観察に関与する(仮説2)、という2つの仮説が検証できることを導いた。続く2つの章が本研究の中心を成すもので、この2つの仮説を検証する実験研究で構成されている。

第2章では、実験に先立ち、運動技術レベルが定量的に評価できる身体運動として投球動作が適切であることを提起している。その理由は、投球は誰でもできる動作ではあるが、運動連鎖と呼ばれる近位関節から遠位関節への順次可動が熟練者の技術の特徴として明らかにされており、その動きの特徴は上肢各関節の位相差として明確に動きに表れるからである。次にこの投球動作を用いて2つの実験を行っている。まず実験1では、40名の大学生の投球動作を高速カメラで撮影し、上肢の関節座標変化を数値化した後に、上肢の位相差を定量的に分析した。その後、近位関節から遠位関節

への順次可動ができる者とそれができない者を抽出し技術レベルの異なる2つの群に分けた。続いて実験2では、この異なる技術レベルの被験者が、連続して変化する投球動作の映像を観察し、違いが分かった瞬間にマウスをクリックする観察実験を行った。この動きの連続映像は、技術レベルが高い者の位相差から低い者の位相差へ徐々に変化するようになっており、運動技術レベルに応じた動きの差異の検出を検討するために本研究で初めて開発された実験方法である。この新たな方法を用いた結果、技術レベルの高い群は低い群に比べて、運動の差異が小さい段階で動きの違いが検出可能であることを示すことに成功した。

第3章では、実験1でマウスがクリックされた瞬間を、投球動作の力学モデルを用いて算出される筋トルクの発揮タイミングから検討することと、動きの差異を検出した投球動作を観察者自身が実際に行い、その筋トルク発揮を分析すること(実験3)によって、自己の動きを生成する情報が他者の動きの違いを検出することに関与するという仮説を検討した。なお実験3では、実験1で抽出した技術レベルの高い群を被験者に用い、自己の普段の投球動作との違いを検出した投球動作を実際に行ってもらい、その動きを高速カメラで撮影した。その後、上肢各関節の位置座標変化を数値化し、その実際の運動データを投球の力学モデルに入力することにより、投球動作で発揮された筋トルクを求めた。その結果、1) 動きの違いを検出した瞬間が、角度や角速度の増加開始前であり、筋トルクの増加開始時付近であること、2) 動きの違いを表した投球動作は、上肢関節の位相差が普段の投球動作とは明確に違い、関節の順次可動が発生しないように変化し、当然、筋トルク発揮も変化させていることを明らかにした。そしてこれらの結果を総合的に考察し、他者の運動観察に筋トルクという自己の運動生成情報が関与することを導いた。

第4章では第2章と第3章の研究結果を総合的に考察し、続く第5章で2つの仮説が実証できたことを持って本研究の結論としている。なお、第2章と第3章の実験研究は共に体育・スポーツ心理学領域の全国誌(スポーツ心理学研究)、第3章の筋トルク解析は認知神経ハビリテーション学会の学会誌に掲載され、いずれも専門研究者による客観的な評価を受けている。

本研究は大きく2つの面から評価される。1つが他者の運動を観察する能力に自己の運動を制御する能力が関与するという新たな知見を知覚-運動研究分野に提示したこと、もう1つはその実験研究を支える新たな実験方法を開発したことである。前者においては、知覚系と運動系の関連に重要な知見を加えるものであり、見ることでできることとの関連は、人間の脳でも他者の運動観察に反応するミラーニューロンシステムが発見されて以来、多くの研究者から注目されてきた問題でもあり、今後の知覚-運動研究に大きく貢献すると言っても過言ではない功績である。さらに後者の新たに開発された技術レベルに応じて変化する動きの映像呈示方法は、本研究において適用され仮説の実証に役立ったばかりでなく、運動視研究一般に用いることができる汎用性の高いものであり、今後の知覚-運動研究の向上に貢献すると言える。以上の内容から審査委員一同は、大島浩幸氏の学位請求論文が博士論文に相当すると判断し、大島浩幸氏を北海道大学博士(教育学)の学位を受ける資格があると認める。