

氏名・(本籍) 笹川 慶 (愛知県)

学位の種類 博士 (体育学)

報告番号 乙 第59号

学位授与年月日 2018 (平成30) 年 3 月19日

学位授与の要件 学位規則 (昭和28年 4 月 1 日 文部省令第 9 号)

第 4 条第 2 項該当

論文題目 フライングディスクにおけるフォアハンド遠投動作のバイオメカニクス

審査委員 (主査) 桜井 伸 二

湯 浅 景 元

菊 池 秀 夫

## 博士学位審査の経過報告

- 2017年10月11日 (水) 博士学位請求論文の受理、学位審査委員会の設置
- 2017年10月12日 (木) 第 1 回学位審査委員会〈稟議〉(審査日程および本委員会運営方針の確認)
- 2017年11月 7 日 (火) 第 2 回学位審査委員会 (論文の評価、問題点の整理)
- 2017年12月25日 (月) 第 3 回学位審査委員会 (問題点についての質疑応答、口述試験)
- 2018年 1 月10日 (水) 第 4 回学位審査委員会〈稟議〉(論文の最終確認、学位審査報告書の確認)
- 2018年 1 月17日 (水) 博士課程委員会において審査結果の報告
- 2018年 1 月24日 (水) ~2018年 1 月31日 (水) 論文の公示
- 2018年 2 月13日 (火) 博士課程委員会において合否の判定

# 論文審査および最終試験の結果

## 1. 論文審査の結果

### 1) 提出論文の構成

本論文の構成は次の通りである。

第1章 緒言

第2章 フライングディスクの遠投距離とリリース時の力学的変数の関係性

第3章 フォアハンド遠投動作におけるフライングディスクの3次元剛体力学：  
ディスクに作用する回転力とスピン速度の関係性

第4章 フライングディスクのフォアハンド遠投動作における上肢関節運動の運動学：  
熟練者と未熟練者の比較

第5章 総合考察

第6章 総括

### 2) 提出論文の概要

フライングディスク（以下、ディスク）におけるフォアハンドの遠投動作を対象として研究を行った。利き手側から投げ出すこのフォアハンドスローは、アルティメットなどのディスク競技において最もよく使用される重要な基本技術のひとつである一方、競技初心者ばかりでなく競技経験の長い選手でも不得意とする者が多い。本研究では、熟練者と未熟練者のフォアハンド遠投動作をバイオメカニクスの観点から比較し、両群のフォアハンド遠投動作における運動学的・運動力学的な違いを明らかにすることを目的とした。そのために、熟練者と未熟練者のフォアハンド遠投動作における、(1)ディスクの遠投距離とリリース時の力学的変数の関係性について明らかにすること、(2)ディスクに作用する回転力とスピン速度の関係性を明らかにすること、(3)投てき腕の各関節角度の変化を比較しその運動学的な違いを明らかにすることという3つの研究課題を設定した。

風の影響を無くすために体育館内で、熟練者27名および未熟練者20名によって投げ出されたディスクの3次元座標データを、モーションキャプチャシステムを使用することにより取得した。そのデータの解析から、リリース時におけるディスクの初速度とスピン速度、上・下向き角度、左・右傾き角度、迎え角、上・下向き角速度、左・右傾き角速度を算出し、遠投距離との関係を検討した。熟練者群と未熟練者群の遠投距離はそれぞれ $51.9 \pm 4.1\text{m}$ と $26.2 \pm 8.1\text{m}$ 、またスピン速度は $11.5 \pm 1.1$ 回転/秒と $8.3 \pm 1.3$ 回転/秒であり、それぞれ約2.0倍と1.4倍の違いが両群間に認められた。熟練者の長い遠投距離は、迎え角が小さい（熟練者群と未熟練者群でそれぞれ $-0.6 \pm 4.2$ 度、 $3.2 \pm 11.0$ 度）こととともに、大きなスピン速度に強く関係していることが明らかとなった。

次に熟練者10名、未熟練者11名を対象として、3次元モーションキャプチャシステムを使用することにより、遠投動作中に手からディスクに作用する力のモーメントとトルクを算出した。ディスクのスピン速度の増加の様相との関係から、熟練者と未熟練者の投動作の違いを運動力学的に検討した。未熟練者群のスピン速度は動作中に徐々に増加しリリース時に $8.3 \pm 1.3$ 回転/秒であったのに対して、熟練者群のスピン速度は肩の最大外旋以降で急激に増加しリリース時に $12.6 \pm 0.6$ 回転/秒に達していた。未熟練者群では投動作中のトルクは継続して極めて小さい値を示し、常に指先でディスクの縁を中指近位端方向に引くことによって力のモーメントを生成していたと考えられた。一方、熟練者群では肩の最大外旋時の前後でト

ルク由来の大きな回転力が手掌からディスクに作用し、そのトルクの減少と同時期に指先でディスクの内側の縁を押すことによって力のモーメントを増加させ、スピンを更に加速させていると考えられた。

次に熟練者10名、未熟練者7名を対象として、2台の高速度ビデオ画像の分析から遠投動作中の投てき腕上肢関節7自由度の関節角度変化を求め、両群間で比較した。肩関節、肘関節などの角度変化では両群でほぼ同様の傾向を示したが、前腕の回内／回外の運動に両群間で顕著な違いが認められた。熟練者群は回外位から回内運動すると同時に、手関節の掌屈運動を伴いながらディスクをリリースしていた。一方、未熟練者群は回内位から前腕を回外させつつ手関節の尺屈運動を伴いながらディスクをリリースしていた。回内によって手掌をリリース方向に向け、可動範囲の大きい掌屈動作を作用させることが可能となる熟練者群の動作は、スピン速度の増加に対して合理的な技術であると考えられた。

以上のことから、(1) スピン速度の増加は未熟練者の遠投距離増加のために重要な要因であり、それは(2) ディスクが握られている局面で手掌から作用するトルク由来の回転力をディスクに与えることで可能となること、また(3) 肩の最大外旋前後で前腕を回外位にしてリリース直前から回内させることが遠投距離を増加させることにつながると結論した。

### 3) 提出論文の評価

フライングディスクを対象とした研究は国の内外を通じて少ない。申請者は、かつてディスク競技のトップ選手(2006年アルティメット世界クラブ選手権優勝および2009年ワールドゲームズ準優勝のメンバー)であり、またその競技の指導にも当たってきた。重要でありながら習得が困難なフォアハンド遠投動作の解明というテーマの設定は、長年のその経験に基づくものであった。本研究では、まず遠投距離に及ぼすリリース時のディスクの姿勢や回転などの変量に注目した。さらに、リリース時のディスクの運動学的な特性を生み出す投てき者の身体運動、特に上肢の運動の解明を試みている。

まず、これまで明らかにされていなかったディスクの飛距離に影響するリリース条件と実際の投動作を対象として多方面からの分析を進めたという点で高く評価できる。また、スピン速度をはじめとするリリース時の各種変量が遠投距離に与える影響を定量化したこと、さらに熟練者と未熟練者の動作の間に運動学的および運動力学的にそれぞれ極めて明瞭な差異を見出したという点でも高く評価できる。特にフォアハンドの遠投動作時に熟練者群では回外ではなく回内動作が見られることは、これまでの常識を大きく覆すものであり、これらの知見は今後の指導に大いに有益なものである。

しかしながら、本研究には若干の不足や問題点もある。まず研究手法上の制約によって加速局面の力の作用点を中指先端の一点と仮定したことである。そのため、特にディスクが手掌から離れるまでのディスクが握られている局面で、算出されたトルクは手のどのような運動によって生じたものなのか明らかにすることができなかった。また、ディスクのフォアハンドスローでは一般に投てき腕と同じ側の脚が踏み出し脚となるため、特に下肢や体幹部の運動は、野球の投手などにおける投球動作とは全く異なる動作になると考えられる。ディスクの投動作における下肢や体幹部の運動には、ディスクを加速するための特有の仕組みがあるとも考えられるが、本研究では上肢の運動のみが対象とされ、下肢や体幹の運動に関してはほとんど触られていない。しかし、これらの諸点は本論文の価値を否定するものではなく、今後の研究の発展に委ねられるところであると考えられる。

本論文の学位審査委員会は、以上を慎重に検討した結果、本論文は博士学位論文として適格であるという結論に到達した。

#### 4) 提出論文と既刊論文との関係

本論文は、下記の学術誌に掲載された論文を中心に再構成され書かれたものである。

(1) Kei Sasakawa, Shinji Sakurai. (2008). Biomechanical analysis of sidearm throwing motion for distance of a flying disc: A comparison of skilled and unskilled Ultimate players. *Sports Biomechanics*, Vol. 7, pp. 311–321.

(主として第4章を構成)

(2) Kei Sasakawa, Koji Umegaki, Shinji Sakurai. (2017). Biomechanics of increased spin velocity of flying discs during forehand throws by skilled and unskilled throwers, *Journal of Sports Sciences*, Vol. 36, pp. 843–851.

(主として第3章を構成)

## 2. 最終試験の結果

本論文の内容に関して、2017年12月25日に口頭にて最終試験を実施した。その内容は、計測に関する方法論や結果の解釈などの本研究の内容にとどまらず、バイオメカニクスおよび一般的な自然科学の研究についての基本的な知識と理解度、研究に対する論理的な展開能力などについてその学識と研究能力を確認しようとするものであった。その結果、これらの事項に関し十分な学識と研究能力とを有していると判定した。

## 3. 学力の確認

本研究科の指導指針にのっとり、国際学術誌に原著論文筆頭著者として複数の英語論文が掲載されていることから、本論文の提出者は博士の学位を授与されるに値する学力のあることを確認した。

## 4. 結論

本学位審査委員会は、提出された博士学位請求論文が博士の学位を授与されるに値するものであり、かつ論文提出者はその専門分野における十分な学識と研究能力とを有するものであることを確認したので、博士（体育学）の学位を授与するのに適格であると判定した。

以上