

区 分	課 程
-----	-----

(論文 様式)

やり投げ競技におけるパフォーマンスと投てき動作の関係
ーコーチング現場に役立つ科学的根拠の提供を目指してー

スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻

204 D 03

村上 雅俊

研 究 指 導

石川 昌紀 教授

本論文は、以下の論文に基づき作成されたものである。

1. 村上 雅俊, 伊藤 章 (2003) やり投げのパフォーマンスと動作の関係. バイオメカニクス研究 7 (2), 92-100.
2. Murakami M, Tanabe S, Ishikawa M, Isolehto J, Komi P.V, & Ito A. (2006) Biomechanical analysis of the javelin at the 2005 IAAF World Championships in Athletics. IAAF New Studies in Athletics, 21 (2), 67-80.
3. Murakami M, Tanabe S, Ishikawa M, & Ito A. (2017) The relationship between approach run kinematics and javelin throwing performance. Asian Journal of Coaching Science, 1 (1), 1-14.

謝 辞

第1章 緒 言	1
1.1 はじめに	1
1.2 やり投げ競技における研究背景	2
1.2.1 リリースパラメータについて（投てき局面）	2
1.2.2 腕振りと体幹の動作の特徴について（投てき局面）	4
1.2.3 下肢の動作の特徴について（準備—投てき局面）	5
1.3 本研究の意義	7
1.4 本研究の目的	7
第2章 方 法	9
2.1 被験者	9
2.2 実験方法	9
2.3 データ処理	10
2.4 局面と用語の定義	11
2.5 測定・分析方法	12
2.5.1 ヤリのリリースパラメータの算出（研究課題1）	12
2.5.2 動作および各関節運動の算出	13
2.5.2.1 上肢の関節運動について（研究課題2）	13
2.5.2.2 体幹の動作について（研究課題3）	14

2.5.2.3	下肢の動作について（研究課題 4）	16
2.6	統計処理.....	17
第 3 章	結 果	18
3.1	リリースパラメータについて（研究課題 1）	18
3.2	腕振りと体幹の動作の特徴について（研究課題 2.3）	21
3.3	下肢の動作の特徴について（研究課題 4）	27
第 4 章	考 察	34
4.1	リリースパラメータについて（研究課題 1）	35
4.2	腕振りと体幹の動作の特徴について（研究課題 2.3）	37
4.3	下肢の動作の特徴について（研究課題 4）	39
第 5 章	結 論	41
5.1	リリースパラメータについて.....	41
5.2	腕振りと体幹の動作の特徴について	41
5.3	下肢の動作の特徴について	41
5.4	コーチング現場への示唆.....	42
5.4.1	至適なヤリのリリースについて.....	42
5.4.2	下肢の動作について	42
5.4.3	体幹の動作について	42
5.4.4	腕振り動作について	43

5.5	研究の限界	43
5.6	今後の課題	44

謝 辞

博士論文の提出にあたり、私を支え続けてくれている妻の美也子に感謝します。長男の大翔や長女の碧に、父として勉強を継続する姿勢を見せられたこと、また、今回の本論文の提出を子ども心ながら喜んでくれたことに感謝します。その家族の支えがあって、病気を克服しながらも本論文の提出ができたことを嬉しく思います。また、愛媛県の田舎町から大阪体育大学への進学を許してくれた父の修治と母の仁美、妹の紗也華と弟の友一にも感謝します。

大阪体育大学で学んだ時間は、多くの先生の叱咤激励を頂戴しながら過ごすことができた幸せな日々でした。特に本論文執筆のご指導を下さいました指導教員の石川昌紀教授には感謝申し上げます。お陰様をもちまして研究における核心的課題や学術的意義を明確にすることの大切さを学ぶことができました。栗山佳也教授には、選手の競技力向上に役立つコーチングの重要性を常にご指導頂きました。また、淵本隆文教授と荒木雅信教授にも本論文の副査として貴重なご指導を賜りました。心から御礼申し上げます。

そして何より、本学名誉教授の伊藤章先生には厳しくも温かいご指導を本当に長い間賜りましたこと、心から深く御礼申し上げます。有難うございました。

最後に、大阪体育大学バイオメカニクス研究室の諸先輩方、後輩の皆様、陸上競技部の皆様、私に関わってくださった全ての皆様にも御礼申し上げます。

有難うございました。

平成 30 年 1 月 31 日

村上 雅俊

第1章 緒言

1.1 はじめに

陸上競技の投てき種目であるやり投げ競技は、投てき物であるヤリを規定回数内（予選3投を終えた後、上位8名がさらに3投実施する）で定められたエリア内（扇形状の28.96度のエリア）に投射し、その飛距離（以下、投てき距離）を競い合う競技である。

使用するヤリは、全長2.6–2.7 m、質量800 g以上、最大径は0.025–0.03 m以内と定められており（日本陸上競技連盟, 2016）、他の陸上投てき競技で使用する器具と比較して最も長く、その質量は最も小さいという特徴を有している。そのため、選手は片腕のオーバーハンドによるリリースが可能で、リリースされたヤリは風などの影響を受けながら上昇した後、グライダーのように滑空し落下する。ヤリの投てき距離は、1984年にウベ・ホン選手によって104.80 mまで達したが、その投てきによるヤリの落下が競技場内の他のエリアで行われている競技の選手や審判員を危険に晒す可能性があるため、ヤリの投てき距離を短くし安全性を確保する目的でヤリの重心位置を前方に0.04 m移動させるルール改正が1986年に行われた。この措置により、やり投げ競技における投てき距離は10%程度減少した。この新ルール施行後も、1996年にヤン・ゼレズニー選手が98.48 mの世界記録を叩き出し、ルール改正前の世界記録にまで迫ってきている。一方、日本では溝口和洋選手が新ルール施行後の1989年に記録した87.60 mの日本記録から現在までの28年間、記録の更新に至っておらず、やり投げ競技における世界との差は開く一方である。

国内のコーチング現場における技術指導に関しては、指導者自身の体験や指導による経験則を基に構築された主観的な指導モデルを用いた選手の育成に取り組んでいる場合が多

く、競技力向上を目的としたジュニアからシニアに至る体系的なやり投げに関する投てき動作の指導法や科学的根拠に基づいた体力トレーニング方法は確立されていないのが現状である。

1.2 やり投げ競技における研究背景

やり投げ競技は、1) 助走とクロスステップを含む助走局面と、2) 後足接地から前足接地までの準備局面、3) 前足接地からヤリのリリースまでの投てき局面の 3 局面に分類され (Figure 1; Koltai, 1985), 特に投てき局面におけるリリースパラメータと上肢の投てき動作の関係について検討されてきた。

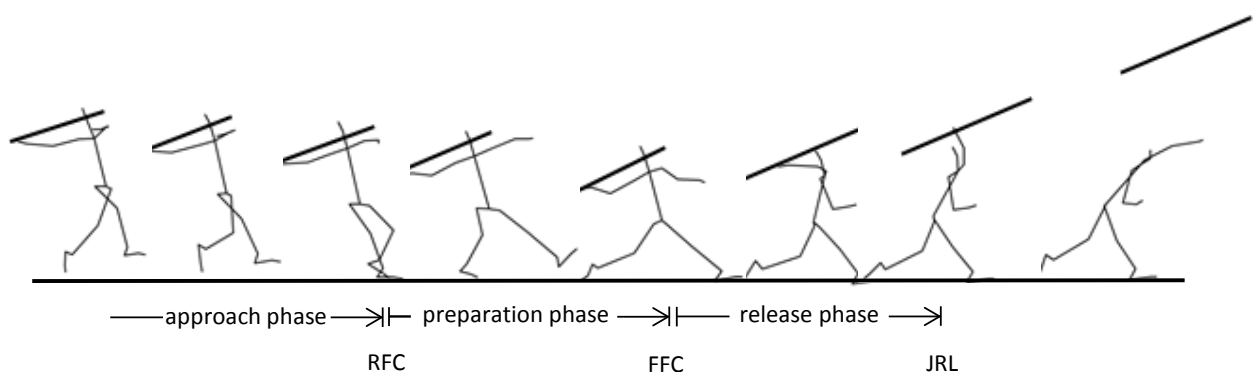


Figure 1. Definition of throwing movement phases for javelin throw.

Approach phase is from the start of the approach run to the rear foot contact (RFC). Preparation phase is from RFC to the front foot contact (FFC). Release phase is from FFC to the javelin release (JRL).

1.2.1 リリースパラメータについて (投てき局面)

やり投げ競技におけるバイオメカニクス研究は、ヤリのリリースに関するパラメータ (初速度・投射角・姿勢角・迎え角・投射高; Figure 2) について、風洞実験を用いたシミュ

レーションから至適リリースパラメータを算出した研究や競技力の高い選手のリリースパラメータを調査した事例的な研究が多い (Bartlett et al., 1996; Komi et al., 1985; Mero et al., 1994; Whiting et al., 1991).

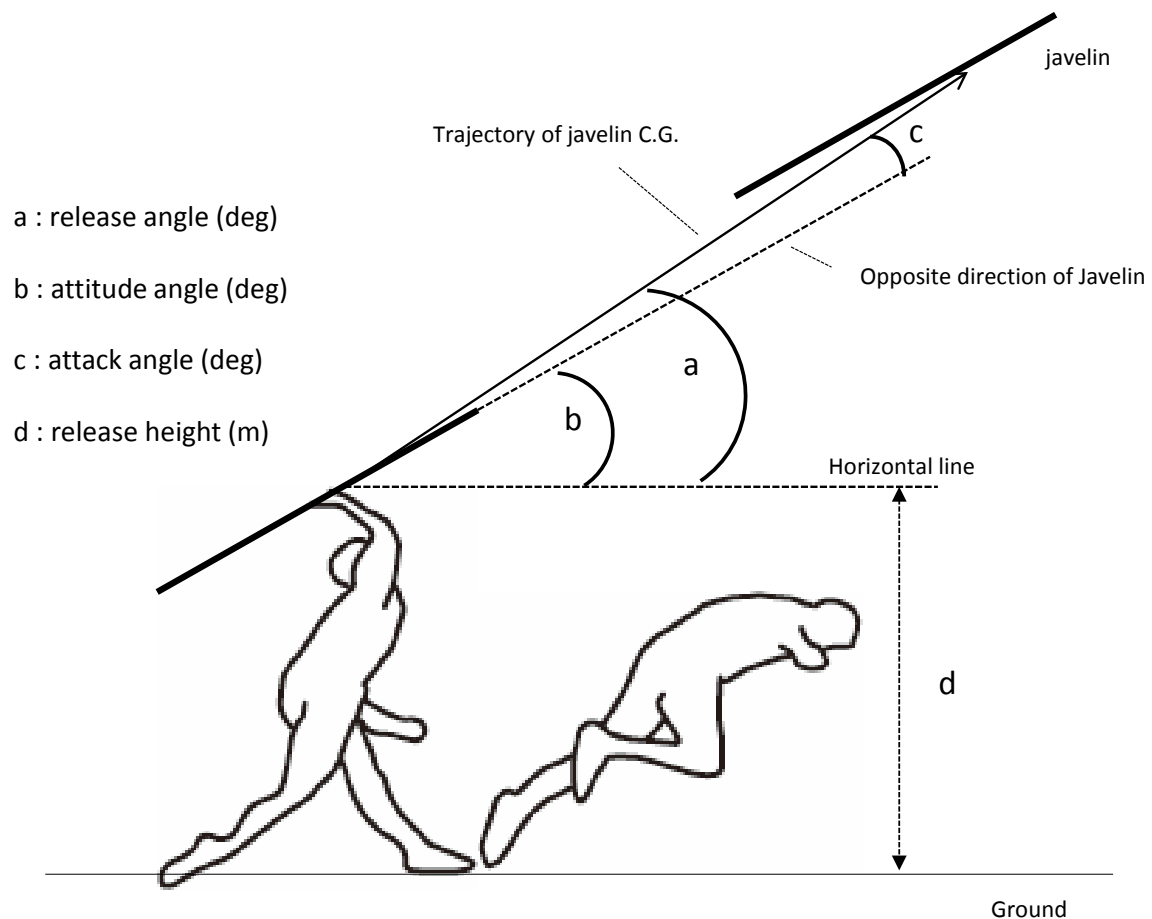


Figure 2. Definitions of the release parameters for javelin throw.

Release angle (a) is defined by the trajectory of center of gravity of javelin and horizontal line. Attitude angle (b) is defined by the opposite direction of javelin and horizontal line. Attack angle (c) is obtained from the difference in the release and attitude angles. Release height (d) is the length from the vertical right hand position at JRL to the ground.

ヤリのリリース時やリリース後の空力学特性を調べた Hubbrd & Alaways (1987) らの研究によると、風洞実験でヤリの初速度を 20–35 m/s に設定し、迎え角は 0 度から -2.5 度

が至適になると推定し、Best & Bartlett (1988) は、飛行速度 30.18 m/s 時における至適な迎え角は-2.8 度であると算出した。つまり、これらシミュレーションによって導かれる至適な迎え角は負の値を示している。しかしながら、実際の競技会では、気候、風速や風向などは安定していないため、単に一定条件下におけるシミュレーション値が実際の競技会で至適リリースパラメータとして活用できるか疑わしい。一方で、実際の競技会（イエテボリ世界陸上競技大会）における迎え角を調べた報告（Morris et al., 1997）では、平均迎え角は -3.42 ± 3.53 度であったと報告し、Whiting et al. (1991) は、アメリカの強化指定選手 8 名が参加した 5 つの競技会における計 85 投について分析した結果、迎え角は $1-2$ 度であったと報告している。さらに、競技レベルの低い選手を対象として検討した報告（松井ら 1989）においても、迎え角を抑えることが投てき距離を伸ばす要因としてあげられる可能性があることを示唆している。しかしながら、これらの事例研究では、少数の選手を対象としているため、より多くの選手を対象とした検討が求められる。そして、その他の投射角および姿勢角については、全ての研究でおよそ 30 度から 40 度の範囲であったと報告し、投てき距離との関係性については触れられていない（Bartlett et al., 1996; Komi et al., 1985; Morris et al., 1997; Whiting et al., 1991）。

1.2.2 腕振りと体幹の動作の特徴について（投てき局面）

やり投げ競技は、その他の投てき器具と比較してヤリの質量が小さいことから、体幹部の回旋運動を含むオーバーハンドからのリリースが可能である。そのため、合理的な腕振り動作の習得は競技力を向上させるために必要不可欠である。コーチング現場では、この

腕振り動作や体幹部の動作を習得するため、ボールやこん棒など形状や質量の異なる器具を投げるトレーニングが実施される場合が多いが、競技力を高める上での合理的な腕振り動作や体幹部の動作についての検証はほとんどなされていない。これらの動作に関連するバイオメカニクス研究では (Miller & Munro, 1983), 前足接地からリリースまでの腕振り動作の局面でヤリの水平方向の重心速度が 60–80 %程度を獲得していることから、ヤリの速度を高めるために腕振り動作による貢献が大きいと報告している。また、バルセロナオリンピックのやり投げ決勝に進出した男女 11 名の投てき動作を分析した先行研究 (Mero et al., 1994) では、投てき距離は肩・肘・手首と手部関節の最大線分速度のそれぞれとの間に有意な正の相関関係があったと報告している。加えて, Morris et al. (1997) は、ヤリの重心速度を高めるために肩関節の内旋運動が最も重要な投てき動作であると示唆し、その技術練習の重要性を示唆している。競技レベルの異なる選手を 3 群に分類し、それぞれの投てき動作の特徴を比較した Bartlett et al. (1996) の研究では、よりパフォーマンスを高めるためには、リリースに向けてヤりを長く加速させるために肘関節や肩関節をより伸展させる腕振り動作が大切であると報告している。しかしながら, Liu et al. (2014) は、32 名の男子選手では体幹部および腕振り動作において作用機序に大きな違いが認められなかったこと報告していることから、やり投げ競技における腕振り動作や体幹部の動作について統一された知見は、現在のところ得られていない。

1.2.3 下肢の動作の特徴について (準備局面—投てき局面)

コーチング現場では、準備局面におけるラストステップに関して素早い前足の接地 (後

足接地から前足接地までの時間を短くすること)を求められることが多いが、その時間を短くすることが競技力向上に役立つかどうかのエビデンスはほとんど示されていない。投てき動作における後脚の膝関節運動に関する研究では、後脚の関節運動とパフォーマンスとの関連性についてもほとんど報告されておらず、Tauchi et al. (2009) の事例報告では、一流やり投げ選手は後脚の膝角変化量が上位群で小さいとされ、その後足の接地時から前足の接地時の後脚における膝関節の変位と投てき距離との関係を調べた田内ら (2012) の研究では、後足の接地時と前足の接地時に膝関節の屈曲角度に変化が見られなかったことを明らかにしているが、準備局面における後脚の伸展屈曲角速度に関する知見が報告されていないことから今後の検討課題となっている。

一方、前脚の膝関節運動に関する研究では、投てき局面において高い膝関節の伸展速度が発揮され、この下肢関節運動が高いパフォーマンスを得るために重要な投てき動作であると考察されている (Komi et al., 1985)。Mero et al. (1994) は、投てき局面における前脚の膝関節の最大伸展動作によって誘発された体幹部の stretch-shortening cycle 運動が、肩関節を中心とした求心性の力を生み出す可能性があるとし唆している。Whiting et al.

(1991) は、投てき距離の大きかったグループほど投てき局面における前脚の膝関節は伸展位にあったと報告し、これらの動作が全身の前方回転を引き起こす可能性があるとし推察している。同様に、世界一流やり投げ選手を含む 25 名の選手の投てき動作時間を平均化し 3 群に分け、各関節運動を 3 次元的に比較検討した野友ら (1998) の研究においても、最もパフォーマンスの高かったグループの投てき動作は、後足の接地時において体幹の後傾を小さくすることで助走のブレーキを小さくし、続く前足の接地時における膝関節は最

も伸展位にあることから、前脚における膝関節の伸展動作が体幹の前方への起こし回転を生じた可能性を示唆している。これらの報告から、高いパフォーマンスを得るためには準備-投てき局面における前脚の膝関節をより伸展位に保つ必要性が推察されるが、一流やり投げ選手の準備-投てき局面における下肢関節運動とパフォーマンスとの関係についてほとんど明らかにされていない。

1.3 本研究の意義

近年では、日本陸上競技連盟の強化委員会と科学委員会が連携し、やり投げ選手を対象とした専門的かつ縦断的な強化育成サポートを試み、科学的なサポート体制の構築に向けて取り組んでいる（日本陸上競技連盟, 2017）。しかしながら、高いパフォーマンスを得るための投てき動作や科学的根拠に基づく体力トレーニングについては現在のところ明確に確立されていない現状が認められる。

これまでのやり投げ競技に関するバイオメカニクス研究では、一流やり投げ選手の投てき動作を基に、様々な競技レベルの選手や一般化された投てき動作について説明できない。

本研究では、世界選手権優勝者を含む一流やり投げ選手から初心者レベルの選手の投てき動作を対象とするため、得られた知見は、幅広い選手を対象とした競技力向上に役立つと考えている。また、一流やり投げ選手の投てき動作の特徴をバイオメカニクスの理解できれば、体力トレーニングの方向性も決定しやすくなると考えられる。

1.4 研究の目的

本研究は、初心者レベルの選手から世界一流やり投げ選手までの幅広い競技レベルのやり投げ選手における実際の競技会での全力の投てき動作について、パフォーマンスとの関係をバイオメカニクスの的に調査し、一流やり投げ選手の投てき動作の特徴について明らかにすることを目的とした。

本研究では、上述した目的を達成するために以下に示す4つの研究課題を設定した。

研究課題 1：リリースパラメータについて

やり投げ競技では、ヤリの形状が主な要因となってリリース後の空気抵抗などの影響を受け、投てき距離の増減が観察される。そこで本課題ではリリース初期のリリースパラメータと投てき距離との関係性について調べ、一流やり投げ選手のリリースパラメータの特徴について検討する。

研究課題 2：腕振り動作の特徴について

やり投げ競技は、片腕のオーバーハンドによる投てきを実施しなければならない（日本陸上競技連盟, 2016）。本課題では、オーバーハンドによる腕振り動作とパフォーマンスとの関係性について調べ、一流やり投げ選手の腕振り動作の特徴について検討する。

研究課題 3：体幹動作の特徴について

上肢と下肢を連結する体幹の動作は助走を利用するやり投げ競技において重要とされる。本課題では、体幹部の動作とパフォーマンスとの関係性について調べ、一流やり投げ選手の体幹部の動作の特徴について検討する。

研究課題 4：下肢の動作の特徴について

やり投げ競技は、投てき競技の中で唯一助走が認められており、助走速度をいかに投て

きパフォーマンスに利用できるかが重要となる。本課題では、助走最終局面の後足接地から投てき局面直前（前足接地）までの両脚の膝関節運動とパフォーマンスとの関係性について調べ、一流やり投げ選手の両脚の膝関節の動作の特徴について検討する。

第2章 方法

2.1 被験者

被験者は、世界一流やり投げ選手（平成 17 年度 IAAF 世界陸上競技選手権優勝者）および平成 13 年度日本ランキング 1 位を含む右投げの成人男子やり投げ選手 57 名であった。対象とした競技会は、第 11 回世界陸上競技選手権大会、第 85 回日本陸上競技選手権大会、第 69 回日本学生陸上競技対校選手権大会、第 78 回関西学生陸上競技対校選手権大会の 4 競技会であり、それら競技会に参加した選手の最も記録の良かった試技を分析の対象とした。つまり、これらの競技会に同一選手が参加していた場合は、記録の良かった競技会の試技を対象とした。また、測定時における最高記録は 87.17 m であり、最低記録は 45.25 m であった。なお、本研究におけるデータ収集に関して、全ての大会組織委員会の許可を事前に得た後にサンプリングを行った。

2.2 実験方法

第 78 回関西学生陸上競技対校選手権大会、第 69 回日本学生陸上競技対校選手権大会、第 85 回日本陸上競技選手権大会の 3 競技会については、陸上競技場の観客席の最上段に

2台のカメラを設置し、高速度ビデオカメラ（NAC社製、MEMRECAM C₂S；200 fps）を使用し投てき方向の側方および後方から投てき動作を撮影した。この時、撮影範囲の6か所（36点）に、3次元座標を算出するためのコントロールポイントも撮影した。また、第11回世界陸上競技選手権ヘルシンキ大会については、デジタルビデオカメラ（SONY社製、DCR-VX2000；60 fps）を陸上競技場の観客席の最上段に2台のカメラを設置し、投てき方向の側方および後方から投てき動作ならびに撮影範囲の9か所（54点）に3次元座標を算出するためのコントロールポイントを置き、それぞれ撮影した。

2.3 データ処理

2台のカメラで撮影された映像をもとに、ヤリのピットに設置したコントロールポイント36点（6カ所）および54点（9カ所）と、身体各部位24点とヤリの重心（以下、グリップとする）、ヤリの穂先と尾の3点を含む27点（Figure 3）をビデオ動作解析システム（DKH社製、Frame-DIAS II）を用いて200 fpsならびに60 fpsでデジタル化した。計測点のデジタル化区間（分析範囲）は、後足接地時からヤリのリリース後0.032秒までとした（Figure 1）。デジタル化によって得られた2方向の2次元座標をDLT法（Direct Linear Transformation Method）を用いて3次元座標を算出した。本研究における静止座標系は、地面に固定した右手座標系でX軸の正を投てき方向、またY軸の正は鉛直上向き方向に、Z軸の正は投てき方向に向かって右方向に定義した。算出された3次元座標値と36点における較正点の実測値における平均誤差は、X軸で9 mm、Y軸で9 mm、Z軸で1.6 mmであった。54点における較正点の実測値における平均誤差は、X軸で7 mm、Y

軸で 1.2 cm, Z 軸で 9 mm であった. また, それら算出された 3 次元座標値は, 残差分析 (Yokoi and McNitty 1990) を用いて計測点の最適遮断周波数を決定し (4.5–20.5 Hz), 4 次のバターワースデジタルフィルタを使用して平滑した.

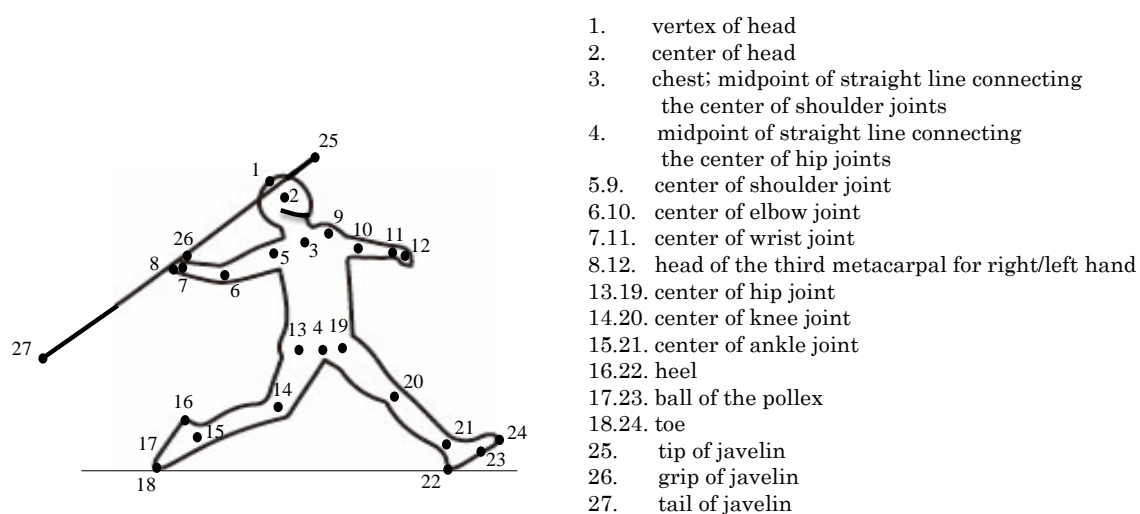


Figure 3. Definition of digitizing points on the body and javelin for kinematics.

2.4 局面と用語の定義

本研究では, 投てき動作に関する局面や場面について, 以下に示す内容で順 (リリースに向かう時系列) に示した.

- 1) 助走局面 (Approach phase) : 助走終盤から RFC 直前までの動作局面を示す (Figure 1).
- 2) RFC (Rear Foot Contact) : 後足が地面に接地した瞬間を示す記号のこと (Figure 1).
- 3) 準備局面 (Preparation phase) : RFC から FFC までの動作局面を示す (Figure 1).

- 4) FFC (Fore Foot Contact) : 前足が地面に接地した瞬間を示す記号のこと (Figure 1).
- 5) 準備動作 (Preparation movement) : RFC から FFC までの動作局面の中で観察される投てきを行うための動作のこと。本研究では、主に下肢の関節運動に焦点を当てて分析している (Figure 1).
- 6) 投てき局面 (Release phase) : FFC から JRL までの動作局面を示す (Figure 1).
- 7) 投てき動作 (Throwing movement) : RFC から FFC までの動作局面の中で観察させるオーバーハンドの投動作のこと。本研究では、主に体幹部および腕振り動作に焦点を当てて分析している (Figure 1).
- 8) JRL (Javelin Release) : ヤリをリリースする瞬間を示す記号のこと (Figure 1).

2.5 測定・分析方法

2.5.1 ヤリのリリースパラメータの算出 (研究課題 1)

ヤリのリリースパラメータ (初速度・投射角・姿勢角・迎え角) において、ヤリの初速度は、グリップの軌跡を時間微分することで算出し、投射角はグリップの軌跡と水平線のなす角度、姿勢角はヤリの穂先とグリップを結んだ線分と水平線とのなす角度、迎え角は姿勢角と投射角の差から求めた。また、投射高はヤリのリリース時における右手の地面からの鉛直位から求めた (Figure 2)。なお、本研究では競技会で使用したカメラのフレームレートが異なったため、ヤリのリリースパラメータの算出に関しては、200 fps では 0.03 秒間の平均値を、60 fps では 0.032 秒間の平均値を算出した。理論距離については、以下の弾道方程式を用いて算出した。

$$D = \frac{1}{g} V \cos \theta [V \sin \theta + \sqrt{(V \sin \theta)^2 + 2gh}]$$

ここで、 D は理論距離、 V はヤリの初速度、 θ は投射角、 g は重力加速度、 h は投射高を示している。なお、本研究においては投射位置に関して計測ラインからの水平距離は考慮しなかった。

2.5.2 動作および各関節運動の算出

本研究では、分析対象とした投てき動作における各関節運動を 3 次元的に検討するため、以下の方法を用いて算出した。

2.5.2.1 上肢の関節運動について（研究課題 2）

肘関節角度は上腕と前腕のなす角度（Figure 4A）、肩関節の外転角は体幹と上腕のなす角度（Figure 4B）、水平内・外転角は左右の肩の肩峰を結んだ線分と上腕とのなす角度（Figure 4B）、を求め、また、JRL 時における腕振りの速さ（以下、 V_{arm} ）を調べるためにグリップの並進速度と右肩の並進速度との差（相対速度）を算出した（Figure 6A）。

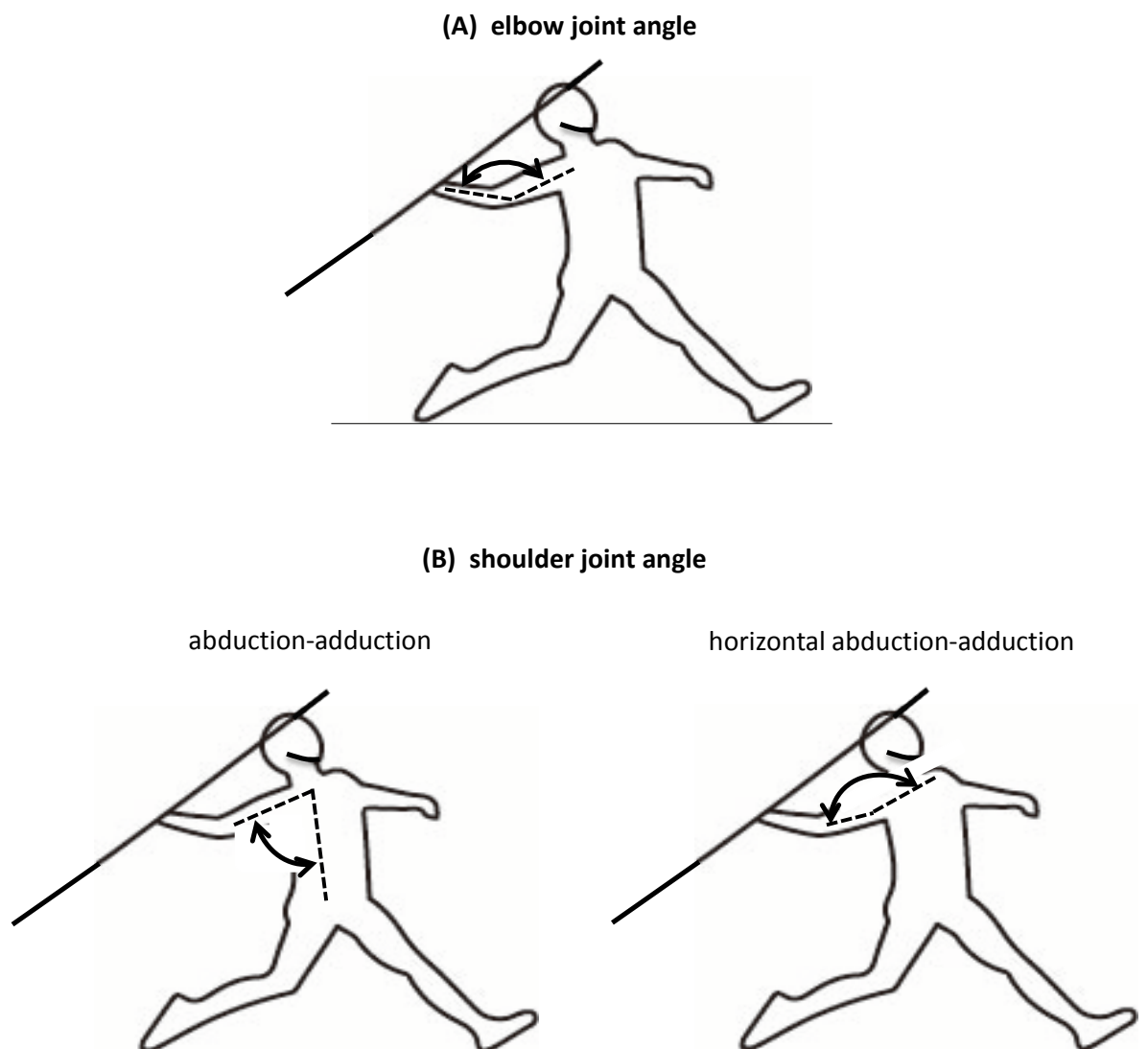


Figure 4. Definitions of the elbow joint (A) and shoulder joint angles for abduction-adduction and horizontal abduction-adduction movements (B) at JRL.

2.5.2.2 体幹の動作について (研究課題 3)

体幹の前・後屈角は静止座標系 XY 平面上に投影した体幹の線分と Y 軸とのなす角度 (Figure 5), 側屈角は静止座標系 YZ 平面に投影した体幹の線分と Y 軸とのなす角度 (Figure 5) を求め, また, JRL 時における前足の踵の並進速度と胸の並進速度との差

(相対速度; 以下, V_{cst}) を算出した (Figure 6B).

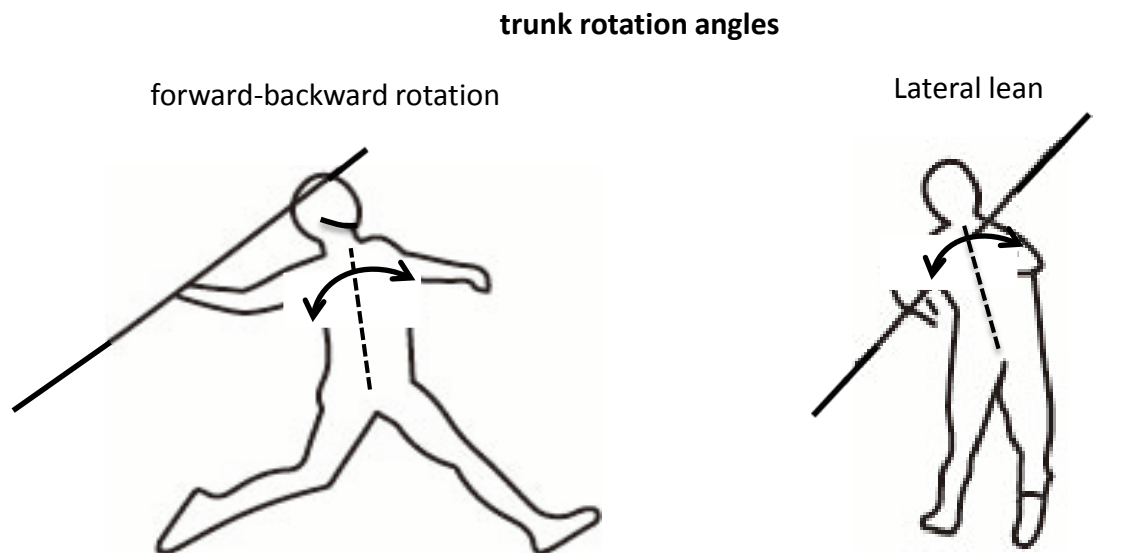
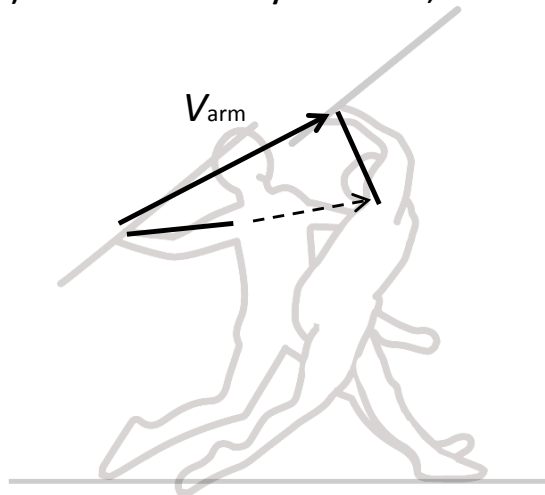


Figure 5. Definitions of the trunk rotation angles for the release phase of javelin throw.

(A) Relative arm velocity to shoulder; V_{arm}



(B) Relative chest velocity to heel; V_{cst}

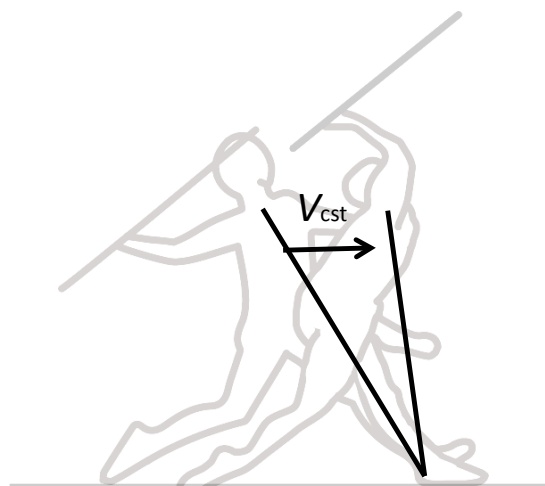


Figure 6. Definitions of the relative arm swing velocity (V_{arm}) and chest velocity (V_{cst}) to shoulder (A) and front heel (B) positions, respectively.

2.5.2.3 下肢の動作と助走について (研究課題 4)

下肢の関節運動に関して、前脚および後脚の膝関節角度は大腿と下腿のなす角度 (Figure 7) として算出し、その角速度は時間微分によって算出した。身体重心速度は身

体重心座標値の時間微分として求め、RFC時、FFC時、JRL時の水平身体重心速度（以下、身体重心速度）を算出した。なお、身体重心は、阿江（1996）の分節質量比を用いた。また、準備局面である後足から前足の接地までの水平距離をストライド（m）とし、後足接地から前足接地までに要した時間をステップ時間（sec）とした。なお、FFCからJRLまでの身体重心速度の減速の大きさを調べるためその差を算出した（以下、 ΔV_{cg-h} ）。

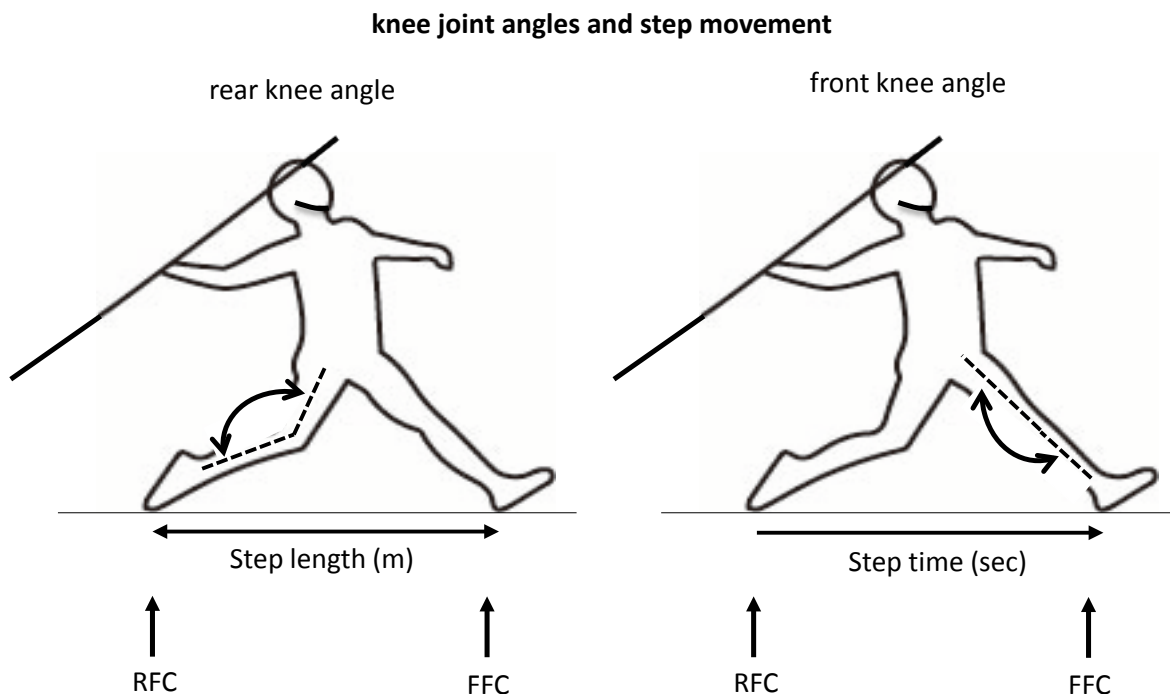


Figure 7. Definitions of the both knee joint angles and step movements for javelin throw.

Step length means length of the rear foot toe to the front foot heel during RFC to FFC. Step time is the time between RFC and FFC.

2.6 統計処理

本研究の統計処理では、投てき動作とやり投げ競技におけるパフォーマンスに関する変

数間の関係についてピアソンの積率相関係数を用いて統計処理を行い、有意水準 $\alpha = 0.05$ 未満をもって有意と判定した。

第3章 結果

3.1 リリースパラメータについて (研究課題 1)

実投てき距離と、空気抵抗を無視した弾道方程式から算出した理論投てき距離との間に有意な正の相関関係が認められた (Figure 8a)。また、実投てき距離とヤリの初速度との間に、実投てき距離が大きいほどヤリの初速度が高いという有意な正の相関関係 ($r = 0.904$, $p < 0.001$; Figure 8b) が認められたが、投てき距離と投射角、姿勢角および投射高のそれぞれとの間においては有意な相関関係は認められなかった (Figure 9a, 9b, 9d)。ヤリの初速度と投射角、姿勢角、投射高との間にも有意な相関関係は認められなかったが、迎え角と実投てき距離との間には、実投てき距離が大きいほど迎え角は小さいという有意な負の相関関係 ($r = -0.303$, $p < 0.05$; Figure 9c) が認められた。そこで、ヤリの初速度を成分毎に分類 (水平成分と鉛直成分) し、ヤリの初速度との関係性および迎え角とヤリの水平速度成分、迎え角とヤリの鉛直速度成分との関係を調べた。その結果、ヤリの初速度と鉛直速度成分との間にも有意な正の相関関係が認められ ($r = 0.746$, $p < 0.001$; Figure 10a), また、鉛直速度成分と迎え角との間には有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.415$, $p < 0.01$; Figure 10b)。ヤリの初速度と水平速度成分との間に有意な正の相関関係が認められ ($r = 0.896$, $p < 0.001$; Figure 10c), 水平速度成分と迎え角との間には有意な相関関係は認

められなかった (Figure 10d).

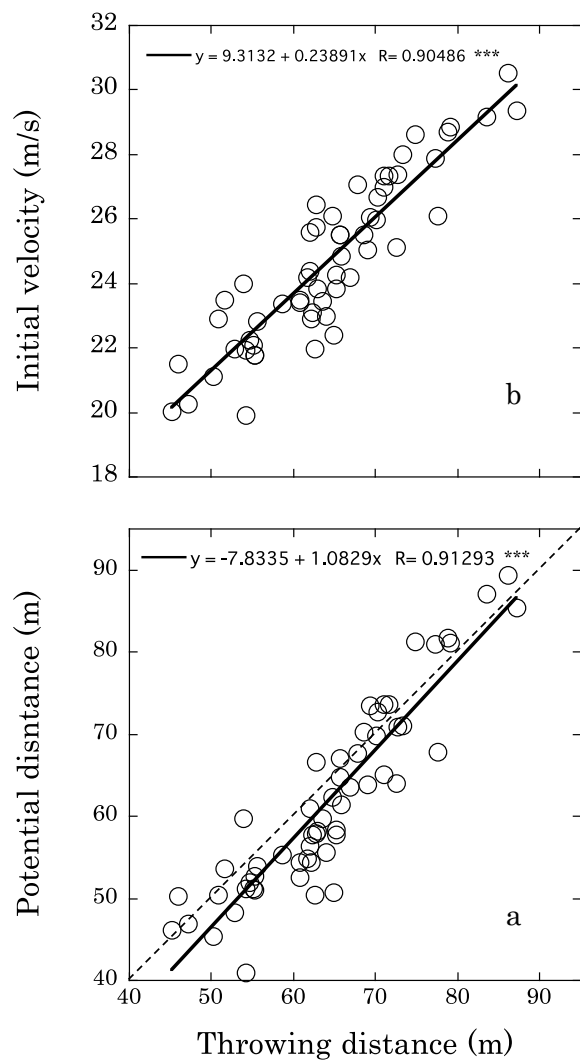


Figure 8. Relationships between throwing and potential distances (a) and between the throwing distance and initial velocity of javelin (b).

***: $p < 0.001$

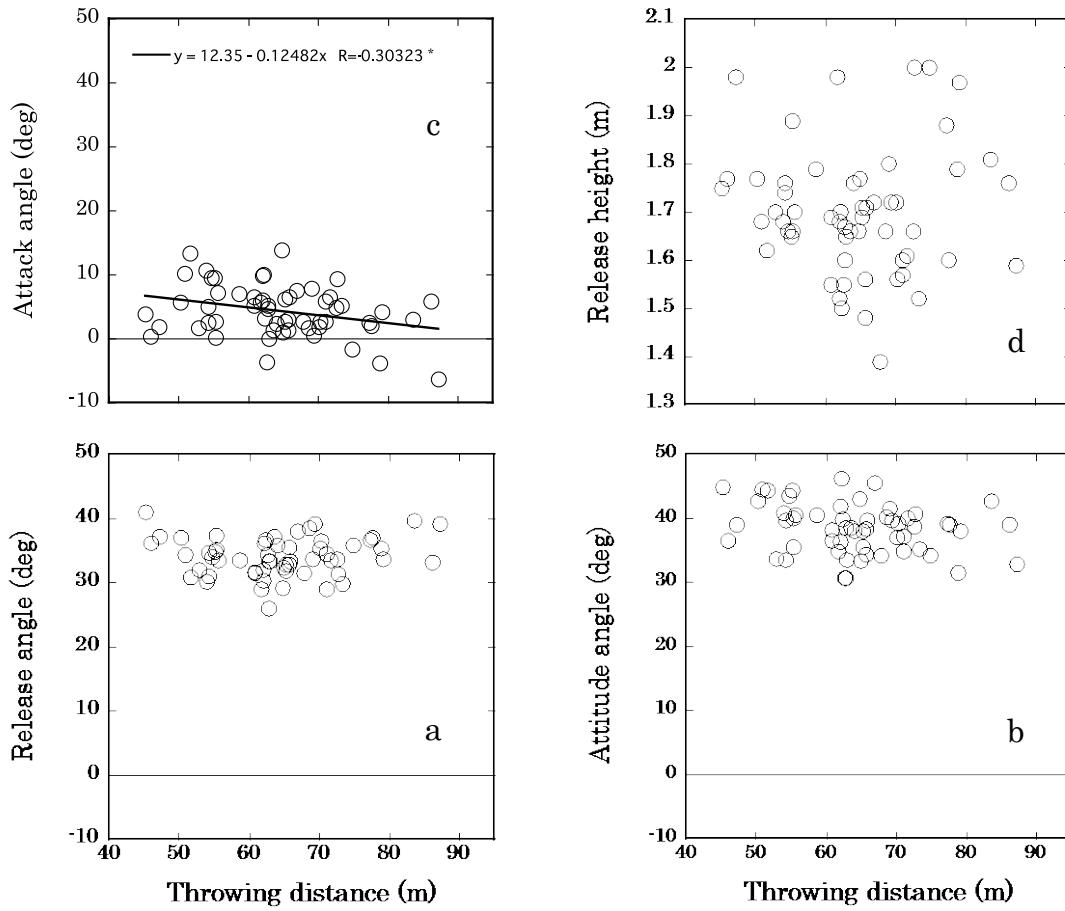


Figure 9. Relationships between the throwing distance and javelin release parameters.

(a) release angle, (b) attitude angle, (c) attack angle, and (d) release angle, respectively.

*: $p < 0.05$

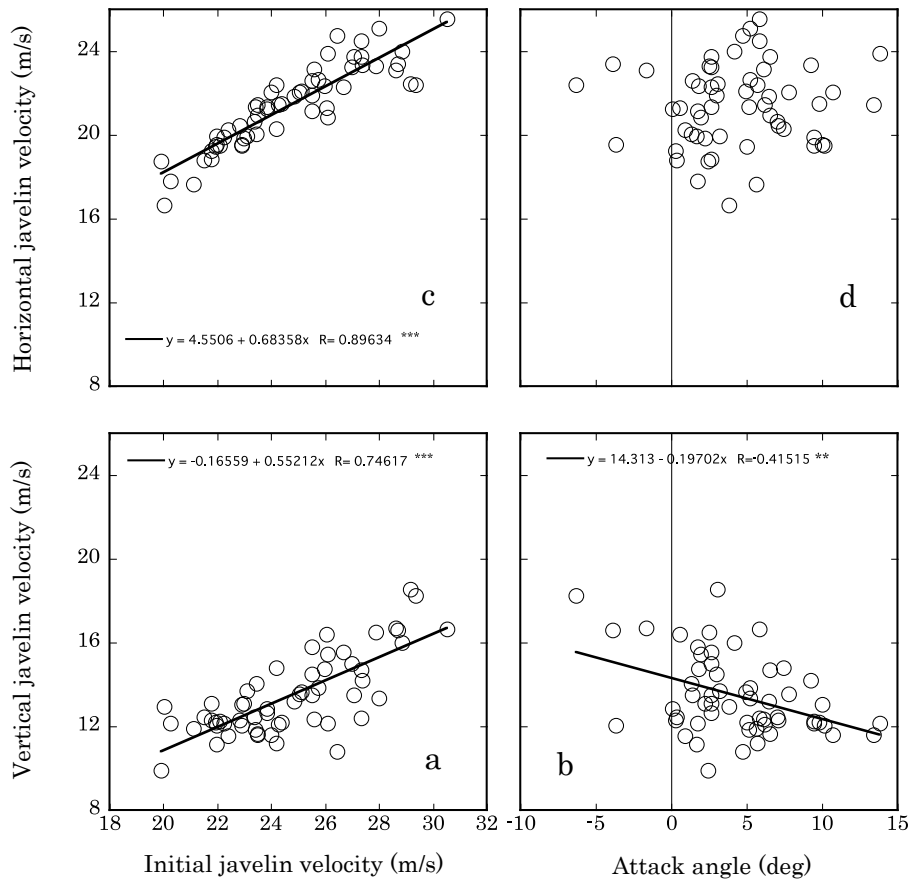


Figure 10. Relationships between the vertical javelin velocity and the initial javelin velocity (a) and attack angle (b) at JRL. Relationships between the horizontal javelin velocity and the initial javelin velocity (c) and attack angle (d) at JRL.

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$

3.2 腕振りと体幹の動作の特徴について (研究課題 2.3)

ΔV_{cg-h} (JRL 時の身体重心速度と FFC 時の身体重心速度との差) と V_{cst} (JRL 時における胸の最大並進速度と前足踵の最大並進速度との差) との間には有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.548$, $p < 0.001$; Figure 11a) が, FFC から JRL までの前脚の股関節

の最大屈曲速度と ΔV_{cg-h} の間には、有意な相関関係は認められなかった (Figure 11b).

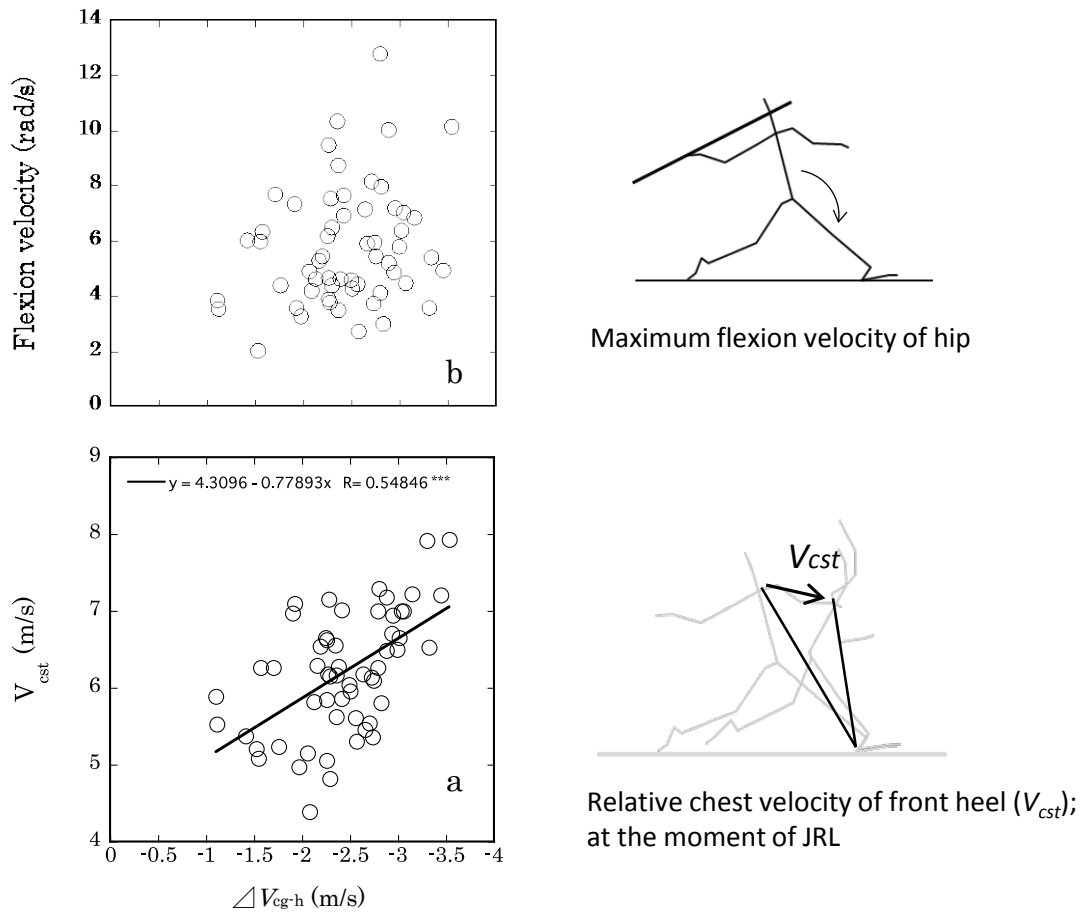


Figure 11. Relationships between the differences of the horizontal velocity of body's center of gravity (B.C.G.) from FFC to JRL (ΔV_{cg-h}) and the relative chest velocity to front heel at JRL (V_{cst}), (a) and between those and the maximum flexion velocity of left hip (b) during release phase.

***: $p < 0.001$

また、JRLにおける体幹の前屈角速度はヤリの初速度の高い選手ほど高い傾向を示し ($r = 0.386$, $p < 0.01$; Figure 12a), 側屈角速度ではヤリの初速度との間に有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.440$, $p < 0.01$; Figure 12b). JRLにおける体幹の前屈角度は、ヤ

りの初速度が高い選手ほどより前屈する傾向を示し ($r = 0.489, p < 0.001$; Figure 12c), 体幹の側屈角度を調べた結果, ほとんどの選手が左側屈していたが, その左側屈角度はヤリの初速度の高い選手ほど小さい傾向を示した ($r = -0.279, p < 0.05$; Figure 12d). この体幹の JRL における肩関節の外転角度はヤリの初速度の高い選手ほど小さく ($r = 0.521, p < 0.001$; Figure 13a), 肘関節角度はヤリの初速度が高い選手ほど屈曲位という傾向を示した ($r = 0.468, p < 0.01$; Figure 13b). しかしながら, 肩関節の水平内・外転角度にはヤリの初速度と有意な相関関係は認められなかった. なお, これらすべての関節運動の角速度とヤリの初速度との間には有意な相関関係は認められなかった. V_{cst} と V_{arm} (肩を中心とした右手の並進速度) については, 有意な正の相関関係が認められ ($r = 0.661, p < 0.001$; Figure 14), また, V_{arm} とヤリの初速度との間にも有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.714, p < 0.001$; Figure 15).

Trunk movement at JRL

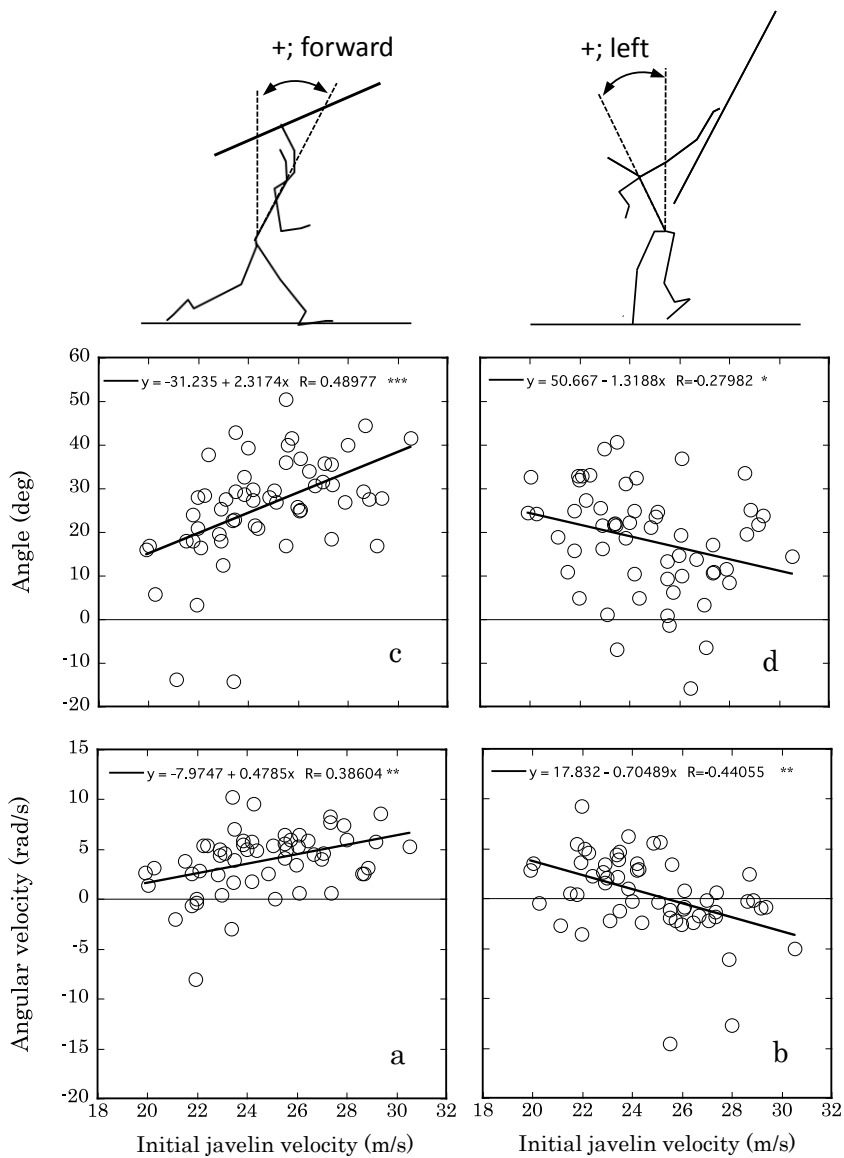


Figure 12. Relationships between the initial javelin velocity and the trunk movements at JRL.

a; angular velocity of forward - backward rotation, b; angular velocity of lateral rotation, c; forward - backward rotation of trunk, d; lateral angle of trunk.

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

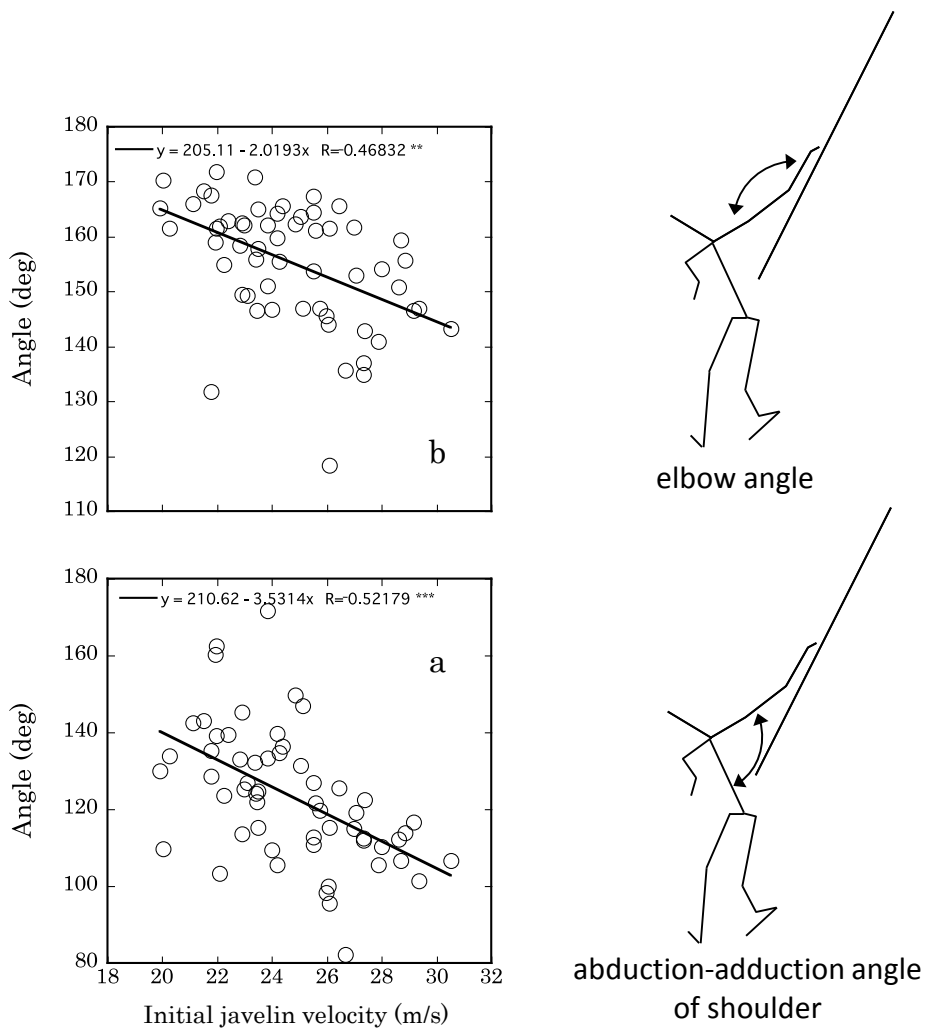


Figure 13. Relationships between the initial javelin velocity and the abduction-adduction joint angle of shoulder (a) and between that and the elbow joint angle (b) at JRL.
 ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$

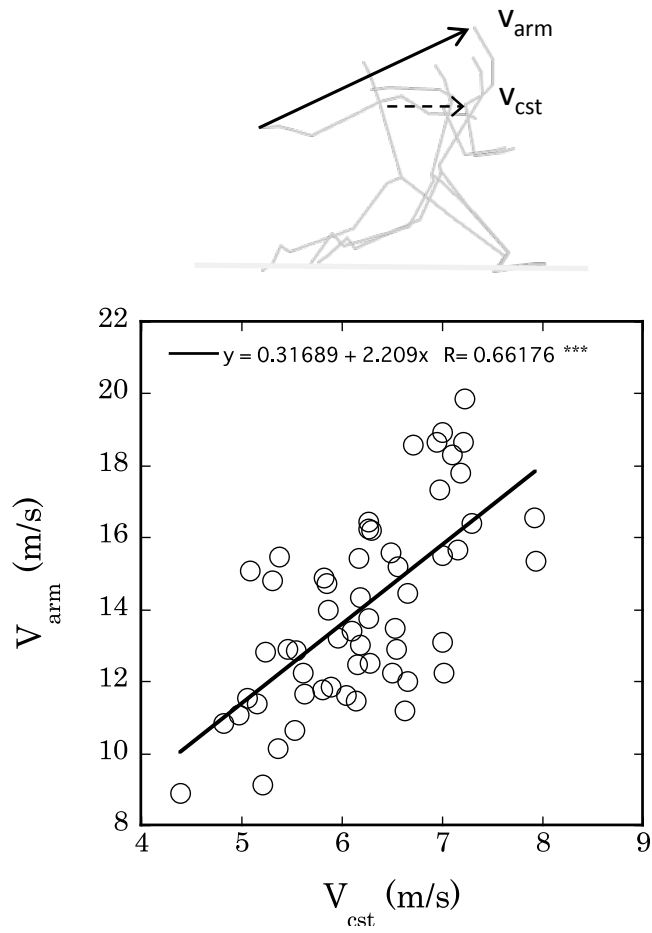


Figure 14. Relationship between the relative chest velocity to the front heel (V_{cst}) and the relative grip velocity to the right shoulder (V_{arm}) at JRL.
 ***: $p < 0.001$

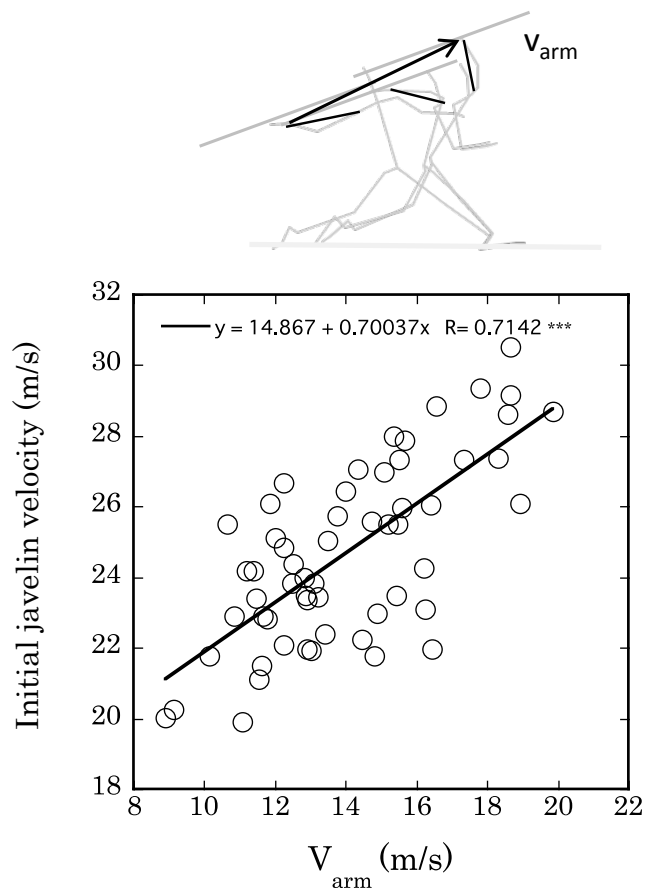


Figure 15. Relationship between the relative grip velocity to right shoulder (V_{arm}) and the initial velocity at JRL.

***: $p < 0.001$

3.3 下肢の動作の特徴について (研究課題 4)

ヤリの初速度と RFC 時の身体重心速度, FFC 時の身体重心速度および JRL の身体重心速度のそれぞれとの間において, ヤリの初速度が高い選手ほどいずれの場面においても身体重心速度は高いという有意な正の相関関係が認められた (それぞれ $r = 0.657, p < 0.001$; $r = 0.737, p < 0.001$; $r = 0.525, p < 0.001$; Figure 16).

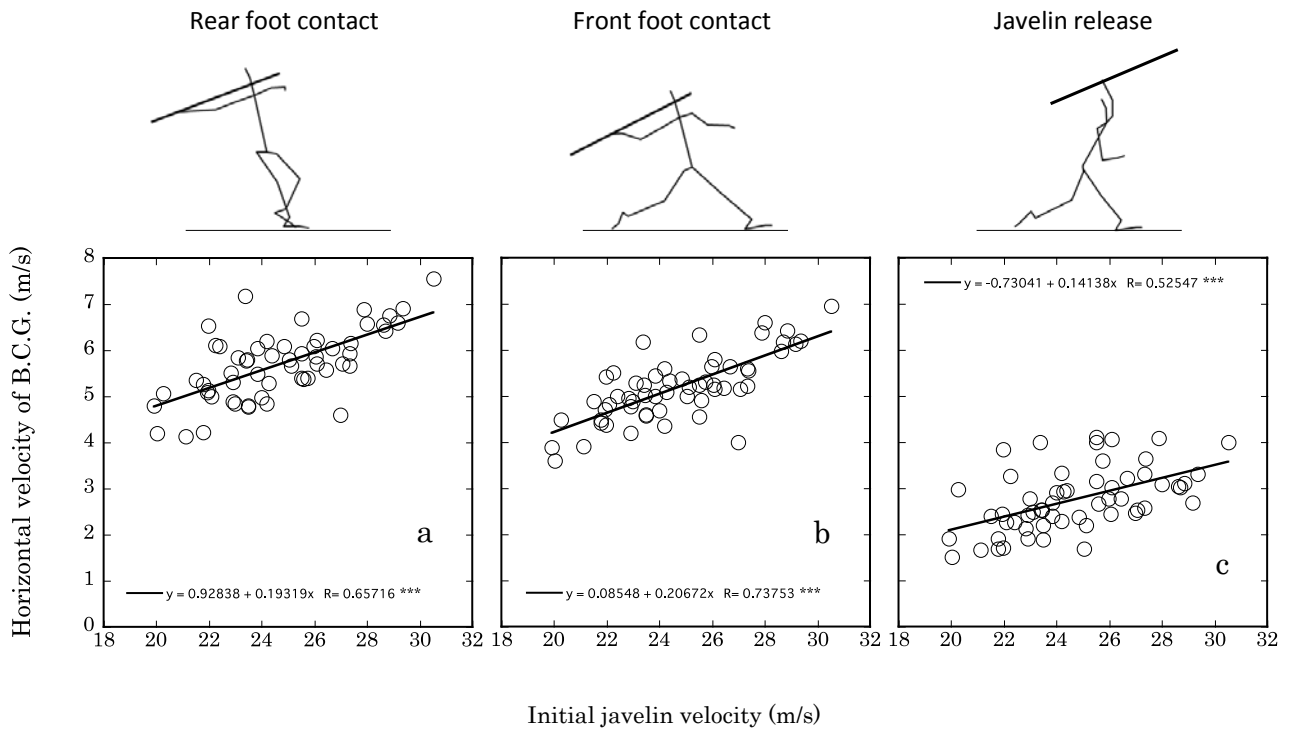


Figure 16. Relationships between the initial velocity and the horizontal velocity of B.C.G. at RFC (a), FFC (b), and JRL (c), respectively.

***: $p < 0.001$

また、FFC 時の身体重心速度と ΔV_{cg-h} との間には、FFC 時の身体重心速度が高い選手ほど JRL に向けて急激に身体重心速度は減速するという有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.435$, $p < 0.01$; Figure 17).

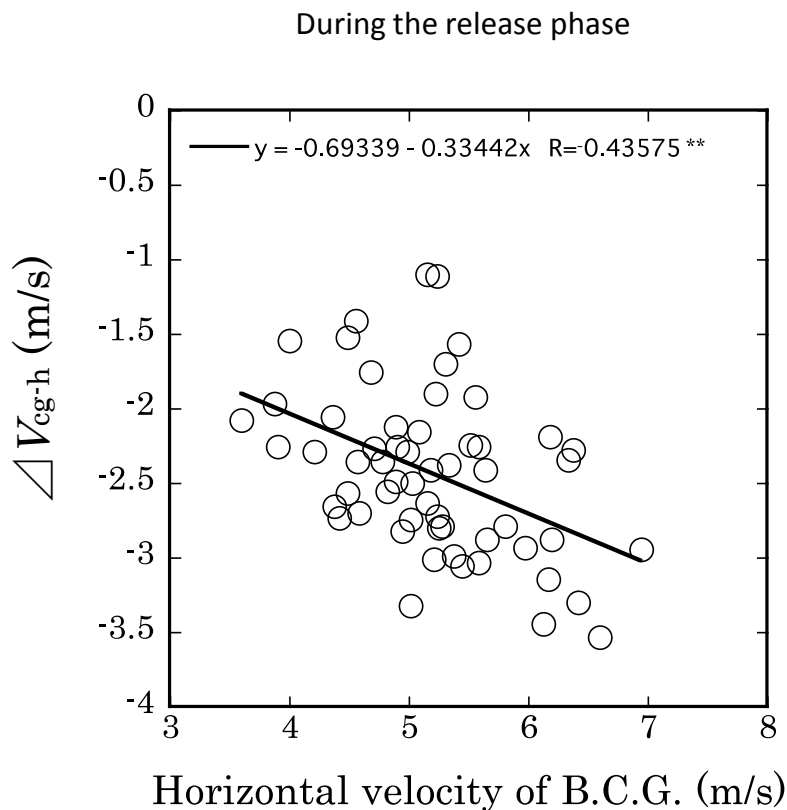


Figure 17. Relationship between the horizontal velocity of B.C.G. at FFC and the difference of the horizontal velocity of B.C.G. from FFC to JRL at JRL (ΔV).

** : $p < 0.01$

そこで、RFC から FFC までのラストステップを詳細に調べるため、そのステップを構成するストライドと FFC 時の身体重心速度との関係およびステップ時間と FFC 時の身体重心速度との関係を調べた。その結果、FFC 時の身体重心速度が高い選手ほどそのステップ時間は短いという有意な負の相関関係が認められたが ($r = -0.435, p < 0.01$; Figure 18a), ストライドは長く有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.604, p < 0.001$; Figure 18b)。

During the preparation phase

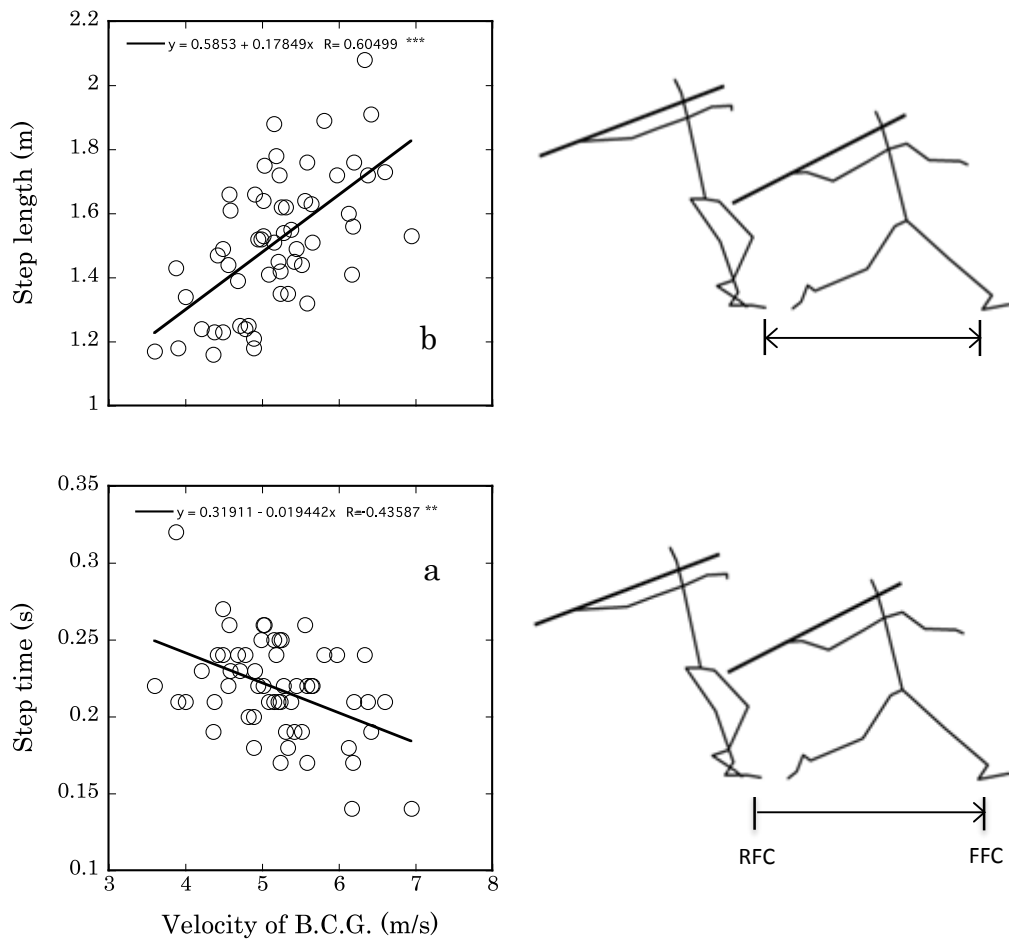


Figure 18. Relationships between the velocity of B.C.G. and the step time (a), and between that and the step length (b) during the preparation phase.
 ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$

このラストステップ（準備局面）における後脚の膝関節角速度（伸展・屈曲速度）は、FFC 時の身体重心速度が高い選手ほど膝関節の屈曲速度は低い傾向を示し ($r = 0.294$, $p < 0.05$; Figure 19a), ヤリの初速度との関係を調べたところ, ヤリの初速度が高い選手ほど膝関節の屈曲角速度は低かった ($r = 0.401$, $p < 0.01$; Figure 19b). また, 有意な相関関

係は認められなかったものの、FFC 時の身体重心速度が高い選手ほど膝関節は伸展しない傾向が観察されたが ($r = 0.262$, n.s.; Figure 19c), ヤリの初速度との関係では, 初速度の高い選手ほど伸展角速度は低かった ($r = -0.441$, $p < 0.001$; Figure 19d).

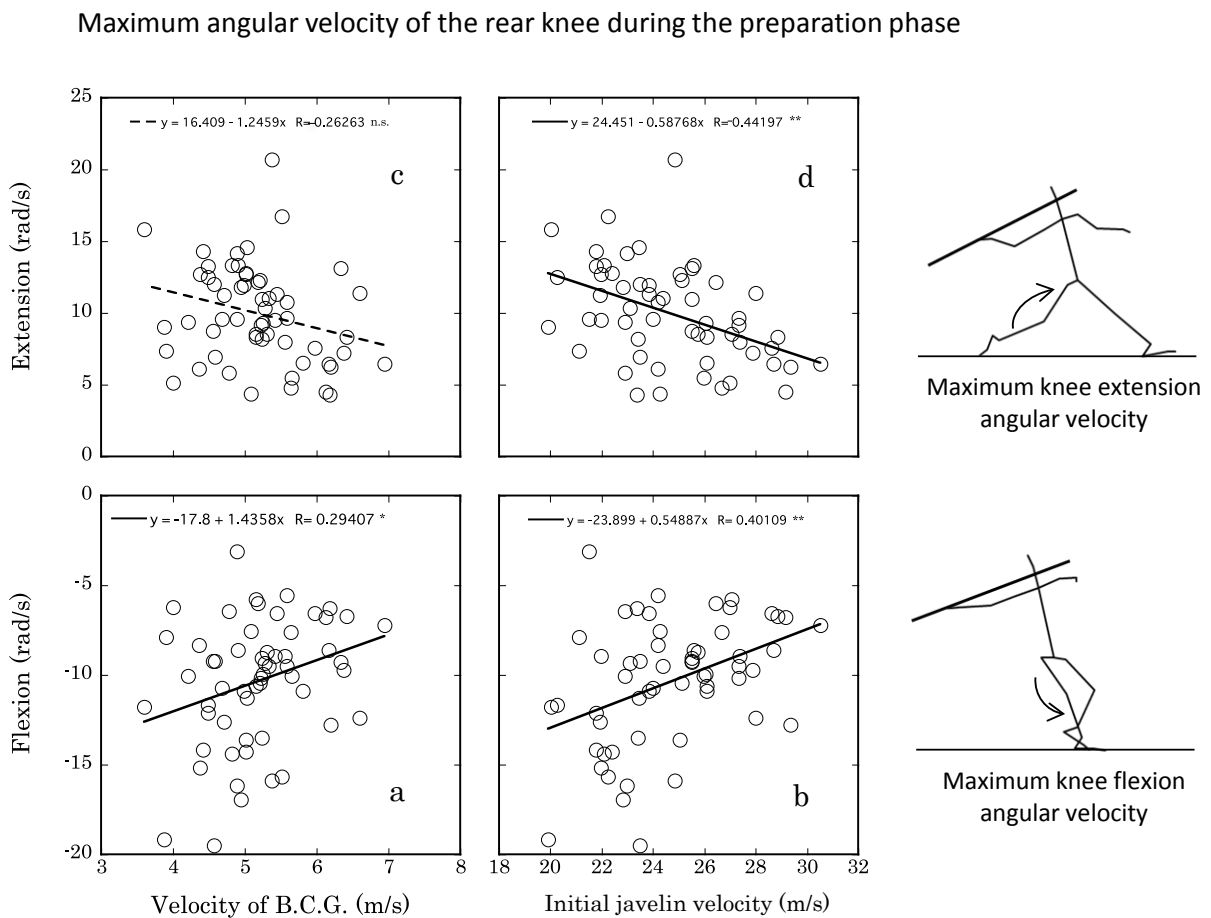


Figure 19. Relationships between the maximum knee flexion angular velocity in the rear leg during the preparation phase and the velocity of B.C.G. at the moment of FFC (a), and between that and the initial javelin velocity (b). Relationships between the maximum knee extension angular velocity in the rear leg during the preparation phase and the velocity of B.C.G. at FFC (c), and between that and initial javelin velocity (d). **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, n.s: not significant

また、FFC 時における前脚の膝関節角度と身体重心速度を調べた結果、FFC 時の身体

重心速度が高い選手ほど前脚の膝関節は伸展位にある傾向を示し ($r = 0.498, p < 0.001$; Figure 20a), ヤリの初速度と前脚の膝関節角度との関係を調べた結果, ヤリの初速度が高い選手ほど前脚の膝関節は伸展位にあり有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.630, p < 0.001$, Figure 20b). 一方, JRL 時には FFC 時の身体重心速度と前脚の膝関節角度との間に有意な相関関係は認められなかったが (Figure 20c), ヤリの初速度と前脚の膝関節との関係を調べた結果, ヤリの初速度が高い選手ほど前脚の膝関節は伸展位にある有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.471, p < 0.001$; Figure 20d).

そして, V_{cst} と FFC から JRL までの前脚の膝関節の最大伸展角度との間には前脚の膝関節が伸展位にある選手ほど前足の踵に対する胸の前方への相対速度 (V_{cst}) が高い有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.359; p < 0.05$; figure 21).

Front knee joint angle during the release phase

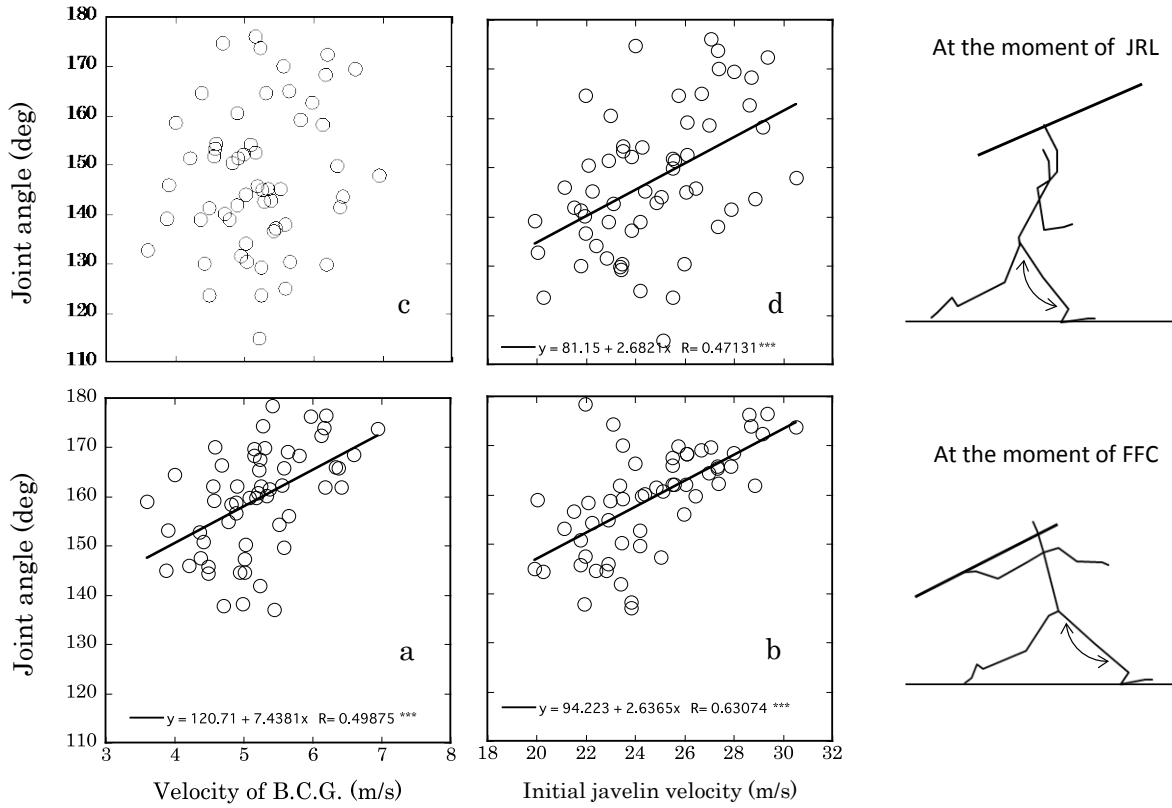


Figure 20. Relationships between the knee joint angle at FFC and the velocity of B.C.G. at FFC (a), between that and the initial javelin velocity (b), and between the knee joint angle at JRL and the velocity of B.C.G. at FFC (c), between that and the initial javelin velocity (d) in the front leg during the release phase.

***: $p < 0.001$

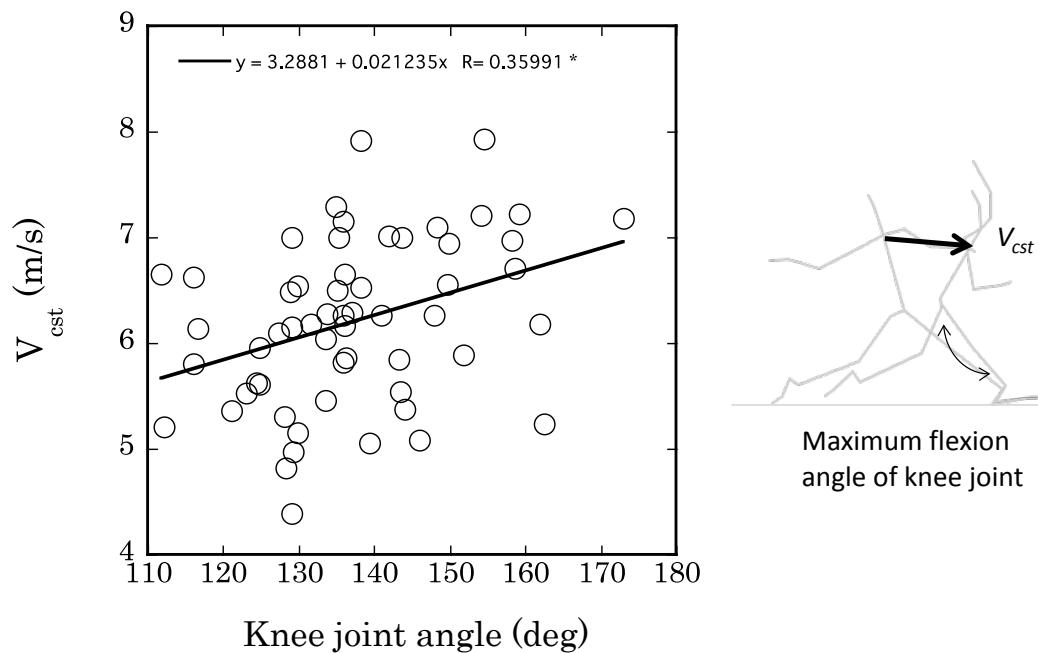


Figure 21. The relationship between the maximum flexion angle of front knee joint during the release phase and the relative chest velocity to front heel at JRL (V_{cst}).

*: $p < 0.05$

第4章 考察

やり投げ競技における運動局面をリリースへ向けた時系列で表すと、1) 助走とクロスステップを含む助走局面と、2) 後足接地から前足接地までの準備局面、3) 前足接地からヤリのリリースまでの投てき局面の3局面に分類される (Figure 1)。本研究の目的は、これら3局面について幅広い競技レベルの選手における投てき動作の3次元動作解析を通して、パフォーマンスと投てき動作の関係を用いて検討し、コーチング現場に役立つ科学的知見を得ることとした。本研究で得られた主な知見は以下の通りである。

- 1) パフォーマンスを向上させるために最も重要なリリースパラメータは、空気抵抗など

の影響により投てき距離は増減する可能性があるものの、リリースまでにヤリの速度をどれだけ高められるかで決まる。そして、水平速度のみならず鉛直速度も高め、できるだけ迎え角を小さくしてリリースをすることであった（研究課題 1）。

- 2) ヤリの初速度の高い選手は、肘関節の屈曲位を保ちながらおよそ 110 度程度の外転位で速い腕振りを行っていた（研究課題 2）。
- 3) 速い腕の振りを実現できた選手は、前足の接地時（FFC）によって高い身体重心速度を急激に低下させ、膝関節の伸展位を保った前足の接地によって、身体全体の前方への回転運動を利用しながらより直立位に近い姿勢でヤリをリリースしていた（研究課題 2, 3）。
- 4) 高い身体重心速度は、短距離走者のキック動作に酷似した後脚のキック動作によって前足の接地時（FFC）まで身体を素早く前進させ、ストライドを長く取ることで身体全体の前方への回転運動を行っていた（研究課題 4）。

4.1 リリースパラメータについて（研究課題 1）

競技会において使用が認められているヤリは、全長 2.6–2.7 m、質量 800 g 以上、最大径は 0.025–0.03 m 以内と規定されている。したがって、やり投げ競技はその他の投てき種目と比較して、空中にリリースされた直後から空気抵抗などの影響を受けやすい。そこで、実投てき距離と理論投てき距離との関係を調べた結果、1/3 程度の選手で理論投てき距離より実投てき距離の方が短くなり、残りの 2/3 程度の選手が理論投てき距離よりも実投てき距離が長くなる傾向を示した（Figure 8a）。理論投てき距離は、弾道方程式に本研

究で計測したヤリの初速度，投射角および投射高を用いて算出しているが，競技会で記録した投てき距離が理論投てき距離より増減するという結果は，リリース後の空気抵抗などの影響を受けた（若山 1994, 前田 1996）可能性を示している．そこで，本研究では実際の投てき距離とリリースパラメータ（リリース初期）との関係を検討した．その結果，実投てき距離が長い選手ほど初速度が高い傾向を示し（Figure 8b），迎え角は小さい傾向が認められた（Figure 9c）．これらの結果は，初速度の低かった選手は迎え角を少し大きくすることにより揚力を得て実投てき距離を増加させた可能性があるが，それとは反対に，一流やり投げ選手はリリース初期の初速度が高いため迎え角を小さくして空気抵抗などの影響を減らそうとしていた可能性がある．また，本研究では実投てき距離と迎え角との間に有意な負の相関関係が認められたことから，迎え角がリリース初期の空気抵抗を減らす可能性に着目し，初速度を2成分に分類した水平速度成分と鉛直速度成分と迎え角との関係について調査した．その結果，ヤリの初速度が高い選手ほど水平・鉛直速度ともに高かったが，鉛直速度が高い選手ほど迎え角は小さい有意な負の相関関係にあった（Figure 10b）．つまり，一流やり投げ選手は高いヤリの水平方向の速度に加え，鉛直方向の速度も高めることによって，迎え角の小さいヤリのリリースを実現し，リリース初期の空気抵抗の影響を軽減していたと考えられた（Figure 22）．

このように，競技会で記録された投てき距離はリリース初期から空気抵抗などの影響を受け増減する可能性が高い．本研究では異なる競技会でのデータをサンプリングしているため，リリース後の空気抵抗の影響を除いたヤリの初速度が身体パフォーマンスを適切に評価できる指標と考え，ヤリの初速度と投てき動作との関係について検討した．

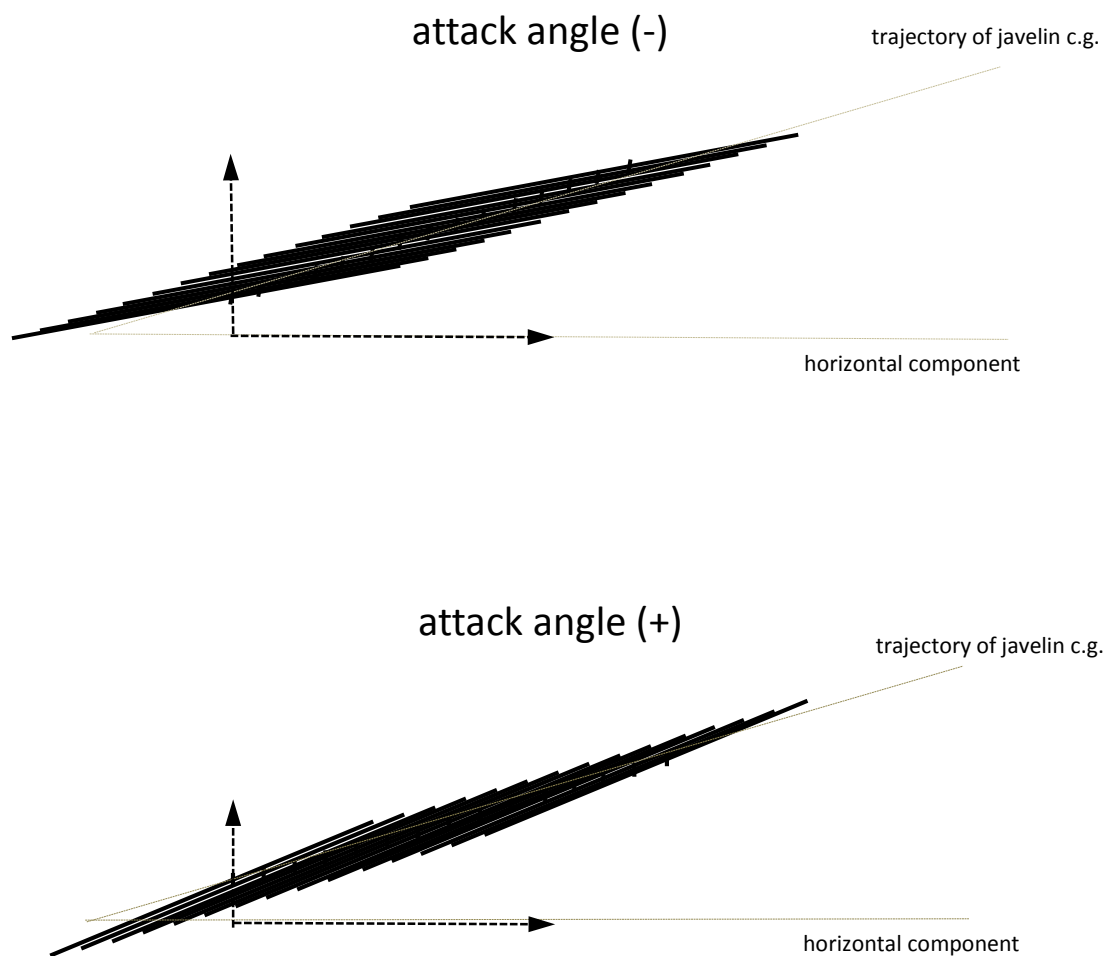


Figure 22. The model of the javelin trajectories for difference attack angle situations.

The minus javelin attack lines can increase the vertical javelin velocity as compared with the plus javelin attack line condition.

4.2 腕振りと体幹の動作の特徴について（研究課題 2, 3）

本研究では、理論距離と実投てき距離との関係を調べた結果、多くの選手で 45 度線を下回る結果（空気抵抗を無視した推定記録より実測値の方が大きかった）が得られたことから、リリース後に空気抵抗などの影響を受けて増減する投てき距離よりも、ヤリの初速

度が投てき距離に関係する直接的なリリースパラメータであると考えられた。ヤリの初速度を高めるには、助走ののちにオーバーハンドからヤリをリリースするまでにヤリを速度を高めることが可能な腕振り動作や体幹の動作が関係しており、幅広い競技レベルにおけるやり投げ選手のデータ比較から以下の知見が得ることができた。

ヤリの初速度が高い選手ほど V_{arm} (肩を中心とした右手の相対速度；腕振り速度) は高く (Figure 15) , JRL における肩関節の外転角度は小さく (Figure 13a) , 肘関節角度は屈曲位であった (Figure 13b) . つまり、初速度の高い選手ほど腕振り動作が速く、その速い腕振り動作は、コーチング現場の指導とは異なり、肘を高く挙げず曲げた状態によって行なわれていた。テニスのサービス動作について調べた Tanabe & Ito (2007) の研究でも、肩関節の内旋運動はラケット速度を高めるために貢献すると報告しており、やり投競技においても肩関節の内旋運動はヤリの初速度を高めるために必要な運動技術であると推察された。

速い腕振り動作によってヤリは高い速度を持ってリリースされる。また、上述した合理的な腕振り動作は体幹部の運動によって導かれるため、体幹部から上肢へのスムーズな運動連鎖が必要であると報告されている (若山, 1995) . 本研究においても、JRL 時の V_{cst} (前足の踵を中心とした胸の水平相対速度) が高い選手ほど腕振りの速度が速く (Figure 14) , 投てき局面における身体重心速度の増減の大きさを示す ΔV_{cg-h} が大きい (より身体重心速度の減速が大きい) 選手ほど V_{cst} も高くなることから (Figure 11a) , FFC からの身体重心速度が急激に減少し、身体全体の前方回転を高めることができた選手ほど速い腕振り動作を獲得できたのではないかと考えられた。それに対して腕振り速度が低かった選

手は、投てき局面において身体重心速度を減速させることができず、身体の前方向回転も遅かった。一般的には、物体が持つ並進速度をある点によって急激に静止すると、その点を支点として進行方向へ慣性が働き回転運動が生じる。すなわち、本研究では、初速度の高い選手は FFC 時における身体重心速度を投てき局面で急激に減少させ (Figure 17)、その後、身体全体の前方向への高い回転速度に効果的に変換していたことを示唆している。そして、一流やり投げ選手は、この身体全体の前方向回転に速い腕の振りを上乗せしながら体幹部は矢状面でより前屈し、前額面内では直立位に近い姿勢でヤリをリリースしていたと考えられる。

4.3 下肢の動作の特徴について (研究課題 4)

前項では、ヤリの初速度の高い選手ほど、高い身体重心速度を前足の接地によって急激に減少させ、身体全体の前方向への回転速度に変換していた。そこで、ヤリの初速度と RFC 時、FFC 時そして JRL 時における身体重心速度との関係を調べた結果、全ての局面でヤリの初速度が高い選手ほど身体重心速度は高かったが (Figure 16)、初速度が高い選手ほど FFC 時まで高い身体重心速度を維持していた。ヤリの中に加速度計を設置し選手がヤリに加えた力を測定した前田ら (1994) の研究によると、RFC 後から 3 軸それぞれ活発な波形が見られたことから FFC よりも RFC から投てき動作は開始されるであろうと報告している。したがって、準備局面における下肢の動作が、その後の上肢による投てき動作に作用していることから、FFC 時まで高い身体重心速度を維持して投てき方向へ運ぶ下肢の動作が重要となる。そこで、準備局面における後脚の膝関節の最大屈曲・伸展角速度と

ヤリの初速度との関係について調べた結果、やりの初速度が高い選手ほど後脚の膝関節の伸展・屈強運動は小さい傾向が明らかとなった (Figure 19). これらの結果は、短距離走者のキック動作を調べた伊藤ら (1998) の結果と酷似しており、やり投げ選手においても身体重心を効率よく前進させる合理的なキック動作を習得する必要性を示唆している (Figure 23). そして、一流やり投げ選手は、後脚の膝関節の伸展屈曲運動を制限し、身体重心を素早く投てき方向に運ぶことにより、短い時間の中で大きなストライドを確保していたことが明らかとなった (Figure 18). これらの結果から、ヤリの初速度が高い選手ほど高い身体重心速度を維持し前足の接地を迎えるが、投てき局面において常に膝関節は伸展位を保っていたことから (Figure 20), 身体全体の投てき方向への回転速度に変換できたのではないかと考えられた.

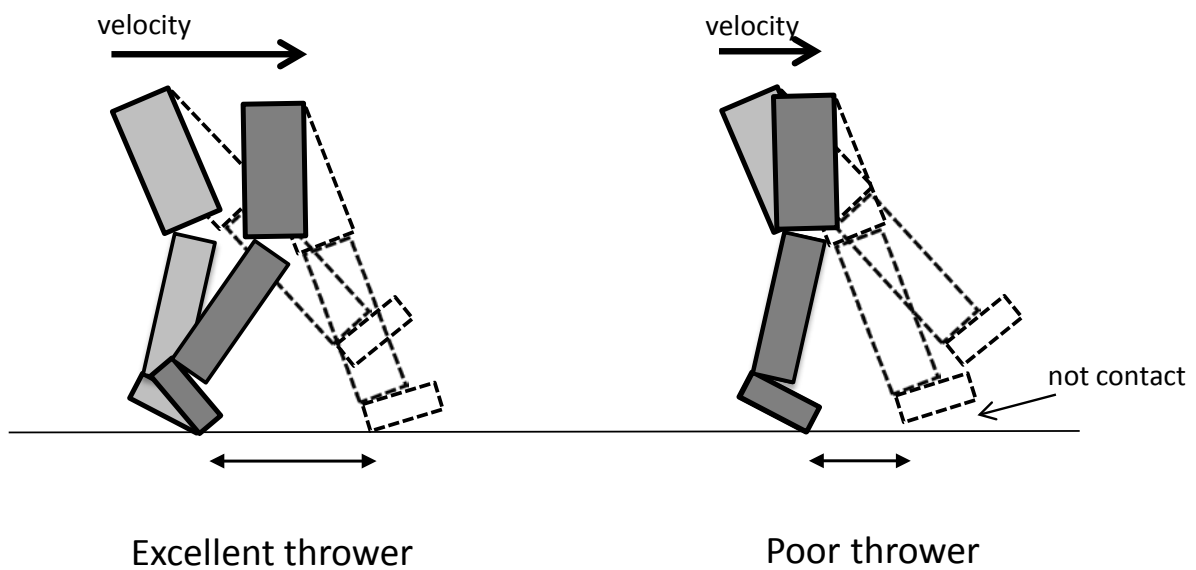


Figure 23. Schema of the kick movements for excellent & poor javelin throwers.

The left figure shows the kick movement of excellent thrower. The right figure shows the kick movement of poor thrower.

The two figures shows the differences of extension movement of the rear knee joint.

第5章 結論

本研究では、数多くの異なる競技レベルの選手のヤリの初速度と投てき動作との関係について詳細に調べ、一流やり投げ選手の投てき動作の特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、以下に示す知見を得ることができた。

5.1 リリースパラメータについて（研究課題 1）

実際の競技会における数多くの選手のリリースパラメータの相互の関係性を分析した結果、一流やり投げ選手は高いヤリの水平方向の速度に加え、鉛直方向の速度も高めることによって、ヤリの姿勢角（ヤリの穂先の方向）に沿ってヤリをリリースし（小さい迎え角を実現）、リリース初期の空気抵抗などの影響を軽減している可能性がある。

5.2 腕振りと体幹の動作の特徴について（研究課題 2.3）

やり投競技におけるオーバーハンドの腕振りでは、一流やり投げ選手は肘関節を屈曲位に保ち、より小さな肩関節の外転位によって速い腕振り動作を行っていたことが明らかとなった。つまり、肩関節の内旋運動によって高い速度で腕振りが可能となったと考えられる。体幹の動作に関して、準備局面の身体重心速度が遅かった選手と比較して、高い選手の身体重心速度は投てき局面で急激に減少し (Figure 17)、その後、身体全体の前方への高い回転速度に効果的に変換していたことを示唆している。そして、一流やり投げ選手は、この身体全体の前方回転に速い腕の振りを上乘せしながら体幹部は矢状面でより前屈し、前額面内では直立位に近い姿勢でヤリをリリースしていたと考えられる。

5.3 下肢の動作の特徴について (研究課題 4)

一流やり投げ選手は、前足接地まで高い身体重心速度を維持することが可能で、それは、後脚の膝関節の伸展屈曲運動を制限し、身体重心を素早く投てき方向に運ぶことにより、短い時間の中で大きなストライドを確保していた。そして、高い身体重心速度を維持し前足の接地を迎えるが、ヤリの初速度が高い選手ほど投てき局面において常に膝関節は伸展位を保っていたことから、身体全体の投てき方向への回転速度に変換できたのではないかと考えられた。

5.4 コーチング現場への示唆

5.4.1 至適なヤリのリリースについて

コーチング現場では、リリース時のヤリの初速度をできるだけ高めることは広く知られているが、迎え角を小さくしようとした投てき練習はあまり実施されていない。本研究の

結果は、できるだけヤリの初速度を高めることを大前提にし、そして迎え角は小さくすることを明らかにした。したがって、選手は初速度が高まるにつれて迎え角を小さくしてリリース初期の空気抵抗を減らす工夫が必要であることを示唆した。

5.4.2 下肢の動作について

本研究の結果は、合理的な後脚のキック動作によって高い身体重心速度を FFC まで維持し、伸展位を保った前脚の膝関節によって身体全体の前方回転を引き起こしていた。したがって、やり投げ競技においても高い疾走速度による走トレーニングによって身体重心を前進させるための合理的なキック動作を習得する必要性を示し、身体全体の前方回転を支持できる脚の強い伸展筋力向上の体力トレーニングも重要であることを示唆した。

5.4.3 体幹の動作について

本研究は一流やり投げ選手ほどステップ時間が短く、投てき局面における身体全体の前方への回転速度も高かった。また、JRL では体幹部より前屈し左右の側屈は小さかった（直立位）。したがって、短い時間の中で効果的にヤリに力を加えるためには、前足接地後に身体全体の素早い前屈運動を利用した投てき動作をしなければならない。

5.4.4 腕振り動作について

ヤリの初速度の高い選手ほど肘関節はより屈曲位にあり、肩関節はより内転位で腕振りが行われていた。これらの結果は、やり投げ競技を含むオーバーハンドの腕振りに関する一般的なコーチングとは正反対の結果となった。つまり、ヤリの初速度を高めるための合理的な腕振り動作は、肘を高く挙上した状態で腕を振るのではなく、逆に肘を低くした状態で速い腕振り動作（肩関節の内旋運動）の習得を目指す必要性を示唆した。

5.5 研究の限界

本研究の実験は、競技会運営上の制約から競技場の最上段から撮影をしなければならなかった。また、その分析対象にした動作範囲が広範囲であったため画角が必然的に小さくなり、特に肩関節の内・外旋運動に分析上の測定誤差が生じやすかった。そのため、そのような値が出現した選手は本研究の被験者として扱わなかった。その他に、被験者の競技年数や体力、体格の違いなどについて考慮していないため、カテゴリーや性の異なる選手（使用するヤリの形状や質量も異なる）に対して得られた知見を普遍化および一般化することには限界があると考えられる。

5.6 今後の課題

本研究は、数多くのやり投げ選手の投てき動作について分析し、一流やり投げ選手の投てき動作の特徴を示すことに成功し、選手が習得すべき投てき動作やコーチングを行う際に留意すべき技術的課題を明らかにすることができた。しかしながら、本研究で明らかにした知見のみでは個人における縦断的な変容やトレーナビリティに関する知見を得ることは難しい。したがって今後の研究課題は、より選手個人のパフォーマンスの向上を支える科学的根拠の提供を目指し、技術習得パターンと投てき動作の縦断的な成立プロセスを明確にしていくことであると考えられる。また、やり投げ競技に認められている助走がパフォーマンスを向上させるための大切な要因であると明らかしたが、助走に関するバイオメカニクス的研究はほとんど行われていないことから早急に取り組む必要が考えられる。

参考文献

- 阿江 通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性特性. *Japan Journal of Sports Sciences*, 15, 155-162
- Bartlett, R., Muller, E., Raschner, C., Lindinger, S., Brunner, F., & Morris, C. (1996) Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 58-71.
- Best, R.J., & Bartlett, M. R. (1988) Computer flight simulation of the men's new rules javelin. *Biomechanics XI-B*, 588-594.
- Best, R. J., Bartlett, M. R. & Sawyer, R. A. (1995) Optimal javelin release. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 371-394.
- Hubbard, M., & Always, L.W. (1987) Optimal release conditions for the new rules javelin. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3, 207-221.
- 池上 康男 (1982) やり投げ考. *Japanese Journal Sports Science*, 99-103.
- 伊藤 章, 市川 博啓, 斉藤 昌久, 佐川 和則, 伊藤 道郎, 小林 寛道 (1998) 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究*, 43, 260-273.
- Koitai, J. (1985) *Athletics in action. The official International Amateur Athletics Federation book of track and field techniques.*
- Komi, P.V., & Mero, A. (1985) Biomechanical analysis of Olympic javelin throwers.

International Journal of Sport Biomechanics, 1, 139-150.

Liu, H., Leigh, S., & Yu, B. (2014) Comparison of sequence of trunk and arm motions between short and long official distance groups in javelin throwing. Sports Biomechanics, 13, (1), 17-32.

前田 正登, 野村 治夫, 社本 英二, 森脇 俊道 (1994) やり投におけるヤリに加わる力の測定. 体育学研究, 39, 109-117.

前田 正登 (1996) やり投げにおけるヤリの飛行挙動, Japanese Journal Sports Science, 15, (3), 207-213.

松井 秀治, 桜井 伸二, 池上 康男, 岡本 敦, 石井 浩司, 横坂 貴, 小林 寛道 (1989) やり投げの三次元的映像分析. スポーツ医・科学, 3, (1), 41-46.

Mero, A., Komi, P.V., Korjus, T., Navarro, E., & Gregor, R.J. (1994) Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. Journal of Applied Biomechanics, 10, 166-177.

Miller, D.I., & Munro, C.F. (1983) Javelin position and velocity patterns during final foot plant preceding prelease. Journal of Human Movement Studies, 9, 1-20.

Morris, C., Bartlett, R., & Fowler, N. (1997) Biomechanical analysis of the men's javelin throw at the 1995 world championships in athletics. New Studies in Athletics, 12, (2) , 31-41.

Morris, C., Bartlett, R., & Navarro, E. (2001) The function of blocking in elite javelin throwers: a re-evaluation. Journal of Human Movement Studies, 5, 175-190.

日本陸上競技連盟 (2013) 陸上競技指導教本アンダー 16.19 [初級編] 基礎から身につく陸上競技. 大修館書店.

日本陸上競技連盟 (2016) 陸上競技ルールブック. ベースボール・マガジン社.

日本陸上競技連盟 (2017) JAAF VISION 2017. 公益財団法人日本陸上競技連盟.

野友 宏則, 富樫 時子, 阿江 通良 (1998) 記録水準の異なる選手のやり投動作に関するキネマティクスの研究. 陸上競技研究, 32, (1), 32-39.

Tauchi, K., Murakami, M., Endo, T., Takesako, H., & Gomi, K. (2009) Biomechanical analysis of elite javelin throwing technique at the 2007 IAAF World Championships in Athletics. Bulletin of Studies in Athletics of JAAF, 5, 143-149.

田内 健二, 藤田 善也, 遠藤 俊典 (2012) 男子やり投げにおける投てき動作の評価基準. バイオメカニクス研究, 16, (1), 2-11.

Tanabe, S., & Ito, A. (2007) A three-dimensional analysis of the contributions of upper limb joint movements to horizontal racket head velocity at ball impact during tennis serving. Sports Biomechanics, 6, 418-433.

トム・エッカー：澤村 博 監訳ほか (1999) 基礎からの陸上競技バイオメカニクス. ベースボール・マガジン社, <Ecker, T (1999) Basic Track & Field Biomechanics, 2nd Edition, California.>

若山 章信, 田附 俊一, 小島 俊久, 池上 康男, 桜井 伸二, 岡本 敦, 植屋 清見, 中村 和彦 (1994) やり投げのバイオメカニクスの分析. 佐々木 秀幸, 小林 寛道, 阿江 通良 監修, 世界一流競技者の技術, ベースボール・マガジン社.

若山 章信 (1995) やり投げ動作における身体各セグメントの運動連鎖と上肢体筋群の収縮機序. 第12回バイオメカニクス学会大会論集, 289-293.

Whiting, W.C., Gregor, R.J., & Halushka, M. (1991) Body segment and release parameter contributions to New-Rules javelin throwing. *Journal of Applied Biomechanics*, 7, 111-124.

Yokoi, T., & McNitty-Gray, J.L. (1990) A threshold to determine optimum cut-off frequency in automatic data smoothing using digital filter. *Proceedings for American Society of Biomechanics 14th Annual meeting*, 209-210.