

平成 28 年度
順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

国内上級円盤投競技者における 投擲動作の特徴

氏 名 小林 寛雅
論文指導教員 佐久間 和彦

合格年月日 平成 29 年 2 月 20 日

論文審査員 主査 青木 和浩

副査 高梨 雄太

副査 佐久間 和彦

目次

第1章	緒言.....	2-4
第2章	関連文献の考証.....	5-7
	第1節.....	5-6
	第2節.....	6-7
	第3節.....	7
第3章	研究目的.....	8
第4章	研究方法.....	9-14
	第1節 調査対象者.....	9
	第2節 データ収集.....	9-10
	第3節 データ処理.....	10
	第4節 データ分析.....	10-11
第5章	結果及び考察.....	12
	第1節 スイング開始.....	12
	第2節 左足離地.....	12-13
	第3節 右足接地.....	13-14
	第4節 左足接地.....	14-15
	第5節 リリース.....	15
	第6節 投擲動作全体の流れ.....	15
	第7節 指導現場への示唆.....	15-16
	第8節 今後の課題.....	16
第6章	結論.....	17
	要約	
	謝辞	
	引用文献	
	図表一覧	
	英文要約	

第1章 緒言

陸上競技の種目の一つである円盤投は男子で2.0kg、女子では1.0kgと男女間で異なる重量の円盤を使用して、直径2.5mのサークル内からターン等の技術を用いて円盤を投げ出し、その飛距離を競う競技種目である。近年、円盤投における国内上級の競技者は世界でも活躍できるレベルに少しずつであるが、近づいてきており²⁷⁾、2007年世界選手権大会、円盤投において畑山茂雄選手が日本代表で出場した。また、2013年ユニバーシアード競技大会、男子円盤投において、堤雄司選手が58m43の記録で8位入賞、2016年世界ジュニア選手権大会（20歳未満）男子円盤投において幸長慎一選手が58m50の記録で8位入賞（世界ジュニア規格男子1.75kg）の成績を残した。

国内上級競技者は技術的に優れていることはいままでもないが、さらに身体能力に優れているといえる⁸⁾²⁸⁾²⁹⁾。一般に円盤投の飛距離は、円盤が手から離れる瞬間（リリース時）の円盤の速度、投射角と投射高、および飛行中の空気抵抗によって決定される。中でも、投射距離を決定する最も重要な要因は、リリース時の初速度であることが多くの研究によって報告されている⁶⁾¹⁴⁾²⁷⁾²⁸⁾。その高い初速度を獲得する前提条件として投擲動作前半で鉛直軸周りの大きな正の角運動量を獲得することが重要であり、この投擲動作前半では好記録を有する競技者ほど投擲方向への地面反力が大きい一方で身体重心速度の増加が低いことが報告されている³⁾¹⁷⁾¹⁸⁾²⁰⁾。そして、右利き競技者の場合、左脚を中心に回転するターン動作のスタートである右足離地の局面では、地面反力の大きさと競技力との間に正の相関関係が認められている。つまりキック動作により大きな地面反力を獲得することで、並進速度を高めるのではなく、大きな角運動量を獲得することが重要とされている。また、動作の中で右足関節の屈曲と競技力との間に相関関係がみられたものの、それは右足関節ではなく、加速した右足片脚支持期においてより大きな筋群の動員に対する要求が高まることの影響と考えられることから膝関節、股関節に生じていたと報告されている⁸⁾。重要な要素の初速度は投擲動作前半に得た角運動量が水平速度の96%を決定するなど、入りの重要性が説かれていて技術的にみると上級競技者は入り局面において効率よく速度を獲得するために下肢の動作を工夫していると考えられている。また、飛距離を伸ばすために重要だと考えられている技術として、「体幹の捻り」が挙げられる。円盤投では特にパワーポジション

ンのときの体幹の捻りが大きい程、高いパフォーマンスを発揮できると考えられている¹⁹⁾。Hay と Yu⁹⁾ によると、円盤速度の 68%がパワーポジションからリリースまでの間で決定される。このとき、体幹の捻りが大きい程、リリースポイントまで円盤が移動する距離が長くなり、円盤が加速する時間が長くなる。その結果、より遠くへと円盤を飛翔させることが出来ると考えられる。

これらのことから、国内上級競技者だけでなく、現在のトレーニング現場において、「上下動をしない方が良い」や「下肢の関節角度を固定すること、動作に意識をもつ」などと、地面反力を効率よく利用するための動作や意識、感覚の工夫が注目されている。

また、予備調査の中で投擲動作の中でも下肢焦点を当てた下肢動作に関するアンケート調査を国内上級競技者 5 名、中級者 3 名に対し実施したところ、「ターン動作の中で重要だと思う局面はどこの局面か？」という質問の中で、右足離地時の左足片脚支持期についての答えが多く、その中でも「回転動作中は基本地面に対して圧力をかける、下に押す」、「右足の動作はできるだけ大きくに回し円を大きくつり出す」、「爪先を外側に大きく通すように振り込む」、「右足を素早く振る、踏ん張る」という意見が多くみられ、最大限に右足を意識し動作に繋がれば円盤とのつりあいや、セカンドターンへの先取りがこなせるなど、入り局面の片足支持期の重要性や、動作の中の下肢について特に意識していることが推察される。

そのため、コーチングの現場では入り局面の下肢の運動を重視した指導がなされることが多いが指導者と選手の感覚に依存した技術練習が多く、また、両者の感覚には相違があり曖昧なこともあるため、投擲動作前半の動きについて明らかにする必要がある。

しかしながら、上記の下肢動作とパフォーマンスとの関係性については現場的な観点を力学的な推論で理由づけしたに過ぎず、下肢の運動を 3 次元的にリアルタイム計測し、パフォーマンスとの関連性を定量的に明らかにした研究はない。この理由として、円盤投において、股関節・膝関節を構成する骨盤・大腿・下腿の運動を 3 次元計測することが、従来のカメラを用いた方法論では困難なことが挙げられる。

そこで無線式慣性センサを使用することで効率的な分析ができると考えられることから、慣性センサを用いて国内トップレベルの選手の入り局面における投擲動作、特

に下肢の特徴を明らかにすることができると推察される。

本研究では慣性センサで投擲動作における“骨盤・大腿・下腿の 3 次元運動”を計測し、円盤の飛距離と股関節・膝関節運動との関連性を明らかにした。これにより実際の現場において重要な知見、またパフォーマンス向上に貢献できると考えられる。

第2章 文献考証

円盤投の飛距離・パフォーマンスを決定づける要因は様々なものがある。その中でもパフォーマンスに関する動作技術を明らかにするためには姿勢だけではなく回旋動作や体力特性などにも着目する必要があることが報告されている¹¹⁾。回旋動作や体力特性について分析されている中で、特に国内上級円盤投競技者の投擲動作を分析することは、重要な知見を得るために大変重要であり、パフォーマンス向上に繋げることができる。そのためには国内上級円盤投競技者の投擲動作における“骨盤・大腿・下腿の3次元運動”を計測し、円盤の飛距離と股関節・膝関節運動との関連性を検討する必要がある。しかし、円盤投のように複数の回転を伴う動作において、体幹運動を詳細に観察することは困難であった。そこで本研究は、慣性センサを用いて国内上級円盤投競技者の股関節・膝関節運動を3次元計測し、飛距離と関連性があると思われる股関節・膝関節運動を明らかにすることにしたことより、これらの先行研究について考証する。

第1節 円盤投における体力特性の研究

円盤投競技者の体力的特徴と競技力との間にどのような関連性があるかについて検討されていて、原ら⁷⁾によれば、投てき競技者は、競技レベルの高い者ほど、身長・体重ともに大きく、大型の身体的特徴を持つと報告されている。また原ら⁷⁾によると、国内男子円盤投競技者を対象に最大筋力測定を行ったところ、競技成績が高い者ほど、最大筋力（ベンチプレス、スクワット、ジャーク、ハイクリーン、スナッチ）が高い値を示したとし、ウエイトトレーニングの必要性を報告した。また Schmolinsky⁶⁾も、円盤投競技者の競技力向上には、爆発的な筋力が必要であり、中でも最大筋力が決定的な因子の一つであると報告している。これらを支持する一方で、円盤投競技者の指標とするには投げ動作に対応した、より高い動作速度における力発揮について評価を重視すべきであると考えられる。畑山ら⁸⁾は跳躍系種目（立幅跳・立三段跳・両足立三段

跳) と競技力の間には有意な相関関係がみられたことから円盤投競技者にはより高い速度で爆発的な力を発揮する能力が重要であると報告している。これは跳躍能力が円盤投の競技力を反映したものと考えられる。これらのことから全身はもちろん、下肢の爆発的な筋力が重要であり最もその動作を分析する必要がある。そのため、投擲動作における“骨盤・大腿・下腿の3次元運動”を計測し、円盤の飛距離と股関節・膝関節運動との関連性を明らかにすることで、実際の現場において重要な知見、またパフォーマンス向上に貢献できると考えられる。

第2節 投擲動作前半の特徴における研究

Stan²¹⁾によると円盤投のターンにおける回転動作は速い速度で遂行されるが、片脚で支持する局面において、体重を支え地面からの反力を得なければならず、大きなエネルギーを獲得するには、できるだけ接地時間を多く獲得し、動作を遂行した方が有利となるとターンにおける足関節の動きの重要性を示唆した。しかし、畑山ら⁸⁾の研究によると、右足関節の底屈と競技力に相関関係がみられたものの、群間における差はなく、膝関節、股関節に生じていたと報告している。

Dapena²⁾は高い初速度を獲得するための前提条件として、投擲動作前半でより大きな鉛直軸周りの正の角運動量を獲得しておくことが重要であると報告している。また、Yu et al³³⁾は左脚を中心に回転するターン動作のスタートである右足離地の局面では、地面反力の大きさと競技力との間に正の相関関係が認められ、これら左脚支持期において得た加速を右足支持期ではさらに強くする必要があると報告している。

先行研究から²⁾⁵⁾⁷⁾⁸⁾¹¹⁾²¹⁾、体力特性や、投擲動作についての研究が行われてきたが、投擲動作における“骨盤・大腿・下腿の3次元運動”を計測する下肢動作とパフォーマンスとの関係性については現場的な観点を力学的な推論で理由づけしたに過ぎず、下肢の運動を3次的にリアルタイム計測し、パフォーマンスとの関連性を定量的に明らかにした研究はみられていない。この理由の一つとして、従来のデジタイズによる分析方法では、複雑な動作である投擲動作をリアルタイムに計測することが困難であ

ったことが挙げられる。また、慣性センサを用いて行われた先行研究は数少ない。

そこで本研究は慣性センサを用いて、投擲動作をリアルタイムに計測することとした。慣性センサは、センサの3次元的な方位変化・加速度・角速度をリアルタイムに計測可能な装置である。光化学モーションキャプチャーと比較した際の利点として、投擲動作をリアルタイムに効率よく計測できる点や、手動によるパソコン画面上のデジタイズが不要なことから、複雑な動作に対しても、正確性が高い計測が可能など等が挙げられる。

第3節 慣性センサの妥当性

慣性センサをスポーツの現場に応用した研究はアルペンスキーなどを対象とした検討にいくつかの例¹⁴⁾¹⁰⁾¹²⁾が挙げられるものの、その数は少ない。また、国内円盤投競技者の体幹の捻りに着目した研究²³⁾において、飛距離が長い選手ほど、滞空期直前の左足離地時に速い体幹前屈と右側屈を行い、滞空期直後の右足接地時に体幹の捻り戻しが速い傾向にあったことが示されたほか、従来は体幹の捻りが重要であるとされてきたパワーポジション（左足接地時）の局面では上級者はむしろ捻りが小さいことが示され、体幹はすでに投擲方向に開きだしていることを明らかにした。

これらのように、慣性センサをスポーツの研究現場に応用しようとする動きが近年みられるものの、慣性センサをスポーツの研究に応用した研究例は非常に少ない。

しかし、慣性センサによる測定は投擲動作をリアルタイムに効率よく計測できる点や、手動によるパソコン画面上のデジタイズが不要なことから、複雑な動作に対しても、正確性が高い計測が可能など等、様々な利点が考えられることから、その有用性について研究され始めている。上坂ら³⁰⁾はスポーツの研究において広く使用される光学式モーションキャプチャーに対する慣性センサの測定の正確性を検証し、スポーツの現場に応用できる可能性を示した。

第3章 研究目的

本研究は、慣性センサを用いて国内上級円盤投競技者の股関節・膝関節運動を3次元計測し、上級競技者の特徴と考えられる飛距離と関連性のある股関節・膝関節運動を明らかにすることを目的とした。

第4章 研究方法

第1節 調査対象者

本研究では、大学生および実業団の陸上競技部に所属する円盤投を専門とする男子陸上競技者のうち、国内上級レベルの競技者8名を対象とした。被験者の特性は表1に示した通りである。全ての競技者が全国規模の競技会において上位入賞経験のある競技者であった。

被験者に対し、実験の趣旨、方法などについて詳細に説明し、同意を得た。

測定場所は、順天堂大学陸上競技場、味の素ナショナルトレーニングセンター・陸上トレーニング場で行った。

なお、本研究は、順天堂大学スポーツ健康科学部における倫理審査委員会の認可を受けた上で実施された。

第2節 データ収集

本研究では、左右の股関節・膝関節運動を定量するため、骨盤、左右大腿、左右下腿の計5セグメントの3次元的な方位変化を、慣性センサ(Myomotion, Noraxon社製)を用いて計測した(図1)。骨盤セグメントの方位変化を計測するためのセンサ(以下、骨盤センサとする)は、センサに固定されたローカル座標系の左右軸と骨盤の左右軸が平衡になるように十分に留意し、仙骨平坦部の皮膚上に体表面用の両面テープを用いて貼り付け、さらにその上から体表面用のテープで固定した。左右大腿の方位変化を計測するためのセンサ(以下、大腿センサとする)は、股関節・膝関節の屈曲伸展に伴う皮膚動揺の少ない箇所を触診によって同定し、大腿の外側部に貼付した。左右下腿の方位変化を計測するためのセンサ(以下、下腿センサとする)は、脛骨平坦部の皮膚上に貼付した。すべての試技において、各セグメントに貼付された慣性センサは地面に固定された座標系(以下、グローバル座標系とする)に対する3

次元的な方位変化をサンプリング周波数 100Hz で計測した。また、投擲中の動作局面を同定するため、円盤をリリースした瞬間の選手に対して右側方 20m離れた位置からハイスピードカメラ (RX10M2, Sony 社製) で撮影した (960fps)。ハイスピードカメラと慣性センサは、慣性センサのシステムにシンクロライトを接続し、映像でライトが光った瞬間と、ライトから同期信号が送られた瞬間で同期を行った。

投擲動作を計測するにあたり、投擲を行う前に解剖学的肢位における各センサの方位を計測した。各セグメントに貼付されたセンサは、骨盤センサの左右軸方向を除き、任意の方向に貼付されており、各セグメントの解剖学的に解釈可能な方向が未知である。そのため、解剖学的肢位における各センサの方位を計測することで、骨盤座標系、大腿座標系、下腿座標系を定義した (図 2)。解剖学的肢位を計測した後、選手は競技ルールで 6 投の投擲試技を行い、ファール試技は無効とした。このとき、最大飛距離を記録した試技を分析対象として採用した。採用した試技の飛距離は、44m65 から 54m06 であり、平均値および標準偏差 (SD) は $50m37 \pm 3m02$ であった。

第 3 節 データ処理

Noraxon 社製のソフトウェア (MR3 ver.3.7.27) において、慣性センサによって計測されたグローバル座標系に対する各センサ座標系の方位は、クオタニオン $\mathbf{Q} = (q_w, \mathbf{qv})$ として出力される。ここで、 $\mathbf{qv} = (q_x, q_y, q_z)$ は回転軸の方向を示す単位ベクトルであり、 q_w は回転軸周りの回転量の余弦を回転量で除した値である。本研究では、関節の角度・角速度の算出を行うにあたり、各センサのクオタニオン \mathbf{Q} を行ベクトルの回転行列 \mathbf{R} に変換した。

第 4 節 データ分析

本研究では、投擲のパフォーマンスである円盤飛距離と関連性のある 6 つの局面 (図 3) に分けたそれぞれの局面における左右股関節・膝関節の運動を明らかにするため、

円盤飛距離と左右股関節・膝関節の角度・角速度とのピアソンの積率相関係数を求めた。相関分析における有意水準は5%未満に設定とした。

第5章 結果及び考察

本研究において用いた測定項目は6つの局面における4つの部位の計144項目であった。このうち10項目に飛距離との有意な相関関係がみられ、5項目は右股関節の動作であった。また、局面別にみると飛距離との間に有意差がみられた10項目のうち5項目は右足接地の局面において観察された。

これら10項目の詳細は以下の通りである。

第1節 スイング開始

スイング開始時(図4)において、右股関節内転角速度と飛距離との間に有意な負の相関関係($r=-0.857$)がみられた。右足離地において、いずれの変数においても飛距離との間に有意な相関関係はみられなかった。このことはスイング開始とともに体幹の捻り戻しと身体の沈みこみに伴う右股関節の外転運動(図5)が行われている者ほど飛距離が長いことを示している。これは飛距離の長い者ほど右脚を大きく外側に振ることで体幹の捻り戻しと身体の沈みこみのタメを作ることができるため、大きな推進力を得ることができる。また、内転運動することで体幹の捻り戻しと身体の沈みこみと同時に右脚が動くことによりタメを作ることができず推進力を得ることができない。

Dapena²⁾は、高い初速度を獲得する前提条件として投擲動作前半で鉛直軸周りの大きな正の角運動量を獲得することが重要と報告している。このことから飛距離が長い者ほど、スイング開始動作からの体幹の捻り戻しと身体の沈みこみに伴う右股関節の外転運動をすることで、次の動作局面である右足離地時における運動量の獲得に向けて、準備を行い、その結果、スムーズな動作、大きな角速度を得ているものと考えられる。

第2節 左足離地

左足離地(図6)において、右股関節屈曲角速度と飛距離との間に有意な負の相関関係($r=-0.951$)がみられた。このことは左足離地前に右股関節の屈曲(腿・膝の引き上げ)を行い、離地瞬間には右股関節の伸展(図7)が行われている者ほど飛距離が長いことを示している。このことは、前節で述べたとおり、スイング時に行われたと考えられる準備動作により、この右足離地の局面において右足の動作に特徴が現れたもの

と考えられた。この局面において右足が投擲方向に対して後方に伸びているように見える動作（図 3 ⑤、⑥）は円盤投のトレーニング現場において「足を振る動作」と表現されることが多いが、この動作が投擲動作前半の大きな運動量を生み出すことに貢献していると考えられる。

第 3 節 右足接地

本研究における 144 項目の測定指標のうち 10 項目に飛距離との間に有意な相関関係が認められたが、この 10 項目のうち 5 項目は右足接地の局面において観察された。そのため、国内上級競技者の動作的特長を検討する上では、重要な局面であるといえる。この右足接地局面（図 8）において、右股関節内転角と飛距離との間に有意な負の相関関係（ $r=-0.758$ ）がみられた。また、左膝伸展角と飛距離（図 9）との間に有意な正の相関関係（ $r=0.710$ ）がみられた。このことは左股関節の外転（図 9）と左足膝関節の伸展（図 11）が行われている者ほど飛距離が長いことを示している。

円盤投の指導現場においては、この右足接地局面の次の局面である、左足接地時（パワーポジション）における捻りが重要である¹⁹⁾ことから、パワーポジション（図 3 ⑫）の体勢を停止して作る練習方法がしばしば行われる³¹⁾。しかし、国内上級競技者の動作をみると、右足接地局面においてもっとも大きな体幹の捻りを作っていることが明らかとなり高梨ら²³⁾が導き出した結論を支持する結果となった。つまり、上級競技者は体幹の捻りが重要とされる左足接地時（パワーポジション）以前に大きな捻りを作り出し、次の局面に向けて準備をしていると考えられる。なお、本研究においては被験者からの内省報告などを収集していないため、この特徴が次の局面に向けての準備であるのかどうかについては推測の域を出ない。

また、右足接地において、右股関節屈曲角速度と飛距離（図 12）との間に有意な正の相関関係（ $r=0.925$ ）がみられた。このことは右股関節と右膝の屈曲運動（図 13）が行われている者ほど飛距離が長いことを示している。飛距離が比較的短い者

は、この局面において、右膝を伸展した後、屈曲することで一連のスムーズな動作が阻害され、動作スピードの低下が起こっていると考えられる。このことについては、中級者以下のレベルの競技者に対し分析を行うことでさらに検証する必要がある。

右足接地（図 14）においては右股関節内旋角速度（ $r=0.848$ ）および右膝関節伸展角（ $r=-0.848$ ）と飛距離（図 16）との間においても有意な正の相関関係がみられた。このことは右足接地時に右股関節の内旋運動（図 15）が小さく、右膝関節の屈曲（図 17）が行われている者ほど飛距離が長いことを示している。この局面において体幹の捻りが最も大きく作られていることは前述の通りである。ターン動作中において、このような足の小さな素早い内旋運動を行うことで、上半身を下半身が追い越すこととなり、結果的に体幹の大きな捻りを生み出すことにつながっていると考えられた。

第 4 節 左足接地

この局面はパワーポジションとも呼ばれ、円盤投のトレーニングの現場においてこの局面の体勢作りが競技パフォーマンスの成否を決定付けるひとつの大きな要素として重要視される³¹⁾。左足接地（図 18）において、左股関節屈曲角速度と飛距離との間に有意な負の相関関係（ $r=0.790$ ）がみられた。また、左股関節内転角速度と飛距離（図 20）との間に有意な正の相関関係（ $r=0.801$ ）がみられた。このことは左股関節の角速度（図 19）が速く左股関節の内転（図 21）を行っている者ほど飛距離が長いことを示している。

このことから飛距離が長い者ほど、右足接地してからの左足接地するまでの時間を短縮している可能性が考えられる。一つ前の局面である、右足接地時において小さく素早い足の動作が体幹の捻りを生み出している可能性は述べた通りである。続いて左足接地時においても、このように下半身の積極的な先行が起きていることは、右足接

地時に得た下半身の先行を維持し、円盤に力を加え続けることに寄与しているのではないだろうか。

第5節 リリース

リリース（図 22）において、右股関節屈曲角度と飛距離との間に有意な負の相関関係（ $r=-0.916$ ）がみられた。このことは右股関節の伸展（図 23）が行われている者ほど飛距離が長いことを示している。このことから飛距離が長い者ほど骨盤付近（体幹）を主動で動かすことで右足の地面の方向に対し押し続ける動作（指導現場でいわゆるタメ）を最後まで利用し続けることができているのではないだろうか。逆に飛距離が比較的短い者にみられる傾向として、骨盤よりも下肢主動になることで腰が引けているような形（図 24）になるため、右足を地面の方向に対し押し続ける動作を使い切れていないと推察される。

第6節 投擲動作全体における考察

円盤投においてパワーポジション（左足接地時）における体幹の捻りは重要な要素であり、指導現場においてもこの局面において体幹を捻ることが重要視されることは緒言において述べた通りである。

今回、飛距離との間に有意差がみられた 10 項目のうち 5 項目は右足接地の局面において観察された。右足接地局面はいわゆるパワーポジション（左足接地時）の前段階であり、高梨ら²³⁾によると、国内における上級競技者はこの局面において既に捻りを生み出しており、捻りが重要であるとされてきた右足接地時には投射方向に開きだしていることを明らかにした。本研究において右足接地時において特徴的な傾向がみられたことは上坂らが明らかにした「右足接地時」における「捻り」を生み出すことに寄与していると考えられる。

第7節 指導現場への示唆

本研究の結果から、男子円盤投において高いパフォーマンスを発揮するためには、

スイング開始からリリースまでの一連の動きの中で下肢の動作に着目し、意識することが必要であると考えられた。

特に、今日指導現場においてパワーポジションにおける捻りの重要性に基づくフォーム指導が広く重要視されているが、上級競技者はパワーポジションにおいては積極的に投擲方向に回旋（開く）していることに注目すべきである。

その為には、パワーポジションにおける捻りを伴ったフォームを作るのではなく、そのフォームがどのような流れやリズムの中に作り出されているのかに注目すべきである。

第8節 今後の課題

今後の課題として、今回の分析結果を中級競技者、下級競技者にフィードバックすることで、競技パフォーマンスにどのような変化がみられるかを検討することで、より指導現場に有用な指標等を明らかにすることができると考えられる。さらに、今回は国内上級競技者のみを対象としたが、中級者以下の動作的特徴を検討することができれば、上級競技者の特徴をより明確に示すことが出来たはずである。

本研究では被験者による内省報告を収集していない。本研究のような、動作的特長からその原因を追及する側面を持つ研究の場合、被験者による内省報告が持つ意味は非常に大きい。そのため、いくつかの考察において明確な根拠を見出すことができず、推測による考察をせざるを得なかった。本研究において内省報告を収集しなかったことは反省点である。

第6章 結論

国内上級円盤投競技者の投擲動作における股関節・膝関節の運動と飛距離との関連性を検討した結果、飛距離の長い者ほど左足離地時（空中局面）において、右股関節を素早く伸展させていること等が明らかとなった。

要約

【研究背景】円盤投において下肢の運動を3次元的にリアルタイム計測し、パフォーマンスとの関連性を定量的に明らかにした研究はみられない。本研究は、慣性センサを用いて円盤投競技者の特徴と考えられる飛距離と関連性のある股関節・膝関節運動を明らかにすることを目的とした。

【方法】円盤投を専門とする男子陸上競技者のうち、国内上級レベルの競技者8名を対象とした。それぞれの被験者について最大飛距離であった試行の最大バックスイング時からリリースまでの動作区間を分析対象とした。分析項目はスイング開始から左足離地、右足離地、左足離地、リリースまでの投擲動作の特徴であった。

【結果】スイング開始時において、飛距離が長い者ほどスイング開始とともに体幹の捻り戻しと身体の沈みこみに伴う右股関節の外転運動が行われていた。左足離地においては、飛距離の長い者ほど左足離地前に右股関節の屈曲（腿・膝の引き上げ）を行い、離地瞬間には右股関節の伸展を行っていた。

右足接地において、飛距離の長い者ほど左股関節の外転と左足膝関節の伸展を行っていた。その動作時には右股関節と右膝の屈曲運動を行っており、飛距離の長い者は骨盤主動で動作が行われていた。また、右股関節の内旋と右膝関節の屈曲を行うことで体幹の捻りと重心を低く保っていた。左足接地において、飛距離の長い者は左股関節の角速度が高くその内転運動が行われていることで、リリース時の身体が逃げることを防いだり、地面から伝わってくる力を円盤に伝えることができるものと推察される。

リリースにおいては、飛距離の長い者ほど骨盤主動でリリースに向かい、下肢の力を出し切ることで右股関節の伸展が行われている。

【結論】国内上級円盤投競技者の投擲動作における股関節・膝関節の運動と飛距離との関連性を検討した結果、飛距離の長い者ほど左足離地時（空中局面）において、右股関節を素早く伸展させていること等が明らかとなった。

謝辞

本論文作成にあたり、ご指導、ご協力いただきました柳谷登志雄先任准教授、上坂学先生をはじめとする、バイオメカニクス研究室の皆様に深謝致します。また、本研究の実験に協力して下さった円盤投競技者の皆様にも心から御礼申し上げます。

そして、本論文の作成指導及び審査をしていただきました佐久間和彦教授、青木和浩教授ならびに高梨雄太助教には、多大なご指導をいただきましたことに深謝致します。

引用文献一覧表

- 1) Andreas Kruger and Jurgen Edelman-Nusser(2009)Biomechanical analysis in freestyle snowboarding:application of a full-body inertial measurement system and a bilateral insole measurement system Sports Technol.,2, No. 1-2, pp17-23
- 2)Dapena,J.(1993).New.insights.on.discusthrowing.TrackTechnique125,pp3977-3983.
- 3) Dyson, GHG . (1972). 陸上競技の力学. 金原勇, 渋谷侃二, 古藤高良 訳 : 陸上競技の力学 第10章投てき競技の力学、pp209-249
- 4)Elena,Bergamini,Francesca,Morelli,Flavia,Marchetti,Giuseppe,Vannozzi,Lorenzo,Polidori,Francesco,Paradisi,Marco,Traballesi,Aurelio,Cappozzo,andAnna,SofiaDelussu(2015)Hindawi Publishing Corporation,BioMed Research International, 10 Wheelchair Propulsion Biomechanics in Junior Basketball Players: A Method for theEvaluation of the Efficacy of a Specific Training Program Hindawi Publishing Corporation Bio Med Research International , Article ID 275965, p10
- 5) G. Schmolinsky : 成田十次郎・関岡康雄訳(1982). ドイツ民主共和国の陸上競技教程. ベースボールマガジン社 : pp411-424.
- 6) Gregor,R.J.,Whiting,W.C.,andMcCoy,R.W.(1985). Kinematicanalysis of Olympic discusthrowers.international Journal of Sport Biomechanics1:pp131-138.
- 7) 原 信一・有吉正博・繁田 進(1994). 円盤投競技者の体力に関する調査研究. 陸上競技研究 46(2) : pp36-39
- 8) 畑山茂雄, 高梨雄太, 佐々木大志(2011). 円盤投競技者の体力特性と競技力の関連性. 陸上競技研究 87 : pp17-26.
- 9) J. G. Hay, B. Yu, Critical characteristics of technique in throwing the discus, J. Sports Sciences, 1995, 13, pp.125-140.
- 10)Julien Chardonnens a,n , Julien Favre , Florian Cuendet b,Ge´ rald Gremion , Kamiar Aminian (2013) A system to measure the Kinematics During The Entire ski jump sequence using inertial sensors Journal of Biomechanics,46:pp56-62

- 11) Leigh, R.J., W.C. and McCoy, R.W. (1985). kinematic analysis of Olympic discus throwers. *international journal of Sport Biomechanics*, 1: pp131-138.
- 12) Matej Supej (2010) 3D measurements of alpine skiing with an inertial sensor motion capture suit and GNSS RTK system, *Journal of Sports Sciences*, 28:7, pp759-769,
- 13) 松尾宣隆, 湯浅景元(2005). 円盤投げ動作における身体重心速度が円盤速度と円盤+投擲者角運動量に及ぼす効果. *中京大学体育学論叢* 46:2 pp33-43
- 14) McCoy, R.W. Whiting, M.W.C., R.G. and Gregor, R.J. (1985) . kinematic analysis of discus throwers. *Track and Field*, 91: pp2902-2905
- 15) 宮西智久, 桜井伸二, 若山章信, 富樫時子, 川村卓 (1998). アジア一流選手における円盤投げの角運動量の3次元解析. *バイオメカニクス研究* 2(1) : pp10-18.
- 16) 宮西智久・桜井伸二(1999). トップアスリートにおける円盤投のバイオメカニクス: 全米陸上競技選手権大会男子円盤投決勝. *日本体育学会大会号*(50):713, pp09-15
- 17) 室伏重信, 斉藤昌久, 湯浅景元(1982). ハンマー投げのバイオメカニクスの研究—投射時におけるハンマー頭部の初速度・投射角・投射高が飛距離に及ぼす影響—. *中京体育学研究* 第23巻 第1号 pp38- 43
- 18) 室伏重信(1999). 投擲競技・競技力向上のしくみについて, *中京大学体育学論叢* 第40巻 第2号 pp41-50
- 19) R. M. Bartlett, The biomechanics of the discus throw: A review, *J. Sports Sciences*, Stan M. Cain (2008). *SPORTS PERFORMANCE SERIES 19. NSCA JAPAN Volume15(6)* : pp18-21
- 20) 高梨雄太, 畑山茂雄 (2010). 日本国内における円盤投の競技力動向. *陸上競技研究*(4) pp31-39
- 21) 高梨雄太 (2010). 陸上競技投擲競技者におけるコントロールテストに関する研究. *東京女子体育大学・東京女子体育短期大学紀要* : 第 45 号 pp79-86
- 22) 高梨雄太, 青木和浩, 河村剛光, 與名本稔, 金子今朝秋 (2009). 女子学生投てき競技者を対象としたフィールドテストによる運動能力評価の有効性: 号陸上競技研究(4)79 : pp30-38

- 23)上坂 学, 高梨雄太(2016). 国内トップクラス円盤投選手の投動作の特徴～体幹の回旋運動に着目して. 特別寄稿・月刊陸上競技 5月号 pp155-157
- 24)植屋清見, 池上康男, 中村和彦, 桜井伸二, 岡本敦, 池川哲史(1994). 円盤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—第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書—,ベースボール・マガジン社:東京,pp257-271
- 25)Wu G, Siegler S, Allard P, Kirtley C, Leardini A, Rosenbaum D, Whittle M, D'Lima DD, Cristofolini L, Witte H, Schmid O, Stokes I (2002) ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine. *Journal of Biomechanics* 35 . pp 543–548
- 26)山本大輔, 伊藤章(2010). 円盤投げにおける身体合成重心速度が投てき記録と動作に与える影響. 大阪体育学研究 48 : pp119-127
- 27) 山本大輔, 伊藤章,田内健二,村上雅俊,淵本隆文,田邊智,遠藤俊典,竹迫寿,五味宏生(2010). 円盤投げのキネマティック的分析.日本陸上競技連盟バイオメカニクス班研究報告書.世界一流競技者のパフォーマンスと技術. pp189-200
- 28)山本大輔(2015). 円盤投げにおける男女間における円盤加速動作の違い. 天理大学学報 239 : pp9-16
- 29)山本大輔(2015). 世界一流男女円盤投選手における円盤加速動作の特徴. 陸上競技研究 101:pp12-17
- 30)柳谷登志雄, 上坂学, 橋詰賢 (2015). 慣性センサは走動作の下肢キネマティクスを正確にキャプチャできるか. 体力科学 64:6 p708
- 31)山崎祐司(1993). 円盤投げ. ベースボール・マガジン社発行. p139
- 32) Yu B. (1988) Determination of the appropriate cutoff frequency in the digital filter data smoothing procedure. Master's thesis, Kansas State University, Manhattan, Kansas, USA.
- 33)Yu,B.,Broker,J.,andSilvester,L.J.(2002).A kinematic analysis of discus-throwing techniques. *Sport Biomechanics* 1(1):pp25-46.

表 1 被験者の特性

被験者	年齢(歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	最高競技成績	自己最高記録 (m)	測定記録 (m)
A	39	184.0	109.0	日本選手権優勝	60.10	52.17
B	25	185.0	100.0	日本選手権準優勝	58.36	51.96
C	24	179.0	103.0	国体準優勝	57.83	53.58
D	23	184.0	93.0	日本インカレ優勝	55.23	54.06
E	19	180.0	97.0	日本インカレ準優勝	54.94	50.3
F	24	171.0	102.0	日本インカレ準優勝	52.94	47.75
G	22	186.0	96.0	日本学生個人選手権3位	53.14	48.48
H	23	183.0	123.0	日本学生個人選手権5位	49.65	44.65
平均	24.88	181.50	102.88		55.27	50.37

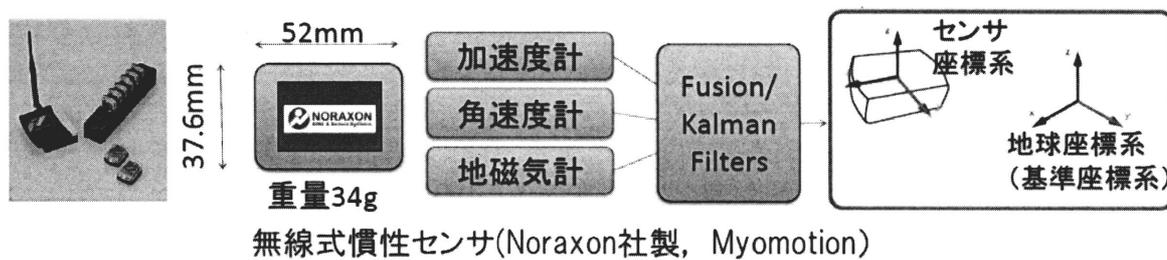


図 1. 慣性センサ (Myomotion, Noraxon 社製)

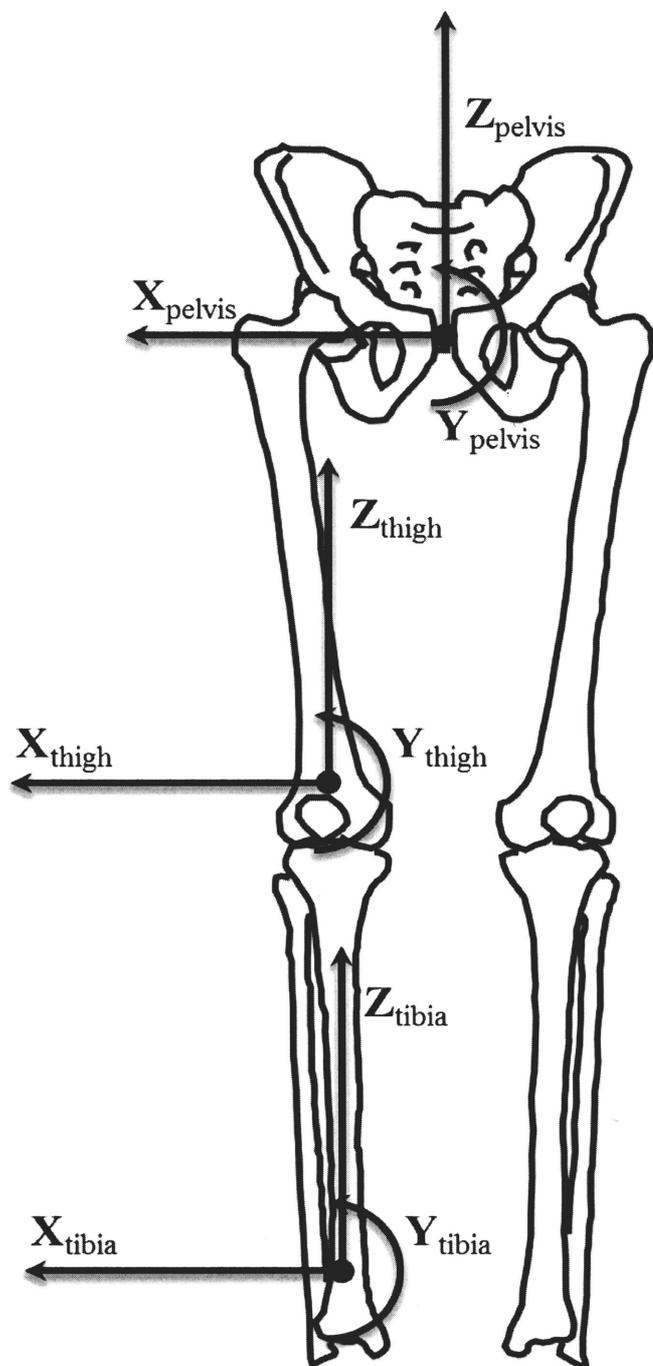


図 2. 骨盤・大腿・下腿座標系の定義

骨盤座標系の Z 軸方向は、解剖学的肢位における重力方向の反対方向、Y 軸方向は骨盤センサ座標系の左右軸方向と Z 軸方向に対して垂直な方向、X 軸方向は Z 軸と Y 軸に対して垂直な方向を示している。右大腿・下腿は、解剖学的肢位において骨盤座標系と一致すると仮定し定義した。左大腿・下腿は左手座標系で同様に定義した。

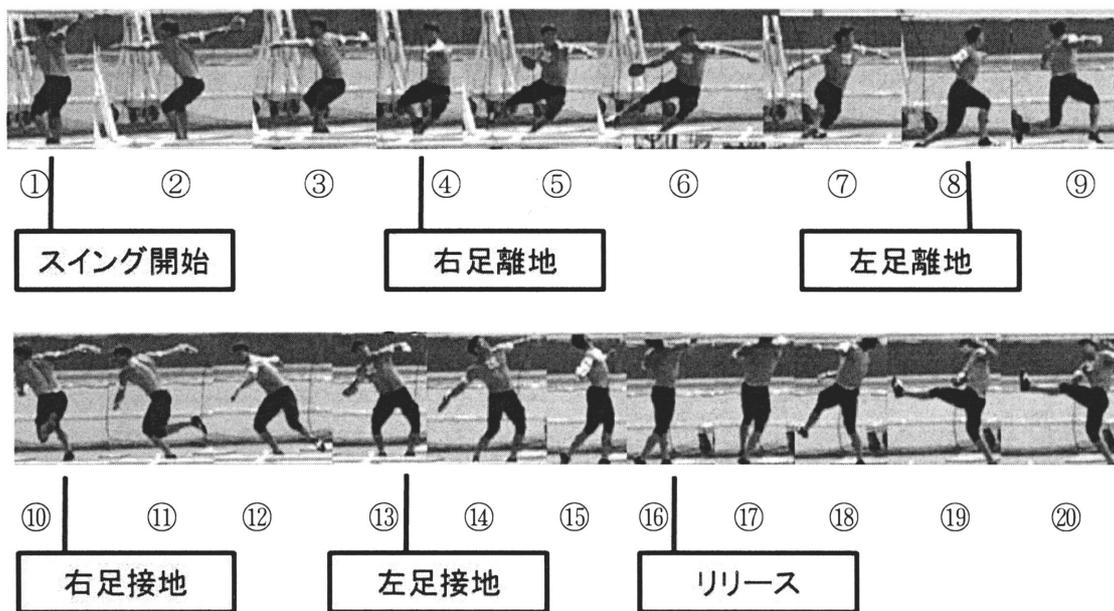


図 3. 円盤投局面の定義

スイング開始

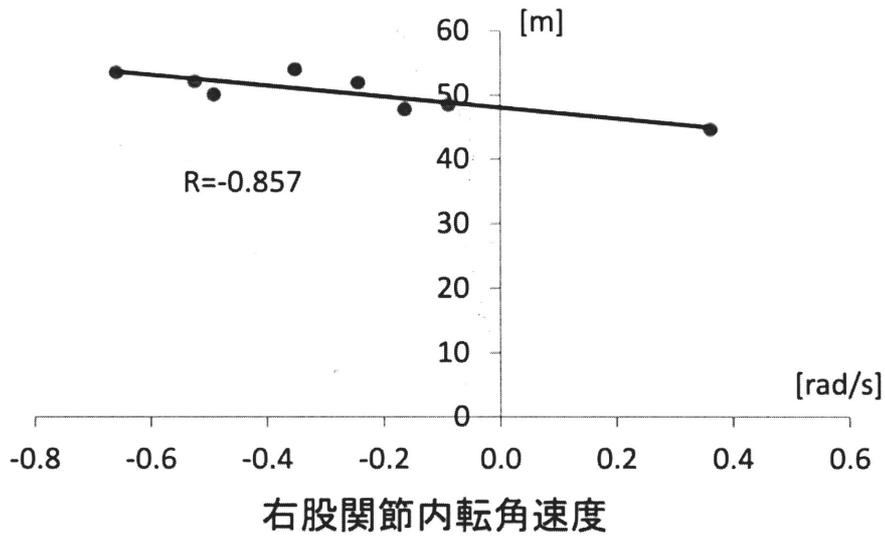


図 4. スイング開始局面の右股関節内転角速度

右股関節内転角速度と飛距離との間に有意な負の相関関係 ($r=-0.857$) がみられた。

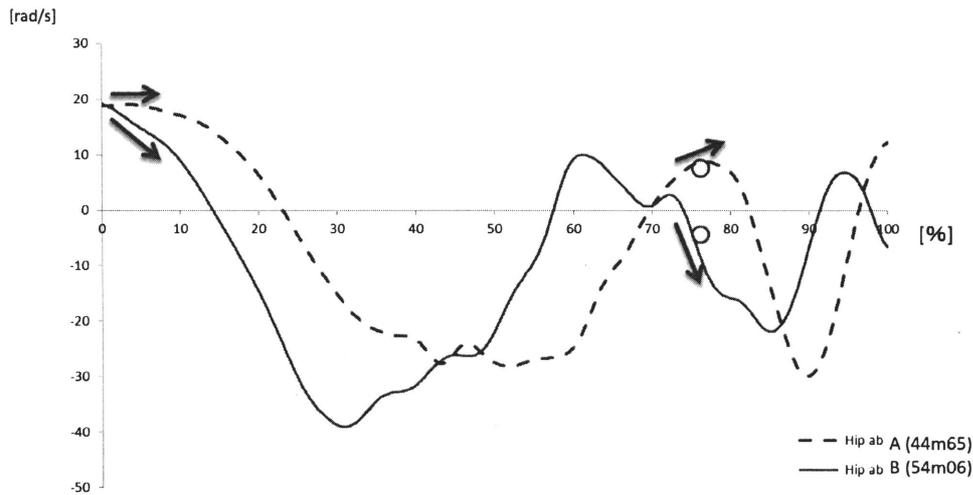


図 5. スイング開始時の右股関節内転角速度と飛距離の関連性

左足離地

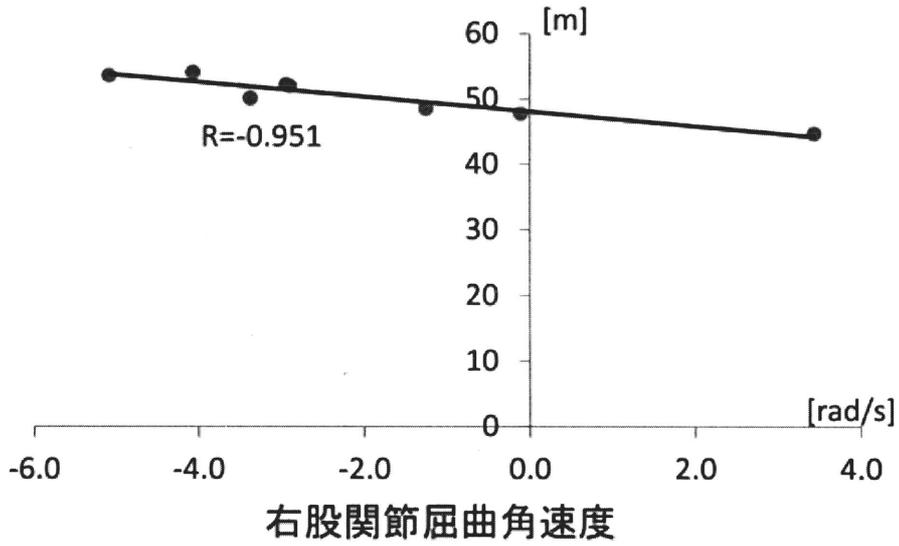


図 6. 左足離地局面の右股関節屈曲角速度

右股関節屈曲角速度と飛距離との間に有意な負の相関関係 ($r = -0.951$) がみられた。

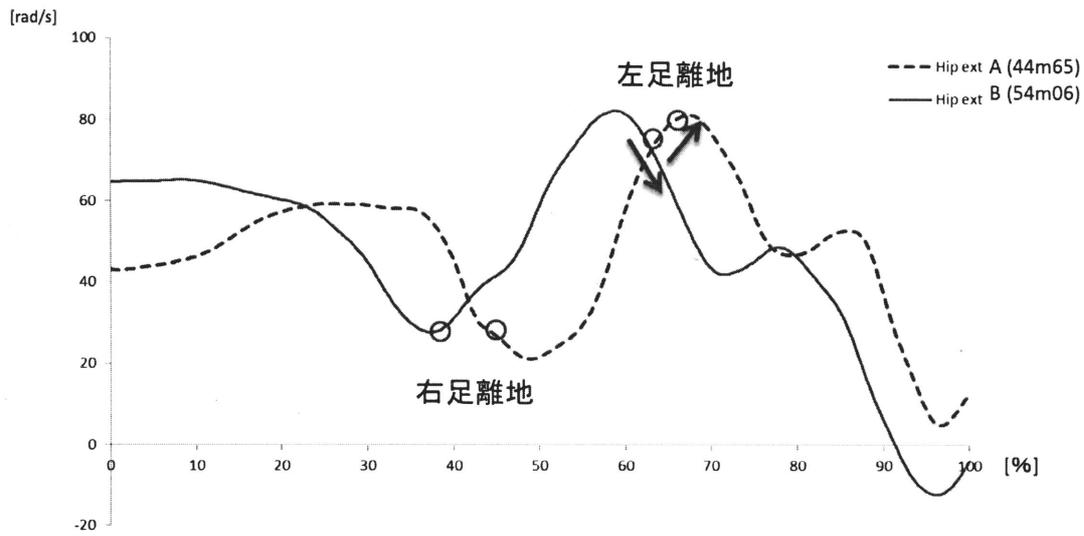


図 7. 左足離地時の右股関節屈曲角速度と飛距離の関連性

右足接地

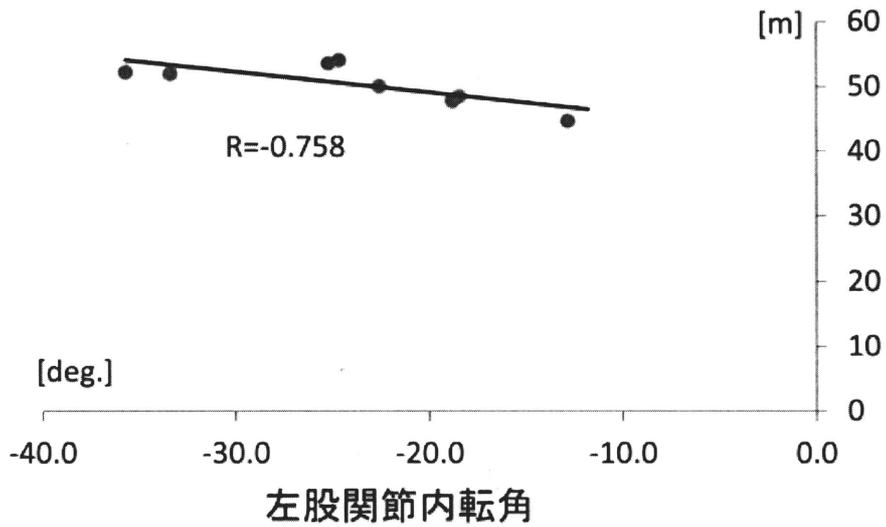


図 8. 右足接地局面の左股関節内転角

右股関節内転角と飛距離との間に有意な負の相関関係 ($r = -0.758$) がみられた。

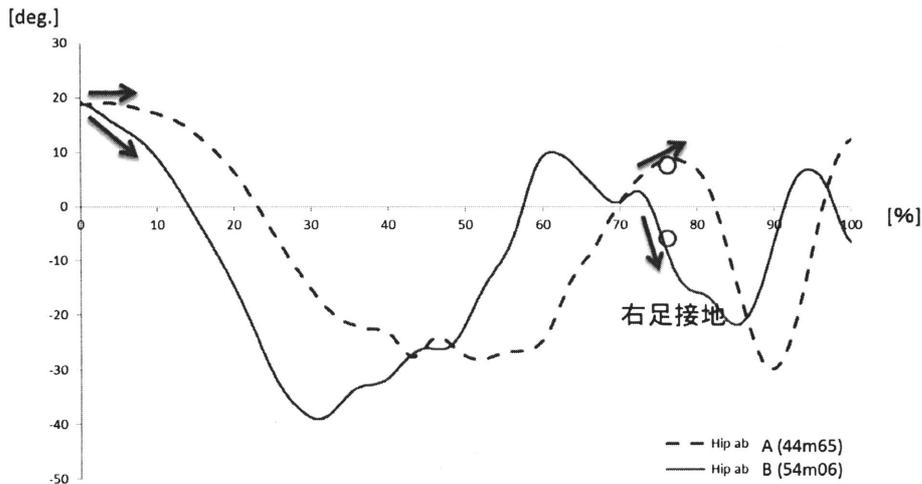


図 9. 右足接地時の右股関節内転角と飛距離の関連性

右足接地

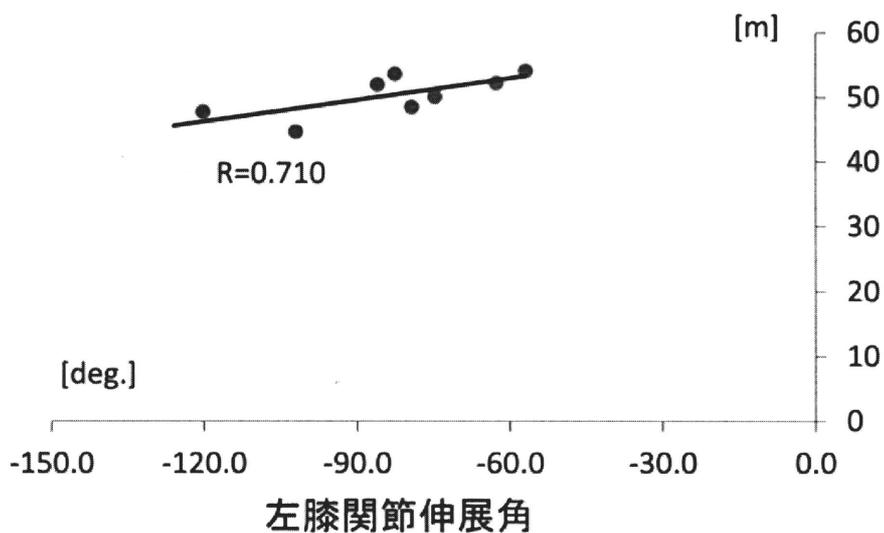


図 10. 右足接地局面の左膝伸展角

左膝伸展角と飛距離との間に有意な正の相関関係 ($r=0.710$) がみられた。

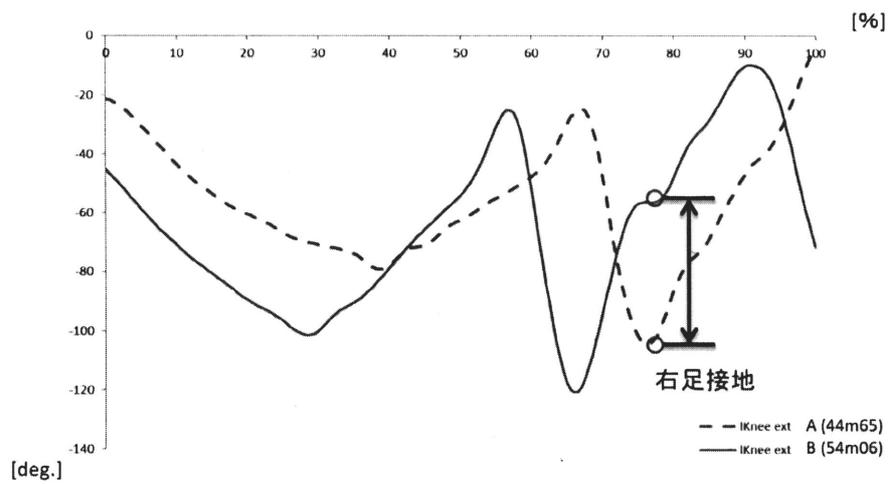


図 11. 右足接地時の左膝関節伸展角と飛距離の関連性

右足接地

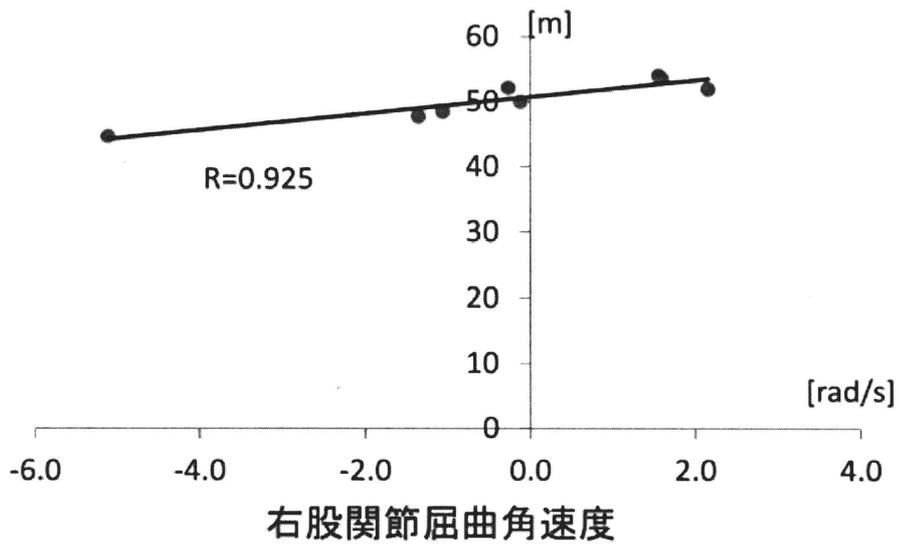


図 12. 右足接地局面の右股関節屈曲角速度

右股関節屈曲角速度と飛距離との間に有意な正の相関関係 ($r=0.925$) がみられた。

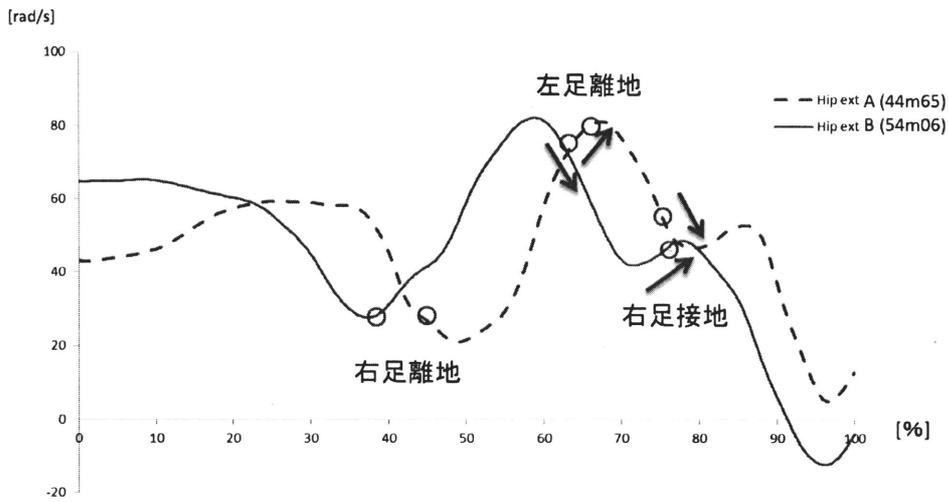


図 13. 右足接地時の右股関節屈曲角速度と飛距離の関連性

右足接地

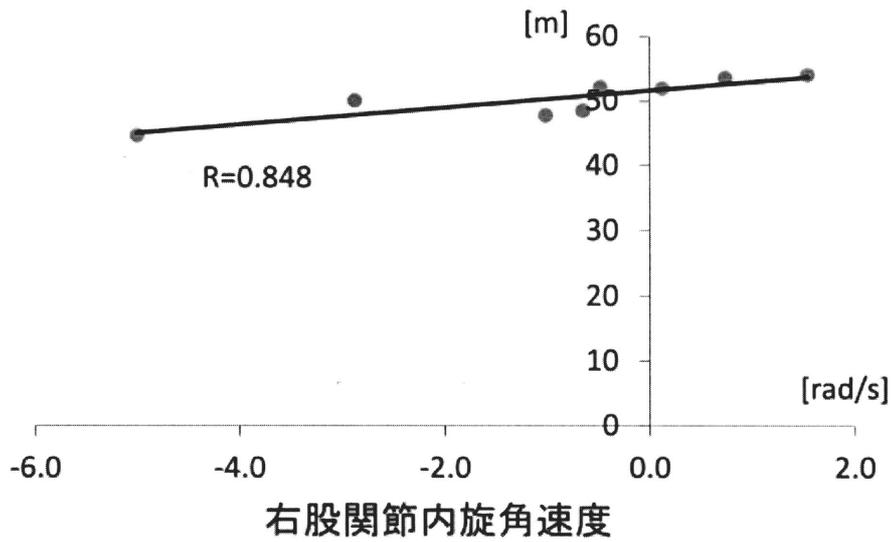


図 14. 右足接地局面の右股関節内旋角速度

右股関節内旋角速度と飛距離との間に有意な正の相関関係 ($r=0.925$) がみられた。

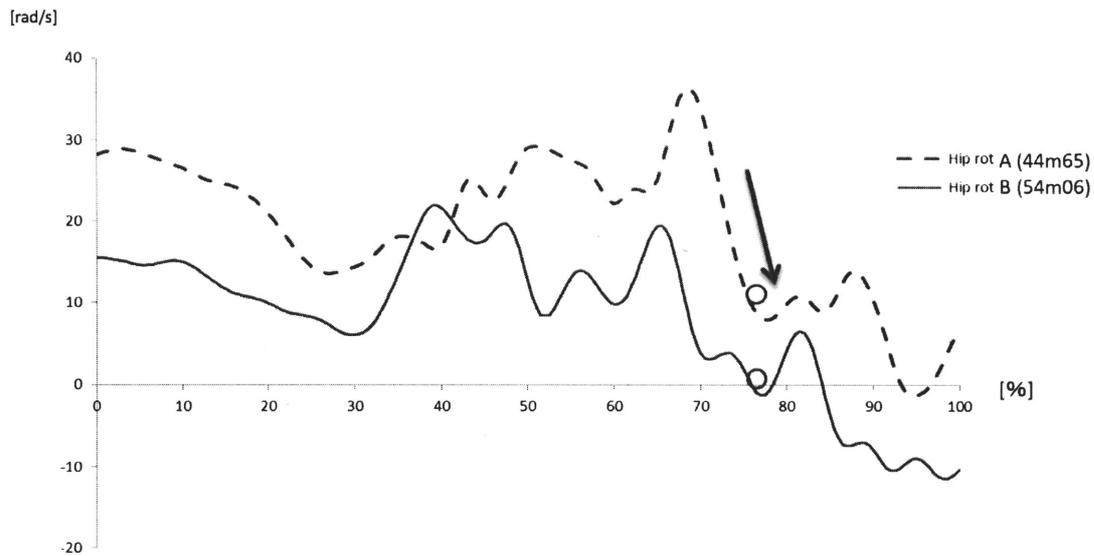


図 15. 右足接地時の右股関節内旋角速度と飛距離の関連性

右足接地

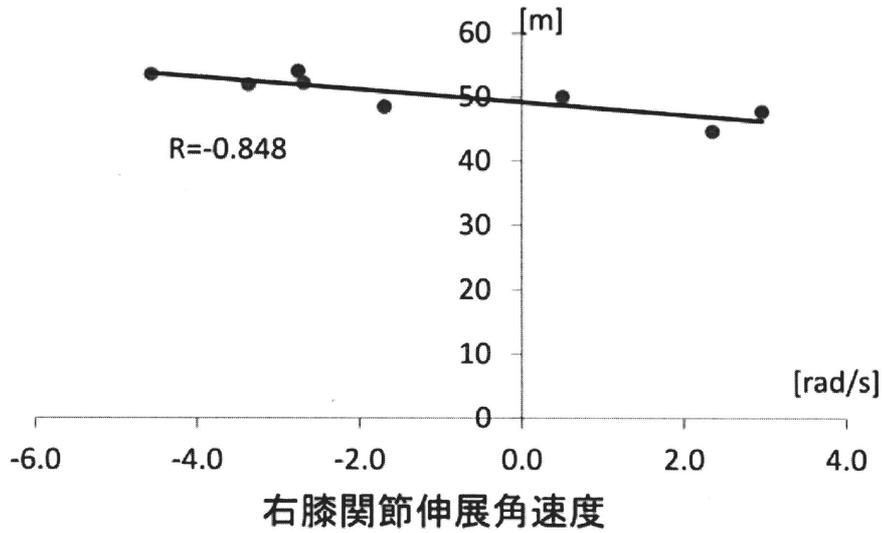


図 16. 右足接地局面の右膝関節伸転角速度

右膝関節伸展角 ($r=-0.848$) と飛距離との間に有意な正の相関関係がみられた。

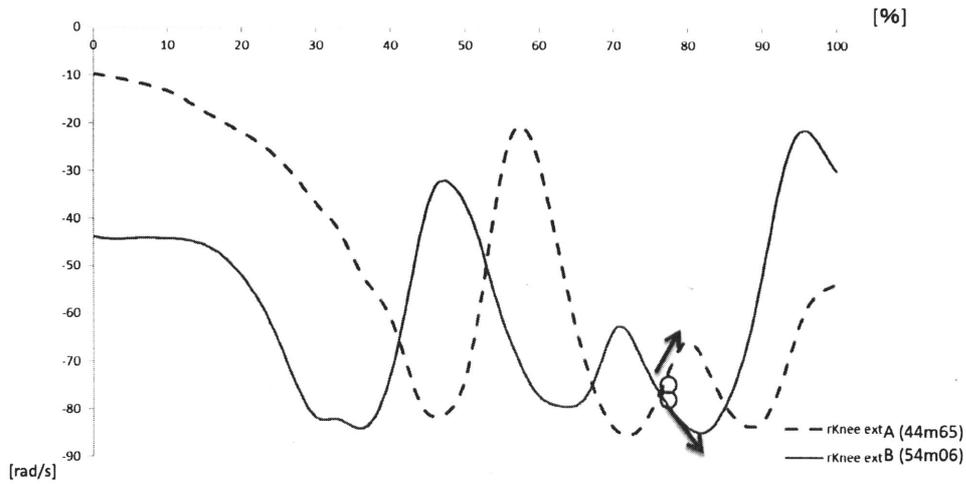


図 17. 右足接地時の右膝関節伸展角速度と飛距離の関連性

左足接地

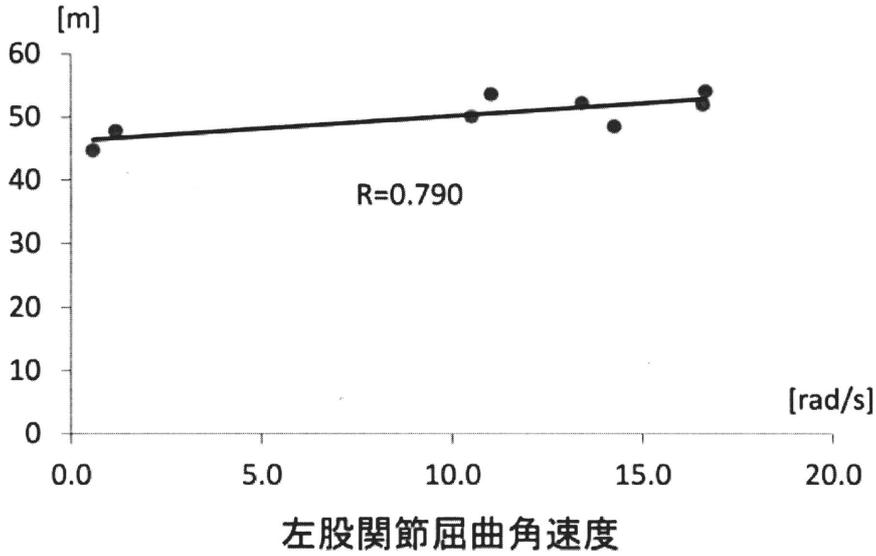


図 18. 左足接地局面の左股関節屈曲角速度

左股関節屈曲角速度と飛距離との間に有意な負の相関関係 ($r=0.790$) がみられた。

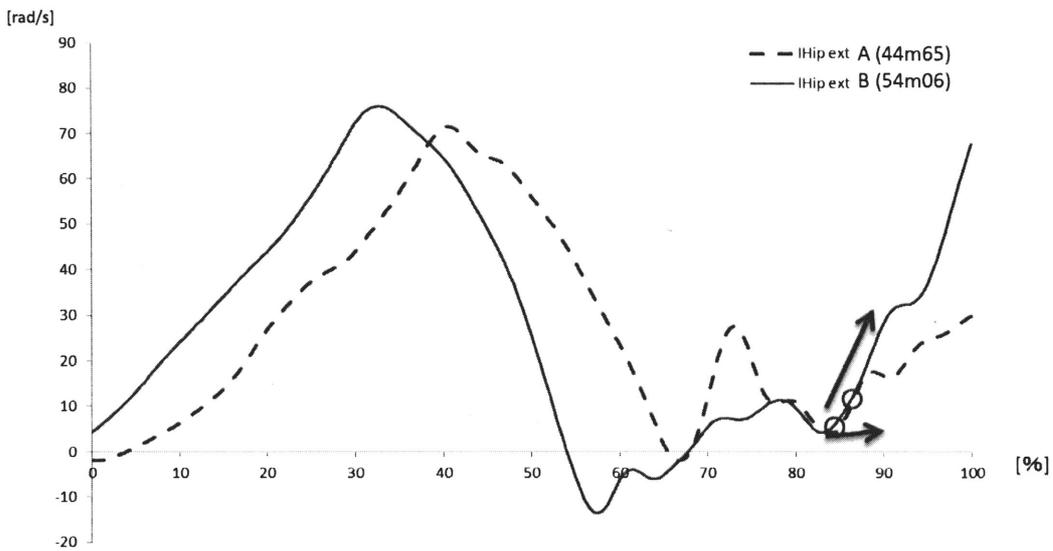


図 19. 左足接地時の左股関節屈曲角速度と飛距離の関連性

左足接地

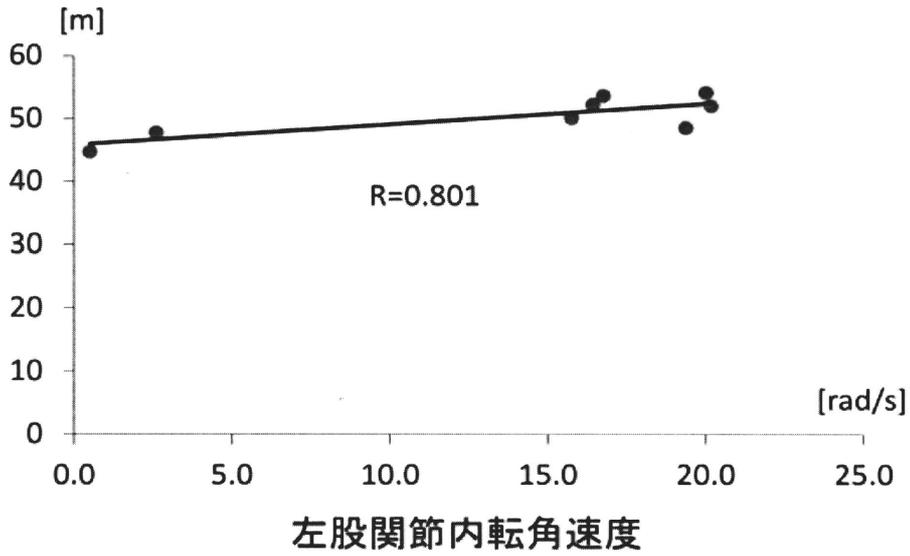


図 20. 左足接地局面の左股関節内転角速度

左股関節内転角速度と飛距離との間に有意な正の相関関係 ($r=0.801$) がみられた。

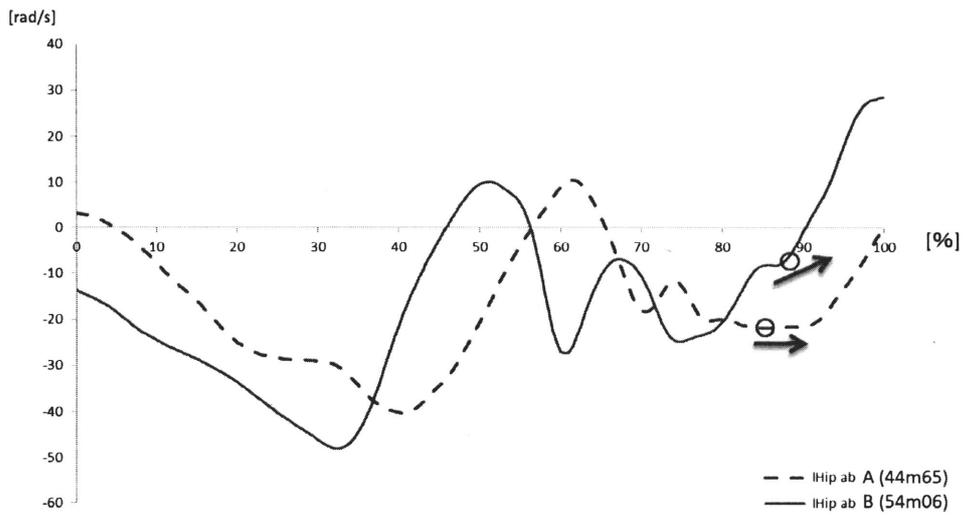


図 21. 左足接地時の左股関節内転角速度と飛距離の関連性

リリース

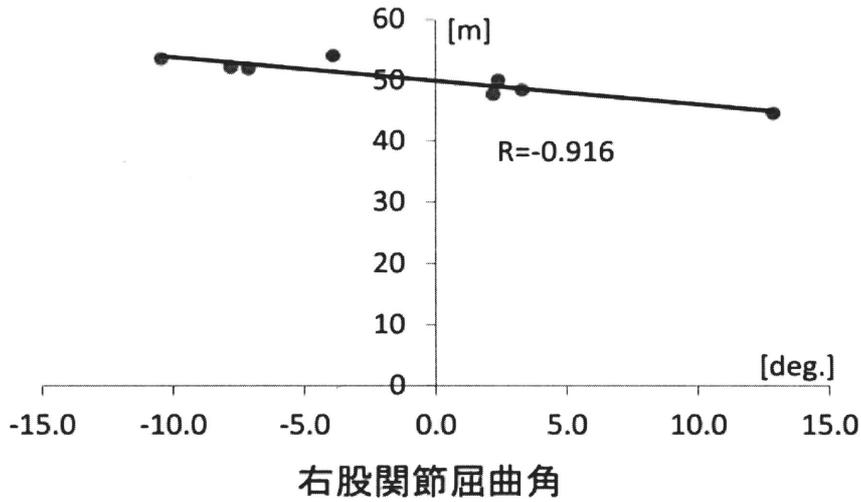


図 22. リリース局面の右股関節屈曲角度

右股関節屈曲角度と飛距離との間に有意な負の相関関係 ($r = -0.916$) がみられた。

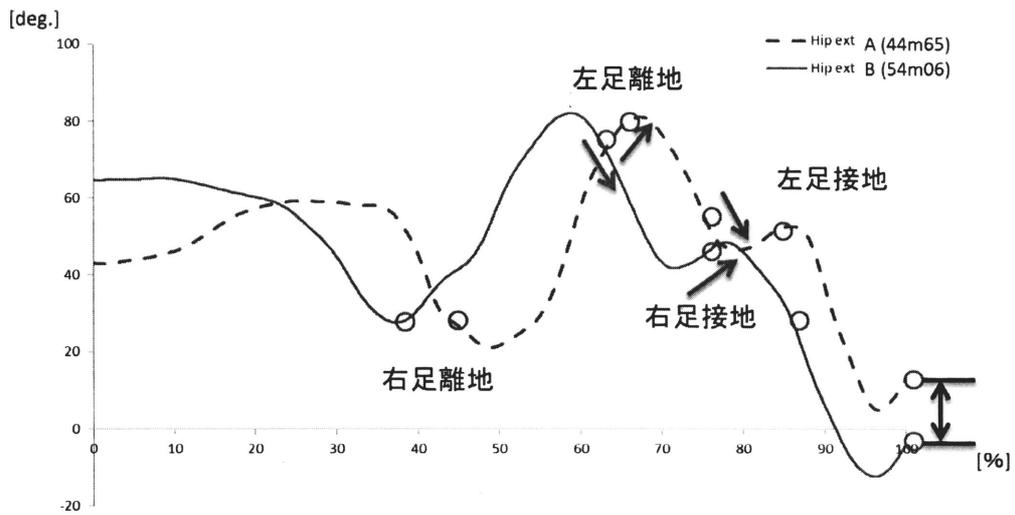


図 23. リリース時の右股関節屈曲角と飛距離の関連性

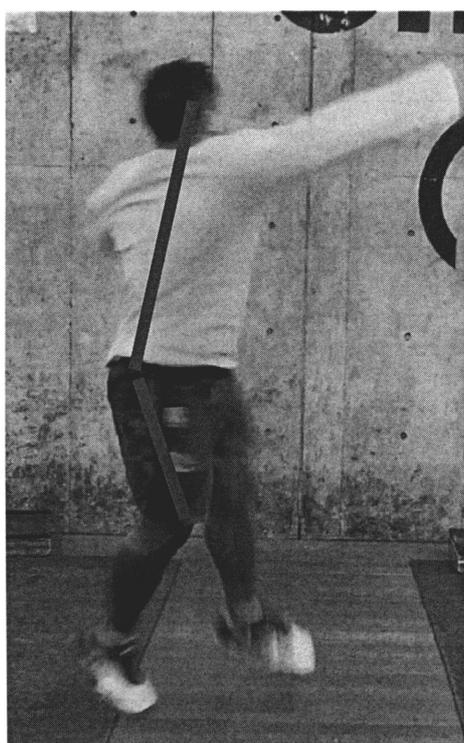


図 24. リリース局面において腰が引けた状態（左）
骨盤付近（体幹）を主動で押し続けている状態（右）

英文要約

「Characteristics of throwing motion in Japanese top level discus thrower」

Hiroya Kobayasi

【Background】 The most important factor in determining the flight distance in discus throw is the initial speed at the time of release. In addition, entry is important, such as angular momentum obtained in the first half of the throwing motion deciding 96% of the horizontal speed, it can be said that movement of the lower limb is the most important among throwing motion. Although, with respect to the relationship between the lower limb movement and the performance described above, only the reasoning in the field was reasoned by dynamic reasoning, and the movement of the lower limb was measured in real time in three dimensions, and the relevance to the performance was quantified. There are no studies that have been made clear. The purpose of this study is to measure the hip and knee joint movements of domestic first-class discus throwers using inertial sensors and to clarify the hip and knee joint movements that are related to the flight distance considered to be the top feature. Aimed at.

【Method】 This study subject is eight male domestic advanced level discus throw athletes who specialize in discus throw. In order to consider (different in technical due to difference in competitive power,) motion analysis was carried out. The operation section from the maximum backswing time to release of the trial, which was the maximum flight distance for each subject, was analyzed. Analysis items were characteristics of throwing motion from the start of the swing to the left foot detachment, right foot detachment, left foot detachment, and release.

【RESULTS】 At the beginning of the swing, the longer the distance traveled, the more the more the flight distance started, the more the exercise of the right hip joint was accompanied by the twisting back of the trunk as the swing started and the sinking of the body. In the left foot detachment, the longer the distance traveled, the more the bending of the right hip joint (pulling up the thighs and knees) before the left foot detachment, and the right hip joint was extended at the moment of detachment.

At the right foot contact, the longer the distance traveled, the more the abduction of the left hip joint and the extension of the left foot knee joint were performed. At the time of its operation, he performed bending movements of the right hip joint and the right knee, and those who had a long flight distance were moving with pelvic driving. Also, keeping the twist and center of gravity of the trunk low by doing the inner rotation of the right hip joint and the bending of the right knee joint. In the left leg contact, the person with a long flight distance has a high angular velocity of the left hip joint and its inner rolling movement is performed, so that it is possible to prevent the body from escaping at the time of release and to transmit the force transmitted from the ground to the disk can be estimated.

In the release, the longer the distance traveled, the closer it is to the release with pelvic activation, the extension of the right hip joint is done by exerting the power of the lower limbs.

【Conclusion】 As a result of examining the relationship between the movement of the hip joint and the knee joint in the throwing motion of domestic first-class discus thrower and the flight distance, the person with longer flight distance got a right hip joint at the time of left foot release (aerial phase) It is clear that it is extending quickly.