

## 円盤投における高い初速度獲得のための動作要因間の因果関係

前田 奎<sup>1)</sup> 大山下 圭悟<sup>2)</sup> 関 慶太郎<sup>1), 3), 4)</sup>  
 水島 淳<sup>1)</sup> 広瀬 健一<sup>5)</sup> 尾縣 貢<sup>2)</sup>

Kei Maeda<sup>1</sup>, Keigo Ohyama-Byun<sup>2</sup>, Keitaro Seki<sup>1, 3, 4</sup>, Jun Mizushima<sup>1</sup>, Kenichi Hirose<sup>5</sup> and Mitsugi Ogata<sup>2</sup>: Causal relationships among motion factors for achieving a high release velocity in the discus throw. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.

**Abstract:** The purpose of this study was to investigate, using path analysis, causal relationships among motion factors for achieving a high release velocity in the male discus throw. The throwing motions of 61 male discus throwers were analyzed using three-dimensional motion analysis. Variables such as release velocity, velocities gained by each body segment, body segment velocity, body angle and angular velocity were obtained. The path model indicating the causal relationships among these factors was constructed by path analysis.

The main results were as follows:

Influences of velocities gained by each body segment on release velocity were largest for the arm, followed in order by the trunk and legs.

Motion factors such as weight shift, acquisition of the velocity of the center of gravity, sweeping the legs, rotations of the hip and shoulder, twisting and untwisting of the trunk, acquisition of the velocity of the right knee and extension of the left knee had direct or indirect influences on the velocities gained by each body segment.

Motion factors in the path model revealed causal relationships along the time sequence of the throwing motion. In addition, the path model in this study indicated the cause and effect structure of the throwing motion by which Japanese male discus throwers were able to achieve a high release velocity. The results of this study can be utilized for technical coaching of the discus throw based on causal relationships.

**Key words:** throwing events, three-dimensional motion analysis, path analysis

キーワード：投てき競技, 3次元動作分析, パス解析

### I 緒言

円盤投の投てき距離は、円盤リリース時の速度（以下「初速度」と略す）、投射高、投射角、姿勢角、

迎え角および飛行中に円盤が受ける空気力学的要因などの影響を受けており、それらの中でも初速度は最も大きな影響を与える要因であることが報告されている（Bartlett, 1992, p.479; Hay, 1985, pp.487-491; Hay and Yu, 1995a, p.134）。したがって、

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1  
2) 筑波大学体育系  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1  
3) 日本大学文理学部  
〒156-8550 東京都世田谷区桜上水 3-25-40  
4) ユヴァスキュラ大学スポーツ健康科学部  
Rautpohjankatu 8, Jyväskylä, 40700 Finland  
5) 福岡大学スポーツ科学部  
〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1  
連絡先 前田奎

1. University of Tsukuba, Graduate School of Comprehensive Human Science  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574  
2. University of Tsukuba, Faculty of Health and Sport Science  
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574  
3. Nihon University, College of Humanities and Sciences  
Sakurajosui 3-25-40, Setagaya-ku, Tokyo, 156-8550  
4. University of Jyväskylä, Neuromuscular Research Center, Faculty of Sport and Health Sciences  
Rautpohjankatu 8, Jyväskylä, 40700 Finland  
5. Fukuoka University, Faculty of Sports and Health Science  
8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180  
Corresponding author zx400n.95k@gmail.com

円盤投競技者には、より高い初速度を獲得するための投てき動作の習得が要求される。

円盤投の投てき動作に関する研究は、世界トップレベルあるいはアジアトップレベルの競技者の動作の特徴を明らかにしたもの (Gregor et al., 1985; 宮西ほか, 1998; 山本ほか, 2010), パフォーマンス (投てき距離あるいは初速度) と動作中のキネマティクスや動作時間との相関関係について検討したもの (Leigh et al., 2008; 前田ほか, 2017; 松尾・湯浅, 2005; 宮崎ほか, 2016; Panoutsakopoulos and Kollias, 2012; 田内ほか, 2007a), 投てき距離と地面反力および下肢のキネマティクスとの相関関係について報告したもの (Yu et al., 2002) など、多数存在する。しかし、これらの先行研究では、パフォーマンスとそれぞれの動作要因との直接的な相関関係について検討されてきているものの、パフォーマンスと総合的な投てき動作との因果関係についての検討や、投てき動作中の動作要因間の因果関係の検討はなされていない。パフォーマンスと直接的に相関関係の認められる動作要因についてのみを検討することによって、パフォーマンスとは直接的な相関関係が認められなくても、重要な動作要因との間に関係があり、間接的に高いパフォーマンスの達成に関連している動作要因を見落としてしまっている可能性があると考えられる。また、尾縣・市村(1995, p.170) は、「運動構造は弾力的な可動性を持つ1つの全体であり、そこでは個々の分節がそれらの機能のなかで相互に影響しあう」というマイネル(1981, p.155) の見解について触れた上で、運動学習において効率的な指導を行うために、運動中の動作要因間の因果関係を踏まえて、的確なポイントを指導することが望ましいと述べている。円盤投は、限られた空間から、回転と並進を伴う高速の動作を行って円盤を投げ出すため、技術構造が複雑である。そのため、円盤投において、投てき動作中の動作要因間の因果構造を明らかにすることは、的確な技術指導を行うために必要であると考えられる。

要因間の因果関係について検討する方法としては、パス解析が用いられることが多く、体育・ス

ポーツ社会学 (青木, 1986), 心理学 (稲地・千駄, 1992; 伊藤, 1989; 佐々木, 1999) などの分野の研究において利用されてきた。しかし、バイオメカニクスの分野にパス解析を応用した研究はほとんど見当たらない。わずかに、走動作 (志賀ほか, 2004) やオーバーハンドスロー動作 (尾縣・市村, 1995) を対象に、パス解析によって運動のパフォーマンスや動作要因間の因果関係が明らかにされており、それらの研究で得られた知見は、走動作および投動作における、「原因-結果」を考慮した指導に利用可能なものである。円盤投においては、Hay and Yu (1995a, pp.134-135) が円盤の速度、投射高、投射角および損失 (あるいは利得) 距離について、項目間の相関関係をもとに、投てき距離を規定するモデルを作成しているが、競技者の動作要因については示されていない。また、Leigh and Yu (2007) は、多数の円盤投競技者を対象に、動作分析を行っているが、算出した動作要因間の関係については考慮しておらず、今後の課題として動作要因間の関係について検討する必要があると述べている。志賀ほか (2004) や尾縣・市村 (1995) と同様に、パス解析を用いて、円盤投における動作要因間の因果関係を明らかにすることができれば、「原因-結果」を考慮した円盤投技術指導のための着眼点を提示することができると考えられる。

そこで本研究では、日本人男性円盤投競技者を対象として、高い初速度獲得のための動作要因間の因果関係について、パス解析を用いて検討し、円盤投の技術指導に資する知見を得ることを目的とした。

## II 方法

### 1. データ収集および処理

#### 1.1 分析対象者

日本人男性円盤投競技者 61 名を分析対象とした。分析対象とした試技の投てき距離の平均値および標準偏差は  $44.94 \pm 6.79$  m であり、範囲は 30.06—59.21 m であった。なお、分析対象者は右投げが 59 名、左投げが 2 名であった。

## 1.2 試技の撮影および画像の同期

公式競技会および実験的な条件下において、分析対象者の投てき動作を撮影した。以下、それぞれの詳細な撮影設定について述べる。

### 1.2.1 競技会

競技会では55名の競技者について分析を行った。対象となった競技会は、第82回日本学生陸上競技対校選手権大会（2013、東京）、第94回関東学生陸上競技対校選手権大会1部・2部・3部（2015、神奈川）、第95回関東学生陸上競技対校選手権大会1部（2016、神奈川）、および2016年にA大学で行われた競技会であった。3台のハイスピードVTRカメラ（Casio社製、EX-F1）を用いて、対象者の投てき動作を撮影した。撮影コマ数は300fps、露出時間は競技会時の天候に応じて1/1000s—1/4000sに設定した。3方向からの画像の同期は、足の接地、離地および円盤をリリースした時点のコマ数を合わせることで行った。

### 1.2.2 実験

陸上競技男子円盤投において、公式競技会に出場経験を有する円盤投競技者6名を対象に、2014年8月17日にA大学にて行った実験における全力投てきの試技について撮影を行った。実験を行うにあたって、被検者には研究目的および実験内容を十分に説明し、実験への参加の同意を得た。試技の撮影には、3台のハイスピードVTRカメラ（Casio社製、EX-F1）を用いた。撮影コマ数は300fps、露出時間は1/2000sであった。3方向からの画像の同期は、LED型シンクロナイザ（DKH社製、PH-105）を用い、同期ランプを画角内に写し込むことによって行った。

## 1.3 データ処理

競技会での分析試技については、1人の対象者につき、撮影した3投あるいは6投の試技の中から、最も記録の良かった投てきを分析対象とした。実験に関しては、各被検者任意の本数（1—6本）を投てきし、その中から記録の最も良かった試技を分析対象とした。試技間には十分な休息を確保し、いずれの試技も全力で行った。撮影したVTR画像をFrame-DIAS IV（DKH社製）を用いて、上肢8点（左右の第3中手指関節中心、手関節中心、肘関節中心、肩関節中心）、下肢12点（左右のつま先、第3中足指節関節中心、踵点、足関節中心、膝関節中心、股関節中心）、頭部および体幹部5点（頭頂、左右耳珠点を結ぶ線分の中点、胸骨上縁、左右の肋骨下端）および円盤中心1点の計26点の2次元座標値を得た。得られたそれぞれのVTR画像の2次元座標値と、あらかじめ設定した実空間座標値が既知のコントロールポイントの座標値から、DLT法を用いて分析点の3次元座標値を算出した。本研究は1名の熟練した分析者が手動でディジタイズを行った。身体分析点はマーカーを用いず、認識の難しい身体分析点についても、身体セグメントの軸や関連する解剖学的ランドマークのうち、視覚による認識が可能なものとの相対的な位置関係を活用し、座標値の特定を行った。各競技会および実験における、キャリブレーションの標準誤差の平均値は表1に示した。求めた3次元座標値は、残差分析法によって最適遮断周波数（5—9Hz）を決定し、Butterworth digital filterを用いて平滑化を行った（Winter, 1990, pp.41-43）。なお、投てき方向に正対したと

表1 キャリブレーションの標準誤差の平均値

	X 軸 (m)	Y 軸 (m)	Z 軸 (m)
第82回日本学生陸上競技対校選手権大会	0.004	0.006	0.008
第94回関東学生陸上競技対校選手権大会1部	0.003	0.004	0.007
第94回関東学生陸上競技対校選手権大会2部・3部	0.004	0.005	0.007
第95回関東学生陸上競技対校選手権大会1部	0.005	0.004	0.009
大学競技会	0.007	0.008	0.009
実験	0.008	0.007	0.009

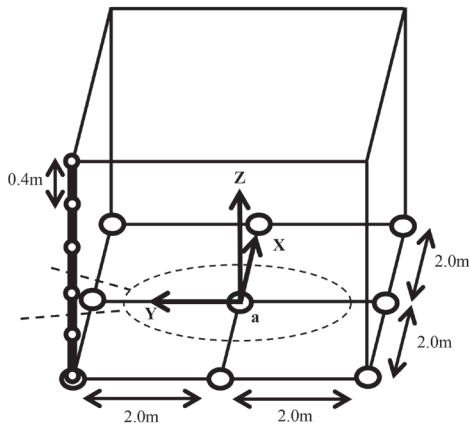


図1 静止座標系の定義

きに右方向をX軸正方向、鉛直上方をZ軸正方向、X軸とZ軸の外積によって得られる方向をY軸正方向とし、X軸、Y軸、Z軸からなる右手系座標系を静止座標系と定義した。例として、図1に第82回日本学生陸上競技対校選手権大会の座標系の定義を示した。左投げの競技者のデータについては、位置座標を左右反転し、右投げとして取り扱うこととした。

## 2. モデル作成

モデルの作成に先立ち、本研究では図2に示した局面定義を用いた。競技者が投てき動作を開始してから円盤をリリースするまでの時系列に沿った動作要因間の因果構造について検討するために、投てき距離に最も大きな影響を与える初速度と、後述する動作要因を用いて、図3に示されるモデルを設定した。それぞれの要因間のパスは、以下のような根拠に基づき想定した。なお、「パスA, B」という表現は、AとBのパスを同時に説明していることを示している(尾縣・市村, 1995, p.171)。

### 2.1 パス1, 2, 3

初速度は、脚、体幹、上腕、前腕および手といった身体各部位の獲得速度の総和であると考えられる(尾縣・市村, 1995, p.171; 尾縣・関岡, 1995, p.352)が、円盤投では、投てき腕の肘関節はほぼ完全に伸展した状態で投てき動作が行わ

れることも考慮し、脚部、体幹部および腕部(上腕部+前腕部+手部)の総和とした。

### 2.2 パス4

円盤投の投てき動作を通して、競技者は肘関節伸展位および肩関節水平外転位となっている場合がほとんどである。肘関節伸展位および肩関節水平外転位では、肩関節の水平内転に関わる筋群である大胸筋や三角筋の前部などの短縮が生じにくい状況であると考えられる。また、肩関節の水平外転が強調されすぎていると、円盤が肩よりも大きく後方に位置することになるため、リリースに向けて円盤に力を加えて加速させるためには、比較的優れた筋力を有する必要があることが推察される。本研究で対象とした日本人男性円盤投競技者は、世界トップレベルの競技者と比較して、体格および体力が劣ることが報告されている(前田ほか, 2018, p.183)。そのため、本研究で対象とした競技者においては、肩関節の水平外転を強調しすぎずに、DSP2において円盤に力を加えて十分に加速させることができる位置に、円盤を保持している可能性があることが推察される。このような状況で、肩の回旋動作が素早く行われた場合、肩関節の水平内転に関わる筋群の伸張-短縮サイクルが関与し、腕部獲得速度が高まり、初速度の獲得に繋がると考えられる。

### 2.3 パス5, 6

速い腰の回旋動作および体幹の大きな捻り戻し動作によって、体幹の筋群の伸張-短縮サイクルが生じ(宮崎ほか, 2016, p.25)、体幹の捻り戻しによる肩の回旋が速くなると考えられる。

### 2.4 パス7

体幹の前後屈、側屈によっても体幹部獲得速度が高まると考えられるが、体幹の捻転動作が投てきパフォーマンスに対して、より大きなエネルギーを発揮するための前提となる(田内・遠藤, 2009, p.177)ことを考慮すると、DSP2においては主に投てき動作を通して獲得した体幹の捻転を捻り戻す動作によって体幹部獲得速度が高まると

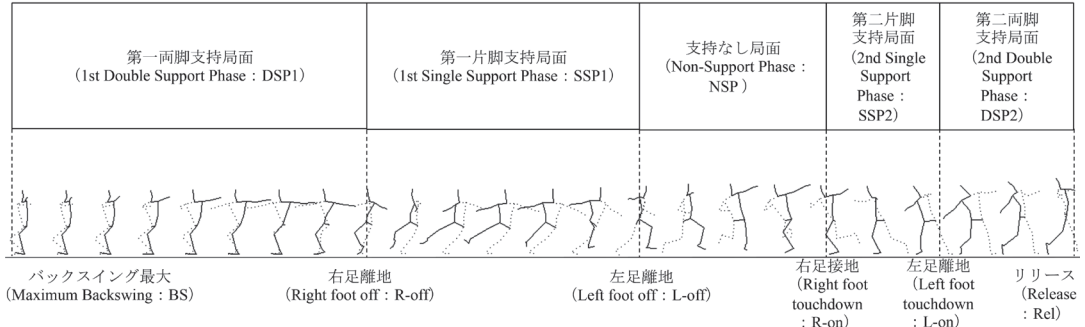


図 2 投てき動作の局面定義

BS	R-off	L-off	R-on	L-on	Rel
DSP1	SSP1	NSP	SSP2	DSP2	

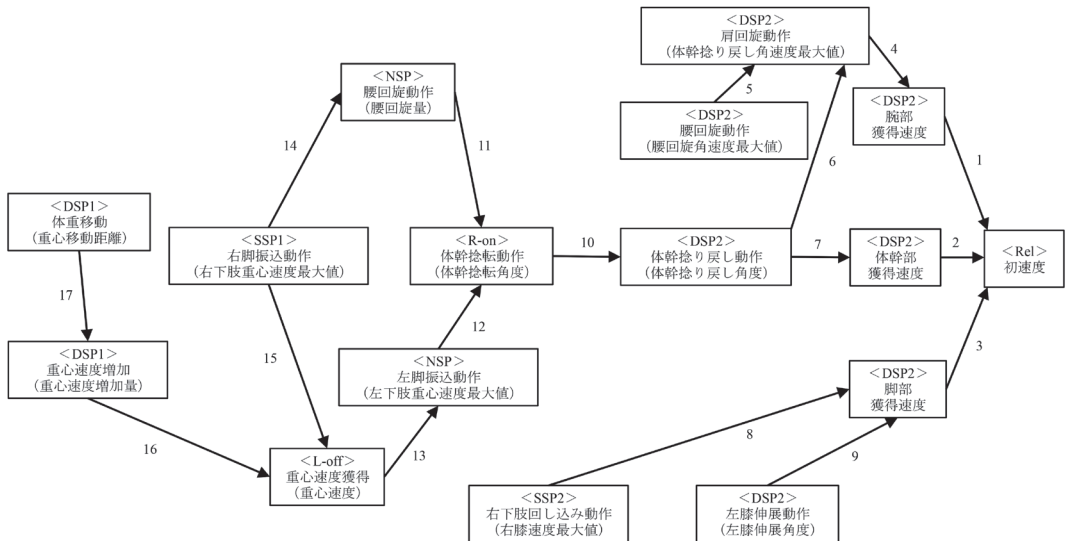


図 3 円盤投動作のパスモデル

推察される。

推察される。

2.5 パス 8, 9

SSP2 から DSP2 にかけては、右下肢の回し込み動作および捻り込み動作（小野ほか，2014，p.9），左下肢の伸展動作（Yu et al.，2002，p.43）がパフォーマンスに影響を与える動作であることが示されている。脚部獲得速度には、SSP2 における右下肢の動作による身体の加速，および DSP2 における左膝の伸展動作による並進から鉛直軸まわりの回転への転移が影響を与えていると

2.6 パス 10

体幹の捻り戻しを大きくするためには、十分な体幹の捻転を確保する必要がある。NSP は体幹の捻りを作り出す局面である（Hay, 1985, p.500）ことから、R-on 時に体幹の捻転が大きいことが要求されると考えられる。

2.7 パス 11, 12

NSP において、体幹の捻転を確保するためには、

肩を腰が追い越す必要があるため、腰の回旋量を大きくすることが要求される。また、指導現場において、L-off以降には左脚をスイングさせるような動作、いわゆる「左脚振込動作」の関与が指摘されている。NSPで左脚全体をスイングさせることにより、左股関節が回旋する方向に引き出され、体幹の捻転を確保することに繋がると考えられる。

## 2.8 パス 13

左脚を強く地面に押し込むこと (Silvester, 2003, pp.78-79) によって、L-off時の重心速度は高くなる (前田ほか, 2017, p.44)。前述した「左脚振込動作」を有効に活用するためには、左脚を強く地面に押し込んでいること、すなわちL-off時の重心速度が高まっていることによる影響を受けていると考えられる。

## 2.9 パス 14

SSP1においては右脚をスイングする動作、いわゆる「右脚振込動作」が行われる (Hay and Yu, 1995b, p.4265)。右脚をスイングすることによって、右股関節が回旋する方向に引き出され、腰の回旋量が大きくなると推測される。

## 2.10 パス 15, 16

地面に力を作用させ、身体を加速することができるのは、主に両足が接地している局面であると考えられる。両足が接地しているDSP1において、重心速度を増加させることが、L-off時の重心速度の獲得につながる。さらに、前述した「右脚振込動作」は、身体の推進に関連する動作である (Silvester, 2003, pp.78-79) ことから、片脚支持の状態での身体の加速に関与していることが推察される。

## 2.11 パス 17

DSP1での重心速度を増加させるためには、DSP1での積極的な体重移動 (Hay, 1985, p.497) を行う必要があると考えられる。

## 3. 算出項目および方法

本研究では、先行研究や指導書で指摘されている動作について検討し、先述したような時間的順序および理論的仮説をもとにパスモデルを作成した。近年、変数間の因果関係の検討には、「構造方程式モデリング (Structural Equation Modeling: SEM, 以下「SEM」と略す)」を用いることが一般的であるが、「SEM」は主に心理学や社会学の分野で扱われており、サンプル数が比較的大きく、モデルがシンプルである場合が多い。バイオメカニクスの分野に「SEM」を適用した研究としては、わずかに末松ほか (2008) が挙げられる。末松ほか (2008) は、男子小学生の疾走能力の指数と疾走中の接地時点の動作との因果構造を検討しているが、対象者は全体で383名と多く、接地時点の動作のみであることから、モデルも比較的シンプルなものとなっている。本研究においても、「SEM」を用いることを検討したが、サンプル数が先行研究 (末松ほか, 2008) ほど確保できなかったこと、本研究の目的が投てき動作全体を通した動作要因間の因果関係を明らかにすることであり、シンプルなモデルを作成できなかったことから、「SEM」を用いずに、従来のパス解析を採用することとした。従来のパス解析における問題点として、「SEM」ではモデル適合度が算出されるが、従来のパス解析ではモデル適合度は算出することができないことが挙げられる。そこで、モデルの妥当性を確保するために、「SEM」における、モデルの修正を行う最もポピュラーな方法である、有意でないパスをモデルから削除するという方法 (今野, 2012, pp.70-71) を採用することとした。具体的には、設定したモデルに採用する、ある動作要因について、複数の選択肢が考えられる (例えば、パス9の左膝伸展動作については、左膝の伸展角度および角速度が算出できる) 場合、有意でないパスを採用しないという方法である。このように、それぞれの動作要因について、単一を選択肢になるもの、複数の選択肢が考えられるものかどうかを判断した上で、パス係数の有意性を検討し、モデルの修正を試みた。その結果、以下に示す動作要因を分析に用いることとした。

### 3.1 各座標系の定義

後述する体幹捻転角度および左膝関節角度を算出する際に設定した、各座標系の定義を図4に示した。なお、それぞれの座標系は全て右手系で定義した。

#### 3.1.1 上胴座標系

左右肋骨下端の midpoint から左右肩関節の midpoint へ向かう単位ベクトルを  $Z_{ut}$  とし、左肩関節から右肩関節へ向かう単位ベクトル  $S_{ut}$  をとした。次に、 $Z_{ut}$  と  $S_{ut}$  の外積によって得られる単位ベクトルを  $Y_{ut}$  とし、さらに、 $Y_{ut}$  と  $Z_{ut}$  との外積によって得られる単位ベクトルを  $X_{ut}$  とした。そして、 $X_{ut}$ 、 $Y_{ut}$  および  $Z_{ut}$  を軸とする座標系を上胴座標系  $\Sigma_{ut}$  と定義した。

#### 3.1.2 下胴座標系

左右股関節の midpoint から左右肋骨下端の midpoint へ向かう単位ベクトルを  $Z_{lt}$  とし、左股関節から右股関節へ向かう単位ベクトルを  $S_{lt}$  とした。次に、 $Z_{lt}$  と  $S_{lt}$  の外積によって得られる単位ベクトルを  $Y_{lt}$  とし、さらに、 $Y_{lt}$  と  $Z_{lt}$  との外積によって得られる単位ベクトルを  $X_{lt}$  とした。そして、 $X_{lt}$ 、 $Y_{lt}$ 、 $Z_{lt}$  を軸とする移動座標系を下胴座標系  $\Sigma_{lt}$  と定義した。

#### 3.1.3 大腿座標系

左大腿座標系について、左膝関節から左股関節に向かう単位ベクトルを  $Z_{lh}$ 、左膝関節から左足関節に向かう単位ベクトルを  $S_{lh}$  とした。次に、 $Z_{lh}$  と  $S_{lh}$  の外積によって得られる単位ベクトルを  $X_{lh}$  とし、さらに、 $X_{lh}$  と  $Z_{lh}$  との外積によって得られる単位ベクトルを  $Y_{lh}$  とした。そして、

$X_{lh}$ 、 $Y_{lh}$  および  $Z_{lh}$  を軸とする座標系を左大腿座標系  $\Sigma_{lh}$  と定義した。

### 3.2 初速度

円盤中心の3次元座標値の各成分の変位を微分し、各成分を合成することにより円盤の合成速度を算出し、リリース時点の円盤の合成速度を初速度とした。

### 3.3 身体各部位による獲得速度

本研究では、投動作を扱った尾縣・市村（1995, pp.171-173）を参考に、投てき距離に最も大きな影響を持つ初速度を、腕部（上腕部+前腕部+手部）、体幹部および脚部の獲得速度の総和と捉えた。腕部獲得速度は、初速度から DSP2 での右肩の最高速度を差し引いたものを、体幹部獲得速度は、DSP2 における右肩の最高速度から右腰の最高速度を差し引いたものを、脚部獲得速度は、DSP2 における右腰の最高速度とした。なお、いずれの速度も各成分を合成したものをを用いて算出した。

### 3.4 重心速度および重心移動距離

得られた26点の分析点の3次元座標値から、阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて、競技者+円盤系の合成重心（以下「重心」と略す）を算出した。得られた重心の座標値の変位を微分し、各成分を合成することにより重心の合成速度を算出した。合成重心として算出するために、各競技者の体重に円盤の質量（2.0 kg）を加えたものを

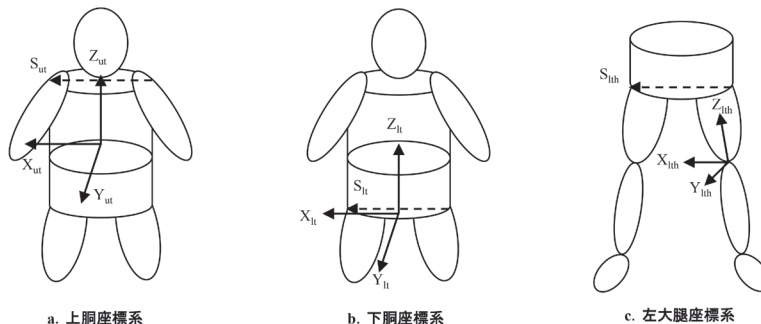


図4 移動座標系の定義

競技者+円盤系の質量として扱った。本研究では、L-off 時の合成重心速度を用いた。また、R-off 時の合成重心速度から BS 時の合成重心速度を差し引いたものを、DSP1 における重心速度増加量として算出した。さらに、後のコマにおける重心から前のコマにおける重心に向かう合成ベクトルを算出し、その合成ベクトルの大きさを積算することで、重心移動距離とした。本研究では、DSP1 の重心移動距離を算出した。

### 3.5 左右下肢重心速度

左右の脚の振込動作に代表される下肢全体の移動を表すパラメータとして、下肢の3セグメント(足部、下腿部、および大腿部)の重心位置および身体部分慣性係数(阿江, 1996)をもとに、下肢全体の重心位置を算出し、得られた座標値の変位を微分することにより、下肢重心の合成速度を算出した。本研究では、SSP1 における右下肢重心の最高合成速度および NSP における左下肢重心の最高合成速度を用いた。

### 3.6 右膝速度

SSP2 における下肢全体の動きを表すパラメータとして、右膝関節の3次元座標値の変位を座標成分ごとに微分し、各成分を合成することによって、右膝の合成速度を算出した。本研究では、SSP2 における右膝の最高合成速度を用いた。

### 3.7 体幹捻転角度

上胴座標系  $\Sigma_{ut}$  と下胴座標系  $\Sigma_{it}$  の関係を以下の

式のように示し、回転行列 R のカルダン角における3回転目の角度を体幹捻転角度とした。

$$\Sigma_{ut} = R \Sigma_{it}$$

本研究では、R-on 時の体幹捻転角度を用いた。また、Rel 時の体幹捻転角度から L-on 時の体幹捻転角度を差し引いたものを、DSP2 における体幹捻り戻し角度として算出した。また、DSP2 における体幹捻転角度の変位を微分したものを、体幹捻り戻し角速度として算出した。本研究では、DSP2 における体幹捻り戻し角速度の最大値を用いた。

### 3.8 腰回旋量および腰回旋角速度

図 5a に腰回旋角度の定義を示した。左股関節から右股関節に向かうベクトルを XY 平面に投影し、静止座標系の X 軸とのなす角度を腰回旋角度とし、投てき方向に背を向けた状態を  $0^\circ$  とした。本研究では、R-on 時の腰回旋角度から L-off 時の腰回旋角度を差し引いたものを、NSP における腰回旋量として算出した。さらに、腰回旋角度の変位を微分したものを腰回旋角速度として算出し、DSP2 における腰回旋角速度の最大値を用いた。

### 3.9 左膝関節角度

図 5b に左膝関節角度の定義を示した。左膝関節角度は、左膝関節から左足関節に向かうベクトルを左大腿座標系に投影し、左大腿座標系の

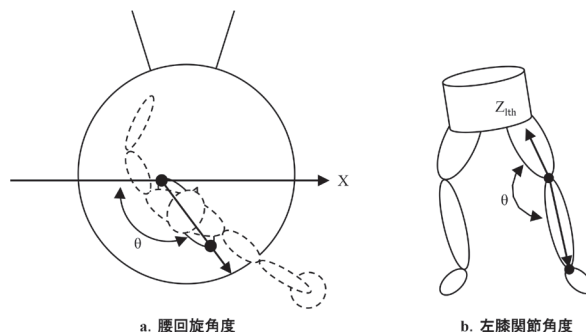


図 5 腰回旋角度および左膝関節角度の定義



Z軸 ( $Z_{th}$ ) とのなす角度とした。本研究では、DSP2 の左膝角度の最大値から、L-on 時の左膝角度を差し引いたものを、DSP2 における左膝伸展角度として算出した。

#### 4. 統計処理

初速度および各動作要因間の関係は、Pearson の積率相関係数を用いて検討した。また本研究では、尾縣・市村 (1995, pp.171-175) を参考に、パス解析を行った。手順としては、まず設定した投てき動作のモデルに対応して、逐次的に強制投入法による重回帰分析を行い、平均 0、分散 1 に標準化された偏回帰係数、すなわち標準化偏回帰係数を算出し、これをパス係数とした。パス解析では、従属変数の分散は、独立変数とモデルに含まれていない残余変数との一次結合によって完全に決定されるため、残余変数の総効果 (残余効果) は、 $\sqrt{1-R^2}$  で推定した。統計処理には、IBM SPSS Statistics 25.0 for Mac (IBM 社製) を用い、有意性は危険率 5% で判定した。

### III 結果

表 2 は、本研究で扱った各変数の平均値および標準偏差を示したものである。初速度と投てき距離との間には、有意な正の相関関係が認められた ( $r=0.966$ ,  $p<0.01$ )。表 3 は、モデルに取り上げた変数間の相関係数を示している。図 6 は、逐次的に重回帰分析を行う過程で、従属変数となる要因 (内生変数) と独立変数となる要因 (外生変数) との関係を、パス係数および残余効果で示したものである。

本研究で設定したモデルにおいて、いずれのパス係数も有意であった。初速度に対しては、腕部獲得速度、体幹部獲得速度および脚部獲得速度から有意なパスが通っており、パス係数は、腕部獲得速度、体幹部獲得速度、脚部獲得速度の順に大きかった。腕部獲得速度には、肩回旋動作から、肩回旋動作には、腰回旋動作および体幹捻り戻し動作から有意なパスが通っていた。肩回旋動作に対するパス係数は、腰回旋動作、体幹捻り戻し動作の順に大きかった。体幹部獲得速度には、体幹

表 2 各変数の平均値および標準偏差

変数	平均値±標準偏差
投てき距離 (m)	44.94 ± 6.79
初速度 (m/s)	20.25 ± 1.50
腕部獲得速度 (m/s)	14.39 ± 1.34
体幹部獲得速度 (m/s)	3.16 ± 0.78
脚部獲得速度 (m/s)	2.70 ± 0.39
DSP1 重心移動距離 (m)	0.31 ± 0.07
DSP1 重心速度増加量 (m/s)	0.87 ± 0.23
SSP1 右下肢重心速度最大値 (m/s)	5.60 ± 0.40
L-off 時 重心速度 (m/s)	2.46 ± 0.29
NSP 左下肢重心速度最大値 (m/s)	5.04 ± 0.57
NSP 腰回旋量 (deg.)	67.68 ± 29.30
R-on 時 体幹捻り戻し角度 (deg.)	45.26 ± 17.62
SSP2 右膝速度最大値 (m/s)	2.57 ± 0.52
DSP2 体幹捻り戻し角度 (deg.)	64.20 ± 20.10
DSP2 左膝伸展角度 (deg.)	38.04 ± 11.64
DSP2 腰回旋角速度最大値 (deg./s)	898.33 ± 187.64
DSP2 体幹捻り戻し角速度最大値 (deg./s)	611.62 ± 139.54

表3 モデルに取り上げた変数間の相関係数

変数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. 初速度	—	847**	430**	071	021	415**	491**	559**	514**	558**	411**	-079	285°	046	124	385**
2. 腕部獲得速度	—	—	-043	-092	-023	391**	358**	555**	452**	493**	286°	030	135	-021	086	335**
3. 体幹部獲得速度	—	—	—	-208	174	308°	248	101	194	212	393**	-208	370**	008	-031	178
4. 脚部獲得速度	—	—	—	—	-188	-365**	160	040	033	040	-191	288°	110	234	.241	-030
5. DSP1 重心移動距離	—	—	—	—	—	438**	143	124	133	-027	166	-188	219	002	-099	091
6. DSP1 重心速度増加量	—	—	—	—	—	—	344**	434**	344**	277°	286°	035	291°	-160	-179	321°
7. SSP1 右下肢重心速度最大値	—	—	—	—	—	—	—	631**	625**	306°	283°	089	279°	047	-018	317°
8. L-off時 重心速度	—	—	—	—	—	—	—	—	710**	210	285°	062	350**	101	-044	382**
9. NSP 左下肢重心速度最大値	—	—	—	—	—	—	—	—	—	475**	489**	092	345**	-032	-106	365**
10. NSP 腰回旋量	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	655**	-128	367**	-106	-168	285°
11. R-on 時 体幹捻転角度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	-118	546**	-241	-201	329**
12. SSP2 右膝速度最大値	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	094	-155	003	141
13. DSP2 体幹捻り戻し角度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	049	-318°	529**
14. DSP2 左膝伸展角度	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	120	052
15. DSP2 腰回旋角度最大値	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	170
16. DSP2 体幹捻り戻し角速度最大値	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

相関係数は小数点を省略. \*\*p<0.01 \*p<0.05

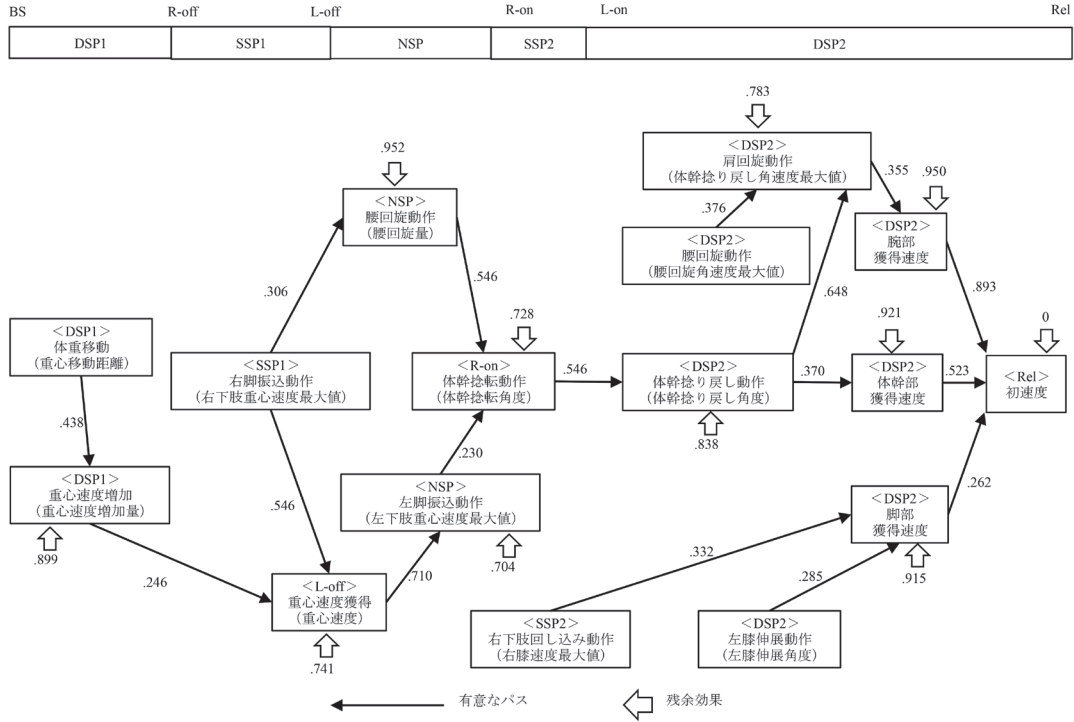


図6 円盤投動作における動作要因間の因果関係

捻り戻し動作から有意なパスが通っており、脚部獲得速度には、左膝伸展動作および右下肢回し込み動作から有意なパスが通っていた。脚部獲得速度に対するパス係数は、右下肢回し込み動作、左膝伸展動作の順に大きかった。体幹捻り戻し動作には、体幹捻転動作から有意なパスが通っていた。体幹捻転動作には、腰回旋動作および左脚振込動作から有意なパスが通っており、パス係数は、腰回旋動作、左脚振込動作の順に大きかった。腰回旋動作には、右脚振込動作から有意なパスが通っており、左脚振込動作には、重心速度獲得から有意なパスが通っていた。重心速度獲得には、右脚振込動作および重心速度増加から有意なパスが通っており、パス係数は右脚振込動作、重心速度増加の順に大きかった。重心速度増加には、体重移動から有意なパスが通っていた。

#### IV 考察

本研究において、初速度と投てき距離との間

に有意な正の相関関係が認められた。この結果は、先行研究 (Hay, 1985, pp.487-491; Hay and Yu, 1995a, p.134; 前田ほか, 2017, pp.39-43) を支持するものである。円盤投の投てき距離には、初速度に加えて、飛行中の円盤に作用する空気力学的要因も影響を与えることが報告されている (Hay and Yu, 1995a, p.133; 前田, 1995, p.33; 小野, 1957, pp.181-182; Poprawski, 1994, p.36) ことを考慮し、本研究では空気力学的要因による影響を除外するため、初速度をパフォーマンス変数とした。

初速度には、腕部獲得速度、体幹部獲得速度および脚部獲得速度から有意なパスが通っていたことから、これらの身体部位による獲得速度が、初速度に対して影響を与えていることが明らかとなった。パス係数の大きさから、初速度に対する影響力は、腕部獲得速度、体幹部獲得速度、脚部獲得速度の順に大きいことが示された。投てき動作の最終局面である DSP2 では、初速度のおよそ 60—70% が獲得され、パフォーマンスの高い競

投者ほど DSP2 での円盤の速度増加量が大きくなることが報告されている (Bartlett, 1992, p.501). さらに、投てき動作を通して獲得した競技者+円盤系の角運動量を、円盤に伝達することで、円盤の速度が獲得されることが示されている (Dapena, 1993; 宮西ほか, 1998). また、DSP2 における投てき腕の動作として、水平内外転、伸縮 (田内ほか, 2007b, p.128; 山本, 2015, p.11), 外転が行われることから、投てき腕は水平内転動作による円盤の加速および伸縮や外転によって回転半径を大きくすることで肩回旋動作を利用した円盤の加速を行う役割を担っていると考えられる. すなわち、腕部獲得速度は、右肩が最高速度を迎えた後に肩関節の運動および肩の回旋動作を含む総合的な動作によって獲得された円盤の速度であると解釈することができる. これらのことから、DSP2 では、右肩が最高速度となった後に、投てき腕の水平内転、外転および伸縮動作などによって円盤の加速および円盤への角運動量の伝達を行うことが、初速度の獲得に大きな影響を与えていると考えられる.

腕部獲得速度には、肩回旋動作から有意なパスが通っており、肩回旋動作には、腰回旋動作および体幹捻り戻し動作から有意なパスが通っていた. パス係数の大きさから、肩回旋動作に対する影響力は、腰回旋動作、体幹捻り戻し動作の順に大きいことが明らかとなった. また、体幹捻り戻し動作からは、体幹部獲得速度にも有意なパスが通っていた. これらの結果から、DSP2 において、腰を速く回旋させること、体幹の捻り戻し角度を大きくすることにより、体幹の捻り戻し、すなわち肩の回旋が速くなり、腕部の獲得速度が大きくなること、そして DSP2 における体幹の捻り戻し角度を大きくすることで、体幹部の獲得速度が大きくなることが示唆された. 宮崎ほか (2016, p.25) は、DSP2 において、腰の回旋が肩よりも先行する位相ずれによって、体幹の筋群の伸張—短縮サイクルが生じている可能性について指摘している. したがって、腰を速く回旋することで肩との位相がずれ、体幹の筋群の伸張—短縮サイクルが生じ、体幹捻り戻し角度が大きくなり、かつ肩の

回旋が速くなり、最終的に腕部の速度が大きくなると考えられる.

脚部獲得速度には、左膝伸展動作および右下肢回し込み動作から有意なパスが通っていた. パス係数の大きさから、脚部獲得速度に対する影響力は、右下肢回し込み動作、左膝伸展動作の順に大きいことが明らかとなった. Yu et al. (2002, p.37) は、地面反力から下肢関節トルクを算出し、投てき距離との相関関係について検討した結果、SSP2 から DSP2 の間の右股関節内旋トルクおよび左膝関節伸展トルクと投てき距離との間に有意な正の相関関係が認められたことを報告している. すなわち、SSP2 から DSP2 にかけては、右下肢の内旋動作および左下肢の伸展動作が重要であることが示されている (Yu et al., 2002, p.43). 本研究では、右下肢の内旋動作に関する要因として、SSP2 における右膝の最高速度を、左下肢伸展動作に関する要因として、DSP2 における左膝伸展角度を算出し、脚部獲得速度との関係について検討した. 小野ほか (2014, p.6) は、円盤投の達成度評価規準の項目の1つに、ターン動作後半における「右足の回し込み (右足が接地してから左足が接地するまでの間、投てき方向に右足が回り続けていること)」を取り上げている. また、円盤投の指導現場においても、R-on 以降右脚を回し続け、地面を押すことは、高いパフォーマンスの達成のための重要な動作の1つであると考えられている. さらに、Yu et al. (2002, p.43) は、DSP2 における強い左膝の伸展の重要性について指摘している. これらの先行研究での指摘および指導現場での認識と、本研究の結果から、SSP2 において、右脚を回旋させることで右膝の速度を高め、DSP2 において、左膝の伸展角度を大きくすることによって、脚部の獲得速度、すなわち右腰の速度が大きくなり、初速度の獲得に繋がるということが示唆された.

先述したように、本研究で設定したモデルにおいて、体幹捻り戻し動作は、体幹部獲得速度および肩回旋動作に影響を及ぼす要因であった. 肩回旋動作が腕部獲得速度に直接影響を与えていたこと、体幹の積極的な捻り戻し動作が角運動量の伝

達に関わる動作であると示唆されている（宮崎ほか，2016，p.25）こと考慮すると，体幹の捻り戻し動作は初速度を高める上で重要な役割を担っていると考えられる．体幹の捻り戻し角度を大きくするためには，十分な体幹の捻転を確保しておく必要がある．そこで，DSP2における体幹捻り戻し動作と R-on 時の体幹捻転動作の関係について見てみると，体幹捻転動作から体幹捻り戻し動作に，有意なパスが通っていた．田内・遠藤（2009，p.177）は，投てきパフォーマンスに対する体幹の捻転動作は，より大きなエネルギーを発揮するための前提となる動作としての役割を果たしていると指摘している．したがって，NSPにおいて，体幹の捻転を作り出し，その後積極的な体幹の捻り戻しを行うことは，大きなエネルギーを生み出し，伝達するための動作であり，初速度の獲得に影響を及ぼす動作であると推察される．

体幹捻転動作には，腰回旋動作および左脚振込動作から有意なパスが通っていた．パス係数の大きさから，体幹捻転動作に対する影響力は，腰回旋動作，左脚振込動作の順に大きいことが明らかとなった．このことは，R-on 時に体幹捻転角度を確保するためには，NSP における腰の回旋量を大きくすること，「左脚振込動作」によって左下肢の速度を高めることが有効であることを示唆するものである．腰回旋動作と左脚振込動作の間には有意な正の相関関係も認められており（表3），「左脚振込動作」を行うことで，NSP における腰の回旋量も大きくなるものと考えられる．また，パス係数の大きさに着目すると，R-on 時に体幹の捻転を大きくすることに対して，NSP における「腰の先行」が「左脚振込動作」よりも大きな影響を与えていることがうかがえる．NSP で腰が先行し，R-on 時に体幹の捻転が大きくなることで，右足が接地した時点からリリースするまでの円盤の軌跡が長くなると考えられる．円盤の軌跡が長くなることは，円盤に長い時間力を作用させることができることを意味しており，初速度の獲得につながることを示されている（Bartlett，1992，p.501；Hay，1985，p.487）．そのため，NSP で「腰の回旋動作」と「左脚振込動作」によって，R-on

時の体幹捻転角度を大きくすることは，本研究で示したモデルの中でも，初速度獲得のために重要な役割を担っていると考えられる．

腰回旋動作には，右脚振込動作から有意なパスが通っており，左脚振込動作には，重心速度獲得から有意なパスが通っていた．さらに，重心速度獲得には，右脚振込動作および重心速度増加から有意なパスが通っていた．パス係数の大きさから，重心速度獲得に対する影響力は，右脚振込動作，重心速度増加の順に大きいことが明らかとなった．また，重心速度増加には，体重移動から有意なパスが通っていた．これらの結果から，NSP の腰回旋量を大きくするために，「右脚振込動作」も有効であること，「左脚振込動作」には L-off 時の重心速度が高いことが影響していること，L-off 時の重心速度を高めるためには，「右脚の振込動作」が有効であり，DSP1 で重心速度を増加させておく必要があること，そして DSP1 で重心速度を増加させるためには，重心移動距離を大きくする必要があることが示唆された．Hay（1985，p.497）は，動作前半において，（右利き競技者の場合）重心を左足の上あるいは左足を越えたところまで移動させることが，成功試技のための重要な要因であると述べているが，その理由については詳細に記述されていない．本研究の結果から，DSP1 で十分な体重移動を行うことは，DSP1 での重心速度増加および L-off 時の高い重心速度の獲得による身体の推進の強調に関わる動作につながるものが明らかとなった．L-off 時の重心速度が高いことは，指導書（Judge，2014，p.278）で指摘されている技術的な失敗の1つである「過回転」を防ぐことができるとともに，大きな並進運動量を獲得するための重要な要因であることが示されている（前田ほか，2017，p.44）．また，Silvester（2003，pp.78-79）は，「右脚振込動作」による強い回転力と，左脚を強く地面に押し込む動作による推進力を結びつけることの重要性について指摘している．先行研究における指摘と本研究の結果から，SSP1 で「右脚振込動作」を行うこと，左脚を強く地面に押し込むことによって，L-off 時の重心速度を高めることができ，NSP での左下

肢重心の速度も大きくなり、効率的な「左脚の振込動作」につながると推察される。さらに、左右の下肢の振込動作を行うことによって、腰の回旋量が大きくなり、R-on時に体幹の捻転が大きくなると考えられる。

以下、本研究の結果を動作開始時点から順にまとめる。動作前半(DSP1-SSP1)においては、DSP1での積極的な体重移動、SSP1での「右脚の振込動作」によって重心速度を高める、といった競技者の推進に関わる動作が重要であることが示された。また、動作中盤(SSP1-NSP)にかけては、左右の下肢の振込動作によって、競技者を推進させながら、腰を回旋させ、体幹捻転角度を大きくする必要がある。これらの動作は円盤の水平速度に大きな影響を与える鉛直軸まわりの角運動量(Dapena, 1993, p.3978)の獲得に関わる動作であると考えられる。動作後半(SSP2-DSP2)では、右膝の速度を高めること、および左膝を伸展させることで、脚部による獲得速度を高め、SSP2以前に獲得した体幹の捻転を積極的に戻し、腰、肩ともに速く回旋させることで、体幹部および腕部による獲得速度を大きくすることが、高い初速度の獲得に有効であることが示唆された。パスモデルに取り上げられた動作要因は、ターン動作で運動量を獲得し、円盤へと伝達することに関わるものであり、力学的な原則に基づく合理的な動作要因であったと考えられる。

本研究で設定したパスモデルに取り上げられたそれぞれの動作要因は、競技者が投てき動作を開始してから円盤をリリースするまでの時系列に沿った、動作要因間のつながりを示したものであった。本研究の結果から、円盤投におけるターン動作中のそれぞれ動作要因は、他の動作要因に影響を与えることによって、間接的に初速度を規定していることが明らかとなった。本研究の分析対象者は、日本人初級レベルから日本人上級レベルまでの、広範な競技レベルを有する男性円盤投競技者であったため、本研究で設定したモデルは、日本人男性円盤投競技者が、高い初速度を達成するための投てき動作の因果構造モデルを示している。また、本研究の結果は、先行研究、指導書お

よび指導現場で指摘されている各動作要因間の因果関係を考慮した、科学的根拠に基づく円盤投の技術指導に活用することができると考えられる。

## V 要約

本研究の目的は、日本人男性円盤投競技者を対象として、高い初速度獲得のための動作要因間の因果関係について、パス解析を用いて検討し、円盤投の技術指導に資する知見を得ることであった。61名の男性円盤投競技者を対象に、3次元動作分析を行い、算出された初速度、身体各部位による獲得速度および動作要因の関連を示すパスモデルを設定し、要因間の因果関係をパス解析によって検討した。

本研究で設定したモデルから、初速度には腕部、体幹部および脚部獲得速度の全てが影響を及ぼしていることが示された。また、体重移動、重心速度の獲得、左右下肢の振込動作、肩および腰の回旋動作、体幹の捻転および捻り戻し動作、右膝の速度を高める動作、あるいは左膝の伸展動作が、直接的、間接的に身体各部位の獲得速度に影響を与えていることが確認された。さらに、本研究で設定したモデルに取り上げられた動作要因は、競技者が投てき動作を開始してから円盤をリリースするまでの時系列に沿った動作要因間の因果関係を示したものであった。本研究で設定したモデルは、日本人男性円盤投競技者が、高い初速度を達成するための投てき動作の因果構造モデルを示しており、「原因-結果」という関係を踏まえた円盤投の技術指導に活用できると考えられる。

## 謝辞

データ収集に際し、公益社団法人日本学生陸上競技連合ならびに関東学生陸上競技連盟に多大なご高配を賜りました。ここに記し謹んで深謝申し上げます。

## 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係数. Japanese Journal of Sports Science, 15 :

- 155-162.
- 青木邦男 (1986) 運動部参加者のスポーツに対する評価的態度を規定する要因—パス解析を用いて—. 体育の科学, 37: 767-771.
- Bartlett, R. M. (1992) The biomechanics of the discus throw: A review. *Journal of Sports Science*, 10(5): 467-510.
- Dapena, J. (1993) New insights on discus throwing. *Track Technique*, 125: 3977-3983.
- Gregor, R. J., Whiting, W. C., and McCoy, R. W. (1985) Kinematic analysis of Olympic discus throwers. *International Journal of Sports Biomechanics*, 1(2): 131-138.
- Hay, J. G. (1985) Track and field: Throwing. In: Chrzanowski, C. (ed.) *The biomechanics of sports techniques* (3rd Edition). Prentice-Hall, pp.475-519.
- Hay, J. G. and Yu, B. (1995a) Critical characteristics of technique in throwing the discus. *Journal of Sports Sciences*, 13(2): 125-140.
- Hay, J. G. and Yu, B. (1995b) Free-leg action in throwing the discus. *Track Coach*, 134: 4265-4268.
- 稲地裕昭・千駄忠至 (1992) 中学生の運動部活動における退部に関する研究: 退部因子の抽出と退部予測尺度の作成. 体育学研究, 37: 55-68.
- 伊藤豊彦 (1989) 問題選手に対する原因帰属様式—選手の認知と指導法の判断—. 体育学研究, 34: 159-166.
- Judge, L. W. (2014) Discus. In: USA Track & field (ed.) *Track & field coaching essentials*. Human Kinetics, pp.277-297.
- 今野勝幸 (2012) 構造方程式モデリング—モデル構築の再検討—. 外国語メディア学会 (LET) 関西支部 メソドロジー研究部会 2012 年度報告論集: 68-74.
- Leigh, S. and Yu, B. (2007) The associations of selected technical parameters with discus throwing performance: A cross-sectional study. *Sports Biomechanics*, 6(3): 269-284.
- Leigh, S., Gross, M. T., Li Li., and Yu, B. (2008) The relationship between discus throwing performance and combinations of selected technical parameters. *Sports Biomechanics*, 7(2): 173-193.
- 前田奎・大山下圭悟・広瀬健一・尾縣貢 (2017) 円盤投における並進運動に関するパラメータと円盤の初速度との関係. 陸上競技学会誌, 15: 35-46.
- 前田奎・大山下圭悟・広瀬健一・尾縣貢 (2018) 男子円盤投における記録と形態および体力要因との関係—記録に応じた体力基準の推定—. コーチング学研究, 31(2): 175-184.
- 前田正登 (1995) 円盤投における投射初期条件. スポーツ方法学研究, 8(1): 29-38.
- 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): 33-43.
- マイネ:金子明友訳(1981)スポーツ運動学. 大修館書店.
- 宮西智久・桜井伸二・若山章信・岡本敦・只左一也 (1998) アジア一流競技者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): 10-18.
- 宮崎利勝・高橋和将・平山大作・内藤景・阿江通良・大山下圭悟 (2016) 円盤投げにおける体幹の捻転動作が円盤の初速度に与える影響. 陸上競技学会誌, 14: 19-26.
- 尾縣貢・市村操一 (1995) パス解析を用いたオーバーハンドスロー動作の検討: 成人女性を対象として. 体育学研究, 40: 170-180.
- 尾縣貢・関岡康雄 (1995) 特別な投運動学習経験のない成人女性のオーバーハンドスロー動作の特徴. 体育学研究, 39: 350-362.
- 小野勝次 (1957) 円盤投. 小野勝次編著, 陸上競技の力学. 同文書院, pp.181-187.
- 小野真弘・徐広孝・大山下圭悟・西嶋尚彦 (2014) 円盤投動作技能の評価規準. 体育測定評価研究, 14: 1-10.
- Panoutsakopoulos, V. and Kollias, A. K. (2012) Temporal analysis of elite men's discus throwing technique. *Journal of Human Sport & Exercise*, (4): 826-836.
- Poprawski, R. (1994) Discus and the wind. *Track & Field Quarterly Review*, 94(3): 36.
- 佐々木万丈 (1999) 体育学習における能力的不適応経験時のコーピングと心理的ストレス反応の関係: 中学生の場合. 体育学研究, 44: 445-456.
- 志賀充・尾縣貢・福岡直樹・関岡康雄 (2004) スプリント走における疾走動作間関係—中学生を対象として—. いばらき健康・スポーツ科学, 22: 19-28.
- Silvester, L. J. (2003) Discus. In: Silvester, L. J. (ed.) *Complete book of throws*. Human Kinetics, pp.65-97.
- 末松大喜・西嶋尚彦・尾縣貢 (2008) 男子小学生における疾走能力の指数と疾走中の接地時点の動作との因果構造. 体育学研究, 53: 363-373.
- 田内健二・遠藤俊典 (2009) 陸上競技の投てき種目における体幹の捻転動作の役割. *バイオメカニクス研究*, 13(3): 170-178.
- 田内健二・磯繁雄・持田尚・杉田正明・阿江通良 (2007a) 円盤投の動作時間と投てき記録との関係. 陸上競技研究紀要, 3: 25-31.
- 田内健二・持田尚・村上雅俊・阿江通良 (2007b) 日本一流円盤投げ選手の技術分析—円盤速度に対する身体各部位の貢献について—. 陸上競技研究紀要, 3: 127-131.
- Winter, D. A. (1990) Kinematics. In: Winter, D. A. (ed.) *Bio-mechanics and motor control of human movement*. John Wiley and Sons, pp.11-50.
- 山本大輔 (2015) 円盤投げにおける男女間の円盤加速動

作の違い. 天理大学学報, 239 : 9-16.

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) 円盤投のキネマティクスの分析. 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班編, 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術: 第11回世界陸上競技選手権大阪大会: 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書. 日本陸上競技連盟, pp.189-200.

Yu, B., Broker, J., and Silvester, L. J. (2002) A kinetic analysis of disc-throwing techniques. *Sports Biomechanics*, 1(1): 25-46.

(2018年1月4日受付)  
(2018年9月8日受理)

Advance Publication by J-STAGE  
Published online 2019/1/21