男子円盤投動作における捻転角度と最大振り切り速度の関係性について

About the relationship between the twist angle and the maximum swing speed in the men's discus throwing motion

宮内　育大[1)]・小松　泰喜[1)]・布目　寛幸[2)]・小山　裕三[1)]

Ikuhiro Miyauchi[1)]・Taiki Komatsu[1)]・Hiroyuki Nunome[2)]・ Yuzou Koyama[1)]

Key words: Twisting motion・Shake off motion・Three-dimensional motion analysis
捻転動作・振り切り動作・三次元動作解析

１．緒言

円盤投は決められた範囲内において，複雑な回転動作を行い，投てき距離を競う種目であり，身長や体重などの身体が大きいことや爆発的に力を発揮する能力および最大筋力が求められることが報告されている（石河，1977；シュリモンスキー，1982；植屋ら，1994；ボンパ，2006）．より具体的に円盤投の投てき距離が決定する要因について，円盤リリース時の速度である初速度，投射高，投射角，姿勢角，迎え角，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が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（Hay, 1985；Bartlett, 992；Hay and Yu, 1995a；Hay and Yu, 1995b）．つまり，初速度に着目する必要があると考えられる．前田ら（2019）の報告から，初速度を高めるためには，各身体貢献度を高める必要があることが明らかにされており，初速度に対しての有意な貢献度は腕部獲得速度・体幹部獲得速度・脚部獲得速度の順に大きいことも報告されている．上記の貢献度を高めることならびに爆発的な力を発揮するための動作として，高い捻転度合いの獲得が有効であることが報告されており，非両脚支持局面において腰が肩を追い越すような形で先行をすること（以下：切り返し動作とする）で獲得に繋がり，第二片脚支持局面においてさらに高い捻り度合いを得ることや，その後の投てき動作と記録向上に生かされていることが明らかとなっている（田内・遠藤，2009；前田ら，2019）．

上記のことから先行研究では，2007年の円盤投の世界１位と日本１位の投てき動作の比較において捻転動作の差異をはじめとする投てき動作の技術的差異や体格・体力的差異についての研究は見られる（山本ら，2008）．また円盤投の初速度と体幹の捻転動作の関係性に着目した研究が行われている（宮崎ら，2016）．しかし，これらの先行研究では捻転角度の値について触れているものの，捻転角度と捻転を生み出す要因とされる最大振り切り動作における速度との直接的な関係性について言及した研究はみられない．捻転角度と最大振り切り速度の直接的な関係性を示すことで，投てき動作における意識的な捻転動作が振り切り動作にどのように影響するかを明らかにすることができるのではないかと考えられる．加えて，競技力の高い水準（世界トップレベルと日本トップレベル）での比較検討は行われているものの，シニア期初期に当たる学生の競技者に焦点を当て，競技力の差による比較検討はあまり行われていない．特に男子円盤投は，シニア初期段階当たる学生の時点でジュニアの規格（1.750kg からシニアの規格（2.000kg）に変更される（山崎，

1）日本大学スポーツ科学部
College of Sports Sciences, Nihon University
2）福岡大学
Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University

1993）．この規格変更により，技術的な要因変化や規格変更への対応が求められる．その時期における円盤投の初速度に影響を与える要因について検討することは，規格変更における技術的方向性を呈示し，スムーズな規格変更の一助になると考えられる．

そこで本研究では，男子学生円盤投競技者を上位群と下位群に分類し，投てき動作の捻転動作と振り切り動作に着目した３次元動作解析を経て，下位群に求められる投てき動作の技術的向上の方向性を明らかにすることを目的とした．

２．方法

2.1. 対象者

分析対象者はN大学における日本人男子大学円盤投競技者８名を対象とした．表１は，各分析対象者の自己最高記録と身体特性を示したものである．なお，分析対象者は右投げが７名，左投げが１名であった．また，上位群と下位群に分類する基準として，各対象者の自己最高記録が第98回関東学生陸上競技対校選手権大会のA標準参加記録（44m00）を上回っている選手を上位群，下回っている選手を下位群とした．

2.2. 局面定義

本研究における局面定義について，前田ら（2019）を参考に，DSP1：第一両脚支持局面，SSP1：第一片脚支持局面，NSP：非両脚支持局面，SSP2：第二片脚支持局面，DSP2：第二両脚支持局面とした．図１には具体的な局面区分を示している．

2.3. 測定環境

分析対象者には研究の目的および実験内容を十分に説明し，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．さらに，試技間には十分な休息を確保し分析対象者が全力投てきを行えるように配慮した．

実験試技について，対象者には実際の競技会同様に回転動作を用いて最大努力で投てきをしてもらい，投てき数については競技会同様１人６回とした．

2.4. 測定方法

分析対象者の投てき動作を三次元動作解析装置VICON MOTION SYSTEMS社製（赤外線カメラ14台；200Hz，以下VICON）とビデオカメラ１台（100Hz）を使用して撮影した．VICONでは，分析対象者の投

表１　N大学における日本人男子円盤投競技者の自己最高記録と身体的特性

		身長（cm）	体重（kg）	PB（m）	利き手
上位群	A	184	110	51.28	右
	B	181	115	48.48	右
	C	178	87	47.47	左
	D	189	106	45.00	右
下位群	E	174	82.3	42.47	右
	F	182	110	42.47	右
	G	175	102	42.22	右
	H	180	115	41.55	右
	平均値	180.4	103.4	45.12	
	標準偏差	±4.55	±11.61	±3.35	

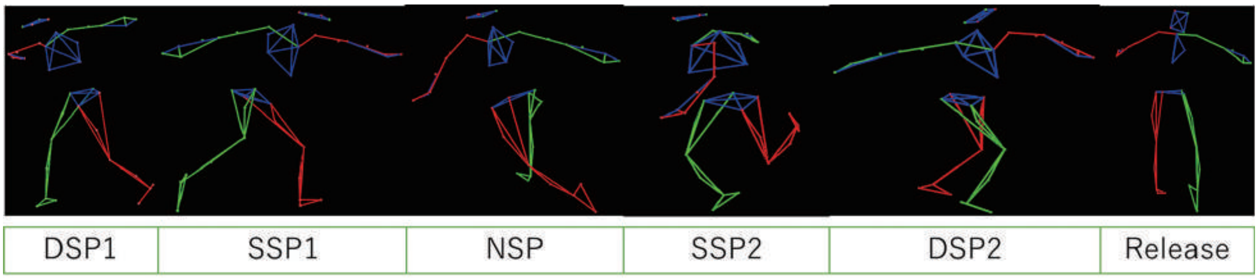

図１　円盤投の投てき動作における局面区分

てき動作を三次元的に撮影するため，角度ライン（円盤投の成功試技範囲であり，サークルの中心から投てき方向に見て左右に17.46度ずつのラインのこと）内に入らないように設置した．また，ビデオカメラ１台では，対象者の投てき動作を投てき方向と反対側に設置し投てき動作を正面から撮影するために設置した．また，被験者には反射マーカーをPlug-in-gaitモデルに準じて39箇所に貼付し測定を実施した（図２）．

2.5. 測定項目

2.5.1. 捻転動作について

前田ら（2019）の報告を参考にDSP2局面における

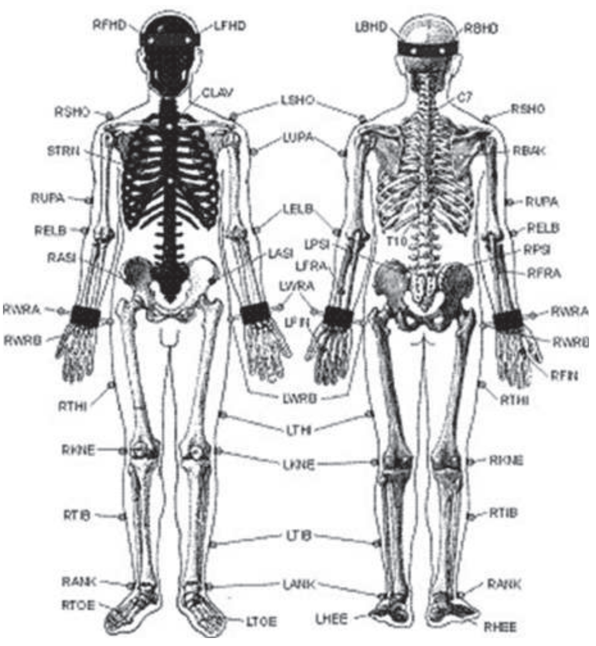

図２　Plug-in-gaitモデルにおける反射マーカー貼付位置

捻転動作に関する測定項目として，三次元動作解析装置VICONによって算出された座標データからXY平面において両上前腸骨棘を結ぶ線分と両肩峰を結ぶ線分のなす角度を体幹ひねり戻し角度および角速度とした．詳細は図３に示した．

2.5.2. 振り切り動作について

振り切り動作は，DSP2局面からReleaseにおいて投てき物を持っている方の腕に貼付したマーカーとVicon Manualを参考に腕の各セグメント（手部，前腕部，上腕部）の質量中心点から腕の合成重心（以下，パフォーマンス点とする）を算出し，それを振り切り動作の評価基準とした（Dempster, 1955）．このパフォーマンス点の算出方法として，対象者の体重：M（kg）とし，対象者の手部・前腕部・上腕部の部分質量をそれぞれ，m_1・m_2・m_3とするとm_1（kg）＝M×0.006＋2.0（＋2.0は円盤の質量を指す），m_2（kg）＝M×0.016，m_3（kg）＝M×0.028となる．また，１フレーム目のパフォーマンス点の座標をP（a_1･b_1･c_1）とし，RHNを手部，RRAを前腕部，RHUを上腕部とするとa_1＝{(m_1×x_RHN)＋(m_2×x_RRA)＋(m_3×x_RHU)}/(m_1＋m_2＋m_3)，b_1＝{(m_1×y_RHN)＋(m_2　×y_RRA)＋(m_3　×y_RHU)}/（m_1＋m_2＋m_3)，c_1＝{(m_1×z_RHN)＋(m_2×z_RRA)＋(m_3×z_RHU)｝/(m_1＋m_2＋m_3）という式が成り立つ．このときのパフォーマンス点の速度をV（mm/s）として，振り切り速度を算出（V＝√（((a_2-a_1）^2＋(b_2-b_1）^2＋(c_2-c_1）^2))）×200）した．詳細は図４に示した．

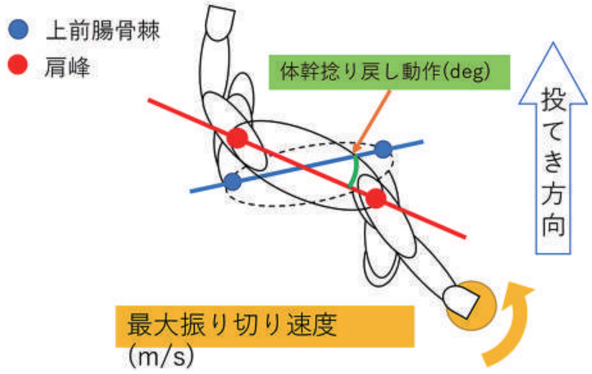

図３　体幹の捻転に関する測定項目

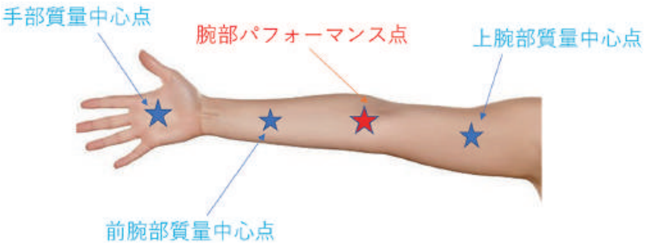

図４　振り切り動作における計測点の項目

2.6. 統計処理

実測での試技記録および腕の最大振り切り速度，体幹のひねり戻し角度および角速度について統計処理ソフト（SPSS）を用いて，ピアソンの積率相関係数を算出し，危険率5％未満で有意差ありと判定した．

3．結果および考察

表2には今回の実験試技における実測での記録および腕の最大振り切り速度，体幹のひねり戻し角度および角速度の測定平均結果を示している．これらの測定項目について相関分析を行った結果が表3となる．全

表2　測定項目結果

	記録（m）	体幹ひねり戻し角度（deg）	体幹ひねり戻し角速度（deg/s）	腕の最大振り切り速度(m/s)
全体平均	40.67	35.77	302.71	14.81
±SD	±3.25	±9.79	±75.01	±0.71
上位群	41.15	30.71	271.34	14.64
±SD	±3.86	±9.25	±45.68	±0.90
下位群	40.20	40.83	334.07	14.98
±SD	±2.50	±7.54	±85.78	±0.42

表3　相関分析結果

全体

	記録（m）	体幹ひねり戻し角度（deg）	体幹ひねり戻し角速度（deg/s）	腕の最大振り切り速度(m/s)
記録（m）		0.244	0.122	0.032
体幹ひねり戻し角度（deg）	0.244		0.829**	−0.165
体幹ひねり戻し角速度（deg/s）	0.122	0.829**		−0.083
腕の最大振り切り速度(m/s)	0.032	−0.165	−0.083	

上位群

	記録（m）	体幹ひねり戻し角度（deg）	体幹ひねり戻し角速度（deg/s）	腕の最大振り切り速度(m/s)
記録（m）		0.543**	0.500*	−0.055
体幹ひねり戻し角度（deg）	0.543**		0.803**	−0.477*
体幹ひねり戻し角速度（deg/s）	0.500*	0.803**		−0.387
腕の最大振り切り速度(m/s)	−0.055	−0.477*	−0.387	

下位群

	記録（m）	体幹ひねり戻し角度（deg）	体幹ひねり戻し角速度（deg/s）	腕の最大振り切り速度(m/s)
記録（m）		0.083	0.017	0.484*
体幹ひねり戻し角度（deg）	0.083		0.887**	−0.054
体幹ひねり戻し角速度（deg/s）	0.017	0.887**		−0.120
腕の最大振り切り速度(m/s)	0.484*	−0.054	−0.120	

*p＜0.05　**p＜0.01

被検者のデータに関して体幹のひねり戻し角度と角速度の間で優位な正の相関関係（$r = 0.829$, $p < 0.001$）がみられた．そこで上位群（被験者A～D）と下位群（被験者E～H）の階層別に分けたデータで相関分析を行った．その結果上位群では，実測記録に対して体幹のひねり戻し角度と角速度の間に有意な正の相関関係（角度：$r = 0.54$, $p < 0.01$；角速度：$r = 0.500$, $p < 0.05$）がみられ，腕の最大振り切り速度と体幹のひねり戻し角度の間に有意な負の相関関係（$r = -0.477$, $p < 0.05$）がみられた．一方下位群では，実測記録に対して腕の最大振り切り速度の間に有意な正の相関関係（$r = 0.484$, $p < 0.05$）がみられた．

前田ら（2019）によると体幹の捻り戻し動作は，円盤投の競技結果に最も大きな影響を及ぼす初速度に影響を与える動作であることが指摘されている．上位群の結果は先行研究を支持する結果となったが，下位群については支持するような結果が得られなかった．体幹の捻り戻し動作について，肩と腰を速く回旋させることで体幹部による獲得速度を大きくすることができ，その獲得速度が高い初速度の獲得に有効であると示唆されている（前田ら，2019）．そのため体幹の捻り戻し角速度においても有意な相関関係がみられた上位群は，捻り戻し動作による回旋動作により体幹部の獲得速度を増加させ，投てき距離に有意な影響を与えたのではないかと考えられる．

一方で腕の最大振り切り速度についてみてみると，上位群では体幹ひねり戻し角度との間に負の相関関係，下位群では実測記録との間に正の相関関係がみられる．まず体幹の役割について，エネルギー発生源としての機能を有効に使うためには体幹の捻転を強調すること，エネルギー伝達の機能を優先する場合は体幹セグメントの変形が少ない状態を保つことが必要であると指摘している（田内・遠藤，2009）．つまり，本研究では上位群は負の相関関係を示していることから，体験のセグメントの変化を少なくする，つまり捻転を少なくすることで他で発生させたエネルギーを上肢へ伝える役割を果たし，腕の振り切り速度に影響を与えたのではないと考えられる．そして，腕の最大振り速度について上位群は，実測の記録との相関関係がみられず，下位群には相関関係がみられた．これは，上位群と比較して下位群が腕の振り切り最大速度が高くなれば実測の記録も向上する傾向を示している．これに対して上位群は，体幹のひねり戻し動作の角度と角速度が大きくなれば実測の記録も向上する傾向を示している．上肢と体幹の機能について，上肢は動かしやすいが大きな力発揮をすることができず，体幹は大きな慣性を持っているため動かしにくいが大きな力を発揮することができると指摘されている（阿江・藤井，2002）．つまり上位群は動かしにくいが大きな力発揮の望める体幹の動きによる記録の相関が高く，下位群は動かしやすいが大きな力発揮が望めない上肢の動きによる記録の相関が高いことになる．これは，下位群が上肢の力発揮に頼った投てきを行っている可能性を示唆しており，記録を向上させていくためには上位群のように体幹の力発揮に頼った投てき技術の獲得が望ましいのではないかと考えられる結果である．

４．結論および現場への示唆

本研究の目的は，男子学生円盤投競技者を上位群と下位群に分類し，3次元動作解析を経て下位群に求められる投てき動作の技術的向上の方向性を明らかにすることであった．そのため円盤投の競技特徴から，結果に直接的な影響を与える動きとして，腕の振り切り動作および体幹の捻転に着目して3次元動作解析を行い，試技記録との相関関係の中からその関連性を明らかにしようと試みた．その結果，以下のことについて明らかとなった．

①記録に影響を与える動作的な要因として，体幹のひねり戻し角度および角速度が一要因である可能性が示唆された．また，腕の振り切り動作は記録への有用な関連性を示すような結果は得られず，記録に有用な影響を与えると考えられる捻転を行わないほうが振り切り最大速度が高くなる傾向を示した．

②記録の下位群では，上位群や本研究で明らかとなった①の要因について記録との相関関係がみられなかった．このことから，競技力向上の観点からは体幹の力ひねり戻しによる発揮を活用した技術獲得が求められる可能性が示唆された．

以上の点を踏まえて，体幹の動きや機能に着目したトレーニング手段の検討や技術習得，研究における実証が行われていく必要があると考えられる．

参考文献

阿江通良・藤井範久（2002）スポーツバイオメカニクス20講．朝倉書店：東京：p14.

Bartlett, R. M.（1992）The biomechanics of the discus throw. A review: Journal of Sports Science, 10 (5)：p467-p510.

ボンパ：尾縣貢・青山清英監訳（2006）競技力向上のトレーニング戦略．大修館書店：東京：p216

Dempster WT (1955) Space requirements of the seated operator. WADC TECHNICAL REPORT p55-p159：p1-p277.

畑山茂雄・高橋雄太・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：p17-26.

原　信一・有吉正博・繁田　進（1994）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46：p36-39.

Hay, J. G.（1985）Track and field: Throwing. In Chrzanowski C.（ed.）The biomechanics of sports techniques (3rd Edition). Prentice－Hall, p.475-p519.

Hay, J. G. and Yu, B. (1995a) Critical characteristics of technique in throwing the discus. Journal of Sports Sciences, 13 (2)：p125-p140.

Hay, J. G. and Yu, B. (1995b) Free-leg action in throwing the discus. Track Coach, 134：p4265-p4268.

石河利寛（1977）日本人体力とスポーツ体力．杏林書院：東京：p278-p295.

前田　圭・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Volume31 Issue2：p175-p184.

前田　圭・大山下圭悟・関慶太郎・水島　淳・広瀬健一・尾縣　貢（2019）円盤投げ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：体育学研究64巻１号：p21-p36.

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Volume14：p19-p26.

本山　司・矢野　勝・谷口和也・本山　貢（2016）男子円盤投のブロック足に着目した動作分析および筋電図学的研究：和歌山大学教育学部紀要　人文科学67巻：p47-p53.

シュリモンスキー：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：東京：p11-424.

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Volume13 Issue3：p170-p178.

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的研究．日本陸上競技部連盟強化本部バイオメカニクス研究編：佐々木秀幸ほか監：世界一流競技者の技術―第３回世界陸上選手権大会バイオメカニクス研究報告書：ベースボールマガジン社：東京：p257-p271.

山崎祐司著（1993）円盤投げ：ベースボールマガジン社：東京：p46-p54.

山本大輔・伊藤　章・田内健二・村上雅俊・淵本隆文・田邊　智（2008）世界１位と日本１位の男子円盤投選手の円盤加速動作の比較：陸上競技研究紀要第４巻：p124-p127.