

2020年日本選手権大会における女子円盤投げ上位3名のキネマティクス

山本大輔¹⁾ 瀧川寛子²⁾ 野中愛里³⁾ 村上雅俊⁴⁾

1) 天理大学 2) 中京大学大学院 3) 筑波大学大学院 4) 大阪産業大学

1. 緒言

2020年日本陸上競技選手権の女子円盤投げにおいて、齋藤選手が55.41mの日本ジュニア記録を樹立して優勝した。2019年には郡選手が日本記録を樹立するなど男子選手と同様に競技レベルの高まりの兆しがみられている。円盤投げでは男子で2kg、女子では1kgの円盤の投てき距離であらそわれるが、男子選手と女子選手では投てき物の重量に加えて身体的および体力的特性の違いから円盤加速動作に特徴の違いがみられることが報告されている(山本ほか, 2015), このため、女子選手についても動作の特徴や力学的パラメータなど科学的データを蓄積していくことが円盤投げ種目についての理解を深めることだけでなく、女子選手の競技力向上の一助になるのではないかと考えた。そこで、本稿では日本陸上競技選手権大会の上位3名の動作から、日本一流女子円盤投げ選手の動作の特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1. 対象者

本研究では、2020年10月3日に新潟県デンカビッグスワンスタジアムにて開催された第104回日本陸上競技選手権大会の女子円盤投げ決勝における上位3名(J群, 記録: 52.50 ± 2.59m)を分析対象とした。また、本研究では2007年世界陸上競技選手権大会(大阪大会)における女子円盤投げ種目の上位3名(W群, 記録: 65.43m ± 1.39m)をJ群の比較対象とし検討を行った。なお、本研究におけるデータ収集は日本陸上競技連盟科学委員会の活動の一環として行われた。

2.2. データ収集と分析方法

動作およびキャリブレーションは、サークルの右

側方と後方に設置した2台のデジタルビデオカメラ(FDR-AX55, Sony)を用いて120fps(シャッタースピード: 1/1000秒)で撮影した。キャリブレーションは投てき方向6.29m×左右方向4.28m×高さ3mの範囲に9箇所のポールを立て試技前に撮影しておいた。その後すべての試技を撮影し、各対象者の最も記録の良かった試技映像から身体各部位の4点(両肩峰と両股関節)および円盤中心の計5点をFrame-DIAS 5(DKH社製)を用いて毎秒60フレームでデジタル化し3次元DLT法を用いて3次元座標値を算出した。分析項目は得られた座標値を4次のButterworth low-pass digital filterにより最適遮断周波数(3.60 - 6.84Hz)で平滑し算出した。なお、座標系はサークル中心を原点とし投てき方向をY軸、Y軸に直行する左右方向をX軸、鉛直方向をZ軸とする右手系の静止座標系とした。較正点の実測値と計算値との標準誤差はそれぞれX軸方向9mm, Y軸方向14mm, Z軸方向5mmであった。

2.3. 動作時点と局面定義

分析を行うにあたり、円盤投げ動作を図1に示す通り6つの時点と局面を定義し、各時点間を5つの局面に分けて分析を行った。最大バックスイングをターン動作開始(T-st)とし、右足離地をR-off, 左足離地をL-off, 右足接地をR-on, 左足接地をL-on, 円盤のリリースをRelとした。また、各時点間の局面を時系列順に両脚支持局面(DS), 第一片脚支持局面(SS1), 非支持局面(NS), 第二片脚支持局面(SS2), 送り出し局面(DV)とした。

2.4. 分析項目

本研究では、対象者の動作の特徴を明らかにするために以下の項目について算出し比較した。

- 1) 初期条件: Rel時の各軸方向の円盤速度(m/s)と合成速度(初速度;m/s)および投射角(deg)と投射高(m)とした。

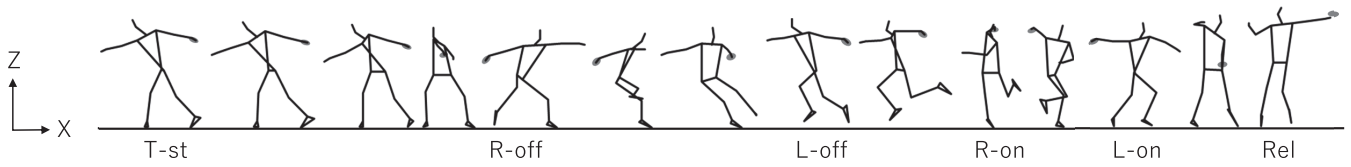


図1 局面と時点の定義

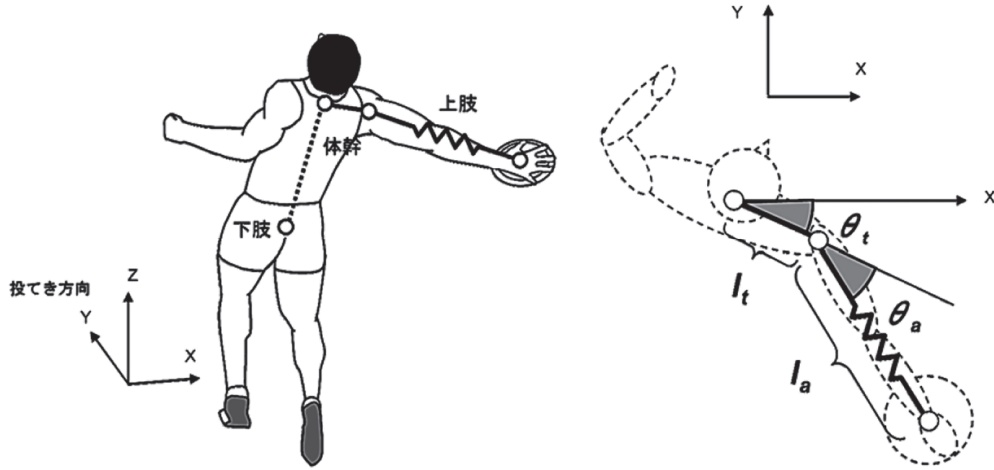


図2 円盤投げにおける下肢－体幹－上肢モデルの定義（田内ほか，2007b）

- 2) 円盤速度 (m/s) : 投てき動作中の円盤の変位を時間微分して算出した。
- 3) 動作時間 (s) : 各局面に要したフレーム数から算出した。
- 4) 円盤移動距離 (m) : 円盤の変位を累積して算出した。
- 5) 円盤速度に対する身体各部位の貢献度 (m/s) : 投てき方向の円盤速度 (Y成分) のうち、下肢・体幹の起こし・体幹の伸縮・体幹の回転・上肢の伸縮・上肢の回転の各動作によって生み出された円盤速度 (貢献度) をそれぞれ算出した。算出に当たり両肩峰と両大転子の3次元座標値から肩中点と腰中点を算出した後に、田内ほか(2007b)の方法を用いて下肢－体幹－上肢モデルを定義し以下の式1および式2によって算出した(図2)。

$$V_d = v_h + v_{t/h} + v_{d/t} \quad \dots \text{式1}$$

ここで、 v_h は腰中点速度とし下肢の動作による円盤速度(下肢)とした。 $v_{t/h}$ は腰中点速度に対する肩中点速度で体幹の前後傾による円盤速度(体幹の起こし)を示すことになる。 $v_{d/t}$ は上肢の動作による円盤速度を示しているが、式2で示すように肩中点から右肩峰を結ぶ線分(l_t)とX軸とのなす角(θ_t)、右肩峰から円盤までの線分(l_a)と l_t とのなす角(θ_a)から求めた。

$$v_{d/t} = \dot{l}_t \sin \theta_t + \dot{\theta}_t (l_t \cos \theta_t + l_a \cos(\theta_a + \theta_t)) + \dot{l}_a \sin(\theta_a + \theta_t) + \dot{\theta}_a l_a \cos(\theta_a + \theta_t) \quad \dots \text{式2}$$

ここで、 l_t と θ_t と l_a および θ_a の微分項は順に体幹の伸縮、体幹の回転動作、上肢の伸縮動作および上肢の回転動作による円盤速度を示している。

3. 結果と考察

3.1. 初期条件

表1に投てき記録および初期条件を示した。円盤は空力学的な影響を受けやすい形状であることから、円盤投げ種目においては初速度や投射角および投射高だけでなく円盤の回転や迎え角といった投射条件に加えて、風速や風向などの外的要因も記録に影響することが報告されている(Hay, 1985; 山本ほか, 2010; Rouboa, et al., 2013)。

本研究の分析対象者であるJ群とW群との投てき記録の平均値の差は12.93mであった。円盤速度を比較すると、J群の円盤速度X成分はW群と比較して高かったが、Y成分とZ成分および初速度についてはW群に比べて低い値を示しており、初速度の差は2.68m/sであった。投射角は各選手の技術的およ

表1 投てき記録と初期条件

	記録 (m)	円盤速度 (m/s)				投射角 (deg)	投射高 (m)	
		X成分	Y成分	Z成分	初速度			
J群	1位	55.41	3.16	17.25	12.93	21.79	36.8	1.49
	2位	51.62	2.50	18.25	10.87	21.39	30.8	1.37
	3位	50.46	6.04	15.21	11.87	20.21	38.0	1.23
	平均	52.50	3.90	16.90	11.89	21.13	35.2	1.36
	標準偏差	2.59	1.88	1.55	1.03	0.82	3.9	0.13
W群	平均	65.43	2.48	19.21	13.70	23.81	35.5	1.71
	標準偏差	1.39	2.28	0.45	0.97	0.38	2.4	0.04

表2 各時点の円盤速度

		円盤速度 (m/s)					
		T-st	R-off	L-off	R-on	L-on	Rel
J群	1位	0.31	3.34	7.53	6.79	7.88	21.79
	2位	1.20	4.06	7.07	6.25	8.49	21.39
	3位	0.16	3.70	6.95	6.50	5.90	20.21
	平均	0.56	3.70	7.18	6.51	7.42	21.1
	標準偏差	0.56	0.36	0.31	0.27	1.35	0.82
W群	平均	1.07	5.91	6.78	5.87	7.38	23.81
	標準偏差	0.18	1.47	0.86	1.19	1.67	0.38

び体力的特徴に応じて高い初速度を発揮するために適した角度が異なることや、風向や風速の影響も受けることから様々な状況に応じた最適な角度の範囲内で投げ出すことが重要であると報告されている (Leigh, et al., 2010 ; Rouboa, et al., 2013). 本研究における J 群と W 群の投射角は類似した値を示しており、女子円盤投げ選手を対象とした先行研究に示された約 30 – 43 度の範囲にあった (Gregor, et al., 1985 ; Hay and Yu, 1995 ; Leigh and Yu, 2007, 山本, 2015). 投射高についてみると J 群は W 群に比べて 0.35m 低い値であった. 山本ほか(2010) は投てき記録と投射高の身長比との間に有意な相関関係が認められなかったことから、投射高は身長の影響を受ける要因であり投てき記録の良い選手ほどより高い位置で投げ出す技術が高いということではないと推察される. このことから、本研究における W 群と J 群の投射高の差も身長による影響が大きいのではないかと考えられる.

J 群内で選手別にみると、1 位の選手は円盤速度の Z 成分と合成成分、および投射高が最も高く、2 位の選手は円盤速度の Y 成分が最も高いが投射角は 30.8 度と最も低い値であった. 3 位の選手は円盤速度の X 成分と投射角は最も高かったが投射高は 3 選

手の中で最も低い値であった.

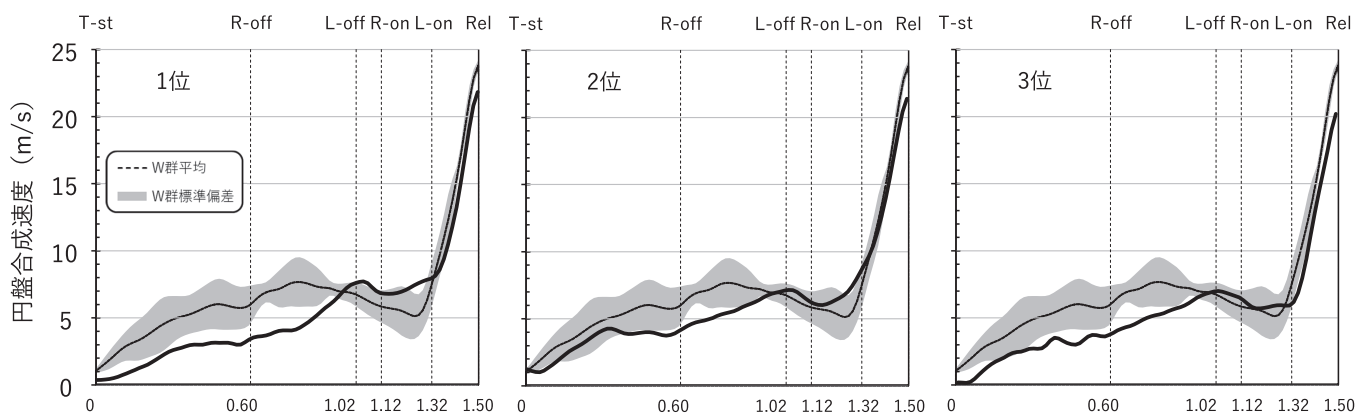
3.2. 投てき動作中の円盤速度変化

表 2 には各時点の円盤速度を示した. また、図 1 には J 群における各選手の円盤速度変化に加えて W 群の平均円盤速度および標準偏差の範囲を示した.

円盤速度は J 群と W 群ともに動作開始後から L-off 付近にかけて増加した後一旦減少し、SS2 局面から Rel にかけて急激に増加する変化パターンを示した. L-off での平均円盤速度は J 群と W 群で近い値であることから、J 群は投てき動作開始から L-off にかけて DS 局面と SS1 局面を通じて徐々に円盤速度を高めているのに対し、W 群は主に DS 局面で円盤速度を高めているといった違いがみられた. また、L-on における両群の円盤速度が類似していたことから、初速度の差は主に DV 局面における円盤速度の増加量の差による影響が大きいと考えられ、その増加量は W 群で 16.43m/s であるのに対して J 群は 13.71m/s であった.

3.3. 各局面における動作時間と移動距離

表 3 に各局面における動作時間と円盤移動距離を示した. 田内ほか (2007a) は、競技レベルにより投



W群とJ群の平均動作時間 (s)

図3 W群平均およびJ群上位入賞者の円盤速度変化

表3 各局面の動作時間と円盤移動距離

	動作時間(s)						円盤移動距離(m)					
	DS	SS1	NS	SS2	DV	Total	DS	SS1	NS	SS2	DV	Total
1位	0.75	0.42	0.13	0.13	0.18	1.62	1.56	2.04	0.98	0.96	2.49	8.03
2位	0.67	0.45	0.12	0.22	0.17	1.62	2.10	2.55	0.81	1.46	2.46	9.38
J群	0.75	0.38	0.10	0.18	0.18	1.60	1.79	2.05	0.68	1.08	2.25	7.86
平均	0.72	0.42	0.12	0.18	0.18	1.61	1.82	2.21	0.82	1.17	2.40	8.42
標準偏差	0.05	0.03	0.02	0.04	0.01	0.01	0.27	0.29	0.15	0.26	0.13	0.83
W群	0.49	0.41	0.07	0.22	0.18	1.36	2.15	2.86	0.45	1.26	2.73	9.45
標準偏差	0.03	0.06	0.01	0.03	0.01	0.05	0.76	0.11	0.03	0.52	0.26	1.00

てき記録と動作時間に関係の認められる局面は異なるが、幅広い競技力を有する選手を対象とした場合、投てき記録の高い選手ほどDS局面とSS2局面とDV局面およびTotalの動作時間が短かったと報告している。本研究における両群の動作時間の平均値を比較すると、J群はDS局面とNS局面の動作時間はやや長いですがSS2局面はW群に比べて短かった。その他の局面は類似した値であったが、Totalの動作時間はW群に比べて0.25s長かった。また、各局面における円盤移動距離についてみると、J群はW群に比べてNS局面を除くすべての局面で低い値であった。Relに向けて円盤速度が急激に増加するDV局面に着目すると、動作時間は同程度であったが円盤移動距離の平均値は0.33mの差がみられた。このことから、DV局面における円盤速度の増加量の違いは主に円盤移動距離によるものと考えられる。今後、ターン全体を通してDV局面で円盤をより加速させるために必要となる動作要因についてはさらなる検討が必要であると考えられる。

3.4. 円盤速度に対する身体各部位の貢献

図3にR-onからRelまでの円盤速度(Y成分)に対する身体各部位の貢献度を示した。各選手に共通して体幹の回転の貢献度が最も高く、DV局面後半では上肢の回転による貢献が高まった後に上肢の伸縮による貢献が高くなりRelを迎えていた。このことは、円盤が急激に加速されるDV局面において円盤速度は主に身体全体の回転や体幹の捻転などの肩の回旋動作によって生み出され、さらにRel前には肩関節の水平内転動作に続いて肩関節の外転やスナップ動作によって円盤が離れていく動きによって得られていたと考えられる。

各選手別にみると、2位の選手は他の選手に比べてDV局面後半における上肢の回転やRelでの下肢の動作と上肢の伸縮の貢献が大きく、3位の選手は体幹の回転による貢献度がJ群の中でも特に高い値を示していた。1位の選手はRelでの体幹の起こしによる貢献度が他の選手と比較して高く、体幹の回転や上肢の伸縮の貢献は2位と3位の選手の間値であった。このように円盤を加速させる際にどの動作による貢献を大きくして投げ出すかは選手に

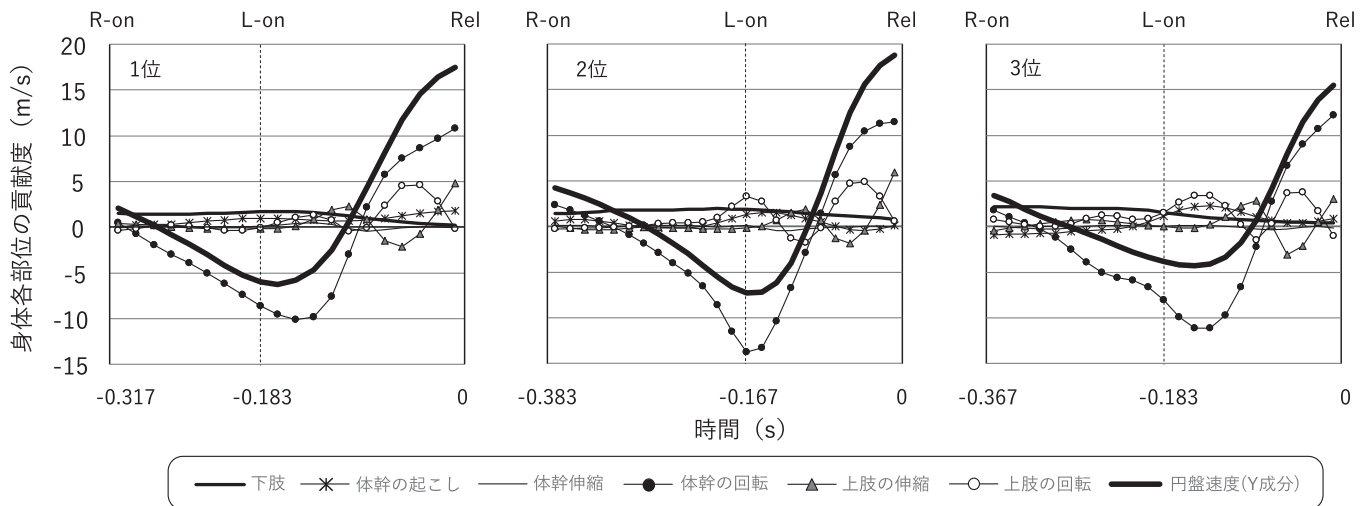


図4 各対象者の円盤速度に対する身体各部位の貢献の変化

よって様々であった。田内ほか (2007b) は相対的に上肢を大きく貢献させるタイプや体幹を大きく貢献させるタイプが存在し、身体各部位の貢献の仕方は必ずしも一様ではないことを報告しているが、本研究におけるJ群も同様の結果となった。

4. まとめ

本研究では日本一流女子円盤投げ選手の動作の特徴を明らかにすることを目的に、W群との比較を通してJ群の特徴について検討した。投射条件ではJ群に比べてW群の初速度および投射高は高値を示していた。本研究の対象者で比較した場合、この初速度の差は主にDV局面における円盤速度の増加量の違いによるものであり、この円盤速度の増加量は動作時間ではなく円盤移動距離に起因していると考えられた。DV局面で円盤をより加速させるために重要となる要因については今後さらなる検討が必要であると考えられる。

J群内で選手別にみると、DV局面での身体各部位の貢献の仕方は一様ではなく、相対的に上肢の伸縮や回転と下肢を貢献させている選手や体幹の回転による貢献を大きくしている選手、体幹の起こしによる貢献を大きくしている選手など様々であった。

引用文献

1) Gregor, R. J., Whiting, W. C., McCoy, R. W. (1985) Kinematic analysis of olympic discus throws. *International Journal of Sports Biomechanics* 1: 131-138.
 2) Hay, J. G. (1985) *Track and Field*:

Throwing. In: Chrznowski, C. (eds) *The Biomechanics of Sports Techniques* (3rd Edition). Prentice-Hall, 475-519.

3) Hay, J. G., Yu, B. (1995) Critical characteristics of technique in throwing the discus. *Journal of Sports Sciences* 13: 125-140.
 4) Leigh, S., Yu, B. (2007) The associations of selected technical parameters with discus throwing performance: A cross-sectional study. *Sports Biomechanics*, 6(3): 269-284
 5) Leigh, S., Liu, H., Hubbard, M., Yu, B. (2010) Individualized optimal release angles in discus throwing. *Journal of Biomechanics* 43: 540-545.
 6) 前田奎 (2019) 円盤投のパフォーマンスに影響を与える力学的要因. *陸上競技研究*, 117: 2-13.
 7) Rouboa, A. I., Reis, V. M., Mantha, V. R., Marinho, D. A., Silva, A. J. (2013) Analysis of wind velocity and release angle effects on discus throw using computational fluid dynamics. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 16(1): 73-80.
 8) 田内健二, 磯繁雄, 持田尚, 杉田正明, 阿江通良 (2007a) 円盤投げ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.
 9) 田内健二, 持田尚, 村上雅俊, 阿江通良 (2007b) 男子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度について—. *陸上競技研究紀要*, 3: 127-131.
 10) 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，66(3)：9-16.

- 1 1) 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クスの分析．世界一流選手のパフォーマンスと技術：189-200.