

## 山下航生選手における日本高校新記録の投てき動作の特徴 - 58.38m と 56.24m の比較 -

前田奎<sup>1)</sup> 瀧川寛子<sup>2)</sup> 塚田卓巳<sup>3)</sup> 村上雅俊<sup>4)</sup> 田内健二<sup>5)</sup>

1) 筑波大学大学院 2) 中京大学大学院 3) 愛知淑徳大学 4) 大阪産業大学 5) 中京大学

### 1. はじめに

2018年10月に開催されたU20日本陸上競技選手権大会において、山下航生選手が58.38mを投てきし、日本高校記録を更新した。近年、日本における男子円盤投の競技レベルは徐々に向上しているが、国際的な水準と比較すると劣っているのが現状である。今後、日本全体の競技レベルを向上させるための一助として、山下選手の投てき動作の特徴を明らかにすることは有益であると考えられる。

そこで本研究では、山下選手の58.38mの投てき動作の特徴を、他の試技との比較によって明らかにすることを目的とした。

### 2. 方法

#### 2.1 分析試技

分析試技は、U20日本陸上競技選手権大会において山下選手が記録した58.38mの試技とした。また、56.24mの試技を比較対象とした。

#### 2.2 撮影方法

投てき動作は、サークルの側方および後方に設置した2台のデジタルビデオカメラ(HVR-A1J, Sony)を用いて、毎秒60コマ、シャッタースピード1/1000秒で撮影した。本研究では、投てき方向をY軸、Y軸に対して右方向をX軸、鉛直方向をZ軸とする右手系の静止座標系を設定した。また、サークルの中心を原点として、前後方向1.5m、左右方向2.0m(1箇所1.25m)の9箇所に、高さ2.8m、マーク間隔0.4mのキャリブレーションポールを立てた。

#### 2.3 分析方法

ビデオカメラによって撮影された映像を、動作解析ソフト(Frame-DIAS IV, DKH)を用いて、身体分

析点25点および円盤中心を毎秒60コマでデジタル化した。デジタル化した分析点の座標値を、三次元DLT法により実長換算し、身体分析点および円盤の三次元座標値を求めた。算出した三次元座標値は、残差分析法(Winter, 1990)によって決定された最適遮断周波数(3.6-6Hz)で、バターワースデジタルフィルタにより平滑化した。2台のビデオカメラによって撮影された映像の同期は、円盤のリリース時点のコマ数を合わせることにより行った。

#### 2.4 分析項目

本研究では、各データを算出するにあたり、ターンへの導入開始時点(Start)、右足離地(R-off)、左足離地(L-off)、右足接地(R-on)、左足接地(L-on)およびリリース(Re1)の各イベントを設定し、StartからR-offまでを両脚支持局面(DSP)、R-offからL-offまでを第一片脚支持局面(SSP1)、L-offからR-onまでを支持なし局面(NSP)、R-onからL-onまでを第二片脚支持局面(SSP2)、L-onからRe1までを投げ局面(DVP)とした。これらのイベントおよび局面定義を山下選手のスティックピクチャをもとに図1に示した。基礎的パラメータとして、リリース速度、リリース角度、リリース高、局面時間、円盤移動距離および身体重心速度の合成速度(以下、「重心速度」と略す)を算出した。また、投てき腕挙上角度、体幹前後傾角度、体幹捻転角度および投てき腕-肩角度についても分析項目とした。投てき腕挙上角度は、投てき腕の内外転角度を示しており、投てき腕が肩よりも下がった状態を負、肩よりも上がった状態を正とした。体幹前後傾角度は、静止座標系のZ軸に対する体幹(左右股関節の midpoint から左右肩関節の midpoint に向かうベクトル)の角度を示しており、投てき方向と反対側に傾いた状態を負、投てき方向側に傾いた状態を正とした。体幹捻転角度は、腰に対する肩の角度を示しており、体幹が捻

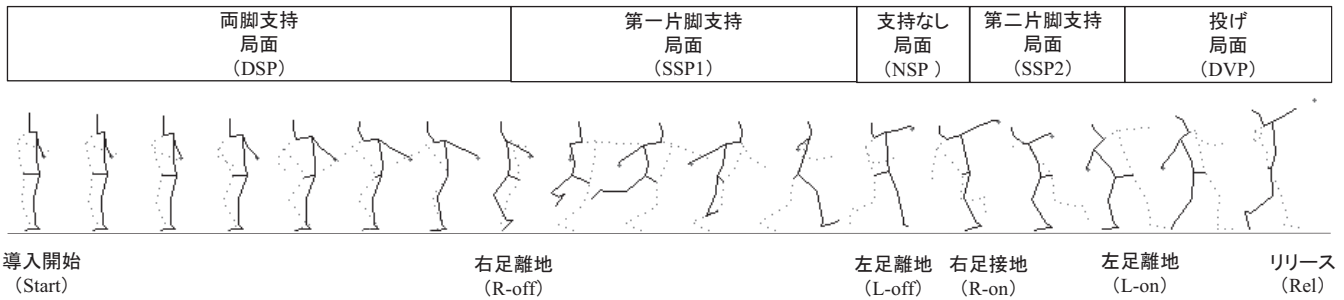


図1 山下選手のスティックピクチャ (58.38m)

転した状態を負，肩が腰を追い越した状態を正とした。投てき腕-肩角度は，投てき腕の水平内外転角度を示しており，投てき腕が肩よりも後方に位置した状態を負，投てき腕が肩よりも前方に位置した状態を正とした。

### 3. 結果および考察

#### 3. 1. 基礎的パラメータについて

まず，表1に示した円盤のリリースパラメータをみると，58.38mの試技が56.24mの試技と比較して，合成のリリース速度が高値を示した。リリース速度の各成分では，58.38mの試技は56.24mの試技と比較して，前方成分および上方成分の速度ともに高値を示したことから，合成速度も高くなっていたことがうかがえる。リリース高およびリリース角も，58.38mの試技が56.24mの試技と比較して高値を示した。前方成分よりも上方成分が高値であったことも考慮すると，58.38mの試技は56.24mの試技と比較して，円盤をより上方へ高く投射した投てき動作であったと考えられる。また，リリース速度の左右成分は，56.24mの試技が58.38mの試技よりも高値であったことは，56.24mの試技は58.38mの試技よりも，円盤が投てき方向に対して右方向へ投射されていたことを示している。

次に，表2に示した動作時間，円盤移動距離および重心速度をみると，動作時間については，いずれの局面においても，両試技ともにほぼ同様の値を示した。円盤移動距離は，58.38mの試技が56.24mの試技と比較して，DSPでは0.04m，SSP2では0.03m，DVPでは0.30m大きく，SSP1では0.07m，NSPでは0.15m小さかった。このことは，58.38mの試技は56.24mの試技と比較して，DVPで円盤が大きく移動した投てき動作であったことを示している。円盤移動距離が大きくなることは，長い時間円盤に力を作用させていることを表すとされているが (Hay, 1985)，DVPにおける動作時間がほぼ同じであった

ことも考慮すると，58.38mの試技は56.24mの試技よりも円盤により大きな力を加えていたことが推察される。その結果，円盤がより加速し，高いリリース速度を獲得できていたと考えられる。重心速度は，58.38mの試技が56.24mの試技と比較して，R-off時，L-off時およびR-on時は高値を示し，Start時およびL-on時はほぼ同様の値を示した。Rel時のみ，58.38mの試技が56.24mの試技と比較して，低値を示した。円盤投の投てき距離を高める上で，身体重心の並進速度を高めておくことも重要な要因の一つであることが報告されている (松尾・湯浅, 2005; 前田ら, 2017; Yu et al., 2002)。本研究において，58.38mの試技が56.24mの試技と比較して，R-offからR-onにかけて重心速度が高かったことは，これらの先行研究の結果を支持するものであり，58.38mの試技では大きな運動エネルギーを獲得できていることを示唆するものであった。一方で，Rel時の重心速度のみ，58.38mの試技が56.24mの試技と比較して，低値であったことは，獲得したエネルギーの円盤への伝達が関係していることが推察される。このことについては，後に考察することとする。

表1 投てき記録とリリースパラメータ

投てき記録	(m)	58.38	56.24
リリース速度			
左右	(m/s)	1.58	2.88
前方	(m/s)	17.43	17.38
上方	(m/s)	13.61	13.08
合成	(m/s)	22.17	21.95
リリース高	(m)	1.90	1.79
リリース角	(°)	37.87	36.59

表2 動作時間、円盤移動距離および重心速度

	局面		DSP	SSP1	NSP	SSP2	DVP
	イベント	Start	R-off	L-off	R-on	L-on	Rel
動作時間(s)	58.38m		0.55	0.37	0.05	0.22	0.18
	56.24m		0.52	0.37	0.07	0.22	0.17
円盤移動距離(m)	58.38m		1.58	2.83	0.61	1.98	3.22
	56.24m		1.54	2.90	0.76	1.95	2.92
重心速度(m/s)	58.38m	0.14	0.57	2.15	2.05	1.99	1.63
	56.24m	0.16	0.49	2.07	1.93	1.98	1.70

### 3. 2. 投てき腕挙上角度、体幹前後傾角度、体幹捻転角度および投てき腕-肩角度について

先述の結果を踏まえて、円盤を上方に投射する投てき動作に関連する投てき腕挙上角度および体幹前後傾角度 (Leigh and Yu, 2007)、DVP での円盤移動距離およびエネルギーの円盤への伝達に関連すると考えられる体幹捻転角度および投てき腕-肩角度を算出し、両試技間の比較を行うこととした。なお、いずれも L-on 時、Rel 時および DVP の値について算出した。

図 2a は、L-on から Rel に至るまでの投てき腕挙上角度を示している。投てき腕挙上角度は、両試技ともに同様の波形を示した。L-on 時、Rel 時および DVP の変化量についても、同程度の値であった。図 2b は、L-on から Rel に至るまでの体幹前後傾角度を示している。DVP では「身体の起こし動作」が行われる (前田ら, 2017) ため、L-on から Rel までの体幹前後傾角度の変位は「身体の起こし動作」を反映していると考えられる。体幹前後傾角度は、L-on 時には両試技ともにほぼ同様の値を示したが、Rel 時には 58.38m の試技が 56.24m の試技と比較して低値であった。このことは、58.38m の試技よりも 56.24m の試技において、わずかではあるが「身体の起こし動作」が強調されていたことを示唆している。投てき腕挙上角度および体幹前後傾角度は、リリース速度の上方成分に影響を与えるとされているが (Leigh and Yu, 2007)、本研究で分析対象とした両試技間のリリース速度の上方成分の差は、投てき腕の挙上および身体の起こし以外の動作による影響を受けていると考えられる。そこで、DVP における円盤の最下点から Rel までの上方への円盤移動距離をみると、58.38m の試技で 1.15m、56.24m の試技で 1.04m であり、58.38m の試技が 56.24m の試技の方が、円盤を上方に大きく移動させていた。つ

まり、両試技間のリリース速度の上方成分の差は、円盤の上方への移動が大きくなったことによるものであると考えられる。

図 2c および図 2d は、L-on から Rel に至るまでの体幹捻転角度および投てき腕-肩角度を示している。体幹捻転角度および投てき腕-肩角度は、L-on 時には両試技ともにほぼ同様の値を示したが、Rel 時および DVP の変化量においては、58.38m の試技が 56.24m の試技と比較して高値であった。これらの結果は、58.38m の試技が 56.24m の試技と比較して、DVP における体幹の捻り戻しおよび投てき腕のスイングが積極的に行われており、円盤を肩よりも前でリリースしていたことを示唆している。宮崎ら (2016) は、円盤のリリース速度と Rel 時の体幹捻転角度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。また、田内・遠藤 (2009) は、体幹の捻転動作について、大きなエネルギー発揮のための前提となる役割を果たしていると述べている。これらのことから、58.38m の試技では、体幹の捻転動作によって大きなエネルギーを発揮できていたことに加えて、体幹の捻り戻しに続く投てき腕のスイングによって獲得したエネルギーを円盤へと伝達できており、円盤を大きく動かして肩よりも前でリリースできたと考えられる。56.24m の試技では、体幹の捻り戻しおよび投てき腕のスイングが十分に行われず、円盤へのエネルギー伝達が不十分な状態でリリースに至ったため、右方向へと円盤が投射されていた可能性が高く、身体にエネルギーが残っていたことにより Rel 時の重心速度も高かったことが推察される。

山下選手は今後、シニア規格の円盤 (2.0kg) を用いたカテゴリーへと移行するだろう。その場合、1.75kg の円盤よりも大きな力を加えなければ、円盤のリリース速度が低下する (Hirose et al.,

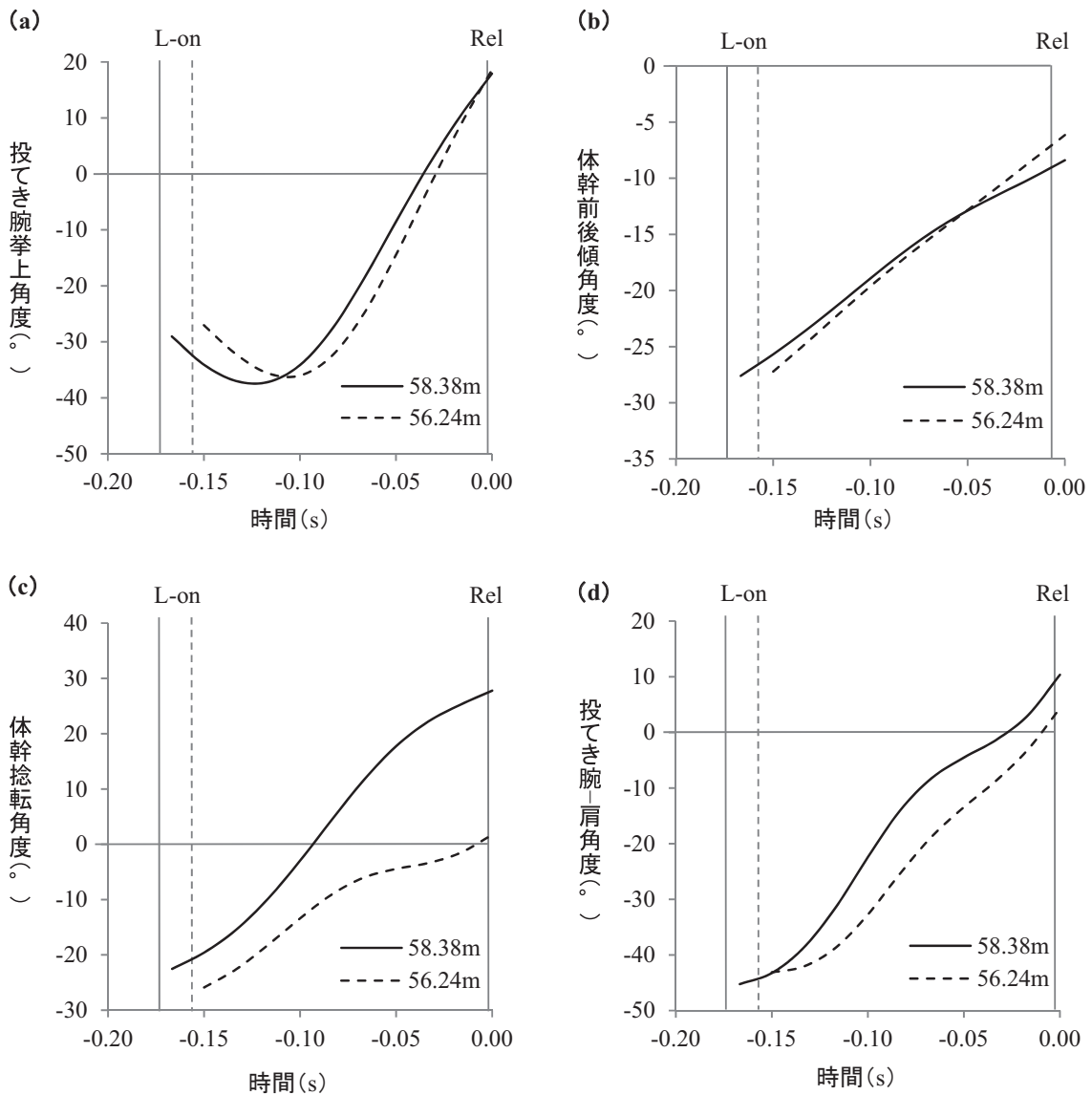


図2 投てき腕挙上角度，体幹前後傾角度，体幹捻転角度および投てき腕-肩角度

2017；高松・桜井，2013)．つまり，山下選手は，まずは質量が大きくなった円盤のリリース速度を高めるための投てき動作の習得や体力の獲得が求められるだろう．また，高松・桜井(2013)は，1.75kgの円盤において，円盤の速度変化パターンが2.0kgの円盤と大きな差がなかったにも関わらず，リリース付近の肩関節に作用するトルクが2.0kgの円盤よりも大きかったことから，1.75kgの円盤での投てきトレーニングが運動技術の習得もかねて，スピードが高い中での大きな筋力発揮を促す効果が期待できると述べている．これらのことから，山下選手は最大筋力や爆発的筋力といった一般的体力を高めることに加えて，1.75kgの円盤による投てきトレーニングも継続して実施し，円盤投に要求される専門的体力も養成することが重要であろう．

#### 4. まとめ

本研究では，山下選手の58.38mの投てき動作の特徴を，他の試技との比較によって明らかにした．58.38mの試技は56.24mの試技と比較して，大きな運動エネルギーを獲得していることに加えて，DVPにおける積極的な体幹の捻り戻し動作および投てき腕のスイング動作によって円盤へとエネルギーを十分に伝達できており，円盤が大きく移動するような投てき動作となっていたことが示唆された．山下選手および指導者の方が，今後さらなるパフォーマンス向上を目指したトレーニングを実施する際の一助となれば幸いである．

#### 文献

Hay, J. G. (1985) Track and Field: Throwing.

- In : Chrzanowski, C. (eds.) The Biomechanics of Sports Techniques (3rd Edition). Prentice-Hall, pp. 475-519.
- Hirose, K., Maeda, K., Noguchi, Y. and Ohyama-Byun, K. (2017) The biomechanical analysis of load characteristics during discus throws with various weight implements. Proceedings of the 35th Conference on the International Society of Biomechanics in Sports : 229-232.
- 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.
- 前田 奎・大山卞圭悟・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.
- 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.
- 宮崎利勝・高橋和将・平山大作・内藤 景・阿江通良・大山卞圭悟 (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.
- 高松潤二・桜井 徹 (2013) 円盤投げのトレーニング手段に関するバイオメカニクス的研究-円盤重量の変化が投てき動作に与える影響-. 流通経済大学スポーツ健康科学部紀要, 6 : 43-53.
- 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.
- Winter, D. A. (1990) Kinematics. In: Winter, D. A. (eds.) Biomechanics and motor control of human movement. John Wiley and Sons, pp. 11-50.
- Yu, B., Broker, J., and Silvester, L. J. (2002) A Kinetic Analysis of Discus-Throwing Techniques. Sports Biomechanics, 1 (1) : 25-46.