

国内女子砲丸投選手における記録の向上に伴う投てき動作の変化 —坂ちはる選手を対象に—

瀧川 寛子¹⁾ 牧野 瑞輝²⁾ 加藤 忠彦³⁾ 塚田 卓巳²⁾ 高松 潤二⁵⁾
1) 中部学院大学 2) 国立スポーツ科学センター 3) 湘南工科大学 5) 流通経済大学

I. はじめに

日本の投てき界は、徐々に世界水準に近付きつつあり、2025 東京世界選手権では男女を併せて円盤投、ハンマー投、やり投の選手が出場を果たした。一方、砲丸投においては男女ともに出場が叶わず、世界の競技水準と比較すると依然として大きな差が存在している。特に、女子砲丸投においては2004年に森千夏選手が18.22mの日本記録を樹立し、同年アテネ五輪に出場しているものの、それ以降18mを超える選手は現れていない。この状況は、日本女子砲丸投における競技力向上の方策を改めて検討する必要性を示している。

このような背景のもと、国内トップ選手が記録を向上させる過程において、投てき動作がどのように変化しているのかを明らかにすることは、実践的な観点からも重要である。しかしながら、同一競技者を対象として、複数年にわたる記録変化と投てき動作の関係を詳細に検討した研究は多くなく、特に女子砲丸投においては十分な知見が蓄積されているとは言い難い。

坂ちはる選手は、2024年シーズンに14.96mを記録した後、2025年には15.76mまで自己記録を大幅に更新し、国内トップレベルの競技者として顕著な競技力向上を示した選手である。また、坂選手は高校2年生および3年生時にインターハイを2連覇し、2025日本選手権においても優勝を果たした。このジュニア世代からシニア世代にかけての記録向上は意義深く、その背景にある投てき動作や技術的要因の変化を検討することは、今後の強化方策を考えるうえで有用な示唆を与えると考えられる。

そこで本研究では、坂選手を対象として、2024年インターハイ(14.23m)および2025年日本選手権(15.76m)の試技を比較し、記録向上に伴う投てき動作の変化について明らかにすることを目的とし

た。

II. 方法

1. 分析試技

分析試技は、2025年7月6日に開催された第109回日本陸上競技選手権大会における15.76mの試技(以下、2025年)および2024年7月29日に開催された第77回全国高等学校陸上競技対校選手権大会における14.23mの試技(以下、2024年)とした。

2. 撮影方法

それぞれの投てき試技を、2台のハイスピードカメラ(DC-GH6, Panasonic社製, 240 fps, シャッター速度1/1500 s)を用いて撮影した。また、サークルの中心を原点とし、画角内に2024年は6か所、2025年は9か所にキャリブレーションポールを立て、撮影した。本稿では、投てき方向をY軸、Y軸に対して左右方向をX軸、鉛直方向をZ軸とした右手系の静止座標系を設定した。

3. 分析方法

2台のカメラによって撮影された映像をPCに取り込み、動作解析ソフト(Frame-DIAS6, Q'fix)を用いて、身体23点および砲丸中心を120Hzでデジタイズした。デジタイズされた座標値を3次元DLT法にて実長換算し、身体分析点および砲丸中心の3次元座標値を算出した。2方向からの映像の同期は、砲丸のリリース時点のコマ数を合わせることで行った。算出された3次元座標値は、Butterworth low-pass digital filterによって10Hzで平滑化した。

4. 分析項目

本稿では、一連の投てき動作について次のように動作時点を定義した。坂選手は左投げのため、グラ

イド動作開始時の左足離地を L-off, 続く左足接地を L-on, 右足接地を R-on, 砲丸が手から離れた時点リリース (REL) とし, L-off から L-on までを非支持局面 (NSP), L-on から R-on までを片脚支持局面 (SSP), R-on から REL までを投局面 (DVP) とした。

分析項目を加藤ほか (2019) を基に以下の通り算出した。

- 1) リリースパラメータ: リリース速度 (REL 時の砲丸速度), リリース角度 (リリース速度ベクトルと Y 軸とのなす角度), リリース高 (REL 時の砲丸の高さ)
- 2) 動作時間: 各局面における経過時間
- 3) 身体重心速度: 各局面における身体重心の速度
- 4) 肩水平方位角: 水平面内における左右の肩峰を結ぶ線分と Y 軸とがなす角度
- 5) 腰水平方位角: 水平面内における左右の大転子を結ぶ線分と Y 軸とのなす角度
- 6) 体幹捻転角度: 肩水平方位角と腰水平方位角との差分 (左腰が左肩を追い越した状態を負, 左肩が左腰を追い越した状態を正)
- 7) 体幹前後傾角度: 左右肩峰の midpoint と左右大転子の midpoint を結ぶ線分と Z 軸とのなす角度

III. 結果および考察

1. 身体的特徴, リリースパラメータおよび基礎的パラメータ

本研究では, 坂選手の 2024 年および 2025 年の試技を比較することにより, 記録向上に伴う投てき動作の変化について検討した。その結果, 2025 年の試技では体重が増加しており (表 1), 形態的要因が記録向上に寄与した可能性が示された。砲丸投において体重は, 身体が有する運動エネルギーの大きさに関係する重要な要因の一つであることが報告されており (植屋ほか, 1994), 坂選手においても体重増加が投てきパフォーマンスに一定の影響を及ぼしたと考えられる。

リリースパラメータに着目すると (表 2), 合成のリリース速度については 2025 年が高値を示した。砲丸投の記録はリリース時の合成速度によってほぼ決定されることが知られており (桜井, 1992), この合成速度の増大が記録更新に直結したと考えられる。一方, 成分別にみると, 2025 年では前方向成分が増大し, 上方向成分およびリリース角度は 2024 年よりも小さかった。これは, 坂選手が 2024 年と比較して, より前方向の速度獲得を重視したり

表 1 身体的特徴

	記録 (m)	身長 (m)	体重 (kg)
2024	14.23	1.68	103
2025	15.76	1.68	107

表 2 リリースパラメータ, 基礎的パラメータ

		2024	2025
記録	(m)	14.23	15.76
リリース速度			
	左右 (m/s)	0.03	-0.03
	前方 (m/s)	8.63	9.61
	上方 (m/s)	7.10	6.97
	合成 (m/s)	11.17	11.87
リリース角度	(deg)	40.6	35.98
リリース高	(m)	2.06	2.09
動作時間			
	NSP (s)	0.183	0.192
	SSP (s)	0.233	0.242
	DVP (s)	0.283	0.242
	Total (s)	0.700	0.675
身体重心速度			
	L-off (m/s)	1.97	2.09
	L-on (m/s)	2.03	1.79
	R-on (m/s)	1.76	1.96
	REL (m/s)	1.12	0.91

リリースへと動作を変化させていたことを示唆している。

また, 動作時間に関しては, 2025 年の試技において DVP および全体の動作時間が短縮されており, より短い時間の中で動作を遂行していたことが示唆された。身体重心速度に着目すると, 2025 年の試技では L-off および R-on 時の身体重心速度が 2024 年よりも高かった。植屋ほか (1968) は, 砲丸に大きなエネルギーを与えるためには, 全身のエネルギーを高めておくことが重要であると述べている。本研究の結果は, 坂選手は体重の増加とグライド動作中の移動速度の増加の 2 点で, 2024 年の試技よりも大きな運動エネルギーを保持した状態で REL に至っていたことを示しており, これらの点が高いリ

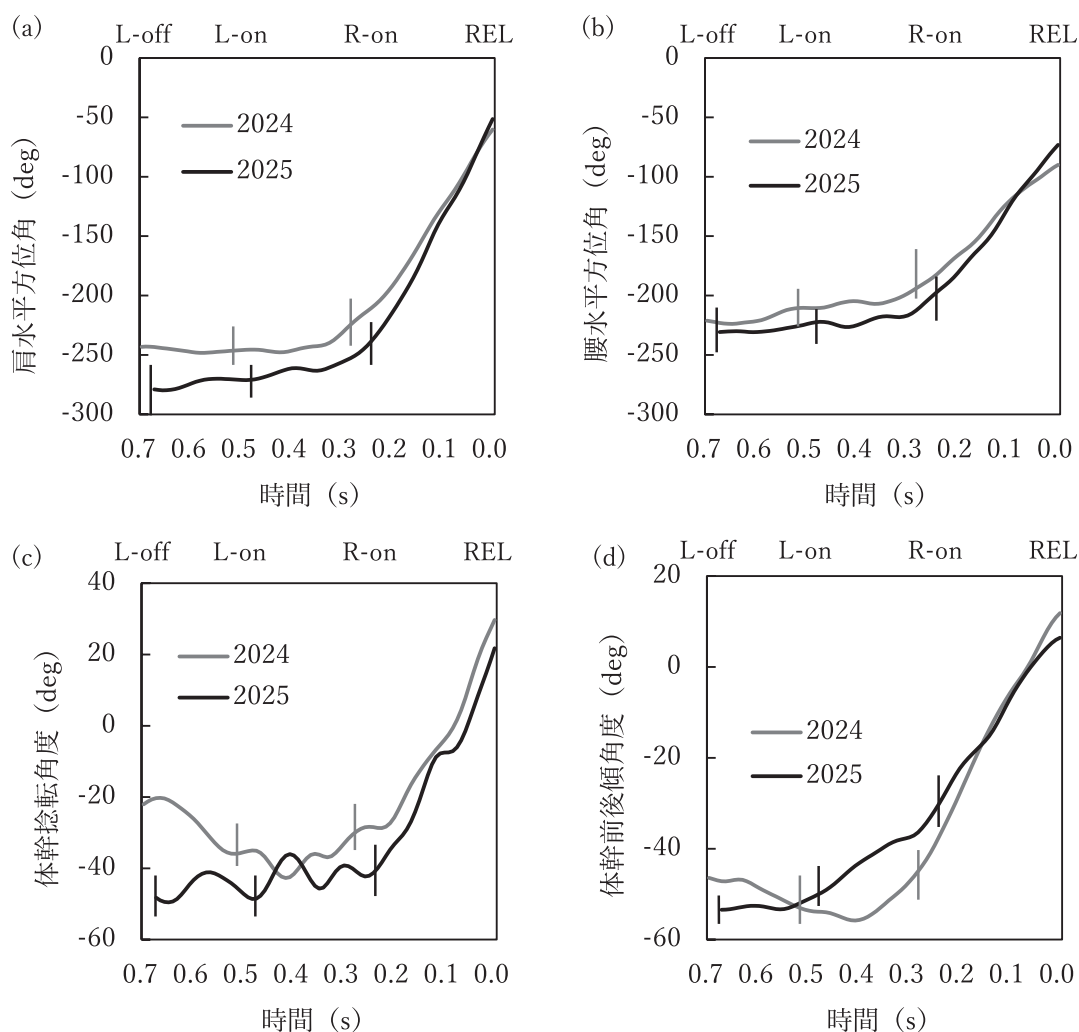


図1 体幹部の各角度

リリース速度獲得に寄与したと考えられる。

2. 体幹部の動作の変化について

本研究では、肩および腰の水平方位角を用いて体幹部の捻転動作を評価した。図1aに肩、1bに腰の水平方位角を示した。これらは、加藤ほか(2019)と同様の方法で算出しており、投てき方向(Y軸)を0度とし、-90度を投てき方向に対して左側(X軸)、-180度を投てき方向と反対、そして-270度を投てき方向に対して右側としている。肩および腰の水平方位角は、両試技とも負から正に向かって移行し、R-on付近からRELに向かって急激に変化するという同様のパターンを示したが、2025はL-offからR-onにかけて常に負の方向に大きく、REL時では2024よりも回転していた。つまり、2025はNSPおよびSSPからDVPへと移行する中でより投てき方向に対し反対を向いた状態でグライド動作を行い、右足接地まで維持していたこととなる。また、肩を大きく投てき方向と反対に向けたことによって、体幹部の捻転角度も2025の方が大きくなっ

ていた(図1c・図2)。投てき種目において、体幹部の捻転動作が強調されることは、エネルギー発生源としての体幹の役割を大きくできると考えられている(田内・遠藤, 2009)。すなわち、坂選手はDVPまでに体幹部の捻転動作を大きくし、DVPではその捻り戻しによって大きな力を発揮していたこととなろう。加藤ほか(2015)は、同一選手内におけるパフォーマンス向上(水平速度の増大)に貢献した動作として体幹の長軸周りの角速度の増大を挙げている。本研究では、身体各部位の貢献度や体幹の長軸周りの角速度は算出していないため、詳細な検討は行えないものの、体幹捻転動作の増大が、砲丸へのエネルギー伝達を高め、前方向の高いリリース速度獲得につながったと考えられる。一方で、田内・遠藤(2009)は体幹部の捻転動作(角度・角速度)は記録との相関関係はなく、必要条件ではあるものの十分条件ではないことも報告している。しかしながら、やり投げにおける縦断的研究においても(田内ほか, 2010; 瀧川ほか, 2023)、個人内の記録向上に伴って体幹捻転動作が強調されていることが示されてお

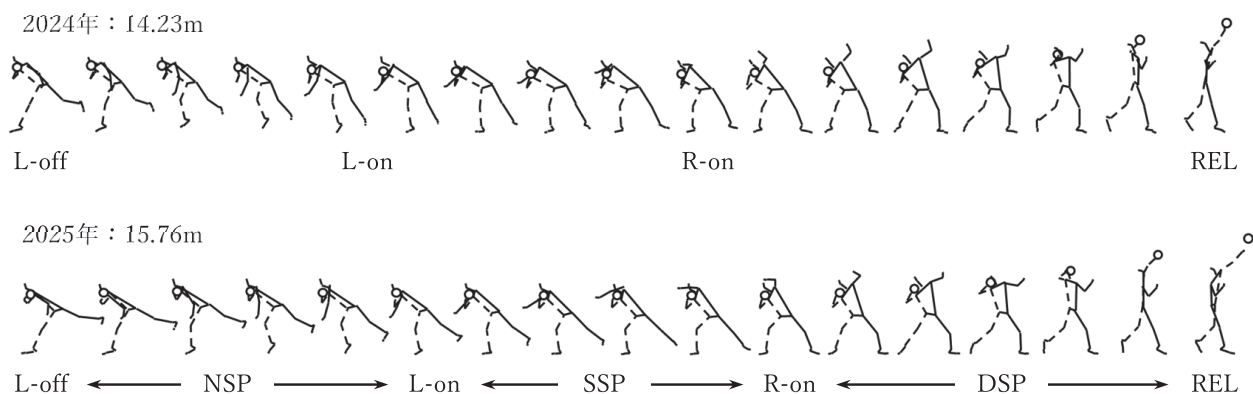


図2 側方からみたスティックピクチャー

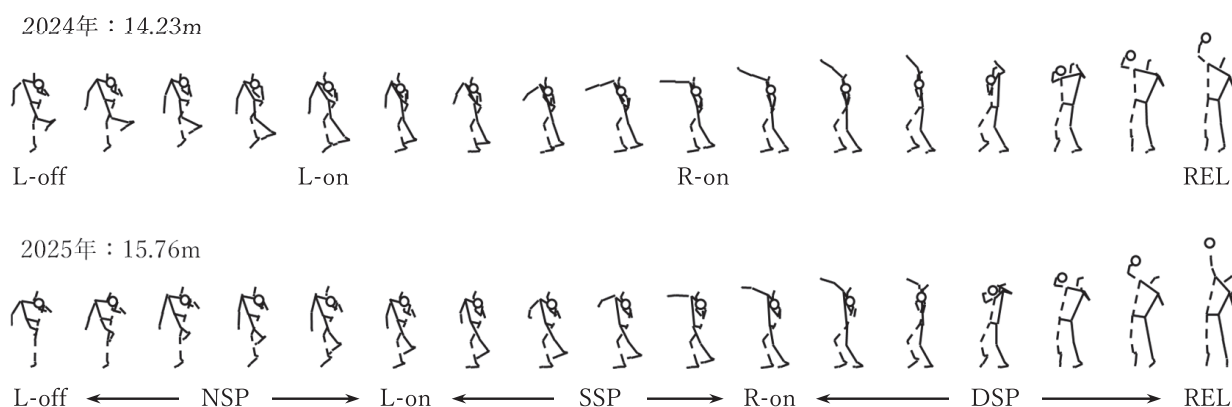


図3 後方からみたスティックピクチャー

り、本研究の結果を踏まえると、少なくとも個人のパフォーマンス向上過程においては重要な視点であると考えられる。

体幹前後傾角度に着目すると（図1d）、2024年の試技ではL-off後に後傾姿勢がさらに強調され、その後RELに向けて前傾姿勢へと移行するパターンを示していた。一方、2025年の試技では、L-offからRELに向かって徐々に後傾位から前傾位へと変化しており、過度な後傾が抑えられていた。砲丸投では、DVPにおける砲丸の移動距離を確保するため、体幹の後傾動作が用いられることが多い。しかし、過度な後傾は身体重心速度の低下を招く可能性がある。本研究において、2024年の試技ではR-on時の身体重心速度が低下しており、後傾姿勢の増大がその一因であった可能性が考えられる。これに対し、2025年の試技では体幹の後傾を抑えることで身体重心速度を高く維持しつつ、体幹捻転動作を強調することが可能となっていた。やり投における研究では、後傾が大きいと身体重心と前足との水平距離が大きくなることで減速が生じやすいことを理由として、前方向のリリース速度が高い選手ほど体幹の後傾が小さいことが示されており（Makino and Tauchi, 2022）、本研究の結果もこれと一致するものであっ

た。すなわち、坂選手は前方向の速度獲得を重視した投てき動作へと変化していたと考えられる。なお、REL時の体幹前後傾角度については2024年の方がやや前傾位であったものの、DVP局面全体では大きな差は認められなかった。このことから、体幹の起こし回転動作は記録向上に大きく影響しておらず、個人内の変化においては体幹の捻転動作の方がより重要である可能性が示された。

IV. まとめ

本研究の結果から、坂選手は2024年から2025年にかけて、体幹の後傾を抑えつつ、体幹捻転動作および身体重心速度を高める投てき動作へと変化していたことが明らかとなった。これにより、前方向の高いリリース速度を獲得することが可能となり、記録向上につながったと考えられる。

これらの動作変化に加え、体重増加による形態的要因も相まって、より大きな運動エネルギーを砲丸に伝達できる投てき動作が形成されていたと推察される。本研究は1名の事例研究ではあるが、国内女子砲丸投競技者におけるパフォーマンス向上過程を動作に着目して示した点に意義があり、今後の指導

および強化方策を検討するうえで有用な基礎資料となると考えられる。

参考文献

- 植屋清見・池上康男・中村和彦・桜井伸二・岡本敦・池川哲史（1994）砲丸投のバイオメカニクスの分析. 世界一流陸上競技者の技術, 207-219.
- 植屋清見・渋川侃二・吉本修（1968）砲丸投げのエネルギー的考察. 体育学研究, 13(5) : 147.
- 加藤忠彦・塚田卓巳・田内健二（2015）畑瀬聡選手における日本新記録の投てき動作の特徴—18.78 m と 17.91 m の比較—. 陸上競技研究紀要, 11 : 96-99.
- 加藤忠彦・瀧川寛子・野中愛理・前田奎・山本大輔・塚田卓巳・村上雅俊（2021）国内女子砲丸投選手における世代別の投てき動作の特徴—日本選手権とU20・U18日本選手権の比較—. 陸上競技研究紀要, 15 : 257-260.
- Makino, M. and Tauchi, K. (2022) Kinematic factors related to forward and vertical release velocity in male javelin throwers, *International Journal of Sport and Health Science*, 20: 249-259.
- 桜井伸二（1992）投げる科学. 大修館書店：東京. pp. 42-47.
- 瀧川 寛子・田内 健二（2023）国内女子一流やり投げ競技者における投てき動作の縦断的变化. 陸上競技学会誌, 21 : 45-50.
- 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・遠藤俊典・藤田善也・矢野恵太・藤井宏明（2010）村上幸史選手における80m オーバーのやり投動作の特徴—2009年と2007年との比較から. 陸上競技研究紀要, 6 : 118-121.