

世代別に見た国内男子砲丸投競技者における回転投法の特徴 —シニアおよびU18の比較事例—

加藤忠彦¹⁾ 瀧川寛子²⁾ 山本大輔³⁾ 岩波健輔⁴⁾ 牧野瑞輝⁵⁾ 塚田卓巳⁶⁾ 村上雅俊⁷⁾
1) 湘南工科大学 2) 中京大学 3) 天理大学 4) 天理大学大学院 5) 中京大学大学院
6) 和歌山県立医科大学 7) 大阪産業大学

1. はじめに

砲丸投にはグライド投法と回転投法の2つの投法があり、世界の男子競技者では回転投法が圧倒的な主流である。我が国においては、2018年に現在の日本記録である18.85 mが中村太地選手に回転投法によって樹立されるなど、特にシニアの世代において回転投法を採用する競技者は増加傾向にある。一方で高校生以下の世代においては、グライド投法が主流であり、回転投法を採用する競技者が少ない現状は否めない。しかし、近年の全国高校総体を始めとする主要な競技会において回転投法を採用する競技者が優勝、あるいは上位入賞をする機会は増加傾向にあり、高校生以下の世代において積極的に回転投法に取り組む競技者が増えていることもうかがえる。我が国における現時点でのシニア並びに高校生の一流競技者における回転投法の投てき動作にどのような特徴や差異があるかを把握することは、将来的な砲丸投の競技水準の向上のための指導やトレーニングを検討していく上で有益な知見と考えられる。

本稿では、シニアの競技者とU18の競技者における回転投法の投てき動作を事例的に比較し、その投てき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 分析試技

2021年5月9日に開催されたREADY STEADY TOKYOにおける男子砲丸投決勝、および2021年10月24日に開催された第15回U18／第52回U16陸上競技大会におけるU18男子砲丸投決勝における優勝者1名ずつ（以下、それぞれシニア競技者・U18競技者）の最も記録が良かった1試技を分析対象と

した。いずれの競技者も回転投法を用いており、右手投げであった。

2.2 データ収集

投てき動作は、サークルの側方及び後方に設置した2台のデジタルビデオカメラ（FDR-AX45, FDR-AX55, SONY）を用いて、120 fps, シャッタースピード1/1000 sで撮影した。また、サークルの中心を原点に、READY STEDAY TOKYOでは前後方向2.00 m, 左右方向1.83 mの9か所に、第15回U18／第52回U16陸上競技大会では前後方向2.00 m, 左右方向1.50 mの9か所に、それぞれマーク間隔0.40 mのキャリブレーションポールを垂直に立て、あらかじめ撮影した。

2.3 データ分析

ビデオカメラによって撮影された映像から、各コマにおける身体23点および砲丸中心の合計24点を動作解析システム（Frame-DIAS 6, Q'sfix）を用いて60 Hzでデジタル化し、画面上の座標値を算出した。そして、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軸とした右手系の静止座標系を設定し、3次元DLT法により実長換算することで、分析点と砲丸の3次元座標値を求めた。算出した座標値は、残差分析法（Winter, 1990）によって決定された最適遮断周波数（3.6-5.4Hz）で、4次のButter-worth filterにより平滑化した。なお、2つの映像の同期は、砲丸のリリース時点のコマ数で行った。

2.4 分析項目

本研究では、準備局面（ターン）後半の右足接地（R-on）からリリース（Re1）までを分析区間とした。また、上記に加え左足接地（L-on）をイベントとし

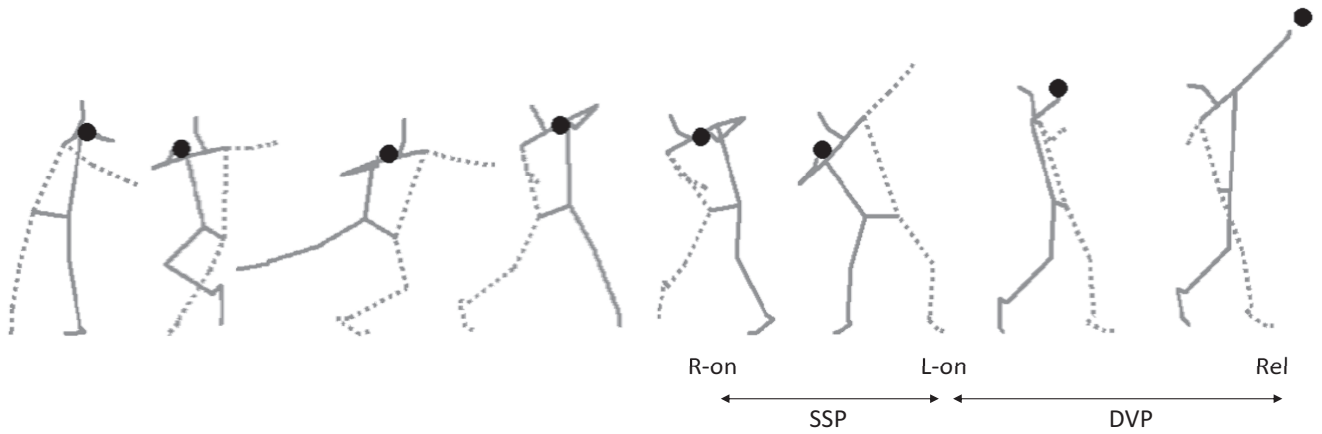


図1 砲丸投・回転投法における投てき動作のスティックピクチャ

て設定し、R-on から L-on を片脚支持局面 (SSP)、L-on から Rel を投げ局面 (DVP) とした (図1)。

投てき動作を評価する変数として以下を算出した

- 1) リリースパラメータ：リリース速度，リリース角度，リリース高
- 2) 砲丸の累積移動距離：各局面における砲丸の移動距離
- 3) 肩水平方位角：左肩関節から右肩関節に向かうベクトルが水平面にてY軸となす角度
- 4) 腰水平方位角：左大転子と右大転子を結ぶ線分が水平面にてY軸となす角度
- 5) 体幹捻転角度：肩水平方位角と腰水平方位角との差分（右肩が右腰を追い越した状態を正，右腰が右肩を追い越した状態を負）
- 6) 体幹前後傾角度：左右股関節の midpoint から左右肩関節の midpoint へ向かうベクトルが矢状面にてZ軸となす角度（投てき方向と反対に傾いた状態を負，投てき方向に傾いた状態を正）
- 7) 体幹と砲丸の距離：両肩 midpoint と砲丸の距離

3. 結果および考察

3. 1. リリースパラメータについて

まず、表1について、投てき記録はシニア競技者が17.66m、U18競技者が16.69 mでありその差は約1 mであった。リリース速度は、合成速度、Y速度、Z速度ではシニア競技者が、X速度ではU18競技者の方が高値であった。また、X速度はシニア競技者が負の値、U18競技者は正の値であり、着地場所に

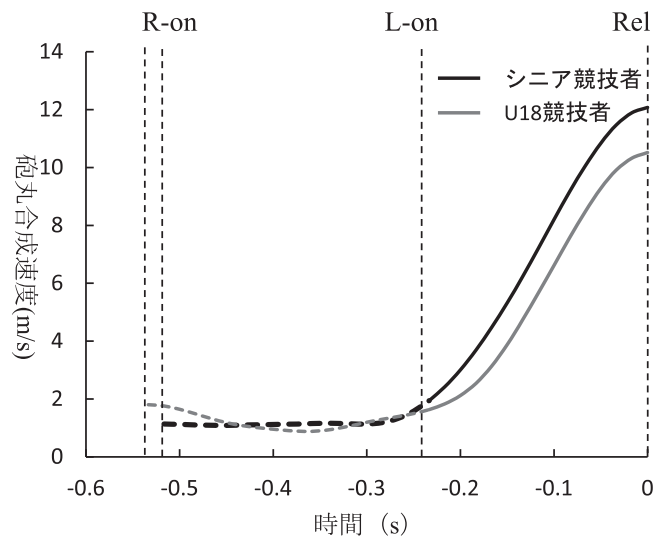


図2 砲丸合成速度の変位

対してシニア競技者は左方向に、U18競技者は右方向にそれぞれリリースしていたと考えられる。リリース角度は同程度であり、リリース高についてはシニア競技者が20 cm程度高値であった。リリース速度は砲丸の飛距離に最も影響をおよぼす要素である (Hay, 1985)。したがって、両選手の記録の差は、リリース速度の差がもたらしていたと考えられる。砲丸の合成速度の経時的な変化は、図2に示した通りである。L-onの時点における砲丸の合成速度は、シニア競技者において1.94 m/s、U18競技者において1.64 m/sであり大きな差はない。このことから、DVPにおける動作の差異によって、最終的なリリース速度に差が生じたことが示唆される。

表1 投てき記録とリリースパラメータ

	投てき記録					リリース速度 (m/s)	リリース角度 (°)	リリース高 (m)
	(m)	X速度	Y速度	Z速度	合成速度			
シニア競技者(7.26kg)	17.66	-0.18	9.69	7.20	12.07		36.30	2.24
U18競技者(6.0kg)	16.69	0.65	8.43	6.30	10.54		37.31	2.04

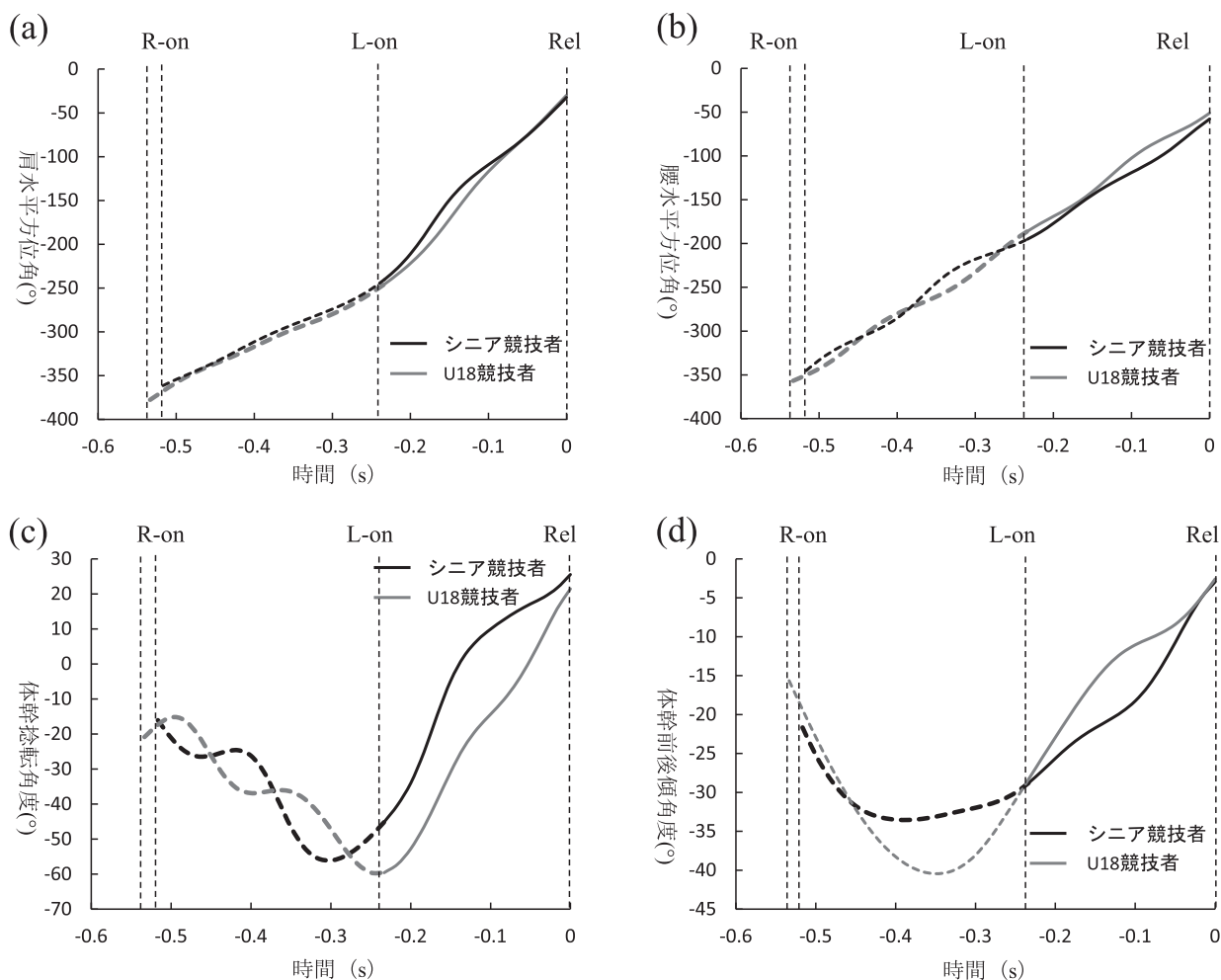


図3 肩水平方位角，腰水平方位角，体幹捻転角度および体幹前後傾角度

3. 2. 砲丸の累積移動距離に関して

SSPにおける砲丸の累積移動距離はシニア競技者が0.32 m，U18競技者が0.34 mと同等であった。一方，DVPにおける砲丸の累積移動距離は，シニア競技者が1.71 m，U18競技者が1.40 mと，約30 cmの差があった。つまり，DVPにおいて砲丸を突き出していく過程で，シニア競技者はより長い距離に渡って砲丸の加速を遂行できる動作を行い，前述した大きな砲丸のリリース速度を作り出していたことが示唆される。また，リリース速度のX速度の結果も踏まえると，特にシニア競技者は，着地場所の左方向に向かって砲丸をリリースする動作によって，U18競技者よりも長い砲丸の移動距離を獲得していた可能性が考えられる。

3. 3. 肩水平方位角，腰水平方位角，体幹捻転角度および体幹前後傾角度について

本研究において，水平方位角は，投てき方向（Y軸）を 0° とし， -90° を投てき方向に対して右側（X軸）， -180° を投てき方向と反対側，そして -270° を投てき方向に対して左側として算出して

いる。図3aは，肩水平方位角の変位を示している。SSPにおける変化量はシニア競技者が 120.97° ，U18競技者が 132.00° ，DVPにおける変化量はシニア競技者が 208.04° ，U18競技者が 215.89° であった。図3bに示した腰水平方位角は，SSPにおける変化量はシニア競技者が 150.04° ，U18競技者が 170.73° ，DVPにおける変化量はシニア競技者が 137.37° ，U18競技者が 134.87° であった。肩と腰の水平方位角の差である体幹捻転角度（図3c）に注目すると，DVPにおける変化量は，シニア競技者が 70.68° ，U18競技者が 81.02° であった。つまり，体幹部の長軸周りの回転に関して，シニア競技者に比較してU18競技者は肩と腰を大きく水平回転させ，かつ十分に体幹を捻り戻す動作を行っていた。体幹の捻転動作は大きなエネルギー発揮のための前提となることから（田内と遠藤，2009），U18競技者は，シニア競技者以上に体幹部の長軸周りの回転を活かす投てき動作を行っていたと示唆される。

次に，図3dに示した体幹前後傾角度について，SSPにおける最大値はシニア競技者が -33.54° ，

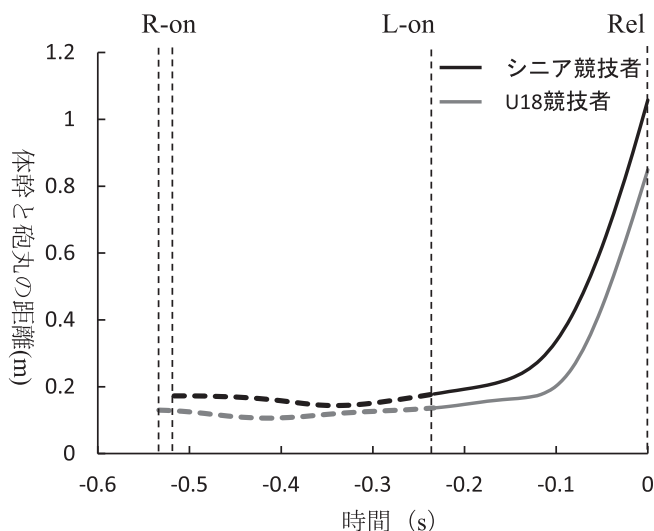


図4 体幹と砲丸の距離

U18 競技者が -40.44° であり U18 競技者の方が投てき方向とは逆側に後傾した姿勢であった。しかし、L-on においては両者ともに同等であり、DVP における変化量もシニア競技者が 24.31° 、U18 競技者が 23.01° と同等であった。したがって、DVP において砲丸を突き出しながら「身体を起こしていく動作」に関しては、両者に大きな差異はなかったといえよう。

3. 4. 体幹と砲丸の距離について

図4は、体幹と砲丸の距離を示している。L-on の時点ではシニア競技者は 0.18 m、U18 競技者は 0.14 m であり、両者の間には約 4 cm 程度しか差はない。しかし、L-on 以降、体幹と砲丸の距離は経時的にシニア競技者の方が増大していき、最終的に Rel の時点では、シニア競技者が 1.08 m、U18 競技者が 0.85 m と、20 cm 以上の差が生じていた。体幹と砲丸の距離の増大がもたらす効果として、砲丸の速度に対する体幹の長軸回転の貢献の増大が考えられる。これは、体幹の長軸周りの角速度と体幹と砲丸の距離との積で算出され（田内ほか、2006）、グライド投法と比較した場合、回転投法では体幹の長軸回転の貢献が高いことが指摘されている（田内、2007）。本研究では体幹の長軸回転の貢献や、体幹の長軸周りの角速度は算出していないが、シニア競技者においては、DVP において体幹から遠い位置で砲丸を加速させることで、体幹の長軸回転の貢献を高め、高いリリース速度を獲得していたのではないかと示唆される。さらに、先述した DVP における長い砲丸の累積移動距離の獲得も、体幹と砲丸の距離の増大に応じて達成されていたと考えられる。

4. まとめ

本稿では、国内のシニア競技者と U18 競技者における回転投法の投てき動作を事例的に比較し、その投てき動作の特徴を明らかにした。その結果、シニア競技者は、DVP において砲丸を体幹から遠い位置で動かし、かつ着地場所の中央より左方向に投射することにより、長い距離に渡って加速させ高いリリース速度を獲得していた。一方で、U18 競技者は、肩水平方位角や腰水平方位角、体幹捻転角度においてシニア競技者よりも高い変化量であり、体幹部の長軸周りの回転を活かす投てき動作を行っていた。以上のことを踏まえると、我が国における U18 世代の一流競技者は、シニア世代の一流競技者と比較しても十分に高い技術レベルで回転投法の投てき動作を行っていることが示唆された。

参考文献

- 1) Hay, J. G. (1985) The Biomechanics of Sports Techniques, 3rd ed. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ., pp.475-487.
- 2) 田内健二 (2007) 砲丸投げの競技特性と競技レベルに対する日本選手の課題. 陸上競技学会誌, 6: 9-99.
- 3) 田内健二, 村上雅俊, 高松潤二, 阿江通良 (2006) 砲丸投げにおける砲丸速度に対する身体各部位の貢献—世界レベル選手と日本レベル選手との比較—. 陸上競技研究紀要, 2: 65-73.
- 4) 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.
- 5) Winter, D. A. (1990) Kinematics. In: Winter, D. A. (eds.) Biomechanics and motor control of human movement. John Wiley and Sons, pp. 11 - 50.