

男子やり投げにおける同一試合内での記録に差が生じた要因： 崎山雄太選手における 83.54m と 77.36m の比較

牧野 瑞輝¹⁾ 山本 大輔²⁾ 前田 奎³⁾ 瀧川 寛子⁴⁾

1) 中京大学大学院 2) 天理大学 3) 京都先端科学大学 4) 中京大学

1. はじめに

2023年5月6日に大阪・ヤンマースタジアムで行われた第10回木南道孝記念陸上競技大会において、崎山雄太選手がこれまでの自己最高記録(80.51m)を大幅に更新する83.54mを投てきして優勝した。この記録は日本の男子やり投げにおいて歴代5位に位置するとともに、来年に行われるパリオリンピックの参加標準記録まであと2mに迫る好記録であった。その一方で、崎山選手が最高記録を投てきた1投目以外の記録は76-77m台であり、同一試合内での記録には大きな差があった。やり投げには他の投てき種目よりも同一試合内の試技において記録に大きな差が生じやすいという特徴がある。この記録の差が生じた要因を明らかにすることができれば、同一試合内における記録の安定を図るための一助となる知見が得られるものと考えられる。

以上のことから、本稿の目的は崎山雄太選手における83.54mの投てき動作を、同一試合内で記録が低かった試技(77.36m)の動作と比較することで、記録に差が生じた要因を検討することとした。

2. 方法

2.1. データ収集および処理

対象は2023年5月6日に大阪・ヤンマースタジアムで行われた男子やり投げに出場した、崎山雄太選手における83.54m(1投目)および77.36m(4投目)を記録した試技とした。投てき動作は助走路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(FDR-AX55, SONY)を用いて、サンプリング周波数60fps, シャッタースピード1/1000sで撮影した。撮影範囲はスターティングラインを基準に、後方に6m, 横幅4m, 高さ2.8mとした。競技の開始に先立ち、撮影範囲内の9か所にキャリブレーション

ポールを立ててカメラで撮影した。なお、本稿では撮影範囲のうち、投てき方向をY軸、鉛直方向をZ軸、投てき方向に対して左右方向をX軸とする静止座標系を定義した。

ビデオカメラによって撮影した映像から、身体分析点23点およびやりのグリップ、先端を動作分析ソフトウェア(Frame-DIAS VI, Q'sfix)を用いて毎秒60コマでデジタル化した。2台のカメラで撮影された映像の時系列は、やりのリリース時を基準にして同期した。デジタル化された分析点の座標値は3次元DLT法によって算出した。算出された3次元座標値は、位相ずれのない8HzのButterworth low-pass digital filterによって平滑化した。分析範囲は最後の右足接地時からリリース時までとし、一連の投てき動作のうち、最後の右足接地時をR-on, 左足接地時をL-on, やりのリリース時をRelとし、R-onからL-onまでを準備局面, L-onからRelまでを投てき局面と定義した。

2.2. 算出項目

本稿では記録に差が生じた要因を検討するために、やり投げのパフォーマンスと関連する以下の変数を算出した。なお、算出項目における時系列データについてはR-onからL-onまでを0-60%, L-onからRelまでを60-100%に規格化した。

(1) リリースパラメータ

- ・リリース速度：リリース時のやりの速度をリリース速度としたときの、前後、左右、上下方向、および合成速度
- ・投射角：矢状面内におけるリリース速度ベクトルとY軸とのなす角度
- ・姿勢角：矢状面内におけるやりとY軸とのなす角度
- ・迎え角：矢状面内における姿勢角と投射角との差

表1 リリースパラメータおよび基礎的パラメータ

パラメータ		83.54m	77.36m
リリース速度	合成	[m/s] 28.0	26.3
	左右	[m/s] 2.8	3.6
	前後	[m/s] 23.0	20.8
	上下	[m/s] 15.7	15.7
投射角	[deg] 34.4	37.0	
姿勢角	[deg] 32.9	36.6	
迎え角	矢状面	[deg] -1.5	-0.4
	水平面	[deg] 7.0	10.7
投射高	[m] 1.76	1.85	
身体重心速度	R-on	[m/s] 6.9	6.7
	L-on	[m/s] 6.1	5.7
	Rel	[m/s] 3.4	3.2
減速率	[%] 44.8	43.2	
局面時間	準備局面	[s] 0.233	0.250
	投てき局面	[s] 0.117	0.100
加速距離	[m] 1.98	1.65	
歩幅	前後	[m] 2.01	2.07
	左右	[m] 0.66	0.56

- ・ 投射高：リリース時におけるやりのグリップの高さ
- (2) 基礎的パラメータ
- ・ 身体重心速度：R-on, L-on, Rel における身体重心の合成速度
 - ・ 減速率：L-on から Rel までの身体重心速度の減速率
 - ・ 局面時間：準備局面および投てき局面における所要時間
 - ・ 加速距離：投てき局面においてやりのグリップが移動した距離
 - ・ 歩幅：R-on の右足の接地位置と L-on の左足の接地位置との前後および左右の距離
- (3) キネマティクスデータ
- ・ 左足とグリップとの水平距離：L-on および Rel の時点における左つま先とグリップとの水平距離
 - ・ 肩の水平内外転角度：選手の水平面内において左右の肩を結んだ線分と上腕とがなす角度
 - ・ 肩の内外旋角度：上腕の長軸方向に直交する面において選手の前方を示す線分と前腕とがなす角度
 - ・ 右膝角度：右大腿と右下腿とがなす角度
 - ・ 左膝角度：左大腿と左下腿とがなす角度

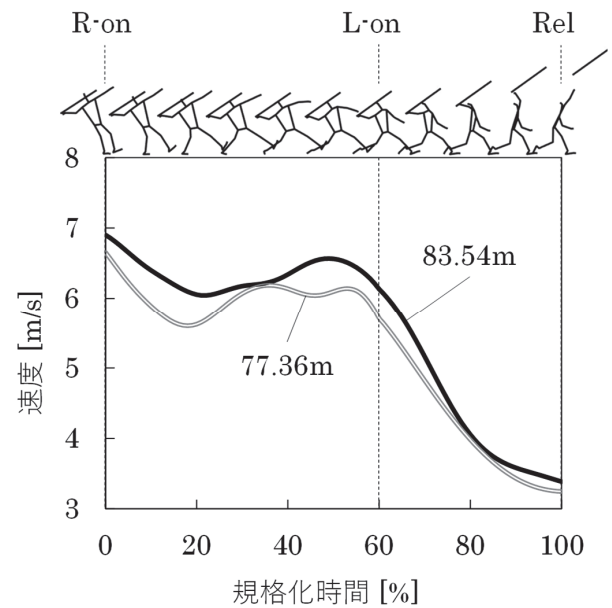


図1 身体重心速度の変化

3. 結果および考察

3.1. 両試技におけるリリースパラメータ

やり投げにおいて優れた記録を達成するためには、高い合成のリリース速度を獲得する (Murakami et al., 2006) とともに、約 30° の投射角 (Hubbard and Alaways, 1986) で投てきする必要がある。そこでまず、表1の上段に示したリリースパラメータについて2試技の値を確認してみると、崎山選手が自己最高記録を更新した83.54mの試技では、77.36mの試技よりも合成のリリース速度が高く、投射角が低かった。これらの結果から、83.54mの試技ではリリース速度を高められたこと、および 30° に近い投射角で投てきできたことが、大きな飛距離の獲得に繋がった要因であると考えられる。

また、やり投げにおける合成のリリース速度は主にやりの前方速度と上方速度とによって構成され、投射角についてもやりの前方速度と上方速度の比によって決定される。そこで、83.54mにおいて確認された「高い合成のリリース速度」および「低い投射角」を可能にした要因を探るために前後および上下方向のリリース速度をみると、83.54mの試技では77.36mの試技と比較して、前方速度が高かったのに対して、上方速度に差はなかった。この結果に基づくと、83.54mの試技では77.36mの試技よりも前方向のリリース速度が高まったことによって合成のリリース速度が高まるとともに、投射角が低くなったということになる。

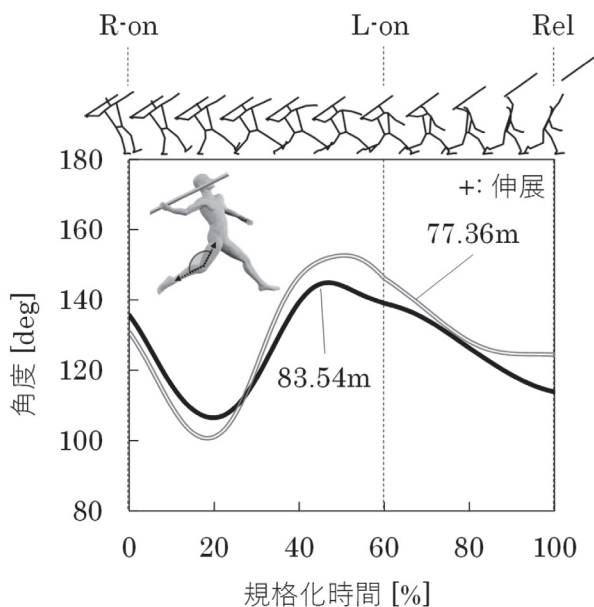


図2 右膝角度の変化

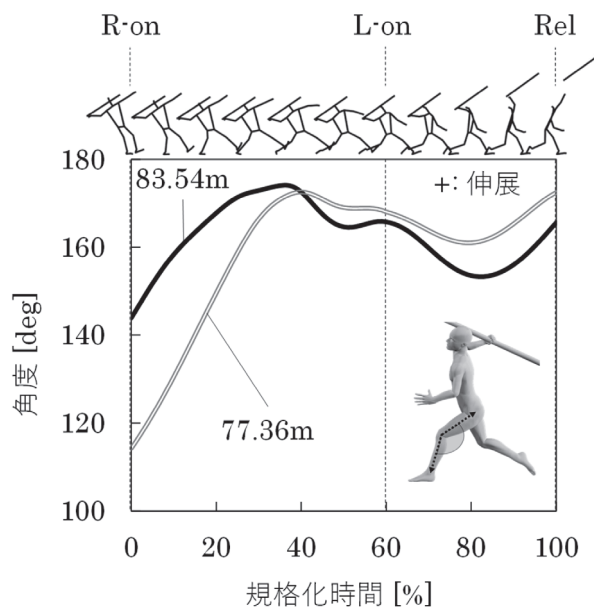


図3 左膝角度の変化

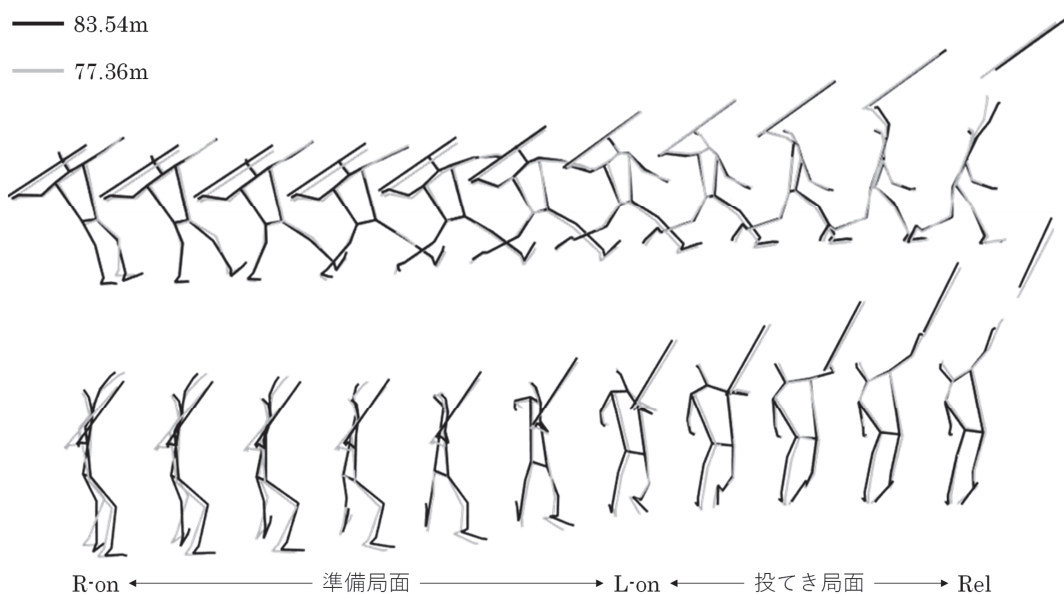


図4 83.54m および 77.36m の試技におけるスティックピクチャ

3.2. 前方向のリリース速度に差が生じた要因

表1の下段に示した基礎的パラメータをみてみると、83.54mの試技では77.36mの試技よりもR-on, L-on, Relの全ての時点において身体重心速度が高かった。やり投げでは身体重心速度を高めておくことが全身の保持する力学的エネルギーの総量を大きくすることに繋がり、投てき局面において末端部へのより大きなエネルギー伝達が可能になると考えられている (Bartoniets, 2000)。こうした観点から、準備局面では身体重心の減速を可能な限り小さくしてL-onを迎えることが理想といえる。そこで、図1に示した身体重心速度の変化をみてみると、77.36mの試技では83.54mと比較して、R-on後に身

体重心が大きく減速しており、その後に僅かに加速してはいるもののL-on時の値は低かった。このことは、記録の低かった試技ではR-on後に身体重心を大きく減速させた後に、再度速度が獲得されていたことを示唆するものである。また、準備局面では右脚のみが地面に接地しているため、身体重心の加減速には右脚の動作が関係していると考えられる。そこで、図2に示した右膝角度の変化をみてみると、77.36mの試技では83.54mの試技よりもR-on後に右膝が屈曲したあとに伸展する変化パターンがより大きかった。田内 (2009) はR-onからL-onまでをスムーズに移行するためには、右膝がより屈曲位で左足接地を迎えることが望ましいと述べている。す

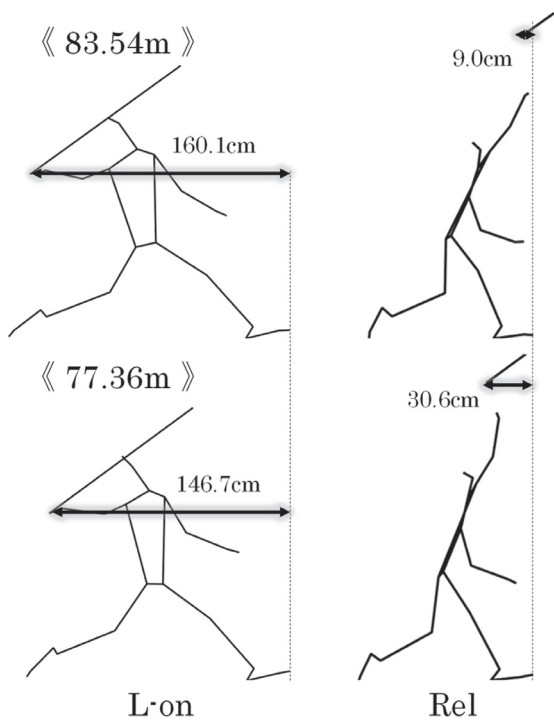


図5 左足とグリップとの水平距離

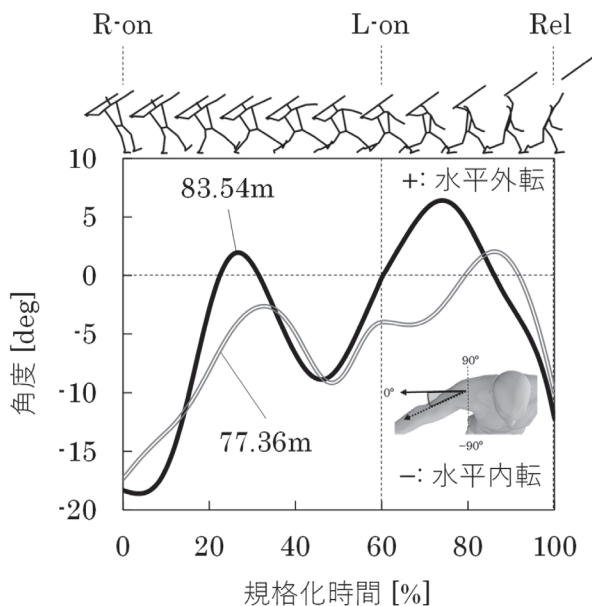


図6 右肩の水平内外転角度の変化

なわち、83.54mの試技においては右膝角度を屈曲させた状態でL-onを迎えたことが、身体重心の減速を防ぐことに繋がっていたと考えられる。さらに、図3に示した左膝角度の変化をみると、R-on付近では83.54mの試技の方が77.36mの試技よりも左膝がより伸展位であり、このことは図4に示したスティックピクチャからも確認できる。Makino and Tauchi (2022)は、R-onの時点から左膝が伸展していたことが素早い左足接地を導き、このことが準備局面における身体重心の減速を防ぐ役割を果たす

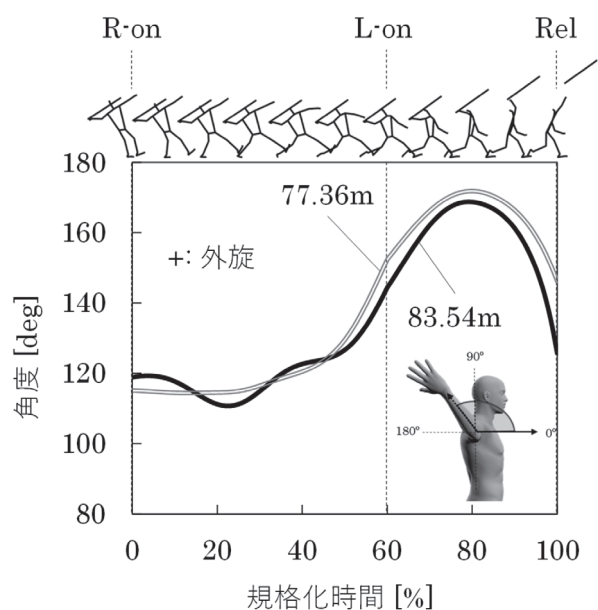


図7 右肩の内外旋角度の変化

と示唆している。この考えに基づくと、83.54mにおける試技では77.36mの試技よりもR-on時から左膝を伸展させておいたことも身体重心の減速を防ぐ役割を果たしていた可能性がある。

上記に加えて、基礎的パラメータにおいては83.54mの試技が77.36mの試技よりもやりの加速距離が約30cm長かったことも確認された(表1)。加速距離が長いことはやりにより大きな力を加えられる点において高いリリース速度の獲得に有利である。また、L-onおよびRelの時点における左足に対するやりの水平距離を確認してみると、83.54mの試技では77.36mの試技よりもL-on時にやりがより後方、Rel時にやりがより前方に位置していた(図5)。このことは、83.54mの試技においては77.36mの試技よりも投てき局面でやりが後方から前方に向かって大きく移動したことが、加速距離の増大に貢献していたことを示唆するものである。そこで、83.54mの試技において大きな加速距離を獲得するに至った動作を確認するために、図6および7に示した右肩の水平内外転および内外旋の角度における時系列変化を確認してみると、83.54mの試技では77.36mの試技よりもL-on付近における右肩の水平外転角度、およびRel付近における右肩の内旋角度が大きかった。これらの結果に基づくと、記録の良かった試技ではL-on付近で肩が大きく水平外転し、Rel付近で肩が大きく内旋していたことがやりの前方への加速距離の増大に繋がったと考えられる。特に、L-on付近において右肩の水平外転角度を大きくすることは高い前方向のリリース速度と関係することが報告されており(Makino and Tauchi,

2022), このことは同一試合内で記録に差が生じた個人内の試技を比較した場合においても同様の結果が確認された。

その一方で、本稿で示した結果はやり投げにおいて個人内の記録の良し悪しに関係する要因を報告した先行研究とは異なっていた。瀧川ら(2020)は、女子やり投げ選手において個人内の記録に差が生じた要因として投てき局面における左膝角度を指摘しており、やり投げに関する先行研究では左膝はより伸展位である方が好ましいとされている(Murakami et al., 2006; 田内, 2009)。しかしながら、本稿における83.54mの試技では77.36mの試技よりも投てき局面における左膝がむしろ屈曲位であった(図3)。このことから、ここまで本稿において述べてきた内容は、やり投げにおいて個人内での記録の良し悪しを決定づける要因には投てき局面における左膝以外にも、身体重心速度や上肢の動作が関係する可能性を示すものであった。

4. まとめ

本稿では、崎山雄太選手が83.54mの好記録を達成した試技を同一試合内で記録が低かった試技と比較することによって、個人内で記録に差が生じた要因について検討した。その結果、83.54mの試技では77.36mの試技よりも前方向のリリース速度が高かったことに起因して合成のリリース速度が高くなり、投射角は低くなっていた。また、83.54mの試技では77.36mの試技よりも全ての局面における身体重心速度が高く、加速距離が大きかった。そこでこれらの要因に関係する動作を検討したところ、83.54mの試技においては準備局面における右膝の角変位が小さく、R-on付近で左膝が伸展位であったことが身体重心の減速を防ぎ、L-on後の肩の水平外転角度およびRe1時の肩の内旋角度が大きかったことが、加速距離の増大に関係していたことが示唆された。

参考文献

- Bartonietz, K. (2000) Javelin throwing: an approach to performance development. In V.M. Zatsiorsky (ed.), *Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention*, Blackwell Science, 401-434.
- Hubbard, M. & Alaways, L.W. (1986) Optimum release condition for the new rules javelin.

Journal of Applied Biomechanics, 3(3): 207-221.

Murakami, M., Tanabe, S., Ishikawa, M., Isolehto, J., Komi, P.V. & Ito, M. (2006) Biomechanical analysis of the javelin at the 2005 IAAF World Championships in Athletes. *New Studies in Athletics*, 21: 67-80.

Makino, M. & 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.

瀧川寛子・堀内元・田内健二(2020)女子やり投げ競技者における成功試技と失敗試技とが生じる動作要因の検討, *体育学研究*, 65: 143-152.

田内健二(2009)バイオメカニクスの知見を背景にした男子やり投げの投てき技術: レビュー. *陸上競技学会誌*, 7(1): 33-39.