

女子やり投げ北口榛花選手における投てき動作の特徴 —海外選手との比較—

瀧川 寛子¹⁾ 牧野 瑞輝²⁾ 加藤 忠彦³⁾

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

I. はじめに

2024年9月に開催されたパリ五輪女子やり投げ決勝において、北口榛花選手が1投目に65.80mを投てきし、金メダルを獲得した。ロード種目以外の陸上競技において、女子選手がオリンピックで金メダルを獲得したのは史上初であり、歴史に残る快挙であった。我々はこれまでに、北口選手個人内の成功・失敗の比較や日本人競技者との比較を行ってきた（田内ほか, 2016；瀧川ほか, 2022；瀧川ほか, 2023）。その結果、北口選手の動作の特徴をある程度明らかにしてきた。しかし、世界レベルでは女子やり投げのトップ選手は多くが海外選手であることから、北口選手と海外選手を比較することは、今後の日本における女子やり投げ界の発展において意義のあるものと考えられる。

そこで本稿では、北口選手における投てき動作の特徴を、海外の上位選手と比較を行うことによって明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 分析対象者および分析試技

分析対象者は、セイコーゴールデングラプリ陸上2024に出場した女子やり投げ選手のうち、上位3名とした（1位：北口榛花選手、2位：フロルデニスルイスウルタド選手、3位：トリピーターズ選手）。分析試技は、対象の競技会における各選手の最高記録の試技とした。

2. 撮影方法

それぞれの投てき試技を、やり投げ助走路の側方および後方に設置したビデオカメラ（FDR-AX45, SONY）2台を用いて每秒120Hz、露出時間1/1000sで撮影した。また、助走路のスターティングライン

中央より後方6mの地点を原点とし、縦6m×横4m×高さ2.8mの画角を設定した。競技会の撮影に先立ち、予め撮影範囲内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に取り組み、動作解析ソフト（Frame-DIAS6, Q'fix）を用いて、身体23点およびやり2点（グリップ、やりの先端）を120Hzでデジタル化し、デジタル化された座標値を3次元DLT法にて実長換算し、身体分析点およびやりの3次元座標値を算出した。2方向からの映像の同期は、やり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、8Hzのローパスバターワース型デジタルフィルターによって平滑化した。

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。最終的に右足を接地した時点をR-on、続く左足接地をL-on、やりが手から離れた時点をリリース（REL）とし、最初のR-onからL-onまでを準備局面、L-onからRELまでを投局面とした。また、準備局面および投局面に要した時間の比率が6：4であったことから、R-onを0%、L-onを60%、RELを100%とし、時間の規格化を行った。

分析項目として、以下の項目を算出した。なお、1）～4）をリリースパラメータ、5）～8）を基礎的パラメータとした。

- 1) リリース速度：リリース時のグリップ速度
- 2) リリース角度：矢状面内におけるリリース速度ベクトルとY軸とがなす角

表1 リリースパラメータ

		1位	2位	3位
		KITAGUCHI Haruka	RUIZ HURTADO Flor Denis	PEETERS Tori
記録	[m]	63.45	62.06	61.26
リリース速度	[m/s]	23.5	23.4	23.3
水平	[m/s]	18.1	19.7	18.4
鉛直	[m/s]	14.8	12.5	14.2
左右	[m/s]	2.7	-1.4	2.7
リリース角度	[deg]	39.3	32.4	38.4
姿勢角	[deg]	46.3	35.0	43.1
迎え角	[deg]	7.0	2.6	4.7

表2 基礎的パラメータ

		1位	2位	3位
		KITAGUCHI Haruka	RUIZ HURTADO Flor Denis	PEETERS Tori
記録	[m]	63.45	62.06	61.26
身体重心速度	[m/s]			
R-on	[m/s]	5.1	5.1	5.4
L-on	[m/s]	4.2	4.7	4.9
REL	[m/s]	3.0	2.1	2.8
局面時間				
準備局面	[s]	0.233	0.250	0.175
投局面	[s]	0.167	0.158	0.125
歩幅				
前後	[m]	1.53	1.41	1.56
左右	[m]	0.08	0.79	0.24
加速距離	[m]	1.90	1.93	1.64

- 3) 姿勢角：矢状面内におけるグリップと先端とを結んだ線分と Y 軸とがなす角
- 4) 迎え角：姿勢角からリリース角を減じた角度
- 5) 身体重心速度：各局面における身体重心の速度
- 6) 局面時間：準備局面および投局面における経過時間
- 7) 歩幅：R-on 時の右足つま先から L-on 時の左足踵までの長さ
- 8) 加速距離：L-on 時から REL までにおけるやりのグリップが移動した長さ
- 9) 肩水平回旋角度：水平面内における左右の肩峰を結ぶ線分と X 軸とがなす角度（X 軸を 0 度として、正の値が左回旋位、負の値が右回旋位）
- 10) 腰水平回旋角度：水平面内における左右の大転子を結ぶ線分と X 軸とのなす角度（X 軸を 0 度として、正の値が左回旋位、負の値が右回旋位）
- 11) 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 Y 軸とのなす角度

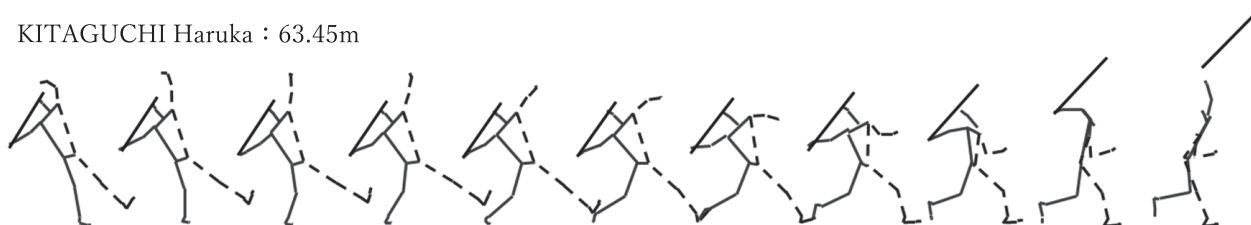
- 12) 上肢角度：水平面内における右肩峰とグリップを結ぶ線分と X 軸とのなす角度（X 軸を 0 度として、正の値が左回旋位、負の値が右回旋位）
- 13) 右肘角度：右上腕と前腕とのなす角度（最大伸展位が 180 度）

III. 結果および考察

1. リリースパラメータおよび基礎的パラメータ

表 1 に、リリースパラメータを示した。まず、合成のリリース速度について高値を示した選手順に記録も高くなっているものの、大差はなかった。また、リリース速度を成分ごとに 3 選手で比較してみると、北口選手およびピーターズ選手は鉛直成分が大きく、ウルタド選手は水平成分が大きいという特徴を示した。やり投げの記録は、リリースパラメータによって決定され、その中でもリリース速度が最も重要であり、水平および鉛直成分は記録との間に高い正の相関関係が認められている（瀧川・田

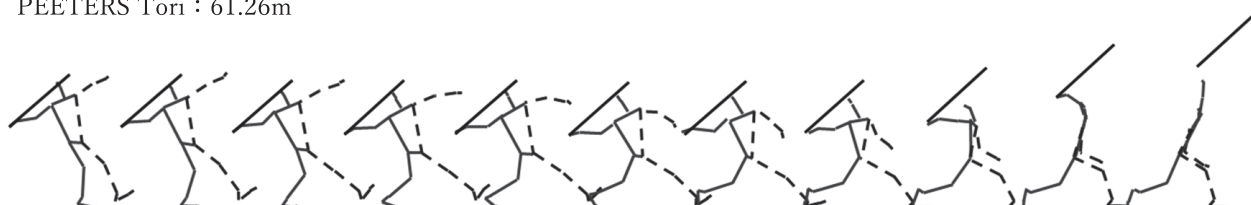
KITAGUCHI Haruka : 63.45m



RUIZ HURTADO Flor Denis : 62.06m



PEETERS Tori : 61.26m



0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%
R-on ← 準備局面 → L-on ← 投局面 → REL

図1 側方からみたスティックピクチャ

内, 2020; Makino and Tauchi, 2022). したがって, 60mを超える投てきを行うために, 北口選手およびピーターズ選手は特に鉛直成分を大きくし, ウルタド選手は水平成分を大きくしていたこととなる. リリース角度, 姿勢角および迎え角は, 北口選手が最も高く, ウルタド選手が比較的低値を示した. 北口選手およびピーターズ選手における高い鉛直成分のリリース速度はリリース角度が大きいことに関連している. リリース角度については, 男子やり投げ選手を対象とした前田ほか(1997)によって, 33度前後が至適であるとされている. 女子の世界トップ選手2名がこのように大きな値を示していることから, 女子の世界トップ選手では, 男子選手を対象とした横断的研究から得られた知見が当てはまらない可能性がある. また, 迎え角は, 0度に近いことが望ましく(前田ほか, 1997), 北口選手における迎え角の大きさは姿勢角が大きいことに起因している.

表2に, 基礎的パラメータを示した. まず, 身体重心速度について, 北口選手はR-on時点ではウ

ルタド選手と同等であったが, L-on時点では低値を示した. これは, 北口選手が他の選手に比べて, R-onからL-onにおいて大きく減速していることを示している. この減速する要因となる動作については後述したい. 局面時間は, いずれの局面においても北口選手およびウルタド選手がピーターズ選手よりも大きな値を示し, より長い時間をかけて動作を遂行していた. 歩幅は, 前後ではウルタド選手が小さい値を示し, 左右では北口選手が大幅に小さい値を示した. 加速距離は, 北口選手およびウルタド選手が大きな値を示した. これらの結果を踏まえると, 北口選手およびウルタド選手は, 動作時間を長くし, やりに力を加える距離を長くする動作を行うこと, 一方でピーターズ選手は, 速い助走を行い身体を持つエネルギーを大きくする動作を行うことで, それぞれリリース速度を高めていたということが示唆された.

2. 投てき動作の違いについて

北口選手およびウルタド選手とピーターズ選手と

KITAGUCHI Haruka : 63.45m



RUIZ HURTADO Flor Denis : 62.06m



PEETERS Tori : 61.26m



0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

R-on ← 準備局面 → L-on ← 投局面 → REL

図2 後方からみたスティックピクチャ

の間では、高いリリース速度を獲得するための戦略が異なっていた。本稿では、北口選手がどのような動作で加速距離を大きくし、高いリリース速度（特に鉛直成分）を獲得していたのかについて、スティックピクチャから観察された点をもとに言及していく。側方からみたスティックピクチャでは、他の2名と比較した際の北口選手の特徴として、準備局面における体幹の後傾が大きいこと、右肘がより伸展位であることが観察された（図1）。また、後方から見たスティックピクチャでは、準備局面におけるやりのグリップがより体幹部の左側に位置しており、肩および腰のラインが投てき方向に正対するタイミングが遅いことが確認された（図2）。そこでまず、体幹部の動作に着目し、図3に肩および腰の水平回旋角度、図4に体幹前後傾角度および角速度を示した。肩、腰ともに北口選手は他の2名に比べ、R-on から70～80%あたりまで負の値が大きく、体幹が投てき方向に対して右回旋位であった。特に、腰についてはその差が顕著であり、この動作によってグリップをより後方に位置させていたと考えられ

る。しかしながら、体幹部を投てき方向に対して右回旋させた状態で動作を行うことは、身体重心速度の減速にもつながる動作となる。体幹前後傾角度については、90度が直立位を示すことから、北口選手は準備局面において大きく後傾姿勢をとっていたこととなる。ウルタド選手も北口選手と同様に準備局面では大きく後傾姿勢であるが、REL時点では北口選手の方が前傾姿勢となっていた。このことについて、角速度をみると、北口選手およびピーターズ選手は投局面において負の値が大きく、速く体幹部を前傾していたことが示された。Makino and Tauchi（2022）の研究では、鉛直方向のリリース速度が高い選手ほど、L-on付近では体幹部の後傾が大きく、投局面後半では体幹の前傾角速度が高いことが報告されている。このことから、北口選手は体幹部を大きく後傾させた状態から、リリース直前に速く前傾させることによって、高い鉛直リリース速度を獲得したと考えられる。この体幹部の後傾動作は、肩および腰の右回旋動作と同様に、身体重心速度を減速させることにつながってしまう。したがっ

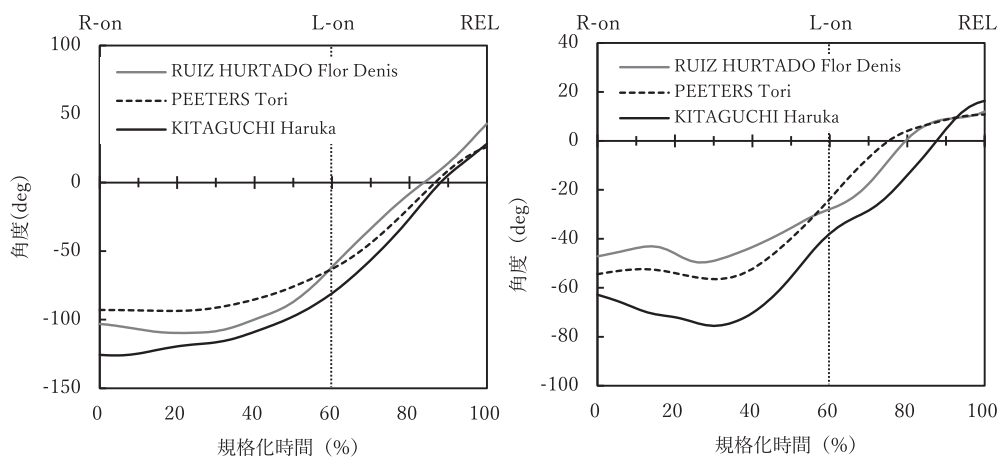


図3 肩（左）および腰（右）の水平回旋角度の時系列変化

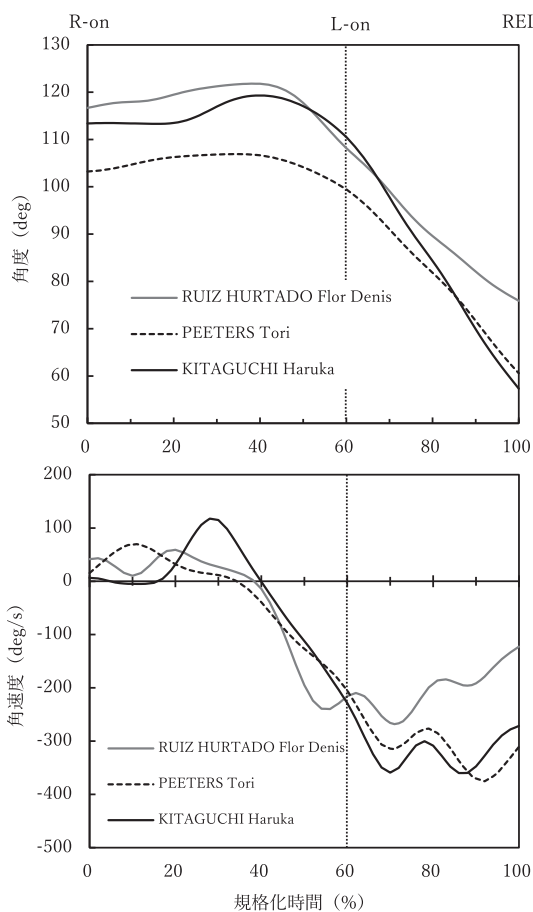


図4 体幹前後傾角度および角速度の時系列変化

て北口選手は、鉛直方向のリリース速度獲得および加速距離を長くするための動作を優先的に行うことで、その代償としてR-on からL-on にかけての身体重心速度減速が生じてしまったと推察される。

次に、上肢の動作について着目し、図5に上肢角度、図6に右肘角度を示した。上肢角度、右肘角度のいずれにおいても、北口選手は他の2名に比べ大きな値（上肢は負）を示しており、このことは、上肢が投てき方向に対してより右回旋位であり、右肘はより伸展した動作であったことを意味している。

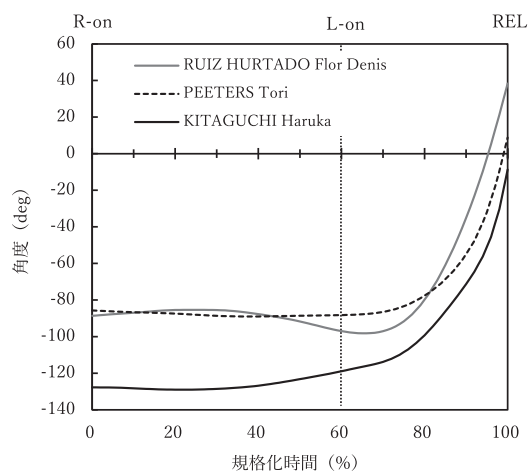


図5 上肢角度の時系列変化

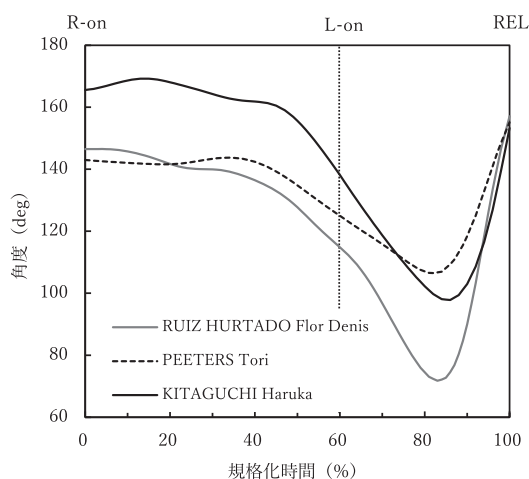


図6 肘角度の時系列変化

田内ほか（2012）は、準備局面において上肢が投てき方向に対してより右回旋位であることは、やりの加速距離を長くする点において有利に作用すると述べている。つまり、後方からのスティックピクチャにおいて観察された、北口選手における準備局面でのやりのグリップがより体幹部の左側に位置してい

る，という特徴は体幹部の動作に加えて，上肢の動作によっても獲得したものであることが示唆された．

IV. まとめ

本稿の目的は，北口選手における投てき動作の特徴を，海外の女子やり投げ上位選手の動作と比較を行うことによって明らかにすることであった．本稿によって明らかとなった北口選手の動作の特徴は，リリース速度の中でも特に鉛直成分が高く，投射角，姿勢角および迎え角が大きいこと，準備局面において，肩，腰および上肢が投てき方向に対してより右回旋位であり，体幹部が大きく後傾し，右肘がより伸展位であることであった．また，これらの準備局面における動作によって，グリップをより体幹の後方に位置させ，長い加速距離を獲得していたことが示唆された．一方，これらの鉛直方向のリリース速度や長い加速距離を獲得するための動作は，身体重心速度を減速することにもつながるため，注意が必要であると考えられる．

参考文献

- 前田正登・平川和文・宮口和義・宮口尚義（1997）人間の動きを考慮に入れたヤリの最適条件．デサントスポーツ科学，17：270-277．
- 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.
- 瀧川寛子・西山健太・村上雅俊（2022）女子やり投げにおける 60m オーバー選手の投てき動作の特徴．陸上競技研究紀要，18，188-192．
- 瀧川寛子・田内健二（2020）やり投げの投てき記録に影響を及ぼす動作要因における男女差の検討．体育学研究，65：595-606．
- 瀧川寛子・山本大輔・前田壱（2023）北口榛花選手における成功試技および失敗試技が生じる要因．陸上競技研究紀要，19，142-145
- 田内健二・藤田善也・遠藤俊典（2012）男子やり投げにおける投てき動作の評価．バイオメカニクス研究，16（1）：2-11．
- 田内健二・佐分慎也・墨訓熙（2016）北口榛花選手における 60m オーバーの投てき動作の特徴．陸上競技研究紀要，12，151-154．