

## 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

瀧川 寛子<sup>1)</sup> 西山 健太<sup>2)</sup> 村上 雅俊<sup>3)</sup>

1) 中京大学 2) 周南公立大学 3) 大阪産業大学

### I. はじめに

2022年オレゴンにて開催された世界選手権では、北口選手、上田選手、武本選手の3名が出場し、2名が決勝進出、さらには北口選手が銀メダルを獲得するなど、国内の女子やり投げは競技水準が高くなっている。このような、世界レベルの実力を持つ3名の選手の投てき動作をバイオメカニクス的に分析することは、日本のやり投げにおける競技レベルを向上させるための知見を得るために意義があると考えられる。そこで、本研究では2022年日本選手権における北口選手の62.25 m、上田選手の61.20 mおよび武本選手の60.84 mの投てき動作を比較することで、それぞれどのような動作によってやりの速度を獲得しているのかを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、北口選手の3投目(62.25 m)、上田選手の5投目(61.20 m)、武本選手の5投目(60.84 m)とした。

#### 2. 撮影方法

それぞれの投てき試技を、助走路の斜め後方および側方に設置したデジタルビデオカメラ(FDR-AX55, SONY)を用いて、カメラスピード120 fps、シャッタースピード1/1000 sで撮影した。また、助走路のフェールライン中央より後方6 mの地点を原点とし、縦6 m×横4 m×高さ2.8 mの画角を設定し、合計9地点にキャリブレーションポールを立てた。本研究では、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台のビデオ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-DIAS 6, DKH)を用いて、やり(グリップ、先端)および身体各分析点23点を60 fpsでデジタル化した。デジタル化された座標値を3次元DLT法により実長換算し、やりおよび身体分析点の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を合わせることで行った。算出された3次元座標値は、8 Hzのバターワースローパスデジタルフィルタを用いて平滑化した。

#### 4. 分析項目

本研究では、各データを算出するにあたり、最終的な右足接地(R-on)、左足接地(L-on)およびやりのリリース(REL)の各イベントを設定し、R-onからL-onまでを準備局面、L-onからRELまでを投局面と定義した。

やりのリリースパラメータ(リリース速度、リリース高、リリース角度、姿勢角および迎え角)、および基礎的パラメータ(動作時間、投行程および助走速度)を算出した。また、田内ほか(2006)の方法を用いて、投動作を下肢-体幹-上肢モデルにモデル化し、やり速度に対する身体各部位の動作の貢献度を以下の式①および②によって算出した。なお、本研究では、投てき方向(Y成分)の速度のみ扱った。

$$V_j = v_{j/t} + v_{t/l} + v_l \quad \cdots \text{式①}$$

ここで、 $v_l$ は下肢動作によるやり速度(下肢)、 $v_{t/l}$ は体幹の前後屈によるやり速度(体幹の起こし回転)、 $v_{j/t}$ は上肢の動作によるやり速度を示すことになる。また、 $v_{j/t}$ は式②のように両肩の midpoint から右肩までの線分( $l_t$ )、 $l_t$ とX軸とのなす角( $\theta_t$ )、右肩からやりのグリップまでの線分( $l_a$ )、 $l_a$ と $l_t$ とのなす角( $\theta_a$ )を極座標で示すことができる。

$$V_{j/t} = \dot{l}_t \sin \theta_t + \dot{\theta}_t (l_t \cos \theta_t + l_a \cos(\theta_t + \theta_a)) + \dot{l}_a \sin(\theta_t + \theta_a) + \dot{\theta}_a l_a \cos(\theta_t + \theta_a) \quad \dots \text{式②}$$

ここで、 $l_t$ 、 $\theta_t$ 、 $l_a$ 、 $\theta_a$ の微分項は、順に体幹の伸縮によるやり速度（体幹伸縮）、体幹の長軸周りの回転動作によるやり速度（体幹長軸回転）、上肢の伸縮動作によるやり速度（上肢伸縮）、上肢の水平内外転動作によるやり速度（上肢回転）を示すことになる。なお、体幹伸縮はほぼ0であったため、本研究では示さないこととした。

さらに、両肩を結ぶ線分とX軸とのなす角を肩の角度、左右大転子を結ぶ線分とX軸とのなす角を腰の角度、肩と腰の角度の差分を捻転角度、右肩とやりのグリップを結ぶ線分とX軸とのなす角を上肢の角度とした。

### 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)

やり投げにおいては、リリース速度が投てき記録を決定する大きな要因であるが、3名の選手間では合成速度に大きな差はみられなかった。成分ごとに見ると、前方成分は武本選手が最も高く、鉛直成分では北口選手が最も高かった。また、すべての選手において、やりの各速度成分の中で前方成分が最も高値を示した。リリース高は、北口選手が大きな値を示し、上田選手および武本選手は同程度であった。やりのリリース角度、姿勢角および迎え角は北口選手と上田選手が武本選手に比べ大きな値を示し、やりの軌道が異なることが示された。さらに、助走速

表1 投てき記録、リリースおよび基礎的パラメータ

	北口選手	上田選手	武本選手
投てき記録 (m)	62.25	61.20	60.84
リリース速度 (m/s)	24.3	24.7	24.1
左右 (m/s)	2.0	4.7	2.2
前方 (m/s)	18.8	19.1	20.1
鉛直 (m/s)	15.2	15.0	13.2
リリース高 (m)	2.06	1.77	1.75
リリース角度 (deg)	38.9	38.1	34.0
姿勢角 (deg)	46.6	42.9	29.1
迎え角 (deg)	7.7	4.9	-4.9
動作時間			
準備局面 (s)	0.250	0.183	0.217
投局面 (s)	0.167	0.100	0.117
加速距離 (m)	1.43	1.22	1.46
助走速度			
R-on (m/s)	5.2	6.8	5.8
L-on (m/s)	4.5	5.7	5.1
REL (m/s)	2.7	3.9	3.1

度をみると、どの局面においても上田選手、武本選手、北口選手の順で高い値を示した。上田選手においては、R-on時の助走速度が6.8 m/sであり、男子やり投げ選手の平均以上であった（瀧川・田内、2020）。田内ほか（2012）は、助走速度が投てき記録に最も影響を及ぼす動作要因であると述べており、速ければ速いほどやりに伝達可能なエネルギーの絶対量が多いといえる。この観点から考えると、北口選手が他の2名に比べてリリース速度を高めるには不利であるが、3名のリリース速度には大きな差がなく、北口選手が最も良い記録であった。つまり、北口選手は低い助走速度でも大きなエネルギーを発揮できる投てき動作を行っていたと考えられる。

#### 2. やり速度に対する身体各部位の貢献(図1)

上述したように、リリース速度はすべての選手に

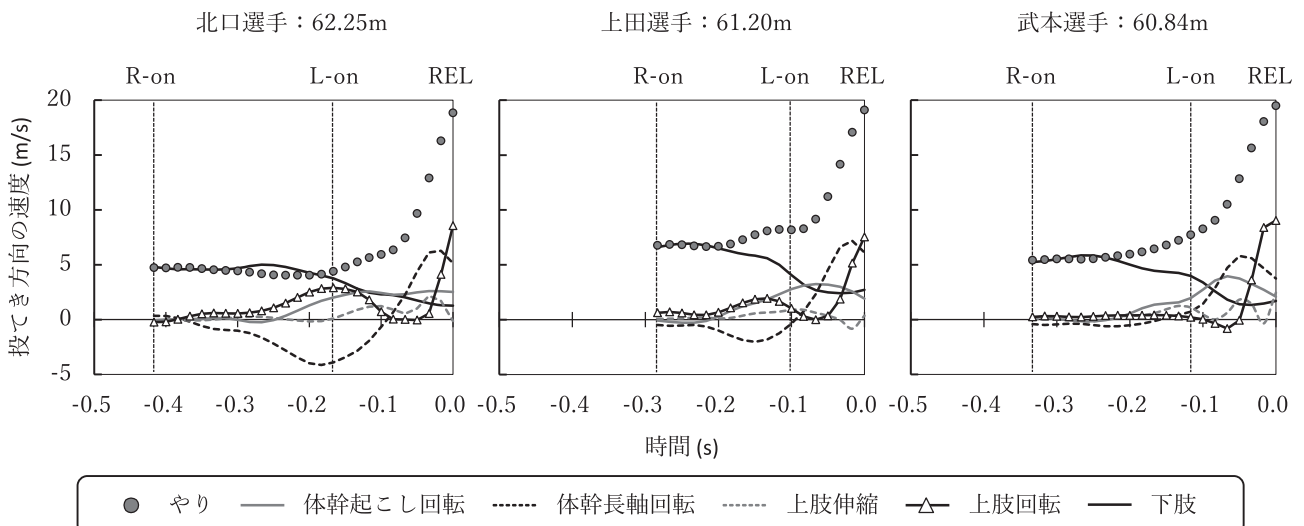


図1 やり速度（投てき方向）に対する身体各部位の貢献

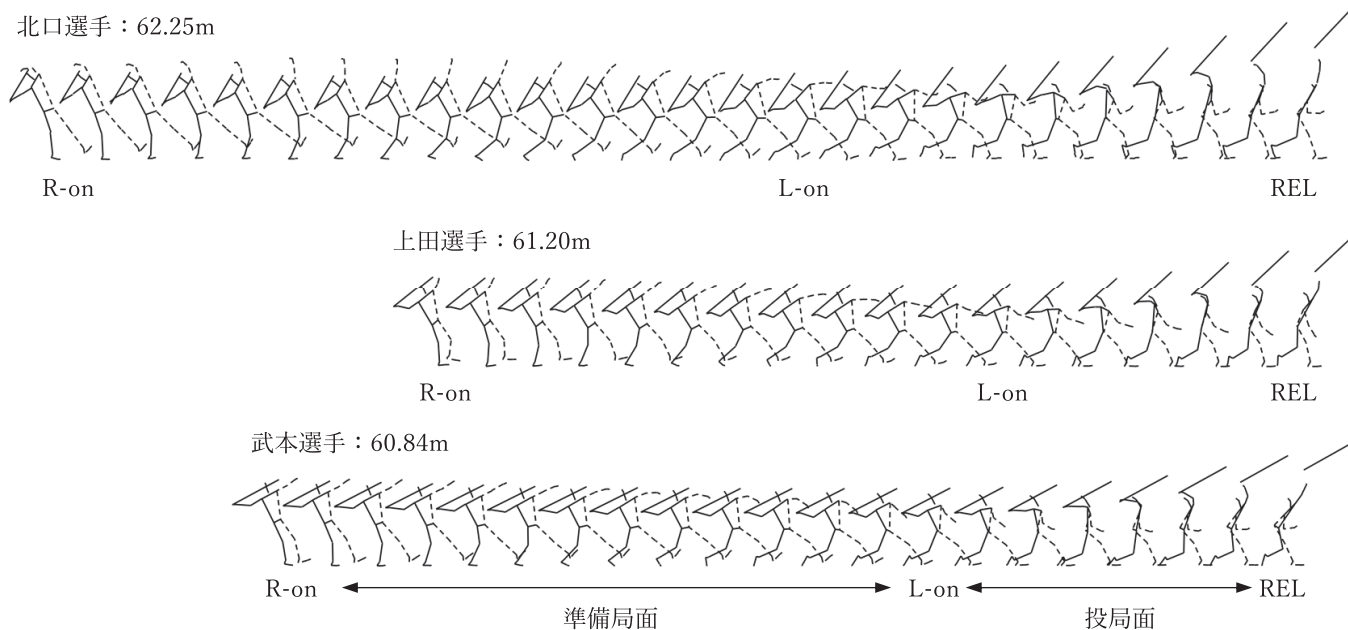


図2 側方からみたスティックピクチャ (ピクチャ間の時間は1/60秒)

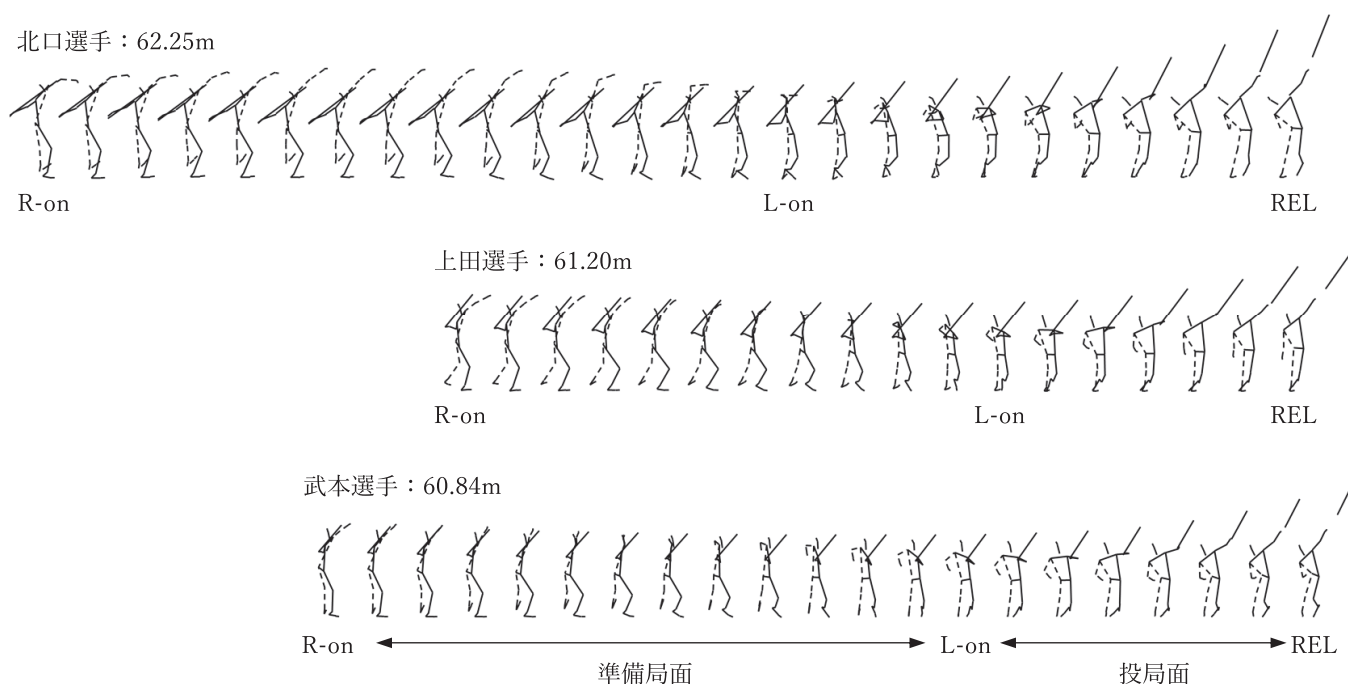


図3 後方からみたスティックピクチャ (ピクチャ間の時間は1/60秒)

において各成分の中で前方成分 (Y成分) が最も高値を示した。このことから、本研究ではやり速度に対する身体各部位の貢献を明らかにするために、特にやり速度の前方成分に着目して分析することとした。その結果、各選手に共通して、準備局面中盤まではほぼ下肢 (助走)、その後体幹の起こし回転、投局面では体幹の長軸回転および上肢の回転がやり速度に大きく貢献していた。このように、すべての選手において、やり速度への身体各部位の貢献の仕方は、下肢、体幹、上肢と順に貢献度が高くなって

おり、運動連鎖が生じていたことが示唆された。

以上のような、共通した特徴がある一方で、世界レベルの選手内であってもやり速度への貢献の仕方には個人差が認められた。北口選手および上田選手は、準備局面中盤以降において、やり速度に対して上肢の回転が正に、そして体幹の長軸回転が負に貢献するという特徴がみられた。後方からのスティックピクチャをみると、このタイミングで両選手とも体幹を投てき方向に対して左回旋させながらも、やりのグリップの位置はほぼ変化せず体幹部の後方に

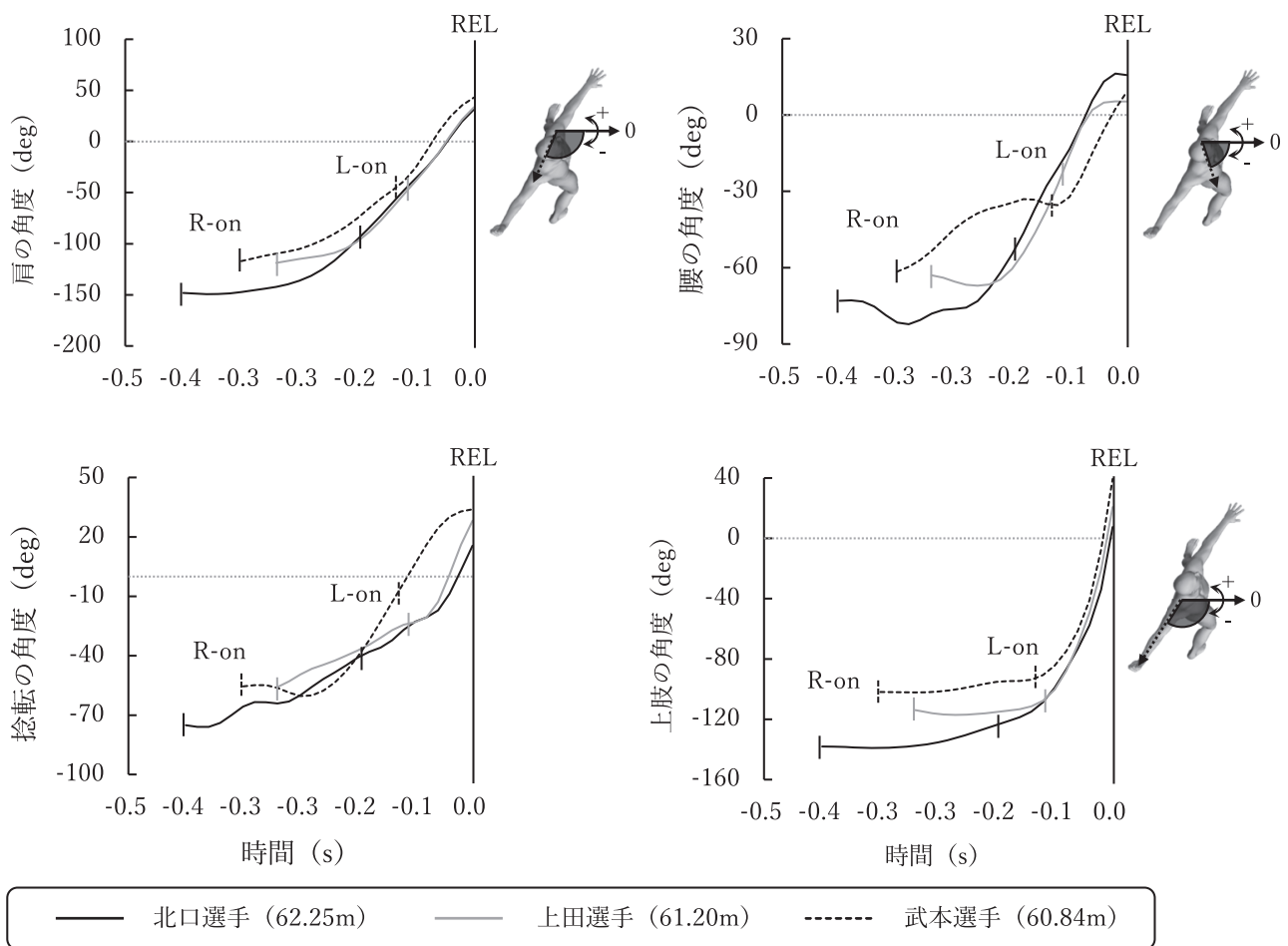


図4 肩、腰、体幹および上肢の角度

残っていることが観察できる。Makino and Tauchi (2022)は、鉛直方向のリリース速度が高い選手ほど、体幹に対してより後方にグリップを残すことで、肩周りの筋群における伸張-短縮サイクルを効果的に引き出していたと示唆している。特にこの動作が顕著であった北口選手においても、リリース直前の急激な上肢の回転によってやりが加速されており、鉛直方向のリリース速度が3名の中で最も高かったことから、この報告を支持できよう。また、塚田ほか (2014) も同様のやり速度に対する貢献パターンを梶原選手の投てき動作において報告していることから、準備局面において投てき方向に対して大きく右回旋位でやりを構える選手の特徴であると推察される。なお、この体幹に対して後方にグリップを残すための動作については、後述することとする。

一方、武本選手は準備局面において体幹の起こし回転および上肢の伸縮によってやりが若干加速されていた。また、体幹の長軸回転による貢献のピーク値が北口選手や上田選手に比べて小さく、またその出現するタイミングが早かった。さらに、最終的な上肢の回転の貢献が非常に高いという特徴を示した。腰の角度をみると (図4)、武本選手は北口選

手や上田選手に比べ、準備局面において腰を投てき方向に向けた状態で移行していた。このことによって、体幹部が投てき方向に正対するタイミングが早く、投局面中盤以降はそれ以上長軸回転することなく、体幹に対して上肢を振り回す動作がみえた (図2, 3)。これに類似した貢献のパターンは、前方のやりのリリース速度がピトカマキ選手と比較して高かったトルキルドセン選手の投てき動作にもみられ (田内ほか, 2008)、武本選手も3名の中で最も前方のリリース速度が高かった。さらに、武本選手は北口選手、上田選手に比べ体幹がより直立位でL-onを迎えていた (図3)。Makino and Tauchi (2022)は、L-on付近での体幹の後傾が前方のリリース速度の高い選手ほど小さく、鉛直方向のリリース速度の高い選手ほど大きかったと述べている。以上のことを踏まえると、北口選手および上田選手は鉛直方向のリリース速度、武本選手は前方向のリリース速度を獲得するための動作をしていたと捉えることができる。

上述のように、北口選手および上田選手には、準備局面において体幹に対して後方にグリップを残すという特徴がみられた。このことについて、体幹部



および上肢の角度から検討した（図4）．その結果，準備局面における肩の角度は北口選手が上田選手および武本選手に比べ，投てき方向に対してやや右回旋位であった．また，腰の角度と上肢の角度は北口選手および上田選手が武本選手に比べてより右回旋位であった．つまり，北口選手および上田選手は，肩と腰を同時に投てき方向に対して右回旋させ，さらに上肢も肩に対して大きく右回旋させることによって，やりのグリップを体幹の後方に残していたことが示唆された．

#### IV. まとめ

本研究では，本研究では2022年日本選手権における北口選手の62.25 m，上田選手の61.20 mおよび武本選手の60.84 mの投てき動作をそれぞれ比較することで，それぞれどのような動作によってやりの速度を獲得しているのかを明らかにすることを目的とした．北口選手および上田選手は，準備局面においてやりグリップを体幹の後方に残し，投局面においては体幹とともに上肢を回転させることでやりの速度を獲得していることが示唆された．また，武本選手は，より体幹を直立位にした状態でL-onし，投局面において体幹に対して上肢を振り回すことでやりの速度を獲得していたことが示唆された．また，これらの動作はそれぞれ鉛直方向のリリース速度を獲得する動作（北口選手，上田選手），および前方向のリリース速度を獲得する動作（武本選手）の特徴であることが推察された．以上のことから，本研究では同程度のリリース速度（合成）の選手間でも，その速度を獲得するための方法は異なることが明らかとなった．今後は，より多くの選手を対象に検討することで，やり速度に貢献する動作についてタイプ分けが可能となると考えられる．

#### 参考文献

- Makino and Tauchi (2022) Kinematic Factors Related to Forward and Vertical Release Velocity in Male Javelin Throwers. International Journal of Sport and Health Science 202146.
- 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.
- 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基準．バイオメ

- カニクス研究 16(1): 2-11.
- 田内健二，村上雅俊，遠藤俊典，阿江通良（2008）世界一流男子やり投選手における技術分析－槍速度に対する身体各部位の貢献について．陸上競技研究紀要 4: 120-123.
- 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
- 塚田卓巳，佐分慎弥，田内健二（2014）U-19 日本トップレベルの女子やり投選手における投てき動作の特徴齊藤真理菜選手と梶原美波選手との比較．陸上競技研究紀要 10: 118-121.