

## やり投げにおける意識的な助走速度増大がパフォーマンスと動作に及ぼす影響

中西 啄真<sup>1)</sup> 淵本 隆文<sup>1)</sup>

1) 大阪体育大学

Effects of conscious increase in the approach velocity on the performance of javelin throwers and their movements

NAKANISHI Takuma<sup>1)</sup> FUCHIMOTO Takafumi<sup>1)</sup>

1) Osaka University of Health and Sport Sciences

## Abstracts

This study was performed to elucidate the effects of consciously maximized approach velocity on the performance and dynamics of javelin throwing, with 12 right-handed male javelin throwers as test subjects instructed to throw the javelin at their usual competitive approach velocity (UA) and at a consciously maximized approach velocity (MA). Three-dimensional dynamics analysis of the results showed that:

- 1) Throw distance was significantly lower with MA than with UA.
- 2) No significant difference was evident between MA and UA in either initial or horizontal velocity to javelin, but vertical velocity to javelin was significantly lower with MA than with UA.
- 3) Angular displacement of the left knee from final left leg contact to javelin release was significantly higher with MA than with UA.

These findings indicate that the greater acute left knee bending from the final left leg contact to javelin release that occurs in javelin throwing at MA impedes effective force transmission from the lower limbs to the javelin, thus lowering the vertical velocity imparted to the javelin and leading to a shorter javelin throw distance than at UA.

## I. 緒言

やり投げに関する研究では、やり初速度（リリース直後のやり重心の合成速度）が投てき距離を決定する主な要因であることを明らかにしている (Mero, A et al, 1994; 村上・伊藤, 2003; 伊藤ほか, 2006). やり投げは水平方向への飛距離を競うことから初速度の3次元成分のうち、水平速度が注目されるが、世界一流選手の中では、やりに対してほぼ同じ水平速度を与えながらも、高い鉛直速度を与えられた選手がより良い成績を収めていたことから、やりを鉛直方向に加速させる技術の重要性も示唆されている (Tauchi, K et al, 2009).

また、やり投げは他の投てき種目とは異なり、規定された助走路内（長さ 30m 以上、幅 4m）で助走を伴って投げることが許されている。このことから

リリース直前の身体重心速度（以降、重心速度とする）についても着目され、最後の左足接地以前の重心速度と投てき距離との間に有意な正の相関関係が認められたという多くの報告がある (有賀・古谷, 1987; 伊藤ほか, 2006; 田内ほか, 2012; 田内ほか, 2014). すなわち、投てき距離の大きい選手ほど、リリース直前の重心速度が高かったことを明らかにしている。しかし、ほとんどのやり投げ選手が助走路局面（リリース2歩前の右足接地以前）において、試合時に自身の最大速度で助走を行っていない。なぜなら、最大速度で助走をすると理想的な投動作ができず、やりの加速が不十分となり、投てき距離の減少に繋がることを予想しているからである。実際に有賀・古谷 (1987) は、最大助走速度（やりを保持した状態の正面向き全力疾走速度）を計測し、その後、最大助走速度に対するそれぞれ 40%, 60%,

90%を目安にした重心速度の投てきと、試合用の重心速度の投てきをさせた。その結果、熟練者と半熟練者では試合用の重心速度（最大助走速度に対して約60～82%の範囲であった）の投てきまで速度の増加に伴い投てき距離も増加したが、試合用よりも重心速度が高かった最大助走速度の90%を目安にした重心速度（最大助走速度に対して約73～86%の範囲であった）の投てきでは投てき距離が減少したことを報告している。しかし、最大速度の助走をして投げた試技と試合用速度の助走をして投げた試技のパフォーマンスや動作の比較をした研究は見られない。

国内一流男子やり投げ選手の成功試技と失敗試技の動作を比較した研究（村上ほか，2008）では、失敗試技の方が成功試技より重心速度が高かったことや、動作のタイミングの変化によって下肢から上肢へのエネルギー伝達が不十分となり、やりの加速に問題が起きた可能性などを報告している。これらのことから、最大速度で助走をして投げた場合も、動作のタイミングの変化によって下肢から上肢へのエネルギー伝達が不十分となり、やり初速度が減少し、その結果、投てき距離の減少を引き起こすのではないかと考えられる。

本研究では、やり投げにおいて意識的に最大速度の助走をして投げるように指示した場合の、パフォーマンスや動作に与える影響を明らかにすることを目的とした。

## II. 方法

### 1. 被験者

被験者は日本学生陸上競技対校選手権1位の選手および、日本ジュニア陸上競技選手権1位の選手を含む男子やり投げ選手12名で、全員右投げであった。被験者の基本特性は年齢； $22 \pm 2$ 歳、身長； $1.79 \pm 0.06$ m、体重； $86 \pm 7$ kg、競技歴； $6 \pm 2$ 年、自己記録； $70.32 \pm 5.86$ mであった。本実験を開始するにあたり、大阪体育大学研究倫理審査委員会の承認（承認番号17-8）を得た。また、被験者にはインフォームド・コンセントを実施し、事前に本研究の目的と方法を十分に説明、承諾を得た上で人権に配慮して実験を行った。

### 2. 試技条件

試技は通常助走と最大助走の2条件とし、両助走条件ともに全力投てきさせた。通常助走は試合時と同じ通常速度の助走をして投げるように指示した試

技、最大助走は意識的に最大速度の助走をして投げるように指示した試技とした。

本実験は大阪体育大学陸上競技場（第3種公認）にて実験的に試技を行った。すなわち、通常助走で有効2試技を計測した後に最大助走で有効2試技を計測し（ファールは投げ直しとした）、両助走条件共に記録の良い試技を分析した。2017年度日本陸上競技連盟競技規則に則り有効試技の判定、投てき距離の計測、使用するやりの検定を行った。ただし、実験結果に疲労の影響が出ないように試技間には十分な休憩を挟んだ。実験では硬さの異なる2種類のやり（NISHI製スーパー、NISHI製ロング）を使用し、両助走条件でそれぞれ1投ずつ投てきさせた。被験者の体調や試合日程を考慮し、3回の実験日から都合の良い1日を選択させた。

### 3. 撮影方法

やり投げ助走路に撮影エリア（1日目：長さ9m、幅4m、高さ2.658m、2、3日目：長さ12m、幅4m、高さ2.9m）を設置し、被験者の投てき動作を右前方と左前方、後方から高速度ビデオカメラ（Panasonic社製LUMIX DMC-FZ300、240fps）で撮影した（図1）。コントロール・ポイント（1日目：12箇所（84点）、2、3日目：15箇所（105点））を助走路内に設置し、3次元座標を算出するために用いる校正点の実空間座標（投てき方向に対して水平右方向をX軸、投てき水平方向をY軸、鉛直上方向をZ軸）の撮影を行った。

### 4. 分析範囲と動作定義

動作分析に用いた主な局面は、リリース（RL）；やりが手から離れた瞬間、最後の左足接地（L2）、L2の前の右足接地（R）、Rの1歩前の左足接地（L1）であった（図2）。各局面の接地は、足裏全体が地

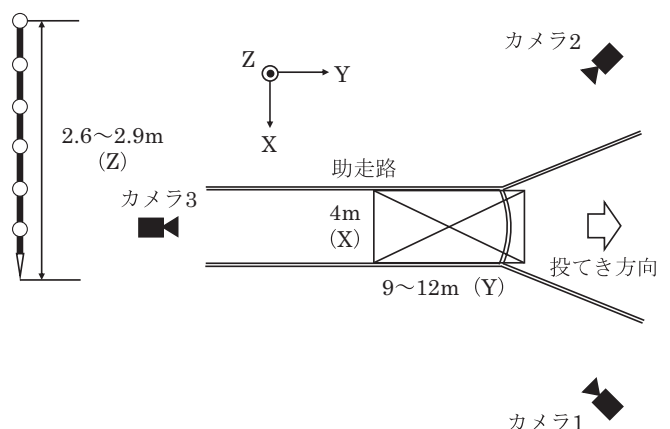


図1 撮影範囲

面に着いた瞬間とした。分析範囲は、L1の0.125s前から、RLの0.125s後とした。

## 5. データ処理

撮影によって得られた映像をもとに、動作分析ソフト(DKH社製Frame Dias for Windows)を用いて、身体22点(頭頂, 両耳珠点中点および左右の肩峰, 肘関節中心, 手関節中心, 第3中手指節関節, 大転子点, 膝関節中心, 足関節中心, 踵骨隆起, 拇指球, つま先)(阿江, 1996)とやり先端, やり重心(グリップ前方), やり後端の合計25点について、ビデオ画面上の座標値を1/120s毎のデジタイズによって求めた。得られた座標値をもとにDLT法(Direct Linear Transformation Method)を用いて3次元座標を算出した。算出した較正点の3次元座標と実座標との平均誤差は、3回の実験において、X方向:4~5mm, Y方向:7~9mm, Z方向:4~6mmの範囲であった。また、計測点の3次元座標値については、4次のButterworth型デジタルフィルターを用いて遮断周波数10Hzで平滑した。

## 6. 分析項目

### 1) 投てき距離と投射条件

投てき距離は2017年度日本陸上競技連盟競技規則に則り、金属製メジャーで計測を行った。やり速度、やり角度(投射角度, 姿勢角度, 迎え角度), 投射高はRL時の値とした。やりの初速度(合成ベクトル), 水平速度, 鉛直速度はやり重心の座標を時間微分することで求めた。上下方向におけるやりの投射角度(①)は3次元空間上のやり重心のRL時の速度ベクトルとXY平面とのなす角度, ②姿勢角度は3次元空間上のやり先端とやり後端を結ぶ線とXY平面とのなす角度, ③迎え角度は姿勢角度から投射角度を引いた角度とした(図3)。投射高(④)は鉛直上方(Z)におけるやりグリップの座標から求めた(図3)。左右方向におけるやりの投射角度と姿勢角度はXY平面で計測し, ⑤投射角度はやり重心のRL時の速度ベクトルとY軸とのなす角度, ⑥姿勢角度はやり先端とやり後端を結ぶ線とY軸と

のなす角度, ⑦迎え角度は姿勢角度から投射角度を引いて求めた(図3)。

### 2) 重心速度

重心速度はやりを含む身体合成重心の水平前方向(Y)の座標を時間で微分して求め、RL直前のL1-R間とR-L2間の重心速度を算出した。身体重心は阿江(1996)の身体部分係数を用いて算出した。L1-R間の重心速度は左足離地直後から右足着地直前までの身体重心の平均水平速度, R-L2間の重心速度は右足のつま先が動いた直後から左足着地直前までの身体重心の平均水平速度とした。

### 3) 投てき動作

角度と距離および時間は次のように算出した。すなわち, ⑧体幹前後屈角度はYZ平面における両大転子中点と両肩峰中点を結ぶ線とZ軸とのなす角度, 膝角度は3次元空間上の大腿と下腿とのなす角度(⑨左⑩右), ⑪右肘角度は3次元空間上の上腕と前腕とのなす角度, ⑫肩回旋角度はXY平面における両肩を結ぶ線とX軸とのなす角度, ⑬腰回旋角度はXY平面における両大転子を結ぶ線とX軸とのなす角度, 体幹捻転角度(⑫-⑬)は肩回旋角度から腰回旋角度を引いた角度とした(図3)。ストライドは離地直前から接地直後までのつま先の水平距離, 動作時間は離地直前から接地直後までに要した時間とした。角度変位は、局面間の角度の差(L1-R; RからL1を引いた値, R-L2; L2からRを引いた値, L2-RL; RLからL2を引いた値)から求めた。

### 4) 右腕スイング速度, 右腕スイングの始動タイミング

右腕スイング速度はYZ平面における右肩に対するやりのグリップの相対速度で表した。また、2条件の助走における右腕スイングの始動タイミングを比較するために、L2時点を0%, RL時点を100%とした時の、RL時点に最も近い右腕スイング速度が2m/sを越えた時点(%)を計測した。

## 7. 統計処理

本研究における全ての測定項目の値は、平均値±標準偏差で示した。2変数値の比較ではWilcoxonの順位検定を用いた。また、2変数間の関係を把握するために、ピアソンの積率相関係数を用いた。それぞれ、危険率5%未満をもって有意と判定した。

## III. 結果

重心速度はL1-R間とR-L2間の両方で最大助走の方が通常助走より有意(L1-R間;  $p < 0.001$ , R-L2間;

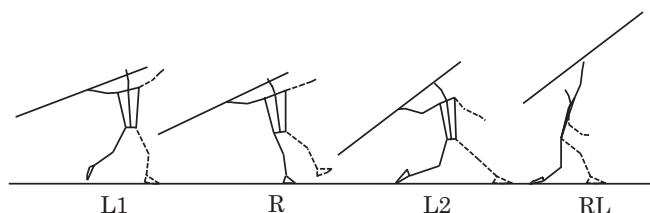


図2 分析局面

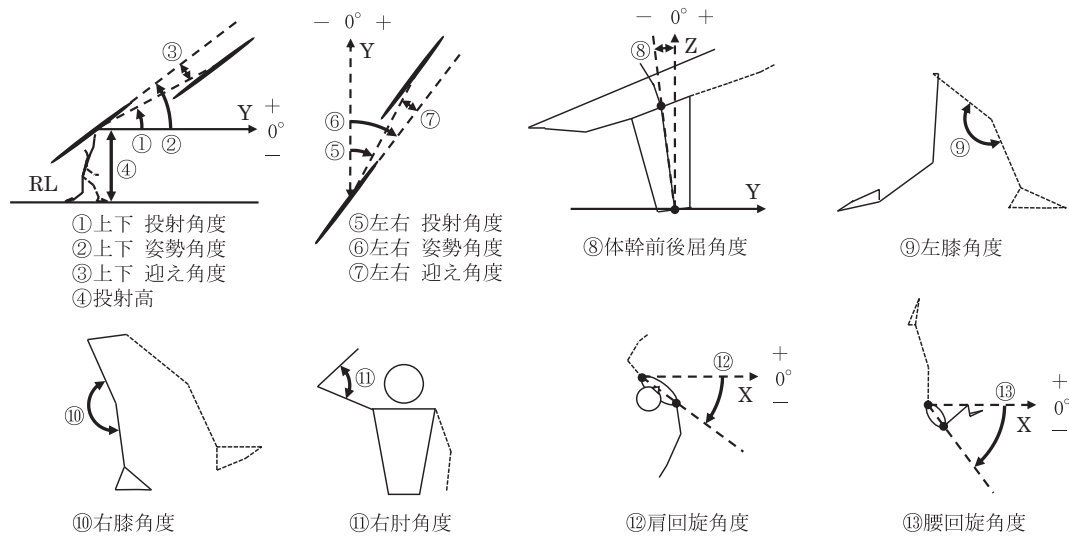


図3 分析項目

$p < 0.05$ ) に大きい値を示した (図4).

本実験で計測した投てき距離の平均値と標準偏差は、通常助走;  $59.12 \pm 6.10\text{m}$ , 最大助走;  $56.65 \pm 5.27\text{m}$  であり、最大助走の方が通常助走より有意 ( $p < 0.05$ ) に小さい値を示した (図5). やり初速度 (合成ベクトル) は、両条件に有意差は認められなかったが、平均値では最大助走が若干小さい値を示した (図5). やり水平速度は両条件に有意差は認められなかったが、平均値では最大助走が若干小さい値を示した (図5). やり鉛直速度は最大助走の方が通常助走より有意 ( $p < 0.05$ ) に小さい値を示した (図5). やりの上下や左右の角度、投射高には有意差は認められなかった (表2).

表3に各局面の投てき姿勢における通常助走と最大助走との比較を示した. R時において、右肘角度が最大助走の方が通常助走より有意 ( $p < 0.01$ ) に小さい値を示した. また、RL時において、体幹捻転角度 ( $p < 0.05$ ) と左膝角度 ( $p < 0.05$ ) が最大助走の方が通常助走より有意に小さい値を示した. それ以外の測定項目では、両助走条件間で有意差は認めら

れなかった.

表4に各区間の投てき動作における通常助走と最大助走との比較を示した. L1 - R間において、ストライド ( $p < 0.01$ ) が最大助走の方が通常助走より有意に大きい値を示した. また、L2 - RL間において、

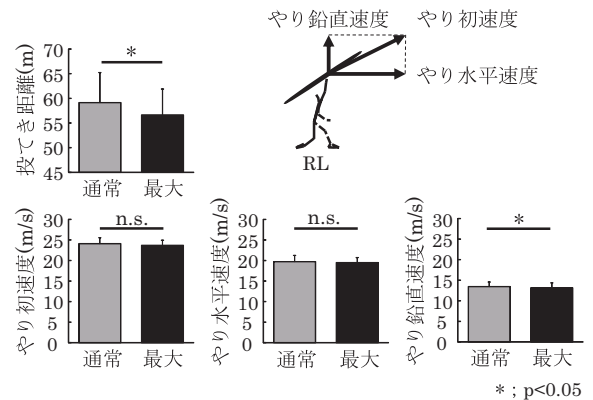


図5 投てき距離とやり速度における通常助走との比較

表1 被験者の自己最高記録、通常助走記録、最大助走記録

被験者	通常助走記録 (m)	最大助走記録 (m)	自己最高記録 (m)
A	66.46	64.38	77.64
B	65.10	64.36	76.64
C	63.61	60.68	74.92
D	63.42	55.26	70.03
E	62.89	61.74	74.13
F	62.62	52.95	71.56
G	59.55	58.70	68.44
H	58.63	52.13	75.74
I	56.18	54.00	67.68
J	53.25	54.21	63.46
K	49.32	53.33	64.56
L	48.37	47.69	59.07
平均	59.12	56.62	70.32
SD	6.10	5.27	5.86

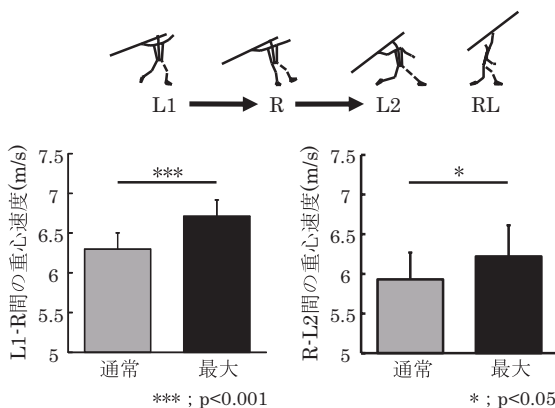


図4 重心速度における通常助走と最大助走の比較

表2 各測定項目における通常助走と最大助走の比較

項目	通常助走	最大助走	有意差
	平均 ± SD	平均 ± SD	
投射角 上下 (deg)	34.01 ± 2.91	33.73 ± 2.78	n.s.
姿勢角 上下 (deg)	36.58 ± 4.03	36.52 ± 4.71	n.s.
迎え角 上下 (deg)	2.57 ± 4.69	2.79 ± 4.63	n.s.
投射角 左右 (deg)	8.25 ± 2.99	6.84 ± 3.37	n.s.
姿勢角 左右 (deg)	17.88 ± 6.74	16.26 ± 5.14	n.s.
迎え角 左右 (deg)	9.64 ± 6.00	9.42 ± 4.35	n.s.
投射高 (m)	1.95 ± 0.08	1.90 ± 0.08	n.s.

肩回旋角変位が最大助走の方が通常助走より有意 ( $p < 0.05$ ) に小さい値を示し、左膝角変位が最大助走の方が通常助走より有意 ( $p < 0.05$ ) に大きい値を示した。それ以外の測定項目では、両助走条件間で有意差は認められなかった。

表5に両助走条件における各局面の測定項目の差(最大-通常)とやり初速度の差との関係を示した。L1時では、体幹捻転角度の差とやり初速度の差との間に有意 ( $r = 0.67, p < 0.05$ ) な正の相関関係が認められた。R時では、左膝角度の差とやり初速度の

差との間に有意 ( $r = 0.60, p < 0.05$ ) な正の相関関係が認められた。L2時では、腰回旋角度の差とやり初速度の差との間に有意 ( $r = 0.59, p < 0.05$ ) な正の相関関係が認められた。RL時では、肩回旋角度の差とやり初速度の差との間に有意 ( $r = 0.60, p < 0.05$ )、体幹捻転角度の差とやり初速度の差との間に有意 ( $r = 0.72, p < 0.01$ )、左膝角度の差とやり初速度の差との間に有意 ( $r = 0.66, p < 0.05$ )、右腕スイング速度の差とやり初速度の差との間に有意 ( $r = 0.95, p < 0.001$ ) に有意な正の相関関係が認められた。それ以外の測定項目の差とやり初速度の差との間に有意な相関関係は認められなかった。

表6に両助走条件における各区間の測定項目の差とやり初速度の差との関係を示した。R-L2間の腰回旋角変位の差とやり初速度の差との間に有意 ( $r = 0.61, p < 0.05$ ) な正の相関関係が認められた。また、L2-RL間では、腰回旋角変位の差とやり初速度の差との間に有意 ( $r = 0.59, p < 0.05$ ) な負の相関関係が、左膝角変位の差とやり初速度の差との間に有意 ( $r = -0.60, p < 0.05$ ) な正の相関関係が認めら

表3 各局面の投てき姿勢における通常助走と最大助走の比較

項目	L1			R		
	通常助走	最大助走	有意差	通常助走	最大助走	有意差
	平均 ± SD	平均 ± SD		平均 ± SD	平均 ± SD	
肩回旋角 (deg)	-103.53 ± 12.14	-103.44 ± 13.63	n.s.	-111.73 ± 10.96	-109.52 ± 9.77	n.s.
腰回旋角 (deg)	-77.59 ± 14.78	-76.64 ± 9.37	n.s.	-62.26 ± 22.72	-55.01 ± 27.32	n.s.
体幹捻転角 (deg)	-25.94 ± 10.30	-26.81 ± 12.55	n.s.	-49.47 ± 17.74	-54.51 ± 22.44	n.s.
体幹前後屈角 (deg)	-6.80 ± 4.68	-6.17 ± 4.85	n.s.	-21.12 ± 5.06	-20.09 ± 6.39	n.s.
右膝角 (deg)	119.48 ± 9.54	115.25 ± 8.70	n.s.	124.19 ± 9.98	126.78 ± 9.65	n.s.
左膝角 (deg)	134.65 ± 7.43	136.78 ± 6.76	n.s.	138.12 ± 24.93	132.41 ± 20.15	n.s.
右肘角 (deg)	147.38 ± 11.11	147.11 ± 12.57	n.s.	148.58 ± 9.51	142.77 ± 11.22	**
項目	L2			RL		
	通常助走	最大助走	有意差	通常助走	最大助走	有意差
	平均 ± SD	平均 ± SD		平均 ± SD	平均 ± SD	
肩回旋角 (deg)	-50.16 ± 12.65	-47.04 ± 11.25	n.s.	28.20 ± 6.75	25.81 ± 10.49	n.s.
腰回旋角 (deg)	-23.90 ± 10.66	-18.93 ± 13.66	n.s.	4.68 ± 11.05	7.89 ± 10.67	n.s.
体幹捻転角 (deg)	-26.25 ± 9.92	-28.11 ± 13.52	n.s.	23.52 ± 10.95	17.92 ± 8.51	*
体幹前後屈角 (deg)	-10.59 ± 4.21	-11.42 ± 3.99	n.s.	21.85 ± 8.61	19.57 ± 6.76	n.s.
右膝角 (deg)	163.14 ± 5.80	162.63 ± 4.37	n.s.	115.69 ± 14.38	110.53 ± 12.04	n.s.
左膝角 (deg)	163.14 ± 5.80	162.63 ± 4.37	n.s.	142.29 ± 15.59	131.90 ± 11.65	*
右肘角 (deg)	114.89 ± 8.28	111.67 ± 12.76	n.s.	154.81 ± 9.30	152.48 ± 8.93	n.s.

\*\* ;  $p < 0.01$ , \* ;  $p < 0.05$

表4 各区間の投てき動作における通常助走と最大助走の比較

項目	L1-R			R-L2			L2-RL		
	通常助走	最大助走	有意差	通常助走	最大助走	有意差	通常助走	最大助走	有意差
	平均 ± SD	平均 ± SD		平均 ± SD	平均 ± SD		平均 ± SD	平均 ± SD	
肩回旋角変位 (deg)	-8.20 ± 8.88	-6.08 ± 8.34	n.s.	61.57 ± 12.65	62.48 ± 13.54	n.s.	78.35 ± 14.21	72.85 ± 16.47	*
腰回旋角変位 (deg)	15.32 ± 14.77	21.63 ± 23.44	n.s.	38.36 ± 22.19	36.08 ± 29.75	n.s.	28.58 ± 11.64	26.83 ± 13.50	n.s.
体幹捻転角変位 (deg)	-23.53 ± 13.17	-27.71 ± 23.88	n.s.	23.22 ± 20.10	26.41 ± 27.00	n.s.	49.77 ± 11.63	46.02 ± 15.22	n.s.
体幹前後屈角変位 (deg)	-14.32 ± 5.71	-13.92 ± 5.52	n.s.	10.54 ± 5.03	8.67 ± 6.22	n.s.	32.44 ± 7.60	30.99 ± 7.16	n.s.
右膝角変位 (deg)	4.72 ± 9.76	11.54 ± 13.64	*	13.00 ± 11.82	11.43 ± 11.89	n.s.	-21.50 ± 15.12	-27.69 ± 15.37	n.s.
左膝角変位 (deg)	3.46 ± 23.46	-4.37 ± 21.96	n.s.	25.02 ± 23.67	30.22 ± 17.35	n.s.	-20.86 ± 15.05	-30.73 ± 10.17	*
右肘角変位 (deg)	1.21 ± 8.38	-4.34 ± 8.68	**	-33.70 ± 10.37	-31.10 ± 8.94	n.s.	39.92 ± 10.28	40.81 ± 10.27	n.s.
ストライド (m)	2.06 ± 0.15	2.20 ± 0.19	**	1.92 ± 0.12	1.92 ± 0.13	n.s.	-20.86 ± 15.05	-30.73 ± 10.17	n.s.
動作時間 (s)	0.370 ± 0.030	0.368 ± 0.027	n.s.	0.242 ± 0.015	0.234 ± 0.016	n.s.	0.106 ± 0.014	0.106 ± 0.014	n.s.

\*\* ;  $p < 0.01$ , \* ;  $p < 0.05$

表5 両助走条件における各局面の測定項目の差とやり初速度の差との関係

項目	L1		R		L2		RL	
	r	有意性	r	有意性	r	有意性	r	有意性
肩回旋角度 (deg)	0.47	n.s.	0.09	n.s.	0.18	n.s.	0.60	*
腰回旋角度 (deg)	-0.39	n.s.	-0.48	n.s.	0.59	*	-0.30	n.s.
体幹捻転角度 (deg)	0.67	*	0.54	n.s.	-0.50	n.s.	0.72	**
体幹前後屈角度 (deg)	-0.54	n.s.	-0.46	n.s.	-0.07	n.s.	0.37	n.s.
右膝角度 (deg)	0.06	n.s.	-0.35	n.s.	0.30	n.s.	0.00	n.s.
左膝角度 (deg)	0.20	n.s.	0.60	*	0.14	n.s.	0.66	*
右肘角度 (deg)	-0.35	n.s.	0.13	n.s.	0.16	n.s.	0.28	n.s.
右腕スイング速度 (m/s)							0.95	***

\*\*\* ; p<0.001, \*\* ; p<0.01, \* ; p<0.05

表6 両助走条件における各区間の測定項目の差とやり初速度の差との関係

項目	L1-R		R-L2		L2-RL	
	r	有意性	r	有意性	r	有意性
肩回旋角変位 (deg)	-0.54	n.s.	0.15	n.s.	0.20	n.s.
腰回旋角変位 (deg)	-0.19	n.s.	0.61	*	-0.59	*
体幹前後屈角度 (deg)	0.02	n.s.	0.36	n.s.	0.27	n.s.
右膝角変位 (deg)	0.32	n.s.	0.44	n.s.	0.15	n.s.
左膝角変位 (deg)	0.55	n.s.	0.55	n.s.	0.60	*
右肘角変位 (deg)	0.57	n.s.	0.10	n.s.	0.10	n.s.
動作時間 (s)	-0.11	n.s.	0.31	n.s.	0.03	n.s.
助走速度 (m/s)	0.04	n.s.	0.04	n.s.		
ストライド (m)	-0.43	n.s.	-0.21	n.s.		

\* ; p<0.05

れた。それ以外の測定項目の差とやり初速度の差との間に有意な相関関係は認められなかった。

図6に投てき距離とやり初速度のそれぞれにおける通常助走と最大助走との関係を示した。被験者BとIはやり初速度が通常助走より最大助走で1.2m/s以上増加し、投てき距離が最大助走で低下した。被験者D, F, Hは投てき距離が最大助走で6m以上減少した。被験者A, C, D, E, F, H, J, Lはやり初速度が減少した。

図7に右腕スイング速度と右腕スイングの始動タイミングのそれぞれにおける通常助走と最大助走との関係を示した。被験者A, C, D, E, F, H, J, Lの右腕スイング速度は最大助走の方が通常助走より低かったが、この内、A, C, F, Lの4名は右腕スイングの始動タイミングが最大助走において通常助走より遅くなり、D, E, Jの3名は右腕スイングの始動タイミングが最大助走において通常助走より早くなった。

#### IV. 考察

##### 1. パフォーマンスと動作への影響

重心速度は、L1-R間、R-L2間とも最大助走の方が通常助走よりも有意に高かった(図4)。このことから、被験者は最大助走において指示通りに通常助走より高い速度で助走をしていたことが示され

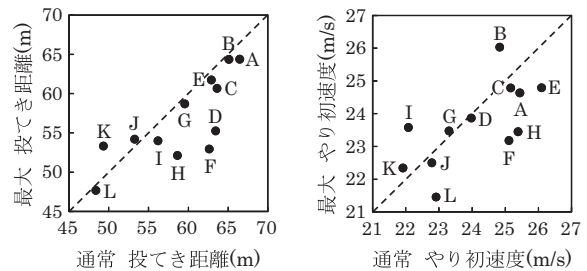


図6 投てき距離、やり初速度における通常助走と最大助走との関係

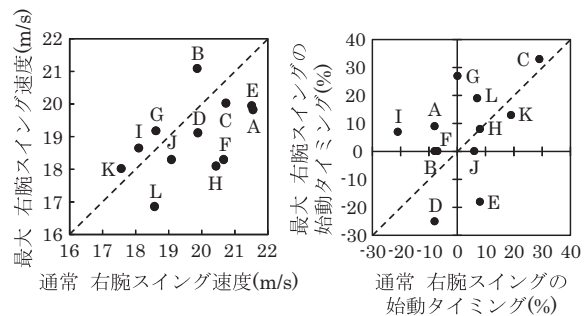


図7 右腕スイング速度、右腕スイングの始動タイミングにおける通常助走と最大助走との関係

た。通常助走に比べて最大助走の重心速度がL1-R間とR-L2間ともに6%増であった。その理由として、有賀・古谷(1987)のように助走のみであれば通常助走の10%以上の高い重心速度を獲得できるかもしれないが、本研究は全力投てきすることを前提と

したため、全力で投げられる範囲の最大重心速度が通常助走の6%増であったのではないかと考えられる。投てき距離は最大助走の方が通常助走より有意に小さかった(図5)。このことから、意識的に最大助走の助走をして投げると投てき距離の減少することが示された。村上・伊藤(2003)は投てき距離が大きい選手はやり初速度(合成ベクトル)が高いと報告しているため、やり初速度を両助走条件で比較したが、本研究では有意差は認められなかった(図5)。さらに、やり初速度を成分に分けて比較したところ、やり水平速度に有意差は見られなかったが、やり鉛直速度に有意差が認められた(図5)。上下方向と左右方向のやり角度、投射高についても両助走条件の比較を行ったが、有意差は認められなかった(表2)。このことから、最大助走で投てき距離の減少した一因が、やり鉛直速度の減少にある可能性が示された。

動作については、最大助走の方が通常助走よりRL時の左膝角度が有意に小さく(表3)、最大助走の方が通常助走よりL2-RL間の左脚角変位は有意に大きかった(表4)。村上・伊藤(2003)は初速度が高い選手ほどRL時の左膝角度が大きかったことを明らかにしている。これらのことから、本研究の最大助走では通常助走よりL2-RL間において左脚のブロック(ブレーキ)が普段通りにできなかったことで、下肢からやりへの力の伝達が上手くできず、

やり鉛直速度が減少し、その結果、投てき距離の減少に繋がった可能性が示唆された。

本研究では両条件の初速度に有意差が認められなかったが、投てき距離が減少した被験者の多くはやり初速度が減少したため(図6)、最大助走の方が通常助走よりやり初速度の減少が大きかった被験者に見られた動作の特徴を調べた(表5,6)。最大助走の方が通常助走よりやり初速度の減少が大きかった被験者ほど、最大助走の方が通常助走よりR-L2間の腰回旋角変位がより減少したことでL2時の腰回旋角度がより減少し、L2-RL間の腰回旋角変位がより増加したのではないかと考えられる(表5,6,図8)。さらに、最大助走の方が通常助走よりやり初速度の減少が大きかった被験者ほど、最大助走の方が通常助走よりL2-RL間の左膝角変位がより増加したことでRL時の左膝角度がより減少したのではないかと考えられる(表5,6,図8)。これらのことから、最大助走の方が通常助走よりやり初速度の減少が大きかった被験者ほどL2-RL間の腰の回旋と前進がより大きくなり、腰が止まらなかったことで体幹からやりへの力の伝達が上手くできず、右腕スイング速度とやり初速度がより減少したのではないかと考えられる(表5,図8)。

また、両助走条件におけるパフォーマンスや動作の変化には個人差があると考えられたので、被験者ごとにも調べた。

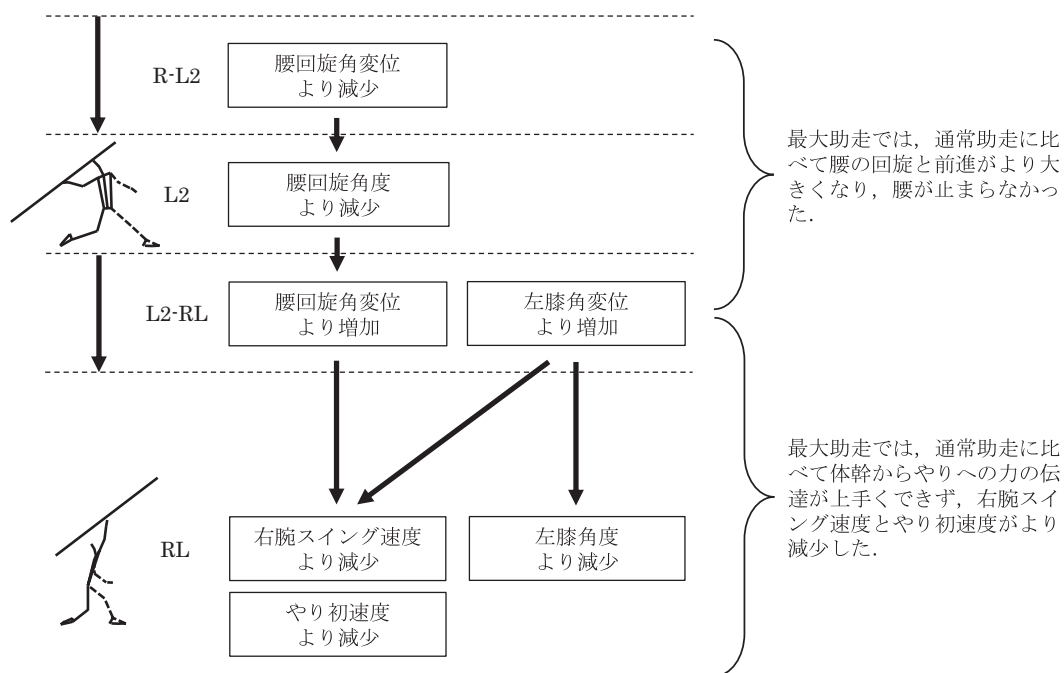


図8 最大助走の方が通常助走よりやり初速度の減少がより大きかった被験者にみられた動作の特徴。表5,6からまとめたものである。各測定項目の「より増加」と「より減少」は通常助走と比較した最大助走での変化を示す。

## 2. やり初速度が減少した被験者

被験者 A, C, D, E, F, H, J, L の 8 名は最大助走で通常助走よりやり初速度が減少した (図 6). 村上・伊藤 (2003) はやり初速度と右腕スイング速度との有意な相関関係を報告しており, 本研究でも最大助走でやり初速度が減少した 8 名全員が右腕スイング速度も最大助走で減少した (図 6, 7). この結果から, 右腕スイング速度の減少がやり初速度減少の重要な要因と考えられる.

## 3. 右腕スイングの始動タイミング

有賀・古谷 (1987) や村上ほか (2008) は, 動作タイミングの違いによって下肢から体幹, 上肢への力の伝達が上手くいかなかった可能性を示唆している. すなわち, 本研究の右腕スイング速度減少の要因は, 右腕のスイング動作を開始したタイミングの変化にあるのではないかと考えられる. そこで, 両助走条件において L2-RL 間の実時間の差がほとんどなかったため時間の規格化を行い, 右腕スイング速度の変化を比較した (図 9, 10). その結果, 最大助走で通常助走より右腕スイング速度が減少した 8 名の内, A, C, F, L の 4 名は最大助走において通常助走より右腕スイングの始動タイミングが遅くなった (図 7, 9). このことから, 最大助走では右腕スイング速度が十分に高まらないままリリースし

たと考えられる. 一方, D, E, J の 3 名は右腕スイングの始動タイミングが最大助走において通常助走より早くなった (図 7, 10). このことから, 最大助走では体幹から上肢への力の伝達が上手くできず, 右腕スイング速度が十分に高まらなかったのではないかと考えられる.

## V. まとめ

本研究の目的は, やり投げにおいて意識的に最大速度の助走をして投てきした場合の, パフォーマンスや動作に与える影響を明らかにすることである. 12 名の男子やり投げ選手を対象に, 試合時と同じ通常速度の助走をして投げるように指示した通常助走と, 意識的に最大速度の助走をして投げるように指示した最大助走の 2 条件で投てきさせ, 動作を 3 次元的に分析し, 次の結果を得た.

- 1) 意識的に助走速度を高めると投てき距離が減少した.
- 2) やり初速度とやり水平速度は助走条件間で有意差は認められなかったが, やり鉛直速度は最大助走で通常助走より有意に減少した.
- 3) L2-RL 間 (最後の左足接地からリリースまで) の左膝角変位が最大助走の方が通常助走より有意に大きかった.

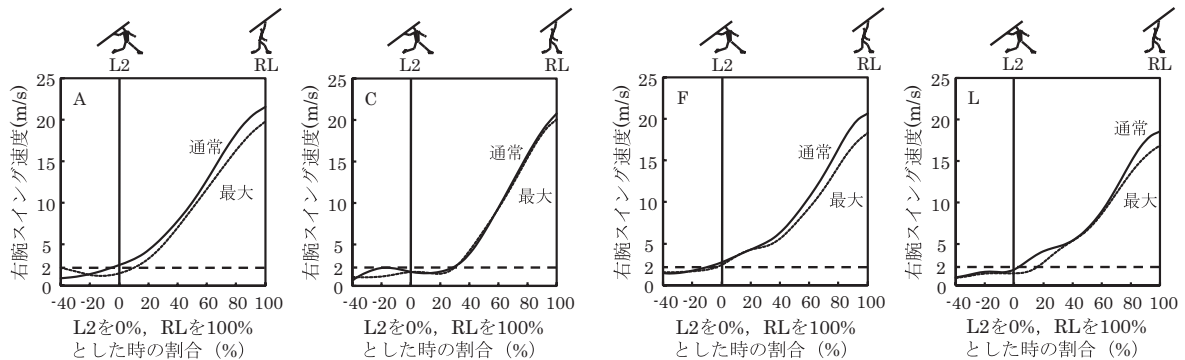


図 9 右腕スイングの始動タイミングが遅くなった被験者の右腕スイング速度変化

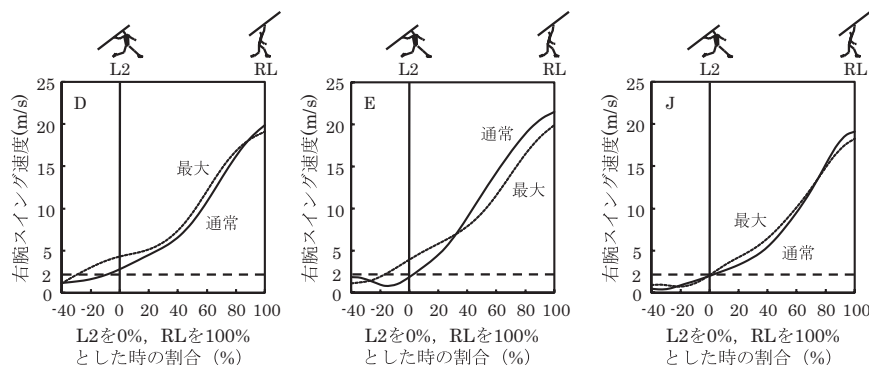


図 10 右腕スイングの始動タイミングが早くなった被験者の右腕スイング速度変化



以上の結果から、最大速度で助走をして投げるとL2-RL間において左脚のブロック（ブレーキ）が普段通りにできなかつたことで下肢からやりへの力の伝達が上手くできず、やり鉛直速度が減少し、その結果、投てき距離の減少に繋がった可能性が示唆された。

また、最大助走の方が通常助走よりもやり初速度が減少した被験者は、全員が右腕スイング速度も減少した。右腕スイング速度が減少した要因として、最大助走において通常助走より右腕スイングの始動タイミングが変化したことで、体幹から上肢への力の伝達が上手くできず、右腕スイング速度が十分に高まらなかつたのではないかと考えられる。

## VI. 謝辞

本研究の遂行に当たり有益な助言をいただいた大阪体育大学の植木章三教授と栗山佳也教授、大学院生の坂本達哉氏に深く感謝いたします。また、本実験に関して被験者としてご協力頂きました大学生、社会人のやり投げ選手の方々に心より感謝申し上げます。

## VII. 参考文献

1. 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of SPORTS SCIENCES*, 15(3) : 155-162.
2. 有賀誠司, 古谷嘉邦 (1987) 槍投げの助走速度に関する実験的研究. *東海大学紀要, 体育学部*, 16 : 79-92.
3. Best, R., Bartlett, R. and Morriss, C. (1993) A three-dimensional analysis of javelin throwing technique. *Journal of Sports Sciences*, 11 : 315-328.
4. 伊藤 章, 村上雅俊, 田辺 智 (2006) やり投げの投射条件, 助走速度と記録との関係—第11回世界陸上競技選手権大会決勝進出者と日本選手の測定結果—. *陸上競技研究紀要*, 2 : 159-161.
5. Mero, A., Komi, P.V., Korjus, T., Navarro, E. and Gregor, R.J. (1994) Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *Journal of Applied Biomech*, 10 : 166-177.
6. 村上雅俊, 伊藤 章 (2003) やり投げのパフォーマンスと動作の関係. *バイオメカニクス研究*, 7 : 92-100.
7. 村上幸史, 田内健二, 本道慎吾, 村上雅俊, 小山裕三 (2008) 国内一流男子やり投競技者における成功試技と失敗試技との投てき動作の比較. *陸上競技研究*, 4 : 21-28.
8. 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.
9. Tauchi, K., Murakami, M., Endo, T., Takesako, H. and Gomi, K. (2009) Biomechanical analysis of elite javelin throwing technique at the 2007 IAAF World Championships in Athletics. *Bulletin of Studies in Athletics of JAAF*, 5 : 143-149.
10. 田内健二, 湯浅景元 (2014) 個人内におけるやり投げの助走速度と投てき距離との対応関係. *中京大学体育研究所紀要*, 28 : 61-64.