

## 世界レベルの日本人男子やり投選手における投てき動作の特徴：国内上位選手との比較

牧野 瑞輝<sup>1)</sup> 加藤 忠彦<sup>2)</sup> 塚田 卓巳<sup>1)</sup> 瀧川 寛子<sup>3)</sup>

1) 国立スポーツ科学センター 2) 湘南工科大学 3) 中部学院大学

### 1. はじめに

2025年の日本選手権男子やり投において、1位の崎山雄太選手は87m16、2位のディーン元気選手は84m66を記録したことにより、同じ試合で2名の選手が2016年以降破られていなかった大会記録を上回った。特に、崎山選手の記録は1989年以降破られていない日本記録まで44cmに迫るものであり、これは日本選手権の2か月後に同じ会場で開催された世界選手権（東京大会）の男子やり投決勝において3位入賞の可能な記録である。また、ディーン選手の84 m 66も世界選手権の7位に相当する記録である。これらのことから分かるように、わが国におけるやり投の競技水準は、女子だけでなく男子においても世界トップレベルに肉迫している。これまでわが国では、田内ら（2009）の研究に代表されるように、世界レベルの海外選手と国内上位選手との比較を通して、日本人選手のパフォーマンス向上に資する知見が蓄積されてきた。これらの活動をより発展させ、わが国から継続的に世界レベルの選手を輩出していくためには、現在世界レベルに位置する日本人選手である、崎山選手およびディーン選手が国内上位選手と比較してどの点に優れているのかを明らかにしておくことが有益である。したがって、本稿の目的は崎山選手およびディーン選手のデータを国内上位選手と比較することで、世界レベルの日本人男子やり投選手における投てき動作の特徴を明らかにすることとした。

### 2. 方法

#### 2.1. データ収集および処理

対象は、第109回日本選手権大会における男子やり投に出場した崎山雄太選手とディーン元気選手の2名に加えて、2024年において科学委員会投てき班が活動対象とした試合（セイコーゴールデングラン

プリ陸上東京2024および第108回日本陸上競技選手権大会）に出場した、国内上位選手20名であった。そのなかでも、我々は各選手の記録の最も優れた試技を分析対象とした。試合における投てき動作は、助走路の右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（DC-GH6, Panasonic）を用いて、サンプリング周波数を240Hz、シャッタースピードを1/1500秒に設定して撮影した。撮影範囲は、スターティングラインを基準に、後方に8m、横幅4m、高さ2.8mとした。競技開始に先立ち、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。

分析は、過去の報告（牧野ら、2024）と同じ手法を用いた。撮影した映像から、身体特徴点23点およびやり2点を動作解析システム（Frame-DIAS IV, Q'sfix）を用いて120Hz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として同期した。デジタル化された分析点の静止座標系内における座標値は、3次元DLT法によって算出した。得られた3次元座標値は、残差分析によって決定した最適遮断周波数（3.6-9.6 Hz）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やりの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Re1とし、R-onからL-onを準備局面、L-onからRe1までを投局面と定義した。また、算出された時系列データは、準備局面を0-60%、投局面を60-100%に規格化した。国内選手20名の平均動作モデルは、Ae et al. (2007)の手法を用いて作成した。

#### 2.2. 算出項目

リリースパラメータおよび基礎的パラメータは、以前の資料（牧野ら、2023）と同様の方法で算出した。上記に加えて、本稿ではやり投パフォーマンス

の主な決定因子である前および上方向のやり速度がどの部位によって獲得されているのかを検討するために、以下の式によって、前および上方向のやり速度に対する身体各部位の貢献を評価した。

$$V_{javelin} = V_{hip} + V_{shoulder/hip} + V_{javelin/shoulder}$$

ここで、 $V_{javelin}$  はやりの速度、 $V_{hip}$  は左右の股関節中心の速度、 $V_{shoulder/hip}$  は左右の股関節中心に対する右肩の速度、 $V_{javelin/shoulder}$  は右肩に対するやりのグリップの速度を意味している。このことから、 $V_{hip}$ 、 $V_{shoulder/hip}$ 、 $V_{javelin/shoulder}$  はそれぞれ、下肢、体幹、上肢が獲得した前あるいは上方向のやり速度と解釈できる。また、身体各部位が獲得したやり速度が、具体的にどのような動作によって獲得されたのかを評価するために、身体の部分および関節の角度を小林ら (2012) の方法により算出した。角度の定義は図 1 の通りである。

### 3. 結果および考察

#### 3.1. 2名の選手におけるリリースパラメータ

表 1 には、崎山選手、ディーン選手および国内選手のリリースパラメータを示している。崎山選手とディーン選手は、ともに国内選手よりも合成の初速度が高かった。これは、記録の優れた選手は合成の初速度が高いという、Komi and Mero (1985) をはじめとする過去数十年にわたって報告されてきた多数の先行研究の結果と一致するものである。ここで注目すべき点は、87.16 m を記録した崎山選手は 84.66 m を記録したディーン選手よりも合成の初速度が 1.8m/s 低かったことである。先行研究 (Komi

and Mero, 1985) では合成の初速度が高いほど記録が良いという結果が観察されるのにも関わらず、崎山選手がディーン選手よりも記録が優れていたこと背景には、迎え角が小さいこと (飛行中のやりに作用する抗力が小さい) に加えて、投射角が関係している可能性がある。明確に定義されているわけではないものの、やり投ではおよそ 30-35° 付近の投射角が至適であることが、コンピュータシミュレーション (Hubbard and Alaways, 1987) およびヒトを対象とした実験試技から得られたデータ (前田ら, 1996) に基づいて考えられている。そのなかでも、コンピュータシミュレーションを行った研究の結果は、「投射角を 10° 低くすると、合成の初速度が 1.27m/s 増大する」という条件をモデルに含めた最適化計算に基づいて報告されている。一方、よりシンプルに空中へ投射された物体の放物運動を考えると、最適な投射角 (特定の初速度において飛距離が最大になる投射角) は、初速度が高くなるほど 45° に近づく (阿江と藤井, 2002)。このことから、崎山選手は合成の初速度を高く維持しながら投射角を 45° に近づけられたことが、ディーン選手よりも低い合成の初速度によって、より優れた記録を達成することができたものと推察される。この結果を支持するように、2007 年に開催された世界選手権 (大阪大会) の男子やり投で優勝したピトカマキ選手 (90.33m) の投射角は 39.9° であり (Tauchi et al., 2009)、至適な投射角とされる 30-35° の範囲からは外れ、45° に近い値が報告されている。さらに、世界トップレベルの選手のみを対象とした報告では、記録と前方向の初速度との相関係数は -0.057

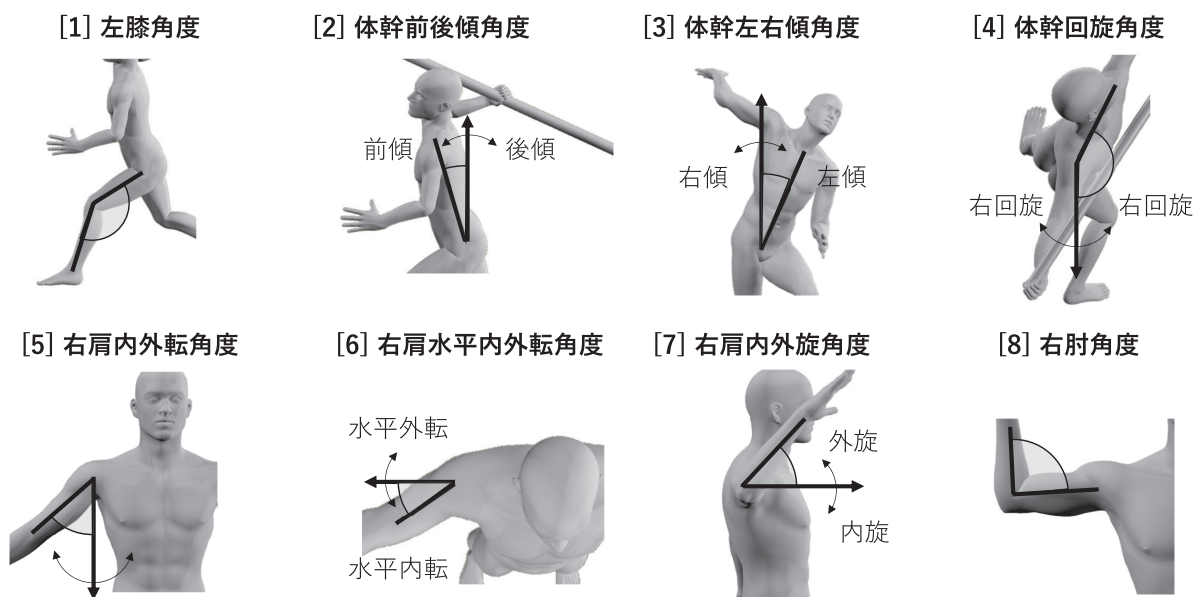


図 1 身体および関節角度の定義

表1 崎山選手, ディーン選手および国内選手におけるリリースパラメータ

変数	単位	崎山選手	ディーン選手	国内選手
記録	[m]	87.16	84.66	74.65 ± 4.37
初速度				
合成	[m/s]	28.0	29.8	26.3 ± 0.8
右方向	[m/s]	3.3	2.9	3.0 ± 1.2
前方向	[m/s]	21.9	26.2	21.8 ± 1.4
上方向	[m/s]	17.1	14.0	14.3 ± 1.1
投射角	[deg]	38.0	28.1	33.4 ± 3.3
姿勢角	[deg]	35.6	32.6	36.3 ± 3.4
迎え角	[deg]	-2.4	4.5	2.9 ± 3.2
投射高	[m]	1.9	1.9	1.9 ± 0.1

表2 崎山選手, ディーン選手および国内選手における基礎的パラメータ

変数	単位	崎山選手	ディーン選手	国内選手
CoM速度				
R-on	[m/s]	7.1	6.6	6.7 ± 0.4
L-on	[m/s]	5.8	5.7	5.9 ± 0.4
Rel	[m/s]	3.4	3.4	3.5 ± 1.4
局面時間				
準備局面	[s]	0.267	0.225	0.221 ± 0.025
投局面	[s]	0.100	0.100	0.112 ± 0.010
加速距離	[m]	1.67	1.83	1.81 ± 0.15
歩幅				
前後	[m]	2.14	1.91	1.93 ± 0.14
左右	[m]	0.50	0.31	0.46 ± 0.16

であったのに対して, 記録と上方向の初速度との相関係数は0.672であったことが報告されている (Tauchi et al., 2009). この結果は, 世界トップレベルの選手間では, 前方向の初速度よりも上方向の初速度の方が記録と強く関係することを意味している. つまり, 世界トップレベルの選手では, 高い前方向の初速度を維持しながら, 上方向の初速度を高める (投射角を高める) ことができるか否かが記録の良し悪しに影響することが示唆されている. この傾向からも, 世界レベルの選手は, シミュレーションや過去の選手の値から導き出される, いわゆる「至適な投射角」に当てはまらない可能性がある. また, 84.66mを記録したディーン選手についても投射角は28.1°であり, 崎山選手とは反対に至適な範囲よりも低い値を示している. なお, ディーン選手の合成の初速度は, 国内選手の平均値よりも3.5m/s高く, 87.16mを記録した崎山選手よりも1.8m/s高い値を示している. したがって, ディーン選手は投射角を低くすることで損失する飛距離が増えたとしても, それ以上に合成の初速度を高めることで利得する飛距離を増やしていたと考えられる. この結果

は, 上述した世界トップレベルの選手間での相関関係から導かれる推察 (Tauchi et al., 2009) と反しているが, 投射角を多少低くしたとしても, 合成の初速度を30m/s近くまで高めることで世界レベルの記録を達成できたという事実は, 今後のやり投選手のパフォーマンス向上に向けた戦略を考えるうえで貴重な知見となると思われる. 以上のことから, 国内選手との比較を通して, 世界レベルに位置する日本人やり投選手では, これまで報告されてきた至適な投射角から外れた, 異なるパターンの技術が確認された. 具体的には, 崎山選手は「上方向の初速度を高める技術」, ディーン選手は「前方向の初速度を高める技術」を採用していた. 以降は, 2名の選手における投てき動作の特徴を議論する.

### 3.2. 崎山選手の投てき動作

図2には, 崎山選手および国内選手の下肢, 体幹, 上肢によって獲得した前および上方向のやり速度を示している. まず, 国内選手よりも上方向の初速度に優れていた崎山選手は, L-on後の体幹によって獲得された上方向のやり速度が高かった (図2).

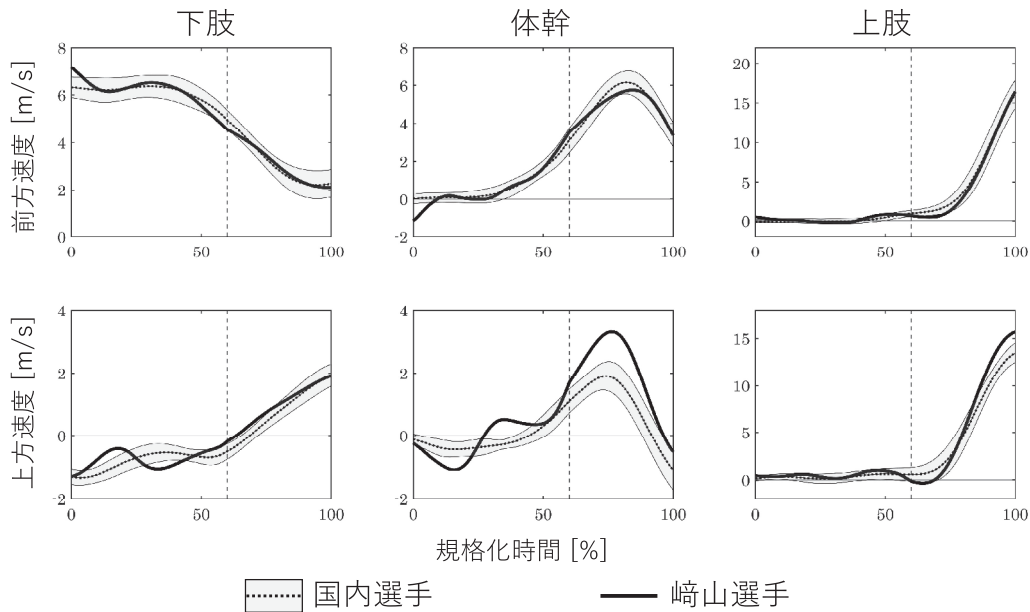


図2 崎山選手および国内選手における下肢，体幹，上肢によって獲得された前および上方向のやり速度

次にスティックピクチャ（図3）および角度（図5）を見てみると，崎山選手は国内選手と比較して，準備局面における体幹の後傾および右傾の角度が大きいことが確認できる．また，その直後のL-on付近では，体幹の前傾および左傾の角速度が国内選手と比較して高い（図6）．これらの特徴を考慮すると，崎山選手は体幹がより後傾した姿位から高い角速度で体幹を前傾および左傾させたことが，体幹によって獲得される上方向のやり速度を高めていたと考えられる．また，崎山選手は国内選手と比較して，Re1付近における上肢によって獲得された上方向のやり速度が高かった（図2）．これには，投てき局面における体幹の前傾角度が小さいことが関係している可能性がある．その理由は，体幹の前傾角度が

小さいことにより腕振り動作によって加速されるやりの方向が上に向き，投射角の増大に有利に働くためである．さらに，崎山選手は国内選手と比較してRe1直前の肩の外転および水平内転の角速度が高かった（図6）．特に，肩の外転は上肢を挙上させる関節運動であることから，その角速度を高めることは，やりの上方速度を高める動きとなる．すなわち，崎山選手は国内選手と比較して，準備局面で体幹の後傾および右傾を大きくした姿位から体幹の前傾および左傾の角速度を高めることに加え，その後の投局面では体幹を直立位に近づけた姿位から右肩の外転および水平内転の角速度を高められたことにより，上方向の初速度を高められたものと推察される．

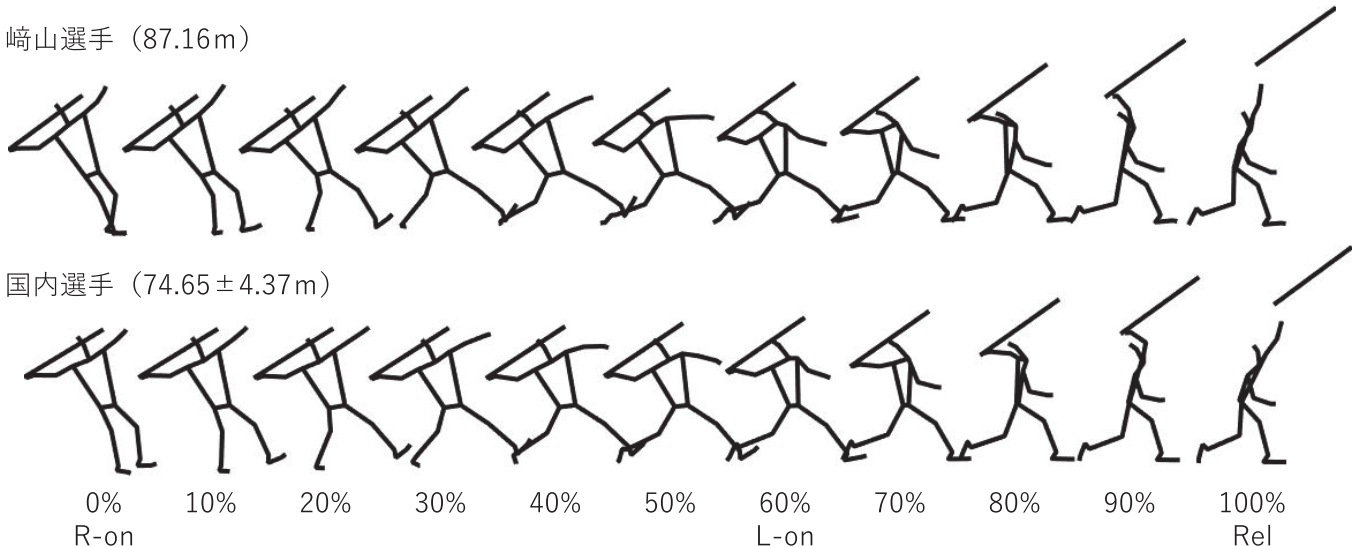


図3 崎山選手および国内選手における矢状面のスティックピクチャ

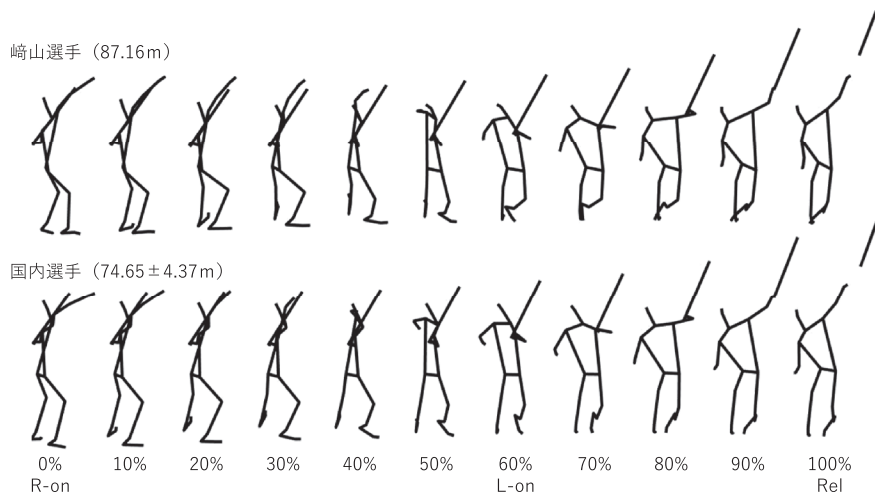
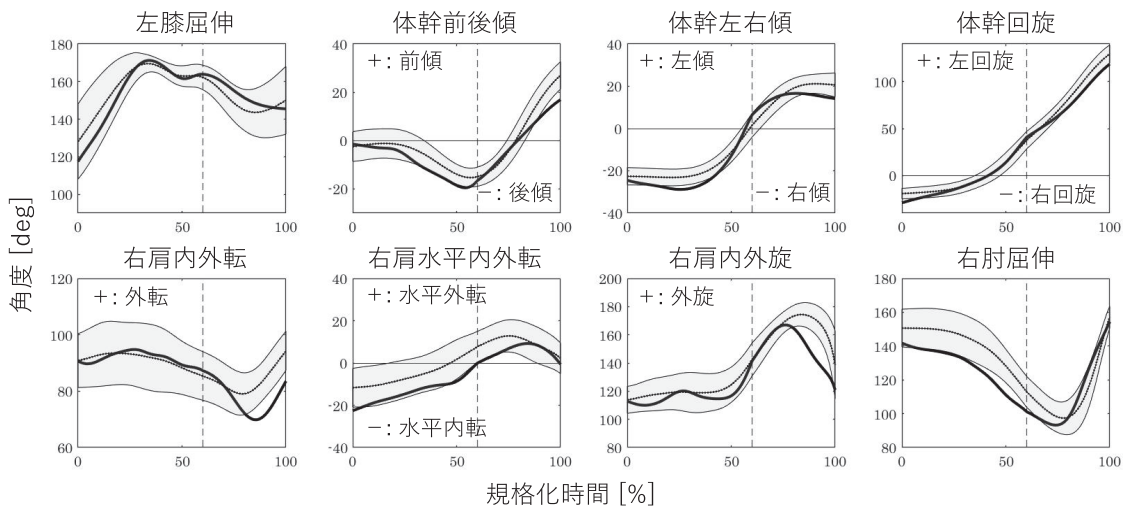
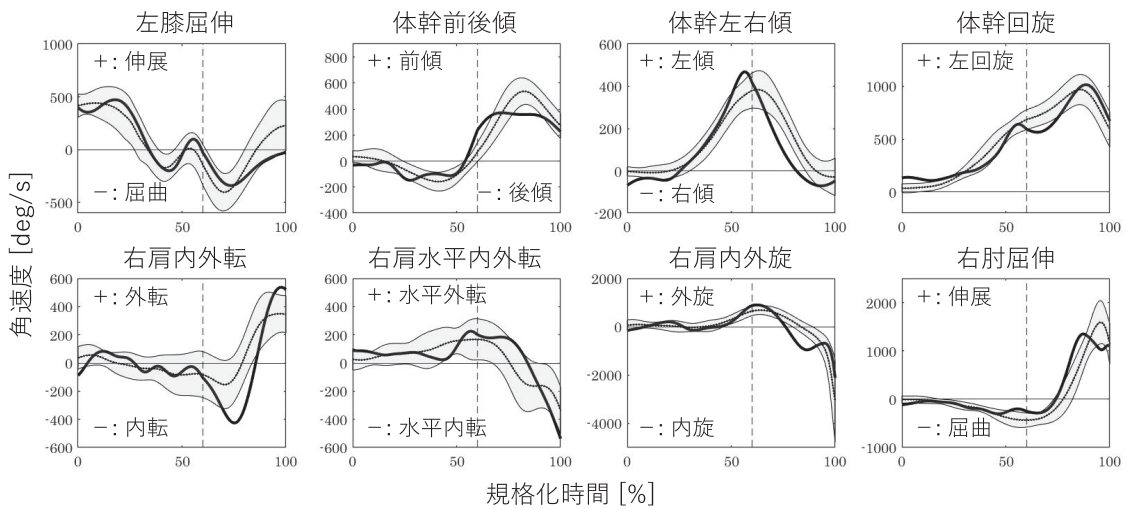


図4 崎山選手および国内選手における前額面のスティックピクチャ



..... 国内選手                      — 崎山選手

図5 崎山選手および国内選手における角度の時系列データ



..... 国内選手                      — 崎山選手

図6 崎山選手および国内選手における角速度の時系列データ

### 3.3. ディーン選手の投てき動作

図7には、ディーン選手および国内選手の下肢、体幹、上肢によって獲得した前および上方向のやり速度を示している。まず、ディーン選手は国内選手よりも体幹によって獲得された前方向のやり速度が高まるタイミングが早かった。これに基づき、角度データ（図10）を見てみると、ディーン選手は国内選手と比較してL-on時において体幹が左回旋位であることが確認でき、この動作が体幹の獲得する前方向のやり速度を高めたと考えられる。また、この傾向は、ディーン選手を対象に同一競技会内で記録の最も良かった試技（成功試技）と悪かった試技（失敗試技）とを比較した際の、成功試技の結果と類似している（牧野ら，2024）。コーチングの現

場では、早い段階で体幹が左回旋することは、それにより上肢が前方に引き出され、やりを加速できる距離が短くなることから、好ましくない動作として捉えられている。これを考慮すると、体幹が早いタイミングで左回旋したとしても、右肩の水平外転や外旋の角度を大きくすることにより、上肢を体幹に対して後方に取り残すことさえできていれば、早期の体幹の左回旋は必ずしも初速度の獲得に悪影響を及ぼすわけではないということになる。そこで、ディーン選手における右肩の角度をみてみると、特にL-on時における水平外転角度が国内選手よりも大きかった。また、右肩の水平外転角度が最大になるタイミングはL-on付近であり、これは2024年のゴールデングラプリにおいてディーン選手が記録

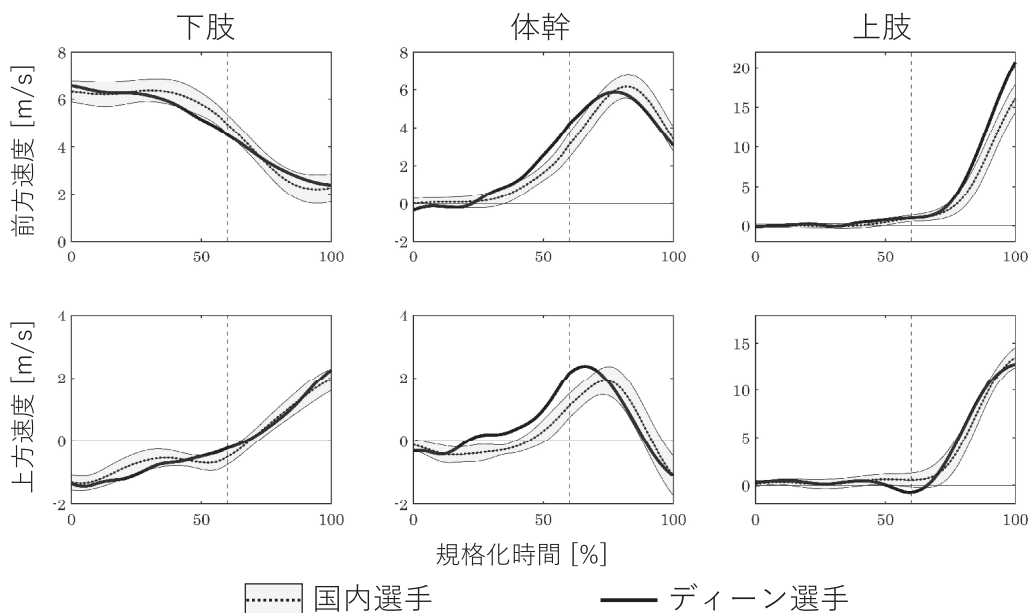


図7 ディーン選手および国内選手における下肢、体幹、上肢によって獲得された前および上方向のやり速度

ディーン選手 (84.66m)

国内選手 (74.65 ± 4.37m)

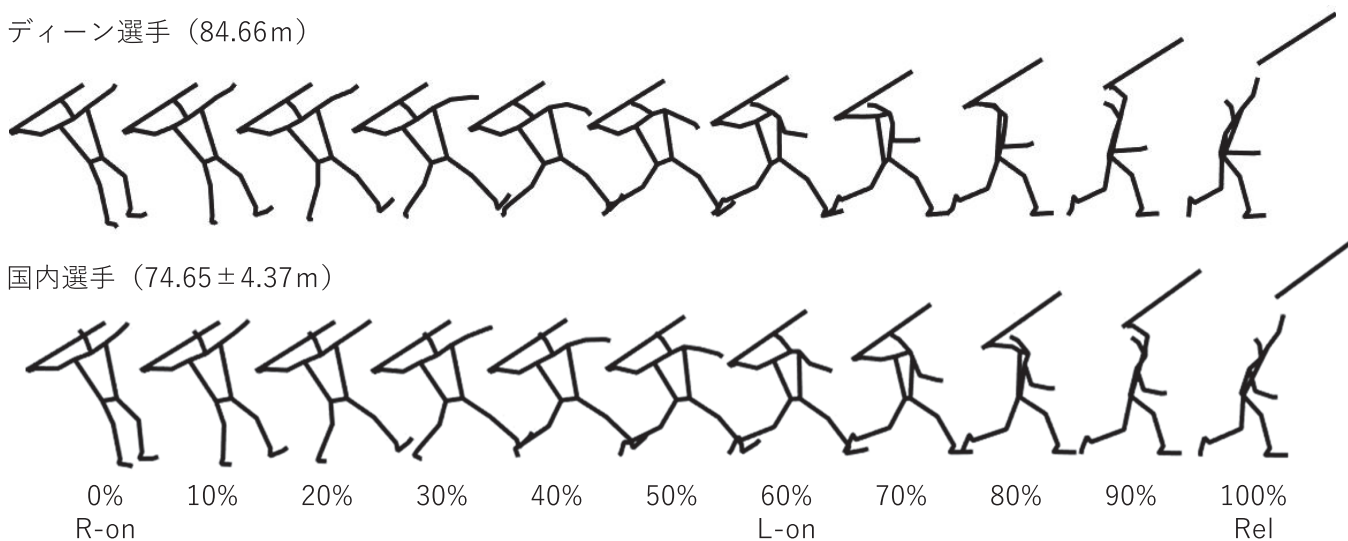


図8 ディーン選手および国内選手における矢状面のスティックピクチャ

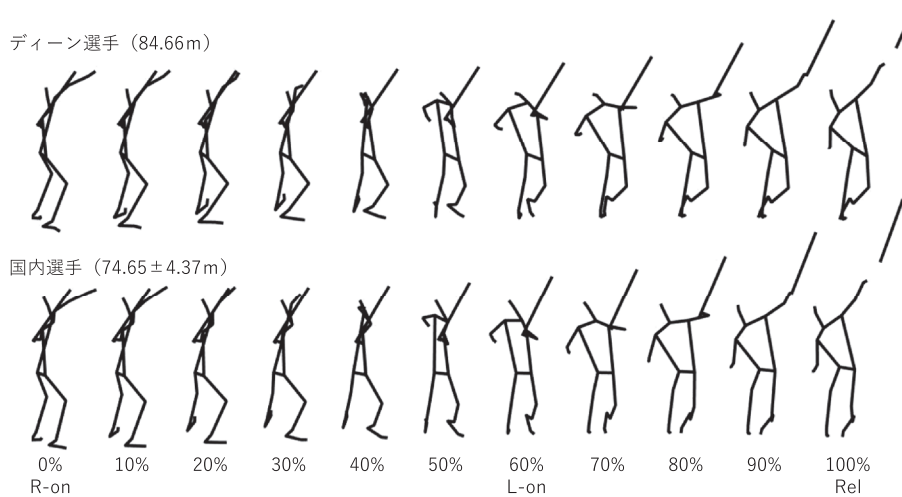


図9 ディーン選手および国内選手における前額面のスティックピックアップ

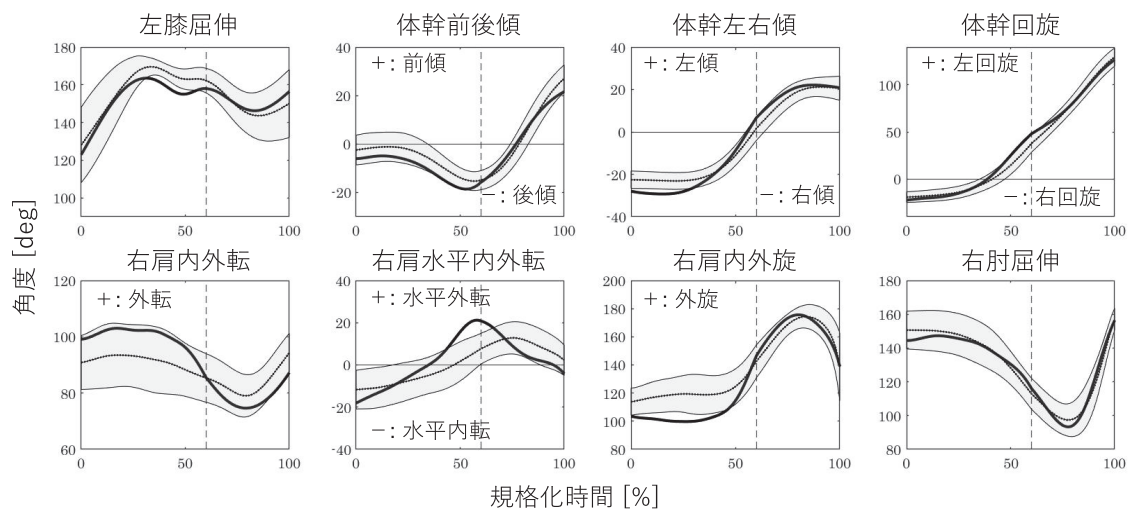


図10 ディーン選手および国内選手における角度の時系列データ

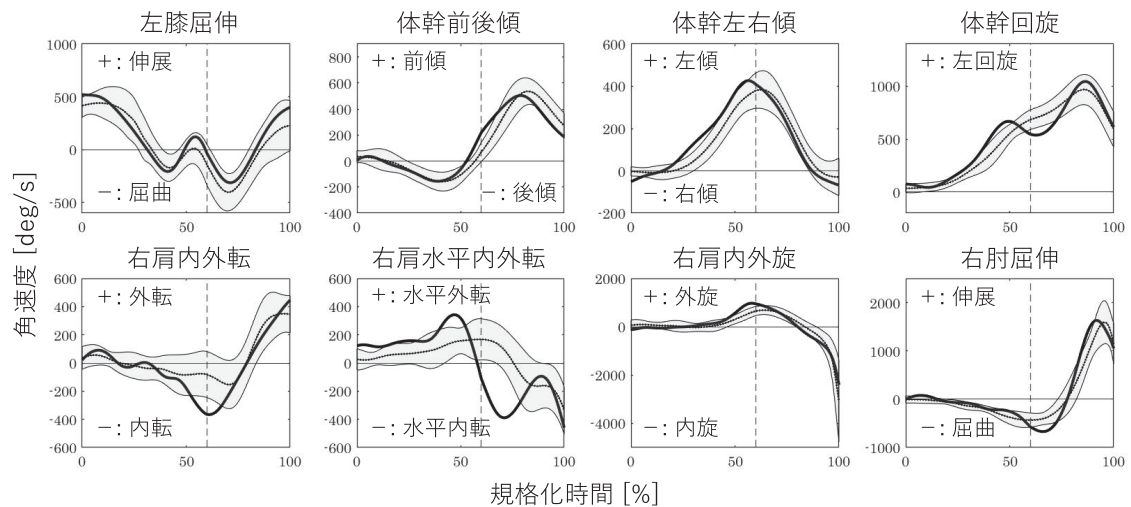


図11 ディーン選手および国内選手における角速度の時系列データ

した 81.38m の試技, および本稿における国内選手よりも早いタイミングである. すなわち, ディーン選手は L-on 時に体幹をより左回旋させるとともに, 右肩の水平外転角度を最大にすることで, 投局面の初期から右肩の水平内転の角速度を高め (図 11), 上肢によって獲得された前方向のやり速度を高めていたものと考えられる.

#### 4. まとめ

本稿では 2025 年の日本選手権において好記録を残した崎山選手とディーン選手の試技を国内選手の平均値と比較した. その結果, 崎山選手は「上方向の初速度を高める技術」, ディーン選手は「前方向の初速度を高める技術」といった, 異なるパターンの技術を採用することで, 世界トップレベルの記録を達成していたことが明らかとなった.

#### 文献

- 阿江通良, 藤井範久 (2002) スポーツバイオメカニクス 20 講. 朝倉書店: 東京.
- Ae, M., Muraki, Y., Koyama, H., & Fujii, N. (2007) A biomechanical method to establish a standard motion and identify critical motion by motion variability: With examples of high jump and sprint running. *Bull. Health & Sports Sciences, University of Tsukuba*, 30, 5-12.
- Hubbard, M., & Alaways, L.W. (1987) Optimum release conditions for the new rules javelin. *Journal of Applied Biomechanics*, 3(3), 207-221.
- 小林育斗, 阿江通良, 宮崎明世, 藤井範久 (2012) 優れた投能力をもつ小学生の投動作の特徴とその標準動作. *体育学研究*, 57, 613-629.
- Komi, P.V., & Mero, A. (1985) Biomechanical analysis of Olympic javelin throwers. *Journal of Applied Biomechanics*, 1(2), 139-150.
- 前田正登, 野村治夫, 柳田泰義, 宮垣盛男 (1996) 人間の動きを考慮に入れたヤリの最適投射条件. *デサントスポーツ科学*, 17, 270-277.
- 牧野瑞輝, 山本大輔, 加藤忠彦, 前田奎, 庄司一真, 瀧川寛子 (2024) 日本人やり投選手における個人内の記録差に影響するキネマティクス: 2名の選手を対象とした事例報告. *陸上競技研究紀要*, 20, 156-162.
- 牧野瑞輝, 山本大輔, 前田奎, 瀧川寛子 (2023) 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 83.54 m と 77.36 m の比較. *陸上競技研究紀要*, 19, 137-141.
- Tauchi, K., Murakami, M., Endo, T., Takesako, H., & Gomi, K. (2009) Biomechanical analysis of the 2007 IAAF World Championships in Athletics. *Bulletin of Studies in Athletics of JAAF*, 5, 143-149.
- 田内健二, 村上幸文, 藤田善也, 磯繁雄 (2009) やり投の日本トップ選手における動作分析データの活用事例—世界トップレベルとの相違点を提示して—. *スポーツパフォーマンス研究*, 1, 151-161.