

パラ陸上（低身長症）男子やり投の日本トップ選手の投てき動作の特徴に関する  
事例研究：世界トップ選手との比較から山手 勇一<sup>1)</sup> 山下 直紀<sup>1)</sup> 新垣 太世<sup>2)</sup> 内山 治樹<sup>2)</sup> 阿江 通良<sup>2)</sup>

1) 日本体育大学大学院体育学研究科 2) 日本体育大学

A case study on characteristics of the throwing motion for a top Japanese male para (short stature) javelin thrower: based on the comparison with world-class athletes

Yuichi YAMATE<sup>1)</sup> Naoki YAMASHITA<sup>1)</sup> Taisei ARAKAKI<sup>1)</sup> Haruki UCHIYAMA<sup>2)</sup> Michiyoshi AE<sup>2)</sup>

1) Graduate school of Physical Education, Nippon Sport Science University

2) Faculty of Health and Sport Science, Nippon Sport Science University

## I. 緒言

陸上競技の投てき種目であるやり投の記録を決定する要因はリリース時の初速度、投射角、投射高および空気力学的要因であり (Hay, 1993), なかでも、やりの初速度は投てき記録に最も強く影響を及ぼすとされている (Mero et al., 1994; Bartlett et al., 1996; 村上・伊藤, 2003; Murakami et al., 2006). 我が国のやり投の競技成績をみると、男子では村上幸史選手が2009年ベルリン世界選手権で3位入賞、ディーン元気選手が2012年ロンドンオリンピックおよび2022年オレゴン世界選手権で決勝進出を果たし、女子では北口榛花選手が2023年ブタペスト世界選手権および2024年パリオリンピックで金メダルを獲得するなど好成績を収めており、やり投は投てき種目の中で世界に通用する数少ない種目と言える。

もう1つの (parallel) オリンピック (Olympic) を意味するパラリンピック (Paralympic) では、選手が公平に競技できるよう障がいの種類や程度に応じた「クラス分け」が国際パラリンピック委員会 (IPC: International Paralympic Committee) によって定められている。日本のパラリンピックにおける陸上競技 (以下、「パラ陸上」と略す) の国際競技力は大きく立ち遅れているが、日本チーム全体のメダル獲得戦略を考えるうえでパラ陸上の強化は重要な課題の1つであるとされている (平松, 2022)。しかし、健常選手を対象としたやり投の投

てき動作に関する研究は多くみられるものの、パラ陸上選手を対象としたやり投に関する報告はほとんどみられない (Yamate et al., 2022)。指宿ほか (2018) は日本のパラ陸上において低身長症を有する選手が非常に少ないと述べているが、その競技力の向上には、パラ陸上に特化した技術的知見の蓄積が不可欠であると考えられる。阿江 (2005) は、スポーツ技術の上達や改善に有効な方法の1つとして、「うまい人から学ぶこと」をあげており、また田内ほか (2009) も日本選手が世界トップレベルを目指すためには、世界トップレベルの選手の投てき動作の現状を把握することが必要であると報告している。

試合におけるやり投の動作分析では、DLT法を用いた3次元動作分析法が多く用いられている (Murakami et al., 2006; 田内ほか, 2009)。しかし、近年の国際大会では、計測機器の設置や撮影の制約が厳しくなり、多くの時間や労力を要する定量的分析が困難になりつつある。一方、このような状況においても、観客席などからビデオカメラによる撮影は可能であり、ビデオ画像を用いた動作の質的分析は比較的容易に実施できるため、対象者の技術や動作の特徴をとらえ、改善点などを明らかにすることが可能である。これらのことから、量的分析が困難な場合でも、質的分析を行うことは、現場での指導やトレーニングに直結する情報を得るために有効であり、さらに、質的分析を相補に用いることは、量的分析の観点を明らかにする手がかりを得るためにも役立つと考えられる。

日本の低身長症・やり投選手が世界で活躍するためには、田内ほか (2009) が指摘しているように試合における低身長症の世界トップ選手の投てき動作の実態を把握し、日本選手と比較することによって、日本選手の競技力向上に役立つ知見を得ることが不可欠であると考えられる。

本研究の目的は、試合におけるパラ陸上 (低身長症) 男子やり投の世界トップ選手および日本選手の投てき動作をビデオ画像を用いて質的に比較し、日本選手の競技力向上に資する技術的課題や改善点を明らかにすることである。

## II. 方法

本研究における質的分析の手順は次の通りである。試合で撮影した映像から作成した連続写真を用いて分析した。足の接地や離地などを手がかりに動作局面を特定したのち、各局面の身体部分に着目して選手間で動作を比較し、それぞれの特徴を明らかにした。そして、日本選手1名の課題について考察した。

本研究の対象者は、2024年5月に開催された「神戸2024世界パラ陸上競技選手権大会」の男子やり投 (F41:低身長症クラス) に出場した10名のうち、世界トップ選手3名 (世界記録保持者を含む上位3名で、1位の選手を選手A、2位の選手を選手B、3位の選手を選手Cとした) および日本選手1名 (日本選手D、自己ベスト記録: 33.80m, 日本記録) の4名であった。

対象者の投てき動作を1台のビデオカメラ (AX-700, SONY社製、やりの助走路の右斜め後方に設置) を用いて撮影した。撮影スピードは120Hz、シャッタースピードは1/1000秒であった。対象者4名の全6試技のうち、各対象者の最も良い記録であった投てきを分析試技とした。なお、本研究は日本体育大学倫理審査委員会の承認 (承認番号第025-H023号) を得た後、研究の目的、方法などを記した文書を大会の代表者 (WPA: World Para Athletics) へ開催前に提出し、許可を得て実施された。

分析区間を最後の右足接地 (R-on) から左足接地 (L-on) までを準備局面、左足接地 (L-on) からやりのリリース (Rel) までを投てき局面に分けた。映像からFrame-DIAS VI (DKH社製) を用いて連続写真を作成した。また、動作時間をコマ数 (1コマは1/120秒) から算出した。連続写真に用いるフレームの選定にあたっては、主要局面であるR-on, L-on, Relを基準とし、R-onの5コマ前、

Table 1. Record and motion time for world-top and Japanese throwers in para (short stature) men's javelin throwers.

	Record (m)	R-on→L-on (s)	L-on→Rel (s)
World-top thrower A	48.94	0.225	0.117
World-top thrower B	47.92	0.175	0.092
World-top thrower C	42.82	0.158	0.125
Japanese thrower D	34.58	0.200	0.100

R-on, L-on, Rel, Relの5コマ後を含めた。さらに、R-onとL-onの間、およびL-onとRelの間については、時間間隔が概ね均等になるよう ( $6 \pm 1$ コマ)、フレームを選定した。これにより、連続写真を通じて投てき動作の一連の流れを把握しやすい構成とした。

なお、本研究にはいくつかの方法上の限界がある。本研究で用いた映像は、競技会場の制約上、やりの助走路の右斜め後方から1台のビデオカメラによって撮影されたものであり、助走路側方や正面からの視点を含んでいない。そのため、体幹の前後傾や水平面における腰の回転角度などについては、分解写真から正確に評価することが困難である。また、本研究は定量的な3次元動作分析ではなく、ビデオ画像に基づく質的分析であることから、動作の特徴については観察可能な範囲に限定して解釈する必要がある。したがって、本研究の結果および考察は、分解写真から確認可能な情報に基づいている。

## III. 結果

### 1. 動作時間について

表1は、世界トップ選手3名と日本選手Dの記録および動作時間を示したものである。R-onからL-onにかけての準備局面の動作時間は、選手C、選手B、日本選手D、選手Aの順に短く、L-onからRelまでの投てき局面の動作時間は、選手B、日本選手D、選手A、選手Cの順に短かった。

### 2. 各局面における投てき動作について

図1の連続写真に加えて、図2から図4に本研究で着目した各時点での動作を比較して示した。

#### 2.1. R-on時 (図1, 2)

図2は、R-on時 (図1の②) における世界トップ選手と日本選手Dの投てきフォームの写真である。右腰 (選手Cは左腰) に着目すると、選手Bおよび日本選手Dは選手Aおよび選手Cと比べてより

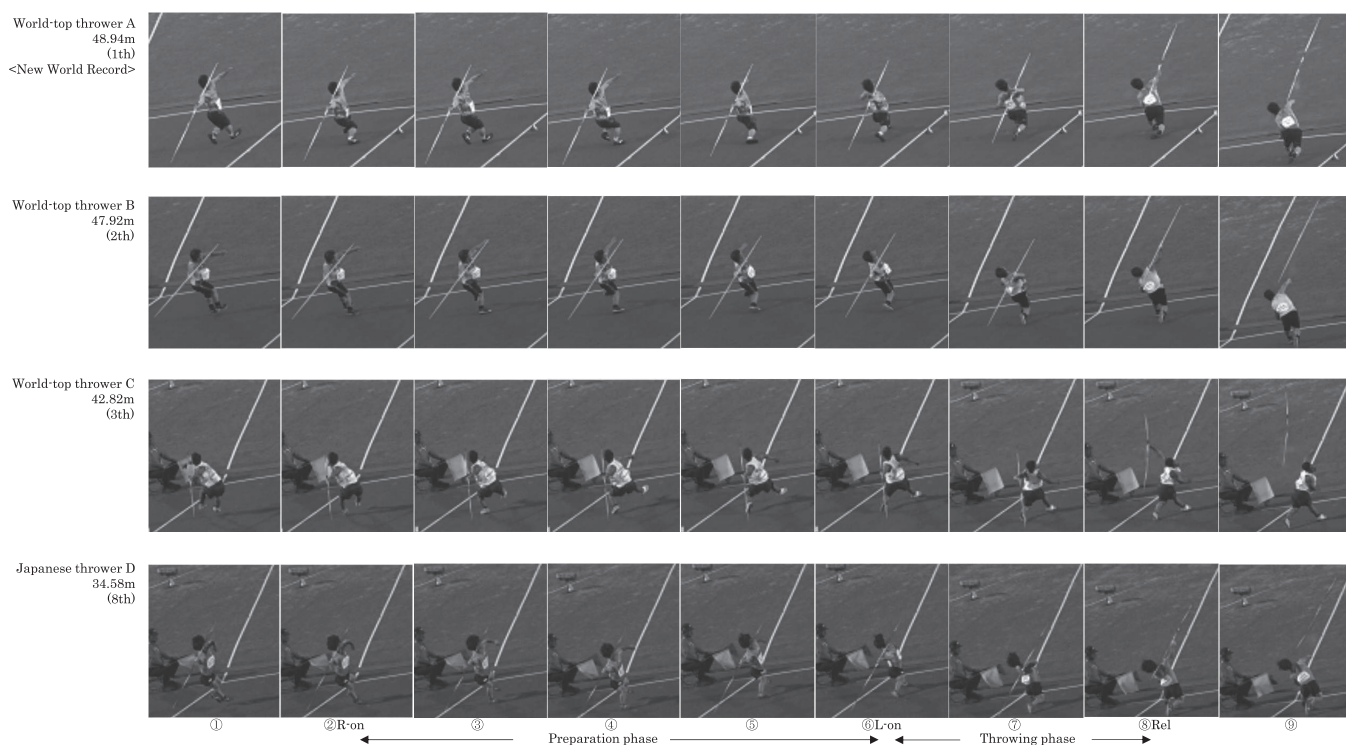


Figure 1. Segmental photographs for the world-top and Japanese para (short stature) men's javelin throwers.

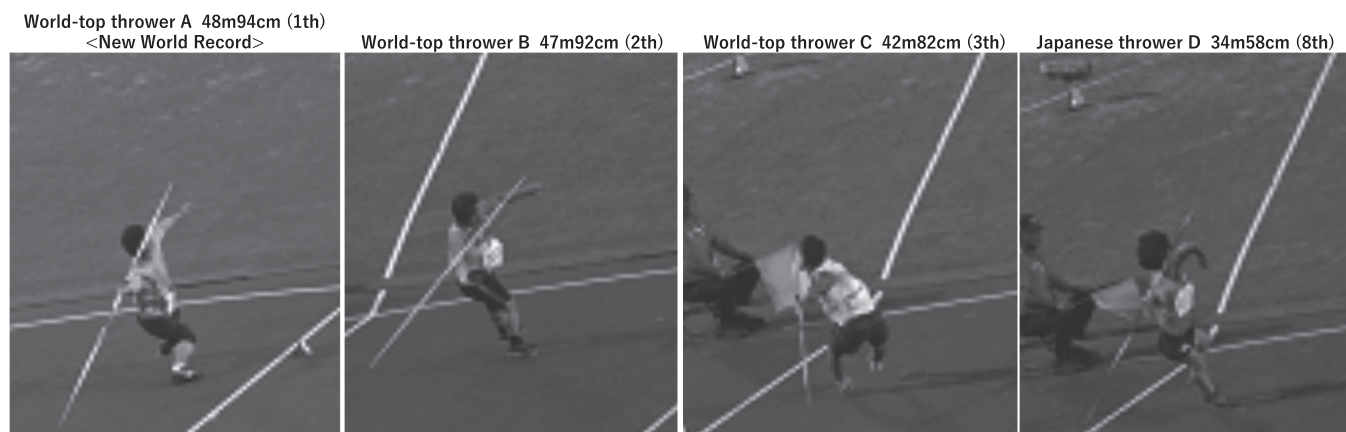


Figure 2. Segmental photographs at R-on for the world-top and Japanese para (short stature) men's javelin throwers.

右側方を向いていた。右肘（選手Cは左肘）に着目すると、世界トップ選手3名は肘を伸展してやりを後方に残しているが、日本選手Dはやや屈曲が大きかった。右膝（選手Cは左膝）および右つま先（選手Cは左つま先）に着目すると、世界トップ選手と比べて日本選手Dはより右側方を向いていた。左脚（選手Cは右脚）の引き出しに着目すると、選手Bおよび選手CはR-on時に左脚を前に引き出しているが、選手Aおよび日本選手Dは左脚の引き出しのタイミングが選手B、Cよりもやや遅れていた。

## 2.2. 準備局面（図1の②～⑥）

R-onにつづく準備局面における右腰（選手Cは左腰）に着目すると、選手Bおよび日本選手Dは選手Aおよび選手Cと比べてより右側方を向いていた。右膝（選手Cは左膝）および右つま先（選手Cは左つま先）に着目すると、世界トップ選手と比べて日本選手Dはより右側方を向いていた。また、右下腿（選手Cは左下腿）に着目すると、世界トップ選手3名は右膝を屈曲位に保ちつつ、投てき方向に倒していた。しかし、日本選手Dでは下腿を投てき方向へ倒すような動作はほとんどみられなかった。

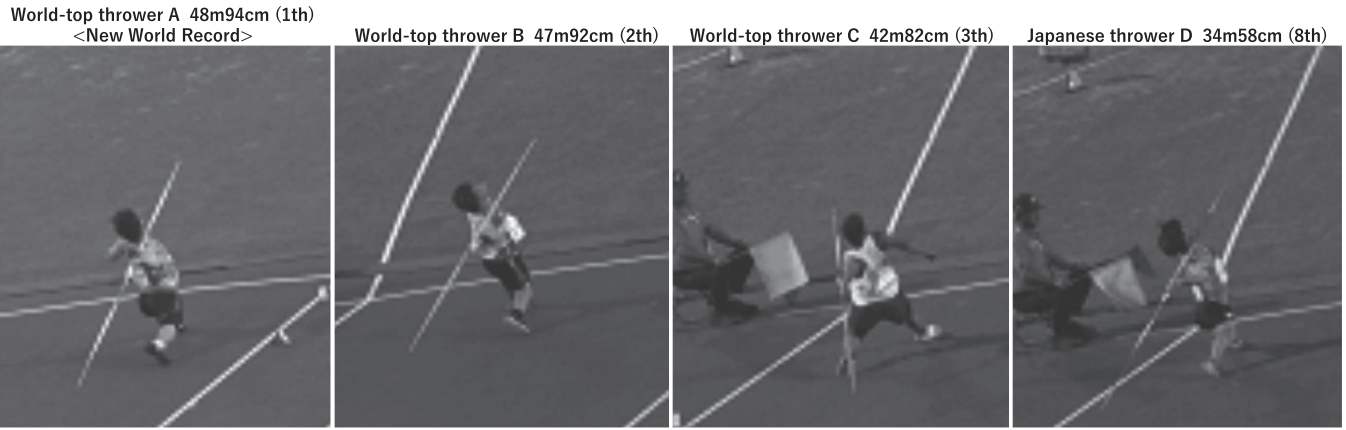


Figure 3. Segmental photographs at L-on for the world-top and Japanese para (short stature) men's javelin throwers.

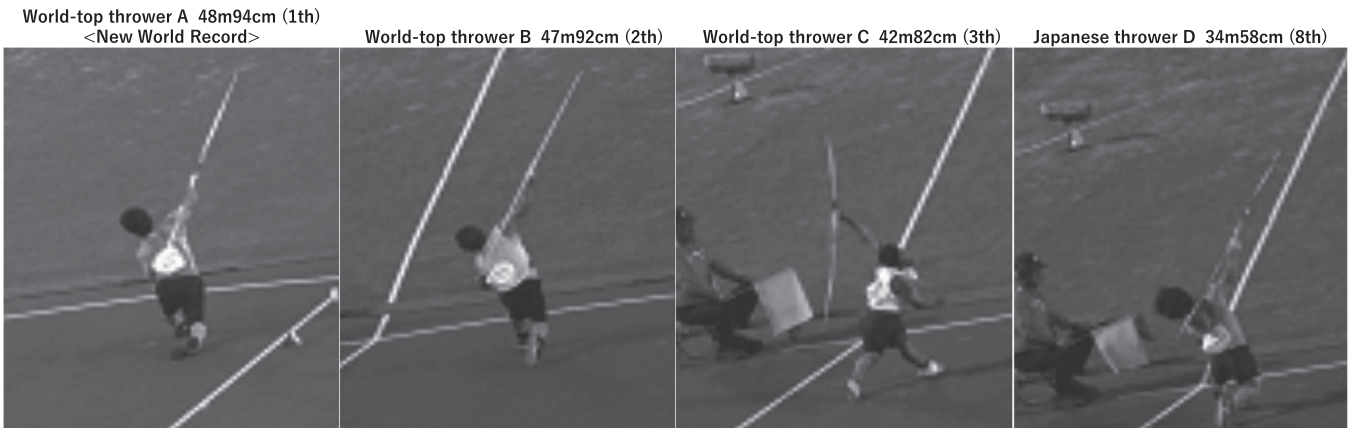


Figure 4. Segmental photographs at Re1 for the world-top and Japanese para (short stature) men's javelin throwers.

### 2.3. L-on 時 (図 1, 3)

図 3 は、L-on 時 (図 1 の⑥) における世界トップ選手と日本選手 D の投てきフォームの写真である。右腰 (選手 C は左腰) に着目すると、選手 B および日本選手 D は選手 A および選手 C と比べてより右側方を向いていた。右膝 (選手 C は左膝) および右つま先 (選手 C は左つま先) に着目すると、世界トップ選手と比べて日本選手 D はより右側方を向いていた。また、右下腿 (選手 C は左下腿) の前傾は世界トップ選手の方が日本選手よりも大きかった。左足 (選手 C は右足) のつま先の向きに着目すると、選手 A および C は左足のつま先が投てき方向を向いていたが、選手 B および日本選手 D は投てき方向に対してやや右 (日本選手 D の方がより右) を向いていた。

### 2.4. 投てき局面 (図 1 の⑥～⑧)

肩の左回旋位に着目すると、選手 A および選手 C は選手 B および日本選手 D と比べ、より左回旋位 (選

手 C は右回旋位) で Re1 を迎えていた。右膝 (選手 C は左膝) および右つま先 (選手 C は左つま先) に着目すると、世界トップ選手と比べて日本選手 D はより右側方を向いていた。

### 2.5. Re1 時 (図 1, 4)

図 4 は、Re1 時における世界トップ選手と日本選手 D の投てきフォームの写真である。体幹の側屈に着目したところ、選手 B および日本選手 D は選手 A および選手 C と比べ、より大きく左へ側屈していた。肩の左回旋位に着目すると、選手 A および選手 C は選手 B および日本選手 D と比べ、より左回旋位 (選手 C は右回旋位) で Re1 を迎えていた。右膝 (選手 C は左膝) および右つま先 (選手 C は左つま先) に着目すると、世界トップ選手と比べて日本選手 D はより右側方を向いていた。左足 (選手 C は右足) のつま先の向きに着目すると、世界トップ選手 3 名は投てき方向を向いていたが、日本選手 D はやや右を向いていた。

## IV. 考察

### 1. 日本選手Dの投てき動作の特徴について

本研究の目的は、パラ陸上（低身長症）男子やり投の世界トップ選手と日本選手の投てき動作を質的に比較し、日本選手Dの特徴を明らかにするとともに、その技術的課題や改善点を明らかにすることであった。

世界トップ選手および日本選手Dの記録には、8～14mという大きな差がみられた。また、準備局面では最大で約8コマ、投てき局面では最大で約4コマの差がみられており、これらは動作の特徴の一つを示すと考えられる。そこで、本研究では、動作時間の差を各選手の動作特性を示す指標の一つとして位置づけ、以下に質的に確認された特徴を示す。

準備局面における右膝（選手Cは左膝）に着目すると、世界トップ選手はやや屈曲位で、かつ下腿を投てき方向に倒していたが、日本選手Dでは右膝の屈曲があまりみられず、下腿を投てき方向に倒すような動作もみられなかった。これまでの研究では、競技レベルの高い選手はR-on時に身体の後傾をあまり大きくせず、身体重心に近い位置に右足を接地することで、準備局面から投てき局面への助走速度の減速を小さくしていたことが報告されている（野友ほか、1998；Bartonietz, 2000；田内ほか、2009）。また、田内（2009）は、準備局面においてR-onからL-onへスムーズに移行するためには、体幹を過度に前後傾させず直立位を保ちながら、接地した右脚の膝を十分に屈曲させた状態でL-onを迎えることが望ましいと述べている。本研究では助走速度、関節角度などの定量的計測を行っていないので、助走速度の減速などについて量的に確認することはできなかった。しかし、日本選手Dには体幹を後傾した状態で右足を接地して、右膝を屈曲し、下腿を投てき方向へ倒すような動作がみられなかったことから、世界トップ選手に比べて日本選手Dが準備局面で助走速度を大きく減速したと推測できる。これらのことから、選手Bおよび選手Cと比べ、日本選手Dでは準備局面における動作時間が相対的に長くなる傾向を示した可能性がある。一方で、最も高い投てき記録を示した選手Aは、準備局面および投てき局面の動作時間が他の選手と比べ、長い傾向にあった。伊藤（2003）は優れたスプリント選手ほど膝をより屈曲位の状態でキックしており、その際の膝の動きは腰を固定した場合につま先の移動距離が大きくなることにつながると述べている。田内ほか（2011）は伊藤（2003）の報告について、つま先

を固定した場合、腰の移動距離が大きくなることに等しいと言い換え、右膝の屈曲位を維持した動作によって、右大転子が前方へより大きく変位し、準備局面における腰の角変位および捻転の角度が大きくなったことが記録向上の要因であると述べている。このことを考えると、選手Aは、準備局面において右膝をより屈曲位の状態でキックし、腰の移動距離を大きくした結果、準備局面における腰の角変位および捻転の角度をより大きくして投てき距離の獲得につながったことが示唆される。

準備局面における投てき腕の肘角度に着目すると、世界トップ選手は肘が伸展しているのに対し、日本選手Dは屈曲していた。池上・橋本（1988）は、競技レベルの高い選手ほど、やりを大きく後ろに引いて身体を反らせる動作が見られ、“むち”の効果を利用していると述べている。また、田内ほか（2009）は、準備局面で右肘が過度に屈曲していると、やりや上肢が後方に残されにくくなり、十分な“しなり”動作が形成されにくくなり、その結果として、肩関節周りの筋群における筋の伸張－短縮サイクルを効果的に利用できず、上肢の爆発的な加速の欠如につながると述べている。このことと本研究の結果を考え合わせると、日本選手Dは準備局面において右肘の屈曲が大きかったことで、筋の伸張－短縮サイクルを効果的に利用できず、結果的に上肢およびやりの加速が世界トップ選手よりも小さくなったと考えられる。

### 2. 日本選手Dの技術的課題

1. で述べたことをもとに、本研究で対象とした日本選手Dの技術的課題や改善点は以下のようにまとめられる。

まず、準備局面においては、右下腿をすばやく投てき方向へ倒すことが重要である。この動作により、R-onからL-onへの移行がスムーズとなり、準備局面での減速を最小限に抑えられると考えられる。

やりおよび右上肢を後方に残すために、右肘角度をこれまでよりも伸展位に保つことが必要である。それにより、田内ほか（2009）が指摘しているように、上肢のしなりを作り出し、肩関節周りの筋群における筋の伸張－短縮サイクルを効果的に利用でき、上肢およびやりの爆発的な加速につながると考えられる。なお、本研究の対象である低身長症選手は、四肢が短く、体幹の質量および慣性モーメントが相対的に大きいという身体的特徴を有していることから、右肘を伸展位に保つ際には、体幹を過度に後傾させないように注意する必要があると考えられる。

低身長症選手は先述したような身体的特徴を有していることから、体幹の動きの影響が大きく、その動かし方が重要になる。さらに、低身長症選手のなかでも本研究の日本選手Dのような軟骨無形成症の障がいを持っている場合、体幹筋力の低下や姿勢制御機能の弱さがみられる傾向があるとされている。すなわち、中川ほか（2003）によると、軟骨無形成症児では、体幹筋群の筋力低下に起因する立位保持や動作時の体幹安定性の低さがみられ、動作中に代償的な体幹の側屈や後傾といった不安定な運動が生じやすいとされている。本研究においても、日本選手DはRe1時に体幹を大きく左側屈させて投げたことから、体幹の安定性および制御に関する特異的課題があることが示唆される。これらのことから、軟骨無形成症の障がいを持つ低身長症選手がやり投の競技力を向上させるためには、上述したような技術的改善のトレーニングに加えて、体幹筋群の強化も不可欠であると考えられる。

本研究では、連続写真およびビデオ画像を用いた質的動作分析によって世界トップ選手と日本選手の動作を比較したが、助走速度、関節角度などを定量的に測定できなかった。今後は定量的比較を行うことで、本研究で得られた所見を客観的に検証していく必要がある。

## V. 結論

本研究の目的は、試合におけるパラ陸上（低身長症）男子やり投の世界トップ選手および日本選手の投てき動作をビデオ画像を用いて質的に比較し、その特徴を明らかにするとともに、日本選手Dの競技力向上に資する技術的課題や改善点を明らかにすることであった。得られた主な知見は、以下のとおりである。

- ① 日本選手Dは準備局面において、右膝の屈曲があまりみられず、下腿を投てき方向に倒すような動作がみられなかったため、助走で得られた身体のを大きく減速させていた。
- ② 日本選手Dは世界トップ選手に比べ、準備局面における右肘の屈曲が大きく、上肢およびやりの加速が小さかった。
- ③ 日本選手Dは世界トップ選手に比べ、リリース時における体幹の左傾が大きかった。

以上のことから、日本選手Dの技術的課題は、準備局面において右膝を屈曲させたまま、下腿を投てき方向に倒すことで助走の減速を抑えること、右肘

をより伸展させ、上肢のしなりを大きくすること、およびリリース時において体幹の左傾を抑えることであることが明らかとなった。また、体幹の左傾を抑えるためには、体幹筋群の強化も不可欠であると考えられる。

## 参考文献

- 阿江通良（2005）スポーツ選手のスキルフルな動きとそのコツに迫る（スキルサイエンス）. 人工知能学会誌, 20: 541-548.
- Bartlett, R. M., Müller, E., Lindinger, S., Brunner, F. and Morriss, C. (1996) Three-Dimensional Evaluation of the Kinematic Release Parameters for Javelin Throwers of Different Skill Levels. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(1): 58-71.
- Bartonietz, K. (2000) *Javelin Throwing: an Approach to Performance Development. Biomechanics in Sport*(ed) Zatsiorsky, Blackwell Science Ltd: pp. 401-434.
- Hay J. G. (1993) *THE BIOMECHANICS OF SPORTS TECHNIQUES -FOURTH EDITION-*, Prince Hall, New Jersey, 495.
- 平松竜二（2022）東京とその先に向けたパラ陸上競技強化への科学的アプローチの役割. *体力科学学会誌*, 71(1): 12.
- 指宿立・三井利仁・田島文博（2018）パラ陸上競技紹介. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 26(3): 315-318.
- 池上康男・橋本勲（1988）やり投げの動作. *体育の科学*, 38(2): 166-177.
- 伊藤章（2003）短距離走に関する研究：コーチングに役立つ科学的根拠を求めて. *体育学研究*, 48: 355-367.
- 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 Biomechanics*, 10: 166-177.
- 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.
- Murakami., M, Tanabe, S., Ishikawa, M., Isolehto, J., Komi, P. V. and Ito, A. (2006) Biomechanical analysis of the javelin at the 2005 IAAF World Championships in Athletics.

- New Studies in Athletics, 21: 67-80.
- 中川恵美・大谷淳・中村由紀江・高間友美・梅居奈央・吉田仁美・分木ひとみ・瀬戸洋一（2003）軟骨無形成症児の運動発達の特徴. 第39回日本理学療法学会大会抄録集, 760.
- 野友宏則・富樫時子・阿江通良（1998）記録水準の異なる選手のやり投動作に関するキネマティクス的研究. 陸上競技研究, 32: 32-39.
- 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: 33-39.
- 田内健二・村上幸史・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.
- 田内健二（2011）ディーン元気選手におけるやり投動作の縦断的变化—2009年と2010年との比較から—. 陸上競技研究紀要, 7: 50-54.
- Yamate., Y, Makino, M., Mizuno, Y., Ae, M. (2022) A Case Study of Throwing Motion of a Male Para Short Stature Javelin Thrower. ISBS Proceedings Archive, Vol. 40, Iss. 1, Article 190: 787-790.