

男子ハンマー投における U20 日本新記録の試技の特徴とシニアトップ選手との比較

加藤 忠彦¹⁾ 牧野 瑞輝²⁾ 塚田 卓巳²⁾

1) 湘南工科大学 2) 国立スポーツ科学センター

山本 大輔³⁾ 庄司 一眞⁴⁾ 瀧川 寛子⁵⁾

3) 天理大学 4) 中京大学 5) 中部学院大学

はじめに

2025年9月27日に開催された第41回U20日本陸上競技選手権大会(U20日本選手権)において、高橋慶太選手が男子ハンマー投のU20日本新記録(71.86 m)を樹立した。高校時代の自己記録(64.46 m)から、大学入学後およそ半年間で約7.4 mの大幅な記録更新を達成しており、今後、日本のハンマー投を牽引することが期待される。

一方で、U20と一般ではハンマーの規格が異なり、U20では6 kg、一般では7.26 kgの重量のものが用いられる。したがって、6 kgのハンマーによる高橋選手の投てき動作が、7.26 kgのハンマーにおいて国内トップレベルの記録を有する選手の投てき動作とどのような類似点・差異を持つかを明らかにすることは、高校(U20)から大学以上(一般)へと規格変更の際の技術指導に有用な知見となると考えられる。

また、同年7月5日に開催された第109回日本陸上競技選手権大会(日本選手権)において、福田翔大選手が男子ハンマー投で日本歴代3位となる74.57 mを記録した。さらに福田選手は、2013年の室伏広治氏以来となる世界陸上競技選手権大会への出場を果たしており、今後の更なる国際舞台での活躍が期待されている。福田選手における投てき動作の特徴を明らかにすることは、より高いハンマー投の記録を達成するための手がかりになるとともに、我が国におけるハンマー投の競技力向上のための有益な知見になると考えられる。

本稿の目的は、高橋慶太選手におけるU20日本新記録の投てき動作と、福田翔大選手における日本歴代3位の投てき動作を比較・分析し、その類似点および差異を明らかにすることとした。

方法

分析試技

分析試技は、第41回U20日本陸上競技選手権大会において高橋選手が71.86 mを記録した試技と、第109回日本陸上競技選手権大会において福田選手が74.57 mを記録した試技とした。

データ収集

ハンマー投のサークルに対して投てき方向を前方として、U20日本選手権では左側方と後方に設置したハイスピードカメラ(DC-GH6, Panasonic社製, 240 fps, シャッタースピード1/1500 s)2台を用いて撮影した。また、日本選手権では右側方と後方に設置したデジタルビデオカメラ(FDR-AX45, Sony社製, 120 fps, シャッタースピード1/1000 s)2台を用いて撮影した。なお、撮影範囲内に、U20日本選手権では7か所、日本選手権では9か所にキャリブレーションポールを立て、予め撮影した。

データ処理

撮影された映像から、動画解析ソフト(Frame-Dias 6, Q's fix社製)を用いて身体4点(左右肩峰, 左右大転子)およびハンマーヘッド1点, ハンマーのグリップ1点を120 Hzでデジタル化し, 3次元DLT法により分析点の3次元座標値を取得した。なお, 2方向の映像は, ハンマーがリリースされたコマで同期した。本稿では, 投てき方向に対して前後方向をY軸, 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定義した。算出された3次元座標値は, 4次のButterworth low-pass filterによって遮断周波数8 Hzで平滑化した。

分析項目

本稿では, ハンマー投の動作を右足の離地(Roff)と接地(Ron), およびハンマーのリリース(Re1)

表1 リリースパラメータ

	記録	初速度	投射角
	[m]	[m/s]	[deg]
高橋選手	71.86	27.35	41.32
福田選手	74.57	28.23	37.82

という分節点（イベント）によって区分し、Roffから次のRoff、もしくはRelまでをターンとした。また、連続するRoffからRonまでを片脚支持局面（SSP）、RonからRoffもしくはRelまでを両脚支持局面（DSP）とした。高橋選手と福田選手は両選手とも4回転のターンを伴っていたため、4回のRoff（Roff1～Roff4）、Ron（Ron1～Ron4）、SSP（SSP1～SSP4）、DSP（DSP1～DSP4）が定義された。

分析区間はRoff1からRelまでとし、瀧川ほか（2024）の方法をもとに以下の変数を算出した。

- ・リリースパラメータ：初速度（Relにおけるハンマーヘッドの合成速度）、投射角（初速度のベクトルがYZ平面でY軸となす角）
- ・所用時間：各局面の所要時間
- ・ハンマーヘッドの合成速度（以下、ハンマーヘッド速度）
- ・ハンマーヘッドの曲率半径（以下、曲率半径）：分析区間における連続する2コマにおけるハンマーヘッドの移動距離を、連続する2コマにおけるハンマーヘッド速度ベクトルがなす角で除した値
- ・回転中心からみたハンマーヘッドの角速度（以下、角速度）：ハンマーヘッド速度を曲率半径で除した値
- ・体幹捻転角度：XY平面に置ける左右肩峰を結んだ線分と、左右大転子を結ぶ線分がなす角。投てき方向に向かって、右肩が右腰よりも先行した場合を正、右腰が右肩よりも先行した場合を負とした。

リリースパラメータと所要時間以外の変数は、各イベントにおける値を算出した。

結果と考察

リリースパラメータに関して

両選手のリリースパラメータは表1に示した。ハンマー投の飛距離に最も影響を及ぼす要因は初速度であり、初速度が1 m/s変化すると、記録は約5 m変化する（Pavlovic, 2020）。一方で、世界のトップ選手における投射角は、41°程度である

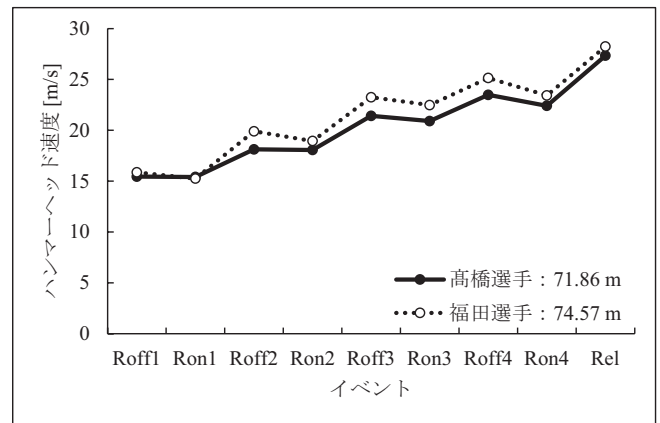


図1 各イベントにおけるハンマーヘッドの合成速度

（Castaldi et al., 2022）。福田選手の初速度は高橋選手よりも0.89 m/s大きい初速度であったが、投射角に関しては、高橋選手の方が世界のトップ選手に近く、福田選手はやや低い傾向にあった。以上のような投射角と初速度の差異が、高橋選手と福田選手との2.71 mの差を生み出していたと考えられる。以降、特にハンマーヘッドの加速に焦点をあてて考察していく。

ハンマーヘッド速度と動作時間に関して

図1は、各イベントにおけるハンマーヘッド速度を示している。SSP1（Roff1-Ron1）においては、両選手のハンマーヘッド速度は同程度であったが、Roff2以降、福田選手がより大きなハンマーヘッド速度を維持したままリリースに至っていたことが分かった。より高い初速度のためには、予備スイングからターンを開始するまで（Roff1）にハンマーヘッド速度を大きくしておく必要がある（Pavlovic, 2020）。しかし、SSP1におけるハンマーヘッド速度が同等であったことを踏まえると、両選手ともに予備スイングにおけるハンマーヘッド速度も同程度であったと推察される。したがって、両選手におけるハンマーヘッド速度の差異は、ターンを開始して以降に生じたと示唆される。

各局面におけるハンマーヘッドの加減速に注目すると、福田選手は、DSPにおいてハンマーヘッド速度を大きく増大し、続くSSPにおいては一度減少する、「緩急」が伴う傾向が確認された。それに対して、高橋選手はDSPにおけるハンマーヘッド速度の増大は緩やかであるものの、続くSSPにおける減少も緩やかな傾向にあった。このように、両選手間でハンマーヘッドの加速方略が異なる可能性が示唆された。

表 2 各局面における動作時間

	記録 [m]	1stターン			2ndターン			3rdターン			4thターン			Total [s]
		SSP1	DSP1	Total	SSP2	DSP2	Total	SSP3	DSP3	Total	SSP4	DSP4	Total	
高橋選手	71.86	0.28	0.38	0.67	0.25	0.28	0.53	0.27	0.23	0.49	0.25	0.26	0.51	2.20
福田選手	74.57	0.32	0.39	0.71	0.23	0.30	0.53	0.24	0.23	0.48	0.23	0.23	0.46	2.18

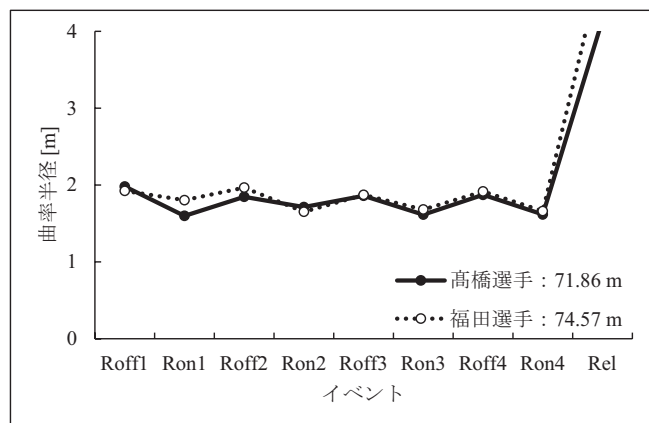


図 2 各イベントにおけるハンマーヘッドの曲率半径

ここで、表 2 に示した、各局面の所要時間に着目すると、特に 4th ターン (Roff4-Rel, 150-200%) において、高橋選手は福田選手よりも 0.05 秒長い時間を示した。そのうち、0.03 秒は DSP4 における差であった。つまり、福田選手は 4th ターンをより短時間でを行い、自身の回転速度を高めることで、ハンマーヘッド速度が大きいままリリースに至っていたと考えられる。一方の高橋選手は、4th ターンの動作時間が長いことに起因する何らかの作用によって、DSP4 におけるハンマーヘッド速度の加速を達成していた可能性がある。

曲率半径と角速度に関して

ハンマーヘッド速度は、ハンマーヘッドの曲率半径と角速度の積で決定する (瀧川ほか, 2024)。まず、曲率半径に注目すると、DSP1 (Ron 1-Roff2) において、福田選手が大きい傾向にあったが、その他の時点において目立つ差異は確認されなかった (図 2)。次に角速度に関して、Ron1 においては高橋選手が大きい傾向にあったが、Roff2 から Ron4 にかけては、福田選手が大きい傾向にあった (図 3)。この Roff2 以降における角速度の差異は、前述したハンマーヘッド速度の差異とも一致していることを踏まえると、高橋選手と福田選手は同程度の曲率半径でありながら、福田選手はより大きな角速度を有していたことで、Roff2 以降におけるハンマーヘッドの加速を達成していたと考えられる。一方、両選

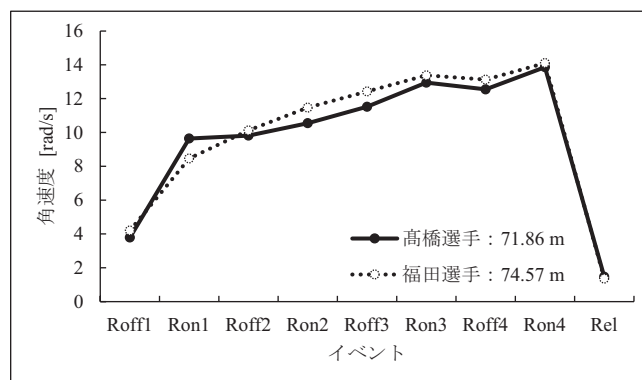


図 3 各イベントにおけるハンマーヘッドの角速度

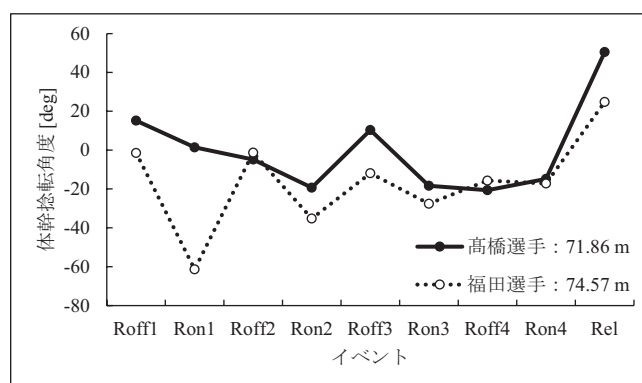


図 4 各イベントにおける体幹捻転角度

手における Ron1 の曲率半径と角速度の大小関係はトレードオフしていたため、その積であるハンマーヘッド速度に差は確認できなかったと推察される。

体幹捻転角度に関して

ハンマー投における体幹捻転角度は、一般的に片脚支持局面 (SSP) において負方向に増大し、両脚支持局面において正方向に増大する。このとき、負方向への増大は体幹の捻転に伴い身体がハンマーに対して先行する動きを示し、正方向への増大は体幹の捻り戻しによってハンマーが身体を追い越す動きを示す。さらに、この負から正への変化は、体幹筋群によるハンマーの爆発的な加速につながる重要な要素であると報告されている (Brice et al., 2018)。図 4 は、各イベントにおける体幹捻転角度を示している。DSP1 (Ron1-Roff2) に注目すると、高橋選手はわずかに負の変化 (-6.25°) をしてい

たのに対して、福田選手は大きく正の変化(60.09°)をしていた。一方、DSP2における変化はいずれの選手においても同程度の正の変化であった(高橋選手: 29.65°; 福田選手: 60.09°)。体幹捻転角度は、特に1stターンから4thターンまでいずれにおいても正の変化量が大きい程、初速度や記録が高いことが報告されている(Brice et al., 2018)。しかし、3rdターン以降は、ターンは回転速度が非常に大きく物理的に体幹捻転角度を制御することが難しい。そのため、特に1stターンと2ndターンにおいて体幹を捻り戻すことでハンマーヘッドの加速に繋げることは重要な技術であると考えられる(Brice et al., 2018)。これらを踏まえると、両選手におけるRoff以降のハンマーヘッド速度の差異を生み出した要因の一つとして、DSP1における体幹の捻り戻しが考えられる。つまり、福田選手はDSP1において大きな体幹の捻り戻しを活用することで、より大きなハンマーヘッドの角速度を作り出し、その速度を高めていたといえよう。

一方で、力学的に考えると、より大きな初速度を作り出すためには、一連の投てき動作を通じてハンマーヘッドの力積を大きくすることが重要となる(Castaldi et al., 2022; Dapena, 1984)。DSP4(Ron4-Rel)における体幹捻転角度の変化量に注目すると、福田選手が42.00°であったのに対して、高橋選手は、65.34°と、高橋選手が20°以上、大きく捻り戻しをおこなっていた。先に記したように、この間の動作時間も高橋選手が長かった点を踏まえると、高橋選手は、4thターンにおいて、ハンマーヘッドの力積を大きくしていたことが示唆される。そのための一つの特徴が、物理的に操作することが難しいとされる体幹捻転角度の大きな正の変化量を作り出し、より長い距離わたってハンマーヘッドに力を作用させていたことであると考えられる。

まとめ

本稿では、U20日本新記録を樹立した高橋選手と、日本歴代3位の記録を投げた福田選手の投てき動作を比較・分析し、類似点や差異を明らかにした。その結果、より大きな初速度を獲得するためのハンマーヘッドを加速する動作に差異が確認された。福田選手は各ターンにおいてハンマーヘッド速度の加減速に「緩急」を伴っていた。そして、特にDSP1における体幹の捻り戻しによってハンマーヘッドの角速度を高めることで、Roff2以降、つまり1stターンの終盤から大きなハンマーヘッド速度の獲得を達

成し、最終的な初速度に繋げていたことが分かった。このように、福田選手は先行研究でも示唆されている重要な技術を活用しているという特徴が明らかとなった。一方の高橋選手は、各ターンにおけるハンマーヘッドの加減速が緩やかである特徴を有していた。そして、特に技術的に操作が難しいとされてきた4thターンにおいて、大きな体幹の捻り戻し動作を伴うことで、最終的なハンマーヘッドの加速を達成していたことが明らかとなった。

なお、高橋選手の4thターンにおけるハンマーヘッドの加速は、体幹捻転角度だけでは全てを説明することは難しく、また、今後一般規格(7.26 kg)に移行していく中で、投てき動作がどのように変化するかは興味深い。今後の更なるデータ収集と分析が必要となるだろう。

引用文献

- Brice, S. M., Ness, K. F., Everingham, Y. L., Rosemond, D., & Judge, L. W. (2018). Analysis of the separation angle between the thorax and pelvis, and its association with performance in the hammer throw. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13 (6), 993-1000. <https://doi.org/10.1177/1747954118787490>
- Castaldi, G. M., Borzuola, R., Camomilla, V., Bergamini, E., Vannozzi, G., & Macaluso, A. (2022). Biomechanics of the Hammer Throw: Narrative Review [Review]. *Frontiers in Sports and Active Living*, Volume 4 - 2022. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.853536>
- Dapena, J. (1984). The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuations. *Journal of Biomechanics*, 17 (8), 553-559. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(84\)90086-1](https://doi.org/10.1016/0021-9290(84)90086-1)
- Pavlovic, R. (2020). Biomechanical Analysis Hammer Throw: The Influence of Kinematic Parameters on the Results of Finalists World Championships. *American Journal of Sports Science and Medicine*, 8 (2), 36-46. <http://pubs.sciepub.com/ajssm/8/2/1>
- 瀧川 寛子, 高松 潤二, 加藤 忠彦, 塩内 裕与 (2024). アツオビン・アンドリュウ選手における投てき動作の変化 2023年の61.95 mと2024

年の 69.38 m との比較．陸上競技研究紀要，20，
147-150.