

## 2025 インターハイ男女ハンマー投におけるハンマーヘッド速度変化

藤井 宏明<sup>1)</sup> 滝川 寛子<sup>2)</sup> 山本 大輔<sup>3)</sup> 高松 潤二<sup>4)</sup>

1) 福山平成大学 2) 中部学院大学 3) 天理大学 4) 流通経済大学

### I. はじめに

ハンマー投はスイングおよびターン動作を通じてハンマーヘッドスピードを増加させ、リリース時のハンマーヘッドスピードをいかに高めるかが競技生成を左右する重要な要因である。これまで、ハンマーヘッドスピードの変化については多くの研究で検討がなされてきた。それらの研究から明らかになっていることは以下の通りである。

- (1) ターン中において、ハンマーヘッドスピードは加速と減速を起こしながら、リリースにむけて最大値に達する (Dapena, 1984)。
- (2) ターン開始時 (右足離地時) において記録水準の高い選手ほど、ハンマーヘッドスピードが高い (坂東ほか, 2006 ; 藤井ほか, 2010, 藤井ほか, 2020)。
- (3) 記録水準の高い競技者ほど、各ターンでのハンマーヘッドスピード最大値および最小値が高い (坂東ほか, 2006)。
- (4) 記録と各ターンにおけるハンマーヘッドスピード増加量, 減速量の間に関係が認められていない (坂東ほか, 2006)。
- (5) 一方、各ターンにおけるハンマーヘッドスピード増加量に着目すると、第1および第4ターン (振り切り局面に相当) において、記録水準の高い競技者の増加量が多いことが報告されている (藤井ほか, 2020)。

記録と各ターンにおけるハンマーヘッドの増加量・減速量がみられなかったという報告から、記録水準に関わらず、ターン時に大きな加速を示す選手や、減速を抑制することでスピードを維持する選手など、様々なヘッドスピード変化パターンが存在する可能性が示唆される。すなわち、選手ごとにハンマーヘッドを加速させる戦略や技術が異なり、リリース時の初速度を高めるためのハンマーヘッドスピード加速戦略も一様ではないと考えられる。この

ことから、ハンマーヘッドスピード変化パターンは、選手固有の技術特徴や加速戦略を反映する指標であると推察される。選手それぞれにとって最適なハンマーヘッドスピード変化パターンはこれまでの指導方法や個々の体力特性によっても異なるものと考えられる。このような個別性を考慮して個々のハンマーヘッドスピード変化パターンについて検討するためには、基準となるモデル作成が必要である。そのモデルと照らし合わせて分析することで、その選手の成長過程やトレーニング方法の検討するための基礎的資料が得られると考えられる。

しかしながら、各カテゴリー、各記録水準別におけるハンマーヘッドスピードの変化パターンに関する体系的なデータベースは依然として少ない。そこで本研究では2025年度に実施された全国高等学校総合体育大会 (インターハイ) において上位8名の男女を対象としたハンマーヘッドスピード変化パターンについて報告を行うこととした。

### II. 方法

#### 2.1 対象者, 撮影方法およびデータ処理方法について

対象者は、2025年度全国高校総体男女ハンマー投決勝に出場し、ベスト8に進出した男女競技者15名 (4回転投法, 3回転投法を除く) であった。当日は、暑熱対策のため全力で正規重量のハンマーを用いた投擲を4試技行っており、その中で最も記録の良かった試技を本研究の分析対象とした。なお、(財)日本陸上競技連盟科学委員会によって撮影されたものである。投擲試技は、2台のハイスピードカメラ (DC-GH6, panasonic) を用いて、スピード毎秒240コマ、露出時間1/2000秒で撮影した。

VTR画像をFrame DIAS V (Q'fix社製) を用いて1コマおきに手動デジタイズし、ハンマーヘッド1点の2次元座標値を得た。キャリブレーションポー

ルに取り付けられた較正点の2次元デジタイズ座標値と3次元座標値からカメラごとにDLT定数を算出し、DLT法 (Abdel-Aziz and Karara, 1971) を用いて分析点の3次元座標値を算出した。サークルの中心に右手座標系を設定し、X方向を投擲方向に対し直交する方向、Y方向を投擲方向、Z方向を鉛直方向とした。なお、標準誤差の最小値と最大値は、X軸: 5mm - 6mm, Y軸: 5mm - 6mm, Z: 6mm - 7mmであった。そして、位相ずれのない4次のButterworth digital filterを用いて7Hzで平滑化を行った。

## 2.2 局面定義

本研究では、藤井ほか (2020) と同様にスイング終了時点 (右足離地) からハンマーが手から離れた時点 (リリース) までの間をターン動作局面とした。右足が離地した時点をRoff, 右足が接地した時点をRonとした。SSP (片足支持局面) は右足を離地してから接地するまでの局面、DSP (両足支持局面) は右足が接地してから離地するまでの局面とし、SSPとDSPを合わせた局面を1回転とした。なお、本研究では1回転目をターン1、2回転目をターン2、3回転目をターン3、4回転目をターン4と表記した。

## 2.3 ハンマーヘッド速度および加速量・減速量の算出について

ハンマーヘッドの3次元座標値を時間微分することで、ハンマーヘッド速度を算出した。また、ハンマーヘッド速度の合成値を算出することでハンマーヘッドスピードを算出した。さらに、各ターンのハンマーヘッドスピード最大値から最小値を減算することで各ターンのハンマーヘッドスピード増加量、前ターンの最大値から次ターンの最小値を減算することで、各ターンのハンマーヘッド減速量を算出した (図1)。

## 2.4 DSPおよびRon - LPの所用時間

本研究では、撮影した映像から各ターンにおけるRon - RoffおよびRoff - Ron間のコマ数を読み取り、使用したハイスピードカメラの撮影スピードで除することで、各ターンのDSPおよびSSPの所用時間を算出した。

## Ⅲ. 結果

### 3.1 ターン中におけるハンマーヘッドスピード変化について

表1は、ターン開始時 (スタート) からリリース

時までの各ターンの男子ハンマーヘッドスピード最小値および最大値を示した。平均値と比較して、男子1位の選手は最大値3以降のハンマーヘッドスピードが高かった。一方、男子2位の選手は最大値1から最大値3までのハンマーヘッドスピードが高かった。加えて、男子3位の選手は最小値3および最小値4におけるハンマーヘッドスピードが高い傾向を示した。

表2は、ターン開始時 (スタート) からリリース時までの各ターンの女子ハンマーヘッドスピード最小値および最大値を示した。平均値と比較して、女子1位の選手はターン開始時のハンマーヘッドスピードが小さく、第2、第3、第4ターン時の最大値が大きい傾向がみられた。一方、平均値と比較して女子2位の選手は、ターン開始時におけるハンマーヘッドスピードが大きく、その後、最大値および最小値ともに大きい値を維持させていた。

### 3.2 ターン中におけるハンマーヘッドスピード変化量について

表3および表4は、ターン開始時 (スタート) からリリース時までの各ターンの男子ハンマーヘッドスピード加速量および減速量について示した。ハンマーヘッドスピード加速量について、ターン1、ターン2、ターン3と徐々にハンマーヘッドスピードが小さくなり、ターン4で増加する傾向がみられた。しかしながら、平均値と比較して、1位の選手はターン1およびターン2の加速量が小さかったが、ターン3における加速量が他の選手と比較して大きく、他の選手とは異なるハンマーヘッドスピード変化パターンを示した。また、2位の選手はターン1およびターン4での加速量大きい特徴がみられた。加えて、3位の選手はターン後半におけるハンマーヘッドスピード減速量が小さい特徴がみられた。

表5および表6は、ターン開始時 (スタート) か

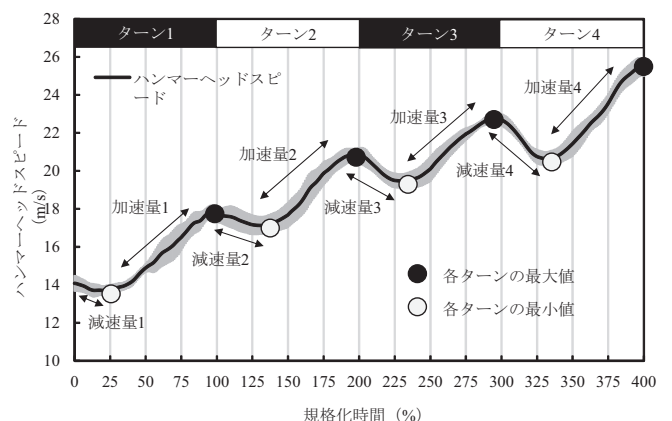


図1 ハンマーヘッドスピード変化

表1 男子ハンマーヘッドスピード変化

	スタート (m/s)	最小値1 (m/s)	最大値1 (m/s)	最小値2 (m/s)	最大値2 (m/s)	最小値3 (m/s)	最大値3 (m/s)	最小値4 (m/s)	リリース (m/s)
男子1位	14.17	13.95	17.62	16.96	20.48	19.01	23.03	20.99	25.64
男子2位	14.17	13.88	19.04	17.91	21.60	19.96	23.11	20.67	25.94
男子3位	14.05	13.47	17.83	17.22	20.76	19.93	22.84	21.35	25.99
男子4位	14.76	14.04	18.35	17.39	21.58	19.53	22.91	20.17	25.66
男子5位	13.64	13.20	17.68	17.22	20.35	19.41	22.31	20.54	25.52
男子6位	13.76	13.56	17.75	16.61	20.84	18.84	22.82	20.21	25.04
男子7位	14.50	13.53	17.83	16.39	20.89	19.25	22.79	20.62	24.89
男子8位	13.60	13.34	17.55	16.96	20.69	19.38	22.60	20.42	24.81
IH25男子 平均値	14.08±0.41	13.62±0.30	17.96±0.50	17.08±0.47	20.90±0.46	19.41±0.40	22.80±0.25	20.62±0.39	25.44±0.46

表2 女子ハンマーヘッドスピード変化

	スタート (m/s)	最小値1 (m/s)	最大値1 (m/s)	最小値2 (m/s)	最大値2 (m/s)	最小値3 (m/s)	最大値3 (m/s)	最小値4 (m/s)	リリース (m/s)
女子1位	13.42	12.67	17.64	16.41	21.00	18.65	22.28	19.96	23.58
女子2位	15.10	15.10	18.19	17.43	20.38	19.16	21.72	20.20	23.65
女子3位	15.62	14.89	19.00	17.79	20.34	18.76	21.78	19.08	24.06
女子4位	13.07	12.06	16.94	15.36	19.42	17.15	20.66	18.44	22.47
女子5位	14.38	13.34	17.27	16.34	19.93	18.28	21.31	19.21	22.98
女子6位	12.57	12.29	16.49	15.07	18.78	17.61	20.20	19.13	23.00
女子7位	14.48	14.42	18.01	16.20	19.38	17.07	19.91	17.51	22.82
IH25女子 平均値	14.09±1.11	13.54±1.26	17.65±0.84	16.37±0.99	19.89±0.75	18.10±0.83	21.12±0.88	19.08±0.91	23.22±0.55

表3 男子ハンマーヘッド加速量

	加速量1 (m/s)	加速量2 (m/s)	加速量3 (m/s)	加速量4 (m/s)	総加速量 (m/s)
男子1位	3.67	3.52	4.02	4.65	15.9
男子2位	5.16	3.69	3.14	5.27	17.3
男子3位	4.36	3.54	2.91	4.64	15.4
男子4位	4.31	4.20	3.38	5.50	17.4
男子5位	4.48	3.13	2.91	4.98	15.5
男子6位	4.18	4.23	3.98	4.82	17.2
男子7位	4.29	4.49	3.54	4.27	16.6
男子8位	4.21	3.74	3.22	4.39	15.6
IH25男子 平均値	4.33±0.41	3.82±0.45	3.39±0.43	4.81±0.42	16.35±0.85

表4 男子ハンマーヘッド減速量

	減速量1 (m/s)	減速量2 (m/s)	減速量3 (m/s)	減速量4 (m/s)	総減速量 (m/s)
男子1位	0.22	0.66	1.47	2.05	4.4
男子2位	0.29	1.13	1.63	2.44	5.5
男子3位	0.58	0.61	0.83	1.50	3.5
男子4位	0.72	0.96	2.05	2.74	6.5
男子5位	0.44	0.47	0.95	1.77	3.6
男子6位	0.19	1.14	2.00	2.60	5.9
男子7位	0.97	1.43	1.64	2.17	6.2
男子8位	0.25	0.59	1.31	2.18	4.3
IH25男子 平均値	0.46±0.28	0.87±0.34	1.48±0.44	2.18±0.42	5.00±1.17

表5 女子ハンマーヘッド加速量

	加速量1 (m/s)	加速量2 (m/s)	加速量3 (m/s)	加速量4 (m/s)	総加速量 (m/s)
女子1位	4.97	4.59	3.62	3.62	16.81
女子2位	3.09	2.94	2.56	3.45	12.04
女子3位	4.12	2.56	3.01	4.98	14.66
女子4位	4.88	4.05	3.51	4.03	16.48
女子5位	3.93	3.59	3.04	3.78	14.33
女子6位	4.19	3.71	2.60	3.86	14.37
女子7位	3.59	3.17	2.85	5.32	14.92
IH25女子 平均値	4.11±0.67	3.52±0.69	3.03±0.41	4.15±0.71	14.80±1.58

表6 女子ハンマーヘッド減速量

	減速量1 (m/s)	減速量2 (m/s)	減速量3 (m/s)	減速量4 (m/s)	総減速量 (m/s)
女子1位	0.75	1.23	2.35	2.32	6.65
女子2位	0.00	0.75	1.21	1.52	3.49
女子3位	0.73	1.21	1.58	2.70	6.23
女子4位	1.01	1.58	2.27	2.22	7.08
女子5位	1.04	0.93	1.65	2.11	5.73
女子6位	0.27	1.42	1.17	1.07	3.94
女子7位	0.06	1.81	2.31	2.41	6.58
IH25女子 平均値	0.55±0.44	1.28±0.36	1.79±0.51	2.05±0.56	5.67±1.40

らリリース時までの各ターンの女子ハンマーヘッドスピード加速量および減速量について示した。男子同様に、女子ハンマーヘッドスピード加速量についても、ターン1、ターン2、ターン3と徐々に小さくなり、ターン4で増加する傾向がみられた。平均値と比較して、女子1位の選手はターン1、ターン2、ターン3の加速量が大きかった。一方、女子2位の選手は全体的に加速量が小さく（総加速量も小さかった）、各ターンの減速量も小さい傾向がみられた。

#### IV. 考察

##### 4.1 男子のハンマーヘッドスピード変化について

本報告では、2025年度に実施された全国高等学校総合体育大会（インターハイ）で上位8位となった選手を対象に、ターン動作中におけるハンマーヘッドスピード変化についてのモデル（平均値）作成を行い、上位選手のハンマーヘッドスピード変化の特徴を明らかにすることとした。その結果、「後半局面加速優位型」、「総加速量優位型」、「加減速抑制型（速度維持型）」といったそれぞれの個性に応じたハンマーヘッドスピード加速戦略を採用してい

たことが明らかとなった。

インターハイ男子上位3名のターン開始時のハンマーヘッドスピードが高かった。一般的にスイングからターンに入る際には、その選手の体力・技術レベルに応じて「最適なスピード」で開始することが求められる。指導書においても、スイングからターンの入りに関しては回転が崩れたり、また投射時のハンマーのスピードが減少する原因とならないように、1回転目から大きなスピードをハンマーに与えないようにする（室伏, 1994）ように述べられている。坂東ほか（2006）が述べているように、高校生上位選手においても、選手たちがターン中に「失敗しない限界速度」でターン開始していたと考えられる。

男子1位の選手はターン3におけるハンマーヘッド加速量に特徴がみられた。本研究の定義においてターン4は振り切り局面に相当する局面である。その前のターン3はターンの中でも振り切り動作の準備局面に当たるターンであると考えられ、ターン3のハンマーヘッドスピードは最も加速量が少なくなる（藤井, 2020）ことが一般的である。しかしながら、ターン1およびターン2での加速量よりもターン3の加速量が大きかった。この選手は、他の選手と比較して、DSP3の両足支持期の所要時間が長かつ

た(男子平均 $0.248 \pm 0.021$ 秒,男子1位の選手 $0.275$ 秒). また, SSP4の所要時間も短かった(男子平均 $0.247 \pm 0.017$ 秒,男子1位の選手 $0.225$ 秒). これらのことから,男子1位の選手はターン3において両足支持時間を十分に確保し,ハンマーヘッドスピードをより増加させながらも,次のDSP4(振り切り局面)にむけてSSP4の所要時間を短くしていた. このように男子1位の選手は「後半局面加速優位型」の加速戦略を用いていたことが明らかになった.

男子2位の選手は,平均値よりもターン前半からハンマーヘッドスピードが大きい特徴がみられた. ターン1およびターン4でのハンマーヘッド加速量が大きく,藤井ほか(2020)が報告した記録水準の高い競技者のハンマーヘッドスピード増加量変化パターンの特徴と類似し,ハンマーヘッド総加速量が大きかった. この選手は「総加速量優位型」の加速戦略を用いていたといえる.

男子3位の選手は,平均値よりもターン後半のハンマーヘッド減速量が小さかった. 加えて,ハンマーヘッド加速量も平均値より小さく,加速・減速の小さいターン動作を行っていた. このことから,男子3位の選手は「加減速抑制型(速度維持型)」の加速戦略を用いていたと考えられる.

#### 4.2 女子のハンマーヘッドスピード変化について

女子上位選手2名から,「加速変調型(高変動型)」および男子2位の選手と同様のパターンである「加減速抑制型(速度維持型)」のハンマーヘッドスピード変化パターンがみられた.

2025年インターハイ女子上位3名のターン開始時のハンマーヘッドスピードに着目すると,女子1位の選手はハンマーヘッドスピードが小さく,女子2位および女子3位の選手はハンマーヘッドスピードが参加者の中でも大きい傾向がみられた. 女子1位の選手はターン開始時にスピードが小さかったが,ターン1,ターン2の加速量を大きくすることで,女子2位および女子3位の選手と同じヘッドスピードまで増加させていた. すなわち1位の選手は,スイングからターン開始までを比較的抑えたスピードで行い,ターン動作中にハンマーヘッドスピードを段階的に増加させていく「加速変調型(高変動型)」の戦略を採用していたものと考えられる.

一方,女子2位の選手は,男子3位の選手と同様に比較的ハンマーヘッドスピードが大きい状態からターンを開始させ,その後のターンでのハンマーヘッドスピード加速量および減速量を小さくする

「加減速抑制型(速度維持型)」の戦略でターン動作を行っていたと考えられる.

また,男女のハンマーヘッドスピードを比較すると,ターン開始時のハンマーヘッドスピードには差がみられず,ターン2の最大値付近から男子選手が女子選手よりも値が大きくなり,最終的にリリース時の速度を大きくしていた. 男子の投擲記録平均値は女子の投擲記録よりも小さかった(男子 $62.79 \pm 2.34$ m,女子 $51.10 \pm 2.47$ m). そのことにも関わらず,男子と比較して女子は記録に対して大きいスピードでターン動作に入っていたものと考えられる. 男子は女子と比較して,扱うハンマーの重量が小さく,ハンマーに加わる力(遠心力)が小さくなるため,男子よりも比較的速いスピードで開始していたものと考えられる. すなわち,扱う重量の異なる男女においてもハンマーヘッドの加速戦略および加速技術が異なる可能性がある.

## 5 まとめ

本報告では,2025年度に実施された全国高等学校総合体育大会(インターハイ)で上位8位となった選手を対象に,ターン動作中におけるハンマーヘッドスピード変化のモデル作成を行い,上位選手のハンマーヘッドスピード変化の特徴を明らかにすることを目的とした. 平均値(モデル)と上位選手のハンマーヘッドスピード変化パターンを比較した結果,以下のような複数のパターンがみられた.

ハンマーヘッド加速量が大きい「総加速量優位型」,ターン後半においてハンマーヘッド加速量を大きくする「後半局面加速優位型」,ターン開始時のハンマーヘッドスピードを抑え,ターン動作中の加速量を大きくする戦略をとる加速変調型(高変動型),ターン開始時におけるハンマーヘッドスピードを大きくし,その後の加速・減速量を小さくする戦略をとる加減速抑制型(速度維持型)の複数のパターンがみられた. これらのパターンは,選手の体力的・技術的特性の違いを反映している可能性が考えられることから,今後はパターンごとの体力・技術の違いや指導方法の相違について検討する必要がある.

Abdel-Azis, Y. I. and Karara, H. M. (1971) Direct linear transformation from computer coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. Proceedings ASP UI Symposium on Close-range Photogrammetry,

- American Society of Photogrammetry: Falls Church, pp. 1-19.
- 坂東美和子・田辺智・伊藤章 (2006) ハンマー投げ記録とハンマーヘッド速度の関係. 体育学研究, 51 (4) : 505-514.
- 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.
- 藤井宏明・大山卞圭悟・藤井範久 (2020) 記録水準の異なるハンマー投競技者のハンマーヘッドスピードとハンドルの動き. 体育学研究, 65 : 643-657.
- 藤井範久・小山陽平・阿江通良 (2010) ハンマー投ターン局面におけるハンマーヘッド加速技術の研究—ハンマーヘッド加減速パターンの違いに着目して—. 体育学研究, 55 (1) : 17-32.
- 室伏重信 (1994) ハンマー投げ. ベースボール・マガジン社, pp. 27-50.