

## 2023 年日本選手権におけるマッカーサー選手のハンマー投げ動作の特徴

山本 大輔<sup>1)</sup> 前田 奎<sup>2)</sup> 矢野 正也<sup>3)</sup> 山下 直紀<sup>4)</sup> 瀧川 寛子<sup>5)</sup>

1) 天理大学 2) 京都先端科学大学 3) 天理大学大学院 4) 日本体育大学大学院 5) 中京大学

### 1. はじめに

女子ハンマー投は、グリップとワイヤーの先端に取り付けられた鉄球(合計4kg)を3~4回転のターン動作を用いて投げ出し、その距離を競う競技である。ジョイ・アイリス・マッカーサー選手は2023年シーズンにおいて、室伏由佳選手の持つ日本記録を19年ぶりに更新する69.89mを投てきし日本新記録を樹立した。同年に大阪のヤンマースタジアム長居にて開催された第107回日本陸上競技選手権大会においても、初優勝を果たした。そこで本稿では、マッカーサー選手のハンマー投における動作パラメータを分析し、指導現場や競技力向上に資する知見となることを期待し、その結果を提供することとした。

### 2. 方法

#### 2.1. 分析試技と撮影方法

本研究では、第107回日本陸上競技選手権大会(ヤンマースタジアム長居,大阪)における女子ハンマー投種目で優勝を果たしたジョイ・アイリス・マッカーサー選手の投てき動作を分析の対象とした。分析対象試技は、優勝記録である63.31mを記録した1投目の投てき動作とした。

分析対象試技をサークルの後方および側方のスタンド上段に設置した2台のデジタルビデオカメラ(FDR-AX55, SONY)を用いて、フレームレート120fps, シャッタースピード1/1000sで撮影した。また、投てき方向4m×横方向4m×高さ2.45mの画角を設定し、あらかじめ較正点間が分かっているキャリブレーションポールを9ヶ所に垂直に立てて撮影した。なお、本研究における撮影は日本陸上競技連盟科学委員会投てき班の活動の一環として行われたものである。

#### 2.2. 分析方法と算出項目

撮影によって得られた試技の映像をもとに、身体分析点20点およびハンマーヘッドの計21点を動作解析ソフト(Frame-DIAS VI, Q' sfix)を用いて120fpsでデジタイズし、3次元座標値を取得した。また両肩関節中心および両股関節中心は、肩関節および股関節の中心として算出した。得られた3次元座標値は、4次のButter-Worth Digital Filterにより最適遮断周波数(8.40-12.96Hz)で平滑化し分析に用いた。なお、本研究における較正点の実測値と計算値との平均誤差範囲は、投てき方向に対して左右方向(静止座標系におけるx軸)が5mm, 投てき方向(y軸)が9mm, 鉛直方向(z軸)が7mmであった。本研究ではマッカーサー選手の投てき動作の特徴を明らかにするために以下の項目について算出した。

- 1) 初期条件: リリース(Rel)時の各軸方向および合成のハンマーヘッド速度(m/s), 投射角(deg), 投射高(m)とした。
- 2) ハンマーヘッド速度(m/s): ハンマーヘッド中心の変位を時間微分して求めた。
- 3) ハンマーヘッドの法線加速度(m/s<sup>2</sup>): ハンマーヘッドを原点とし、接線方向と法線方向および接線と法線に直角な方向となるような運動座標系を定義し、法線方向の加速度を算出した。
- 4) ハンマーヘッドの遠心力(N): 曲率半径rを式(1)によって算出し、遠心力Fを式(2)から求めた。

$$r = \frac{v^2}{a} \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

$$F = \frac{mv^2}{r} \quad \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

ここでaはハンマーヘッドの法線加速度, mは質量(4kg), Vは接線速度(合成速度)を指している。

- 5) 各局面の動作時間(s): フレーム数をもとに算

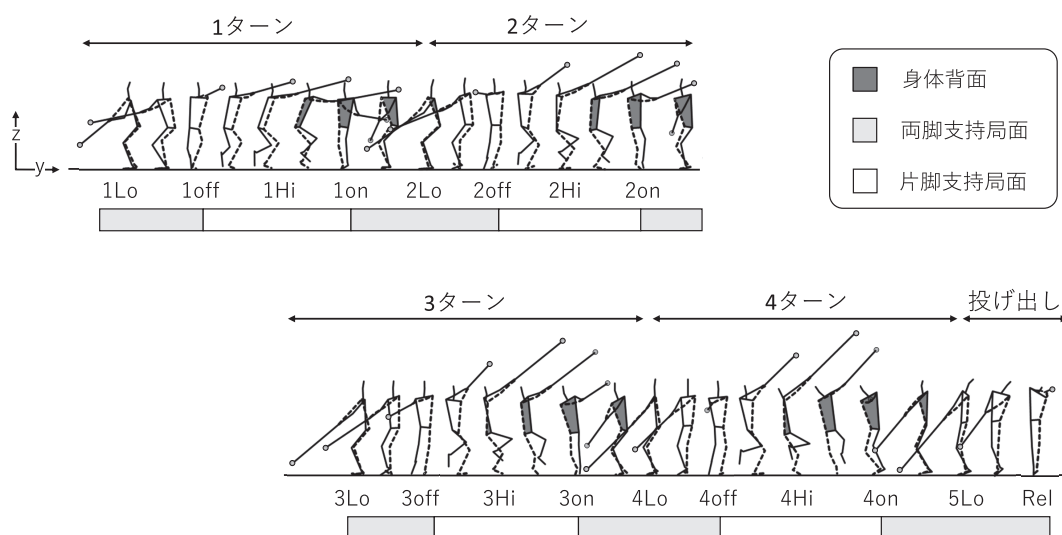


図1 ハンマー投げにおける各時点と局面の定義

表1 投てき記録と初期条件

投てき記録 (m)	ハンマーヘッド速度 (m/s)				投射角 (deg.)	投射高 (m)
	x	y	z	初速度		
63.31	-0.52	18.22	17.83	25.50	44.4	1.45

出した。

- 6) 各局面のハンマーヘッド移動距離 (m) : ハンマーヘッド中心の変位を累積して求めた。
- 7) ハンマーヘッドおよび身体重心の軌跡 : ハンマーヘッドおよび身体重心の変位を xy 平面に投影した。

### 2.3. 局面定義

本研究では、分析にあたりハンマー投の投てき動作を以下のように分けた(図1)。各ターンにおいて、右足が接地した時点を on, 右足が離地した時点を off, ハンマーヘッドが最も低い時点を Lo, および最も高い時点を Hi とした。なお、各時点の略字の前にターン数を振って時点名とした。また、Rel はハンマーグリップが両手から離れた時点とした。動作時間およびハンマーヘッド移動距離については、両脚支持局面、片脚支持局面、各ターン、および投げ出し局面の局面毎と動作全体についてそれぞれ算出した。

### 3. 結果および考察

陸上競技における他の投てき種目と同様に、ハンマー投げにおいても投てき記録に影響を及ぼす重要な要因として初期条件があげられる。室伏ほか(1982)は、初速度・投射角・投射高のいずれか

をある一定の比率だけ変化させたときの投てき記録の増減の程度は、初速度が最も影響が大きく、最も影響が小さかった因子は投射高であることを報告している。多くの先行研究においても、初速度と投てき記録との間には有意な正の相関関係が認められている(室伏, 1982; 坂東ほか, 2006; 藤井ほか, 2010; 林, 2015)。林(2015)は、日本における女子ハンマー投選手(記録: 45.19 ~ 62.98m)を対象に初期条件について検討したところ、初速度はおよそ 19 ~ 26m/s の範囲に分布し投てき記録との間に有意な正の相関関係が認められたのに対し、投射角についてはおよそ 36.1 ~ 42.1deg. の範囲に分布し投てき記録との間には有意な相関関係が認められなかったことを報告している。

マッカーサー選手の初期条件についてみると(表1)、初速度は 25.50m/s、投射角は 44.4deg. と林(2015)の報告と類似した値を示していた。

図2に投てき動作中のハンマーヘッド速度と法線加速度および遠心力の変化を示した。ハンマーヘッド速度は、投てき動作開始時から増減を繰り返しながらリリースに向かって徐々に増加する変化を示していた。坂東ほか(2006)は、投てき記録の高い選手ほど各ターンの加速局面における法線加速度および法線加速度の発揮速度が高く、回転の中心方向に積極的にヘッドを引くことにより大きな法線加速度が発揮され曲率半径が短くなることで、結果的に接

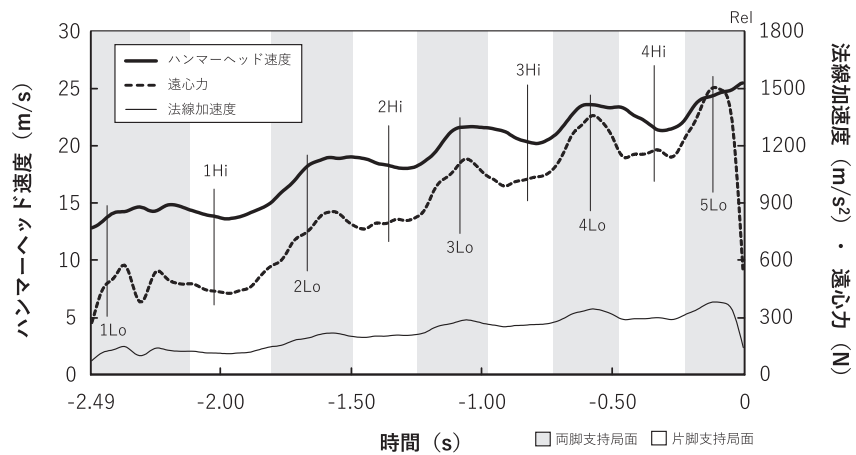


図2 ハンマーヘッド速度と遠心力の変化

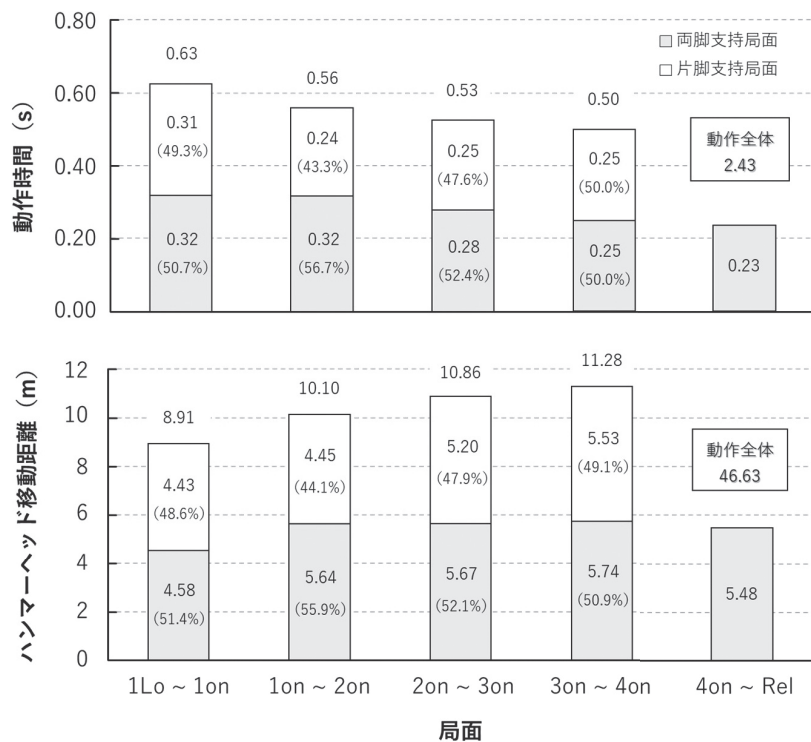


図3 各局面における動作時間とハンマーヘッド移動距離

線方向の速度が高まる可能性について示唆している。法線加速度についてみると、主に両脚支持局面前半で増加しており、同局面においてハンマーヘッド速度の急激な増加がみられた。また、各ターンにおいて法線加速度が最も大きくなるのはおよそLo付近であり、各ターンの遠心力もLo付近で大きくなっていった。最大遠心力は5Loの投げ出し局面中盤でみられ、その値は1506N (153.6kgw) に達していた。太田と室伏 (2010) は国際大会の上位進出者ではワイヤー部分に3000N以上の張力が作用し、それにともないほぼ同じ大きさの床反力が両足に作用すると報告しており、リリース直前では非常に大きな力に抗して投動作を遂行する必要があることが分かる。

各局面における動作時間は、投てき動作が進むにつれて徐々に減少していた (図3)。片脚支持局面の動作時間は2ターン目以降ほとんど減少していなかったが、両脚支持局面については徐々に減少していた。そのため、各ターンにおける両脚支持局面が占める割合についても徐々に減少していたことが分かった。このことから、ターン動作が進むにつれてより短い両脚支持時間でハンマーヘッドを加速させる必要があることがみてとれる。一方、各局面のハンマーヘッドの移動距離は投てき動作が進むにつれて増加しており、動作全体での累積移動距離は46.63mにも上っていた。また、片脚支持および両脚支持局面における移動距離の割合は動作時間と同程度で推移していた。室伏ほか (1982) は男子選手

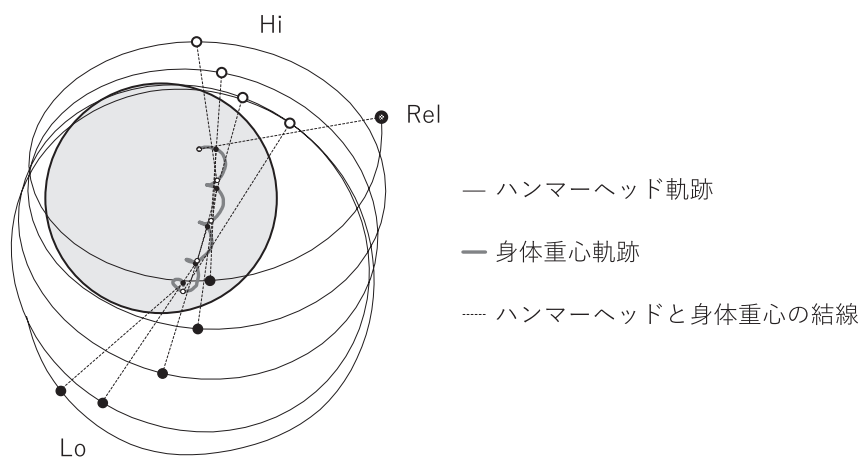


図4 xy平面におけるハンマーヘッドと身体重心の軌跡

2名を比較した研究において、ターン中のハンマーの移動距離は同程度である一方、記録の高い選手は投げ出し局面に入るまでの両脚および片脚支持局面の動作時間が短かったことを報告している。これらのことから、ハンマーヘッドを加速させるために重要な両脚支持局面では投てき動作が進むにつれてより短時間に大きな遠心力に抗して投てき動作を遂行する必要があり、高度な技術および体力を要すると考えられる。

最後にハンマーヘッドおよび身体重心の軌道とLoおよびHiポイントの位置に着目する(図4)。ハンマーヘッドの軌道面は地面に対して傾斜しており、ハンマーヘッドはLoからHiにかけて上昇し、HiからLoにかけて下降している。そのため、LoおよびHi付近ではハンマーヘッドは地面に対してより平行に運動し、LoとHiの間地点では地面に対してより傾斜して運動することになる。そのため、ハンマー投における投射角はリリース時の上述のようなLoからHiにかけてのリリース位置と軌道面自体の傾きの大きさによって決まる(池上ほか, 1994)。軌道面の傾きが大きくなりすぎると、Loでハンマーが地面と接触してしまう恐れがあるため、軌道面の傾きは自ずと身長によって制限される。林(2015)によると、女子選手では投射角と選手の身長との間に競技レベルが高い選手で相関がみられ、身長が高いほど投射角は大きい傾向にあることを報告している。そのため、それぞれの選手に応じた投射角を確保するためには、軌道上のLoおよびリリース位置が重要となると考えられる。また、藤井ほか(2010)は、肩関節中点をハンマーヘッドからハンドルに向かう方向より左肩から右肩に向かう方向寄り(身体右後方)に移動させるような力を体幹や下肢で発揮することによって、ハンドルをより大きく先行させてハンマーヘッドの加速量を大きくするこ

とができると報告している。このいわゆる”後方への倒れ込み動作”は投てき方向へ推進しながらLo付近で行われるため、ハンマーヘッドの加速という点においてもLoポイントは大変重要な要因であるといえる。指導現場においても、Loポイントが投てき者に対して左方向に移動しすぎることには注意が払われることがよくある。Loポイントが投てき者に対して左方向へ移動しすぎてしまうと、投てき方向へ推進しながら倒れ込みを利用したハンマーヘッドの加速動作を十分に利用できず、加えてリリースでは適切な投射角が確保できなくなってしまう。この点について、マッカーサー選手のLoポイントは池上ほか(1994)が報告した世界一流選手と類似した位置にあり、ハンマーヘッドを加速させるとともに適切な投射角を確保し投げ出していたと考えられる。

#### 4. まとめ

本稿では第107回日本陸上競技選手権大会の女子ハンマー投種目において優勝したジョイ・アイリス・マッカーサー選手のハンマー投における動作パラメータを分析し提示してきた。投てき動作中、ハンマーヘッドは主に両脚支持局面前半において加速しながらリリースに向かって徐々に速度を増大していた。両脚支持局面の動作時間は投てき動作が進むにつれて減少していき、またリリース直前の投げ出し局面でハンマーヘッドに加わる遠心力は最大で1506Nに達していたことから、短い動作時間で大きな遠心力に抗してハンマーヘッドの加速動作を行い、高い初速度を獲得していたと考えられる。さらにLoの位置も先行研究と類似した場所に位置しており、適切にハンマーヘッドを加速させるとともに、投射角を確保し投げ出していたと考えられる。

## 5. 引用文献

- 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, 505-514.
- 藤井範久, 小山陽平, 阿江通良 (2010) ハンマー投ターンの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, 17 - 32.
- 林 忠男 (2015) ハンマー投げ競技における投射角と選手の身長に関する研究. 日本体育大学紀要, 45(1), 53-60.
- 池上康男, 桜井伸二, 岡本 敦, 植屋清見, 中村和彦 (1994) ハンマー投のバイオメカニクスの分析. 陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編, 世界一流陸上競技者の技術, ベースボール・マガジン社: 240-256.
- 室伏重信, 斉藤昌久, 湯浅景元 (1982) ハンマー投げのバイオメカニクスの研究: 投射時におけるハンマー頭部の初速度・投射角・投射高が飛距離に及ぼす影響. 中京体育学研究, 23(1), 38-43.
- 太田 憲, 室伏広治 (2010) ハンマー投の力学と新しいトレーニング方法の開発. 日本機械学会誌, 113, 109-112.