

ハンマー投におけるハンドル先行距離の獲得と身体重心の動き

藤井 宏明

福山平成大学 福祉健康学部
(健康スポーツ科学科)

E-mail : hiro.fujii@heisei-u.ac.jp

【要旨】

本研究の目的は、ハンマー投におけるハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離の獲得と身体重心の移動との関係性を明らかにすることを目的とした。対象者はハンマー投を専門とする男子競技者44名（投擲記録：80.50–44.17m）とし、競技会または競技会と同様の条件下での実験試技において全力で正規重量のハンマーを用いた投てき動作（4回転投法）を対象にした。ハイスピードカメラを2–3台用いて3次元動作分析を行い、静止座標系における身体重心速度、回転座標系におけるハンドルの速度と身体重心速度を算出した。その結果、(1) 回転座標系における法線方向の身体重心速度は各ターンの両脚支持期（DSP）で正の値を示した。このことから、DSPにおける身体重心の移動はハンドル先行距離を増加させ、ハンマーヘッドスピード増加に貢献することが明らかとなった。(2) DSPにおいて投擲方向への重心移動および鉛直上方への重心移動を行うことで、回転座標系における法線方向の正の身体重心速度を生成していたことが明らかとなった。さらに、投擲記録の高い競技者ほど、DSPにおける投擲方向および鉛直方向への身体重心速度が高かったことから、競技者のパフォーマンス向上のためには、身体重心を素早く投擲方向および鉛直方向へ移動させる能力・技術が必要となると考えられる。

KEY WORDS : ハンマー投, ハンマーヘッド加速, 身体重心速度

I. 緒言

ハンマー投においては、リリース時におけるハンマーヘッドスピード（以下、初速度）が投擲距離の最大決定要因である（池上ほか，1994；室伏ほか，1982）。初速度を高めるために、競技者はターン動作を用いてハンマーヘッドを加速させていく。ターン動作中においてハンマーヘッドを加速させる身体特性として、室伏（1994）は「身体の捻り」、「身体の移動」、「倒れ込み」、「地面に反発しやすい姿勢をつくること」を挙げている。指導現場においては「身体の移動」に関して、「身体重心の移動」と表現することがある。桜井ら（2004）や梅垣ほか（2012）のように、ハンマーと身体重心を単純な質点の2体運動としてとらえ、ハンマーヘッドの加速について検討した研究もみられる。このように、ハンマーヘッド加速について身体重心の動きから議論することは、複雑な動きを要するターン動作中のハンマーヘッド加速理論を競技者にとって理解しやすく、指導に活かすものにできると考えられる。

ハンマーヘッドスピードを増加させるためには、ハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分よりもハンドルを先行（ハンドル先行距離を獲得）しなければならないことが明らかにされている（藤井ほか，2010）。藤井ほか（2019）は、ターン動作中におけるハンドル先行距離の増減とハンマー回転座標系における瞬間回転中心方向（法線方向）のハンドル速度の増減パターンが一致することを明らかにした。すなわち、法線方向のハンドル速度が正の値を示すタイミングは、ハンドル先行距離が正の値を示す（ハンマーヘッドと瞬間回転中心を結ぶ線分よりもハンドルが先行している）ということである。これらのことから、瞬間回転中心方向（法線方向）へハンドルを牽引する動き（法線方向の身体各部位の速度が正になること）はハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離の増加を導き、ターン動作中のハンマーヘッドスピードを増加させるといえよう。さらに、藤井ほか（2020）は、法線方向のハンドル速度の増加に回転座標系における法線方向の両股関節中点速度が貢献していたこと、すなわち、身体の並進移動がハンドル先行距離獲得に影響したことを明らかにした。しかしながら、身体重心の動きとハンドル先行距離の獲得との関係性について検討している研究は存在しない。

本研究の目的は、ハンマー投におけるハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離の獲得と身体重心の動きとの関係性を明らかにすることを目的とする。

この課題を明らかにすることで、ハンマーヘッド加速時における身体重心移動の役割および技術的ポイントを明らかにすることができ、ハンマー投競技者の技術指導における一知見を提供することができると考えられる。

II 方法

1. 対象者およびデータ収集

対象者は、ハンマー投を専門とする男子競技者44名（投擲記録：80.50–44.17m 4回転投法）であった。分析対象者には、世界選手権大会優勝者やオリンピック優勝者などの世界一流競技者、日本選手権大会上位入賞者や日本学生選手権大会優勝者などの日本一流競技者や日本学生一流競技者が含まれていた。投擲動作は、2007年度から2015年度の競技会、競技会と同様の条件下での実験試技において、全力で正規重量のハンマーを用いた投擲を3～6投行った試技である。なお、競技会においては、競技会主催者から許可を得た上で撮影を行った。本研究で用いたVTR画像の一部は（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も含まれている。また、実験試技に関しては対象者に研究目的、実験内容や起こりうる危険性などを書面および口頭で十分に説明し、安全面に十分配慮し遂行することを条件に実験参加への同意を得た。投擲試技の撮影には、ハイスピードカメラ（HSV-500C³、撮影スピード毎秒250コマ、露出時間1/2000秒、NAC社製、Exlim EX-F1、撮影スピード毎秒299.7コマ、露出時間1/2000、CASIO社製）を2～3台用いた。なお、対象者における最も記録の良い試技を分析試技とした。

VTR画像をFrame DIASIV（DKH社製）を用いて1コマおきに手動デジタイズし、身体分析点23点およびハンマーヘッド1点の2次元座標値を得た。キャリブレーションボールの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。また、撮影を複数回分けて行っており、身体分析点の3次元座標値算出における標準誤差の最小値と最大値はX軸：0.005m–0.009m、Y軸：0.007m–0.009m、Z：0.007m–0.011mであった。そして、分析点の座標成分ごとの最適遮断周波数（4.6–7.8Hz）を決定し（Winter, 2004）、Butterworth low-pass digital filterを用いて平滑化を行った。なお、左利き競技者（上方から

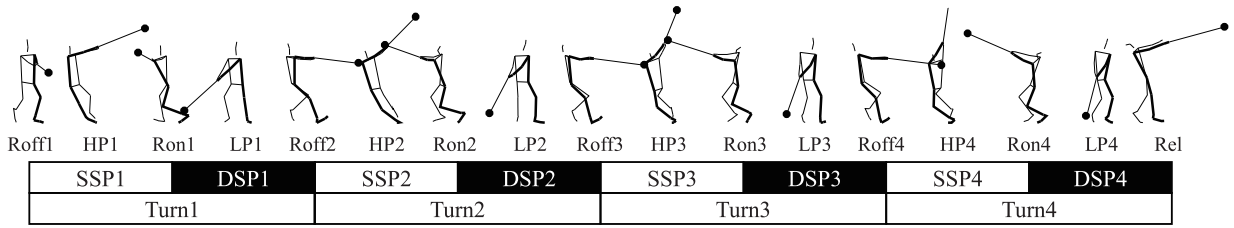


図1 局面定義

みて時計回りへ回転する対象者)については、対象者の各分析点のX座標値に-1を乗じることで、上方からみて反時計回りに回転する対象者として扱った。

2. 算出項目

2.1 分析区間および動作区分点

本研究では、スイング終了地点(右足離地)からハンマーが手から離れた時点(リリース時点)までをターン動作局面と定義し、分析対象区間とした(図1)。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。片脚支持局面(Single Support Phase, 以下SSPと略す)は右足が離地してから接地するまでの局面、両脚支持局面(Double Support Phase, 以下DSPと略す)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、ハンマーヘッドの鉛直座標値が極大となる4回の時点(High point)をHP1, HP2, HP3, HP4とし、ハイポイント後にハンマーヘッドの鉛直座標値が極小となる4回の時点(Low point)をLP1, LP2, LP3, LP4と定義した。

2.2 回転平面座標系, ハンドル速度の算出

ハンマー瞬間回転中心(以下瞬間回転中心と略す)およびハンドル先行距離の算出には、藤井ほか(2008)の算出方法を用いた。左手第3指の中手指節関節の座標値をハンドルとワイヤーの接続部(以下ハンドルと略す)の座標値と仮定し、撮影した各フレームの対象とする時点およびその前後の時点のハンドルおよびハンマーヘッドとの距離の2乗和が最小となる平面(以下ハンマー回転平面と略す)を算出した。次に、撮影した各フレームの対象とする時点で、ハンマー回転平面内における瞬間回転中心座標値(ハンマー回転平面内の2成分)と瞬間回転中心回りのハンマーヘッドの回転角速度(1成分)を未知数とし、瞬間回転中心からハンマーヘッドおよびハンドルへ向かうベクトルと瞬間回転中心回りの角速度ベクトルとの外積により計算上のハンマーヘッドお

よびハンドル速度ベクトルの算出式を導出し、さらに実測したハンマーヘッドおよびハンドル速度ベクトルとの差分ベクトルの大きさの2乗和が最小となる点を瞬間回転中心座標値として算出した。なお、瞬間回転中心を算出する際には、手動デジタイズによる誤差を低減するため、坂東ほか(2006)と同様に、ハンドル速度ベクトルおよびハンマーヘッド速度ベクトルに対して再度平滑化したデータを用いた(遮断周波数6.25-7.50Hz)。そして、ハンマーヘッドを原点として、ハンマーヘッド速度ベクトルの方向を X_{icr} (接線方向)、ハンマーヘッドから瞬間回転中心に向かう方向を Y_{icr} (法線方向)、 X_{icr} と Y_{icr} に直交する方向を Z_{icr} とする移動座標系(回転座標系, 図2)を設定した。

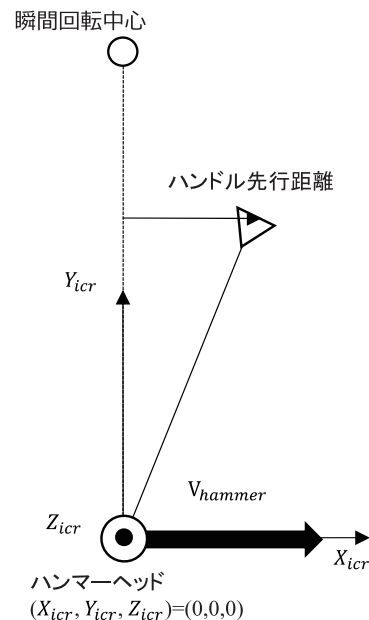


図2 回転座標系の定義およびハンドル先行距離

また、回転座標系へハンドル速度ベクトルを投影することで、回転座標系におけるハンドル速度(接線方向成分:ハンドル接線速度, 法線方向成分:ハンドル法線速度)を算出した(藤井ほか, 2019)。

2.3 回転座標系における身体重心の算出

2.3.1 身体重心

身体の3次元座標値から、阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いて静止座標系における身体重心の座標値を算出した。また、DSPにおける静止座標系X、Y、Z方向の身体重心移動距離を算出した。

身体重心の3次元座標値を座標成分ごとに時間微分することで、静止座標系における身体重心速度を算出した。また、静止座標系X、Y、Z方向の身体重心速度最大値および最小値、Ron、RoffおよびRelにおける身体重心速度、DSPにおける静止座標系X方向の身体重心速度減少量、DSPにおける静止座標系Y、Z方向の身体重心速度増加量を算出した。

さらに、回転座標系に静止座標系における身体重心速度を投影することで、回転座標系における身体重心速度を算出した。

2.4 時間の規格化

時系列データについては、1ターンにおける4局面(Roff-HP, HP-Ron, Ron-LP, LP-Roff)それぞれの時間を25%とし1ターンを100%と定義した。さらに、4回転の分析区間の時間を、3次元スプライン関数を用いた内挿補間により時間の規格化(400%)を行った。

2.5 統計処理

本研究では、投擲記録と身体重心速度との関係性を検

討するため、ピアソンの積率相関係数を算出した。なお、危険率は5%とした。

III 結果

3.1 回転座標系における法線方向のハンドル速度と法線方向の身体重心速度

図3に回転座標系における法線方向のハンドル速度と身体重心速度を示した。法線方向のハンドル速度は、各ターンのHP-Roffで正の値を示した。一方、法線方向の身体重心速度は、Ron-Roff(DSP)で正の値を示した。

3.2 静止座標系の身体重心速度

図4に静止座標系の身体重心速度を示した。静止座標系X方向における身体重心速度は、Ron付近では正の値、その後Roffまでに負の値を示した(図4a)。静止座標系Y方向における身体重心速度は、HP-Roffで正の値を示した(図4b)。静止座標系Z方向における身体重心速度は、Ron-Roff(DSP)で正の値を示した(図4c)。

3.3 回転座標系における静止座標系の身体重心速度XYZ成分の内訳

図5に回転座標系の法線方向における静止座標系XYZ成分の身体重心速度の内訳を示した。法線方向における静止座標系X方向の身体重心速度は、各ターンのRon付近で正、LP付近で負、LP-Roffにおいて正の値を示した(図5a)。法線方向における静止座標系Y方向の身体重心速度は、各ターンのDSPで正の値を示した(図5b)。

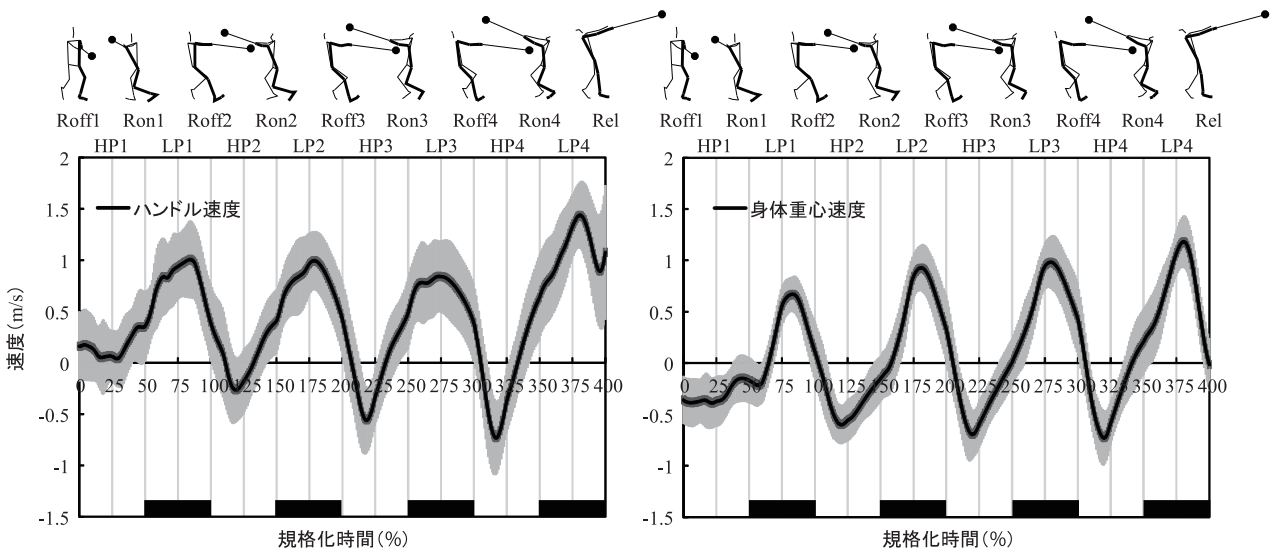


図3 回転座標系における法線方向のハンドル速度と法線方向の身体重心速度

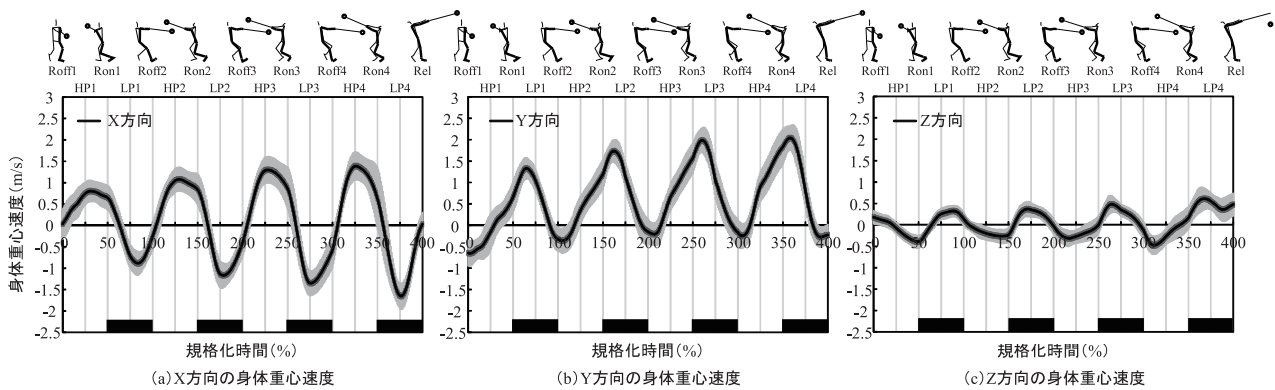


図4 静止座標系における身体重視速度

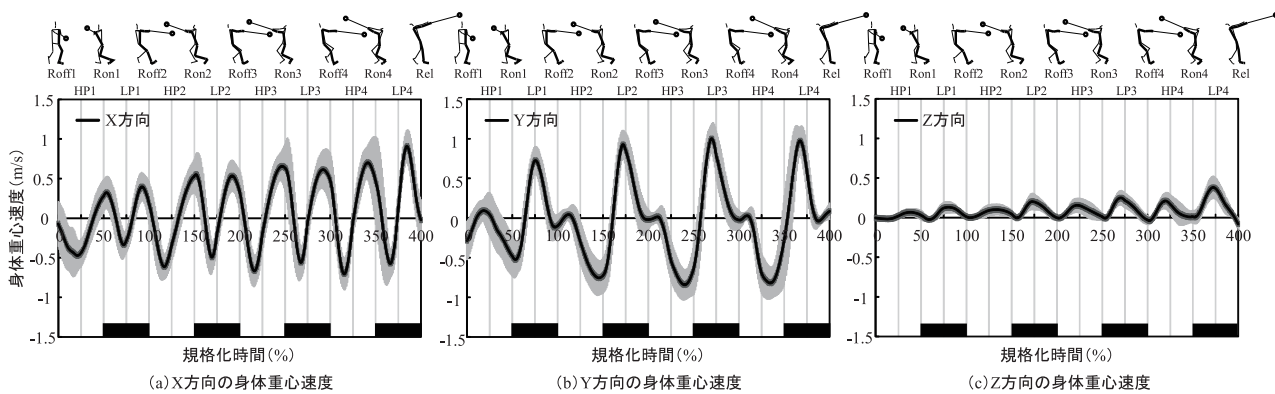


図5 回転座標系における静止座標系X方向, Y方向およびZ方向の身体重心速度

法線方向における静止座標系Z方向の身体重心速度は、各ターンのSSPとDSPで正の値を示し、2峰性を示した(図5c)。

係がみられた。投擲記録と静止座標系Y方向における全てのDSPの身体重心速度増加量との間に正の相関関係が

3.4 投擲記録と静止座標系における身体重心速度との関係性

表1に各ターンにおける投擲記録と静止座標系における身体重心速度の最大値, 最小値およびRon, RoffおよびRel時の身体重心速度との関係性について示した。最大値について、投擲記録とTurn1, Turn2およびTurn3におけるY方向の身体重心速度最大値, 投擲記録とTurn2およびTurn3におけるZ方向の身体重心速度最大値との間に正の相関関係がみられた。また、投擲記録と各ターンのRon時におけるX方向の身体重心速度との間に正の相関関係, 投擲記録とRon1, Ron2およびRon3におけるY方向の身体重心速度との間に負の相関関係がみられた。加えて、Roff時においては、X方向との間に負の相関関係, Y方向とは正の相関関係, Z方向とは負の関係性がみられた。

投擲記録と静止座標系X方向におけるDSP1, DSP2およびDSP3の身体重心速度増加量との間に、負の相関関

表1 投擲記録と静止座標系におけるDSPの身体重心速度との関係性

		X	Y	Z
最大値	Turn1	0.260	0.486 *	0.290
	Turn2	0.118	0.426 *	0.546 *
	Turn3	0.271	0.243	0.616 *
	Turn4	0.364 *	0.441 *	0.229
最小値	Turn1	0.055	0.366 *	-0.159
	Turn2	0.112	0.235	-0.265
	Turn3	0.025	0.105	-0.323 *
	Turn4	-0.311 *	0.249	-0.234
右足接地時	Ron1	0.471 *	-0.570 *	-0.027
	Ron2	0.558 *	-0.414 *	-0.027
	Ron3	0.39 *	-0.391 *	-0.049
	Ron4	0.311 *	-0.195	-0.138
右足離地時	Roff1	-0.248	0.404 *	-0.339 *
	Roff2	-0.572 *	0.609 *	-0.329 *
	Roff3	-0.478 *	0.520 *	-0.335 *
	Roff4	-0.347 *	0.440 *	-0.157
リリース時	Rel	-0.269		
減少量	DSP1	-0.290		
	DSP2	-0.366 *		
	DSP3	-0.322 *		
	DSP4	-0.389 *		
増加量	DSP1	-0.549 *	0.746 *	0.111
	DSP2	-0.504 *	0.612 *	0.47 *
	DSP3	-0.331 *	0.487 *	0.525 *
	DSP4	0.05	0.459 *	0.279

*:危険率5%以下で有意水準の設定。

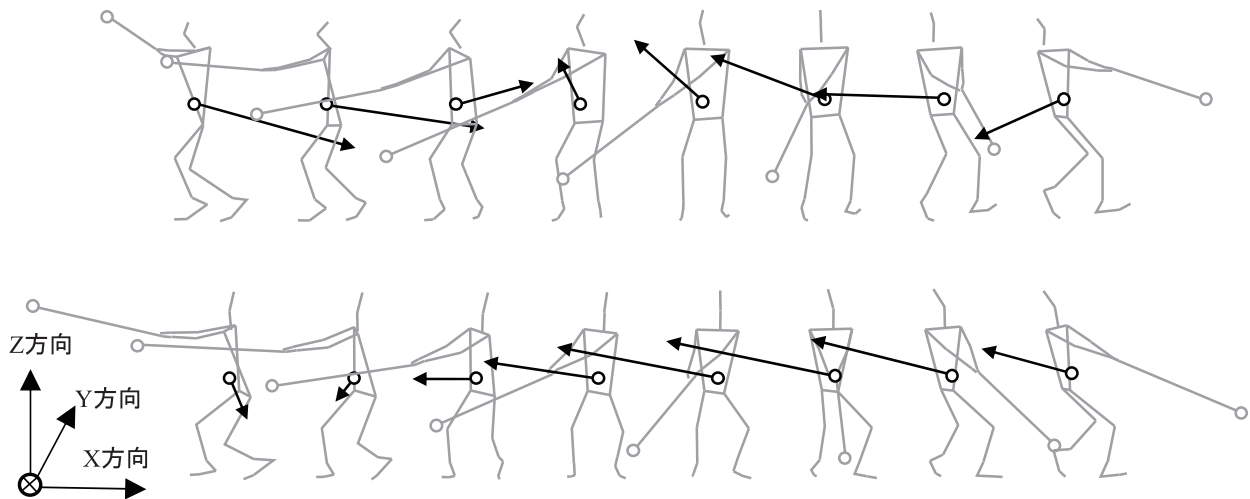


図6 DSP2における記録上位（上）と記録下位者（下）の身体重心速度ベクトルの変化

みられた。投擲記録と静止座標系Z方向におけるDSP2およびDSP3の身体重心速度増加量との間に、正の相関関係がみられた。

IV 考察

4.1 身体重心の動きとハンマーヘッドスピード増加との関係性について

本研究の目的は、身体重心の動きとハンマーヘッドスピード増加との関係性を検討することであった。回転座標系における法線方向の身体重心速度は各ターンのDSPで正の値を示した（図3）。このことから、DSPにおける身体重心の移動はハンマーヘッドスピード増加に貢献することが明らかとなった。

回転座標系における法線方向の身体重心速度が各ターンのDSPで正の値を示したことは、瞬間回転中心方向へ競技者が身体重心を移動させることで、ハンドルを牽引していたことを示すものである。藤井ほか（2008）はハンドル先行距離が正の値を示すとき、ハンマーヘッドスピードが増加することを明らかにしている。さらに、藤井ほか（2019）は、ハンマーヘッドスピード増加に貢献するハンドル先行距離の増減は、回転座標系における法線方向のハンドル速度と一致したことを明らかにしている。すなわち、法線方向のハンドル速度が正の値を示すタイミングはハンドル先行距離が正の値を示すため、ハンマーヘッドスピードは増加する局面となる。これらのことから、瞬間回転中心方向へハンドルを牽引する動きはハンマーヘッドスピード増加に影響するハンドル先行距離の増加を導き、ターン動作中のハンマーヘッドスピードを増加させる。競技者は身体の回転運動および並

進運動によって、ターン動作中におけるハンマーヘッドスピードを増加させる（室伏，1994）。身体を身体重心として質点としてみなし、ハンマーと身体重心の2体運動として投擲動作を表現した場合、DSPにおける回転座標系の身体重心速度は法線方向の正の速度を生成していたことから、身体重心の動き（身体の並進運動）によってハンドルを牽引（ハンマーを牽引）していたとみなすことができる。これらのことから、身体重心を移動させることはハンドル先行距離の獲得に繋がり、結果としてハンマーヘッドスピード増加を導くと考えられる。

4.2 身体重心の動きとハンドル先行距離獲得との関係性

4.1において身体重心の動きは、ハンドル先行距離の獲得（瞬間回転中心方向のハンドル速度の獲得）に繋がることが示唆された。競技者は静止座標系（サークル上）においてどのように動くことによって回転座標系における瞬間回転中心方向（法線方向の正）の身体重心速度を獲得していたのだろうか。このことについて検討するために、静止座標系のXYZ方向それぞれの身体重心速度を回転座標系に投影し、静止座標系におけるどの方向の身体重心の動きによって回転座標系における法線方向の正の身体重心速度を生成しているのかを検討した。なお、本研究では回転座標系における法線方向の身体重心速度が正の値を示す局面は、ハンドル先行距離が獲得された局面として定義し議論することとした。

DSPにおけるX方向の身体重心速度に着目すると、Ron付近は正の値、その後負の値を示した（図4a）。このことから、競技者はDSP初期においてX方向へ身体重

心を移動させ、その後-X方向へ移動させていた(図6)。ハンマー投の指導書においては、ターン動作中における身体(重心)の移動がハンマーヘッド加速を促すと述べられている(室伏, 1994)。回転座標系における静止座標系X方向の身体重心速度によって獲得された法線方向の身体重心速度は、Ron付近およびDSP後半において正の値を示した(図5a)。このことは、図6の視点からみて、左右方向へ身体重心を移動させることが、法線方向の身体重心速度の獲得につながっており、このことがハンマーヘッドスピード増加に繋がっていたものと考えられる。

DSPにおける静止座標系Y方向の身体重心速度に着目すると、各ターンのDSPは正の値(投擲方向)を示した(図4b)。このことは、競技者はDSPに投擲方向へ身体を移動させていたことを示している。また、回転座標系における静止座標系Y方向の身体重心速度によって獲得された法線方向の身体重心速度は、DSPにおいて正の値を示した(図5b)。すなわち、競技者はY方向(投擲方向)への身体重心移動を行うことで、回転座標系における法線方向の正の身体重心速度を生成していたといえる。DSPにおいては、競技者はハンマーヘッドを加速させるために、身体の倒れ込み動作を行う(室伏, 1994)。身体の倒れ込み動作とは、ハンマーを加速させるために、ハンマーに対して身体全体を後方へ倒す動作である。ハンマーヘッドスピードの変化は、身体の体幹の捻りを戻しながら、倒れ込む動きを速めることによって高められる(室伏, 1994)。このことが、法線方向の正の身体重心速度を生じさせ、結果的に法線方向のハンドル速度(ハンドル先行距離)を増加させたことがハンマーヘッドスピード増加に繋がったと考えられる。

DSPにおける静止座標系Z方向の身体重心速度は正の値、すなわち競技者は身体重心を鉛直上方へ移動させていた(図4c)。また、回転座標系における静止座標系Z方向の身体重心速度によって獲得された法線方向の身体重心速度に着目すると、DSPで正の値を示していた(図4c)。すなわち、DSPにおける鉛直上方への身体重心の移動がハンドル先行距離獲得に繋がり、ハンマーヘッドスピード増加に影響していたといえる。各ターンのDSPにおいてはハンマーヘッドが鉛直下方へ移動する局面であり、競技者は左下肢関節の伸展動作によって身体を鉛直上方へ移動させる(藤井ほか, 2022)。競技者がDSPにおいて左下肢の伸展動作によって身体重心の鉛直上方への速度を獲得することは、ハンドルを牽引、つまり瞬

間回転中心方向(法線方向の正)のハンドル速度獲得に繋がりハンマーヘッドスピード増加に繋がると考えられる。また、SSPにおいても回転座標系における静止座標系Z方向の身体重心速度は正の値を示した(図5c)。一方、静止座標系Z方向の身体重心速度は負の値、すなわち競技者は身体重心を鉛直下方へ移動させていた(図4c)。SSPはハンマーヘッドが鉛直上方へ移動する局面である。SSPにおいて競技者は、左膝を抜くようにして(曲げるようにして)、脚の回転を高めることでSSPの所用時間を短くすることができるといわれている(金子, 1988)。また、世界記録保持者であるYury sedych選手は、ハンマーヘッドと腰の鉛直変位が逆位相となっていたことが報告されている(Otto, 1991)。これらのことから、競技者はSSPにおいても身体重心を鉛直下方へ移動させることで、ハンドルを牽引し、法線方向の正のハンドル速度を獲得していたと考えられる。なお、Muroshshi et al (2007)や梅垣ほか(2010)は、ハンマーの動きに同調しないように、競技者の周期的なタイミングをコントロールすることがハンマーヘッドの効果的な加速に繋がると述べている。本研究では、身体重心の動きとハンドル先行距離の獲得に着目し検討したが、ハンマーヘッドの上下方向への移動と反対方向へ身体を移動すること(ハンマーヘッドと身体の間調しない動き)が、ハンマーヘッドの加速に貢献していることが定量的に示すことができたと考えられる。

これらのことから、ハンマーヘッドスピードが増加する局面であるDSPにおいて、前半では静止座標系X軸正方向の身体重心速度の獲得、その後は静止座標系Y軸正方向の身体重心速度の獲得や鉛直方向正方向の身体重心速度の獲得がハンマーヘッドスピードの増加に貢献することが明らかになった。

4.3 投擲記録の高い競技者の身体重心速度の特徴

投擲記録の高い競技者ほど、ハンマーヘッド加速局面であるDSP開始時点であるRon時における静止座標系X方向の身体重心速度が高かった(表1)。投擲記録の高い競技者ほど、Ron時にハンマーヘッドが投擲方向へ向いていたことが報告されている(藤井ほか, 2021)。図6に示すように投擲記録の高い競技者ほど、Ron時のハンマーヘッド位置がY方向(投擲方向)よりであることから、結果的に身体重心速度は静止座標系Xの正の方向に向いていた。一方、そうでない競技者はRon時にハンマーヘッド位置が-X方向へ近づくため、身体重心速度

は静止座標系Xの負の方向に向いていた。したがって、投擲記録の高い競技者ほど、RonにおいてX方向の身体重心速度が大きかった（正の値を示していた）ことは、Ron時のハンマーヘッド位置の違いによるものであったと考えられる。

投擲記録の高い競技者ほど、DSPにおけるY方向の身体重心速度増加量が大きかった（表1）。すなわち、投擲記録の高い競技者ほど、Ron時からY方向へ身体重心を素早く投擲方向へ移動させることで、結果として法線方向の正のハンドル速度、すなわちハンドル先行距離を獲得していたといえよう。ハンマー投においては、競技者は投擲方向へ倒れ込むことや身体の移動を行うことでハンマーヘッドスピードを増加させる。太田と室伏（2010）は、パラメータ励振を上手に利用し、ハンマーヘッドを加速させるためには、ハンマーヘッドの位置がHPからLPへ向かう局面で、ハンマーヘッド速度と反対方向のハンドル部の加速力を加えるとよいとしている。これはDSPの前半（Ron-LP）に相当する。この局面において静止座標系Y方向の身体重心速度は正の値、すなわち投擲方向に身体重心は移動していた（図4b）。これらのことから、競技者はRonからLPにおいてハンマーヘッド速度と反対方向のハンドル部の加速力を加えるために、身体重心を投擲方向に移動させていたと考えられる。また、投擲記録の高い競技者はターン動作中におけるハンマーヘッドスピードが高く（坂東ほか、2006）、ターンの所用時間が短い（広瀬ほか、2016）ことから、そうでない競技者と比較して、より素早く身体重心を投擲方向へ移動させる能力・技術が必要になると考えられる。投擲記録の高い競技者ほど、DSP2およびDSP3の最大値およびDSP中のZ方向の身体重心速度増加量が大きかった（表1）。Ron-LPでは、ハンマーヘッドは上方から下方へ落下する。LPではハンマーヘッドは最も低く位置するため、ハンマーを牽引するためには、身体重心を上方へ移動することが求められる。投擲記録の高い競技者ほど、身体重心を素早く鉛直上方へ移動させ、ハンドルを牽引する能力・技術が高いといえよう。また、Roffにおいて投擲記録の高い競技者ほど、鉛直下方への身体重心下降速度が小さかった（表1）。ハンマーヘッドは、LPからHPにかけて鉛直上方へ移動する。上述したように、ハンマーヘッドと身体と同調しない動きを行うためには、LP-Roffで身体重心は鉛直下方へ移動すべきである。一方、Roffの時点で正の値を示した場合は、ハンマーヘッドと身体は同調したことを示すこととなる。この

ことから、Roffにおいて鉛直下方への身体重心速度を生成することは、ハンマーヘッドと身体と同調しない動きに繋がり、結果としてHP地点においてハンマーにぶら下がることで、ハンマーヘッド加速に貢献する動きを促すものとなると考えられる。したがって、投擲記録の高い競技者ほど、ハンマーヘッドと身体と同調しない動きを行うことができ、SSPにおけるハンマーヘッド減速を少なくできるものと推察される。

V 結論

本研究の目的は、身体重心の動きとハンマーヘッドスピード増加との関係性を検討することであった。主な結果は以下の通りである。

- (1) 回転座標系における法線方向の身体重心速度は各ターンのDSPで正の値を示した。このことから、DSPにおける身体重心の移動は、ハンドル先行距離を増加させ、ハンマーヘッドスピード増加に貢献する。
- (2) 競技者は投擲方向への重心移動および鉛直上方への重心移動を行うことで、DSPにおける法線方向の正の身体重心速度を生成していた。

DSPにおいて、競技者はおもに投擲方向および鉛直方向に身体重心を移動させることでハンマーヘッド加速を行っていた。また、投擲記録の高い競技者ほど、DSPにおける投擲方向および鉛直方向への身体重心速度が高かったことから、競技者のパフォーマンス向上のためには、身体重心を素早く投擲方向および鉛直方向へ移動させる能力・技術が必要となると考えられる。

文献

- 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.
- 阿江通良（1996）日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. Japanese Journal of Sports Science, 15: 155-162.
- 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.
- 藤井範久・小山陽平・阿江通良（2008）ハンマー投げ

- におけるハンマーヘッド加速に関する研究—力学的観点からの再検討—。バイオメカニクス研究, 12 (4) : 230-242.
- 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.
- 藤井宏明・大山卞圭悟・藤井範久 (2019) ハンマー投ターン動作中におけるハンマーヘッドスピード増加に貢献するハンドル先行距離獲得のためのハンドルの動き。バイオメカニクス研究, 23 (3) : 110-119.
- 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.
- 藤井宏明・大山卞圭悟・藤井範久 (2021) 記録水準の異なるハンマー投競技者のターン動作におけるハンマーヘッド加速動作のキネマティクス分析。体育学研究, 66 : 219-237.
- 藤井宏明・大山卞圭悟・藤井範久 (2022) 投擲記録とハンマー投競技者のターン動作における下肢動作のキネマティクス変数との関係性。陸上競技学会誌, 19-29.
- 広瀬健一・大山卞圭悟・前田奎・梶谷亮輔・山元康平・中野美沙・木越清信・尾縣貢 (2016) ハンマー投のターン動作と投てき記録との関係。陸上競技研究, 105 : 24-29.
- 池上康男・櫻井伸二・岡本敦・植屋清美・中村和彦 (1994) ハンマー投のバイオメカニクスの研究。日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編, 世界一流競技者の技術, 第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス班報告書。ベースボール・マガジン社, pp.240-256.
- 金子今朝秋 (1988) 陸上競技指導教本。大修館書店, pp.239-241.
- Murofushi K., Sakurai S., Umegaki K., and Takamtsu J. (2007) Hammer acceleration due to thrower and hammer movement patterns. Sports Biomechanics 6 (3) : 301-314.
- 室伏重信 (1994) ハンマー投げ。ベースボール・マガジン社, pp. 27-47.
- 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, 21 (3) : 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 (1095), 109-112.
- 岡本敦・櫻井伸二・池上康男 (2006) ハンマー投の科学。陸上競技学会誌, 12 : 105-111.
- Otto,R.M. (1991) A kinematic analysis of Yuriy Sedikh's world record hammer throw. Modern Athlete and Coach, 29: 3-7.
- 櫻井伸二 (2004) ハンマー投。スポーツバイオメカニクス。深代千之ほか編, 朝倉書店, pp.36-38.
- 梅垣浩二・室伏広治・藤井宏明・櫻井伸二・田内健二 (2010) 世界陸上大阪大会の男・女ハンマー投上位8名のバイオメカニクスの特徴。日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班編, 世界一流競技者のパフォーマンスと技術, 第11回世界陸上競技選手権大阪大会, 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書。日本陸上競技連盟, pp.201-211.
- 梅垣浩二・室伏広治・太田憲・櫻井伸二 (2012) ハンマー投における身体重心：ハンマー間の相対運動。日本機械学会ジョイント・シンポジウム2012講演論文集, 265-270.
- Winter, D. A. (2004) Biomechanics and Motor Control of Human Movement (third edition). John Wiley and Sons, pp.49-50.

Acquisition of the handle leading distance and movement of body's center of gravity in hammer throw

Hiroaki Fujii

Department of Health and Sports Science,
Faculty of Welfare and Health Science,
Fukuyama Heisei University

Abstract

The purpose of this study was to clarify the relationship between the handle leading distance, which affects hammer head speed increase, and movement of body center of gravity during the turn phase. Forty-four male throwers (throwing record, 80.50-44.17 m) participated in the study as subjects. Their throwing motions were videotaped on high-speed VTR cameras (250-299.7 fps), and three-dimensional motion analysis was performed using a DLT method. The kinematic parameters of the hammer head and body's center of gravity in global coordinate system and rotating coordinate system were calculated. The fundamental factors were as follows: (1) Velocity of body's center of gravity in the normal direction in a rotating coordinate system was positive value during Double Support phase (DSP). Therefore, it was clarified that the movement of the body's center of gravity in DSP increases the handle leading distance and contributes to the increase in hammer head speed. (2) It was clarified that by moving body's center of gravity in the throwing direction and the upward direction in DSP in the global coordinate system, a positive velocity of body's center of gravity in the rotating coordinate system was generated. Furthermore, the higher the throwing record, the higher the velocity of the body's center of gravity in the throwing direction and vertical direction in the DSP in the global coordinate system. To improve the athlete's performance, it is considered necessary to have the ability and technique to quickly move the body's center of gravity in the throwing direction and the vertical direction during DSP.

KEY WORDS : hammer throw, hammer head acceleration, body's center of gravity