

## ハンマー投における世界一流選手と日本一流選手のバイオメカニクスの分析

藤井宏明<sup>1)</sup> 大山卞圭悟<sup>2)</sup> 田内健二<sup>3)</sup> 持田尚<sup>4)</sup> 遠藤俊典<sup>2) 5)</sup> 末松大喜<sup>2)</sup> 大宮真一<sup>2)</sup>

1) 筑波大学大学院体育研究科 2) 筑波大学大学院人間総合科学研究科 3) 早稲田大学  
 4) (財)横浜市スポーツ医科学センター 5) 茨城県立医療大学

### I. はじめに

本報告では、セイコースーパー陸上2007ヨコハマにて行われた成年男子ハンマー投に出場した世界一流選手と国内一流選手の投動作について、バイオメカニクスの分析を行った結果を報告する。

### II. 方法

被験者は、セイコースーパー陸上2007ヨコハマに出場した成年男子ハンマー投選手6名（自己記録69.02～86.73m）であった。試合中に各被験者が最も良い記録(65.85～77.55m)を示した試技を分析に用いた。なお、被験者は全て右利きの4回転投法であった。

動作の撮影には、高速度ビデオカメラ2台（HSV-500C3，撮影速度毎秒250フレーム，露出時間1/2000秒）を用いた。2方向のVTR画像上の身体分析点（23点）とハンマーヘッドについて、Frame Dias II (DKH社製)を用い、手動でデジタイズした。キャリブレーションポールの座標値を用い、3次元

DLT法により各分析点の3次元座標値を求めた。得られた座標データはButterworth digital filterを用いて平滑化した。また、サークルの中心に右手固定座標系を設定し、X方向を投擲方向に対して左右を横切る方向、Y方向を投擲方向、Z方向を鉛直方向とした。分析範囲および局面定義を図1に示した。分析範囲は、スイングからターンへ移行する際、右足が地面から離れる時刻（以下、R-off）からReleaseまでとした。なお、R-onは右足接地時、R-offは右足離地時、DSPは両足支持期、SSPは片足支持期を、TurnはSSPとDSPの和を示している。

Release時におけるハンマーヘッドに関するリリースパラメータとして、ハンマーヘッド初速度、投射角および投射高を算出した。

Dapena (1984) の方法を用いて、回転の中心方向へハンマーヘッドを引っ張る力を表すハンマーヘッドの法線方向加速度（以下、ハンマーヘッド法線加速度）を求め、被験者の各ターンにおけるハンマーヘッド法線加速度の最大値を平均した値を算出した。また、Dapena (1989) と宮西 (1998) の方法を参考に、本研究ではX軸、Y軸、Z軸回りそれぞれ

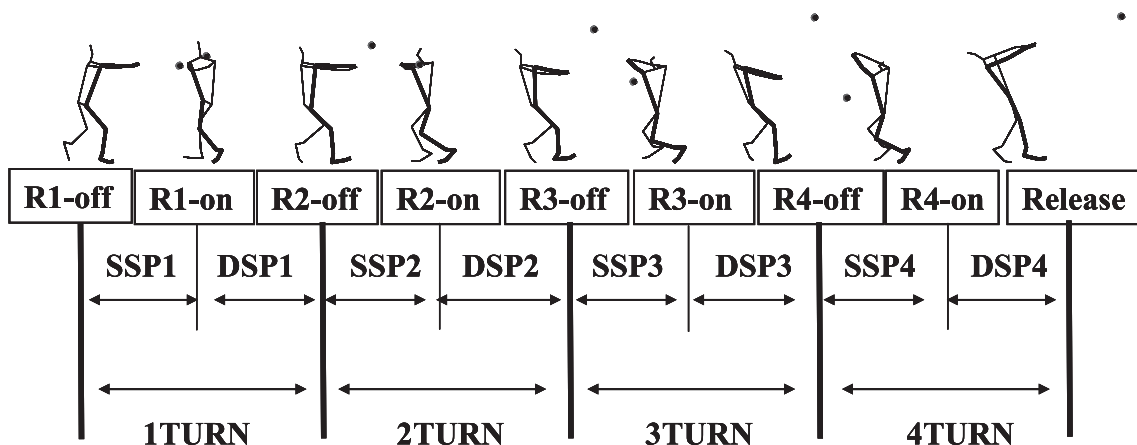


図1 局面定義

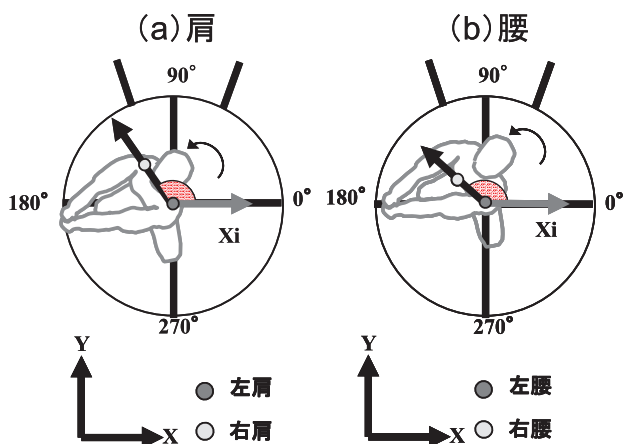


図2 肩・腰の回旋角度定義

れから得られた身体の角運動量を合成した値を，合成重心回りの身体角運動量（全身，上肢，体幹，下肢）として算出した．なお，これらの値については，70m台を記録した選手(世界一流選手4名)と60m台(日本一流選手2名)を記録した選手とに分けて，それぞれの平均値（70AVEおよび60AVE）を算出した．

DSPにおける肩および腰の回旋角度を，図2に示す定義にもとづいて算出した．静止座標系のXY平面に，右肩関節から左肩関節を結ぶベクトルを投影し，X方向の単位ベクトルと投影されたベクトルがなす角を肩の回旋角度，右股関節から左股関節を結ぶベクトルを投影し，X方向の単位ベクトルと投影されたベクトルがなす角を腰回旋角度とした．

2変数間の関係はピアソンの積率相関係数を用い，有意性は危険率1%未満で判定した．

### Ⅲ. 結果と考察

表1には，各被験者におけるリリースパラメータ

表1 各被験者の記録とリリースパラメータ

被験者	記録(m)	初速度(m/s)	投射角(deg)	投射高(m)
IT	77.55	28.33	38.78	2.03
TC	75.77	28.10	40.87	2.09
PK	75.29	27.93	42.68	1.95
KM	74.31	27.79	40.66	1.58
HD	67.57	26.44	40.98	1.90
HN	65.85	26.35	37.60	1.66

及び投擲距離を示した．先行研究（池上ら，1994）と同様に記録の高い選手は，リリース時の初速度が高い傾向を示した．

図3には，IT選手（世界一流選手）とHN選手（日本一流選手）のターン動作中における合成重心回りの身体角運動量とハンマーヘッド法線加速度を示した．各ターンのDSPにおいて合成重心回りの全身の角運動量とハンマーヘッド法線加速度は増加した．また，全身の角運動量に対して，体幹の角運動量が大きな割合を占めていた．なお，これらの傾向は全被験者で共通していた．

各ターンにおけるハンマーヘッド法線加速度最大値（図4）と各ターンにおける合成重心まわりの体幹の角運動量最大値（図5）について70AVEと60AVEを比較した結果，ハンマーヘッドの法線加速度は，1Turnでは70AVEと60AVEはほぼ同値を示したが，2Turn，3Turnおよび4Turnでは，70AVEが60AVEと比較して大きな値を示した．また，体幹の角運動量は，ハンマーヘッド法線加速度に差がみられた2Turnおよび3Turnにおいて，70AVEと60AVEとの差が大きくなった．このことから，ハンマーヘッド速度を増加させるために必要なハンマーヘッド法線加速度の獲得には，2Turnおよび3Turnにおける体幹の回転の勢いが関与していると推察される．この可能性について検討するために，ハンマーヘッド加速の理論モデル（図6）を示した．この時，ハンマーヘッドと身体重心を結ぶ線分は1つのセグメントとして仮定した．身体重心とハンマーヘッドの速度ベクトルの向きは，おおよそ反対に向いているとした報告（Dapena, 1989）を考慮すると，ハンマーヘッドを回転方向へ加速させるためには，合成重心を中心として身体重心をハンマーヘッドが動く方向と反対側に移動させることが必要となると考えられ，そのためには，合成重心回りの身体角運動量

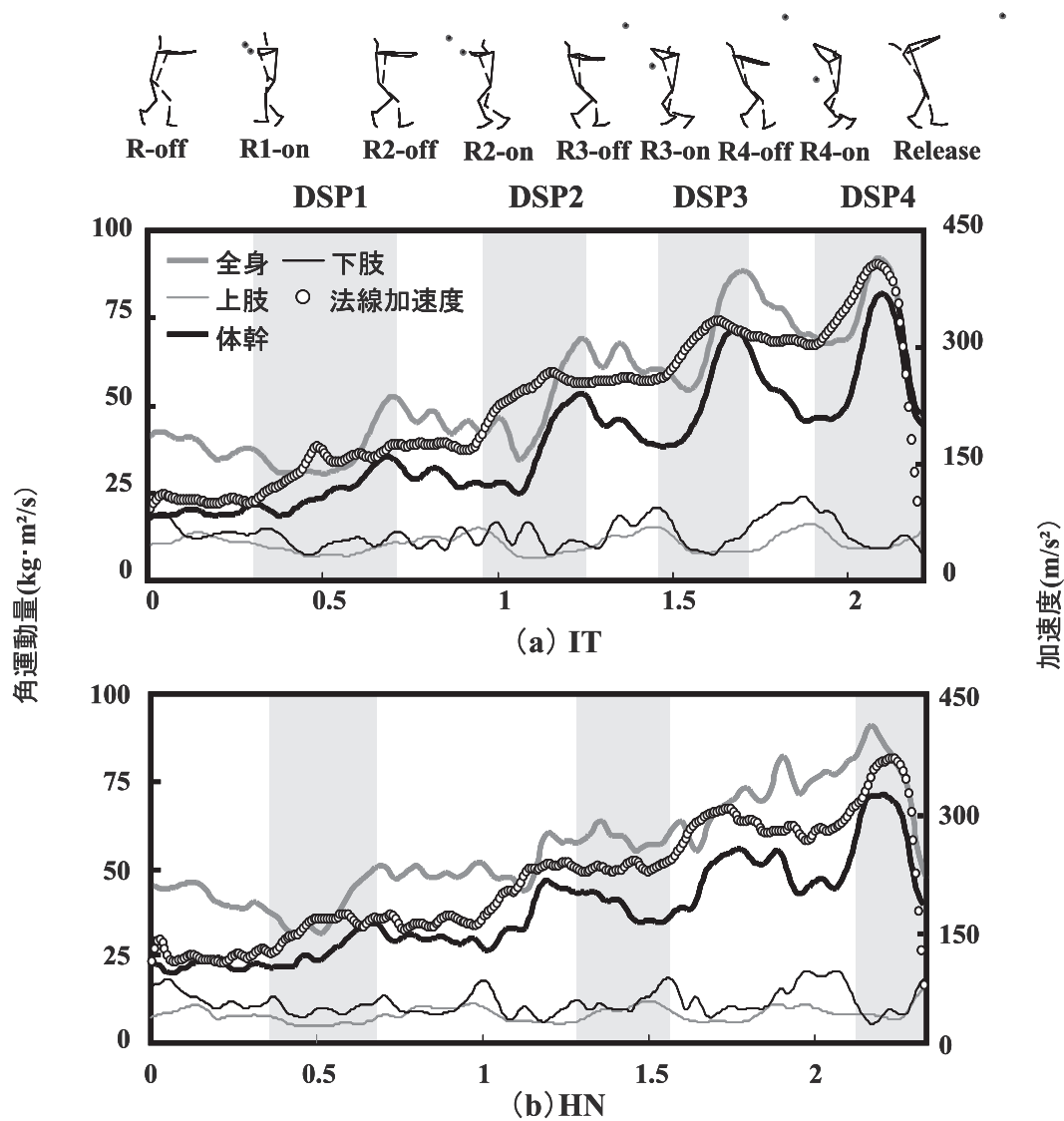


図3 ターン動作における身体の合成角運動量典型例 ( (a) IT (b) HN)

の大部分を占める体幹の角運動量を大きくすることが重要になると考えられる。以上のことから、日本一流選手の課題の一つとして、ハンマーヘッドに対して大きなハンマーヘッド法線加速度を発生させるために、ターン後半のDSPにおいて体幹部を中心とした身体の回転の勢いを獲得する技術・体力を高め

る必要のあることが示唆される。

そこで、体幹の角運動量を獲得するための技術的要因について検討するために、本研究では、肩と腰の回旋角度を算出した。その典型例（世界一流選手IT、日本一流選手HN）を図7に示した。

この時、サークルを360度の円とみなして、肩と

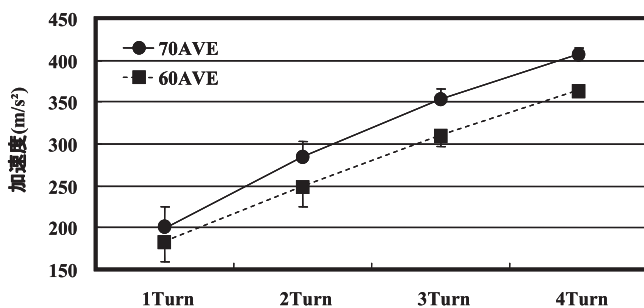


図4 各ターンにおけるハンマーヘッド法線加速度最大値

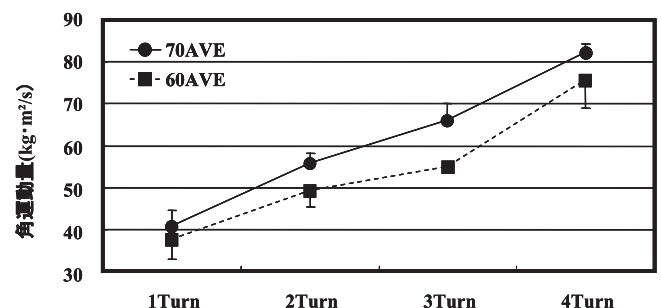


図5 各ターンにおける合成重心回りの体幹の角運動量最大値

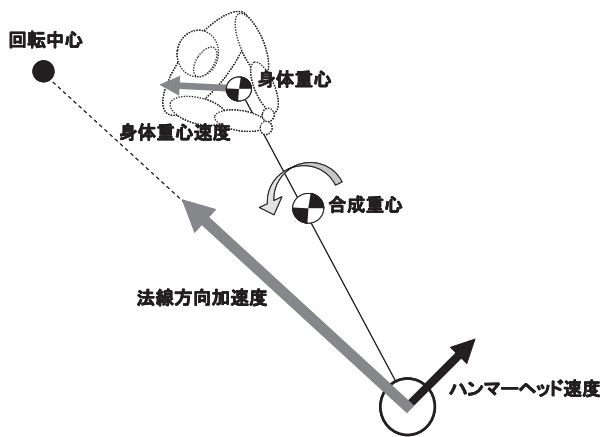


図6 ハンマーヘッド加速理論モデル

腰の回旋角度を方位角として示している。帯状の着色部分がDSP，着色部分の両端がR-onとR-offの時点である。R-on時におけるハンマーヘッド位置，肩と腰の回旋角度は，IT，HN両者共にターン前半で小さな角度を示した。しかし，HNはターン後半にターン前半と比較して肩と腰の回旋角度が大きくなる傾向がみられた。また，各DSPにおいて，ITはHNよりも回旋角度変化量が大きい値を示し，特にDSP3およびDSP4においてその差は顕著であった。このことから，各ターンのR-on時の腰の回旋角度とDSPにおける腰の回旋角度変化量の関係を検討した結果，DSP2を除く全てのDSPにおいて負の相関関係が認められた（図8）。この結果は，R-on時の肩の回旋角度が小さかった選手は，DSP中における

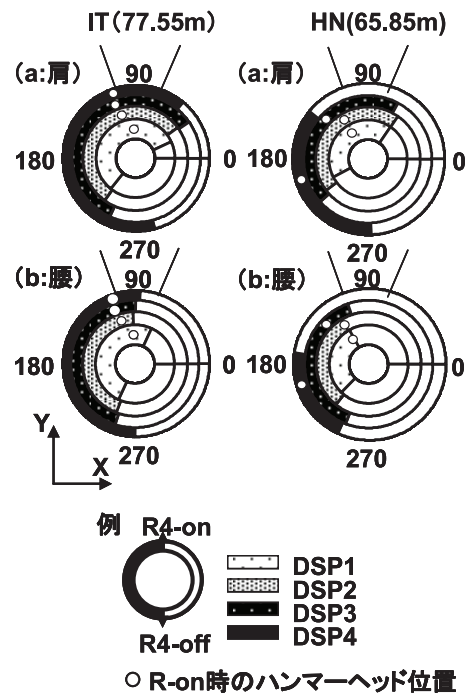


図7 各DSPにおける肩と腰の回旋角度  
(a：肩の回旋角度b：腰の回旋角度)

腰の回旋角度変化量が大きかったことを意味している。また，R-on時の肩の回旋角度とDSPにおける肩の回旋角度変化量との間には有意な関係は認められなかったが，腰と同様の傾向を示していた。これらのことから，R-on時に体幹の前面を投擲方向へ向けて接地を行うことで，DSPにおいて体幹をより大きく回旋させることが可能となり，そのことがター

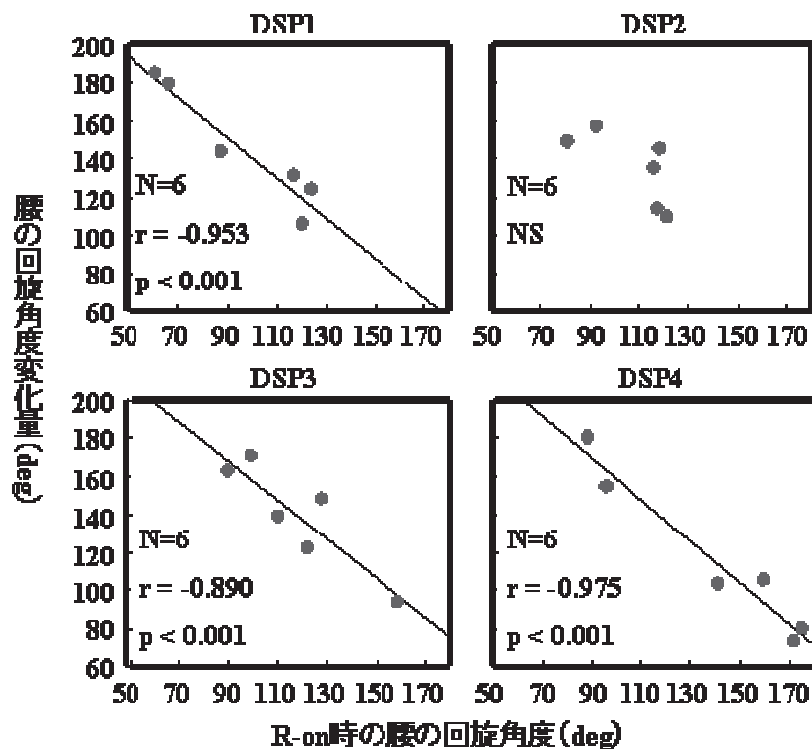


図8 各ターンのR-on時における腰回旋角度とDSPの腰の回旋角度変化量との関係

ン後半において体幹の角運動量を大きくすることに影響していたと推察される。

#### IV. まとめ

1. ターン動作中における身体の角運動量とハンマーヘッド法線加速度は、DSPで増加することが認められた。
2. ターン動作中における身体の角運動量は、体幹の角運動量が大きな割合を占めていた。
3. 記録の高い世界一流選手は、日本一流選手と比較して、全てのターンにおいてもハンマーヘッド法線加速度と体幹の角運動量それぞれの最大値が大きな値を示し、特に2Turnから4Turnにおいてその差は顕著であった。
4. 各ターンのR-on時の腰の回旋角度とDSPにおける腰の回旋角度変化量の関係を検討した結果、DSP2を除く全てのDSPにおいてR-on時の腰の回旋角度が小さければ小さいほど、DSPにおける腰の回旋角度変化量が大きいことが確認された。

#### 参考文献

- 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
- 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
- Dapena J. and Feltner M. E. (1989) A three-dimensional analysis angular momentum in the hammer throw. Medicine and Science in Sports and Exercise 21 : 206-220
- 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的研究. 世界一流競技者の技術, ベースボール・マガジン社 : 240-256
- 宮西智久, 桜井伸二, 若山章信, 富樫時子, 川村卓 (1998) アジア一流選手における円盤投げの角運動量の3次元分析 バイオメカニクス研究2 (1) : 10-18 1998