

## 世界一流男子やり投選手における技術分析 — 槍速度に対する身体各部位の貢献について —

田内健二<sup>1)</sup> 村上雅俊<sup>2)</sup> 遠藤俊典<sup>3)</sup> 阿江通良<sup>4)</sup>

1) 早稲田大学 2) 愛媛女子短期大学 3) 茨城県立医療大学 4) 筑波大学

### I. はじめに

東京で開催された第3回世界陸上選手権大会より16年ぶりとなる2007年、大阪で第11回大会が開催された。日本陸連科学委員会は、東京大会と同様に世界一流陸上競技者の技術をバイオメカニクスの観点から明らかにするための研究プロジェクトを組織し、各競技種目の動作撮影を実施した。本稿では、投てき種目の男子やり投を取りあげ、世界一流選手の投てき技術の特徴を報告する。

田内ら(2006)は、相対運動の考え方にもとづいた下肢-体幹-上肢モデルによって、時々刻々と変化する投てき物の速度が、どの身体部位のどのような動作によって獲得されているのかを明らかにできることを報告した。そこで本稿では、この下肢-体幹-上肢モデルを用いて、世界一流のやり投選手が、どのような動作によって槍の速度を獲得しているかを明らかにすることを目的とした。

### II. 方法

#### 1. 分析対象

分析対象は、世界陸上男子やり投決勝において1位となったピトカマキ選手(フィンランド, 身長: 1.93m, 体重: 92kg) および2位となったトルキルドセン選手(ノルウェー, 身長: 1.88m, 体重: 90kg)であった。いずれの選手についても6投の試技のうち、最も良い記録であった投てき試技を分析試技とした。

#### 2. データ収集

すべての投てき動作を、助走路の右側方および後方に設置した2台のデジタルビデオカメラ(HVR-AJ1, Sony)を用いて、毎秒60フィールド、露出時

間1/1000秒で撮影した。また、助走路の中央、フェウルラインより後方8m地点を原点とし、縦6m×横4m×高さ2.5mの画角を設定し、9カ所にキャリブレーションポール(マーク間隔0.5m)を立てた。

#### 3. データ分析

撮影した映像から槍(槍先, グリップ)および身体分析点(全身23点)を動作解析システム(Frame-DIAS II, ディケイエイチ)を用いて毎秒60コマでデジタル化した。3次元DLT法により槍および身体分析点の3次元座標を算出し、残差分析法によって決定された最適遮断周波数(6-8 Hz)で、バッタワースデジタルフィルタにより平滑化した。なお、投てき方向をY軸、Y軸に対して左右方向をX軸、鉛直方向をZ軸とした右手系の静止座標系を設定した。本研究では、最終的なクロスステップ後の右足接地、左足接地および槍のリリースの各イベントを設定し、右足接地から左足接地までを準備局面(P1)、左足接地からリリースまでを投げ出し局面(P2)とした。

本研究では、槍のリリースパラメータとして、リリース時の槍速度、リリース高、槍の投射角、姿勢角および迎え角を算出した。また、田内ら(2006)の方法にもとづいて投てき動作を下肢-体幹-上肢モデル(図1左)にモデル化し、槍速度に対する身体各部位の動作の貢献を以下の式1および2によって算出した。なお、本稿では投てき方向の槍速度のみを扱った。

$$V_j = v_{j/l} + vv_{t/l} + v_l \quad \dots \text{式1}$$

ここで、 $v_l$ は下肢の動作による槍速度(下肢)、 $vv_{t/l}$ は体幹の前後屈による槍速度(体幹起こし回転)、 $v_{j/l}$ は上肢の動作による槍速度を示すことになる。また、 $v_{j/l}$ については、両肩の midpoint から右肩

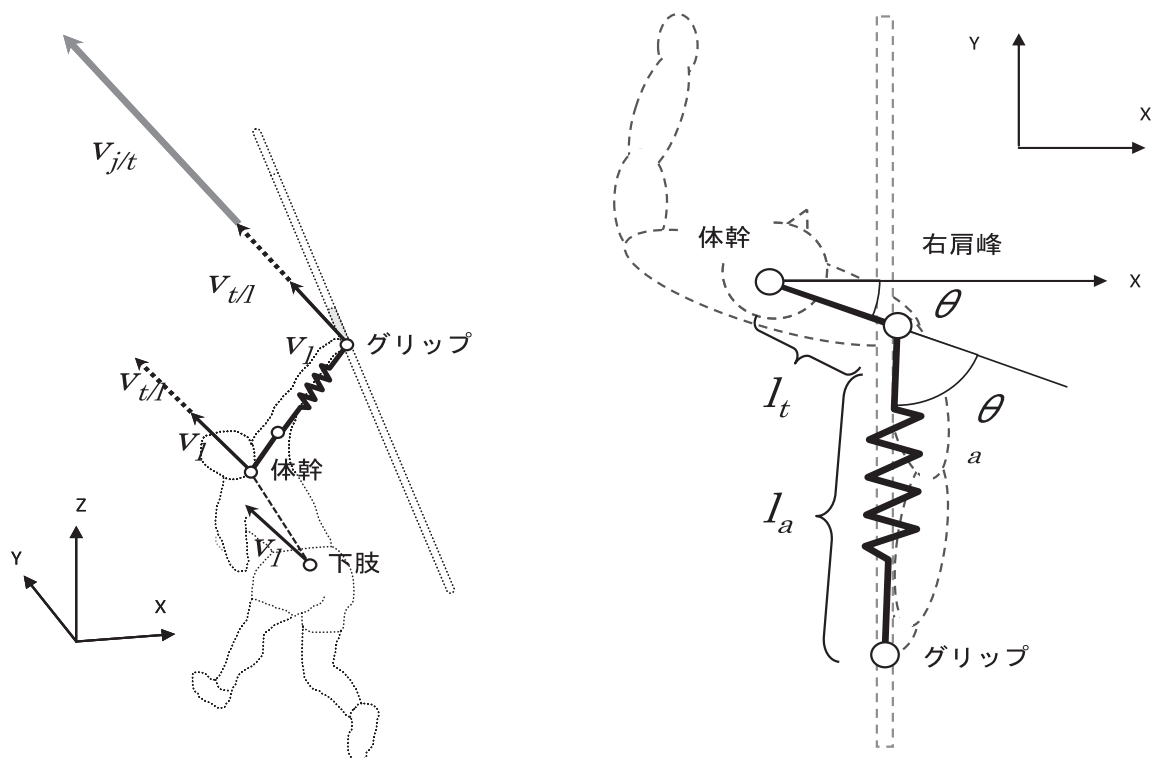


図1 やり投における下肢－体幹－上肢モデルの定義

峰までの線分 ( $l_t$ ),  $l_t$ とX軸とのなす角 ( $\theta_t$ ), 右肩峰から槍のグリップまでの線分 ( $l_a$ ),  $l_a$ と $l_t$ とのなす角 ( $\theta_a$ )を局座標で示した(図1右).

$$V_{j/t} = l_t \sin \theta_t + \theta'_t (l_t \cos \theta_t + l_a \cos(\theta_t + \theta_a)) + l'_a \sin(\theta_t + \theta_a) + \theta'_a (l_a \cos(\theta_t + \theta_a)) \dots \text{式2}$$

ここで,  $l_t$ ,  $\theta_t$ ,  $l_a$ ,  $\theta_a$ の微分項は, 順に体幹の伸縮による槍速度(体幹伸縮), 体幹の長軸回りの回転動作による槍速度(体幹長軸回転), 上肢の伸縮動作による槍速度(上肢伸縮), 上肢の水平内外転動作による槍速度(上肢回転)を示すことになる. なお, 体幹伸縮はほぼ0であったために, 本稿では示さないこととした.

### Ⅲ. 結果および考察

1. 投てき記録, リリースパラメータおよび動作時間(表1)

ピトカマキ選手の投てき記録は90.33m, トルキルドセン選手の投てき記録は88.61mであった. 両選手の槍の合成リリース速度は, それぞれ29.9m/sおよび29.8m/sとほぼ等しく, 90m前後の記録における槍のリリース速度を報告した先行研究(Bartonietz, 2000)とほぼ同様の値であった. リリース速度を各成分にわけてみると, ピトカマキ選

手は槍をやや左方向に投射し, 前方向への速度は22.8m/sと90mスローワーとしては低い値であったが, 上方への速度が18.8m/sと非常に高い値であった. 一方, トルキルドセン選手は, ほぼまっすぐに投射し, 前方向への速度は24.3m/sと高い値を示し, 上方への速度は17.2m/sであった. リリース高および投射角をみると, ピトカマキ選手はトルキ

表1 ピトカマキ選手およびトルキルドセン選手における投てき記録, リリースパラメータおよび動作時間

		ピトカマキ	トルキルドセン
記録	(m)	90.33	88.61
リリース速度			
側方*	(m/s)	-4.5	1.0
前方	(m/s)	22.8	24.3
上方	(m/s)	18.8	17.2
合成	(m/s)	29.9	29.8
リリース高	(m)	1.99	1.86
リリース角度	(deg)	39.9	35.9
姿勢角	(deg)	45.6	39.4
迎え角	(deg)	5.7	3.5
動作時間			
P1	(s)	0.200	0.167
P2	(s)	0.117	0.117

\*: 側方のリリース速度は, プラスが右方向, マイナスが左方向を示す.

ルドセン選手と比較して、リリース高および投射角ともに高値を示した。以上のリリースパラメータの結果から、ピトカマキ選手は、前方向への速度はそれほど高くないが、上方への速度が高く、さらに、リリース高および投射角を大きくすることによって、非常に高い放物線を描く槍の軌跡となって90mを超える投てき距離を獲得したものと考えられる。一方、トルキルドセン選手は、投てき方向に対して槍をまっすぐ直線的に投射し、やや低い槍の軌跡な

がらも、高い前方向の速度によって88mを超える投てき距離を獲得したものと考えられる。

## 2. 投てき方向の槍速度に対する身体各部位の貢献の仕方 (図2)

両選手に共通してみられる槍速度に対する身体各部位の貢献の仕方は、P1における槍速度は、中盤まではほぼ下肢の助走によるものであり、その後、左足接地前に体幹の長軸回転および起こし回転

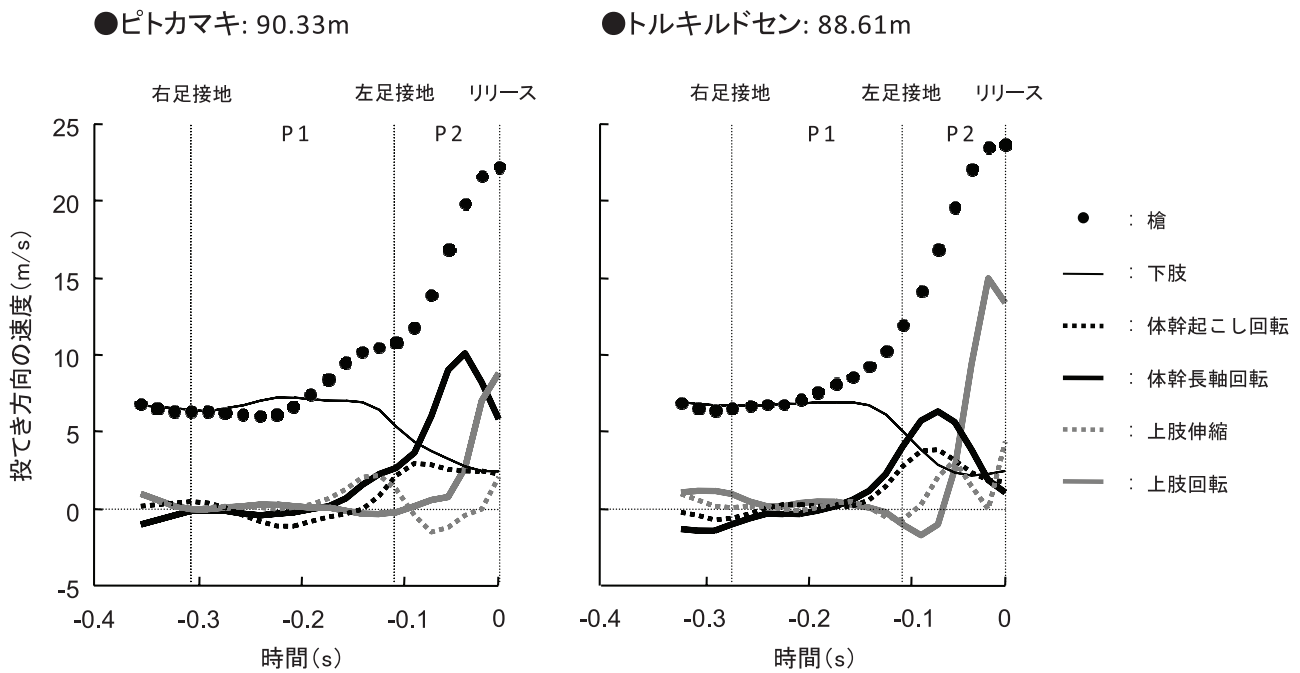


図2 ピトカマキ選手およびトルキルドセン選手における槍速度（投てき方向のみ）に対する身体各部位の貢献

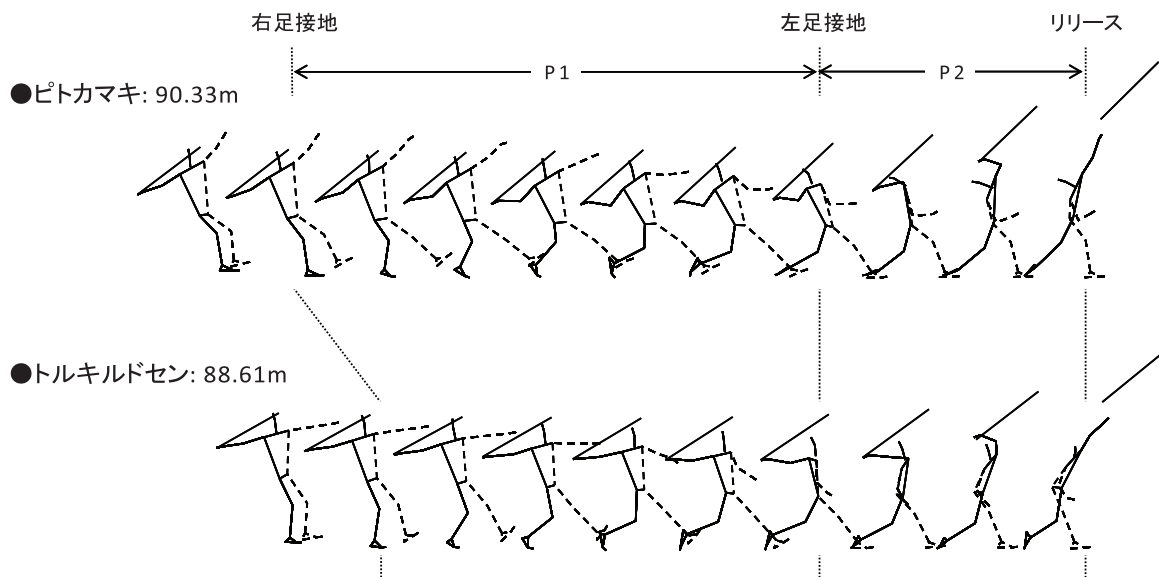


図3 ピトカマキ選手およびトルキルドセン選手におけるスティックピクチャ（右側方からみた図）ピクチャ間の時間は、0.033秒。

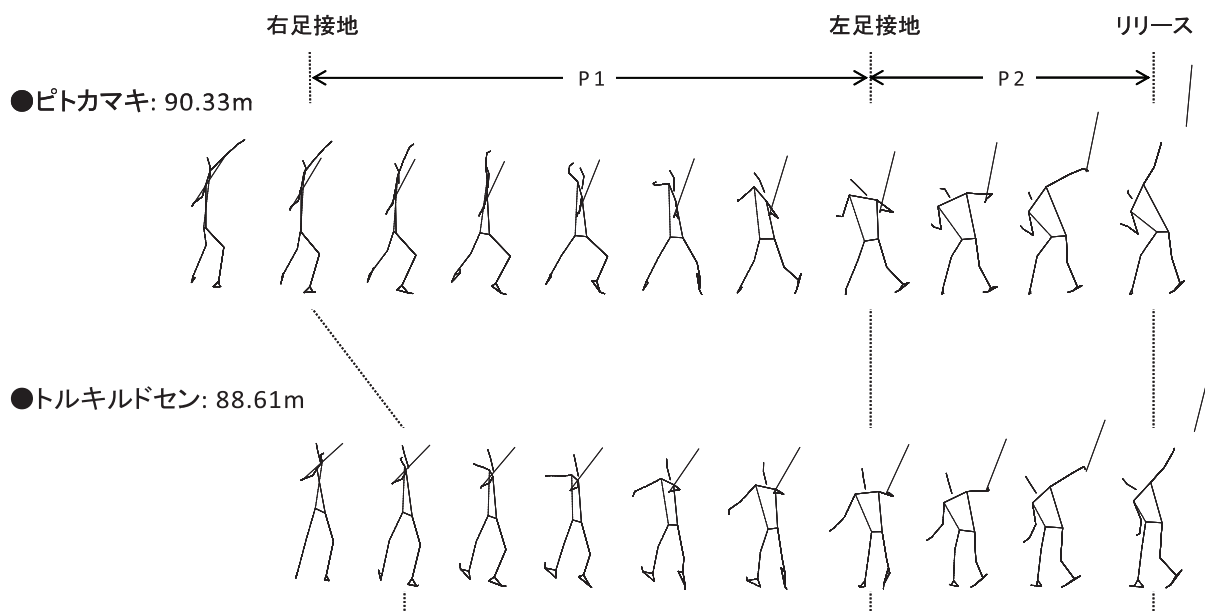


図4 ピトカマキ選手およびトルキルドセン選手におけるスティックピクチャ（後方からみた図）ピクチャ間の時間は、0.033秒。

によって若干加速されていた。P2における槍速度は、左足接地とともに下肢の貢献が低下し、それと同期して体幹の長軸回転が急激に高くなり、その後上肢の回転が急激に高くなることによって大きく加速されていた。これらの槍速度に対する身体各部位の貢献の仕方は、下肢から体幹、そして上肢へと貢献の割合が高くなっており、いわゆる運動連鎖が生じていたことを示唆するものである。

このような共通した特徴を示す一方で、非常に顕著な個人差も確認された。ピトカマキ選手は、P1後半における槍の加速がやや大きく、これは上述した体幹の動作に加えて上肢の伸縮によって生じたものであった。図3のスティックピクチャをみると、この局面では上肢全体を縮める動作にトルキルドセン選手には認められなかった。また、ピトカマキ選手は、P2において体幹の長軸回転の貢献が非常に高く、ピーク値が中盤から後半において出現し、リリースに向かって高まっていく上肢の回転の貢献が低く抑えられていたのに対して、トルキルドセン選手は、体幹の長軸回転の貢献が低く、ピーク値が前半に出現し、最終的な上肢の回転の貢献が極めて高かった。このような差があることを認識しながら、図3,4のスティックピクチャをみると、トルキルドセン選手は両肩を結んだラインが投てき方向に正対するタイミングが早く（左足接地時には完全に正対している、図4）、体幹が起こされながらも、それ以上長軸回転することなく、体幹に対して上肢を振り回すような動作によって槍を加速させているとみることができよう（図3）。一方、ピトカマキ選

手は、両肩を結んだラインが投てき方向に正対することなくP2を迎えており、P2では体幹と上肢を一緒に回転させて槍を加速しているとみることが出来る。なお、ピトカマキ選手は、体幹をやや後傾させたまま槍の引き出しを行っており、リリース時においても体幹がほぼ直立した状態であった。このような動作が槍の上方への速度を高めることに貢献したものと推察される。

以上のように、両者は同様の槍のリリース速度（合成）を獲得しながらも、そこに貢献する身体各部位の動作は大きく異なることが明らかとなった。本稿の結果のみでは、どちらがより良い投てき技術なのか、あるいは身体特性などによって技術をタイプ分けできるのかなどを明らかにすることは困難である。今後、さらなる分析によってやり投の技術をより詳細に明らかにできるものと考えられる。

#### 参考文献

- Bartonietz, K. (2000) Javelin Throwing: an Approach to Performance Development. Biomechanics in Sport (ed) Zatsiorsky, Blackwell Science: 401-434.
- 田内健二, 村上雅俊, 高松潤二, 阿江通良 (2006) 砲丸投における砲丸速度に対する身体各部位の貢献—世界レベル選手と日本レベル選手との比較—. 陸上競技研究紀要2: 65-73.