

## 砲丸投げ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—

田内健二<sup>1)</sup> 村上雅俊<sup>2)</sup> 高松潤二<sup>1)</sup> 阿江通良<sup>3)</sup>

1) 国立スポーツ科学センター 2) 愛媛女子短期大学 3) 筑波大学

Contribution of the body segments to shot velocity in the shot put  
-Comparisons between female athletes of World level and Japan national level-

Kenji Tauchi<sup>1)</sup> Masatoshi Murakami<sup>2)</sup> Junji Takamatsu<sup>1)</sup> Michiyoshi Ae<sup>3)</sup>

1) Japan Institute of Sports Sciences

2) Ehime Women's Junior College

3) University of Tsukuba

#### Abstract

The purpose of this study was to elucidate the contribution of the body segments to the shot velocity through whole of the shot put movement in glide technique, and comparison between female athletes of World level and Japan national level. Shot put movements of sixteen Japan national level (top8: Good group, low8: Poor group) and two World level shot putters (World group) were filmed and analyzed by three dimensional motion analysis technique. Leg-trunk-arm model was used to evaluate the contribution of the body segments to the shot velocity, which could be calculated the shot velocity by the leg motion, trunk extension, trunk rotation, arm horizontal rotation and arm extension. Good group were significantly higher in arm extension and lower in trunk rotation than Poor group during push off phase. Both of World group and Good group had the same level of arm extension, in addition World group had greatly higher trunk rotation compared to Good group. These findings indicate that the major difference between World level and Japan national level shot putters was contribution of trunk rotation with respect to the shot velocity.

#### I. 緒言

砲丸投げの技術は、横向きステップ投法、横向きホップ投法、グライド投法、そして回転投法へと変遷しており、それにもなつて世界記録は更新されてきた(大山, 2005)。このような技術の変遷は、砲丸により大きなエネルギーを作用させるために、下肢、体幹および上肢をできる限り効果的に利用することを旨とした結果であると考えられる。なお、現在の主流の投法は、世界的にみると男子では回転投法、女子ではグライド投法である。

これまでの砲丸投げに関する研究は、リリー

スパラメータ(植屋ら, 1994; 橋本ら, 1995; Linthorne, 2001), あるいは下肢(西藤, 1969; 古谷と畑, 1989), 上肢(篠原ら, 1997; 末吉と辻尾, 1998), 体幹(橋本ら, 2004)などの身体各部の動作について、競技レベルの高い者と低い者とを比較したものがある。しかし、それらの研究の多くは、一連の投てき動作のある局面、あるいは一部位に焦点をあてているために、得られた知見が実際の砲丸速度に対してどのような影響を及ぼしているのかを明確にすることが困難であると考えられる。また、他の局面、部位との関連性についても、十分に検討することはできないものと考えられる。

西藤 (1977) によると、グライド投法による投てき動作の流れは、予備動作、グライド動作、押し上げ、捻り、突き出しによる投動作、そしてリリース後の踏み替え動作であるとしている。これらの動作は、最終的に砲丸速度を高めるために発現していると考えられるが、それぞれの動作が、砲丸速度に対してどの程度貢献しているのかを明らかにした研究はみあたらない。一連の投てき動作において砲丸速度に対する身体各部位の貢献の仕方を知ることができれば、砲丸投げの技術を評価するための着眼点を明確にすること、あるいは他の動作との関連性を検討することに役立つものと考えられる。阿江と渋川 (1984) は、垂直跳びにおける踏み切り動作を例にして、下肢、体幹、上肢の動作について相対運動の考え方 (例えば、下肢は、下肢の速度と同時に体幹および上肢の速度も生み出している) を導入することによって、各部位の貢献度を明らかにできることを報告している。

そこで、本研究では阿江と渋川 (1984) の考え方をもとにして、グライド投法における砲丸速度に対する下肢、体幹、上肢に関する各動作の貢献の仕方を明らかにし、その貢献の仕方の競技レベル差を検討することを目的とした。

## II. 方法

### 1. 分析対象

分析対象は、2005年に開催された日本選手権女子砲丸投げに出場した選手16名 (上位8名を Good 群, 下位8名を Poor 群とした), およびスーパー陸上に出場した世界選手権優勝者 (World1: 自己最高記録 21.09m, 身長 1.80m, 体重 78.0kg) および3位入賞者 (World2: 自己最高記録 19.87m, 身長 1.96m,

体重 120kg) の2名 (World 群) である。なお、すべての対象者はグライド投法を用い、右投げであった。

### 2. データ収集

砲丸投げの試技を、サークルの後方および右側に設置した2台のデジタルビデオカメラ (DCR-VX2000, Sony) を用いて、毎秒60コマ、露出時間 1/1000 秒で撮影した。本研究では、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。また、サークルの中心を原点として、前方 2m, 後方 1.5m, 左右方向 1.5m の9カ所にキャリブレーションポール (高さ 2m, マーク間隔 0.4m) を立てた (図1)。なお、データ収集は、日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス班の活動として行われた。

### 3. データ分析

撮影された VTR 画像を PC に取り込み、画像上の分析点 (左右の肩峰, 左右の大転子, 砲丸) 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。各分析点の座標を3次元 DLT 法により実長換算し、残差分析法 (Winter, 1990) によって決定された最適遮断周波数 (3 - 7 Hz) で、パッタワースデジタルフィルタにより平滑化した。

### 4. 算出項目

各分析点の速度は、座標値を時間微分することによって算出した。本研究では、砲丸速度に対する身体各部位の貢献の仕方を明らかにするために、投てき動作を XY 平面に投影し、下肢 (両大転子の中点) - 体幹 (両大転子の中点 ~ 両肩の中点) - 上肢 (右

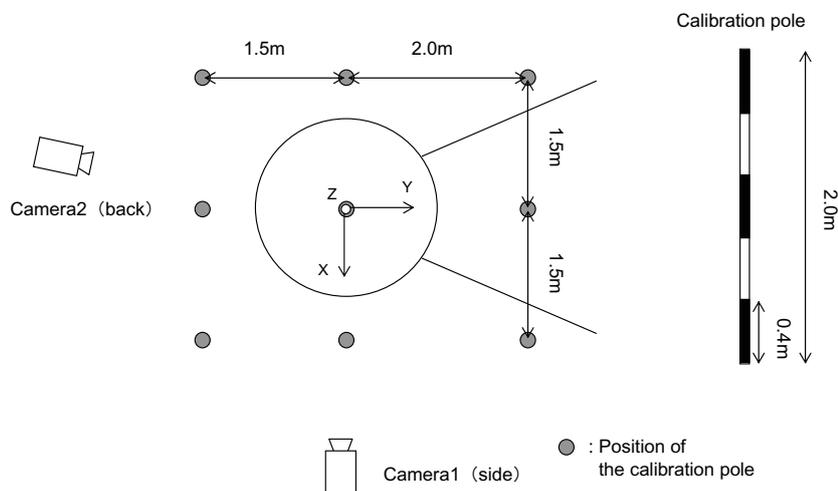


Figure 1 Setup for filming

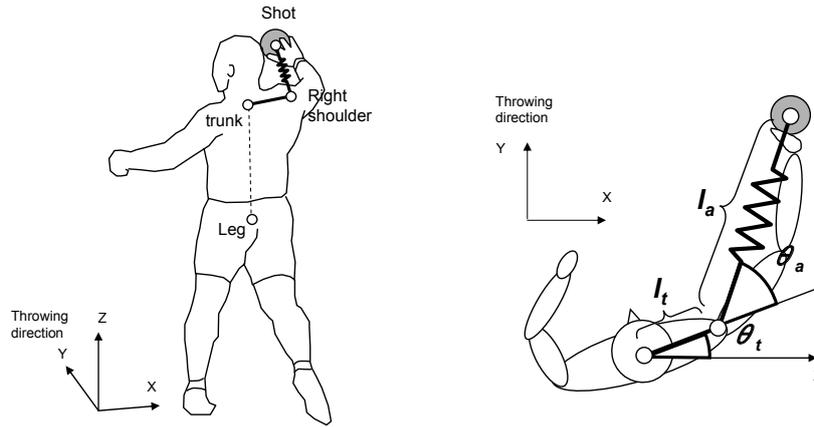


Figure 3 Definitions of the leg-trunk-arm model (left) and polar coordinate in trunk-arm model (right).

肩峰～砲丸) にモデル化した (図 3a). そして, 砲丸速度 ( $V_s$ ) を下肢 ( $v_h$ ), 下肢に対する体幹 ( $v_{t/h}$ ), 体幹に対する砲丸 ( $v_{s/t}$ ) の相対速度で示した (式 1). なお, 以下に示す各速度はすべて投てき方向 (Y 成分) のみを分析した.

$$V_s = v_{s/t} + v_{t/h} + v_h \quad \dots \text{式 1}$$

ここで,  $v_h$  は下肢の動作による砲丸速度 (下肢),  $v_{t/h}$  は体幹の伸展動作による砲丸速度 (体幹の起こし),  $v_{s/t}$  は上肢の動作による砲丸速度を示すことになる. また,  $v_{s/t}$  については, 両肩の midpoint から右肩峰までの線分 ( $l_t$ ),  $l_t$  と X 軸とのなす角 ( $\theta_t$ ), 右肩峰から砲丸までの線分 ( $l_a$ ),  $l_a$  と  $l_t$  とのなす角 ( $\theta_a$ ) (図 3b) による局座標で示した (式 2).

$$v_{s/t} = \dot{l}_t \sin \theta_t + \dot{\theta}_t (l_t \cos \theta_t + l_a \cos(\theta_a + \theta_t)) + \dot{l}_a \sin(\theta_a + \theta_t) + \dot{\theta}_a l_a \cos(\theta_a + \theta_t) \quad \dots \text{式 2}$$

ここで,  $\theta_t$ ,  $l_a$ ,  $\theta_a$  の微分項は, 順に体幹の長軸周りの回転動作による砲丸速度 (体幹の回転), 上肢の伸展動作による砲丸速度 (上肢の伸展), 上肢の水平内外転動作による砲丸速度 (上肢の回転) を示すことになる. なお, 体幹の長さ変化はないとみなせることから,  $l_t$  の微分項は 0 とした.

本研究では, Marhold (1974) が示した局面分けを参考にして, 一連の投てき動作について砲丸の最下点 (Mid), 右足離地 (R-off), 右足接地 (R-on), 左足接地 (L-on) およびリリース (Release) の各イベントを設定し, Mid から R-off までをスタート局面 (P1), R-off から R-on までをグライド局面 (P2), R-on から L-on までを移行局面 (P3), L-on から Release までを突き出し局面 (P4) とした (図 2). また, 各データは, 群間の比較を可能にするために, 各局面の開始時点を 0%, 終了時点を 100% として 3 次のスプライン関数によって 101 個のデータに規格化した.

### 5. 統計処理

各算出項目を平均値 ± 標準偏差で示した. Good 群と Poor 群との有意差の検定には, 対応のない t-test を用いた. 有意性は, 5% および 1% 未満で判定した.

## III. 結果

表 1 に, 各被験者のパフォーマンスを示した. 投てき記録は, Good 群が Poor 群と比較して有意に高値を示した. World 群の記録は, それぞれ 2005 年

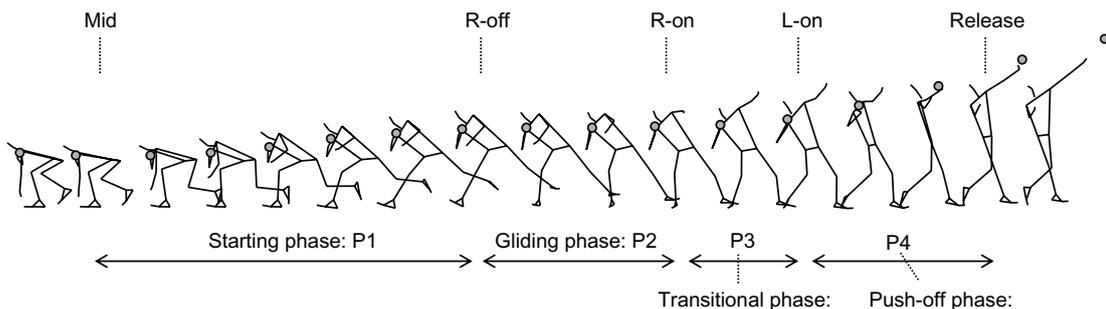


Figure 2 Definitions of the events and phases.

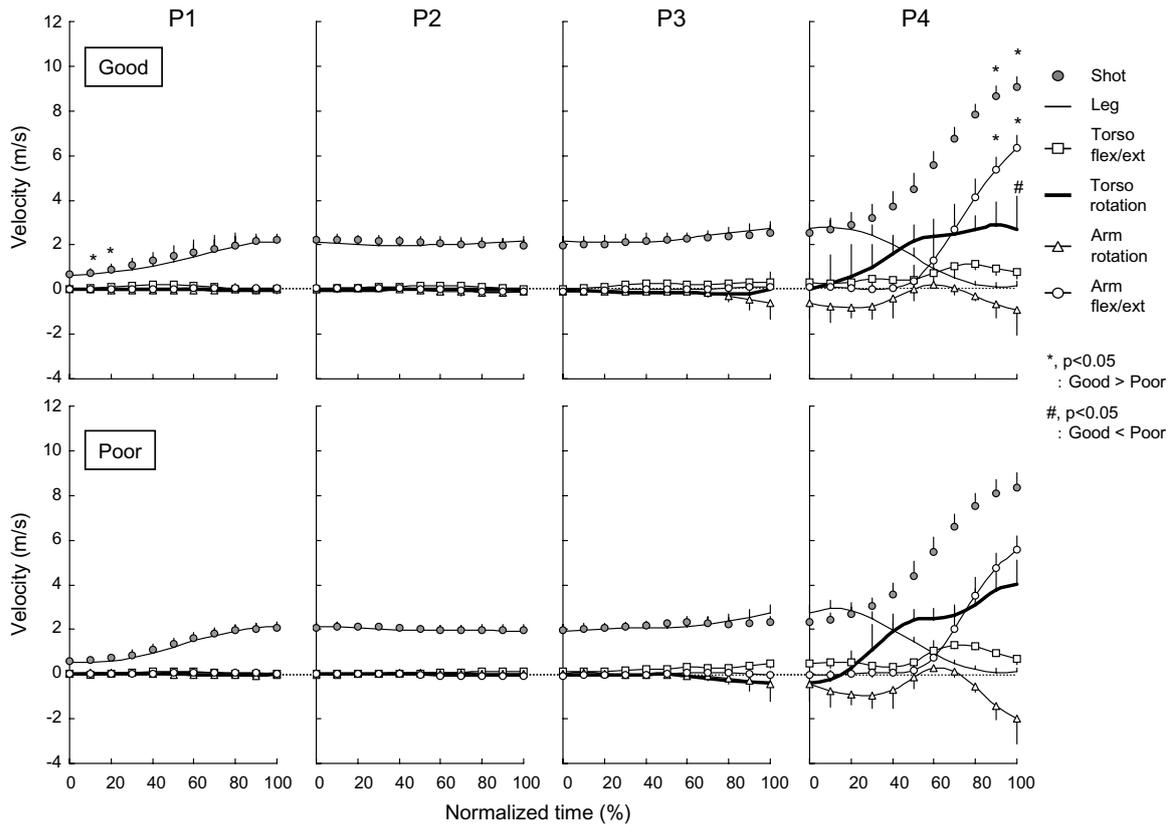


Figure 4 Shot velocity and each motion velocity in Good (Upper) and Poor (lower) groups. The positive values means counterclockwise and extension movement for the rotation (torso, arm) and the flex/ext (torso, arm), respectively.

度世界ランキング3位, 11位に相当していた. リリース速度は, Y成分のみ Good群が Poor群と比較して有意に高値を示し, World群はいずれの成分も両群と比較して高値を示した. 局面時間には, Good群と Poor群との間に有意差は認められなかったが, P3において Good群が低値を示す傾向が認められ, World群は両群と比較して顕著に低値を示した.

図4に, Good群および Poor群における各局面の砲丸速度および各動作による砲丸速度を示した. 両群ともに砲丸速度は, P1から P3まではほぼ下肢によるものであった. P4では体幹の回転, 加えて50%以降では上肢の伸展および体幹の起こしによるものであり, 上肢の回転はほぼマイナスに作用して

いた. 砲丸速度は, P1の10-20%および P4の90-100%において Good群が Poor群と比較して有意に高値を示した. また, 上肢の伸展は, P4の90-100%において Good群が Poor群と比較して有意に高値を示し, 体幹の回転は, P4の100%において Poor群が Good群と比較して有意に高値を示した.

図5に, World群における各局面の砲丸速度および各動作による砲丸速度を示した. 両者の砲丸速度に対する身体動作の貢献パターンは, おおまかにみると Good群および Poor群と同様であった. つまり, P1から P3までは下肢, P4では体幹の回転, 上肢の伸展および体幹の起こしによるものであり, 上肢の回転はほぼマイナスに作用していた. P4につい

Table 1 Performances of shot put in the subjects.

	Record (m)	Shot velocity at release (m/s)			Duration time (s)			
		X	Y	Z	P1	P2	P3	P4
Good	14.60±0.90 **	1.05±0.24	9.08±0.37 *	6.57±0.15	0.258±0.102	0.148±0.014	0.165±0.063	0.233±0.031
Poor	13.15±0.98	0.89±0.41	8.37±0.33	6.54±0.28	0.233±0.028	0.154±0.019	0.210±0.031	0.235±0.019
World1	20.12	1.91	10.35	8.07	0.267	0.167	0.083	0.217
World2	18.94	2.27	9.96	7.29	0.433	0.133	0.117	0.233

\*\* , p<0.01, \*, p<0.05 : Good > Poor

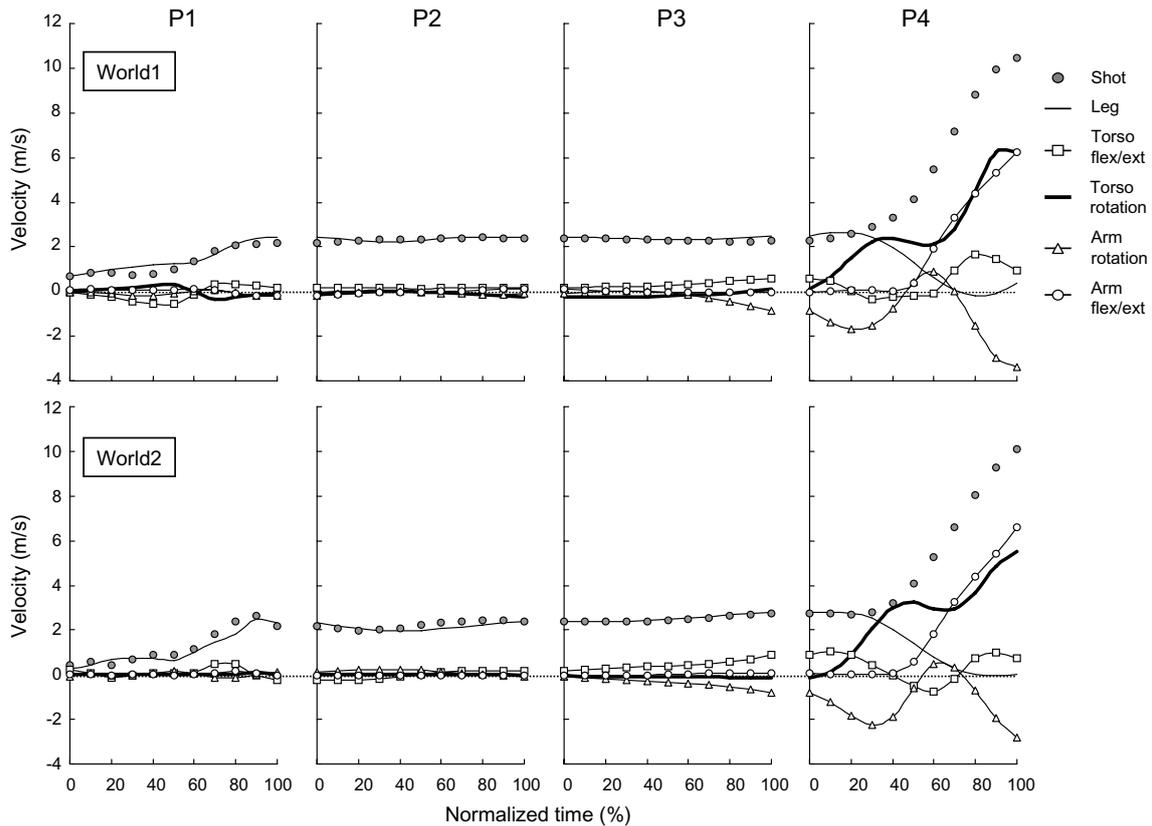


Figure 5 Shot velocity and each motion velocity in Word1 and World2. The positive values means counterclockwise and extension movement for the rotation (torso, arm) and the flex/ext (torso, arm), respectively.

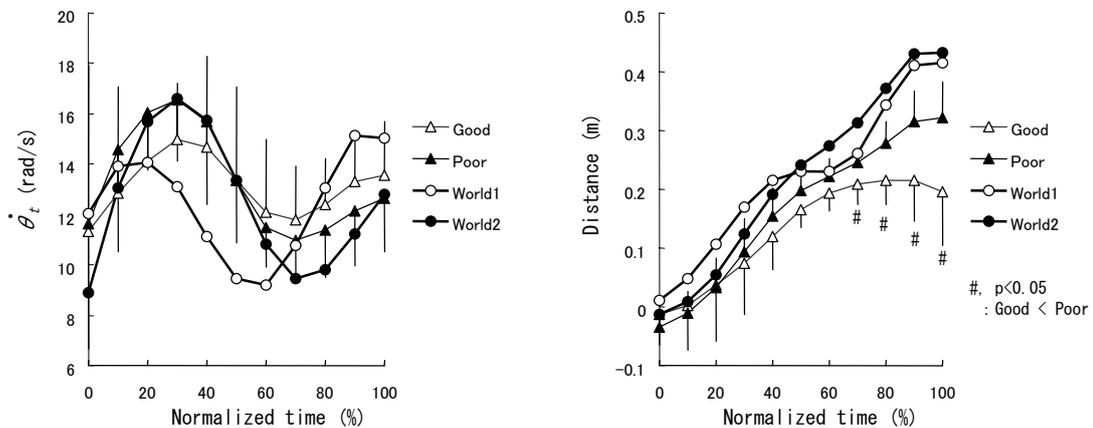


Figure 6 Trunk angular velocities (left) around long axis and distances between trunk and shot (right) during P4. Distance is sum of cosine components of trunk length and arm length. See figure 3.

て詳細にみると、両者はともに Good 群および Poor 群と比較して、前半では体幹の回転が若干高値を示し、後半ではさらに顕著に高値を示した。また、上肢の伸展は Good 群とほぼ同値であった。

図 6 に、P4 における体幹の長軸周りの角速度（以下、単に体幹の角速度）および体幹と砲丸との距離を示した。体幹の角速度は、前半にピークを迎えた後にいったん減少し、後半には再び増加した。3 群

間に顕著な差は認められなかった。体幹と砲丸との距離は、70 - 100%において Poor 群が Good 群と比較して有意に高値を示し、World 群は、Poor 群よりもさらに高値を示した。

図 7 に、P4 における Good 群、Poor 群および World 群の動作の特徴を示す典型的な選手（それぞれ G 選手、P 選手、World1 選手）のスティックピクチャを示した。G 選手は、砲丸が体幹の近くに位

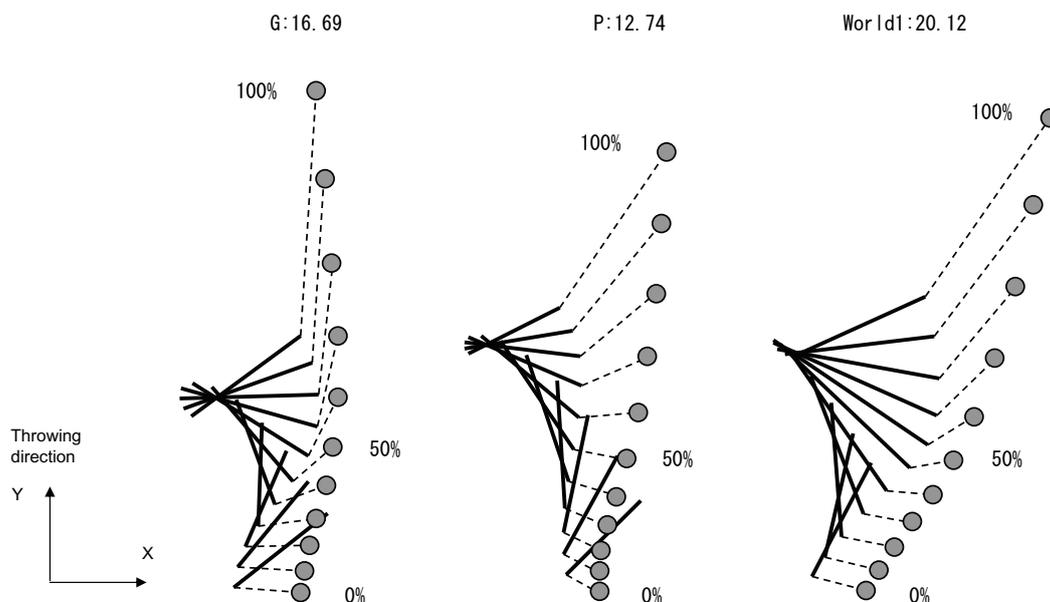


Figure 7 Stick pictures of the trunk and the right arm of the typical subjects in Good, Poor and World groups during P4. The solid line is trunk (connected right shoulder to left shoulder), and the dotted line is arm (connected right shoulder to shot).

置し、ほぼ直線的な軌跡を示した。World1選手は、砲丸が体幹の遠くに位置し、円を描くような軌跡を示した。P選手は、両者の中間的な特徴を示したが、体幹が投てき方向から左方向へ傾く傾向が認められた。

#### IV. 考察

本研究では、一連の砲丸投げ動作における砲丸の速度に対して、どのような動作がどの程度貢献しているのかを明らかにするために、下肢-体幹-上肢モデルを定義し、各動作による砲丸速度を算出した。なお、本研究では投てき方向のみの砲丸速度を分析した。これは、リリース時の砲丸速度をみると Good 群と Poor 群との間には投てき方向の速度においてのみ有意差が認められており (表 1)、両群間における記録の差の主要因は、投てき方向の速度にあると考えられたためである。その結果、おおまかにみるとすべての被験者が次に示す動作の貢献パターンを示した。つまり、砲丸の速度に対して、P1 から P3 まではほぼ下肢の動作 (グライド動作) の貢献によるものであり、砲丸が最も加速される P4 では、前半では下肢の貢献が急激に減少すると同時に体幹の回転の貢献が増大し始め、続いて上肢の回転、後半では上肢の伸展の貢献が顕著に増大していた (図 4, 5)。このことは、砲丸投げの主要な動作順序を説明した西藤 (1977) の見解とおおよそ一致する。また、下肢から体幹、上肢へと中枢から末

端の部分が順次砲丸の加速に参加する、いわゆる運動連鎖が行われていたことを示唆しており、砲丸投げにおいては、この運動連鎖を適切に行うことが重要であることも指摘されている (Lanka, 2000)。これらのことから、本研究で用いたモデルおよび各動作の評価方法は、砲丸投げの動作の特徴を十分に捉えられるものであったと考えられる。したがって、以下には競技レベルの異なる被験者における砲丸速度に対する各動作の貢献の相違について検討することにする。なお、上肢の回転はほぼマイナスに作用していたが、これは水平面内において反時計回りに回転する体幹に対して上肢が水平外転していく状態を示しており、砲丸を投てき方向へ位置づけるための役割を果たしたものと考えられる。

##### 1. 日本レベル選手の上位群と下位群との比較

Good 群は Poor 群と比較して P4 の 90 - 100% における砲丸速度および上肢の伸展が有意に高値を示した (図 4)。このことは、日本レベル選手においては、いわゆる突き出し動作の速さによって砲丸速度の優劣が決定していることを示唆している。上肢は、運動連鎖の順序から最終的に速度が高まり、砲丸にエネルギーを直接作用させる部位であることを考慮すると、この結果は十分に理解できよう。一方、Poor 群は Good 群と比較して P4 の後半において体幹の回転が高値を示し、100% の時点 (リリース時) において有意差が認められた (図 4)。このことは、Poor 群は Good 群よりも突き出し局面後半において、

体幹の長軸周りの回転を砲丸速度に利用していたことを示唆するものである。身体各部の力学的仕事能は、下肢、体幹、上肢の順に低くなる（阿江と藤井，2002）ことから、Poor 群においては、重い砲丸に対して上肢の伸展動作のみでは大きな出力が困難であったために、より出力の大きい体幹を意識的あるいは無意識的に参加させていたことが考えられる。一方、Good 群においては、上肢の伸展が速かったが、このことは同時に突き出す方向と反対方向の力（反作用）も大きくすることになるために、上肢と連結する体幹の角速度が抑えられ、結果として体幹の回転の貢献が低くなったことも考えられる。いずれにしても、日本レベル選手においては、上肢の突き出し動作を速くできるような技術・体力を獲得することによって砲丸の記録を高めていたものと考えられる。なお、体幹の回転の貢献については、世界レベル選手の結果も考慮して、以下にさらに考察を進めることにする。

## 2. 世界レベル選手と日本レベル選手との比較

本研究における世界レベル選手と日本レベル選手との記録の差はおよそ 4～6m であった。World 群の砲丸速度をみると、Good 群および Poor 群と比較して P3 まではほぼ同値であり、P4 において顕著な差が認められた（図 4, 5）。同様の結果は、日本レベル選手（13.65 ± 0.71 m）と世界レベル選手（18.07 ± 0.94 m）の砲丸速度を 2 次元平面で比較した田内ら（2005）によっても報告されている。したがって、世界レベル選手と日本レベル選手との差の原因は、主に砲丸の突き出し局面の動作にあると考えられる。そこで、World 群の P4 における各動作による砲丸速度を日本レベル選手と比較すると、上肢の伸展は Good 群とほぼ同値であったが、体幹の回転が顕著に高値を示した（図 4, 5）。特に、P4 の 50% 以降において Good 群では体幹の回転の貢献が維持あるいは低下するのに対して、World 群では増加するパターンを示した。なお、このパターンは Poor 群と類似していた。このことは、世界レベル選手と日本レベル選手、特に Good 群との記録の差には、日本レベル選手内での比較で指摘した突き出し動作の速さではなく、砲丸速度に対する体幹の回転の貢献の大きさが影響していることを示唆するものである。

ここで注意しなければならないのは、体幹の回転の貢献が、単に体幹の回転速度（角速度）の大きさを示しているのではないことである。式 2 の  $\theta_t$  の微分項をみると、体幹の回転は、体幹の長軸周りの

角速度（以下、単に体幹の角速度）と体幹から砲丸までの距離（X 成分）との掛け算であることがわかる。そこで、P4 における砲丸に対する体幹の回転の貢献についてさらに詳細に検討するために、各群の体幹の角速度および体幹と砲丸との距離を比較した。その結果、体幹の角速度にはいずれの群にも顕著な差は認められなかったが（図 6 右）、体幹と砲丸との距離においては、70～100% において Poor 群が Good 群と比較して有意に高値を示し、World 群は Poor 群よりも高値を示した（図 6 左）。このことは、体幹の回転の貢献の大きさは、体幹の角速度よりも、むしろ体幹と砲丸との距離に強く依存していたことを示唆するものである。この示唆については、各群の典型的な被験者のスティックピクチャによってよく説明できよう（図 7）。つまり、体幹の回転の貢献が低い Good 群は、砲丸が体幹の近くに位置し、ほぼ直線的な軌跡を示したのに対して、体幹の回転の貢献が P4 の後半に顕著に増加する World 群は、砲丸が体幹の遠くに位置し、円を描くような軌跡を示した。また、Poor 群はその中間的な軌跡を示した。

上述したように、出力の大きい体幹を砲丸速度に利用することは極めて合理的である。本研究の結果から、そのための 1 つの要因として、P4 において体幹から砲丸を遠くに位置させて突き出すことがあげられる。しかし、このことは、体幹-砲丸系の回転半径が長くなることによって、体幹の角速度を高めることが困難になること、砲丸の速度ベクトルと上肢の力ベクトルを一致させることが困難になることなどのマイナス面も含んでいる。このように考えると、World 群はそれらのマイナス面を克服して、なお体幹の角速度を日本レベル選手と同レベルまで高められる技術および体力を獲得していたものと考えられる。なお、Poor 群は砲丸を遠くへ位置させながら突き出すことによって、体幹の回転の貢献を大きくできたが、体幹が左に移動しながら砲丸を右方向へリリースしているために、砲丸の速度ベクトルと上肢の力ベクトルにずれが生じ、砲丸を効果的に突き出すことができなかったものと推察される（篠原ら，1997）。一方、Good 群は回転半径が短いことから、体幹の角速度を高め易いと考えられるが、体幹と突き出す方向との角度が 90 度（体幹の回転の接線方向）に近くなり、突き出し動作による反作用が直接体幹の角速度の抑制に作用してしまうために、十分に角速度が高められなかったと考えられる。なお、Good 群における体幹の回転の接線方向への突き出し動作は、砲丸の速度ベクトルと上肢

の力ベクトルを一致させることを優先させた結果であるとも解釈できよう。

以上の結果から、砲丸投げの技術を評価する際には、主に突き出し局面の体幹の回転および上肢の伸展動作に着目することが有効であることが示唆された。しかし、本研究では、身体を下肢、体幹、上肢にモデル化しているために、詳細な動作は検討できない。したがって、今後は体幹の回転を生み出す役割としての下肢の動作、あるいは体幹の捻り動作などを上肢の伸展動作と関連付けて、さらに検討することが課題となるであろう。また、本研究ではWorld群が2名であったために、世界レベル選手の特徴を十分に捉えられなかった可能性がある。今後は世界レベル選手のデータ数を増やし、さらに詳細に検討することも課題としてあげられる。

## V. 要約

本研究の目的は、グライド投法における砲丸速度に対する身体各部位の貢献の仕方を明らかにし、その貢献の仕方の競技レベル差を検討することであった。日本選手権に出場した女子砲丸投げ選手16名(上位8名: Good群, 下位8名: Poor群)および世界選手権で上位入賞の経験を持つ2名(World群)を対象にして、各選手の投てき動作について3次元動作解析を行った。砲丸速度に対する身体各部位の貢献の仕方を明らかにするために、下肢-体幹-上肢モデルを定義し、各部位の相対速度を算出した。また、体幹に対する上肢(砲丸)の速度は、体幹-上肢モデルを極座標で示した。なお、本研究では一連の投てき動作について砲丸の最下点(Mid)、右足離地(R-off)、右足接地(R-on)、左足接地(L-on)およびリリース(Release)の各イベントを設定し、MidからR-offまでの局面をP1、R-offからR-onまでの局面をP2、R-onからL-onまでの局面をP3、L-onからReleaseまでの局面をP4とした。主な結果は、次の通りである。1) 砲丸の速度に対して、P1からP3まではほぼ下肢の動作の貢献によるものであり、砲丸が最も加速されるP4では、前半では下肢の貢献が急激に減少すると同時に体幹の回転の貢献が増大し始め、続いて上肢の回転、後半では上肢の伸展の貢献が顕著に増大していた。2) P4においてGood群はPoor群と比較して、上肢の伸展の貢献が高く、体幹の回転の貢献が低かった。3) P4においてWorld群はGood群と比較して、上肢の伸展の貢献は同程度であったが、体幹の回転の貢献が顕著に高かった。これらの結果は、日本レベル選手

は、上肢の突き出し動作を速くする技術・体力を獲得することによって砲丸の記録を高めていること、世界レベル選手は、日本レベルの上位の選手と同様の上肢の突き出し動作を行いながら、さらに体幹の回転を砲丸の速度に利用できる技術・体力を獲得していることを示唆するものである。

## 参考文献

- 阿江通良, 渋川侃二 (1980) 身体運動における身体各部位の貢献度のバイオメカニクス的分析—垂直跳の踏み切りを例にして—。体育学研究 25: 233-243.
- 阿江通良, 藤井範久 (2002) スポーツバイオメカニクス 20 講。朝倉書店: 東京.
- 古谷嘉邦, 畑康太郎 (1989) 砲丸投げのグライド動作に関する実験的研究—主として振り出し脚について—。東海大学スポーツ医科学雑誌 1: 72-78.
- 橋本勲, 池上康男, 桜井伸二, 岡本敦, 若山章信, 小坂井和歌子 (1995) 競技レベルの異なる砲丸投げ選手の投動作—世界と日本の一流選手, 大学選手の比較—。総合保健体育科学 18: 37-44.
- 橋本勲, 大北英紀, 阪本孝男, 斉藤良太, 安藤好郎, 佐野真也, 池上康男 (2004) 大学女子砲丸投げ選手のエネルギー発揮に関する研究—脚部および体幹の役割について—。中京女子大学研究紀要 38: 21-29.
- Lanka, J (2000) Shot Putting. Biomechanics in Sport (ed) Zatsiorsky, Blackwell Science, MA: pp. 435-457.
- Linthorne, N., P. (2001) Optimum release angle in the shot put. J. Sports. Sci. 19: 359-72.
- 大山卞圭悟 (2005) 投てき。人間の許容限界辞典。朝倉書店, 東京: 397-402.
- 西藤宏司 (1969) 砲丸投の投てき技術に関する研究(グライド動作について)。中京体育学論叢 11: 309-325.
- 西藤宏 (1977) 砲丸投・ハンマー投げ, 陸上競技入門シリーズ 8。ベースボールマガジン社: 東京, pp. 30-37.
- 篠原邦彦, 阿江通良, 藤井範久 (1997) 一流砲丸投げ選手が砲丸に発揮したパワーの変化と上肢の機能。身体運動のバイオメカニクス: 288-293.
- 末吉靖宏, 辻尾昇三 (1998) 砲丸投げ突き押し動作における最適な上肢関節トルクの配置。鹿児島大学教育学部研究紀要自然科学編 50: 79-89.
- 田内健二, 持田尚, 榎本靖士, 阿江通良 (2005) 女

子砲丸投げのグライド投法における世界レベル競技者と日本国内レベル競技者との相違. 陸上競技研究紀要1 : 36-44.

植屋清見, 池上康夫, 中村和彦, 桜井伸二, 岡本敦, 池上哲史 (1994) 砲丸投げのバイオメカニクスの分析. 佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良監修, 世界一流競技者の技術. ベールボールマガジン社 : 東京, pp. 207-219.