

## 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—

Comparison of shot put motion among male athletes with various competing levels

橋本 勲\* 池上 康男\*\* 桜井 伸二\*\*  
岡本 敦\*\*\* 若山 章信\*\*\*\* 小坂井 和歌子\*\*\*\*\*

Isao HASHIMOTO \* , Yasuo IKEGAMI \*\* , Shinji SAKURAI \*\*  
Atsushi OKAMOTO \*\*\* , Akinobu WAKAYAMA \*\*\*\* , Wakako Kozakai \*\*\*\*\*

The purpose of this study was to compare the shot put motion among male athletes with various competing levels. The subjects were six world top putters (group W) , six Japanese top putters (group J) , and five university student putters (group S) . The putting motions were filmed with high-speed cinematography and analyzed to obtain release parameters (initial velocity, release angle, release height, release length) and force and power provided to the put during putting motion. The mean record of analyzed trials was 20.56m, 16.29m, and 13.63m for group W, group J, and group S, respectively. Initial velocity of the shot (average: 13.77m/s (W), 11.76m/s (J), and 11.03m/s (S)) correlated significantly with the putting distance, and had the greatest influence on the record among the release parameters. Though release angle had less influence on the putting distance, the world top athletes put the shot with higher release angle (38.8 deg) compared to the Japanese top (35.3 deg) and student (35.6 deg) putters. Both mean force and mean power provided to the shot during putting motion was greater for group J (331 N, 2415 W) compared to group W (321 N, 2315 W) and group S (291 N, 2195 W). One of the reasons of this tendency was that the duration of acceleration phase of the putting motion of group J (0.24 s) was the shortest compared to the other groups (W: 0.30 s, S: 0.26 s). These results may be considered to be related to the athletes' physique. (This study is part of the activities of the Biomechanics Research Project Team of the Japan Amateur Athletic Federation.)

### I. 研究目的

砲丸投げの投てき距離は、投射時の初速度、投射角、投射高といった初期条件によって決定される。これらの初期条件のうち、特に投射初速度が投てき距離を決定する主要因であると

されている<sup>2,3,4,6,8,9,10,13,14,15,17</sup>。この投射初速度を大きくするためには、投げの動作中に砲丸に加える力積を大きくすること、すなわち加える力を大きくするか、力を加える時間を長くするかが必要となる。また、投射時の初速が大きいことは砲丸の持つ運動エネルギーが大きい

- \* 中京女子大学
- \*\* 名古屋大学総合保健体育科学センター
- \*\*\* 名古屋女子商科短期大学
- \*\*\*\* 財団法人スポーツ医・科学研究所
- \*\*\*\*\* 中京大学大学院
- \* Chukyo Women's University
- \*\* Research Center of Health, Physical Fitness and sports, Nagoya University
- \*\*\* Nagoya Women's Junior College of Commerce
- \*\*\*\* Institute of Sports Medicine and Science
- \*\*\*\*\* Chukyo University

いことであり、このことは、投げの一連の動作過程の中で砲丸に対し、いかに大きな力学的仕事をするかということが重要であることを意味している。

これまでに筆者らが行った砲丸投げの研究には、砲丸投射時の諸要因や投げの動作中に砲丸に加えられた力について検討したもの<sup>3)</sup>、砲丸投げにおける脚部や体幹の役割をエネルギー発揮の面から定量的に分析し検討したもの<sup>4)</sup>、さらに重量の異なる砲丸を用いた時の投動作を力学的に分析し、砲丸重量の違いが投げの動作に及ぼす影響について検討したもの<sup>5)</sup>等がある。これらの研究ではすべて大学生選手を対象にしており、必ずしも対象者のすべてが一流選手であったわけではない。

最近行われた砲丸投げの研究では、世界の一流選手を対象にしたものとして池上ら<sup>9)</sup>の報告がみられる。彼らは、1991年に行われた世界陸上選手権大会で入賞した上位6名の男子選手の投動作を分析し、競技記録に影響を与える要因について明らかにしている。

これまでの砲丸投げ研究では、そのほとんどが世界および日本の一流選手や大学生選手といった対象の限られた範囲内での報告しか見られず、異なる投てきレベルの選手の比較に焦点を置いた研究はみられない。

そこで本研究は、TOTO国際スーパー陸上の砲丸投げで決勝進出を果たした日本人一流選手の結果を、これまでに得られた世界の一流選手や大学生選手の結果と比較することにより、投てきレベルの異なる男子選手の投射時の力学的諸量をバイオメカニクスの観点から検討しようとしたものである。

## II. 研究方法

### 1) TOTO国際スーパー陸上における分析

#### a) 対象

1993年9月18日に福岡市の博多の森陸上競技場で行われたTOTO国際スーパー陸上男子砲丸投げ決勝における上位6名の日本人一流選手の投てき試技を分析の対象とした(表1)。

#### b) 記録

競技場観客席の最上段の通路に2台の16mm高速度カメラ(フォトソニックス社製1-PL)を設置した。カメラの設置場所は投てきサークルのほぼ後方および斜め後方であった。フェイズロック機構により2台のカメラのシャッターの開閉を電氣的に同期させ、各選手のグライドから投射に至る投動作を毎秒50コマの撮影速度で記録した。両カメラの光軸のなす角度は約60度、視野は投射までの選手の全動作、および投射後の砲丸の飛行が1m程度収まるように設定した。三次元のキャリブレーションのために、投てきサークルの中心を基準にあらかじめ計測されたフィールド上の複数の固定点に検者が順次キャリブレーション用のポールを垂直に立て、ポールに取り付けられた2個のコントロールポイントを撮影した。

#### c) 分析

2台のカメラから得られたフィルムをデジタイザーの上に投影することにより、コントロールポイントのフィルム面上での座標を求めた。同様に、記録された投動作中の砲丸を含む身体各部位のフィルム面上での座標を各コマについて計測した。これらの座標と実空間での座標値を用いて、DLT法<sup>1,8)</sup>によって2本のフィルムから得られた座標値を合成し、砲丸および身体各部位の実空間上での三次元座標を求めた。得られた三次元座標から計算により投射時の砲丸の初速度の三次元ベクトル、投射角、投射高、投動作中の身体重心位置等を求めた(図1)。重心の計算には松井の重心係数<sup>11)</sup>を用いた。また、分析データに混入したノイズを除去するためにカットオフ周波数10Hzの双方向バターフースタイプデジタルフィルターを用いた<sup>16)</sup>。

### 2) 比較検討

TOTO国際スーパー陸上の結果をもとに、先行研究による世界一流選手と大学選手の結果を加えて、力学的諸量について比較検討した。

a) 世界の一流選手：1991年の第3回世界陸上選手権大会・東京大会で入賞した上位6名の選手(池上ら<sup>9)</sup>の報告による)。

b) 日本の一流選手：1993年のTOTOスーパー

レベルの異なる砲丸投げ選手の比較

表1 記録とリリース時の力学的諸量

| 順位         | 選手名  | 自己最高記録<br>(m) | 試合の記録<br>(m) | 初速度<br>(m/s) | 投射角<br>(deg) | 投射高<br>(m) | リリース長<br>(cm) |    |
|------------|------|---------------|--------------|--------------|--------------|------------|---------------|----|
| 日本         | 1    | Y.O.          | 17.65        | 17.17        | 11.93        | 35.7       | 2.17          | 18 |
|            | 2    | H.M.          | 17.27        | 17.12        | 12.14        | 35.9       | 2.13          | 13 |
|            | 3    | H.N.          | 15.56        | 15.91        | 11.65        | 32.5       | 1.93          | 16 |
|            | 4    | H.S.          | 16.24        | 15.88        | 11.70        | 33.9       | 2.19          | 15 |
|            | 5    | K.T.          | 17.02        | 15.82        | 11.39        | 37.3       | 2.32          | -5 |
|            | 平均   | 16.88         | 16.29        | 11.76        | 35.3         | 2.16       | 11.8          |    |
|            | 標準偏差 | 0.74          | 0.61         | 0.23         | 1.6          | 0.12       | 7.7           |    |
| 学生 (n = 5) | 平均   | 14.85         | 13.63        | 11.03        | 35.6         | 2.07       |               |    |
|            | 標準偏差 | 1.48          | 1.02         | 0.55         | 2.9          | 0.04       |               |    |
| 世界 (n = 6) | 平均   | 20.61         | 20.56        | 13.77        | 38.8         | 2.26       | 8.2           |    |
|            | 標準偏差 | 0.56          | 0.59         | 0.26         | 1.8          | 0.04       | 7.6           |    |

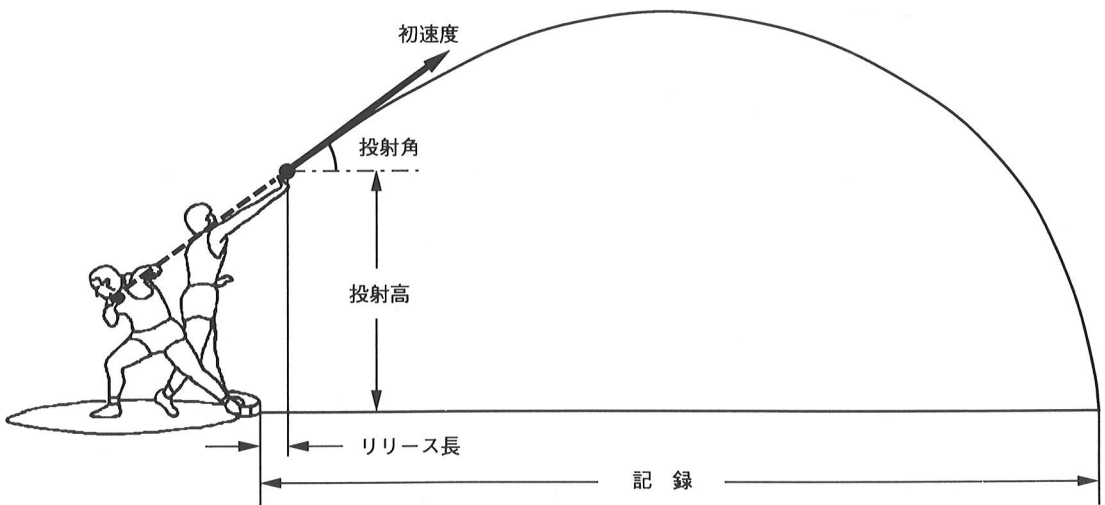


図1 投射時の力学的諸要因

陸上・福岡大会に出場した6名の選手(今回の分析結果による)。

c) 大学選手: 実際の競技会でなく、実験的に行った試技における5名の大学陸上競技部投

てき選手(筆者ら<sup>3)</sup>の報告による)。

なお、1991年の東京で行われた第3回世界陸上選手権大会と1993年の福岡で行われたTOTO国際スーパー陸上におけるデータは三次

元分析されたものであるが、1987年の大学選手については二次元分析で行ったものである。

対象とした全選手の投法は全てグライド投法であった。

### Ⅲ. 結果と考察

一般に砲丸投げの投射後の投てき距離は、砲丸の運動を放物体の運動とすると、投射時の砲丸の初速度 (Initial Velocity)、投射角 (Angle of Release)、投射高 (Release Height) 及びリリース長 (Release Length) によって決まる (図1)。

今回はこれら投射時の力学的諸量について、投てきレベルの異なる砲丸投げ選手について比較した。

#### 1. 投射時の初期条件について

表1に、今回のTOTO国際スーパー陸上における日本の一流選手の砲丸投げ記録と投射時の力学的諸量の結果を、世界の一流選手、大学選手の結果とともに示した。

##### 1) 初速度

今回の日本の一流選手の初速度には記録との間に顕著な直線関係 ( $r = 0.914$ 、1%水準) が見られ (図2)、これは世界の一流選手 ( $r = 0.875$ 、5%水準) や大学選手 ( $r = 0.980$ 、0.1%水準) にも共通するものであった。このことは初速度が記録を決定する上で極めて重要な要因であるとするこれまでの研究結果と一致するものである。また異なる競技レベル間での比較では、初速度の平均値は世界の一流選手、日本の一流選手、大学選手の順で大きかった。今回示した大学選手の結果は競技会ではなく実験的に行った試技であったため、世界や日本の一流選手の結果と直接比較することには若干無理があるかも知れないが、日本の一流選手の結果と比した初速度の差がおよそ1m/秒であったのに対し、日本と世界の一流選手との間の初速度には、2m/秒を越える大きな差が認められた。

TOTO国際スーパー陸上で1位となった日本人選手であるY.O.と世界選手権大会で1位となった外国人選手であるW.G.との記録には

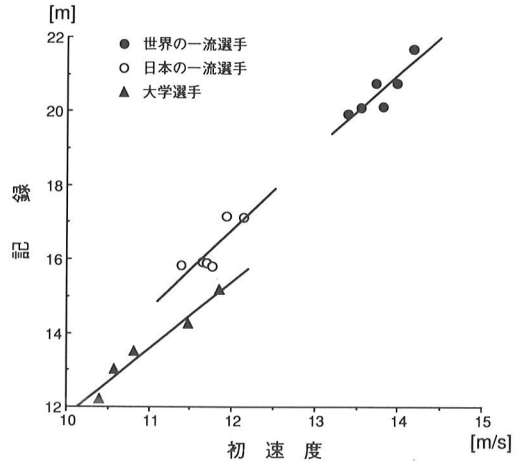


図2 初速度と記録の関係

4.5mの開きがあり、初速度でおよそ2m/秒の違いが見られた。また、日本と世界の上位6名の平均値においてもほぼ同程度の差が見られた (初速度の差2.01m/秒、記録差4.34m)。

多くの研究報告により指摘されている2.3.4.6.8.9.10.13.14.15.17) ように、今回の分析結果においても、記録に差を生じる最大の要因は初速であった。

##### 2) 投射角

一般的に、投げにおける投射時の最適投射角は初速度の大きさとの関連がある<sup>7,12)</sup>。砲丸の初速度が同じで、砲丸の落下点が投射位置と同じ高さにあるとすれば、投射角が45度の時に砲丸飛距離は最大となる。しかし、砲丸投げでは投射位置が地面より高いため、最適な投射角は45度以下になる。この45度よりどれくらい低くなくてはならないかは、投げ出される高さ (投射高) と砲丸の初速度によって違ってくる。投射高が2.0m程度の砲丸投げでは40度前後が良いとされている。

図3は、世界の一流選手、日本の一流選手、大学選手の投射角の平均値をそれぞれ示したものである。

日本の一流選手と大学選手の投射角に顕著な差は見られないが、世界の一流選手の投射角と比べると、およそ3度ほど低いことがわかる。

投射角と記録との間の相関関係をそれぞれの

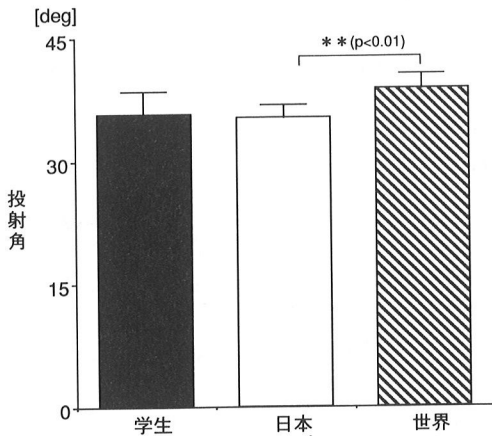


図3 世界と日本の一流選手、大学選手の投射角

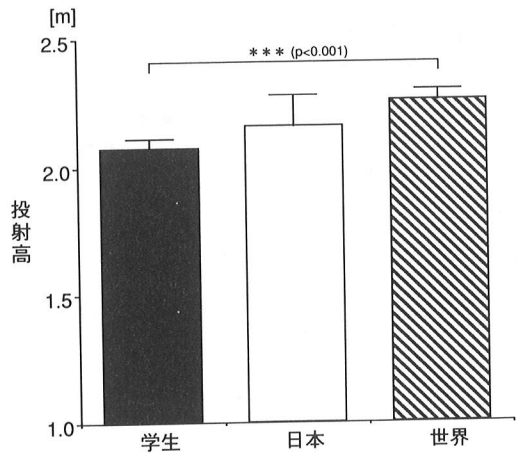


図5 世界と日本の一流選手、大学選手の投射高

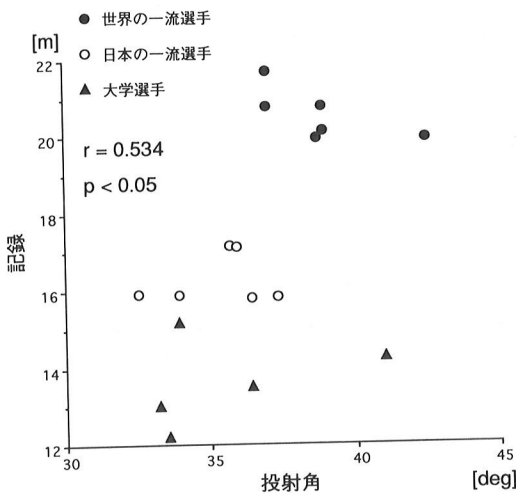


図4 投射角と記録

グループ内で調べたが、図4に示すように、いずれも両者の間に特別な関係はなく、各グループ内で投射角が記録に及ぼす影響は見られなかった。しかし、すべての選手を対象とすると、投射角と記録との間に相関 ( $r = 0.534$ 、1%水準)が見られた。また平均値で比較すると、世界と日本の一流選手との間に有意な差 (1%水準)が見られたが、日本の一流選手と大学選手との間には有意な差は見られなかった。

このことから、世界の一流選手は日本人選手に比べて初速度も大きく、なお且つ高い投射角を有しているものといえる。

### 3) 投射高

図5は、世界の一流選手、日本の一流選手、大学選手の投射高の平均値を示したものである。

日本の一流選手と大学選手との間および日本と世界の一流選手との間における投射高は、平均でおよそ10cmの差が見られ、大学選手と世界の一流選手との間には19cmとさらに大きな差が見られた。

世界の一流選手と大学選手の平均値との間には有意な差 (0.1%水準)が見られたが、世界と日本の一流選手との間や日本の一流選手と大学選手の間には有意な差は見られなかった。また投射高と記録との間には、全員で見ると両者に有意 ( $r = 0.674$ 、1%水準)な関係が見られたが、各グループ内では投射角と同様に特別な関係は見られなかった (図6)。

世界陸上選手権大会における上位6名の選手では、投射高は最大で2.32m、最低で2.21mであり、その差は11cmと各選手間のばらつきは比較的小さいものであった。一方、日本の一流選手ではその差は29cmと、各選手間のばらつきは大きかった。

投射高と投てき距離の関係について、初速度

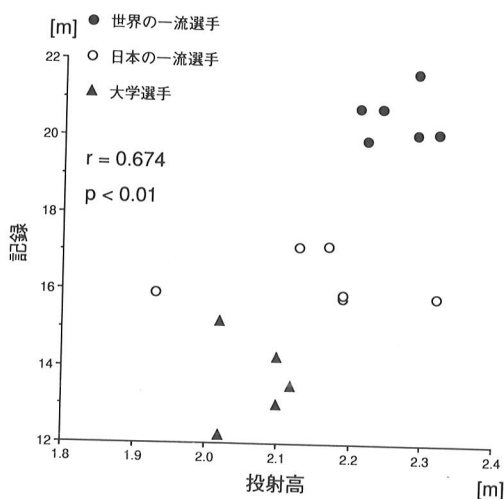


図6 投射高と記録

と投射角が同じ場合、投射高の10cmの増加に対し記録が8～10cm増加するとされている<sup>18)</sup>。このように飛距離に対し、投射高は高ければ高いほど良いことになるが、投射高は投てき選手の体格（特に身長）によってほぼ決定すると考えられる。従って、小柄な選手が高い位置でリリースすることは、おそらく投射角の増加に伴うため、必ずしも最大飛距離が得られることにはならないであろう。

#### 4) リリース長

リリース長は投射時の腕の突き出しによって得られる利得距離となるものである（図1）。

このリリース長を大きくするためには、投射時点で手が砲丸のサークルからできるだけ外に出ていることが必要となってくるが、そのためにはサークルを十分に生かした前方への腕の突き出しを有効に行うことが大切になる。そうすることによって、わずかでも投てき距離を増すことができる。大学選手のリリース長については調べられていないが、世界と日本の一流選手のリリース長の比較では、平均値でわずかに3.6cmの差異が見られただけであった。

#### 2. 選手の体格とパワー

日本の一流選手の体格を大学選手と比べると、日本の一流選手が身長平均でおよそ

2cm、体重でおよそ11kg上回っていたが、日本の一流選手と世界の一流選手では、平均値で身長およそ13cm、体重およそ9kgの差が見られた。

原理的には、身長が高いことは投てきの投射高が高くなり有利といえる。また体重が大きいことは、投てき動作のスピードが一定であるとするれば、動作中の身体が持つ運動量が大きいことになり、従って砲丸に与える運動量も大きくなり得るといえる点で有利となる。

表3は、砲丸投げでの両足着地から投射に至るまでの動作に要した時間および砲丸に加えられた力とパワーの平均値を各選手について示したものである。

表2は、世界と日本の一流選手、ならびに大学選手の体格（身長と体重）を示した。

平均の力は、投げの動作中の砲丸の運動量の変化分を投げの動作時間で除して求め、また平均のパワーは、投げの動作前と投射時に砲丸が持つ力学的エネルギーの差を投げの動作時間で除して求めたものであり、いずれも砲丸を短時間で加速する能力を表わしている。

平均の力は日本の一流選手と大学選手との間

表2 選手の体格

| 順位          | 選手名  | 身長 (cm) | 体重 (kg) |     |
|-------------|------|---------|---------|-----|
| 日本          | 1    | Y.O.    | 182     | 108 |
|             | 2    | H.M.    | 180     | 109 |
|             | 3    | H.N.    | 177     | 104 |
|             | 4    | H.S.    | 183     | 103 |
|             | 5    | K.T.    | 184     | 125 |
|             | 6    | Y.U.    | 182     | 110 |
| 平均          |      | 181.3   | 109.8   |     |
| 標準偏差        |      | 2.5     | 7.9     |     |
| 学 生 (n = 5) | 平均   | 179.4   | 99.2    |     |
|             | 標準偏差 | 4.7     | 11.6    |     |
| 世 界 (n = 6) | 平均   | 194.0   | 118.3   |     |
|             | 標準偏差 | 5.7     | 9.0     |     |

## レベルの異なる砲丸投げ選手の比較

表3 投げの構えからリリースまでの動作時間、平均の力及び平均のパワー

| 順位      | 選手名  | 動作時間 (s) | 平均の力 (N) | 平均のパワー (W) |      |
|---------|------|----------|----------|------------|------|
| 日本      | 1    | Y.O.     | 0.22     | 352        | 2643 |
|         | 2    | H.M.     | 0.25     | 325        | 2381 |
|         | 3    | H.N.     | 0.25     | 315        | 2181 |
|         | 4    | H.S.     | 0.25     | 303        | 2169 |
|         | 5    | K.T.     | 0.24     | 336        | 2307 |
|         | 6    | Y.U.     | 0.25     | 353        | 2810 |
| 平均      |      | 0.24     | 331      | 2415       |      |
| 標準偏差    |      | 0.01     | 18       | 237        |      |
| 学 (n=5) | 平均   | 0.26     | 291      | 2195       |      |
|         | 標準偏差 | 0.03     | 29       | 381        |      |
| 世 (n=6) | 平均   | 0.30     | 321      | 2315       |      |
|         | 標準偏差 | 0.02     | 13       | 115        |      |

に平均値で 40N と有意な差 (5%水準) が見られたが、世界と日本の一流選手との間や世界の一流選手と大学選手との間には有意な差は見られなかった。平均のパワーはいずれのグループ間にも有意な差は見られなかったが、日本の一流選手で最も大きい傾向が見られた。

しかし動作時間については、世界と日本の一流選手との間や世界の一流選手と大学選手との間にそれぞれ有意な差 (0.1%水準、5%水準) が見られ、平均値でそれぞれ約 0.06 秒、約 0.04 秒と世界の一流選手に長い結果が得られた。

これらの結果から、日本と世界の一流選手間の競技成績の差に直接影響を与える要因は、投動作中に発揮される平均の力やパワーの大きさではなく、投げの動作に要する時間に関係するといえる。

日本の一流選手に比べて世界の一流選手の投げの動作時間が長かったことの最も大きな理由として、体格、特に身長の違いがあげられよう。すなわち、表2で示したように、世界の一流選手は日本の一流選手に比べ長身であるため、動作範囲が大きく、投げの動作における突き出しにおいて、より長く砲丸を加速し続けることが

できたものと考えられる。

以上のことから、世界の一流選手に比べて小柄な日本の一流選手が世界的な記録のレベルに近づくためには、現在以上に大きな力やパワーの発揮能力を高めるトレーニングが重要となろう。具体的に示すと、現在の初速度を落とさずにもう少し大きい投射角で投げられる能力が必要である。そのためには、より大きな筋力とパワーが必要となる。

また、グライド投法に比べ加速距離や時間を長くできる、回転投法のような方法が日本人選手に適している可能性もあることが示唆されよう。

## IV. ま と め

世界と日本の一流選手及び大学選手の投てきレベルの異なる男子砲丸投げ選手の3つのグループについて、投射時の力学的諸要因について比較検討した結果、以下の点が明らかになった。

- 1) 投射時の諸要因である初速度、投射角、投射高は、いずれも世界の一流選手が大きかった。これらの要因のうち、初速度については記録との間に有意な関係が認められ、初速度が競技成績を決定する重要な要因であることが示唆された。
- 2) 投射角は、世界の一流選手が日本の一流選手に比べ有意に高い値を示したが、投射角が記録に及ぼす影響は初速度と比べ少ないものであった。
- 3) 投射高は、日本の一流選手と大学選手との間、世界と日本の一流選手との間には大きな差は見られなかったが、世界の一流選手と大学選手との間には顕著な差が見られた。
- 4) 投げの動作に要した時間および砲丸に加えられた平均の力とパワーについて検討した結果、日本人一流選手の方が大きな値を示す傾向が認められた。しかし動作時間は、世界の一流選手の方が長く、その結果砲丸に与える運動量やエネルギーが大きくなっていることが明らかとなった。

動作時間の違いについては、身長等の体格的要因が強く影響しているのではないかと考えられた。

(本研究は、日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究・特別研究班の活動の一部である。)

## 文 献

- 1) Abdel-Aziz, Y. I. and H. M. Karara: Direct linear transformation from comparator coordinates into object space in close-range photogrammetry. American Society of Photogrammetry, Falls Church, 1971.
- 2) Bunn, J.: Scientific principle of coaching. Printice-Hall Inc., 1955, pp22-38.
- 3) 橋本勲、池上康男、桜井伸二、安藤好郎、室伏重信：砲丸投げの身体運動学的研究。中京女子大学紀要、21: 51-58, 1987.
- 4) 橋本勲、池上康男、桜井伸二、室伏重信、安藤好郎、岡本敦：砲丸投げにおける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— Jpn. J. Sports Sci., 10: 73-79, 1991.
- 5) 橋本勲、池上康男、桜井伸二、室伏重信、安藤好郎、岡本敦：砲丸投げの投動作に及ぼす砲丸重量の影響 Jpn. J. Sports Sci., 13: 107-113, 1994.
- 6) 橋本勲、三浦望慶、池上康男、天野義裕、陳全寿：やり投げの身体運動学的研究—助走と投げの動作の関連について—。東海保健体育科学、1: 27-35, 1979.
- 7) 橋本勲、三浦望慶：投げの方向とボールの重さが初速度に及ぼす影響。中京女子大学紀要、15: 97-102, 1981.
- 8) 池上康男：写真による運動の三次元的解析法 Jpn. J. Sports Sci., 2: 163-170, 1993.
- 9) 池上康男、桜井伸二、岡本敦、橋本勲：砲丸投げのバイオメカニクス—第3回世界陸上競技選手権大会における投動作の三次元分析—。総合保健体育科学、16: 93-100, 1993.
- 10) 石井喜八、山崎武：投球動作の分析、ハンドボール投げの場合。大阪体育大学紀要、1: 23-29, 1968.
- 11) 松井秀治：運動と身体の重心。体育の科学社、東京、1958.
- 12) 三浦望慶、橋本勲：投げにおける方向と初速度と重量と。体育の科学、30: 473-477, 1980.
- 13) 小野勝次：陸上競技の力学第1版。同文書院、東京、1957.
- 14) 西藤宏司：砲丸投げ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, 1969.
- 15) 西藤宏司他：砲丸投げ世界記録更新の条件分析(1)—Glide動作について—。体育学研究、14: 142, 1970.
- 16) 桜井伸二、池上康男「フィルムデータの平滑化法について」総合保健体育科学、8: 95-102, 1985.
- 17) 渋川侃二：運動力学、大修館書店、東京、1969.

(1994年12月5日受付)