

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

田内健二¹⁾ 持田 尚²⁾ 榎本靖士³⁾ 阿江通良⁴⁾

1) 国立スポーツ科学センター 2) (財)横浜市スポーツ医科学センター 3) 京都教育大学
4) 筑波大学

The difference between female athletes of World level and Japan national level in glide technique of shot put.

Kenji Tauchi¹⁾ Takashi Mochida²⁾ Yasushi Enomoto³⁾ Michiyoshi Ae⁴⁾

1) Japan Institute of Sports Sciences
2) Yokohama sports medical center
3) Kyoto University of education
4) University of Tsukuba

Abstract

The purpose of this study was to investigate the difference between female athletes of World level and that of Japan national level in glide technique of shot put. Thirteen world level (World group) and eleven Japan national level shot putters (National group) were compared in position, displacement, velocity and acceleration of the shot. Although there was no difference in the velocity of the shot at the start of final push-off phase between two groups, in a short period of 0.2 seconds later, the velocity of the shot at release was significant higher in World group than in National group. There were no significant differences in the parameters of the shot during starting and gliding phase. These results indicate that it is necessary for Japan national level athletes to improve the motion during the push-off phase, because the velocity of the shot for Japan national level athletes was similar to that of the world level athletes in preceding of push-off phase.

I. 緒言

これまで日本の女子砲丸投げは、世界のレベルから遠く及ばない代表的な種目として知られてきたが、2004年に森千夏選手が18m22という日本記録を樹立し、アテネオリンピックに出場したことをはじめ、豊永陽子選手は17m57、市岡寿美選手は16m79と世界に通用していけるレベルに近づきつつある。しかし、この3名の選手のレベルが他の日本人選手より突出して優れており、必ずしも全体的にレベルが上がっているとはいえない状況でもある。砲丸投げのグライド投法に関する技術分析は、1950年代から盛んに行なわれ、世界のトップレベルの技

術分析についてもいくつかの報告がある (Marhold, 1974; 植屋ら, 1994)。しかし、多くの研究は男子選手を対象にしている場合が多く、女子選手に関する報告は少ない。また、1970年代から男子の砲丸投げの動作はグライド投法から回転投法へ移行し、現在では回転投法が主流となっている。このことから、近年では砲丸の技術分析に関しても回転投法を用いた報告が多くなっており (Bartonietz, 1994; Luhtanen, et al., 1997; Oesterreich, 1999)、反対にグライド投法を用いた報告は少なくなっている。一方、女子の砲丸投げに限れば、世界の一流競技者であってもグライド投法が主流であり、女子の砲丸投げのグライド投法に関するデータを蓄積、分

析することは現在においても重要な課題の1つである。また、日本においても女子の砲丸投げはグライド動作を行なっている選手が圧倒的に多いにもかかわらず、女子選手を対象にしてグライド動作を定量的に分析した研究は極めて少ない。したがって、女子砲丸投げのグライド投法に関して、世界トップレベルの選手と日本選手との類似点および相違点を明らかにすることは、日本女子砲丸投げの競技力向上のために有用な知見が得られるものと考えられる。

そこで本研究は、グライド投法の動作について世界レベルの選手と日本国内レベルの選手との相違点を明らかにし、日本における女子砲丸投げの競技力向上のために有用な知見を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 分析対象

分析対象は、2003年のスーパー陸上、2004年の静岡国際、大阪グランプリ、日本選手権、およびスーパー陸上において女子砲丸投げに出場した選手24名（のべ48名）の各試合における最高記録をマークした試技とし、複数の試合に出場した選手は、記録の最も良い試合の試技とした。すべての対象選手は、グライド投法を行なっており、この中には、2004年アテネオリンピックの決勝進出者5名が含まれていた。なお、図1に示した記録のヒストグラムをみると、両極に偏った分布を示したことから、16.50m以上の選手13名をWorld群、15.00m以下の選手11名をNational群に分けた。World群には日本選手が3名含まれており、National群はすべて日本選手であった。

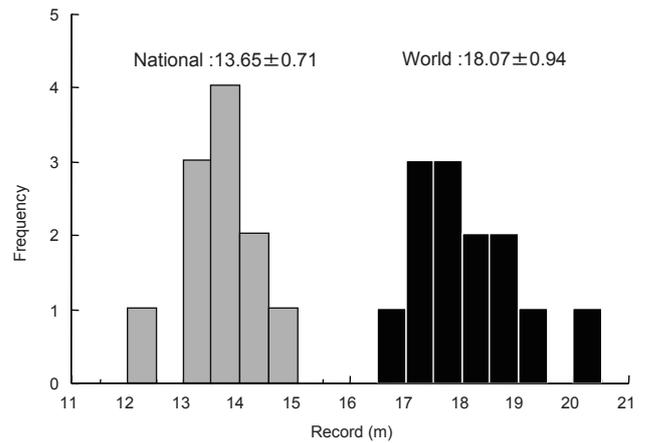


Figure 1 Histogram of shot put record.

2. データ収集

すべての試技を、サークルの右側方に設置した1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。また、砲丸の2次元座標を得るためにサークルの中心、中心から1.5m後方および2.0m前方（投てき方向）の3ヵ所にキャリブレーションポールを立てた（高さ3m、マーク間隔0.5m）。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ものである。

3. データ分析

撮影した映像から砲丸を動作解析システム (Frame - DIAS II, ディケイエイチ) を用いてデジタル化した（毎秒60コマ）。2次元DLT法により砲丸の2次元座標を算出し、残差分析法 (Winter, 1990) によ

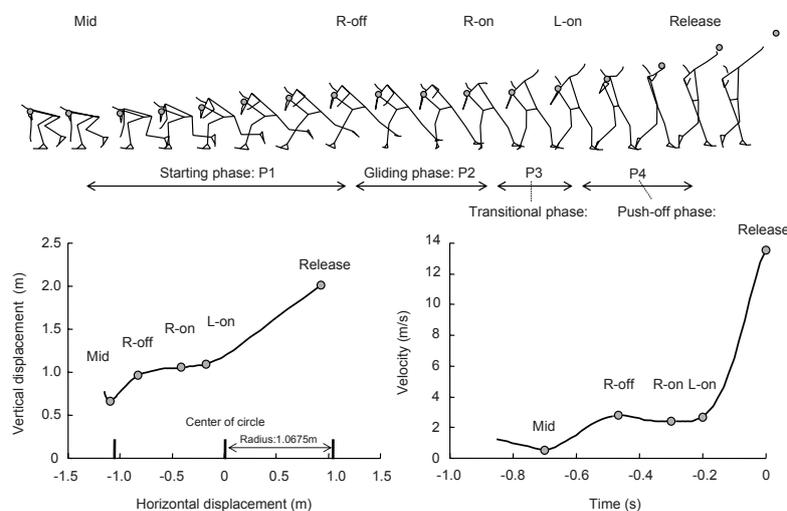


Figure 2 Time-related changes in trajectory (left) and velocity (right) of the shot. Ostapchuku, 20.02m

Table 1 Results of parameters of the shot. Values shows mean \pm SD. **, *, #: significant difference at $p < 0.01$, $p < 0.05$, $p < 0.10$, respectively.

		Event /	Mid	R-off	R-on	L-on	Release	
		Phase /	P1	P2	P3	P4		
Time (s)	World		0.295 \pm 0.159	0.153 \pm 0.025	0.142 \pm 0.036 **	0.232 \pm 0.030		
	National		0.300 \pm 0.103	0.156 \pm 0.013	0.198 \pm 0.023	0.230 \pm 0.021		
Position (m)	Horizontal	World	-1.10 \pm 0.06	-0.75 \pm 0.06	-0.44 \pm 0.07 #	-0.11 \pm 0.08 #	1.06 \pm 0.11	
		National	-1.11 \pm 0.06	-0.79 \pm 0.04	-0.48 \pm 0.06	-0.05 \pm 0.07	1.08 \pm 0.13	
	Vertical	World	0.68 \pm 0.08	0.97 \pm 0.13	1.03 \pm 0.13	1.09 \pm 0.13	2.01 \pm 0.13 **	
		National	0.71 \pm 0.07	0.95 \pm 0.08	0.98 \pm 0.07	1.04 \pm 0.07	1.86 \pm 0.14	
Displacement (m)	Resultant	World	0.46 \pm 0.11	0.32 \pm 0.05	0.33 \pm 0.03 **	1.49 \pm 0.13 #		
		National	0.41 \pm 0.06	0.31 \pm 0.05	0.44 \pm 0.06	1.40 \pm 0.10		
	Horizontal	World	0.35 \pm 0.10	0.31 \pm 0.05	0.33 \pm 0.08 **	1.17 \pm 0.09		
		National	0.33 \pm 0.04	0.30 \pm 0.05	0.43 \pm 0.06	1.13 \pm 0.14		
	Vertical	World	0.29 \pm 0.10	0.06 \pm 0.05	0.07 \pm 0.04	0.91 \pm 0.11 *		
		National	0.24 \pm 0.07	0.03 \pm 0.03	0.06 \pm 0.06	0.82 \pm 0.05		
	Vlocity (m/s)	Resultant	World	0.54 \pm 0.14	2.44 \pm 0.25 **	2.01 \pm 0.22	2.74 \pm 0.37	12.42 \pm 0.56 **
			National	0.52 \pm 0.14	2.15 \pm 0.15	1.95 \pm 0.15	2.78 \pm 0.37	10.78 \pm 0.40
Horizontal		World	0.54 \pm 0.14	2.16 \pm 0.30	2.07 \pm 0.26	2.55 \pm 0.33	9.85 \pm 0.76 **	
		National	0.52 \pm 0.14	2.03 \pm 0.15	1.92 \pm 0.16	2.56 \pm 0.37	8.70 \pm 0.50	
Vertical		World	0.01 \pm 0.07	1.10 \pm 0.30 **	0.16 \pm 0.29 #	0.98 \pm 0.38	7.55 \pm 0.59 **	
		National	0.01 \pm 0.05	0.70 \pm 0.16	-0.93 \pm 0.32	0.94 \pm 0.40	6.36 \pm 0.33	

Horizontal and vertical position: Origin (0,0) was set at center of the circle.

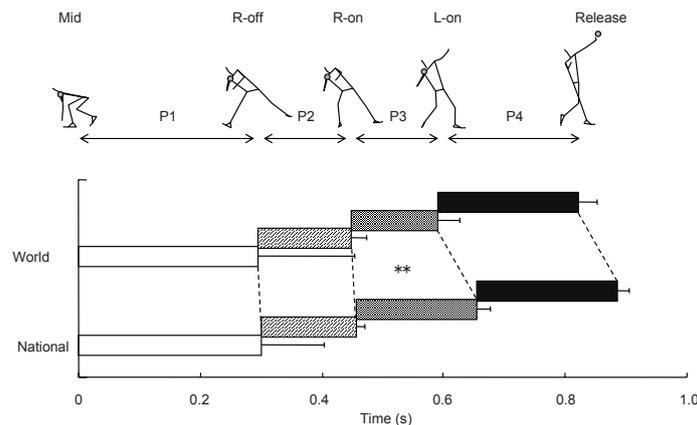


Figure 3 Comparison of duration time of four phases between World group and National group. **: significant difference at $p < 0.01$.

て決定された最適遮断周波数 (3 - 5 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、座標軸はサークルの中心を原点とし、投擲方向を x 軸、鉛直方向を y 軸とした。

本研究では、Marhold (1974) が示した局面分けを参考にして、一連の投擲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 までをプッシュオフ局面 (P4) とした (図 2)。

砲丸の 2 次元座標値を時間微分することにより、

砲丸の速度を算出し、さらに速度を時間微分することにより砲丸の加速度を算出した。各局面の砲丸の加速度については、被験者間の変化パターンを比較するために、3 次のスプライン関数によって 101 個のデータに置き換えた。また、映像から各イベント間のコマ数を読み取ることにより各局面の経過時間を算出した。

4. 統計処理

各算出項目の値は、24 名の平均値 \pm 標準偏差で示した。各算出項目における World 群と National 群との比較には対応のない T-test を用いた。有意性は危険率 5% および 1% 未満で判定し、10% 未満は有意傾向があったとした。

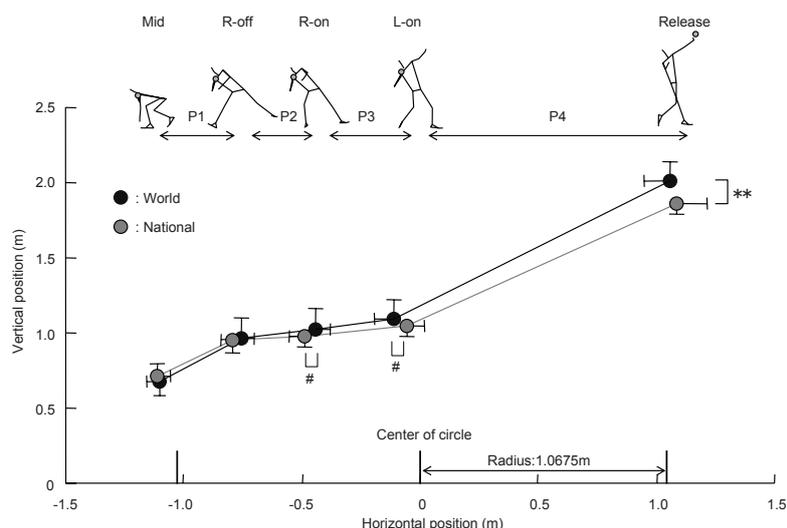


Figure 4 Comparison of trajectory of the shot between World group and National group.
 **, #: significant difference at $p < 0.01$, $p < 0.10$, respectively.

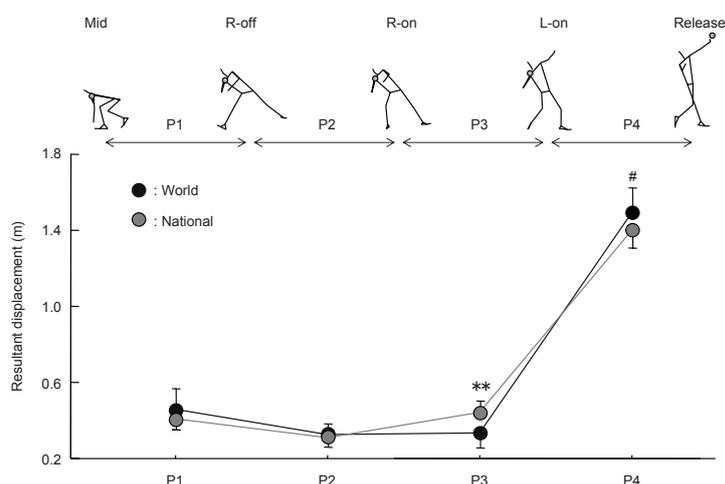


Figure 5 Comparison of resultant displacement of the shot for four phases between World group and National group.
 **, #: significant difference at $p < 0.01$, $p < 0.10$.

III. 結果

図2に、砲丸の軌跡および速度の典型例を示した。砲丸の軌跡は、MidからR-offまで上昇し、R-offからL-onまでやや停滞した後に、L-onからReleaseまで急激に上昇した。砲丸の速度は、MidからR-offまで増加し、R-on時に若干低下した後に、L-onからReleaseまで急激に増加した。

表1に、各局面およびイベント時における経過時間および砲丸の位置、変位、速度を示した。各局面の経過時間では、P3の経過時間において両群間に有意差が認められた(図3)。砲丸の位置では、Mid時にはサークルの後端からおよそ4cm後方、L-on時にはサークルの中央より若干後方、Release時に

はサークルの前端のほぼ真上にあり、Release時の鉛直方向の位置において両群間に有意差が認められた。また、水平方向の位置についてみると、World群がNational群と比較してR-on時にはより前方に位置する傾向が認められ、L-on時にはより後方に位置する傾向が認められた(図4)。砲丸の変位では、P3における合成および水平方向の変位、P4における鉛直方向の変位において両群間に有意差が認められた。また、P4における合成変位においてWorld群がNational群と比較して高値を示す傾向が認められた(図5)。砲丸の速度では、R-off時およびRelease時の砲丸の合成速度において両群間に有意差が認められた(図6)。

図7に、砲丸の記録が高値であった2名(Sub. A,

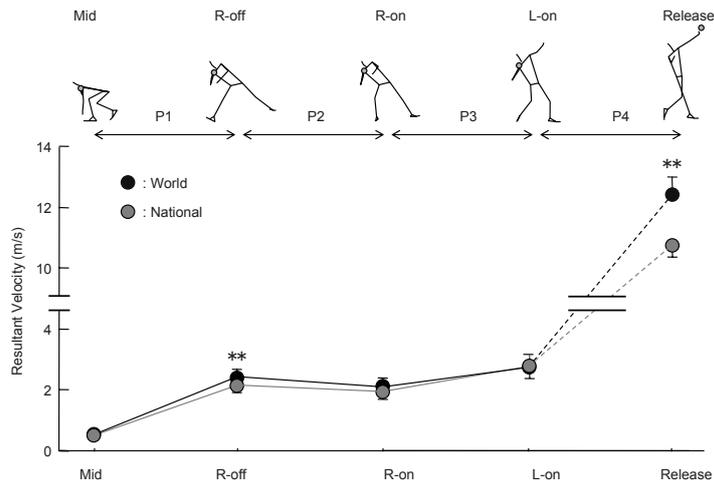


Figure 6 Comparison of velocity of the shot at each event between World group and National group.

** : significant difference at $p < 0.01$.

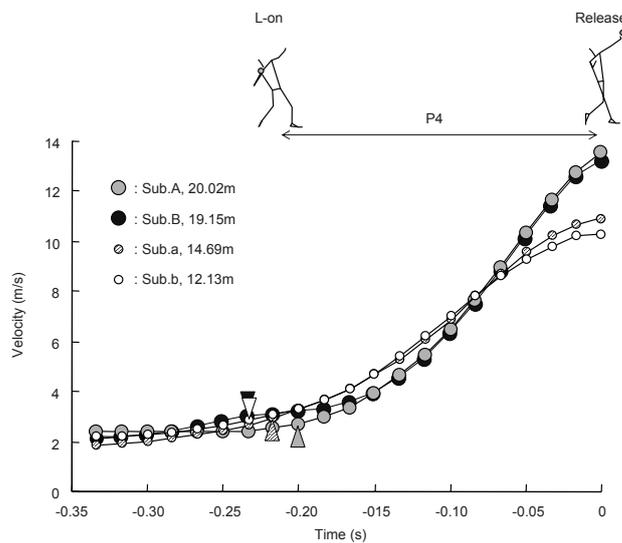


Figure 7 Time-related changes in the velocity of the shot during P4. Sub. A and sub. B are typical two subjects in World group. Sub. a and sub. b are typical two subjects in National group. Each triangle in the graph shows the starting point of P4 in each subject.

B) と低値であった 2 名 (Sub. a, b) の P4 における砲丸の速度の時系列変化を示した。P4 の前半においては Sub. a, b の砲丸の速度が高値を示し、後半においては Sub. A, B の砲丸の速度が高値を示した。

図 8 に、P4 における砲丸の加速度の変化パターンを示した。水平加速度は、0 - 10% において National 群が World 群と比較して有意に高値を示し、50 - 100% において World 群が National 群と比較して有意に高値を示した。鉛直加速度は、30 - 40%, 70 - 90% において World 群が National 群と

比較して有意に高値を示した。

IV. 考察

本研究は、20.20m - 16.79m を記録した World 群と 14.69m - 12.12m を記録した National 群における砲丸のパラメーターを比較することにより、日本選手の競技力向上のために必要な技術的要因を検討することとした。本研究で対象とした World 群は、2004 年に行なわれたアテネオリンピック決勝進出者 5 名を含み、投擲記録の平均値は $18.07 \pm 0.94m$

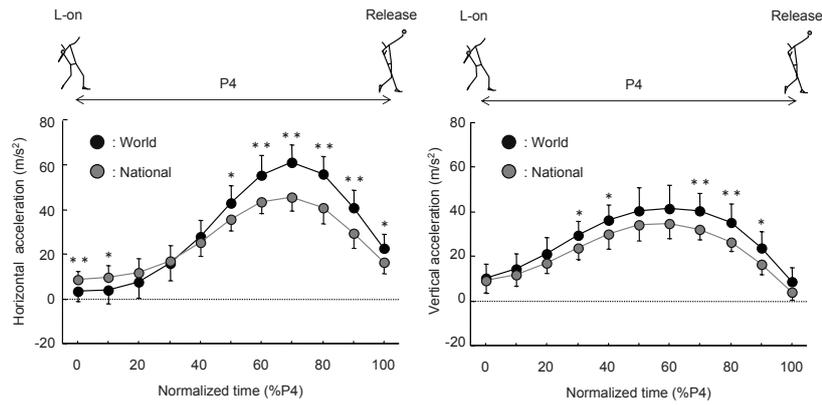


Figure 8 Comparisons of patterns of acceleration of the shot (left: horizontal, right: vertical) between World group and National group during P4. **, *: significant difference at $p < 0.01$, $p < 0.05$, respectively.

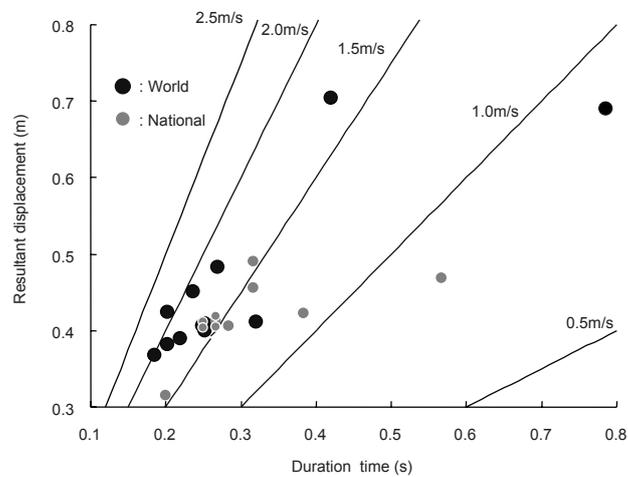


Figure 9 Relationship between duration time and resultant displacement of the shot during P1. Each line in the graph shows average velocity (=Resultant displacement / Duration time) at 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5m/s.

(2004年度世界ランキング30位相当)とかなり高かった。一方、National群の投擲記録の平均値は $13.65 \pm 0.71\text{m}$ (2004年度日本ランキング21位相当)であり、日本選手の特徴をおおよそ反映するものであったと考えられる。以下には、一連のグライド動作の局面にしたがって、考察していくことにする。

1. スタート局面 (P1)

スタート局面では、R-off時の砲丸の速度においてWorld群がNational群と比較して有意に高値を示し、特に鉛直速度において顕著であった(表1, 図6)。これはWorld群がやや低い位置から砲丸を加速させていたことに起因していると考えられる。しかし、この局面の経過時間および変位には有意差は認められていない(表1)。これは、図9に示したように同じ速度でも、時間および変位の両者を長くする選手、あるいは短くする選手などばらつきが

認められたためである。したがって、スタート局面においてはいずれの戦略を選択しても、結果として大きな速度を獲得することが重要であることが示唆された。

2. グライド局面 (P2)

グライド局面では、R-off時には砲丸の速度に有意差が認められていたにもかかわらず、R-on時には有意差が認められなかった(表1, 図6)。グライド局面は両足が離地している局面であることを考慮すると、この原因には、R-off時の両群間の差が砲丸の鉛直速度に大きく、水平速度に小さかったことが考えられる。すなわち、R-on時には鉛直方向の速度がほぼ 0m/s になるために、差の小さい水平速度のみの結果が表れたということである。したがって、上述にはスタート局面において砲丸の速度を高めることが重要であると述べたが、このことが投擲

記録にどのように影響を及ぼしているのかについては明らかにすることはできなかった。しかし、田内(2004)によっても同様の結果が報告されていることから、何らかのプラスの影響があるものと考えられる。このことについては、グライド局面の空中動作、R-on 時の構えの姿勢などに関連付けてさらに検討する必要がある。

3. 移行局面 (P3)

移行局面では、L-on 時の砲丸の速度は両群間でほぼ同様であったが、経過時間および変位はともに World 群では短く、National 群では長かった(表 1, 図 3, 5)。結果として、L-on 時の砲丸の位置は World 群が National 群よりも後方に位置させていた(図 2)。このことから、World 群ではグライド動作での移動距離を短くし、砲丸の加速距離を長くする、いわゆるショート・ロングのリズムを利用していると考えられたが、プッシュオフ局面における砲丸の変位は必ずしも大きくなかった(鉛直方向のみ World 群が有意に高値を示した)(表 1, 図 4)。したがって、移行局面における World 群の動作は、より前半局面(P1, P2)で砲丸を大きく進めていたことから、続くプッシュオフ局面において砲丸の加速距離を確保するための補償的な役割であったと考えられる。一方、National 群では、特に水平方向の変位を大きくし、L-on 時には砲丸をより前方へ位置させていた。植屋ら(1994)は、日本選手は世界トップレベルの選手と比較して左肩の開くタイミングが早いことを指摘している。このことを考慮すると、National 群はこの局面において、すでに左肩を開き砲丸を水平方向に加速させていたことが推察される。この推察については、次のプッシュオフ局面においてさらに検討することにする。

4. プッシュオフ局面 (P4)

プッシュオフ局面においては、Release 時の砲丸の速度に両群間に有意差が認められた。このことは、投擲距離がほぼ初速度で決まる(桜井, 1992)ことから当然であろう。しかし、注目しなければならないのは、プッシュオフ局面の開始である L-on 時には両群間で差がないにもかかわらず、わずか 0.2 秒後の Release 時には顕著な差が認められたことである。このことは、プッシュオフ局面における動作が両群間で大きく異なることを示唆するものである。そこで、両群の特徴を示す典型的な砲丸の速度曲線(図 7)をみると、P4 の前半においては National 群が高値を示し、後半においては World

群が高値を示した。また、P4 における砲丸の加速度の変化パターンを比較した結果、水平加速度の 0 - 10% においては National 群が高値を示し、50% 以降においては World 群が高値を示した(図 8)。これらの結果は、上述した National 群が移行局面において、すでに砲丸を加速させていたという推察を裏付けるものである。グライド投法のメリットは、体幹の起こし回転を利用できるとともに L-on 時に体幹の捻りを大きくできることがあげられる(植屋, 1985)。これは、砲丸の加速距離を長くすることに加えて、体幹筋群の捻り戻しの出力を高めることをねらいとしていると考えられる。したがって、National 群においては L-on 前に肩が開く(肩が体幹の長軸周りに回転することによって、体幹の捻りを大きくできず、捻り戻しの出力を高められないことからプッシュオフ局面後半に水平加速度を大きくできなかったものと考えられる。一方、World 群のプッシュオフ局面前半に速度および加速度が低値であったことは、砲丸の軌跡によって説明できる。すなわち、上方から砲丸の軌跡をみると優れた選手ほど S 字カーブを描き、劣った選手ほど直線に近くなる(Zatsiorsky et al., 1981)ことから、本研究のように砲丸の動きを矢状面内で評価した場合、World 群では S 時を描く局面、すなわち L-on 時からプッシュオフ局面の前半においては砲丸の水平方向の変位が短くなり、速度や加速度が低くなったということである。実際には、プッシュオフ局面前半では、前額面内での砲丸の加速度を高めており、砲丸が再び矢状面内で移動する局面後半において、砲丸の加速度が急激に大きくなったものと考えられる。したがって、World 群においては移行局面で肩を開くことなく L-on を迎えることによって、体幹の捻りを大きくし、プッシュオフ局面では体幹の捻り戻しを最大限に利用することで、砲丸の加速度および速度を大きくできたものと考えられる。なお、図 10 に示した世界一流選手の連続写真をみると、リリース後のフォロースルーでは、身体が前方へ移動することなく、その場でさらに 1 回転していることがわかる。このような動きは National 群にはほとんど認められなかった。したがって、World 群ではグライド投法であっても体幹の長軸周りの回転を強制的に行なっているものと考えられ、上述の捻りに関する考察を間接的に支持するものであると考えられる。

以上のことから、女子砲丸投げにおけるグライド投法による投擲動作の世界トップレベルの選手と日本選手との最も顕著な相違点は、最終局面である

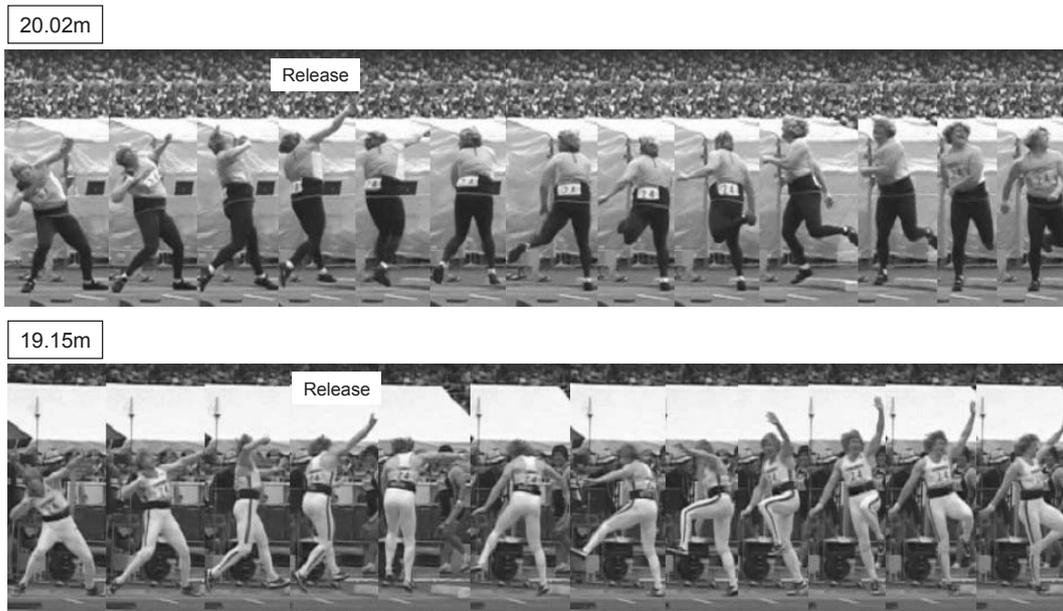


Figure 10 Sequential photographs of the motion after release during glide technique in the two world top level athletes.

プッシュオフ局面の動作に存在することが明らかとなった。また、グライド投法と呼ばれる所以である Mid から R-on までについては、パフォーマンスの差を説明できる相違点を見出すことはできなかった。このことは、日本選手はグライド局面終了時までには高いリリース速度を得るために最低限必要な条件 (R-on までに砲丸の速度およそ 2.0m/s を獲得すること) を満たしていることを示しており、移行局面およびプッシュオフ局面の技術改革により、大幅な競技力向上が期待できるものと考えられる。いずれにしても、より具体的な動作の相違点を明らかにするために 3 次元の動作解析を行ない、本研究で示した推察を検証することが急務の課題である。

V. 要約

本研究では、女子砲丸投げのグライド投法の動作について世界レベル競技者と日本国内レベル競技者との相違点を明らかにするために、13 名の世界レベル競技者 (World 群: 18.07 ± 0.94m) と 11 名の日本国内レベル競技者 (National 群: 13.65 ± 0.71m) を対象にして、投擲試技における砲丸の位置、変位、速度および加速度を比較検討した。なお、本研究では一連の投擲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、R-off から R-on までをグライド局面、R-on から L-on までを移

行局面、L-on から Release までをプッシュオフ局面とした。主な結果は、次のとおりである。プッシュオフ局面開始時の砲丸の速度には両群間に差は認められなかったにもかかわらず、わずか 0.2 秒後のリリース時には両群間に有意差が認められ、World 群が高値を示した。スタートおよびグライド局面における砲丸の各パラメーターには両群間に顕著な差は認められなかった。これらのことは、日本国内レベルの競技者は、グライド局面終了時までの砲丸の速度は世界レベルの競技者と同様であることから、競技力向上のためには移行局面およびプッシュオフ局面における動作の改善が必要であることを示唆するものである。

参考文献

- Bartonietz, K. E. (1994) Rotational shot put technique: biomechanic findings and recommendations for training. *Track and Field Quarterly Review* 94, 18-29.
- Luhtanen, P., Blomqvist, M. and Vanttinen, T. (1997) A comparison of two elite shot putters using the rotational shot put technique. *New Studies in Athletics* 12, 1-112.
- Marhold, G. (1974) Biomechanical analysis of the shot put. In: *Biomechanics IV*. Nelson, R. C. and Morehouse, C. A.

- (eds) University Park Press, Baltimore, pp. 175-179.
- Oesterreich, R (1999) The rotational shot put technique: a development model for young athletes. *Modern Athlete and Coach* 37, 19-22.
- 桜井伸二 (1992) 投げる科学. 大修館書店: 東京. pp. 42 - 47.
- 田内健二 (2004) 2003 年スーパー陸上女子砲丸投げの技術分析. 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2003 3, 129-136.
- 植屋清見 (1985) 回転式砲丸投げの技術について. *Jpn J Sports Sci* 4, 91-97.
- 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.
- Winter, D. A. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Sons Inc, New York, pp. 41-43.
- Zatsiorsky, V. M., Lanka, J. J. and Shalmanov, A. A. (1981) Biomechanical analysis of shot putting technique. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 9, 353-389.