

## グライド投法と回転投法における身体各部位動作の比較

西山 健太<sup>1)</sup> 瀧川 寛子<sup>2)</sup> 村上 雅俊<sup>3)</sup>

1) 周南公立大学 2) 中京大学 3) 大阪産業大学

### I. 緒言

現在、砲丸投げにおいて主流とされる投法はグライド投法と回転投法の2種類である。大山(2010)は、世界ランキングトップレベルの選手の記録と身長について検証を行った結果、「低身長で成功している競技者はほとんどが回転投法を採用している」ことを示している。こうしたことから、世界と比べて身長が低く形態的に不利な日本人競技者が世界に挑戦するためには、回転投法に取り組むことが有意義であると考えられる。直近10年間の日本選手権における男子砲丸投げ入賞者の投法を筆者がビデオの映像から判断したところ、徐々に回転投法を採用する選手が増えつつあるが、いまだ2種類の投法が混在していることがわかった(表1)。

田内ほか(2006)は、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ために、下肢-体幹-上肢モデルを用いて身体各部位動作による砲丸速度を検討している。グライド投法と回転投法のそれぞれについて、身体各部位動作を比較することは、各投法における競技力向上のうえで有益な資料となると考えられる。

そこで本研究では、下肢-体幹-上肢モデルを用

いて、グライド投法と回転投法における身体各部位動作の貢献パターンの比較から各投法の特徴を明らかにすることを目的とした。

### II. 方法

#### 1. 対象

本研究の測定対象は2022年の日本陸上競技選手権大会男子砲丸投に出場した選手とした。このうちグライド投法を用いた選手が5名、回転投法を用いた選手が14名、立ち投げを用いた選手が1名であった。本稿ではグライド投法と回転投法の比較を目的としたため、それぞれの投法を用いた選手のうち上位5名、合計10名を分析対象とした(表2)。

#### 2. データ収集および処理

砲丸投げの試技を、サークルの後方および左側に設置したデジタルビデオカメラ(HDR-CX470, Sony社製)を用いて、60fpsで撮影した。本稿は投てき方向をY軸、Y軸に対して左右方向をX軸、鉛直方向をZ軸とする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、前後方向

表1 日本選手権における男子砲丸投入賞者が採用した投法の変遷

順位	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	G	G	G	G	G	G	G	G	R	G
2	G	G	R	R	R	R	R	G	G	G
3	G	G	G	G	G	G	G	G	G	R
4	G	R	R	G	R	R	G	R	R	G
5	R	G	G	G	R	R	R	R	R	R
6	R	G	G	G	G	G	G	R	G	R
7	G	G	G	R	G	G	G	R	R	R
8	R	G	G	G	G	G	G	G	R	R

G: グライド投法, R: 回転投法

表2 分析対象者のプロフィール

順位	名前	投法	身長 (m)	体重 (kg)	記録 (m)
1	村上輝	グライド	1.81	120.0	18.22
2	アツオビンジェイソン	グライド	1.88	103.0	18.08
3	奥村仁志	回転	1.90	140.0	18.02
4	佐藤征平	グライド	1.70	131.0	17.93
5	岩佐隆時	回転	1.76	108.0	17.4
6	幸長慎一	回転	1.84	110.0	17.33
7	中村太地	回転	1.75	127.0	17.12
8	金城海斗	回転	1.81	111.0	16.88
13	戸辺誠也	グライド	1.83	118.0	16.15
17	須田裕太郎	グライド	1.78	108.0	15.79
		グライド	1.80 ± 0.07	116.0 ± 10.9	17.23 ± 1.17
	平均 ± 標準偏差	回転	1.81 ± 0.06	119.2 ± 13.9	17.35 ± 0.43
		全体	1.81 ± 0.06	117.6 ± 11.9	17.29 ± 0.83

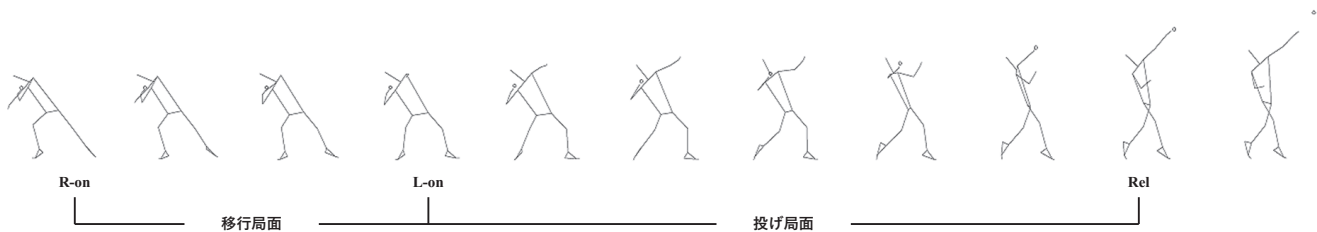


図1 イベントと局面の定義

1.5 m, 左右方向1.82 mの9カ所に高さ3.0 mのキャリブレーションポールを立てた。

撮影された映像から、身体分析点23点および砲丸を動作解析システム (Frame-DIAS V, Q' sfix 社製) を用いて60 fps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、残差分析法によって決定された最適遮断周波数(3-7 Hz)で、Butterworth low-pass digital filterを用いて平滑化した。

Hay (2011) は砲丸投げの回転投法について、「基本的にはオーソドックスな円盤投の前半に使用される技術とオブライエン投法<sup>1)</sup>の後半(もしくは押し出し局面)に使用される技術の組み合わせである」と説明していることから、グライド投法と回転投法とは一連の投てき動作のうち、後半に類似の運動構造を持っており、比較の対象となりえると考えられる。そこで本研究では、一連の投てき動作の後半に該当する最後の右足接地(R-on)からリリース(ReI)までを分析対象とした。そのうち、R-onから左足接地(L-on)までを移行局面、L-onからReIまでを投げ局面と定義した(図1)。各データは、投法間の比較を行うために、各局面の開始時点を0%, 終了時点を100%として101個のデータに規格化した。

### 3. 算出項目

本稿では、砲丸速度に対する身体各部位の貢献を明らかにするために、投てき動作をXY平面に投影し、下肢動作は両股関節中点、体幹動作は両肩関節中点の動きに代表させ、それぞれの速度を算出することで、砲丸速度( $v_s$ )を下肢( $v_l$ )、下肢に対する体幹( $v_{t/l}$ )、体幹に対する砲丸( $v_{s/t}$ )の相対速度で示した(式1)。なお、本研究では投てき方向(Y方向)の砲丸速度のみを扱うこととした。

$$v_s = v_{s/t} + v_{t/l} + v_l \dots \text{式 1}$$

式1において、 $v_l$ は両股関節中点の速度(以下「下肢」とする)を、 $v_{t/l}$ は両股関節中点に対する両肩関節中点の相対速度(以下「体幹起こし回転」とす

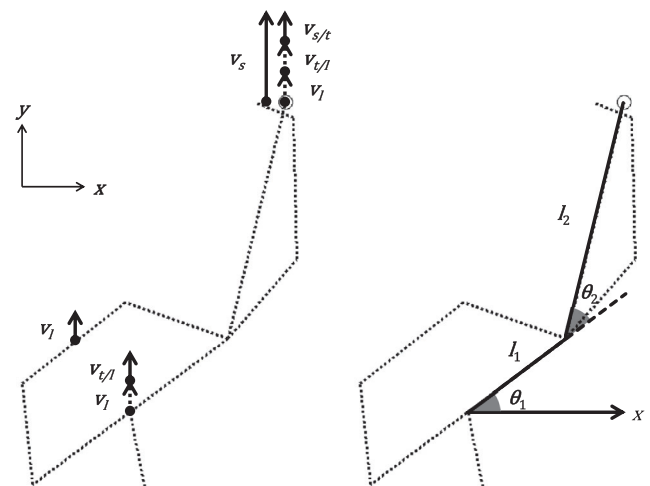


図2 下肢-体幹-上肢モデルおよび極座標の定義

る)を、 $v_{s/t}$ は両肩関節中点に対する砲丸の相対速度を示すことになる。

また、体幹および上肢における身体各部位の貢献をより詳細に検討するため、図2のように、両肩関節中点から右肩関節までの線分を $l_1$ 、 $l_1$ とX軸がなす角を $\theta_1$ 、右肩関節から砲丸までの線分を $l_2$ 、 $l_2$ と $l_1$ がなす角を $\theta_2$ とし、両肩関節中点を原点とする極座標を定義した。このとき、砲丸のY座標は次の式2によって求められる。

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \dots \text{式 2}$$

さらに、式2を次の式3のように微分することにより、両肩関節中点に対する砲丸の相対速度( $v_{s/t}$ )が求められる。

$$\dot{y} = \dot{l}_1 \sin \theta_1 + \dot{\theta}_1 l_1 \cos \theta_1 + \dot{l}_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + \dot{\theta}_1 l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + \dot{\theta}_2 l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \dots \text{式 3}$$

ここで式3における右辺では、第1項が両肩関節中点から右肩関節の長さ変化による砲丸速度(以下「体幹伸縮」とする)、第2項および第4項の和が両肩関節中点を中心とした体幹長軸回りの回転による砲丸速度(以下「体幹長軸回転」とする)、第3項が上肢の長さ変化による砲丸速度(以下「上肢伸縮」とする)、第5項が右肩関節を中心とした上肢の回

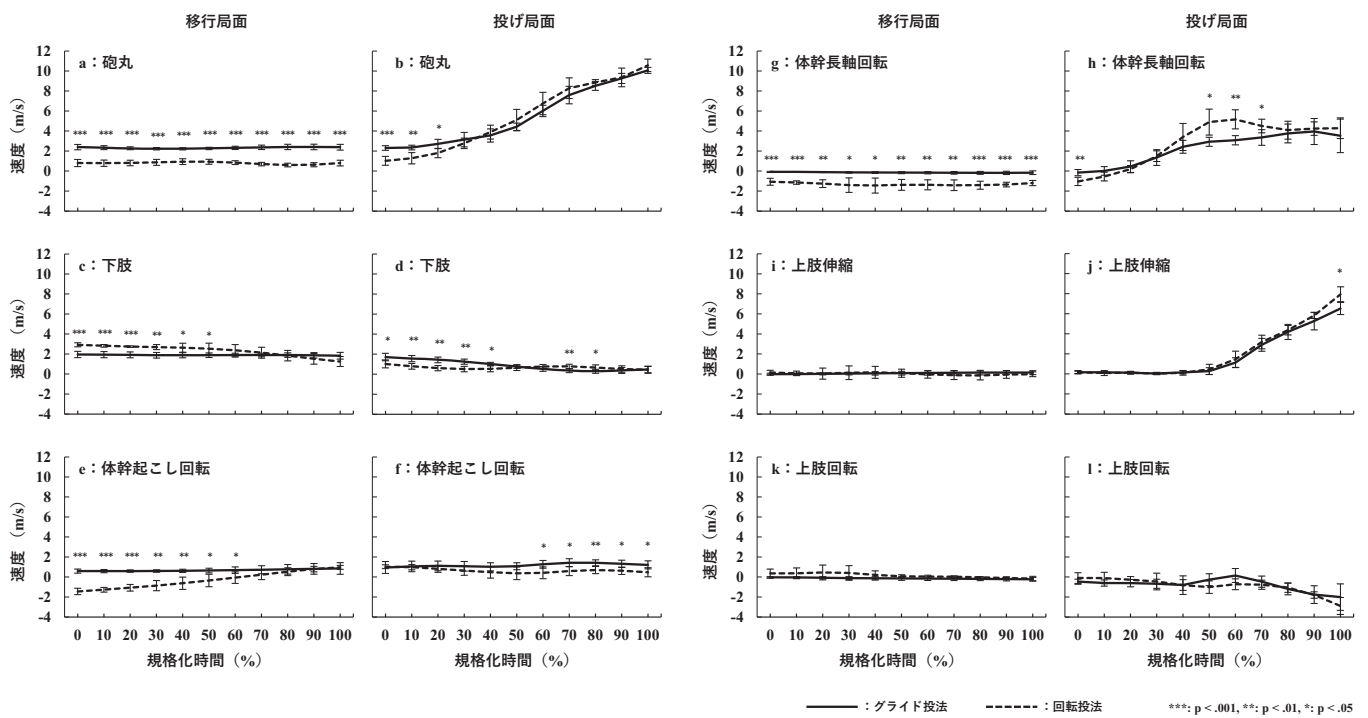


図3 身体各部位動作による砲丸速度の経時的変化

転による砲丸速度（以下「上肢回転」とする）を表している。なお、投てき動作において体幹の伸縮はほぼないと考えられ、実際に算出された体幹伸縮による砲丸速度もほぼ0であったため、本研究では体幹伸縮による砲丸速度は考慮しないこととした。

#### 4. 統計処理

グライド投法と回転投法における算出項目の差を検証する際には対応のないt検定を行った。有意水準は5%未満とした。

### III. 結果および考察

#### 1. 投射条件および動作時間

各投法における投射条件および動作時間を表3に示した。投射条件には投法間に有意差は認められなかった。移行局面の動作時間は、グライド投法と回転投法がそれぞれ  $0.103 \pm 0.034$  sec と  $0.203 \pm 0.027$  sec であり、グライド投法が回転投法よりも有意に短かった ( $p < .01$ )。投げ局面の動作時間には投法間に有意差は認められなかった。

#### 2. 身体各部位動作による砲丸速度

各投法における身体各部位動作による砲丸速度の経時的変化と、投法間におけるt検定の結果について、局面時間を規格化して図3に示した。

表3 各投法における投射条件および動作時間

		グライド	回転	
リリース速度				
X	(m/s)	$0.46 \pm 1.39$	$-0.48 \pm 0.80$	n.s.
Y	(m/s)	$10.07 \pm 0.30$	$10.57 \pm 0.62$	n.s.
Z	(m/s)	$7.28 \pm 0.53$	$7.45 \pm 0.36$	n.s.
合成	(m/s)	$12.50 \pm 0.42$	$12.97 \pm 0.48$	n.s.
リリース高	(m)	$2.21 \pm 0.10$	$2.11 \pm 0.13$	n.s.
リリース角度	(deg)	$36.00 \pm 3.82$	$36.95 \pm 4.93$	n.s.
動作時間				
移行局面	(sec)	$0.103 \pm 0.034$	$0.203 \pm 0.027$	**
投げ局面	(sec)	$0.273 \pm 0.019$	$0.240 \pm 0.030$	n.s.

移行局面の砲丸速度はグライド投法が回転投法よりも高かった（図3-a）。これに続く投げ局面では、両投法において砲丸速度が急激に増加し、30%以降には投法間の差はなくなった（図3-b）。投げ局面における砲丸速度増加量は、グライド投法で  $10.07 \pm 0.21$  m/s、回転投法で  $11.43 \pm 0.65$  m/s であり、初速度に対する砲丸速度増加率はそれぞれ  $80.63 \pm 2.37\%$  と  $88.18 \pm 4.91\%$  であった。これらの結果から、いずれの投法においても、初速度のほとんどが投げ局面において獲得されていたことがわかる。投法間の比較を行うために対応のないt

検定を行ったところ、有意差が認められ ( $t(8) = -3.09, p < .05$ )、投げ局面における砲丸速度獲得の重要度には投法間に差があることが示唆された。すなわち、グライド投法では投げ局面に至るまでに砲丸速度を獲得することの重要度が比較的高いと言える。一方、回転投法では投げ局面における砲丸速度獲得の重要度がより高く、投げ動作に至るまでの動作は砲丸の加速というよりも、投げ局面で十分な砲丸速度を得るための準備動作としての意味合いが比較的高いと言えよう。

グライド投法の移行局面では、砲丸速度はほぼ下肢の貢献によるものであった (図 3-c)。回転投法の移行局面においても下肢による砲丸速度は高く、とくに 0-50% ではグライド投法よりも高かった (図 3-c)。しかしながら、体幹起こし回転や体幹長軸回転による砲丸速度がマイナスであったため (図 3-e, 図 3-g)、砲丸速度そのものは移行局面全体を通してグライド投法よりも低くなった (図 3-a)。このことは、下肢動作によって全身は投てき方向に向かって進んでいるものの、体幹動作によって砲丸そのものは投てき方向とは逆向きに動くために砲丸速度が落ち込んでいることを示している。こうした回転投法の移行局面における砲丸速度の落ち込みは、Hay (2011) や Ohyama et. al. (2008) によっても報告されており、一時的な減速は問題ではなく、最終的な投げ動作に適した状態をとることが重要であると考えられている。

グライド投法と回転投法には一部共通する動作パターンがみられた。すなわち、投げ局面の 0% (L-on) には主に下肢や体幹起こし回転によって砲丸速度が獲得されており (図 3-d, 図 3-f)、中盤にかけて体幹長軸回転による貢献が大きくなり (図 3-h)、後半からは上肢伸縮による貢献が加わることで砲丸速度が増加したが (図 3-j)、一方で上肢回転による砲丸速度は投げ局面全体でほぼマイナスであった (図 3-l)。こうした上肢回転のマイナス作用は田内ほか (2006) の報告とも一致しており、水平面上で反時計回りに回転する体幹に対して、砲丸を投てき方向へと位置づける役割を果たしていると考えられる。

上記のように、投げ局面ではグライド投法と回転投法に一部共通する貢献パターンがみられたものの、それぞれ特徴的なパターンも観察された。ここからは投げ局面における各投法の特徴について検討する。

グライド投法では、投げ局面の前半 (0%-50%) に、下肢による砲丸速度が  $1.71 \pm 0.38$  m/s から  $0.77$

$\pm 0.19$  m/s まで低下し (図 3-d)、体幹長軸回転による砲丸速度が  $-0.16 \pm 0.31$  m/s から  $2.93 \pm 0.45$  m/s まで増加した (図 3-h)。これに続く投げ局面後半 (50%-100%) では、上肢伸縮による砲丸速度が  $0.28 \pm 0.34$  m/s から  $6.53 \pm 0.60$  m/s まで顕著に増大した (図 3-j)。これらの下肢・体幹長軸回転・上肢伸縮の連動した貢献パターンは田内ほか (2006) の報告とも一致しており、下肢から体幹、体幹から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運動連鎖が行われていたことを示していると考えられる。

これに対して回転投法では、下肢による砲丸速度は投げ局面の 0-100% において  $0.45-1.02$  m/s の一定の範囲に維持され、比較的变化が少なかった (図 3-d)。つまり、回転投法における下肢動作は、グライド投法のような下肢から体幹への運動連鎖ではなく、投てき方向への並進運動を継続していると考えられる。そして、体幹長軸回転による砲丸速度を見ると、そのピークが投げ局面の中盤 (50%-60%) にあり、グライド投法よりも有意に高いことが特徴的であった (図 3-h)。これに続く投げ局面後半 (50%-100%) では、上肢伸縮による砲丸速度が  $0.45 \pm 0.51$  m/s から  $7.95 \pm 0.74$  m/s まで顕著に増大した (図 3-j)。これらの体幹長軸回転と上肢伸縮の連動した貢献パターンは、体幹から上肢への運動連鎖が行われていたことを示していると考えられる。こうした運動連鎖が、回転投法の投げ局面における急激な速度増加を達成するうえで重要な役割を果たしていると考えられる。

#### IV. 要約

本研究では、グライド投法と回転投法における身体各部位動作の特徴を明らかにするため、2022 年日本陸上競技選手権大会男子砲丸投に出場した選手のうち、グライド投法と回転投法のそれぞれ上位 5 名について検討した。その結果、各投法の特徴として以下のことが明らかとなった。

グライド投法では、初速度の  $80.63 \pm 2.37\%$  が投げ局面において獲得されるが、移行局面の砲丸速度が比較的高く、投げ局面に至るまでに砲丸速度を獲得することの重要度がより高いと言えた。移行局面では砲丸速度はほぼ下肢の貢献によるものであった。投げ局面前半では下肢による砲丸速度が低下し、体幹長軸回転による砲丸速度が増加した。これに続く後半では上肢伸縮による砲丸速度が顕著に増大した。これらのことは、下肢から体幹、体幹から上肢

へと運動連鎖が行われていたことを示していると考えられた。

回転投法では、投げ局面における砲丸速度増加率が  $88.18 \pm 4.91\%$  と、グライド投法よりも有意に高く、投げ局面における砲丸速度獲得の重要度がより高いと言えた。移行局面では下肢による砲丸速度は高いが、体幹起こし回転や体幹長軸回転による砲丸速度がマイナスであったために砲丸速度そのものは低かった。投げ局面では下肢による砲丸速度は一定の範囲に維持され、投てき方向への並進運動を継続していた。体幹長軸回転による砲丸速度のピークは投げ局面の中盤にあり、これに続く投げ局面後半では上肢伸縮による砲丸速度が顕著に増大した。これらのことは、体幹から上肢への運動連鎖が行われていたことを示していると考えられた。

## 註

1) オブライエン投法とは本稿におけるグライド投法と同義であるが、ここでは引用元の表現をそのまま用いた。

## 文献

Hay, J. G. : 植屋清見ほか監 (2011) スポーツ技術のバイオメカニクス. ブックハウス・エイチディ: 東京, p.443.

Ohyama Byun, K., Fujii, H., Murakami, M., Endo, T., Takesako, H., Gomi, K. and Tauchi, K. (2008) A biomechanical analysis of the men's shot put at the 2007 World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 23: 53-62.

大山卞圭悟 (2010) 日本人男子砲丸投競技者にとっての回転投法の可能性: 世界レベルへの挑戦のために. *陸上競技学会誌*, 8 (1) : 56-63.

田内健二・村上雅俊・高松潤二・阿江通良 (2006) 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. *陸上競技研究紀要*, 2 (2) : 65-73.