

投てき技術の類似性に着目した動作分析： 回転投法の比較

The Movement Analysis paying Attention to Similarity of the Throw Technique: Comparison between Rotational Technique

キーワード：砲丸投、円盤投、回転投法、同一個人

佐々木 大志

櫻田 淳也

若山 章信

SASAKI Daishi

SAKURADA Junya

WAKAYAMA Akinobu

1. 緒言

現在、砲丸投の主要な投てき技術はグライド投法と回転投法の2つである。指導者及び競技者は、形態や筋力、動的バランス、リズム等の諸条件を考慮し適切な投法を選択しているものの、世界的に見て比較的小柄な日本人選手にとって記録を伸ばすために有利な投法であると言われている回転投法への取り組みは、未だに大きな拡がりを見せていない。そこには回転投法に関する基本技術の理解、正しい習得方法が定着していないことなどが主な原因として挙げられる。

砲丸投の回転投法を観察してみた時、動作の全体印象だけでなく、「サークルを横切る瞬間まで前進運動を伴いそこから回転運動に転換されること」や「足の接地、離地から5つの局面に分けられること」等、同じ投てき種目である円盤投の技術に類似していることに気がつく。しかし、競技規則上、「砲丸投は足留め材を伴う直径2.135m、円盤投は防護ネットに囲まれた2.500mのサークルから投てきをおこなうこと」、また、「投てき物が男子シニアで砲丸が球体型の7.26キロ、円盤が円盤型2キロであること」等、全く異なる競技条件であることから、比較されることはない。

また、動作特性においても、①砲丸投の回転投法では鉛直方向の回転軸に投てき物をより近づけること

で慣性モーメントの小さい位置で効率的に加速をさせようとするのに対して、円盤投では遠心力を活かすために慣性モーメントの大きい、回転軸からなるべく遠い位置で円盤を保持し加速させること、②投てき物の形状から空気抵抗をほとんど考慮する必要がない砲丸投に対して、円盤投は投げ出しの姿勢角や物体の回転力も飛距離に大きく影響すること、③砲丸投では肘の伸展による押しの動作でリリースが行われるのに対して、円盤投ではなるべく腕を伸ばして遠心力を効果的に利用しつつ、物体に力強く回転を加えながら振り抜く動作でリリースが行われていること等、競技条件以外にも、競技上の性質および局所的な動作（特に上肢）に関して、決定的に異なる部分があるといえる。

実際の競技に目を向けてみても、熟練者であっても砲丸投と円盤投の回転投法を両立させている選手は少なく、また、1つの大会において両種目を高いレベルで成功させた事例は国内大会ではほとんどない。これは両種目の回転技術には似て異なる部分が存在し、同一個人内での技術の調整が難しいことを示している。一方で、非日常的な回転動作は反復することで熟練されて定着していくものであるため、砲丸投と円盤投の回転投法に関する類似性が確認され、共通の基本技術が明確化されれば、どちらか一方の技術に影響を受けることなく2種目にわたる可能

性に挑戦し、相乗的に回転動作の習熟度を高めていくことができる。砲丸投が競技として導入される中学校段階から回転投法に取り組み、回転動作に慣れ親しむことができ、高校以降シニアに至る回転系種目への適応に寄与する可能性は高い。

本研究では、砲丸投と円盤投の回転投法の類似性に着目し、一流競技者の試技を同一個人内で動作比較することで、共通の基本技術を明らかにする上での有用な技術的示唆を得ることを目的とする。

II. 方法

1) 分析対象

本研究では、兩種目において国内上位記録を有し、且つ回転投法ができる競技者1名を対象とし分析を行った。なお、プロフィールは表1のとおりである。

表1 被験者プロフィール

Hight	179cm	
Weight	103kg	
Discus	57.86m	2016 日本ランキング第3位
Shotput	16.12m	2016 日本ランキング第20位

2) 分析方法

被験者には実験試技として、砲丸投及び円盤投のそれぞれについて回転投法を用いて6回の試技を行わせた。実験試技は3方向からデジタルビデオカメラ(EX-F1. CASIO)でフレームレート毎秒300コマ、シャッタースピード1/2000秒で撮影した。撮影した映像をPCに取り込み、動作解析ソフト(DKH社Frame-DIAS V)でデジタイズすることで座標を求めた。得られた座標をMATLAB7.5.0(R2007b)で読み込み、以下に示す分析項目について各パラメータを算出した。分析試技は各種目の実験試技で最も記録の良かった試技(砲丸投14.65m、円盤投54.33m)を対象とした。

3) 動作の局面分け

本研究では、足の接地(on)と離地(off)の観点から、試技をファーストターン局面(R-off~L-off)、空中局面(L-off~R-on)、セカンドターン局面(R-on~L-on)、投げ局面(L-on~Rel)の4つの局面に分けた(図1)。なお、「Rel」は「Release」であり、投てき物が手から離れた瞬間を意味する。

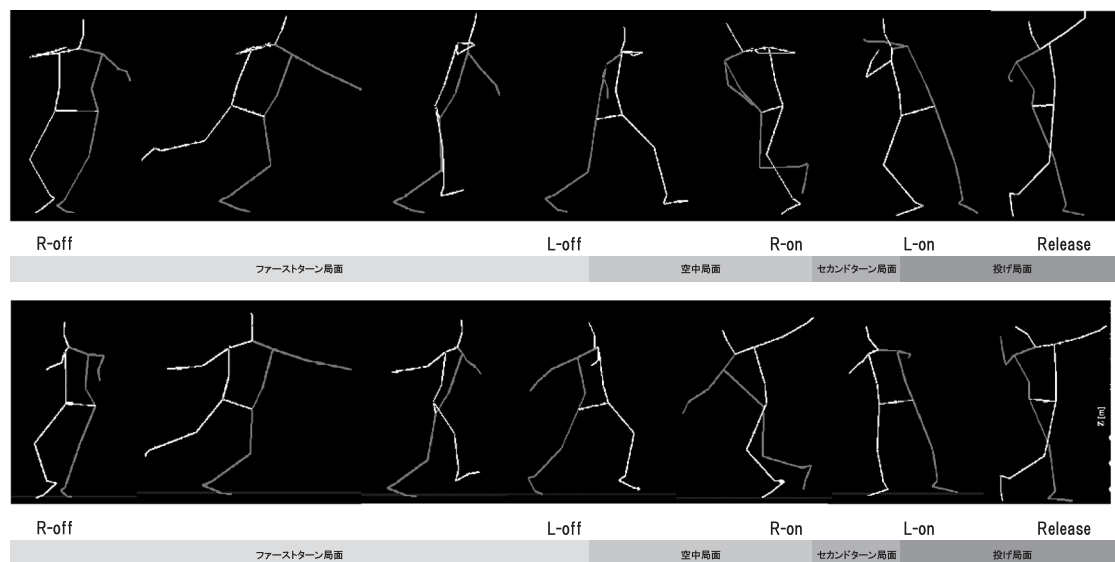


図1 スティックピクチャーと局面分け

4) 分析項目

①各局面の動作時間

②各局面のスタンス幅

※各局面の右つま先と左つま先の距離

③重心高の変化

④重心速度の変化

⑤体幹の捻転角度の変化

※両肩と両大転子を結ぶ線の角度

III. 結果

はじめに各局面の動作時間について表2にまとめた。

ファーストターン局面では砲丸投0.763秒に比べて円盤投0.713秒の方が、0.050秒動作時間が短かった。空中局面では砲丸投0.133秒に比べて円盤投0.247秒の方が、0.114秒動作時間が長かった。セカンドターン局面では砲丸投0.373秒に比べて円盤投0.270秒の方が、0.103秒動作時間が短かった。投げ局面では砲丸投0.467秒に比べて円盤投0.390秒の方が、0.077秒動作時間が短かった。全体(R-off～Rel)では砲丸投1.737秒に比べて円盤投1.620秒の方が、0.117秒動作時間が短かった。

表2 各局面の動作時間

	ファースト ターン局面	空中局面	セカンド ターン局面	投げ局面	全体 (sec.)
Shotput	0.763	0.133	0.373	0.467	1.737
Discus	0.713	0.247	0.270	0.390	1.620
差 (Shotput-Discus)	-0.050	0.114	-0.103	-0.077	-0.117

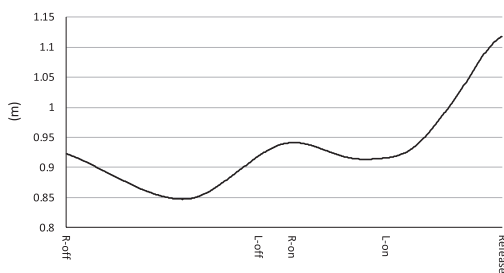


図2 砲丸投の重心高の変化

次に各局面のスタンス幅を表3にまとめた。R-off時のスタンスは砲丸投で0.91m、円盤投で0.93mでほとんど変わらなかったが、L-off～R-onまでのスタンスは砲丸投が1.10m、円盤投が1.05mであり、砲丸投の方が僅かに0.05m広がった。L-on時のスタンスは砲丸投が0.70mで、円盤投が0.89mであり、砲丸投に比べて円盤投の方が0.19m広がった。

表3 各局面のスタンス幅

	R-off	L-off～R-on	L-on	(m)
Shotput	0.91	1.10	0.70	
Discus	0.93	1.05	0.89	
差(Shotput-Discus)	-0.02	0.05	-0.19	

さらに、真横から見た重心高の変化を、図2と図3にそれぞれ示した。ファーストターン局面の重心高に種目間の違いはほとんど見られなかった。空中局面について、両種目共に重心高は上昇したが、砲丸投は0.91mから0.94mに、円盤投は0.92mから0.95mとその変化及び差は僅かであった。投げ局面について、砲丸投では0.91mから1.11mまで、円盤投では0.90mから1.05mまで重心高が大きく上昇した。投げ局面において、円盤投に比べて砲丸投の重心高の鉛直方向への上昇が大きいことがわかった。

続いて身体重心速度の変化について図4と図5にそれぞれ示した。ファーストターン局面までの重心速度の最大値は、砲丸投で最大1.229m/s、円盤投で1.391m/sであった。また、この間の平均速度は砲丸投0.768m/s、円盤投0.868m/sであり、ファーストターン局面において円盤投の方が高い速度を保っていたことがわかった。また、セカンドターン局面で砲

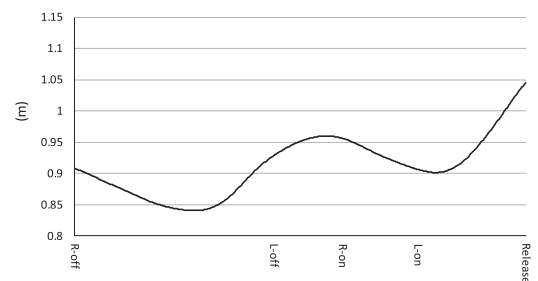


図3 円盤投の重心高の変化

丸投の重心速度が低下傾向にあるのに対して、円盤投では一度大きく速度の上昇がみられた。この時、円盤投においては1.475m/sの最大速度がみられた。投げ局面にかけての重心速度の平均値は砲丸投が0.872m/s、円盤投が1.183m/sで、円盤投の方が高い重心速度で動いていた。両種目ともRelにかけて大きな速度低下がみられたが、砲丸投の重心速度の方が速度の低下が顕著であった。

捻転角度の変化について図6と図7に示した。ファーストターン局面の捻転角度について、砲丸投では最大で -8.4° まで捻り戻され、その後L-offに向けて、再度、大きく体幹が捻られていた。円盤投については最大で 14.7° まで捻り戻されたが、L-offに向けての捻転角度の大きな変化は見られなかった。次に空中局面の変化について、砲丸投では 34.8° から 28.0° に若干捻り戻されていた。円盤投では 21.0° から 57.8° まで体幹の捻りが大きくなっていた。セカンドターン局面における最大捻転角度は砲丸投 54.2° 、円盤投 79.0° であった。また、この間の平均捻転角度は砲丸投 52.4° 、円盤投 69.1° で、円盤投の方が大きな捻

転角度を維持していた。投げ局面について、砲丸投は 63.8° から -4.3° まで捻り戻されていた。円盤投は 54.2° からRel直前に -7.5° まで一度捻り戻され、 0.3° の位置でRelされていた。

IV. 考察

本研究では、砲丸投と円盤投の回転投法について動作比較を行うにあたって、あえて同一個人の試技を対象とした。それは、動作時間は競技者それぞれが独自性を持つものであるため、リズムやタイミングが明らかに異なる他者との比較では動作に現れる特徴を捉えることが困難であると判断したためである。

はじめに各局面の動作時間について、全体の動作時間(R-off～Rel)が砲丸投1.737秒に比べて円盤投1.620秒の方が0.117秒短かった。初期条件としてサークルが幾分大きい円盤投の方が長い動作時間になると予想していたが、実際には円盤投の方が全体として短い動作時間で投てきがおこなわれていることがわかった。その時間の差を生み出している

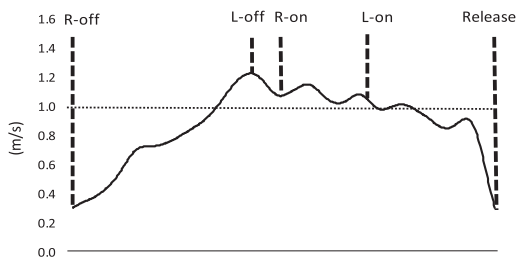


図4 砲丸投の身体重心速度の変化

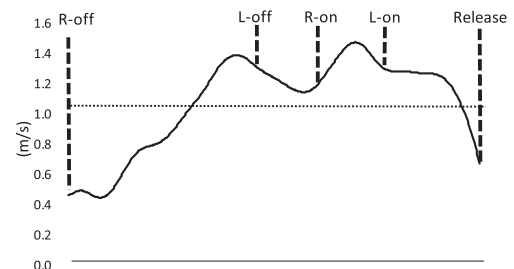


図5 円盤投の身体重心速度の変化

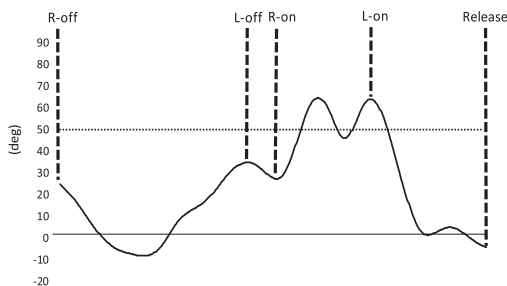


図6 砲丸投の捻転角度の変化

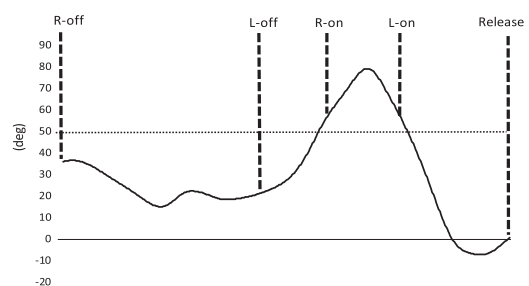


図7 円盤投の捻転角度の変化

のはファーストターン局面-0.050秒、セカンドターン局面-0.103秒、投げ局面-0.077秒の3つの局面で、空中局面+0.114秒を除いて砲丸投よりも短い動作時間であった。後述する重心速度の変化とも関連するが、空中局面において円盤投の方が長い動作時間であったことに加え、この間の重心速度が砲丸投よりも速かったことから、ターンにおける投てき方向への並進運動が砲丸投よりも速く長い時間でおこなわれていたことがわかった。また、投げ局面における動作時間は、円盤投の方が短い動作時間で投射を行っていた。この事実は、最終的に到達する速度、物体の飛距離を考慮すれば当然の結果ともいえるが、慣性モーメントが大きい長い軌道で物体を投げる円盤投の方が、慣性モーメントが小さい短い軌道で押し出す砲丸投よりも速い動作で投射ができていることは、それぞれにおいて投げ局面を迎えるまでの加速過程に相違がある可能性を示している。つまり、砲丸投ではL-onを契機に投げ局面から爆発的に物体を加速させる“スタートダッシュ型”であるのに対して、円盤投はセカンドターン局面からすでに“投げ”が始動し、その加速を利用して投げ出している“加速走型”である可能性が高い。このことは後述する体幹の捻転角度の変化にも関連し言及している。

次に各局面のスタンス幅の比較について、R-off時のスタンスは砲丸投が0.91m、円盤投が0.93mでほとんど変わらなかったが、空中局面の移動スタンスは砲丸投が1.10m、円盤投が1.05mで、その差は0.05m、パワーポジションの姿勢であるL-on時のスタンスでは、砲丸投が0.70m、円盤投が0.89mで、その差は0.19mであった。スティックピクチャーによる観察では脚の動きに大きな違いは確認できなかったが、特にパワーポジションの姿勢であるL-on時において、両種目のスタンス幅の差が顕著であった。空中局面のスタンスの差は0.05mで、動作時間の差が大きかった割には、スタンス幅には僅かな違いしかみられなかった。前述のセカンドターン局面の動作時間が円盤投の方が短かったことと合わせて考慮すると、動作時間の大きな差は単純に進んだ距離によってもたらされたものではない。おそらく、円盤投では、ファーストターン局面で投てき方向に大きく進み

過ぎることなく空中局面で腰の切り替えとパワーポジションの先取りを行い、投げる準備姿勢を予めつくることで、素早くセカンドターン局面で脚をさばき、投げ局面へ移行した可能性が高い。また、投げ局面では円盤投の方で明らかに広いスタンス(+0.19m)のパワーポジションがとられていたが、このことからサークルの大きさへの適応は、L-on時のスタンス幅の調整によって行われていると推察することができる。Bartoniets (1994) の報告によれば、砲丸投の回転投法は予備動作のストライド幅が大きく投げのスタンスが小さくなる「Long-short Rhythm」が採用されていることが分かっている。つまり、同一個人の動作において、円盤投に比べて砲丸投のL-on時のスタンス幅は明らかに小さくなる傾向にあり、投げ局面のスタンス幅の調整がサークルの大きさへの適応に関係していると考えられる。

真横から見た重心高の変化については、R-offからL-onまでの重心高の変化に違いはほとんど見られなかったが、投げ局面において、砲丸投では0.91mから1.11mまでの0.20m、円盤投では0.90mから1.05mまでの0.15m、重心高が上昇した。被験者は両種目においてリバース(ジャンプ動作を伴った脚の踏み替え)を行っているが、このリバース動作に伴う重心高の上昇は円盤投に比べて砲丸投の方が幾分大きいことがわかった。砲丸投における回転投法では、リバース動作は回転によって生み出された力を効率的に砲丸に伝え、その後のファールを防止するという役割を持ち、一連の動作の終末局面において不可欠な技術である。スタンス幅も狭く限られた空間で一気に砲丸を加速し投げるために、円盤投に比べて両脚の伸展を強調した“ジャンプショット”が行われた結果、重心高が上昇しているものと考えられる。

続いて重心速度の変化について、ファーストターン局面において、重心速度の最大値は砲丸投1.229m/s、円盤投1.391m/sであった。この間の重心速度の平均値は砲丸投0.768m/s、円盤投0.868m/sであったことから、ファーストターン局面において円盤投の方が明らかに速い重心速度をもったターンをしていたことがわかる。松尾ら(2005)の報告によると円盤投ではファーストターン局面のL-off

時に投てき方向への重心速度が最大になるとの見解が示されていたが、砲丸投の回転投法でも同様の結果が得られた。一方で、円盤投ではその後のセカンドターン局面において重心速度の最大値が確認されたため、先行研究の見解とは一致しなかったが、これが被験者独自の技術的な特性であるのかについては更なる検証が必要である。

特徴的であったのが、セカンドターン局面における重心速度の比較で、砲丸投の重心速度が低下傾向にあるのに対して、円盤投では一度大きく速度の上昇がみられた。この時、円盤投においては1.475m/sの最大値がみられたことから、ターンのスピードを活かすことで、セカンドターン局面において投てき方向への重心速度をさらに加速させることができたものと考えられる。これに対して、砲丸投では重心速度の低下傾向が見られ、R-on時点で投てき方向への並進運動は弱まり、回転運動へと切り替わっていたことが推察される。つまり、両種目の異なる特徴として、砲丸投がR-onのタイミングで並進運動を回転運動に切り替えているのに対して、円盤投ではR-on後も並進運動を維持しながらL-onまでの間に重心速度を高めつつ回転運動へと切り替えている可能性が高い。この間の砲丸投の重心速度の低下傾向は、大山ら(2008)の砲丸速度の落ち込みとも一致するところで、L-onにかけてターンから投げの構えを整えることで起こる一時的な速度低下ではあるものの、その後の爆発的な投げ局面を生み出すための下肢及び体幹にエネルギーをため込んでいる状況といえるだろう。さらに、投げ局面について、重心速度の平均値が砲丸投0.872m/s、円盤投1.183m/sで、円盤投の方が高い重心速度であったものの、両種目ともRelにかけて著しい速度の低下がみられた。この速度の低下は、両種目のRel時のブロック動作に関連し、重心速度が急激に低下するほどしっかりとしたブロック動作ができていると判断できる。砲丸投の速度低下が顕著であることから、狭いスタンスでより重い物体を投げ出す砲丸投の方が、ブロックが強く作用し、その鉛直方向への脚の伸展が、すでに述べた重心高の上昇にも繋がっているものと推察される。

体幹の捻転角度の変化について、ファースター

ン局面では、砲丸投の捻転角度が大きく変化していたのに対し、円盤投においては捻転角度に大きな変化は見られなかった。この時、砲丸投では保持している物体に先取りして腰が進むことで体幹が捻られたのに対して、円盤投ではR-off時の捻転角度をおおよそ維持したままL-offを迎えていることがわかった。続く空中局面の変化では、砲丸投が34.8°から28.0°に若干捻り戻されていたのに対して、円盤投では21.0°から57.8°まで体幹が大きく捻られていた。つまり、砲丸投の場合はファースターン局面で、円盤投の場合は空中局面で体幹を捻転させていることになる。砲丸投では物体が高重量で身体の中心近くに保持されているため、空中局面で体幹を捻転させることは難しい。これに対して円盤投は物体が軽く、さらには保持している腕の長さの分だけ身体の遠くの軌道を動いているため、空中局面で身体と物体の動きの差をつくるのが容易である。つまり、ターン中、適度に円盤を後方に残しておくことで捻転を生み出し、砲丸投よりも大きな捻転角度を獲得できたものと考えられる。また、セカンドターン局面における最大捻転角度は砲丸投で54.2°、円盤投で79.0°であり、また、この間の砲丸投の捻転角度の平均値は52.4°、円盤投は69.1°で、円盤投の方が大きな捻転角度であった。このことから両種目の技術の核心部分ともいえる体幹の捻転角度は、円盤投の方が明らかに大きいことがわかった。投げ局面において特徴的であったのが、砲丸投ではL-on時に最大値に近い捻転角度であったのに対して、円盤投では最大捻転角度から捻り戻される過程でL-on時を迎えていた点である。これは砲丸投ではL-onまで体幹の捻転を最大限高めて、一気に捻り戻すことで爆発的なリリースに繋がっていたのに対して、円盤投ではセカンドターン局面からすでに投げ局面に繋がる捻り戻し動作が開始されていたことを示している。このことから、砲丸投ではL-onが“投げ”の明確な切り替えポイントになり、円盤投においては、L-onする前のセカンドターン局面中に捻転の捻り戻し、つまりは“投げ”を意識した動作に移行している可能性が高い。砲丸投と同様にL-onと同時に投げを意識するのでは、円盤投の場合には捻り戻しの作用を投げ局面に活かすためにはタ

イミングとして遅い可能性が示唆された。

V. 総括

本研究では、砲丸投と円盤投の回転投法の類似性に着目し、一流競技者の試技を同一個人内で動作比較することで、共通の基本技術を明らかにする上で有用な技術的示唆を得ることを目的とした。

検証の結果、次のような示唆が得られた。

- 1) 各局面の動作時間について、全体の動作時間(R-off~Rel)が砲丸投に比べて円盤投の方が短かった。その時間差を生み出しているのはファーストターン局面、セカンドターン局面、投げ局面の3つの局面で、空中局面を除いて砲丸投よりも短い動作時間であった。このことから、空中局面において円盤投の方が長い動作時間であったことに加え、この間の重心速度も速かったことから、ターンにおける投てき方向への並進運動が砲丸投よりも速い速度で長い時間おこなわれている。
- 2) 各局面のスタンス幅の比較について、ファーストターン局面から空中局面までのスタンスはほとんど変わらなかったが、パワーポジションであるL-on時のスタンスでは、砲丸投よりも円盤投の方が明らかに広がった。このことからサークルの大きさへの適応は、L-on時のスタンス幅の調整によって行われているものと推察された。同一個人において、円盤投に比べて砲丸投のL-on時のスタンス幅は明らかに小さくなる傾向にあり、投げ局面のスタンス幅の調整がサークルの大きさへの適応に関係している。
- 3) 重心高の変化について、投げ局面において、リバース動作に伴う重心高の上昇は円盤投に比べて砲丸投の方が幾分大きかった。スタンス幅も狭く、限られた空間で一気に砲丸を加速し投げるために、両脚の伸展を強調した“ジャンプショット”が行われた結果、円盤投に比べて重心高が上昇している可能性が示唆された。
- 4) 重心速度の変化について、ファーストターン局面において最大値、平均値ともに円盤投の方が

明らかに速い重心速度でターンが行われていた。セカンドターン局面では、砲丸投の重心速度が低下傾向にあるのに対して、円盤投では一度大きく速度の上昇がみられた。この時、円盤投において最大速度が確認されたことから、円盤投ではファーストターン局面から高められたスピードを活かしたことで、セカンドターン局面でさらに重心速度を高められた可能性が高い。これに対して、砲丸投では重心速度の低下傾向が見られ、R-on時点で投てき方向への並進運動は弱まり、回転運動へと切り替わっていたことが推察される。投げ局面では、両種目ともにRelにかけての大きな速度低下がみられた。砲丸投の速度低下の方が顕著であったことから、狭いスタンスでより重たい物体を投げ出す砲丸投の方がブロック動作の役割が強く、その鉛直方向への脚の伸展が、すでに述べた重心高の上昇にも繋がっている。

- 5) 体幹の捻転角度の変化について、ターンの前半では、砲丸投がファーストターン局面で、円盤投が空中局面で、それぞれ積極的に体幹を捻転させている様子を捉えることができた。両種目の技術の核心部分ともいえるセカンドターン局面の体幹の捻転角度は、円盤投の方が明らかに大きいことがわかった。投げ局面では、砲丸投がL-on時に最大捻転角度に近い位置で構えていたのに対し、円盤投では最大捻転角度から幾分捻り戻されたところでL-onを迎えていた。このことから、砲丸投ではL-onが“投げ”の明確な切り替えポイントになり、円盤投においては、L-onする前のセカンドターン局面中に、すでに捻転を解いて捻り戻し、“投げ”を意識した動作に移行している可能性が高い。

VI. 文献

Bartinietz, K. E. (1994) Rotational Shot Put technique: biomechanic findings and recommendations for training. *Track & Field Quarterly Review*, 94: 18-29.

松尾宜隆、湯浅景元 (2005) 円盤投げ動作における

身体重心速度が円盤速度と円盤+投擲者角運動量に及ぼす効果 中京大学体育学論叢、46(2):33-43.

大山卞圭悟・藤井宏明(2008)男子砲丸投一回転投法・グライド投法の比較を中心に一。バイオメカニクス研究、12: 153-160.

付記

本報告の主要データは紀要52号に掲載された「回転投法(砲丸投・円盤投)の投てき技術に関する動作比較」と同一のものである。