

回転投法(砲丸投・円盤投)の投てき技術に関する動作比較

Movement Comparison about the Throw Technique of Rotational Technique (Shotput and Discus Throw)

キーワード：動作時間、体幹捻転角度、身体重心速度

佐々木 大志

櫻田 淳也

若山 章信

SASAKI Daishi

SAKURADA Junya

WAKAYAMA AKinobu

1. 緒言

陸上競技指導教本(日本陸上競技連盟 1992)では、「投てき種目は身体の直線的な運動(並進運動)によって投てき物の水平スピードが獲得されるもの(砲丸投・やり投)と前進運動に身体の回転運動が伴って水平スピードが獲得されるもの(円盤投・ハンマー投)とに大別できるとされている。しかし、その見解は、砲丸投において直線的な動作を伴うグライド投法を前提としたものであり、現在、主要な投法の一つとして世界的に定着している回転投法を考慮にいたしたものではない。

砲丸投の回転投法は動作特性上、日本人のように世界的に見て比較的小柄な競技者にとって競技力を向上させるために有効な投法である(陸上競技連盟強化本部 バイオメカニクス研究班 1994)といわれている。

砲丸投(以下SP)の回転投法は、客観的に観察できる動作の印象だけでなく、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点や足の接地、離地から5つの局面に分けられる点において、同じ投てき種目である円盤投(以下DT)に類似している部分を捉えることができる。

一方で、種目特性を考慮した場合、①SP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、DTでは回転軸から投て

き物をなるべく遠くで保持して動かすことで遠心力を活かして加速させる、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SPに対して、DTは投げ出しの姿勢角や物体の回転も飛距離に大きく影響する、③SPでは肘の伸展による直線的に「押し抜く」動作でリリースが行われるのに対して、DTではなるべく腕を伸ばして遠心力を効果的に利用し、円を描くように「振り抜く」動作でリリースが行われる等、競技上の性質および動作の一部(特に上肢)に関して、決定的に異なる部分も確認される。

このように両種目の回転投法が類似しているのか否かについては、競技者及び指導者において明確な見解は示されていない。実践的には、国内でSPとDTの回転投法を両立できる競技者は少なく、同一大会において個人が両種目で高いパフォーマンスを発揮できた事例はほとんどない。しかし、世界に目を向けてみると両立させて活躍する競技者は複数存在し、高いレベルで成功を収めている事実もあり、両種目の投動作の比較から得られる客観的な示唆は実践の場においてとても興味深いものとなる。

一方で、この2種目は競技規則において、SPは足留め材を伴う直径2.135m、DTは防護ネットに囲まれた2.5mのサークルから投げることや投てき物の形状・重量が全く異なっていること等明らかな競技条件の違いがあることから、これまで比較されたことはない。

そこで、本研究では、SPとDTの回転投法について、国内の一流競技者1名を対象として、多角的な視点

で両種目の回転投法の動作の変容を捉え、同一個人内での動作を比較検証することで、両種目に投動作に関する技術的な示唆を得ることを目的とした。

II. 方法

1) 分析対象

本研究では、両種目において国内上位記録を有し、且つ回転投法が実施可能な競技者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

身長	179cm		
体重	103kg		
砲丸投	16.12m	2016	日本ランキング第20位
円盤投	57.86m	201	日本ランキング第3位

2) 分析方法

被験者には実験試技として、SP及びDTのそれぞれについて回転投法をもちいて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SP14.65m、DT54.33m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~Release)の4つの局面に分けた(図1)。

4) 分析項目

- ①スティックピクチャー(図1)
- ②各局面の動作時間
- ③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
- ④身体重心速度の変化
- 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(図2)

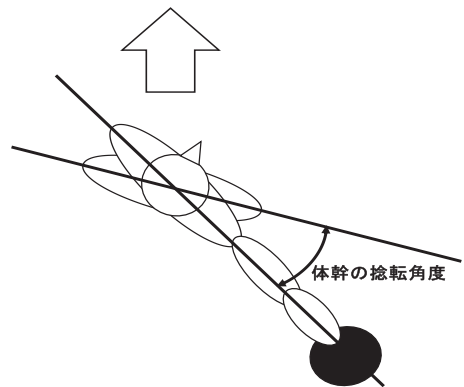


図2 体幹の捻転角度モデル

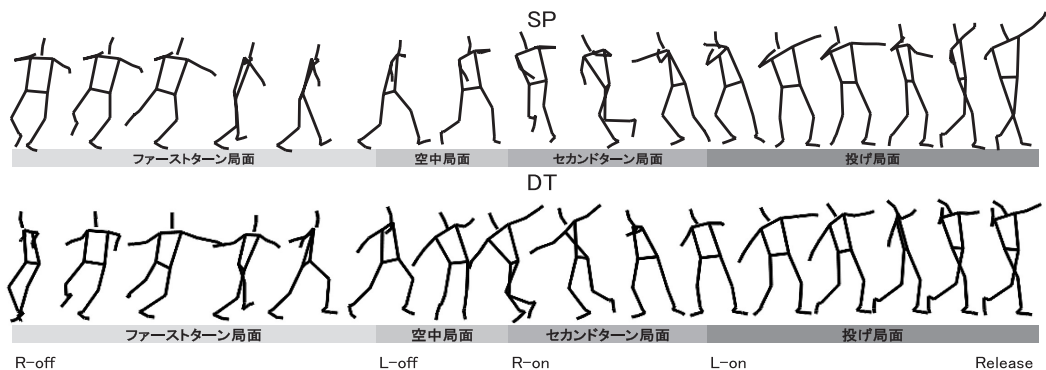


図1 スティックピクチャーと局面分け

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SP0.763秒に比べてDT 0.713秒の方が、0.050秒が短かった。空中局面ではSP0.133秒に比べてDT0.247秒の方が、0.114秒長かった。セカンドターン局面ではSP0.373秒に比べてDT0.270秒の方が、0.103秒が短かった。投げ局面ではSP0.467秒に比べてDT0.390秒の方が、0.077秒短かった。全体(R-off～Release)ではSP1.737秒に比べてDT1.620秒の方が、0.117秒短かった。

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SPで0.91m、DT0.93mでほ

んど変わらなかったが、L-off～R-onまでのスタンスはSPが1.10m、DTが1.05mであり、SPの方が僅かに0.05m広がった。L-on時のスタンスはSPが0.70mで、DTが0.89mであり、SPに比べてDTの方が0.19m広がった。

続いて身体重心速度の変化について図3に示した。

ファーストターン局面までの最大値は、SP 1.229m/s、DT1.391m/sであり、DTの方が大きかった。また、セカンドターン局面でSPの速度が低下傾向にあるのに対して、DTでは一度大きく速度の上昇がみられた。この時、DTにおいては1.475m/sの最大値がみられた。両種目ともReleaseにかけて大きな速度低下がみられたが、SPの速度低下の方が顕著であった。

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
SP	0.763	0.133	0.373	0.467	1.737
DT	0.713	0.247	0.270	0.390	1.620
SP-DT	-0.050	0.114	-0.103	-0.077	-0.117

表3 各局面のスタンス幅

	R-off	L-off～R-on	L-on
SP	0.91	1.10	0.70
DT	0.93	1.05	0.89
SP-DT	-0.02	0.05	-0.19

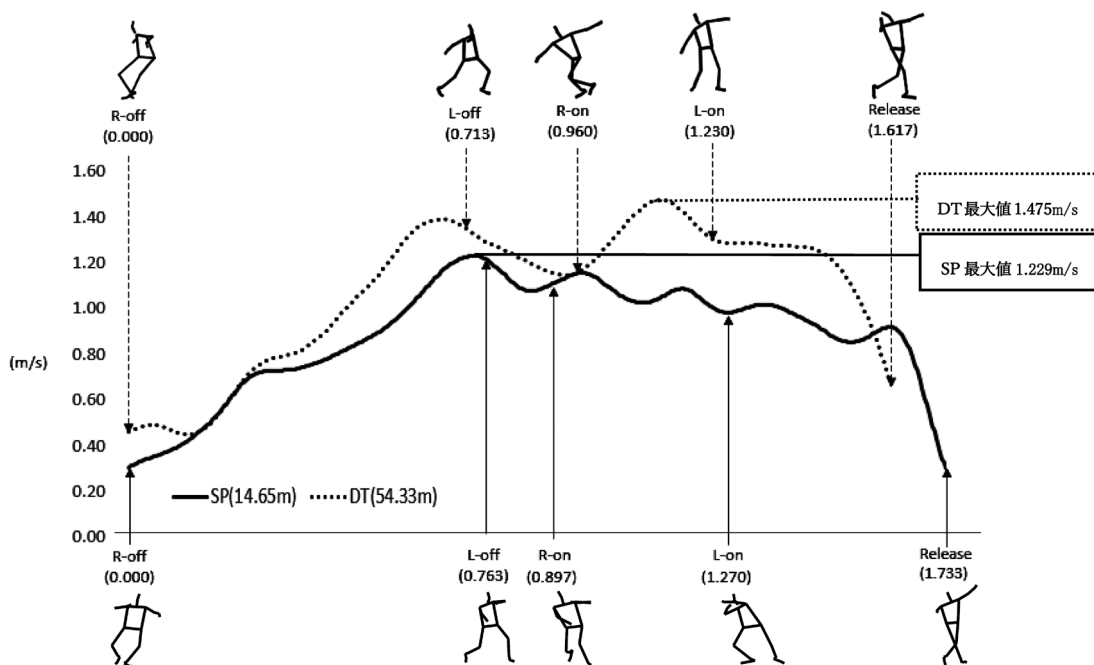


図3 身体重心速度の変化

体幹の捻転角度の変化について図4に示した。ファーストターン局面について、SP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。DTについて最大 14.7° まで捻り戻されたが、L-offに向けての捻転角度に大きな変化は見られなかった。次に空中局面について、SPでは 34.8° から 28.0° に幾分捻り戻されていた。DTでは 21.0° から 57.8° まで角度が大きくなっていった。セカンドターン局面では最大値でSP 54.2° 、DT 79.0° であった。投げ局面では、SPは 63.8° から -4.3° まで捻り戻されていた。DTは 54.2° からRelease直前に -7.5° まで一度捻り戻され、 0.3° でReleaseされていた。

IV. 考察

本研究においては、形態や身体能力、動作のリズム性や投げのタイミングが異なる他者との比較では動作以外の諸条件を考慮する必要が生じる為、SPとDTの回転投げ法について単純比較を行うにあたって、

同一個人を試技を対象とした。

各局面の動作時間について、全体(R-off~Release)の動作時間がSP1.737秒に比べてDT1.620秒の方が0.117秒短かった。動作時間の比較に関して、両種目の間には、基本的にサークルの大きさが異なるという前提がある。SPのサークルは2.135m、DTは2.500mであり、これを考慮するとサークル内を大きく動くDTの方が、動作の完結までに時間を要するものと予想されたが、実際にはDTの方が短時間で動作されていた。その差を生み出している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、SPよりも短い時間で動作が行われていた。空中局面のみ他の局面とは異なる時間差が生じた原因について、サークルの大きいDTの方がターンによる移動距離が長くなる為と考えられたが、後述するスタンス幅の比較では、ターンによる移動距離について大きな差は認められなかった。したがって、あくまで推測の域を越えないが、

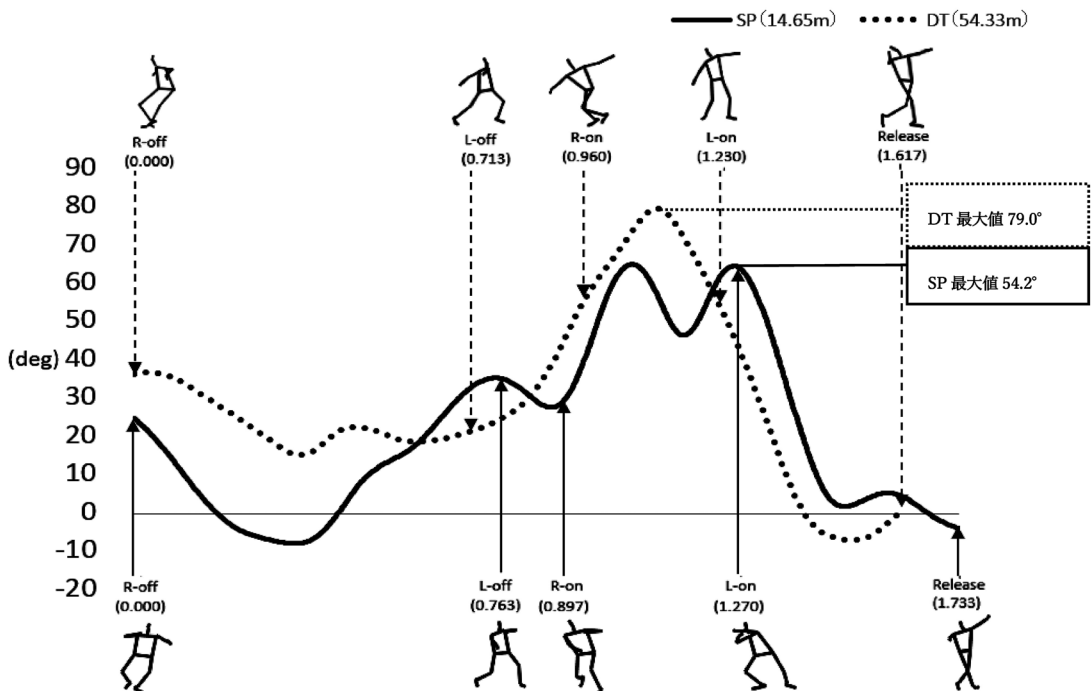


図4 体幹の捻転角度の変化

DTでは空中局面において動作の「間」を取ることで、次の局面に向けた動作準備が行われ、それ以降の一連の動作がスピーディーに行われている可能性が示唆された。

各局面のスタンス幅の比較について、R-off時はSPが0.91m、DTが0.93mでほとんど変わらなかったが、空中局面ではSPが1.10m、DTが1.05mで、その差は0.05mであった。L-on時(パワーポジション)では、SPが0.70m、DT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足の動きに大きな違いは確認できなかったが、特にL-on時(パワーポジション)におけるスタンス幅の差が顕著であった。サークルの大きさを考慮するとSPに比べてDTの方がファーストターン局面から空中局面にかけて投てき方向に大きく進んでいる印象を受けるが、実際の移動距離には殆ど差がないことがわかった。

Bartonietz(1994)の報告によれば、SPの回転投法は予備動作のストライド幅が大きく、投げ局面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おり、本研究においても同様の傾向が示された。DTに比べてSPのL-on時のスタンス幅は明らかに小さく、これがサークルの大きさへの適応、調整に関係しているものと考えられる。

身体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、最大値がSP1.229m/s、DT1.391m/sであり、DTの方が明らかに大きい速度であることが示された。松尾ら(2005)の報告では、DTの場合、ファーストターン局面のL-off時に投てき方向への身体重心速度が最大になるとの見解が示されていたが、SPでも同様の結果が得られた。一方で、DTでは、その後のセカンドターン局面において身体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。この事実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。

また、興味深い点として挙げられるのが、セカンドターン局面における比較で、SPの身体重心速度が低下傾向にあるのに対して、DTでは速度の上昇がみられた。この時、DTにおいては一連の動作中の

身体重心速度の最大値1.475m/sが確認された。前述したスタンス幅の比較においてDTの方がこの局面で明らかに大きい値を示していたことから、広いスタンスが右足から左足への重心移動を容易にし、加速過程であるファーストターン局面からの移動スピードと合わせて、速度を高めることに貢献したのではないかと推察される。これに対して、SPでは身体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重心移動は抑えられていたことがわかる。SPのセカンドターン局面の身体重心速度低下は、大山ら(2008)の見解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に下肢及び体幹にエネルギーをため込んでいる状況」と考えられ、回転投法の特徴の1つと言える。

また、投げ局面では、両種目ともReleaseにかけての著しい速度低下がみられた。この速度低下は、両種目のRelease時のブロック動作に関連し、身体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。SP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たい物体を投げ出すSPの方がDTよりもブロック動作が強調されていることがうかがえる。

体幹の捻転角度の変化について、ファーストターン局面では、SPの捻転角度が大きく変化していたのに対し、DT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、SP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、DTではR-off時の捻転角度をおおよそ維持したままでL-offを迎えていることがわかった。続く空中局面では、SPが34.8°から28.0°に幾分捻り戻されていたのに対して、DT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、SPの場合はファーストターン局面で、DTの場合は空中局面で体幹を捻転させているということになる。SPでは物体が高重量で身体を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DT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

物体の動きに時間差をつけ、捻転をつくりだすことが容易である。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、SP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捻転角度の最大値はSPで54.2°、DTで79.0°であり、DTの方が明らかに大きかった。体幹の捻転とその捻り戻しの作用が両種目の技術の核心部分であり、セカンドターン局面における捻転角度の差についてはさらに詳細な検証が必要である。

投げ局面において特徴として捉えられたのは、SP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、DT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SP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、DT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、SPではL-onが“投げ”に繋がる捻り戻しが行われるポイントとなり、DTでは、L-onする前のセカンドターン局面中に捻り戻しが始まり、この局面中にリリースに向けた“投げ”が始動するポイントが存在する可能性が高い。SPとDTでは、投げ始める際の捻転の捻り戻しのタイミングが異なる可能性が示唆された。

V. 総括

本研究では、砲丸投(SP)と円盤投(DT)の回転投法について、国内の一流競技者1名を対象として、多角的な視点で両種目の回転投法の動作分析を行った。同一個人内での動作を比較検証することで、両種目の投動作に関して、下記に示す技術的な示唆を得ることできた。

- 1) 各局面の動作時間の比較に関して、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つの局面はDTの動作時間が短く、空中局面のみSPの動作時間の方が短いことがわかった。全体の動作時間はSPに比べてDTの方が短かった。基本的にサークルの大

きさが異なるという前提があるが、サークルが幾分大きいDTの方が短時間で動作を完結している、つまり、動作全体にスピードがある可能性が示唆された。

- 2) 各局面のスタンス幅の比較に関して、特にL-on時(パワーポジション)における差が顕著であった。SPに比べてDTの方がファーストターン局面から空中局面にかけて投てき方向に大きく進んでいる印象を受けるが、実際の移動距離には殆ど差がなく、L-on時のスタンス幅がサークルの大きさへの適応、調整に関係している可能性が示唆された。
- 3) 身体重心速度の変化に関して、ファーストターン局面ではDTの方がSPに比べて明らかに速度が大きかった。セカンドターン局面ではSPの速度が低下傾向にあるのに対して、DTでは速度が大きく上昇した。ファーストターン局面及びセカンドターン局面共にDTの方が大きな速度で、SPに比べて重心を投てき方向へ強く進めている傾向が示唆された。また、投げ局面では、両種目ともにReleaseにかけての大きな速度低下がみられた。SP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るSPの方がDTよりもブロック動作が強調されていることが推察された。
- 4) 体幹の捻転角度の変化に関して、SPの場合はファーストターン局面で、DTの場合は空中局面で積極的に体幹を捻転させていた。技術の核心部分ともいえるセカンドターン局面における体幹の捻転角度はSPに比べてDT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、SPではL-on時に最大捻転角度であったのに対して、DT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。SPとDTでは、投げ始める際の捻転の捻り戻しのタイミングが異なる可能性が示唆された。

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. *バイオメカニクス研究*, 12: 153-160.
- 陸上競技連盟強化本部 バイオメカニクス研究班 (1994) 世界一流陸上競技者の技術: 217-218.
- 財団法人: 日本陸上競技連盟 (1992) 陸上競技指導教本 基礎理論編, 49.

付記

本研究は平成27-28年度東京女子体育大学共同研究による研究成果の一部である。