

## やり投におけるバイオメカニクス研究に基づいた技術指導の実践

田内健二<sup>1)</sup>

牧野瑞輝<sup>2)</sup>

1) 中京大

2) 中京大大学院

### I. 緒言

やり投げの競技パフォーマンスに影響を及ぼす動作要因については、これまで多くの研究によって明らかにされてきた。主な内容には、やりの飛距離にはリリース時のやりの速度（初速度）が最も重要であること、やり投げの飛距離に優れる選手は助走速度が速いこと、最終的な前脚接地（ブロック動作）時には膝がより伸展位であること、などが挙げられる（田内, 2009）。これらの内容は、いずれもやりの飛距離と各動作パラメータとの相関関係、あるいは競技レベルの高い選手群と低い選手群との差の検定、などの横断研究によって明らかにされたものである。我々の研究グループは、これらの内容をさらに発展させる形で、やり投げの飛距離に対する各動作パラメータの優先順位を統計学的に決定したり（田内ら, 2012a）、男女間での相違点を検討したりしてきた（瀧川と田内, 2020）。このように、やりの飛距離と動作要因との関係を検討する横断的研究による知見は、かなり蓄積されてきたといえる。

一方、競技現場においてより重要なことは、研究によって明らかにされた内容が、実際に指導する選手のパフォーマンスを高めることに役立つかということであろう。この課題を解決する一つの方法として、パフォーマンスが変化した個々の選手の動作の変化を検討する事例的研究が挙げられる。我々の研究グループでは、同一選手を対象にして、成功試技と失敗試技との比較（村上ら, 2008；田内ら, 2012b）、複数年にわたる動作の縦断的变化（田内ら, 2011；村上ら, 2014）などを検討してきた。この中では、パフォーマンスの変化に対する動作の変化を、上述した横断研究の内容と照らし合わせて解釈するだけでなく、当該選手の自省などを取り上げて解釈することもあり、より競技現場に即した課題を解決する方向で研究を進めてきた。これらの研究を通して、個々の選手のパフォーマンスの変化に対する動

作の変化は、例えば、記録が増加した試技では助走速度が増加していたり、低下した試技ではブロック動作で膝が屈曲していたりするなど、基本的には横断研究の内容に矛盾しないことが明らかになっている。

しかしながら、上述した研究はいずれも生じた結果を分析するという研究であり、なぜそのようなパフォーマンスに至ったのかという、因果関係を明らかにすることはできない。競技現場においては、当該選手のパフォーマンスを向上させるために、あらゆる観点から分析し、弱点を補強したり、強みを伸ばしたりを適宜判断し、試行錯誤している。その試行錯誤の過程を明らかにした上で、生じた結果を解釈することが、実践においてより有用な知見になることが考えられる。

そこで本研究は、やり投げに関するバイオメカニクス研究の知見を基にして、当該選手のパフォーマンスを評価し、そこから得られる課題を解決するアプローチ、およびその成果を客観的に明らかにすることを目的とした。

### II. 方法

#### 1. 対象者

本研究の対象者は、大学に在籍する女子やり投げ選手1名（以下、A選手：年齢19歳、身長163cm、体重60kg、競技歴4年）である。A選手のプロフィールを表1に示した。A選手は、2019年に49.93mを投げてインターハイ3位に入賞、2021年に53.38mを投げてU20日本選手権において2位に入賞し、この年に自己最高記録を54.12mまで伸ばしている。本研究では、2021年におけるアプローチを研究の対象期間とした。

#### 2. 動作評価の観点

本研究では、やり投げの動作を分析するにあたり、

表1 シーズンベスト記録の変遷

西暦(年)	記録(m)	主な成績
2018	42.86	
2019	49.94	沖縄IH 3位
2020	50.60	
2021	54.12	U20 2位

最終的な後足接地時を R-on, 前脚接地(ブロック動作)時を L-on, リリース時を REL とし, R-on から L-on を準備局面, L-on から REL を投局面として定義した.

著者は, 田内ら(2012) および瀧川と田内(2020)の研究成果, および指導経験(田内, 2011)を基にして, やり投げ動作を評価する主な観点を以下のように設定している.

- ・助走速度の程度(局面を通して速ければ速いほど良い)
- ・ブロック動作の膝の屈曲角度の程度(L-on時に伸展位であれば良い)
- ・後方からみた腕のしなり具合(L-on時にグリップが背中側に残っていれば良い)
- ・側方からみた地面に対する体幹角度(局面を通して地面と垂直であれば良い)
- ・クロスステップ時の骨盤の向き(局面を通して骨盤が進行方向を向いていれば良い)
- ・クロスステップのリズム(R-onからL-onが間延びしなければ良い)

参考として2007年世界選手権女子やり投上位8名(世界トップ8)の平均動作モデルを示した(図1, 田内ら, 2009). 世界トップ8の動作は, これら

の観点からすればおおよそ優れていると評価されるものである.

### 3. 指導者によるA選手の主観的評価および課題

A選手の2019年の投てき動作を図2に示した. 著者からみたA選手における動作の主観的評価は, 助走速度が遅く, ブロック動作を利用した投げというよりは, 腕を大きくしならせた腕振りの強い投げという印象であった. 特に, 骨盤が進行方向(以下, 前方)に対して真横を向いてクロスステップを行う, いわゆる「横走り」の状態から投げるという印象が強かった. また, 上述したやり投げ動作の評価の観点に対しては, 表2に示したようにマイナスの評価が多く, 腕のしなり具合以外は, 改善の余地が大きい投げであったといえる. 反対に, このような動作の評価であるにもかかわらず, インターハイで3位に入賞するという事は, 優れた素質の持ち主であったと捉えることもできる.

以上の評価から, 改善しなければならない課題は特に下肢の動作とした. その中でも, R-on時に骨盤がほぼ真横を向き, 右膝が後方からみて横方向に屈曲するように接地しながらL-onを迎えている動作(図2)を改善することを最優先とした. 具体的には, より骨盤を前方に向けた状態でクロスステップを行い, R-onからL-onにかけて右膝が前方へ屈曲しながら投局面を迎えられるようになることを指示した. この理由には, 骨盤を前方に向けてクロスステップすることによって, 助走で獲得した速度をよりスムーズにクロスステップへとつなげることができれば, 助走速度を向上させることができるだけでなく, R-onからL-onへの間延びを防ぎ, ブロック動作における膝の屈曲も抑えられると考えたから

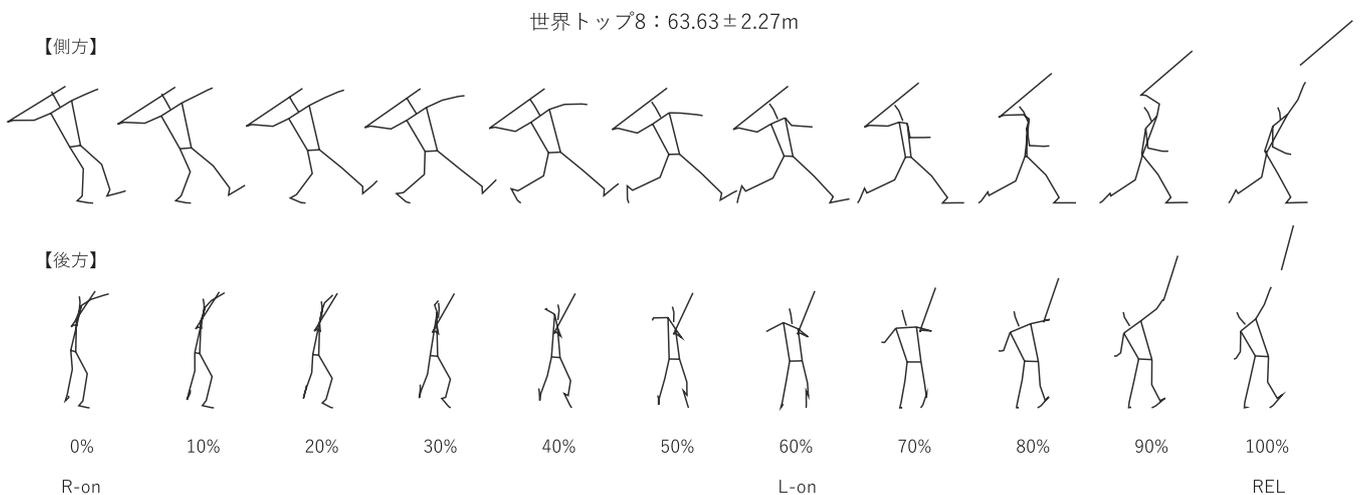


図1 世界トップ8における平均動作モデル(田内ら, 2009より引用)  
0-100%は規格化時間を示す.

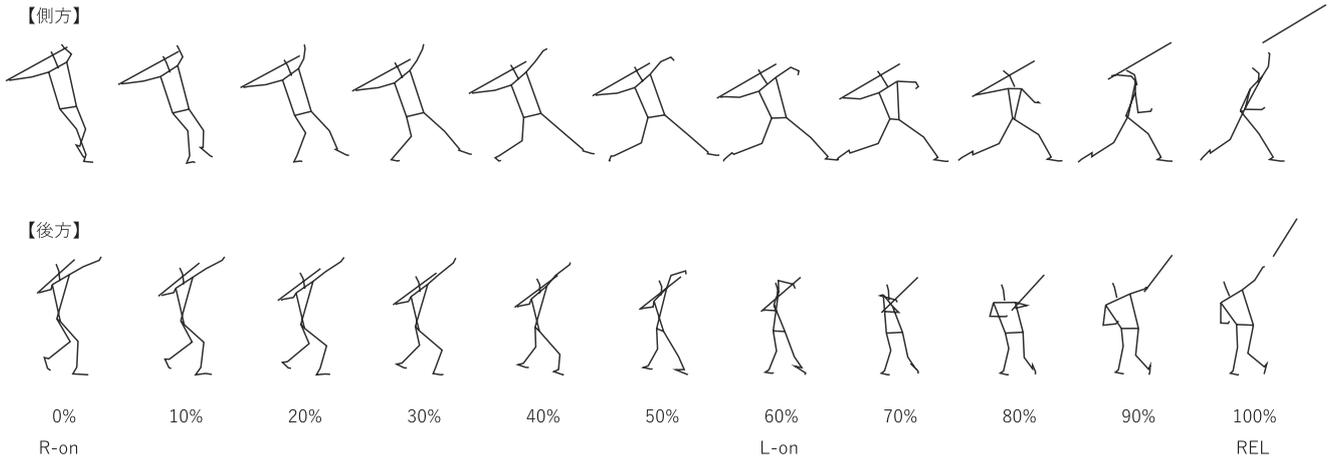


図2 A選手における2019年の投げのスティックピクチャ  
0-100%は規格化時間を示す。

表2 A選手における2019年の投げに対する指導者（著者）の主観的評価

評価の観点	評価
助走速度の程度	遅い
ブロック動作の膝の屈曲角度の程度	曲がっている
腕のしなり具合	かなりしなっている
側方からみた地面に対する体幹角度	やや後傾している
クロスステップの骨盤の向き	真横を向いている
クロスステップのリズム	間延びしている

である。

#### 4. 実践内容

A選手には2021年4月から指導を開始し、上述した課題および指導方針を提示した上で以下に示すようなトレーニングに取り組んだ。本研究の内容は約3か月間の成果となる。

- ・投げ練習：2回/週

骨盤を前方に向けてから走りだし、その骨盤の向きをできるだけキープしたまま、クロスステップして投げるトレーニング。その際には、右骨盤を前方へ出す意識ではなく、左脚で後方にキックする反作用によって右骨盤を前方へ引き出す意識を持たせることを強く指示した（田内，2011）。

- ・トラックドリル：2回/週

投げにおけるクロスステップの動作を補強することを目的とした下半身の動作を反復するドリル。骨盤を前方に向け、やりを後方に構える姿勢を取り、その姿勢をキープしたまま歩行、クロスステップを行わせた。意識する点は、投げにおける下半身の動作と同様であった。

- ・体幹の補強：4回/週

体幹部の筋力向上を目的とした数種類の体幹の補強ドリル。骨盤を前方に向けたままやりを後方に構える姿勢は、体幹の捻転が強調されるため、この姿勢を維持することを容易にするために、ほぼ毎回のトレーニングにおいて取り入れた。特に、シャフトを担いだ姿勢による体幹の捻転動作、背筋群を補強するウエイトトレーニングを重点的に行うように指示した。

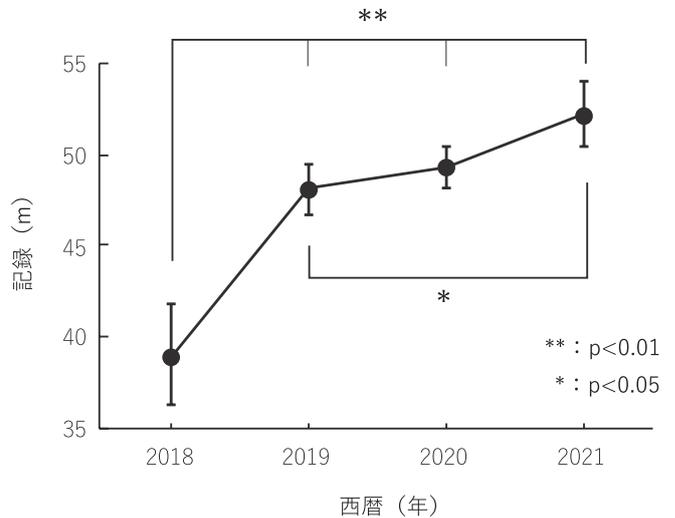


図3 A選手における各シーズン上位5試合の平均値の推移

統計処理には、一元配置分散分析を行い、Scheffe法により多重比較を行った。

#### 5. 分析方法

本研究では、上述した実践内容の成果を検証するために、2019年沖縄インターハイでの49.94mの試技、2021年のU20日本選手権での53.38mの試技を

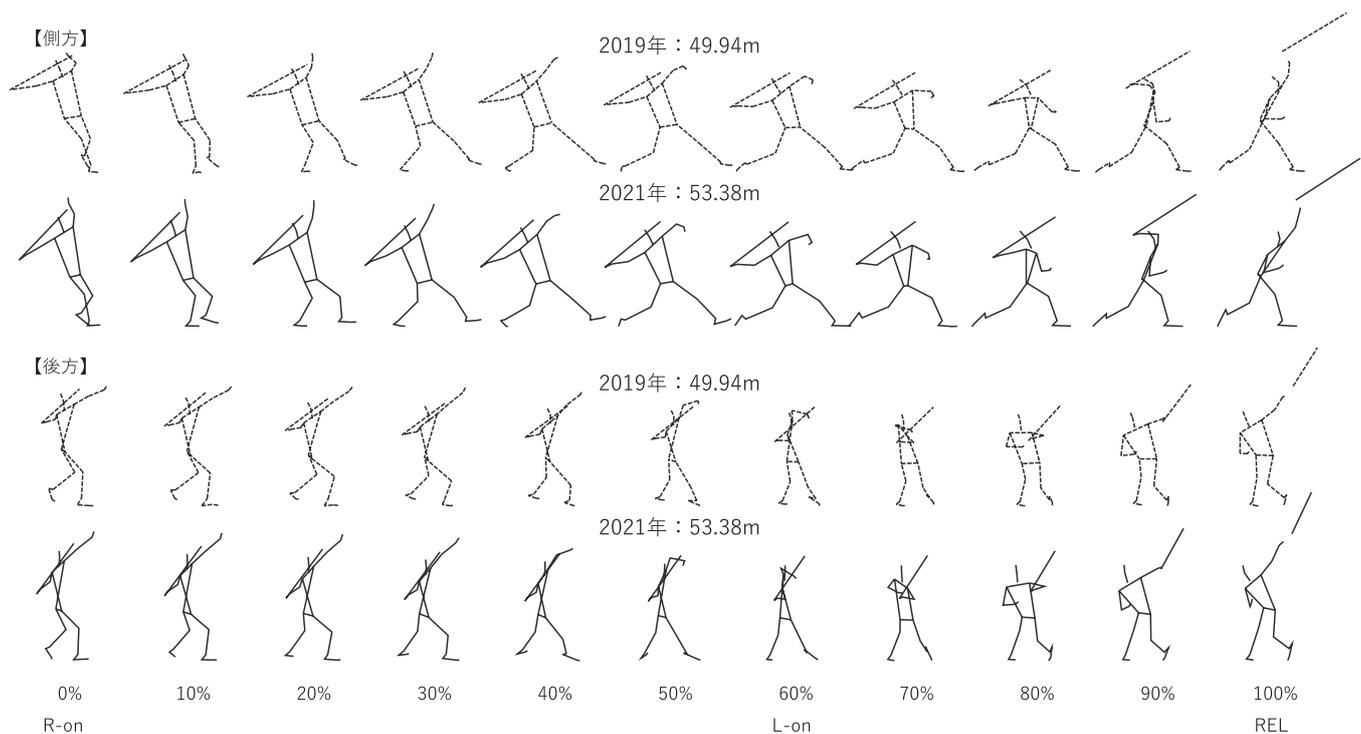


図4 A選手の2019年(破線)および2021年(実線)における投げのスティックピクチャ  
0-100%は規格化時間を示す。

動作分析した。なお、本研究における映像データは、日本陸上競技連盟科学委員会のバイオメカニクス研究活動によって収集されたものである。分析方法は、紙面の制約上省略することとした。詳細については、我々の研究グループによる先行研究を参照されたい。算出項目についても、先行研究で提示されたパラメータを中心に算出し、時系列データについては、R-onを0%、L-onを60%、RELを100%に規格化して示した。

### Ⅲ. 結果

図3に、A選手の2018年から2021年までのシーズン上位5試合の平均値の推移を示した。2019年から2021年は2018年と比較して有意に高値を示し、2021年は2019年と比較して有意に高値を示した。

図4に、2021年の53mのスティックピクチャを示した。2019年と比較して2021年において特徴的に観察された動作の変化は、準備局面においてグリップが下方に位置し、やりの姿勢角がより傾斜していたこと、また骨盤がより前方に向いており、肩のラインの捻りの度合いも少なくなっていたことであった。

表3に、2019年および2021年の投てき動作における基礎的パラメータを示した。また、参考値として、世界トップ8の値(田内ほか, 2009)も示した。

表3 A選手の2019年および2021年の投げにおける基礎的パラメータ

	2019年	2021年	世界トップ8
記録 (m)	49.92	53.38	63.63±2.26
動作時間 (s)			
準備局面	0.283	0.250	0.21±0.02
投局面	0.167	0.150	0.14±0.01
リリース速度 (m/s)			
左右	1.8	-0.9	-1.0±1.5
前方	17.4	19.7	19.2±1.0
上方	12.8	11.6	13.9±1.2
合成	21.7	22.9	23.8±0.3
重心速度 (m/s)			
R-on	5.0	5.2	5.8±0.5
L-on	4.3	4.4	5.0±0.4
REL	1.9	2.1	2.8±0.4
投行程 (m)			
準備局面	1.25	1.12	1.25±0.19
投局面	1.69	1.85	1.82±0.15
歩幅 (m)			
前後	1.69	1.63	1.66±0.17
左右	0.55	0.72	

2019年と比較して2021年では、局面時間が減少し、リリース速度は増加していたが、前方成分が大きく増加していた反面、上方成分は低下していた。重心速度は、いずれの時点においても増加し、投行程は準備局面において低下し、投局面において増加していた。歩幅は、前後方向が減少し、左右方向が増加していた。

図5に、右母指球でそろえた右脚のスティックピ



#### IV. 考察

A選手は、2018年からやり投げを始め、2年目である2019年にはインターハイ3位になるなど、非凡な才能をもった選手であった。2020年はコロナ禍の影響もあり、記録的にもやや停滞したが、2021年は2019年と比較して上位5試合の平均記録が有意に向上していた(図3)。このことは、本研究で取り上げた試技(2019年: 49.94m, 2021年: 53.38m)を比較することが、当該選手のパフォーマンスの変化を捉えるのに妥当であったことを示唆するものである。

A選手の技術的課題は、いわゆる「横走り」からの投げから、骨盤をより前方へ向けてクロスステップを行い、スムーズに投局面につながる投げへと変化させることであった。著者の指導経験の中でこのような課題に取り組んだ代表的な選手に、2012年ロンドンオリンピック代表のディーン元気選手が挙げられる。ディーン選手は、2009年(高校3年次)に69.42mを投げてインターハイ優勝した後、2010年から著者の指導を受けるようになり、その年に78.57mのU20日本記録を更新したという実績がある。この2010年におけるディーン選手に対する指導方針がまさにA選手と同様であり、著者の指導経験が本研究の事例に多分に影響したものと考えられる。

A選手においては、技術の改善に取り組み始めた当初は、骨盤をより前方へ向けたままやりを後方に引くという姿勢をとることでさえ、つらいと発言するような状態であり、その姿勢で歩行したり、ステップを踏んだりすることはさらに困難であった。このことには、A選手が過去に骨盤を前方へ向けるという指導を受けた経験がなく、それまでの動きでは使ってこなかった体幹筋群を使わなければならないこと、および根本的に体幹筋力が不足していることが影響していると考え、体幹の特に回旋系のトレーニングを重点的に行わせた。また、クロスステップにおいて骨盤を前方へ向けるという動作は、右の骨盤を前に出すのではなく、左脚で地面を後方に蹴る反作用で勝手に出てくるという意識(田内, 2011)を持たせて、ステップを反復させた。トレーニングを継続して、2か月あたりから、徐々に骨盤を前方へ向けた姿勢で投げができるようになり、A選手からも違和感がなくなって投げられるようになったという内省がでてくるようになった。

このような経緯をたどった結果、2021年6月25日に開催されたU20日本選手権において53.38mの

自己記録を更新して2位となった。この際の動作を分析した結果、課題としていた骨盤の向きについては、R-on時により前方を向けた姿勢をとり、そのままL-onを迎える動作が観察され(図4)、腰の角度変化においても確認された(図6)。特に、右脚の動作を2019年と比較した結果、準備局面において下腿がより早いタイミングで前方へ倒れ、右骨盤がより前方へ推移していく動作が観察された(図5)。このような動作の結果、準備局面における前後幅および動作時間が短縮し、投行程の距離が短縮したものと考えられる(表3)。そして続く、投局面における投行程が長くなったにもかかわらず、動作時間が短縮した結果、リリース速度が向上し、記録の更新につながった(表3)と考えられる。また、田内ら(2012)によると、やり投げのパフォーマンスに対して優先度が最も高い動作要因は助走速度であると報告されており、その助走速度(重心速度)についても2021年が高値を示していた(表3)。なお、A選手の内省としては、助走を意図的に速くしたというよりは、骨盤を前方へ向けたクロスステップができるようになり、より楽に前方へ進むようになったため、自然に速くなったとのことであった。このようなA選手における2019年から2021年の変化は、世界トップ8の値に近づくような変化でもあった。さらに右脚の動作の変化、およびパフォーマンスの向上は、上述したディーン元気選手の2009年から2010年への変化においてもほぼ同様に認められている(図7: 田内ら, 2011)。したがって、いわゆる「横走り」から投げるような特徴を持つ選手においては、本研究のようなアプローチが、パフォーマンスの向上に役立つ指導方針である可能性が考えられる。

ここに上げたディーン選手の2009年から2010年への変化においては、肩のラインはより捻られ、骨盤はより前方を向くようになったことから、体幹部の捻転が強調され、その捻り戻しの増強がパフォーマンスの向上に影響したことが報告されている(田内ら, 2011)。しかしながら、A選手の2021年の投げにおいては、骨盤を前方へ向けられるようになった結果、肩のラインもより前方へ向いており、体幹の捻転角度自体に大きな変化は認められなかった(図6)。つまり、体幹部の捻りを2019年の投げと同程度に維持したまま、体幹部全体がより前方を向いた姿勢に変化したということである。図1および図2を比較すると、2019年の投げは、世界トップ8と比較してより大きく肩のラインを捻っていることがわかるが、体幹部全体が前方を向くよう

----- 2009年：69.42m ● 右大転子（2009年）  
 —— 2010年：76.15m ○ 右大転子（2010年）

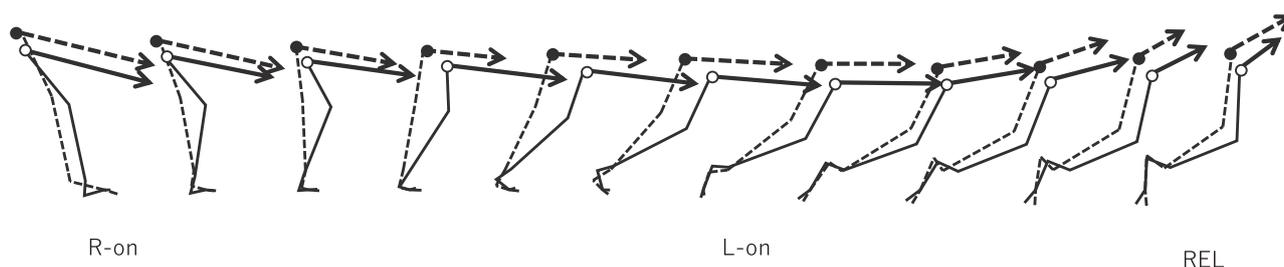


図7 ディーン選手における右脚の動作および右大転子の速度ベクトル（田内ら，2011より引用）  
 スティックピクチャは右母指球の座標値にそろえて示している

になった2021年の投げでも、世界トップ8と比較すれば、依然として肩のラインの捻りは大きいと評価できる（図4）。したがって、2019年の投げでは、肩のラインの捻りが大きすぎて、十分に捻り戻すことができない状態で投げを行っていたのに対して、2021年ではより前方に向けたことから、肩のラインの捻り戻しが活かされる投げに変化したことが推察される。2021年の投げが2019年と比較して、リリース時に肩のラインがより前方へ回旋していたこと（図6）、リリース位置がより前方にあること（図4）、投局面の投行程が長くなったこと、およびリリース速度の左右成分が、右方向（正の値）から左方向（負の値）へと変化したこと（表3）は、A選手にとって肩のラインがより適切な位置に捻られた状態になったことを示唆するものと考えられる。

以上のことから、A選手においては、いわゆる「横走り」からの投げに対して、骨盤を前方へ向けてクロスステップを行うという課題を提示し、トレーニングを行った結果、確かにより骨盤を前方へ向けてクロスステップが行えるようになり、やり投げ動作の各パラメータが世界トップレベルの選手に近づく方向で改善され、パフォーマンスが向上したことが明らかとなった。また、このような動作の変化は、同様の特徴を有していたディーン元気選手の2009年から2010年への変化とも類似するものであった。なお、本研究の分析期間である3か月間においては、体幹のトレーニング、あるいは通常のウエイトトレーニングによって、挙上重量などの筋力指標は大きく変化することはなかった。したがって、本研究における動作の改善は、筋力の向上というよりは、むしろ神経系（下半身の動かし方）の改善の影響がより大きかったと考えられる。

本研究においては、「横走り」であったり、捻りが強調されていたりと、特徴的な動作を行う選手へのアプローチを取り上げたが、例えば、指導者の主

観的な評価において世界トップ8の平均動作モデルに近い動作であっても、パフォーマンスが低い選手は存在している。そのような選手に対しては、本研究とは全く異なる指導方針によってアプローチする必要がある。いずれにしても、合理的な判断に基づく動作の評価および課題の抽出、課題を解決するアプローチ、およびその成果を記述し、蓄積していくことが、より実践に役立つ知見が得られるものと考えられる。

## 謝辞

本研究を執筆するにあたり、高松潤二氏（流通経済大学）には、貴重なデータの提供をいただきました。この場をお借りして、感謝申し上げます。

## 参考文献

- 村上幸史，田内健二，本道慎吾，村上雅俊，小山裕三（2008）国内一流男子やり投競技者における成功試技と失敗試技との投てき動作の比較。陸上競技研究75（4）：21-28.
- 田内健二（2009）バイオメカニクスの知見を背景にした男子やり投げの投てき技術：レビュー。陸上競技学会誌7：33-39.
- 田内健二，遠藤俊典，小林海，藤田善也（2009）女子やり投の投てき動作における日本トップ選手と世界トップ選手との比較。陸上競技研究紀要5：89-92.
- 田内健二（2011）トレーニング講座 高校編 やり投。月刊陸上競技45（3）：p. 213.
- 田内健二，遠藤俊典，藤田善也，矢野恵大，藤井宏明，大宅和幸（2011）ディーン元気選手におけるやり投動作の縦断的变化－2009年と2010年の比較から－。陸上競技研究紀要7：50-54.

- 田内健二, 藤田善也, 遠藤俊典 (2012a) 男子やり投げにおける投てき動作の評価基準. バイオメカニクス研究 16(1) : 2-11.
- 田内健二, 村上雅俊, 大宅和幸 (2012b) 宮下梨紗選手における 60m オーバーの投てき動作の特徴－60.08mと53.80mとの比較－. 陸上競技研究紀要8: 65-68.
- 村上幸史, 塚田卓巳, 遠藤俊典, 田内健二 (2014) やり投げ世界トップレベル選手における投てき動作の縦断的变化－2007年から2013年までの7年間の追跡調査－. 陸上競技研究 98: 36-43.
- 瀧川寛子, 田内 健二 (2020) やり投げの投てき記録に影響を及ぼす動作要因における男女差の検討. 体育学研究 65 : 595-606.