

論文要旨

【序論】

やり投げは、陸上競技における投てき種目のうちのひとつである。やりの飛距離は、投射された時点におけるやりの初速度（リリース速度）と強く関係する（Komi and Mero, 1985）。このことから、やり投げに関する先行研究では、高いリリース速度の獲得に関係する動作について検討されてきた。

例えば、記録の優れた選手では、最後の後足接地時（R-on）における身体重心速度が高かったこと（田内ら、2012; Murakami et al., 2017）、前足接地時（L-on）における左膝がより伸展位であったこと（Bartlett et al., 1996; 村上と伊藤、2003）、L-on 時からリリース時（Rel）までの間における、肩、肘、およびやりの最大速度が高かったこと（Whiting et al., 1991）、Rel 時における体幹の前傾角速度が高かったこと（Murakami et al., 2006）などが明らかにされている。これらの先行研究を概観すると、やり投げにおいて高いリリース速度の獲得と関係するバイオメカニクスの要因はある程度明らかにされているといえよう。

また、やりをより遠くに投げるためには、リリース速度を高めるだけでなく、30°付近の適切な投射角（Hubbard and Alaways, 1987）で投てきする必要がある。やり投げにおける投射角は、Rel 時のやりの速度ベクトルにおける前方成分と上方成分との比によって決定されることから、やり投げにおいて優れた記録を達成するためには、ただ単に合成のリリース速度を高めるのではなく、前および上方向のリリース速度の両者を同時に高め、適切な投射角を維持する必要がある。野球に関する先行研究では、前方向にボールを投げるピッチング動作と斜め上方向に投げる遠投動作との間では、投動作が部分的に異なることが報告されている（Fleisig et al., 2011）。この結果は、野球における投動作では、前方向のリリース速度を高める動作と上方向のリリース速度を高める動作には、それぞれ異なる点が存在することを示唆している。このことから、野球と類似した投動作が行われるやり投げにおいても、前方向のリリース速度を高める動作と上方向のリリース速度を高める動作には、それぞれ異なる点が存在する可能性が考えられるが、やり投げに関する先行研究において、リリース速度を前および上方向に分け、それぞれの方向のリリース速度と関係する動作を検討したものはない。

さらに、やり投げは左膝を伸展位に維持する動作、体幹の前傾、投てき腕における運動連鎖などが同時に行われる複雑な全身運動である。そのため、やり投げ動作を評価するためには、本来であれば、下肢、体幹、上肢の全ての関節運動について、パフォーマンスの優劣と関連付けて検討する必要がある。しかしながら、前および上方向のリリース速度と関係する全身の関節運動について検討した場合、考慮するデータの数が膨大となり、その解釈も困難となることが予想される。そこで、田内ら（2006）は、下肢－体幹－上肢モデルを提案し、時々刻々と変化する投てき物の速度を、5つの動作によって獲得された速度の総和として評価した。その一方で、下肢－体幹－上肢モデルは、投てき物の前方速度のみを対象としており、上方向の速度については評価できないという手法上の限界を有している。やり投げで行われる全身運動を適切に評価するためには、前方向のみならず、上方向のやり速度に対する身体各部の貢献の仕方についても同時に評価する必要があると考えられるものの、このことを検討した研究はない。

上述した問題点を解決するために、やり投げにおける前および上方向のリリース速度のそれぞれと関係する動作を明らかにすること（研究1）、および時々刻々と変化するやり速度に対する身体各部の貢献の仕方を、前および上方向の成分ごとに明らかにすること（研究2）を研究課題として設定した。本論文では、これらの研究課題を検討することで、やり投げにおける高い前および上方向のやり速度を獲得するためのメカニズムを明らかにすることを目的とした。

【研究1】

研究1の目的は、前および上方向のリリース速度と関係するキネマティクスの要因をそれぞれ明らかにすることであった。

対象者は、実際の試合に出場した男子やり投げ競技者115名であった（記録：39.09-90.33m）。試合における対象者の投てき動作は、助走路の側方および後方に設置された2台のデジタルビデオカメラ（フレームレート：120Hz、露光時間：1/1000秒）によって撮影された。撮影された映像から、身体部分23点およびやり2点の計25点を動作分析ソフト（Frame DIAS IV, Q'sfix）によって手動でデジタイズした。デジタイズポイントの座標値は、3次元DLT法によって算出した。得られた座標値は、遮断周波数を8Hzに設定した4次のButterworth-pass digital filterによって平滑化した。分析局面はR-on時からRel時までとし、R-on時からL-on時を準備局面、L-on時からRel時までを投てき局面とした。研究1では、前方向のリリース速度と上方向リリース速度との関係をピアソンの積率相関係数によって検討した。また、前および上方向のリリース速度のそれぞれと関係する要因を確認するために、前方向のリリース速度とキネマティクスとの関係を確認する際には上方向のリリース速度、上方向のリリース速度とキネマティクスとの関係を確認する際には前方向のリリース速度を制御要因とした偏相関係数を算出した。

その結果、前方向のリリース速度と上方向のリリース速度の間では、有意な正の相関関係が認められた。しかしながら、この結果は、本研究の対象者が多数であるとともに、競技水準が広範に渡っていることに起因する可能性が考えられた。そこで、本研究では対象者の記録に基づいて、同程度の記録を有する者（50m未満、50-60m、60-70m、70-80m、80m以上）の間における、前方向のリリース速度と上方向のリリース速度の関係を検討したところ、全ての群において負の相関関係が認められた。このことは、前方向のリリース速度と上方向のリリース速度との間には、一方が増加すれば他方が低下するという、いわゆるトレードオフの関係が存在することを示唆するものであった。このことに加えて、前方向のリリース速度と関係する要因には、準備局面および投てき局面における身体重心の前方速度が高いこと、L-on付近における体幹の後傾角度が小さいこと、Rel時の体幹の前傾角度が大きいこと、右肩の外転および水平内転の角速度が高いことなどが挙げられた。その一方で、上方向のリリース速度と関係する要因には、準備局面における身体重心の前方速度が高いこと、L-on付近における体幹の後傾角度が大きいこと、投てき局面における体幹の左傾角度および右肩の水平外転角度が大きいこと、Rel時における体幹の前傾および右肩の水平内転の角速度が高いことなどが挙げられた。これらの結果は、前および上方向のリリース速度に対する動作については、両者に関係する要因、どちらか一方のみに関係する要因、および両者に相反して関係する要因が存在することが明らかとなった。

【研究2】

研究1では、身体重心速度に加えて、左膝、体幹、右肩、右肘の角度および角速度に着目し、前および上方向のリリース速度との関係を確認したものの、やり投げでは特定の部分に着目することだけでなく、全身で行われる投てき動作を包括的に評価することも望まれる。また、身体運動によって獲得される末端部の速度は、部分の角速度と、その回転中心と末端部間の長さ（回転半径）の積によって決定される。このことは、研究1において評価した、関節の角度および角速度からのみでは、各動作がやり速度に与える影響を十分に評価できないことを意味している。そこで研究2の目的は、前および上方向のやり速度に対する身体各部の貢献の仕方を明らかにするとともに、前および上方向のリリース速度の高い選手の特徴を検討することであった。

研究2における対象者およびデータ処理の方法は、研究1と同様であった。研究2では、田内ら(2006)の提案した、下肢-体幹-上肢モデルに基づいて、前および上方向のやり速度に対する身体各部の貢献の

仕方を定量化した。このモデルは、相対速度と三次元の極座標を用いることで、時々刻々と変化する前および上方向のやり速度を、下肢、体幹長軸の屈曲、体幹の左右傾、体幹の水平回転、上肢の伸縮、上肢の上方回転、上肢の水平回転の、合計7つの動作によって獲得されたやり速度の総和として評価するものである。

研究2の結果、前方向のやり速度は、主に準備局面における下肢、L-on 後における体幹長軸の屈曲および体幹の水平回転、Rel 前の上肢の水平回転によって獲得されていること、一方、上方向のやり速度は、主に投てき局面における体幹の左右傾、上肢の伸縮、および上肢の上方回転によって獲得されており、下肢の貢献は低かったことが明らかとなった。やり投げに関する先行研究では、前方向のやり速度に対する身体各部の貢献の仕方については既に検討されており、本研究でも同様の結果が得られた。しかしながら、上方向のやり速度に対する身体各部の貢献の仕方についてはこれまで検討されておらず、研究2において初めて明らかとなった。

【総括】

以上のことから、やり投げでは前方向のリリース速度と上方向のリリース速度との間にはトレードオフの関係が存在すること、それに加えて、高い前および上方向のやり速度を獲得するためのメカニズムは、それぞれ異なることが明らかとなった。つまり、やり投げでは前方向のやり速度を高める動作と、上方向のやり速度を高める動作を一纏めにせず、個々に考慮する必要があることが示された。こうした知見は、やり投げ選手が単に合成のリリース速度を高めるだけでなく、約30°の適切な投射角を維持しながらリリース速度を高めるために役立つ知見となることが期待される。