Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-12-04

やり投げ系種目としてのジャベリックボール投げにおけるリリースパラメータが飛距離に及ぼす影響

前田, 正登

(Citation)
体育学研究,64(2):749-760

(Issue Date)
2019-12-16

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(Rights)
© 2019 一般社団法人 日本体育学会

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/90008089

やり投げ系種目としてのジャベリックボール投げにおける リリースパラメータが飛距離に及ぼす影響

前田　正登

Masato Maeda: Effects of release parameters on flight distance in the javelic ball throw as an event leading to the javelin throw. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.

Abstract: The javelic ball throw using a JaveBall is a track and field event designed for elementary schoolchildren and is regarded as an introduction to the javelic throw, an event for junior high school students, which in turn is an introduction to the javelin throw, an event for high school students and beyond. This study examined the effect of release parameters on flight distance in the javelic ball throw. Flight distances and release parameter values of 146 throws by 17 participants were measured. Initial velocity was the parameter with the strongest influence on flight distance. Release angle, angle of attack, and horizontal angle of attack had some influence, but flight distance did not differ markedly even when the values of these parameters were very low or very high. The ratio of the actual flight distance to the theoretical flight distance decreased with increasing initial velocity, indicating that achieving a greater actual distance becomes more difficult as the release velocity increases. Although the rotational speed of the JaveBall around its longitudinal axis was a factor that reduced the actual flight distance relative to the theoretical flight distance regardless of its magnitude, it was considered that the decrease in the actual flight distance relative to the theoretical flight distance will decrease when an extremely small rotational speed is applied without reducing the initial velocity. Although the javelic ball throw is intended as an introduction to the javelic throw, which in turn leads to the javelin throw, this study showed that the characteristics of the JaveBall are not necessarily similar to those of a javelin, for which the rotational speed increases relative to the increase in initial velocity. Athletes and their coaches should be aware of this if they expect to transition from the javelic ball throw to the javelin throw in the future.

Key words : initial velocity, initial release conditions, rotational speed, theoretical flight distance, JaveBall with fin
キーワード：初速度，投射初期条件，回転スピード，理論飛距離，羽根付きのジャベボール

Ⅰ　緒　言

陸上競技におけるやり投げはヤリを用いる競技種目であり，競技で使用されるヤリは，高校生以上の一般男子用としては長さが 260―270 cm，重さが 800 g 以上，一般女子用としては長さが 220―230 cm，重さが 600 g 以上とされている．

高校生以上の一般を対象に行われているやり投げに繋がる種目として，中学生を対象に「ジャベリックスロー」が導入されている．やり投げがヤリを用いるのに対して，ジャベリックスローは，ヤリの代わりにターボジャブと呼ばれる投てき物を投げてその投てき距離を競う種目である．現在，競技会で使用されているターボジャブは，長さが約 70 cm，重さが約 300 g であり，後方部に 4 枚の羽根状のものが装備されたヤリに似た形状の投てき物である．

阿江ほか（2001）は一流のやり投げ選手によるやり投げ及びジャベリックスローの投げ動作の分

神戸大学大学院人間発達環境学研究科
〒657-8501　兵庫県神戸市灘区鶴甲3-11
連絡先　前田正登

Kobe University, Graduate School of Human Development and Environment
3-11 Tsurukabuto, Nada-ku, Kobe, Hyogo 657-8501
Corresponding author　mmaeda@kobe-u.ac.jp

析から，また，太田ほか（2002）は大学選手及び高校生にヤリ及びターボジャブを投げさせ，それらの動作を分析した結果から，いずれもターボジャブを投げることがやり投げに繋がる可能性を示唆している．さらに，丹松・前田（2008）はやり投げ初心者の大学生を対象に練習としてターボジャブを繰り返して投げることの効果を検討し，斉藤（2016）も女子大学生を対象にターボジャブを用いて投動作の改善を試みるなど，ターボジャブがジャベリックスローの競技種目で使用されるだけでなく，やり投げ競技に繋げるため，あるいは，投げ動作の改善を図るための練習器具としても用いられ，その効果が検討されるようになってきている．

ジャベリックスローが中学生の全国大会であるジュニアオリンピックの正式種目となっている一方で，小学生の全国大会である全国小学生陸上競技交流大会（日清食品カップ）の投てき種目は，2015 年度まではソフトボール 1 号球（周径囲：26.70±0.32 cm，重さ：141±5 g）を使用する「ソフトボール投げ」が行われていた．それが 2016 年度より，やり投げの基本となる技術を安全かつ容易に身につけられるようにする目的で，ソフトボールに代わってジャベボールと呼ばれる投てき物を使用して投てき距離を競う「ジャベリックボール投（JAVELIC BALL THROW）」が導入された（日本陸上競技連盟，2015）．ジャベボールは，長さが約 32 cm，重さが約 140 g で，ラグビーボール状の楕円球の本体に，後方部には 3 枚の羽根状のものが装備された投てき物である．実際，2016 年度の第 32 回全国小学生陸上競技交流大会及び 2017 年度の第 33 回大会におけるジャベリックボール投の優勝記録は，男子が 57.34 m 及び 67.26 m，女子が 54.83 m 及び 54.31 m であり，ソフトボール投として行われた 2015 年度大会の優勝記録が，男子では 82.34 m，女子では 66.00 m であったことからみれば，ジャベボールの導入によって記録は大幅に減少したことになる．

ジャベリックスロー及びジャベリックボール投げは，いずれもやり投げに繋がる種目として導入されたことから，これらで使用される投てき物は競技用ヤリと同様，あるいは，類似の特性を有しているとみられている．しかし，ジャベリックスローにおけるターボジャブが，やり投げにおけるヤリとは飛行特性が異なると報告されている（前田・丹松, 2008）ことや，リリース条件が同じであるならば長軸まわりの回転が無い方が飛距離は伸びる可能性が示唆されている（長尾ほか，2013）こと，さらには，投てき物の形状の違いに由来する動作や技術の違いから，ジャベリックスローの指導はやり投げとは切り離して考える指導者もいるとの指摘もあり（宮﨑ほか，2009），ターボジャブはヤリと同様の特性を有してない可能性がある．これに対して，ジャベリックボール投げに関しては，ジャベボールについての形状や慣性モーメント等の静的特性がヤリやターボジャブとは異なっていることが報告されている（前田，2017）ものの，飛距離に影響する要因についての報告はこれまでにみられておらず，ジャベリックスローの場合と同様に，ジャベリックボール投げにおいても，ジャベボールのリリースパラメータが飛距離に及ぼす影響は，やり投げやジャベリックスローにおけるそれらとは異なることが予想される．したがって，各リリースパラメータが飛距離にどの程度影響するのかについての情報は，ジャベリックボール投げの選手や指導者にとって極めて重要なものとなるだけでなく，ジャベボールがやり投げに繋がる種目の投てき器具として備えておくべき特性を見出すことにも役立つものとなる．

本研究では，やり投げ系種目としてのジャベリックボール投げにおけるリリースパラメータがジャベボールの飛距離に及ぼす影響を検討する．

II　研究方法

1.　ジャベボール及び被験者

本研究で使用したジャベボール（ニシ・スポーツ，全長：32.1 cm，重量：137.2 g）は 2016 年度全国小学生陸上競技交流大会ジャベリックボール投に採用されたものであり，楕円体様で素材が発泡ポリウレタンのボール部，及び，素材が低密度ポリエチレンの 3 枚の羽根などからなる投てき物

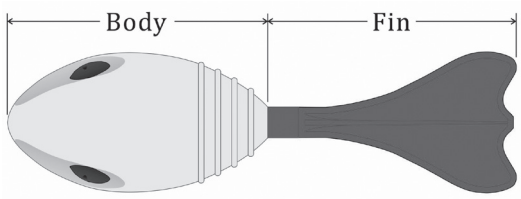

Fig.1. JaveBall

Table 1. Characteristics of JaveBall

	Overall length	Weight	Center of gravity†	Position of grip††	Body		Fin		Moment of inertia†††
					Length	Maximum diameter	Length	Width	
	(cm)	(g)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg·cm^2)
JaveBall	32.1	137.2	10.2	16.1	16.1	8.7	16.0	4.8	6.83

†: Distance from tip to the center of gravity
††: Distance from tip to grip end
†††: Around short axis at C.G

である（Fig.1 及び Table 1）.

被験者は，やり投げ経験者を含む男子大学生 17 名（身長：173.4±3.4 cm，体重：67.7±5.7 kg，年齢：21.5±0.9 歳）とした．なお，被験者は全員右利きであった.

2. 実験方法

被験者 17 名に 1 人あたり 5—11 回，計 160 回分のジャベリックボール投げの試技を行わせた．被験者には助走距離を制限せず，投てき時にはスターティングラインを超えないように指示した．測定実験では，試技と試技の間に十分な休息時間を取らせるようにし，被験者の疲労に配慮して試技を行わせた.

被験者の右側方 2 m で投てき方向と平行になるような位置に 3 台，及び被験者の左前方 2.5 m の位置に 1 台，計 4 台の同期された高速度ビデオカメラ（GigE Vision：ディケイエイチ，300 fps，シャッタースピード：1/2000 秒）を設置し，ジャベボールのリリース位置付近の撮影を行った. なお，本研究では，ジャベボールのリリース位置から投てき方向に 4 m 程度までの範囲におけるジャベボールの挙動を撮影することから，被験者右側方の 3 台のカメラのうち，1 台はジャベボールリリース位置付近の右側方 2 m で高さ 2 m の位置に，残る 2 台のカメラは投てき方向に平行になるように 1m 間隔で並べて配置して，順に 2.5 m 及び 3 m の高さになるように設置した．また，被験者の左前方 2.5 m の位置に配置したカメラの高さは 2 m とした.

本研究で用いた座標系は被験者の左右方向を x 軸（被験者の右方向を正），前後方向を y 軸（投てき方向を正），及び鉛直方向を z 軸（鉛直上向きを正）とした.

各試技の記録としての投てき距離は直接の測定を行わず，各試技についてスターティングラインの両端からジャベボールの落下位置までの各距離を実測し，それらをもとに，実験終了後に三辺測量の要領によりジャベボールの落下地点を求め，スターティングラインから落下地点までの距離を算出して投てき距離とした．また，後述する方法により求めたリリース時のジャベボールの位置座標から，ジャベボールのリリース位置から落下地点までの水平距離を算出しジャベボールの飛距離とした.

3. 分析方法

被験者が行った計 160 投分の試技のうち，被験

者自身の判断による失敗試技，及び，リリース時のジャベボールが撮影範囲外であった試技を除いて，計 146 投を分析対象の試技とした．分析対象とした試技の映像を元に，3 次元動作解析ソフトウェア（Frame-DIAS IV，ディケイエイチ）を用いて，1 コマごとにジャベボールについて 3 箇所（ボール部の先端，ボール部と羽根の結合部，羽根部の後端）をデジタイズし，3 次元 DLT 法によりこれら 3 点の 3 次元位置座標を求め，各点の位置座標の時間変化を得て分析を行った．

キャリブレーションにあたっては，分析対象の空間（x 方向× y 方向× z 方向：3 m × 4.5 m× 3 m）を網羅するように設置した計 120 個のコントロールポイントを写し込んだ映像を用いた．本測定のキャリブレーション誤差は，x 方向が 0.47—0.63 cm，y 方向が 0.47—0.62 cm，z 方向が 0.26—0.33 cm で，測定範囲に対して 0.5% 以下の十分に小さい値であった．

ジャベボール各点の 3 次元座標の時間変化は，分析点ごとに最適遮断周波数（28.2—44.7 Hz）により Butterworth digital filter を用いて平滑化した．

4. 分析項目

撮影された映像を元に，デジタイズにより得られた各測定点（ボール部の先端，ボール部と羽根の結合部，羽根部の後端）の座標から，ジャベボールのリリースパラメータとして，ジャベボールのリリース位置，初速度，投射高及び投射角のほか，姿勢角及び迎え角を算出した．また，本体（ボール部）姿勢角と羽根部の姿勢角との差を本体に対する羽根部の屈曲角度（以下「屈曲角」と略す）とし，迎え角との関係を求めた．なお，ジャベボールリリース時における各角度は，やり投げにおけるヤリのリリース時と同様に，矢状面内だけでなく水平面内においても考えられ得ることから，本研究では，尾縣・関岡（1986）や Bartlett et al.（1996）を参考に，水平面内における各角度を算出した（Fig.2）．さらに，収録された映像から，リリース直後にジャベボールが長軸まわりに 1 回転するのに要した時間を求め，その逆数をジャベボールリリース時の回転スピードとして算出した．また，算出された回転スピードを初速度で除し，初速度に対する回転スピードの割合（r/v-ratio とする）を求めた．

本研究では，ジャベボールが投射された位置から落下した地点までの水平距離を飛距離として算出した．したがって，各試技の飛距離は投てき距離とは異なるものである．さらに，ジャベボールリリース時の初速度，投射角及び投射高の各値を元に，空気抵抗の影響を無視した理論飛距離を次式により算出した．

$$R_T = \frac{V_0^2 \cos\theta_s}{g}\left(\sin\theta_s + \sqrt{\sin^2\theta_s + \frac{2gh_0}{V_0^2}}\right)$$

R_T：Theoretical flying distance，V_0：Initial velocity，
θ_s：Throwing angle，h_0：Release height，
g：acceleration of gravity

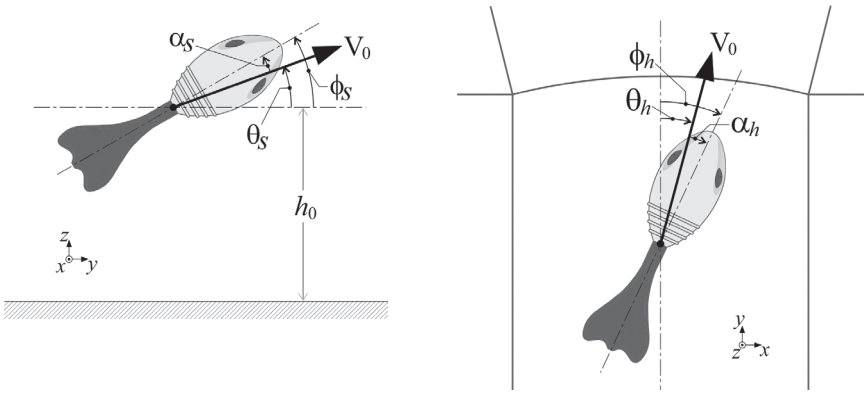

Fig.2. JaveBall release parameters

また，実際の飛距離を算出された理論飛距離で除し，理論飛距離に対する実際の飛距離の割合（A/T-ratio とする）を求めた．

5. 統計処理

ジャベボールの飛距離と各測定項目の間，及び各測定項目間の相関分析においては，ピアソンの積率相関係数を算出し，無相関検定によって有意性を検定した．また，r/v-ratio が特徴的であった 3 名の試技について，各項目の差を検定するために一元配置分散分析を行い，F 値が有意であると認められた項目については，Bonferroni の方法を用いて多重比較を行った．なお，本研究における統計処理の有意水準は 5%未満とした．

Ⅲ 結 果

全 146 試技の各測定項目について，平均値と標準誤差，最大値，最小値，及び，それら測定項目と飛距離との相関係数を Table 2 に，ジャベボールの飛距離についての度数分布を Fig.3 にそれぞれ示す．ジャベボールの飛距離は 42.28±10.24 m であり，20.40―72.61 m の広範囲にわたっていたが，55 m を超える試技は 8 投で，全分析対象試技のうちの約 5.5% であった．

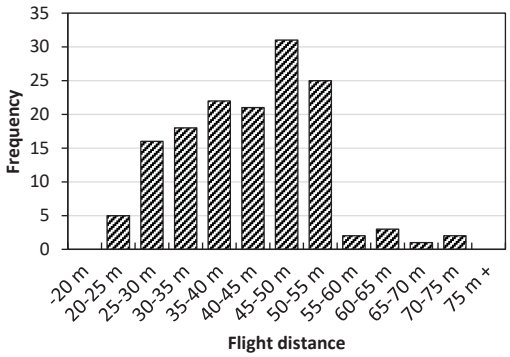

Fig.3. Frequency distribution of flight distance

ジャベボールの初速度と飛距離の関係を Fig.4a に，ジャベボールの投射角と飛距離の関係を Fig.4b にそれぞれ示す．ジャベボールの初速度と飛距離の間には r＝0.887（p<0.01）の高い正の相関が認められ，ジャベボールの初速度が高いほど飛距離は大きい傾向がみられた．また，ジャベボールの投射高と飛距離の間には，有意な相関関係が認められなかった．一方，投射角と飛距離との間には r＝0.283（p<0.01）の低い正の相関が認められたが，全試技の投射角の範囲である 12.4―53.5 deg. の約半分に相当する 25―45 deg. の範囲の投射角で 50m を超える試技が認められた（Fig.4b）．

ジャベボールリリース時の迎え角と飛距離の関

Table 2. Release parameters when JaveBall was thrown

Initial condition at release			Mean	S.D.	Max.	Min.	*r*	
Initial velocity	V_0	(m/s)	25.4	4.5	33.5	15.7	0.887	**
Release height	h_0	(m)	1.832	0.116	2.097	1.466	-0.111	
Release angle	θ_s	(deg.)	35.0	7.3	53.5	12.4	0.283	**
Attitude angle	ϕ_s	(deg.)	39.1	19.2	80.2	-4.7	-0.046	
Angle of attack	α_s	(deg.)	4.2	17.7	38.4	-30.6	-0.167	*
Horizontal plane								
- Release angle	θ_h	(deg.)	0.6	6.3	20.3	-14.8	-0.101	
- Attitude angle	ϕ_h	(deg.)	15.9	19.2	73.9	-31.2	0.128	
- Angle of attack	α_h	(deg.)	15.3	17.3	68.2	-30.1	0.178	*
Rotational speed	ω_0	(rps)	13.2	5.0	21.4	1.6	0.219	**
Throwing distance		(m)	40.268	10.126	71.144	19.419	0.998	**
Theoretical flight distance	R_T	(m)	64.640	22.695	116.130	25.646	0.903	**
Flight distance	R_A	(m)	42.283	10.244	72.607	20.402	---	

*: p<0.05, **: p<0.01

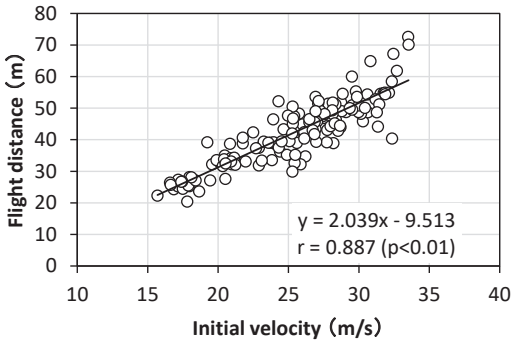

Fig.4a. Relation between initial velocity and flight distance

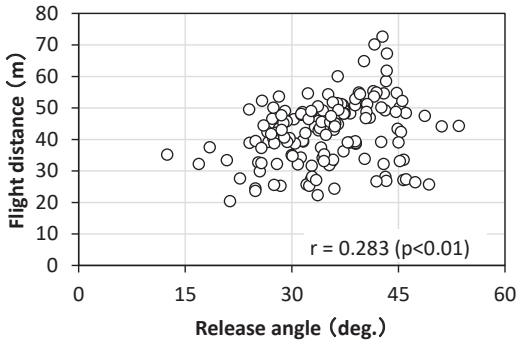

Fig.4b. Relation between release angle and flight distance

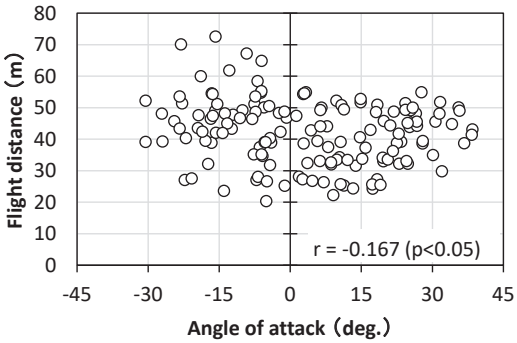

Fig.4c. Relation between angle of attack and flight distance

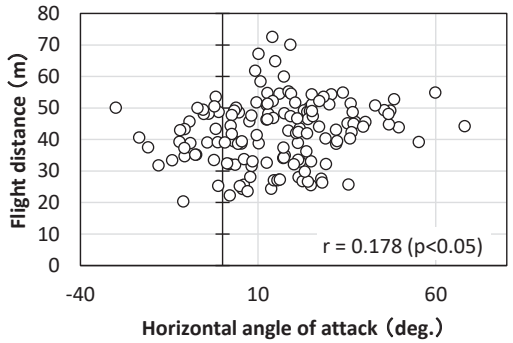

Fig.4d. Relation between horizontal angle of attack and flight distance

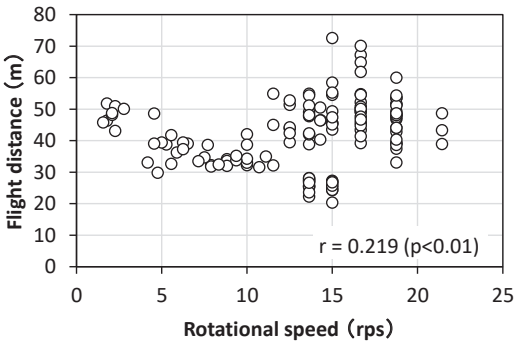

Fig.4e. Relation between rotational speed and flight distance

係を Fig.4c に，水平面内の迎え角と飛距離の関係を Fig.4d にそれぞれ示す．ジャベボールリリース時の姿勢角及び水平面内の姿勢角と飛距離の間には有意な相関関係は認められなかったが，迎え角及び水平面内の迎え角と飛距離の間にはそれぞれ低い有意な相関が認められた（迎え角と飛距離：$r=-0.167$，$p<0.05$；水平面迎え角と飛距離：$r=0.178$，$p<0.05$）．

リリース時のジャベボール本体（ボール部）に対する羽根部の屈曲角，水平面屈曲角，及び，それらと迎え角及び水平面迎え角と相関係数を Table 3 に示す．屈曲角は 31.3±14.6 deg.，水平面

Table 3. Bended angle when JaveBall was thrown and correlation coefficient with angle of attack

		Mean	S.D.	Max.	Min.	*r*	
Bended angle	(deg.)	31.3	14.6	62.3	4.5	0.778	**
Horizontal plane - Bended angle	(deg.)	33.1	14.7	78.7	-17.9	0.804	**

*: p<0.05, **: p<0.01

屈曲角は 33.1±14.7 deg. でいずれも標準偏差が大きく，これらと迎え角及び水平面迎え角との間にはそれぞれ有意な高い相関が認められた（屈曲角と迎え角：r＝0.778，p<0.01；水平面屈曲角と水平面迎え角：r＝0.804，p<0.01）.

ジャベボールリリース時の回転スピードと飛距離の関係を Fig.4e に示す．ジャベボールの回転スピードと飛距離の間には r＝0.219（p<0.01）の低い正の相関が認められたが，ジャベボールの回転スピードは 1.6—21.4 rps で広範囲にわたっており，2.0 rps 程度の低い回転スピード，あるいは，16.0 rps を超える高い回転スピードであってもいずれも 50 m を超える試技が認められた.

空気抵抗の影響を無視して算出した理論飛距離とジャベボールの実際の飛距離との関係を Fig.5 に示す．なお図中の点線は，算出された理論飛距離と実際の飛距離が等しくなる点を結んだ線である．Fig.5 に示すとおり，本研究のほとんどの試技が図中の点線よりも下側に位置しており，実際の飛距離は理論飛距離よりも小さかった．また，理論飛距離が大きいほど点線との差，つまり，実際の飛距離との差は大きい傾向がみられた.

ジャベボールリリース時の初速度と A/T-ratio の関係を Fig.6 に示す．なお Fig.6 には，後述する r/v-ratio が高値であった Subj.N，低値であった Subj.S，及び分析した全試技において中央値近傍にあった Subj.U の 3 名についての各平均値をそれぞれ◇，◈及び◆として標準偏差とともに挿入して示した．また，Subj.N，Subj.S，及び Subj.U における A/T-ratio，及びジャベボールリリース時の初速度，投射角，迎え角，回転スピード，並びに r/v-ratio，実際の飛距離の各平均値を標準偏差とともに Table 4 に示す.

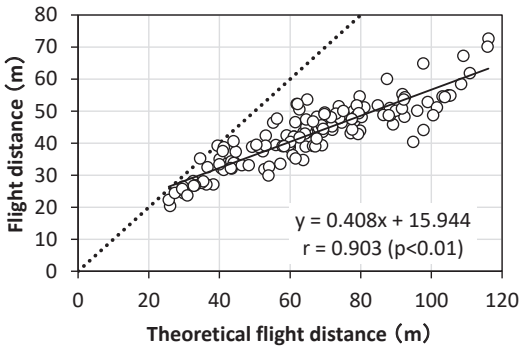

Fig.5. Relation between theoretical flight distance and actual flight distance

The dotted line indicates that the theoretical flight distance is equal to the actual flight distance.

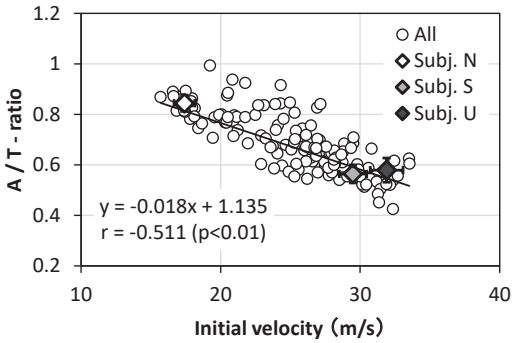

Fig.6. Relation between initial velocity and A/T-ratio

ジャベボールの初速度と A/T-ratio の間には r＝−0.511（p<0.01）のやや高い負の相関が認められ，全体としては，ジャベボールの初速度が高いほど A/T-ratio は小さく，初速度が高い 27 m/s 以上の試技では A/T-ratio が 0.8 を超える高値は認められなかった．また，Subj.U と Subj.S の初速度が 31.9±1.2 m/s，及び 29.5±1.0 m/s と高値であるのに対して，A/T-ratio は 0.58±0.05，及び 0.56±0.04 でいずれも低く，Subj.N は初速度が 17.4±0.7 m/s と低値であるものの A/T-ratio は 0.84±0.03 で高値を示した.

Table 4 のように，投射角は Subj.N，Subj.S，Subj.U の順に高く，最も低い Subj.N でも 30.2±4.5 deg. 程度であった．また迎え角は，Subj.S が +26.3±7.5 deg. で大きく，Subj.U は −8.8±8.0 deg. でほとんどが負の値であり，Subj.N の +10.1±8.8 deg. とは大きさが同程度であるものの符号が反対であった．水平面迎え角については，Subj.U，Subj.S，Subj.N の順に大きかったものの，Subj.U が Subj.N よりも大きかったことのみが有意であった．回転スピードについては，Subj.S が 2.4±0.9 rps でかなり低く，Subj.U の 15.5±1.2 rps や Subj.N の 14.3±0.7 rps とは大きく異なる値であった.

ジャベボールリリース時の初速度に対する回転スピードの割合（r/v-ratio）と実際の飛距離の関

Table 4. Release parameters for subjects N, S, and U when JaveBall was thrown

			Subject N (n=10)	Subject S (n=9)	Subject U (n=11)	Difference
			Mean ± S.D.	Mean ± S.D.	Mean ± S.D.	
A/T-ratio			0.84 ± 0.03	0.56 ± 0.04	0.58 ± 0.05	S, U<N
Initial velocity	V_0	(m/s)	17.4 ± 0.7	29.5 ± 1.0	31.9 ± 1.2	N<S<U
Release angle	θ_s	(deg.)	30.2 ± 4.5	35.1 ± 3.2	41.9 ± 2.6	N<S<U
Angle of attack	α_s	(deg.)	10.1 ± 8.8	26.3 ± 7.5	-8.8 ± 8.0	U<N<S
Horizontal plane Angle of attack	α_h	(deg.)	6.8 ± 9.8	10.4 ± 9.3	17.2 ± 8.1	N<U
Rotational speed	ω_0	(rps)	14.3 ± 0.7	2.4 ± 0.9	15.5 ± 1.2	S<N<U
r/v-ratio			0.82 ± 0.05	0.08 ± 0.03	0.49 ± 0.04	S<U<N
Flight distance	R_A	(m)	24.86 ± 2.24	48.20 ± 2.74	60.82 ± 6.87	N<S<U

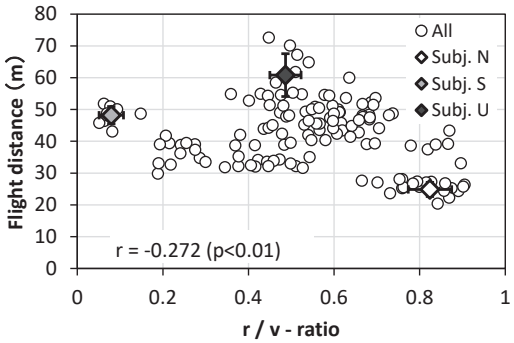

Fig.7. Relation between r/v-ratio and flight distance

係をFig.7に示す. 両者の間にはr＝−0.272（p<0.01）の低い負の相関が認められたが，r/v-ratio が際立って小さい Subj.S（0.08±0.03）のようなケース，あるいは Subj.N（0.82±0.05）のように r/v-ratio が比較的大きいものを除くと，多くの試技は 0.2—0.7 の範囲に収まっていた.

Ⅳ 論 議

1. ジャベリックボール投げにおけるリリースパラメータ

ジャベボール投射時における各測定項目のうち，初速度（r＝0.887，p<0.01），投射角（r＝0.283，p<0.01），迎え角（r＝−0.167，p<0.05），水平面迎え角（r＝0.178，p<0.05），及び回転スピード（r＝0.219，p<0.01）と飛距離との間にはそれぞれ有意な相関が認められた（Table 2 及び Fig.4a—Fig.4e）．ジャベボールの初速度が高いほど飛距離が大きい結果は，やり投げ（r＝0.797，p<0.01，n＝49；村上・伊藤，2003）やジャベリックスロー（r＝0.837，p<0.01，n＝226；前田・丹松，2008）の場合と同様の結果であり，ジャベボールにおいてもヤリやターボジャブと同様に投射時の初速度が飛距離に極めて大きく影響することが示された．投射角や迎え角, 水平面迎え角について，飛距離との間に有意な相関が認められているものの相関係数は低く，いずれの項目もかなり広範囲に渡って分布していたことは，ターボジャブについての結果（前田・丹松，2008）と同様であり，これらの項目が多少過大な値（迎え角と水平面迎え角は過小な値も含む）になっていても，ジャベボールの実際の飛距離を大きく低下させる要因にはならない可能性が示唆される.

また，迎え角については，やり投げ（村上・伊藤，2003）やジャベリックスロー（前田・丹松，2008）では，ほとんどが正の迎え角であったとの報告，あるいは，投げ出す方向よりもターボジャブの先端が上を向いていた（阿江ほか，2001；太田ほか，2002）との報告があるが，本研究のジャベリックボール投げでは半数近くが負の迎え角であり，結果としては +4.2±17.7 deg. とわずかに正の迎え角になっていた（Table 2 及び Fig.4c）．本研究の投射角の測定結果はこれらの先行研究の値とほぼ同程度の範囲であり，いずれも小学生対象のソフトボール投げとして報告された値（加藤ほ

か，2016；宮崎ほか，2013）と同程度であることから，ジャベリックボール投げとジャベリックスローでは，投射時における投てき物（ジャベボールまたはターボジャブ）に対する力の加え方が両者で異なる場合がある可能性が推察される．つまり，ジャベリックスローでは，多くの場合，投てき物（ターボジャブ）に対してやや下向きに投げ出そうとするのに対して，ジャベリックボール投げでは，投てき物（ジャベボール）に対してやや下向きだけでなくやや上向きにも投げ出す場合があったことになる．ジャベリックボール投げやジャベリックスローはいずれもやり投げに繋がる種目として設定されているが，選手にとっては，ジャベボールがヤリやターボジャブのような“棒状”の投てき物というよりも，むしろソフトボールのような“球体”の投てき物と認識され扱われている可能性が推察される．

やり投げ系種目において，投てき物の迎え角や水平面迎え角がゼロでないことは投射の際に力を加える方向と投てき物の向きが異なっていたことを意味し，力を加える方向と投てき物の向きとが一致しないことは，投てき物にたわみ変形を生じさせることに繋がるとされている（Maeda et al., 1999）．本研究のジャベリックボール投げにおいても，ジャベボールリリース時の屈曲角及び水平面屈曲角はいずれも 30 deg. 程度であり，リリース時にはボール部と羽根の結合部で折れ曲がるような変形が少なからず生じていたことがわかる（Table 3）．さらに，それらの角度は迎え角及び水平面迎え角それぞれとの相関が高いことから，リリース時のジャベボールの変形の大きさは迎え角及び水平面迎え角に反映されており，屈曲角と水平面屈曲角及び迎え角と水平面迎え角はいずれも投射の際に力を加える方向とジャベボールの向きとが一致しないことによって生じる角度であると考えることができる．したがって，迎え角や水平面迎え角が多少過大あるいは過小な値になっていてもジャベボールの実際の飛距離を大きく低下させる要因にはならないとした考察には，リリース時のジャベボールに折れ曲がるような変形が生じ得ることやその変形による影響も含まれており，ジャベリックボール投げにおいては，投射の際に力を加える方向とジャベボールの向きが多少異なっていても実際の飛距離を大きく低下させる要因にはならないものと考えられる．

回転スピードについても，実際の飛距離との相関係数は低く，回転スピードが大きいほど飛距離も大きいあるいは小さいといった両者の直線的な増減関係が明確に示されることはなかった．これまでに，やり投げ（Bartlett and Best, 1988; Maeda et al., 1999; Terauds, 1985）やジャベリックスロー（前田・丹松，2008；長尾ほか，2013）では，リリースの際に投てき物の長軸まわりに回転が生じていることが観察・報告されており，やり投げ系の種目においては，投てき物の長軸まわりにある程度の量の回転を伴うことがむしろ必然的であるといえる（吉田, 1993）．本研究の結果においても，回転スピードは 1.6—21.4 rps で広範囲にわたって測定されており，ジャベリックボール投げにおいては，長軸まわりの回転スピードの大きさによって実際の飛距離が著しく増減することは無いものと考えられる．

2. ジャベボールの飛距離に影響する要因

Fig.5 より，ジャベボールの理論上の飛距離が大きいほど実際の飛距離も大きくなるが，それらの差も大きくなっていくことが分かる．本研究のジャベボールについての結果は，ターボジャブの場合（前田・丹松，2008）と同様に，やり投げのヤリ（前田ほか，1996）とは異なり，実際の飛距離は理論飛距離よりも小さく，かつ，飛距離が大きいほどそれらの差は著しくなっていた．また，初速度に対する実際の飛距離と理論上の飛距離との割合（A/T-ratio）は，負の相関関係（$r=-0.511$，$p<0.01$）が認められており（Fig.6），全体の傾向としては，初速度が高いほど理論上の飛距離に対して実際の飛距離を獲得することがより困難となっていることがわかる．本研究の対象はジャベボールであり，ターボジャブとは形状や重量等の諸特性が異なる（前田，2017）ことから同様に扱うことはできないが，これらの結果から，ジャベボールの飛距離に最も大きく影響すると考

えられる初速度が高いほど，飛距離を低下させる空気抵抗の影響をより強く受けることが示唆される．

Fig.7 に示されるように，r/v-ratio が特徴的であった 3 名の試技についてみると，初速度は Subj.U の 31.9±1.2 m/s が Subj.S の 29.5±1.0 m/s よりもわずかに大きいものの，A/T-ratio は Subj.U が 0.58±0.05, Subj.S が 0.56±0.04 で有意な差は無く，両者の試技は Subj.N の試技（初速度：17.4±0.7 m/s，A/T -ratio：0.84±0.03）よりも飛距離を低減させる要因の影響を強く受けていたと考えられる（Table 4 及び Fig.6）．本研究で実際の飛距離と有意な相関関係が認められた項目のうち，理論飛距離に算入していない項目は迎え角，水平面迎え角及び回転スピードであり，Subj.U と Subj.S の試技はこれらの影響を強く受けていたと推察される．

迎え角及び水平面迎え角については，やり投げ系種目に関しての先行研究（やり投げ：Bartlett et al., 1996；若山ほか，1994，ジャベリックスロー：前田・丹松，2008）により，値の正負にかかわらずゼロに近い方が飛距離を低下させる要因になり難いとされており，Subj.U の迎え角（−8.8±8.0 deg.）が到達し得る理論飛距離を低減させる要因になっていたとは考え難い．他方，水平面迎え角はやや大きく（17.2±8.1 deg.），全分析試技の平均値（15.3±17.3 deg.）よりもわずかに大きかったことから，実際の飛距離が伸びない要因になっていた可能性が考えられる．これらに対して，Subj.S の試技は迎え角が大きく（26.3±7.5 deg.），水平面迎え角は全分析試技の平均値（10.4±9.3 deg.）よりもやや小さかったことから，迎え角が大きかったことが実際の飛距離が伸びない要因になっていた可能性が考えられる．

回転スピードについては，Subj.Uの 15.5 ±1.2 rps は全分析試技の平均値（13.2±5.0 rps）よりもやや大きく，Subj.S の試技のそれは極端に小さい（2.4±0.9 rps）ほぼ無回転とも言えるほどであった（Table 2）．長尾ほか（2013）は，ジャベリックスローにおけるターボジャブの飛行シミュレーションの結果と投てき者によるターボジャブの投てき試技の比較から，ターボジャブの長軸まわりの回転が無いものとして数値シミュレーションを行うと，羽根が装備されていることにより飛行中にピッチングモーメントが働きターボジャブの姿勢は安定化するが，人がターボジャブを投てきする場合は長軸まわりに回転が加わり，飛行中にターボジャブの羽根が周囲の空気の流れを乱すことでターボジャブに対する抗力が増加して，長軸まわりの回転が無い場合に比べて飛距離が伸びない可能性があることを示唆している．ターボジャブには 4 枚の羽根が装備されており，ジャベボールにも同程度の大きさの羽根が 3 枚備わっているが，飛行中の姿勢維持に関係する短軸まわりの慣性モーメントはジャベボールの方が格段に小さいことから（ジャベボール：6.83 kg•cm^2；Table 1，ターボジャブ：135.06 kg•cm^2；前田，2017），羽根の装備に由来する飛距離への影響はターボジャブよりもジャベボールの方が大きいことが推察される．つまり，Subj.U の試技は，リリース時に長軸まわりの回転を伴っていたことが実際の飛距離が伸びない要因となっていた可能性が考えられる．さらに，Fig.7 に示されるように，Subj.U の r/v-ratio（0.49±0.04）は全分析試技の中でも平均的なものであることから，リリース時に長軸まわりに回転を伴っていたことは Subj.U に限らずほとんどの試技において実際の飛距離が伸びない要因となっていたものと考えられる．一方，Subj.S の試技は，回転スピードが極端に小さくリリース時のジャベボールはほぼ無回転の状態であったとみられ，羽根の装備と長軸まわりの回転に由来する実際の飛距離が伸びない要因の影響は軽減されていたものと推察される．ジャベボールの長軸まわりに回転を生じさせない Subj.S のような投射方法は，理論上の飛距離に対する実際の飛距離の低減幅を小さくし得るものと推察されるが，やり投げ系種目に共通する投てき物の長軸まわりの回転を伴った標準的な投射方法（吉田，1993）とは異なるものでもある．リリース時のジャベボールが無回転であった場合の飛距離への影響はさらに詳細に検討する必要があるが，ジャベリックボール投げをやり投げに繋がる導入種目として位置付

けるのであれば，このような投射方法を目指すことは適切ではないと考えられる．

V 総 括

本研究では，ジャベリックボール投げにおけるジャベボールのリリース条件が飛距離に及ぼす影響を検討した．17 名の被験者が行った計 146 投の試技について，ジャベボールの飛距離を測定するとともにジャベボール投射時のリリースパラメータを算出し分析した．その結果，ジャベボールの初速度が飛距離に最も大きく影響すること，投射角，迎え角，及び水平面迎え角については飛距離への影響が認められるものの，これらが過大な，あるいは，過小な値になっていてもジャベボールの飛距離には大きく影響しないことがわかった．また，リリース時の初速度が高いほど理論飛距離に対する実際の飛距離は小さくなる傾向であり，初速度が高いほど実際の飛距離を獲得することがより困難になることがわかった．ジャベボールの長軸まわりの回転スピードについては，回転スピードが大きいことは飛距離が伸びない決定的な要因になることは無いものの，初速度を低下させることなく回転スピードが極端に小さくなるようにジャベボールを無回転に近い状態で投射することにより，理論上の飛距離に対する実際の飛距離の低減幅を小さくし得る可能性があることが推察された．

ジャベリックボール投げは小学生が対象であり，高校生以上の一般が対象であるやり投げに繋がる種目とされているが，使用されるジャベボールの飛行特性は必ずしもヤリと類似ではないことが示唆された．選手や指導者がジャベリックボール投げに取り組む際には，将来的にやり投げへの接続を期待するのであれば，ジャベボールがヤリとは異なる飛行特性を有していることを理解した上で取り組む必要があろう．

文 献

阿江通良・島田一志・榎本靖士・横澤俊治（2001）ターボジャブ投げとやり投げにおける投動作の比較．陸上競技研究，(46)：16-24.

Bartlett, R.M.and Best, R. J. (1988) The biomechanics of javelin throwing: a review. Journal of Sports Sciences, 6: 1-38.

Bartlett, R.M., Müller, E., Lindinger, S., Brunner, F., and Morriss, C.J. (1996) Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin thrower of different skill levels. Journal of Applied Biomechanics, 12: 58-71.

加藤謙一・館岡雄太・平塚昭仁・林田浩二・阿江通良（2016）小学生におけるソフトボール投動作の特徴．陸上競技研究，(104)：14-25.

前田正登（2017）やり投げ競技に繋がる種目で使用される用具の静的特性．身体行動研究，6：17-22.

前田正登・野村治夫・柳田泰義・宮垣盛男（1996）やり投げにおけるヤリの飛行挙動．Japanese Journal of Sports Sciences, 15(3): 207-213.

Maeda M., Shamoto E., Moriwaki T., and Nomura H. (1999) Measurement of applied force and deflection in the javelin throw. Journal of Applied Biomechanics, 15(4): 429-442.

前田正登・丹松由美子（2008）ジャベリックスローにおけるターボジャブの投射初期条件が飛距離に及ぼす影響．スポーツ方法学研究，21(2)：139-145.

宮崎明世・小林育斗・阿江通良（2013）優れた投能力を持つ女子児童の投動作の特徴：全国小学生陸上競技交流大会ソフトボール投げ出場者の動作分析から．体育学研究，58：321-330.

宮崎明世・岡野進・三宅聡（2009）高校生やり投選手における“ジャベリックスロー”の有効性について―全国高校総体出場選手を対象に―. 陸上競技研究紀要, 5：19-25.

村上雅俊・伊藤章（2003）やり投げのパフォーマンスと動作の関係．バイオメカニクス研究，7(2)：92-100.

長尾将史・中嶋智也・板野智昭・関眞佐子（2013）ターボジャブの空力特性の計測．日本機械学会論文集（B編），79(804)：1561-1570.

日本陸上競技連盟（2015）全国普及育成担当者会議配布資料．pp.24-28.

尾縣貢・関岡康雄（1986）水平面におけるヤリの迎え角がその飛距離に及ぼす影響．日本体育学会第 37 回大会号 A，p.385.

太田幸治・阿江通良・横澤俊治（2002）やり投げの練習手段としてのターボジャブ投げの有効性．陸上競技研究，(50)：13-20.

斉藤雅記（2016）ターボジャブを用いた投動作の改善，体育科教育学研究，32(1)，37.

丹松由美子・前田正登（2008）やり投初心者におけるターボジャブを用いた投げ練習がやり投に及ぼす効果，陸上競技研究，(75)：29-35.

Terauds, J. (1985) Biomechanics of the Javelin Throw. Academic Publishers.

若山章信・田附俊一・小嶋俊久・池上康男・桜井伸二・岡本敦・植屋清見・中村和彦（1994）やり投のバイオメカニクス的分析．日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編，世界一流陸上競技者の技術．ベースボールマガジン社，pp.220-238.

吉田雅美（1993）ヤリ投げの基礎知識・基礎技術．最新陸上競技入門シリーズ 9 ヤリ投げ．ベースボールマガジン社，pp.26-55.

（2018 年 12 月 14 日受付
2019 年 10 月 18 日受理）

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2019/11/15