

人間の動きを考慮に入れた ヤリの最適投射条件

神戸大学 前田正登
(共同研究者) 同 野村治夫
同 柳田泰義
姫路獨協大学 宮垣盛男

Optimum Release Conditions in Javelin Throwing Considering Human Movement

by

Masato Maeda, Haruo Nomura, Yasuyoshi Yanagida

Kobe University

Morio Miyagaki

Himeji Dokkyo University

ABSTRACT

In this paper, it is examined the optimum release conditions in javelin throwing considering to be thrown by human. Three types of javelin is thrown by seven javelin throwers. These subjects in throwing are videotaped using high speed video camera at 200 fps. The behavior of the javelin is analyzed considering the deflection of the javelin at release.

These results are as follows ;

Throwing distance is longer than the theoretical throwing distance calculated from release velocity, height of release and release angle.

Throwing distance is longer as release velocity is higher, it seems that there is a tendency the rate of change in a proportion. Height of release is roughly the same value in each thrower, and affected from height and

throwing skill of thrower. Release angle to maximize release velocity is calculated, the value is different in each thrower, and it is suggested that it is the only way to measure optimum release angle in javelin throwing.

The optimum values to maximize throwing distance are calculated, there are 35.2 deg in attitude angle, -0.6 deg in angle of attack, and -3.2 Nm in pitching moment. To discuss the optimum release conditions, it is necessary to regard that most of these parameters affect each other.

要 旨

本研究では、人間によって投げられるということ considering、やり投げの最適投射条件を検討した。3種類のヤリを7人のやり投げ競技者に投げさせた。投射中の対象物は高速度ビデオカメラによって200 fps で収録された。ヤリの挙動はリリース時のヤリのたわみを考慮して分析された。結果は以下のとおりであった。

実際の投てき距離は初速度、投射高、投射角の3変量から算出された理論投てき距離よりも大きかった。初速度が高いほど投てき距離は大きく、両者は1次式の直線関係に近い傾向であった。

投射高は同一競技者内ではほとんど同じ値であり、競技者の身長と投げの技術に影響される変量であった。初速度が最も高くなる最適投射角が計算され、競技者によって値が異なること、この方法がやり投げにおいて最適投射角を測定する唯一の方法であることが示唆された。

投てき距離が最大となる最適値が計算され、姿勢角に関して35.2 deg, 迎え角に関して -0.6 deg, ピッチングモーメントに関して -3.2 Nm であった。最適投射条件を考察するとき、これらのリリースパラメータが相互に影響していることを考慮しておく必要がある。

緒 言

やり投げの競技成績はヤリの投射条件によってほぼ決定される。そして投射条件として、これま

でに初速度、投射角、投射高、迎え角、姿勢角などが報告されている^{2, 3, 6, 8, 9, 14, 16, 17}。最近になって、これらの要因は3次元的(空間)にもその影響が検討されるようになってきた^{13, 19}。

しかし、これらの報告ではヤリを投げるのが競技者という人間であることが軽視されているようである。競技者は機械ではないので、ヤリを投げる際にヤリの長軸方向に直線的に力を加えることは不可能である。事実、リリースの瞬間にヤリは大きくたわみ(図1)、飛行中には振動しつづけていることが観察されている^{4, 8, 18}。また、競技

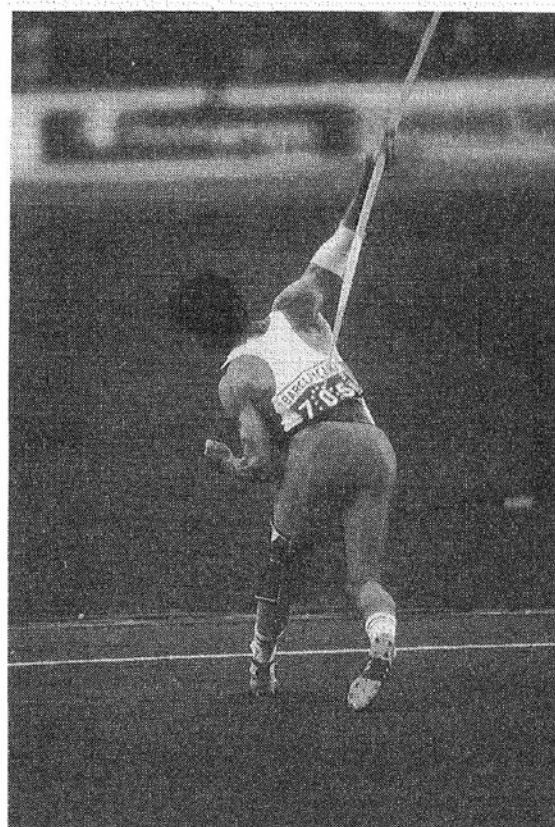


図1 リリース時のヤリ

者がヤリを握っている位置は重心位置ではないので、ヤリの長軸方向からそれて力を加重するとヤリには重心まわりにモーメントが生じることになる。

さらに、人間が投げることによって投射条件も相互に影響を受けることが十分に予想される。たとえば、初速度は高い方が望ましいと考えられるが、競技者がどの方向に投射しても同程度の初速度が得られるとは限らない⁷⁾。すなわち、初速度は投射角度に少なからず影響されることが予想されるのである。本研究では、飛距離獲得のためにヤリの最適な投射条件を人間が投げるという視点から検討するものである。

1. 方法

1.1 被験者とヤリ

被験者は表1に示す男子やり投げ競技者7名である。実験用として特性（とくに動特性）の異なるヤリを3種類用意した。これらのヤリは、色やグリップのひもの種類などはすべて統一されており、外見では区別がつかない。ここではヤリを弾性体として扱うので、あらかじめそれぞれのヤリの動特性を同定しておく必要があるほか、力学的諸変量の算出のために静特性のうち慣性モーメントも測定しておく必要がある。

表1 被験者

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	Best record (m)
O. K.	177.0	95.0	25	71.72
A. R.	178.0	74.0	22	71.76
K. T.	180.0	90.0	21	71.28
I. A.	178.0	90.0	25	76.64
Y. M.	174.0	83.0	26	72.88
S. K.	185.0	95.0	23	74.26
Y. T.	177.0	86.0	25	76.30

表2のヤリの特性のうち慣性モーメントは物理振り子法¹⁰⁾によって、共振周波数、コンプライアンスはインパルス応答法¹²⁾によってそれぞれ先行研究に従って測定した。なお、それぞれのヤリには測定により、特定された1次モードの振動の節の位置（振動振幅が最小となる点）にマークが付けてある。

1.2 実験手続き

7名のやり投げ競技者に3種類のヤリをそれぞれ5回ずつ投げさせ、また、全員に800gの鉄球もヤリと同様の投法により1回ずつ投げさせた。全試技について高速度ビデオカメラ（HSV-400：nac社製）を用いて被験者の側方から200fpsで撮影し、リリースを含めてヤリの挙動を収録した。さらに、全試技について落下位置を三角法により特定し、投てき距離の算出に用いた。

1.3 投射条件としての諸変量

本研究では投射条件として初速度、投射高、投射角、姿勢角、迎え角、ピッチングモーメントの6変量（図2）と初速度、投射高、投射角の3変

表2 試料の諸特性

Javelin	Length (cm)	Mass (g)	Center of gravity* (cm)	Grip** (cm)	Moment of inertia*** (kg·cm ²)×10 ³	Resonant frequency**** (Hz)	Compliance at grip***** (cm/N)
ORB.	260.1	807.8	105.2	120.3	4.53	24.1	1.35
ELI.	261.6	809.4	105.9	120.8	4.64	23.8	1.69
SUP.	261.5	810.2	105.6	120.6	4.08	25.9	1.22

* Distance from tip to center of gravity

** Distance from tip to grip-end

*** Moment of inertia about short axis on center of gravity

**** 1st mode

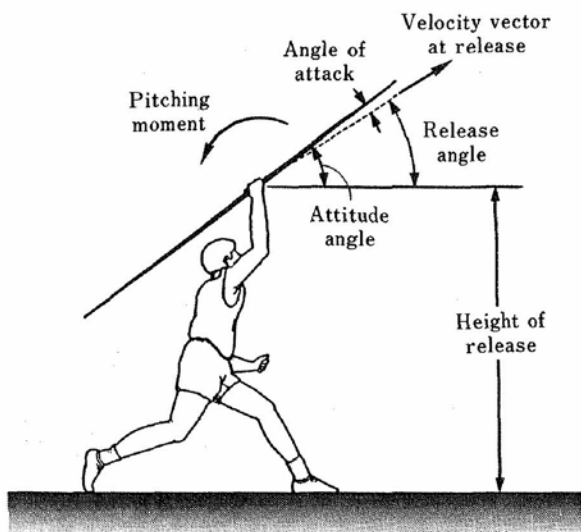


図2 リリース時の諸変量

量で算出される理論的な投てき距離について着目する。各変量の算出には、収録されたヤリの映像から6つの測定点(①先端、②振動の節(前部)、③グリップ前縁、④グリップ後端、⑤振動の節(後部)、⑥末端)を座標値化した位置座標をもとにした。また、各測定点は時系列データに対して、デジタルフィルタにより20 Hzで平滑化した値を用いている。

2. 結果と考察

やり投げにおける運動学的研究(キネマティクス)として、ヤリのリリース時に関する諸変量が数多く報告されている^{2, 3, 6, 8, 9, 14, 16, 17}。近年、コンピュータとともに高速度ビデオなどによる撮影技法が著しく進歩し、投げの映像から諸変量を算出する方法の発達が大きく貢献していると考えられる。しかし、競技会の試技などを映像として収録し、やりおよび競技者の測定点を座標値化して投射条件を算出するには、ヤリのたわみが大きな支障となる。リリース時のやりにはたわみが生じているので、たとえば姿勢角を算出しようとするとグリップ部で曲がったやりは軸がはっきりしない。この点を踏まえ、本研究ではヤリの振動の節を測定点に加えて、やりがたわむことを考慮に入

れている。

以下、投てき実験により得られた結果を2.1 理論投てき距離、2.2 初速度、2.3 投射高、2.4 投射角、2.5 姿勢角、迎え角、2.6 ピッチングモーメントの6項目に関して順に考察していく。

2.1 理論投てき距離

やりが長さもなく空の影響もない質点であるとき、その投てき距離は初速度、投射高、投射角の3条件によって決まる。逆にこれらの3条件の他の変量は対象がやりであることの特異性によるものと言える。3変量で求められる距離を理論投てき距離として、実際の投てき距離との関係を図3に示す。

図中の破線上の点は、理論投てき距離と実際の投てき距離が同じ値となることを示している。また、○は対象が鉄球である。鉄球を投射した場合、空の影響はほとんど無視できるものと考えられるので、理論投てき距離と実際の投てき距離は等しくなる。したがって、図で鉄球の値が破線から離れている距離分は測定の誤差によって生じるものと考えられる。鉄球5例のうち最も離れていた例は実際の投てき距離より4.8%小さく、本研究の測定方法での誤差はおおよそこの程度と考えられる。

図3の結果では、ほとんどの点は破線より上方に位置しており、対象がやりであることにより投

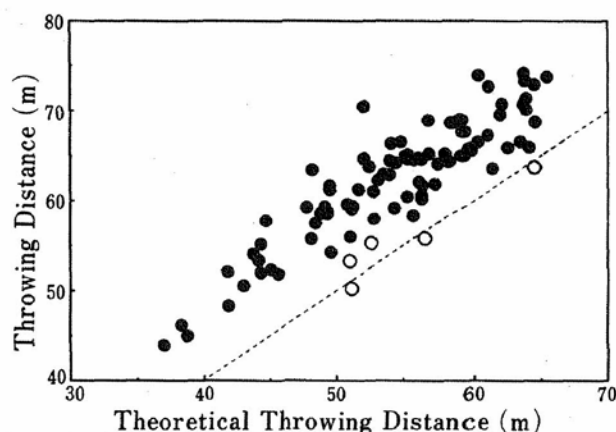


図3 理論投てき距離と実際の投てき距離

てき距離は大きくなるのがわかる。これにはリリース後の飛行においてヤリに働く揚力が関係しているものと推察される。飛行中のヤリには少なからず揚力が働いて、結果として投てき距離が増大することが示唆される。

2.2 初速度

初速度は投てき距離に最も影響する変量として、数多くの事例が報告されている。これらの分析結果では、初速度は投てき距離が大きいほど高く、1983年に Tom Petranoff が当時の世界記録を樹立したときの投てきでは99.72 m の記録で32.30 m/sec であったことが報告されている²⁾。

本研究の結果を図4に示す。物体の飛距離は初速度の2乗に比例することから図4の結果を2次式で最小2乗近似し、その実験式とともに図中に挿入している。図より初速度が高いほど投てき距離は大きく、先行研究と同様の結果であったが、両者は1次式の直線関係に近い傾向が認められたことで、初速度の2乗に比例して投てき距離を減じるように影響する変量（空気抵抗）が存在する可能性が示唆される。

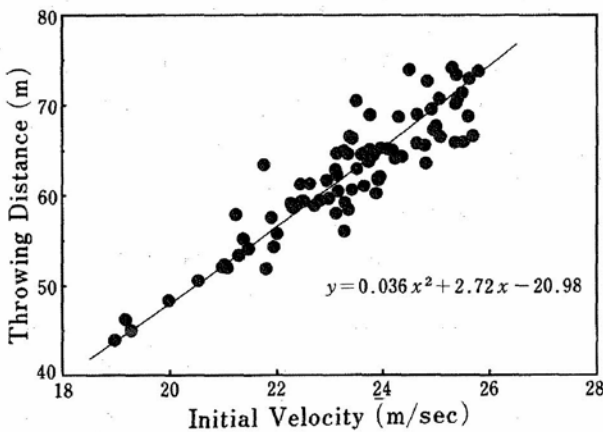


図4 初速度と投てき距離

2.3 投射高

投射高は競技者の身体的特性（長育）に依存しやすいが、反面、力学的に見ると高いほど投てき距離向上には有利であると考えられる。しかし、実際の投てき距離とは図5に示すように、とくに

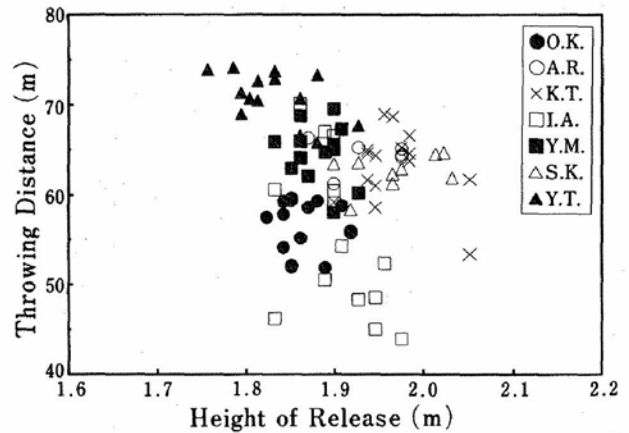


図5 投射高と投てき距離

関係は認められず投射高が投てき距離に大きく影響するとは考えにくい。ただ、同一被験者内ではばらつきがかなり小さくなる傾向が認められる。これは先行研究¹⁾で指摘されているような被験者の身体的特性に起因するほか、被験者がそれぞれに修得している投げの技術が内在化していることにも起因するものとみられる。いずれにしても、ヤリの投てき距離の大きさからみて、投射高の数cmの差が競技成績に大きく影響はしないであろうと推察される。

2.4 投射角

投射角は、ある値のときに最も投てき距離が大きいという最適値があると考えられており、およそ35~40deg程度という報告¹⁾がある。しかし、最適投射角はヤリの飛行性能と関連するうえに、最も初速度が高くなる投射角は競技者によっても異なる⁷⁾ことが予想されるので、一概にどの程度の投射角が最適かということは難しい。

投射角と初速度との関係を図6に示す。図から明らかなように、両者は上に凸の2次関数的な分布であることが認められる。そこで被験者別にその極大値を求めた。各被験者について最高記録の90%以上の投てき距離であった試技に対して2次式で最小2乗近似したその結果を表3に示す。算出された最適投射角は、被験者によって異なることがわかる。また、図中の○は鉄球であることを

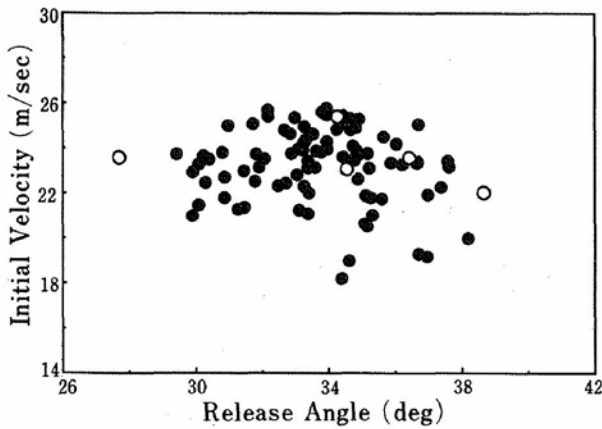


図6 投射角と初速度

表3 初速度が最大値となる投射角
(最大の90%以上の投てき距離に達している試技からの計算値)

Subject	Release angle (deg)	Initial velocity (m/sec)
O. K.	31.6	22.9
A. R.	33.5	23.9
K. T.	32.4	24.5
I. A.	29.6	25.5
Y. M.	34.4	25.5
S. K.	35.2	23.7
Y. T.	34.3	25.5
mean	33.0	24.5

示しているが、ヤリを対象とした場合の2次式に含めて考えることが妥当であるとは言い難い位置である。すなわち、同じ重さであっても鉄球とヤリとでは最適投射角が異なる値となる可能性があることになる。これは対象物の違いによって投げの動作そのものが変容した¹⁴⁾ためと推察されるが、実際にヤリを用いてやり投げとしての動作を含めたうえで投射条件を検討することが必要であることを示唆している。

2.5 姿勢角, 迎え角

迎え角は姿勢角と投射角の差であり、やり投げの指導書ではヤリの向きと投射方向を一致させることが望ましい²⁰⁾とされている。しかし他方で競

技中に収録した映像の分析から、わずかな負の値である方が投てき距離が大きかったとの報告¹⁹⁾もある。

姿勢角と投てき距離の関係を図7に、迎え角と投てき距離の関係を図8にそれぞれ示す。図中の曲線は、各被験者の6番目の投てき距離であった試技までを対象に2次式で最小2乗近似したものである。また、これらの2次式によると姿勢角は35.2 deg のとき、迎え角は-0.6 deg のときに最大投てき距離が得られることになる。迎え角は、正負どちらであっても過大であると、投てき距離増大に明らかに不利であり、できる限り小さい方が望ましいことは疑いない。図8で上に凸の2次関数的な分布をしていた結果を見ても、最適値が0 deg 付近であるとする経験上の意見は支持されるであろう。ただ、競技者にリリース時の姿

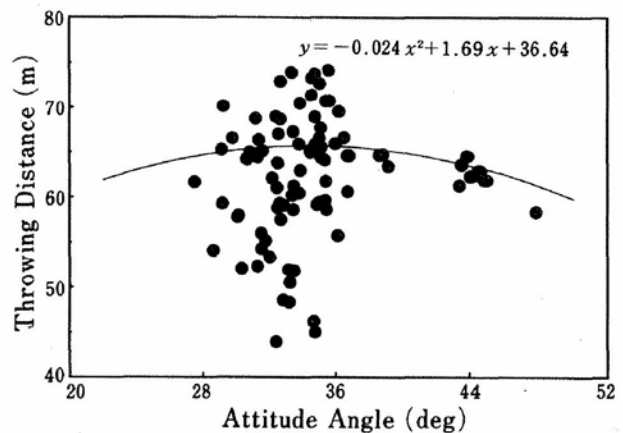


図7 姿勢角と投てき距離

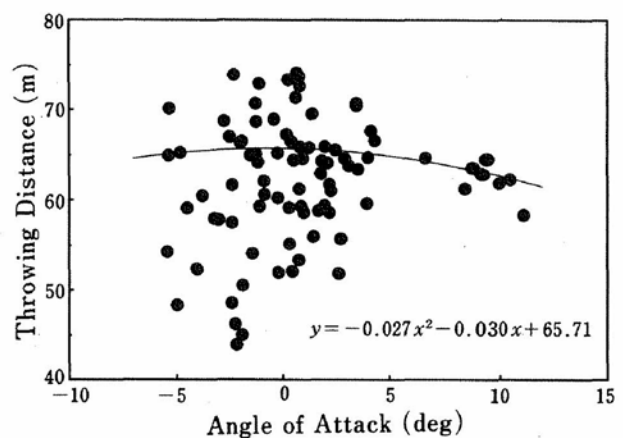


図8 迎え角と投てき距離

勢角、迎え角を数度きざみで制御するように指導することは、投げ動作にかかる時間が極めて短いことを考慮すると現実的ではないように思われる。

2.6 ピッチングモーメント

ヤリはリリースの際に長軸、短軸の2つの軸まわりにモーメントを生じているといわれる。本研究では映像からリリース時のヤリの位置を求め、角度を微分していき角加速度に慣性モーメントを乗じる方法でヤリの短軸まわりのモーメントを計算した。この値は、ピッチングモーメントと表すが、投てき距離に影響する変量として正確に見積もる必要がある⁵⁾と言われているものの、実際の投てきによるリリース時のピッチングモーメントが報告された例は見当たらない。元来、映像から加速度を求めて、モーメントを計算していく方法では、微分によって誤差が増幅される危険があり、また、慣性モーメントが簡便には測定しにくいこともこれまで報告されていなかった理由の1つであるようである。

ピッチングモーメントと投てき距離との関係を図9に示す。図中の曲線は各被験者の6番目の記録までの試技を対象に2次関数で近似した結果である。また、式から最大投てき距離が得られるのは-3.2 Nm のときと計算された。図で明らかのようにピッチングモーメントは0 Nm 付近に最適値があるようであり、リリース時には短軸まわりにモーメントを生じない方が望ましいというこ

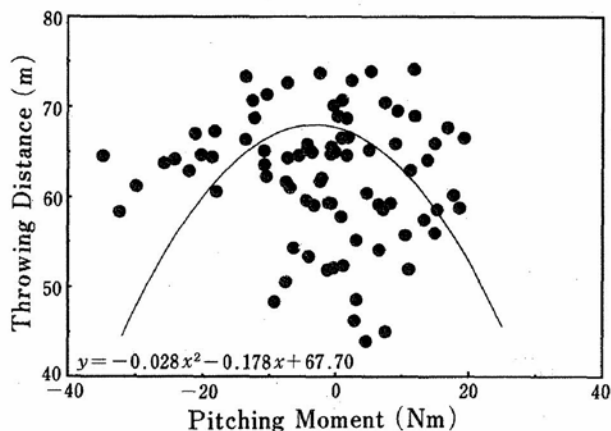


図9 ピッチングモーメントと投てき距離

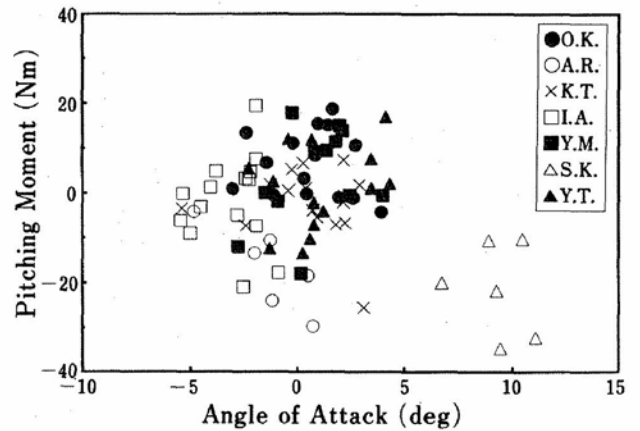


図10 迎え角とピッチングモーメント

とになる。しかし、このピッチングモーメントが生じるのが、競技者がヤリに加える力の方向がヤリの長軸と一致しないことに起因することから、競技者のヤリに対する力の加え方、すなわち、投射方法に影響を受ける変量であることが推測される。そこで、各被験者について迎え角とピッチングモーメントの関係(図10)を見ると、全体的には迎え角0 deg、ピッチングモーメント0 Nmを中心にはばらついているものの、各被験者内ではばらつきが比較的小さいことが認められる。つまり、迎え角やピッチングモーメントは競技者それぞれに内在化した投射方法によりほぼ変わることがなく、指導上、それらを意図的に変えようとする、かえって投射方法(ヤリに対しての力の加え方)そのものを変えることになり、他の投射条件まで変えてしまいかねないことに留意する必要がある。

3. まとめ

本研究では、ヤリの最適な投射条件を人間が投げるという視点から検討した。

結果をまとめると以下ようになる。

- 1) 実際の投てき距離は、初速度、投射高、投射角の3変量から算出された理論投てき距離よりも大きかった。
- 2) 初速度が高いほど投てき距離は大きく、両者は1次式の直線関係に近い傾向であった。

- 3) 投射高は同一競技者内ではばらつきが小さく、身体的特性や投げの技術など競技者に内在化しているものが原因していると推察された。
- 4) 初速度が最も高くなる最適投射角が計算され、競技者によって値が異なること、やり以外のものを用いてはこの値が求められないことを見出した。
- 5) 姿勢角、迎え角に関して投てき距離が最大となる最適値がそれぞれ35.2deg, -0.6degと計算された。
- 6) ピッチングモーメントについて投てき距離が最大となる最適値が-3.2Nmと計算された。
リリース時の諸条件は競技者それぞれ内在化された投射方法(投法)により生じる1つの結果と見ることができる。本研究で得られた2, 3の最適投射条件を達成することが、直接投てき距離を延ばすことには結びつかないことを理解しておく必要がある。

文 献

- 1) G. ダイソン: 金原 勇, 渋川侃二, 古藤高良訳; 投てき運動の力学, 陸上競技の力学, 大修館書店, 東京, 209-249 (1972)
- 2) Gregor, R. J., Pink, M.; Biomechanical analysis of a world record javelin throw: A case study, *Int. J. Sport Biomechanics*, 1, 73-77 (1985)
- 3) 橋本 勲, 三浦望慶, 池上康男ほか; やり投げの身体運動学的研究-助走と投げの動作の関連性について, *東海保健体育科学*, 1 (1), 27-35 (1979)
- 4) Hubbard, M., Bergman, C. D.; Effect of vibrations on javelin lift and drag, *Int. J. Sport Biomechanics*, 5, 40-59 (1989)
- 5) Hubbard, M.; The throwing events in track and field, In: Vaughan, C. L. (Ed.), *BIOMECHANICS of SPORT*, CRC Press Inc.: Florida, 214-238 (1989)
- 6) Ikegami, Y., Miura, M., Matsui, H., Hashimoto, I.; Biomechanical analysis of the javelin throw, *Biomechanics*, VII - B271-276 (1981)
- 7) 金子今朝秋, 小林一敏, 菅原秀二, 大島義晴; 砲丸投の最適投射角度に関する一考察, *順天堂大学保健体育紀要*, 26, 34-39 (1983)
- 8) 小林寛道, 桜井伸二, 池上康男ほか; やり投セッポ・ラテュ選手の技術分析, 平成3年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, 日本体育協会, 237-241 (1992)
- 9) Komi, P. V., Mero, A. Biomechanical Analysis of Olympic javelin throwers, *Int. J. Sport Biomechanics*, 1, 139-150 (1985)
- 10) 前田正登, 野村治夫, 宮垣盛男; 「やり」の静的特性-形状と慣性モーメント, *陸上競技研究*, (2), 18-28 (1990)
- 11) 前田正登; 「投」におけるやり投の特異性-やりの長さや投動作, *スポーツ方法学研究*, 5 (1), 31-39 (1992)
- 12) 前田正登, 野村治夫, 森脇俊道, 社本英二; 競技用やりの動特性, *Jap. J. Sports Sci.*, 12 (2), 130-136 (1993)
- 13) 松井秀治, 桜井伸二, 池上康男ほか; やり投げの三次元的映像分析, *スポーツ医・科学*, 3 (1), 41-46 (1989)
- 14) Miller, D. I., Munro, C. F.; Javelin position and velocity patterns during final foot plant preceding release, *Journal of Human Movement Studies*, 9, 1-20 (1983)
- 15) Red, W. E., Zogaib, A. J.; Javelin dynamics including body interaction, *J. Appl. Mechanics*, 44, 496-498 (1977)
- 16) Rich R. G., Whiting, W. C., McCoy, R. W., Gregor, R. J.; Analysis of release parameters in elite javelin throwers, *Track Technique*, 92, 2932-2934 (1985)
- 17) 西藤宏司, 高松 薫; やり投げの成績に及ぼす技術的要因について, 昭和52年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 日本体育協会, 1-16 (1978)
- 18) Terauds, J.; *Biomechanics of the javelin throw*, Academic Publishers, California (1985)
- 19) 若山章信, 田附俊一, 小嶋俊久ほか; やり投のバイオメカニクスの分析, 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編, ベースボール・マガジン社, 東京, 220-238 (1994)
- 20) 吉田雅美; やり投げ, 最新陸上競技入門シリーズ 9, ベースボールマガジン社, 東京 (1993)