ヤリの弾性を考慮に入れたやり投げの力学的解析

前田 正 登¹⁾ 野村 治 夫¹⁾
社 本 英 二²⁾ 森 脇 俊 道²⁾

Dynamic analysis in javelin throwing considering javelin elasticity

Masato Maeda¹, Haruo Nomura¹,
Eiji Shamoto² and Toshimichi Moriwaki²

Abstract

The present paper presents a new sensor for measuring six components of force and two components of deflection applied to a javelin. Two types of javelin differing in stiffness were thrown by three javelin throwers. The force and the deflection applied to the javelin during throwing were measured to analyze the throwing motion and the dynamic behavior of the javelin.

The major results obtained were as follows;

The force in the axial direction of the javelin falls or remains unchanged temporary just before the value reaches its peak during release. The torque around the axial direction of the javelin tends to fall to a minimum value and then reach a peak. The change of force in the lateral direction of the javelin is roughly dominated by that in one direction.

The deflection of the javelin during throwing is not one-directional as reciprocation, but multi-directional. In order to consider the force applied to the javelin and the deflection of the javelin from the viewpoint of the thrower, it is necessary to consider the rotation around the axial direction of the javelin as well.

The value of deflection of the javelin is affected by its stiffness. However appears that the stiffness dose not affect the values and patterns of force and torque applied to the javelin.

Key words: javelin throw, dynamic analysis, force applied to javelin, javelin elasticity, throwing movement

(Japan J. Phys. Educ. 42: 270-282, November, 1997)

キーワード：やり投げ，力学的解析，ヤリに加わる力，
ヤリの弾性，投げ動作

1. 緒 言

近年，やり投げに関して多くの研究が多角的に進められ，それぞれが競技成績の向上に貢献してきた。中でもヤリのリリース時における最適投射

初期条件に関する研究は，測定手法の発達に伴い数多く見られるようになってきた^{7,8,14,15)}。投射後のヤリの弾道（飛距離）はリリース時の投射初期条件によってほぼ決定される⁸⁾ので，飛距離の向上を目的とするならば，ヤリの最適投射初期条件を検討することは有意義であろう。しかし，その投射初期条件は，例えば初速度が投げ動作中に

1) 神戸大学発達科学部
〒657 兵庫県神戸市灘区鶴甲 3-11

2) 神戸大学工学部
〒657 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1

1. Kobe University, Faculty of Human Development, 3-11
Tsurukabuto, Nada, Kobe 657

2. Kobe University, Faculty of Engineering, 1 Rokkodai, Nada,
Kobe 657

ヤリに加えられた力の積分から求められるように、投げ動作中に競技者がヤリに加えた力によって生じる一つの結果と見ることができる。このように、投げ動作中に競技者がヤリに加える動的な力は、最適投射初期条件や最適な投げ動作の検討、さらには最適な動特性を持つヤリの開発などに関わる極めて重要な物理量であるといえる。

やり投げ競技において、ヤリはたわみを生じて投射されていることが観察されている^{5,10,14,16}。競技者もヤリのたわみは認識しており、飛行中のヤリのたわみ（振動）が競技成績に少なからず影響するというシミュレーション結果⁶もある。元来、ヤリは弾性体であり、ヤリによって硬さ（正確には剛性、変形のしにくさ）は異なる¹¹。したがって、ヤリにたわみが生じることは必然的であり、飛行への影響だけでなく投げ動作に及ぼす影響もあわせて検討することが競技成績向上のためには不可欠であると考えられる。

本研究では、ヤリの弾性を考慮した上でヤリに加わる力を測定し、ヤリに作用する力・トルクという観点からやり投げを力学的に解析するとともに、ヤリの弾性が投げ動作に及ぼす影響を検討する。

2. 研究方法

2.1 実験用ヤリと6軸力センサ

ヤリに加わる力及びヤリのたわみを測定するために、独自に開発した6軸力センサ¹³を装備したヤリを使用した。この力センサは、ヤリに加わる力 (F_x , F_y , F_z) とトルク (T_x , T_y , T_z)、及びヤリのたわみ (D_y , D_z) を測定することができる (Fig. 1)。ヤリ本体は力センサを装備するために、通常の競技用ヤリとは若干外観が異なるが、ヤリとしての諸特性はできる限り変えないように配慮している (Fig. 2)。

本研究では、やり投げの投げ動作とヤリの剛性の相互間の影響にも着目するので、剛性が異なるように改造した2本のヤリを用意した。2本のヤリは長さ、質量、重心位置、グリップ位置などには差が生じないように配慮し、かつ、ヤリの剛性に差が生じるように、一方のヤリにはグリップ部

Fig. 1 Schematic illustration of 6-axis force sensor.

Fig. 2 Javelin equipped with force sensor.

とヤリの振動の節（1次モード）との区間に直径4 mmの穴を160カ所あけて剛性を落とし（Javelin-A）、もう一方のヤリは、逆に振動の節と両端部との区間の肉厚を削り落として剛性を上げた（Javelin-B）。これにより、2本のヤリは質量や重心位置などの静特性に大差がなくても、静剛性のほか共振周波数などに異なる動特性を持つことになる（Table 1 参照）。ただし、この2本のヤリは、通常の競技用ヤリに比べると力センサがヤリの中央部に組み込まれているため、重心を通る短軸まわりの慣性モーメントが小さくなっている。

2.2 実験

被験者は、Table 2 に示す男子やり投げ競技者3名である。なお、被験者は全員右利きであった。

2種類のヤリをやり投げ競技者3名にそれぞれ3回ずつ投げさせ、Fig. 3 に示すような力測定システム¹²を用いて、ヤリに加えられる力とヤリのたわみを測定した。同時に、助走開始からヤリのリリースに至るまでの動作を高速VTR（HSV-400: nac 社）を用いて200 fpsの撮影速度

Table 1 Characteristics of the javelin with force sensor and ordinary javelin

	<i>Javelin-A</i>	<i>Javelin-B</i>	Supreme
Length (cm)	260.3	260.3	261.5
Mass (g)	811.6	813.5	810.8
Center of gravity† (cm)	105.9	105.8	105.6
Grip‡ (cm)	120.4	120.4	120.6
Moment of inertia¶			
Short axis ($\times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$)	3.21	3.07	4.11
Long axis ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2$)	1.39	1.33	1.28
Compliance§ ($\times 10^{-3} \text{ mm/N}$)	73.8	68.8	—
Resonant frequency (Hz)	23.7	25.6	25.9

† Distance from tip to center of gravity.

‡ Distance from tip to end of grip.

¶ Moment of inertia on center of gravity.

§ Static compliance.

で収録した。なお、被験者にヤリを握らせる直前に、センサ部（グリップ部）に触れずにヤリを水平に支持し、その時の出力を一旦すべて0としてから測定を開始した。

力センサからの信号はコネクタを介して取り出されるため、ヤリのリリース直後にはコネクタがはずれて測定不能になる。8軸分のブリッジ回路からの出力はストレインアンプ（DMP-711B：共和電業）を介し、高速度VTRからのパルス信

Table 2 Characteristics of the subjects and their best records in javelin throw

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yrs)	Best record (m)
M.M	183.0	93.0	32	65.68
Y.M	173.0	85.0	28	74.38
K.K	181.0	85.5	23	72.70

号とともにA/D変換器（PS-9351：TEAC社）を経てコンピュータに入力される。なお、このときのA/D変換のサンプリング周波数は1kHzとした。

力センサから出力される測定データはひずみベクトルであり、各軸間の干渉量を含んでいるので、補正するための行列を乗じてヤリに加わる6成分の力と2成分のたわみに変換した^{12,13}。

3. 結果と考察

3名の被験者による6回の試技のうち、最も投てき距離の大きかった試技を*Javelin-A*、*Javelin-B*それぞれ対比してFig. 4.1-Fig. 4.3に示す。図中の*印及び数値は、各軸の絶対値が最大のときの値を表記している。また、(a)から(g)の人物像は高速度VTRに基づき、それぞれの瞬間での投げ動作のフォームを示したものである。横軸は

Fig. 3 Schematic illustration of experimental setup.

Fig. 4.1 Measured forces in javelin throwing. (Subj. M.M)

Fig. 4.2 Measured forces in javelin throwing. (Subj. Y.M)

Fig. 4.3 Measured forces in javelin throwing. (Subj. K.K)

ヤリのリリース, すなわち(g)の瞬間を0としてリリースまでの時間を示している。なお, 各データは5点移動平均により平滑化している。

3.1 ヤリに加わる力の解析

3.1.1 長軸方向への力

一般に投げの主動作は, 左足着地(c)からリリース(g)までとされ⁵⁾, 主にこの間にヤリを加速すると言われているが, 主動作に先立って助走(クロスステップを含む)が行われており, 双方の動作のつながりから左足着地をきっかけにヤリが加速され始めるとは考えにくい。測定結果では, Fig. 4.1-Fig. 4.3でもわかるようにいずれの被験者においても, ヤリの長軸方向の力 F_x は(c)より前の(b)から緩やかに上昇し始めていることがわかる。(a)から(c)までの動作局面は, 助走から投げ, リリースに至る行程の切り替えとして重要な役割を果たしている動作であろうと考えられる¹⁰⁾。

F_x はいずれの被験者も最大値に達する直前の(f)付近において, 一時的に停滞や低下が認められる。これは連続画からみて, 上腕部を加速する局面から前腕部を加速する局面への切り替え期に一致する。やり投げの投げ動作として, 体幹部から上腕部, 前腕部へと末端部へ順に連続して加速していくというムチ動作が有効である^{3,9)}といわれているが, F_x の一時的な低下は, 腕のムチ的な動作における身体各部の動きに円滑さを欠いたことに起因するものと推察される。本研究の被験者より上級レベルの競技者であれば, 上腕部から前腕部への力の伝達が, より円滑になり, Arbeit et al.¹⁾の言うように F_x は最大値まで停滞なく急激に増加して, 最大値に達するような曲線になるのかもしれない。

3.1.2 長軸まわりのトルク

Fig. 4.1-Fig. 4.3中の T_x はヤリの長軸まわりのトルクを示しているが, いずれの被験者もリリース前の(e)付近で低下した後, (f)付近で最高値に達するという傾向が認められる。絶対値は正の方向, すなわちヤリを後方から見て, 時計まわりに回転させようとするトルクが反時計まわりのト

ルクよりも大きいという結果である。これは連続画からみて, 肘を一旦巻き込むように(肩の外転・外旋及び前腕の回内)して反時計回りの方向にヤリを回転させた後, 腕を振り切って時計回りに回転させようとする動き⁴⁾に相当するものとみられる。

このように投げ動作では, 腕を振りきることによってヤリは時計まわりに回転をし始める⁴⁾。リリース時のヤリのスピンの(回転速度)は, 飛行に影響を与える変量の一つとして考えられている^{5,15)}が, 本研究の T_x の測定結果からこれを求めることができる。 T_x はヤリの長軸まわりのトルクであるから, 長軸まわりの慣性モーメント I_L と長軸まわりの回転角加速度 ω との間に

$$T_x = I_L \cdot \omega$$

の関係が成立する。上式から回転角速度 ω は, T_x を慣性モーメント I_L で除し, 回転角加速度 ω を時間積分して求めることができる。これを計算してみると66.7-140.4 rad/s (10.6-22.3 rpsに相当)の範囲であり, 映像による分析から得たTeraudsが報告した初期回転数(10-25 rps)¹⁵⁾と同程度の値であった。ヤリの長軸まわりの回転数を測定する場合, ヤリの最大直径が3 cmと非常に小さいにもかかわらず, ヤリの移動距離が大きいのでリリース時のヤリの映像分析から求めようとするのは極めて困難である。一方, 本研究で提案した方法は実験で使用するのが競技用のヤリではないので, 回転角速度が飛距離に影響する変量であったかを考察することができないという問題はあるものの, リリース時のヤリの回転速度を従来の方法より精度よく求め得る方法であると考えられる。

3.1.3 ヤリの短軸方向に加わる力, トルク及び短軸方向のたわみ

ヤリの長軸に対して垂直な方向(以後, 短軸方向と記す)に加わる力及び短軸方向のたわみをFig. 5に, 短軸まわりのトルクをFig. 6に, それぞれ合成ベクトルの軌跡として示す。Fig. 4と同様にFig. 5, Fig. 6中の(e)-(g)の符号はそれぞれの動作局面を示しており, (g)がヤリのリリース局面である。Fig. 5の縦軸 F_z, D_z, T_z と横軸

F_y , D_y , T_y は Fig. 1 に示す軸であり, 測定用ヤリに固定の軸である.

Fig. 5 より短軸方向の力は被験者間で差があるものの, おおむね楕円状で変化しており, (e) から (g) の区間で力方向が反転し, 後半のリリース時に近い区間の方が絶対値が大きいことが認められる. すなわち, ヤリの短軸方向に対して作用

する力は 1 方向で反転 (往復) するようなパターンが支配的であると考えられる.

短軸まわりのトルク T_y , T_z はヤリの違いより競技者で大きく異なることがわかる. M.M では値が全体的に小さく, K.K はリリース前に大きい傾向である (Fig. 6 参照).

T_y や T_z は力センサの中心まわりのトルクで

(1) Subj. M.M

(2) Subj. Y.M

(3) Subj. K.K

Fig. 5 Forces applied to the javelin and deflections of the javelin. (vector diagram)

Fig. 6 Torques applied to the javelin. (vector diagram)

あり、ヤリの重心を通る短軸まわりのトルクではない。ヤリの重心を通る短軸まわりのトルクベクトル T_G は、

$$T_G = F_{yz} \cdot l - T_{yz}$$

F_{yz} : 力センサに加わる力ベクトル (F_y と F_z の合力)

T_{yz} : 力センサの中心まわりのトルクベクトル (T_y と T_z の合力)

l : ヤリの重心から力センサの中心への位置ベクトル

で表され、 $T_G = 0$ であれば、ヤリは向きを変えようとはしない。投げ動作中における F_{yz} と l の

Fig. 7 Torques applied to the sensor and torques around the center of gravity about javelin. (vector diagram)

積及び T_{yz} の変化を Fig. 7 に示す. 図中(d)の頃まで両者はほぼ同じ値で変化しているが, (d)以後リリースまででは T_{yz} よりも F_{yz} と l の積の方が大きいことがわかる. 特に(f)からリリースまでは F_{yz} と l の積の方が極めて大きく, この

間にヤリの重心まわりに回転力が生じていることがわかる. リリース直前では, F_x が最大値に達していることからわかるように, 競技者はやりにできるだけ力を加えようとしている局面である. このときのグリップ部の軌道は楕円を描く²⁾と言われていることから, 競技者がやりトルクを積極的に与えているのではなく, リリースまでヤリの長軸方向と手の軌道(動き)が一致しないために生じるトルクであろうと考えられる. したがって, リリースまでヤリの向きと手の軌道を合わせるようにすれば, リリース時にヤリの短軸まわりにトルクが生じることは避けられるが, そのために振り切る動作が制約され, 競技者は力を加減して投げ出さなければならなくなるであろう.

3.1.4 ヤリに加わる力積

力を時間積分することで力積が得られる. ヤリの各軸方向への力積を Fig. 8 に示す. 図中(a)–(g)はそれぞれ各動作局面を示している. 速度の変化は力積に比例するので, x 方向(長軸方向)の力積が大きいほどヤリの飛距離は得やすい. 算出された長軸方向の力積が最も大きかったのは K.K の *Javelin-B* の時で 16.98 Ns であり, この

Fig. 8 Impulses applied to the javelin in javelin throwing.

間にヤリが得た速度は20.89 m/s と計算される。長軸方向の力積が最も増加するのは、(f)–(g)の終末局面で、(a)から(g)ヘリリースに近い局面ほど力積は大きいことが認められる。中でも(e)–(g)の間で得られる力積は投げ動作全体の60–70% (60.3%: Subj. M.M, *Javelin-A* – 71.5%: Subj. K.K, *Javelin-A*) を占め、この間の動作が重要であることが伺える。飛距離をさらに増大させるには、最大値に達するまでスムーズに力を加えることや、動作の範囲を大きくして力を加える時間を長くするなどの方法が有効であろうと推察される。

y, z 方向（短軸方向）の力積はヤリに迎え角を生じさせる原因となるので、できるだけ小さい方が望ましいと考えられる。短軸方向の力積も(e)–(f), (f)–(g)の終末局面において大きい、(a)–(f)間と(f)–(g)間では符号が異なっており、力積の方向が反対であることが認められる。最終的にリリース時でのヤリ短軸方向の力積は0.15 (Subj. M.M, *Javelin-A*) – 3.36 (Subj. K.K, *Javelin-A*) Ns 程度の範囲である。すなわち、(f)以後に短軸方向へ注入される力積はそれまでの方向を抑える、あるいは修正するという意味のもので、競技者が能動的に（意図的に）短軸方向への力積を獲得しようとするものではないものと考えられる。

3.2 ヤリの弾性が投げ動作に及ぼす影響

Fig. 4.1–Fig. 4.3においてリリース後には、力の6成分は概ね0になっているが、たわみの2成分は大きな値を示しており、ヤリのたわみ振動が残留しながら投げ出されていることがわかる。ヤリのたわみをベクトル線図 (Fig. 5) でみると、1方向を往復するような単純なたわみ方ではなく、多方向への複雑なたわみになっていることがわかる。たわみの方向は(e)付近まで力の方向と比較的似ているが、以後は異なる挙動である。

Fig. 5, Fig. 6 はヤリに加わる力、トルク及びヤリのたわみであり、座標軸はヤリに固定された軸である。したがって、競技者の立場で見るとはヤリが長軸まわりに回転している分（回転角速度 ω を時間積分して得られる回転角変位）を差し

引き補正する必要がある。助走開始直前のヤリを保持し構えた時点初期値として、ヤリが長軸まわりに回転した分を差し引き、長軸まわりの回転を考慮したヤリに加わる力、トルク及びヤリのたわみを Fig. 9 に示す。

これで見ると Fig. 5 や Fig. 6 とはかなり異なり、例えば、ヤリに加わる力は終始、円を描くような挙動（2方向のたわみ振動が混在している挙動、長軸方向の移動を考慮すると螺旋状の挙動）になっていることがわかる。このようにヤリに固定した座標で見た場合と競技者から見た場合とでヤリに加わる力は明らかに異なっている。このことから競技者の立場で考察するには、ヤリに固定した座標で考えるのではなく、ヤリの長軸まわりの回転を考慮した上で考察する必要があることが示唆される。これまで、選手がヤリに加える短軸方向の力やヤリのたわみの挙動は明らかにされていなかったが、それにもかかわらず、これらを小さく抑えるように指導が行われてきた¹⁷⁾。Fig. 9 に示すように、本手法では、これらの力やヤリのたわみの大きさのみならず、方向と軌跡さえも定量的に明らかにすることができ、指導するうえで極めて有益な情報を与えるものと考えられる。

Fig. 5 及び Fig. 6 の結果から、ヤリの短軸方向に加わる力、トルク及びヤリのたわみに関して、絶対値が最大に達したときの値、及びその最大値が出現した時間を Table 3 に示す。最大値はそれぞれ y, z 方向の合成ベクトルであり、Fig. 5 や Fig. 6 でも明らかなように試技によってその方向が異なる。

表でもわかるように、ヤリのたわみの最高値はヤリによって違い、いずれの被験者も *Javelin-A* の方が値が大きいことが認められる。そして、同一被験者では短軸方向の力のパターンにはほとんど差が認められない。これらのことは使用したヤリの剛性の差であろうと考えられる。本研究で使用したヤリは特性が異なり、*Javelin-A* の方が剛性が低く、1次モードの共振周波数も低い柔らかいヤリである。その分、加わる力が同じであっても変位が大きい結果となったのであろう。しかし、実験後の被験者の感想において、一様にヤリ

Fig. 9 Forces and torques applied to the javelin and deflections of the javelin considering the rotation around the axial direction of the javelin. (vector diagram)

Table 3 Peak values of the forces and torques applied to the javelin and deflections of the javelin

Subject		Peak Force		Peak Torque		Peak Deflection	
		Value (N)	Time (sec)	Value (Nm)	Time (sec)	Value (mm)	Time (sec)
M.M	Javelin-A	232.8	-0.010	7.6	-0.054	18.1	-0.006
	Javelin-B	243.5	-0.011	6.4	-0.056	17.1	-0.006
Y.M	Javelin-A	250.8	-0.007	10.7	-0.047	20.7	-0.005
	Javelin-B	189.0	-0.006	10.5	-0.045	15.0	-0.004
K.K	Javelin-A	220.9	-0.010	14.4	-0.040	17.4	-0.009
	Javelin-B	224.4	-0.008	16.7	-0.041	14.7	-0.006

の特性の相違は感じなかったと述べているように、ヤリの剛性の差によって加わる力の大きさが変化したり、そのパターンが変容するような箇所は特に認められていない。むしろ、被験者間の差の方が大きく、ヤリの剛性の差が直接投げ動作に影響するまでに至らなかったものと推察される。

本研究では、設定したヤリの剛性の差が投げ動作に影響するまでに至らなかったが、今後、この剛性の差をさらに大きくして投げ動作への影響を確認するとともに、競技者（被験者）のレベルを広げて多くの競技者について測定を行い、最適な

投げ動作とヤリの動特性について検討を重ねる必要がある。

4. 結 言

本研究では、やり投げ競技において、ヤリが投げ出されるまでの間に競技者によってヤリに加えられる動的な力の6成分およびヤリのたわみの2成分を測定し、投げ動作及びヤリの挙動について力学的分析を行った。本研究によって得られた知見をまとめると以下の通りである。

- 1) ヤリの長軸方向に加わる力は最大値に達

する直前に、一時的に停滞あるいは低下することが認められた。

2) ヤリの長軸まわりのトルクは、リリース前に一旦極小値を経過してから最大値に達する傾向にあり、腕の振り切りに先立って、反対まわりにトルクが生じていることを見出した。

3) ヤリの短軸方向に加わる力はおおむね1方向での変化が支配的であった。

4) カセンサに加わる力とトルクから、ヤリの重心を通る短軸まわりに関してトルクが計算され、リリース直前に大きい値となることを見出した。

5) ヤリの長軸方向の力積が最も大きいのは投げの終末局面で、リリースに近い局面ほど力積は大きいことが認められた。

6) 投げ動作中のヤリのたわみは1方向を往復するようなたわみ方ではなく、多方向への複雑なたわみであった。

7) 競技者の立場でヤリに加わる力やヤリのたわみを考察するには、ヤリの長軸まわりの回転量を考慮する必要があることが示唆された。

8) ヤリの剛性の差によってたわみ量には差が認められたが、加わる力やトルクの大きさが変化したり、そのパターンが変容するような箇所は特に認められなかった。

なお、本研究の一部は平成7年度文部省科学研究費奨励研究(A)課題番号07780061の補助で行われた。

文 献

- 1) Arbeit, E., Bartonietz, K., Borner, B., Hellmann, K. and Skibbia, W. (1988) The javelin: The view of DVfL of the GDR on talent selection, technique and main training contents of the training phases from beginner to top-level athlete. *New studies in ATHLETICS* 1: 57-74.
- 2) Ariel, G. (1975) Principles of ballistic motion in resistance exercise training. *Track and Field Quarterly Review* 75: 58-61.
- 3) E. N. マトベーエフ：小野耕三訳 (1978) ヤリ投げ。陸上競技トレーナー用教科書。ベースボール・マガジン社：東京，pp. 443-462.
- 4) G. ダイソン：金原 勇・渋川侃二・古藤高良訳 (1972) 投てき運動の力学。陸上競技の力学。大修館書店：東京，pp. 209-249.
- 5) 林 幸信 (1979) やり投。金原 勇編陸上競技のコーチング(Ⅱ)。大修館書店：東京，pp. 338-343.
- 6) Hubbard, M. and Bergman, C. D. (1989) Effect of vibrations on javelin lift and drag. *Int. J. Sport Biomechanics* 5: 40-59.
- 7) Hubbard, M. (1989) The throwing events in track and field. In: Vaughan, C. L. (Ed.) *BIOMECHANICS of SPORT*. CRC Press Inc.: Florida, pp. 214-238.
- 8) 池上康男 (1982) やり投げ考。 *Jap. J. Sports Sci.* 1: 99-103.
- 9) 金子公有・豊岡示朗・伊藤 章 (1973) 槍投げにおける“鞭効果”。身体運動の科学Ⅳ スポーツのバイオメカニクス。杏林書院：東京，pp. 69-79.
- 10) 小林寛道・桜井伸二・池上康男・岡本 敦・若山章信・植屋清見 (1992) 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.
- 11) 前田正登・野村治夫・森脇俊道・社本英二 (1993) 競技用ヤリの動特性。 *Jap. J. Sports Sci.* 12: 130-136.
- 12) 前田正登・野村治夫・社本英二・森脇俊道 (1994) やり投におけるヤリに加わる力の測定。 *体育学研究* 39: 109-117.
- 13) 前田正登・野村治夫・美崎教正・社本英二・森脇俊道・平岡哲也 (1995) やり投げ用6軸力センサの開発。スポーツ工学シンポジウム1995講演論文集：102-106.
- 14) 松井秀治・桜井伸二・池上康男・岡本 敦・石田浩司・横坂 貴・小林寛道 (1989) やり投げの三次元的映像分析。 *スポーツ医・科学* 3: 41-46.
- 15) Terauds, J. (1978) Computerized biomechanical analysis of selected javelin throwers at the 1976 Montreal Olympiad. *Track and Field Quarterly Review* 78: 25-28.
- 16) Terauds, J. (1985) *BIOMECHANICS OF THE JAVELIN THROW*. ACADEMIC PUBLISHERS: California.
- 17) 吉田雅美 (1993) ヤリ投げ。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。

(平成8年9月12日受付)
(平成9年6月21日受理)