



「やり」の静的特性－形状と慣性モーメント－

前田, 正登
野村, 治夫
宮垣, 盛男

(Citation)

陸上競技研究, 2:18-28

(Issue Date)

1990-09

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001687>



「やり」の静的特性 —形状と慣性モーメント—

前田 正登 (神戸大学教養部)

野村 治夫 (神戸大学教養部)

宮垣 盛男 (神戸大学教養部)

Static Characteristics of Javelin

— Form and Moment of Inertia —

Masato Maeda, Haruo Nomura and Morio Miyagaki

(Kobe University, College of Liberal Arts)

Abstract

The form, the center of gravity and the moment of inertia on javelin were measured and static characteristics of new rule javelin were examined. In this study, the length and the diameter at the prescribed points for sixteen javelins were measured. The geometrical center on these javelins was calculated from the length and the diameter at appropriate position. The moments of inertia about the short and the long axes were measured with physical pendulum and torsion pendulum method, respectively.

Each javelin was varied on the form, the geometrical center, the center of gravity and the moment of inertia. In the present rule, the form and the geometrical center could be changed. However, there was no big difference in those parameters for these javelins. It was inferred from the data measured that the internal construction was different.

〔Ⅰ〕はじめに

1986年にI.A.A.F. (国際陸上競技連盟) は、それまでのやりが飛びすぎることや印跡判定が困難であったことを考慮し、「やり」に関する規格を改訂した。改訂の主な内容は、重心位置を4cm前方へずらしたことで、グリップ後方の直径の許容範囲を下限で設定したことであるが、それによって、改訂後の年度世界最高記録は11m余りも減少し、飛距離がおおむね減少の傾向を示すなど、競技の様相は大きく変容した¹⁾。このことは、「やり」の形状規格や構造設計が飛距離に極めて大きな影響

をもたらし要因となる²⁾ことが実証されたものと考えられる。

「やり」の規格が改訂され、記録が低下したにもかかわらず、その形状や構造に関する静的³⁾、動的特性⁴⁾の研究は極めて少なく、中でも新規格の「やり」の諸特性は、ほとんど報告されていない。

本研究の目的は、実際に競技で使用されている「やり」について、寸法、質量、重心位置、幾何学的中心位置 (図心、体積中心、表面積中心) などの形状及び慣性モーメントを計測し、新規格の「やり」の静的特性を明らかにしようとするものである。

〔Ⅱ〕方法

＜Ⅰ＞試料

本研究で測定した「やり」は、表1に示す新規格15種類 (4社) と旧規格1種類である。試料はナイフエッジ上を転がせて回転ひずみを観察し、たわみ、くぼみなどの少ないものを選んだ。

表 1 試料の概略

製 品 名	材 質	製作国	使 用 概 略
Orbit	スチール	スウェーデン	100m級、
Champion	スチール	スウェーデン	100m級、
Super Elite 90	スチール	スウェーデン	90m級、1989年日本記録
Super Elite 80	スチール	スウェーデン	80m級、1986年高校日本記録
Mark IV Custom	アルミニウム合金	アメリカ	90m級、
Mark IV	アルミニウム合金	アメリカ	80m級、
Mark III Custom	アルミニウム合金	アメリカ	70m級、
Olympic Gold	スチール	イギリス	100m級、
Laser	アルミニウム合金	イギリス	70m級、
Olympic	アルミニウム合金	イギリス	100m級、Apollo（旧規格）の1986年モデル
Super III	アルミニウム合金	日 本	100m級、
Super II	アルミニウム合金	日 本	90m級、
Super	アルミニウム合金	日 本	80～90m、
Long	アルミニウム合金	日 本	60～70m、
Midium	アルミニウム合金	日 本	50～60m、
Apollo	アルミニウム合金	イギリス	100m級、旧規格、1983年日本記録

＜2＞ 形状計測

「やり」の新旧規格を図1に示す。仕様として定められている箇所について、長さはスチール製の尺（最小目盛り：1.0mm）を用いて、直径はノギス（最小読み取り値：0.05mm）を用いて計測し

た。また、先端から4 cmまでは5 mmごと、以後2 cmごとの直径を計測した。質量は、電子てんびん（最小表示：10mg）を用いて計測した。重心位置は、ナイフエッジ上でつりあう箇所とし、先端からの距離を示した。

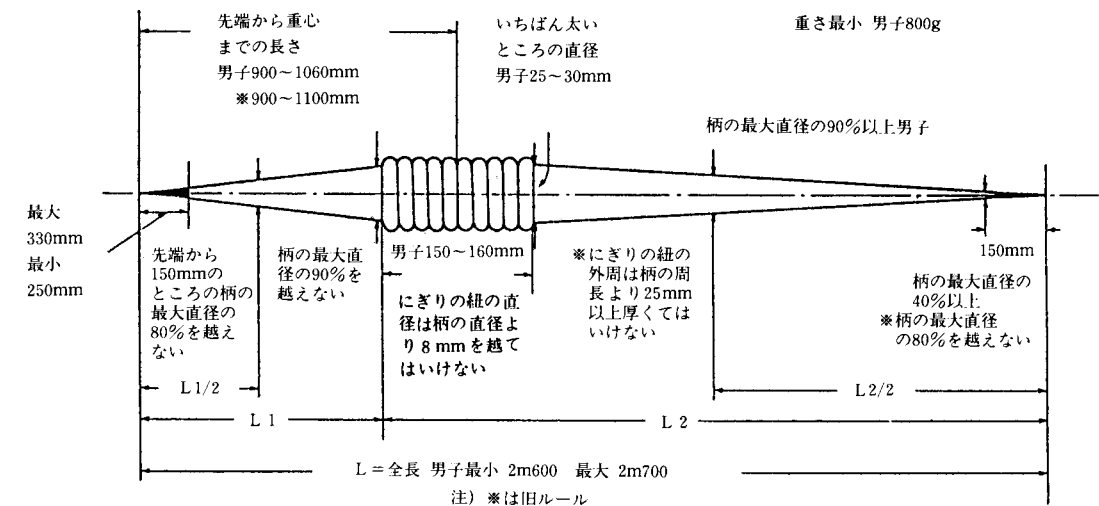


図 1 新、旧規格における「やり」の仕様（陸上競技ルールブック'89[®]）

幾何学的中心位置のうち図心の先端からの距離 D_s は、

$$D_s = \sum (S_i \times d_i) / \sum S_i \quad \dots(1)$$

D_s : 図心 (縦断面積の中心) の座標位置

S_i : i 番目の円柱の縦断面積

d_i : 先端から i 番目の円柱の縦断面積の中心までの距離

で与えられる。体積中心及び表面積中心についても同様に求めた。

〈3〉慣性モーメントの測定

慣性モーメント I は物体内の質量分布に依存し、回転のしにくさを表す指標であり、

$$I = \sum m_i r_i^2 \quad \dots(2)$$

I : 慣性モーメント

m_i : 質量

r_i : i 番目の質点と回転軸との距離

で与えられる³⁾。慣性モーメントは、やりの静的特性の重要な要素であり、飛行中の動的特性にも極めて重要な影響を与える。本研究では、重心を通る2本の軸のまわりの慣性モーメントを測定した。

短軸まわりの測定法は、剛体の一端を支点とする物理振り子法で図2-1に示す。

振り子が小さい角度で振れる時の周期 T_s は、

$$T_s = 2\pi \sqrt{I_o / Mgh}$$

$$\therefore I_o = Mgh (T_s / 2\pi)^2 \quad \dots(3)$$

I_o : 支点 O まわりの慣性モーメント

M : 質量

g : 重力加速度

h : 重心から支点までの距離

で与えられる³⁾。周期 T_s は、ストップウォッチを用いて10回計時し、その平均値とした。これを(3)式に代入し、慣性モーメント I_o を求める。これらを(4)式に代入し、重心を通る短軸まわりの慣性モーメント I_G を算出する。

$$I_G = I_o - Mh^2 \quad \dots(4)$$

測定精度の検証のために、長さ100cm、質量304.85g、直径12.03mmの様な直円柱について測

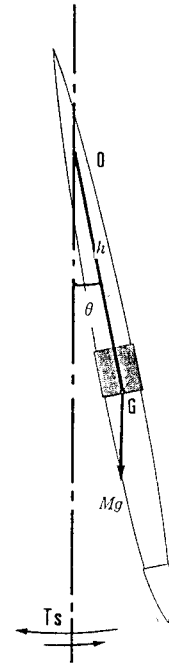


図2-1 短軸まわりの慣性モーメントの測定 (物理振り子法)

定値と計算値を比較した。その結果、計算値254.069kg・cm²に対し、測定値は254.908kg・cm²で約0.3%測定値の方が大きかった。

長軸まわりの測定法は、鋼鉄の針金 (ピアノ線) によるねじれ振り子法で図2-2に示す。

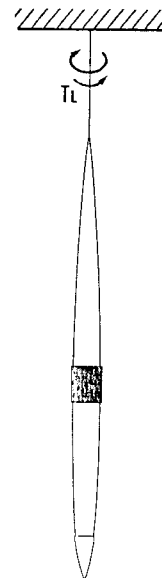


図2-2 長軸まわりの慣性モーメント測定 (ねじれ振り子法)

回転周期 T_L は、

$$T_L = 2\pi \sqrt{21 I_L / \pi G a^4} \quad \cdots(5)$$

I_L : 長軸まわりの慣性モーメント
 l : 針金の長さ
 G : 針金の剛性率
 a : 針金の半径

となり³⁾、針金の長さ、剛性率、半径がわかれば、長軸まわりの慣性モーメント I_L は、(5)式から算出される³⁾。剛性率 G の算出には、慣性モーメントが容易に求められる前述の直円柱（長さ：100cm、質量：304.85】、直径：12.03mm）を用いて求めた。直円柱の周期 T_L をねじれ振り子法によって測

定し、慣性モーメントを直円柱の公式 $I = \gamma / g \times \pi r^4 h / 2 = m r^2 / 2$ (γ : 単位体積あたりの重量、 g : 重力加速度、 r : 円柱の半径、 h : 高さ、 m : 円柱の質量)⁸⁾によって求め、これらを(5)式に代入して求めた。

〔Ⅲ〕結 果

＜1＞形 状

試料の「やり」の長さ、質量等を表2－1に、各部位の直径を表3－1に示す。なお、比較のために菅原¹³⁾の測定値を表2－2、表3－2に示す。

表2－1 試料の各部の長さ、質量

	全長	質量(g)	重心	L 1	L 2	穂先	Grip
Orbit	2608	807.8	1060	1028	1580	270	154
Champion	2609	808.3	1058	1046	1563	270	156
Super Elite 90	2613	806.8	1058	1055	1558	271	158
Super Elite 80	2608	807.4	1059	1042	1566	272	157
Mark IV Custom	2614	803.1	1048	901	1713	325	159
Mark IV	2618	806.6	1057	1052	1566	327	152
Mark III Custom	2609	807.4	1052	1046	1563	275	155
Olympic Gold	2610	809.6	1052	1050	1560	329	159
Laser	2609	808.7	1058	1054	1555	331	157
Olympic	2608	802.8	1060	1045	1563	280	159
Super III	2608	804.8	1055	1048	1560	286	158
Super II	2611	805.0	1055	1051	1560	282	156
Super	2610	811.8	1056	1050	1560	282	156
Long	2615	811.8	1051	1045	1570	286	158
Midium	2615	813.3	1048	1045	1570	286	156
Apollo	2608	807.5	1098	1089	1519	281	156

※L 1は先端から Grip 前縁まで、L 2は Grip 前縁から後端までをさす。

表2－2 各種やりの長さ、質量¹³⁾

	全長	質量(g)	重心	L 1	L 2	穂先	Grip
A 社 製 新 規 格	2630	800	1055	1050	1580	280	155
旧 規 格	2620	810	1083	1070	1550	273	155
B 社 製 旧 規 格	2600	800	1095	1080	1520	270	155
C 社 製 旧 規 格	2610	805	1097	1090	1520	280	155

表 3－1 試料の各部の直径

	先端～ 150mm	穂先の 最大	L 1 の 1／2	Gripの 前 縁	Grip (平均)	Gripの 後 縁	L 2 の 1／2	後端～ 150mm
Orbit	23.80	26.65	26.65	29.80	35.88	29.85	27.10	12.30
Champion	23.90	26.45	26.45	29.75	35.78	29.80	26.90	12.30
Super Elite 90	23.70	26.60	26.65	29.70	36.24	29.70	27.05	12.10
Super Elite 80	23.85	26.85	26.60	29.70	36.42	29.70	27.10	12.40
Mark IV Custom	23.70	27.20	26.75	29.90	36.61	29.30	26.95	12.25
Mark IV	23.60	27.40	26.65	29.90	37.44	29.70	27.00	12.25
Mark III Custom	23.75	27.75	26.85	29.90	37.73	29.85	27.00	12.10
Olympic Gold	23.55	25.55	26.55	30.00	37.34	30.00	27.55	11.70
Laser	23.50	25.65	26.40	29.80	36.76	29.80	27.05	12.40
Olympic	23.85	25.60	26.80	29.75	35.33	29.85	27.20	12.20
Super III	23.80	26.10	26.90	29.95	36.26	29.85	27.10	12.45
Super II	23.90	26.10	26.95	29.90	37.15	29.80	27.15	12.50
Super	23.95	27.50	27.15	29.90	36.78	29.90	27.10	12.45
Long	23.50	28.30	27.05	29.90	37.09	29.90	27.20	12.30
Midium	23.50	28.10	27.00	29.75	36.89	29.80	27.25	13.25
Apollo	24.25	25.40	26.50	29.70	36.06	29.70	25.25	9.65

※ Gripの値は 8 ヲ所の測定値から算出した。

※ L 1 は先端からGrip前縁まで、L 2 はGrip前縁から後端までをさす。

表 3－2 各種やりの直径¹³⁾

(単位＝mm)								
	先端～ 150mm	穂先の 最大	L 1 の 1／2	Gripの 前 縁	Grip	Gripの 後 縁	L 2 の 1／2	後端～ 150mm
A 社 製 新 規 格	24.45	25.60	26.40	30.10	36.80	30.10	27.45	12.00
..... 旧 規 格	20.05	26.85	26.75	30.00	37.50	30.00	24.75	11.10
B 社 製 旧 規 格	24.25	27.10	26.80	30.00	35.90	29.80	24.90	10.20
C 社 製 旧 規 格	24.30	25.50	27.00	30.30	37.00	30.20	25.30	9.56

各試料のそれぞれの値にはばらつきがあるが、すべて図 1 に示す規格の許容幅の中に入っている。新規格のやりの特徴は、規格改訂通り重心位置を 40mm 以上前方に移したことと、Grip 後方を太くしたことの他に、Grip 部を旧規格のやりより 18 9～15mm 前方に設定していることである。表 2－1 の L 1 及び L 2 の値から Grip 部の位置をみると、Orbit, Mark IV Custom は他の新規格のやりよりもそれぞれ 30mm、150mm 程度 Grip 部を前方に設定している。他の新規格のやりの Grip 位置は、大

きな差はないが、旧規格のやりよりも約 40mm 程度前方に移っている。

しかし、全長や重量及び Grip 部の寸法などは各やりで比較的ばらつきが少ない上、旧規格のやりとほとんど変わらない。穂先の長さは、Mark IV Custom, Mark IV, Olympic Gold, Laser が、旧規格のやりを含む他のやりより 50～60mm 程度長い。

表 3－1 の各部位の直径では、L 2 / 2 部からわかるように、新規格のやりは太めに設計されている。これも、規格改正の特徴の一つである。こ

れに対して、旧規格のやりは、L 2 / 2 部と後端から150mmの直径がいずれも他の新規格のやりよりも小さく、Grip部後方が細身である。また、穂先の最大径、Grip径は、両規格いずれもばらつきが大きい。

試料の幾何学的中心位置、及び縦断面積、体積、表面積を表 4 - 1 に示す。旧規格のやりは縦断面積、体積、表面積のいずれの値も新規格のやりよりも小さい。新規格のやりの中では、Mark IV Customが縦断面積、体積、表面積のいずれの値

表 4 - 1 試料の幾何学的中心位置及び縦断面積、体積、表面積
(単位＝位置：mm、面積cm²、体積：cm³)

	重心位置	縦断 面積	縦断面図心 C r - C . G	体積	体積中心 C . V - C . G	表面積	表面積中心 C . A - C . G
Orbit	1060(40.6)	648	1183(45.3) 123(4.7)	1354	1143(43.8) 83(3.2)	2034	1185(45.4) 125(4.8)
Champion	1058(40.6)	647	1181(45.3) 123(4.7)	1349	1159(44.4) 101(3.9)	2031	1195(45.8) 137(5.3)
Super Elite 90	1058(40.5)	647	1181(45.2) 123(4.7)	1347	1152(44.1) 94(3.6)	2031	1188(45.5) 130(5.0)
Super Elite 80	1059(40.6)	648	1181(45.3) 122(4.7)	1358	1161(44.5) 102(3.9)	2032	1200(46.0) 141(5.4)
Mark IV Custom	1048(40.1)	646	1141(43.6) 93(3.6)	1338	1172(41.0) 24(0.9)	2028	1158(44.3) 110(4.2)
Mark IV	1057(40.4)	655	1181(45.1) 124(4.7)	1370	1147(43.8) 90(3.4)	2054	1186(45.3) 129(4.9)
Mark III Custom	1052(40.3)	649	1181(45.3) 129(4.9)	1362	1145(43.9) 93(3.6)	2037	1186(45.5) 134(5.1)
Olympic Gold	1052(40.3)	656	1181(45.2) 129(4.9)	1386	1153(44.2) 101(3.9)	2058	1188(45.5) 136(5.2)
Laser	1058(40.6)	658	1201(46.0) 143(5.5)	1381	1167(44.7) 108(4.1)	2064	1201(46.0) 143(5.5)
Olympic	1060(40.6)	653	1205(46.2) 145(5.6)	1368	1170(44.9) 110(4.2)	2048	1205(46.2) 145(5.6)
Super III	1055(40.5)	650	1181(45.3) 126(4.8)	1356	1149(44.1) 94(3.6)	2040	1189(45.6) 134(5.1)
Super II	1055(40.4)	656	1181(45.2) 126(4.8)	1375	1146(43.9) 91(3.5)	2057	1186(45.4) 131(5.0)
Super	1056(40.5)	655	1181(45.2) 125(4.8)	1380	1143(43.8) 87(3.3)	2055	1185(45.4) 129(4.9)
Long	1051(40.2)	654	1181(45.2) 125(4.8)	1377	1146(43.8) 95(3.6)	2050	1189(45.5) 138(5.3)
Midium	1048(40.1)	658	1181(45.2) 133(5.1)	1384	1153(44.1) 105(4.0)	2064	1197(45.6) 149(5.7)
Apollo	1098(42.1)	631	1181(45.3) 83(3.2)	1302	1152(44.2) 54(2.1)	1979	1182(45.3) 84(3.2)

※C . G＝重心、C r＝図心、C . V＝体積の中心、C . A＝表面積の中心、() 内は全長に対する%

表4-2 各種やりの幾何学的中心位置¹³⁾

(単位=mm)

	重心位置	縦断面図心	体積中心
A社製 新規格	1055(40.1)	1201(45.7)	1165(44.3)
A社製 旧規格	1083(41.3)	1187(45.3)	1145(43.7)
B社製 旧規格	1095(42.1)	1173(45.1)	1135(43.7)
C社製 旧規格	1097(42.0)	1177(45.1)	1145(43.9)

も最小値を示しているが、旧規格 (Apollo) よりも大きい。

菅原¹³⁾の測定値では、新規格におけるやりの縦断面の図心が、先端から1201mm (全長に対して45.7%) の位置となっている。本研究においては、Laser, Olympicがやや近い値を示した他は、Apolloを含むすべてのやりでは、1181~1183mm (全長に対して45.1~45.3%) で菅原が報告した値より20mm程度小さい。Mark IV Customでは1141mm (全長に対して43.6%) と最も短い。重心と図心との距離は、ほとんどのやりが全長に対して4.7~4.9%であるが、Laser, Olympic, Midiumでは5.1~5.6%とやや長く、Mark IV Custom、及び旧規格のやりでは、それぞれ3.6%、3.2%と短い。

〈2〉慣性モーメント

本研究で測定した重心を通る短軸、長軸まわりの慣性モーメントを表5-1に、菅原¹³⁾、Terauds¹⁵⁾の測定値を表5-2に示す。

短軸まわりについては、新規格が $3.90 \sim 4.61 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ 、旧規格が $3.31 \sim 4.79 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ とばらつきが大きい。両規格それぞれの平均値は、新規格が $4.21 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ 、旧規格が $4.20 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ とほとんど変わらない。新規格の中でMark IV Custom, Mark IV, Mark III Custom, Super III, Super II, Longは短軸まわりの慣性モーメントが小さい。すなわち、重心付近に質量が集中しているやりである。これに対し、Orbit, Champion, Super Elite 90, Super Elite 80, Laser, Olympicは慣性モーメントが大きく、質量分布の様な中空円柱の値 ($4.51 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$) とあまり変わらない。

表5-1 試料の重心まわりの慣性モーメント (単位=kg・cm²)

	短軸まわり ($\times 10^3$)	長軸まわり
Orbit	4.61	1.25
Champion	4.61	1.24
Super Elite 90	4.59	1.27
Super Elite 80	4.58	1.24
Mark IV Custom	3.90	1.22
Mark IV	3.90	1.26
Mark III Custom	3.76	1.27
Olympic Gold	4.12	1.33
Laser	4.59	1.22
Olympic	4.56	1.23
Super III	3.94	1.26
Super II	3.76	1.30
Super	4.10	1.29
Long	3.98	1.25
Midium	4.15	1.22

Apollo	4.41	1.19
--------	------	------

中空直円柱※ 長さ：260cm 質量：800g 外径：24.6mm 内径：21.8mm	4.51	1.08
---	------	------

※中空直円柱の外径、内径は Olympic の平均直径、厚みを想定した。

長軸まわりの慣性モーメントは、Olympic Goldが $1.33 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ で最も大きく、新規格のやりはすべてApollo (旧規格) よりも大きい。

表 5－2 各種やりの慣性モーメント^{13), 15)}
(単位＝kg・cm・cm)

			短軸まわり
A 社 製	新 規 格		4148.8
	旧 規 格		4426.9
B 社 製	旧 規 格		4470.3
C 社 製	旧 規 格		4229.4
Held Custom III			3981.0
Mark III			3880.0
Mark II			4055.0
90 Meter			4094.0
70 Meter			4068.0
55 Meter			4448.0
Sandvic	Custom 110 Meter		4064.0
	Super Elite		4276.0
	Airmaster		4443.0
	Master 70 Meter		4761.0
	Master 60 Meter		4786.0
Gill	Silver Arrow		3314.0
	Golden Arrow		3888.0

〔Ⅳ〕 論 議

〈1〉 形状と幾何学的中心位置

やりの形状規格は図 1 に示すように許容幅があり、この規定範囲内で形状は自由に設定できる。

旧規格では、重心が後方にある上、表 4－1 に示すように縦断面積、体積、表面積はそれぞれ新規格のそれらより小さく、全体としてやりが細身につくられている。ことに、規格上 Grip 部後方をいくらか細くできたことは、重心と図心、体積中心との距離を短縮するのに都合がよかった。Soong¹²⁾は、弾道シミュレーションによって重心と図心との間隔 d を 25.7cm から 0.8cm に 24.9cm 縮めて飛行距離を 16m 余り伸ばすことができると報告し、Redら¹³⁾は、Soong の方法に投射角の影響を考慮した手法で、d を 25.7cm から 24.4cm に 1.3cm 縮めて飛行距離を約 1 m 伸ばすことができると報告している。一般に、旧規格のやりの重心は、やりが飛行中に受ける合力の作用点より前に位置し

ているために、飛行中に次第に前下がりになる傾向を抑えるのに役立った^{2), 13)}。

これに対し、新規格では重心位置を 40mm 前方へ移し、L 2/2 部の直径の最小値を規定したために、全体的に太めに設計せざるを得なくなった。このため、やりの重心と図心、体積中心との距離を近づけることが困難になり、飛行中に前下がりになりやすい¹³⁾原因を作る結果になったと思われる。しかし、幾何学的中心位置を表 4－1 よりみると、新旧規格とも大差はない。つまり、重心位置と幾何学的中心位置との距離が大きくなったのは、重心位置が前方に設定されたことによるものと考えられる。その対応策として、Mark IV Custom は Grip 部を大幅に前方に移し、L 1 部を短く太くして、Grip 部後方をやや細身に設計することで、重心と図心、体積中心との距離を短くする工夫をしているものと推測される。さらに、この Mark IV Custom は小野¹⁰⁾が示唆する「揚力を利用するためには、頭部から握りの前までが太いことが望ましい」というやりに相当し、他の新規格のやりよりも飛行性能では優れていると思われる。

通常、投てき者は Grip 後端を保持しており、リリース前の投射時には重心を中心とした回転が生じる⁴⁾。Grip 後端まわりの慣性モーメント I_E は、

$$I_E = I_G + Mh^2$$

I_G ：重心についての慣性モーメント

M ：質量

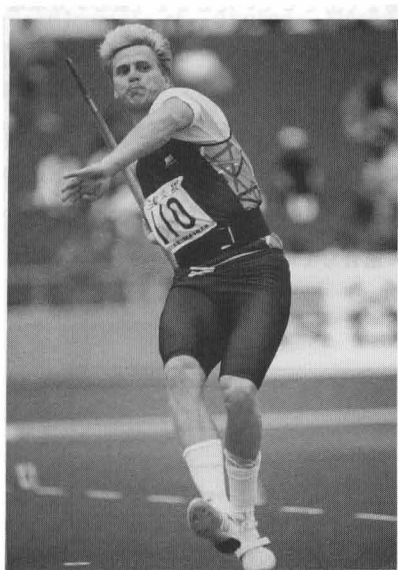
h ：重心から Grip 後端の距離

で表され³⁾、 I_G 、 M が等しくても重心と Grip 後端の距離 h が短ければ、支持点である Grip 後端まわりの慣性モーメント I_E が小さくなる。したがって、Orbit, Mark IV Custom のように h が短ければ支持点を中心として回転し易くなり、リリース時のやりの方向が定まりにくく熟練が必要になる。Grip 位置と重心の相対的な位置によっては、競技者の Performance に大きな影響を与えることが考えられる。

また、新規格のやりは、全体として太めに設計せざるを得なくなったにもかかわらず、質量は旧

規格のやりとほとんど変わらない。つまり、質量を規格の最小値800gに抑えるために、材質や肉厚、肉厚分布といった内部構造も必然的に変わっていると考えられる。この点は、内部構造に起因するたわみ等の動的特性とも関連し、今後の重要な問題であると言える。

規格の範囲内で特徴のあるやりを製作することが可能であるにもかかわらず、旧規格の慣例のままの形状上の要素も多い。全長については2600～2700mmの規格範囲内のところ、最長のやりでも2620mm以下に設計されている点や、重心位置の規格範囲が900～1060mmのところ1055mm程度と後方に置く傾向がある点、Grip位置は重心を含んでいればどこに設定しても良いという規定の活用などは今後の研究課題となろう。その他、穂先やGrip部の寸法、柄の直径の設計など発想の転換を図ってみる必要もあろう。



新規格のやりも90m時代を迎えた

〈2〉形状と慣性モーメント

慣性モーメントは回転に対する慣性量で、その大きさは質量の分布状態を表している。この量は、やりの静的特性のうち最も重要である。

新規格のやりの短軸まわりの慣性モーメントは、旧規格のものと平均値は変わらなかったが、多く

のやりは、直径24.6mm、重量800g、長さ2600mmで質量の均一な中空直円柱よりも値が小さく、重心付近に質量が集中しているものと思われる。一方、Orbit, Champion, Super Elite 90, Super Elite 80, Laser, Olympicなどは、質量が比較的分散しているものと考えられる。

Olympic Goldは、同様な材質であるOrbit, Champion, Super Elite 90, Super Elite 80よりも短軸まわりについては小さく、長軸まわりについては大きい。Olympic Goldの縦断面積、体積、表面積はいずれもこれら4本のやりよりも大きく、全長、質量については変わらないことから、表3-1でもわかるようにOlympic GoldはGrip部前後が太いために、比較的重心付近に質量が集まったものと推察される。Apolloの長軸まわりの慣性モーメントが最も小さかったのも、Grip部後方が他のやりよりも細いからであろうと考えられる。また、外観、形状、質量、材質などほとんどの測定値が同様なSuper IIとSuper IIIの慣性モーメントの差は、内部構造の違いによるものと思われる。

Terauds¹⁰⁾は、旧規格のSuper Elite（スチール製）について短軸まわりの慣性モーメントが $4276.0\text{kg}\cdot\text{cm}^2$ であったと報告している。本研究で測定した同一製作社で新規格のSuper Eliteはいずれもこの値よりも大きい。さらに、同じアルミニウム合金製で旧規格のApolloと新規格のOlympic（Apolloの1986年モデル）についても、Olympicの方が短軸まわりの慣性モーメントが大きい。すなわち、新規格に移行した結果、短軸まわりの慣性モーメントが大きくなっていることが認められる。このことは、新規格のやりの重心位置がやや前にあることから、穂先に近い部分に質量が多いことを意味するものと推察される。また、新規格ではL2部分が太く、長いことから、L2部分の肉厚が薄いことが推測される。このようなやりの構造は、投射後のやりの振動を大きくしやすく⁴⁾、飛距離増大には不利であると思われる。今後、新規格のやりについて、材質、肉厚などの内部構造を含めた動的特性の検討をする必要があろう。

〔V〕 まとめ

「やり」の形状、慣性モーメントを計測し、新規格の「やり」の静的特性について検討した。16種類のやり（1本は旧規格）について、規格で定められている箇所と等間隔ごとに、長さと直径を計測した。長さからやりの形状を求め、幾何学的中心位置を算出した。重心の短軸まわりについての慣性モーメントは、物理振り子法を、長軸まわりの慣性モーメントは、ねじれ振り子法を用いて測定した。

その結果、新規格のやりは重心位置を前方に置き、かつGrip部後方を太めに設計せねばならないために、やりの重心位置が図心及び体積中心から離れざるを得なくなったことが旧規格のやりと大きく違う特徴であった。

やりの慣性モーメントの値は、形状、材質、質量分布、内部構造などの違いのために、ばらつきが大きかった。新規格に移行した結果、重心位置がやや前方に移動し、短軸まわりの慣性モーメントは大きくなった。これらによって、内部構造が大きく変わっていることが示唆された。

競技に影響を及ぼすこのような「やり」の静的特性を更に検討し、規格範囲内の形状要素をシミュレーション等で設計してみることが期待され

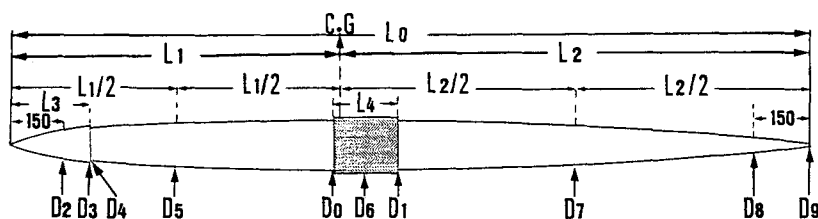
る。

〔VI〕 おわりに

現在、市販されている「やり」の種類は、かなり多い。その中でソウル・オリンピックでベスト8に進出した選手が、Super Elite 90とChampionを使用していた²⁾ことは興味深い。しかし、本研究からもわかるように、それぞれの「やり」が固有の特性を持っており、「やり」の選択によっては、競技成績にも影響を及ぼすことが予想される。「やり」の選択にあたっては、価格やm級表示、上級選手における使用状況等ではなく、競技者と「やり」の特性を十分に考慮することが望まれる。

〔付記〕

1986年8月に、I.A.A.F.は、それまで「Gripの前縁から末端まで」としていたL2を「重心から末端まで」に変更した（図A）。したがって、Mark IV Customは現行の規格に適合しなくなっているが、規格の許容幅を十分に生かそうとした試みは評価される。現行の規格にもまだ課題は多く、さらに検討を進めて行く必要があろう。なお、本研究で用いた他のやりはすべて変更後の規格に適合している。



図A やりの仕様 =男子= (IAAF HANDBOOK 1990-1991より)

長さ (単位=mm)			
	細部事項	最大	最小
L0	全長	2700	2600
L1	先端から重心	1060	900
L1/2	L1の中間点	530	450
L2	末端から重心	1800	1540
L2/2	L2の中間点	900	770
L3	穂先	330	250
L4	握り	160	150

直径 (単位=mm)			
	細部事項	最大	最小
D0	握りの前縁	30	25
D1	握りの後縁	---	D0-0.25
D2	先端から150mm	0.8×D0	---
D3	穂先の後端	---	---
D4	穂先の直後	---	D3-2.5
D5	先端から重心の中間点	0.9×D0	---
D6	握り	D0+8	---
D7	末端から重心の中間点	---	0.9×D0
D8	末端から150mm	---	0.4×D0
D9	末端	---	3.5

〈引用・参考文献〉

- 1) Ekkart Arbeit : Three years of the new javelin.: Track Technique, 110:3522, 1990.
- 2) G. ダイソン、(金原勇、渋川侃二、古藤高良訳) : 陸上競技の力学、大修館書店 : 221-230, 1975.
- 3) 後藤憲一、伊佐雄、藤井盛澄共編 : 基礎物理学 I : 共立出版株式会社 : 60-62, 75-76, 1987.
- 4) 林幸信 : やり投、陸上競技のコーチング (II)、大修館書店 : 338-343, 1979.
- 5) Hubbard,M. and Always,L.W. : Optimum Release Conditions for the New Rules Javelin : International Journal of Sport Biomechanics, 3 : 207-221, 1987.
- 6) Hubbard,M. and Rust,H.J.:Javelin Dynamics with Measured Lift, Drag and Pitching Moment:Journal of Applied Mechanics, 51:406-408, 1984.
- 7) 宮口尚義、前田正登 : やり投げにおけるやりの飛行の分析 : 金沢大学教育学部紀要, 教育科学編、第36号 : 297-309, 1987.
- 8) 日本機械学会編 : 機械工学便覧、改訂第 5 版、第 3 編力学 : 7-16, 1968.
- 9) 日本陸上競技連盟編 : 陸上競技ルールブック'89 : あい出版 : 332, 1989.
- 10) 小野勝次 : 陸上競技の力学、同文書院 : 174-181, 1957.
- 11) Red,W.E. and Zogaib,A.J.:Javelin Dynamics Including Body Interaction:Journal of Applied Mechanics,44:496-498, 1977.
- 12) Soong,T.-C.:The Dynamics of Javelin Throw : Journal of Applied Mechanics, 42 : 257-262, 1975.
- 13) 菅原秀二 : 槍の規格変更にもなう特性と投技術、およびそのトレーニングに関する研究 - 槍の静特性の変化について - : 日本体育協会スポーツ科学研究報告 : 日本体育協会 : 357-363:1986.
- 14) Terauds,J:Wind tunnel test of competition javelin:Track and Field Quarterly Review. 74 (2):88-95, 1974.
- 15) Terauds,J:BIOMECHANICS OF THE JAVELIN THROW:ACADEMIC PUBLISHERS:1985.