

やり投げにおけるやりの飛行の分析

宮口 尚義・前田 正登*

Analysis of Flying-Javelin in Javelin Throw

Hisayoshi MIYAGUCHI・Masato MAEDA

I. 緒 言

近年、陸上競技の世界記録の向上は目覚ましいものがある。このことは、時代差と近代化に伴う人間本来の資質の向上、科学的トレーニングさらに、競技器具の改良、施設の整備などが大きく影響を及ぼしているものと考えられる。競技種目の中でも、特に投てき競技の記録の向上は予期以上のものがある。

本研究でとり上げたやり投（男子）においては、1984年7月、東ベルリンの競技会で、東ドイツのUwe Hohnが104 m 80という驚異的な記録をうちたてた。

陸上競技の数多い種目の中でも、特に投てき競技の管理、運営は安全性の上から常に問題とされている。100 m 台のやり投の記録誕生を契

機に、1984年 I.A.A.F(国際陸上競技連盟)では、やり投のルール改正を決定した。その主たる理由は、一周 400 m 競技場のフィールド部を占める長軸の長さが、100 m 以上のやりの飛行距離の場合、トラックにはみ出る危険性があり、他の競技種目の進行を妨げることが生じることや、また現状のやりでは、落下の際、記録公認の条件としての穂先の印跡判定が困難であること、さらに、やりの材質・規格からみて、ルール上、若干の幅があり、「滑空」やりとして使用されていることなどから、風速・風向に左右されることがあり、非常に偶然性が生ずること、以上のような観点から、I.A.A.Fは1986年4月よりルールの改正を試み、新式のやりを採用するに至った。

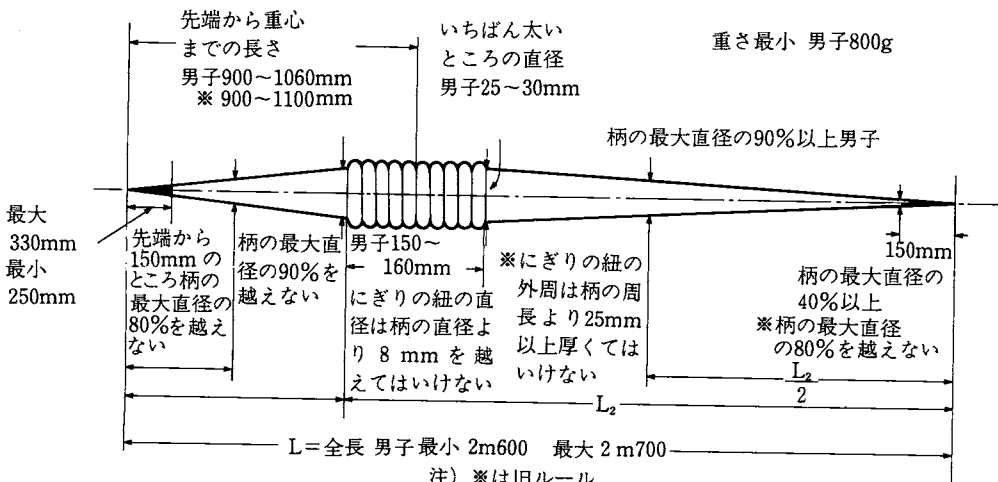


図1 新ルール及び旧ルールにおけるやり(陸上競技ルールブック'86: あい出版より引用)

昭和 61 年 9 月 16 日 受理

* 金沢大学大学院教育学研究科

新式やりへ移行してから約5ヶ月、競技者にとってかなりの問題点が生じてきている。「旧式やりに比べて約10%記録が落ちる」や、「あまり変化は生じない」など反応はさまざまである。

実際に最近の競技会では、やりの飛行が以前のやりと比較して、飛行径路に大きな変化がみられる。特に水平飛行から落下に及ぶ径路が時間的に早いことが認められる。すなわち、落ち始めがかなり早いことが証明されている。その結果、飛行距離に影響を及ぼし、記録の低下が当然の結果として現れてきている。

そこで本研究は、実際にやり投のルールが変更されたことによって、やりの飛行はどう変化したのか。また、新式やりと旧式やりの飛行の比較、さらに、新式やりへの対応はどうすればよいのか。このような課題から、実際のやりの飛行をもとに、新ルール移行に伴うやり自体の

飛行の変化を分析し、新式やりへの対応に関して何らかの示唆を与えることを目的とするものである。

II. 方 法

○測定・分析に用いた競技会

- ・昭和59年9月 北陸三県対抗陸上競技大会
(分析投数 48投)
- ・昭和59年10月 日本学生陸上競技対校選手権大会 (分析投数 60投)
- ・昭和61年6月 日本学生陸上競技対校選手権大会 (分析投数 25投)
- ・昭和61年7月 加賀市陸上競技場オープン記念記録会 (分析投数 24投)
- ・昭和61年7月 石川県陸上競技選手権大会
(分析投数 60投)

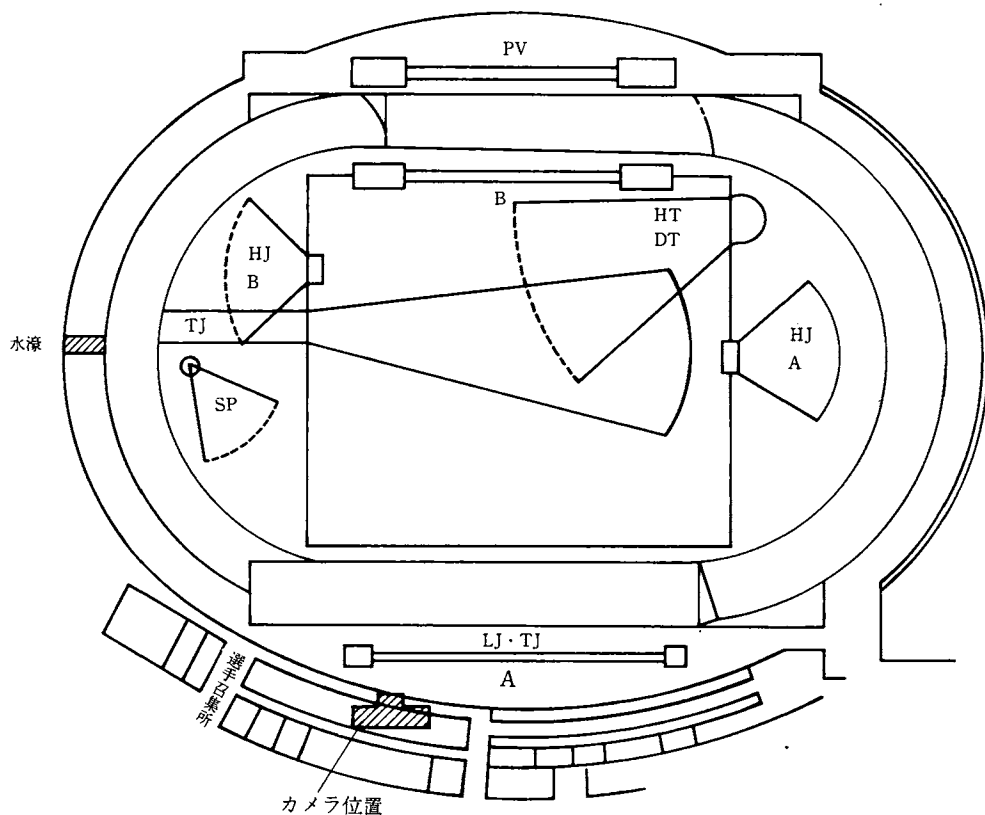


図2 測定位置

・昭和61年8月 北陸地域陸上競技選手権大会 (分析投数 90投)

○測定の方法

図2の位置より、SONYビデオカメラレコーダーCCD-V8を用い助走からやりの落下時までのやりの状態を撮影した。収録した映像からやりの飛行図を作成し、それをもとにやりの姿勢角・迎え角の変化をグラフ化した。次にこの飛行図、姿勢角・迎え角変化のグラフ、及び収録した映像等をもとに考察を進めた。

尚、収録した試技数は、延べ100名以上のサンプルであり、1競技者3～6投、計約400投分の試技であった。そして、この中から旧式やりによる試技を3例、新式やりによる試技を3例、計6例を標本とし、その他はすべて資料として利用した。

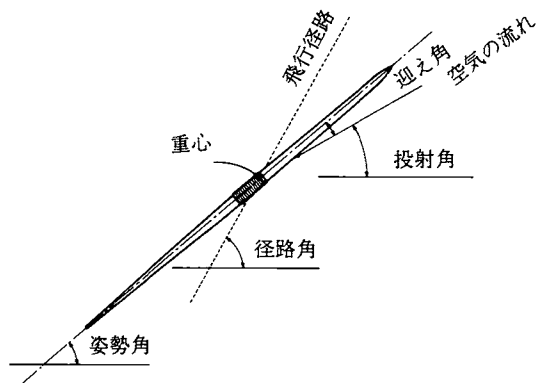


図3

III. 結果及び考察

表1 新旧やりによる記録の差 (昭和61年8月31日現在)

競技者	今季ベスト記録	昨年までのベスト	差(m)
1	78.80	85.56	-6.76
2	78.54	77.38	1.16
3	77.56	85.80	-8.24
4	73.90	78.76	-4.86
5	72.32	79.10	-6.78
6	71.90	76.22	-4.32
7	69.72	76.80	-7.08

8	68.86	78.26	-9.40
9	68.74	78.36	-9.62
10	68.66	70.10	-1.44
11	68.34	70.68	-2.34
12	67.66	75.36	-7.70
13	67.64	64.72	2.92
14	67.40	68.86	-1.46
15	67.26	76.38	-9.12
16	67.20	70.52	-3.32
17	66.80	70.68	-3.88
18	66.46	70.80	-4.34
19	66.36	69.62	-3.26
20	66.26	75.82	-9.56
21	66.08	75.50	-9.42
22	66.00	67.24	-1.24
23	65.82	74.54	-8.72
24	65.74	68.84	-3.10
25	65.56	70.78	-5.22
26	65.52	65.68	-0.16
27	65.46	71.24	-5.78
28	65.40	67.26	-1.86
〃	65.40	69.50	-4.10
30	65.20	70.18	-4.98
31	65.16	63.36	1.80
32	65.08	70.98	-5.90
33	65.02	65.76	-0.74
34	64.72	71.20	-6.48
35	64.58	*67.08	-2.50
36	64.52	64.50	0.02
37	64.34	66.74	-2.40
38	64.18	64.18	0.00
39	63.96	67.88	-3.92
40	63.80	70.34	-6.54
41	63.76	71.00	-7.24
42	63.68	60.66	3.02
43	63.66	62.36	1.30
44	63.64	69.72	-6.08
〃	63.64	64.28	-0.64
46	63.62	69.14	-5.52
47	65.32	63.88	1.44
48	63.02	70.98	-7.96
49	62.76	70.46	-7.70
50	62.72	73.86	-11.14
51	62.68	65.42	-2.74
52	62.64	73.58	-10.94
53	62.56	71.34	-8.78
54	62.48	*69.62	-7.14
55	62.44	69.24	-6.80
56	62.34	66.36	-4.02
57	62.32	69.76	-7.44
58	61.86	66.92	-5.06
59	61.76	67.92	-6.16
60	61.72	66.64	-4.92

61	61.68	67.28	-5.60
62	61.58	67.36	-5.78
63	61.30	60.68	0.62
64	61.28	68.10	-6.82
65	61.14	61.38	-0.24
66	61.02	70.02	-9.00
67	60.96	67.84	-6.88
68	60.94	63.38	-2.44
69	60.90	68.26	-7.36
70	60.66	68.58	-7.92
71	60.48	67.84	-7.36
72	60.30	66.10	-5.80
73	60.28	68.22	-7.94
74	60.18	63.42	-3.24
75	60.08	61.60	-1.52
76	60.00	63.36	-3.36

$\bar{x} = -4.68$

※は一昨年度の記録

新ルール元年である本年、現時点まで新式やりに関しては、いろいろな問題点が提示されてきている。新式やりに関して独自の意見を持つ者の中には、既に、新ルール移行に伴って投射方法を変えようとしている者もみられる。I.A. A.Fの思惑からすれば、新式やりではこれまでより記録が伸びないのは当然の結果であり、争点は、その低下がどの程度なのか、また、この新式やりに競技者たちがどう対処していけばよいのかということになる。

低下度を見るために、本年度(昭和61年8月31日まで)の競技成績(記録)と昨年度の競技成績を比較してみた。(表1)この表で見ると記録の低下は明瞭である。表1で明らかなように、最も低下した者で11.14mであり旧式やりの時の記録の約15%にあたる。逆に新式やりが変わってから記録が向上した者は76名中8名で最大が3.02mであった。しかし、ルール改正前の成績と新式やり使用の今年の成績との記録差のみからは、この原因を理論づけることはやや危険であり、一般的に記録低下の傾向を知るだけに留めておかねばなるまい。このことは、競技者たちの力量は刻々と変わってきており、昨年と本年では大部分の競技者たちは鍛練期を経てきているのが普通で、技術的にも体力的にも大きく変化していることを考慮する必要がある。

また、両方の記録を出した時の外的諸条件も異なり、両者を比較して単に器具が変わったためであるとするのは、やや無理なように思われる。ただ、76名中67名が低下しているということはやはり、新式やりでは明らかに記録が低下する傾向があると考えられる。

(1) 飛行の前半について

やりは、その重心の位置よりも圧力の中心が後方にある時、安定しているものである。そして、空気力学的にこの安定している状態がパフォーマンスに影響を及ぼしていると考えられる。やりの状態がどれほど安定しているかは迎え角によってわかる。迎え角の安定がそのまま姿勢角を安定させ、やりの状態を安定させるのである。図4～9を見ると、飛行の前半ではやりは非常に安定しているといえる。やりの新・旧を問わずこのことは同様であると思われる。同一人物による試技の図6、7を比較しても新式やりと旧式やりの違いはほとんど見当たらない。ただ、図6、7の迎え角の増加で図4、5に比べて微妙な変化を認めることができるのである。つまり、図4～7のどの場合も迎え角が時間とともに少しずつ増加しているが、図6、7の場合、図4、5よりもその増加の割合が大きいのである。図8、9の試技ではさらにその割合は大きくなり、違いが明確になってくる。この迎え角の増加の意味するところは非常に重要である。すなわち、この違いと直結しているのがパフォーマンスの差である。パフォーマンスの差は投射スピードが最も重要な要素であることを考え合わせれば、この迎え角の増加の割合と投射スピードは何らかの関係があると言わざるを得ない。迎え角がこのように増加するのは、この時、わずかの負のピッチングモーメントが存在するということである。負のピッチングモーメントの存在は圧力の中心を後方へ移動させることになり、このことは正のピッチングモーメントを生むことに必然的につながるようになる。そして、重心の後ろのある位置で安定することになる。投射スピードが遅いということは、

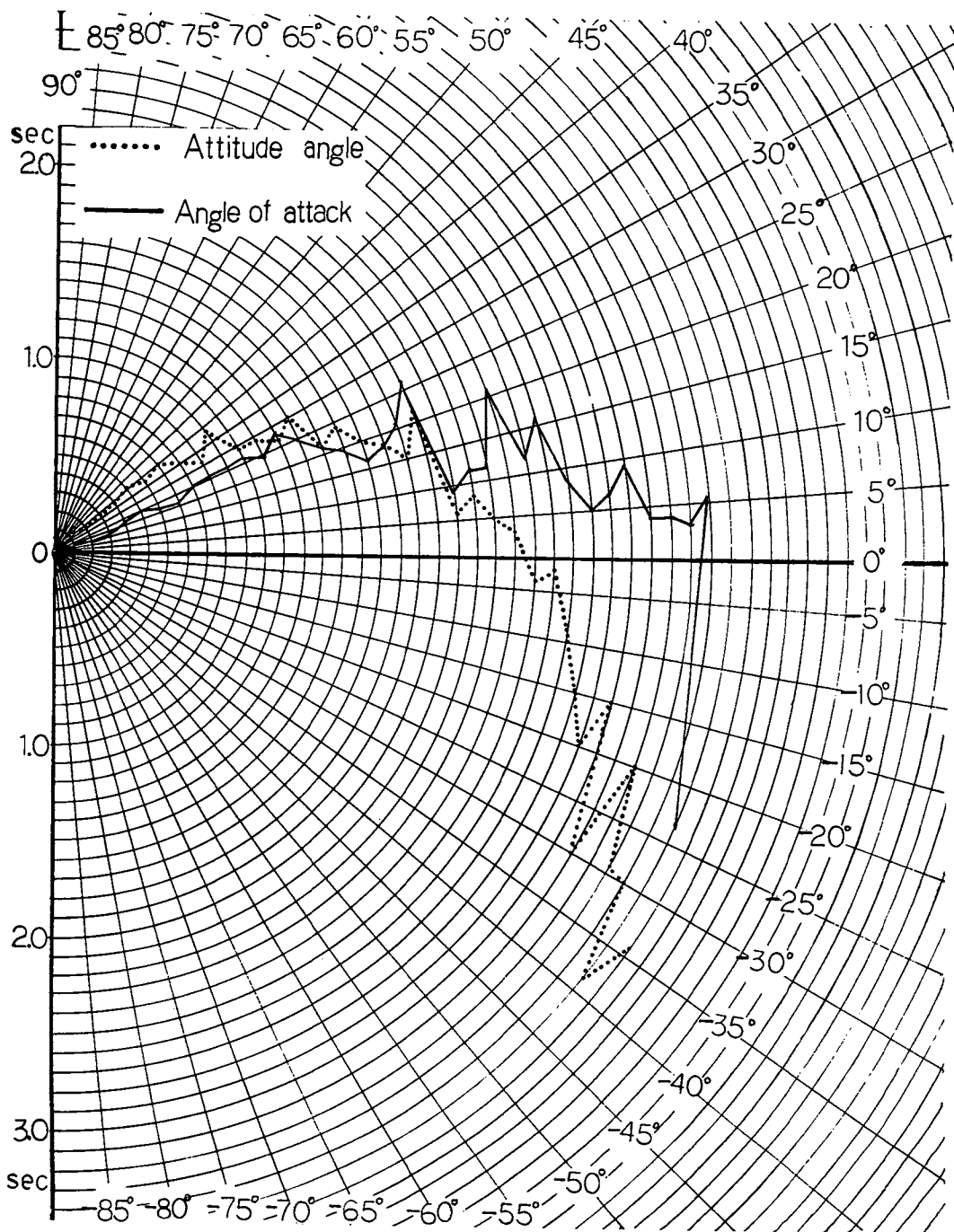


図4 新式やりによる試技〈M・K〉(72m台)

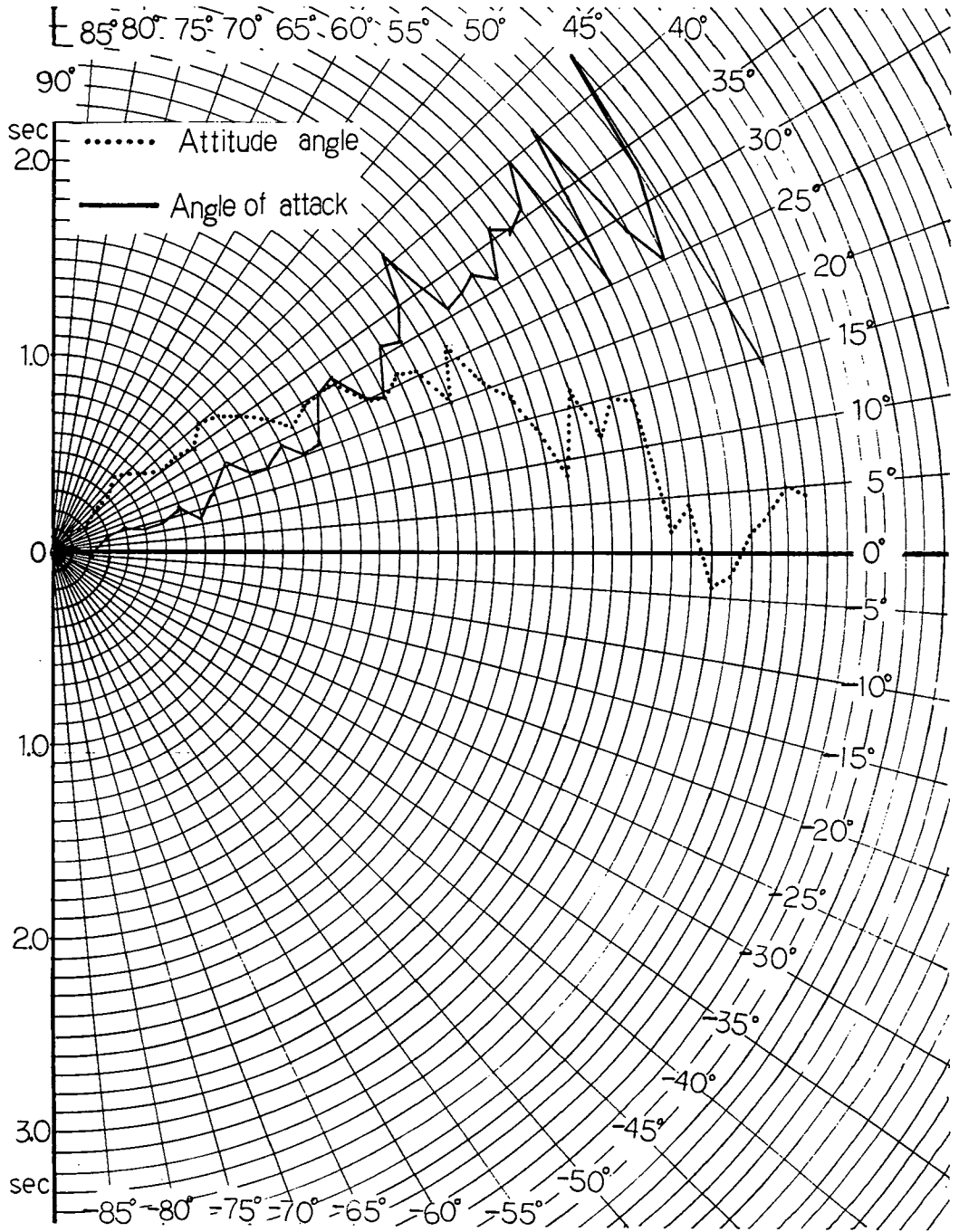


図 5 旧式やりによる試技 <J・Y> (72m台)

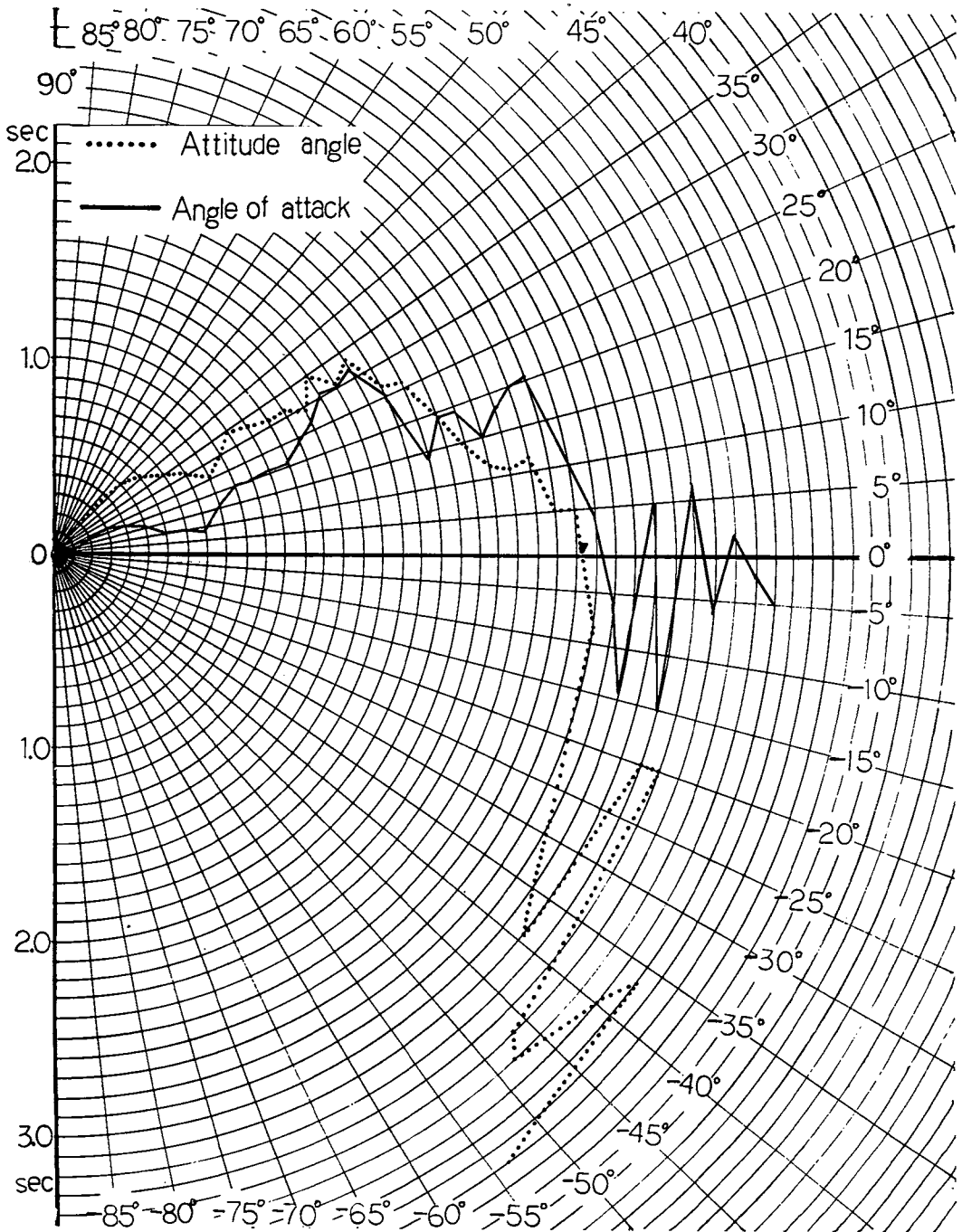


図6 新式やりによる試技〈N・W〉(66m台)

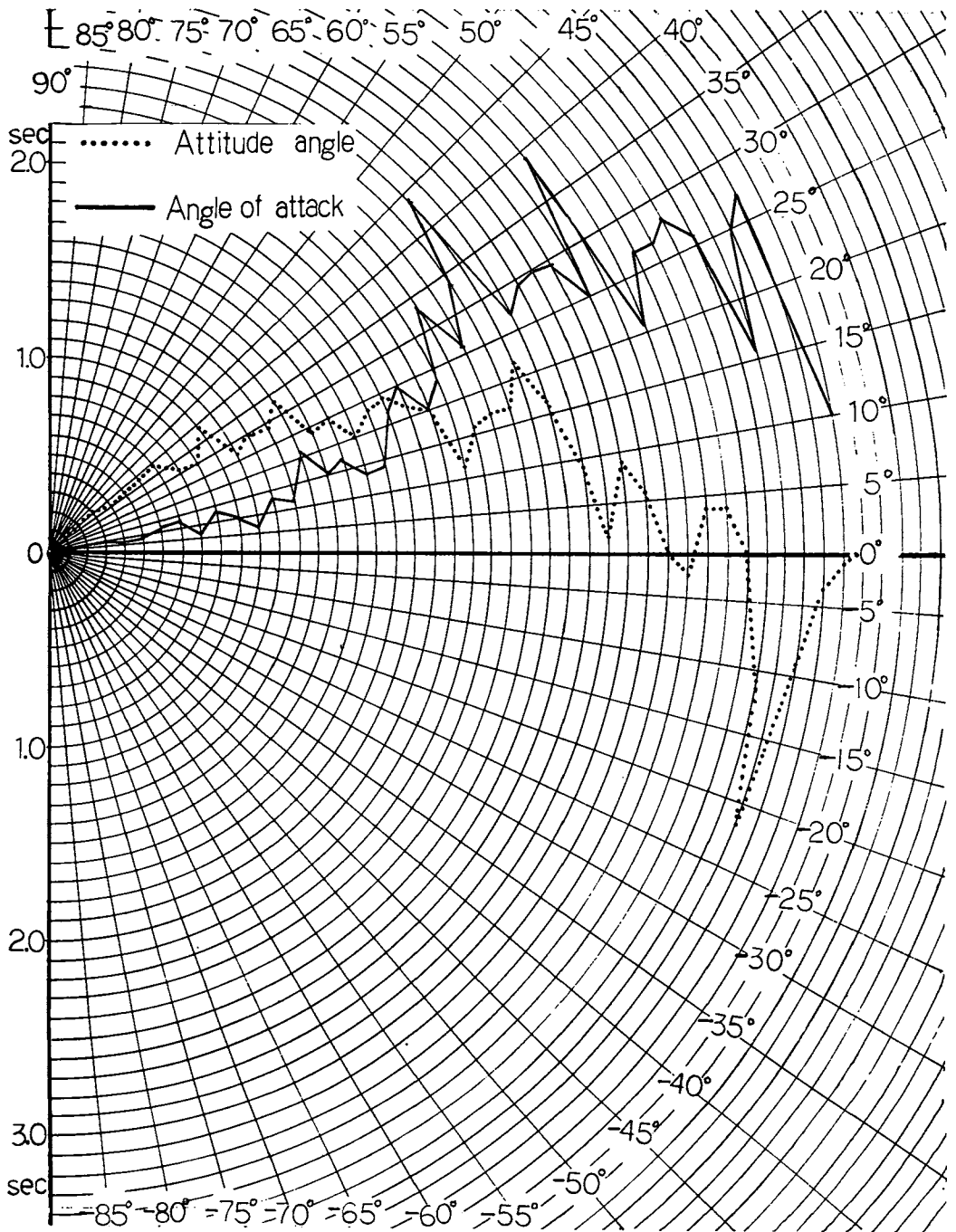


図 7 旧式やりによる試技 <N・W> (72m台)

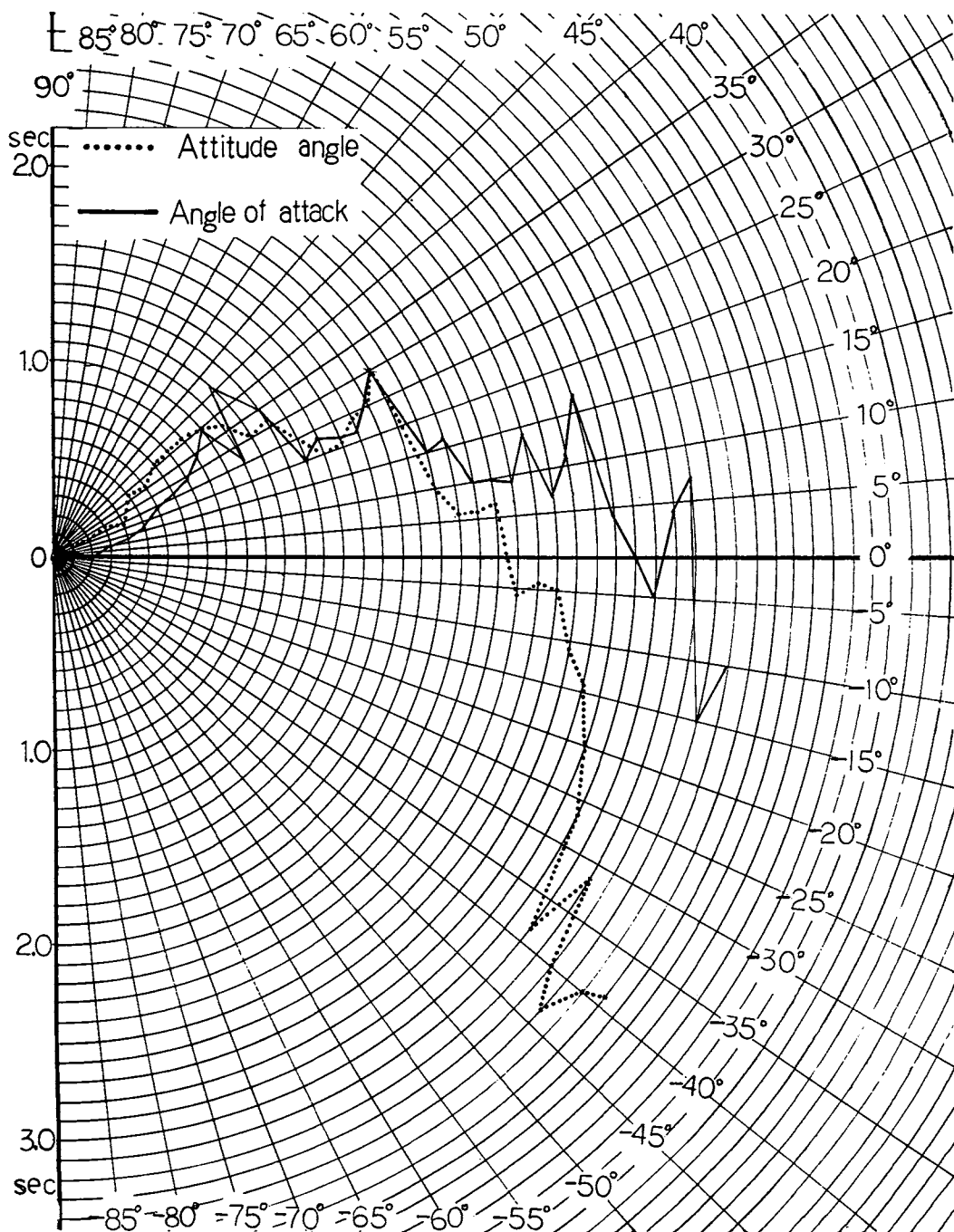


図8 新式やりによる試技〈M・M〉(64m台)

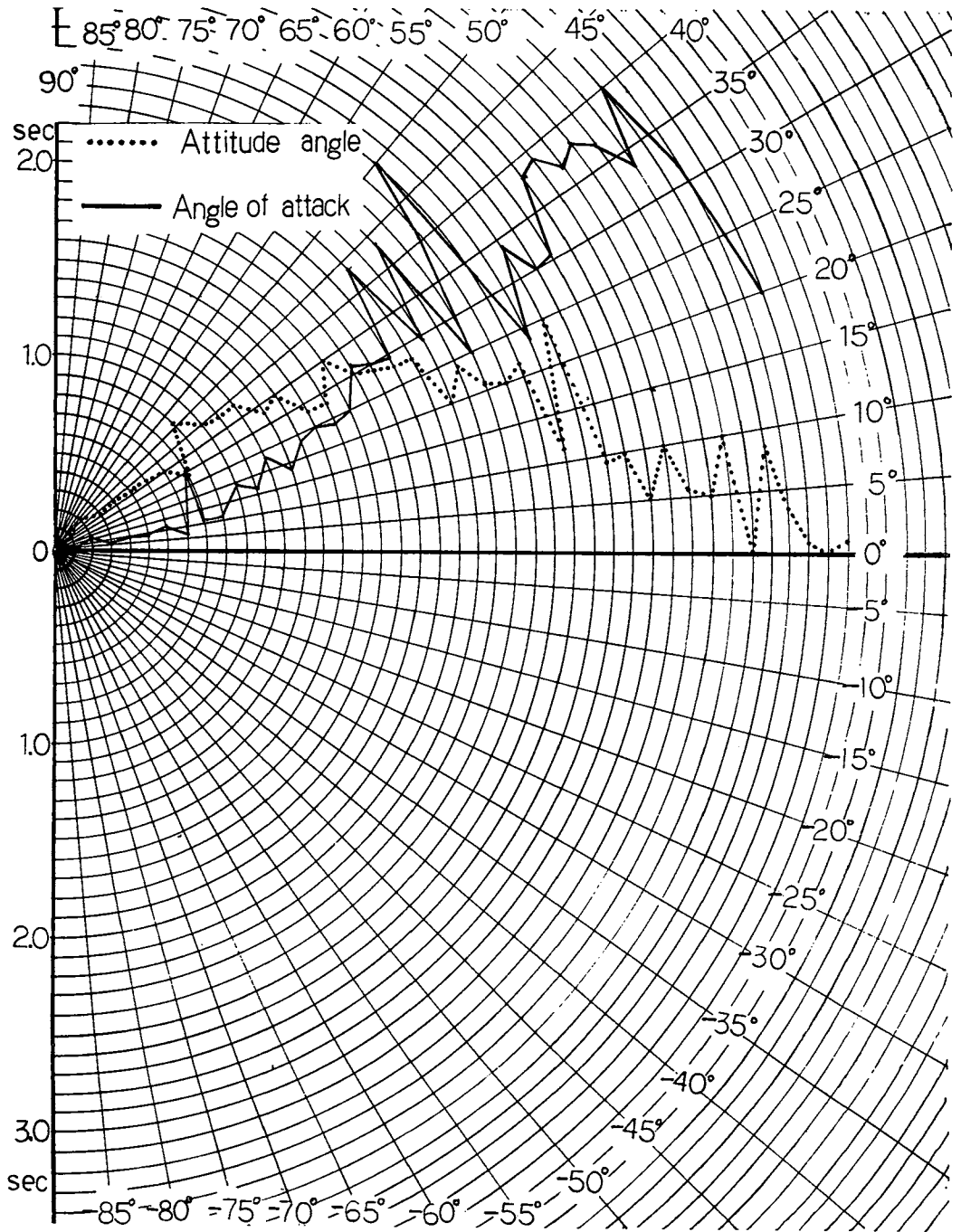


図 9 旧式やりによる試技〈M・M〉(67m台)

そのような安定をするまでに時間がかかるということになり、よい結果を得ることが出来なくなる。また、この安定するまでの飛行状態は以後の飛行状態に影響を及ぼすことも図4～9から明らかに認めることができる。

(2) 飛行の後半について

新式やりと旧式やりの違いをこの区間で、はっきり認めることができる。実際、競技者からは新式やりに変更されて間もないころ「落下するのが早い」の声が多く聞かれた。それを図では明瞭に示している。

落下するのが早いと思わせるのは姿勢角が急激に減少するからであろう。そして、その急激な減少は旧式やりと比べると加速的とも言えるようである。ここで注目されるのは、N・W、M・Mに比べてM・Kの試技の姿勢角変化がゆるやかである点である。旧式やりと新式やりほどの違いはないにしても、確かにN・W、M・Mのそれよりゆるやかである。飛行後半における旧式やりの姿勢角のゆるやかな減少は、Dyson, Teraudsが指摘するように滑空によるものである。図5, 7, 9の飛行後半における迎え角の増加がそれを裏づけている。しかし、N・Wの新式やりの場合はこれと異なる。滑空するために必要な迎え角の増加が見られず、逆にゆるやかな減少が見られるのである。ゆるやかな迎え角の減少は正のピッチングモーメントのゆるやかな増加を意味し、滑空しない飛行をする新式やりには高いパフォーマンスを得るための不可欠の条件であるといえる。つまり、このゆるやかさが新式やりで飛距離を伸ばすための方策をほのめかしているのである。M・Kの場合とは対照的な落下をしているN・Wの試技はこの意味では、新式やりでの快心の一投とは言いがたい。むしろ、M・Mの試技の方が姿勢角・迎え角の減少がゆるやかであり、新式やりの飛行としては合理的な飛行径路を示しているものと推察される。

このように飛行後半では旧式やりは滑空の状

態を示し、そのことが飛距離増大につながっていたが、新式やりではそれがないために、いかにして姿勢角・迎え角の減少をゆるやかにするようくい止めるかが飛距離増大につながると考えられる。このことが新式やりの大きな課題とも言えるようである。

(3) 飛行全体について

これまで、飛行を前半と後半に分けて分析してきたが、それらを含めて飛行全体についてさらに分析を試みた。

飛行全体を通して常にやりの状態に影響を及ぼすと思われるのは迎え角の変化である。やりが空中へ放り出された後は、相対気流との関係を示す迎え角との関係が最も重要であることは疑いがない。迎え角の大きな変化はそれ以後のやりの状態を不安定にすることになる。図8のように投射後約1.4秒後に迎え角が減少し、その後約1.9秒後まで増加している。このような迎え角の急激な減少は圧力の中心を後方へ急激においやることになり、大きな正のピッチングモーメントを生むことになる。この正のピッチングモーメントが次に圧力中心を前方へ移動させることになり、今度は負のピッチングモーメントを生むことになる。結果として、これがその時点のやりのスピードとピッチングモーメントが釣り合う状態になるまで続くものと考えられる。つまり、図8で現れている迎え角の大きな増減はこれがくり返されているものと推定される。やりはその形状が棒状であることのために、このような現象が起こるものと思われる。図6においても大きな迎え角の変化が飛行の半ばで認められ、これが後の飛行状態に少なからず影響を与えているものと考えられる。負のピッチングモーメントの存在は、やりにおける抗力が大きくなり、やり自体に抵抗を受けているのである。抵抗は減速を意味し、飛距離増大のためには明らかに不利になる。したがって負のピッチングモーメントが生まれないように投げ出すのが合理的であると考えられる。図4

ではN・W, M・Mに比べて全体的に迎え角の変化が非常に小さく、極端に増加している箇所がない。このことから飛行全体を通してやりが安定していることがかなり明瞭である。

また、図4と図8を比較すると投げ出し直後の状態が非常に類似していることがわかる。しかし、結果はその後のやりの安定度が示す通り72m台と64m台となり、大きな差となって現われている。この差が生じる原因として考えられることは、前述のように投てき種目では投射スピードとピッチングモーメントが最も重要な要素であり、このスピードとピッチングモーメントとの関係が深いことである。すなわち、同様なやりの状態であっても(この場合、両者とも投げ出し直後は負のピッチングモーメントを生む可能性がある)投射スピードによってピッチングモーメントも変わり、圧力の中心が移動する速度も変わってくることを考慮しなければならない。投射スピードに応じた姿勢角と迎え角をどのように距離向上に役立たせたかを検討しなければならない。M・Mの試技においては、この両者のバランスがとれていなかったものと考えられるが、M・Kと比較してその差をみるならば投射スピードの差と考えることができよう。

一方、旧式のやりは新式やりに比べて全体的に迎え角変化が激しい。新式やりではその迎え角変化はある程度大きな波となって表れているが、旧式のやりの迎え角の変化は時間的に変化してきている。とくに、後半の激しさは注目する必要がある。本来、旧式のやりはこれまでのルール規定内で出来るだけ飛ぶように設計された。いわゆる「滑空」やりで競技者たちは、旧式のやりでは「滑空」にたよっていたところがある。「滑空」とはこれまで述べてきたようにやりの重心と圧力中心とのバランスが保たれた状態に起こるのである。旧式のやりでは飛行の後半に滑空することから、この後半の迎え角の変化の激しさは滑空するために、圧力中心が刻々と変動し、バランスを保とうとしている結果なのである。それだけ、旧式のやりにはやり自体

にそのバランスを保とうとする性質が備わっているのである。換言すれば、新式のやりがそのような時間的変化をする迎え角があまり見られないのは、それだけ投射時のやりの状態がほとんどパフォーマンスに直結するのではないかと考えられる。新式やりは、このようにわずかの変化が敏感に記録に影響するものと思われる。

次に、飛行時間については、図4と図5、図6と図9がほぼ同じ距離に達しているのをこれを比較すると、新式やりの方が比較的短かい傾向である。これは、旧式やりは主として、空気力学的な設計をもとに作られたやりであることから、飛行中の安定性を増し、よりよい揚抗比を与えたからである。この点からも新式やりの方が旧式やりよりも記録が低下するということがわかる。そして、飛行時間が新式やりでは短くなるということも新式やりでは早く落下するという競技者たちの声に表れるのであろう。

IV. ま と め

1986年9月 やり投は新ルールに移行以来、これまでいろいろなことが言われてきた。そして、結果的に、ほとんどの競技者が旧式やりの時よりも記録が低下していることが判明された。しかし、今後、このルールが継続される以上、記録向上のために、対処しなければならない。本研究は、その手がかりをつかむために、旧式やりと新式やりとの飛行を比較、分析したものである。その結果、旧式やりと新式やりの飛行について次のような相違点がみられた。

1. 新式やりの飛行後半における急激な姿勢角の減少。
2. 旧式やりでは飛行後半で迎え角が徐々に増加し、新式やりでは徐々に減少すること。
3. 新式やりの迎え角は、旧式やりに比べ大きくゆっくりと変化していく傾向である。
4. 旧式やりは飛行の後半で滑空するため、

迎え角変化が激しく小さきみである。

5. 新式やりでは旧式やりよりも飛行時間が短くなる傾向がある。

そして、これらの点をふまえ、旧式やりから新式やりへの移行に伴い次の点に留意し、対処していく必要がある。

- 新式のやりが旧式やりよりも迎え角に関して敏感に対応すること。
- 新式のやりは旧式やりよりも投射スピード（リリース時のスピード）に大きく影響される傾向がある。
- 新式のやりでは、滑空しないように設計されているため、飛行後半での姿勢角・迎え角の減少をゆるやかにするようにする。

以上が新式やりで飛行距離増大のための要点

となるものである。やり投はもともと長い棒状のものを投げる競技であり、そのことは不変なことなのである。競技者にとって、改正されたやり投のルールに適應するために、これらの要点を十分に踏まえて訓練する必要がある。

参 考 文 献

- 1) G. Dyson (1977) The Mechanics of Athletics p. 230~233. University of London Press Ltd.
- 2) 池上康男 (1982) J. J. Sports Sciences p. 99~p. 103. 日本バイオメカニクス学会編
- 3) Juris Terauds (1985) BIOMECHANICS OF THE JAVELIN THROW ACADEMIC PUB. LISHERS.
- 4) 宮下充正ら 昭和52年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. IV 投能力の向上に関する研究—第2報—
- 5) 全国高体連陸上競技部編 講談社スポーツシリーズ 高校生の陸上競技 p. 238~257 講談社