

65mクラスと90mクラスのやり投げ動作比較

A Comparative Study of Throwing Kinematics Between 65m Class and 90m Class.

青山利春* 若山章信** 桜井伸二***
池上康男*** 岡本 敦***

Akinobu WAKAYAMA*, Toshiharu AOYAMA**, Shinji SAKURAI***
Yasuo IKEGAMI***, Atushi Okamoto***

The throwing motions of world top class athletes (over 90 meters) throwing and Japanese top class athletes (over 65 meters) throwing were filmed by using two high speed Cine-cameras. These were then analyzed kinematically by the three dimensional DLT method. In the high school championships of Japan, throws from 63 meters to 66 meters (average 64 meters) were analyzed two dimensionally.

The most obvious differences in kinematics between the two levels were the foot landing time from pivot foot (right foot of the right arm thrower) to final foot (left foot), and the ratio of the distance of arm movement from final foot contact to release and pivot foot contact to release expressed as a percentage (arm movement ratio). The foot contact time of J. Zelezny (world record holder) was 157 msec and his arm movement ratio was 61.0% and that of K. Kinnunen's ('91 gold medalist) was 186 msec and 58.6%. The averages for the six athletes throwing about 65 meters were 219 msec and 53.1%. One of the reasons for the differences mentioned was caused by the pivot foot brake to lose run-up speed. After the moment of pivot foot contact, that speed was maintained by the world class athletes, but in the under 70 meters class, that speed was decreased before final foot contact. In this case, the final foot contact was delayed and the upper body and upper extremity moved forward too much before final foot contact, causing the arm movement from pivot foot to final foot contact to increase and arm movement from final foot contact to release to decrease thereby causing the arm movement ratio to decrease.

目 的 1993年度の男子やり投げの記録をみると、世界ランク1位は95m66 (J.ゼレズニー選手)であったのに対し、日本ランク1位は76m58 (溝口和洋選手)と、20m近い差であった。'89年度には、溝口選手が87m60の記録で世界ランク1位であったことを考えると、この4年間で世界との格差が急速に広が

* 国士舘大学 日本陸連強化本部

** 財団法人 スポーツ医・科学研究所 日本陸連科学委員会

*** 名古屋大学 日本陸連科学委員会

**** ノートルダム女子大学

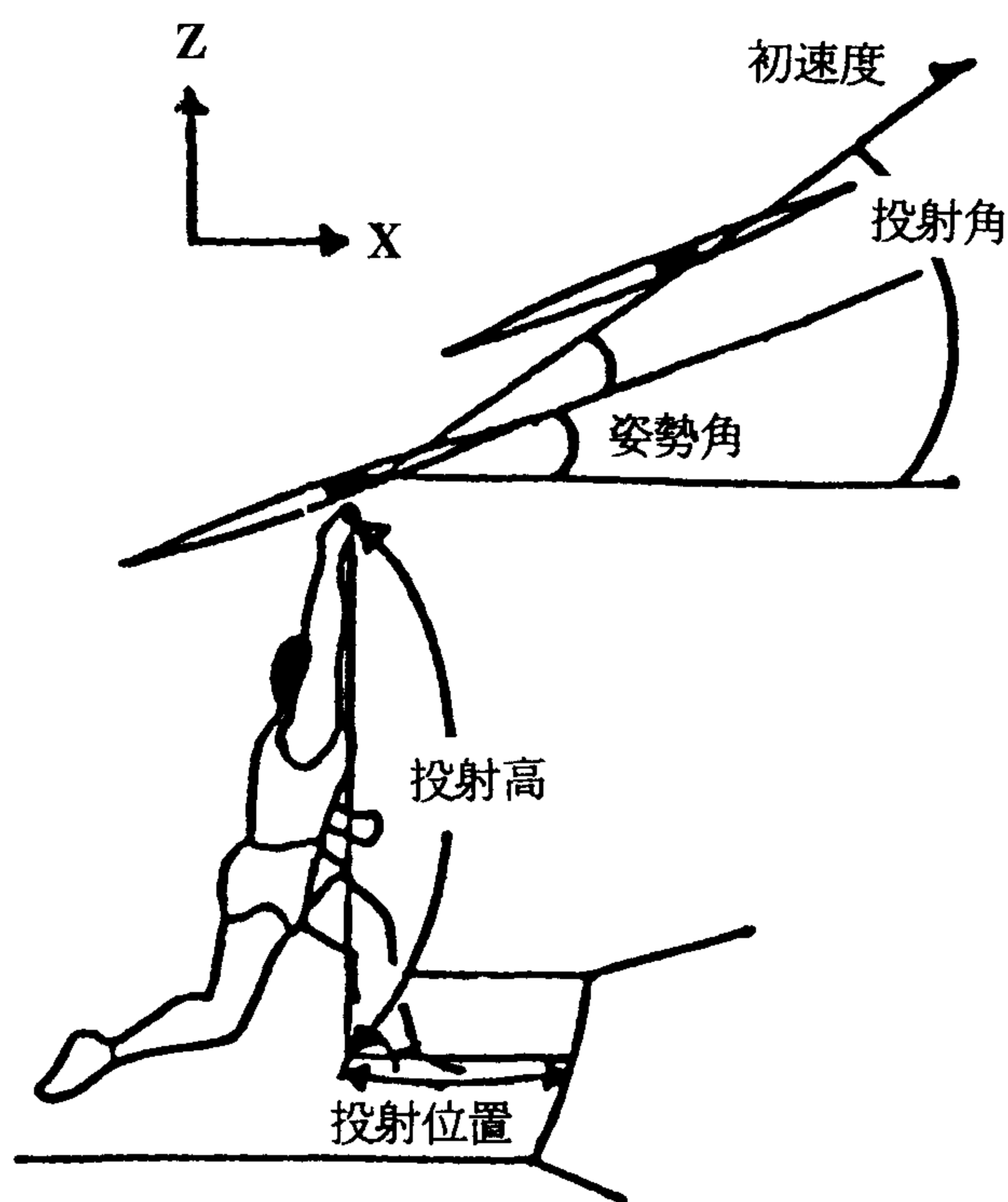
ったといえる。そして、この記録の格差は、技術的な差にも依存しているものと推察される。そこで本研究では、世界のトップレベル（90mクラス）と、日本の65mから70mクラスの男子のやり投げ選手の動作分析を行い、技術面の相違を検討した。

方法

2-1. 撮影方法および分析方法

撮影は、'91年8月の東京世界陸上競技選手権および'93年3月の全日本強化合宿（於：財団法人スポーツ医・科学研究所）、8月の全国高校総体体育大会決勝（於：宇都宮競技場）、そして9月のTOTOスーパー陸上競技大会決勝（於：福岡競技場）の計4回行った。投てき動作の撮影および分析方法は以下の通りである。

- '91世界陸上：16mm高速度カメラ（100コマ/秒）2台 3次元分析
- '93全日本強化合宿：高速度ビデオ（200コマ/秒）2台 3次元分析
- '93高校総体：家庭用ビデオ（60コマ/秒）1台 2次元分析



垂直面（右側方より）

図1. 分析項目1

'93TOTOスーパー陸上：16mm高速度カメラ（100コマ/秒）2台 3次元分析

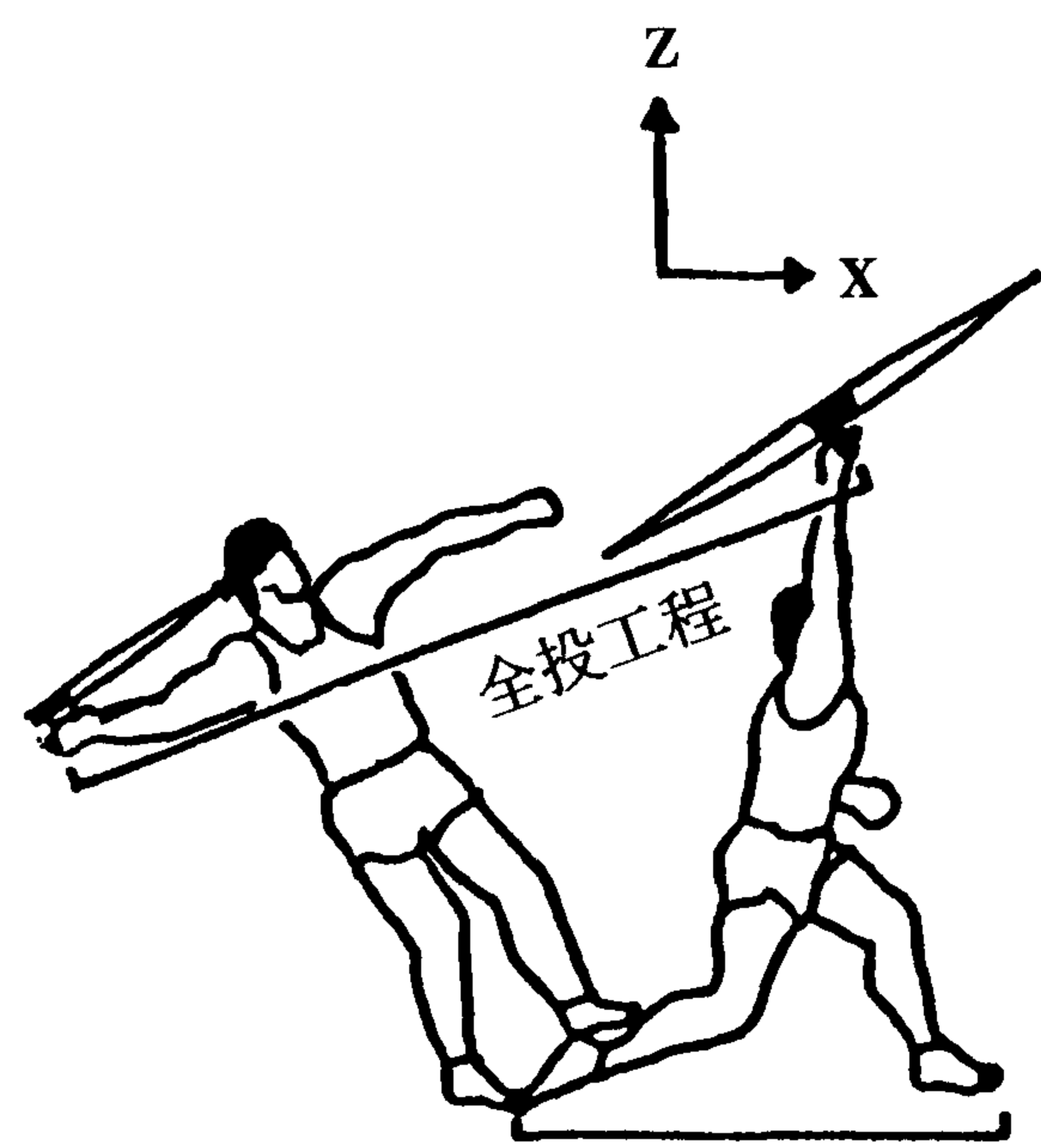
なお、3次元分析ではDLT法²⁾を用いた。日本の対象選手は、表1に示した2名および高校総体上位6名であった。この、計8名の動作分析の結果を、TOTOスーパー陸上競技大会におけるJ.ゼレズニー選手（世界記録保持者）と'91年東京世界陸上におけるK.キンヌネン選手（優勝）およびS.ラテュ選手（2位）の分析結果と比較検討した。

表1. 分析対象者と分析記録

	分析記録(m)	大会名
ゼレズニー	86.80	'93 TOTO SUPER
キンヌネン	90.82	'91 IAAF TOKYO
ラテュ	88.12	'91 IAAF TOKYO
土屋忠之	68.34	'93 SPRING CAMP
鈴木功太	62.50	'93 SPRING CAMP
高校総体平均	平均 64.12	'93 INTER HIGH

2-2. 分析項目

分析項目は、投げ出された直後のやりの初期条件として、初速度、投射角度、投射高、投射位置（ファール線からの距離）と姿勢角を分析した



（右側方より）

歩幅

図2. 分析項目2

(図1)。次に投てき動作をみるために、投てき最終局面の右足接地から左足接地までの時間と歩幅、さらにその間のやりの移動距離(投行程1)と左足接地からリリースまでのやりの移動距離(投行程2)および全投行程(投行程1+2)を分析した(図2)。

なお、分析した選手はすべて右投げであったため、以下、左右の区別は右投げを基準とした。

ける場合は重力の助けを借りることになる)ため、ゼレズニー選手やキンヌネン選手が32度前後でやりを投げだした場合の初速度は30m/秒以上になることが予想され³⁾、4m/秒程度の差があるといえる。

この初速度の差が記録に及ぼす影響を、投射角が同じ(30度)で、異なる初速度(27m/秒; 30m/秒)を与えられた物体の飛距離の差として

表2. 初速度、投射角と予測記録

	初速度(m/s)	投射角度(deg)	姿勢角度(deg)	投射位置(m)	予測記録(m)	記録(m)
ゼレズニー	30.0	38.6	37.4	3.17	88.27	86.80
キンヌネン	29.1	37.6	39.7	2.17	83.98	90.82
ラチュ	29.0	38.9	27.6	1.92	84.10	88.12
土屋忠之	27.0	39.9	41.7	0.69	74.74	68.34
鈴木功太	24.8	33.6	33.1	2.50	57.87	62.50
高校総体平均	36.3	32.4	35.6	3.00	63.52	64.12

結果および考察

3-1. やりの初期条件

表2にリリース時のやりの初期条件を示した。まず、初速度と投射角であるが、高校総体平均値は26.3m/秒の初速度で32.4度の投射角であった。そして鈴木選手と土屋選手がそれぞれ、24.8m/秒; 33.6度、27.0m/秒; 39.9度であった。この初速度と投射角は、世界レベルの選手(29m/秒; 37度以上)と比較すると明らかに低い値であることがわかる。特に初速度は、投射角を小さくすれば逆に大きくなる(重力の影響; 例えば真上に投げる場合は重力に逆らうことになり、真下に投

考えると表3のようになる(投射高、空気抵抗は考慮せず)。

すなわち、30m/秒では約80mの飛距離になるのに対し27m/秒では約65mと、3m/秒の速度の違いが15mもの飛距離の差を生じさせることになる。

次に投射角の差についても考えてみよう。前述したように投射角を上げると初速度は低下する。投射角を10度上げた場合には、1.3m/秒程度初速度が低下する¹⁾。したがって、先に計算した30度の投射角において27m/秒の初速度のやり(飛距離約65m)は、40度の投射角では25.7m/秒の初速度となる。

表3. 初速度が記録に及ぼす影響

	27m/秒	30m/秒
垂直速度	$27 \times \sin 30 = 13.5 \text{m/s}$	$30 \times \sin 30 = 15.0 \text{m/s}$
最高点に達する時間	$13.5 \div g(9.8) = 1.38 \text{s}$	$15.0 \div g(9.8) = 1.53 \text{s}$
滞空時間	$1.38 \times 2 = 2.76 \text{s}$	$1.53 \times 2 = 3.06 \text{s}$
水平速度	$27 \times \cos 30 = 23.4 \text{m/s}$	$30 \times \cos 30 = 26.0 \text{m/s}$
飛距離	$23.4 \times 2.76 = 64.58 \text{m}$	$26.0 \times 3.06 = 79.56 \text{m}$

この場合の飛距離は約67mとなり、高々2mの違いでしかない。すなわち、世界レベルの選手との記録の差は初速度の差によって生じるといえる。

次に、その初速度の違いを生む投てき技術の違いについてみることにする。

3-2. 投てき動作の違い

表4に各選手の歩幅と投射高を示した。まず歩幅をみると、世界レベル、日本選手とも平均して身長程度（歩幅身長比=1.00）で明らかな差はみられなかった。投射高についても、身長よりやや低い程度（投射高身長比 \leq 1.00）でほぼ同様であった。次に投行程（表4）をみると、全

そのためには長い投行程が必要となる。さらに、投てき動作は左足接地の直前に開始されるので³⁾、投行程全体を投行程1と2に配分するならば、特に左足接地後の投行程2が長いほうが有利であるといえる。また、この動きは、左足接地時に腕が後方に残った、いわゆる「むち運動」が強調された動作ととらえることができる。すなわち、世界のトップ選手の技術は、やりに大きな初速度を与えるのに合理的な動きであったといえる。

これを技術的に捉えると、最終投てき局面の右足接地から左足接地までの速さの差も一要因といえる（表5；接地時間）。すなわち、投行程全体を長くするために右腕を後方に残していても、左

表4. 歩幅と投射高

	身長(cm)	歩幅(cm)	歩幅身長比(%)	投射高(cm)	投射高身長比(%)
ゼレズニー	186	190	1.02	164	0.88
キンヌネン	186	180	0.97	177	0.95
ラテュ	189	162	0.86	178	0.94
土屋忠之	177	189	1.07	175	0.99
鈴木功太	183	189	1.03	182	0.99
高校総体平均	181	181	1.00	178	0.98

投行程は鈴木選手とキンヌネン選手がほぼ同じ325cmで、また、ゼレズニー選手は高校総体平均値よりも短い273cmと、特に記録に影響している傾向はみられなかった。しかし投行程1に対する投行程2の比率をみると、ゼレズニー選手が156.4%、キンヌネン選手が141.8%であるのに対し、高校総体平均では113.9%と、若干の違いがみられた。やりを加速する場合、長い距離にわたって力を加えていたほうが大きな速度を得られ、

足接地が遅れて上体が前方に大きく移動してしまう「まのび」した投げでは、投行程2の比率が低くなってしまふからである。実際、この比率が最も高いゼレズニー選手は、右足接地から左足接地の時間は0.18秒と最も速い結果であった。なお、このような動作の違いは、技術的な違いだけでなく、走能力や助走をブロックする左脚の筋力等、体力的な違いによっても生じるものと考えられる。体力の向上を踏まえた上での技術改善により、今

表5. 投行程と左足接地時間

	投行程1(cm)	投行程2(cm)	全投行程(cm)	投行程2/1(%)	接地時間(sec)
ゼレズニー	106	166	273	156.4	0.157
キンヌネン	134	190	324	141.8	0.186
ラテュ	125	163	288	130.4	0.216
土屋忠之	143	162	305	113.4	0.205
鈴木功太	143	182	325	127.0	0.235
高校総体平均	144	164	308	113.9	0.219

後の記録向上が期待できるといえよう。

ま と め

やり投げの国内一流選手および高校総体上位入賞選手の動作分析結果を、世界のトップ選手のデータと比較し、以下の知見を得た。

まず、飛距離の違いは初速度の差により生じていた。そして、初速度の差を生じる技術的な差のひとつとして、投てき局面における右足接地からリリースまでの間の右腕の移動距離を、左足接地以降に多く分配する技術が考えられた。なお、このような動作の違いは、技術的な違いだけでなく体力的な違いによっても生じるものと考えられる。国内のやり投げ選手のレベルの引き上げには、体力の向上を踏まえた上での技術改善が必要といえる。

なお、本研究は日本陸上競技連盟の研究活動報告の一部である。

参 考 文 献

- 1) Red W.E. and Zogaib A.J.: Javelin dynamics including body interaction. J. of applied biomechanics, 44-3: 496-498, 1977.
- 2) 池上康男: 写真撮影による運動の3次元解析法. J. J. of Sport Science, 2: 163-170, 1983.
- 3) 若山章信ほか: やり投げ. 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書-1991世界陸上競技選手権-. ベースボールマガジン社, 1994.