

砲丸投の投てき動作に関する研究(Ⅱ)

—「投げ」の動作について—

西	藤	宏	司
浅	川	正	一
三	浦	望	慶

ま え が き

「投げ」という動作を人間の基本的運動としてみた場合、その投てき物の大きさや重さが異なり、また投げの目的も正確に投げる、速く投げる、あるいは遠くへ投げるというようにさまざまなものがある。

その中で砲丸投げは、比較的重い球形の投てき物をより遠くへ投げようとするものであると位置づけることができよう。砲丸を遠くへ投げるためには、投てき角度や初速度が問題とされる。我々は前回まず歴史的な記録の変遷、および記録の向上に役立つとみられる諸要因について文献をもとに検討を加え、合理的なグライド動作について実験を行ない技術のポイントを明らかにし報告した。

その結果砲丸投げの初速のおよそ20%がグライド動作で生みだされ、80%は投げの動作で生みだされることが見出された。

そこで本研究は、砲丸の初速を生みだすため最も大きな投割りを果す投てき動作について砲丸の移動距離、速度や加速度の変化を比較し、さらに重さの違いによる投てき動作の変化をあわせて検討した。

これらの分析からより合理的な投げの動作を究明し、技術指導への手がかりを得ようとした。

研 究 方 法

1 被 験 者

被験者は、表1に示すように一般男子用砲丸投げの最高記録が異なる選手を6人選んだ。被験者A. T., K. M. については、全日本IC入賞者で熟練

表1 被験者の経験年数、体格および記録

	被 験 者	経 験 年 数	身 長	体 重	最高記録	ブレスの 記 録
1	A. T.	8	1.87	110	15.78	120
2	K. M.	8	1.72	92	14.70	90
3	T. N.	5	1.75	80	13.17	80
4	H. K.	3	1.83	86	11.01	70
5	I. T.	2	1.76	72	10.48	70
6	A. K.	1	1.70	68	9.99	70

者である。T. N. は中程度熟練者であり、被験者I. T., A. K., H. K. については、専門的に高度の練習を行なっていない者(未熟練者)たちである。

2 投てき動作

被験者はグラウンドに作られた直径2.135mの正規のサークルの中で16ポンド、12ポンド、8ポンドの砲丸を重い方から順にオブライエン投法で投げた。被験者はサークルの中央付近で投てきをおこなった。

3 映画撮影

投てき方向に直角の方向で被写体から約30m離れた位置にミリケンDB-55, 16mm高速度映画撮影機を1.2mの高さに固定し、75mm望遠レンズにより毎秒100コマの高速度撮影をした。

撮影したフィルムから移動距離を算出するために投てき方向に引いた砲丸のサークルの中心の両側1m間隔の等しい位置にマークを置いた(図1)被験者には、その中央で砲丸投げをした。

図1 映画撮影風景



4 フィルム分析

撮影したフィルムを16mmビューアーによって検討し、砲丸が手から離れるところ、砲丸が突き出されるところ、構えに入った時、両脚が地面についたところをみつけ、フィルムの横にマークを入れた。モーションアナライザーによって速度、加速度を求め写真引伸機を利用した図から投げの構えでの地面から砲丸の距離や投げで実際に砲丸に加えた距離、この距離の水平距離、垂直距離等を求めた。

5 期間および場所

1972年9月から11月中京大学（体育学部）と名古屋大学（教養部）グラウンド。

結果と考察

1 砲丸投の技術の違いと投てき動作

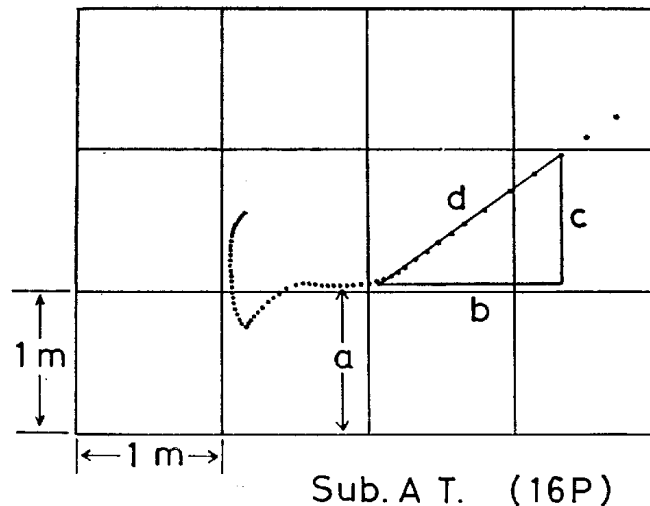
1) 砲丸の移動距離について

砲丸の速い初速は、投てき動作中の砲丸の移動距離と加えられる加速度

の大きさによる。そこで、まず、投てき動作中の砲丸の移動距離について検討した。

図2は、砲丸が移動した距離を0.02 secごとに真横からとらえたものである。 a は投げの構えの姿勢でサークルから砲丸の位置までの距離である。

図2 砲丸の移動距離



り、 d はグライド動作が終って投げの構えに入った時から砲丸が手から離れるまでの距離である。 b は d の水平距離であり、 c は d の垂直距離である。これらの距離は被験者の身長大きさによって影響されることになるので、それぞれの距離を身長で割った値について検討してみた。その結果は表2に示す。

これらの結果から正規の重さである16ポンドについて投てき距離の違う被験者について調べてみた。ここでは、それぞれの移動距離に被験者間で同じ傾向がみられたので投てき距離の違う被験者のうち代表的な3名、すなわち、熟練者 A. T., 中程度熟練者 T. N., 未熟練者 H. K. を選んで図にし検討することにした。その結果が図3である。

表2 投てき動作中の砲丸の移動距離

被験者	砲丸の重さ (ポンド)	aの距離 (m)	a/身長	bの距離 (m)	b/身長	cの距離 (m)	c/身長	dの距離 (m)	d/身長
A.T	16	1.06	0.56	1.33	0.71	0.90	0.48	1.60	0.85
	12	1.06	0.56	1.27	0.67	0.89	0.48	1.57	0.83
	8	1.09	0.58	1.15	0.61	0.90	0.48	1.45	0.77
K.M	16	0.93	0.54	1.39	0.80	0.84	0.48	1.63	0.94
	12	0.90	0.52	1.32	0.76	0.84	0.48	1.57	0.91
	8	1.00	0.58	1.23	0.71	0.83	0.48	1.40	0.81
T.N	16	1.00	0.57	1.34	0.76	0.90	0.51	1.63	0.93
	12	1.00	0.57	1.31	0.74	0.87	0.49	1.59	0.90
	8	1.02	0.58	1.24	0.70	0.78	0.44	1.46	0.83
H.K	16	0.98	0.53	1.28	0.69	0.97	0.53	1.63	0.89
	12	1.03	0.56	1.17	0.69	0.94	0.51	1.58	0.86
	8	0.90	0.49	1.10	0.60	0.84	0.53	1.39	0.75
I.T	16	1.04	0.59	0.97	0.55	0.94	0.53	1.35	0.76
	12	1.03	0.58	1.01	0.57	0.97	0.55	1.41	0.80
	8	0.91	0.51	1.01	0.57	0.90	0.51	1.35	0.76
A.K	16	0.98	0.61	1.21	0.71	0.78	0.45	1.67	0.98
	12	1.03	0.62	0.95	0.55	0.64	0.37	1.39	0.81
	8	0.90	0.60	1.20	0.70	0.71	0.41	1.40	0.82

投げの構えの姿勢で地面から砲丸の高さを示す a についてみると A. T. は $1.06m$, T. N. は $1.00m$, H. K. は $0.98m$ である。これらを各被験者のそれぞれの身長で割ってみると, A. T. は 0.56 , T. N. は 0.57 , H. K. は 0.53 である。この結果から熟練者も未熟練者についても投げの構えに入ったときの姿勢で地面から砲丸までの高さに大きな差はみられずほとんど変りはない。このことは構えにおける腰の高さに被験者間で差がみられないことを示している。

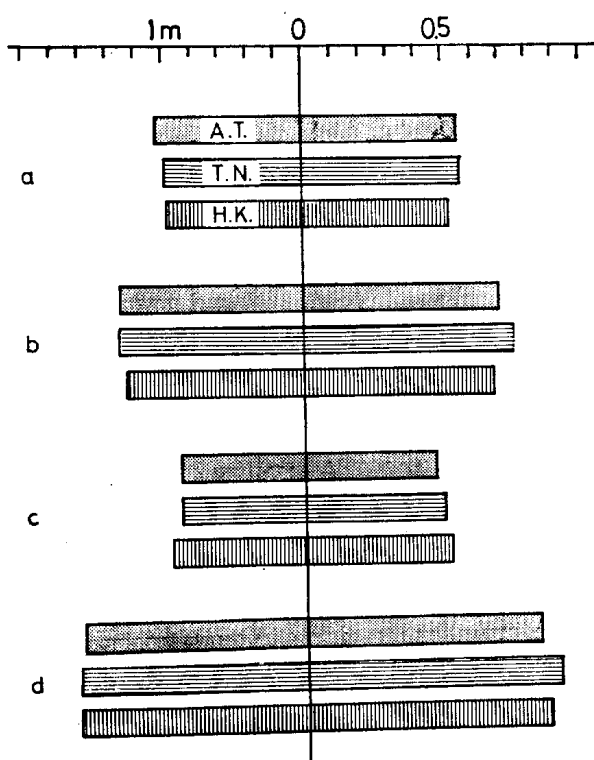
次に投げの構えの姿勢から砲丸が手から離れるまでの距離 d についてみると, A. T. は $1.60m$, T. N. は $1.63m$, H. K. は $1.63m$ である。これらを各被験者のそれぞれの身長で割ってみると, A. T. は 0.85 , T. N. は 0.93 , H. K. は 0.89 である。この結果から熟練者は未熟練者らよりもやや短い傾

向がみられるがほとんど変わらない。

d は、投げの構えから砲丸が手から離れるまでの実距離である。言い換えれば、砲丸に実際に力を加えた距離である。そこで各被験者ともほぼ同

図 3

投げの構えでの砲丸の地面からの高さ (a), および投てき中の砲丸の移動距離 (b. c. d.) について被験者間の比較



じであったにもかかわらず砲丸の初速に大きな差がみられた。この差は投てき距離ではなく、加速条件によるものであろう。

さらに、 d の距離を水平距離 b と垂直距離 c に分けてみると、構えから砲丸が手から離れるまでにどの様に動作しているかがわかる。

そこで水平の距離 b についてみると、A. T. は $1.33m$, T. N. は $1.23m$, H. K. は $1.28m$ である。これらを各被験者のそれぞれの身長で割ってみると、A. T. は 0.71 , T. N. は 0.76 , H. K. は 0.69 である。この結果から、熟練者も未熟練者もほとんど変わらない。

また、垂直の距離 c についてみると、A. T. は $0.90m$, T. N. は $0.90m$, H. K. は $0.97m$ である。これらを各被験者のそれぞれの身長で割ってみると、A. T. は 0.48 , T. N. は 0.51 , H. K. は 0.53 である。この結果から熟練度が低くなるに従って、短かい傾向にあるが各被験者とも殆んど変わらない。以上の結果から、正規の重さである16ポンドの重さの砲丸についての動きの大きさは、グライド動作が終って投げの構えから実際に砲丸が手から離れるまでの距離が、熟練者も未熟練者もほとんど変わらない。また、身長で割っても同じ傾向にある。これらのことから砲丸に大きな初速を与え

るのは投てき動作中の動きの大きさによるものでないことがわかった。

そこで何が違うのかとすることについて検討してみた。それは動きそのものの大きさよりもその動きの中で如何に大きな力が砲丸に加えられているかという条件が問題になるのではないかと思われる。そこで砲丸の速度、加速度についてみてみた。

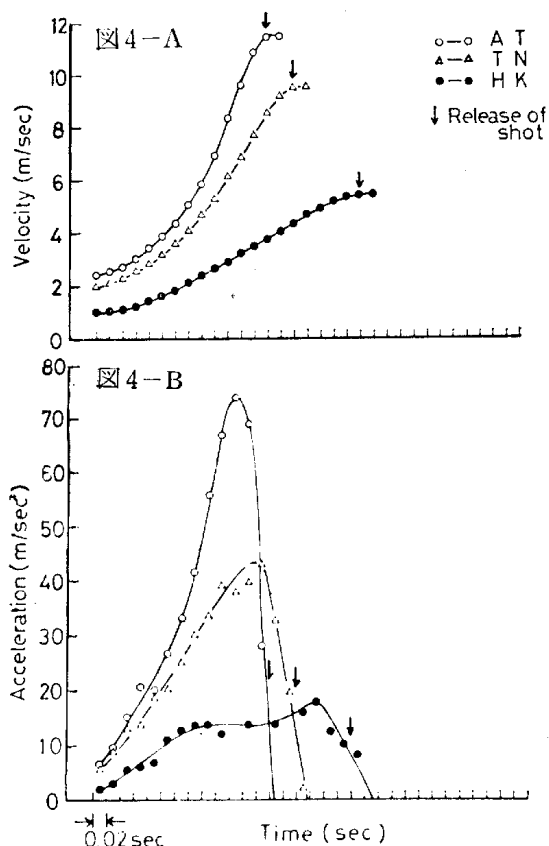
2) 速度、加速度について

砲丸が移動する間に、どのように速度や加速度が生みだされているかについて検討した結果は次のようである。

図4は、投てき距離の異なる3名の被験者について、投てき動作中の16ポンドの砲丸の速度および加速度の変化を示したものである。

まず、速度の大きさについてみると、熟練者 A. T. は○印、中程度熟練者は△印、未熟練者は●印で示し、投げの構えに入った最初の姿勢を同じところにあわせてグラフに示した。縦軸に速度、横軸に時間 (1 コマは 0.02 secである。) ↓印は、砲丸が手から離れたところを示す。

図4 投てき距離の異なる各々の被験者の速度(A), 加速度(B), の比較



この図から、グライド動作が終って投げの姿勢に入ったときの速度をみると A. T. は 2.4m/sec, T. N. では 2m/sec, H. K. では 1.01m/sec である。次に砲丸が手から離れるときの初速度みると, A. T. は 11.47m/sec, T. N. は 9.50m/sec, H. K. は 5.40m/sec である。この結果から熟練者は、投げの構えに入った時の速度も大きいが生みだしている。中程度熟練者は熟練者よりも値は小さいがやや同じ傾向にある。未熟練者は、投げの構えに入った時の速度も小

さいが手から離れる時の速度も小さく熟練者のおよそ $\frac{1}{2}$ 倍である。

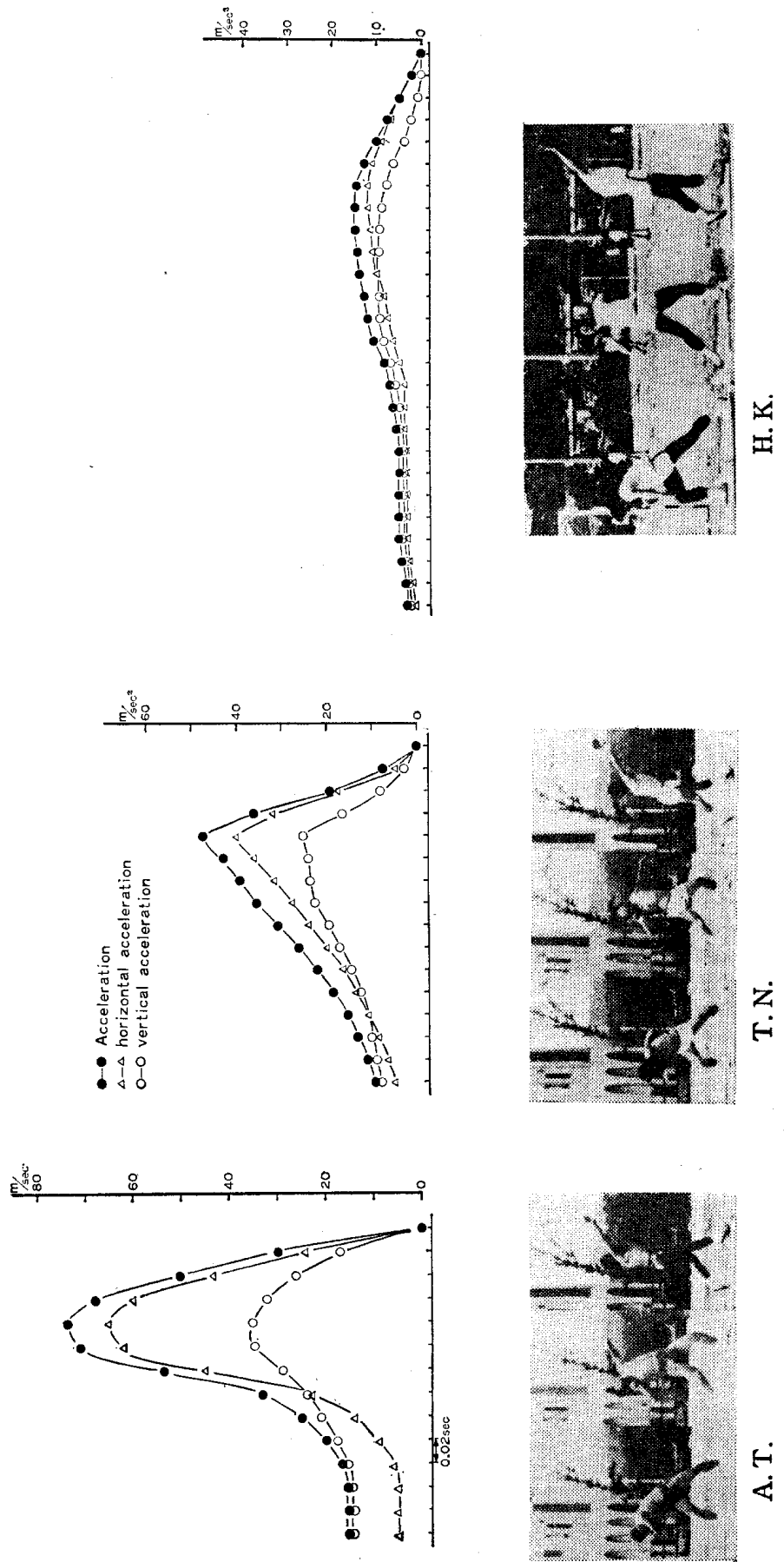
また、これらを時間と関連させてみると、初速度を生み出すまでに、A. T. は0.26 sec, T. N. は0.3 sec, H. K. は0.4 sec 要している。これらのことから熟練者は中程度熟練者よりも、中程度熟練者は未熟練者よりも短い時間に投てき動作をしている。

この速度の大きさは、投てき動作中の加速度によると考えられるため、加速度について検討した。図4-B. は、速度がどこで加速されているかを示したものである。そこで加速度の最も大きな値をみると、A. T. は 74m/sec^2 , T. N. は 43m/sec^2 , H. K. は 17m/sec^2 である。これらを時間と関連させてみると、A. T. は投げの構えから0.22 sec, T. N. は0.26 sec, H. K. は0.36 secである。この結果から、熟練者 A. T. は未熟練者 H. K. にくらべて $\frac{2}{3}$ の時間で最も大きな加速度を生みだしている。また、各被験者のそれぞれの最も大きな加速度は、砲丸投げの構えから上体の押しあげの後半、すなわち、上体の押しあげひねり動作から砲丸が首から少し離れる動作のところで生みだされている。

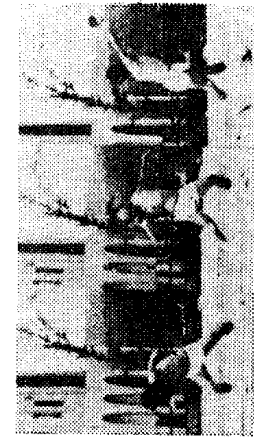
さらに、熟練者は、漸進的に加速度を生みだしているのに対し、未熟練者は、0.14 secで 13.5m/sec^2 まで高め、その後、少しそのまま持続され、再びおよそ0.3 secで 17m/sec^2 高められるという二段モーション形式の加速の仕方の傾向がみられる。このように、投げの動作中における速度、加速度について検討したところでは各被験者間にきわめて大きな差がみられた。

このことから、砲丸に大きな初速を与えるためには、投げの構えからできるだけ短い時間に砲丸に大きな加速度を与えることが重要であるとみられる。また、砲丸に対して大きな加速度を与える動作は投げの構えから上体の起し、そしてひねりの動作であることがわかった。したがってこの動作を生み出す筋力、パワーを高めることと、この動作を素早く効果的に行なうことがより大きな砲丸の初速を得ることになる。

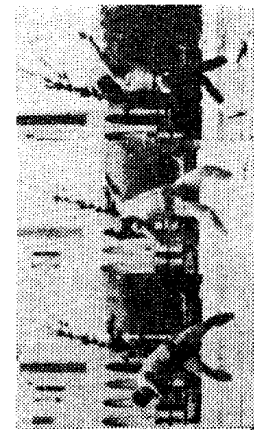
図5 投てき動作と加速度 (水平加速度 + 垂直加速度) との関係



H. K.



T. N.



A. T.

2 加速度と投てき動作との関係

図5は、代表的な被験者3名について、投げの構えから砲丸が手から離れるまでの加速度（●印）を水平方向の加速度（△印）と垂直方向の加速度（○印）とに分けて示したものである。

図5の熟練者 A. T. をみると、はじめ垂直方向の加速度は、 20m/sec^2 、水平方向の加速度は、 5m/sec^2 である。垂直方向の加速度は、水平方向の加速度よりも大きい値を示している。まず垂直方向の加速度は、 0.08sec までほとんど変化がみられず 0.14sec から 0.2sec まで上昇を示し、この時 35m/sec^2 となり、その後 0.1sec の間に 0m/sec^2 加速度 0 まで下降した。

また、水平方向の加速度は 0.06sec まで徐々に変化し、 0.12sec のところで垂直方向の加速度よりも大きく上昇を示し、 0.24sec で 62.5m/sec^2 の値を示し、その 0.08sec 後に 0 と下降を示した。この結果から、投げの構えの姿勢からの動作は、はじめ垂直方向、すなわち砲丸を押しあげひねり動作がおこなわれ、その後水平方向、すなわち、突き出しの動作がおこなわれている。また、投げの構えから押しあげ動作のとき垂直と水平方向の加速に大きく差がみられることは、腰を支点としての素速い押しあげと、それにつづくひねりの動作がなされ大きな力を生み出している。

また、T. N. はやや A. T. に似た傾向を示すが、H. K. については垂直方向の加速度、水平方向の加速度は、ほとんど変化がみられない。これは投てき方向に、ただ移動しているだけで大きな加速がないことを示す。したがって力が生みだせず大きな初速を生み出すことができない。これらのことから、投げで大きな初速を生み出すには、A. T. にみられるような、加速度のパターンを生み出す投てき動作をおこなうことが必要である。

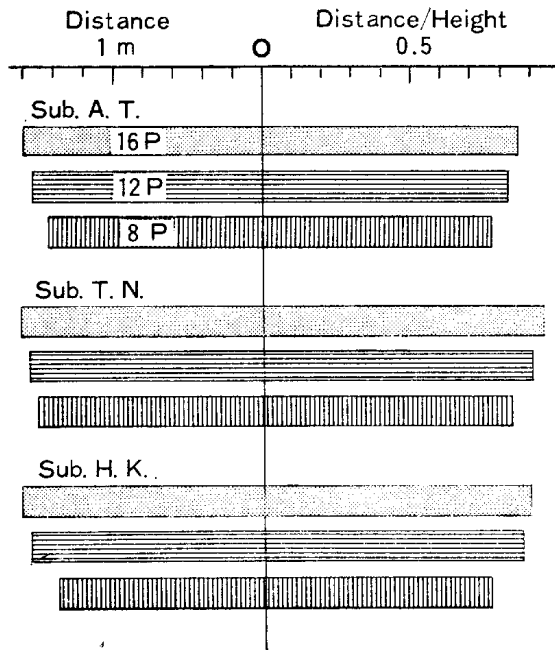
3 砲丸の重さによる投てき動作の違い

1) 砲丸の重さと移動距離について

これまでは、正規の重さである16ポンドを投げた場合を各被験者について検討してきたが、次に重さの違う砲丸、すなわち、16ポンド、12ポンド

ド、8ポンドを投げた場合、投てき動作がどのように違うかを最も記録のよかった A. T. についてみてみた。他の被験者についても表2にみられるように A. T. とほぼ同じ傾向である。その結果を図にすると図6になる。

図6 砲丸の重さと投てき中の砲丸の移動距離



a についてみると、16ポンドは1.06m、12ポンドは1.06m、8ポンドは1.09mである。これらを A. T. の身長で割ってみてみると、16ポンドは0.56、12ポンドは0.56、8ポンドは0.58となった。これらを見ると、グライド動作が終って投げの構えに入った時のサークルから砲丸までの高さは、砲丸の重さが違ってそれほど違いはないとみられる。

つぎに投げの構えから砲丸が手から離れるまでの距離、すなわち d についてみると、16ポンドは1.06m、12ポンドは1.57m、8ポンドは1.45mである。これらを A. T. の身長で割ってみると16ポンドは0.85、12ポンドは0.83、8ポンドは0.77である。

これらの結果からみると、砲丸の重さが、16ポンド、12ポンド、8ポンドと軽くなるにしたがって構えた姿勢から砲丸が手から離れるまでの距離が短くなっている。このことは砲丸の重さが軽くなると投げの動作が小さくなっていることが解る。

さらにこれらの動きを、水平距離 b 、垂直距離 c について比較してみた。

b についてみると、16ポンドは1.33m、12ポンドは1.27m、8ポンドは1.15mである。これらを A. T. の身長で割ってみると、16ポンドでは0.71、12ポンドは0.67、8ポンドは0.61である。これらの結果から砲丸が軽くなるに従って水平距離が短くなっている。また距離 d の値と比例している

傾向を示している。 c の距離についてみると、16ポンドは $0.90m$ 、12ポンドは $0.89m$ 、8ポンドは $0.90m$ でほとんど変わらない。これらをA.T.の身長で割って比べてみると、16ポンドは0.48、12ポンドは0.48、8ポンドは0.48である。これらの結果から砲丸の重さが重くても軽くても垂直距離はほぼ同じである。

これらのことから、投げの構えの姿勢から砲丸が手から離れるまでの動作は砲丸が軽くなるに従って小さくなる。これは垂直の動きは、ほとんど変わらずに水平の動きが少なくなることがわかった。このことは、砲丸が軽くなるに従って、投てき角度が大きくなることを示している。

このことは、これまでの砲丸投の指導で、大きな動作をさせるためには、軽い砲丸で投げさせることを手段としてとりあげられているが砲丸が軽くなると動きの大きさは少なくなる傾向を示すのでこのことは大きな誤りであることがわかった。

2) 砲丸の重さと速度・加速度

砲丸投の指導において重さの異なる砲丸を利用した投てき練習を行なわせることがある。ここでは砲丸の重さによって投てき動作がどのように変わるかについて検討した。

表2は砲丸の重さによる投てき動作の大きさを示したものである。

投げの構えの高さを示す a の距離では、熟練者2名、中程度熟練者T.N.では、砲丸の重さが軽くなるとその値が大きくなる傾向を示した。他の被験者については一定の傾向はみられなかった。

また投てき中に砲丸に力を加える実際の距離 d についてみるといずれの被験者も、砲丸の重さが軽くなるとその距離は減少した。

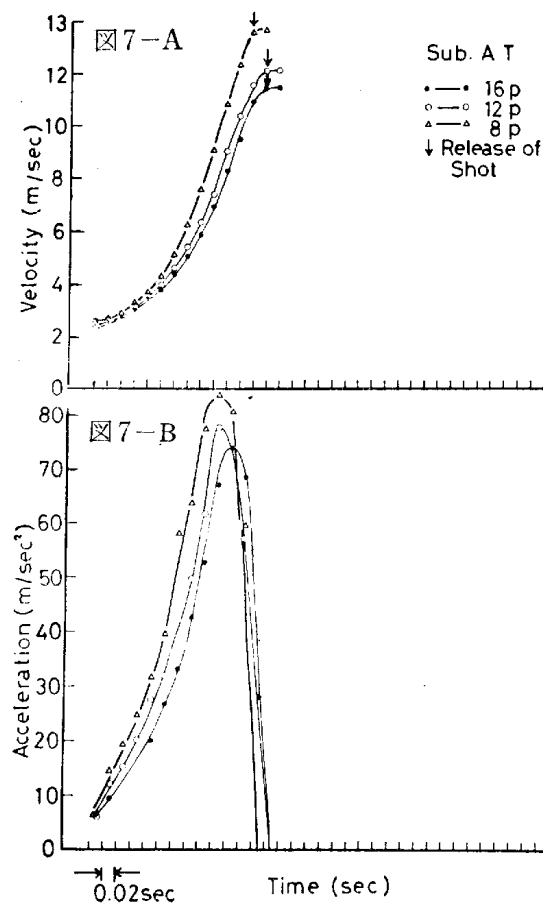
この d の距離を代表的な被験者3名について比較したのが図6である。この図からいずれの被験者も砲丸が軽くなるに従って投てき動作が小さくなっていった。

また、16ポンドで最も記録のよい被験者、すなわち熟練者A.T.について12ポンド、8ポンドと異なる砲丸を投げた場合にどのように速度(初速)

を生みだし、どのように砲丸に加速をするのかについて検討した。

図7は被験者 A. T. が重さの異なる砲丸を投げた際の速度、加速度を示した。

図7 砲丸の重さの違いによる速度、加速度の比較



投てき距離は、12ポンドで18m、8ポンドでは20mを越した。このことは砲丸の投てき距離を18m、または20mを越すための加速度の与え方や投てき動作の示唆となるとみられる。

図7はグライド動作が終って投げの構えに入った瞬間の速度を同じところに合わせてグラフに示したものである。縦軸に速度、横軸に時間を取り、16ポンドは●印、12ポンドは○印、8ポンドは△印、砲丸が手から離れる点は↓印で示した。

まず、図7-Aをみるとグライド動作が終って投げの構えに入ったときの速度は重さが変わってもほとんど変わらない傾向にあるが、実際に砲丸が手から離れるときの速度は、16ポンドは11.49m/sec、12ポンドは12.10m/sec、8ポンドは13.62m/secである。この結果から砲丸が軽くなるに従って初速が速くなる。

また、これを時間と関連させてみると、16ポンド、12ポンド、8ポンドとも、はじめはほぼ同じ状態で速度を増していくが、およそ0.14secをさかいにして8ポンドでは急に大きく速度が増加し、16ポンドでは漸進的な増加がある。これらから砲丸が軽くなるに従って短い時間に大きな速度を

生みだしていることが解る。

次に加速度について図7-B, をみると, 加速度の最も大きいところは, 16ポンドは 74m/sec^2 , 12ポンドは 77.5m/sec^2 , 8ポンドに 84m/sec^2 である。これらを時間と関連させてみると, 16ポンドは 0.22 sec , 12ポンドは 0.2 sec , 8ポンドは 0.2 sec である。この結果から加速度についても砲丸が軽くなるにしたがって大きな加速度が生みだされていることがわかる。このように重さの異なる砲丸を投げた場合, 投てき動作がどのように変わるかをみると, 砲丸の重さが軽くなるにしたがって投てき動作が小さくなる。また, 16ポンドで最も記録のよい被験者, すなわち熟練者 A. T. について12ポンド, 8ポンドと異なる砲丸を投げた場合にどのように初速を生みだしているかをみると砲丸が軽くなるにしたがって短い時間で大きな加速度を生みだし初速を得ている。実際に砲丸の投てき距離からみると8ポンドで 20m , 12ポンドで 18m を越したときの速度, 加速度の生みだし方および動作の順序方法は16ポンドで 18m あるいは 20m 以上を投げる場合に一つの示唆になるものと思う。

ま と め

砲丸の投てき距離は砲丸が手から離れるときの初速と方向によって決まるが, その大部分は初速の大きさである。そこで砲丸の速い初速は, 投てき動作中の砲丸の移動距離と砲丸に加えられる加速度の大きさによるので今回は投げの動作について検討した。

これらの結果から, 技術の違うものについて投てき動作中の砲丸の移動距離は技術の違うそれぞれの被験者について余り大きな差はみられなかった。そこで, それぞれの移動距離をもとにしてどのような初速を生みだし, どのようにして加速度を生みだしているかについて検討を加えた。

これらの結果から, 熟練者は未熟練者よりも短い時間に大きな速度, 加速度を生みだしている。また, 大きな加速度を生みだす投てき動作は, 投げの構えから上体のおこしとひねりであることがわかった。したがって,

これらの効果的な動きとその動きを生み出す筋力、パワー、スピードなどを筋の働きに着目してトレーニングする必要があるだろう。

次に大きな加速度を生み出す動作について、さらに詳細に検討した結果、投げの構えから、まず垂直方向の加速がおこなわれ次いで水平方向の加速がみられた。このことは砲丸に大きな初速を与える際に、まず上体のおこし、それに続くひねりがおこなわれていることを示しており、これらの動作が砲丸投げの投てきにおいて大きな初速度を生み出すために最も重要である。

次に、重さの異なる砲丸を投げたとき、どのように動作が違うかについて熟練者を中心に検討を加えた。その結果、砲丸の移動距離は、砲丸が16ポンド、12ポンド、8ポンドと軽くなる程、短くなる傾向にある。このことは重さが軽くなるに従って動作が小さくなることを示している。また、従来大きな動作の練習をするのに軽い砲丸で練習することがおこなわれてきたが、このことは誤りであることがわかった。さらに、軽い8ポンドでは、投てき距離20mを越し13.68m/secの初速を得ることができた。そして、その初速が、どのように加速度を生みだしているかについても明らかにされた。これは12ポンドの砲丸で8ポンドの加速の仕方の動きができたなら12ポンドでも20mを越すことはできるであろう。また、16ポンドでも同じことが可能であるとみられる。したがって8ポンドの重さでの加速度のデーターは、20m以上を投げるための投てきの練習への示唆となるであろう。

参 考 文 献

1. 加藤博夫 (1960)
連続写真による砲丸投の分析的研究 体育の科学 Vol. 10, No. 5.
2. 金原勇, 春山国広, 三浦望慶 (1964)
投てき力 (投てき物に与え得る運動量) を大きくする基礎的技術の研究
(その1) 東京教育大学体育学部紀要 第4巻。
3. キンティシユ 金原 勇 訳 (1955)
投てき選手と荷重練習 陸上マガジン Vol. 5, No. 8.
4. Bresnahan G. T, Tuttle. W. W., Cretzmeyer F. X. (1956)
Track and Field Athletics, Forth Edition, The C. V. Moby Company.
5. Dohty K. F.,
Modern Track and Field, 2nd Edition, Prentice-Hall Inc.
6. Hermann W. G. (1962)
An Electromyographic Study of Selected Muscles Involved in the
Shot Put, The Research Quarterly, Vol. 33. No. 1.
7. 松井秀治 (1958)
運動と身体の重心 体育の科学社
8. 松井秀治 (1967)
身体運動学入門 —基礎編— 体育の科学社
9. 西藤宏司 砲丸投の投てき技術に関する研究「グライド動作について」
中京体育学論叢第11巻第1.2合併号 (1969)
10. William S. M., Lissner H. R. (1962)
Biomechanics of Human Motion, W. B. Saunders Co.
11. 山本邦夫, 関岡康雄 (1964)
陸上競技フィールド 不昧堂書店