

## 投擲運動におけるリバース動作が投擲距離に及ぼす影響 —砲丸投・グライド投法に着目して—

新堀 玄 関岡 康雄 横川 和幸

キーワード：砲丸投, リバース動作, グライド投法

### The effects of reverse motion for throw distance — Focused on the glide shot put —

Haruka Niibori, Yasuo Sekioka and Kazuyuki Yokokawa

#### Abstract

Most of studies on shot-put were on the glide motion or the delivery motion until now, so the reverse motion was hardly found. The purpose of this study was to clarify the effects the reverse motion on the throwing distance.

This study was done by two methods, 1) investigation and 2) experiment. As investigation method, for the participant of some official games, the observing method was used, and the throwing technique, the success or failure of their trial, record, and a shot fallen points were recorded.

As an experiment method, 3 college students (all males) were performed 1) non-reverse and 2) reverse technique when they throw.

The digital video camera was placed in right and back side from the center of a circle, and a release parameter, acceleration variable of a shot, speed variable of the body, and trunk twist angle variable were measured.

As result, reverse motion was thought to increase the extrusive force to right diagonally and it helps the pushing motion. However if there were unbalance in their mind, when reverse motion occurs, important role in the delivery motion will be obstructed. Records were improved by carrying out reverse motion in accordance with the timing of delivery motion.

Key words : shot put, reverse motion, glide shot put

I. 緒言

これまで砲丸投に関する研究は、グライド動作や突き出し動作については数多くおこなわれてきたが、リバース動作に着目したものはほとんど見当たらない。

その背景として、リバース動作は砲丸が投射された後に前後足を入れ替える動作であり、G.T.Bresnahan et al (1964) は、「砲丸が指からはなれてしまえば、砲丸の飛行を助けたり、邪魔したりすることも何も出来ない。投擲者の関心は、ファウルをしないように気をつけることに向けられる。」としており、リバース動作は、砲丸を投射したあとにおこなわれるもので、ファウルの防止が目的であると考えられている。これに関してJ.G.Hay (1978) も同様の見解を示している。また、スポーツバイオメカニクスの観点から、砲丸に最も大きな力を加えられるのは突き出し動作の上体の起こしであり(西藤ら, 1974; G.T.Bresnahan et al, 1964: pp272 - 299), その後徐々に減少することが明らかになっていることがあげられる。

しかしK・マイネル (1981) は、運動の先取りを説き、突き出し動作中にリバース動作の先取りがされていることを示唆している。また、同項において「運動の先取りはどんな形態においても長い間の練習と豊富な運動経験を必要とする。スポーツにおいては、先取りは意識的に訓練することによって獲得され、洗練されるものであり、またそうされなければならないのである。」としていることから、リバース動作は意識的におこなわれなければならないと考えられる。

このことから、試技をする際に、リバース動作をおこなう場合と、リバース動作をおこなわない場合では、主要局面での先取りのしかたが変わるため、突き出し動作に、差異が生じると考えられる。

2003年にパリでおこなわれた、世界陸上競技選手権大会砲丸投競技のVTRを見ると、男女共に決勝に進出した競技者は全員リバース動作をおこなっていた(回転投法含む)が、日本人の砲丸投競技者には、リバース動作をおこなう競技者とおこなわない競技者がいる。日本人競技者の多様性に対し、世界のトップレベルの競技者で共通性がみられることから、リバース動作にはファウルを防止する以外にも飛距離に影響を及ぼす可能性があると考えられる。

II. 研究目的

本研究は、日本人の砲丸投競技において主流であるグライド投法に着目して、制御運動として位置づけられているリバース動作が投擲距離に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

なお本研究では、リバース動作を以下の理由から、ジャンプしながらの投射(ジャンピングショット)と定義した。①G.T.Bresnahan et al (1964: pp272 - 299)

は、リバース動作は意識的にジャンプしているのではないとしながらも、ジャンプしながら投射している事実を認めている。②K・マイネル (1981: pp228 - 236) は、「人間の行為はどんな場合でも行為の目的はすでに先取りされているものであり、前もって決まっっていて、多かれ少なかれ行為者の意識にのぼっているのである。」としている。

III. 研究方法

1. 研究I

1) 研究の概要

調査研究として、日本人の砲丸投競技において、各投法の出現とリバース動作の関係を明らかにするため、日本国内でおこなわれた公式競技会の出場者を調査した。

2) 調査対象

2005年に国内で行われた大学生を対象とする公式の競技会の砲丸投競技より、上位から下位までの競技者を均一に把握できるように、いくつかの競技会を選んだ(表1)。

表1 調査対象

分類	競技会名	男子	女子
		対象者数(人)	対象者数(人)
上位	日本学生陸上競技対校選手権大会	30	23
上位~中位	全日本学生陸上競技選手権大会	30	25
中位~下位	東北地区大学総合体育大会陸上競技	15	8
下位	全日本大学対校選手権大会混成競技	15	21

3) 調査項目

調査項目は以下のとおりである。

① 投法

- ・ グライド リバース動作あり (以下「G-R群」)
- ・ グライド リバース動作なし (以下「G-NR群」)
- ・ 回転 リバース動作あり (以下「R-R群」)
- ・ 回転 リバース動作なし (以下「R-NR群」)
- ・ ステップ リバース動作あり (以下「S-R群」)
- ・ ステップ リバース動作なし (以下「S-NR群」)

② 試技の成否

③ 記録

④ 砲丸落下位置のプロット

4) 試技

すべての試技を調査用紙に記録した。その際、無効試技についても、おおよその位置で砲丸の落下位置をプロットした。G-R群とG-NR群の右利きの競技者に限定し、分析をおこなった。

5) プロット

砲丸の落下位置のプロットを、投法毎にステップ投法、グライド投法、回転投法に分類した。また、西藤(1975: pp118 - 121)の研究をモデルとして、G-R群とG

NR 群に対して、両群の記録の上位 10 名と下位の 10 名の最も記録のよかった試技（以下「成功試技」と最も記録の低かった試技（以下「失敗試技」）を線で囲んだものを投擲域として図示し、その図から傾向を読み取った。

## 2. 研究 II

### 1) 研究の概要

実験的研究として、リバース動作をおこなわない試技とリバース動作をおこなった試技の動作上の差異を、スポーツバイオメカニクス的手法を用いて抽出した。

### 2) 被験者

被験者は、S 大学陸上競技部に所属し、砲丸投を専門種目としている男子学生 3 名であった。いずれも右利きで、普段からリバース動作をおこなわないグライド投法を用いている者とした。その理由として、本実験においてリバース動作に関する技術の格差が投擲距離に影響を及ぼさないようにしたためである。表 2 に被験者の特性を示した。

表 2 被験者の特性

被験者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	自己記録(m)
A	20	177	99	12.34
B	19	172	98	12.81
C	19	175	100	13.81
Avr.	19.3	174.7	99.0	12.99
S.D.	0.5	2.1	0.8	0.6

### 3) 試技

試技は予備実験において、リバース動作をおこなわない試技（以下「NR」）をおこない、本実験 1 回目、2 回目、3 回目（以下「R-1」、「R-2」、「R-3」）において、リバース動作による試技をおこなった。各実験において被験者は、十分なウォーミングアップの後、公式の競技会形式で 6 回の試技を最大努力でおこなった。その際、2 台のデジタルビデオカメラによって試技を撮影した。

実験上の設定として、ファウルは大きなファウル（投擲距離に対して影響を及ぼしたことが明らかなファウル）以外は有効試技として処理した。

分析に用いた試技は、各実験において、最も記録のよかった試技とした。

### 4) 撮影設定

デジタルビデオカメラは、投擲方向に対してサークルの中心より右側方 15 メートル地点 (CANON 社製 XV2) と、サークルの中心より後方 15 メートル地点 (SONY 社製 DCR-PC100) に設置し、撮影をおこなった。ビデオカメラの同期化は、ストロボ光を撮影範囲内に差し込むことによっておこなった。撮影条件は右側方のビ

デオカメラが、毎秒 30 フィールド、露出時間 1/4000 秒、後方のビデオカメラが毎秒 30 フィールド、露出時間はおよそ 1/4000 であった。後方のビデオカメラに関しては、ビデオカメラの機能上マニュアル設定ができないため、オート設定による誤差（光量により露出時間を自動調節する）が生じている。しかし実験当日のコンディションを考慮すると、露出時間は 1/4000 に限りなく近いものであったと考えられる。また先行研究では（植屋・1994；佐々木・2003）露出時間が 1/1000 で実施されていることから、ビデオカメラの機能上の誤差は許容範囲内であったと推察される。図 1 に実験の設定を示した。

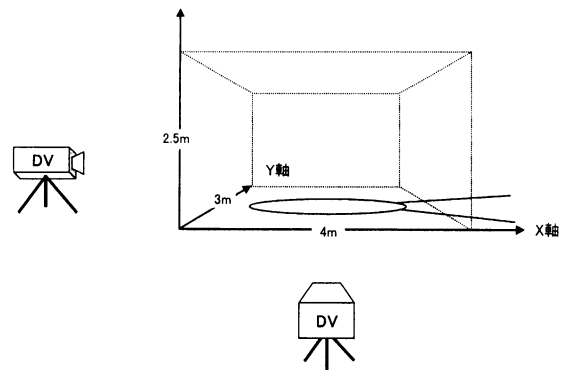


図 1 実験の設定図

### 5) 画像処理

撮影した VTR 画像を動作分析システム (DKH 社製 Frame DIAS for Windows) を用いて松井 (1958) の身体分析点 23 点と砲丸の中心点、較正点をデジタル化し、池上ら (1991) の DLT 法を用いて 3 次元座標を求めた。撮影に使用したデジタルビデオカメラの撮影条件が毎秒 30 フィールドだったため、試技のデジタル化は毎秒 30 フィールド毎におこなった。

### 6) 局面わけ

金子 (1982) は、「砲丸に作用する力は左足着地とともに高まり始め、体の捻転および上体の回転によって最高に達し、両肩が平行になって腕を突き出す頃から徐々に減少する」としていることから、グライド後の左足接地から試技を分析することとした。局面わけは、グライド動作後の左足が接地した時点を L-on、砲丸が首から離れた時点を RN、砲丸をリリースした時点を Release とした (図 2)。

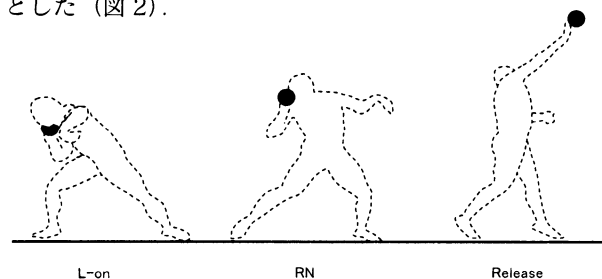


図 2 局面わけ

7) 分析項目

以下に、実験の分析項目を示した。図3に、分析項目の詳細を示した。

①リリースパラメータ

a) 投射速度 (以下「初速」)

リリース時の砲丸の速度。

b) 投射高

リリース時の右手先と地面との距離。

c) 投射角度

砲丸の速度ベクトルと X 軸との成す角。

d) 利得距離

リリース時の左つま先から右手先までの、水平線上の距離。

e) 突き出し方向角度

リリース時の右肩と砲丸を結んだ線と X 軸との成す角。

②砲丸の加速度変化

X 軸方向への砲丸の加速度変化と、同じく、Z 軸方向への砲丸の加速度変化を砲丸の加速度変化とした。

③身体速度変化

身体速度は、身体重心位置の速度とし、X 軸方向への身体速度の変化と、同じく、Z 軸方向への身体速度の変化を求めた。

④体幹捻転角度変化

右肩と左肩を結んだ線を肩帯部、右大転子と左大転子を結んだ線を腰部部、肩帯部と腰部部の間を体幹とし、体幹のねじり角度を体幹捻転角度とした。また、体幹捻転角度が最大となるところからリリースまでを、ねじり戻し角度とした。

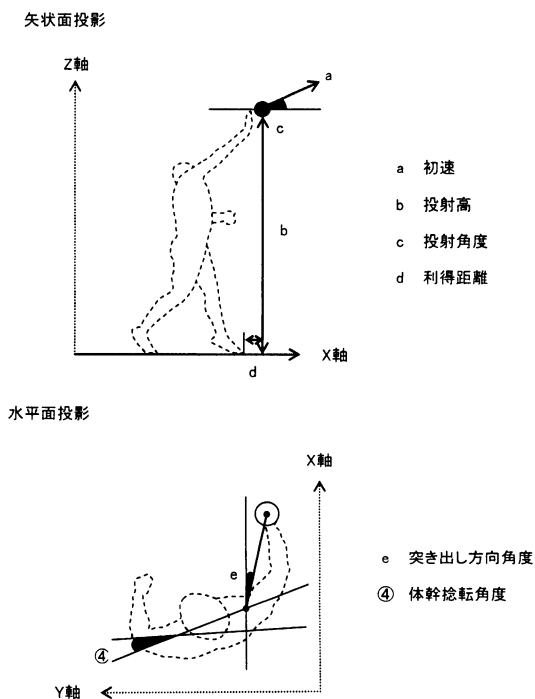


図3 分析項目の詳細

IV. 結果

1. 研究 I

1) 投法とリバース動作

ステップ投法においては、すべての試技においてリバース動作はみられなかった。

回転投法においては、すべての試技においてリバース動作がみられた。女子においては、回転投法はみられなかった。図4、5に投法別にみた試技の出現数を示した。

2) 投擲域

投擲域の分布は、男女間で全体的に類似した傾向がみられた。

G - NR 群において、成功試技では、投擲域の分布が左側寄りになっているときに、記録がよい傾向にあった。特に上位群では、左側寄りに投擲されたときに、記録が飛躍的によくなる傾向がみられた。G - R 群において、成功試技では、投擲域の分布が右側寄りになっているときに、記録がよい傾向にあった。図6、7に、投法別にみた試技のプロットを示した。図8、9にグライド投法における投擲域の分布を示した。

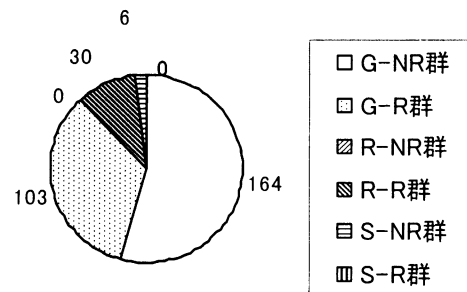


図4 投法別にみた試技の出現数 (男子)

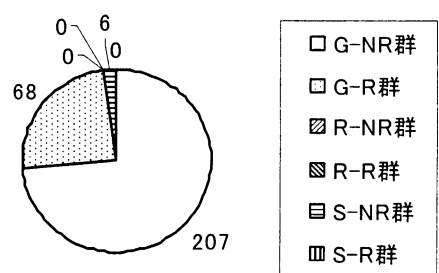


図5 投法別にみた試技の出現数 (女子)

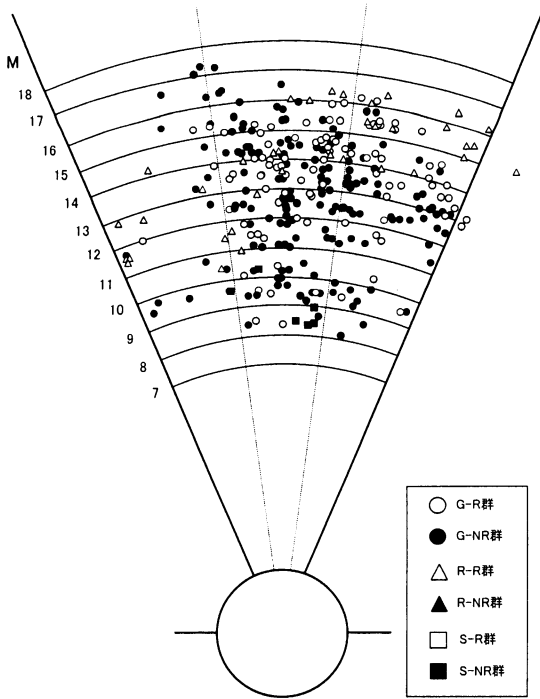


図6 試技の出現総数プロット (男子)

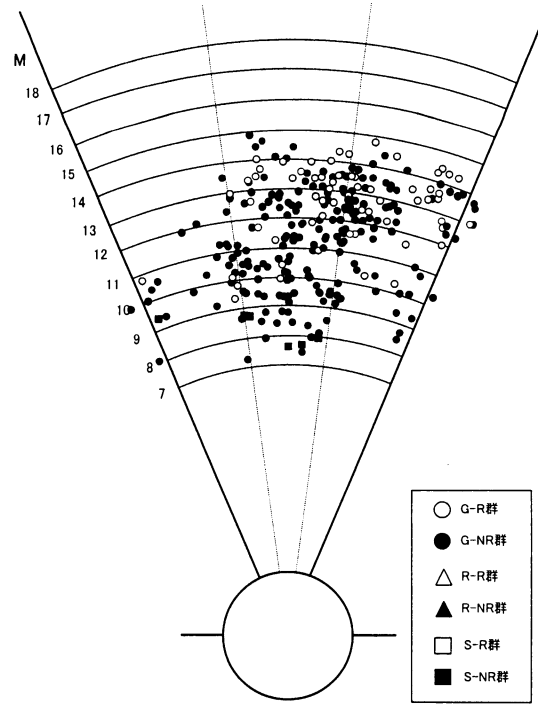


図7 試技の出現総数プロット (女子)

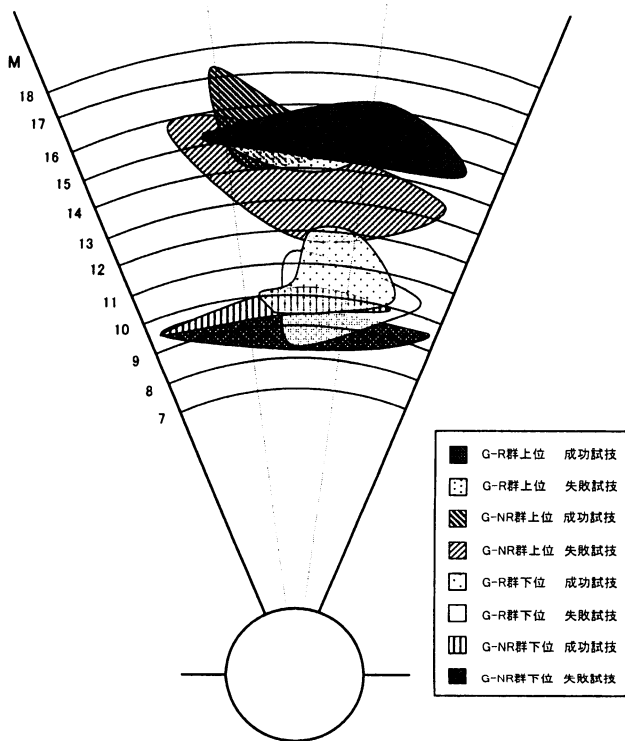


図8 G-R群とG-NR群の投擲域の分布 (男子)

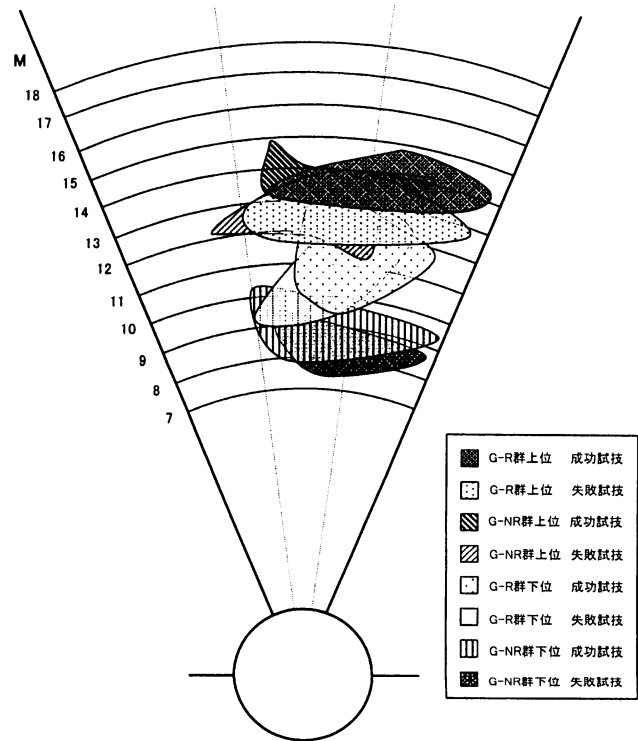


図9 G-R群とG-NR群の投擲域の分布 (女子)

2. 研究Ⅱ

1) グラウンドコンディション

表3に、各実験日のグラウンドコンディションを示した。

表3 グラウンドコンディション

	予備実験	実験1回目	実験2回目	実験3回目
月日	10月29日	11月5日	11月19日	12月3日
場所	S大学 陸上競技場	S大学 陸上競技場	S大学 陸上競技場	S大学 陸上競技場
天候	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ

2) 記録の変動

①最高記録の変動

Sub.Aにおいては、NRの最高記録が11.98mであった。リバース動作をおこなった試技の最高記録は、R-1からR-3で11.81mから12.15mの範囲であったが、記録に目立った変動はみられなかった。

Sub.Bにおいては、NRの最高記録が12.11mであった。リバース動作をおこなった試技の最高記録は、R-1からR-3で、12.12mから12.65mの範囲で変動し、いずれもNRの記録を上回った。また、R-1からR-3にかけて段階的に記録が向上する傾向がみられた。Sub.Cにおいては、NRの最高記録が12.66mであった。リバース動作をおこなった試技の最高記録は、R-1からR-3で13.22mから13.43mの範囲で変動し、いずれもNRの記録を上回った。

②平均記録の変動

Sub.Aにおいては、NRの平均記録が11.50mで、最も高かった。リバース動作をおこなった試技の平均記録は、R-1からR-3で、11.50mから11.44mの範囲で変動し、いずれもNRを下回った。また、R-1からR-3にかけて段階的に記録が低下する傾向を示した。Sub.BにおいてはNRの平均記録が11.49mであった。リバース動作をおこなった試技の平均記録は、R-1からR-3で、11.70mから12.08mの範囲で変化し、いずれもNRを上回った。また、R-1からR-3にかけて段階的に記録が向上する傾向を示した。

Sub.Cにおいては、NRの平均記録が12.34mであった。リバース動作をおこなった試技の平均記録は、R-1からR-3で、12.94mから13.13mの範囲で変化し、いずれもNRを上回った。また、R-1からR-3にかけて段階的に記録が向上する傾向を示した。図10に平均記録の変動を示した。

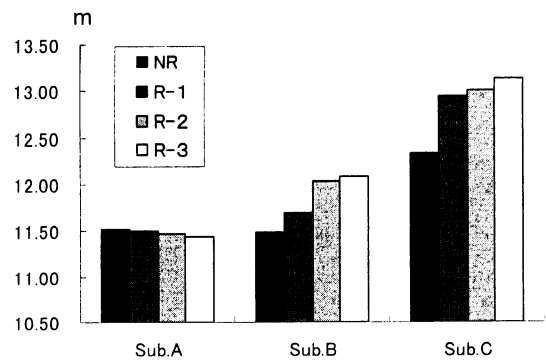


図10 平均記録の変動

3) リリースパラメータ

① 投射角度

すべての被験者において、NRに比べR-1からR-3のいずれも投射角度が小さかった。

② 利得距離

すべての被験者において、NRに比べR-1からR-3のいずれも利得距離が増大した。表4にリリースパラメータを示した。

4) 身体速度変化

すべての被験者において、X軸方向への身体速度変化は目立った差が見られなかったが、Y軸方向への身体速度変化において、すべての被験者で、ピーク値の出現がNRに比べR-1からR-3のいずれもリリースよりであった。ピーク値には目立った差は見られなかった。図11に、変化が顕著に現れた被験者の身体速度変化を示した。

5) 体幹捻転角度変化

平均記録が低下したSub.Aにおいては、ねじり戻し角度がNRでもっとも大きく、R-1からR-3にかけて、段階的に減少する傾向を示した。図12にSub.Aの試技で、変化がもっとも顕著な試技の体幹捻転角度変化を示した。

平均記録が向上したSub.B、Sub.Cにおいては、NRでみられた体幹捻転角度の一時的増大がR-1からR-3のすべての試技において減少した。図13に、Sub.B、Sub.Cの試技で、変化が顕著な試技の体幹捻転角度変化を示した。

表4 リリースパラメータ

被験者	試技	記録 [m]	初速 [m/sec]	投射高 [m]	投射角度 [deg]	利得距離 [m]	突き出し方向角度 [deg]
Sub.A	NR	11.98	7.97	2.09	36.1	0.16	24.4
	R-1	12.15	8.01	1.99	32.6	0.26	28.1
	R-2	11.81	7.25	1.79	32.5	0.25	28.8
	R-3	11.97	7.1	1.93	31.9	0.30	27.7
Sub.B	NR	12.11	7.53	2.05	43.7	0.18	27.2
	R-1	12.12	7.68	2.01	36.7	0.20	28.4
	R-2	12.6	7.90	1.77	33.6	0.20	26.3
	R-3	12.65	8.19	1.96	33.0	0.20	32.3
Sub.C	NR	12.66	7.29	1.98	40.4	0.17	19.2
	R-1	13.22	7.88	2.03	33.6	0.27	12.5
	R-2	13.43	7.95	1.93	33.5	0.35	8.14
	R-3	13.33	7.90	2.14	37.5	0.26	13.5

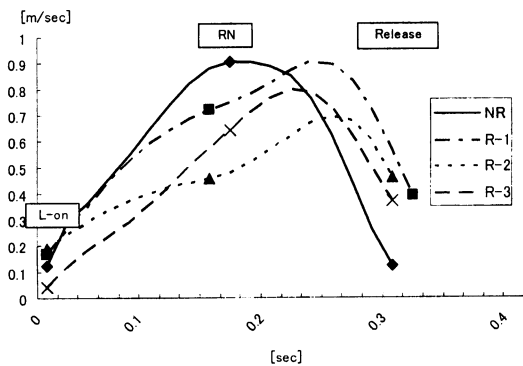


図 11 身体速度変化

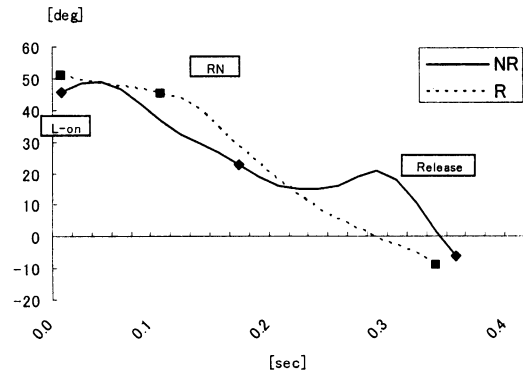


図 13 体幹捻転角度変化 (Sub.B, Sub.C)

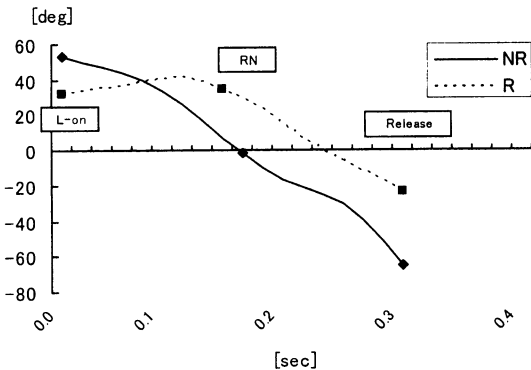


図 12 体幹捻転角度変化 (Sub.A)

## V. 考察

### 1. 研究 I

#### 1) 投法とリバース動作

グライド投法において、男女に共通してリバース動作が見られなかった試技に比べ、リバース動作が見られた試技が少ないことから、リバース動作をおこなうことに、特定のメリットを見出せた競技者が用いていることが考えられる。

#### 2) 試技の特徴

G - NR 群では、砲丸投ピットの左側寄りに投擲されているときに記録がよいことから、G - NR 群においては、投擲方向に対して左側寄りに投擲することが有効であると考えられる。その理由として、リバース動作をお

こなわないでFFを防止するため、軸足となる左半身の運動が止まり、投擲運動全体が左半身の長軸に向かっておこなわれているためと考えられる。

G-R群では、砲丸投ピットの右側寄りに投擲されているときに記録がよいことから、G-R群においては、投擲方向に対して右側寄りに投擲することが有効であると考えられる。その理由として、砲丸を突き出すときにタイミングを合わせて、ジャンピングショットすることで、砲丸を体から右前方に押し出す力が増大するためと推察される。

## 2. 研究Ⅱ

### 1) リバース動作の特徴について

すべての被験者に共通する傾向から、リバース動作の特徴を検討し、以下に示した。

- ① 投射角度が小さくなる。
- ② 利得距離が増大する。
- ③ Z軸方向への身体速度のピークがリリース寄りになる。

### 2) 記録が低下した被験者について

Sub.Aにおいて、リバース動作をおこなった試技で、平均記録が段階的に低下したことから、リバース動作が投擲距離に悪影響を及ぼしたと考えられる。その要因として、リバース動作を偏重した投擲になり、体幹のねじり戻しが十分におこなわれない突き出し動作になったことがあげられる。

### 3) 平均記録が向上した被験者について

Sub.B, Sub.Cにおいて、NRでは、砲丸をリリースする手前で体幹捻転角度が増加していることから、突き出し動作が2段モーションになっていることが考えられる。しかし、リバース動作をおこなった試技では、ねじり戻しがスムーズにおこなわれるようになり、砲丸に漸増的に力を加えられるようになった。また、リリースにむかって、身体との物理的接触が少なくなっていく砲丸に対して、後押しをしていると捉えることができ、突き出し動作を助長する働きがあることが示唆された。

## Ⅵ. まとめ

本研究で、これまで制御運動として捉えられてきたリバース動作が投擲距離に影響を及ぼすことがわかった。投擲距離が低下した被験者では、リバース動作偏重の投擲になってしまい、砲丸投において最も重要な突き出し動作が疎かになっていることがわかった。投擲距離が向上した被験者では、リバースをおこなうことで、体幹のねじり戻しがスムーズにおこなわれ、砲丸に漸増的に力を与えられるようになった。また、突き出し動作を助長する働きがあることが示唆された。

## Ⅶ. 参考文献・引用文献

- 1) George T. Bresnahan, W. W. Tuttle, and Francis X. Cretzmeyer. (1964) TRACK AND FIELD ATHLETICS(6). The c.v. Mosby Company: Saint Louis, pp.272 - 299.
- 2) 橋本勲・池上康男・桜井伸二・安藤好郎・室伏重信 (1987) 砲丸投の身体運動学的研究. 中京女子大学紀要 21 : 51 - 58.
- 3) 池上康男・桜井伸二・矢部京之助 (1991) DLT 法. Jpn. J. Sport Sci. 10 - 3 : 191 - 195.
- 4) James G Hay (1978) THE BIOMECHANICS OF SPORTS TECHNIQUES (2). Prentice - Hall Inc : Englewood Cliffs, pp.458 - 469.
- 5) 金子公宥 (1982) スポーツバイオメカニクス入門 (1) : pp.56 - 56.
- 6) K・マイネル : 金子明友訳 (1981) スポーツ運動学. 大修館書店 : 東京.
- 7) 松井秀治 (1958) 運動と身体の重心. 杏林書院 : 東京.
- 8) 佐々木大志・大山卞圭悟・真鍋芳明 (2003) 陸上競技研究第 53 号 (2) : pp.19 - 25.
- 9) 植屋清見・池上康男・中村和彦・桜井伸二・岡本敦・池川哲史 (1994) 砲丸投のバイオメカニクスの分析. 世界一流陸上競技者の技術. 第 3 回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書. 第 6 章投擲 : pp.207 - 219.
- 10) USA Track & Field COACHING MANUAL : 澤村博ほか訳 (2004) コーチングマニュアル. 出版芸術社, 陸上競技社 : 東京, pp.180 - 192.