

軽量円盤および重量円盤の投てきがリリースパラメータに与える影響 － 選手の投能力に着目して －

黒田剛志¹⁾ 榎本翔太²⁾ 加賀勝¹⁾

1) 岡山大学大学院教育学研究科 2) 兵庫教育大学大学院連合学校教育学研究科

Influence of throw with lighter weight discus and heavier weight discus on release parameters
- Focusing on competition level and muscle strength -

Tsuyoshi Kuroda¹⁾ Shota Enomoto²⁾ Masaru Kaga¹⁾

1) Graduate School of Education, Okayama University

2) Joint Graduate School in Science of School Education, Hyogo University of Teacher Education Graduate

Abstracts

The purpose of this research was to compare the change of release parameters at throwing of lighter discus (1.0kg and 1.5kg) and heavier discus (2.5kg and 3.0kg) when compared with the regular weight discus for competition (2.0kg). Sixteen men's discus thrower threw five kinds of the discus with maximum effort. The calculated items were the initial velocity of the discus, the release height and the release angle, which were compared by grouping the upper and lower 8 throwing distance. The main results are as follows.

- 1) The initial velocity of the lighter discus was significantly higher than that of the 2.0kg discus and the release height was high with the discus of 1.0kg. Further, there was no difference in the change pattern of initial velocity, release height, and release angle of the discus in the upper group and the lower group of throwing distance.
- 2) For the heavier discus, the initial velocity and release height of the discus showed significantly lower than the 2.0kg discus, and the release angle was significantly lower than 3.0kg discus. In addition, in the lower group of throwing distance, the release height and the release angle were significantly lower values.

Considering these results, the changes in release parameters at throwing of a lighter discus are less related to competitive skill and muscle strength. On the other hand, it was shown that the change of the release parameter at throwing of the heavier discus could be influenced by the competitive skill and muscle strength.

I. 緒言

円盤の投てき記録には円盤の初速度、投射高、投射角に加えて、円盤が受ける空気力学的要因が影響している (Bartlett, 1992 ; Hay and Yu, 1995). 円盤の初速度、投射高、投射角はリリースパラメータと呼ばれ、これまでの研究でもリリースパラメータについて多くの報告がなされている (Badura, 2010 ; Bartlett, 1992 ; 前田, 1995).

円盤投げにおいて、投能力 (技術や筋力などの

総合的な能力を示す) を向上させるために、負荷を軽減して行うアシスティッドトレーニングや負荷を増大して行うレジスティッドトレーニングが行われている。正規重量円盤 (2.0kg) と異なる重量の円盤が投てき動作へ与える影響を調査した高松・桜井 (2013) は、円盤重量が大きくなるほど円盤の初速度が低下し、投射角も低下傾向にあることを報告している。さらに、彼らは 1.75kg の円盤では正規重量より軽いにも関わらず、リリース時に発揮される関節トルクが大きくなっていったことから、

表 1 対象者の特性

対象者	年齢(yrs)	競技歴(yrs)	身長(cm)	体重(kg)	ベスト記録(m)	2.0kgの投てき記録(m)
A	23	11	171	75.8	47.21	43
B	21	8	176	92.5	44.19	42
C	19	4	177	112.8	42.93	41
D	22	9	172	86.0	42.68	38
E	20	5	181	85.4	42.07	36
F	22	9	176	77.0	41.97	36
G	21	6	174	98.5	38.17	37
H	19	6	176	88.0	37.25	36
I	20	5	169	87.0	36.14	33
J	24	9	167	64.7	35.73	31
K	20	5	181	85.7	35.13	33
L	21	5	169	70.6	34.81	32
M	19	6	171	70.4	34.68	32
N	19	4	169	66.0	34.67	27
O	20	5	180	77.0	32.80	29
P	19	4	175	75.0	29.39	29
平均	20.6	6.3	174.1	82.0	38.11	34.7
標準偏差	1.5	2.2	4.6	12.6	4.85	4.8

投てき技術の習得とともに筋力向上が期待できると述べた。また、軽量円盤による投てきが投てき記録および動作時間に及ぼす影響を検討した小岩ほか(2017)は、2.0kgと比べて軽量円盤(1.5kg, 1.75kg)の投てきが大きな円盤の初速度の獲得と動作時間の短縮になると報告した。さらに、Tancred B and Tancred G (1977)は、ジュニア初心者には様々な重量の円盤でトレーニングを行わせ、通常よりやや重い円盤でのトレーニングは投てき記録を向上させるが、重すぎる円盤でのトレーニングでは投てき記録が低下したことを報告している。つまり、一定の重量を超える円盤を用いたトレーニングは有効でない可能性がある。加えて、トレーニングとして有効な円盤重量には個人差があると考えられ、特に投能力の影響を受けやすいと考えられる。そのため、投能力の高い選手と低い選手では、円盤重量の変化に伴うリリースパラメータの変化が同様ではないと考えられる。

そこで本研究では、一般男子円盤投げ選手を対象に、1.0kgから3.0kgの重さの円盤がトレーニングに適当であるかを判断するために、円盤重量を変えた場合のリリースパラメータの変化と投能力との関係について明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

対象者は、円盤投げを専門とする一般男子円盤投げ選手16名とした。対象者の年齢、競技歴、

身長、体重、ベスト記録、実験当日の2.0kgの円盤の投てき記録は表1に示した。投能力の違いにより選手の持つ特性が異なることが考えられたため、対象者は、実験当日の投てき記録により8名ずつの上位群(対象者A~H)と下位群(対象者I~P)に分けた。実験に先立ち、対象者に本研究の主旨、内容、手順について口頭および文書によって説明し、実験参加の同意を書面で得た。なお、本研究は岡山大学教育学研究科倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 実験試技とデータ分析

実験試技には、一般男子用の正規重量円盤である2.0kgを基準に1.0kg(正規重量の-50%)、1.5kg(-25%)、2.5kg(+25%)、3.0kg(+50%)の5種類の重量を用いた。なお、1.0kgは女子用円盤、1.5kgはユース男子用円盤、2.0kgは一般男子用円盤とし、2.5kgおよび3.0kgは2.0kg円盤の内部に均等に重りを入れて制作した。

各円盤重量の練習試技を含むウォーミングアップの後、3投を試合形式で行い、最も記録の良いものを分析対象とした。また、各重量の円盤を投てきする順番は対象者ごとにランダムとした。同重量の円盤の試技間は3分以上、各重量の円盤の試技間は10分以上の休息を確保した。

投てき方向に対して右側方および後方に2台の高速ビデオカメラ(Nikon J5)を設置し、毎秒120コマ、シャッタースピード1/2000秒で撮影した。動作解析ソフトウェア(Frame-DIAS V、ディケイ

エイチ社製)を用いて3次元DLT法により円盤の3次元座標値を求めた。座標系は投てき方向をY軸(投てき方向を正)、鉛直方向をZ軸とし(上方を正)、投てき方向に対して左右方向をX軸とした(右側を正)。読み取った円盤の座標は、最適遮断周波数(3.72-15.12Hz)をWinter(1990)の方法に基づいて決定して平滑化した。

3. 測定項目

測定項目は、形態的特性に関する2項目と筋力に関する3項目、実験試技における投てき記録とした。形態的特性は各対象者の身長および体重とした。筋力に関する3項目は、原(1994)やT. D. Fahey(2002)の測定項目を参考に、ベンチプレス、フルスクワット、ハングクリーンの最大挙上重量とした。なお、ベンチプレスとフルスクワットについてはパワーリフティング協会が定めるルールに基づき行った(公益社団法人日本パワーリフティング協会, 2018)。ハングクリーンは、膝と股関節の間でバーを保持した状態から胸の前まで挙上する動作とした。実験試技における投てき記録は、地面に5m間隔でラインを引き目視により1m単位で測定した。

4. 分析項目

1) 算出項目

① 円盤の初速度

円盤の初速度を、円盤の3次元座標成分ごとに時間微分し、合成することにより算出した。本研究の円盤の初速度は、円盤が手から離れる直前のコマの速度とした。

② 投射高

投射高を、鉛直方向の座標から求め、円盤中心の高さとして算出した。本研究の投射高は、円盤が手から離れる直前のコマの円盤の高さとした。

③ 投射角

投射角を、円盤の初速度ベクトルと鉛直成分の速度ベクトルの値を用いて求め、円盤の初速度ベクトルと水平面のなす角度として算出した。本研

表2 投てき記録上位群, 下位群の筋力的特性

	上位群	下位群	有意差
2.0kgの投てき記録	38.3±3.5	31.1±2.8	**
ベンチプレス	116.88±19.07	85.63±14.74	**
フルスクワット	153.75±24.46	125.63±25.83	**
ハングクリーン	108.13±9.61	90.63±14.5	*
上位下位を比較した時の有意確率	**: p<0.01		*: p<0.05

究の投射角は、円盤が手から離れる直前のコマの角度とした。

5. 統計処理

本研究における各測定データの平均値±標準偏差を求めた。2.0kgを基準とした重量間のリリースパラメータの比較には、一元配置分散分析を用いた。投てき記録による上位群と下位群の重量間の比較には対応のないt検定を用いて検討した。なお、危険率5%未満をもって統計的に有意とした。

III. 結果

1. 対象者の特性

表2に、投てき記録上位群, 下位群の筋力的特性を示した。ベンチプレス(p<0.01), フルスクワット(p<0.01), ハングクリーン(p<0.05)について、投てき記録の上位群は、下位群と比較して有意に高値を示した。

2. 円盤の初速度

表3に、投てき記録とリリースパラメータを示した。投てき記録と円盤の初速度については2.0kgの投てきと比較して1.0kgと1.5kgは有意に高値であった(p<0.01)。一方で、2.5kgと3.0kgの投てきでは有意に低値であった(p<0.01)。投てき記録の上位群, 下位群のリリースパラメータを表4に示した。正規重量である2.0kgに比べて、上位群と下位群ともに軽量円盤で円盤の初速度は高値となり、重量円盤で円盤の初速度が低値となった(p<0.01)。

表3 投てき記録とリリースパラメータ

	1.0kg	1.5kg	2.0kg	2.5kg	3.0kg
投てき記録(m)	46.9±6.9**	41.1±4.8**	34.7±4.8	26.9±4.1**	22.6±3.5**
円盤の初速度(m/s)	21.06±1.15**	19.61±1.11**	18.19±1.04	16.48±0.96**	15.24±0.98**
投射高(m)	1.55±0.09*	1.49±0.13	1.47±0.11	1.36±0.12*	1.36±0.14*
投射角(deg.)	36.8±3.7	35.7±3.3	35.8±4.2	34.8±4.1	33.5±4.4*

2.0kgと比較した時の有意確率 **: p<0.01 *: p<0.05

表4 投てき記録の上位群と下位群のリリースパラメータ

		1.0kg	1.5kg	2.0kg	2.5kg	3.0kg
円盤の初速度(m/s)	上位群	21.76±1.04 **	20.41±0.77 **	18.88±0.81	17.23±0.67 **	16.04±0.55 **
	下位群	20.37±0.81 **	18.81±0.77 **	17.50±0.76	15.74±0.50 **	14.47±0.56 **
投射高(m)	上位群	1.61±0.06	1.57±0.09	1.52±0.09	1.43±0.12	1.45±0.14
	下位群	1.50±0.08	1.41±0.01	1.42±0.10	1.29±0.09 *	1.26±0.07 *
投射角(deg.)	上位群	36.9±4.4	36.5±3.0	36.2±3.6	36.6±4.3	35.5±5.2
	下位群	36.6±3.2	34.9±3.6	35.4±4.9	33.0±3.3	31.5±2.3 *

2.0kgと比較した時の有意確率 **：p<0.01 *：p<0.05

3. 投射高

投射高は、2.0kgの投てきと比較して2.5kgおよび3.0kgで有意に低値であり(p<0.05)、1.0kgでは有意に高値であった(p<0.05)(表3)。投てき記録の上位群と下位群における投射高は、2.0kgと比べて2.5kgおよび3.0kgにおいて投てき記録の下位群のみが有意に低値であった(p<0.05)(表4)。

4. 投射角

投射角は、2.0kgと比較して3.0kgで有意に低値を示した(p<0.05)(表3)。投てき記録の上位群と下位群における投射角は、2.0kgと比べて3.0kgにおいて投てき記録の下位群のみで有意に低値であった(p<0.05)(表4)。

IV. 考察

1. 円盤の初速度

本研究における円盤の初速度は、2.0kgで18.19±1.04m/sであり、先行研究の範囲内(16~23m/s)であった(前田, 1995; 高松・桜井, 2013; 松尾・湯浅, 2005)。また、これまでの研究(小岩ほか, 2017; 高松・桜井, 2013)と同様に重量の低下に伴い円盤の初速度が増加する傾向が認められた。重量の増減に伴う円盤の初速度の変化は、投能力に差がある投てき記録の上位群、下位群ともに同様の変化を示した。このことから、重量変化による円盤の初速度の変化パターンは投能力の高低と関連が少なく、初速度については両群において円盤重量の影響に差はないと考えられた。

一般的には、重量物より軽量物の方が投てき物の初速度が大きいと考えられる。一方で、野球の投球に関する研究(森本ほか, 2001)では、正規の重さのボールに比べて±0から-7.5%までの重量については、軽くなるにつれてボール初速度が増加するが、-10%から-17.5%の範囲では-7.5%の初速度より低下することが報告されている。このことは

重量軽減による初速度の増加には限界がある場合があることを示していると考えられる。しかし、本研究では-25%や-50%の軽量円盤でも、円盤の初速度は増加していた。前述の森本ほか(2001)によれば、内省調査で「腕を振るのが怖い」、「フォームが乱れそう」などの感想がみられたとしており、野球ボール(145g)のような陸上競技の投てき物に比べて軽く、初速度が速い投てきでは、投球動作が変化することへの抵抗感や不安感などの心理的な抑制が働くと考えられる。円盤と野球ボールでは重量の違いから初速度の差が大きいため(円盤：本研究の2.0kgの平均：約18m/s；野球ボール：先行研究(森本ほか, 2001)：約31m/s)、円盤投げにおいて-50%という比較的大きな重量変化でも野球ボールと比べて初速度が遅く、心理的な影響を受けるほどではなかったため1.0kgでも初速度が増加したと考えられる。

これまでの円盤を用いた研究では1.5kgまでの円盤で初速度の増加が確認されており、本研究の結果から1.0kgについても初速度の増加が確認できた。これらから、通常の重量では達成が困難となるスピードでの運動遂行をすることにより、速いスピードを身につけようとするアシスティッドトレーニングの目的(村木, 1994)は、今回の対象者の範囲で投能力の高低に関わらず、1.0kgまでの円盤において達成されていたと考えられる。

2. 投射高

投射高は、2.0kgと比較して重量円盤(2.5kgおよび3.0kg)において、投てき記録の下位群のみで低値を示した。さらに、本研究の身長に対する投射高を算出すると、全体では1.0kgで身長の89.2%と最も高く、2.0kgでは身長の84.5%であった(表5)。そして、投てき記録の上位群、下位群の身長に対する投射高については、2.0kgと比較して下位群の重量円盤において低値を示していた。投てき記録の下位群の筋力は、上位群に比べて有意に

表 4. 競技力と競技意欲との関係性（女性のみ）

	平均身長(cm)	1.0kg	1.5kg	2.0kg	2.5kg	3.0kg
全体	174.1	89.2% *	85.3%	84.5%	78.4% **	77.9% **
上位群	175.4	91.8%	89.5%	86.7%	81.5%	82.7%
下位群	172.6	86.9%	81.7%	82.3%	74.7% *	73.0% *

2.0kgと比較した時の有意確率 **: p<0.01 *: p<0.05

低値であったことから、重量円盤での投てきにおける投射高の変化には筋力が関連する可能性が考えられた。そして、投てき記録の下位群がレジスティッドトレーニングとして重量円盤を用いる際は、投射高が低下することを意識し、トレーニングする必要があると考えられる。

3. 投射角

投射角は、全体では2.0kgと比較して3.0kgで有意に低値を示しており、群別では投てき記録の上位群に有意な差は認められなかったが、投てき記録の下位群では3.0kgにおいて有意に低値であった。投射角に関するこれまでの研究では、個人によって最適な角度範囲があり (Steve Leigh et al., 2010), 至適投射角は35～40度とされている (ダイソン, 1972 ; 前田, 1995)。本研究では、投てき記録の上位群において各重量の投射角は至適範囲内であったが、投てき記録下位群においては2.0kgで35.4 ± 4.9度と至適範囲内であるのに対し、3.0kgでは31.5 ± 2.3度と至適投射角よりも低くなっていた。投能力の低い投てき記録の下位群では、複雑なターン動作の中で重い円盤を意図するように運べず、投射角が至適角度よりも低下してしまったと考えられる。つまり、投能力の低い選手にとっては、投射角が小さくならないような動作を心がける必要がある、それが不可能であれば3.0kg円盤を練習で用いることは不適切である可能性が示唆された。

4. 指導現場への示唆

軽量円盤において、2.0kgと比較して円盤の初速度が有意に高値を示していた。さらに、各々のリリースパラメータの変化について投能力による影響は認められなかった。このことから投能力の高低に関わらず、1.0kgまでの重さについて、通常の重量では達成が困難となるスピードでの運動遂行をすることにより、速いスピードを身につけることを目的とするアシスティッドトレーニングとして用いることが可能であると考えられる。

重量円盤において、選手全体では2.0kgと比較

して円盤の初速度、投射高および3.0kgの投射角が有意に低値を示した。群別では、投てき記録の上位群の投射高や投射角に有意な差は認められなかったが、投能力が低い特性を有する投てき記録の下位群では投射高や投射角が有意に低値であった。広瀬ほか (2015) は、高重量ハンマーのトレーニングについて、競技者のレベルに応じて加重の度合いを調節することにより、投てき技術に及ぼす影響を最小限に留めたトレーニングが可能であると指摘している。本研究の重量円盤を用いた投てきで、投てき記録や筋力が低い対象者の投射高や投射角が減少していたことと広瀬ほか (2015) の主張を考慮すると、円盤投げにおいても高重量の円盤を用いたレジスティッドトレーニングでは、投能力に応じた重量の設定が必要であると考えられる。

V. まとめ

本研究の目的は、ベスト記録が29 mから47 m程度の一般男子円盤投げ選手16名を対象として、円盤重量の変化によるリリースパラメータの変化を投能力との関係を考慮しながら検討し、トレーニングに有効な円盤重量を明らかにすることであった。

本研究で得られた結果から、軽量円盤については、個人の投てき記録に関わらず1.0kgまでの円盤について、アシスティッドトレーニングとして有効であると考えられた。しかし、重量円盤では投てき記録の低い対象者で、投射高、投射角が低くなっていたことから、2.5kgや3.0kgの円盤を用いたレジスティッドトレーニングでは、個人の投てき記録に応じた重量範囲を設定する必要があると考えられた。

VI. 文献

Bartlett, R. M. (1992) The biomechanics of the discus throw: A review. *Journal of Sports Sciences*, Volume 10, 1992: 467-510.

- ダイソン, G (1972) 陸上競技の力学. (金原勇, 渋川侃二, 古藤高良訳) 大修館書店, 209-249.
- 原信一, 有吉正博, 繁田進 (1994) 円盤投競技者の体力に関する調査研究. 陸上競技研究, 46 (2): 36-39.
- Hay, J.G. and Yu, B. (1995) Critical characteristics of technique in throwing the discus. *Journal of Sports Sciences*, 13; 125-140.
- 広瀬健一, 大山卞圭悟, 藤井宏明, 青木和浩, 尾縣 貢 (2015) ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの負荷特性—高重量ハンマーによる投てきに注目して—. *コーチング学研究*, 29: 31-40.
- 公益社団法人 日本パワーリフティング協会 (2018) ルールブック H30 版改正, <http://www.jpapowerlifting.or.jp/powerlifting/> ルールブック /
- 小岩晴樹, 広瀬健一, 前田奎, 青木和浩, 佐久間和彦 (2017) 円盤投げにおける軽量円盤の使用が投てき記録および動作時間に及ぼす影響. *陸上競技研究*, 109: 19-25.
- 前田正登 (1995) 円盤投げにおけるリリースパラメータ. *スポーツ方法学研究*, 8: 29-38.
- 松尾宣隆, 湯浅景元 (2005) 円盤投げ動作における身体重心速度が円盤速度と円盤+投てき者角運動量に及ぼす効果. *中京大学体育学論叢*, 46(2): 33-43.
- 森本吉謙, 村木征人 (2001) ボール重量が野球の投球におけるスピードと正確性に及ぼす影響. *スポーツ方法学研究*, 14 (1): 85-93.
- 村木征人 (1994) *スポーツトレーニング理論*. ブックハウス HD, 53-55.
- Steve Leigh, Hui Liu, Mont Hubbard, Bing Yu. (2010) Individualized optimal release angles in discus throwing. *Journal of Biomechanics*, 43: 540-545.
- 高松 潤二, 桜井 徹 (2013) 円盤投げのトレーニング手段に関するバイオメカニクスの研究. *流通経済大学スポーツ健康科学部紀要*, 6: 43-53.
- Tancred, B. and Tancred, G. (1977) The effects of using a “heavy” discus in training by novice U/15 years old schoolboys. *Athletics Coach*, 11: 9-11.
- T. D. Fahey. (2002) Predictors of performance in elite discus throwers. *Biology of Sport*, 19: 103-108.
- Winter, D.A. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement*. 2nd ed, John Wiley and Sons: New York, 41-43.