

投擲物体の質量と飛距離の関係の左右差について

† 森本安夫

明治鍼灸大学 物理教室

要旨：投擲物体の質量， M とその飛距離， L の間には特徴的な関係がある。その関係は M がある質量， M_c （ほぼ手の質量で約200 g）以下では L はほぼ一定となり， $M > M_c$ では M の冪に比例する，すなわち $L \propto M^{-a}$ に従って減少することが分かっている。 a は理論的には0.4から0.7の値が予測され，実験的には0.2から0.7という値が観測されていて，それは投げる技術にほぼ対応している。それは物体を投げるという動作が身体の発するパワーをいかに投擲する物体に伝えるかということによって決まっているからである。その効率，すなわち投げる技術は M_c や a に現れる。当然のことながらこれらの値は左右（もっと具体的には，利き手，非利き手）で異なる。その違いがどのように発現するかを調べた。興味ある量は a や M_c に加えて， $M \sim M_c$ で見られる最大飛距離， L_M および $M \gg M_c$ で見られる最小飛距離， L_m である。各々の右，左での値を R, L で区別する。次のような結果が得られた。第1に $a(R) > a(L)$ であった。 a は投げる技術を表すので，左右で明確な差を示すという当然な結果である。第2に $M_c(R) < M_c(L)$ であった。これは手の運動エネルギーを投擲物体に効率良く伝えていることを示しており，妥当な結果である。第3に， M_c と a の関係については，左右にかかわらず， $M_c \propto a$ という結果が得られた。これは理解に苦しむ結果である。というのは投げる技術の向上と共に手側に残るエネルギーは少なくなると思われるからである。第4に最大飛距離については， $L_M(R) \propto a(R)$ という結果が得られた。 $L_M(L)$ ， L_m については a にはほとんど依存しない。この結果は投げる技術は $L_M(R)$ に強く現れるということを示している。 $L_M(L)$ ， L_m については技術よりも，被験者の体力によることの反映であろう。第5に L と M より投擲物体に与えられるパワーを算出した。 L_M ， L_m を与えるパワーを各々 W_M ， W_m とすると $W_M > W_m$ であった。 W_m は $M \gg M_c$ ， W_M は $M \sim M_c$ に対応する質量で出現する。 W_m は投げるというより，押し出す形なので技術によらずほぼ人体の発するパワーがそのまま投擲物体に伝えられていると考えられるので，この値が人体の発するパワーに近い値をとるといえる。それに対して W_M は直接投げる技術が効くだろう。

したがって比， $\frac{W_M}{W_m}$ は a ，すなわち投げる技術に対応していると考えられる。実際右ではこの量は a に比例し，左では a に依存しない。以上の結果は統計的に確認された。

I. 序 論

投擲という動作は，狩猟が生活の手段であったような時代は別にして現代では日常生活ではそれ程重要なものではなく，各種のスポーツ—野球，槍投げ，砲丸投げ，ハンマー投げ等—において重用されるものである。従って投げる動作の研究は競技の成績を上げる，すなわち，より遠く，より速く，より正確に投げるための研究¹⁻⁶⁾，およびそれに伴って発生する障害についての研究⁷⁾に集中している。

一方現代ではスポーツは生活習慣病の予防，あるいは高齢でのQOLの維持等において有効なものであり，競技力の向上の面だけでなく，日常の動作あるいはレクリエーションとして重要になっ

てきている。しかも球技はこのような場面において楽しくやれるスポーツであることからその重要性を増している。従って投げる動作の研究は競技的な方向だけでなく，日常レベル（素人レベル）での研究も進められるべきものであろう。そのためには，もっと基礎的な研究が必要である。そのような方向の研究として森本による飛距離（ L ）の投擲物体の質量（ M ）依存性の研究がある⁸⁾。そこでの結論は，人体の発するパワーをヒル方程式^{9, 10)}で近似すると，臨界的な質量， M_c があって，質量， $M < M_c$ では L はほぼ一定となり， $M > M_c$ では $L \propto M^{-a}$ に従って減少するというものであった（文献（8）の図3参照）。 a の値は投げるという技術の熟練の度合いを示し，熟練者

平成17年9月5日受付，平成18年5月29日受理

Key Words：投擲物体の質量 mass of throwing object, 飛距離 leap, 左右差 difference between right and left, ヒル方程式 Hill equation

† 連絡先：〒629-0392 京都府南丹市日吉町 明治鍼灸大学 物理教室
Tel: 0771-72-1181 Fax: 0771-72-0326 y_morimoto@meiji-u.ac.jp

では0.67, 非熟練者で0.40であることが理論的に導かれる。実験的には0.2から0.7の間の値をとり、それが投げる技術の度合いを示していることが確認されている。Mcはほぼ、手の質量に相当すると考えられるが、それ以外にも物体をどのような段階で離すかにも依存するだろう。また離れた時点での速度にも、すなわち、運動エネルギーに等価な質量にも関係するだろう。従ってMcの大小は一概には言えないが、一般に投球技術が優れているほど小さいことが予想される。

人には利き手、非利き手の別がある場合がほとんどである。通常右が利き手、左が非利き手である。そうするとaが投球技術の熟練度を示すのであるから、この値は人による差はもちろんであるが、1人でもその左右で大きな差のあることが予想される。本研究では以上の事実を確認するため、LとMの関係の左右差について測定することにした。なお左右とは上で述べたように、より正確には利き手と非利き手という意味であり、左が利き手の場合には左右は逆転する。実験方法は文献8)の場合とほとんど同様で違いは測定を左右について行うというだけである。上述のパラメータ、Mcとaが右、左について得られるので、より豊富な議論を行うことが可能になった。更に検討事項として $M \cong Mc$ で実現される最大飛距離、 L_M 、および $M \gg Mc$ で実現される最小飛距離、 L_m とaとの関連、およびその左右差を調べた。諸量の右と左での値を各々R、Lで表そう。そうすると $L_M(R)$ はa(R)と強い相関を示すが、 $L_M(L)$ 、 $L_m(R)$ 、 $L_m(L)$ についてはa(R)、a(L)とほとんど相関が無いという、興味ある関係を得ることができた。またそのとき投擲物体に与えられるパワーがL、Mから計算できる。 $L = L_M$ の場合のパワーを W_M 、 $L = L_m$ の場合のそれを W_m とすると、その比、 $\frac{W_M}{W_m}$ はaと興味ある関係を示す。すなわち右ではaと比例関係にあるが、左ではaにほとんど依存しない。これらの事実は投球動作や、人体の発するパワーがいかなる効率で投擲物体に伝えられるかに依存しているかによって解釈できた。

次節において、理論的なレビューを行い、本研究で予測される結果について述べる。Ⅲ節では行われた実験結果をまとめている。最後の節では、

得られた結果について理論との対比を行い、まとめを述べる。議論される量はa、Mcに加えて $M \cong Mc$ で得られる最大飛距離、 L_M 、 $M \gg Mc$ で得られる最小飛距離、 L_m 、およびこれらから導かれるパワー、 W_M 、 W_m である。

Ⅱ. 理論のレビュー

文献8)で示された理論を振り返り本実験で予測される結果を概観してみよう。

地上で質量、Mの物体を初速度、Vで斜め方向に投げると、その飛距離、Lは次のように表される。gは地球の重力加速度である。

$$L = \frac{V^2}{g} \propto V^2. \quad (1)$$

このとき物体の運動エネルギーは $\frac{1}{2}MV^2$ である。人がこのエネルギーを与える時間はVに反比例する。従って投擲物体に与えられるパワー、Pは次のようになる。

$$P \propto MV^3. \quad (2)$$

である。Pはヒルの方程式より筋の収縮速度、V0の冪で表されることが文献8)で指摘されている。すなわち、

$$P \propto V_0^n. \quad (3)$$

V_0 が直接投擲物体の初速度と等しくなるわけではないが、ほぼ比例すると考えていだろう。そうすると(2)、(3)より、

$$MV^3 \propto V^n, \text{ より, } V \propto M^{\frac{1}{n-3}} \text{ すなわち,} \\ L \propto V^2 \propto M^{\frac{2}{n-3}} \quad (4)$$

である。nの値は V_0 により異なり、熟練者では0、非熟練者では-2となるので⁸⁾、

$$L \propto M^{\frac{2}{3}} \quad \text{熟練者,} \\ L \propto M^{-\frac{2}{5}} \quad \text{非熟練者} \quad (5)$$

となる。従って $L \propto$ としたとき、 a の値は理論的には0.40から0.67の値を取ることになる。しかし考慮されていない事項もあるのであろう。実験的には0.2から0.7の値を取り、ほぼ投げる技術の度合いに比例することが知られている⁸⁾。

ただし上の議論が成立するには条件がある。それは手の質量と M との関係である。投げたとき、手も速さが V となっているため手にも運動エネルギーが必要である。従って M が手の質量よりも小さくなると、有効に物体にエネルギーが伝えられなくなる。これを考慮すると、手の質量に対応するある質量、 M_c が存在して $M < M_c$ では物体と同程度の運動エネルギーが手に残るため、それより軽くなっても L は増加せずほぼ一定となる。 $M > M_c$ では(5)のように L が変化することが考えられる。以上が文献8)で予想され、かつ実験的に確認された結果である(文献(8)の図3参照)。 M_c がほぼ手の質量で決まることは明らかであるが、それだけでは確定しない。というのは手に残る運動エネルギー M^{-a} ギージに対応する等価な質量も考えられるからである。これは直接投球の技術に関係するだろう。これがどう決まるかは現段階では明確ではない。

それでは左右差は以上の事実によどのような影響を与えるであろうか？まず第1に被験者が投げる動作の熟練者であるかどうかを問わず、右(利き手)の方が投げる技術に優れているはずであるから $L \propto M^{-a}$ としたとき、指数、 a の値は右で0.67に近く、左では0.4に近い値になるはずである。第2に M_c の値であるが、この値は如何に効率よくエネルギーを手から物体に伝えるかによって異なる。理想的には手にそのエネルギーが残らず、全てを物体に伝えることができればよい。現実的にはそれは不可能なので、投げる技術が優れているということは、 M_c が小さいことに現れるであろう。以上、二つの傾向- a と M_c が右左で明瞭な差が発生する-が実験的に確認されれば、投げる動作の理論的な解析が妥当なものであることが立証されることになる。さらに(2)より物体に与えられるパワーが L 、 M より計算できる。これが人体の発生するパワーとどう関係するのかを調べることができる。 W_M 、 W_m そのものは被験者の体力に依存するであろうが、その比、 $\frac{W_M}{W_m}$ は投

げる技術に大きく依存するはずで、当然その左右差も議論の対象となる。

次節においてその実験結果を示そう。

III. 実験とその結果

実験手法は文献8)と同様である。実験場所は明治鍼灸大学グラウンドで、実験時期は2005年4月から6月である。被験者は本学の4年生男子6名で年齢は22から24歳である。運動経歴等は結果と共に表1に示している。投擲物体は硬式テニスボール(56g)を下限とし、鉄球(81g)、軟式野球ボール(150g)、ソフトボール(200g)、鉄製円筒(370g、610g、940g、1.57kg)、砲丸(2.68kg、4.09kg、5.66kg、7.38kg)の13種を用意した。投擲は左右について、各2回行った。投球回数は1度の実験で左右合わせて52となるので、決して無理をしないようお願いした。投球方法は2kg以下ではオーバーハンド、それ以上では砲丸投げのスタイルとなった。

表1.

被験者	運動歴	a(R)	a(L)	Mc(R)	Mc(L)	Lm(R)	Lm(L)	Lm(R)	Lm(L)
#1	サッカー	0.60	0.44	250	350	62.2	30.0	7.7	5.6
#2	柔道	0.47	0.38	210	320	38.7	17.1	6.6	4.9
#3	バスケ	0.56	0.29	250	300	51.8	21.0	8.3	6.5
#4	剣道	0.66	0.43	270	300	57.6	24.4	6.1	5.5
#5	サッカー	0.62	0.36	200	260	49.4	16.9	4.8	4.8
#6	合気道	0.54	0.39	210	290	28.7	21.5	4.4	4.8
平均値		0.58	0.28	232	313	50.4	21.8	6.3	5.4
標準偏差		0.06	0.05	26	26	9.3	4.5	1.4	0.6

各被験者の a 、 M_c 、 L_M 、 L_m の左右のデータ。 M_c の単位はg、 L_M 、 L_m の単位はmである。下段には各々の量の平均値と標準偏差を示している。

典型的な結果を2例、図1、2に示す。他の4例も傾向は全く同じである。図は縦軸が飛距離、 L 、横軸が投擲物体の質量、 M で、II節での理論を確認し易いよう、どちらも対数で目盛っている。なお一人の被験者について2回の投球を行っているが、それは平均せずそのままプロットしてある。ここで M_c の決定方法を述べておく。図1の●(右手)のデータについて見ると、これは二つの領域に分かれる。 M の小さいところでは L はほぼ一定(水平)になっているが、 M の大きい部分では M

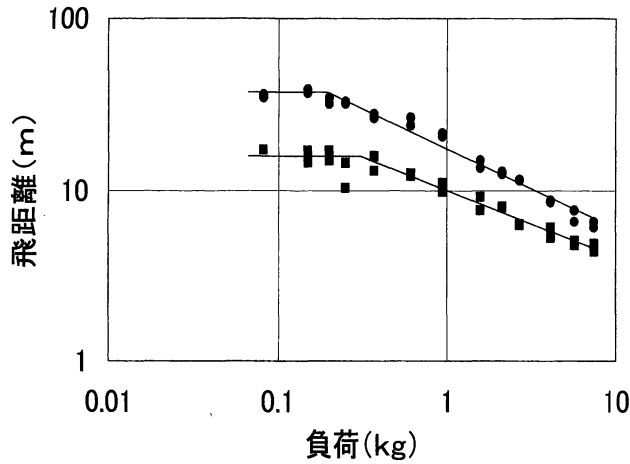


図1. #2の被験者についての飛距離, L の投擲物体の質量, M 依存性. ●が右手, ■が左手によるものである.

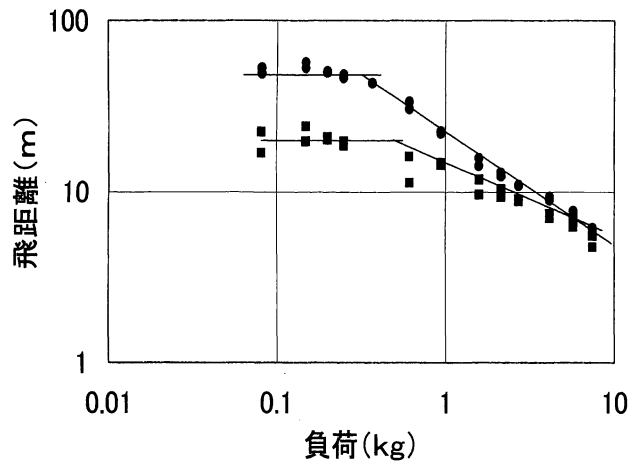


図2. #4の被験者についての飛距離, L の投擲物体の質量, M 依存性. ●が右手, ■が左手によるものである.

のある冪に比例して L が減少している: この二つの領域が交わる M の値が M_c となる. この場合ほぼ210gである.

説明の便のため記号を次のように定める. $L \propto M^{-a}$ としたときの指数, a は当然右, 左で異なるので各々 $a(R)$, $a(L)$ とする. M_c についても同様に $M_c(R)$, $M_c(L)$ とする. 他に議論するのは最大および最小飛距離であるが, これも当然左右で異なる. 前者についての右, 左の値を各々 $L_M(R)$, $L_M(L)$ とし, 後者については $L_m(R)$, $L_m(L)$ としておく.

図1, 2は各々表1の被験者#2, #4に対応している. 左右いづれもII節で説明したような L の M -依存性を示していることがわかる. 図1で

は, $a(R)=0.47$, $a(L)=0.38$ で, それ程大きな差は認められない. M_c については $M_c(R)=210\text{g}$ と $M_c(L)=320\text{g}$ で差のあることが分かる. 最大飛距離は $M=200\text{g}$ のときに得られ, $L_M(R)=38.7\text{m}$ および $L_M(L)=17.1\text{m}$ で, 左右の比は2となる. それに対して最小飛距離は $M=7.38\text{kg}$ のときで $L_m(R)=6.6\text{m}$ および $L_m(L)=4.9\text{m}$ であり, 比は1.3となる. これはこの程度の重さになると投げる動作が押し出す形になり, 技術が左右でそれ程変わらないということなのであろう. 一方図2では $a(R)=0.66$, $a(L)=0.43$ と大きな差を示す. 両者を比べると $a(R)$ が大, すなわち投げる動作がうまい程, 反対側との差がおおきくなるようである. この傾向は他の例でも同じである. 飛距離については $L_M(R)=57.6\text{m}$ および $L_M(L)=24.4\text{m}$ で, この場合も左右の比はほぼ2となる. それに対して最小飛距離は $M=7.38\text{kg}$ のときで, $L_m(R)=6.1\text{m}$ および $L_m(L)=5.5\text{m}$ であり, 比は1.1となる. つまりこの状況では左右の差は顕著ではない.

以上の結果を各被験者についてまとめたのが表1である. a , M_c , L_M および L_m の左右について比較している. 各量, a , M_c , L_M および L_m については関連2群の差の検定によって有意水準5%で左右に有意の差のあることが検定された. 参考のため, これらの量の平均値および標準偏差を表1の下段に示している.

1を用いて(1)式より V を評価して, 各被験者が投擲物体に与えたパワー, W_M , W_m を計算し, まとめたのが表2である. 単位は W である. このとき腕の長さが必要となるが, ほぼ1mとして計算した. 右側の2項は比, $\frac{W_M}{W_m}$ を右, 左に対し示している. これらは関連2群の差の検定によって有意水準5%で左右に有意の差のあることが検定された. 参考のため, これらの量の平均値および標準偏差を表2の下段に示している.

これらの値は次節においてその対応, 関連が検討され, まとめが行われる.

IV. 議論とまとめ

前節で得られた諸量について議論を行い、まとめを与える。

図3に、投げる技術の指標である $a(R)$ と $a(L)$ の対応を示す。ほぼ比例しているようであるが、相関係数は0.32で関連性はそんなに強くない。前者が0.45から0.65にわたって分布しているのに対して後者は0.30から0.45にわたっている。 $a(R) > a(L)$ は当然のことながら成り立っている。これは右手で投げる技術が高くても、自動的に左手にもそれに対応する技術が備わるわけではないことを示しており、本実験の動機となった左右差の存在を如実に示している。

図4には Mc と a の関連を示す。一見して分かるように左右を問わず a が大きくなると（すなわち投げる技術が高くなると） Mc も増える。相関係数は左で0.64、右で0.53であり、両者に有意な差は認められない。これはII節での議論とは相容れない。つまり技術が上達するほど手側に残る運動エネルギーは小さくなるはずなので、 Mc は a と共に減少することが予想されるからである。ただ遠くに投げようとする、どうしても手にも運動エネルギーを残さざるをえないので、見掛け上 Mc が大きく見えるという状況があるのかもしれない。この問題には明確な解釈はまだできていない。将来の問題として残されている。

図5には $Mc(R)$ と $Mc(L)$ の対応を示す。 $Mc(L) > Mc(R)$ という関係が成立しているのが分かる。これは投げる技術の左右差を直接に反映したものであろう。というのは、 Mc はある程度被験者の手の質量と関係しているので、 $Mc(R)$ と $Mc(L)$ には差が無いはずであるが、実際には Mc に寄与するのは手の質量だけでなく手に残る運動エネルギーに等価な質量も寄与すると思われる。左の方が投球技術が下手であるので、手に運動エネルギーが多く残り、それがこの差が与えているのであろう。この関係の相関係数は0.79でかなり高い。

図6には最大飛距離、 LM と a の関係を示す。 LM は $M = 150\text{g}$ ($\cong Mc$) の付近で発生する。 $LM(R)$ は明らかに $a(R)$ に比例して大きくなる。これは a が投げる技術の指標であることの直接的な反映である。相関係数は0.71と大きい、左ではその依存性は小さくなるのが分かる。相関係数も

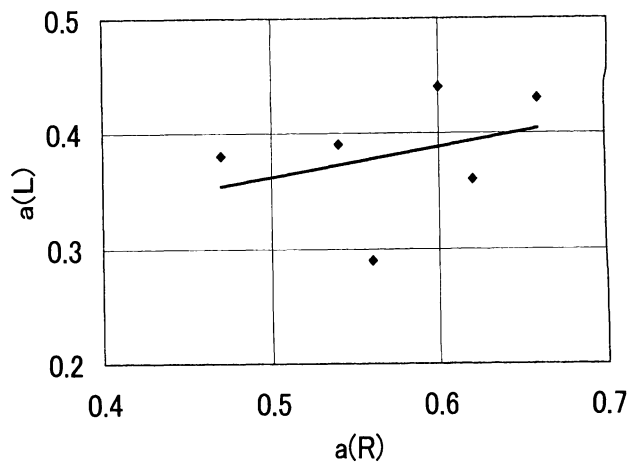


図3. $a(R)$ と $a(L)$ の関連. 相関係数は0.32でそれ程大きくない。

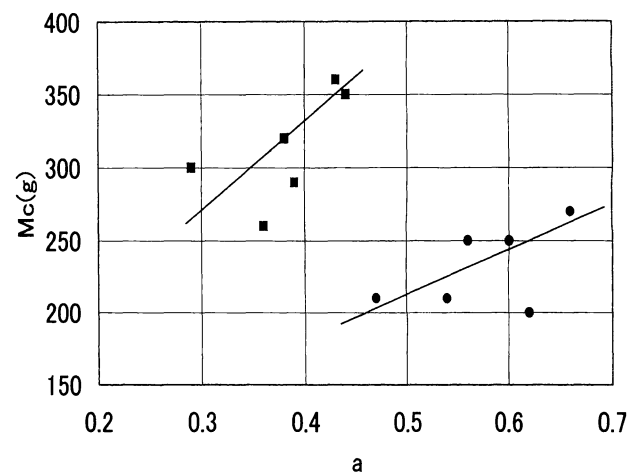


図4. Mc と a の関連. ●が右手, ■が左手によるものである。

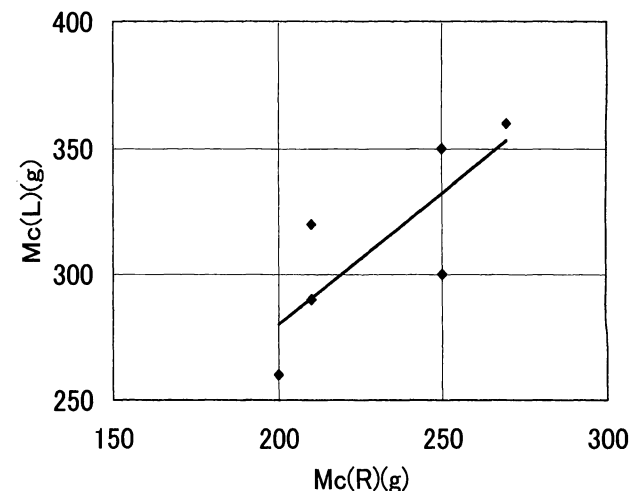


図5. Mc の左右の関連。

0.59といくぶん小さくなる。つまりこの場合、技術はほとんど効かず、力だけで投擲を行っているのだろう。それに対して、 $L_M(L)$ は a にはほとんど依存しない。ただ L_M の大きさは技術だけでなく、被験者の体力、筋力にも大きく関連するのでこの結論をそのまま受け入れることは難しい。しかしここでの被験者は全て何らかのスポーツを行っている22から24歳の男子なので、体力等はある程度そろっていると思われる。

図7には $M=7.38\text{ kg}$ で見られる最小飛距離、 L_m の a 依存性を示す。 L_M の場合と異なり、左右共にその依存性はほとんど無く、相関は認められない。この程度の質量の物体を投げる場合はオーバーハンドでは投げられず押し出す形（砲丸投げのスタイル）で投げるので、 a で表される技術よりも体力が効いていることの証拠であろう。

図8には L_M と L_m の対応を示している。左右いずれの場合もほぼ比例している。左では L_m が a に依存しないことを反映して傾きは小さい。これらの相関係数は右で0.63、左で0.40で、それ程強い相関は無い。この結果は L_M と L_m を与える投げ方が全く異なることによると思われる。

次に実際にどのくらいのパワーが投擲物体に伝えられたかをみてみよう。それは(1)、(2)を組み合わせる算出できる。結果を表2に示す。 W_M は $M \cong M_c (\cong 150\text{ g})$ で、 W_m は $M (\cong 7.38\text{ kg}) \gg M_c$ 発揮される。この表から発揮されるパワーは $M \gg M_c$ の方が大きい。この場合、投げるというより、押し出すだけなので、その技術にあまり関係せず、人体の発するパワーがそのまま投擲物体に移行されるためであると考えられる。それに対して $M \sim M_c$ では充分腕を振るので技術が関与するものと思われる。そうすると、 $\frac{W_M}{W_m}$ が投擲に関するエネルギー効率、すなわち人体の発するパワーと投擲物体に伝えられたパワーの比となる。それは表2より右手では0.21から0.47となる。左手では0.13から0.21であり、右手に対して約半分、効率の悪いことが分かる。この量は当然、 a と関係するはずである。この対応を示したのが図9である。右では明らかに $\frac{W_M(R)}{W_m(R)}$ は $a(R)$ に比例し、両者に強い相関が認められる。相関係数は0.92である。それに対して左では相関

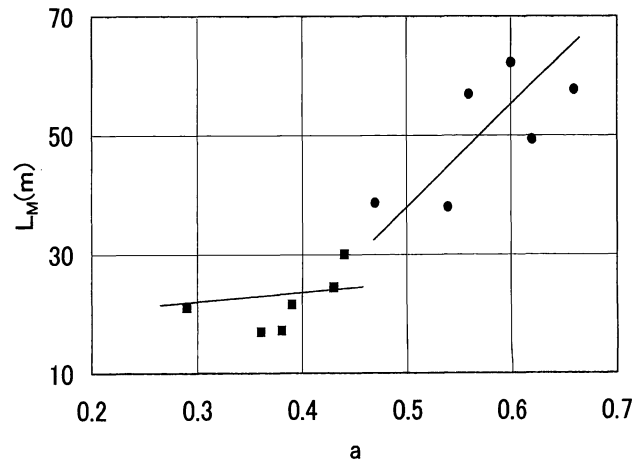


図6. L_M と a の関連。●が右手、■が左手によるものである。

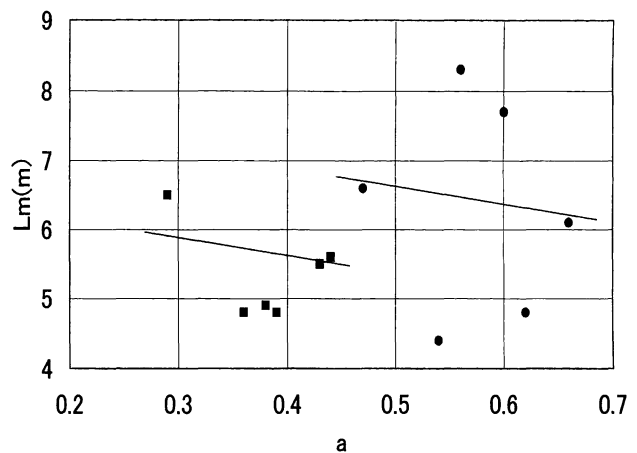


図7. L_m と a の関連。●が右手、■が左手によるものである。

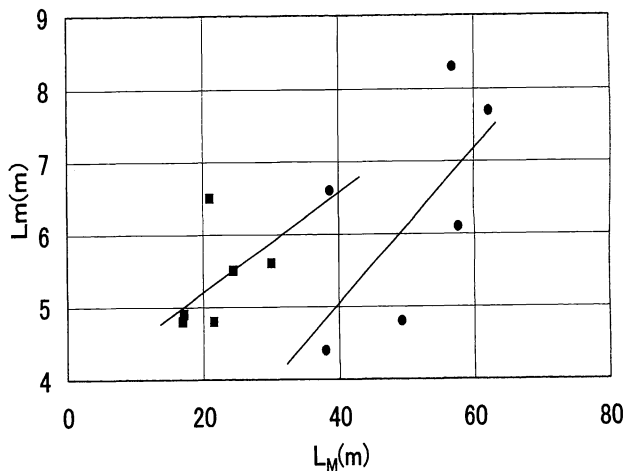


図8. L_M と L_m の関連。

係数は0.64で、やや関連はうすくなる。その勾配も小さくなり、 $a(L)$ への依存性は認められない。

以上の結果はいずれも投げることを主とするスポーツをやったことのない被験者についてなので、野球のようなスポーツを経験した被験者の場合には異なる結果が得られる可能性は否定できない。なおプロ野球のピッチャーではボールの速度は150 km/hが普通である。ボールの質量を150 gとすると、これに要するパワーはほぼ1400Wとなる。これは W_M に相当する。表2で得られたものは132Wから388Wであるから、その比は10.6から3.6となる。これが野球におけるアマチュアとプロの、ボールを投げることに関する体力、技術の差なのであろう。

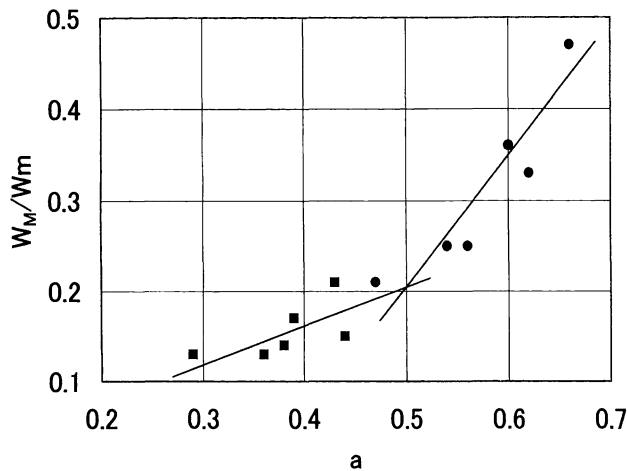


図9. $\frac{W_M}{W_m}$ と a との関連. ●が右手, ■が左手によるものである。

表2.

被験者	$W_M(R)$	$W_M(L)$	$W_m(R)$	$W_m(L)$	$\frac{W_M(R)}{W_m(R)}$	$\frac{W_M(L)}{W_m(L)}$
# 1	391	120	1039	783	0.36	0.15
# 2	174	71	824	518	0.21	0.14
# 3	349	119	1390	908	0.25	0.13
# 4	388	133	824	627	0.47	0.21
# 5	194	70	590	553	0.33	0.13
# 6	132	92	536	536	0.25	0.17
平均値	271	101	867	654	0.31	0.16
標準偏差	107	25	288	144	0.09	0.03

各被験者の W_M , W_m の左右のデータ。単位はWである。右側の2項は比、 $\frac{W_M}{W_m}$ の左右の値である。下段には各々の量の平均値と標準偏差を示している。

以下に全体的なまとめをしておこう。

- (1) $M < M_c$ では L は一定, $M > M_c$ では $L \propto M - a$ という関係は左右いずれでも成立している。
- (2) $a(R) > a(L)$ が成立しており, 右手の方が投げる動作に優れていることを示している。
- (3) 予想されたように $M_c(L) > M_c(R)$ が成立している。左右いずれも a とともにゆるやかに増加する。
- (4) L_M は右では $a(R)$ に比例すし, 左では $a(L)$ にはほとんど依存しない。これは(2)の結論と一致する。
- (5) L_m は左右とも, a には依存しない。これは7 kgを越すような思い物体を投げるときは, ほとんど体力のみにより, 通常は技術はあまり効かないことを示している。
- (6) パワー効率, $\frac{W_M}{W_m}$ は右では a に比例するが, 左ではほとんど a によらない。この結果は(2), (4)の結論と一致する。
- (7) M_c は左右を問わず, a と共に増加する。 a が投球技術の指標とするとこれは矛盾している。この事実は M_c が単に手の質量だけで決まるのではないことを示している。この問題は现阶段では解決されていない。

以上の結論は一部を除いて文献8)で為された理論的解析が妥当なものであることを示している。ただ M_c に関しては, a , すなわち投げる技術の向上と共に増加するのは納得できない。考慮すべき他の条件があることを示している。

謝 辞

本研究は2005年度物理教室の卒業研究のテーマであり, ゼミ生, 金子房代, 坂井香奈子, 佐々木文也, 鍋田祐介, 三牧正および宮崎徹の各氏には測定やデータ整理あるいは被験者として, 協力を頂いた。ここに感謝の意を表する。

本研究は本学研究倫理委員会の承認を2005年5月11日に得た。受付番号は17-1である。

参考文献

- 1) 桜井伸二, 高槻先歩: 投げる: 投げる科学. 大修館書店, 東京. pp23-180, 1996.
- 2) 吉福康郎: パワフルに投げて打つには: スポーツ上達の科学. 講談社, 東京. pp122-175, 1990.
- 3) 松浦義行: 投てき: スポーツの科学. 朝倉書店, 東京. pp77-97, 1985.
- 4) 平野祐一: ピッチング動作のバイオメカニクス. 臨床スポーツ医学. 18: 19-24, 2001.
- 5) 桜井伸二, 池広男, 矢野京之助, 岡本敦: 野球の投球動作の3次元動作解析. 体育学研究. 35: 143-156, 1990.
- 6) 平野祐一, 浅田俊夫: 野球の投球動作とその指導. 体育の科学. 38: 94-100, 1988.
- 7) 渡会公治: ピッチング動作による肩肘損傷予防とバイオメカニクス. 臨床スポーツ医学. 18: 25-32, 2001.
- 8) 森本安夫: 投げる-物体の質量と飛距離の関係の導出. 明治鍼灸医学. 30: 41-48, 2002.
- 9) 金子公宥: 種々の運動の出力パワー: パワーアップの科学. 朝倉書店, 東京. pp64-80, 1988.
- 10) 金子公宥: カー速度関係からみた筋パワーの分析: 人体筋のダイナミクス. 杏林書院, 東京. pp73-108, 1974.

The difference between right and left hand sides throwing in the relation of leap and mass of the throwing objects

†MORIMOTO yasuo

Department of Physics, Meiji University of Oriental Medicine

Abstract

[Purpose] The leap, L of the throwing object depends on the mass, M of throwing object in the following way: there is characteristic mass, Mc , and for $M < Mc$, L is nearly constant, while for $M > Mc$ L decreases as M^{-1} . The parameters, a and Mc , indicate the skill of throwing. We study this relation both in right and left hand side throwing, and try to find detailed mechanism of throwing, by discussing the relations between a , Mc , L_M (the longest leap), L_m (the shortest leap), W_M (power supplied to the object when $L = L_M$) and W_m (power supplied to the object when $L = L_m$).

[Theory] The quantities, a and Mc depend on the degree of skill for throwing. So they have different values for right and left hand side throwing. Identifying the right and left by R and L , It can be easily predicted that $a(R) > a(L)$ and $Mc(R) < Mc(L)$, because of superiority of right hand side throwing. L_M and L_m are realized for $M \cong Mc$ and $M \gg Mc$, respectively. It is also expected that $L_M(R)$ is proportional to $a(R)$, but $L_M(L)$ and L_m do not depend on a , because a represents the degree of skill of throwing. The relation, $W_m > W_M$, is also expected, since the power generated by the volunteer may be supplied to the object more efficiently when $M \gg Mc$, rather for $M \cong Mc$. $\frac{W_M}{W_m}$ Then the ratio, indicates the skill of throwing, and is related to a . Accordingly we can expect $\frac{W_M(R)}{W_m(R)} \propto a(R)$, but $\frac{W_M(L)}{W_m(L)}$ does not depend on $a(L)$.

[Results] The 13 throwing objects are prepared ranged from 80g to 7.2kg. The 6 male volunteers aged from 22 to 24 throw them twice by right and left hands. The characteristic L - M relation is observed both for right and left hand sides, and the relations, $a(R) > a(L)$ and $Mc(R) < Mc(L)$ are confirmed. The quantities, a , Mc , L_M , L_m , W_M and W_m are summarized in the tables, and their relations are discussed below.

[Discussions and Conclusion] The results, $a(R) > a(L)$ and $Mc(R) < Mc(L)$, are reasonable, because both relations reflect the fact that the skill of throwing for the right hand side exceeds that for the left hand side. Concerning L , the relation, $L_M(R) \propto a(R)$ is recognized, however $L_M(L)$ and L_m do not depend on a , which is also reasonable by the same reason mentioned above. Experimentally the relation, $W_M < W_m$ holds, which says that the power generated by the volunteer is efficiently supplied to the throwing object, when the object is sufficiently heavy. The ratio, $\frac{W_M(R)}{W_m(R)}$, is fairly well proportional to $a(R)$, while for left hand side the ratio does not almost depend on $a(L)$. These results manifest the correctness of the theory mentioned above.

Received on September 5, 2005 ; Accepted on May 29, 2006

† To whom correspondence should be addressed.

Meiji University of Oriental Medicine, Hiyoshi-cho, Nantan-shi, Kyoto 629-0392, Japan