

ごみ投げの達人

～ 物体投射の最適な条件の研究 ～

高松第一高等学校 安光 紗良 永田 光希 山地 彩葉

1. 要旨, 概要

私たちはごみをごみ箱に捨てる際、少し離れた所から投げ入れて失敗することに悩まされていた。そのため、離れた所からごみを狙った位置に投げ入れることができる条件を探すことを目的とした。ごみ投げをする際の、投げ始めの手の位置、投げた角度、初速に注目してデータを取った。

実験では、5人の被験者に折り畳んだルーズリーフを2m, 3m, 4m, 5m, 6m, 7mの地点から各地点50回ずつ投げてもらい、入った回数を数えた。その結果、3m地点から投げた確率が全員50%前後だったため、入る確率と入らない確率が半々になると考えた。よって、それ以降の実験では投げる位置を3mに固定して実験を行った。さらに3人の被験者に折り畳んだルーズリーフを投げてもらい、ごみ箱に入ったときの、角度、初速、高さのデータを抽出して重回帰分析を行った。

続いて、右利き、左利きの2人の被験者にくしゃくしゃに丸めたルーズリーフを投げてもらい、データを取って重回帰分析を行ったところ、投げ方には個人差があること、投げ始めの位置は、入ったかどうかの結果に影響しにくいことが分かった。また、入らない要因には距離方向のずれ、横ずれが関係していることが分かった。

距離を固定して、角度を目的変数とした重回帰分析の式を作成した。初速の平均を代入すると、その距離で入る角度を示せるようになった。以上より、ごみの投射に関する分析方法の1つを確立できたとと言える。

2. 問題提起, 研究目的

教室でごみを投げようとした際、確実に入る方法はないかと考えた。先行研究を調べた結果、ダーツでは、投げ始めの位置や初速、角度が、正確に的に当たる際に大事であることが分かった。しかし、ごみ投げに限定したものや、正確に投げ入れるための条件を式で表しているものは見当たらなかった。そのため、私たちはごみを投げようとした際に確実に入る条件を表す式を作ろうと考えた。

3. 研究方法, 結果, 考察

【予備実験】

<目的>

これからの実験で基準となるごみ箱からの距離を調べることにした。

<実験方法>

部活動や性別が様々なクラスメイト5名を対象に、被験者とごみ箱の距離が2m, 3m, 4m, 5m, 6m, 7mの位置からそれぞれ50回ずつごみを投げてもらった。地点ごとに入った回数を数えた。また、投げるごみとして、できるだけ個体差をなくすために折り方をそろえたB5のルーズリーフ1枚を投げるものとした。(写真1)



写真1：折り畳んだルーズリーフ (約3.5cm×3.3cm)

<結果>

ごみ箱までの距離	文化部 (女1)	文化部 (女2)	運動部 (女1)	運動部 (男1)	運動部 (男2)	文化部 (男1)
2m	30	24	26	24	28	32
3m	24	17	14	13	19	29
4m	9	9	11	16	11	18
5m	5	3	8	8	1	4
6m	2	1	2	5	3	3
7m	0	0	0	6	3	0

表1：各被験者の地点ごとにごみが入った回数 (回)

<考察>

入った結果には個人差が大きく、必ずしも遠いほうが入りにくいというわけではなかった。2m地点ではほとんどの人が50%以上の確率で入っており、入れるのが簡単であると考ええる。4m地点では最高でも30%の確率でしか入っておらず、入った場合のデータが不足する可能性がある。3m地点では人によってばらつきはあるが、25~60%程度の確率で入っており、基準としては適当だと考えたため、今後の実験ではごみ箱までの距離は3mの地点から投げ入れることに決定した。

【本実験でのデータ処理方法】

○角度について

ビデオ分析ソフトである「Tracker」を使い、投げ始めの手の位置を原点として1コマごとの投げたごみの位置をトラッキングする。(1コマ:0.03秒)



写真2:トラッキングの様子

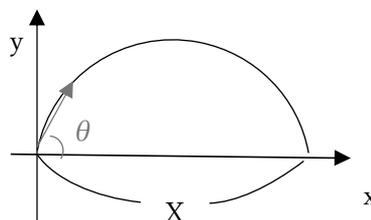
原点から1コマ後のごみの位置のxの値、yの値を確かめ、導き出される角度を θ とする。

○初速について

求めた角度 θ 、ごみを投げてからごみ箱に入るまでの時間 t 、投げ始めからごみ箱の上面の高さにごみが来るまでの距離 X を

求め、斜方投射の式「 $v_0 = \frac{x}{t \cos \theta}$ 」に値を

代入して初速 v_0 を求める。



○投げ始めの位置について

ごみを手から完全に離れたコマの1コマ前を、投げ始めの位置とする。

○横ずれについて

ごみのごみ箱の真上に来た時のごみ箱の中心からのずれを、横ずれとする。

【本実験1】

<目的>

①角度を目的変数、初速と高さを説明変数とした重回帰分析の式、②初速を目的変数、角度と高さを説明変数とした重回帰分析の式を作る。

<実験方法>

入力変数 : 投げ始めの位置、角度、初速、ごみを投げる人物

制御する変数: 投げるごみ (折り畳んだルーズリーフ)

ごみの投射方法 (上投げ)

ごみ箱から足のつま先までの距離 (3m)

結果の変数 : ごみが入るか、入らないか

3名の被験者がそれぞれ50回ずつ入るまで、ごみを3m地点から投げ入れる実験を行った。

ごみのごみ箱に入った動画 150 回分のデータ分析を行った。

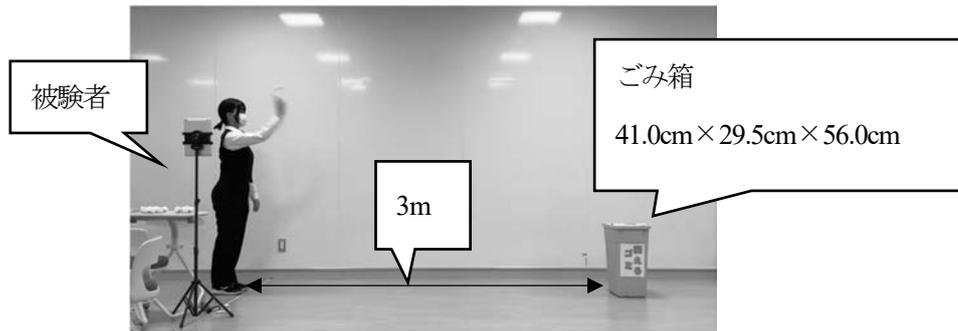


写真 3：実験の様子

写真 3 のように実験器具をセットし被験者にごみを投げてもらって検証した。

<結果>

回帰統計								
重相関 R	0.314412							
重決定 R2	0.098855							
補正 R2	0.080338							
標準誤差	6.708962							
観測数	150							
分散分析表								
	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F			
回帰	3	720.8867	240.2956	5.338695	0.001616			
残差	146	6571.484	45.01016					
合計	149	7292.371						
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 99.0%	上限 99.0%
切片	33.09007	16.0884	2.056766	0.041489	1.293829	64.88631	-8.89941	75.07955
X 値 1	-5.14564	1.34714	-3.81968	0.000197	-7.80805	-2.48322	-8.66157	-1.62971
X 値 2	-5.24143	8.350479	-0.62768	0.531194	-21.7449	11.26201	-27.0355	16.55268
X 値 3	5.164684	3.78006	1.366297	0.173946	-2.30602	12.63539	-4.70098	15.03035

表 2：目的変数が角度である重回帰分析の結果

回帰統計								
重相関 R	0.464486							
重決定 R2	0.215747							
補正 R2	0.199632							
標準誤差	0.392992							
観測数	150							
分散分析表								
	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F			
回帰	3	6.203102	2.067701	13.38815	9.1E-08			
残差	146	22.54862	0.154443					
合計	149	28.75172						
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 99.0%	上限 99.0%
切片	6.258921	0.803467	7.789891	1.15E-12	4.670992	7.84685	4.161934	8.355908
X 値 1	-0.01766	0.004622	-3.81968	0.000197	-0.02679	-0.00852	-0.02972	-0.00559
X 値 2	-2.11329	0.457517	-4.61904	8.39E-06	-3.0175	-1.20908	-3.30737	-0.9192
X 値 3	0.492011	0.219084	2.245762	0.026221	0.059025	0.924998	-0.07978	1.063804

表 3：目的変数が初速である重回帰分析の結果

○導いた式

① 角度 $^{\circ}$] = $-5.15 \times$ 初速[m/s] $-5.24 \times$ 高さ[m] $+5.16 \times$ 距離[m] $+33.0$

② 初速[m/s] = $-0.0178 \times$ 角度 $^{\circ}$] $-2.11 \times$ 高さ[m] $+0.492 \times$ 距離[m] $+6.25$

<考察>

重回帰分析の表2, 表3の補正R2の値から, 目的変数を初速とした結果のほうが目的変数を角度とした結果より精度が高いことが分かる。

また有意Fの値から, 目的変数を初速とした結果のほうが目的変数を角度とした結果より有意性が高いことが分かる。

【本実験2】

<目的>

ごみが入る際の個人差を確かめる。

<実験方法>

利き手の違う2名の被験者が, 3m地点から投げ入れる実験をそれぞれ100回行った。折り畳んだルーズリーフだと回転による差が生じてしまうと考えたため, この実験ではくしゃくしゃに丸めてピンポン玉の大きさ(直径約40mm)にしたB5のルーズリーフ1枚に変更した。(写真4)



写真4: ピンポン玉(左)と丸めたルーズリーフ(右)

入力変数: 投げ始めの位置, 角度, 初速, ごみの投射方法・ごみを投げる人物

A: 右利き・上投げ, B: 左利き・上投げ,
C: 右利き・下投げ, D: 左利き・下投げ の4通り

制御する変数: 投げるごみ(くしゃくしゃに丸めたルーズリーフ)

ごみ箱から足のつま先までの距離(3m)

結果の変数: ごみが入るか, 入らないか

それぞれの投げ方において100回ずつ採用した。

また, 本実験1に加えて, 写真3, 5, 6のように3方向から投げる様子の動画を記録した。



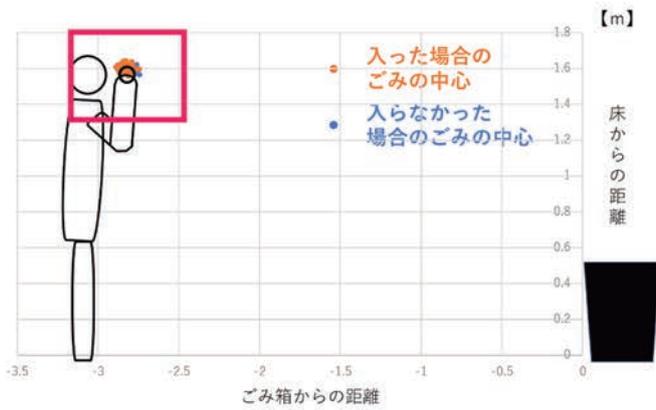
写真5: 正面からの様子



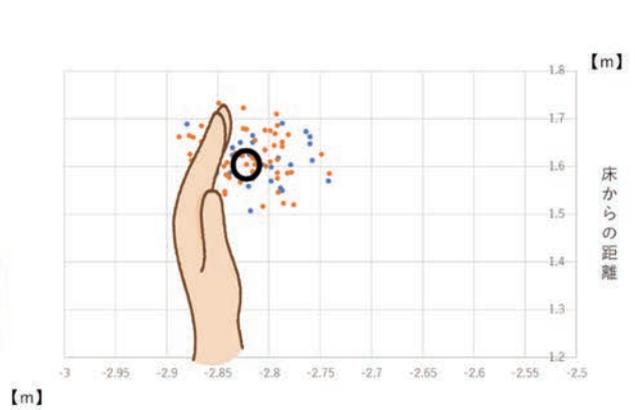
写真6: 真横からの様子

<結果>

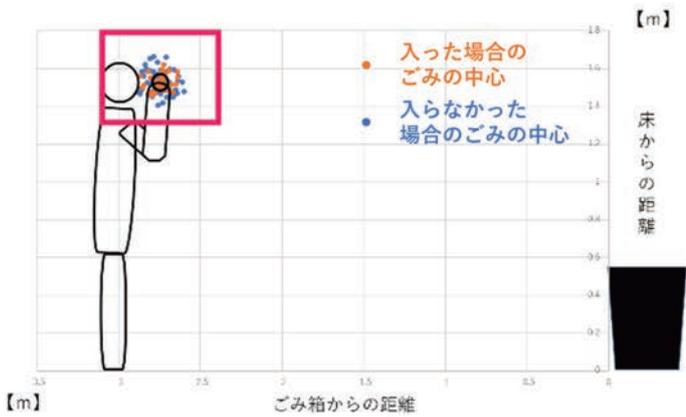
投げ始めの位置による結果の違いを確かめるためにグラフ化した。



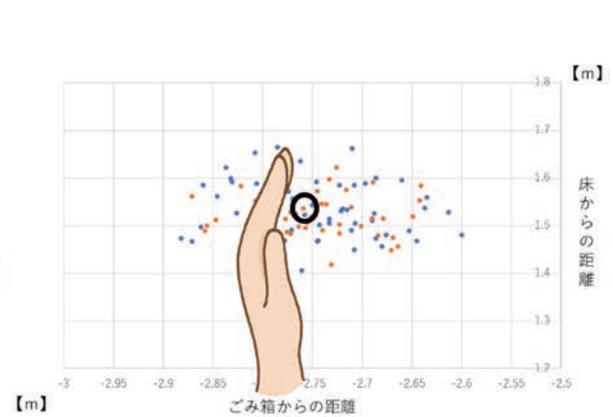
グラフ1：右利き上投げ，横から



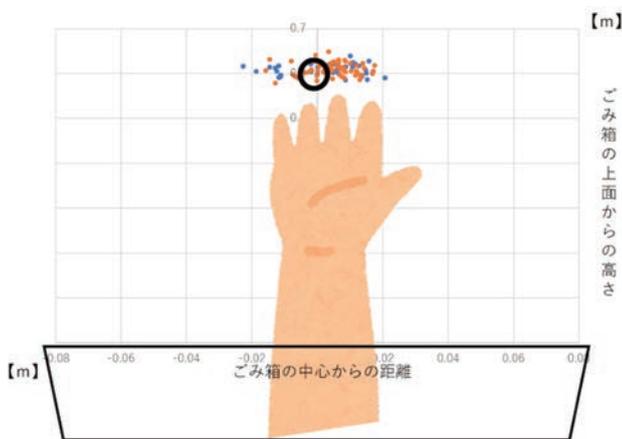
グラフ2：グラフ1の赤枠を拡大したもの



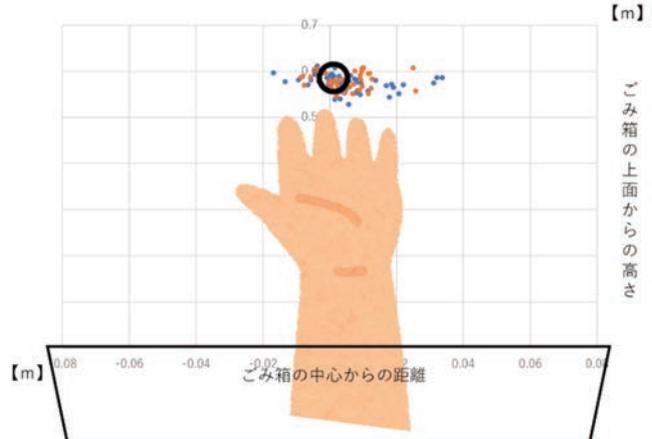
グラフ3：左利き上投げ，横から



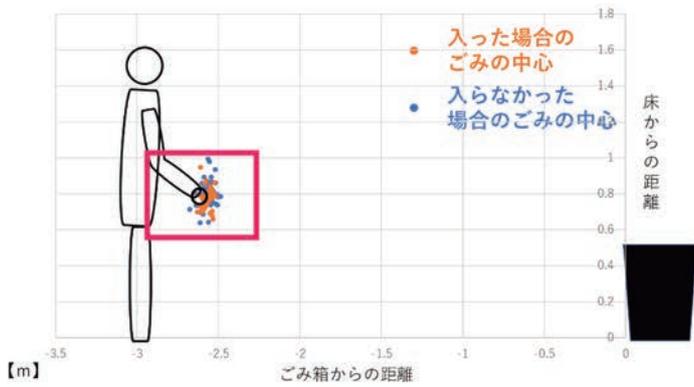
グラフ4：グラフ3の赤枠を拡大したもの



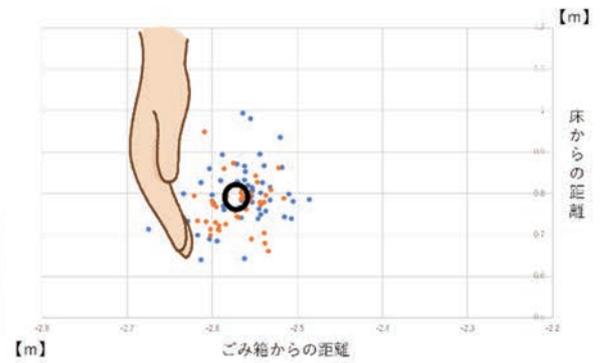
グラフ5：右利き上投げ正面から



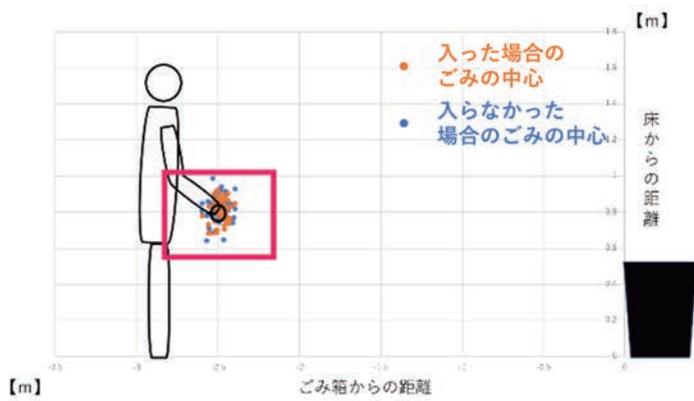
グラフ6：左利き上投げ正面から



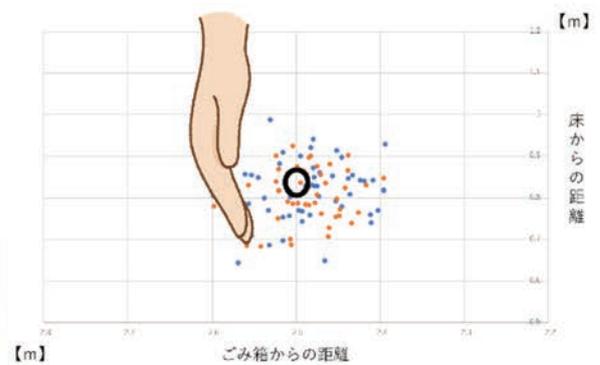
グラフ7：右利き下投げ，横から



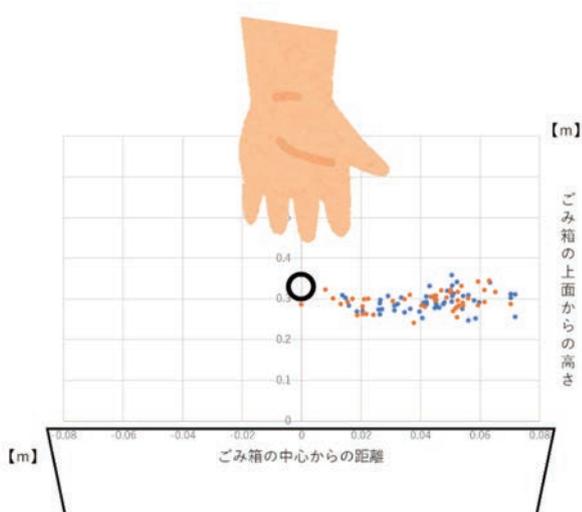
グラフ8：グラフ7の赤枠を拡大したもの



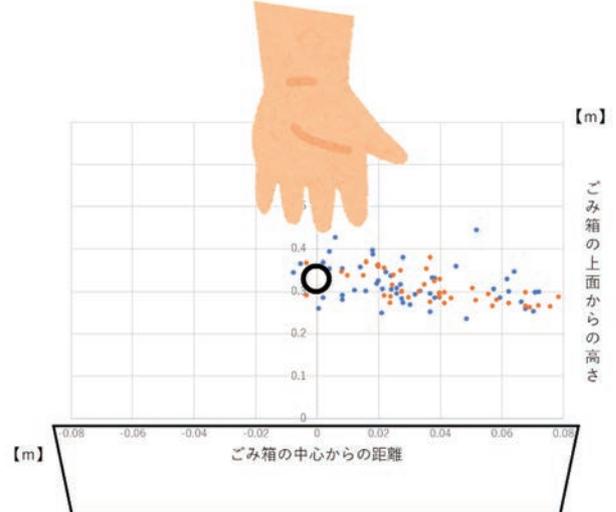
グラフ9：左利き下投げ，横から



グラフ10：グラフ9の赤枠を拡大したもの



グラフ11：右利き下投げ正面から



グラフ12：左利き下投げ正面から

投げ入れる際に、意識して変えることのできる変数は初速と角度であり、角度のほうが制御しやすいと考えた。横ずれを考慮せずに、決まった距離における、入るための角度を求める式を、重回帰分析によって作成した。(下記のA～D)

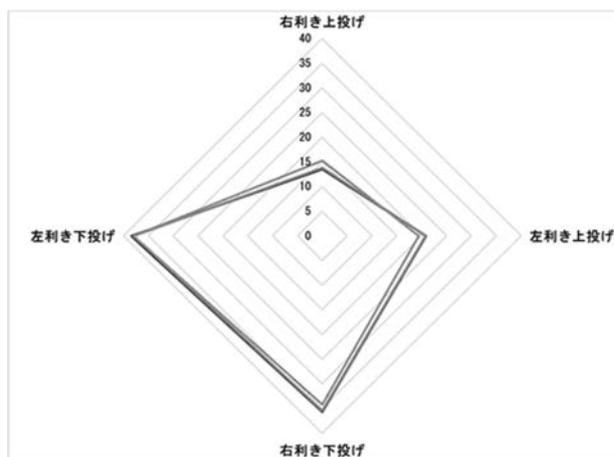
さらに、上投げの全てのデータを参照した式(上投げの式)、下投げの全てのデータを参照した式(下投げの式)、すべてのデータを参照した式(全体式)のように、投げ方で分けて作成した。

- A 右利き上投げの式：(角度) = $-169.2 + 262.76 \times (\text{秒数}) - 55.154 \times (\text{距離}) + 37.265 \times (\text{初速})$
- B 左利き上投げの式：(角度) = $-166.7 + 266.16 \times (\text{秒数}) - 59.858 \times (\text{距離}) + 39.175 \times (\text{初速})$
- C 右利き下投げの式：(角度) = $-51.982 + 113.62 \times (\text{秒数}) - 28.163 \times (\text{距離}) + 17.533 \times (\text{初速})$
- D 左利き下投げの式：(角度) = $-35.328 + 89.134 \times (\text{秒数}) - 21.958 \times (\text{距離}) + 14.207 \times (\text{初速})$

- 上投げの式：(角度) = $-169.37 + 264.63 \times (\text{秒数}) - 57.737 \times (\text{距離}) + 38.672 \times (\text{初速})$
- 下投げの式：(角度) = $-40.987 + 96.258 \times (\text{秒数}) - 23.383 \times (\text{距離}) + 15.083 \times (\text{初速})$
- 全体式：(角度) = $-79.514 + 144.41 \times (\text{秒数}) - 36.272 \times (\text{距離}) + 23.128 \times (\text{初速})$

ごみが入った際の、かかった時間、投げ始めの位置からごみ箱の中心までの水平方向の距離、初速を代入することで、ごみが入るための角度を求めた。

- | | |
|---|---|
| <p>A 〈右利き上投げ〉</p> <p>右利き上投げの式：13.534°</p> <p>上投げの式：13.834°</p> <p>全体式；15.226°</p> | <p>C 〈右利き下投げ〉</p> <p>右利き下投げの式：35.701°</p> <p>下投げの式：35.464°</p> <p>全体式：34.205°</p> |
| <p>B 〈左利き上投げ〉</p> <p>左利き上投げの式：20.868°</p> <p>上投げの式：20.803°</p> <p>全体式：19.437°</p> | <p>D 〈左利き下投げ〉</p> <p>左利き下投げの式：38.415°</p> <p>下投げの式：37.946°</p> <p>全体式；37.961°</p> |



グラフ 13：
結果をレーダーチャートで
表したグラフ

<考察>

ごみが入った場合と入らなかった場合の投げ始めに位置にばらつきはあまりなく、投げ始めの位置は結果にあまり関係しないことが分かった。

レーダーチャートから、利き手、投げ方を分けた場合と分けなかった場合の重回帰分析の式によって得られる角度にあまり違いはない。ごみを投げる時の初速、投げ始めの位置からごみ箱の中心への水平距離、投げ始めからごみ箱に入るまでの時間を、今回の実験で得られた重回帰分析の式に代入すれば、ごみ箱に入る最適な角度を求められることが分かった。

4. 結論

投げ始めの位置は、ごみが入るかどうかの結果にあまり関係しない。
重回帰分析を用いて、各被験者の横ずれを考慮しない最適な投げ入れの角度を求めることができた。
最適な角度を求めたい場合は、被験者ごとに数回投げ入れる実験を行い、

- ・初速
- ・投げ始めからごみ箱に入るまでの時間
- ・投げ始めの位置からごみ箱の中心までの水平距離

の平均値をそれぞれ求める。それらを下記の式に代入すると、ごみをごみ箱に投げ入れることができる最適な角度の値を出すことができる。

$$(\text{角度}) = -79.514 + 144.41 \times (\text{秒数}) - 36.272 \times (\text{距離}) + 23.128 \times (\text{初速})$$

なお、今回の実験の被験者では、ごみが入るための最適な角度は、

右利き上投げでは 15.226° 左利き上投げでは 19.437°

右利き下投げでは 34.205° 左利き下投げでは 37.961°

であるとわかった。

5. 今後の計画

横ずれを考慮した式も作る。

作成した重回帰分析の式が他の人にも適応できるのかを確かめる。

データの正確性を高めるために実験回数を増やす。

6. 参考文献

投げの正確性に関わる上肢キネマティクスダーツ熟練者にみられる異なる方略間の比較

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjpehss/60/1/60_14047/_pdf/-char/ja