

捕球率を表す式の作成

～その球捕るか避けるか、ドッジなんだい～

山下 美和 金丸 福 川北 一華

1. 要旨

ドッジボールにおいて、球を捕るべきか避けるべきかの判断材料となる式を作ることを目的とした。球技における実験の変数の中で、球の位置、球速に着目し、捕球との関係を調べるために投球実験を行った。実験では球の回転を制御するために投球機を製作した。まず、部活動や性別がさまざまである5名の被験者を対象に飛来距離5.0mの投球実験を約100回ずつ行ったところ、捕球率に大きく差がみられた。そこで、5名のデータをまとめて分析することには問題があると考え、捕球率が約50%であった被験者1名にしぼり、同様の投球実験を530回行った。分析により球の位置、球速は捕球に影響することが分かったため、それらを説明変数として、ロジスティック回帰分析を行い、捕球できる確率を求める式を作成した。式の正解率(予測値が実測値と同じであった割合)は70～80%であった。

また、飛来距離と捕球率の関係も調べるために飛来距離2.5m、7.5mも追加して、同様に実験を行った。その結果、飛来距離が大きくなるにつれて捕球できる球速が大きくなることが分かった。

作成した式が何を意味するのかを調べ、考察するためにヒートマップで式を可視化した。ヒートマップから、球速が大きくなると捕球できる範囲が狭くなっていることが確認できた。また、飛来距離が大きくなるにつれて捕球できる範囲が広がっている様子が見られた。

更に、式の作成に必要なデータ数を調べるため、飛来距離5.0mのデータを各象限においてランダムに抽出してデータ数を変え、再度分析を行った。その結果、必要なデータ数は各象限において100個以上であることが分かった。以上より、捕球に関する分析方法の1つを確立できたと言える。

2. 問題提起, 研究目的

クラスマッチのドッジボールで球を捕るべきか避けるべきか判断に迷うことがあった。しかし、ドッジボールにおいて球を捕るかどうかは捕球者の感覚に委ねられるものであり基準はない。ドッジボールに関する先行研究を調べたところ、ドッジボールの教育的効果を検証したもの等は見つかったが、変数と捕球率の関係を示した文献は見られなかった。そこで、実験により捕球率に影響する物質量を明らかにし、球を捕るべきか避けるべきかの判断基準となる関係式を作成することを通して、球技における分析方法の確立を試みた。

3. 実験

<実験方法>



写真1：実験の様子

写真1のように実験器具をセッティングし、自作のパチンコ式投球機(写真2)を用いて実験を行った。被験者の前方からタブレット型端末で動画を撮影し、捕球直前の球の位置と捕球の成否を記録した。また、横からハイスピードカメラ(480fps)で捕球の様子を撮影し、動画から捕球直前の球速を測定した。

先行研究より、球技における変数は、球の位置、球速、球の大きさ、球の投射方法、球の飛来距離、球の回転などがあると分かっている(先行研究①)。本実験では各変数を下記の通りに設定した。

入力変数：球の位置(横ずれ, 高さ), 球速

制御する変数：球の大きさ(直径 21 cmの公式球)

球の投射方法(パチンコ式投球機)

球の飛来距離(2.5m, 5.0m, 7.5m)

球の回転(パチンコ式投球機を用いるとほぼ無回転)

結果の変数：捕れるか, 捕れないか

<自作のパチンコ式投球機について>

球の回転を制御するために投球機を制作した。中央のひもを引き、投げたい方向へ自由自在に球を飛ばすことができる。また、ひもを引く長さを変えれば 22m/s(76km/h)までのあらゆる球速を出せる。クラスメイトのハンドボール部男子が投げた最大の球速は 18m/s であり、試合で人が投げている球速とおおむね同じ球速で実験ができた。

製作方法

1. 段ボール紙(縦 40 cm, 横 30 cm)を 5 枚重ね、球の形に添うように曲げ、ガムテープで固定する
2. 球を挟む面に滑り止めシートをガムテープで固定する
3. ゴムを通すための穴を穴あけパンチで開け、シャープペンシルを使い穴を拡張する
4. 穴にフィットネス用のゴムチューブを通す
5. 段ボール紙の中央に持ち手となるビニールひもをつける
6. 写真2のように安定した土台に固定する



写真2：自作のパチンコ式投球機

<データ処理方法>

・球の位置について

被験者の前方から撮影したタブレット型端末の動画を用いた。写真3のように、捕球する前に構えていたときのへその位置(地面から 0.80m)を原点として xy 軸をとり、写真4のように球の中心までの距離を横ずれ、高さとして定義した。捕球直前で動画を止め、へそから球の端までの長さ画面の球の直径を測り、実際の球の直径(0.21m)との比を用いて横ずれと高さを測定した(図1)。そして、球の直径の半分である 0.105m を引き、球の中心までの距離を変数として扱った。



写真3：軸の設定位置

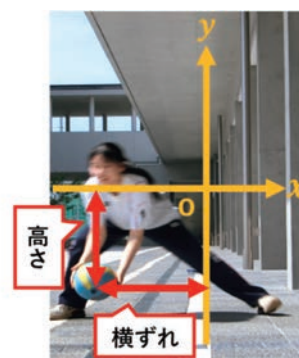


写真4：高さや横ずれの定義

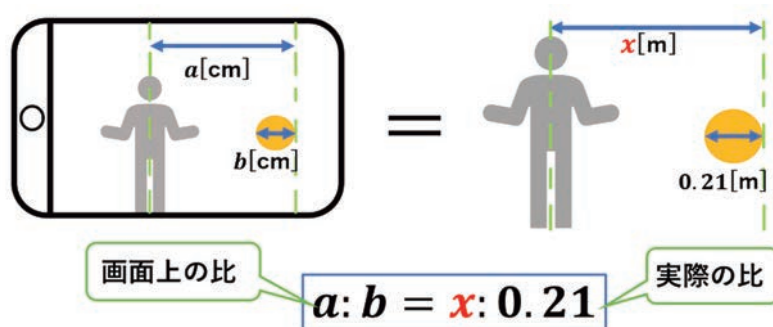


図1：横ずれと高さの測定方法

・球速について

被験者の真横から撮影したハイスピードカメラ(480fps)の動画を用い、捕球前の 1.2m が球が進むのに必要なコマ数を数え、下記の式で球速を算出した。

$$\text{球速} = \frac{480[\text{枚}/\text{s}] \times 1.2[\text{m}]}{\text{ハイスピードカメラのコマ数}[\text{枚}]}$$

【実験1】

部活動や性別が様々なクラスメイト5名を対象に、球の位置、球速が各被験者で同程度になるように投球機を用いてランダムに投球した。制御する変数である飛来距離は、図2を参考にドッジボールコートの中の5.0mに設定した。投球回数は被験者Aが50回、被験者Bは100回、被験者Cは150回、被験者Dは150回、被験者Eは100回である。

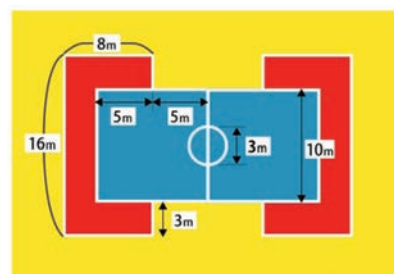
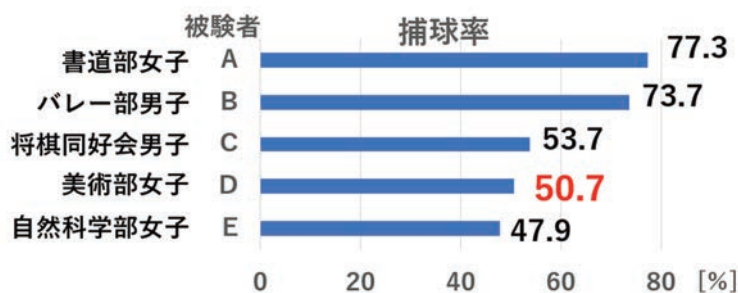


図2：公式ドッジボールコート

<結果>

被験者別に捕球率をグラフ1に示す。5名の捕球率は47.9%～77.3%と大きく差が見られた。

グラフ1：各被験者の捕球率



<考察>

捕球動作は個人差が大きく、被験者により捕球率が大きく異なった。異なる被験者のデータを1つにまとめて式を作成することは問題があると考え、捕球率が約50%に近かった被験者Dに絞って実験2を行うこととした。捕球率が約50%の人を選ぶことで、捕球できた時とできなかった時の位置や球速のデータが半分ずつ得られ、式を作成する際に役立つと考えた。

【実験2】

捕球率に影響する物理量を明らかにすることを目的とし、被験者Dを対象に実験1と同様に飛来距離5.0mで530回投球実験を行った。

<結果>

図3は捕れなかったときを青色、捕れたときをオレンジ色として捕球直前の球の位置を散布図にしたものである。体の中心にオレンジ色が多いことから、球がへそに近いほど捕りやすいことが分かった。図4は捕れなかったときと捕れたときに分けて、捕球直前の球速を箱ひげ図にしたものである。捕れたときの球速が比較的小

さいことから、球が遅いほど捕りやすいことが分かった。t検定を用いてp値を求めると、0.01未満であったことから、これは有意差だと判断した。

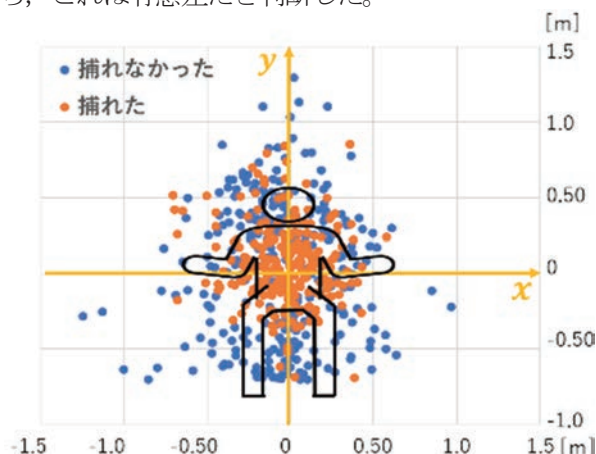


図3：球の位置を表す散布図

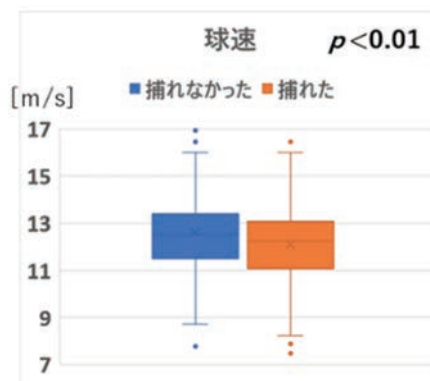


図4：球速の箱ひげ図

<考察>

球の位置、球速は捕球率に影響していることが明らかになったため、式の説明変数として扱うこととした。球速の箱ひげ図にあまり差が見られないのは、球速よりも球の位置の影響が大きいからだと考えた。

ここで捕球技能の上達について調べるために表1、2を作成した。表1は捕球率を月日の経過で比較したものの、表2は同日の時間の経過で比較したものである。捕球技能の上達を目的とせず、作業的に1000回程度捕球しても上達しないことが分かった。このことから、実験結果は経験値を考えなくてもよいと判断した。

表1：月日の経過で比較

日付	捕球率
2023/10/20	0.507
2024/3/22	0.492
2024/4/15	0.467
2024/4/17	0.464

表2：同日の時間の経過で比較

回数	捕球率
0~42	0.500
43~84	0.357
85~126	0.476
127~168	0.524

【実験3】

ドッジボールの経験上、飛来距離も捕球率に大きく影響するのではないかと考え、飛来距離2.5m、7.5mも同様に約200回ずつ投球実験を行った。制御する変数である飛来距離は、図2を参考にドッジボールコート縦の長さの1/4ずつ長くなるよう設定した。

<結果>

図5は飛来距離別に捕球できた時の球速を箱ひげ図にしたものである。球速は一貫して捕球直前のデータである。飛来距離が大きくなるにつれて、捕球できる球速が大きくなっていることが分かった。例えば捕球直前の球速が14m/sの場合、飛来距離7.5mならば捕球でき、2.5mや5.0mではほぼ捕れないと言える。飛来距離7.5mの球速が小さいデータがないのは、捕球率が約50%になるように投球しているためである。

<考察>

投球者から遠いほど球が捕りやすいということが分かった。これは、移動できる時間が長くなることや、投球者に近いと恐怖心が生まれることなどの精神的な要素が原因だと考えられる。

以上より飛来距離は捕球率に大きく影響することが明らかになったが、3種類のデータしかないため式の説明変数として扱うことはできなかった。

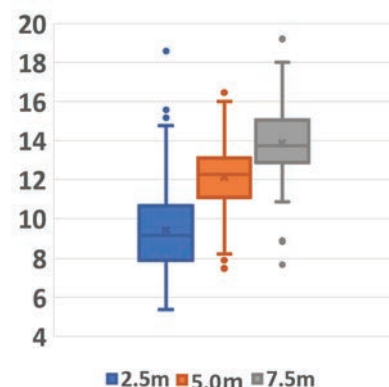


図5：捕球できたときの球速(飛来距離別)

【分析1】

ロジスティック回帰分析を用いて、説明変数を球の位置、球速、目的変数を捕球できる確率として分析した。この分析方法で得られる予測値は図6のように0~100%の範囲に収まるため、捕球できる確率を求めるには最適な分析方法だと考えた。

横ずれをx、高さをy、球速をz、捕球できる確率をPとしたとき、

ロジスティック関数の定義 $\log e \frac{P}{1-P} = ax + by + cz + d$ より、

捕球できる確率は $P = \frac{1}{\{1+e^{-(ax+by+cz+d)}\}}$ で表される。

この式のa, b, c, dを求めるため、Pythonを用いてプログラムを実行した。

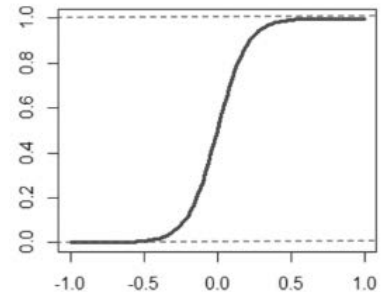


図6：ロジスティック関数のグラフのイメージ

<分析手順>

1. データを4つの象限に分ける(図7)
2. Excelでx横ずれ, y高さ, z球速, 捕れたときを1, 捕れなかったときを0として、表にする(図8)
3. x, y, zを説明変数, 1, 0を目的変数としてプログラムを実行する
4. 結果が表示される(図9)

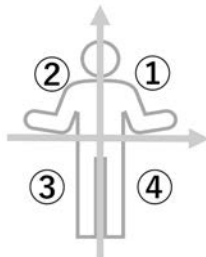


図7：投球者から見た4つの象限

	A	B	C	D
1	x横ずれ	y高さ	z球速	lor0
2	0.34125	0.01375	11.7551	1
3	0.137308	0.015769	9.290323	1
4	0.105	0.019	11.29412	1
5	0.07	0.0225	11.7551	1
6	0.0754	0.02385	15.567	0
7	0.315	0.028233	10.28571	0

図8：変数の入力方法

係数	coef	ε
const (切片)	1.7568	...
x横ずれ	-1.3260	...
y高さ	-0.7857	...
z球速	-0.0627	...

図9：結果

<分析結果>

飛来距離 5.0m

- ① 右上 $-7.03x - 4.42y - 0.354z + 6.96$ (n=118) 正解率：74.6%
- ② 左上 $3.11x - 3.89y - 0.443z + 7.03$ (n=159) 正解率：70.4%
- ③ 左下 $5.19x + 7.70y - 0.0897z + 4.27$ (n=132) 正解率：81.1%
- ④ 右下 $-5.90x + 7.47y - 0.440z + 8.11$ (n=102) 正解率：76.5%

飛来距離 2.5m

- ① 右上 $2.13x - 6.20y - 0.378z + 4.47$ (n=56) 正解率：71.4%
- ② 左上 $11.2x - 7.47y - 0.214z + 5.15$ (n=62) 正解率：75.8%
- ③ 左下 $20.1x + 3.93y + 0.0395z + 3.16$ (n=26) 正解率：73.1%
- ④ 右下 $-6.10x + 1.99y - 0.0280z + 1.82$ (n=30) 正解率：73.3%

飛来距離 7.5m

- ① 右上 $-6.16x - 8.18y - 0.758z + 13.0$ (n=34) 正解率：85.3%
- ② 左上 $4.58x - 4.65y - 0.405z + 1.62$ (n=51) 正解率：72.5%
- ③ 左下 $2.35x + 3.56 - 0.355z + 5.96$ (n=40) 正解率：72.5%
- ④ 右下 $-8.02 + 9.16y - 0.254z + 6.66$ (n=45) 正解率：77.8%

予測値が実測値と同じだった割合である正解率は、いずれの式も約 70~80%となった。正解率が 70~80%にとどまった原因は、捕球者が人なので、例えば通常は捕れるような球でもミスをして捕れなかったりすることや、ロジスティック回帰分析が直線での近似であることなどが考えられる。

<式の使い方>

例えば、飛来距離 5.0m, 横ずれ 0.30m, 高さ 0.40m, 球速 12m/s の球が飛んできたとする(図 10)。

1. 使う式を選ぶ
投球者から見て右上にきている→飛来距離 5.0mのときの右上の式①を使う
2. 値を代入する

$$P = \frac{1}{\{1 + e^{-(-7.03 \times 0.30 - 4.42 \times 0.40 - 0.354 \times 12 + 6.96)}\}} \doteq 0.24$$

3. 捕球できる確率は24%なので「避ける」と判断する



図 10 : 捕球時の例

【分析 2】

式が意味することを可視化してさらに分析するためにヒートマップを作成し、球速、飛来距離で比較した。

ヒートマップとは捕球率を色の濃さで表したものである。ヒートマップの作り方は、球速をある値に決め、 $-1 \leq x \leq 1$, $-0.8 \leq y \leq 1$ において、分析 1 で作成した式に x , y の値を 0.01m ずつ代入する。そして、得られた捕球率に凡例に示したように色を付け、 xy 座標に示す。

<結果 1>

飛来距離 5.0mにおいて、図 11 は球速 10m/s, 図 12 は球速 16m/s のときのヒートマップを示した。いずれも中心にいくほど捕りやすいことが分かる。また、図 12 のように球が速くなると各象限において捕球率が下がること分かった。

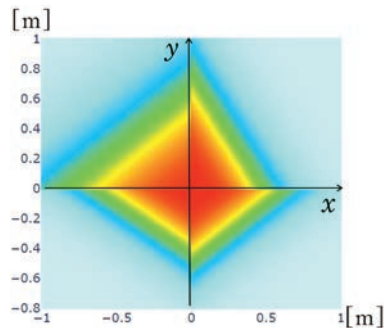


図 11 : 球速 10m/s

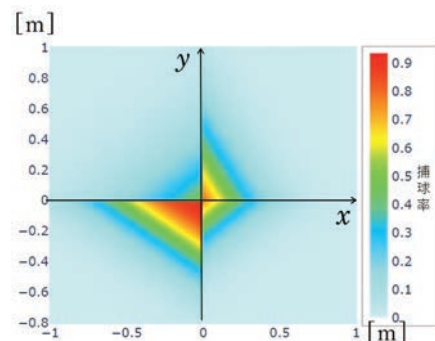


図 12 : 球速 16m/s

<考察 1>

上下左右で捕球率の差がみられるのは利き手によるものではないかと考えた。

<結果 2>

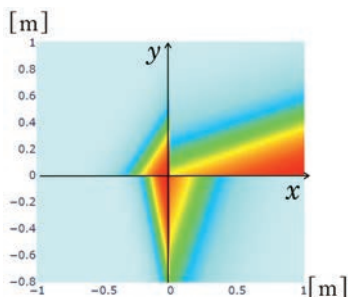


図 13 : 飛来距離 2.5m

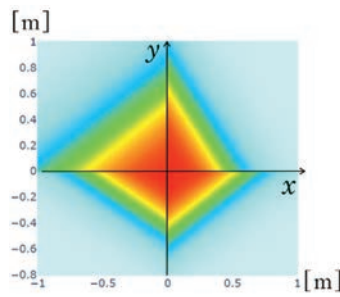


図 14 : 飛来距離 5.0m

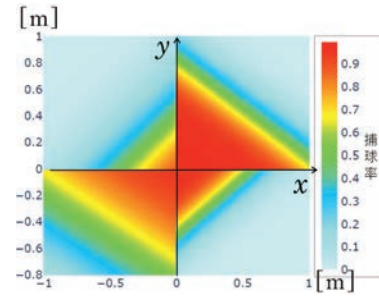


図 15 : 飛来距離 7.5m

球速を 10m/s に固定し、図 13 は飛来距離 2.5m、図 14 は 5.0m、図 15 は 7.5m のときのヒートマップを示している。飛来距離が大きくなるにつれて、捕球できる範囲が広まっているように見える。

<考察 2>

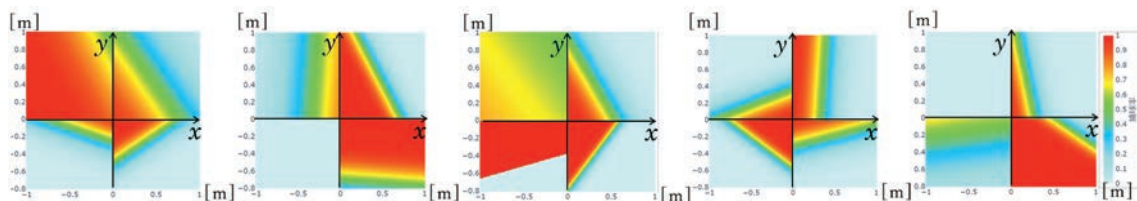
飛来距離 2.5m の第 1 象限や、飛来距離 7.5m の第 2 象限や第 4 象限のように不自然な部分が見られるのは、データ数が少ないからではないかと考え、必要なデータ数を分析 3 で調べることにした。

【分析 3】

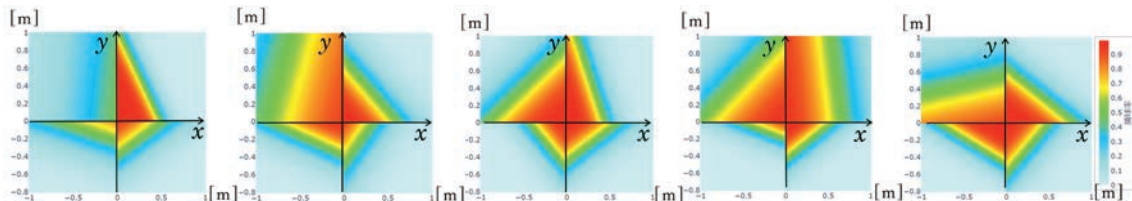
飛来距離 5.0m の 511 個あるデータを用いた。各象限におけるデータ数を 20, 40, 60, 80, 100 個ずつランダムに抽出し、ロジスティック回帰分析を行った。抽出するデータによってきれいな形になったり、不自然な形になったりと偶然性が伴うと考えたため、それぞれ 5 回ずつ分析を行った。球速は 10m/s とした。

<結果>

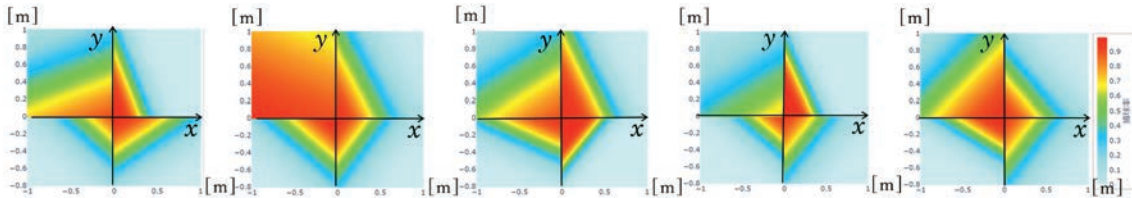
データ数 20 個



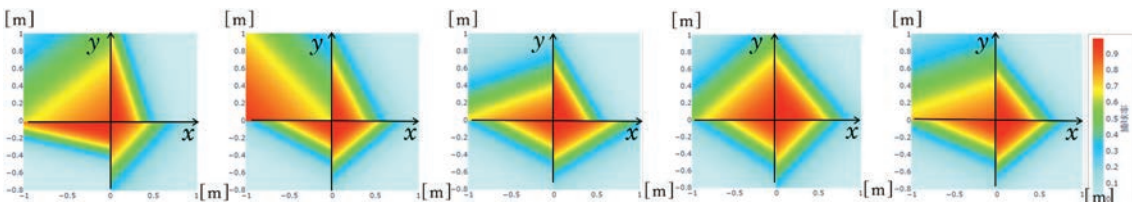
データ数 40 個



データ数 60 個



データ数 80 個



データ数 100 個

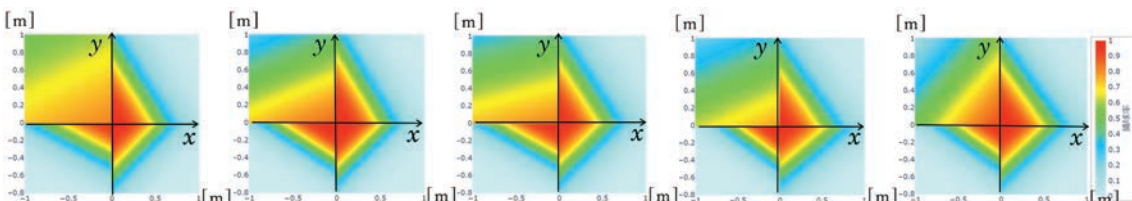


図 16 : データ数ごとのヒートマップ

<考察>

データ数が増えるにつれて、ランダムに抽出された5つのヒートマップの形状差が小さくなっている。1象限あたりのデータ数が100個のとき、ヒートマップが4つの象限で連続的になり、より自然な形状となった。本来、各象限の境目は連続的になるはずであり、以上の考察から、必要なデータ数は各象限において100個以上だと考えた。

4. 結論, 課題

ロジスティック回帰分析を用いて、捕球するかどうかの判断基準となる式を作成できた。正解率は70~80%程度であった。さらに、ヒートマップを利用し、作成した式が何を意味するのか可視化することができた。また、妥当な式をつくるためには各象限100個以上データが必要だと分かった。これは今後の実験回数の指標となった。以上より、捕球に関する分析方法の1つを確立できたと言える。

今後は、飛来距離を細かく区切ってデータを増やし、球速ではなく飛来距離を説明変数に入れて式を作る。また、今回は制御する変数とした球の回転も説明変数に入りたい。さらに、ほかの被験者でも式を作成し、どのような差が見られるか考察する。また、ロジスティック回帰分析ではヒートマップを直線でしか表すことができないため、曲線でも表すことのできる分析方法を模索する。

5. 参考文献, 参考図書

①Wickstrom, R. L.(1977)fundamental motor pattern.

- ・阿部真人,データ分析に必須の知識・考え方 統計学入門,ソシム,2021.
- ・米谷 学,7日間集中講義!Excel 回帰分析入門,オーム社,2018.
- ・高橋 信,データ分析の先生!文系の私に超わかりやすく統計学を教えてください!,かんき出版,2020.
- ・一般財団法人 日本ドッジボール協会. JDBA ドッジボール-一般財団法人日本ドッジボール協会.

<<https://www.dodgeball.or.jp/>>

6. 謝辞

本研究において、Python を用いたロジスティック回帰分析のプログラムに関する資料やアドバイスをくださった徳島文理大学の山本由和教授、プログラムの実行にあたって協力いただいたクラスメイトの小河舜さん、担当教員である本田一恵先生に深く感謝いたします。