

令和 2 年度文部科学省研究開発指定

スーパーサイエンスハイスクール

Advanced Science

課題研究論文集 Vol.9

令和 3 年 3 月



高松第一高等学校

目次

01	滑りにくい砂の条件	1
	寺元 希咲 小倉 優仁 長町 一輝	
02	マダガスカルゴキブリの学習能力	7
	久本 拓宙 菊井 悠希 西川 翔大 太田 侑花	
03	風洞製作とリアウィングの形状とダウンフォースの関係	13
	平田 壮太 高島 創平 田中 佑磨 藤田 奏	
04	台風進路データ処理による小笠原気団の動きの予測	19
	石川 優翔 河野 友稀 三井 颯剛 山上 雅仁	
05	World of Function ～Regularity of Rose curves～	26
	出淵 航輝 河野 慎也 長島 悠輔	
06	輪ゴムの劣化	32
	入谷 和華奈 関 恵実	
07	FF 機の主翼のディンプルの効果	36
	大藤 桜子 岸 達也 佐藤 理湖 眞砂 亮太	
08	心柱の制振効果 ～ジェンガを用いた考察～	42
	近藤 薫 佐野 天麻 利國 碧 佐々木 凜太郎	
09	昆布の乾燥方法と出汁のグルタミン酸量の関係	49
	竹内 ひなた 藤井 陽奈子 谷本 奈菜子	
10	粘菌の pH の変化に対する反応	52
	永井 優衣 河野 優香 中谷 愛香	
11	ビュフォンの針～正 $2n$ 角形で研究してみよう～	56
	長尾 拓真 野口 幸太郎	
12	オリーブの抽出物がもつ抗菌作用	63
	松井 遥暉 芝田 百合	
13	オジギソウの光伝達経路について	68
	新井 ふみ 藤丸 晃輔 黒川 美咲	
14	酵母の分離とその性質	71
	大高 八重子 森 美羽	

滑りにくい砂の条件

小倉 優仁 寺元 希咲 長町 一輝

A：研究目的

体育祭のリレーでは、滑って転んでしまう人が必ずいるので、どのような砂なら滑りにくいのか調べたいと思った。運動場の砂に関する研究は、1961年の京都大学農学部演習林報告として「運動場走路の構造に関する研究」があるが、この論文でも触れられている通り、運動上の砂において重要なことは、雨が降った後でもただちに使用できるかどうかや、維持の容易さや、経済性である。そのことは、砂を販売している企業のホームページからも見受けられ、砂と靴底の滑りやすさについて、砂に注目して実験を行っている先行研究は見つからなかった。

そこで私たちは、本校運動場の砂とゴム板（靴底をイメージ）においても、まずは「摩擦の法則」が成り立つかどうかを調べ、その結果を参考にして「滑りにくい砂の条件」を見つけることを、研究目的とした。一つ一つの砂粒は転がるように動くのかもしれないが、物体が転がる場合においても摩擦力は働くので、砂の上においても平面と同様に「摩擦の法則」は成り立つと仮説を立てた。ここで言う「摩擦の法則」は、物理の授業で習った「摩擦力の大きさが、①物体を動かす速さによらないこと、②垂直抗力に比例すること、③接触面の面積によらないこと」を指す。

滑りにくい砂の条件の一つでも見つけることができれば、より安全な運動場の研究に繋がるかもしれない。

B：研究方法

実験に使用した器具や材料は以下の通りである。

- ・力センサ（PS-2189）...島津理化から購入
- ・距離センサ（PS-2103A）...島津理化から購入
- ・ゴム板（大きさ10×10〔cm²〕、質量：351.9〔g〕、重さ：3.449〔N〕）...東急ハンズで購入
- ・おもり（質量：100〔g〕、1〔kg〕）...物理実験室にあった。
- ・砂...本校運動場で採取
- ・篩...地学準備室にあった。

初めに本校運動場で採取した砂を篩にかけ、砂粒の大きさが異なる4種類のサンプル（砂粒の大きさが0.25mm以下、0.25～0.50mm、0.50～1.0mm、1.0～2.0mm）を準備した（写真1）。次にアクリル板で作った箱の中に、十分な厚みになるよう砂のサンプルを敷き、その上に靴底に見立てて「ゴム板とおもりを接着した物体」を置き、その物体を力センサを用いてゆっくりと押した（写真2）。この時、力センサの先端は平坦なゴム形状に付け替えており、力センサの下にもゴム板を置きその上を滑らせるように物体を押すことで、物体を水平に押せるよう細心の注意を払った。そしてゴム板を動かしている時、ゴム板の前方に置いた距離センサでゴム板の位置を読み取り、時刻の変化に伴う位置の変化をグラフ化する。そのグラフが直線となっている時間は、ゴム板が等速直線運動をしている時であり、すなわち力センサでゴム板を押す力とゴム板が砂から受ける抵抗力がつり合っている時なので、その時間における力センサの値の平均値を、ゴム板が砂から受ける抵抗力とした（グラフ1）。

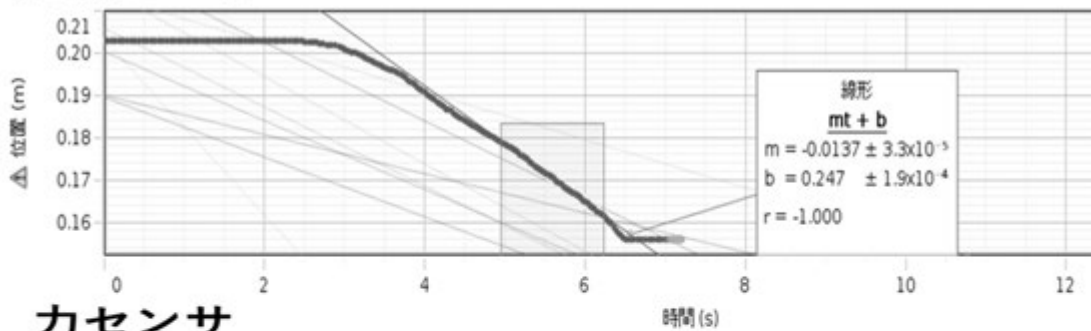


（写真1）4種類の砂のサンプル

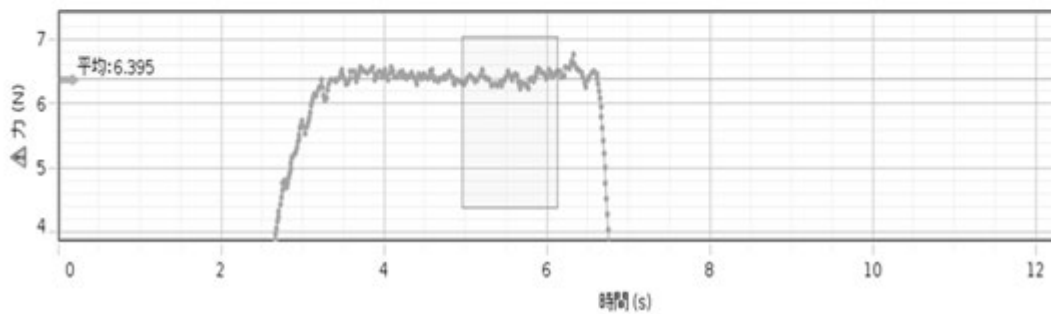


（写真2）実験の様子

距離センサ



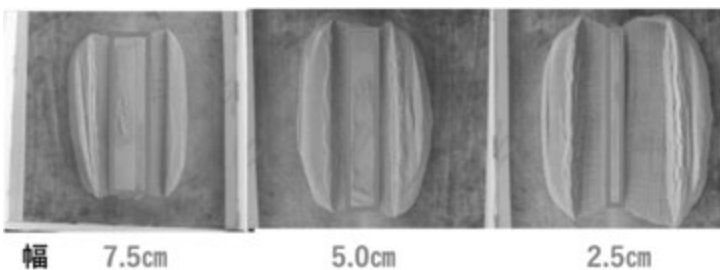
力センサ



(グラフ 1) 抵抗力の決定方法の例

実験①【 2020/ 1/31, 2020/ 6/ 3 】

実験①では、運動場の砂とゴム板においても、物理の授業で習った「摩擦の法則」が成立するかどうかを調べるため、ゴム板を動かす速さと抵抗力、垂直抗力と抵抗力、接触面の面積と抵抗力の関係を調べた。ゴム板を動かす速さは、ゴム板を押す力を変化させることで変え、その値は $x-t$ グラフの傾きで求めた。垂直抗力は、ゴム板の上に載せるおもりを 1.0kg, 1.5kg, 2.0kg, 2.5kg と変えることで変化させた。接触面の面積は、ゴム板を滑らせる砂の幅を 10cm, 7.5cm, 5.0cm, 2.5cm と変えて実験を行った (写真 3)。なお、ゴム板自体の幅は 10cm である。実験はそれぞれ 5 回ずつ行った。また、摩擦力は湿度や気圧などの影響も受けるため、速さと垂直抗力を入力変数とした実験は 2019 年 1 月 31 日の午後に行えるだけ短時間ですべて行い、接触面の面積を入力変数とした実験は 2019 年 6 月 3 日 14 時 40 分～15 時 30 分で素早く正確に行った。



(写真 3) 入力変数を接触面の面積とした実験における砂の写真

実験②【 2020/ 5/27, 2020/ 6/ 3 】

実際の運動場の砂は、様々な大きさの砂粒が混ざっているため、砂粒の大きさが異なるサンプル同士を混ぜ合わせた場合の抵抗力がどうなるかを調べたいと思った。そこで実験②では、砂粒の大きさが異なる 2 つのサンプルを体積比 1:1 で混合した時の抵抗力を調べた。サンプルは、①0.25mm 以下と 0.25～0.50mm の混合、②0.25mm 以下と 0.50mm～1.0mm の混合、③0.25mm 以下と 1.0mm～2.0mm の混合、④0.25mm～0.50mm と 0.50mm～1.0mm の混合、⑤0.25mm～0.50mm と 1.0～2.0mm の混合、⑥0.50mm～1.0mm と 1.0mm～2.0mm の混合の 6 種類である (表 1)。実験はそれぞれ 5 回ずつ行った。

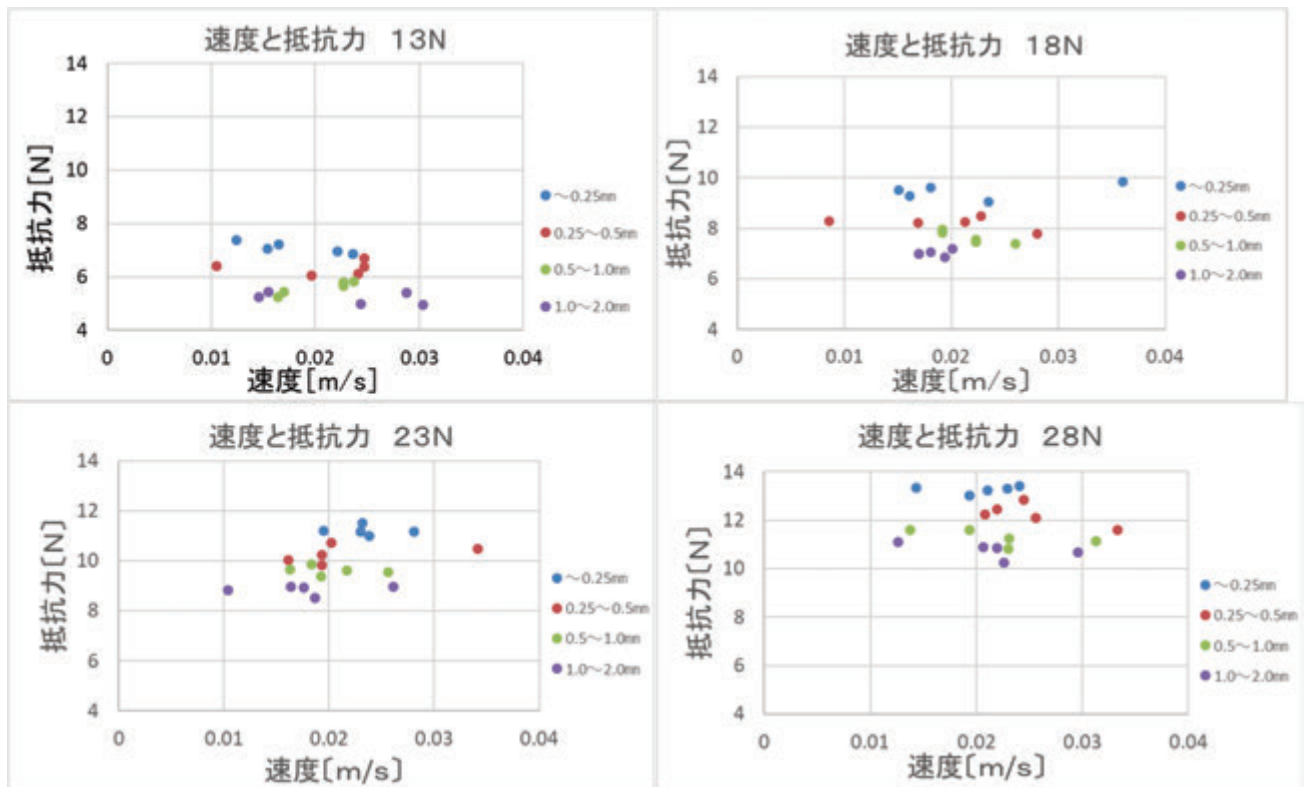
	0.25mm以下	0.25~0.5mm	0.5~1.0mm	1.0~2.0mm
0.25mm以下		①	②	③
0.25~0.5mm	①		④	⑤
0.5~1.0mm	②	④		⑥
1.0~2.0mm	③	⑤	⑥	

(表1) サンプル同士の混合の組み合わせ

C: 得られた結果

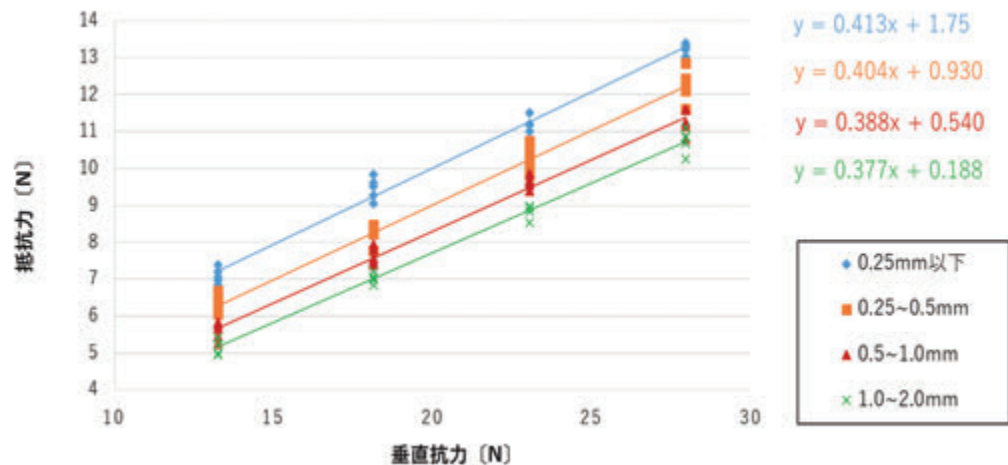
実験①

ゴム板を押す速さと抵抗力の関係を、垂直抗力が13N、18N、23N、28Nの場合に分けて(グラフ2)に示す。砂粒の大きさ毎にプロットを色分けしている。どの垂直抗力の場合においても、速さと抵抗力には関係がない、あるいは弱い負の相関があると言える。また砂粒が小さい程、抵抗力は大きくなった。



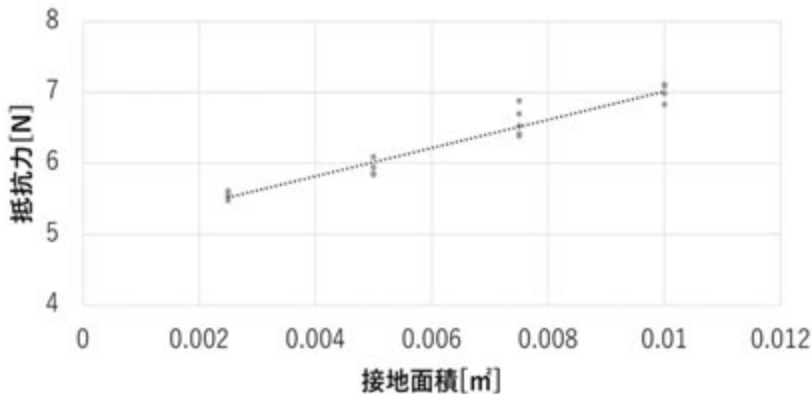
(グラフ2) 速さと抵抗力の関係

次に、垂直抗力と抵抗力の関係を(グラフ3)に示す。砂粒の大きさ毎に、プロットを色分けしている。どのサンプルにおいても抵抗力は垂直抗力に比例した。また、グラフを一次関数で近似して式にすると、砂粒が小さい程、傾き及び切片が共に大きい結果となった。



(グラフ3) 垂直抗力と抵抗力の関係

最後に、ゴム板と砂の接触面の面積と抵抗力の関係を（グラフ 4）に示す。面積が大きい程、抵抗力が大きくなると言える。ただし、この実験における接触面の面積は、ゴム板を載せる前の面積であり、砂は変形するため正確性に欠ける。グラフの直線は目安であり、直線的に変化するとは考えていない。



（グラフ 4）接触面の面積と抵抗力の関係

以上より、砂の上における抵抗力と平面における摩擦力では、同じ点と異なる点があることが分かった。結果を（表 2）にまとめる。

	平面における摩擦力	砂の上における抵抗力
速さ	関係ない。	あまり関係ないが、速い程、抵抗力は小さくなる可能性あり。
垂直抗力	比例する。	比例するが、切片も見られる。
面積	関係ない。	面積が大きい程、抵抗力が大きくなる。

（表 2）砂の上における抵抗力と平面における摩擦力の同じ点と異なる点

実験②

砂粒の大きさが異なる 2 つのサンプルを体積比 1 : 1 で混合した時の抵抗力の値を（表 3）に示す。単位は [N] である。（表 3）より、抵抗力が大きくなるのは砂粒の大きさが小さいサンプル同士を混合したときであり、最も抵抗力が大きくなるのは 0.25mm 以下の単一サンプルであると分かった。また、0.25mm 以下のサンプルが含まれている混合サンプルは抵抗力が大きくなる傾向がみられた。

	0.25mm以下	0.25-0.50mm	0.50-1.0mm	1.0-2.0mm
0.25mm以下	0.5354	0.5182	0.4717	0.4484
0.25-0.50mm	0.5182	0.4776	0.4548	0.4420
0.50-1.0mm	0.4717	0.4548	0.4225	0.4259
1.0-2.0mm	0.4484	0.4420	0.4259	0.3926

（表 3）2 つのサンプル同士を体積比 1 : 1 で混合した時の抵抗力の値 [N]

D：考察

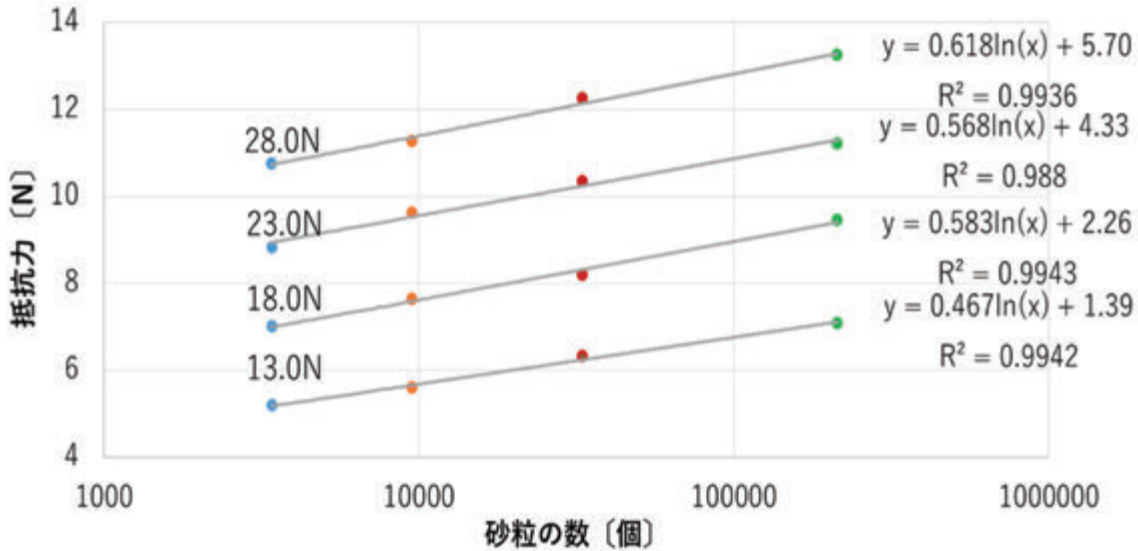
砂粒の大きさが小さいサンプル程、抵抗力は大きくなり、またゴム板と砂の接触面の面積が大きくなる程、抵抗力が大きくなったことから、抵抗力はゴム板と接する砂粒の数にも依存するのではないかと仮説を立てた。「ゴム板と接する砂粒の数と抵抗力の関係」を調べるため、以下の二通りの方法で、ゴム板と接する砂粒の数を数えた。

方法①：ゴム板の中央に 1.4×1.4cm² の両面テープを貼り、その面を下にして砂の上に載せ、両面テープに砂を付着させた。その後、両面テープに付着している砂を、ピンセットを用いて目視で一粒一粒取り除きながら数えた。一種類の砂サンプルにつき、3 人の別の人間が数え、平均値をとった。両面テープの面積とゴム板全体の面積との比率を用いて、ゴム板全体に接しているであろう砂粒の数を算出した。なお、砂粒の大きさが 0.25mm 以下のサンプルは、目視で数えることが不可能であったため、この方法は実施できていない。

方法②：プレパラートに両面テープを貼り、その面を下にして砂の上に載せた後、両面テープに着いた砂を顕微鏡を見ながら数えた。方法①と同様に、一種類の砂サンプルにつき、3 人の別の人間が数え、平均値をとった。顕微鏡にはマイクロメーターを装着しており、見えている範囲の面積を算出することができるため、その面

積とゴム板全体の面積との比率を用いて、ゴム板全体に接しているであろう砂粒の数を算出した。

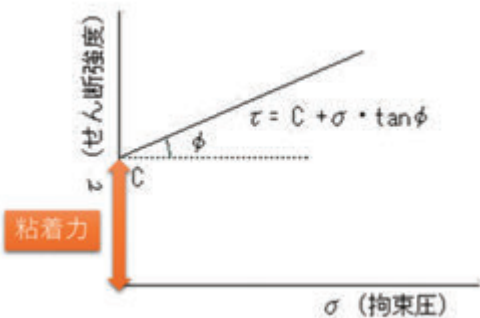
上記のいずれの方法においても、算出した各サンプル毎の砂粒の数はほぼ同じとなったため、砂粒の大きさが 0.25mm 以下のサンプルでも数えることができる顕微鏡を用いて算出した値を使ってグラフを作成した。ゴム板を動かす前にゴム板と接触している砂粒の数と抵抗力の関係を（グラフ 5）に示す。横軸は対数目盛を使用している。砂粒の大きさ毎にプロットを色分けしており、青：1.0～2.0mm，オレンジ：0.50～1.0mm，赤：0.25～0.50mm，緑：0.25mm 以下である。



(グラフ 5) ゴム板が接する砂粒の数と抵抗力の関係

どの垂直抵抗力においても、ゴム板と接する砂粒の数が増える程、抵抗力は大きくなり、それらが対数の関係となっていたことは実に興味深い。この実験で抵抗力としている力が摩擦力であるならば、接する砂粒の数が増えてもその分だけ一粒あたりの垂直抵抗力が小さくなるため、全体としての抵抗力は一定となるはずだが、このグラフが一定となっていないことから、砂とゴム板では摩擦力以外の力がはたらいいて、その力は、砂粒の大きさが小さい程大きくなると考えられる。

ここで、実験①で「垂直抵抗力と抵抗力の関係」を式にした際、切片として、垂直抵抗力が 0 [N] の時にも抵抗力が見られたことに注目したい。このことに関して調べてみたところ、土木分野の実験で、砂と砂をずらすとき、拘束圧 δ (上から押さえつける力) とせん断強度 τ (砂と砂とをずらす力) には比例の関係があり、そこでの切片は「粘着力」と定義されていた (参考: グラフ 6)。(グラフ 6) と、私たちの実験における (グラフ 3) が類似していることから、私たちの実験では、砂とゴム板の間だけでなく、砂粒と砂粒の間も滑っている可能性が考えられ、また砂粒と砂粒の間にここで言う粘着力の様な力がはたらいっている可能性も考えられる。私たちの実験における切片の意味、そして砂粒の形や砂粒同士の接し方を考え、どのようなモデルであれば実験結果と一致するのかについて考えることが今後の課題である。



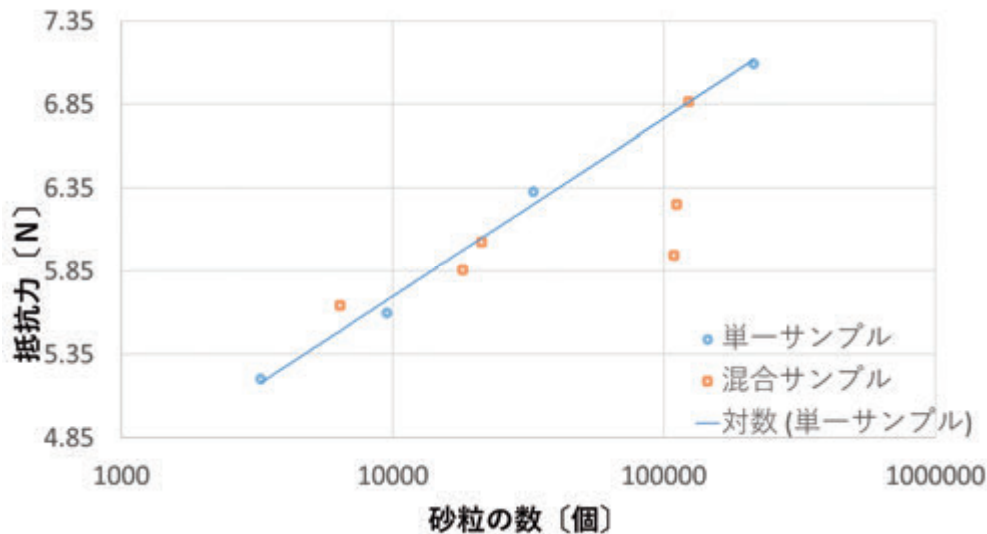
(グラフ 6)

*粘着力...土のせん断強さ S を示すクーロンの方程式 $s=c+\delta \tan \phi$ において、 c で示される部分。

δ : 拘束圧, ϕ : 内部摩擦角。

続いて実験②についても、砂粒の数と抵抗力の関係を調べたいと思ったが、混合サンプルの砂は大きさが大きく異なる砂粒同士が混ざっているため、単一サンプルの時と同じ方法で砂粒の数を数えることができなかつ

た。しかし、混合サンプルにおいても砂粒の数と抵抗力に対数の関係があるのか気になったため、正確性に欠けることは承知で、混ぜ合わせる前のそれぞれの単一サンプルの砂粒の数の平均値（足して2で割る）を用いて（グラフ7）を作成してみた。



（グラフ7）砂粒の数と抵抗力の関係（垂直抗力は13.0Nの場合）

グラフの右側にあるオレンジ色の2点を除けば、混合サンプルにおいても、砂粒の数と抵抗力には概ね対数の関係があるのかもしれない。単一サンプルの直線上に載っていない2点は、0.25mm以下と0.50～1.0mm、0.25mm以下と1.0～2.0mmの混合サンプルで、つまり最も小さいサンプルと最も大きいサンプル、次に大きいサンプルを混ぜ合わせた場合である。混合サンプルの砂粒の数自体が平均値であり正確でないため、これ以上考察できないことが残念である。

また全体を通じて、この実験は、実際に運動場を走る時よりも遅い速さ、小さい垂直抗力でデータを取っているため、体育祭でも滑りにくい運動場の砂を提案するためには、実際に走った時に相当する速さ、垂直抗力で実験を行う必要がある。

E：結論

滑りにくい運動場の砂は、小さくて粒が揃っている砂である。また、粒が揃っている砂の場合、ゴム板に接する砂粒の数と抵抗力には対数の関係がある。

F：謝辞

この研究を指導して下さった本田一恵先生をはじめ、高松第一高等学校の先生方に厚く感謝申し上げます。

G：参考文献

- ・運動場走路の構造に関する研究 京都大学農学部演習林報告 新田 伸三
- ・（グラフ6）は「トトがんばる（ウェブサイト）」より引用
<https://dototobest.blogspot.com/2015/04/blog-post.html>

マダガスカルゴキブリの学習能力

久本 拓宙 菊井 悠希 西川 翔大 太田 侑花

1. 研究目的

家にいるゴキブリは、水や食料のあるところによく見かける。それはゴキブリが水や食料の位置を嗅覚だけでなく、視覚でも学習しているからなのではないかと考えた。そこで、生後4ヶ月程度の子どものマダガスカルゴキブリを使って、視覚による学習能力の有無を調べる。

2. 先行研究

「驚異の微小脳 中央公論新社（水波誠 2006年）」により、ワモンゴキブリは匂いによって学習することが判明している。また、「衛生昆虫の微細構造（BSI 生物科学研究所）」によりゴキブリは複眼の一部が退化したことにより色は識別できないが、明暗は感受することが判明している。さらにゴキブリは高温を避ける習性がある。

3. 飼育方法

虫かごに木くずと卵パック、水、エサを入れ、そこでゴキブリを飼育した。大人のゴキブリから子どもが生まれ、カゴの隙間から子どもが逃げ出さないよう網を虫かごに張った。万が一大人のゴキブリが子どものゴキブリを共食いしないよう、子どもと大人のゴキブリを飼育する虫かごを分けた。ゴキブリは暗い場所を好むので、下図のように黒い幕で虫かごを覆った。また、冬になると気温が下がり、ゴキブリの動きが鈍くなる。そこで、冬でもゴキブリにとって適温の27℃に保つためにサーモスタットを設置した。気温だけでなく湿度も高い方を好むので、霧吹きで水を吹きかけ湿度を高く保った。エサは主に昆虫ゼリーを与えたが、栄養が偏らないために野菜くずも与えた。水は蓋が付いた容器の蓋に穴を空け、そこに脱脂綿を入れ、それでゴキブリに水を与えた。



4. 研究内容

無作為に選出した6匹の子どものゴキブリで、本実験「模様あり、高温あり」を1日2回、1日間隔で5日、計10回行う。本実験を行なった後、同じ個体で対照実験①「模様あり、高温なし」を1日2回、1日間隔で5日、計10回行う。対照実験①を行なった後、同じ個体で対照実験②「模様なし、高温あり」1日2回、1日間隔で2日、計4回行う。

5. 実験方法とその結果

本実験「模様あり・高温あり」

<実験の目的>

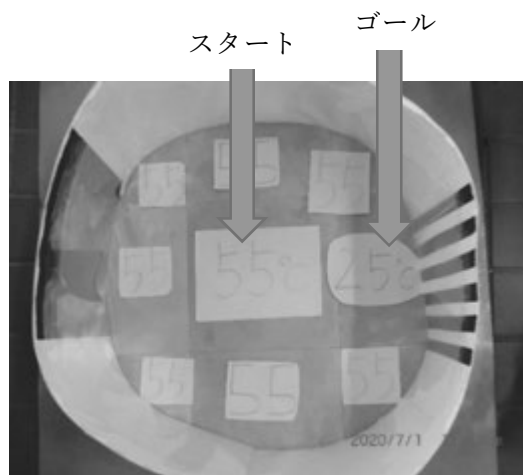
生後4か月程度のゴキブリを使用して、視覚によって学習し、ゴールにたどり着くまでの時間が減少するかどうかを観察する。また、実験に使用する個体にゴールの位置とその模様を覚えさせることにより、後の対照実験への記憶の定着も兼ねた。

<実験器具>

- ・恒温槽9個
- ・アルミ板9枚
- ・プラスチック板
- ・温度計
- ・画用紙
- ・ストップウォッチ
- ・サーモグラフィー
- ・マダガスカルゴキブリ6匹

<実験方法>

- 1 恒温槽を 9 つ、間隔を均等にして並べてそのうち 8 つに水温 60℃の熱湯を、残りの 1 つに氷をいれて水温を 5℃に保てるように設定する。
- 2 アルミ板 9 枚を正方形になるように並べ、テープで固定したものを用意する。
- 3 2 で用意したアルミ板を恒温槽の上にちょうど被さるように置く。
(このとき熱湯を入れた恒温槽の上に置いたアルミ板の表面温度をサーモグラフィーで測定すると 55℃、氷を入れた恒温槽の上に置いたアルミ板の表面温度は 25℃となった。)
- 4 図のようにプラスチック板 2 枚を張り合わせ筒状になるようにする。
- 5 4 のプラスチック板に黒の画用紙で縦縞模様を貼り、その対面に黒色画用紙を貼る。
- 6 筒状のプラスチック板を表面温度が 25℃のアルミ板の上に縦縞模様がかかるようにして置く。
- 7 マダガスカルゴキブリがゴールに到達するまでの時間をストップウォッチで測定し記録する。



<実験条件>

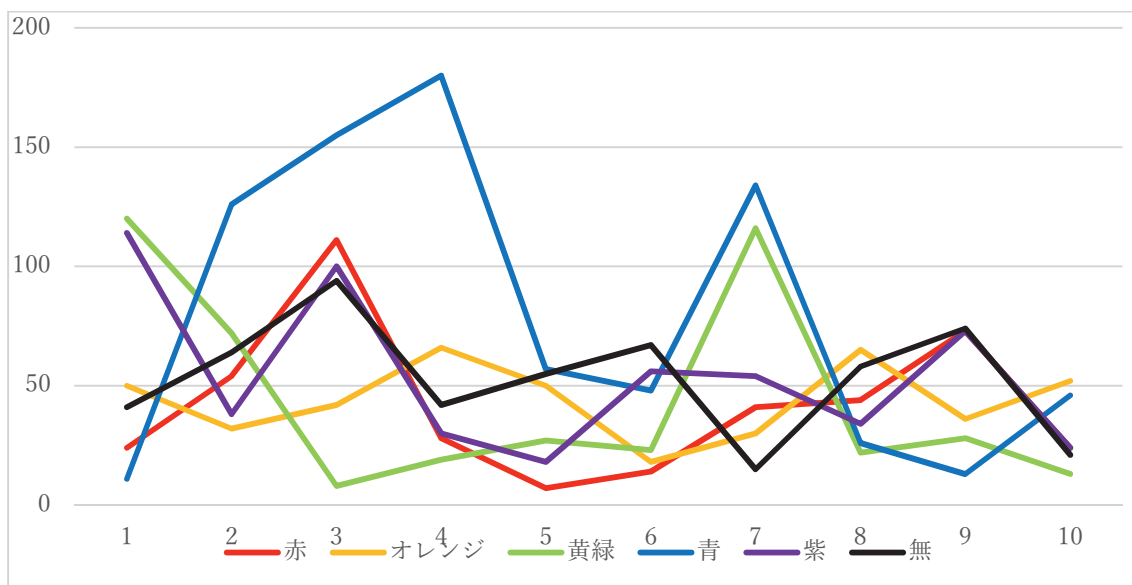
- ・1日に2回を1日間隔で5日間繰り返し、合計10回繰り返す。
- ・ゴキブリがフェロモンを出し、そのフェロモンを頼りにしてゴールに達するのを防ぐために、実験終わる度にアルミ板上と壁を雑巾で拭くようにする。
- ・ゴキブリが3分(180秒)以上止まらなかった場合は記録なしとする。
- ・ゴキブリの個体ごとの実験結果を調べるために、実験で用いる個体にマーカーで赤、黄緑、青、オレンジ、紫、無色に分けた。
- ・中央のアルミ板をスタート地点、表面温度が 25℃のアルミ板をゴールとする。
- ・ゴール地点で10秒とどまった場合をゴールしたこととした。
- ・表面温度を 25℃に保つために、アルミ板の裏に発泡スチロールを用いて、熱伝導を抑えた。

<予想>

本実験の回数を重ねるにつれ、ゴールに到達するまでの時間は早くなる。
つまり、視覚情報によりゴールの位置を学習する。

<結果・考察>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
赤	24	54	111	28	7	14	41	44	73	24
橙	50	43	42	66	50	18	30	65	36	52
黄緑	120	72	8	19	27	23	116	22	28	13
青	11	126	155	180	57	48	134	26	13	40
紫	114	38	100	30	18	56	54	34	73	24
無	41	64	94	42	55	67	15	58	74	21
平均	60	64	85	37	36	38	65	42	50	30



すべての個体において、ゴールである冷たいアルミ板の上で止まった。また回数を重ねるにつれてマダガスカルゴキブリがゴールに到達するまでの時間は縮まっていった。しかし、実験中のゴキブリの様子を観察すると、視覚だけでなく触覚などほかの何かによる学習能力を持つ可能性があると考えた。

また、少し結果にばらつきがあり、記録が安定せず、一概に記録が下がっていると言えないのは、合計 10 回の実験を 5 日に分けて行ったためであると考えられる。それは、エビングハウスの忘却曲線のように次の日の実験の 1 回目の記録は悪くなってしまいうためであると考えた。

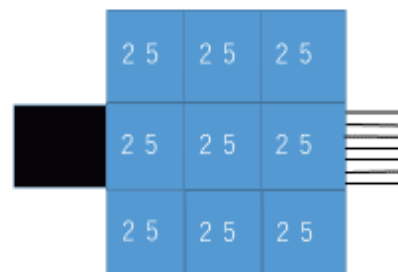
対照実験①「模様あり，高温なし」

<実験の目的>

本実験で見られた学習能力が、視覚情報によるものかを確認するために行った。

<実験方法>

- ・実験器具や手順は本実験と同様に行ったが、変数であるアルミ板の表面温度は本実験と変えて、すべて 25°C で一定にし、壁の模様などは本実験と同様に縦縞模様を作り、その対面を黒の模様にした。
- ・この方法で 1 日 2 回を 5 日繰り返し、計 10 回行う。
- ・この実験では 180 秒以上止まらなかった個体を記録なしとし、次の表では×で表し、グラフでは 180 秒としている。

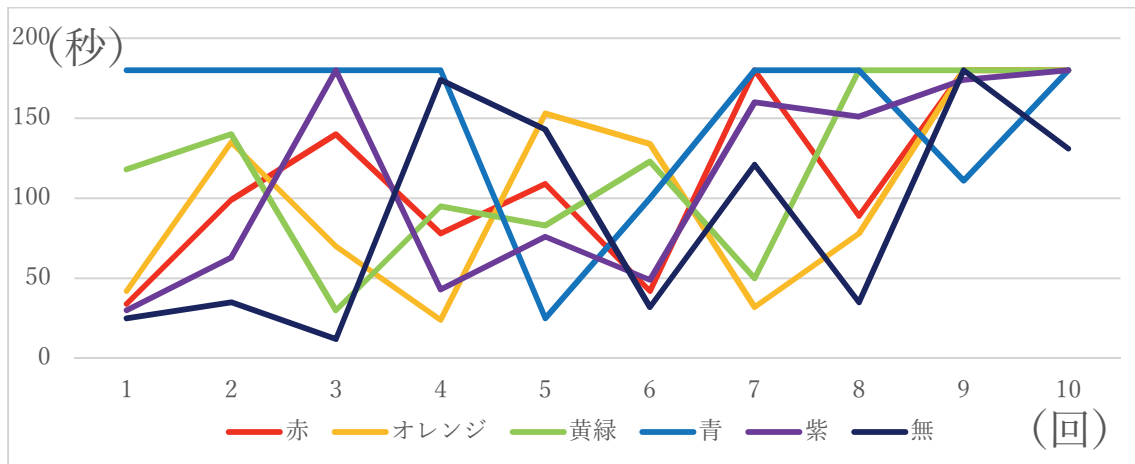


<予想>

本実験で模様の位置を学習させた個体すべてが、常温の時も本実験の時に冷たかった縦縞模様の位置に止まると予想した。

<結果>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
赤	34	99	140	78	109	42	×	89	×	11
橙	42	135	70	24	153	134	32	78	×	52
黄緑	118	140	30	95	83	123	50	×	×	13
青	×	×	×	×	25	100	×	×	111	46
紫	30	63	×	43	76	49	160	151	174	×
無	25	35	12	174	143	32	121	35	×	131
平均	72	109	102	99	98	80	121	119	151	172



熱いところがなく回避刺激がないはずだが、10回試行する中の少なくとも1回は本実験の時に冷たかった縦縞模様のところ止まった。本実験の直後に実験を行った個体はゴール到達時間がはやいが、実験回数を重ね、日が経つにつれて時間は遅くなる傾向がある。また3分間で止まらない個体も存在した。

<考察>

回避刺激がなくても本実験で安全だと判断した縦縞模様のアルミ板の上に止まることから、マダガスカルゴキブリの子どもは視覚によってゴールの位置を記憶していることが分かった。

また、回避刺激がない条件で実験を繰り返すと、日が経つにつれて止まるまでの時間が遅くなることからその記憶は薄れていくことが分かった。

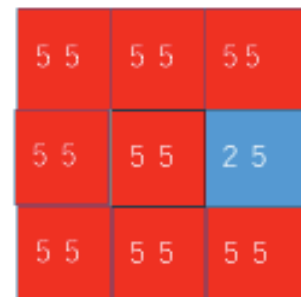
対照実験②「模様なし，高温あり」

<目的>

この実験も本実験で見られた学習能力が、視覚によるものかを確認するために行った。

<実験方法>

壁の模様をすべて真っ白にし、その他の条件であるアルミ板の温度は本実験と同じで行った。(右図)

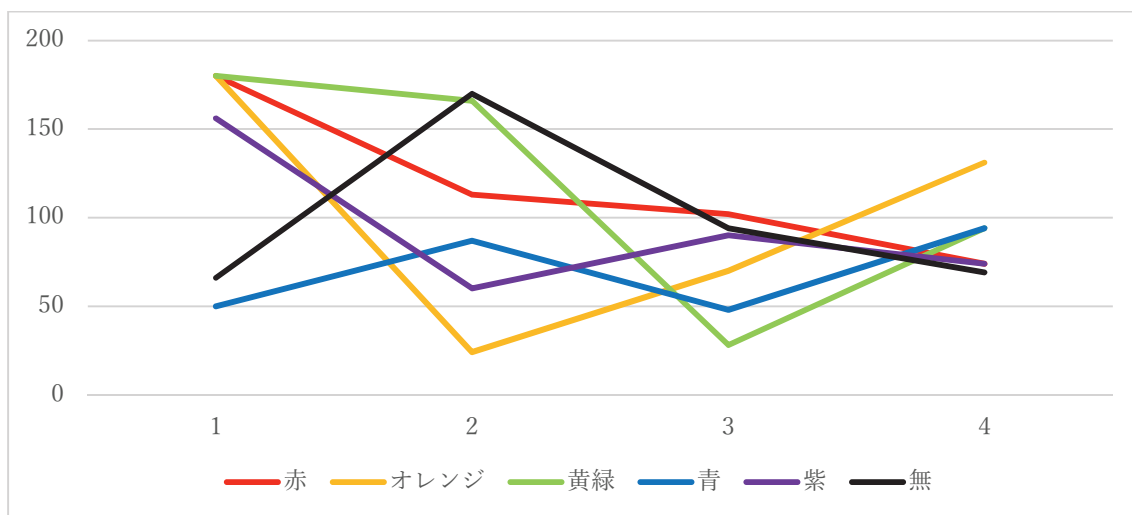


<予想>

この実験では回避刺激があるので、冷たい部分には止まるが、視覚情報がないため時間に規則性が見られないだろうと予想した。

<結果>

	1	2	3	4
赤	×	113	102	74
橙	×	24	70	131
黄緑	×	166	28	94
青	50	87	48	94
紫	156	60	90	74
無	66	170	94	69
平均	135	103	72	89



模様をすべて真っ白にすると、回数を重ねることで全ての個体が冷たいアルミ板の上に止まったが、模様があったときに比べて、止まるまでの時間は長く、アルミ板上をくるくる動き回り、迷っているようだった。また回数を重ねるにつれて、止まるまでの時間は縮まる傾向がみられた。しかし、縦縞模様がある本実験の方が、より短時間でゴールに行きついた。

<考察>

本実験に比べて冷たいアルミ板に止まるまでの時間が遅いのは、壁の模様がなくなり、視覚情報がなくなったためであると考えられる。

また、止まることができたのは触覚によって冷たい位置を探しており、回数を重ねるごとに時間が縮んだのは、熱いところを避けること自体に学習効果があったため止まるまでの時間が縮んだのだと考えた。

6. 結論

本実験、対照実験①からマダガスカルゴキブリは触覚によって安全な場所を探し、視覚情報と結び付けて学習していた。何度も繰り返すことで、学習がより定着した。しかしながら、回避条件が無いと学習記憶は減退することがわかった。

対照実験②から、触覚情報だけの場合も、回避行動を学習するが、視覚情報があった方が、学習能力がより高いことが分かった。

7. 各個体のグラフ

学習能力は個体差が大きく実験を困難にする要因であった。そのことを示すために、3種類の実験の結果を個体ごとにまとめて紹介したい。

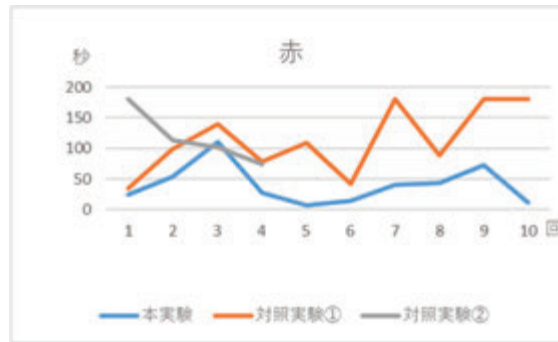
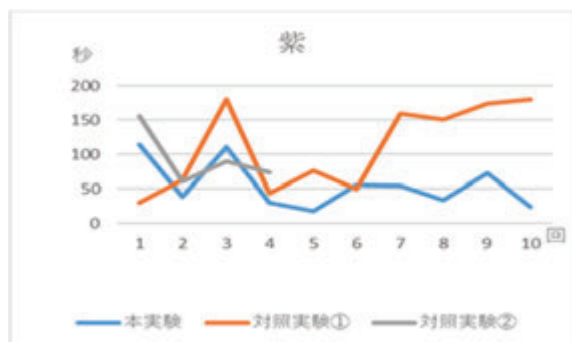
結果の良かった個体と結果の悪い個体を紹介する。

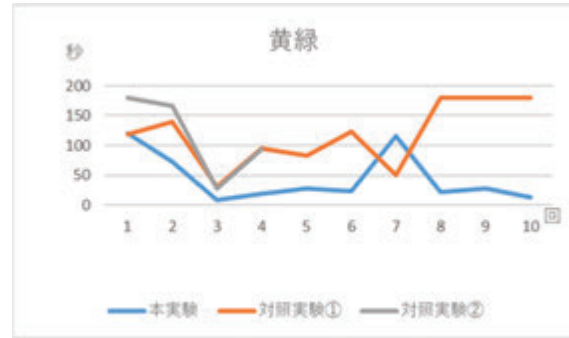
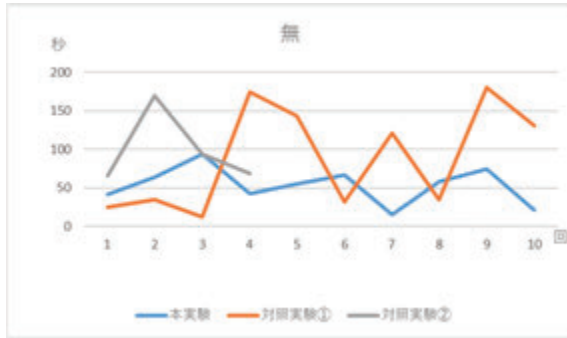
本実験 青色【模様あり・高温あり】

対照実験① オレンジ色【模様あり・高温なし】

対照実験② 灰色【模様なし・高温あり】

(1) 結果の良かった個体



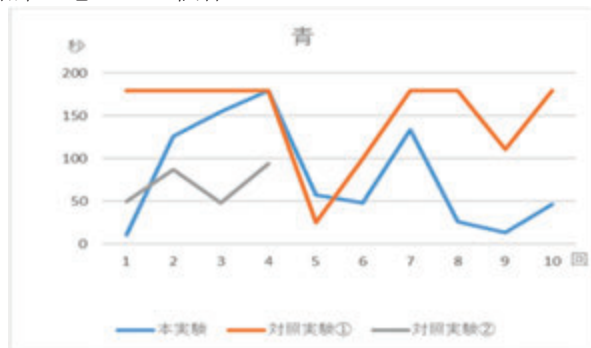


本実験のグラフから回数を重ねるごとに止まるまでの時間が速くなっていったことがわかる。

対照実験①から本実験に比べて、結果にバラつきがあり、回数を重ねていくと、記憶が薄れていくため、結果は悪くなっていった。

対照実験②から結果はよくなっていったが、本実験と比べて模様がないので、視覚情報に頼ることができず、本実験と比べて結果に差が出ている。

(2) 結果の悪かった個体



本実験と対照実験①は、他の個体と結果は変わらないが、対照実験②は、本実験より結果が良くなってしまっている。

個体差は、実験を困難にする要因ではあったが、同時にマダガスカルゴキブリの「賢さ・面白さ」を感じた要因でもあった。

8. 今後の展望

マダガスカルゴキブリの個体数や対照実験②の回数を増やすことで実験の精度を高めたい。また、子どもと大人の学習能力を比較することも、成長と学習能力の向上の関連を考える上で行ってみたい。加えて、マダガスカルゴキブリの視覚と嗅覚の学習能力の向上の仕方について比較することも次の課題としたい。

9. 謝辞

研究を行うにあたって、終始ご指導いただいた蓮井京先生、安藤先生をはじめとする高松第一高等学校の先生方に、厚く御礼申し上げます。

10. 参考文献

- ・ 脅異の微小脳 中央公論新社 (水波誠 2006年)
- ・ マダガスカルゴキブリの学習能力 (高松第一高校 SSH 2017年)
- ・ 「衛生昆虫の微細構造」 BSI 生物科学研究所 (www.bsikagaku.jp/insect/cockroach.pdf)

風洞製作とリアウィングの形状とダウンフォースの関係

Relationship between shape of rear wing and down force

田中 佑磨 藤田 奏 平田 壮太 高島 創平
Yuma Tanaka Soh Fujita Sota Hirata Sohei Takabatake

I. 要旨, 概要

リアウィングは車体を地面に押さえ、安定させるために取り付けられており、そのときにリアウィングによって発生する力はダウンフォースと呼ばれる。我々は、実験室の机の大きさ程度の吸い込み型風洞装置を、先行研究をもとに製作し、車体周辺の空気の流れを可視化し、より大きなダウンフォースを生むために8種類のリアウィングの模型を作り調べた。その結果、車体とリアウィングの間を流れる風の風量を多くすることでリアウィング下部の圧力が小さくなり、より多くのダウンフォースを生じることが分かった。

II. 問題提起, 研究目的

毎日のように見かける車の後部についているリアウィングの形状は様々で、何の目的に応じて、形や大きさが異なっているのか疑問に思った。

先行研究を調べていくとリアウィングはレーシングカーのコーナリング速度を上げるために車を路面に押し付ける下向きの力（以下ダウンフォース）を発生させていることが分かった。そこで、本研究ではリアウィングの形状がダウンフォースにどのような影響を与えるのかを調べることを目的とした。

III. 実験方法

【風洞装置製作】

風洞装置とは、風洞装置内の空気の流れを整え、煙などを用いることで、風洞装置内の物体周辺を流れる空気の流れを可視化できる装置である。

風洞製作では参考文献①「自作風洞実験器を用いた空気の流れの可視化～紙飛行機の形状と空気の流れ～（兵庫県立神戸高等学校総合理学科 2年 藤本正直，檜崎桃子，藤本一貴）」で製作されていた風洞装置を参考にした。風洞装置には様々な構造のものがあるが、参考文献をもとに吸い込み型風洞（排風機を用いて空気を流す風洞装置）を作成することにした。

図Ⅲ-1を用いて風洞装置の各部分を説明する。

① ハニカム装置

ハニカム構造の穴によって空気を整流する役割がある。プラスチック段ボールの断面の一边3mmの正方形の穴を重ね合わせて制作した。

② 縮流胴

空気を圧縮し加速する役割がある。長さは風洞装置内を流す風に合わせてプラスチック段ボールの長さを調整して制作した。接着にはグルーガンやビニールテープを使用した。

③ 観測胴

物体周辺の空気を観測する部分である。一面だけアクリル板にすることで風洞内を見ることができ、他はプラスチックダンボールで制作した。接着にはグルーガンを使用した。観測胴と縮流胴の補強に木材を使用した。

④ 排風機

ダクトファン（MDF-201A ミナト電機工業）を使用した（図Ⅲ-2）。均一で空気を吸い込むことができる。

風洞装置では、空気が①のハニカム装置に流れ込み整流され②の縮流胴で空気が圧縮されて加速する。そして、スモークマシンの煙により③の観測胴で空気の流れが可視化される。これが我々の風洞装置である。以下の実験ではこの風洞装置を用いる。

【予備実験①】

予備実験①を行ったときは風洞を吸い込み型と吐き出し型にするのか決めていなかった。そのため、本実験で使用している排風機ではなく送風機を用いて実験を行った。

目的 自作した風洞装置を用いて空気の流れを可視化する。

方法 観測胴に物体を置き、送風機で風洞装置に風を送り、観測胴から物体周辺の空気の流れを観察した。物体は発泡スチロールを使用した。理由は整形しやすいことと手軽に手に入るためだ。発泡スチロールの形状は直方体である。空気の流れの観測にはスモークマシンの煙を使用した。

【予備実験②】

目的 電子ばかりを用いて重さを測定することで、ダウンフォースによる重さの値の変化が確認できるかどうかを調べる。

原理 参考文献④「一般社団法人日本機械学科流体工学部門ホームページ」の内容を参考にした。車のリアウィングによって車体には下向きの揚力が生じる。この理由は、リアウィングに当たった風がリアウィングに沿って曲げられ、このとき空気にはリアウィングから反作用として下向きの力がはたらくからだ。この力をダウンフォースと呼ぶ。

方法 水平面に対する模型の角度を迎え角として、角度の変化に応じてダウンフォースが変化するかどうかを調べる。測定は模型そのものの重さを測り、送風機で風を当てて重さの変化を確認する。「重さの変化（質量の変化）＝（変化後の値）－（変化前の値）」を計算してその結果が正の値であればダウンフォースが発生しているとした。一方で結果が負の値であれば揚力が発生しているとした。

模型付近での送風機による風の風速は 5.4 [m/s] である。この実験に風速は関係ないが、この値は送風機が「弱」の時の風速である。

【本実験①（可視化実験）】

目的 スモークマシンを用いて車体に流れる空気の流れを可視化し、煙の流れを観察する。

準備物 風洞装置 インダストリアルクレイ（粘土）で製作した車の模型 スモークマシン
排風機 デジタルカメラ

方法 リアウィングを取り付けた車の模型を風洞内に置き排風機で風を流す。スモークマシンの煙を金属のノズルを通して、風洞内の模型前方にあてる。煙の様子を目視で観察する。

【本実験②】

目的 リアウィングの形状によるダウンフォースの値の変化を調べる。

方法 まず、土台となる車体に様々な形状のリアウィングを取り付け、風洞内に設置する。リアウィングは 8 種類用意した（図 IV-1 参照）。次に排風機で風を流しダウンフォースを発生させる。そして、電子ばかりで発生したダウンフォースの値を読み取る。値の決定方法としてリアウィングを取り付けた車体の重さの測定値を風を流した時の重さを 3 回測定した平均値から引いたものを重さの変化の値とした。

初めは、風洞内に電子ばかりを置いてその上に車体を乗せ、重さの変化を読み取ろうとした。しかし、全てのリアウィングにおいて、重さの変化の値が負となってしまった。これは、風洞内に電子ばかりを設置したことで、電子ばかりが直接風を受け、実験の目的とは関係のない力が発生してしまったと考えられた。そこで、電子ばかりを風洞の外に設置した。しかし、まだ重さの変化の値が負の値を示してしまった。これは、風洞自体が風から上向きの力を受けて風洞に浮力が発生してしまったと考えられた。このため、車体と風洞を接触させなければよいと考えた。そこで、風洞の観測胴下部に穴を空け、金属棒を挿入し、棒の上部に車体を設置し、下部におもりを取り付け、その全体の重さの変化の値を読み取った。

実験上の注意点

値の誤差を小さくするために、実験中は、風洞及び、風洞を設置している机に触らないように注意した。また、エアコンから吹き出す風による質量の変化が見られたため、紙で測定部分を上から覆うようにしてエアコンの風を遮った。また、車体に棒とおもりを取り付けたものと風洞が接触して二物体間に別の力が生じないように、観察胴に空ける穴の大きさを調節して二物体同士が触れないようにした。

IV. 結果

【予備実験①】

物体の周辺を空気が流れているのが確認でき、空気の流れを可視化できた。

【予備実験②】

10°ごとに計測を行った。結果を図 V-1 に示す。

【本実験①】

実験の様子を図 V-2 に示す。煙が車体に沿って流れていくことが確認できた。

リアウィングの上部と下部に煙が分かれていくのが観察できた。

【本実験②】

結果を図 V-3 に示す。①～⑦のリアウィングではダウンフォースの発生が確認できた。特に①での値が大きいことから、ダウンフォースの発生が著しい事が分かった。逆に②、⑥、⑦では値が小さいことから、

ダウンフォースの発生はほとんど見られない事が分かった。⑧では負の値を示したことから、揚力が発生してしまったことが分かった。つまり形状によって、ダウンフォースの値は異なり、揚力が発生してしまう可能性も含まれているということとなる。

V. 考察

【予備実験①】

送風機を使用した吐き出し型だと、風を吹き込んでいるため観測胴内の風速が一定になっていなかった。また、送風機では風速が小さかった。空気の流れを可視化できたが、煙が拡散してしまうことで空気の流れが分かりにくくなってしまった。

このことから、排風機の購入を決め、以後排風機を用いた吸い込み型風洞を使用することとした。

【予備実験②】

0°~90°のときは質量の変化が正であり、ダウンフォースが発生した。100°~180°のときは質量の変化が負であり、揚力が発生した。また、50°のときダウンフォースが最も大きく 26g、140°のとき揚力が最も大きく 29g 質量が変化した。

【本実験①】

空気は車体に沿って流れた。車体にぶつかった空気は車体から大きく離れて流れることはなかった。車体を通り抜けた空気は通り抜けた後も乱れることなく後方に流れた。

【本実験②】

ダウンフォースとはそもそも、先述にもある通り、リアウィング上部とリアウィングと車体の間での圧力差（リアウィング上部が高く、リアウィングと車体の間が低い）によって生じるものである。つまり、我々は車体周辺の圧力の高低を知ることによってダウンフォースの発生を調べる事が出来ると思った。しかし今回の実験は実際に車体が走行している場面を忠実に再現しようとしており、車体周辺に風圧測定器などの機器を設置することが出来ない（風の流れを阻害してしまう可能性がある）ため、圧力を視覚的に判断する必要があると考えた。そこで大学で学ぶ流体力学から参考にさせて頂いたベルヌーイの定理を利用して考察する。

(i) ベルヌーイの定理 : 流体の速度が増加すると圧力は低下する。

この定理により、圧力が分かるためには、流体の速度、すなわち、風速が分かればよいということになる。しかし、風速も機器なしでは視覚的に判断することが出来ない。そこで、(ii) で説明する風量計算式を利用して考察する。

(ii) 風量計算式 : 風量(m^3/mi)=通過風速(m/s)×通過面積(m^2)×60(s)

実験の設備上、通過面積(m^2)×60(s)は一定とみなす（通過面積は車体とリアウィングの間、リアウィング上部とする）。これにより風速が分かるためには、風量が分かればよいということになる。風量はスモークマシンを用いることによって視覚的に大小を判断することが出来る。例えば、風量が多いということは(ii)より、風速が大きいということになる。風速が大きいということは、(i)より、圧力は低くなっているということになる。逆に、風量が少ないということは圧力が高いということになる。つまり、スモークマシンを用いることで、空気の圧力の高低を視覚的に判断できるということになる。

ベルヌーイの定理と風量計算式から、風量が多くなるほど圧力が低くなるということが分かったため、車体とリアウィング間に流れる風の風量が多いほどリアウィング下部の圧力が低くなりダウンフォースも大きくなると仮定した。

実験②で変化量の大きかったリアウィングはリアウィングで車体の周辺を流れる風がうまく整流され車体とリアウィングの間に風が多く流れ込んでいた。しかし変化量の小さかったリアウィングは車体周辺を流れる風がうまく整流されておらず車体とリアウィングの間にあまり風が流れ込んでいなかった。したがって車体とリアウィング間に流れる風の量が增多することでより大きなダウンフォースが生まれることが分かった。

以上のことから仮定した通り、車体とリアウィングの間に流れる風量が多いほどリアウィング下部の圧力が小さくなるためダウンフォースも大きくなるということが考えられる。

ただ1つだけ揚力が発生したリアウィング8については揚力が発生した原因は以下の3つが考えられた。

- ・ リアウィングの設置位置が高かった
- ・ リアウィングの形状(2段重ね)による
- ・ リアウィング上部に流れる風量が多かった

直接的な原因としては、1つ目の原因のリアウィングの設置位置については設置位置が高かったことで車体周辺を流れる風がうまく整流されなかったこと、2つ目の原因のリアウィングの形状については現実

のリアウィングの形状をモデルとして作成したが手作業で作成したため完全に再現できなかったことであった。また、3つ目の原因のリアウィングの上部に流れる風量が多くなったことで、リアウィングの上部が下部よりも圧力が低くなってしまったことが3つの原因のうち主な揚力が発生した直接的な原因であったと考えた。

VI. 結論（課題）

車体周辺を流れる風をリアウィングで整流し、車体とリアウィングの間を流れる風の風量を多くすることでリアウィング下部の圧力が小さくなり、より多くのダウンフォースを生じることができると分かった。

【今後の展望（課題）】

リアウィングをつけることで確かにダウンフォースが生じたことが確認できたが、どの形状が車体に取り付けた場合ちょうどよいダウンフォースを生むのか調べる。

リアウィングを取り付ける高さについても我々の実験では、高さを統一して行ったが、高さについては考慮できていなかったため、どの高さが車検を通り、ダウンフォースを生むのに適しているか調べる。同じく取り付け角度も予備実験では50°が一番強いダウンフォースを生んでいたがそれが適用できるのか調べる。

風洞装置での風の可視化においてよりリアウィング周辺の風の流れが見やすくなるようにノズルの位置などを変えて実験する。

VII. 参考文献

- ① 自作風洞実験器を用いた空気の流れの可視化 ～紙飛行機の形状と空気の流れ～
兵庫県立神戸高等学校 2013年度 SSH研究
総合理学科2年 藤本正直 檜崎桃子 藤田一貴

内容

高校生レベルで高精度かつ安価な風洞実験器を自作
「紙飛行機」を題材として、空気の流れを風洞実験器内で可視化

- ② 鉄道先頭形状による空気抵抗の違いと流れの可視化
小田武春

内容

風洞を用いて流れの可視化(鉄道先頭形状)

- ③ 鳥人間入門 九州大学鳥人間チーム (2020年 4月8日 最終アクセス)

内容

リアウィングの上下面で風速に違いが生じる
物体後方での渦の発生が圧力の低下を招く

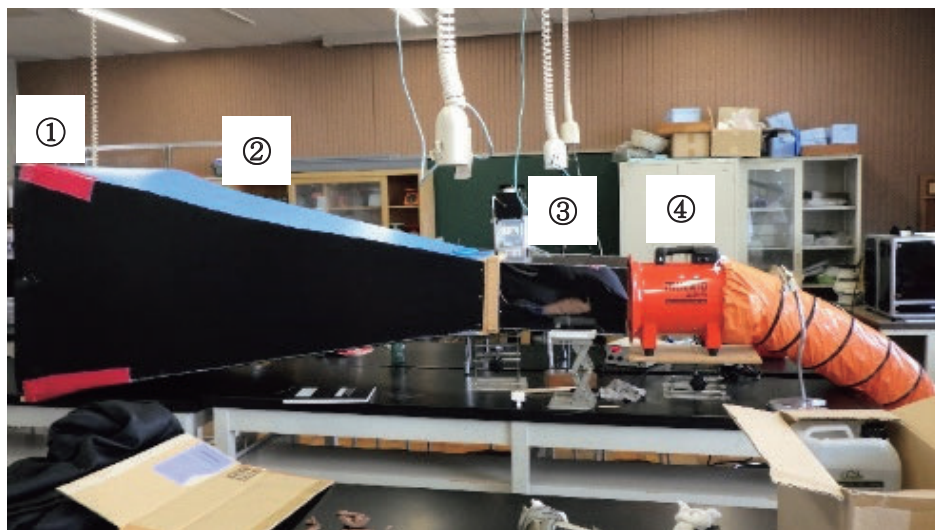
<https://www.q-birdman.jp/introduction/theory.html>

- ④ 一般社団法人日本機械学科流体工学部門ホームページ (2020年 8月1日 最終アクセス)
<https://www.jsme-fed.org/>

VIII. 謝辞

ご指導いただいた、佐藤哲也先生、四茂野志音先生、東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻教授鈴木宏二郎先生をはじめとする本研究に携わって頂いた全ての方々に深く感謝します。

IX. 図表・画像



図III-1 風洞装置の概観



図III-2 (MDF-201A ミナト電機工業)



図IV-1 車体に取り付けるリアウィング

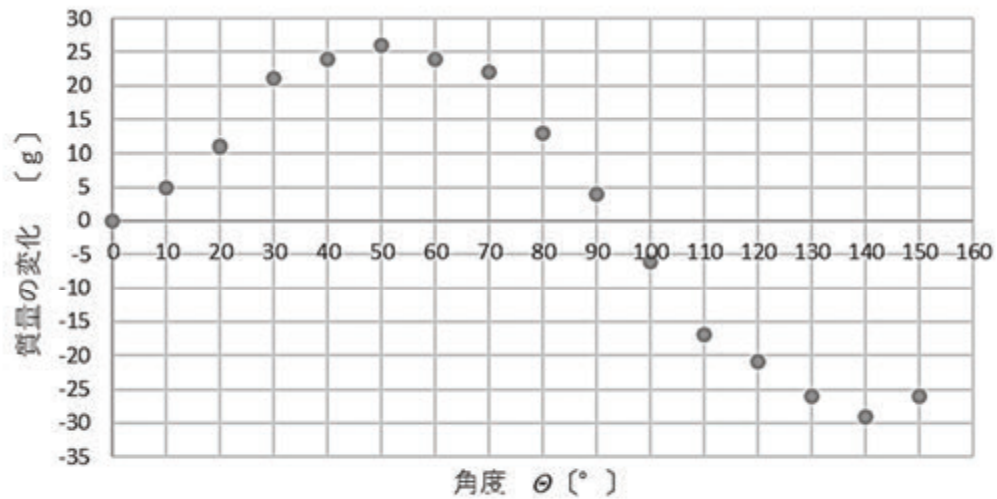


図 V-1 風速5.4 [m/s] のときの角度と質量の変化の関係

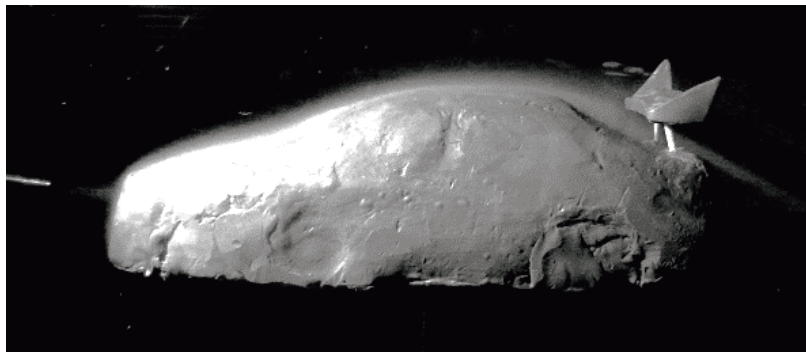
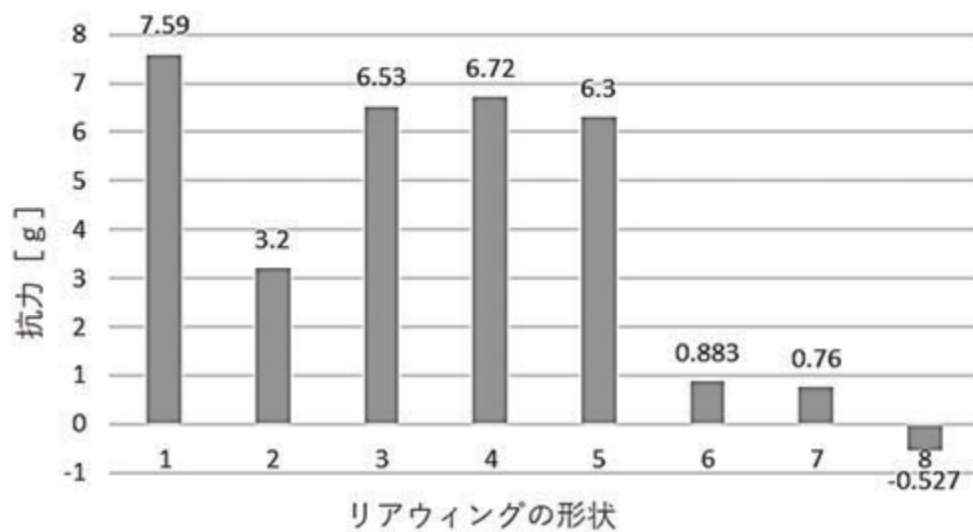


図 V-2 車体周辺の空気の流れの様子



図V-3 リアウイングの形状と抗力

台風進路データ処理による小笠原気団の動きの予測

石川 優翔 河野 友稀 三井 颯剛 山上 雅仁

1. 要旨

台風進路を数学的に分析し、小笠原気団の位置や動きを可視化し、性質を調べた。また、小笠原気団が常に、その名前の由来である小笠原諸島周辺に本当に位置するのかを調べた。研究には、気象庁が HP 上で公開している台風観測データを用い、台風進路が放物線の形に似ていることから Excel を用いて 2 次関数で近似し、月別における気団の動きや小笠原諸島の位置の関係を考察した。その結果、台風の折り返し地点の緯度は 2 月から 9 月上旬まで大きくなり、それ以降小さくなるのが分かった。なお、その緯度は 8 月下旬から 9 月にかけて最大となり、北緯 30 度付近に分布した。また、9 月上旬まではその緯度が大きくなり、それ以降小さくなった。このことから、月別の台風の中心の緯度の推移には規則性があるといえる。必ずしも小笠原諸島の上に小笠原気団の中心があるのではなく、月によっては他の島周辺にある可能性があるため「小笠原」気団という名称は最適とは言えない。

キーワード：小笠原気団、小笠原諸島、2 次関数、近似、Excel

2. 序論

ア. 研究背景

台風の進路や発生場所については、参考文献 [I] より北緯 30 度付近では偏西風が台風進路に大きく影響を及ぼすこと (Figure1)、参考文献 [II] より台風の発生位置はエルニーニョ現象時に東に、ラニーニャ現象時に西に偏するということ (Figure2)、参考文献 [III] より日本に接近する台風は小笠原気団に沿って北上するということ (Figure1)、の 3 点がわかっている。

しかし、時間変化を考えると、地球上の気団は常に同じ位置にあるのではなく、季節により発達したり減衰したりしている。このように気団の位置が季節ごとに変化するのであれば、台風進路にもその影響が現れているはずである。そこで、私達は台風の進路の月ごとの変化から気団の位置を推定できないかと考え、研究を行うことにした。まず、台風進路を確認したところ放物線の形とよく似ていることに気づいた。仮に、2 次関数で近似できるのであれば、求めた式を平方完成することにより、台風進路に影響を及ぼす小笠原気団の最西端や中心の位置、またそれらの時間変化を推定できると考えた。

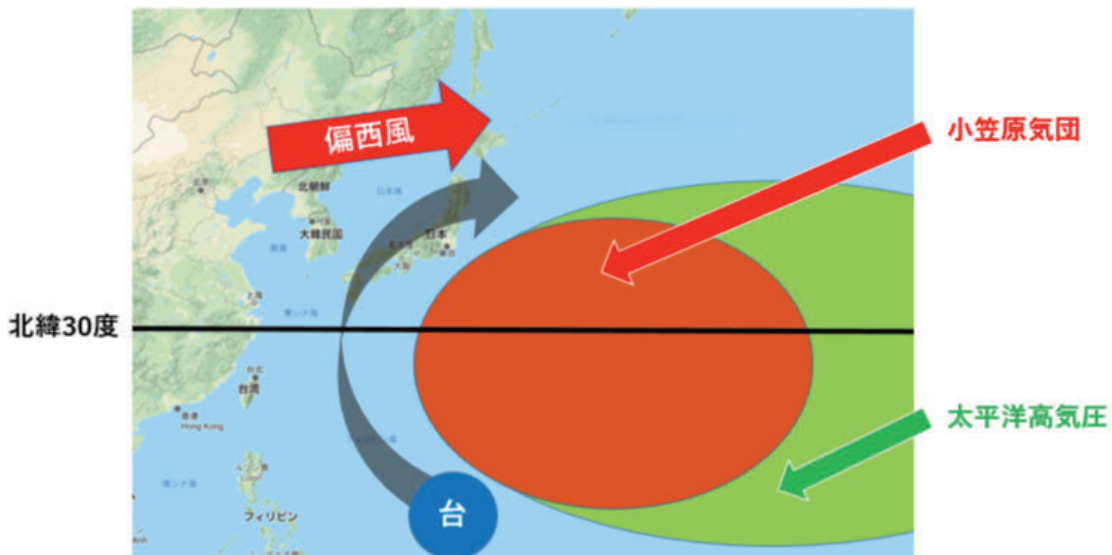


Figure 1 日本付近の台風進路



Figure 2 エルニーニョ現象，ラニーニャ現象発生時における台風発生地域の変化

イ. 研究目的

台風進路から小笠原気団の最西端が中心位置の時間変化を求め、考察を行う。また、それより、小笠原気団は本当に小笠原気団と呼ぶにふさわしいのか考える。

ウ. 研究意義

通常、気団の位置について考えるのであれば、天気図などで等圧線を確認すればよい。しかし、この方法では、刻一刻と気圧の配置が変わってしまい、より長いスパンでの気団の季節的な動向を理解するには不適當と言える。それを解消するため、1～2週間というより長い時間スケールで運動する台風を用いて、より長い解析を行うことにした。

3. 研究手法

ア. 研究対象

本研究では、研究開始時点で完全な状態で公開されていた2001年から2018年までのデータを用いた。その際、小笠原気団による影響のみに着目するため、下記の5つの事象の一つでも当てはまる台風は統計から除外した。対象期間に発生した全441の台風のうち適正に処理できない台風を除いて合計49個の台風を分析した。どの年の第何号台風をデータ処理に用いたのかに関してはFigure3に示す。Figure3中の黒く示す台風が分析した台風である。

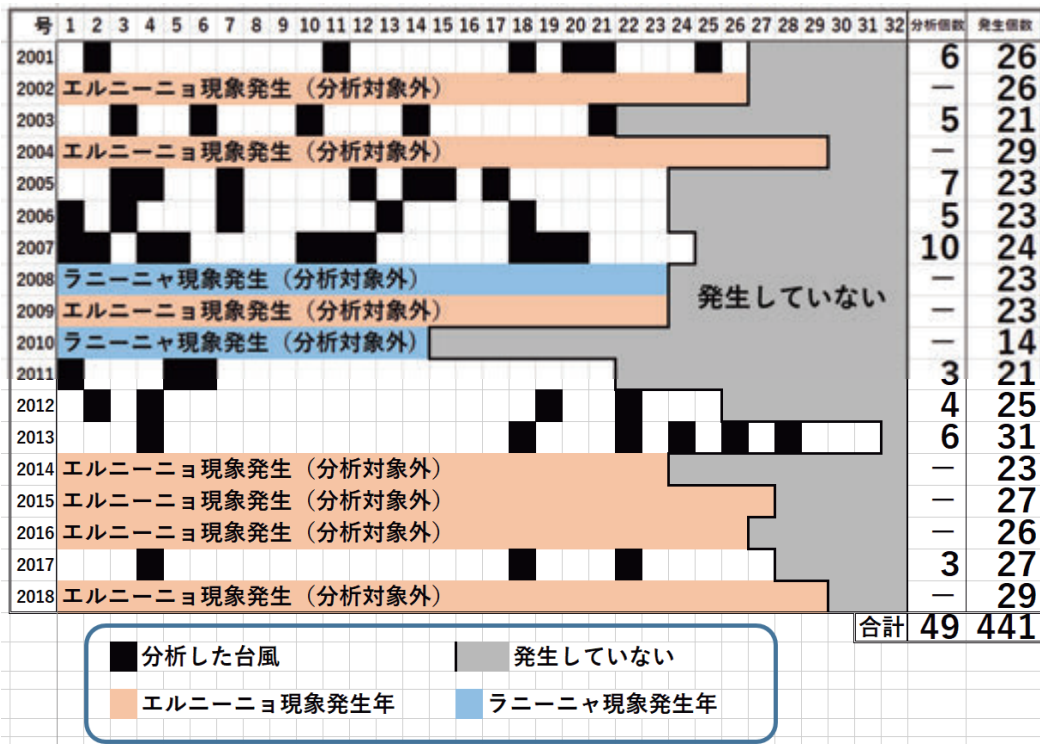


Figure 3 発生台風と分析した台風

除外条件は以下の 5 つとした。

〈コースに関する条件〉

- ① 発生してから北上し北緯 30°以上で進路を変えた偏西風による影響が大きいと思われたり，発生域が西寄りで小笠原気団のふちに沿って動いていないコリオリの力による影響が大きいと思われたりするような小笠原気団の影響が小さいもの

Figure5 のように発生してすぐ北東に進路をとったものは折り返し地点の判別が難しいため除外した。

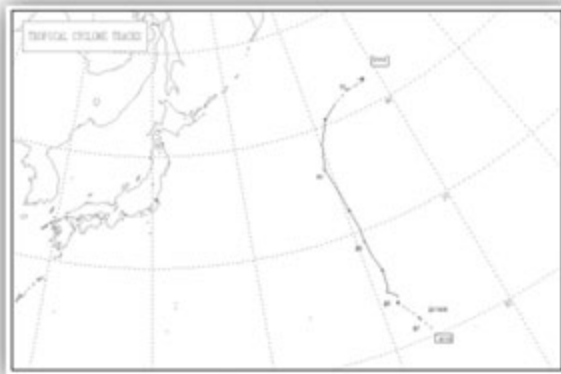


Figure 4 偏西風による影響が大きいと思われる台風の例

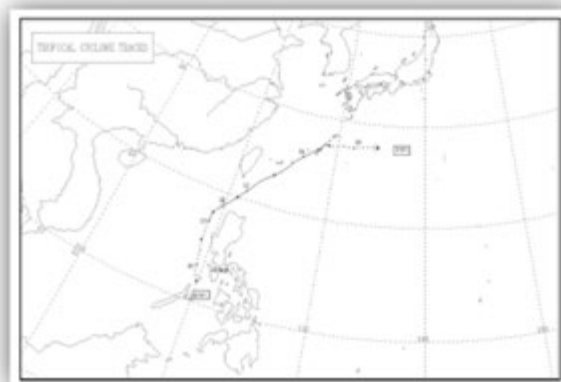


Figure 5 コリオリの力による影響が大きいと思われる台風の例

- ② 中国・東南アジア方面に大きくそれたもの
陸上を進むため水分補給が絶たれ，台風の性質が変わる可能性がある。



Figure 6 中国方面にそれたもの

- ③ 発生から消滅までの移動距離が非常に短いもの
小笠原気団のどの部分に対応するか分からないため除外した。



Figure 7 短寿命の台風の例

〈発生場所に関する条件〉

- ④ エルニーニョ現象発生年・ラニーニャ現象発生年発生台風全て
Figure2 で示すようにエルニーニョ現象発生時は東に、ラニーニャ現象発生年は台風発生場所
が西にずれるため、そもそもの気圧配置が平年と大きく異なる可能性があるため除外した。
- ⑤ 発生場所がフィリピン東部海域・日本の南方ではないもの

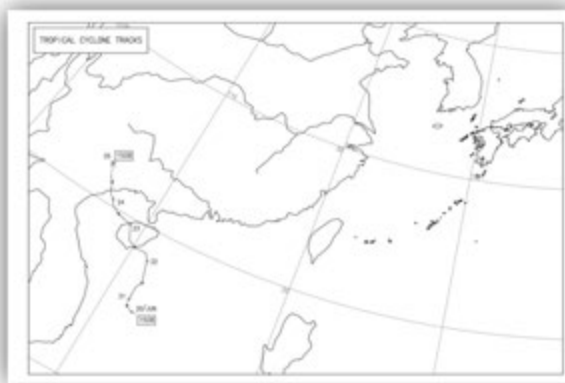


Figure 8 南シナ海で発生した台風

イ. 調査・統計の手順

- ① 気象庁 HP 過去の台風資料ページ*1 から CSV 形式の台風進路に関するデータをダウンロードする。

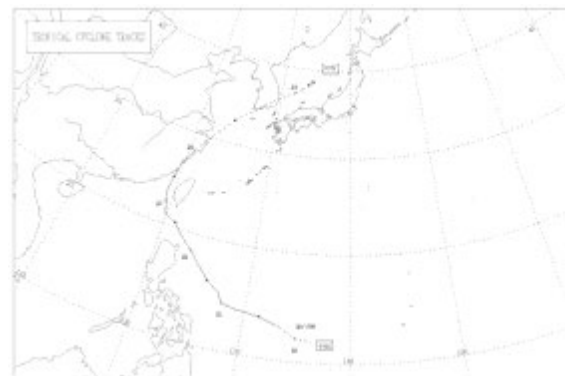


Figure 9 台風の進路図の例

位 置 表

月日時	中心位置		中心 気圧 hPa	最大 風速 m/s	暴風域半径 km	強風域半径 km	大きさ・強さ等	
	緯度	経度					大きさ	強さ
6 20 03	11.9 N	136.4 E	1004	—	—	—	熱帯低気圧発生	
09	12.1	134.9	1002	—	—	—	—	—
15	13.0	133.4	996	18	—	150	—	—
21	13.7	131.4	996	18	—	150	—	—
21 03	14.0	129.1	992	20	—	190	—	—
09	14.3	127.7	990	23	—	E: 330 W: 220	—	—
15	15.2	127.2	990	23	—	E: 330 W: 220	—	—
21	16.0	125.9	985	25	—	E: 370 W: 280	—	—

Figure 10 気象庁 HP で公開されている台風の通過日時、経緯度、中心気圧などを詳しく記した数値データの例

- ② 台風進路データを Excel でグラフ化する。

Excel では横軸方向に往復するような折れ線グラフは表示できないため、そのままの形（横軸方向に経度、縦軸方向に緯度）では表示できない。そこで、横軸方向に緯度、縦軸方向に経度をとり折れ線グラフで表示させる。

- ③ Excel の近似機能を用いて、②のグラフを 2 次関数で近似する。

(ア) 2 次関数で近似する理由

気象庁 HP の台風進路を見ると放物線の形によく似ていることに気付いた。2 次関数と仮定すると平方完成することにより軸と最小値を求めることができる。本研究においては最小値が小笠原気団の西端、軸上に小笠原気団の中心部があるのではないかと考え、分析を行った。3 次関数、4 次、5 次...n 次関数の近似も考えたが変曲点を考慮する必要があり、計算が大変でデータ処理に時間がかかるため、今回は用いないことにした。

(イ) 近似式算出方法

グラフをもとに近似曲線を計算する Excel の機能を用いて算出した。

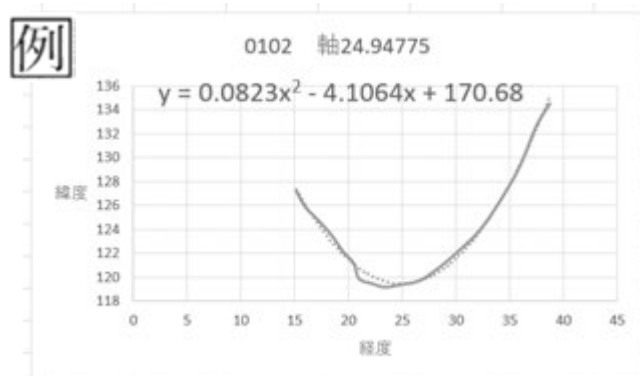


Figure 11 台風進路の Excel 上での表示と 2 次近似（上図は 2001 年 第 2 号）
図中の式が近似により得られた台風進路を表す 2 次関数

- ④ ③で求めた近似式を平方完成して軸を求める。

- ⑤-1 Excel での分析

得た軸と日付の関係をグラフ化して調べる。軸の緯度を y 座標、軸を台風が通過した日付を x 座標としてグラフを作る。

- ⑤-2 Google Earth での分析

得た軸を地図上に表示し、気団の動きを可視化する。

手軽に利用でき、操作の簡便性においても優れているため Google Earth Web 版*2を使用した。地図上には「ラインやシェイプを描画」機能を用いて打点でき、それを線で結ぶことができる。正確に手作業で打点していく。今回は、経度間隔 0.5°で打点した。その際、④で求めた軸は百分率であり、Google Earth の経度・緯度表示のデフォルト設定は一般的な六十分法であることに注意した（なお、設定で緯度経度を百分率の表示形式に変更することは可能）。地球儀上に表示後、軸の位置と小笠原諸島の位置の関係や月別の気団の動きを調べる。

4. 結果

月別における台風進路の軸の近似曲線の推移を示す Figure12 から以下のことが分かった。

- 8月下旬から9月にかけて軸の緯度が最も高く北緯 30 度付近に分布している。
- 軸は北緯 14 度から 34 度の間を移動する。
- 軸は 4月から8月にかけて北へ、9月から11月にかけて南へ少しずつ位置を変えていく。

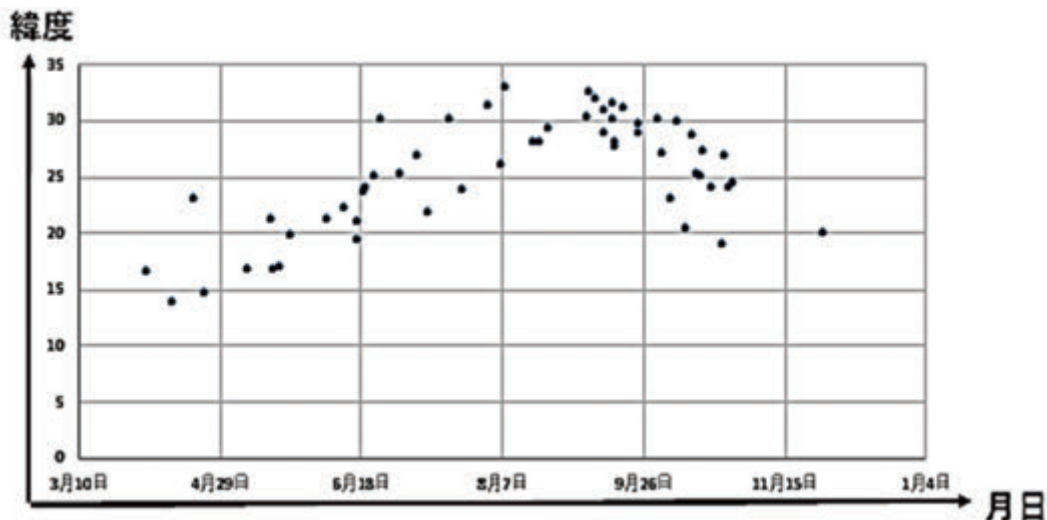


Figure 12 月別における台風進路の軸の近似曲線の推移

また、4月～12月における軸の位置の変化を簡単に表すと Figure13 の通りになった。Figure13 の各マルはそれぞれの月の平均的な軸の位置を示している。

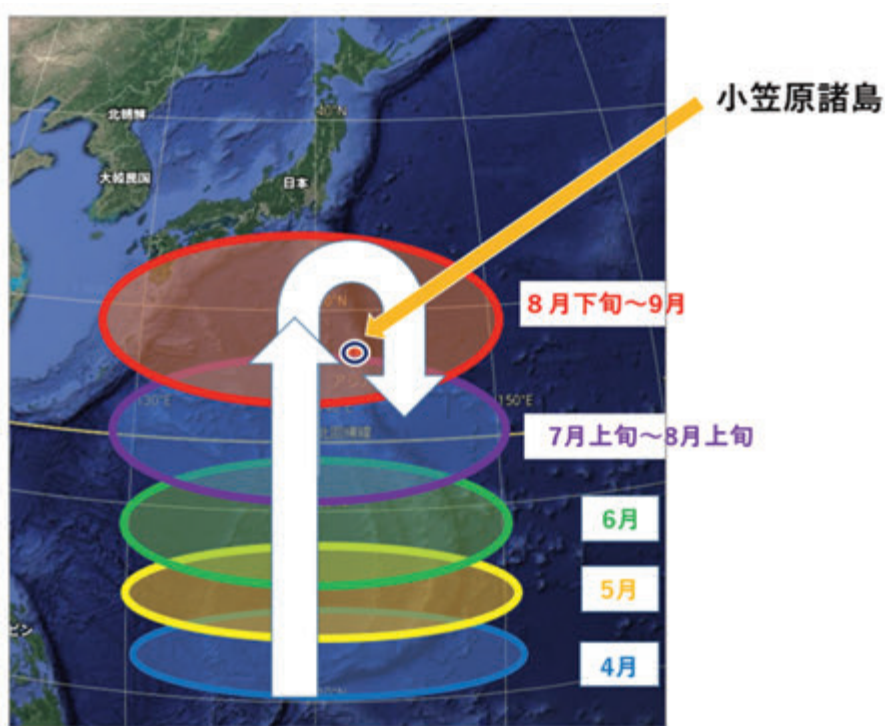


Figure 13 月別における軸の推移

図中の各マルは各月の軸の平均的な位置の推移を示す

- Figure12, 13 から軸の位置は月によって大きく変化し、8月下旬から9月上旬にかけて日本列島の太平洋側（北緯 30 度付近）に位置する。そこから小笠原気団の日本列島へのはりだしが起こっていると考えられる。

- 必ずしも小笠原諸島（北緯 24 度～27 度付近）の上に軸（小笠原気団の中心と考えた部分の位置）があるのではなく月によっては他の島周辺にある可能性がある。したがって、「小笠原」気団とは言えないのではないだろうか。

5. 考察

Figure12, 13 から軸の位置は月によって南北に大きく変化し、8月下旬から9月上旬にかけて一番北寄りの配位となり、日本列島の太平洋側（北緯 30 度付近）に位置する。このように、夏から秋にかけて小笠原気団の日本列島へのはりだしが起こっていると考えられる。また、必ずしも小笠原諸島の上に軸（小笠原気団の中心と考えた部分の位置）があるのではなく、月によっては他の島周辺にある可能性がある。したがって、「小笠原」気団とは言えないのではないだろうか。

6. 結論・展望

台風進路を 2 次関数で近似しても小笠原気団の勢力、及び移動の変化を捉えることができた。

小笠原諸島周辺に小笠原気団がない月のほうが多い可能性が高く、月によって気団の位置が異なるため名前の改名が必要である。小笠原気団は勢力が強くなるにつれて北上し、逆に勢力が弱くなると南下する。現時点では小笠原気団の縦（南北）の動きがわかった。横（東西）の動きが分かれば Figure13 の領域を絞り込むことができ、より詳しく気団の動きを可視化できるだろう。

7. 謝辞

本研究を進めるに当たって、担当教員の増田裕明先生をはじめとする高松第一高等学校の先生方に熱心にご指導して頂いた。気象庁のデータについて国立研究開発法人海洋研究開発機構の山崎哲先生にアドバイスを賜った。ここに厚く感謝の意を表す。

8. 参考文献

- [I] 筆保弘徳・山田広幸・宮本佳明・伊藤耕介・山口崇彦・金田幸恵美, 台風についてわかっていること知らないこと p 242, ベレ出版, 2018.
- [II] 稲津将・吉野純・加藤輝之・茂木耕作・三好建正, 天気と気象についてわかっていること知らないこと P 277, ベレ出版, 2013.
- [III] 水谷仁, 天気予報はどう? 「気温」「気圧」「水蒸気」が理解のカギ, しゅくみがよくわかる天気と気象 第 3 版, Newton 別冊 p 159, (株)ニュートンプレス出版, 2014.

9. 補足

- * 1 気象庁 過去の台風資料
<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>
- * 2 Google Earth Web 版
<https://earth.google.com/web/>
- * 3 Google Maps Web 版
<https://www.google.co.jp/maps/>

World of Function ～Regularity of Rose curves～

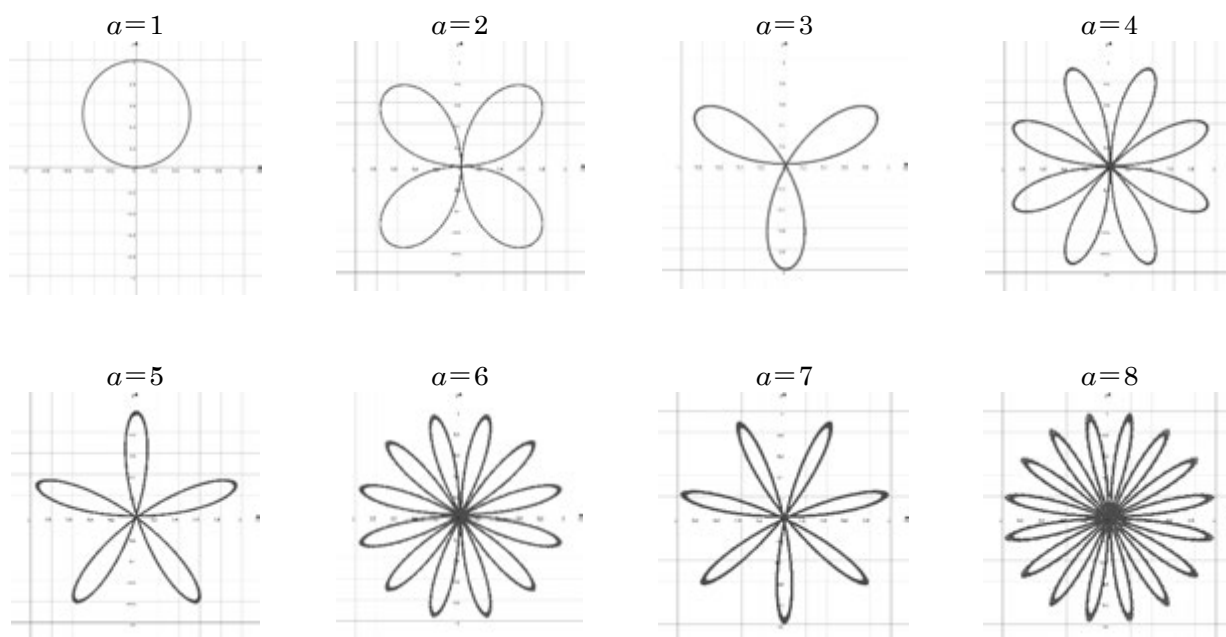
出淵 航輝 河野 慎也 長島 悠輔

1. 研究の動機や目的

教科書やインターネットで研究のテーマについて調べていたところ、特殊な曲線が多数存在することが分かった。その中でも正葉曲線 (Rose curves) は変数の値を変えると特にグラフの概形が大きく変化したのでこれに興味を持ち、調べることにした。目的は以下の通りである。

極方程式 $r = \sin a\theta$ (a は有理数) で表される正葉曲線の規則性を grapes や Integral Calculator を用いて調べる。grapes とは入力した関数をグラフ化するソフトであり、Integral Calculator は積分計算を行いその過程と結果を表示するウェブサイトである。

2. 研究の方法や内容



上に示したグラフは $r = \sin a\theta$ の a の値を 1 から 8 まで変化させたときのそれぞれの概形である。

我々は今回、①葉の枚数 ②葉の面積 ③葉の周りの長さ の三つの規則性について調べることにした。なおここに記す葉というのは、極からもう一度極まで戻ってくる囲まれた部分を言い、その極まで戻ってくる 1 回分を葉 1 枚と定義する。

また、この研究をするにあたり、初めに教科書「改訂版 数学Ⅲ (数研出版)」を一読したが正葉曲線が $r = \sin a\theta$ (a は有理数) で表されるということしかわからなかった。

今回の研究では $r = \sin a\theta$ の a を自然数として研究をした。

まずは ①葉の枚数から研究をした。

$r = \sin a\theta$ の a の値を 1 から 8 まで変化させたときのそれぞれの葉の枚数を数えて、規則性の有無を確認した。

a の値	葉の枚数	a の値	葉の枚数
$a=1$	1	$a=5$	5
$a=2$	4	$a=6$	12
$a=3$	3	$a=7$	7
$a=4$	8	$a=8$	16

この表から a が奇数, 偶数の時にそれぞれ異なる規則性があることが分かった。その規則性とは, $r = \sin a\theta$ の a の値が奇数の時は葉の枚数が a 枚, 偶数の時は $2a$ 枚になるということである。

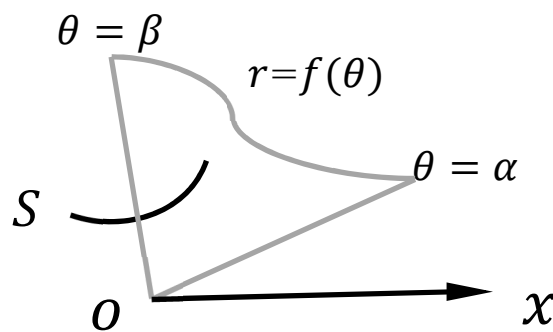
a が奇数	葉の枚数	a が偶数	葉の枚数
$a=1$	1	$a=2$	4
$a=3$	3	$a=4$	8
$a=5$	5	$a=6$	12
$a=7$	7	$a=8$	16

$a = 9$ 以降の葉の枚数についても同様の考え方ができる。

続いて ②葉の面積について研究をした。面積を求めるために用いた積分の公式は以下のとおりである。

$$S = \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{2} r^2 d\theta = \int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{2} \{f(\theta)\}^2 d\theta$$

公式に出てくる文字は以下のとおりである。



グラフ上の点の極からの距離の最大値は1であり, $\sin a\theta = 1$ を満たす θ のうち 0 より大きいかつ最小のものは $\theta = \frac{\pi}{2a}$ であるから再び極に戻って来るとき $\theta = \frac{\pi}{a}$ である。よって今回の積分区間は 0 から $\frac{\pi}{a}$ とした。葉一枚の面積を S とおいて公式より,

$$\begin{aligned} S &= \int_0^{\frac{\pi}{a}} \left(\frac{1}{2} \sin^2 a\theta \right) d\theta \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{a}} \left(\frac{1 - \cos 2a\theta}{2} \right) d\theta \\ &= \frac{1}{4} \int_0^{\frac{\pi}{a}} (1 - \cos 2a\theta) d\theta \\ &= \frac{1}{4} \left[\theta - \frac{1}{2a} \sin 2a\theta \right]_0^{\frac{\pi}{a}} \\ &= \frac{\pi}{4a} \end{aligned}$$

よって, 葉一枚の面積は, $\frac{\pi}{4a}$ である。葉一枚の面積×葉の枚数によって全体の面積を求めることができる。

a が奇数

	葉の枚数	葉 1 枚の面積	全体の面積
$a = 1$	1	$\pi/4$	$\pi/4$
$a = 3$	3	$\pi/12$	$\pi/4$
$a = 5$	5	$\pi/20$	$\pi/4$
$a = 7$	7	$\pi/28$	$\pi/4$

a が偶数

	葉の枚数	葉 1 枚の面積	全体の面積
$a = 2$	4	$\pi/8$	$\pi/2$
$a = 4$	8	$\pi/16$	$\pi/2$
$a = 6$	12	$\pi/24$	$\pi/2$
$a = 8$	16	$\pi/32$	$\pi/2$

この表はそれぞれ a の値が奇数, 偶数のときの葉一枚の面積と全体の面積の関係を示したものである。これより, a の値が大きくなれば大きくなるほど, 葉一枚の面積は小さくなるが, 全体の面積は a が奇数のときは $\frac{\pi}{4}$, 偶数のときは $\frac{\pi}{2}$ で一定になるという規則性がわかった。

この規則性についても, $a = 9$ 以降も同様の考え方ができる。

最後に ③葉の周りの長さについて, 研究をした。

ここでは葉一枚の周りの長さを,

- i. 積分による計算
- ii. 直線による近似
- iii. キルビメータを用いた測定

の三種類の方法で求めることにした。

まず i. について説明する。

長さを求めるために用いた積分の公式は以下のとおりである。

$$L = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{\{f(\theta)\}^2 + \{f'(\theta)\}^2} d\theta$$

この公式に $\alpha = 0$, $\beta = \frac{\pi}{a}$, $f(\theta) = \sin a\theta$ を代入して,

$$\int_0^{\frac{\pi}{a}} \sqrt{\sin^2 a\theta + a^2 \cos^2 a\theta} d\theta$$

この式の a の値に自然数を代入して Integral Calculator を用いて計算する。

葉一枚の長さ		葉一枚の長さ	
$a = 1$	3.14159	$a = 6$	2.07501
$a = 2$	2.42211	$a = 7$	2.05816
$a = 3$	2.22748	$a = 8$	2.04656
$a = 4$	2.14461	$a = 9$	2.03821

これが a の値に 1 から 8 まで代入して計算した結果である。

この表より a の値が奇数, 偶数に関係なく大きくなるにつれて葉一枚の周りの長さが小さくなっていることがわかる。

葉一枚の周りの長さを求める積分の計算結果は a を用いて一般化することができなかつたので i. の結果が正しいかどうかを裏付けるために, ii. iii. の方法を行った。

ii. について説明する。

右の図は, $r = \sin 3\theta$ での近似を説明するための図である。

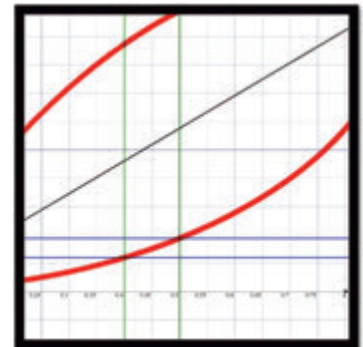
赤線は $r = \sin 3\theta$ の一枚の葉の一部

緑線は $x = 0.4$ と $x = 0.5$

青線は $y = 0.060$ と $y = 0.094$ である。

赤線を, 緑線と青線で囲まれた長方形の対角線とみなし, 三平方の定理を用いて計算し, 足し合わせる。

今回は $a=2,3,4$ の三つの値について近似を行う。



$a=2$

xの区間	直線の長さ
0~0.10	0.100319
0.10~0.20	0.101119
0.20~0.30	0.103581
0.30~0.40	0.106977
0.40~0.50	0.114127
0.50~0.60	0.12621
0.60~0.70	0.156205
0.70以降	0.386888
Sum	2.390852

$a=3$

xの区間	直線の長さ
0~0.10	0.100244
0.10~0.20	0.100498
0.20~0.30	0.101607
0.30~0.40	0.103077
0.40~0.50	0.105621
0.50~0.60	0.109658
0.60~0.70	0.117136
0.70~0.80	0.133206
0.80以降	0.244372
Sum	2.230838

$a=4$

xの区間	直線の長さ
0~0.10	0.100319
0.10~0.20	0.100244
0.20~0.30	0.100841
0.30~0.40	0.101788
0.40~0.50	0.103077
0.50~0.60	0.105304
0.60~0.70	0.108853
0.70~0.80	0.116107
0.80~0.90	0.137931
0.90以降	0.086127
Sum	2.121182

これが計算結果をまとめた表である。表の一番下の値がそれぞれの x の区間で求めた直線 (実際は曲線だが) の長さをすべて足し合わせたものである。

こちらの結果からも i. の方法で求めた値が信頼できるものとわかる。

最後に iii. について説明する

キルビメータとは図面上の曲線の長さを測る道具で曲線計ともいう。主に地図上の道路や鉄道などの距離を測るのに用いる。

求めたい関数を grapes で描き, 用紙に印刷する。その紙上でキルビメータを転がし, 葉一枚の周りの長さを測る。こちらも同様に $a = 2, 3, 4$ の三つの値について計算を行う。 a の値 1 つに対して 12 回ずつ測定を行った。

	$a = 2$	$a = 3$	$a = 4$
1回目	2.31	2.22	2.15
2回目	2.35	2.19	2.10
3回目	2.39	2.21	2.12
4回目	2.35	2.19	2.10
5回目	2.40	2.20	2.10
6回目	2.37	2.20	2.10
7回目	2.38	2.19	2.10
8回目	2.39	2.22	2.09
9回目	2.39	2.19	2.09
10回目	2.40	2.19	2.09
11回目	2.32	2.20	2.10
12回目	2.33	2.19	2.09
Average	2.365	2.199	2.102

これが測定の結果をまとめた表である。表の一番下の値が平均値である。
 人の手でやることで若干の誤差は出るものの、i. の方法で求めた値が信頼できるものと分かる。
 i. ii. iii. の結果を1つの表にして比較してみる。

	積分による計算	直線による近似	キルビメータを用いた測定
$a = 2$	2.422	2.391	2.365
$a = 3$	2.227	2.231	2.199
$a = 4$	2.145	2.121	2.102

この表から方法によって若干のずれはあるものの、i. の結果が信頼できるものといえる。
 よってi. の方法から、 a の値が奇数、偶数に関係なく大きくなるにつれて葉一枚の周りの長さが小さく
 なっているという規則性が分かった。
 またグラフ上の点の極からの距離の最大値は1であるから、葉一枚の周りの長さは a の値が大きくなるに
 つれて限りなく2に近づいていくと考えられる。

3. 研究の結果と考察

これまで ①葉の枚数 ②葉の面積 ③葉の周りの長さ の三つの規則性について調べてきた。分かった規則性をもう一度まとめておく。

① 葉の枚数

$r = \sin a\theta$ の a の値が奇数の時は葉の枚数は a 枚、偶数の時は $2a$ 枚になる。

② 葉の面積

a の値が大きくなれば大きくなるほど、葉一枚の面積は小さくなるが、全体の面積は a が奇数のときは $\frac{\pi}{4}$ 、偶数のときは $\frac{\pi}{2}$ で一定になる。

③ 葉の周りの長さ

a の値が奇数、偶数に関係なく大きくなるにつれて葉一枚の周りの長さの値が小さくなり、限りなく2に近づく。

4. 感想と今後の課題

この研究を始めるまでは極方程式というものも、こんなに面白い関数がたくさんあることも知らなかった。身近な場面でも様々なところで数学を使用したものがあり、それについても研究してみたいと思った。今回、高校生の学習範囲を超えた研究ではあったが、なぜそういう公式が成り立つのかを考えながらひとつひとつの研究をすることができ、数学に関して興味がさらに湧く貴重な体験であった。やりきれなかった部分をもう一

度同じメンバーでやりたいと強く願うほど楽しい研究だった。指導してくださった先生方に深く感謝申し上げる。

今回は正葉曲線について研究したが、もちろんこれ以外にも見つけられていない規則性が多く存在するはずである。今後は、教科書には a は有理数と書いてあったが、自然数の a しか調べることができなかったので他の有理数 a についても挑戦してみたい。また、 $a=9$ 以降の葉の枚数や面積、 $a=5$ 以降の葉一枚の周りの長さの測定も行い、見つけた規則性について更なる確信を得たいと思う。

5. 参考文献

教科書 「改訂版 数学Ⅲ (数研出版)」
技術評論社 一冊でマスター 大学の積分

輪ゴムの劣化
Deterioration of rubber bands
入谷 和華奈 関 恵実
IRITANI Wakana SEKI Megumi

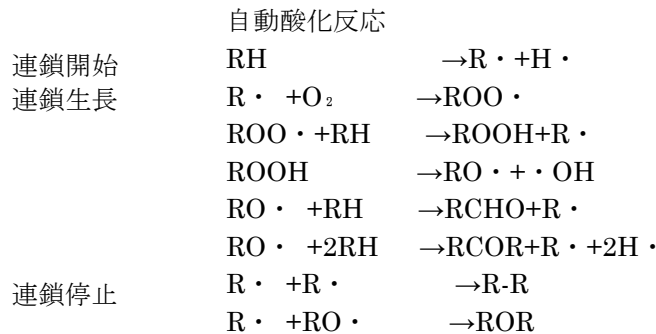
1. 動機 ・ 目的

私たちが所属している弓道部の練習で使用しているゴム弓を金属フックにつるしていると、金属に触れているゴムの部分が傷んだのではないかと思った。そこで、ゴムがなんらかの影響で劣化していると考え、何が影響しているかを調べることにした。

2. 先行研究について

<劣化について>

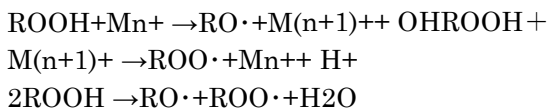
ゴムやプラスチックは、熱や酸素、光などで自動的に劣化が起こる。これを、自動酸化反応という。ここでいう劣化とは、ゴムやプラスチックのポリマーが、酸化されることである。このポリマーの自動酸化反応の化学式は、以下のように表される。



連鎖生長の最後の2つの反応が起こるとき、ポリマー(R)は、酸素(O)を含む形で安定し、酸化される。この現象が劣化である。

先行研究では、実験に市販の輪ゴムを用いた。輪ゴムは、天然ゴムからできていて、天然ゴムの主成分はポリイソプレン([C₅H₈]_n)である。

この自動酸化反応が起こるとき、金属イオンは電子の受け渡しをする触媒の役目を果たす。これにより、ポリマーの自動酸化反応が促進される。



引用：『千葉県立船橋高等学校理数科課題研究 2017 年 輪ゴムに接触する金属の違いによる劣化の変化』

<実験>

25℃と45℃における銅・鉄・鉛の輪ゴムへの影響を調べる。金属板の上に輪ゴムを置き、各温度に設定したインキュベータに入れて、2週間放置する。2週間後、その輪ゴムをスタンドにかけ、500グラムの重りをつるし0～30分まで5分ごとに輪ゴム全体の長さを測る。

<劣化の基準>

ゴムの伸びが短い(=伸びにくい)ほど劣化しているとする。

<結果と分かったこと>

先行研究では一定温度のもと、金属の種類だけを変えて比較しており、その温度ではどの金属が一番劣化を促進しているかを調べている。25℃での金属の輪ゴムへの影響は劣化を促進した順に鉄、銅、鉛、未処理であった。また45℃での金属の輪ゴムへの影響は劣化を促進した順に鉄、鉛、銅、未処理であった。未処理とは、金属版に触れさせずに一定温度で2週間放置したものである。

先行研究の実験結果の25℃と45℃での同じ金属を比較すると、全体的に45℃の方が劣化していることが分かった。このことから私たちは温度が高くなるほどゴムの劣化は進むだろうと考えた。

3. 実験

【実験①】

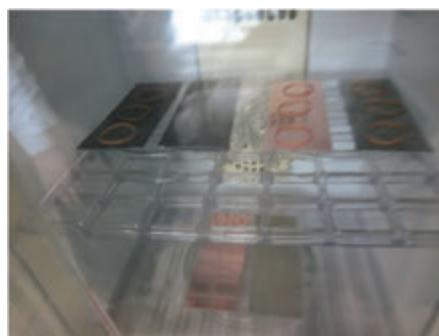
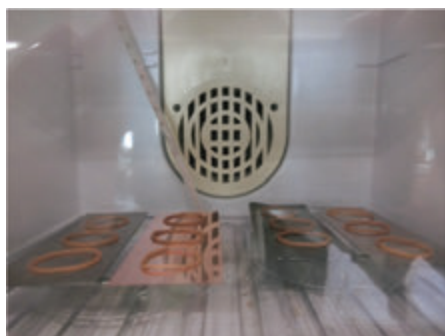
各金属で温度だけを変えて輪ゴムの劣化を比較する。先行研究より 25℃と 45℃での銅・鉄・鉛の影響度順は分かったので、銅・鉄・鉛それぞれで温度が高くなるほど劣化するのか調べる。

ここでは使用する金属として、先行研究と同じ金属（銅・鉄・鉛）を用いた。

<方法>

ほぼ先行研究と同様に行った。

- ① 銅・鉄・鉛の金属板の上に輪ゴムを乗せたものと金属板に乗せていないそのままの輪ゴムを用意する。
- ② それらを 25℃, 35℃, 45℃に設定したインキュベータに入れ 2 週間放置する。



〈インキュベータ内での様子〉

- ③ 2 週間後、この輪ゴムを 1 つずつ鉄製スタンドに掛け、500 グラムのおもりを輪ゴムにつるし、輪ゴムの長さを 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 分の計 7 回測定する。



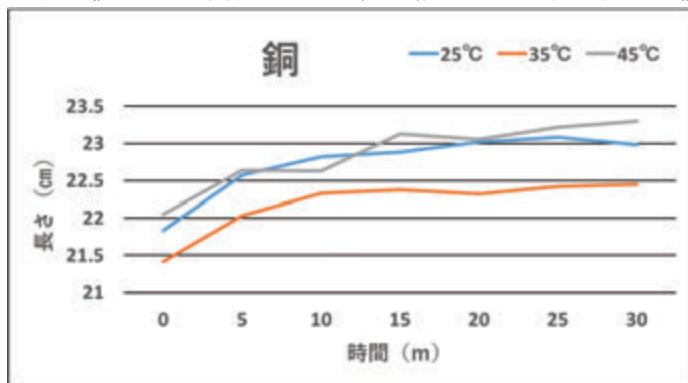
〈500 g を測った時の様子〉



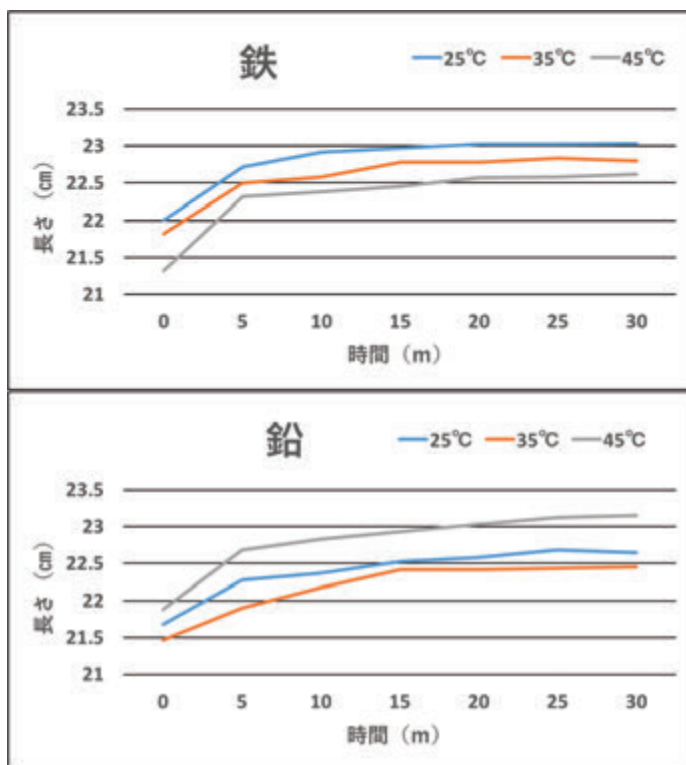
〈鉄製スタンドに吊り下げている様子〉

<結果>

表の値は同じ条件のもと 6 個の輪ゴムで実験を行った値の平均値である。



銅	25°C	35°C	45°C
0	21.83	21.42	22.05
5	22.58	22.03	22.64
10	22.82	22.33	22.63
15	22.88	22.38	23.13
20	23.02	22.32	23.06
25	23.08	22.42	23.22
30	22.98	22.45	23.3



鉄	25°C	35°C	45°C
0	22	21.82	21.32
5	22.72	22.5	22.32
10	22.92	22.58	22.38
15	22.97	22.78	22.45
20	23.02	22.78	22.57
25	23.02	22.83	22.58
30	23.03	22.8	22.62

鉛	25°C	35°C	45°C
0	21.68	21.47	21.88
5	22.28	21.9	22.68
10	22.37	22.18	22.83
15	22.53	22.42	22.93
20	22.58	22.42	23.03
25	22.68	22.43	23.12
30	22.65	22.45	23.15

輪ゴムの長さが短い温度の順番は、銅：45°C、25°C、35°C、鉄：25°C、35°C、45°C、鉛：45°C、25°C、35°Cであった。したがって、これらの温度の順番が劣化の大きい順である。銅・鉛では35°Cが一番劣化していた。鉄のみはほかの金属と違って、温度が高くなるほど劣化を促進した。

<考察>

どの金属でも温度が高くなるほど劣化を促進するだろうと考えていたが、銅・鉛の結果は予想とは違い、またすべての金属がばらばらの結果となった。25°C、35°C、45°Cの結果を比較しても規則性は見られないが、劣化を促進させやすい温度は金属によって違う可能性があると思った。

しかし、インキュベータが常に温度が一定であるかの確認ができていないことや、湿度や紫外線などの外的要因を制御できていないこともあり、現在の実験方法では温度以外のすべての外的要因を同じにすることが難しいため、各金属で温度だけを変えて輪ゴムの劣化を比較する実験については断念することにした。

【実験②】

自然環境下での金属の種類の違いによる輪ゴムの劣化を比較する。ここでは、身近な金属としてアルミニウム、鉄、銅、トタンを使用した。トタンとは、鉄を亜鉛でメッキしたものである。

<方法>

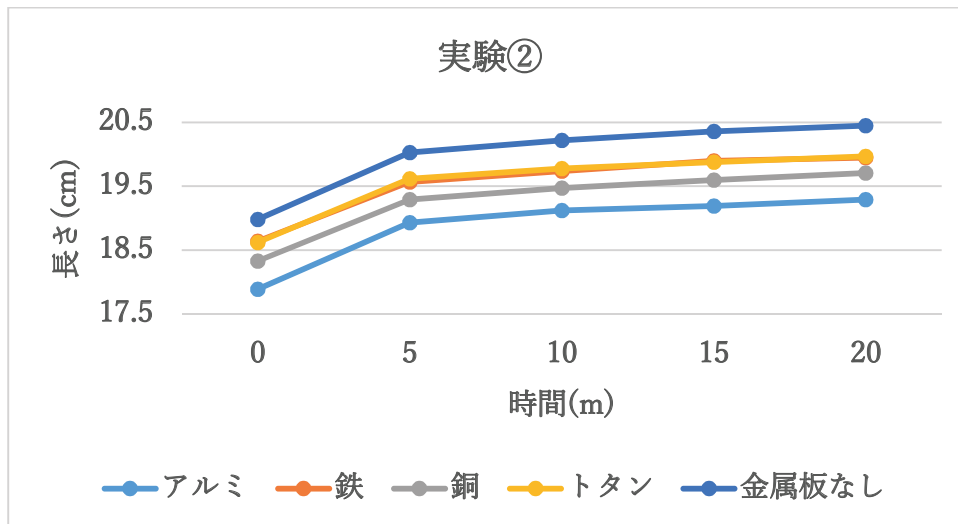
- ① プラスチックトレイにアルミ・鉄・銅・トタンの4種類の金属板を入れ、その上に輪ゴムを置く。金属板なしも用意する。
- ② 風で飛ばされないように、トレイをラップで覆い、細かい穴を数十個開けた。そしてそのまま外の日の当たるところに1週間放置する。
- ③ 1週間後、測定は実験①と同様に行い、回数は20分以降、輪ゴムの伸びにあまり変化が見られなかったため0、5、10、15、20分の計5回に変更した。

<結果>

表の値は同じ条件のもと18個の輪ゴムで実験を行った値の平均値である。

	アルミ	鉄	銅	トタン	金属板なし
0	17.89	18.64	18.33	18.62	18.98
5	18.93	19.57	19.29	19.62	20.03
10	19.12	19.74	19.47	19.78	20.22
15	19.19	19.9	19.6	19.88	20.36
20	19.29	19.95	19.71	19.97	20.45

5分ごとのゴムの長さの表



5分ごとのゴムの長さのグラフ

これらのグラフは18個のデータの平均値である。アルミニウムが一番劣化していて、次に銅、その次に鉄とトタンが同じくらい劣化していて、一番劣化していなかったのは金属板なしである。また、鉄とトタンとの差は小さく、アルミニウムと金属板なしの差は2 cm以上で大きかった。

<考察>

参考文献より金属がゴムに劣化を及ぼす元素の影響度は大きい順に銅、鉄、亜鉛、アルミニウムの順である。銅、鉄、亜鉛のゴムに劣化を及ぼす影響度は参考文献通りになったが、アルミニウムのゴムに劣化を及ぼす影響度は銅より大きくなった。実験②の結果や参考文献より、ゴムと金属の関係は周りの環境によって影響されやすいのではないかと考えた。

4. 結論

私たちの実験から日常生活の中では、アルミニウムが一番輪ゴムを劣化させると考えられる。家庭で輪ゴムをフックにかけて、保管している人はもしそのフックがアルミニウムでできているならすぐに輪ゴムがだめになるだろう。では、何でできたものがいいか考えたとき、実験②での金属板なしはプラスチックトレイに直接置いているので、プラスチックと接していることになるが、実験②の結果では、金属板なしが一番劣化を促進していないので、輪ゴムをつるすフックはプラスチックがいいかもしれない。

また、ゴムの劣化は金属によって促進されるといえるが、温度や湿度、紫外線などの環境によって大きく左右されると考えられる。

5. 今後の課題

今回の研究では、輪ゴムの伸びで劣化を比較したので、顕微鏡で見たい目の違いも見てみたい。また、実験①では外的要因が大きく影響したので、断念せずに続けていくために、温度以外の環境を一定に保てるような工夫をしたい。

6. 参考文献

- 1) 酒井芳樹：輪ゴムに接触する金属の違いによる劣化の変化
https://www.chiba-c.ed.jp/funako/fttp_kousin/ssh/research/2017/2017_11c6.pdf
- 2) 大武義人：腐食と劣化(6)合成樹脂(ゴム・プラスチック)の劣化評価・分析手法, 空気調和・衛生工学 第80巻 第1号(2005), http://www.shasej.org/gakkaishi/0601/0601_kouza.pdf
- 3) 本間精一：プラスチックの実用強さと耐久性(7), 三菱化学 プラスチックス Vol.55, No.4 (2004)

FF機の主翼のディンプルの効果

The Effect of Dimple Pattern on Free Flight Aircraft

大藤 桜子 眞砂 亮太 佐藤 理湖 岸 達也
Sakurako Oto, Ryota Masago, Riko Sato, Tatsuya Kishi

1 要旨・概要

ディンプルとは、物体の表面に施された窪みのことであり、物体が飛行するときに空気抵抗を軽減させる効果をもつ。例えばゴルフボールの窪みがその類いである。

我々は、ディンプルが飛行機の主翼にも応用できないかと考え、コントロール装置を持たずに自由飛行する模型飛行機であるフリーフライト機〔以下 FF 機とする〕の主翼にディンプルをつけ、飛行実験を行った。その結果、飛行時間が増加することが分かった。

2 研究目的

本校の先輩の黒田ら(2016)の研究はケント紙を用いた FF 機の主翼のアスペクト比と飛行時間の関係について調べていた。この研究では主翼の面積を固定し細長い形状にする、いわゆるアスペクト比を大きくすると飛行時間が増加すると結論付けている。通常、飛行機は揚力を力として飛行し、この揚力は飛行時に主翼の上面と下面の圧力に差があるために発生する。圧力は主翼の上面よりも下面のほうが大きい、翼の先端は翼の下面から上面に向かう気流(翼端渦)が発生すると圧力の差が小さくなり揚力が小さくなる。その結果、飛行時間が減少してしまう。したがって翼端渦が発生する面積を小さくすることで飛行時間を増加させることができるということであつた。しかしアスペクト比が大きくなりすぎると、ケント紙では主翼の形状が維持できなくなってしまいそれが抵抗となり飛行時間が減少するため主翼の強度が課題として挙げられていた。

初め我々は機体の主翼の強度を上げるために素材をアルミ板にしてアスペクト比と飛行時間の関係について調べる実験を行っていた。しかしアルミ板にすることで機体の重量が大きくなりすぎてしまい、機体は滑空せず飛行時の軌道は斜方投射の形を描いていた。

次に主翼の素材を変えるのではなく、主翼にディンプルを施すことでその効果を応用できるのではないかと考えた。ディンプルは鈍頭物体であるゴルフボールに見られ、空気抵抗を軽減する効果があることが知られている。そこで流線型物体の代表格である飛行機にも、ディンプルを施し物体表面の空気の流れを変えることで空気抵抗を軽減させる効果があるのではないかと考えた。従ってディンプルを施した機体を用いて飛行時間を測定する実験を行うことにした。

よって本研究の目的は、主翼にディンプルを用いることで飛行時間が長くなるのかを確かめることである。

3 研究方法

(実験機材)

- ・小型のカッティングマシン：主翼にディンプルを開けるのに使用
「Silhouette CAMEO」
パソコンからマシンにカットデザインを送信でき、作成したデザイン通りに紙やフィルムをカットすることができる。
株式会社グラフテックが販売している。
- ・送風機：実験 3 の風洞実験に使用
「ミナトポータブル送排風機 ダクトファン MDF - 251A」(フレキシブルダクト付属)
室内・地下室・坑道・溶接等を行う場所において、付属のフレキシブルダクトと接続して使用することで、強制排気を行うことができる。
株式会社ミナト電機工業が販売している。
- ・スモークマシン：実験 3 の風洞実験に使用
「Z - 400 小型スモークマシーン」
液体を高温で気化させてスモークにすることができる。
有限会社プライムシステムが販売している。
- ・風速センサ：実験 3 の風洞実験に使用
「気象・風速センサ PS - 2174」
風速以外にも気温、相対湿度、気圧などを測定することができる。
株式会社島津理化が販売している。

〈作成した機体について〉

株式会社あおぞらが企画・発売している、「ホワイトウイングス レーサースカイカブ 3」(設計：二宮康明氏)の型紙を参考に型を作った。既製品には部品が9つあるが、我々の研究では主翼、水平尾翼、垂直尾翼の3つの部品を機体に用いた。

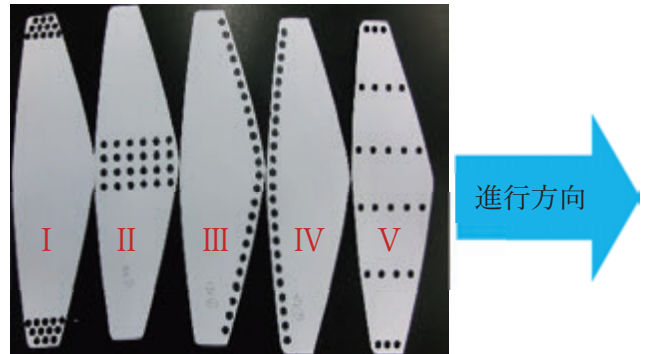
紙の厚さが異なる4種類のケント紙(157, 210, 233, 260g/m²)を主翼、水平・垂直尾翼に用いる。

またディンプルとする穴の大きさは直径4mm、数は24個に統一した。

作成した機体の主翼の種類は以下の通りである。

(図①)

- I 翼端 : 翼端渦の軽減を図るため
- II 翼中央 : I 翼端との比較
- III 翼前部 : 空を切るときの翼の抵抗を減らすため
- IV 翼後部 : III 翼前部との比較
- V 翼縦 : 全面にディンプルを施すことは不可能だったため



図① ディンプルのパターン

〈機体作成における準備物〉

ケント紙(4種類: 157, 210, 233, 260g/m²), バルサ材(厚さ2mm), カッティングマシン, ダブルクリップ, ボンド, テープのり, はさみ, カッター

〈機体の作成方法〉

①ケント紙に主翼、水平尾翼、垂直尾翼を書き写し、切り取り部品を作る。(図②)

1つの機体に主翼2枚、水平・垂直尾翼は1枚ずつ用意する。

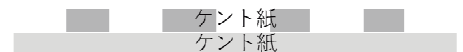
2枚の主翼をテープのりではり合わせる。またディンプル付きの機体に用いる主翼の1枚はカッティングマシンで穴をあけておき、穴を開けていない主翼と貼り合わせてディンプルを作成した。(図③)

②バルサ材をカッターで切り取り機体の軸を作成する。

③①で作成した翼を軸に貼り付ける。この時、ダブルクリップで軸を挟み、主翼と水平尾翼は軸と水平に、垂直尾翼は軸と垂直になるように固定してボンドを乾かす。



図② FF機の部品



図③ ディンプル付きの主翼

〈機体〉

全長: 239mm 翼幅: 180mm 全高: 55mm

〈機体の重心〉

紙の厚さが233g/m², 260g/m²のディンプル無し機体と翼後部の機体の重心の位置を比較したところ重心の位置は同じであった。またディンプルをつけたことにより変化した機体の重量は総重量の1.3%未満であった。ゆえに機体の重量によって飛行時間は変化しないといえる。

予備実験: 本実験で使用する機体の製作に用いる紙の厚さと機体を発射させる角度を選定する。

〈準備物〉

斜面(図④), 分度器, ばねばかり, 輪ゴム, ストップウォッチ, カメラ, ラジオペンチ

〈実験設備〉

翼に用いるケント紙の厚さは157, 210, 233, 260g/m²の4種類で1種類の用紙につき3機ずつ、計12機のFF機を実験に使用する。

発射角度を10°, 20°, 30°, 40°に変化させ、各機体5回ずつ飛行時間の計測を行った。また、飛行時間にばらつきがみられるものは適宜試行回数を増やした。



図④ 発射台

〈方法〉

- ①斜面の先端に輪ゴムを固定する。
 - ②ゴムを引っ張り、ばねばかりが 5.9N を示す位置に印をつける。
 - ③FF 機に輪ゴムを引っかけて、斜面につけた印の部分まで軸の後ろ側をラジオペンチで引っ張り、静かに機体を発射させる。
 - ④機体を静かに発射させた時から機体が着地するまでの時間をストップウォッチで測定する。
 - ⑤試行が終わるまで①～④を繰り返す。
- *カメラを 2 台設置し、発射台の真横からと発射台の前側から機体の飛行している様子を記録する。

〈結果〉

発射角度 10° の時は紙の厚さ 233g/m² の機体のみ飛行時間のばらつきが小さく、発射角度 20°、30° の時は紙の厚さ 233g/m²、260g/m² の機体で飛行時間のばらつきが小さかった。(グラフ①～④参照)

〈考察〉

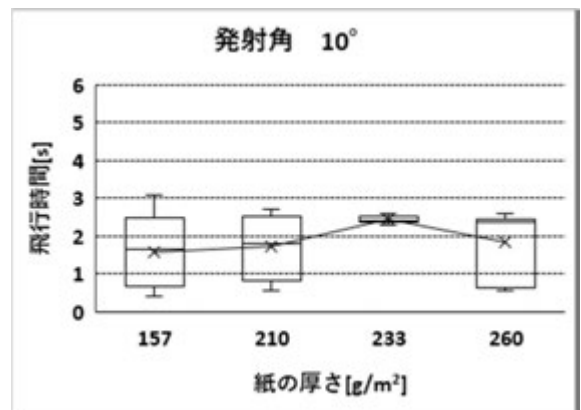
紙の厚さ 157g/m²、210g/m² の機体は用いた紙の厚さが薄すぎるために、主翼が機体を発射させたときの揚力の大きさに耐えられず形状が変化していた。そのためどの発射角度においても飛行は安定せず、飛行時間のばらつきが大きくなった。(図⑤)

一方、紙の厚さ 233g/m²、260g/m² の機体は 157g/m²、210g/m² に比べて紙の厚さが厚いため発射時に主翼の形状が変化することなく飛行を始めることができた。そのため発射角度 20°、30°、40° のときの飛行時間のばらつきが小さかったと考えられる。しかし、発射角度 10° のときは紙の厚さ 260g/m² のみ 157g/m²、210g/m² と同様に飛行時間のばらつきが大きくなっている。これは、ゴムを手動で引きのばしているため、その際に向き及び弾性力の微妙な誤差が生じたことが原因であると考えられる。

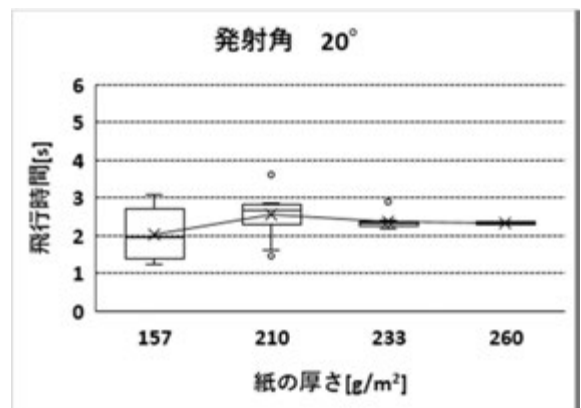
これらの理由により、本実験では紙の厚さ 233g/m²、260g/m² を用いて機体を作成した。発射角度は 20°、30°、40° で実験を行う予定だったが、新型コロナウイルスの影響で実験を行うことのできる期間が短くなり、発射角度 20° のみ飛行時間を測定した。



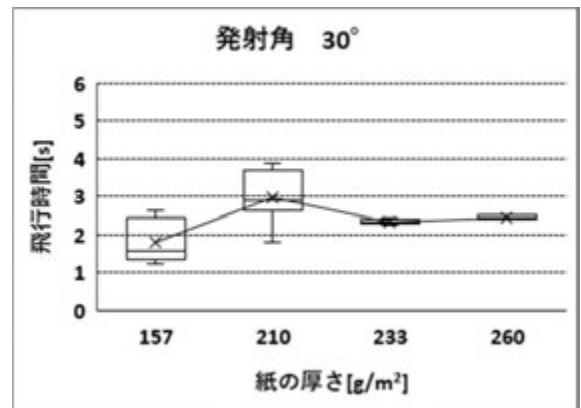
図⑤ 発射時の主翼の変形の様子



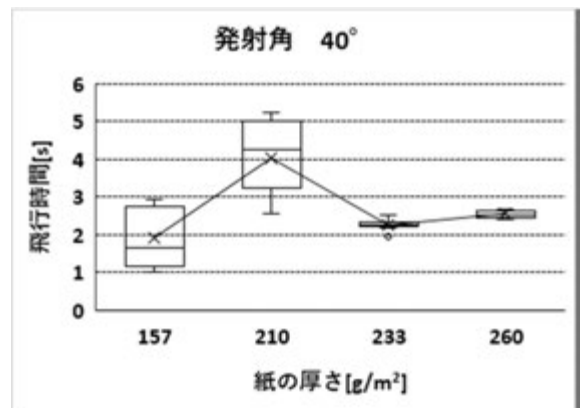
グラフ① 発射角 10° の紙の厚さと飛行時



グラフ② 発射角 20° の紙の厚さと飛行時



グラフ③ 発射角 30° の紙の厚さと飛行時



グラフ④ 発射角 40° の紙の厚さと飛行時

本実験：主翼にディンプルをつけた機体の飛行時間を測定する。

〈準備物〉

斜面、分度器、ばねばかり、輪ゴム、ストップウォッチ、カメラ、ラジオペンチ

〈実験設備〉

翼に用いるケント紙は 233 g/m²、260 g/m²の 2 種類。主翼には翼端、翼中央、翼前部、翼後部、翼縦の 5 パターンのディンプルを施し、機体 1 パターンにつき 4 機ずつ、計機の FF 機を実験に使用する。

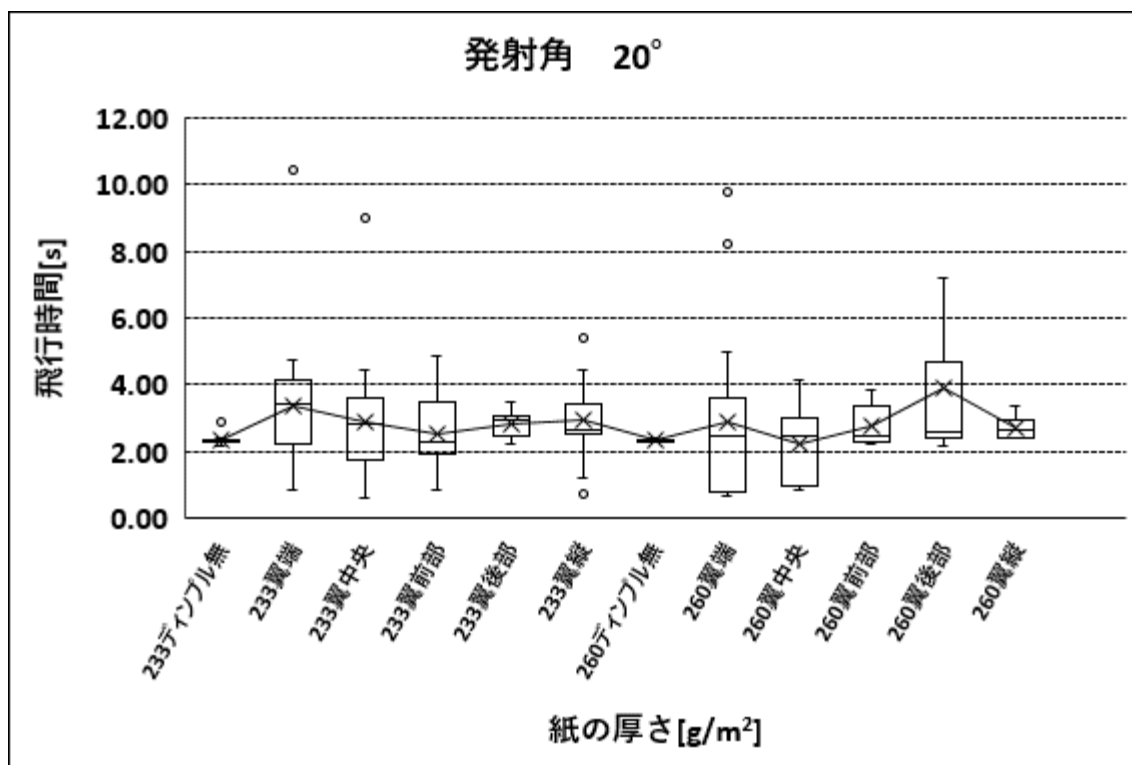
発射角度は 20°に設定し、各機体 5 回ずつ飛行時間の計測を行った。また、飛行時間にばらつきがみられるものは適宜試行回数を増やした。

〈方法〉

予備実験と同様に行った。

4 結果

紙の厚さ 260g/m²翼中央の機体の平均飛行時間のみ、ディンプルなしの紙の厚さ 260g/m²よりも平均飛行時間が減少していた。その他の機体ではすべてのパターンにおいて平均飛行時間がディンプルなしの機体よりも増加していた。特に紙の厚さ 233g/m²、260g/m²の機体では翼端・翼後部のパターンにおいて平均飛行時間の増加が顕著であった。翼端・翼後部の機体の平均飛行時間をディンプルなしの機体の平均飛行時間と比べると、233g/m²翼端は約 50%，233g/m²翼後部は約 40%，260g/m²翼端は約 20%，260 g/m²は約 60%増加していた。(グラフ⑤)



グラフ⑤ 発射角 20° のディンプルのパターンと飛行時間

5 考察

①翼端

ディンプルによって摩擦抵抗が大きくなった翼端部で下向きの動圧が生じ、機体周りの主翼におけるモーメントが釣りあった。

②翼後部

翼の後方にディンプルをつけたことで主翼の後方の重量が軽くなり、本来後ろにあった機体の重心が前にずれた。それによって機体が安定して飛行できるようになり平均飛行時間が増加した。

6 結論（課題）

以上の実験より、ディンプルが付いていないものよりもディンプルを翼端・翼後部につけたものが長い時間飛行することが分かった。しかしその原因は明らかではないため、風洞を用いて機体の主翼付近を流れる空気の流れを可視化した。

〈準備物〉

風洞装置、スモークマシン、送風機、抵抗器、カメラ、照明、主翼、ネオジム磁石、設置台（木）、台（高さ調節）、風速センサ、セロハンテープ

〈方法〉

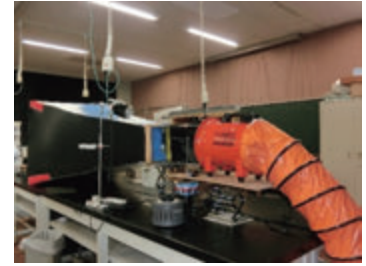
- ①風洞、送風機、スモークマシン、カメラ、照明、を設置する。（図⑥）
*実験時のFF機の初速に近い送風機で送る風の速度は5.0m/sに設定した。
- ②空気の流れを可視化したい主翼を図のように設置する。（図⑦）
- ③カメラで録画を開始し、スモークマシンで風洞内に煙を流す。

〈結果〉

主翼を通過した後のスモークの最大幅は以下の通りである。

- 0 ディンプル無し：4.2 cm
- I 翼端：2.0 cm
- IV 翼後部：3.6 cm

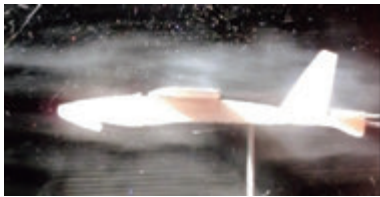
主翼を通過した後のスモークの最大幅が、ディンプル無し>翼後部>翼端部の順に小さくなった。また、風洞内部では空気の剥離が見られなかった。（図⑧～図⑩）



図⑥ 風洞装置



図⑦ 主翼の設置の様子



図⑧ I 翼端

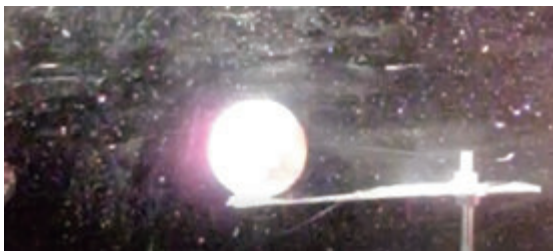


図⑨ IV 翼後部



図⑩ ディンプルなし

また、球体でも同様の実験を行った。ディンプルのあるゴルフボールとディンプルのないピンポン球では、球体を通じた後のスモークの最大幅が、ピンポン球>ゴルフボールの順に小さくなり、FF機の主翼と同様の結果が得られた（図⑪、⑫）。



図⑪ ゴルフボール



図⑫ ピンポン玉

〈考察〉

ディンプルによって、FF機の飛行時間に変化があり、ゴルフボールと同様の効果があるということが風洞実験で確認できたが、その効果の影響の程度までは言及することはできなかった。

摩擦抵抗が大きくなった翼端部で下向きの動圧が生じ、機体周りの主翼におけるモーメントが足りなかったと考えた。よって、翼端部にディンプルを施した機体において平均飛行時間が向上した。しかし、翼後部において飛行時間が向上した理由については分からなかった。

今後の課題としては以下の3つが挙げられる。

- ・機体によって個体差が大きいため、機体の数を増やし、試行回数、データ数を増やす必要がある。

- ・ディンプルの数を 24 個に固定した実験しか行っていないので、ディンプルの数を増やした場合の実験も行う必要がある。
- ・ディンプルの形を円形以外に変えて実験を行う。

7 参考文献

- ・紙ヒコーキで知る飛行の原理 ―身近に学ぶ航空力学― 小林昭夫
- ・水平軸回転飛行物体の飛行性能の向上に関する研究
―風力発電機への応用を目指して― 福岡県立香住丘高校物理部
- ・FF 模型機の研究～飛行時間とアスペクト比の関係～
黒田悠馬 田村紘大 藤井孝紀 課題研究論文集 Vol.4
- ・FF 機の主翼の形状による飛行時間の違い 村上裕一 保田幸輝
課題研究論文集 Vol.6
- ・基礎から学ぶ流体力学 飯田明由 小川隆申 武居昌宏

8 謝辞

この研究にあたって熱心に指導して下さった佐藤哲也先生をはじめとした理科の先生方，実験場所として体育館を提供して下さった体育科の先生方，ならびに風洞装置を貸して下さったリアウイング班の皆様がこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

心柱の制振効果 ～ジェンガを用いた考察～
The damping effect of central pillar in five storied pagodas
～Consideration using jenga～

利國 碧 近藤 薫 佐々木 凜太郎 佐野 天麻
Aoi Toshikuni Kaoru Kondo Rintaro Sasaki Tenma Sano

1. 要旨, 概要

日本では年間平均 1,000～2,000 回もの地震が発生している。その数は世界の中でもトップクラスである。私たちはそのような地震大国・日本において、世界最古の木造建築である法隆寺が 1300 年以上もの間、地震で倒壊していないことに興味を持った。そこで、法隆寺について調べてみたところ、塔の中央に「心柱（しんばしら）」と呼ばれる木製の柱が地震の際に、振り子のように動くことで塔の横揺れを軽減することが分かった。私たちはこの心柱の制振効果に着目して実験を行うことにした。先行研究ではジェンガで五重塔のモデルを制作しており、手で振動装置を動かしていた。私たちはそれを参考に新たにジェンガの塔のモデルを制作し、振動装置を購入することで精度の高い実験を目指した。検証実験においては先行研究で行っていた実験を、新たに制作したジェンガの塔と心柱を用いて行うことで先行研究と同様の結果が得られるか調べた。予備実験においては心柱の長さや直径を変数として実験を行うことで、ジェンガの塔に最適な心柱を見つけた。本実験では、心柱の材質のみを変数として、心柱の振幅をグラフ化し、それぞれの材質における制振効果について考察した。

2. 問題提起及び研究目的

参考文献の研究より発見した問題点から研究目的を設定した。なお以下は参考文献の研究内容と問題点である。

研究の概要

五重塔の心柱が浮いているにも関わらず地震で一度も崩壊していない理由を調べる。そのために、ジェンガで制作した五重塔のモデルと自作の振動装置で心柱の有無や心柱を取り付ける位置、心柱の長さによってジェンガのモデルが倒れるまでの時間がどのように変化するかについて実験した。ジェンガは積み木のバランスを考える遊びであり、五重塔について身近なもので考察することに最適であると考えた。

① 実験装置

・振動装置

ゴムマットの上に置いたアクリルケースにビー玉を入れる。その上にジェンガの塔を置くための円形のアクリルケースを敷く。このアクリルケースには手で揺らすための持ち手を取り付けておく。

・ジェンガのモデル

ジェンガ 40 本を 2 本ずつ交互に重ねてジェンガの塔とした。心柱は厚紙に穴を開けて差し込み、ジェンガの塔の最上段から吊るす。



② 実験道具

- ・心柱 (木・鉄・プラスチック) ・アクリル板 ・ビー玉 ・ゴムマット
- ・ストップウォッチ ・ジェンガ ・厚紙

③ 実験の内容

1. 心柱の有無による実験

2. 心柱の質量の違いによる実験

木 (47 g)・鉄 (496 g)・プラスチック (8 g)

3. 心柱の長さの違いによる実験

積み重ねる塔の段数を変えることで、ジェンガの塔の最上段から出ている心柱の長さを変えていた。

4. 心柱の吊るす高さの違いによる実験

ジェンガの塔の段数は 5 段に固定して、心柱の吊るす位置を最上段から 2 段目、3 段目、4 段目とした。

5. 心柱の下端と地面との距離の違いによる実験

心柱を地面につけるか、つけないか。

④ 実験結果

1. 心柱があると建物が丈夫になる。
2. 心柱は木製の質量程度がよい。
3. 心柱の長さを建物の高さとのバランスから考える必要がある。
4. 心柱は最上段から2段目に吊るすとよい。
5. 心柱は、地面から浮かせるとよい。

⑤ 課題

実験の方法の回数が少なく、手で振動させており実験の度に振動の様子やスピードが変わってしまう。また、実験によってジェンガの塔の高さを変えたり、変えなかったりしていたので変数が制御できていなかった。

《研究目的》

私たちの研究では、先行研究の検証もふまえ、4つの段階に分けて実験を行うことにした。それぞれの実験の段階及び目的は以下の通り。

1. 検証実験 1

先行研究では、実験でジェンガを揺らす際に手動で行っており、記録がでていないものもあったので、適切な実験装置を用いて心柱の有無による耐震効果を調べ、先行研究の結果と同様になるかを調べる。その際、先行研究の結果で最も倒れにくかった、心柱をジェンガ1段分浮かせた状態で実験を行う。

2. 検証実験 2

心柱の下端から地面までの距離の違いによる耐震効果を調べ、先行研究の結果と同様になるかを調べる。

3. 予備実験

先行研究では扱われていなかった心柱の長さ、直径を変えることによって耐震性がどのように変わるか比較する。

4. 本実験

検証実験 1, 2 及び予備実験から得られた結果から実験方法などを改善し、ジェンガのモデルを用いて、五重塔の心柱の材質と制振効果との関係性を明らかにする。

3. 実験道具及び研究方法

先行研究をもとに、以下の手順で研究を進める。

1. 検証実験 1

2. 検証実験 2

3. 予備実験

4. 本実験

《それぞれの実験において共通で使用する実験道具》

- ・ジェンガ 40 本
- ・振動装置 (NaRiKa・じしん君 mini K50-1207)
振れ幅とスピードを設定することが可能。今回は設定値を固定。設定値は後に説明する。
- ・距離センサー (PASCO・PS-2103A)
センサー前に置かれた物体の初めの位置からの距離を計測することができる。今回はジェンガの上段のあたりにセンサーをあてて、振動の様子を計測した。
- ・加速度センサー (PASCO・PS-2136)
取り付けたものの加速度を計測することが可能。今回は、振動装置が一定の加速度で振動しているかを確かめるために用いた。
- ・PC
上記の距離センサーと加速度センサーの計測値を記録、処理するために用いた。PASCO というソフトウェアを利用する。このソフトは、つけたセンサーによって計測した値を表とグラフで表すことができる。
- ・心柱
長さや材質は実験に応じて変更する。
- ・ストップウォッチ

※これらは以降でまとめて表すときに「先述した実験道具」と表記する。

なお、各実験では上記の道具にそれぞれの実験の目的に応じて実験道具を追加する。

《振動装置の説明》



振動装置

左記の写真のように振幅を 5, 速度を 6 のメモリに合わせて設定し、今後の実験もこのメモリで実験を行うものとする。

上記の設定値は阪神淡路大震災の記録をもとに設定した。

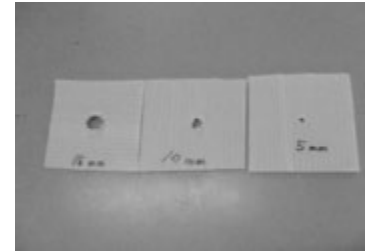
3.1 検証実験 1

《実験道具》

- ・先述した実験道具
心柱は木製で長さ 35 cm, 直径 10mm のものを使用
- ・プラスチック板
直径 15, 10, 5 mm の穴をあけておく。

※直径 15, 5mm の穴をあけたものは後述の予備実験で使用し、検証実験 1 及び 2 では穴の直径が 10mm のもののみを使用する。

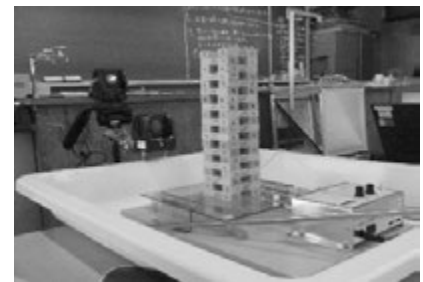
上記の実験道具は検証実験 1 のみならず検証実験 2 でも使用する。



穴をあけたプラスチック板

《実験方法》

- 1.長さ 35 cm, 直径 10 mm の心柱を穴のあけたプラスチック板に差し込む。
- 2.振動装置に 2 本ずつ交互に組み立てたジェンガを乗せる。
- 3.そのジェンガの上から 1.で作った心柱を取り付ける。
- 4.振動装置で振動させ、ジェンガが倒れるまでの時間をストップウォッチで計測する。



振動装置にのせたジェンガ

3.2 検証実験 2

《実験道具》

検証実験 1 同様。

《実験方法》

心柱を取り付ける高さを下の A から C の 3 つのパターンに分け、それぞれの高さにおける耐震性を比較する。使用する道具は検証実験 1 と同じものを使用する。

- A. 心柱の下端が地面につくように取り付ける。
- B. 心柱を塔の最下層からジェンガ 1 段分の高さまで浮かせて取り付ける。
- C. 心柱を塔の最下層から塔の高さの半分の高さまで浮かせて取り付ける。

A~C の 3 つのパターンでそれぞれ実験を行い、倒れるまでの時間を計測する。心柱の取り付け方及び振動装置の設定は検証実験 1 と同様に行う。

3.3 予備実験

《実験道具》

- ・先述した実験道具
心柱は木製で直径は 5mm, 10mm, 15mm の 3 種類とし、各直径で長さ 30cm, 35cm, 40cm のものをそれぞれ準備する。
- ・プラスチック板
検証実験で先述した 15, 10, 5 mm の穴をあけたもの

《実験方法》

30cm, 35cm, 40cm の木製の心柱それぞれに直径 5mm, 10mm, 15mm のものを準備する。心柱の取り付け方及び振動装置の設定は検証実験 1, 2 と変えないものとする。

3.4 本実験

Keyword ・ ・ ・ 制震効果

建物の地震による揺れを建物内の構造によって軽減すること。
今回の実験においては、心柱がジェンガの塔の揺れに対して別の揺れを起こすことにより塔の揺れを軽減するという効果である。

《実験道具》

- ・ 先述した実験道具
- ・ ジェンガ 40 本

質量の合計が等しくなるように 8 個ずつに分け、2 本ずつ交互に並べて、ボンドで固定し右図のような 4 段のブロックを合計 5 個作る。

- ・ 心柱

木、プラスチック、ステンレスの 3 種類の材質のものを準備し、それぞれの直径と長さは直径 10mm、長さ 30cm で統一する。

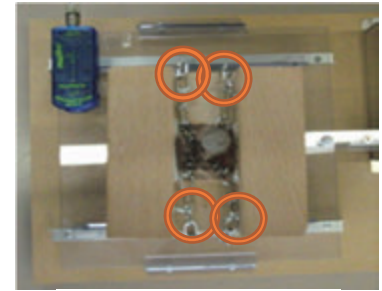
今回、変数に材質を選んだ理由は、心柱の性質（質量の違いなど）による振動の変化を見るためである。また、木、プラスチック、ステンレスを選んだ理由は、入手しやすい事と加工しやすい事が理由に挙げられる。

- ・ 金属チェーン

本来の五重塔は、塔の最上段から金属の鎖によって吊り上げられている。その構造を再現するために、右図のように最上段に釘を打ち込みそこに金属チェーンを引っ掛けて心柱を吊るす。

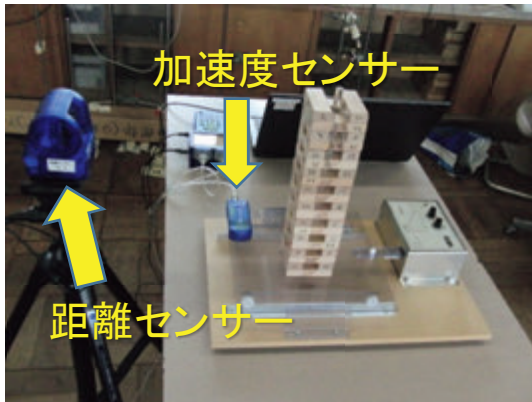


作成した塔一段分のブロック



心柱の取り付け部分

《実験の様子》



記録装置を設置した状態



心柱の下端部分

《実験方法》

まず、実験道具で説明した様にボンドで固めたジェンガのブロックを振動装置の上に 5 段重ねて、心柱を金属チェーンでジェンガに取り付ける。この時、心柱が塔のどこにも当たっていないことを確認する。次に、距離センサーを塔の上段に当たる様に設置する。また、加速度センサーを振動装置に設置する。これは、振動装置が同じ振動を繰り返しているかどうかを確かめるために設置した。2 つのセンサーを PC に接続し、振動装置で、ジェンガの塔を 15 秒間揺らす。この 15 秒というのは阪神淡路大震災の主要動の継続時間を参考にした。

木、プラスチック、ステンレスの心柱でそれぞれ 10 回ずつ計 30 回行う。最後に PC で距離センサーのデータを集める。距離のグラフから最大値と最小値を読み取りエクセルに手動で記録していく。その後、振幅を割り出し振幅の変化をグラフにし比較した。

4. 実験結果

4.1 検証実験 1

回数	心柱（無）〔s〕	心柱（有）〔s〕
1	3.24	9.82
2	4.45	8.30
3	4.46	6.46
average	4.05	8.19

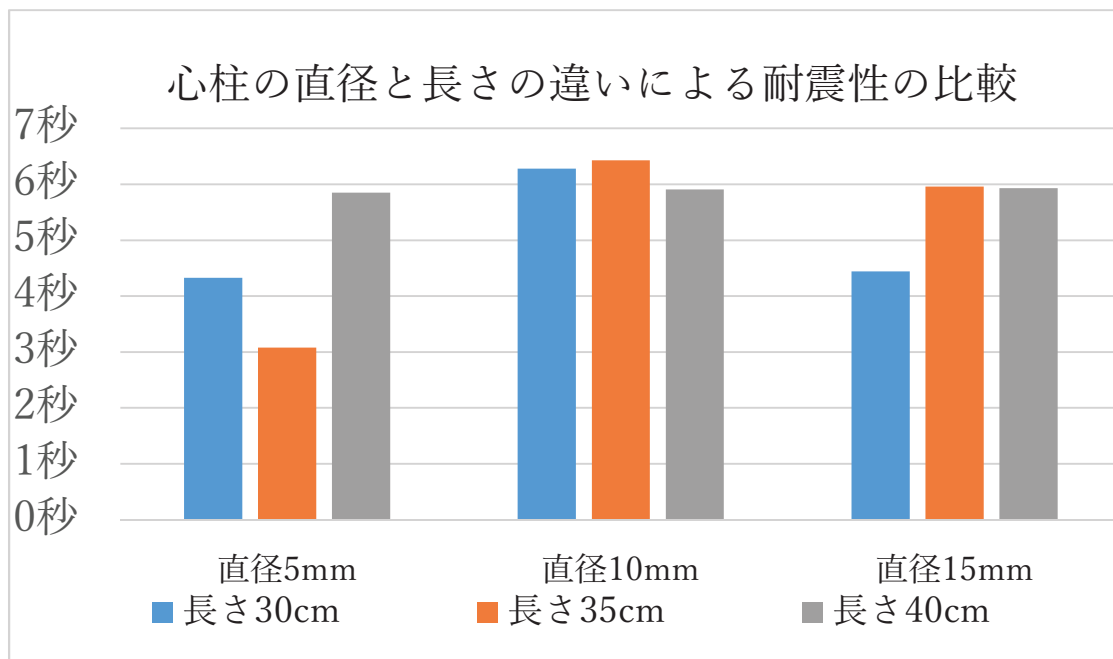
表① 心柱の有無による塔が崩壊するまでの時間の違い

4.2 検証実験 2

回数	A〔s〕	B〔s〕	C〔s〕
1	4.74	9.82	4.48
2	5.79	8.30	4.13
3	4.27	6.46	5.28
average	4.93	8.19	4.63

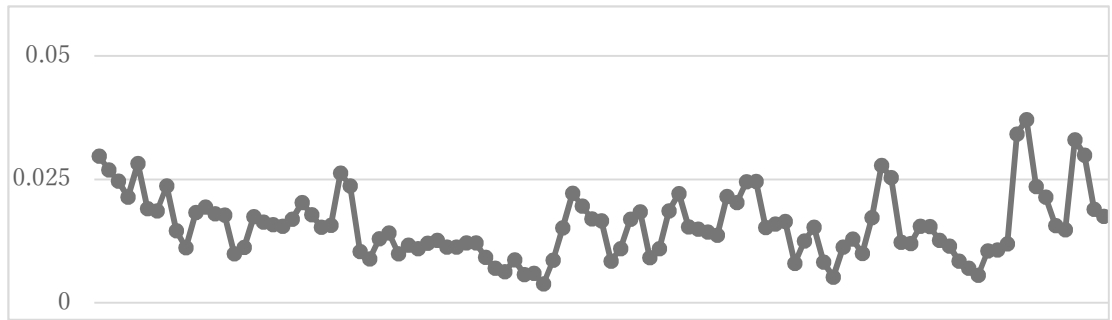
表② A, B, C 各条件下での塔が崩壊するまでの時間の違い

4.3 予備実験



グラフ① 心柱の直径と長さの違いによる耐震性の比較

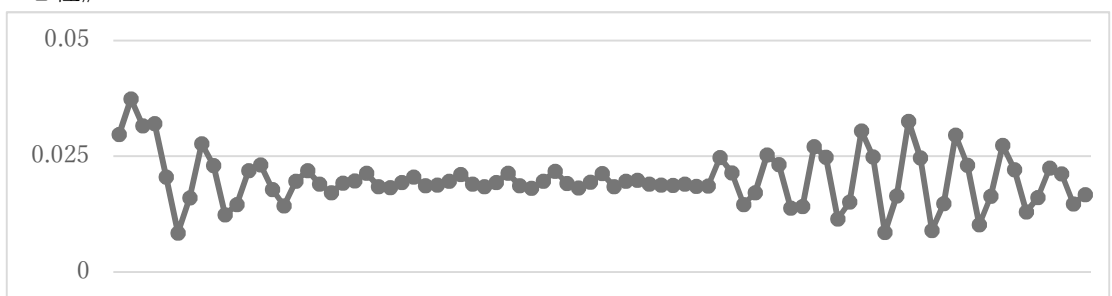
4.4 本実験 《木の心柱》



グラフ② 木の心柱を使用した際の振幅の推移

木の心柱を使用した時は、振幅が安定せずに大きくなったり、小さくなったりした。

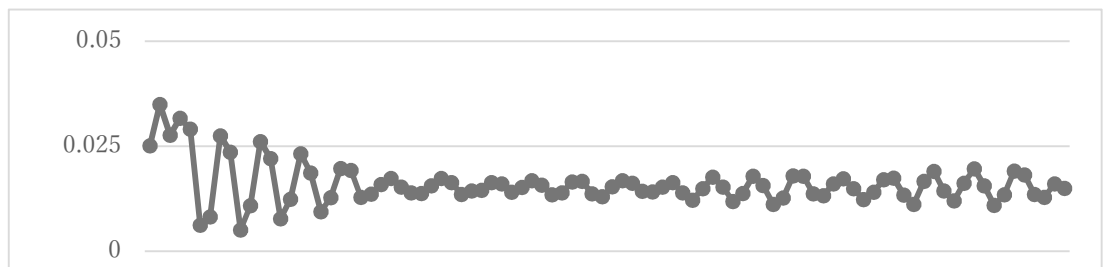
《プラスチックの心柱》



グラフ③ プラスチックの心柱を使用した際の振幅の推移

プラスチックの心柱を使用した時は、最初は大きく揺れるが、次第に振幅は安定する傾向にあった。しかし、振動終了直前に再び大きく変化する傾向があった。

《ステンレスの心柱》



グラフ④ ステンレスの心柱を使用した際の振幅の推移

ステンレスの心柱を使用した時は、プラスチックの時と同様に、最初大きく揺れ、その後振幅が安定する傾向にあった。しかし、プラスチックの時とは違い振動終了直前に振幅が大きく変化することは無かった。

5. 考察

5.1 検証実験 1

表①より、心柱を取り付けたときのほうが塔が崩壊するまでの時間が長いことが分かる。ジェンガが揺れた際に心柱がジェンガの揺れとは反対の向きに揺れることで、揺れを打ち消しあっているか、心柱自身がジェンガの揺れのエネルギーを吸収しているのではと考えた。

5.2 検証実験 2

表②より、最も耐震性を持つ取り付け方は B の「心柱を塔の最下層からジェンガ 1 段分の高さまで浮かせて取り付ける」であり、A や C の場合との差は 2 倍近くあることが分かる。

A は心柱を地面に固定していたため、心柱の揺れが極端に小さくなっていったことが考えられる。また、C は心柱を取り付けた高さが B の場合と比べてより高くなっていて塔最上部から塔の外部に突き出ている長さがほかに比べて長かったために、塔の内部にある部分の長さが短くなり、塔内部における心柱の揺れ

の影響が小さくなったと考えられる。以上よりBのように心柱が地面から浮いており、なおかつ塔の内部にある心柱の長さが十分であることが必要であると考えられる。

5.3 予備実験

グラフ①を見ると、直径 10mm のものは他の直径の大きさのものが長さによってバラつきがみられるのに対してどの心柱の長さにおいても長時間振動に耐えていたことがわかる。本実験では心柱の取り付け方の改善に伴い、長さは 30cm のものが最適であったため、直径 10mm でこの長さのものを使用している。

心柱は検証実験 1 でも述べたように心柱自身が揺れることで地震の揺れのエネルギーを吸収していると考えられる。直径の観点から考察すると直径が小さいと塔内部における心柱が占めるスペースが小さくなることで心柱の揺れることのできる範囲が大きくなり、逆に心柱の直径が大きければ塔内部における心柱が占めるスペースが大きくなり心柱の可動範囲は小さくなる。今回は 3 つの直径の大きさのなかで中間にあたる 10mm を使用した場合が最も最適であった。これは、塔内部での心柱が揺れることのできるスペースが小さすぎず大きすぎない最適なものであったためだと考えられる。

長さの観点からは、比較的長さの長いものが比較的長時間耐久した結果となっているが、直径が十分であり、検証実験 2 の考察で述べたように塔内部にある心柱の長さが十分であれば、心柱としての機能はしっかりと持つのではないかと考えられる。

5.4 本実験

木の心柱は使用した心柱の材質の中で最も質量が小さかったことから心柱がジェンガの塔に与える影響が小さく制震効果が最も小さいと考えた。

木のグラフに関しては、振動は不規則に変化している様に見えるが、心柱とジェンガの塔それぞれの固有振動がうなりを起こすことにより今回の様な、振幅の変化をしたのではないかと考えた。

ステンレスの心柱が 3 つの内最も重いので、振幅が小さくなって安定し始めるまでの時間が早いと考えた。

そして、プラスチックやステンレスも同様にうなりによる効果を考えると、プラスチックの心柱に顕著にみられた再び振幅が激しく変化する現象もうなりが原因であることが考えられる。15 秒以上揺らすことにより振幅の変化がより明確に浮かび上がってくるのではないかと考えた。しかし、ジェンガの塔と心柱についてそれぞれの固有振動数を求めることが出来ていないのでうなりであるかどうかの検証はできていない。

また、今回、最初振幅が大きく変化してから安定し始めたが、本来の地震では小さい縦揺れ振動から始まり次第に振幅が大きい横揺れになることが分かっている。したがって、この現象は本来起こらない可能性がある。

6. 結論

結果と考察からステンレスの心柱が最も制震効果があると考えられる。

また、始めは材質に焦点を当てていたが、実験結果から心柱の質量が結果に大きく影響を与えたと思われる。

《今後の課題と展望》

- ・本来の地震の振動に対する相対的なジェンガの塔の揺れの設定値の確立。
- ・15 秒以上の振動による振幅の変化についての実験。
- ・ジェンガの塔と心柱のそれぞれの固有振動数を求めること。
- ・心柱の質量の変数を増やしての実験を行い、心柱の質量と振幅の関係を考察する事。

また、今回は阪神淡路大震災を基に、振動時間や振幅、スピードを設定したが、ジェンガのスケールに対する相対的な値で実験を行ったわけではない、加えて、その他のスピードや振幅についてもコロナによる休校の関係上、実験できていない。これらのことを踏まえてこれからの実験について考えていきたい。

7. 参考文献

- ・「五重塔はなぜたおれないのか？」～ジェンガで探れ！心柱の不思議～
筑波大学附属小学校 1 部 4 年 雨宮龍之介（2016 年度 筑波大学「科学の芽」賞 小学生部門受賞作品）
https://www.tsukuba.ac.jp/community/students-kagakunome/shyo_list/2016/schc4.pdf
- ・震度と加速度 気象庁
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/comp.htm>

8. 謝辞

この研究にあたり、私たちの班の担当教諭である岡田友良先生をはじめとした、一高の諸先生方にこの場を借りて深く御礼申し上げます。

昆布の乾燥方法と出汁のグルタミン酸量の関係
The relationship between the drying method of kombu
and the amount of glutamic acid in dashi

竹内 ひなた 藤井 陽奈子 谷本 奈菜子
 Hinata Takeuchi Hinako Fujii Nanako Tanimoto

1. 研究動機

本校先輩の SSH 先行研究を読んで、昆布に興味をもった。そこで調べられていなかったことで、昆布の乾燥方法の違いによって出汁に出るグルタミン酸の量に差が生じるか疑問に思ったので、調べることにした。

2. 予備知識

・グルタミン酸

アミノ酸の一種で、昆布・チーズ・緑茶などに多く含まれ、うまみ成分として知られている。

・分光光度計 (図 1)

光によって作られる色合いの強弱やその色の持つ波長を観察できる計器。通常では人間が目視することのできない光や、可視光線であっても色合いの強弱など 数値化することの難しい光を、解析・数値化できる。



図 1 分光光度計

3. 先行研究から分かったこと

抽出温度は 80℃, 抽出時間は 20 分という条件のもと出汁をとることにより多くの旨味成分を抽出できる。

4. 実験・結果・考察

[準備物]

<実験器具・器具>

電子天秤・ドライヤー・冷凍庫・真空ポンプ・ミキサー・メスシリンダー・

ビーカー・恒温槽・温度計・試験管・ろ紙・ろうと・マイクロピペット・分光光度計

<試薬>

グルタミン酸測定キット「ヤマサ」 neo

[グルタミン酸の測定方法]

- (1)出汁, 標準液, 純水を各試験管に 10μL 分注 する。
- (2)R1 酵素試薬液を各試験管に 450μL 分注して混和する。
- (3)R2 酵素試薬液を各試験管に 450μL 分注して混和する。
- (4)20 分間静置後, 純水を対照にして 555nm の吸光度を測定する。
- (5)測定した吸光度を下記の計算式に代入し, グルタミン酸の濃度を測定する。

	試料用試験管	標準液用試験管	純水用試験管
出汁	10μL	—	—
標準液	—	10μL	—
純水	—	—	10μL
R1 酵素試薬液	450μL	450μL	450μL
R2 酵素試薬液	450μL	450μL	450μL
吸光度	A	S	R

L-グルタミン酸(mg/L)=(A-R)÷(S-R)×250

[予備実験]

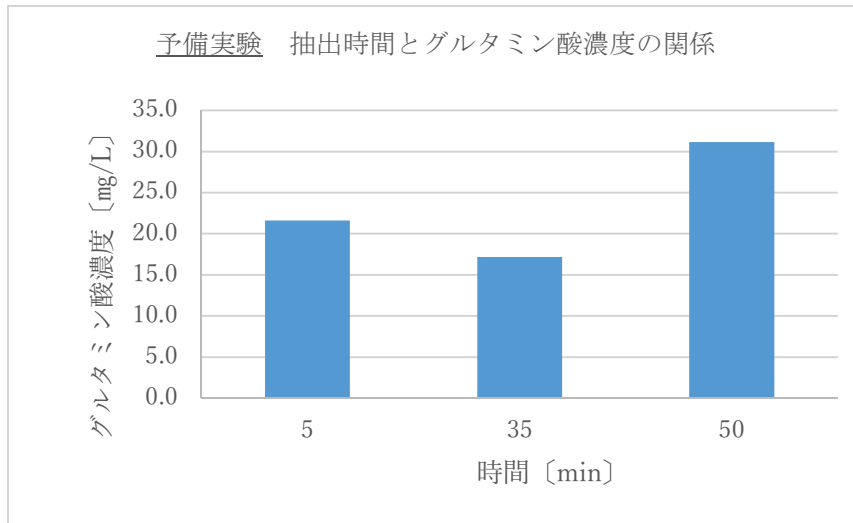
目的：抽出時間によるグルタミン酸溶出量の差を確認する。

- 方法：1 フリーズドライ（図 2）で生の昆布を乾燥させ、乾燥昆布を電子天秤で 0.50g はかりとる。
2 メスシリンダーで量った純水 50ml をビーカーにうつし、60℃に温めた恒温槽に入れる。
3 ビーカーが温まったら、昆布をいれ、出汁を抽出する。
4 15 分毎にビーカーを取り出す（5～65 分）。
5 ろ過をして昆布を取り除き、出汁を得る。
6 出汁に含まれるグルタミン酸の量を測定する。



図 2 フリーズドライの様子

結果：



考察：抽出時間を長くするとグルタミン酸濃度が大きくなった。また、一定の時間が経つとグルタミン酸濃度に差は見られなくなると予想したが、増え続けた。それは出汁をとっている間に水がだんだんと蒸発したことによる、グルタミン酸の濃縮が原因と考えられる。

[本実験]

目的：昆布の乾燥方法の違いによって出汁に出るグルタミン酸の量に差が生じるかどうか調べる。

- 方法：1 生昆布を 15.0g ずつはかりとる。
2 以下の乾燥方法で乾燥させる。
①温風乾燥(ドライヤー)
②冷風乾燥(ドライヤー)
③フリーズドライ(真空ポンプ)
昆布を凍らせた後、真空状態で保つ。(8 時間)
3 ミキサーを用いて、昆布を細かく砕く。
4 砕いた昆布を電子天秤で 0.50 g はかりとる。
5 メスシリンダーで量った純水 50ml をビーカーにうつし、80℃に温めた恒温槽に入れる。
6 ビーカーが温まったら、昆布をいれ、20 分間抽出する。(図 3)
7 ろ過をして昆布を取り除き、出汁を得る。
8 出汁に含まれるグルタミン酸の量を測定する。



図 3 抽出の様子

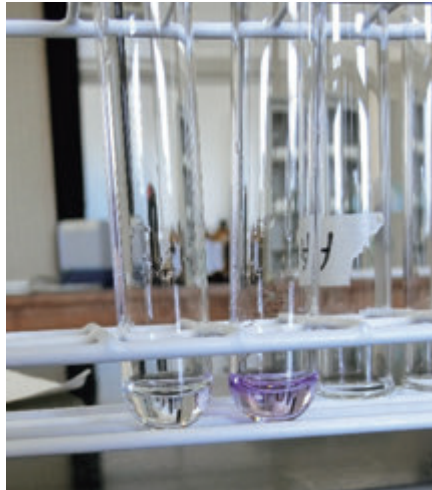
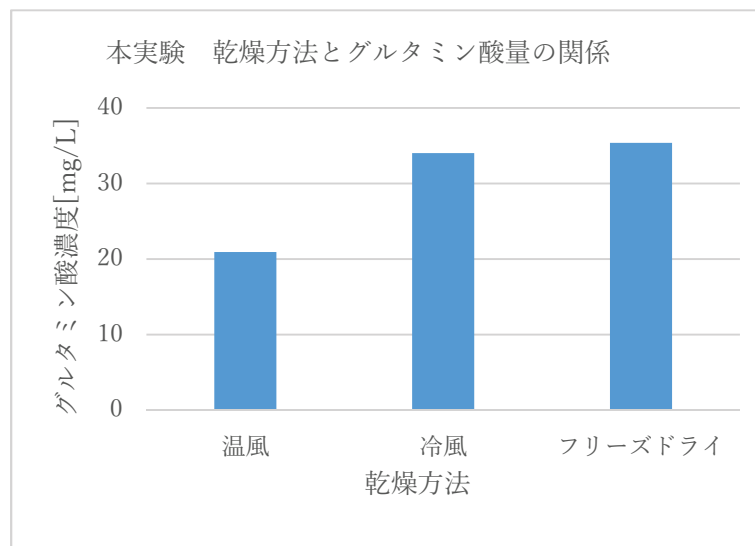


図 4 試薬の発色の様子

結果：



考察：温風で乾燥させた時，冷風やフリーズドライで乾燥させた時よりグルタミン酸濃度が小さいのは，高温が昆布の細胞またはグルタミン酸自体に何らかの変化を与えたためと考えられる。

5. 今後の計画

実験回数を多くして，データをとる。市販の昆布のように天日干したものとフリーズドライをしたものとで比較する。乾燥させる前の昆布にどれくらいの量のグルタミン酸が含まれているのか調べるために生昆布を破碎したもののグルタミン酸量の測定をする。

6. 参考文献

- ・こんぶだし成分の抽出量と抽出時間および温度との関係，畑江 敬子・脇田 美佳・宮後 恵美・佐藤 由紀・島田 淳子，<https://doi.org/10.3136/nskkk1962.41.755>
- ・コンブに含まれる旨味成分の効果的な抽出条件，荒木 渉・谷川 聡・味野 遼太・石井 沙依，http://www.amaki.okayama-c.ed.jp/SSH_2014/kadai/H24/c1.pdf
- ・抽出条件の違いによる昆布だしの旨味成分量の変化(高松第一高等学校 ASⅡ 平成 27 年度研究論文)，有地 珠里・市原 愛夏・新谷 円香・水尾 文香

7. 謝辞

今回の研究を行うにあたり，熱心にご指導いただいた中島先生に感謝いたします。

粘菌の pH の変化に対する反応

永井 優衣 河野 優香 中谷 愛香

1. 要旨

粘菌は原核生物の仲間では様々な形態に変化する。培養最適温度は 20℃で暗いところで飼育する。私たちは粘菌の耐久性に興味を持ち、特に変形体と菌核の pH に対する反応について実験した。まず、先行研究を参考にし、酸・塩基に対する粘菌の反応を調べた。粘菌を酸・塩基の近くに置くと、変形体・菌核ともに強酸、弱塩基・強塩基に近づいた。しかし、弱塩基・強塩基には Na⁺を含んでいたため、実験の結果が塩基によるものなのか、Na⁺によるものなのかが分からなかった。そこで Na⁺を含む酸性・中性・塩基性溶液と Na⁺を含まない塩基性溶液で同様に実験した。pH の値に関わらず Na⁺を含むものには近づき、Na⁺を含まないものからは遠ざかる傾向があった。

2. 結論

粘菌には、大きく分けて増殖できる変形体と変形体を乾燥させた菌核がある。変形体を飼育するためには温度や湿度などの管理が必要で、飼育状況が適さないとカビに侵されてしまったり死んでしまったりするが、菌核は変形体のような細かい飼育条件がなく長距離輸送ができるほど周りの環境に対する耐性がある。

3. 目的

そこで私たちは変形体と菌核の周りの環境に対する耐久性について興味を持った。先行研究を調べている中で参考文献①を読み、変形体・菌核と pH の関係を調べようと思った。変形体と菌核のそれぞれの水溶液に対する反応を見て水溶液の pH に対する耐久性を調べた。

4. 方法

変形体は寒天培地で育てた。

・寒天培地の作り方

1. 三角フラスコで 10%寒天を作る。
2. 三角フラスコをオートクレーブに入れ、滅菌する。
3. シャーレに、滅菌した寒天を底から 1 cmほど注ぐ。
4. 冷蔵庫で 1 日冷やす。

・菌核の作り方

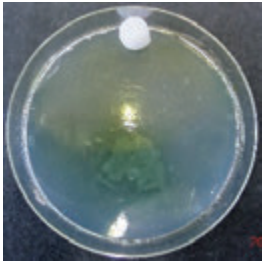
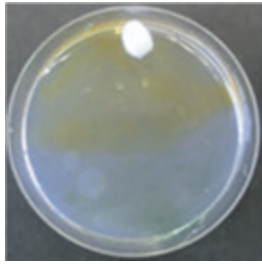
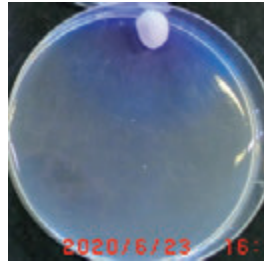
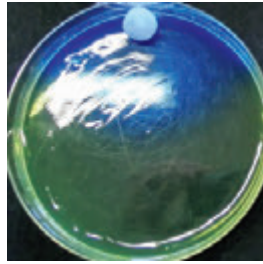
1. 変形体を寒天培地ごと切り取る。
2. タッパーの中に霧吹きで湿らせたろ紙を置き、その上に 1 の寒天を置く。
3. 1 日後にタッパーから寒天を取り出す。
4. シャーレに乾燥したシリカゲルを入れ、ろ紙の周りに置く。
5. その 1 日後に菌核が乾いているかを確認して、シリカゲルを取り出す。
6. 菌核は人工気象器(20℃,暗下)で保管する。

【実験 1】酸と塩基

参考文献①を参考にし、実験した。

1. 寒天培地を 12 個作る。
2. 1 のうち 4 個には BTB 溶液を含ませ、水溶液の濃度勾配を観察する。
シャーレごとに BTB 溶液を 10 滴加える。
3. 以下の水溶液を 0.05mol/L の濃度で作る。
強酸性：HCl 弱酸性：CH₃COOH 弱塩基性：NaHCO₃ 強塩基性：NaOH
4. 脱脂綿に 3. の水溶液を 3.0mL ずつ含ませる。
5. 残り 8 個の寒天培地のうち、4 個に変形体、残り 4 個に菌核を置く。
6. 粘菌を置いた培地で作った BTB 溶液入りの培地の端に、水溶液を含ませた脱脂綿を置く。
7. 1 日後に観察する。

・ BTB 溶液入りの寒天培地による濃度勾配の結果

強酸性 HCl	弱酸性 CH ₃ COOH	弱塩基性 NaHCO ₃	強塩基性 NaOH
			

【実験 2】 Na⁺と塩基

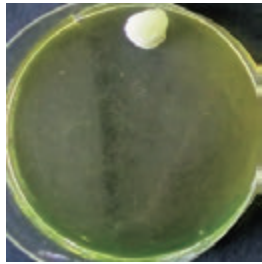
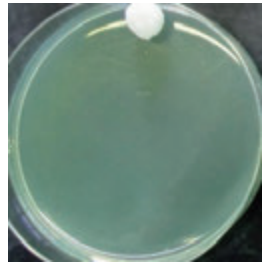
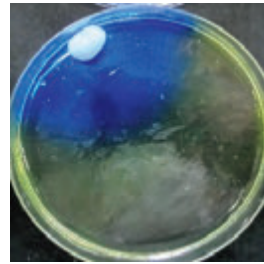
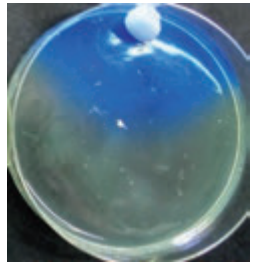
pH の実験の時と同様にして培地に脱脂綿とを準備した。溶液は以下の通りである。

Na⁺を含む : NaCl, NaCO₃, NaHCO₃, NaHSO₄

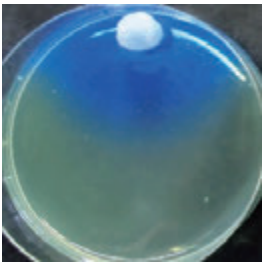
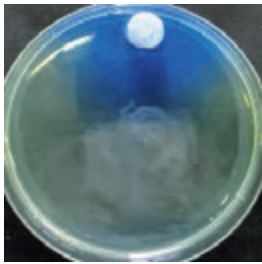
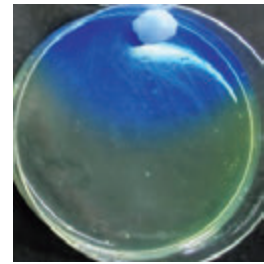
Na⁺を含まない : Ba(OH)₂, Ca(OH)₂, KOH

[BTB 溶液入りの寒天培地による濃度勾配の結果]

・ Na⁺を含む溶液

酸性 NaHSO ₄	中性 NaCl	塩基性 NaHCO ₃	塩基性 NaCO ₃
			

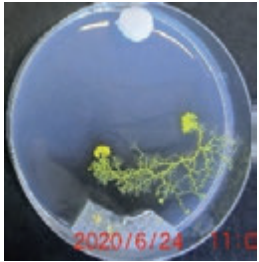
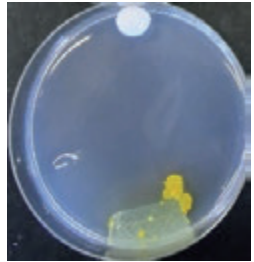

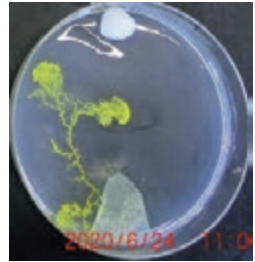
・ Na⁺を含まない塩基性溶液

Ba(OH) ₂	Ca(OH) ₂	KOH
		


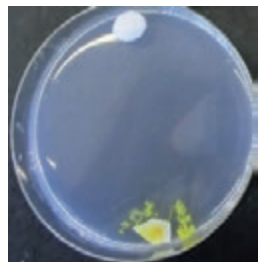

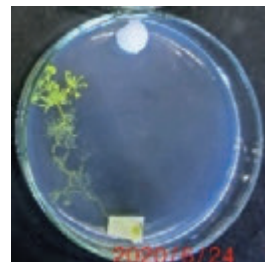
5. 結果

【実験 1】

変形体 : 変形体は脱脂綿の方に直進せず、ふちを通過して脱脂綿の方に進んでいた。HCl や NaOH で特に見られるように、2 つに分かれる傾向も見られた。また、弱酸性、弱塩基性の条件下の粘菌の方が強酸性、強塩基性のものより脱脂綿をよけていた。NaOH は、他のものより脱脂綿に近づいていた。


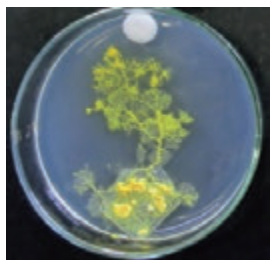


強酸性	弱酸性	弱塩基性	強塩基性
HCl	CH ₃ COOH	NaHCO ₃	NaOH
			

菌核：菌核は変形体と比べるとあまり動いていなかったが、Na⁺を含む NaOH や NaHCO₃ の条件下の個体は Na⁺を含まない溶液の条件下の個体より脱脂綿に近づいていた。

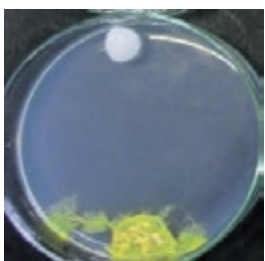
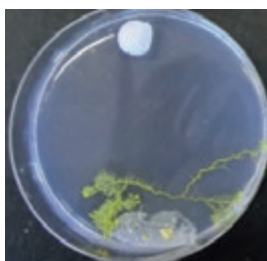

強酸性	弱酸性	弱塩基性	強塩基性
HCl	CH ₃ COOH	NaHCO ₃	NaOH
			

【実験 2】 Na⁺を含む条件下のものは直進しており、含まないものは脱脂綿をよけてふちを通っていた。また、どの個体も 2 つ以上に分かれていた。

・ Na⁺を含む溶液

酸性	中性	塩基性	塩基性
NaHSO ₄	NaCl	NaCO ₃	NaHCO ₃
			

・ Na⁺を含まない塩基性溶液

Ba(OH) ₂	Ca(OH) ₂	KOH
		

6. 考察

【実験 1】

予想では強酸性・強塩基性の粘菌に与える影響が弱酸性・弱塩基性より大きく、脱脂綿にあまり近づかないと思っていたが、強酸性 HCl, 弱塩基性 NaHCO_3 , 強塩基性 NaOH には近づき、弱酸 CH_3COOH には近づかなかった。しかし、弱塩基性・強塩基性ともに Na^+ を含んでいたことから、実験の結果が塩基性によるものなのか、 Na^+ によるものなのかが分からなかった。そこで Na^+ を含む酸性・中性・塩基性と Na^+ を含まない塩基性で同様に実験することにした。

【実験 2】

Na^+ を含む培地では、粘菌が脱脂綿に近づいていたことから、 Na^+ を好むと考えたが、調べてみると粘菌は Na^+ を嫌う性質があることを知った。さらに調べてみると酸の研究より、粘菌の餌であるバクテリアの好みは粘菌の動きに影響を与えていることが分かった。バクテリアは酸・塩基や Na^+ の環境を嫌い、阻害物質を作るため、粘菌もそれらの環境を嫌うが、あえてそこを通り、餌にたどり着こうとしていると知った。以上のことから本実験より酸だけでなく Na^+ にもこの性質が成り立つことが考えられる。

7. 参考文献

- ①変形菌モジホコリの「生きていく戦略」とは～酸性の環境と微生物の関係について～, 兵庫県立三田祥雲館 高等学校 理科部 吉橋佑馬
- ②平成 29 年度岡山理科大プロジェクト研究推進 <http://www.dbc.ous.ac.jp/~rmorita/>
- ③粘菌—驚くべき生命力の謎 松本淳 伊沢正名

ビュフォンの針 ～正 2n 角形で研究してみよう～ 長尾 拓真 野口 幸太郎

1. 研究の動機や目的

図形が正 2n 角形であるとする。この図形を無数にある等間隔の平行線に投げ入れたとき、図形が平行線に触れる確率を求め、公式化する。

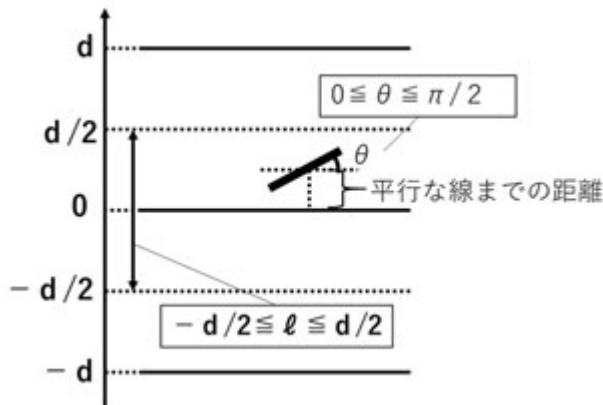
* 奇数角形は最長の対角線が回転の中心を通らず、条件設定が難しかったので、研究の対象外とし、正 2n 角形だけを調べることにした。(n は 2 以上の自然数)

ビュフォンの針の概要

針が無数にある等間隔の平行線に対して落ちることを考える。平行線に対する針の状態は、次の二つで表現できる。

- ・ 針の中心と平行線の距離
- ・ 針と平行線の角度

平行線の間隔を d ，針の長さを $\frac{d}{2}$ と設定する。 θ は平行線と針のなす角度であり、これは $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ の値をとる。 ℓ は一番近い平行線に対する針の中心の位置を表す。また、平行線と針の中心の距離は一番近い一本の平行線と針の中心の距離を考えればよいので、針の中心の位置は一番近い平行線の座標を 0 にとると、 $-\frac{d}{2} \leq \ell \leq \frac{d}{2}$ となる。



まとめると

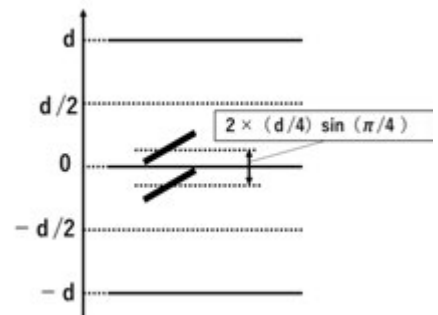
平行線と針の角度： $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$

一番近い平行線に対する針の中心の位置： $-\frac{d}{2} \leq \ell \leq \frac{d}{2}$

θ が $\frac{\pi}{4}$ のときを考えてみる。針が $\frac{\pi}{4}$ 傾いたとき、平行線と針の中心の距離が、 $\frac{d}{4} \sin \frac{\pi}{4} = \frac{d}{4\sqrt{2}}$ となることを考慮すると、針が平行線と触れるための中心の位置 ℓ は、右の図のように線の上に位置できると考えられて、

$$\ell \leq 2 \times \frac{d}{4} \sin \frac{\pi}{4} = 2 \times \frac{d}{4\sqrt{2}} = \frac{d}{2\sqrt{2}}$$

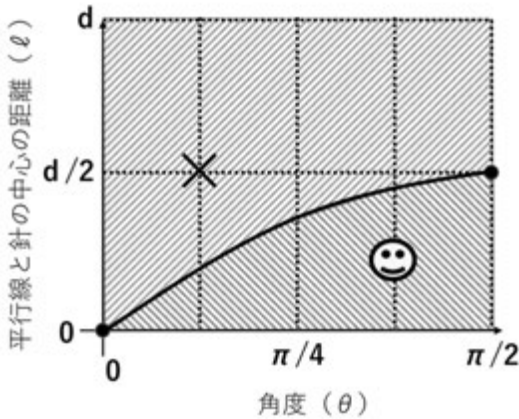
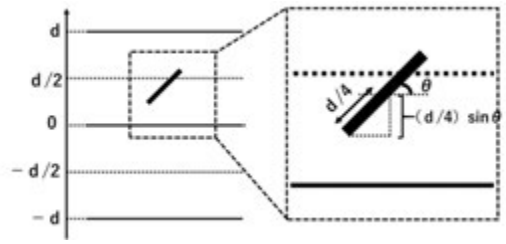
となる。



角度が θ の時、平行線と針の中心の距離 m は、右下の図から $m = \frac{d}{4} \sin \theta$ となる。
したがって、針が平行線と触れるための中心の位置 l の範囲は、

$$l \leq m \times 2 = \frac{d}{4} \sin \theta \times 2 = \frac{d}{2} \sin \theta$$

これで l と θ の関係が分かったので、次のようなグラフが完成する。



左の曲線は $l = \frac{d}{2} \sin \theta$ を表している。

☺の領域は針が平行線と触れるとき、×の領域は針が平行線と触れないときを表している。長方形の面積は、全事象を表している。

$$\text{☺の面積} = \int_0^{\pi/2} \frac{d}{2} \sin \theta \, d\theta = \frac{d}{2}$$

$$\text{☺} + \text{×の面積} = \frac{\pi}{2} \times d = \frac{\pi d}{2}$$

$$\frac{\text{☺の面積}}{\text{☺} + \text{×の面積}} = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{\pi d}{2}} = \frac{1}{\pi}$$

したがって針を投げ続けると、 $\frac{\text{針が線に触れる回数}}{\text{針を投げた回数}}$ は $\frac{1}{\pi}$ に近づく。
この確率の逆数は、 π になる。

2. 研究の方法や内容

- ① 正 $2n$ 角形の一番長い対角線の長さを l で固定する。 ($0 < l \leq d$) (図 1)
- ② 図形が回転する角度を θ として、 θ の範囲を設定する。(図 2)
- ③ ある角度 θ における縦の長さ y を求める。このとき図形が平行線と触れるための中心の位置は、(図 3) のように一番近い平行線を中心の上に $\frac{y}{2}$ 、下に $\frac{y}{2}$ つまり合計 y だけ動くことができる。
- ④ y を②で設定した θ の範囲で積分し、(図 4) の触れる部分の面積を求める。
- ⑤ 確率 $S = \frac{\text{触れる}(S_1)}{\text{触れる} + \text{触れない}(S_2)}$ を求める。

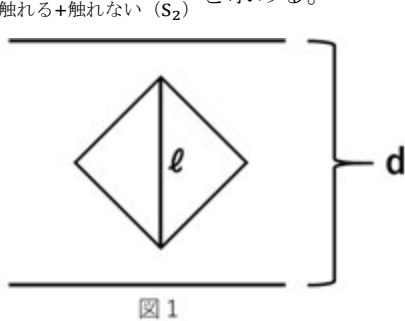


図 1

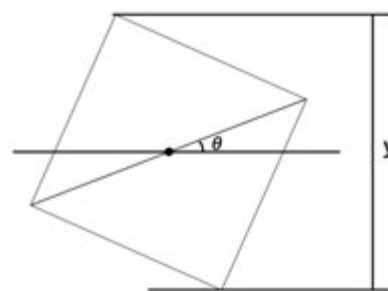


図 2

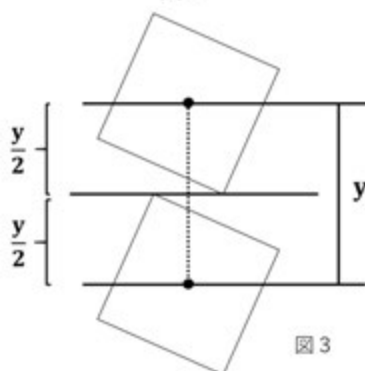


図 3

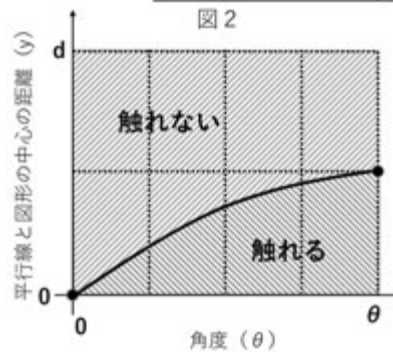
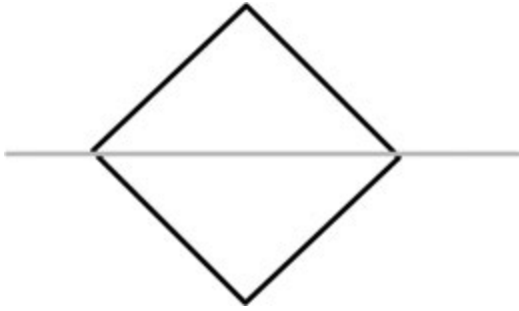


図 4

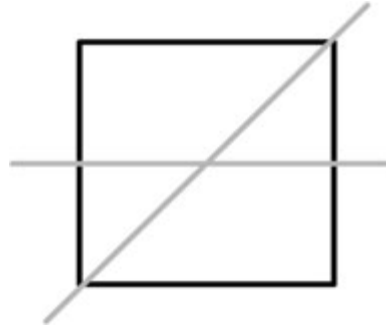
正方形

角度 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{4}$

(i) $\theta = 0$



(ii) $\theta = \frac{\pi}{4}$



y を求めると,

$$AO = \frac{\ell}{2}$$

$$\angle AOB = \angle ACO = \frac{\pi}{2}$$

$$\angle AOC = \frac{\pi}{2} - \theta$$

直角三角形 AOC において

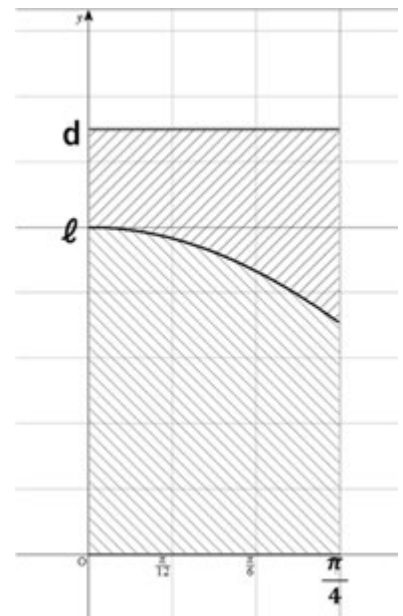
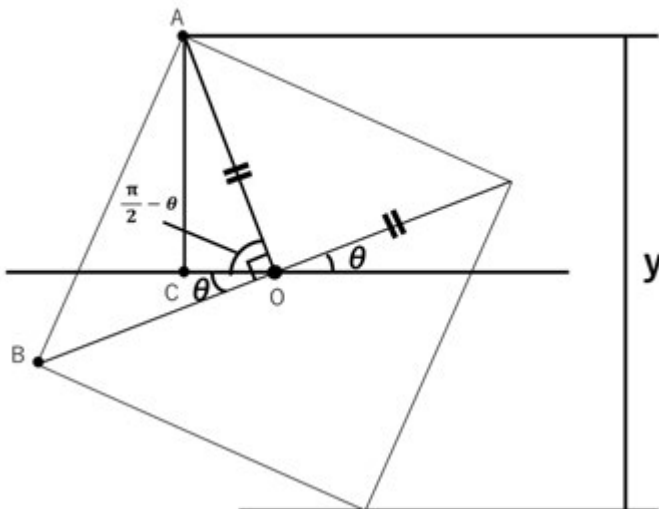
$$AC = \frac{y}{2} = \frac{\ell}{2} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

$$\text{したがって } y = \ell \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \ell \sin\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_0^{\frac{\pi}{4}} \left\{ \ell \sin\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) \right\} d\theta \\ &= \ell \int_0^{\frac{\pi}{4}} \cos \theta d\theta \\ &= \ell [\sin \theta]_0^{\frac{\pi}{4}} \\ &= \ell \left(\sin \frac{\pi}{4} - \sin 0 \right) \\ &= \frac{\ell}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

$$S_2 = d \times \frac{\pi}{4} = \frac{d\pi}{4}$$

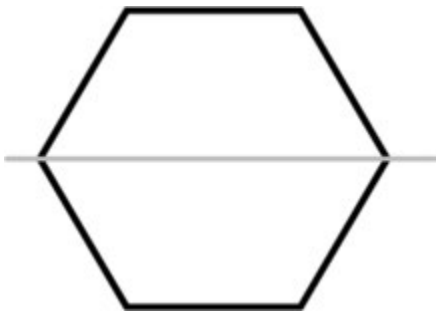
$$S = \frac{S_1}{S_2} = \frac{2\sqrt{2}\ell}{d\pi}$$



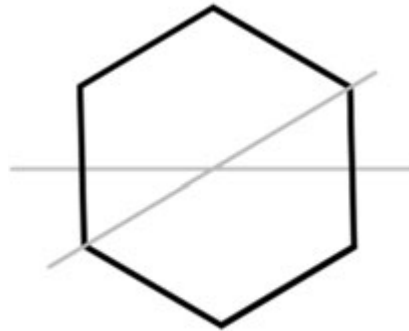
正六角形

角度 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{6}$

(i) $\theta = 0$



(ii) $\theta = \frac{\pi}{6}$



y を求めると,

$$AD = \ell$$

$$BC \parallel ED$$

よって $\angle BOG = \angle EDF = \theta$

$$\angle ADE = \frac{\pi}{3}$$

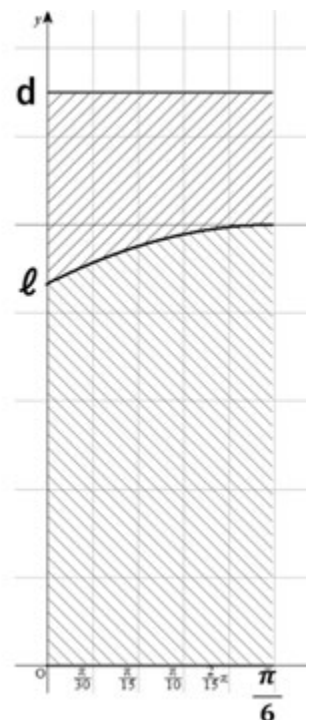
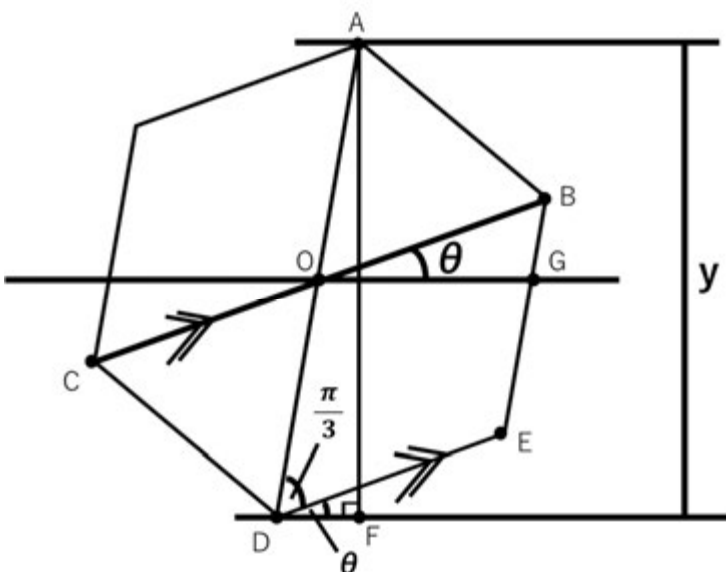
直角三角形 ADF において

$$AF = y = \ell \sin\left(\frac{\pi}{3} + \theta\right)$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_0^{\frac{\pi}{6}} \left\{ \ell \sin\left(\frac{\pi}{3} + \theta\right) \right\} d\theta \\ &= -\ell \left[\cos\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) \right]_0^{\frac{\pi}{6}} \\ &= -\ell \left(\cos\frac{\pi}{2} - \cos\frac{\pi}{3} \right) \\ &= \frac{\ell}{2} \end{aligned}$$

$$S_2 = d \times \frac{\pi}{6} = \frac{d\pi}{6}$$

$$S = \frac{S_1}{S_2} = \frac{3\ell}{d\pi}$$

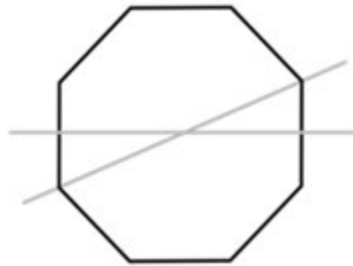
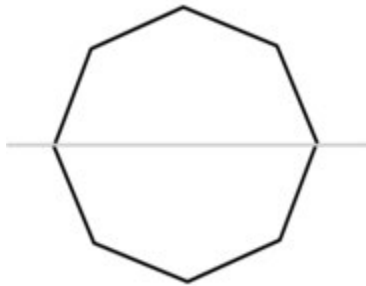


正八角形

角度 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{8}$

(i) $\theta = 0$

(ii) $\theta = \frac{\pi}{8}$



y を求めると,

$$AO = \frac{\ell}{2}$$

$$\angle AOB = \angle ACO = \frac{\pi}{2}$$

$$\angle AOC = \frac{\pi}{2} - \theta$$

直角三角形 AOC において

$$AC = \frac{y}{2} = \frac{\ell}{2} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$$

したがって

$$y = \ell \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \ell \sin\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)$$

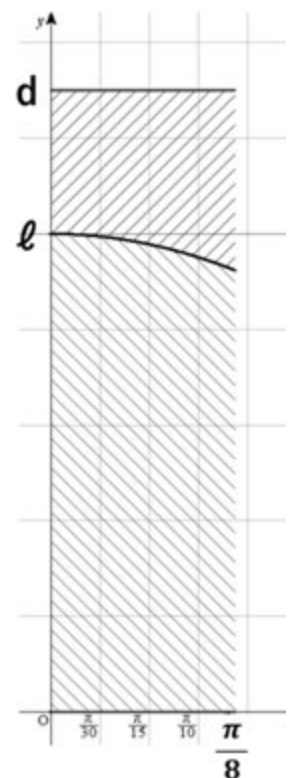
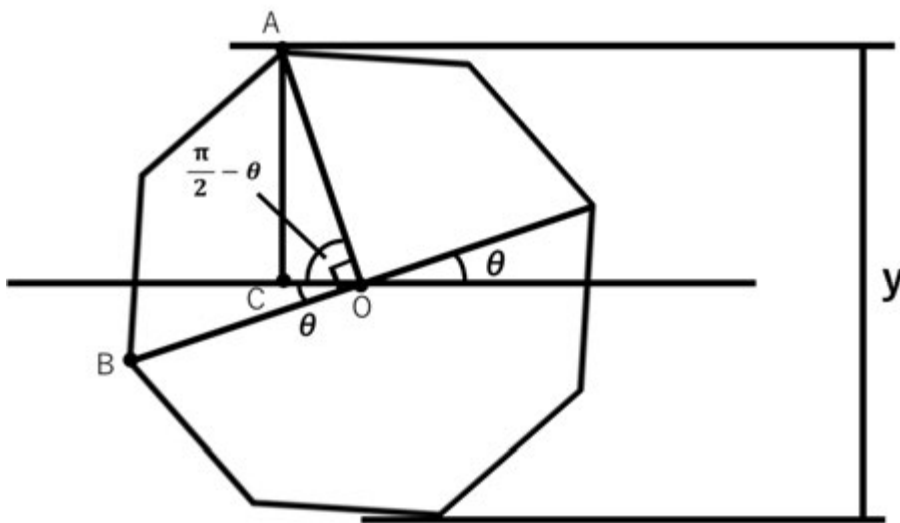
$$S_1 = \int_0^{\frac{\pi}{8}} \left\{ \ell \sin\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) \right\} d\theta = \ell \int_0^{\frac{\pi}{8}} \cos \theta \, d\theta$$

$$= \ell [\sin \theta]_0^{\frac{\pi}{8}} = \ell \left(\sin \frac{\pi}{8} - \sin 0 \right)$$

$$= \ell \sin \frac{\pi}{8}$$

$$S_2 = d \times \frac{\pi}{8} = \frac{d\pi}{8}$$

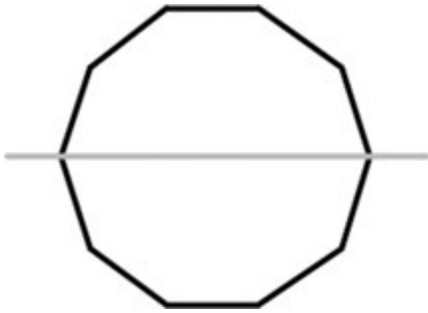
$$S = \frac{S_1}{S_2} = \frac{8\ell}{d\pi} \sin \frac{\pi}{8}$$



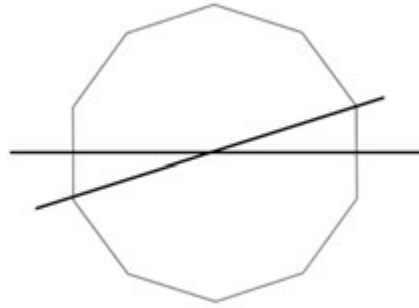
正十角形

角度 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{10}$

(i) $\theta = 0$



(ii) $\theta = \frac{\pi}{10}$



y を求めると,

$AD = \ell$

$BC \parallel ED$

よって $\angle BOG = \angle EDF = \theta$

正十角形のひとつの内角は $\angle HDE = \frac{4}{5}\pi$

だから

$\angle HDE = 2 \cdot \angle ADE$ より $\angle ADE = \frac{2}{5}\pi$

直角三角形 ADF において

$AF = y = \ell \sin\left(\frac{2}{5}\pi + \theta\right)$

したがって $y = \ell \sin\left(\frac{2}{5}\pi + \theta\right)$

$S_1 = \int_0^{\frac{\pi}{10}} \left\{ \ell \sin\left(\frac{2}{5}\pi + \theta\right) \right\} d\theta$

$= -\ell \left[\cos\left(\frac{2}{5}\pi + \theta\right) \right]_0^{\frac{\pi}{10}}$

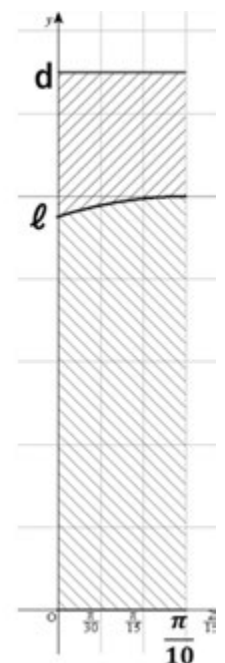
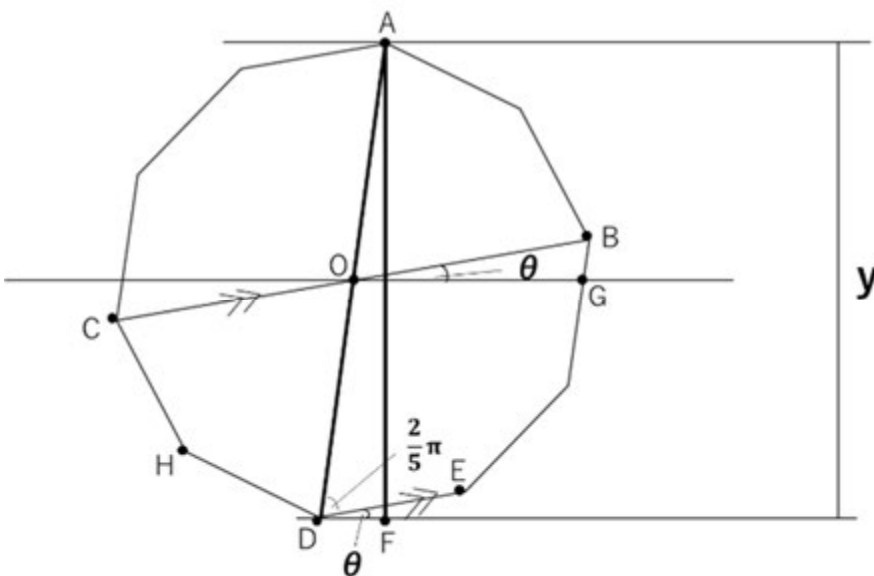
$= -\ell \left(\cos\frac{\pi}{2} - \cos\frac{2}{5}\pi \right)$

$= \ell \cos\frac{2}{5}\pi$

$= \ell \sin\frac{\pi}{10}$

$S_2 = d \times \frac{\pi}{10} = \frac{d\pi}{10}$

$S = \frac{S_1}{S_2} = \frac{10\ell}{d\pi} \sin\frac{\pi}{10}$



図形を一般化します。

正 $2n$ 角形

① 正 $2 \times$ (偶数) 角形 $n = 2k$ ($k = 1, 2, 3, \dots$)

角度の範囲 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2n}$

$$S_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2n}} \left\{ \ell \sin \left(\frac{\pi}{2} + \theta \right) \right\} d\theta \quad S_2 = \frac{d\pi}{2n}$$

$$= [\ell \sin \theta]_0^{\frac{\pi}{2n}}$$

$$= \ell \sin \frac{\pi}{2n} \quad S = \frac{S_1}{S_2} = \frac{2n\ell}{d\pi} \sin \frac{\pi}{2n}$$

② 正 $2 \times$ (奇数) 角形 $n = 2k+1$ ($k = 1, 2, 3, \dots$)

角度の範囲 $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2n}$

$$S_1 = \int_0^{\frac{\pi}{2n}} \left\{ \ell \sin \left(\frac{n-1}{2n} \pi + \theta \right) \right\} d\theta \quad S_2 = \frac{d\pi}{2n}$$

$$= \int_0^{\frac{\pi}{2n}} \left\{ \ell \cos \left(\theta - \frac{\pi}{2n} \right) \right\} d\theta$$

$$= \left[\ell \sin \left(\theta - \frac{\pi}{2n} \right) \right]_0^{\frac{\pi}{2n}}$$

$$= \ell \sin \frac{\pi}{2n} \quad S = \frac{S_1}{S_2} = \frac{2n\ell}{d\pi} \sin \frac{\pi}{2n}$$

3. 研究の結果と考察

n が偶数であっても奇数であっても、正 $2n$ 角形を無数の等間隔の平行線に投げ入れたとき、平行線に触れる確率は

$$S = \frac{2n\ell}{d\pi} \sin \frac{\pi}{2n}$$

n : 2 以上の自然数

ℓ : 正 $2n$ 角形の一番長い対角線の長さ

d : 平行線の間隔

n を大きくすると、正 $2n$ 角形が平行線に触れる確率は大きくなる。

$n \rightarrow \infty$ のとき図形は、円になっていく。

$t = \frac{\pi}{2n}$ とすると $n \rightarrow \infty$ のとき $t \rightarrow +0$ となって

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{2n\ell}{d\pi} \sin \frac{\pi}{2n} \right) = \lim_{t \rightarrow +0} \left(\frac{\ell}{d} \cdot \frac{\sin t}{t} \right) = \frac{\ell}{d} \cdot 1 = \frac{\ell}{d}$$

したがって、図形が円に近づいていくと、平行線に触れる確率は、 $\frac{\ell}{d}$ に近づいていく。

4. 感想と今後の課題

$n = 2k$ のときと $n = 2k+1$ のときの確率が同じであることに驚きました。なんとか正 $2n$ 角形が平行線に触れる確率を一般化できてよかったです。今後は、実際に正 $2n$ 角形を落として今回求めた値に近づくのか実験して確かめたいです。また、正奇数角形についても条件設定を見直して調べてみたいです。

5. 参考文献

- ・ビュフォンの針実験 — 針を投げるだけで円周率が求まる
<https://analytics-notty.tech/buffon-needle-experiment/>

オリーブの抽出物がもつ抗菌作用

芝田 百合 松井 遥暉

1 要旨

オリーブには、抗酸化作用⁽¹⁾・抗糖化作用⁽²⁾・抗菌作用⁽³⁾があることが知られている。本研究では、生葉・乾燥粉末葉・枝の抗菌作用の有無を調べるとともに、抗菌作用の生理活性物質の抽出を目的としてどのような抽出方法が適しているのか実験を行った。本研究では、オリーブ葉を蒸留水、エタノールで抽出した抽出液が、大腸菌に対して抗菌作用があるか観察を行った。

乾燥粉末葉を蒸留水で抽出した場合、1時間以上抽出したものにオリーブの抗菌効果がみられた。乾燥粉末葉をエタノールで抽出した場合、30分以上抽出したものに、オリーブの抗菌効果がみられた。

本研究では、抽出時間を3時間までの範囲で実験を行ったが、抽出時間が長いほどオリーブの抗菌効果が高くなっていったため、3時間以上抽出したもののほうが、より抗菌効果が高くなることが推測される。また、生葉・乾燥葉・枝を30分間エタノール抽出したのものにもオリーブの抗菌効果が確認された。

本研究の結果から、生葉・乾燥葉・枝に抗菌作用があった。水抽出で抽出された物質とエタノール抽出で抽出された物質が、同一の物質であると仮定すると、オリーブの抗菌物質は脂溶性で比較的分子量の大きい物質であると考えられる。また、抽出方法は、エタノール抽出で3時間以上抽出することが好ましいと分かった。

2 研究目的

オリーブは香川県の県花である。国内でのオリーブ収穫量は全国シェアの94.8%を占め、果実はオリーブオイルや塩漬けなどの加工品として広く流通している。また現在、葉の粉末を飼料とするオリーブハマチや、果実の搾りかすを飼料とするオリーブ牛などがブランド化している。

オリーブは1年中葉をつけている常緑樹であるため、必ず剪定を行わなくてはならない。そこで、オリーブの果実に加え、剪定後の葉や枝を飼料の他にも有効活用できる方法を考えることで、香川県産オリーブの付加価値をさらに高めたいと思い、この研究に至った。

オリーブの実や葉にはポリフェノール的一种であるオレウロペインを多く含んでいる。一般的に、オリーブの実から抽出される油(特にエキストラバージンオイル)はポリフェノールの含有量が多いことが知られており、抗炎症作用・抗菌作用があることが分かっている⁽³⁾。他にも、オレウロペインには抗酸化作用がある⁽¹⁾ことが分かっており、葉の粉末は魚や牛などの飼料となっている。オリーブの葉の粉末を、県魚であるハマチに餌として与えた「オリーブハマチ」は酸化・変色しにくいという特徴だけでなく、さっぱりとした味わいも兼ね人気となり、年々出荷尾数が増えている⁽⁴⁾。また、血糖値を抑える効果である抗糖化作用もある⁽²⁾ため、その効果を利用して生葉からのオリーブエキスやお茶にされている。

オリーブは、そのようなポリフェノール的一种であるオレウロペインの含有量が高いことが知られている。そこで、本研究ではオリーブの葉や枝にも抗菌作用があると考え、オリーブの抗菌作用の生理活性物質の抽出を目的として、どのような抽出方法が適しているのか調べることにする。

3 研究方法

植物の中には、抗菌物質を生産し、病原菌の繁殖を阻止する仕組みが存在することが報告されている。

イチョウの葉に抗菌作用を示した岡山理科大学附属高等学校が行った研究では、寒天培地に菌を培養し、イチョウの生葉や乾燥葉から抽出した成分を加えて菌の増減を観察している⁽⁵⁾。

また、ユーカリの葉に抗菌作用を示した大阪府立岸和田高等学校が行った研究では、寒天培地に菌を培養し、ユーカリ・タンポポ・アジサイの葉や甘酒から抽出した成分を用いて、菌の増減を観察している⁽⁶⁾。

本研究では、このような先行研究を参考にし、以下のような研究方法とする。

3-1 試料の調整

試料となるオリーブの葉は、高松市国分寺町のオリーブ農園、有限会社創樹からいただいたルッカ(2019年9月末採取)を用いた。

一連の研究で使用するオリーブの乾燥葉は枝から採取後、水道水で洗い、日陰且つ風通しの良い場所で約1週間乾燥させ、ミキサーで粉砕したものを使用した。粉末葉は密閉容器に入れて、暗室で保存した⁽⁷⁾。

3-2 観察方法(ペーパーディスク法)

抗菌物質の抗菌作用を確認するため、ペーパーディスク法(図1参照)を用いた。

寒天培地に大腸菌を薄く均等に広げ、ろ紙(直径6mm)に抽出物を添加し、培地上に乗せた。一定温度(約25℃)で培養し、ろ紙添加15時間~20時間後に観察を開始する。1日1回、4日間観察を行い対照群と比較した。

本研究では、ろ紙の周辺に阻止円が見られるかで抗菌効果があるか判断した。阻止円とは、ろ紙の周辺に現れる菌が繁殖しない円状のエリアのことである。

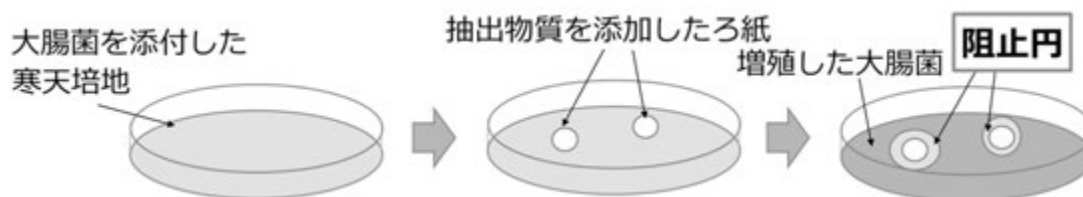


図1：ペーパーディスク法

3-3 寒天培地の調整

ペプトン 10g, イースト 2g, 寒天 15g, 蒸留水 1Lを添加し、オートクレーブ滅菌して液体培地を作成した。180℃の乾熱滅菌を行ったガラスシャーレに液体培地を注ぎ、固化させた。

3-4 オリーブ枝葉抗菌作用物質の抽出

オリーブの抗菌作用物質の抽出溶液には、蒸留水と99.5%エタノール（以下 エタノールと記載する）を用いた。抽出方法は以下のとおりである。

実験1：水抽出液（乾燥葉）の抗菌作用

蒸留水に乾燥粉末葉を10重量%添加し、70～75℃⁽⁸⁾の湯煎で抽出した。抽出時間をそれぞれ10分・30分・1時間・3時間と変え、ろ過したものを各試料とした。

これをペーパーディスク法で観察した。対照実験には蒸留水を用いた。

実験2：エタノール抽出液（乾燥葉）の抗菌作用

エタノールに乾燥粉末葉を10重量%添加し、常温で抽出した。抽出時間をそれぞれ10分・30分・1時間・3時間と変え、ろ過したものを各試料とした。

これをペーパーディスク法で観察した。対照実験にはエタノールを用いた。

実験3：エタノール抽出液（生葉・乾燥葉・枝）の抗菌作用

生葉は消毒したハサミで1cm角に刻み、枝は1センチ幅に切った。乾燥粉末葉は実験1, 2で使用したものと同一粉末葉を使用した。エタノールに生葉・乾燥粉末葉・枝を10重量%添加し、常温で抽出した。抽出時間は30分とし、ろ過したものを各試料とした。

これをペーパーディスク法で観察した。対照実験にはエタノールを用いた。

4 結果

抗菌作用の評価方法は、できた阻止円の大きさで判断することにした。

(図2参照)

ろ紙の直径は6mmで、阻止円が見られない場合は、×。本研究では、7mm以上10mm未満を阻止円の大きさの基準として、○。6mm以上7mm未満の場合、抗菌効果は低いと判断し、△。10mm以上である場合は、抗菌効果は高いと判断し、◎とした。

6mm (ろ紙の直径)	6mm以上 7mm未満	7mm以上 10mm未満	10mm 以上
×	△	○	◎
抗菌効果なし		抗菌効果あり	
		低い	高い

図2:抗菌効果の評価方法

実験1：水抽出液（乾燥葉）の抗菌作用

試料をろ紙に添加し、培地に置いてから15時間後に観察を行い、水抽出液の阻止円の大きさを蒸留水のみを対照として、比較した。(表1参照)

対照実験に用いた蒸留水は阻止円を確認できなかった。10分間抽出した抽出液と30分間抽出した抽出液も、対照実験で用いた蒸留水同様に、阻止円が見られなかった。

しかし、抽出液のうち、1時間抽出した抽出液の阻止円は直径8mm、3時間抽出した抽出液の阻止円は直径9mmとなった。

以上のことから、水抽出をする場合は1時間以上抽出するとオリーブの抗菌効果が見られることが分かった。実験1では、3時間抽出したものが最も抗菌効果が高いと判断した。また、この抗菌効果は1週間継続した。





















培養日数 抽出時間	1日後	2日後	3日後	4日後
蒸留水のみ	 ×	 ×	 ×	 ×
10分	 ×	 ×	 ×	 ×
30分	 ×	 ×	 ×	 ×
1時間	 △	 △	 △	 △
3時間	 ○	 ○	 ○	 ○

表1：実験1 水抽出液の抗菌作用結果

実験2：エタノール抽出液（乾燥葉）の抗菌効果

試料をろ紙に添加し、培地に置いてから15時間後に観察を行い、エタノール抽出液の阻止円の大きさをエタノールのみを対照として、比較した。（表2参照）

対照実験のエタノールを添加したろ紙の周辺には、エタノールの殺菌作用による阻止円がわずかに確認できた。（表1）実験2では、エタノールの抗菌作用による阻止円の大きさより、試料を添加したろ紙の周辺にできる阻止円の方が大きければ、オリーブ抽出液に抗菌作用があると判断した。10分間抽出した抽出液は対照実験のエタノールと変わらない阻止円の大きさであった。

しかし、30分以上抽出した抽出液は、対照実験よりも大きい阻止円が見られたため、最低30分以上抽出すれば、オリーブの抗菌効果が見られることが分かった。1時間抽出した抽出液は直径11mmの阻止円が、3時間抽出した抽出液は直径13mmの阻止円ができ、抗菌効果が高いと判断した。

エタノール抽出液は水抽出液と比較すると抽出時間が30分以上で、高い抗菌効果が見られた。また、この抗菌効果は1週間継続した。





















培養日数 抽出時間	1日	2日	3日	4日
エタノールのみ (対照)	 △	 △	 △	 △
10分	 △	 △	 △	 △
30分	 ○	 ○	 ○	 ○
1時間	 ⊙	 ⊙	 ⊙	 ⊙
3時間	 ⊙	 ⊙	 ⊙	 ⊙

表2：実験2 エタノール抽出液（乾燥葉）の抗菌作用結果

実験3：エタノール抽出液（生葉・乾燥葉・枝）の抗菌効果

試料をろ紙に添加し、培地に置いてから20時間後に観察を行い、エタノール抽出液の阻止円の大きさをエタノールのみを対照として、比較した。（表3参照）

生葉の抽出液・乾燥粉末葉の抽出液・枝の抽出液はすべて対照実験のエタノールよりも大きい阻止円が見られたため、オリーブの乾燥粉末葉だけでなく、生葉・枝にもオリーブの抗菌効果があるといえる。また、対照実験のエタノールは観察開始から3日目で阻止円が無くなったが、オリーブの各抽出液は阻止円が残り続けた。乾燥粉末葉の抽出液・枝の抽出液は阻止円の大きさに差異はなく直径8mmであった。最も阻止円が大きかったのは、生葉抽出液で直径11mmであった。また、この抗菌効果は1週間継続した。




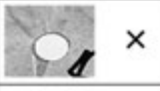





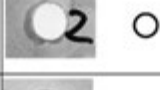

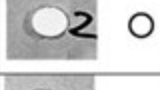

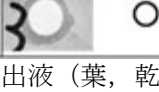
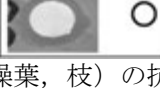

培養日数 抽出時間	1日後	2日後	3日後	4日後
エタノール のみ	 △	 △	 ×	 ×
生葉抽出液	 ◎	 ◎	 ◎	 ◎
乾燥葉抽出液	 ○	 ○	 ○	 ○
枝抽出液	 ○	 ○	 ○	 ○

表3：実験3 エタノール抽出液（葉，乾燥葉，枝）の抗菌作用結果

5 考察

実験1・実験2より、水抽出液・エタノール抽出液共に抗菌効果が確認された。水抽出液よりエタノール抽出液の方が抽出時間は短時間で高い抗菌効果が確認されたことから、抗菌作用の生理活性物質は脂溶性ではないかと考えられる。本研究で推測される効率的な抽出方法は、エタノール抽出で3時間以上抽出すると、高い抗菌効果が得られる。

実験3より、対照実験のエタノールのみでは3日目で阻止が無くなったが、オリーブの各抽出液は抗菌効果が持続していた。これは、エタノールが揮発後も培地にはオリーブの抗菌作用を持つ物質が残り続けているといえるため、抗菌作用の生理活性物質は揮発性ではないと考えられる。

本研究では、抗菌作用の生理活性物質の特定には至らなかったが、オリーブの葉や枝には何らかの抗菌作用をもつ物質が存在することが明らかになった。水抽出で抽出された物質とエタノール抽出で抽出された物質が、同一の物質であると仮定すると、揮発性でないことから、脂溶性の比較的分子量の大きい物質であることが示唆される。

一連の研究で使用した乾燥葉は、粉末葉にしてから半年以上保存していたものであったが、抗菌効果が見られた。脂溶性で、比較的分子量が大きく、培地に残り続けることから、オリーブの抗菌物質の特性を考えると、粉末状態の長期保存でも保存状態が良ければオリーブの抗菌物質は比較的安定して保持することができるのではないかと考えられる。

6 結論 課題

オリーブの葉や枝に抗菌効果があることが分かった。また、半年以上常温で保存してきた乾燥葉にも抗菌効果が見られることが実証された。

本研究では、エタノール抽出法で最低30分以上抽出すると、オリーブの抗菌物質の抽出ができた。そして、効率的な抽出方法は、3時間以上抽出すると抗菌効果が高いことが分かった。

本研究では、採取して乾燥粉末葉にしてから、半年以上経ったものを使用した。本来なら乾燥粉末にした直後に抗菌物質の抽出を行い、抗菌効果を確認すべきであった。しかし、抽出溶媒、抽出時間の条件検討を行っていた結果、時間が経過してしまい、半年以上の保存となってしまった。そこで、次の課題として、採取直後の乾燥粉末葉を使用して、エタノール抽出液の抗菌効果実験、さらに抽出液にしてからの抗菌効果の継続期間の検討も必要であると考えられる。

本研究ではモデル生物で、飼育が比較的容易であった原核生物の大腸菌を用いてオリーブの抗菌作用の有無を観察したが、真核生物であるカビなどの菌類に対してもオリーブの抗菌効果が見られるか検討する必要がある。

本研究では効率的な抽出方法が課題であるが、抽出時間は、エタノール抽出では最低30分以上抽出すると抗菌効果が見られ、結果からは、3時間抽出したものが最も抗菌効果が高いと分かった。しかし抽出時間をさらに長くすると、より高い抗菌効果が見られるのか、それとも限界抽出時間があるのか、といった最適な抽出時間の検討が必要である。

本研究では、オリーブの抗菌物質の同定はできていない。そのため、水抽出で抽出された物質とエタノール抽出で抽出された物質が、同じであるとはいえず、また、複数の成分が抽出されている可能性も考えられるので、抗菌物質の特定が必要である。

一連の研究で使用したエタノールは高濃度のエタノールであったため、すぐに揮発しやすく、肌に触れた際には、肌荒れといった悪影響を及ぼす可能性があることから、エタノール濃度の最適化が検討される。エタノール濃度が最適化されると、身近な天然系の抗菌剤として妊婦の方や子供でも安心して利用できることが期待できる。

7 参考文献

- (1) NikiChondrogianni IoannaChinou Efstathios S.Gonos (Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention 2010, Pages 1335-1343)
Anti-aging Properties of the Olive Constituent Oleuropein in Human Cells
- (2) Vassiliki G. Kontogianni, Pantelis Charisiadis, Evangelia Margianni, Fotini N. Lamari, Ioannis P. Gerothanassis, and Andreas G. Tzakos (J Med Food. 2013 Sep; 16(9): 817–822.)
Olive Leaf Extracts Are a Natural Source of Advanced Glycation End Product Inhibitors
- (3) Eduardo Medina , Concepción Romero, Manuel Brenes, Antonio De Castro (Agro Food Industry Hi Tech 18(4):6-8 July 2007
Antimicrobial activity of olive oil
- (4) 大山 憲一(水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所 第6回瀬戸内海水産フォーラム 2015-10)
「オリーブを利用した新たな水産物の開発」
- (5) 岡山理科大学附属高等学校 (化学と生物 53(6): 413-415 2015)
「銀杏の葉の抽出物質による抗菌作用」
- (6) 大阪府立岸和田高等学校 (平成 29 年度課題研究論文集 2017)
「岸和田高校周辺に育成する植物と甘酒の抗菌作用」
- (7) 日本食品科学工学会誌 (2016 年 63 巻 12 号 p. 570-574)
「香川県産飼料用オリーブ葉のポリフェノール含量に及ぼす保存方法の影響」
- (8) 国際事務局 (2015-10-01)
「オリーブ葉エキス及びその製造方法」

8 謝辞

この研究のご協力頂いた方々に厚く御礼申し上げます。

産業技術総合研究所 橋本芳子 様

高山園 林克修・尚子 様

高松第一高等学校 三好先生 安藤先生 鵜木先生 中島先生 伊賀先生

有限会社 創樹 様 (オリーブの葉提供)

オジギソウの光伝達経路について

新井 ふみ 藤丸 晃輔 黒川 美咲

1. 要旨

オジギソウとはマメ科ネムノキ亜科の植物の一種で別名ネムリグサという。オジギソウは、接触刺激によって生じた電気刺激が、葉柄などの細胞の膨圧を変化させることにより、枝全体がおじぎするように下へ曲がる運動である膨圧運動を行い、夜になると自然にその葉を閉じ、昼になると開く就眠運動を行う。先行研究より就眠運動は昼夜の明暗刺激によって引き起こされることが分かっており、葉が受けた光刺激は他の葉にも伝わっているのだろうかという疑問を持ったことから、この研究をはじめた。オジギソウの上の葉のみに光をあて、下の葉に光刺激が伝わっているか調べる実験と下の葉のみに光をあて上の葉に光刺激が伝わっているのか調べる二つの実験を行った。これらの実験によってオジギソウの光刺激は、植物体の上部から下部のみへ伝わっていることが分かった。

2. 結論

前年度の研究を引き継いでオジギソウの概日リズムについて調べるうちに、オジギソウの開葉運動は光が当たった葉以外でも起こるのか、起こるとしたら光刺激はオジギソウ内をどのように伝わっていくのか、その速さはどれくらいなのかということが知りたくなり、検証しようと考えた。

3. 目的

オジギソウに対して、局所的な光刺激を与えることでオジギソウ内を光刺激がどのように伝わるのかを検証し、葉の開閉運動を引き起こす機構を明らかにすること。

4. 方法

予備実験：25℃の温室で、オジギソウの下の葉に白い厚紙の覆いをかぶせた後、全体を40分間暗化させ、葉を閉葉させた。暗化後、上の葉のみ40分間光を当てた。

実験1：上の葉が3枚、下の葉が3枚になるように調節したオジギソウを用意する。黒い厚紙で作成した覆いを使用し、下の葉のみ光を遮断した状態にする。その後、全体を暗幕で覆い、60分間暗化させる。暗幕を取り除き、一定時間、上の葉のみ光を照射する。照射終了後、黒い厚紙の覆いを素早く取り除き、下の葉の様子を観察する。

(光を当てている上の葉を、一番上から明①、明②、明③、光を当てていない下の葉を暗①、暗②、暗③と定義する。写真①、図①参照)

実験2：実験1と同じ条件のオジギソウを用意し、黒い厚紙の覆いによって上の葉のみが光を遮断した状態にする。その後、暗幕で全体を覆い、60分間暗化させる。暗幕を取り除き、一定の時間、下の葉のみ光を照射する。照射終了後、黒い厚紙の覆いを外して上の葉の様子を観察する。

(光を当てていない上の葉を、一番上から暗①、暗②、暗③、光を当てている下の葉を明①、明②、明③と定義する。写真②、図②参照)

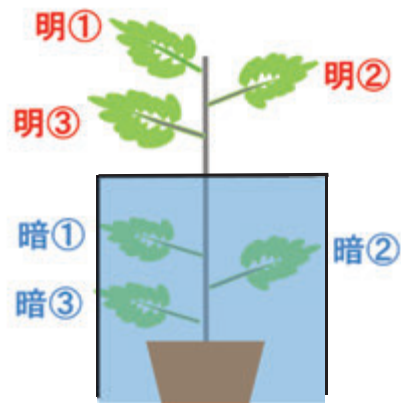
写真① 実験1の様子



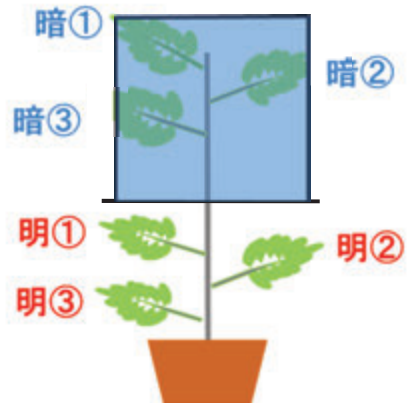
写真② 実験2の様子



図① 実験1での葉の模式図



図②



5. 結果

予備実験；8個体中5個体のオジギソウの下の葉が、完全ではないものの少し開いていた。



写真③ 予備実験で確認された開葉の様子

実験1：照射時間70分を超えたあたりから、光が当たっていない暗①～③の葉に開葉運動が見られ始めた。また、照射時間を長くするにつれて、開いた葉の角度が大きくなり、その枚数も増える傾向が見られた。

表① 実験1の結果

		照射した時間							
		30分	60分	70分	80分	90分	110分	120分	130分
葉の開いた角度	0°	15	14	8	6	13	5	4	
	0°～45°		1	3	2		4	4	3
	45°～90°			2	1	2	3	5	1
	90°～135°			1	3		2		1
	135°～180°			1	3		1	2	4
	180°								

※・表①に書かれている数字は、暗①～③の葉が開いた枚数を表している。
 ・30分～120分までは5個体ずつ、130分の実験のみ3個体での実験となっている。

また、暗①～③の葉の中で最も大きく開いていた葉は、暗①が5個体、暗②が3個体、暗③が9個体であった。

実験2：10個体中9個体の暗①～③の葉は開葉しなかった。
 ※なお唯一開いた1個体は暗①のみ開葉していた。

6. 考察

実験 1 : 表①より, 暗①・暗②・暗③の葉を開葉するためには, 少なくとも 70 分以上, 葉に光が当たる必要があることから, 開葉運動は膨圧運動で見られる電気信号のような素早い伝達方法によって引き起こされるものではないと考えられる。また, 暗化させた葉の開き方に規則性がみられなかったことから, 光刺激に対する葉の感受性が暗①～③でそれぞれ異なっているため, 明①～③の葉に近い葉から開くわけではないと考えられる。以上のことより, オジギソウは光刺激を受けると, 何らかの物質が合成・移動し, それが葉に受容されることによって開葉運動が引き起こされており, その何らかの物質は道管, 師管, 細胞間での受け渡しのいずれかの手段をとっているのではないかと考察した。

実験 2 : 下の葉 (明①～③) で受けた光刺激は, 上の葉 (暗①～③) には伝わらないことから, 光刺激を伝える物質は植物体の上部から下部のみ移動する。よって, 実験 1 の考察で述べた何らかの物質は道管を通らないのではないかと考えられる。

全ての実験を通して, オジギソウ内の光刺激は, 何らかの物質に変換され, 師管もしくはその周辺細胞間で受け渡され, 葉の開閉運動を引き起こしているのではないかという結論に至った。

7. 参考文献

上田 実 「植物の運動を支配する鍵化学物質」

https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/40/9/40_9_578/pdf/-char/ja

土屋 隆英 「植物の運動 —オジギソウの運動を中心として—」

<http://www.st.sophia.ac.jp/scitech/prmags/no12/no12toku.html>

田澤 仁「マメから生まれた生物時計 : エルヴィン・ビュニングの物語」

<http://topics.libra.titech.ac.jp/en/recordID/catalog.bib/BA91609687>

一般社団法人 日本植物生理学会

「植物 Q & A 双子葉植物における上方から下方への物質・情報移動について」

https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=182

「植物 Q & A ホルモンは植物体のどこを通過して移動するのか」

https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=995

今西いろは 杉山千恵 辰井謙斗 永井愛夏 「オジギソウの就眠運動」(2019 年 高松第一高等学校 ASII)

8. 謝辞

これまで熱心に助言して下さった鶴木先生, 研究に携わって下さった先生方にこの場をお借りしてお礼申し上げます。

酵母の分離とその性質

大高 八重子 森 美羽

1. 要旨

発酵食品や花、果実から酵母の分離を試みた。発酵食品（味噌、塩辛）や花（バラ、サツキなど）、果実（ブドウ、桑の実など）から酵母を分離した。分離酵母について、耐糖性、耐塩性、耐アルコール性の試験を行った。分離したいずれの酵母も、高いスクロース濃度では初期の増殖はゆっくりしていたが、最終的な増殖量は高濃度ほど高かった。また、分離した酵母の中で機能的に特徴のある酵母が分離できた。多くの酵母は、耐塩性は示さなかったが、塩辛から分離した酵母は、1 mol/L の NaCl でも増殖した。

2. 結論

酵母は、果物の皮の表面、花の蜜や花卉、歯の表面、海水、虫の体内などいたるところに存在しているといわれている。古代から、パンやワイン、ビール、日本でも味噌、醤油などの様々な発酵食品に利用されてきた。最近では、化石燃料からの二酸化炭素排出抑制のため、サトウキビやトウモロコシを材料にしたバイオマス・エタノールの生産に利用されている。

アルコール発酵を行う酵母としては、出芽酵母をはじめとして数種類の菌種が知られているが、同じ種類の酵母でも、株の違いにより性質が異なるといわれている。酵母は生息する環境により、性質の異なる株があるのではないかと、その環境に合った機能を持つ株が存在しているのではないかと考えられる。

3. 目的

酵母が生育する環境条件の異なるものから、また、季節的に身近に手に入れやすいものから酵母を分離を試みる。耐糖性、耐塩性、耐アルコール性などの試験を通して、特徴のある酵母の株を分離し、その利用を考える。

4. 方法

(1)酵母用の基本培地（YPD 培地）

酵母エキス 1%，ペプトン 2%，グルコース 2%，（固形培地の場合は、寒天 1.5%を添加）

(2)酵母の分離

- ① 塩辛、味噌、ブドウ、バラ、サツキ、桑の実の各試料をグルコース溶液（10g/150mL）に浸し、密封した後、室温で数日間静置する。
- ② グルコースの培養液から、線画法により YPD 固形培地上で数日間、25℃で培養後、形成されたコロニーから各菌を単離した。

(3)分離酵母の耐性試験

各分離株を液体の基本培地で培養後、一定量をテスト培地に移し、数日間観察した。基本培地で培養したものを対照として、以下の各耐性試験用培地で培養した。いずれも 25℃で行った。

〈耐糖性試験〉

基本培地にスクロースを 10%，30%，50%となるように加えた培地

〈耐塩性試験〉

基本培地に NaCl を 0.5mol/L, 1.0mol/L となるように加えた培地

〈耐アルコール性試験〉

基本培地にエタノールを 10%，15%，20%となるように加えた培地

5. 結果

塩辛 2 種、味噌、ブドウ、バラ、サツキ、桑の実から 1 種ずつを分離した。塩辛からの 2 種類は、塩辛 A、塩辛 B として区別する。実験 I として、塩辛 A、塩辛 B、ブドウ、味噌についての耐性試験を、実験 II として、バラ、サツキ、桑の実についての耐性試験を行った。

実験 I : 塩辛・ブドウ・味噌からの酵母の耐性試験

左から塩辛 A の 1 本, 塩辛 B の 1 本, ブドウ 2 本, 味噌 2 本で 1・2・3・7 日目の様子である。

<耐糖性試験>

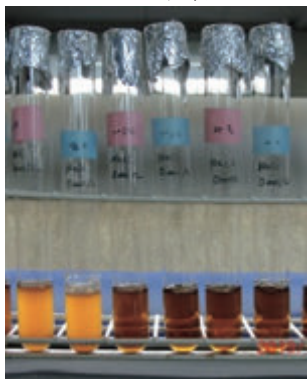
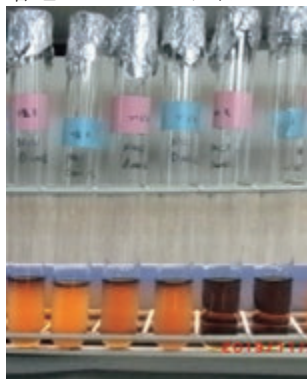
基本培地

1 日目

2 日目

3 日目

7 日目

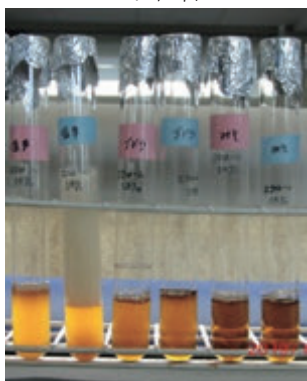
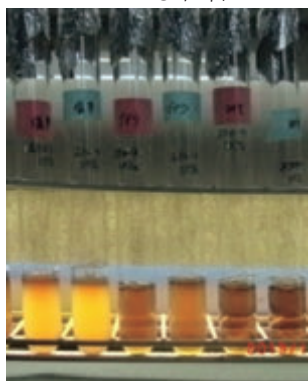
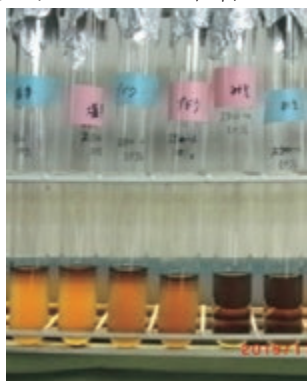


10%スクロース 1 日目

2 日目

3 日目

7 日目

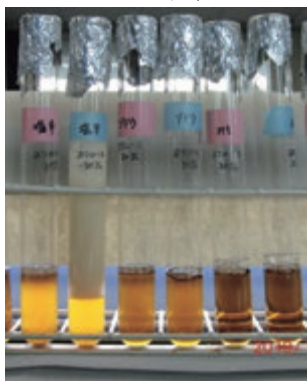


30%スクロース 1 日目

2 日目

3 日目

7 日目

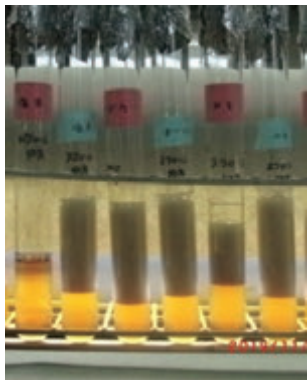
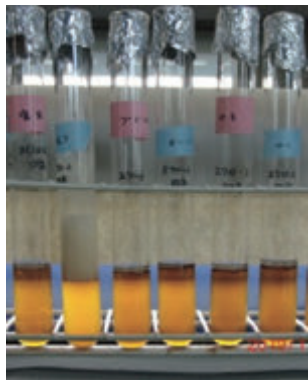
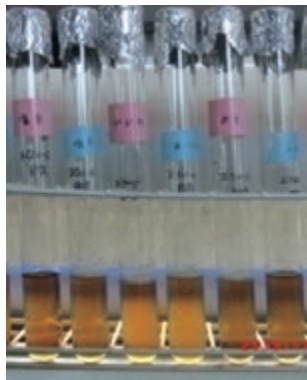
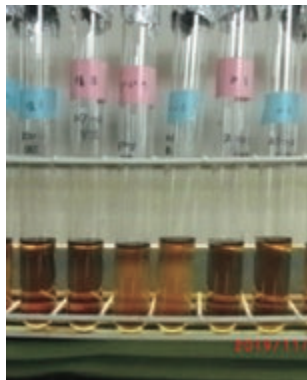


50%スクロース 1 日目

2 日目

3 日目

7 日目



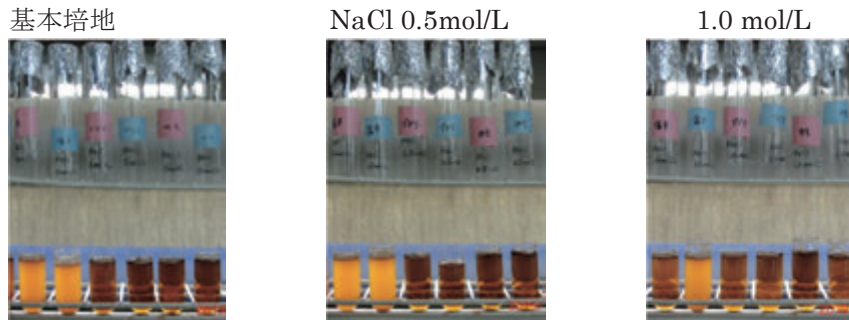
1~2 日目の初期の増殖速度は、10%スクロース>30%スクロース>50%スクロースの順に、濃度が低い方が最初は早く増殖するようだ。しかし、最終の増殖量（7 日目）は逆に、10%スクロース<30%スクロース<50%スクロースの順に、濃度が高い方が増殖量は大きかった。培養液の濁りや気体の発生量から観察できた。塩辛

A, B, ブドウ, 味噌の4種の中で、塩辛 B の酵母の増殖が最も著しい。なお、塩辛 A は他と異なり、濁りはあるが気体の発生がみられなかった。塩辛 A については後に考察する。7 日目の増殖量で比べると、ブドウと味噌からの酵母は、塩辛のものに比べ増殖が鈍く、味噌からの酵母は特に、高濃度のスクロースでないと増殖が悪かった。

<耐塩性試験>

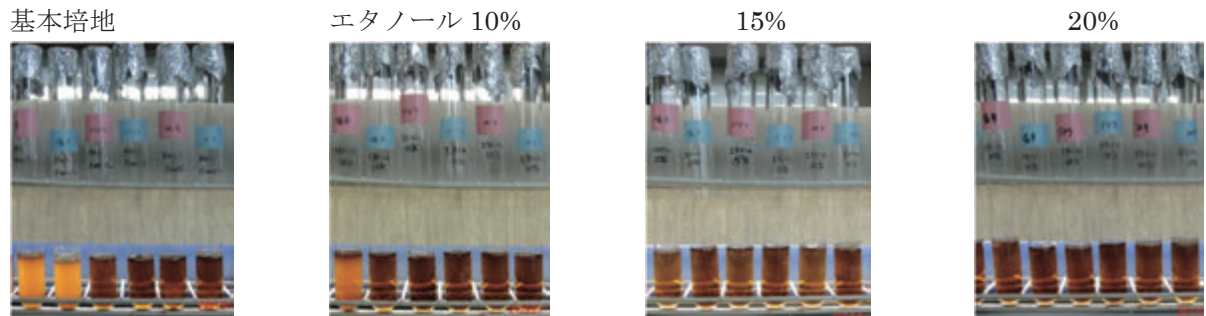
以下の実験結果は、差が最もわかる培養 7 日目の結果だけを掲載している。耐糖試験と同様に左から、塩辛 A の 1 本、塩辛 B の 1 本、ブドウ 2 本、味噌 2 本である。塩辛 A と B が、0.5 mol/L NaCl で増殖した。塩辛 B は 1.0 mol/L NaCl でも増殖が見られた。

ブドウと味噌の酵母は、耐糖性試験でも高濃度のスクロースがあれば増殖が見られることから、スクロース存在下であれば、耐塩性があるのかもしれない。いずれにせよ、塩辛 B の増殖量が最も著しく、耐塩性が高いと思われる。



<耐アルコール性試験>

耐糖試験と同様に左から、塩辛 A の 1 本、塩辛 B の 1 本、ブドウ 2 本、味噌 2 本であり、培養 7 日目の結果である。塩辛 A のみが、10%エタノールで増殖が見られたが、他の株では 10%以上では増殖しなかった。



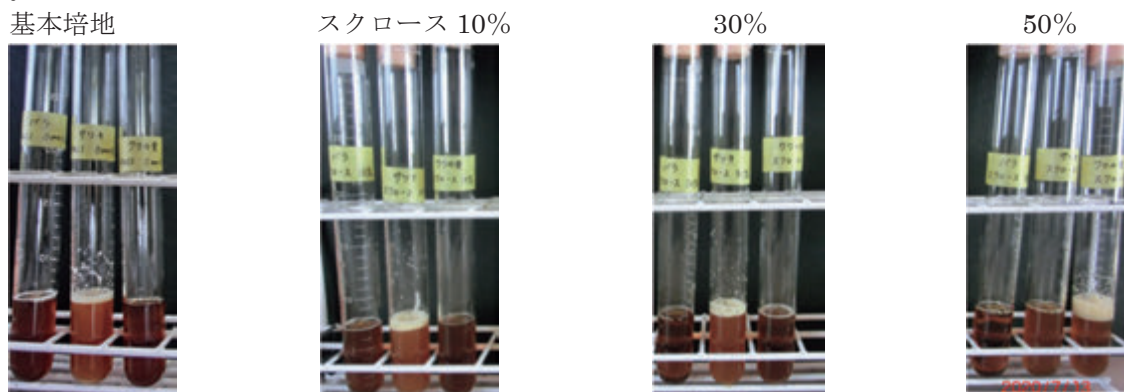
実験Ⅱ：バラ, サツキ, 桑の実からの酵母の耐性試験

左からバラ, サツキ, クワの実の順に並べてある。いずれの試験も 25℃培養 4 日目の結果である。

3 つの酵母株とも、全般的に増殖が緩やかで、いずれの試験でも増殖の差が小さかった。

<耐糖性試験>

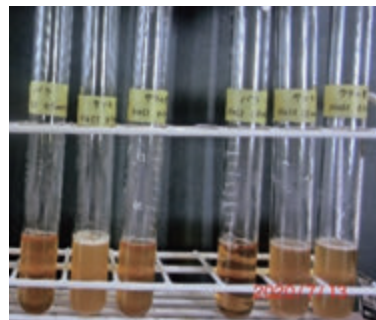
バラの酵母がやや増殖が良いが、いずれも増殖は緩やかであった。スクロース濃度により違いは顕著ではなかった。



<耐塩性試験>

いずれの NaCl 濃度でもある程度の増殖が見られたが、1.0mol/L は 0.5mol/L よりは増殖が抑えられた。全体に増殖が悪く、差は小さかった。

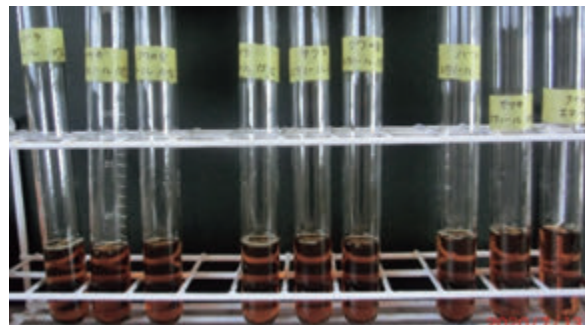
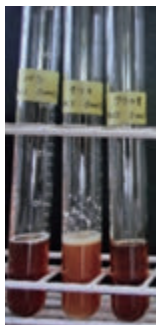
基本培地 NaCl 0.5mol/L 1.0mol/L



<耐アルコール性試験>

いずれの株も 10%以上のエタノール存在下では、増殖しない。

基本培地 エタノール 10% 15% 20%



6. 考察

今回、多くの試料から酵母を分離できた。分離した株の正確な同定はまだ行えていないが、寒天培地上でのコロニーの形状や顕微鏡像、静置培養でのガスの発生状況から、塩辛 A を除いては酵母と考えられるが、今後、株ごとに詳しく調べる必要がある。今はスクリーニングの段階で、分離株ごとの詳しい増殖の様子は調べられていないが、分離した株の中では、塩辛 B の酵母が最も増殖がよく、耐糖性や耐塩性が高い。塩辛という塩分濃度の高い食品からの酵母であることを考えると、生育条件に合った機能を持った酵母であると考えられる。

耐アルコール性試験では、塩辛 A を除いて 10%以上での耐性がなかった。ワインや酒の醸造では 10%を超えて醸造が続くことより、多くの酵母が 10%以上の耐性があると思いい濃度設定をしたが、もう少し低い濃度範囲での試験を行わなければならなかった。塩辛 A は耐糖性テストで気体の発生がなかったこと、顕微鏡像で酵母に比べて小さいこと、コロニーの形状などから酵母ではなく、細菌の可能性が高いが、10%アルコールに耐性である点が興味深い。この菌株は保存して、さらにその性質を調べることにした。

実験 I の分離酵母では、培地のスクロース濃度が高いほど、初期の増殖が遅くなるのは、培地の浸透圧が大きくなることで増殖が抑制されているのではないかと考えられる。しかし、最終的には高濃度のスクロースで発酵による気体発生が盛んにおこった。基本培地には 2%のグルコースを含むが、7 日目では濁りがうすくなっていることなどから、長い培養期間では基本培地では糖の量が不十分でないか。味噌酵母のように、低スクロース濃度では、生育が悪いものもあり、株によって糖の要求において性質の違いがあるようだ。砂糖漬けにして雑菌の増殖を抑え食品を保存するように、50%スクロースという高濃度では、他の微生物は高い浸透圧で生育しづらい環境であるが、いずれの酵母も発酵を行い生育することから、酵母は一般に、浸透圧に対抗して増殖するしくみを持つと考えられる。

実験 II の酵母株は、いずれも増殖が緩やかで、スクロース高濃度でも種類による違いは顕著ではなかった。耐塩性でもある程度の耐性はあると思われるが増殖に大きな差はなかった。

実験 I の分離酵母、特に塩辛 B は、その生育環境から考えて、耐塩性が高く、他に比べ増殖も良い。その性質を生かして、例えば、塩分濃度が高い環境でのバイオマス・エタノールの生産などに利用できるのではないかと。物質生産能力が高い海の植物プランクトン、あるいは海藻を利用してのバイオマス・エタノールの生産などといったことも考えられる。さらに、詳しく調べてみたい。

7. 参考文献

- (1) 中島春紫. 日本の伝統 発酵の科学. 講談社. 2018. 261p., (ブルーバックス, B2044)
- (2) 瀬見井純. 自然界から分離した酵母の培養・保持方法の検討. あいち産業科学技術総合センター研究報告 2017. 2017. p.66-69.

