

令和3年度

愛媛県立松山南高等学校理数科課題研究論文集



令和4年3月

愛媛県立松山南高等学校



# 目次

## <理数科2年 スーパーサイエンス>

様々な素材による吸音力の違いについて	4
ワイヤレス充電を電気自動車へ～電力伝送の効率化～	8
ネギボウズによる海洋汚染物質の除去	12
トウモロコシに含まれるβカロテンの定量方法の確立	16
海洋プラスチックと有害物質の吸着～硫酸銅(II)水溶液とヨウ素溶液を用いて～	20
ゼーゲル式を用いた銅の発色(青～緑)に関する研究—緑色に発色する糊葉の開発—	24
動物繊維の可能性～ミノ糸とクモ糸の特性より～	28
日本近海における貝類の漁獲量変化と北上化	32
玄米の発芽期間の違いによる抗アレルギー作用の変化	36
家具に使用できる免震ゴムの作製	40
三角形の外接円と五心に関する研究	44

## <理数科1年 スーパーサイエンス>

タイルの性質についての研究	50
フライホイールを用いた風力発電の利便性の向上に関する研究	52
レーザー光の干渉を用いた繊維間隔測定—より高度な測定を目指して—	54
翼果を用いた回転体の風力発電の研究	56
イチョウの色素に関する研究	58
エチレンガスがカイワレダイコンに与える影響	60
サワガニにおける迷路学習と記憶能力の研究	62
アリ相調査による松山市の自然林と人工林の環境評価	64
メダカの「視る」能力	66
音によって活性化された微生物が植物に及ぼす影響	68



# 理数科 2 年 スーパーサイエンス

# 様々な素材による吸音力の違いについて

愛媛県立松山南高等学校 吸音班

篠原光音 武智研吾 本田丈一郎 渡部庵 指導教諭 大西大輔

## 1. はじめに

日本は、災害が他の国に比べて比較的多い国である。災害が起こった時に避難所での生活が必要不可欠になる。災害時における避難所での生活は、“音”が問題になっている。また、日常生活においても、騒音を不快に感じる人は少なくない。そこで、私たちはそれらの問題を解決するため、図1のような、手軽に手に入り、織り方(構造)の違う布で吸音しようと考えた。

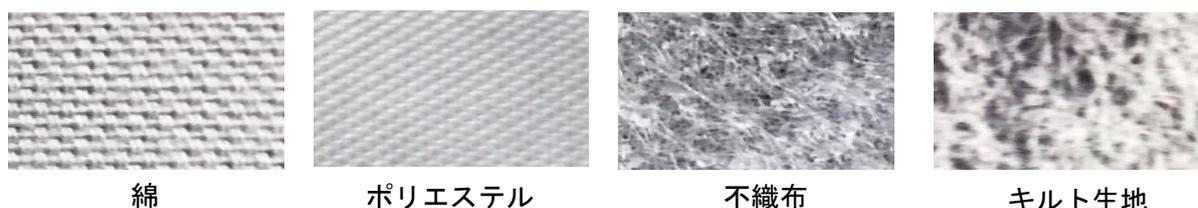


図1 実験で使用する布

## 2. 実験方法

### (1) 実験1

図2のように、部屋に見立てたプラスチックケースの内側に図1に示す4種類の布を設置した。布は段ボールで作成した枠に吊り下げるように設置した。このプラスチックケースの部屋の端にスピーカーを置き、その反対側にデジタル騒音計を置いた。

会話で発生する音の振動数が約440Hzであるため、今回の実験で発生させた音の振動数も同じ440Hzとすることにした。スピーカーから振動数が440Hzの音を発生させ、騒音計が100dBを示すようにボリュームを調節した。そこから10秒間音を出したあと音を止め、100dBから40dBに低下するまでにかかった時間(残響時間)を計測する。この時間から4種類の布の吸音率を計算により求めた。



図2 実験装置

## (2) 実験2

音の回折とは音源に対して障害物が存在する時、直進できない陰の部分にも音が回り込んで伝わっていく現象のことである。この実験では、音がダンボールの壁を横もしくは上方向から回り込んで伝わる可能性があるためそれについて調べた。

図3のように、縦70cm、横60cm、厚さ2.0cmのダンボールを壁とし、そこから0.5m離れたところにスピーカーを置いた。スピーカーと反対側の計25ヶ所(図4)について、音圧(dB)を測定した。音圧はiPadの音圧計測アプリ(図5)を用いた。スピーカーからオクターブバンド中心周波数(63, 125, 250, 500, 1000 Hz)の音を1分間発生させ、その平均値を各地点の測定結果とした。壁がない場合も同様に測定を行い違いを考察した。

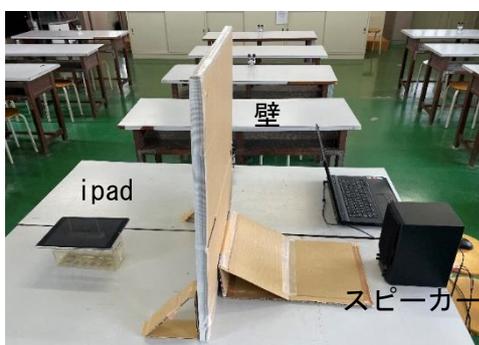


図3 実験装置

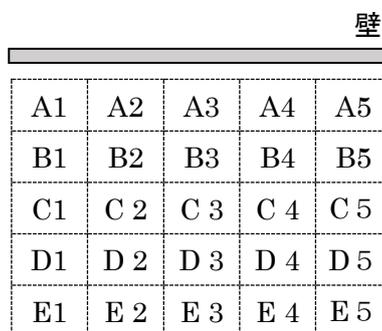


図4 計測する25カ所

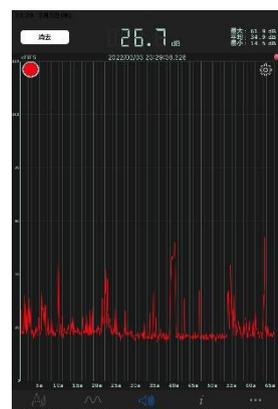


図5 音圧計測アプリ

## 3. 結果と考察

### (1) 実験1

図6より、不織布やキルト生地が他の布よりも吸音率が高いことから、その構造や布の密度が吸音率に関係するものと考えられる。

ポリエステルと綿は吸音率に大きな差がなかった。この2つの布は、似た構造を持っており、密度も近いことから同じような結果が出たものと思われる。

段ボールが最も吸音率が高かった。図7のような段ボールの多層構造や中芯のトラス構造、空気の層が影響しているものと考えられる。段ボールと布を組み合わせるなど、高い吸音率について調べていきたい。

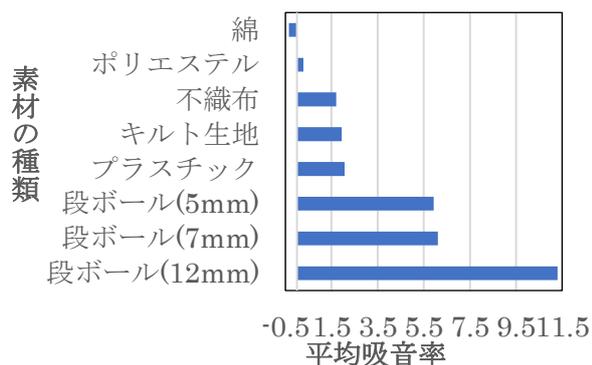


図6 各素材と吸音率

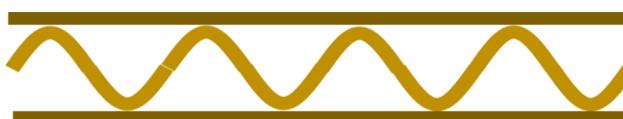


図7 ダンボールのトラス構造

(2) 実験 2

図 4 に示した各地点における音の回折の影響は図 8 のようになった。各振動数について、厚さによる吸音の差に違いが現れた。厚みによる違いが大きく現れたのは 1000 Hz のときであった。ダンボールは低い音よりも高い音の方が吸音しやすく、人の会話で起こる 440 Hz の音を吸音しやすいと考えられる。また、375 Hz では、どの厚み段ボールも透過音の音圧が下がっている。この原因についても調べていきたい。

気泡緩衝材と発泡スチロール板を用いて、段ボールと透過音の音圧の違いについて比較した(図 9, 図 10)。600 Hz 以上の振動数では、発泡スチロール板が最も高い吸音効果を発揮した。空気を含む気泡緩衝材は高い吸音効果を示すと予想していたが、段ボールとの差はあまり見られなかった。また、気泡緩衝材と発泡スチロール板についても図 8 と同様に 375 Hz で透過音の音圧が著しく低下した。

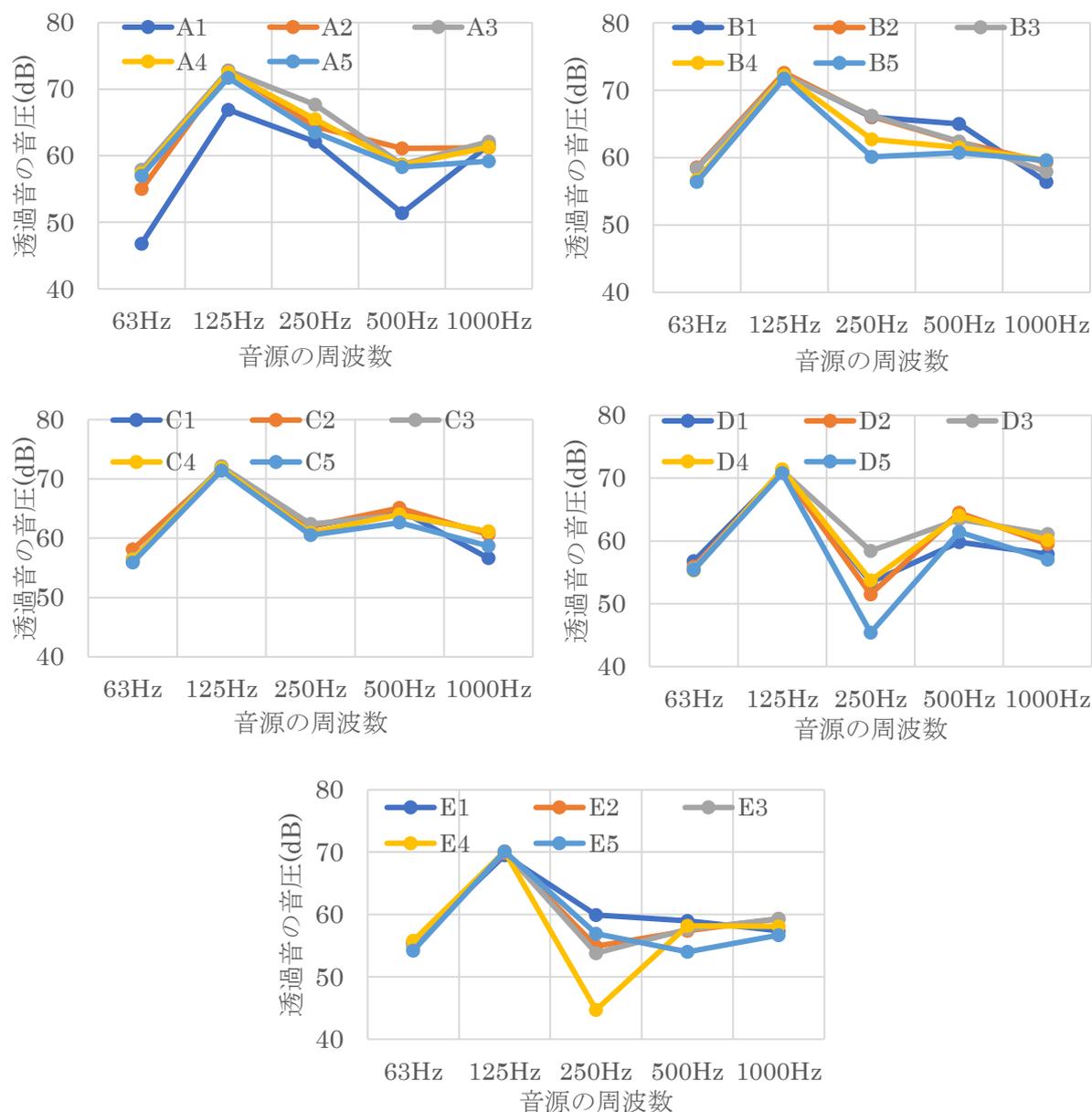


図 8 各地点における透過音の音圧の違い

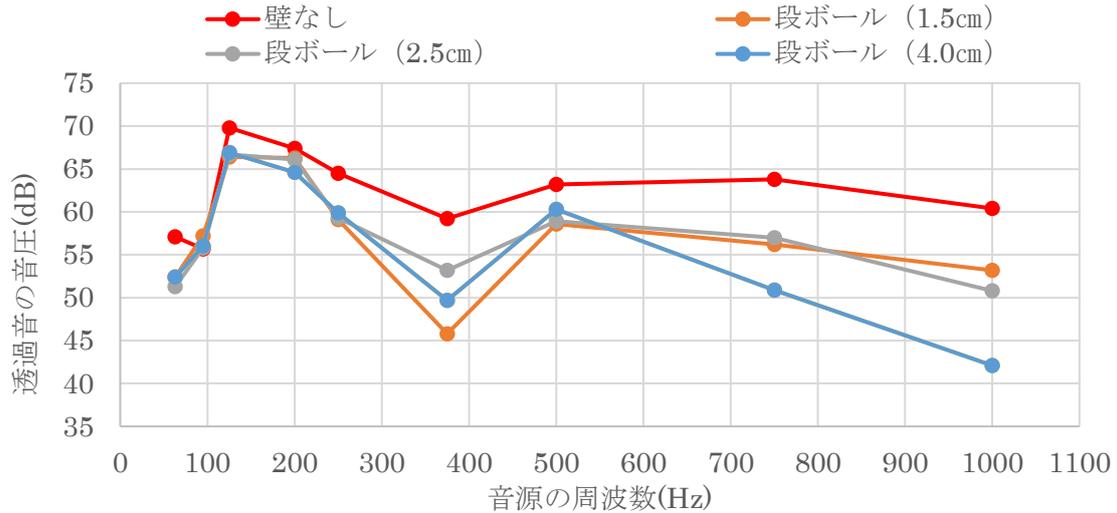


図9 段ボールの厚みによる透過音の音圧の違

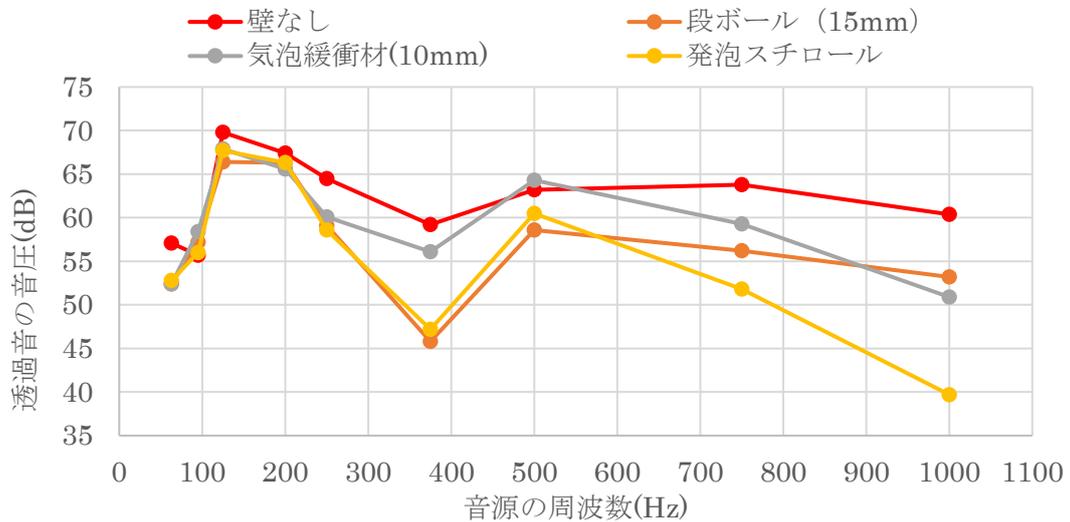


図10 素材による透過音の音圧の違

#### 4. 今後の展望

段ボールの厚さによって吸音される音のエネルギー量に違いがあったので、段ボールの厚みを増やして実験する段ボールが吸音して音圧 (dB) が減少しているのか、遮音して音圧 (dB) が減少しているのかについても検証していきたい。また、400Hz 付近で著しく音圧 (dB) が低下している原因について、スピーカーからの音の振動数を細かく変えながら調べていきたい。

#### 5. 参考文献

- ・市川景太 後藤なつ美 鈴木慎太郎 篠田祐作(2015)「遮音性を向上させるには」岐阜県立恵那高等学校
- ・吉田勇太 新谷隆二(2012)「遮音・吸音材料の性能評価に関する基礎的研究」石川県工業試験場平成24年度研究報告
- ・新潟県立柏崎高等学校理数コース(2013)「素材と防音効果」新潟県立柏崎高等学校

# ワイヤレス充電を電気自動車へ～電力伝送の効率化～

愛媛県立松山南高等学校 コイルんず

稲葉光 奥田真央 越智怜楽 久保田嘉伸 指導教諭 露口 猛

## 1. はじめに

普及が始まった電気自動車だが、充電場所の不足と充電時間の長さが問題になっている。この問題を解決するために、多くの研究機関では電磁誘導<sup>1)</sup>での誘導起電力で電気自動車を充電するワイヤレス充電の研究が行われている。私たちは効率的かつ連続的に充電する工夫として、透磁率の高い鉄をトンネルに利用し、道路とトンネル内にコイルを設置すれば良いのではと考えた。そこで、本研究では磁束量の増大により電磁誘導のさらなる効率向上を目指した。また、磁束量の増加する条件を用いて誘導起電力による電力伝送の効率について実験した。

## 2. 仮説

透磁率がより大きい鉄を使うことによる効果を期待し、次のように設定した。

「鉄パイプを利用することにより、より高い効率で電力伝送を行うことが可能である。」

## 3. 実験方法

### I 鉄パイプの有無による磁束量の変化

- (1) 鉄パイプ内に置いたコイル(図1)に1~10Vの電圧を2Vずつかけ、テスラメーターでコイル端面の磁束量を測定した。
- (2) 机上のコイル(図2)を比較のために測定した。

### II 鉄パイプ内コイルの位置と磁束量の変化

- (1) 鉄パイプ中央に置いたコイル(図3)に4Aの電流を流し、板を基準として1cmずつ5cmまで上げていき、図3の位置での磁束量をテスラメーターで測定した。
- (2) 鉄パイプ内端にコイルを置き(図4)、磁束量を測定した。

### III 単数コイルでの磁束量の巻き数等による変化

以下のコイルを作成し、机上で1~4Aの電流を流した際の磁束量を測定した(図5)。

- ア 直径1.0mmの導線(図6左)\*<sub>1</sub>を直径2.0cmの塩ビパイプ\*<sub>2</sub>に5層に分けて、250回巻いたコイル(\*<sub>1</sub>太い導線、\*<sub>2</sub>塩ビパイプとする)
- イ 直径0.5mmの導線(図6右)\*<sub>3</sub>をアと同様に巻いたコイル(\*<sub>3</sub>細い導線)
- ウ 細い導線を塩ビパイプに3層に分けて250回巻いたコイル
- エ 太い導線を塩ビパイプに2層に分けて100回巻いたコイル
- オ 細い導線を塩ビパイプに2層に分けて100回巻いたコイル



図1 鉄パイプ内コイル



図2 机上コイル



図3 パイプ内中央コイル



図4 パイプ内端コイル



図5 単数コイル



図6 導線の太さ  
(左 : 1.0mm、右 : 0.5mm)

#### IV 鉄パイプ内での2個のコイルによる磁束量

- (1) 太い導線を用いて、同じ巻き数、層数のコイルを2個作成した。
- (2) 一方のコイルを木板の上、もう一方を木板の下、ともに鉄パイプ中央に置き(図7)、上下のコイルに4Aの電流を流した。板を基準として、上のコイルを1cmずつ5cmまで上げ、1cmごとにテスラメーターで磁束量を測定した。テスラメーターの位置は図7の位置に固定した。
- (3) 上のコイルを鉄パイプ内端に置き(図8)、(2)と同様に測定した。
- (4) いずれも上下のコイルの磁極が同方向、逆方向となる配置で測定した。

#### V 鉄パイプ内外での電力伝送効率と周波数の関係

- (1) IVと同様のコイル2個を鉄パイプ外に置いた。一方のコイルに周波数を変化させながら電流を流し\*<sub>1</sub>、もう一方\*<sub>2</sub>に生じる電圧をDrDAQで測定した>(\*1入力コイル、\*2出力コイル)
- (2) 鉄パイプ内の中央(図9)、内端(図10)に2つのコイルを置き、(1)と同様に測定した。
- (3) 次式を電力伝送効率  $e$  [%] とした。ただし、入力コイルの電圧の振幅を  $V_1$  [V]、出力コイルの電圧の振幅を  $V_2$  [V] とする。

$$e = \frac{V_2}{V_1} \times 100$$



図7 IV鉄パイプ内  
中央コイル



図8 IV鉄パイプ内  
線コイル

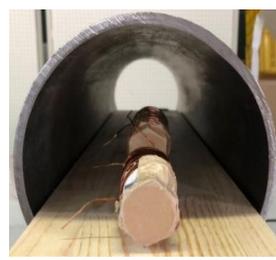


図9 V鉄パイプ内  
中央コイル



図10 V鉄パイプ内  
中央コイル

### 4. 実験結果

#### I 鉄パイプの有無による磁束量の変化

鉄パイプ内外での磁束量の変化を図11に示す。鉄パイプ内のコイルは、各位置で鉄パイプ外のコイルより磁束量が多く、鉄パイプによって磁束量が増加することが分かった。また、共に磁束量が電圧に比例することが分かった。

## II 鉄パイプ内コイルの位置と磁束量の変化

鉄パイプ内での位置と、コイルからの距離を変えた場合の磁束量を図 12 に示す。鉄パイプ内端に置いたコイルの磁束量は、各位置で鉄パイプ中央に置いたコイルの磁束量より多かった。また、コイルとテスラメーター間の距離が長くなるほど磁束量が少なく、距離依存性があることが分かった。

## III 単数コイルでの磁束量の巻き数等による変化

銅線の太さ・巻き数・層数と磁束量の関係について図 13 に示す。導線の巻き数、コイルの層数ともに多い方が磁束量が大きくなることが分かった。層数が多くなると単位長さ当たりの導線の密度が大きくなり、磁束量が増えると考えられる。

## IV 鉄パイプ内での 2 個のコイルによる磁束量

鉄パイプ内での 2 個のコイルの距離・磁極の向きと、磁束量の関係を、パイプ中央の場合を図 14 に、内端の場合を図 15 に示す。パイプ中央とパイプ内端共に、2cm で逆向きの磁束量が極大値になり、中央では 0~1cm で単コイルの磁束量が最も多く、3 つとも同様の増減だった。内端では逆向き 2cm で単コイルの約 2 倍の磁束量だった。

以上から、対極に達する前に磁束が合成し、磁束が弱くなりすぎない距離が 2cm 付近にあると考えられる。また逆向きの時、コイルの長さよりコイル間距離の方が短いので、磁束がもう一方のコイルの対極に入ったため、同じ向きの時より磁束量が多くなったのではないかと考えられる。コイルの配置方法によってはさらに増大ができる可能性があると考えられる。

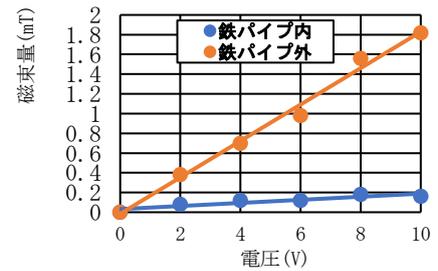


図 11 鉄パイプ内外での磁束量

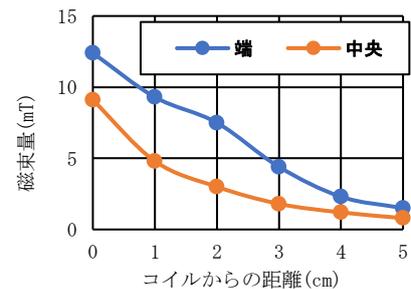


図 12 コイルからの距離と磁束量

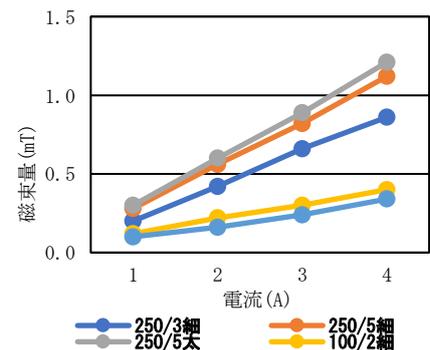


図 13 導線の太さ・巻き数・層数と磁束量

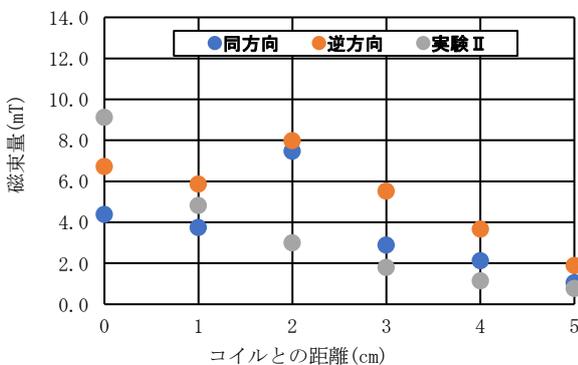


図 14 IVパイプ内中央での磁束量

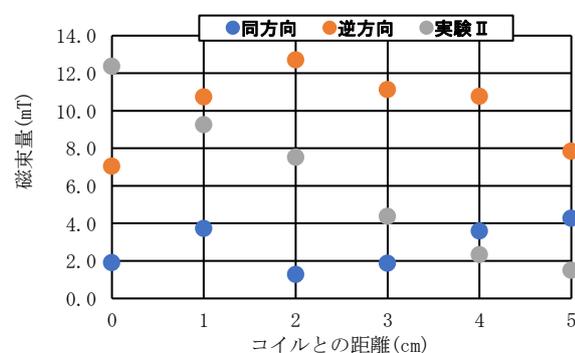


図 15 IVパイプ内端での磁束量

## V 鉄パイプ内外での電力伝送効率と周波数の関係

図 16 に電力伝送効率と流した交流の周波数の関係を示す。9000Hz まで鉄パイプ無しが最も効率が良かった。また、内端は 10000Hz まで最も効率が悪かった。更に、50Hz で極大値となり、パイプ無しは 5000Hz、パイプ中央は 7000Hz、パイプ内端は 6000Hz で極小値であった。現在測定している範囲では、50Hz で鉄パイプ中央に設置した場合が効率最大であった。しかし、10000Hz より高周波の方が 50Hz の時より効率が良い可能性はある。発信器の限界により、ここまでしか測定できなかった。

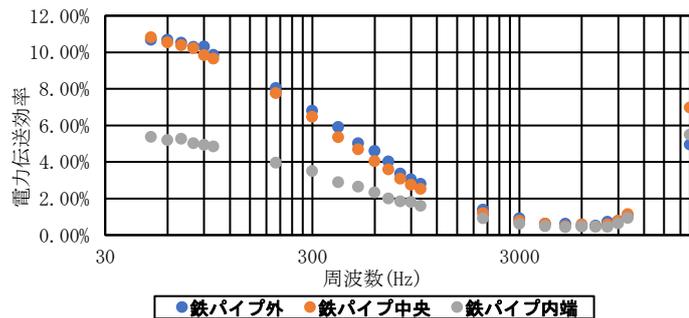


図 16 コイルの位置と電力伝送効率の関係

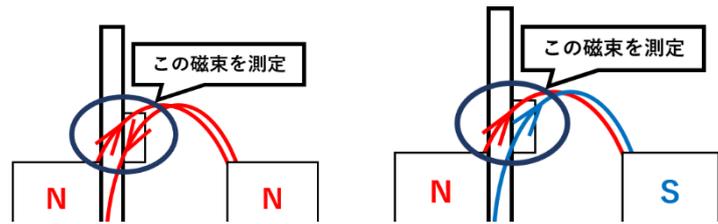


図 17 磁極同方向での磁束

図 18 磁束逆方向での磁束

### 5. 考察

#### (1) 複数コイルでの磁束量

図 17、18 に磁極同方向、逆方向での磁束の様子を示す。コイル 1 個の磁束が重なることで 2 個の場合の磁束と考えられ（重ね合わせの原理）、テスラメーターの位置での磁束は、次のように考えられる。

ア 磁極が同方向の場合、近距離では一方のコイルから図 17 の上向きに出た磁束と、離れたコイルから下向きになった磁束が重なったと考えられる。そのため、1 個より磁束量が減少する。

イ 磁極が逆方向の場合、一方のコイルから図 18 のように上向きに出た磁束と、離れたコイルに下向きに入る磁束の上向き部分が重なったと考えられる。そのため、1 個より磁束量が増える。

#### (2) 鉄パイプによる磁束量

鉄パイプがあることにより磁束量が増え、端の方が多いことは透磁率から予測できるが、詳細については不明であり、検討が必要である。

#### (3) 電力伝送効率の周波数依存性

電力伝送効率が特定の周波数で極小値を持つことは先行研究でも知られており<sup>2)</sup>、それによると 20000Hz 以上の高周波では、効率がより増大することが予測される。ただし、磁束量は鉄パイプ有りの方が多いにも関わらず、交流での伝送効率は鉄パイプが無い方が大きくなった。仮説は否定されることとなったが、その原因はまだ不明であり、今後研究を続ける必要がある。

### 6. まとめ

磁束量を増大させるには、鉄パイプを用い、コイルを鉄パイプに近づける、コイルを複数個用い、互いの磁束が逆方向になるように配置する、太い銅線を多層化したコイルがよい、ということが分かった。また、電力伝送効率は、50Hz～10000Hz では鉄パイプの有効性がないことが分かった。今後、高周波数での実験を通して、パイプの有用性をさらに検討していきたい。

### 7. 参考文献

- 1) 川原圭博(2019) ”スマホなど部屋中どこでもワイヤレス充電東大が実験部屋を公開 “ (<https://www.t.uTokyo.ac.jp/shared/press/data/setnws20190611145016741845423217957.pdf>)
- 2) 宮野忠文, 山本晃, and 長谷川浩治. ”非接触電力伝送に関する基礎的検討.” 広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告 54 (2011): 53-56.

# ネギボウズによる海洋汚染物質の除去

愛媛県立松山南高等学校 ネギボウ's

北村悠羽 新宮紗瑛 藤井雅斗 指導教員 松田栄二

## 研究の概要

SDG14 (図1) に示されているように、世界的な海洋汚染の一つに、船の事故などで流出した油による汚染がある<sup>(1)</sup>。汚染油を廃棄物であるネギボウズ (図2) を用いて除去しようと考えた。2021年4月シンガポール南洋理工大学の研究チームがヒマワリ花粉で作ったスポンジで油を選択的に除去できることを発表した<sup>(2)</sup>。私たちは朝露をはじいているネギボウズを研究材料に選び、油選択的性質があることについての実験を行い、結果、乾燥ネギボウズはまるごと海洋汚染物質の除去に有効であることを確認した。



図1 SDG14

### 1. 背景・目的

今日の海は日常のゴミ、産業廃棄物、船の事故などで流出した油や河川からの生活排水や農業などによる海洋汚染が進んでいる。その中でも近年、海洋汚染事例の一番多い油による汚染に注目し、海洋汚染の改善・除去を研究目的とする。2021年4月、シンガポール海洋理工大学の研究チームがヒマワリ花粉を原料に作ったスポンジで海洋汚染油を選択的に吸収できることを発表した。私たちは、朝露をはじいているネギボウズの花粉を見て、ヒマワリ花粉と同様に油選択的性質をもつのではないかと考えた。そこで、私たちは、廃棄物であるネギボウズを用いて海洋汚染物質を除去することを目的として本研究を進めることとした。



図2 ネギボウズ

### 2. 定義・仮説

この研究で用いたネギボウズとはネギの先端に咲く花の集団のことである。私たちは、ネギボウズの花粉が朝露をはじいているのを見て、ネギボウズの各部位に吸油性があり、ネギボウズは油選択的性質を持つと仮説を立てた。

### 3. 方法

実験で用いたネギボウズは、天日干しし、自然乾燥させた。

#### 3.1 実験1〈ネギボウズの花粉と種皮の吸油性・吸水性・ヒマワリとの比較〉

定規に両面テープで、ネギボウズは花粉と粉末にした種皮、ヒマワリは花粉と粉末にした種を貼り付け、定規の先端を灯油と硫酸銅(II)水溶液につけ、どれだけ吸い上げるのかを調べた。また、花粉の表面構造について調べるために電子顕微鏡でネギの花粉とヒマワリの花粉を観察した。

#### 3.2 実験2〈ネギボウズの各部位の吸油性・吸水性〉

ここで用いた乾燥させた部位は1か月ほど乾燥させたネギボウズの部位を用いた。定規に両面テープで、ネギボウズの種、乾燥させた種皮、湿った種皮、花粉、乾燥させた茎、湿った茎を貼り付け、定規の先端を灯油と硫酸銅(II)水溶液につけ、どれだけ吸い上げるのかを調べた。

#### 3.3 実験3〈乾燥ネギボウズの吸油性・吸水性〉

これ以降の実験で用いた乾燥させた部位は3か月ほど乾燥させたネギボウズの部位を用いた (図3)。乾燥ネギボウズ2gをサラダ油・灯油・硫酸銅



図3 乾燥ネギボウズ

(Ⅱ)水溶液 100 g が入ったビーカーにそれぞれ 10 秒間つけ、乾燥ネギボウズの各液体の吸着量を調べた。

### 3.4 実験4〈乾燥ネギボウズの油選択的性質について〉

海に浮かぶ汚染油をイメージして、同じ重さの乾燥ネギボウズが「灯油と硫酸銅(Ⅱ)水溶液」、「サラダ油と硫酸銅(Ⅱ)水溶液」の混合液体にそれぞれ 10 秒間漬け込み、どのぐらいどの液体を吸着するか、実験を行った。

### 3.5 実験5〈乾燥ネギボウズの構造による吸油性の違い〉

球状とバラバラの状態の同じ重さの乾燥ネギボウズをそれぞれ網袋に入れ、10 秒間灯油に漬け込み、どれだけの量の灯油が吸い上がるか、その吸着量の違いについて調べた。

## 4. 結果

### 4.1 実験1〈ネギボウズの花粉と種皮の吸油性・吸水性・ヒマワリとの比較〉

ネギボウズの花粉と種皮は灯油を 7cm 吸い上げ、ヒマワリの花粉は灯油を 5.5cm 種は 6.5cm 吸い上げ、両方とも硫酸銅(Ⅱ)水溶液は全く吸い上げなかった(図4、図5)。よって、ネギボウズとヒマワリの両方に吸油性があり、吸水性はないことが分かった。

ネギの花粉は表面がシワシワになっており、ヒマワリの花粉は表面がトゲトゲしていることが分かった。ネギの花粉の大きさは 1300  $\mu\text{m}$ 、ヒマワリの花粉は 34  $\mu\text{m}$  で、ネギの花粉はヒマワリの花粉の約 40 倍の大きさだと分かった(図6)。

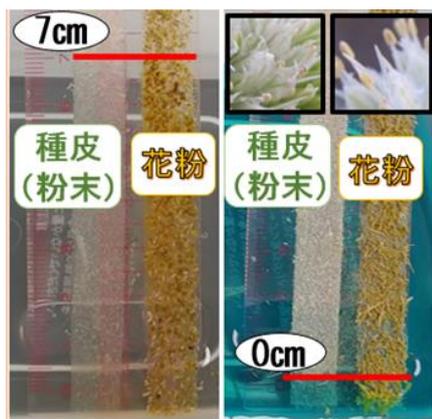


図4 ネギボウズの部位の吸着実験

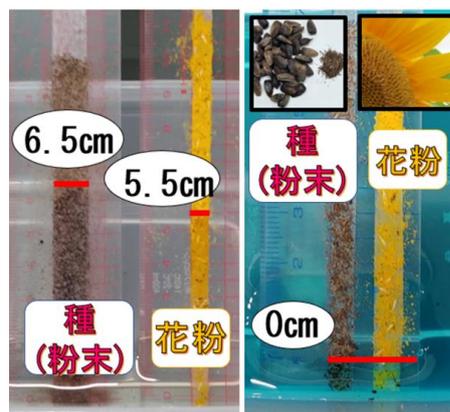


図5 ヒマワリの部位の吸着実験

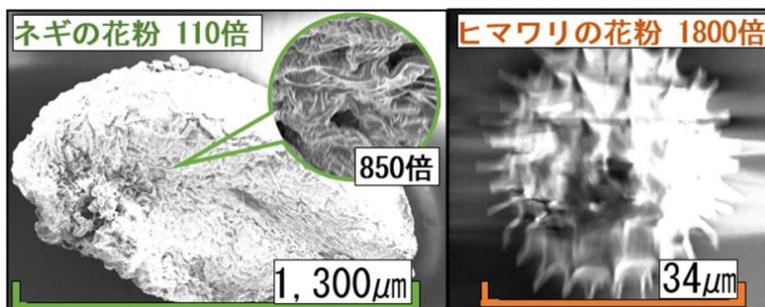


図6 ネギとヒマワリの花粉構造の写真

### 4.2 実験2〈ネギボウズの各部位の吸油性・吸水性〉

ネギボウズの種と乾燥させた種皮が 6cm、湿った種皮が 5 cm、花粉と乾燥させた茎と湿った茎が 4 cm、灯油を吸い上げた。乾燥させた種皮、湿った種皮、花粉、乾燥させた茎は硫酸銅(Ⅱ)水溶液を吸い上げ

ず、唯一湿った茎だけは硫酸銅(II)水溶液も4 cm吸い上げた(図7)。要するに、すべての部位が油を吸い上げ、唯一湿った茎だけが硫酸銅(II)水溶液も吸い上げた。

### 4.3 実験3〈乾燥ネギボウズの吸油性・吸水性〉

乾燥ネギボウズは10秒間で2gあたりサラダ油を10g、灯油を9g、硫酸銅(II)水溶液を6g吸着した(図8)。

### 4.4 実験4〈乾燥ネギボウズの油選択的性質について〉

乾燥ネギボウズ2gは「灯油と硫酸銅(II)水溶液」からは灯油のみ9g吸い上げ、「サラダ油と硫酸銅(II)水溶液」からはサラダ油のみ10g吸い上げた(図9)。また、どちらの混合液体からも下層の硫酸銅(II)水溶液はほとんど吸い上げなかった。

### 4.5 実験5〈乾燥ネギボウズの構造による吸油性の違い〉

同じ重さの乾燥ネギボウズに対して、球状は約5倍の、バラバラの状態は約3倍の量の灯油を吸い上げた。球状の乾燥ネギボウズの方がバラバラの乾燥ネギボウズよりも多くの油を吸着し保持できることが分かった。

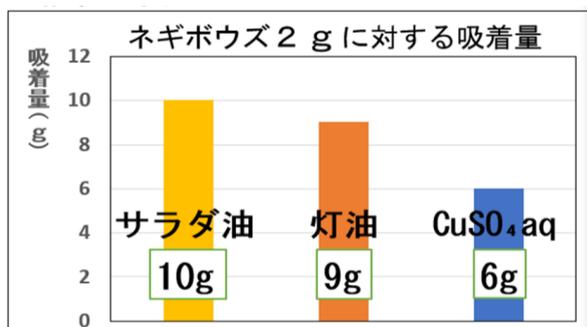


図7 ネギボウズの各部位の吸着実験

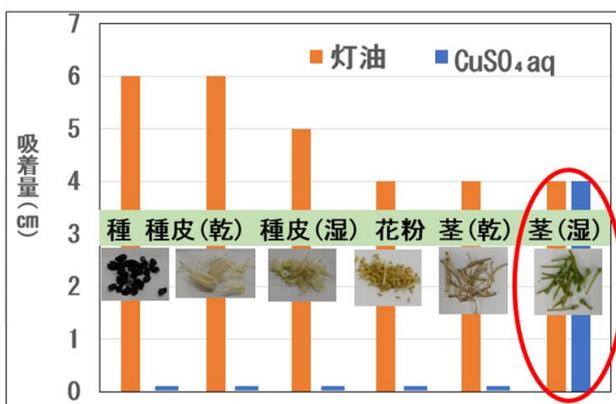


図8 乾燥ネギボウズの吸油性・吸水性の実験

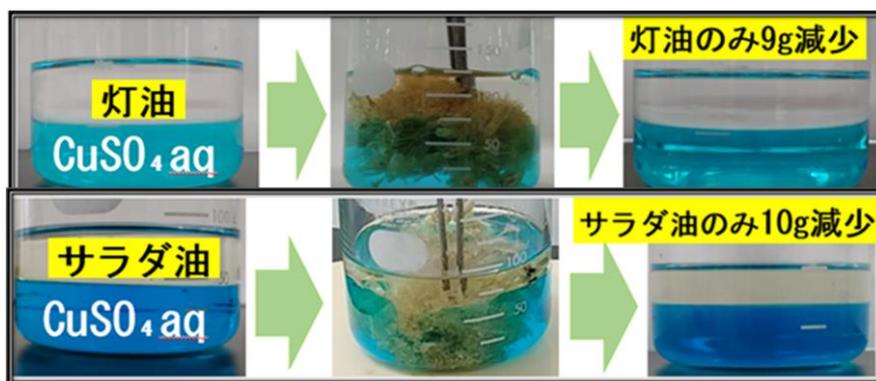


図9 乾燥ネギボウズを用いた混合液体の実験

## 5. 考察

ネギボウズの花粉と種皮が海洋汚染物質の除去ができる可能性があると考えられる。よってネギボウズの花粉の方がヒマワリの花粉よりも油を効率的に吸着できる。また、ネギボウズとヒマワリの種や種皮にも同様の性質があると考えられる。花粉構造については、防水作用やめしべの柱頭にくっつきやすいはたらきがあるのではないかと考えられる。ヒマワリの花粉にみられる突起やネギボウズの花粉にみられるシワに油が吸着していると考えられる。ネギボウズのすべての部位が吸油性を持つことより、ネギボ

ウズはまるごと汚染油を除去できる可能性があると考えられる。

しかしながら、湿った茎だけに吸水性がみられたことに関しては、乾燥ネギボウズが、種が成熟するまで球状を長く維持するための性質だと考えられる。まるごと乾燥ネギボウズには、油分に対して約5倍の、水溶液に対して約3倍の吸着パワーがあると考えられる（図10）。ネギボウズを乾燥させることによって吸水性がみられるようになったが、それと同時に吸油性に対するパワーも向上されたと考えられる。また、サラダ油と灯油でサラダ油の方が吸着量が多かったことに関しては、サラダ油の方が灯油よりも粘着力が強いためだと考えた。

乾燥ネギボウズには油選択的性質があり、ネギボウズ1kgあたり約5倍の約5kgの油の吸着が可能であると考えられる。また、下層の水溶液はほとんど吸い上がっていないことから、油のみの回収にとっても効率的であると考えられる。球状の乾燥ネギボウズの方がバラバラの乾燥ネギボウズよりも効率的に油を吸着し保持できると考えられる。

乾燥ネギボウズ吸着モデル（図11）で示したように、球状ネギボウズはすきま空間が多く、あらゆる全てのすきまに油が吸着し、保持できると考えられる。また、球状の方がバラバラの状態よりも吸着力が高いが、実際に球状のまま海に入れ、形が崩れたとしても油を吸着できると考えられる。

## 6. 今後の展望

今後はネギボウズの油選択的性質を利用した製品の実用化及び、汚染油を吸ったネギボウズの再利用や廃棄方法、花粉の油選択的性質のメカニズムの研究などをしていきたい。また、この研究を完成させ、海洋汚染物質である汚染油が海に流出した際に、汚染油を除去し海をきれいにするために役立てたい。

## 7. 結論

ネギボウズの花粉及び全ての部位とも吸油性があり、また、乾燥ネギボウズは油選択的性質があり、まるごと海洋汚染物質の除去に使用できることが分かった。ネギボウズはヒマワリよりも効率的に汚染油を除去できることが分かった。

## 8. 謝辞

本研究で花粉を観察する際に電子顕微鏡での撮影にご協力いただいた、愛媛大学教育学部の向平和准教授に厚く御礼申し上げます。

## 9. 参考文献

- (1) 日本経済新聞（2020/8/9）重油1000トン超流出 商船三井手配の貨物船座礁
- (2) 中央日報/中央日報日本語版（2021/4/15）水から油を除去「魔法の花粉」…海洋汚染の解決策を出した韓国人



図10 乾燥ネギボウズの構造による吸油性の違いについての実験



図11 乾燥ネギボウズの吸着モデル

# トウモロコシに含まれるβカロテンの定量方法の確立

愛媛県立松山南高等学校 ビタミン班

上笹莉子 上甲莉沙 宮本凜 担当教諭 目見田拓

## 1. はじめに

伊藤ら(2019)によると、異なる光条件下で培養したシアノバクテリアに含まれるアスコルビン酸量は2時間の強光によって2倍に増加すること、また、暗黒条件の場合通常光条件よりAsA量が多いことが示唆されている(図1)。また、黒田ら(2021)が、単細胞生物のシアノバクテリアだけでなく、高等植物であるトウモロコシでも収穫前に光条件を変えることで、アスコルビン酸量が増えるのかを調べた結果、高等植物でもアスコルビン酸量は通常光条件よりも強光条件の方がAsA量が増え、暗黒条件の場合は減っていることが分かっている。これらのことから光の量によってAsA量が増えることが示唆されている。

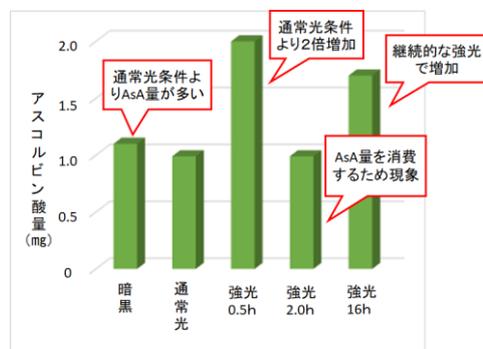


図1 光条件と細胞内のAsAの変化

そこで私たちは、アスコルビン酸以外の抗酸化作用をもつ脂溶性ビタミンであるβカロテンに注目し、脂溶性ビタミンを抽出・定量する方法を確立させることで、光と脂溶性ビタミン量変化の関係を明らかにし、栄養価を高めた野菜の栽培方法や、保存方法を提案したいと考え研究を行った。

## 2. 実験方法の検討と課題

### 2-1 ホウレンソウによるペーパークロマトグラフィーの実験方法

βカロテンが多く含まれていてホウレンソウの葉を10g用意し葉脈を取り除き、1cm角程度の大きさにちぎり乳鉢に入れ、抽出溶液(石油エーテルとメタノールを1:3の割合で混合)を10mLずつ5分ごとに計40mL入れ、乳棒を使ってすりつぶした(図2)。抽出液をろ紙でろ過し三角フラスコに回収した。その抽出液に10%食塩水を80mL加えて混合した。次に20mLの石油エーテルを加え20分間よく攪拌しながら、成分を石油エーテル層(上澄み)に抽出した(図3)。その上澄み液をバイアル瓶に入れた(図4)。その色素抽出液を毛細管で吸い上げ、下から3cmのところを鉛筆で線を描いた展開用ろ紙の鉛筆の上に薄く毛細管で吸い上げた色素の線を描いては乾かすという操作を10回ほど繰り返した。その後展開溶媒(ヘキサンとアセトンを15:1の割合で混合)200mLを入れ、30分間展開溶媒の蒸気で満たした展開槽に立てかけ、溶媒がろ紙の上端から約2cmのところまで達した後、ろ紙を取り出し、色素の境界線に鉛筆で線を描いた(図5)。この作業によって分けられた色素部分を切り出し約2mLのヘキサンで抽出した。この色素溶液を分光光度計を用いて、紫外可視吸収スペクトルで測定した。



図2 すりつぶしたホウレンソウ



図3 上澄み溶液の抽出



図4 上澄み溶液の保管

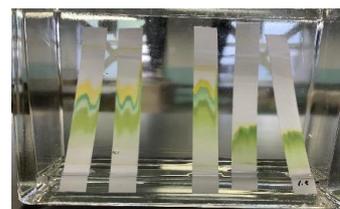


図5 展開

## 2-2 クロマトグラフィーの再現性に関する実験方法

2-1の方法で脂溶性ビタミンの抽出・分離を行った(図6ア)。代谷ら(1972)より6つの色素が得られることがわかっているが(表1)、私たちは何度実験を行っても同じ結果が得られることがなく再現性が低く、脂溶性ビタミンが分離抽出できないという課題が見つかった。その原因として、抽出時にホウレンソウの細胞壁が破壊されておらず細胞内に含まれている色素が抽出されていない可能性と葉に付着した水分が抽出に影響している可能性を考えた。

そこで、抽出時にホウレンソウの細胞壁が破壊されておらず細胞内に含まれている色素が抽出されていない可能性を確認するため、冷凍したホウレンソウを実験に用い、細胞壁を物理的に破壊させた後、同様にペーパークロマトグラフィーを行った。僧都ら(2018)によると、冷凍することでできた氷の結晶が細胞壁を破壊していることが分かっている。その結果、脂溶性ビタミンを分離抽出することができた(図6イ)。このことから、細胞壁が破壊されたことが分離抽出に影響を及ぼしているのではないかと考え、細胞壁の破碎の有無を調べるための実験を行った。冷凍した試料を1cm各程度に切ったホウレンソウのシートを一枚入れて、10%食塩水1mLとともに遠心チューブに入れ、5分間遠心分離機にかけた(図7)。その結果、試料における色素の流出に顕著な差は見られなかった。この実験結果から、冷凍による細胞壁破壊は色素抽出に及ぼす影響が少ないことが分かった。色素抽出がうまくいかない原因として2つ目に、葉に付着した水分が色素抽出に影響を及ぼしている可能性を確認するために、試料の水分を乾燥させることにした。まず初めに120℃のオーブンで8分間乾燥処理した後、ペーパークロマトグラフィーで分離抽出を行った。その結果、代谷ら(1972)による色素数を得ることができた(図6ウ)。

また、より正確に実験を進めるためにペーパークロマトグラフィーより分離能に優れている薄層クロマトグラフィー(図6エ)を用いることにした。

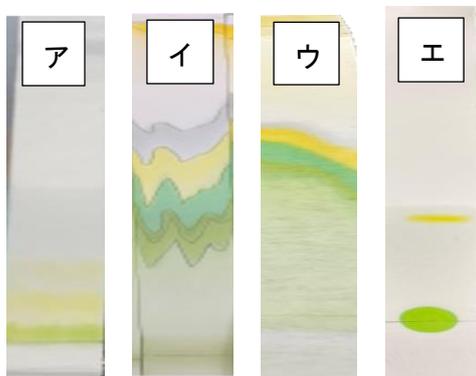


図6 脂溶性ビタミンのクロマトグラフィー

ア：コントロール イ：冷凍試料 ウ：乾燥試料  
エ：乾燥試料の薄層クロマトグラム

表1 試料に含まれる色素(代谷ら, 1972)

色素名	色	極大吸収波長(mμ)
βカロテン	橙	450
フェオフィチンa	暗緑	412
フェオフィチンb	—	—
キサントフィル	黄	448
クロロフィルa	緑	432
クロロフィルb	黄緑	455

※フェオフィチンbの記載はなし



図7 遠心分離した試料

## 2-3 トウモロコシに含まれるβカロテンの定量方法

次にクロマトグラフィーによって脂溶性ビタミンを分離することが可能になったため、脂溶性ビタミンの定量についての研究を行った。クロマトグラフィーによって脂溶性ビタミンを分離した後、βカロテンを定量するために、各成分がもつ極大吸収波長に着目した(図8)。

極大吸収波長からトウモロコシに含まれるβカロテン量を調べるためにβカロテンの検量線を引くことを試みた。まず、βカロテン1mgをヘキサン100mL溶かした標準溶液を作成し、1/2倍希釈、1/4倍希釈、1/8倍希釈、1/10倍希釈、1/16倍希釈、1/32倍に希釈した標準溶液(図9)の480nmにおける吸光度を分光光度計によって測定し、得られた吸光度とβカロテン濃度の検量線を作成した。ここで、

480nm における吸光度を測定したのは代谷ら (1972) によると  $\beta$  カロテンは 480nm で極大吸収波長を得ることが記されているからである。そして、実際にトウモロコシから分離抽出した  $\beta$  カロテンの 480 nm における吸光度の値を検量線に照らし合わせることで、トウモロコシに含まれる  $\beta$  カロテン量を定量することができるようになった。

## 2-4 光条件における $\beta$ カロテン量の変化

確立した  $\beta$  カロテンの定量方法を用いて  $\beta$  カロテン量と光の量の関係について実験を行った。トウモロコシ 1 株を半分に分け (図 10 左)、紫外線照射を 30 分行ったもの (図 10 右) と通常光条件のものそれぞれの  $\beta$  カロテン量を定量した。また、上記のものと同様にトウモロコシ 1 株を半分に分け暗黒状態で 21 時間置いたものと通常光条件のものそれぞれの  $\beta$  カロテン量を定量した。

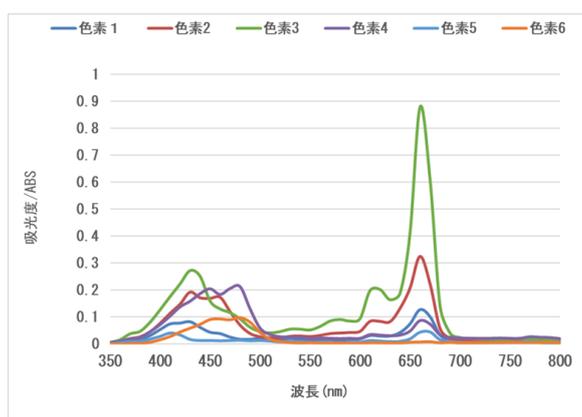


図 8 各色素成分の吸収スペクトル



図 9 希釈した標準溶液



図 10 トウモロコシの処理

左：株分け(半分) 右：紫外線照射

## 3. 実験結果

紫外線照射を 30 分行ったトウモロコシと通常光条件のトウモロコシでは、紫外線照射を行っていないトウモロコシは  $\beta$  カロテンの 480nm における吸光度は 0.067、紫外線照射を行ったトウモロコシは  $\beta$  カロテンの 480nm における吸光度は 0.111 になった (図 11)。よって、検量線に得た吸光度を代入して  $\beta$  カロテン濃度を求めた。9g あたり 9.27  $\mu$ g の  $\beta$  カロテンが含まれていることが分かった (図 12, 表 2)。一方、紫外線照射を行ったトウモロコシ 9g あたり 15.4  $\mu$ g の  $\beta$  カロテンが含まれていた。30 分の紫外線照射により、トウモロコシに含まれる  $\beta$  カロテン量が約 1.66 倍に増加することがわかった。この結果、アスコルビン酸同様に、紫外線照射によって  $\beta$  カロテンも増加することが示唆された。一方で、通常光条件のトウモロコシの 480nm における吸光度は 0.143、暗黒条件のトウモロコシの 480nm における吸光度は 0.094 であった (図 13)。よって、通常光条件のトウモロコシ 8g あたり 4.71  $\mu$ g の  $\beta$  カロテンが含まれており、暗黒条件ではトウモロコシ 8g あたり 3.10  $\mu$ g の  $\beta$  カロテンが含まれていた (図 14, 表 3)。

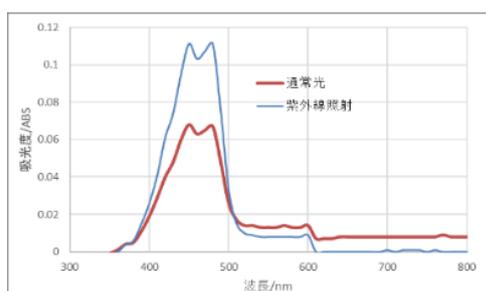


図 11 紫外線照射による効果

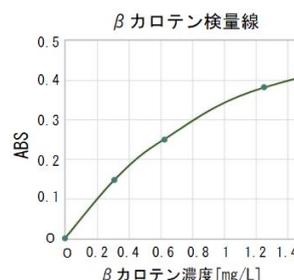


図 12  $\beta$  カロテンの定量(紫外線照射)

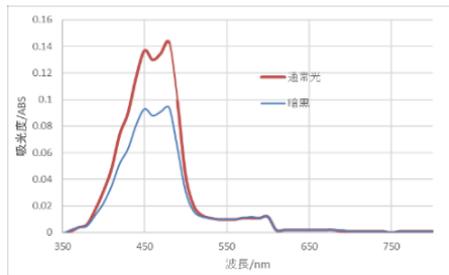


図 13 暗黒条件による影響

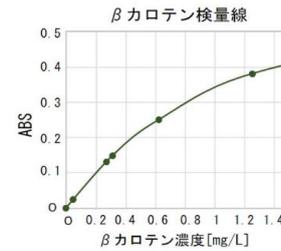


図 14  $\beta$ カロテンの定量（暗黒条件）

表 2 紫外線照射が $\beta$ カロテン量に及ぼす影響

	吸光度	$\beta$ カロテン量 ( $\mu\text{g}$ )	濃度 (mg/L)
紫外線あり	0.111	15.40	0.0526
紫外線なし	0.067	9.27	0.0316

表 3 暗黒条件が $\beta$ カロテン量に及ぼす影響

	吸光度	$\beta$ カロテン量 ( $\mu\text{g}$ )	濃度 (mg/L)
通常光	0.143	4.71	0.0678
暗黒	0.094	3.10	0.0445

#### 4. 考察

脂溶性ビタミンを分離抽出する際に、試料表面および試料内に含まれる水分が抽出溶媒中に混入することで、脂溶性ビタミンの抽出に影響し再現性を低くしている。よって、試料を乾燥させることで、水分量を減らすことが大切である。また、冷凍させた試料のクロマトグラフィーの再現性が高まったのは、葉の中の水分が外部に排出され、結果的に普通のホウレンソウよりも水分量が減ったためだと考える。

トウモロコシに 30 分間の紫外線照射を行うことで $\beta$ カロテン量が増加するのは、伊藤ら(2019)で示唆されるように、紫外線照射によって発生する活性酸素などから細胞を守る防御反応のために、 $\beta$ カロテン類やアスコルビン酸などの抗酸化物質を生合成するためのタンパク発現が活性化した結果、細胞内に $\beta$ カロテンが蓄えられるためであると考えられる。この結果から、アスコルビン酸以外でも細胞を守るための抗酸化作用を示す物質は、光照射によって瞬間的に増加する可能性が示唆された。そのため、野菜を調理する前の 30 分間で瞬間的に野菜の持つ栄養価を高められる可能性がある。また、光が当たらないと光合成がされないのでトウモロコシ内では栄養が作られず、その不足している栄養を補うためにもともとあった $\beta$ カロテンが消費され、 $\beta$ カロテン量が減ったのではないかと考えられる。この結果から、輸送する際、トラックの中は暗くなっているため野菜の持つ栄養価がへっている可能性が示唆される。

#### 5. 今後の展望

瞬間的な紫外線照射以外に紫外線を経時的に当てるなど、様々な光条件における $\beta$ カロテン量の変化を調べることで、栄養価を高めるための最適な光条件を見つけたい。そして、栄養価を高めるための野菜の栽培方法や輸送方法、保存方法などの提案を行うことで、人々の健康増進に繋がりたいと考えている。

#### 6. 参考文献

- ・伊藤祐希、藤原諒 (2019) 「異なる光条件下におけるシアノバクテリアに含まれるアスコルビン酸量に関する研究」『令和元年度愛媛県立松山南高等学校課題研究論文集』愛媛県立松山南高等学校
- ・黒田耕生、富田晃宏、澤原仁愛、河瀬茉結(2021) 「異なる光条件下におけるトウモロコシに含まれるアスコルビン酸量に関する研究」『令和元年度愛媛県立松山南高等学校課題研究論文集』愛媛県立松山南高等学校
- ・僧都博(2018) 「生細胞の凍結による障害と保護の機構」  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/18/2/18\\_2\\_78/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/18/2/18_2_78/_pdf/-char/ja)
- ・代谷沢、片岡慶子、勝元みどり(1972) 「ほうれん草の調理科学的研究」  
[http://repo.kyoto-wu.ac.jp/dspace/bitstream/11173/1227/1/0100\\_027\\_004.pdf](http://repo.kyoto-wu.ac.jp/dspace/bitstream/11173/1227/1/0100_027_004.pdf)

# 海洋プラスチックと有害物質の吸着～硫酸銅（Ⅱ）水溶液とヨウ素溶液を用いて～

愛媛県立松山南高等学校 SSH プラスチック班

堀田駿 高岡勇翔 土居拓久斗 大政玲空 指導教諭 兵頭英樹

## 1. はじめに

『マイクロプラスチック汚染の現状、国際動向と対策』（高田, 2018）および『マイクロプラスチックに吸着した有害物質の分析』（SHIMAZU）では酸化防止剤や難燃剤等の添加剤に由来する有害化学物質や周辺海水から吸着してきた疎水性の有害化学物質がプラスチックに吸着していること、また、海洋生物が食べることで生物の体内に有害物質が蓄積し生物濃縮が起こること、さらにその海洋生物を人間が食べて、被害が出る恐れがあるということが報告されている（図1）。本研究では、極大吸収波長での吸光度が溶液の濃度に比例することを利用して吸光度の変化から濃度の変化を見ることで、その変化から、海洋プラスチックに有害物質がどのくらい、またどのように吸着するのかを調べ、この結果からプラスチックの危険性を明らかにすることにした。また、生分解性プラスチックへの有害物質の吸着も調べて、生物への影響が少ないのかを調べることにした。

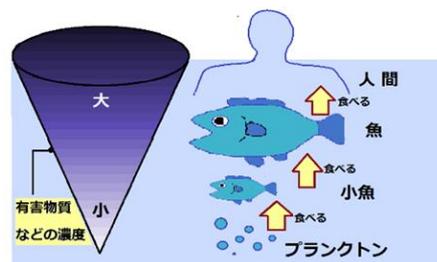


図1 汚染物質の蓄積

## 2. 研究項目・方法

### (1) 実験1：硫酸銅（Ⅱ）水溶液を用いた実験

ポリスチレン（以下、PS）、ポリエチレンテレフタレート（以下、PET）、生分解性プラスチック（ポリ乳酸）の三種類のプラスチックを用いた。表面積による吸着度の違いを無くすためにできる限り同じ大きさに切断した。0.05 mol/L の硫酸銅（Ⅱ）水溶液 10mL にプラスチックを浸し、劣化させるために紫外線を当てながらマグネチックスターラーを用いてかく拌した（図2）。10分、30分と時間を変えて実験を行った。吸光度計を用いて実験後の溶液の吸光度を計測した。



図2 実験の様子

### (2) 実験2：ヨウ素溶液を用いた実験

水と、少量のエタノールを混ぜたものにヨウ素を溶かし、 $1.6 \times 10^{-3}$  mol/L のヨウ素溶液を作った。そして実験1と同じPSをこのヨウ素溶液 10mL に浸し、実験①と同様に実験を行い、分光光度計で実験後の溶液の吸光度を計測した。また、実験②の後のPSについては愛媛大学教育学部に協力をお願いし、電子顕微鏡でPS表面を観察した。

## 3. 結果

### (1) 実験1：硫酸銅（Ⅱ）水溶液を用いた実験

実験後は吸光度が低くなるという仮説のもと実験を行うと、PS, PET, 生分解性プラスチックを浸した3つの水溶液とも極大吸収波長(810nm)での吸光度は原液よりも高くなるという結果になった（図3）。この実験で得られたデータをもとにグラフを作成したが、3つとも同じグラフになったので、PSを使ったもののグラフのみを載せている。この結果から、吸光度が上がった原因を突き止めるために追加の実験を行った。

(ア) 追加実験①

実験1で吸光度が上がったのは、硫酸銅(Ⅱ)水溶液は紫外線を当てると濃度が大きくなってしまい吸光度が上がってしまったのではないのかと考え、硫酸銅(Ⅱ)水溶液に直接紫外線を10分間当てながらマグネチックスターラーで回転させ、紫外線を当てず回転もさせてもいない原液の吸光度と比較した(図4)。図4より、吸光度が上がっていることがわかる。

(イ) 追加実験②

精製水にそのまま紫外線を照射するとオゾンが発生し吸光度が上がったのではと考え、精製水に直接紫外線を10分間当て、無処理の精製水と吸光度を比較した(図5)。図5より、吸光度に差はないことがわかる。

(ウ) 追加実験③(硫酸銅(Ⅱ)・五水和物の固体に着目)

実験1、追加実験①で吸光度が上がったのは、硫酸銅(Ⅱ)・五水和物がそもそも紫外線によって変質するからなのではないのかと考えた。硫酸銅(Ⅱ)五水和物の固体に直接紫外線を10分間照射した。その後、精製水に溶かし実験1と同じ濃度にしたものと、無処理の硫酸銅(Ⅱ)・五水和物を用いて同じ濃度にしたものとの吸光度を比較した(図6)。図6より、吸光度に差はないことがわかる。

(2) 実験2：ヨウ素溶液を用いた実験

私たちは測定開始後に吸光度が下がるという仮説を立てていた。仮説の通り極大吸収波長での吸光度は下がるという結果になった(図7)。図7から、無処理のヨウ素溶液原液とPSを入れてかく拌したものを比べると、極大吸収波長(500nm)での吸光度はPSを入れてかく拌したもののの方が低くなっている。

また、実験後のプラスチックの表面を電子顕微鏡で観察すると紫外線照射後のプラスチック表面が滑らかになっていることだけが分かった。

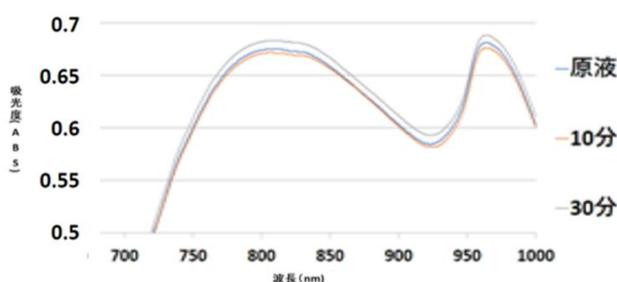


図3 硫酸銅(Ⅱ)水溶液を用いた実験結果

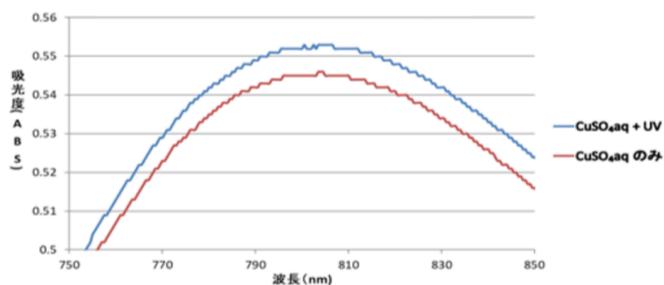


図4 硫酸銅(Ⅱ)水溶液に紫外線を照射した実験結果

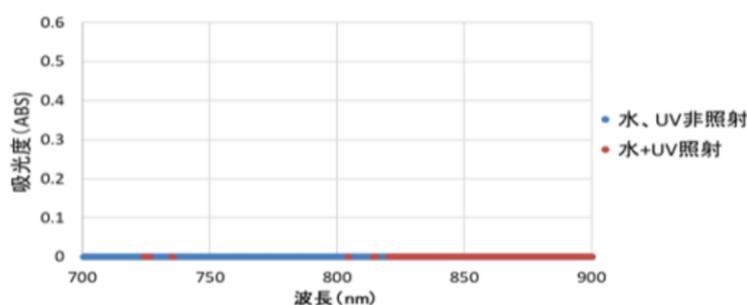


図5 紫外線を照射した精製水と非照射の精製水の吸光度の比較

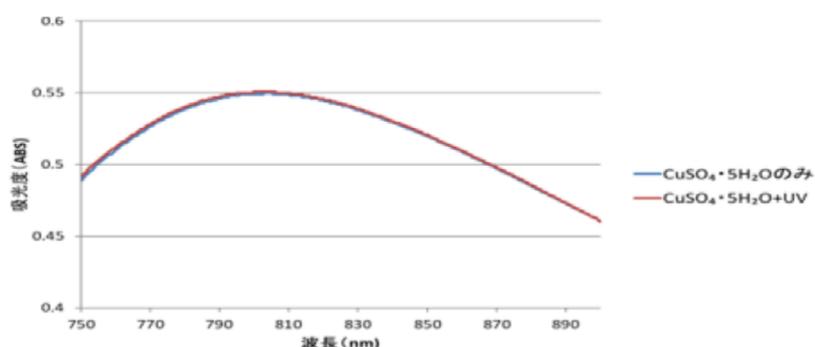


図6 溶解前の硫酸銅（Ⅱ）への紫外線照射の影響

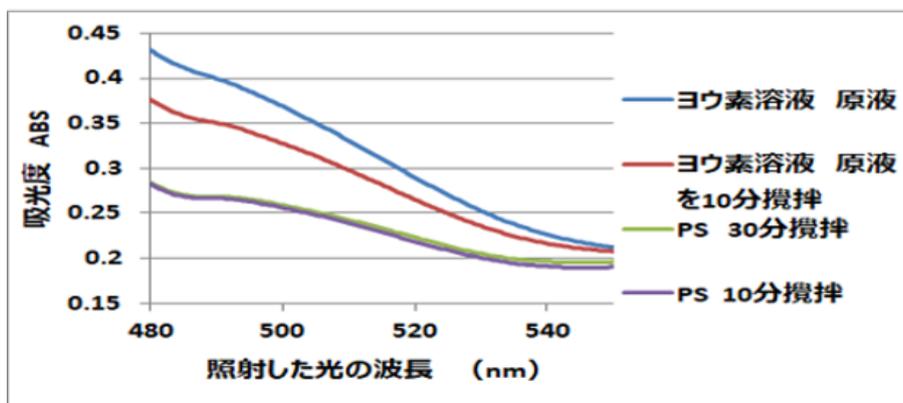


図7 ヨウ素溶液を用いた実験結果

#### 4. 考察

##### (1) 実験1：硫酸銅（Ⅱ）水溶液を用いた実験について

実験1で吸光度が上がったのは溶媒の水や硫酸銅（Ⅱ）五水和物に紫外線を当てると変化して濃度が大きくなるからではないかという仮説を立てて追加実験②と③を行った。追加実験②と③において条件を変えても吸光度の値に差はみられなかった（図5、図6）。このことから実験1でプラスチックを入れた硫酸銅（Ⅱ）水溶液の吸光度が原液と比べて上がった原因は、溶媒の水でも硫酸銅（Ⅱ）五水和物でもないと考えられる。ただし追加実験②と③の前に行った追加実験①

ではプラスチックを硫酸銅(Ⅱ)水溶液に入れなくても紫外線を当てるだけで吸光度は原液と比べて上がっている(図4)、硫酸銅(Ⅱ)水溶液の中に原因があると考えられる。今後は温度やかく拌速度、水や硫酸銅(Ⅱ)・五水和物以外の条件についても調べていきたい。

## (2) 実験2：ヨウ素溶液を用いた実験について

測定開始後にヨウ素溶液の極大吸収波長での吸光度が原液より低くなっていたことや実験後にヨウ素溶液中から取り出したPSが赤みがかかった黄色をしていたことから、ヨウ素はPSに吸着したと考えられる。今後は高性能の電子顕微鏡を用いてヨウ素がプラスチックに吸着している様子を確認し、撮影する。

## 5. まとめ

以上より、以下の3点が示唆された。今後は実験条件の改善を経て、試行回数を増やしプラスチックの危険性を明らかにしたい。

- (1) プラスチックに硫酸銅(Ⅱ)が吸着しているかは分からない。
- (2) 硫酸銅(Ⅱ)の吸光度が上がった理由として硫酸銅(Ⅱ)の水溶液の中に原因があると考えている。
- (3) ヨウ素の極大吸収波長での吸光度が原液よりも低くなっており、実験後のPSに色がついてることよりヨウ素がプラスチックに吸着していると考えている。

## 6. 参考文献

- ・青木 弘行, 吉田 旺弘, 鈴木 邁(1972)「プラスチックフィルムの劣化に関する速度論的考察」材料/21 巻 (1972) 223 号, p. 309-314  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms1963/21/223/21\\_223\\_309/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms1963/21/223/21_223_309/_pdf)
- ・高田秀重(2018)「マイクロプラスチック 汚染の現状、対策、国際動向」廃棄物資源循環学会誌/29 巻 (2018) 4 号, p. 261-269  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/mcwmr/29/4/29\\_261/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/mcwmr/29/4/29_261/_pdf/-char/ja)
- ・安部郁夫(2002)「吸着の化学」オレオサイエンス/2 巻 (2002) 5 号, p. 275-281  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/oleoscience/2/5/2\\_275/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/oleoscience/2/5/2_275/_article/-char/ja/)

# ゼーゲル式を用いた銅の発色(青～緑)に関する研究

## — 緑色に発色する釉薬の開発 —

愛媛県立松山南高等学校 小梅ブラザーズ

中村光汰 西坂大樹 廣瀬蓮 指導教諭 石丸靖夫

### 1. はじめに

先行研究<sup>1)2)</sup>を参考にしたイチョウの葉の灰を使った実験で、酸化銅(Ⅱ)の発色が、福島長石(以後長石)との混合ではマット調の緑色、ガラス粉(以後フリット)との混合では透明な青色になることがわかった。この発色の違いに疑問を感じ、自分たちが作った釉薬のゼーゲル式を作成し<sup>3)</sup>、それをグラフ上に表示することで、釉薬のゼーゲル式と発色の関係を解明することを目標として研究を行った。さらに、廃棄される七折梅の枝の灰を用いて、七折小梅(図1, 図2)のような緑色に発色する釉薬の開発を目標に研究を行った。



図1 七折小梅

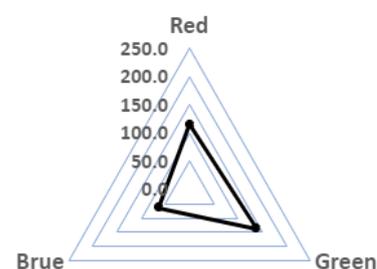


図2 七折小梅のRGB

なお釉薬とは陶器の表面に塗るもので、陶器を保護するガラス層のことであり、ゼーゲル式とは釉薬に含まれるアルカリ酸化物の合計を1molとしたときのSiO<sub>2</sub>(シリカ)とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(アルミナ)の量(mol)を表したものである。

### 2. 予備実験

梅の枝の灰とフリット(または長石)を2:8で混合し、酸化銅(Ⅱ)の割合を変更して素焼板に15秒間掛けたものを1250℃で還元焼成した。それぞれの釉薬のゼーゲル式を図3および表1・表2に示し、発色をRGBレーダーチャートで表した(図4~7)。この実験でのフリットの位置(①)長石の位置(④)を基準とし、フリットを用いて④の位置で小梅のような緑色に発色する釉薬の開発を目標に研究を行った。また今後は、この実験でフリットを用いたときに最も発色が良いと感じた酸化銅(Ⅱ)3%を使用する。

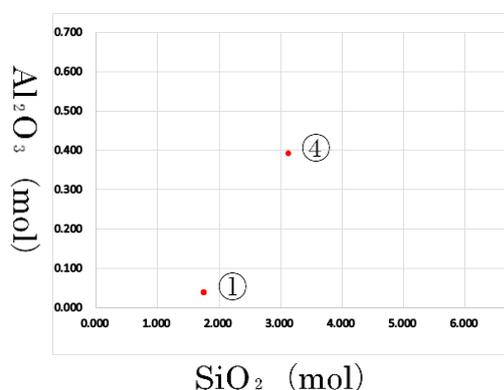


図3 ゼーゲル式のグラフ

表1 ①のゼーゲル式

0.35(mol)Na <sub>2</sub> O	} 3.13(mol)SiO <sub>2</sub>	
0.08(mol)MgO		0.39(mol)Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.57(mol)CaO		

表2 ④のゼーゲル式

0.31(mol)Na <sub>2</sub> O	} 1.75(mol)SiO <sub>2</sub>	
0.18(mol)MgO		0.04(mol)Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.51(mol)CaO		



図4 ①の釉薬

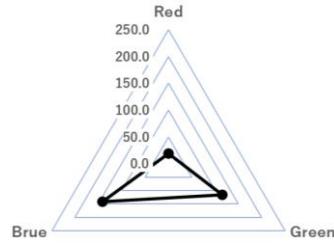


図5 ①のRGB



図6 ④の釉薬

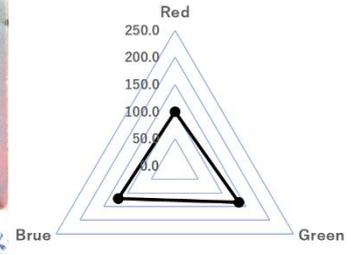


図7 ④のRGB

### 3. 本実験

#### (1) 実験1 ゼーゲル式のグラフ上の位置変更による発色の違い

ゼーゲル式のグラフ(図8)において、フリットの釉薬に $\text{SiO}_2$ (シリカ)と $\text{Al}_2\text{O}_3$ (アルミナ)を加えて、フリットの位置(①)から長石の位置(④)まで等間隔になるように②、③を調整した。また、同じように④の位置を超えて⑤、⑥を設定した。さらに、⑤、⑥の釉薬にシリカと媒溶剤の $\text{Li}_2\text{O}$ を加えて、④の位置に調整したものを⑦、⑧とした。(⑤→⑦、⑥→⑧)

①から⑥にかけて青色から緑色に変化した(図9)。⑦、⑧では、④と同じような緑色の発色が見られた(図10~図12)。

#### (2) 実験2 ⑥から④の位置変更(⑧)での媒溶剤の種類と混合比の変化による発色の違い

実験1の④の釉薬のRGBの値が小梅のもの(図2)と違っていたので、媒溶剤の種類と混合比を変化させることで発色にどのような違いがあるかを調べた。

実験1では⑥から④まで移動させるときに媒溶剤として $\text{Li}_2\text{O}$ のみを使用したが、 $\text{Li}_2\text{O}$ と $\text{MgO}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ と $\text{ZnO}$ の混合物に変更し、その混合比も変更した。

どの釉薬でも同じような緑色の発色が見られた(図13~図16)。しかし、 $\text{Li}_2\text{O}:\text{MgO}$ が1:3のときは1:1のときと比べ光沢が消え、透明釉からマット釉に変化した。

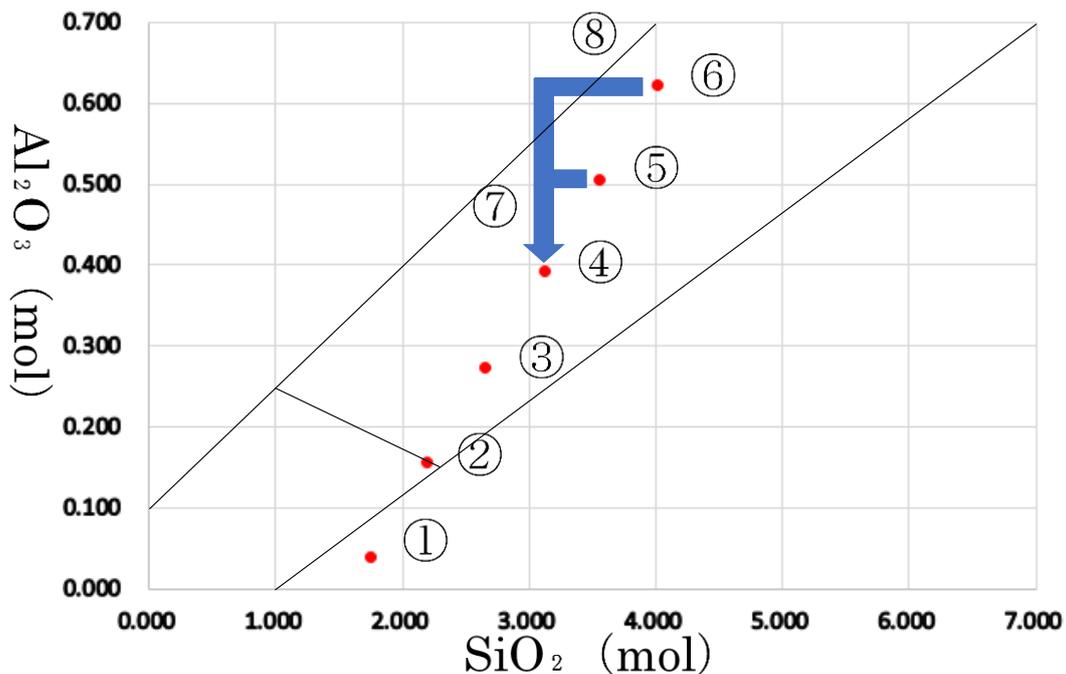


図8 実験1のゼーゲル式のグラフ

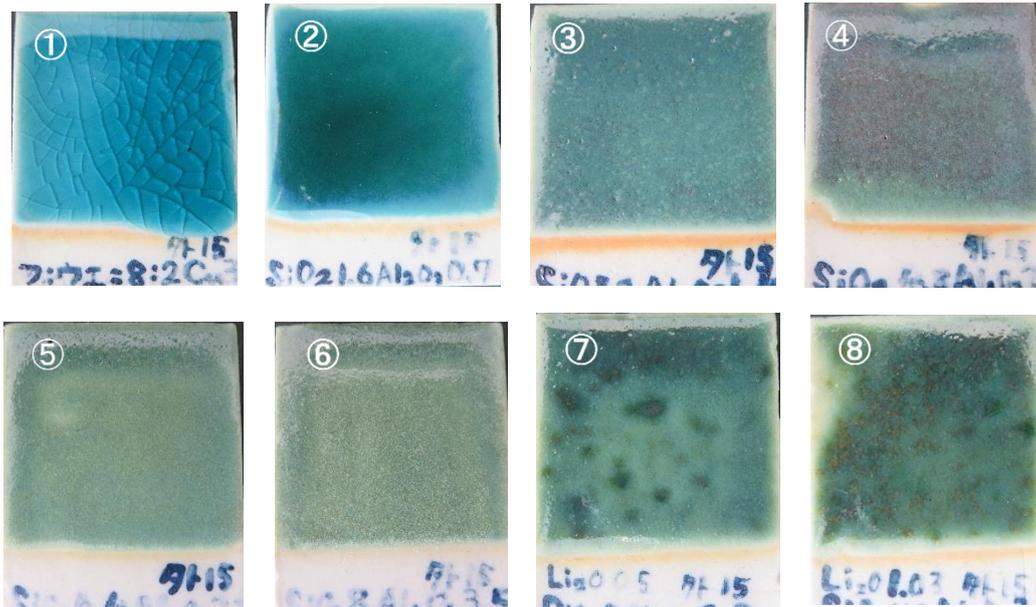


図9 実験1の結果（発色の違い）



図10 ④のRGB



図11 ⑦のRGB

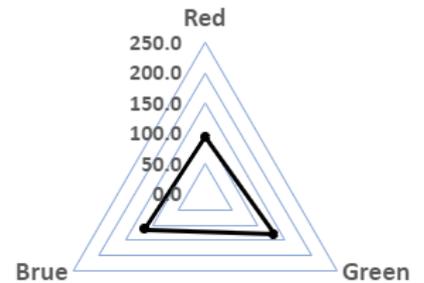


図12 ⑧のRGB

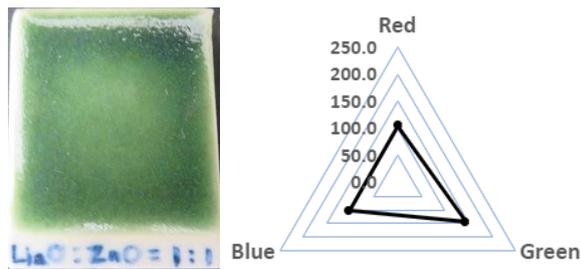


図13  $\text{Li}_2\text{O} : \text{ZnO} = 1 : 1$

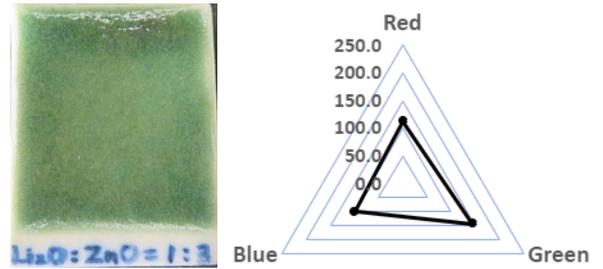


図14  $\text{Li}_2\text{O} : \text{ZnO} = 1 : 3$

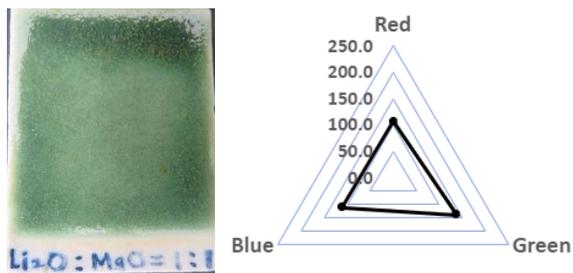


図15  $\text{Li}_2\text{O} : \text{MgO} = 1 : 1$

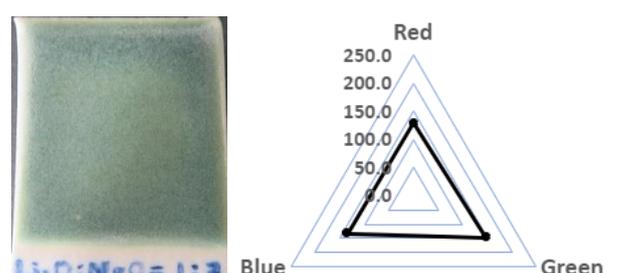


図16  $\text{Li}_2\text{O} : \text{MgO} = 1 : 3$

#### 4. まとめ

実験1より、ゼーゲル式のグラフの点①から⑥にかけて青色から緑色という発色の傾向が見られた(図9)。また実験2より、媒溶剤などを変えてもゼーゲル式のグラフの点を④に統一すると同じような発色が見られることが分かった(図13~図16)。これらのことから、予備実験のフリット(①)と長石(④)を用いたときの銅の発色の違いは、釉薬に含まれるアルカリ酸化物の量に関係なく、シリカとアルミナの量によることが分かった。

実験2より、媒溶剤を用いるときに $\text{Li}_2\text{O}$ に対する $\text{ZnO}$ の割合を変化させてもあまり変化はなかった(図13, 図14)。しかし、 $\text{Li}_2\text{O}$ に対する $\text{MgO}$ の割合を増やすと光沢が消え、透明釉からマット釉に変化することが分かった(図15, 図16)。

今後も、ゼーゲル式のグラフ上の点の位置を動かすことによって小梅のような緑色を出すことを目標に研究を行っていきたい。また、媒溶剤の種類と混合比を変えることによって小梅のような質感も追及していきたい。

#### 5. 謝辞

農事組合法人「ななおれ梅組合」の方々に梅の枝を提供していただきました。そして、愛媛県産業技術研究所窯業技術センターの方々に灰の含有成分の分析をしていただきました。また、愛媛県立松山南高等学校砥部分校の鳥谷先生にご協力いただきました。感謝申し上げます。

#### 6. 参考文献

- 1) 熊谷響輝・吉田匡希・渡部華夏(2020)「ゼーゲル式を用いた赤色釉薬の研究」『令和元年度愛媛県立松山南高等学校理数科課題研究論文集』愛媛県立松山南高等学校 p. 22-25.
- 2) 大西黎・角川陽太・増田希美・松浦瑠音・山田佳明(2021)「媒溶剤が鉄(II)イオンの発色に及ぼす影響の研究」『令和2年度愛媛県立松山南高等学校理数科課題研究論文集』愛媛県立松山南高等学校 p. 36-39.
- 3) 樋口わかな(2007)『焼き物実践ガイド：陶器作りますます上達』誠文堂新光社

# 動物繊維の可能性～ミノ糸とクモ糸の特性より～

愛媛県立松山南高等学校 シルク班

西岡愛佳 明神莉々花 渡部華子 指導教諭 佐々木謙一

## 1. はじめに

先行研究<sup>1)</sup>より、現在ミノムシ糸の方がクモ糸を超える強さを持っていることが分かっている。また、クモ糸に紫外線を照射することで照射後の破断強度が増加することからミノムシ糸にも紫外線を照射することで破断強度が増加するのではないかという仮説を立てて、本研究を始めた。ミノムシ糸は石油などから人工的に作る糸ではないため、生産過程でのCO<sub>2</sub>放出を削減し、地球温暖化防止に繋がる。また、将来は、現在の洋服などに使われるよりも頑丈な繊維で洋服を作ることができないかと考える。



図1 アシナガグモ



図2 チャミノガ

## 2. 研究項目・方法

### (1) ミノムシとクモの体長と糸の太さの相関

ミノムシとクモの体長を測定する。ミノムシは黒フェルトと透明な下敷きを重ねた上を歩かせ、クモは四角形に折ったストローに巻き付けてそれぞれ糸を採取する。顕微鏡でマイクロメータを用いて糸の太さを測る。体長が大きいミノムシほどミノムシ糸の太さは太くなるのか、体長が大きいクモほどクモ糸の太さは太くなるのかを明らかにした。

### (2) ミノムシとクモの体重と糸の太さの相関

ミノムシとクモの体重を測定する。(1)と同様にしてミノムシ糸とクモ糸を採取し、顕微鏡でマイクロメータを用いて糸の太さを測る。体重が大きいミノムシほどミノムシ糸の太さは太くなるのか、体重が大きいクモほどクモ糸の太さは太くなるのかを明らかにした。

### (3) クモ糸の紫外線照射前後の強度変化

クモをストローにぶら下げて糸を100回巻き取る。採取した糸を一つに束ね、フォースセンサーを用いて破断強度を測る。これを紫外線を当てていないクモ糸の破断強度とする。採取した糸を巻き付けたストローに254nmの紫外線を1時間照射する。紫外線照射した糸を束ね、フォースセンサーを用いて破断強度を測る。これを紫外線を照射したクモ糸の破断強度とする。紫外線を照射したクモ糸と照射していないクモ糸の破断強度を比較する。紫外線を照射するとクモ糸の破断強度が強くなったことを確認することで先行研究の信憑性をより確かにした。

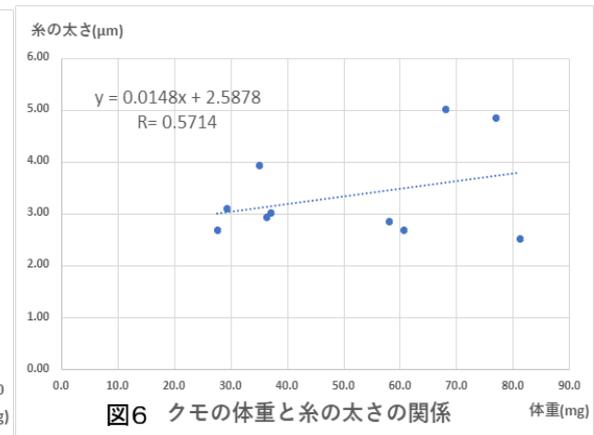
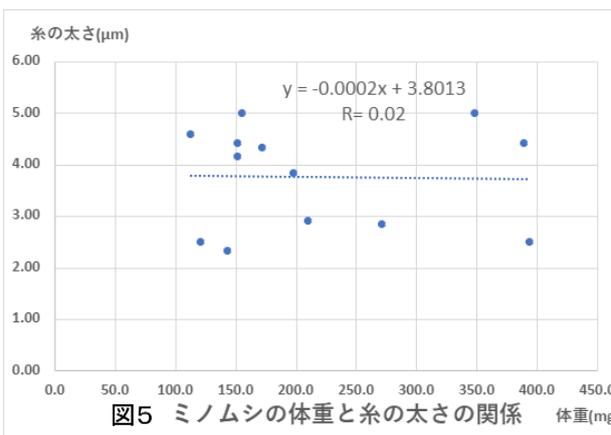
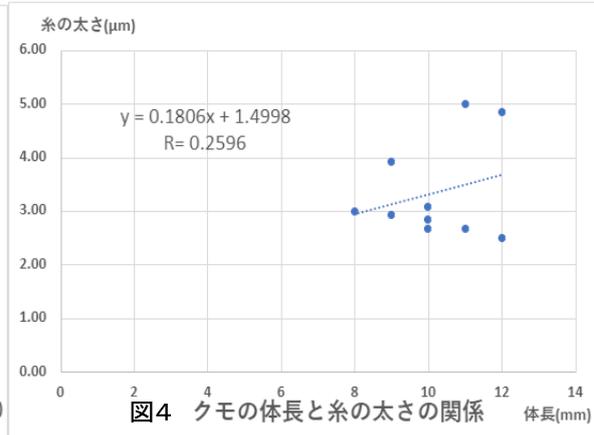
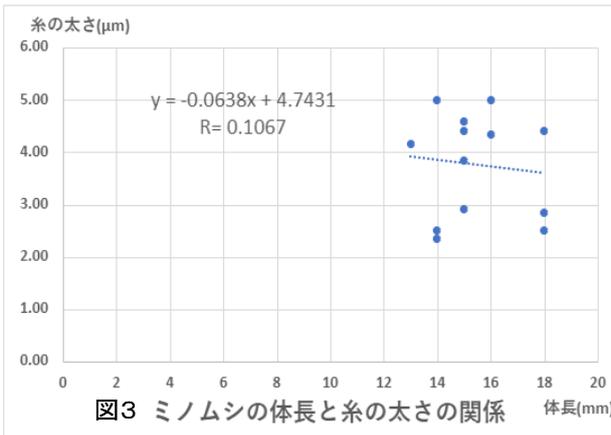
### (4) ミノムシ糸の紫外線照射前後の強度変化

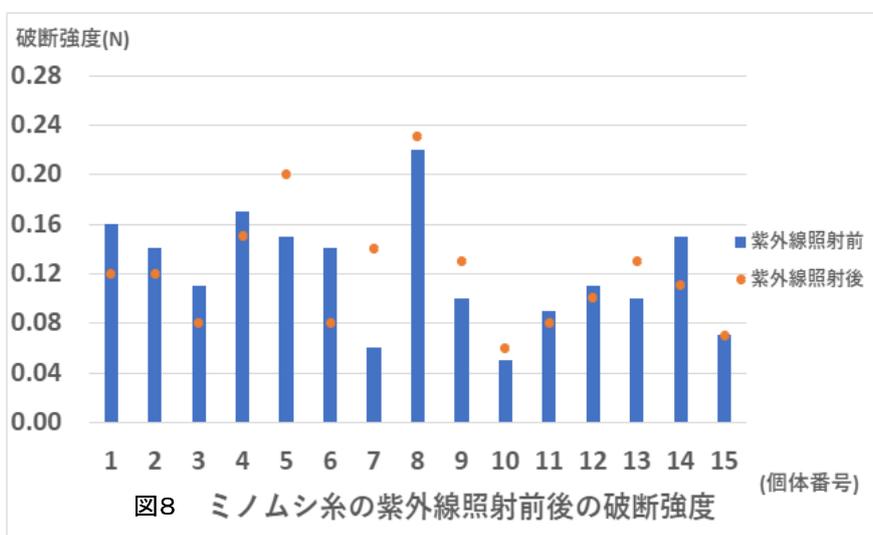
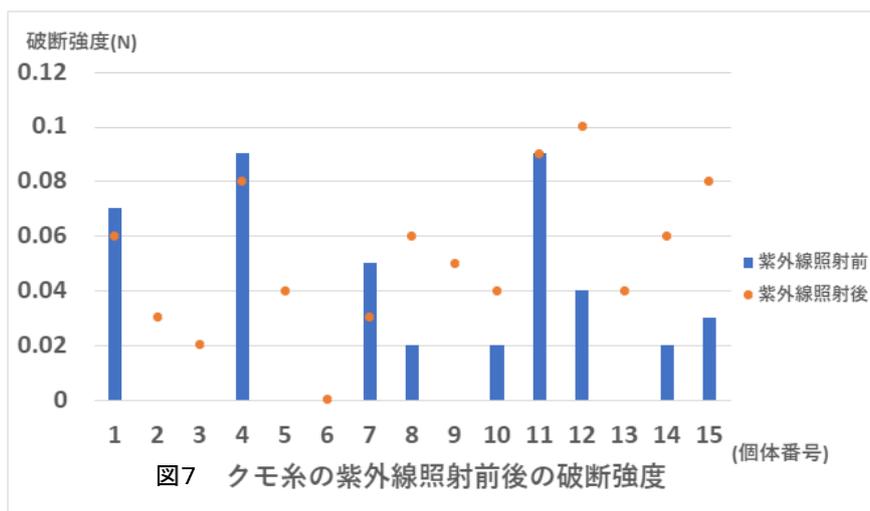
ミノムシを銅線にぶら下げて糸を100回巻き取る。採取した糸を一つに束ね、フォースセンサーを用いて破断強度を測る。これを紫外線に当てていないミノムシ糸の破断強度とする。採取した糸を巻き付けたストローに254nmの紫外線を1時間照射する。紫外線照射した糸を束ね、フォースセンサーを用いて破断強度を測る。これを紫外線を照射したミノムシ糸の破断強度とする。紫外線を照射したミノムシ糸と照射していないミノムシ糸の破断強度を比較する。

ミノムシ糸もクモ糸同様紫外線を照射すると破断強度が強くなるかを調べた。

### 3. 結果

- (1) ミノムシの体長と糸の太さとの関係を回帰直線で求めたところ相関係数=0.1067 でほぼ相関がなく(図3)、クモの体長と糸の太さとの関係を回帰直線で求めたところ相関係数=0.2596 で弱い相関があった(図4)。
- (2) ミノムシの体重と糸の太さとの関係を回帰直線で求めたところ相関係数=0.02 とほぼ相関がなく(図5)、クモの体重と糸の太さとの関係を回帰直線で求めたところ相関係数=0.5714 でやや強い相関があった(図6)。
- (3) ほとんどの個体で紫外線照射後の方が破断強度は強くなった。また、個体番号 2, 3, 5, 6, 9, 13 の紫外線照射前の値が 0N である。これは、フォースセンサーの測定最低値が 0.01N のため実際の破断強度がそれ以下で測定値が表示されなかったと考える(図7)。
- (4) 15 個体中 9 個体は紫外線照射後のほうが破断強度が弱くなり、6 個体は紫外線照射後のほうが破断強度が強くなり、個体によって紫外線照射後の破断強度の変化にはばらつきがあった。(図8)。





#### 4. 考察

##### (1) ミノムシとクモの体長と糸の太さの相関

ミノムシの体長と糸の太さにはほぼ相関がなかった。このことから、ミノムシの体長はミノムシ糸の太さに影響を及ぼさないと示唆された。クモの体長と糸の太さには弱い相関があった。このことから、クモの体長はクモ糸の太さに影響を及ぼす可能性があるとして示唆された。体長の大きいクモほど栄養状態が高く、より太い糸を作り出すことが可能になるのではないかと考えた。

##### (2) ミノムシとクモの体重と糸の太さの相関

ミノムシの体重と糸の太さにはほぼ相関がなかった。このことから、ミノムシの体重はミノムシ糸の太さに影響を及ぼさないと示唆された。クモの体重とクモ糸の太さには強い相関がみられた。このことから、クモの体重はクモ糸の太さに影響を及ぼすと示唆された。体長同様、体重の大きいクモほど栄養状態が高く、より太い糸を作り出すことが可能になるのではないかと考えた。

##### (3) クモ糸の紫外線照射前後の強度変化

クモ糸に紫外線を照射することで破断強度が強くなった。このことから、クモ糸は日ごろから

日光下で使用され紫外線に当たる時間が長いと紫外線による増強効果があるのではないかと示唆された。

#### (4) ミノムシ糸の紫外線照射前後の強度変化

ミノムシ糸に紫外線を照射すると、15 個体中 9 個体は紫外線照射後のほうが破断強度が弱くなり、6 個体は紫外線照射後のほうが破断強度が強くなり破断強度の変化にはばらつきがあった。半数以上のミノムシ糸が紫外線を照射することで破断強度が弱くなったことからミノムシ糸に紫外線を照射すると破断強度が弱くなると考える。ミノムシは日ごろからミノの中で生活し、ミノの中では紫外線がほぼ紫外線が当たらないため増強効果を持ち合わせていないのではないかと考える。

## 5. まとめ

クモ糸に紫外線を照射すると破断強度が強くなり、ミノムシ糸に紫外線を照射すると破断強度の変化にはばらつきがあったため必ずしも紫外線照射後の破断強度が強くなるとは限らないことがわかった。また、今後の課題としてミノムシ糸に 365nm の紫外線を照射する。254nm で実験を行ったところ破断強度の変化にはばらつきがあったため、さらに弱い 365nm の紫外線を照射することで破断強度が強くなるのか調べていきたいと考える。

## 6. 参考文献

- 1) Taiyo Yoshida, Takuya Tsubota, Kohji Tashiro, Akiya Joraku & Tsunanori Kameda (2019). A study of extraordinarily strong and tough silk produced by bagworms. *Nature Communications*, 10(1469).
- 2) 鎌田航己、二村佳杏、山川さくら (2020). 「クモの牽引糸の破断強度とその増強」『令和元年度愛媛県立松山南高等学校理数科課題研究論文集』愛媛県立松山南高等学校, p. 34-37.
- 3) 大崎茂芳(2015) 「クモ糸の不思議」日本家政学会誌, 66(10), 521-528.

# 日本近海における貝類の漁獲量変化と北上化

愛媛県立松山南高等学校 海洋班

伊藤望音 上杉斗輝 大石歩樹 佐藤照通 王栩隠 指導教諭 若山勇太

## 1. はじめに

2001年4月に発表されたIPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告書では、地球温暖化によって100年後には海面水温が約3℃上昇することが報告されている（IPCC編, 2001）。また、水温上昇の影響で、非回遊生物であるサンゴが北上していることが先行研究より報告されている（山野, 2011）（図1）。そこで私たちはその他の水産生物でも同様の北上化がみられるのではないかと仮定し、サンゴと同じ非回遊生物である貝類（北上化の傾向がみられたため特にアワビ）に注目してその可能性を探究した。

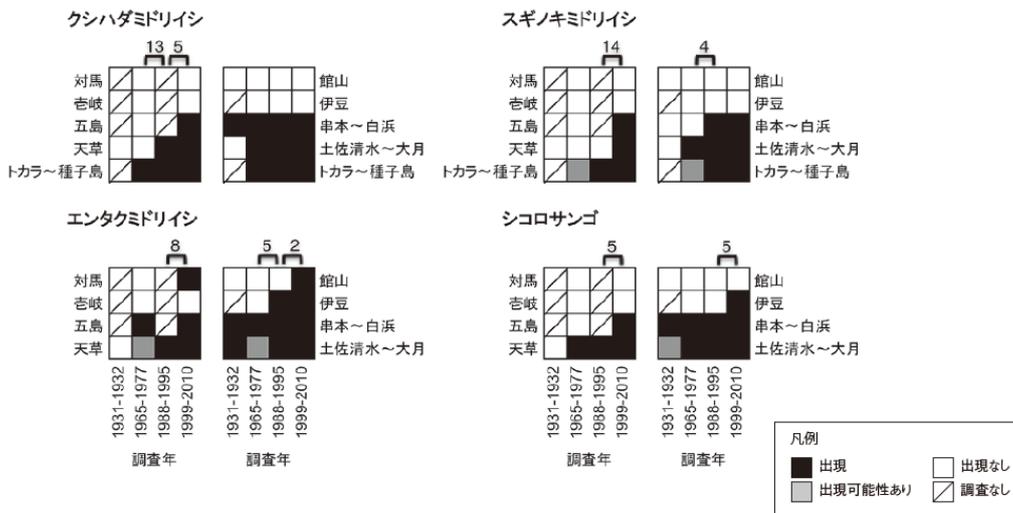


図1 1930年代から現在にかけての各調査地のサンゴ出現の変化（山野, 2011）

分布拡大を示した4種の変化を示す。数字は各調査年間の北上速度（km/年）

## 2. 方法

### (1) 貝類の漁獲量変化の分析

e-Stat 政府統計の総合窓口の海面漁業生産統計調査および海面漁業魚種別漁獲量累年統計調査（都道府県別）を用いて、全国各地の貝類の漁獲量変化を分析した。私たちが特に注目したのは、統計期間（1960年～2015年）において漁獲量が大幅に減少していたアサリとアワビである。さらにサザエを加えた3種を対象として、海洋や緯度による漁獲量の変化を分析し、北上化の傾向があるかを考察した。また、e-Stat 政府統計の総合窓口の漁業構造動態調査および漁業就業者動向調査から漁業就業者推移と貝類漁獲量変化の関係を調べた。

### (2) 漁獲量減少と北上化の原因探究

e-Stat 政府統計の総合窓口の海面漁業生産統計調査および海面漁業魚種別漁獲量累年統計調査（都道府県別）より、アワビの餌となる「海藻類」の全国各地の漁獲量変化や、気象庁「海面水温の長期変化傾向（日本近海）」のデータを用いて、海藻類漁獲量変化とアワビの漁獲量変化の関係、海面水温上昇による北上化への影響について考察した。

## 3. 結果

### (1) アサリの漁獲量変化

アサリは全国的に漁獲量が激減し、特に1985年から1990年にかけて日本海での漁獲量が半減した

(図2)。また、1960年から1970年にかけては北緯35度～40度(N35～40)での漁獲が中心だったが、1970年以降にはN30～35が中心となった(図3)。

(2) アワビの漁獲量変化

アワビは1985年から1995年にかけて漁獲量が減少し、特に1995年に日本海、瀬戸内海での漁獲量が半減した(図4)。また、1970年をピークにして漁獲量が減少していたが、2000年以降はN35～40、N40～45での漁獲量が増加傾向にある(図5)。

(3) サザエの漁獲量変化

サザエは1960年から1980年にかけて漁獲量が増加し、その後は比較的高水準を維持したが、2000年を境に日本海での漁獲量が減少した(図6)。また、1975年から1980年にかけてN35～40での漁獲量が増加し全国的にピークを迎えたが、N30～35、N35～40の漁獲量が徐々に減少している(図7)。

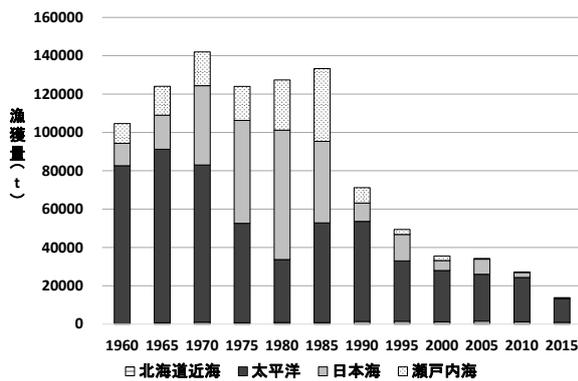


図2 アサリの漁獲量変化(海洋別)

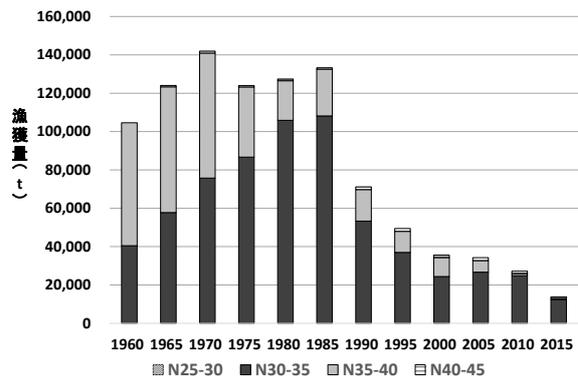


図3 アサリの漁獲量変化(緯度別)

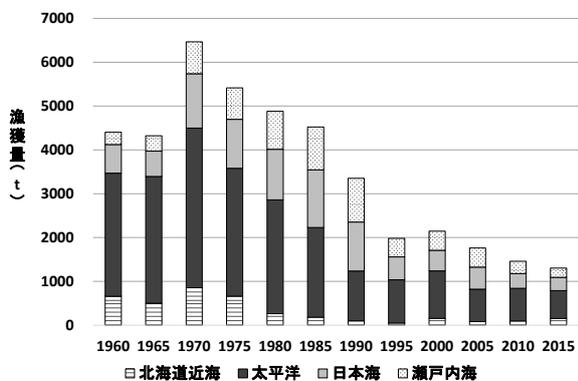


図4 アワビの漁獲量変化(海洋別)

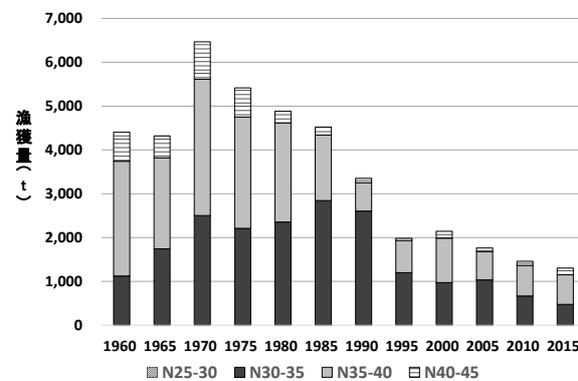


図5 アワビの漁獲量変化(緯度別)

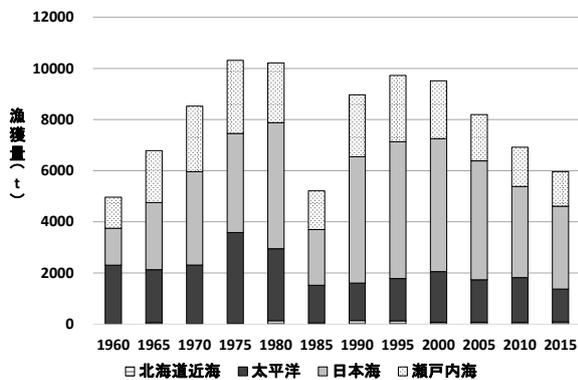


図6 サザエの漁獲量変化(海洋別)

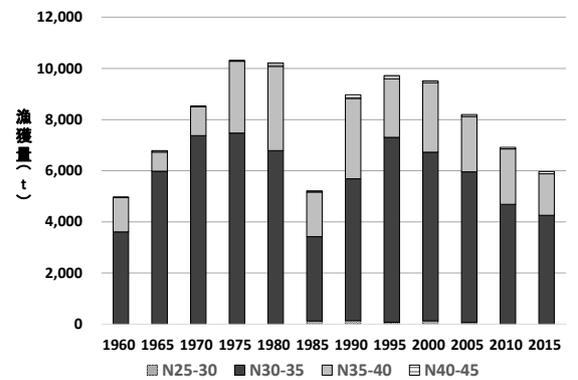


図7 サザエの漁獲量変化(緯度別)

#### 4. 考察

##### (1) アワビの北上化の可能性

以上の事から、アサリとサザエには北上化の傾向はみられなかった。一方でアワビは、1990年代以降東北地方(N35-40)での漁獲量が増加傾向にあるとともに、日本海沿岸での漁獲量の減少が鈍化していることから、他の2種とは異なり北上化が示唆された(図8)。

##### (2) 漁業就業者の減少

漁業就業者が1965年から1975年までは、約2万人/年、1975年以降は約1万人/年ずつ減少しており、貝類の漁獲量の大幅な減少に影響を与えていると推察する(表1)。

##### (3) 海藻類の漁獲量変化

アワビが捕食する海藻類の漁獲量変化について、アワビは1985年~1995年にかけて、海藻類は1990年~1995年にかけてそれぞれ減少している(図4, 図5, 図9)。アワビの北上化への直接的な原因とは言えないが、アワビの漁獲量減少への影響があるのではないかと推察している。

##### (4) 海面水温の上昇の影響

海面水温の推移について、近年、日本海の平均海水温が全国平均に対して上昇傾向にあり(図10)、海面水温上昇がアワビの北上化に影響を及ぼしている可能性がある。また、日本各地のクロアワビの成長を比較した結果から、水温が20℃前後の期間が長い海域で成長が良く、22℃以上の期間が長い海域では成長が悪い傾向があるとされる(清本ら, 2012)。以上より、日本海の海面水温上昇がアワビの北上化に影響を与えている可能性がある。

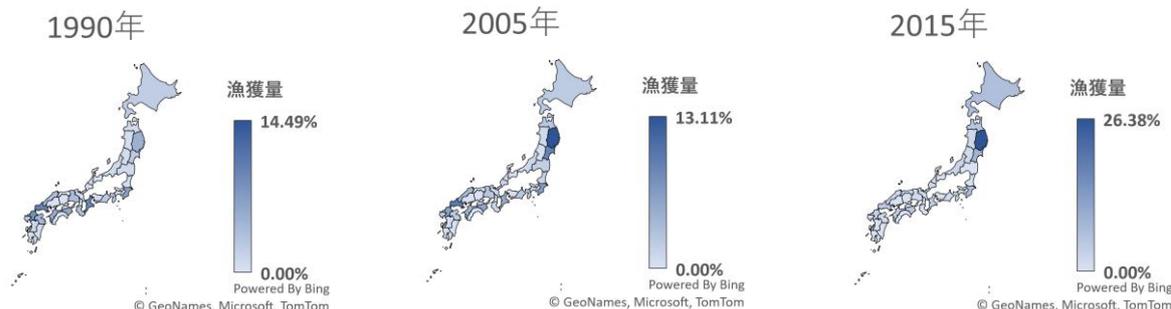


図8 アワビの北上化の可能性

表1 漁業就業者数の推移

	従事者数(千人)
1965年	762
1970年	676
1975年	584
1980年	538
1985年	507
1990年	437
1995年	356
2000年	304

e-Stat 漁業構造動態調査より

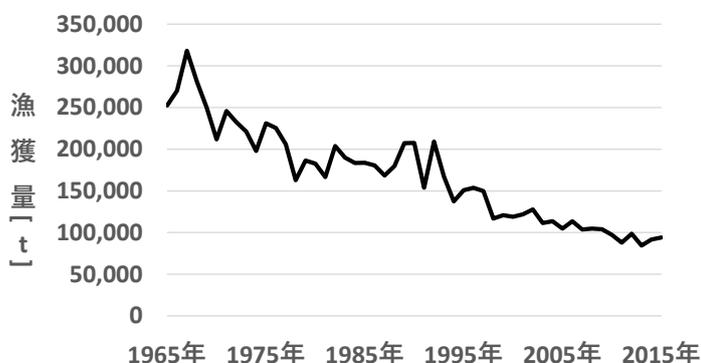


図9 海藻類の漁獲量変化(全国)

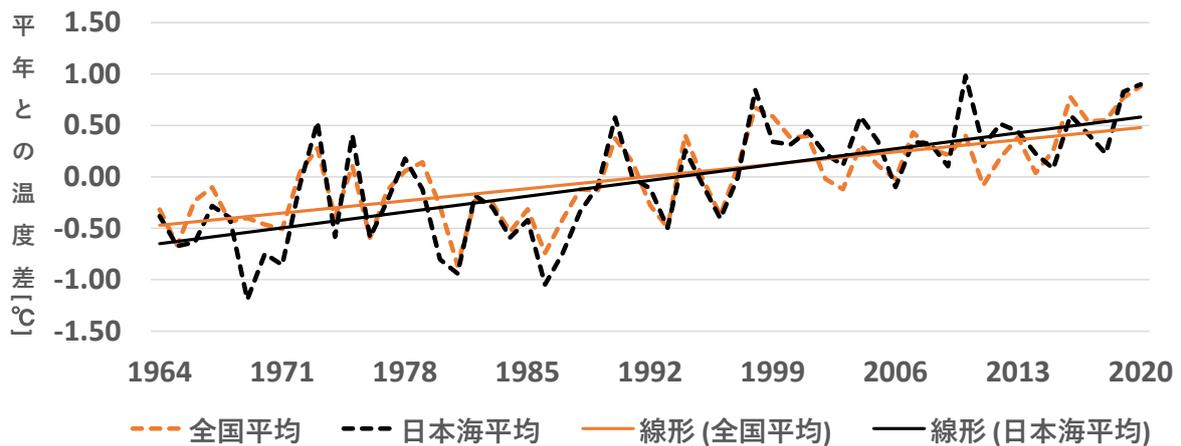


図 10 日本海の海面水温変化の推移

## 5. まとめ

- (1) アサリとサザエには北上化の傾向は見られなかった。一方でアワビは北上化の傾向が見られた。
- (2) 漁業就業者の減少と、餌となる海藻類の減少が、貝類(特にアワビ)の漁獲量変化に影響を与えている。
- (3) 日本海の海面水温上昇がアワビの生態に影響を及ぼし、北上化の原因となる可能性が示唆された。
- (4) 今後は日本海沿岸や東北地方を対象を絞り、さらにローカルなデータ分析を行い、アワビの北上化の可能性について探究していきたい。

## 6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、岩尾研二氏（元阿嘉島臨海研究所）ならびに大本将人氏（愛媛県立野村高等学校）に文献の提供や指導助言をいただいた。心から感謝申し上げます。

## 7. 参考文献および参照したサイト

- ・ IPCC 編, 気象庁・環境省・経済産業省監修, 気象庁 (ほか) 訳 (2001) 「IPCC 地球温暖化第 3 次レポート気候変化 2001」 p. 289.
- ・ 清本節夫・村上恵祐・木村量・丹羽健太郎・薄浩則 (2012) 「異なる水温および給餌条件下における暖流系アワビの成熟と成長」『アワビ類の資源管理・増殖に関する新たな研究展開』日本水産学会, 78(6), 1198-1201.
- ・ 山野博哉 (2011) 「サンゴ分布北上検出までの長い道のり、そしてこれから」特定非営利活動法人 OWS の会報「季刊エブオブ」 vol. 41, p. 2-5.
- ・ e-Stat 政府統計の総合窓口 <https://www.e-stat.go.jp/>  
「海面漁業魚種別漁獲量累年統計(都道府県別) 全国～沖縄(1956年～2015年) データベース」  
(最終閲覧日: 2021年3月14日) (図1～図8の作成に利用)  
「漁業雇われ就業者数 xls.」 (最終閲覧日: 2021年7月19日) (表1の作成に利用)  
「自営漁業就業者数 xls.」 (最終閲覧日: 2021年7月19日) (表1の作成に利用)
- ・ 気象庁「海面水温の長期変化傾向(日本近海)」  
[http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a\\_1/japan\\_warm/japan\\_warm.html](http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html)  
(最終閲覧日: 2021年7月19日) (図9の作成に利用)

# 玄米の発芽期間の違いによる抗アレルギー作用の変化

愛媛県立松山南高等学校 玄米班

今井陽翔 井上隼 岡大翔 カンシエロズ 篠崎藍人 指導教諭 山崎涼

## 1. はじめに

アレルギーは「免疫反応に基づく生体に対する全身的または局所的な障害」と定義される<sup>1)</sup>。そのようなアレルギーの疾患をもつ人が数多くいる現状<sup>2)</sup>で、コメという身近なものでアレルギーを抑制することに価値を見出した。

アレルギー反応は次のような仕組みで起こる。体内に侵入した抗原に反応して作られた抗体がマスト細胞等に付着し、その抗体に再び侵入した抗原が付着したときにマスト細胞等はヒスタミン等を放出する。このヒスタミンと呼ばれる物質がアレルギーの諸症状を引き起こす(図1)。よってヒスタミンの放出を抑制することで、アレルギー反応を抑制することができる。

発芽玄米はGABAを含んでおり、GABA(γ-アミノ酪酸)はマスト細胞のヒスタミン遊離を抑制すること等により抗アレルギー作用を発揮することが確かめられている<sup>3)</sup>。しかし、発芽玄米本体が抗アレルギー作用を持つかはこれまでに調べられていないので、発芽玄米抽出液の抗アレルギー作用の有無を検討した。

また、呂ら(2010)によると「玄米の吸水初期に水の浸潤によって細胞が膨張し始めるとともに各種酵素が急激に活性化され、粒内に存在するグルタミン酸デカルボキシラーゼ(GAD)の脱炭酸作用によりグルタミン酸からGABAが生成される(Mayer et al., 1990)。」と示されている(Mayerらの論文は参考文献6として示す)。GABAを富化するための方法として、通常は水中に浸漬する方法が採られる。玄米にGABAを富化するためには30℃近傍が適温とされており<sup>4)</sup>、十分な水分と1~2日の発芽期間が必要であることも分かっている<sup>5)</sup>。しかし、発芽玄米が抗アレルギー作用を示すとしても、GABAが富化する条件と発芽玄米が抗アレルギー作用を示す条件が一致するとは限らないので、玄米の発芽期間の違いによる抗アレルギー作用の変化について、ラット好塩基球細胞株 RBL-2H3 細胞を用いて検討した

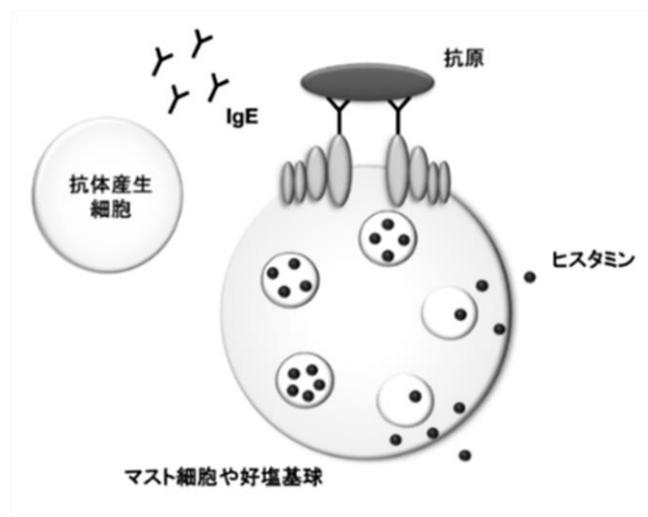


図1 I型アレルギー (石田萌子氏提供の図を改変して作成)

## 2. 材料と方法

### 2-1 発芽玄米抽出液の調製

ビーカーに玄米(コシヒカリ)10g と蒸留水 25mL を入れ、恒温器で温度を 30℃に保ち、1 日間、2 日間、3 日間の 3 種類の期間発芽させた。ただし蒸留水は 1 日ごとに交換した。培養後、発芽した玄米を乳鉢と乳棒を用いて発芽玄米の成分が十分に蒸留水に溶けるまで蒸留水に浸した状態ですりつぶした(図2、図3)。発芽玄米抽出液を 3 分間、5 回遠心分離機(パートナー NT-4: 株式会社マイクロテック・ニチオン、図4) にかき不純物を取り除いた。次に、それぞれフリーズドライヤ(DC801: ヤマト科学株式会社)で凍結乾燥して重量を測定した後に、蒸留水に再溶解した。pH 調整をした後に、フィルター滅菌をしてサンプルの完成とした(図5)。このときサンプルを段階ごとに測定して得られた値を表1に示す。



図2 発芽の様子



図3 すりつぶし



図4 遠心分離機



図5 サンプル

表1 サンプル調製

サンプル		30mL 中の乾燥重量 (mg)	サンプル濃度 (mg/mL)	pH 調整前	pH 調整後
発芽 1 日目	①	87.8	20	5.77	7.12
	②	78.3	20	5.67	7.25
	③	94.2	20	5.79	7.19
発芽 2 日目	①	44.8	20	5.31	7.11
	②	66.7	20	5.58	7.12
	③	81.2	20	5.70	7.29
発芽 3 日目	①	85.1	20	4.72	7.21
	②	100.1	20	5.31	7.19
	③	130.4	20	5.01	7.30

### 2-2 発芽玄米抽出液の抗アレルギー作用の評価(実験1)

ラット好塩基球細胞株 RBL-2H3 細胞の播き込みをし、IgE 感作を 20 時間施した。細胞に発芽玄米抽出液を添加した。その後、抗原刺激を 30 分施した。この細胞は、IgE 感作と抗原刺激によって脱顆粒を起こし、アレルギー症状の原因であるヒスタミンを放出する。それと同時に  $\beta$ -ヘキソサミニダーゼを放出する。脱顆粒試験では細胞上清を回収した後、細胞を超音波で破碎した。細胞上清と細胞破碎液に  $\beta$ -ヘキソサミニダーゼに対する基質を加え、それぞれ 25 分間 37℃で保った。酵素反応が起きると黄色に発色し、 $\beta$ -ヘキソサミニダーゼが多いほど強く発色する。この性質から細胞破碎液での発色が弱く、細胞上清(顆粒から細胞外に放出された物質を含む)での発色が強いほど、脱顆粒が起きたと判断できる。逆に、細胞上清の発色が弱いほど、添加し

た発芽玄米抽出液が脱顆粒を抑制した、つまり抗アレルギー作用を示したと判断できる。発色の程度の測定には分光光度計を用いて、吸光度を測定した。その結果より  $\beta$ -ヘキソサミニダーゼの顆粒放出率を算出した。

### 2-3 加熱処理をした発芽玄米抽出液の抗アレルギー作用の評価(実験2)

発芽玄米抽出液をラット好塩基球細胞株 RBL-2H3 細胞に添加する前に発芽玄米抽出液に 100°C、10 分間の加熱処理を施した。その後、実験2と同様に脱顆粒試験を行い、 $\beta$ -ヘキソサミニダーゼの顆粒放出率を算出した。

### 2-4 ブランク試験

実験系に異常が無いことを証明するために、ラット好塩基球細胞株 RBL-2H3 細胞に対して抗原刺激を施していない場合の  $\beta$ -ヘキソサミニダーゼの顆粒放出率を算出した。

### 2-5 対照区の設定

実験1, 実験2(上記)において得られる値の評価をするために、ラット好塩基球細胞株 RBL-2H3 細胞に蒸留水を添加し、同様に脱顆粒試験を行い反応させて得られた値を対照区とした。

### 2-6 ポジティブコントロールの設定

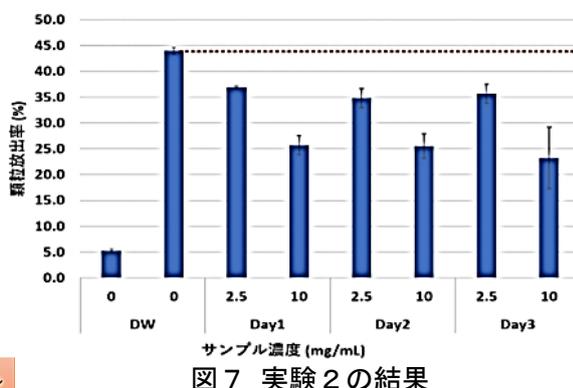
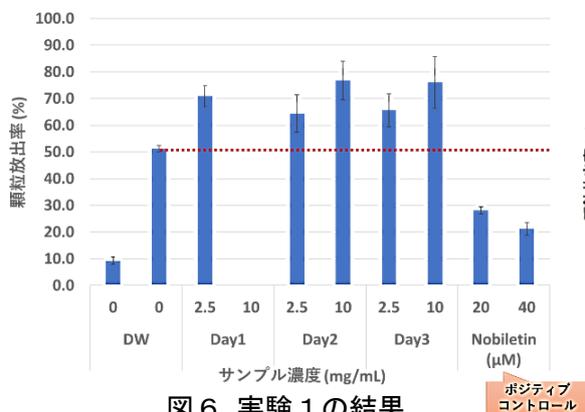
ラット好塩基球細胞株 RBL-2H3 細胞に、抗アレルギー作用があるとわかっているノビレチンを添加し、同様に脱顆粒試験を行い反応させて得られた値をポジティブコントロールとした。

## 3. 結果

対照区の顆粒放出率の値は実験1においては約50%、実験2においては約45%となった。これと比較して、ブランク試験で得られた顆粒放出率は低く、ポジティブコントロールでは顆粒放出率が抑制されることを確認できた(図6)。これらの結果から、本研究の実験系に異常が無いことを証明できた。

実験1の結果は、1~3日間のいずれの区間においても対照区の顆粒放出率を上回り(図6)、抗アレルギー作用は見られなかった。

実験2の結果は1~3日間のいずれの区間も対照区の顆粒放出率を下回り(図7)、脱顆粒を抑制し抗アレルギー作用があることが確認できた。しかし日にちごとの変化は見られなかった。



#### 4. 考察

実験1の方法で高い顆粒放出率を示したのは、顆粒成分の一種である $\beta$ -ヘキソサミニダーゼ(酵素)のような物質が発芽玄米抽出液に初めから含まれていたためだと考えた。一方、加熱処理を施して酵素を失活させたうえで実施した実験2の方法では脱顆粒が抑制されたので、発芽玄米抽出液には脱顆粒を抑制する抗アレルギー効果があると考えられる。そこで、脱顆粒抑制効果を示す物質は熱に強い物質であった。または、加熱により元の物質が変質し、変化した後の物質がアレルギー抑制効果を持ったという可能性が考えられる。日にちごとの顆粒放出率に変化が見られなかった理由としては抗アレルギー物質の量が多く、飽和状態に達していたためだと考えた。

#### 5. 結論

発芽玄米抽出液には脱顆粒を抑制する。つまりアレルギーの原因となるヒスタミンなどの物質の放出を抑えるため抗アレルギー作用があるということが分かった。しかし、顆粒放出率の日にちごとの大きな変化は見られなかったため最適な発芽条件の確立には至らなかった。

#### 6. 今後の課題

発芽玄米をすりつぶす段階で、発芽玄米に含まれていた成分が溶解度に達してしまい、発芽日数の違いによる変化が現れにくかった可能性がある。そのため、今後は玄米の量を10.0gから1.0gに減らしてサンプル調製をする。発芽日数の違いによる抗アレルギー作用の変化を明確にし、最適な発芽条件を確立する。そして、これらの実験を通して米という身近な食材でアレルギーの緩和を目指す。

#### 7. 謝辞

本研究に対しご助言、ご指導を頂きました愛媛大学大学院農学研究科石田萌子先生に厚く御礼申し上げます。

#### 8. 参考文献

- 1)厚生労働省(2010)『平成22年度リウマチ・アレルギー相談員養成研修会テキスト』第1章 アレルギー総論
- 2)松原 優里,阿江 竜介,大矢 幸弘,穂山 浩,今井 孝成,松本健治,福家 辰樹,青山 泰子,牧野 伸子,中村 好一,斎藤 博(2018)「日本における食物アレルギー患者数の推計：疫学調査の現状と課題」アレルギー 67 巻 6 号 p.767-773
- 3)原 崇(2010)「GABAのmast細胞機能に及ぼす影響と抗アレルギー作用に関する基礎的研究」
- 4)鈴木 啓太郎,前川 孝明(1999)「発芽玄米製造時の微生物制御」農業施設 30 巻 2 号 p.137-144 (参考文献(5)より引用)
- 5)呂 慶云,後藤 清和,西津 貴久(2010)「玄米のGABA富化条件と品質について」農業機械学会誌 72 巻 3 号 p.291-296
- 6) Mayer, R., Cherry, J., Rhodes, D., 1990. Effects of heat shock on amino acid metabolism of cowpea cells. Plant Physiology, 94, 796-810.

# 家具に使用できる免震ゴムの作製

愛媛県立松山南高等学校 免震ゴム班

柳沢蒼汰 尾崎友香 渡部智紀 越智俊哉 指導教諭 松下吉之

## 1. はじめに

東京消防庁によると、地震発生時、負傷者の約半数が家具類の転倒・落下・移動により負傷している(図1)。この問題を解決するため、我々は本来地震対策として建物の下に設置することで建物自体に揺れを伝えないようにする免震ゴムの、家具に用いることができないかと考えた。そこで、室内実験用の免震ゴム作製方法を考え、その方法で作った免震ゴムを用いて実験を行い、最も揺れを伝えない免震ゴムとはどんな条件を備えるものかということ調べることにした。

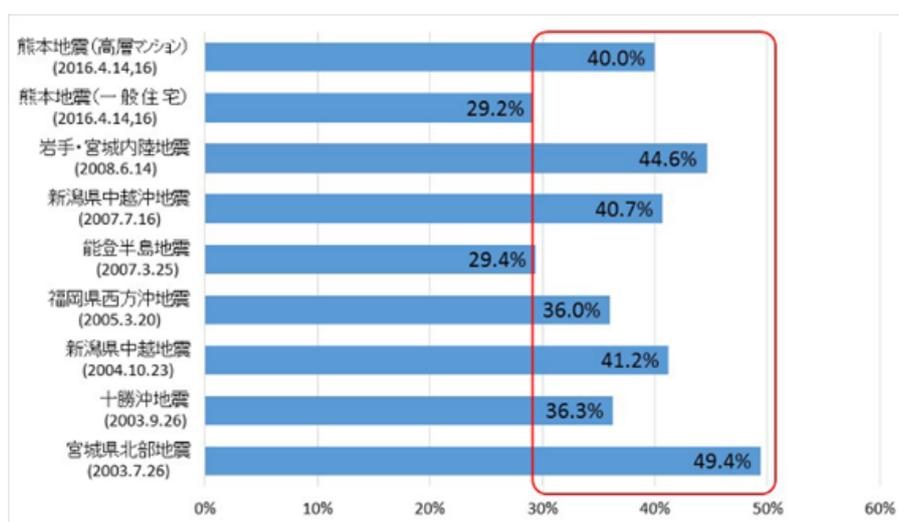


図1 負傷者のうち家具類の転倒・落下・移動により負傷した人の割合

(出典 東京消防庁ホームページ)

## 2. 方法

免震ゴムの①潤滑油の有無、②形、③高さ、④大きさ、⑤置くところの5つの観点について調べた(表1)。なお、実験する際は免震ゴムの構造物の下に4つ設置した。

### (1) 使用する免震ゴム

- (あ) 潤滑油なし、直径4cmの円、高さ3cm、四隅
- (い) 潤滑油あり、直径4cmの円、高さ3cm、四隅
- (う) 潤滑油あり、一辺4cmの正方形、高さ3cm、四隅
- (え) 潤滑油あり、直径4cmの円、高さ4cm、四隅
- (お) 潤滑油あり、直径4cmの円、高さ5cm、四隅
- (か) 潤滑油あり、直径6cmの円、高さ3cm、四隅
- (き) 潤滑油あり、直径8cmの円、高さ3cm、四隅
- (く) 潤滑油あり、直径4cmの円、高さ3cm、箱の辺の中点

### (2) 準備物

表1 本研究の観点

調べる観点	比較する条件
①	(あ)(い)
②	(い)(う)
③	(い)(え)(お)
④	(い)(か)(き)
⑤	(い)(く)

### ① 免震ゴム作製

ゴム板、鉄板、金切りばさみ、カッター、プレス機、やすり、風船、潤滑油、セロハンテープ、マジックペン

### ② 実験およびグラフ化

自作の振動装置(鉄板、段ボール、ビー玉、造波装置と接続するための鉄の棒、ナット、ボルト)、造波装置、電源装置、ハイスピードカメラ、質量約 12.5kg の箱(段ボールに石を入れたもの、家具の代わりに使用)、接着剤、セロハンテープ、ものさし、白い紙、パソコン

### ③ 免震ゴムの作製

1. ゴム板と鉄板にマジックペンで切り取る形を描き、それに沿って金切りばさみとカッターで切った。(表 2・図 1)
2. 切った鉄板をプレス機で平らにし、鉄板、ゴム板の表面をやすりで削って滑らかにした。
3. 切った鉄板、ゴム板を「ゴム板、鉄板、ゴム板、鉄板、…、ゴム板」となるように積み重ね、それを 4 つずつ作った。(高さ 3cm のものはゴム板 7 枚と鉄板 6 枚、高さ 4cm のものはゴム板 9 枚と鉄板 8 枚、高さ 5cm のものはゴム板 11 枚と鉄板 10 枚で積み重ねた。)
4. 風船の口から 2.5cm の部分を口と平行になるようにはさみで切った。
5. 4 で切った風船の口を一人が大きく広げ、もう一人がゴム板と鉄板が水平に積み重なっている状態で、風船の中に押し込んで包み込んだ。
6. (あ)以外で使う免震ゴムには 1 枚 1 枚の板の間に潤滑油を吹き込む。そして、風船の口をセロハンテープで塞いだ。(図 2)

ただし、実験で使用する際は本来の免震ゴムと同様にするため、一方の底面に接着剤を用いて鉄板を接着し、その鉄板をセロハンテープで振動装置に固定する。

### (3) 実験の方法

1. 振動装置(図 3)の上に免震ゴムを 4 つ載せ、その上に箱を置いた。
2. 振動装置の前に、白い紙をセロハンテープで貼って目盛りを見やすくしたものさしを置き、箱の端が映る位置にハイスピードカメラを置いた。
3. 振動装置を揺らし(免震ゴムなしの時の揺れ幅は 1.5cm である)、箱が揺れる様子をハイスピードカメラで 10 秒間撮影した。(これを 2 (1) (あ)～(く)で 10 回ずつ行った。)

### (4) グラフ化の方法

1. 実験で撮影した映像をパソコンに転送し、その映像を見て、揺れる箱が端に着いた瞬間にもものさしが示す値を記録した。(図 4 の場合、23.5cm を示す。)
2. 揺れ始め 1 回と揺れ終わり 1 回を除き、箱が端から端まで移動した幅を記録した。
3. 箱が端から端まで移動した幅のうち、揺れ始めは正確な値が出ていないことを考慮するため、最後から 35 回分の平均値をとり、そのとった値を項目ごとに箱ひげ図で表した。

表 2 免震ゴムの形状データ

	直径 4cm の円	直径 6cm の円	直径 8cm の円	一辺 4cm の正方形
ゴム板(枚)	44	36	36	36
鉄板(枚)	40	32	32	32



図1 免震ゴムの断面

(左から 4cm 円、4cm 正方形、6cm 円、8cm 円で高さは全て 3cm)



図2 免震ゴム  
(4cm、高さ 3cm)



図3 振動装置

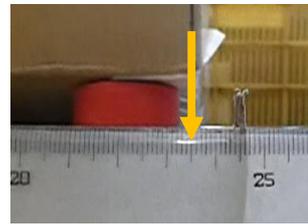


図4 記録の様子 (23.5cm)

### 3. 結果

以下の①～⑤の実験について結果を図5～図9にまとめた。全体的に見て(い)の揺れ幅の平均値が 1.204cm と特に小さく、値のばらつきは 0.32cm ととても大きかった。(ほかの条件では、揺れ幅の平均値は 1.4cm～1.6cm 付近であり、値のばらつきは 0.1～0.2cm 程度である。)

- ① 潤滑油の有無は、潤滑油ありの方が揺れ幅が小さかった (図5)。
- ② 形は、円の方が揺れ幅が小さかった (図6)。
- ③ 高さは 3cm の揺れ幅が特に小さく、4cm、5cm はほぼ同じ揺れ幅だった (図7)。
- ④ 大きさは 4cm の揺れ幅が特に小さく、6cm、8cm はほぼ同じ揺れ幅だった (図8)。
- ⑤ 置き場所は、四隅の方が揺れ幅が小さかった (図9)。

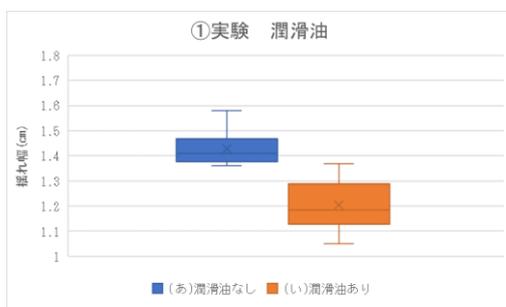


図5 ①のグラフ

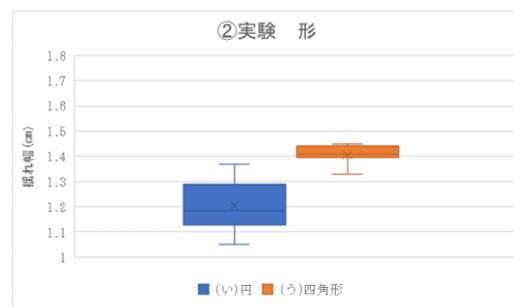


図6 ②のグラフ

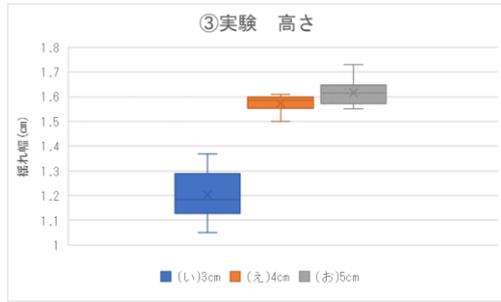


図7 ③のグラフ

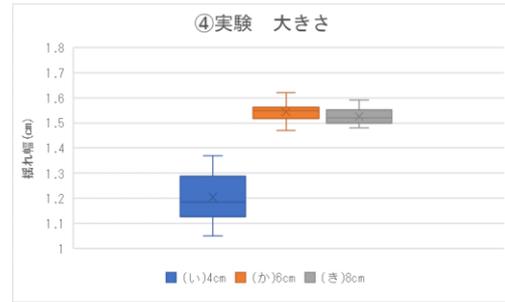


図8 ④のグラフ

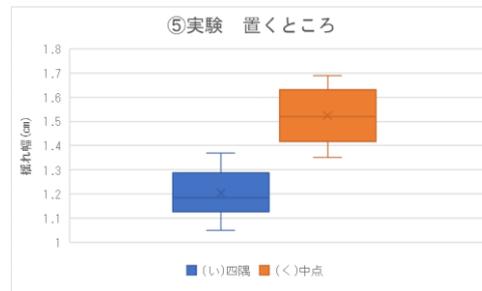


図9 ⑤のグラフ

#### 4. 考察・今後の展望

今回の実験から、潤滑油あり、直径4cmの円、高さ3cmの免震ゴムを四隅に置いたとき、最も揺れを抑えることができると分かった。今後の展望を(1)～(3)にまとめた。

- (1) 高さと大きさは、条件の変化による細かな差が分かりにくかったので、パターンを増やして幅広く調べたい。
- (2) 「一般に免震ゴムによる免震構造は水平地震力(加速度)を1/3～1/5に低減する効果を持っている」(深堀, 1987)となっている。しかし、振動装置の揺れ幅が1.5cmなのに対し、箱の揺れ幅は一番抑えた条件(い)でさえ1.204cmなので、もっと揺れを抑える免震ゴムを作りたい。
- (3) 今回の実験で免震ゴムの上に載せたものは1種類しかなかったので、様々な大きさ、重さ、形のものを載せて、免震の効果を発揮するかどうか調べたい。

#### 5. 参考文献および参照したサイト

- ・ 室田伸夫(2013). 「免震用積層ゴムの技術概要と今後の動向」. 『日本機械学会誌』, 116(1139), 711-714
- ・ 深堀美英(1987). 「免震用積層ゴムの耐久性予測と安全設計」. 『日本機械学会誌』, 90(826), 1162-1166
- ・ 深堀美英(1987). 「免震構造の効果と免震ゴムの耐久安全設計」. 『日本ゴム協会誌』, 60(7), 397-408.
- ・ 東京消防庁ホームページ  
<https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/hp-bousaika/kaguten/index.html>
- ・ ブリヂストンホームページ  
[https://www.bridgestone.co.jp/products/dp/antiseismic\\_rubber/question/process.html](https://www.bridgestone.co.jp/products/dp/antiseismic_rubber/question/process.html)

# 三角形の外接円と五心に関する研究

愛媛県立松山南高等学校 数学班

佐伯心太郎 藤田幸星 指導教諭 福澤純治

## 1. はじめに

数学の学習を進めるにあたって、興味深い図形の性質に出会うことがある。入試問題においても解きながらその不思議さや美しさに驚く日々である。このような図形の性質について、深く知りたいと考えようになった。そこで、図形の性質について、特に三角形の五心と外接円の関係について研究することにした。

## 2. 方法

主に図形描画ソフト「Geogebra」を用いて性質を予想し、それが正しいかどうか調べた。

## 3. 結果

### 【命題1】

三角形の垂心と外接円について、次の条件  $\alpha$ 、 $\beta$  は同値である。

条件  $\alpha$  : 「点 P が垂心である。」

条件  $\beta$  : 「 $\vec{PD} = \vec{PA} + \vec{PB}$ ,  $\vec{PE} = \vec{PB} + \vec{PC}$ ,  $\vec{PF} = \vec{PC} + \vec{PA}$  で定められた点 D、E、F は  $\triangle ABC$  の外接円上にある」

### (1) $\triangle ABC$ が $\angle A=90^\circ$ の直角三角形である場合

垂心と頂点 A が一致するため、 $\alpha \rightarrow \beta$  は容易に示せる。

一方、その逆  $\alpha \leftarrow \beta$  の証明に思いがけず苦勞した。結局は「点 P が垂心と一致しない場合は不適であることを示す」という方法を用いたため、長くなってしまい、ここには書けない。

### (2) $\triangle ABC$ が鋭角三角形である場合 (図1)

[ i ]  $\alpha \rightarrow \beta$  の証明

点 P が  $\triangle ABC$  の垂心であるとする。このとき、直線 AP と辺 BC の交点を  $H_1$ 、直線 BP と辺 CA の交点を  $H_2$  とすると、 $\angle PH_1C = \angle PH_2C = 90^\circ$  であるから、四角形  $CH_1PH_2$  は円に内接し、

$$\angle H_1PH_2 = 180^\circ - \angle ACB$$

また、対頂角は等しいから、

$$\angle APB = \angle H_1PH_2 = 180^\circ - \angle ACB$$

$PD = PA + PB$  より四角形 PADB は平行四辺形だから、

$$\angle ADB = \angle APB = 180^\circ - \angle ACB$$

よって、 $\angle ADB + \angle ACB = 180^\circ$  だから、4点 A、B、C、D は同一円周上にある。…①

同様に4点 A、B、C、E は同一円周上にある。…②

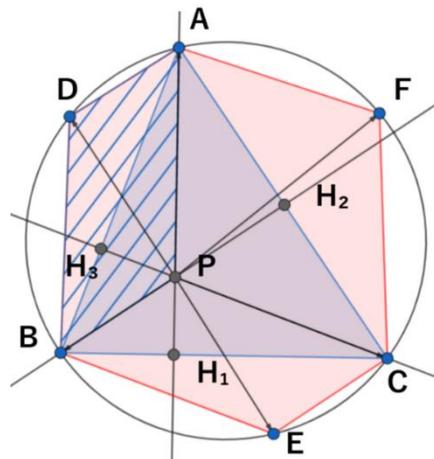


図1  $\triangle ABC$  が鋭角三角形である場合

同様に4点A、B、C、Fは同一円周上にある。…③

①、②、③より、3点D、E、Fは△ABCの外接円周上にあるから、6点A、B、C、D、E、Fは同一円周上にある。

[ii]  $\alpha \leftarrow \beta$  の証明

逆に6点A、B、C、D、E、Fが同一円周上にあるとする。四角形ADBP、CFAPは平行四辺形であるから、  
 $FC \parallel AP \parallel DB$ 、 $FC = AP = DB$

よって $FC = DB$ かつ $FC \parallel DB$ だから四角形BCFDは平行四辺形である。さらに4点B、C、F、Dが同一円周上にあることから、 $\angle DBC + \angle DFC = 2\angle DBC = 180^\circ$

よって $\angle DBC = 90^\circ$  …④

ここで、点Aから辺BCに垂線 $AH_1$ をおろすと、 $AH_1 \perp BC$

これと④より $AH_1 \parallel DB$

さらに $AP \parallel DB$ であるから、点Pは垂線 $AH_1$ 上にある。

同様にすると、Bから辺CAにおろした垂線 $BH_2$ 、点Cから辺ABにおろした垂線 $AH_3$ も点Pを通る。

よって、点Pは△ABCの垂心と一致する。

[i]、[ii]より $\alpha \leftrightarrow \beta$ だから、題意は示された。

### (3) △ABCが鈍角三角形である場合 ( $\angle A > 90^\circ$ ) (図2)

$\angle A > 90^\circ$ としても一般性は失われないから、 $\angle A > 90^\circ$ とする。

[i]  $\alpha \rightarrow \beta$  の証明

点Pが△ABCの垂心であるとする。頂点Aから辺BCにおろした垂線のあしを $H_1$ 、頂点B、Cから各々の対辺の延長におろした垂線のあしをそれぞれ $H_2$ 、 $H_3$ とする。点Pは△ABCの垂心であるから、3点P、A、 $H_1$ ; P、 $H_2$ 、B; P、 $H_3$ 、Cはそれぞれ同一直線上にある。

$$\begin{aligned} \text{よって、} \angle BPH_1 &= 180^\circ - \angle PH_1B - \angle H_2BH_1 \\ &= 180^\circ - 90^\circ - (90^\circ - \angle ACB) \\ &= \angle ACB \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \angle CPH_1 &= 180^\circ - \angle PH_1C - \angle H_3CH_1 \\ &= 180^\circ - 90^\circ - (90^\circ - \angle ABC) \\ &= \angle ABC \end{aligned}$$

$$\angle BPC = \angle BPH_1 + \angle CPH_1 = \angle ACB + \angle ABC$$

四角形PBECは平行四辺形であるから、

$$\angle BEC = \angle BPC = \angle ACB + \angle ABC$$

△ABCにおいて、 $\angle BAC = 180^\circ - \angle ABC - \angle ACB$

ゆえに、 $\angle BAC + \angle BEC = 180^\circ$  が成り立つから、4点A、B、E、Cは同一円周上にある。…①

また、四角形PADBは平行四辺形であるから、 $\angle ADB = \angle APB = \angle H_1PB = \angle ACB$

ゆえに、円周角の定理の逆から4点A、C、F、Bは同一円周上にある。…②

同様に4点A、C、F、Bは同一円周上にある。…③

①、②、③から、6点A、B、C、D、E、Fは同一円周上にある。

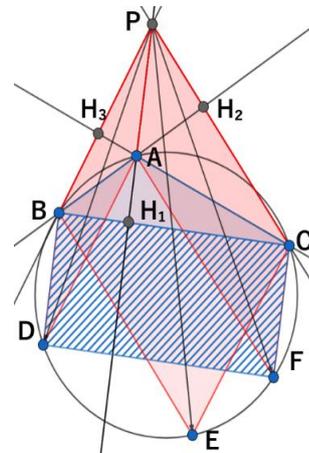


図2 △ABCが鈍角三角形である場合 ( $\angle A > 90^\circ$ )

[ ii ]  $\alpha \leftarrow \beta$  の証明

逆に、六点 A, B, C, D, E, F が同一円周上にあるとする。四角形 AFPC, ADBP は平行四辺形であるから、  
 $CF=PA=BD$ ,  $CF \parallel PA \parallel BD$

よって  $CF=BD$  かつ  $CF \parallel BD$  から、四角形 BDFC は平行四辺形であり、 $\angle DBC = \angle DFC$  が成り立つ。

さらに仮定より四角形 BDFC は円に内接するから、

$$\angle DBC + \angle DFC = 2\angle DBC = 180^\circ \quad \text{よって} \angle DBC = 90^\circ$$

ここで、円周角の定理より  $\angle ADB = \angle ACB$  四角形 ADBP は平行四辺形であるから、

$$\angle PBD = 180^\circ - \angle APB = 180^\circ - \angle ACB$$

ゆえに、

$$\angle ABP = \angle PBD - \angle ABC - \angle CBD = 90^\circ - \angle ABC - \angle ACB \dots \textcircled{4}$$

また、B から辺 CA の延長に下した垂線の足を  $H_2$  とすると、 $\angle CBH_2 = 90^\circ - \angle ACB$  だから、

$$\angle ABH_2 = \angle CBH_2 - \angle ABC = 90^\circ - \angle ABC - \angle ACB \dots \textcircled{5}$$

④と⑤より  $\angle ABP = \angle ABH_2$  であるから、点 P は垂線  $BH_2$  の延長上にある。  $\dots \textcircled{6}$

さらに、C から辺 BA の延長上に下した垂線の足を  $H_3$  とする。このとき⑥と同様に考えて、点 P は垂線  $CH_3$  の延長上にある。  $\dots \textcircled{7}$

⑥と⑦より、点 P は  $\triangle ABC$  の垂心と一致する。

[ i ] と [ ii ] より、 $\alpha \leftrightarrow \beta$  であることが示された。

### 【命題 2】

$\triangle ABC$  の垂心を各辺に関して対称移動した点 D, E, F は  $\triangle ABC$  の外接円上にある。平面上の点 P を各辺について対象移動した点 D, E, F が  $\triangle ABC$  の外接円上にあるならば、点 P は  $\triangle ABC$  の垂心である。

#### (1) $\triangle ABC$ が鋭角三角形である場合

三角形 ABC の垂心を各辺に関して対象移動した点 D, E, F は  $\triangle ABC$  の外接円上にある。

$$\angle H_2PH_1 = 180^\circ - \angle C = \angle APB = \angle D, \quad \angle C + \angle D = \angle C + (180^\circ - \angle C) = 180^\circ$$

以上より、四角形 ADPC は  $\triangle ABC$  の外接円上にある (図 3)。

D を通り AB に平行な直線と外接円の交点を  $D'$  とすると、四角形  $AD'BP$  は平行四辺形になる。

また、E を通り BC に平行な直線と外接円の交点を  $E'$  とすると、四角形  $BE'CP$  は平行四辺形になる。

また、F を通り、CA に平行な直線と外接円の交点を  $F'$  とすると、四角形  $CF'AP$  は平行四辺形になる。

よって、前回示した内容より、P は  $\triangle ABC$  の垂心である (図 4)。

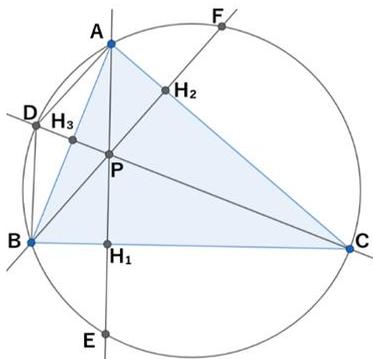


図 3  $\triangle ABC$  が鋭角三角形である場合 (1)

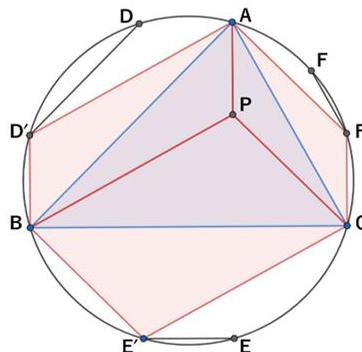


図 4  $\triangle ABC$  が鋭角三角形である場合 (2)

#### 4. まとめと今後の展望

(1) 次の条件  $\alpha$ 、 $\beta$  は同値である。

条件  $\alpha$  : 「点 P が垂心である。」

条件  $\beta$  : 「 $\overrightarrow{PD} = \overrightarrow{PA} + \overrightarrow{PB}$ ,  $\overrightarrow{PE} = \overrightarrow{PB} + \overrightarrow{PC}$ ,  $\overrightarrow{PF} = \overrightarrow{PC} + \overrightarrow{PA}$  で定められた点 D、E、F は  $\triangle ABC$  の外接円上にある」

(2)  $\triangle ABC$  の垂心を各辺に関して対称移動した点 D、E、F は  $\triangle ABC$  の外接円上にある。平面上の点 P を各辺について対象移動した点 D、E、F が  $\triangle ABC$  の外接円上にあるならば、点 P は  $\triangle ABC$  の垂心である。

(3) 垂心以外の五心についても、GeoGebra を用いて、上記で示したようなものと同じような規則がないか調べたが、行き詰ってしまった。今後は、今後は、円についてより深く思考してみるなど検討している。

#### 5. 参考文献

- ・チャート研究所 編著「増補改訂版 チャート式 基礎からの数学 I+A」数研出版株式会社, p548
- ・聖文社編「高校生の数学ハンドブック」株式会社聖文社, p229, 236, 237, 247~249
- ・笹部貞市郎 (1963) 「問題解法 解析幾何学辞典」株式会社聖文社, p883~887
- ・岩田至康編 (1978) 「幾何学大辞典第 1 巻」槇書店, p184~201
- ・岩田至康編 (1978) 「幾何学大辞典第 3 巻」槇書店, p72~88
- ・岩田至康編 (1978) 「幾何学大辞典第 5 巻」槇書店, p29~50

-MEMO-

# 理数科 1 年 スーパーサイエンス

# タイルの性質についての研究

愛媛県立松山南高等学校 数学班

日野七海徒 二宮一輝 指導教諭 新海孝則

## 1. はじめに

マス目で区切られた様々な図形を、同じ形のタイルで埋め尽くしていくデザインに興味を持ち、当てはまるタイルの数や形の性質を数学的に探究することを目的として本研究を行った。

## 2. 本論文で用いる記号

$\text{floor}(x)$ :  $x$  以下の最大の整数       $\text{ceil}(x)$ :  $x$  以上の最大の整数

$G, G'$  を整数の部分集合、 $a$  を整数とするとき

$$G+a = \{g+a \mid g \in G\} \quad aG = \{ag \mid g \in G\} \quad G+G' = \{g+g' \mid g \in G, g' \in G'\} \quad l(G) = \max G - \min G + 1$$

$|G|$ :  $G$  の要素数       $G \cap G' = \emptyset$  のとき  $G \cup G'$  を  $G \oplus G'$  と書く。

## 3. 定義

### (1) タイルの定義 ( $C_n$ )

正方形の図形同士の辺を繋げて合わせたものをタイルと定義し、横一列に正方形の図形を  $n$  個繋げたものを  $C_n$  とした。定義より  $C_n$  はタイルである。具体例 ( $C_4$ ) を図1に示す。

### (2) 分割の定義

あるタイル  $H$  を平行、回転、対称移動させたもの同士を重なりなく辺を繋げてあるタイル  $G$  が作れるとき、 $H$  は  $G$  を分割する、 $G$  は  $H$  に分割できるといいこれを  $H \rightarrow G$  と書く。具体例 ( $C_6$  の分割) を図2アに示す。また、 $\text{Div } G = \{H \mid H \rightarrow G\}$  と定め ( $\text{Div}$  は divide の div)、これより  $p$  が素数のとき、 $\text{Div } C_p = \{C_1, C_p\}$  となる (図2イ)。タイルを整数の部分集合で表現することとし、以降  $C_n = \{1, 2, 3, \dots, n-1, n\}$  と表す。



図1  $C_4$  のタイル

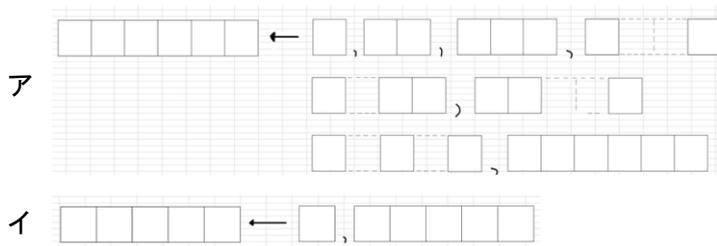


図2 タイルの分割

## 3. 結果と考察 (証明)

### (1) $C_{2p}$ の相補性定理(1.1)

$$\text{Div } C_{2p} = \{H \mid H = \{1\} \cup \{2 \text{ または } 2p-1\} \cup \{3 \text{ または } 2p-2\} \cup \dots \cup \{p \text{ または } p+1\}\} \\ \cup \{C_1, C_2, \{1, p+1\}, C_{2p}\} \quad (\text{ただし、} p \text{ は素数})$$

具体例 ( $p=3$ ) の場合、以下のいずれの場合も  $C_6$  を分割する。

- ① (1), (2, 5), (3, 4) この中から 1, 5, 3 をとる (図3ア)
- ② 次に 1, 2, 4 をとる (図3イ)

具体例 ( $p=5$ ) の場合、以下のいずれの場合も  $C_{10}$  を分割する。

- ① (1), (2, 9), (3, 8), (4, 7), (5, 6) この中から 1, 9, 3, 7, 5 をとる (図3ウ)。
- ② 次に 1, 2, 8, 4, 5 をとる (図3エ)。

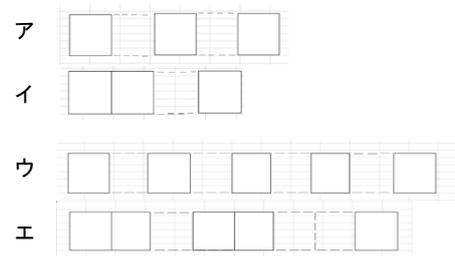


図3  $C_{2p}$  の相補性定理(1.1)

### (2) 補題(1.2)

$G, G'$  が空でない整数の部分集合、 $a$  が整数であるとき  $G \cap (G' + a) = \emptyset \Leftrightarrow a \notin G - G'$  が成立する。

( $\Rightarrow$ ) 仮定より任意の  $g \in G, g' \in G'$  に対し

$g \neq g' + a$  が成り立ち、 $a \neq g - g' \in G - G'$  よって真

(ε) 対偶を取ると  $G \cap (G' + a) \neq \emptyset \Rightarrow a \in G - G'$

仮定よりある  $g' \in G'$  が存在して  $g' + a \in G$  となるので  $a \in G - g' \subset G - G'$  よって真

(3) 補題(1.3)

$H(\min H=1, 1(H) \leq 2p-1)$  が空でない整数の部分集合、 $p$  が素数であるとき  $2p-1(H) \#H-H$  かつ  $|H|=p$  を満たす  $H$  は  $H=\{1, 2, 3, \dots, p-1, p\}, \{1, 3, 5, \dots, 2p-3, 2p-1\}$  のふたつのみである。

(証明)  $k=2p-1(H)$  とおく。このとき次のような集合を考える。

$X(x_i) = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_{r-1}, x_r \mid x_{i+1} - x_i = k \ (i=1, 2, 3, \dots, r-1) \ x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_{r-1} < x_r \leq 1(H) < x_{r+1}\}$   
 すると  $\{1, 2, 3, \dots, 1(H)-1, 1(H)\} = X(1) \oplus X(2) \oplus X(3) \oplus \dots \oplus X(k-1) \oplus X(k)$  が成り立つ。

ここでそれぞれの  $X(i) \ (i=1, 2, \dots, k)$  に対して添え字が連番にならないような選び方をされたものを要素とする集合を  $R(X(i))$  と書く。

このとき  $|H| \#H-H = R(X(1)) \cup R(X(2)) \cup R(X(3)) \cup \dots \cup R(X(k-1)) \cup R(X(k))$  が成り立つので  $|H|=p$  となるように各  $R(X(i))$  を選んでいけばよいことがわかる。

ここでどのような選び方をしても  $1(H)=p, 2p-1$  以外ときには  $|R(X(1)) \cup R(X(2)) \cup R(X(3)) \cup \dots \cup R(X(k-1)) \cup R(X(k))| < p$  となることを示す。

$X(1) = \{1, 1+k, 1+2k, \dots, 1+nk\}$  とすると  $(n = \text{floor}((1(H)-1)/(2p-1(H))))$

$1(H) - (1+nk) + 1 = n1(H) + 1(H) - 2np$  より  $|X(1)| = |X(2)| = \dots = |X(n1(H) + 1(H) - 2np)| = n+1$

また、 $[(nk - (n1(H) + 1(H) - 2np) + 1) - (n+1-2)(n1(H) + 1(H) - 2np)] / n = 2p - 21(H) - n1(H) + 2np$  より  $|X(i)| = n$  となる  $i$  の個数が  $2p - 21(H) - n1(H) + 2np$  であることがわかり、 $R(X(i)) \leq \text{ceil}(X(i)/2)$  であることから次の命題を示せば良いことになる。

(4) 命題(1.3.1)

$\text{ceil}((n+1)/2)(n1(H) + 1(H) - 2np) + \text{ceil}(n/2)(2p - 21(H) - n1(H) + 2np) \leq p$  等号成立条件は  $1(H)=p, 2p-1$

(i)  $n$  が奇数のとき  $\text{ceil}((n+1)/2) = \text{ceil}(n/2)$  なので (左辺)  $= (1/2)\{n(2p-1(H)) - 1(H)\} + p$  よって、 $n(2p-1(H)) - 1(H) \leq 0$  を示せばよく (左辺)  $\leq (1(H)-1)/(2p-1(H))(2p-1(H)) - 1(H) = -1$  よりこれは真

(ii)  $n$  が偶数のとき  $\text{ceil}((n+1)/2) = \text{ceil}(n/2) + 1$  なので (左辺)  $= (1/2)n(1(H) - 2p) + 1(H)$  よって、 $n(1(H) - 2p) + 21(H) - 2p \leq 0$  を示せばよいがこれは明らかに成り立っている。

次に等号成立条件を求める。 $n$  について解くと  $n \leq (21(H) - 2p)/(2p-1(H)) = 1(H)/(2p-1(H)) - 1$

$n$  は整数なので  $(a, b) = (2p-1(H), 1(H))$  とおくと  $a=kb$  ( $k$  は整数) が成り立ち、

連立方程式  $a+b=2p \quad a=kb$  を解くと  $(a, b) = (1, 2p-1), (2, 2p-2), (p, p), (2p, 0)$

条件より  $(a, b) = (1, 2p-1), (p, p)$  となり、代入すると  $n = 1(H)/(2p-1(H)) - 1$  は成立する。

よって命題(1.3.1)は示されたと同時に補題(1.3)も証明されたこととなる。

(5) (1.1)の証明

あるタイル  $H \ (|H|=p)$  が  $C_{2p}$  を分割すると仮定する。 $(H$  は整数の部分集合として表せる)

このとき  $\min H=1$  としても一般性を失わず、

仮定より  $H$  は  $C_{2p} = H \oplus (-H+2p+1)$  または  $C_{2p} = H \oplus (H+2p-1(H))$  のいずれかを満たすので

補題(1.2)より  $H$  は  $2p+1 \#H - (-H) = H+H$  または  $2p-1(H) \#H - H$  のいずれかを満たす。

しかし補題(1.3)より  $2p-1(H) \#H - H$  を満たす  $H$  は  $H = \{1, 2, 3, \dots, p-1, p\}, \{1, 3, 5, \dots, 2p-3, 2p-1\}$

のふたつしかなくこれは  $H = -H + 1(H) + 1$  を満たすから結局、 $2p+1 \#H - (-H) = H+H$  を満たす  $H$  だけを考えればよいことがわかる。

よって、 $H = \{1\} \cup \{2 \text{ または } 2p-1\} \cup \{3 \text{ または } 2p-3\} \cup \dots \cup \{p \text{ または } p+1\}$  であることがわかり、これは確かに  $|H|=p$  となっている。

4. まとめと今後の課題

$n$  の素因数数が増加すればするほど解析は困難となるため、今後は新しい方法を探究していきたい。

# フライホイールを用いた風力発電の利便性の向上に関する研究

愛媛県立松山南高等学校 風力発電班

村上晴文 森星七翔 楠原彩留 神野絢音 指導教諭 露口 猛

## 1. はじめに

再生可能エネルギーは、温室効果ガスを排出せず、国内で生産できることから、エネルギー安全保障にも寄与できる有望かつ多様で、重要な低炭素の国産エネルギー源である。その一つである風力発電は、無風状態では発電できず、安定した電力供給が難しいというデメリットがある。しかし、フライホイールを用いることで回転ムラをなくし、回転数を保つことによる発電の安定化が可能である。さらに発電時に発生する騒音被害も軽減できると考える。今回はフライホイールを自作し、慣性モーメントを変化させ、回転への影響を調べた。

## 2. 慣性モーメントとは

慣性モーメントとは、物体の回転のしにくさを表す数値のこと。値が大きいほど回転しにくく、剛体では積分で定義される。慣性モーメントと角速度の外積を角運動量といい、剛体が回転する際、外力が加わらない限り角運動量は保存され、一定の角速度で回転し続ける。慣性モーメントが大きいほど回転運動が安定するので、本研究では慣性モーメントによる回転運動の制御を目的とする。

## 3. 実験内容と仮説

### (1) 実験 1

鉄球を外側に固定したフライホイールと内側に固定したフライホイールで回転の安定性を確かめる。

<仮説>鉄球を外側に固定したフライホイールの方が内側固定よりも慣性モーメントが大きいので、回転が安定する。

### (2) 実験 2

鉄球を外側に固定したフライホイールと内側に固定したフライホイールを使い、回転を始めるのに必要なエネルギー差を調べる。

<仮説>鉄球を内側に固定したフライホイールの方が鉄球を外側固定よりも、回転を始めるのに必要なエネルギーが小さい。

## 4. 実験方法

(1) フライホイールを 3D プリンタで自作した。

(2) 自作プロペラ(図 1、図 2)にフライホイール(図 3)と発電機を接続し、発電した電流量を電流計で測定した。

(3) フライホイール中の鉄球を外側と内側に固定し、慣性モーメントを変化させた。

(4) 送風機とプロペラの距離を変え(図 4)、風量変化と発電量の関係を調べた。

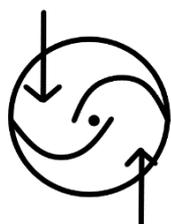


図 1 プロペラ概念



図 2 自作プロペラ

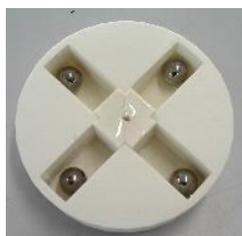


図 3 自作フライホイール

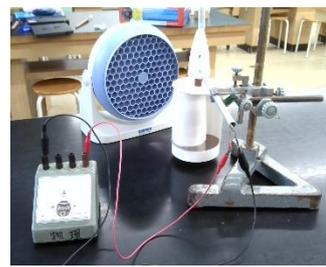


図 4 実験装置

## 5. 実験結果

### (1) 実験 1

発電電流量の変化を図 5、図 6 に示す。プロペラ中心から送風機先端までの距離を 17cm した場合の電流は、鉄球を内側固定(慣性モーメント小)では 9.9~15.0mA(図 5)、鉄球を外側固定(慣性モーメント大)では 10.9~13.7mA(図 6)であった。慣性モーメントが大きい方が、安定性があることが分かった。

### (2) 実験 2

風量変化と発電量の関係を表 1 に示す。風の影響だけで回り始めるプロペラ中心から送風機先端までの最大距離は、外側鉄球では 76cm、内側鉄球では 83cm であった。風量が回転に必要なエネルギーを表すので、慣性モーメントが大きいと回転に大きなエネルギーが必要だと分かった。

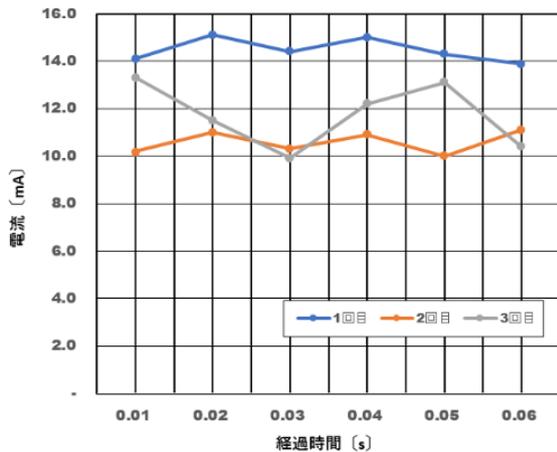


図 5 発電量の変化(慣性モーメント小)

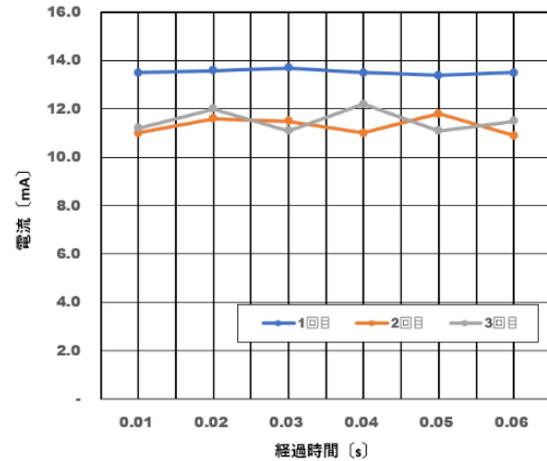


図 6 発電量の変化(慣性モーメント大)

表 1 風量変化と発電量

慣性モーメント (J)	送風機からの距離 (cm)	回転し始めるために必要なエネルギー
$1.40 \times 10^{-3}$	83	少
$2.42 \times 10^{-3}$	76	大

## 6. 考察

実験 1 より、鉄球を外側固定時(慣性モーメント大)は回転が安定し、電流値も安定した。仮説は正しかった。慣性モーメントが回転を安定させ、発電量も安定することが分かった。実験 2 より、鉄球を外側に固定時(慣性モーメント大)は鉄球内側固定(慣性モーメント小)に比べ、回転に必要なエネルギーがより必要で、仮説は正しかった。いずれも角運動量保存則から予測された通りの結果となった。

## 7. まとめと今後の課題

慣性モーメントが大きいフライホイールでは、風量を変化させ、プロペラの回転数を上げる過程で振幅が大きく、回転がかなり安定した。しかし、回転により大きなエネルギーを使うため、これでは発電には使いづらい。

そこで、フライホイール内の鉄球にバネをつけ、回転開始時に鉄球を内側にして慣性モーメントを小さくし、少ないエネルギーで回転させ、高速回転時には遠心力で鉄球を外側に移動させて慣性モーメントを増大させ、回転を安定させるフライホイールを自作し、実験を行いたい(図 7)。また、回転の安定化の評価のために、電流変化と回転軸の安定の相関関係を調べたい。

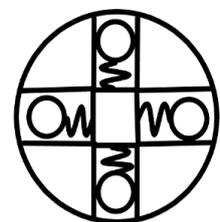


図 7 質点可動式  
フライホイール

## 8. 参考文献

- ・中村造和、小柳明大、鈴木康慎、江口直也、佐藤義久、嶋田隆一 (2002)、” 風力発電におけるフライホイール蓄積容量に関する研究 ” , T. IEE Japan, Vol. 122-D, No. 3

# レーザー光の干渉を用いた繊維間隔測定

—より高度な測定を目指して—

愛媛県立松山南高等学校 光の干渉班

高石遼旺 前田耕輔 渡辺斗真 渡部真也 指導教諭 参河厚史

## 1. はじめに

X線回折を利用した結晶構造解析の理論を用いると、布を2次元回折格子と見立ててレーザー光を透過させることで回折像を得られることが高橋ら(1975)の先行研究で分かっている。得られた回折像の明点間隔を測定することで、平織の布の繊維間隔を定量的に測定することができ、布に力がかかったときの繊維間隔の変化のようすから力に対する特性を知ることができる(二宮ら 2021)。私たちは、天然繊維を含む様々な布について、力を加えたときの伸縮のしかたや形状変化のしかたを比較、分析することで、それぞれの布の性質を明確にし、天然由来の布の製品価値を再発見し利用を促進する場面を提案したい。そして、SDGsの理念が掲げるところの「つくる責任、つかう責任」に基づいた自然環境の保護へと繋げたいと考え、研究を開始した。今回は、先行研究の課題であった、布の繊維間隔の測定精度の向上を目指し、装置の改善のための条件を明らかにすることを目標として実験を行った。

## 2. 方法

ヤングの実験の複スリット、および透過型回折格子を用いた光の回折・干渉実験において、スクリーン上の0次の明点と1次の明点との間隔 $\Delta x$ に対して回折格子と見立てた布とスクリーンとの距離 $L$ が十分に大きいときに、強め合いの干渉条件から近似的に $\Delta x=L\lambda/d$ となる。これより、明点間隔 $\Delta x$ を測定することで布の隣合う経糸同士、緯糸同士の間隔 $d$ を求めた。ここでは平織の綿を用いるので4つの測定値の平均を代表値として扱った。具体的には、おもりによる力を加えずに、平織綿繊維にレーザー光を垂直入射させ、スクリーン上の回折像の0次の明点を中心0として4方向の明点間隔をノギスで測定した。 $d=L\lambda/\Delta x$ の式に計測で得られた値の平均値を $\Delta x$ 、レーザー光の波長632 nm、試料・スクリーン間距離 $L$ の値を代入して布の繊維間隔 $d$ を算出した。今回は、実験に最適な $L$ の値を割り出すために $L$ を2.0 m、2.1 m、2.2 mと変えて実験を行った。図1は実験装置の概念図である。図2はスクリーンに写った回折像の0次(中心)と1次の明点のようすである。明点の位置を図2のB、D、F、Hとする。

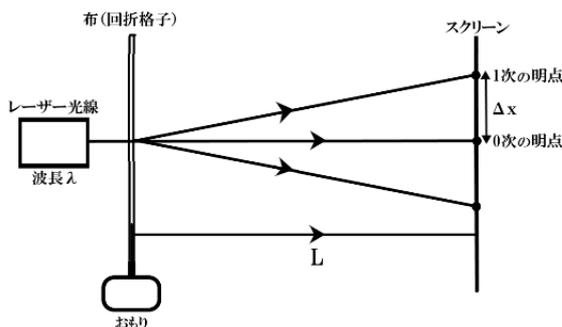


図1 実験装置の概念図

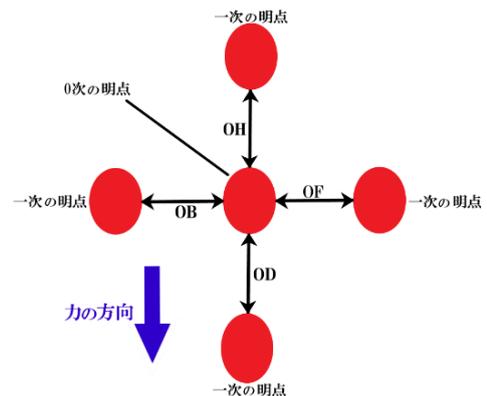


図2 スクリーン上の回折像のようす(0次と1次の明点)

## 3. 結果

布・スクリーン間距離 $L$  [m]と明点間隔 $\Delta x$  [m]、布の繊維間隔 $d$  [m]を表1にまとめ示す。 $L$ と $\Delta x$ (平均値)との関係を図3に、 $L$ と $d$ (平均値)との関係を図4に示す。

- (1) 表1より、4方向とも $\Delta x$ の大きさは平均的にそろっており、4方向とも $d$ の平均値と各方向の測定値の差は小さい。
- (2) 図3より、 $L$ が大きくなると $\Delta x$ も大きくなる傾向が見られる。
- (3) 図4より、 $L$ が大きくなると $d$ は小さくなる傾向が見られる。

表1 試料・スクリーン間の距離  $L$  [m]、明点間隔測定値  $\Delta x$  [m]、繊維間隔  $d$  [m]

$L$ [m]	2.0		2.1		2.2	
	$\Delta x$ [m] ( $\times 10^{-3}$ )	$d$ [m] ( $\times 10^{-3}$ )	$\Delta x$ [m] ( $\times 10^{-3}$ )	$d$ [m] ( $\times 10^{-3}$ )	$\Delta x$ [m] ( $\times 10^{-3}$ )	$d$ [m] ( $\times 10^{-3}$ )
OB	3.43	0.37	4.40	0.30	5.26	0.26
OD	4.11	0.31	4.63	0.29	4.91	0.28
OF	3.30	0.38	4.20	0.32	5.19	0.27
OH	4.17	0.30	4.56	0.29	4.76	0.29
平均	3.75	0.34	4.45	0.30	5.03	0.28

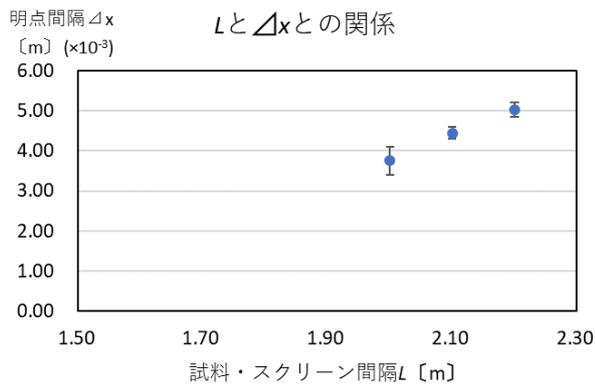


図3  $L$ と $\Delta x$ との関係

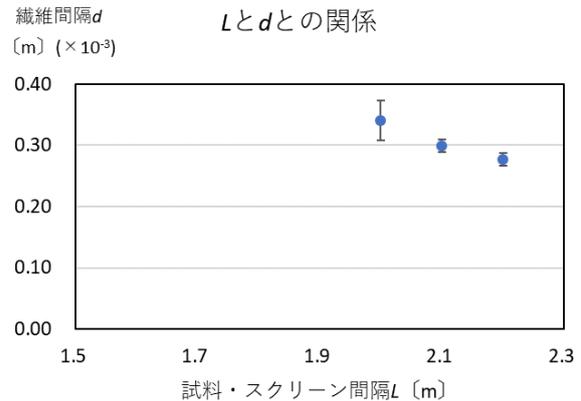


図4  $L$ と $d$ との関係

#### 4. 考察

##### (1) 結果(1)について

力を加えない布の繊維間隔は均等で格子状になっていると言える。

##### (2) 結果(2)、(3)について

$\Delta x = L \lambda / d$ より、 $d$ と $\lambda$ は今回一定値であるので $\Delta x = L \lambda / d$ の式より $\Delta x$ と $L$ は比例関係にある。 $L$ が大きくなるほど $\Delta x$ も大きくなっているのも、その理論に従っているように見える。しかし、図4は本来、 $d = L \lambda / \Delta x$ より、 $L$ が大きくなると $\Delta x$ もそれに比例して大きくなるので $d$ は一定値になる。実験中に力を加えていないので、繊維間隔 $d$ が変わることはない。しかし、図4を見ると、 $d$ は $L$ が大きくなると小さくなる傾向が見られる。実験で得られた $L$ の変化に対する $d$ の変化は理論上予想される $d$ の変化とは違いがあり、今回測定で用いた $L$ の範囲では、正確な $d$ の測定を行うことができないことが分かった。

#### 5. まとめ

$L$ が2.0 m付近では、正確な $d$ の測定を行う事ができないことが分かった。 $L$ の設定範囲を広げてデータ測定を行うことで、繊維間隔 $d$ が一定の値になる $L$ の値を見つけ出すこと、さらに、このような理論式からずれた理由について、 $d$ と $L$ の関係式を理論的に導き、実験でデータと比較を行い考察することを今後の課題とする。

#### 6. 参考文献

- ・高橋雅江・南澤明子・竹中はる子 (1975)「二次元格子としての布の回折像による織物の物性」日本女子大学
- ・二宮結愛・片上航瑠・國田章真・佐々木桜(2021)「二次元回折像を用いた布の性質の比較～伊予かすりの利用促進を目指して～」愛媛県立松山南高等学校

# 翼果を用いた回転体の風力発電の研究

愛媛県立松山南高等学校 翼果班

叶響喜 鴻上瑛望 森孔乃 八尋大蔵 指導教諭 大西大輔

## 1 はじめに

より良い効率でエネルギーを入手できるようになると、現在地球全体の問題となっているエネルギー枯渇への対抗策になる。また、火力発電による地球温暖化の進行防止、原子力発電による放射性物質の削減にもつながると考えている。そこで、空中を回転しながら落下するモミジやトウカエデの翼果(図1)を見て、風力発電の羽に生かせないかと考えた。先行研究では、翼果型ブレードを用いた風力発電では、ブレードの面積や質量には最適条件があることが分かっている。私たちは、先輩の研究を引継ぎ、条件を変えながら翼果型ブレードの最適条件を詳しく調べ、その結果を利用してより効率の高い発電を目指したいと考えた。



図1 モミジの翼果

## 2. 方法

翼果モデルのブレードを用いた実験装置を作成し、そのモデルを用いて対照実験を行うことにした。まずは、ブレードの幅と取り付け角度を変化させて実験を行った。実験データをもとに実験装置の改良を重ね、実験データから最適条件を見つけた。

図2のように、ブレードの幅を12mm、14mm、16mmのものを、水平に対して30°、35°、40°の角度で固定し、2枚羽のブレードを作成した。これを下からの風で安定してホバリングさせるため、図3のように、15mmに切った直径5mmのストローを2枚羽の中心に取り付け、直径3mmの竹ひごを通し、これを軸として回転させることにした。

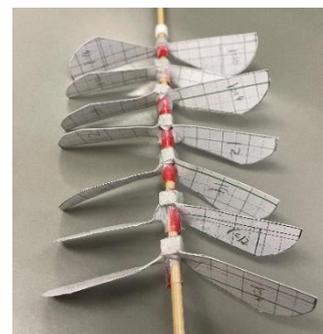


図2 翼果の模型

図4のように翼果モデルのブレードを安定してホバリングさせるため、変圧器を用いてサーキュレーターからの風の強さを調整した。また、ブレードの回転数は、図5の光センサーを用いて、ブレードが回転によって光センサーに入る光を遮る周期の逆数から回転数を算出した。一つの条件につき10回データを取り、その平均値を測定結果とした。

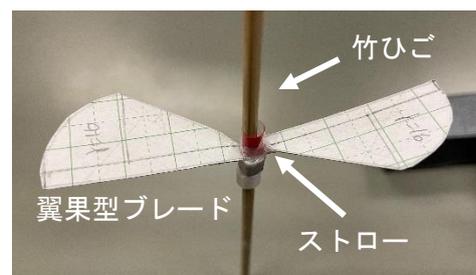


図3 翼果型ブレード

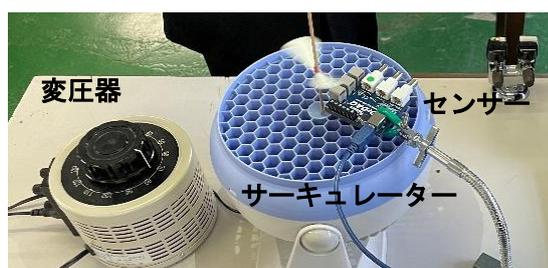


図4 実験装置



図5 光センサー

### 3. 結果

測定結果を表1・図1に示す。今回の実験では、ブレードの幅が3種類しかないため、ブレードの幅と回転数の関係性を見出すことはできなかった。また、ブレードの角度と幅が最も小さいものが安定して回転することが分かった。それ以外のブレードでは、測定結果にばらつきが生じた。

表1 測定結果

	ブレードの角度 30°			ブレードの角度 35°			ブレードの角度 40°		
	r=12mm	r=14mm	r=16mm	r=12mm	r=14mm	r=16mm	r=12mm	r=14mm	r=16mm
1	40.45	92.62	65.40	60.15	99.00	59.53	55.66	56.73	68.24
2	40.62	95.41	66.27	80.03	97.84	59.20	55.17	57.72	67.83
3	40.45	90.61	63.60	79.23	97.34	59.28	56.65	57.64	68.24
4	40.53	93.07	63.63	76.78	96.15	58.87	55.83	57.96	68.49
5	40.53	94.06	61.80	75.95	91.77	58.95	56.07	56.81	67.67
6	40.78	96.36	60.84	73.98	90.39	58.29	56.32	57.39	72.68
7	40.86	90.93	57.60	75.29	89.92	59.28	55.91	57.22	71.61
8	40.86	91.10	58.38	74.20	88.19	59.12	55.74	57.55	68.98
9	40.86	90.77	61.10	75.32	94.43	59.69	55.74	56.48	63.88
10	40.78	89.29	61.67	73.62	91.80	58.21	55.33	56.53	62.65
平均	40.67	92.42	62.03	74.46	93.68	59.04	55.84	57.20	68.03

### 4. 考察

今回の実験だけでは、ブレードの幅や取り付け角度と回転数の間の関係を明らかにすることはできなかった。ブレードの幅をもう少し細かく設定し直さなければならない。また、翼果モデルのブレード作成において、設定した条件のブレードを精度の高いものにしなければ、最適条件の発見にはつながらないと実感した。

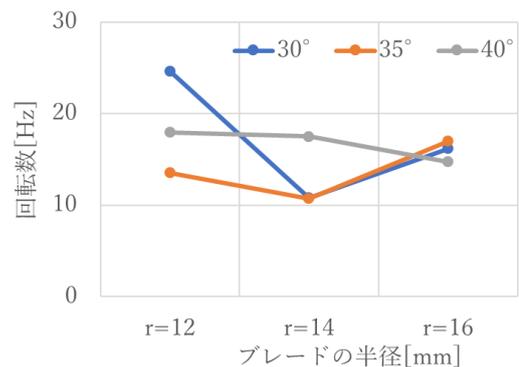


図1 ブレードの半径と回転数の関係

### 5 まとめ

今回の実験では、最適条件について詳しくは分からなかった。今後の展望として、羽の形状（幅・羽の取り付け角度・ブレードの質量）を細かく変え、最適条件を見つけ出したい。また、正確な実験データが得られるように実験の方法を工夫していきたい。そして、この実験の目的でもある「電力を生み出す」ということについては、電力を取り出す方法が難しく実現化することが出来なかった。今後、その方法を模索していきたい。

### 6 参考文献および参照したサイト

- ・下籾裕生、伊澤悠、波多野圭介(2018)「飛行性能の高い翼果の構造」  
<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H29ssh/sc2/21728.pdf>
- ・愛媛県立八幡浜高等学校自然科学部(2015)「イロハモミジの翼果の形状と落下時間についての研究」  
愛媛県立八幡浜高等学校
- ・カメラ・レディ原稿フォーマット (gifu-net.ed.jp)
- ・原田和佳「風力発電の発電量を上げる」[http://konkougakuen.net/ssh%20hp/2011phy\\_40.pdf](http://konkougakuen.net/ssh%20hp/2011phy_40.pdf)

# イチョウの色素に関する研究

愛媛県立松山南高等学校      イチョウ班

稲田鉄生 河野和真 弓立琉晟 渡邊藍子      指導教諭 兵頭英樹

## 1. はじめに

イチョウは我らが松山南高校のシンボルである。イチョウの葉の色は、クロロフィルとカロテノイドという天然の色素によって決まっている。クロロフィルが分解されると、カロテノイドの黄色が目立つようになり、葉が黄色に見えるようになる。私たちは、そのイチョウに注目し、時期や気温によってイチョウに含まれる色素の量がどのように変化するかを調べようと考え、研究を行った。

## 2. 方法

2021年11月29日に採集した葉脈を取り除いたイチョウの葉を、エタノールを入れたビーカーにつけ、湯煎した(図1)。温度を一定に保つために、途中で熱湯を交換した。加熱後、イチョウの葉の色素を抽出したエタノールを溶媒とし、ペーパークロマトグラフィーを行った(図2)。

【実験①】では加熱時間を40分、ペーパークロマトグラフィーの時間を90分で行った。【実験②】では、同じ日に採取したほぼ同じ大きさのイチョウの葉を、6枚に増やし、加熱時間は変えず、ペーパークロマトグラフィーの時間を120分に増やした。【実験③】では、条件を【実験②】と同じ条件のもと、11月29日に採取した葉と12月27日に採取した葉で、同じ実験を行い、比較した。また、結果のRGBに関してはカラーサンプルを、見比べながら計測を行った。

## 3. 結果

【実験①】では、ほとんど色素を抽出できなかった(図3)。【実験②】では【実験①】よりも多くの量の色素を抽出できた。しかし、想定していなかった模様が発生してしまった(図3)。【実験③】では、色素が折り目についてしまい、また全体の色素もかなり薄かった(図4)。また、11月29日のものは黄緑色の液体が抽出された。



図1 湯煎の様子



図2 ペーパークロマトグラフィーの様子



図3 【実験①】(右)と【実験②】(左)のRGB

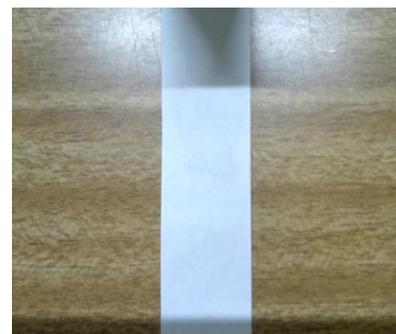


図4 【実験③】の結果

#### 4. 考察

【実験①】のペーパークロマトグラフィーより、【実験②】の方がより多くの色素を抽出できたのは、加熱時間を長くし、長時間加熱したことにより、イチョウの葉の組織をより多く破壊したためだと考えられる。また、よりペーパークロマトグラフィーに時間をかけたことで、図3のような結果になったと考えられる。【実験③】では、ペーパークロマトグラフィーの紙が、実験中不安定だったことを踏まえて、より紙を長くした。その際に折り目を作ってしまったため、そこに色素がついて、うまく抽出できなかった。黄緑色の液体が、ペーパークロマトグラフィーのろ紙に現れたことから、クロロフィルとカロテノイドはうまく分離できなかったと考えられる。この原因も、折り目に溶媒が付着したためと考えられる。

#### 5. まとめ

以上のことから、湯煎する時間を長くし、ペーパークロマトグラフィーの時間を長くしたほうが、安定して色素を抽出できることが分かった。【実験③】では、各色素の分離がうまくできていないので、それを改善する工夫が必要となってくる。また、イチョウの葉の組織をすりつぶしてからペーパークロマトグラフィーを行ったほうが、実験時間を短縮できると考えられるので、実験方法を改良し、条件を変えた実験をたくさん行えるようにしたい。ペーパークロマトグラフィーの紙の長さを変えると結果が変わってしまうので、それも含め各実験の条件の固定し、葉に含まれるカロテノイドの量の数値化を図りたい。また、クロロフィルは低温で分解されて消えてしまうため、冬には測定が難しいと考え、計測は行わなかった。暖かい季節にクロロフィルの計測も行いたい。今後は、カロテノイドの量と地面に置いた際の葉の分解速度の相関も調べていきたいと考えている。それを調べることによって、食品の保存、肥料に有用できると考えている。

#### 6. 参考文献および参照したサイト

- ・中村成夫(2013)「活性酸素と抗酸化物質の化学」日医大医会誌 2013; 9 (3) , p. 164-169
- ・クロマトグラフィーを使用して葉から色を分離します (greelane.com)
- ・カロテノイド | e-ヘルスネット (厚生労働省) (mhlw.go.jp)
- ・小森亨一(2011)「クロマトグラフィーの原理と応用」JAIMA 一般社団法人日本分析機器工業会  
[https://www.jaima.or.jp/resource/jp/basic//pdf/basic\\_04.pdf](https://www.jaima.or.jp/resource/jp/basic//pdf/basic_04.pdf)

# エチレングスがカイワレダイコンに与える影響

愛媛県立松山南高等学校 エチレングス班

白石輝 竹田真宏 西浦晴翔 兵頭吹季 指導教諭 目見田 拓

## 1. はじめに

リンゴなどの青物野菜が発するエチレングスは、植物ホルモンとして働き、植物の成熟を促す働きがあることが知られている。小学校の自由研究で、リンゴの実の中にアサガオの種を二週間埋めた後、種をとりだして育てると、何もしていない種から発芽したアサガオと比べて、茎の長さが長くなり、花や葉の数が減るといった経験をした。

その経験から、エチレングスが種の胚の成熟に作用し、発芽前に何らかの影響を与えていたのではないのか、と考え、エチレングスが植物の成長過程において、どのタイミングで作用して、どの部位にどのような影響を与えるのか調べたいと思い、この研究を行うことにした。

## 2. 方法

発芽しやすく、栽培が容易なカイワレダイコンの種をリンゴの実の中（図1）とリンゴと同じ袋の中（図2）とエチレングスなし（図3）の3つの条件で100個ずつ2週間保存する。その後、一度種を水に付けた後、湿らせた脱脂綿の上に置き、発芽に要する日時とその時の様子や成長過程をを観察する。



図1 リンゴの実の中



図2 リンゴと同じ袋の中



図3 種のみ

## 3. 結果

リンゴと同じ袋の中で保存した種は、発芽した種（34個）のうち76%以上にあたる26個の種が2日目に発芽した（図4・図5・表1）。一方、種のみで保存したものは、発芽した種（38個）のうち、50%にあたる19個が2日目に、37%にあたる14個が3日目に発芽しており、2日目、3日目で87%が発芽した。一方、リンゴの実の中に保存したものは、発芽した種（14個）のうち、64%にあたる9個が3日目に発芽した。発芽した種の合計は、リンゴの実の中に保存したものが、14個で他の条件に比べて半分以下の発芽量になった。



図4 成長の様子

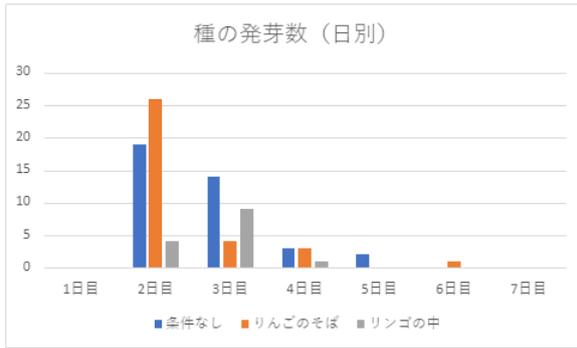


図5 種の発芽数推移 (日別)

表1 種の発芽数 (日別、合計)

	種の発芽数		
	条件なし	リンゴのそば	リンゴの中
1日目	0	0	0
2日目	19	26	4
3日目	14	4	9
4日目	3	3	1
5日目	2	0	0
6日目	0	1	0
7日目	0	0	0
合計	38	34	14

#### 4. 考察

今回の実験の結果から、エチレングスを与える量によって発芽時期が変わることが分かった。条件なしは発芽量のピークが二、三日目に来たが、リンゴのそばに置いたものは二日目に70%以上が発芽し、発芽時期が早まった。リンゴの中に入れたものはエチレンの影響を大きく受け、60%以上が三日目に発芽し、発芽時期が遅くなったことが分かった。少量のエチレングスの場合は発芽時期を早めるが、与えすぎると発芽時期が遅くなることが分かった。

#### 5. まとめ・今後の展望

今回の実験では、エチレングスを与える量によって発芽時期が変わることが分かった。しかし、今回はすべての種が影響を受ける期間が二週間だったので、次回はエチレンの影響を与える期間を一日ずつ変化させながら実験を行う。

#### 6. 参考文献

- ・久保裕亮 (2015)「エチレンはどのようにカイワレダイコンの子葉をカールさせるのか～細胞レベルのメカニズムを探る～」茨城県立並木中等教育学校  
<http://www.asahi.com/shimbun/jsec/jsec2014/winner.html>
- ・岩本 晃琉 小川 茜 山腰 曜子(2018)「リンゴから発生するエチレンの作用について」福井県立高志高校  
[http://www.koshi-h.ed.jp/wp-content/uploads/2018/01/H29\\_09\\_ethylene.pdf](http://www.koshi-h.ed.jp/wp-content/uploads/2018/01/H29_09_ethylene.pdf)

# サワガニにおける迷路学習と記憶能力の研究

愛媛県立松山南高等学校 サワガニ班

松友海音 藤岡弘規 春日井風沙 吉村優 指導教諭 佐々木謙一

## 1. はじめに

サワガニ(沢蟹、学名：*Geothelphusa dehaani*)は、エビ目・カニ下目・サワガニ科の日本固有種のカニである。本州・四国・九州と本土周辺の島嶼に分布し、稚ガニとして孵化し一生を淡水域で過ごす。水がきれいな沢や小川の上流から中流域に多く生息しており、春から秋に活動し、冬には岩陰などで冬眠している。

部活動の一環で水の環境について調べている際、水質階級 I (綺麗な水) の指標生物のサワガニを知った。甲殻類には人間のような発達した脳はなく、頭部神経節と呼ばれる神経の集まりが脳に当たる。甲殻類の学習実験の論文は少なく、身近に生息するサワガニで実験する。この研究を通して、カニの新しい魅力の発見につなげたい。

## 2. 方法

実験の3日前から絶食させた6匹のサワガニ(オス3匹、メス3匹)を迷路(図1)のスタートに立たせ、曲がる方向を間違えた回数とゴールまでの時間を調べる。横37.5 cm, 縦25 cm, 道幅5 cmの経路は一つで5回の方向転換が必要な構造をした迷路を使用する。1週間に一度の実験を4週間同じ時間に行い、2週間後にもう一度行う。その際は、新たに学習させていない3日前から絶食させた6匹のサワガニも用いる。一回の実験ごとに迷路は洗い、再度使用する。

## 3. 仮説

先行研究ではヨーロッパミドリガニを使い、食べ物を動機として4週間同じ日に毎週複雑な迷路(図1)を使ったテストを行っていた。テストを行っている間は食べ物を使い、学習させていた。食べ物が存在していたヨーロッパミドリガニは25分以内にゴールにたどり着き、4週間学習させた後、食べ物を使わずテストしたときヨーロッパミドリガニは8分以内にゴールにたどり着いていたそうだ。先行研究からヨーロッパミドリガニと同様にサワガニも学習成立後、テストしている間より速くゴールへとたどり着くと考える。

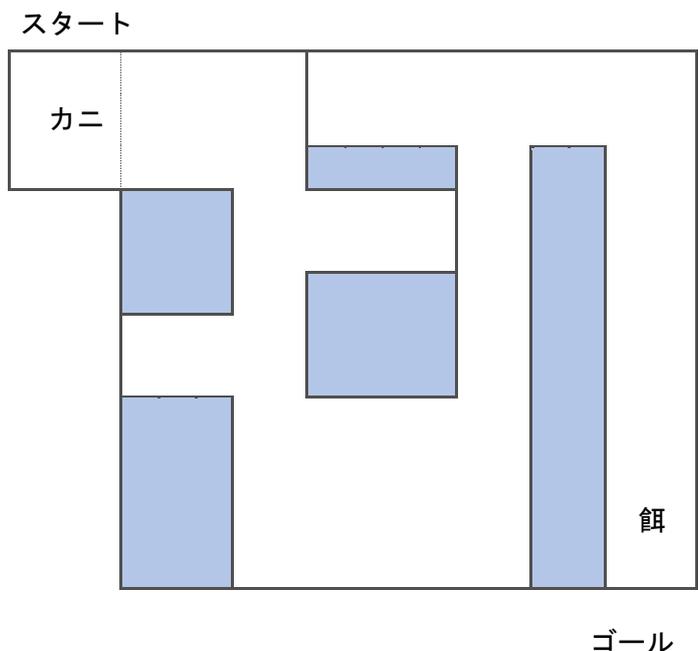


図1 迷路

#### 4. 実験計画

- (1) 2022年1月～4月
  - A 先行研究調査・探究
  - B 水槽の完成
  - C 迷路の作成
- (2) 2022年4月～5月
  - D サワガニの捕獲
  - E 飼育
- (3) 2022年5月～6月
  - F 実験
  - G 結果の整理、考察
  - H 新たな課題設定

#### 5. 今後の展望

現時点で研究の成果が出ていないので、うまく結論をまとめることができないが、このような方法で研究を進め、仮説が正しいか検証していきたい。

#### 5. 参考文献および参照したサイト

- ・Ross Davies, Mary H. Gagen, James C. Bull and Edward C. Pope(2019). Maze learning and memory in a decapod crustacean. *Biology Letters*, 15(10),  
<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsbl.2019.0407>
- ・岐阜県水産研究所. 岐阜県のさかなサワガニ.  
<https://www.fish.rd.pref.gifu.lg.jp/sakana/gyoshu/sawa-gani.html> (最終閲覧:2022年1月31日)
- ・神奈川県(2021). 淡水魚類図鑑.  
<https://www.pref.kanagawa.jp/docs/a4y/images/sawagani.html> (最終閲覧日:2022年1月31日)
- ・環境省水・大気環境局 国土交通省水管理・国土保全局 編(2012)「川の生きものを調べよう 水生生物による水質判定」[https://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/suisituhantei/text.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/suisituhantei/text.pdf).  
(最終閲覧日:2022年1月31日)

# アリ相調査による松山市の自然林と人工林の環境評価

愛媛県立松山南高等学校

アリ班

田中宏汰

大西悠貴

三好啓太

指導教諭

若山勇太

## 1. はじめに

アリは最も身近に見られる生き物の一つであり、基本的に女王を中心に、複数個体が集団生活を送る社会性昆虫である（寺山ら, 2014）。また、環境変化に敏感であるとともに、標本化や同定が比較的容易であることから、環境影響の監視や生態系の管理・回復など、保全評価の目的で利用されている（Lopes & Vasconcelos, 2008）。私たちは、松山市に残っている自然林と人工林において、アリ相調査によってその環境評価を行うことを目的として本研究を始めた。

## 2. 方法

松山市の観光名所である国指定史跡湯築城跡（道後公園）を調査地とし、ふもとの自然林と山頂付近の人工林において、恵曾川・山内(2020)を参考にして以下の方法によってアリ類を採集し（図1）、同定した。調査は2021年10月と同11月に行った。今後は年4回（四季ごと）の調査を行い、同定作業を進める予定である。

### (1) 見つけ採り（単位時間採集法）

地上や石の下、落葉層を這うアリを見つけ、吸虫管を用いて15分間採集する。各人が採集した吸虫管を1調査回数とし、自然林と人工林で3サンプルずつ回収した（図1ア）。

### (2) ピットフォールトラップ

プラスチック容器を10m間隔の直線状に3か所設置し、48時間採集した（図1イ）。

### (3) 土壌抽出（ツルグレン装置）

50cm×50cm、10m間隔の直線状で3か所の土壌を採取して持ち帰り、自作のツルグレン装置を用いて48時間採集を行った（図1ウ）。



図1 調査方法

## 3. 結果

採集したアリは寺山ら(2014)または日本産アリ類画像データベース（<http://ant.miyakyo-u.ac.jp/J/>）に従って同定を行った。最終結果を表1と図2に示す。2021年10月と同11月の調査では、人工林と自然林では出現種数に差はなかった。オオハリアリ（図3ア）は2回の調査中いずれも自然林、人工林の両方で確認することができた。また、個体数としてはキイロシリアゲアリ（図3イ）が最多となった。

表1 道後公園におけるアリ相調査結果（2021年10月～11月）

種名	自然林			人工林		
	見つけ採り	トラップ	土壌抽出	見つけ採り	トラップ	土壌抽出
オオハリアリ	7	3	2	14	9	0
キイロシリアゲアリ	5	149	58	1	0	0
アミメアリ	2	0	0	4	0	0
オオシワアリ	0	0	0	34	0	0
ハヤシナガアリ	1	0	0	0	0	0
オオズアリ	0	0	0	3	0	0
アメイロアリ	7	0	0	5	0	0

※数値は個体数

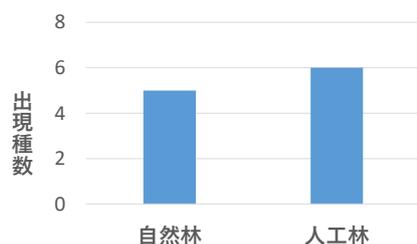


図2 自然林と人工林における種数比較



図3 同定した主なアリ（バーは2mm）

#### 4. 考察

表1および図2から、人工林と自然林では個体の種類数に差はほとんど見られなかった。キイロシリアゲアリが自然林で極端に多かった原因として、調査した場所の近くに巣があったことが考えられる。個体数による比較はこのように巣の影響を受けてしまうので、今後は出現頻度による分析も検討する。

自然林のみに見られたハヤシナガアリは、林床の土中に営巣することから（寺山ら, 2014）、落葉層が厚い自然林で出現したと考えられる。人工林のみに見られたオオシワアリやオオズアリは、比較的開けた場所や裸地、林縁、林内に生息することから（寺山ら, 2014）、人工林での出現は妥当であるとともに、道後公園の自然林が単純な階層構造ではないことが裏付けられる。

#### 5. まとめ

自然林と人工林における種数は同等であったが、出現種には差異が見られた。今後1年間調査を継続して自然林と人工林の環境評価を行い、都市部に残る自然林の存在価値について見直していきたい。

#### 6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究方法や文献調査において指導助言をいただいた山内健生准教授（帯広畜産大学畜産学部環境生態学ユニット）と調査地における案内や指導助言をいただいた田中哲也氏（湯築資料館事務局長）に心から感謝申し上げます。

#### 7. 参考文献および参照したサイト

- Lopes, C. T., and H. L. Vasconcelos. (2008) Evaluation of three methods for sampling ground-dwelling ants in the Brazilian Cerrado. *Neotropical Entomology* 37, 399-405.
- 恵曾川秋恵・山内健生(2020)「帯広の森のアリ相」2020年度北海道応用動物・昆虫研究発表会資料
- 寺山守, 久保田敏, 江口克之(2014)「日本産アリ類図鑑」朝倉書店
- 日本産アリ類画像データベース <http://ant.miyakyo-u.ac.jp/J/>

# メダカの「見る」能力

愛媛県立松山南高等学校

メダカ班

今村元亮

伊藤楓光

田村璃久斗

指導教諭

山崎涼

## 1. はじめに

眼はその持ち主の生息環境に合わせて多様な形態をとる。色覚や解像度など、種によってさまざま。鳥類や昆虫など、現在では動物の視覚に関する研究は多岐にわたる。もちろん魚類においても研究はなされており、魚類の場合、方法は学習実験<sup>1</sup>や電気生理実験<sup>2</sup>など、様々にある。私たちはもともと、メダカの学習能力について研究する予定だった。しかし、メダカを飼育するうちに、メダカがエアストーン<sup>3</sup>の破片をついばむことに気づいた。そして、この行動は、メダカが餌と破片を見間違えることが原因なのだろうか、という疑問を持った。本実験では、メダカの視力の程度を、学習実験を用いて説明することを目標とする。

## 2. 方法

水槽と同じ幅のラミネートフィルムを2枚用意し、それぞれ別の図形(約6cm四方)を表示する(図1・図2)。そのラミネートフィルム2枚を水槽に入れ、ラミネートフィルムの中にメダカを追い込み集める。また、水槽の側面にラミネートフィルムに表示したものとそれぞれ同じ図形を提示する(図3)。それらの図形を30秒間メダカに見せ、その後、メダカを追い込んでいたラミネートフィルムを外す。10秒間経過したのち、水槽を別のラミネートフィルムで二分し(図4)、片一方の図形の方のみ餌を与え、数分後にラミネートフィルムを外す。

(餌を与える方の図形は図1であり、ダミーの図形は図2である。)  
メダカが、図1の方で餌が得られることを学習すれば、ラミネートフィルムを外した時に、能動的に図1の方に集まるはずだ。水槽を二分した段階で、図1の方にいるメダカの数を知る。学習が完了するまで、この実験を繰り返す。10匹のうち7匹が図1の方に集まることが5回連続したときに、メダカの学習が完了したとみなす。この実験によってメダカに学習能力があるか、また、2つの大まかな図形の違いを認識できるか、確認する。



図1 餌を与える方の図形



図2 ダミーの図形

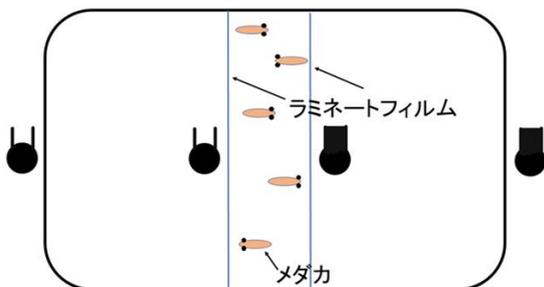


図3 メダカをラミネートフィルムの中に追い込む処理

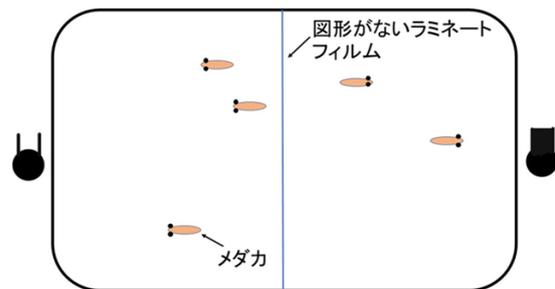


図4 ラミネートフィルムで二分する処理

### 3. 先行研究の結果

川村軍蔵鹿児島大学名誉教授の研究<sup>2</sup>より、ブラックバスは人間よりも高度な形状識別能力を持っていることがわかっている。また、実験を進める際、短時間に表示される図形を見分けるといった高度な要求に対しては、ブラックバスが神経症になってしまうこともわかっている。その他に、N. S. サザーランドの研究<sup>1</sup>より、図形の違いを認識する際、ネズミは図形の下部を、キンギョは図形の上部を判断材料にしていることもわかっている。

### 4. 先行研究から考察

目の大きさから、ブラックバスと同程度の形状識別能力は持っていないと推測する。また、生息環境の違いなどから、メダカはブラックバスよりもストレスに弱いことが考えられるため、単純な実験から慎重に進める必要がある。そして、メダカが図形の違いを図形の上部で判断するという確証はないが、実験に用いる2つの図形の違いは上部に表すこととする。

### 5. まとめ

メダカが簡単な図形を判別することができるかどうか調べることを課題とする。今後、メダカが形状識別能力をもっており、図形を判別することができるに分かれれば、徐々に「餌を与える方の図形」(図1)の上部の2本の線を太くして「ダミーの図形」(図2)の形によせていき(図5)、メダカがどの程度まで判別できるか、メダカの視力の程度を測定する。メダカの視力の程度が判明すれば、メダカが生きる上でどの程度視覚からの情報を重要視しているのかが分かる。もし視力が高ければ、メダカがエアストーンの破片をメダカがついばむ理由について、視力が高くなければ、改めて聴覚や嗅覚などについて調べ、メダカが餌を探すときなどに重要視している器官がなにかということ調べる。メダカが生きる上で重要視している器官が判明すれば、人間がメダカを飼育する際にメダカにとって安全な環境を作るのに役立てられるのではないかと考える。

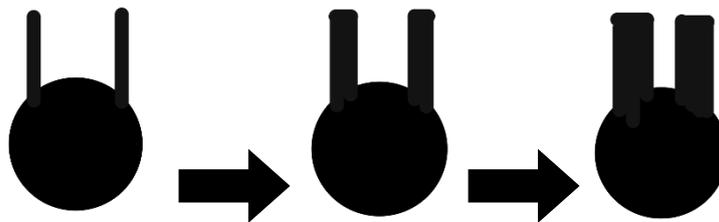


図5 「餌を与える方の図形」を「ダミーの図形」によせていくイメージ

### 6. 参考文献

1. J. MACKINTOSH AND N. S. SUTHERLAND(1963) VISUAL DISCRIMINATION BY THE GOLDFISH: THE ORIENTATION OF RECTANGLES, ELSEVIER p. 135
2. 川村軍蔵(2010)「バルソープックス4 魚との知恵比べ3 訂版-魚の感覚と行動の科学-」成山堂書店

# 音によって活性化された微生物が植物に及ぼす影響

愛媛県立松山南高等学校 微生物班

今津陸 岡部翔太郎 伊達雄哉 古川絵翔 指導教員 松下吉之・後野響生

## 1. はじめに

ダーウィンの時代から、音と生物の研究は存在していた。ダーウィンはミミズに音を聞かせていたというが、真偽は明らかにならなかった。野菜農家の中には作物に音楽を聞かせる方法を試しているというが、科学的根拠はない。しかし、コウモリやコオロギなど音を使う生物は少なくない。調べたところ、酒や鯉節などの発酵食品などに使われた例があることを知った。音で微生物を刺激することで、発酵が促進されるためである。本研究では、音と微生物の関係性を明らかにし、植物の成長に与える影響を明らかにすることを目的とする。

## 2. 方法

### (1) 実験に用いた腐葉土

まず、腐葉土を高い音(20000Hz)を聞かせるもの、低い音(100Hz)を聞かせるもの、何も聞かせないものの3つ、それぞれ100gずつに分けた。腐葉土の中には、分解されやすいキャットフード(図1)を入れた。この時、何も聞かせないものを①、100Hzを流したものを②、20000Hzを流したものを③とした。5日間毎日決まった時間に音を流し、それぞれの日の様子を観察した。



図1 元のキャットフード

### (2) 実験装置

Frequency Generator App というアプリを使い、スピーカーを取り入れて直接音が届くようにした。この時、段ボールで周囲の音と遮断した。

## 3. 結果

### (1) 1日目

特に変化は見られなかった。直径は12mmだった。

### (2) 2日目

三つとも感触が柔らかくなったが、形に変化はなかった。直径は12mmだった。

### (3) 3日目

2日目よりほんの少し小さくなり、直径は11mmだった。

### (4) 4日目

①は特に変化がなく、直径は10mmだった。

②では白い部分が見られた。直径は9mmでキャットフード内は一部白色になっていた。

③ではキャットフードが見られなくなった。

### (5) 5日目

どの袋でもキャットフードが見られなかった。後日改めてキャットフードを割って確認すると、白カビのようなものが見られた。



図2 ①のキャットフード



図3 ②のキャットフード



図4 ③のキャットフード

#### 4. 考察

今回の実験では、分解されやすい材料を使用したのに加えて、場所の違いがあることから結果に差が見られなかった。そのため、菌の繁殖と音の有無に関係がないというには証拠不十分であると考えた。以上のことから、今後の研究では分解されにくい材料を使って試してみる。

#### 5. まとめと今後の課題

今回の実験では1週間で菌が繁殖することが分かったが対照実験としては少々失敗した部分があった。今後の実験では、観察するタイミングをしっかりと管理し、一つずつ条件を変えて明確な結果を取っていきたい。

#### 6. 参考文献および参照したサイト

- ・無印良品 音楽と発酵 <https://www.muji.net/lab/living/140604.html>
- ・野口明徳(2014)「食品微生物の増殖・代謝への通電処理・超音波照射の影響」『醸協』(2014)第109巻第6号, p. 410-416  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jbrewsocjapan/109/6/109\\_410/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jbrewsocjapan/109/6/109_410/_pdf/-char/ja)

