



40年目を迎えた島田川水質調査

徳山高校では、毎年、地域の水源である島田川を水質調査しています。調査項目はpH、アルカリ度と酸度（滴定）、アンモニア態窒素（吸光度測定）、硝酸態窒素（吸光度測定）、塩化物イオン（滴定）、硫酸イオン（滴定）化学的酸素要求量（滴定）、硬度（滴定）リン酸（吸光度測定）の9項目にも及びます。17測定点の水質を丸1日かけて徹底的に調査してレポートにまとめます。計画、準備、実施、後片付け、まとめ。積み重ねた歴史は徳山高校の伝統となり、化学実験の修行場となりました。「徳山高校が地元の水資源を守っている」地域の方に言われた一言です。

令和6年度 スーパーサイエンスハイスクール 生徒課題研究論文集



令和7年3月
山口県立徳山高等学校

メルデの実験の拡張

山口県立徳山高等学校 2年 清水一 国英誠 池田健 田村真樹 中村真樹 長田直樹 長田直樹

背景

【メルデの実験】

●疑問
電圧と電流が電流計に流れると、磁場の磁束と電流の電圧はどのような関係になるのか？

●仮説
電圧の値が電流の値に比例して増加し、電流の値が電流の値に比例して減少する。

本研究

電圧と電流の関係を調べる。
電圧と電流の関係を調べる。
電圧と電流の関係を調べる。

結果

●交点の位置

1N	2N	3N
13.8°	22.4°	26.4°

おもりを重くすると交点が右にずれた。

考察

上記の結果から、電圧は電流と電流の値に比例して増加することがわかった。電圧の値が電流の値に比例して増加することから、電圧と電流の値は比例関係にあることがわかった。

細胞の機能性を調べる一歩の酸化還元

山口県立徳山高等学校 2年 清水一 国英誠 池田健 田村真樹 中村真樹 長田直樹 長田直樹

背景

【細胞の機能性を調べる一歩の酸化還元】

●疑問
細胞の機能性を調べる一歩の酸化還元はどのような関係になるのか？

●仮説
細胞の機能性が酸化還元と電圧の値に比例して増加し、電流の値が電流の値に比例して減少する。

本研究

細胞の機能性を調べる。
細胞の機能性を調べる。
細胞の機能性を調べる。

結果

●交点の位置

1N	2N	3N
13.8°	22.4°	26.4°

おもりを重くすると交点が右にずれた。

考察

上記の結果から、電圧は電流と電流の値に比例して増加することがわかった。電圧の値が電流の値に比例して増加することから、電圧と電流の値は比例関係にあることがわかった。

イカから出る廃棄物の再利用法 ～イカでイカを釣る～

山口県立徳山高等学校 2年 松永七海 萩井瑞子 田嶋真樹 長々本雅介

背景

【イカから出る廃棄物の再利用法】

●疑問
イカから出る廃棄物の再利用法はどのような関係になるのか？

●仮説
イカから出る廃棄物の再利用法が電圧の値に比例して増加し、電流の値が電流の値に比例して減少する。

本研究

イカから出る廃棄物の再利用法を調べる。
イカから出る廃棄物の再利用法を調べる。
イカから出る廃棄物の再利用法を調べる。

結果

●交点の位置

1N	2N	3N
13.8°	22.4°	26.4°

おもりを重くすると交点が右にずれた。

考察

上記の結果から、電圧は電流と電流の値に比例して増加することがわかった。電圧の値が電流の値に比例して増加することから、電圧と電流の値は比例関係にあることがわかった。

「スーパーサイエンスハイスクール 生徒課題研究論文集」

やまぐちけんりつとくやまこうとうがっこう
山口県立徳山高等学校 理科・普通科

背景

【スーパーサイエンスハイスクール】

●疑問
スーパーサイエンスハイスクールの生徒課題研究論文集はどのような関係になるのか？

●仮説
スーパーサイエンスハイスクールの生徒課題研究論文集が電圧の値に比例して増加し、電流の値が電流の値に比例して減少する。

本研究

スーパーサイエンスハイスクールの生徒課題研究論文集を調べる。
スーパーサイエンスハイスクールの生徒課題研究論文集を調べる。
スーパーサイエンスハイスクールの生徒課題研究論文集を調べる。

結果

●交点の位置

1N	2N	3N
13.8°	22.4°	26.4°

おもりを重くすると交点が右にずれた。

考察

上記の結果から、電圧は電流と電流の値に比例して増加することがわかった。電圧の値が電流の値に比例して増加することから、電圧と電流の値は比例関係にあることがわかった。

令和6年度

スーパーサイエンスハイスクール生徒課題研究論文集



山口県立徳山高等学校

山口県立徳山高等学校

令和6年度スーパーサイエンスハイスクール生徒課題研究論文集

もくじ

はじめに	1
Ray of Fresh～光による魚の腐敗抑制～	2
紫外線の可視化	6
ミジンコの光走性と光の波長	10
球面上における作図の考察	14
イカから出る廃棄物の再利用法～イカでイカを釣る～	20
メルデの実験の拡張	24
バブルリングを用いた海洋ゴミ回収の実現	28
微生物燃料電池の土壌条件	32
フェライティングマーカー～砂鉄を使って消しやすく回収可能な WM を作ろう～	36
ごぼうを用いた染色について	40
粃殻炭の可能性を探る～油の劣化抑制へ～	44
親検知通知システム	48
セルロースの加水分解で世界を救う	52
クエン酸における鉄さびの除去とそのメカニズムの検証	56
三角形を規則的に変化させたときの五心の軌跡	60
品種による米ノリの強度向上について	64
うぐいす張りの石畳に関する現象の解明と考察	68
アメフラシ類の紫汁の生物忌避及び付着阻害効果の検証	72
果物の皮をリサイクル！	76
外的要因によるプラナリアの反応	80
空の色はなぜ青いのか	84
多肉植物の成長に適した条件	88

はじめに

山口県立徳山高等学校は、令和2年度に第Ⅲ期スーパーサイエンスハイスクール(以下SSH)に指定されました。これまで継続してきた様々な取組は、地域の方々、企業、大学、保護者、卒業生など多くの方に支えられながら成熟し、現在は学校の特色を形成するまでに成長しています。その成果として、科学部部員および「課題研究Ⅱ」受講者が作成した課題研究論文を本論文集に掲載しています。

課題研究に対する取組は、SSH指定第Ⅲ期に入って大きく飛躍し、指定5年目となる今年度も質・量ともに充実した内容の研究が多数行われました。課題研究の校外発表数は、第Ⅱ期最終年度の18件から毎年増加して今年度は51件に達し、全国大会で発表する研究も6件ありました。そのような研究の中から、「イカから出る廃棄物の再利用法～イカでイカを釣る～」 「うぐいす張りの石畳に関する現象の解明と考察」がそれぞれ「マリンチャレンジ中国・四国大会 優秀賞」「サイエンスキャスル 2024 東京・関東大会 THK 賞」を受賞しました。延べ11名の生徒が表彰され、さらなる研究へのモチベーションや次の研究をする生徒への目標となっています。

こうした課題研究活性化の大きな要因は、「校内科研費」制度と「企業連携」です。「校内科研費」制度とは、生徒の研究計画のプレゼンテーションを校長が評価し、実験機材の購入や発表旅費に使う資金を交付する本校独自の研究支援制度です。この制度は、SSH指定第Ⅱ期の最終年度(令和元年度)から始まり、今年度で6年目となります。今年度は、一昨年度の過去最多に次ぐ13の生徒チームが申請し、総額64万円をチームに分配しました。申請チーム数は、令和元年度には4チームでしたが、現在では十数チームが通常となりつつあります。また、「企業連携」も課題研究の質向上に大きく貢献しています。課題研究では、しばしば生徒や教員だけでは解決できない技術的、金銭的な問題に直面します。本校では、測定機器の借用や、技術的な助言など、企業から手厚い支援を受けることができます。高校生の研究活動を支援する様々な企業や地域の人々とのつながりは、探究活動を持続させる原動力になると考えています。

このように、徳山高校は「校内科研費」制度と「企業連携」により、生徒の自主性と主体性を維持しながら、質の高い課題研究を実現するに至りました。

本論文集に掲載されている論文には、課題研究の過程で生徒の得た様々な学びの成果が表れています。SSH事業を通じて、生徒は研究を計画し、実験を準備し、試行錯誤を繰り返しながら成果をまとめて発表し、論文を作成します。このような課題研究の過程が生徒に様々な学びを与えています。

未来を支える科学技術人材を育成するため、忌憚のないご意見をいただけたらと存じます。

令和7年3月

SSH主任 有馬和宏

Ray of Fresh ～光による魚の腐敗抑制～

荒川智宏、佐伯隼一、福田龍吾、松原由弥、横山理樹

指導教員 佐々木啓介

アブストラクト

近年、食品の廃棄についてよく耳にする。そこで私たちは生鮮食品の保存期間を延ばすことが出来な
いか考えた。魚の切り身を紫外線、近赤外線、遠赤外線が全面に照射される装置に置き、その菌数と
pH を調べた。結果は紫外線照射がもっとも菌数を抑えられたが、pH が高くなり、近赤外線も菌数の増
加を抑えられ、pH は若干あがった。このことから、近赤外線が最も品質を保つことが分かる。今後の
展望は食肉や貝類など他の生鮮食品やK値などの評価方法を用いることが挙げられる。

1. 研究目的

濱中大山氏の「農産物に対する紫外線照射と赤
外線加熱の組み合わせによる殺菌効果」という論
文を読み、赤外線や紫外線のような光が農産物の
保存に与える影響を知り、食品ロスの削減が叫ば
れる現代において、この手法を他の食品にも応用
できないかと考えた。そこで、私たちは生鮮食品
としてなじみ深く、保存方法によって状態が大き
く変化する水産物に着目し、光の照射によって魚
類の保存期間を延ばすことができるか、腐敗の仕
方がどのように変化するかを確かめたいと考え
た。

2. 研究方法

予備実験

(1) pH メーターの校正

- ① フタル酸塩 pH 標準溶液 (pH4.01) と中性りん
酸塩 pH 標準溶液 (pH6.86) をビーカーに入れ
る。
- ② pH メーターの電極を pH の低い順に pH 標準
溶液につけ、校正を行う。

(2) 標準寒天培地の作成

- ① 三角フラスコに標準寒天培地 7.83g をいれ
300mL の蒸留水にとかす。
- ② ①の三角フラスコをアルミホイルで蓋を
し、オートクレーブにいれ、殺菌する。
- ③ 殺菌した標準寒天培地が入った三角フラ

スコをクリーンベンチ内で 10 枚の滅菌シ
ャーレに等しい量注ぐ。

- ④ 標準寒天培地が固まるまで置き、パラフィ
ルムで封をする。

(3) 生理食塩水の作成

- ① 9g の塩化ナトリウムを 1000mL の水に溶
かす。
- ② ①で作成した溶液を三角フラスコに注ぎ、
アルミホイルで蓋をし、オートクレーブに
いれ、殺菌する。
- ③ 殺菌した生理食塩水が入った三角フラスコ
をクリーンベンチに置き、パラフィルムで
蓋をして保存する。

本実験

メバチマグロのブロックを 10g 前後の重さにな
るように切り分け、放置なし(その他のサンプル
を作った後冷凍したもの)のサンプル、自作の装
置を使用して近赤外線 (780nm)、遠赤外線 (1.45
μm)、紫外線 (370nm) を照射しながら 21℃ に設定
したインキュベーター内で 1 日間放置した 3 つの
サンプル、同条件で何も照射せず放置したサンプ
ルの合計 5 種類のサンプルを作り次の実験を行
う。

(1) pH の測定

- ① 魚肉片を細かく刻み、蒸留水で 10 倍に希釈

する。

- ② ①の液を不織布でろ過した後、マグネティックスターラーで攪拌しながら pH メーターを用いて pH を測定する。

(2) 寒天培地を用いた生菌数測定

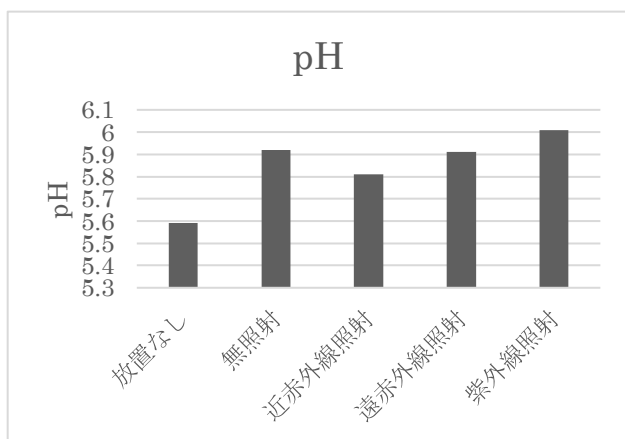
- ① 魚肉片を細かく刻み、濃度 0.9% の生理食塩水で 10 倍に希釈し、マイクロチューブを用いてこの液を 10 倍に希釈する。これを原液とし、原液を 100 倍、1000 倍まで希釈する。
- ② 寒天培地に②の原液、100 倍希釈液、1000 倍希釈液を 70 μ l 塗布する。
- ③ サンプルを塗布した寒天培地を 2 日間 37℃ で放置した後 ImageJ という画像処理ソフトウェアを用いてコロニー数を計測し、細菌数を求める。

3. 結果

(1) pH の測定

本実験 (1) で、各条件につき pH を 3 回測定し、平均値をとったものをグラフ 1 に示す。

1 日放置したサンプルは、放置をしていないサンプルに比べいずれも pH の値は上昇しており、その中で最も値の上昇が大きいのは紫外線を照射したもので、最も値の上昇が小さいのは近赤外線を照射したものであった。



グラフ 1 各条件の pH の値

(2) 細菌数の測定

本実験 (2) で作成した寒天培地のうち、無照射、近赤外線照射、遠赤外線照射、紫外線照射のサンプルの 1000 倍希釈液を塗布した寒天培地の様子をそれぞれ写真 1、2、3、4 に、各条件の原液、100 倍希釈液、1000 倍希釈液を塗布した寒天培地で見られたコロニー数をグラフ 2 に示す。

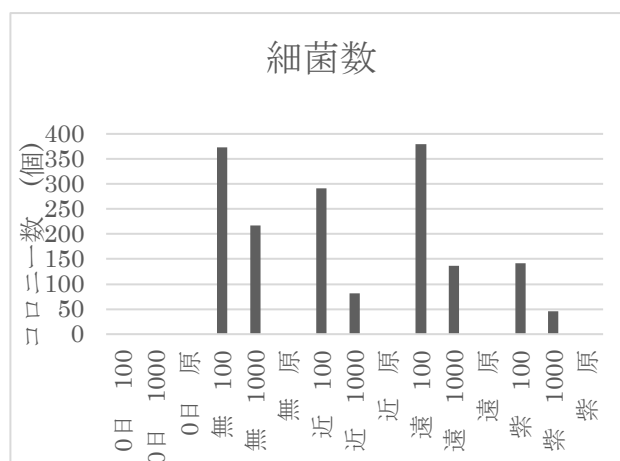
グラフ 2 から、1000 倍希釈液を塗布した寒天培地において光を照射したものは無照射のサンプルに比べコロニー数が少なく、特に紫外線を照射したものについては写真の様子からも明らかに少なかった。一方で、無照射のものと赤外線を照射したものについては、点のように発生していたコロニーだけでなく、広がるように発生していたコロニーもあり、一見してコロニー数の差を判別することは難しかった。なお、グラフ 2 において各条件の原液を塗布した寒天培地は細菌数が極めて多かったためにコロニー数の測定ができなかった。また、放置なしのサンプルを塗布した寒天培地にはいずれもコロニーが確認できなかった。



写真 1 無照射 1000 倍の寒天培地



写真2 近赤外線照射 1000 倍の寒天培地



グラフ2 各条件のコロニー数

4. 考察

(1) pH の測定

グラフ1で、常温で放置した4つのサンプルは放置していないサンプルに比べ pH の値が上昇していることから、魚肉が腐敗すると pH の値が上昇することがわかる。

また、1日間放置したサンプルの中で近赤外線、遠赤外線を照射したサンプルは何も照射しなかったサンプルに比べて pH の値の上昇が抑えられていたことから、赤外線には魚肉の腐敗を抑制する効果があると考えられ、特に近赤外線は高い効果を持つといえる。

一方で、紫外線を照射したサンプルは何も照射していないサンプルに比べて pH の値の上昇を抑えられていなかったことから、紫外線は腐敗を抑制することができないと考えられる。

(2) 細菌数の測定

グラフ2で、照射を行った3つのサンプルは何も照射していないサンプルに比べてコロニー数が少ないことから、近赤外線、遠赤外線、紫外線は細菌の増殖を抑えることができ、その中でも紫外線が最も殺菌効果が高く、遠赤外線が最も効果が小さいと考えられる。

また、放置なしのサンプルを塗布した寒天培地でコロニーが確認できなかったのは冷凍によってサンプル内の細菌が死滅したためであると考えられる。

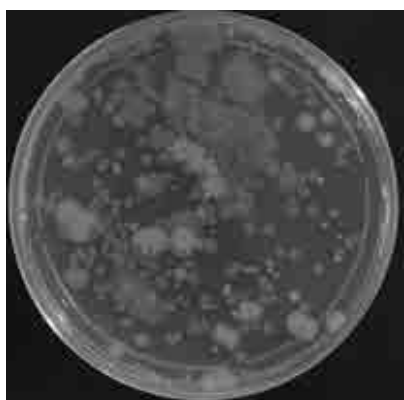


写真3 遠赤外線照射 1000 倍の寒天培地



写真4 紫外線照射 1000 倍の寒天培地

5. 結論

グラフ 1、グラフ 2 より、pH の値の上昇を最も抑えられ、コロニー数の増加も抑えられていた近赤外線が魚の保存期間の延長に最も効果があるといえる。また、紫外線は殺菌に関して最も効果が高かったが、pH の上昇が最も大きく、これは紫外線が細菌のタンパク質だけでなく、魚肉自体のタンパク質を変性させてしまったためであると考えられ、紫外線は魚肉の保存にはあまり適していないといえる。

今後はK値やヒスタミンなど、今回使用できなかった腐敗の評価方法を使用すること、タイやサケなど、メバチマグロ以外の種類の魚肉で同様の実験を行い、魚種による照射の影響の違いを調べることに、貝類などの魚肉のほかの水産物、食肉をはじめとした畜産物の保存期間の延長について調べることを行いたい。

6. 謝辞

この研究を行うにあたって、研究の助言や指導、実験器具の準備をしてくださった佐々木先生、山本先生をはじめ、お世話になった先生方、また、研究費を助成していただき、実験方法に関して多くの助言を下さった株式会社リバネスの皆様及び日本ハム株式会社の皆様にこの場をお借りして謝辞を申し上げます。

7. 参考文献

「農産物に対する紫外線照射と赤外線加熱の組み合わせによる殺菌効果」濱中大介, 農業食料工学会誌, 2016 年

紫外線の可視化

小川大心、木下隼介、田代侑己、堤康稀、中居昂太

指導教諭 樋口拓海

アブストラクト

昨今多くの人々は、特に夏に紫外線の強さを気にかけ、日焼け対策を行っているが、多くの人が参考にする天気予報での紫外線量の大きさは、その場所の大局的なものであり、自分が今いる場所の具体的な紫外線の強さを知ることはできない。そこで私たちは、Arduino を用いて今いる場所の紫外線の強さを測定することを可能にするアプリケーションを開発することを目指とした。しかし最終的に完成したアプリケーションでは、小さい電磁波の影響を受けるなど、やや実用化には難しい点を持っている。今後はこのアプリケーションがより正確に、そして簡単に紫外線量を計測できるようにしたい。

1. 研究目的

近年は、男女問わず誰でも肌の健康を気に掛ける人々は多い。そのような人々の最も懸念する事項の一つは紫外線の強さであり、それゆえ人々は特に夏に紫外線の強さを天気予報等で気に掛ける。

しかし、天気予報による紫外線の強さの予測は、あくまでその土地の大局的なものでしかなく、実際に私たちがいる各場所の具体的な紫外線の強さを知ることができない。私たちはこの不便さを解決すべく、iPhone を用いて紫外線の強さを測定することのできるアプリケーションを開発し、人々の日焼け対策に役立てることを目的とした。

2. 研究方法

Arduino を用いて、広く普及している iPhone に適合する紫外線測定アプリケーションを作成する。

(1) Arduino で紫外線量を測定する

紫外線センサー (GUVA-S12SD) (図 1) を用いて、Arduino で回路を組む。この紫外線センサーは、紫外線の強さに応じて特定の電圧を測定値として与える形式のものである。またこのとき、屋外での使用の利便性を考慮して、9V 電圧の積層電池を外部電源として用いる。(図 2)

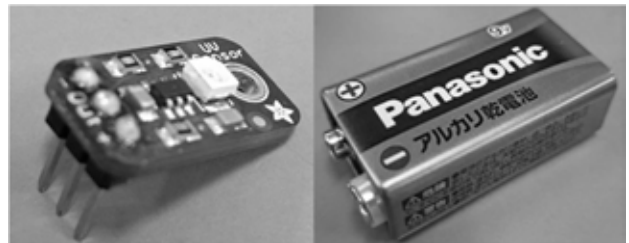


図 1 : 紫外線センサー

図 2 : 積層電池

(2) Arduino を用いて測定値を Windows に転送する

(1) で紫外線センサーを取り付けた時と同時に、Bluetooth センサーを取り付ける (図 3)。この Bluetooth センサーを用いて、Arduino から Windows に測定値となる電圧を送信する。今回用いる Arduino の Bluetooth では、スマートフォンの Bluetooth に適合しないため、途中で Windows を経由する必要がある。

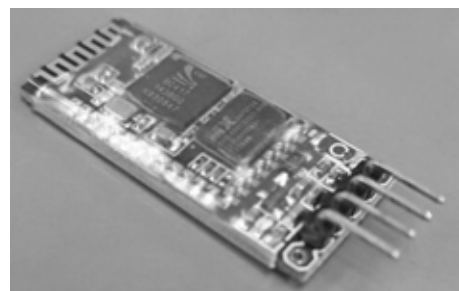


図 3 : Bluetooth センサー

(3) Windows からスマートフォンに転送する

Windows から Bluetooth を用いてスマートフォンに測定値を転送する。またこの際、Windows 上で UV 指数を計算し、それをプロットしたグラフを表示する。

（４）転送された測定値をわかりやすく表示するアプリケーションを作成する

（３）によってスマホに転送された UV 指数の数値データを用いて、数値の大きさに応じた図形を表示するアプリケーションを作成する。アプリ使用者は、図形によって視覚的に紫外線量を判断することができる。

（５）ベイズ推定を用いて窓からの紫外線量を予測する

室内での紫外線量の計測のために、ベイズ推定という手法を用いる。この手法は、多次元の正規分布を用いて多くの変量の総合的な値を判断するという手法である。この手法により、窓の一部分からの紫外線量の計測ができれば、その数値と、窓の他の部分から自分自身への距離の情報を用いて、窓全体からの紫外線量を推定することができるようになり、室内の窓からの実際の紫外線量をより正確に計測することができる。

３．結果

（１）より、Arduino の回路図を図４に示す。この回路図では、右下部品が紫外線センサー、その左にあるのが Bluetooth センサーである。

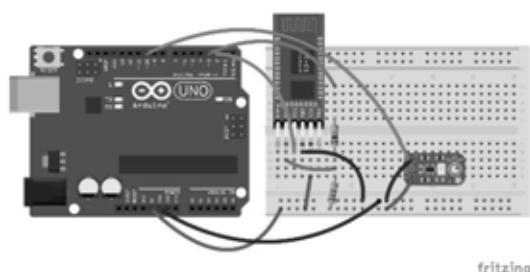


図４：Arduino の回路図

（３）より、実験室内の定常状態において、Windows 上で得られた UV 指数をプロットしたグラフを図５に示す。

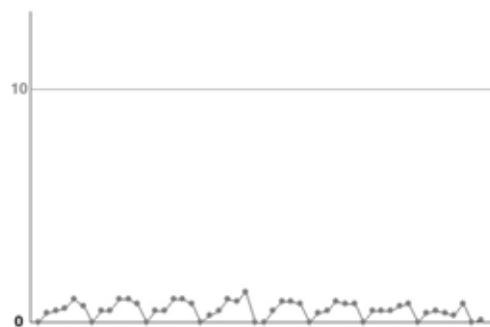


図５：時間変化に対する UV 指数の変化

（４）より、作成したアプリケーションの UI を図６に示す。



図６：UV 指数の表示の様子

（５）より、ベイズ推定を用いたときのアプリケーションの UI を図７に示す。



図７：ベイズ推定を使用している様子

４．考察

結果の（１）の回路図のように、比較的簡単な電気回路で紫外線の測定装置を作成することができたことがわかる。

また、結果（３）のグラフでは、室内で UV ライトを照射しておらず、UV 指数の値は 0 に近い値で一定値をとることが予想されるのにも関わらず、ある一定周期の振動が見られることが確認される。これに関して研究を進めると、この現象は、紫外線センサーに流れる電流がおよそ 1 μ A と非常に小さいために、近くの交流電流から生じる微細な電磁波の影響を受けてしまうことが原因であると分かった。

この結果を受けて、Windows 上で算出した UV 指数に、交流電流による電磁波の影響を打ち消すよう計算を行うと、図 8 に示すように、期待した通りの定常な UV 指数が得られる。



図 8：補正を行った上での UV 指数

また、この状態で紫外線センサーに UV ライトを照射すると、図 9 に示すような UV 指数の変化が見られ、正しく測定できていることが確認される。



図 9：UV ライトを照射したときの変化

結果（４）では、最終的なアプリケーションでの表示を示しているが、このように、紫外線の強さを最終

的に視覚的に分かりやすい表現に落とし込むことができたと考えられる。また、図 6 に示している以外にも、各ユーザーが指定できる個別の設定を作ることができ、ユーザーに寄り添ったアプリケーションが開発できたと考えられる。

結果（５）では、ベイズ推定を用いたときのアプリケーションの表示を示しているが、少々見た目がわかりにくいという難点を抱えている。また、それがどのように誤差の修正に役立っているかを示すデータを得ることができなかったため、その調査も行う必要があると考えられる。

5. 結論

今回の研究では、人々の日焼け対策として用いることのできるアプリケーションの開発を目標として研究を進めてきたが、最終的にスマートフォンに表示される内容から、その目的は概ね達成することが出来たと考えられる。

しかし、問題点も多く残っている。まず、紫外線センサーが、交流電流によって生じる微弱な電磁波にも影響を受けるほど繊細であることから、すぐに故障してしまう危険性がある。また、今回私たちは西日本の交流電流の振動数 60 Hz に合わせて補正を行ったが、東日本の交流電流の振動数 50 Hz に合わせた補正を行うこともできる機構を作成する必要がある。

また、より利便性を高めるためには、途中で経由する Windows を省略することができれば、Arduino とスマートフォンのみで同様のことを行うことができるという点で、簡略化を図ることができる。

さらにベイズ推定によってアプリケーション内で窓の感知はできたが、その UI がユーザーにとって識別の難しいものとなってしまった。また、ベイズ推定を用いることによる効果や、アプリケーション全体の速度や性能に対する負の影響が存在するのか、なども調査を行う必要がある。

今後は、以上に挙げた問題点に対処しながら、またデザインに関しても多くの人びとの意見を聞き、さらに実用的なアプリケーションに近づけていきたい。

6. 謝辞

アプリケーションの開発に対して、Arduino 等様々な備品を貸し出してくださり、論文などの監修を行っていただいた先生方にこの場を借りて謝辞を申し上げます。

7. 参考文献

平良 隼涼「スマホと AR 技術を用いて磁力線を可視化するアプリの開発」令和 3 年度スーパーサイエンスハイスクール生徒課題研究論文集、山口県立徳山高等学校

ミジンコの光走性と光の波長

石田奈々、中田美咲、松下愛子

指導教諭 有馬和宏

アブストラクト

私たちは、ミジンコの光走性を調べるために、タマミジンコを LED とともに暗室に入れ、LED を点灯させるという実験を行った。その結果、紫外線② (400nm)、青 (465nm)、緑 (520nm)、赤 (620nm) の光に対しては正の光走性を示し、さらに、正の光走性は、光の波長が短いほど強くなった。紫外線① (370nm) と赤外線 (945nm) に対しては反応を示さなかった。これは、ミジンコが、可視光線は感知することはできるが、赤外線や紫外線はあまり感知することができないためであると考えられる。

1. 研究目的

先行研究によって、ミジンコが紫外線 (UV-A) を避けようとする動きをすることが分かっている (杉山剛英, 2002)。

そこで、私たちは、その他の光に対するミジンコの光走性を調べることにした。また、ミジンコの光走性を調べることによって、ミジンコだけでなく、ミジンコを食とする他の生物の生態なども調べられると考えた。

2. 仮説

ミジンコの光走性は、光の波長に対応しており、光の波長が短くなるほど、ミジンコは光を避けるような動きを見せる。光の波長が短いほどミジンコは光を避けようとし、右に行くほど光に近づこうとする。

本実験において、ミジンコの光走性とは、ミジンコが光に対して近づくか、遠ざかるかを示すものである。また、正の光走性を示すというのは、光に対して近づくこと、負の光走性を示すというのは、光に対して遠ざかることを表す。

3. 研究方法

ミジンコを、水を張ったシャーレにいれて下から光を当て、光に対するミジンコの動きを観察することによって、ミジンコの光走性を評価する。

(1) 実験を行うための装置の作成

ミジンコの光走性を正しく観測するためには、シャーレの光が当たる部分と光が当たらない部分を

はっきりさせ、光に対してミジンコがどのような反応を示しているのか、明確にわかるようにする必要がある。そこで、シャーレの一部のみに光が当たる装置を作成した (写真 1)。

この装置は真ん中の仕切り板により、光が当たる部分と当たらない部分に仕切られている。仕切られた片側には 9 つの LED を取り付けた基盤があり、LED を点灯することにより、シャーレの片側に光が照射される。このとき、シャーレのもう片側には光が照射されない。

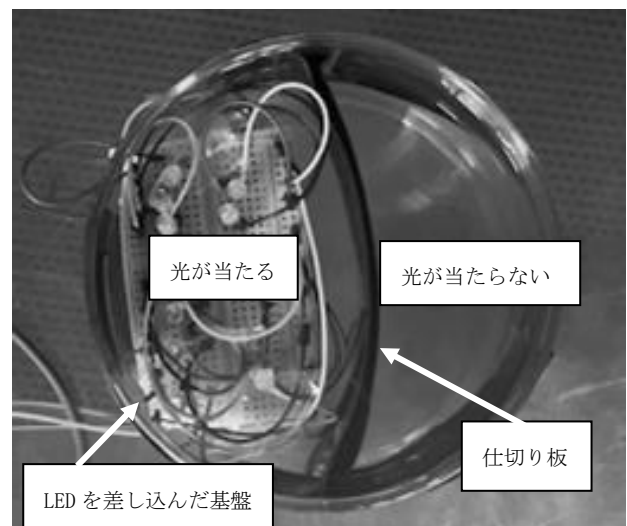


写真 1 シャーレをはめ込み上から見た実験装置

照射される光の色は、基盤に差し込む LED を替えることによって変更できる。本実験では、図 1 のようにまんべんなく色々な波長の光のデータを採取するため、紫外線① (370nm)、紫外線② (400nm)、青

(465nm)、緑(520nm)、赤(620nm)、赤外線(945nm)の6種類を用いた。ただし、1回に用いる9つのLEDの波長は、1種類である。

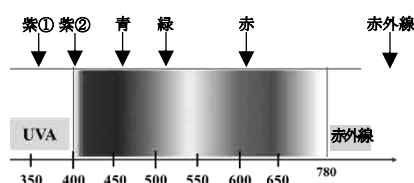


図1 本実験に用いた光の波長

(2) ミジンコへの光照射

本実験は、ミジンコの光に対する反応を調べる実験であり、実験に用いるLED光以外の光を遮断する必要がある。よって、今回の実験は、暗室で実験を行った。用いたミジンコは、タマミジンコである。

まず、深さ1.0cmの水を張ったシャーレを装置にはめ込み、ミジンコを10匹入れる。次に写真2のように、同じ波長の9個のLEDを点灯し、60秒間照射する。同じ波長のLED光を使って、5回ずつ照射する。

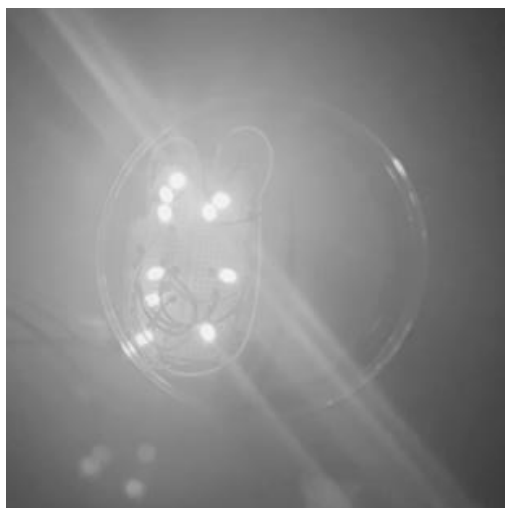


写真2 実験装置(点灯)

なお、事前に簡易的なミジンコへの光照射実験を行ったところ、照射した後のミジンコの動きが明らかに鈍くなったため、一度実験を行ったミジンコを使いまわすことはしなかった。

(3) ミジンコの数进行数える

ミジンコへの光照射が終わったら、その場で速やかに写真3のような仕切りをシャーレ内にはめ込

み、暗室から出してミジンコの数进行数える。この仕切りは、アクリル板を用いて今回の実験のために作成したものである。

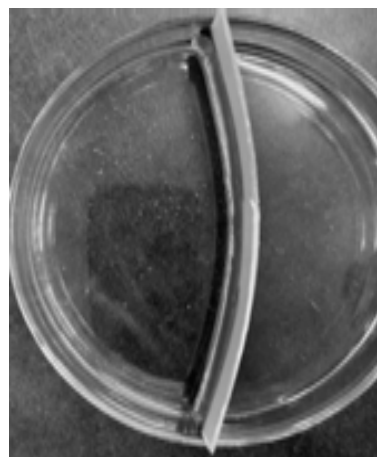


写真3 仕切り

4. 結果

ミジンコの光走性は、表1～6のようになった。表1～6において、「あり」は光を当てた側に集まったミジンコの数、「なし」は、光を当てていない側に集まったミジンコの数进行示している。

表1 紫外線①に対する光走性

回数 (回目)	あり (匹)	なし (匹)
1	5	5
2	7	3
3	7	3
4	4	6
5	4	6

表2 紫外線②に対する光走性

回数 (回目)	あり (匹)	なし (匹)
1	10	0
2	8	2
3	8	2
4	9	1
5	10	0

表3 青に対する光走性

回数 (回目)	あり (匹)	なし (匹)
1	8	2
2	8	2
3	8	2
4	6	4
5	7	3

表4 緑に対する光走性

回数 (回目)	あり (匹)	なし (匹)
1	7	3
2	6	4
3	9	1
4	6	4
5	6	4

表5 赤に対する光走性

回数 (回目)	あり (匹)	なし (匹)
1	6	4
2	6	4
3	6	4
4	5	5
5	8	2

表6 赤外線に対する光走性

回数 (回目)	あり (匹)	なし (匹)
1	7	3
2	3	7
3	6	4
4	3	7
5	5	5

以上の結果をまとめたものが、下の表7とグラフ1である。

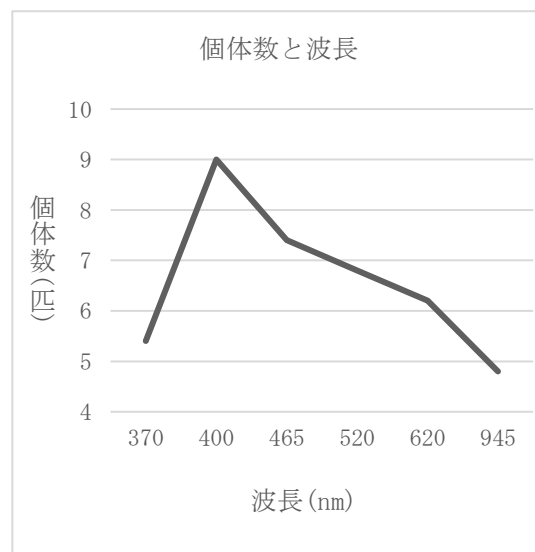
なお、表7において、「強正」は、ミジンコが著しく正の光走性を見せたことを表し、「×」は、反応に規則性が見られなかったことを表す。この規則性の有無、光走性の強さの度合いの判断は、光を当てた側に集まった個体数の平均値や分散から行った。分散が5以上のものは、規則性が見られなかったとし、個体数の平均値が6.0以上のものは正、7.0以上のものは強正の光走性とする。

表7 光走性と光の波長

	紫外線①	紫外線②	青
波長 (nm)	370	400	465
個体数 (匹)	5.4	9.0	7.4
分散	1.84	0.8	0.64
光走性	×	強正	強正

	緑	赤	赤外線
波長 (nm)	520	620	965
個体数 (匹)	6.8	6.2	4.8
分散	1.36	0.76	2.56
光走性	正	正	×

※ただし、表7中およびグラフ1中の「個体数」は、光を当てた側に集まった個体数の1回ごとの平均値を表している。



グラフ1 照射時の個体数と光の波長

5. 考察

赤(620nm)から紫外線②(400nm)まで照射する光の波長が短くなるにつれて、ミジンコが強い正の光走性を示したことから、ミジンコの光走性は光の波長に対応しており、光の波長が短いほど光走性は強い正を示すことが分かる。また、紫外線①(370nm)と赤外線(945nm)において、ミジンコの動きに規則性が見られなかったことから、ミジンコが光に集まるという習性があると仮定すると、紫外線②(400nm)から赤(620nm)までの波長の光は感知することができるが、紫外線①(370nm)と赤外線(945nm)は感知することができないのではないかと考えられる。本実験では、ミジンコが負の光走性を見せなかったことから、ミジンコは光を感知できれば光に集まるという仮定は支持される。また、今回の実験においてミジンコが反応を示さなかった紫外線①(370nm)と赤外線(945nm)は、私たちの目には見えず、紫外線②(400nm)～赤(620nm)は私たちの目に見えたことから、ミジンコが光を感知できる範囲は、人間と似ていると考えられる。

6. 結論

ミジンコは、可視光線に対して正の光走性を持つ。また、光走性の強さの度合いは、光の波長に対応しており、光の波長が短いほど、強い正の光走性を示す。

波長が極端に短い紫外線①と極端に長い赤外線に対しては、反応を示さなかった。

今回の実験では6種類の波長についてしか調べることができなかったが、色の数をさらに増やし、連続的なデータを得ることによって、ミジンコと光の波長の関係について、より深く知ることができるのではないかと考える。

7. 謝辞

本研究をするにあたって、実験に行き詰まった際や、効果的な実験方法が思いつかなかった際に、助言をくださった有馬先生、山本先生をはじめ、お世話になった先生方に感謝いたします。

8. 参考文献

- ・ 杉山剛英（2002）．「紫外線・偏光に対するミジンコの光走性」．平成 13 年度 一般道民研究補助金 研究開発テーマ 報告書．
- ・ 渋谷克也（2005）．「カイミジンコの連合学習」．第 46 回自然科学コンクール．
- ・ 森文俊 著・写真/武田正倫 監修（2014）．「科学のアルバム・かがやくいのち ミジンコ 水の中の小さな生き物」．あかね書房．

球面上における作図の考察

上野 莉空 中村 一翔 三谷 直也

指導教員 藤井 孝美

アブストラクト

平面上における作図は昔から考察されてきたが、球面上における作図は考察されていなかった。そのため我々は球面上における作図なるものを新たに定義し、その作図可能性を考察することにした。その結果、球面上における作図において作図可能な点の必要十分条件は、球面座標系での座標の余弦の値が関係していることが明らかとなった。今後は、平面上で成り立つ作図に関する定理について、球面上でも同様に成り立つのか議論したい。

1. 研究目的

平面上における理想的な定規とコンパスを用いた作図は昔から深く考察されてきたが、球面上における作図について考えた例は発見されなかった。そこで、我々は球面上における作図なるものを新たに定義し、その作図可能性について明らかにしたいと考えた。

2. 研究方法

球面上における図形及び量を以下のように定義した。

直 線…大円。

線 分…直線の、その上の異なる2点によって区切られる部分の大きくない方。

長 さ…線分に定義される量で、その線分を含む直線を大円としてみたときの線分部分の弧の長さ。

距 離…2点に定義される量で、その2点を端点とする線分の長さ。

円 …中心点との距離が等しい点の集合。

三角形…同一直線上にない3点を、それぞれ線分で結んだもの。

角 …2直線を作る2平面同士のなす角。

また、球面上における作図を以下のように定義した。

ア. 球は単位球である。

イ. 距離が $\pi, \pi/2$ でない2点の組を1つ以上含む

2つ以上の点を与えられる。

ウ. 定規は、その2点間の距離が π でないとき、既知の2点を通る直線及びそれらを端点とする線分を作図できる。

エ. コンパスは、既知の点を中心とする他の既知の点を通る円を作図できる。

オ. 2つの図形の交点または接点を、新たに既知の点とすることができる。

カ. これらのみの操作を有限回行うことができる。

定義イ及びウにおいて、そのような条件を定めたのは次のような理由からである。

イ. すべての点の組の距離が $\pi, \pi/2$ であるとき、得られる点が存在しないか限られるため。

ウ. 2点間の距離が π であるとき、その2点を通る直線は無数に存在するため。

この定義のもとで、球面上における作図可能性を明らかにする。

3. 結果

(1) 基本となる8つの作図

平面上の三角形の合同条件は球面上の三角形の合同条件に全て含まれる。よって、平面上における線分の垂直二等分線や角の二等分線などの三角形の合同を用いて示すことのできる作図は、球面上においても同様な方法で作図可能である。なお、線分の長さが $\pi, \pi/2$ であっても、その端点の1つとの距離が $\pi, \pi/2$ でない点が少なくとも1つ存在することから、同様な方法でその線分の

垂直二等分線を作図できる。

この事実を用いて、以下の8つの基本となる作図が可能であることを示す。

作図1 線分の移動

既知の3点A,B,Cが存在するとき、線分ABと等しい長さの線分を、点Cを端点として作図する。ただし $AC \leq 2\pi/3$ であるとする。

i) Aを中心とするCを通る円、Cを中心とするAを通る円を作図し、それらの交点の1つを点Dとする。

ii) 直線AD, CDを作図する。

iii) Aを中心とするBを通る円を作図し、直線ADとの交点の1つを点Eとする。

iv) Dを中心とするEを通る円を作図し、直線CDとの交点の1つを点Fとする。

このとき、線分CFが求めるものである。

$AB + AC \neq \pi$ のときEの候補となる交点は2つあるが、 $AB + AC < \pi$ のときDからみてA側の点を、 $AB + AC > \pi$ のときDからみてAと逆側の点をEとすればよい。同様に $AB + AC \neq \pi$ のときFの候補となる交点は2つあるが、 $AB + AC < \pi$ のときDからみてC側の点、 $AB + AC > \pi$ のときDからみてCと逆側の点をFとすればよい。

また $AC > 2\pi/3$ であるとき操作 i で交点ができないが、線分ABと同じ長さで直線ACを繰り返し区切ることで $AC \leq 2\pi/3$ を満たす状況にできる。ゆえにこの作図は常に可能であるから、線分は既知の点を端点として自由に移動させることができることがわかる。

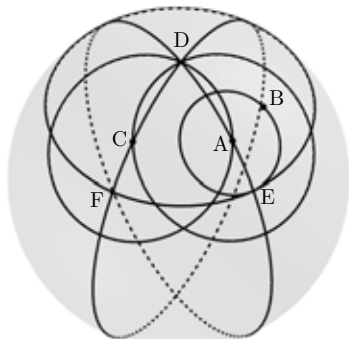


図1 作図1の様子

作図2 長さ $\pi/2$ の線分

距離が $\pi, \pi/2$ でない既知の2点A,Bが存在するとき、長さ $\pi/2$ の線分を1つ作図する。

i) 直線ABを作図する。

ii) Bを中心とするAを通る円を作図し、直線ABとの交点のうちAでない方を点Cとする。

iii) 線分AB, BCの垂直二等分線を作図し、交点の1つを点D、線分ABの中点を点Mとおく。

このとき、線分DMが求めるものである。

この作図は、2点A,B間の距離が $\pi, \pi/2$ でないことから常に可能である。また、長さ π の線分、直線ABを大円としてみたときの極、垂直に交わる2直線が同時に作図できている。

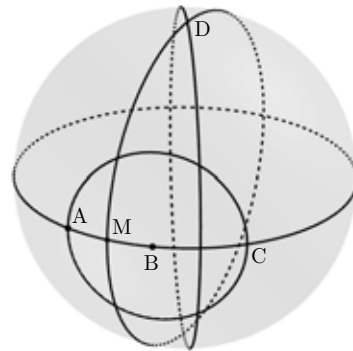


図2 作図2の様子

作図3 長さ $\pi/3$ の線分

距離が $\pi, \pi/2$ でない既知の2点A,Bが存在するとき、長さ $\pi/3$ の線分を1つ作図する。

i) 作図2を行い、図3のように点をおく。

ii) Cを中心とするDを通る円を作図し、直線ABとの交点の1つを点Eとする。

iii) $\angle CED$ の二等分線を作図し、直線CDとの交点の1つを点Fとする。

iv) Dを中心とするFを通る円を作図し、直線DEとの交点の1つを点Gとする。

このとき、線分FGが求めるものである。

$\triangle DFG$ に余弦法則を用いると、

$$\cos FG = \cos^2 \frac{\pi}{4} + \sin^2 \frac{\pi}{4} \cos \frac{\pi}{2} = \frac{1}{2}$$

となり、 $0 < FG \leq \pi$ より $FG = \pi/3$ である。

また $\angle CED$ の二等分線は線分ABをEに移動することで作図できるため、この作図は2点A,B間の距離が $\pi, \pi/2$ でないことから常に可能である。

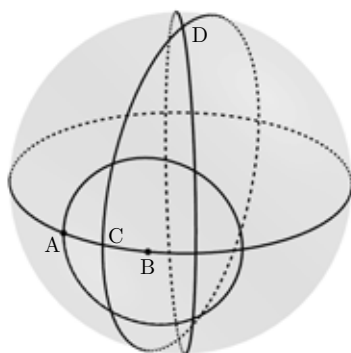


図3 作図3の操作 i

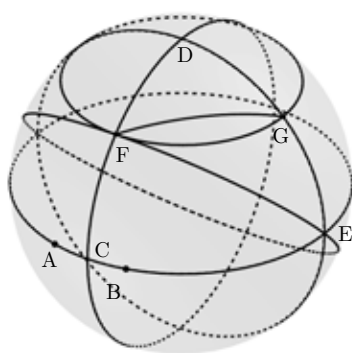


図4 作図3の様子

作図4 線分の長さの余弦の値の積

長さ a, b の2つの線分が存在するとき、 $\cos c = \cos a \cos b$ を満たす c の長さの線分を作図する。

i) 互いに垂直に交わる2直線を作図し、交点の1つを点Oとおく。

ii) それぞれの直線方向に長さ a, b の2線分をOを端点に移動させ、線分OA, OBとする。

このとき、線分ABが求めるものである。

$\triangle OAB$ に余弦法則を用いると、

$$\cos AB = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos \frac{\pi}{2} = \cos a \cos b$$

となり、線分ABは条件を満たしている。

$-1 \leq \cos a \cos b \leq 1$ であるから c の値は常に存在する。また距離が $\pi, \pi/2$ でない2点の組が少なくとも1つ存在することから、この作図は常に可能である。

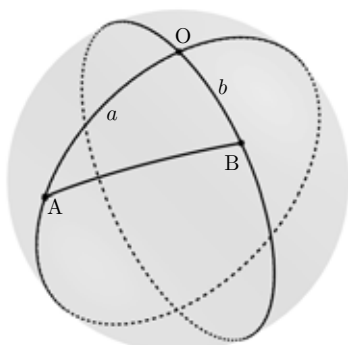


図5 作図4の様子

作図5 線分の長さの余弦の値の商

長さ a, b の2つの線分が存在するとき、 $\cos c = \cos a / \cos b$ を満たす c の長さの線分を作図する。

ただし $\cos b \neq 0$ であるとする。

i) 互いに垂直に交わる2直線を作図し、交点の一つを点Oとおく。

ii) 長さ b の線分をOを端点に一方の直線方向に移動させ、線分OBとする。

iii) Bに長さ a の線分を移動させ線分BA'とする。

iv) Bを中心とするA'を通る円を作図し、もう一方の直線との交点の1つを点Aとする。

このとき、線分OAが求めるものである。

$\triangle OAB$ に余弦法則を用いると

$$\cos a = \cos b \cos OA + \sin b \sin OA \cos \frac{\pi}{2} = \cos b \cos OA$$

となり、線分OAは条件を満たしている。

$-1 \leq \cos a / \cos b \leq 1$ を満たしていないとき c の値が存在しないが、その場合は操作ivにおいて交点が存在しない。また距離が $\pi, \pi/2$ でない2点の組が少なくとも1つ存在するため、この作図は c の値が存在するとき常に可能である。

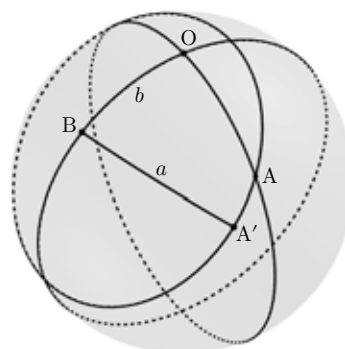


図6 作図5の様子

作図6 線分の長さの余弦の値の和

長さ a, b の2つの線分が存在するとき、 $\cos c = \cos a + \cos b$ を満たす c の長さの線分を作図する。

これは作図が可能であることを示す。

$a \geq b$ としてよい。和積の公式より、

$$\cos a + \cos b = 2 \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2}$$

であり、 $(a+b)/2, (a-b)/2$ の長さを持つ線分は、線分の長さの加減及び垂直二等分線の作図を用いることでそれぞれ作図可能である。よって、

$$\cos l = \cos \frac{a+b}{2} \cos \frac{a-b}{2}$$

を満たす l の長さの線分は作図4より作図可能である。さらに、作図3及び作図5より

$$\cos c = \frac{\cos l}{\cos(\pi/3)} = 2 \cos l$$

を満たす c の長さの線分が作図可能であり、この c は条件を満たしている。よってこの作図が可能である。

$-1 \leq \cos a + \cos b \leq 1$ を満たしていないとき c の値が存在しないが、その場合は最後の $\cos(\pi/3)$ で割る操作において作図できない。

作図 7 線分の長さの余弦の値の差

長さ a, b の 2 つの線分が存在するとき、 $\cos c = \cos a - \cos b$ を満たす c の長さの線分を作図する。これも作図が可能であることを示す。

三角関数の性質より

$$\cos a - \cos b = \cos a + \cos(\pi - b)$$

であり、長さ $\pi - b$ の線分は作図 2 及び線分の加減を用いることで作図可能である。よって作図 6 よりこの作図が可能である。

$-1 \leq \cos a - \cos b \leq 1$ を満たしていないとき c の値が存在しないが、その場合は作図 6 と同様に作図できない。

作図 8 線分の長さの余弦の値の平方根

長さ a の線分が存在するとき、 $\cos c = \sqrt{\cos a}$ を満たす c の長さの線分を作図する。ただし、 $0 \leq \cos a < 1$ であるとする。

- i) 作図 2 を行い、図 7 のように点をおく。
- ii) O 周りの直角の二等分線の一つを作図する。
- iii) O に長さ a の線分を移動させ線分 OB とする。
- iv) 線分 OB の垂直二等分線を用いてその線分の midpoint C とする。
- v) A を中心とする C を通る円を作図し、操作 ii における直角の二等分線との交点のうち O に近い方を点 D とする。

このとき、線分 OD が求めるものである。

反対側にも同様な作図をし、D と対応する点を点 D' とする。このとき $\triangle ODD'$ に余弦法則を用いると、 $OD = OD'$ より

$$\cos a = \cos^2 OD + \sin^2 OD \cos \frac{\pi}{2} = \cos^2 OD$$

であり、 $0 \leq OD \leq \pi/2$ より $0 \leq \cos OD \leq 1$ だから、線分 OD は条件を満たしている。

$-1 \leq \cos a < 0$ のとき c の値が存在しないが、その場合は操作 v において交点ができない。また距

離が $\pi, \pi/2$ でない 2 点の組が少なくとも 1 つ存在するため、この作図は a の値に関わらず c の値が存在するとき可能である。

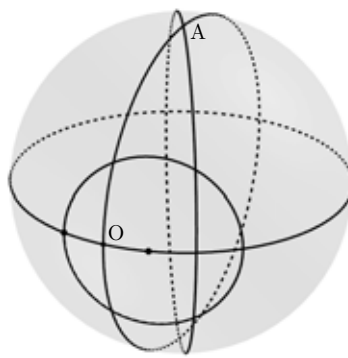


図 7 作図 8 の操作 i

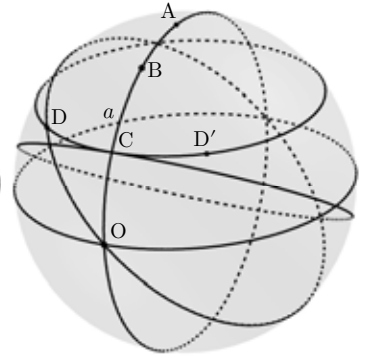


図 8 作図 8 の様子

(2) 作図可能性の考察

① 新たに作図される点の性質の考察

球面上の直線は球とその中心を通る平面との交線、球面上の円は球とその中心を通らない平面との交線である。そこで、それらの平面をそれぞれ「直線をつくる平面」「円をつくる平面」と呼ぶことにし、それらの直交座標における方程式を考える。

原点 O 中心の単位球面上の 2 点 A, B が直交座標において $A(x_A, y_A, z_A), B(x_B, y_B, z_B)$ と表されるとする。このとき直線 AB をつくる平面は 3 点 O, A, B を通る平面であるから、その方程式は

$$(y_A z_B - z_A y_B)x + (z_A x_B - x_A z_B)y + (x_A y_B - y_A x_B)z = 0$$

A を中心とする B を通る円をつくる平面は直線 OA に垂直で B を通る平面であるから、その方程式は

$$x_A x + y_A y + z_A z = x_A x_B + y_A y_B + z_A z_B$$

と表せ、どちらも

$$ax + by + cz + d = 0$$

の形で表せる。ただし a, b, c, d は A, B の直交座標での座標の値についての加減乗のみで表せる定数である。

次に、2 つの図形が交わった場所、つまり新たに作図することができる点の直交座標系での座標を求める。球は単位球であるから、先ほどの事実より x, y, z に関する以下の連立方程式の解について考えればよい。

$$\begin{cases} ax + by + cz + d = 0 & (1) \\ ex + fy + gz + h = 0 & (2) \\ x^2 + y^2 + z^2 = 1 & (3) \end{cases}$$

ただし a, b, c, d, e, f, g, h は定数で、平面(1)と(2)は平行でない、つまり $a:b:c \neq e:f:g$ であるとする。また、この連立方程式は実数解を持つものとする。この連立方程式を同値性に気を付けながら解くと、解 x, y, z は係数 a, b, c, d, e, f, g, h について加減乗除及び平方根をとる演算のみを用いて表せることがわかる。

球の中心を原点 O とし、与えられた点の組のうち距離が $\pi, \pi/2$ でないものについて、それら 2 点の座標が $O'(1, 0, 0), P(1, \theta_0, 0)$ と表されるような球面座標系とそれに対応する直交座標系をとる。なお、球面座標の θ, ϕ 座標について $0 \leq \theta \leq \pi, -\pi \leq \phi \leq \pi$ とし、 $(1, 0, 0), (1, \pi, 0)$ と表される点の ϕ 座標は考えない。このとき、球面上の任意の点が直交座標において (x, y, z) 、球面座標において $(1, \theta, \phi)$ と表される場合、

$$\begin{cases} x = \sin \theta \cos \phi = \sqrt{1 - \cos^2 \theta} \cos \phi \\ y = \sin \theta \sin \phi = \operatorname{sgn}(\phi) \sqrt{1 - \cos^2 \theta} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} \\ z = \cos \theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} \cos \theta = z \\ \cos \phi = \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \end{cases}$$

が成り立つ。つまり x, y, z の値は $\cos \theta, \cos \phi$ について加減乗除及び平方根をとる演算のみによって表すことができ、 $\cos \theta, \cos \phi$ の値は x, y, z について加減乗除及び平方根をとる演算のみによって表すことができる。

② 作図可能な点の性質の考察

以下の 2 つ作図を考える。

作図 9 角の大きさを線分の長さに変換する

球面座標で $(1, \theta, \phi)$ と表される点 A が存在するとき、長さ $|\phi|$ の線分を作図する。ただし、 $\theta \neq 0, \pi$ であるとする。

- i) O', P について作図 2 を行い、図 9 のように点をおく。
- ii) O' を中心とする D を通る円を作図し、直線 PO' との交点のうち O' からみて P 側を点 B とする。
- iii) 直線 AO' を作図し、 O' を中心とする D を通る円

との交点のうち O' からみて A 側を点 C とする。このとき、線分 BC が求めるものである。

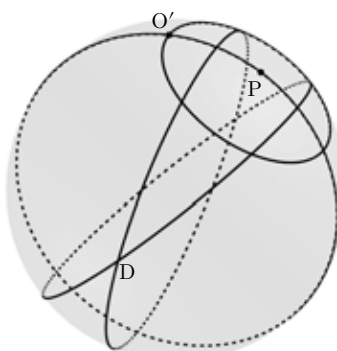


図 9 作図 9 の操作 i

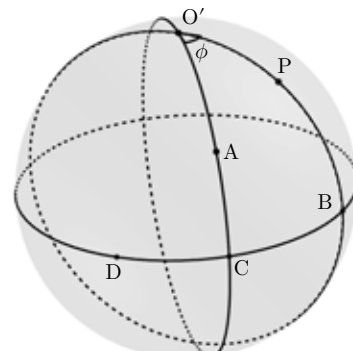


図 10 作図 9 の様子

作図 10 線分の長さを角の大きさに変換する

長さ ϕ の線分が存在するとき、直線 PO' とのなす角が ϕ である直線 2 つを作図する。

- i) 作図 9 の操作 ii まで行う。
- ii) B へ長さ ϕ の線分を移動させ線分 BB' とする。
- iii) B を中心とする B' を通る円を作図し、 O' を中心とする D を通る円との交点のうち 1 つを点 C とする。
- iv) 直線 CO' を作図する。

このとき、直線 CO' が求めるものである。

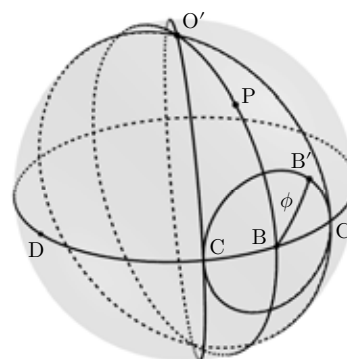


図 11 作図 10 の様子

4. 考察

(1) 基本となる 8 つの作図

これら 8 つの作図が可能なことから、球面上における作図において、線分の長さの余弦の値について加減乗除及び平方根をとる演算で表される値を余弦に持つ長さの線分を、その線分が存在する範囲で作図可能であることがわかる。

(2) 作図可能性の考察

① 新たに作図される点の性質の考察

x, y, z に関する連立方程式の解が係数の加減乗

除及び平方根をとる演算のみを用いて表せ、その係数はその図形を作図するために用いた点の x, y, z 座標の値の加減乗のみを用いて表せる。そのため、球面上に 2 点から 4 点が存在するとき、それらの点を用いて新たに作図することができる点の x, y, z 座標は、その点を作図するために用いた点の x, y, z 座標の値について加減乗除及び平方根をとる演算のみを用いて表せることがわかる。

さらに、 x, y, z 座標の値と θ, ϕ 座標の余弦の値への相互の変換は加減乗除及び平方根をとる演算のみを用いてできる。ゆえに、球面上に 2 点から 4 点が存在するとき、それらの点を用いて新たに作図することができる点の θ, ϕ 座標の余弦の値は、その点を作図するために用いた点の θ, ϕ 座標の余弦の値について加減乗除及び平方根をとる演算のみを用いて表せることがわかる。

このことは全ての作図において成り立つから、新たに作図できる点の θ, ϕ 座標の余弦の値は、与えられた点の θ, ϕ 座標の余弦の値について加減乗除及び平方根をとる演算のみを用いて表すことができることがわかる。

② 作図可能な点の性質の考察

作図 9 及び作図 10 を用いることで、線分の長ささと角の大きさを相互に変換することができる。また作図 10 より、 θ の長さを持つ線分と ϕ の長さを持つ線分が与えられたとき、球面座標で $(1, \theta, \phi), (1, \theta, -\phi)$ と表される 2 点を作図できることがわかる。また、線分の長さの余弦の値について加減乗除及び平方根をとる演算のみを用いて表される値を余弦に持つ長さの線分が作図可能であることは基本となる作図より示されている。ただし、その演算結果が -1 以上 1 以下に収まっているならば、演算途中の値が -1 以上 1 以下に収まっていないときも適宜 $\cos(\pi/3)$ を掛けたり割ったりすることで作図できる。

ゆえに、ある点の θ, ϕ 座標の余弦の値が、与えられた点の θ, ϕ 座標の余弦の値について加減乗除及び平方根をとる演算のみを用いて表すことができるならば、その点は作図できることがわかる。

5. 結論

以上の考察から、ある点を作図可能であるための必要十分条件は、その点の θ, ϕ 座標の余弦の値が、与えられた点の θ, ϕ 座標の余弦の値について加減乗除及び平方根をとる演算を用いて表される、ということである。

平面上における作図において、「コンパスと定規のみを用いて作図可能な点は、コンパスのみを用いて作図可能である」と主張する Mohr-Mascheroni の定理、「コンパスと定規のみを用いて作図可能な点は、1 つの円とその中心が与えられれば定規のみを用いて作図可能である」と主張する Poncelet-Steiner の定理がある。これらの定理が本研究で我々が定義した球面上の作図でも同様に成り立つのか、それともある条件が必要なのか、議論してみたい。

6. 参考文献

河瀬和重。球面三角法の簡潔かつ体系的な理解への試み。『国土地理院時報』第 132 巻 115-118 頁。2019 年。

イカから出る廃棄物の再利用法 ～イカでイカを釣る～

松永七海、松井璃子

山口県立徳山高等学校

指導教諭 佐々木啓介

アブストラクト

全国的に魚釣りがブームとなっており、その結果、海底には根掛かりした釣具（ラインやルアーなど）が大量に放置され海洋ゴミ問題となっている。このような問題を解決するため自然界で分解される釣具が開発できないかと考えた。山口県ではイカ漁が盛んであることに着目し、本研究では、加工残渣である以下の甲から生成したキチンを用いて、自然界で分解される生分解性プラスチック（以下、「分解プラ」という。）を原料としたイカ釣りを使用する疑似餌（エギ）を作製することを目的とした。実験の結果、イカの甲から生成したキチンを原料としたプラスチック製のエギを作製するとともに、エビやカニの殻から生成される α キチン（以下、「 α 」という。）よりもイカの甲から生成された β キチン（以下、「 β 」という。）の強度が高いとの特性が確認された。イカの甲から作製したプラスチックが分解プラであるかについては現在検証中であり、加えて環境や生物への影響を調べる必要があると考える。

1. 研究目的

私たちの住む山口県は三方が海に開け、水産物が全国的に有名である。しかし、それが故に釣り人が多く、根掛かりした釣具が海洋ごみとなり問題となっている。この問題を山口県オリジナルの方法で解決したいと考えた。加工残渣であるイカの甲から生成したキチンを用いて生分解性プラスチックのエギを作製することを目的とした。先行研究により α については分解プラを作製できることが明らかにされている。このため我々は β を用いて分解プラを作製することとした。また、ポリマー鎖間に架橋（化学結合）を形成する化学物質である架橋剤の種類によって強度、分解速度の違いを検証する。

2. 仮説

- （1）イカの甲やエビの殻から抽出したキチンを原料として生成した分解プラは海中に残された場合でも分解される。
- （2）キチンは硬く海水よりも比重が大きい性質があることから、鉛を使用しないで、分解さ

れない素材をできるだけ減らすことができる。

- （3）先行研究より、 α は β より分子的に強度があることから、分解プラでも同様の結果が得られる。
- （4）水系の硬化材料として使用できる架橋剤からつくった分解プラが最も強度があり、分解速度が遅い。

3. 方法

（1）材料の調達

スーパーや飲食店から廃棄されるイカの甲やエビの殻を調達した。

（2）キチンの生成

- ① 2 mol/L の塩酸 750mL に浸漬
- ② 蒸留水で洗浄
- ③ 乾燥
- ④ 2 mol/L 塩酸で 48 時間攪拌→脱カルシウム
- ⑤ 吸引ろ過し、洗浄

⑥100℃に維持した1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液中で1 日半攪拌→脱たんぱく質

⑦洗浄し、乾燥

(3) キチンナノファイバーの生成

①生成したキチンをミルミキサーで細断
②10%の酢酸 40ml と蒸留水 100ml を混ぜ、ミルミキサーを使い、ジェル状にする。

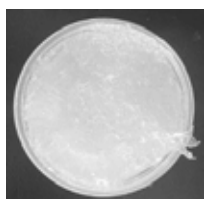


図1 イカのキチンナノファイバー

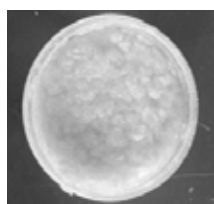


図2 エビのキチンナノファイバー

(4) セルロースナノファイバーの生成

セルロースに 10%の酢酸 40ml と蒸留水 100ml をミルミキサーで混合

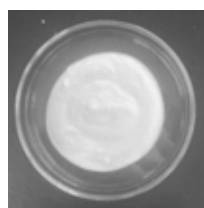


図3 セルロースナノファイバー

(5) プラスチックの作製

生成したキチンナノファイバーとセルロースナノファイバー、架橋剤を混合する。架橋剤の配合は、キチンナノファイバー10 g、セルロースナノファイバー10 g に対し、以下の重量を配合した。①～⑤を配合したものを型にはめ、乾燥（乾燥機 60

度・12 時間、加熱乾燥 170 度・5 分）させた後、ひび割れの有無、反りの有無、海水への溶解、強度を検証・評価する。

①0.10 g

②0.25 g

③0.50 g

④1.00 g

⑤2.00 g

(6) 分解プラであるかの検証

3 cm×3 cmのプラスチック片（①βプラスチック・②ポリ乳酸・③PHBH）を作製する。作製したプラスチックを土中に埋設および海中に沈設し、2 週間ごとに経過観察するとともに、分解状況を比較した。

4. 結果

(1) 架橋剤の配合量による分解プラの特性の検証

下表1 のとおり、架橋剤を 0.10 g 配合したものが、ひびおよび反りがなく最も状態が良好であった。

表1

	① 0.10 g	② 0.25 g	③ 0.50 g	④ 1.00 g	⑤ 2.00 g
プラ					
ひび	無	無	有	有	有
反り	無	有	有	有	無
海水					

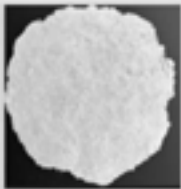
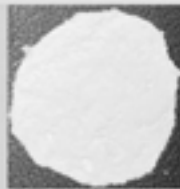
架橋剤の配合量と作製されたプラスチック

- ① 架橋剤 0.10g ひび無、反り無
- ② 架橋剤 0.25g ひび無、反り有
- ③ 架橋剤 0.50g ひび有、反り有
- ④ 架橋剤 1.00g ひび有、反り有
- ⑤ 架橋剤 2.00g ひび有、反り無

(2) α と β の強度の比較

α および β のプラスチックシートに分銅を乗せ強度を比較した結果、下表2のとおり α は分銅50g、 β は分銅200gを乗せた段階で破断した。

表2

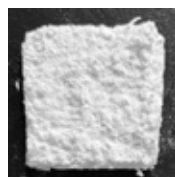
	α	β
プラ		
加重	50g	200g
強度	×	○

α 、 β の分解プラと分銅の重さ

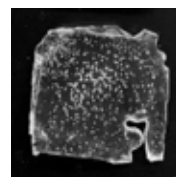
(3) 分解プラであるかの検証

β プラスチックの分解状況を既製の生分解性プラスチックと比較するため、神戸精化株式会社様から提供を受けたポリ乳酸片、株式会社カネカ生分解性バイオポリマー Green Planet 様から提供を受けた3-ヒドロキシブチレート-co-3-ヒドロキシヘキサノエート重合体 (PHBH) 片を土中に埋設、海中に沈設し(図4:埋設、沈設する前の状態)、1か月後の状態を観察した表面の状態、重量を比較した結果(図5:土中埋設、図6:海中沈設)、ポリ乳酸片およびPHBH片は土中埋設前後で表面や端の方の分解が見られたが、海中沈設前後で表面の状態に変化が見られなかった。 β プラスチックについては、沈設したものは表面が軟化していた。また、重量についてはポリ乳酸およびPHBHについては埋設、沈設前後で変化がなく、沈設した β プラスチックについては表面が軟化したことにより、海中の腐泥が表面に吸着し除去できなかったことから、重量の比較は断念した。

β プラスチック



ポリ乳酸

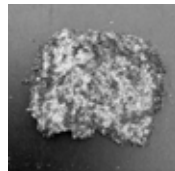


PHBH

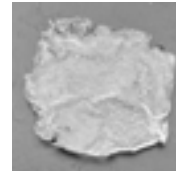


図4 埋設、沈設したプラスチック片(埋設、沈設前)

β プラスチック



ポリ乳酸



PHBH

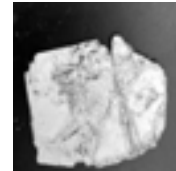
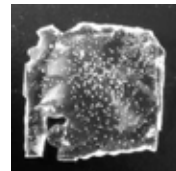


図5 埋設したプラスチック片(1か月後)

β プラスチック



ポリ乳酸



PHBH

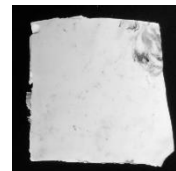


図6 沈設したプラスチック片(1か月後)

(4) エギの作製

β プラスチックを固形状に成型し、エギの形となるよう表面を削り作製した。ラインアイ(ラインを結ぶリング)やカンナ(フック)は市販のものを用いた。

4. 考察

(1) 架橋剤の配合量による分解プラの特性の検証について

架橋剤の量が多いほどひびが入りやすく、海水で溶解しやすいことが分かった。また、反りがないことから架橋剤は0.1gが適切だと考えられた。

(2) α と β の強度の比較

β は α と比べて水素結合が少なく、構造が脆弱な特徴があるが、今回作製した分解プラは β のほうが強度があると分かった。これは、架橋剤が β に適していたと考えられた。

(3) 分解プラであるかの検証

今回の検証については、海中への沈設にかかる手続きに時間を要したことから、結果的に1か月間の経過観察となったため、生分解による変化が十分に観察できなかった。分解の経過を観察するにはさらに長期間の調査が必要と考えられた。また、 β プラスチックについては、埋設、沈設ともに表面が軟化しており、これが分解によるものかそもそも耐久性の問題であるかについてはさらなる検証が必要と考えられた。

(4) エギの作製

実際にイカを釣る計画について、山口県ではアオリイカのシーズンは春と秋であるが、エギが完成した冬場はシーズンオフため、シーズンが到来次第、釣行する予定である。

5. 結論

イカの甲から生成したキチンを原料としたプラスチックを用いてエギの作製に成功するとともに、エビやカニの殻から生成される α キチンよりもイカの甲から生成された β キチンの強度が高いことが確認された。エギにするには密度が小さいため、鉛をつける必要があったが、現エギと比較しても形状は遜色なかった。イカの甲から作製したプラスチックが分解プラであるかについては現在検証途中であるため経過を観察するに加えて環境や生物への影響を調べる必要があると考える。

6. 謝辞

今回の研究を行うにあたり、担当教員の佐々木先生をはじめとする本校の先生方、実験のアドバイスを頂いた九州大学北岡先生、架橋剤の相談にのっていただいた富士フィルム様、イカの甲やエビの殻を提供していただいた企業様、生分解性プラスチックを提供していただいた株式会社カネカ生分解性バイオ

ポリマーGreen Planet 様、神戸精化株式会社様に深く感謝します。

7. 参考文献

- 1) 伊福伸介 (2015) カニ殻に内包されるキチンナノファイバーの単離技術および用途開発『化学と生物』53 巻 7 号
- 2) 森本稔, 重政好弘 (2012) バイオマスとしてのキチン, キトサンの応用『高分子』50 巻 4 号
- 3) 伊福伸介 (2012) カニ殻に内包されるキチンナノファイバーの単離技術および用途開発『高分子論文集』69 巻 8 号
- 4) 矢野 浩之 (2010) セルロースナノファイバーの製造と利用『機能紙研究会誌』49 巻 p. 15-20
- 5) 森本稔, 重政好弘 (2005) 健康食品に含有されたキトサンによるアナフィラキシーの1例『アレルギー』54 巻 12 号
- 6) 桂 蓉子, 原田 紀宏, 松野 慶, 石森 絢子, 糸魚川 幸成, 牧野 文彦, 伊藤 潤, 長島 修, 熱田 了, 高橋 和久 (2012) 肺胞マクロファージにおけるキチンによる $1L-1\beta$ 産生誘導『アレルギー』61 巻 9-10 号
- 7) 徳安健 (1998) キチン, キトサンの構造, 生体機能およびその代謝『高分子』47 巻 6 号
- 8) 桜井 謙 (1990) キチン・キトサンの構造『キチン・キトサン』46 巻 12 号
- 9) 西山昌史 (1995) セルロースとキトサンの複合化による生分解性プラスチックの開発『紙パ技協誌』54 巻 12 号
- 10) 長田 光正 (2022) 水だけを用いたキチン調製とナノファイバー化『バイオマス科学会議』p. 65-66
- 11) 荻原研 平林明子 平山紀夫 廣瀬成相 (2019) 架橋剤の添加量が CFRTF の成形条件と機械的特性に及ぼす影響『日本大学生産工学部学術講演会講演概要』p. 72
- 12) 伊福伸介 (2005) カニ殻に内包されるキチンナノファイバーの単離技術および用途開発『高分子論文集』69 巻 8 号

メルデの実験の拡張

神本汰一、磯部開地、賀美颯、新谷拓海、中村勇偉、倉橋和希

指導教員 高木益雄、末谷健志

アブストラクト

メルデの実験とは弦の一端を固定し、他の端を振動させることで発生する定在波の実験だ。当研究は先行研究「メルデの実験」による、音叉と弦を平行にすると弦の振動数は音叉の振動数と同じに、垂直にすると弦の振動数は音叉の振動数の $1/2$ になることに着目した。音叉と弦が平行な場合を 0 度、垂直な場合を 90 度として、二角間の様々な角度における定在波を観測したとき、複数の定在波が混在する角度が見つかった。結果、二つの振動の存在割合を等しくする角度は錘の重さに影響を受けた。

1. 研究目的

先行研究である「メルデの実験」では、音叉を平行や垂直以外の角度で設置した場合、弦の振動数や定在波がどのように変化するかにについて十分に研究が行われていない。そのため、我々は 0 度や 90 度以外の角度での振動数を詳しく調べることを目的とした。現代の物理の問題集では、「音叉を弦に対して平行に置くと、弦の振動数は音叉と同じになり、垂直に置くと振動数は $1/2$ になる。」としか記されておらず、この研究が成功すれば、新たな法則性を発見することができる。

2. 研究方法

<実験道具>

タコ糸、 440 ヘルツの音叉、滑車、それらを固定するためのスタンド、ハイスピードカメラ、銅線、銅線とネオジウム磁石(電磁誘導を発生させるため)、電動マッサージ機

<実験方法 1>

(1) 弦の端を音叉に固定し、もう一方の端は錘を取り付け、滑車を介して弦を張る。

(2) 音叉をハンマーで叩き、糸の振動の様子を目視で観測する。

(3) 音叉の角度を変え (2) と同様の操作を繰り返す。

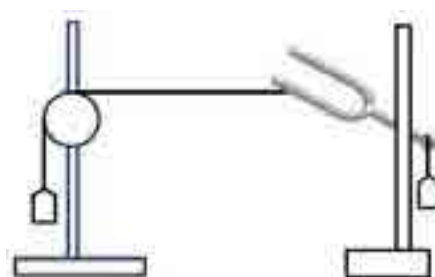


図1 実験1の装置のモデル

<実験方法 2>

(1) 弦の端を音叉に固定し、もう一方の端は錘を取り付け、滑車を介して弦を張る。

(2) 音叉をハンマーで叩き、糸に伝わった振動をハイスピードカメラで撮影する。

(3) 撮影した映像から、糸が振動した回数とそれにかかった時間を測定し、糸の振動数を算出する。

(4) 弦と音叉のなす角度を変えて実験を繰り返し、同様に糸に伝わる振動数の違いを測定する。



図2 実験2の様子



図3 ハイスピードカメラの様子

<実験方法3>

(1) 糸を銅線に変更し、銅線をネオジム磁石で挟んで振動した際に誘導電流が発生するようにする。弦の端を音叉に固定し、もう一方の端は錘を取り付け、滑車を介して弦を張る。

(2) 電動マッサージ機を振動させて定在波を発生させる。

(3) 電磁誘導により発生した電流をオシロスコープで波形に変換する。

(4) (3) で得た波形をフーリエ変換する。

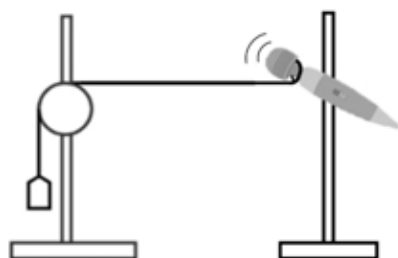


図4 実験3の装置のモデル

<実験方法4>

(1) 弦の端を音叉に固定し、もう一方の端は錘を取り付け、滑車を介して弦を張る。図5のように銅線をネオジム磁石で挟み、振動した際に誘導電流が発生するようにする。



図5 銅線を磁石で挟んだ様子

(2) ハンマーで音叉を叩き、振動させて定在波を発生させる。

(3) 電磁誘導により発生した誘導電流をオシロスコープで波形に変換する。

(4) (3) で得た波形をフーリエ変換する。

(5) (4) で得た波形から 220Hz と 440Hz の割合を調べ、グラフを作成し、220Hz と 440Hz の割合が同じになる角度を調べる。



図6 実験4の様子

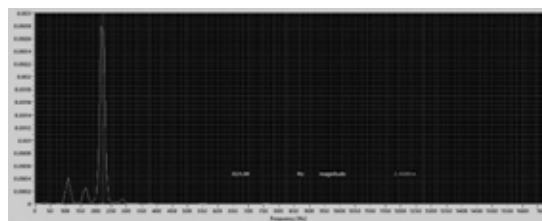


図7 フーリエ変換した波形

3. 結果

<結果1>

目視では、糸が振動して定在波を作っている様子を確認することができた。その後、複数回同様の実験を行っていると、腹の数が増加していることに気が付き、4倍振動と2倍振動が繰り返されながら振動をしているということを見つけた。

<結果2>

ハイスピードカメラでは、目視の際と比べてより精密に糸の振動の様子を観察することができた。しかし、糸が高速で振動した際にブレてしまうことがあったため、糸の振動数を測定することは困難であった。



図8 プレている糸の様子

<結果3>

音叉につないだ銅線の振動で電磁誘導を起こすためには強い振動が必要だったため、電動マッサージ機を使った。電動マッサージ機を使った場合でも音叉の時と同様に定在波を確認できた。電動マッサージ機は音叉より振幅が大きくなるので、オシロスコープで波形を確認しやすかった。しかし、電動マッサージ機は振動の方向が一方向ではないため、フーリエ変換をして得た結果のばらつきが多かった。

<結果4>

電動マッサージ機から音叉に戻してみたが、音さでも波形は確認できた。フーリエ変換も問題なくできた。

以下のグラフは、縦軸が振動数の割合、横軸が音叉の角度を表している。グラフはプロットした点を3次関数で近似して表している。

音叉につなぐおもりが1Nの時、結果は図9のようになった。傾きが13.9度の時、振動数の割合が等しくなった。

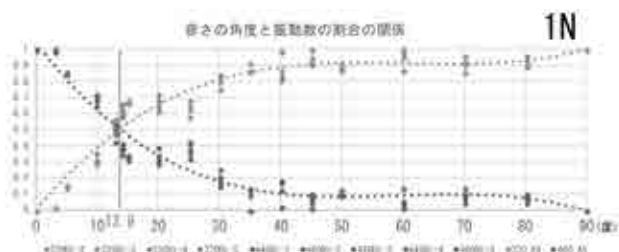


図9

2Nの時、結果は図10のようになった。傾きが22.4度の時、振動数の割合が等しくなった。

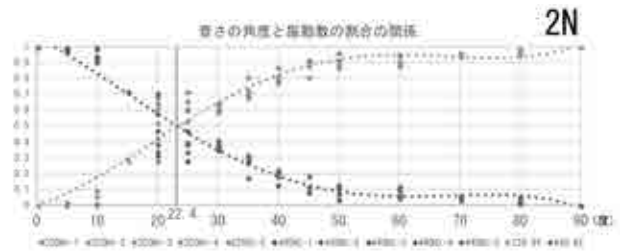


図10

4Nの時、結果は図11のようになった。傾きが26.4度の時、振動数の割合が等しくなった。

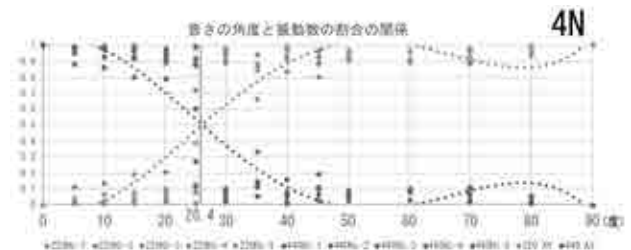


図11

4. 考察

上記の結果から、実際は220 Hzと440 Hzの割合が同じになる角度は張力に依存して変化することが分かった。図12のように音叉の揺れ幅をとすると、縦に揺れる、つまり220 Hzの成分は $A \sin \theta$ 、横に揺れる、つまり440 Hzの成分は $A \cos \theta$ と表される。このとき、 $\theta = 45^\circ$ のときをフーリエ変換すると、下のグラフのようになると考えられる。このままでは交点の位置は 45° となってしまう。

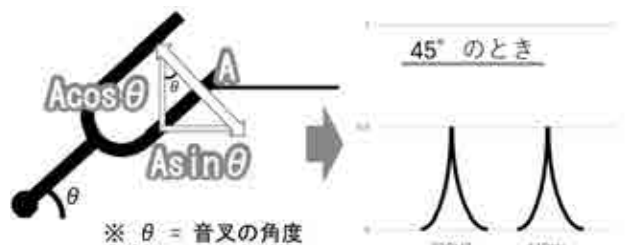


図12

しかし、今回の結果から、張力によって交点がずれることが分かったので、図5のように張力の影響を表す値をAの横成分、縦成分それぞれ関数 $f(T)$ 、 $g(T)$ とおく。すると、交点が 45° より小さいとき、

$f(T) < g(T)$ の関係に、 45° より大きくなる時は、その逆になると考えられる。これにより、図13のグラフのように、今回の結果と辻褃のあう結果を導くことができる。

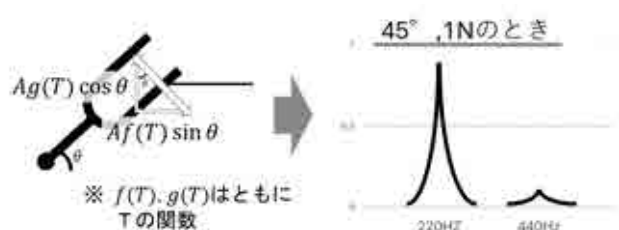


図 13

5. 結論

我々は糸を銅線にし、誘導電流を発生させ、電流をパソコンのオシロスコープのアプリを使い波形を表示し、フーリエ変換をして各振動数の割合を求めた。その結果、二つの振動の存在する割合を等しくするために必要な角度は錘を重くするにつれて大きくなるということが分かった。

6. 展望

今後はおもりの重さを1, 2, 4N以外にして試行回数を増やし、より正確なデータを得て、考察で示した $f(T)$ 、 $g(T)$ の具体的な形を求めようとしていた。しかし、おもりを重くしすぎると銅線が切れてしまうため実現は難しい。そこで、我々の作った装置をシミュレーション空間で動作することができれば、この問題に対処できる。さらに、理想的な空間でシミュレーションできるので、より正確なデータになるだろう。このシミュレーションに関しては我々の研究を引き継ぐ後輩に任せたい。

後輩が引き継ぐまでの間は、銅線が切れない程度の重さのおもりで実験をし、データを得

る。

そして得たデータを基に、この現象の原因を解明し、将来的には音叉の傾ける角度のみで振動数の割合を導ける式を導出していきたい。

7. 謝辞

高木先生、末谷先生並びにアドバイスをくださった先生方、本当にありがとうございました。

また、実験方法について行き詰っていた我々に新たな視点から意見をくださった東京大学、サイエンスキャスル関東大会出場者の方々、ありがとうございました。

8. 参考文献

メルデの実験 (1859 年)

バブルリングを用いた海洋ゴミ回収の実現

江口孝徳、倉橋和希、中谷健一、深海颯斗、宮地拓海

指導教員 有馬和宏

アブストラクト

近年の海洋問題に対処すべく微細な海洋ゴミを回収する装置を、バブルリングの特性を用いて安価に作成することを念頭に置き、バブルリング発生装置、回収装置、電源装置からなる装置を設計から作り上げた。深さ 90cm の水槽の中で検証したところ、この装置を使って $1.0\sim9.0\text{cm}^2$ の PET 片 0.03g のワッシャーの回収が可能であることが分かった。また、完成した装置を海洋でも稼働させ、同様の効果を確認できた。

1. 研究目的

現在、世界中で海洋プラスチックが大きな環境問題となっている。YouTube で、バブルリングがクラゲを巻き込む動画を見た私たちは、バブルリングがマイクロプラスチックの回収を可能にし、問題解決につながると考えた。これまで、内山

(2017) により、液体の渦輪が固体微粒子を輸送するという事、宮地ほか (2024) より、バブルリングが物質を巻き込むことが分かっている。

そこで本研究では、物質の輸送を行うためにバブルリング発生装置の研究開発を行うことにした。その上で、その船が海で漂うことにより、ゴミが回収できると仮説を立てた。この開発が進むことで実際に海や川などにあるマイクロプラスチックの削減に大きく貢献できる方法を編み出すことができると期待している。

2. 装置の制作方法

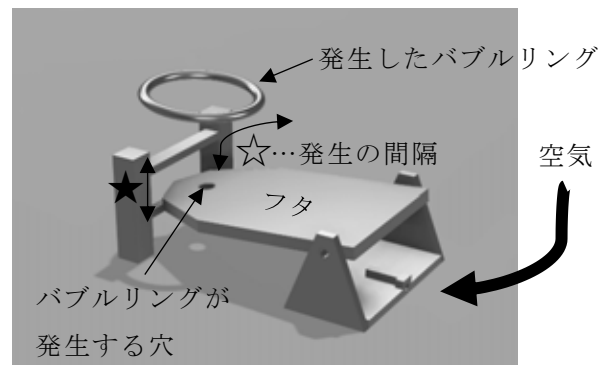
(1)・(2)・(3) の装置を組み合わせ、オリジナルの船に搭載することでの、海洋ゴミ回収を目指す。また、「バブルリング発生装置の性能の検証」、「発生装置・回収装置による回収能力の検証」、「海による実験」を行い、回収能力を評価する。

(1) バブルリング発生装置の作成

Fusion360 と FlashPrint 4 Lite というアプリを用いて、3Dモデル (Stl ファイル保

存) を作成し、3Dプリンターで印刷した。

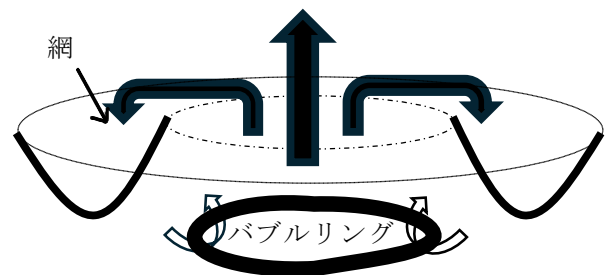
(図①) フタの下に空気を送り込み、一定の空気がたまると、「ししおどし」の要領でフタが傾き、穴から空気が一気に抜けてバブルリングが発生する。



図①：発生装置の様子

(2) 回収装置の作成

養蜂で使用されている穴が小さい網を使用した。回収装置 (図②) は、バブルリングの回転力と推進力により、ゴミを回収する。



図②：回収装置

(3) 電源装置の確立

海の中で、自立した回収を目標としているた

め、電源装置（図③）を独自に作成することにした。電源装置は太陽光パネルを用いて、エアポンプへ電源供給する。



図③：太陽光パネルと充電装置

（４）船体の作成

海上に浮かべることを想定しているため（１）から（３）の装置を船体に取り付ける。主に材料としてはペットボトルを使用して船体（図④）を作成する。



図④：船体の様子

３．実験方法

①バブルリング発生装置の性能の検証

バブルリング発生装置、回収装置、電源装置を取り付けた船体を縦 90 センチの水槽の中で、バブルリング発生装置にエアポンプで空気を送り、バブルリングを発生させた。バブルリング発生装置は 3 D プリンターで作り、撮影用

にスマートフォンを使った。エアポンプの空気を送る量とバブルリングのスピードを調節したり、バブルリングを発生させる穴の大きさと形状を変えたりすることで、バブルリングの形状などを比較して、同様に実験を行う。

②発生装置・回収装置による回収能力の検証

①でバブルリング発生成功率の最も高かったバブルリングのサイズで、装置のゴミ回収能力を検証する。ゴミとしては、PET (1.0cm^2)、(4.0cm^2)、(9.0cm^2)と金属ワッシャー (0.03g)、(4.10g) の 5 種類で実験を行った。

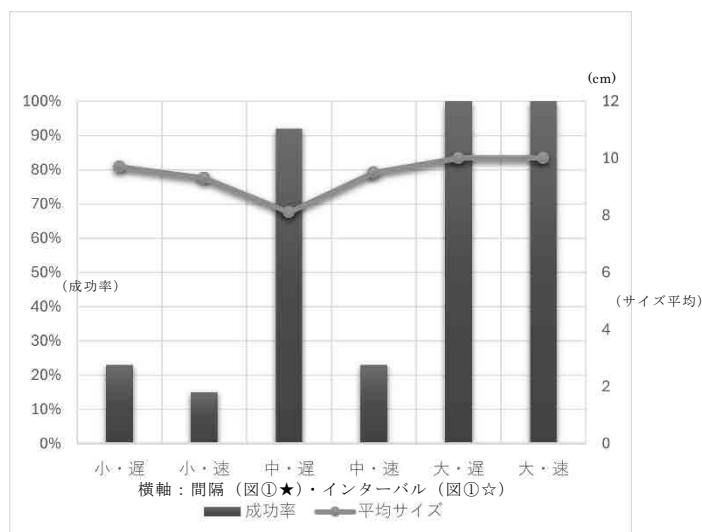
③海による実験

この装置をオリジナルの自作船に搭載し、海で実験を行い、実際にゴミが回収することできるかを評価する。

４．結果（数字は「実験内容」に対応）

①バブルリング発生装置の性能の検証

バブルリング発生装置によるバブルリングのサイズと成功率(バブルリングの発生の成功率)の関係を調べた。(図⑤)



図⑤：バブルリング発生成功率とサイズ平均

結果として、間隔が大きくなるにつれて成功率とバブルリングのサイズ平均が上がった。また全体的に、インターバルは早くなるほど、成功率が下がった。

②発生装置・回収装置による回収能力の検証

先ほどと同じバブルリング発生装置と回収装

置を用いて、回収能力を対照実験により、明らかにした。

表①：ゴミの種類による回収率と

回収にかかった秒数

左枠：実験回数とその平均

横枠：実験に用いた回収物の種類

Kinds Experiment	PET (1.0cm)	PET (4.0cm)	PET (9.0cm)	Washer (0.03g)	Washer (4.10 g)
1	30.2 s	30.0 s	46.0 s	28.0 s	×
2	36.1 s	37.9 s	78.0 s	28.0 s	×
3	39.0 s	45.0 s	89.2 s	27.4 s	×
average	35.1 s	37.6 s	71.0 s	27.8 s	×

結果として、PET は面積が大きくなるにつれて回収にかかる時間が長くなったと言える。また、4.10g のワッシャーは輸送できなかった。

③海での実験

高校付近の港である「徳山港」の栈橋付近を使用し、およそ1時間程度実験を行った。

結果として、実際に複数のプラスチック類を回収したことを目視で確認した。しかし、採取できたゴミの数や重さは、極めて小さいため量ることができなかった。

5. 考察

(1) バブルリング発生装置

バブルリング発生装置は先述のように、CADソフトの「Fusion360」と3Dプリンターである

「FlashPrint 4 Lite」を用いて作成した。

当初は、ピコピコハンマーの先端部分とエアポンプを用いて、リングを作成することにしていた。しかし、リングを手動で発生させることになるため、正確な対照実験や回収量が把握できないため、別の方法を模索した。

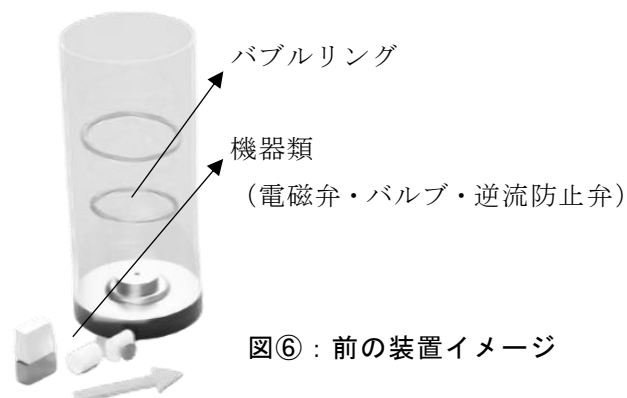
次に、エアーコンプレッサーや電磁弁、逆流防止弁、バルブなどを組み合わせることで、発生装置を開発することを目指した。(図⑥)しかし、実験中に電磁弁の調子が悪くなってしまい、データをとることができなかった。電磁弁を買いなおすことも考えたが、この発生装置をさせる場合、機械どうしを複雑に接合するため、実際に実

用化された際に、コスト面や整備等に問題が生じると考えた。このことより、学校にある3Dプリンターを使うことで簡単に作成することにした。制作した3Dモデルのイメージとしては、空気の浮力によるフタの上下を生み出すために、日本で古くから伝わる「ししおどし」を参考にした。また、実験中に壊れてしまう可能性を考慮して、側面にボンドを塗ることで強度を高めた。

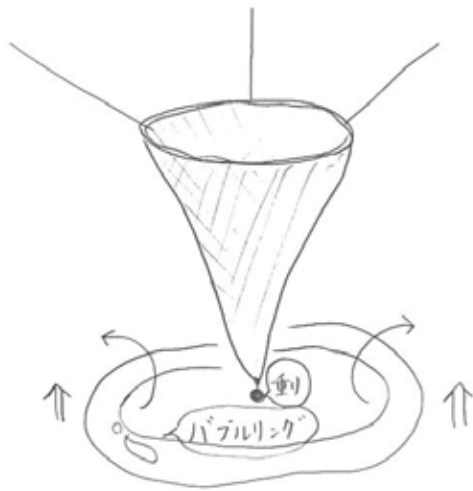
(2) 回収装置の作成

当初の回収装置は、油を用いて密度の違いを活かすことで、バブルリングで輸送したプラスチックと水を分離させることを目標にしていた。後に回収しやすいように、油の表面にプラスチックを浮かべたかったため油の種類としては、サラダ油・米油・アマニ油を使用して、仮実験を行った。結果は予想と同じく、アマニ油を使用した場合に、プラスチックの一部が油の上に浮遊するという結果を得ることができた。しかし、実験の後にメンバーや先生方と話し合い、油を用いて海での実験に失敗した場合、海洋汚染につながってしまうという危険が指摘されたため、別の方法で代用することにした。

そこで、養蜂用のきめの細かい穴が開いた網に目をつけた。網の形状でも作成にあたって苦労したことが多くある。はじめは、バブルリングを網の外側に上昇させ(図⑦)、回収することにしたが、網のまわりにある針金が固く、変形させることが不可能であり、バブルリングの回転力と推進力により、網の場所が安定しないという問題が発生した。そのため、図②で表す形状で実験を進めることにした。



図⑥：前の装置イメージ



図⑦：前の回収のイメージ

（３）電源装置の確立

電源装置は、乾電池または充電電池を使用することも検討したが、海での使用中に水分が入り込むことによる損傷を考え、太陽光パネルを使用することになった。

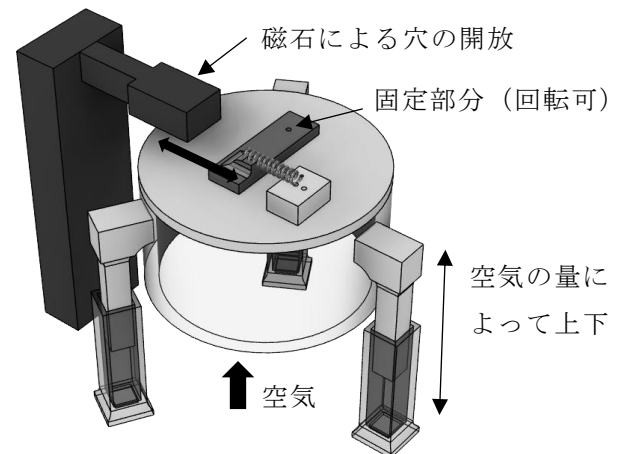
太陽光パネルとエアポンプ、バッテリーをそれぞれ接合することもできたが、今回使用する電源供給先がエアポンプのみなので、すべてが合わさった装置を用いることにした。充電性能としては、半日太陽光に当てる（快晴時）ことで、フル充電をすることができた。また、バッテリーは１時間で 25% 近く残量が減少したため、予測では、太陽光による充電が不可能になっても 4 時間程度は稼働し続けることができると考えられる。

6. 結論

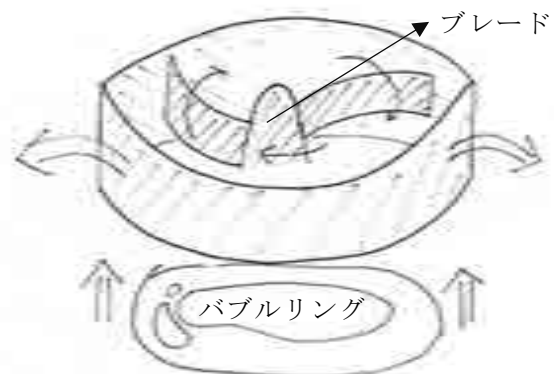
バブルリング発生装置・海洋ゴミ回収装置・電源装置を組み合わせ、オリジナルの回収機構を作り上げることに成功した。

今後は、効率的な回収を目標にしていきたい。また、現在は発生装置の改良点として、船体が傾いた際に発生装置に送る空気の一部が、漏れてしまうということがあげられたため、新しい発生装置のイメージ（図⑧）として、モデリングしている。さらに回収装置の改良点としては、水中ギヤボックスを用いた、さらなる効率的な回収を考え

ている。水中でブレードを回し、水面に上がってきたゴミを巻き込む構造（図⑨）になっている。



図⑧：新しい発生装置のイメージ



図⑨：回収装置のアイデア

7. 謝辞

株式会社ウォーターパール社の宮崎さんにはバブルリング発生装置の製作において貴重なアドバイスをいただきました、感謝いたします。また、山口県周南港湾管理事務所、海上保安局、市漁業協同組合の皆さんには、海での実験へのご理解とご支援、ありがとうございました。

8. 参考文献

内山知実(2017). 渦輪を用いた固体粒子群の生成・輸送技術の開発. ホソカワ粉体工学振興財団年報, 25, 26-32.
宮地拓海, 林翔蒼, 鼓柊吾, 三牧奏太, 高畑亮介, 宮崎陸(2024). 追究!! バブルリングの潜在能力. 令和5年度山口県立徳山高等学校 SSH 課題研究発表会 PBL の部

微生物燃料電池の土壌条件

舞田采希 杉井歩有 山内綾桃

指導教員 田中英幸

アブストラクト

二酸化炭素を排出しない発電方法として、微生物燃料電池の活用がある。しかし、微生物燃料電池は二酸化炭素排出量を削減できる一方、発電効率が悪い、費用が高いなどの問題点がある。本実験では身近な素材を使い、また土壌に米ぬかや糖を混合することで発電効率を上げることのできる土壌の作成を行った。その結果、糖を混合した土壌の間には大きな差はなかったが、腐葉土のみの土壌と比べると電圧値は高かった。

1. 研究目的

(1) 背景

近年地球温暖化が進んでおり、主な原因は二酸化炭素の急激な増加にある。この問題に対処するために私たちは微生物燃料電池という発電方法に注目した。現在実用規模に向けた開発が盛んに行われている。しかし、微生物燃料電池は二酸化炭素排出量を削減できる一方、発電効率が悪く、また運用には電極や装置作成にかかるコスト等の問題点があることも知られている。私たちは、それらの微生物燃料電池の課題を解決すると同時に、身近にある素材を用いた微生物燃料電池による簡易的な発電方法について深く調べてみたいと考えた。微生物燃料電池における土壌条件の最適化に向けた実験を進めることができ、さらに現在もこれから先も求められると予想されている持続可能なエネルギーの活用方法についても新しい方面から見定めることができると考える。

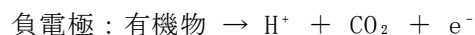
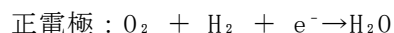
(2) 目的

現在実用化に向けて研究されている微生物燃料電池は機体が大きかったり特殊な触媒を用いたりすると、再現は現段階では難しかった。そこで微生物燃料電池の電圧値が最も高くなる条件を調べ、身近な素材を用いて発電効率の良い微生物燃料電池を作成することを目的とした。電極や装置の作成が困難なため、土壌条件を変更することで簡易的に効率を上げることができると考えた。このため、特に米ぬかを用いた場合、腐葉土に投入

する糖分を変更した場合の電圧値に着目した。また、作成した微生物燃料電池は、身近なラップや腐葉土を使用し、人類が抱える環境問題だけでなく電力問題を解決することができると考える。さらに、身近にあるものを使用した作成難易度の低い電池を実用化できれば誰もが簡単に作成、使用することができ技術の進歩にも役立てると考える。この技術を社会に役立てる術を模索し検討していく。

2. 研究方法

微生物燃料電池の仕組みは以下のようになっている。



まず、発電菌が有機物を分解し、 CO_2 と H^+ と e^- を放出する。放出した e^- を負電極で回収し、正電極に流れることで、 H^+ と O_2 から H_2O が生じる。装置の作成は先行研究をもとに行った。また、本研究では、市販の腐葉土を使用することで土の種類を統一させ、新たな土壌条件を加え実験を行った。計測方法は、テスターを用いて、電圧を測定した。図1のように実験装置を用意した。

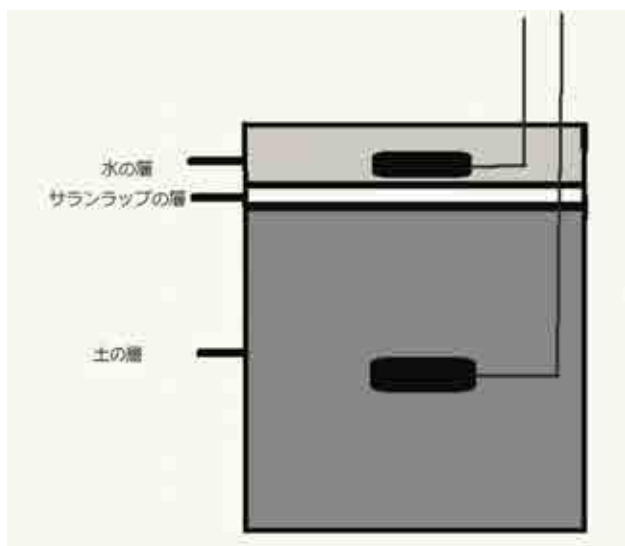


図 1 作成した微生物燃料電池の図

(1) 微生物燃料電池の作成

- (A) 容器に腐葉土(100g)、グルコース(5.0g、1.5g)、蒸留水を加えてよく攪拌した。
- (B) サランラップで層を作り、上層に電極が全て浸るまで蒸留水を加え、下層は①の土壤に電極をすべて埋めた。
- (C) 3日間放置した後、テスターを使用し電圧を測定した。



図 2 微生物燃料電池の測定の様子

(2) 熱処理の有無

- (A) (1)と同様の微生物燃料電池を作成した。
- (B) ①で作成した微生物燃料電池をオートクレーブで加熱し、熱処理を施した。
- (C) 3日間放置した後、テスターを使用し電圧を測定した。



図 3 使用したオートクレーブ

(3) 米ぬかを使用した実験

- (A) 容器に腐葉土(100g)、グルコース(5.0g、1.5g)、米ぬか(10g)、蒸留水を加えてよく攪拌した。
- (B) サランラップで層を作り、上層に電極が全て浸るまで蒸留水を加え、下層は①の土壤に電極を全て埋めた。
- (C) 3日間放置した後、テスターを使用し電圧を測定した。

(4) 糖を加えた実験

- (A) 容器に腐葉土(100g)、糖(グルコース、ス

クロース、デンプン、ソルビトールの4種。

1.5g)、蒸留水を加えてよく攪拌した。

(B) サランラップで層を作り、上層に電極が全て浸るまで蒸留水を加え、下層は①の土壤に電極を全て埋めた。

(C) 3日間放置した後、テスターを使用し電圧を測定した。

(5) 糖の種類と量による、油膜のでき方の比較
実験(4)において、すべての電池の表面で油膜ができた。この油膜が糖によるものか、電流が流れたことによるものかを調べるため、対照実験を行った。

(A) 容器に腐葉土(100g)、糖(グルコース、スクロース、デンプン、ソルビトールの4種

(0.5g、1.0g))、蒸留水を加えてよく攪拌した土壤と腐葉土のみと蒸留水を加えてよく攪拌した土壤を用意した。

(B) サランラップで層を作り、上層に電極が全て浸るまで蒸留水を加え、下層は①の土壤に電極を全て埋めた。

(C) 3日間放置した後、油膜ができているかどうか確認した。

3. 結果

実験(1)、(2)および(3)での実験結果は以下の図4のようになった。この実験結果から、米ぬかのみで発電では数値の減少を観測することができた。図4において①は腐葉土に米ぬかとグルコース1.5gを添加したもの、②は①で添加したグルコースを5.0gにしたもの、③は①を熱処理したもの、④は腐葉土の代わりに米ぬかを用いてグルコース1.5gを添加したものである。

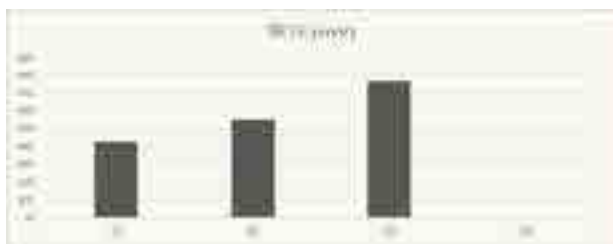


図4 米ぬかを使用した電圧の比較

実験(4)では以下の図5のようになった。

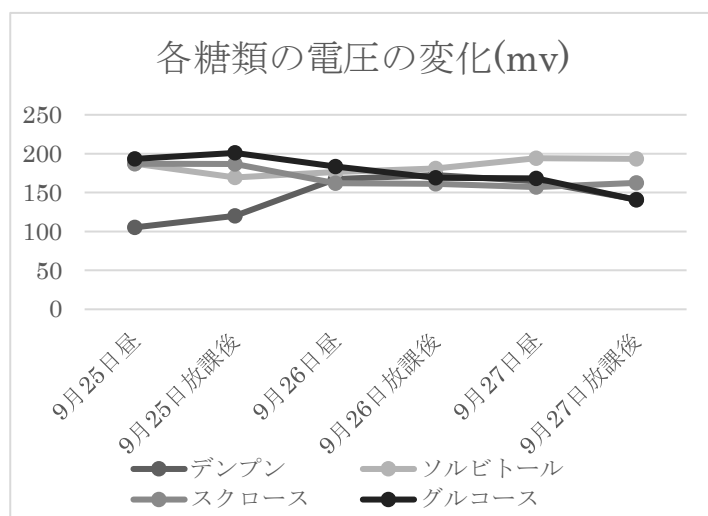


図5 糖分の違いによる電圧の比較

実験(5)では、土のみを含むすべての電池の表面に油膜ができたが糖分を含むものは広範囲に油膜ができていた。



図6 油膜の様子(デンプン入り微生物燃料電池)

4. 考察

実験(1)、(2)および(3)では米ぬかのみで電池で電圧が発生しなかったため土壌の代わりに米ぬかで発電をすることは難しいと考えられる。しかし土と混合した電池では土のみのものより電圧が高くなったため米ぬかは微生物を活性化させることができたと考えられる。実験(4)で

は糖分の種類によって電圧に大きな差は生まれなかったが、最終的にソルビトールを加えた微生物燃料電池の電圧が最も高くなったことから糖分の種類を変えることによって電圧の高さに変化を生じさせることができると考えられる。実験（５）では糖分を混合させていない土のみの実験でも油膜が発生したことから糖分のような栄養分が土に含まれており、さらに糖分を加えることで栄養分が過剰になっており分解されない栄養分があったため油膜が発生したと考えられる。

5. 結論

本研究により、微生物燃料電池における適切な土壌条件は糖類を添加したときであると考ええる。糖類の種類による電圧の比較において、大きな差は見られなかったが最終的にソルビトールを加えた土壌の電圧が高かった。また、糖類を加えなかった場合でも油膜が発生したことより、使用した腐葉土自体に発電菌が分解する量よりも多い有機物が存在していると判断できる。よって、本研究において使用した腐葉土は適切であると判断することはできない。さらに米ぬかを加えた場合においても電圧は上がったため、微生物燃料電池における最適な土壌条件の一つであると考ええる。

6. 今後の展望

本研究では、米ぬかと糖類の種類を変えた土壌の比較を行うことができなかった。よって、本実験で使用した糖類と土壌、米ぬかを加え同様の実験を行っていききたい。加えて、添加する糖分を質量でそろえたため物質量が等しくない。よって添加する糖の物質量を等しくし、実験を行い本実験との比較を行いたい。また、使用した腐葉土に油膜が発生したことにより腐葉土には十分な有機物が含まれているため、土の種類を変更し再度同様の実験を行っていききたい。さらに、使用した有機物が糖類、米ぬかのみであったため、他の有機物を用いて実験を行っていききたい。加えて、他の土壌を用いて同様の実験も行いたい。

また、実験（１）、（２）、（３）において③の微

生物燃料電池が最も電圧が高くなった原因を解明するための実験を行っていききたい。

7. 謝辞

今回の実験を行うにあたり、三菱商事ライフサイエンス株式会社様の粉末ソルビット LTS-P 20M を使用させていただきました。この場をお借りして感謝しお礼を申し上げます。また、この研究を進める過程で、なかなか思うような結果が出ない中、協力してくださり、多くのアドバイスをくださった山本圭子先生並びに田中英幸先生に深く感謝し、お礼申し上げます。

8. 参考文献

徳山高等学校 令和５年度スーパーサイエンスハイスクール生徒論文研究論文集 「土壌条件による微生物燃料電池の最適化」
三重県立桑名高等学校 令和６年度スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会要旨集「微生物燃料電池の効率化」

フェライティングマーカー ～砂鉄を使って消しやすく回収可能なWMを作ろう～

井村倭士、岸野叶実、貞森実桜

指導教諭 西村みずき

アブストラクト

ホワイトボードマーカーを消したときに出る消しカスは、その周辺を汚してしまう。そこで私たちは、インク顔料の代替品として砂鉄を用いて、磁石の力による消しカスの回収が可能で、砂鉄の再利用も可能なホワイトボードマーカー（フェライティングマーカー）を開発しようと考えた。様々な組み合わせの溶媒に砂鉄を分散させ、砂鉄の分散度、インクの筆記性と消去性、砂鉄の回収量について検証した。その結果、砂鉄 2.0g にテレピン油とエタノールを 5.0mL ずつと市販の水性顔料分散剤を加えたものが最適であった。

1. 研究目的

教室で使用されているホワイトボードマーカー（以下、「マーカー」という。）は筆記後時間がたつと消えにくくなるという欠点がある。また、マーカーの特性上、消しカスが発生することを避けられず、その消しカスによって周囲を汚してしまっている。このような背景から、一定時間が経過しても消しやすく、消しカスの散らばらないマーカーを作ろうと考えた。インクの顔料の代替品として砂鉄を用いることで、磁石の力を利用して、消しカスを回収することができる。加えて、集めた砂鉄に溶媒を新たに加えることで再利用できるインクになると考えた。

2. 研究方法

（1）実験1 砂鉄の分散度

溶媒の組み合わせとその割合による砂鉄の分散度の違いを調べた。溶媒として、水、磁性流体に使用されている例があったサラダ油、揮発性の高いエタノール、油絵で使用されて揮発性が高いテレピン油を使用した。分散剤として、水彩絵の具に使用されているアラビアゴム、日本画で使用されている膠、市販の水彩用顔料分散剤を使用し、界面活性剤として食器用洗剤、陽イオン界面活性剤を含むリンスを使用した。剥離剤としてシールをはがしを、剥離剤かつ分散剤としてシリコーンを含むリンスを使用した。

- ① 砂鉄 1.0g に任意の溶媒を加えてよく振った。
- ② 分散の様子を観察した。

③分散度と溶媒の揮発性を考慮し、ホワイトボードマーカーインク（以下、「インク」という。）として適したものを選んだ。

（2）実験2 筆記性、消去性

ホワイトボード（以下、「ボード」という。）上での筆記性と消去性を調べた。筆記性については、書いたインクが乾くまでの時間と、砂鉄がボード上に定着しているか、砂鉄の発色にむらがないか、溶媒が乾いた後の砂鉄の様子はどうかに注目した。消去性については、磁石にキッチンペーパーを巻き付けたものを用いて、書いたインクを消去し、消去のしやすさと、ボードに残った砂鉄の量や溶媒に注目した。（1）③で選んだもので実験を行った。

- ① 溶媒のみを 1.0 μ mL 滴下し、1 分後、5 分後、10 分後の様子を観察した。
- ② ボードに線を書き、約 1 時間静置し、書いた直後と静置後の線の様子を観察した。
- ③ ボードの上に作った 5.0 cm $\times$ 5.0 cm の枠の中を塗りつぶし、約 20 分間静置し、塗りつぶした範囲の様子を観察した。
- ④ ③で塗った範囲を消去する。消去前後のボードの写真を用いて、黒色の部分と白色の部分の割合を調べた。
- ⑤ 筆記性と消去性の実験結果を考慮し、インクとして適したものを選んだ。

(3) 実験3 砂鉄の回収量と再利用

一定面積を塗りつぶしたものを磁石を用いて消去し、回収した砂鉄の量を比較した。また、回収した砂鉄を再び同じ溶媒に溶かし、砂鉄の分散度、ボード上での筆記性と消去性について調べた。

- ① (2) ②で回収した砂鉄の量をもとに砂鉄の回収率を算出した。
- ③ 回収した砂鉄を再び溶媒に溶かし、分散度、筆記性、消去性に变化があるか調べた。

3. 結果

(1) 実験1

検証した溶媒の配合 33 種類のうち、インクとして適していると考えられるものとその理由を表1に示す。

表1 選んだ溶媒の配合とその理由

	溶媒[mL]	理由
A	アラビアゴム 8.0 水 2.0	ほとんどが溶媒がよく分散したため
B	テレピン油 8.0 水 2.0 リンス少量	砂鉄が分散した部分が磁石で吸い上げられなかったため
C	サラダ油 2.5 水 7.5	試験管の壁面に油と水の混合物が付き、油中に磁石が沈み込んでしまったため
D	サラダ油 5.0 エタノール 5.0	砂鉄が分散した部分が磁石で吸い上げられなかったため
E	エタノール 10 食器用洗剤少量	溶媒の揮発性が低いため
F	エタノール 10 食器用洗剤少量 分散剤	溶媒の揮発性が低く、よく分散したため
G	テレピン油 5.0 エタノール 5.0	どちらも溶媒の揮発性が低いため
H	テレピン油 5.0 エタノール 5.0 分散剤	どちらも溶媒の揮発性が低く、よく分散したため

(2) 実験2

溶媒の組み合わせとその割合、操作①の結果を表2に示す。また、分散剤は少量であり、揮発性の変化はないと考えられるので、FH については操作①では行わなかった。

表2 各溶媒の滴下時の様子

×：乾いていなかった △：端が少し乾いていた

	溶媒[mL]	1分後	5分後	10分後
A	アラビアゴム 8.0 水 2.0	×	×	×
B	テレピン油 8.0 水 2.0 リンス少量	×	×	×
C	サラダ油 2.5 水 7.5	×	×	×
D	サラダ油 5.0 エタノール 5.0	×	×	×
E	エタノール 10 食器用洗剤少量	×	×	△
G	テレピン油 5.0 エタノール 5.0	×	×	△

溶媒の組み合わせとその割合、操作②の結果を表3に示す。

表3 各溶媒での筆記時の様子

定着 ×：はじいた △：少しはじいた

○：はじかなかった

一時間後の様子 ×：乾いていなかった ○：乾いた

	溶媒[mL]	定着	発色	1時間後の様子
A	アラビアゴム 8.0 水 2.0	×	濃い黒色	×
B	テレピン油 8.0 水 2.0 リンス少量	○	灰色	○
C	サラダ油 2.5 水 7.5	○	濃い黒色	×
D	サラダ油 5.0 エタノール 5.0	×	濃い黒色	×
E	エタノール 10 食器用洗剤少量	○	色むらがあった	○
F	エタノール 10 食器用洗剤少量 分散剤	○	灰色	○
G	テレピン油 5.0 エタノール 5.0	△	灰色	○
H	テレピン油 5.0 エタノール 5.0 分散剤	○	濃い黒色	○

溶媒の組み合わせとその割合、操作③の結果を表4と表5に示す。

表4 各溶媒での筆記時の様子

×：乾いていなかった ○：乾いていた

	溶媒[mL]	20分後の様子
A	アラビアゴム 8.0 水 2.0	×
B	テレピン油 8.0 水 2.0 リンス少量	×
C	サラダ油 2.5 水 7.5	×
D	サラダ油 5.0 エタノール 5.0	×
E	エタノール 10 食器用洗剤少量	○
F	エタノール 10 食器用洗剤少量 分散剤	○
G	テレピン油 5.0 エタノール 5.0	○
H	テレピン油 5.0 エタノール 5.0 分散剤	○

表5 各溶媒での消す前、消した後の色の割合

白い部分：砂鉄 1.0g 灰色の部分：砂鉄 2.0g

溶媒[mL]	消す前		消した後	
	黒	白	黒	白
A アラビアゴム 8.0 水 2.0	3.60%	96.40%	5.10%	94.90%
B テレピン油 8.0 水 2.0 リンス少量	12.10%	87.90%	0.00%	100.00%
C サラダ油 2.5 水 7.5	27.50%	72.50%	0.00%	100.00%
D サラダ油 5.0 エタノール 5.0	51.30%	48.70%	0.70%	99.30%
E エタノール 10 食器用洗剤少量	96.80%	3.20%	0.80%	99.20%
F エタノール 10 食器用洗剤少量 分散剤	88.50%	11.50%	1.50%	98.50%
G テレピン油 5.0 エタノール 5.0	78.60%	21.40%	3.70%	96.30%
H テレピン油 5.0 エタノール 5.0 分散剤	83.80%	16.20%	1.50%	98.50%

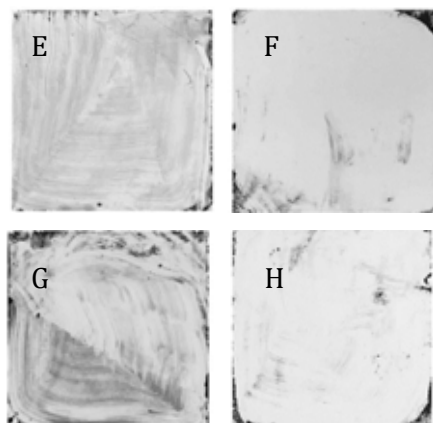


図1 消去後の様子

(3) 実験3

実験1、2よりインクとしての適性があると判断した溶媒EFGHでのみ砂鉄の回収量を調査した。(回収できた割合は回収できた砂鉄の量の最大値であるEを1としたときの割合を示す) 測定した値は以下の通りである。

表7 各溶媒での回収できた砂鉄の量と割合

溶媒[mL]	回収できた砂鉄の量 [g]	回収できた割合 (Eを基準とする)
E エタノール10 食器用洗剤少量	0.11	100.00%
F エタノール10 食器用洗剤少量 分散材	0.09	81.82%
G テレピン油5.0 エタノール5.0	0.1	90.91%
H テレピン油5.0 エタノール5.0 分散材	0.06	54.55%

4. 考察

上記の結果から、インクとして適していると考えられるものとその理由は以下の通りである。

E：溶媒の揮発性が高く、発色が最もよかったため

F：溶媒の揮発性が高く、消去性がよい

G：溶媒の揮発性が高いため

H：溶媒の揮発性が高く、消去性がよい

(1) 実験1

表1より、Aはほとんどの砂鉄がよく分散し、Cは砂鉄を含んだ油滴が水中に存在し、Dは砂鉄が分散した部分が磁性流体ようになっていた。これは、アラビアゴムと油の部分に砂鉄が分散していたと考えられるが、エタノールの揮発性が高いためDの方がインクに適してい

ると考えられる。Bでは砂鉄が分散した部分が磁性流体ようになっていた。これは、リンスに含まれる陽イオン界面活性剤がミセルコロイドを形成し、砂鉄をよく分散させたと考えられる。GとH、EとFでは、分散剤を加えたFHの方が砂鉄をよく分散させた。これは、市販の水性顔料分散剤に含まれる非イオン性ポリマーが顔料表面に吸着し、粒子表面のぬれ性が増すことで砂鉄がより安定に分散したためであると考えられる。

(2) 実験2

表2より、操作①の結果について、アラビアゴムや水、サラダ油などの気化しにくい溶媒を含んだ場合、乾きにくくなると考えられる。また、EとGも完全には乾かなかったが、表4より、操作③で筆記した際には完全に乾いたことがわかる。これは、マイクロピペットを用いて溶媒を垂らしたことにより、界面張力がはたらき、通常筆記する際より液面が厚い状態になったことも関係すると思われる。

表3より、操作②については、Bはリンス、Eは食器用洗剤、FとHは非イオン性ポリマーが溶媒として含まれておりいずれも界面活性剤であるため、ボードの表面と溶媒が吸着し、ボードの表面にはじかれずに定着したと考えられる。また、CDGがはじいてしまったことについては、界面張力が関係していると考えられる。液体と固体の界面張力は、液体<固体となるとときに、固体表面ではじかれずに定着する。ここで、水と油とエタノールとテレピン油の界面張力は常温でそれぞれ、72.7mN/m、<0.030mN/m、22.4mN/m、26.8mN/mである。Cは筆記の際に磁性流体に似た油滴の部分を筆でとったため、溶媒がサラダ油100%に近い状態での筆記になったので、界面張力がボードより小さくなったと考えられる。Dは溶媒がエタノールとサラダ油の混合物であり、混合油の界面張力は混合物の界面張力の中間になることを考慮し、混合溶媒の界面張力も変化すると仮定すると、純サラダ油よりも、Dの混合溶媒の方が、界面張力が大きいと考えられる。Gも同様にテレピン油とエタノールの混合物であるので定着しなかったと考えられる。

発色については、表1と表3より、実験1で分散したものは濃い黒色になっていた。特に、GとH、EとFをそれぞれ比較すると、分散剤を入れたほうが、発色が濃

くなっており、インクとして使用するために、砂鉄が溶媒に分散することは必須条件であると考えられる。

表5より、操作③において、A～Dは溶媒10mLに対し、砂鉄1.0gで実験したため、全体的に、消す前の黒っぽい色の占める割合が低くなったと考えられる。BとCは結果として色が薄くなっているが、乾かずにのこっていた溶媒ごと砂鉄を拭き取っているため、インクとしてはふさわしくないと考えられる。EとGについては、両方とも溶媒の主成分が揮発性の高いものであり、砂鉄以外の成分が揮発したことで、磁石による回収が容易になったと考えられる。E～Hについては砂鉄の量を二倍の2.0gに増やして行ったので、A～Dに比べて黒っぽい色の値が大きくなったと考えられる。また、GとHを比較すると、消す前の黒っぽい色の占める割合がHの方が大きく、これまでと同様の結果が得られている。しかし、EとFを比較すると、分散剤を入れていないEの方が黒っぽい色の割合が大きくなっている。これは、5.0cm×5.0cmの枠の中を塗りつぶす過程で既に筆記した部分を再度筆が通ることによって、砂鉄が筆に付着してしまい、色が薄くなったと考えられる。

また、図1より、消去後のGとH、EとFをそれぞれ比較すると分散剤を加えたものは、消し跡の線がほとんどなく、よりきれいに消えており、これは分散剤の主成分である非イオン性ポリマーが剥離剤の働きをしたためと考えられる。市販のボードマーカーにも剥離剤としてポリビニルアルコールなどの、気化しにくくホワイトボード表面に薄膜を形成する界面活性剤が含まれており、それと似た性質の成分が含まれていたと考えられる。

(3) 実験3

表7の結果について、5.0cm×5.0cmの枠内の砂鉄の量が等しくないため単純に比較することはできないが、砂鉄の回収量はほぼ同じであることから、溶媒の違いは砂鉄の回収量に影響しないと考えられる。また、回収した砂鉄を再び溶媒に分散させたときに、分散度、筆記性、消去性に変化がなかったことから、繰り返し再利用することが可能だと考えられる。

5. 結論

実験2の結果より、H:テレピン5.0mL エタノール

5.0mL 分散剤が、分散剤の主成分である非イオン性ポリマーが剥離剤としても働いたことにより筆記性、消去性ともに最も優れていたと考えられる。

さらに、溶媒の消去性や筆記性の優れていた溶媒においては、溶媒の種類に関係なく砂鉄の回収度が一定で、砂鉄の再利用も溶媒の種類に関係なくできた。

以上の結果や考察からH:テレピン5.0mL エタノール5.0mL 分散剤が顔料を砂鉄としたマーカーのインクに最適であると考えた。

しかし、Hはアラビアゴムを溶媒として用いたAに比べると分散していなかったため、今後はHの溶媒のベースでAと比べても遜色がないほど分散する分散剤と溶媒の割合についての模索をしたい。さらに、砂鉄の粒子径や溶媒の比重の関係についても調べていきたい。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、美術に関する助言をくださった島田憲貢先生、一緒になって試行錯誤してくださった西村みずき先生をはじめ、お世話になった先生方に深く感謝いたします。

7. 参考文献

- [1] Fionn Ferreira, 磁性流体を用いた水中のマイクロプラスチック除去に関する調査研究、2018
- [2] 近藤行成、界面活性剤講座(第1講) 界面活性剤の定義と種類、色材協会誌 89 巻 2 号 p. 59-63、2016
- [3] 井本稔、なぜ油と水は混ざらないか：表面張力から考える、化学と教育 36 巻 4 号 p. 394-397、1988
- [4] 和田 忠明、椰子油の研究(第三報)、日本化学會誌 65 巻 6 号 p. 510-512、1944
- [5] 坪田 実、塗料の乾燥過程で表面張力が関与する現象、色材協会誌 82 巻 6 号 p. 250-256、2009
- [6] Bu-Yao Zhu, Tiren Gu、固液界面における界面活性剤の吸着、コロイドと界面科学の進歩 37 巻 1 - 2 号 1 - 32 ページ
- [7] 久司美登、分散剤、色材協会誌 78 巻第 3 号 p141-148、2005
- [8] 古寺正寛、ボードマーカー用インキ組成物、特公平 6-4805

ごぼうを用いた染色について

梅本青空、坂本颯花、松本芽依

指導教員 重森大輝

アブストラクト

ごぼうとこんにゃくを煮ると、緑に変色する。そのことを染色に利用し、環境にやさしく染色できる方法を研究した。実験するにあたって、ごぼう 40g と水酸化ナトリウム 0.06mol/L を用い、水溶液をつくる温度や媒染剤を変化させて実験をした。その結果、色を布につけることはできた。しかし、今回染色にもちいた方法では布に色を固定することはできず、洗うと色が落ちてしまった。今度は、色を固定させる方法について調べていく。

1. 研究目的

ごぼうとこんにゃくを煮ると緑色に変色する。この反応はアルカリの物質とごぼうのクロロゲン酸が反応することで起こる。この反応を染色に利用できないかと考えた。現在衣服などを染色するのに利用されているのは化学染料がほとんどである。しかし、化学染料は環境に悪い。ごぼうを使い、環境にやさしく効率よく染色できる方法を見つけたいと思った。

2. 研究方法

(1) 布にしみこませるタンパク質を変える。

- ① 豆乳、牛乳に 20 分つけた布を用意する。(対照実験として、何もつけていない布も用意する。)
- ② 0.04mol/L 炭酸水素ナトリウム水溶液 200mL を調整する。
- ③ ②に①の布をいれ染色する。
- ④ 1 日置き布の色の変化を確認する。

(2) 炭酸水素ナトリウム水溶液の濃度を変える。

- ① 0.04mol/L、0.06mol/L 炭酸水素ナトリウム水溶液 200ml をそれぞれ調整する。
- ② ①にごぼうを加え 15 分間煮る。
- ③ 1 日置き布の色の変化をそれぞれ確認する。

(3) ごぼうと炭酸水素ナトリウム水溶液を煮る温度を変える。

- ① 0.06mol/L の水酸化ナトリウム水溶液とごぼう 40g を加熱する温度を常温、60℃、100℃に変化させ 15 分間加熱する。
- ② それぞれ溶液をろ過し、布を 1 日つける。

(4) 媒染剤を変え色の定着のされ方を調べる

- ① サビた鉄くぎ：水：食酢を 1：1：1 の割合でビーカーに入れ加熱する。ミョウバンを 0.01mol/L に調整する。
- ② それぞれの媒染剤に使い染色した布をつける。
- ③ 色の付き方を確認する。

(5) 繰り返し染色する。

- ① 染色を 6 回繰り返す。
- ② それぞれの染色の回数での色の違いを比較する。

(6) 染色された布の色の落ちやすさを確かめる。

- ① それぞれの染色した布をシャーレにいれ布がつかるぐらいの蒸留水を入れ 5 分間置く。
- ② ①のあと布同士をこすりながら、水道水で洗う。

3. 結果

- (1) 何もつけていない布よりも牛乳や豆乳につけた布のほうがよく染まった。また、豆乳

につけた布のほうがよく染まった（図1）。



図1 左から牛乳、豆乳につけて染色した布の様子

（2）0.04mol/L 水溶液のほうが0.06mol/L の水溶液のほうが色が濃くなった（図2）。

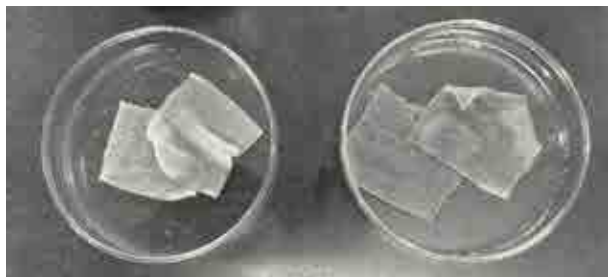


図2 左が0.06mol/L 右が0.04mol/L

（3）100℃で赤、60℃で緑、常温で黄色になった（図3）。布を染色すると100℃は黄色、60℃では緑、常温はほとんど染まらなかった（図4）。



図3 左から100℃、60℃、常温

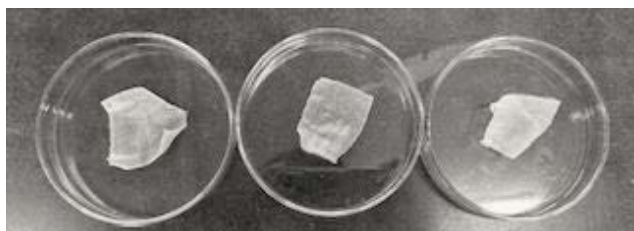


図4 左から100℃、60℃、常温

（4）鉄イオンを使った媒染剤は、布が鉄イオンの色になったしまい緑が定着しなかった。ミョウバンを使った場合、布を溶液につけると色が抜けだし布に緑が固定されなかった（図5）。白い沈殿ができた（図6）。そのため、溶液をろ過し、沈殿物を炎色反応で調べた。その結果、炎の色が主にオレンジ色になった（図7）が、色は何色か確認できたため、具体的な物質は特定できなかった。また燃えて灰にならず焦げたにおいなどは確認できなかった。

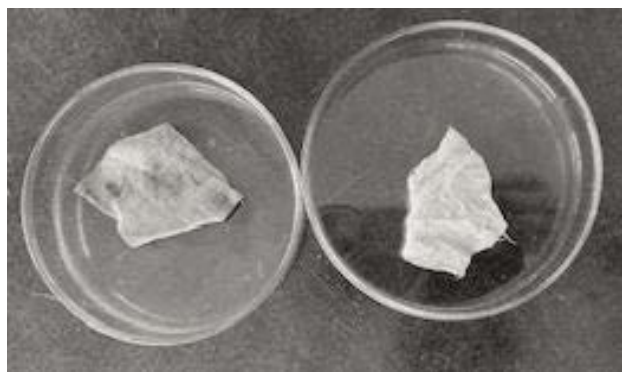


図5 右が鉄を媒染剤としたもの
左がミョウバンを媒染剤としたもの



図6 ミョウバン水溶液に染色した布を入れた様子



図7 炎色反応

(5) 回数を重ねるごとに、布の色は濃くなった(図8)。



図8 布を重ねて染色した様子

右上から1回目、2回目、3回目、右下から4回目、5回目、6回目

(6) シャーレに染色をした布を入れると、筒を媒染剤とした布以外はすべてシャーレの中の蒸留水が緑色となった。(2)の場合では、0.06mol/Lの布をつけたほうがシャーレの中の蒸留水の緑色が濃かった(図9)。(3)の場合では、温度が高いほど、シャーレの中の蒸留水の色が濃くなった(図10)。(4)の場合では、鉄を媒染したもののはじめ、水をはじいた。ミョウバンを媒染剤をして使用したものは、シャーレの中の水の色は、わずかに緑色であった。(5)では、色は落ちたものの回数が多いほど、洗った後の色に残った色も濃かった(図11)。



図9 左から 0.06mol/L 0.04mol/L



図10 左から 100℃、60℃、50℃



図11 重ねて染色したものを洗った様子

右上から1回目、2回目、3回目、右下から4回目、5回目、6回目

4. 考察

布にタンパク質があったほうが布に色が定着しやすいと考えられる。また、豆乳を使用したものが色が定着しやすかったことから、植物性のタンパク質のほうが色の定着には適していると考えられる。

0.04mol/Lよりも0.06mol/Lのほうがごぼうと似た際、色が濃くなったため、水溶液中にアルカリ物質が多いほど反応しやすいと考えられる。また、溶液の色が濃かった0.06mol/Lのほうが布の色も濃くなったので染色には濃度が高いほうが適している。

温度が高くなるほど黄色から赤色に変化しており、温度が高いほど反応が激しく進むのではないかと考えられる。

ミョウバン溶液につけると白い沈殿が生じた理由について、布が塩基性であり、ミョウバン溶液が酸性であったため、物質同士が反応し中和反応が起きたのだと考えられる。また、白い沈殿は中和反応によって生じた塩だと考えられ、溶液に存在する金属イオンが析出したため、複数の炎の色の変化が見られたと考えられる。

さらに、布に色素を定着させやすくする媒染剤は、このごぼうを用いた染色において、どちらも色の定着が見られず、色が抜けてしまったので媒染剤が必要なかったと考えられる。

しかし、布を洗うとどの条件で布を染色した場合においても色が抜けてしまったため色が定着しておらず色を定着させる方法について検討する必要がある。

5. 結論

本研究では、ごぼうのもつクロロゲン酸と水酸化ナトリウムを用いることによりできる、緑色の水溶液を用いて布を染色することを目的として研究を行った。

布にあらかじめ豆乳に浸す、炭酸水素ナトリウム水溶液の濃度を上げる、重ねて染色することで染色できることが分かった。媒染剤によって色を定着させようとしたが、水で洗うと、色が落ちてしまったため、色が布に定着されていなかった。そのため布に色を定着させる方法について検討する必要がある。

また、今後は、今回は色を目視でしか比較することができなかったため、色を数値化して客観的に比較する必要がある。

6. 謝辞

今回の研究をするにあたって様々な助言をしてくださった重森先生、米本先生をはじめお世話になった先生方に感謝いたします。

7. 参考文献

「クロロゲン酸とアミノ酸から生じる緑色色素に関する研究」堀川博朗・岡安美恵子・和田篤子・草間正夫

「自宅でできる草木染めのやり方。おすすめの材料や染め方のポイントも」Craftie Style編集部

#

た。

米糠（試料 1）、市販籾殻燻炭（試料 2）、竹炭（試料 3）、乾燥米糠（試料 4）、自作籾殻炭①（試料 5）、自作籾殻炭②（試料 6）、自作米糠炭（試料 7）

試料 5、試料 7 は電気炉を用いて最初の 30 分で常温から 200℃まで加熱、15 分保持、次の 10 分で 100℃上昇の過程を 400℃まで繰り返した。その後 1 時間保持した後、自然冷却した。試料 6 は電気炉を用いて 2 時間で 400℃まで加熱、その後自然冷却した。

- ① 試料 1～6 をそれぞれ約 180℃に予熱した油に投入した。
- ② ①に冷凍ポテト 3 g を投入し、5 分間加熱した。
- ③ ②を 5 回連続で繰り返し行った。
- ④ 加熱した油を常温まで冷却した後、0.050mol/L シュウ酸水溶液で濃度調製した 0.10mol/L 水酸化カリウム水溶液で滴定して油の酸価を求めた。



図 3 加熱の様子

（3）ポテトを加えずに各試料のみ投入した場合の油の酸価測定

- ① 試料 1～6 をそれぞれ約 180℃に予熱した油に投入した。
- ② 5 分間加熱した。
- ③ ②を 5 回連続で繰り返し行った。
- ④ 加熱した油を常温まで冷却し、それぞれの油の酸価を測定した。

（4） 加熱後に各試料を投入した場合の油の酸価測定

- ① 油を 25 分間加熱した。
- ② 加熱した油を常温まで冷却した後、酸化を測定した。
- ③ 油を 2 つのビーカーに分け、試料 5、試料 7 をそれぞれ投入した。
- ④ 17 日間静置した。
- ⑤ 経過後、それぞれの油の酸価を測定した。



図 4 静置の様子（試料 5、試料 7、試料なし）

3. 結果

（予備実験）

自作籾殻炭、ヤシ殻活性炭、米糠炭のいずれも、ジュースの色は薄くなり、吸着効果があることを確認した。

（1）計測した脂溶性成分の質量は以下の通りであった。

表 1 脂溶性成分の質量

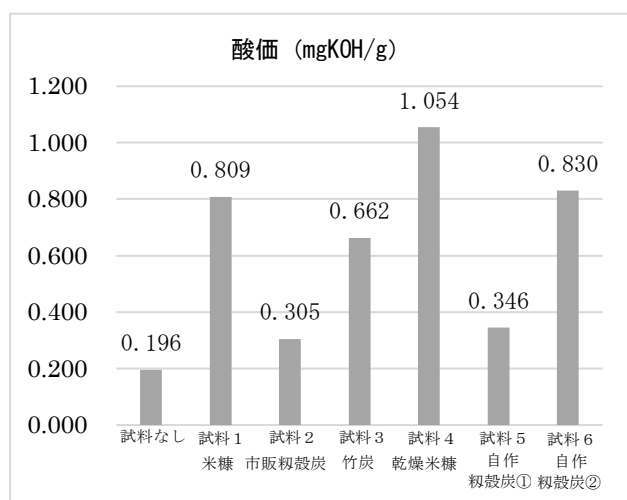
	米糠	籾殻
抽出量/50g	5.4 g/50 g	0 g/50 g



図 5 米糠と籾殻からの抽出物

米糠抽出液のビーカーには黄褐色状の残留物が残っていたが、籾殻抽出液のビーカーには残留物が残っていなかった。したがって、脂溶性成分は米糠にのみに含まれていた。

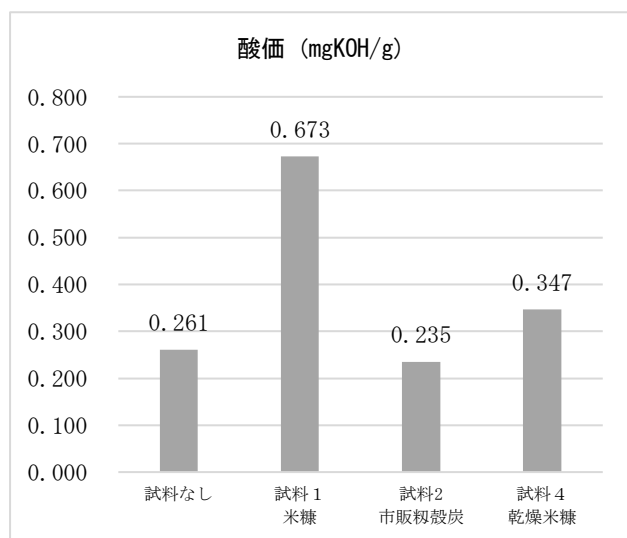
(2) 測定した酸価は以下のとおりである。



グラフ1

各試料を投入した油の酸価はいずれも増加し、酸化抑制効果を示さなかった。増加した順は試料4（乾燥米糠）、試料6（自作籾殻炭②）、試料1（米糠）、試料3（竹炭）、試料5（自作籾殻炭①）、試料2（市販籾殻炭）、試料なしである。いずれも酸化抑制効果を示さず、逆に上昇した。

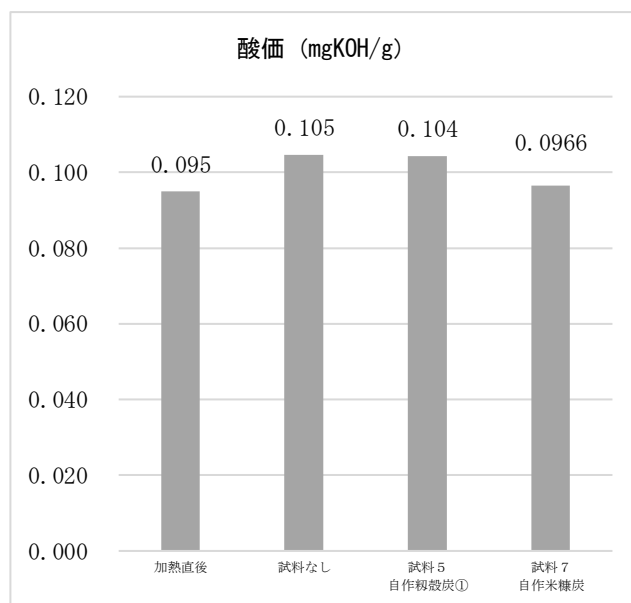
(3) 測定した酸価は以下のとおりである。



グラフ2

試料2（市販籾殻炭）を投入した場合、酸価が減少した。試料1（米糠）、試料4（乾燥米糠）を投入した場合、酸価は増加した。特に試料1の場合は酸価の増加幅が大きかった。

(4) 測定した酸価は以下のとおりである。



グラフ3

加熱した直後の油の酸価 0.095mgKOH/g を基準とすると、2週間後の酸価はすべて上昇した。試料5（自作籾殻炭①）を投入した場合は酸価にほとんど変化は見られなかった。試料7（自作米糠炭）を投入した場合は酸価上昇が抑制された。

4. 考察

予備実験より、籾殻炭、米糠炭には吸着効果があると考えられる。

実験（1）より、脂溶性成分は籾殻には含まれておらず、米糠にのみ含まれていたことから、研究の目的であるビタミンEによる酸化抑制効果を得るためには、米糠を使用する必要がある。

しかし、実験（2）では全ての試料において、酸価が試料なしの油の酸価を上回り、その中でも脂溶性成分を含んでいる米糠は特に酸価が高くなった。これは炭の吸着効果や、ビタミンEの持つ酸化抑制効果よりも、籾殻や米糠に含まれる水分による加水分解作用の影響のほうが大きかったことが原因であると考えられる。また、米糠の酸価が特に高かった原因としては、米糠の方が籾殻よりも水分が多いこと、米糠から酸性成分が溶出したことが考えられる。

また、実験（３）でポテトがなくても、試料のみで酸価が上昇したことから、試料が食品と同じように揚げられ、加水分解が進行したと考えられる。

一方、実験（４）においては籾殻炭、米糠炭を投入した場合、酸価が微量であるが減少した。これは、試料を加熱しないことによって、加水分解の促進が緩やかになり、酸化防止効果の方が大きくなったためと考えられる。このことから、籾殻炭、米糠炭は吸着効果によって、酸価の原因となる物質を吸着していると考えられる。またこの実験の結果から、米糠炭のほうが籾殻炭を投入した時よりも酸価が低いことから、米糠炭には抗酸化脂溶性成分による酸化防止効果がある可能性も考えられる。

5. 結論

籾殻炭や米糠炭を用いた場合、細孔が酸化原因物質を吸着したことによる酸化抑制効果が確認できた。一方、含まれる水分による加水分解作用も同時に働いたため酸化抑制効果は僅かであった。したがって、より高い酸化抑制効果を得るには、使用条件の検討が必要である。

現在、実験（１）で特定できたのは米糠に脂溶性成分が含まれているということのみで、含まれている脂溶性成分がビタミンEであることを特定できなかった。今後はビタミンEを検出する方法を検討していきたい。

さらに、酸価の測定は滴定誤差があることに加えて、各実験の試行回数も少ないため、正確なデータを得るにはさらに試行回数を重ねていく必要がある。

油の酸化防止効果を持つ物質の検討には、酸化防止作用だけでなく、加水分解作用などの酸化促進作用がないことを考慮して検討を進めていく必要がある。このことを踏まえて、新たな酸化防止物質の検討も行っていきたい。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、実験方法などのア

ドバイスをくださった株式会社トクヤマ様、ご指導と実験のサポートをしていただいた米本和生先生、藤本真由美先生、竹重智美先生に謝辞を申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 福田靖子, 大石友子, 貝沼やす子, 溝口忠 (2001)「竹炭によるフライ油の熱酸化防止効果」,『日本食品科学工学会誌』48 巻 2 号, p. 105-111
- 2) 五十嵐 脩 (1996)「食品に含まれる抗酸化物質の評価」,『日本循環器管理研究協議会雑誌』32 巻 2 号, p. 149-157
- 3) 坂野麻里子, 坂野史明 (2019)「フライ油の劣化過程における遊離脂肪酸生成機構」,『オレオサイエンス』19 巻 3 号, p. 89-92
- 4) 薄木 理一郎 (1993)「使用済みフライ油の各種吸着剤による改質」,『調理科学』26 巻 1 号, p. 27-31
- 5) 戸谷洋一郎 (2001)「油脂成分の試験・分析法」,『オレオサイエンス』1 巻 6 号, p. 657-665

親検知通知システム

片原佑吾、藤田一毅、有道大輔、大木 就晃、澁谷 明輝

指導教員 有馬和宏

アブストラクト

私たちの目的は、足音から人を認識する装置を開発することである。この研究の動機は、「家で親に隠れてゲームをしている際に親が来た時、そのことを通知する装置を作りたい」と、考えたことである。この装置は、①マイクで録音②パソコンで分析し、「親の足音がした」場合、この装置の使用者に通知を行うという手順で使うことができる。この手順で実験を行った結果、300 回中 221 回、約 74% で特定の人物の足音が発生したときに通知を行うことができた。これは信頼できる精度だと考えられる。

1. 研究目的

(1) この研究の動機

私が小学生だったころ「ゲームをたくさんやりたくても、親にばれ、没収されるせいで、夜遅くまでやることができない」ということが多々あった。そのため、親の足音が近づいてきたら、布団に隠れ、寝たふりをする、という方法を取っていたのだが、正直「親の足音がしないか」とひやひやしながらゲームをしていたため、ゲーム体験の没入感が低下しているように感じていた。そこで「全国の、あの時の自分と同じような思いをしている子供たちのために、親が近づいてきたことを検知、通知する装置を作りたい！！！！！」と考え、この研究を始めた。

(2) この研究の新規性について

この研究の新規性は、足音から人を認識する装置を開発することである。図 1 にあるように、現在よく使われる人認識システムには顔認証や指紋認証、虹彩認証などがあるが、足音から認識する場合、これらの方法とは異なり、被認識者が自発的に行動をする必要がない。そのため、被認識者の手間を必要とせず認識を行える。この研究の新規性は、被認識者の足音を検知した際に、パソコンへ通知を行う機構を開発している点にある。

この機構では、図 2 にあるような画面に通知が行われる。

(3) この研究の有用性について

この計画の有用性は、足音という、人が無意識

に発する音を利用するため、被認識者の自発的な行動を必要とせず、また、カメラなどと異なり、被認識者の死角に設置できるため設置していることが気づかれにくい点だ。この足音認識システムは特別な操作を必要とせず、マイクの設置とパソコン側の準備だけで簡単に実現できる。また、パソコンというおそらく一般的なものと、マイクという安価で場所を取らないものを用いるため、このシステムの利用者に設置や費用の負担をあまりかけず、実生活に手軽に導入することが可能である。これにより、日常生活の中で「隠れた認識システム」として機能し、今までにない便利さを提供する新しいアプローチが可能になる。

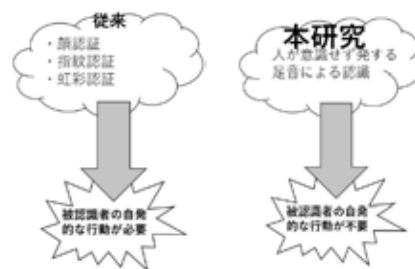


図1 従来の人認識装置との違い

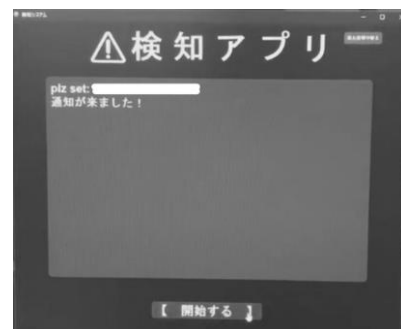


図2 パソコンで通知が行われる様子

2. 研究方法

上記の目的を達成するために、リアルタイムで分析、及び通知を行う機構を開発する。さらに、実験により本機構の精度を検証する。

(1) 動作環境

私たちが開発した機構の動作環境は、家の中のように、周囲の雑音が少なく、外から大きな音が響くことの少ない環境を想定する。また、室内で使用することを想定しているため、足音を立てる人の状態は基本的に裸足で、床の材質は木製であることが想定される。しかし、現段階は製作途中のため、設備が整っている学校で、図3のように、スリッパをはいた状態で、学校の床での実験を行う。



図3 録音を行う様子

(2) 本機構の概要について (図4)

- ①マイクを用いて、その場で起きている足音をリアルタイムで録音する。
- ②録音した音声をソケット通信を用いてパソコンに送信する(宮田・角, 2024)。
- ③パソコンで、録音した音声に、特定の人物の足音が含まれているかの分析を行う。
- ④その音声に特定の人物の足音が含まれると分析された場合、分析したパソコンから、ソケット通信を用いて使用者のパソコン端末に通知を行う。

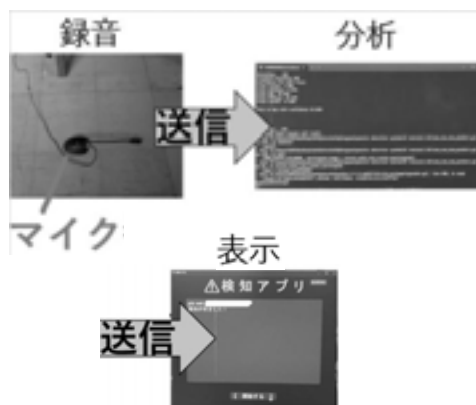


図4 録音方法の概要

(3) 具体的な録音方法

図4で示したように、マイクを用いて録音を行う。録音にはコンデンサーマイクを使用する。また、録音した音声の分析部分のプログラムに用いたライブラリは、マイクからの音声データの録音にPyaudio、パソコンで分析する際の数値処理、音響解析、可視化にそれぞれNumPy、Librosa、Matplotlibである。

次に、図5で示すように、録音した音声ファイルをプログラムに読み込み、短時間フーリエ変換（STFT）を適用して周波数ごとの振幅を、振幅の大きさと位相（波のずれ）に関する情報を含む、複素数の配列として取得する。その後、この振幅をデシベルスケールに変換し、図6のようなスペクトログラム（音紋）として画像化する。

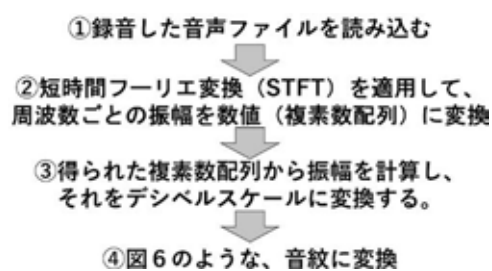


図5 録音方法について

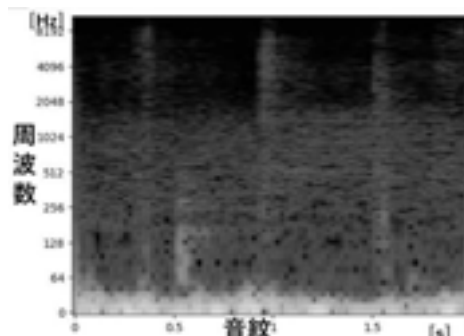


図6 音紋(横軸が秒、縦軸が周波数)

(4) 足音分析のための AI の学習方法

ライブラリは、TensorFlow, Keras を用いた。TensorFlow を用いることで AI モデルの構築、学習、評価などを行っている。また、Keras を用いることで、畳み込みニューラルネットワークの各層を定義し、さらに学習を効率化させている。畳み込みニューラルネットワークは、画像を小さな部分に分け、そこから特徴を見つけるニューラルネットワークである。それは、特徴を抽出する畳み込み層、情報を整理するプーリング層、最終的な判断を下す全結合層の三つの層から構成されている（末谷，2019）。

(5) 足音の分析方法について

ライブラリは、Keras, PIL を用いた。足音を分析する際に、Keras を用いて、音紋を畳み込みニューラルネットワークに使用できる形式に変換している。また、PIL を用いることで、コントラストの調整を行い、ニューラルネットワークに多様な入力を与え、過学習を防ぎ汎用性の高い AI を作成することができる。（末谷, 2019）

(6) 本機構の精度を検証する実験

①検知対象のメンバーが録音用のマイクが設置された廊下を歩き、パソコンにその録音データを送信し、その最中に本装置がリアルタイムで分析を行う。

②（1）の最中に、「これは〇〇（歩いたメンバー）の足音だ」と検知されていた場合、「対象を検知することができた」と判断する。もし（1）の最中に、「これは〇〇（歩いたメンバー）の足音だ」と検知されていなかった場合、「対象を検知することができなかった」と判断する。このような方法で、メンバーのうち、事前に AI に足音の録音データを録音した三人が歩くことでメンバー三人の足音に対して検証を行った。

3. 結果

各メンバーの足音を本機構で判定すると、どのメンバーの足音も、精度は、50%を超える高い精度で検知された（図 7）。

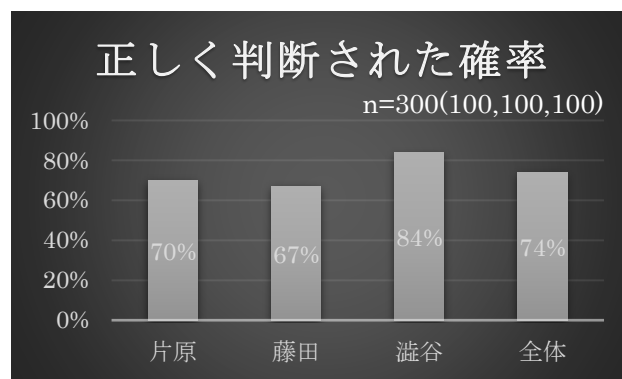


図 7 正しく検知された確率

4. 考察

今回私たちが音紋を使った画像認識を行った理由は、先行研究を調べた際、音声から分析を行うのは、画像認識を行うより難しいと分かったこと、及び音声を音紋に変換すると、音声データから画像分析を行うことができると分かったことである。また、音声を画像に変換することで、既存の画像分析の人工知能を転用することもできた。そして、視覚的にデータを見れるようになったことで、研究メンバーでデータに明らかな外れ値がないかを判断し、それを取り除く、という作業が、非常に簡単に行うことができるようになった。さらに、音紋では、音声データを周波数や強度に基づいて視覚化するため、ランダムなノイズや特定の周波数帯域の微細な音が目立ちにくくなる。この特徴により、判定精度の向上につながる。また、音声データと比較して音紋は画像データとして扱えるため、データが圧縮されて軽量化され、判定処理の速度も向上する。

検知対象によって、図 7 の測定時も含め、検知率に若干の差が生じることがあったが、それを踏まえても、全体で約 74%という、なかなかの検知率になった。ただし、前述のように、今回の実験や、それ以前の段階での実験において、人による検知率の差が若干生じた。具体的には、今回、録音を行ったメンバーの、片原、藤田、澁谷のうち、澁谷の検証を行うときのみ、他のメンバーの検証を行った場合より、比較的判定されやすかった。それぞれのメンバーの音紋は図 8、9、10 の

ようになっており、澁谷の音紋データだけ柱のようなものの数が比較的多い。それゆえ、澁谷の検証がうまくいきやすかったのではないかと考えられる。このデータより、足音の特徴量が大きい人物と、足音の特徴量が小さい人物の間で、精度に多少差が生じると考えられる。

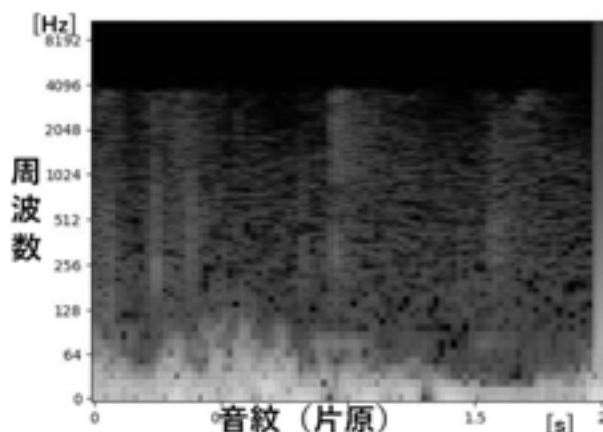


図 8 片原の音紋データの一例

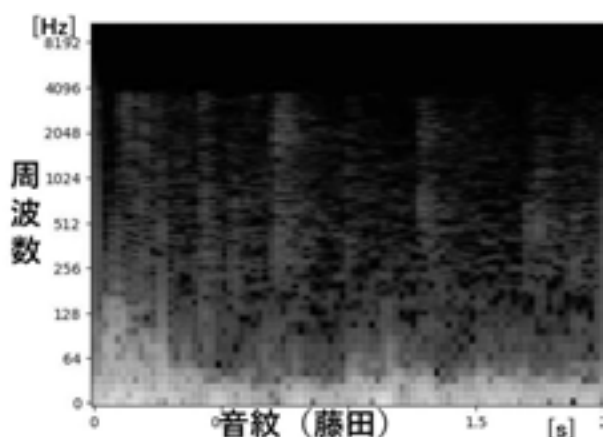


図 9 藤田の音紋データの一例

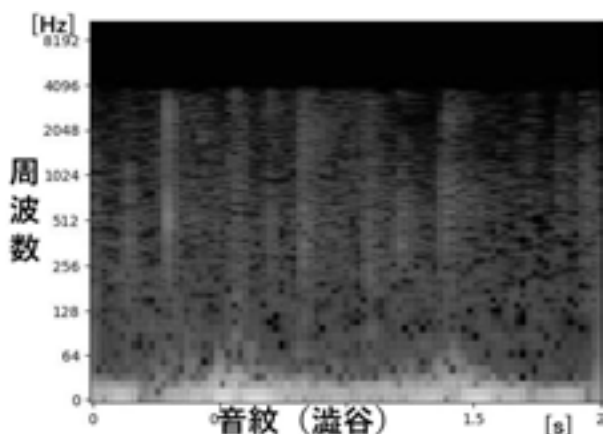


図 10 澁谷の音紋データの一例

5. 結論

現段階ではマイクを用いて録音・分析を行っているが、今後は、より小型な録音機器、マイコンを使って録音・分析を行えるように改良していこうと考えている。

また、現在、精度は約 74% と高めではあるが、雑音の少ない環境で、単一の床、及び履物でしか実験を行っていないので、今後は、意図的に雑音を発生させた環境での実験や、運動場などの現在の実験場所以外での実験、あるいは履物を現在使用しているスリッパから裸足や運動靴での実験などを行い、より汎用性を高めていこうと考えている。

6. 参考文献

- (1) 末谷健志 (2019) 「AI 研究入門」
- (2) 宮田賢一, 角史生 (2024) 「MicroPython プログラミング・ガイドブック」 CQ 出版

セルロースの加水分解で世界を救う

木下隼介 深海颯斗

指導教諭 米本和生

アブストラクト

カーボンニュートラル実現に向けて、セルロースの加水分解に必要な触媒を作成しようと考えた。セルロースを効率的に分解するには、触媒が必要である。グルコースを安全・安価に生成することが可能な触媒作成を試みる。今回は活性炭を灰化させることで触媒を作成した。加熱時間を増やすほど触媒としての機能が上がり、効率よく加水分解ができると仮定し、今回の実験を行った。仮定通り加水分解の効率は上がったが、触媒としての働きはまだ小さかったので、最大となる条件を見つけない。

1. 研究目的

地球温暖化を防ぐための方法の一つに、カーボンニュートラルの実現がある。そのためには、サトウキビなどの作物を発酵させて作るバイオエタノールなどを活用するバイオ燃料を、より世界に浸透させていくことが大切である。バイオ燃料の原料はグルコースであり、そのグルコースは、セルロースの加水分解によって作ることができる。セルロースからグルコースを生成する利点として、食料に影響されないことや、自然界に多く存在していることなどがある。セルロースを効率的に分解するには触媒が必要であり、私たちはカーボン系固体触媒（以下「C 触媒」という。）に注目した。

セルロースの加水分解には、濃硫酸による加水分解がある。しかし、濃硫酸は危険であり、反応性も大きい。一方、C 触媒は簡単な器具・安全な薬品だけで、セルロースを加水分解することができる理想的な触媒である。今回は最も効率的に加水分解を行える C 触媒を作成することを目的とした。

作製した C 触媒によるセルロースの加水分解後に、グルコースの生成量を測定する必要がある。先行研究で使用されていた測定方法は、薬品が危険、必要な機械が学校に無いなどの問題がある。そこで、グルコースと反応するベネジクト液に着目した。

ベネジクト液を用いてグルコースの定量を試みた先行研究は複数あった。私たちは本校の先輩方が先行研究として行っていた、反応溶液の吸光度と濃度の相関性を検量線で表すことで、生成したグルコー

ス量を測定した。

2. 研究方法

活性炭を電気炉によって加熱することで灰化（空气中で強熱し完全に酸化させること）させ、C 触媒とする。先行研究では粉末セルロースを炭化・灰化させることで C 触媒を作成していたが、粉末セルロースにはミネラルが微量含まれており、酸性の触媒をつくるのには向いていないので、活性炭を用いた。この C 触媒を用いてオートクレーブでセルロースの加水分解を試みた。反応後の溶液に、ベネジクト液を添加し反応させることで、グルコース生成の有無を調べた。C 触媒によって生じたグルコースの生成量は、事前に検量線を作成しておくことで、そのグラフを用いて調べた。

（1）実験 1 検量線の作成

①グルコース 0.010g を蒸留水 0.70mL に溶かす。グルコース水溶液にベネジクト液 1.0mL を添加して加熱した。

②同様の操作を、グルコース添加量が 0.020、0.030、0.040、0.050g の時にも行った。

③加熱後の色の変化を、分光光度計により測定した。測定は 640nm 波長で行った。その後、Excel で検量線を作成した。

（2）実験 2 C 触媒の作製

活性炭を電気炉内に入れた。30 分で 300℃まで電気炉内の温度を上げた。その後、20 分で 600℃まで上昇させ、6 時間 600℃を保ったまま加熱を続け

た。この操作を1回、2回、3回、4回、5回行ったものをそれぞれ作成した。

(3) 実験3 C触媒によるセルロースの加水分解
(2)で灰化されたC触媒0.30gと粉末セルロース0.025gを混合した。混合物に蒸留水7.0mLを加え、十分に攪拌した。溶液の水分を保った状態で1時間加熱し、反応させた。その後、ベネジクト液を添加し加熱した。

(4) 実験4

実験3で作成した溶液は灰化した活性炭の沈殿によりにごっているの、それを濾過した。さらに私たちは、灰化させた回数にもグルコースの量に変化が起こるのか疑問を持ったため、実験2で作成したそれぞれの触媒で実験3と同じ実験を行った。

3. 結果

(1) 実験1 検量線の作成

分光光度計で検量線を引いたところ R^2 値が0.9961となり、比較的信用できるグラフになった。作成した検量線は図1である。また、その時の水溶液の様子は図2である。

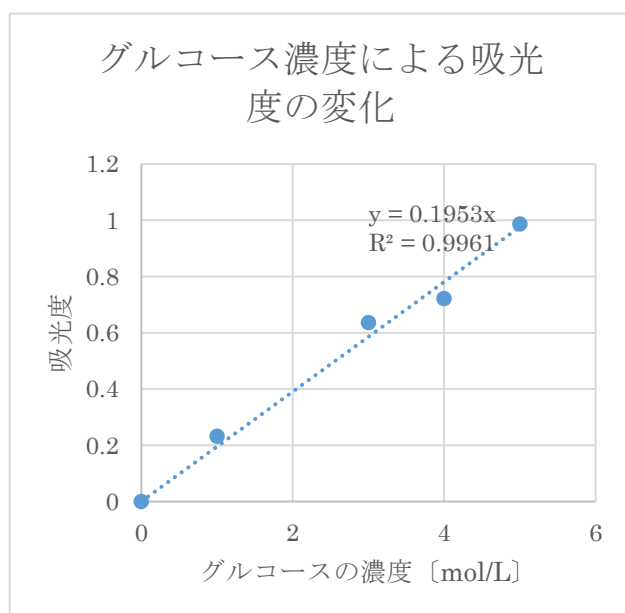


図1 グルコース濃度による吸光度の変化



図2 各濃度の変色したグルコース水溶液

(2) 実験2 「C触媒」の作成

操作の回数が1回、2回のものはまだ活性炭の黒い部分が残っており、完全に灰化しきっていないように見えた。作成した触媒は図3である。



図3 灰化した活性炭

(3) 実験3 C触媒によるセルロースの加水分解

加水分解後の溶液に、灰化した活性炭の沈殿が、非常に多かった。ベネジクト溶液を加えて加熱したが色の変化はみられなかった(図4)。そのためグルコースの量が測定できなかった。

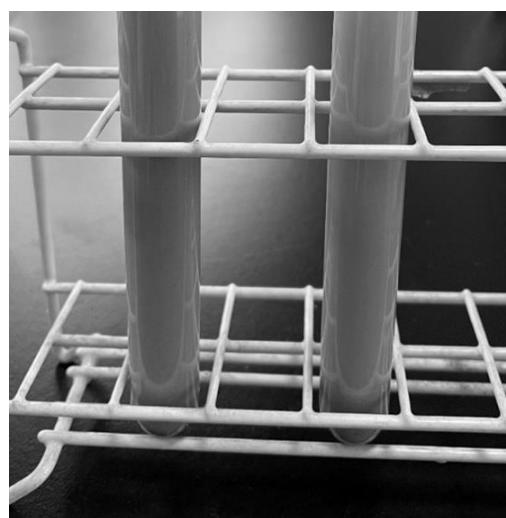


図4 加水分解後の水溶液

(4) 実験4 グルコース量の測定

濾過により濁りが改善された。しかし、加熱を進めても、溶液の色は変化しなかった。そこで、粉末セルロースの量が足りないと考え、粉末セルロースの量を 0.050 g 増やして実験した。その後、ベネジクト溶液の色の変化が観察されるまで加熱を続け（図5）、水分を完全になくした後、吸光度が測れる量まで水を加え（図6）、吸光度を測定した。しかし、溶液がすべて蒸発するまで加熱したが、触媒の灰化操作回数が3回、5回のは緑色になるまで変色した一方で、その他のものは色の変化が見られなかった。しかし、検量線を作成する実験と、今回の実験では全体の水溶液量が異なるため、数値に少し誤差があると考えられる。結果は図7である。



図5 加熱中の水溶液

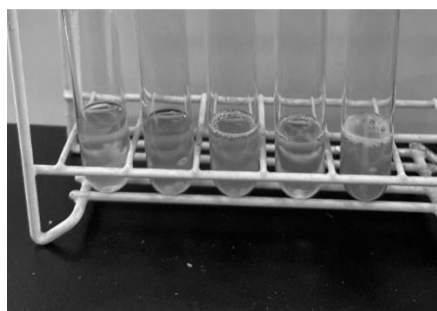


図6 変色した水溶液

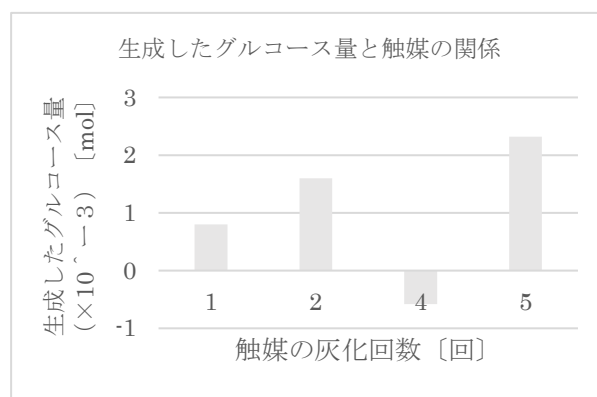


図7 生成したグルコース量と触媒の灰化回数の関係

4. 考察

実験1で、吸光度を測定する際、ベネジクト液の沈殿が全体に均一に広がっていたのではなく、下のほうがやや濃くなっていた。より精密に実験する必要があった。

実験4で生成したグルコース量の値がマイナスになってしまったことについて、水分が無くなるまで加熱した際にグルコースの性質が変わってしまったと考えられる。実験4では濾過を行ったが、濾紙を通過しなかった物質の中に、加水分解によって生じたグルコースが混ざった可能性があるため、グルコースの正確な生成量が調べられなかったと考えられる。

5. 今後の展望

今回の実験ではセルロースの量が少なく、結果に与える誤差の影響が多かったと考えられるので、分量の調整を行い、再実験を行う。また、遠心分離法やペーパークロマトグラフィーなどを用い、糖の定量方法を見直す。また、何回実験2の活性炭を灰化させる操作を行えば、活性炭が完全に灰化するかわからなかったのも、もっと実験2の回数を増やして加水分解を行いたい。

6. 謝辞

本研究で、米本先生には、研究の進め方や枠組みについて多くの助言を頂きました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

7. 参考文献

・「カーボン系固体触媒でカーボンニュートラルの実現へ」

川口博大 郷木拓実 2024 年

・「弱酸点を有する炭素触媒によるセルロースの加水分解」

小林広和、福岡淳著、2019 年

・「セルロースの加水分解反応の検討」

阿久津浩、古瀬愛実、武部志帆、坪

野玲巳、山田洋一著、2018 年

・「木炭の種類と特性」立本英機著、2004 年

クエン酸における鉄さびの除去とそのメカニズムの検証

松本芽依、山内綾桃

指導教諭 米本和生

アブストラクト

クエン酸は鉄さびの除去に有効であることは広く知られている。本研究では鉄さびを浸すクエン酸水溶液の条件を変えることで、より除去効果の高いクエン酸水溶液の条件を明らかにすることを目指した。結果は、クエン酸水溶液の粘性を小さくし、長時間クエン酸水溶液に浸すことが有効であった。今後は、クエン酸水溶液に対する条件を増やし、鉄さびの除去に、より有効なクエン酸水溶液の条件を明らかにしたい。

1. 研究目的

鉄さびの除去においてクエン酸が有効であるということは広く知られている。本研究ではクエン酸水溶液に浸す時間や、クエン酸水溶液の粘度の大小を比較することで、鉄さびの除去効果のより高いクエン酸水溶液の条件を明らかにしたいと考えた。クエン酸は環境にやさしい物質であるため、クエン酸による鉄さびの除去と、そのメカニズムの検証を行うことにより、環境にやさしい鉄さびの除去用洗剤の開発を行いたい。

2. 研究方法

- (1) クエン酸鉄 n 水和物を用いて検量線を作成した。また、本実験では $n \approx 3$ として実験を行った。
 - ① クエン酸鉄 n 水和物 0.30g を蒸留水を加え 100ml とし標準溶液を作成した。
 - ② 作成した標準溶液をそれぞれ 0mL、10mL、20mL、30mL ずつ量りとり、蒸留水を加え 50mL に調整した。
 - ③ ②を分光光度計で量り検量線を作成した。
- (2) 鉄さびをクエン酸水溶液に 4 時間、6 時間と浸す時間を変え、除去効果に違いがあるかを調べた。

以下の実験においてクエン酸水溶液は 0.010mol/L のものを使用した。実験に用いた鉄サビは、20 mm × 70 mm × 1 mm の鉄板を濃塩酸水溶液に浸した後、過酸化水素水にそれぞれ一分間浸し作成した。

- ① 20mL のクエン酸水溶液に鉄さびを浸す。
- ② 鉄さびの浸す時間を 4 時間、6 時間として常

温で放置した。

- ③ ②のクエン酸水溶液を 200mL に希釈し、分光光度計で吸光度を測定した。
- (3) 溶液の粘性の違いによる除去効果の違いについて調べた (図 1)。



図 1 精製カラギナンを添加したクエン酸に、鉄を浸した様子。左から 0.16g、0.24g 添加したもの

- ① クエン酸水溶液 20mL に精製カラギナンをそれぞれ 0.16g、0.24g 加え増粘した。
- ② ①の溶液に鉄さびを 24 時間浸した。
- ③ ②の溶液を 200mL に希釈しろ過し、ろ液のキレート滴定することによって、 Fe^{3+} の測定を行った。キレート滴定では、EDTA 溶液を用い、指示薬としてサリチル酸エタノールを加えた。
- (4) (3) ③の溶液について、分光光度計で吸光

度を測定した。

3. 結果

(1) 作成した検量線は図のようになった (図 2)。

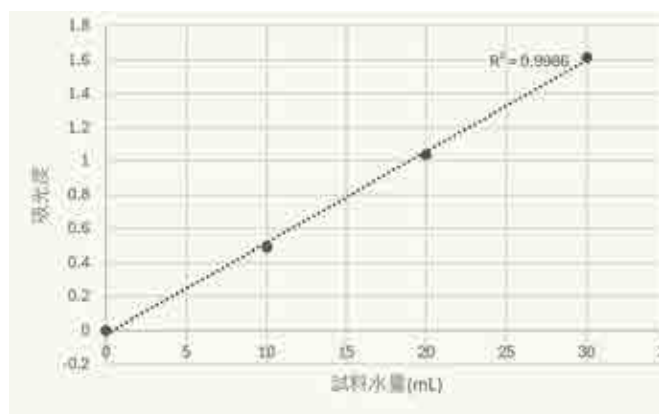


図 2 作成した検量線

検量線の R^2 値は 0.9986 となったため信頼のおけるデータだといえる。

(2) 除去された Fe^{3+} の物質量は 4 時間浸したものは 0.158mol、6 時間浸したものは 0.241mol であった。6 時間浸したもののほうが物質量は多かった。

(3) 溶液がゲル状になった。またカラギナンを多く添加したほうがよりゲル状に変化した (図 3)。鉄サビの上部のクエン酸溶液に鉄さびが多く付着していた。また、鉄さびの周りの部分のみ溶液が黄色く変色していた。キレート滴定では、終点の色が曖昧であったため、誤差が大きく正確な値が測定できなかった。

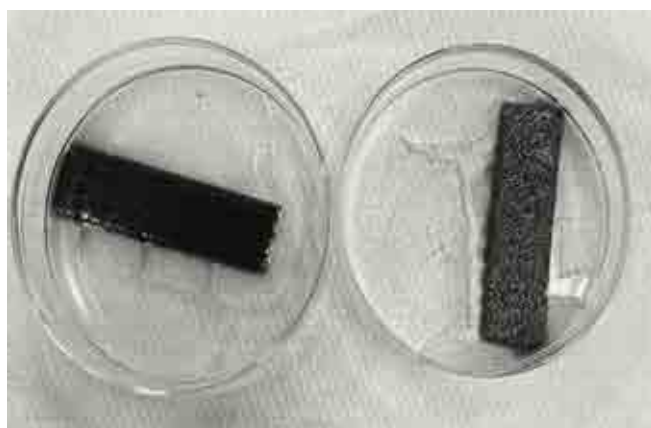


図 3 精製カラギナンを添加したクエン酸に鉄さびを浸し、24 時間静置したもの。左から 0.16g、0.24g 添加したもの

(4) 除去された Fe^{3+} の物質量は、精製カラギナンを 0.16g 添加したものは 0.24mol、0.24g 添加したものは 0.25mol であった。0.24g 添加したほうが除去された Fe^{3+} の物質量は多かったが、大きな差は見られなかった。

全ての実験において鉄さびに浸した後のクエン酸水溶は黄色に変色していた (図 4)。見た目では、6 時間浸した鉄さび (図 5) のほうが精製カラギナンを添加し、増粘したクエン酸水溶液に 24 時間浸した鉄さび (図 6) より多く洗浄できていたが、どちらのクエン酸水溶液にも同じくらいの Fe^{3+} が含まれていた。

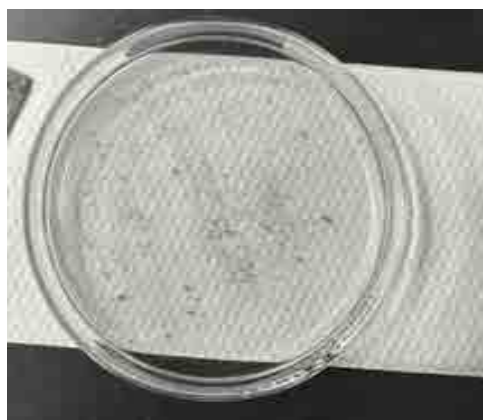


図 4 黄色に変色したクエン酸水溶液

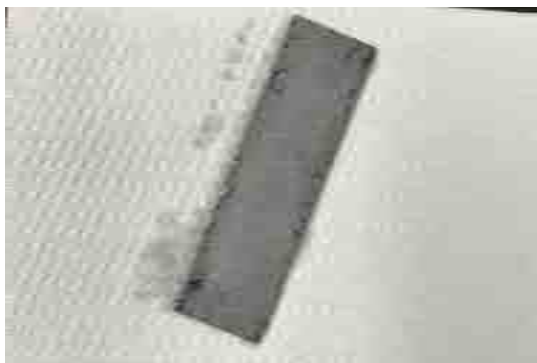


図5 クエン酸溶液に6時間浸した鉄サビの様子



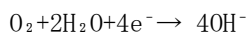
図6 カラギナンを添加したクエン酸溶液に24時間浸した鉄サビ

4. 考察

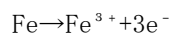
4時間より6時間浸したほうが鉄(III)イオンの物質が多かったことから、より長い時間浸したほうが除去効果が上がると考えられる。

実験(3)より鉄サビに浸す前は液体であったため、溶液のゲル状変化に、鉄さびが何らかの働きをしたと考えられる。また、鉄サビの周りのみ黄色く変色していたので、ゲル状になったことで、溶液が流動しなかったため、クエン酸溶液が鉄サビに触れにくくなった。よって、除去効果が下がったと考えられる。

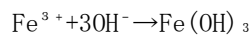
鉄さびが発生するメカニズムについて考察する。鉄の表面にある水分は、空気にさらされているため、空気中にある酸素が水分に吸収される。この時、鉄は構造的、電気的に安定である。次に、水分と酸素は化学反応を引き起こすため、必要な電子を鉄内から取り込み水分中に OH^- が生成される。



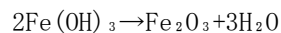
鉄は電子が取られ Fe^{3+} の陽イオンに変化し、水分中に溶け込む。



この時鉄は構造的、電子的に不安定である。そして、 OH^- と Fe^{3+} が結合することによって $\text{Fe}(\text{OH})_3$ が生じる。



水分がなくなり Fe_2O_3 が発生する。



この Fe_2O_3 がさびである。このようになることによって鉄は構造的、電子的に安定する(図7)。

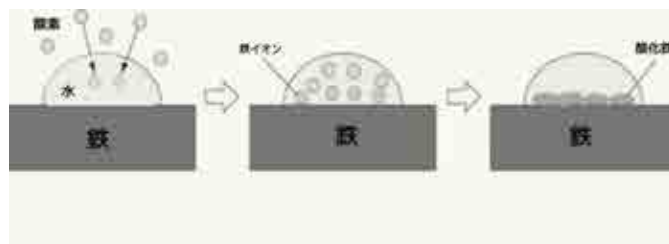


図7 鉄さびが発生するメカニズム

Fe_2O_3 は塩基性酸化物であるため、鉄さびは塩基性の汚れであると考察できる。

また、クエン酸は酸である。よってクエン酸と鉄さびが中和反応を引き起こしたと考えられる。同時に、酸素は酸化還元反応によって鉄板を腐食している。この反応は鉄板が溶けているのであり、直接鉄さびを溶かすものではない。しかし、中和反応と酸化還元反応が鉄さびの周辺で同時に引き起こることによって、鉄さびの塊を引きはがし、鉄さびの周辺で酸化還元反応が引き起こることで中和反応を促進していると考えられる。そのため、クエン酸によって鉄さびを除去することができると考察する。

次に精製カラギナンを添加しクエン酸水溶液を増粘した場合について考察する。

κ カラギナンと ι カラギナンは金属イオン存在下でゲル化する。 κ カラギナンはもろくて離水の多いゲルになり、 ι カラギナンは弾力性があり離水の少ないゲルになる。本実験において、鉄さびにクエン酸水溶液を浸すことにより鉄さびから Fe^{3+} が流出したためカラギナンはゲル化したと考えられる。精製カラギナンを加えて増粘したクエン酸水溶液は、粘性の小さいクエン酸水溶液より Fe^{3+} の流出が少ない

ため、鉄さびの除去に関して適切でないと考えられる。

5. 結論

本研究において鉄さびを増粘したクエン酸水溶液に浸すことより、粘性の小さいクエン酸水溶液に浸すほうが、鉄さびの除去に適していると判断できる。鉄さびをクエン酸に浸す時間が長時間になるほど鉄さびから除去された Fe^{3+} が多く存在するため、鉄さびの除去効果が大きい。クエン酸水溶液に精製カラギナンを加え増粘したものは、精製カラギナンを添加した量に関わらず、 Fe^{3+} の量に大きな差はみられなかった。また、クエン酸に精製カラギナンを加え増粘し 24 時間放置したものと、増粘せず 6 時間クエン酸に浸したものの Fe^{3+} はほぼ同じため、カラギナンを用いた増粘は適切でなかったと判断できる。

以上によってクエン酸による鉄さびの除去効果が大きい条件は、クエン酸水溶液を増粘せず長時間鉄さびを浸すことである。

6. 今後の展望

本研究では、クエン酸水溶液に対する条件として、クエン酸水溶液に浸す時間、精製カラギナンを加え増粘するという 2 つの条件で実験を行った。より精密な条件を求めるためクエン酸の条件を増やして実験をしていきたい。

本実験では、クエン酸水溶液を 0.010mol/L のみで行った。クエン酸水溶液のモル濃度を大きくし実験を行いたい。鉄さびを浸す時間や、クエン酸水溶液を増粘し鉄さびの浸す時間を変更しさらなる条件を求めていきたい。また、pH の変更も行わなかったため、pH を変更し同様の実験を行い詳細なクエン酸水溶液の条件を求めたい。クエン酸水溶液は弱酸のため、強酸の物質で同様の実験を行い鉄さびの除去効果を調べたい。

クエン酸水溶液に浸す時間を短くしたことで除去効果が低くなってしまったため、クエン酸水溶液と類似した除去効果が期待できる物質を探し、短時間でも除去効果を妨げない方法を見つけたい。

また、本研究では、加えた物質はクエン酸水溶液と精製カラギナンだけである。よって、他の物質を加え、効率よく鉄さびを除去できる方法について調べ、鉄さびの除去用洗剤の開発を行いたい。また、 κ カラギナンと ι カラギナンを加えると、ゲル状に変化する。カラギナンと金属イオンが反応しゲル化する理由について詳しく調べられなかったため、カラギナンのゲル化についてさらに研究したい。また、カラギナンは増粘剤として適切ではなかったため、別の増粘剤や金属イオン下においてゲル化しない λ カラギナンを検討したい。加えて、精製カラギナンではない増粘剤や λ カラギナンと他の物質を加えたクエン酸水溶液の関係も調べていきたい。

6. 反省点

本研究において、事前に精製カラギナンを加えた場合の粘度を測定しようとしていた。しかし、粘度測定器における粘度の定義や、精製カラギナンを添加せず増粘を行わなかったクエン酸水溶液の粘度測定において広範囲の誤差が生じてしまった。そのため、粘度を測定することができなかった。また、使用した精製カラギナンの細かな種類がわからないまま使用してしまったため、金属イオンによってゲル化してしまった。よって、24 時間浸した後のクエン酸水溶液の増粘度を調べることができなかった。

7. 謝辞

今回の研究をするにあたって様々な助言をしてくださった米本先生をはじめお世話になった先生方に感謝いたします。

8. 参考文献

第 47 回全国高等学校総合文化祭 2023 かごしま総文 自然科学部門 論文集 化学 クエン酸による洗浄メカニズムの解明と万能掃除薬品の開発～おうちのお掃除これ 1 本！～

天満照郎、関川義明 数種類の金属（Ⅱ，Ⅲ）のキレート滴定に関する溶液化学及び分析化学的研究

大矢勝 洗浄化学の基礎知識

三角形を規則的に変化させたときの五心の軌跡

貞森実桜、中谷琉聖、奥原佳広、田村彰吾、北野愛和

山口県立徳山高等学校

指導教諭 西元教善

アブストラクト

先行研究で、三角形を規則的に変化させたときの九点円の軌跡についての研究([1])がある。私たちは、三角形を規則的に変化させるときの三角形の五心の軌跡に興味を持った。

そこで関数表示ソフトを用いて五心の軌跡を表示し、五心それぞれについての規則性や関連性について考察した。三角形を様々な関数によって規則的に動かし、いくつかの規則性や関連性を見つけることができた。今後は、それぞれの軌跡の方程式を求めてみたい。

1. 研究目的

先行研究として、三角形の2点を固定し、1点を直線、円上を動かしたときの九点円の中心の軌跡についての研究がある。それに対して私たちは、三角形の2点を固定し、残りの1点を様々な関数のグラフ上を動かしたときの三角形の五心の軌跡に興味を持ち、調べてみようと思った。様々な関数 $f(a)$ にしたがって三角形を規則的に変化させ、三角形の五心それぞれの軌跡について、規則性や関数 $f(a)$ との関連性を明らかにすることを研究目的とした。

2. 研究方法

- (1) 図1のように $\triangle ABC$ の頂点A, B, Cの座標を定めて、 $\triangle ABC$ の五心の座標をそれぞれ求める。

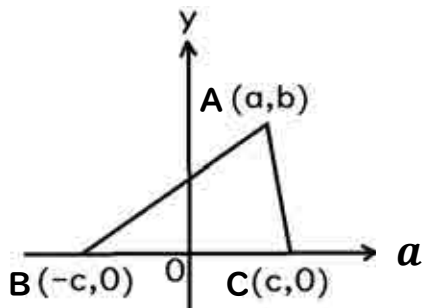


図1 三角形の座標

- (2) 関数表示ソフト「GeoGebra」を用いて、 $\triangle ABC$ を様々な関数にしたがって変化させたときの五心の軌跡を「残像表示」機

能によって表示する。ここで、 $b =$

$f(a)$, $c = 4$ とした。なお、関数 $f(a)$ を
 $f(a) = a$, $f(a) = \frac{10}{a}$, $f(a) = \sin a$,
 $f(a) = \cos a$, $f(a) = (\frac{1}{2})^a$ の5つとし、定義域は $-30 \leq a \leq 30$ とした。

- (3) 三角形の五心のそれぞれの軌跡について、規則性や関数 $f(a)$ との関連性の仮説をたて、検証する。

3. 結果

- (1) 三角形の五心の座標を求めると次のようになった。傍心については、 $\angle A$ 内の傍心の座標を求めた。

①内心

$$\left(\frac{c\sqrt{(a+c)^2+b^2} - c\sqrt{(a-c)^2+b^2} + 2ac}{\sqrt{(a-c)^2+b^2} + \sqrt{(a+c)^2+b^2} + 2c}, \frac{2bc}{\sqrt{(a-c)^2+b^2} + \sqrt{(a+c)^2+b^2} + 2c} \right)$$

②外心

$$\left(0, \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2b} \right)$$

③垂心

$$\left(a, \frac{c^2 - a^2}{b} \right)$$

④重心

$$\left(\frac{a}{3}, \frac{b}{3} \right)$$

⑤ 傍心

$$\left(\frac{-c\sqrt{(a-c)^2+b^2}+c\sqrt{(a+c)^2+b^2}-2ac}{\sqrt{(a+c)^2+b^2}+\sqrt{(a-c)^2+b^2}-2c}, \frac{-2bc}{\sqrt{(a+c)^2+b^2}+\sqrt{(a-c)^2+b^2}-2c} \right)$$

(2) 五心のそれぞれの軌跡については、①内心は図2～図6、②外心は図7、③垂心は図8～図12、④重心は図13～図17、⑤傍心は図18～図22のようになった。また、それぞれについて規則性や関連性を検証した。以下の図では、三角形の五心の軌跡を太線、関数 $b = f(a)$ のグラフを細線で表示した。

① 内心

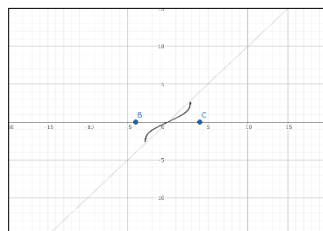


図2 $f(a) = a$

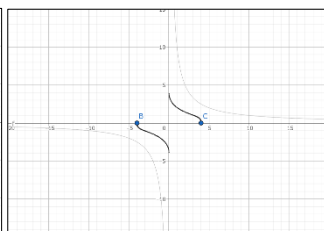


図3 $f(a) = \frac{10}{a}$

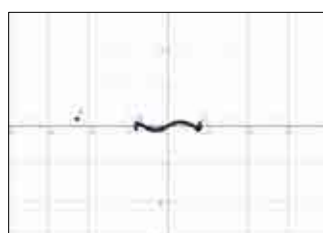


図4 $f(a) = \sin a$

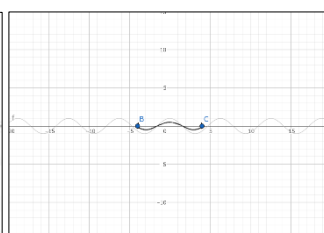


図5 $f(a) = \cos a$

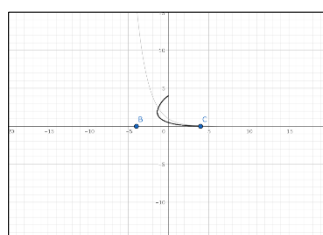


図6 $f(a) = \left(\frac{1}{2}\right)^a$

- ・ 図2の軌跡は原点に関して対称であった。
- ・ 図3の軌跡は原点に関して対称であった。
- ・ 図4の軌跡は原点に関して対称であった。
- ・ 図5の軌跡はy軸に関して対称であった。
- ・ 図6の軌跡は対称性がなかった。

② 外心

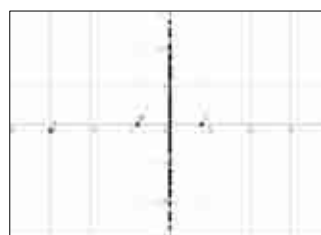


図7 外心の軌跡

- ・ 図7の軌跡はy軸と等しくなった。

③ 垂心

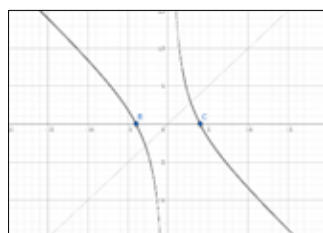


図8 $f(a) = a$

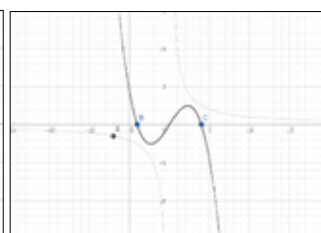


図9 $f(a) = \frac{10}{a}$

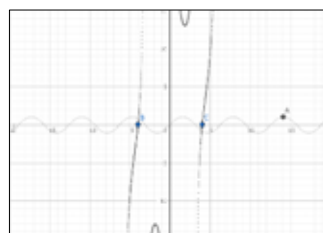


図10 $f(a) = \sin a$

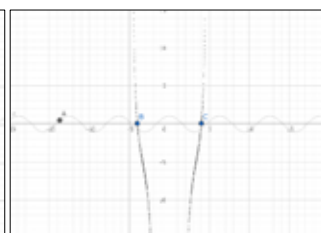


図11 $f(a) = \cos a$

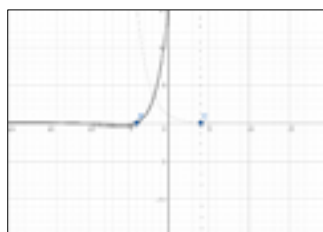


図12 $f(a) = \left(\frac{1}{2}\right)^a$

- ・ 図8の軌跡の漸近線は、 $a = 0$ であった。
- ・ 図9の軌跡は連続しており、漸近線はなかった。
- ・ 図10の軌跡の漸近線は、左から $a = -3$ 付近、 $a = 0$ 付近、 $a = 3$ 付近であった。
- ・ 図11の軌跡の漸近線は、 $a = 0$ 付近であった。
- ・ 図12の軌跡の漸近線は、 $a = 3$ 付近であった。

④ 重心

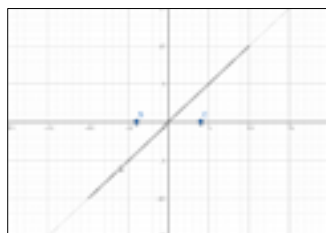


図 13 $f(a) = a$

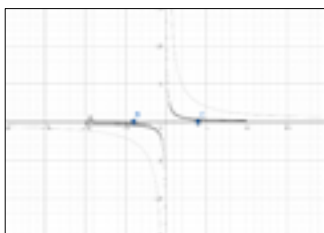


図 14 $f(a) = \frac{10}{a}$

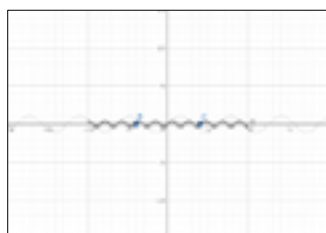


図 15 $f(a) = \sin a$

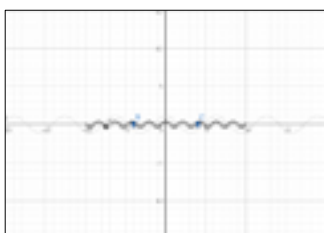


図 16 $f(a) = \cos a$

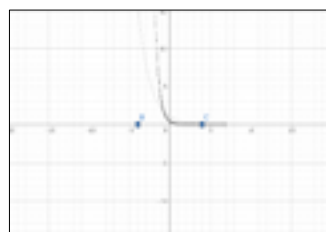


図 17 $f(a) = \left(\frac{1}{2}\right)^a$

- ・ 図 13 の軌跡は、 $f(a) = a$ の $-4 \leq a \leq 4$ の部分と等しくなった。
- ・ 図 14 の軌跡は、関数 $f(a)$ を a 軸方向、 y 軸方向に縮小した形になっていた。
- ・ 図 15 の軌跡は、関数 $f(a)$ を a 軸方向、 y 軸方向ともに $\frac{1}{3}$ だけ縮小した形になっていた。
- ・ 図 16 の軌跡は、関数 $f(a)$ を a 軸方向、 y 軸方向ともに $\frac{1}{3}$ だけ縮小した形になっていた。
- ・ 図 17 の軌跡は、関数 $f(a)$ を a 軸方向、 y 軸方向に縮小した形になっていた。

⑤ 傍心

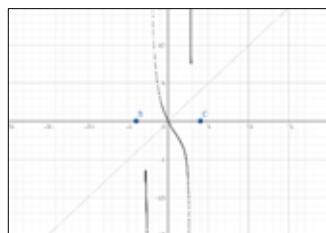


図 18 $f(a) = a$

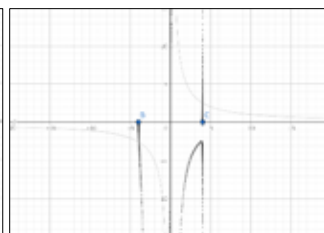


図 19 $f(a) = \frac{10}{a}$

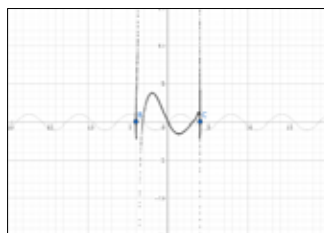


図 20 $f(a) = \sin a$

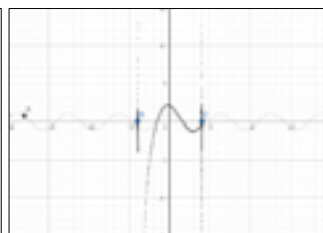


図 21 $f(a) = \cos a$

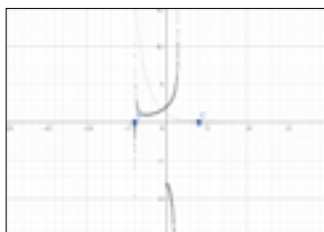


図 22 $f(a) = \left(\frac{1}{2}\right)^a$

- ・ 図 18 の軌跡は $-4 \leq a \leq 4$ の範囲にあった。
- ・ 図 19 の軌跡は $-4 \leq a \leq 4$ の範囲にあった。
- ・ 図 20 の軌跡は $-4 \leq a \leq 4$ の範囲にあった。
- ・ 図 21 の軌跡は $-4 \leq a \leq 4$ の範囲にあった。
- ・ 図 22 の軌跡は $-4 \leq a \leq 4$ の範囲にあった。

4. 考察

①～⑤について、仮説は以下のとおりである。
 ①について、内心の軌跡には何かしらの直線や点について対称性がある。②について、外心の軌跡は y 軸と等しくなる。③について、垂心の軌跡には 3 点 A, B, C が一直線上にならんで三角形が定義されないときに漸近線が見られる。④について、重心の軌跡は関数 $f(a)$ を縮小したものである。⑤について、傍心の軌跡は $-4 \leq a \leq 4$ の範囲にある。

最初に、内心の軌跡について考察する。図 2～図 5 では何かしらの点や直線について対称性があったが、図 6 では対称性がなかったことから、私たちがたてた仮説は成立しなかった。しかし、関数 $f(a)$ が原点について対称であれば内心の軌跡も原点について対称である、というように、関数 $f(a)$ と内心の軌跡の対称性は一致すると考えられる。例えば図 6 では、関数 $f(a) = \left(\frac{1}{2}\right)^a$ は対称性がないグラフであるため、内心の軌跡も対称性はなかった。

次に、外心の軌跡について考察する。外心は三

角形の各頂点からの距離が等しい点のことであり、この研究では三角形の2点をあらかじめ固定していたため、外心の軌跡は常にy軸と等しくなった。

次に、垂心の軌跡について考察する。図9以外は軌跡が連続せず、漸近線が見られた。図9では、3点A, B, Cが一直線上にならぶことがないため、三角形が常に定義されて漸近線が見られなかったと考えられる。図10に関して、三角形が定義されないのは $a = \dots, -\pi, 0, \pi, \dots$ であり、漸近線は $a = -3$ 付近、 $a = 0$ 付近、 $a = 3$ 付近であるから、三角形が定義されないときと漸近線の位置は一致した。図11に関して、この図からは漸近線は $a = 0$ 付近であるように見えた。しかし、この図では下の方まで詳しく見るができなかったため、実際は図10のように三角形が定義されないときと漸近線の位置が一致し、 $a = -1.5$ 付近と $a = 1.5$ 付近に漸近線が見られると考えられる。図12について、 $a = 3$ 付近に漸近線があるように見えたが、 $f(a) = (\frac{1}{2})^a$ 上に三角形が定義されない点はないため漸近線は存在せず、図の上部の見えていない範囲で軌跡が切り替わるところがあると考えられる。

次に、重心の軌跡について考察する。結果

(1) より、重心の座標は $(\frac{a}{3}, \frac{b}{3})$ であるから、重心の軌跡は関数 $f(a)$ をa軸方向、y軸方向ともに $\frac{1}{3}$ だけ縮小したものであると言える。

最後に、傍心の軌跡について考察する。傍心のa座標を関数として微分し、増減を調べようとしたが、数式が複雑になってしまい、増減を調べることはできなかった。図18について、微分した関数を図示してみると、 $-4 \leq a \leq 4$ の範囲では絶対値は小さいものの負であったため、単調減少であることが予想される。計算すると、 $a = -4$ の

とき、 $\frac{7+11\sqrt{5}}{4}$ で4に近い値となったが、 $a = 4$ の

とき、 $2 - 2\sqrt{5}$ で4には近くなかった。図18では軌跡が連続していない可能性があることと、微分した関数のグラフも負でない可能性があること

が原因で $a = 4$ に近づかないのではないかと考えたが、これ以上の考察はできなかった。

5. 結論

内心の軌跡は、関数 $f(a)$ が原点について対称であれば内心の軌跡も原点について対称である、というように、関数 $f(a)$ と内心の軌跡の対称性は一致した。外心の軌跡は、この研究では三角形の2点をあらかじめ固定していたため、常にy軸と等しくなった。垂心の軌跡は、三角形が定義されないときに漸近線が見られた。重心の軌跡は、関数 $f(a)$ をa軸方向、y軸方向ともに $\frac{1}{3}$ だけ縮小したものであった。傍心の軌跡については仮説の厳密な証明はできなかった。

三角形の五心は、とても不思議で興味深い軌跡を描くことが分かった。しかし、軌跡の方程式を求めることはできなかったため、今後調べてみたい。

6. 謝辞

本論文の作成にあたり、徳山高等学校科学部数学班顧問、西元教善先生にご指導いただきました。ありがとうございました。また、本研究は山口県立徳山高等学校科研費より助成をいただいております。

7. 参考文献

- [1] 愛知県立旭丘高等学校 平成31年度指定スーパーサイエンスハイスクールSS数学S課題研究論文集より「オイラー円について」(西原涼ノ介、2020)
- [2] 龍谷大学理工学部 数理解析研究所講究録第1951巻より「GeoGebraにおける軌跡の方程式を求める機能の課題」(大西俊弘、2015)

品種による米ノリの強度向上について

上條勇翔、平田智也、竹中敬祐
指導教諭 米本和生

アブストラクト

米ノリは米から作られる、環境にやさしく強度も大きいノリである。先行研究では、品種による強度の違いがあることがわかった。

今回の研究では、先行研究を踏まえ、さらに米ノリの強度を向上させようと、条件を変えデータを測定した。

1. 研究目的

米ノリの特徴として、強度が高く、環境にやさしいことが挙げられる。しかし、米ノリには、カビや水分に弱く、接着に時間がかかるという短所があるため、日常生活ではあまり用いられない。そこで、米ノリの強度をさらに向上させることや、耐水性の向上、硬化時間の短縮の3つの目標の達成を目指し、最強の米ノリを完成させることで米ノリをより、日常生活で使いやすいものにしようと考えた。

これらの目標を達成するために、今回の研究では米ノリの強度をさらに向上させることを目的として実験を進めた。

2. 仮説

先行研究から、うるち米、インディカ米、もち米の順で耐久性が高いことが分かった。

このことから、米に含まれるアミロースの割合が大きいほど接着力が強く、アミロペクチンの含有割合が大きいほど接着力が弱くなると仮定した。

そこで私たちはその仮説を検証するために小麦粉やとうもろこしなどを追加で用いた。

とうもろこしと小麦粉はうるち米などと比べてアミロースの割合が高いので接着力が強いと考えた(表1)。

表1 アミロース・アミロペクチンの含有割合

	アミロース	アミロペクチン
うるち米	25%	75%
インディカ米	20%	80%
もち米	0%	100%

とうもろこし	40%	60%
小麦粉	30%	70%

また、強度の向上において、それぞれの米、小麦粉、とうもろこしにセルロースを混ぜて作ろうと考えた。

米に含まれる澱粉とセルロースは化学式が $(C_6H_{10}O_5)_n$ であり、ともに多くの単糖類が結合した多糖類である、特にセルロースは分子間に水素結合が働くため、ノリと混合させることでより強度が増すと考えた。

3. 研究方法

今回の研究では、セルロースを数種類の米ノリに混ぜて強度の違いを測定した。

実験準備物

もち米、うるち米、インディカ米、小麦粉、とうもろこし粉、セルロース、蒸留水、アガチスの一枚板(10mm厚)、ヨート、錘(250g/個)、錘を乗せるカゴ(588g)

(1) 米ノリの作成

①質量比が(セルロース):(米):(蒸留水)=1:10:30となるようにセルロースと米と蒸留水を量り、それをビーカーの中で混合し、鍋に入れた。

②ホットプレートを220℃に設定し、ガラス棒で混ぜながら加熱した。

③粉末状の米が蒸留水に完全に混ざり、粘り気が出てきたところで取り出し、一定質量を量って、実験器具に塗布した。

④小麦粉、とうもろこし粉も同様にノリを作成し、塗布した。

(2) 米ノリと小麦粉、とうもろこし粉で作成したノリの強度の比較

上部のアガチスの一枚板(以下、「親板」という。)に、ノリを塗布したアガチスの一枚板を接着する。次にヨーートをアガチスの一枚板につけ(図1)、カゴをつるし、錘を10秒に1個のペースで追加した(図2)。板が親板からはがれた時の錘の質量を調べた。

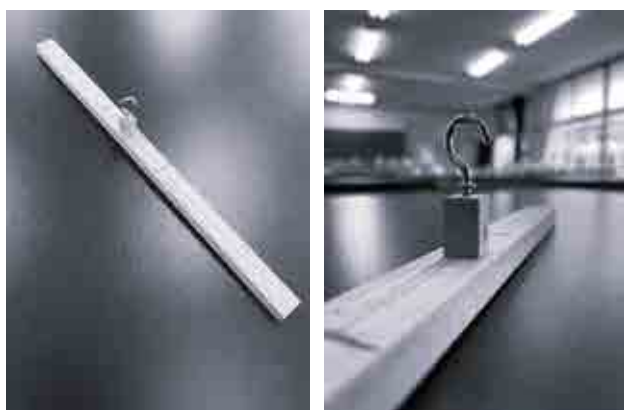


図1 ヨーートを取り付けたアガチスの一枚板

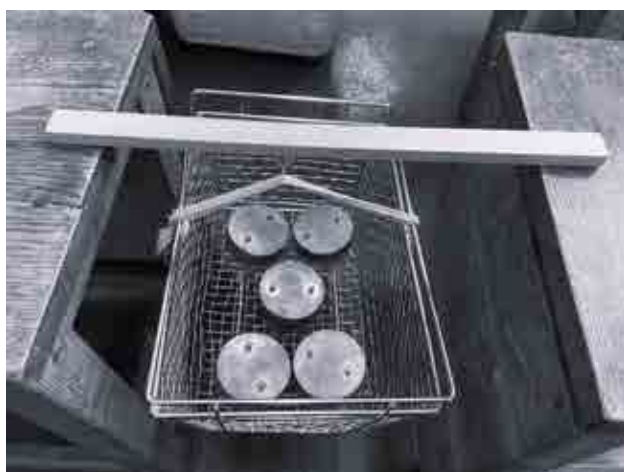


図2 実験器具に錘を乗せる様子

アガチスの一枚板を用いた理由は、先行研究において、アカシア集成材やシナノキ合板を用いたが、アカシア集成材は個体差が大きく、結果にばらつきが大きかったことや、シナノキ合板は測定の際に合板自体が壊れたため、安定したアガチス一枚板を実験装置として用いた。

また、先行研究から、どのノリもすべて次の条件で行った。

条件1

親板の長さは30 cm～40 cmにした。

条件2

1.0 cm×1.0 cmに切り取ったアガチスの一枚板に、0.05gの量り取ったノリを偏りがないように塗布した。

4. 結果

(1) セルロースを混ぜていないノリの測定結果

表2 それぞれのノリの測定値と平均値

回数	インディカ米	うるち米	もち米
1	10588g	11588g	6570g
2	12588g	5338g	8088g
3	11088g	10088g	5958g
4	13588g	6788g	9338g
平均値	11963g	8450g	7483g

とうもろこし	小麦粉
9088g	8088g
7388g	3838g
6838g	5338g
13788g	6338g
9275g	5900g

(2) 以下はセルロースを混ぜて作成したノリの測定結果

表3 セルロースを混ぜたそれぞれのノリの測定値と平均値

回数	インディカ米	うるち米	もち米
1	9588g	10388g	17588g
2	13838g	10058g	13588g
3	8338g	12088g	18088g
4	13788g	14438g	19988g
平均値	11388g	11743g	17313g

とうもろこし	小麦粉
9088g	脆すぎて測定不可
7338g	同上
6838g	同上
6588g	同上
7463g	

セルロースを混ぜた小麦粉ノリは脆く、アガチス

板にヨートを取り付けの段階で、すぐにとれたため測定することができなかった。

また、うるち米の測定値のばらつきがとても大きかった。

5. 考察

米以外で作成したノリについて、小麦粉はいずれの米よりアミロースの含有割合が大きい、小麦粉ノリの強度が他のノリよりも弱かった。小麦粉の場合、粘り気が発生する仕組みが仮説と異なることにあると考えられる。小麦粉に適量の加水をして練ると、弾性体のグルテニンと粘性体のグリアジンという2種類のたんぱく質が網目状に絡み合い、弾力と粘り気のあるグルテンが生成され(図4)、ノリができる。練る圧力と回数が増えるほどグルテンの網目は細くなり、粘りが強くなる。この反応にアミロースは関係していないと考えられる。

セルロースを混ぜたとき、もち米の強度のみ大幅に上昇したのは、アミロペクチンとセルロースの間に水素結合が起こったこと、または、セルロースの効果をアミロースが打ち消したことが原因と考えられる。

とうもろこしや小麦粉にセルロースを混ぜて、強度が下がったのは、米には含まれない成分が、セルロースと、ノリの強度を弱める作用を起こしたと考えられる。

うるち米の測定結果において測定値のばらつきが大きかった原因は、親板との隙間ができて、接着できなかったことだと考えられる。

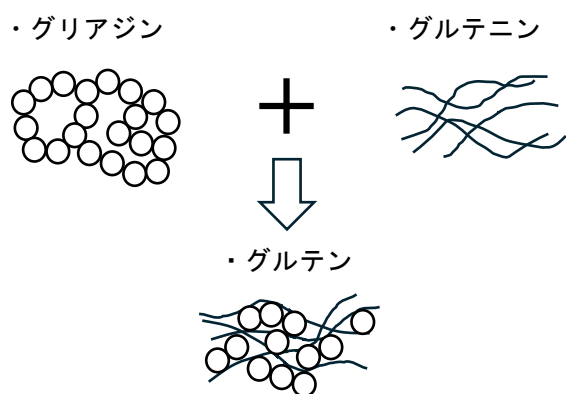


図4 グルテンの構造式

6. 結論

セルロースを混ぜなかったノリについて、インディカ米、とうもろこし、うるち米、もち米、の順に強度が高かった。小麦粉以外は仮説通りである。さらに試行回数を増やし、この仮説を立証したい。

セルロースを混ぜたノリについて、もち米、うるち米、インディカ米、とうもろこし、小麦粉の順に強度が高かった。また、セルロースを混ぜていないノリと比べ、米ノリの強度は上昇したが、他のノリの強度は下がった。このことから、セルロースを混ぜたもち米で、米ノリを開発するのが最も適していると考えられる。しかし、うるち米の耐荷重の値ばらつきがあった。そのため、再度実験をし、米ノリとして利用する米の品種を調べ直したい。これにより普段の生活で手軽に使用できる接着剤として、米ノリの開発という研究目的に近づけたい。

7. 展望

今後の研究でも、米ノリについて、アミロースの含有割合が大きい米の品種ほど、米ノリとしての強度が向上するという仮説を証明したい。測定方法については、均一な値を得ることが難しいため、実験回数を増やすとともに、ばらつきを小さくする実験方法も考えていきたい。

セルロースを混ぜたときのもち米の強度が大幅に上がったことや、とうもろこしや小麦粉にセルロースを混ぜて、強度が下がったこと、また、小麦粉のみ、含まれるアミロースの割合が大きいほど接着力が強く、アミロペクチンの含有割合が大きいほど接着力が弱くなるという仮説と異なる原因について、検証していきたい。

米ノリの硬化時間を早める物質や、環境への影響についても検討したい。米ノリは水分がなくなることによって固まる。そのため、水と化学反応を起こす乾燥剤を添加しようと考えている。また結果を数値化するために、硬化時間の測定方法も検討したい。

今回調べられなかった、セルロースを混ぜたときの米ノリの耐水性についても検証し、湿度が高い場所でも使用できる米ノリの完成を目指したい。

8. 謝辞

実験を行うにあたり、担当教員である米本和生先生にはアドバイスなどをいただきました。

竹重智美先生には、実験器具の用意や片付けなどをサポートしていただきました。

また、SSH の方々には費用面でサポートをいただきました。ありがとうございました。

9. 参考文献

内田紗椰、浦野茉莉 2024 年 「あなたの知らない米ノリの世界」

うぐいす張りの石畳に関する現象の解明と考察

堤康稀、上野莉空

指導教諭 末谷健志、有馬和宏

アブストラクト

うぐいす張りの石畳では、階段の前で手をたたくと、不思議な音が返ってくる現象が確認される。また、山口県光市にある虹ヶ浜でも、海を背にして砂浜から松林に向かって手をたたくと同様の現象が確認される。これらの現象の原因と条件を説明するために様々な観点から計算や検証を行うと、すべての階段は特徴的な波形を示し、発生しない要因は周囲の環境によるものと分かった。また、虹ヶ浜の現象も同様のモデルで説明することができた。今後は音の高さに関する考察や、この現象の原理を用いた装置の作成などに取り組みたい。

1. 研究目的

2024 年 1 月初旬、山口市はニューヨーク・タイムズ誌に「2024 年に行くべき場所 62 カ所」の第 3 位として紹介され、その中で国宝瑠璃光寺五重塔が言及されていた。これをきっかけに瑠璃光寺五重塔を訪れたところ、「うぐいす張りの石畳」と呼ばれる場所を知った（写真 1）。



写真 1：うぐいす張りの石畳

この場所では、石造りの階段の前で手を叩いたり足踏みをしたりとすると、それに呼応するように「びよんっ」という音が鳴る。山口大学理学部によると、この現象の発生原因は、階段の各段から音が少しずつ遅れながら反射するためであるということだった。しかし、この説明では二次元的な考察のみしか行われていなかった。

そこで私たちは、山口大学が行った議論を三次元に拡張し、より現実的に即したモデルで音の鳴る理由と条件を求めることを目標とした。

また、同様の現象が山口県光市にある虹ヶ浜でも

確認されている（写真 2）。ここでは、海を背にして砂浜の上に立ち、松林から数 m 離れた場所で手をたたくと、「ひょんっ」という、うぐいす張りの石畳で観測される音よりも高い音が確認される。この現象と、うぐいす張りの石畳での現象との関係も考察する。



写真 2：虹ヶ浜

2. 研究方法

（1）三次元的考察方法

うぐいす張りの石畳に関しては、以下の条件でモデル化する。

条件 1 三次元空間内に階段を設置し、階段の正面 10m に観測者を設置する。実際の環境と適合させるために、観測者と音源は一致させる。

条件 2 拍手の音は、5 ms に渡って、実測の拍手の音の大きさの時間変化に近い関数に近似した波形を用いる。また音速は 340m/s とする。

条件3 階段のスケールに関する条件は、実際にうぐいす張りの石畳で測定した長さを使用する(図1)。

これらの条件のもとで、階段の各段において反射する拍手音を最も早く返ってくる音から最も遅く返ってくる音までを重ね合わせ、その次に各段の波形を重ね合わせる。これによって、最終的に観測される時間に対する音の大きさをプロットした波形を理論的に導き出す。そしてその波形からこの現象が確認される理由を考察する。

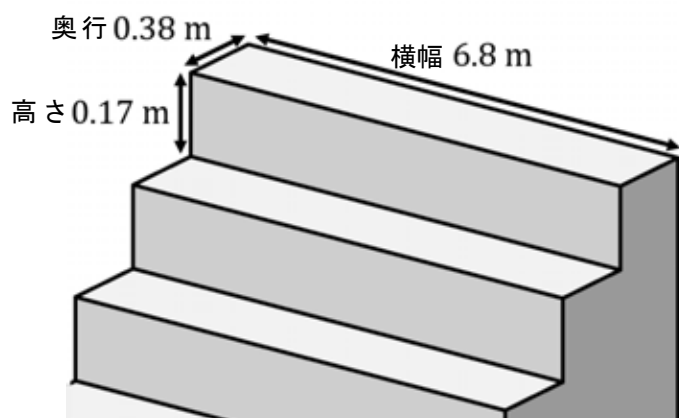


図1：うぐいす張りの石畳での階段の条件

(2) 鳴る条件の明示

① 近似計算による条件の明示

ここでは、(1)とは異なり拍手音は一瞬だけ発されたものと近似を行う。その上で、まず階段の任意の n 段目から返ってくる音の中で最も早く観測者に帰ってくる音の時刻を t_n と最も遅いものを T_n とし、その時間差を求める。

ここで、 n 段目において最も遅く返ってくる音よりも、 $n+1$ 段目において最も早く返ってくる音の方が遅いとき(図2)、各段からの反射音の間隔は図に示す Δt で良いが、うぐいす張りの石畳では、 n 段目において最も遅く返ってくる音は $n+1$ 段目において最も早く返ってくる音よりも遅く(図3)、図で示す赤線部が波形で重なる。それ故、音の重なった波形が実際には見られ(図4)、その部分の時間の差が実際の Δt となる。この Δt の値を考察することで、条件を明示する。

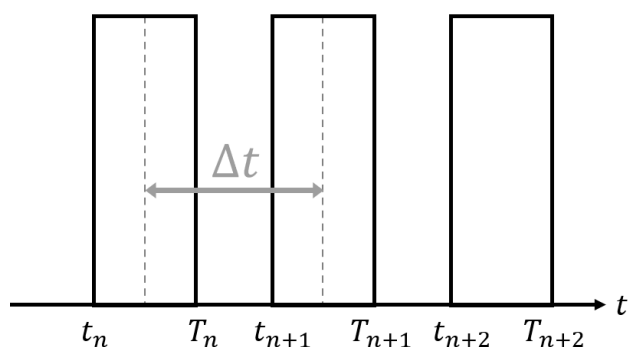


図2：通常の階段の波形

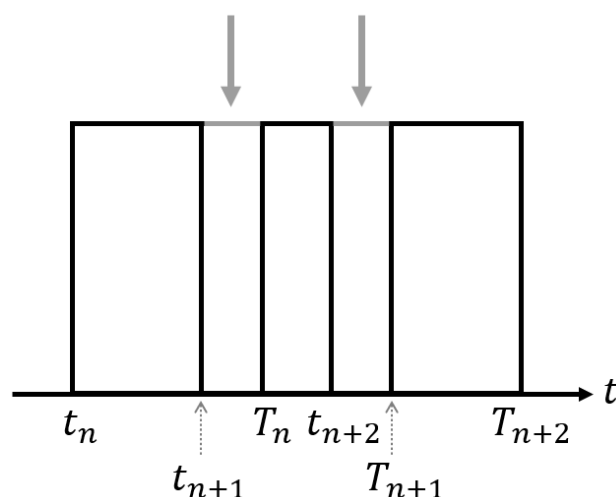


図3：うぐいす張りの石畳での各段からの波形

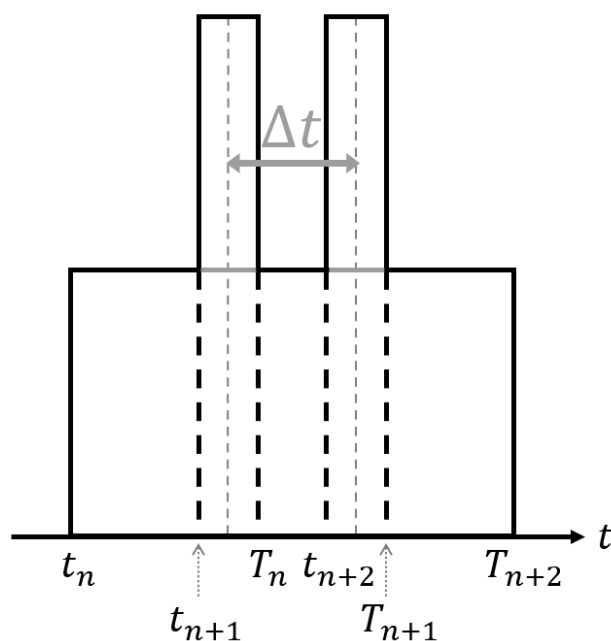


図4：うぐいす張りの石畳での実際の波形

②数値を変化させた理論的波形の形状による条件の明示

(1) で用いた波形を表示するプログラムの、階段のスケールに関する変数を変化させ、その波形を表示することで鳴る条件の明示を行う。

(3) 虹ヶ浜に関する現象の考察方法

虹ヶ浜に関しては、以下の条件でモデルを作成し、(1)と同様に、それぞれの松から返ってくる波形を、考慮する範囲全体の松に関して重ね合わせることで波形を計算し表示する。

条件1 虹ヶ浜の松林における地面の面積と本数から松の本数密度を計算し、それに基づいてランダムに松を配置する。

条件2 松の大きさも乱数により、松の大きさの範囲内でランダムに決定する。

これらの条件で作成したモデルを上空から見た図を図5に示す。

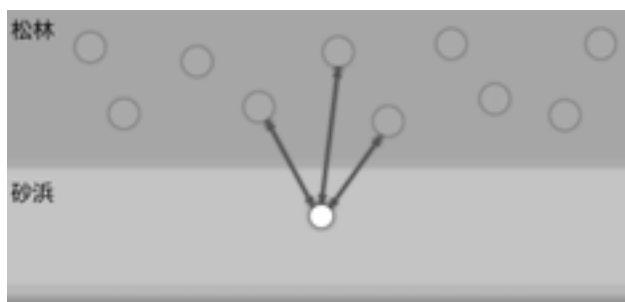


図5：虹ヶ浜の上空から見たモデル

3. 結果

(1) で得られた波形を以下に示す(図6)。この波形では、縦軸は最初の拍手音の大きさを1としたときの音の大きさの比率を示し、横軸は拍手音がなり始めた瞬間を0秒とした時間を示している。

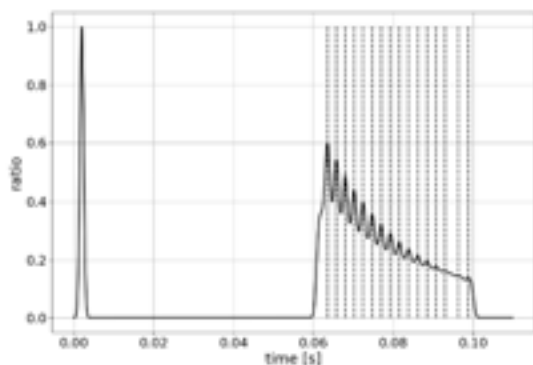


図6：うぐいす張りの石畳で得られる波形

(2) ①で行った近似計算における Δt の値は、うぐいす張りの石畳(写真1)では2.2ms、この現象が発生しないことが確認されている学校内の階段(写真3)では1.8msであった。



写真3：学校内の階段

(2) ②で行った波形の表示では、階段の一段ごとの高さや奥行きを変化させた。その際に、高さに関しては10cmから50cmまで10cmずつ、奥行きに関しては高さと同じ範囲で5cmずつ変化させたときに得られるすべての組み合わせで波形を表示した。以下にその結果の一部を掲載する(図7)。図7では、縦軸、横軸の示しているものは図6と同一であり、グラフ上部に、階段の横幅、高さ、奥行きの長さをそれぞれ W, H, D として、その大きさを m 単位で示している。

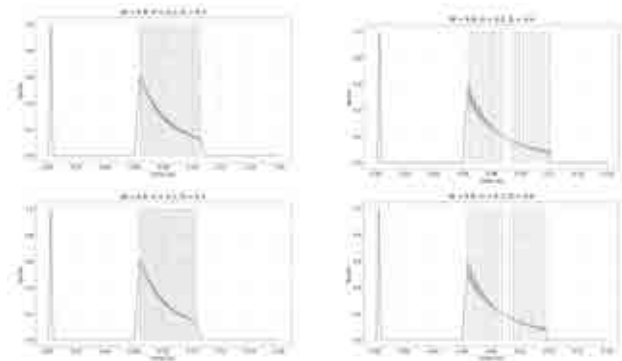


図7：階段のサイズの変化による波形の変化

(3) 虹ヶ浜に基づいて作成したモデルにより得られた波形を図8に示す。図8でも、図6で用いた縦軸と横軸を使用している。

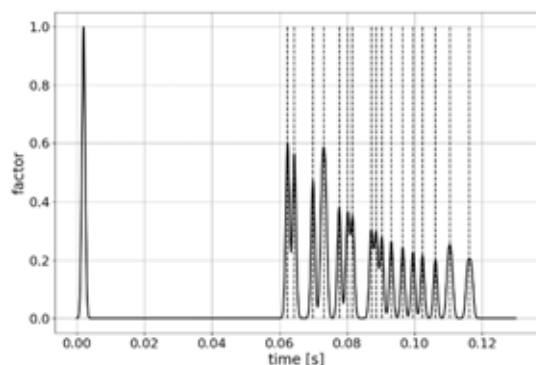


図8：虹ヶ浜のモデルで得られる波形

4. 考察

(1) で得られた波形を観察することにより、うぐいす張りの石畳でこの現象が確認される理由は、階段の各段から反射した音がうまく重なり合い、2ms 程度で音の大きさの極大が生じる特徴的な波形を作るためであると考えられる。

また、以下に示す波形(図9)はうぐいす張りの石畳で実際に観測される音の波形を表示したものであり、理論的に導出した波形と同様に、定期的に音の大きさに関して極大値が現れることが見て取れる。また、その極大の点どうしの時間間隔は実測値では2.2ms となっているが、これは理論的に導出した波形による極大値の時間間隔と一致する。このことは、私たちの作成した理論的モデルがある程度正しいことを示している。

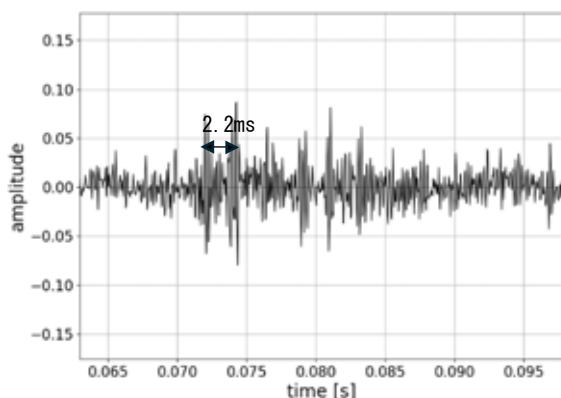


図9：うぐいす張りの石畳で実際に観測される波形

(2) では、①②ともに、標準的な階段における波形でも、うぐいす張りの石畳で得られるように2ms 程度で音の大きさの極大を示すので、空間上に階段のみあればうぐいす張りの石畳での現象を引き起こ

しうることを示している。よって、この現象が起こらない階段に対するその原因は、今回考察に入れなかった階段の大きさ以外の要因によるということがわかる。例えば、結果(2)①で示した、現象の確認されない階段の写真(写真3)を見てみると、うぐいす張りの石畳では見られない天井や壁が存在し、それによる反響が階段から得られる波形を上から潰し、その結果特徴的な音が聞こえなくなっているのではないかと考えられる。

(3) の波形では、うぐいす張りの石畳で得られるように、音の大きさの極大点が見られる波形が確認される。これにより、虹ヶ浜での現象は、うぐいす張りの石畳で行った説明と同じように理解することができる。

5. 結論

今回の研究では、うぐいす張りの石畳に関する現象を3次的モデルで検証し、その現象が確認される条件を明らかにすることができた。また、そこで用いた説明を、虹ヶ浜という一見全く関係のない場所に関する現象の説明に応用することができた。

このように、当初に示した目標はすべて達成することができた。今後の展望としては、まず今回考察しなかった音の高さに関する考察を行いたい。実際、うぐいす張りの石畳と、虹ヶ浜で確認される現象とは、原理こそ同じであったが、音の高さは全く異なっているように聞こえた。今回はその部分については言及程度しかできなかったため、今後は取り組んでいきたい。また、この現象の機構を応用することにより、この現象を用いた機器の開発なども行っていきたい。

6. 参考文献

Nico F Declercq, Joris Degrieck, Rudy Briers, Oswald Leroy「A theoretical study of special acoustic effects caused by the staircase of the EI Castillo pyramid at the Maya ruins of Chichen-Itza in Mexico」JASA, 116(6), 3328-3335

アメフラシ類の紫汁の生物忌避及び付着阻害効果の検証

小川七夢、松永七海

指導教諭 米本和生

アブストラクト

付着生物の着生は付着基質の表面に微生物の集合体であるバイオフィームが生成されることで促進される。本研究ではアメフラシ類が持つ付着阻害機構によるバイオフィーム抑制剤利用の開発、捕食者防御機構による稲作で問題となっている淡水性貝類に対する忌避効果の検証を目的とした。実験の結果、紫汁による付着阻害効果、捕食者防御機構による淡水性貝類への忌避効果を示唆するデータが得られ、副次的な結果として、紫汁の濃度が高くなるほど淡水性貝類の排泄物量が減少する結果が得られた。

1. 研究目的

フジツボや海藻等の付着生物は、船底、取水施設、浄水施設等に付着すると様々な障害の原因となるが、これら付着生物の着生は、付着基質の表面に微生物の集合体であるバイオフィームが生成されることで促進される。一方、アメフラシ類は皮膚からバイオフィームの生育を抑える物質を分泌して、フジツボなどの付着生物から体表を守っていることが知られている。

アメフラシ類は刺激を受けた時に、紫色の液体であるインクと白色の粘液であるオパリン（以下、「紫汁」という。）を放出する。これら分泌物はそれぞれインク腺とオパリン腺と呼ばれる独立した二つの外分泌腺に蓄積されている。インク由来のアプリジオピオリンとエスケイピン生成物は忌避作用、インクとオパリンに含まれるアミノ酸は擬似餌効果を持ち、捕食者達の化学感覚に複数の化合物で働きかけることによって身を守っている。これら分泌物の成分が「摂食促進」と「摂食阻害」の両方の作用をもち捕食者を混乱させ、捕食者防御機構を有することが実験的にも証明されている¹⁾。

本研究では、これらのアメフラシ類が持つ付着生物の付着阻害機構及び捕食者防御機構を利用することにより、生物にやさしいバイオフィーム抑制剤の開発、淡水性貝類に対する忌避効果の検証を目的とした。

（1） 生物にやさしいバイオフィーム抑制剤の開発

アメフラシ類は、皮膚からバイオフィームの生育を抑える物質を分泌することでフジツボなどの付着生物から体表を守っていることが知られているが、紫汁にも同様の付着阻害効果があるかを検証するとともに、付着基質表面に紫汁を塗布する際の効果的な溶剤について検討する。

（2） 淡水性貝類に対する紫汁の忌避性の調査 淡水性の巻き貝であるスクミリンゴガイ（*Pomacea canaliculata*。以下、「ジャンボタニシ」という。）は、水稻を食害するため、殺貝効果のある石灰窒素の散布等の対策がとられているが、環境への影響が懸念される。アメフラシ由来の紫汁が持つ捕食者防御機構がジャンボタニシ対策に効果があるかについて検証する。

2. 仮説

- （1） 紫汁には付着生物の付着阻害効果があり、環境への影響がないワセリンやニスと混合し基質に塗布することで、バイオフィーム阻害効果を長期間得ることができる。
- （2） ジャンボタニシは淡水性ではあるが、アメフラシ類と同じ水性生物であることから、紫汁による忌避効果が見られる。

3. 方法

令和6年9月27日に山口県豊北町角島において、アメフラシ科のタツナミガイ (*Dolabella auricularia*) 5個体を採集し、背中側を切開し(図1)、インク腺とオパリン腺から分泌された紫汁を漏斗で集めた。この紫汁を用い、以下の方法で実験を行った。

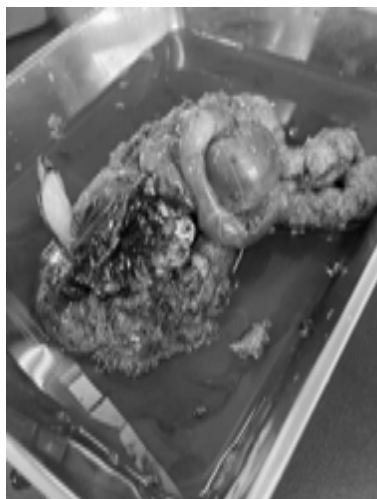


図1 背中側を切開したタツナミガイ

(1) 生物にやさしいバイオフィルム抑制剤の開発

- ① ステンレスの板の表面に紫汁と溶媒(紫汁のみ、ワセリンのみ、油性ニスのみ、水性ニスのみ、紫汁とワセリン、紫汁と油性ニス、紫汁と水性ニス、塗布なし)を塗布した(図2)。

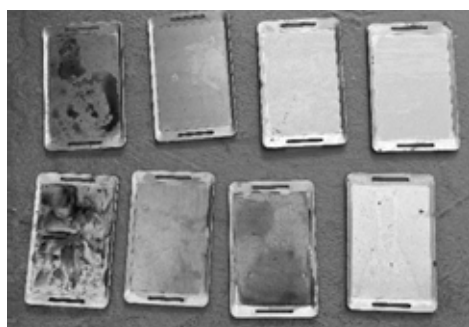


図2 紫汁と溶媒を塗布したステンレス板

- ② ①を水深約1メートルの海中にロープで吊り下げて、1ヶ月ごとに経過観察した。

- ③ 3ヶ月後、海から引き揚げ、洗浄し、乾燥させ、付着したフジツボを計数した。

(2) 淡水性貝類に対する紫汁の忌避性の調査

- ① 濃度(0%、0.50%、1.25%、3.00%)の紫汁溶液をそれぞれ調整し、それぞれカワニナ(*Semisulcospira libertina*) 5個体を入れ、経過を観察した。本来はジャンボタニシを用いて実験を行う計画であったが、ジャンボタニシが冬眠に入ったため採集できなかったことから、同じ原始紐舌目であるカワニナを用いた。
- ② 1時間後及び3時間後に、水中から水面上に逃避した個体を計数するとともに、カワニナの行動を観察した。

4. 結果

(1) 生物にやさしいバイオフィルム抑制剤の開発

海中に3ヶ月間に暴露したステンレスの板に付着したフジツボの数を計数した結果(表1、図3)、紫汁とワセリンを混合したものが96個体と最も少なく、ワセリンのみ塗布したものが202個体と最も付着数が多かった。

表1 紫汁と溶剤を塗布したステンレス板に付着したフジツボの個体数

	付着したフジツボの個体数
紫汁・ワセリン	96
紫汁・油性ニス	120
油性ニス	135
塗布なし	135
水性ニス	139
紫汁	149
紫汁・水性ニス	175
ワセリン	202

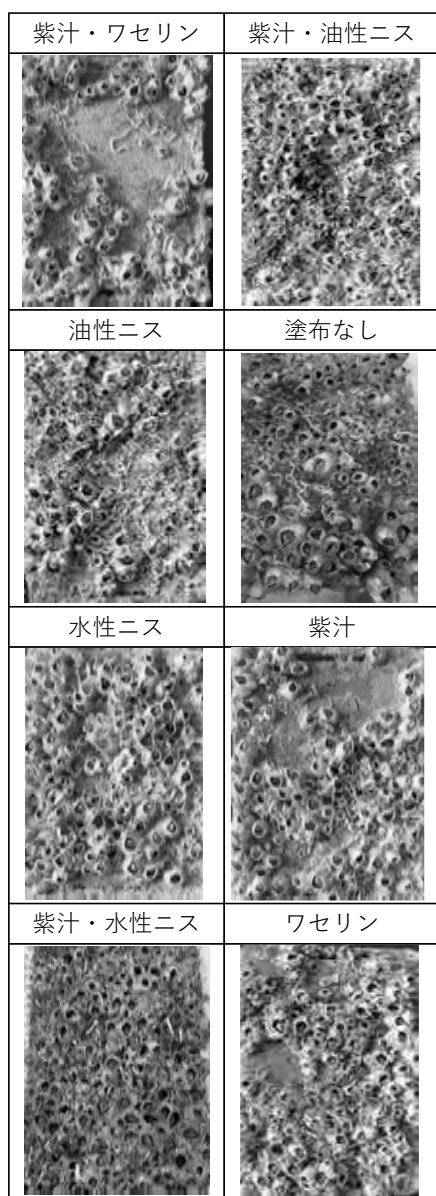


図3 紫汁と溶剤を塗布したステンレス板に付着したフジツボ

(2) 淡水性貝類に対する紫汁の忌避性の調査

実験は4回行った(表2)。真水については水面上に逃避する個体は見られなかった。

紫汁溶液については、濃度が上がるにつれて水面上に逃避する個体が増加した。

表2 紫汁の濃度と水面上に逃避したカワニナの個体数

紫汁の濃度 (%)	1回目	2回目	3回目	4回目
0.0	0	0	0	0
0.5	0	1	0	0
1.3	0	2	2	1
3.0	1	3	2	1

(3) 紫汁の濃度とカワニナの排泄物の量

経過時間ごとのカワニナの行動を観察したところ、表3のとおり紫汁の濃度が上がるにつれて、排泄物の量が少ないという傾向が確認された。

表3 紫汁の濃度とカワニナの排出物の量

紫汁の濃度 (%)	1回目 (3時間後)	2回目 (3時間後)	3回目 (3時間後)	4回目 (3時間後)
①0.0				
②0.5				
③1.25				
④3.0				

5. 考察

(1) 生物にやさしいバイオフィルム抑制剤の開発

紫汁及び溶剤とフジツボの付着個体数に明確な相関関係は見られなかった。しかし、「塗布なし」、「溶媒のみ(油性ニス、水性ニス、ワセリン)」に比べ「ワセリンと紫汁」、「紫汁と油性ニス」の混合の方がフジツボの付着数が少なかったことから、紫汁による付着阻害効果の可能性は示唆された。また、水性ニスのみ、紫汁のみ、紫汁と水性ニスの混合については、塗布なしと同等またはそれ以上の付着数であったことから、塗布したものが海中に溶け出した可能性があると考えられた。

今後は、実験回数を増やしても同様の結果が得られるのか検証する必要がある。

(2) 淡水性貝類に対する紫汁の忌避性の調査

水面上に逃避した個体数は紫汁の濃度が高くなるにつれて増加したことから、紫汁による捕食者防御機構によりカワニナが忌避したものと考えられた。今後は、ジャンボタニシでも同様の結果が得られるのか検証を行い、忌避効果があればジャンボタニシ対策に応用できることが期待される。

また、実験による副次的な結果として、紫汁の濃度が高くなるとともにカワニナの排泄物量が明確に減少するという興味深い結果が得られた。これは紫汁のどの成分が影響したものか不明であるが、さらに高濃度の紫汁に暴露した際のカワニナの行動を観察することによりジャンボタニシ対策のみならず、他の分野への活用も期待される。

6. 結論

本研究では、アメフラシ類が持つ付着生物の付着阻害機構及び捕食者防御機構を利用することにより、生物にやさしいバイオフィルム抑制剤の開発、ジャンボタニシに対する忌避効果の検証を目的としたところである。実験の結果、さらなる検証は必要であるが、紫汁による付着阻害効果の可能性は示唆された。また、ジャンボタニシへの忌避効果については、カワニナによる代替実験となったが、水面上に逃避した個体数は紫汁の濃度が高くなるにつれて増加したことから、紫汁による捕食者防御機構によりカワニナが忌避したものと考えられた。

また、紫汁の濃度が高くなるとともにカワニナの排泄物量が明確に減少するという興味深い関係を発見した。この要因についてさらに検証することで紫汁の未知なる効能の発見に繋がると考える。

7. 謝辞

今回の研究を行うにあたり、終始適切な助言をしてくださった科学部化学班顧問の米本先生をはじめとする本校の先生方、海での実地調査に協力いただいた山口県庁の関係者の方々に感謝します。なお、本研究では山口県立徳山高校科研費に助成していただいています。

8. 参考文献

- 1) 神尾道也 (2012) : アメフラシ類の化学防御機構 : 捕食者と同種個体の化学感覚に働く複数の

の化学物質, 比較生理生化学, Vol. 29-1

- 2) 梅澤大樹 (2023) : 海洋付着生物に対する付着阻害有機化合物の創製の試み 付着阻害ユニットを組み込んだ効率的な化合物の合成, 化学と生物, Vol. 61, No. 7
- 3) 林原信子、神尾道 (2016) : アマクサアメフラシおよびゾウアメフラシのインクと皮膚抽出物のイセエビに対する摂食阻害作用, 日本ベントス学会誌, Vol. 71, 11-16
- 4) Togosmaa LUVSANTSEND、岡村 秀雄、浅岡 聡 (2013) : 水環境における銅ピリチオン防汚剤の運命に及ぼす底質の影響, 環境化学 (journal of environmental chemistry), Vol. 23, No. 2
- 5) 神尾 道也 (2023) : アメフラシの有機化学的生き残り戦略とは, 科研費, 令和5年度報告書
- 6) 神尾 道也 (2022) : 薄膜型酸素センサーを用いたアメフラシからの環境に優しいバイオフィルム抑制剤の探索, 科学研究費助成事業研究成果報告書
- 7) 梅澤 大樹 (2023) : 海洋付着生物に対する付着阻害有機化合物の創製の試み付着阻害ユニットを組み込んだ効率的な化合物の合成, 化学と生物, Vol. 61, No. 7, 331-338

果物の皮をリサイクル！

村田蒼志、長井謙介

指導教諭 米本和生

アブストラクト

バナナの皮を主な材料とした、サイレージから乳酸菌が得られるという先行研究があった。そこで、バナナの皮を用いたサイレージで発生した乳酸菌からバイオマスプラスチックを作成できないかと考えた。バイオマスプラスチックはL-乳酸を原料に作成される。そのため、L-乳酸の生成に必要なL-乳酸菌の発生の有無をサイレージから調べることを目的とした。バナナ果実を多く含むサイレージで多く乳酸菌を多く発生すると仮定して実験を行ったが発生量の測定は困難であり、L-乳酸菌の発生も確認できなかった。

1. 研究目的

バイオマスプラスチックの製造方法を調べたところ、糖を乳酸菌で発酵させ、乳酸を取り出し、その乳酸を重合することでできることが分かった。現在のバイオマスプラスチックは、原料をサトウキビや、トウモロコシとしている。そこで私たちは、果物の不可食部である皮を原料として作成できないかと考えた。

今回は、不可食部の割合が大きいバナナに注目して研究をすることにした。

ポリ乳酸を作るためにはL-乳酸を生成する必要がある。L-乳酸の生成には、デンプンを酵素で加水分解して得られるグルコースを利用して発生するL-乳酸菌の発生が必要である。しかし、バナナの皮および、実に含まれる糖は、ムチンという糖タンパク質である。ムチンによるL-乳酸菌の発生の可否はまだ解明されていない。そのため、今回の実験はムチンによるL-乳酸菌の発生を調べるのが主な目的である。

2. 研究方法

(1) サイレージの作成と乳酸菌の検出

先行研究により、バナナの皮を発酵させるためにサイレージを作成した。サイレージは、圧縮チャック付きポリ袋で脱気し、密封した。

培地として粉末アイスクリームコーン 42g に、蒸留水と牛乳を加え、オートクレープで 120℃、1 時間滅菌処理したものを用いた。先行研究では 100℃ で 20 分間ボイリングしたのち、オートクレープで 120℃、20 分間滅菌処理したものを用いていた（図 1）。学校の設備では不可能であったため、120℃、

1 時間とした。

バナナの皮のみを添加したもの、バナナの皮と実を一本分添加したもの、バナナの皮と実を 2 本分添加したものの 3 種類を用意した。実を添加した理由は、皮のみと皮と実をくわえた場合、糖による乳酸菌の発生がどの程度促されるかを調べるためである。

これらのサイレージを 20 日間 35℃の恒温機の中で静置した。

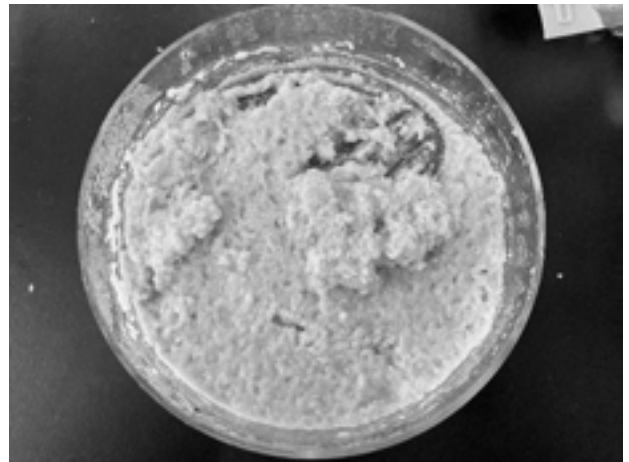


図 1 オートクレープで滅菌した培地

乳酸菌の発生量については、サイレージから得られる試料を培地に塗布後 3 日間静置し、発生したコロニーの数から測定した。

菌の発生を確認するためにサイレージを試作し、寒天培地に試料を接種したところ、菌の繁殖を確認できたが、乳酸菌以外にも多くの種類の菌が繁殖していたため、多くの種類のコロニーが発生した（図 2）。



図2 多くの種類のコロニーが発生した寒天培地

乳酸菌の発生のみを確認するため、一般乳酸菌検出接種用培地（図3）を使用した。しかし、この方法ではポリ乳酸の生成に必要なL-乳酸菌またはD-乳酸菌の発生を確認することができなかったため、L-乳酸の抽出実験後に得られた培養液を重合することで、L-乳酸菌の発生を確認することにした。

重合実験は抽出後の培養液をホットプレートでアルミカップに入れ、220℃で加熱した。

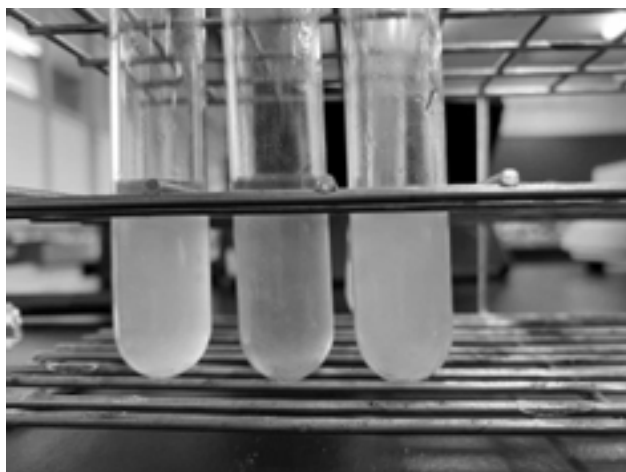


図3 一般乳酸菌検出接種用培地

乳酸菌の発生量については、培地に発生したコロニーの量から測定することとした。

（2）乳酸の抽出方法

乳酸の抽出は、先行研究と同じ溶媒抽出法を用いて行った。希釈剤としてオレイルアルコールを2.5mL、抽出剤としてトリオクチルアミン2.5mLの混合溶媒と、培養液5mLを、混合し攪拌したのち20分間静置した。その後油層を除去し、残った培養液

の水層を抽出後の培養液とした。

3. 結果

作成したサイレージは、バナナの実を入れたものと入れなかったものでは、粘度が大きく違った。そのため抽出実験により得られた試料が、実を多く入れたほうが多く得られるという結果が得られた。粘度はバナナの実の数が多くなるほど小さくなった。バナナの実を2個加えたサイレージから最も多く試料が得られた。

サイレージで発酵させた発酵液を一般乳酸菌接種用培地に摂取したところ、乳酸菌の発生が確認できた。しかし、凝固させた培地が溶解しており、コロニーの数の測定が困難であったためバナナの実の添加による乳酸菌発生量の比較は不可能であった（図4）。

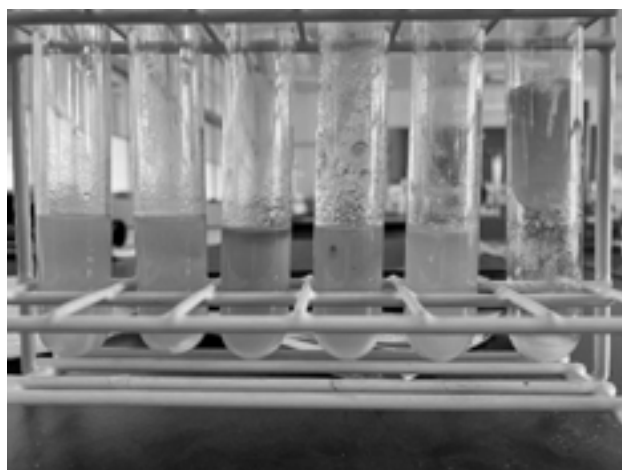


図4 乳酸菌を摂取した培地. 右から2個ずつ実なし、実1個、実2個

サイレージに実を入れたものと入れなかったもので抽出実験後の変色に大きな違いがみられた。実が入っているものは黄色く変色した（図5）。

出す際に多くの不純物が混ざったことが考えられる。

5. 結論

今回の実験からバナナを含むサイレージでは、多くの種類の菌が発生しており、乳酸菌も発生していることが分かった。しかし、バイオマスプラスチックの製造に必要なL-乳酸の生成は確認できなかったため、L-乳酸菌は発生していないと考えられる。乳酸の抽出実験及び乳酸菌の培地による検出には不純物が混ざった可能性のある作用がみられた。

6. 反省

今回、乳酸の抽出実験として溶媒抽出法を用いたが、発酵液はいずれも粘度が高かったため、この方法は最適ではなかったと考えられる。油層を除去する際にも水層を誤って取りだしたため、次回からは、アンモニアや生石灰を中和剤として用いた遊離反応を、抽出法として用いたいと思った。

一般乳酸接種用培地に寒天をくわえ、乳酸菌の発生量を測定しようとした結果、培地が溶解した理由については、培養液が強い酸性であったこと、不純物が混ざったことが考えられる。試料の極性に左右されない測定方法を検討していく必要がある。

7. 謝辞

実験を行うにあたり培地作成に必要な実験器具の貸し出しや、助言など多くのサポートをしてくださった先生方に謝辞を申し上げます。

8. 参考文献

ポリ乳酸の合成 中学校 自然と人間 高等学校 化学Ⅱ 生活と物質、生物と物質

Si2_石油に依存しない高分子、ポリ乳酸をつくる

溶媒抽出による醗酵液からの乳酸回収法の検討

新・講座：プラスチックと環境

バイオマスから作られるポリ乳酸の基礎知識

大阪府立食とみどりの総合技術センター研究報告 =

Bulletin of Agricultural, Food and

Environmental Sciences Research Center of

Osaka Prefecture

微生物遺伝資源利用マニュアル (15) ISSN 1344-

1159 MAFF Microorganism Genetic Resources

Manual No. 15

外的要因によるプラナリアの反応

横山理樹、佐伯隼一、福田龍吾

指導教諭 小田中也

アブストラクト

この研究では、負の光走性があるプラナリアに紫外線と赤外線を用いた専用の照射装置で5分間照射し、プラナリアの行動の変化を調査した。その結果、紫外線や、視認できない赤外線を照射したグループに特に強い忌避反応が見られた。また、プラナリアは、水質が悪化すると死んでしまうと言われている。そこで私たちは様々な COD の水にプラナリアを5匹ずつ入れ、1週間放置してみたところ、農業用水の基準を超える 7mg/L_{COD} の水でもプラナリアは5匹とも生き延びた。

1. 研究目的

プラナリア（ナミウズムシ）とは淡水域に生息している扁形動物である。再生能力が非常に高く、体を分割しても欠けた部分から個体として再生できることから、様々な研究対象になっている。また、プラナリアは神経系が発達しており光を感じる眼点を持つため光を水面に当てると、光源のある方向と反対方向に逃げる負の光走性があるといわれており、プラナリアがいるシャーレに LED の光を当てて、反応を調べる研究が行なわれている。しかし、それらの研究で用いられている LED はすべて可視光線で、可視光線でない紫外線と赤外線の LED については調べられていない。そこで私たちはそれら不可視光線に対して、プラナリアが負の光走性を示すかどうかを調べる実験を行った。

また、プラナリアが生息している河川の水質は良く、国土交通省と環境省が行う「水生生物調査」では、プラナリアの生息する水域は「水質階級Ⅰ（きれいな水）」に分類されている。しかしこの表記だと、プラナリアの生息できる水にどのような条件が適しているか分からない。そこで、私たちは様々な値の※₁COD の値の水を用意して、プラナリアが1週間生き残ることができるかを評価し、プラナリアが生息できる COD の値を調べようと試みた。

階級Ⅰ（きれいな水）の生物		階級Ⅱ（ややきれいな水）の生物	
ナミウズムシ	サワガニ	カワニナ類	コオニヤンマ
ヒラタカゲロウ類	カワゲラ類	コガタシマトビケラ類	オオシマトビケラ
ヘビトンボ	ナガレトビケラ類	ヒラタドロムシ類	ゲンジボタル
ヤマトビケラ類	ブユ類	○ヤマトシジミ	○イシマキガイ
アミカ類	ヨコエビ類		
階級Ⅲ（汚れた水）の生物		階級Ⅳ（とても汚れた水）の生物	
タニシ類	シマイシビル	サカマキガイ	エラミミズ
ミズムシ	ミズカマキリ	アメリカザリガニ	ユスリカ類
○ニホンドロソコエビ	○イソコブムシ類	チョウバエ類	

注）○は海水の少し混ざっている汽水域の生物

図1 各水質における指標生物



図2 今回の実験で使ったプラナリア

※₁COD:化学的酸素要求量といい、水中に含まれる有機物による汚濁を測る指標として用いられている。有機物を酸化剤によって強制的に酸化分解し、分解する際に有機物と反応して消費される酸化剤の量を酸素の量に換算した値となる。

2. 研究方法

(1) 光走性の実験

- ①段ボールの箱の内部を同等の段ボールの断片で4区画に区切り、何も光を当てないための1区画を残して他の3区画に四角い穴をあけ、波長が370nmの紫外線LED、850nmの近赤外線LED、1.45μmの遠赤外線LEDを

搭載したブレッドボードを各穴にはめ込む。
(以後照射装置と表記する。)

- ② 1個の領域に、プラナリアを5匹ずつ入れ、シャーレの半分の領域をアルミホイルで覆ったものを4個用意する。(以後シャーレと表記する)その後、シャーレを照射装置内のそれぞれの区画に1個ずつ配置する。
 - ③ 5分間光を当てた後、アルミホイルで覆われていない領域にいるプラナリアの数を数える。
 - ④ 4個シャーレを別の区画に移動する。
- この実験では③と④の工程を10回行った。



図3 照射装置外観



図4 照射装置内

(2) CODの実験

- ① グラニュー糖の水溶液を、マイクロピペットを用いて下の4つの条件を満たすように希釈した後、CODパックテストでそれぞれの水溶液が条件を満たしていることを確認する。

条件Ⅰ：1 mg/L_{COD}のグラニュー糖水溶液
 条件Ⅱ：3 mg/L_{COD}のグラニュー糖水溶液
 条件Ⅲ：5 mg/L_{COD}のグラニュー糖水溶液
 条件Ⅳ：7 mg/L_{COD}のグラニュー糖水溶液
 ※これらの条件は「生活環境の保全に関する

環境基準(湖沼)の基準」(図5)に従って設定した。

項目	利用目的の 適応性	基準			
		水素イオン 濃度 (pH)	化学的 酸素要求量 (COD)	浮遊物質濃度 (SS)	溶解酸素濃度 (DO)
AA	水道1級 水道1級 自然環境保全及 びA以下の欄に 掲げるもの	6.5以上	1mg/L以下	1mg/L以下	7.5mg/L以上
		8.5以下			
A	水道2級 水道2級 水道及びB以下 の欄に掲げるもの	6.5以上	3mg/L以下	5mg/L以下	7.5mg/L以上
		8.5以下			
B	水道3級 工業用水1級 農業用水及びC の欄に掲げるもの	6.5以上	5mg/L以下	7mg/L以下	5mg/L以上
		8.5以下			
C	工業用水2級 環境保全	6.0以上	8mg/L以下	ごみ等の浮遊が 認められないこと	2mg/L以上
		8.5以下			

図5 「生活環境の保全に関する環境基準(湖沼)の基準」

- 水産
 - 水産1級：ヤマトイワナ等貧腐水性水域の水産生物用並びに水産2級及び水産3級の水産生物用
 - 水産2級：サケ科魚類及びアユ等貧腐水性水域の水産生物用及び水産3級の水産生物用
 - 水産3級：コイ、フナ等、β-中腐水性水域の水産生物用
- 工業用水
 - 工業用水1級：沈殿等による通常の浄水操作を行うもの
 - 工業用水2級：薬品注入等による高度の浄水操作を行うもの
 - 工業用水3級：特殊の浄水操作を行うもの
- 環境保全：国民の日常生活(沿岸の遊歩等を含む。)において不快感を生じない限度

- 水道1級：ろ過等による簡易な浄水操作を行うもの
 - 緩速砂ろ過
- 水道2級：沈殿ろ過等による通常の浄水操作を行うもの
 - 凝集沈殿+急速砂ろ過
- 水道3級：前処理等を伴う高度の浄水操作を行うもの
 - 生物ろ過、オゾン、活性炭、その他高度浄水処理

図6 図5の用語解説

- ②①の4種類の水溶液と蒸留水を合わせた5種類の水槽にそれぞれ事前にえさを与えたプラナリアを5匹ずつ入れ、1週間放置した後に生存している個体数を数える。

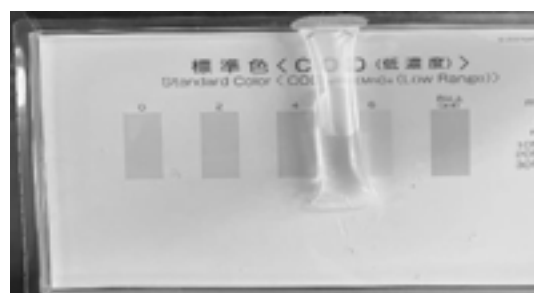


図7 CODパックテストの様子

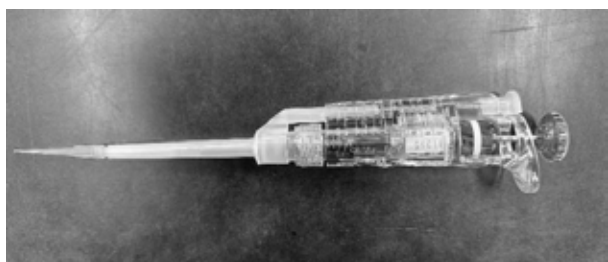


図8 マイクロピペット

(3) 光照射による温度変化の確認

① (1) の実験と同じシャーレを用意して、それぞれの水面の温度を赤外線温度計を用いて測定する。

② (1) の②と③の工程を行った後、再び水面の温度を測る。



図9 赤外線センサー

3. 結果

(1) 走光性の実験

表1 条件ごとの観測されたプラナリアの数
プラナリア

	370nm	850nm	1.45 μ m	暗闇
1回目	2	1	1	1
2回目	1	1	1	2
3回目	3	4	0	4
4回目	1	2	3	5
5回目	2	1	2	2
6回目	2	0	1	2
7回目	2	2	3	2
8回目	2	2	2	3
9回目	3	3	2	3
10回目	2	1	2	3
平均	2	1.7	1.7	2.7

* 単位は匹とする。

(2) C0D の実験

表2 1週間後の生存しているプラナリアの数

	個体 (匹)	備考
蒸留水	5	縮んでいる個体が多かった
1mg/L	5	縮んでいる個体が多かった
3mg/L	5	通常と変わりがなかった
5mg/L	4	通常と変わりがなかった
7mg/L	5	通常と変わりがなかった

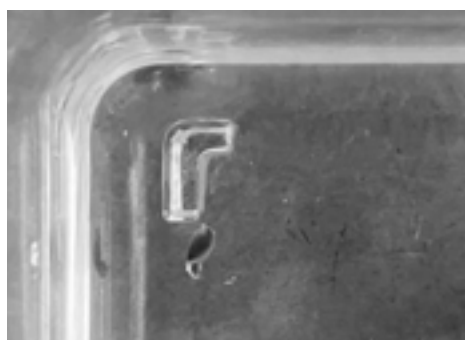


図10 縮んだプラナリア

(3) 光照射による温度変化の確認

5分間の照射ではほとんど温度変化が見られなかった。

表3 条件ごとの温度変化

370nm	850nm	1.45 μ m	暗闇
14.6	14.5	14.4	15.6
14.6	14.5	14.5	15.6

※単位は℃とする。

4. 考察

(1) の結果より、照射後アルミホイルで覆われていないところにいる個体数の平均値が何も光を当てなかったときより 370nm の紫外線 LED を照射したときの方が小さいことから、プラナリアはヒトが視認できる 370nm 紫外線 LED の光を認識して、それを避けるように移動したのではないかと考えられる。

また (1) と (3) の結果より、水温はこの実験に影響を与えていないと思われるので、プラナ

リアは少しだけヒトが認識できる 850nm の近赤外線 LED の光だけでなく、ヒトが全く視認することができない 1.45 μ m の遠赤外線 LED の光を認識して、それを避けるように移動したと考えられる。プラナリアが 2 種類の赤外線 LED に対して負の光走性を示した理由について以下のことが考えられる。

- ・ヘビ類がもつ熱を検知するピット器官のように、プラナリアの眼点とは異なる器官が赤外線 LED から放出された熱を検知した。
- ・眼点が赤外線カメラのように、赤外線 LED の光を受容した。

そして（２）の結果より、今回のように水中の微生物が通常の河川よりも少なければ、COD の値がコイやフナが生息する汚い水である水産 3 級のような値でも、有機物を消費して呼吸する微生物が少なく溶存酸素量が減らないので生き残ることができると考えられる。また、COD の値が低い水においてプラナリアが縮んだ理由は、普段飼育している水より有機物などの濃度が低い水に移し替えられたことが原因ではないかと考えられる。今後はその原因について追究していきたい。また、今回の実験で有機物として使用したグラニュー糖は自然の河川にはほとんど存在していないので、自然界に存在する別の有機物を使った実験を行えば今回の結果とは異なる結果が出る可能性もある。それについても今後調べていきたい。

5. 結論

プラナリアは、ヒトが視認できない赤外線も何らかの方法を用いて感知できる可能性があり、光源を避けて移動する。また、溶質の種類にもよるが、COD の値が高くても微生物が少なければ生き残ることができると考えられる。

6. 謝辞

本実験を行うにあたって、科学部生物班の顧問である小田中也先生、山本圭子先生には実験を行う上での助言や、実験器具の準備などをしていただきました。ありがとうございました。

なお、本研究では山口県立徳山高等学校科研費に助成していただいています。

7. 参考文献

環境省「水生生物による水質評価法マニュアル-日本版平均スコア法」

空の色はなぜ青いのか

黒川健登、扇結衣、高妻歩羽、水津權、光清颯悟

指導教諭 米本和生 有馬和宏

アブストラクト

私たちは、『空の色はなぜ青いのか』について調べるために、8月に福岡管区気象台にて合計3回ラジオゾンデによる観測を行った。気象台が公表している観測結果を基に、高度10400mまでの気温、湿度、気圧のデータを入手し、それぞれでの空の写真とデータを基に考察を行い、データ同士の相関性から現状では空の色に違いが出る理由は湿度や粒子状物質である可能性を導き出せ、それらの不純物が多いほど空の色が白に近くなると考えられた。だが、空の色が青い理由を断定できる根拠はなく、追観測を行いたい。

1. 研究目的

地上から見ると、空の色は図1のように青くみえる。だが、宇宙飛行士の撮った写真に映る月の空の色は図2のように黒く見える。地上からでも、夜になれば図2のような黒色の空を観測することができるが、月の空は太陽が見える見えない関係なく黒色に見える。これらの違いが出る原因は、地球大気で生じるレイリー散乱のためであることが実験によって示されている（霜田、1983）。レイリー散乱は、光が空気中の微小な分子や粒子によって散乱される現象で、特に波長の短い青色や紫色の光が強く散乱される性質を持っている。このため、昼間の地球の空は青く見える。一方、夕日や朝日が赤く見えるのは太陽光が地平線近くを通る時、長い距離を進むことで波長の長い光が主に残るためである。このように従来のコロイド溶液での実験（松井・三野、2020）では、直接的なものではなく間接的に空が青い理由が示されていた。

そこで、本研究では間接的にではなく直接的に空の観測をすることによって空の青さの理由を考えた。

また、生活の上で身近なものである空の色を研究のテーマに置くことで、普段の生活と科学との結びつきを強め、より普段の生活を豊かにできるのではないかと考え、本研究のテーマを決定した。



図1 地上から見た空



図2 宇宙から見た空

2. 研究方法の試行錯誤

私たちは、空の色を直接観測するために、カメラ、GPS、温度計、湿度計をつけたラジオゾンデを飛ばしたいと考えた。そのため、自分達で既存のラジオゾンデ（図3）に加えて、360°撮影することのできるカメラをつけたラジオゾンデを製作して、実際に飛ばすことを考えた。

しかし、重量や金額の面などでそのような装置を作ることは不可能だと考え、山口大学農学部 鈴木賢士教授の助言などによって、観測内容を考え直して、



図3 ラジオゾンデ

地上から見える同じ箇所での空の色と同時刻においての上空の気象データを日にちを変え、断続的に観測して、比較して考察するという観測方法に切り替えた。

3. 研究方法

私たちは、8月の午前8:30に福岡管区気象台にて、8月1日、8月8日、8月15日の合計3回、その日の空の青さや白さについて観測した。福岡管区気象台が公表している気温、気圧、湿度の3つの観測データを基にグラフを作成した。また、ラジオゾンデの打ち上げと同時刻・同地点から12MPの解像度のカメラを用いてレンズ補正（カメラでの明度・彩度の自動調節機能）をオフにして、全日とも同様の条件で南から天頂までが収まるよう撮影した。この3日間の画像をそれぞれ縦に3等分（上中下）し、それぞれの領域で雲などの遮蔽物を避けるように1点を選び、RGB値分解（コンピューターやスマホ、テレビなどで用いられる色を表すための方式の1つで、赤・緑・青の3つの原色の強度を数値で指定する方式）し、それら3点の平均をその日の空の色とした。また、それぞれの日の空の色をグレースケール変換して、各ピクセルの輝度値を取得した。また、空の色に関係ありそうなデータを用いて考察することで、空の色の変化と関わりのある要素、また、逆に関わりの薄い要素を観測することができるのではないかと考えた。

4. 結果

福岡管区気象台で観測した、8月1日のデータをA、8月8日のデータをB、8月15日のデータをCとする。図7のように撮影した3日間の画像（図4、図5、図6）をRGB値分解して見てみると、まず、赤の値に関しては、A, B, Cのいずれの日に関しても、あまり差は見られなかった。次に緑の値に関しては、AよりもB, Cの方が値が大きく、B, Cに対しては近い値であると読み取れた。青色の値に関しては、緑色同様AよりもB, Cの方が値が大きく、B, Cに対しては近い値であることが読み取れた。これらのことから、AよりB, Cの方が青色と緑色の数値が大きいことが読み取れた。図8のように三角グラフに落とし込むと、青色の強さは15日>8日>1日となっていることが分かる。また、画像をグレースケール変

換して、各ピクセルの輝度値で比較すると、Aは108、Bは136、Cは132とAよりB, Cの方が白色が強いということが読み取れた。図9、10のように気温、気圧に関しては、A、B、Cのすべてにまとまりが見られた。一方、図11のように湿度に関しては、高度1000mまでは、Aは上昇、B、Cはともに下降しており、高度2000mから高度6000mまでに関しては、Aは下降しているのに対して、B、Cはともに一度60%まで上昇したのち、下降していることがグラフより読み取ることができる。このように、AとB、Cでは、動きが異なっているが、B、Cにおいては、動きが似ているように見える。よって、湿度について見ると、 $A \neq B \approx C$ であると言える。また、湿度の値を詳しく見てみると、地上から高度10400mまでの湿度の平均値を出すと、Aは30.4%、Bは40.6%、Cは42.6%となることが読み取ることができた。このことから湿度平均値では $A \neq B \approx C$ という結果が得られることがわかり、他のデータと結びつけると、 $A \neq B \approx C$ となるのは輝度値と湿度だけである。RGB値での青色の強さも類似したものになっているが、 $B \approx C$ とは言えず、関係性は薄いと考えられる。



図4 (8/1)

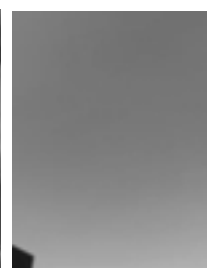


図5 (8/8)

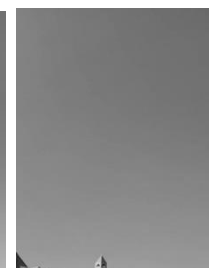


図6 (8/15)

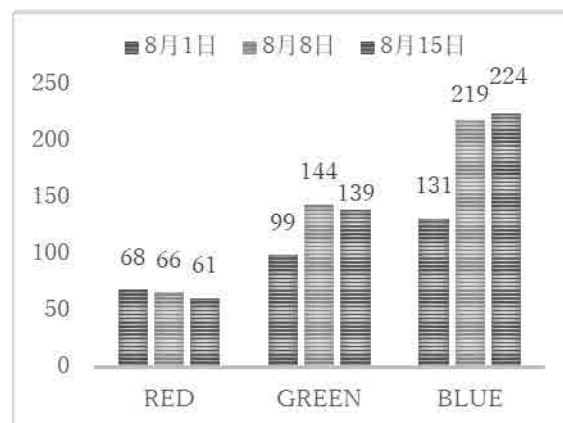
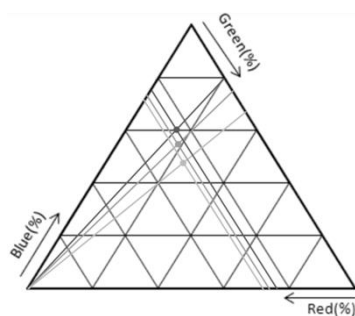


図7 各日のRGB値



下：8月1日
中：8月8日
上：8月15日

図8 RGB値の三角グラフ

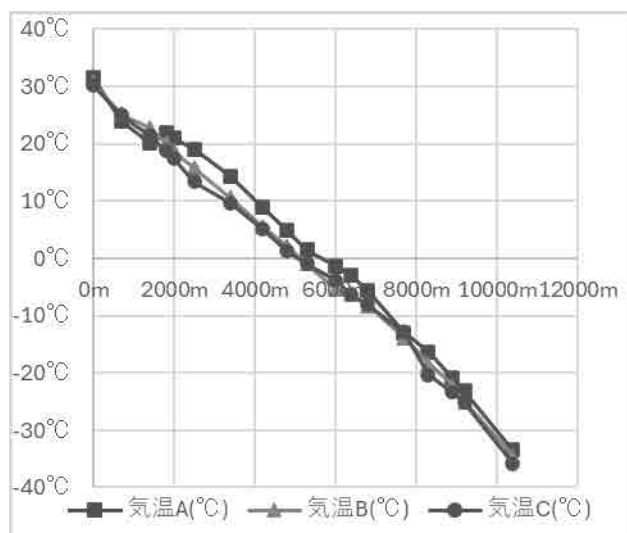


図9 各日の気温の変化

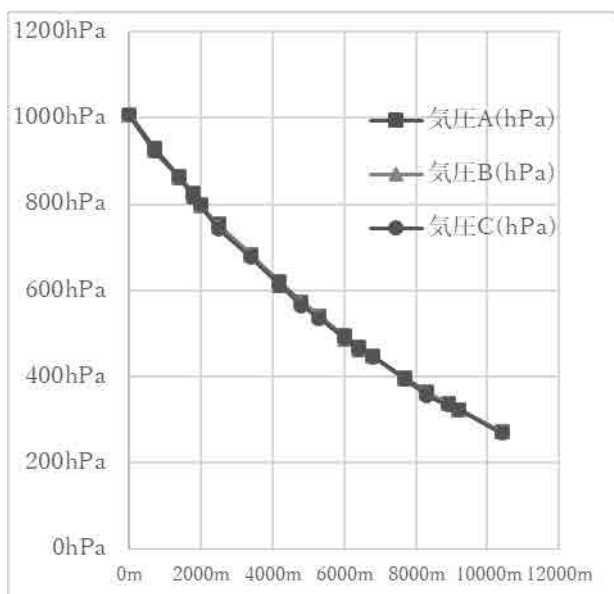


図10 各日の気圧の変化

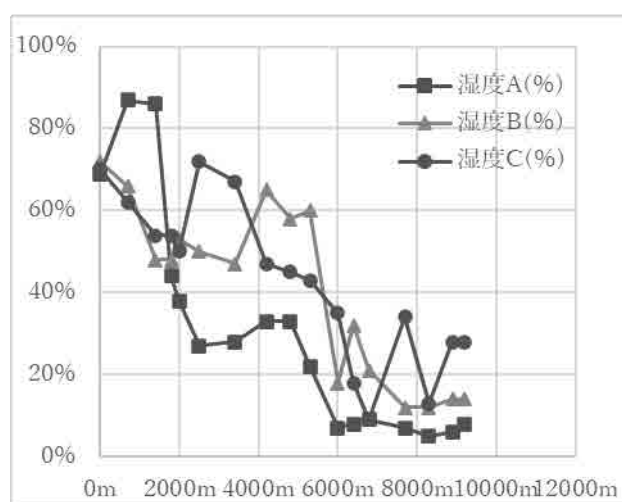


図11 各日の湿度の変化

5. 考察

私たちは、「空の色はなぜ青いのか」という研究テーマをもとに研究を行ったが、現段階では、明確な「空の色はなぜ青いのか」を決定付ける観測を行うことはできなく、上記の観測結果、論文等の参考文献から考察した。上記の観測結果からは、湿度が空の白色の強さに関係があるという示唆しか得ることができなかった。ただし、今回の観測データでは、気温、湿度、気圧を独立した数値として扱っており、それぞれの関係性（例：気温の上下により飽和水蒸気量も変化するため気温と湿度には相関性があると考えられること）などを考慮していないため、結果による考察もそれぞれのデータをただの数値として扱った一元的な視点のみに依存すると考えられる。そのため、さらに観測、実験を行う必要があると考える。

また、これらの観測結果から、湿度に関しては、空の色の白さの強さに関係があると考えられるが、気温、気圧に関しては、空の色に関係がないと考えることができる。また、AはB、Cよりも白色が弱く、湿度も低い、逆に白色が強いB、Cでは湿度も高いことから、白色の強さと湿度の高さの間には正の相関があると読み取れる。

また、今回の結果は、空の色の白さに関するもののみであると考えられ、本研究のテーマである「空

の色はなぜ青いのか」に関する結果には及ばなかった。

ここで、なぜ湿度が空の色の白さに関係するのかについて考察すると、湿度に関係するのは空気中の水蒸気の量であり、水蒸気を構成する水分子は、光の波長と比べ大きい粒子であると言える。これにより、数 μm 程度から100nm程度の大きさの粒子によって起こるミー散乱・100nm以下で波長の1/10程度の大きさの粒子で起こるレイリー散乱の現象について考えると、水分子で起きるのはミー散乱であると考えられる。今回の観測では、湿度が高い日の時にグレースケール変換した画像から白く見えていることからミー散乱によって白色が強く見られることが、本結果に由来したと言えるだろう。

また、今回はあまり深掘りすることはできなかったが、8月1日、8月8日、8月15日の午前8時における大気環境において、微小粒子状物質（PM2.5）と浮遊粒子物質に着目してみると、微小粒子物質（PM2.5）は、1日 $6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、8日 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、15日 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっており、浮遊粒子物質においては、1日 $0.016\text{mg}/\text{m}^3$ 、8日 $0.047\text{mg}/\text{m}^3$ 、15日 $0.32\text{mg}/\text{m}^3$ となっており、空の白色が強かった8日と15日においては、1日と比べて、どちらも濃度が高くなっている。そのため、人工的なものであれば、工場や自動車を使う燃料において、自然的なものであれば、黄砂等の土壌粒子や火山灰（風向が反対向きだったため考えにくい）、海塩粒子などによって空の色の白色の強さが強くなるのではないかと考えることができた。

6. 結論

本研究では、「空の色はなぜ青いのか」を目的として調査を行い、上記で記したとおり、8月1日、8月8日、8月15日に観測に観測したデータ（A、B、C）を分析し、空の色の变化と気象条件（気温、気圧、湿度）の関係性について検討した。その結果、湿度が空の色の白さに関与している可能性が示唆された一方で、気温と気圧においては空の色の変

化には影響を与えないと考えられた。特に湿度においては、AとB、Cでは異なる傾向が見られたが、BとCにおいては似た挙動を示していた。この結果から、湿度が高いほど空の色の白さが強くなる傾向が確認された。

また、これからの展望として、今回は空間を縦に切り取って、地上から上空の見え方について考えたが、地上から地上、つまり横方向に関する見え方の違いに関しても同じように観測を行いたい。また、本研究のテーマである、空の青さについても追観測、実験を行い、関わってくる要素を見つけたい。また、空気の不純物としてまとめているものと、そうでないものの違いとして、粒子の大きさを取り上げているが、それらを区別する上での境界線についても、今度は化学的な分野で研究を行いたいと考える。

7. 謝辞

本論文の作成にあたり、多くの方々にご指導ご鞭撻を賜りました。

山口大学農学部鈴木賢士教授には、本論文の作成にあたり、観測の助力や観測内容、方法の見直しについての適切なお助言を賜りました。

指導教官有馬和宏先生・米本和生先生には、終始適切なお指導を賜りました。

福岡管区気象台の方々には、気象台内での空の色の観測の助力だけでなく、多くのデータを提供していただきました。

ここに深謝の意を表します。

8. 参考文献

- ・霜田光一(1983)．「レーザー物理入門」．岩波書店．
- ・松井麗樹・三野弘文(2020)．「身近なコロイド水溶液を用いた夕焼け現象の再現実験—濃度別スペクトル計測とその評価—」．国際教養学研究．4, 187-194.

多肉植物の成長に適した条件

石村太一、藤本花果、山本春花、岡崎結羽
指導教諭 小田中也

アブストラクト

近年需要が増加した多肉植物について、増殖させるのに最も良い方法は何なのかという疑問を持ち、挿し芽という方法に注目した。異なる操作をした挿し穂を植え付けて2週間余り観察しその成長を調べた。その結果、水をやるタイミングについてはより早い段階で水をやった方がより成長する、という結果になった。また乾燥の方法により質量や長さの増加が変わってくるといった結果になった。これらの結果から、乾燥させずに水をすぐにやる、という方法が多肉植物の増殖には適しているのではないかと考えられる。

1. 研究目的

近年、新型コロナウイルス感染症による外出自粛の影響などを受けて、室内の景観の改善や酸素レベルの改善のために、多肉植物の需要は格段に増加した。世界の多肉植物市場規模は、2023年に51億2000万米ドルであると言われており、2032年までには210億3000万米ドルにまで達すると予想されている。このことから今後も多肉植物の需要は増加していく一方であると考えられる。

しかし、多肉植物の栽培には難しい点も多く、枯らしてしまうというような事態が十分に有り得る。また、多肉植物の栽培についての情報は、書いてある本によって、またはネット上の記事によって異なっている。

そこで我々はどのような条件下だと多肉植物がより成長しやすいのか、条件を変えることで成長の仕方に変化はあるのか、などといったことを、多肉植物を効果的に増殖する方法の一つである挿し芽をした際の発芽に注目していくつかの条件を設けて実験することで調べることにした。

2. 研究方法

(1) 多肉植物

本実験には、一般的な多肉植物の品種である市販のセダム属フクリンマンネングサを使用し、多肉植物の茎を植え付けて子株として育てる、挿し芽とい

う方法で実験することにした。

(2) 挿し芽の方法

フクリンマンネングサ4株を親株とし、それぞれ茎を4cm程度で3本ずつ切り取り、土に植えた際にそのままでは地下に埋まる葉をピンセットで取り除き、挿し穂とする。12本の挿し穂のうち6本は2日間乾燥させる。そのうち3本は紙コップの中で立たせて乾燥させ(A1・A2・A3)、残りの3本は寝かせて乾燥させる(B1・B2・B3)。乾燥させない6本のうち、3本は土に植え付けて7日後に水をやり(C1・C2・C3)、残りの3本は植え付けた直後に水をやる。乾燥させた6本は植え付けて7日後に水をやる(D1・D2・D3)。(表1)

表 1

	乾燥	水やり
A	立たせる	7日後
B	寝かせる	7日後
C	なし	7日後
D	なし	すぐに

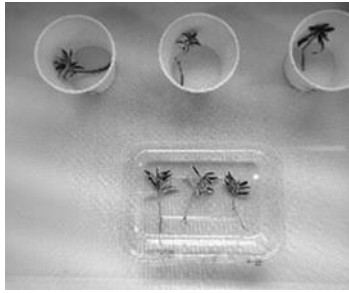


図1 挿し穂を乾燥させる様子上から順にA, B



図2 挿し芽を植え
付けた後の様子
上から順にA・B・C・D



図3 植え付けから17日
後の様子
右から順にA・B・C・D

(3) 経過観察

本実験では、AからDまでの挿し穂を植え付けた日から12本の挿し穂をスマートフォンで撮影し、実験場所の室温と湿度を午後4時頃に計測した。なお、植え付けた日から4、5、11、12、13日目は休日のため計測していない。また、植え付けた日を1日目として数え、1日目にDの3本に、7日目にAからCの9本に鉢底から水が出るくらいの量の水をやった。

(4) 計測

A、Bの挿し穂は乾燥させる前に、C、Dの挿し穂は植え付ける前に、地下に埋まる葉を取り除き、挿し穂の長さを定規で測り、質量を電子はかりで計測し、葉の枚数を数えた。また、AからDまでの挿し穂を植え付けた日から17日目に子株の全長と、根を含めないときの長さを定規で計測し、土を落としたときの質量を電子はかりで計測し、葉の枚数を計測した。

3. 結果

(1) C、Dの挿し穂

CとDを植え付ける前と植え付けて17日経過した後に質量、長さ、葉の枚数を計測し、その差を計測することで成長について調べた。全般的な変化を表2に、そのうち質量の変化については図4に、また長さについては図5に示す。

Dと比べてCのほうが質量、長さの減少がともに顕著であった。

表2 C、Dの子株の変化の平均値

	C	D
質量(g)	-0.05	0.00
全長(cm)	0.03	1.07
根を除く長さ(cm)	-0.13	0.57
葉の枚数(枚)	1.00	1.67

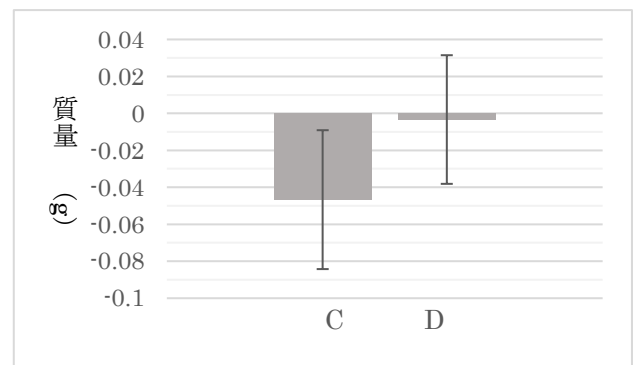


図4 C、Dの質量の変化の平均値

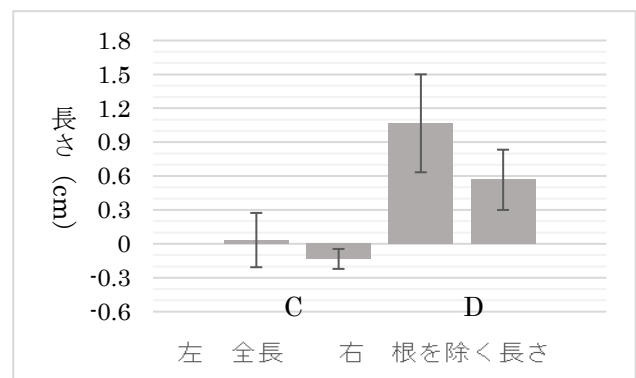


図5 C、Dの長さの変化の平均値

(2) A、B、Cの挿し穂

A、B、Cを植え付ける前と植え付けて17日経過した後に質量、長さ、葉の枚数を計測し、その差を計測することで成長について調べた。全般的な変

化については表3に、質量の変化については図6に、長さの変化については図7に示す。

同じ条件下であっても質量や長さが増加した子株もあれば、減少した子株もあり、結果にばらつきが見られた。全般的にA、B、Cのほとんどの子株の質量が減少していた。A、Bの子株は、根を含めた長さが大きく増加していた。

表3 A, B, Cの子株の変化の平均値

	A	B	C
質量(g)	-0.05	-0.02	-0.05
全長(cm)	1.00	0.97	0.03
根を除く長さ(cm)	0.20	-0.57	-0.13
葉の枚数(枚)	0	1.00	1.00

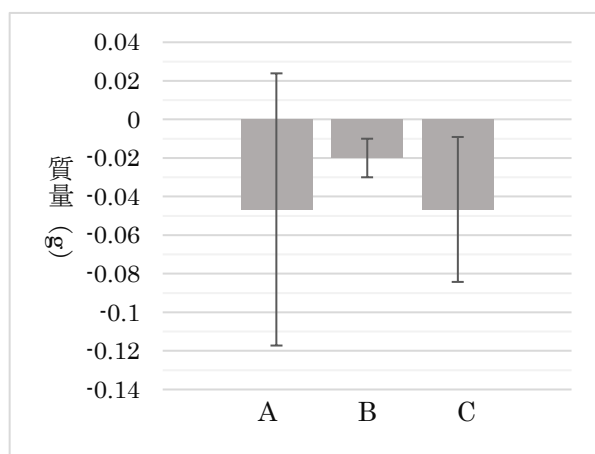


図6 A, B, Cの質量の変化の平均値

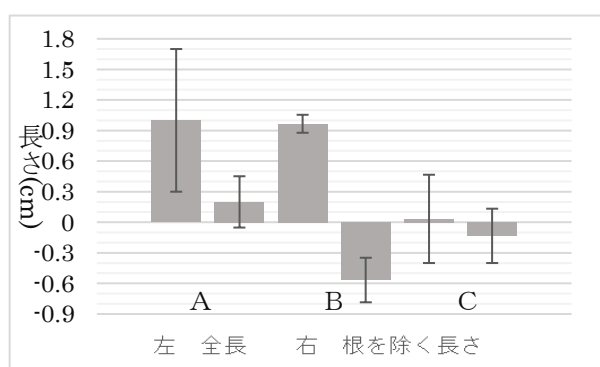


図7 A, B, Cの長さの変化の平均値

4. 考察

挿し穂が成長することで、質量や長さが増加するのではないかと仮説を立てていたが、質量・長

さとも減少した子株が多く見られた。その理由について以下のように考察した。

(1) C, Dの挿し穂

結果から、乾燥しない条件下だと、水やりはすぐに行った方が質量や長さの増加が見られた。このことから、水をすぐにやったほうが多肉植物は質量や長さとも増加しやすいのではないかと考えられる。またその理由として、成長するためには早い段階に多くの水が必要であり、先に水をやったDの挿し穂の方がより早い段階から成長できた可能性がある。

(2) A, B, Cの挿し穂

結果から、A、Bの子株の長さの増加が大きかった理由としては、A、Bを乾燥させたことにより、より根の伸びが促進された可能性が考えられる。また、A、Bを比べてみると立てて乾燥させたAの方が根を除く長さは伸びているが、質量の面では、寝かせて乾燥させたBの方が減少の度合いが低い。これらのことから、乾燥の方法によって茎または根のいずれかの方がより増加するかということが変わってくる、という可能性も考えられる。しかしA、Bでは、乾燥したあとの挿し穂の質量や長さを測っていないため、乾燥することによって質量や長さが減少した可能性があり、今後さらに実験を行って確かめる必要がある。

5. 結論

本実験は挿し芽という多肉植物の適切な増殖方法を調べるという目的で行ったが結果からは、子株を乾燥させる場合には乾燥の方法によって質量が増加するか長さが増加するかが変わってくることが分かり、また乾燥させない場合には水はすぐにやったほうが、質量・長さともに増加し早く成長することが分かった。これらのことから、多肉植物の増殖の際には子株は乾燥させずに、植え付けの後に日を置かずに水をやった方がより成長するのではないかと考える。

6. 展望

今後は、根が出ているにも関わらず植え付け前から質量が減少した理由や、質量や長さ以外の観点か

らも植物の成長について調べたい。

今回の実験は多肉植物のうち一種のみでの実験になってしまったため、今後は違う季節に成長する他の種を用いた実験や、更に条件を変えた実験、多肉植物を増殖する他の方法を用いた実験などを行い、より多肉植物の成長について調べていきたい。また今回は各実験の期間が2週間余りと、短かったため、実験の期間を伸ばしてより長期的な視野で成長を観察することも今後行っていきたい。

7. 謝辞

今回の実験研究を行うにあたって、理想的な実験方法が思いつかなかったときに、様々な助言や実験方法の見直しについてアドバイスしてくださり、時間を割いてお力添えいただいた小田先生をはじめ、お世話になった先生方に感謝いたします。

8. 参考文献

- 1)「基礎の基礎からよくわかる はじめての多肉植物 育て方&楽しみ方」国際多肉植物協会監修,ナツメ社,2022 年
- 2)「はじめての多肉植物 育てる・ふやす・楽しむ」オザキフラワーパーク監修,新星出版社,2023 年
- 3)「sol×solがおしえる 多肉植物育て方ノート」松山美紗監修,河合書房新社,2017 年
- 4)「多肉植物市場規模、シェア、成長、タイプ別 (アイゾ科、サボテン科、ベンケイソウ科、キョウチクトウ科、トウダイグサ科など)、アプリケーション別 (家庭用および商業用)、Covid-19 の影響、最新トレンド、セグメンテーション、推進要因による世界の産業分析、阻害要因、主要な業界プレーヤー、地域の見通し、2025 年から 2025 年までの予測 2033 年」