

令和5年度 SSH研究成果報告会（3期目第1年次）研究テーマ一覧

リージョナルサイエンスII（RSII）

対象生徒：理数科・普通科2年（76名）

講座	班番号	担当教員	研究タイトル	ページ
A 基礎理工講座	1	二宮	桜の開花日の予測と気象条件	31
	2	松岡	段ボールの形状の違いによる避難所での防音効果	35
	3	長瀧	牛鬼に金棒！！ ～腕を振るだけで悔いは残らないのか～	39
	4	中村	パンタレイ風車の効率化 ～風の有効活用～	43
	5	二宮	画像解析による気象予測	47
	6	中村	扇風機の羽の形状による音の変化	51
B 生命環境講座	7	吉良	Renewal Fiber from Thinning Mandarin ～摘果みかん由来再生繊維の強度アップを目指して～	55
	8	窪地	ブラッドオレンジに含まれるアントシアニンの機能性評価	59
	9	蒲池	試験管に付着したゴム状硫黄の除去 ～コストダウンと完全除去率100%への道～	63
	10	藤岡	牡蠣殻コンクリートで人類を救おう！	67
	11	吉良	四万十川における農業排水による濁水化の改善 ～より効果的な凝析効果の研究～	71
	12	蒲池	電気分解における陽極銅の形状変化とその条件	75
C 総合科学講座	13	中尾	目指せ！貝類による辰野川の水質改善	79
	14	谷田	粘着力測定器の作成	83
	15	岩村	イシマキガイが導く水質の可視化	87
	16	林	挿し木による固有種トキワバイカツツジの保全	91
	17	中尾	肥料と宇宙食への道 ～アコヤガイパウダーの可能性は無限大～	95
	18	松岡	愛媛県の石（エクロジャイト）を用いたサウナの熱効率	99

桜の開花日の予測と気象条件

2年4組 児玉 滯 2年3組 戸田 周利
 2年3組 西田 弘道 2年3組 林 勇吹
 指導者 二宮 政人

1 課題設定の理由

桜(ソメイヨシノ)の開花日を予測するにあたり、600℃の法則と400℃の法則というものがある。¹⁾これは2月1日からの日々の最高気温を足して600℃になった日に桜が開花するという説と、同じく2月1日からの日々の平均気温を合計して400℃になった日に開花するという説である。これが宇和島市をはじめ、全国の各地点で成り立つのか疑問に思いこの研究を行うことにした。また、梅と桜はどちらもバラ科サクラ属であり、よく似た花であることから、私たちは梅と桜の何らかを関連付けて、600℃説や400℃説のように分かりやすく、より正確に桜の開花日を予測できるのではないかと考えた。

2 仮説

- (1) 600度説は東京で発表されたものなので全国では成り立たないと言えるのではないかと。
- (2) 400度説も同様に全国で成り立つとは言えないのではないかと。
- (3) 桜よりも先に開花する梅の花と関連付けて桜の開花日を予測できるのではないかと。

3 研究方法

(1) 気象庁のホームページの過去の気象データ²⁾を用いて、2月1日から桜の開花日までの最高気温、平均気温、最低気温を調べ、エクセルにコピーし、それぞれ合計する。この過程を室蘭、青森、長野、東京、京都、鳥取、宇和島、長崎の8都市で行い、1995年から2022年までの28年間分を繰り返して合計気温をグラフに表し、その地点で600℃説が成り立つかどうかを調べる。宇和島市の桜の開花日のデータが28年間分しかなかったため、それに合わせてすべての地域で統一した。

日	現地		合計		最大		平均		最高		最低		湿度(%)		風向・風速(m/s)		日照時間(h)	降雪(日)	
	平均	合計	1時間	10分間	平均	最大	平均	最小	平均	最大	平均	最小	平均	最大	平均	最大			
1	10211	10229	---	---	6.1	12.9	0.2	6.0	4.2	8.5	11.4	西北西	15.6	西北西	2.5	2.5	2.5	2.5	
2	10226	10245	---	---	6.1	10.5	0.4	5.8	4.5	7.8	10.0	西北西	13.0	西北西	6.3	6.3	6.3	6.3	
3	10200	10218	0.5	0.5	6.6	9.8	4.1	6.4	4.1	2.9	9.3	西北西	13.7	西北西	2.5	2.5	2.5	2.5	
4	10179	10197	---	---	6.1	10.1	2.2	5.8	4.0	5.4	11.9	西北西	16.4	西北西	7.7	7.7	7.7	7.7	
5	10188	10206	1.0	1.0	6.2	7.4	1.3	6.5	4.4	9.4	16.8	西北西	22.9	西北西	1.8	1.8	1.8	1.8	
6	10223	10242	0.5	0.5	6.1	5.7	1.8	5.9	4.3	7.4	12.1	西北西	19.6	北西	2.7	2.7	2.7	2.7	
7	10233	10251	---	---	4.3	8.9	-0.9	6.8	4.9	1.8	4.7	西北北	6.7	西北北	0.9	0.9	0.9	0.9	
8	10214	10232	1.0	1.0	6.5	4.7	2.0	7.8	4.8	1.7	4.5	西北西	5.6	西北西	0.5	0.5	0.5	0.5	
9	10203	10221	0.0	0.0	6.7	12.2	0.1	7.7	4.5	1.8	4.2	西	5.4	西	5.8	5.8	5.8	5.8	
10	10189	10187	3.0	1.0	7.9	12.0	4.3	9.1	5.6	2.3	7.1	北西	10.7	北西	2.0	2.0	2.0	2.0	
11	10204	10222	---	---	7.9	14.0	2.2	7.2	3.7	3.9	10.7	西北西	12.7	西北西	9.4	9.4	9.4	9.4	
12	10209	10227	0.0	0.0	8.2	13.5	3.3	7.2	5.1	1.6	4.7	西北西	5.8	西	2.0	2.0	2.0	2.0	
13	10153	10171	3.0	1.0	6.5	8.8	10.8	7.7	8.8	7.5	1.9	5.7	北北東	8.5	北北東	0.0	0.0	0.0	0.0
14	10147	10165	---	---	6.5	14.6	4.3	7.7	5.4	1.9	4.9	西北西	6.2	西	6.2	6.2	6.2	6.2	
15	10154	10173	---	---	7.4	13.8	1.9	6.6	4.2	4.2	13.9	西北西	20.8	西北西	6.6	6.6	6.6	6.6	
16	10184	10182	0.0	0.0	6.0	5.5	7.4	2.8	5.6	4.4	9.9	16.6	西北西	22.8	西北西	2.6	2.6	2.6	2.6
17	10203	10221	0.0	0.0	6.2	8.2	-0.6	5.8	3.7	8.2	16.0	西北西	22.9	西北西	5.7	5.7	5.7	5.7	
18	10281	10280	---	---	4.1	10.7	-1.4	6.3	3.6	2.3	5.6	西	7.2	西	8.5	8.5	8.5	8.5	
19	10188	10186	8.0	2.0	6.5	6.9	9.4	3.0	8.2	6.0	2.1	4.2	北北東	7.0	北北東	0.0	0.0	0.0	0.0
20	10150	10170	0.5	0.5	6.9	7.3	2.9	6.4	4.2	6.8	13.7	西北北	19.6	北北東	2.1	2.1	2.1	2.1	
21	10243	10262	---	---	4.8	7.8	2.4	4.8	3.6	6.2	12.1	西北北	18.0	北北東	6.6	6.6	6.6	6.6	
22	10256	10274	---	---	5.2	9.2	0.8	5.0	3.0	6.9	14.1	西北北	21.5	北北東	7.3	7.3	7.3	7.3	
23	10256	10275	---	---	4.0	8.2	-0.1	6.0	5.0	2.6	8.5	西北北	12.1	北北東	0.0	0.0	0.0	0.0	
24	10249	10267	---	---	4.0	8.7	0.0	5.8	3.8	3.8	10.3	西北北	13.8	西北北	9.8	9.8	9.8	9.8	
25	10244	10262	---	---	4.5	11.0	1.5	6.4	3.5	2.5	8.3	西北北	10.3	西北北	8.4	8.4	8.4	8.4	
26	10209	10227	---	---	6.0	13.5	-0.7	6.4	2.9	2.3	6.6	北西	7.7	北西	10.3	10.3	10.3	10.3	
27	10183	10201	---	---	8.0	13.7	2.1	5.9	2.6	3.8	10.3	西北北	13.4	西北北	7.9	7.9	7.9	7.9	
28	10209	10227	---	---	7.7	14.8	0.0	6.1	4.0	2.3	6.3	北西	7.7	北西	8.1	8.1	8.1	8.1	

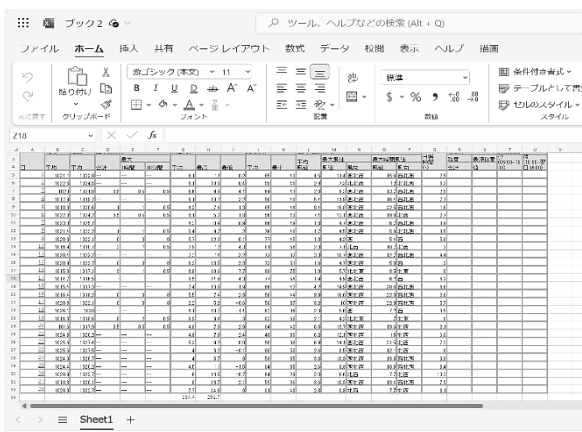


図1 気象庁ホームページ

- (2) (1)と同様に、気象庁のホームページの過去の気象データ²⁾を用いて、各地点の2月1日から桜の開花日までの平均気温を調べその地点で400℃説が成り立つかどうかを調べる。
- (3) 各地点の梅の開花日を気象庁ホームページ²⁾から調べ、エクセルにコピーし、データを集計して桜の開花日との規則性の有無を調べる。

4 結果と考察

(1) 600°C説

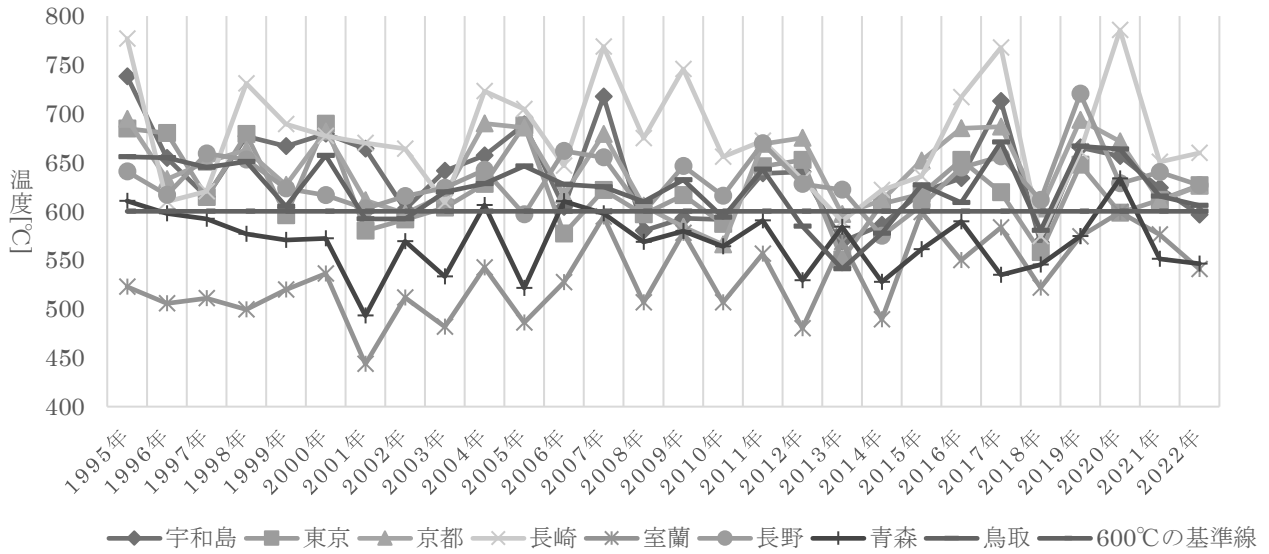


図2 2月1日から桜の開花日までの最高気温の合計（28年分）

全国各地の桜の開花日と日々の最高気温の合計との関係調べた結果、600度説は成り立つとは言えなかった。東京に近い場所ほど600度からの差が小さかった。意外なことに、宇和島市では、東京都から離れているにも関わらず、東京都と非常に似た結果が得られた。この理由をはっきりとはわかっていないが、宇和島市の温暖な気候が関係しているのではないかと考えている。グラフを読み取ると、数年に一度、合計気温が一か所に固まる年がある。これはエルニーニョ・ラニーニャ現象が関係していると考えられる。

(2) 400度説

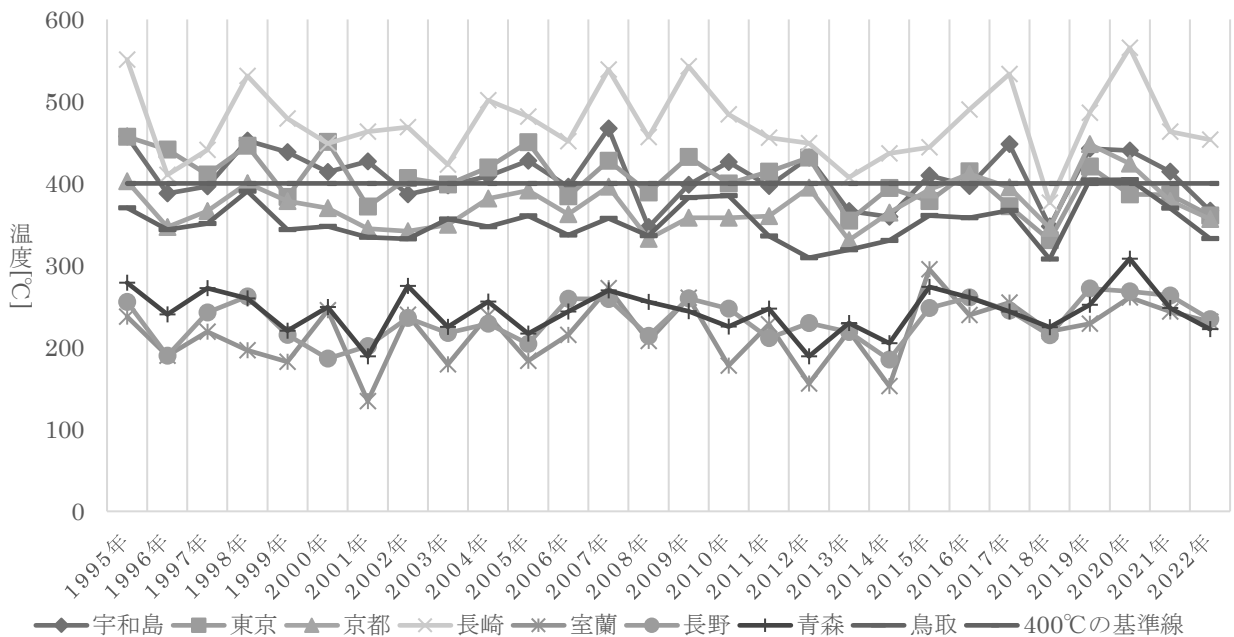


図3 2月1日から桜の開花日までの平均気温の合計（28年分）

図3を見ると、各県の折れ線の形はどの県も似ており、平均気温の上下するタイミングはどの県も同じだということがわかる。600℃説と同様に、東京都から離れるほど400℃からの差が大きくなっている。東京都では毎年400℃からの差は小さく、これらの気温の平均を取ると約400℃となるため、400℃説は概ね成り立つと言える。また図3から、それぞれの県の気候によって、基準となる気温も変わるのではないかと予想した。青森、長野、室蘭はほかの5地点から大きく外れており、これらの場所では基準は低くなると考えられる。

(3) 梅の開花日との比較

梅の開花日から桜の開花日までの差を箱ひげ図(図4)と表1にまとめる。宇和島市の梅の開花日のデータは得られなかったことから、梅の開花日との比較はそれ以外の地点で行った。図4を見ると、室蘭と青森の2地点で、梅の開花日から桜の開花日の差の最小値が負の値になることがあるとわかる。このことから、気温の低く、北のほうに位置する地域では梅よりも桜が早く咲くことがあると言える。青森以外はどのデータも梅の開花日から桜の開花日までの差の最小値と最大値の差が大きく、梅の開花日と桜の開花日の関係性は見られなかった。

ここで青森県の結果に注目すると、青森県では、梅の開花日から桜の開花日までの差は桜の開花日が梅の開花日を追い越した年を除き、最短で同日、最長で7日という結果になった。このことから、青森の桜は梅の開花から一週間以内に開花するといえるのではないかと考えた。また、最大値と最小値の中央値からの差は、ほかの県と比較すると最も小さく、どちらもほぼ同じくらいの数値となった。そのため、青森県では梅の開花日を用いた桜の開花日の予想が可能ではないかと考察した。

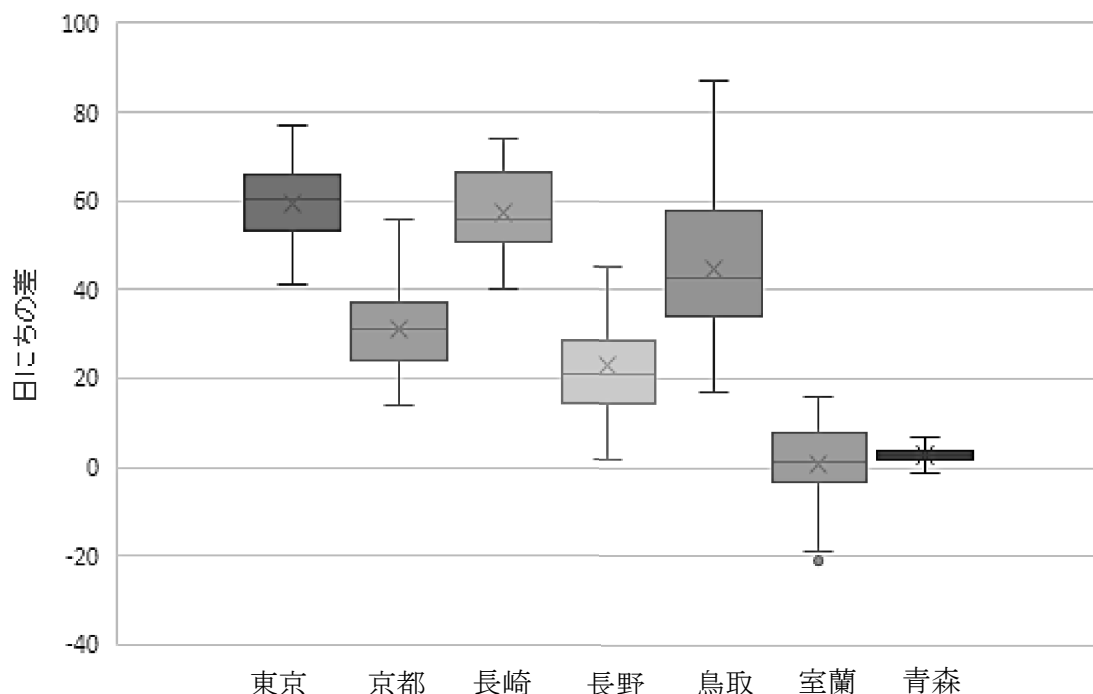


図4 梅の開花日から桜の開花日までの差 (箱ひげ図)

表 1 梅の開花日から桜の開花日までの差

	平均（日数）	最大値（日数）	最小値（日数）
室蘭	1.0	16	-21
青森	2.9	7	-1
長野	22.8	45	2
東京	59.3	77	41
京都	31.0	56	14
鳥取	44.7	69	17
長崎	57.5	74	42

5 まとめと今後の課題

この研究によって、桜の開花日の予測方法である 400°Cの法則と 600°Cの法則は、東京都では概ね成り立つことが明らかになったが、他の地域では東京都から離れていくにつれ、誤差が大きくなっていくことがわかった。また、今回は青森県での法則性を見つけることはできたが、日本のどの地点においても共通して言える規則性を見つけることはできなかった。しかし、考察と分析をさらに重ねれば規則性を見つけることができるかもしれないため、今後も粘り強く検証を行っていきたい。本研究では、休眠打破(花の芽が春先に咲くために成長するには冬の寒さが必要で、この寒さが植物の眠りを覚ますこと)があることを考慮出来ていなかったため結果が思うようにいかなかったのではと考えている。また、狂い咲き(風害や虫害などで異常落葉が起こり、休眠誘導物質の分泌がなくなって、さらに高気温が続くことで芽が休眠状態にならないで成長を開始して開花するといわれている)などの特殊な条件は複雑になるので考慮しなかった。桜の休眠打破の条件は 3~8°C³⁾と厳しいことからどの都市の桜もほとんど差がないグラフが作られるのに対して、梅の開花の条件は 0~12°Cとかなり優しい⁴⁾ので休眠打破の時期がずれることも結果に大きな差ができてしまった要因だと思う。今後、梅の休眠打破を詳しく取り入れたグラフを作り、今回よりも精度の高いデータを集めたい。

参考文献

- 1) ウェザーニュース 2018/2/20 (<https://weathernews.jp/s/topics/201802/150105/>)
- 2) 気象庁ホームページ <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 3) 青野靖之. 温度変換日数法によるソメイヨシノの開花に関する気候学的研究. 大阪府立大学 学術情報リポジトリ. 1993
- 4) 青野靖之 佐藤和美. 休眠解除過程を考慮した西日本におけるウメの開花日の推定. https://www.jstage.jst.go.jp/article/agrmet1943/52/2/52_2_125/_pdf/-char/ja

段ボールの形状の違いによる避難所での防音効果

2年4組 高田 剣志 2年3組 中西 玲雄
2年3組 吉岡 大我 2年4組 大加田元輝
指導者 松岡 拓哉

1 課題設定の理由

近年、地震や大雨などの自然災害が多くなっており、被害が深刻な場合は避難所生活が余儀なくされる。この際、パーソナルスペースの確保のために、段ボールなどで作成したパーテーションが使われているが、隣の区画の赤ちゃんの泣き声や人の話し声が聞こえてくるなどの騒音問題が発生している。防音が十分にできない原因は、段ボールを透過してくる音の影響と同時に、パーテーションには屋根がないため、上部を回折して伝わってくる音の影響も大きいと考えられる。そこで我々は、段ボール上部の形状に変化をつけることで、音の回折を低減し、防音性を高められるのではないかと考えた。

2 仮説

濱田ら(2022)^[1]の研究では、段ボール内部の構造を変えることで防音性を高めようと試みていた。結果として、中周波域・高周波域の音に対しては防音効果がみられたものの、低周波域の音に対する成果はあげることができなかった。我々はこの原因が段ボールの上から回り込んでくる回折音の影響が大きいために、内部構造の変化だけでは低周波域の音を軽減できなかったのだと考えた。そこで、高速道路の防音壁の形状(図1)を参考に、段ボールの上部の形を変えることで、回折音を防ぎ、防音性を高めることができるのではないかと考える。



図1 高速道路の防音壁

3 研究内容

回折音の低減に適した段ボールの形状を効率的に見つけるため、まずは、シミュレーションソフトを用いて回折を防ぐことができるとともに、簡易性にも優れたパーテーションの形状について検討する。その結果をもとに、実際に段ボールでパーテーションを再現し、測定実験を行う。

4 シミュレーション実験

(1) シミュレーションの概要

従来の段ボールのまっすぐな形状(ストレート)と、段ボール上部の形状を高速道路の防音壁のように曲げたかもめ型、ストレートの上部に小さな屋根をつけたT字型について、それぞれ3分の1のスケールでモデル化したものを作成し、壁の上部を回折して伝わる音の音圧をそれぞれ測定・比較する。今回は、愛媛大学の中畑教授にご協力いただき、「SWAN21」というシミュレーションソフトを用いて、男性の話し声と女性の話し声の2つの周波数に分けてシミュレーションを行う。

(2) シミュレーション条件

避難所を宇和島東高校体育館と想定し、宇和島市のホームページ^[2]の情報をもとに以下の条件を設定した。ただし、後に3分の1スケールで実験を行うため、全ての条件を3分の1でシミュレーションを行う。用いる周波数は、男性の話し声が約500Hz、女性の話し声が約1000Hzであるが、波長も3分の1にする必要があるため、周波数を3倍にし、男性の話し声を500Hzか

ら 1500Hz に、女性の話し声を 1000Hz から 3000Hz に変更した。一世帯に与えられる床面積は、宇和島東高校体育館の収容面積と収容人数から算出したところ、8 m²であった。よって、声を発する人と声を受け取る人の双方が一边 2.8mの正方形の中心にいて、壁からの距離は 2.8m/2=1.4m とした (図 2)。

また、避難所のパーテーションの高さは 1.4m~ 2.0m とばらつきがあるようだが、3分の1スケールで実験を行うことから、3で割り切れる 1.8m に設定した。発音点、測音点の高さは、国土交通省^[3]が発表している男子、女子の平均座高のデータより、男子の平均座高と女子の平均座高を平均して 87cm とし、壁の材質は、段ボールと似た素材であるセルロースと設定した (図 3)。

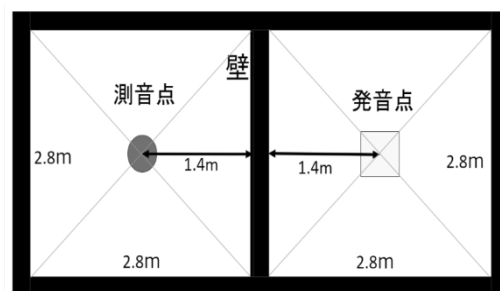


図 2 条件を上から見た図

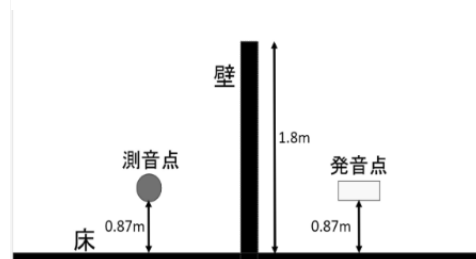


図 3 条件を横から見た図

(3) シミュレーション結果と考察

シミュレーションの様子を以下に画像で示す。画像を見ると、回折音を低減する効果は T 字型 (図 6)、かもめ型 (図 5)、ストレート (図 4) の順に高いことが分かる。

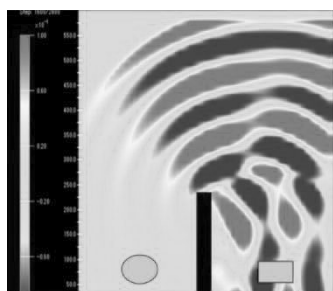


図 4 ストレート

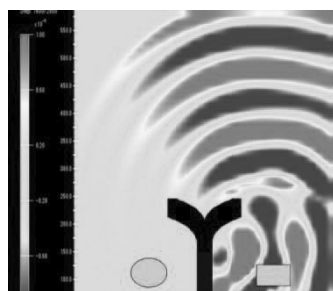


図 5 かもめ

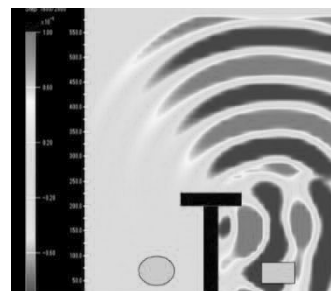


図 6 T字

また、シミュレーション結果をグラフにまとめたものを以下に示す。1500Hz (図 7)、3000Hz (図 8) とともに上部に変化を施したかもめ型・T字型がストレートに比べ、回折音を防ぐ効果が高いことが分かり、音が回り込みにくい構造だと言える。また、グラフの最大音圧に着目してみると、特に T 字型が最も効果が高いことが分かった。ストレートに比べ 1500Hz では 2 倍程度、3000Hz で 3 倍程度回折音を軽減する効果が期待できることが分かった。

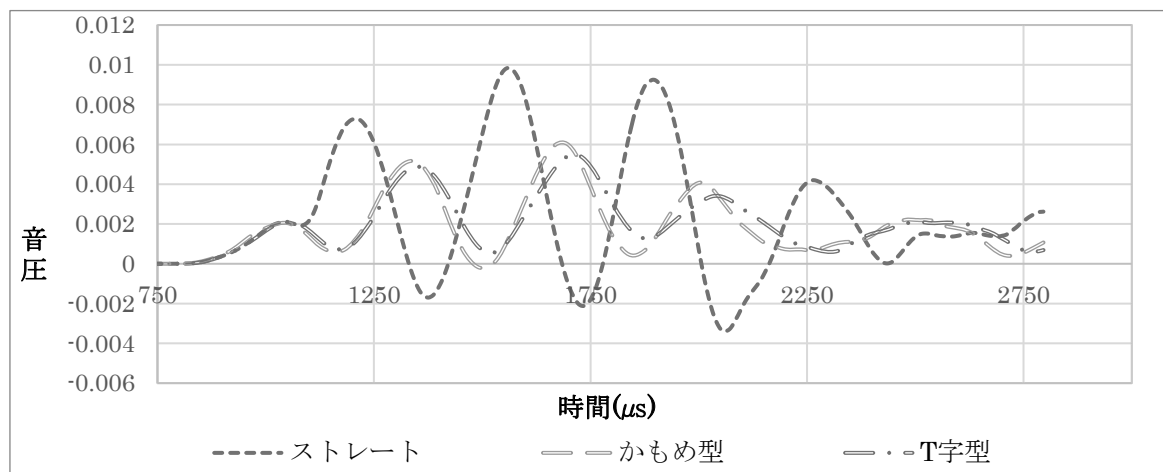


図 7 1500Hz

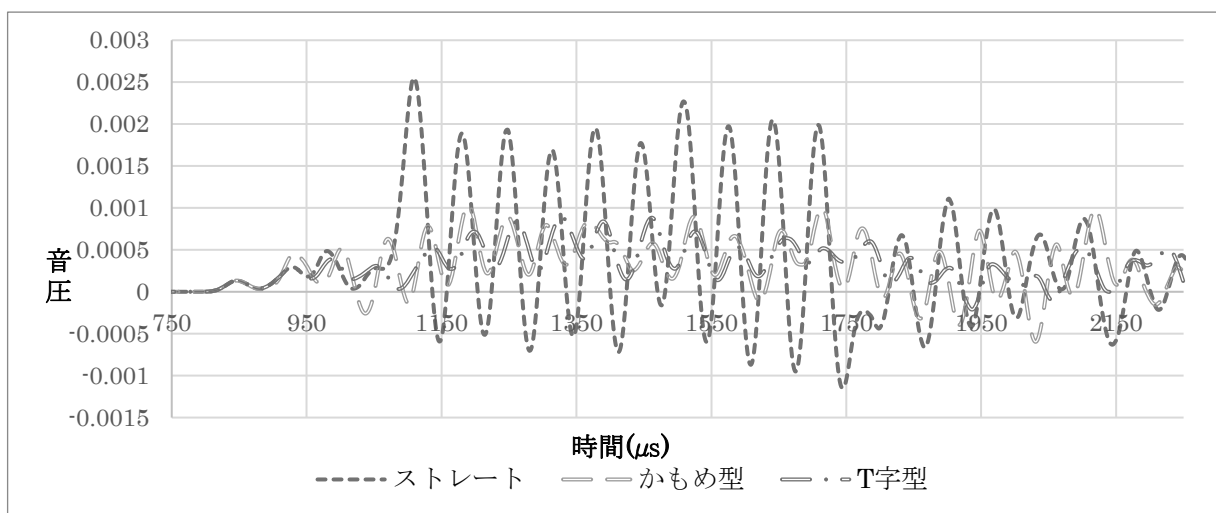


図 8 3000Hz

5 測定実験

(1) 測定実験の概要

シミュレーションを行った結果から、回折音の低減効果および簡易性に優れた T 字型に焦点を当て、実験を行う。T 字型の壁と屋根との接合にはアルミ線を用いる。なお、屋根の長さの違いによる回折音の低減効果についても調べるため、上部の板の長さを 0 cm (ストレート)、20cm (片側 10cm)、30cm (片側 15cm)、40cm (片側 20cm) と変化させる。周波数をそれぞれ 1500Hz、3000Hz とし、実際の音圧レベル [dB] についてそれぞれ 3 回ずつ測定を行い、比較する。



図 9 測定実験の様子

(2) 測定実験の条件

シミュレーション条件で示した設定の 3 分の 1 のスケールで測定実験を行う。発音点と測音点の高さを 29cm、壁の高さを 60cm、壁と発音点・測音点の距離を 47cm とする。実験は、宇和島東高校放送室で行い、発音器には PC 用音波発生ソフト「発音」、測定器にはスマートフォン用アプリケーション「sonic tools」を使用する (図 9)。

(3) 測定実験の結果と考察

測定値を平均した結果を表 1 に示す。結果から、1500Hz では 60dB 台から 50dB 台まで音圧レベルが下がり、これは普通の会話程度から静かな事務所程度まで騒音レベルを軽減することができたと言える。また、3000Hz では 50dB 台から 40dB 台まで音圧レベルが下がり、これは静かな事務所程度から図書館程度まで騒音レベルを軽減することができたと言える。

表 1 音圧レベルの測定結果

屋根の長さ	1500Hz	3000Hz
0cm	65.1dB	58.8dB
20cm	64.9dB	55.8dB
30cm	60.1dB	48.1dB
40cm	57.2dB	48.2dB

次に、より正確な考察を行うため、音圧レベルを音圧に変換する。音圧レベルと音圧の間には次の関係式が成り立つ。

$$D=20 \log_{10} \frac{P_1}{P_0} \quad (\text{音圧レベル } D \text{ [dB], 音圧 } P_1 \text{ [Pa], 基準音圧 } P_0 \text{ [Pa]})$$

屋根の長さと言圧の関係を表したグラフを以下に示す。

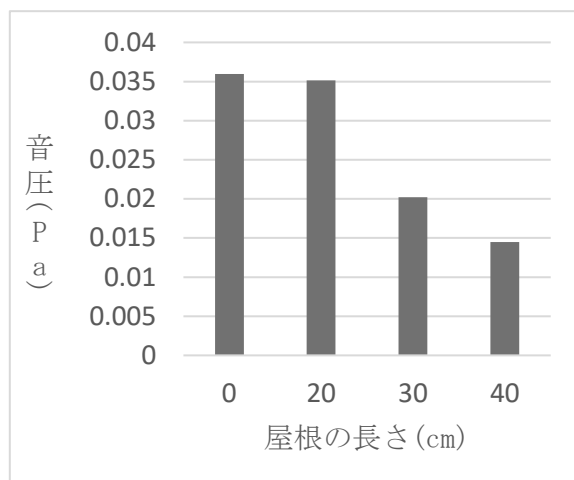


図 10 1500Hz

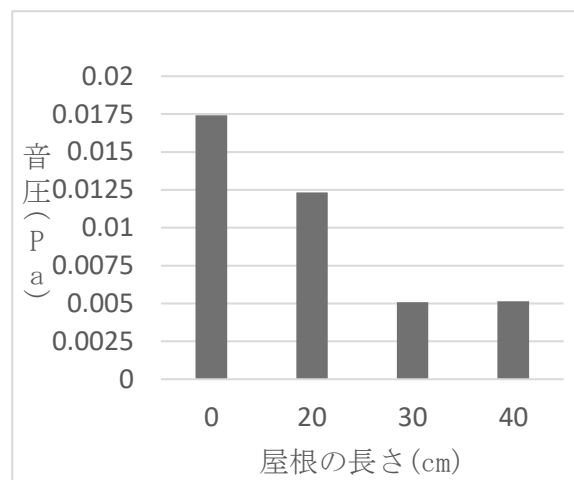


図 11 3000Hz

1500Hz (図 10)、3000Hz (図 11) とともに、屋根の長さが 30cm を超えると回折音を低減する効果が顕著に表れるといえる。一方、1500Hz については、屋根の長さ 20cm~40cm で大きな差が出たのに対し、3000Hz については、0 cm~30cm で差が見られた。この結果から、低周波域の音は波長が長いため、回折を防ぐために長い屋根が必要であるが、高周波域の音は波長が短いため、短い屋根でも回折を防ぐ効果を発揮できるのではないかと考えられる。防音効果について、1500Hz では最大で約 2.5 倍、3000Hz では最大で約 3.3 倍程度向上させられることが分かり、T 字型パーテーションの有用性が実証できた。また、屋根の長さ 0 cm (ストレート) において、3000Hz の方が音圧が小さいのは、そもそも高周波域の音は回折しにくい性質をもつためだと考えられる。

6 まとめと今後の課題

本研究から、避難所で発生する騒音問題を解決するために最適なパーテーションの形状は T 字型だと分かった。また、騒音の周波数に応じて、適切な屋根の長さが増えるため、実際に避難所への導入を考える際には、こういった騒音軽減を目的としたパーテーションなのかを事前に吟味する必要がある。今後は、T 字型のパーテーションを簡易的に組み立てられる方法を検討し、製品化を目指していきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたりご協力いただいた愛媛大学の中畑和之教授にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 濱田妃夏ら「段ボールによる防音効果」 令和 3 年度 SSH 生徒課題研究論文集
- [2] 宇和島市 HP
https://www.city.uwajima.ehime.jp/uploaded/life/64223_172823_misc.pdf
- [3] 国土交通省 <https://www.mlit.go.jp/common/001225746.pdf>

牛鬼に金棒！！～腕を振るだけで悔いは残らないのか～

2年4組 宇都宮正悟 2年4組 西田 泰輝
2年4組 濱田 雷士 2年4組 水野 一馬
指導者 長瀧 剛

1 課題設定の理由

本校野球部は昭和63年春の選抜高等学校野球大会で初出場初優勝の偉業を成し遂げている。また、平成に入っても春夏4期連続甲子園出場や3大会連続夏の甲子園出場など輝かしい成績を残している。しかし、近年では令和元年夏の甲子園出場を最後に甲子園から遠のいている。全国でも名が知られている牛鬼打線に優れた投手力を加えることでかつてのような成績を残すことができるのではないかと考えた。そこで我々は投球時におけるリリースの瞬間の手首の角度と球速の関係について本校野球部の協力のもと研究し、速球を投げる最適な手首の角度を導き出すことで野球部復活の手助けができると考え本研究を行うことにした。

2 仮説

投手がボールをリリースする際の手首の角度とボールへの力の伝達率（球速／腕の振りの速さ）には関係がある。

3 研究の方法

- (1) アームマシンでアーム（腕）の振りを一定にして爪（手首）の角度を変えて球速を測し、各角度における力の伝達率を求める。
- (2) 野球部員（20人）の投球から次のものを測定する。
 - a MA-Qを用いて投球の球速、回転数を測定する。
 - b 動画を撮影し、動画解析アプリ（スプライザモーション）（**図1**）を用いてリリース時の腕の振り、手首の角度を計測する。
- (3) (2)により腕の振りを最もボールに伝えられる角度を決定する。

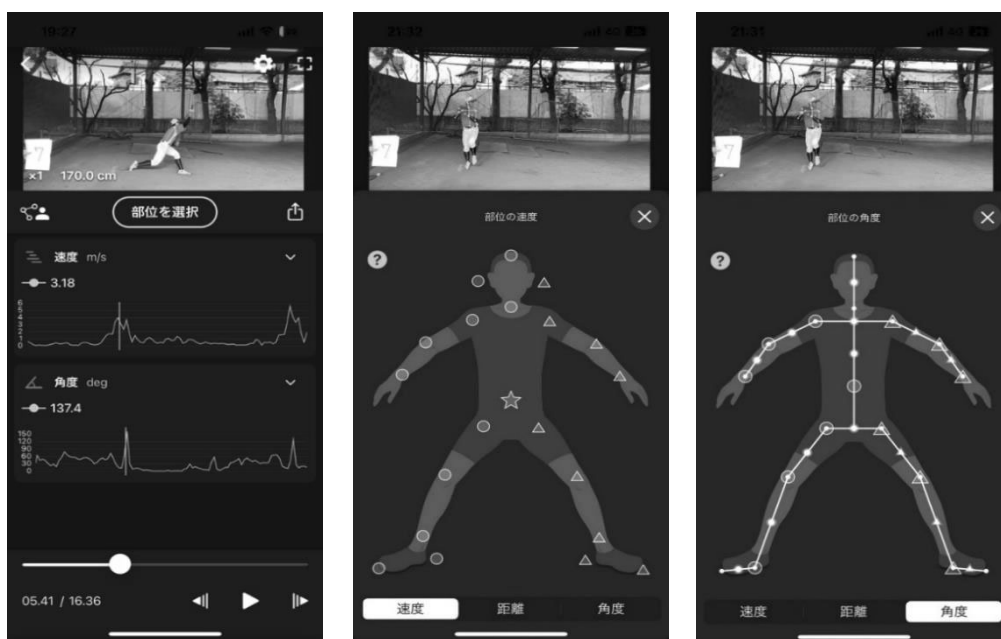


図1 スプライザモーション

（体の各部位の角度/角速度、速度/加速度/特定の位置からの距離が測定可能）

4 結果と考察

(1) アームマシンを用いた場合

アームマシンのアーム部分に対して爪部分の前傾角度を変化させて（**図2**）伝達率を算出する。マシンでは爪の角度と球速のみに着目すると、角度が大きくなるにつれて球速は上がっているが、伝達率を比較すると大きな差はみられなかった。球速が上がった理由としては、角度を大きくすることによりリリースポイントが遅れるため、より腕の振りが速くなったからだと考えられる。



左のような角度の見方で記録を取る
例：写真では、10度

図2 アームマシン

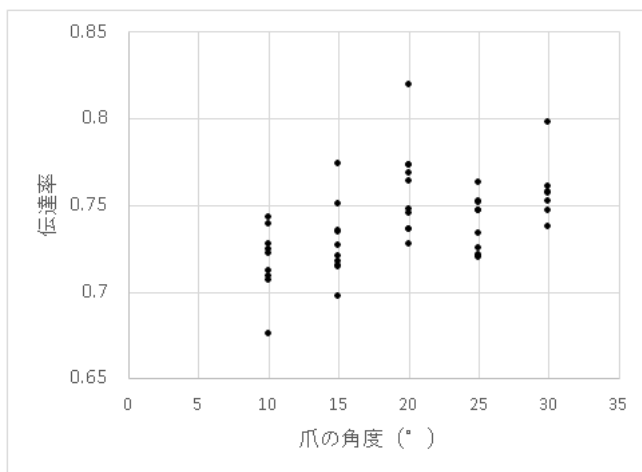


図3 爪の角度と伝達率

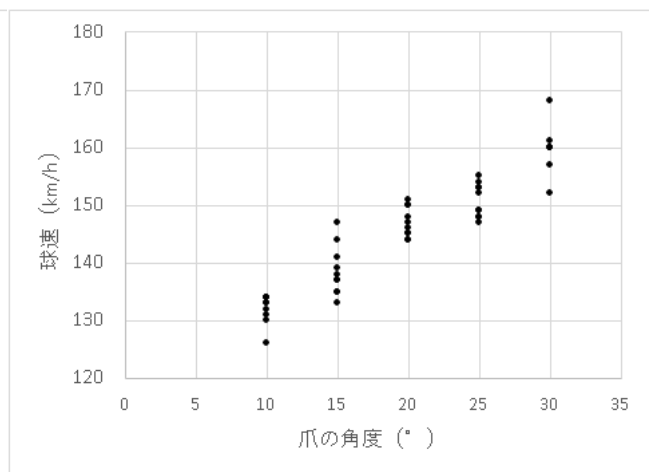


図4 爪の角度と球速

(2) 野球部員の投球を用いた場合

野球部員の投球全 200 球のうち、すべての項目を測定できた 158 球の測定結果をまとめものが**表1**である。また、手首の角度と伝達率の関係を**図5**、手首の角度と球速との関係を**図6**に示した。

表1 角度と伝達率・球速

角度 (°)	平均伝達率	最高伝達率	平均球速 (km/h)	最高球速 (km/h)
0 以上 10 未満	4.5622	16.2037	117.0	135.5
10 ~ 20	4.6979	15.4909	116.0	134.9
20 ~ 30	3.4456	10.9359	121.0	132.2
30 ~ 40	4.2464	8.6860	120.0	127.7
40 ~ 50	4.1023	6.9864	125.2	133.8
50 ~ 60	4.5849	7.7678	120.9	135.5
60 以上	4.7676	9.7928	119.8	131.7

表1は角度10°ごとの伝達率と球速の平均値と最大値をまとめたものである。伝達率においては平均値に着目すると各角度における差はないが、最大値に着目すると角度が小さいほうが伝達率は高くなっている。また、球速においては、平均値は20°から50°で高くなっているが、最大値に着目すると30°から40°で最も小さい値をとっている。これらのことは図3、図4からも読み取れる。

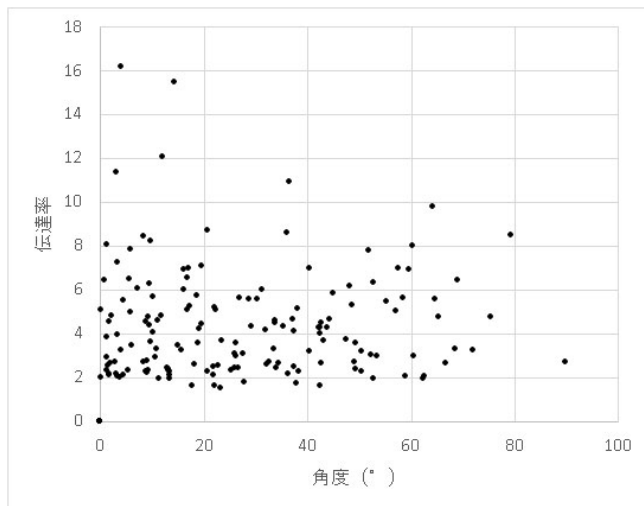


図5 手首の角度と伝達率

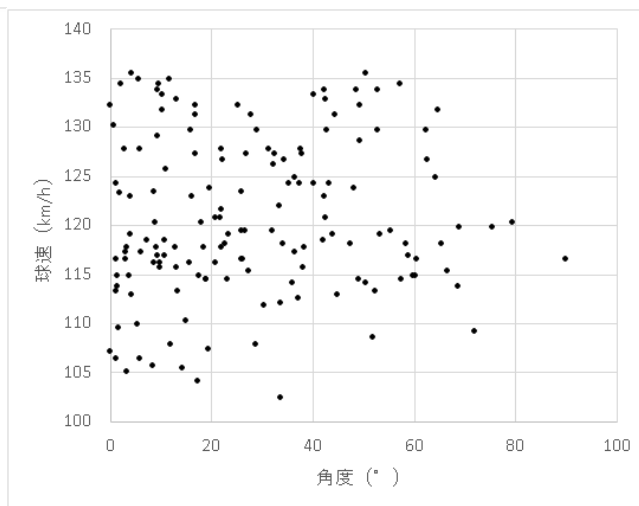


図6 手首の角度と球速

また、図7は伝達率と球速の関係の散布図であるが、この2項目の相関係数は0.07であるしたがって、伝達率と球速にはないということが言え、力を伝えることが球速を上げることに繋がるということが分かる。

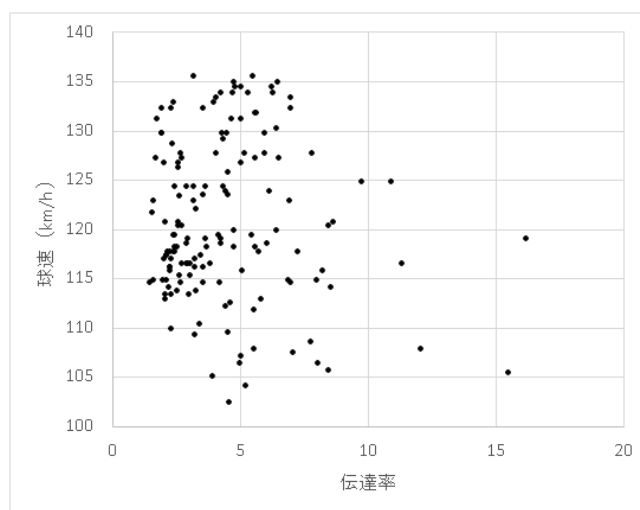


図7 伝達率と球速

表2は手首の移動速度に対する球速の平均値と最大値である。ここからも分かるようにこれらの項目の相関関係は0.04であり、手首の速度（腕を振ること）が球速を上げる要因になるとは言えない。

表2 手首の速度と球速

手首の速度 (km/h)	平均球速 (km/h)	最高球速 (km/h)
10未満	110.7	119.0
10～20	117.3	133.3
20～30	123.4	135.5
30～40	115.5	133.8
40～50	117.4	135.5
50～60	119.0	132.8
60～70	129.6	132.2
70～80	122.0	131.2

5 まとめと今後の課題

本研究の結果から手首の角度と球速、伝達率と球速には関係がないということが言え、仮説に反する結果となった。これは、投球のリリースポイントの手首の角度にのみ焦点を当てて研究を行ったからであり、他の体の部位の動きが結果に関与している可能性があることが考えられる。ステップ幅やステップ速度、重心移動速度やリリース時の手首の動きなど、瞬間の手首の角度のみでは導きづらいということが言える。今後の課題としては、スプライザモーションを用いて投球フォームを解析する際に、手首のみでなく、肩や腰の回転速度など、選択する部位を増やすことで球速を上げるポイントをより明らかにすることが挙げられる。

謝辞

本研究を行うにあたりご協力いただいた株式会社 SPLYZA 様、本校の野球部の皆様はこの場をお借りして感謝申し上げます。

パンタレイ風車の効率化

～風の有効活用～

2年3組 鼻野 翔 2年4組 加藤 景士 2年4組 竹本翔乃介
2年4組 濱田 闘志 2年4組 毛利 優進
指導者 中村 俊貴

1 課題設定の理由

現在の風車では、騒音問題や風が強すぎると過回転し破損するなどの問題がある。そこで、風が強すぎても過回転しないパンタレイ風車でこれらの問題を解決しようと考えた。

また、パンタレイ風車は向かってくる風を約90%以上無駄にしてしまうので、その問題を解決し、パンタレイ風車の効率化を行おうと考えこの課題を決定した。

2 パンタレイ風車について

パンタレイ風車はリングと円柱翼によって構成されている。円柱翼後方にリングを付けて距離を調節すると回転する。円柱翼は従来の風車に用いられるブレードとは異なり、ペットボトルや金属製の円柱など様々なもので応用でき、低コストである。回転するメカニズムは、リングと円柱翼の間に縦渦が生じることで流速に差が生じ、円柱に揚力がはた

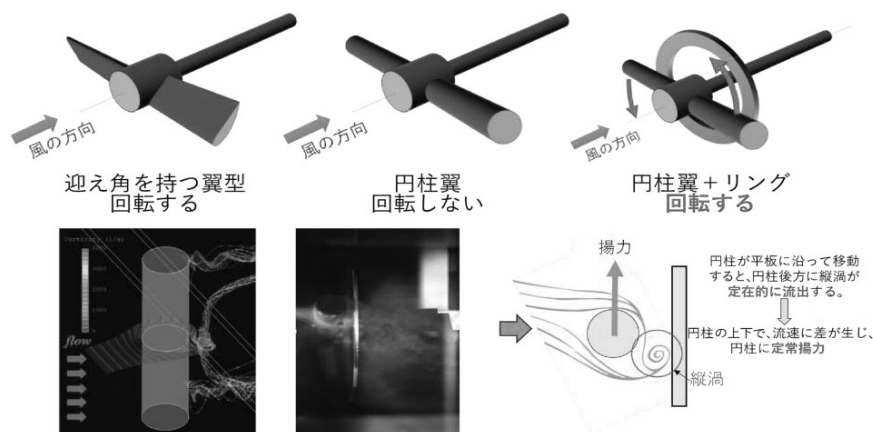


図1 パンタレイ風車の原理

出典：株式会社パンタレイ 風車事業ホームページ

<https://www.pantarhei-nagaoka.com> > windmill

らくことで回転する（図1）。低回転でありながら高いトルクを持っており、安全性が高く住環境適応性が高い。また、円柱翼とリングとの距離を調整することで縦渦の発生を減少させ、回転速度の調整ができる点などがメリットとしてあげられる。しかし、前述にもあるように風を全て縦渦の発生に使うことが出来ず約90%を無駄にしてしまい従来の風車より効率が悪い点がデメリットとしてあげられる。

3 仮説

- (1) 円柱翼を長くし、太くすることによって発電できる電気量が増えるのではないかな。
- (2) リング部分を大きくすることによって、発電量が増えるのではないかな。
- (3) リングの大きさと円柱翼の長さには関係性があり、それらの改善により、回転効率が従来より上昇するのではないかな。

4 研究の方法

(1) 小型のパンタレイ風車の作成

ペットボトルの蓋と全長 5cm 程のストローを用いて擬似的に従来のパンタレイ風車と似た形状の小型のパンタレイ風車を作成した(図 2)。風を真っ直ぐ当てるためにサーキュレーターを用いて角度を調整しながら実験を行った。この時、パンタレイ風車とサーキュレーターの距離は 140 cm とする。

従来のものと同じようにリングと円柱翼であるストローの距離を一定にした場合に激しく回転を行い、リングとストローの距離を限りなく近くした時に回転が停止した。また、リングとストローとの距離を限りなく遠くした場合にも円柱翼の回転は停止した。

今回の実験ではサーキュレーターの風が回転を帯びながら発生している(図 3)ことを考慮していなかったため、ストロー自体の回転が円柱翼とリングとの間に生じる縦渦によるものなのか、サーキュレーターによって生じる風によるものなのか判断出来ない。また、リングとストローの距離を限りなく近くした時に停止したのは単に距離を近づけすぎた結果、摩擦が生じたことより、一時的に停止しただけであると考察した。さらに、風車自体の大きさを小さくしすぎた結果、パンタレイ風車を固定することが出来ず、班員が手で持った状態での実験だったこともあり、これらの実験の正確性は立証することが出来ないと判断した。このことを考慮し、更に大きなパンタレイ風車を擬似的に作り、できる限り従来のものと似たような構造になるように改善をしながら進めていく。

(2) 大型のパンタレイ風車の作成

小型のパンタレイ風車の時と比べて大きく改善しなければならない点はリングと円柱翼のサイズとパンタレイ風車自体の固定、サーキュレーターの風に生じる渦を出来る限り減少させた状態での回転の3つであると判断した。この事からリングも円柱翼もさらに大きいものを使用することにより、縦渦の発生をより簡易的にすることができるよう、それぞれ発泡スチロールとペットボトルを使用することにした。パンタレイ風車の固定については、実験用スタンドを用いてリングと円柱翼をそれぞれ固定し、円柱翼の部分のみを前後に動かせるようにした。これによって、風を真っ直ぐ受けながらリングと円柱翼の隙間を調整出来るようにした。サーキュレーターに生じる風はダンボールを網目状に組み合わせた箱を風洞としてサーキュレーターとパンタレイ風車の間に設置することによって発生する渦を纏った風がひとつひとつの隙間に入り、渦をできるだけ消失した形でパンタレイ風車の元

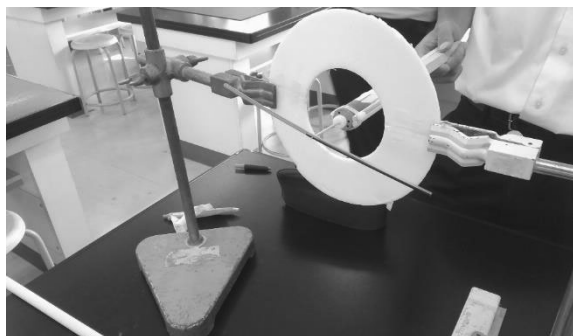


図 2 円柱翼が細い小型のパンタレイ風車

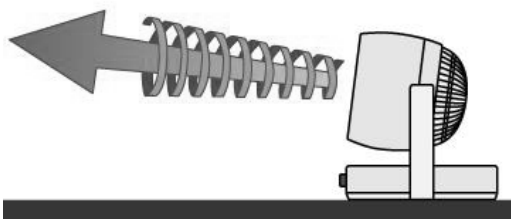


図 3 サーキュレーターの風の動き

出典：株式会社ライフテックスホームページ

<https://life-techs.jp> > air-circulator

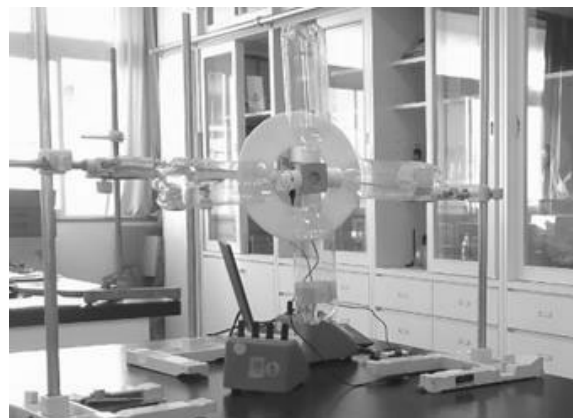


図 4 円柱翼が太い大型のパンタレイ風車

に届くと想定し作成を行った（図4）。

(1)のパンタレイ風車と比べて装置の全体を変えたことにより、測定の安定性は確保出来たと考える。風洞を設置したことにより、同じような向きで回転することも無くなったため、ある程度はサーキュレーターによる渦を消失させることが出来たと考える。また、円柱翼の材質をペットボトルに変えたことにより、回転の速さが上昇し、ストローの時よりも多くの回転による電力を生み出すことができ、リングの材質を発泡スチロールに変えたことにより、大きさの柔軟な変更や縦渦のできる面積が拡大したため、小型のパンタレイ風車よりも発電効率が上昇するのではないかと思う。しかし、材質をペットボトルに変更したことにより、重心が安定していなかったため、重心の安定の確保を第1に考える必要があり、より強固な円柱翼を作っていく必要がある。重心が安定していないので回転を始めて数秒経つとブレードが落下したため、安定性に不備が見られた。ブレード自体が斜めになっていたのが原因と考えたので、もっと安定したブレードを作っていくかなければならない。

5 実験

4の(2)で作った装置を利用してパンタレイ風車を回転させ、電圧を測定する。測定にあたり円柱翼であるペットボトルの大きさやリングの大きさも変更しながら行っていく（図5）。電圧の測定はPCに接続したデータロガー（Dr.DAQ）を用いて信号を取り込み、高精度デジタル波形解析が行えるオシロスコープアプリ（Pico Scope）を用いてPCの画面上に測定する電圧を表示することによって行う。これらの波形を解析し、円柱翼とリングを変えて出てきた波形に生じる変化を読み取り、記録する。また、測定する電圧の平均値は、より安定性のある記録にするため、100秒のうち、40秒から60秒の間の値を抽出し、算出したものとする。

パンタレイ風車は、1つの角材に4本のペットボトルの固定を行い、ベアリングと軸部分の隙間をなくすために、グルーガンを用いた固定を行った。

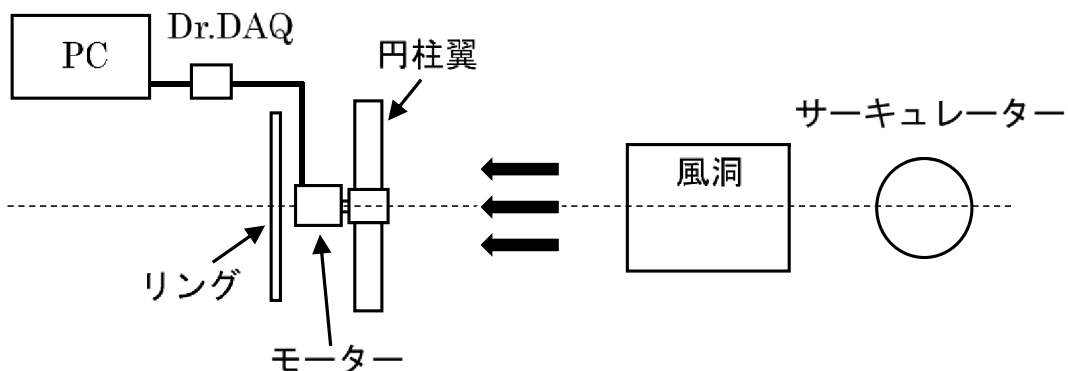


図5 実験装置

6 結果

今回計測したグラフは、波形がほぼ一定の形状になっていたため、計測の正確性はあると考えた。この結果より、大リングのパンタレイ風車の電圧の平均値は約0.23V、小リングのパンタレイ風車の電圧の平均値は約0.06Vという結果になったので、大リングは小リングよりも約4倍発電することができると分かった。

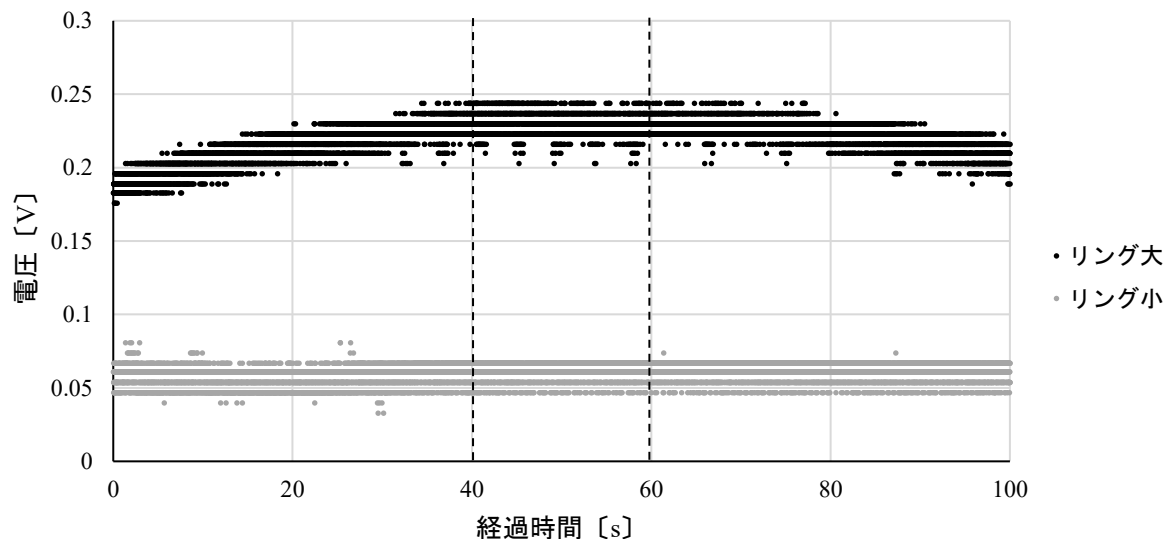


図6 リングの大きさの違いによる電圧の変化

表1 リングの大きさと電圧の関係

	小リング	大リング	ブレード
外径 [cm]	10.25	19.75	28.25
内径 [cm]	5	6.5	—
面積 [cm ²]	80.26	347.81	632.02
電圧 [V]	0.061	0.231	—

※電圧は40～60秒の電圧の値の平均値

7 考察と今後の課題

パンタレイ風車のリングと円柱翼の大きさを大きくすればするほど、リングと円柱翼の間に生じる縦渦の量が多くなることから、リングがたくさん回転し電圧が高くなったと考察する。また、電圧の平均値に約4倍ほどの差があったが、発電量が微量なことから、直接的な効率化に成功したとは言いにくいと考える。だが、今回用いたリングや、円柱翼はどれも単位がcmだったので、大きくした際に今回の実験と同様の結果を得られることができればかなりの効率化といえる。図4のブレードを用いた際に、小リングでの実験時には、発電効率が減少したことから、ブレードとリングの大きさには、関係性があると考えた。今後はリングやブレードの大きさを変更しつつ、最適な関係を探していきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたって、協力いただいた先生方や、パンタレイ風車の制作を行った株式会社パンタレイにこの場を借りて、謝辞を申し上げます。

参考文献

- ・株式会社パンタレイ 風車事業 新動力技術「縦渦リニアドライブ」
<https://www.pantarhei-nagaoka.com> > windmill
- ・ライフテックス サーキュレータの効率的な使い方とは？
<https://life-techs.jp> > air-circulator

画像解析による気象予測

2年3組 坂本 颯平 2年4組 高田 悠生 2年4組 田村 優芽
2年4組 近平まるこ 2年4組 福溜 瑛太
指導者 二宮 政人

1 研究の背景

既存の天気予報は、市町村より限定的な範囲での情報がなく、局地的な天気の変化を予測しづらい。積乱雲による局地的な大雨などの急な気象変化に対応するためには、自分がいる場所の少し先の天気を「誰もが」、「どこにいても」、予測できることが必要である。したがって私たちは、撮影した空の画像を取り込むだけで、1時間後の天気の確率を算出するプログラムの開発により、「誰もが」、「どこにいても」、1時間後の天気をより限定的な範囲で予測できるようにしたいと考え、本研究を行った。ここで、本研究では、まずは宇和島東高校において天気を予測することを目標にした。

2 研究の方法

以下の①～③の方法で研究を行った。

- ① 撮影した空の写真から、パソコンにインストールした Python を用いて RGB を算出し、同ソフト内で RGB から色相値を計算した。なお、天気の状態は晴れ・くもり・雨で分類するものとする。
- ② 先行研究より、一年を通して最も色相と天気の関係が強いのは、仰角は 45 度、時刻は撮影から 1 時間後、方位は南南西であることがわかっている。^{1),2)} よって本研究では、先行研究では観測していなかった南東や、気象庁が観測している地域別の上空の風向きも考慮し、「南東」、「南南西」、「上空の風向き」の三方位（上空の風向きは 11 月から観測し始めた）を撮影した。（以降、それぞれ南東、南南西、風向き、と記す。）なお、「上空の風向き」は気象庁のホームページ³⁾から確認することとする。撮影方法は、宇和島東高校の屋上から肉眼に近づくようにシャッタースピードを調整し、行った。
- ③ 撮影した写真を PC に取り込み、Python で作成したプログラムに入力して RGB の値や色相値、確率などを算出した。プログラムによって予測した天気の正確性の検証方法として、1 月のデータを用いた。

観測器具と観測条件は以下の通りとし、加えて観測時の湿度と気温を記録する。

(1) 観測器具

- ・カメラ (Canon PowerShot SX720 HS)
- ・気温計 (LM-8000)

(2) 観測条件

- ・場所 宇和島東高等学校 理科教棟屋上 (33.22°N,132.56°E)
- ・期間 9月～1月 (結果としてまとめるのは11月～12月とする)
- ・時刻 8:00 / 13:00 / 17:00
- ・仰角 45度
- ・方位 南東/南南西/観測時の上空の風向き
- ・シャッタースピード 適正



図1 撮影時の様子

3 結果と考察

(1) プログラム

今回作成したプログラムは下の写真の通りである。以下の1~4の流れで行った。

1. 写真を取り込む
2. 色相を算出する (64か所の平均)
3. 事前に算出した標準偏差と平均値をもとに確率分布を求める
4. 確率を算出する

```

1 from PIL import Image
2 import numpy as np
3 #5184*3888
4 i=1
5 j=1
6
7 c=0
8 e=0
9 l=0
10 Ps=0
11 Pc=0
12 Pr=0
13
14 picture='20240123 17時 x.JPG'
15 def RGB():
16
17     im = np.array(Image.open(picture))
18
19     i=1
20     j=1
21     k=0
22     S=0
23
24     for j in range(8):
25
26         for i in range(8):
27             c=0
28             R, G, B, = im[500*i+1,500*j+1]
29             #計算回数
30             # V=max(R,G,B)/256
31             #Vの範囲を指定
32             if R==G and G==B and R==B:
33                 print('-----')
34
35             else:
36                 if 2*R>(G+B):
37                     if G<B:
38                         a=(G-B)-256
39                         c=(np.arctan((3**0.5)*a/(2*R-G-B)))*180/np.pi
40
41             else:
42                 c=(np.arctan((3**0.5)*(G-B)/(2*R-G-B)))*180/np.pi
43
44             else:
45                 b=(2*R-G-B)-256
46                 if G<B:
47                     a=(G-B)-256
48                     c=(np.arctan((3**0.5)*a/(b)))*180/np.pi
49
50             else:
51                 c=(np.arctan((3**0.5)*(G-B)/(b)))*180/np.pi
52
53         if 20<c<35 :
54             if c<0:
55                 print('  曇 ')
56             elif c>0:
57                 S=S+c
58
59             k=k+1
60             print(k)
61             #色相(度)は25~35とする
62
63     e=S/k
64     d=round(e,2)
65     print('-----')
66     print('色相値の平均は '+str(d))
67     print('-----')
68     print(picture)
69     print('-----')
70
71     o1=1.59
72     mu1=28.68
73     o2=1.13
74     mu2=27.59
75     o3=1.43
76     mu3=28.37
77     f1=1/((2*np.pi*(o1**2))**(1/2))
78     g1=(d**2+mu1**2-((2*d)*mu1))/(2*(o1**2))
79     f2=1/((2*np.pi*(o2**2))**(1/2))
80     g2=((d-mu2)**2)/(2*(o2**2))
81
82     f3=1/((2*np.pi*(o3**2))**(1/2))
83     g3=((d-mu3)**2)/(2*(o3**2))
84     print(d)
85     print(mu1)
86     print(g1)
87     x=f1*(np.e**((-1)*(g1)))
88     y=f2*(np.e**((-1)*(g2)))
89     z=f3*(np.e**((-1)*(g3)))
90     Ps=(x/(x+y+z))*100
91     Pc=(y/(x+y+z))*100
92     Pr=(z/(x+y+z))*100
93     print(x)
94     print(y)
95     print(z)
96     print('晴れの確率は'+str(Ps)+'%です')
97     print('曇りの確率は'+str(Pc)+'%です')
98     print('雨の確率は'+str(Pr)+'%です')
99
100 RGB()

```

図2 今回作成したプログラムの画像

ここで、先行研究で用いられていたガウス関数と天気の関係²⁾をプログラムに用いた。図3にそれを示す。(σ：色相の標準偏差、μ：色相の平均値を表す。)

各天気の分布 $f(x)$ について次式を使用

$$f_{\text{晴れ}}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\text{晴れ}}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu_{\text{晴れ}})^2}{2\sigma_{\text{晴れ}}^2}\right\}, f_{\text{曇り}}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\text{曇り}}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu_{\text{曇り}})^2}{2\sigma_{\text{曇り}}^2}\right\}, f_{\text{雨}}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\text{雨}}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu_{\text{雨}})^2}{2\sigma_{\text{雨}}^2}\right\}$$

各天気の確率 $P(x)$ について次式を使用

$$P_{\text{晴れ}}(x) = \frac{f_{\text{晴れ}}(x)}{f_{\text{晴れ}}(x)+f_{\text{曇り}}(x)+f_{\text{雨}}(x)} \times 100, P_{\text{曇り}}(x) = \frac{f_{\text{曇り}}(x)}{f_{\text{晴れ}}(x)+f_{\text{曇り}}(x)+f_{\text{雨}}(x)} \times 100, P_{\text{雨}}(x) = \frac{f_{\text{雨}}(x)}{f_{\text{晴れ}}(x)+f_{\text{曇り}}(x)+f_{\text{雨}}(x)} \times 100$$

図3 プログラムで使用するガウス関数と天気の確率の求め方

(2) 方位と確率に関する検証

11月～12月のデータから作成した気象予測のプログラムにより、1月の気象予測の検証を行う。方位別に気象予測の正確性について点数評価を行った。点数の内訳として、予測した天気と実際の天気が合致しない場合を0pt、予測が的中した場合、予測した確率が高い方から順に3pt、2pt、1ptとする。また、予測した天気と実際の天気が合致しなかった回数を調べる。

例) 実際の1時間後の天気が晴れ

プログラミングによる1時間後の天気予測（晴れ、くもり、雨）の中で1番高い確率
 …南東：晴れ60%、南南西：晴れ50%、風向き：くもり50%の場合
 →南東：3pt、南南西2pt、風向き：0pt

表1 方位と確率の検証の結果

方位	観測時の天気	1時間後の天気	3 pt (回)	2 pt (回)	1 pt (回)	0 pt (回)	合計 (回)	合計 (pt)
南東	晴れ	晴れ	1	4	0	10	15	11
		くもり	1	0	0	2	3	3
		雨	0	0	0	0	0	0
	くもり	晴れ	0	0	0	0	0	0
		くもり	2	2	1	1	6	11
		雨	0	0	0	0	0	0
	雨	晴れ	0	0	0	0	0	0
		くもり	1	0	0	1	2	3
		雨	0	0	0	2	2	0
	合計			5	6	1	16	28
南南西	晴れ	晴れ	3	2	0	10	15	13
		くもり	0	1	0	2	3	2
		雨	0	0	0	0	0	0
	くもり	晴れ	0	0	0	0	0	0
		くもり	3	1	0	2	6	11
		雨	0	0	0	0	0	0
	雨	晴れ	0	0	0	0	0	0
		くもり	0	1	0	1	2	2
		雨	0	0	0	2	2	0
	合計			6	5	0	17	28
風向き	晴れ	晴れ	6	3	0	6	15	24
		くもり	0	0	1	2	3	1
		雨	0	0	0	0	0	0
	くもり	晴れ	0	0	0	0	0	0
		くもり	0	1	1	4	6	3
		雨	0	0	0	0	0	0
	雨	晴れ	0	0	0	0	0	0
		くもり	0	0	0	2	2	0
		雨	0	0	0	2	2	0
	合計			6	4	2	16	28

表1 より正確性について

- 観測時の天気が晴れ、1時間後の天気が晴れの場合、他2方位と比べて風向きのポイントが高い。
- 観測時の天気がくもり、1時間後の天気がくもりの場合、他2方位と比べて風向きのポイントが低い。
- どの天気の変化においても南東と南南西のポイントは同程度である。
- 3方位において、それぞれの合計ポイントの差はない。また、的中していない回数も大きな差はない。

以上のことから、どの方位においても明確な差はなく、より信頼できる方位を断定することは難しい。また、プログラムについても正確性の高いものは作成できなかったと言える。その理由としては、本研究で作成したプログラムで用いた平均値や標準偏差は方位で区別しておらず、すべての方位によるデータから算出した値を使用していることが関係していると考えられる。

(3) 1 時間後の天気と RGB の合計に対する赤・青・緑の割合の関係 (12 月 風向き)

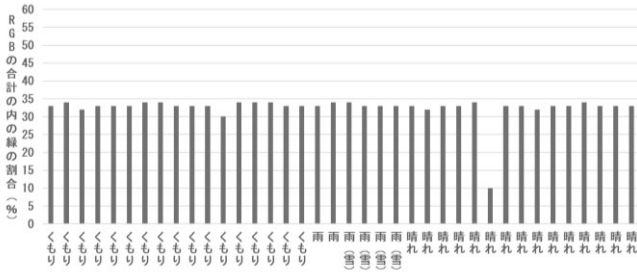


図 4 1 時間後の天気と緑の割合の関係

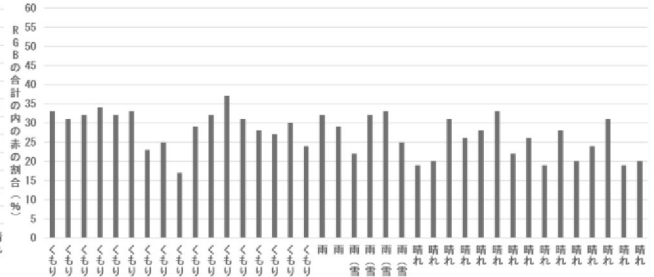


図 5 1 時間後の天気と赤の割合の関係

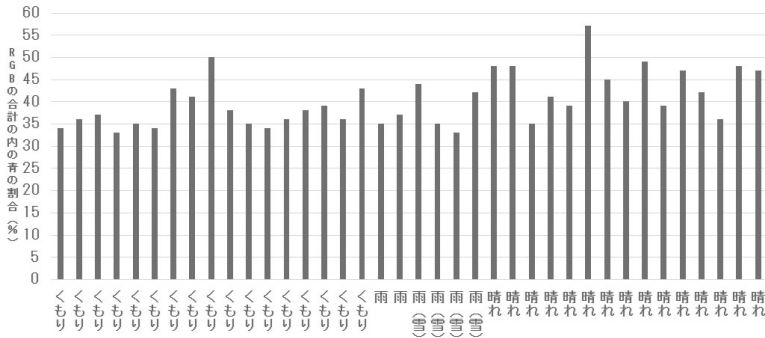


図 6 1 時間後の天気と青の割合の関係

- 1 時間後の天気にかかわらず緑の割合はほぼ一定の値 (すべての値の平均値 : 32.5) をとる。
- 1 時間後に晴れになるときは青の割合が高く (晴れの平均 : 44.1、曇りの平均 : 37.8、雨の平均 : 37.7)、1 時間後にくもりまたは雨になるときは赤の割合のほうが高くなる傾向にある。(晴れの平均 : 25.1、曇りの平均 : 29.3、雨の平均 : 28.8)

以上のことから、天気の変化に関係している色は RGB のうち、赤と青であり、RGB の合計内の赤の割合が概ね 30 以上であるとくもりか雨になるのではないかと考えられる。ただし、今回用いたデータは 12 月分だけであることから、さらにデータを増やし吟味する必要がある。

4 今後の課題

- より多くのデータから平均値や標準偏差を求めることで、プログラムを使用した気象予測の正確性を高める。
- 方位別に算出した平均値や標準偏差を用いたプログラムを作成することで、どの方位の空が最も信頼できる気象予測に関係するのかを明らかにする。
- 本研究では、観測時に天気、気温、湿度を記録しているが、1 時間後は天気しか記録していないため、1 時間後も気温と湿度を記録し、その変化が気象変化とどのように関係しているのかを考察する。
- 季節風や偏西風の影響で季節によって風向きは大きく変わるが、同じように空の色相値についても季節による変化はあるのかを明らかにする。

参考文献

- 1) 有馬ら「宇和島市における空の色の解析による気象予測」『平成 30 年度愛媛県立宇和島東高等学校 SSH 生徒課題研究論文集』 p.51-52
- 2) 内升ら「画像解析を用いた空の色と天気の関係の考察」『令和元年度愛媛県立宇和島東高等学校 SSH 生徒課題研究論文集』 p139-142
- 3) 気象庁 宇和島市の防災情報

https://www.jma.go.jp/bosai/#pattern=forecast&area_type=class20s&area_code=3820300

扇風機の羽の形状による音の変化

2年3組 江崎龍ノ介 2年3組 岡崎 煌生
2年3組 薬師神直人 2年4組 森田 泰聡
指導者 中村 俊貴

1 課題設定の理由

扇風機に向かって声をだすと声が震えたように聞こえる。また扇風機の風量を変えると、発している声の高さと大きさを変えていなくても声が変わったように聞こえる現象があるが、その原理を明らかにしてみたいと思った。そこで、私たちは、扇風機を使うことで音にどんな影響を与えているのか、どのように音が変化して聞こえているのかについて研究することを決めた。具体的には、扇風機の羽の回転速度や羽の形状、羽の幅、表面の凹凸などが声の変化に影響しているのではないかと考え、いろいろな要素を変えて研究を始めた。

2 仮説

- (1) 回転数が変化することで、羽にあたる音が多かったり少なかったりすることで跳ね返ってくる音の大きさが変化するのでないかと考えた。
- (2) 音が扇風機の羽に反射して帰ってくる音と音源から出る音が重なって聞こえるため羽の形状や羽の幅が変わることによって羽に当たる音が小さくなり音の大きさが元の音の値から変化すると考えた。
 - ① 扇風機に向かって音を発すると、振幅は周期的に大きくなったり小さくなったりした波形が得られる。
 - ② ①の原因は、単に扇風機の羽が音を遮断しているからではなく、回転する羽で反射する際にドップラー効果が起こり、反射音の振動数がわずかに変化し、うなりが生じる。

3 実験・研究の方法

(1) 測定方法

図1のように扇風機の羽根の位置から一定の距離に音源と測定器を設置し、20秒間測定し音の大きさの変化をPCに保存する。

(2) 実験機材

【音源】タブレットPC（振動数 500Hz）

【測定器】Dr. DAQ（音センサー）【扇風機】

(3) 実験条件

気温 17℃、音源と扇風機の距離を 15cm、音源と測定機器の距離を 15cm、音源と測定機器との距離を 3cm 離れた。また、予備実験として、扇風機の回転周期と回転の速さを測定した（表1）



図1 扇風機・マイク・音源の配置

表1 扇風機の回転周期と速さ

	周期 [s]	速さ [m/s]
弱	0.10	8.9
強	0.065	15

4 結果と考察

(1) 【実験1】

① 実験方法

図2の羽根①を用いて扇風機の回転も速さについて着目し、速さを弱と強の二段階に分けて測定し、音の大きさと振動数の分布を調べる。振動数の分布はExcelでフーリエ変換を用いた。



図2 羽根①

② 実験結果

5秒間における音圧の変化は図3のようになった。音圧の変化をみると強、弱、音源のみの順に音圧が大きくなっていることが分かる。平均値として基準となる音源のみ音圧が72.5db、弱が78.9db、強が86.4dbとなった。そのことから、扇風機の速さが増すほど大きくなった。

音源のみの振動数分布は図4、風だけの振動数分布は図5、図6、音源と風を合わせた振動数分布は、図7、図8のようになった。30Hz付近に図5、図7と同じような波形が見られたことから、その付近の波形は扇風機による雑音によるものだと考える。図7と図8を比べると、500Hzにおける振幅に、少し変化が見られた。

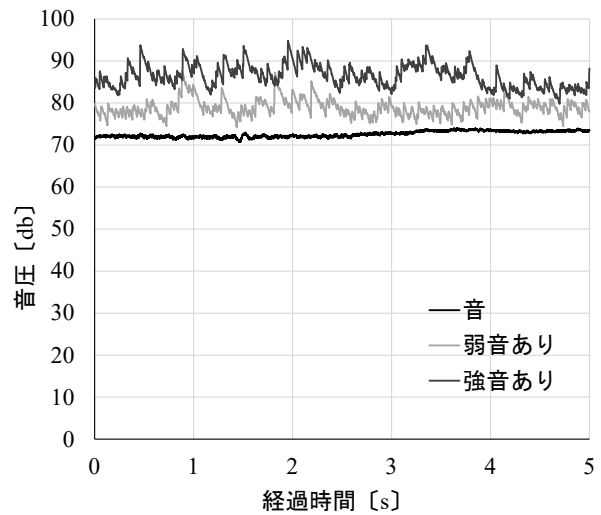


図3 羽根①5秒間における音圧の変化

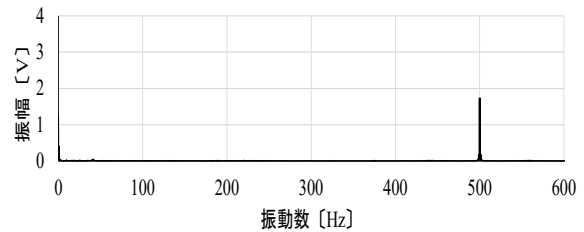


図4 音源のみのフーリエ変換値

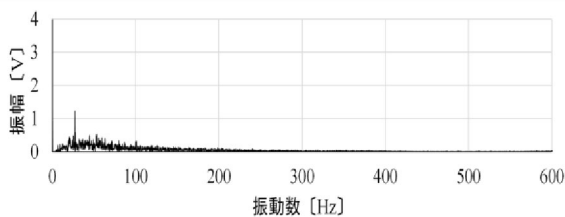


図5 羽根①弱風だけのフーリエ変換値

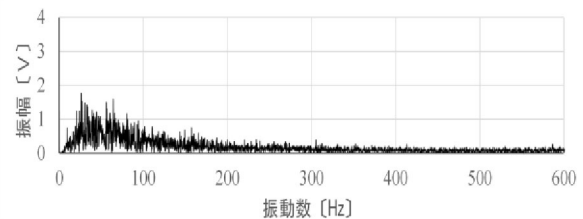


図6 羽根①強風だけのフーリエ変換値

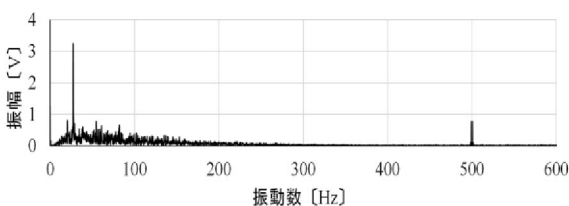


図7 音源+羽根①弱風のフーリエ変換値

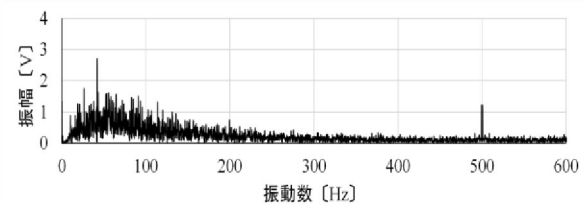


図8 音源+羽根①強風のフーリエ変換値

③ 考察

実験①では扇風機の雑音も入っており少しわかりづらい結果となってしまった。図7、図8を見ると500Hz付近を比べると図7では振幅が0.7Vのところ、図8では1.2Vとし変化したと考える。その理由として速さを変えると弱と強では同じ時間で羽に当たる音が強の方が多いため羽根にあたってかえってくる音も多くなり振幅が大きくなったと考えた。極端に速さを変えることで大きく変化がみられるのではないかと考える。

(2) 【実験2】

① 実験方法

羽根での変化を調べるために幅の長さを等しくて、形状の異なる羽根①と羽根②のような羽根を扇風機につけ、それぞれの測定を行った。また扇風機の速さは弱で行った。羽根①は実験1の結果を利用する。



図9 羽根②

② 実験結果

5秒間における音圧の変化は図10のようになった。

図12において、30Hz付近に図5、図7と同じような波形が見られたことから、その付近の波形は扇風機による雑音によるものだと考える。図7と図13を比較すると、羽の形を変化させても違いはあまり見られなかった。

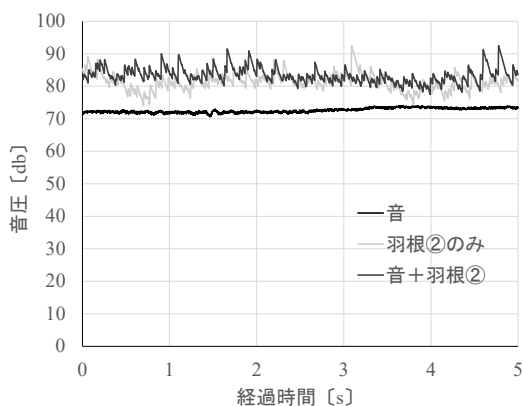


図10 羽根②5秒間における音圧の変化

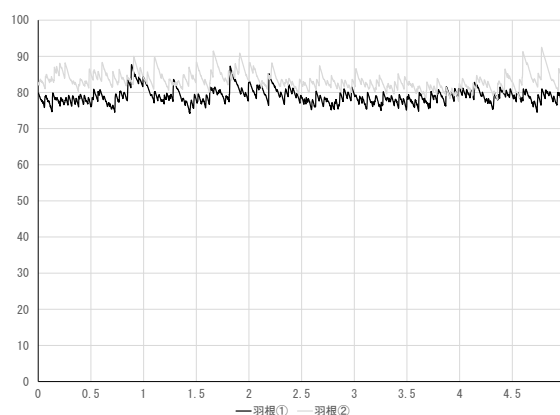


図11 羽根②5秒間における音圧の変化

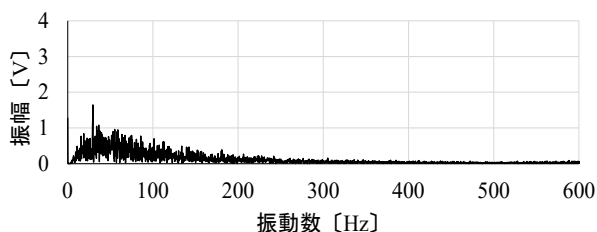


図12 羽②弱風のためのフーリエ変換値

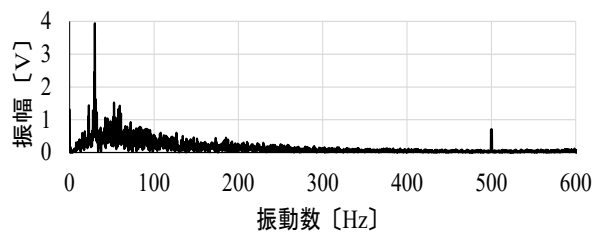


図13 音源+羽根②弱風のフーリエ変換値

③ 考察

図7と図13の間で大きな変化が見られなかった原因は、羽根①と羽根②では、羽根の面積がほぼ等しかったことであると考えた。また羽根の形状に変化が少なく、羽根に当たる音の量があまり変わらなかったことにより変化が小さかったと考えられる。もっと違いがはっきり分かるような形状を作成し2枚だけではなく3枚から4枚の羽根を用いて実験するとさらに変化が見られるのではないかと考える。

5 まとめと今後の課題

実験1では二つの速さの違いが小さかったと考えられるので、今後もっと速さに変化をつけてさらに正確なデータをとっていききたい。そしてスピードコントローラーなどの器具を使って速さを細かく調整できるようにして実験を行いたい。また実験2において、羽根の面積の差が小さかったという原因を改善するため、他の羽根を考えていろいろな羽根で確かめていきたい。今後、面積の観点から同じ羽根で横幅を短くして羽根の面積が小さくなるほど帰ってくる音も小さくなることを仮説として立てて実験を行う。また羽根に段ボールや発泡スチロールなどの何か素材を張り付けて素材によっても音の変化があるのかを確かめたい。そして、今回の実験では、扇風機に測定器具を近づけすぎて扇風機が回る音も測定器具が拾ってしまい正確なデータをとることができなかつたのでドップラー効果などの影響ついて調べることができなかつた。次回は、実験の方法から見直して実験をやり直し、同じ条件で正確なデータをとっていききたい。

6 謝辞

本実験を行うにあたって、アドバイスやご指摘を頂いた愛媛大学の小林教授をはじめとしたたくさんの方々にこの場を借りて、感謝申し上げます。

7 参考文献

- ・上田朝陽 大原千尋 廣川直哉 和気史佳 (2018)「扇風機による音の変化」愛媛県立松山南高校 <https://matsuyamaminami-h-ssh.esnet.ed.jp/file/2859>
- ・数研出版 物理
- ・中村健太郎 (2010) 『図解雑学 音の仕組み』 ナツメ社

Renewal Fiber from Thinning Mandarin

～摘果みかん由来再生繊維の強度アップを目指して～

2年4組 山本 祐希 2年3組 大森 野々花
2年4組 上甲 実咲 2年4組 藤本 明香里
指導教諭 吉良春英

1 研究の概要

廃棄処分されている摘果みかんの果皮を再利用する研究として、石村ら(2019)は、摘果みかんから取り出すセルロースの純度により、成型される繊維の強度が変わることを報告しており^[1]、私たちはセルロースを取り出す際の操作方法を工夫することでセルロースの純度を高め、強度の高い再生繊維を成型できると考え、本研究を行った。その結果、セルロースを取り出した後の乾燥を十分に行うことやシュバイツァー試薬に溶かした後に濾すことにより再生繊維の強度が上がるのが分かった。

2 課題設定の理由

愛媛県南予地方の特産品として知られているみかんは、栽培の途中で未成熟なみかんを摘果することでより品質の高いものが作られている。このように摘み取られたみかんを摘果みかんと呼び、それらの多くは基本的に廃棄処分されている。宇和島東高校では榎ら(2016)の研究を皮切りに摘果みかんを有効利用する方法を模索し、摘果みかんから再生繊維を合成する方法を研究してきた^[3]。石村ら(2019)によって摘果みかん果皮からセルロースを単離し、銅アンモニアレーヨンの合成に成功したが、強度や成型法に課題を残していた^[1]。私たちは、セルロースを取り出す際の操作方法を工夫したり、市販のセルロースと摘果みかんから取り出したセルロースを混合したりすることで、繊維の強度が上がるのではないかと考え、本研究を行った。



図1 摘果みかん(冷凍)

3 仮説

セルロースを取り出す際の操作を以下のように工夫することで摘果みかん由来のセルロースの純度を上げることができると考える。

ア セルロースを取り出した後の乾燥時間を長くする。

イ 粉砕機を使用して、セルロースをより細かい粉末にする。

また、市販のセルロースと摘果みかん由来のセルロースを混合することで、再生繊維の強度を上げることができると考える。ここでは、摘果みかん由来セルロースのみで合成した再生繊維を「摘果 100」、市販セルロースのみで合成した再生繊維を「市販 100」、質量比で摘果みかん由来セルロース：市販セルロース＝2：1の割合で混合した再生繊維を「摘果 2：1」と称する。

表1 摘果みかん由来セルロースと市販セルロースの割合

	名称	摘果100	市販100	摘果2：1
摘果みかん由来セルロースと市販セルロースの割合(質量)	摘果みかん由来セルロース	100	0	100
	市販セルロース	0	100	50

4 方法

(1) 再生繊維の成型

ア みかん果皮からのセルロースの取り出し

水溶性の不純物を除去するために、80°Cの蒸留水で6時間果皮を処理し、2%の水酸化ナトリウム水溶液を加えてさらに80°Cで6時間処理する。得られた固形成分をろ過して図2のように乾燥させ、乳鉢ですり潰した。さらに粉砕機でより細かい粉末とした。このときの乾燥時間を十分に取った。



図2 乾燥処理後の摘果みかん

イ ホロセルロース処理

操作アで得られた粉末1gに対して、酢酸0.5mL、蒸留水10mL、亜塩素酸ナトリウム1gを丸底フラスコに加えて、図3のようにマントルヒータを用いて、70°C~80°Cで12時間加熱する。得られた固体を乾燥させ、粉末化させる^[4]。

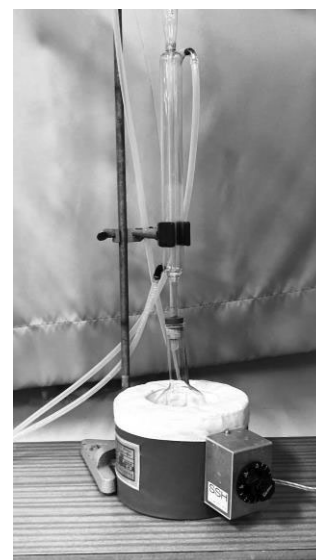


図3 ホロセルロース処理の様子

ウ 銅アンモニアレーヨンの合成

0.75gの水酸化銅(II)と6mLのアンモニア水からシュバイツァー試薬を準備する。操作イで得られた粉末をシュバイツァー試薬に加えて混合する。このとき、摘果みかんから得られたセルロース粉末と市販のセルロースを表1で示す割合で混合した。得られた粘性のある液体をザルで濾した後、袋に入れ、ピンセットで引き出すことで繊維型に成型する(図4, 図5)。

(2) 強度測定

図6のように合成繊維を紙コップとつなぎ、吊るした状態で繊維が切れるまで紙コップに水を入れ、切れたときの重さで評価する。^[2] 今回の研究では、「摘果100」、「市販100」、「摘果2:1」それぞれのサンプル20本ずつ測定し、その平均値を測定値として用いた。

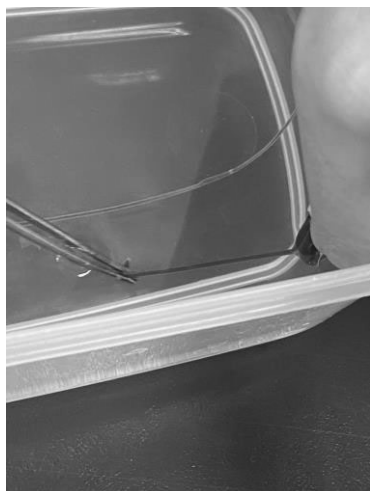


図4 再生繊維の成型

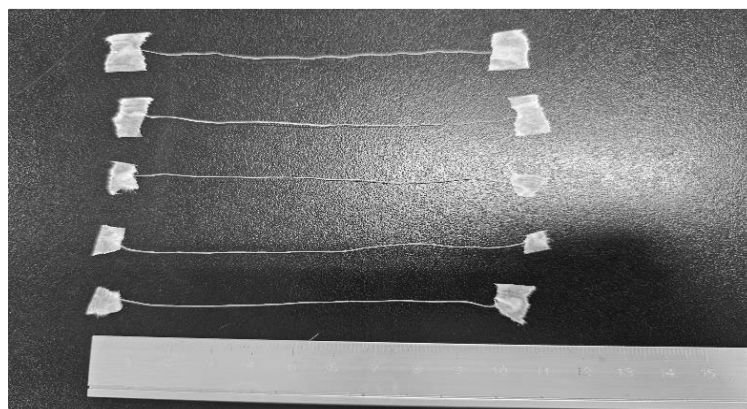


図5 得られた再生繊維

5 結果

図7は各再生繊維を合成 24 時間後に強度測定した結果である。「摘果 100」が「市販 100」より強度の高い再生繊維となっていることが確認された。また、摘果みかん由来セルロースと市販セルロースを混合した「摘果 2 : 1」、は「摘果 100」よりも強度が落ちることも分かった。

図8は各再生繊維を合成した日から数えて1、2、3日後に強度測定した結果である。1日後については「摘果 100」の強度が最も高く、「市販 100」と比べて2.6倍の強度が計測された。また、「摘果 2 : 1」に対しても対「市販 100」比 2.2 倍の強度が計測された。一方、摘果みかん由来セルロースを含む再生繊維の時間経過に伴う強度劣化は激しく、2日後には「摘果 100」は 79.4%、「摘果 2 : 1」は 60.0%の強度ダウンとなった。



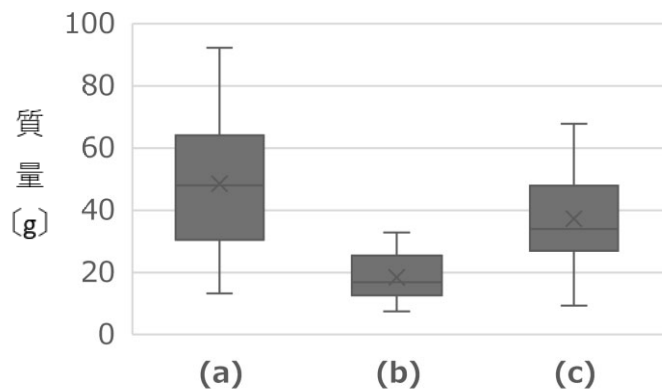
図6 強度測定

6 考察

竹田ら(2023)の報告では摘果みかん由来セルロースから合成した再生繊維は市販セルロースから合成した再生繊維より強度が低かったが、今回、私たちは操作方法の改善をしたことが強度アップにつながったと考えている。

操作(1)アでセルロースを取り出す際、乾燥時間を長くし、粉碎機でより細かい粉末とした(図9)。また、操作(1)ウでセルロース粉末をシュバイツァー試薬に加えた後にザルで濾した(図10)。この操作方法の改善によりセルロースの純度があがり、また、再生繊維を成型するときに生じていた「だま」を失くすことに成功したことが強度アップの理由として考えられる。しかし、時間経過に伴う強度劣化が大きかった。生分解性を持つ再生セルロース繊維の特徴であると考えているが、やや強度が弱くなりすぎているように感じている。

また、摘果みかん由来セルロースと市販セルロースを混合することで飛躍的に強度が上がるという私たちの仮説に沿う結果は得られなかった。「摘果 2 : 1」に関して、合成1日後の強度は「市販 100」より大きかったが「摘果 100」には及ばなかった。互いによく混ざっていないことが原因ではないか



(a) : 摘果 100 (b) : 市販 100 (c) : 摘果 2 : 1

図7 再生繊維の強度測定結果

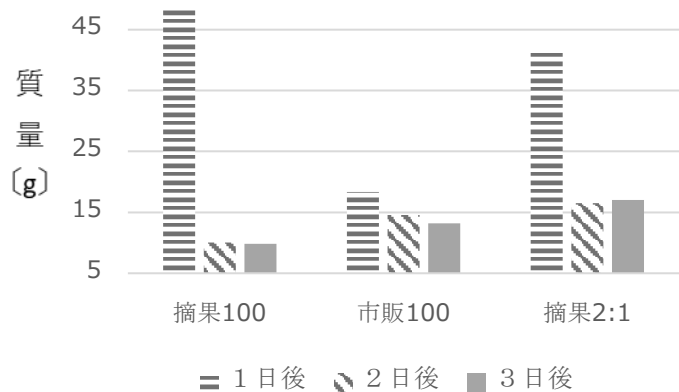


図8 再生繊維の強度測定結果

と考えている。

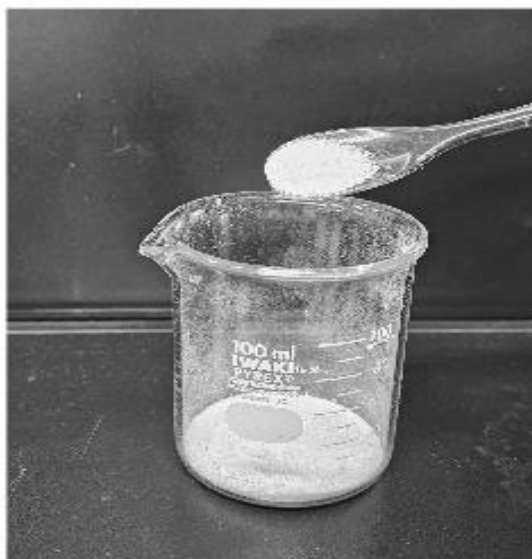


図9 粉砕機を使用して砕いた摘果みかん由来セルロース



図10 成型前にザルで濾す様子

7 今後の課題

合成した繊維の太さに差があり同じ条件での強度測定ができていない。操作（1）ウにおいて太さが均一となる成形手法を確立したい。また、時間経過に伴う強度劣化を抑えるために市販セルロースと混合することで強度アップを試みたが均一に混ざりあっていないため、思うように強度が上がっていないと考えている。操作（1）ウにおいて摘果みかん由来セルロースと市販セルロースが十分に混ざるように工夫していきたい。

私たちが目指す実用化にむけて上記2点に取り組んでいきたい。

8 参考文献

- [1] 石村知規、小川翼、菊池耕史、河野太輔、松浦永和, 2019, 「摘果みかん果皮を原料とする繊維合成」, 『SSH 生徒課題研究論文集』, 愛媛県宇和島東高等学校
- [2] 竹田りえる, 山口涼, 2023, 「摘果みかんから合成した再生繊維の評価方法」, 『SSH 生徒課題研究論文集』愛媛県立宇和島東高等学校
- [3] 榎竜盛, 岡森积至, 川上夢叶, 山本雅隆, 2016, 「摘果みかんを生分解性プラスチックへ ～セルロースを ATTACK!～」, 『SSH 生徒課題研究論文集』愛媛県立宇和島東高等学校
- [4] 福渡七郎、谷口清,1958, 「塩素による脱リグニンの際の抽出について」, 島根農科大学研究報告

ブラッドオレンジに含まれるアントシアニンの機能性評価

2年3組 三好 可眞 2年4組 佐々木美緒
2年4組 宅見 遥 2年4組 藤岡 希羽
指導者 窪地 育哉

1 課題設定の理由

宇和島市は、みかんの産地で有名である。その中でも私たちは生産量が日本一となっているブラッドオレンジに焦点を当てた。ブラッドオレンジは赤黒い果肉を持つことで知られている。その正体はアントシアニンである。アントシアニンとは、果実や花に見られる、植物界において広く存在する色素であり、**図1**に示す基本骨格を持ち、 $R_1 \sim R_7$ に水素や水酸基が入り、その種類は数百にのぼる。津田(2003)は、アントシアニンは、強酸性では、フラビリウム型といわれる構造をとり、赤色を呈し、比較的安定ではあるが、弱酸性、中性領域では、水分子と反応して無色のプソイド塩基に変換し、不安定であることを報告している(**図2**)。吉田(2012)によると、アントシアニンは、金属イオンと錯体を形成して安定化されていることが報告されている。伊藤ら(2013)は、ブラッドオレンジのアントシアニンは、**図1**における

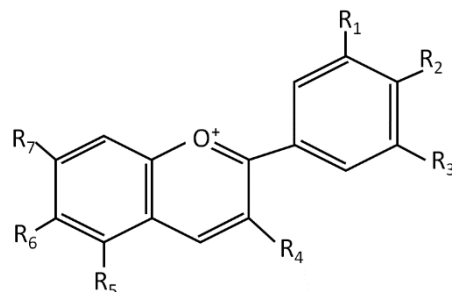


図1 アントシアニンの基本骨格

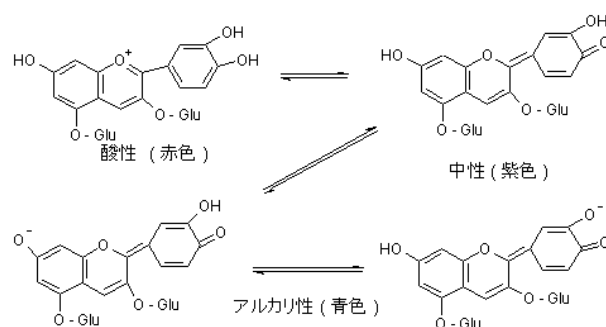


図2 pHによる構造変化

R_4 にグルコースが置換されたシアニジン3グルコシドが多く含まれること、またシアニジン3グルコシドに抗酸化活性があることを報告している。一方、一條ほか(2005)は、活性酸素が病原体感染によって起こる炎症やアレルギー反応を促進する作用を持つことを突き止めた。消費者庁によると、平成17年は3人に1人がアレルギー疾患に罹患していたのに対し、平成23年には2人に1人となっており、アレルギー疾患により医療機関を受診する患者数は、増加傾向であると報告されている。私たちは、ブラッドオレンジのアントシアニンの抗酸化活性に注目し、アレルギー抑制効果があるのではないかと考え、本研究を行った。また、アントシアニンを安定化させるためにpHと金属イオンとの関係にも注目した。

2 仮説

- (1) ブラッドオレンジに含まれるアントシアニンにはアレルギー抑制効果がある。
- (2) ブラッドオレンジに含まれるシアニジン3グルコシドは金属イオンの種類によって、安定の仕方が異なる。

3 研究の方法

- (1) 仮説(1)の検証《IgE産生抑制効果の実験》

【試薬】

コーティング緩衝液：50mmol/L炭酸緩衝液 (pH9.6)，ブロッッキング剤：5%スキムミルク-リン酸緩衝生理食塩水，洗浄剤：0.05%Tween20-PBS (T-PBS)，発色基質：2,2'-アジノビス(3-エチルベンゾチアゾリン-6-スルホン酸)，(ABTS)， H_2O_2 ，酸素反応緩衝液：50mmol/Lクエ

ン酸緩衝液 (pH4.0), 酸素反応停止液: 1.5% シュウ酸水溶液, 抗ヒト IgE 抗体, ヒト IgE: 検量線用標準液 100ng/mL, ビオチン標準抗ヒト IgE 抗体, HRP 標識ストレプトアビジン複合体溶液

【実験操作】

- ① ブラッドオレンジの色素液とメタノールを 1:1 で抽出した溶液を作る。
- ② ヒト脊髄種細胞株の U266 細胞株を増殖し, この細胞に①で抽出した溶液を滴定する。
- ③ 酵素抗体法を用いる。
 コーティング - IgE だけに結合する 1 次抗体を植え, 4°C で 24 時間以上静置する。
 ブロッキング - タンパク質が結合しやすいようにスキムミルクで満たし, 4°C で 12 時間静置する。
 培養上清の反応 - ヒト IgE 標準液を含むサンプルを一次抗体に結合させ, 37°C で 1 時間静置する。
 二次抗体 - ビオチンが付着している二次抗体と一次抗体でサンプルをはさみ, 37°C で 1 時間静置する。
 アビジン処理 - ビオチンに強く反応するタンパク質が含まれる HRP 標識ストレプトアビジン複合体を加える。37°C で 1 時間静置する。
 ABTS 添加-発色基質の ABTS を添加する。室温で 30 分置く。
 酵素反応の停止 - 37°C で 1 時間置く。
 吸光度測定 - 産出された IgE 量を定量する。

(2) 仮説(2)の検証《吸収スペクトルの測定》

- ① pH3、5、7、9、11 の溶液を塩酸とアンモニア水を用いて調整する。
- ② ブラッドオレンジの色素液と①で作成した溶液と目的の金属イオンの硝酸溶液を、1 : 1 : 1 で混ぜる。
- ③ ベースラインを (メタノール : 蒸留水) = (3 : 1) で引く。
- ④ 金属イオンを含まない基準線を (メタノール : 色素液) = (1 : 1) で引く。
- ⑤ 測定する混合液を石英セルに入れ、設置する。
- ⑥ 吸光度計を使って②で作成した溶液の吸光度を測る。

4 結果と考察

(1) 《IgE 産生抑制効果の実験》

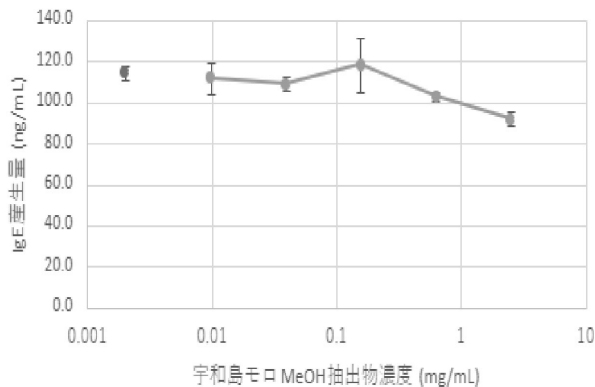


図3 IgE産生抑制効果

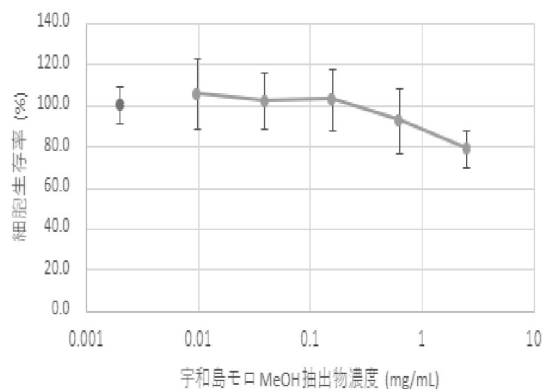


図4 細胞毒性

酵素抗体法の結果を図3および図4に示す。図3より、わずかにIgE産生量の減少がみられるものの、図4より、U266細胞の生存率も減少しており、IgE産生効果が下がっているのは、ブラッドオレンジのアントシアニンが働いたのではなく、IgEを産生する細胞の数が死滅していたためと推察した。アレルギー抑制効果は認められないという結果となった。

(2) 《吸収スペクトルの測定》

pH3のブラッドオレンジ果汁抽出液に各イオンを添加した際の吸収スペクトルを図5に、pH3, 5, 7, 9, 11のブラッドオレンジ果汁に各イオンを添加した溶液についての515nmにおける吸光度を図6に示す。

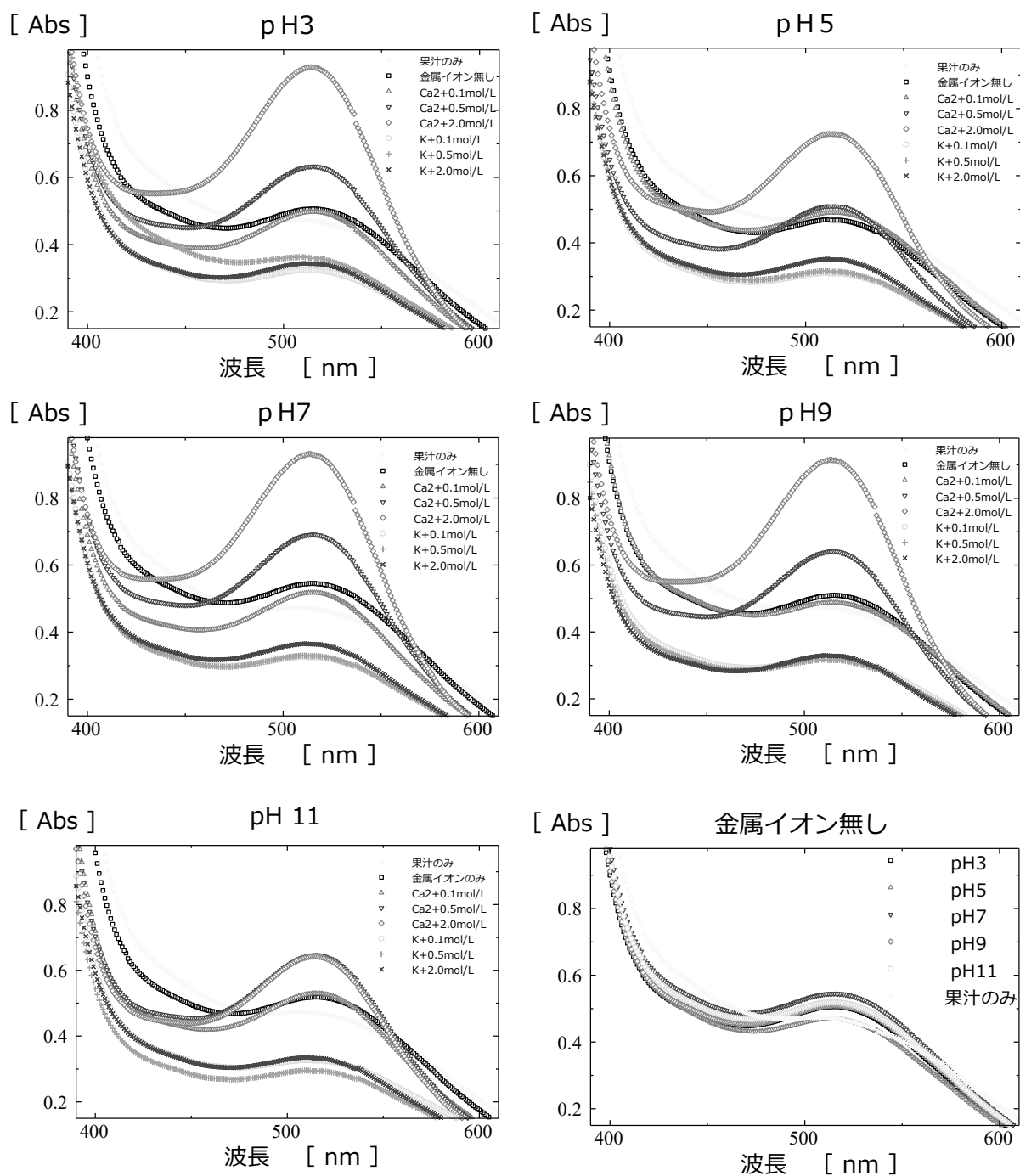


図5 抽出液の吸収スペクトル

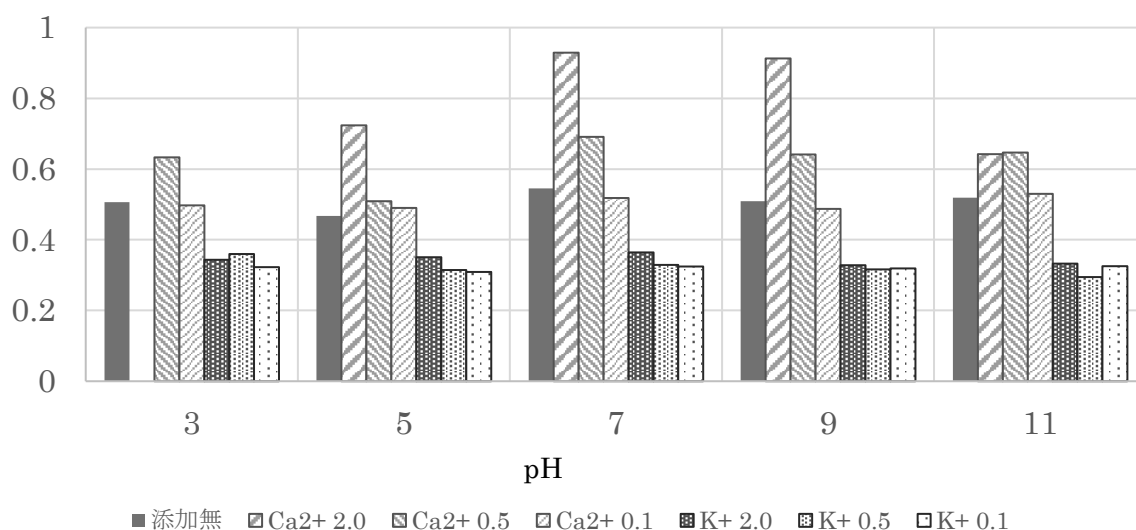


図6 515nmにおける吸光度

515nmにおける吸光度についてまとめた図6によると、イオンを添加しない場合の吸光度は、pHによらずほぼ0.5近くの値を示す。0.1 mol/L, 0.5 mol/L, 2.0 mol/L カリウムイオン添加により吸光度が低下した。また、カリウムイオン濃度による吸光度低下の差は見られないという結果となった。カルシウムイオンの場合は濃度0.1mol/Lのものを加えた場合は吸光度の変化がなかったものの、0.5 mol/L, 2.0 mol/Lのカルシウムイオン添加により吸光度が大きくなるという結果が得られた。イオンとアントシアンとの相互作用が確認できた。

4 まとめと今後の課題

ブラッドオレンジの色素液にはIgE抑制効果がないということが明らかになった。また、カリウムイオンおよびカルシウムイオン添加により、わずかながら色調の変化が見られ、515nmにおける吸光度の変化としても明らかさにされた。今後温度により色調がどう変化するかなどを調べて、アントシアンの安定性について詳細を明らかにしていきたい。

5 謝辞

本研究に御指導・御助言をいただきました愛媛大学大学院農学研究科生命機能学専攻助教の石田萌子先生、近畿中国四国農業研究協議会の石田史朗様に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- ・伊藤史朗、石川英樹、清水篤、菊池毅洋、毛利幸喜、森重陽子、石川祐子. ブラッドオレンジ'タロッコ'果肉中のアントシアニンおよびフラボノイド含量が水溶性酸素ラジカル吸収能(H-ORAC)に及ぼす影響. 近畿中国四国農業研究=Kinki Chugoku Shikoku agricultural research. 2013, vol. 22, p. 43-49.
- ・津田孝範. 高機能性食品因子, アントシアニン類の新しい生理的意義に関する基盤研究. 日本栄養・食糧学懐紙. 2003, vol. 53, no. 1, p35-43
- ・愛媛県立松山南高等学校色素班. 糖によるアントシアニンの安定化とアレルギー抑制効果の研究
- ・厚生労働省健康局がん・疾病対策課.” アレルギー疾患の現状等”. 厚生労働省. 2016. , (参照 2024-01-24).
- ・日本分析化学専門学校.” すぐできる！なるほど★ザ★化学実験室”. 日本分析化学実験室. 2021. , (参照 2024-01-24).
- ・一條秀憲、佐藤雅裕,” 活性酸素が炎症・アレルギー反応を活性化する新たな仕組みの発見— 感染防御（自然免疫システム）における新たな細胞内分子機構—”. 科学技術振興機構. 2005. (参照 2024-01-24).

試験管に付着したゴム状硫黄の除去

～コストダウンと完全除去率 100%への道～

2年4組 薬師寺創太 2年4組 松崎 陽向
2年4組 浅田 美晴 2年3組 清水 公将
指導者 蒲池 健人

1 課題設定の理由

硫黄の同素体の生成実験において使用した試験管はゴム状硫黄が内部に付着する。付着したゴム状硫黄は単純な洗浄によってはがすことが難しいため、実験で使用した試験管は破棄されてしまうことが多い。先行研究より、ゴム状硫黄作成後、横置きで100日静置した試験管を液体窒素に浸し、6.0mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液を入れて擦ることで完全に除去できることが分かっている⁽¹⁾。しかし、ゴム状硫黄を除去するまでに静置期間が100日必要であること、除去するために液体窒素を使用するコストがかかることが課題である。そこで本研究では、静置期間の短縮と液体窒素を使わずにゴム状硫黄を完全に除去することを目指した。

2 仮説

先行研究より、ゴム状硫黄作成後、横置きで25日静置した試験管についても除去率が50%程度あることが報告されている。また、ゴム状硫黄を完全に除去するためには液体窒素との接触が必要であると報告されている。試験管からゴム状硫黄がはがれる要因として、液体窒素が無極性分子であること、常温で気化し爆発的に体積が大きくなることという2つの性質が関わっていることが示唆されている⁽¹⁾。そこで本研究では、次の3つの仮説を立てて検証を行った。

- (1) ゴム状硫黄作成後、横置きの試験管の静置期間が100日より短い期間でも完全にゴム状硫黄を除去できる。
- (2) 水は凝固の際、体積が膨張する性質⁽²⁾があることに着目して、液体窒素の代替手段として水を用いてもゴム状硫黄を除去できる。
- (3) 試験管からはがれるゴム状硫黄の構造には共通する構造が見られる。

3 研究の方法

仮説の検証のため、ゴム状硫黄が付着した試験管について実験①～③を行う。ゴム状硫黄が付着した試験管は、硫黄を試験管の中に3分の1入れて加熱し、生成されたものを外部に放出して作成した。また、比較検討のため、作成した試験管はいずれも横置きで指定の日数、静置した。その後、実験①～②を行った後、6.0mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液に1日接触させ、最後に試験管洗浄機で洗浄することとする。

実験① 日数による比較

試験管を30日、50日、70日静置した後、液体窒素を試験管内部に接触させて比較。

実験②-A 水の除去効果の検証

試験管を0日～100日静置した後、試験管に水を入れたまま、横置きで1日凍らせて比較。

実験②-B 水の除去効果の検証

試験管を0日～100日静置した後、試験管に水を入れ、内部のゴム状硫黄を湿らせて、水を出した後1日凍らせて比較。

実験③ ゴム状硫黄の構造変化の確認

試験管内のゴム状硫黄の静置日数による構造変化を顕微鏡で確認する。

4 結果と考察

図1に実験①の結果を示す。

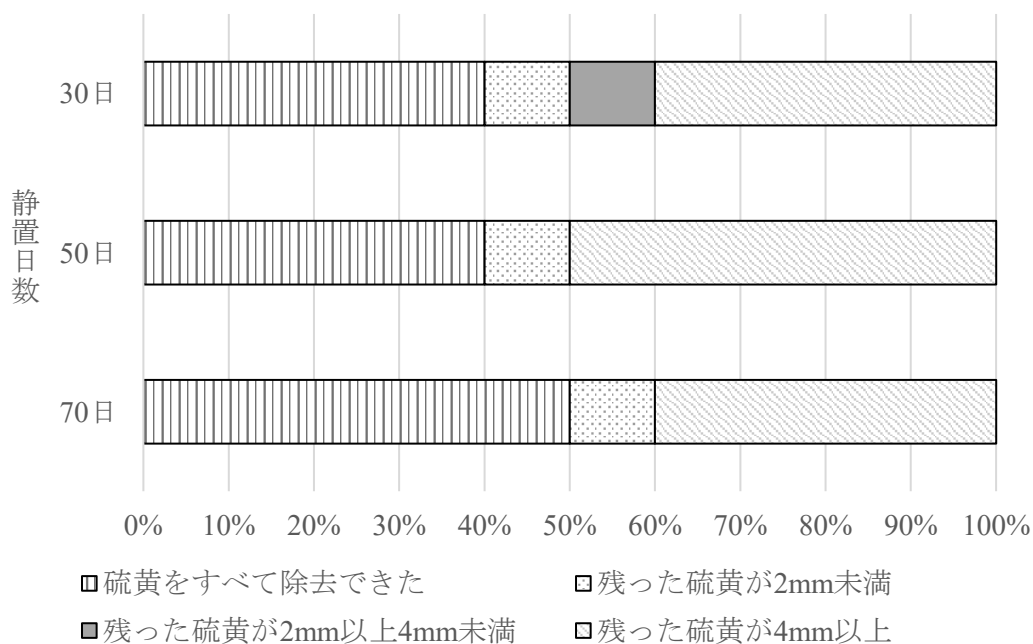


図1 静置日数を変化させたときのゴム状硫黄の除去状況

図1より、70日の静置期間ではすべての試験管内のゴム状硫黄を完全に除去することはできなかった。今回の結果から、静置後、液体窒素に浸し、6.0mol/Lの水酸化ナトリウム水溶液と接触させる今回の除去方法では、静置日数を70日～100日にすることがゴム状硫黄の完全除去には必要であることが分かった。

図2に実験②-Aの結果を示す。

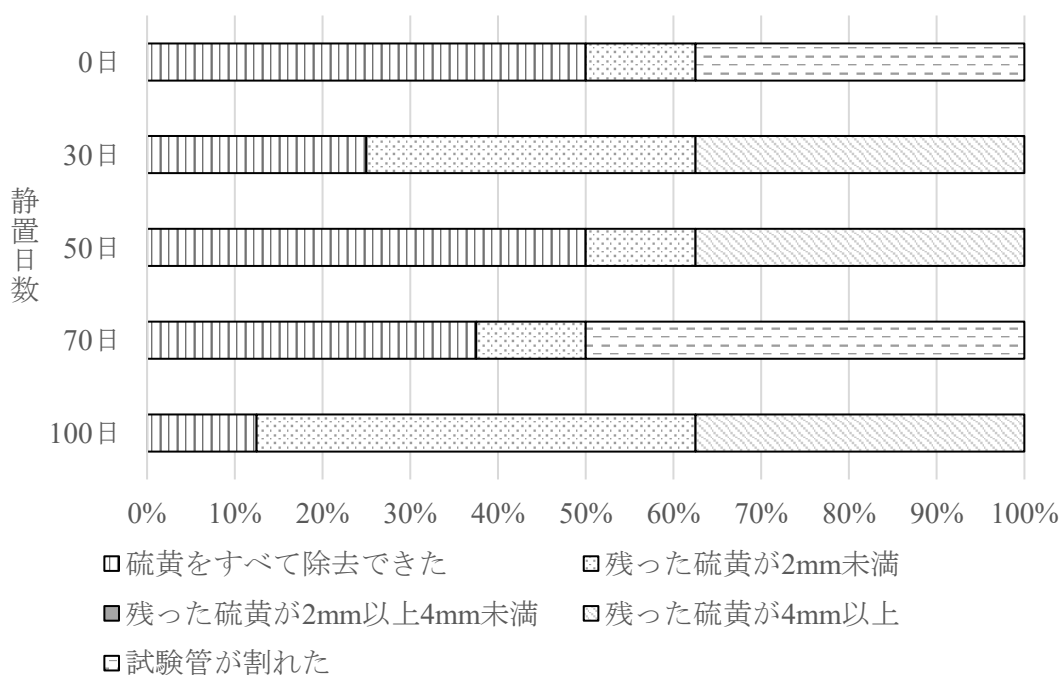


図2 試験管内を水で満たしたまま凝固させた場合のゴム状硫黄の除去状況

図2より、いずれの静置日数でも、水によるゴム状硫黄の完全除去が可能であることが分かった。この結果より、ゴム状硫黄の除去には体積膨張が可能な溶媒との接触が必要であることが考えられる。静置期間中に、ゴム状硫黄の相転移により構造に変化が生まれることで隙間ができたと考えられる。そこに液体窒素や水が入り込み、気化もしくは凝固による体積膨張が起こることで硫黄の隙間が広がり、はがれやすくなったと考えられる。今回の結果より、試験管からゴム状硫黄を除去するために必要であった液体窒素の代替として水の凝固を使うことが可能であると言える。よって、液体窒素を購入・保管するためのコストに関する課題は解決できたと言える。しかし、静置期間0日、70日の結果から、水を試験管に満たしたまま凝固させた場合、体積膨張の影響で試験管が割れてしまう可能性があることが分かった。液体窒素の気化による体積膨張とは異なり、凝固による体積膨張であるため、直接試験管にも体積膨張の影響を及ぼしたと考えられる。

図3に実験②-Bの結果を示す。

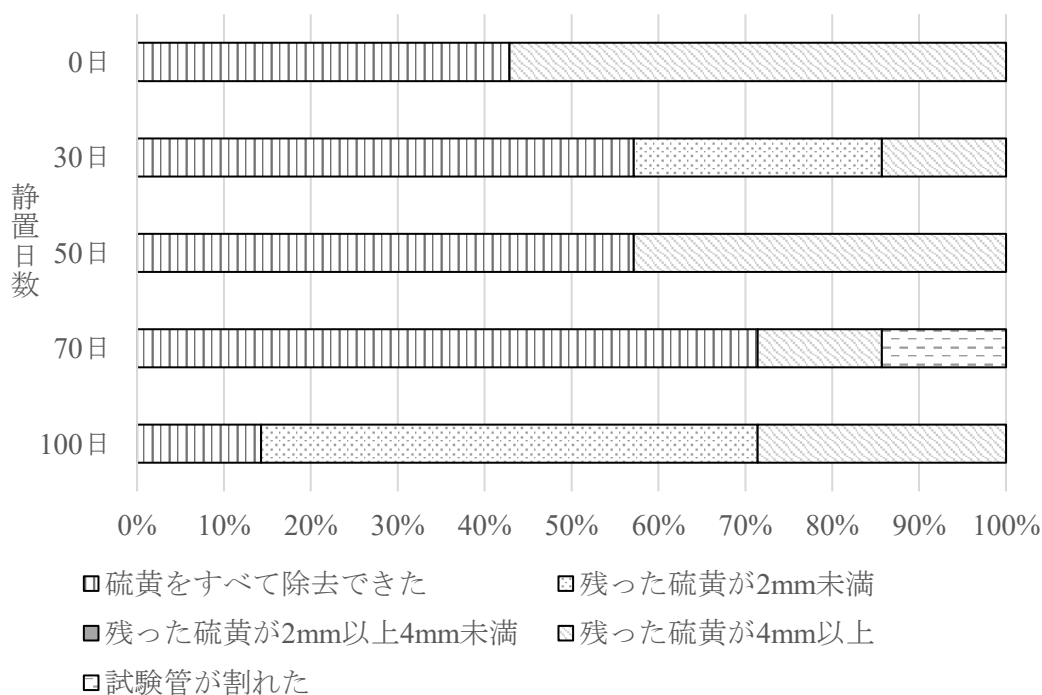


図3 水で湿らせて凝固させたゴム状硫黄の除去状況

図3より、いずれの静置日数でも、水によるゴム状硫黄の完全除去が可能であることが分かった。さらに、実験②-Aの結果と比べると、高精度でゴム状硫黄を完全に除去できることが分かった。また、実験②-Aでは、静置期間0日で38%、70日で50%の割れた試験管が確認されたが、実験②-Bでは静置期間70日で14%しか割れた試験管が確認できなかった。以上の2つの結果から、水の凝固を用いてゴム状硫黄の除去を目指す場合、試験管に水を満たしたまま凍らせるのではなく、ゴム状硫黄を湿らせる程度の水を残したまま凍らせる方が除去方法として適していると分かった。このことから、試験管に水を満たしたまま凝固をさせると、ゴム状硫黄の構造の内部に入り込んだ水の体積膨張とゴム状硫黄の外側の水の体積膨張が押し合い、ゴム状硫黄をはがすことができなかつたと考えられる。ゴム状硫黄が湿る程度の水を入れて凝固させた場合は、ゴム状硫黄の構造の内側に水が入り込むことは変わらないが、試験管内が水で満たされていないため、ゴム状硫黄の外側に水が存在しない。結果として、凝固が起こったときに、内側からの体積膨張しか起こらずゴム状硫黄の構造の隙間が広がり、はがれやすくなったと考えられる。

図4, 5に実験③の結果を示す。

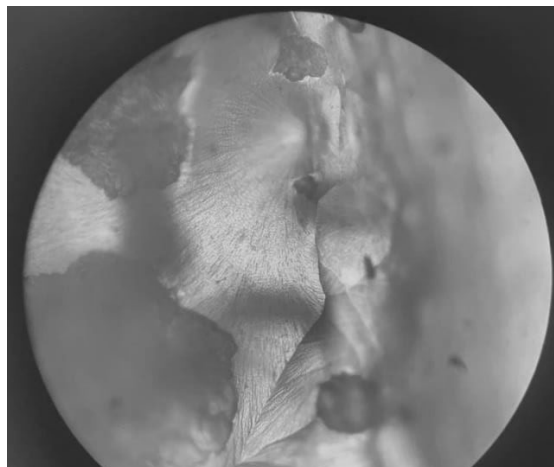


図4 静置期間0日

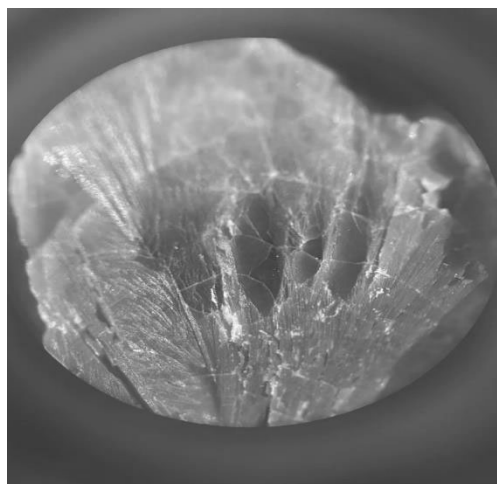


図5 静置期間60日

図4の静置期間0日では見られなかったひびが、図5の静置期間60日の段階で確認できた。このひびは、ゴム状硫黄が相転移によって斜方硫黄に構造変化したことにより隙間が生じたことと乾燥によりその隙間が広がったことにより生じたと考えられる。実験①～②の結果と合わせると、このひびに液体窒素や水のような体積膨張が可能な溶媒が入り、隙間を大きくしてはがれやすくなった後、水酸化ナトリウム水溶液を入れ試験管とゴム状硫黄の接着面を溶かすことによって、ゴム状硫黄の完全除去が可能になると考えられる。今回の観察結果から静置期間が長くなれば長くなるほどゴム状硫黄の構造変化が進むことで、ひびの数が多くなり隙間が広がると考えられる。隙間が大きくなれば本来、溶媒の体積膨張の影響が働きやすく、はがれやすくなると考えられるが、実験②では100日静置したものが最もはがれにくい結果となった。これは、溶媒の体積膨張が気化によるものか凝固によるものかの違いであると考えられる。気化による体積膨張は常温で瞬間的に発生するため隙間に対して効果的に作用する。しかし、凝固による体積膨張では固まるまでの時間がかかるため、隙間が大きくなりすぎると水が保持されず体積膨張が効果的に作用されなかったと考えられる。

5 まとめと今後の課題

今回の実験から、ゴム状硫黄の完全除去に液体窒素を用いる場合70日～100日の静置期間が必要であると分かった。水を用いる場合は70日の静置期間をとった上で試験管に水を入れ、ゴム状硫黄が湿る程度の水を残し凝固させることがゴム状硫黄の完全除去の可能性を高めることができること示唆された。また、ゴム状硫黄を湿らす程度の水であれば試験管が割れることも抑えることができると考えられる。ゴム状硫黄の静置期間ごとに状態の観察から、はがれやすくなる要因が構造変化によるひびの発生と増加によるものであると見出した。

今後の課題としては、水を用いたゴム状硫黄の完全除去率を100%にする方法の検討を行っていく必要がある。また、ゴム状硫黄の静置期間による構造変化についてデータの数を増やし、どの構造において除去が最もしやすくなるか調べる必要がある。

参考文献

- (1) 吉見 心優, 田中 風吹, 浅田 美晴, 井上 日和.
試験管に付着したゴム状硫黄の除去方法の確立.
令和4年度愛媛県宇和島東高等学校 SSH 生徒課題研究論文集, 2023, p.12-13
- (2) 卜部 吉庸. 化学の新研究 第3版. 三省堂, 2023, p.77

牡蠣殻コンクリートで人類を救おう！

2年3組 山下 さくら 2年3組 和賀山 翔 2年4組 四宮 向陽
2年4組 下元 心遙 2年4組 徳田 晶
指導者 藤岡 哲

1 課題設定の理由

近年、地球温暖化が世界的な問題となっており、洪水や台風の巨大化、猛暑や寒波など気象現象の激化との関連が取り沙汰されている⁽¹⁾。そのため温室効果ガスである二酸化炭素の排出量を削減することが地球規模での人類の課題となっている。また本研究のメンバーは今夏、東日本大震災の被害と復興の様子現地視察に行く機会を得、大きな災害後の復興の際に建材が不足した⁽²⁾ことを知り、地産地消の新たな資材が必要になると考えた。これらのことから、私たちにできることはないかと考え、ここ愛媛県南予地域の名産品である牡蠣の貝殻の主成分が炭酸カルシウムであることに着目した。牡蠣殻をコンクリートの骨材に置き換えることで、新しい資材の獲得とコンクリート内に二酸化炭素を長期的に固定し海中や空気中に放出される二酸化炭素量の削減ができるのではないかと考え、本研究を行った。

2 目的

- 貝殻をコンクリートの骨材に置き換えることで本来空気中に放出されるであろう二酸化炭素をコンクリート内に固定し温室効果ガスの排出抑制を図る。
- 事前復興の観点から建築資材の地産地消を目指す。

3 研究の方法

実験1 逆滴定を用いたCO₂含有量の導出

(1) 破碎した牡蠣殻を、乳鉢で粉末状に加工した。

(2) (1)の牡蠣殻粉末を0.500g、1.000g、1.500g秤量し、3つのビーカーに分け、そこに希塩酸を10ml加え、パラフィルムでビーカーを密閉し、1週間静置した。

(3) 牡蠣殻と反応せずに残った希塩酸を調べるために(2)の溶液を10倍希釈した後、水酸化ナトリウム水溶液を用いて逆滴定を行い、牡蠣殻1.000gに含まれているCO₂量を計算した。(ただし、貝殻に含まれる弱酸塩を全てCaCO₃だと仮定した。)

※ アコヤ貝殻でも同様の実験を行った。



図1 塩酸で処理中の牡蠣殻

実験2 コンクリート作製・強度測定I

(4) 砂利、砂、セメントを6:3:1⁽⁴⁾で混ぜたコントロールコンクリートを牛乳パックに流し込んで静置した。

(5) コントロールコンクリートの砂利の部分牡蠣殻に置き換え、(4)と同様に6:3:1で混ぜ牡蠣殻コンクリートとし、牛乳パックに流し込んで静置した。コントロールより骨材が水を吸収したため、同様の粘度に調整するために水を100mL余分に加えた(表1)。

(6) 28日間静置した後にコンクリートテストハンマー(図2・3)を用いて9点の反発度を測定⁽⁵⁾し、その平均値を各コンクリートの反発度とした。

表1 実験条件 単位はmL

	粗骨材	細骨材	セメント	水
コントロール	600	300	100	400
牡蠣殻	600	300	100	500

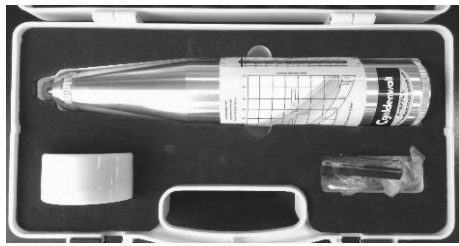


図2 コンクリートテストハンマー



図3 反発度測定の様子

実験3 校舎コンクリート強度測定

学校内校舎のコンクリート強度をコンクリートテストハンマーで測定し、自分たちが作ったコンクリート強度の参考とした。

実験4 コンクリート作製・強度測定II

(7) 砂利、砂、セメントを4:2:1⁽⁴⁾で混ぜたものをコントロールコンクリートとし、牛乳パックに流し込んで静置した。

(8) コントロールコンクリートの砂利を牡蠣殻に置き換えたものを牡蠣殻コンクリートとし、牛乳パックに流し込んで静置した。

(9) (8)と同様に、砂利をアコヤ貝殻に置き換えたものをアコヤ貝コンクリートとし、牛乳パックに流し込んで静置した。実験2からの改善点として、コンクリートの側面が膨らまないようにガラス板で牛乳パックの間を仕切った(図4)。



図4 コンクリート作成方法

(10) 28日間静置した後、コンクリートテストハンマーを用いて9点の反発度を測定し⁽⁵⁾、その平均値を各コンクリートの反発度とした。

4 結果と考察

実験1

牡蠣殻およびアコヤ貝殻と塩酸を反応させた溶液を逆滴定して導いた値からCO₂含有量とその平均値を求めた結果を示す(表2)。得られた値は、理想値に近い値となった。

表2 貝殻1.000gあたりのCO₂含有量

牡蠣殻	0.429g
アコヤ貝殻	0.433g
CaCO ₃ (理想値)	0.44g

実験2

表3 各コンクリートの強度測定結果

測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均値	圧縮強度
コントロール	11.6	12.3	9.20	14.0	13.0	12.1	13.2	14.3	12.9	12.51	-2.11
牡蠣殻	11.8	11.9	10.4	10.0	11.7	14.4	11.8	14.2	15.9	12.46	-2.18

実験2の結果で得た、コントロールコンクリートと牡蠣殻コンクリートの反発度の測定値を示した(表3)。

両コンクリートの反発度の平均値はほとんど等しい値であった。しかし骨材に対するセメントの比率が小さいことやコンクリートに多数の気泡が生じていたため、両コンクリートともに強度が弱くなってしまったことや、コンクリートの側面が湾曲しており反発度を測定する際に

測定値に誤差が生じたことが考えられる。

また、我々は以下の換算式をもとに反発度だけでなく圧縮強度による強度数値も出した。

$$F = (-18.0 + 1.27 \times R_o) \times \alpha \quad (\text{日本材料学会標準式})^{(6)}$$

※Fは圧縮強度(N/mm²)、R_oは反発度の平均値、αは材齢補正係数を表す。

推定した圧縮強度から、今回作ったコンクリートの強度はかなり弱いことが分かった。

実験 3

表 4 学校内のコンクリートの強度測定結果

測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均値	圧縮強度
渡り廊下	42.2	48.1	41.9	40.1	41.3	47.7	46.0	48.5	43.0	44.3	22.96
体育館横	43.8	41.7	40.0	43.8	44.5	44.7	42.4	43.9	42.3	43.0	21.97
特別教棟横	45.0	39.7	37.9	43.7	41.9	40.0	48.0	43.5	35.9	41.7	20.98
中庭の柱	37.8	39.6	41.5	42.3	37.5	36.2	37.9	40.1	39.8	39.2	19.07

実験で作製したコンクリートと比較するために校舎のコンクリート強度測定を行った結果を示す(表4)。

実験 4

表 5 各コンクリートの強度測定結果

測定点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均値	圧縮強度
コントロール	15.9	16.0	12.6	13.7	11.2	8.0	12.5	11.9	11.7	12.6	-1.99
牡蠣殻	17.7	17.0	13.9	13.9	12.0	18.0	22.0	20.2	16.0	16.7	3.26
アコヤ貝	11.0	9.9	9.9	9.2	9.0	9.5	8.0	10.0	7.0	9.28	-6.21

実験2で作成したコンクリートの強度があまりにも低かったため、比率を変えて実験4を行った結果、得られたコンクリートの反発度の測定値を上にした(表5)。反発度の平均値は高い順に牡蠣殻コンクリート、コントロールコンクリート、アコヤ貝コンクリートとなった。アコヤ貝殻に比べて牡蠣殻は殻が厚く構造が複雑なため、牡蠣殻コンクリートの反発度の値が大きくなったと考えられる。アコヤ貝コンクリートは他のコンクリートと比べて明らかに乾燥が不十分で湿っており、測定時にひび割れが生じた。コンクリート自体も海産物のような臭気があり、タンパク質など何らかの有機物が被膜を作ることによって乾燥を妨げた可能性を示唆している。

実験2では立方体のコンクリートを作製したが、一つ一つの面の面積が小さく測定点を多く取ることが難しかったため、実験4では一本の牛乳パックに実験2の約2倍量のコンクリートを流し込み、直方体状のコンクリート塊を作製した。その結果、測定点を増やすことには成功したが、コンクリートが乾燥しにくくなったこと、気泡が抜けにくくなり、コンクリート表面に気泡による凹凸ができてしまったことなどが生じ、測定値に誤差が生じた可能性が考えられる。

測定値より圧縮強度を求めると、牡蠣殻コンクリートは正の値を取ったが、他のコンクリートでは負の値を取る結果となった。

作製したコンクリートを秤量し、密度を求めた（表6）。

牡蠣殻コンクリートはコントロールコンクリートよりも密度が小さく軽量であることがわかった。

表6 各コンクリートの密度

	密度 (g/cm ³)
コントロールコンクリート	2.46
牡蠣殻コンクリート	1.90
アコヤ貝コンクリート	1.96

5 まとめと今後の課題

逆滴定を用いた牡蠣殻のCO₂含有量を求める実験では、成分のほとんどがCaCO₃であると仮定して実施し、牡蠣殻 1.000 g に中の CO₂含有量は理論値に近い値が得られた。しかし牡蠣殻内に塩酸と反応した弱酸塩が含まれている可能性も考えられるため、今後、焼成実験⁷⁾を行い、より正確な値を導きたい。

コンクリート作製の際、気泡を抜く目的で小型のマッサージ器を約1分間牛乳パックの側面に当てる工程を加えたが、完成したコンクリートには空隙が見られた。また牛乳パック同士の仕切りにガラス板を差し込むなどの実験装置の改善を行ったが、コンクリートの側面を完全に平面にすることは難しく、強度測定を行う際にぐらつきが生じることもあり、正確な数値を測る難しさを感じた。本研究では費用や手軽さの面からコンクリートテストハンマーを用いた強度試験を採用して圧縮強度を推定したが、この方法は測定値のばらつきが大きく本来の圧縮強度との推定誤差が大きいため、より正確な圧縮強度試験を行いたい。また、コンクリートの強度には様々な種類があり、圧縮強度以外の強度も測定したい。

本研究結果を用いて東日本大震災の復興に使われたコンクリートの量からこれから起こるかもしれない自然災害の復興に必要な牡蠣殻の量を試算したいと考えている。震災復興においては必ずしもJISで定めるような高品質のコンクリートを必要とせず、例えば盛土材や埋戻材で圧縮強度0.5~1.5N/mm²程度でよいとされる⁸⁾ので、私たちが製作した牡蠣殻コンクリートの圧縮強度でも十分である可能性が高い。また、牡蠣殻コンクリートは軽量であることから、建築材としての可能性も残していると考えており、さらに本研究を発展させていきたいと考えている。

参考文献

- (1) 土屋敏之. “地球温暖化と激化する気象災害”.NHK 解説委員室.<https://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/100/302856.html>,(2024-01-26)
- (2) 橋本真一. 復興2年間の建築資材・工事費単価の推移と今後の動向. 建設物価調査会, 2013.
- (3) 井上晋. コンクリートなんでも小辞典. 講談社, 2008. [313]
- (4) DCM 株式会社. “コンクリートとモルタル”.快適生活ガイド.<https://www.dcm-hc.co.jp>
- (5) 日本産業規格. “コンクリートの反発度の測定方法”.日本産業規格の簡易閲覧.2012.<https://kikakurui.com/a1/A1155-2012-01.html>,(2024-01-26)
- (6) 埼玉県. “シュミットハンマーによる試験要領”.埼玉県.平成15年10月1日.
<https://www.pref.saitama.lg.jp/documents/147086/312syumitto.pdf>,(2024-01-26)
- (7) 大野ら.アコヤ貝を用いた制酸薬の合成.令和4年度宇和島東高等学校SSH 生徒課題研究論文集
- (8) 堀口ら.東日本大震災で発生したコンクリートがれきの有効利用技術の開発.大成建設技術センター報第45号 (2012)

四万十川における農業排水による濁水化の改善 ～より効果的な凝析効果の研究～

2年4組 薬師寺晃久 2年4組 江里 文花
2年3組 村田 萌桃 2年3組 中井 千聖
指導者 吉良 春英

1 課題設定の理由

宇和島市三間町は「寒暖差が激しい気候と粘土質の多い土壌に恵まれている」⁽¹⁾ことから、米どころとして有名である。しかし、地域のブランド米である「三間米」を作る水田では、代かきなどにより粒の細かい泥（粘土鉱物）が巻き上がり、濁った状態となる。その濁水が、農業排水として三間川を通じて本流である清流四万十川まで流れ、景観を損ねてしまうことが近年問題視されている



図1 三間川と広見川の合流地点

（図1）⁽²⁾。愛媛県や宇和島市などの周辺自治体や四万十川財団は、その対策として滋賀県の事例⁽³⁾を参考にしながら、浅水代掻きの実施や硫酸カルシウムを主成分とするセッコウ資材を水田に散布する⁽⁴⁾ことで、濁水を低減するための実証実験を進めている。

また宇和島東高校では、水産業で有名な宇和島市ならではの廃棄物であるさまざまな種類の貝殻の活用に向けた研究を行ってきた⁽⁵⁾。濁水対策として散布されるセッコウ資材の成分は硫酸カルシウム（ CaSO_4 ）であり、カルシウムイオンを多く含むという点で貝殻と類似点がある。先行研究ではアコヤ貝の貝殻から生成した酢酸カルシウムはセッコウ資材と同程度の凝析効果を示すことを明らかにしている。⁽⁶⁾また、大西ら（2016）は有機酸である酢酸が植物の成長を促進することを報告している。⁽⁷⁾そこで私たちは酢酸カルシウムの濃度差による凝析効果・植物への生育効果を明らかにする、酢酸カルシウムの濃度によって凝析効果に差が出ることを明らかにするための研究を行った。また将来的には廃棄物である貝殻を有効利用し、地域の課題である農業排水による四万十川濁水を解決したいと考えこの課題を設定した。

2 仮説

- (1) 酢酸カルシウム水溶液の濃度を高くすることによって凝析効果を高くすることができる。
- (2) 塩基性である酢酸カルシウムによって水の性質が塩基性に偏り、動植物にとって害となる。
- (3) 有機酸の塩である酢酸カルシウムは植物の成長を促進する。

3 研究の方法

(1) 酢酸カルシウム水溶液の濃度差による沈殿効果の比較

この凝析効果の比較実験には三間町迫目の土を用いた。この土は実証実験が行われている地区と同じ場所の水田の物を用意した。水は純水を用いた。この実験で使う酢酸カルシウムは純粋な酢酸カルシウム水溶液を用いて実験した。土 20g をそれぞれペットボトルに入れ、 $1.0 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 、 $5.0 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 、 $1.0 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ に濃度を設定した酢酸カルシウム水溶液をそれぞれ入れ、1 分間振とうしたのち静置して観察をした。

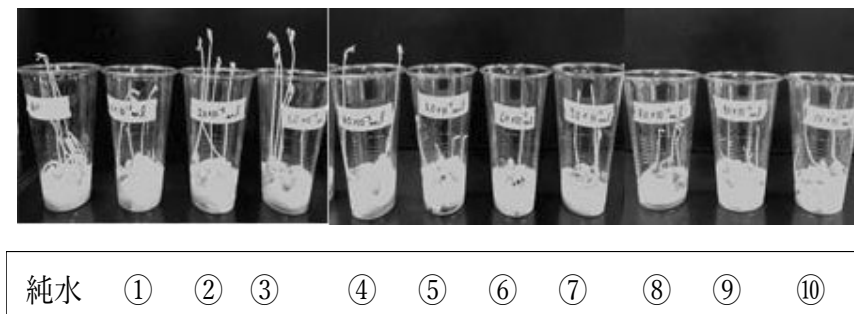
振とう後、10、30、50、70 分後の吸光度を島津 UV-mini1240 を用いて測定した。この吸光度は純水の透過率を 1 としたときの透過率の割合である。装置の都合上、吸光度は赤(700nm)の物を計測した。また、比較資料として既存資料として三間町の水田で使われている硫酸カルシウムの吸光度を計測した。サンプルの採取は水面下 1cm を駒込ピペットを用いて採取した。

(2) 酢酸カルシウム水溶液が与える環境への影響

- a (1)で使用した 70 分後の模擬濁水の pH を pH メーター(APERA 社 PH-60Z) を用いて計測した。
- b (1)で使用した 70 分後の模擬濁水の COD 値をパックテスト(TZ-RW-3、低濃度用)を用いて計測した。
- c $1.0 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 、 $5.0 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ 、 $1.0 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ の酢酸カルシウム水溶液について COD 値を測定した。

(3) 酢酸カルシウム水溶液の濃度差による豆苗の成長効果の比較

異なる濃度の酢酸カルシウム水溶液 30mL と豆苗の種子 5 粒をプラスチック製コップの中に入れ、定温機の中で暗所、 20°C で栽培した。1 日おきに成長した芽の長さを計測した。この長さは種子から伸びた芽の先端までの長さである。また、このとき、コップの底に酢酸カルシウム水溶液をしみこませ、種子が水没して呼吸ができなくなることを防ぐためにキッチンペーパーを敷いた。計測は 14 日間行った。図 2 は実験 6 日目の様子である。 $1.0 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ の間隔で① $1.0 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ ~ ⑩ $1.0 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ の 10 段階の濃度を設定して実験を行った。



No.	①	②	③	④	⑤
濃度 ($\times 10^{-3} \text{mol/L}$)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
No.	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
濃度 ($\times 10^{-3} \text{mol/L}$)	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0

図 2 豆苗の成長の様子 (実験 6 日目)

4 結果

(1) 酢酸カルシウム水溶液の濃度差による沈殿効果の比較

図3は純水の透過した光の量に対する赤色における各サンプルの透過率を100%から引くことで得られた吸光度 [%] である。

吸光度実験(1)の吸光度をグラフにしたもので、値が高いほど濁度が高いことを表す。この図より酢酸カルシウムの濃度が高いほど凝析効果が高まることが分かる。

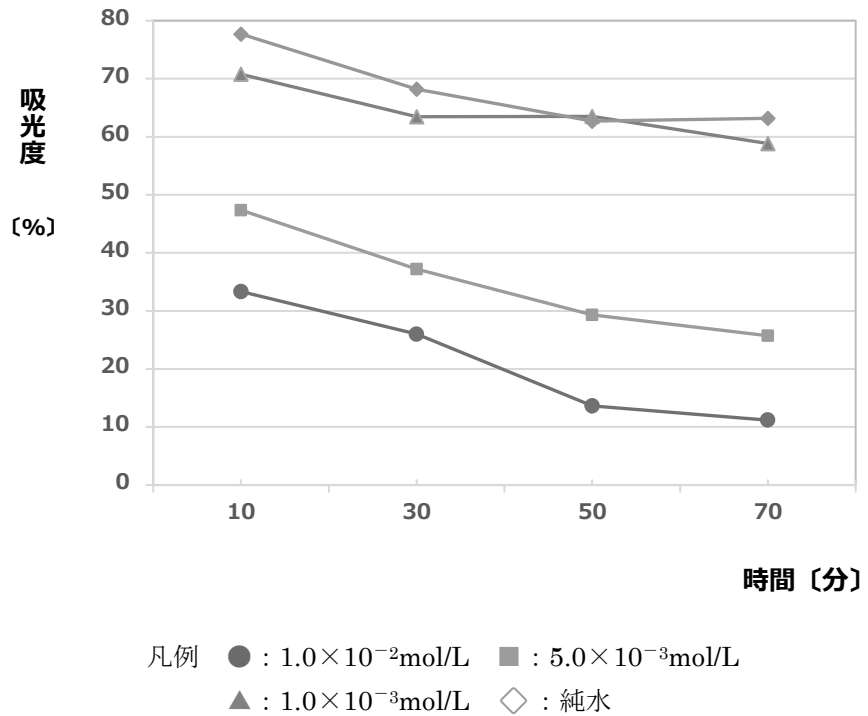


図3 酢酸カルシウム水溶液の濃度と吸光度の関係

(2) 酢酸カルシウム水溶液が与える環境への影響

a 酢酸カルシウム水溶液の濃度変化による pH の値に大きな差はないことも確認できた。(表1)

表1 酢酸カルシウムの濃度差による pH の変化

濃度 (×10 ⁻³ mol/L)	1.0	5.0	10.0
pH	6.93	7.14	7.21

b COD 値はパックテストの測定限界である 8 に達した。そのため正確な結果は測定できなかった。

c 各濃度の酢酸カルシウム水溶液の COD 値は 1~2 の範囲となった。

b、c の結果より、COD 値を上げた原因は酢酸カルシウムでなく土にあるということが分かる。また、コロイドを沈殿させた水にも有機物が多く含まれていることが分かった。

(3) 酢酸カルシウム水溶液の濃度差による豆苗の成長効果の比較

図4は14日目の純水のみで育てた豆苗の長さを 1.00 としたときの各サンプルの長さの相対値を表している。発芽し成長した芽の長さの平均値をその濃度で成長した芽の長さとした。2.0×10⁻³mol/L、3.0×10⁻³mol/L の濃度で豆苗が一番大きく成長した。これを境に濃度が高くなると発芽率が減少していった。図4から分かる通り、濃度が高くなるにつれて、成長した芽の長さの相対値は減少した。また種子やキッチンペーパーに発生したカビの量が増加した。5.0×10⁻³mol/L、6.0×10⁻³mol/L ではそれぞれ 2 個、1 個の種子からしか発芽していなかった。

5 考察

実験(1)において図3より、5.0×10⁻³mol/L の濃度では 140 分後には吸光度の割合が 10%以下になることが予想される。しかしそれ以上に時間がかかるという予想もある。濁水の中に酢酸カルシウムを添加すると沈殿が起きやすくなるのは負に帯電したコロイド(疎水コロイド)が反発

しているのを酢酸カルシウムが電離することにより生じたカルシウムイオンが電荷を打ち消し、反発を失くすためである。そのため水溶液中のカルシウムイオンがコロイドとの凝析にすべて使われると凝析効果がなくなり、沈殿する速度が遅くなるはずである。一方、同条件で開始した実験(1)であるが 10 分後には大きな差が現れている。そのため実験開始 10 分で最も凝析が起き、コロイドが沈殿していることが予想される。

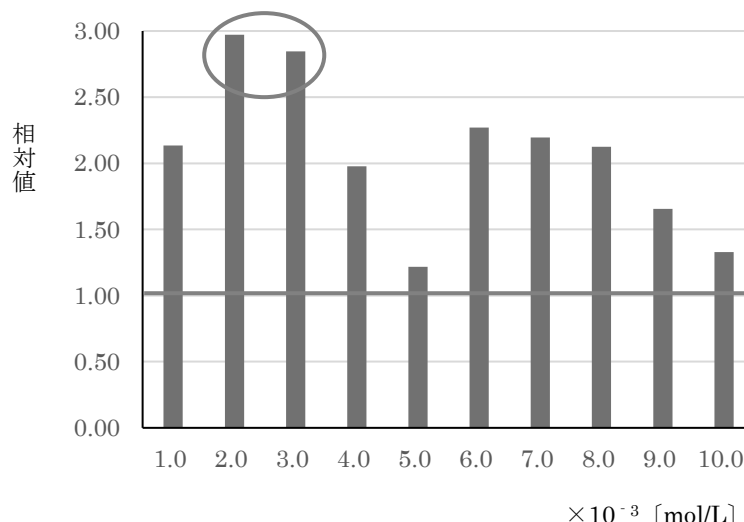


図4 酢酸カルシウム水溶液の濃度と豆苗の成長の関係

実験(2)aの結果より酢酸カルシウムの濃度を高めても、液性が塩基性に偏らないことが分かる。そのため田畑に酢酸カルシウムを過剰に投入した場合でも環境に与える影響は少ないだろう。また、実験(2)b、cの結果から COD 値が高かった原因は酢酸カルシウムでなく土にあると考えられる。土中には有機物が多く含まれているためだと考えられる。

実験(3)において、 4.0×10^{-3} mol/L、 5.0×10^{-3} mol/L の濃度の酢酸カルシウム水溶液の値は外れ値の可能性がある。同条件で繰り返し実験を行いたい。

6 今後の課題

今回は育てやすく栽培期間が短い豆苗を実験に用いたが、今後は稲の生育に酢酸カルシウム水溶液がどのような影響を与えるか実際に稲を用いて検証していきたい。そして、今回得られた結果より 2.0×10^{-3} mol/L と 3.0×10^{-3} mol/L の酢酸カルシウム水溶液を用いた沈殿実験を行いたい。また、現状では貝殻から酢酸カルシウムを合成するためにとっても手間がかかるため貝殻から酢酸カルシウムを効率的に合成する方法を確立することによって四万十川濁水と貝殻の大量廃棄という2つの地域課題の解決につなげていきたい。

7 参考文献

- [1] 宇和島市, 2020, 『ふるさとうわじま newsletter★vol.24』
- [2] 公益財団法人四万十川財団, 2020, 『清流通信四万十川物語 Vol. 285』
- [3] 横田仁子, 大森誉紀, 2011, 「土壌診断に基づいた土壌改良材の施用による田面水の清水化と水稻の収量性」
- [4] 赤江剛夫, 1994, 「セッコウによる代かき濁水浄化」, *Inorganic Materials*, Vol.1 No.252
- [5] 石山春菜, 二宮紗弥, 東野乃, 2016, 「カキ殻粉末を用いた水質浄化」
『平成 28 年度 SSH 課題研究論文集』, 愛媛県立宇和島東高等学校
- [6] 小松凌大, 薬師寺晃久, 中井千聖, 薬師神杏美, 村田萌桃, 水野陽向, 2023,
「貝殻を用いた農業排水による四万十川濁水の改善」, 『令和 4 年度 SSH 課題研究論文集』,
愛媛県立宇和島東高等学校
- [7] 大西奏音, 香取之美, 2016, 「食酢が植物に与える影響」,
『平成 28 年度 SSH 課題研究論文集』, 愛媛県立宇和島東高等学校

電気分解における陽極銅の形状変化とその条件

2年3組 上戸 滯音 2年3組 松浦 梨緒
2年3組 水谷 太軌 2年3組 渡邊 蓮二
指導者 蒲池 健人

1 課題設定の理由

化学の授業で電気分解の実験を行った際、班によって銅の溶け方に違いがあることに気づきその溶け方の違いに興味を沸いた。電極の種類や、電極の距離、電解質の濃度、電流の大きさ、実験時間などを変えることによってどのような違いが見られるか気になったため、今回の研究を行うことにした。

2 仮説

先行研究より、陽極の銅板の溶け方には溶液の濃度が関係しているという報告がされている。また、陽極板の上部にビニールテープを張って電気分解を行った場合には、ビニールテープの下部が溶けることが報告されている⁽¹⁾。そこで本研究では、次の2つの仮説を立てて検証を行った。

- (1) ビニールテープの張り方を変えることで、銅板の溶ける量が変化する。
- (2) 電解質として使用する硫酸銅水溶液の濃度を高くすると、銅板が溶けやすくなる。

3 研究の方法

仮説検証のため、銅の電気分解について実験①、②を行った。電気分解は電極に銅板を用い、電極間の距離は1.0cmにして行った。また、電解質には硫酸銅水溶液を用いた。

実験① ビニールテープの張り方による比較

1.0mol/Lの硫酸銅水溶液を50mL用いて、2.0Aで20分間の電気分解を行った。ビニールテープの張り方は以下の(a)～(d)の4種類で、各3回ずつ実験を行った。

- (a) ビニールテープを横向きに片面貼る (図2)
- (b) ビニールテープを横向きに両面貼る (図3)
- (c) ビニールテープを縦向きに片面貼る (図4)
- (d) ビニールテープを縦向きに両面貼る (図5)

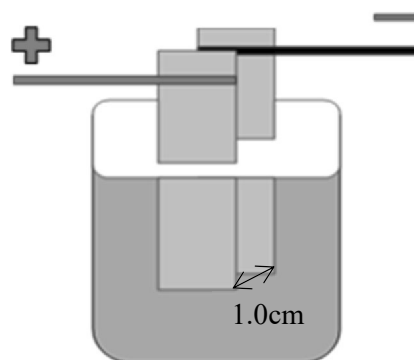


図1 実験装置の模式図

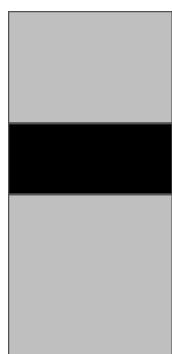


図2 実験①-(a)の模式図



図3 実験①-(b)の模式図

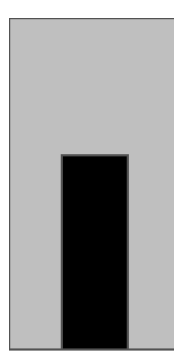


図4 実験①-(c)の模式図

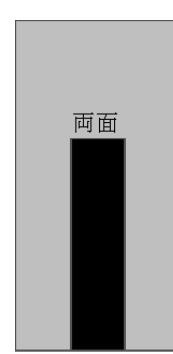


図5 実験①-(d)の模式図

実験② 硫酸銅水溶液の濃度変化による比較

硫酸銅水溶液 50mL に電極が 2.5cm 浸かるようにし、硫酸銅水溶液に浸かる電極の面積が 3.75cm²になるようにした。電極間は 1.0cm とし、1.0A で 40 分間電気分解を行った。硫酸銅水溶液の濃度は(a) 1.0mol/L、(b) 2.0mol/L、(c) 0.50mol/L の 3 種類用意し、各 2 回ずつ実験を行った。

4 結果と考察

表 1 に実験①の結果を示す。

表 1 実験①の結果とビニールテープの種類別の平均

		実験前の陽極の質量(g)	実験後の陽極の質量(g)	溶けた陽極の質量(g)
(a)	1	5.25	4.52	0.73
	2	4.85	4.03	0.82
	3	4.93	3.95	0.98
	平均	5.01	4.17	0.84
(b)	1	4.96	4.03	0.93
	2	5.14	4.34	0.80
	3	5.30	4.51	0.79
	平均	5.13	4.29	0.84
(c)	1	5.10	4.25	0.85
	2	5.07	4.24	0.83
	3	5.28	4.69	0.59
	平均	5.15	4.39	0.76
(d)	1	5.03	4.18	0.85
	2	4.99	4.11	0.88
	3	5.39	4.58	0.81
	平均	5.14	4.29	0.85

表 1 の結果を図 6 に散布図としてまとめる。

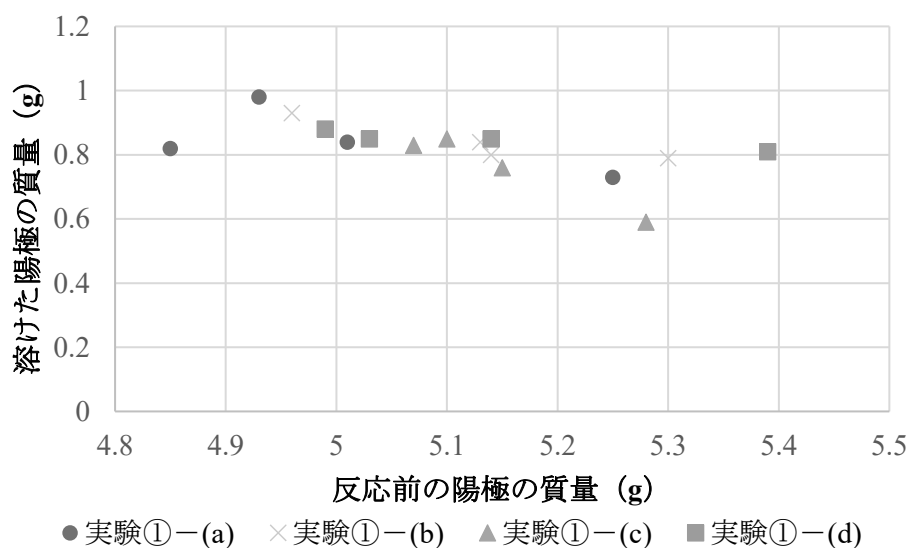


図 6 実験①の結果の散布図

表1、図6より、平均値だけで見ると実験①-(c)があまり溶けなかった結果となっている。しかし、散布図で全体を比較すると溶ける量に大きな差異がないと言える。この結果から、ビニールテープを張ることによって、溶けない部分が生まれ銅電極の溶けた後の形は変わるものの、溶ける量には影響がないことが分かった。

図7、図8、表2に実験②-(a)の結果を示す。

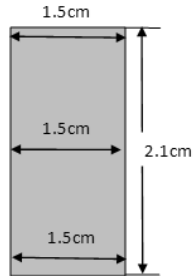


図7 実験②-(a) 1回目
電気分解後の銅極の状態の模式図

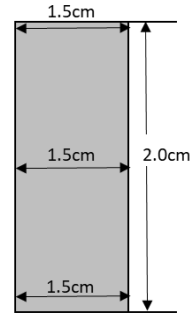


図8 実験②-(a) 2回目
電気分解後の銅極の状態の模式図

表2 実験②-(a)の実験結果

	実験前の陽極の面積(cm ²)	実験後の陽極の面積(cm ²)	溶けた陽極の面積(cm ²)	溶けた割合(%)
1回目	3.75	3.25	0.60	16
2回目	3.75	3.0	0.75	20
平均値	3.75	3.08	0.68	18

図9、図10、表3に実験②-(b)の結果を示す。

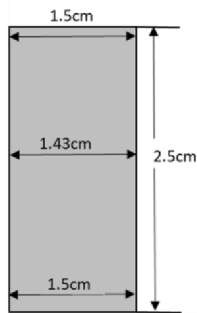


図9 実験②-(b) 1回目
電気分解後の銅極の状態の模式図

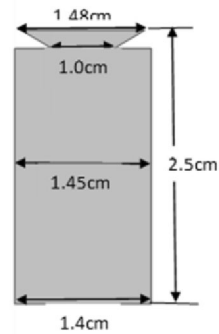


図10 実験②-(b) 2回目
電気分解後の銅極の状態の模式図

表3 実験②-(b)の実験結果

	実験前の陽極の面積(cm ²)	実験後の陽極の面積(cm ²)	溶けた陽極の面積(cm ²)	溶けた割合(%)
1回目	3.75	3.59	0.16	4.3
2回目	3.75	3.61	0.14	3.7
平均値	3.75	3.60	0.15	4.0

図 11、図 12、表 4 に実験②-(c)の結果を示す。

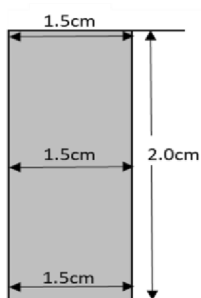


図 11 実験②-(c) 1 回目
電気分解後の銅極の状態の模式図

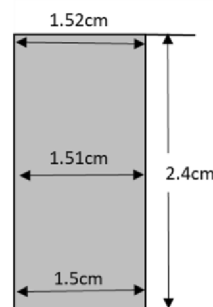


図 12 実験②-(c) 2 回目
電気分解後の銅極の状態の模式図

表 4 実験②-(c)の実験結果

	実験前の陽極の面積(cm ²)	実験後の陽極の面積(cm ²)	溶けた陽極の面積(cm ²)	溶けた割合(%)
1 回目	3.75	3.60	0.15	4.0
2 回目	3.75	3.55	0.20	5.3
平均値	3.75	3.58	0.18	4.7

実験②-(a)~(c)の結果より、硫酸銅水溶液の濃度が 1.0mol/L のときに陽極の銅の電極がもつとも溶けやすくなり、1.0mol/L を基準として薄くても濃くても溶けにくくなるということが分かった。この結果から、電極周りの溶液の濃度勾配が陽極の溶け方に影響していると考えられる。電気分解の際、陽極には硫酸イオンが、陰極には銅イオンが引き寄せられる。濃度が薄い場合は引き寄せられるイオンの数が少ないため電極周りの濃度変化も少ない。また、濃度が濃い場合は引き寄せられるイオンは多いが、溶液のイオン濃度の総量が多いため電極周りの濃度変化は少ないと考えられる。よって、金属イオンの種類によって電極周りの溶けやすい適切な濃度が存在しており、銅イオンの場合には 1.0mol/L であったと考えられる。

5 まとめと今後の課題

実験①より、テープの貼り方によって溶ける量は変わらないことが分かった。また、実験②では濃度を 1.0mol/L より薄くしたとしても、濃くしたとしても溶ける量が減少していくことが明らかになった。今後の課題として、銅板を固定する際に用いたものが発泡スチロールであったことから、反応最中に銅板の距離が動くことがあったためしっかりと固定できるようにし、より正確な実験ができるようにしていきたい。今回は濃度変化を 3 種類で行ったが、もう少し細かく濃度や時間を変えて測定することで、陽極の形状変化の条件を検証していきたい。また、銅以外の電極を使った場合の変化についても興味があるため、ステンレスや亜鉛版を使ったときにどのような変化を起こすのか検証していきたい。

参考文献

- (1) 児玉 亜門、岡崎 耀太郎、越智 雅文、高野 諒二、田中 文也。
電気分解における陽極金属の形状の変化に関する研究。
令和 5 年度宇和島東高等学校 SSH 生徒課題研究論文集, 2023, p.83-86

目指せ！貝類による辰野川の水質改善

2年4組 宇都宮 功 2年4組 入田 純友
2年4組 久能 大河 2年4組 小川 健太
指導者 中尾 力広

1 課題設定の理由

- (1) 辰野川では、カキの生息域がその水質によって左右される可能性が、廣瀬(2021)らの先行研究で示されている。また宇和島湾はくすんだ緑色をしており、時折赤潮も発生している。カキやアコヤガイなどの貝類と水質(BOD, COD 値等)の関連性を調べ、宇和島湾の水質改善に貢献したいと考え、この課題を設定した。
- (2) カキ殻によって水質が改善されることはわかっているが具体的にどのような物質がどのように作用して水質改善につながっているのかを調査したいと考えた。
- (3) 水質改善能力を確認することができれば、宇和島湾だけでなく周辺の水域で行われている水産業をさらに活性化していけると思い設定した。

2 先行研究

石山(2016)らの研究では、焼いたカキ殻によってリン酸イオンを除去し、海水の富栄養化を防げることが示されている。このカキ殻粉末を用いた水質浄化の研究報告により、赤潮の発生原因となる植物プランクトンの増殖を抑える効果があることが分かっている。

また、大阪の道頓堀では、イケチョウ貝を用いて濾過摂食により、道頓堀川の水質浄化と真珠養殖の両立に成功した事例もある。このイケチョウ貝が行う濾過摂食の過程では、1匹で1日に200Lの水を取り込んでいることも分かっている。

貝類の餌は植物プランクトンであり、**図1**に示すように、窒素イオンやリン酸イオン取り込んだ植物プランクトンを摂取する。これにより貝類は、間接的な水質改善に寄与している可能性がある。



図1 カキの間接的水質浄化

3 仮説

- (1) 辰野川では、カキが密集している場所があり、その近くに土管がある(土管側)。一方その対岸(市役所側)ではカキの数が少ない。これは場所により水質が異なることが原因である。
- (2) 大阪の道頓堀で水質浄化に用いられたイケチョウガイ(二枚貝)と同様に、カキやアコヤガイには水質浄化能力がある。(大阪市より報告)
- (3) アコヤ貝にも水質浄化能力がある。
- (4) リン酸値の減少には、植物プランクトンが影響している。廣瀬らの先行研究により、リン酸地の低い土管側では、それを取り込んでいる植物プランクトンが多い。

4 実験・研究の方法

(1-1) 学校近くの辰野川河口付近に生息するカキを対象に調査を実施した。調査地点二か所を選定し、図のように地点 A～地点 D を設定した。(図 2)

(1-2) パックテストによる各地点の水質について、記録・記録する。なお、調査項目は、以下の通りである。

*COD(化学的酸素供給量)、リン酸態窒素、

アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素

(1-3) 上記の調査項目のデータを集めて、分析を行った。

(1-4) 水温、調査前日と当日の天候、当日の満潮・干潮時刻も調査した。

(1-5) 地点 A～D でパックテストの他、天気、水温など等も同時に調査した。



図 2 調査地点

(2-1) 実験室内でアコヤ貝の飼育実験を行う。

(2-2) アコヤ貝に水質浄化能力があるのかを調査するためにビーカーを 4 つ用意した。ビーカー内は以下のようにになっている(図 3)。

① 海水 1000mL

② 海水 1000mL + アコヤガイ 2 個体

③ 人工海水 1000mL

④ 人工海水 1000mL + アコヤガイ 2 個体

(2-3) 用意したビーカー内にアコヤガイを 2 個体入れ、一定時間ごとにパックテストを用いてビーカー内の各物質の物質量を観察した。(観察は、8:00、13:00、17:00 の三回実施)

① 高校でも実現可能な実験として、ビーカーの中に循環器を用いて酸素を循環させることで、短時間であれば教室内で貝類を飼育できる環境を作った。

② 人工海水の素を使用して普通の海水と人工海水で、結果にどう影響が出るのか、対照実験を行った。

③ アコヤガイは水温が 15～25℃、塩分が 25.3～33.7%、溶存酸素濃度が 6.5～8.6 mg/L にそれぞれの至適を持つ(カキの生育環境における問題改善と環境改善技術—水産省より)。この情報をもとに、空調や温度調節器などを用いて水槽内の温度を適正温度付近に保って実験を行った。



図 3 カキの室内飼育の様子

(3) プランクトンネットを用いてプランクトンを採取して、顕微鏡で観察する。

5 結果と考察

(1) 河川の水質調査結果と考察(図4～図7)

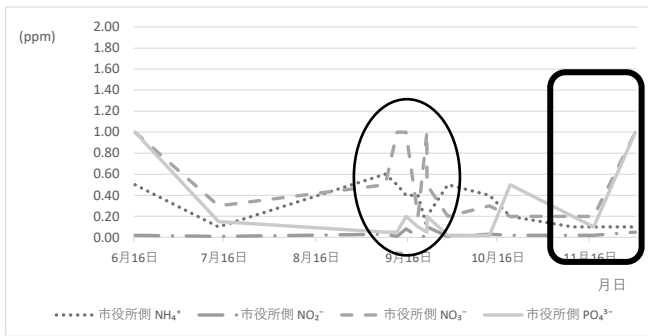


図4 地点A 辰野川(市役所側)

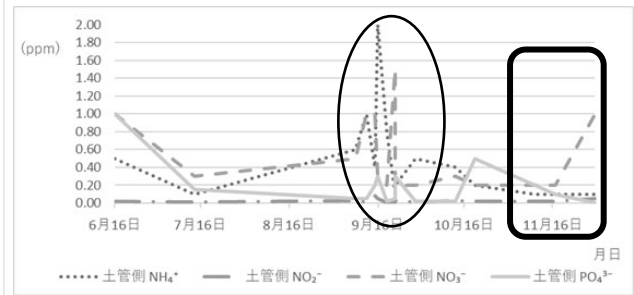


図5 地点B 辰野川(土管側)

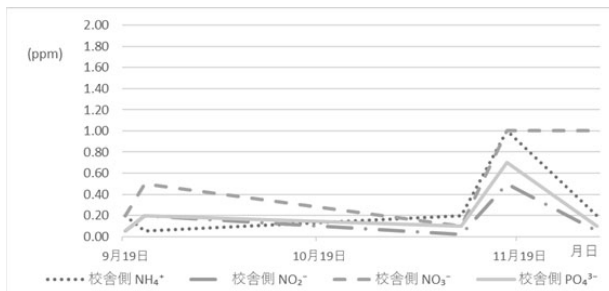


図6 地点C 神田川(校舎側)

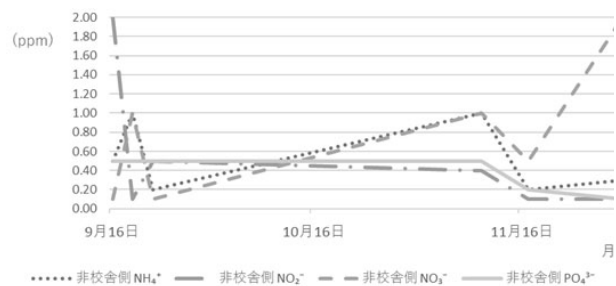


図7 地点D 神田川(非校舎側)

① 辰野川についての考察(図4、図5)

ア 図4、5の○で囲んだ9月16日(火)には、地点A(市役所側)、地点B(土管側)とも値の上昇、中でも特に NH_4^+ が大きい。

→ 前日に降った大雨の影響を受けている。

→ 河川は天候の影響を受けやすい。天候の良い日に調査を継続するなど、水質が安定する機関とそれ以外の機関の調査を行い比較するなどの検証が必要である。

イ 土管側と市役所側では、特に市役所側でリン酸(PO_4^{3-})値の差が冬場にかけて大きくなる傾向がある。(□で囲った実線部分)

→ リン酸値が低い土管側にいたカキがリン酸(PO_4^{3-})値を下げている、あるいは、リン酸(PO_4^{3-})値の低い場所を下記は好む可能性がある。これは、先行研究の結果と一致する。また、市役所側と土管側で物質が異なっていることが分かる。よって仮説(1)は正しいと考えられる。

② 神田川についての考察(図6、図7)

ア 11月21日の校舎側では、すべての調査項目の値が高かった。

→ 天候や潮の満ち引きなどが関係あるのかの検証が必要である。

イ NH_4^+ と NO_3^- の値が校舎側、非校舎側ともに高かった。

→ 生息する魚やプランクトンなどの捕食等に関係があるのではないかと。

辰野川において、カキが多くついていた土管側では、数値の変動が大きくなっていったことから、カキは水質が変動する場所、また、リン酸(PO_4^{3-})値の比較的低い場所に多く生息する可能性が考えられる。神田川との比較では、同じ日の同じ時刻に実施で来た日が、11月16日のみであり、河川での水質の差を見るためには、異なる場所でおかつ同時刻で実験を重ねていく必要がある。

(2) アコヤガイ飼育実験の結果と考察(表1)

① 人工海水では海水に比べて値の変化が緩やかになっていた。

→ 人工海水に含まれる物質の初期量が海水の1/2~1/4であるのが関係していると予想できる。

② 先行研究で、カキの生息域と関係があることが示唆されたCOD、 PO_4^{3-} の変動について図8に示した。海水ではCODの値が時間経過とともに低下していることが分かった(図8)。

→ しかし、貝類を入れていないビーカーの値も下がっているため、貝類の浄化能力による値の低下とは言い切れない。

表1 実験結果(ppm)

時間	条件	COD	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	BOD	pH
朝	海水・無	8	0.5	0.3	1.5	0.05	30	6
昼	海水・無	6	0.3	0.3	2	0.15	30	7
夕方	海水・無	2	0.3	0.15	2	0.15	40	7
朝	海水・有	8	0.5	0.3	1.5	0.05	30	6
昼	海水・有	3	0.4	0.15	2	0.2	30	7
夕方	海水・有	4	1	0.15	1.5	0.1	40	7
朝	人工・無	4	0.3	0.01	0.3	0.05	40	7
昼	人工・無	5	0.4	0.03	0.5	0.05	30	7
夕方	人工・無	4	0.4	0.02	0.5	0.1	40	7
朝	人工・有	4	0.3	0.01	0.3	0.05	40	7
昼	人工・有	4	0.6	0.03	0.5	0.05	30	6
夕方	人工・有	4	0.5	0.05	1	0.05	30	6

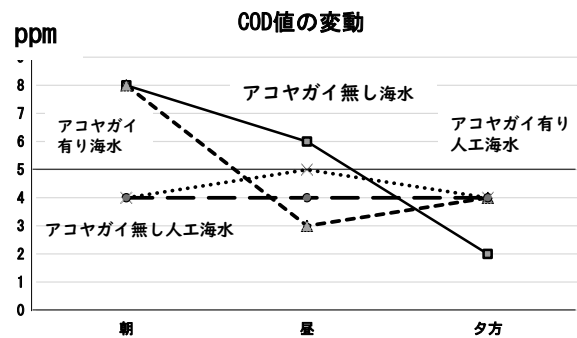
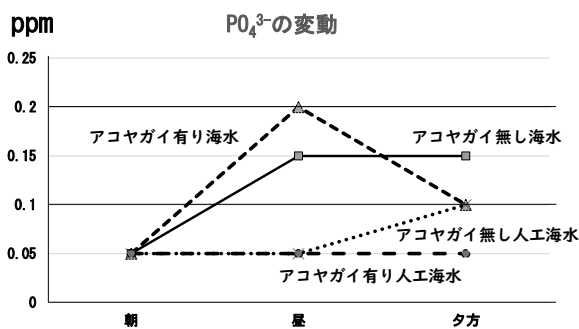


図8 室内飼育における物質変動 (PO_4^{3-} 、COD)

COD 値の変動において、一応の水質改善は見られており、アコヤガイには水質改善の応力を持つ可能性があるとも言えるが、高校の実験室での小規模の実験装置で、なおかつ短期間での実験であり、今後さらに条件を統一して、実験を継続する必要がある。

7 まとめと今後の課題

- (1) リン酸値の減少と植物プランクトンとの関係性の調査のため、辰野川での植物プランクトンの採取を試みたが採取が不十分であったため、採取方法を変えて採取する。
- (2) 今回調査を行った河川はいずれも汽水域であり、降水による水質の変化が起こりやすく、パックテストの数値に影響してしまった。そのため、調査を行う際には調査前日から一週間前の天気以外にも降水量についても調べたうえで調査を行うようにする。また、より正確な検証に向け、パックテストでの測定以外の測定方法についても検討する。
- (3) 植物プランクトンをビーカーの中で育て、の値の変化を測定するなど、プランクトンによってどの程度水質が改善されるのかの研究も必要である。

8 謝辞

本研究にあたり、愛媛県水産研究センターをはじめ、多くの方々よりご助言をいただきました。この場をお借りしてお礼を申し上げます。本当にありがとうございました。

9 参考文献

- ・カキ殻粉末を用いた水質浄化(2016 愛媛県立宇和島東高等学校課題研究論文集)、・カキの生息条件 (R3 宇和島東高校生徒課題研究) ・神田川の水質と生物 (R2 宇和島東高校生徒課題研究)、・カキの生息条件 I (R4 宇和島東高校生徒課題研究)
- ・神田川の水質と生物 II (R3 宇和島東高校生徒課題研究) ・道頓堀川で真珠「開貝式」/水質浄化目指し養殖(四国新聞社記事)

粘着力測定器の作製

2年4組 山本 帆湊 2年4組 清水 遥
2年4組 松本 智香 2年4組 宮崎わかな
指導者 谷田美穂子

1 課題設定の理由

高齢者は嚥下機能の低下により、誤嚥を起こしやすい。割高である市販の嚥下食を毎食利用すると、経済的に大きな負担が強いられる。病院における嚥下食は専門家によって作られているため、一人一人に適切な嚥下食レベルのものが提供されるが、現段階では自宅で容易に嚥下食レベルを計測するのは難しい。適切な嚥下食レベルのものを病院外でも容易に利用できるようにするため、粘着力の測定基準が統一された測定器を作ることを目的とした。

2 仮説

各素材における嚥下食及び常食の滑りやすさを調査し、粘着力測定に最適な素材を選定することにより、既存のとりみ測定板の有する機能に加え、粘度も測定可能な新たな測定器を作製できるのではないかと仮説を立てた。

3 実験・研究の方法

嚥下食ピラミッドに基づき、黄桃、卵焼き、ゆで卵、じゃがいも、おかゆ、肉じゃがを実験する食品として取り上げた。そして、それらをステンレス、アルミ、アクリル、銅の板に、一般に嚥下する時間とされる7秒間、定めた位置に食品を置いて角度の大きさを変えながら流した。

(1) 黄桃 嚥下食ピラミッド：レベル2

- ア 市販の黄桃缶 350 g をミキサーにかけペースト状にする。
- イ 125 g の水と 3.5 g のソフティアGを入れ、さらにミキサーで混ぜる。
- ウ 鍋に移し、焦げないように混ぜながら 80℃以上に加熱する。
- エ 冷蔵庫で約 1 時間冷やし固める。



図1 黄桃を測定する様子

(2) 卵焼き 嚥下食ピラミッド：レベル3

- ア 卵 50 g を調味料（塩 0.2 g 砂糖 1 g 薄口醤油 1 g）で味付けし、炒める。
- イ 分量の半量となるだし汁と、分量の 1.0%となるソフティアGを用意する。
- ウ 卵とだし汁をフードプロセッサーに入れ、滑らかになるまで攪拌する。
- エ 3 をミキサーに移し、ソフティアGを加え、全体が均一になるように攪拌する。
- オ 4 を鍋に移し、かき混ぜながら 80℃以上に加熱する。
- カ 型に流し込み、粗熱をとって冷蔵庫で冷やし固める。

(3) ゆで卵 嚥下食ピラミッド：レベル5

- ア 卵を水から茹で、沸騰後 8 分茹でる。
- イ 黄身をくりぬいて形を整える。

(4) じゃがいも 嚥下食ピラミッド：レベル5

- ア じゃがいも 1 個を 1 cm 角に切り、水小さじ 1 を加える。

イ ラップをして 500W で 5 分加熱する。

- ① 何も処理を施さない。
- ② じゃがいも 40 g に対し、市販のとろみエールを 10 g をまよわせる。
- ③ じゃがいも 40 g に対し、マヨネーズ 10 g をまよわせる。

※この実験では、食品に潤滑剤を付けた条件下での比較を目的としたため、他の実験と条件を統一していない。医療従事者へのインタビューを踏まえ、潤滑剤として市販のとろみ剤とマヨネーズを使用した。

(5) おかゆ 嚥下食ピラミッド：レベル 4

- ア 耐熱ボウルにご飯と水を入れ、ご飯粒をほぐしておく。
- イ ふんわりとラップをかけ、両端をあけ電子レンジに入れ 600W で 5 分加熱する。
- ウ 電子レンジから取り出し、ラップをぴったりとし 10 分程度蒸らす。

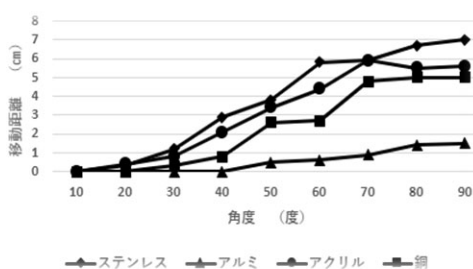
(6) 肉じゃが 嚥下食ピラミッド：レベル 4

- ア 市販のレトルト食品「キューピー やさしい献立 やわらかおかず 肉じゃが 80g」を表記時間通りに加熱する。

4 結果とまとめ

グラフより、4 種類のうち顕著に滑りやすさが表れている素材を最高評価の◎とし、それを基準として×△○◎の 4 段階で評価を行った。

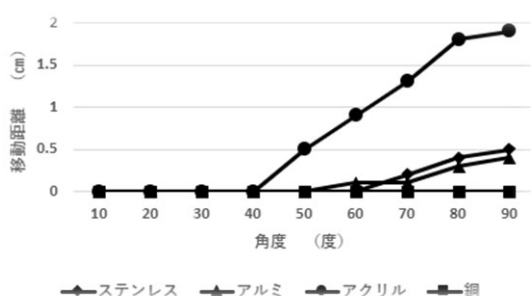
(1) 黄桃



- ステンレス◎
- アルミ△
- アクリル○
- 銅○

図 2 板の種類と角度の違いによる黄桃の移動距離

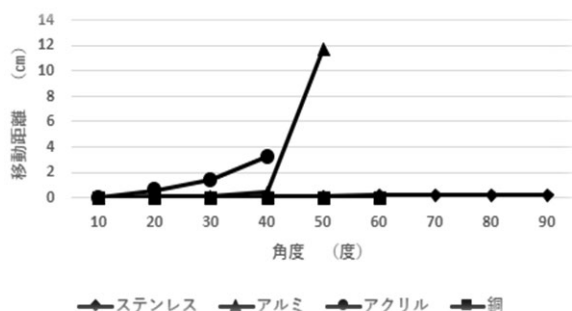
(2) 卵焼き



- ステンレス△
- アルミ△
- アクリル○
- 銅×

図 3 板の種類と角度の違いによる卵焼きの移動距離

(3) ゆで卵



- ステンレス×
- アルミ△
- アクリル○
- 銅×

図 4 は計測途中で落下。計測不可能だった。なめらかに滑らないため、ゆで卵は嚥下しにくい。

図 4 板の種類と角度の違いによるゆで卵の移動距離

(4) じゃがいも

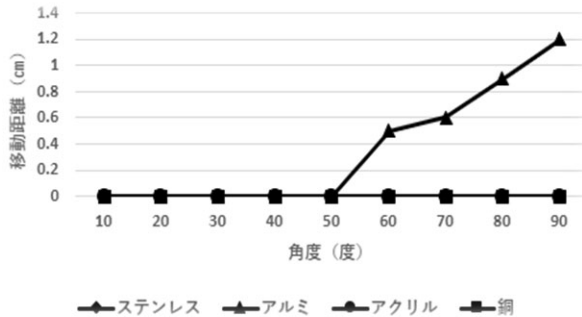


図5 板の種類と角度の違いによるじゃがいも①の移動距離

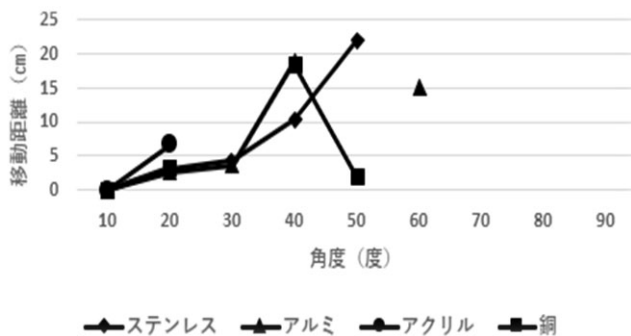


図6 板の種類と角度の違いによるじゃがいも②の移動距離

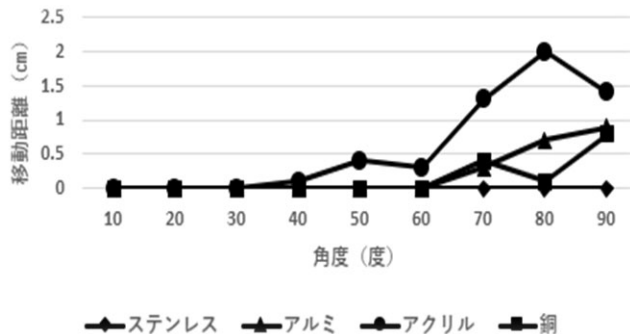


図7 板の種類と角度の違いによるじゃがいも③の移動距離

(5) おかゆ

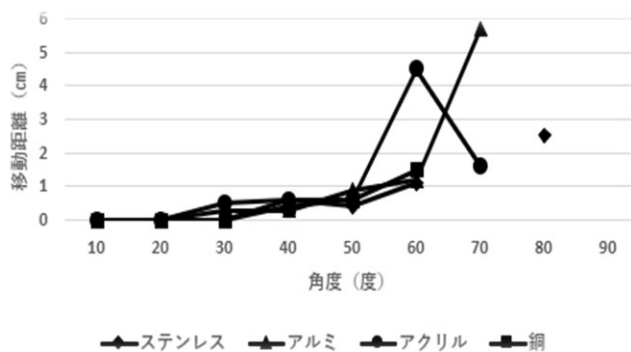


図8 板の種類と角度の違いによるおかゆの移動距離

ステンレス×

アルミ○

アクリル×

銅×

図5はでんぷんが溶出したため、じゃがいもが板に貼りつき滑らなかったと考えられる。じゃがいもはとろみやマヨネーズなどの潤滑剤をまとわせなければ、粘着力が強く、嚙下しにくいことがわかる。

ステンレス◎

アルミ△

アクリル△

銅△

図6は全体にとろみ剤をまとわせたため、じゃがいも①より滑りやすい。滑りやすく、設定時間内に滑り落下してしまった。

ステンレス×

アルミ△

アクリル○

銅△

図7はマヨネーズをまとわせたもので、じゃがいも①に比べると滑りやすく、じゃがいも②に比べると滑りやすすぎない。

ステンレス△

アルミ○

アクリル○

銅△

図8は時間がたつにつれて、でんぷんが溶出し、粘性が増していた。実験結果に誤差が生じたことが考えられる。また、おかゆは早めに食べなければ誤嚥しやすいことが分かった。

(6) 肉じゃが

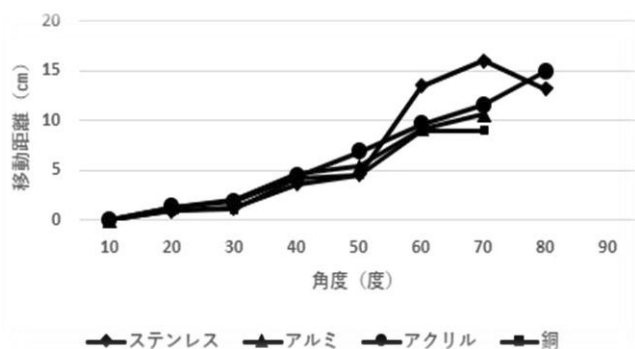


図9 板の種類と角度の違いによる肉じゃがの移動距離

ステンレス○

アルミ○

アクリル◎

銅○

図9は市販の嚥下食であるため、滑りやすかった。しかし、角度を大きくすると設定時間内に落下したため、嚥下食を食べるときの角度も考えなければ、誤嚥しやすいことが分かった。

ステンレス	◎△××◎×△○	アルミ	△△△○△△○○
アクリル	○○○×△○○◎	銅	○×××△△△○

◎3点、◎2点、△1点、×0点として計算すると、

ステンレス 10点 アルミ 11点 アクリル 14点 銅 7点

以上の結果から、「アクリル」が嚥下食レベル測定器の素材として最も適していることが分かる。よって、「アクリル」を使って嚥下食レベル測定器を作ろうと考えた。

5 展望

本研究での実験結果を踏まえ、実際に粘着力測定器を作製したい。スプーンの柄の部分に嚥下食を流し、その際にかかった秒数の測定により嚥下食レベルの検討を行うことを想定している。測定器を立てかけて置くことで柄の部分が一定の角度に固定されるため、時間内に流れた距離を見ることで、嚥下食レベルが判定できる(図10)。その測定結果を基準として、病院内外における嚥下食レベルの統一を最終目標としている。



図10 嚥下食レベル測定器のイメージ

6 謝辞

本論文の作成にあたり、たくさんの人にご協力いただきました。ありがとうございました。

7 参考文献

- ・市立宇和島病院 嚥下食情報誌「まんさいくん」
- ・公益社団法人 日本栄養士会 医療事業部 「嚥下対応食に関するアンケート調査」
- ・【図解】おいしい介護食おかゆと分粥の作り方・作る時の5つのポイント
(<https://healthscienceshop.nestle.jp/blogs/isocal/knowledge-carefood-008-index>)

イシマキガイが導く水質の可視化

2年4組 中村 亮太 2年3組 末光 弘武

2年3組 金本 凌汰 2年3組 中山 大耀

指導者 岩村 崇

1 課題設定の理由

宇和島市に流れる神田川には多くの種類の生物が生息しており、付近の住民にとっては親しみのある河川である。本校の課題研究では、毎年その水質を継続的に調査しており、生物の多様性や水質の保全に役立てようとしている。そこで、今年是指標生物としてイシマキガイを用いることとした。イシマキガイはアマオブネガイ目アマオブネガイ科に分類される巻貝の一種であり、西太平洋沿岸の汽水域から淡水域に分布している雌雄異体の巻貝である。イシマキガイは観賞魚水槽の美観を損ねる藻類除去用の水槽同居動物として盛んに利用されている。住宅地沿いにある神田川にはイシマキガイが生息している。そして、ある地点を境とし、上流と下流において分布と個体数に違いが見られた。そこで、上流と下流の個体数の違いはどのような要因によって変化しているのかを水質と生物の二面から調査し、明らかにしたいと考えた。また、イシマキガイは、流速の緩やかな地点の壁や石の側面などに生息しているため、指標生物の中でも目視が容易である。そのためイシマキガイを用いることで神田川の水質をイシマキガイの発見によって簡略的に確認することができるのではないかと考えた。また、それによって、イシマキガイの好む水質



図1 神田川

(COD 値) を解明し、保全や水生生物を飼育する際の水質管理などに大きく貢献することが出来ると考えたためこの課題を設定した。

2 先行研究

河野ら(令和4年)の先行研究では「COD 以外の物質 (BOD) もカワムツの生息に影響する。」という仮説のもと課題研究を行っていた。実験の結果よりカワムツの生息域の境界値は 8~20ppm の間にあるという予想をたて、それ以前の研究結果を基に、生息域に影響を与える境界値が、COD 値が 8ppm ~15ppm の間であると結論付けた。また、COD 値以外に調査した物質については、その増減や変化のパターンに一貫性がなかった。原因としては、生活域での水質変化は、そこに住む人々の日々の生活の影響を受けているといった側面があり、これら様々な物質とカワムツとの関連性は見いだせなかったことが挙げられた。また、先行研究ではより詳細な COD 値を求めることが今後の課題となった。

3 仮説

(1) イシマキガイの餌となる藻や苔が水のリン酸値の有無などで生息数が変化する(リン酸値が高いほど生息数が多くなる)。よって、イシマキガイも水質が良好でなく、河川の水の中の何らかの値が偏っている場所に多く生息している。

(2) イシマキガイは水質を一定に保つ能力を持っており、好みの水質の状況に変化させる。

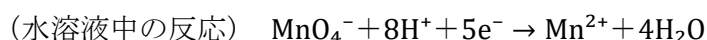
これらの仮説をもとに、神田川の水を COD 滴定し、正確な COD 値を求める。また、標識再捕法を用いて神田川のイシマキガイの個体数を把握する。この二つの実験方法をから、イシマキガ

イと COD 値との関係を調査する。

4 実験方法

(1) COD 滴定

イシマキガイの個体数が多い下流と少ない上流で試料水を採取し、試料水をろ過し、試料水中の不純物を取り除く。濾過水 100ml に対し、硫酸 1 に対して水を 2 の体積で希釈したもの 10ml を加え、硫酸酸性とする。5.0mol/L の過マンガン酸カリウム水溶液 10ml を加え、30 分間加熱を行った後に 12.5mol/L のシュウ酸を加え、過マンガン酸カリウム水溶液を用いて、下記の反応を起こし逆滴定を行う。



また、蒸留水でも同様の実験を行い、滴定によって出てきた値を上記の半反応式から得た式を用いて COD 値を求める。

$$\text{COD} = \frac{(a - b) \cdot F \cdot 1000 \cdot 0.2}{x}$$

a: 試料水での滴定値 b: 上流水での滴定値

F: 過マンガン酸カリウムのファクター x: 資料水の量(L)

また、パックテストも同時に行い滴定によって出た COD 値と比較し、おおむね同じであることを確かめ実験結果が正確であるか確認する。

(2) 標識再捕法

神田川からイシマキガイを 10 匹採取し、1 匹ずつペンキで印をつける。そして印をつけたイシマキガイを川へ放流し 1 週間後 10 匹採取しその中に何匹の印のついたイシマキガイがいるか調べ、神田川全体のイシマキガイの個体数を求める。イシマキガイの殻にペンキをつけるためには、イシマキガイの殻が濡れたままだとペンキは付きづらく、乾きにくいので写真Ⅱのように、水を薄く張った容器にイシマキガイを入れ、イシマキガイの殻のみを乾かすことでイシマキガイが弱らないように配慮し実験を行った。



図 2 COD 滴定

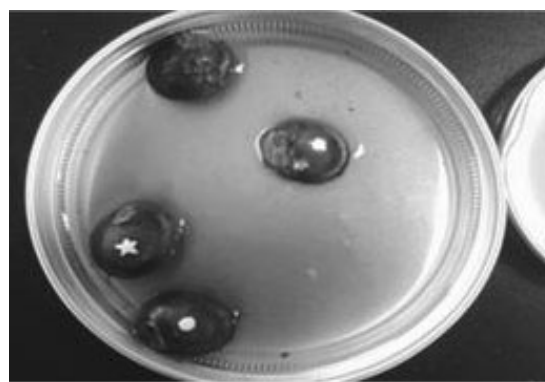


図 3 印をつけたイシマキガイ

5 実験結果

(1) COD 滴定

実験により得られた COD 値は多少の差はあるもののすべて上流が低く、下流で高いという結果になった。また、下流と上流に違いが生じたのは上流から下流に行くに従い生活排水などの有機物などが流れ込むことによって生じたと考えられる。以下に実験結果を示した。

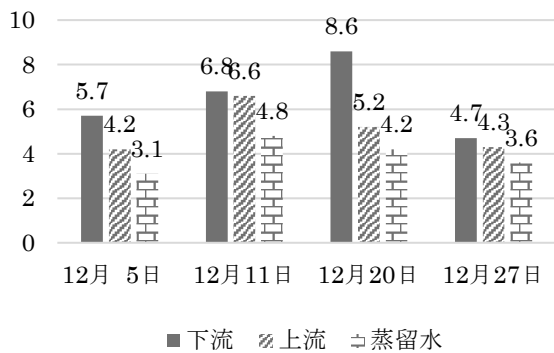


図4 実験で得た滴定値

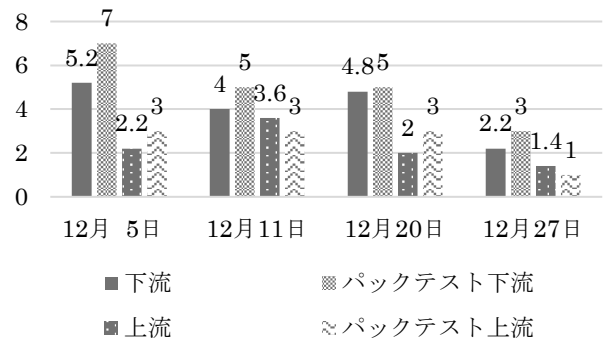


図5 COD 値の比較

上記の結果から、上流域と下流域で COD 値を比較すると全体的に下流域の方が COD 値は高く水質が良好でないといわれる。また、パケットテストを同時に行ったことで COD 滴定がある程度正確な値ということがわかる。

(2) 標識再捕法

標識再捕法では3回にわたり神田川に放流した。結果は表1のようになった。

表1 標識再捕法の結果

	印の色	印を付けた 個体数	発見した 個体数	上流 (1m ² あたり)	下流 (1m ² あたり)
1回目	白色	10匹	0匹	37匹程度	106匹程度
2回目	金色	10匹	0匹		
3回目	金色	15匹	0匹		

白の印、金色の印のどちらでも指定した区域から発見することはできなかった。

6 考察

(1) COD 滴定

滴定結果とパケットテストの結果を比較したところ、パケットテストの目分量で測定した COD 値の範囲と COD 滴定の値は重なった。そのことから、実験結果は正確であると判断できる。また、日によって COD 値が変動しているのは、雨などの気候的要因や、近場の工事などにより、川の有機物の量が増加したなどが要因として挙げられる。私たちが立てた仮説より、イシマキガイは水質が良好でないところに多く生息するという観点から、実験結果が導いたように、COD 値が高い下流域にイシマキガイが多く生息していると予測ができる。しかし、今回の研究では標識再捕法による神田川全体のイシマキガイの個体数を計測できていないため、実際のイシマキガイの上流域と下流域の個体数と比較できなかった。

(2) 標識再捕法

上流と下流の二地点の 1m²あたりに生息しているイシマキガイの調査をした。その結果下流の個体数は上流の約3倍になっていることが分かった。そのことから、イシマキガイは下流に

多く生息していると考えられる。また、下流と上流に共通して、イシマキガイは個体群で生息しており、上流よりも下流に個体群が多かった。結果として標識再捕法は失敗に終わった。原因としては、イシマキガイの寿命が約1年であるため、印をつけたイシマキガイが寿命を迎えたことによって確認できなかったことや、塗布したペンキが完全に乾いていない状態でイシマキガイを再び放流してしまったことによってイシマキガイに塗布したペンキが剥がれたことや、川を確認するとイシマキガイは川石の裏に多く生息しており、移動する際に、川石とペンキの塗布部分がこすれ剥げてしまったこと、また、再放流したイシマキガイを探す際にすべての川石の裏を確認することが出来なかったことなどが挙げられる。

7 今後の課題

(1) COD 滴定

上流の水質が下流より良好であることが判明したが、悪天候や工事などの環境的要因による水質の変化や、実験当初の滴定の失敗などによって、十分な量のデータが取れなかった。そのため、さらに正確性を保つため滴定結果を増やしたい。また、COD 滴定を行う地点の範囲を絞って、上流と下流の分岐地を探ることによってイシマキガイと水質の関係をより正確なものにする。

(2) 標識再捕法

失敗に終わってしまった原因としては、印の色と付け方、資料個体の少なさ、放流期間の3つにあると思われる。

(a) 印について

小さく白色だと、川の光の反射や、殻の傷に似ているため目視が困難となるため、金色などの自然界には少ない色で印付けをし、発見を簡易化する。

(b) 放流期間について

都合が合わず、期間を開けすぎ極端になっていたので、正確に1週間と定め継続的に調査のできるよう時間の都合を合わせること。

以上の3つを改善して今後の課題研究に役立てたい。

8 参考文献

- ・新たな指標生物を探せ！～神田川の水質と生物Ⅲ～（令和4年度愛媛県立宇和島東高等学校課題研究論文集 河野紗良、兵頭縞、宮本陽菜、渡部ひとみ）
- ・神田川の水質と生物Ⅱ（令和3年度愛媛県立宇和島東高等学校課題研究論文集）
- ・標識再捕法によるイシマキガイの移動方向の研究（1991年 西脇三郎、平田徹、植田一二三、土屋泰孝、佐藤壽彦）
- ・https://www.cbr.mlit.go.jp/tenjyo/jimusyo/publication/pbl_fish/pdf/018_041.pdf 瀬と淵 - 国土交通省中部地方整備局
- ・化学的酸素要求量（COD）と全有機炭素 [https://www.e-jemai.jp/purchase/back_number/back_number/...](https://www.e-jemai.jp/purchase/back_number/back_number/)

挿し木による固有種トキワバイカツツジの保全

2年3組 畔地 将志 2年3組 清家 竣平 2年3組 サシキーズ
2年3組 和家 椿 2年4組 高平こころ
指導者 高橋 里玖
林 広樹

1 課題設定の理由

トキワバイカツツジ (*Rhododendron uwaense* H.Hara et T.Yamanaka) (図1)は愛媛県宇和島市に自生する固有種で、生息地が局所的で限定されているために環境省カテゴリーでは絶滅危惧 1B 類(EN)、愛媛県カテゴリーでは絶滅危惧 1A 類(CR)に指定されている(環境省 2020, 愛媛県 2022)。本種は、絶滅危惧種に指定されているのにもかかわらず認知度が低く、まだまだ情報不足であるため、保全に向けて次世代の稚樹の確保が必要であり、稚樹がしっかりと生息できる環境を把握し、保全する必要があると考えた。



図1 トキワバイカツツジ

現地調査を重ね、トキワバイカツツジの個体は日が当たる場所に多いが、稚樹は日が当たらない急斜面の岩肌に多く見られた。このことから、稚樹の時期は陰樹の性質を持ち、ある程度生育すると、陽樹の性質になるのではないかと考え、トキワバイカツツジが生育する最適な光条件を明らかにすることをこの研究の目的とした。本研究では、挿し木を行いその挿し木の個体がよく育ち、発根する光条件を明らかにすることを試みた。

2 仮説

トキワバイカツツジは発芽してすぐには陰樹の性質をもち、ある程度成長していく中で陽樹の性質を獲得していくのではないかと考え、その仮説を明らかにするために、トキワバイカツツジの挿し木が生育し、発根するために必要な照度を明らかにする。



図2 トキワバイカツツジの採取の様子

3 研究の方法

本研究では、トキワバイカツツジが絶滅危惧種であるため、事前にトキワバイカツツジと同じツツジ科の植物であるサツキツツジを用いて、予備実験を行った。そして、予備実験の結果を踏まえ、光条件を設定し本実験を行うことにした。

＜予備実験＞

- (1) ツツジ 70 個体に、植物活力素と発根促進剤を与える。
- (2) 挿し木用にツツジを 4 cm に切って挿し穂を作る。
- (3) 鹿沼土を入れたセルトレイに挿しこむ。
- (4) 日光を遮断しないトレイと日光を遮断して日照時間を制限するトレイに分ける。

※日照時間は、午前 8 時から午後 5 時の間とする。

- (5) 1 週間おきに、ノギスを用いて葉幅(mm)、茎の直径(mm)を計測する。



図3 挿し木の様子

＜本実験＞

- (1) 図4のように、照度に違いを持たせるために、何も覆わないトレイ（対照実験）、透明のビニールをかぶせたトレイ、半透明のビニールをかぶせたトレイ、新聞紙をかぶせたトレイに分け、それぞれのトレイに30個体ずつ挿し木を行う。
- (2) 挿し木方法は予備実験と同様である。
- (3) それぞれのトレイの照度を測定し、相対照度を求める。
- (4) 1週間ごとにノギスを用いて葉幅(mm)、茎の直径(mm)を計測し、成長率・生存率を求める。
成長率は「(計測最終日の葉幅の平均－計測開始日の葉幅の平均)/計測開始日の葉幅の平均×100」で求めた。生存率は「計測最終日の個体数/計測開始日の個体数×100」で求めた。



対照実験 透明ビニール 半透明ビニール 新聞紙

図4 照度に違いをつけた実験トレイ

4 結果と考察

＜予備実験の結果と考察＞

図5を見ると、日光を遮断しなかったトレイのツツジの個体数は、32個体から1個体減少し、31個体になり、生存率は96.9%であった。また、発根率は、93.8%であった。図6に発根の様子を示す。

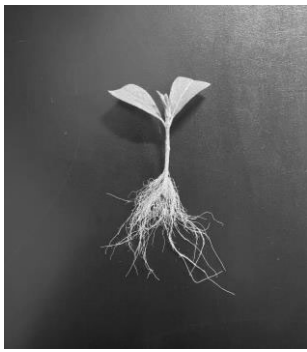


図6 ツツジの発根

日光を一定時間遮断したトレイのツツジは個体数が30個体から4個体に減少し、生存率は13.3%であった。また、発根率は0%であった。

図7より、計測開始日から2か月後の葉幅を比較すると日光を遮断しなかったトレイのツツジの葉幅は6.8%大きくなり、日光を一定時間遮断したトレイのツツジの葉幅は4.9%小さくなっていった。

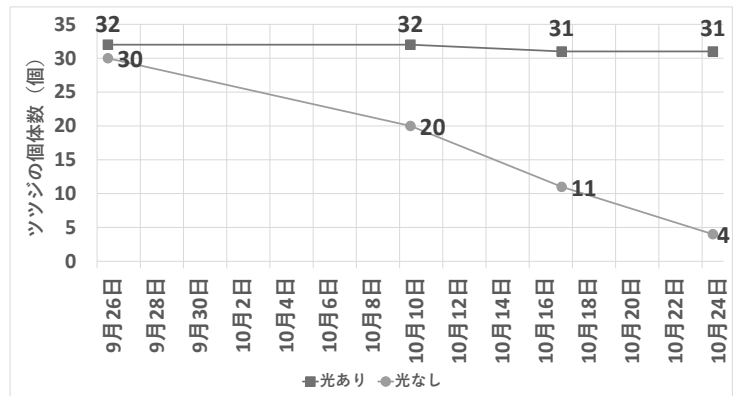


図5 ツツジの個体数の変化

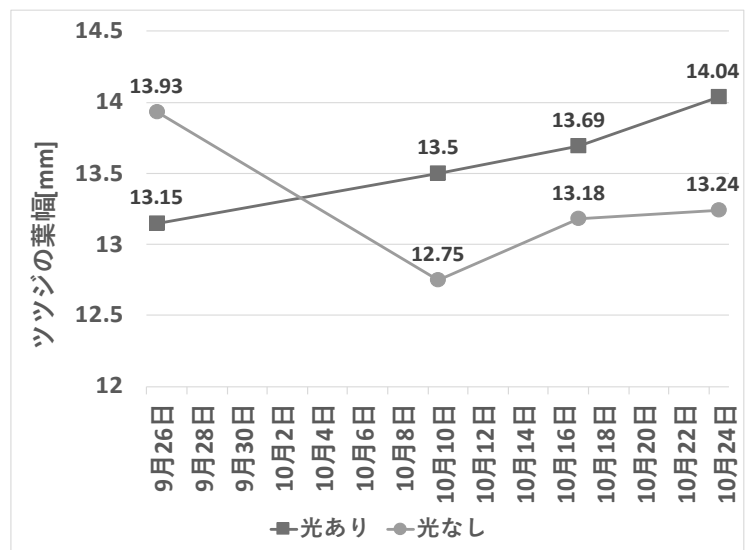


図7 葉幅の変化

これらのことから、日光を遮断すると個体数が減少し、葉幅も枯れて縮小し小さくなった。よって、サツキツツジの生育には、一定時間以上の日光が必要である。

＜本実験の結果と考察＞

表 1 照度 (Lux), 相対照度 (%), 生存率 (%)

	なし	透明	白	新聞紙
照度 (Lux)	900	700	900	230
相対照度 (%)	98.8	92.5	86.7	17.1
生存率 (%)	93.3	96.7	93.3	96.7

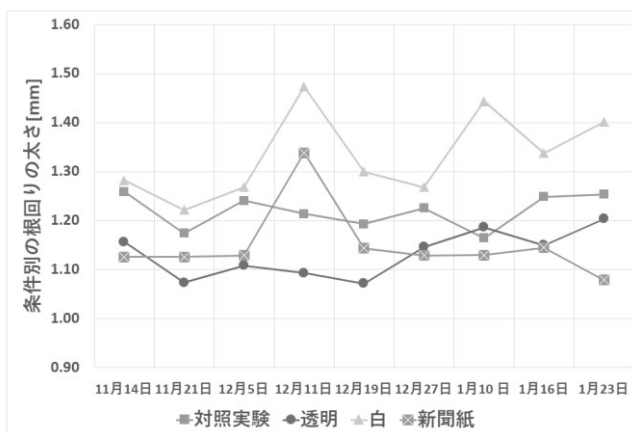


図 8 条件別の根回りの太さ (mm)

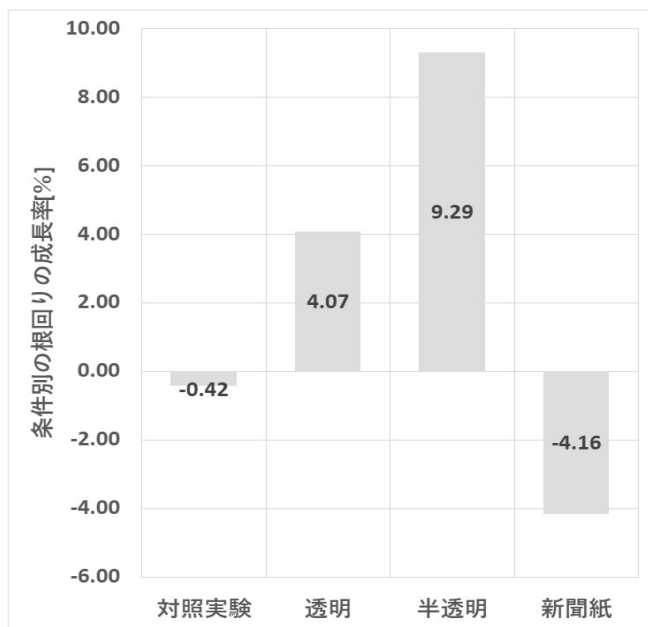


図 9 条件別の根回りの成長率 (%)

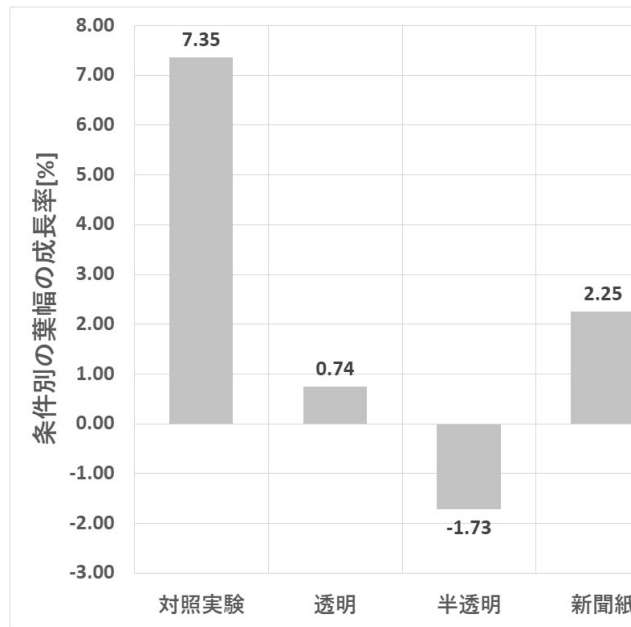


図 10 条件別の葉幅の成長率 (%)

(1) 相対照度について

表 1 より、透明や半透明のビニールで遮光すると、相対照度は約 6 %及び約 11%低下した。また、新聞紙で遮光すると、約 81%低下した。

(2) 生存率について

表 1 より、生存率はどの光の条件においても、93.3%から 96.7%の割合となり、光の強さに関係なく、約 2 か月間ではほとんどの個体が枯れずに生育している。

(3) 根回りの太さについて

図 7、図 8 より、透明のビニールで遮光した場合、成長率は 4.07%、半透明のビニールで遮光した場合は 9.29%となった。一方で、遮光しなかった場合は成長率は-0.42%、新聞紙で遮光した場合は -4.16%となった。遮光しなかった場合は 0.01mm、新聞紙で遮光した場合は 0.05mm

のマイナス成長であった。成長率がマイナスになった要因は成長の変化量が少なく、測定する場所は決めていたが、測定する人を固定していなかったため、人のメモリの読み方の癖などにより誤差が生じてしまったと考えられる。

(4) 葉幅について

対照実験では7.35%の成長が見られたが、透明のビニールで遮光した場合は0.74%、半透明の場合は-1.73%、新聞紙の場合は2.25%の成長が見られた。対照実験に比べ、遮光することで葉幅の成長率が小さくなっている。葉は光合成器官であり、光によって光合成が促され葉幅が大きくなったのではないかと考えられる。

5 結論

- (1) 相対照度が81%低下しても2か月間生育できたことから、トキワバイカツツジの挿し穂は、陰樹の性質を持つのではないかと考えられる。
- (2) トキワバイカツツジの根回りについては、2か月で顕著な成長は見られなかった。
- (3) 葉幅については、相対照度が高い条件の方が、光合成が活発になり、その分有機物が蓄積され、大きく成長したのではないかと考えられる。

6 今後の課題

- (1) トキワバイカツツジの発根率を求め、挿し木によって個体を増やすことが可能か検証する。
- (2) 約2か月の実験期間では葉幅および根回りの成長はマイナス成長となる光条件もあったが、1年、2年と実験期間を長くすることで、成長を確認できることが予想される。
しかし、0.01mm単位での変化を測定することは、少しのミスで大きな誤差が生じてしまうため、測定の工夫を行う。
- (3) 今回は挿し木を用いてトキワバイカツツジの光環境における生育条件を明らかにしようとした。私たちは稚樹のときは陰樹の性質を持ち、成木になると陽樹の性質を持つのではないかと仮説を立てているので、トキワバイカツツジの種子を播種し、稚樹の光環境における生育条件を明らかにすること、および、成木の光環境における生育条件を明らかにすることが今後の課題である。

謝辞

本研究を行うにあたり、愛媛県自然保護課、生物多様性センターの方々に、トキワバイカツツジの自生地への入林許可、トキワバイカツツジの挿し穂の採集許可を頂き、研究のご指導を頂いたことに感謝申し上げます。

参考文献

- ・原寛・山中二男(1984)：四国産ツツジの一新種. 植物研究雑誌, 59(10), 289-292.
- ・橋越清一・徳岡良則(2020)：トキワバイカツツジの保全のための基礎的研究Ⅰ トキワバイカツツジの生育地(愛媛県宇和島市)における植物相, エヒメアヤメ, (49), 55-63.
- ・橋越清一・徳岡良則・藤林弘恭・久松定智(2020)：トキワバイカツツジの保全のための基礎研究Ⅲ トキワバイカツツジの生育する林分の構造, エヒメアヤメ, (49), 80-91.
- ・田村優芽・高平こころ・高田悠生・稲田美優・粉川実姫・二神直希・小西立桜・林広樹(2023)：地図を用いた固有種トキワバイカツツジの調査と保全(2023)
- ・愛媛県レッドデータブック 2014



肥料と宇宙食への道



～アコヤガイパウダーの可能性は無限大～

2年3組 片岡 澄夏 2年3組 桑原 美羽
 2年3組 田中 小晴 2年3組 横山 りる
 指導者 中尾 力広

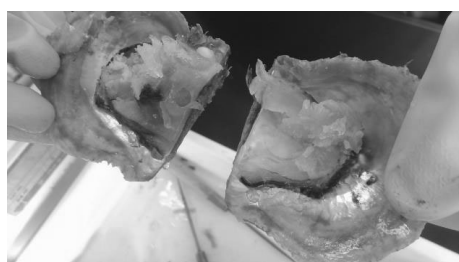
1 課題設定の理由

- (1) 宇和島市では、アコヤガイからとれる真珠が有名な特産品となっている。しかし、その裏でアコヤガイの身（実際には小さいアコヤガイ）が大量に廃棄されていることを知り、どうにかして活用できるのではないかと考えた（図1）。
- (2) カルペインパウダー（秀長水産）のように実際に成功している例がある。カルペインパウダーとは、タイの身や骨を使用したパウダーのことである。このカルペインパウダーを参考に、アコヤガイの身も粉末化できるのではないかと考えた。

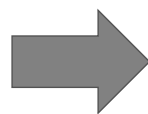
2 仮説

アコヤガイを粉末化することで、保存が容易になり、様々な場面で活用ができる。活用方法として次の(1)～(4)を想定する。

- (1) 農作物の肥料にできる。
- (2) メダカや観賞魚等の餌として活用できる。
- (3) 宇宙食や非常食として活用できないか。味は良くないが、加工方法によって活用できる可能性がある。
- (4) 成分を単離し、美容や健康、アレルギーの研究に用いる。



廃棄されるアコヤガイの身



肥料に用いる

魚の未利用部位での検証有
三重県のパールコンポスト

宇宙食に用いる
例：宇宙せんべい

愛媛県産宇宙食
「まるとっと」に続け

成分を単離し、美容や健康、
アレルギーの研究に用いる

愛媛大学農学部と連携の予定

観賞魚の餌

図1 アコヤガイパウダーの可能性

3 実験・研究の方法

私たちは、宇和島市の企業である秀長水産を訪問し、アコヤガイの身の活用についてアドバイスをいただいた。指摘されたのは以下の3点である。

1つ目は、アコヤガイの成分を調べることである。参考文献より、アコヤガイには主にタウリンとグリコーゲンの2つの成分が含まれていることが分かっている。

2つ目は、アコヤガイの成分を安定化させることである。成分を安定化することができなければ、もちろん、自分たちが目指しているような、アコヤガイパウダーを食品に活用することはできないであろうし、長期保存もできなくなる。そのためにも、成分の安定化は必須となってくるのである。安定化とは、どのような状況であっても同じ状態を維持させることができている状態を示しており、アコヤガイパウダーを何かに活用するためには重要なこととなっている。

3つ目は、アコヤガイを活用しやすくするために粉末化させることである。アコヤガイを粉末化させることで、生の状態よりも長持ちさせることができ、持ち運びも楽になる。このことから、まずはアコヤガイを粉末化させることにした。

粉末化の方法を以下に示す。

(1) アコヤガイの粉末化 (図4)

アコヤガイを粉末化させるための方法として以下の3つの方法を用いた。

① 真空状態にする (図2)

手動式真空ポンプを使って、ビンの中を真空にし、水分を飛ばす。

※真空乾燥の原理

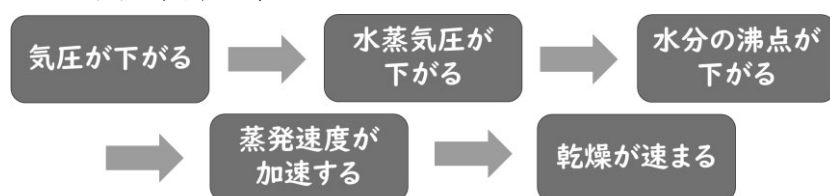


図2 真空ポンプの活用

② 天日干し (図3左)

バットにアコヤガイの身を入れ、その上から金あみをして、虫や鳥の対策をしながら日光で水分を飛ばす。

③ 冷蔵庫内に保存する (図3右)

冷蔵庫は温度が低く、水蒸気が空気中に溶け込みにくいため、乾燥することや、気圧が大きいと押しえつけられて水分が出にくいのが、冷蔵庫内は気圧が小さいため、水分が出やすく乾燥するというしくみを利用し、水分を飛ばす。



図3 天日干し



図3 冷蔵庫内で乾燥



図4 アコヤガイパウダー

(2) アコヤガイパウダーの肥料としての活用

① アコヤガイパウダーを4.0g作成し、0g、0.1g、0.2g、0.3g、0.4gをそれぞれ土(観察しやすいよう、試験管半分位置までの7.5g)に混ぜ、豆苗を植える(図5)。

② 比較しやすいように長さを切りそろえる(図6左・中)。

③ 光屈性(ひかりくっせい)の影響を取り除くためにカーテンは閉めて観察する(図6右)。

④ 成長の過程を記録する。



図5 土の量をそろえる

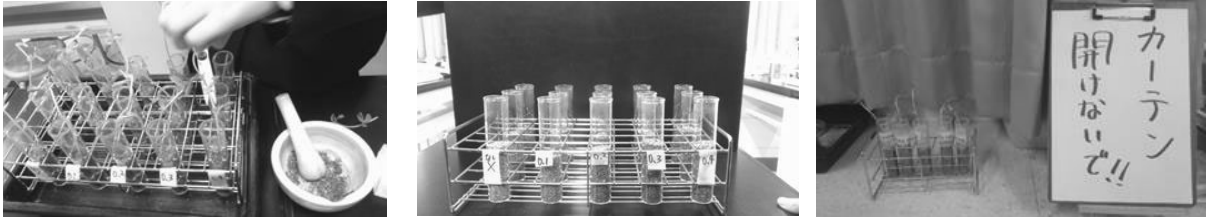


図6 試験管最上部の高さに切りそろえる(写真左・中)
カーテンは閉めておく(光屈性の影響を取り除く・写真右)

【追加実験】①と同じようにアコヤガイパウダーを作成し、それぞれ水に混ぜ、豆苗を入れる。
2列のうち、手前は種の近くを切りそろえ、奥は枝分かれの部分からの長さを記録した。

4 結果と考察

(1) パウダー化に向けた実験結果と考察

① 「真空状態にする」の結果と考察

今回この原理を用いて実験を行ってみたが、十分に乾燥させることができなかった。真空にする際に、空気がビン内に侵入していたことが原因だと考えられるため、どうすれば空気が入らず真空にできるのかを探る必要がある。

② 「天日干し」の結果と考察

この方法は、身が薄すぎて粉末化させる際に折れてしまい、上手く粉末化させることができなかった。しかし、乾燥は十分にできていたため、どうしたらこれを粉末化させることができるかこれから考えていく必要がある。また、天候に左右されるのも問題である。

③ 「冷蔵庫内に保存する」の結果と考察

この方法は乾燥も十分にでき、厚さもちょうどよく、今までで一番の成果が得られたため今後の実験では冷蔵庫内で保存・乾燥に適していることが分かった。

以上の結果より、③の冷蔵庫内保存で乾燥させたものをパウダー化し、実験を継続することとした。

(2) 肥料としての利用 (鯛の未利用部位で実証済み)

土を用いた場合、十分に成長が認められなかった。また、先端を切った部分が乾燥してしまい、豆苗の伸びが見られなかった。豆苗は水につけた方がよく成長するのではないかという可能性と、水の方がアコヤガイパウダーの成分が均一に広がりやすいという点も考慮し、土を使った実験方法を水栽培を用いてその成長を記録する実験に改善した(図7・表1)。

図8のグラフから分かるように、アコヤガイパウダーを0.1g与えたものが最も成長した。0.4gのものは、水に対するアコヤガイパウダーの量が多かったと考えられる。アコヤガイパウダーは濃いほどよいというわけではなく、水に対するアコヤガイパウダーの適正量を見つけていく必要がある。今回の実験では、成分以外にもその濃度の影響もあると考えられるため、その点を考慮した実験方法の改善が必要である。

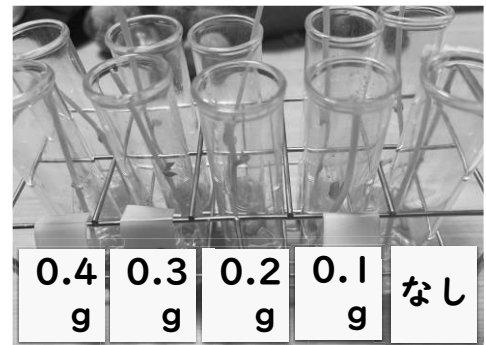


図7 水栽培の写真

表1 豆苗の成長記録 (cm)

	なし	0.1g	0.2g	0.3g	0.4g
1月18日	0	0	0	0	0
1月19日	0.03	0.16	0.08	0.08	0.02
1月20日	0.06	0.26	0.14	0.08	0.02
1月21日	0.08	0.27	0.19	0.1	0.02
1月22日	0.09	0.3	0.24	0.13	0.02

6 まとめと今後の課題（図8）

- (1) アコヤガイパウダーを肥料として活用するのは、有効である可能性が高い。
- (2) 成分を単離して活用する方法の研究が不十分であるため、抽出方法を研究する。
- (3) 匂いを消す方法を調査・研究する。食品として利用できるようにするには、貝の身を乾燥させる前に醤油や塩などでゆがき、匂いを消し味付けをする。
- (4) 研究が進めば、きちんとした乾燥施設が必要である。宇宙食としての活用に向け昨年度、本校でご講演いただいた縁で、宇宙食「骨まで食べられるまるとと（干物）」の製造で有名な株式会社キシモト（東温市）を訪問させていただいた。私たちが考える宇宙食への活用に関する学習と、乾燥の方法やその原理等を学ばせていただいた（図9・10）。

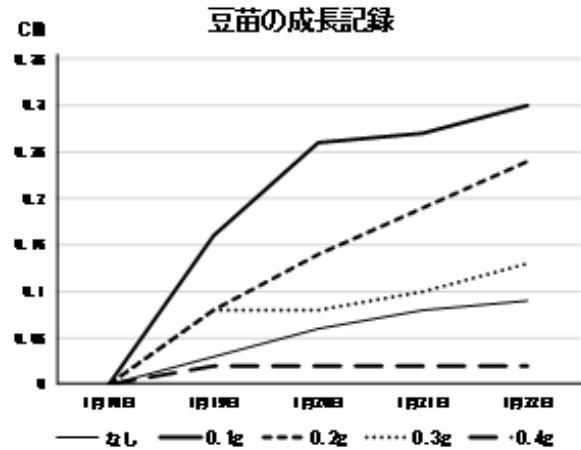


図8 豆苗の成長記録



図9 宇宙食「まるとと」

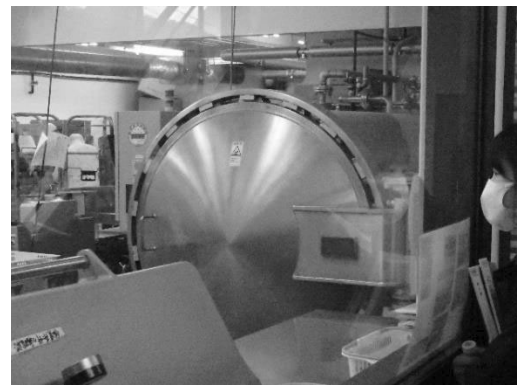


図10 高温高圧殺菌装置

宇宙食の条件 ↑↓ アコヤガイパウダーの長所	どこで食べるのか	→ 宇宙という過酷な環境条件下
	だれが食べるのか	→ 宇宙飛行士(人類代表の優秀で大切な人材) ※飛行中の食中毒・病気は、絶対に不可。
<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥していて腐りにくく長持ちする（ただし、十分な乾燥が必要）。 ・真空滅菌すれば、食中毒や感染症にも対応できる。 ・貝を丸ごと活用するため、栄養面でも良好なものができる。 		

7 謝辞

本研究にあたり、秀長水産、株式会社キシモト、愛媛県水産研究センター、愛媛大学をはじめ、多くの方々よりご助言をいただきました。この場をお借りしてお礼を申し上げます。本当にありがとうございました。

8 参考文献

- ・パールコンポスト(R4 三重県真珠振興協議会)、
- ・アコヤガイ内臓の有効利用に関する研究(2004 三重県科学技術振興センター水産研究部)
- ・農林水産バイオリサイクル研究事業 (2006 農林水産技術会)、
- ・アコヤ貝等二枚貝廃棄物からのセラミドアミノエチルスルホン酸の効率的抽出(2006、三重県科学技術振興センター水産研究部)、
- ・平成30年度愛媛県立宇和島東高等学校課題研究論文集「魚の未利用部位を使って商品開発」、
- ・令和2年度愛媛県立宇和島東高等学校課題研究論文集「魚粉を用いた芝の緑化」

愛媛県の石（エクロジャイト）を用いたサウナの熱効率

2年3組 松本 惟吹 2年3組 高田 柊
2年3組 大西 敦也 2年3組 坂本 孝太
指導者 松岡 拓哉

1 課題設定の理由

現在、若者を中心にサウナ利用者数が増加傾向にあり、2022年のサウナ愛好家人口は約1700万人にもなると言われている。これに伴い、大手航空会社のJALではサウナを目的とした旅行プランである「サ旅」というサービスの展開を開始しており、地域にあるサウナを魅力化することで観光客の増加につながるのではないかと考えられる。こういったサウナブームに伴い、愛媛県宇和島市でも2027年に男女計5つのサウナ室を設けた温浴施設「やすらぎの里」をリニューアルオープンすることになっている^[1]。そこで、私たちは、やすらぎの里と連携して、現在人気の高いフィンランド式のロウリュサウナ（図1）の要である、サウナストーンについて研究し、地域の特徴の強いサウナ製作の一助になることはできないかと考えた。実験対象は、日本では愛媛県四国中央市の東赤石山でしか産出しないエクロジャイトとする。今回は、実際に四国中央市関川（図2）に流れてきたエクロジャイトを採取し、実験で使用する。



図1 フィンランド式サウナのストーブ



図2 四国中央市関川の所在地

2 仮説

サウナストーンに使われている岩石は主に火成岩であるのに対し、エクロジャイトの原岩も玄武岩質岩であるため、サウナストーンとして利用できるのではないかと考える。また、エクロジャイトは海底プレートが沈み込む際に、高い圧力を受けて変成した低温高压変成岩であるため、密度や比熱が大きいのではないかと考える。以上2つの理由から、エクロジャイトは市販されているものと比べ、優れたサウナストーンになるのではないかと考えた。

また、サウナストーンに必要な条件を以下に挙げる。

- ・ロウリュなどで急冷しても石が破損しないために高密度であること。
- ・蓄熱性が高くあるために比熱が大きいこと。
- ・温度管理が容易であるために熱伝導率が高いこと。
- ・石の表面に水が付着しやすいよう、表面がざらざらであること。

3 実験の方法

エクロジャイト（図3左）のサウナストーンとしての適性を評価するために、一般的にサウナストーンとして使用されている花崗岩（図3中）、蛇紋岩（図3右）を用いて対照実験を行う。測定する項目は、上に示した（1）密度、（2）比熱、（3）熱伝導率とする。花崗岩は、宇和島市の神田

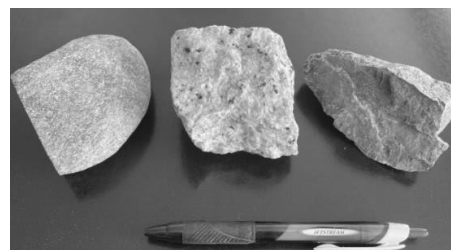


図3 実験に使用する岩石

川で採取したものを使用し、蛇紋岩はサウナストーンとして市販されていたものを使用する。これらのデータを比較し、エクロジャイトの適性を判断する。

4 実験

(1) 密度の測定

まず、アルキメデスの原理（水中にある物体は、物体と同じ体積の水の重さに等しい浮力を受ける法則）を用いて密度を測定する。水中に岩石を沈めた際のはかりが示す質量の変化を読み取る（**図4**）ことで、岩石の体積が求まる。次に、密度 $[g/cm^3] = 質量 [g] / 体積 [cm^3]$ を用いて求めた。それぞれの岩石の密度の値を以下の**表1**に示す。

表1 密度の測定結果

	密度 (g/c m ³)
エクロジャイト	3.12
花崗岩	2.63
蛇紋岩	3.01



図4 密度の測定の様子

表1より、測定したエクロジャイトの密度が文献^[2]に記載されている数値(3.4g/cm³)と異なっていることが分かる。そこで、今回関川で採取してきた岩石を構成している鉱物について詳しく調べる必要があると考え、薄片を作成し、偏光顕微鏡で観察することにした。

[薄片の作成]

愛媛大学の佐野教授にご協力いただき、愛媛大学で保有しているエクロジャイト（**図5**）をお借りすることができたため、2つの岩石について、薄片を作成した。作成の手順を以下に示す。

- ①岩石をスライドガラスに収まる大きさに切断する。
- ②4種類の研磨剤（150番、300番、1000番、2000番）を使用し、岩石の片面を十分に研磨する（**図6**）。
- ③研磨した面をスライドガラスに貼り付け、厚さ2mm程度に切断する。
- ④2と同様に切断した面を、透明鉱物がはっきりわかるようになるまで研磨する。
- ⑤カバーガラスを貼り付けプレパラートを作成する。

愛媛大学からお借りした岩石の薄片を「薄片1」、我々が採取してきた岩石の薄片を「薄片2」とする。**図7**のように、薄片1においては、ざくろ石(A)と透輝石(B)を観察することができ、この岩石はエクロジャイトであると同定できた。しかし、薄片2については、ざくろ石は確認することができたが、透輝石の代わりに角閃石(C)が観察できた（**図8**）。これは、鉱物が地表に上がってくる際に後退変成作用を受け、透輝石が水を含むことによって角閃石に変質したものと考えられる。また、愛媛大学でお借りしたものは、密度についても、3.56g/cm³という測定結果が得られ、文献で示されているデータとおおよそ一致した。他の岩石に比べ、エクロジャイトの密度は大きな値となっていることから、ロウリュなどの急冷にも耐えることや、比熱が大きいことが期待できる



図5 愛媛大学のエクロジャイト



図6 薄片の作成の様子

結果となった。以降の実験は、より正確なデータを得るため、愛媛大学からお借りしたエクロジャイトを使用する。

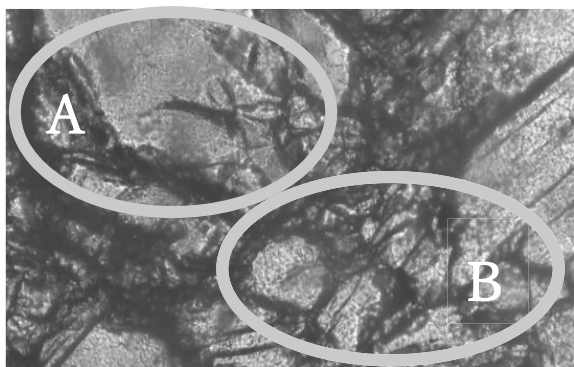


図7 偏光顕微鏡で観察した薄片1

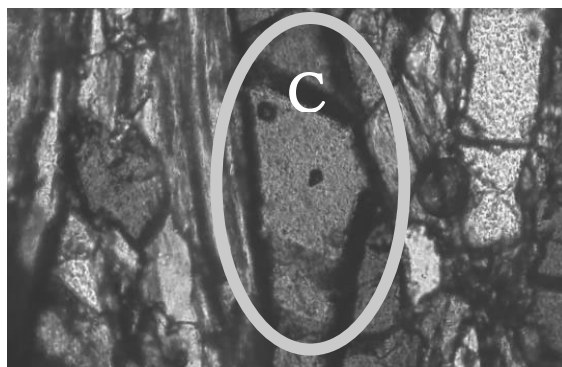


図8 偏光顕微鏡で観察した薄片2

(2) 比熱の測定

熱量計を用いて、以下の手順でそれぞれの岩石の比熱を測定する(図9)。

- ①それぞれの石の重さを測る。
- ②熱容量計の中に水を入れ、温度、質量を測る。
- ③3つの石を、水を張った鍋の中に入れ、水が80℃に達するまで熱する。
- ④石を取り出し、熱容量計にいれ、静かにかき混ぜる。
- ⑤熱平衡に達したときの温度を読み取る。
- ⑥熱量保存の法則を用いて比熱を求める。

[熱量保存の法則から導かれる公式]

$$m_{石} \cdot c_{石} \cdot \Delta t_1 = (m_{水} \cdot c_{水} + m_{銅} \cdot c_{銅}) \Delta t_2$$

(Δt_1 : 3の温度と5の温度の差 Δt_2 : 5の温度と2の温度の差)



図9 比熱の測定の様子

(3) 熱伝導率の測定

フィンランド式サウナのタワー型ストーブに石を積んだ状態(図1)を再現するため、熱源としてホットプレートを用い、その上にバーベキュー用の網を丸めたタワーを設置し、岩石を隙間なく積んだ。それぞれの岩石について、時間経過による温度上昇を測定する。計測は熱電対を用いて行い、温度の測定点は、ホットプレートの表面から10cmの高さに設定した(図10)。それぞれの岩石をサウナストーンとして用いた際の熱伝導率について評価する。



図10 熱伝導率の測定の様子

5 結果と考察

(1) 比熱の測定

表2 比熱の測定結果

比熱 c [J/(g·K)]	1回目	2回目	3回目	平均
エクロジャイト	0.94	0.93	0.98	0.95
花崗岩	0.80	0.81	0.79	0.80
蛇紋岩	0.82	0.83	0.86	0.83

表2より、実験対象の中でエクロジャイトの比熱が最も高いことが分かる。よって、エク

ロジャイトは蓄熱性に優れており、サウナ室の開閉やロウリュなどによる温度の低下を防ぐ効果が高いのではないかと考える。近年は、オートロウリュ機能により5分に1回などの高頻度でロウリュを行う施設も増えているため、そういった大規模な施設において、エクロジャイトは特に適していると言える。一方、比熱が大きいとサウナ室が温まるまでに時間がかかることが想定されるため、小規模な施設や、家庭用サウナなどのストーブの出力が小さい状況には適さないと言える。

(2) 熱伝導率の測定

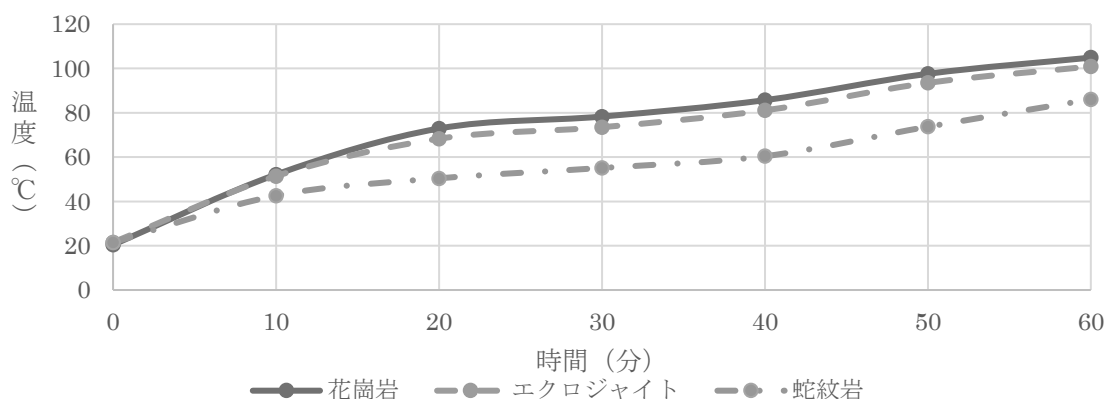


図 11 熱伝導率の結果

図 11 より、花崗岩とエクロジャイトは蛇紋岩よりも熱伝導率が高いことが分かる。また、花崗岩の方が加熱開始直後の温度上昇がやや速いことが分かり、これはエクロジャイトに比べ花崗岩の比熱が小さく、温度変化が容易に起こるためだと考える。熱伝導率に優れているエクロジャイトを使用することで、サウナ室の温度管理を容易に行うことができると想定される。しかし、熱伝導については、岩石同士のわずかな接触具合によって変化することが考えられるため、積み方を変えながら実験を繰り返していく必要があるだろう。

6 まとめと今後の課題

以上より、エクロジャイトは、密度・比熱・熱伝導の3観点において、一般的にサウナストーンに適していると知られている花崗岩や、市販のサウナストーンとして購入した蛇紋岩よりも優れているといえる。今回の研究結果を宇和島市役所に提出することで、やすらぎの里の魅力化の一助になることを願う。また、良質なサウナ室の設計には、温度のほかに湿度の管理も大きく関与するため、今後は、ロウリュに対する適性について詳しく調べていきたい。

謝辞

本研究を進めるにあたりご協力いただいた愛媛大学の佐野栄教授に、この場を借りて心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 道の駅津島やすらぎの里再整備基本計画
https://www.city.uwajima.ehime.jp/uploaded/life/69757_208275_misc.pdf
- [2] 新収資料紹介 斜長石とエクロジャイト
https://nh.kanagawa-museum.jp/www/pdf/tobira10_7hirata.pdf
- [3] サウナイキタイ <https://sauna-ikitai.com/>