

令和4年度 SSH研究成果報告会（2期目第5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（74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	中村	木製スピーカーの形状ごとの音響効果	67
	2	浦辻	骨組みの本数を減らした高集光ビニールハウスの開発	71
	3	石坂	素数の可能性	75
	4	赤松	折り紙の可能性II	79
	5	窪地	電気分解における陽極金属の形状に関する研究	83
	6	高橋	アコヤ貝を用いた制酸薬の合成	87
B 生命環境講座	7	山本	吉田町の土砂災害の一考察 —斜面上の土砂流出と粘土鉱物からの検討—	91
	8	中尾	新たな指標生物を探せ！～神田川の水質と生物III～	95
	9	高橋	摘果みかんから合成した再生繊維の評価方法	99
	10	窪地	魚粉肥料が野菜の生育に与える影響	103
	11	清川	植物の生育初期におけるウルトラファインバブル使用の検討	107
	12	中尾	カキの生息条件II	111
総合科学講座	13	清川	身近な廃棄物を利用した有機石灰	115
	14	中村	統計情報を用いた南予地域の課題発見	119
	15	松岡	貝灰を利用した漆喰の吸音・消臭効果に関する研究	123
	16	林	地域の廃棄物を利用した浄化装置とその有効性	127
	17	谷田	粘着力測定版の作製とレシピ開発	131
	18	林	バイオエタノールの生成	135

木製スピーカーの形状ごとの音響効果

2年3組 上杉 夏蓮 2年3組 清家 蒼太 2年3組 成瀬 望
2年3組 森 一琉 2年4組 山本 陸王
指導者 中村 俊貴

1 課題設定の理由

私たちの地元である宇和島市はその面積の7割を森林が占めており、その広大な森林を生かした林業も行われている街である。しかし、その林業が注目されることは少ない。私たちはこれを宇和島市の魅力として発信するべきだと考え、そのための活動の一環として宇和島産の木材を用いた独自の木製スピーカーの作成を思い立った。そこで、作成の前準備として木製スピーカーに適した構造を考察し、より効果的な木製スピーカーの形状を調べることを目標に研究を行った。

2 仮説

スピーカーの主な使用目的として、特定方向へ対する音量の増大、全方向への音量の増大の二つを考え、今回の研究では前者の、特定方向に対する音量の増大が可能なスピーカーの作成を目標とした。

音響効果の高い構造のひとつとしてホーン構造と呼ばれる円錐状の構造がある。この構造はホーン開口部では平面波に近い状態で音が放射される。そのため、ホーンとして動作している周波数範囲では指向性が強く、球面波のように音が広がらないためその分効率は高くなる。木材で曲面や円形を作成することは困難であるものの、角錐状の模型を作成することで、ホーン構造の特性の1つである、音量(音圧)を高める効果を得られるのではないかと考え以下の実験を行った。

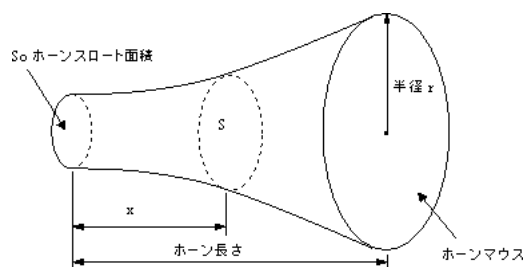


図1 ホーン構造

3 研究の方法

(1) スピーカーの作成

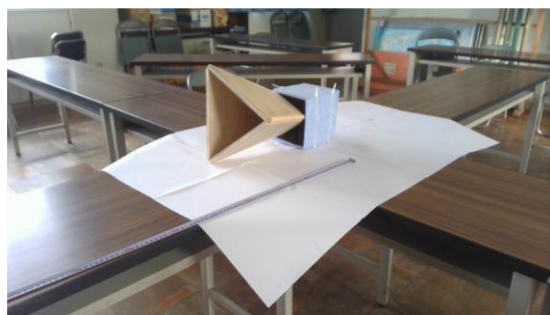


図2 三角錐型スピーカー



図3 四角錐型スピーカー

スピーカーの形状は「三角錐型」(図2)、「四角錐型」(図3)の二種を作成した。両端の大きさは、ホーン構造のスピーカーの底面が外接円となるように模型の大きさを揃えた。(底面の外接円半径5cm, 15cm)

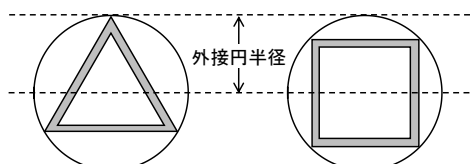


図4 スピーカー底面

(2) 音圧の測定

ア 使用物

- ・有線スピーカー
- ・吸音材
- ・騒音測定器 (Sound Meter) スマートフォンアプリケーション
- ・発音振動数と音階シミュレーション (初音)

イ 実験場所

愛媛県立宇和島東高等学校 理科教棟 3 階 視聴覚教室

ウ 実験条件

- ・発生させる音の前方以外への広がりを抑えるために発音体となる有線スピーカーの側面と裏面を吸音材で二重に囲んだ。また、前面のスピーカー模型との隙間も吸音材で埋めた。

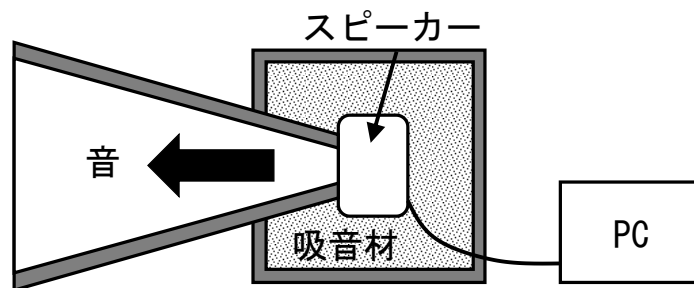


図5 発音体内部構造

- ・発音体からは一定の音量で 2000Hz の音を流して測定する。(図6)
- ・測定内容は発音体から 2.0m 離れた地点からの音圧の計測を行う。(図7)
- ・発音体正面を 0 度として 30 度毎に測定を行ったこのとき、図7では右回りを正として表記した。



図6 初音操作画面

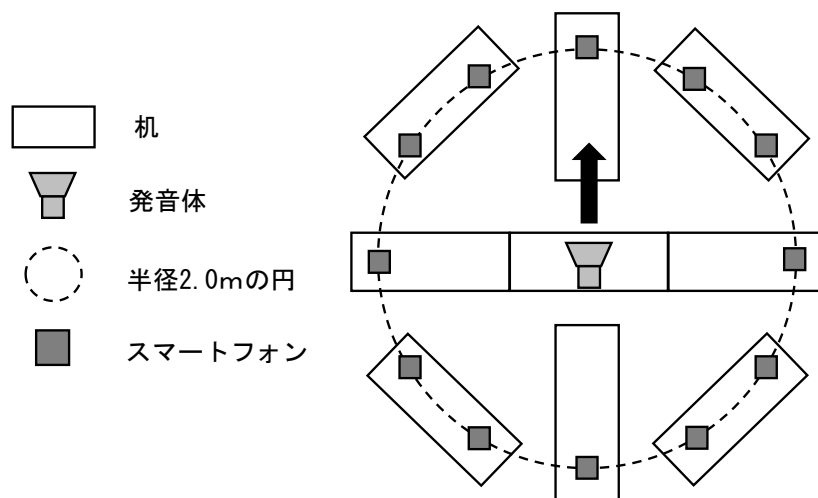


図7 実験装置配置図

4 結果と考察

実験の結果を以下に示す

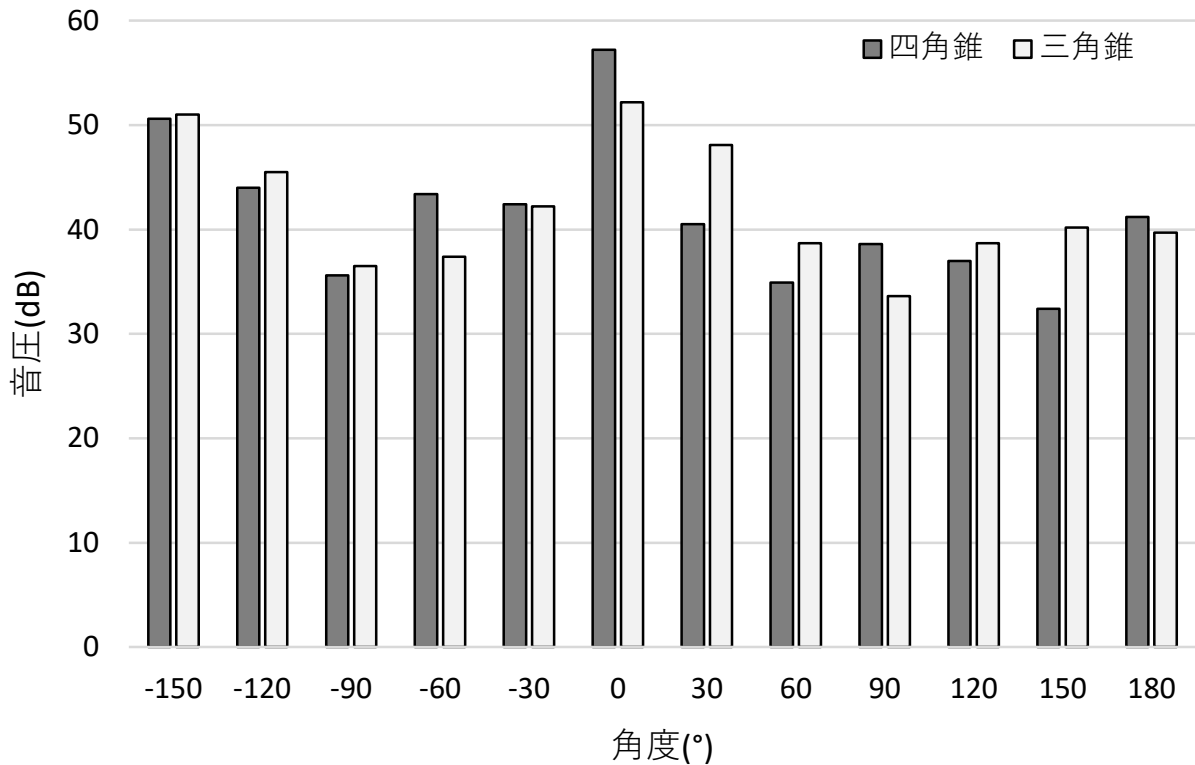


図8 角度と音圧の関係

四角錐と三角錐で音圧に変化はみられなかった。このとき、-90度から正の方向に90度まで角度を経るごとに音圧がだんだんと変化した。また、-90度から負の方向に向けては、上記のような相関的な変化はみられなかった。

底面がなめらかな円形で、側面がアーチ状をしたホーン構造を基にして考えると、多角形の角が増えるほどホーン構造の増加効果によって音圧が増大すると考えていた。しかし、四角錐と三角錐とで音圧に対する大きな差はなかった。そのため近似的なホーン構造の効果を検証するためには図形の頂点を大幅に増やす必要があると考えられる。

また、結果より90度から0度までに音圧が増大しているため、スピーカーによる音圧の増強効果を検証できたと考えられる。

5 まとめと今後の課題

(1) まとめ

今回の実験では三角錐と四角錐の両方とも正面に対する音圧が一番大きく、90度から0度にかけての角度においてのスピーカーが正面方向以外への音圧の減少効果を検証することができた。

一方、スピーカー後方では効果が見られないため、発音体前面に設置するスピーカー構造のほかに良い手段を考察する必要がある。

(2) 今後の課題

本実験では、模型の作成に期間を要したため、実験の回数が満足に行えなかった。また、今回は各クラスから離れている視聴覚教室で実験を行ったが、学校内での実験は授業や放課後の部活動等などの雑音が入りやすく、正確な計測結果を測定することが出来ていない

可能性が高い。そのため、今後は授業や部活動による雑音の影響が少ない時間帯に実験を実施したい。また、制作した模型の大きさから、発音体から 2.0m という遠い地点での計測を行ったが、防音性のある空間で実験を行う都合上、模型のサイズ、距離などの規模を縮小して実験を行う必要があると感じた。

今後はこれらの解決に加え、2000Hz で固定していた周波数を変更することで生じる影響などの音圧以外の音の要素の変動についての調査や、より多角形の頂点を増やし、スピーカーの側面についてもホーン構造のアーチ状の側面の傾きに近似させ、近似的なホーン構造とした場合の音圧増加効果を調べ、本研究の実験データ及び考察を補強したい。

多角形の頂点を増やした疑似的なホーン構造については、材料費や製作工程の複雑さを考慮しつつ、検証する必要がある。

謝辞

研究を指導してくださった中村先生、遮音材を提供してくださった先輩方に感謝申し上げます。

参考文献

- ・ 振動数と音階（発音：はつね）シミュレーション | 素材詳細情報 | 理科ねっとわーく (rika-net.com)
- ・ ホーン内の波動方程式および各種ホーンの特性 2 頁 (expydoc.com) 辻野次郎丸
- ・ ホーンスピーカーの原理と構造について (ms-laboratory.jp)

骨組みの本数を減らした高集光ビニールハウスの開発

2年4組 佐々木 唯文 2年4組 山口 舞佳 2年4組 米川 結子
指導者 浦辻 規幸

1 背景・目的

愛媛県において令和2年の個人経営体の基幹的農業従事者数は「本県の65歳以上の者の占める割合は74.0%」^[1]であり、農業事業者の高齢化が問題となっている。そこで、本研究では、ビニールハウスそのものの性能を向上させるとともに、高齢者がより効率的に扱うことが出来るビニールハウスの開発を目指した。

2 農業従事者へのインタビュー

ビニールハウスの改良点を明確とすべく、50歳以上の農業従事者4名へインタビューを行った。ビニールハウスに関して困っていることについては、全員から「ビニールハウスの壊れやすさと組み立てるときの大変さ」ということを回答いただいた。いただいた回答を箇条書きでまとめると次のようになる。

(1) ビニールハウスの壊れやすさについて

- ・複数の台風などの暴風や猿などの動物が原因で、すぐにビニールハウスの骨組みの鉄パイプが歪む
- ・鉄パイプが歪むことによってビニールが破れる
- ・ビニールハウスの上に数匹乗っても猿が乗っても骨組みは壊れにくいですが、横からの強風によっては骨組みが歪み壊れることがある

(2) ビニールハウスの組み立てにくさについて

- ・ビニールハウスの建材である鉄パイプが重く、運搬が大変である
- ・鉄パイプで骨組みを組むので少人数で短時間では組み立てることが難しい

以上のことより、現場においては、より簡単な構造で組み立てやすく、横からの力にも強いビニールハウスが求められていることが分かった。

3 仮説

ビニールハウスは、骨組みとビニールによる構造となっている。強度は骨組みによるため、骨組みの構造にトラス構造を加えた構造に変えることで横からの力にも強いビニールハウスを作成することが出来ると考えた。また、ビニールハウスは植物の育成という観点から温度や照度が重要である。そこで骨組みに被せるビニールの部分に改良することでより効率的に食物を育てられると考えた。

4 ビニールハウスの模型の作成

本研究では、現存のビニールハウス^[2]を100分の1の縮尺でモデル化し実験を行った。設計図を図1に示す。

ビニールハウスをビニールと骨組みに分けて考える。骨組みは、強度比較ができればよいため、加工のしやすいφ2.0mmのアルミ針金を使用した。骨組み同士のジョイント部分は、グルーガンの樹脂によって再現を行った。

これにより強度については、基本構造の模型と本研究で開発した新設計の模型の比較を行う。また温度と照度については、基本構造の模型を基に骨組みを変更せず、ビニールの部分のみ改良し比較する。

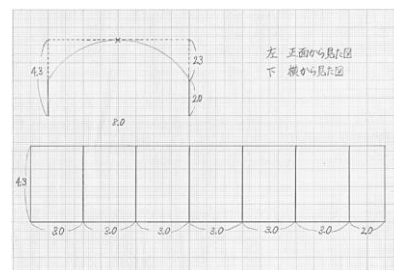


図1 基本構造の設計図
(単位は cm)

5 ビニールハウスの開発とその検証

(1) 強度面におけるビニールハウスの設計

開発に伴い、ビニールハウス内の空間の体積を減少させないことと、使用するアルミ針金の本数を増加させないことを条件とし、次のA～Cのビニールの開発を行った。

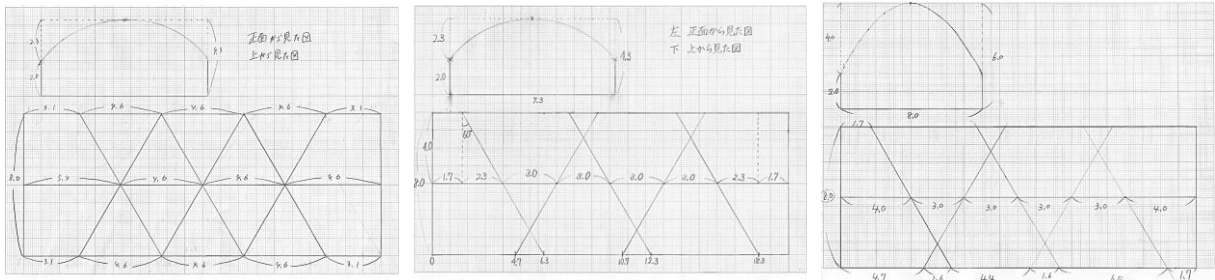


図2 改良したビニールハウスの構造の設計図 (単位は cm)

(左 ; A 6本交差型、中央 ; B 5本交差型、右 ; C 5本放物線型)

A 6本交差型 (以下、A型と略)

A型の設計図を図2左に示す。本数は基本構造と同じ6本で交差型構造を開発した。トラス構造を取り入れ、横向きに対し力が1箇所集中しないよう、分散する設計を行った。

B 5本交差型 (以下、B型と略)

B型の設計図を図2中央に示す。トラス構造を取り入れ、横向きに対して力が一か所に集中しないよう、分散する設計を行った。またB型に比べ3本が1点で重なる点を無くし、アーチ部分の本数を少なくすることで組みやすさについても考慮した。

C 5本放物線型 (以下、C型と略)

C型の設計図を図2右に示す。B型同様、トラス構造を取り入れ、横向きに対して力が一か所に集中しないよう、分散する設計を行った。また、トンネルの構造に近い形を利用し、ビニールハウスの天井部分が放物線を描くように改良した。これにより、ビニールハウスの強度を大きくし、雨水に対する強度を考慮した。

(2) 温度・照度面におけるビニールハウスの設計

植物の育成において、温度と太陽光は重要である。そこで基本構造の模型を基にビニールの部分の改良をすることで、より温度を高くでき、太陽光を採光することが出来るビニールハウスの開発を行った。本研究では、北側半分のビニールに対して、黒ビニールとアルミ箔を同時に使用するビニールハウスを開発した。黒ビニールは光を吸収するが、装着付近に関しては光が届かない。一方でアルミ箔は光をよく反射するが、外部から見たときに光を反射し失明の危険性がある。そこで相補的に黒ビニール外側に張りアルミ箔を内側に張ることで、全体に光を届けることができ、かつ危険な部分を保護することできるビニールハウスの開発を行った。本研究では、基本構造のビニールハウスの模型に対して、ビニールの代わりにラップを張った従来型とラップの上に黒ビニールとアルミホイルを張った相補型で対照実験を行う。

6 実験方法

(1) 温度の測定方法

従来型と相補型について、次の条件でビニールハウスの模型に日光を当て、赤液温度計で温度を測定した。このとき、参考のため外気温も測定した。

場所 ; 宇和島東高校普通教棟4階241教室ベランダ

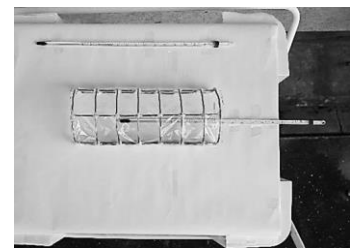


図3 従来型の温度の測定装置 (図中下が南)

日時; 2023年1月10日火曜日 8:50より12:50

条件; 南から太陽光が当たるように調整し、白紙の上で測定(図3・図4)

(2) 照度の測定方法

従来型と相補型について、次の条件でビニールハウスの模型に電球で光を当て、照度を測定した。(図5)

場所; 宇和島東高等学校理科教棟2階122教室

測定機器; デジタル照度計 LX-1108 (Mother Tool)

光源装置; LED電球 LDA7N-G-K/60WST (東芝ライテック株式会社)

条件; ビニールハウスの中心に照度計を設置

ビニールハウスの中心から電球までの長さ 10cm

光源の照度計に対する仰角 45°, 30°, 15°

暗幕で部屋を暗室状態にして測定



図4 相補型の温度の測定装置

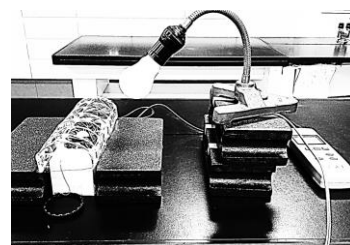


図5 照度の測定装置

(3) 強度の測定方法

強度の比較は、おもりを吊るした場合におけるビニールハウスの歪みによる検討を行った(図6)。ビニールハウスに対し上からの力と横からの力に対して、針金が0.50cm歪んだ場合のおもりの重さを測定した。0.50cmは縮尺前で考えると50cmに相当する歪みである。おもりはシームレスな値で測定を行うため、水を使用した。また、針金の歪みを正確に測定するため、レーザーポインタを使用し測定を行った。



図6 力の測定装置

7 実験結果・考察

(1) 温度面

表1 改良型ビニールハウスに日光を当てた場合の温度変化の違い(単位は℃)

	従来型	相補型	従来A型	相補A型	従来B型	相補B型	従来C型	相補C型
8時50分	8.0	9.0	8.0	9.0	8.0	7.0	7.5	8.0
9時50分	11.0	12.2	11.0	11.5	11.0	10.0	11.3	11.3
10時50分	13.0	14.0	12.0	12.5	15.0	11.0	12.0	12.0
11時50分	36.0	42.0	36.5	43.0	39.0	39.0	35.0	40.5
12時50分	31.0	36.0	31.5	35.3	31.5	33.0	30.0	34.0

結果を表1に示す。12時50分時点での温度が低くなっているのは、太陽が雲によって一時的に隠れ、太陽光が遮断されたことが原因と考える。4時間後において、いずれも相補型の温度は従来型の温度に比べて高い結果が得られた。よって太陽光のエネルギーをより効果的に熱へと変換できるビニールハウスを開発することが出来た。なお、時間が経つたびに温度差が広がっているがこれは熱の蓄積によるものと考えられる。

(2) 照度面

表2 ビニールハウスの照度

仰角	従来B型(lx)	相補B型(lx)	従来C型(lx)	相補C型(lx)
45°	3143	3872	3389	4390
30°	2455	2649	2172	3392
15°	1457	1826	1463	2228

結果を表2に示す。ビニールの部分の曲面において、基本構造とA型とB型は同じであ

るためB型と、それと異なる形であるC型の比較を行った。いずれも相補型の方が光を多く集めており、相補型は照度において負の影響がないことが分かる。特に仰角 15 度においては、相補B型が従来B型の約 25%、相補C型が従来C型の約 52%、性能を上げている。これにより太陽が低い時間帯や季節においても、植物に十分な光を注ぐことが出来る構造となっていることが分かる。よって特に太陽の高度が低い冬や朝方においても、太陽の光を効率よく集めることが出来るビニールハウスを開発することが出来た。

(3) 強度面

表3 ビニールハウスの強度

力の向き	従来型(kg)	A型(kg)	B型(kg)	C型(kg)
横からの力	0.633	0.760	1.059	0.795
上からの力	1.552	1.440	1.009	1.395

結果を表3に示す。この値は大きいほど強度が大きいことを示している。従来型の横からの力に対する強度が 0.633(kg)であることが示す通り、基本構造における横から力の弱さが壊れやすさの原因であった。本研究で開発したいずれの構造においても、その 0.633(kg)を上回る結果が得られた。これはトラス構造を取り入れたためだと考えられる。横からの力に対する強度という点で考えるとB型が最も適している。しかし雨水等への対策も必要である。そこで風による影響が大きい農地ではB型が、雨による影響が大きい農地ではC型が適していると考えられる。

8 結論

ビニールハウスにおいて、骨組みの本数を増やすことなく、従来の骨組みの問題点であった横からの力に対応できる構造を開発することが出来た。本研究で開発した構造はいずれも従来型に比べて、横からの力に耐えることができていたため、強度面においてトラス構造は影響を与えていると分かる。また、骨組みに被せるビニールについても、温度と照度の観点で効率の良い相補型を開発することが出来た。C型において、傾斜を急にすることで雨のたまりやすさを軽減する構造を開発することができた。

9 展望

組み立てやすさについて、本数は減少したとしてもトラス構造を実際のパイプで組み立てるとなったときに負担となる可能性がある。よって今後は実際に組み立てることも視野に入れつつ、コスト面も踏まえてより実際に商品化に近付けるビニールハウスを作成したい。また骨組みにおける交差型やビニールにおける相補型以外の構造も考え、より便利なビニールハウスを作成していきたい。

謝辞

アンケートにご協力いただきました農業従事者の方、ありがとうございました。

参考文献

- [1] 「愛媛農業の動向 令和3年度版」, 愛媛県農林水産部
<https://www.pref.ehime.jp/h35100/documents/doukouhen1.pdf>
- [2] 「間口8メートルの42.7φ単管パイプハウスの図面」, 農業用ビニールハウスのモリシタ
<https://www.morishitahouse.jp/info/greenhouse/間口8メートルの42-7φ単管パイプハウスの図面/>

素数の可能性

2年4組 宇都宮郁人 2年4組 川添央太郎
2年4組 二井 智 2年4組 三好 和臣
指導者 石坂 美貴

1 課題設定の理由

愛媛大学の出張講義で、素数について学び、そのときに偶数の4乗と奇数の4乗の和が素数になるのではないかと疑問が生まれ、素数に興味をもった。素数とは、1より大きい自然数で、正の約数が1か自分自身しかないという数字である。素数は現れる順番に法則性がなく、今でも解明されていないことが数多く存在する謎の多い数字である。そこで、素数に関する公式や素数の規則性について詳しく知りたいと考え、素数の可能性を研究することにした。

2 仮説

求める値の範囲を限定することで、その範囲の中の素数を式で表すことができる。

3 研究内容

(1) 素数表の作成

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
231	232	233	234	235	236	237	238	239	240

表1 素数表

○素数表の作り方

エラトステネスの篩を用いて素数を見つける。エラトステネスの篩とは、「素数の正の約数は1と自分自身の2つのみ」という性質を利用して素数を見つける方法である。

今回は $n = 2500$ として考える。つまり 2500 以下の素数をすべてを見つける。

手順1 自然数リスト (2~2500) を作成する

手順2 自然数リストの最小の素数を m とする

手順3 リストの中で m 以外の m の倍数をふるい落とす

手順4 $m < \sqrt{n}$ となるまで手順2, 3を繰り返す(今回は $m = 47$)

リストの中の残った数字が素数となる。

(2) フェルマーの二平方和定理の追究

奇素数 p を2つの平方和で表すことができる $\Leftrightarrow p$ を4で割った余りは1であるというフェ

ルマーの二平方和定理を発展させることを試みた。様々な数について、二平方和が素数になり、かつ4で割った余りについてエクセルを用いて調べた結果、 $x^2 + 8y^2$ が素数となる x, y が存在するならば4で割ったときに1余ることがわかった。

【証明】

4で割ることを考慮して、 $x = 4n + 1, 4n + 2, 4n + 3$ 、 $y = 4m + 1, 4m + 2, 4m + 3$ とする。
(n, m は自然数)

ただし、 $4n, 4n + 2$ は平方和が偶数となり、素数にはならないので除く。

- ① $(4n + 1)^2 + 8(4m + 1)^2 = 16n^2 + 8n + 1 + 128m^2 + 64m + 8$
 $= 8(2n^2 + 16m^2 + 3n + 8m + 2) + 1$
- ② $(4n + 3)^2 + 8(4m + 1)^2 = 16n^2 + 24n + 9 + 128m^2 + 64m + 8$
 $= 8(2n^2 + 16m^2 + 3n + 8m + 2) + 1$
- ③ $(4n + 1)^2 + 8(4m + 2)^2 = 16n^2 + 8n + 1 + 128m^2 + 128m + 32$
 $= 8(2n^2 + n + 16m^2 + 16m + 4) + 1$
- ④ $(4n + 3)^2 + 8(4m + 2)^2 = 16n^2 + 24n + 9 + 128m^2 + 128m + 32$
 $= 8(2n^2 + 3n + 16m^2 + 16m + 5) + 1$
- ⑤ $(4n + 1)^2 + 8(4m + 3)^2 = 16n^2 + 8n + 1 + 128m^2 + 192m + 72$
 $= 8(2n^2 + n + 16m^2 + 24m + 9) + 1$
- ⑥ $(4n + 3)^2 + 8(4m + 3)^2 = 16n^2 + 24n + 9 + 128m^2 + 192m + 72$
 $= 8(2n^2 + 3n + 16m^2 + 24m + 9) + 1$

以上より、示せた。

(3) 範囲を限定して素数を式で表す

x 番目	素数	MOD4	4k + 1型	2~4	5~9	10~16	17~25
1	2	2					
2	3	3		2x - 1			
3	5	1	4(x - 2) + 1				
4	7	3		2x - 1			
5	11	3			3x - 4		
6	13	1	4(x - 3) + 1				
7	17	1	4(x - 3) + 1				
8	19	3			4x - 13		
9	23	3			3x - 4		
10	29	1	4(x - 3) + 1				
11	31	3				4x - 13	
12	37	1	4(x - 3) + 1				
13	41	1	4(x - 3) + 1				
14	43	3				4x - 13	
15	47	3				4x - 13	
16	53	1	4(x - 3) + 1				
17	59	3					4x - 9
18	61	1	4(x - 3) + 1				
19	67	3					4x - 9

20	71	3					$4x - 9$
21	73	1	$4(x - 3) + 1$				
22	79	3					$4x - 9$
23	83	3					$4x - 9$
24	89	1	$4(x - 2) + 1$				
25	97	1	$4(x - 1) + 1$				

表2 範囲を限定した場合の素数

フェルマーの二平方和定理より、 $4k+1$ 型の素数はすでに式化されているので、それ以外を考える。素数2を1番目、素数3を2番目、素数5を3番目…という風に小さい素数から順に番号を振る。次に、表2のように1番目まで、 $(1^2+1) \sim 2^2$ 番目まで、 $(2^2+1) \sim 3^2$ 番目まで…という風に範囲を限定していくと、 x 番目の素数を式で表すことができた。(8番目の素数19を除く)

例えば、2番目の素数は $3 = 2 \times 2 - 1$ 、5番目の素数は $11 = 3 \times 5 - 4$ となる。

(4) フェルマーの二平方和定理をグラフで表現

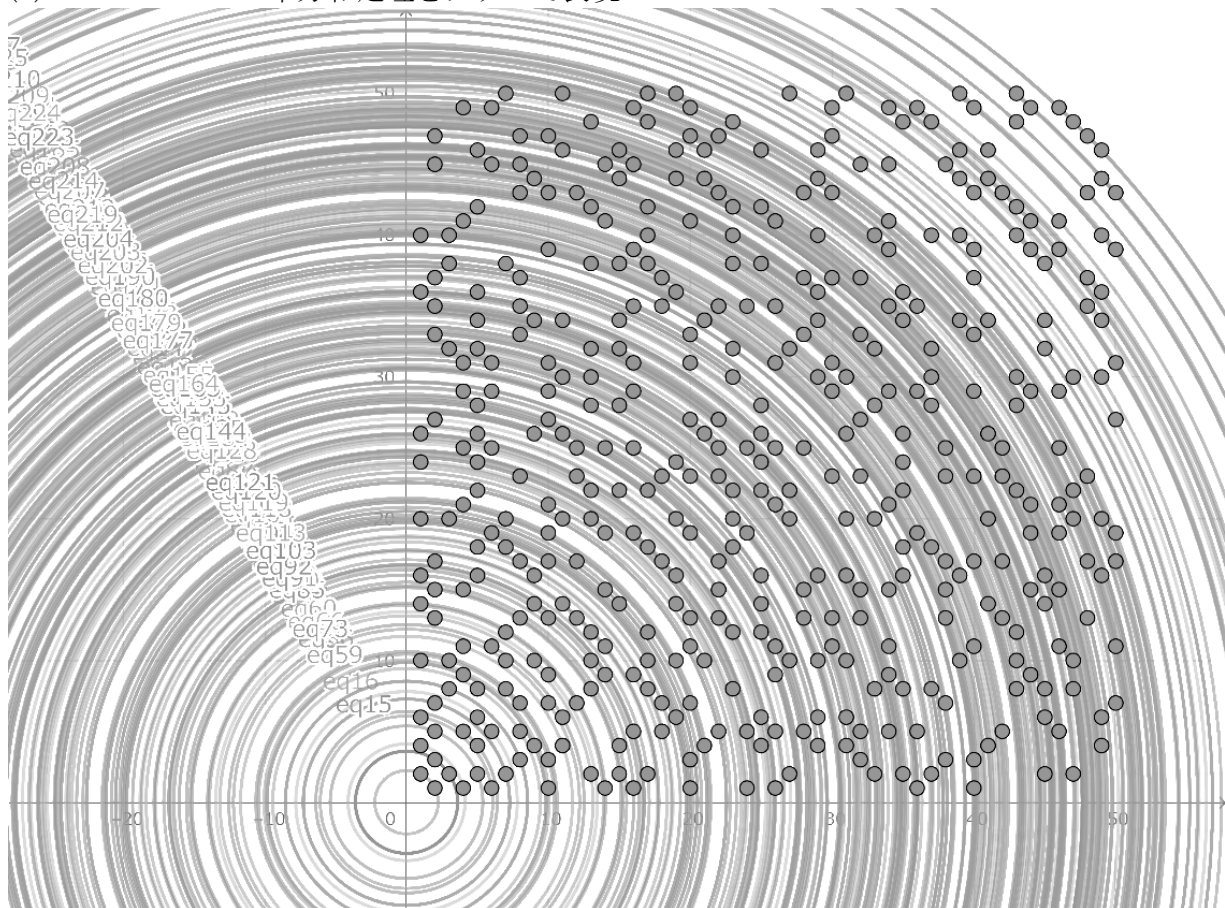


図1 フェルマーの二平方和定理を用いた円

フェルマーの二平方和定理が成り立つとき、 $x^2 + y^2$ は素数である。これを中心が原点で半径が $\sqrt{\text{素数}}$ の円の方程式とみて、GeoGebra というグラフ化ソフトを使いグラフを作った。

<手順>

- ① 表3のように、 $x = \text{奇数}(1 \sim 49)$ 、 $y = \text{偶数}(2 \sim 50)$ を入力し、 $x^2 + y^2$ の値を求め、2個の平方和が素数になる x, y の組み合わせを見つける。表3のL列、値の右側の色が付いて

いるところが素数である。

- ② 表3で得られたxとy、素数の値を円の方程式に適用してグラフを描いた後、円上にある座標 (x, y) に点を打つ。さらに、xとyの座標を入れ替えた点 (x=偶数、y=奇数)、すなわち $y = x$ に関して対称な座標の点もグラフに打ち、傾向を調べる。

	B	C	D	E	L	M
	x		y		値	
	1		2		5	s
	3		2		13	s
	5		2		29	s
	7		2		53	s
	9		2		85	
	11		2		125	
	13		2		173	s
	15		2		229	s
	17		2		293	s
	19		2		365	
	21		2		445	
	23		2		533	
	25		2		629	
	27		2		733	s
	29		2		845	
	31		2		965	
	33		2		1093	s
	35		2		1229	s
	37		2		1373	s
	39		2		1525	
	41		2		1685	
	43		2		1853	

表3 素数になる平方和の組み合わせ

4 まとめ・考察

- ・フェルマーの二平方和定理の発展から $x^2 + 8y^2$ が素数であるとき、その素数を4で割ると余りが1になることがわかった。
- ・素数が現れる順番をxとすると、範囲を限定することで素数を式で表すことができた。しかし、8番目の素数は例外となった。
- ・平方和が素数になる2個の数をx,yとし、 $x > 0, y > 0$ の範囲でxy平面上に座標をとって傾向を調べた結果、特に規則性は見られなかった。

5 今後の課題

規則性が見られなかった図1の点の分布から、座標の密度が大きい所と小さい所、空白の面積が広いところと狭いところを2種類の色を用いて塗りつぶすなど、アプローチを変えながら今後も規則性がないか調べていく。

範囲を限定した素数の式では、26番目以降の素数について考察、式化していきたい。

謝辞

本研究に取り組むにあたり、御指導・御助言をいただいた先生方に、お礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- [1] エラトステネスのふるいとその計算量 | 高校数学の美しい物語 (manabitimes.jp)
- [2] フェルマーの二平方和定理 | 高校数学の美しい物語 (manabitimes.jp)
- [3] 関数グラフ - GeoGebra (<https://www.geogebra.org/graphing?lang=ja>)

折り紙の可能性Ⅱ

2年4組 大野 寛平 2年4組 河野 琉青 2年4組 山本 遥駒
指導者 赤松 弘教

1 課題設定の理由

子供たちによく親しまれている折り紙は様々な可能性を秘めている。そして折り紙は数学と密接な関係を持っており、先行研究でも折り紙を使って正弦の合成や角の三等分の証明など数学の教科書に載っている解法よりも簡単に証明されていることが多く存在する。そこで私たちは、折り紙の性質をうまく利用して、まだ見つかっていない折り紙を使った解法を見つけ、数学にもっと興味関心を持ちたいと思いこの課題を設定した。

2 仮説

先行研究により、折り紙を用いて様々な公式や定理を証明することができることがわかっている。そこで、さらに考察を深めることにより、折り紙の可能性を広げられるのではないかと。

- (1) 加法定理や正弦の合成を証明することができることがわかっている。そこで、余弦の合成も折り紙を用いて証明することができるのではないかと。
- (2) 折り紙を用いて3次方程式の解が折れることや、角の三等分、5次方程式の解が折れることがわかっている。そこで、角の五等分や七等分など角の素数等分もできるのではないかと。

3 研究の方法

- (1) 折り紙を用いた余弦の合成
 - ① 先行研究の正弦の合成について分析する。
 - ② 折り紙を用いて、三角形を作り、辺や角の設定を変更して考察する。
 - ③ 成り立つかを証明する。
- (2) 折り紙を用いた角の素数等分の証明
 - ① 角の三等分の方法を分析する。
 - ② ①の設定を変えて線分を増やし、何らかの関係性があるかどうか調べる。
 - ③ 角の三等分と3次方程式の解との関連を分析し、証明する。
 - ④ ③を用いて、角の五等分と5次方程式の解との関連を分析し、証明する。
 - ⑤ ①～④を用いて、角の素数等分について考察し、証明する。

4 結果と考察

- (1) 折り紙を用いた余弦の合成
 - ① 先行研究の木尾直子さんのものを分析した。
 - ② 図1のように辺や角を設定する。
 - ③ 余弦の合成方法
正方形 ABCD の中に $\angle BFE = 90^\circ$ の任意の直角三角形 BFE を作る。
ここで、 $BF = a$ 、 $EF = b$ とする。
三平方の定理より、 $BE = \sqrt{a^2 + b^2}$
 $\angle EBF = \beta$ ($0 < \beta < 90^\circ$)、 $\angle ABF = \theta$ ($0 < \theta < 90^\circ$) とする。

平行線の錯角より、 $\angle BFC = \theta$
 $\angle CFB + 90^\circ = \angle DEF + 90^\circ$ より
 $\angle CFB = \angle DEF = \theta$ となり、
 $\angle ABF = \theta - \beta$ となる。
 $DF = b \sin \theta$ 、 $CF = a \cos \theta$ となり
 $AB = \sqrt{a^2 + b^2} \cos(\theta - \beta)$
 $\sqrt{a^2 + b^2} \cos(\theta - \beta) = a \cos \theta + b \sin \theta$
 これにより、容易に余弦の証明ができる。

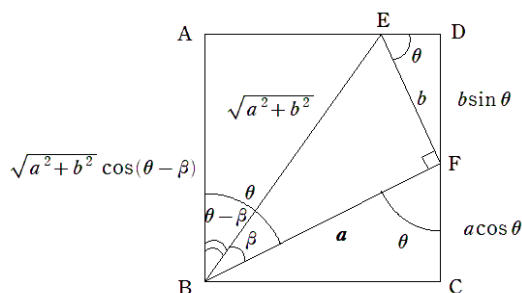


図 1

(2) 折り紙を用いた角の素数等分の証明

① 角の三等分の方法 (図 2)

- (ア) 三等分する角を折り紙の左下を作る。
- (イ) 折り紙の左側の辺に適当な印を一つ作り、左下のカドの点から印までを二等分となる水平な折れ線をつける。
- (ウ) 適当な印を任意の角を作る線分に合わせつつ、左下の角を先ほどつけた水平な折れ線に合わせて折り、カドがくる位置に印をつける。
- (エ) 折り紙を開くと水平な折れ線と新しくできた折れ線が交わる点に向けて左下のカドから直線を引くとそれらの直線が任意の角を三等分することができる。

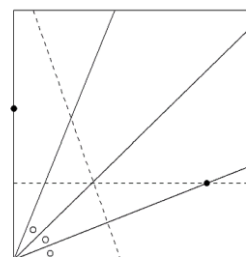


図 2

- ② ①の設定を変えて線分を増やし、何らかの関係性があるかどうか調べる。
 ①を踏まえて角の三等分の折り方から方法を変えて線分の分割や関係性を見つけ折り紙を使って角の五等分を折るための方法 1～3 を考えた。

方法 1 角の三等分の作図の際に左側の点 P、左下の点 Q としたとき PQ を二等分して考えていくのを変えて三等分する点 S, T をつくって残りの手順をしてみる。(図 3)

方法 2 仮に折り紙に作った任意の角の五等分する線分を作ったとき、三等分のときの折れ線と角を五等分する線分との交点同士にそれぞれの長さに比例関係があるのではないかと。(図 4)

方法 3 五等分した角のうち一角をもつ相似な三角形が 5 個あるか調べる。(図 5)

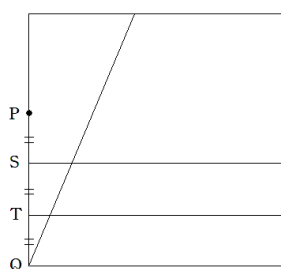


図 3

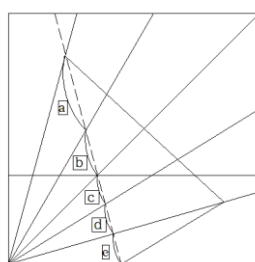


図 4

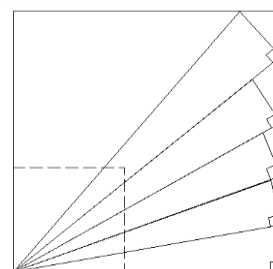


図 5

方法 1～3 の全て結果としては何も角の五等分との関係は見つけれなかった。

③ 角の三等分と 3 次方程式の解との関連を分析し、証明する。(図 6、図 7)

日本折り紙学会に問い合わせしてみた。「3 次方程式の解が折り紙で折れることを教えてもらい角の三等分と関係がある」との返答をいただいた。

先行研究より、3 次方程式は折り紙が点を直線に折り重ねることができる点を利用し、

折り線から得られる放物線の共通接線ら三次方程式が解けることが分かっている。3次方程式の係数は、座標や方程式を変更していくことで、任意の3次方程式を解くことができる。角の三等分は二つの放物線の共通接線の傾きを求めることで出すことができるので、 $\cos 3\theta = 4\cos^3 \theta - 3\cos \theta$ ここで、 $\cos \theta = x$ とおいて

$4x^3 - 3x - \cos 3\theta = 0$ の解を求められれば、角の三等分をすることができる。

点Aが原点となる焦点、折り紙における折り目となる直線 ℓ_1 :準線、 $x=0$ との交点を点Gとして、点Aと直線 ℓ_1 との距離が等しくなるように放物線 p_1 をとる。

直線 $\ell_2: y=ax (a=\tan 3\theta)$ が任意の角をつくる直線とすると、 $y=0$ となす角は 3θ となる。そして、折り紙の対称性を用いてとった点を焦点F ($2AG=AF$)とし、直線 ℓ_2 を準線とする放物線 p_2 をとる。

p_2 は p_2 上の点P (x, y)と直線 ℓ_2 の距離がPFに等しいような点Pの軌跡である。

$$p_2: x^2 + 2axy + a^2y^2 - 8(a^2 + 1)y + 16(a^2 + 1) = 0 \cdots ④$$

放物線 p_1 上の点 $(2t, 1-t^2)$ における接線 ℓ の方程式は、

$$\ell: y = -t(x - 2t) + 1 - t^2 = -tx + t^2 + 1 \cdots ⑤$$

となり、⑤を④に代入して求められるxの2次方程式の判別式 $D=0$ となるようにとると、接線 ℓ は放物線 p_1, p_2 それぞれに接する接線となることが分かる。

折り紙の対称性を用いて直線 ℓ が折り目となるように点 F', A' をとる。

直線 ℓ が FF', AA' の中点なので、点 F', A' がそれぞれ直線 ℓ_2, ℓ_1 上であることが証明できる。点 F', A' の中点を G' とする。

直線 $AA',$ 直線 $AG',$ 直線 ℓ_2 の傾きは、それぞれ $\tan \theta, \tan 2\theta, \tan 3\theta$ となる。

ℓ が放物線 p_2 の接線、 ℓ_2 が p_2 の準線であることから、焦点Fの ℓ に関する対称点 F' は準線 ℓ_2 上にある。

よって、最初に与えた角を三等分することができることが分かる。

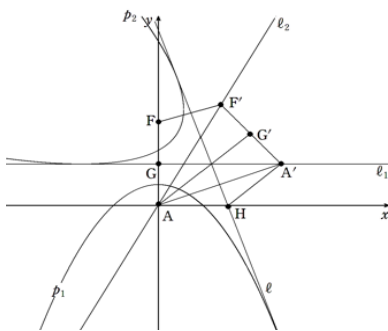


図 6

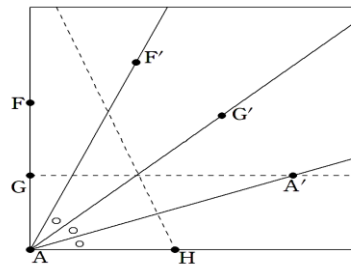


図 7

④ ③を用いて、角の五等分と5次方程式の解との関連を分析し、証明する。

③の3次方程式は、二つの放物線の共通接線の傾きから、 $\cos \theta$ を求められる。

よって原理的には折り紙による角の三等分は可能であることがわかる。

先行研究から折り紙を使って5次方程式が折れることがわかっているので、5次方程式から角の五等分について考えていく。つまり、 $\cos 5\theta$ の解を求めることができれば折り紙による角の五等分が可能となると考える。

$$\cos 5\theta = \cos(2\theta + 3\theta)$$

$$= \cos 2\theta \cos 3\theta - \sin 2\theta \sin 3\theta$$

$$= (2\cos^2 \theta - 1)(4\cos^3 \theta - 3\cos \theta) - 2\sin \theta \cos \theta (3\sin \theta - 4\sin^3 \theta)$$

ここで、 $\cos \theta = x$ とすると

$$= (2x^2 - 1)(4x^3 - 3x) - 2x(3\sin^2 \theta - 4)$$

$$\begin{aligned}
&=8x^5-10x^3+3x-2x\{3(1-x^2)-4(1-x^2)^2\} \\
&=8x^5-10x^3+3x-2x(-4x^4+5x^2-1) \\
&=16x^5-20x^3+5x
\end{aligned}$$

よって、 $16x^5-20x^3+5x-\cos 5\theta=0$

この5次方程式の解は折り紙を用いて求めることができるということは、先行研究により分かっている。したがって、任意の5次方程式を解くことができるということは任意の角の五等分が平面上ではできることになる。

これを実際に折り紙の折り過程によって任意の角の五等分が可能となる折り方を見つけていきたい。

$y=ax$ ($a=\tan 5\theta$) がこれから五等分したい任意の角をつくる直線とする。

すると任意の角の大きさが 5θ となって五等分された角の大きさが θ となる。5次方程式を解いてそれを角の五等分につなげるためには $\tan 5\theta$ を $\tan \theta$ を用いて表す必要がある。

$\tan 5\theta$ を $t=\tan \theta$ を用いて表し、 $\tan 5\theta = \tan(3\theta + 2\theta)$ を利用して、計算していけば証明できるのではないか。しかしながら、計算と折り紙を用いて考える部分で計算が難しく、研究が滞っている。

⑤ ①～④を用いて、角の素数等分について考察し、証明する。

五等分までで研究が進んでおり、七等分や n 等分の研究に至っていない。

5 今後の課題とまとめ

今回の研究から折り紙を使った余弦の合成や角の五等分について考える事ができた。余弦の合成方法については実際に簡単に証明できることが分かった。角の五等分については角の三等分の方法を参考にして行ったが失敗した。そこで、角の三等分が3次方程式から考えられていることをもとに5次方程式から考える事に挑戦した。結果としては角の五等分の方法を証明することは間に合わなかったが、今回の研究から折り紙と数学の密接な関係があることが分かり、数学に対する探求心を向上させることができた。

今後も5次方程式から折り紙を使った角の五等分を証明について考えたり、ほかの観点からも考えたりして、角の素数素数等分について研究を進めていきたい。また、折り紙でしか証明できない数学の定理についてもっと考えていきたい。

謝辞

今回の研究を進めるにあたり、ご助言を賜りました日本折り紙学会様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- ・SSH 生徒課題研究論文集 平成28年度・日本折紙学会
- ・平成24年度 上越教育大学公開講座 折紙の数学・数研通信

電気分解における陽極金属の形状の変化に関する研究

2年4組 児玉 亜門 2年4組 岡崎 耀太郎 2年4組 越智 雅文
2年4組 高野 諒二 2年3組 田中 文也
指導者 窪地 育哉

1 課題設定の理由

化学の授業で電気分解をする際に使われた銅板は液面が最も溶けていて、全体で見ると銅板がくびれるように溶けていることが分かった。我々は、なぜくびれるように溶けていくのかと疑問に思い、電気分解における陽極金属の溶け方について調べることにした。（この論文において、今後はこの銅板の形状を“くびれ”と、また銅版の溶液との接触部分と非接触部分の境目を“境界”と称して扱う。）

2 仮説

くびれ有無には、生徒がそれぞれ異なった条件で実験を行っていたからだと考えられる。私たちは条件の中でも、電圧や電流の大きさが銅板の溶け方に関係していると考えた。また液面に近いところがかくびれていたことから、液面に近いところほど反応が盛んに起こると考え、液面付近の何らかの条件が銅板の溶け方に影響しているのではないかと考えた。

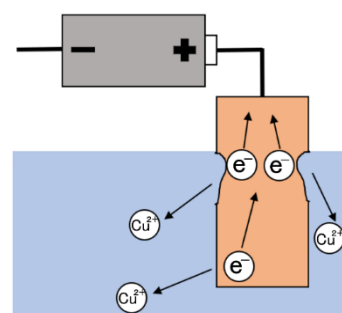


図1 陽極で起きる変化の模式図

3 研究の方法I

- (1) 硫酸銅水溶液と直径 0.9mmの銅線を用いて電気分解を行う。電流を流す時間と電圧の大きさの組み合わせを変え、陽極の銅線の溶け方を観察する。その後、双眼実体顕微鏡でさらに詳しく観察した。
- (2) 硫酸銅水溶液と銅板を用いて電気分解を行う。電圧と電流を流す時間の組み合わせを変えて陽極の銅線の溶け方を観察する。その後、双眼実体顕微鏡でさらに詳しく観察した。

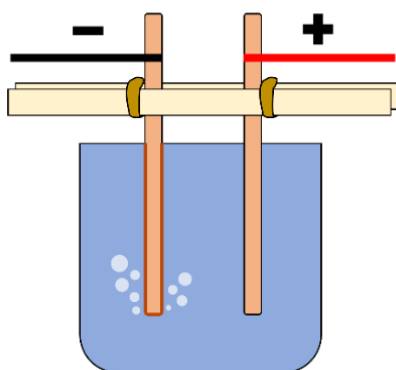


図2 実験 I-(1)の実験装置の模式図

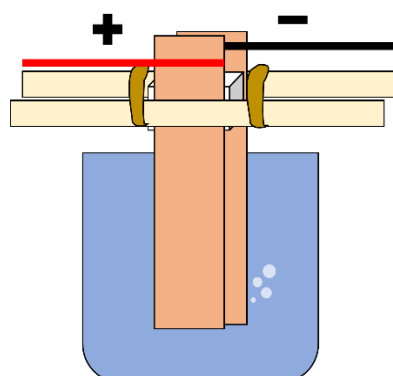


図3 実験 I-(2)の実験装置の模式図

4 結果と考察I

1. 結果

- (1) 銅線の液面部が最も溶けていた。銅線の先端に近づくほど溶け具合は小さくなった。電気分解を行う時間を長くするほど、銅線のくびれ具合は大きくなった。



図4 液面付近が溶けた銅線

(2) 銅板の液面部が最も溶けていた。銅板の先端に近づくほど溶け具合は少なくなった。図6より、銅板の溶け具合は電流を流した時間に伴って変化し、長時間電気分解を行なったものの溶け具合やくびれかたは大きくなっていった。銅板はまず液面部から溶け始めて、液面部から剥がれ落ちるように溶けていた。

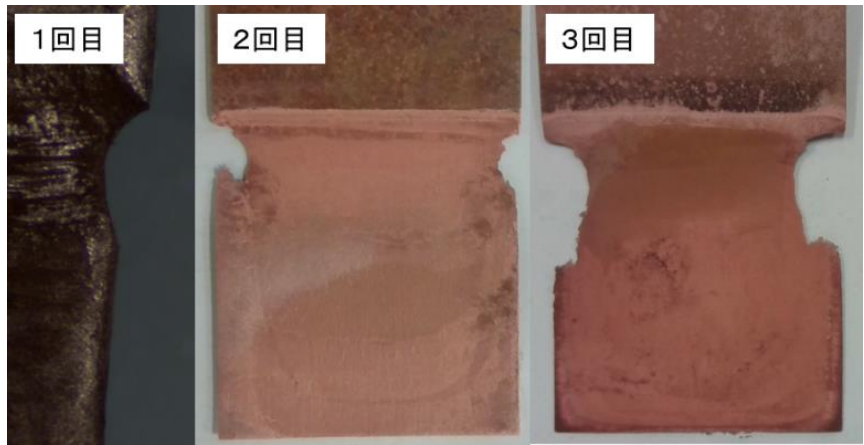


図5 電気分解の回数による銅板の形状の変化

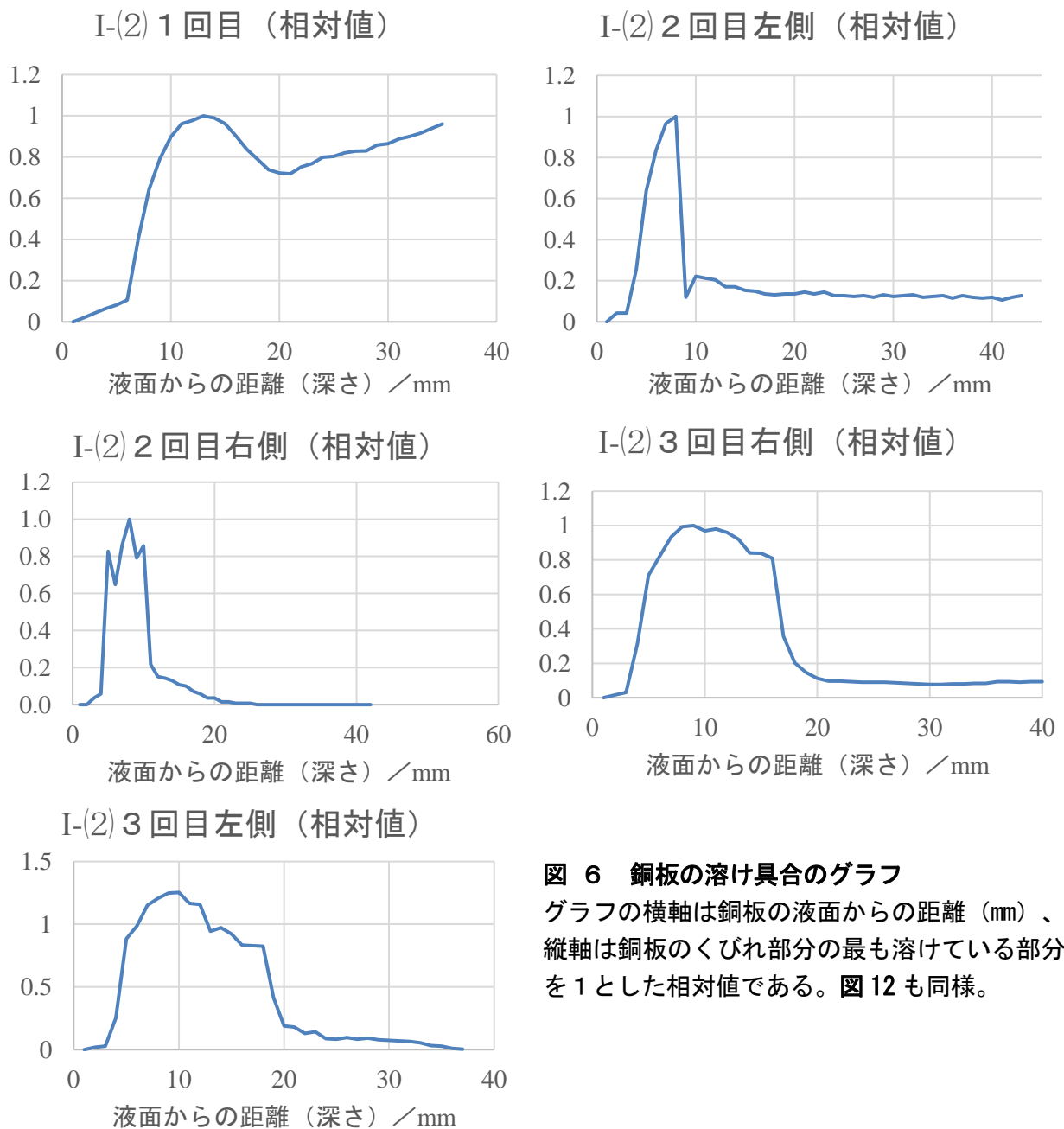


図6 銅板の溶け具合のグラフ

グラフの横軸は銅板の液面からの距離 (mm)、縦軸は銅板のくびれ部分の最も溶けている部分を1とした相対値である。図12も同様。

2. 考察

上の実験I-(1)、I-(2)より、液面付近の銅板がよく溶けることが分かった。また、銅板の溶け方から、溶液の濃度が均一な状態でなかったと考えられる。それが銅板の形状の変化に関わっているのではないかと考え、濃度を揃えることを目的に、溶液を攪拌しながら電気分解の実験を行うことにした。また、くびれのできる部分が液面付近であるのかを確認するための実験も行った。

5 研究の方法II

- (1) 実験1.2の結果より、溶液の濃度が銅板の溶け方に影響するのか調べる。マグネチックスターラーを使用し、溶液の濃度を均一にしながらI(2)と同じように実験を行う。
- (2) 液面付近の銅板にビニールテープを巻くことで、そこが溶液と触れない状態にする。その後電流を流し、銅板の溶け方を観察する。

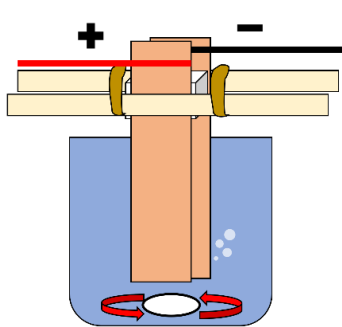


図7 実験II-(1)の実験装置の模式図

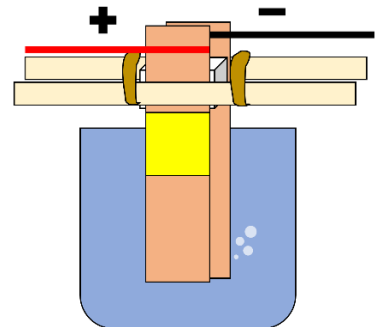


図8 実験II-(2)の実験装置の模式図

6 結果と考察II

1. 結果

- (1) 実験開始して少し変化が見られたので取り出してみると、液面部に小さなくびれができていた。銅板の先端部が弧を描くようにして溶けた。

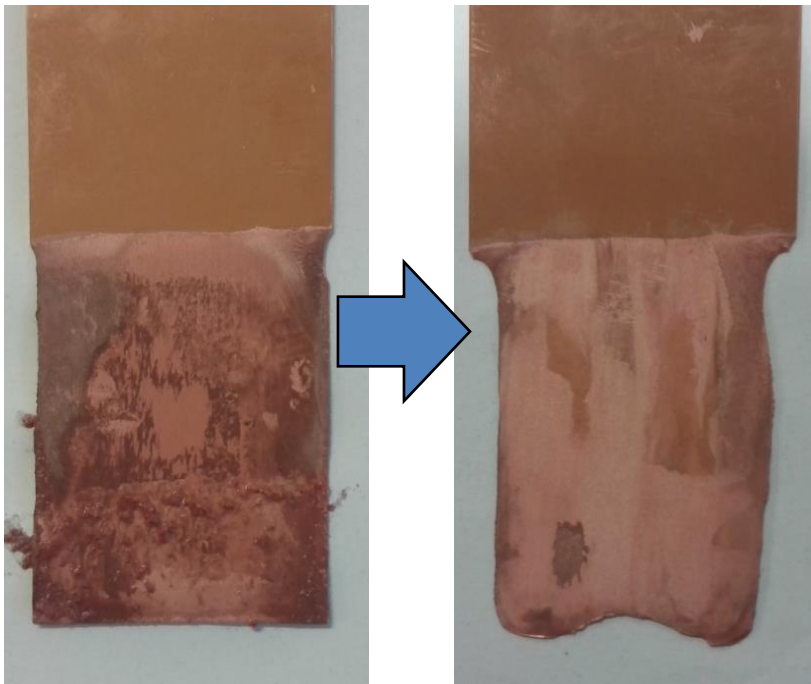


図9 電気分解の回数による銅板の形状の変化



図10,11 実際の実験の様子

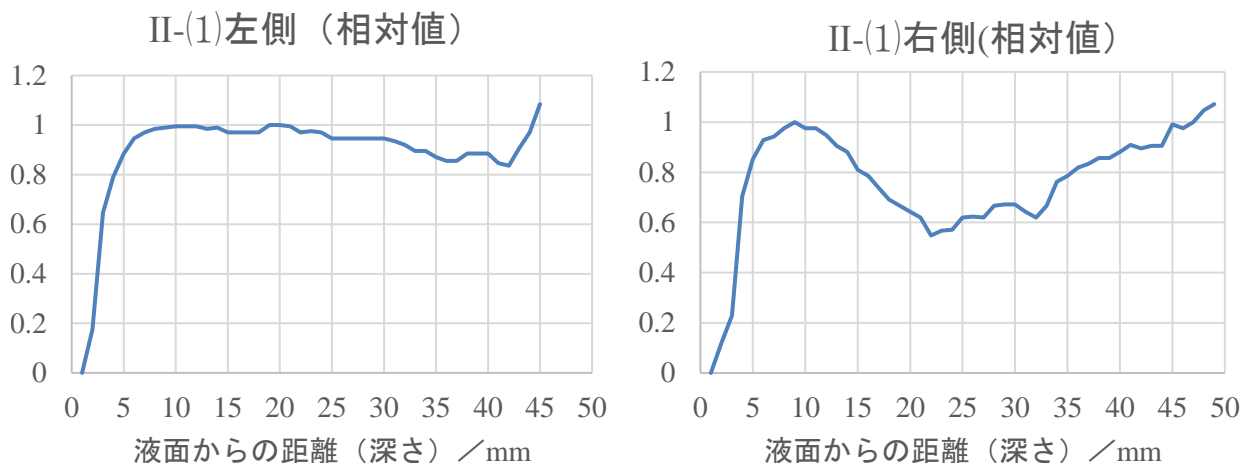


図 12 銅板の溶け具合のグラフ

- (2) ビニールテープを巻いた銅板の電気分解を行ったところ、図 13 のように、ビニールテープを巻いた部分は全く溶けず、それ以外の部分は比較的均一に溶けた。

2. 考察

溶液を攪拌していた場合も最初はくびれができていたこと、またその後は実験I-(2)と比べて、くびれの成長度合いが小さく、全体的によく溶けていたことから、電気分解の初期段階でくびれができ、それがその後大きくなっていくのではないかと考えた。また、銅板の先が弧を描いていたのは、スターラーが影響していると考えられる。スターラーを回転させた場合、密度の小さな物質は中心に集まり、密度の大きな物質は外側に集まる。電気分解の起こりやすさが溶液の特定のイオンなどの濃度に関係しているのであれば、スターラーの回転による溶液の攪拌によって、このような形ができたのではないかと考えられる。



図 13 ビニールテープを巻いた銅板の形状の変化

7 まとめと今後の課題

今回の実験を通して、銅板の溶け方が溶液の濃度の違いによるものだということが明らかになった。大きくくびれができた部分は他の部分と溶液の濃度が異なるからだと考えられる。また、くびれの出来る原因と電圧の大きさに関係がないと分かったが、授業で使用した硫酸銅水溶液は濃度が均一でなかったのに、銅板にはくびれが出来ないものもあった。原因としては実験時間の差が考えられる。我々は長時間続けて実験を行ったが、授業で実験を行った時間は長くて 10 分程度であった。これより、1 回の実験時間が短く繰り返して行われる場合、銅板にくびれは出来ないのではないかと考えた。

今後の課題としては、銅板は溶液の濃度が高い部分から溶けていくのか、低い部分から溶けていくのかを検証していくこと、また、銅板が溶けて薄くなった後にくびれができる理由と、柱状の金属の電気分解後の最終的な形状を確認していくつもりだ。

参考文献

1. 一般社団法人日本機械学会流体工学部門「渦の中の気泡」

(https://jsme-fed.org/experiment/2020_4/001.html)

アコヤ貝を用いた制酸薬の合成

2年3組 大野 衣槻 清水 和奏 細川 惺菜 2年4組 藤江 栞理
指導者 高橋 寛

1 課題設定の理由

令和4年5月31日付の日本経済新聞によると、真珠養殖に使用するアコヤガイの大量死の影響により、愛媛県の真珠生産量が全国一位の座から陥落してしまった^[1]。しかし、愛媛県庁の発表している「えひめの水産統計」によると、真珠の生産量は令和2年まで12年連続で全国一位（**図1**）であり、愛媛県の主要な産業である^[2]。中でも宇和島市は、南予地域の海岸線に見られるリアス海岸の影響で海面が穏やかなため、真珠養殖に適していることから質の良い真珠生産で全国に知られている^[3]。

真珠養殖では、アコヤガイから真珠を取り出したあと、貝柱を食用にするなどの利用は進んでいるが、重量の大部分を占める貝殻（**図2**）の利用は進んでおらず、主に廃棄処分にされることが多い。宇和島東高校では、これまでにアコヤガイに限らず地域の廃棄物として排出されるさまざまな貝殻の有効活用法を研究してきた^{[4][5][6]}。

本研究では、市販の胃薬にも含まれている物質である Mg-Al 系 LDH（合成ヒドロタルサイト）に着目した。LDH とは層状複水酸化物の略称で、金属水酸化物でできた基本層の間に陰イオンが挟み込まれた構造をした物質である。平原らは、Mg-Al 系 LDH の Al を Fe に置換した Mg-Fe 系 LDH の制酸性について評価している^[7]。貝殻に含まれるカルシウムは、マグネシウムと同じ2族元素であり、比較的性質が似ている。また、木村らの論文では、薬品から Ca-Al 系 LDH を合成できることが明らかになっている^[8]。従って、貝殻の主成分である炭酸カルシウムを再資源化することで Ca-Al 系 LDH を合成し、胃薬として活用できないかと考えた。

2 仮説

- (1) 貝殻を用いて Ca-Al 系 LDH を合成できる。
- (2) 貝殻を用いて合成した Ca-Al 系 LDH も、胃薬として利用されている Mg-Fe 系 LDH と同等の制酸効果を持つ。

3 研究の方法

(1) Ca-Al 系 LDH の合成

LDH の合成には、共沈法を用いた。まず、貝殻を用いた Ca-Al 系 LDH を合成するために、貝殻を 900°C で 10 時間加熱処理し、酸化カルシウム CaO に変化させた。これは、貝殻に含まれる不純物であるタンパク質コンキオリンを取り除くためである。この酸化カルシウム 2.5g に 0.10mol/L の塩酸 100ml を加え溶解させた。続いて、Al 源として塩化アルミニウム（米山薬品工業株式会社、米山一級）を量論比で Ca: Al = 3: 1 となるように加えた。得られた Ca と Al の混合

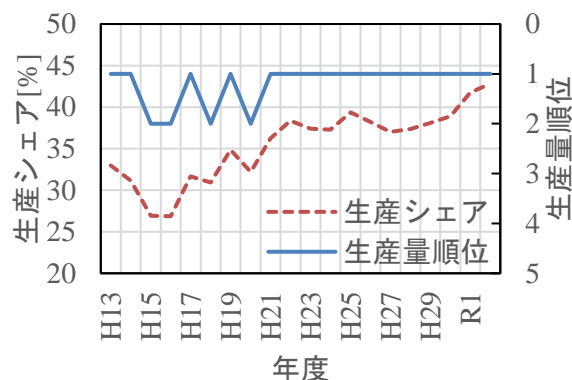


図1 愛媛県の真珠生産シェアと全国順位
(えひめの水産統計より作成)

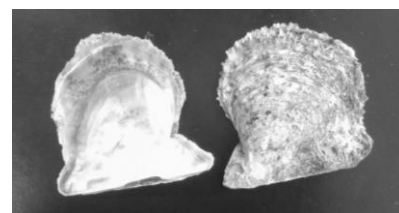


図2 アコヤガイの貝殻

溶液をマグネチックスターラーで攪拌しながら、1.0 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を加えて pH を 12 に調整した。得られた沈殿を含む水溶液を 24 時間静置した後、沈殿物をろ過、洗浄し、生成物を得た。

Mg-Fe 系 LDH の制酸性を調べた平原らの論文では、水酸化ナトリウム水溶液を加える前に炭酸ナトリウムを加えていて、層間に炭酸イオンを含む LDH (炭酸型 LDH) を合成していた。しかし、カルシウムイオンは炭酸イオンと結合し、炭酸カルシウムの沈殿を生成してしまうため、本研究では炭酸ナトリウムを使用せず合成した。従って、層間には塩化物イオンが含まれていることになる。

続いて、比較試料として試薬から Ca-Al 系 LDH の合成を行った。塩化カルシウム (片山化学工業株式会社、KC 一級) と塩化アルミニウムを量論比で Ca: Al= 3: 1 となるように混合し、純水で溶解させた。続いて、攪拌しながら 1.0mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を加えて pH を 12 に調整した。得られた沈殿を含む水溶液を 24 時間静置した後、沈殿物をろ過、洗浄し、生成物を得た。

得られた生成物は、岡山大学に協力を得て、粉末 X 線回折法により評価した。粉末 X 線回折法は、規則正しく並んでいる原子の配列によって散乱される X 線の強め合った回折線が異なるという特徴を利用するもので、その物質を同定することができる⁹⁾。

(2) 制酸性の評価

平原らの論文によると、制酸剤に対する要求特性は「速効性があり胃内の好適 pH 範囲である 3.5~5.5 を長時間維持することである。また、制酸剤としての基準は、1 回の服用で 0.1mol/dm³ の HCl 水溶液 50cm³ を中和できる能力をもち、1 日の最大分量で 0.1mol/dm³ の HCl 水 150cm³ を中和できる能力をもつことである。」と記述されている。本研究では、表 1 に示す試料について、先行文献に従い、以下のフックス変法を用いて制酸性を評価した。

表 1 フックス変法で制酸性を評価した試料

	詳細	略称
試料 1	貝殻から合成した CaAl 系 LDH	Ca-Al 系 (貝殻)
試料 2	試薬から合成した Ca-Al 系 LDH	Ca-Al 系 (試薬)
試料 3	市販の Mg-Al 系 LDH (富士フィルム和光純薬)	Mg-Al 系 (薬品)

フックス変法とは、人間の胃に見立てた環境での pH の変化を評価することで制酸性を評価する方法で、図 3 のような装置を用いて、以下の手順で行った。

- ① 温度を 37±2°C に保持した 0.10 mol/L の HCl 水溶液 50 mL をかき混ぜながら、試料を 1.0 g 添加する。
- ② 試料の添加後、10 分間かき混ぜながら放置し、その後、0.1 mol/L の HCl 水溶液を 1 分間に 2 mL の割合で滴下する。(本研究では装置の都合上、1 分ごとに 2 mL ずつ添加した。)
- ③ pH の変化を pH メーター (APER A INSTRUMENTS 製 PH60-Z スマートペン型精密 pH 計) と連携したスマートフォンのアプリによって連続的に経過時間 60 分まで記録する。

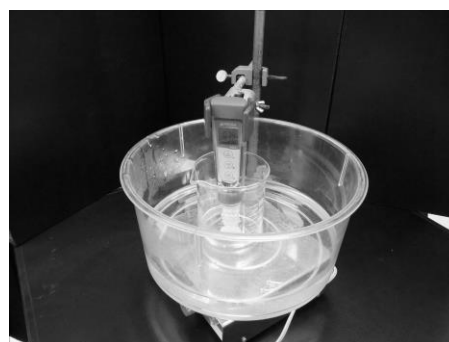


図 3 フックス変法の様子

4 結果と考察

(1) Ca-Al 系 LDH の合成

図 4 に各試料の粉末 X 線回折の結果を示す。どの試料も、12°、23° など多くのピークが Ca-Al 系 LDH と一致したことから、試薬からも貝殻からも Ca-Al 系 LDH の合成に成功したと言える。し

かし、40°付近に小さなピークが多いため、不純物も含まれている（不純物： $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）ことが分かった。

さらに、試薬から合成したものは結晶性が高く、貝殻から合成したものは結晶性が低いことから、この結晶性の違いが制酸性に影響を及ぼす可能性がある。

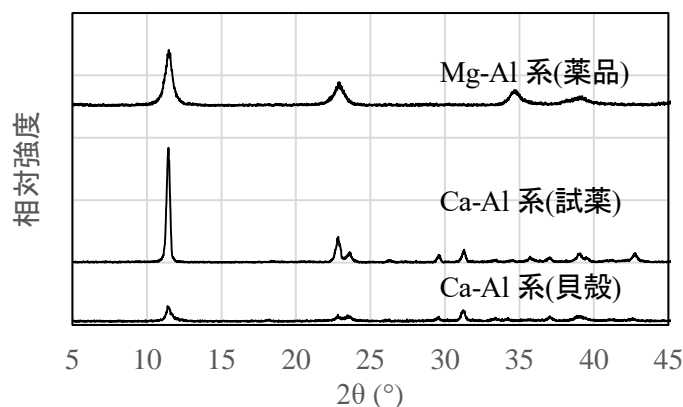


図4 粉末X線回折結果

(2) 制酸性の評価

図5に、各試料のフックス変法によるpHの変化を示す。既存の制酸剤であるMg-Al系LDHは600秒の時点で一瞬だけpH 5.5を超えたが、その他の時間は安定してpH 3.5~5.5の間を保っているため、実用化されているのも当然であるが、制酸剤としての性能は十分であった。

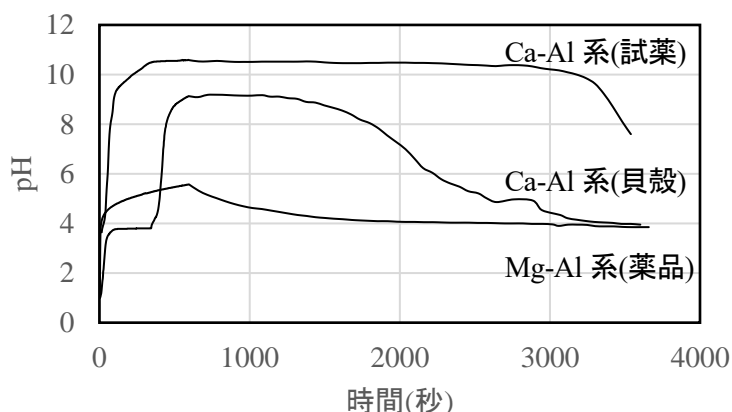


図6 フックス変法によるpHの変化

それに対して貝殻から合成したCa-Al系LDHは、投入初期は溶解しにくく、その後pHが上昇して以降、2500秒までpH 5.5以上となったことから、中和する能力は十分である。しかし、最大pHが9程度と高くなりすぎていることから、このままでは制酸剤としての利用は難しいと言える。例えば、使用量を調節することで、pHの上昇を抑えながらpHを3.5~5.5に保つことができるかどうか検討したい。

また、試薬から合成したCa-Al系LDHは、投入初期からpHが9以上を保ち続けていて、中和する能力は貝殻から合成したCa-Al系LDHよりも高くなることが分かった。この理由は、粉末X線回折の結果で違いのあった結晶性が影響しているのではないだろうか。LDHの結晶性を向上させる方法として、沈殿させた後の溶液を高温・高圧で熟成させる水熱法があることから、貝殻から合成したLDHでも同様の結果を得ることができる可能性がある。また、中和する能力が高いということは、使用量を減らすことができるともいえる。使用量を最適化することで、pHを3.5~5.5の間に保つことができないか検討する必要がある。

また、今回の実験はLDHの層間に塩化物イオンを取り込んだ塩化物イオン型Ca-Al系LDHで

行ったものである。比較試料として用いた Mg-Al 系 LDH (合成ヒドロタルサイト) は層間に炭酸イオンを含む炭酸イオン型であるため、今後の実験では貝殻から炭酸型 Ca-Al 系 LDH を合成し、その制酸特性を調べたい。その手法としては、塩化物イオン型 LDH を炭酸ナトリウム水溶液など、炭酸イオンを含む水溶液と混合し、層間の陰イオンをイオン交換する手法を検討している。

今回、貝殻から Ca-Al 系 LDH を合成できることを見出したが、LDH はイオン交換体や触媒としても研究が進められていることから、得られた LDH の他の用途についても検討を進めたい。

5 今後の課題とまとめ

貝殻から共沈法を用いて Ca-Al 系 LDH を合成できることを見出した。フックス変法により制酸性を評価したところ、中和する能力は高いが、pH が上がりすぎており、制酸薬として求められる pH を 3.5~5.5 に保つ性能のためには使用量などをさらに検討する必要がある。

今後は、使用量の調整を行うとともに、市販の合成ヒドロタルサイトと同様、層間の塩化物イオンを炭酸イオンに置き換えた炭酸イオン型 Ca-Al 系 LDH を合成して、制酸性を評価したい。また、平原らの論文では、神経毒を示すことが知られる Al を Fe に置き換えた Mg-Fe 系 LDH を評価している。私たちも、Ca-Al 系 LDH の Al を Fe に置き換えた Ca-Fe 系 LDH を合成し、評価してみたい。

この他にも、LDH はイオン交換体や触媒としての利用も研究されていることから、多用途への展開ができないか検討を進めたい。

謝辞

今回の研究を進めるにあたり、ご助言いただきました岡山大学環境理工学部の特命教授三宅通博様、粉末 X 線回折法による生成物の分析にご協力いただいた同大無機機能材料化学研究室の教授亀島欣一様、准教授西本俊介様、研究室の方々にこの場を借りて心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 「愛媛の真珠、21年産で首位陥落 大量死響く」、日本経済新聞、令和4年5月31日
- [2] えひめの水産統計、愛媛県庁、<https://www.pref.ehime.jp/h37100/toukei/index.html>
- [3] ふるさと宇和島 newsletter★vol.14、宇和島市、令和2年3月18日配信
- [4] 石山春菜・二宮紗弥・東野乃、「カキ殻粉末を用いた水質浄化-赤潮の未然防止に向けて-」、平成28年度宇和島東高等学校 SSH 生徒課題研究論文集、p83-86
- [5] 佐竹陸真・前田喬祐・岩本拓哉・細田佑樹、「カキ殻タイルへの耐水性の付与と遮熱性向上」、平成30年度宇和島東高等学校 SSH 生徒課題研究論文集、p103-106
- [6] 竹内愛花、「貝殻焼成カルシウムの消臭効果に関する研究」、令和元年度宇和島東高等学校 SSH 生徒課題研究論文集、p190-191
- [7] 平原英俊・澤井好幸・曾澤純雄・高橋諭・梅津芳生・成田榮一「Mg-Fe 系層状複水酸化物の合成とその制酸特性」、粘土化学、2002年42巻2号、p70-76
- [8] 木村研也・佐々木健・平原英俊・成田榮一、「Ca-Al 系層状複水酸化物を經由する無機板状粒子の合成」、Clay Science Society of Japan、p60-61
- [9] 加藤誠軌著、セラミックス基礎講座3 X線回折分析、内田老鶴圃(1990)

吉田町の土砂災害の一考察

—斜面上の土砂流出と粘土鉱物からの検討—

2年1組 赤松 奏來 2年3組 水谷 光希 2年4組 伊藤 脩
2年4組 高田 悠朗 2年4組 古川賢太郎 2年4組 山元 颯太
指導者 山本 鷹裕

1 はじめに

平成30年7月豪雨では、宇和島市の7月の平均降水量237.2mmに対し、7月5日から8日に降った4日間の累積雨量は宇和島観測所で374.0mmを記録し、1か月間の過去平均雨量を大幅に上回る雨量が観測された。また、吉田町玉津地区や奥南地区では、1時間に90mmを超える集中的な豪雨が観測され、4日間の累積雨量も玉津地区で469.0mmを観測した（平成30年7月豪雨宇和島市災害記録誌第一章より引用）。

野村町が属する西予市宇和でも7月5日から8日に降った4日間の累積雨量は、539.5mmを記録し、7月平均雨量の267.3mmを大きく上回った。また、日降水量は7月7日に229.0mmを記録している。この豪雨により、浸水被害だけでなく、斜面崩壊も多数発生し、吉田町ではみかん畑での崩壊が顕著であった（図1）。

近年、令和元年8月末豪雨や令和2年7月豪雨などの集中豪雨が発生し、これらの豪雨が河川の氾濫だけでなく土砂災害をも引き起こしている。特に愛媛県は土砂災害に対する脅威は大きく、全国における土砂災害警戒区域の指定状況（表1）によると、愛媛県の土砂災害警戒区域の数は土石流によるもので全国6位、地滑りで全国4位であり、全国でも屈指の土砂災害リスクが高い地域である。前述の土砂災害は、このように土砂災害のリスクが高い地域に多量の雨が降ったことで発生したと考えられる。

そこで、愛媛県宇和島市吉田町の土砂災害に関して、研究を進め、吉田町の土砂災害のメカニズムを解明することによって、減災につなげたいと考え、本課題を設定した。

2 本研究の目的

- (1) 土砂災害の中で、表層土が流出する表層崩壊において、降水量と斜面傾斜角にどのような関係性があるのかを明らかにする。
- (2) 池下（2015）によると、土砂災害の素因の一つとして、潜在的なすべり面や断層破碎帯などの弱部となる部分に生成された膨潤性粘土鉱物によるものがあると述べられている。比較的多数の土砂災害が発生した宇和島市吉田町と比較的少なかった西予市野村町の土砂災害の崩壊土堆積物中の粘土鉱物の組成を調べ、宇和島市吉田町の土砂災害において粘土鉱物がどのように関わって

表1 全国における土砂災害警戒区域の指定地点数状況（上位7県）（2022年国土交通省より）

都道府県	土石流	都道府県	地滑り
広島県	16,879	長野県	1,519
鳥取県	13,279	新潟県	1,448
山口県	9,866	長崎県	1,202
岐阜県	7,343	愛媛県	861
鹿児島県	7,224	山形県	757
愛媛県	7,154	秋田県	668
兵庫県	6,993	石川県	660

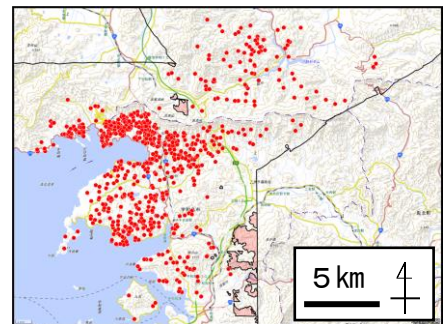


図1 平成30年7月豪雨斜面崩壊位置

いたのかを明らかにする。

3 地域の概要

吉田町は愛媛県の南予に位置する宇和島市に属しており、旧宇和島市の北に隣接している。西側は宇和海に面しており、他方は山地である。1793 年に加賀山平次郎が土佐から持ち帰った温州みかんの苗木を庭に植えたことを始まりに、200 年以上のみかん栽培の歴史を誇り、吉田町の至る所の斜面に、みかん畑が整備されている。

寺岡・栗本（1986）によると、吉田町の基盤岩は中生代の付加体である四万十帯によって構成されている。四万十帯を構成する法花津地塊、奥浦地塊、吉田地塊などは主に砂岩や泥岩から構成されている。（図 2）。

野村町は愛媛県西予市に属しており、四国カルストの源氏ヶ駄場をはじめとする急峻な山々に囲まれた地域である。野村町の基盤岩は黒瀬川構造帯で構成されている。黒瀬川構造帯は、古生代初期から中期の火成岩類（三滝火成岩類）と変成岩類（寺野変成岩類）で代表される大陸の基盤岩類、および非～弱変性のシルル～デボン紀の岩石類（岡成層群）からなる。（図 3）。

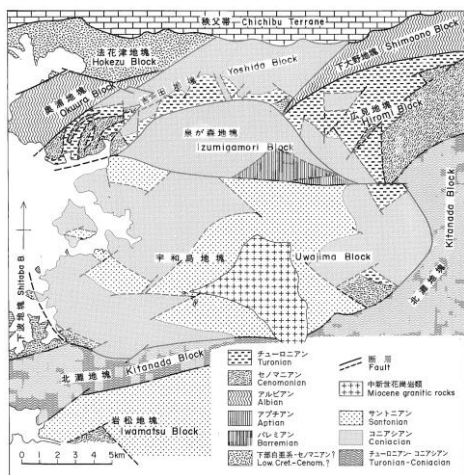


図 2 宇和島地域地質図
(寺岡・栗本, 1986)

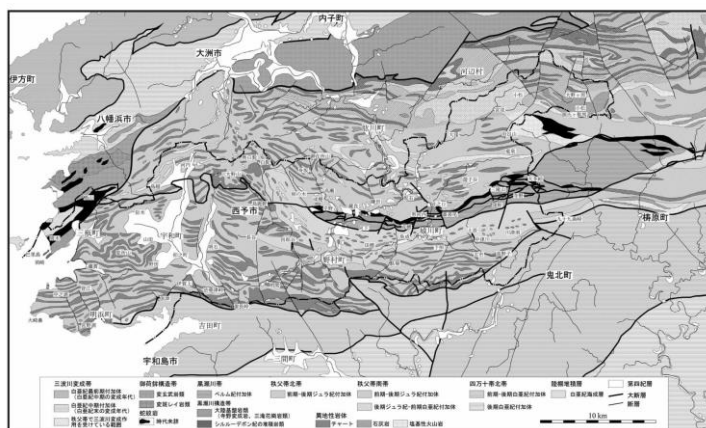


図 3 100 万分の 1 野村町地質図
(小出 2012 より引用)

4 実験・研究の方法

(1) 斜面上の土砂の移動に関する実験（勾配と降雨強度の実験）

ア 8°、16°の傾斜台上にプラスチック製の箱を置き、箱の中に土を乗せ、散水機で、1分30秒間水をかける。

イ 散水量を 20mm/h、40mm/h、60mm/h、80mm/h、100mm/h と変化させながら、あらかじめ傾斜台上に乗せておいた土に散水し、その崩れ方を調べる。その際に用いる土は吉田町から採取してきたものを使用した。（図 4）

ウ 傾斜台の外に流出した土砂量を計測する。計測には、パール金属株式会社製デジタルキッチンスケール 3 kg を用いた。

(2) 粘土鉱物組成と相対量に関する実験

ア 平成 30 年 7 月にあった西日本豪雨災害によって愛媛県宇和島市吉田町の吉田野球場裏の斜面崩壊と愛媛県西予市野村町貝吹の斜面崩壊（図 5）で起こった土砂崩れの堆積土砂を採取する。



図 4 勾配 16° 散水量 60mm/h の様子



図 5 斜面崩壊位置とその様子

イ 採取した土砂を粉末X線回折分析にかける。以下はその手順を記す。なお、処理は、地学団体研究会新潟班（1982）を参考に行った。

(ア) ビーカーに採取した土砂を 100g 入れ、純水を適量加えガラス棒を使って攪拌する。

(イ) 懸濁液だけを別のビーカーに移す。

(ウ) 懸濁液を 14 分間超音波分散する。

(エ) 懸濁液を 1000mL メスシリンダーに移し、ガラス棒を用いて攪拌する。

(オ) ストークスの法則に基づき、9 時間放置後、上部 10cm をピペットを用いて採集する。

(カ) 遠沈管に懸濁液を取り、2000r/min で 30 分間遠心分離器にかける。遠心分離機は、

SORVALL LEGEND MICRO 17 R（東京ダイレックス株式会社製）を使用した。

(キ) 上澄みを捨て、沈殿した粘土粒子をシャーレに移しドライヤーを用いて風乾させた。

(ク) 風乾した試料をめもの乳鉢を用いてすりつぶすし、微細粉末状にする。

(ケ) 300°Cの電気炉中で 1 時間加熱し、粘土鉱物が復水しないように処理し、定方位試料とした（**図 6**）。

(コ) 加熱処理した試料を粉末X線回折分析にかけ、どのような粘土鉱物が含まれるかを調べる。



図 6 定方位試料（吉田町）

5 実験結果と考察

(1) 勾配と降雨強度の実験と考察

図 7 から、全体的には水量が多いほど、また勾配が大きいくほど、流出土砂量が多くなった。

勾配 16° の場合は散水量と流出土砂量は比例に近い関係にあるが、勾配 8° の場合は散水量 60 mm/h までは比例に近い関係にあるものの、80 mm/h の散水量では、流出土砂量は増加せず、2g 減少した。この関係性について、「土には保水可能な最大の水量（保水限界点）があり、それを超える水量を含むと土砂が保水することはなくなり、水は土壌粒子間を通り抜けることになる。」という仮説を立てて考察を行った。

勾配が大きい場合と小さい場合では土砂に降った水に働く重力の斜面方向成分の大きさ ($mg\sin\theta$) と斜面垂直方向成分の大きさ ($mg\cos\theta$) がそれぞれ異なる (**図 8、9**)。具体的には、勾配が大きい場合の方が、勾配が小さい場合より水や粒子に働く重力の斜面平行方向成分の大きさ ($mg\sin\theta$) が大きく、重力の斜面垂直方向成分の大きさ ($mg\cos\theta$) が小さくなる。よって、勾配が大きい場合は水が土に浸透するより早く土の上を流れ、逆に、勾配が小さい場合は水が土砂の上を流れるより早く土砂に浸透すると考えられる。これらのことから、勾配が 16° の場合は、浸透する水の量は少なく、表面を流れる水の量のほうが多くなるために、水は土砂の表面上を侵食し続けた。また、土砂に降る水に働く重力の斜面方向成分の大きさが大きいため、流速が大きくなり、より粒形の大きい土砂も侵食・運搬することができたと考えた。さらに、土砂に浸透する水の量が 8° の場合よりも少ないために、散水時間内に土砂の保水量が保水限界点を超えることはなく、散水量と流出土砂量が比例に近い関係となったと考えた。しかし、8° の場合は、

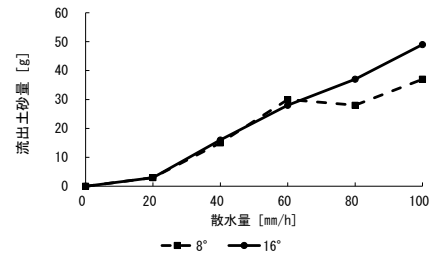


図 7 実験 1 の結果

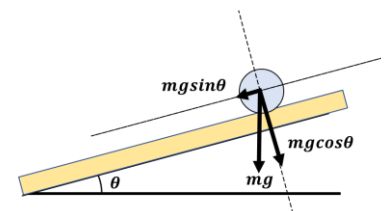


図 8 勾配が小さい場合の水や土砂粒子に働く重力

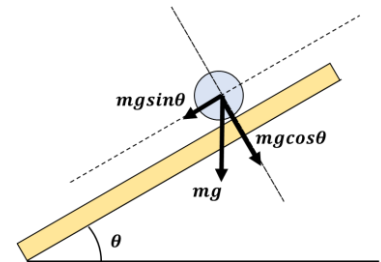


図 9 勾配が大きい場合の水や土砂粒子に働く重力

表面を侵食する水の量と流速が 16°の時よりも小さいと考えられる。そのため、60 mm/h までは小さい流速でも侵食・運搬できる粒形の小さな土砂を侵食・運搬することで、16°の時とほとんど同じ流出土砂量を記録したのではないかと考えた。80 mm/h の時に 16°の時よりも流出土砂量が 9g 小さくなるのは、60 mm/h の実験までに、小さい流速で流すことのできる土砂は、侵食・運搬しきっていたにも関わらず、残っている粒形の大きな土砂を運搬する流速には到達できなかったためではないかと考えた。100 mm/h の散水量で再び流出土砂量が増加するのは、散水量の増加により、残っている粒形の大きな土砂を侵食・運搬することのできる流速に到達したためだと考えた。

(2) 粘土鉱物の組成と相対量の実験に関する考察

吉田町の土砂と野村町の土砂に含まれる粘土鉱物の組成と相対的な量を粉末 X 線回折分析の相対強度から比較すると (図 10)、吉田町の土壌中には野村町よりも多くのグロコナイトが含まれていることが分かった。下田 (1977) によると、雲母粘土鉱物であるグロコナイトは加水層格子を持たない、つまり膨潤層を持たないと述べられている。また、亀井ら (1996) によると、カオリンは膨潤性が高いと述べられている。一般的に、膨潤層をもつ粘土鉱物が斜面崩壊の素因の一つとして働くと考えられている事から、吉田町の基盤岩では、亀裂や節理にグロコナイトが主に存在したことで、野村町のような亀裂や節理にカオリンなどの膨潤性粘土鉱物を含む地域よりも、相対的に土砂崩れが起こりにくくなっていたと考えた。そのため、10 年に 1 回規模の雨では、崩壊が起こらず、斜面の土砂や基盤岩が不安定なまま残されていたと考えた。しかし、平成 30 年 7 月豪雨の際には、日降水量が宇和島で 186.5 mm と松山地区の 100 年に 1 回の確立降水量に近い豪雨が降っていた (気象庁 HP 異常気象リスクマップより引用)。このような豪雨の場合には、多数の斜面に不安定なまま残っていた土砂に多量の水が浸透して質量が増すことと、クラックやジョイントに浸透した水が摩擦力を低下させたことで、吉田地区のみかん畑が同時多発的に多数崩壊したのではないかと考えた。

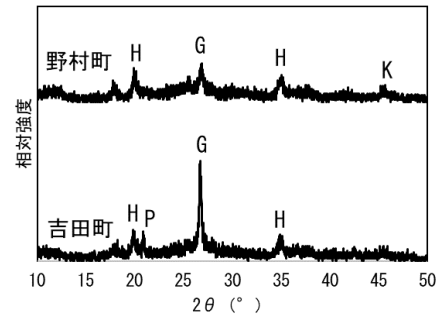


図 10 野村町と吉田町の斜面崩壊土砂に含まれる粘土鉱物の相対強度

6 まとめ

今回の実験により、斜面上の堆積している土砂に降水が生じた場合、斜面の傾斜により水や堆積している土砂に働く重力の斜面並行方向成分の大きさと斜面垂直方向成分の大きさが変化することで、斜面上の土砂の保水限界点や表面を流れる水の流速が変化し、斜面から流出する土砂の質量も変化する事が示唆された。また、吉田町と野村町の斜面崩壊堆積物に含まれる粘土鉱物の組成や相対的な含有量を調査したことで、西日本豪雨の際に吉田町のみかん畑で同時多発的に多数の斜面崩壊が生じた原因について、一つの言及をすることができた。

文献など

- 内閣府 (2019) 平成 30 年 7 月豪雨による被害状況等について (平成 31 年 1 月 9 日現在) p4, 36-43
- 気象庁 HP 「平成 30 年 7 月豪雨 (前線及び台風第 7 号による大雨等)」 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/20180713.html>
- 宇和島市 (2021) 平成 30 年 7 月豪雨宇和島市災害記録誌 第 1 章, p2-3
- 小出良幸 (2012) 愛媛県西予市付近の地質概要と課題 札幌学院大学人文学会紀要第 91 号, p1-25
- 寺岡易司・栗本史雄 (1986) 宇和島地域の四万十帯白亜系層序—大型化石と放散虫化石の層序の分布に関連して— 地質調査月報, 37, 417-453
- 池下まゆみ (2015) 粘土鉱物の生成・運搬メカニズムと土砂災害 第 59 回粘土科学討論会要旨 p24-25
- 下田右 (1977) 雲母粘土鉱物の化学組成と結晶構造 鉱物学雑誌, 第 13 卷, 特別号, p27-37
- 亀井健史、榎本雅夫 (1996) 締め固めたカオリンの水浸に伴う膨潤特性 土木学会論文集 No. 535/III-34, p57-64
- 地学団体研究会新潟班 (1982) 変質鉱物の顕微鏡鑑定 年末技術講習会冊子, p88-91
- 気象庁 HP 「異常気象リスクマップ 確立降水量地点別一覧表 (51 地点)」 https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/qt_table.html

新たな指標生物を探せ！

～神田川の水質と生物～

2年4組 河野 紗良
2年4組 宮本 陽菜

2年4組 兵頭 綺
2年4組 渡部ひとみ
指導者 中尾力広

1 課題設定の理由

身近な河川の水質について、小学生以下の子供たちが容易に確認できる“環境省で定めていない”新たな指標生物を見つけ出したい。見つけることができれば、近所の川で衛生的に安心して遊ぶことができるのではないかと考える。



カワムツの環境省への登録認定を目指す。水がきれいなところを好む。捕まえたカワムツは約3cm。R2:上流、下流で、R3・4:全流域で捕獲。

図1 調査地点(辰野川河口)

2 仮説

- (1) 水生昆虫ではなく、カワムツを指標生物として用いても河川の水質の推測は可能である(図1)。
- (2) 図2 (R3 参照)に示したカワムツと水質との関係性について他の河川でも、同様の結果を得ることができる。
- (3) COD 以外の物質 (BOD)もカワムツの生息に影響する。
- (4) 他にも指標生物として活用できる生物種がある。
- (5) 前日の天候や当日の天候、季節によって流量が変わるため、水質も変化する。

最低15ppm ←最高8ppm
×カワムツ ○カワムツ



図2 COD値とカワムツとの関係



宇和島東高等学校



神田川下流



神田川上流



神田川中流

図3 調査地点(辰野川河口)

3 実験・研究の方法

(1) 生物学的検証

神田川を、上流・中流・下流に分け、それぞれの場所で生息する生物から河川の水質を推測する(図3)。

(2) 化学的検証(パックステスト)

- 1年目(R2)・・・COD(化学的酸素要求量)。
- 2年目(R3)・・・COD、NO₂⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、NH₄⁺
- 3年目(R4)・・・2年目+BOD(生物化学的酸素要求量)

※ COD値は、水の汚れの指標となるもので、飲み水では1~3ppm程度の低い値を示す。硝酸態窒素、亜硝酸態窒素他にも指標生物として活用できる生物種がある。絶滅危惧種は、環境への順応性が高くないと考えられ、絶滅危惧種と水質との関連性は高い。

4 結果1

(1) 生物学的検証

令和4年度に捕獲した生物を図4に赤丸で示す。

神田川の水質は、水質階級Ⅰ(きれいな水)~水質階級Ⅱ(ややきれいな水)の範囲にある。

(2) カワムツについて(環境省指標生物外)

捕獲したカワムツは約3.0cmであった。群れで泳いでいることが多く、比較的捕獲が容易であるといわれているが、今年度は群れで行動するカワムツを見ることは少なかった。去年に引き続き、このカワムツをメインターゲットとして神田川の水質調査に取り組んだ。令和2年度は上流、下流で捕獲できたが、中流では捕獲できなかった。しかし、令和3年度は、上流・中流・下流の全ての流域で捕獲によってその生息が確認できた。令和4年度も、上流・中流・下流の全ての流域で捕獲することができ、生息を確認できた。

きれいな水(Ⅰ)の指標生物	ややきれいな水(Ⅱ)の指標生物
ナミウズムシ サワガニ	カワナ類 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ROM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)	
きたない水(Ⅲ)の指標生物	とてもきたない水(Ⅳ)の指標生物
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 ○ イソコツブムシ類	チョウバエ類
その他	○は海水の少し混ざっている汽水域の生物
ヒゲナガカワトビケラ類 ニンギョウトビケラ類	
タニガワカゲロウ類 チラカゲロウ	

図4 神田川の水生物

(3) その他の生物

ア サワガニ(環境省指標生物)

甲幅は20~30mmで、脚を含めた幅は50~70mm。食性は雑食性で、藻類や水生昆虫、陸生昆虫類、カタツムリ、ミミズ等何でも食べる。きれいな水に生息する。(図5)



図6 スジエビ(上流~中流)

イ スジエビ(環境省指標生物外)

淡水性のエビであり、広い範囲に生息する。上流で捕獲。肉食性である。(図6)

ウ ヨシノボリ(環境省指標生物外)(指標生物外)

山地から都市部まで広く生息している。また、流れが緩やかなところに生息している。上流で捕獲。肉食性である。(図7)



図7 ヨシノボリ(上流)

エ クロベンケイガニ(環境省指標生物外)

下流で発見。河口域に生息する。植食性である。あまり多くは生息していない(図8)。

環境省の資料(図4)と照らし合わせると、神田川は、上流～下流にかけてほぼ全流域で、水質階級Ⅰ～Ⅱの比較的きれいな水質であることから、神田川はカワムツの生息については適した環境であると考えられる。このことについてさらに細かい分析を試みるために、パックテストによる調査結果を積み上げることを継続して行った。



図8 クロベンケイガニ、神田川(下流)

5 結果その2

パックテスト(COD及び、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ 、BOD)を使って、水質を調べる。より細かいデータ収集を目的として、今年度は調査項目にBODを増やして実施した。

(1) COD値について

令和2年度は神田川の水質と水生生物との関連性を調査するため、CODの値について調査した。その比較のため本年度もCODについては引き続き調査を行った。令和3年度は、COD値が上流・中流で低く、下流では令和2年度よりやや高い8ppmであった(図9)。(R3参照)

(2) COD値以外の物質について

令和2年度に新しく追加した NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 NH_4^+ は、どの流域でも大きな違いはなかった(図9)。注視すべきはカワムツ生息域とCOD値との関係であると言える。

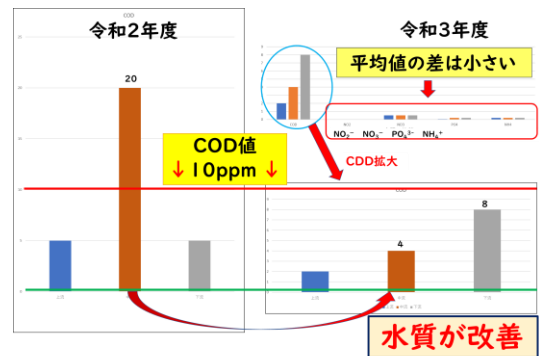


図9 各地点のCOD値

6 考察とまとめ

(1) 令和2年度の本県の牧野らによる調査結果では、中流の流れが遅く汚れていた。この中流のCOD値平均は20ppm、最も低い日でも15ppmを越えており、カワムツ(図10)の存在は確認できなかった。一方、上流と下流の平均値はいずれも5ppm以下で、両流域では捕獲によってカワムツの生息が確認できた。令和3年度は、全流域でカワムツの生息が確認できたことから、前の年より河川がきれいになり、生息域が広がった可能性が考えられる。令和3年度の調査では、COD値が、上流で平均2ppm、中流で平均4ppmと前年より低く、特に中流における水質改善がみられた。一方、下流での平均値は8ppmとやや高くなっていったものの、この年、全流域でカワムツの生息が確認できた。令和2年度にCOD値平均20ppmの中流では確認できなかったカワムツが、令和3年度は8ppmの下流で生息していた。この研究結果より、年間を通しての平均値に着目した場合、その生息域の境界値は8～20ppmの間にある可能性が示された。

この2年間の調査により、カワムツの生息域とCOD値との関連性が強く示されているという結果を見出すことができた(図4)。また、令和2年度の最低値に着目した場合、カワムツは15ppmの中流では生息していなかったカワムツが、令和3年度には、COD値が8ppmの下流で生息していた。このことから、カワムツの生息域に影響を与える境界値が、COD値が8ppm～15ppmの間である可能性が考えられる。さらにこの値を絞っていき、カワムツとCOD値の関係性について、より詳細な値を特定が可能であると考えられる。

(2) 令和3年度、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、生活域での水質変化は、そこに住む人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。また、

別の水生生物や指標生物等との関連性についてのデータ収集も不十分であり、満足な検証結果を得ることはできなかったが、神田川は、上流～下流にかけて水質階級Ⅰ～Ⅱの比較的きれいな水質であることは、水生昆虫やパックテストの調査より検証できた。中流で水質が改善した理由や、COD 以外の物質と水生生物との関係については特定できなかった。

本村川の調査からも、COD 値の低い所（8～10ppm 程度の値以下）には、カワムツが生息していることが確認されており、このような他の河川との比較も有効である。

- (3) 令和4年度では、現実的に最も近い指標といわれている BOD 値を天候との関係に着目して調べた。双方の関係性を見出すことはできなかった。図10のように、COD 値と同様の傾向で変化することは分かったが、BOD 値は 0 の日が多かったことから、調査場所としている神田川には微生物が分解できる有機物が少ないといえる。カワムツの生存が確認できたことや BOD 値が低く、この面からも神田川は比較的きれいな川であると言える。

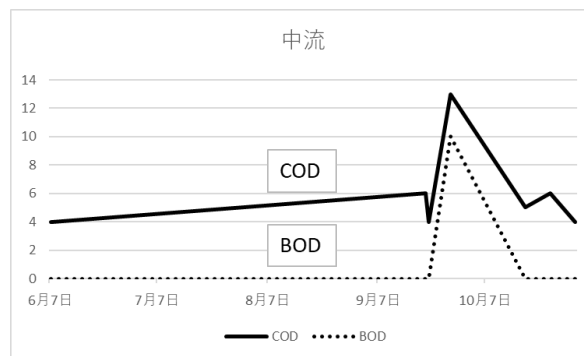


図10 中流における BOD 値と COD 値比較

7 今後の課題

- (1) カワムツが生息する場所に関して、より詳細な COD 値の特定を目指し、調査数・調査地点を増やす必要がある。市内のカワムツマップを作成する。
- (2) 生物の生息域と水質との観点から、生物種保全に向けた可能性を探るため、調査する生物対象を拡げる。また、より正確な市内のカワムツマップ及びクロベンケイガニ(準絶滅危惧種(NT))マップを作製する。
- (3) 神田川に流れ込む排水口付近の水質をピンポイントで調べる。季節や天候、気温等と BOD との関係性について詳細に調査する。
- (4) 田植えや稲刈りシーズンなどと COD が高くなる傾向がある。気温が BOD 値との関係を明確にするために調査を継続する。



図11 カワムツマップ

参考文献

- ・石綿進一・竹門康弘, 2005a. カゲロウ目. in 川合禎次・谷田一三(編), 日本産水生昆虫、東海大学出版会. ISBN 4-486-01572-X、
- ・刈田敏, 2002. 水生昆虫ファイルⅠ. つり人社. ISBN 4-88536-484-1、
- ・荒木晶, 松浦修平 ほか、サワガニの成長『九州大学農学部学藝雑誌』 1995年 49巻 3/4巻 p.125-132, doi:10.15017/23540、
- ・関伸一、短報 (Note) 男女群島におけるサワガニ *Geothelphusa dehaani* の記録 森林総合研究所研究報告 6巻 2号 p.89-92(2007-06)、
- ・小林哲、河川環境におけるカニ類の分布様式と生態 『応用生態工学』 2000年 3巻 1号 p.113-130, doi:10.3825/ece.3.113
- ・神田川の水質と生物(令和2年度宇和島東高等学校 RSI)

摘果みかんから合成した再生繊維の評価方法

2年4組 竹田 りえる 山口 涼
指導者 高橋 寛

1 課題設定の理由

令和4年6月の中国四国農政局統計部「図表で伝える中国四国の農林水産業」によると、令和3年の愛媛県のみかんの出荷量は全国で17%を占める第2位である^[1]。また、愛媛県庁農林水産部農産園芸課「かんきつ類の統計」によると、令和2年の宇和島市のポンカンの収穫量は61.6%で第1位を占めており、その他の品種を含めて宇和島市は日本有数の柑橘類の産地である^[2]。

宇和島東高校では、みかん搾汁残渣からセルロースナノファイバーが合成できるという愛媛大学の秀野らの論文(2013)^[3]や、セルロースを用いた再生繊維について記述されている「サイエンスビュー化学総合資料」^[4]を参考に、摘果みかん果皮を再資源化し、再生繊維を作ろうと試みてきた^{[5][6][7]}。秀野らの論文では、柑橘の搾汁残渣に対して水酸化ナトリウムでの処理や亜塩素酸ナトリウムでの処理などを行うことでセルロースを抽出している。

これまでの研究では、摘果みかん果皮から純度に課題はあるもののセルロース粉末を得ることができ、注射器を用いて銅アンモニアレーヨンとして繊維状に成型することはできていた。しかし、注射器による成型方法では繊維の太さが調整しにくく、たわみのある状態で得られ、乾燥前に絡み合ってしまうことも多く、強度を測定することが難しかった。また、強度が弱いということはわかっていたが、数値化した強度の測定方法を確立できていなかった。

本研究では、実用化に向けて薬品のセルロースから作った繊維と同等の強度をもつ銅アンモニアレーヨンの作成を目指して、注射器による従来の成型とは異なる作り方の検討と、作成した繊維の強度測定法に着目して研究を行った。

2 仮説

注射器による押出成形よりも、袋の一端からピンセットを使って引き出す成形を行うことで、安定して銅アンモニアレーヨンを成形することができ、強度評価を行うことができる。

3 研究の方法

(1) みかん果皮からの繊維合成

ア みかん果皮からのセルロースの取り出し

本研究では、宇和島市で柑橘類を栽培する農家から摘果した温州みかん(図1)をいただき、冷凍保存したものをを用いた。セルロースの取り出しは、従来の手法通り、以下の手順で行った。

- ① 冷凍した摘果みかんを解凍し、果皮だけを選び分けた。
- ② 水溶性物質を除去するため、果皮を80℃の温水に浸し、6時間処理した。
- ③ ペクチンを除去するため2%水酸化ナトリウム溶液に浸し、80℃で6時間処理した。
- ④ 固液分離後、丸底フラスコに入れ、亜塩素酸ナトリウムでホロセルロース処理を行った。
- ⑤ 回収した固体を乾燥させ、乳鉢を用いて粉末化した。

イ 銅アンモニアレーヨンの作成

安定した太さで、絡まることのない状態で繊維を得るため、従来の注射器を用いた手法から、袋に詰めた粘動液を袋の一端に開けた小さな穴からピンセットで引っ張る手法(図2)を検討した。また、比較材料として市販の薬品セルロース(ナカライテスク株式会社)を用いて同じ条件で繊維を合成した。

- ① 水酸化銅0.50gにアンモニア水6mLを加え、シュワイツァー試薬を準備した。
- ② シュワイツァー試薬に得られたセルロース粉末0.75gを溶解させ、粘動液を得た。



図1 使用した冷凍保存の摘果みかん

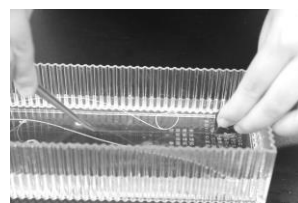


図2 袋からピンセットを用いて引き出す手法

- ③ 粘動液を小さなビニール袋に入れ、はさみで切り落とした袋の一端から 2 mol/L の希硫酸中に押し出しながら、ピンセットで引っ張り繊維の形に成型した。
- ④ 銅とアンモニアを除去した後、得られた繊維を純水で洗浄し、乾燥させた。

(2) 繊維の強度評価

ア 繊維の外観などの評価

得られた繊維の外観を写真撮影し、従来法と比較した。

イ 繊維の強度測定方法

得られた繊維の強度について、繊維の評価方法を規格化した日本工業規格 JIS L 1015 には、機械を用いて引っ張り強度を測定する手法が記述されている¹⁸⁾。しかし、学校ではその機械がない。また、従来法で得られた繊維はもろく、触っただけで折れることが多かったため、少しずつ負荷をかける方法を考慮する必要があり、次の 3 種の手法を検討した。

- ① 繊維を 5 cm の幅で固定し、糸を重ねていき、切れた時の糸の重さで評価する。
- ② ばねばかりと繊維をつなぎ、切れるまで引っ張る様子を動画で撮影し、力の最大値を読み取り評価する。
- ③ 繊維をプラスチックのコップとつなぎ、吊るした状態で繊維が切れるまで水を入れ、切れた時の重さで評価する。

ウ 摘果みかん果皮から得られた繊維および、市販セルロースから同条件で作成した繊維について、7 日後、70 日後のものを手法 3 で評価した。ただし、プラスチックのコップに吊るすまでの準備段階や、吊るした時点で断線してしまったものは評価の対象から外した。また、得られたデータについて、t 検定を用いて有意差を評価した。

4 結果と考察

(1) 繊維の作成方法について

図 3 に、従来法と新しい手法により作った繊維の比較を示す。従来の注射器を用いた成型法では、注射器の針とほぼ同じ太さの繊維が得られていた。注射器の針の太さはおおよそ 1 mm で、合成後の処理に時間がかかっていた。また、溶液中に押し出す際の力のコントロールが難しく、溶液中でたわみ、絡み合った状態になってしまい、のちに強度を評価することが難しかった。また、注射器中の目詰まりが起こりやすく、得られる量も 2, 3 本程度と少なかった。

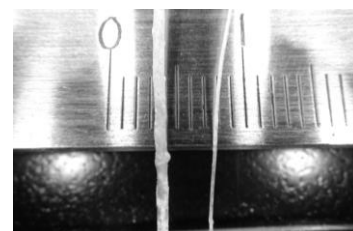


図 3 繊維の比較
(左：従来法、右：新手法)

今回用いたビニール袋から押し出し、ピンセットで引っ張る方法では、引っ張る速度を比較的調整しやすく、1 mm よりも細い繊維を安定して得ることができた。また、目詰まりが起こってもビニール袋の向きを変えるなどの工夫で対処でき、同じ量の粘動液から 10 本以上の繊維を得ることができた。従って、繊維の作成方法としては袋を用いる手法が適していると判断した。ただし、どちらの手法でも摘果みかん果皮から繊維を作成すると、ところどころ「だま」のような凸凹のある繊維が得られていることが課題である。

(2) 繊維の強度測定方法の検討

強度評価方法の候補として考えた手法 1 の繊維の上に糸を重ねていく方法 (図 4) では、重ねる糸が軽すぎて繊維がなかなか切れず、強度を評価できなかった。先行文献では摘果みかん果皮から作成した繊維がかなり弱いという記述がありこの手法を検討したが、予想以上に強度があることが分かった。

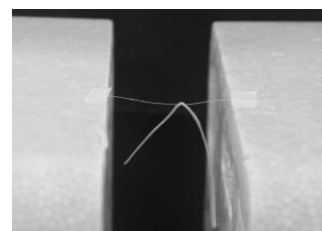


図 4 強度評価方法案 1

手法 2 では、ばねばかりと繊維を接続し、断線するまで引っ張る様子を撮影した動画で、最大値を読み取ることを考えた (図 5)。しかし、断線した際の動きが早く、最大値を読み取ることができなかった。



図 5 強度評価方法案 2

最後に検討した手法 3 では、繊維をプラスチックのコップにつないだ上で水を足し、断線した際のコップの重量から繊維の強度を評価した (図 6)。この場合、元のコップの重量に耐えられな

い繊維はぶら下げた瞬間に切れてしまい、評価することはできない。また、水を入れる際にコップが回転し、繊維にねじれが起きる課題があった。しかし、評価する本数を増やせばこの方法で繊維の強度が評価可能と判断した。



図6 強度評価方法案3

(3) 強度測定の結果

手法3を用いて、摘果みかん果皮および、市販のセルロースから作成した繊維について、繊維作成から7日後、70日後のものをそれぞれ評価した結果を表1および図7に示す。また、それぞれの結果について、t検定により有意差を比較した結果を表2に示す。

7日経過後の繊維と70日経過後の繊維を比較すると、原料に関わらず強度が弱くなっている傾向があった。

7日経過後の繊維を比較すると、摘果みかん果皮から得られた繊維と市販セルロースから得られた繊維の平均値の差には大きな差はなかったが、有意差があるという結果が得られた。従って、平均値等の値から摘果みかん果皮から得られた繊維の方が弱いといえる。70日経過後の繊維も、明らかに摘果みかん果皮から得られた繊維の方が弱い。

日数が経過することで強度が弱くなった理由は、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。特に摘果みかん果皮から作った繊維の強度低下が顕著で、7日後に比べて強度の平均値が32%に低下した。これは、摘果みかん果皮中の不純物によりセルロースの結合が切れやすくなってしまったのではないかと考えている。また、摘果みかん果皮から作成した繊維の強度が弱い理由も、摘果みかん果皮から得られたセルロースの純度が低いことが影響していると考えている。また、図8に示すような、摘果みかん果皮から得られたセルロースと、市販セルロースの粒子の大きさや形の違いも影響していると考えている。摘果みかん果皮から得られたセルロースは、粒子のサイズバラバラであり、比較的丸い形をしているものが多い。それに対して市販セルロースはサイズが揃っていて、ふわふわした形をしているからである。

表1 作成した繊維の強度測定の結果

原料	摘果みかん果皮		市販セルロース	
作成後日数	7日	70日	7日	70日
n数	16	6	35	10
平均値[g]	70.7	22.6	75.5	49.7
標準偏差	30.4	14.9	30.1	27.8

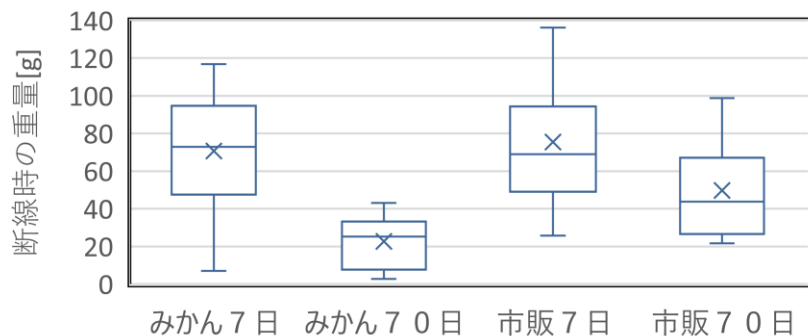


図7 作成した繊維の強度測定結果

表2 強度測定結果の有意差判定結果

比較対象	p値	有意差
摘果みかん果皮7日 摘果みかん果皮70日	1.0E-08	あり
市販セルロース7日 市販セルロース70日	1.2E-04	あり
摘果みかん果皮7日 市販セルロース7日	7.0E-07	あり
摘果みかん果皮70日 市販セルロース70日	1.7E-07	あり

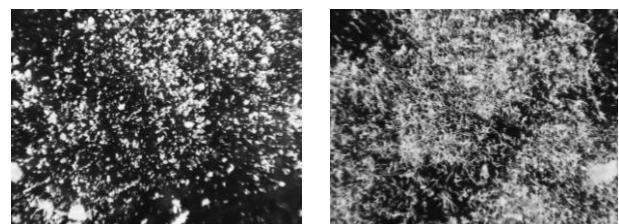


図8 セルロース粉末の比較

(左：摘果みかん果皮から得られたセルロース、
右：市販セルロース)
(PENTAX WG-60による写真を同じ倍率に拡大)

また、市販セルロースから繊維を作成する際、注射器や袋から押し出す際に目詰まりが生じないが、摘果みかん果皮から得られたセルロースでは目詰まりが起りやすい。また、得られた繊維の外観も、摘果みかん果皮から得られた繊維は、**図9**に示すように途中で球状のふくらみ（だま）ができることがあり、その部分から断線することが多かった。粒子の大きさのばらつきについては、乳鉢での粉砕が不十分であった可能性も考えられる。

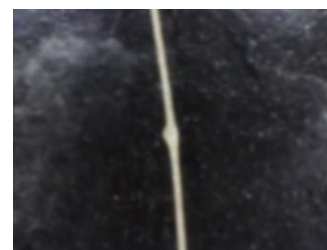


図9 だまのできた繊維

以上のことから、作成した銅アンモニアレーヨンの強度評価方法を確立することはできたが、摘果みかん果皮を原料にした繊維を実用化するためには、得られたセルロースの不純物を減らすことや、粒子の形状を調整する必要があるといえる。不純物を減らす手法としては、セルロースを得る際の手順のうち、水酸化ナトリウム水溶液や亜塩素酸ナトリウムなどを用いた処理において、時間や温度などの条件を変更することが考えられる。

今回の評価では強度測定の試料に含めなかったが、摘果みかん果皮から得られた繊維の中には、少し指で擦っただけでくずれてしまうもろい繊維もあった。また、太い繊維ほど強いというわけでもなく、ある程度細い繊維の方が曲げても折れにくかった。これは、太い繊維の場合、銅やアンモニアを除去する際の処理や硫酸を除去するための処理が不十分で、繊維の中まで固まっていなかったのではないかと考えている。

また、本研究では作成した繊維の太さのばらつきについて評価できていない。顕微鏡などを用いて繊維の太さを測定したうえで、太さと強度の関係も明らかにしていく必要がある。

5 今後の課題とまとめ

摘果みかん果皮から繊維を作る際、注射器による押出成型よりも、袋の一端からピンセットで引っ張る成型法の方が安定して繊維を作ることができるとわかった。

得られた繊維の強度測定法として、JIS 1015 L の手法を参考にし、プラスチックのコップに吊るした繊維に水を入れ、断線した際の重さにより評価する方法を確立できた。しかし、繊維の太さと関連付けた評価は行えていないことが課題である。

また、摘果みかん果皮から得られた繊維は、一部強度の高いものが得られたが、市販のセルロースから得られた繊維よりも強度が弱く、日数が経過すると極端に弱くなることが分かった。

強度を高い繊維を得るためには純粋なセルロースを得る必要がある。そのため、水酸化ナトリウム水溶液や次亜塩素酸での処理の回数や時間、条件を変更して実験してみたい。また、セルロース粉末をより細かく砕き繊維のだまをなくすことも検討したい。

参考文献

- [1] 中国四国農政局統計部「図表で伝える中国四国の農林水産業」（令和3年産みかんの結果樹面積、収穫量及び出荷量の調査）、令和4年6月30日、<https://www.maff.go.jp/chushi/info/toukei/attach/pdf/zuhyo-4.pdf>
- [2] 愛媛県庁農林水産部農産園芸課「かんきつ類の統計」（愛媛県における市町別かんきつ類の収穫状況）、<https://www.pref.ehime.jp/h35500/kankitsu/toukei.html>
- [3] 秀野晃大・阿部健太郎・川崎文人・矢野浩之、「蜜柑搾汁残渣を原料としたセルロースナノファイバー製造及びその特性」、The Japan Institute of Energy、2013、p152-153
- [4] 実教出版、「四訂版 サイエンスビュー化学総合資料」、p283
- [5] 石村知規・小川翼・菊池耕史・河野太輔・松浦永和、「摘果みかん果皮を原料とした銅アンモニアレーヨンの合成」、愛媛県立宇和島東高等学校令和元年度SSH生徒課題研究論文集 p15-16
- [6] 石村知規・小川翼・河野太輔・松浦永和、「摘果みかん果皮を原料とする繊維合成」、愛媛県立宇和島東高等学校『令和二年度SSH生徒課題研究論文集』p130-133
- [7] 芝晃司・西田将輝・吉本昂生・松浦悠・和田源太、「みかん果皮の応用による再生繊維の簡易製法」『令和3年度SSH生徒課題研究論文集』p89-92
- [8] 日本繊維製品消費科学会、「新版繊維製品消費科学ハンドブック」、光生館(1988)

魚粉肥料が野菜の生育に与える影響

2年3組 武田 真奈 2年3組 川本 美羽 2年3組 豊田 更祐
指導者 窪地 育哉

1 課題設定の理由

宇和島では、宇和海の恵まれた自然環境を生かして真鯛の養殖が盛んに行われている。

養殖真鯛は刺身などに加工され、全国の食卓に届けられるが、骨や内臓など約 65%は未利用部位として廃棄される。宇和島市に本社を置く秀長水産株式会社では真鯛の未利用部位を食品素材として利用することに取り組み、真鯛の頭をミンチ化、加熱、遠心脱水、乾燥、粉碎処理した粉末を「カルペイン」として製品化している【図1】。

カルペインは、機能性食品として炊き込みご飯や味噌汁、だし巻き玉子などの料理に利用されている。また、窒素 N については一般有機肥料の 1.5 倍、リン P については 2.5 倍、食品の味に影響するアミノ酸が豊富に含まれることが分かっており、肥料としての効果も期待されている。実際に米やイチゴの栽培に用いたとの報告はある【図2】が、その具体的な効果については報告がない。一木ら

(2020) は、芝に、カルペインを水に溶かしたものを一定期間散布し、芝の緑化に対する有効性について研究を行った【図3】。芝の画像データの RGB 解析および、芝のクロロフィル量の定量を行い、カルペイン散布が芝の緑化に有効であると報告している。また、岡崎ら (2021) は、カルペイン散布の芝緑化効果について、冬季に効果が大きいことを明らかにしている。報告の中で、芝の生育についても効果が見られるとの記載があり、野菜の生育に関する効果の検討について提案している。我々は野菜の緑化にも影響があるのかを明らかにしたいと思い、この課題を設定した。



図1 製品化されたカルペイン (右下)



図2 カルペイン利用の米栽培



図3 校内の芝花壇の様子、カルペイン散布部(赤い円で示した部分)のみ緑色が濃い

2 仮説

昨年度の研究から芝を緑にすることがわかっているのので、野菜の緑化にも影響しているのではないかと考える。

3 研究の方法

(1) 野菜の栽培について

土をアルカリ性にするための肥料を散布した後、白菜とキャベツをカルペインを散布する場所と散布しない場所に分けて植え、育てた。収穫は約3か月後に行った。

(2) 芝について

校内の芝があるところに約40 cm×約40 cmの区画を設け、カルペインを散布した。

(3) 散布について

野菜には50 gのカルペインを1つの畝に1回散布する。芝にはカルペイン100g/1000mL水を約1週間に1回の頻度で散布した。

(4) 結果の解析方法について

①クロロフィルの定量

各区画区分の芝を刈り取り細かく切ったものを約1g量りとり、アセトンにおよそ48時間浸してクロロフィル抽出液とする。そして抽出液から吸光度測定器を用いて吸収スペクトルを測定し、「Porraの式」【式1】【式2】によりクロロフィル濃度を算出する。

クロロフィル a [$\mu\text{g/mL}$]

$$12.25 \times (\text{664 nm における吸光度}) - 2.55 \times (\text{647 nm における吸光度}) \dots \text{式1}$$

クロロフィル b [$\mu\text{g/mL}$]

$$20.31 \times (\text{647 nm における吸光度}) - 4.91 \times (\text{664 nm における吸光度}) \dots \text{式2}$$

ここでクロロフィル a,b について説明する。クロロフィル a と b は、光合成に関与する二つの主要な色素である。クロロフィル a は青緑色の光を、クロロフィル b は黄緑色の光を反射しており、その反射した光が私たちには緑色として見えることになる。また、薄い色の葉から濃い色の葉になるにつれてクロロフィルの量が増えていくことが分かっている。

②β - カロテンの定量

野菜を細かく切ったものを3 g量りとり、アセトンを24時間浸して色素が無くなるまで繰り返し行い、これを抽出液とする。そして吸光度測定器を用いて吸収スペクトルを測定し、カルペインを散布したものと散布してないものの吸光度を量る。

カロテノイドとは黄、橙、赤色など、を示す天然色素の一群である。緑黄色野菜に多く含まれるが、一部の魚介類にも含有される。

クロロフィルとカロテノイドの吸収スペクトルの違いを利用して、野菜の抽出液の479、645、663nmにおける吸光度からβ - カロテン濃度の値を出す。β - カロテン濃度の推定式は、以下のとおりである。(A₄₇₉、A₆₄₅、A₆₆₃ はそれぞれの吸光度)

β - カロテン(mg/L)

$$0.854 \times A_{479} - 0.312 \times A_{645} + 0.039 \times A_{663} - 0.005 \dots \text{式3}$$

β - カロテンとは植物に豊富に存在する赤橙色色素の一つである。抗酸化物質の一つで人の健康に大きな役割を果たしていることが分かっている。

4 結果と考察

(1) 芝のクロロフィル量の吸光度測定による結果

図4に1月における芝アセトン抽出液の吸収スペクトルを、また表1にクロロフィル a、クロロフィル b の値を示した。

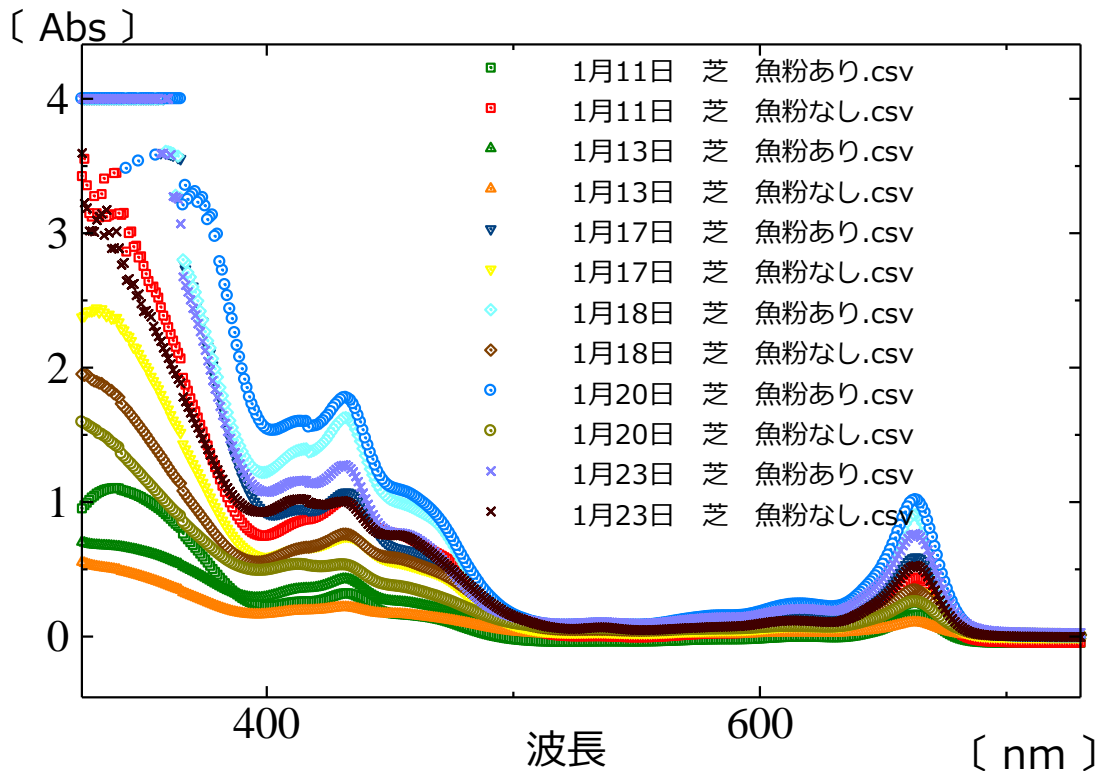


図4 1月における芝アセトン抽出液の吸収スペクトル

表1 クロロフィルaおよびクロロフィルbの量

	クロロフィルa [$\mu\text{g}/\text{mL}$]		クロロフィルb [$\mu\text{g}/\text{mL}$]	
	カルペイン有	カルペイン無	カルペイン有	カルペイン無
1月10日	4.91	1.88	1.19	0.02
1月13日	2.75	1.17	1.08	0.55
1月17日	6.54	3.79	2.45	1.54
1月18日	9.92	3.78	3.96	1.76
1月20日	11.26	2.82	4.20	1.43
1月23日	8.29	5.77	3.85	2.45
平均	7.28	3.20	2.79	1.29

(2) 野菜のクロロフィル量の吸光度測定による結果

図5に野菜アセトン抽出液の吸収スペクトルを、表2にカルペイン添加有無それぞれの野菜のクロロフィルa、クロロフィルbの値を、表3にカルペイン添加有無それぞれの野菜の β カロテンの値を示した。を示した。

表2 クロロフィルaおよびクロロフィルbの量

	クロロフィルa [$\mu\text{g}/\text{mL}$]		クロロフィルb [$\mu\text{g}/\text{mL}$]	
	カルペイン有	カルペイン無	カルペイン有	カルペイン無
キャベツ	6.71	3.99	5.62	2.04
白菜	2.66	1.39	0.75	0.78

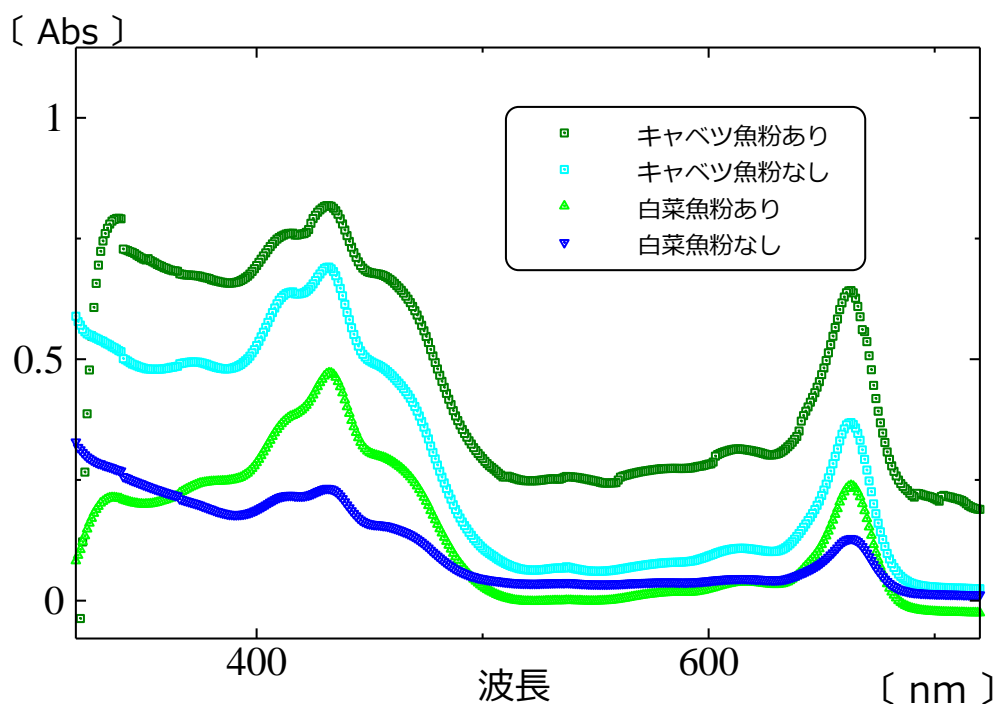


図5 野菜のアセトン抽出液の吸収スペクトル

表3 βカロテンの量

	βカロテン [mg/L]	
	カルペイン有	カルペイン無
キャベツあり	1.33	1.12
千切りキャベツ	---	0.0636
白菜	1.92	1.47

カルペインを添加することにより、芝におけるクロロフィル a 量は、平均で 2.3 倍、クロロフィル b 量は平均で 2.2 倍の量となっている。先行研究で示唆されていたことを証明する結果となった。

また、野菜の生育についても、カルペイン添加によりクロロフィル全量がキャベツで 2.0 倍、白菜で 1.6 倍であった。βカロテンはカルペイン添加によりキャベツで 1.2 倍、白菜で 1.3 倍となった。

5 まとめと今後の課題

クロロフィル量の定量により、先行研究での「カルペイン添加が芝の緑化に及ぼす影響は冬季の方が、より効果大きい」という予想を裏付ける結果が得られた。また、それは野菜についても同様で、冬季に収穫される葉物野菜の代表である白菜とキャベツについて、クロロフィル量の増加、βカロテンの増加を確認することができた。

今後、他の野菜でも同様の結果が得られるかどうか、野菜の種類や品種を変えて実験を行い、効果を明らかにしていきたい。

参考文献

- ・永田雅靖、「ハウレンソウに含まれる β - カロテンの分光光度計を用いた簡便定量法」、野菜茶業研究所研究報告、13466984、農業技術研究機構野菜茶業研究所、8号、p. 1 - 5、2009年3月
- ・「魚粉を用いた芝の緑化研究」『令和3年度 SSH 生徒課題研究論文集』愛媛県立宇和島東高等学校

植物の生育初期におけるウルトラファインバブル使用の検討

2年3組 中須賀 千陽 2年4組 引野 詩子 2年4組 横田 かほ
指導者 清川 彩

1 課題設定の理由

近年、ウルトラファインバブル（以下、UFB と示す）を用いたシャワーヘッドが発売されて注目されている。UFBは、 $0.001\text{mm}(=1\mu\text{m})$ 未満の泡のことで、その泡は、数週間から数か月、水中に留まるといわれている。私たちの地元、宇和島市三間は、自然豊かでイネや野菜の栽培が盛んな農村地域である。泡が水中に長期間留まる UFB の特徴から、UFB によって植物の代謝が促進されて成長が促進されるのではないかと考え、この課題を設定した。

2 仮説

- (1) UFB によって、植物の生育が促進される。
- (2) 土栽培の方が、水耕栽培に比べてより UFB による生育促進の効果がある。

3 研究の方法

土栽培と水耕栽培の区画を設け、以下の実験を行った。
土栽培に比べて、水耕栽培では、個体はつねに UFB に触れている状態となるため、より結果に影響すると考えたためである。また、植物体として、大葉を用いた。大葉は成長速度が速く、かつ、実験を行った時期に、発芽および成長が見込めたためである。

(1) 発芽率の測定

バーミキュライト（土栽培）（**図1**）とスポンジ（水耕栽培）（**図2**）を使って大葉を約1ヶ月、発芽数を観察する。水やりは一日に一回行った。

バーミキュライトを用いたのは、普通の土には栄養が含まれており、栄養素が不安定で条件が統一しづらいと考えたためである。

(2) 伸長具合の測定

発芽後、根の長さ（mm）、植物体全体（根の先端から茎の先端）の長さ（mm）、葉の枚数を測定する。



図1 土栽培



図2 水耕栽培

4 結果と考察

発芽数は**表1**、**図3**に示した。発芽について、土栽培と水耕栽培では、水耕栽培の方が発芽率が高かったが、水と UFB との比較では、顕著な差は見られなかった。

個体の伸長測定結果は、**表2**の通りである。これについて、t検定を行った結果を**表3**に示してある。

根の伸長について**図4**に示した。t検定の結果、UFBを使用した場合と水を使用した場合、水耕栽培においては p 値 $=0.1112 >$ 有意水準 0.05 、土栽培については p 値 $=0.1813 >$ 有意水準 0.05 となり、どちらも有意差は見られなかった。

表1 発芽数

日付	水耕栽培		土栽培	
	UFB	水	UFB	水
9月26日	10	11	0	0
9月27日	11	11	0	0
9月28日	12	12	3	1
9月29日	13	12	3	6
9月30日	14	13	8	7
10月3日	17	14	10	7
10月11日	18	15	10	7
10月12日	18	15	10	7
10月13日	18	15	10	8
10月14日	18	15	10	9
10月17日	18	15	10	9
10月18日	18	15	10	9
10月19日	18	16	10	9
10月20日	18	16	10	9
10月21日	18	16	10	9
10月24日	18	16	9	9
10月25日	18	16	9	9
10月27日	18	16	9	9
10月28日	18	16	9	9
10月31日	20	16	9	9
11月1日	21	16	9	9

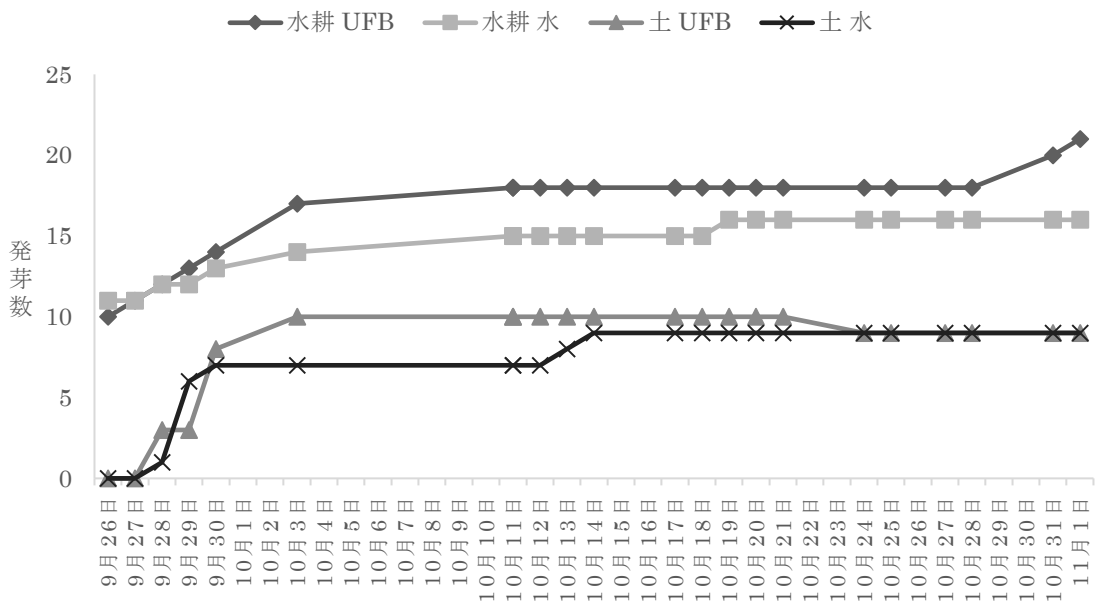


图3 発芽数

表2 個体の伸長測定結果

土栽培 水			土栽培 UFB		
根 (mm)	全体 (mm)	葉の枚数	根 (mm)	全体 (mm)	葉の枚数
7.9	20.9	6.0	40.9	52.0	4.0
41.3	55.1	7.0	32.9	63.7	6.0
26.5	28.9	7.0	46.1	69.6	7.0
37.8	58.5	6.0	36.3	64.5	6.0
24.6	39.4	6.0	37.2	62.2	5.0
65.4	93.6	5.0	69.7	92.6	8.0
11.7	15.9	1.0	avg. 43.8	avg. 67.4	avg. 6.0
35.2	20.7	6.0			
avg. 31.3	avg. 41.6	avg. 5.5			

水耕栽培 水			水耕栽培 UFB		
根 (mm)	全体 (mm)	葉の枚数	根 (mm)	全体 (mm)	葉の枚数
9.8	14.7	2.0	22.7	27.8	2.0
20.7	27.3	4.0	17.3	23.9	2.0
18.2	27.7	0.0	10.3	17.2	1.0
40.6	48.4	4.0	27.1	32.8	6.0
43.7	51.2	3.0	27.2	32.5	2.0
24.5	40.6	6.0	30.4	35.9	6.0
12.6	13.1	3.0	8.4	14.0	2.0
10.8	16.2	3.0	5.9	10.0	1.0
23.0	32.7	3.0	15.0	22.2	4.0
20.3	23.1	4.0	15.6	21.0	2.0
34.8	36.3	2.0	20.6	26.5	2.0
17.0	23.9	0.0	9.6	17.5	4.0
avg. 23.0	avg. 29.6	avg. 2.8	10.5	15.9	3.0
※個体数は発芽数によって異なる。			28.6	36.7	1.0
			11.2	18.5	3.0
			8.6	13.1	1.0
			27.8	7.6	2.0
			11.3	15.8	1.0
			20.6	29.0	2.0
			avg.17.3	avg.22.0	avg.2.5

表3 t検定の結果

土栽培における水とUFBの比較

	根	全体	葉の枚数
P値	0.1813	0.0505	0.6027

※有意水準を0.05とする

水耕栽培における水とUFBの比較

	根	全体	葉の枚数
P値	0.1112	0.0570	0.5473

※有意水準を0.05とする

植物体全体の伸長について、**図5**に示した。t検定の結果、UFBを使用した場合と水を使用した場合、水耕栽培においてはp値=0.0570>有意水準0.05、土栽培についてはp値=0.0505>有意水準0.05となり、どちらも有意差は見られなかった。

葉の枚数について、**図6**に示した。t検定の結果、UFBを使用した場合と水を使用した場合、水耕栽培においてはp値=0.5473>有意水準0.05、土栽培についてはp値=0.6027>有意水準0.05となり、どちらも有意差は見られなかった。

以上のように、根、植物体全体、葉の枚数のいずれも、UFBによる有意な生育促進は見られなかった。

5 まとめと今後の課題

本研究では、植物の生育初期における明らかなUFBの効果を検証することはできなかった。初期の植物が利用する水や栄養が、そもそも微量であることで、差異が見られないのではないかと考えた。今後は、発芽後、苗の植え替えをしながらのようなタイミングで研究をしてみたい。また、UFBの泡が長時間水中に滞在するならば、動物を含めた水生生物への影響があるのではないだろうか。動物を含めてUFBの可能性をさらに探りたい。

参考文献

- ・ファインバブル産業会 HP
<https://fbia.or.jp/fine-bubble/fine-bubble-knowledge/about/>
- ・ウルトラファインバブルシリーズ | ボリーナ | 株田中金属製作所 (tanakakinzoku.com)
- ・日本カンタムデザイン株式会社 / ボリーナ-測定報告書.pdf (tanakakinzoku.com)

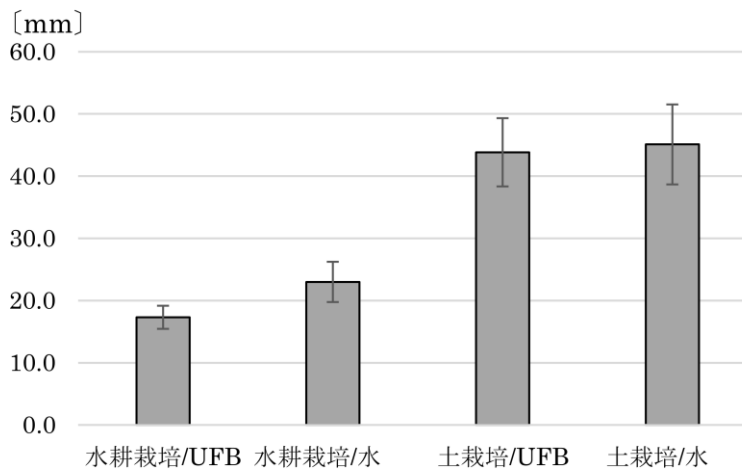


図4 根の伸長比較

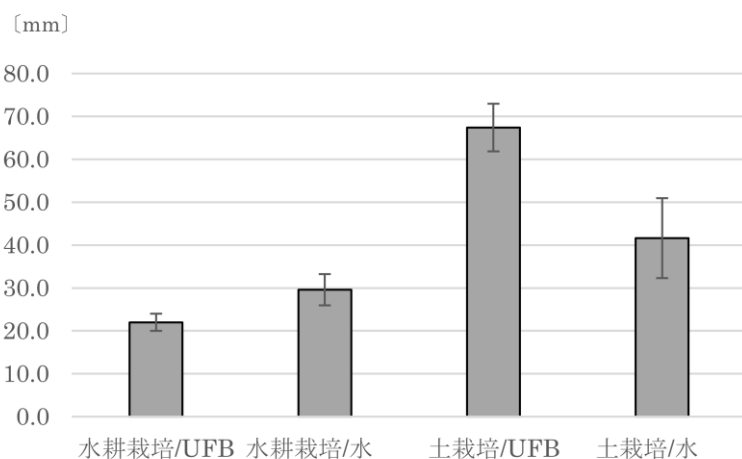


図5 全体の伸長比較

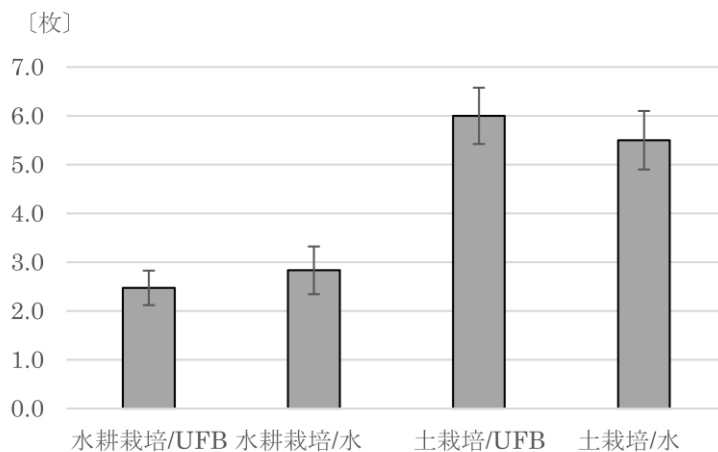


図6 葉の枚数比較

カキの生息条件Ⅱ

2年4組 安倍 獅音 2年3組 白瀧 高虎 2年4組 芝 悠斗
2年4組 益田 光 2年4組 劉 丞緯
指導者 中尾力広

1 課題設定の理由

- (1) 辰野川のカキの生息地には偏りがあることが、昨年度の調査結果から分かっている。辰野川におけるより詳細なカキの生息域の調査と、カキの生息しやすい環境条件を調べたいと考え、課題を設定した。
- (2) カキのより生育しやすい環境(水質面)を特定し、地元の養殖業への貢献を目指したいと考えた。
- (3) カキの生息域と COD 値や PO_4^{3-} は本当に関連があるのか。あるとすればその証明ができるよう、基礎データを蓄積したいと考えた。

2 仮説

- (1) カキは、COD 値やその他 PO_4^{3-} 値が低いなどの条件による影響を受ける。
- (2) 藻とのすみわけも考えられるので、日光の当たりにくいところに生息する傾向にある。
- (3) 塩分濃度がより高い(海水の濃度に近い)場所の方が多くのカキが生息している。
- (4) 海から遠くなる上流に行くほど海水濃度が低いと下がると考えられるので、上流にはカキが生息できなくなるポイントがある。

3 実験・研究の方法

- (1) 辰野川(図1)のカキの生息域を調査する(目視)。なお、川に降りられる箇所は限定されているため、調査地点は、川に降りるときの危険度を考慮して表1及び図1のように設定した。

表1 調査地点(辰野川河口)

A地点:河口から約172m	下流
B地点:河口から約214m	中流
C地点:河口から約320m	上流
D地点:河口から約338m	超上流

- (2) 塩分濃度測定は測定器(図2)を使用
- (3) パックテスト
COD(科学的酸素要求量)、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



図1 調査地点(辰野川河口)

4 結果1

(1) 数値で示した表では、データが多くてやや見えづらいため、パックテスト記載の基準値(表1)で水質を判定する。判定結果を

表1 調査地点(辰野川河口)

水質がよい(O)と判定される判断基準(その数値以上の場合は×)
 NO_3^- 1~2mg/L COD 0~5mg/L NH_4^+ 0.5mg/L以下
 PO_4^{3-} 0.05mg/L未満 NO_2^- 0.02mg/L以下



図2 塩分濃度測定器

表2 辰野川河口付近のパックテスト結果

	日付	6月21日	7月12日	9月20日	9月27日	10月11日	10月18日	10月25日	11月1日
地点A	NO_3^-	0.2	0.2	0.2	0.2				
	COD	8以上	8以上	8以上	8以上				
	NH_4^+	0.2	0.5	0.2	0.2				
	PO_4^{3-}	0.05	0.06	0.05	0.05				
	NO_2^-	0.02	0.005	0.005	0.005				
地点B	NO_3^-	0.2	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	COD	8以上	6	8以上	8以上	8以上	4	8以上	6
	NH_4^+	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	PO_4^{3-}	0.05	0.02	0.02	測定不能	0.05	なし	0.05	0.05
	NO_2^-	0.005	0.01	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.01
地点C	NO_3^-	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	COD	8以上	6	8以上	8以上	4	8以上	4	8以上
	NH_4^+	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	PO_4^{3-}	0.05	0.02	0.05	0.05	0.02	なし	0.1	0.05
	NO_2^-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005

↓ 見やすくするために読み替える

	日付	6月21日	7月12日	9月20日	9月27日	10月11日	10月18日	10月25日	11月1日
地点A	NO_3^- -N	×	×	×	×				
	COD	×	×	×	×				
	NH_4^+ -N	○	○	○	○				
	PO_4^{3-} -N	×	×	×	×				
	NO_2^- -N	○	○	○	○				
地点B	NO_3^- -N	×	×	×	×	×	×	×	×
	COD	×	×	×	×	×	○	×	×
	NH_4^+ -N	○	○	○	○	○	○	○	○
	PO_4^{3-} -N	×	○	○	判別不可	×	なし	×	×
	NO_2^- -N	○	○	○	○	○	○	○	○
地点C	NO_3^- -N	×	×	×	×	×	×	×	×
	COD	×	×	×	×	○	×	○	×
	NH_4^+ -N	○	○	○	○	○	○	○	○
	PO_4^{3-} -N	×	○	×	×	○	なし	×	×
	NO_2^- -N	○	○	○	○	○	○	○	○

表2に示す。この○と×の判定によって後の考察を行う。

- (1) NO_2^- 値と NH_4^+ 値はすべて○、 NO_3^- 値はすべて×であり、これらは地点や調査日による差異は見られない(表2)
- (2) COD値と PO_4^{3-} 値は地点や日時による差異が見られる。

5 結果2

(1) カキは、河口の A 地点から上流にかけ減少傾向である。(図4写真左)

しかし、C 地点ではカキが見られなかったが、さらに上流の D 地点でカキの密集地を発見した。(図3・図4写真右)



図3 カキの生息状況（上流）



図4 B地点のカキ(左)とD地点のカキ(右)

(2) 特に橋の下の陰になっている箇所にも多いことも分かった。(図3)

(3) 新たに加えた D 地点についても同様の読み替えを行い○×で表した表3を作成した。表3の枠で囲った範囲が示すように、パックテストを実施した各物質(NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+)の値には大きな変動はみられなかった。

表3 辰野川河口付近のパックテスト結果2

	日付	10月11日	10月18日	10月25日	11月1日
地点C	NO_3^- -N	0.2	0.2	0.2	0.2
	COD	4	8以上	4	8以上
	NH_4^+ -N	0.2	0.2	0.2	0.2
	PO_4^{3-} -N	0.02	なし	0.1	0.05
	NO_2^- -N	0.005	0.005	0.005	0.005
地点D	NO_3^- -N	0.2	0.2	0.2	0.5
	COD	8以上	8以上	4	6
	NH_4^+ -N	0.2	0.5	0.2	0.2
	PO_4^{3-} -N	0.05	なし	0.1	0.05
	NO_2^- -N	0.005	0.005	0.005	0.005

	日付	10月11日	10月18日	10月25日	11月1日
地点C	NO_3^- -N	×	×	×	×
	COD	○	×	○	×
	NH_4^+ -N	○	○	○	○
	PO_4^{3-} -N	○	なし	×	×
	NO_2^- -N	○	○	○	○
地点D	NO_3^- -N	×	×	×	×
	COD	×	×	○	×
	NH_4^+ -N	○	○	○	○
	PO_4^{3-} -N	×	なし	×	×
	NO_2^- -N	○	○	○	○

また、塩分濃度についても調査結果をまとめて図5と比較できるように図6にまとめた。

塩分濃度は、辰野川河口付近のA地点から上流に向かうほど低くなっているが、A地点以降はかなり低い値を示している。

6 考察

(1) NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ の値は○のみ、あるいは×のみとほぼ変動がない。(表3)

➡ カキの生息域はこれらの値との関係性は薄い。一方で、D地点に多くのカキが密集していたのはCOD値・ PO_4^{3-} 値が高いなど他の要因が影響している。

(2) D地点とC地点は塩分濃度の変動もその値も小さい。(図6)

➡ カキは、塩分濃度がかなり低い場所でも生息する。

(3) D地点のカキは日光が当たらない橋の下に生息している。

➡ 昨年度、下流の日光の当たる側で藻の発生が確認されている。D地点でも同様に、カキと藻のすみわけが起こっているかを、3月以降に再確認する。

カキは、場所によって密度が異なっている。密集を起こしている要因として集合フェロモンのような物質的な面も考えられる。一方で、この地域はプランクトンの量がそれほど多くないという令和2年度の調査報告があるが、生物学的要因も加味して調査する必要がある。

7 今後の課題

(1) この地域では、COD値と PO_4^{3-} 値のみが変動しているため、特にこれらの値が変動する要因を調査する。

➡ 季節や天候などとの関連を調査する。

➡ 日光については、今後は、調査時に照度計を用いて測定する。

(2) 干潮時あるいは満潮時の各地点での塩分濃度及びその他の物質についてパックテスト等で再調査を実施する。

(3) 他の河川との比較ができていない。汽水域となる河川は多く存在しているので、次年度以降は地理的な条件が類似している箇所でも、同様検証ができるのか、範囲を広げて調査する。

(4) 集合フェロモンの可能性を考慮しつつパックテスト等の調査を継続する。



図7 橋の下に密集しているカキの様子

参考文献

- ・神田川の水質と生物(R2 宇和島東高校SSH生徒課題研究)
- ・カキの生息条件I(R3 宇和島東高校SSH生徒課題研究)
- ・辰野川 愛媛県 - Bing 辰野川 宇和島 - Bing images
- ・神田川の水質と生物II (R3 宇和島東高校SSH生徒課題研究)

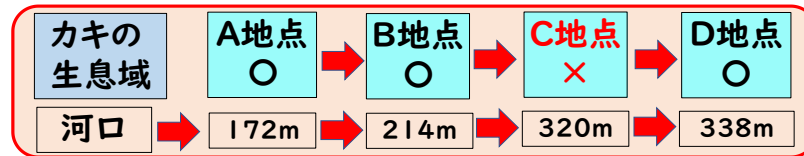


図5 カキの生息状況まとめ

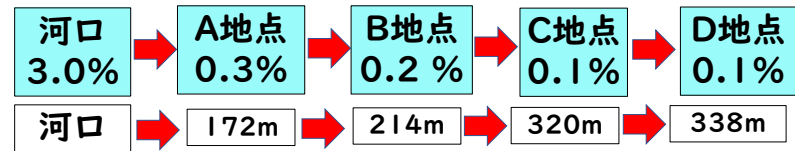


図6 辰野川河口付近の塩分濃度まとめ

身近な廃棄物を利用した有機石灰

2年3組 清家 淳生 2年3組 三宅 樹生
2年3組 吉見 妃奈乃 2年4組 幸渕 美嘉
指導者 清川 彩

1 課題設定の理由

本研究では当初、ミカンの木は暑さ対策のため土壌に苦土石灰を撒くことから、身近な廃棄物を利用し、土壌に最適な有機石灰を作ることに注目した。しかし、ミカンは成熟するのに時間がかかり、石灰がミカン自体に及ぼす効果を調査できないと判断したため、実験③より目的を変更して研究を行っている。今日、土壌の酸性化が問題化している。ほとんどの植物は酸性土壌では育ちにくいいため、酸度を中和できる市販の苦土石灰を撒くことが多い。また、宇和島市の特産品であるアコヤ貝やカキの貝殻はほとんどが廃棄されている。そのため、廃棄物である貝殻を利用して最も有効な有機石灰を作り、土壌の酸性化を抑えることを目的として本研究を行った。

2 仮説

先行研究より、卵殻やカキ殻は乾燥させてすり潰すことで有機石灰を作ることができると分かっている。また、カキ殻には土壌を酸性からアルカリ性に傾ける役割と、カルシウムを補給する役割があることが分かっており、市販石灰としても販売されている。そこで、カキ殻と同じように90%以上が炭酸カルシウムでできているアコヤ貝も有機石灰として利用することができると考えた。また、家庭ごみとしてよく排出される卵殻も、比較対象とした。

3 研究の方法（実験1）

土壌に、アコヤ貝殻粉末を混ぜて、pH の変化を測定した。市販苦土石灰、市販カキ殻石灰、卵殻を比較対象とした。

(1) 材料

- ・市販苦土石灰 ・市販カキ殻石灰
- ・アコヤ貝殻 (図1) ・卵殻
- ・ミカン山の土壌 (吉田町より採取)
- ・乳鉢 ・乳棒
- ・ピーカー ・土壌テスター (pH 測定器)
- ・ハウレンソウの種 (タキイ種苗)
- ・ネギの種 (アタリヤグループ)

(2) 手順

アコヤ貝殻と卵殻は、乳鉢、乳棒を使って粉状にする(図2)。市販の苦土石灰、卵殻、アコヤ貝殻、市販のカキ殻、卵殻とアコヤ殻とカキ殻を混ぜ合わせたものを、それぞれ1.5gの土壌と混ぜ合わせ、その後ラップをかけて一週間放置した後、pHを測定する(図3)。

同様の試料について、3.0gを水100gに溶かした水溶液を作って土壌に入れ、ラップをかけて一週間放置しpHを測定する。



図1 アコヤ貝殻



図2 アコヤ貝殻・卵殻をすりつぶす



図3 pHの測定

4 結果と考察（実験1）

土壌に各粉末を混ぜて測定した結果を、表1・図4に示した。粉末添加の結果、市販の苦土石灰以外の石灰では、本来ミカンの土壌で使用される石灰に近い pH 値が確認できなかった。しかし、水溶液として添加した場合、ほとんどの土壌を弱酸性に変化させることが出来た。この結果より、アコヤ殻や卵殻も有機石灰としての効果があると考えられる。

表1 土壌への添加による pH 比較

	粉末添加	水溶液添加
アコヤ貝殻	4.5	6.6
市販苦土石灰	6.0	6.6
市販カキ殻石灰	4.6	6.9
卵殻	4.5	6.1
卵殻+カキ殻	4.8	7.1

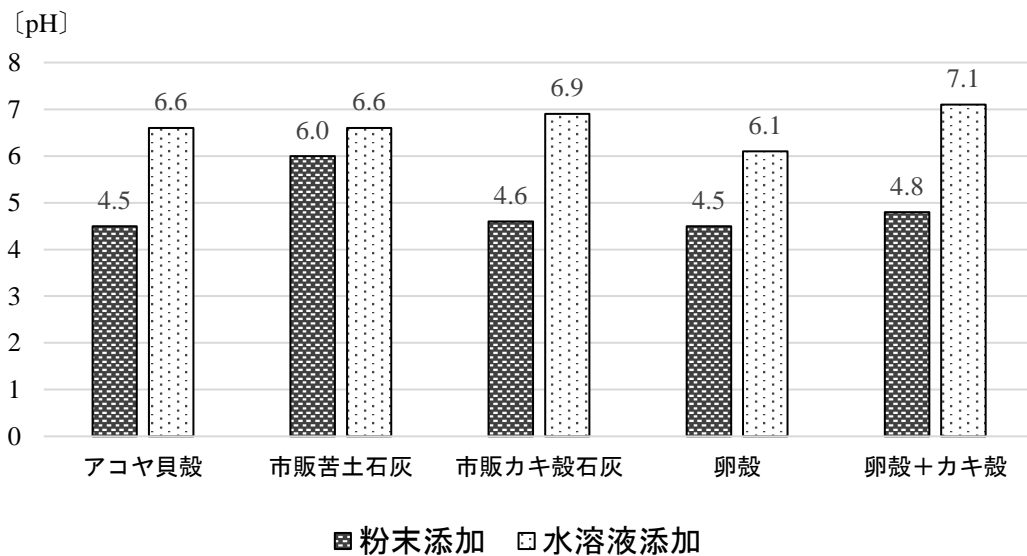


図4 土壌への添加による pH 比較

5 研究の方法（実験2）

(1) 材料

- ・市販苦土石灰
- ・アコヤ貝殻
- ・卵殻
- ・試験管
- ・乳鉢
- ・乳棒
- ・コットン
- ・ノギス
- ・ハウレンソウの種（強力オーライ）
- ・ネギの種（葉ねぎ）

(2) 手順

アコヤ貝殻と卵殻は、乳鉢、乳棒を使って粉状にする。市販の苦土石灰、アコヤ貝殻粉末、卵殻粉末を、それぞれ0.4gを水400mlと混ぜ合わせ、水溶液とする。水またはそれぞれの水溶液を、種が沈まないためのコットンを入れた試験管に15mLずつ注入して、ネギまたはハウレンソウの種を蒔く。それぞれの区画について20本ずつ行い、恒温器内20℃の環境下（**図5**）に4週間おき、茎の伸長（mm）を測定する。



図5 恒温器内の試験管

4 結果と考察（実験2）

茎の伸長を測定した結果を、**表2**および**図6**に示した。卵殻粉末を添加した時の生育が順調であったが、水のみ比べて有意な差は見られなかった。発芽した後の生育状況には、いずれの区画にも差は見られなかった。播種した時に、種子がしっかりと水に浸かっていたかなど、条件が統一できていたかどうか、疑わしい結果となってしまった。しかし、いずれの粉末も、水の結果を上回るものではないので、植物の生育には効果はないと考えられる。

表2 茎の伸長（mm）

	水	市販苦土石灰	卵殻	アコヤ貝殻
6日後	10.8	6.1	14.6	7.9
7日後	15.4	16.0	23.3	15.4
8日後	24.1	17.3	26.1	17.9
21日後	56.1	41.4	56.0	39.8
28日後	52.0	41.2	50.3	46.3

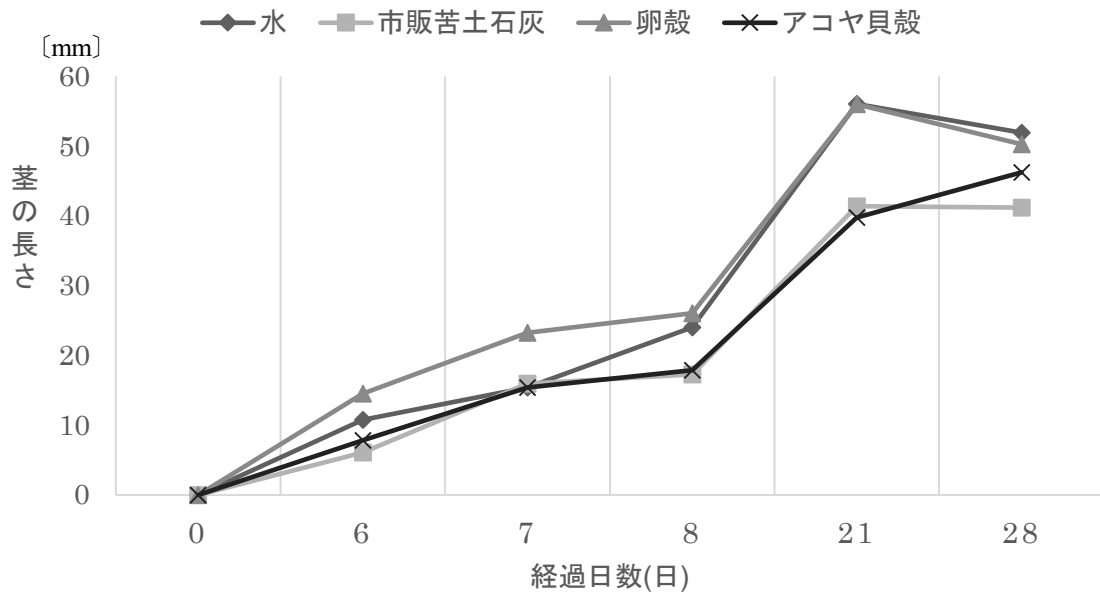


図6 茎の伸長

5 今後の課題とまとめ

本研究より、アコヤ貝殻粉末は、植物の生育そのものへの影響は明確ではないが、土壌改良剤として有効である可能性があることが分かった。しかし、アコヤ貝殻を粉砕するにはコストが高く、廃棄物の有効利用とはいえ採算が取れない、という話がある。今後は、アコヤ貝殻が、どのような形ならば土壌改良に効果的であるか、どのくらいの量が適切か、検討していきたい。また、家庭で排出される卵殻も土壌改良剤として有効である可能性がしめされた。アコヤ貝殻と同様に、家庭で簡単に処理して利用できる方法を検討したい。

参考文献

- ・AGRIPICK HP <https://agripick.com/2046>
- ・BOTANICA HP botanica-media.jp
- ・こんぶろ HP (mapeli.net)

統計情報を用いた南予地域の課題発見

2年4組 赤松 丞 2年4組 大久保響義 2年4組 小西 樂
2年4組 吉田 和誠 2年3組 山本 大斗
指導者 中村 俊貴

1 課題設定の理由

地域の人口流出が深刻化している今、南予地域でも同じように地域の過疎化が進んでいる。そのような過疎化の波をデータサイエンスを用いて多角的に原因を特定し、南予地域の過疎化を解決したいと考え、この課題を設定した。

2 仮説

人口流出や晩婚化が人口減少の原因になっているのではないか。
また、南予地域の魅力低下で若者世代の人口流出が発生し、少子化につながっているのではないか。
また、その子供たちの代でも魅力低下で人口流出が発生するという「負のスパイラル」が発生しているのではないか。

3 研究の方法

(1) 現状と経緯・原因

公共機関のHPなどから集めた統計情報をもとに、地域が抱えている問題の現状と経緯・原因を探り、問題の本質を捉える。

(2) 問題の具体的解決法の模索

発見した問題に対して、実際に同様の状態にある地域や、復興に成功した地域で行われたことを例に挙げ、具体的な解決策を導く。

4 現状と経緯・原因

(1) 現状

電通（グローバル・ビジネス・センター）と電通グループ（電通総研）が行った「サステナブル・ライフスタイル意識調査 2021」によると、日本人が関心を持つ社会課題ランキングでは自然災害に次いで2位が少子高齢化になっている（表1）。

ア 調査1

RESAS（地域経済分析システム）を用いて人口推移の統計を調べ比較する。

表1 日本人が関心のある社会課題

1位	自然災害	57.2%
2位	少子化・高齢化	45.6%
3位	大気汚染	41.6%

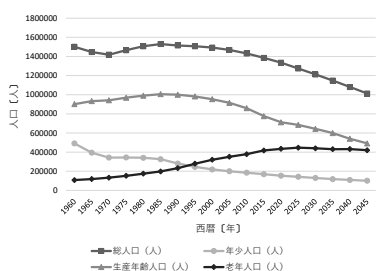


図1 愛媛県の人口推移

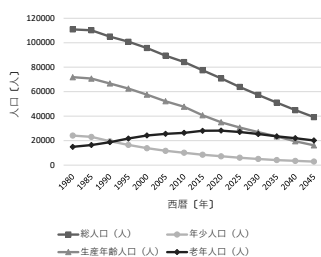


図2 宇和島市の人口推移

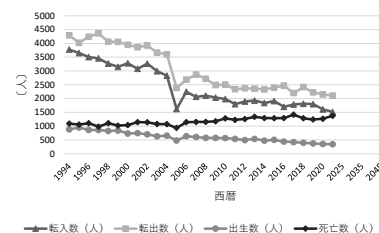


図3 宇和島市の出生数・死亡数 / 転入数・転出数

イ 調査2

晩婚化、結婚願望について調べる

表2 愛媛県の初婚年齢の変化

	昭和 50年	昭和 55年	昭和 60年	平成 2年	平成 7年	平成 12年	平成 17年	平成 19年	平成 20年	平成 21年
夫	26.5	27.3	27.7	27.9	28.0	28.0	29.0	29.0	29.4	29.4
妻	24.3	24.8	25.2	25.6	25.9	26.6	27.4	27.5	27.7	27.9

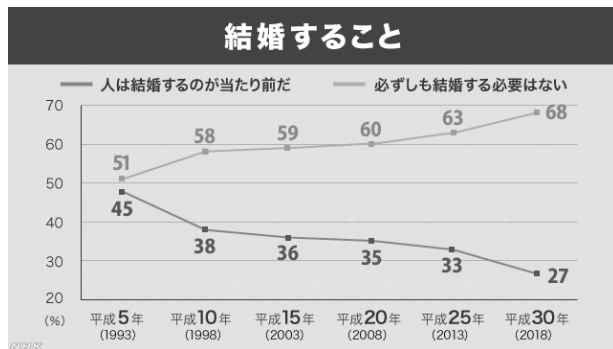


図4 日本人の結婚に対する意識

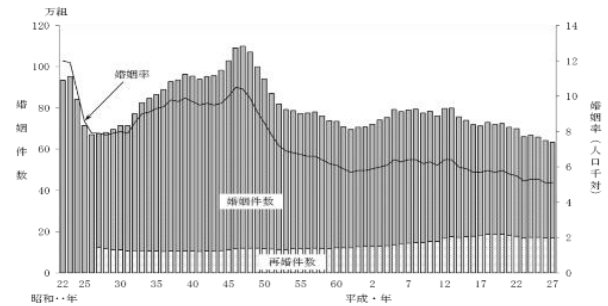


図5 結婚件数と離婚率の年次推移

ウ 調査3

統計から個々の資産の潤沢さを調べる。

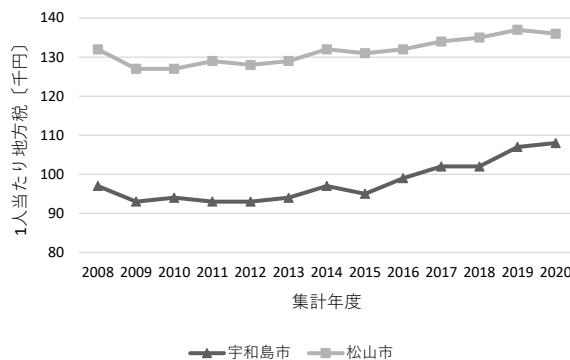


図6 一人当たりの地方税

(2) 考察

調査1の結果、1990年以降愛媛県全体で老年人口が年少人口を上回っていることが分かる(図1)。宇和島市も同様の傾向がある(図2)。また、宇和島市の出生数は年々減少しており、これが少子化に繋がっている。また、出生数が死亡数を大きく下回ることにともな、宇和島市への転入数が転出数より少ないことが人口の急激な減少の原因である(図3)。

調査2の結果、愛媛県民の晩婚化は明らかであり、結婚する必要がないと考えている国民が増加していること(図4)や、結婚件数に対して離婚率がある程度あること(図5)が、少子化の原因になっているといえる。また晩婚化が進む理由としては地方では、都会との収入格差(図6)、全国的には結婚による様々な負担などのデメリットの増加が挙げ

られる。

以上のことから、本研究では就労場所の改善や子育て支援サービスの改善などで外部からの転入数を増やすとともに、地方の課題を解決し地方創生を目指すものとする。

5 問題の具体的解決法の模索

実例をもとに地方創生につながる解決策を模索する。

(1) 廃校跡地の活用

未来へつなごう廃校プロジェクトの活用。

① メリット

- ・補助金が使えて事業開始のハードルが下がることによる新しい産業が進入できる。
- ・ある程度の土地が確保されているため様々な事業に対応できる。
- ・少ない先行投資で使うことのできる施設であるため、建設を最小に抑えることができる。
- ・子育て支援の施設も低価格で作ることができる。

② 活用例

- ・宇和島市津島町にある旧市立浦知小学校跡地を利用した地域の農家を営む女性たちによるカフェ。
- ・他地域 廃校施設活用事例集



写真1 地産地消カフェ「あすも」

(2) スマート農業の導入

① メリット

- ・補助金が出る場合があり事業開始のハードルが下がるため、新しい農業の進入を果たせる。
- ・ICTを活用することで作業の効率化ができ、収入の向上を図れる。
- ・ICT活用により作業が簡素化し、誰でもできるようになる。
- ・宇和島市特有の第一次産業を維持しつつ第三次産業を取り入れることが出来る。

② 活用例

八幡浜市のJAにしうわスマート農業研究会

- ・気象ロボットによる最適管理
- ・アシストスーツによる労働強度軽減
- ・AI選果機による労働力削減
- ・経営、栽培管理の「見える化」

(3) 商店街の活性化

① メリット

地域の商業集積エリアであるとともに、地域コミュニティの拠点としての役割も担っているため、商店街を元気にすることは、地域コミュニティの再生、地域の魅力向上にもつながる。

SDGsの観点からもよい

② 活性化例

- ・福井県の敦賀市商店街連合会では、新型コロナの影響により商店街の

表3 商店街におけるSDGsへの貢献(例)

<https://sdgs.kodansha.co.jp/news/knowledge/38331/>より引用

SDGsのゴール	SDGsへの貢献の例
商品・サービスを売ることでの配慮	
2 飢餓をゼロに	・食品ロスを無くす飲食店
3 すべての人に健康と福祉を	・有機野菜の販売、健康教室の開催
10 人や国の不平等などをなくす	・フェアトレード商品の販売
12 つくる責任・つかう責任	・規格外・リユース商品の販売、脱プラスチック
11 住み続けられるまちづくり	・被災地を支援する商品の販売
14 海の豊かさを守ろう	・地元水産物の地産地消
15 陸の豊かさを守ろう	・地元木材を使った商品の販売
人が訪れ、集まる場所としての配慮	
1 貧困をなくす	・子ども食堂、ホームレス支援
3 すべての人に健康と福祉を	・店舗や街路のバリアフリー化
4 質の高い教育	・中高生・大学生向けのまちゼミ、実習の場
7 エネルギー	・太陽光パネルを設置し、再エネ電気を使う商店街
9 産業と技術革新の基盤	・空き店舗を利用したインキュベーション
11 住み続けられるまちづくり	・防災拠点、熱中症対策としてのクールスポット
13 気候変動対策	・再生可能エネルギー利用によるカーボンゼロ
商店街の関係者への配慮	
4 質の高い教育	・従業員やパートナー企業向けの研修など
5 ジェンダー平等など	・女性が働きやすい販売店・飲食店
8 働きがいと経済成長	・働きやすい職場、雇用の創出
17 パートナリシップ	・地域の生産者との連携・協働

集客が伸び悩むなかで、商店街を回遊する「スタンプラリー」を開催。

- ・岡山県岡山市の奉還町商店街は「ぐるり奉還町」と銘打ち、参加店のレシートを別の参加店に提示すると、サービスや特典を受けられるイベントを実施。
- ・デザイン専門学校とコラボして、商店街をランウェイにした卒業ファッションショーを行う。
- ・商店街ブランド商品の作成も商店街活性化につながると考えられる。

6 結果と考察

これらの要件を満たせば仕事効率化による収入、子育て支援サービスの改善が可能であると考えられる。よって人口減少を止めて地方創生につながると考える。ただし、これらには行政の協力が必要不可欠である。

7 今後の課題とまとめ

より効率的で費用対効果の高い解決方法を考えること、より効率的で費用対効果の高い解決方法を考えること、これらの案をまとめ行政と協力し実現できるよう努力することである。

謝辞

本研究の遂行にあたって、当班の指導者として中村俊貴先生には終始多大なご助言を賜りました。ここに深謝の意を表します。

参考文献

- ・農林水産省 農業新技術活用事例（令和3年度調査）
https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/jirei/smajirei_2019.html
- ・宇和島市 HP 宇和島で農業しませんか？
<https://www.city.uwajima.ehime.jp/info/uwajimanougyou.html>
- ・宇和島市 HP 学校跡地の利活用について
<https://www.city.uwajima.ehime.jp/site/gakkouatoti/>
- ・サステナブル・ライフスタイル・レポート 2021
<https://institute.dentsu.com/articles/2257/>
- ・RESAS 統計マップ
<https://resas.go.jp/>
- ・NHK 第10回「日本人の意識」調査（2018）
https://www.nhk.or.jp/bunken/research/yoron/20190614_1.html
- ・全国商店街支援センター 商店街ニュースより
<https://www.syoutengai-shien.com/syoutengai/nws-5955/>
- ・中小企業庁 奉還町商店街
https://www.chusho.meti.go.jp/shogyo/shogyo/shoutengai77sen/idea/6chuugoku/2_chuugoku_23.html
- ・企業組合津島あぐり工房「あすも」
<https://www.asumo-uwajima.com>
- ・JAにしゅうわスマート農業研究会（愛媛県八幡浜市）
<https://www.affrc.maff.go.jp/R2forum2020/fruit/project52.htm>

貝灰を利用した漆喰の吸音・消臭効果に関する研究

2年3組 西原 万悳 2年3組 二宮 洸太 2年3組 中川 景太
2年3組 河野 右京 2年3組 山口 青航
指導者 松岡 拓哉

1 課題設定の理由

日本では地震や洪水などの自然災害が多く発生しており、愛媛県でも近い将来南海トラフ巨大地震などの大きな自然災害が起きる可能性が非常に高くなっている。しかし、災害時に人々が利用する避難所では、騒音や悪臭といった問題が発生することがあり、快適に過ごすにはまだまだ課題があることを知った。こういった問題を解決するために、私たちは宇和島市で大量に廃棄されている貝殻から作られる貝灰漆喰に目をつけた。

漆喰が持つ吸音効果や消臭効果は、貝殻から作った貝灰漆喰にも現れるのか。また、その漆喰を避難所のパーティションに塗布した際にどれほどの吸音、消臭効果が期待できるのかを検証するため、本課題を設定した。

2 仮説

段ボール箱に貝灰漆喰を塗ることによって、漆喰の多孔質により吸音、消臭効果があるのではないか。避難所のパーティションには段ボールが用いられることが多いので、段ボールに貝灰漆喰を塗ってこれらの効果が期待出来れば、多くの貝灰漆喰段ボールが避難所で利用されるようになり、避難所が少しでも過ごしやすい場所にするのでないか。

3 実験に使用する試料の作成

[漆喰の材料]

- ・麻すさ
- ・銀杏草
- ・アコヤガイ

[漆喰の作り方]

- ①アコヤガイを砕き、電気炉で800℃に設定し10時間焼く。
- ②焼いたアコヤガイと水を混ぜ、消石灰を作る。
- ③銀杏草を沸騰させないように一時間程度煮込む。
- ④実験1でできた貝灰石灰と麻すさを③でできた液体に混ぜる。

漆喰をビニールクロスを貼った段ボールに塗り、5日ほど放置し乾燥させる。

4 実験・研究の方法

<実験1 吸音効果>

[準備物]

- ・貝灰漆喰段ボール箱
- ・段ボール箱
- ・スピーカー

[実験方法]

- ①音波発生ソフト「発音」で出力した音をスピーカーで流す。
- ②貝灰漆喰段ボール箱・段ボール箱で音量測定器を覆った場合と、何も覆わなかった場合で音量を測定して漆喰の吸音効果を測る。
(音の周波数は 150, 500, 1000, 2000, 4000Hz とする。)



図 1 実験 1 の様子①



図 2 実験 1 の様子②

<実験 2 消臭効果>

[準備物]

- ・貝灰漆喰段ボール箱
- ・450 ポリ袋
- ・北川式ガス採取器 AP-20
- ・1%酢酸水溶液
- ・0.1%アンモニア水溶液

[実験方法]

- ①1パーセント酢酸水溶液又は0.1%アンモニア水溶液を450ポリ袋に5ml入れる。
- ②3cm³の漆喰片を加える。
- ③気体検知管(北川式気体検知管 AP-20)で消臭効果を評価する。



図 3 実験 2 の様子

5 結果と考察

(1) 実験1 吸音効果

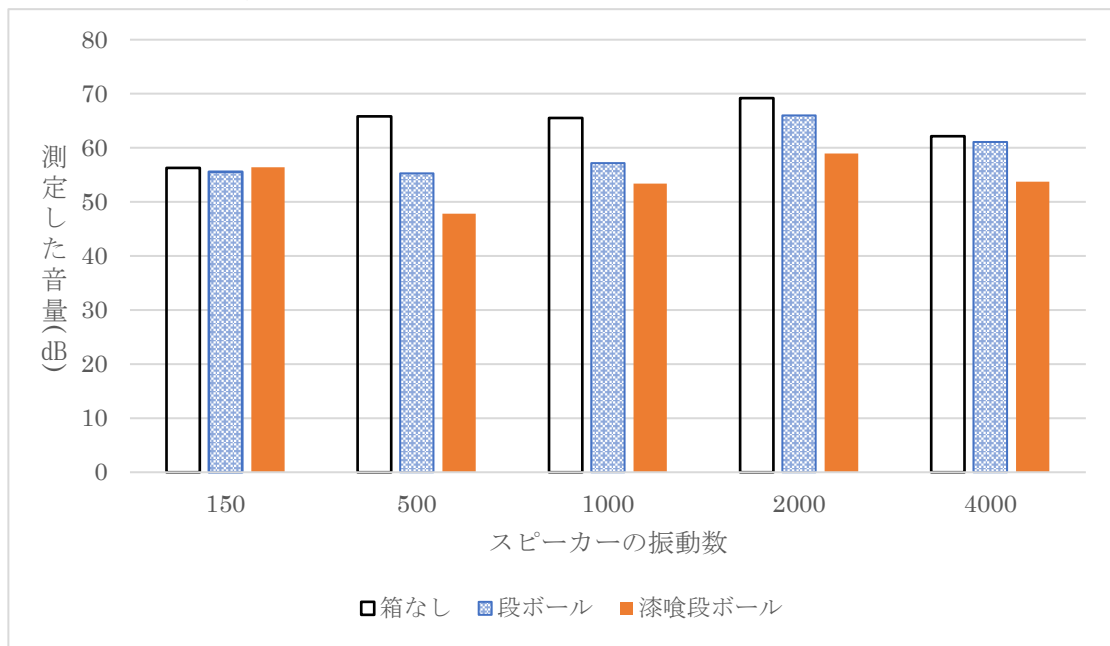


図4 実験1の結果のグラフ

実験1の結果を図4に示す。グラフから、周波数が高い音は漆喰の効果により音量が小さくなることがわかる。一方、150Hz では箱なし、段ボール、漆喰段ボールで違いはほとんど見られなかった。一般的に多孔質材料の吸音周波数特性は中・高音域の音に対して吸音効果が高い特徴があるため、多孔質材料である漆喰にも同じような傾向が現れたのではないかと考えられる。また、低音域側の吸音効果を高めるには空気層を作ることが有効だが、今回の実験において低音域側の吸音効果が段ボールの方が高くなった原因は、段ボールが持つ空気層による影響ではないかと考えた。

(2) 実験2 消臭効果

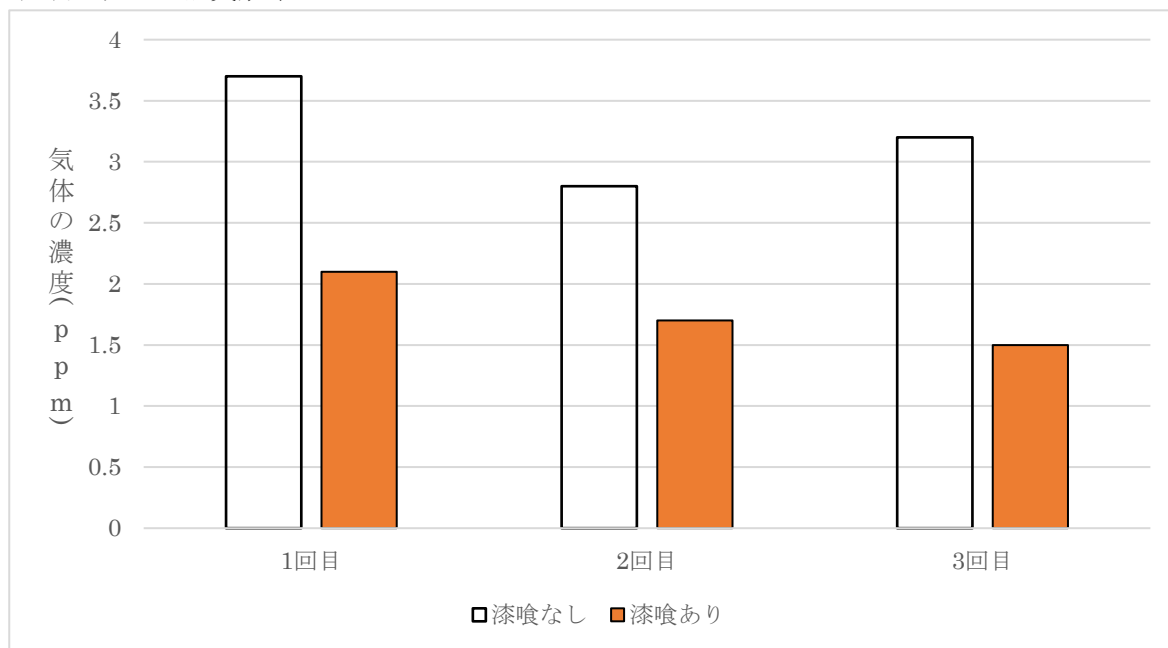


図5 実験2 (酢酸) の結果のグラフ

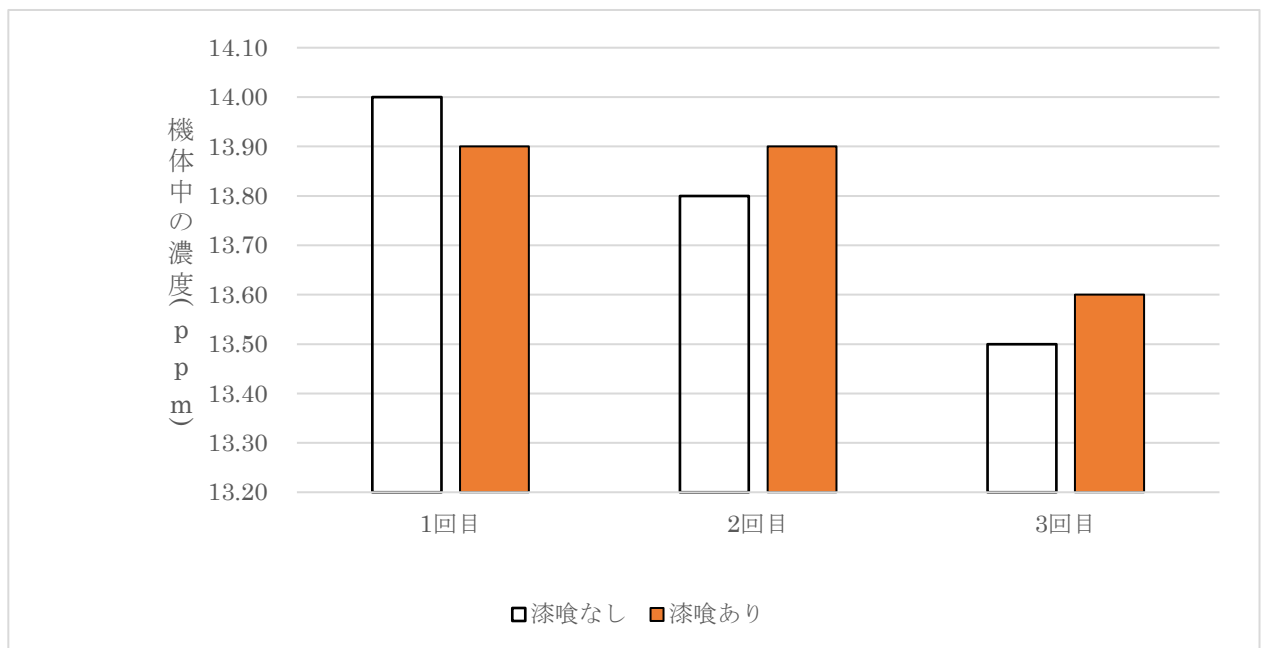


図6 実験2 (アンモニア)の結果のグラフ

実験2の結果を図5, 6に示す。図5から3cm²の漆喰片により袋中の酢酸の値は減少していることがわかる。しかし図6のアンモニアのグラフにはあまり差が見られなかった。この結果から、漆喰は酸性の液体に対しての消臭効果が高く、塩基性の液体に対しての消臭効果が低いと考えられ、その理由は、漆喰の塩基性が、酸性の物質と中和反応を起こすからではないかと考えられる。

6 まとめと今後の課題

実験結果から漆喰には消臭効果と吸音効果が期待できるとわかった。しかし、吸音材だけでは十分な防音効果を得ることは難しいため、今後の研究では、遮音シートなども組み合わせて、より防音効果を高めていきたい。また、今回の実験では、段ボールに均一な厚みで漆喰を塗ることができなかったため、安定したデータがとれなかったのではないかと考えられる。より精度の高い研究を行うため、段ボールに漆喰を塗る方法を見直していきたい。

参考文献

- ・竹内愛花「貝殻焼成カルシウムの消臭効果に関する研究」愛媛大学グローバルサイエンスキャンパス 愛媛県立宇和島東高等学校
- ・漆喰とは？漆喰の基礎知識とメリット・デメリット
https://www.atopico.com/lpo/shikkuibijin/index_02.html

地域の廃棄物を利用した浄化装置とその有効性

2年4組 伊藤 樹生 2年4組 濱見 晴丘

2年3組 兵頭 玲勇 2年3組 松田 流

指導者 林 広樹

1 課題設定の理由

現在、貧困国や発展途上国の多くの国では安全に管理された水を利用することが難しい状況にある。その現状を打破するために簡易的な浄化装置を作成し、きれいな水が作れることを世界に発信することが重要であると考えた。

しかし、既存の浄化装置に使われている活性炭は、原料の加工が特殊であり多大なコストがかかる。さらに現在、地域の廃棄物の増加が問題視されている。

これらを踏まえて、地域の廃棄物を用いて活性炭に代わる有効的な安価で環境に配慮した浄化装置を作成することを目標とした。

2 仮説

活性炭は表面に目に見えないほどの小さな穴が無数に存在する、多孔質の物質である。この穴に臭いや汚れの成分を吸着することで浄化を行うことが出来る。そのため、活性炭に代替する廃棄物には多孔質の物質であるものが適しているのではないかと仮説を立てた。

3 先行研究の調査

炭谷恭彦ら（1999）の研究によると、活性炭を用いた簡易的な浄化装置を製作している。ここで用いられた活性炭は、原料を 200～600℃で炭化したものを用いる。また、大きなごみをとる手段として、洗浄・加熱殺菌した砂の層を用いている。この装置を用いて筆者らが浄化実験を行ったが、水 5.0×10²ml に赤インク 1.0ml を溶かした液体から脱色が可能になった。また、米のとぎ汁（5.0×10²ml）と泥水（5.0×10²ml）はほぼ透明にすることができた。

4 実験方法

(1) 浄化装置について

ペットボトルに、小石、砂、地域の廃棄物を利用した浄化剤、砂利の順番で敷き詰める。（愛媛県農林水産研究所水産研究センター桧垣センター長からの御助言により、ろ材の目が大きいものから順番に、空隙ができないように丁寧に敷き詰めた。）小石（直径 4mm～）、砂（直径 0.25mm～1.0mm）、砂利（直径 1mm～4mm）を用いた。

(2) 用いた濾材について

愛媛県南予地域の廃棄物に着目した。愛南町の海岸線に打ち上げられた死んだサンゴ、真珠の養殖で捨てられた牡蠣殻、軽石を濾材として用いた。また、ろ過の性能の比較のため、先行研究で用いられていた活性炭も濾材として用いた。

(3) 浄化する溶液

泥水（水 1 L に土 1 g を入れたもの）

(4) 浄化能力の評価

- ① 吸光時計により吸光度を測定する。吸光度とは、調べたい溶液に光を射出し、基準となる水と比較する。吸光度の注目箇所を可視光領域にのみ絞った。
 - ② パックテストにより COD、NH₄⁺、NO₂⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、TH を測定する。
- (5) 各ろ材において、1回目の浄化と2回目の浄化後の吸光度を比較する。

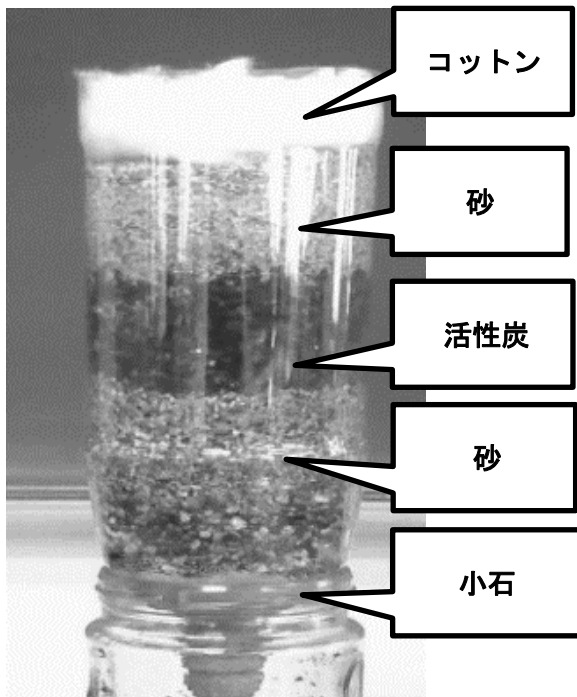


図1 先行研究による炭谷らの浄化装置（濾材：活性炭）

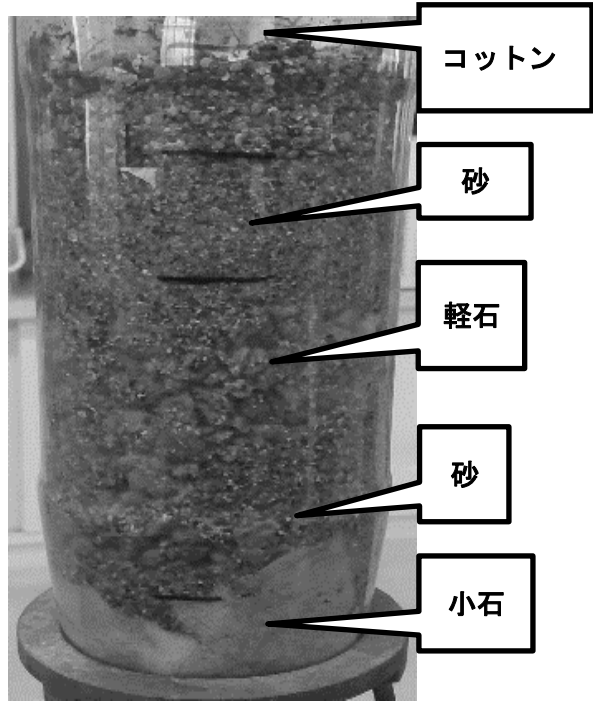
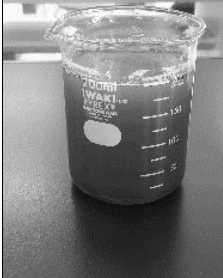






図2 筆者らが考案した浄化装置（濾材：軽石）

5 結果及び考察

(1) 泥水を各ろ材において浄化した見た目の結果

表1 各浄化装置の浄化後の値

濾材	泥水	活性炭	サンゴ礁	牡蠣殻	軽石
泥水と浄化後の泥水の様子					
	浄化前	浄化後	浄化後	浄化後	浄化後
肉眼での透明度の評価	茶色く濁っている	ビーカーの向こう側が見えるほど透明度が高い	黄ばんでいる	黄白色に濁っている	活性炭に劣るが透明度が高い

目視による確認では、活性炭が一番浄化できていることが分かった。また、活性炭には劣るが軽石も透明度が高く浄化能力があるのではないかと考える。

(2) 濾過前後の溶液の吸光度の比較

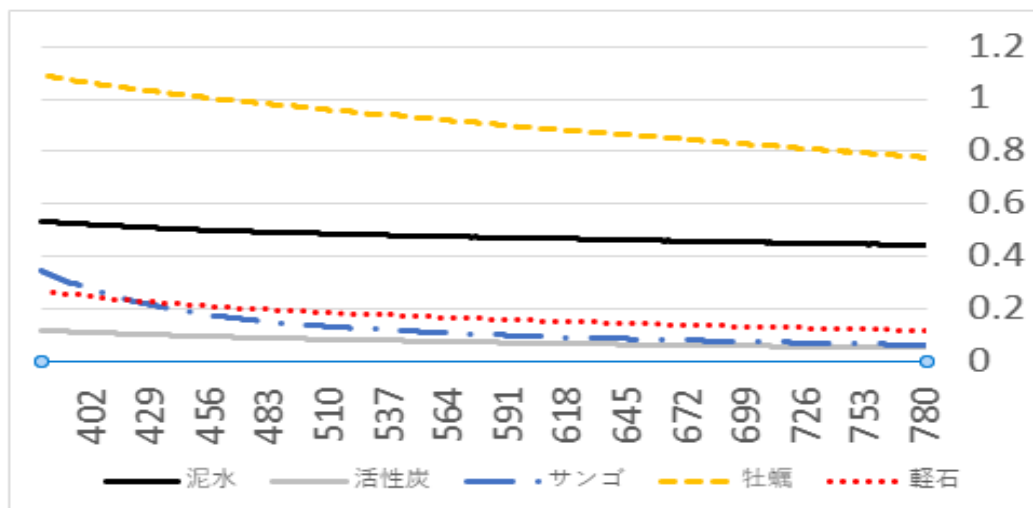


図3 浄化前の泥水と各濾材を用いて浄化した泥水の吸光度の比較

図3に、浄化前の泥水および、活性炭、サンゴ、牡蠣殻、軽石をろ材として浄化した泥水の吸光度の結果を示す。（ここでは、浄化装置を通したものを、浄化した泥水とする。）可視光(400～800nm)において、浄化前の泥水の吸光度に比べ、活性炭、サンゴ、軽石で浄化した場合は、浄化前の泥水よりも吸光度が低い値となった。吸光度が低いということは、泥水に比べて浄化した水の方が、透明でよく光が透過しているということである。よって、活性炭、サンゴ、軽石を用いた浄化装置で泥水を浄化すると透明度を高くすることができた。これは、肉眼で観察しても泥水の濁りが取れ、明らかに透明になっていた。

一方で、牡蠣殻をろ材とした浄化装置で浄化した泥水は吸光度が高くなり、肉眼においても濁っていた。

活性炭とサンゴ、軽石のろ材としての浄化能力を比較した。図3より、活性炭をろ材として用いた浄化装置でろ過した泥水の方が、サンゴ、軽石で浄化したときよりも低い吸光度の値を示した。また、ろ材のサンゴと軽石の比較では、サンゴの方が、吸光度が低くなった。よって、これらのろ材の浄化能力を比較すると、活性炭>サンゴ>軽石>牡蠣殻となり、自分たちが考案した地域の廃棄物の浄化能力は活性炭に比べて劣っていると考えられる。

(3) パックテストの結果

表2 泥水と各濾材で浄化した泥水のパックテストの値

	COD	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	TH
泥水	8	0.05	0.2	0.2	0.05	100
活性炭	6	0.1	0.2	0.5	0.02	50
サンゴ	6	0.05	5	10	1	100
カキ	8以上	0.05	10	1	1.0以上	200
軽石	8	0.05	0.5	0.5	0.05	100

各ろ材を用いて浄化装置で浄化した値を表2に示す。

サンゴの装置を使った浄化において、浄化前のNH₄⁺は0, 2(mg/L)、NO₂⁻は0.05(mg/L)となっているのに対し、浄化後のNH₄⁺は5(mg/L)、NO₂⁻は1(mg/L)と大きくなっている。牡蠣殻に

についても同様の結果となり、 NH_4^+ や NO_2^- の値が上昇しており、有機物が溶けだしていると考えられる。活性炭の装置を使った浄化においては、 NH_4^+ や NO_2^- 値は変化していなかったため、サンゴの成分が溶け出たのではないかと考えられる。

浄化前の NO_3^- は 0.2 (mg/L)、 NH_4^+ は 0.2 (mg/L) だったのに対し、軽石での浄化後は NO_3^- は 0.5 (mg/L)、 NH_4^+ は 0.5 (mg/L) と数値が上昇しているが牡蠣殻と比べるとパケットテストは上昇していない。

よって、サンゴや牡蠣殻をろ材として用いるためには、加熱などによる有機物の除去が必要である。今回の結果では、軽石の方がろ材として有効と考えられる。

(4) 軽石における1回目の浄化と2回目の浄化の比較

浄化層を繰り返し通すことで、より汚水が浄化されると考えられる。そこで、軽石の浄化1回目と、2回目の吸光度を比較した。1回目の浄化は、浄化前の吸光度とほぼ同じ値であったが、2回目の浄化では吸光度が大きく減少した。他のろ材においても同様の結果となった。よって、繰り返し、浄化装置を通すことは有効であると考えられる。

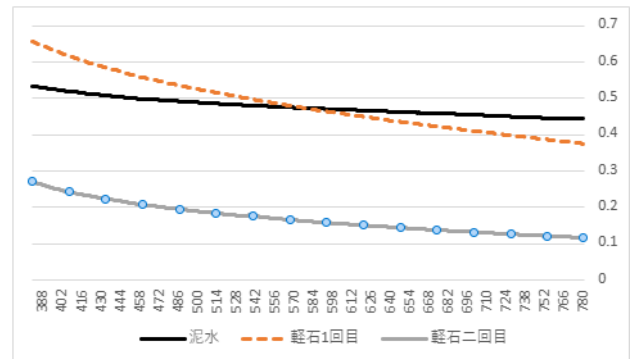


図6 軽石を用いた浄化装置の吸光度の値

6 結論

今回の実験を通して、サンゴ礁や軽石は浄化には向かないことが明らかになった。牡蠣殻で浄化した場合、パケットテストの上昇などから、牡蠣殻の成分が浄化の際に流れ出たと考えられる。軽石においてパケットテストの値があまり変化しなかったため、軽石は活性炭の代わりに浄化材として使用できると考えられる。

7 今後の展望

浄化装置の改善案

(1) 効率的な大きさの浄化装置の考案

今回の実験では、一度に多くの水を浄化することができなかった。そのため、効率良く浄化することのできる適度な大きさの浄化装置を作成する必要がある。

(2) 水質を改善できる新たな浄化材を探す

今回の実験で見たいは改善することができたが、水質については未だ改善できていない現状にある。そのため、新たな浄化材を探し、水質の改善に焦点を置く必要がある。

参考文献

- ・炭谷恭彦 (1999) ペットボトルを用いる簡易浄化器とその性能
- ・袋昭太、島田義彦 (2005) 牡蠣殻を利用した水環境改善技術の開発牡蠣殻覆砂工法および牡蠣殻フィルター工法
- ・竹村美紀 (1998) 四万十川方式による水浄化システムの評価

粘着力測定板の作製とレシピ開発

2年3組 岡原 未旺 2年3組 谷口 理名
2年3組 長谷 はな 2年3組 田原 里南
指導者 谷田 美穂子

1 課題設定の理由

私たちは誤嚥を防ぎ、解決する方法を研究したいと考えた。そこで、まず市立宇和島病院にインタビューに行った。その結果、現在とろみ測定板はあるが、介護食のもう1つの課題である「粘着力」について調べることができるものがあれば誤嚥を防ぐことができるとアドバイスをいただいた。このインタビューをもとに粘着力測定板の作製と、患者さんにおいしい介護食を提供するために嚥下食のレシピ開発を行うことにした。

2 仮説

誤嚥を防ぐためには、粘着力について研究し粘着力測定板を作製したら良いと考えた。

3 研究の方法

(1) 粘着力測定板の作製

ア 材料の購入

アクリルサンデーEX板、エコロジープラスチック、アクリルサンデー板、銅、アルミ、ステンレス、デコパネを購入。

イ 粘着力測定板の作製

① 試作1

- ・段ボールを縦45cm、横22.5cmの長方形に切り分ける。
- ・教師用コンパスを使用して半径22.5cmの扇形に切る。(2個)
- ・扇形の段ボールに分度器を用いて10度から90度の印をつけ線を引く。
- ・縦45cm、横30cmの長方形の段ボールを2個切り取り、土台を作る。
- ・扇形と長方形の段ボールをガムテープで貼り付ける。

② 試作2

- ・試作1は手で板を動かすと正確な角度で計測が出来ないことが分かった。正確な角度で計測するためにストッパーを付けることにした。
- ・試作1と同様に扇形と長方形のダンボールを作製する。
- ・扇形ダンボールのメモリ部分に板を支えられる幅のストッパーを作製し付ける。

③ 試作1・2をもとに粘着力測定板を作製

- ・アクリルサンデーEXを縦45cm、横22.5cmの長方形に切り分ける。
- ・教師用コンパスを使用して半径22.5cmの扇形に切る。(2個)
- ・分度器を用いて扇形のアクリルサンデーEXに10度から90度の印をつけ線を引く。
- ・アクリルサンデーEXを縦45cm、横30cmの長方形を2つ切り取り、土台を作る。
- ・形と長方形のアクリルサンデーEXをアクリル樹脂用接着剤で貼り付ける。

(2) 実験の方法

宇和島市立病院の栄養科の方からいただいた嚥下食情報誌「まんさいくん」を参考にして、嚥下食を選び、実際に調理して私たちが作製した粘着力測定板を用いて実験を行う。料理を選ぶときに着目するのは、スベラカーゼやソフティアGを用いているか確認する。

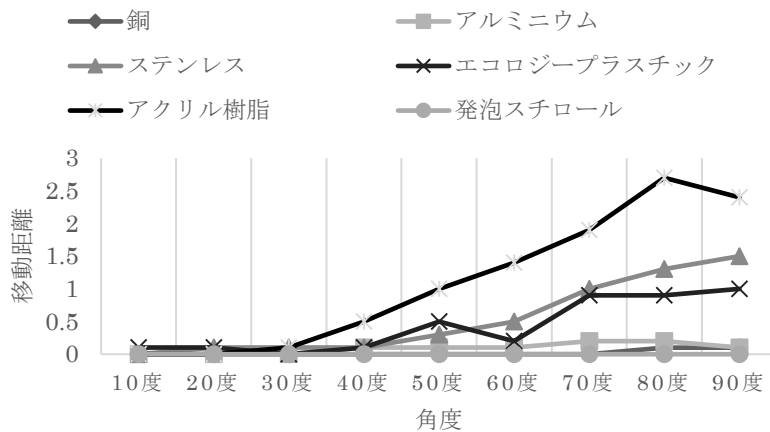


図3では、発砲スチロールでは変化が見られなかった。1番変化が見られたのは、アクリル樹脂だった。また、最初に変化が見られたのはエコロジープラスチックだった。

図3 板の種類と角度の違いによる鶏肉の照り煮の移動距離

これらの実験より、板の種類と移動距離には摩擦が関係していると考えられる。それぞれの板の摩擦係数は表4のとおりである。表4から、ステンレスとエコロジープラスチック、アクリル樹脂の摩擦係数は比較的小さいことが分かる。これらの板では物質の移動距離の変化が大きく、摩擦係数が小さいほど物質の移動距離は大きくなる。一方、図1ではアクリル樹脂とステンレスにだけ変化が見られた。摩擦力の大きさは、板の状態と接触している物質の2つの要素で決まるため、粘着力を正確に測定的ためには物質の種類による摩擦力も考慮しなければならないといえる。

表4 板の摩擦係数

銅	0.46
アルミニウム	0.82
ステンレス	0.16
エコロジープラスチック	0.35
アクリル樹脂	0.38
発砲スチロール	0.47

また、3回の実験すべてにおいて、角度と移動距離に誤差が生じた。原因として、物質を置いた板を粘着力測定板に設置する際の振動や物質と板が触れる面積や質量に誤差があったことがあげられる。

5 嚙下食のレシピ開発

嚙下食を必要とする方は食べられるものが限られることを知り、地元の食材を使って宇和島ならではの嚙下食を作りたいと考えた。宇和島市の郷土料理である「鯛めし」や「さつま汁」などを嚙下食として開発したい。食べることへの楽しみや嬉しさを感じることができると仮説を立てた。そして、宇和島嚙下食としてブランド化することで宇和島市の活性化を図りたい。

6 今後の課題とまとめ

粘着力測定板の作製では、使用した板のほとんどにデータのばらつきがみられた。その中でもっともよいデータがみられたのはアクリル樹脂であった。この結果をもとに今後はアクリル樹脂を使用していかにデータの誤差を減らすかが大きな課題になると考えた。

謝辞

本論分の作成にあたり、宇和島市立病院様にご指導ご鞭撻を賜りました。感謝申し上げます。

参考文献

- ・市立宇和島病院 嚙下職情報誌「まんさいくん」
- ・プラスチック材料の【摩擦・摩耗性】
- ・嚙下食ドットコム

バイオエタノールの生成

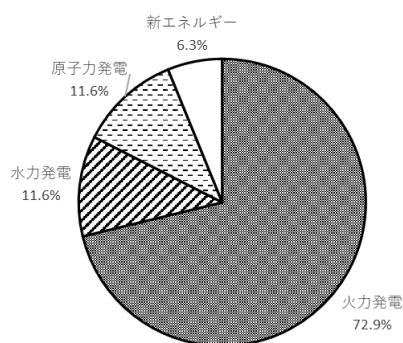
2年3組 岩本 達也 2年3組 後島 隼輔 2年3組 江里口 爽太
 2年3組 清家 佳樹 2年3組 三瀬 陽大
 指導者 林 広樹

1 課題設定の理由

現在、日本では電力の約70%が火力発電によって賄われている。2011年以降の原子力発電の大幅減少により2000年には全体の55.5%であった火力発電の割合が2021年には全体の72.9%と大幅に増加している。その火力発電に使われている燃料が、石油、石炭、LGN（液化天然ガス）である。しかし、それらの燃料はそれぞれ、石油は約54年、石炭は約139年、LGNは約49年で枯渇すると考えられている。（2020年末統計）

そこで期待されているのが新エネルギーによる発電であるが、それらの割合も現時点では全体の1割にも満たない数値となっている。私たちはその中でも特にバイオマス発電に着目した。バイオマスとは動植物などから生まれた生物資源の総称のことを指し、その種類は幅広く、木質系や農業・畜産・水産系、建築廃材系、生活系などさまざまである。こうした生物資源を直接燃やしたり、ガス状の成分に変換（ガス化）して燃やしたりしてタービンを回し、発電機を稼働させて電気を作るのが、バイオマス発電の仕組みだ。

そこで私たちはバイオエタノールの生成を目的とし、全世界で年間約1億4000万トン、日本では年間約160万トンも発生しその一部を焼却処理されているもみ殻を利用できないかと考え、課題を設定した。



電源種	メリット	デメリット	経済性	調達の柔軟性	環境性
石油	・貯蔵がしやすい	・価格が高く、変動も大きい ・中東依存が高い	△	◎	○
石炭	・資源量が豊富 ・調達先が石油に比べ分散している ・低価格で安定している	・CO ₂ の排出量が多い	◎	○	△
天然ガス	・調達先が石油に比べ分散している ・CO ₂ の排出量が少ない ・供給が安定している	・インフラ整備が必要 ・価格が高め ・貯蔵、輸送が難しい	○	△	◎

図1 日本の発電量の割合 (2022年度)

図2 燃料ごとの主なメリットとデメリット

2 仮説

私たちは、三間町の特産物である三間米のもみ殻を用いて、バイオエタノールが作れるのではあるのではないかと考えた。もみ殻中の成分比率（図3）は、80%弱がセルロースなどの有機物であり、残りの20%強は無機物で構成されている。そのため、セルロースやセルロースの細胞間を埋めているペクチン質をセルラーゼやペクチナーゼを利用し糖化させ、その糖を用いて発酵を行えばエタノールの生成ができるのではないかと考える。

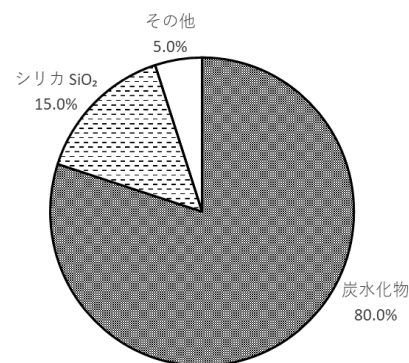


図3 もみ殻の成分割合

また、そのエタノールの生成に成功したとき、少量のバイオエタノールではあるが、地球にやさ

しいエネルギー資源になるのではないかと考えた。ここで専用の機械を用いて、そのバイオエタノールによって機械が動くことを目標とする。

3 研究の方法

(1) バイオエタノールの生成・蒸留

玄米、もみ殻を用いて生成を行う。

① 玄米 100g を炊き、それを潰した後、酵母菌 3.0g、水 200mL を加える。(図4、5)



図4 玄米を炊いている様子



図5 潰した玄米に酵母と水を添加した様子

② もみ殻 10g を茹で、酵母菌 3.0g、セルラーゼ 0.10g、水 200mL を加える。(図6、7)

③ もみ殻 10g を茹で、酵母菌 3.0g、セルラーゼ 0.10g、ペクチナーゼ 0.10g、水 200mL を加える。(図8)

これらの溶液を以降、溶液①、溶液②、溶液③と記載する。



図6 もみ殻を茹でている様子

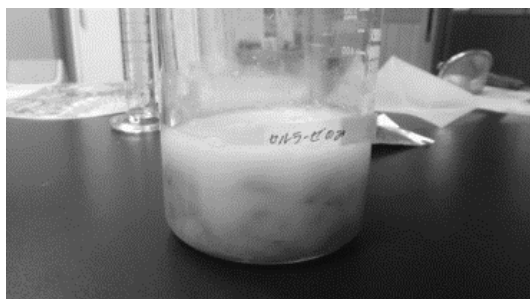


図7 セルラーゼを入れた溶液

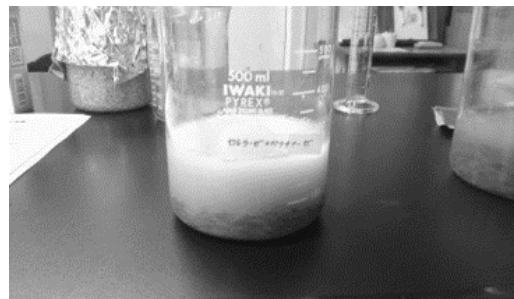


図8 セルラーゼとペクチナーゼを入れた溶液

④ ①～③の溶液を恒温機で 40°C に保ち、一週間程度アルコール発酵させる。

⑤ 生成されたバイオエタノールを、①～③の溶液から蒸留を行って取り出す。(図9)

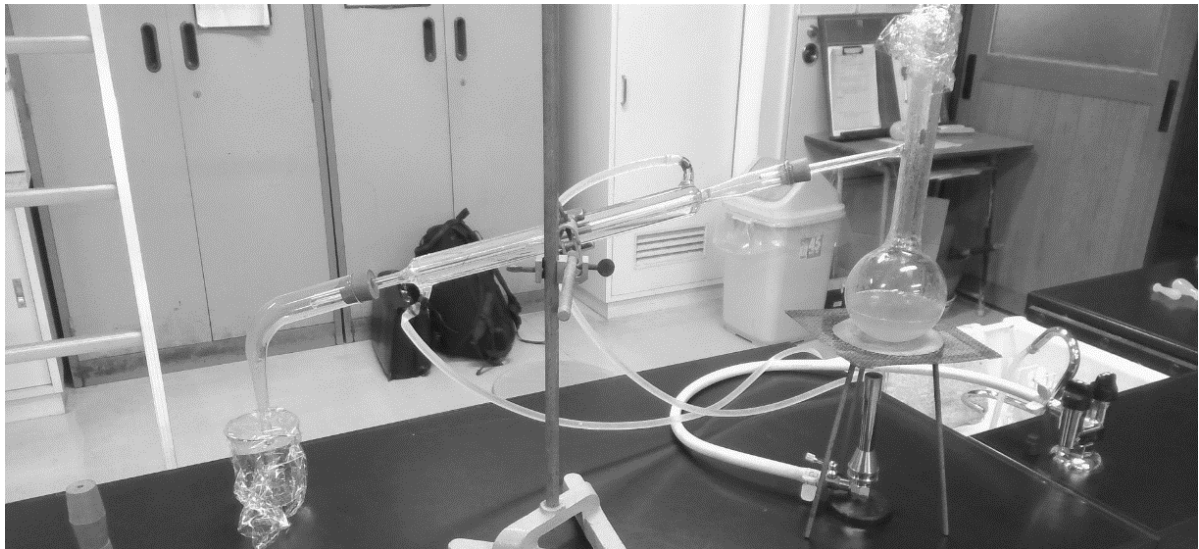


図9 蒸留の様子

(2) エタノールの確認

ア ヨードホルム反応による確認

濃度を高めた溶液とヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を1:1で混ぜ合わせる。(図10)そこにNaOHをLの褐色が消えるまで加え(図11)、60~70°Cのお湯で湯銭する。そして、特有の臭気をもつヨードホルム CHI_3 の黄色結晶が生じるかを調べる(図12)。

イ 燃焼による確認

生成したエタノールを少量、時計皿に取り、マッチを用いて火が付くかを調べる。

4 結果

(1) バイオエタノールの生成・蒸留の結果

溶液①、②、③(3研究の方法で記載)それぞれからとても強い腐敗した臭いが確認された。また、溶液③のものからはカビが発生していた。溶液①~③いずれもリービッヒ冷却器を用いて蒸留すると、それぞれから液体を分離することができた。

(2) (1)の液体がエタノールであることの確認

ア ヨードホルム反応

(1)の液体①、②、③はヨードホルム反応を示し、ヨードホルムの結晶を微量であるが確認することができた。

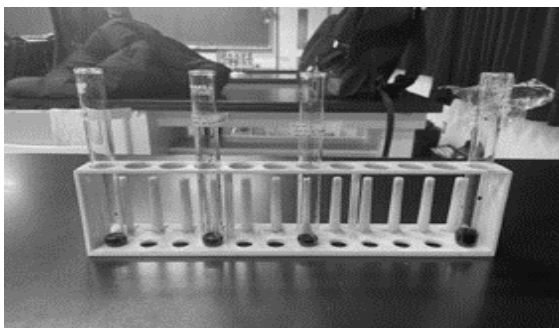


図10 ヨウ素とエタノールの混合液

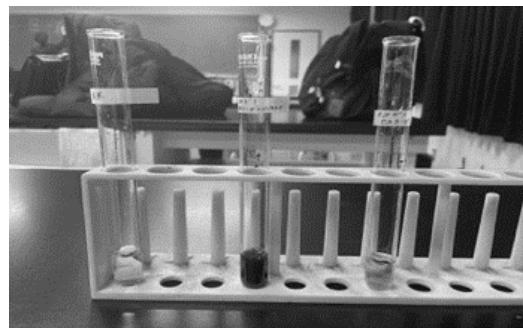


図11 NaOHを加えた様子

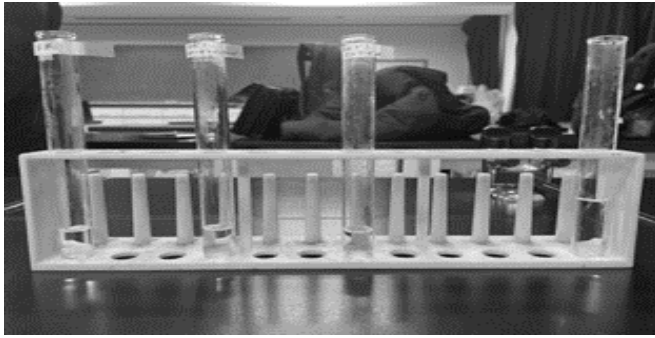


図 12 湯銭後の結晶を確認している様子

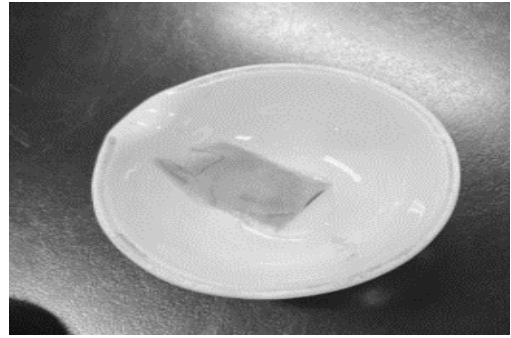


図 13 燃焼実験の様子

イ 燃焼による確認 (図 13)

(1)で得られた液体がエタノールであることを確認するために、マッチで液体が燃焼するか確認した。しかし、①～③の溶液でいずれも燃焼を確認することができなかった。理由としては、収量が少なかったためだと考える。

5 考察

溶液①について、玄米からバイオエタノールが収集することができる。溶液②、③の結果から、もみ殻からは、ペクチナーゼを用いても、用いなくてもバイオエタノールを収集することができる。ただし、収量は少量であり、燃焼を起こすほどの溶液は得られなかった。バイオエタノールを生成するための材料にかかるコストを考えても、収量を増やすことが重要である。

6 結論

玄米ともみ殻からバイオエタノールを生成することができる。しかし、十分な収量を得ることができなかった。

7 今後の課題とまとめ

今後の課題としては、生成するエタノールの収量を増やすこと。そのために、蒸留の時間を長くし、回数を増やすなどの工夫を行う。

参考文献

- ・近藤ほか(2017):「バイオエタノールを用いた燃料電池の研究」『平成 28 年度 SSH 生徒課題研究論文集』愛媛県立宇和島東高等学校, 9,10
- ・豊田ほか(2018):「竹からバイオエタノールをつくる」『平成 29 年度 SSH 生徒課題研究論文集』愛媛県立宇和島東高等学校, 129-132