

海洋研究紀要

2024

里海の聖地、岡山県備前市日生町

1年次にアマモ場再生活動、

2年次に牡蠣養殖体験に取り組む

人手を加えることによって物質生産性が高められる

生態系としての里海の恵みを実感する

コース所属生徒全員が課題を設定し

研究に挑む

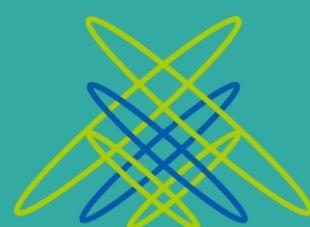
個性豊かな 13 研究

海洋研究、新たなる探究へ

第 4 号

岡山学芸館高等学校

医進サイエンスコース 14 期生



目次

アルテミアの走光性について	赤田琉衣	2
アマモ種子長期保存の可能性について アマモ場再生活動に向けて	竹林稜空 前田遼 濱田千聖	6
アマモ肥料が小松菜の成長と土壤に与える影響	西村悟志 平田匠	9
おうちで手軽にコラーゲン 廃棄される鱗の有効活用	松岡安仁 藤井美緒	12
カニの鉄脚を構造面から紐解く	中田彩天	16
クロロフィルによる油分解	黒川翔太 岡邊真心	19
ヒトデと牡蠣殻の利用可能性	濱田朱花莉 石田奈々恵	22
牡蠣殻を用いた酸化カルシウムの生成	江口大希 戸田育志	25
速醸魚醤と発酵時間の関係	井上鼓動	28
廃棄海藻をバイオプラスチックに再資源化！海藻プラスチックの可能性	濱田眞帆 神谷凪穂	30
鱗の新しい活用法について 鱗からプラスチック・和紙の作製	平賀仁 山本修也 大橋汰雅 鄭凱峻	35
メタンハイドレートからエネルギーの利益が得られるのかのフェルミ推定	佐藤裕弥	38
弾性圧電デバイスを用いた海洋エネルギーの有効活用	原樹 天谷涼佑	41
岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース 14期生 海洋研究		45

海洋研究紀要 2024

アルテミアの走光性について

赤田 琉衣^{†1}

アルテミア (*Artemia saline*) は塩湖や乾燥した環境に生息するエビの仲間であり、特に稚魚の飼料やアルテミアに薬を含ませて稚魚に与えることで、経口投与剤としても利用されている。孵化時には体長1mm程度であり、光に対して反応する、すなわち走光性という性質を持っている。幼生時には光に向かって移動する正の走光性を示し、成体になるにつれて光から逃れる負の走光性に変化することが確認されている。このような走光性の変化は、アルテミアの成長過程における興味深い現象である。そこで、幼少期の間にも行動に変化がみられるのではないかと考え、成長につれてどのように動きが変化していくのかについて研究を行い、孵化直後から数日間における光に対する反応の変化を記録、解析することを目的とした。まず、光を当てていない状態(300lux, キッチンの照明込み)で撮影を行い、光を当てた時と比較を行おうと考えた。光は白色光を上側、左側から水槽に当て、毎日同時刻に3分間動画を撮影し、アルテミアの動きを記録した。また上側に関しては、赤色光、青色光も加えて撮影を行った。実験の結果、孵化直後から4日分のデータが得られ、1,2日目では、白色光を照射するとアルテミアが円を描く動きをすることが分かった。一方、同日であっても、青色光照射時には、円を描く動きをする個体が一部見られ、赤色光照射時にはそのような動きをする個体が確認されなかった。考察として、光の色がアルテミアの行動に関係しているのではないかと考えた。また、3,4日目では円を描く行動は見られず、細かい動きに変化し、1,2日目と比較すると動きに顕著な変化があることがわかつた。さらに、用いたグラフが数学的な分布と一致するか検証したところ、ガンマ分布と一致することが分かった。このことから、アルテミアの行動はガンマ分布に依存することが示唆された。今後は、検体数を増やすことや、4日以降の運動の変化、また今回の動きが再度確認されるかどうか実験を重ね、正確性を高めていくことが必要である。

キーワード: アルテミア、走光性、光の色、ガンマ分布

1. 研究背景

アルテミアに関する研究の中で、光の波長、様々な光照度での走光性の変化や、正の走光性や負の走光性に焦点を当てた研究実験が報告されてきた^{①②}。しかし、個体差や幼少期における行動の変化に特化した研究は報告されていない。このギャップに着目することで、特にアルテミアの個体やその幼少期における動きの変化についての新たな発見があるのではないかと考え、本研究に至った。従来の研究が光の強さや走光性に注目している一方で、個体や幼少期の成長過程における動きの違いについては未解明な点が多く、この領域におけるさらなる知見が期待される。

2. 予備実験

2.1 方法

アルテミア孵化に適する海水の塩分を調べるために、水温25°Cに統一し、塩分を変え、孵化率を調べた。塩分は、3%, 4%, 8%, 10%, 20%, 25%で検証を行った。

2.2 結果

塩分3%のとき、孵化率が50%と最も高いという結果が得られた(表1)。

表1 塩分の違いにおけるアルテミア孵化率

塩分 (%)	孵化率 (%)
3	50
4	40
8	35
10	10
20	0
25	0

3. アルテミア走光性に関する実験

予備実験をもとに塩分3%で、走光性の実験を行った。

3.1 材料と方法

本研究は図1に示すアルテミアのキット(学研 おばけえびすいすい水族館)を購入し、アルテミアの飼育を行った。キットの内容物は、おばけえび(アルテミア)の卵、えさ、飼育ケース、スポット、ようじ、海の水のもと(塩)、飼育ケースに乗せるふた、飼育ケースに付ける脚である。なお、以下より飼育ケースは水槽と呼ぶ。

水槽(キット内容物)に水道水400mlと食塩12gを入れ、3%の食塩水を作る。食塩が見えなくなるまで混ぜ一日置き、カルキ抜きを行う。水温は25°Cにしておく。夏場はクーラー、冬場はペット用のヒーターを水槽の下に置き、温度を安定させた。なお、水槽(キット内容物)は内寸が高さ12.5cm、横15cm、奥行き3cmのプラスチック製である。

^{†1} Okayama Gakugeikan High school



図1 アルテミアのキット及び内容物

翌日(午後8時),アルテミアの卵(キット内容物)を30個水槽に入れた。卵を入れてから約2日後,3~4匹孵化がみられると実験を行った。

アルテミアの走光性の変化について調べるために,2024年11月12日~2024年11月15日の期間で,毎日午後8時30分頃からスマートフォンで3分間撮影を行った。実験は,初めに光を当てていない状態(300lx,キッチンの照明込み,水温25°C)で撮影を行い,そのデータを通常時とし,光照射時との走光性の違いを比較した。光の種類としては,白色光(LEDライト,GENTOS,680ルーメン)赤色光,青色光である。赤色光,青色光は白色光にそれぞれ赤色のセロハン,青色のセロハンを巻いて光の色を変えた。また光を当てる方向としては,水槽の上側,左側の2種類とした。これらについて,以下の順番で光を照射した。通常時3分,白色光上側3分,赤色光上側3分,青色光上側3分,白色光横側3分である。それぞれ5分,間隔をあけてから次の撮影を行った。

なお,光を当てた直後から計測を開始し,撮影時には,図2のように水槽の後ろに黒いファイル(プラスチック製)を,観測用の携帯の手前には,黒い画用紙を置く。この操作によって,小さなアルテミアをカメラ上で見やすくすることができ,部屋の光が水槽に反射することも防ぐことができる。これは全てのパターンにおいて共通である。



図2 走光性実験撮影装置

水面から光源までの距離は,10.5cmとなるように設定した。撮影した動画の中からアルテミアを1~3匹ランダムで抽出し,

tracerを用いてアルテミアの動きをトラッキングした。その後,エクセルを用い,軌跡を出しアルテミアの動きを比較した。

アルテミアの飼育方法³⁾は,孵化してから1日後におばけえびのえさ(キット内容物)を与え,そこから3日間隔で同じものを与えた。

3.2 仮説

光を照射の有無で,アルテミアの動きに変化がみられるのではないか。

3.3 結果

孵化直後を1日目として4日目までのアルテミアの動きを記録することができた。

得られたデータから,光の有無による運動の違いとして,1日目の様子を例にあげる。ここでは,実際の軌跡とともにグラフの読み取りを行った。光を照射していないときと白色光を照射したときでは動きに顕著な差があることが読み取れた(図3,図4,図5)。また,白色光照射時には円を描くような動きになり,その後光を当てた方向に向かって動く,正の走光性を示す運動をすることが確認された。なお,赤丸は運動開始点,黄色丸は運動終了点を表している。

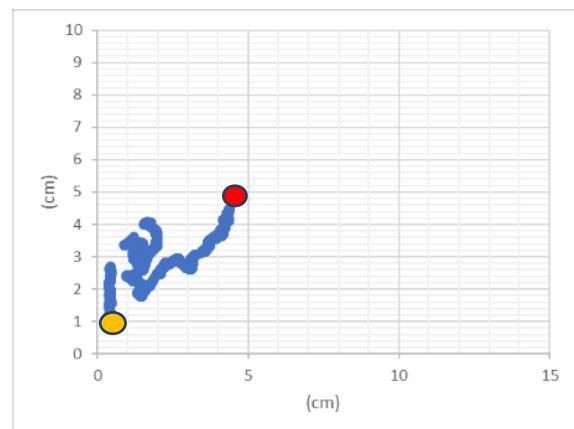


図3 照射なしの軌跡

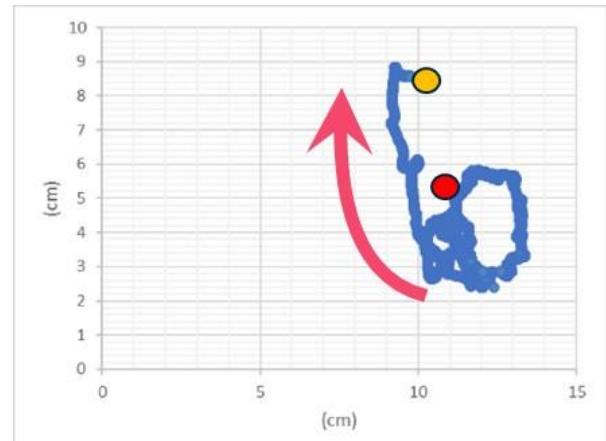


図4 上から白色光照射時の軌跡

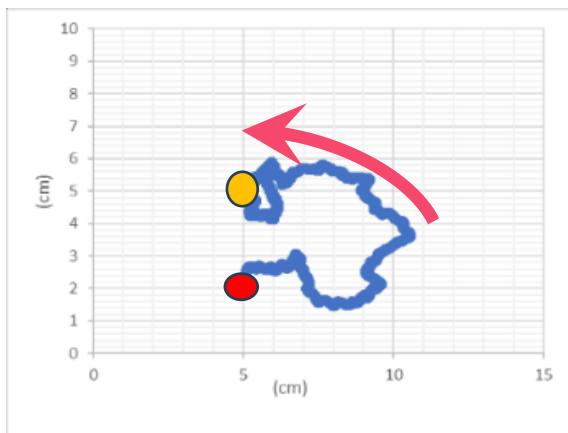


図 5 左から白色光照射時の軌跡

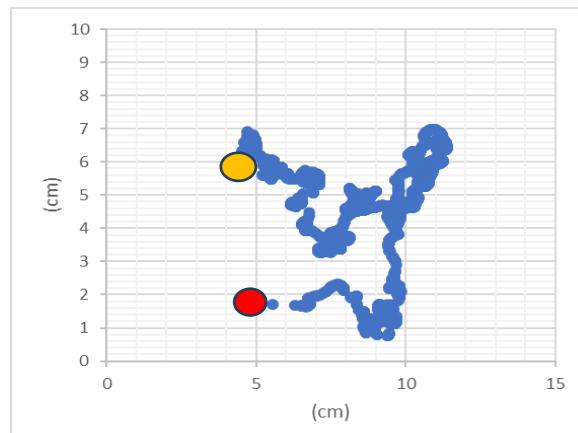


図 8 照射なしの軌跡

しかし、同じ条件下であっても赤色光、青色光照射時には、動きが異なっていた(図 6、図 7)。他の個体も確認したところ、青色照射時には円を描く動きをした個体が一部見られ、赤色照射時にはそのような動きをした個体が全く見られなかった。

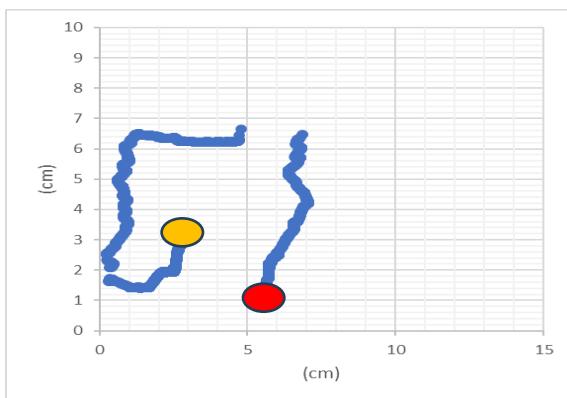


図 6 上から青色光照射時の軌跡

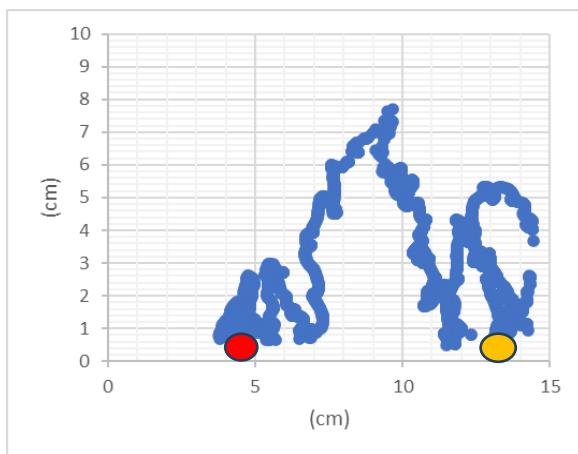


図 9 上から白色光照射時の軌跡

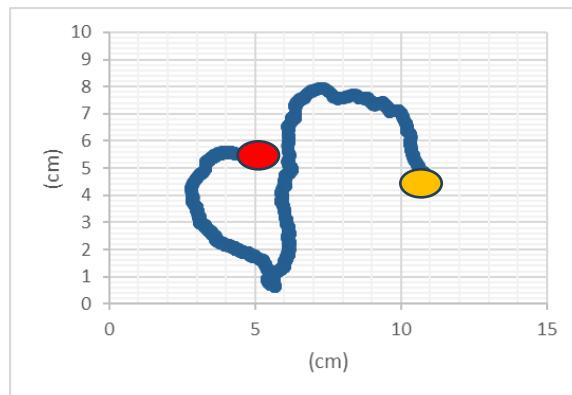


図 7 上から赤色光照射時の軌跡

2日目までは白色光照射時に円を描く動きが見られたが、3日目から動きに大きな変化が見られた(図 8、図 9、図 10)。

1日目の軌跡とは異なり、細かい動きが増加したことが見られた。この軌跡は3日のものである。

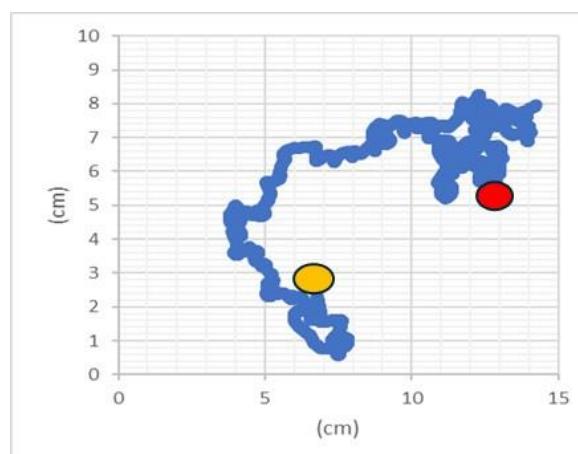


図 10 左から白色光照射時の軌跡

移動距離とその頻度を日数ごとに比較した(図 11)。1,2日目、3,4日目では動きに差があることがこの図からも明らかとなった。ここでは上から白色光照射時のデータを比較している。

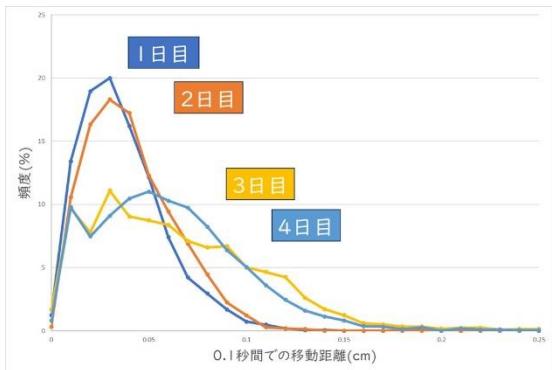


図 11 移動距離と頻度の折れ線グラフ

3.4 考察

光照射時に円を描く動きは、アルテミアが進行方向を決定する際に、迷う行動を示しているのではないか。先行研究⁴⁾によると、さまざまな色の光を照射した場合、紫色光(380nm～430nm)照射時が最も走光性が強いことが明らかになっていた。このことから、紫色光の波長に近い青色光(460nm～500nm)照射時には回る動きが見られ、その波長から離れている赤色光(610nm～780nm)では回る動きが見られなかつたのではないかと考察した。また紫色光を含むとされる白色光ではすべての個体が回っていた。さらに、図 11 のグラフが数学的な分布と一致するのか検証を行った結果、ガンマ分布と一致することが分かった(図 12、図 13)。1 日目では $\alpha=3, \beta=1/74$ のときに、3 日目では $\alpha=2, \beta=1/28$ のときに一致することから、アルテミアの行動はガンマ分布に依存するのではないかということが示唆された。

なおガンマ分布は、期間 β ごとに1回程度起こるランダムな事象が、 α 回起こるまでの時間を表す分布として知られている。



図 13 移動距離と頻度の折れ線グラフ(3 日目)

4. 結論および展望

1、2 日目は、光を照射していないときと照射しているときでは、行動の違いは明確であり、白色光照射時には、円を描く動きをすることが確認できた。この動きが確認できたのは、孵化直後から2日間であり、3日目以降からはこの動きが確認されなかつたことから、アルテミアは幼少期に非常に短時間で運動を変化させている。また同じ条件下であったとしても青色光照射時には、円を描く動きの個体が一部見られ、赤色光照射時にはそのような動きをする個体が全く見られなかつたことが分かった。また、アルテミアの行動はガンマ分布に依存していることが示唆された。今後は、検体を増やし、より多くの個体を調べることが必要である。また本実験の動きが今後確認できるのかどうか、分布が一致するのか再度実験を重ね、正確性を高めていくことが重要である。

5. 謝辞

本研究の遂行にあたり、終始適切な助言を賜り、ご指導していただきました岡山学芸館高等学校柳雅之教諭、吉岡希裕教諭に深く感謝申しあげます。

6. 引用文献

- 石田直也, & 阪倉良孝. (2018). マングローブ・キリフィッシュ Kryptolebias marmoratus 仔魚の光走性と摂餌行動に対する光波長と放射照度の影響. 水産増殖, 66(1), 1-9.
- Kim, S., & Robinson, J. T. (2023). Phototaxis is a state-dependent behavioral sequence in Hydra vulgaris. bioRxiv.
- 南部滋郎, 田中晋, & 南部文子. (2000). アルテミアの飼育法. Journal of UOEH, 22(4), 383-391.
- 矢島エイ子, & 水納谷民太郎. (1980). アルテミアの走光性の研究-I 光集合の作用スペクトル. 長崎大学教養部紀要. 自然科学篇, 21(1), 29-33.

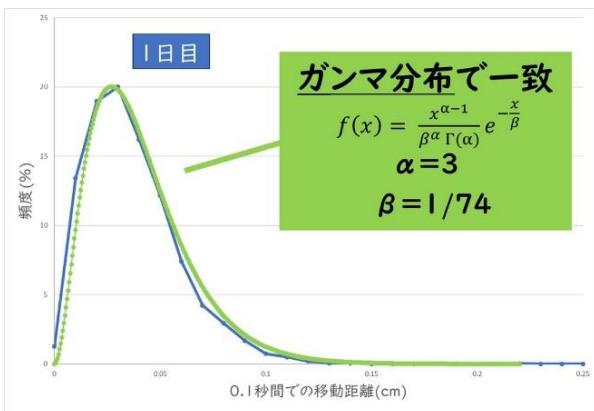


図 12 移動距離と頻度の折れ線グラフ(1 日目)

アマモ種子長期保存の可能性について アマモ場再生活動に向けて

竹林稜空^{†1} 前田遼^{†1} 濱田千聖^{†1}

アマモ (*Zostera marina*) は、日本各地の浅海域に群生し魚の産卵場所や稚魚の隠れ場所として生物多様性に寄与する種子植物である。岡山県備前市日生湾のアマモ場は1950年代には約590haに広がっていたが、1970年代には12haにまで減少した。アマモ場減少に伴い、漁獲量が低下し、水揚げされる魚の大きさも小さくなつた。地元の漁師たちはアマモ場再生活動を始め、2017年より本校医進サイエンスコースは地元中学生と共に活動に参加している。本研究では、環境変化や災害によるアマモの発芽率の不安定性に着目した。アマモ種子の越年保存に関する先行研究は少なく、保存方法の確立が課題である。本校では、アマモ種子を海水に浸したビーカーで冷蔵保存しているが、種子は嫌気状態で発芽することが知られている。そこで、酸素供給状態での保存方法を検討した。さらに、外部環境の影響を抑制できる真空保存法も試行した。海水に浸したキッチンペーパーで種子を包み、真空状態で保存した。この場合、対照群としてキッチンペーパーで包んだ種子も準備した。日生湾産の種子を用いた実験では、いずれの保存方法でも発芽が確認できなかつた。発芽能の見られたアマモ種子でも発芽しなかつたため、全国的に発芽が難しい年である可能性を考慮し、NPO法人アマモ種子バンクと協議の上、福井県産の種子を用いて再実験を実施した。さらに、次亜塩素酸ナトリウムによる殺菌が保存に与える影響について先行研究を踏まえ、殺菌した種子と未殺菌の種子を比較した。来年度は、福井県産の種子で発芽を確認しつつ、再度、日生湾産の種子の発芽を確認する予定である。

キーワード: アマモ種子、里海、越年保存、生物多様性

1. 研究背景

2017年から岡山学芸館高校医進サイエンスコースでは、海洋保全教育として、アマモ場再生活動に取り組んでいる。その一環として、毎年1人1個のアマモ実生ポットを作成する。しかし、アマモ種子の発芽率は例年安定しない。また、再生活動の拠点である岡山県備前市日生町では、毎年台風によるアマモへの影響が懸念されており、さらに南海トラフ沖地震による津波被害も予測されている。そのためアマモ場から再生活動に用いる種子を得ることも難しくなると考えた。そこで、私たちは年度や環境変動に大きく影響されるアマモ種子を常時保存しておくことでアマモ場再生活動をより安定して継続的に行えると考えた。

2. 目的

アマモ種子の発芽率を維持したまま長期的に保存する方法を確立する。本研究では気圧、酸素、殺菌の面からアマモ種子の長期保存に適する条件を調べる。

3. 材料と方法

2024年5月30日、岡山県備前市日生町日生湾に生息するアマモ流れ藻を回収し、海水の比重選抜によりアマモ種子を得た(図1)。種子は飽和食塩水(26.0%)を用いて比重選別を行つた。回収した種子は滅菌海水の入ったシャーレに入れて保存した。1週間に1度海水の交換を行い、実験に用いるまで約0°Cのインキュベーターで再度貯蔵した。



図1 水槽におけるアマモ腐熟処理

3.1 アマモ種子保存実験

高い発芽率を維持したアマモ種子の長期保存条件の検討を目的として実験を行つた。深津氏による長期保存に関する研究¹⁾から、アマモの発芽適温は5°Cから15°Cであり、20°C以上での発芽率が極めて低く、-2°Cの低温による越年保存が可能であることが分かっている。保存方法として、私たちは新たに真空型(図2)と酸素供給型(図3)を検討し、以下の実験を行つた。仮説検証のために私たちは3つの保存条件を試行した。まず1つ目に对照として、塩水(塩分3.5%)に種子を冠水させて保存した。これが標準型である。2つ目は、塩水(塩分3.5%)を入れたビーカーに酸素供給器を投入し、種子を入れて保存する(以下酸素供給型)。3つ目に、塩水(塩分3.5%)で濡らしたフェルト生地でアマモ種子を包み、真空シーラー(株式会社ワイドシステム 真空パックン シェフ2 品番79472-11 図4)を用いて気圧が0hPaとなるように保存した(以下真空型)。それぞれの保存温度

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

は0°C、保存期間を0日後から1か月間は毎週、その後は奇数ヶ月後ごとに確認した。



図2 真空処理



図3 エアレーション



図4 真空シーラー

3.2 発芽確認方法

発芽確認のために実生ポットを作成した。実生ポットは、500ml ペットボトルに砂と海水を煮沸した滅菌海水を入れ、種子を投入した。砂は日生諸島に属する頭島の海岸で採取したものを、海水は日生湾のものを使用した。作成した実生ポットは全て 20°C に設定したインキュベーター内で保存した。保存期間を 1 週間、2 週間、3 週間、1 カ月とし、実生ポット内での発芽の有無を確認した（図 5）。



図5 インキュベーター内の実生ポット

3.3 発芽能確認方法

発芽能推定の方法として半分に縦断したアマモ種子をフェニルテトラゾリウム塩溶液（濃度 0.025%）、温度 30°C、暗黒化、1 時間の条件下で浸漬した（TTC 染色）。本実験では保存期間 1 週間後のアマモ種子を 10 粒染色した（図 6、図 7）。

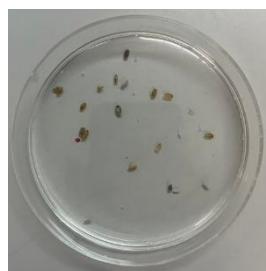


図6 アマモ種子 TTC 染色



図7 TTC 溶液 (1%)

4. 結果

日生アマモ種子 ($n=150$)において、標準型、酸素供給型、真空型のすべての条件で発芽がみられなかった。TTC 溶液では 24 時間後に胚の赤く染色された個体が確認された（図 8）。



図8 TTC 染色されたアマモ種子

5. 考察

アマモ種子長期保存に関する先行研究¹⁾より発芽率は減少するが 13 か月の種子の保存が可能であるとされていた。そこで私たちは発芽率が変化しない種子の長期保存法の確立を目指して実験を行った。実験を行った標準型、酸素供給型、真空型のすべての条件において発芽が確認されなかったため、種子の長期保存法の有用性の真偽について確認が不可能であった。また、標準型で発芽は見受けられなかつたが、TTC 染色によって種子の胚の活性が見られたため発芽能が備わっていたと言える。したがって、実験を行った条件で発芽しなかった原因は種子の品質には関係ない。そのため原因は発芽メカニズムが何らかの要因で作動しなかつたことにあると考察した。本コースの 1 年生が同年 10 月 22 日に制作した実生ポット 12 個においても例年と比較して発芽した個体数が少數であることから、日生の海の温度や波、微生物などの環境要因の変化によりアマモ種子へ何らかの影響があったなどのことが本実験の標準型が発芽しなかつた原因であると考えられる。

6. 結論および展望

2024 年の種子が発芽しなかった原因に日生湾の環境変動が挙げられる。更なる環境変化に伴い標準型の発芽条件が不明瞭になれば、今後本校で実施される実生ポット作成を伴う実験の仮説検証は不可能である。そのためアマモ種子の発芽率を落とさない越年保存法の確立は早急に行われるべきである。

私たちが参加した一連の研究交流会・発表会を通し、アマモ場再生活動に興味を持ってもらった。本校でも本研究を後輩が受け継ぐ形で継続する。また、全国的にも発芽しにくい年であるか確認する意図も含め、NPO 法人アマモ種子バンク様と協議を重ねた上で、日本海側における福井県産の種子を用いて再実験を試みた。種子表面の次亜塩素酸ナトリウム殺菌の有無も保存に影響するという先行研究も踏まえ、殺菌している種子、していない種子それぞれで保存実験を行った。よって来年度の活動では福井県産の種子で発芽確認をしつつ、もう一度日生の種子が発芽するかどうか確認したい。

7. 謝辞

本研究の遂行にあたり、ご指導を賜った岡山学芸館高等学校柳雅之教諭、吉岡希裕教諭、稻村晃司教諭、ならびに株式会社リバネス主催マリンチャレンジ研究コーチ中嶋夢生様、NPO 法人アマモ種子バンク理事福田富雄様、里海づくり研究会議理事・事務局長田中丈裕様、日生町漁業協同組合事務理事天倉辰己様、誠にありがとうございました。また、研究資金を提供していただいた公共財団法人日本財団様、株式会社リバネス様、一般社団法人 JASTO 様、公益財団法人おかやま環境ネットワーク様に感謝申し上げます。

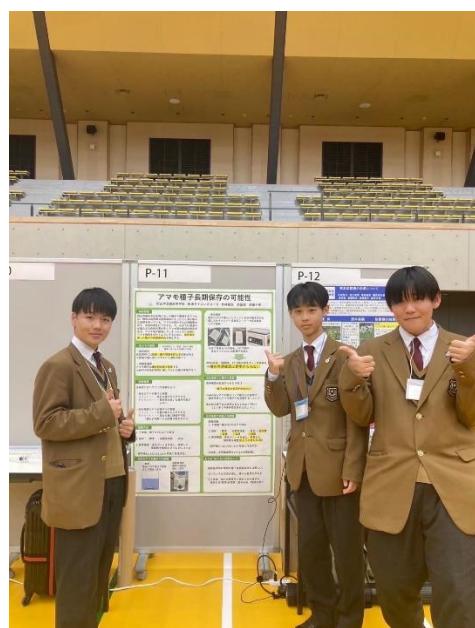
8. 引用文献

- 1) 深津 章文 三重大学大学院生物資源学研究科 博士前期課程生物圏生命科学専攻 海洋生物科学講座 修士論文 海草アマモ種子の生理特性から長期保存技術の検討, (2008)
- 2) 田中 丈裕 特集・里海づくりの今とこれから 里海と里山と“まち”をつなぐアマモ場再生活動 Vol. 52 No. 4 (2023)
- 3) 一般財団法人日本気象協会、日本ミクニヤ株式会社 成果報告 気候変動による水産業及び生物生息基盤（藻場、アマモ場等）への影響調査, (2018)

9. 発表および受賞

本研究は 2024 年度株式会社リバネス主催マリンチャレンジプログラムおよびサイエンスキャッスルに採択された。

学会では海辺の自然再生・高校生サミットにて研究成果を発表した。他にも、国際エメックスセンター主催の高校生海洋環境保全研究発表会で発表した。また、独立行政法人環境再生保全機構主催の第 10 回全国ユース環境活動発表大会中国大会にて研究成果を発表し、協賛企業特別賞を受賞した。



アマモ肥料が小松菜の成長と土壤に与える影響

西村悟志^{†1} 平田匠^{†1}

アマモは窒素やリンなどの栄養素を豊富に含み、肥料資源としての活用が期待できる。しかし、肥料としての効果は加工方法で変化するため、最適な加工方法を明らかにすることが求められる。本研究は、アマモを加工した肥料が小松菜の成長と土壤環境に与える影響を評価することを目的とした。アマモに発酵促進剤（EM 菌）を加えて発酵させた肥料、発酵促進剤を加えず発酵させた肥料、アマモに発酵促進剤を加えて発酵させた肥料から出たアマモ液肥、乾燥させたアマモ、エノコログサに発酵促進剤を加えて発酵させた肥料、市販の化成肥料を用いて、小松菜の成長および土壤 pH の変化を測定した。実験の結果、化成肥料が最も顕著な成長促進効果を示し、小松菜の長さや湿重量で最良の結果を得た。発酵促進剤入りアマモ肥料も成長促進効果を示し、肥料として期待できることが確認された。発酵促進剤なしアマモ肥料やアマモ液肥、乾燥アマモは、成長を阻害する効果が見られ、特に乾燥アマモは最も阻害効果を示した。土壤 pH は全ての条件で中性（pH6.7～pH7.0）に保たれ、小松菜の栽培に適した範囲を維持した。これらの結果は、発酵促進剤入りアマモ肥料が化学肥料に次ぐ効果を示し、土壤環境に対して無害であることを示唆している。発酵において EM 菌がアマモの有効成分の分解を促進したと考えられる。一方、成長を阻害した肥料の原因として、発酵促進剤なしのアマモ肥料は成長促進効果を示すまで発酵しなかったことが予想される。乾燥アマモは発酵させていないため植物の成長を妨げる物質が生じた可能性がある。アマモ液肥は濃度、量、与える頻度が適切でなかったと考えられ、使用方法についてさらなる研究が必要である。イネ科肥料は海洋性植物由来の豊富な栄養素に欠けるため、肥料としての効果が限定的であったと推測される。

キーワード:アマモ、発酵肥料、コマツナ、持続可能な農業資源

1. 序

持続可能な農業資源の開発は、環境問題や化学肥料の過剰使用による土壤劣化やリン資源枯渇問題¹⁾²⁾を背景に、重要な課題となっている。そこで私たちは海草であるアマモに注目した。アマモは窒素やリンなどの栄養素を多く含んでおり、肥料としての利用が期待できる。しかし、アマモを肥料化するには、加工方法によって効果が変化するため、適切な加工方法の研究が必要である。本研究では、アマモを用いた肥料を施用することで、小松菜の成長および土壤環境に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2. 材料と方法

本研究で使用した材料は、2024年5月30日、岡山県備前市日生湾で採取したアマモ流れ藻、市販の化学肥料（商品名：コーナンオリジナル化成肥料、保証成分量（%）：アンモニア性窒素 8.0、可溶性リン酸 8.0、内水溶性リン酸 6.0、水溶性カリ 8.0）、EM 菌を用いた生ごみ発酵促進剤（商品名：生ごみ発酵促進剤）、黒土を主体として真砂土と腐葉土を混ぜて作成した土壤（図 1）、イネ科植物のエノコログサ、栽培対象の小松菜である。また、土壤の pH 測定のためにデジタル pH メーター（サトテック、WA-2017SDJ-CD）を使用した。



図 1 栽培に用いたプランタおよび土壤

肥料は以下の手順で作成した。まず、アマモ肥料については、2024年6月1日よりポリエチレン製容器にアマモを2kg密閉し、屋内常温下で2024年9月4日まで発酵させた。この際、発酵促進剤としてEM菌を添加したものと発酵促進剤入りアマモ肥料、添加しないものを発酵促進剤なしアマモ肥料と定義した。発酵促進剤入りアマモ肥料の発酵過程で容器の底部に生成された液体をアマモ液肥として採取した。液肥はフィルターを使用せずに、一週間に一度回収し、100倍に希釀して使用した。アマモを日向で乾燥させたものを乾燥アマモとした。2024年7月25日、岡山県東区西大寺でエノコログサを採取し、同日ポリエチレン製容器に密閉し、EM菌を添加して屋内に常温下で2024年9月4日まで発酵させたものをイネ科肥料とした。

栽培に用いる土壤は、黒土に真砂土を15%、腐葉土を15%（重量比）の割合で混合したものを使用し、この混合土壤

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

を 14L ずつ各プランタ(図 1:20L)に充填した。肥料の有無と種類による効果を検証するため、以下の 7 種類を作成した。肥料なし、化学肥料、発酵促進剤入りアマモ肥料、発酵促進剤なしアマモ肥料、アマモ液肥(希釀率 100 倍)、乾燥アマモ、イネ科肥料の 7 つである。各プランタには小松菜の種を 2 列、計 40 粒植えた。植える際、種同士の間隔を 2cm、列の間隔を 10cm とし、植えてから 15 日後に各プランタから 20 本ずつ間引きを行った。栽培期間は 2024 年 9 月 4 日から 10 月 30 日までとした。なお、2024 年 9 月 4 日に植えてからは毎日 16 時に 500ml の水(水道水)を各プランタに与えた。

実験の評価項目として、植物の成長については、栽培終了後に各条件で収穫した小松菜の根から葉先までの長さをものさしで計り、電子天秤を用いて湿重量を計測した。土壤環境の評価として、栽培終了後の土壤 pH をデジタル pH メーターで測定し、各条件における土壤の変化を記録した。これらの方針により、肥料の種類が植物の成長および土壤環境に与える影響を評価した。

3. 結果

各肥料を使った小松菜の成長結果を図 2 に、各評価项目的計測結果を図 3、図 4 に示す。



図 2 栽培 39 日後的小松菜

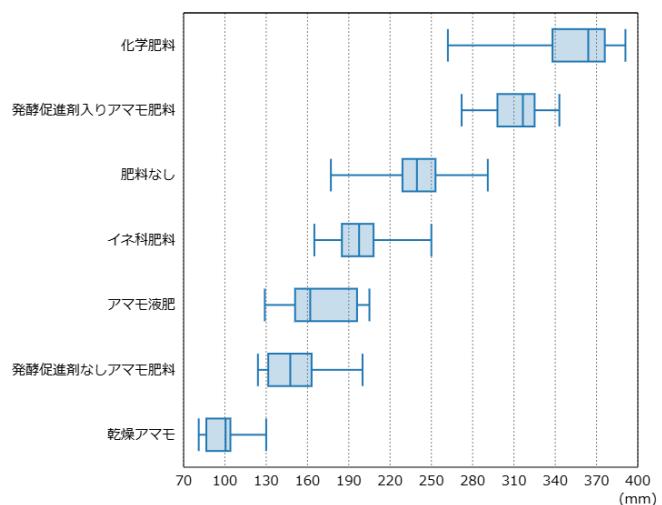


図 3 肥料ごとの小松菜の長さ

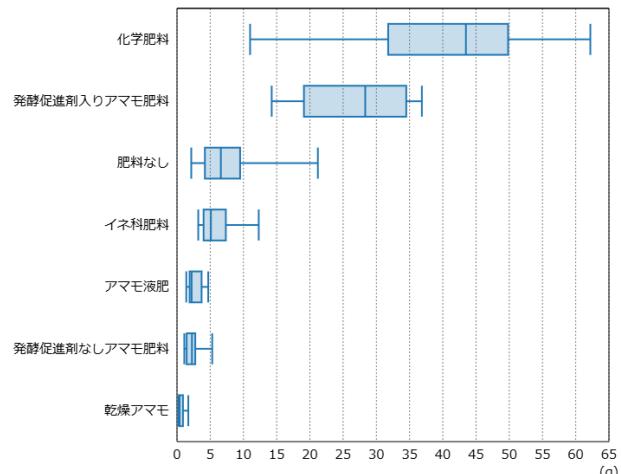


図 4 肥料ごとの小松菜の重さ (湿重量)

化学肥料の平均値が長さは 353mm、重量 40.7g で最も成長を促進し、小松菜の長さや重さで最良の結果示した。発酵促進剤入りアマモ肥料の長さは 312mm、重量は 27.0g で化学肥料に次いで成長効果を示し、持続可能な肥料として期待できる。しかし、発酵促進剤なしアマモ肥料の長さは 151mm、重量は 2.4g で、アマモ液肥の長さは 168mm、重量は 2.7g、乾燥アマモの長さは 99mm、重量は 0.6g であった。肥料なしの長さが 237mm、重量が 7.7g と比べて低い結果になったことから、成長阻害効果が認められた。特に乾燥アマモは最も成長を阻害した。土壤はすべて中性 (pH6.7 ~ pH7.0) であり、小松菜の栽培には適した範囲であった。

4. 考察

化学肥料が小松菜の重さと長さの両面で最も優れた成長促進効果を示したが、リン資源問題の観点からは課題が残る。一方で、発酵促進剤入りアマモ肥料は、化学肥料に次ぐ成長効果を示し、土壤 pH も適正範囲内に保たれ、持続

可能な肥料として有望であることが示された。これらの高い成長促進効果の要因として、化学肥料では速効性の高い栄養分が均一に供給されたこと、発酵促進剤入りアマモ肥料では、発酵過程によるアマモの有効成分の分解をEM菌が促進したと予想される。

一方、発酵促進剤なしアマモ肥料やアマモ液肥、乾燥アマモでは、成長を阻害する効果が見られ、特に乾燥アマモでは最も成長を阻害する結果となった。これらの成長阻害作用の要因として、発酵促進剤なしアマモ肥料では発酵促進剤を加えないため、アマモ中の有効成分が植物に吸収されやすい硝酸イオンまで分解されず、分解の過程でアンモニウムイオンや亜硝酸イオンのような植物の成長を妨げる物質が生成されたことが考えられる。さらに、乾燥アマモでは養分が植物に利用可能になるまでの時間がかかりすぎる可能性がある。また、アマモ液肥は栄養素が液体に溶出しているものの、使用した濃度、量、頻度が不適切であった可能性がある。イネ科肥料については、アマモ肥料のような海洋性植物由来の豊富なリン、カリウムに欠ける³⁾⁴⁾ため、効果が限定的だったと推測される。

5. 結論

発酵促進剤入りアマモ肥料は、土壤環境への良い影響と成長促進効果を持つ点で、リン資源枯渇問題を解決する持続可能な農業資源として非常に有用であると考えられる。一方で、発酵促進剤なしアマモ肥料や乾燥アマモの効果の低さから、長期間での実験や発酵条件の変更などを加えた実験についてさらなる研究が必要である。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり、岡山学芸館高等学校柳雅之教諭、吉岡希裕教諭より貴重なご指導を頂きました。誠に感謝申し上げます。

7. 引用文献

- 1) 小田部廣男：リン資源の現在と未来、石膏と石灰 210 号（1987），p. 307-316.
- 2) 松八重一代・久保裕也・大竹久夫・長坂徹也：廃棄物からの人工リン資源回収、社会技術研究論文集 5 卷（2008），p. 106-113
- 3) 太田直一：土壤及び生物の元素組成のバックグラウンド像、化学教育 20 卷 3 号（1972），p. 182-188
- 4) 梅林脩・佐々木克之：アマモ一葉体内における磷、窒素、炭素の分布様式、東海区水産研究所研究報告 118 号（1985），p. 21-32.



おうちに手軽にコラーゲン 廃棄される鱗の有効活用

松岡安仁^{†1} 藤井美緒^{†1}

本研究では、廃棄される魚の鱗を有効活用するために、鱗の主成分であるコラーゲンを家庭で簡単に抽出する方法を模索した。工場規模での抽出事例や大量生産できる方法は開発されているが、家庭で簡単にコラーゲンを抽出することができれば魚への関心が高まり、環境問題の改善に繋がると考えた。コラーゲンの抽出方法は主に酢酸抽出、酵素抽出、アルカリ処理がある。の中でも一番安全な酢酸抽出を基に、家庭にある酢を用いて実験を行った。予備実験では、鱗 10g をそのまま酢 100ml に漬けたものと包丁で切って細かくした鱗 10g を酢 100ml に漬けたものを用意し、約 1 ヶ月観察した。タンパク質とコラーゲンの抽出のために、鱗 5g を酢 50ml に 1 日漬けた溶液と 1 ヶ月漬けた溶液を用意し、タンパク質ができるかビウレット反応を使って確認した。その後、約 1 ヶ月たった溶液を熱し、ゼラチンに変化するかを調べた。さらに、タンパク質ができる期間を詳しく調べるために、1 週間ごとに期間を変えて実験を行った。抽出された溶液を熱し、ペトリ皿にそれぞれ 1 ml 取り出して冷蔵庫で冷やした。また、酢の量は一定で鱗の量を増やすと結果が変わらかを調べるために、鱗 35 g・酢 100ml と、鱗 50 g・酢 100ml の溶液で実験を行い、タンパク質ができるか確認した。新鮮な鱗でなくともタンパク質が抽出できるか検証するために、乾燥した鱗を使うと結果が変わるか調べた。すべての実験の結果として、鱗を酢に 4 週間以上漬けるとタンパク質ができたが、湯煎して冷やしたものは固まらず、ゼラチンは確認できなかった。しかし、廃棄される魚の鱗からタンパク質を抽出できることから、魚の鱗を有効活用できると考えられる。

キーワード:魚の鱗、タンパク質、コラーゲン、ゼラチン

1. 序

魚の鱗は廃棄されることが多く、世界中で年間約 5000 万トンが捨てられている¹⁾。日本でも約 100 万トンもの魚の鱗が廃棄されている²⁾。そこで、廃棄されるはずのものを何かに活用できないかと考えた。簡単に有効活用できることを目的として廃棄される魚の鱗に焦点をあてた。魚の鱗の中でも、入手しやすい真鯛の鱗を使用した。

2. 材料と方法

実験材料として鱗（真鯛）、乾燥鱗（邦美丸という個人事業者から入手）、酢（市販のミツカン酢）、塩化ナトリウム水溶液 6mol/L、薄い硫酸銅水溶液 0.1mol/L を用意した。また、実験器具として、瓶（市販の鮭フレークのガラス瓶 縦 10.5cm、直径 5.5cm）、試験管（縦 18cm、横 1.8cm、最大 30ml）、ビーカー（全高 71cm、最大 100ml）、ピペット（20ml）、キッチンペーパー、ペトリ皿を用いた。

2.1 予備実験

冷凍保存していた鱗（真鯛）を流水で解凍し、キッチンペーパーで軽く水分をとる。その鱗を 10g ずつ計り、合計で 20g 用意する。1 つは鱗 10g をそのまま酢（市販のミツカン酢）100ml につけたもので、もう 1 つは鱗 10g を包丁で細かくし、酢 100ml につけたものを約 1 ヶ月観察した。

2.2 タンパク質とコラーゲンの抽出

酢（市販のミツカン酢）に 1 日漬けた溶液と酢に約 1 ヶ月漬けた溶液にタンパク質が抽出されたかビウレット反応を使って確認した。酢に 1 日漬けた溶液と酢に約 1 ヶ月漬けた溶液をそれぞれ 1ml 取り出す。2 つの試験管にピペットを使って 6mol/L の薄い水酸化ナトリウム水溶液を 1ml 加える。混ぜた後、同様に 0.1mol/L 薄い硫酸銅水溶液を 2, 3 滴加える。ビウレット反応とは、タンパク質の溶液に 6mol/L の薄い水酸化ナトリウム水溶液を加えて混ぜた後、0.1mol/L の薄い硫酸銅水溶液を少量加えると紫色に呈色する反応のことである。また、コラーゲンを熱するとゼラチンに変化するため³⁾、約 1 ヶ月たった溶液を熱し、ゼラチンが得られるか調べた（図 1）。



図 1 抽出溶液の加熱

タンパク質ができる期間をより詳しく調べるために、鱗（真鯛）5g を酢（市販のミツカン酢）50ml に浸し、1 週間ごとに期間を変えて 3 週間、4 週間、5 週間の 3 つ用意した。酢に 3 週間、4 週間、5 週間漬けた溶液それぞれ 1mL に、ピペットを使って、6mol/L の薄い水酸化ナトリウム水溶液を 1ml 加える。混ぜた後、同様に 0.1mol/L 薄い硫酸銅水溶液

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

を2,3滴加える実験を行い、ビーカー(全高71cm、最大100ml)とガスバーナーを使って湯煎してゼラチンに変化するか確認した(図2)。



図2 湯煎

熱した溶液を冷蔵庫で冷やし、固まるとゼラチンに変化したといえる。よって、酢に3週間、4週間、5週間漬けた溶液を熱し、それぞれ1mlをペトリ皿に移して冷蔵庫で冷やした(図3)。

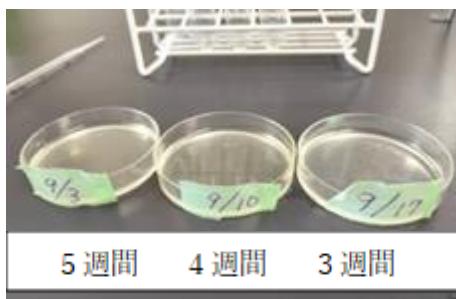


図3 ゼラチン確認のため空冷される溶液(1ml)

また、鱗の量を増やすと、タンパク質ができる期間が変化するか調べた。鱗(真鯛)35g・酢(市販のミツカン酢)100mlと、鱗50g・酢100mlの溶液を3週間と4週間の2通り用意した。鱗35gを漬けた溶液と鱗50gを漬けた溶液をそれぞれ1mlに、ピペットを使って6mol/Lの薄い水酸化ナトリウム水溶液を1ml加えた。攪拌後、同様に0.1mol/L薄い硫酸銅水溶液を2,3滴加えてタンパク質ができているか確認した(図4)。



図4 酢に浸した鱗

2.3 乾燥実験

鱗(乾燥鱗)5g・酢(市販のミツカン酢)50mlを用意して4週間酢に漬ける。酢に1日漬けた溶液と酢に約1ヶ月漬けた溶液それぞれ1mlに、ピペットを使って6mol/Lの薄い水酸化ナトリウム水溶液を1ml加える。混ぜた後、同様に0.1mol/L薄い硫酸銅水溶液を2,3滴加える。ビウレット反応でタンパク質ができているか確認した。

3. 結果

3.1 予備実験

何がコラーゲンなのかわからなかった。そのまま酢(市販のミツカン酢)に漬けたものと、切って細かくしたものには見た目の変化はほとんど見られなかつた(図5)。



図5 1ヶ月酢に漬けた鱗

3.2 タンパク質とコラーゲンの抽出

1日漬けたものと1ヶ月漬けたものをビウレット反応で調べると、反応の違いが明らかに確認できた。1日漬けたものは反応せず、1ヶ月漬けたものは紫色に反応した(図6)。

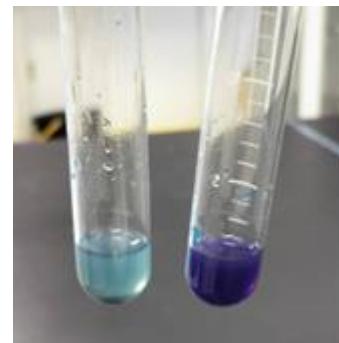


図6 ビウレット反応の結果

1ヶ月漬けた溶液をガスバーナーで約5分間直接熱した。しかし、突沸してしまったため、熱するのを中止した。溶液は、ほとんど変化がなかつた(図7)。

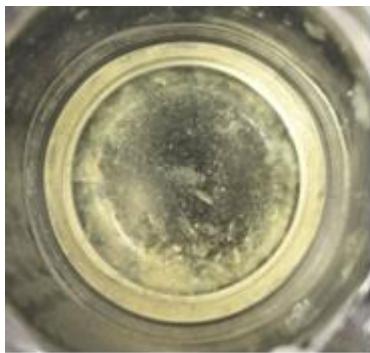


図 7 熱した後の溶液

3週間, 4週間, 5週間漬けた3つの溶液をそれぞれビウレット反応で調べた。4週間と5週間漬けた溶液は呈色したが, 3週間漬けた溶液は反応しなかった(図8)。

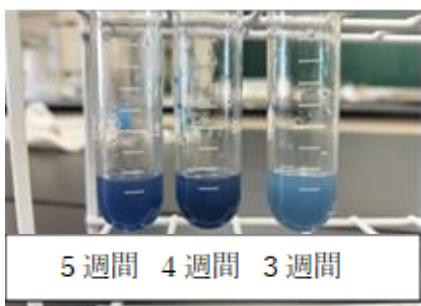


図 8 ビウレット反応の結果

熱した溶液を冷蔵庫で冷やすと, 溶液は全て固まらなかった。水分が少し残っており, 粘度があった(図9)。

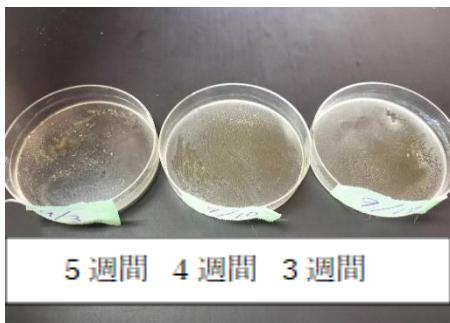


図 9 冷蔵庫で冷やした後の溶液

鱗(真鯛)の量を増やし鱗の量が35gと50gの溶液を調べた。どちらも3週間, 4週間漬けても反応しなかった。よって, タンパク質はできなかった(図10)。

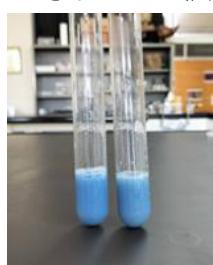


図 10 ビウレット反応の結果

3.3 乾燥実験

乾燥鱗は4週間経っても変色しなかった。タンパク質ができていない(図11)。



図 11 ビウレット反応の結果

4. 考察

予備実験より, 抽出はできているが, 何がコラーゲンのかわかつてないため結果は出なかった。コラーゲンが抽出できたか調べるため, タンパク質の溶液に反応するビウレット反応を利用する必要がある。予備実験と同じ状態のものをもう一度作り, ビウレット反応で呈色すればコラーゲンが抽出できている可能性が高いと考えられる。漬け込み期間の調査および実験期間ごとのゼラチン確認実験より、1日ではタンパク質はできないが, 1ヶ月経つとタンパク質ができるといえる。すなわち, 4週間以上酢酸に漬けるとタンパク質が得られる。また, ゼラチン確認実験では, 温度が高すぎたため, 突沸してしまった。直接熱するのではなく, 湯煎することでゼラチンに変化すると考えた。しかし, 鱗の量が少なかったためか, ゼラチンを確認できなかった。なんらかの前処理をしないとコラーゲンがゼラチンに変化しないのかもしれない。真鯛鱗の量を変化させた場合、鱗(真鯛)の量が多いと抽出に時間がかかる。また, 実験中の温度(実験時期)の違いによって結果がでなかつた。鱗が古かったことも原因として考えられる。乾燥鱗を使った実験から, 乾燥した鱗ではタンパク質はできないと考えられる。

5. 結論

タンパク質ができる期間を調べる実験では, 1週間, 2週間, 3週間ではタンパク質が出来なかつた。しかし, 4週間経つとタンパク質が出来ることが分かつた。ゼラチンに変化するかの実験では, 溶液を直接熱しても, 湯煎してもゼラチンはできなかつた。冷やしてゼラチンに変化させる実験では, 大きな変化が見られなかつたため, 脱灰するなどの前処理をしないとゼラチンに変化されないことが分かつた。また, 鱗の量を増やしてもタンパク質はできなかつた。これ

らの結果から、鱗の量は反応速度に関係していないことが分かった。ゆえに、簡単にコラーゲンを抽出することは難しいが、コラーゲンの基であるタンパク質は簡単に抽出することができる。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり、終始適切な助言を賜り、懇切丁寧に指導いただきました岡山学芸館高等学校柳雅之教諭、吉岡希裕教諭、誠にありがとうございました。また、乾燥鱗を提供してくださった個人事業者邦美丸様に誠に感謝申し上げます。

7. 参考文献・引用文献

福若雅章：魚鱗の構造、形成と鱗相分析(1997), p. 45-50
岡村浩:魚鱗(うろこ)の有効利用に関する研究(1992-1994)
城野 理佳子・八木 健司:アルカリ処理法による魚鱗コラーゲン・高効率製造方法の開発(2006), p74

- 1) 真理子(2019, 10月 28日)魚の鱗や皮でつくる生分解性バイオプラスチック(2019),
<https://ideasforgood.jp/2019/10/28/fish-scale-plastic/>
- 2) 文美月(2024, 12月 17日)海の隠れた財宝、未利用魚と共に築く持続可能な食の未来(2024),
https://losszero.jp/blogs/column/col_317
- 3) 森永製菓株式会社, 森永製菓ホームページ,
<https://www.morinaga.co.jp/>

8. 発表

本研究は 2024 年度サイエンスキャッスル関西大会にて研究成果を発表した。他にも、山陽新聞社主催 SDGs × 吉備の環シンポジウムで発表した。



カニの鉄脚を構造面から紐解く

中田彩天^{†1}

私は、カニの鉄脚に興味を持った。同時に、カニの鉄脚は何か実用的なものに活かせられないかと考えた。生態と鉄脚の力の関係を解明することや、カニのハサミの構造を利用したものの開発を目的とした。松葉ガニ、イソガニ、スナガニの三種のカニを手に入れ、カニの鉄脚の力の効率の計測を行った。腱の付け根から中央までの距離をX1、中央から鉄脚の先端までの距離をX2として、 $X1 \div X2$ で力の効率の値を算出した。その結果、カニの種類によって、腱の長さや鉄脚の長さが異なり、力の効率に差が見られた。食性と生息地が異なるにも関わらず松葉ガニとスナガニの力の効率がおおよそ等しかったことから、力の効率と生態の結びつきは薄く、何か別の要因で近しい値を示したと言えるが、詳しい面での結びつきを解明するには至らなかった。さらに、どのような構造が力を発揮させることに適しているのかを模型を用いて検証した。簡易版の模型は割り箸とねじ、輪ゴムを用いて作成した。その結果、X1=1, X2=1の時、X1=2, X2=1の時、X1=1, X2=2の時に安定して物を持つことができた。またX1=1, X2=2の時は貝殻を碎く強力な鉄脚が示す値と近かった。このことから、カニの鉄脚は構造の面からも大きな力を発生させられることが推測できる。構造の最適化を図るとともに、今後も模型の作成に尽力し正確な値を計測したい。

キーワード: 松葉ガニ、イソガニ、スナガニ、カニの鉄脚、力の効率、構造の最適化

1. 序

1.1 研究背景

日曜大工や、家庭菜園を趣味とする祖父が重いものを持ち運ぶ際、大変そうにしている様子を目についた。カニは小さな体ながら、鉄脚を使って、大きなものを持ち運べることを知り、この構造を活かした、何か実用的なものを作れないかと考えた。カニの鉄脚は種類によって様々な形、機能があることは先行研究¹⁾より明らかになっている。しかし、生態とカニの鉄脚が発生させる力の関係や、どのような条件のものが最も効率よく力を発生させられるのかについては詳しく解明されてない。三種のカニで力の効率の値を計測し、モデルを用いてどのような構造が最適なのか研究した。

1.2 カニ鉄脚の仕組み

カニの鉄脚は可動指(上の指)と、不動指(下の指)、そしてそれぞれの指に接続されている腱と、腱にまとわりつく筋肉から成っている(図1)。先行研究¹⁾より、閉じるために使われる腱の表面積が大きく、閉じるときに大きな力が働くこと、カニの鉄脚の筋肉はサルコメアが非常に長く大きな力を発生させられることが知られている。サルコメアとは筋肉が収縮する仕組みの最小単位となる構造である。サルコメアの長さによって、筋肉が発揮する力やスピードが変化する。松葉ガニ、イソガニ、スナガニ、それぞれの食性と生息地を以下に示す(表1)。この表を基準に比較実験を行った。

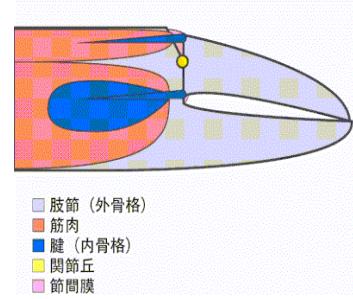


図1 カニ鉄脚内部構造

表1 カニの食性と生息地

	食性	生息地
松葉蟹	貝殻、自分の殻	砂泥底
イソガニ	海藻、小魚	岩石のある海岸
スナガニ	藻類、孵化したばかりのウミガメ	砂浜(数10cmから1mほどの深さ)

1.3 研究目的

私たちが普段目にする、物を挟む機構(図2)とは、両方のハサミが可動する物である。それとは異なるカニの鉄脚(図3)を用い、最も効率よく物体に力を加えられる構造を解明すれば、少量の力で効率よくものを掴める鉄の開発に応用できるかもしれない。カニの模型を用いた実験を行うことで考察した。



図2 両方の鉄が可動



図3 スナガニ

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

2. カニの鉗の力効率比較

2.1 材料と方法

本実験では、蟹の鉗が発生させる力の効率を調べることを研究目的とした。鳥取県産の松葉ガニの腱(図 4)、岡山県下津井で獲ったスナガニの腱(図 5)、岡山県日生町で獲ったイソガニの腱(図 6)、15cm 定規、ハンマーを用いた。



図 4 松葉ガニの腱

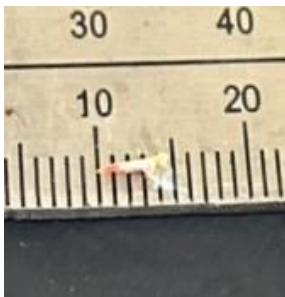
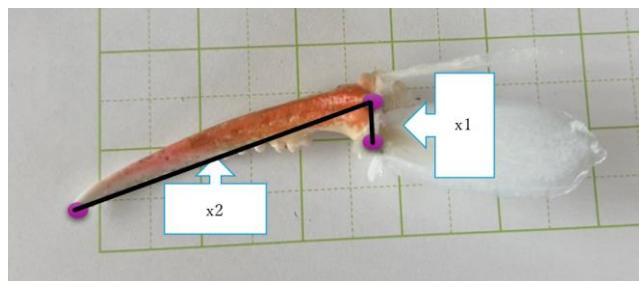


図 5 スナガニの腱

図 6 イソガニの腱
赤が下の腱、紫が上の腱を示す

ハンマーですべての蟹の殻を碎き、腱を露呈させる。次に三種類の鉗の下の腱の付け根から、鉗脚の付け根の中央までの距離を測定した(この値を X1 とする)。中央から鉗脚の先端までの距離を測る(この値を X2 とする)。最後に先行研究¹⁾より、 $X1 \div X2$ の式に代入し力の効率の値を算出する(図 7)。この式は鉗脚の先端が物体から受ける力と下の腱について筋肉が発生させる力の比で力効率を求めていく。

図 7 腱の付け根から中央までの距離(X1),
中央から鉗脚の先端までの距離(X2)

2.2 結果

実験の結果、松葉ガニとスナガニの力の効率を表す数字

がともに 0.19 を示した。それぞれのカニの力の効率の値を以下の表に示す(表 2)。

表 2 3 種のカニの鉗の力効率

	X1 (cm)	X2 (cm)	力の効率
松葉蟹	0.8	4.2	=0.19
イソガニ	0.6	2.5	=0.24
スナガニ	0.75	4.0	=0.19

2.3 考察

結果から、カニの種類によって力の効率が異なっていることが明らかになった。また、先行研究²⁾の通り、鉗の使用用途による力の効率の差も見られた。食性や生息地が異なっているにも関わらず、カニの力の効率を示す値が近しいことが見られたが、生息地と力の効率の詳しい結びつきについては不明であった。

3. カニ鉗脚簡易模型の作製

3.1 材料と方法

本実験では、蟹の鉗脚の模型を簡易的に作成し、蟹の鉗脚の力効率の計測と挟む力の関係を調べることを目的とした。21cm の割り箸 2 本、横 15cm、縦 8.5cm の段ボール 1 枚、M4 ネジ 2 本、ワイドゴムバンド #210 を 8 本用いた。カニの鉗の力効率測定と同様の定義で、X1、X2 の長さの比を変えて、力効率の値の変化を計測した。

3.2 結果

結果を表 3 に示す。

表 3 簡易模型で計測した力の効率

X1 (cm)	X2 (cm)	力の効率
1	1	1
2	1	2
3	1	3
1	2	0.5
1	3	0.33

この結果から、鉗脚と、鉗脚につながる腱の距離が力の効率に影響している。 $X1=1, X2=2$ にした時の力の効率の値が、先行研究²⁾に記されている力の強いカニの鉗脚の値(0.48~0.52)と近くなった(表 3)。

3.3 考察

結果から、鉗が極端に長いものや、腱の付け根から鉗の中央までの距離が長すぎるものは安定して物を挟むことができないと考えられる。また、 $X1=1, X2=2$ のとき、貝殻を碎くことのできる強い鉗脚を持ったカニの力の効率の値と近

いことから、力を発生させやすい構造になっていると推測される $X1=2, X2=1$ の時が最適な構造であると示唆された。

4. 力ニ鉄脚本格模型作製

4.1 材料と方法

本実験では、本格的な蟹の鉄脚の模型を作成し、より正確な蟹の鉄脚の効率の計測と挟む力の関係を調べることを目的とした。金属製の目玉クリップと目玉クリップの挟む力を計測するために IMADA つまみ力測定治具を用いた。また、模型の作成にあたって Bambu Lab P1S 3D Printer, Fusion360(3D モデルを作成するためのアプリ), Bambu studio(3D モデルのデータを書き出すアプリ)を使用した。3D プリンターのフィラメントは ABS 樹脂を使用した。

まず、つまみ力測定治具を用い、目玉クリップの挟む力を測定した。測定するところを 1cm の幅を開き、その部分を目玉クリップで挟む力を測定する操作を三回行い、三回の平均値を算出した。次に Fusion360 を用い 3D で蟹の鉄脚の模型を作成した(図 8)。作成したデータを stl ファイルに書き換え、bambustudio にデータを移行した。3D プリンターにデータを送り、印刷した。Bambu Lab P1S 3D Printer で印刷したのち、つまみ力測定治具を用い、挟む力の計測を三度行い、平均値を算出した。完成したものは以下の通りである(図 9)

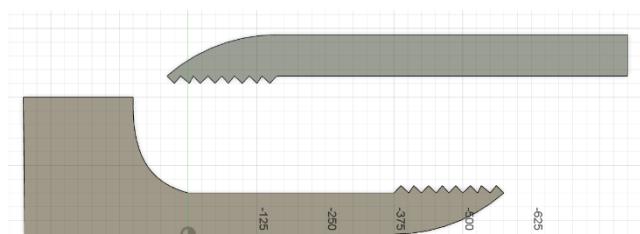


図 8 3D モデル



図 9 失敗した模型

4.2 結果

ビルドプレートがずれてしまい、フィラメントがうまく立体にならず印刷に失敗した。

4.3 考察

3D プリンターの印刷速度が速すぎたため、固定されていないビルドプレートが不安定な状態にあった。固定用アタッチメントを作成し、安定性を高める必要があったと考えられる。

5. 結論および展望

実験からカニの鉄脚は種類によって力の効率が異なっていることが分かった。食性や生息地といった生態の違いがカニの鉄脚が発生させる力と深い関わりがないことが示唆された。また、鉄脚の構造が大きな力を発生させることに適していることが分かった。このデータをもとにすれば、少量の力で効率よくものを掴めるものの開発に役立つと考える。今後の展望として、3D プリンターで模型を作成し、より正確なデータを計測したい。また、複数のタイプを作成し、腱の長さや鉄脚の長さなど条件を変え実際にどのくらいの重量のものを持つことが可能なのかを検証する。

6. 謝辞

本論文の作成にあたり終始丁寧なご指導をしていただいた岡山学芸館高等学校清秀高等部柳雅之教諭、岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース吉岡希裕教諭に深く感謝申し上げます。

7. 引用文献

- 1) 佐藤武宏 (2011), カニの脚, 自然科学の扉
- 2) 藤原慎一, 河合巧幾, et al (2016), カニのハサミは使いよう ハサミのカタチが教えてくれるハサミの用途, 名古屋大学
- 3) 岡慎一郎, et al (2016), 強大な爪: 最大の陸生甲殻類であるヤシガニのつまむ力, 沖縄美ら海財団
- 4) Graeme M. Taylor (2000), 最大の力の生産: なぜカニはそんなに強いのか, アルバータ大学生物科学部

クロロフィルによる油分解

黒川翔太^{†1} 岡邊真心^{†1}

私たちは、船が海上で転覆し、漏れ出した油によって海が汚染される問題を知った。また従来の方法では油の回収や除去には多大な労力とコストがかかる。本研究ではクロロフィルに注目した。採取した海水にサラダ油とクロロフィル抽出液を入れ、油がどのように変化していくか調べた。最初にクロロフィル抽出液の量を変えて比較した。結果は、いずれも油が残っている状態であった。海水に対する油の量が多かったと考えた。次に駒込ピペットから垂れる一滴（約 0.05ml）の油とクロロフィル抽出液 50g を統一し、海水の量のみを変えて実験を行った。結果は、海水 4L にクロロフィル抽出液 50g（約 1%）加えたものが油を見えない状態にした。クロロフィルは海水中の微生物を活性化させる。その結果、数時間で油を分解することが示唆された。

キーワード: クロロフィル、油分解、海洋汚染、オイル漏れ、微生物

1. 研究背景

海上での船舶事故により発生する環境問題のひとつとして、油の流出による海洋汚染が課題となっている¹⁾。特に、タンカーや貨物船が転覆・座礁した際には、大量の原油や燃料油が海へと漏れ出し、広範囲にわたる生態系への影響が懸念される。流出した油は海面に広がり、海洋生物の生息環境を悪化させるだけでなく、漁業や観光業にも甚大な被害をもたらす²⁾³⁾。また、従来の方法では油の回収や除去には多大な労力とコストがかかる。クロロフィルは、植物や藻類に含まれる光合成色素であり、光エネルギーを利用して有機物を分解する能力を持つ⁴⁾。環境問題に対処するために研究を行った。

2. クロロフィル量および海水量による油膜分解実験

2.1 材料と方法

クロロフィル抽出液 25g と市販のサラダ油 12.5ml、2024 年 8 月 17 日、岡山県瀬戸内市牛窓町で採取した海水 1L を使い、油分解に関する実験を行った。ハサミ（または手）でほうれん草 40 g を細かく切断して乳鉢に入れ、濃度 99% エタノール 160 g を加え、乳棒で押しつぶす。その後、濾紙で濾過してクロロフィル抽出液 180g を得た（以後使用されるクロロフィル抽出液は同様の処理を行った）。サラダ油 2.5ml、牛窓町で採取した海水 200ml を入れた直径 15cm 深さ 8cm の容器にクロロフィル抽出液 0 g, 2.5 g, 5.0 g, 7.5 g, 10 g をそれぞれ加えた（図 1）。次にこれらの容器を日光がよく当たる場所に置いた。放置期間は 2024 年 8 月 18 日午前 7 時 46 分から 2024 年 8 月 19 日午前 7 時 43 分の約 1 日間である。

また、クロロフィル抽出液 200 g とサラダ油 約 0.2ml、2024 年 10 月 14 日、牛窓町で採取した海水 13L を使い、油分解に関する実験を再度実施した。海水 1L, 2L, 4L, 6L を容器（海水 1L, 2L は直径 19cm 深さ 8cm, 4L は直径 22cm 深さ 9cm, 6L は直径 22cm 深さ 11cm）に入れ、その中にそれぞれクロロフィル 50 g と駒込ピペットから垂れるサラダ油 1 滴（約 0.05ml）を加えた（図 2）。次にこれらの容器を日光がよく当たる場所に置いた。放置期間は 2024 年 10 月 14 日午前 8 時 30 分から 2024 年 10 月 15 日午前 7 時 30 分の約 1 日間である。

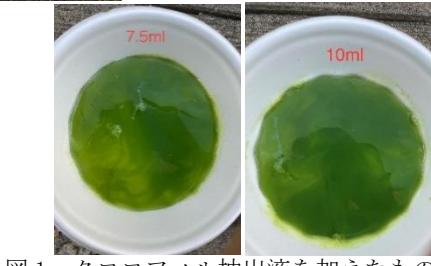
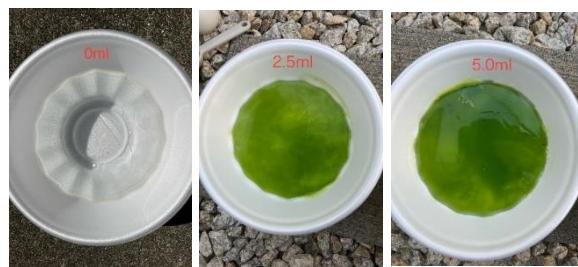


図 1 クロロフィル抽出液を加えたもの



図 2 クロロフィル滴下直後

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

2.2 結果

クロロフィルの量を比較した実験では、6時間後、すべての容器で油が残っている状態や液体が透明な状態が見られた(図3)。その後も実験を続けたがどれも変化が見られなかつた。海水の量を比較した実験では、3時間31分後、海水1L,2L,6Lは油が目視できた(図4)。一方、海水4Lのみ油が確認できなかつた(図5)。また、海水6Lのみ油が一つになつていて状態が見られなかつた。その後も実験を続けたが、どれも変化がなかつた。

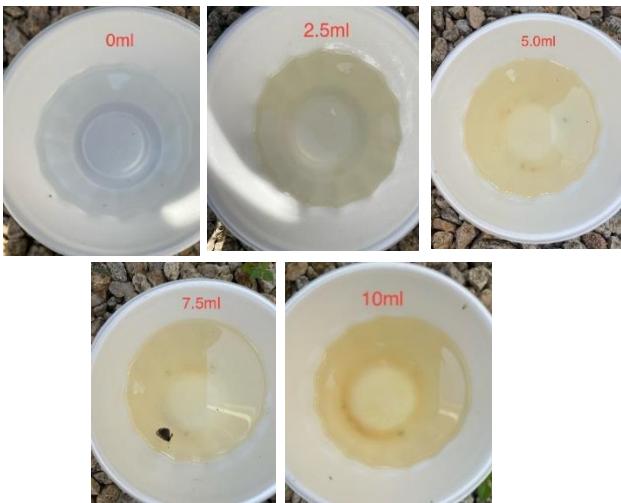


図3 クロロフィル滴下 6時間後

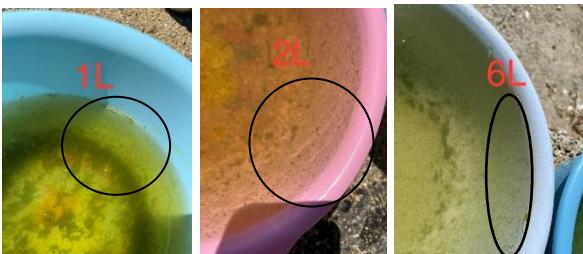


図4 3時間31分後の海水 1L, 2L, 6L



図5 3時間31分後の海水 4L

2.3 考察

クロロフィルの量を比較した実験では、油が目視できる状態のままでいる原因として、油の量に対して海水の量が少なかつたと考えられる。海水の量が不足していたため、油を分解するのに働く微生物が不足していたと推測される。海水の量を比較した実験では、海水4Lに対して50g(約1パーセント)のクロロフィル抽出液を入れたものはクロロフィルが海水にいる微生物を活性

化させ、油分解を促した。海水6Lは油見えない状態にするまではいかなかつたが、油の凝集性を低下させた。1L,2Lの海水は油の凝集性が見られたため、海水の微生物不足であると考えられる。

3. クロロフィル沈殿量の比較

油膜分解実験で容器の底に沈殿しているものが何なのか疑問を持った。私たちはクロロフィル抽出液の一部が沈殿したのではないかと仮定して、検証を行つた。

3.1 材料と方法

2024年11月10日、牛窓町で採取した海水、水道水それぞれ2L、クロロフィル抽出液120gを使いクロロフィルの沈殿についての実験を実施した。海水、水道水それぞれ2Lを入れた直径19cm深さ8cmの容器にクロロフィル抽出液60g加えた。その後これらの容器を日光がよく当たる場所に置いた。放置期間は2024年11月10日、午前8時25分から2024年11月11日、午前7時31分の約1日間である。

3.2 結果

海水2Lの容器の底には多くの沈殿が確認できた(図6)。しかし、水道水2Lの容器にはあまり沈殿が見られなかつた(図7)。

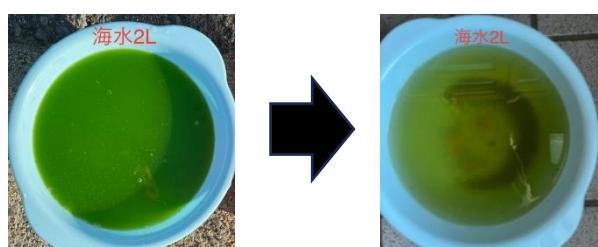


図6 海水におけるクロロフィル沈殿



図7 水道水におけるクロロフィル沈殿

3.3 考察

海水のほうが多く沈殿が見られた原因として、塩析による沈殿だと考えられる。本研究では、電解質の海水に含まれる塩化マグネシウムの主成分であるにがりが、親水コロイドのクロロフィルの色素タンパク質と反応し、容器の底に固まつたと示唆される。

4. 結論

駆込ピペットから垂れる油 1 滴（約 0.05ml）を加えた海水 4L にクロロフィル抽出液 50g(約 1%) 加えたものが数時間で油を見えない状態にした。クロロフィル抽出液が海水の微生物を活性化したこと、海水の油を分解したことが示唆された。このことから、海上で船が転覆し、油が漏れだした際、クロロフィルによって海水中にいる微生物を活性化し、油の分解を促進させるという方法が成り立つと考えられる。

5. 謝辞

本研究の遂行にあたり岡山学芸館高等学校柳雅之教諭、吉岡希裕教諭、稻村晃司教諭より丁寧なご指導を頂きました。誠に感謝申し上げます。

6. 引用文献

- 1) 小林寛. 洋上掘削施設に起因する油濁事故に対する責任制度に関する一考察-メキシコ湾原油流出事故 (The Deepwater Horizon Oil Spill) を踏まえた米国油濁法 (The US Oil Pollution Act of 1990) からの示唆. Diss. Waseda University, 2015.
- 2) 木村彰成, 久保幹. “油脂分解微生物を用いた油脂含有廃水処理.” オレオサイエンス 6. 10 (2006): 501-506.
- 3) 重田晴生. ”<研究> 船舶事故による海洋油濁と被害第三者の損害 (1).” 神奈川法学 8 (1972): 29-69.
- 4) 伊原正喜“クロロフィル光触媒による油の分解”(2018)
<https://www.shinshu-u.ac.jp/coi/news/assets/fe655ca0bf3a268d0a0dba82c3985d1b.pdf>



ヒトデと牡蠣殻の利用可能性 肥料として活用出来るか

濱田朱花莉^{†1} 石田奈々恵^{†1}

牡蠣殻にはカルシウムが多く含まれているため土壤の pH を調整することが期待される。乾燥ヒトデは五酸化二リンを含むため肥料の栄養素であるリンを補填できると考えた。本研究は、産業廃棄物であるヒトデと牡蠣殻で肥料を作成し、コマツナの成長、スプラウトの成長、土壤環境に与える影響を評価することを目的とした。検証実験として肥料の異なる 5 種類の土壤を作成しコマツナの成長および土壤環境への影響を比較した。各肥料を施肥した土壤にコマツナを播種し、毎日発芽数および土壤の pH と導電率 EC の値を測定した。さらに、土壤に施肥する量と土壤環境の変化について調べるために、牡蠣殻肥料の量を変えて施肥し、それぞれ pH と導電率 EC の値を測定した。また、各肥料の効能を調べるためにスプラウトでの比較実験を行った。水と各肥料の量を変えたものを 5 種類用意し、発芽数と茎の伸長を測定した。その結果、コマツナでの対照実験からヒトデ肥料、牡蠣殻肥料どちらも pH がアルカリ性に近づく効果があり、酸性土壤の改善に有用であると考えられた。牡蠣殻肥料を用いた実験から、牡蠣殻肥料には土壤の pH を一定の値まで上げる効果があり、その値は肥料の量によって変化することが分かった。スプラウトでの比較実験では市販有機肥料、水、市販化成肥料、牡蠣殻肥料の順で茎の伸長が大きいことが分かった。肥料の量に関する十分な検討がなされていなかったため、さらなる検証が必要である。

キーワード: 牡蠣殻、ヒトデ、肥料、コマツナ

1. 序

2024 年、日本は肥料原料のほとんどを輸入に依存していることから、社会情勢の変化により化学肥料原料の価格が上昇し肥料価格が急騰している¹⁾。また、ヒトデの廃棄量は北海道だけで年間 1 万 t を超える²⁾。国内での牡蠣殻の廃棄量は約 21 万 t にも及ぶ³⁾。牡蠣殻にはカルシウムが多く含まれているため、土壤の pH を調整できると考えた。乾燥ヒトデは五酸化二リンを含むため、肥料に含まれる栄養素であるリンを補填できると考えた。化学肥料の代替として、大量に廃棄される水産資源であるヒトデと牡蠣殻を用いた肥料を作ることを本研究の目的とした。

2. 材料と方法

2.1 コマツナを用いた対照実験

畑の土 10L に肥料なし、市販化成肥料（化成肥料 8-8-8 保証成分量 (%): アンモニア性窒素 8.0, 可溶性リン酸 8.0, 内水溶性リン酸 6.0, 水溶性カリ 8.0) 100g, 市販有機肥料（発酵鶏ふん有機 100% 肥料）300g, 牡蠣殻肥料 800g, ヒトデ肥料 115g を用いてコマツナ（照彩小松菜）を育て、土壤の pH・導電率 EC の変化、毎日発芽数、葉面積、重量の 4 点を比較した。牡蠣殻肥料は、米ぬか 300g、市販の油かす（5.3 なたね油かす粉末 1 号）100g、岡山県備前市日生町日生湾で養殖された牡蠣殻を碎いたもの 100g、水道水 500ml を混ぜ、市販の腐葉土たい肥（腐葉土）60g を加え作成した。ナイロン袋に入れ手で脱気し、直射日光を避け 10°C から 20°C の環境下で、2024 年 11 月 6 日から 2025 年 1 月 14 日まで約 2

カ月間保存した。また、ヒトデ肥料は、新鮮なヒトデ 1（重量比）+ 完熟たい肥 3（重量比）+ モミガラ（容積重調整 700 kg/m³ 以下に）+ 廃植物油（全体重量の 5%）を混合することでたい肥化できることが知られている⁴⁾。よって、岡山県岡山市東区田坪海岸で採取した乾燥ヒトデ 20 g、完熟腐葉土堆肥 60g、もみ殻 30g、廃植物油（主に菜種油）5ml を混ぜ作成し、牡蠣殻肥料と同様に保存した。図 1 はプランタにコマツナを播種した様子である。2025 年 1 月 15 日に 60 粒ずつ播種し、不織布とビニールをかぶせ毎日水道水 400ml を与えた。2025 年 1 月 22 日よりマルチ水質チャッカー WJ A-2017SDJ を用い、土壤の pH と導電率 EC を測定した。風乾土 20 g に精製水 50ml を加え攪拌し、30 分程度放置した後、pH を測定した。さらに精製水 50ml 加え攪拌し、導電率 EC を測定した。単位は mS/cm である。



図 1 肥料ごとのプランタにコマツナを播種

2.2 牡蠣殻肥料を用いた実験

牡蠣殻肥料の最適な散布量を検証するため、市販の土（野菜と花の培養土）500g に対し牡蠣殻肥料 0g, 25g, 50g, 75g にて実験を行った。図 2 は牡蠣殻肥料と土を混ぜた後の様子である。2025 年 1 月 22 日より毎日 300ml の水道水を与え、実験 1 と同様に土壤の pH と導電率 EC を測定した。単

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

位は mS/cm である。



図 2 牡蠣殻肥料を混ぜた植木鉢

2.3 スプラウトを用いた発芽・成長実験

1月 24 日に種子（中原 かいわれ大根）を 250 粒ずつキッキンペーパーの上に播種し、水道水、市販化成肥料 1g に対し水道水 499g、市販有機肥料 10g に対し水道水 400g、牡蠣殻肥料 10g に対し水道水 400g、油かす 1g に対し水道水 400g を 1 日 2 回容器の下に敷いたキッキンペーパーが湿る程度に与えた。発芽数、茎の伸長の 2 点を比較した。

3. 結果

3.1 コマツナを用いた対照実験

図 3 より、60 粒中の発芽数（発芽率）は肥料なしが 39 本 (65.0%)、市販化成肥料が 4 本 (6.7%)、市販有機肥料が 17 本 (28.3%)、牡蠣殻肥料が 50 本 (83.3%)、ヒトデ肥料が 53 本 (88.3%) であった。図 4 は 2 月 17 日時点のコマツナの成長の様子である。土壤 pH の変化、土壤 EC の変化を図 5、図 6 に示す。

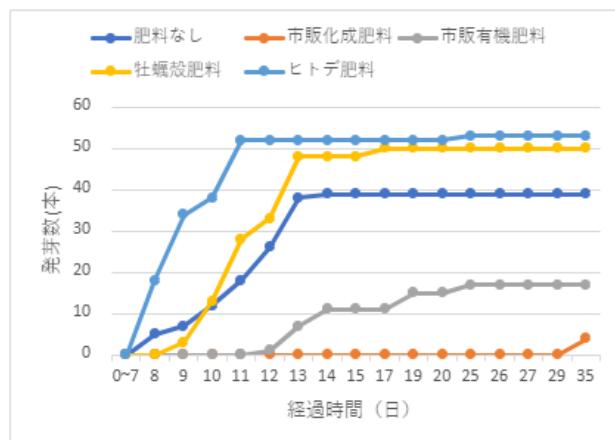


図 3 コマツナ発芽数（率）推移



図 4 コマツナ（播種後 18 日）

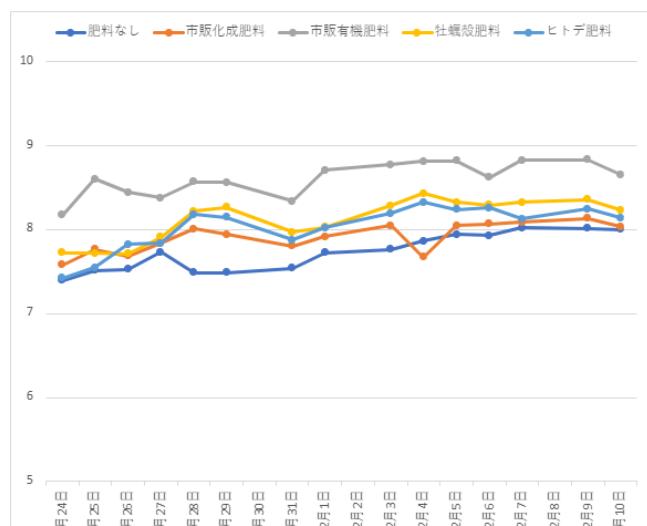


図 5 土壤 pH の変化

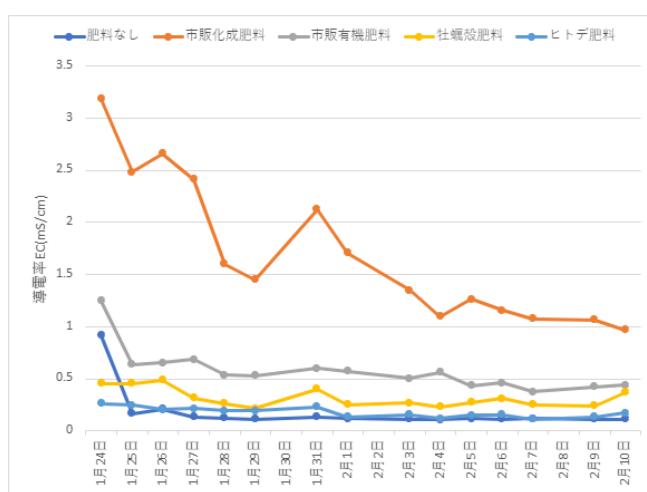


図 6 土壤導電率 (EC) の変化

3.2 牡蠣殻肥料を用いた実験

土壤 pH の変化を図 7 に示す。また、土壤 EC 値の変化を図 8 に示す。牡蠣殻肥料 0g では 1.184mS から 0.193mS、牡蠣殻肥料 25g では 1.333mS から 0.191mS、牡蠣殻肥料 50g では 1.536mS から 0.1853mS、牡蠣殻肥料 75g では 1.288mS から 0.197mS と EC 値が急激に低下した。

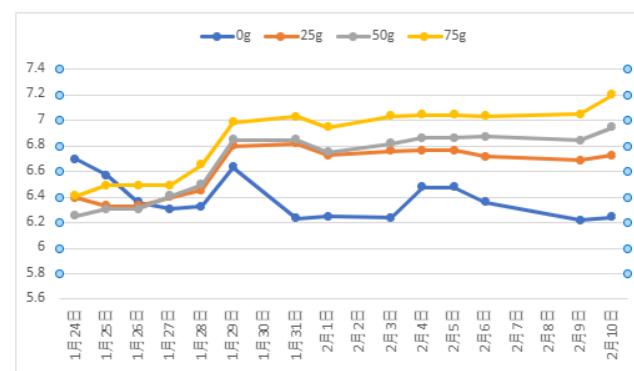


図 7 土壤 pH の変化

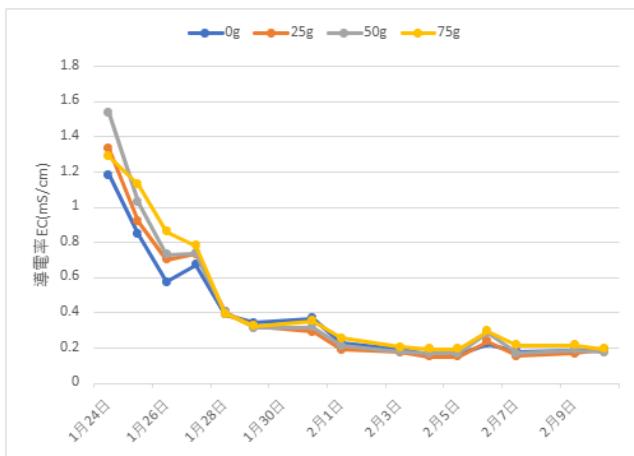


図 8 土壤導電率 (EC) の変化

3.3 スプラウトを用いた発芽・成長実験

スプラウトの長さの平均が、水道水 8.57 cm、市販化成肥料 8.25cm、市販有機肥料 10.03cm、牡蠣殻肥料 7.57cm であったことから、市販有機肥料が最も成長を促進した(図 9)。図 10 はスプラウトの成長の様子である。牡蠣殻肥料では、根に肥料が絡みついていた。油かすを計画していた量以上に用いてしまったため、種が溶けた。

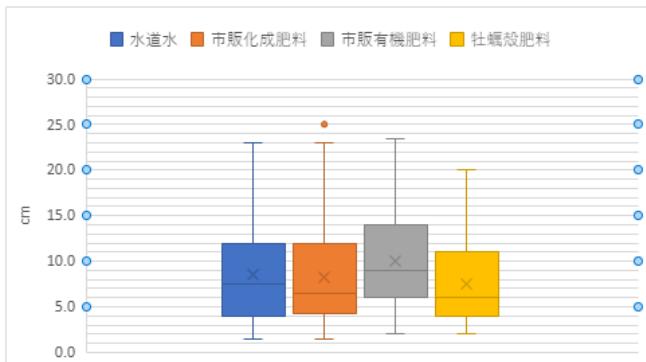


図 9 スプラウトの成長比較



図 10 スプラウト成長の様子

4. 考察

4.1 コマツナを用いた対照実験

ほかの肥料に比べヒトデ肥料の発芽が速かった(図 3)。乾燥ヒトデに含まれる何らかの成分が発芽を促進したと考えられる。

えられる。市販化成肥料では与えた肥料の量が多く、土の中で種が溶けた。また、種と肥料との濃度勾配により発芽速度に差がみられた。

4.2 牡蠣殻肥料を用いた実験

牡蠣殻を粉碎したため表面積が増え、炭酸カルシウムが溶解しやすくなり EC の値が下がってしまったと考えられる。また、土の量に対し一回に与える水の量が 300ml と多く肥料が水に流れてしまったことも要因の一つとして考えられる。

4.3 スプラウトを用いた発芽・成長実験

牡蠣殻肥料では、肥料の固形物が根に絡みつき水の吸収を阻害し、肥料なしに比べ伸長が悪かった。市販有機肥料は茎の伸長が一番大きかったことから、他の肥料よりも植物が吸収しやすい栄養素が多く含まれていると考えられる。

5. 結論

ヒトデ肥料には発芽を促進する効果が見られた。ヒトデ肥料、牡蠣殻肥料どちらも pH が塩基性に近づく効果があつたことから、酸性土壌の改善に有用である(図 5, 7)。以上のことから、ヒトデや牡蠣殻は肥料としての利用に適している。しかし、肥料の量や与える水の量など実験条件に関する十分な検討がなされていなかったため、さらなる検証が必要である。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり、丁寧なご指導を頂いた岡山学芸館高等学校柳雅之教諭、吉岡希裕教諭に深く感謝申し上げます。

7. 引用文献

- 農林水産省 農産局技術普及課. 肥料をめぐる情勢. (2025年, 2月) 農林水産省 p. 9.
- 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構. (2003年, 2月, 7日) 水産研究本部試験研究は今 No. 492 「ヒトデの有効利用に向けて」
- 岡山県 水産課(2022年, 11月 22日)牡蠣殻を利用した底質改良技術ガイドライン. 岡山県
- 日野義彦. 菅原賢一. 押野明夫. 藤原健. (2007年) 水産現場でのヒトデたい肥化技術. 農研機構

牡蠣殻を用いた酸化カルシウムの生成

江口大希^{†1} 戸田育志^{†1}

牡蠣殻の廃棄量が問題視されている。牡蠣殻は酸性土壌の中和、水質浄化、鳥の飼料などに活用されている。しかし、廃棄予定の牡蠣殻全体の約2割程度しか利用できていない。私たちは牡蠣殻の新たな活用方法を確立できないかと考えた。本研究では、牡蠣殻の加熱による酸化カルシウムの生成を踏まえて、水道水中における発熱反応の確認を行った。酸化カルシウムの生成では、粒径1mm～2mmの粉末にした牡蠣殻に対して加熱の有無による対照実験を行った。反応指示薬としてフェノールフタレン溶液とpH試験紙を用いた。結果、加熱を行うことで酸化カルシウムが生成できた。ゆえに、加熱を行った牡蠣殻を用いれば、水道水中における発熱反応の観測が可能であると示唆された。加熱した牡蠣殻の水道水中における発熱反応の確認では、粉末の牡蠣殻をガスバーナーと簡易加熱炉を用いて1～2時間加熱した。しかし、どちらも水道中の発熱反応を確認できなかった。発熱反応を起こすために必要な酸化カルシウムを十分に生成できなかつたことが原因であると推察した。より高温で加熱する必要があると考え、電気炉を用いて加熱を行った。加熱した牡蠣殻と水道水1Lを反応させた水溶液のpHを、加熱時間1時間毎にpHメーターを用いて確認した。電気炉による加熱1時間毎に水溶液のpHの値が比例して上昇した。3時間加熱した粉末の牡蠣殻を溶かした水溶液はpH12.2を示した。これは水酸化カルシウム水溶液のpH12.4に近い値である。高温で加熱することにより牡蠣殻から酸化カルシウムを生成することが可能であり、牡蠣殻の活用方法を広げることができると考えられる。

キーワード: 牡蠣殻、炭酸カルシウム、酸化カルシウム、発熱反応、電気炉

1. 研究背景

2015年以降、牡蠣殻の廃棄量が年間約15万トンとなっていることが問題視されている¹⁾。牡蠣殻の主成分は炭酸カルシウムであり、主な牡蠣殻の活用方法として酸性土壌の中和を目的とした有機肥料²⁾、海の水質浄化³⁾、鳥のカルシウム補給⁴⁾を目的とした配合飼料などが挙げられる。しかし、廃棄される牡蠣殻全体の約2割程度しか活用されおらず牡蠣殻の廃棄問題は深刻である。牡蠣殻の活用方法は主に牡蠣殻の主成分である炭酸カルシウムを利用した方法である。牡蠣殻を加熱し、酸化カルシウムを生成することが可能であれば⁵⁾、牡蠣殻の活用方法を拡大し、廃棄問題に貢献できるのではないかと考えた。酸化カルシウムの使用用途として、乾燥材や弁当を温めるための発熱材などが挙げられる。



図1 虫明海岸の牡蠣殻



図2 牡蠣殻粉末



図3 ガスバーナーで加熱する牡蠣殻粉末

2. 酸化カルシウム確認方法

2.1 材料と方法

2024年9月10日、岡山県の虫明海岸で採取した牡蠣殻（図1）を釜（約500°C）の中で20分加熱した。以後使用される粉末の牡蠣殻はすべて同様の処理を行った。牡蠣殻の表面についている微生物やフジツボが加熱の際に弾けるのを防ぐためである。その後ハンマーを用いて粒径が1mm～2mmになるまで砕いた（図2）。粉末の牡蠣殻10gをガスバーナー（青い炎）で10分間加熱した（図3）。対照として、非加熱の粉末の牡蠣殻10gを用意した。

加熱した粉末の牡蠣殻と非加熱の粉末の牡蠣殻をそれぞれ別のビーカー（容量500ml）に入れた。牡蠣殻を入れたビーカーにそれぞれ水道水100mlを入れ、フェノールフタレン溶液を3滴ずつ垂らしガラス棒で少しあわせ、色の変化を比較した。

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

2.2 結果

非加熱の粉末の牡蠣殻とフェノールフタレイン溶液を反応させた水溶液は薄いピンク色に染色された。一方、加熱した粉末の牡蠣殻をフェノールフタレイン溶液と反応させた水溶液は濃いピンク色を呈色した（図 4）。

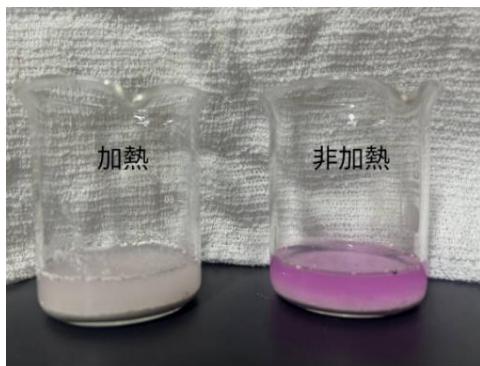


図 4 フェノールフタレイン溶液との反応

2.3 考察

フェノールフタレイン溶液によって濃いピンク色に呈色した水溶液は、水酸化カルシウム水溶液であると推測される。加熱によって生成された酸化カルシウムが水道水と反応した結果、水酸化カルシウムへ変化したと考えられるからである。ガスバーナーで加熱することにより、粉末の牡蠣殻に含まれる炭酸カルシウムから酸化カルシウムを生成することができた。

3. 酸化カルシウムとの発熱反応

3.1 材料と方法

粉末の牡蠣殻 10g をガスバーナーを用いて加熱した。この時、ガスバーナーはレンガ（10cm×10cm×20cm を 6 個）を用いて固定し、粉末の牡蠣殻はレンガ（10cm×10cm×20cm を 1 個）を用いて固定した耐熱容器に入れた（図 5）。

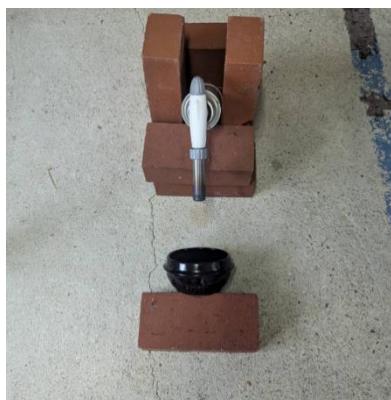


図 5 固定したガスバーナーと耐熱容器

並行して、牡蠣殻 10g, 20g, 30g を用意し、簡易的にレンガ（10cm×10cm×20cm を 22 個）、送風機、木炭を用いて作った加熱炉（図 6）を使用した。加熱炉は、空気を送る隙間と空気が出て行く隙間を正面と真後ろに一つずつ作り、正面から送風機で空気を常時送り続けた。金網を敷いて牡蠣殻が炭に落ちないようにした。1 時間加熱した後、牡蠣殻 10g, 20g, 30g をそれぞれ別のビーカー（500ml 容量）に入れられた。牡蠣殻を入れたビーカーにそれぞれ水道水 100ml を入れ、発熱反応を観察した。



図 6 簡易加熱炉

3.2 結果

加熱した粉末の牡蠣殻と水道水を反応させた前後で水温に変化は見られなかった。

3.3 考察

酸化カルシウムの生成確認の考察に反して、ガスバーナーを用いた加熱では発熱反応は確認されなかった。2 時間加熱したにも関わらず発熱反応が確認されなかつたため、原因はガスバーナーの火力不足であると推測した。火力を上昇させるには酸素の供給量の増加、または燃料の変更が必要となる。ゆえに酸素の供給量を増やすため、簡易的な加熱炉を用いて粉末の牡蠣殻の加熱を行った。ガスバーナーによる加熱と比較し酸素の供給量は増加したが燃料をブタン (C_4O_{10}) から炭 (C) に変更したため、期待した火力の上昇が起こらなかったと考えた。ゆえに粉末の牡蠣殻が、酸化カルシウムの生成反応が始まる 1000°Cまで上昇しなかつた、または酸化カルシウムの生成はされていたが、水道水 100ml を十分に温度上昇させるだけの酸化カルシウムが生成されなかつたと考えられる。

4. 酸化確認のための pH 变化と最適な燃焼時間

4.1 材料と方法

粉末の牡蠣殻と粉末の炭酸カルシウムをそれぞれ 10g 用意し、電気炉（メーカー Nidec, 型番 DUB-07, 設定温度 1270°C）を用いて 1 時間毎に加熱した（図 7）。加熱した牡蠣殻と炭酸カルシウムをそれぞれ丸形水槽（直径 25cm, 高さ 15cm）に入れた。水道水 1L と反応させ、pH メーターで pH の値の

変化を比較した。25°Cの水道水 100ml に対する水酸化カルシウムの溶解度は 0.17 g と非常に小さい。水道水 100ml と加熱した牡蠣殻の反応では牡蠣殻の加熱時間の違いによる pH の変化を比較することが困難であると判断し、酸化カルシウムと発熱反応、簡易加熱炉を用いた発熱反応の確認で用いた水道水 100ml の 10 倍である水道水 1L を用いた。



図 7 電気炉

4.2 結果

3 時間加熱した粉末の牡蠣殻および炭酸カルシウムを水道水と反応させ生成した水溶液は、pH12.2~12.3 を示した（表 1）。

表 1 加熱時間の違いによる pH の差

加熱時間	1 時間	2 時間	3 時間
牡蠣殻	7.6	9.2	12.2
炭酸カルシウム	7.8	9.8	12.3

また、加熱した粉末の牡蠣殻や炭酸カルシウムを水道水と反応させて生成した水溶液は加熱時間の増加に比例して pH が上昇した。

4.3 考察

水酸化カルシウムの溶解度(1.7g/L)より、粉末の牡蠣殻および炭酸カルシウムを 1270°C で 3 時間加熱することによって、約 1.7g の酸化カルシウムを生成できると考えられる。

5. 結論および展望

酸化カルシウムの生成確認から、ガスバーナーで粉末の牡蠣殻を加熱することで、非加熱のものと比べフェノールフタレイン溶液がより濃いピンク色を呈色した。ゆえにガスバーナーを用いた加熱によって粉末の牡蠣殻から酸化カルシウムの生成が可能である。しかし、酸化カルシウムと発熱反応および、簡易加熱炉を用いた発熱反応の確認において、ガスバーナーや簡易加熱炉を用いて加熱した粉末の

牡蠣殻と水道水を反応させた前後で、水温の変化は確認できなかった。一方、酸化確認のための pH 変化と最適な燃焼時間において電気炉を用いた場合には、加熱した粉末の牡蠣殻と水道水を反応させた水溶液の pH の変化が見られた。ゆえに、粉末の牡蠣殻から酸化カルシウムを生成するにはガスバーナーや簡易的な加熱炉より電気炉を用いた加熱が適している。

今後の展望として、電気炉の温度変化と最適な燃焼時間の関係を明らかにすること、そして実験で生成した酸化カルシウムを既存の酸化カルシウムの代用として実際に用いることである。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり、ご指導を賜った岡山学芸館高等学校柳雅之教諭、吉岡希裕教諭、誠にありがとうございました。また電気炉を使用させてくださった森雄次郎氏に感謝申し上げます。

7. 引用文献

- 1) 芦田利文, 望戸泰佑, 岡本沙也, 笹村寛人 (2016). 〈研究論文〉かき殻を原料に用いた硬化体の作成とその特性. 近畿大学工学部研究報告, (50), 15-19.
- 2) 山田一裕, 豊島正幸. (2008). 水産廃棄物を活用した強酸性土壌の改善に関する研. In 環境情報科学論文集 Vol. 22 (第 22 回環境情報科学学術研究論文発表会) (pp. 481-486). 一般社団法人 環境情報科学センター.
- 3) 佐々木長市, 江成敬二郎, 小関恭, 伊藤豊彰, 中山正与. (1999). 産業廃棄物としてのカキ殻を用いた水質浄化試験. 農業土木学会論文集, 1999(200), 233-241.
- 4) 藤中邦則, 龍田健. (1999). 産卵鶏用市販飼料へのかき殻添加が産卵性と収益性に及ぼす影響. 日本家禽学会誌, 36(1), 47-52.
- 5) 松下功, 中西淳一, 河野敏夫, 森賀俊広, 芦田利文, & 中林一朗. (1993). 塩基性炭酸カルシウムの熱分解機構. Journal of the Ceramic Society of Japan (日本セラミックス協会学術論文誌), 101(1176), 895-899.

速醸魚醤と発酵時間の関係

井上鼓動^{†1}

魚醤とは、魚と塩を主な原料にした液体状の調味料であり、魚を塩と共に漬け込み、好気性細菌の働きで発酵させることで出る液体成分を指す。熟成すると特有の香りや臭気を持つが、魚の動物性タンパク質が分解されてできたアミノ酸と、魚肉に含まれる核酸を豊富に含むため、濃厚なうま味を有するという特徴がある。宇多川隆らは通常数ヶ月～数年かかる発酵過程を15～24時間に短縮する速醸魚醤の開発に成功している。本研究では、発酵時間の違いが魚醤の風味や味にどのような変化をもたらすか明らかにするために、サバ内臓を用いて、17・20・23時間と発酵時間を変化させ、完成した魚醤の風味や味の違いを調べた。結果として、発酵時間毎に魚特有の香りや風味、味にわずかな違いがあった。これは、本来は数時間以上にわたって発酵させる魚醤に対して、約1日という短期間で発酵を行う為、数時間の差が完成した速醸型魚醤の味や風味に影響したと考えられる。今後の課題として、サバ以外の魚の内蔵でも同様の違いが見られるのか、また最適な速醸期間は何時間なのかを調べていく必要がある。

キーワード:速醸、魚醤、発酵時間、サバ

1. 速醸魚醤とは

魚醤とは、魚と塩を主な原料にした液体状の調味料であり、魚を塩と共に漬け込み、好気性細菌の働きで発酵させることで出る液体成分を指す。通常の醤油は植物性タンパク質、魚醤は動物性タンパク質を利用するため、魚醤は独特的の魚臭を持つ。国内外にはいくつかの種類の伝統的魚醤があるが、そのほとんどが原料とする魚の発酵に数ヶ月から数年と長い期間を要する（表1）。一方で、宇多川らはサバ内臓を用い、従来の30℃程度での発酵と異なる55℃環境下で発酵を行うことにより、約1日の発酵させる速醸魚醤の開発に成功している¹⁾。

表1 主な魚醤

	原産地	原料	発酵期間
ナンブラー	タイ	アンチョビ類	6ヶ月～3年
しょっつる	秋田県	ハタハタ	2～3年
いかなご醤油	香川県	いかなご	3～4ヶ月
いしる	石川県能登	イカ・イワシ	1～2年

2. 仮説

宇多川らの先行研究では、速醸魚醤の発酵時間は15時間から24時間とばらつきがあった。しかし、通常数ヶ月から数年と長い期間を要する発酵過程を短縮するにあたり、数時間の速醸時間の変化が完成する魚醤の味や風味にも影響を与えるのではないか、という仮説を立てた。

3. 材料と方法

本研究では、サバ切り身の内臓2尾分（図1）から血溜まり部分を排し、軽く水洗いした上で、キッチンペーパーで水分を拭き取り、調理用ハサミで数ミリ角に切り刻んだもの（図2）、および食塩（重量塩分濃度15%）を用いた。比較対象として、伝統的な従来の魚醤の中から、いしる（有限会社カネイシ いしり）と、しょっつる（高橋しょっつる屋 しょっつる無添加）を用意した（図3）。



図1 サバ内臓



図2 数ミリ角に刻んだサバ内臓



図4 比較した既製品

先行研究を元に、サバ内臓をドライオーブン55℃設定で17・20・23時間（計3セット）発酵させた。その後、重量塩分濃度15%となるように食塩を加えてよく混ぜ、試験管に移し、80℃以上の湯で20分間湯煎加熱した。加熱した混合物の上部に分離した赤褐色の液体部分を取り出し濾過し、冷蔵庫で数分冷却した。完成した魚醤を、発酵時間毎にしょっつる・いしると比較した。比較する際は実際に賞味し、

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

それぞれに対してどの程度、味や風味などが類似しているかをまとめた。また、発酵時間毎の風味や、味等の特徴を記録した。

4. 結果

見た目の違いとして、発酵時間が長くなるにつれてわずかに透明感が増した（図 4）。また、既製品の特徴として、いしりは味が濃く魚独特の香りが強い一方で、しょっつるは味が薄く魚独特の香りが抑えられている。今回の速醸魚醤はどの発酵時間においてもいしりとは味や香りの点で解離していた。しょっつるとの比較を表 2 に示す。



図 4 左から 17・20・23 時間発酵した速醸魚醤

表 2 伝統的魚醤との比較

発酵時間	風味・香り
17時間	しょっつるに少し似ていたが、より魚独特の香りがした
20時間	しょっつるにかなり近く、魚独特の香りは17時間のものよりも比較的抑えられた
23時間	しょっつるにかなり近く、香りも同程度まで抑えられた

味や香りの違いとして、17 時間発酵のものは魚独特の風味とエグ味が強かった。20 時間発酵のものは 17 時間発酵の物に比べてエグ味は無かったが、魚独特の風味は少し強かった。そして 23 時間のものは、20 時間のものとほぼ変わらなかったがエグ味が少なかった。特に 17 時間発酵のものと、20 時間発酵のものの違いが顕著に感じられた。また、発酵が完了してすぐの粗魚醤の粘度も、発酵時間の増加に伴って下がっていった。

5. 考察および課題

本実験から、速醸魚醤は発酵時間によって味や風味に影響があるのではないか、という仮説は検証されたと考える。その要因としては、通常数ヶ月から数年かかる発酵期間を約 1 日に短縮することでタンパク質分解活性が十分にはたらかなかったと推察できる。今後の課題として、サバ以外の魚類の内臓を用いて速醸魚醤を作っても同様の違いが生じるのか調べる必要がある。現在ブリやメギス、ニシンな

どへの応用可能性が示唆されている²⁾。また、本研究はあくまで主観的評価に留まってしまったため、今後は官能評価（官能評価 QDA 法）を実施し、客観的で定量的な評価を行う必要がある。

6. 謝辞

本論文の作成にあたり、指導及び助言をしてくださった岡山学芸館高校吉岡希裕教諭、柳雅之教諭に深く感謝致します。

7. 引用文献

- 宇多川隆. 速醸魚醤の開発とその利用. 日本醸造協会. 2012, 7, p. 477-484.
- 北陸三県の魚醤研究会. (2018, 11月 15日). 速醸魚醤発酵法の特徴.
<https://www2.pref.fukui.lg.jp/press/atfiles/pa9615412248318Y.pdf> (検索日 2025 年 1 月 23 日)
- 宇多川隆. 古くて新しい調味料「魚醤」速醸魚醤の生産とその利用. 化学と生物 . 2014. 52. 3, P151-152.

廃棄海藻をバイオプラスチックに再資源化！ 海藻プラスチックの可能性

濱田眞帆^{†1} 神谷凪穂^{†1}

プラスチックごみ問題の解決策として、植物由来のバイオマスプラスチックが注目されている。本研究では、日本の国内外で廃棄される褐藻類などの海藻を活用するために、テンガサ由来の粉末寒天やアルギン酸ナトリウムを主成分としたプラスチックを作成し、それぞれの性質を耐水性、生分解性の観点で比較した。粉末寒天を用いたものは強度と耐水性に優れ、アルギン酸ナトリウムを用いたものは柔軟性があり生分解性が高かった。また、酢を使用しないことで粉末寒天のゲル構造が保持され、強度が向上した。これらの結果から、海藻由来プラスチックは食品容器包装やレジ袋など、用途に応じた活用が可能であり、今後の改良によって実用化が期待されることが示唆された。

キーワード: 廃棄海藻、バイオマスプラスチック、寒天、アルギン酸ナトリウム

1. 研究背景

日本国内で食用のコンブやワカメとして使用される際、廃棄されてしまう茎などの残滓総量は年間約 15,000 t にも及ぶ¹⁾。一方、陸上植物デンプンを用いて自宅でもバイオマスプラスチックを作成することが可能であることが分かっている²⁾。高度経済成長期以降、加工がしやすく、汎用性の高いプラスチックは私たちの生活にとって欠かせないものとなっている。その反面、海洋汚染やマイクロプラスチックによる魚や人体への影響など様々な環境問題にも直面している。そこで、私たちは海藻からバイオマスプラスチックを各家庭で簡単に作ることができれば、より多くの人がプラスチックゴミ問題を身近な問題として捉えるきっかけになるとを考えた。

2. 目的

廃棄海藻から抽出できる物質を用いた海藻プラスチックを作成し、汎用性の高い海藻プラスチックの作成条件を確立する。本研究では、海藻デンプン、寒天、アルギン酸ナトリウムに注目し、それぞれの材料を用いて海藻プラスチックを作成し、特徴を調べることを目的とした。

3. 陸上植物デンプンバイオプラスチック

3.1 材料と方法

2024年5月2日、陸上植物デンプンを用いてバイオマスプラスチックを作成する先行研究²⁾に基づいて、再現実験を行った。蒸留水 60ml を入れた 300ml ビーカーに 8.5% グリセリン 6.0g、陸上植物デンプン(コーンスター) 9.0g、市販の食用酢(ミツカケ酢) 6.0ml を入れた。材料をすべて入れた混合液のビーカーをガラス棒で攪拌しながら 5~10 分間ガスバーナーで熱し、粘り気が出たら火から取り

外した。金属バットの上にクッキングシートを敷き、液体を流し込み、その後、3日から1週間を目安に、手に付着しなくなる状態になるまで乾燥させた。

3.2 結果

1週間の乾燥後、先行実験に基づいた半透明なバイオマスプラスチックを作成することができた(図1)。作成したバイオマスプラスチックは日数が経つほど縮小していき、2週間経過するとそれ以上縮むことはなく、状態を保持した。



図1 陸上植物デンプンバイオマスプラスチック

3.3 考察

陸上植物デンプンを用いたバイオマスプラスチックを作成できたことから、陸上植物デンプンを、海藻から抽出できる海藻デンプンに置き換えることができると考えた。また、海藻から抽出可能な粉末寒天、アルギン酸ナトリウムで海藻プラスチックを作成できると考えた。

4. 海藻からのデンプン抽出

4.1 材料と方法

2024年5月4日、岡山県岡山市東区宝伝の田坪海岸に繁茂している緑藻類のアオサと褐藻類のワカメをそれぞれ湿重量 100 g 採集した。また 2024 年 6 月 8 日、岡山県瀬戸内

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

市牛窓町の西脇海岸に繁茂している緑藻類のアオサと褐藻類のワカメもそれぞれ湿重量 100 g 採集した（図 2）。これらの海藻に加えて、紅藻類である市販のテングサ（太田黒商店）、ジャガイモ（馬鈴薯）を用いてデンプン抽出を試みた。



図 2 採集した海藻

4.2 結果

いずれの材料を用いて実験したものにも共通して沈殿物が見られ（図 3, 4），水分が蒸発し終わる頃には白と薄い茶色の粉末状になった（図 5）。しかし、馬鈴薯（ジャガイモ）デンプンは 70gあたり 9.5g 抽出できたのに対して、海藻デンプンはどれも 70gあたり 2.3g と 4 分の 1 程度しか抽出することができなかった。また、海藻デンプンは水分が蒸発するまでに時間がかかり、途中で腐敗してしまうものもあった（図 6）。



図 3 馬鈴薯デンプンの沈殿（揉んだ直後）



図 4 海藻デンプンの沈殿



図 5 乾燥したデンプン



図 6 腐敗した材料

4.3 考察

ジャガイモから得られる馬鈴薯デンプンと比較すると量は少ないものの、同様の抽出方法で得られた沈殿であり、色以外の見た目に違いは見られなかつたことから、抽出した物質は海藻デンプンであると考えた。

5. 海藻デンプンバイオプラスチック

5.1 材料と方法

2024年8月5日、陸上植物デンプンを用いた実験の材料を元に、コーンスタークを海藻から抽出した沈殿物に置き換えて実験を行った。陸上植物デンプンを用いた実験のコーンスターク 9.0g を海藻デンプンに置き換え、同様の手順で実験を行った。

5.2 結果

実験開始から 1 時間経過するも固まる様子がなく、24 時間置いてみたが固まらなかった（図 7）。その後、抽出した粉末にヨウ素液を用いた染色実験を行ったところ、青紫色を呈さなかつた（図 8）。



図 7 加熱中のビーカー

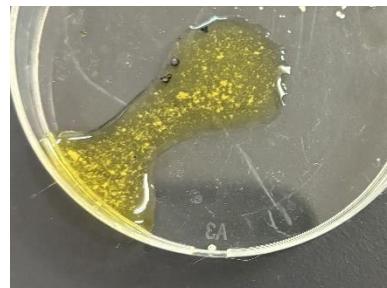


図 8 ヨウ素液による海藻デンプンの染色

5.3 考察

一般的に植物デンプンにヨウ素液を混ぜると青紫色を呈するとされているが、温度などの反応条件やデンプンの構造によって反応が異なる³⁾。以上のことから、抽出した物質が海藻デンプンであるかの区別は困難であり、かつ、海藻プラスチック作成が不可能なため、採集した白い沈殿物は海藻デンプンの役割を果たせないと考えた。

6. 寒天バイオプラスチック

6.1 材料と方法

2025年1月10日、陸上植物デンプンを用いた実験の材料を元に、コーンスタークを寒天に置き換えて実験を行った。この実験では、寒天の濃度を調節しやすくするために、市販の粉末寒天（かんてんクック）を用いた。陸上植物デンプンを用いた実験におけるコーンスターク9.0gを粉末寒天3.0g、5.0g、グリセリンを4.5g、7.5gにし、酢は用いずに同様の手順で実験を行った。陸上植物デンプンを用いたバイオプラスチックを作成するうえでの酢の役割は、細菌やカビを防ぎ、ゲル化を促進させることである。今回の実験では、長期保存を目的としておらず、また、酢を用いとも十分な柔軟性と強度が見られると考えたため、酢を使用しなかった。

6.2 結果

いずれの条件でも海藻プラスチックを作成することができた（図9）。陸上植物デンプンを用いたプラスチックと比較すると、乾燥時に大きく縮んだことで、厚みがあり強度の高いプラスチックとなった（図10）。



図9 作成した寒天プラスチック

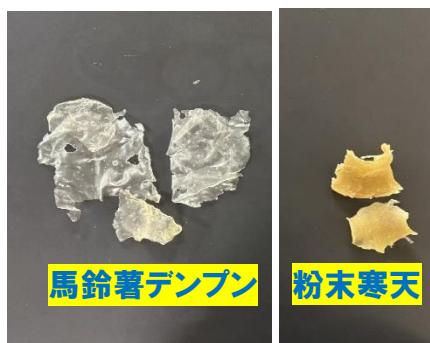


図10 作成したプラスチックの大きさの比較

6.3 考察

実験では酢を使用しなかったため、寒天の繊維が酢酸によって切断されることなく、強度のあるプラスチックになったと考えられる。また、厚みのある硬いプラスチックとなったことから、土での分解に長時間を要し、耐水性に優れているのではないかと考えた。寒天はアセチル化を施すことによって耐水性が高まると言われているため⁴⁾、アセチル化することで強度が向上するのではないかと考えた。

7. アルギン酸ナトリウムバイオプラスチック

7.1 材料と方法

2025年1月10日、陸上植物デンプンを用いた実験のコーンスタークを市販の粉末アルギン酸ナトリウム（ナカライトスク）に置き換えて実験を行った。陸上植物デンプンを用いた実験のコーンスターク9.0gをアルギン酸ナトリウム3.0g、5.0g、グリセリンを4.5g、7.5gにし、アルギン酸ナトリウムも寒天と同様に、今回の実験では長期保存を目的としておらず、酢を用いとも十分な柔軟性と強度が見られると考えたため、酢は用いずに、同様の手順で実験を行った。

7.2 結果

いずれの条件でも海藻プラスチックを作成することができた（図11）。粉末寒天を用いたものと比べると、ビニールのような質感でより陸上植物デンプンのバイオマスプラスチックに近い仕上がりになった。一方で、作成する際に水に溶けづらく、完全に乾燥するまでにかかる時間は2週間で、粉末寒天のプラスチックの2倍だった。

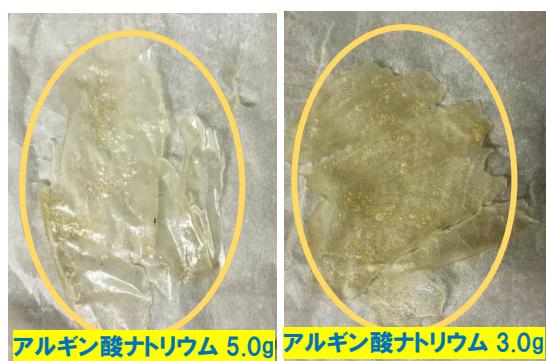


図11 作成したアルギン酸ナトリウムプラスチック

7.3 考察

粉末寒天のものと比べると、表面がビニールのように滑らかで光沢のある質感を有していた。アルギン酸ナトリウムは、褐藻類由来の多糖類で、アルギン酸のカルボキシ基がナトリウムイオンと結合したかたちの中性塩であり、昆布を水に浸漬すると出てくる粘りなどが当たる。一方、デンプンは、陸上植物由来の多糖類であり、アミロ-

スとアミロペクチンから構成され、水や熱によって糊化やゲル化する。そこで、アルギン酸ナトリウムは、熱に強く、加熱しても溶解しないゲルから成るゲル化剤として利用されていることから、今回作成したプラスチックには十分な耐水性が見られるのではないかと考えた。

8. 海藻プラスチックの分解速度および耐水性

粉末寒天とアルギン酸ナトリウムで作成した海藻プラスチックのそれぞれの性質を比較するために、分解速度と耐水性に関する実験を行った。

8.1 材料と方法

2025年1月13日、土の中で海藻プラスチックが分解されるかどうかを調べるために、半径10cm、深さ10cmの円柱のポットを用いて海藻プラスチックを埋めた。用意したポットの中に深さ8.0cmまで畑の土を入れ、その中に2.0cm×4.0cmの長方形に切り取った海藻プラスチックを埋めた（図12）。その後2日ごとに掘り返して分解されるまでの日数を調べた。ここでは、分解されるとは肉眼で固体を確認できなくなった状態とした。



図12 プラスチック埋没ポット

2025年1月11日、海藻プラスチックの耐水性を比較するために、蒸留水60gとグリセリン7.5gは統一し、アルギン酸ナトリウム5.0g（A）、粉末寒天5.0g（B）、アルギン酸ナトリウム2.5gと粉末寒天2.5g混合（C）を使用したプラスチックを作成した（図13）。また、作成時に、溶ける様子を可視化するために、赤色の食用色素を0.10g入れ、海藻プラスチックを染色した。2025年1月14日、乾燥させた海藻プラスチックを3.5cm×3.5cmの正方形に切り取り、蒸留水と温水の中に入れ、溶けるまでの時間を比較した。

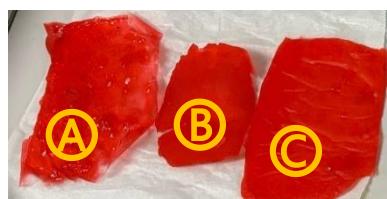


図13 耐水性実験に用いたプラスチック

蒸留水と60°Cの水を半径12cm深さ10cmの透明の耐熱容器に入れ、その中に海藻プラスチックも入れた。そこからストップウォッチを使用して10分に1回搅拌しつつ、固体が溶けて無くなるまでの時間を計測した。

8.2 結果

土に埋めて12日が経過したものを観察したところ、粉末寒天を用いたものは変化が見られなかったが、アルギン酸ナトリウムを用いたものは半分に分裂し、少しずつ小さくなっていた（図14）。また、土に埋めず、庭に放置していたものは元の大きさの半分まで縮んでいた（図15）。



図13 土に埋めて12日が経過したときの様子

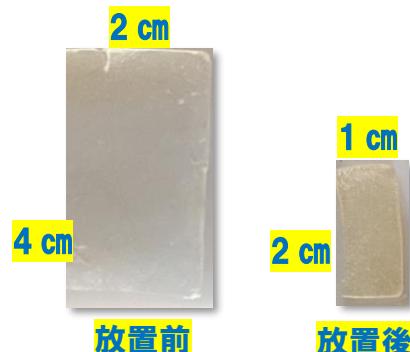


図14 海藻プラスチックの大きさの変化

60°Cと11°Cの水にそれぞれ沈めて15分が経過した後、海藻プラスチックの見た目に違いが現れた（図15）。

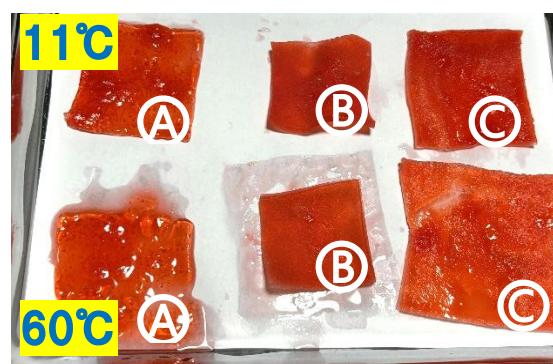


図15 水に入れて15分経過した海藻プラスチック

Aは60°C、11°Cの両方において、水に溶け出てしまつた。一方で、BとCはAに比べ、着色した赤い色素が濃く滲みだしてしまったものの、当初の形を保っていた。また、Cは水を吸収して膨らんだことで、AとBよりも縦横1.0cmずつ一回り大きくなつた。

8.3 考察

粉末寒天を用いて作成したプラスチックのうち、空気に触れていたものは縮小し、土に埋めていたものは大きな変化が見られなかつたことから、空気に触れない環境に置かれると形を保ち続けると考えた。一方で、アルギン酸ナトリウムを用いて作成したプラスチックはいずれの条件下においても大きな変化が見られなかつたことから、非生物的環境の影響を受けずに形を保ち続けることができると考えた。また、粉末寒天とアルギン酸ナトリウム、各2.5gを合わせて作成したバイオマスプラスチックが最も耐水性に優れていた。以上のことから、蒸留水60gに対してこの2つの物質の分量を等しく増やすことで、耐水性が上がるのではないかと考えた。

9. 結論および展望

海藻から抽出される粉末寒天とアルギン酸ナトリウムは、バイオマスプラスチックの作成において、陸上植物デンプンと置き換えて用いることができる。粉末寒天を用いたものは、耐水性を持ち、かつ、空気に触れない環境での形質保存が期待でき、アルギン酸ナトリウムを用いたものは生分解性に優れたプラスチックとなつた。

粉末寒天、アルギン酸ナトリウムとともに2週間では完全に分解することができなかつたため、分解までの様子を詳しく観察する必要がある。簡単に作成できることと、2週間以内の分解が可能になることで災害時の活用が見込めるかを考える。また、粉末寒天が乾燥時に大きく縮小するのを防ぐ方法について調べる。アルギン酸ナトリウムは温度と湿度が高い環境で溶けやすいため、保存方法を改良し、耐久性を高めることが求められる。

10. 謝辞

本研究および本論文の遂行にあたり、岡山学芸館高等学校清秀高等部柳雅之教諭、岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース吉岡希裕教諭には終始適切なご指導を賜りました。誠にありがとうございました。

11. 引用文献

- 1) 深澤茂 (2024, 9月). 【SDGs取り組み事例】廃棄される海藻からプラスチック株式会社ツカサペトコ. ものづくりドットコム.
<https://www.monodukuri.com/jirei/article/2032> (検索日 2025年2月16日)
- 2) AnneSchmidt. (2021) バイオプラスチックを作る方法. wikiHow. <https://www.wikihow.jp/バイオプラスチックを作る> (検索日 2025年2月16日)
- 3) 矢島博文 : ヨウ素デンプン反応の発色のしくみ, 化学と教育 63 : 228-231, 2015.
- 4) 北村愛菜ら. (2022) 寒天ストローの作成. スーパーサイエンスハイスクール.
<https://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/R04ssh/sc2/22234.pdf>. (検索日 2025年2月16日)



鱗の新しい活用法について 鱗からプラスチック・和紙の作製

平賀仁^{†1} 山本修也^{†1} 大橋汰雅^{†1} 鄭凱峻^{†1}

2023年、魚の廃棄物が年間720万～1200万t産出された。また、世界におけるプラスチックの生産量も2000年から2015年にかけて1.5倍以上になっており、今後も増加すると予想されている。私たちはこの問題を解決するために鱗をバイオプラスチックや和紙に活用できないかと考えた。先行研究から魚の鱗はリン酸カルシウム、タンパク質、キチン質が主成分であることが分かっている。鱗からバイオプラスチックを作製する先行研究では、エチレンジアミン四酢酸、トリス塩酸が使われていたが、本研究では同じ作用を持つ水酸化ナトリウム水溶液で処理した。バイオプラスチックはチヌの鱗、コーンスターク、グリセリン、酸化亜鉛、水を先行研究に準ずる2つの比率で混合し加熱することによって作成した。結果として、異なる比率でできた物質の性質に違いは見られなかった。また、出来上がった物質は硬さが不足していた。原因として、加熱する際の温度が関係していると考え、低温で再び実験を行った。しかし、低温で加熱した際にも生成物の硬さが不足していた。鱗を処理する液体を水酸化ナトリウムで代用した点以外は先行研究に沿って実験を行ったため、水酸化ナトリウム水溶液に漬けた際に、鱗のタンパク質が過剰に分解され、プラスチックの特徴である高い耐久性が損なわれてしまったと考えられる。そのため、今後は水酸化ナトリウム水溶液の濃度を下げた場合や、他の酸性の液体を使ったときの耐久性の変化について調べ、タンパク質の理想的な分解度合いを明確にしていきたい。次に、鱗の有効活用方法として和紙の作成を試みた。和紙を作る工程の原料である木材を鱗に変え作成した。和紙の作成工程に使われるのりと水の配分量を調べ、4つの比率で実験を行った。結果として、水20mlに対してのり2.5g、鱗は0.5gが最も効率が良いことがわかった。しかし、和紙の採取割合は7割程度であった。そのため、今後はより細かい鱗の質量比での実験によって、最適な採取条件を明らかにし、和紙の生産効率を高めていきたい。

キーワード: 鱗、チヌ、バイオプラスチック、和紙

1. 鱗からプラスチックの作成

1.1 研究背景

2023年、魚の鱗や皮などの廃棄物は年間720万～1200万t産出されており¹⁾、ごみ問題が課題として挙げられている。海の汚染も深刻になっており、特に太平洋ごみベルトと呼ばれる海洋ごみが集まる特定の地域でマイクロプラスチック(5mm以下のもの)が大量に増加している²⁾。魚の廃棄物(鱗)を使い、環境にやさしいバイオプラスチックを作ることで環境汚染やごみ問題の解決に貢献できないかと考え、本研究を行った。

1.2 目的

廃棄されることが多い鱗を、環境にやさしいバイオプラスチックの作成に用い、課題として挙げられている環境汚染やごみ問題の解決に貢献することを目的とした。

1.3 材料と方法

2024年7月22日、岡山県岡山市東区のスーパー(ディオ)より早朝に仕入れた新鮮なチヌの鱗を、水道水で洗浄した。雑菌が増殖しないように、24時間-20°Cで冷凍保存した。先行研究³⁾では鱗の不純物を取り除き、たんぱく質を分解するためにトリス塩酸、エチレンジアミン四酢酸、塩化ナトリウム混合液に漬けていたが、エチレンジアミン

四酢酸とトリス塩酸は入手が困難であったため、本研究では同じ効果を持つ水酸化ナトリウム水溶液(1mol/L)300mlを代用して鱗10gの比率で48時間漬けた(図1)。溶液から鱗を取り出し、水道水で洗浄した。鱗をドライオーブンEOP-300Vに入れ30°Cで24時間乾燥させ、ミキサーPFJM-800-Bで粉状にした(図2)。その後、目の細かさ1.81mm以下のザルを使い選別した(図3)。以後作成した鱗は選別した鱗と呼ぶ。



図1 水溶液につけた鱗



図2 ミキサー処理鱗



図3 ザルで選別される鱗粉末

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

私たちは鱗からバイオナノ複合フィルムの作成についての先行研究³⁾を参考にプラスチックの作成を試みた。その手順として、まず選別した鱗に薬局(ザグザグ)で購入したグリセリンと水(精製水)、コーンスター(前原製粉)、酸化亜鉛を先行研究に記載していた表1の2つの比率で混ぜ合わせた(図4)。混合物をガスバーナーで90℃に維持して湯煎し、ガラス棒で30分間かきませた(図5)。混合物を市販のクッキングシートの上に薄くのばしドライオーブンを使用し、30℃で48時間乾燥させた(図6)。先行研究³⁾に準ずる2つの異なる比でできた物質を比較した。また、先行研究³⁾で使われていたエチレンジアミン四酢酸は塩化ビニル樹脂の耐熱性を高める効果があった⁴⁾。そのため、エチレンジアミン四酢酸の有無による生成物の耐熱性の変化を調べるために加熱温度を70℃に下げ、同様の手順で再実験を行った(図7)。できた生成物の耐久性を比較した。

表1 混合物比

	鱗 (g)	コーンスター(g)	グリセリン (ml)	酸化亜鉛 (ml)	水 (ml)
比1	0.625	1.875	1.5	5	25
比2	1.25	1.25	1.5	10	25



図4 混合物



図5 混合物の加熱(90℃)



図6 混合物の乾燥



図7 混合物の加熱(70℃)

1.4 結果および考察

異なる2つの比率でできた生成物はどちらも脆くなってしまった。また、比率による性質の違いは見られなかった。前述の理由で手に入らず、使用できなかったエチレンジアミン四酢酸の作用を調べたところ、塩化ビニル樹脂の耐熱性を高める効果があった⁴⁾。そのためエチレンジアミン四酢酸を使用しなかったことが原因となり、先行研究³⁾で加

熱された温度までタンパク質が耐えることができず、失活し脆くなってしまったと考えた。そこで、タンパク質失活温度以下である70℃で再実験を行った。しかし、できた物質の耐久性にあまり変化が見られなかった。その他の工程は先行研究³⁾通りに行ったため、水酸化ナトリウム水溶液によってタンパク質が必要以上に分解され、プラスチックの高い耐久性が損なわれてしまったと考えられる。

2. 鱗から和紙の作製

2.1 研究背景

鱗の新しい活用法として、鱗をちぎった際、断面が紙に似ていたため、本研究に取り組んだ(図8)。



図8 ちぎった鱗(上段)と和紙(下段)

2.2 材料と方法

鱗から和紙の作成を試みた。原料が木材の場合、和紙の作成工程として煮熟(しゃじゅく)、叩解(こうかい)、紙漉き(かみすき)、乾燥がある。そのうち煮熟、叩解は選別した鱗で代用するためこの実験では省いた。その後、紙漉きをするときの道具として液体のり(ミツエ)、目合いが0.3~0.5mm程度の布を用意した。選別した鱗を0.5gずつに分けた(図9)。その後、紙漉きに使う水にのりを溶かした。水とのりの比率と外観は表2および図10に示す。

表2 水とのりの比率

	①	②	③	④
水(ml)			20.0	
のり(g)	2.0	2.5	3.0	6.5



図9 鱗0.5gずつ



図10 左から①, ②, ③, ④の水溶液

次に図9,10のように分けたものをそれぞれ混ぜ合わせ(図11),図12のように布で水分を吸収した。水が落ちなくなったら、布と鱗と一緒にトレイの上に乗せ、30°Cに設定したドライオーブンで48時間乾燥させた。その後、布から混合物をヘラで取り出すと、鱗で作った和紙状の物質を取り出せた。



図11 混合物



図12 水分の吸収

2.3 結果および考察

図13で示した乾燥させたものを布からヘラで取り出す前に布についていた乾燥物の表面積を100%とし、図13の①②③④それぞれの表面積を割ると図14のようになった。①はのりの濃度が薄いためか耐久性が低くなり採取割合が減少した。②はのりの濃度がまだ薄いためか耐久性が少し低かった。③はのりの濃度が少し濃かったのか布にへばりついてしまった。④はのりの濃度が濃すぎたためほぼ布にへばりついた。この結果から②の比率での採取割合が一番高いことが分かった。

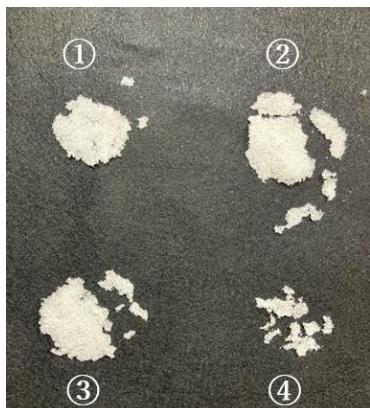


図13 作成した和紙①,②,③,④

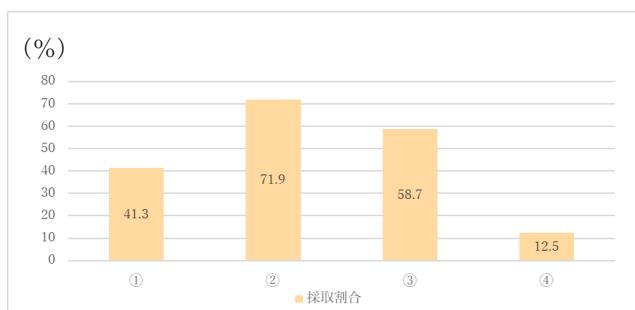


図14 和紙の回収量

3. 結論および展望

本実験で作成した鱗使用のプラスチックは、耐久性が低いことが課題として挙げられた。また、先行研究で鱗の処理のために使用されていたエチレンジアミン四酢酸の作用によって、生成物の耐久性は向上すると考えられる。鱗の処理手順以外は先行研究に沿って実験を行ったため、水酸化ナトリウム水溶液によってタンパク質が必要以上に分解され、プラスチックの性質である高い耐久性が損なわれてしまったと考えられる。今後は水酸化ナトリウム水溶液の濃度を下げた場合や、違う酸性の液体を使ったときの耐久性の変化についてさらに実験を行い、最適なタンパク質の分解度合いを見つけ出したい。鱗を用いた和紙の作製については、のりの濃度が重要であった。実験から鱗 0.5g、水 20.0ml に対するのりの量は 2.5g が最適だとわかった。しかし、和紙の採取割合は 7 割程度であった。このことから、今後はより細かい鱗の質量比での実験を行って最適な採取条件を明らかにせねばならない。本実験において鱗の有効活用は可能であると分かったが、プラスチック作成には多くの時間を要した。環境汚染やごみ問題の解決に貢献する方法として確立するためには、効率的な生産方法についても考えていく必要がある。

4. 謝辞

本研究の遂行にあたり、終始多大なご指導をいただいた岡山学芸館高等学校柳雅之教諭、吉岡希裕教諭、稻村晃司教諭に深く感謝申し上げます。

5. 引用文献

- 1) 2024年 世界漁業・養殖業白書 (FAO The 2024 edition of The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA))
- 2) 水環境学会誌 Journal of Japan Society on Water Environment Vol. 44, No. 2, pp. 35-42 (2021)
- 3) ELSEVIER ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY & INNOVATION 32(2023) Waste fish scale for the preparation of bio-nanocomposite film with novel properties
- 4) 化学工業日報社(2003) : 14303 の化学商品

メタンハイドレートからエネルギーの利益が得られるのかの フェルミ推定

佐藤裕弥^{†1}

1980 年代から石油などのエネルギー資源の使える年数が限られてきていることが指摘されている中で、日本近海にはメタンハイドレートが隠岐周辺などに多くあり、実用化されれば、自給できるエネルギー資源となる。そのため、新しい資源としてメタンハイドレートが注目されていることを知り、興味を持ったのが研究のきっかけである。2017 年時点ではメタンハイドレートの採掘実験は成功しているが、商業化は難しい状況である。本研究では、回収したメタンハイドレートから得られるエネルギー量と回収・輸送にかかるエネルギー量を比較して、エネルギーの利益が得られるにはどれだけのメタンハイドレートを採取しなければならないかを推定することを目的とした。推定の観点は、回収できるエネルギー量、回収時にかかるエネルギー量、海上輸送時にかかるエネルギー量、陸上輸送時にかかるエネルギー量、LNG メタン（液化メタン）にする際にかかるエネルギー量の 5 つである。メタンハイドレート資源研究開発コンソーシアムが行った実験によると、2013 年には 6 日間連続で合計約 12 万[m³]のメタンガスの回収に成功しており、2017 年には 36 日間連続で合計約 26 万[m³]のメタンガスの回収に成功している^①が、現在の回収量では利益を得ることができないということが分かった。今後は、陸上輸送距離を短くしたり、回収方法をより効率的なものにしたりするなどによって、利益が出るように対策をしていくことが必要になる。

キーワード：メタンハイドレート、減圧法、フェルミ推定、LNG メタン

1. 研究背景

メタンハイドレートは日本国内で自給できる資源として注目されている。メタンハイドレートは天然ガスの主成分でエネルギー資源であるメタンガスが水分子と結合した物質であり、高圧・低温の条件下で安定している。また、結晶の構造については真ん中にメタン分子があり、水分子がメタン分子を取り込んだ構造になっている（図 1）。化学式は $\alpha\text{CH}_4 \cdot 5.75\text{H}_2\text{O}$ と書け、 α は水分子のかごのうちメタン分子が入っている割合のことである。さらに、日本近海にメタンハイドレートが多く存在していることが分かっている^②（図 2）。

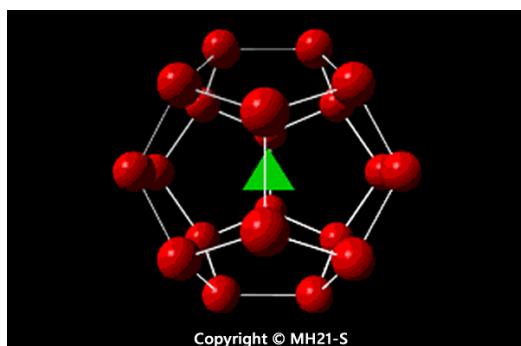


図 1 メタンハイドレートの構造^②

（赤が水分子、緑がメタン分子）

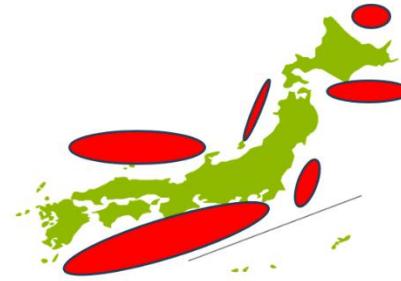


図 2 メタンハイドレートの分布

メタンハイドレートを回収する方法はまだ確立されていないが、メタンハイドレートは高圧・低温の条件下で安定している^②という性質があるため、加熱法と減圧法の 2 つの方法が提案されている。加熱法はお湯を生産井の中に入れて、周りの温度を上げることでメタンと水に分解し回収する方法である。しかし、この方法ではお湯を沸かすために多くのエネルギーが必要になるというデメリットがある。さらに、メタンハイドレートの分解は吸熱反応であるため継続的な熱の供給が必要になる^③。一方、減圧法はメタンハイドレート層に井戸を掘り、水をくみ上げることで圧力を下げ、メタンハイドレートをメタンと水に分解する方法である（図 3）。減圧法は加熱法と違い、装置を一から作る必要がなく、コストを削減できるというメリットがある^③。

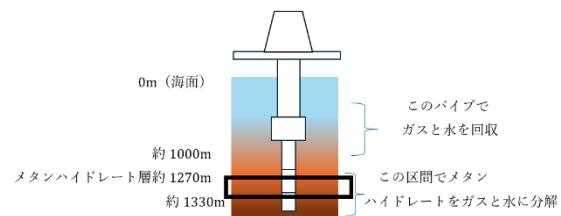


図 3 減圧法

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

2. 研究目的

回収したメタンハイドレートから得られるエネルギー量と回収輸送にかかるエネルギー量をフェルミ推定して、エネルギーの利益が得られるにはどれだけのメタンハイドレートを採取しなければならないのかを考察することを研究の目的とした。

3. 研究方法

本研究では回収したメタンハイドレートから得られるエネルギー量と回収・輸送にかかるエネルギー量をフェルミ推定した。メタンハイドレートは隠岐周辺に存在することが知られている²⁾ため、メタンハイドレートを減圧法を使って隠岐周辺で回収し、島根県北部まで大型船で輸送（往復約120[km]）するという状況を想定した。またLNGメタンを輸送時に利用する設定にした。

3.1 回収できるエネルギー量

メタンハイドレート固体からは標準状態において、メタンハイドレートの160倍の体積のメタンを回収できることが知られている²⁾。メタンの燃焼熱を $H_{\text{メタン}}[\text{kJ/mol}]$ 、回収できるメタンハイドレートの体積を $V[\text{m}^3]$ として、回収できるエネルギー $E_{\text{回収}}$ を以下のように算出した：

$$E_{\text{回収}} = 1.6 \times 10^2 V \div 2.24 \times 10^{-2} \times H_{\text{メタン}}[\text{kJ}] \quad (1)$$

3.2 回収・輸送にかかるエネルギー量

回収時にかかるエネルギー量は、減圧法では電動水中ポンプを使い、かかるエネルギー量はポンプ動力のみである⁴⁾ことから回収時にかかるエネルギー量 $E_{\text{ポンプ}}$ を次のように算出した：

$$E_{\text{ポンプ}} = Ps = \rho g Q Hs [\text{J}] \quad (2)$$

$P[\text{kW}]$:ポンプの動力(理論動力) $Q[\text{m}^3/\text{s}]$:流量

$H[\text{km}]$:揚程 $\rho[\text{kg/m}^3]$:流体の密度

$g[\text{m/s}^2]$:重力加速度 $s[\text{s}]$:時間

海上輸送時にかかるエネルギー量は、回収したメタンを運ぶのに隠岐から陸地まで大型船を使うとした。また、燃料はC重油、発熱量は $H_{\text{C重油}}[\text{GJ/kL}]$ 、燃料消費量を $A_{\text{船}}[\text{kL/km}]$ 、輸送距離を $L_{\text{海上}}[\text{km}]$ として、海上輸送時にかかるエネルギー量 $E_{\text{海上輸送}}$ を次のように算出した。これは大型船の一般値で計算しており、積載量による変化は無視している：

$$E_{\text{海上輸送}} = A_{\text{船}} \times L_{\text{海上}} \times H_{\text{C重油}} \times 10^6 [\text{kJ}] \quad (3)$$

陸上輸送時にかかるエネルギー量は回収したメタンを運ぶのに大型タンクローリーを使うとした。また、大型タンクローリーの燃費を $A_{\text{車}}[\text{km/kL}]$ 、燃料はガソリンとし、発熱量を $H_{\text{ガソリン}}[\text{GJ/kL}]$ 、輸送距離を $L_{\text{陸上}}[\text{km}]$ として、陸上輸送時にかかるエネルギー量 $E_{\text{陸上輸送}}$ を次のように算出した。

これは大型タンクローリーの一般値で計算しており、積載量による変化を無視している：

$$E_{\text{陸上輸送}} = L_{\text{陸上}} \div A_{\text{車}} \times H_{\text{ガソリン}} \times 10^6 [\text{kJ}] \quad (4)$$

LNGメタンにする際にかかるエネルギー量については以下のように推定を行った。LNGメタンを活用すると気体のメタンと比べ、体積が小さくなるため、一度に多くのメタンを輸送することができる。気体のメタンは-82.5[°C]のもと、5[MPa]の圧力で液体になることが知られている⁵⁾。気体のメタン $n[\text{mol}]$ が-82.5[°C]の下で圧力を大気圧から5[MPa]まで変える（等温変化）ときに気体がされる仕事 E_{LNG} を算出した。

$$|E_{\text{LNG}}| = |\int_{V_0}^{V_1} \frac{nRT}{V} dV| = |nRT(\log V_1 - \log V_0)| =$$

$$nRT \log \frac{V_0}{V_1} [\text{J}] \quad (5)$$

$$(V_0 > V_1)$$

$V_0[\text{m}^3]$:大気圧下の体積 $V_1[\text{m}^3]$:5[MPa]下の体積

$R[\text{J/(mol} \cdot \text{K})]$:気体定数 $T[\text{K}]$:絶対温度

4. 結果

4.1 回収できるエネルギー量

メタン気体を完全燃焼する時、発熱量は802[kJ/mol]より $H_{\text{メタン}}=802[\text{kJ/mol}]$ として(1)を次のように算出した。

$$E_{\text{回収}} = 1.6 \times 10^2 V \div 22400 \times 802 \approx 5.7 \times 10^6 V [\text{kJ}] \quad (6)$$

4.2 回収・輸送にかかるエネルギー量

回収時にかかるエネルギー量の算出時のパラメータは次の通りである：

$$\rho = 1000[\text{kg/m}^3], Q = 10500[\text{m}^3/\text{s}]^6, H = 1[\text{m}], g = 9.8[\text{m/s}^2]$$

また、吸い上げる水の体積はメタンハイドレート層までの距離が約1000[m]、ポンプの大きさが約100[m²]⁴⁾であるため、約 $1000 \times 10 \times 10[\text{m}^3]$ 。流量 $Q = 10500[\text{m}^3/\text{s}]$ より $s = 1$ とした。ここから(2)を次のように算出した。

$$E_{\text{ポンプ}} = 1000 \times 9.8 \times 10500 \times 1 \times 1 = 1.0 \times 10^5 [\text{kJ}] \quad (7)$$

海上輸送時にかかるエネルギー量の算出時のパラメータは次の通りである：

$$H_{\text{C重油}} = 41[\text{GJ/kL}]^7, A_{\text{船}} = 0.1923[\text{kL/km}]^8, L_{\text{海上}} = 120[\text{km}]$$

ここから(3)を次のように算出した。

$$E_{\text{海上輸送}} = 0.1923 \times 120 \times 41 \times 10^6 \approx 9.5 \times 10^8 [\text{kJ}] \quad (8)$$

陸上輸送時にかかるエネルギー量の算出時のパラメータは次の通りである：

$$H_{\text{ガソリン}} = 33.4[\text{GJ/kL}]^7, A_{\text{車}} = 4 \times 10^{-3}[\text{kL/km}]^9$$

ここから(4)を次のように算出した。

$$E_{\text{陸上輸送}} = L_{\text{陸上}} \div 4 \times 10^{-3} \times 33.4 \times 10^6 \approx 8.4 \times 10^8 L_{\text{陸上}} [\text{kJ}] \quad (9)$$

LNGメタンにする際にかかるエネルギー量については以下の通りである。-82.5[°C]の下で圧力を大気圧から

5[MPa]まで変える(等温変化)ので $T=190.5[K]$ として気体の状態方程式から

$$1.0 \times 10^5 \times V_0 = n \times 8.3 \times 190.5 \quad (10)$$

$$5.0 \times 10^6 \times V_I = n \times 8.3 \times 190.5 \quad (11)$$

(10), (11) から

$$V_0 \div V_I \approx 50 \quad (12)$$

また、メタンハイドレートの 160 倍の体積のメタンを回収できることが知られていることから²⁾

$$1.6 \times 10^5 V \div 22400 \approx 7142 V[\text{mol}] \quad (13)$$

(13) から $n=7142 V$ として (5) を次のように算出した:

$$|E_{\text{LNG}}| \approx nRT \log 50 \approx 1.9 \times 10^4 V[\text{kJ}] \quad (14)$$

4.3 メタンハイドレートの必要量

(6), (7), (8), (9), (14) より回収時利益が出る条件は次のように表される

$$5.7 \times 10^6 V > 1.0 \times 10^5 + 9.5 \times 10^8 + 8.4 \times 10^8 L_{\text{陸上}} + 1.9 \times 10^4 V \quad (15)$$

ゆえに

$$V > 167 + 1.5 \times 10^2 L_{\text{陸上}} [\text{m}^3] \quad (0 \leq L_{\text{陸上}} \leq 350) \quad (16)$$

(16) からメタンハイドレートをどれだけ回収できれば利益が生まれるかを図示すると、図 4 のようになった。港から東京までの距離が約 300[km]なので $L_{\text{陸上}}$ の範囲を 0[km]以上 350[km]以下にした。メタンハイドレート資源研究開発コンソーシアムが行った実験によると、2013 年には 6 日間連続で合計約 12 万[m³]のメタンガス(メタンハイドレート 1 日あたり約 125[m³])の回収に成功しており、2017 年には 36 日間連続で合計約 26 万[m³]のメタンガス(メタンハイドレート 1 日あたり約 45[m³])の回収に成功している¹⁾が、利益を得るには足りない量であることが分かった。

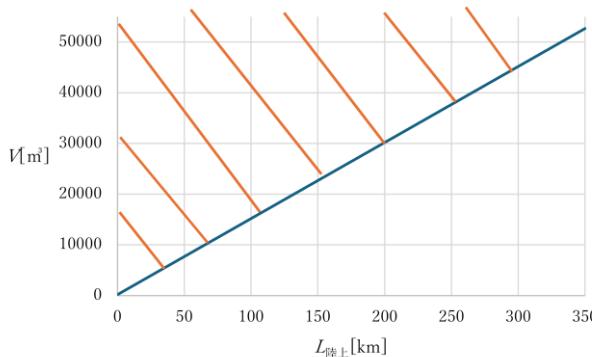


図 4 利益が得られるメタンハイドレートの量

5. 考察および課題

図 4 から、 $L_{\text{陸上}}=0[\text{km}]$ の時、 $V=167[\text{m}^3]$ であり、メタンハイドレート資源研究開発コンソーシアムが行った実験と比べると、メタンハイドレートを回収しても利益を得るには足りない量であることが分かった。そのため、陸上輸送距離を

なるべく短くしたり、回収方法をより効率的なものにしたりする必要があると考えた。しかし、メタンハイドレートは自国で回収から利用まで出来、日本近海に多く存在していることが分かっているため、海外の情勢に影響を受けず、安定的な資源にできるという利点がある。そこから、メタンハイドレートの実用化は非常に価値があることだと考えた。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり終始多大なご指導をして頂いた、岡山学芸館高等学校清秀高等部柳雅之教諭、岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース吉岡希裕教諭に深く感謝申し上げます。

7. 引用文献

- 高橋秀明.これまでのメタンハイドレートフィールドオペレーションにおけるチャレンジ.石油技術協会誌. 2018.83.5,p331-334
- MH21-S 研究開発コンソーシアム、メタンハイドレートの基礎情報 https://www.mh21japan.gr.jp/basic_info.html
- MH21-S 研究開発コンソーシアム、メタンハイドレートからガスを生産する,
<https://www.mh21japan.gr.jp/produce.html>
- 岸恵一、松澤真樹、石田浩三、吉田肇、松永達哉.第2回メタンハイドレート海洋産出実験における生産試験システムのFEED/EPCマネジメント.石油技術協会誌.
2018.83.5,p342-356
- 松村眞、天然ガスの採掘から家庭まで.
<http://matsumurahp.server-shared.com/pdf/T-tennmengasunosaishukarakateimade.pdf>
- 小樽探鉱鑿泉株式会社、ESP 電動水中ポンプ,
https://www.ogushi.co.jp/products/esp_pump.html
- 経済産業省、(2020 年 1 月)各種係数(単位発熱量、排出係数等)、燃料の単位発熱量
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/negative_emission/dac_wg/pdf/003_03_s01.pdf
- e-Stat、政府統計の総合窓口、2023、内航船舶輸送統計調査、貨物船用途別油別燃料消費量
<https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003423033>
- ドライバーズジョブ、(2020 年 6 月 22 日)、タンクローリーの燃費を向上させるにはどうするの?燃費向上のコツがまるわかり!
<https://driversjob.jp/contents/tanktruck/j13000>

弾性圧電デバイスを用いた海洋エネルギーの有効活用

原樹^{†1} 天谷涼佑^{†1}

本研究では海洋エネルギー、特に波力を効率的に電力に変換する弾性圧電デバイスの可能性を検討した。当初は柔軟性と圧電特性を持つ PVDF(ポリフッ化ビニリデン)を使用することを想定していたが、実験コストの制約により、ゴムシートのみを用いてモデル検証を実施した。水槽実験でのゴムシートの波による変形を観測することにより、発電効率に影響を与える因子(デバイスの縦横比)を検証し、最適条件を特定した。ゴムシートの変位データを基に電力を算出した結果、波動エネルギーの効率的な変換は縦の比率が大きい方が良いことが示された。本研究は、低コストで持続可能なエネルギー技術の新たな方向性を示し、再生可能エネルギー分野の発展に寄与する。

キーワード：海洋エネルギー、PVDF(ポリフッ化ビニリデン)、圧電素子、弾性圧電デバイス、波力発電
環境発電技術、エネルギーハーベスティング技術、再生可能エネルギー

1. 研究背景

世界的なエネルギー需要の増加に伴い、地球温暖化や化石燃料の枯渇といった問題が顕在化している。このような状況の中、再生可能エネルギーの普及は重要な課題である。特に、海洋エネルギーはその多様な形態(波力、潮汐、海流、温度差、塩分濃度差など)と膨大なポテンシャルから注目されているが、既存技術にはコストや効率の課題が残されている。圧電効果を利用した環境発電(エネルギーハーベスティング)技術は、小型・分散型のエネルギー生成において注目を集めている。広島大学の陸田秀実らは波力発電、潮流発電、洋上風力発電などの海洋エネルギー利用技術に関して、弾性圧電素材を活用した環境発電技術を研究しており、特に波力・潮流・洋上風力発電などの海洋エネルギー利用に焦点を当て、波浪エネルギーの効率的活用に貢献している^{1) 2) 3) 4) 5)}。これらの研究では、PVDF(ポリフッ化ビニリデン)やPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)といった圧電材料の性能特性が明らかにされ、これらの材料が波力発電技術において高い適用可能性を持つことが示されている^{1) 2)}。特に注目されているのは PVDF である。PVDF の化学式は $[C_2H_2F_2]_n$ で、分子構造は図 1 の通りである。PVDF は、酸やアルカリなどの薬品に強い耐薬品性を持ち、熱や紫外線への耐性も高いことから屋外用途にも適している。剛性や耐衝撃性を備えており、特定の結晶構造(β 相)では圧電特性を示す。押出成形や射出成形に適した加工のしやすさもある。PZT に比べ安価である。一方で、これらの材料の高コストや加工の難しさが課題として指摘されており、より経済的かつ実用的な材料の研究が求められている。

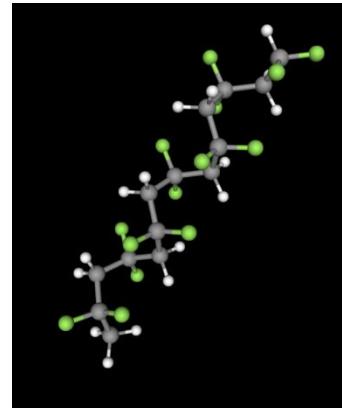


図 1 PVDF の分子構造 (白:H, 灰:C, 黄緑:F) :
Mol View より作成

以上のように海洋エネルギーはその多様性と潜在力から再生可能エネルギーとして注目されているが、既存の発電技術はコストや効率の面で多くの課題を抱えている。特に波力発電においては、高性能な圧電材料(例: PVDF や PZT)の使用が求められるが、これらの材料は高コストであるうえ、加工が複雑であるため、実用化への障壁となっている。さらに、海洋環境におけるデバイスの耐久性や性能安定性についても十分な検証が行われていない。これらの課題を解決するためには、コストを抑えつつ、波動エネルギーに効率的に適応する柔軟性を備えた代替材料の活用が求められている。

2. 研究目的

本研究では、弾性圧電デバイスを用いた波力発電技術の可能性を検討する。特に、柔軟性の高い PVDF を用いた弾性圧電デバイスを想定し、低コスト材料であるゴムシートで代替して発電性能の評価をモデル検証した。ここから発電効率に影響を与える要因としてデバイスの縦横比があると

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

考え、これの影響を明らかにする。さらに、海洋環境でも評価し、同様の傾向が見られるか確認した。

3. 材料と方法

実験の材料は、水槽(図 2)、人工ゴムシート(シリコンゴム、厚さ 3mm, Rimikuru 社)、吸盤(固定用)(図 3)、板(海底固定用)、カメラ(iPhone14)、波発生装置(図 4)、ビデオ分析ソフト Tracker である。水槽は波浪とゴムシートの運動が分かるように、2 面の壁をアクリル板にしている。人工ゴムシートは面積が 20cm² になるようにして、縦横比を変えたものを準備する(縦横比 5 : 1, 16 : 5, 5 : 4, 5 : 16)。

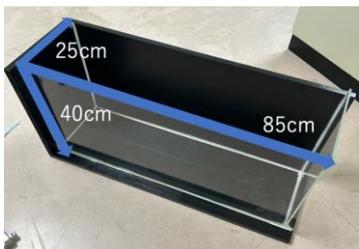


図 2 水槽



図 3 ゴムシート



図 4 波発生用の板

3.1 室内水槽実験

水槽に水深 20cm となるように水を溜め、波発生装置を用いて波高 5cm 程度の波を発生させた。次に、水槽の中央附近にゴムシートを吸盤で固定し、複数の縦横比(図 5 の y が縦、z が横)のゴムシートにおいて波に対する変形の様子をそれぞれカメラ(iPhone14)で撮影した。さらに、ゴムシートの横面(図 5 の x -y 面)に 1cm 間隔で点を打ち、Tracker を用いて動きをトラッキングした。取得したデータに基づき、電力の計算は先行研究を参考にし、

$$V = \sum_{i=0}^n C_1 \frac{d}{dt} \left[\int \frac{d^2 x_i}{dy_i^2} dS_i \right]$$

を変形した以下の式を用いて、Excel 上で電力を算出し発電性能を評価した。

$$V = \sum_{i=0}^n C_1 \frac{a_{x_i} v_{y_i} + a_{y_i} v_{x_i}}{v_{y_i}^3} \sqrt{v_{x_i}^2 + v_{y_i}^2} \quad (1)$$

電力の算出には PVDF の定数 (C_1) を適用した。

$$C_1 = \frac{d_{31} E t z}{\epsilon_0 \epsilon_r}$$

圧電定数: $d_{31} = 3 \times 10^{-11} [\text{m/V}]$
ヤング率: $E = 2.5 \times 10^9 [\text{N/m}^2]$
真空中の誘電率 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} [\text{F/m}]$
ゴムの比誘電率 $\epsilon = 11$
ゴムシートの横幅: z [m]
ゴムシートの厚み: t [m]

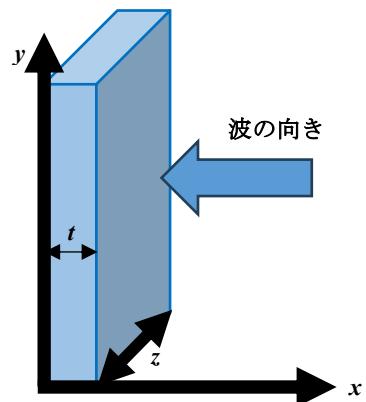


図 5 ゴムシートの x, y, z, t の方向の定義

$\frac{d^2 x_i}{dy_i^2}$ はデバイスの曲率に相当する局所的な歪みを表し、曲率を面積で積分することでデバイス全体の曲率が求められる。 $\frac{d}{dt} \left[\int \frac{d^2 x_i}{dy_i^2} dS_i \right]$ によって、ある時刻 t でのデバイス全体の歪みの変化量が求められる(Tracker では 1 フレームごとの歪み)。 C_1 をかけることで歪みから電圧 V に変換する。 i はゴムシートの横面(図 5 の x -y 面)に 1cm 間隔で点を指す。

3.2 室外実験：海

岡山県瀬戸内市牛窓町牛窓の海水浴場で室外実験を行った(図 6)。



図 6 室外実験を行った牛窓海水浴場

海における自然波の影響を利用してゴムの動きを観測し、室内水槽実験と同様にその発電性能を評価した。実験時(2024年12月15日)の海の環境は水温15°C、波高5~10 cm、周期0.25 Hz程度であった。実験の手順は次の通りである。ゴムシートを固定するための板(図4)が安定する場所を選定し、板を海底(水深70cm程度)に沈めてその上にゴムを固定した。防水ケースに収納したiPhone14を吸盤付きスタンドにより固定し、カメラの向きを調整してゴムの動きが鮮明に記録されるよう設定した。続いて、自然発生する波浪によるゴムの動きを観察し、波高および周期を目視及び動画撮影により記録し、これをデータ解析に使用した。ゴムの動きに変化が認められた場合には、現地において必要に応じた調整を実施した。さらに、カメラによってゴムの動きを動画撮影し、撮影データをTrackerにて解析してゴムの変形をトラッキングした。最後に、トラッキングデータをExcelに入力し、時間当たりの点の変位を解析するとともに、式(1)を用いて自然波による発電性能を評価した。ゴムシートの縦横比は5:1と16:5の2つで実験を行った。

4. 結果

4.1 室内水槽実験

ゴムシートの縦横比(yz比)が10cm×2cm(縦横比5:1), 8cm×2.5cm(縦横比16:5), 5cm×4cm(縦横比5:4), 2.5cm×8cm(縦横比5:16)の4種類において、単位時間あたりの発電された電圧の時間変化をそれぞれ図7~10に示す。横の長さよりも縦の長さが大きい場合は最大値が0.0003 V/s程度で時間とともに変動するのに対し(図7、図8)、縦の長さの方が小さい場合は最大値が 10^{-6} , 10^{-7} V/s程度となった(図9、図10)。それぞれの単位時間あたりの電圧時間変化に対する時間平均をとると、縦横比5:1, 16:5, 5:4, 5:16においてそれぞれ 5.53×10^{-3} , 4.97×10^{-3} , 7.76×10^{-5} , 1.93×10^{-5} V/sの発電能力があることがわかった。図11に縦横比(y/z)と発電された電圧の片対数グラフを示す。

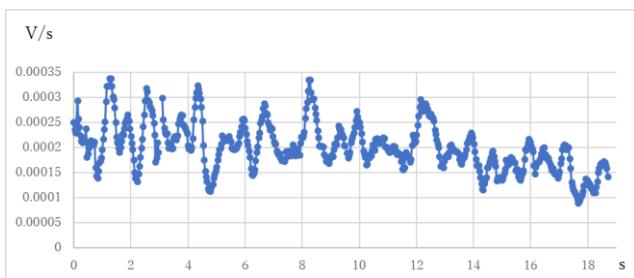


図7 10cm×2cm(縦横比5:1)における単位時間あたりの発電された電圧の時間変化

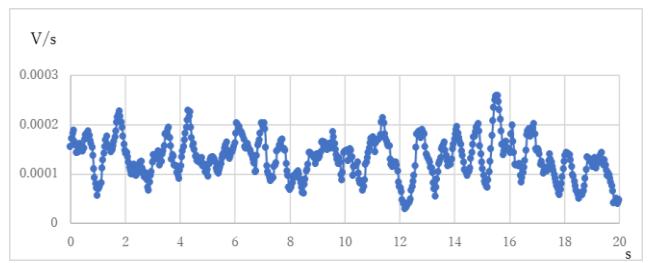


図8 8cm×2.5cm(縦横比16:5)における単位時間あたりの発電された電圧の時間変化

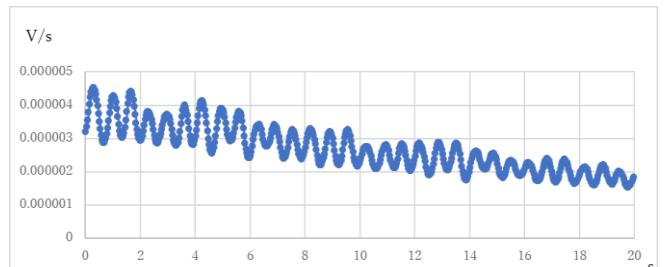


図9 5cm×4cm(縦横比5:4)における単位時間あたりの発電された電圧の時間変化

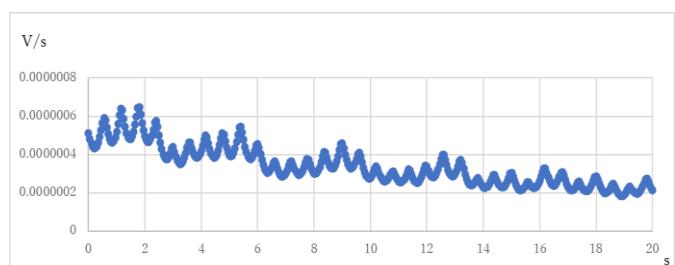


図10 2.5cm×8cm(縦横比5:16)における単位時間あたりの発電された電圧の時間変化

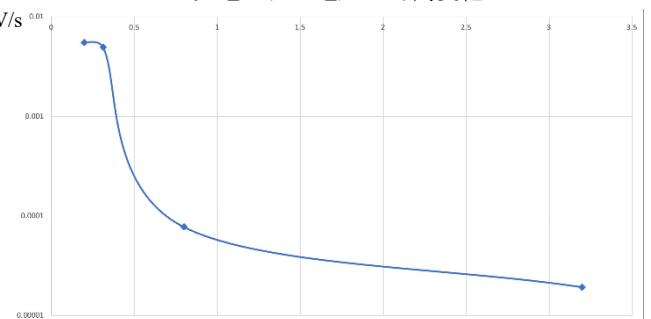


図11 単位時間あたりの発電量の対数グラフ
横軸はy/z

4.2 室外実験：海

ゴムシートの縦横比(yz比)が10cm×2cm(縦横比5:1), 8cm×2.5cm(縦横比16:5)の2種類において、単位時間あたりの発電された電圧の時間変化をそれぞれ図12~13に示す。最大値は 6×10^{-5} V/sであり、水槽実験に比べて小さな値を示した。

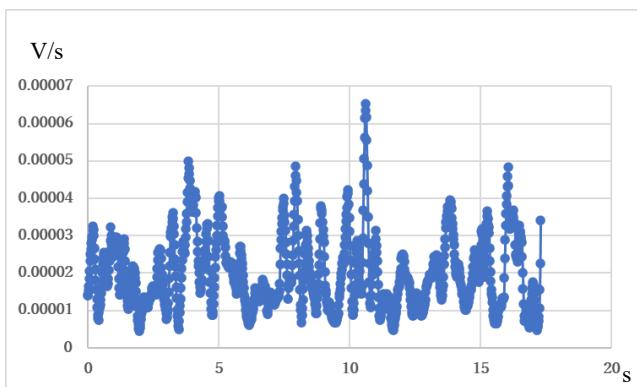


図 12 10cm × 2cm(縦横比 5:1) における
単位時間あたりの発電された電圧の時間変化

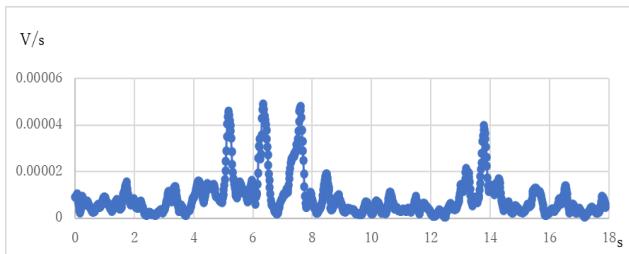


図 13 8cm × 2.5cm(縦横比 16:5) における
単位時間あたりの発電された電圧の時間変化

5. 考察

縦長の形状を持つデバイス（縦横比 5:1 や 16:5）では、発電量が比較的高くなる傾向が見られた（図 11）。特に、縦横比 5:1 のデバイスは、単位時間あたりの発電量が最も大きく、時間とともに安定した発電を示した。このことから、縦長の構造が発電効率の向上に寄与している可能性が考えられる。一方で、横長の形状を持つデバイス（縦横比 5:16 や 5:4）では、発電量が減少する傾向が見られた。特に、縦横比 5:16 のデバイスでは、時間の経過とともに発電量が急激に減少する挙動が観察され、発電効率の低下が顕著であった。この結果から、横長の形状では圧電効果を効率的に活用できず、電荷の蓄積が十分に行われない可能性が示唆される。また、縦横比 5:4 のデバイスは、縦長と横長の中間に位置する形状であり、発電量の変化は比較的安定していた。このことから、発電特性の安定性を考慮する場合、極端な縦長や横長の形状よりもバランスの取れた形状が適している可能性がある。以上の結果から、弾性圧電デバイスの形状は発電効率に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。特に、縦長の形状は高い発電効率を示す一方で、横長の形状では発電量が低下する傾向があり、形状の選択が発電性能の最適化に重要な要因であることが示唆される。

一方、同じ縦横比であっても、室外実験においては、水槽実験に比べて値が 1/10 程度に小さくなっている。海で発生した波は、周期が室内の 3 倍程度であり、振動数が小さい。波のエネルギーは振動数の二乗に依存するため、波そのも

の持っているエネルギーが、海と室内実験で 9 倍異なっていたと考えられる。そのため、海の波で実験した結果が室内よりも 1/10 程度に下がってしまったのではないかと推測される。本結果は小規模モデルに基づく参考値であるため実際の規模で同じ結果とは限らない。大規模化にともない、波の周期やデバイス自体の固有振動数、材料強度などの要因が複合的に作用し、必ずしも、長くすればするほど効率が上がるとは限らないため、最適な縦横比を明らかにするための追加検証が不可欠である。

実験条件が限定された小規模な環境は、縦方向を長くするほど弾性変形が大きく、圧電素子への応力伝達も相対的に増加しやすいため、見かけ上「長ければ長いほど発電効率が向上する」ように見える場合がある。しかし、実際の海洋環境では波の周波数分布や抵抗、デバイス自身の振動など多くの要因が複合的に作用し、ある程度以上に長さを伸ばせばむしろ振動が抑制され、エネルギー変換効率が低下する可能性が考えられるため、どのような場合でも発電効率が良いとは限らない。本実験で縦 8 cm と縦 5 cm の間に大きな乖離が見られた原因として観測していない方向への変位が大きかったことが考えられる。

6. 謝辞

本研究の遂行にあたり終始多大なご指導をして頂いた、岡山学芸館高校清秀高等部柳雅之教諭、岡山学芸館高校医進サイエンスコース吉岡希裕教諭、また広島大学院先進理工系科学研究科の陸田秀実教授に深く感謝申し上げます。

7. 引用文献

- 1) 陸田秀実, 川上健太, 平田真登, 土井康明, 田中義和, & 柳原大輔. (2010). 弾性圧電デバイスを用いた波浪発電に関する研究. 土木学会論文集 B, 2, 1281-1285.
- 2) 陸田秀実, 川上健太, 黒川剛幸, 土井康明, & 田中義和. (2009). 弹性圧電デバイスを用いた波エネルギー利用技術の開発. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 65(1), 1296-1300.
- 3) 陸田秀実, 平田真登, 川上健太, 土井康明, 田中義和, & 柳原大輔. (2010). 弹性圧電デバイスを用いた海洋エネルギー利用技術に関する研究. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 66(1), 1276-1280.
- 4) Mutsuda, H., Tanaka, Y., Doi, Y., & Moriyama, Y. (2019). Application of a flexible device coating with piezoelectric paint for harvesting wave energy. Ocean Engineering, 172, 170-182.
- 5) Kargar, S. M., & Hao, G. (2022). A drifter-based self-powered piezoelectric sensor for ocean wave measurements. Sensors, 22(13), 5050.

2023年度 岡山学芸館高等学校 医進サイエンスコース14期生 海洋学習



2023年5月26日 流れ藻アマモ回収作業（備前市日生町）



2023年9月28日 アマモ種子の選別と播種（備前市日生町）



2023年10月19日 アマモ実生ポット作成

2024 年度 岡山学芸館高等学校 医進サイエンスコース 14 期生 海洋研究



2024 年 8 月 7 日 マリンチャレンジプログラム中四国大会 (TKP ガーデンシティ岡山)



2024 年 9 月 23 日 第 3 回シンポジウム「生かそう里海の恵み」(岡山市さん太ホール)



2024 年 12 月 8 日 全国ユース環境活動発表大会(広島国際会議場) 協賛企業特別賞



2024年12月21日 サイエンスキャッスル関西大会（大阪府吹田市大和大学）



2025年1月28日 課題研究報告会 口頭発表（岡山創造芸術劇場ハレノワ）



2025年1月25日 国際エメックスセンター 高校生海洋環境保全研究発表会
(兵庫県神戸市 スペースアルファ三宮)



2025年2月1・2日 石垣島珊瑚観察（沖縄県石垣市）

奥付

岡山学芸館高等学校 医進サイエンスコース
海洋研究紀要 2024

令和7年2月26日 発行
企画・編集 岡山学芸館高等学校
教諭 柳 雅之
教諭 吉岡 希裕
教諭 稲村 晃司

〒704-8502
岡山市東区西大寺上1丁目19-19
TEL(086)942-3864
FAX(086)943-8040

表表紙写真 日生湾にて、アマモ実生（流れ藻）採集
裏表紙写真 日生町漁協にて、牡蠣種付けの筏から海を覗く



公益財団法人 おかやま環境ネットワーク
Okayama Environment Network Foundation