

# 海洋研究紀要

## 2025

---

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

深化した4研究

海洋研究，さらなる探究へ

第5号

---

岡山学芸館高等学校

医進サイエンスコース 15期生



## 目次

海のヒーロー牡蠣殻, アマモ場再生の救世主となるか？ .....大森優衣 酒井佑月 望月和奏.....	2
トラッキングデータから見るハクセンシオマネキの求愛行動 .....宮脇玲音 岡龍之輔 佐藤光将 平原想乃佳.....	8
アマモ種子の長期保存方法の確立 .....菅日向子 増山るな.....	12
目指せ！里海ペーパー .....武田汐音 入江聖那 吉田琴音.....	16
岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース 15 期生 海洋研究 .....	21

海洋研究紀要 2025

# 海のヒーロー牡蠣殻、アマモ場再生の救世主となるか？ 牡蠣殻粉末がアマモの発芽および成長に与える影響

大森優衣<sup>†1</sup> 酒井佑月<sup>†1</sup> 望月和奏<sup>†1</sup>

アマモ (*Zostera marina* Linnaeus) はオモダカ目アマモ科アマモ属に分類される海産種子植物である。アマモは、栄養塩を吸収することによる水質浄化機能や、魚介類の産卵場としての機能を有し、さらに、ブルーカーボンとして炭素固定にも寄与する重要な海藻である。1950年代まで、岡山県備前市日生町が面する瀬戸内海では、アマモ場が広範囲に分布していた。しかし、高度経済成長期における水質悪化や護岸工事などの影響により、1960年から1990年頃にかけて、日生町周辺のアマモ場の約9割が消失した。2024年5月、日生町で実施されたアマモ場再生活動では、アマモの海底への固着を促進する目的で、アマモ種子を泥と混合し、粉碎した牡蠣殻を付着させた泥団子を、海中へ投入する作業を行った。牡蠣殻は港湾周辺に大量に集積されている状況が確認された。牡蠣殻には、アマモの根の固着力を高める効果や、底質環境の改善効果が報告されている。これらの特性に着目し、牡蠣殻の有効活用方法として、アマモ生育環境への利用可能性を検討した。2024年11月、ペットボトルを利用してアマモ実生ポットを作成し、アマモの発芽試験を行った。しかし、植え付けた合計60個の種子のうち、発芽が確認されたのはわずか2個であった。原因として、実生ポット内の環境がアマモの発芽に適していない可能性を考えた。以上の背景から、実生ポット内の環境改善方法として底質へ牡蠣殻を混入した。本研究では、仮説として、牡蠣殻がアマモの発芽および成長を促進すると推測した。ペットボトルを用いたアマモ実生ポットに、日生町頭島の海砂を入れ、牡蠣殻を5%および15%の割合で混入した。なお、使用した牡蠣殻は粒径3.00mm〜5.00mmに粉碎したものである。実験の結果、牡蠣殻を混入させたポットの種子は、混入させていないポットの種子より発芽期間が短くなり、発芽率が上昇し、幼苗の急成長期における成長速度が加速したことが認められた。

キーワード: アマモ, 牡蠣殻, 発芽期間短縮, アマモ実生長促進

## 1. 研究背景

岡山学芸館高等学校医進サイエンスコースでは、課題研究活動の一環として海洋学習に取り組んでいる。2017年から、備前市日生町において、継続的にフィールドワークとしてアマモ場再生活動を行っている。2024年11月、アマモ実生ポットを用いた発芽実験を行った。結果、アマモ種子の発芽率は、例年と比較して低下する傾向が認められた。要因として、ポット内の環境がアマモの発芽および初期成長に適していない可能性が考えられた。先行研究では、牡蠣殻が根の固着力を高めること<sup>1)</sup>や、悪化した底質を改善するなどの効果を有すること<sup>2)</sup>が報告されている。ゆえに、実生ポット内の環境を改善するために牡蠣殻が効果的であると考えた。予備実験として、牡蠣殻混入率0%, 5%, 15%, 50%の条件で実験を行った。牡蠣殻混入率50%では、アマモ実生ポット内が白く濁り、アマモ実生の成育には困難な環境であった。よって、牡蠣殻混入率は、先行研究および予備実験を基に、5%および15%と設定した。本研究では、仮説として、牡蠣殻がアマモの発芽および成長を促進させると推測し、アマモ実生ポット内の底質に牡蠣殻を混入させることで、アマモの発芽率および発芽期間に、どのような変化が生じるかを検証した。また、牡蠣殻

混入率とアマモの成長指標との関係を明らかにすることを目的とした。発芽前は、人工海水のpHとORP(酸化還元電位)を測定し、さらに硫化水素検定パックを用いて、硫化水素濃度を測定した。発芽後は、アマモ実生の全長を測定し、牡蠣殻混入率の違いがアマモの発芽率および成長過程に与える影響を評価した。

## 2. 材料と方法

2025年9月19日、岡山県備前市日生町日生湾(北緯34度43分39秒、東経134度16分40秒、図1)においてアマモ種子の成熟度選別を行い、さらに、海水の比重選別により成熟したアマモ種子を得た<sup>3)</sup>(図2)。



図1 岡山県備前市日生湾

<sup>†1</sup> Okayama Gakugeikan High School

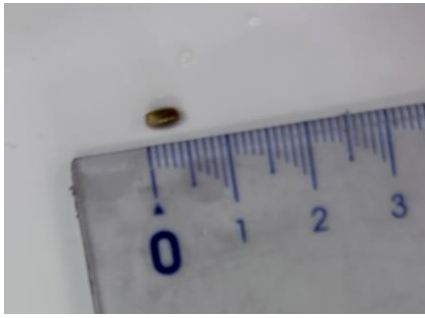


図2 成熟したアマモ種子

日生港付近に集積されていた牡蠣殻を使用した。牡蠣殻は、金槌で叩き、粒形 3.00~5.00 mmの大きさに粉砕した(図3)。ペットボトル(540 ml)の上部3分の2を切ったものを実生ポットの容器とした(図4)。頭島(北緯34度42分4.5秒, 東経134度17分11秒)の海砂を水洗いし、アマモ実生ポットの底土として使用した(図5)。人工海水の素(土屋商会, 人工海水の素 Sea Salt のシーソル, 品番2250002510948, 図6)を井戸水と混ぜて作成した人工海水(3%)をアマモ実生ポットの海水とした。



図3 粉砕した牡蠣殻



図4 実生ポット容器



図5 頭島の海砂



図6 人工海水の素

2025年9月27日, アマモ実生ポットの作成を行った。ペットボトル容器内に海砂 166g を入れ, 牡蠣殻を 0%, 5%, 15%の割合で混入させたポットをそれぞれ10セットずつ作成した。各ポットには, アマモ種子を海砂表面から深さ約1 cmの位置に5粒ずつ植え, アマモ実生ポットとした。合計30個のアマモ実生ポットにサララップを被せ, 輪ゴムで止めた後, 10℃のインキュベーター(SANYO/MIR-153)で保存し, 発芽までの経過を観察した。発芽が確認さ

れるまでは, 一週間間隔で, 人工海水の pH および ORP (酸化還元電位) を 7in1 水質測定器(Field Ne, 水質測定器 FN007A)を用いて測定した。発芽が確認された実生ポット(図7)は, 人工海水を入れた水槽(容量20L 縦45 cm横20 cm高さ30 cm, 図8)に移動させた。アマモの全長を成長指標として測定し, 成長の経過を観察した。全長の測定は, 毎日, 5mm 間隔で目盛りを付けた割り箸を用いた。測定結果をもとに成長曲線を作成した。また, 実生ポット内の環境を確認するため, 簡易水質検査器(パックテスト硫化物 WAK-S-SH5)を用いて, 硫化水素濃度の測定を行った。

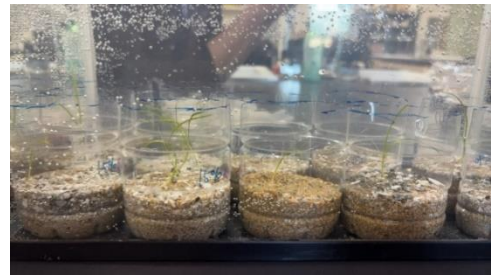


図8 実生ポットを入れた水槽

### 3. 結果

アマモ種子が発芽するまでの間において, 一週間ごと(毎週金曜日)に測定したアマモ実生ポット内の海水の pH および ORP の変化を示す(図9, 図10)。

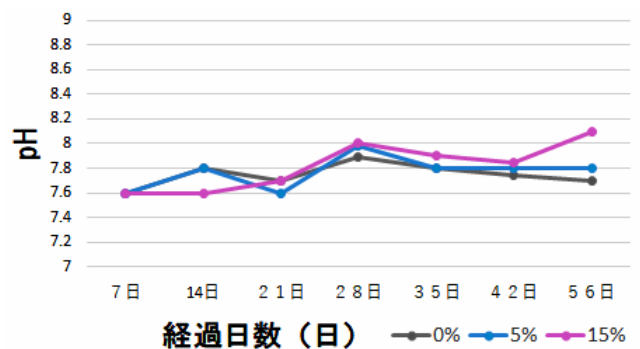


図9 牡蠣殻混入率とpH の変化の関係

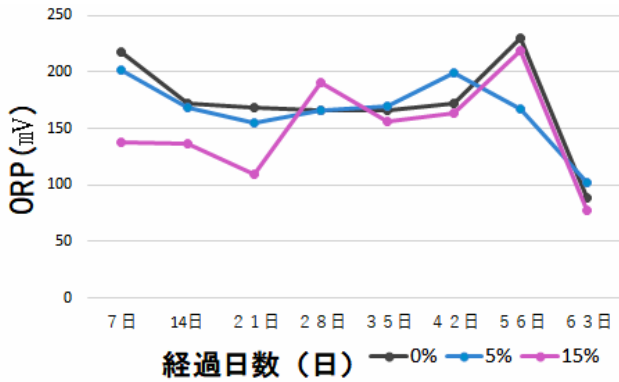


図10 牡蠣殻混入率とORPの変化の関係

いずれの牡蠣殻混入率 0%, 5%, 15%においても, pH の値は明確な変化は見られなかった。ORP の値は, 8 週間目 (56 日) までは明確な変化は見られなかったが, 8 週間目から 9 週間目 (63 日) にかけては, どの牡蠣殻混入率%に対しても値は減少した。

硫化水素検定パックによる測定結果を示す(図 11)。

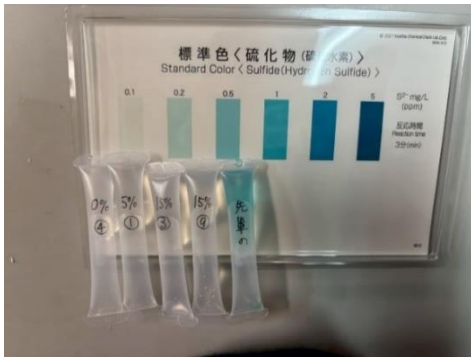


図 11 硫化水素検定パックの呈色結果

いずれの牡蠣殻混入率 0%, 5%, 15%においても, 明確な色の変化は確認されなかった。対照として, 2024 年に行った実験で使用した, 発芽しなかった実生ポットの水溶液を検定したところ, 硫化水素の発生が確認された。

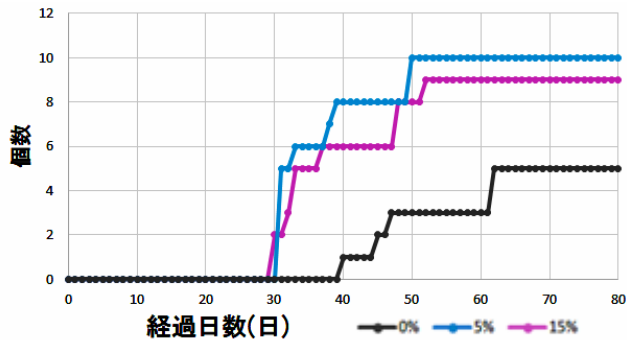


図 12 播種後のアマモ種子発芽日数および個数

図 12 は横軸を播種後の経過日数, 縦軸を発芽個数として作成したグラフである。牡蠣殻混入率 0%ではアマモの種子 50 個のうち, 発芽数は 5 個であった。一方, 牡蠣殻混

入率 5%および 15%では, 0%の約 2 倍の発芽数が確認された。また, 牡蠣殻混入率 0%と比較して, 5%および 15%は 10 日程早い時期に発芽する傾向が認められた。

#### 4. 考察

硫化水素検定パックによる測定の結果, 牡蠣殻混入率 0%, 5%, 15%のいずれにおいても色の変化が見られなかった。また, 本研究で用いたアマモ種子は, 発芽は嫌気性で, 生育は好気性が適した環境であるため, 硫化水素が発生していなかったことから, 実生ポット内の底質環境は, 悪化していなかったことが示唆される。一般に, 植物の成長は初期成長期・急成長期・停滞期の三段階を示すため, S 字型の成長曲線を描くことが知られている。本研究におけるアマモ実生の成長過程を考察する上で, S 字型の成長曲線を示す代表的なモデルであるゴンベルツ曲線およびロジスティック曲線に着目した。図 13 はゴンベルツ曲線, 図 14 はロジスティック曲線を示している。いずれも S 字型の曲線であるが, 初期成長が緩やかで, 成長速度が途中で最大となる特徴をもつゴンベルツ曲線がアマモの成長過程をより適切に表現できると判断し, 本研究ではゴンベルツ曲線を用いて考察を行った<sup>4)</sup>。

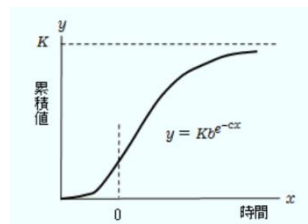


図 13 ギンベルツ曲線

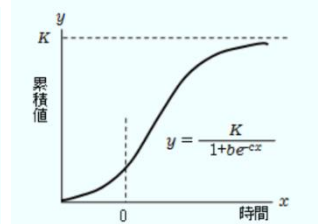


図 14 ロジスティック曲線

図 13 で示した式を基に, アマモの成長過程を表現できるゴンベルツ曲線の式  $y = Ae^{-r(t-\tau)}$  を作成し, 得られたデータを作成した式にフィッティングさせた。ゴンベルツ曲線のパラメータ決定は, 実データと関数の二乗誤差が最小になるように, Excel のソルバー (GRG 法, 非線形) を用いて行った。当てはめて解析した。ここで,  $y$  はアマモの全長,  $A$  は成長の最大値,  $r$  は成長速度を表し,  $t$  は経過時間,  $\tau$  は変曲点を示す。図 15 にゴンベルツ曲線に当てはめた結果を示す。このグラフは, 横軸を経過時間, 縦軸をアマモの全長として作成している。

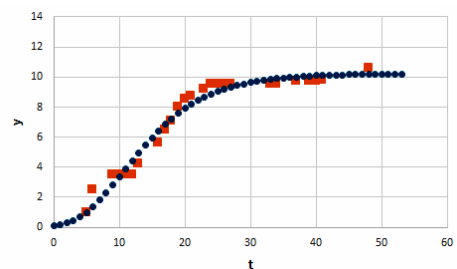


図 15  $y = Ae^{-r(t-\tau)}$  の式に当てはめた結果(15%)

また、図 16 に変曲点についてのグラフを示す。グラフ中の赤点までは成長速度が加速しており、赤点で示しているところで成長速度が最大となる。この点を過ぎると成長速度が減少する。

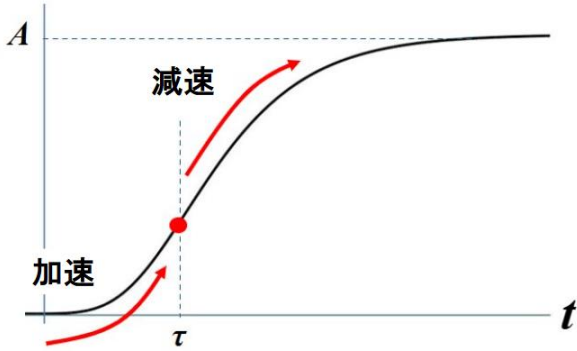


図 16 変曲点

他のデータと比較して、著しく異なる値を示したものについては外れ値と判断した。図 17, 図 18, 図 19 において赤字で示したデータが外れ値である。

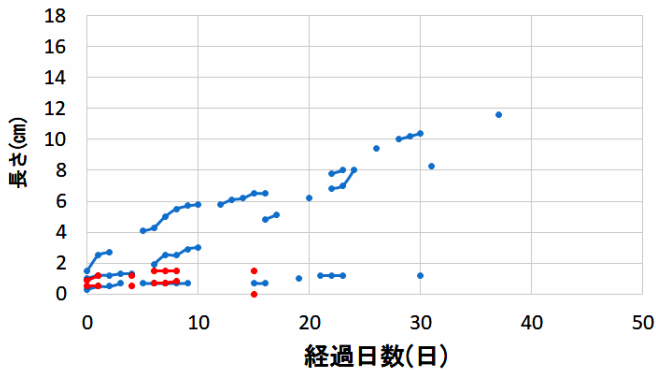


図 17 牡蠣殻混入率 0%

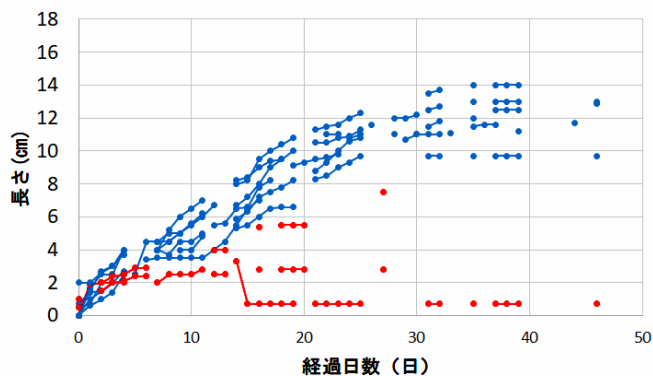


図 18 牡蠣殻混入率 5%

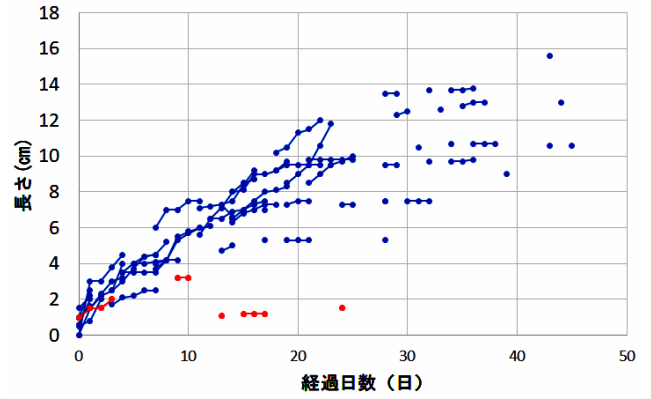


図 19 牡蠣殻混入率 15%

これらの外れ値と判断したアマモ実生ポットは、図 20 に示すように、カビの発生やアマモ種子周辺に綿状の物質が付着している様子が確認されており、正常な成長が妨げられていた可能性が考えられる。



図 20 外れ値と判断した実生ポット

牡蠣殻混入率 0%, 5%, 15% の各条件において、それぞれ 10 セット作成したアマモ実生ポットのうち、発芽が確認されたポットのみを対象として、 $\tau$ ,  $r$ ,  $A$  の値を求め、平均値を出した。牡蠣殻混入率 0%, 5%, 15% における変曲点 ( $\tau$ ) に到達するまでの時間を示す (図 21)。牡蠣殻混入率 0% と比較して 5% および 15% では変曲点に到達までの時間が短くなる傾向が認められた。

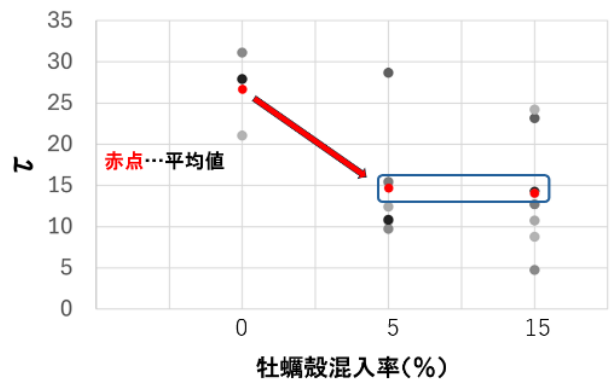


図 21 変曲点に到達するまでの時間( $\tau$ )

牡蠣殻混入率 0%, 5%, 15% の各条件における, ゴンペルツ曲線の ( $r$ ) の値を示す(図 22)。  $r$  は変曲点まわりの傾きの大きさの指標である。牡蠣殻混入率が高くなるにつれて,  $r$  の値が大きくなる傾向が確認された。牡蠣殻混入率の増加に伴い, アマモの成長速度が高まったことを示している。

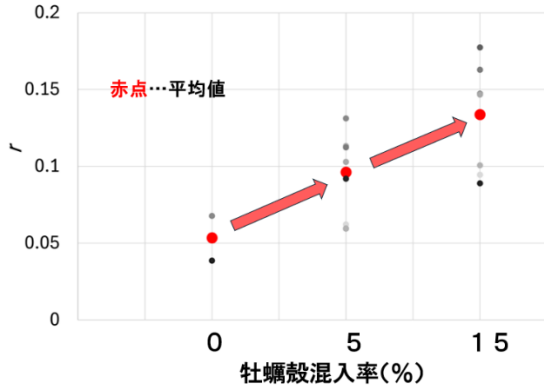


図 22 ゴンペルツ曲線 ( $r$ ) の値

これらのことから, 牡蠣殻を混入することにより, 発芽割合が増加するだけでなく, 発芽後の成長速度も促進することが示唆された。牡蠣殻混入率 0%, 5%, 15% の各条件において, ゴンペルツ曲線の最大値を示す(図 23)。

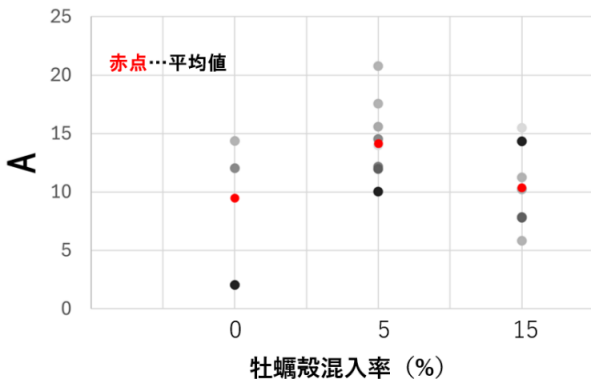


図 23 ゴンペルツ曲線の最大値 ( $A$ )

牡蠣殻混入率 5% における平均値が最も高いことが確認された。牡蠣殻混入率 5% の実生ポットでは, アマモの成長期間が, 牡蠣殻混入率 0% および 15% と比較して長くなる可能性が示唆される。また, ゴンペルツ曲線に基づく解析結果より, 最大値を示す  $A$  は牡蠣殻混入率 5% において最も高い値を示した一方, 変曲点を示す  $r$  および成長率を示す  $r$  は 15% で高い値を示した。このことから, 牡蠣殻混入率 5% はアマモの長期的な成長および最終的な成長量の増大に寄与し, 牡蠣殻混入率 15% は発芽後の初期成長を含む成長促進に寄与した可能性が示唆される。すなわち, 牡蠣殻混入率の違いにより, アマモの成長過程に及ぼす影響が異なることが明らかとなった。牡蠣殻の効果から考察すると, 発芽前の実生ポット内の還元細菌の活性化を助け, ポット内が嫌気性になり, アマモの発芽を促進する環境が

形成されたと推測される。また, 発芽後は, 牡蠣殻の多孔質構造が, 人工海水に含まれるマグネシウムやカルシウム, ケイ素などの微量元素を吸着し, 牡蠣殻の多孔質構造内に保持されたことで, 成長に良い影響を与えることが示唆される<sup>5)</sup>。

## 5. 結論および展望

本研究では, アマモ実生ポットに牡蠣殻粉砕物を混入することで, アマモ種子の発芽および成長への影響について検討した。結果, 牡蠣殻を混入させることで, 発芽期間が短縮され, 発芽割合が増加する傾向が認められた。さらに, 発芽後の成長速度も向上することが示された。特に成長速度の観点からは, 牡蠣殻混入率 15% が最も高い促進効果を示しており, アマモの発芽および成長を促進する条件として有効であると考えられる。以上の結果から, 牡蠣殻の活用はアマモ場再生における有効な手法の 1 つとなる可能性が示唆された。今後は, 牡蠣殻を人工海水の中に入れ, 海水中の微量元素の変化を測定し, 牡蠣殻の多孔質構造が微量元素に与える影響について検討する。また, 本研究ではゴンペルツ曲線を用いて考察を行ったが, ロジスティック曲線との関係も調べる。

## 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吉岡希裕教諭, 柳雅之教諭, 呉工業高等専門学校中下慎也様, 株式会社リバネス岩田愛莉様, 神戸大学川井浩史様, 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益財団法人日本財団様, JASTO 様, 株式会社リバネス様に感謝申し上げます。

## 7. 引用文献

- 1) 梶田 淳, 新村 陽子, 大本 茂之, 谷本 照巳, 寺脇 利信, 吉田 吾郎  
“アマモの固着力に及ぼす礫・牡蠣殻のアンカー材としての効果”, 水産工学, 2011, 47 巻 3 号, P. 183-187  
<https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2030812079.pdf>
- 2) 広島大学大学院生物圏科学研究科  
“カキ殻でヘドロの改善に取り組む” (2025/9/16 閲覧)  
[https://www.hiroshima-u.ac.jp/koho\\_press/press/2009/2009\\_082](https://www.hiroshima-u.ac.jp/koho_press/press/2009/2009_082)
- 3) 岡山学芸館高校医進サイエンスコース 2021 年海洋研究  
“人工環境下におけるアマモ種子の発芽促進要因について

4) 木暮 仁

成長曲線(シグモイド関数, ゴンペルツ曲線, ロジスティック曲線, ロジスティック回帰分析), (2026/1/9 閲覧)

<https://www.kogures.com/hitoshi/webtext/stat-seicho-kyokusen/>

5) 楠部 真崇, 林 和幸, 横田 恭平

“レジリエンスなアマモ場創出に資する革新的な多層化バイオセメント開発と海洋実装研究”, 2023, 日本学術振興会 科学研究費助成事業基盤研究

<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-21K05640/>



8. 発表および受賞

本研究は 2025 年度リバネス主催マリンチャレンジプログラム採択研究であり, KENQ JOUNEY にて発表を行った。他にも, 海辺の自然再生・高校生サミット 2025 in よこすかにて発表の機会を得た。また, 国際エメックスセンター主催高校生海洋保全研究発表会において, 最優秀賞を獲得し, 九州工業大学中高生課題研究発表会で奨励賞を受賞した。



# トラッキングデータから見るハクセンシオマネキの求愛行動

宮脇玲音<sup>†1</sup> 岡龍之輔<sup>†1</sup> 佐藤光将<sup>†1</sup> 平原想乃佳<sup>†1</sup>

2025年6月4日, 6月7日, 7月28日, 8月5日, 岡山県備前市日生町日生鹿久居島西岸 (34° 43.251', 134° 17.236') において, ハクセンシオマネキ (*Austruca lactea*) の求愛行動解明を目的としてフィールド調査を行った。得られた個体のはさみの長さおよび全長のデータから, 雄個体における大きな方のはさみの長さと同全長についての相関関係を調べた。結果, ハクセンシオマネキのはさみの長さは, カニの全長と相関関係があることが明らかになった。また, 標準偏差も求めたが, 著しいばらつきは確認されなかった。さらに, ハクセンシオマネキの求愛行動におけるウェービングを撮影した動画を用いて, フーリエ変換を行った。フーリエ変換とは周波数スペクトルに変換する数学的操作で, 与えた関数を周波数成分に分解し, 各周波数がどれだけ含まれているかを示す。また, ある個体がウェービングを始めると周囲の個体もウェービングを始める同期現象について調べるために, 一つの動画の中で, 同期現象と思われるウェービングを行っている4個体をトラッキングし, フーリエ変換を行った。すると, 周波数分布の頻度が4個体でほぼ同程度であり, 同期現象では, はさみを振り上げる頻度にも共通性があることが示唆された。

キーワード: ハクセンシオマネキ, 求愛行動, ウェービング, トラッキング, 同期現象, フーリエ変換

## 1. 研究動機

シオマネキ類の雄は, 左右どちらか一方が極端に大きなはさみを持つ, という特徴がある。求愛行動の際に見られるウェービング行動において, シオマネキ類以外のカニは両手のはさみを用いて行うのに対し, シオマネキ類は大きなはさみのみを用いる。シオマネキ類だけに見られる特異的なウェービング行動に興味を抱き, 西日本に広く分布するハクセンシオマネキに注目し, 岡山県備前市日生町においてフィールド調査を実施した。ハクセンシオマネキの観察, 撮影および, Tracker を用いて動画のトラッキングを行った。



図2 フィールド調査を行った干潟 (干潮時)

## 2. 材料と方法

岡山県備前市日生町日生に位置する鹿久居島の干潟 (34° 43.251', 134° 17.236')。図1, 図2) においてフィールド調査を実施した。



図1 フィールド調査を行った鹿久居島の干潟の位置 (Google Map 2025.07)

2025年6月4日 (15:00~17:00, 気温 26°C, 湿度 49%, 晴れ, 12時干潮), 2025年6月7日 (14:30~17:00, 気温 23°C, 湿度 76%, 晴れ, 14時干潮), 2025年7月28日 (14:25~17:50, 気温 33°C, 湿度 58%, 晴れ, 18時干潮), 2025年8月5日 (14:20~17:50, 気温 34°C, 湿度 62%, 晴れ, 13時干潮) の計4回, フィールド調査を実施した。すべてのフィールド調査において, ハクセンシオマネキの個体数を雌雄別に集計し, 雄については, 一対のはさみのうち, 左右どちらかのはさみが大きいという特異性が見られるため, 大きなはさみの左右別個体数も記録した。加えて, ウェービング (求愛行動) をスマートフォン (Galaxy S21Ultra 動画) で撮影した。また, 3回目と4回目のフィールド調査では, カニの全長 (片方の脚の先からもう片方の脚の先までの長さ, 以下カニの全長) とはさみの長さ (甲羅のはさみの付け根からはさみの先まで, 以下はさみの長さ) も計測した。4回目のフィールド調査では巣穴の分布, ドーム (土を丸め集めてできる山状の形成物) をスマートフォン (ウェービングは Galaxy S21Ultra 動画, 巣穴の分布は Galaxy S21Ultra 写真および iPhone11 写真) で撮影した。巣穴の分布はペットボトルキャップを巣穴の上に置いて調べた (図3)。

<sup>†1</sup> Okayama Gakugeikan High school



図3 ペットボトルキャップで示した巣穴の分布(左)と拡大写真(右)

撮影した動画はPCアプリ Tracker (ver6. 3. 1)を用いてトラッキング (Start frame:0, Step size:1, Start time:0.000s, Frame rate:29.89/s, Frame dt:0.033s)し、ウェービングにおけるはさみの動きを解析した。さらに、Excel を用いてグラフ(散布図の直線, 散布図の直線とマーカー)およびフーリエ変換(トラッキングで得た時系列データを周波数成分に分解する解析)を行った。

### 3. 結果

#### 3.1 ハクセンシオマネキ個体数

2025年6月4日に実施した第1回フィールド調査では、ハクセンシオマネキを合計13個体確認した。その内訳は、雄が11個体、雌が2個体であった。雄の大きな鉗(はさみ)の左右性については、右利き(右鉗が大型)が9個体、左利き(左鉗が大型)が2個体であった。同様に、6月7日、7月28日、8月5日の調査結果をそれぞれ表1および図4に示す。なお、各日の総個体数は、6月7日が57個体、7月28日が52個体、8月5日が52個体であった。

表1 観測日別の個体数

	6月4日	6月7日	7月28日	8月5日	合計
右	9	16	22	21	68
左	2	25	23	10	60
雄合計	11	41	45	31	128
雌	2	16	7	21	46
合計	13	57	52	52	174

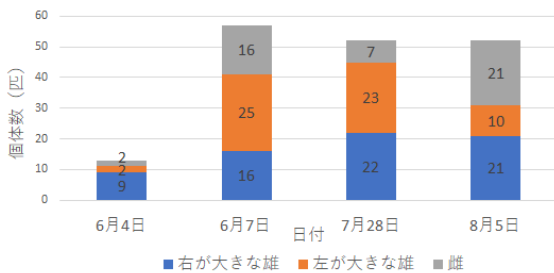


図4 観察日別の個体数

3回目と4回目に行ったフィールド調査では、雄カニの大きな方ははさみの大きさと全長を測定した(図5, 図6)。また、雄のはさみの大きさと全長の間に見られた正の相関について示す(図7)。

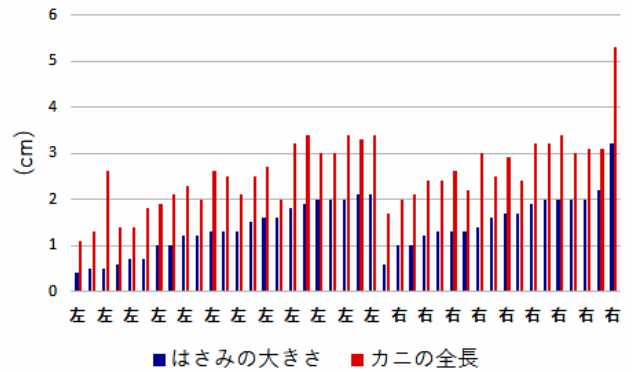


図5 雄カニの大きなはさみの長さ(7月28日)

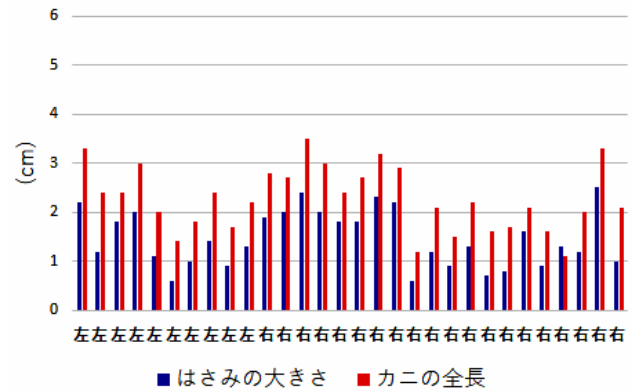


図6 雄カニの大きなはさみの長さ(8月5日)

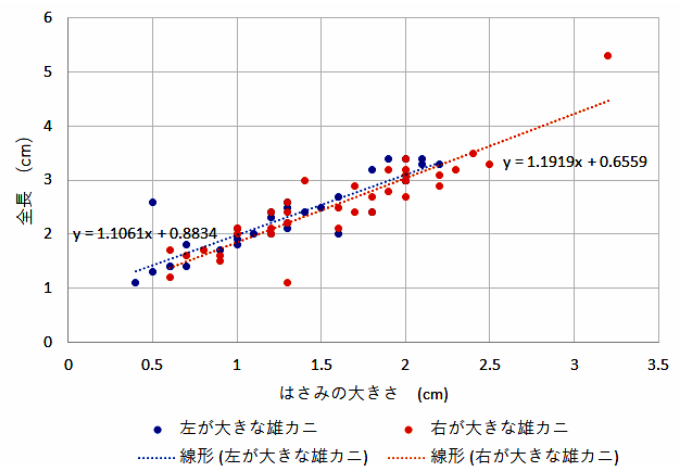


図7 雄カニのハサミと全長の相関関係

### 3.2 ハクセンシオマネキのウェービング行動

雄カニに見られるウェービング行動を PC アプリケーション「Tracker」(ver6.3.1)を用いてトラッキング(Start frame:0, Step size:1, Start time:0.000s, Frame rate:29.89/s, Frame dt:0.033s)し、大きなはさみの先端の位置を時間ごとに記録したものをグラフに表した(図 8)。

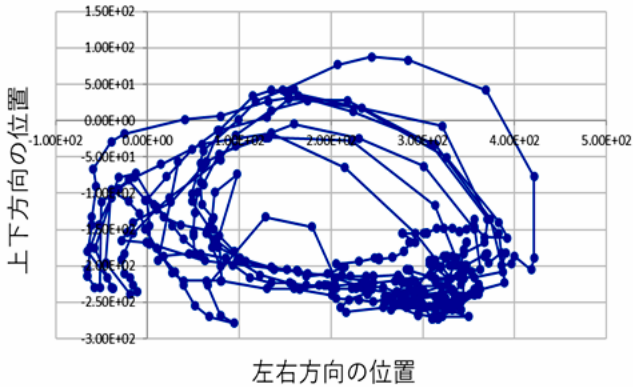


図 8 雄のハクセンシオマネキのウェービング行動の軌跡

グラフの点は瞬間のはさみの先端の位置、線は連続した動きを表している。さらに、ハクセンシオマネキのウェービングをフーリエ変換し、1 個体のウェービングにおいて、各周波数がどれだけ含まれているかを示す(図 9)。

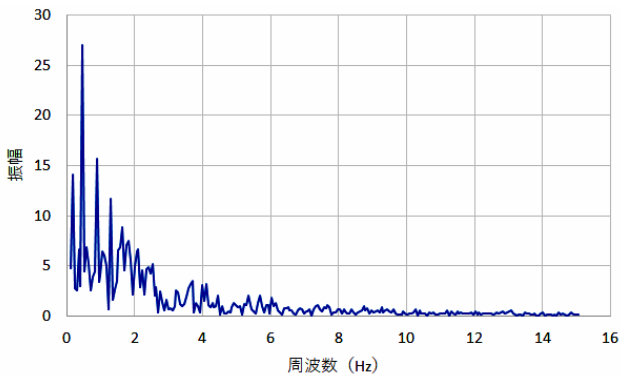


図 9 ウェービング行動のフーリエ変換

横軸は周波数を示しており、右に行くほど早い動きを表している。縦軸は、振幅を表しており、その周波数の含まれている程度を表している。また、本調査から、1 匹のハクセンシオマネキがウェービングを始めると、他のハクセンシオマネキもウェービングし始める行動が観察された。さらに、雄はウェービングをして 10 秒程経過すると、巣穴に入ってまた出るという反復行動が観察された。このような同期現象を調べるために、ある 1 つの動画の中で、同期現象を行っていると思われる 4 個体をトラッキングし、t-y グラフにまとめた(図 10)。

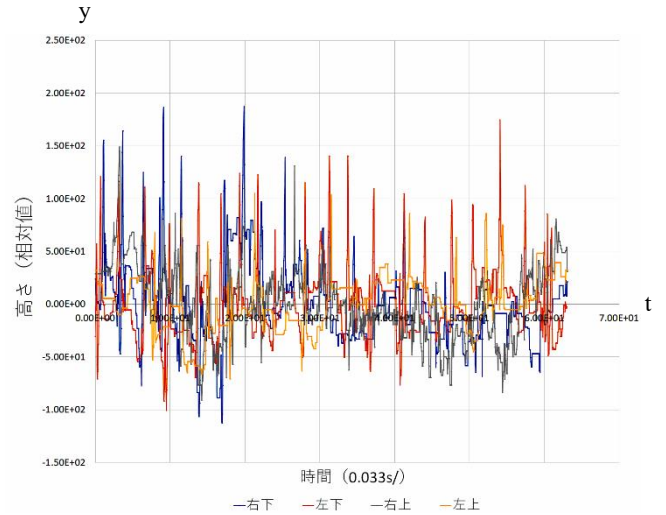


図 10 同期現象が見られる 4 個体の t-y グラフ

4 色のグラフは、それぞれ 4 個体のトラッキング結果を示している。各グラフにおいて、y 座標が大きく上昇する点に注目すると、その出現時刻 (t 座標) は、個体間でほぼ一致する場合と、わずかにずれている場合の両方が見られる。

## 4. 考察

### 4.1 ウェービング行動について

ウェービング行動の軌跡は、楕円を描いた軌道になっていることから、ハクセンシオマネキのウェービングは直線的な上下運動ではなく、一定の軌跡を持った周期運動であることが分かる。また、ウェービング行動は、およそ 1~3Hz 付近に強い成分が集中していることが分かる。

### 4.2 同期現象の意義

雌は集団の動きの中でより高頻度、あるいは最初にウェービングを始めた活発な動きの雄を選ぶとする性質があることが知られている<sup>1)</sup>。したがって、図 10 において y 座標が大きく上昇するタイミング (t 座標の値) が個体間でわずかにずれていることから、近隣のライバル雄同士が相手より先にハサミを振ろうと競い合っていることが示唆される。

### 4.3 はさみの長さとかニ全長の関係

カニの全長が大きな個体ほど、はさみの長さも大きくなる傾向が見られ、両者の間には正の相関関係があることが分かった(図 7)。さらに、右のはさみの回帰直線の傾きは左よりも大きく、右のはさみの大きさは体サイズとの関係がより強い可能性がある。また、カニの全長が小さな個体ではばらつきがやや大きく、成長段階や個体差が影響していると考えられる。フィールド調査では、極端に大きな個体も見られ、個体差の存在が確認できる。これらのことから

ら、ハクセンシオマネキは成長に伴って体全体が大きくなると同時に、はさみも比例して発達すると考えられる。特に、雄のはさみは、求愛行動で振って雌にアピールする役割や他の雄との縄張り争いに用いられるため<sup>2)</sup>、体の大きな個体ほど大きなはさみを持つことは生存や繁殖において有利であると考えられ、カニの全長とはさみの長さが比例することで、個体の成長段階や体格を雌へ示す指標としても機能していると考えられる。したがって、ハクセンシオマネキでは体の成長とともにはさみも発達し、それが求愛や競争に関わる重要な役割を果たしていることが示唆される。

## 5. 結論および展望

本研究では、ハクセンシオマネキの行動の解析を行った。周波数の低いあたりでの頻度が多くなっており、頻度の多い周波数の範囲が4匹とも同じ範囲であるため、はさみを振る大きさにも共通性があると考えられる。次に、およそ1~3Hz付近に強い成分が集中していることから、ウェービングは無作為ではなく、一定のパターンをもつ行動であると考えられる。したがって、ハクセンシオマネキのウェービングは個体がそれぞれ独立して行っているのではなく、周囲の個体の動きに影響を受けていると考えられる。ただし、本調査はサンプル数や観察期間が限られているため、今後は長期的な観察を通して、より詳細な検討を行う必要がある。

## 6. 謝辞

本調査を行うにあたり、協力、助言をくださった岡山学芸館高等学校の吉岡希裕教諭、柳雅之教諭に深く感謝いたします。

## 7. 引用文献

- 1) Andrew T. Kahn, Luke Holman, Patricia R. Y. Backwell, 2014年『Female preferences for timing in a fiddler crab with synchronous courtship waving displays』  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000334721400373X>
- 2) Sophia Callander, Michael D. Jennison, Patricia R. Y. Backwell, 2012年  
 『The effect of claw size and wave rate on female choice in a fiddler crab』  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10164-011-0309-6>

## 8. 発表および受賞

本研究は、リバネス主催 KENQ JOUNEY 2025 にてポスター発表を行った。他にも、第73回日本生態学会大会にてポスター発表を行った。



# アマモ種子の長期保存方法の確立

菅日向子<sup>†1</sup> 増山るな<sup>†1</sup>

アマモ (*Zostera Marina*) は、水深が浅く光が十分に届く海底に生育する海草である。また、海のゆりかごといわれ、魚たちの住処になる役割をもつ。さらに二酸化炭素を吸収し酸素を排出するブルーカーボンとしても注目されている。1980年代、岡山県備前市日生町日生湾では漁獲量が大幅に減少した。1950年代に590haあったアマモ場が1970年には82haに減ったことが原因として考えられた。海洋汚染や護岸工事の影響により、海から多くのアマモが姿を消したため、魚の生息数が大きく減少した。漁師の人々は地元の学校と協同し、アマモ場再生活動を行った。2017年から岡山学芸館高等学校医進サイエンスコースも参加している。活動を通じて、アマモ種子の発芽率が年によって変動することを知った。私たちは、2025年5月と9月に回収したアマモ種子を保存し、越年保存のための条件を明らかにした。食塩水を浄化する粒状活性炭を使用して、種子の腐敗を防いだ。アマモ種子は嫌気性条件下で発芽が促進されるため、酸素供給状態かつ20°Cで保存した。また、5°C未満での保存も行った。保存種子に発芽能力が残っているか、TTC試薬を使用して確認した。上部10cmを切り取った2Lペットボトルに、日生町の海岸で採集した砂を底から5cmの位置まで満たした実生ポットに種子を植え、発芽するか確認した。さらに、40ml容器に食塩水とともに種子を入れ、発芽するか調べた。実生ポットでは発芽が見られなかったが、9月に回収し低温で保存したアマモ種子を食塩水の容器に入れたものは、20%発芽した。最も発芽率を維持していた保存方法は5°C未満のものであった。さらに、今後、一年間保存したアマモ種子の発芽率を確認し、発芽能力を維持しているか明らかにする。

キーワード: アマモ種子, 種子長期保存, アマモ場再生活動

## 1. 研究背景

2017年から岡山学芸館高等学校医進サイエンスコースは海洋学習として、岡山県備前市日生町日生湾(図1)におけるアマモ場再生活動に参加している。再生活動の一環でアマモ実生ポットの作成を行う。2024年10月22日、12個の実生ポットを作成したが、アマモ種子が発芽したものは1個だった。アマモ種子の発芽率は年によって変動し、極端に低い年があればアマモ場再生活動が断絶する可能性がある。しかし、発芽率の高い種子を越年保存し次の年に持ち越せば、再生活動を継続的に行うことができる。アマモ場の再生活動を行うことは、日生湾の環境保全や水質改善につながる。そのため私たちは、高い発芽率を持つアマモの種子の越年保存を目標に研究を行った。



図1 アマモ場再生活動に取り組む日生湾

## 2. 材料と方法

### 2.1 アマモ種子について

2025年5月30日、岡山県備前市日生町日生湾でアマモの流れ藻を回収した。流れ藻(図2)は麻袋に入れ牡蠣筏につるした。また、流れ藻の一部を持ち帰り、種子が付いている葉とそうでない葉に分けた。種子の入った葉をネット(抗菌水切りネット, ストッキングタイプ, 目0.7~0.9mm, komoda株式会社)の中に入れ、口の部分を輪ゴムで縛った。種子の入った葉は食塩水(3.5%)を入れた水槽の中に入れて人工的に追熟させた<sup>1)</sup>(図3)。



図2 アマモ流れ藻



図3 人工追熟装置

人工追熟を行った種子を7月種子と呼ぶ。2025年7月18日、4つの2Lのペットボトルの上部10cmを切り取った中に追熟したアマモの種子を各約850個ずつ入れ、4種類の条件で種子保存を行った(表1)。また、2025年5月に牡蠣筏につるした麻袋を9月19日に回収し、その中から種子を取り出し選別を行った。取り出した種子を9月種子と呼ぶ。

<sup>†1</sup> Okayama Gakugeikan High school

表1 アマモ種子保存方法

	対照	粒状活性炭	酸素供給	低温
保存温度	20℃	20℃	20℃	5℃未満
操作	×	粒状活性炭 暗黒下	エアポンプ	×

## 2.2 保存方法

アマモの発芽適正温度は 5~15℃であり<sup>2)</sup>、保存環境を発芽適正温度外にするため、常温保存では 20℃で保存した(図 4)。粒状活性炭保存では、食塩水を浄化して清潔な状態を保ち、種子の腐敗を防ぐために、粒状活性炭(観賞魚用ろ材, ジェックス株式会社)を加え、暗黒下において 20℃で保存した。暗黒条件はアルミホイル(アルミホイルはく, 大創産業)を巻いて疑似的に再現した<sup>3)</sup>(図 5)。酸素供給保存では、アマモ種子は嫌気状態で発芽することが知られているため、種子の発芽を抑制するため、酸素供給ポンプ(S-848, ことぶき工芸)を入れて酸素をポットの中に充満させて 20℃で保存した(図 6)。低温保存は、発芽適正温度外であり細菌が繁殖しにくい環境である 0~5℃未満(冷蔵庫内)で保存した(図 7)。すべてのペットボトルは滅菌処理を行った食塩水(3.5%)で満たし、その中に種子を入れた。ペットボトルには蓋をかぶせ、水が蒸発して水量が減らないようにした。ペットボトルの食塩水は 1 週間に一度のペースで交換した。

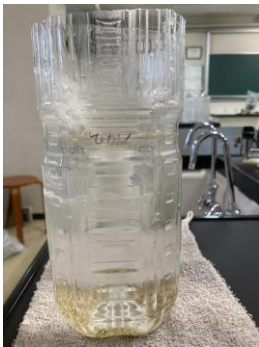


図 4 常温保存



図 5 粒状活性炭



図 6 酸素供給



図 7 低温保存

## 2.3 発芽確認方法

2025年, 7月種子の保存を開始してから1ヶ月と3ヶ月, 9月種子の保存を開始してから1カ月で実生ポットを作成した。1カ月, 3カ月ごとに各20個ずつアマモ種子を取り出した。上部を10cm切り取った2Lペットボトルに日生町の海岸で採取した砂を底から4cm程の位置まで満たし, 種子を入れ, その上からさらに砂を1cmかぶせた。その後, 砂が舞い上がらないように食塩水をゆっくりとペットボトルに入れた(図 8)。10℃に設定したインキュベーター(SANYO/MIR-153)に入れ, 種子の発芽を確認するために1週間ごとに観察した。容器内の食塩水は2週間に一回のペースで交換した。また, 7月種子を保存開始から3ヶ月, 9月種子の保存開始から1ヶ月時に, 種子の発芽能力を確認するために TTC 試薬(2,3,5-トリフェニルテトラゾリウムクロライド溶液)を用いて染色を行った。アマモ種子を半分に切り, TTC 試薬に浸して 30℃かつ暗黒下の環境で3時間放置した。保存方法ごとに, 10個の種子を用いて染色の有無を確認した。さらに7月種子を保存開始から3ヶ月, 9月種子の保存開始から1ヶ月時に容器(ディップカップ, 40ml, ニッケ商事株式会社, 図 9)の中に食塩水(3.5%)と種子を入れ発芽確認を行った(図 10)。容器の中に食塩水を20ml, 種子を10個入れ, 10℃に設定したインキュベーターに静置した。1週間に一度のペースで水を入れ替え, 観察を行った。

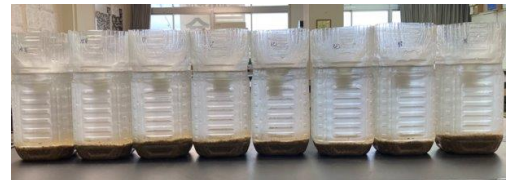


図 8 実生ポット



図 9 発芽確認実験容器



図 10 食塩水入り容器

## 3. 結果

### 3.1 実生ポット

すべての実生ポットで発芽は見られなかった。

### 3.2 7月種子発芽能力

7月種子を TTC 試薬で染色した結果を示す (表 2)。

表 2 TTC 試薬を用いた発芽能力確認 (n=10)

	常温	粒状活性炭	酸素供給	低温
7月種子	0%	20%	40%	0%

保存期間 3 ヶ月

7月に保存した種子は粒状活性炭保存で 20%、酸素供給保存で 40%の発芽能力を確認できた。発芽確認容器を用いた 7月種子発芽確認の結果を示す (表 3)。

表 3 7月種子の発芽確認 (n=10)

	常温	粒状活性炭	酸素供給	低温
7月種子	0%	0%	0%	20%

保存期間 3 ヶ月

発芽確認実験では、唯一、低温保存で 20%の発芽が確認できた。

### 3.3 9月種子発芽能力

9月種子を TTC 試薬で染色した結果を示す (表 4)。

表 4 TTC 試薬を用いた発芽能力確認 (n=10)

	常温	粒状活性炭	酸素供給	低温
9月種子	60%	60%	60%	50%

保存期間 1 ヶ月

9月に保存した種子はすべての保存方法で安定した発芽能力が確認できた。発芽確認容器を用いた 9月種子発芽確認の結果を示す (表 5)。

表 5 9月種子の発芽確認 (n=10)

	常温	粒状活性炭	酸素供給	低温
9月種子	0%	0%	0%	20%

保存期間 1 ヶ月

発芽確認実験では、3 ヶ月保存の 7月種子同様、低温保存で 20%の発芽が確認できた。

## 4. 考察

実生ポットを用いた発芽能力の確認実験では、アマモ種子の発芽能力や実生ポット内の環境がアマモ種子の発芽に影響を与えていると考えられる。保存ができていなければ種子は腐敗し、発芽能力が失われる。実生ポットを作成する際、実生ポット内の環境が悪ければ種子の発芽は見られない。実生ポットでは種子の発芽が確認できなかったが、容器を用いた発芽確認実験では種子の発芽が確認された。同じ食塩水を用いて実験を行っているのに発芽率に差が生じたのは、酸素濃度が関係しているためだと考えられる。

アマモ種子は嫌気状態で発芽する。実生ポットは 2 週間に 1 度のペースで食塩水を入れ替えているため、常に清潔な環境が保たれている。そのため、還元細菌が働きづらいと考えられる。嫌気状態で発芽が促進されることから、アマモ種子は酸素が少ない状態で発芽する。しかし、嫌気状態で発芽する種子自身も酸素を消費する。種子は発芽する際に貯蔵糖を基質として呼吸を行うため酸素を利用する<sup>2)</sup>。そのため、密閉された容器内では酸素がわずかながら減少する。実生ポット内は水が約 1.8L 入っている。ゆえに、酸素の減少に時間がかかり、容器内が嫌気状態になりきらず、種子の発芽が促進されなかったと推測する。一方、発芽確認のための容器は約 20ml の水しか入っていないため、酸素が減り、早期に嫌気状態になったことで、種子の発芽を促した可能性がある。

7月種子の低温保存において、TTC 試薬で発芽能力が確認できなかったにも関わらず、容器内で発芽が見られた理由は不明である。しかし、9月種子では常温保存、粒状活性炭保存、酸素供給保存で 60%、低温保存で 50%の種子の発芽能力が確認された。すべての保存方法の種子に発芽能力があると考えられる。また、食塩水を満たした容器では低温保存で 20%が発芽し、それ以外での保存方法で発芽は確認できなかった。発芽確認の実験結果から、7月種子と同様に、9月種子の保存には低温保存が有効であったと言える。

7月種子と 9月種子の主な違いは、追熟にかけた時間である。7月種子は約 1 ヶ月、9月種子は約 5 ヶ月追熟を行っている。追熟期間は成熟した種子を保存している保存期間とは違い、種子が成熟していく期間なので保存とはみなさない。7月種子は人工追熟した種子であり、9月種子は自然に追熟された種子である。ゆえに、種子の追熟度に差があり、種子の性質が異なることも考えられる。

結果、採取した時期の違う 2 種類のアマモ種子の両方で低温保存した種子が発芽したため、アマモ種子の長期保存に低温保存が有効である可能性が示唆された。

## 5. 結論および展望

2025 年、日生町で採取したアマモ種子は、1~3 か月の保存後、発芽することがわかった。低温保存の種子は食塩水を満たした容器の中で発芽した。これは、長期保存に低温保存が適していることを示している。

2026 年 3 月、アマモ種子の保存を継続している。7月種子が 6 ヶ月、9月種子 3 ヶ月の時点で発芽の確認をしている。今後も継続的に種子の保存を行う予定である。保存を開始してから 12 ヶ月 (1 年) が経った頃に、発芽能力があるか確認を行う。アマモの種子の長期保存は継続的なアマモ場再生活動に必要である。毎年発芽率が異なり、種子が採れる量も変わる。アマモ種子の一年保存が可能になれば、

翌年もアマモ場の再生活動に活用できる。

## 6. 謝辞

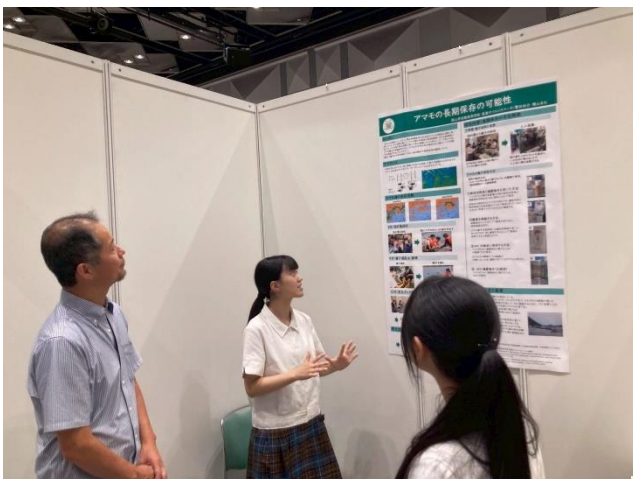
本研究を行うにあたりご指導くださった岡山学芸館高等学校の柳雅之教諭，吉岡希裕教諭および神戸大学内海域環境教育研究センター特命教授・名誉教授の川井浩史様，アマモの種子を提供して下さった日生町漁業協同組合様，ありがとうございました。

## 7. 引用文献

- 1) 海洋研究紀要 2024 岡山学芸館高等学校 医進サイエンスコース 14期生 p6~8
- 2) 深津章文“海草アマモ種子の生理特性から見た長期保存技術の検討”(2008) 三重大学大学院
- 3) 山木克則, et. al “アマモ種子における塩分および温度制御における発芽促進効果” 水産増殖 54.3(2006) : 347-351

## 8. 発表および受賞

本研究は，おかやま SDGs フェア 2025 にて発表の機会を得た。また，国際エメックスセンター主催高校生海洋環境保全研究発表会にて発表を行った。他にも，一般社団法人英語 4 技能・探究学習推進協会 CMA 実行委員会主催の Change Maker Awards 地方ブロック決勝に進出した。



## 目指せ！里海ペーパー アマモと牡蠣殻を使った紙の製品開発と物性測定

武田汐音<sup>†1</sup> 入江聖那<sup>†1</sup> 吉田琴音<sup>†1</sup>

1950年代、岡山県備前市日生町ではアマモ場が590ha分布していたが、高度経済成長による海洋汚染によって、1985年に12haへ減少した。海の生物多様性を守るアマモの減少に伴い、漁獲量も減少した。対策として、日生町の漁師はアマモ場再生活動を始めた。2025年5月、アマモ場再生活動の一環で流れ藻回収に参加した。日生町に分布しているアマモは一年生で、毎年5月から6月に流れ藻が発生する。日生町は漁業が盛んであり、海面に浮かぶ大量の流れ藻が船や網に引っかかり漁の妨げとなる。そのため流れ藻を回収する。回収した流れ藻は麻袋に入れて海中で追熟させ、種子を取り出す。本研究はアマモ流れ藻の葉の活用を目的とした。また、日生町は牡蠣の養殖が盛んであり、産業廃棄物である牡蠣殻が廃棄される。一部は肥料やチョークの原料として活用されるが、多くの牡蠣殻が放置されている。ゆえに、牡蠣殻の新たな活用法も考案した。アマモの葉と牡蠣殻の活用法として、紙に注目した。紙の主成分であるパルプはセルロースでできており、アマモの葉の主要成分もセルロースである。紙の表面をなめらかにする役割を持つ填料には炭酸カルシウムが使われており、牡蠣殻の主成分も炭酸カルシウムである。アマモや牡蠣殻を活用した紙を製品化することで、アマモの知名度向上につながる。結果、アマモ場再生活動を拡大させ、牡蠣殻の新しい活用法となる。2025年5月に回収したアマモ流れ藻の一部を葉と種子に選別し、葉の部分を天日干し、乾燥させ、アルカリ処理を行った。牡蠣殻は粉碎処理されたものを使用した。処理を行ったアマモや牡蠣殻粉末を用い、8種類の紙を製作した。紙の物性を数値化するために、紙のなめらかさ、引張強度、吸水率を測定した。紙のなめらかさの測定にはRa値を用いた。Ra値は値が小さいほど紙がなめらかであることを示す。填料として牡蠣殻粉末を含んだ紙の方が、填料を含んでいないものよりもRa値が小さくなり、引張強度が小さくなった。水の吸収率は、アマモを含んだ紙のみ吸収率が低下し、そのほかの種類紙には大きな変化は見られなかった。Ra値と引張強度の測定結果より、填料として牡蠣殻粉末を含んだ紙が一般的な填料を含んだ紙の特性と一致していることが明らかになった。よって、牡蠣殻が填料として機能したと考えられる。また、針葉樹パルプの紙よりアマモを針葉樹パルプと混ぜた紙の方がRa値は小さく、引張強度は大きく、吸収率は低下した。このことから、アマモの繊維と針葉樹パルプが絡み合うことで表面がなめらかになり、強度が増し、水の吸収率は低下したことが示唆される。今後は、作成した紙が実際に紙製品として利用できるか検証する必要がある。

キーワード: アマモ, 牡蠣殻, 紙, 里海

### 1. はじめに

岡山県備前市日生町は瀬戸内海に面しており、漁業が盛んである。1950年代、日生町の沿岸ではアマモ場が590ha分布していた。しかし、1970年代、アマモの生育面積は82haに減少し、1985年には12ha<sup>1)</sup>となった。アマモは海草であり、稚魚の隠れ家や産卵場所になり、海洋生物の多様性を向上させる。また、ブルーカーボンとしての役割も果たしている。生産者として様々な影響を与えるアマモが減少したことによって、日生町で獲れる海産物の量が減少した。この状況を改善するために日生町の漁師はアマモ場再生活動を始めた。2017年から岡山学芸館高等学校医進サイエンスコースもアマモ場再生活動に参加している。6月頃に流れ藻の回収、10月頃に海中で追熟したアマモ種子の選別、11月頃に実生ポットの作成を行っている。日生町に分布しているアマモは一年生で、5～6月に流れ藻が大量に発生する。流れ藻は漁船や網に引っかかり漁の妨げとなっている(図1)。例年、流れ藻回収で集められたアマモは、麻袋に詰め、カキ筏につるして、海中で追熟して種子を得る。種子を取り除いたアマモ流れ藻の葉の活用方法を考案した。また、日生町では牡蠣の養殖が盛んで、産業廃棄物である



図1 海面に浮かぶ流れ藻

牡蠣殻が大量に廃棄されている。牡蠣殻の一部は、肥料として活用されている。しかし、廃棄や活用が追いつかず、大量の牡蠣殻が放置されている(図2)。



図2 放置されている牡蠣殻

<sup>†1</sup> Okayama Gakugeikan High school

アマモの葉と牡蠣殻の活用方法として紙に注目した。紙の主成分であるパルプはセルロースでできており、アマモの葉の主成分もセルロースである。紙の表面をなめらかにする填料には炭酸カルシウムが使われており、牡蠣殻の主成分も炭酸カルシウムである。アマモの葉をパルプに、牡蠣殻を填料に置き換えることができると考えた。アマモの葉と牡蠣殻を使用した紙を製作し、里海ペーパーとして商品化できれば、アマモ流れ藻や牡蠣殻の新しい活用方法につながる。また、アマモの知名度が上がることで、一部の地域でしか行われていなかったアマモ場再生活動を拡大できる可能性がある。

## 2. 材料と方法

填料を含んでいない針葉樹パルプの紙と、填料としてチョークや牡蠣殻を含んだ針葉樹パルプの紙、アマモと針葉樹パルプを混ぜた紙を製作した。填料を含んでいない針葉樹パルプの紙を本研究ではただの紙と呼ぶ。ただの紙を作成する方法<sup>2)</sup>を以下に示す。水道水 500ml に粘剤(アワガミファクトリー)を 0.20g 溶かしておく。1 日放置し、粘剤を全て溶かし透明な液にする。紗(Mollytek 80 メッシュ)を漉き枠(画材・ものづくり ARTLOCO 外枠 200×295mm 内枠 180×255 mm)の内枠と同程度のサイズに切る。簾(画材・ものづくり ARTLOCO 竹製 200×280 mm)に紗を被せる。計量器 (SHIMADZU ELB-3000) で針葉樹パルプ(画材・ものづくり ARTLOCO) 4.00g を計る。計量した針葉樹パルプを水道水 500ml とともにミキサー (シー・ネット CMX101WH 16000/分) で 1 分間粉砕する。これらの原料を 250ml ずつに分け、外径 240 mm の 2 つの丸形水槽にそれぞれ移す。各水槽に水道水を 250ml 加える。水道水に粘剤を溶かしたものを 250ml ずつ加え、よく混ぜる。簾桁を床に対して平行になるように竹簾、紗、漉き枠の順に置く。その後、2 つに分けた原料の片方を一層目に流す。一層目に流した水分が引いたら、二層目の原料を流す。二層目に原料を流すときは手に流し、手を伝わって流す(図 3)。



図 3 二層目の原料を紙すきに流す

水分が引いたら簾桁を立てて、さらに水分を落とす。約 2 日間、自然乾燥し、紗から紙を外す。アマモ流れ藻の葉の部分については、2025 年 5 月 30 日、岡山県備前市日生町でアマモ流れ藻を回収した。種子がついている葉とそうでない葉や茎に分けた。種子が付着していない葉や茎を天日干しし、9 日後に回収した。9 日間の天気は晴れだった。また牡蠣殻は、6 月 17 日に日生町漁業協同組合から、付着した残渣を海水中で腐敗分解し、陸上で塩抜きした後、粉碎処理をされたものをいただいた。アマモは 5% の炭酸ナトリウム水溶液に 30 分浸したのち、自動攪拌機 (アズワン MMPS-T1) で 3 時間粉碎した。その後、10 分間、乳房と乳鉢を用いて手作業で細かくした。アマモをパルプと 1:1 の 2.00 g ずつ配合し、紙を作成した。また牡蠣殻は 0.25mm の篩に二度かけ、約 300 μm 以下のものを選別した。填料としてこれらを針葉樹パルプと一緒にミキサーにかけ、混ぜ合わせた。牡蠣殻粉末はパルプ 4.00 g に対して 5%、10%、20% の割合で配合した紙を作成した。填料として、チョークを牡蠣殻粉末と同一配合で含んだ紙も作成し、8 種類の紙を製作した(表 1, 図 4)。

表 1 作成した 8 種類の紙の組み合わせ

パルプ	針葉樹						針葉樹 アマモ	
	×	チョーク			牡蠣殻			
×		5%	10%	20%	5%	10%	20%	×
*ただの紙								



図 4 製作した紙

製作した紙の物性を明らかにするために Ra 値、引張強度、水の吸収率を測定した。自然乾燥した紙を一辺が 5 センチの正方形に切り取り、デジタルマイクロメータ (Smgda-JP) で厚さを測定した。紙の中心、各 4 つの頂点、各 4 辺の中央の 9 か所の厚さを測り(図 5)、その平均を紙の厚さとした。この紙片を用い、Ra 値、引張強度、水の吸収率の測定を行った。Ra 値は龍谷大学奥田哲士教授に協力していただき測定を行った。Ra 値とは紙のなめらかさを示す指標である。

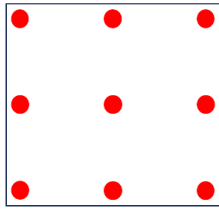


図5 マイクロメータで測定した位置(赤点)

引張強度の測定(図6)は、スタンドに5Nのばねばかり(Kenis)を2個、平行に吊り下げ、ばねばかりのフック部分にクリップをかけた<sup>3)</sup>。クリップに5センチ角に切り取った紙を挟み、手で紙が切れるまで力を加えた。断絶時の力を測定し、その値を断面積で割ったものを引張強度とした。また、ただの紙とアマモを含んだ紙の表面構造の違いを顕微鏡(AA-100LED)で観察した。

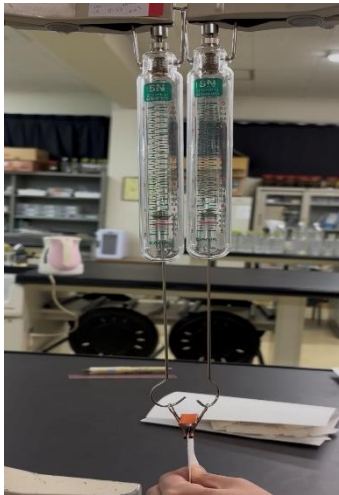


図6 引張強度の測定

吸収率の測定は、紙片の質量を計量器で計り、その紙片を300mlの水を入れたビーカーに3秒間浸し(図7)、再び計量器で質量を計った。その質量の差を紙片の面積で割ったものを水の吸収率とした<sup>4)</sup>。また、引張強度の測定と同様に、ただの紙とアマモを含んだ紙の表面構造の違いを顕微鏡で観察した。



図7 水吸収率の測定

### 3. 結果

Ra値については、一枚の紙につき12か所測定し(図8)、平均をRa値とした。Ra値は小さいほど表面が滑らかになっていることを示す。測定の結果、チョークを5%含んだ紙と牡蠣殻粉末を5%含んだ紙、牡蠣殻粉末を10%含んだ紙のRa値は著しく値が低下した。また、アマモを含んだ紙のRa値も低下した(図9)。

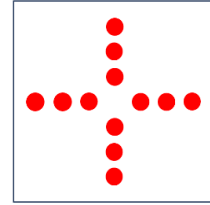


図8 Ra値を測定した位置(赤点)

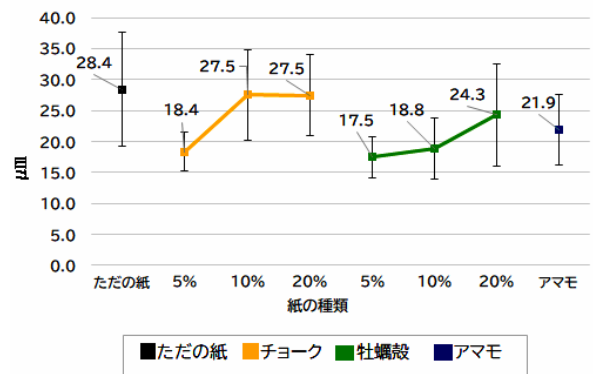


図9 配合ごとのRa値の変化

引張強度については、各種類の紙につき20回測定し、断絶時の力を測定した(図10)。断絶時の力を断面積で割り、平均の値を引張強度とした。測定の結果、アマモを含んだ紙の引張強度は大きく向上した(図11)。



図10 断絶した紙

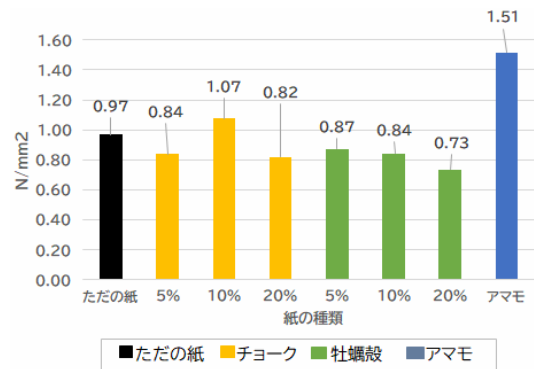


図11 配合ごとの引張強度の変化

水の吸収率については、各種類の紙につき 20 回測定した。水に浸ける前後の質量の差を測り、その差を着水した辺の面積で割り、その平均の値を吸収率としている(図 12)。測定の結果、アマモを含んだ紙は、水の吸収率が大きく低下した(図 13)。

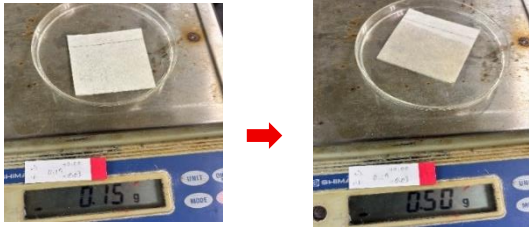


図 12 水に浸ける前(左)と後(右)の質量の差

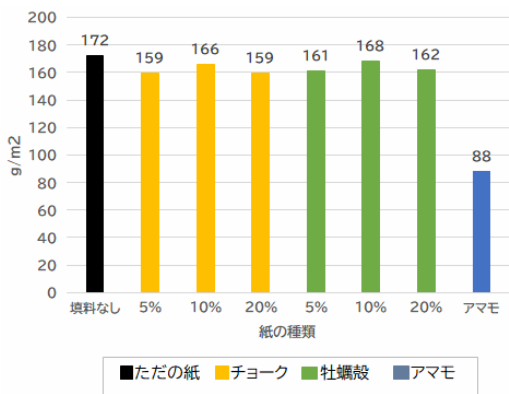


図 13 配合ごとの吸収率の変化

#### 4. 考察

Ra 値の測定の結果から、ただの紙と比較すると填料を含むことで Ra 値は低下することが分かった。ゆえに、チョーク、牡蠣殻が填料として機能し、紙の表面がなめらかになったと考えられる。チョークを 5%含ませたとき、牡蠣殻粉末を 5%、10%含ませたときに Ra 値が著しく低下したことから、填料を紙に含ませる際の最適な割合は 5%~10%であると考えられる。5%~10%という割合は一般的な紙と一致しているといえる<sup>5)</sup>。牡蠣殻粉末を 20%含んだ紙で Ra 値が増加したことに関しては、愛媛製紙の方から填料を 20%含ませるのは特殊な紙を作る時であると同った。そのため、填料を 5%、10%含ませるときと同じ作り方では填料を 20%含んだ紙を作成するのは難しく、填料としての働きをうまく発揮できなかったのではないかと考える。

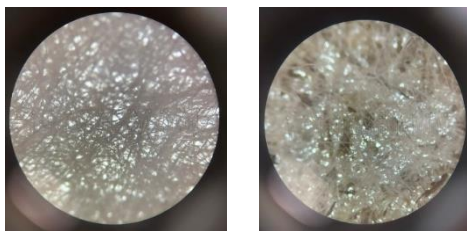


図 14 ただの紙(左)とアマモを含んだ紙(右)の顕微鏡像 (60 倍)

アマモを含んだ紙の Ra 値が低下したことについては、ただの紙とアマモを含んだ紙の表面を顕微鏡で観察して比較すると、アマモを含んだ紙の方が隙間は少ない(図 14)。アマモとパルプを組み合わせることによって繊維の隙間が減り、表面がなめらかになると推測される。

引張強度の測定結果から、ただの紙と比較するとチョークを 5%含んだ紙、チョークを 20%含んだ紙、牡蠣殻を 5%含んだ紙、牡蠣殻を 10%含んだ紙、牡蠣殻を 20%含んだ紙は引張強度が低下していることが分かる。ゆえに、ただの紙と比較すると填料としてチョーク、牡蠣殻を含むことで紙の強度が低下すると考えられる。また、ただの紙と比較するとアマモを含んだ紙は引張強度が著しく高まっていることが分かる。ゆえに、ただの紙と比較するとアマモを含むことで紙の強度が増したことが分かった。アマモとパルプを組み合わせることによって繊維が複雑に絡み、紙の強度が向上することが示唆される。

水の吸収率の測定結果から、填料としてチョークを含ませたときや牡蠣殻を含ませたときは吸収率に大きな違いはないことが示される。アマモを含んだ紙では水の吸収率が大きく低下することが分かる。このことから、填料の有無で水の吸収率に大きな違いをもたらすことはないと考えられる。また、アマモとパルプを組み合わせることで繊維が複雑になることから、水の吸収を抑えることができるのではないかと推測される。

これらの結果より、牡蠣殻粉末が填料として働いたといえる。また、アマモとパルプを組み合わせることによって紙の強度を上げることができると考えられる。牡蠣殻粉末を 5%含んだ紙では、Ra 値が著しく低下し、アマモを含んだ紙では強度が大きく増したことから、この 2 種類の紙が商品化できる可能性があるのではないかと考えられる。しかし、一般的な紙と比較すると、製作した紙は手触りがざらざらとしていることや 10N のばねばかりで断絶できることから、表面は荒く、強度も弱いことが分かる。そのため私たちはペーパータグとして地域の特産品に付属させる形で利用できると考えている(図 15, 図 16)。



図 15 ペーパータグ



図 16 使用例

## 5. 結論および展望

Ra 値, 引張強度, 水の吸収率の結果から, 填料として牡蠣殻粉末を 5% 含んだ紙とアマモを含んだ紙の 2 種類が最も製品化できる可能性が高いと考えられる。しかし, 市販の一般的な紙と比較すると製作した紙は表面も荒く, 強度も劣ることから, 製作した紙そのものを製品とするのは難しい。よって, ペーパータグとして地域の特産品に付属させる形で利用しようと考えている。今後, 製作した紙が実際にペーパータグとして利用できるか検証することが必要である。また, 填料として牡蠣殻粉末を 5% 含んだ紙は著しく Ra 値が低下し, アマモを含んだ紙は強度が大きく増した。本研究では, 填料を含んだ紙, アマモを含んだ紙を別々に製作しているが, アマモとパルプを組み合わせたものを土台として, そこに填料として牡蠣殻粉末を 5% 含ませる紙を製作することで, なめらかで強い, “里海ペーパー” を作ることができると考えている。

## 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, 稲村晃司教諭, ならびに龍谷大学先端理工学部環境科学課程奥田哲士教授, 日生町漁業協同組合代表理事組合長田丸和彦様, 愛媛製紙株式会社様に深く感謝いたします。

## 7. 引用文献

- 1) 田中丈裕 (2023) 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  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jriet/52/4/52\\_185/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jriet/52/4/52_185/_pdf/-char/ja)
- 2) 宅紙-takugami (2023) 自宅で「本格的な紙」を漉く方法  
<https://taku-gami.com/making-paper-at-home-basic/>
- 3) 三和化工株式会社 (2024) 物性測定方法「引張強さと伸び」  
<https://www.sanwa-chemi.co.jp/sanwa-admin/wp-content/uploads/2021/03/tensilestrength.pdf>
- 4) 鈴木正幸ら (1964) 日本産業規格 JIS 紙及び板紙-給水試験方法-コップ法  
[https://kikakurui.com/p/P8140-1998-01.html#google\\_vignette](https://kikakurui.com/p/P8140-1998-01.html#google_vignette)
- 5) 中嶋隆吉 (2013) 紙の基礎講座 印刷編(14-1) 紙の製造について 1. 原料調整工程  
<https://dtp-bbs.com/road-to-the-paper/basic-lecture-of-the-paper/basic-lecture-of-the-paper-031-1.html>

## 8. 発表および受賞

本研究は国際エメックスセンター主催高校生海洋保全研究発表会およびリバネス主催 KENQ JOUNEY 2025 にて発表の機会を得た。他にも第 11 回全国ユース環境活動発表大会において, 優秀賞を獲得した。





2024年9月19日

アマモ種子の選別と播種（備前市日生町）



2024年5月24日  
流れ藻アマモ回収作業  
（備前市日生町）



2024年10月22日 アマモ実生ポッド作成



2025年5月15日 牡蠣種付け作業



2026年2月18日 牡蠣出荷作業

岡山学芸館高等学校 医進サイエンスコース 15 期生 海洋課題研究



2025 年 8 月 7・8 日  
岡山 SDGs フェア参加



研究 4 チーム



2025 年 8 月 6 日  
マリンチャレンジプログラム中四国大会



2025 年 12 月 14 日 第 11 回全国ユース環境活動発表会



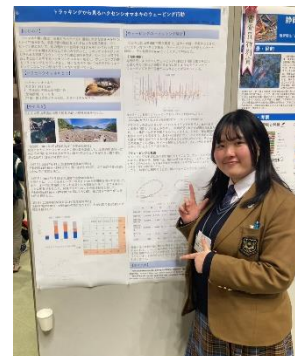
優秀賞受賞



2026 年 1 月 24 日 高校生海洋環境保全研究発表会



最優秀賞受賞



2026 年 3 月 15 日  
第 73 回日本生態学会大会参加

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 2025

令和8年3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

〒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、牡蠣養殖筏に吊したアマモ流れ藻（麻袋）

裏表紙写真 日生町鹿久居島にて、ハクセンシオマネキ

