

海洋研究紀要

2023

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

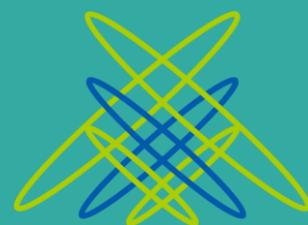
フィールドでの発見，疑問，漁師さんへの恩返し
コース所属生徒全員が課題を設定し
研究に挑む

海洋研究，さらなる飛躍へ

第3号

岡山学芸館高等学校

医進サイエンスコース 13期生



目次

アマモ醤油 ジャマモと呼ばれた海草の可能性	平岩恋季.....2
全てのアマモ実生を青葉に もやし化せずに本葉展開させるプロトコル開発	直野璃々花 岩本深那 時岡小舞 前谷陽向.....7
巻き貝の行動学 米子湾におけるウミニナの選好場所	山下慶 野崎紗渚 森本彩吹.....12
トビウオとバイオミメティクス	山上朔汰 伍賀永遠.....16
イカの色素胞による体色変化	野崎怜河 小山慧祐.....19
海ゴミ回収装置の作成	服部冬羽 小原偉歩輝 三宅晁太 澤口建太.....22
波力発電の効率化に向けた空気室加工実験	森悠一 鈴木貴久.....24
海上都市の実現に向けて	原田裕史 畑森瞬助 有本大哉.....26
瀬戸内海の栄養塩濃度と耕地面積の変化について	鶴野敦也.....29
岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース 13 期生 海洋研究32

海洋研究紀要 2023

アマモ醤油

ジャマモと呼ばれた海草の可能性

平岩恋季^{†1}

岡山学芸館高等学校医進サイエンスコースでは、岡山県備前市日生町の漁師の方々とアマモ場再生活動を行なっている。かつてアマモは、船のスクリューに絡まることから“ジャマモ”と呼ばれ嫌われていたが、近年、ブルーカーボン生態系としての働きや、稚魚の住処として生物多様性向上に貢献していることがわかり、注目を集めている。しかし、その知名度は高いとは言えず、生態や役割まで知っている人は少ない。より多くの人々がアマモを身近に感じられるように、食べ物に加工する研究に取り組んだ。アマモ種子には多量のデンプンが蓄えられているという先行研究から、小麦の代替としてアマモ種子を利用できるのではないかと考え、日本人に身近な調味料である醤油の製造を試みた。小麦には醤油の甘みや香りを豊かにする効果がある。アマモを用いることで、新たな風味を持ち、栄養豊富で、グルテンフリーの醤油が醸造可能になるのではないかと考えた。本研究では、代用率を変えた4パターンの醤油を醸造した。本醸造醤油は完成まで6カ月かかる。発酵開始1ヶ月後と6カ月後に、キミセ醤油株式会社のご協力のもと、塩味や旨味（グルタミン酸）、風味の評価を行った。風味の評価は、キッコーマン株式会社による評価指標であるQDA法（定量的記述分析法）を使用し、評価者12名による評価平均値を求めた。結果として、アマモを使用した醤油は、従来の小麦の醤油よりも潮の香り、スッキリとした匂い、まろやかな香ばしさなどの特徴を持つこと、大豆とは違った旨味があり、後味がスッキリしていることなどがわかった。アマモを使用することで独特の風味、味を持つ醤油を醸造することができたといえる。今後の課題として、茎からの糖抽出実験、効率的な種子回収方法などを探っていく。また、将来的な商品化を目指して、発酵速度を上げる研究、アマモ醤油の機能性調査も行う。アマモは世界的に見ても食用事例が稀有だが、近年イギリスでスーパーフードとして注目されていること、スペインのレストランで自家栽培し提供している事例などがある。現地訪問を含めて、詳しい事例調査を継続するとともに、アマモの人工栽培方法、加工方法を研究していきたい。

キーワード：アマモ、醤油、生態系、食品加工、里海

1. アマモとは

アマモ (*Zostera marina*) は、北半球の温帯から亜寒帯にかけて、水深が浅い海底に分布する海草の一種である。日本各地に分布しており、茎に甘味があることから甘藻(アマモ)と呼ばれる。かつては船のスクリューに絡まる厄介な存在として“ジャマモ(邪魔藻)”と呼ばれ、嫌われてきた。高度経済成長期に干潟の埋め立てや護岸工事が行われたこと、水質悪化によって、岡山県備前市日生町沿岸域で1950年代に590haあったアマモ場の生育地域は1980年代には12haに減少した¹⁾。それに伴い漁獲量が減少したことから、アマモが稚魚の住処として生物多様性向上に貢献していることがわかってきた。その生息地は別名“海のゆりかご”とも呼ばれるようになり、豊かな海を復活させるため、効果的なアマモ場再生方法の模索が続いている。2020年以降、大気中の二酸化炭素を吸収・蓄積する働きのあるブルーカーボン生態系としても注目を集めている²⁾。

2. アマモ場再生活動およびアマモ知名度

医進サイエンスコースでは、岡山県備前市日生町の漁師の方々とアマモ場再生活動を行なっている。1985年に日生から始まったアマモ場再生活動は、今では日本全国80カ所以上にその取り組みが広がっている。しかし、2023年7

月にTwitter(現X)で教育インフルエンサーのフォローワーにアマモ知名度アンケートを取ったところ、総数995票のうち約6割が名称すら知らず、その生態や役割まで知っている人は約1割という結果となった(図1)。

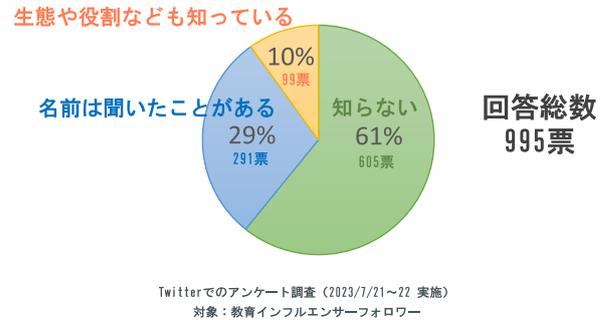


図1 アマモ知名度アンケート結果

私は、アマモの認知度を関係者以外にも広げることが、再生活動を活発化させ、より豊かな海にすることに繋がるのではないかと考えた。人の生活に馴染み深いのは“食”である。そこで、私はアマモを食べ物として活かす方法を模索する研究に取り組んだ。日本にはアマモを食べる文化はない。しかし、その種が稲や小麦によく似た性質を持つことを知り、アマモを使って、醤油などの発酵食品の開発に挑戦したいと考えた。

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

3. 仮説およびアマモ醤油の利点

醤油の材料は通常、大豆、小麦、塩の3つである⁴⁾。小麦に含まれるデンプンを発酵させ、アルコールにすることで、醤油独特のまろやかさが生み出される。東京家政大学の西原らは、アマモの種子はヨウ素デンプン反応が陽性であり、光学顕微鏡では組織学的検索では無胚乳種子であるものの、だ液消化PAS染色法により多量のデンプンを蓄積していると述べている⁵⁾。この研究から、アマモの種子を小麦の代替にできるのではないかと仮説を立てた。また、小麦を使わずに、アマモのみで醤油を作ることができれば、グルテンアレルギーを持つ人でも食べることができるグルテンフリーであることが特長の1つとなる。

4. 材料および醸造方法

4.1 材料の配合

2023年6月に岡山県備前市日生町の漁師にご協力いただき、アマモ流れ藻の採取を行った。回収した流れ藻の量は約40kgである。その葉から、3人で1週間かけ、種を選別し、最終的にアマモ種子約70gを採取した(図2)。



図2 アマモ種子の採集

豊かな風味でバランスの良い醤油を醸造するため、アマモの種子の調合割合を変えた4パターンを醸造した。アマモのみで醤油が作れるのかを調べるパターンA(アマモ100%, 小麦0%), アマモと小麦, どちらの風味が勝るのかを調べるパターンB(アマモ50%, 小麦50%), アマモの種の風味への影響を調べるパターンC(アマモ2.5%, 小麦97.5%), アマモの種100%のものと比較するパターンD(アマモ0%, 小麦100%)の4つである(表1)。なお、大豆、塩、水はすべて同じ割合で醸造した。

表1 実験材料の配合およびパターン

パターン (狙い)	代替小麦となる アマモの 種の割合	アマモ の種 (g)	小麦 (g)	大豆 (g)	塩 (g)	水 (g)
A アマモ100%で醤油は作れるか	100%	40	0	40	31.5	111.5
B アマモと小麦、どちらの風味が勝るか	50%	20	20	40	31.5	111.5
C アマモの風味への影響を調べる	2.5%	1	39	40	31.5	111.5
D アマモ100%のものと比較する	0%	0	350	350	275	975

4.2 アマモ醤油醸造方法

2023年7月から上記4パターンの醤油の醸造を開始した。醸造手順は以下の通り(図3)。

1. 大豆を水でふやかす。
2. 圧力鍋で大豆をやわらかくなるまで煮る。
3. 小麦またはアマモをきつね色になるまで炒め、すり鉢ですり潰す。
4. バットに大豆、小麦、麴をいれ、混ぜる。
5. 水を150cc入れ、発酵機を37度に温め、バッドを入れ、18時間発酵させる。
6. 発酵器からバッドを取り出し、全体を混ぜる。
7. 発酵器を25度に設定し、バッドを再び入れ12時間発酵させる。
8. 瓶にバッドの中を詰め、週に1~2回かき混ぜて、6ヶ月熟成させる。



図3 醤油作りの手順

なお、醤油作りの指導・アドバイスや麴の譲渡については、岡山県にあるキミセ醤油にご協力いただいた。

5. 結果

5.1 発酵1ヶ月後の中間評価と分析結果

キミセ醤油のご協力の下、発酵1ヶ月後に中間評価を行った。4パターンから抽出した醤油の旨味値、塩味を計測し、複数名でテイスティングした。30gの諸味から抽出した醤油の量は、Aは0.5mL、Bは1.0mL、Cは2.0mL(図4)であった。旨味成分はDが最も高く、塩味はB・Cが高かった(表2)。また、風味はキッコーマンが出している評価基準⁶⁾に基づいて官能評価を行い、評価平均値を算出した(D:0%を3とした5段階評価)(図5)。A・B・Cは海草の風味が出ており、従来の醤油にはない香りが感じられた。醸造した醤油の塩分測定は東亜電波工業株式会社(TOA)SAT-210機器を使用した。旨味測定は株式会社ヤマサ醤油製のL-グルタミン酸測定キットヤマサNEOを使用した。なお、パターンAはろ過液に濁りがあり、抽出後冷蔵保存していたが麴菌が増えた。またグルタミン酸測定時に必要な醤油1mLを採取できなかったため、採取できた0.5mLで測定し、測定値を倍にして比較した。

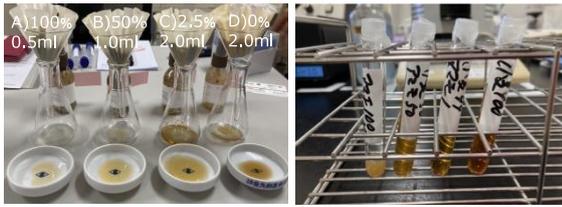


図4 発酵1ヶ月後に各30gの諸味から抽出できた醤油

表2 旨味および塩味の分析結果

	代替小麦となるアマモの種の割合	旨味 (グルタミン酸) mg/dL	塩味 (w/v) %
A	100%	663	17.7
B	50%	640	19.4
C	2.5%	545	20.1
D	0%	1405	17.0

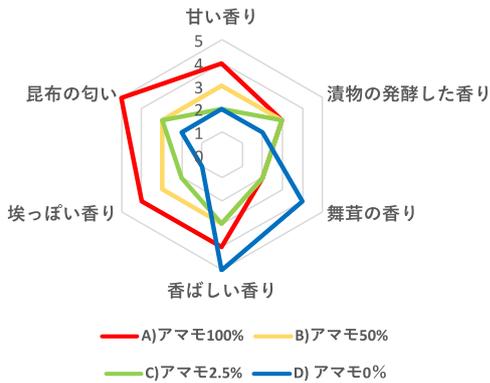


図5 官能評価, QDA法(定量的記述分析法) キッコーマンの評価指標による香りの評価

5.2 発酵6ヶ月後の最終評価と分析結果

引き続きキミセ醤油のご協力の下、発酵6ヶ月後に最終評価を行った。4パターンとも醤油が抽出でき、風味や旨味値、塩味を計測し、複数名でテイスティングした。諸味を比較して見ると、いずれも発酵1ヶ月後より液状化が進んでいることがわかる(図6)。50gの諸味から抽出した量は、Aは10mL、Bは10mL、Cは15mL(図7)であり、醸造後1ヶ月に課題だったAの抽出量は、熟成が進み液状化した醸造6ヶ月には増加した。

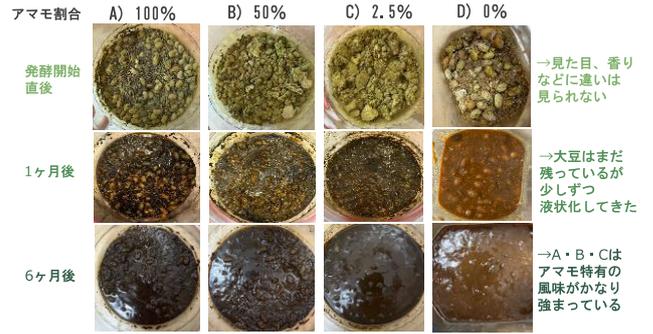


図6 諸味発酵過程の様子

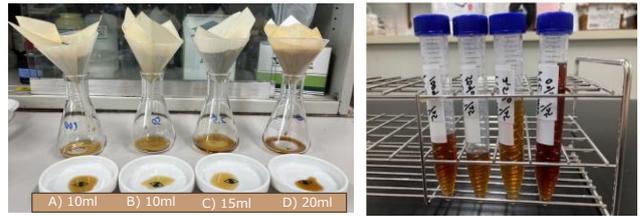


図7 発酵6ヶ月後に各50gの諸味から抽出できた醤油

旨味分と塩味分は1ヶ月後と大きな差異が見られなかった(表3, 図8)。また、中間評価と同様に官能評価を行い、12名による評価平均値を算出した(D)0%を3とした5段階評価)。今回は新たに味の指標も加えて評価した(図9)。

表3 旨味および塩味の分析結果

アマモ	旨味 (グルタミン酸) mg/dL	塩味分 % (w/v)
A) 100%	754	18.9
B) 50%	696	19.3
C) 2.5%	538	20.0
D) 0%	1279	16.9

測定結果

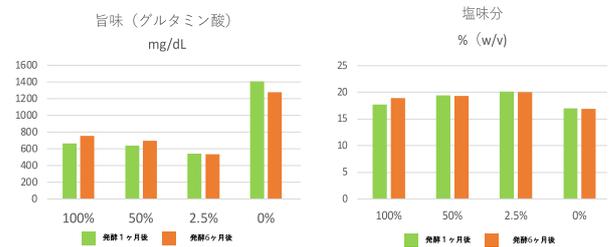


図8 旨味および塩味の発酵1ヶ月後、6ヶ月後の比較

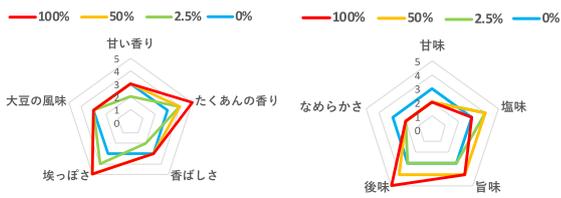


図9 官能評価, QDA法(定量的記述分析法)
香りの評価, 味の評価

香りの評価については, アマモ醤油は, たくあんの香り, 埃っぽさの数値が高かった。特徴としては, 潮の香り, スッキリとした匂い, まろやかな香ばしさが挙げられる。味の評価については, アマモ醤油は後味, 旨味の数値が高かった。特徴としては, 大豆とは違う旨味, 後味がスッキリしているという点が挙げられる。それぞれの醤油に対する主な感想を以下に示す。

A) アマモ割合 100%

- ・大豆醤油に比べて香りはやや弱い
- ・大豆とは違う旨味がある
- ・香りにかすかに魚醤を感じた

B) アマモ割合 50%

- ・塩味が強く酸味とのバランスが良い
- ・酸味が一番強く, 香りはあまり感じなかった

C) アマモ割合 2.5%

- ・酸味が強かった, 後味すっきり

5.3 醸造結果

分析結果から, アマモ種子を使用することで, スッキリとした後味, 大豆とは違った旨味, まろやかな香ばしさなど, 独特な風味を持つ, 新しい醤油を醸造できた。

6. 考察および今後の課題

6.1 アマモ醤油の塩分

課題の1つ目は, アマモ醤油(A・B・C)の塩分値が醤油(D)よりも高いことである。本研究では, アマモの種子のみを使用した, 塩分値を下げてまろやかさを出すために, 茎や葉から糖を熱抽出できないか検討する必要がある。東京家政大学の西原らの研究から, ペーパークロマトグラフィーによって, ブドウ糖の存在は根と, 開花期から種子の完熟期にのみ葉でも認められ, 果糖の存在は根, 葉で, 蔗糖は, 根, 葉, 熟した時にのみ種子で認められている。今後, 根や葉に含まれている糖を抽出し, 使用できないかを調べたい。抽出方法については, 高知大学農林海洋科学部海洋資源科学科海洋生命科学コースの難波卓司准教授から, ア

マモ類から熱水抽出により多糖を分離すると, 主にガラクトース, マンノース, アラビノースから構成される多糖が取れることと, 抽出した多糖にブドウ糖が含まれるかを調べるため, アマモから抽出した多糖を大豆と一緒に麹菌で発酵させることができるかを検討した方が良いとアドバイスいただいた。

6.2 アマモ種子の収穫方法

課題の2つ目は, 種の収穫量が少ないことである。40kgのアマモ流れ藻を回収後, 手作業で1週間かけて採取した種量は約70g(1/500以下)であった。例年, 日生町の漁師の方とアマモの種蒔きをする場合, 6月に採取したアマモを丸ごと麻袋に入れ牡蠣筏に吊るし, 海水に浸すことで葉や茎を腐らせ, 10月に袋の中身を洗い, 種だけを取り出している。本研究では早期に実験を開始するために, 6月に手作業で種を取り出した。また, 10月, 海水に浸し, 茎を腐らせたアマモの種を採取したが, 貝類などが多く混入しているほか, 硫黄臭が強く, そのままでは食品に使用することが難しい。そのため, 腐敗させてからの回収ではなく, アマモの種子の形状が米に似ていることを活かして, インキュベーターで乾燥させ, 脱穀機を使い, 効率的な種回収を行いたい。

6.3 アマモ醤油の有用性

課題の3つ目は, アマモ醤油自体の有用性を検証することである。本研究開始前に商品化事例を調べた際, 美容分野で, アマモを使用した石鹸(Haeckels, イギリス)⁷⁾や, アマモエキスを使った美容液ドモホルンリンクル(株式会社再春館製薬所, 日本)⁸⁾などの事例を確認した。アマモエキスはシミが出来る原因であるメラニンを合成する酵素チロシナーゼを阻害し, メラニン合成を抑制する働きがあるため, シミ予防効果が期待できるという。今後はアマモエキスをより詳細に分析し, 体内摂取した場合の具体的な効能を発見していきたい。2024年4月からは東大グローバルサイエンスキャンパス第3段階生として, 東京大学大学院水圏天然物化学研究室に所属し, 細胞実験などを行う予定である。また, 調査を進める中で, イギリスではアマモがスーパーフードとして注目されているとの記事⁹⁾があった。さらに, スペインの三つ星レストランAponiente¹⁰⁾では自然公園内の実験耕作地3,000㎡でアマモを管理栽培し, 顧客にも提供している。現地訪問を含め, 詳しい事例調査を継続したい。

7. 結論

今回アマモを使用することで独特の風味, 味を持つ醤油を醸造できた。マリンチャレンジ全国大会で試食を提供した際には50人を超える人々から美味しいとコメントいた

だけだ。なお、現段階では収量が少ないため、食べ物との組み合わせはあまり試せていないが、豆の旨みが強い豆腐やボイル牡蠣との相性が良かった。アマモの新たな可能性を探ることで、人々が海により親近感を抱き、積極的に保全活動に取り組み、参加者の中から新たなアイデアや技術を持つ人々が後に続いてくれることを期待している。

8. 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、東京大学農学部劉美辰様、リバネスの岸本昌幸様、誠にありがとうございました。また、研究資金を提供いただいた株式会社リバネス様に感謝申し上げます。醤油の醸造についてご指導いただいた、キミセ醤油の永原琢朗社長、品質管理室室長の赤木智香子様、山内貴子様、平井麻理様、他従業員の皆様、ありがとうございました。アマモの種回収に当たってご協力いただいた日生町漁協の天倉辰己様をはじめとする皆様、海外の研究者と交流の機会を設けていただいたNPO法人里海づくり研究会議田中丈裕様、糖分抽出についてご指導いただいた高知大学難波卓司准教授、多くの皆様に感謝申し上げます。

9. 引用文献

- 1) 岡山県日生町地先におけるアマモ場再生活動の取り組み
- 2) 宙畑 “ブルーカーボンって何？” (2023/7/20 閲覧)
<https://sorabatake.jp/25640/>
- 3) 柳哲雄, “里海・Satoumi 20年の歩み”
- 4) たちひろし「しょうゆの絵本(つくってあそぼう)」農山漁村文化協会(2006)
- 5) 西原あき子, 高野 克夫, 草間 正夫. “アマモの糖質について” 東京家政大学研究紀要, 1990, 第30集(2), P. 37~42.
- 6) キッコーマン “官能評価, QDA法” (2023/7/11 閲覧)
<https://www.kikkoman.com/jp/quality/research/about/functional/qda.html>
- 7) Haeckels ハイドレーティング イールグラスソーブ (2023/6/14 閲覧)
<https://cacica.stores.jp/items/5f72d84207e163770d4fc2db>
- 8) 再春館製菓所 “進”ドモホルンリンクル 2011/10/1(土) 進化・新発売! (2024/2/16 閲覧)
<https://prtmes.jp/data/corp/3871/8956f3a4a5933f7c9258de9a8a5c455b.pdf>
- 9) JETRO “英国の最新の食トレンドと進化する日本食” (2023/7/15 閲覧)
<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/2022/af3eadb>

1f740ceee.html

10) Aponiente (2024年2月16日閲覧)

<https://www.cerealmarino.com/en/what-is-marine-grain/>

10. 受賞および学会発表, 報道事例

本研究は2023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採択研究であり、中四国ブロック大会で優秀賞、全国大会で日本財団賞を獲得した。また、北海道大学主催海の宝アカデミックコンテスト2023サイエンス部門において全国大会最優秀賞“海の宝大賞”を受賞した。他にも、第21回高校生・高専生科学技術チャレンジ(JSEC)入選、リバネス主催サイエンスキャッスル2023中四国大会口頭発表優秀賞、第6回Change Maker Awards西日本ブロック銀賞に入賞した。さらに、東京大学グローバルサイエンスキャンパス(U-Tokyo GSC)第3段階生に選抜され、東京大学大学院水圏天然物化学研究室に所属し調査・研究を予定している。RISE・The Earth Prize・Blue Ocean Competitionなど海外コンテストでも発表予定である。

学会およびシンポジウムでは、里海シンポジウム2023 in 笠岡、アマモサミット in ふくおか、国際アマモブルーカーボンワークショップ、超異分野学会香川フォーラム2023などで研究成果を発表した。また、キッコーマンにおいて、社員の方の前で発表し意見交換を行う予定だ。

これらの研究活動は、様々なメディアによってご紹介いただいた。ウェブメディア“日本財団ジャーナル”, RSK山陽放送“海と日本プロジェクト in 岡山”, RSKラジオ“アモーレ! マッターリーノ”, 雑誌“各週版 つり情報”木村尚の沖釣り海遊学, 山陽新聞“サイエンスキャッスル中四国大会”に取り上げられた。



すべてのアマモ実生を青葉に もやし化させずに本葉展開させるプロトコル開発

直野璃々花^{†1} 岩本深那^{†1} 時岡小舞^{†1} 前谷陽向^{†1}

アマモ (*Zostera marina* Linnaeus) は日本全国の沿岸部に生育する海生種子植物である。アマモ群落はワレカラなどの稚魚の餌が豊富なことから、魚の産卵場所や、稚魚が育つ場所として重要な役割を果たしている。さらに、赤潮の防止や地球温暖化の抑制効果など、環境問題を解決する役割も担っている。岡山学芸館高等学校医進サイエンスコースでは海洋保全意識の喚起を図るために、アマモ実生ポットを一人一個ずつ作成し人工干潟に定植する。しかし、2021年度作成した実生ポットではもやし化（本葉が展開せず、子葉鞘が5cm以上伸びている苗）した実生が半数を占めていた。もやし化した実生は定植に用いられない。私たちと林ら (2022) ¹⁾ は、アマモ実生のもやし化原因を究明する研究に取り組んだ。林らの先行研究では、殺藻細菌と種子の着底姿勢がもやし化には影響しないことが明らかにされている。本研究では、リン酸濃度と溶存酸素濃度に着目し、アマモの本葉展開条件を検証した。結果、人為的にリン酸濃度や溶存酸素濃度を上昇させた環境下では本葉展開しなかった。本葉展開に最適な溶存酸素濃度は8mg/L~10mg/Lであり、13mg/L~18mg/Lの濃度ではもやし化することが明らかになった。また、リン酸濃度は操作が不要(自然環境下の濃度)で、溶存酸素濃度は最適濃度が存在することが示唆された。また、光条件もアマモの本葉展開に関係があるのではないかと考え検証した。結果、アマモ種子の発芽には日光の有無は影響しなかったが、本葉展開には日光が必要であった。さらに、光合成細菌を用い、アマモの成長において利用できるのか検証した。光合成細菌を加えた実生ポットでは高い割合で本葉展開したことから、光合成細菌はアマモ実生の本葉展開を促進すると考えられる。

キーワード：アマモ実生、本葉展開、もやし化、リン酸濃度、溶存酸素濃度、光、光合成細菌

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、2017年から日生町漁協の漁師の方々とアマモ場再生活動に取り組んでいる。活動の一環として、毎年一人一個ずつアマモ実生をポット内で育成している。だが、2020年度、2021年度、本葉が展開(以下本葉展開)した実生が育ったポット(図1)と、本葉が展開せず、子葉鞘が5cm以上伸びている(以下もやし化)実生が育ったポット(図2)が半数ずつ出現した。ポット作成に用いたジフィーポットから過剰なリン酸が溶出した可能性が示唆されており¹⁾、代替生育法が求められている。また、SDGsの面では、13番「気候変動に具体的な対策を」と14番「海の豊かさを守ろう」のテーマの解決に向け、研究に取り組んだ。



図1 本葉展開した実生

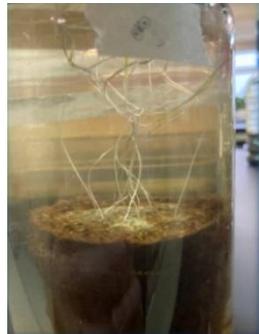


図2 もやし化した実生

2. 研究目的

アマモ実生のもやし化原因を解明し、より本葉展開率の高いアマモ実生ポット作成方法を確立する。そして、教育の場にアマモ実生のポット作成を広めることで、子供たちの環境意識向上を期待する。本研究では、リン酸濃度、溶存酸素濃度、光条件、光合成細菌に注目し、それぞれの環境要因がアマモ実生のもやし化に与える影響を検証した。

3. 材料と方法

3.1 材料

2023年7月10日、岡山県備前市日生町鹿久居島に面する千軒湾に群生しているアマモ場からアマモ流れ藻を回収し、人工的に条件(リン酸濃度、溶存酸素濃度、光条件、光合成細菌)を揃えた環境下で種子を成熟させた。種子は海水の入ったシャーレに入れ、6℃の条件下で保存した。シャーレ内の海水は1週間ごとに交換した。未発芽の成熟種子を実生ポット作成に用いた。ジフィーポットの代替として、底から8.5cmの大きさに切り取ったペットボトル(図3)に日生町頭島の海砂を入れ、海水中に沈めて空気を抜いた。



図3 ペットボトル

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

3.2 アマモ実生ポット作成方法

各ポットに7粒ずつ種子を蒔き、1cm程度の海砂を被せた。広口瓶（横5cm×縦8cm×高さ16.5cm）に海水を入れ、種子を蒔いたペットボトル（横6cm×縦6cm×高さ8cm）を入れた（以下通常ポット）（図4）。



図4 ペットボトルを用いた実生ポット

4. 実生ポット内のリン酸濃度による影響

リン酸濃度がアマモ実生のもやし化に与える影響を調査した。私たちは、実生ポット内のリン酸濃度を上昇させると本葉展開を促進すると仮定し、検証を行った。

4.1 材料

通常のアマモ実生ポット作成時に、リン酸二水素ナトリウム二水和物を用いて、実生ポット内のリン酸濃度を上昇（合計20mg/L）させた。ただし、7月27日に10mg追加した実生ポット内のリン酸濃度はすべてのポットでほとんど変化が見られなかったため、7月31日に再度10mgリン酸を加えた（以下リン酸濃度上昇ポット）。リン酸濃度はHANNA HI736 Checkerで測定を行った。

4.2 方法

通常ポットを17個、リン酸濃度上昇ポットを6個用意した。3日ごとに実生ポット内のリン酸濃度を測定した。温度（インキュベーター（SANYO MIR-253 INCUBATOR）7.5℃）、光条件（明10h 暗14h）の下で実生を栽培した。リン酸上昇ポットと通常ポットで、リン酸濃度の変化を比較した。

4.3 結果

リン酸濃度上昇ポットは、発芽しなかった。通常ポットは、発芽し、本葉展開した。発芽率は通常ポット82%（ $n=14/n=17$ ）、リン酸濃度上昇ポット0%（ $n=0/n=6$ ）だった。また、本葉展開率は通常ポット65%（ $n=11/n=17$ ）、リン酸濃度上昇ポット0%（ $n=0/n=6$ ）だった（表1）。それぞれのポットのリン酸濃度変化の平均値を表したグラフを以下に示す（図5）。

表1 通常ポットとリン酸濃度上昇ポットの本葉展開率

	発芽したポットの数	発芽率	もやし化したポットの数	もやし化率	本葉展開したポットの数	本葉展開率
通常ポット	14/17	82%	4/17	24%	12/17	65%
リン酸濃度上昇ポット	0/6	0%	0/6	0%	0/6	0%

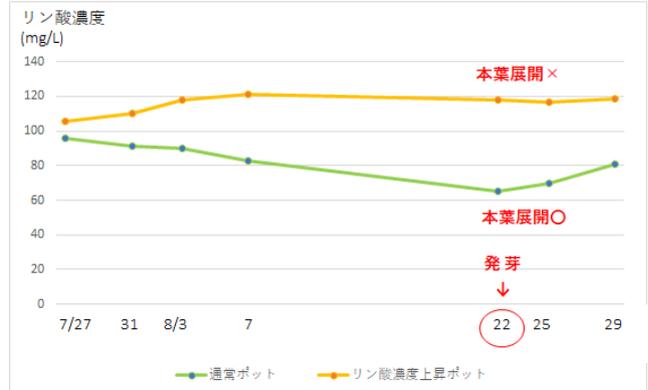


図5 ポット内のリン酸濃度推移

4.4 考察

栽培初期に見られる通常ポットとリン酸濃度上昇ポットのリン酸濃度差は、私達が人工的にリン酸濃度を上昇させた結果である。リン酸濃度が徐々に上昇しているのは、7月27日と31日の2日に分けてリン酸を加えたためである。また、通常ポットは発芽時にリン酸を吸収したためリン酸濃度が減少したと考えた。しかし、吸収しきれないほどの高リン酸濃度下では種子が発芽しないと考えられる。本研究の結果では、リン酸濃度を上昇させるとアマモが発芽しなかったことから、リン酸濃度を上げる必要はなく、ジフィーポットではなくペットボトルを用いることが必要だと考えられる。

5. 実生ポット内の溶存酸素濃度による影響

溶存酸素濃度がアマモ実生のもやし化に与える影響を調査した。

5.1 材料

通常のアマモ実生ポット作成時に、GEX（ジェックス）おさかなぶくぶくブロック約1カ月効果長持ち酸素発生剤8錠入（以下酸素石）を用いて、溶存酸素濃度を15mg/L上昇させた。溶存酸素濃度測定には、サトテックマルチ水質チェッカー導電率計WA-2017SDJ-CDを用いた。

5.2 方法

2023年7月26日、8月25日、11月7日、11月16日の4回、実生ポット内に酸素石を2錠加えた実生ポット（以下酸素濃度上昇ポット）と通常ポットの2種類を温度（10℃～12℃）、光条件（明10h 暗14h）の下で実生を栽培した。

酸素濃度上昇ポットと通常ポットで、溶存酸素濃度の変化を比較した。

5.3 結果

発芽率は通常ポット 82% (n=14/n=17)、溶存酸素濃度上昇ポット 70% (n=7/n=10) だった。また、本葉展開率は通常ポット 70% (n=12/n=17)、溶存酸素濃度上昇ポットは 30% (n=3/n=10) だった (表 2)。

表 2 通常ポットと溶存酸素濃度上昇ポットの本葉展開率

	発芽したポットの数	発芽率	もやし化したポットの数	もやし化率	本葉展開したポットの数	本葉展開率
通常ポット	14/17	82%	4/17	24%	12/17	65%
溶存酸素濃度上昇ポット	8/10	70%	2/10	20%	3/10	30%

先行研究³⁾より、溶存酸素濃度 1mg/L~2mg/L ではもやし化し、溶存酸素濃度 4mg/L~6mg/L で本葉展開することが明らかになっている。本研究では、溶存酸素濃度 8mg/L~10mg/L でも本葉展開し、溶存酸素濃度 13mg/L~18mg/L ではもやし化した(図 6)。図 6 はそれぞれのポットの溶存酸素濃度の平均値を表したグラフである。通常ポットと溶存酸素濃度上昇ポットの溶存酸素濃度には大きな差があったが、どちらも発芽したことから、アマモの発芽には溶存酸素濃度には関係がないということが判明した。



図 6 ポット内の溶存酸素濃度の推移

5.4 考察

本研究によって、アマモが本葉展開する溶存酸素濃度は 8mg/L~10mg/L であり、13mg/L~18mg/L の濃度ではもやし化を引き起こすということが明らかになった。また、溶存酸素濃度上昇ポットより通常ポットの本葉展開率の方が高かったことから、アマモの発芽には最適溶存酸素濃度下で栽培することが重要であると分かった。これらの結果から、最適な溶存酸素濃度下(8mg/L~10mg/L)で栽培することがアマモの本葉展開に必要であると考えられる。暗所での緑化を決定づける酵素である DPOR (Dark-operative Pchlide oxidoreductase) は、光合成によって発生する酸素や環境

由来の酸素から、ある程度防御されている⁴⁾が、私たちが人工的に溶存酸素濃度を上昇させたことで、この防御系が対処可能な酸素量を超えて DPOR が失活してしまい、Chl (クロロフィル) 生合成ができず生育できなかった可能性がある。

6. アマモ実生に日光が与える影響

日光がアマモ実生のもやし化に与える影響を調べる。

6.1 材料

光を遮断するための段ボール (横 27.5cm、縦 15.5cm、高さ 23.6cm) を 2 個作成した (図 7)。

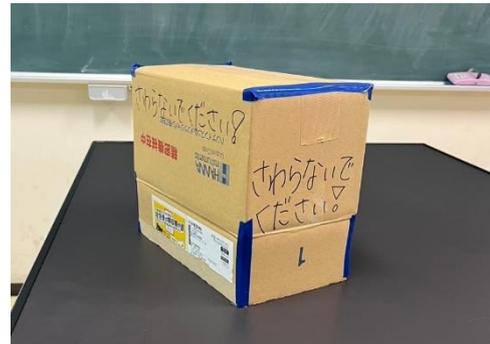


図 7 実生ポット遮光のための段ボール

6.2 方法

通常のアマモ実生ポット作成を行い、通常ポットに段ボールをかぶせ、日光を遮断した実生ポット (以下光遮断ポット) と通常ポットの 2 種類を一定の温度 (10℃~12℃) の下で栽培し、3 日に 1 回、溶存酸素濃度の計測を行った。通常ポットと光遮断ポットで、溶存酸素濃度の変化を比較した。

6.3 結果

光遮断ポットではもやし化し、通常ポットでは本葉展開した。アマモの発芽においては、日光の有無を問わず発芽した。もやし化率は、通常ポットは 24% (n=4/n=17)、光遮断ポットは 50% (n=3/n=6) だった。また、本葉展開率は通常ポットは 70% (n=12/n=17)、光遮断ポットは 17% (n=1/n=6) だった (表 3)。

表 3 通常ポットと光遮断ポットの本葉展開率

	もやし化したポットの数	もやし化率	本葉展開したポット数	本葉展開率
通常ポット	4/17	24%	12/17	65%
光遮断ポット	3/6	50%	1/6	17%

6.4 考察

土の中に埋まっている状態の種子には日光が届かないため、光遮断ポットと通常ポットの発芽率に違いは生じなかったと考えた。しかし、発芽後の本葉展開においては通常ポットが高い割合で本葉展開したことから、光合成をするための日光が必要であると考えた。

7. アマモ種子と光合成細菌の関係

光合成細菌は、農業の分野で用いられていて、コメや果菜類の根張りを良くしたり、収量や品質を向上させたりといった効果がある。同時に、作物の病気を間接的に予防し、窒素固定を行うことで播種後、植え付け後の植物の成長を促進する細菌である。アマモの成長に対する光合成細菌の影響について調べた。

7.1 材料

崇城大学生物生命学部宮坂均教授より頂いた光合成細菌(ロドバクター, ロドシュードモナス, ロドブラム)を6℃の冷蔵庫で保管し、実験に用いた。ロドバクター⁵⁾、ロドシュードモナス⁶⁾は淡水性光合成細菌であり、植物の成長促進効果がある。ロドブラム⁷⁾は海洋性光合成細菌であり、植物の成長促進効果はないが、クルマエビの成長促進作用がある。

7.2 方法

光合成細菌原液(10⁹ 菌/ml)をそれぞれ1万倍希釈した液にアマモ種子を24時間漬ける。その種子を通常ポットと同様の条件で作成し(以下ロドバクターポット, ロドシュードモナスポット, ロドブラムポット), 通常ポットと比較した。

7.3 結果

本葉展開率は通常ポット 65%(n=12/n=17), ロドバクターポット 75%(n=6/n=8), ロドシュードモナスポット 88%(n=7/n=8), ロドブラムポット(n=6/n=8)は75%だった。光合成細菌を用いたことで、3種類全てのポットで通常ポットよりアマモの成長が促進され、本葉展開率が高かった(表4)。

表4 通常ポットと光合成細菌処理ポットの本葉展開率

	通常ポット	ロドバクターポット	ロドシュードモナスポット	ロドブラムポット
本葉展開したポット数	12/17	6/8	7/8	6/8
本葉展開率	65%	75%	88%	75%

通常ポットと光合成細菌を用いたポットでは、溶存酸素濃度差がほぼ見られなかった(図8)。それぞれのポットの溶存酸素濃度変化の平均値を表したグラフを以下に示す。

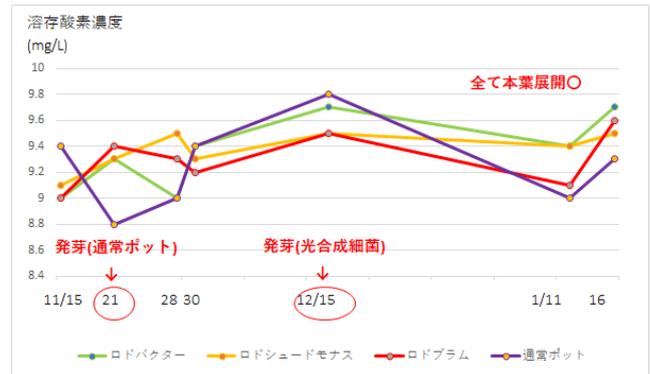


図8 ポット内の溶存酸素濃度の推移

7.4 考察

実験結果より、光合成細菌と溶存酸素濃度の変化に因果関係は見られなかった。しかし、光合成細菌を入れたポットでは本葉展開率が高くなったことから、光合成細菌はアマモの成長に何らかの促進効果を与えていることが考えられる。今回の実験では、ロドシュードモナスポットが3種類の光合成細菌の中で最も本葉展開率が高かった。今後も光合成細菌の実験を行っていけば、今回発見した効果以外にもアマモの成長に役立つ効果が新たに発見できる可能性がある。

8. 結論および展望

アマモの発芽、本葉展開においては、自然環境下の溶存酸素濃度を維持し、リン酸濃度を操作しないことが重要である。溶存酸素濃度は最適な溶存酸素濃度(本研究では8mg/L~10mg/L)があることが判明した。日光はアマモの発芽には関係しないが、本葉展開には必要である。光合成細菌は、植物の成長を促進する働きがあり、アマモにおいてもその効果は有効であることが明らかになった。以上より、通常のアマモ実生ポット作成時に、自然環境下でのリン酸濃度と最適溶存酸素濃度下の海水、光合成細菌のロドシュードモナスに24時間浸した種子を用い、発芽後は日光のもとで栽培すると本葉展開すると考えられる。今後の課題として、3種類の光合成細菌を10万倍希釈と1万倍希釈と1000倍希釈の濃度条件下で処理実験を行い、最適濃度を解明することが挙げられる。アマモ実生の本葉展開条件を確定し、アマモの本葉展開率を高める。その結果、アマモ実生ポット作成を教育の場に取り入れることで、子供たちに海洋問題に関心を持たせ、里海保全を意識できる教育材料の開発を目指す。

9. 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、第10回おかやま環境教育ミーティングを主催して私たちに発表の機会を設けていただいた公益財団法人岡山県環境保全事業団様、光合成細菌を提供していただいた崇城大学生物生命学部宮坂均教授に感謝申し上げます。さらに、アマモ実生ポット作成にあたってのご指導や実生ポット作成時に使用する海砂を提供いただいた日生町漁協の皆さまに御礼申し上げます。

10. 引用文献

- 1) 入澤佳苗ら 第66回日本学生科学賞岡山県審査出品論文 2022年9月 アマモ種子の成熟と発芽促進について
- 2) 劉美辰ら 岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース海洋課題研究 2019年9月 人工干潟の生物多様性について
- 3) 林志龍ら 岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース海洋研究紀 2022 アマモ実生のもやし化原因の研究 人工環境下でのアマモ実生育成
- 4) 藤田祐一 名古屋大学大学院生命農学研究科/JST さきがけ 栗栖源嗣 大阪大学蛋白質研究所 クロロフィルを緑にする2つの還元酵素:光依存型酵素と暗所作動型酵素の反応機構と進化的考察 2011
- 5) 日本の伝統酒、球磨焼酎の蒸留残渣を光合成細菌で付加価値リサイクル 古賀葵、後藤みどり、森瀬太一、ヒエン・ティ・デュー・トラン、柿本剛史、樫山健吾、山内直、中山康輔、林修平、山本真二郎、宮坂仁 2022
- 6) 紫色非硫黄細菌 (PNSB) による種子バイオフィミンがイネの根の発育に及ぼす影響 岩井蘭子、内田俊太、山口紗弥加、園田ふみか、つのだかな、永田裕人、永田大樹、古賀葵、後藤みどり、真木孝明、林修平、山本真二郎、宮坂仁 2022
- 7) 海洋紫色非硫黄細菌、*Rhodovulum sulfophilum* KKMI01のクルマエビ (*Marsupenaeus japonicus*) に対するプロバイオティクス効果 古賀葵、後藤みどり、林修平、山本進次郎、宮坂仁 2022



日生町漁協にて、岸壁からアマモ流れ藻の回収



11. 受賞

本研究はバイテク情報普及会主催第7回高校生科学教育大賞で審査員特別賞を、株式会社リバネス主催サイエンスキャスル 2023 中四国大会ポスター発表の部門では奨励賞を受賞した。さらに、北海道大学主催海の宝アカデミックコンテストサイエンス部門で奨励賞を受賞した。

巻貝の行動学

米子湾におけるウミナ類の選好場所

山下慶^{†1} 野崎紗渚^{†1} 森本彩吹^{†1}

人工干潟造成に求められる底質環境を明らかにするため、岡山県備前市日生町鹿久居島米子湾干潟（北緯 34.72 度、東経 134.28 度）のウミナ類の行動に焦点を当てた。本研究では、干潟の砂粒の大きさによる行動の違い（実験Ⅰ）と接触走性の有無（実験Ⅱ）から、ウミナ類が干潟のどの場所に集まるのかを考察した。実験Ⅰとして、砂の粒径を変えて、水槽内でウミナ類が水槽を周回する回数と移動速度を測定し、行動を観察した。ウミナ類の腹足は摩擦によって速度が抑制されるため、砂なしの滑らかなプラスチック上で、行動が最も促進される。ゆえに、砂なしを基準として各条件の周回数と平均移動速度を比較した。結果は、粒径が 5 mm 以上の時、平均移動速度が最も遅かった。また粒径が 2 mm 以上の時、周回数が最も少なかった。平均移動速度では、粒径が 1~2 mm の時、最も速く動くこと、周回数は粒径が 1~2 mm の時、最も多いことが分かった。ゆえに、砂がある場合で行動が促進されるのは、粒径が 1~2 mm の時である。結果から、粒径が小さい(1 mm 以下)とウミナ類が進む時に砂自体が動いてしまい、動きが鈍くなる。また、粒径が大きい(2 mm 以上)と腹足が安定した状態で接触できず、動きが鈍くなることが推測された。実験Ⅰの過程で、ウミナ類の腹足が水槽の壁に接触した状態で移動している様子がみられた。そこで、ウミナ類には接触走性があるのではないかと考えた。実験Ⅱでは、接触走性の有無を確かめるため、2 つの実験を行った。1 つ目（Ⅱ-1）は、プラスチック製の板と発泡スチロール製の板を用いて T 字型迷路を作製し、腹足が壁から離れることなく、T 字の分岐点で曲がった割合を調査した。結果から、離れなかった割合は 83%（10 匹/12 匹）であることが分かった。2 つ目（Ⅱ-2）は、水槽内にウミナ類 50 匹を互いの体が接触しないように散りばめて放置し、30 分後の水槽内の様子を記録した。同様に、水槽内にウミナ類を 60 匹散りばめ、干潟で採取した岩を 2 個置いた場合でも行った。結果から、水槽内に岩を置いていない場合は全個体の 76%（38 匹/50 匹）が水槽の隅に、岩を置いた場合は全個体の 93%（56 匹/60 匹）が岩の周りに群れを形成した。これらの実験より、ウミナ類には接触走性があることが示唆された。実験Ⅰ・Ⅱの結果をふまえて、ウミナ類の選好場所は岩の縁であると考察した。ウミナ類の選好場所が岩の縁であることを明確にするために、米子湾干潟で、ウミナ類が多く生息している環境の調査（フィールド調査）を行った。フィールド調査から、ウミナ類が多く集まっている場所は滞筋にある岩の縁であることが分かった。ゆえに、人工干潟造成に求められる底質として、ウミナ類の選好場所である岩場が求められる。

キーワード：ウミナ類，人工干潟造成，濾過摂食，行動学

1. 序

干潟は、多くの底生生物が暮らしており、干潟に供給されるプランクトンや有機物などを摂食することで、物質循環で大きな役割を担っている。そのため、干潟は水質浄化の場として、また、魚や鳥の餌場として重要である。しかし、埋め立てや開発が進み、日本各地の天然干潟が減少し、干潟の生態系が失われつつある。そこで、人工干潟造成に求められる底質環境を明らかにすることを目的として、岡山県備前市日生町鹿久居島米子湾干潟の優占種であるウミナ (*Batillaria multiformis*) 類の行動に焦点をあてた。ウミナ類とは軟体動物門腹足綱ウミナ科に分類される巻貝であり、濾過摂食を行っている（図 1）。



図 1 ウミナ類

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

2. 実験Ⅰ・粒径別の移動速度と周回数

2.1 材料と方法

実験には、軟体動物門腹足綱ウミナ科に分類されるウミナ類を用いた。ウミナ類の同定は困難なため、本研究では、ウミナ、ホソウミナなどの区別をせずに実験を行った。干潟から採取した砂（干出時）の上でのウミナ類の行動と、砂がない平坦な机上でのウミナ類の行動の違いが見られた。そのため、砂はウミナ類の行動に影響を与える要因であると考え、干潟の砂粒の大きさによる行動の違いに着目した。砂の粒径を 0.25 mm 以下、0.25~1 mm、1~2 mm、2~5 mm、5 mm 以上に分けた 5 種類と砂がない場合（砂なし）の計 6 種類で実験を行った。砂は、水槽に、底から 1 cm の深さで敷き詰めた。水槽は縦 28 cm、横 19 cm、高さ 14.5 cm のものを用いた。各条件でウミナ類を 2 匹ずつ互いの体が接触しないよう、水槽の中央に配置した（図 2）。底から 28 cm の高さにカメラを設置し、水槽内の全体の様子を 3 時間撮影した。撮影は条件別に 2 回行った。撮影した動画を用いて、水槽内のウミナ類の周回数と移動速度を測定し、ウミナ類の行動を観察した。周回数とはウミナ類が水槽を周回する回数とする。測定した移動速度と周回数から、ビデオ分析ソフト Tracker Online を用いて運動の軌跡、移動距離、平均移動速度を算出した。ウ

ミナナ類の腹足は摩擦で抑制されるため、砂なしの平坦なプラスチック上で、行動が最も促進される。ゆえに、砂なしを基準として各条件の周回数と平均移動速度を比較した。

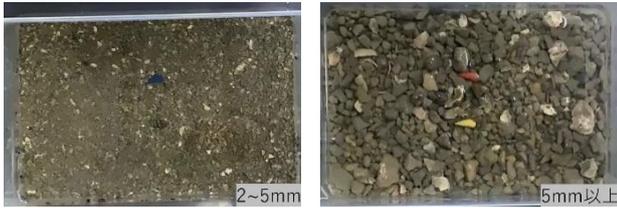


図2 底質の粒径ごとにウミナナ類を配置

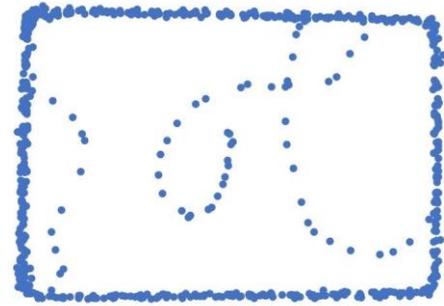


図5 水槽内のウミナナ類の軌跡

2.2 仮説

ウミナナ類は砂の粒径が小さいほど、腹足が密接に接触し活発に動くと考え、砂の粒径が0.25mm以下の時、平均移動速度は最も速く、周回数は最も多くなると仮定した。

2.3 結果

粒径1~2mmの平均移動速度1.29mm/sec、周回数5.0回が、基準である砂なしの平均移動速度2.28mm/sec、周回数6.3回に最も近かった(図3, 図4)。また、撮影した動画から腹足が壁に接触した状態で移動している様子が見られた(図5)。

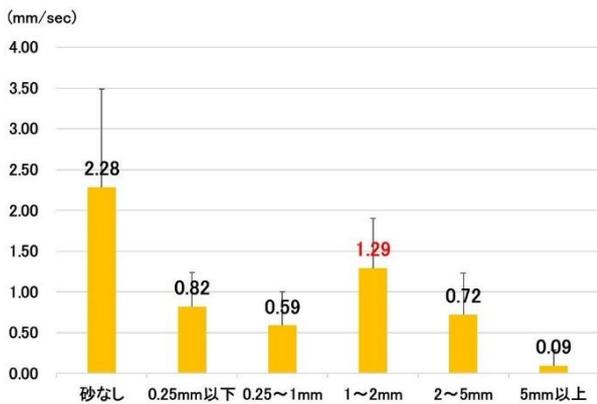


図3 平均移動速度

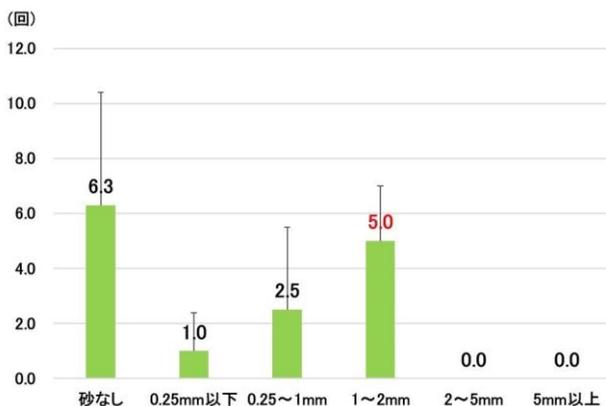


図4 周回数

2.4 考察

砂なしとの比較により、砂がある場合でウミナナ類の行動が促進されるのは、粒径1~2mmの時であると推測される。結果から、粒径が小さい(1mm以下)とウミナナ類が進む時に砂自体が動いてしまい、動きが鈍くなる。また、粒径が大きい(2mm以上)と腹足が安定した状態で接触できず、動きが鈍くなるのが推測される。

3. 実験Ⅱ・接触走性

3.1 材料と方法

実験Ⅰより、ウミナナ類の腹足が壁に接触した状態で動いていることから、ウミナナ類には接触走性がある可能性が高いと考えた。接触走性の有無を確かめるため、2つの実験を行った。1つ目(Ⅱ-1)の実験は、参考文献¹⁾をもとに発泡スチロール製の板(横15cm、高さ7cm)と、プラスチック製の板(横19cm、高さ1.5cm)を用いて、センター部分の長さ19cm、幅2cmのT字型迷路(図6)を作製した。



図6 T字型迷路の実験

室温(20~25℃)で迷路のスタート地点から1匹のウミナナ類を放した。壁に腹足が接触した状態で進み、壁から離れることなくT字の分岐点で曲がった割合を調査した。

本研究では接触した壁が左右のどちらかは区別していない。12匹のウミナナ類について1回ずつ、計12回記録した。2つ目(Ⅱ-2)の実験では、実験Ⅰで用いた水槽内にウミナナ類50匹を互いの体が接触しないように散りばめ、放置し、30分後の水槽内の様子を記録した。同様に、水槽内にウミナナ類を60匹散りばめ、干潟で採取した岩を2個置いた場合でも行った。

3.2 仮説

1つ目(Ⅱ-1)の実験では、腹足が壁に接触した状態で進み、壁から離れることなくT字の分岐点で曲がった割合が8割を超えた時に、ウミナナ類には接触走性があると仮定した。2つ目(Ⅱ-2)の実験では、ウミナナ類に接触走性がある場合、接触走性が壁と岩、互いの体に対して働くと考え、1か所に群れが形成されると仮定した。

3.3 結果

1つ目(Ⅱ-1)のT字型迷路の実験から、壁に沿って曲がった個体が10匹、沿わずに曲がった個体が2匹だった。ゆえに、壁に接触した状態で進み、壁から離れることなくT字の分岐点で曲がった割合は83%(10匹/12匹)である。2つ目(Ⅱ-2)の実験では、水槽内に岩を置いてない場合はウミナナ類全個体の76%(38匹/50匹)が水槽の隅に1つの群れを形成した(図7)。岩を置いた場合はウミナナ類全個体の93%(56匹/60匹)が岩の周りに群れを形成した(図8)。

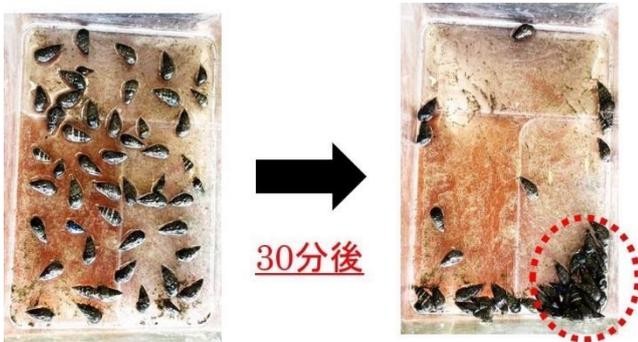


図7 群れの形成



図8 岩を置いた場合の群れの形成

3.4 考察

実験Ⅱより、ウミナナ類には接触走性があると考えられる。

4. 室内実験における総合考察

米子湾干潟の岩場には、粒径の大きな砂があるため、ウミナナ類の動きは鈍くなる。また、10cm~15cmほどの高さのある岩が多いため、岩に対して接触走性が働き、岩の縁に留まることが考えられる。ゆえに、ウミナナ類の選好場所は岩の縁であることが推測される。

5. フィールド調査

5.1 目的

岡山県備前市日生町鹿久居島米子湾干潟におけるウミナナ類の選好場所が岩の縁であることをより明確にするために、米子湾干潟でウミナナ類が多く生息している環境の調査を行った。

5.2 仮説

実験Ⅰ・Ⅱの結果より、干潟においてウミナナ類が多く集まっている場所は岩の縁であると仮定した。

5.3 観察結果

米子湾干潟では、濡筋と呼ばれる淡水が流れている道筋にウミナナ類が多かった。特に、濡筋にある岩の縁にウミナナ類が集まっていた(図9)。



図9 岩の縁に集まっているウミナナ類

6. 結論

粒径別の移動速度と周回数の実験から、平均移動速度では、粒径が1~2mmの時最も速く動くこと、周回数は粒径が1~2mmの時最も多いことが分かった。ゆえに、砂がある場合でウミナナ類の行動が促進されるのは、粒径が1~2mmの時である。また、粒径が5mm以上の時、平均移動速度が最も遅く、粒径が2mm以上の時、周回数が最も少なかった。ゆえに、粒径が小さい(1mm以下)とウミナナ類が進む時に砂自体が動いてしまい、動きが鈍くなる。また、粒径が大きい(2mm以上)と腹足が安定した状態で接触できず、動きが鈍くなることが推測される。接触走性の実験から、ウミ

ウミナ類が壁に接触した状態で進み、壁から離れることなくT字の分岐点で曲がった割合は83% (10匹/12匹)であることが分かった。また、岩を置いてない水槽内にウミナ類を入れた場合は、全個体の76% (38匹/50匹)が水槽の隅に1つの群れを形成した。岩を置いた場合は全個体の93% (56匹/60匹)が岩の周りに群れを形成した。フィールド調査から、米子湾干潟において、ウミナ類が多く集まっている場所は滞筋にある岩の縁であった。これらの研究から、ウミナ類は砂の粒径の差で動く範囲と速さに違いがあること、接触走性があることが分かった。ゆえに、ウミナ類の選好場所は岩の縁である。

7. 展望

今後の展望は、ウミナ類が干潟の岩場に到達する前後の行動をシミュレーションによる予測を行ったうえで、水中ドローン(図10)を用いて冠水時のウミナ類の行動を撮影し、明らかにすることである。



図10 水中ドローンを用いた冠水時のウミナ観察

8. 謝辞

本研究の遂行にあたり、終始適切な助言を賜り、懇切丁寧な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、芳野冨輔教諭、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おかやま環境ネットワーク様に誠に感謝申し上げます。

9. 参考文献

- 1) 岡垣将太郎, 他: ミミズの交替性転向反応, 化学と生物 53: 61-62, 2015.
- 2) 渡辺宗孝, 他: ダンゴムシにおける交替性転向反応. 動物心理学年報 6: 75-82, 1956.

動物心理学年報 6: 75-82, 1956.

- 3) 山本百合亜, 他: 干潟に生息するウミナ科貝類4種の分布とその要因. 南紀生物, 41: 15-22, 1999.

- 4) 大谷壮介, 他: 大阪湾・湾奥で再確認されたウミナナの生息環境に関する考察. 海洋開発論文集 74: 504-509, 2018.

10. 受賞

本研究は、2023年10月に北海道大学主催海の宝アカデミックコンテストにおいて近畿・中国ブロック大会奨励賞及び、2023年12月に開催された株式会社リバネス主催サイエンスキャスル2023 中四国大会において優秀ポスター賞を受賞した。



トビウオとバイオミメティクス

山上朔汰^{†1} 伍賀永遠^{†1}

私たちは、魚類でありながら翼のようなひれを持ち、空中を滑空するトビウオに興味を持った。同時に、動植物の特徴を利用して新しい技術とするバイオミメティクスとトビウオを組み合わせるにより、新たな発見が出来るのではないかと考えた。水面の上を低空飛行する乗り物である地面効果翼機に応用出来る模型を作製するために、トビウオの構造を利用した模型を飛行させることを目的とした。トビウオの飛行では、表面効果を利用していることが知られている。さらに、この表面効果を得るための構造として、トビウオのひれの下側に凹凸がある。この構造に着目し、模型に取り入れた。模型は胴体部分を木材、ひれ部分をポリエチレン、凹凸部分はグルーガンを用いて樹脂で作製した。完成した模型を用いて飛行実験および、実際のトビウオと模型を用いた風洞実験を行った。飛行実験では、ゴムの弾性力を利用する発射台を用いて行ったが、いずれも地面に衝突し、低空飛行を再現することは出来なかった。さらに、作製した模型が実際のトビウオのひれの構造を再現出来ているかを調べるために、風洞実験を行った。結果、ひれ上部の空気の流れが速く、ひれ下部の空気の流れが遅くなっていた。確認のため、シミュレーションでひれの構造を再現してみたところ、同様の結果が得られた。ゆえに、特殊なひれの構造は表面効果を促進していることが分かった。作製した模型が飛ばなかった要因として、二つの課題が考えられた。一つ目は、実際のトビウオは最高 55km/h で跳ぶのに対して、私たちの行った実験では速度が足りていなかったこと。二つ目は、ひれパーツに対して胴体パーツの重量が重すぎたため、模型が落下してしまったことである。

キーワード：トビウオ、バイオミメティクス、表面効果、地面効果翼機

1. 研究背景

魚類には、ひれを翼のようにして海面の上を長距離低空飛行出来るトビウオという生物がいる。私たちはこの魚の能力に興味を持った。そして、長距離を低空飛行出来るトビウオの構造を技術として応用出来るのではないかと考えた。このように動物や植物の構造などから着想を得て、人間の新しい技術として応用することをバイオミメティクスと呼ぶ。トビウオの飛行に関する先行研究より、トビウオが表面効果という現象を利用して長距離を低空飛行していることと、トビウオのひれに特殊な構造があること¹⁾が知られている。表面効果とは、地面や海面などの平らな面を物体が通過する際に、上部と下部の空気の流れの速さの違いによって揚力が発生する現象である。エネルギーを節約しながら飛行出来る地面効果翼機という乗り物の研究も進んでいる²⁾。また、トビウオのひれには筋状に広がる骨がある。この骨は下側にだけ飛び出ており、ひれの上側は滑らかな面、ひれの下側は凹凸の形状になっている。この形状によって、ひれ下側の空気が乱れ表面効果が発生する²⁾。これらの知見を同じ表面効果を利用している地面効果翼機に応用したいと考え、トビウオの構造を利用した機体の模型を作製および、飛行させることを目的とした。

2. 滑空実験：材料と方法

私たちはトビウオ(図1)を購入して観察を行い、形状や構造を確認した結果、全長 35cm、重さ 260g であった。先

行研究¹⁾通り、ひれには上部と下部で別々の構造があった。また、骨以外の部分は、強度の高い膜のようなものだった。観察したことを踏まえ、模型と発射台を作製した。模型の材料はひれの膜部分にポリエチレン、ひれの骨をグルーガンの樹脂、胴体部分に木材を使用した。ポリエチレンをトビウオのひれの形(図2)に切り取り、グルーガンを用いて筋状の骨を再現した。同様に、両胸びれと両腹びれの計四枚作製した。サイズは胸びれが 12 cm×9cm、腹びれが 6 cm×4 cm であった。胴体部分については木材をトビウオの胴体の形状に加工し、19 cm×4 cm×3.5 cm のサイズの胴体パーツを作製した。ひれ部分と胴体部分のパーツをテープで接着した(図3)。完成した模型の重量はトビウオより 100 g ほど軽い 150 g となった。発射台の材料は、45 cm×15 cm の木の板一枚、45 cm×3cm の木の板二枚、ゴム、ゴムを掛けるための釘二本、二本の板を土台の板に固定出来る金具四個、金具を固定するネジ四本、接着剤を使用した。45 cm×15 cm の板の上に 45 cm×4 cm の隙間が出来るように金具、ネジ、接着剤で 45 cm×3 cm の板二枚を固定した。二本の板に釘を刺して、ゴムを掛けられるようにし、ゴムの力を利用するカタパルト状の発射台を作成した(図4)。実験では、模型を発射台にセットし、地表 23 cm の高さから模型の発射を行った。



図1 購入したトビウオ(食用)

^{†1} Okayama Gakugeikan High school



図2 トビウオのひれ



図3 作成した模型



図4 発射台

3. 滑空実験結果および考察

実験の結果、発射した後、落下した(図5)。模型を発射する高さを20cmにして実験を行った。しかし、同様の結果となった。飛行実験の後、模型が実際のトビウオのひれの構造を再現出来ているかを調べるために風洞実験を行った。



図5 滑空実験

4. 風洞実験：材料と方法

風洞実験に使用した材料は50 cm×20 cm×20 cmの箱，2 cmに切ったストロー556本，箱の壁に貼る黒色の50 cm×20 cmの画用紙二枚および20 cm×20 cmの画用紙2

枚，50 cm×20 cmのプラスチックの板（無色透明），模型をぶら下げられる糸，糸を固定するセロハンテープ，線香，ライター，サーキュレーター（送風機）である。箱の前面をくり抜き，黒の画用紙で覆った。くり抜いた前面にプラスチックの板を蓋として開閉出来るように取り付け，箱の中を可視化した。さらに，箱の側面を円状にくり抜き，2 cmに切ったストローを片面278本ずつ敷き詰めた。これは風洞実験において，風を送る上で必要な構造である(図6)。完成した装置で実際のトビウオのひれ(図7)と作製したひれパーツ(図8)をそれぞれ糸で装置の天井からぶら下げ，線香に火をつけて空気の流れを視認出来るようにして風を送り観察した。



図6 風洞実験装置



図7 トビウオのひれ

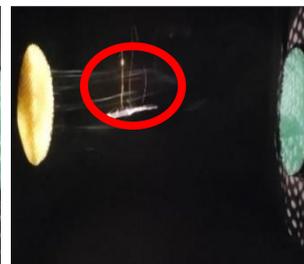


図8 ひれの模型

5. 風洞実験結果およびシミュレーション

撮影した動画を確認し，比較した。肉眼ではどちらもひれ上側の空気の流れのほうが下側の空気の流れと比べて速かった。しかし，肉眼での観察は正確性に欠けるため，模型の構造のシミュレーションを行った。シミュレーションソフトはFlowsquare 4.0を使用した。作製した模型の構造をシミュレーションソフトで再現し，検証した。条件は以下の通りである。

＜シミュレーションソフト 条件＞

風速:20.0 m/s

X方向（横方向）格子点数：512

Y方向（縦方向）格子点数：256

シミュレーション領域のX方向の長さ (m) : 9.0
 シミュレーション領域のY方向の長さ (m) : 4.5
 4次精度中心差分+Lax-Wendroff (中間点)法を利用
 ポアソン方程式を解く際の緩和係数 : 1.8
 ポアソン方程式の終息計算終了の許容誤差 : 0E-1
 流体の粘性係数 (同粘性係数×密度) (kg/ms) : 2E-5

図9の赤い部分は空気の流れが速く、青い部分は空気の流れが遅くなっていることを示している。よって、図9から凹凸の構造がある下部の空気の流れは遅く、なめらかな表面の上部の空気の流れは速くなっていることが分かった。下部と上部で空気の流れる速さが異なることで圧力の差が生まれ、上向きの揚力が発生し、表面効果が得られる。

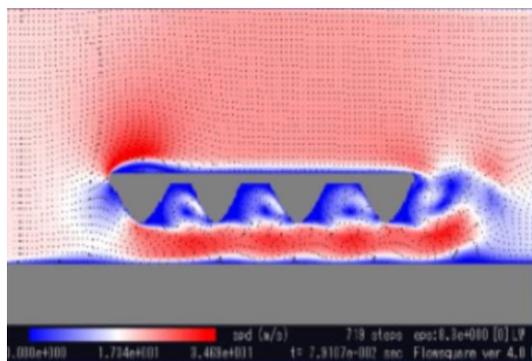


図9 ひれ模型におけるシミュレーション結果

6. 総合考察および結論

滑空実験の結果から、模型を飛ばすことが出来なかった原因として主に二つの要因が考えられる。一つめは発射速度が足りていなかった点である。実際のトビウオは水中から飛び出す速さが 55km/h 程度あるのに対し、今回の実験でのゴムの弾性力を利用した発射速度は十分でないと考えられる。二つめは軽いひれパーツに対し、胴体パーツの重量が重かった点である。そのため、ひれパーツが胴体パーツの重量に耐えられずに落下したと考える。次に、風洞実験とシミュレーションの結果から、トビウオの表面効果を活かすひれの構造については再現出来ていたと考えられる。ゆえに、今後は模型本体の軽量化及び、発射速度が主な課題となる。本研究では、トビウオが海面の上を長距離飛行出来る構造を利用し、地面効果翼機などの人工物にも応用出来るか検証するために、トビウオの構造を模倣した模型を作製し飛行実験を行った。結果として、模型を飛行させられなかったが、表面効果を得るための構造は再現することができた。

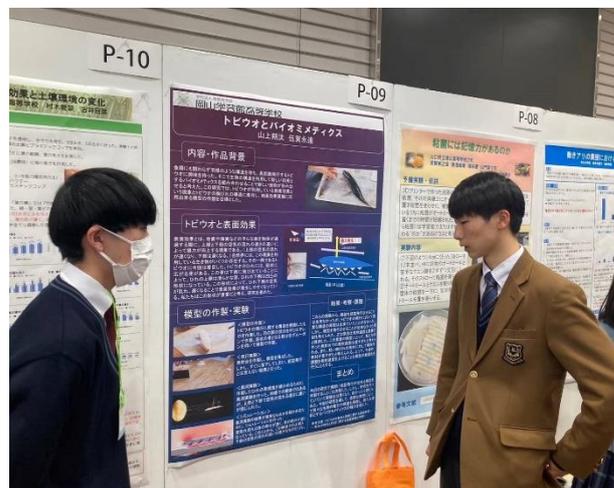
7. 謝辞

本研究の遂行にあたり、終始多大なご指導を頂いた、

岡山学芸館高等学校清秀高等部柳雅之の教諭、岡山学芸館高等学校医進コース長吉岡希裕教諭に深く感謝申し上げます。

8. 参考文献

- 1) トビウオの魚体と飛翔に関する基礎研究 I —魚体の特性と性質に関する基礎実験と考察— # 吉野勝美, 牧野正知, 塩村隆信, 瀧山直之, 小松原聡, 福田健一, 河村進, 高橋哲也 2015
https://researchmap.jp/read0064408/published_papers/18403587/attachment_file.pdf
- 2) 翼型の地面効果特性に関する実験的研究 # 丸裕司, 小濱泰昭 1991
https://www.jstage.jst.go.jp/article/nagare1982/10/1/10_1_47/_pdf/-char/ja



サイエンスキャッスル中四国大会にて



イカの色素胞による体色変化

野崎怜河^{†1} 小山慧祐^{†1}

私たちは目まぐるしく変化するイカの体色変化がどのような仕組みなのか、またなぜ必要なのかに興味を持った。イカの色素胞伸縮や虹色素胞の構造色による体色変化の仕組みを、お絵描きボードや迷彩服に応用できるか検証したい。そのために、仕組みの役割や意義を、無加工のイカや、色素胞、虹色素胞の分布を考慮したモデルを用いて実験した。イカを用いた実験では、鰭付近で色素胞の伸縮のみが見られた。原因として、イカの鮮度が落ち体色変化に関わる組織の機能が失われたことが考えられる。モデルでは、直上から光源を当てると、模型の下に敷いたものによって構造色の変化が見られた。今後はより鮮度の良いイカを入手し実験を行いたい。

キーワード：色素胞，虹色素胞，白色素胞，擬態，威嚇，イカ表皮模型

1. はじめに

1.1 研究背景

私たちは、皮膚組織の一つである色素胞によって、環境に応じた素早い体色変化を行うイカに興味を持った。イカの擬態や威嚇，求愛行動はいずれも体色変化に関わる。しかし、体色変化を担うイカの皮膚組織は、生態においてどのような役割を持つのか詳しく解明されていない。色素胞によるイカの体色変化を再現し、体色変化の役割を研究した。

1.2 イカの体色変化のしくみ

イカの体色変化は、主に色素胞、虹色素胞、白色素胞の3つの組織により発生する。色素胞は赤，茶，黄等のオモクローム色素を持つ。弾性囊が筋繊維の収縮を受け、色素が平面に広がることで体色変化として観察することができる（図1）。

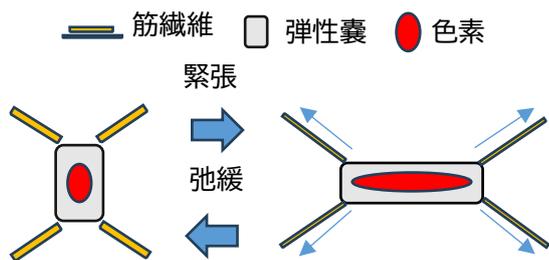


図1 色素胞の変化

虹色素胞は色素を持たず組織の凹凸に光が反射すると波長毎の光色が観察できる。観察される光色のことを構造色という。また、白色素胞にはタンパク質リフレクチンが含まれ、リフレクチンにより光の波長成分が全て散乱されることで肉眼では白色として観察される（図2）。

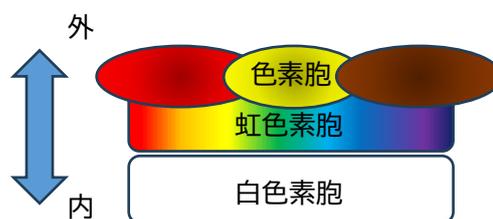


図2 色素胞の分布

1.3 研究目的

イカの色素胞（図3）や虹色素胞のメカニズムが、イカの生態においてどのような役割を持つのか詳しく解明すれば、お絵描きボードや迷彩服に応用できるかもしれない。基礎実験としてイカ及び表皮模型を用いた実験を行うことで考察した。



図3 イカ色素胞（赤粋部）

2. 材料

生鮮食品のケンサキイカ（図4）および実験用電源装置，電極を用いた。また、イカの表皮模型を作成した（図5 a, b, c）。色素胞部（図5 a）の再現に、透明なシートに大きな斑点（3～4mm），小さな斑点（2mm程度），斑点なしの3枚を作成した。虹色素胞の再現に、金属粒子により構造色を発生させるオーロラ加工が施された透明シート（図5 b）を用いた。色素胞部を虹色素胞部の上に乗せた（図5 c）。

^{†1} Okayama Gakugeikan High school



図4 実験に用いたケンサキイカ

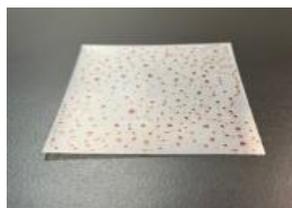


図5a 色素胞部

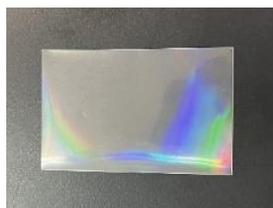


図5b 虹色素胞部

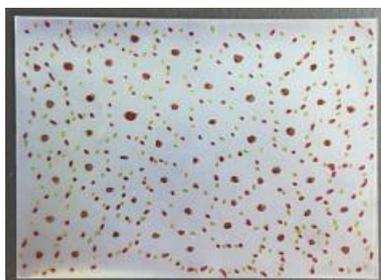


図5c 色素胞部と虹色素胞部を重ねたもの

3. イカを用いた実験

3.1 実験方法

色素胞を伸縮させるため、脳の電気信号の再現として実験用電源装置から電流を流した。両極を外套膜に当て、電圧を5V ずつ上昇させ、色素胞や虹色素胞の変化を観察した。また、対照実験として、+極を脳に当てた場合の変化を観察した。

3.2 結果

実験の結果、体表で部分的に色素胞の大きさに変化（図6 a, b 赤枠部）が見られた。



図6a 色素胞収縮前



図6b 色素胞収縮後

3.3 考察

イカの体表全体で色素胞の収縮や構造色が見られないのは、鮮度が落ちたことで実験に用いたイカの細胞構造が分解され、色素胞や虹色素胞が機能しなかったためと考えられる。また、複数回の試行に必要な数のイカを入手できなかったこと、電流を流すと色素胞が縮んだ、つまり筋繊維が弛緩したことから、さらなる追加実験が必要である。

4. イカ表皮模型を用いた実験

4.1 実験方法

白色素胞部付近からの光反射の再現として、虹色素胞部の下に丸めて広げたアルミ箔を敷いた。模型の直上から、光源（懐中電灯）の角度を変えながら光を当て、各部の変化の観察を行った。実際の海では太陽光が直上から当たることを考慮するため、周囲の照明は消した。

4.2 アルミ箔ありの実験結果

アルミ箔ありでは、斑点小・大（図7 b, c）では構造色が観察できた（表1）。特に斑点大では色素胞部が透けて構造色が観察できた（図7 c）。

表1 アルミ箔ありの表皮模型の変化

	斑点なし	斑点小	斑点大
色素胞部	×	×	○
虹色素胞部	×	○	○

×：変化なし ○：変化あり



図7a 斑点なし

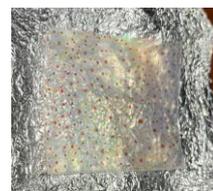


図7b 斑点小

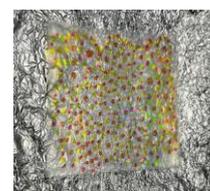


図7c 斑点大

4.3 アルミ箔なしの実験結果

アルミ箔を模型下部に敷いた場合の対照として、アルミ箔を外して上記と同様に観察を行った（表2）。

表2 アルミ箔なしの表皮模型の変化

	斑点なし	斑点小	斑点大
色素胞部	×	×	○
虹色素胞部	○	◎	◎

×：変化なし ○：変化あり ◎：顕著な変化

アルミ箔を外した場合、アルミ箔を敷いた時よりも構造色は強く現れた（図8 a, b, c）。

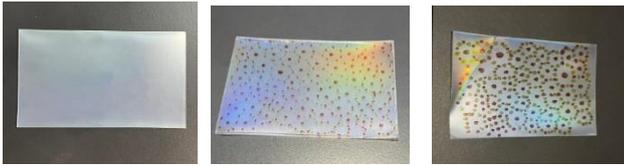


図 8 a 斑点なし 図 8 b 斑点小 図 8 c 斑点大

4.4 考察

模型下部のアルミ箔の有無で構造色の強さが変化した要因として、アルミ箔からの光反射が考えられるが、体色変化としてどのような役割に当たるのかは不明であった。アルミ箔は模型の最下層に位置しているので、アルミ箔を白色素胞部と考え、虹色素胞より下部からの光反射が構造色を抑えている可能性がある。また、斑点大(図 7 c, 図 8 c)で色素胞部に变化があった理由として、色素胞部の斑点に用いた塗料の性質が考えられる。しかし、構造色の変化と同様、どのような役割に当たるのかは不明である。

5. 海の色を考慮した皮膚模型実験

5.1 実験方法

海色に応じた体色変化がどのように行われるのかを考察するため、アルミ箔を用いた実験と同様に海中の写真を敷いた。

5.2 実験結果

海中の写真を用いた場合では、斑点大でアルミ箔を敷いた場合と同様の色素胞部の変化が見られた(表 3)。

表 3 海中写真上の表皮模型の変化

	斑点なし	斑点小	斑点大
色素胞部	×	×	○
虹色素胞部	○2	○3	○1

×: 変化なし ○: 変化あり

コントラストは 1, 2, 3 の順に大きい

また、いずれも構造色が観察されたが、斑点の小さい模型(図 9 a→図 9 b→図 9 c の順)程、見られる構造色と写真の色とのコントラストは小さかった(表 3)。

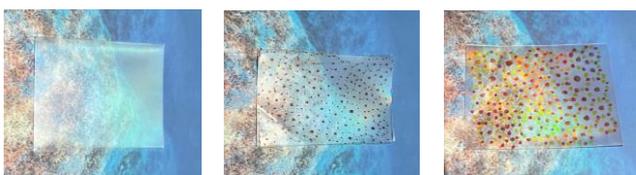


図 9 a 斑点なし 図 9 b 斑点小 図 9 c 斑点大

5.3 考察

結果から、色素胞が肉眼で観察できる大きさである限り、色素胞を展開する時はコントラストを大きくすることで相手から目立ち、色素胞を収縮する時はコントラストを小さくすることで目立ちにくくなると考えられた。色素胞の大きさに応じた体色のコントラスト調整が虹色素胞部の役割ではないかと推測できる。

6. 展望

試行回数を増やすため、組織が十分に機能するイカを入手する手段を確立し、実際のイカで色素胞や虹色素胞の観察を行いたい。イカの表皮模型を用いた実験では、色素胞部の斑点の形や下に敷く海底の写真を変えながら実験を行う。また、本研究では色素胞や虹色素胞の変化における具体的な数値を算出することができなかったため、色素胞が伸縮した面積や、構造色として現れた光色ごとの光の振幅などから各組織の変化を評価したい。

7. 謝辞

本研究および本論文の作成を進めるにあたって、岡山学芸館高等学校吉岡希裕教諭、柳雅之教諭より、貴重なご指導を頂きました。誠に感謝申し上げます。

8. 参考文献

- 1) 鳥取大学医学部 N 教授 Website (tottori-u.ac.jp)
<https://www.ninomiya.med.tottori-u.ac.jp/homepage/Z09.html>
- 2) イカの虹色の皮膚, 色変化の仕組み解明
https://natgeo.nikkeibp.co.jp/nng/article/news/14/6601/?ST=m_news
- 3) 池田 譲 2011 『イカの心を探る——知の世界に生きる海の霊長類』 p65 (NHK ブックス)
- 4) The secret of a squid's ability to change colors may lie in an unexpected sparkle on its skin ...
<https://news.northeastern.edu/2019/03/05/the-secret-of-squids-ability-to-change-colors-may-lie-in-an-unexpected-sparkle-on-its-skin/> 2019/6/14 作成
- 5) Capture The Iridescence Of Camouflaging Cephalopod Skin (sciencefriday.com)
<https://www.sciencefriday.com/educational-resources/capture-the-iridescence-of-camouflaging-cephalopod-skin/>

海ゴミ回収装置の作成

服部冬羽^{†1} 三宅暁太^{†1} 小原偉歩輝^{†1} 澤口建太^{†1}

2000年代に入り、世界中の海ゴミによる海洋汚染が海洋生態系に多大な影響を与えている。私たちはこの問題を解決するために海ゴミ回収装置の作成をめざした。装置は円柱状となっており、装置上部には装置下部の水中ポンプを動かすための蓄電池を設置した。そして、装置中央の網でゴミと水を分ける。装置内部の水量を調節するために、水が一定以上たまると発砲スチロールが浮き上がりシャッターが閉まる構造とした。製作した装置を実際に河川に浮かべ、5分あたりのゴミの回収量、回収したゴミの種類および大きさを測定した。さらに、装置の稼働が正常に行われているか、装置の安定性がとれているか、川の流れにどれだけ流されるかも検証した。実験の結果、ゴミの回収、水中ポンプでの水の排出を達成することができたが、本体が水上で安定しなかったため、5分あたりのゴミの回収量と川の流れにどれだけ流されるかの確認ができなかった。しかしながら、水上での更なる装置安定に向けた改善点を見つけることができた。

キーワード：海ゴミ回収、水上安定、自立装置、マイクロプラスチック

1. 研究背景

環境省の調査によると、世界では毎年800万トン以上のプラスチックゴミが海に流出している¹⁾。これらのプラスチックゴミは紫外線による分解や波に砕かれることによって直径5mm以下のマイクロプラスチックとなり、多くの海洋生物に悪影響を与えている。また、SDGsの14番目に「海の豊かさを守ろう」が記載されていることや、日本において2020年に開始されたレジ袋の有料化のように、世界や日本の海ゴミ削減への関心も高まりつつある。しかし、現在のペースで陸から海へゴミの流出が進むと、2050年には海中のプラスチックの重量が魚の重量を超えると予想されている²⁾。海洋にすでに流出しているマイクロプラスチックの回収方法はまだ確立されておらず、マイクロプラスチックになる前のプラスチックゴミをいかに回収するかが重要になっている。

2. 開発目標

私たちの目的は無人で海ゴミを回収できる装置の開発である。先行研究³⁾では、本体を安定させるためにアウトリガーを取り付けたため持ち運びする際に、その都度解体、組み立てをしなければならなかった。また、実働実験の際に水上での自立および水中ポンプによる機体内部の水の排出は成功しているが、アウトリガーとの接続部分の破損によりゴミの回収量の測定ができなかった。私たちが作成する海ゴミ回収装置では、アウトリガーを外し本体の重心を下部に移動させることで、アウトリガーのない状態でも水上で装置が安定するよう改良し、本体の小型化を目指した。

また、設置場所は河川の岸辺とし、回収対象を500mlペットボトルサイズ以下の浮遊ゴミとした。

3. 海ゴミ回収装置開発

3.1 材料と製作方法

本体部分は容積45Lのポリバケツを用いた。本体内部の水を排出するために水中ポンプ(Huanyu, Submersible Pump)、シャッターのフレームには杉の角材(2mm×2mm×15mm)を使用した。また、シャッターのレール(光モール、ホワイトカブセ5.5)を、フレームに合わせて長さ15mmに加工した。シャッターにはアクリル板(160mm×75mm×3mm)を用いた。木材が水によって腐食することを防ぐために防水スプレー(ニッペホームプロダクツ株式会社、住宅用防水スプレー)を用いた。シャッターの動力として用いる浮きには円状に加工した発砲スチロールを用い、ゴミをろ過するために網目の大きさが1~2mmの網を配置した。アウトリガーの代わりに本体を安定させるための浮き(YOE-100, 280mm×250mm, 浮力10kg/1個)を使用し、水中ポンプの動力として蓄電池(ONE STEP, TF11112)を用意した。ロープ(1.5m)を本体下部に設置し、回収口の位置が水面になるように重り(新輝合成、つけもの石8.5型、直径25.5cm, 8.5kg)1個と土嚢(10kg)を2個使用した。装置の仕組みとしては、回収口に装置内の水位の上下を利用したシャッターを取り付け、水量の調節を図った(図1)。設置した回収口から浮遊ゴミと水が入り、装置内部に設置した網で浮遊ゴミを回収する(図2)。浮遊ゴミ分離後の水は本体底の中央に設置した排水ポンプとホースを用いて装置外部に排出する。装置上部には、水中ポンプに電力を供給するための蓄電池を設置した(図3)。装置側面には、機体を安定させるための浮きを4つ取り付けた。

^{†1} Okayama Gakugeikan High school



図1 外側シャッター部



図2 装置内ゴミ回収網



図3 装置上部蓄電池

かし、装置が水面に対して水平の状態では安定せず（図6）、シャッターが正常に稼働しなかった。そのため、長く水上に浮かべることができず、当初実験の目的としていたゴミの回収量、移動距離、ゴミのサイズと種類等の結果を得ることができなかった。



図5 回収された河川浮遊ゴミ



図6 水上での海ゴミ回収装置の様子

3.2 海ゴミ回収のメカニズム

作成した海ゴミ回収装置の横にある2つの回収口から水とゴミを同時に取り込む。取り込んだ水とゴミは本体内部に設置した網で分ける。水が溜まると発砲スチロールが上昇する。その時、発砲スチロールに接続したシャッターも上昇し、回収口が閉じる。回収口が閉じることで一時的に水の流入を防ぎ、その間に装置の底に設置したポンプで水を排出する。この一連の操作を繰り返してゴミを回収する（図4）。

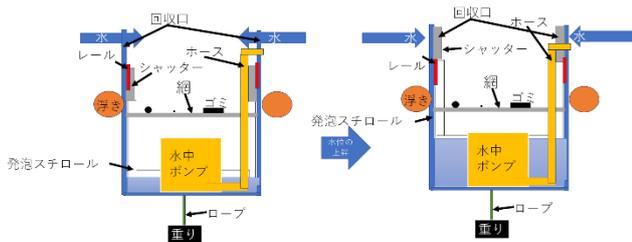


図4 シャッター開閉の機構

4. 吉井川での稼働実験および結果

2023年9月19日、完成したゴミ回収装置の実働実験を吉井川で行った。吉井川は岡山県岡山市東区を流れる一級河川である。制作した装置がどのように機能するかを判断するために、5分あたりのゴミの回収量および本体が1分あたりにどれだけ流されたのかの移動距離、また、回収されたゴミのサイズと種類の計測を目的とした。実験ではゴミの回収を行うことができた（図5）。さらに、水中ポンプを動かす電気系統が正常に作動することが確認できた。し

5. 考察および展望

実験では、装置を水上で安定させられなかった。原因として、実験を行った場所の水深が浅く、重りをつなげているロープがたるんでしまっていたのではないかと考えられる。また、装置全体にかかる重力が装置全体にかかる浮力に対して小さかったことから、装置が水上で傾き、水面に対して平行にならず不安定になったことも要因である。シャッターと発砲スチロールの接続部を頑丈にして、装置における浮力を精密に計算し、回収口まで沈むように重りを取り付ける。これらの改良を施し、多くの浮遊ゴミを回収したい。

6. 謝辞

本論文の作成にあたり終始適切な助言を頂いた吉岡希裕教諭、柳雅之教諭に心から感謝いたします。本当にありがとうございました。

7. 参考文献

- 1) WWF ジャパン, 海洋プラスチック問題について
<https://www.wwf.or.jp/activities/basicinfo/3776.html>
- 2) BUSINESS INSIDER, 2050年の海は魚ではなく、プラスチックで溢れかえる
<https://www.businessinsider.jp/post-577>
- 3) 土井智喜 et al. 海上ロボット掃除機の開発 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 2022

波力発電の効率化に向けた空気室加工実験

森悠一^{†1} 鈴木貴久^{†1}

SDGs の観点から、再生可能エネルギーが注目されている。特に、面積当たりの発電効率や発電の安定性が優れている波力発電は、次世代のエネルギー供給源として期待できる。だが、波力発電の課題の一つに、装置そのもののコストと同程度に、腐食やフジツボの付着によるメンテナンス費や、設置費、維持コストがかかることがあげられる。もし波力発電の維持コスト問題が改善されれば、より多くの持続可能なエネルギーが供給され、化石燃料に依存しない社会への移行が進むと考える。温暖化対策としても、厳しい気候変動問題を少しでも改善できると期待する。私たちは発電を効率化することによって、1基あたりの発電量を上げれば売電量が多くなり、維持コスト問題の改善につながると考えた。本研究はバケツで発電装置を再現し、空気室内部の加工によって発電力を上げられるように実験を行った。空気室の内部に角度をつけることで、発生する風力が強くなり、発電力が上がると仮定した。バケツの底に対して内部に50度および70度の角度をつけたものと加工を加えてないものの3つの発電装置を用いて、バケツ底にあけた穴から出る風速を計測した。角度がより急になるほど発電しやすくなり、加工なし、50度、70度の順に風速が強くなると予測した。結果は、内部加工を施すことで風速は1.4km/h上昇した。風速から、風力発電のエネルギーを求める式を用いて発電量を計算すると、加工なしと50度では50度の方が0.4kWh発電量が大きかった。以上より、空気室内部の加工には効果があったと考える。

キーワード：波力発電、水柱型波力発電、空気室、風力、発電の効率化

1. 研究背景

波力発電とは波の上下運動によるエネルギーを利用して発電する方法で、様々なタイプがある。湯原ら(2023)¹⁾によって、波力発電装置の効率化に関して内部加工は不要であるとされたが、坂下(2019)²⁾では、空気を点に集中する内部加工が波力発電の効率化に適しているとされている。本研究では発電力の上昇を目指して、内部加工の必要性和角度による風速の変化について検討を行った。

2. 材料と方法

バケツ（体積120，直径50cm，高さ60cm）の底に穴（直径3cm）をあけ、その穴に向かってクリアファイルとガムテープを使い、空気が出る部分に向かって一点に集中する形状（内部加工）にした（図1）。プール（横243cm，縦150cm，高さ56cm）を用いて、波を再現し、風速計 Wintact Anemometer WT816A で風速を計測した。

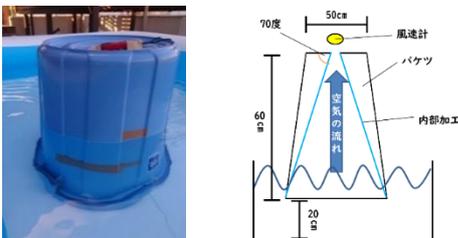


図1 波力発電を再現した発電装置および設計図

プール（横243cm，縦150cm，高さ56cm，水深34cm）の水中で底に穴をあけた12Lのバケツを上下させた。バケツが34cm沈んだ状態から20cm上げ下げする動作を繰り返した。バケツが上下する往復の平均の速さを5cm/sとして、風速計で風速を測定した。実験条件としては、内部加工なしのバケツでの実験、角度が50度のバケツでの実験、角度が70度のバケツでの実験に分けて行った。上下させる操作の40秒を1セットとし、それぞれ5セット行い、平均を求めた。測定した風速を元に $1/2 \rho S v^3$ （空気の密度 $\rho = 1.2\text{g/L}$ ，受風面積 $S = 7.1 \times 10^{-4}\text{m}^2$ ，風速 v m/s）から発電量を求めた。

3. 結果

1セット目の風速のグラフを示す（図2，図3，図4）。条件下での最初の3秒の値を除いた5セットの平均値を比べると、内部加工なしが57.3km/h，角度が50度，70度のときは、それぞれ58.6km/h，54.0km/hとなった（図5）。50度のときと内部加工なしを比べると50度が1.4km/h風力が強く，70度が一番弱くなった。風速から計算して発電量を見積もると，内部加工なしが6.1kWh，内部加工ありがそれぞれ6.5kWh（50度），5.1kWh（70度）となった。

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

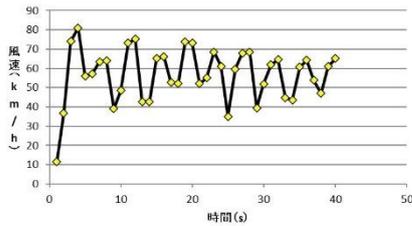


図2 内部加工なし

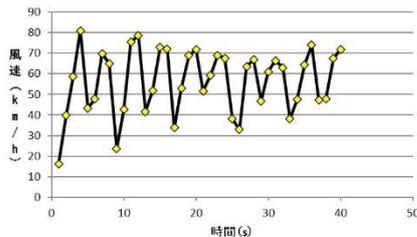


図3 内部加工あり (50度)

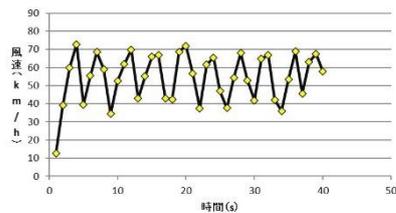


図4 内部加工あり (70度)

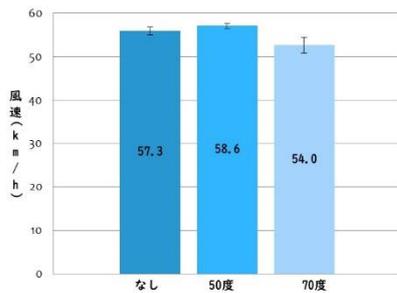


図5 平均風速の違い (5セット平均)

4. 考察

結果より、内部加工なしより内部加工あり(50度)の方が1.4 km/h大きかった。発電量で計算すると、内部加工なしより内部加工あり(50度)の方が0.4kWh大きかった(表1)。風速は変えずに装置の穴の直径を1mにサイズアップしたと仮定すると、それぞれ6832kWh(内部加工なし)、7306kWh(50度)、5714kWh(70度)となった。ゆえに、内部加

工は効果があったと考える。

表1 風速から計算した発電量

	角度0度	角度50度	角度70度
装置の発電量 (直径3cm)	6.1kWh	6.5kWh	5.1kWh
装置の発電量 (直径1m)	6832kWh	7306kWh	5714kWh

70度で一番風速が低下した原因は、角度が急すぎたため、内部加工の一部が水に浸かり、押される空気の量が小さくなったためだと推測した。50度では、70度のようにクリアファイルがバケツの水につかる部分まで届かず、途中で壁に当たるため内部加工が水に浸かることはなかった。

5. 展望

本研究では、手で装置を押し込んだために誤差があり、結果にばらつきを与えている可能性が考えられる。重りをつけて押し込む力を一定にすることで、より精度の高いデータをとる必要がある。また、バケツの底に対して角度をつけたことにより、バケツ内の体積が減少していることを考慮し、空気室における体積当たりの発電量を求めなければならない。さらに、透明なもので発電装置を再現し、空気の移動が視覚的にわかりやすい実験装置を開発したい。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、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、柳雅之教諭には、指導教員として丁寧なご指導を頂きました。心から感謝いたします。

7. 参考文献

- 1)湯原萌々香 et al. 高校生でも波力発電はできるのか！？岡山学芸館高校医進サイエンスコース海洋研究紀要2022
- 2)振動水中型波力発電の高効率化に向けた研究 玉川学園高等部 坂下 万優架
https://www.iee.jp/pes/wp-content/uploads/sites/3/2020/01/R1_1.pdf
- 3)エネルギーの換算
<https://keisan.casio.jp/exec/system/1236239547>
- 4)風力発電のエネルギー量
<https://keisan.casio.jp/exec/system/1184723785>
- 5)次世代を担うエネルギーは波!波力発電の全容に迫る!
<https://enechange.jp/articles/wave-energy-power-station>

海上都市の実現に向けて

原田裕史^{†1} 畑森瞬助^{†1} 有本大哉^{†1}

2023年現在、モルディブ諸島などの赤道直下の地域では、海面上昇によって居住が困難になっている。私たちはこの課題を解決するために海上都市という新たな住まいを計画した。新しい居住場所である海上は、風、湿度、高波などの陸上とは異なる課題を意識しなくてはならない。本研究では、土台部分、中央建築物、周辺建築物に分け、それぞれの最適な形状について検討した。中央建築物は、様々な都市機能が集約する海上都市の中核となる。その周辺にある住居部分を周辺建築物とする。土台部分は、どのような形状が水上で安定するか確かめるために、模型を波のある水上に浮かべた。実験結果として、円形が最も流されにくかった。よって、土台を円形にすると、回遊ルートを外れたときに修正する際、最小限の動力だけで済み、資源を節約できると考えた。海上では陸上よりも強い風が吹くので、中央建築部分には強いビル風が起りやすくなる。ゆえに、ビル風を最小限に抑えるための最適な形状を調べた。検証には、風洞実験およびFlowsquare4.0によるシミュレーションを用いた。実験結果では、四角柱は側面に風がぶつかり、受け流せなかった。また、円柱に加えて上部に一回り小さいものを段々と重ねていく形（セットバック）ではビル風を防ぐことができた。さらに、建築のしやすさや直射日光の対策も考慮し、セットバックした形を採用した。中央を取り囲む周辺建築物は、湿度の問題を解決するために一つの部屋を長方形にして、海側と中央部分側に窓をつけた形にした。今後は食料問題や動力、都市内の産業などの課題も検討していきたい。

キーワード：海上都市、風洞実験、Flowsquare4.0、ビル風、カルマン渦

1. 研究背景および目的

2023年現在、モルディブ諸島、マーシャル諸島などの太平洋赤道直下の地域では、地球温暖化の影響による海面上昇によって居住が困難になっている¹⁾。このような現状を改善する1つの手段として、海上に都市をつくることが提案されるが²⁾、自然災害や発電方法、本体の揺れなど多くの課題がある。特に、風や波の影響で本体が流されたり揺れたりすることは大きな問題となる。ゆえに、風と波が海上都市に与える影響について検討した。さらに、どのような形状が風と波の影響を最小限に抑えられるのか考察するにあたり、海上都市を土台部分、中央建築物、周辺建築物に分けた（図1）。

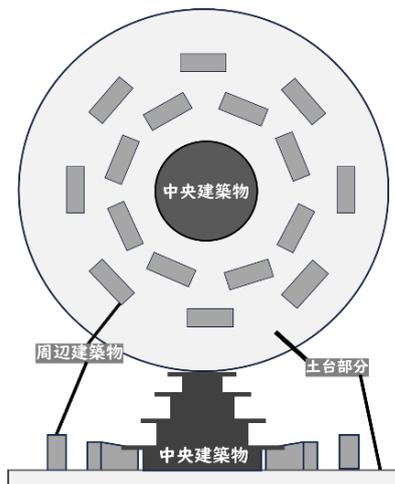


図1 海上都市の概要

2. 土台部分の設計

土台が流されにくいものを“安定する”と定義して、どのような形状が水上で安定するか確かめるために実験を行った。

2.1 材料

厚紙とセロテープを用いて、底面積を430 cm²に統一して周りを2cmの壁で囲い、厚紙で作製した三角形、四角形、円形の模型に防水スプレーを吹き付け、水深30cmの水を張った縦220cm、横150cm、高さ60cmのINTEX製プールに浮かべた（図2）。

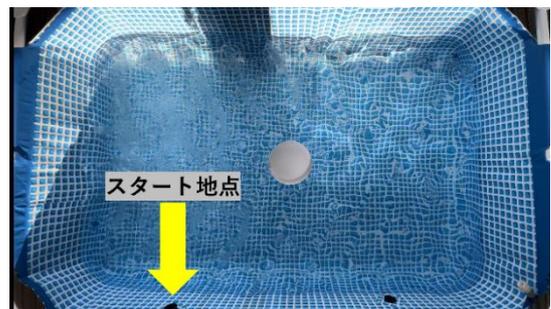


図2 土台部分の実験

2.2 実験方法

1秒に2回のペースでプールの側面を押して波を起こし、模型を浮かべて、流されにくさを比較した。プールの側面にある黒い点から垂直な線をスタートラインとし、そこから1m先をゴールラインとした。スタートラインに

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

模型を浮かべ、ゴールラインを通過するまでの時間を2回ずつ計測し、その平均を1m流されるのに要した時間とした。

2.3 結果

円形が最も流されるのに要した時間が長かった(表1)。円形に比べ、四角形と三角形は多く回転していた。

表1 模型が1m流されるのに要した時間

	円形	四角形	三角形
かかった時間(s)	15.3	12.1	11.6

2.4 考察

四角形、三角形が流されやすかった理由として、側面に波が当たってしまい受け流せなかったことが考えられる。土台部分を円形にすることで波を上手く受け流して、海上を回遊させるときに少ない動力で済ませることができると推測した。

3. 中央建築物の設計

ビル風とカルマン渦(建物や柱の両側から、交互に規則正しく一定間隔で発生する渦)を最小限に抑えるための最適な形状を調べた。

3.1 材料

ストロー、マッチ、厚紙、アイリスオーヤマ製サーキュレーターPCF-SDC18T(風の強さ:10段階中6段階目)、線香、黒色の紙、セロハンテープ、ダンボールを用いて風洞実験の装置(縦26cm、横30cm、高さ26cm)を作製した。また、Flowsquare4.0(図3)を用いて、風の流れを確認した。

Flowsquare4.0

風速を5.0m/s
 x方向(横方向)格子点数:512
 y方向(縦方向)格子点数:256
 シミュレーション領域のx方向(横方向)長さ(m):9.0
 シミュレーション領域のy方向(縦方向)長さ(m):4.5
 2次精度中心差分+Lax-Wendroff(中間点)法を利用
 ポアソン方程式を解く際の緩和係数:1.8
 ポアソン方程式の収束計算終了の許容誤差:1.0E-1
 流体の粘性係数(動粘性係数×密度)(kg/m s):2E-5

図3 Flowsquare4.0のパラメータ

3.2 実験方法

風洞実験では、模型を入れた箱にサーキュレーターを近づけることで空気を吸い込む仕組みを作り、サーキュレーターとは反対側の壁をストローで作り、空気が直線状に通るようにした(図4)。サーキュレーターとは反対側の壁に

火をつけた線香を近づけ、煙が模型に当たった時の動きを観察して空気の流れ方を確認した。



図4 風洞実験に使用する装置

3.3 結果

風洞実験では、円柱は四角柱に比べて側面に当たる風を受け流せていた(図5)。Flowsquare4.0で行ったシミュレーションでは、四角柱は円柱より建築物の横を通る風が濃い赤色で表示されており、風の速さが速いことがわかった。また円柱は、赤色の部分が広い範囲で確認されたことから、側面に当たった風が分散されていることがわかった(図6)。



図5 風洞実験(四角柱および円柱)

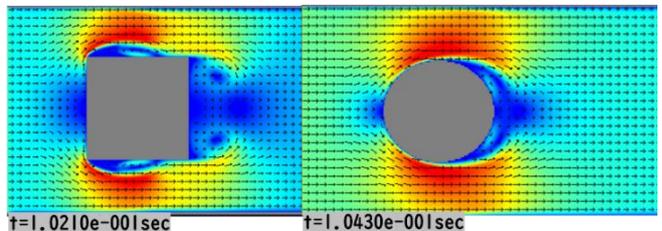


図6 模型周辺の風速シミュレーション(四角柱および円柱)。シミュレーションにおいて、暖色ほど風が速く、寒色ほど風が弱いことを表している。

3.4 考察

円柱やねじれた形状、上に一回りずつ小さいものに乗せていく形状であるセットバックした形はカルマン渦による共振を防ぐことができる(図7)³⁾。さらに、建築のしやすさや直射日光の対策も考慮し、大きさの違う円柱を重ねていき、上部をセットバックした形状を用いると、ビル風やカルマン渦による周りの通行人や建築物への影響を最低限に抑えることができると考えられる(図8)。

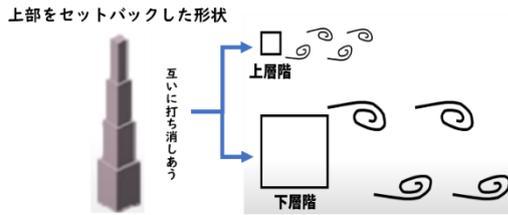


図7 セットバックした形状が共振を防ぐしくみ



図8 中央建築物

4. 周辺建築物の設計

湿度の問題を解決するために、適切な形状と配置を検討した。一つの部屋を長方形にして、海側と中央部分側に窓をつけた形にすることで、風の通り道を作る。建物が大きく円を描くように十数棟設置することで、どこからでも海を見ることができる(図9)。

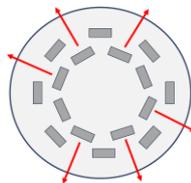


図9 周辺建築物の配置

5. 結論

土台部分を円形にすることで、少ない動力で海上を回遊させることができる。また、中央建築物はビル風とカルマン渦を最小限にすることや、建築のしやすさ、直射日光の対策も考慮し、大きさの違う円柱を重ねていき、上部をセットバックした形状を用いる。そして、周辺建築物は海上での高い湿度の対策として住居部分の風の通り道を作ることに加え、配置を工夫することでどこからでも海を眺める事ができ、快適な空間を作り出すことができる(図10)。



図10 海上都市の模型(自作)

6. 展望

私たちの計画する海上都市は台風、地震の起きない太平洋の赤道付近を回遊させる(図11)^{4) 5)}。そしてその豊富な太陽光を生かした発電に加え、波力発電を行う。海の環境へ負担をかけないように再生可能エネルギーで都市の電力を賄っていく。食糧問題、動力、都市内の産業などの課題を今後さらなる検証を重ねて持続可能な都市を建設し、多くの人を救う海上都市の実現を目指したい。

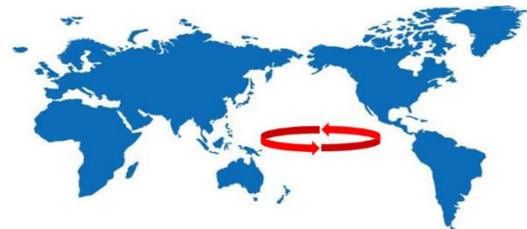


図11 海上都市の回遊ルート

7. 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。

8. 引用文献

- 1) 海面上昇で沈む国はどこ? 深刻な負の連鎖を徹底解説
<https://mirasus.jp/sdgs/climate-change/3882>
- 2) 清水建設 環境アイランド GREEN FLOAT
<https://www.shimz.co.jp/topics/dream/content03/>
- 3) 田中英之, 田村幸雄, 金容徹
各種建物形状による超々高層建物の空力特性変化
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jawe/38/3/38_306/_pdf/-char/ja
- 4) 廣瀬 駿 全海域における台風の統計解析
<http://www.fudeyasu.ynu.ac.jp/member/thesis/2013-hiroses/hirose2014.html>
- 5) 気象庁 地震発生のおしくみ
https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/jishin/about_eq.html

9. 受賞

本研究は北海道大学主催海の宝アカデミックコンテストにおいて近畿・中国ブロック大会奨励賞を受賞した。

瀬戸内海の栄養塩濃度と耕地面積の変化の関係について

鶴野敦也^{†1}

2023年8月26日、岡山県笠岡市で開催された里海シンポジウムのパネルディスカッションにおいて、海苔農家の妹尾祐輝氏から“海の豊かさと陸の豊かさが繋がっている”との発言があった。私は、瀬戸内海の貧栄養化は沿岸域の県の耕地面積減少に関係があるのではないかと考えた。本研究では、岡山、香川の2県の耕地面積の変化に注目した。瀬戸内海沿岸の耕地面積の推移と貧栄養化の関係を探るために、1970年から2010年までの瀬戸内海の栄養塩濃度の変化と、それぞれの耕地面積の推移を調べた。結果、どちらの県でも窒素濃度と耕地面積の減少傾向に相関が見られた。しかし、瀬戸内海環境保全特別処置法と水質汚濁防止法による栄養塩放出抑制の効果を考慮し、1990年から2010年までの栄養塩濃度と耕地面積の減少傾向には関係性を見いだすことができなかった。また、耕地から海に流れ出る栄養塩の発生源が耕地で用いられる化学肥料だと考え、肥料に含まれる栄養塩の総使用量の推移も調べた。リンに関しては1960年に対して、1970年代から2004年までは1.8倍の施肥量となっており、沿岸域の栄養塩類濃度の上昇との関連性が見られた。以上より、1990年以降では、瀬戸内海の栄養塩濃度の減少に関して、瀬戸内海周辺の県の耕地面積の減少は大きな要因とは考えられないと結論付けられる。

キーワード：瀬戸内海，貧栄養化，耕地面積，栄養塩

1. 研究背景および目的

2024年、瀬戸内海の貧栄養化が問題視されている。栄養塩類が不足すると、それを吸収し増殖する植物プランクトンが減少する。次に、植物プランクトンを捕食する動物プランクトンが減少する。すると、動物プランクトンを捕食する魚介類が減少する。結果、瀬戸内海では漁獲量が減少し、生物多様性が失われている。本研究では、瀬戸内海の貧栄養化の要因を探るため、瀬戸内海での栄養塩濃度と岡山、香川の2県での耕地面積の推移を調べた。

2. 材料と方法

本研究では、総務省¹⁾、FAOSTAT²⁾、国立研究開発法人³⁾のデータを用いて、1970年から2010年までの瀬戸内海の栄養塩濃度と、2県での耕地面積の推移、およびそれらの相関を調べた。また、耕地で使用されている肥料の使用量も調べ、それぞれに関係があるのか比較した。

3. 結果

3.1 瀬戸内海の栄養塩濃度と沿岸県の耕地面積の推移

岡山県の耕地面積と岡山県沿岸域の栄養塩類を比較する(図1, 2)。栄養塩としては、図1, 2ではそれぞれ、溶存無機窒素; DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen), 溶存無機リン; DIP (Dissolved Inorganic phosphorous)を示す。比較を見ると、いずれも減少傾向は見られるが、1983年から1991年まで、耕地面積は減少し続けているのに対し、栄養塩濃度は上昇し、その後、ほぼ平衡状態にあることが

分かる。図3, 4の香川県の耕地面積と香川県沿岸域の栄養塩類の比較からは、窒素に関してはゆるやかな減少傾向が見られるが、リンに関しては多少の増減は見られるもののほぼ平衡状態であり、耕地面積の減少傾向との関係は見られない。

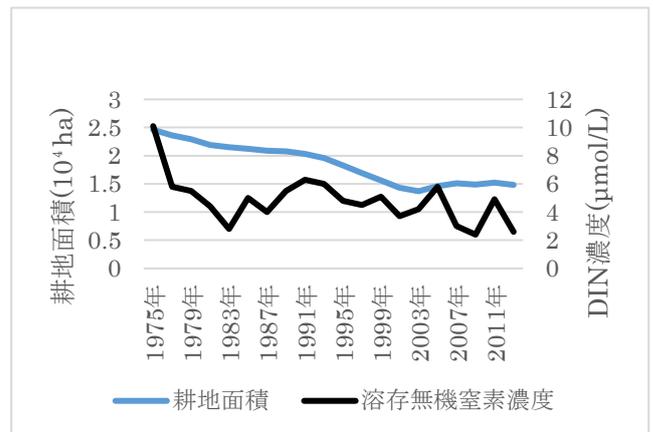


図1 岡山県の耕地面積と栄養塩類(窒素)の推移

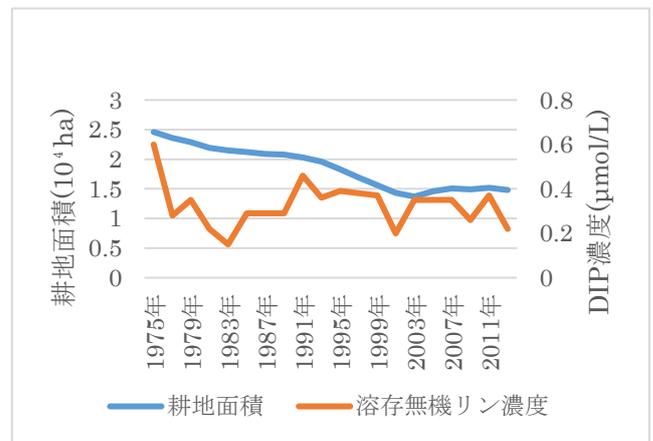


図2 岡山県の耕地面積と栄養塩類(リン)の推移

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

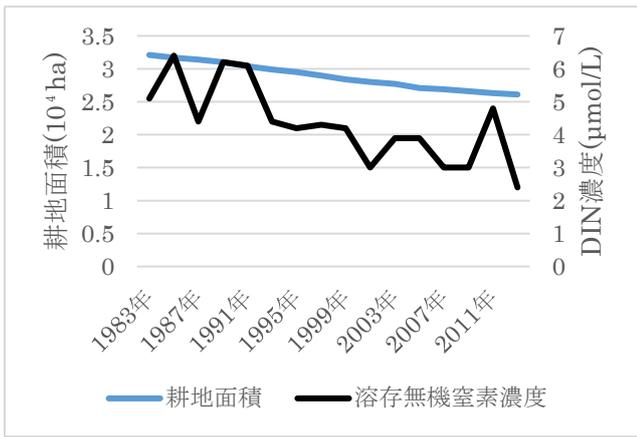


図3 香川県の耕地面積と栄養塩類（窒素）の推移

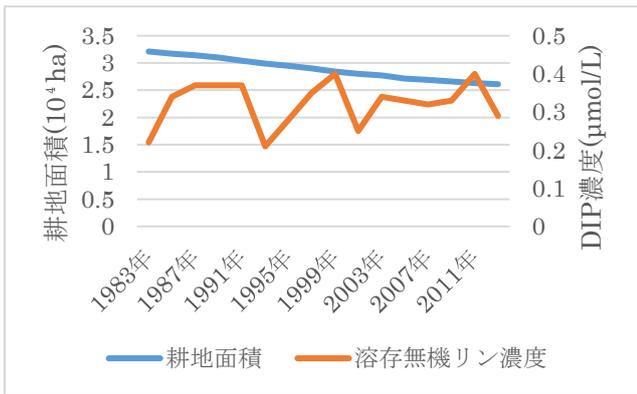


図4 香川県の耕地面積と栄養塩類（リン）の推移

3.2 日本における耕地への施肥量の変化

日本の耕地で使用された化学肥料に含まれる栄養塩の総使用量の推移を調べた(図5)。リンに関しては1960年に対して、1970年代から2004年までは1.8倍の施肥量となっており、沿岸域の栄養塩濃度上昇と傾向が一致した。

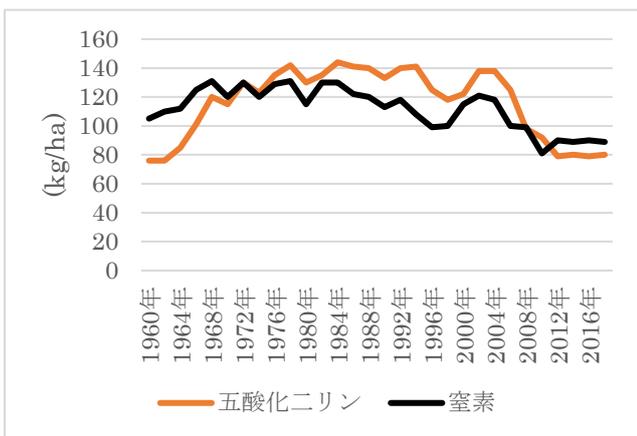


図5 日本における耕地への肥料使用量推移

3.3 栄養塩類と耕地面積の推移における相関関係

それぞれの県の栄養塩濃度と耕地面積の相関係数を算出した。図6の栄養塩濃度（窒素）と岡山県の耕地面積の推移ではやや強い相関が見られた。また、図7の栄養塩濃度

と香川県の耕地面積の推移にはかなり強い相関が見られた。

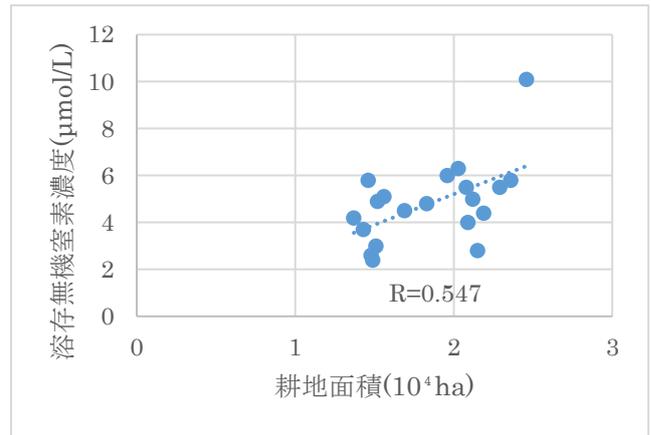


図6 栄養塩濃度（窒素）と岡山県の耕地面積

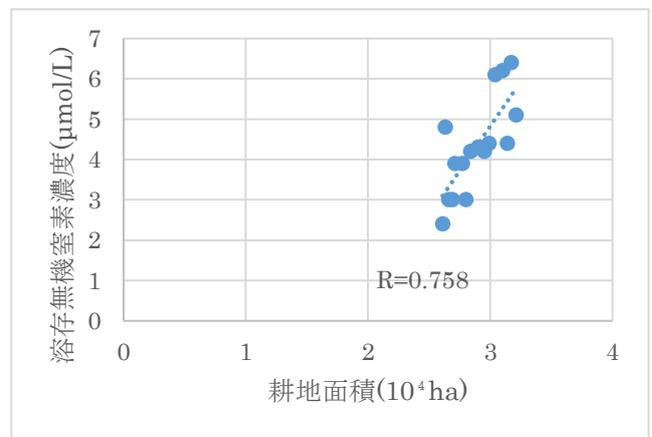


図7 栄養塩濃度（窒素）と香川県の耕地面積

しかし、図6および図7以外の栄養塩類と耕地面積の推移の間には相関が見られなかった($R < 0.2$)。これらの結果から、岡山と香川においては、栄養塩濃度（窒素）と耕地面積の推移には関係があると言える。

4. 考察

図6および図7から、岡山と香川においては、栄養塩濃度（窒素）と耕地面積の推移に関係があると考えられる。しかし、栄養塩類（窒素）と耕地面積の推移で相関が見られたのは、岡山県と香川県で1973年に瀬戸内海環境保全特別措置法⁴⁾が制定されたことにより、栄養塩濃度が極端に低くなってしまったことが原因だと考えられる。また、1989年に水質汚濁防止法⁵⁾が改正されたことにより、更に栄養塩濃度が低下した。これらの影響を除外するために、栄養塩濃度と耕地面積と推移の関係のみをより明確にするため、水質汚濁防止法以降の1997年からのデータで相関係数を算出すると耕地面積と栄養塩濃度の相関が見られなかった。1990年以降では、瀬戸内海の栄養塩濃度の減少に関して、瀬戸内海周辺の県の耕地面積の減少は大きな要因ではない

と考えた。だが、1960年から40年間の経年変化と比較するためには、2000年以降のデータはまだ期間が短く、関係がないと言い切ることができない。栄養塩濃度と耕地面積の推移に関係がないと仮定すると、瀬戸内海の貧栄養化の別の要因として、耕地から流れ出た栄養塩がダムに堰き止められ、瀬戸内海に届いていないことが挙げられるのではないかと考えた。

5. 展望

今後は3つの実験を行う。1つ目は、岡山と香川で2011年以降のデータを調べ、1997年から2011年までのデータから得られた結果に信憑性を持たせる。2つ目は岡山県のダムと、そのダムに繋がっている河川で水質調査を行う。この二箇所での栄養塩濃度を比較し、ダムの栄養塩濃度が河川の栄養塩濃度より高ければ、ダムに栄養塩が堰き止められていると示せる。3つ目は、岡山県のダム数の推移を調べ、ダム数の増加と栄養塩濃度の推移の関係を見つける。以上より、上記の考察が正しいのかどうかを検証する。

6. 謝辞

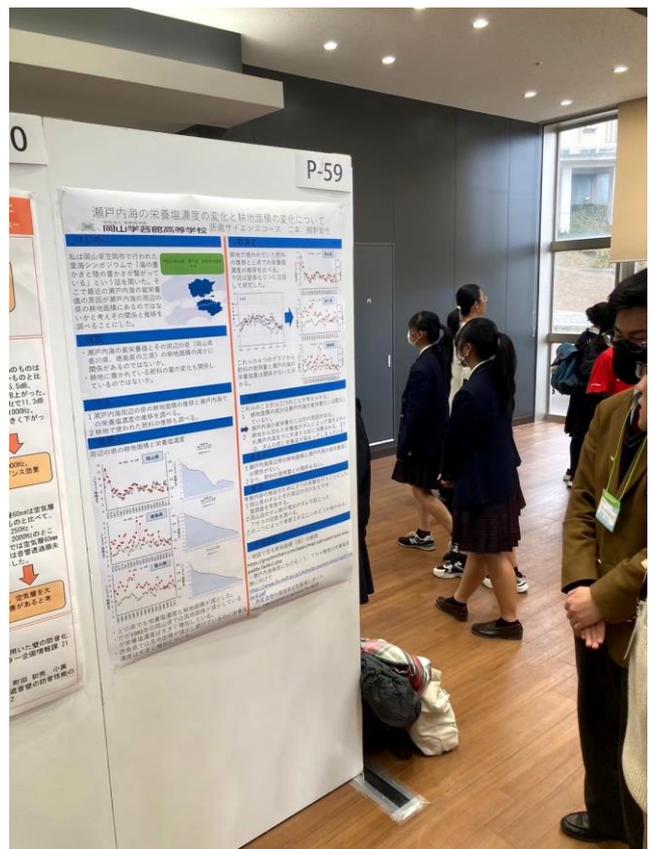
今回の研究を行うにあたり、研究のきっかけとなるご助言をいただいた瀬尾裕輝様本当にありがとうございます。また、本研究の遂行にあたり終止多大なご指導をいただいた、岡山学芸館高等学校清秀高等部柳雅之教諭、岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース吉岡希裕教諭に深く感謝申し上げます。

7. 引用

- 1) 地図で見る耕地面積（田）の推移（都道府県別の日本全国階級区分図/マップ）
<https://graphtochart.com/japan/map-cultivated-land-area-paddy-fields2.php>
- 2) 西尾道徳の環境保全型農業レポート
<https://www.jfa.maff.go.jp/j/koho/pr/pamph/attach/pdf/index-6.pdf>
- 3) 瀬戸内海東部におけるノリ、ワカメ養殖のための栄養塩管理に向けて
<https://lib.ruralnet.or.jp/nisio/?p=4635>
- 4) 瀬戸内海環境保全特別措置法の施行について | 法令・告示・通達
<https://www.env.go.jp/hourei/05/000154.html>
- 5) 水質汚濁防止法等の改正経緯について
https://www.env.go.jp/water/confs/fpwq/01/mat03_3.pdf

8. 受賞

本研究は、2023年10月、北海道大学主催海の宝アカデミックコンテストにおいて近畿・中国ブロック大会奨励賞を受賞した。



2023年度 岡山学芸館高等学校 医進サイエンスコース 13期生 海洋研究



2023年11月4日 北海道大学主催海の宝アカデミックコンテスト全国大会
マリン・サイエンス部門 海の宝大賞（最優秀賞）



2023年11月16日 北海道大学主催海の宝アカデミックコンテスト表彰伝達
近畿・中国ブロック大会6研究入賞



2024年2月18日 マリンチャレンジプログラム全国大会 日本財団賞

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 2023

令和6年2月28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 芳野 冴輔

〒704-8502

岡山市東区西大寺上1丁目19-19

TEL(086)942-3864

FAX(086)943-8040

yanagi@gakugeikan.ed.jp

表表紙写真 日生町漁協にて牡蠣出荷作業体験

裏表紙写真 日生町漁協にて牡蠣種付け体験



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