

海洋研究紀要

2021

2017 年春

一人の生徒が海洋課題研究を始めた
アマモ場再生活動を干潟から評価する
研究は代々受け継がれた

5 年後、海洋に関する研究ゼミとして
コース所属生徒全員が課題を設定し
研究に取り組み始めた

2022 年春

初の海洋研究紀要をまとめる

第 1 号

岡山学芸館高等学校

医進サイエンスコース 11 期生



目次

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	入澤佳苗 木村文香.....2
ウミニナの生態について	津原拓己 石田大和 和田磨歩.....7
海砂は植物の栽培に有効なのか	三宅百慧子.....10
アマ藻塩づくり	大倉啓暉 祇園宗兵.....12
海のお掃除ロボット ～愛しき機械に旅させよ～	西林駿佑 王イン磁.....15
魚の個体差を利用した電気刺激に対する反応 ～在来種を守る～	中山育美 黒原麻央 岩本磨耶.....18
海の白鷺	武田優大 行正風斗.....20
海の波の伝播	田中朝輝 植村文哉.....22
身近な地球温暖化防止	谷口芳基.....25
リブレット構造を用いた風力発電に関する研究	大平留愛.....27
岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース 11 期生 海洋研究30

海洋研究紀要 2021

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

入澤佳苗^{†1} 木村文香^{†1}

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。植物名としては日本一長い、『リュウグウノオトヒメノモトユイノキリハズシ』という別名を持つ。北半球の温帯から亜寒帯にかけて広範囲に分布する凡世界種で、日本では、北海道から九州南部の沿岸砂泥に生育する。アマモは沿岸部に密生し、アマモ場を形成する。アマモ場は『海のゆりかご』と呼ばれ、魚介類の餌場・産卵場・隠れ家として大きな役割を果たしている。また、富栄養化の原因である窒素やリンの吸収や、アマモの流れ藻による海洋プラスチックの捕獲^[1]など、水質浄化の面でも重要な役割を果たしている。さらに、ブルーカーボンとして光合成を行い CO₂を吸収する。ゆえに、CO₂のゼロエミッション化や脱炭素社会の実現に貢献している。岡山県備前市日生町が面する瀬戸内海には1950年代までアマモ場が広がっていた。しかし、流入河川の水質悪化による海水透明度の低下や、アマモ乱獲のため、アマモ場面積は急激に減少した。漁獲量の減少の原因がアマモ場減少にあると考えた日生町漁師の方々は、35年前からアマモ場再生活動を行っている。2020年、再生活動に参加した際、子葉のままであった苗と本葉展開した苗が半々の割合で出現したことに疑問を持った。より効率的にアマモ場を再生する方法を模索し、お世話になった日生町の漁師の方々に貢献したいと考えた。本研究はアマモ種子を効率的に発芽させる要因を明らかにし、人工環境下でアマモの種子の発芽管理を目指す。ここでは主に2つの段階に注目して研究を行った。1つ目は発芽の前段階として、人工環境下での種子の成熟、成熟種子の選別方法について検討した。本研究では、日生町でのアマモ場再生活動を参考に行った。海中に浮遊している流れ藻を回収し、海水を循環させている水槽内で種子を成熟させた。1ヶ月後、流れ藻についていた種子のほとんどが黒変し、水槽の底に沈下した。流れ藻についたままの種子を未成熟種子、水槽の底に沈下した種子を成熟種子とした。比重を調べたところ、未成熟種子は175psuで浮上したが、成熟種子は175psuで沈下したままであった。175psuで選別した種子を用いて実生ポットを作成したところ、3週間で発芽した。このことから、人工環境下でも種子の成熟が可能であり、成熟種子の選別には175psuの海水が最適であると明らかになった。2つ目は発芽促進について、塩分、リン濃度、底質、温度について検討した。実生ポット作成に使用する海水の条件を変えることで、発芽に最適な要因を調査した。その結果、2psuの塩分、3ppbのリンが最適であると明らかになった。これらの研究結果より、次のことが考えられる。アマモの流れ藻は海上に浮遊していることと、種子が成熟すると水槽の底に沈んだことから、アマモの流れ藻には種子散布能力がある可能性がある。アマモ種子の発芽には、海水より薄い塩分と、海水と同濃度のリンが最適である。高リン濃度下でも発芽可能であったため、ある程度の塩分があれば、アマモの富栄養化抑制効果を活かすこともできる。

1. 研究背景

本校医進サイエンスコースでは、2017年から継続的にアマモ場の再生活動(図1)に取り組んでいる。この再生活動には約8か月かかる。2020年10月下旬、海水による比重で選別した種を使用し、海水や光環境を統一した条件下でアマモ実生ポットを育成した(n=28)。青葉を展開したポットと、青葉を展開しなかったポット(発芽しなかったポットを含む)が半々の割合で存在したことに衝撃を受けた(図2・図3)。そのため、アマモ実生の生育管理を可能にし、アマモ場再生をより効率的に行いたいと考えた。本研究はアマモ場再生活動で疑問に感じたことを解明し、かつ、豊かな海を次の世代へ繋げるための研究である。アマモ場再生の効率化により、アマモ場が海に及ぼす効果も促進できる。また、海のゆりかごとして海中生物多様性向上、栄養塩の吸収・海洋プラスチックの捕集による水質浄化、光合成によるCO₂吸収の働きやのブルーカーボンの増幅も期待できる。



図1 アマモ場再生活動



図2 子葉のままのポット 図3 本葉展開したポット

2. 研究目的

アマモ種子を効率的に発芽させる要因を明らかにし、人工環境下でアマモの種子の発芽管理を目指す。ここでは主に2つの段階に注目して研究を行った。1つ目は発芽の前

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

段階として、人工環境下での種子の成熟法、成熟種子の選別方法を明らかにする。2 つ目は発芽促進について、発芽に最適な環境要因を明らかにする。

3. 材料と方法

3.1 材料

岡山県備前市日生町の面する瀬戸内海に群生しているアマモを用いた。発芽の前段階の研究では、2021年6月1日に回収した海面に浮上していたアマモの流れ藻を使用した(図4)。発芽促進の研究では、2021年9月24日に日生町でのアマモ場再生活動で選別した種子を用いた。種子は海水の入ったビーカーに入れ、4℃の冷蔵庫で保存した(図5)。ビーカー内の海水は1週間ごとに交換した。



図4 アマモの流れ藻



図5 種子保存用冷温器

3.2 アマモ実生ポット作成方法

ポットを作成する前に、アマモ種子を殺菌した。アマモ種子を0.6%次亜塩素酸ナトリウム水溶液に5分浸け、水で洗い流した。紙製のポットに砂を入れ、水中に沈めて空気を抜いた^[2]。各ポットに5個ずつ、2cm程の深さに種子を植えた。プラスチックのボトルに海水を入れ、種子を植えた紙製のポットを入れた(図6)。



図6 : 実生ポット

4. 人工環境下での種子の成熟

人工環境下での種子の成熟が可能であるか検証した。

4.1 方法

2021年6月1日、備前市日生町の海上に浮遊しているアマモの流れ藻を回収した(図7)。アマモ種子がついている葉先の部分をアマモ種子が通過可能な網目のネットに入れた(図8)。水槽を海水で満たし、ウォーターポンプを用いて水を循環させた。この水槽内に流れ藻を入れたネットを入れ、放置した(図9)。2021年6月29日、未成熟種と成熟種子、それぞれを用いた実生ポットを作成した。



図7 流れ藻回収



図8 ネットに入れた流れ藻



図9 水槽での人工種子成熟実験

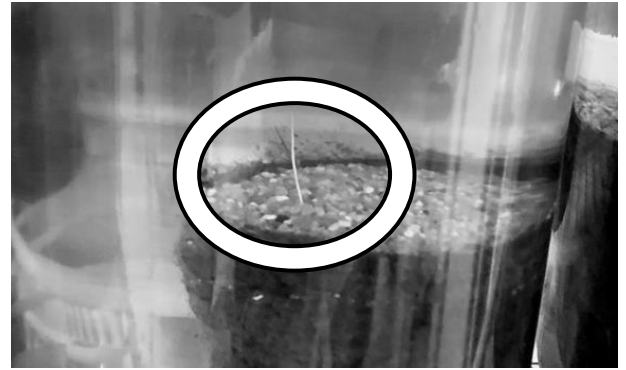


図12 発芽した実生ポット

4.2 結果

成熟を開始させてから1日目、十数個の種子が水槽の底に沈下していた(図10)。成熟開始から1ヶ月後、流れ藻についていた種子のほとんどが水槽の底に沈下していた(図11)。沈下した種子は黒変していた。種子の外れた流れ藻は腐敗していた。以下、流れ藻についた状態の黄緑色の種子を未成熟種子、流れ藻から外れ沈下した黒変種子を成熟種子とする。作成した実生ポットを室温で生育すると、1週間後、半数のポットが腐敗していた。20℃^[3]のインキュベーターに移動し生育したところ、実生ポット作成から三週間後、成熟種子を用いた実生ポットのみ発芽が確認できた(図12)。未成熟種子を用いた実生ポットは、発芽が確認できなかった。

4.3 考察

日生町でのアマモ場再生活動(以下再生活動とする)では、種子成熟に4ヶ月間かけているが、人工環境下では1ヶ月で成熟可能であると分かった。アマモ種子が成熟すると流れ藻から外れ水槽の底に沈下したことで、流れ藻は海上に浮遊していることから、アマモの流れ藻には種子散布能力があると考えられる。成熟種子を用いた実生ポットが発芽したことから、人工環境下でも種子の成熟が可能である。再生活動では流れ藻回収から発芽までに6か月かかるが、人工環境下で種子の成熟・発芽を管理することにより、6週間で発芽可能である。2020年11月に作成した実生ポットと同じ砂・海水を用いたのにも関わらず腐敗したため、腐敗の原因は温度管理にあると考えられる。

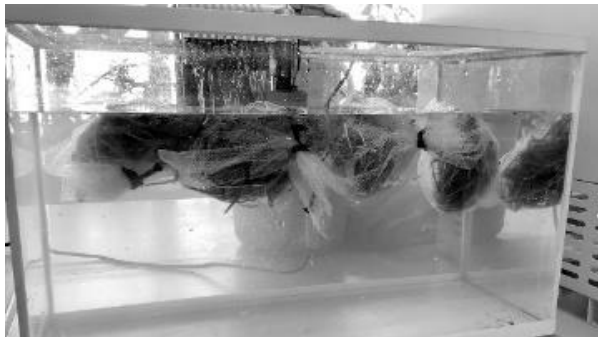


図10：成熟1日目



図11 成熟1ヶ月目

5. 成熟種子の選別方法

成熟種子と未成熟種子の比重を比較し、成熟種子のみを選別する方法を調べる。

5.1 方法

様々な塩分の塩水を用意し、各塩分の塩水の中に成熟種子と未成熟種子を入れ、種の浮き沈みを調査した。

5.2 結果

海水と同濃度である35psuでは、どちらの種子も沈下した。175psuでは成熟種子のみが沈下し、未成熟種子は浮上した(表1)。

表1 成熟度の違いによる比重の差

	色	35psu	175psu
未成熟種子	黄緑色	沈下	浮上
成熟種子 (水槽に沈下)	茶色	沈下	沈下

5.3 考察

成熟種子の選別には 175psu が最適であると考えられる。再生活動では海水を用いて種子の選別を行っている。この結果から海水の塩分では成熟種子のみを選別できないことが明らかとなったため、再生活動での選別方法は成熟種子のみを選別できない可能性がある。

6. 塩分と発芽率の関係

アマモ種子の発芽に適した塩分を調べる。発芽率とは各条件の中で、計測時に発芽している全個体の数を各条件の n で割ったものとする。

6.1 方法

保存していた成熟種子を 175psu の海水で選別した。実生ポットに用いる海水には食塩による疑似海水を用いた。まず、高濃度・海水と同濃度 (35psu) ・低濃度の 3 つの大きな条件で実験した。その結果、海水よりも低濃度で発芽率が高かった。そのため、より条件を細かくして実験を行った。0psu ・ 5psu ・ 10psu ・ 15psu ・ 20psu ・ 25psu ・ 30psu の 7 つの条件を設定した。各条件 n=10 で実験を行い、20℃ のインキュベーター内で生育した (図 1 3)。



図 1 3 インキュベーターでの生育実験

6.2 結果

2 週間以内で発芽を確認できた。20psu では 40% の発芽率が得られた。0psu では発芽が確認できず、腐敗した (表 2)。

6.3 考察

20psu で最も発芽率が高かったため、海水より薄い塩分が発芽に適していると明らかとなった。日生町鹿久居島米子湾のアマモ場群生がある海水は、平均的な海水の塩分 35psu よりも低濃度の 29psu である。そのため、陸域から淡水が流入して塩分が低くなる沿岸部にアマモが適応していることが考えられる。0psu では発芽が確認できなかったため、アマモは淡水での生育に適さない。

表 2 塩分と発芽率

海水濃度	11/29(11日目)	11/30(12日目)	12/3(15日目)
30psu	10%	10%	10%
25psu	10%	20%	20%
20psu	40%	40%	40%
15psu	0%	10%	10%
10psu	10%	20%	20%
5psu	10%	10%	10%
0psu	0%	0%	0%

7. リン濃度と発芽率の関係

アマモ種子の発芽に適したリン濃度を調べる。

7.1 方法

保存していた成熟種子を 175psu の海水で選別した。実生ポットに用いる海水には食塩による疑似海水を用いた。実験 6.1 で 20psu が発芽を促進することが明らかとなったため、ポット内の塩分は 20psu に設定した。リン濃度は 0ppb ・ 1.5ppb ・ 3ppb ・ 6ppb ・ 9ppb ・ 12ppb の 6 つの条件を設定した。各条件 n=10 で実験を行い、20℃ のインキュベーター内で生育した。

7.2 結果

0ppb ・ 1.5ppb ・ 3ppb ・ 6ppb では発芽にかかる期間が短かった。生育開始から 2 週間後の発芽率は 3ppb ・ 9ppb が最も高かった。発芽にかかる期間と発芽率より、3ppb が種子の生育に最適であるといえる。また、高リン濃度下でも生育可能である (表 3)。

表 3 リン濃度と発芽率

リン濃度	12/17(4日目)	12/21(8日目)	12/23(10日目)
0ppb	10%	30%	30%
1.5ppb	20%	30%	30%
3ppb	10%	30%	40%
6ppb	10%	10%	10%
9ppb	0%	30%	40%
12ppb	0%	20%	30%

7.3 考察

0~6ppb のポットが発芽にかかる期間が短かったため、高濃度になるほど発芽にかかる期間が長くなると考えられる。生育開始から 2 週間後の発芽率は、各濃度において差異がほとんどない。そのため、リン濃度を変えることより最終的な発芽率を管理することは難しい。よって、リン濃度の操作では発芽率の管理は困難であるが、発芽にかかる期間を管理することは可能であると考えられる。3ppb は海中のリン濃度の平均値である。日生町のアマモ場群生がある海水は、55ppb と平均よりも高い。ゆえに、富栄養化状態の海水でもアマモは生育可能であることが示唆される。

8. 結論

再生活動を参考にした人工環境下では、1ヶ月で種子を成熟させることが可能である。アマモの流れ藻についた状態の未成熟種子は黄緑色である。流れ藻から外れ沈下した成熟種子は黒変した。成熟種子の選別には175psuの海水を用い、沈下したものが成熟種子である。再生活動では種子成熟から発芽まで6か月かかる。人工環境下で種子成熟・発芽を管理することにより、6週間に短縮することができる。種子の発芽には、海水より薄い20psu、海水と同濃度の3ppbのリンが適している。低濃度のリンは発芽にかかる期間を高めることが可能である。高濃度のリンでも発芽可能であるため、塩分がある富栄養化の水場では、アマモ場の働きを利用した水質浄化が可能である。また、成熟開始から230日経過した種子は発芽ができなくなる。

9. 展望

種子の発芽促進条件について、水温・D0・底質などの視点から調査する。本葉展開の促進条件を解明し、発芽促進条件と併せ、より効率的なアマモ場再生活動を模索する。また、種子の保存方法を確立し、より長期的な保存と保存中の種子発芽抑制を可能にする。

10. 参考文献

[1] Sanchez-Vidal, A., Canals, M., de Haan, W.P. et al. (2021)

Seagrasses provide a novel ecosystem service by trapping marine plastics.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-79370-3>

[2] 林 知崇 (2011)

アマモ種子の発芽及び初期生長過程に伴うエネルギー利用に関する研究
https://mie-u.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=10504&file_id=17&file_no=1

[3] 山本 克則, 小河 久朗, 吉川 東水, 難波 信由 (2006)

アマモ種子における塩分および温度制御による発芽促進効果
<https://doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.54.347>

11. 謝辞

本研究の遂行にあたり、終始多大なご指導を賜った、岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース柳雅之教諭、多数の資料をご提供頂いたNPO法人里海づくり研究会事務局長田中丈裕先生に深く感謝致します。株式会社リバネス、公益財団法人日本財団、公益財団法人おかやま環境ネット

ワークには、貴重なご助言、ご支援をいただきました。また、アマモ場再生活動に参加させていただいた日生町漁協の皆様、備前市立日生中学校の皆様にも感謝申し上げます。

12. 受賞

本研究は2021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、中四国ブロック大会で優秀賞を得て、2022年3月の全国大会で発表予定である。

また、北海道大学主催海の宝アカデミックコンテストでは近畿・中国ブロック大会奨励賞を受賞した。

これらの研究成果は2022年1月、青森で開催された全国アマモサミットにおいても発表の機会を得た。

ウミニナの生態について

津原拓己^{†1} 石田大和^{†1} 和田磨歩^{†1}

ウミニナは、干潟の泥砂上に生息している巻き貝の一種であり、主に微生物の死骸を栄養源としている。太平洋沿岸を中心に分布しており、現在では準絶滅危惧種とされている。海洋研究を通して干潟との関わりを深めていく上で、ウミニナが干潟に及ぼす影響について疑問を持った。私たちは、富栄養化が進んだ都市部の干潟で起こる藻類の大量発生という問題に対して、ウミニナは微生物の死骸以外に藻類を食べているのではないかと仮説をたてた。干潟環境再現のために自動干満装置を製作し、ウミニナの水槽飼育を行った。餌とされる藻類を3種類用意し、それぞれ着色を施した状態で与えた。20日間の観察を通して、特定の藻類だけがよく摂取されていることが分かった。さらに、ウミニナの解剖観察では、着色した藻類の一部が中腸部にみられた。これらの結果から、ウミニナは干潟において物質循環の役割を担っていると考えられる。

1. はじめに

干潟減少と共にウミニナの個体数は、減少の一途をたどっている。さらに、都市部の干潟では公共用水域への汚濁負荷物質の流入が増え、富栄養化が進んでいる。その結果、藻類の大量発生が生じ、生態系のバランスが崩れる。東邦大学理学部によって、アオサにウミニナが群がる様子が報告されている^[1]。ウミニナは主にデトリタス（微生物の死骸）を摂取しているとされているが、干潟に打ち上げられた藻類も栄養源としている可能性が高いと考えた。ウミニナが実際に藻類を摂食するか検証することで、ウミニナが干潟に及ぼす影響について評価する。

2. 研究目的

自作の水槽内干満装置でウミニナを一定期間飼育する。餌として3種類の藻類を与え、減少量を観察する。また、餌には事前に着色を施し、観察終了後、ウミニナの解剖を行って、餌を摂取した痕跡を調べる。

3. 材料と方法

3.1 材料

水槽（60cm×35cm×30cm）2つ、タイマー2つ、ポンプ2つ、水中ポンプ 25W Zeiger 吐出量 1500 L/h、ホース2本、ビニールテープ、輪ゴム、餌（ワカメ、アオサ、コンブ）、着色料（赤、緑、黄）、ウミニナ 20匹を用いた。ウミニナは岡山県備前市日生町の鹿久居島米子湾にて採集した。

3.2 実験装置製作

潮の満ち引きシステムの組み立て方^[2]。

- (1) 二つの水槽を横に並べる。一方の水槽に米子湾で取ってきた土砂で斜面を作る。斜面の途中に、着色を施した餌（ワカメ、アオサ、コンブ）を並べる。また、土砂を入れた水槽は主要な実験装置（A槽）とし、もう片方は予備の海水を保存するもの（B槽）とする。斜面の形を保つために、海水を斜面の高さの1/3のところまでゆっくり注ぎ込む。もう片方の水槽には、高さの2/5まで海水を注入する。
- (2) ポンプにホースをつなげ、ストッキングでポンプ本体を包む。ポンプの吸盤をそれぞれA、B槽の水面より下の水槽内部側面の壁に固定する。ホースの先を他方の水槽に入れる。両槽のホースの先に、ビニールテープを巻く。針でホースに穴をあけ、干満時の海水の移動量を調節する。
- (3) ポンプを起動させて、A槽に水が1/3から2/3まで上がるのに要する時間と、2/3から1/3まで下がる時間をそれぞれ測定する。
- (4) ポンプの電源をタイマーに接続し、毎日A→B（潮満ち・満潮）を午前8時、B→A（潮引き・干潮）を午後5時に設定した。

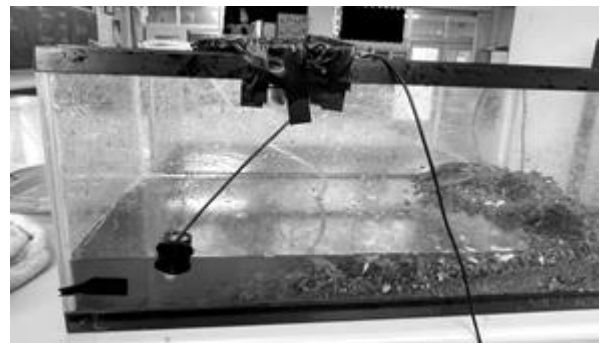


図1 満潮時の水槽

^{†1} Okayama Gakugeikan High school



図2 干潮時の水槽

4. 干満の有無による移動行動への影響

4.1 方法

ウミニナ 20 匹を水槽の斜面下（海水中）に放し、4 日間観察を行った。干満装置作動の有無で、餌の周りに群がるウミニナの個体数に違いが生じるのか調べた。

4.2 結果

4 日間の観察を通して、干満装置（有）11 匹、干満装置（無）6 匹のウミニナが餌の付近に移動していることを確認した。ゆえに、干潟の環境を再現することは、ウミニナの生態を観察する上で有用であるといえる。

5. ウミニナ食性の観察

5.1 方法

斜面の途中に餌（ワカメ【緑に着色】、アオサ【赤に着色】、コンブ【黄に着色】）を置き、観察期間を 20 日間（2021 年 7 月 27 日～8 月 17 日）とする。着色を行った理由としては、観察後にウミニナの解剖を行い実際にどの餌を多く食べるのか確かめるためである。毎日 A→B（潮満ち・満潮）を午前 8 時、B→A（潮引き・干潮）を午後 5 時と設定し、観察を行う。



図3 7月27日の様子

5.2 結果

20 日間の観察を終え、餌の残量を調べた。ワカメはきれ

いになっており、アオサは半分程度しかなくなっていなかった。コンブに関しては全く変化がないことが確認された。

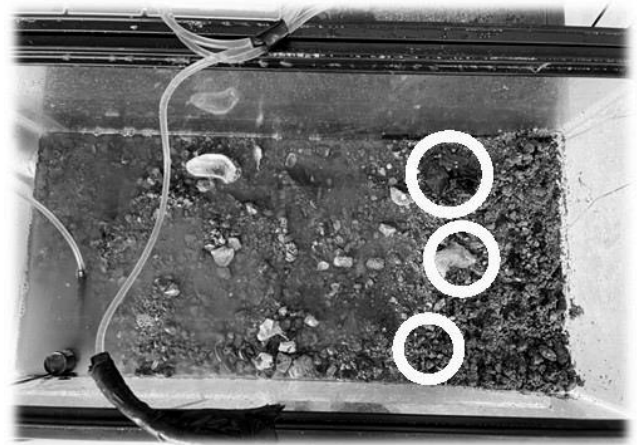


図4 8月17日の様子

6. ウミニナの解剖

6.1 方法

20 匹のうち無作為に選んだ 10 匹を被検体とする。沸騰した鍋の中にウミニナを入れて 5 分間煮沸し、本体を取り出しやすくした。貝殻の先端をハンマーで砕き、軟体部にまち針を刺してウミニナ本体を取り出した。

6.2 結果

10 匹のうち 4 匹のウミニナの中腹管部が薄い緑色に染まっていた。これは染色したワカメだと考えられる。



図5 解剖（○印内が変色）

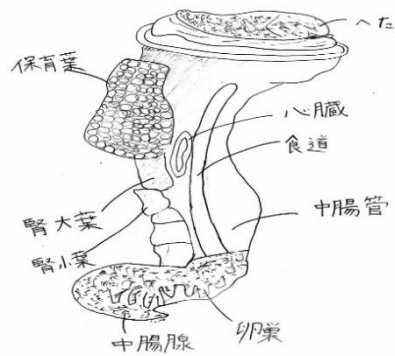


図6 解剖スケッチ

7. 結論

ウミニナは干潟に打ち上げられた藻類を食べることが分かった。都市部の干潟では富栄養化の影響により、アオサなどの藻類が大量発生し、生態系のバランスを崩すことがある。つまり、ウミニナは干潟に打ち上げられた藻類を食べることで干潟の物質循環に貢献していると考えられる。

8. 参考文献

- [1] 東邦大学理学部東京湾生態系研究センター
谷津干潟の報告

<http://marine1.bio.sci.toho-u.ac.jp/tokyobay/topics/yatsul.html>

- [2] 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

劉 美辰 岡田 翔伍 森末 雄大 細川 美月 阿 木爾

9. 謝辞

本研究にあたってご指導賜った岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース柳雅之教諭，ならびに研究を支えてくださった多くの先生方に深く御礼申し上げます。柳先生には，研究テーマが決定してから論文完成に至るまで本当にお世話になりました。この研究および論文が無事に修了しましたこと，改めて感謝申し上げます。

10. 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。

海砂は植物の栽培に有効なのか

三宅百慧子^{†1}

トレードオフとは、一方を追求すれば、他方を犠牲にせざるを得ない状態や関係が付きまとうという意味の言葉である。値段と質の関係など、様々なところで成立している。仮説として、海砂の割合が高ければ雑草駆除力があり花の成長するメリットがなく、低ければ雑草駆除力がなく花の成長するメリットがあるというトレードオフが成立すると考えた。さらに、トレードオフの成立により、雑草駆除力と花の成長するメリットが最大の土ができることも予想される。検証のために、海砂と土の割合をそれぞれ変え、コスモスの種と雑草であるメヒシバの苗を栽培した。コスモスの発芽個数、発芽日数と、メヒシバが枯死するかどうかを観察した。その結果、雑草駆除力がなく花の成長するメリットがあるものと、さらに花の成長するメリットすらないものができた。よって、トレードオフは成立しない。これは、海砂に残る塩で花の成長するメリットがなくなり、雑草駆除力も得られないためだと考えられる。

1. はじめに

トレードオフとは、一方を追求すれば他方を犠牲にせざるを得ない状態や関係が付きまとうという意味の言葉である。値段と質の関係にトレードオフは成立している。値段を追及して質を犠牲にする場合、値段が安くなるほど質は下がる。反対に、値段を犠牲にして質を追求する場合、値段が高くなるほど質は上がる（図1）。

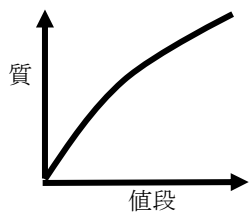


図1 トレードオフ

トレードオフの関係が海砂の割合と雑草駆除力・花の成長するメリットに成立していると考えた（図2・3）。海砂の割合が高いほど雑草駆除力は高くなるが、花の成長するメリットは低くなる。反対に、海砂の割合が低いほど雑草駆除力は低くなるが、花の成長するメリットは高くなる。さらに、トレードオフの成立により、雑草駆除力と花の成長するメリットが最大の土ができることも予想される（図4）。

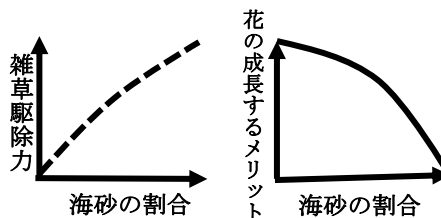


図2・3 海砂の割合と雑草駆除力・花の成長のメリットのトレードオフの関係

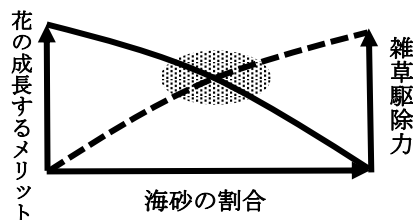


図4 雑草駆除力と花の成長するメリットが最大

2. 研究目的

海砂の割合と雑草駆除力・花の成長するメリットにトレードオフが成立するのかを調べる。成立する場合、雑草駆除力と花の成長するメリットが最大になる土を見つける。

3. 実験材料

コスモスの種とメヒシバの苗を用いた。これらを植える培養土として海砂：土の割合を0：10～10：0と変えた。土はバークたい肥3割，赤玉土7割とした。

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

4. 実験

4.1 目的

海砂の割合と雑草駆除力・花の成長するメリットにトレードオフが成立するのかを調べる。

4.2 方法

コスモスの種とメヒシバの苗を植え、雑草駆除力を調べるためにメヒシバの苗が枯死するかどうかを観察し、花の成長のメリットを調べるためにコスモスの種の発芽個数と発芽日数を記録した。水やりで塩が抜けるのを防ぐために受け皿を用いた(図5)。受け皿の塩分は、水やり時に再び培養土に戻した。



図5 実験の様子

4.3 結果

海砂の割合が8割以下では雑草駆除力がなく花の成長するメリットがあるもの、9割以上では雑草駆除力がなく花の成長するメリットすらないものがあった(表1)。

表1 海砂と土の割合によるトレードオフ検証結果

海砂：土	発芽個数	発芽日数	雑草
0：10	3	2日	枯死せず
1：9	2	2日	枯死せず
2：8	2	2日	枯死せず
3：7	1	3日	枯死せず
4：6	1	3日	枯死せず
5：5	1	3日	枯死せず
6：4	1	3日	枯死せず
7：3	3	3日	枯死せず
8：2	1	3日	枯死せず
9：1	0		枯死せず
10：0	0		枯死せず

4.4 考察

海砂の割合と雑草駆除力・花の成長するメリットにはトレードオフは成立しない。雑草駆除力は海砂のどの割合においても見られなかった。花の成長するメリットにトレードオフは成立しない(図6)。しかし、海砂の割合によっては発芽しないことから、雑草駆除力よりも海砂の塩の影響

を受けやすいと考えられる。



図6 トレードオフ不成立

5. 結論

海砂の割合と雑草駆除力・花の成長するメリットにはトレードオフは成立しない。しかし、花や雑草の種類によって海砂に残る塩の影響は変わってくる。トレードオフが成立せずとも花は咲き、雑草を最小限に抑えた土ができる可能性も考えられる。

6. 参考文献

科学オリンピックへの道 チャレンジ(生物編)
森長真一 2021年

<https://www.pref.okayama.jp/uploaded/attachment/288717.pdf>

7. 謝辞

本研究にあたり、指導して下さった岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース柳雅之教諭に深く御礼申し上げます。

アマ藻塩づくり

大倉啓暉^{†1} 祇園宗兵^{†1}

岡山県備前市日生町で35年間行われているアマモ場再生活動によって、アマモ場が回復してきた。だが、漁師の人たちにとって、海に浮いているアマモ流れ藻は船のスクリューに巻き付き、漁の邪魔になってしまう。ジャマ藻とも呼ばれる流れ藻を活用できないかと考え、藻塩に着目した。藻塩とは海藻を用いて作られた、昔ながらの製塩技術で作られた塩のことである。一般的にはホンダワラ類などの海藻が用いられているが、海草であるアマモを用いて藻塩を作成した。藻塩作りに必要な土器を自作し、昔ながらの塩作りを再現した。必要な材料・道具として、アマモ、土器、かん水が挙げられる。数日に渡ってアマモに海水をかける。さらに、アマモを燃やして灰にした後、海水に混ぜてかん水を作った。かん水を土器に入れ、火にかけて、水を蒸発させることで藻塩が出来上がった。

1. 研究提起

岡山学芸館高等学校医進サイエンスコースでは、課題研究活動のカリキュラムの一環として海洋学習に取り組んでいる。フィールドワークとして里海の聖地備前市日生町でアマモ場再生活動に参加している。活動に参加した際、船のスクリューに絡まり漁の邪魔になってしまう流れ藻がジャマ藻と呼ばれていることを知った。再生活動の成果としてアマモ場が増えた。それに伴って増加した流れ藻は漁師の生業に支障をきたす。流れ藻を有効活用する手段を検討し、藻塩に着目した。藻塩とは、本来ホンダワラ類の海藻を用いて作られる塩で、茶色がかった^[1]。藻塩はアマモでも作ることができるのか、また、どの程度の量の塩を作ることができるのか、疑問を持ち、アマ藻塩作りを始めた。

2. 作成方法および材料

岡山県備前市日生町鹿久居島の干潟で、潮が引いている時間帯に流れ藻を回収した。持ち帰った後、アマモに付いた泥を落とすために水で洗い、天日干しをした。十分に乾いたアマモに海水をかけては乾かす作業を繰り返した。

晴天時は、海水をかけて30～40分干し、曇天時は、1時間干した。これらの作業を4日かけて22回繰り返した。この作業を行う理由は、アマモにできるだけ塩の結晶をつけ、多くの藻塩を作れるようにするためである。



図1 アマモに海水をかける

次に塩の結晶をつけたアマモを燃やす作業を行った。目的は、アマモを燃やしてとれる灰を海水に混ぜてかん水と呼ばれる塩分濃度が高い海水を作るためである。アマモに火をつけようとしたが、なぜか火がつかない。海草自体が難燃性物質であり、さらに、アマモに付着している塩も燃える物質ではない^[2]。よって、アマモのみでは燃えなかったのだと考えられる。助燃剤として割り箸に火をつけて、その火にアマモを近づけると、割り箸は火を保ったままアマモを灰にしていった。



図2 アマモに塩の結晶がついた様子

^{†1} Okayama Gakugeikan High school



図3 割り箸を着火剤としてアマモを燃やす



図4 灰になったアマモ

出来上がった灰を海水に混ぜ、一日置いて灰を沈殿させたものの上澄みがかん水である。



図5 灰を混ぜたばかりの海水（左）と
灰が沈殿した海水（右）

出来上がったかん水を自作の土器に入れ、火にかけて水分を蒸発させることで藻塩を得た。土器を用いたのは、昔ながらの塩作りを再現するためである。

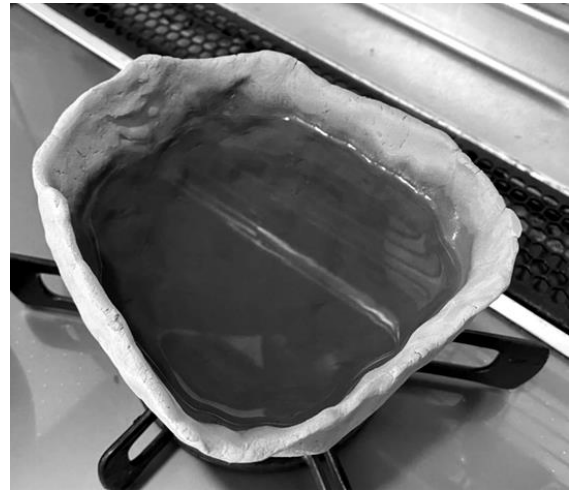


図6 土器に海水を入れた様子

3. 結果

8Lの海水から152gの藻塩を得ることができた。海水の塩分濃度は3%なので、塩の回収率は約63%と高くはない。だが、ジャマ藻と呼ばれる流れ藻を使って、藻塩を作ることができたのは新たな発見だった。アマ藻塩を作れるようになれば、漁の邪魔な流れ藻を軽減できるかもしれない。できたアマ藻塩を使って作った塩むすびは美味であった。



図7 アマ藻塩

4. 参考文献

[1] 藻塩とは：藻塩の会
<https://www.moshionokai.jp/moshio/>

[2] 「藻塩焼き」の科学(2) 村上正祥 1991
日本海水学会誌 第45号 第2巻 p111-p113

https://www.jstage.jst.go.jp/article/swsj1965/45/2/45_111/_pdf



図8 アマ藻塩むすびを食す

5. 謝辞

本活動にあたって土器づくりを指導してくださった岡山学芸館高等学校森雄次郎氏，研究を指導してくださった医進サイエンスコース柳雅之教諭に深く御礼を申し上げます。また，アマモ場再生活動に参加させていただいた日生町漁協の皆様にも厚く御礼申し上げます。

6. 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・中国ブロック大会優秀賞を受賞した。また，研究成果は2022年1月，青森で開催された全国アマモサミットにおいて発表の機会を得た。

海のお掃除ロボット ～愛しき機械に旅させよ～

西林駿佑^{†1} 王イン磁^{†1}

近年、世界で深刻化しつつある海洋ゴミ問題を解決するため、海洋ゴミ回収機の開発を目指した。沖合でも自立できる回収機を製作することで、広範囲での海洋ゴミ削減に貢献できる。回収機の原型にはポリバケツ（直径 45 cm、高さ 50 cm）を用いた。回収原理は、回収機縁部分のスライドシャッター開閉による。海洋ゴミを効率的に回収するために、開閉部に直線運動を円滑にする部品、LM ガイドを取り付けた。そして、製作した回収機を用いた実験を浴槽で行った。結果として、浴槽内では概ね回収機の自立、ゴミの回収は達成された。しかし、実際の海では、波の影響も考慮する必要がある。従って、回収機の大まかな構造は完成したが、実用化に向けての課題は残されている。

1. 開発動機

私たちの通う岡山学芸館高等学校医進サイエンスコースは、課題研究授業の一環として海洋学習に取り組んでいる。フィールドワークで干潟に打ち上げられたペットボトルなどの海洋ゴミを見て、世界の海洋ゴミ問題について関心を持った。

現在、海には1年で約800万tのゴミが流出し、2050年には海洋中のプラスチックゴミの重量が魚の重量を超えるという環境省の試算もある^[1]。海洋ゴミによる影響は海洋汚染にとどまらず、海洋生物の命を危険に晒し、周辺地域に住む人々の生活、人間自体の健康被害に影響する。環境汚染を止めるためにも海洋ゴミ問題を解決する必要性があり、海洋ゴミ回収機の製作に至った。

開発では、すでにオーストラリアで開発されたシービン^[2]を参考にした。シービンとは、海洋ゴミを回収するゴミ箱型の回収機である。主に表層油、メソプラスチック（5mm～5cm）、海面上の浮遊ゴミを回収することが可能である。シービンはコンセントにつながれて電気を送り稼働し、栈橋や岸壁に固定し使用されている。ゆえに、沖合でも使用できるように、自立型の海洋ゴミ回収機の開発を目指した。また、開発を進めていく上で、回収機の自立、ゴミの回収、回収部分の自動化、再生エネルギーの活用、の4つを目標に掲げた。

2. 回収機製作

ポリバケツ（直径 45 cm、高さ 50 cm）を原型として製作にあたった。図1より回収機の縁部分にはプラスチックのこぎりを用いて、海水とゴミが入ってくるよう四角形に加工した。縁部分に直線運動を円滑に行う部品である LM ガイドを取り付けた。LM ガイドとは、リニアモーションガイドの略であり、株式会社 THK の開発商品である。問題点として、LM ガイドを回収機に対して平行に取り付けようとすると LM ガイドが傾いてしまうことが分かった。解決策として、回収機と LM ガイドの間にボルトとナットを挟むことで高さを微調整した。次に、プラスチックの板を四角形に加工し、ボルトとナットを用いて LM ガイドに取り付けた（この部品をスライドシャッターと呼ぶ）。さらに、スライドシャッターと回収機の隙間をセメダインで埋めた。これは、隙間から水の流入を防ぐためである。

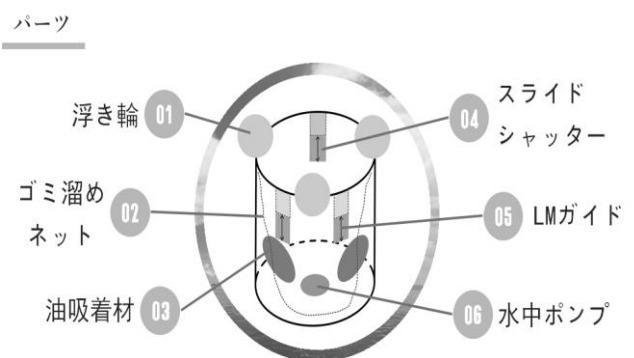


図1 回収機デザイン

また、海洋ゴミを回収するためのゴミネットと油を回収するための油吸着材を洗濯ネットに包んだ。そして、ボルトとナットで回収機内部に取り付けた。

水中ポンプの取り付けでは、池などの水を排出する際に使われる水中ポンプを用いた。水中ポンプ装着のために、

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

回収機底部に直径7cmの穴をあけた。水中ポンプに市販のゴムを巻き付けることで、水中ポンプ自身に厚さをつくり、空けた穴に密着させて取り付けた。次に、開けた穴の周りをセメダインで固めた。水中ポンプは家具を固定するL字型の金具で回収機と結合させることで強度を高めた。回収機が波の影響のある海で使用されることを想定している。そのため、沈まないように海で実際に使われている浮き(ブイ)を取り付けた。水中ポンプを稼働させる際に、導線の長さが短かったため、スイッチ電源や片側切り落としケーブルを用いて使用範囲を広げた。

3. 回収原理

自立するための海水が回収機内に一定量あるものとする。次に、図1の回収機縁部分にあるスライドシャッターが開く。入水する水の勢いによって、海水と同時に海洋ゴミを取り込む。取り込んだ水の量とゴミの量が一定量に達するとスライドシャッターが閉じる。その後、回収機内の底部に取り付けた水中ポンプで海水のみを排出し、海洋ゴミは回収機本体のネットで回収される。表層油は、油吸着材で回収される。以上の動作を繰り返し行うことで、海洋ゴミの回収を行う。

4. 稼働実験

本来、実験は海で行う予定であった。しかし、水中ポンプを稼働させる際、導線などを用いる。そのため、漏電の可能性があり、実験を浴槽内へと変更した。



図2 自作回収装置稼働実験

回収機が浴槽内で自立するか実験を行った。浴槽内には回収機の高さより高い位置まで水を張った。これは回収機の底部が浴槽につかないようにするためである。実際に浮かべてみると、回収機自体にかなりの浮力が働いた。その結果、縁部分まで回収機が沈まないことが分かった。解決

策として、重りを取り付けることで位置を調整した。5kgの重り(ダンベル)を2つ用意し、回収機の両サイドから紐で垂らした。

次に、海洋ゴミの回収実験を行った(図2)。用いた海洋ゴミは、新聞紙、油、ビニールである。

スライドシャッターを開き海洋ゴミを回収しようとする時、回収機内の縁まで水が入っていた。そのため、スライドシャッターを開いても海水とゴミが回収できないことが判明した。原因として、円形のポリバケツを用いて回収機を作成したため、隙間が多数存在したことが考えられる。しかし、実験の目的は、海洋ゴミを回収できるかを確認することである。よって、本来であればスライドシャッター3ヶ所で行う予定だったが、1ヶ所に絞って行うことにした。結果として、新聞紙と油は回収することができた。しかし、ビニールは回収することができなかった。

5. 考察

1つ目の目標である、回収機の自立は概ね達成することができた。しかし、実験は海ではなく浴槽内で行った。次回の実験では、海で発生する波の影響を考慮する必要がある。

2つ目の目標であるゴミの回収では、実験ではビニールのみ回収することができなかった。理由としては、水中ポンプの水排出量が十分でなかったため、回収機内に入ってくる水の勢いも弱かったことが考えられる。



図3 アクチュエータの装着

残り2つの目標である、回収部分の自動化、再生エネルギーの活用に関しては達成することができなかった。開発当初、ソーラーパネルとアクチュエータを用いて進める予定であった。アクチュエータとは、電流を送ると内部にあ

るモーターが作動し、先端部が伸び縮みする装置である(図3)。しかし、部品を回収機本体に取り付けると、重心が安定せず転倒する可能性があった。さらに、アクチュエータ自体、水中で作動させることが不可能であり、回収部分の自動化の目的達成のためにアクチュエータを用いるかどうかも課題である。解決策として、回収機上部に部品を取り付けても重心を安定させるための土台を設置することも考えられる。

6. 結論

今後の課題として、海でも実験を行う必要があるため、電源回路部分の保護が必要である。例えば絶縁体のゴムで加工することがあげられる。さらに、回収部分を自動化させるための機構を考え直す必要がある。現在採用しているアクチュエータは水中では使えないという問題点があり、機構に応じて用いる部品も変える可能性がある。

また、ソーラーパネルを設置する際には、スライドシャッター、水中ポンプと導線で回路を作る必要がある。電気回路を作ることに関しては、開発費助成プロジェクトへの参加や専門家の協力が必要である。

7. 参考文献

[1] 環境省_令和元年版 環境・循環型社会・生物多様性白書 状況第1部第3章第1節 プラスチックを取り巻く国内外の状況と国際動向 (env. go. jp)

[2] シービンホームページ <https://seabin.co.jp/>

8. 謝辞

本開発にあたり、指導して下さった岡山学芸館高等学校 医進サイエンスコース柳雅之教諭、吉岡希裕教諭に深く御礼申し上げます。また、サイエンスキャッスル研究費 THK 賞を開催して下さった株式会社 THK 様、株式会社リバネス様並びに、開発を進めていく中でメンターとしてアドバイスを下さった藤田大吾様、林勇樹様に感謝の意を表す。

9. 受賞

本研究は2021年度リバネス主催 THK 賞採択研究であり、サイエンスキャッスル関東大会で研究成果を発表し、奨励賞を受賞した。

魚の個体差を利用した電気刺激に対する反応～在来種を守る～

中山育美^{†1} 黒原麻央^{†1} 岩本磨耶^{†1}

外来種による捕食やニッチの競合などが在来種の存在を脅かしている。林田ら (2018 年)^[1] は、水中に一定の電圧を加えると魚体が大きな魚ほど電気に対する忌避反応が大きく、小さな魚ほど反応が小さいと報告している。湖沼生態系では、一般的に外来種は大型魚で、在来種は小型魚が多い。ある区域に一定の電圧を流すことで、電気刺激を利用した在来種保護が可能になると考えた。本研究では雷魚 (35 cm)、金魚 (15 cm)、メダカ (5 cm) を用いた。水槽中に電極を設置し、魚体を挟むように電圧をかける。一つ目の実験としては、魚体のすぐ近くで電圧を流したときの魚の反応を調べた。二つ目の実験は金魚とメダカを用い、容器の両端に電極を固定して、通過の有無を観察した。一つ目の実験の結果、魚体が小さな魚ほど忌避反応を示した。二つ目の実験の結果、魚体の小さな魚ほど通過する回数が少ないことも分かった。どちらの実験も先行研究と異なる結果となった。考察として、小型の個体ほど電気刺激の影響を受けやすいことが考えられる。以上より、電気刺激による在来種保護は困難であることが示唆された。

1. きっかけ

外来種による在来種被害が深刻となっている。私たちは在来種保護のために両種を区別する方法を考えた。はじめに、外来種はブルーギルや雷魚など大型種が多く、在来種は鮎や鮎など小型種が多いことが知られている。私たちは両種の大きさの違いに注目した。次に、林田ら報告している電気刺激による魚の忌避反応を利用することにした^[1]。電気による反応の違いであれば、両種とも殺さず区別が可能であると考えた。検証のために、魚体の大きさによる忌避反応の違いと電圧がかかる場所への通過の有無という異なる視点から二つの実験を行った。

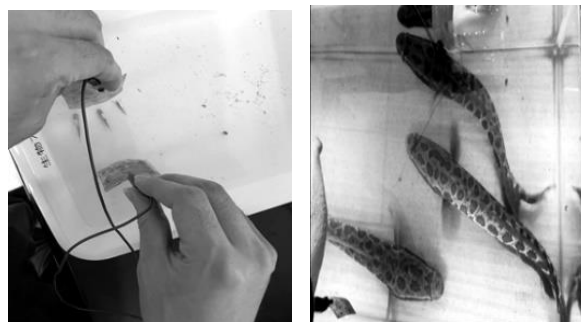


図1 メダカ (左) と雷魚 (右)

2. 魚体の大きさによる忌避反応の違い

2.1 目的

大きさによる反応の違いを、実際に電気を流し観察する。

2.2 実験材料

雷魚、金魚、メダカ、水槽、電圧装置、感電防止のためにゴム手袋を用いた。

2.3 方法

水槽に電圧 (5V, 10V, 15V) をかけ、それぞれの電圧による反応の違いを調べた。

(1)水槽中に電極を設置し、魚を挟むように電圧をかけた。

水槽は魚の種類ごとに3つ用意した。

(2)電圧の大きさを変えて反応を観察した。

2.4 結果

5Vの電圧を加えたとき、雷魚は忌避反応を示さなかったが、金魚とメダカは忌避反応を示した。また、金魚のほうが忌避反応が小さかった。10V, 15Vでは、どちらもメダカは一時的に失神した。また、金魚のほうが雷魚に比べて忌避反応が大きかった。

表1 魚体の大きさによる忌避反応の違い

電圧 (V)	雷魚	金魚	メダカ
5	×	○	○
10	○	◎	失神
15	◎	◎	失神

×: 変化なし △: 少し逃げる ○: 逃げる ◎: すぐ逃げる

3. 電圧がかかる場所への通過の有無

3.1 目的

瞬間的な電圧に対する在来種の反応を観察する。在来種は大きさの違いも比較するため金魚とメダカを用いる。

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

3.2 実験材料

金魚, メダカ, 水槽, 仕切り, 電圧装置を用いた。



図2 金魚

3.3 方法

水槽の両端に電極を設置し電圧 (5V, 10V) をかけ, その間を魚が1分間に何回通過するか観察した。

- (1)固定幅を水槽の縦に対し半分の位置に設置し, 電圧がかかるようにした。魚の通過の有無を観察した。
- (2)固定幅を半分にして, 同様に観察した。
- (3)(1), (2)の場合で電圧の大きさを変えてそれぞれの場合の反応を観察した。

3.4 結果

5V ではほぼ差は無く, 金魚は16回, メダカは17回通過した。また, 固定幅が半分だと金魚は通過せず, メダカは2回通過した。10V では金魚は6回, メダカは1回通過した。固定幅が半分だと金魚, メダカともに通過しなかった。

表2 電圧がかかる場所への通過の有無

電圧 (V)	金魚回数 (固定幅 cm)	メダカ回数 (固定幅 cm)
5	16 (28)	17 (6)
5	0 (14)	2 (3)
10	6 (28)	1 (6)
10	0 (14)	0 (3)

4. 考察

2つの実験から分かることとして, 魚体が大きなものに比べ, 魚体が小さいほど同じ電圧に対する忌避反応が大きかった。ゆえに, 電気刺激によって外来種のみをある区域から追い出すことは難しいと考える。また, 魚体が小さいほど電気刺激の影響が大きいと予測される。

5. 結論

魚体が大きなものに比べ, 魚体の小さいほうが同じ電圧に対する電気刺激の影響が大きく, 先行研究と異なる結果

となった。よって, 電気刺激を利用した在来種保護は困難である。

6. 今後の展望

本研究から, 単に電気刺激を与えるだけでは, 在来種保護は困難であることが示唆された。また, 電圧の大きさに制限があり, 強い電圧を与えた場合の魚の反応は観察できなかった。魚の種類によっても電圧の影響は異なることが考えられる。

7. 参考文献

[1] 弱い電気刺激に対する魚類の忌避反応の評価 (熊本高専生産システム工学専攻 1, 熊本高専生物化学システム工学科 2) 林田紳路・木原久美子・中島晃 2019
https://www.oyama-ct.ac.jp/24sympo_bk/contents/images/sympo24/youshi/B/B04e353.pdf

8. 謝辞

本研究にあたり終始熱心なご指導を頂いた, 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, 柳雅之教諭に深く感謝致します。また, 実験後は雷魚 (児島湖産) の命を美味しく頂きました (図3)。



図3 雷魚のお茶漬けと塩焼き

海の白鷺

武田優大^{†1} 行正風斗^{†1}

瀬戸内海は世界有数の閉鎖性海域であり、平均水深が30mで風車の設置が可能な水深の浅い海域が広がっている。また、波が穏やかで規則的な海陸風が吹くことも洋上風力発電には好条件とされる。NEDOが公開している風況マップを元に、環境振動エネルギー学研究室が70mの高さの1500kW風車を520m間隔で瀬戸内海の洋上に設置したと想定して試算を行った。その結果、関門海峡から四国の佐田岬の海域には風の通り道があり、多くの発電量が期待できることや、洋上風車で瀬戸内海全体の総発電量は、中国地方の総消費電力量の4倍となる。これらの研究を元に、瀬戸内海で最も発電できる風車や場所の条件を調べるために、羽の枚数は2枚より3枚の方が良い、土地は開けていて、風は強く安定していた方が良い、湿度は高いほうが良い、という4つの仮説を立て、実験を行った。自作風車を作成し複数回実験を行ったところ、仮説が正しいことや、風の時間は回転数が激減すること、冬は風が安定して吹かないことが分かった。すなわち、瀬戸内海で洋上風力発電を行うならば、私たちの仮説の条件を満たし、かつ、できる限り土地の開けている海峡付近が一番有力なのではないかと考察した。

1. 研究目的

洋上風車が回転する最適な気候条件を見つけ、瀬戸内海上で最も洋上風車の設置に適した場所を考察することを目的とする。

2. 仮説

私たちは、風車がより回転することは、発電効率が最大であることと仮定した。さらに、洋上風車がより回る条件として、以下の4つの仮説を立てた。

- ①羽の本数が多い方がよく回る
- ②開けた土地の方が風通りが安定する
- ③風は強く安定した方が良い
- ④湿度は高い方が良い

3. 実験

3.1 目的

仮説が正しいか、実験を行って明らかにする。

3.2 材料

実験するにあたって、20cm体の2枚羽と3枚羽の風車をそれぞれ作成した。材料はアルミ板、木の支柱、木ねじ、スペンサー、平座金である。また、回転回数を計測するために、それぞれの風車の内の1つの羽を赤く塗った。

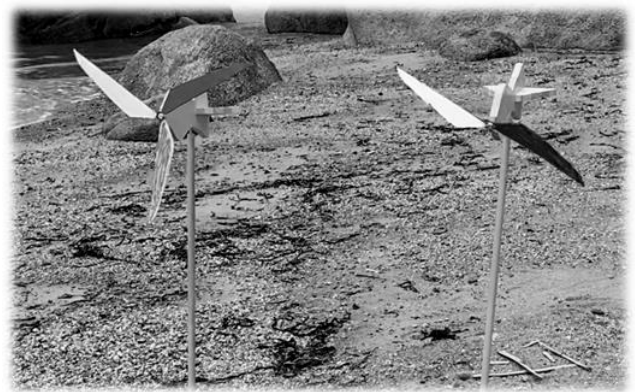


図1 自作風車（左：3枚羽，右：2枚羽）

3.3 実験方法

気温、湿度、風速、風向を測定し、約1時間おきに20分ずつ風車が回転している様子をビデオで記録した。

記録した映像をスローモーション再生して、風車の回った回数を計測した。

また、その結果から、最大出力を測定した。（下式）
 {出力は $P=0.5 \times S \times d \times v^3$ と定義する。（ P [W] は出力、 S [m²] は風車の受風面積、 d [m/s³] は空気密度、 v は最大風速であり、 d は今回は平地での実験のため1.20と固定する）}



図2 実験風景（渋川）

図3 実験風景（宝伝）

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

$$3 \text{ 枚 } 0.5 \times 1.05 \times 1.2 \times 4.0^3 = 40.32 \text{ W}$$

4. 結果

夏と冬に合計3回実験を行い、結果は次表のようになった。なお、渋川の海岸線は開けており、宝伝は開けていない湾奥の浜辺である。

表1 渋川 (2021年8月11日) 各回20分計測

開始時間	天気	気温 (°C)	湿度 (%)	風速 m/s	風向	回転数 (回) 2枚羽	回転数 (回) 3枚羽
10:00	曇り	26	75	4	南東	4101	5791
11:30	曇り	26	81	3	南東	3073	2730
12:30	晴れ	27	77	2	南東	1006	1533

表2 宝伝 (2021年8月12日) 各回20分計測

開始時間	天気	気温 (°C)	湿度 (%)	風速 m/s	風向	回転数 (回) 2枚羽	回転数 (回) 3枚羽
10:00	曇り	30	78	2	南	4064	5371
11:00	曇り	30	84	微風	南	438	605
12:00	小雨	29	82	1	南	1762	3143

表3 宝伝 (2021年12月19日) 各回20分計測

開始時間	天気	気温 (°C)	湿度 (%)	風速 m/s	風向	回転数 (回) 2枚羽	回転数 (回) 3枚羽
10:00	晴れ	6	60	Max6 Min0	東北東	1850	2953
11:00	晴れ	6	61	Max8 Min1	東北東	6692	8296
12:00	晴れ	8	58	Max8 Min3	東北東	故障	4521

また、この結果より出力を計算すると、次のようになった。

$$S \text{ 受風面積 } (1 \text{ 枚あたり } 0.35 \text{ m}^2)$$

$$2 \text{ 枚 } v e r \quad 0.35 \text{ m}^2 \times 2 = 0.70 \text{ m}^2$$

$$3 \text{ 枚 } v e r \quad 0.35 \text{ m}^2 \times 3 = 1.05 \text{ m}^2$$

渋川

$$2 \text{ 枚 } 0.5 \times 0.70 \times 1.2 \times 4.0^3 = 26.88 \text{ W}$$

宝伝 (夏)

$$2 \text{ 枚 } 0.5 \times 0.70 \times 1.2 \times 2.0^3 = 3.36 \text{ W}$$

$$3 \text{ 枚 } 0.5 \times 1.05 \times 1.2 \times 2.0^3 = 5.04 \text{ W}$$

宝伝 (冬)

$$2 \text{ 枚 } 0.5 \times 0.70 \times 1.2 \times 3.5^2 = 18.00 \text{ W}$$

$$3 \text{ 枚 } 0.5 \times 1.05 \times 1.2 \times 3.5^2 = 27.01 \text{ W}$$

さらに、夏は風の時間に急速に風が止まる時があること、冬は風の安定性に欠け、回る時と止まる時に風速の著しい差があることが分かった。

5. 考察

結果から、2枚羽より3枚羽の方が概ね多く回っていたことから、仮説の①は正しいと言える。

また、渋川は全体を通して風が安定して吹いていたが、宝伝の2回の実験では風が安定して吹かなかったことから、仮説の②は正しいと考えた。

仮説の③に関しては、風が強い方がどの場合も回っていることから、風は強い方が良いことが分かった。さらに1、2回目と3回目を比べると、3回目は風こそ強いものの安定性がないために、他の2回の回転数を超えていないので、安定性が重要になってくると考えた。

仮説の④は、湿度が低い3回の実験のみ風は強かったがあまり回らなかったことを考えると、湿度が高い方がより回ると考えた。

また、2枚羽について、渋川の11:00の回だけ3枚羽より2枚羽のほうが回転数のほうが多かった。その理由について考察したところ、2枚羽の方が、風が吹いてから回転するまでの時間が短く、止まりにくいのではないかと考えた。

以上より、瀬戸内海に設置するのであれば、風の通り道があり、安定して風を受けることのできる海峡付近が最適であると考えた。

6. 今後の展望

夏の宝伝の10:00~10:20の計測結果の回転回数の多さについて、原因は不明である。風車の回転数に影響する環境要因の解明が求められる。また、海峡付近で実験を行い、風車を回転させるのに最も適した場所なのか実験したい。

7. 参考文献

<http://www.okayama-u.ac.jp/user/civil/Labs/analysis/windfarm.html>

海の波の伝播

田中朝輝^{†1} 植村文哉^{†1}

複雑な自然現象は、数理モデルを用いることでより容易に理解することができる。数理モデルを用いて海の波の性質を知るために本研究を行った。海の波速と慣性力の一種であるコリオリ力の2つに着目した。海の波速は波長、水深、重力加速度で計算できる事が先行研究で分かっている。そこで私たちは、岡山県牛窓町の海岸で実際に波速を計測したものと関係式によって得られる値とを比較した結果、関係式の再現性が概ね確認できた。また、地球は自転しているので、海の流れにコリオリ力が働き、影響を与えることが分かっている。私たちは、水槽の水にインクを垂らして回転させ、水の流れを観察した。その結果、インクが細い柱状になり、同心円状に分布した。これは、コリオリ力と水圧の差により水が同心円状に流れるためだと考えられる。コリオリ力により発生するロスビー波と呼ばれる波は、関係式を使うことができない。よってモデル化をする際は、モデルが使える時の条件は何かということに注意しなければならない。しかし、モデル化を行うことで、自然現象の理解がより容易になることを実感できた。

1. はじめに

複雑な自然現象を理解する手段の一つに、数理モデルを用いる方法がある。数理モデルとは、自然現象を簡略化し、数式などで表したものである。私たちは、海の波をモデル化し、波速について考えた。

2. 波速の関係式

海波において、波速を C [m/s]、波長を L [m]、水深を D [m]、重力加速度を g [m/s²] とする(図1)と、次のような関係式が成り立つ事が分かっている。

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(2\pi \frac{D}{L}\right)}$$

また、 $D > L/2$ (深水波) のとき

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$$

$D < L/25$ (浅水波) のとき

$$C = \sqrt{gD}$$

となる。

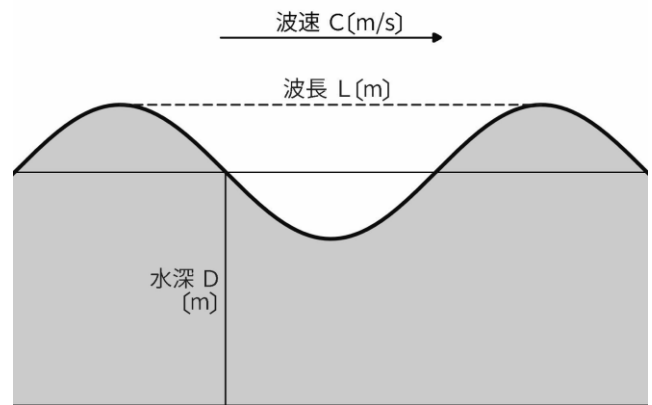


図1 水深、波長、波速

3. 再現性の確認

3.1 方法

岡山県の牛窓海岸で、水深、波長、周期を計測した。水深は、測定地点に棒を刺して、波の高さの最高点と最低点の中間点と海底の距離を測ることで測定した。波長は、2本の棒を使い、最高点同士の距離を測ることで測定した。周期は、波が最高点に達してから次に最高点に達するまでの時間を計ることで測定した。



図2 測定の様子

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

3.2 結果

水深 $D=0.5\text{m}$ の地点で計測したところ、波長 $L=3.5\text{m}$ 、周期 $T=1.68\text{s}$ であった。

この結果より、波速の関係式を用いて波速を求めると

$$C = \sqrt{\frac{9.8 \times 3.5}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi \times 0.5}{3.5}\right)} = 1.976 \dots \text{m/s}$$

となり、進んだ距離をかかった時間で割って波速を求めると

$$C = \frac{L}{T} = \frac{3.5}{1.68} = 2.083 \dots \text{m/s}$$

となった。

3.3 考察

2つの波速の計算結果の差が約 0.1m/s であることから、概ね数理モデルの再現性が確認されたと考えられる。

4. 波速の関係式の考察

関係式から分かることは、波長が一定の波では、深水波の場合波速は一定になり、浅水波となり水深が浅くなるほど、波速は遅くなる。また、波長が長い波ほど、波速は速くなる。津波は波長が数 km ～数百 km と長いので、波速も大きくなる (図3)。例えば、波長が 20km の津波では、水深 1km 地点で波速は時速 360km にもなる。これは新幹線の速さよりも速い (図4)。

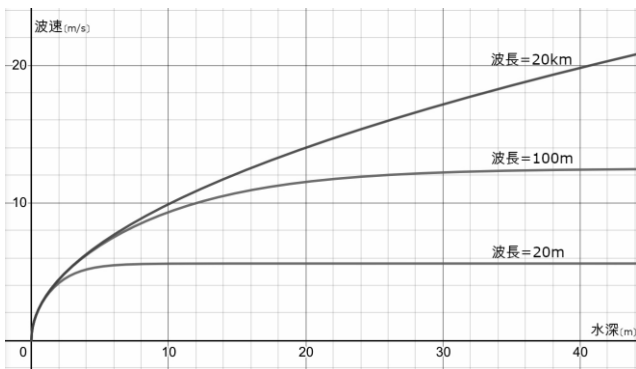


図3 波長が 20m, 100m, 20km の時の水深と波速の関係

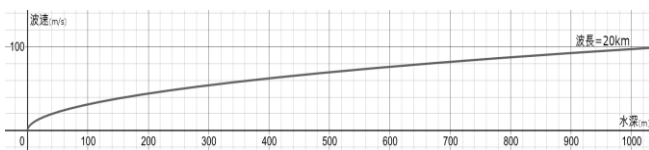


図4 津波の水深と波速の関係

5. ロスビー波

海波には重力ではなくコリオリ力を復元力とする、ロスビー波と呼ばれる波がある。この波は先述の波速の関係式が成り立たない。ロスビー波は波長が数千 km と長い。私たちは、コリオリ力の水中での働き方に疑問を持ち、次のような実験を行った。

5.1 方法

水を入れた円形水槽をレコードプレイヤーで回転させ、水槽内にインクを垂らした (図5)。

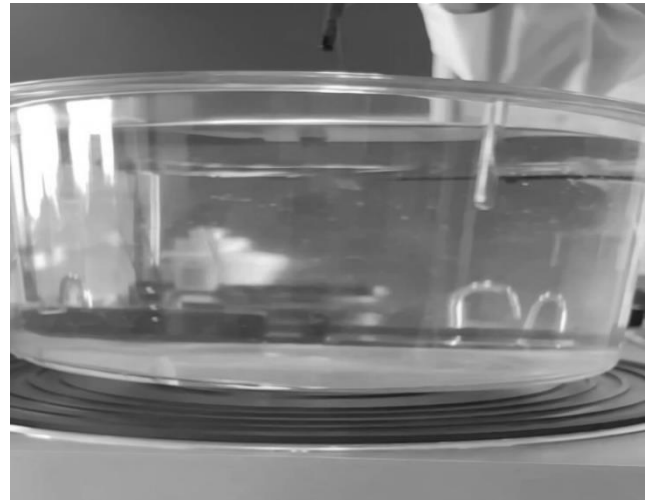


図5 コリオリ力の観察実験

5.2 結果

細い柱状のインクが同心円状に分布した (図6・7)。



図6 上から見た水槽



図7 横から見た水槽

5.3 考察

遠心力により外側の水位が上昇し、水圧の差(圧力勾配)ができる。水の流れができた時、水流に、流れる向きに対して垂直左向きにコリオリ力が働き、この力と圧力勾配によって水の流れが変化していく。最終的にこれらの2つの力が釣り合うと流れの向きが安定し、同心円状に流れ、そこにインクが乗るためだと考えられる(図8)。コリオリ力によって、水の流れが形成されることが確認できたため、コリオリ力を復元力とするロスビー波も同様な仕組みで発生することが予想される。

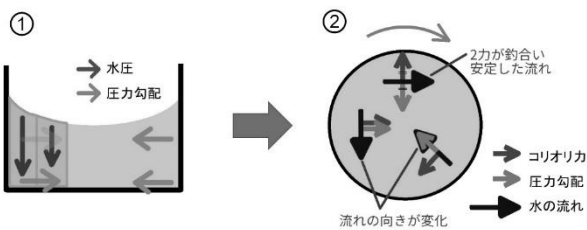


図8 流れの形成の模式図

①圧力勾配ができる ②同心円状に水が流れる

6. まとめ

海波を関係式によってモデル化することで、波の性質の一端を理解することができた。しかし、今回用いた関係式は全ての海波において成り立つわけでは無かった。そのため、モデル化を行うときは成り立つ条件を明確にする必要がある。今回の研究を通して、モデル化の実用性や可能性を実感した。

7. 参考文献

柳哲雄「改訂 海の科学 海洋学入門」恒星社厚生閣出版

戸田孝の雑学資料室

(<http://nanyanen.jp/physics/taylor.html>)

8. 謝辞

本研究遂行にあたり御指導を賜りました、岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース柳雅之教諭、吉岡希裕教諭に深く感謝申し上げます。

身近な地球温暖化防止

谷口芳基^{†1}

近年、世界は地球温暖化や砂漠化、海洋汚染など様々な環境問題に直面している。これらの環境問題は我々人間のみならず生態系そのものにも影響を及ぼすことが分かっている。国民一人一人が地球温暖化防止に貢献できる方法として、ロケットストーブを用いてカーボンニュートラルを達成することで実現できると考えた。家庭単位での使用を想定し、燃料に木の枝と紙を用いることができるか検証した結果、これらは良質な燃料として機能することが分かった。ロケットストーブを大衆に認知させることが出来れば、二酸化炭素排出量を削減できると考える。

1. 問題提起

18世紀の産業革命以降、人間はエネルギーを得るために大量の化石燃料を燃焼するようになった。化石燃料を燃焼させた時に発生する温暖化ガスが地球温暖化を引き起こしている^[1]。近年、世界では脱炭素社会に注目が集まっている。カーボンニュートラルの概念に則って燃焼すれば、二酸化炭素排出量の削減に繋がることに注目し、研究を行った。

2. 研究方法および材料

2.1 ロケットストーブ作成^[2]

ペール缶2個を円柱状に繋げ、下部側面に穴を開けてT曲がり煙突、エビ曲がり煙突、半直筒煙突を繋げたものを差し込む。繋げたものの内部が燃焼室となる。ペール缶内部の空間に断熱材としてパーライトを詰めた。

2.2 動作確認

木の枝と紙を用いて、量、比率関係なく動作確認を行った。結果、木の枝を投与した時の火力はさほど強くはならないが火持ちがよく、紙の場合は対照的であることが分かった(図1)。この結果から、木の枝と紙の比率を調整して最高効率を求めることにした。



図1 燃焼の様子(左)と全体像(右)

2.3 仮説

動作確認の結果から、木の枝と紙の比率が7:3であるときが最も効率が良いと考えた。これは、紙の燃焼効率の良さから火力を強くし、木の枝の火持ちの良さで火力を維持することが出来ると考えたためである。

3. 結果

木の枝と紙の比率を変化させて、水500mLが沸騰するまでの時間を比較した(図2)。

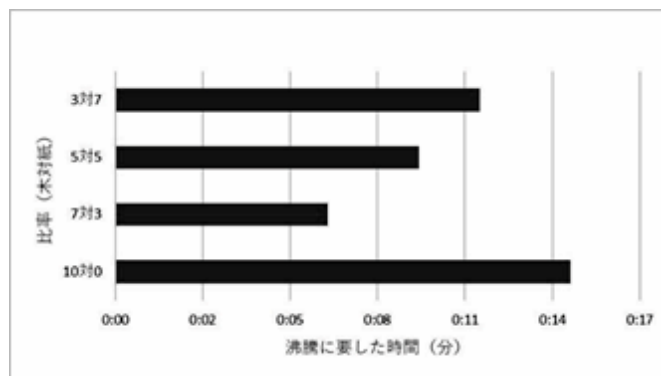


図2 木の枝と紙の比率による燃焼効率の違い

結果から、紙の割合が減少すると燃焼効率が良くなる傾向にあることが分かる。しかし、木の枝のみの場合は最も時間がかかっている。このことから、仮説で述べたことは正しいと言える。

4. 考察

実験結果から、木の枝と紙は良質な燃料として機能すると考えられる。また、それぞれの燃焼時の特徴から紙は完全に乾燥させた木の枝とみなして良い。従来燃料として用いられる木質ペレットと同等の燃焼効率であることから、

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

供給量が足りないという問題を除けば、各家庭でも十分に使用可能であると考えられる。一方、課題としては燃料の供給が挙げられる。ロケットストーブがあまり認知されていない現時点で運用するには、燃料の供給量が足りない。ロケットストーブの認知度を上げて、燃料をカーボンニュートラルに則り、木だけでなく海洋資源や家庭内廃棄物を用いることでエコに二酸化炭素排出量の削減に繋げることが可能である（図3）。



図3 ロケットストーブでカップうどんを調理

5. 参考文献

[1] 日本における温室効果ガス排出量 2019年
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/material/sokuhou_all_2019.pdf

[2] ロケットストーブ
<https://rocket-stove.info/kouzou/2/>

6. 謝辞

本研究にあたり、ご指導を賜った岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース柳雅之教諭、吉岡希裕教諭に深く御礼申し上げます。

リブレット構造を用いた風力発電に関する研究

大平留愛^{†1}

風力発電機は風力によって風力発電ブレードの上下に圧力差を生じさせることでプロペラを回転させ、発電を行う。ゆえに、発電量は風速に大きく依存する。本研究は発電量の風速への依存を軽減させることを目的として行った。主に鮫肌などに見られるリブレット構造は流体摩擦を低減することが報告されている^[1]。リブレット構造を風力発電ブレードに応用することで、弱風下でも発電量の増加が見込めるのではないかと考えた。検証のために、風力発電におけるリブレット構造の機能性を調べる実験を行った。リブレット加工なしのブレードとリブレット加工ありのブレード、それぞれを取り付けた風力発電機を用い、層流 1~9m/s の風速で発電量を測定した。結果、層流 1~4m/s の下ではリブレット加工なしのブレードに出力の増加が見られ、層流 5~9m/s の下ではリブレット加工ありのブレードに出力の増加が見られた。風力発電におけるリブレット構造の機能性は、風速によって変化することが考えられる。

1. 研究背景

風力発電はポテンシャルの高さから、エネルギー問題の改善に向けて期待を寄せられている。一方で、風力発電は環境依存性が高いというデメリットを持つ。環境依存性の高さによって安定した発電が行えないことは、将来的な風力発電の主力エネルギー化の妨げとなっている。ゆえに、環境依存性を軽減することは重要な課題である。

2. 研究方法および材料

風力発電の環境依存性を軽減する方法を模索するために、風力発電におけるリブレット構造の機能性について調べることを目的とした。

2.1 研究方法

リブレット加工なしのブレードとリブレット加工ありのブレード、それぞれを取り付けた風力発電機を用いて、層流 1~9m/s の風速で出力の測定をする。

2.2 実験材料

ストロー(直径 12mm , 長さ 30mm)10000 本, 接着剤, プラスチック板(縦 1, 200mm, 横 1, 400mm)4 枚, 防風ネット, 小型風力発電機(風車直径 1, 200mm, 起動風速 2m/s, 定格電力 200W), 送風機(1~9m/s まで調整可能)を用いた。

2.3 風洞作成

リブレット構造の機能性を調べる実験は、リブレット加工の有無以外の条件を揃える必要がある。乱流の下で実験を行うと対照実験にならないと考えたので、層流を生み出せる風洞装置を自作した。図 1 には風洞の設計図を示す。

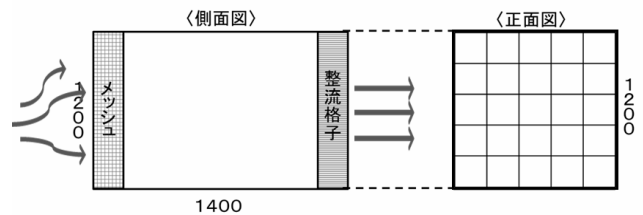


図 1 自作風洞設計図

自作した風洞が図 2 である。風洞の壁はプラスチック板(縦 1, 200mm, 横 1, 400mm)を組み合わせて制作した。またメッシュは防風ネットを、整流格子はストロー(直径 12mm, 長さ 30mm)で代用した。

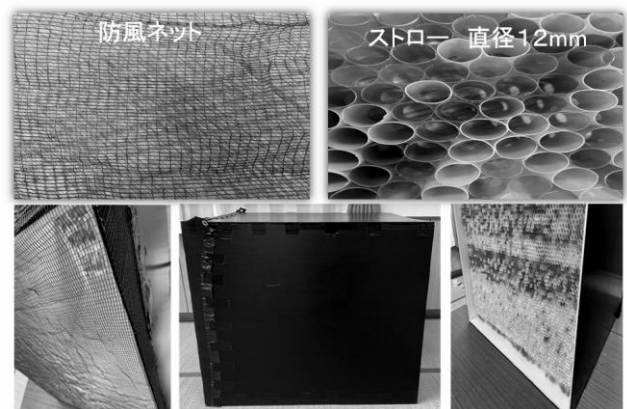


図 2 自作風洞

^{†1} Okayama Gakugeikan High school

作成した風洞の性能を調べるために実験を行った。送風

機を用いて風洞に風を送り、風洞の正面図を 25 分割したそれぞれの区画で風速計を用いて風速を測定した。測定結果を図 3 に示す。結果から、整流格子ありの風速分布は整流格子なしの風速分布に比べて、測定値がまとまっていることが分かる。自作した風洞は層流を作る役割を果たしていると考えられる。

整流格子なしの風速分布						整流格子ありの風速分布					
m/s	1	2	3	4	5	m/s	1	2	3	4	5
A	6.6	7.4	8.2	7.7	6.7	A	7.0	7.3	7.5	7.8	6.8
B	7.3	8.2	8.6	8.4	7.9	B	7.6	7.4	7.3	7.7	6.9
C	8.0	8.3	8.9	8.7	7.6	C	7.4	7.1	7.4	7.6	7.7
D	7.1	8.1	8.3	8.6	7.9	D	7.1	7.2	7.3	7.7	7.9
E	6.9	7.1	9.1	8.1	7.3	E	6.9	6.7	7.4	7.6	8.0

※各区画で5回ずつ測定を行い、平均値を試算し記入(室温20℃)

図 3 自作風洞における層流作成

3. 実験

先行研究より^[1]、気流に沿って 120 番のやすりをかけることで、層流においてリブレット構造と同じ効果を得られることが分かっている。同様の手法でリブレット構造を模倣した。風を受けたブレードの断面図における圧力と速度の関係を図 4 に示す。風を受けていないブレード裏側にリブレット加工を施すことによって、ブレード裏側の気流がより速くなり、ベルヌーイの定理から、より圧力差が生じると考えた。

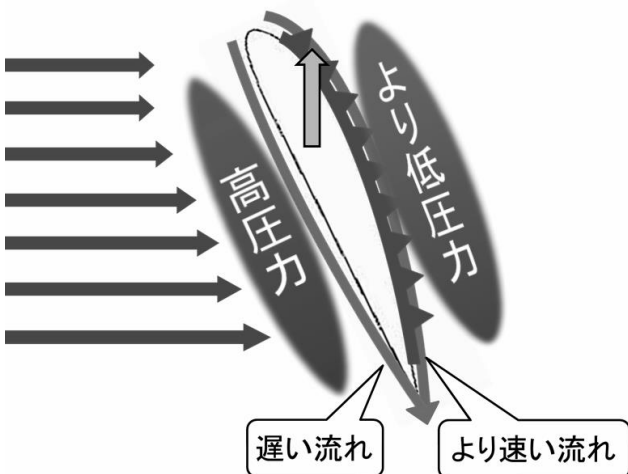


図 4 リブレット加工の効果

ブレード裏側^[2]に、リブレット加工を施すためにやすりをかけた(図 5)。

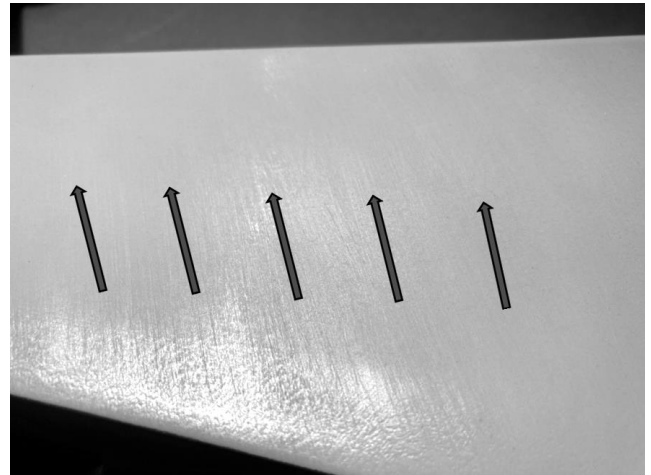


図 5 やすりでリブレット構造を施したブレード

リブレット加工なしのブレードとリブレット加工ありのブレード、それぞれを取り付けた風力発電機を用いて、層流 1~9m/s の風速で出力の測定を行った。実験装置を図 6 に示す。送風機から風を送り、自作した風洞を通して生み出された層流の下で、小型風力発電機を用いて発電を行った。小型風力発電機にはテスターを接続することで、電流、電圧を測定し、出力を試算した(図 7)。



図 6 実験装置



図 7 小型風力発電機に接続したテスター

4. 結果

リブレット加工なしのブレードとリブレット加工ありのブレードを用いて、各風速の下で3回測定を行った値の平均値の変化を図8に示す。層流 1~4m/s 下ではリブレット加工なしのブレードに出力の増加が見られ、層流 5~9m/s 下ではリブレット加工ありのブレードに出力の増加が見られた。

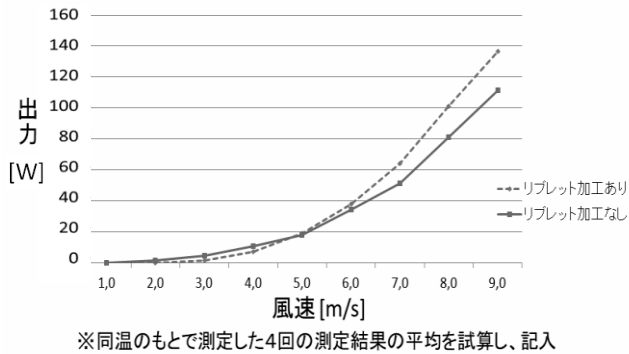


図8 リブレット加工による出力の変化

5. 考察

結果から、層流 5~9m/s 下ではリブレット加工によって出力が増加することが示された。しかし、リブレット加工ありのブレードが層流 1~4m/s 下で出力の減少を引き起こした。手作業によるリブレット加工が結果に影響しているかもしれない。出力の増加・減少ともに、風力発電におけるリブレット構造の機能性は風速に依存することが考えられる。層流 1~4m/s 下での出力の減少原因を解明できれば、弱風でも発電を行える可能性がある。

6. 参考文献

- [1] 大成博文
三角リブレットによる摩擦抵抗軽減機構(1991)
https://jaxa.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=43492&file_id=31&file_no=1&nc_session=clrdlbv5c5rcqv6qkio5jniik2
- [2] 前田 太佳夫, 鎌田 泰成, 伊藤 弘明
水平軸風車の性能予測に関する数値解析
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmetokai/2005.54/0/2005.54_259/_article/-char/ja/

7. 謝辞

本研究にあたり、指導して下さった岡山学芸館高等学校医進サイエンスコース柳雅之教諭に深く御礼を申し上げます。また、研究にアドバイスをしてくださった多くの先生

方,株式会社リバネス石尾淳一郎様にも感謝の意を表する。

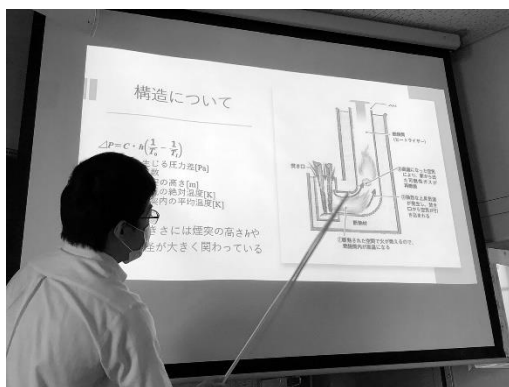
8. 受賞歴

本研究はサイエンスキャッスル中国・四国大会事前審査において、上位 12 研究が選ばれる口頭発表に選出されている。発表は 2022 年 3 月 20 日の予定である。

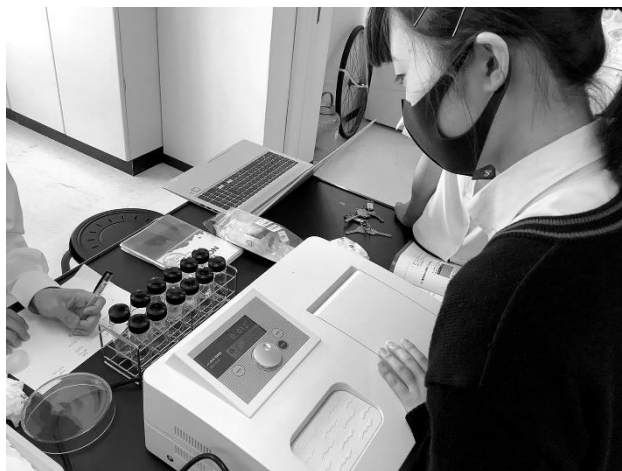
2021年度 岡山学芸館高等学校 医進サイエンスコース 11期生 海洋研究



岡山県備前市日生町鹿久居島米子湾でのベントス調査



2M 課題研究計画発表会



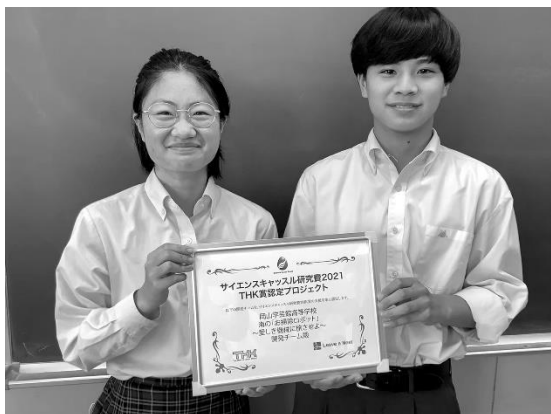
干潟表層クロロフィル a 量測定のための分光分析



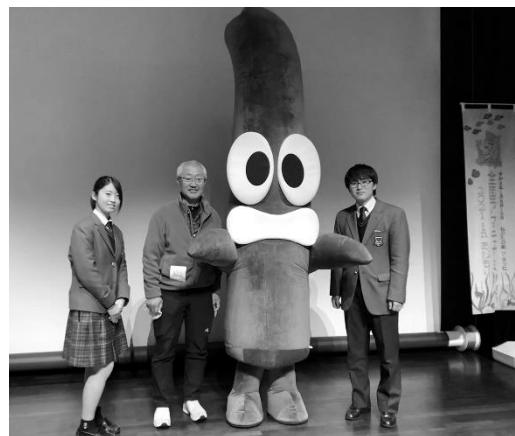
マリンチャレンジプログラム採択・中四国ブロック大会優秀賞獲得 全国大会出場
全国ユース環境活動発表大会中国ブロック大会協賛企業特別賞



北海道大学主催海の宝アカデミックコンテスト近畿・中国大会 6 研究入賞 (2M, 1M)



リバネス主催 THK 賞研究プロジェクト採択, サイエンスキャッスル関東大会奨励賞



全国アマモサミット in 青森での成果発表, 海洋研究家木村尚氏およびあまモンと



コース内課題研究発表会 先輩から後輩へ研究のバトンが渡される

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 2021

令和4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 稲村 晃司

常勤講師 溝渕 明子

〒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 アマモ場が群生する岡山県備前市大多府島

裏表紙写真 課題研究発表会資料より

本研究紀要は公益財団法人おかやま環境ネットワークの助成により作成しました

