

令和 6 年 6 月 22 日現在

機関番号：54701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05640

研究課題名（和文）レジリエンスなアマモ場創出に資する革新的な多層化バイオセメント開発と海洋実装研究

研究課題名（英文）Innovative multi-layered bio-cement development and marine implementation research to create resilient eelgrass beds

研究代表者

楠部 真崇（Kusube, Masataka）

和歌山工業高等専門学校・生物応用化学科・教授

研究者番号：40403761

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：主たる目的である多層化バイオセメントの製造は実施できた。また、3層までのバイオセメントは確実に実施できることを確認できた。多層化バイオセメントが崩壊する際、一層ずつの崩壊を期待して観察したが、バイオセメント全体が崩壊した。バイオセメント造粒物からのアマモ発芽および生長は確認できた。種子の状態であるうが、発芽が認められない個体もあり、今後さらに条件検討を行いながら原因を調査する必要がある。

多層化バイオセメントにおいて、水槽内および天然海砂での化学分析および微生物のメタゲノム解析を実施した。底質状態を大幅に変化させることはなかったが、穏やかに調整できる能力を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブルーカーボンという言葉が認知されはじめ、海洋での炭素固定に関して産業界が着目するようになってきた。我々が開発した多層化バイオセメントは海洋環境に造粒物が残存せず、また海底底質内に適切なミネラルや栄養素を種子とともに届けることができる。

また、ゴルフボールよりも小さな砂の塊は、子供でも手軽に海中に投げ入れることができるだけでなく、足が不自由で海の保全活動に参加できなかった方にもその機会を提供できる設計となっている。海洋環境保全の取り組みに、誰もが参加できる仕組みづくりの一助にもなると考えている。

研究成果の概要（英文）：The production of multi-layered bio-cement, which was the main objective of the project, could be carried out. We were also able to confirm that up to three layers of biocement could be reliably implemented. When the multi-layered biocement collapsed, we expected to observe the collapse of one layer at a time, but the entire biocement collapsed. Eelgrass germination and growth from the biocement granules were confirmed. However, there were some individuals that did not germinate, probably due to the condition of the seeds, and it is necessary to further investigate the cause of this while examining the conditions. Chemical analysis and metagenomic analysis of microorganisms were conducted in tanks and in natural sea sand in the multi-layered bio-cement. Although the bottom sediment conditions were not significantly altered, the ability to make gentle adjustments was confirmed.

Translated with DeepL.com (free version)

研究分野：海洋微生物

キーワード：バイオセメント 多層化造粒 アマモ ブルーカーボン ブルーナチュラルキャピタル

1. 研究開始当初の背景

海洋中の「藻場」は小魚や海洋性小動物、プランクトンや貝類の飼料生物を育むことで海洋生物多様性を維持し、魚やイカなどの産卵場所にもなる豊かな生態系の象徴であるといえる。水産庁では、1960年代から現在にかけて海藻の急激な減少を発表しており、残存面積は当時の30%程度である⁽⁴⁾。この海藻消失が与える海洋環境へのダメージは計り知れない。近年、ブルーカーボン活動や海洋環境保全を目的とした、海藻再生に関する様々な活動を実施されている。本研究では、底質細菌フローラの安定化と鉄イオン供給により、アマモ種子の発芽定着能力強化を目的とした、新規な多層化バイオセメントの開発を実施する。今回取り組む新しい多層化バイオセメントは、海洋環境由来のマテリアルで構成するとともに、アマモの生長に伴って自然崩壊しながら元の海洋に戻すよう設計してある。これは、環境に負荷をかけることのない持続可能なアマモ場創出が可能となる革新的なアマモ場保全技術であり、本研究のコンセプトでもある。

2. 研究の目的

我々は環境に負荷をかけないコンセプト(図2)でバイオセメントを開発している。主な成分は、アマモ場造成予定地より採取した海洋微生物と海砂である。バイオセメントは、海底で発芽時期までアマモ種子を潮流から守るとともに、発芽とともに自然崩壊することで元の海砂に戻るよう設計しているため、海洋環境に人工物を残さずアマモ場造成が可能となる。今回開発する多層化バイオセメントは、アマモの発芽と生長に必要な成分を段階的に放出するよう設計した。本研究では、バイオセメントに発芽と成長を促進させる海洋性硫酸還元菌と鉄イオンの供給機能を付加した多層化バイオセメンテーションを開発し、海洋技術移転の検証を行う。これまでの単層バイオセメントは崩壊が画一的であったが、経時的に成分を放出できる多層構造では、より効率的なアマモ場創出に有効な機能であると考えている。広大なアマモ場の創出は大気中の炭素ガス固定のみならず、生物多様性維持のための生態系ピラミッド底辺を保全することができる。このアイデアによる海洋環境保全は、これまでに無い革新的な方法であり、学術的に重要な知見が得られると考えている。

3. 研究の方法

(1) 炭酸鉄架橋による多層化バイオセメント開発

アマモ種子を含む多層化バイオセメントの試作はミキシング工法で造粒、多層化、バイオセメンテーションを同時に実施する条件を検討し、試作物の圧縮試験および形状保持について調査した。種子周囲には発芽を促す海洋中の硫酸還元菌、中層には発芽後に必要な栄養源、外層には自然崩壊制御およびアマモの成長を促す鉄分を含む多層構造を計画した(図1左)。硫酸還元菌はアマモの萌芽に必要な種子周辺の嫌気化に寄与し、2価鉄イオンは農学的知見からアマモ成長促進に効果の期待がある。

(2) 発芽強化および生長向上

海藻種子は5月下旬に藻場造成予定地で採取した。採取した種子を含むバイオセメントの試作物後、濾過天然海水中にて10日以下の発芽条件の検討、発芽率、生長速度を調査した。

(3) アマモ場底質分析および化学分析

底質に生育する細菌叢解析を実施した。16srDNA配列に含まれるV3/4領域をターゲットとし、MiSeqを用いて実施した。また、日本各地のアマモ場底質の当該解析データと比較することで、和歌山県日高地方のアマモ場底質の特徴を調査した。

4. 研究成果

(1) 炭酸鉄架橋による多層化バイオセメント開発

当初の予定通り、多層化バイオセメントを造粒することができた。三層までの造粒が可能であることがわかり、用いる砂の粒度などの調整でさらに増やすことが可能であることがわかった。また、鉄や微生物を含む各層には、著しい硬度の違いが見受けられず、ほぼ一様に固化した様子である。しかしながら、多層化した各層を一枚ずつ崩壊させることができず、海底で崩壊する際には多層化するメリットを活かすことが困難であった。



図1．造粒中のバイオセメント

(2) 底質化学分析および生長向上

各底質の硫化水素の推移は図2のようになった。横軸は実験開始からの期間、縦軸は硫化水素濃度を示している。実験開始から4週目にかけてプランクでは硫化水素濃度が2.0 ppm程度まで徐々に上昇し、これに伴う酸化還元電位(ORP)の低下を確認した。一方、鉄添加条件の底質では短期間で急激な還元環境の構築は見られず、還元層への推移がプランクよりも緩やかになったことがORP値より読み取れた。また、各底質におけるアマモの生長推移を観察したところ、プランクでは発芽から4週目にかけて生長が見られたが、5週目以降は生長が緩やかになり、以降は全体的に生長が停止した。鉄添加条件では5週目以降もアマモが緩やかに生長しており、最大葉長は11週目まで更新し続けた。実験開始から3ヶ月の時点で、プランクの最大葉長が10.0

cm に対して、鉄添加底質では 11.3 cm とその差は明確に現れた。以上の結果から、カイロのリサイクル材による鉄分の提供は播種直後の急激な底質の還元化を抑制するだけでなく、アマモの生長速度に対して優位に働くことが考えられる。

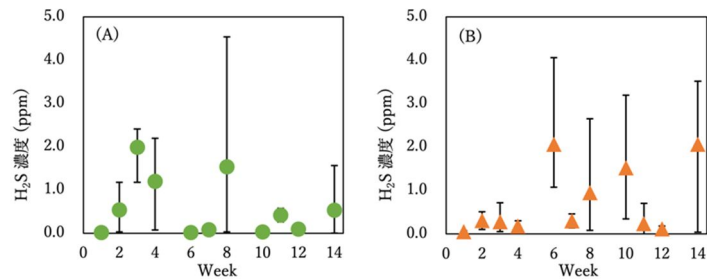


図2．底質中の硫化水素濃度の推移

(3) アマモ場底質細菌叢解析

各種アマモ場の底質細菌叢解析の結果を図3に示す。多層化造粒に用いたマテリアル由来の新たな菌叢の持ち込みは確認されず、またアマモ発芽後の硫酸還元菌や硫黄酸化細菌にも大きな変化は認められなかった。この結果から、鉄の添加は底質の細菌環境に大きな影響を与えず、直接的に硫化水素に作用していることが示唆された。興味深いことに地域性による差異も認められ、全国のアマモ場底質は一様ではないことが示唆された。今後、必要な底質の改善や予備的な措置などの提案ができるよう、底生生物量やアマモの被度も因子に加え高い精度の診断が行えるよう改善を行いたい。

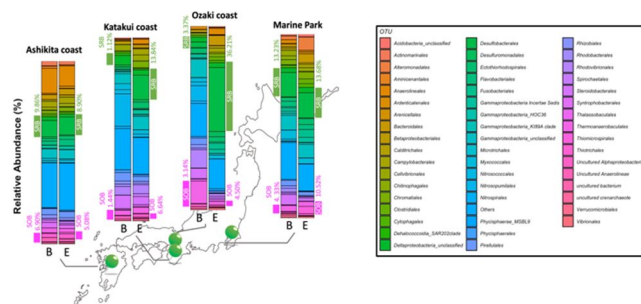


図3．各地のアマモ場底質の細菌叢状

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yuki Nakashima, Takumi Sonobe, Masataka Kusube	4. 巻 8
2. 論文標題 Microbial communities around seeds promote <i>Zostera marina</i> germination	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Annals of Marine Science	6. 最初と最後の頁 14-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.17352/ams	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yuki Nakashima, Takumi Sonobe, Masashi Hanada, Goushi Kitano, Yoshimitsu Sonoyama, Katsumi Iwai, Takashi Kimura, Masataka Kusube	4. 巻 1
2. 論文標題 Microbial Detoxification of Sediments Underpins Persistence of <i>Zostera marina</i> Meadows	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Molecular Sciences (MDPI)	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijms25105442	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Shinnosuke Okuhama, Kaoru Nakasone, Kazuki Yamanaka, Chiho Miyazaki, Tsumugi Nakamoto, Yuki Nakashima, Masataka Kusube	4. 巻 1
2. 論文標題 Draft Genome Sequence of <i>Saccharomyces cerevisiae</i> DJJ01, Isolated from Dojoji Temple in Gobo, Wakayama, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Microbiology Resource Announcements	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1128/mra.00113-22	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 園部琢巳、中嶋夢生、楠部真崇
2. 発表標題 アマモ場-3cmに広がる微生物生態系の世界
3. 学会等名 日本沿岸域学会研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋夢生、楠部真崇
2. 発表標題 アマモ場底質中の細菌叢と解毒システム
3. 学会等名 微生物生態学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中嶋夢生、楠部真崇
2. 発表標題 日本沿岸アマモ場底質中の持続可能なH ₂ S解毒システムの探索
3. 学会等名 極限環境生物学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masataka Kusube, Yuki Nakashima
2. 発表標題 Development of Biocementation for Eel Grass Protection
3. 学会等名 ASM Microbe (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楠部真崇
2. 発表標題 海洋環境とSDGs
3. 学会等名 子ども海会議 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 楠部真崇
2. 発表標題 海洋環境とSDGs
3. 学会等名 子ども海かいぎ（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楠部真崇
2. 発表標題 バイオセメントを用いたアマモ場ブルーカーボンフィールドの展開
3. 学会等名 KOSEN EXPO
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 播種材とその製造方法、および植物生育域の造成方法	発明者 柳下太志、千坂修、 楠部真崇、中嶋夢生	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2021-193907	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>子ども海会議 http://www.city.wakayama.wakayama.jp/shisei/1009206/1029316/1036185.html バイオセメントで藻場を再生（海と日本プロジェクト） https://www.youtube.com/watch?v=yy1RvsWt-l&t=3s 魚の住処を守ろう！環境にやさしいバイオセメントの活用 https://www.youtube.com/watch?v=EY_wuvgVRWk</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	林 和幸 (Hayashi Kazuyuki) (30587853)	和歌山工業高等専門学校・環境都市工学科・教授 (54701)	
研究 分担者	横田 恭平 (Yokota Kyohei) (60632734)	和歌山工業高等専門学校・環境都市工学科・准教授 (54701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関