

図 7. 2021 年九十九島沿岸における 1 回目調査時の水質.

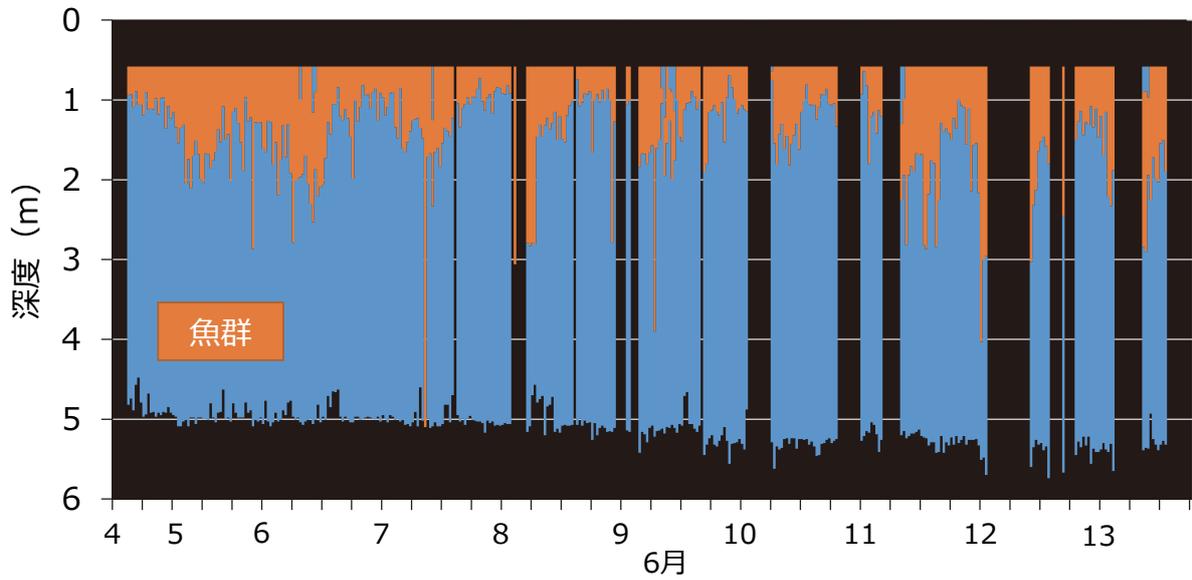


図 8. 1 回目調査時におけるトラフグ稚魚の鉛直分布の経時変化.

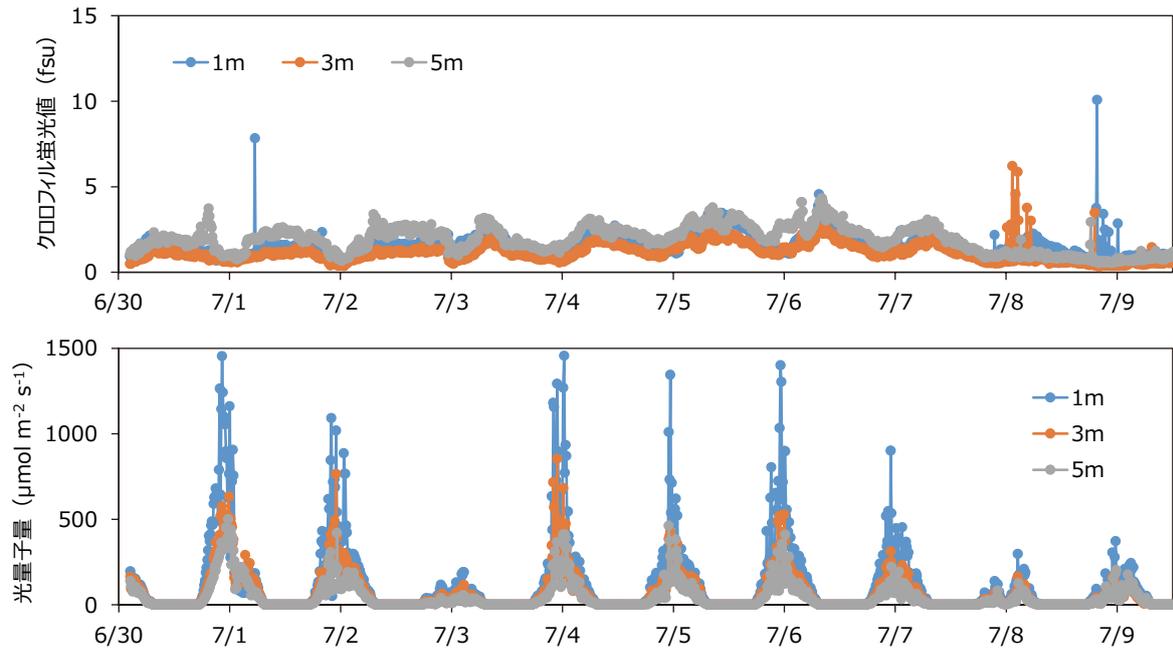


図 9. 2021 年九十九島沿岸における 2 回目調査時の水質.

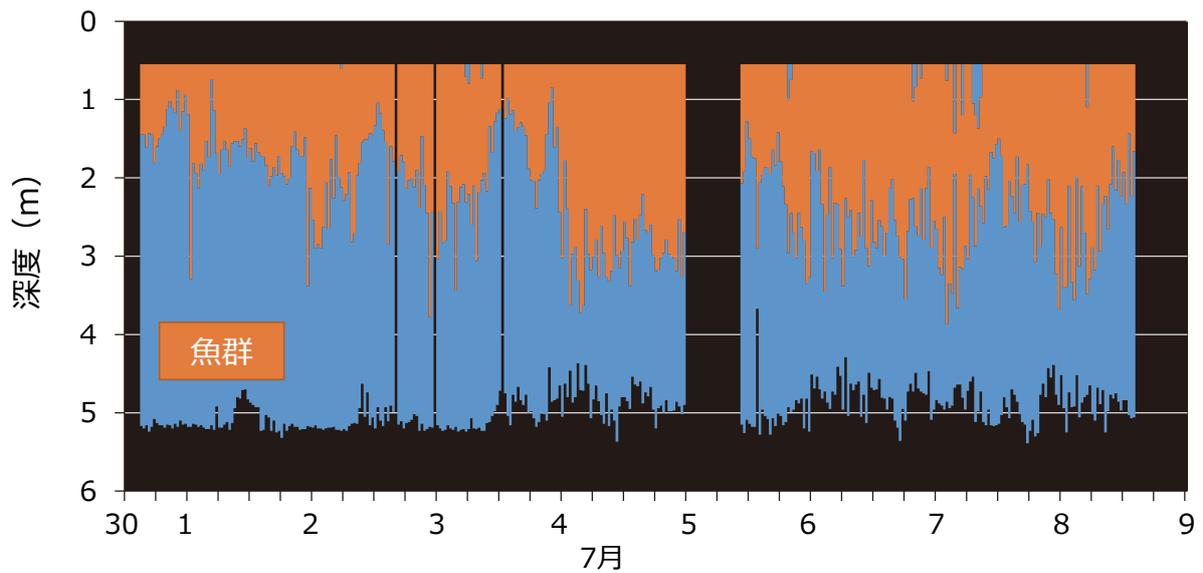


図 10. 2 回目調査時におけるトラフグ稚魚の鉛直分布の経時変化.

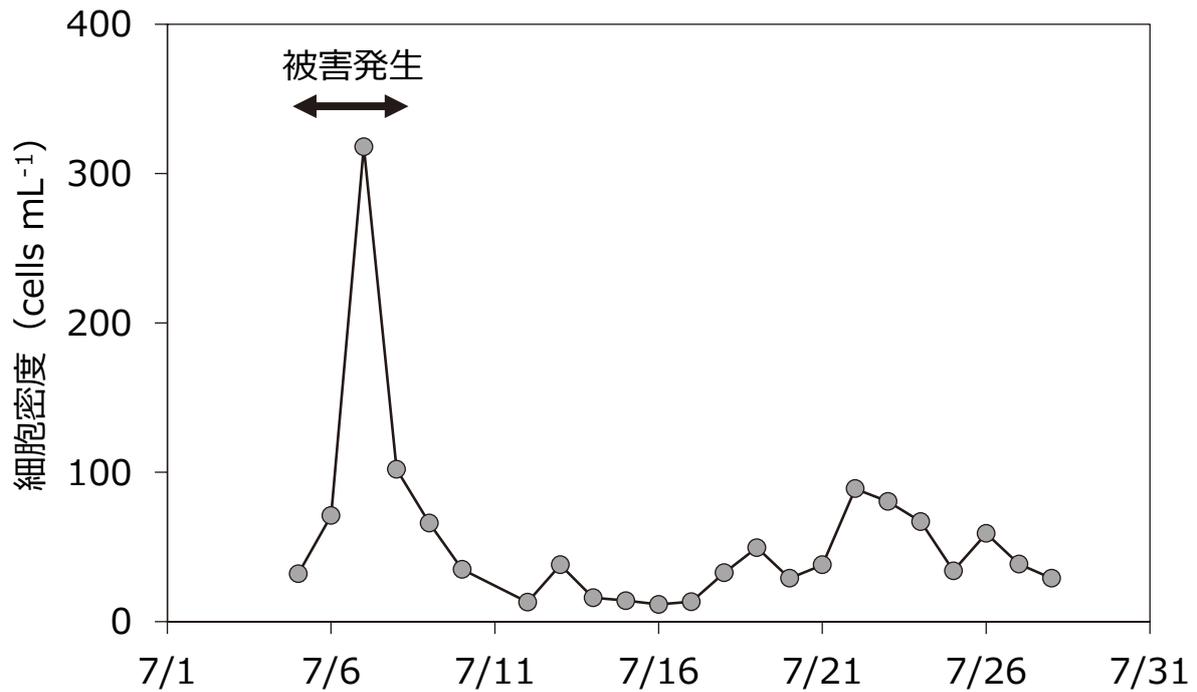


図 11. 2010 年北さつま漁協管内の *Chattonella* の細胞密度の推移.

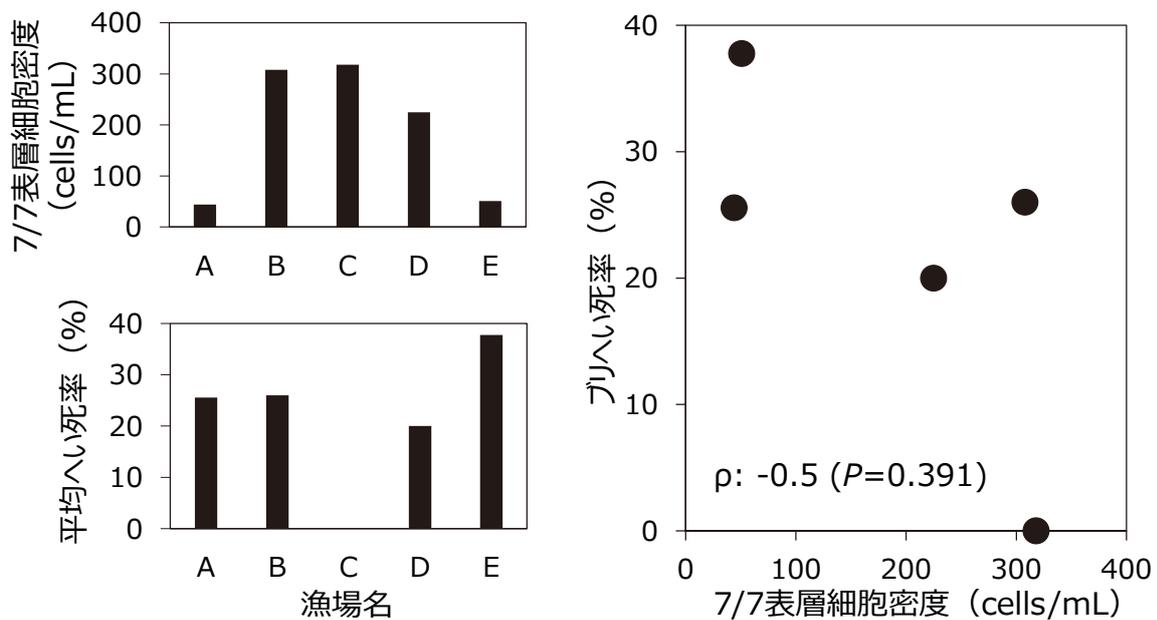


図 12. 各漁場における *Chattonella* の細胞密度(左上)およびブリ 2 歳魚のへい死率(左下), 両者の散布図 (右). スピアマンの順位相関係数を算出.

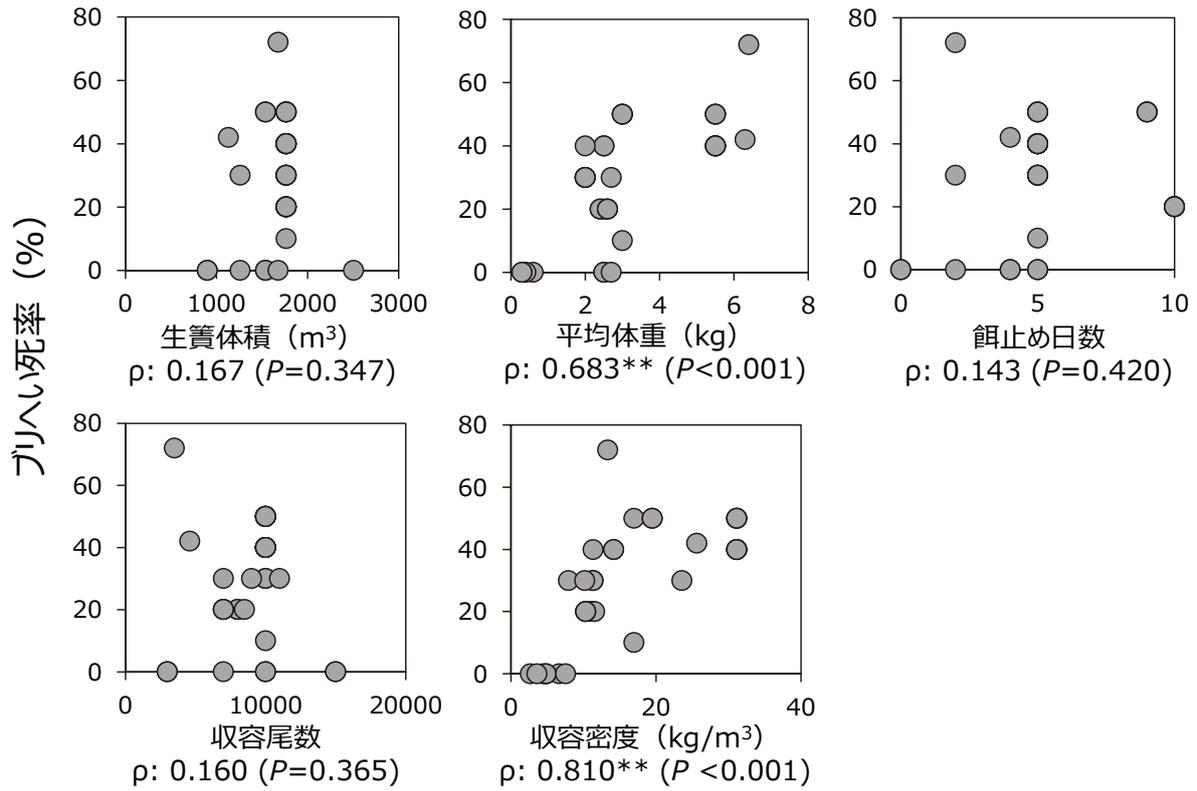


図 13. ブリ 2 歳魚のへい死率と各パラメータの関係性. スピアマンの順位相関係数を算出.



①足し網前
(3m×3m×3m)



②網の追加



③足し網後
(3m×3m×9m)

図 14. ファスナー式足し網の作業性調査.

2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発

イ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証

③ 改良粘土散布の実証試験および新たなマグネシウム製剤の開発、対策実施マニュアルの作成

水産研究・教育機構 水産技術研究所

松山幸彦

大分県水産研究指導センター

宮村和良, 野田 誠

長崎県総合水産試験場

山砥稔文, 山本佳奈, 中島吉洋

鹿児島県水産技術開発センター

吉満 敏, 高杉朋孝, 東條智仁

宇部マテリアルズ株式会社

田中俊也, 小田康太, 渡辺国男

1 全体計画

(1) 目的

昭和 50 年代に、鹿児島県で開発されたアルミニウム含有酸性粘土の海面散布は、*Cochlodinium polykrikoides* に対して高い防除効果が得られる（鹿児島県 1981, 水産庁・鹿児島県 1982）。しかし、それ以外の赤潮生物に対しては有効濃度が高いため、散布量が多くなるなど、コストの問題が指摘されていた。その後、有効成分であるアルミニウム濃度を高めるために、粘土に焼ミョウバンを補助的に添加することで、*Chattonella antiqua*（以下、*C. antiqua*）に対する駆除効果を高めるのみならず、*Karenia mikimotoi*（以下 *K. mikimotoi*）に対しても有効であることが確認された（鹿児島県 2018）。

種々の赤潮防除手法が提案されてきたなかで、漁業者でも実施できる簡便さと高い駆除効果には実績があり、実際の養殖漁場でも実施可能な赤潮被害低減策の基礎を確立することが期待される。

近年、中層で有害プランクトンの増殖が見られる等の新たな事象が見られ、これらに対応するため、本事業では、アルミニウムイオン等の濃度を増加した新型活性粘土（改良型粘土）の効果をさらに検証しつつ、赤潮海域でこれらの改良型粘土を用いた現場実証試験を実施し、その結果、経済性についても検証し、より有効な散布方法を確立したうえで対策実施マニュアルの更新を図る。

また、近年駆除が困難だった *K. mikimotoi* に対して、100%の駆除効果を示すマグネシウム製剤が開発された。この新規防除剤についても、室内試験で効果を検証し、高い駆除効果と安全性が確認され次第、これらの改良型マグネシウム製剤を用いた現場実証試験を実施し、その結果、経済性についても検証したうえで対策実施マニュアルを作成する。

これらの目標を短期間で達成するために、複数の公立試験研究機関と民間企業のノウハウも取り入れた共同研究体制で実施するため、本研究開発の目標設定は妥当かつ現性があると考ええる。

2 令和3年度計画及び結果

(1) 目的

シャットネラ属やカレニア属等有害赤潮プランクトンを漁業者でも簡便に駆除するために、既存赤潮防除剤を改良して、その殺滅効果および魚毒性を評価する。また、*K. mikimotoi*の初期赤潮発生が中層で増殖することから、中層に効率的に散布する手法についても検討する。本課題には、以下の二つのサブテーマを設けて実施した。

【サブテーマ (①)】アルミニウムイオン等の濃度を増加した新型活性粘土（改良型粘土）について、中層で有害赤潮が発生する等の新たな事象に対応した防除手法及び新たな散布方法を検証するため、現場実証試験等を実施する。さらに、得られた知見をもとに、既存の被害防止マニュアルを更新し、より幅広い発生状況の赤潮への対応を可能にする。

【サブテーマ (②)】駆除が困難とされてきた *K. mikimotoi* に対して、100%の駆除効果を示すマグネシウム製剤が近年開発された。この新規赤潮防除剤について、室内試験で高い駆除効果と安全性が確認できれば、現場実証試験を実施して、経済性も加味した対策実施マニュアルを作成することが目的である。

(2) 方法

【サブテーマ (①)】

1) 改良した中層散布器での散布試験

昨年度は平成30年度に試作した中層散布器（塩ビ製）を鉄筋によって加重して牽引試験を実施したが、散布器が浮上してしまい、目的とした水深を維持することができなかった。

そこで、今年度は改良した中層散布器を作製（ステンレスパイプ製：図1, 2, 3）し、実海域で船舶に固定して航行しながら粘土散布を行い、散布層の維持機能及び耐久性を確認した。試験は令和4年2月7日に、鹿児島県指宿市今和泉漁港沖（図4）において実施した。試験では、活性粘土（入来モンモリ）15 kgを200 L水槽に貯水した海水150 Lに溶かし、水中ポンプ（オーテック社製、EBARAPUMP：表1）を用い、約3ノットで航行しつつ目的とする水深に散布し、海中での中層散布器の挙動等を確認した。

なお、散布試験は、水深と散布器の放出口の形状を変え、3回実施した（表2）。

2) 防除効果持続技術の検討

① 浮遊型活性粘土の改良

昨年度は海中での沈降速度を遅くすることを目的とし、浮遊するように加工した活性粘土（以下、浮遊型）を試作したが、添加直後に溶解または沈降し、浮遊状態を維持できなかった。今年度は35 gのシラスバルーン（火山ガラス粒子を燃焼発泡させた多泡構造を持つガラス質の中空体：0.20 g/cm³）と65 gの入来モンモリ（1.10 g/cm³）を均一になるように混合（体積比75:25）し、乾燥パン型造粒機（DPZ-01R、アズワン製）を用いて傾斜角45°、攪拌速度35 rpmで回転させつつ、1%のカルボキシメチルセルロース（以下、CMC）溶液を

霧吹きで噴霧して造粒体を作製した。さらに、作製した造粒体を篩いにかけて、大きさが2～3 mm のものを分取し、自然乾燥させたものを試験に用いた（図 5）。なお、浮遊型は鹿児島県工業技術センターが作製したもので、下記の試験①-1、①-2 に供した。

試験①-1：浮遊型の浮遊状態確認試験

改良した浮遊型の浮遊状態を確認するため、100 mL ビーカーに蒸留水 100 mL を収容し、浮遊型 1.0 g を添加して静置し、添加直後、5 分後、30 分後、1 時間後、2 時間後、3 時間後、4 時間後、5 時間後、6 時間後の状態を確認した。

試験①-2：浮遊型の防除効果確認試験

改良した浮遊型の有害プランクトンに対する防除効果を確認するため、ダイゴ IMK 培地で細胞密度を約 1,000 cells/mL に調整した *C. antiqua* 培養株を 200 mL コニカルビーカーに 100 mL 分注し、浮遊型に含まれている入来モンモリの量が 8000 ppm となるように添加した。添加後は静置し、計数する際に 3～4 回ピペッティングを行った。*C. antiqua* の細胞密度の計数は、添加前、5 分後、30 分後、1 時間後に実施した。

② 固形型活性粘土の改良

昨年度は生け簀等に設置して徐々に殺藻成分を海水中に溶出させることを目的とし、固形に加工した活性粘土（以下、固形型）を試作したが、防除効果が低く、また、静置した状態でも時間経過によって形状が崩れていくことが確認された。

今年度は作製時に添加する水分量を変えることで形状維持や防除剤の添加量を増やすことで防除効果の向上がみられるか試験した。入来モンモリ 29.1 g に CMC 0.9 g を均一になるように混合したものに蒸留水を 15 ml 添加して手で練り、形成可能な状態となったものを約 1.5 g 計り取って、球体状に成形して自然乾燥させたものを固形型①とした（図 6）。また、添加する蒸留水を 2 倍（30 ml）にし、形成可能な状態となったものを約 2.0 g 計り取り、球体状に成形して自然乾燥させたものを固形型②とし（図 7）、下記の試験②-1、②-2、②-3 に供した。

試験②-1：固形型①及び②の形状比較試験

固形型①及び②の添加後の形状を比較するため、100 mL ビーカーに蒸留水 100 mL を収容し、固形型①及び②をそれぞれ 1.0 g ずつ添加して静置し、添加直後、5 分後、30 分後、1 時間後、1 時間 30 分後、2 時間後、3 時間後、4 時間後、5 時間後、6 時間後、24 時間後の状態を確認した。

試験②-2：固形型①及び②の防除効果比較試験

固形型①及び②の有害プランクトンに対する防除効果を確認するため、ダイゴ IMK 培地で細胞密度を約 1000 cells/mL に調整した *C. antiqua* 培養株を 200 mL コニカルビーカーに 100 mL 分注し、固形型①及び②をそれぞれ含まれている入来モンモリの量が 8,000 ppm となるように添加した（乾燥重量で 0.83 g の固形型を 1 個）。添加後は静置し、計数する際に 3～4 回ピペッティングを行った。*C. antiqua* の細胞密度の計数は、添加前、5 分後、

30分後、1時間後に実施した。

試験②-3：添加量の増加による防除効果の向上確認試験

固形型の添加量を増やすことで、有害プランクトンに対する防除効果が向上するか確認するため、ダイゴ IMK 培地で細胞密度を約 1,000 cells/mL に調整した *C. antiqua* 培養株を 200 mL コニカルビーカーに 100 mL 分注し、1 個で 100 mL に対して 8,000 ppm になるよう調整した固形型②を 2 個添加した。添加後は静置し、計数する際に 3~4 回ピペッティングを行った。*C. antiqua* の細胞密度の計数は、添加前、5 分後、30 分後、1 時間後に実施した。

なお、試験②-2 にて、固形型①及び②の防除効果に差がみられなかったため、形状を長時間維持していた固形型②で実施することとした。

③ 改良型粘土の固形化の検討

昨年度は活性粘土のみを固形化することができたため、今年度は焼ミョウバンを添加した活性粘土（改良型粘土）の固形化に取り組んだ。

改良型粘土の固形型（以下、改良固形型）は、蒸留水 15 mL に焼ミョウバンを溶かし、入来モンモリ及び CMC を均一になるように混合したものを添加して手で練り、形成可能な状態となったものを約 1.5 g 測り取り、球体状に形成して自然乾燥させた。なお、各改良固形型とも、粉体（入来モンモリ+焼ミョウバン）と CMC の合計が 30 g になるようにし、CMC の含有量が 0%、3%、7.5%、15% の 4 種類を作製し、それぞれを改良固形型①~④とした。配合を表 3 に示す。

また、作製時の水分量の違いによって形状等に差があるか確認するため、改良固形型②（CMC 含有量 3%）及び④（CMC 含有量 15%）について、入来モンモリ、焼ミョウバン、CMC は同量で添加する蒸留水を 2 倍（30 mL）にしたものを作製した。CMC 含有量 3% のものはペースト状になり、手で形成できなかつたため板状にし、CMC 含有量 15% のものは手で形成した後に自然乾燥させ、それぞれを改良固形型⑤、⑥とし（配合は表 4 参照）、各改良固形型（図 8、9）について、下記の試験③に供した。

試験③：改良固形型①~⑥の形状比較試験

改良固形型①~⑥の添加後の形状を比較するため、100 mL ビーカーに蒸留水 100 mL を収容し、改良固形型①~⑥をそれぞれ 1.0 g ずつ添加して静置し、添加直後、5 分後、30 分後、1 時間後の状態を確認した。

【サブテーマ（②）】

1) R3 改良型マグネシウム製剤の調製及び *K. mikimotoi* への殺滅効果試験

過年度までに効果が検証された複数の試作品のうち、課題となっていた魚毒性を軽減する目的で改良されたマグネシウム製剤について春までに製作し、室内試験で駆除効果を確認するための試験を実施した。

過年度までに、渦鞭毛藻 3 種（*K. mikimotoi*、*Cochlodinium polykrikoides* および *Cochlodinium* sp. Type Kasasa）に対する H30 改良型マグネシウム製剤の高い駆除効果について確認している。

今回新たに開発された R3 改良型マグネシウム製剤については、*K. mikimotoi* 強毒培養株 (NGU04, Kim et al. 2019) を用いて殺滅効果の確認試験を行った。強毒株を 100 mL 容のガラス製フラスコで培養し (60 mL, 22°C, 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, 14hL:10hD), ろ過海水でおおよそ 1,000 cells/mL となるように調製し, 24 穴マイクロプレートへ 1 mL ずつ収容した。さらに, 別のマイクロプレートに目的の濃度の 2 倍濃度の R3 改良型マグネシウム製剤を滅菌海水へ溶解して同様に 1 mL ずつプレートへ収容した。試験はこの 2 倍濃度の R3 改良型マグネシウム製剤をピペットで全量抜き取り, *K. mikimotoi* が入ったマイクロプレートに注入し, 数回吸引と吐出を繰り返して混合し, 室温 (22°C) で静置した (改良型マグネシウム剤の最終処理濃度 0, 10, 20, 50, 100, 200, 500 および 1,000 ppm)。各処理 3 試験区設けた。マグネシウム製剤混合後, 0, 1, 2 および 3 時間後にマイクロプレート内を遊泳している *K. mikimotoi* 細胞を計数して平均生残細胞密度を求めた。細胞は遊泳しているもしくは容器の底部に落ちているがゆっくりと動いて形態が通常の栄養細胞と比較して変化がないものを計測し, 容器の底部に落ちて完全に球形化したり, あるいは変色・破裂しかけている細胞は死滅したと判断して計数しなかった。

2) R3 改良型マグネシウム製剤の安全性 (対象種: ブリおよびアワビ)

平均体長 60.3 mm, 平均体重約 3.3 g のブリ稚魚を試験に供試した。試験前日まで給餌を行い, 試験当日に 30L 水槽に 20L 海水とともにブリ稚魚を 4 尾ずつ収容して (対照区はろ過海水), R3 改良型マグネシウム製剤を終濃度 200 ppm になるように添加し, 止水・通気条件下で遊泳行動等を観察した。実験時の水温は 25.5~25.7°C の範囲にあった。

アワビ稚貝への影響を調べるために, 1 日間の馴致を行ったアワビ稚貝 (平均殻長 21.0 mm) を 30L 容器へ 5 個ずつ収容し, そこに, R3 改良型マグネシウム製材添加なし, R3 改良型マグネシウム製剤 100 ppm, 200 ppm および 300 ppm の 4 試験区を準備し, それぞれ約 2L の海水が入ったビーカーで約 5 分間攪拌後に水槽に散布し, 止水・通気条件下で 1 時間曝露した。曝露 5 分後, 15 分後, 30 分後, 1 時間後に水質環境 (水温, DO 等) や生存状況等を観察した。曝露後は速やかに清浄海水に移し, 止水・通気条件下で 24 時間後まで経過観察を行った。

3) 新規マグネシウム製剤による赤潮防除効果および安全性の検討

過年度までの成果に基づくと, 既存のマグネシウム製剤を改良した数種類の試作製剤の中から, H30 改良型マグネシウム製剤が赤潮生物への効果およびコストの両面から, 有用であると判断された。しかしながら, 魚毒性試験において, 赤潮生物殺滅有効濃度 (200 ppm) 付近で供試魚が 3 時間以内に全滅する結果となった (松山ら 2019)。この魚毒性の原因として, マグネシウム製剤の粒子が供試魚の鰓を物理的に閉塞することが考えられた。それ故, 飼育水槽のような閉鎖的な空間内では, 底に沈降したマグネシウム製剤がエアレーションなどの攪拌によって再懸濁し, 粒子が水中に浮遊する状態が長く継続するため, 現場海域での状況と比較して魚類への影響が過大に評価される可能性があるかと推察された。こうした課題を踏まえて, 今年度は魚毒性を軽減するために粒径を大きくした R3 改良型マグネシウム製剤を開発した。本課題では, より現場環境に近い状況での散布を実施し, R3 改良型マグネシウム製剤散布後の水質環境の調査および魚類への影響について調べ, 昨年度実施した H30 改良型との比較検討を行った。

現場海域でのマグネシウム散布試験は, 大分県海域と長崎県海域での 2 海域で実施した。大分県海域では散布後 24 時間までの, 長崎県海域では散布後 20 時間までの短期的な水質環境を

調査するとともに、供試魚を用いた魚毒性の評価を行った。

① 大分県海域

試験海域は大分県農林水産研究指導センター水産研究部地先の筏（水深 15 m）において図 10 に示した試験を実施した。試験海域にポリエチレン製のブルーシートと 1 m 四方の硬質ポリ塩化ビニル管で作製した枠を 2 m 間隔で 6 個配置したメソコズム（縦×横×高さ、1 m×1 m×10 m）を 2 基配置し、1 基はマグネシウム製剤を溶解した海水を散布した試験区、もう 1 基は散布なしの対照区とした。マグネシウム製剤の散布量については、メソコズム内全体が有効濃度 200 ppm になるように計算した量 2 kg を 100 L 容器内にて海水とよく攪拌後、2 時間静置したのち投入した。

水質環境（濁度、クロロフィル *a* 濃度および pH）の観測は、試験区および対照区ともに散布前、散布直後、5 min、15 min、30 min、1 h、3 h、5 h 及び 24 h 後に実施した。水質環境の観測項目について、濁度とクロロフィル *a* 濃度は各試験区のメソコズム内に多項目水質計（AAQRINKO, JFE アドバンテック社製）を投下して観測し、pH は各メソコズム内の一定水深帯（0、2、5 および 10 m）の海水を採水し、研究室に持ち帰り測定を行った。

また、アワビ稚貝への影響を調べるために、1 日間の馴致を行ったアワビ稚貝（平均殻長 21.0 mm）を 30 L 容器へ 5 個ずつ収容し、そこに、改良型マグネシウム製材添加なし、防除剤 100 ppm、防除剤 200 ppm、防除剤 300 ppm の 4 試験区を準備し、それぞれ約 2 L の海水が入ったビーカーで約 5 分間攪拌後に水槽に散布し、止水・通気条件下で 1 時間曝露した。曝露 5 分後、15 分後、30 分後、1 時間後に水質環境（水温、DO 等）や生存状況等を観察した。曝露後は速やかに清浄海水に移し、止水・通気条件下で 24 時間後まで経過観察を行った。

② 長崎県海域

試験海域は新長崎漁港内にある県営棧橋横とした。図 11 に試験概要を示す。試験海域に円筒形のメソコズム（直径×高さ、1 m×9 m）を 2 基設置し、1 基はマグネシウム製剤を溶解した海水を散布した試験区、もう 1 基を同量の現場海水のみを散布した対照区とした。また、魚類への影響を調べるために、メソコズム内にはブリ稚魚（平均尾叉長 60.3 mm、平均体重 3.3 g）を 10 尾収容した座布団カゴ（35 cm×35 cm×高さ 18 cm）を水深 1 m 深に垂下した。過年度までの結果から、赤潮生物に駆除効果を示すマグネシウム製剤の有効濃度は 200 ppm 以上であることを報告している（松山ら 2021）。また、実際の赤潮発生状況を想定した場合、日周鉛直移動を行う有害鞭毛藻類は日中に表層付近に集積するため、長崎県海域では水深 2 m までの海水中の赤潮生物を駆除できるようにマグネシウム製剤を散布した。つまり、本試験に使用したマグネシウム製剤の量は 320 g となり、予め 10 L の海水が入った角型トスロンタンク中で溶解したのち、メソコズム内に散布した。水質環境（濁度、クロロフィル *a* 濃度および pH）の観測は 0、直後（5～10 min）、15 min、30 min、45 min、1 h、2 h、3 h および 20 h 後にそれぞれ行った。水質環境の観測項目について、濁度とクロロフィル *a* 濃度は各試験区のメソコズム内に多項目水質計（AAQRINKO, JFE アドバンテック社製）を投下して観測し、pH は各メソコズム内の一定水深帯（0、2、5 および B-1 m）の海水を採水し、研究室に持ち帰り測定を行った。供試魚の生残状況については、散布区の水質環境観測に合わせて、座布団カゴを水面から出して目視で行った。

(3) 結果及び考察

【サブテーマ (①)】

1) 改良した中層散布器での散布試験

1 回目は水深 3 m にて放出口は L 字型 (幅 50 mm), 2 回目は水深 3 m にて放出口は T 字型 (幅 2 m), 3 回目は水深 5 m にて放出口は T 時型 (幅 2 m) で実施し, 全て目的とした水深を維持しながら粘土を散布する様子が確認され (図 12, 13, 14), 破損や湾曲等はみられなかった。

しかし, 散布器は旋回中に傾いて船体から離れそうになり (図 15), 4 ノットで航行すると振動が大きくなって海面にずり上がる様子が確認されたため (図 16), ロープ等よりも強固な方法で船舶に固定する必要があると考えられた。

また, L 字型での海水放出量は水深 3 m にて 2.5 L/秒であった。海水 10 L に対して活性粘土が 1 kg 程度しか溶解しなかったため, 防除剤の放出量が海水と同じと仮定した場合, 粘土を 1 m²に 1,000 ppm 散布するには 4 秒必要であり, そのためには 1 ノット以下, または複数の船で同じ航路に複数回散布する必要があると考えられた。

以上の結果から, 船舶への固定方法, 散布器の内径や放出口の形状を変更し, 航行しながら十分な量の粘土を散布できる構造を検討する必要がある。

2) 活性粘土の防除効果維持確認試験

① 浮遊型活性粘土の改良

試験①-1: 浮遊型の浮遊状態確認試験

浮遊型の添加直後からの様子を図 17 に示す。添加から 6 時間後もほとんどの粒体が浮遊しており, 令和 2 年度よりも浮遊状態を維持していた。しかし, 粒体は形状を長時間維持することから, 散布後の集積や堆積による影響が懸念された。また, 6 時間後に浮遊していた粒体を回収し, 乾燥後に重量を測定した結果, 0.5 g であり, 添加時の半分となっていた。攪拌等によって粒体から粘土が沈降する様子が確認されていることから (図 18), 実海域では波浪等の影響によって沈降が早まり, 防除効果は短くなると考えられた。

試験①-2: 浮遊型の防除効果確認試験

浮遊型及び通常の活性粘土 (令和 2 年度試験結果) における *C. antiqua* の細胞減少率の推移を図 19 に示す。浮遊型は 5 分後には 70%以上, 30 分後で 90%以上となり, 通常の活性粘土単体の細胞減少率と有意な差はみられなかった (*t* 検定: $p < 0.05$)。しかし, 試験①-1 の結果から, 実海域に散布して長時間の防除効果を得るのは困難と考えられた。

② 固形型活性粘土の改良

試験②-1: 固形型①, ②の形状比較試験

両試験区における添加直後からの様子を図 20, 21 に示す。固形型①は, 添加直後から崩れ始め, 90 分後には半分以上が崩れており, 攪拌すると完全に崩壊した。固形型②は添加直後から 24 時間後まで形状を維持しており, 攪拌しても崩壊しなかった。

以上の結果から, 活性粘土単体の場合は作製時に水分を多く添加したほうが, 形状を維持できると考えられた。

試験②-2: 固形型①, ②の防除効果比較試験

両試験区における *C. antiqua* の細胞減少率の推移を図 22 に示す。両試験区とも 5 分後から 1 時間後までの細胞減少率は 30% 前後であり、防除効果は低く、有意な差はみられなかった (t 検定: $p < 0.05$)。両試験区とも、粘土の粒子が拡散していないため、粘土の凝集・沈降作用が働かず、通常の活性粘土より効果が低かったと考えられた (図 23)。

試験②-3: 添加量の増加による防除効果の向上確認試験

固成型②を 1 個及び 2 個添加した場合における *C. antiqua* の細胞減少率の推移を図 24 に示す。細胞減少率は 30% 前後であり、防除効果は低く、両試験区に有意な差はみられなかった (t 検定: $p < 0.05$)。

添加後、攪拌せずに静置しており、殺藻成分が十分に拡散しなかったため、防除効果が低かったと思われた。

③ 改良型粘土の固形成の検討

各試験区における添加直後からの様子を図 25 に示す。各試験区とも、添加直後から崩れ始め、10 分後には完全に崩壊した。各試験区とも、作製過程にて焼ミョウバンを溶かした蒸留水に活性粘土と CMC を混ぜ合わせると、固成型作製時よりも粘土が水っぽい感触となり、焼ミョウバンが電解質であるため粘度が低下したと思われた。また、形成して自然乾燥させたものは、どれも表面に焼ミョウバンが析出していたことから、乾燥の際に溶け込んでいた焼ミョウバンが分離してしまい、強固に固まらないと思われた。

以上の結果から、改良型粘土を固形成することは困難と考えられ、活性粘土単体の場合、改良型粘土と比較して 3~8 倍の散布が必要になるため体積や重量が大きくなり、生け簀等への設置も困難になると考えられた。

【サブテーマ (②)】

1) 改良型マグネシウム製剤の調製及び *K. mikimotoi* への殺滅効果試験

(培養株を用いた駆除試験)

今年度新たに改良されたマグネシウム製剤 (以後 R3 改良型マグネシウム製剤と称する) の写真を図 26 に示した。今年度は、H30 改良型の粒径を大きくするために、加工温度を変化させた。図に示したように、R3 改良型は粒径が大きく、粉体の混入率が 15% 程度と、粗粒分の割合が向上した。

次に、*K. mikimotoi* 培養株に R3 改良型マグネシウム製剤を 7 段階の濃度で添加して 3 時間様子を観察した結果を図 27 に示した。*K. mikimotoi* は 1,000 および 500 ppm では添加直後からほとんどが不動細胞となり、1,000 ppm では 1 時間後に、500 ppm では 2 時間後にすべての細胞が膨潤して破裂し全滅した。推奨濃度である 200 ppm では、H30 改良型マグネシウム製剤と比較すると不動化するまでの時間が遅延しており、70% を超える細胞が殺滅されるまでに 3 時間を要した (H30 改良型マグネシウム製剤は 1 時間で 90% の殺滅効果あり)。これは概ね H30 改良型マグネシウム製剤の 100 ppm 濃度と同じような殺滅効果であった。

いずれにしても、R3 改良型マグネシウム製剤についても、*K. mikimotoi* に対して殺滅効果をほぼ維持していると考えられる。

2) 改良型マグネシウム製剤の魚毒性の評価

小型のブリ稚魚に、推奨濃度の 200 ppm の R3 改良型マグネシウム剤を添加して生残を調べた結果を図 28 に示した。H30 改良型マグネシウム製剤では、推奨濃度の 200 ppm とその半量の 100 ppm の改良型マグネシウム製剤添加によって、ブリの稚魚は約 2~3 時間にかけて全滅している（松山ら 2019）。しかし、R3 改良型マグネシウム製剤では魚毒性は認められず、改良によって粒径を大きくしたことで、魚毒性が抑制されたことが分かる。R3 改良型マグネシウム剤の魚毒性は低下したので、実海域での試験散布にむけた安全性が確保できたと判断した。

次に R3 改良型マグネシウム製剤を 3 段階の濃度でアワビ稚貝へ曝露した時の生存匹数を図 29 に示した。300 ppm では曝露開始直後より水面まで上がってくる個体が確認されたものの、その後は水中に戻った。曝露 60 分後に清浄海水に戻し 24 時間後の生存を確認したが、いずれの濃度でも斃死は確認されず、弱った個体も確認されなかった。

3) 改良型マグネシウム製剤による赤潮防除効果および安全性の検討

室内曝露試験は閉鎖環境下での影響評価であるため、マグネシウム製剤の水質や魚毒性に対する影響を過大評価する可能性が高い。このため、半閉鎖的な現場海域での予備的な散布により、水質への影響を定量的に把握する必要がある。また、赤潮発生時は、予備的な駆除試験も実施してデータを取得することが重要である。

まず、本課題では、天然の赤潮生物、特に *K. mikimoti* に対する効果についても調べる計画であったが、残念ながら、本年度（令和 3 年度）は予定された試験海域ではカレンニア赤潮非発生年となり、その評価はできなかった。以下に、各海域における調査結果を述べる。

① 大分県海域

マグネシウム製剤散布直後から 24h 後までの水質環境に関する鉛直プロファイルの経時的変化を図 30 および 31 に示す。各環境項目に関して以下に説明する。

・濁度

濁度に関して、散布直後に最大で 65 FTU 付近まで上昇する水深帯が観測されたが、その後 30 min 後までに極大値が 9.8FTU まで減少した。散布後 1h 以降、水深 2m までの散布区の濁度は、散布後 5h まで対照区と比較して高い状況が確認されたが、24 時間後には、対照区と散布区で顕著な差は認められなかった。

・クロロフィル a 濃度

試験開始前において、対照区に比べ散布区の方が低いクロロフィル値であった。これは、メソコズムを前日に設置したことや対照区と散布区で異なる測器を用いた影響と考えられた。また、散布直後から 30 min 後まで散布区で開始前より数値が上昇する状況が観測されたが、マグネシウム製剤散布後に、植物プランクトンが急激に増殖することは考えにくい。そのため、この数値の上昇は、マグネシウム製剤の懸濁粒子が強く影響していると考えられ、クロロフィル a を正確に測定できていないと判断された。

散布後 3h 以降、水深 6m 以浅のクロロフィル a に関して、対照区・散布区共に上昇が認められた。これは、メソコズムの高さが 10 m に対し、海域の水深は 16 m ほどあるため、潮汐によって、メソコズムの底から周囲の海水が流入したためと考えられる。

なお、今回の試験では、海水の顕微鏡観察は行っておらず、クロロフィル a に由来する植物プランクトン種組成については不明である。

・pH

マグネシウム製剤散布直後に最大で 9.3 付近まで上昇する水深帯が観測された。また、散布後 5h までは表層から底層まで散布区の pH が高く、底層よりも表層付近でその差が顕著であった。散布後 1 日経過後には、顕著な差は見られなくなったものの、散布区の pH が高い状況は継続していた。

② 長崎県海域

R3 改良型マグネシウム製剤の散布状況(図 32)と散布から 20h 後の状況を図 33 に示す。また、この試験期間中の水質(濁度・pH)の鉛直プロファイルの経時的変化を図 34 と図 35 に示す。各環境項目に関して以下に説明する。

・濁度

濁度に関して、散布直後に表層付近で 5 FTU 付近まで上昇したが、その後はスパイク的な濁度が観察されるのみで、試験期間中ほとんど顕著な濁度上昇は見られなかった。試験終了(20h)まで対照区と同じ濁度まで戻っていた。

・クロロフィル a 濃度

クロロフィル a 濁度に関して、試験中 1~2 $\mu\text{g/L}$ の範囲で推移しており、対照区と散布区で大きな差異はみられなかった。

・pH

マグネシウム製剤散布直後、表層において 9.5、2m 層で 8.7 まで pH が上昇していた。表層から 2m 層まで pH が 8.5 を超える状態は散布後 30 分後まで確認されたが、その後徐々に対照区との差が縮小し、3 時間後には対照区とほぼ同じ pH となった。

・供試魚の生残

昨年度実施した H30 改良型マグネシウム製剤については、散布後 3 時間以内に全数が死亡するなど、魚毒性がみられ、ブリ稚魚は、マグネシウム製剤散布直後から、鼻上げ行動が観察され、へい死したモジャコは、鰓蓋が開いた状態であった。試験終了後、各試験区の供試魚を解剖し、鰓の状況を観察すると、散布区の個体の鰓に散布したマグネシウム製剤を含む粘着物が付着している状況が観察された(松山ら 2021)。今年度実施した R3 改良型のマグネシウム製剤の散布試験では、H30 改良型マグネシウム製剤のような異常行動は認められず、試験終了の 20 時間後まで全数が生残するなど(図 36)、室内試験同様に高い安全性を確認することができた。この要因としては、R3 改良型マグネシウム製剤の粒径が大きく水中の浮遊時間が短いこと、また鰓の二時鰓弁への侵入や付着が弱いことが想定された。

4. 参考文献

鹿児島県水産試験場. 粘土散布による赤潮被害防止マニュアル, 1981.

鹿児島県水産技術開発センター. 改良型粘土を用いた赤潮被害防止マニュアル, 2018; 20 pp.

水産庁, 鹿児島県水産試験場. 粘土散布による赤潮被害防止マニュアル. 「赤潮対策技術開発試験成果集(3)」, 水産庁, 東京, 1982; 31 pp.

松山幸彦, 長副 聡, 中里礼大, 井口大輝, 山砥稔文, 山本佳奈, 中島吉洋, 東條智仁, 高杉朋孝, 吉満 敏, 渡辺国男, 田中俊也. 2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発 イ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証 ③改良粘土散布の実証試験および新たなマグネ