

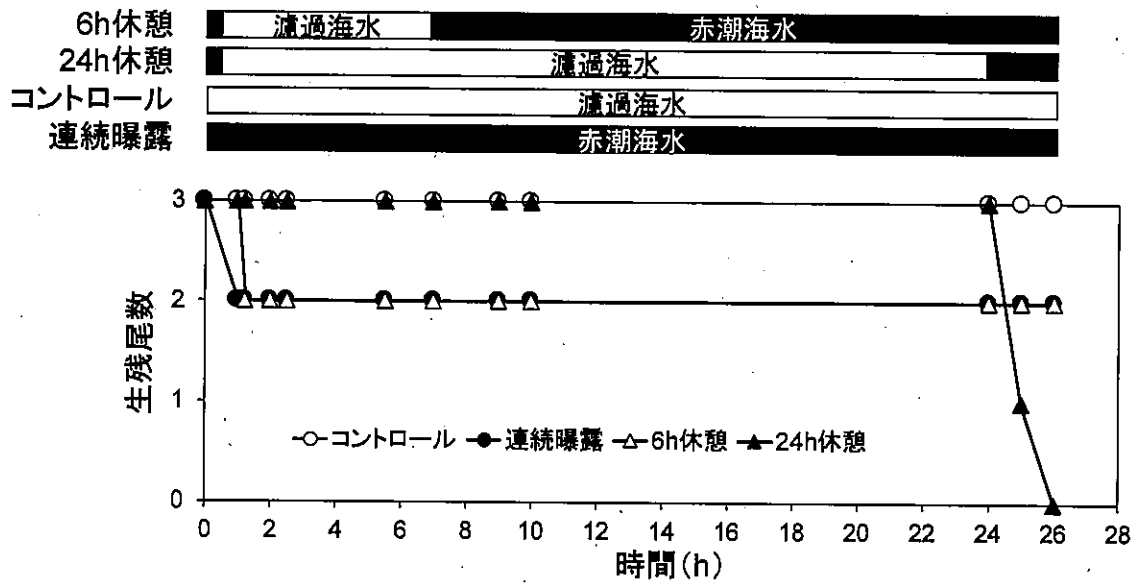


図 13. *K. mikimotoi* の断続曝露試験結果.

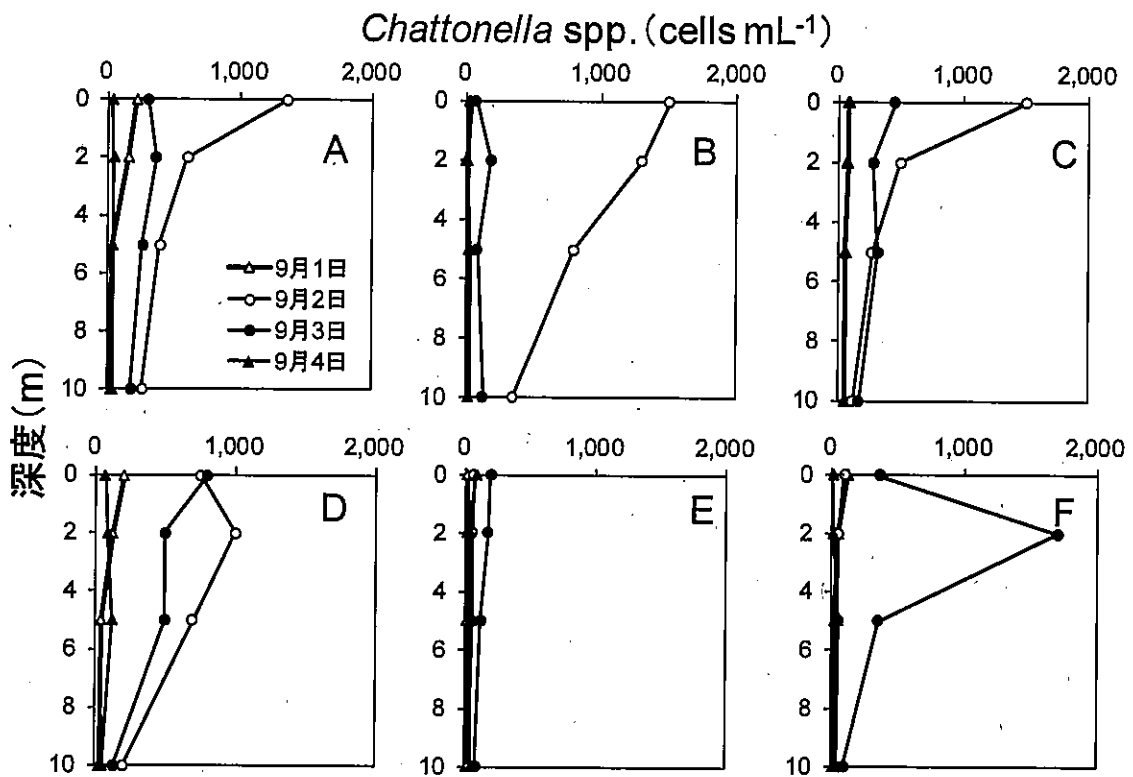


図 14. 各漁場における *Chattonella* spp.細胞密度の推移.

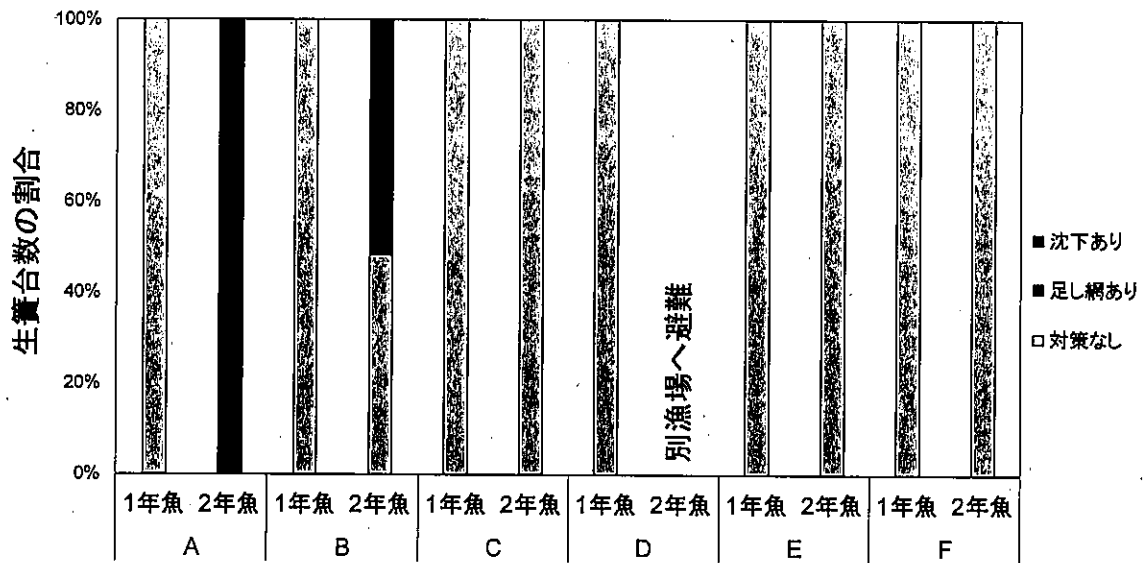


図 15. 各漁場における事前対策. 対策なしは餌止めのみ.

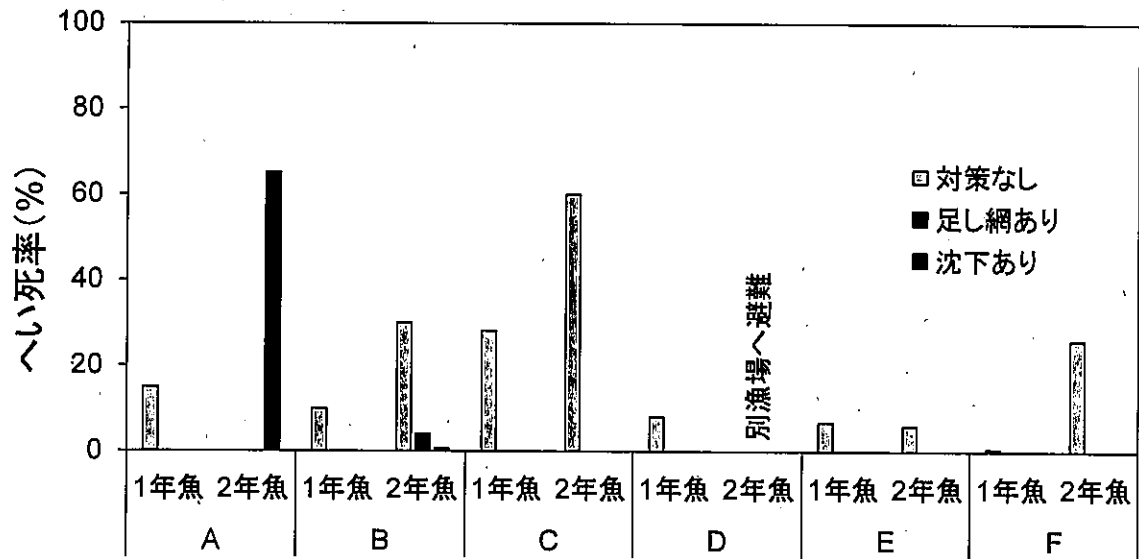


図 16. 各漁場におけるブリのへい死率.

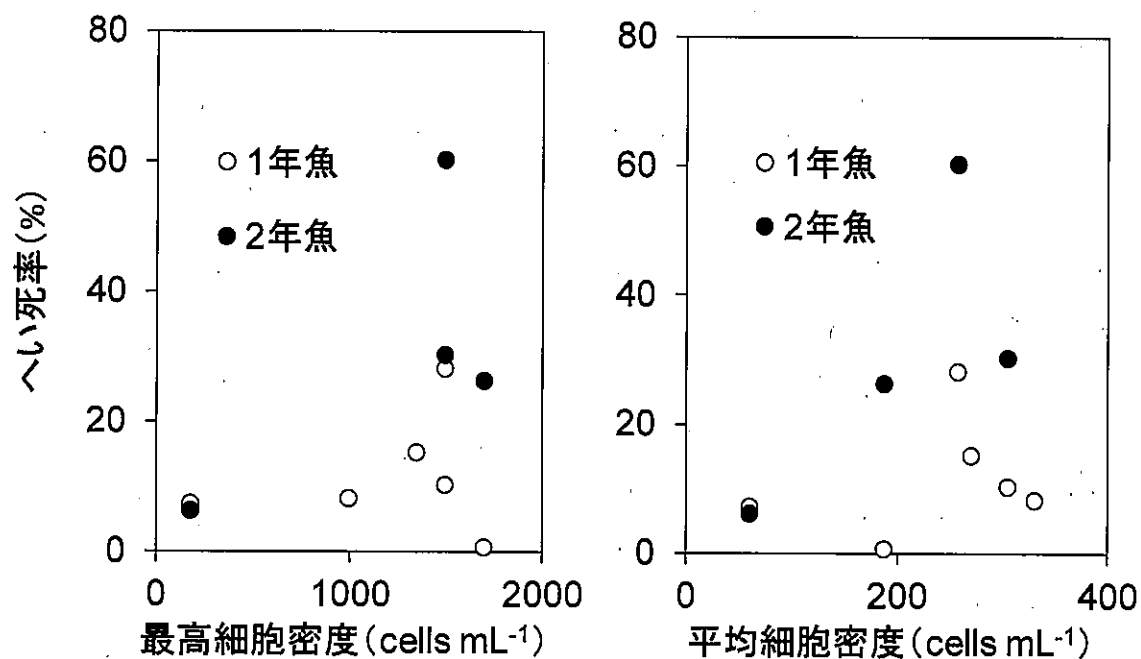


図 17. 9 月 1～4 日の *Chattonella* spp. の最高密度もしくは平均細胞密度とブリのへい死率との関係。データは漁場ごとに整理。

表 1. 2019 年入津湾における *K. mikimotoi* の鉛直移動パラメータの推定値。

月日	最大到達深度 (m) , 時刻	最小到達深度 (m) , 時刻
8 月 28 日	1.4, 10:20	5.9, 23:20
8 月 29 日	2.5, 16:30	欠測
8 月 30 日	2.1, 15:40	
8 月 31 日	不明	7.1, 2:40
9 月 1 日	不明	7.0, 0:40
9 月 2 日	不明	7.7, 2:30

表 2. *K. mikimotoi* 各培養株の増殖速度, O₂-レベルおよびワムシへの毒性. ハイフンは欠測.

分離海域	株名	増殖速度 (>0.4 div. day ⁻¹)	O ₂ -レベル (>4 RLU cell ⁻¹)	ワムシへの毒性 (半数致死時間≤6h)
九十九島	KJK-1			○
	KJK-4			○
	KJK-5			-
	KJK-7			○
	KJK-8			○
	KJK-9			-
	KJK-10			-
楠浦湾	KU-1			○
	KU-2	○		-
	KU-3		○	-
	KU-4			○
	KU-5			○
	KU-6	○		○
	KU-7			○
	KU-8	○		-
	KU-9	○	○	○
	KU-10			-
伊万里湾	IMR-2			-
	IMR-3			-
	IMR-4	○		○

表 3. 2019 年東町漁協管内の漁場における *Chattonella* 赤潮発生, 対策および被害発生の経過.

日付	8月20日	8月21日	8月22日	8月23日	8月24日	8月25日	8月26日	8月27日	8月28日	8月29日
漁場内最大細胞数	3	9	9	13	50	10	184	302	235	31
ブリ2歳魚餌止め										
ブリ当歳魚餌止め										
生簀沈下・足し網			設置開始							
モンモリ・ミョウバン散布								モンモリ+塩		
被害										
日付	8月30日	8月31日	9月1日	9月2日	9月3日	9月4日	9月5日	9月6日	9月7日	9月8日
漁場内最大細胞数	98	150	219	1,500	1,700	120	25	7	4	3
ブリ2歳魚餌止め										
ブリ当歳魚餌止め										
生簀沈下・足し網		設置完了								
モンモリ・ミョウバン散布			モンモリ+焼きミョウバン							
被害										

2) 有害赤潮の防除および漁業被害軽減のための技術開発

イ. 生簀等の魚介類を守る技術開発と実証

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

水産機構西海区水産研究所

松山幸彦, 長副 聡

大分県水産研究指導センター

井口大輝, 中里礼大, 都留久美子

長崎県総合水産試験場

山本佳奈, 平江 想, 山砥稔文

鹿児島県水産技術開発センター

宮田翔也, 高杉朋孝, 吉満 敏

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。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* に対する駆除効果を高めるのみならず, *Karenia mikimotoi* に対しても有効であることが確認された。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(鹿児島県水産技術開発センター 2018)の更新を図る。

また, 近年駆除が困難だった *K. mikimotoi* に対して, 5 分間で 100% の駆除効果を示すマグネシウム剤が開発された。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。

2 平成 31 年度(令和元年度)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およ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、5 分間で 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) 試作中層散布器の曳航試験

平成 30 年度に試作した中層散布器(図 1, 2)について、実海域で漁船により曳航し、耐久力及び曳航層維持性能の確認を行った。試験は令和元年 5 月 17 日に、鹿児島県指宿市山川湾奥部(図 3)にて実施した。潮流による影響をなるべく避けるため、散布は干潮時刻の前後 1 時間で行った。試験では、水中ポンプ(オークテック社, EBARA PUMP)に塩ビ管で作製した中層散布器を接続し、水深 5m まで沈めて約 4 ノットで曳航した。なお、曳航試験は中層散布器につける重りの数を変えて 2 回行った(表 1)。

2) 中層散布の防除効果確認試験

改良型粘土の中層散布の防除効果について、現場実証試験を行った。

試験は令和元年 7 月 24 日に、*K. mikimotoi* 赤潮が発生している長崎県松浦市鷹島町殿ノ浦港地先(図 4)で実施した。船を筏に係留した停船状態で潮止まり前後と下げ潮時に、中層散布器(図 1, 2)の放出方向を変えて実施した(図 5, 6)。試験直前に多項目水質計(JFE アドバンテック社, AAQ-RINKO)で鉛直連続観測(表層から底層)を実施した。試験では、水中ポンプ(オークテック社, EBARA PUMP)に塩ビ管で作製した中層散布器をクロロフィルピークのあった水深 2m まで沈め、あらかじめ改良型粘土(入来モンモリ 16 kg+焼ミョウバン 1.6 kg)を 2 トン水槽に収容した海水約 500L に投入し、5 分間攪拌したものを可能な限り散布した。

散布中、散布直後、散布 5 分後、散布 10 分後に多項目水質計による鉛直連続観測(表層から底層)を実施し、目的の散布層(2 m 層)に散布できているかを確認するとともに、同タイミングで 0.3 m, 1 m, 2 m, 3 m, 4 m 層において採水を実施し、船上で速やかに *K. mikimotoi* の細胞密度を計数した。

3) 改変改良型粘土の防除効果維持確認試験

改良型粘土を加工し、形態を変化させたもの(図 7)を試作し、従来の粉末状態の改良型粘土と防除効果の比較を行った。試験は令和 2 年 2 月 7 日に実施した。試験前日に入来モンモリ 10 g, 焼ミョウバン 1 g, 濾過海水 10 mL をボウルにいれ、ゴムべらで 5 分間練り合わせ

たものを2つ作成した。片方はそのまま容器に密栓保存して増粘化粘土として試験に供試し、もう片方はガラスビーカーに収容して100℃、3時間で乾燥させ、容器に密栓保存して固形化粘土として試験に供試した。

試験の供試プランクトンには、ダイゴIMK培地で15日間培養した *Chattonella antiqua* (2017年八代海株) を用いた。ダイゴIMK培地で細胞密度を調整した *C. antiqua* 培養株 (約700 cells/mL) を200 mL フラスコに100 mL ずつ収容し、固形化粘土、増粘化粘土、加工を施していない通常の改良型粘土を1,000+100 ppm (入来モンモリ+焼ミョウバン) となるようにそれぞれ添加した後に、5分間攪拌して *C. antiqua* への防除効果を確認した。粘土散布前、散布5分後、30分後、1時間後に細胞密度の計数およびpHの測定を実施し、時間経過による細胞密度およびpHの推移を確認した。

4) 飼育環境の異なるブリに対する改良型粘土の安全性確認試験 (野外試験)

飼育環境 (餌止め期間) の異なるブリに対し、改良型粘土の野外曝露試験を実施した。令和2年1月9日に鹿児島県指宿市の養殖業者の飼育するブリ (1.2 kg) を搬入し、実飼育容積4 m×4 m×1.5 mの野外生け簀 (図8) に10尾ずつ、合計で6生け簀60尾を収容した。令和2年1月14日より給餌を開始し、令和2年1月21日以降は毎日1回飽食まで給餌し馴致させた後、指定の期間 (表2) 餌止めを行い、曝露試験に供試した。なお、試験期間中の飼料はハマチEPタフd10 (サンダイコー) のみとした。

試験設定について、表2に示す。曝露試験は令和2年2月5日に実施した。供試魚を収容した生け簀の直上より改良型粘土 (入来モンモリ+焼ミョウバン) 1,000+100 ppmとなる量をそれぞれ散布し、24時間後まで供試魚の斃死や異常行動の有無を観察した。また、生け簀内において散布前、散布直後、散布10分後、散布30分後に多項目水質計 (JFEアドバンテック社、AAQ-RINKO) による鉛直連続観測 (表層から生け簀底面) を行った。24時間後、各生け簀から生残魚を5尾ずつ取り上げ、全長、体重の測定および鰓の採取を実施した。採取した鰓は後日、電子顕微鏡による観察に供した。

【サブテーマ (2)】

1) 改良マグネシウム剤の調製及び *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、最も *K. mikimotoi* の駆除効果の高いC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。

昨年度まで、渦鞭毛藻3種 (*Karenia mikimotoi*, *Cochlodinium polykrikoides* および *Cochlodinium* sp. Type Kasasa) に対する改良マグネシウム剤 (C剤) の高い駆除効果について確認している。一方で、微粒子が鰓に物理的に絡むことで魚毒性を示すことも確認しており、今年度はこの魚毒性を軽減するために、海水へC剤を溶解後、しばらく静置して自然凝集反応を促進して、粒子の粒径を増大させる手法について検討した。この静置時間と *K. mikimotoi* に対する駆除効果について調べた。*K. mikimotoi* 強毒培養株 (NGU04, Kim et al. 2019) を100 mL容のガラス製フラスコで培養し (60 mL, 22℃, 120 μ mol/m²/s, 14hL:10hD), ろ過海水で200 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400 ppmの改良マグネシウム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。C剤を海水へ溶解したのち、0, 15, 30, 60 および240分後に3 mLのディスポピペット

で各マイクロプレートの *K. mikimotoi* 全量を抜き取り、数回吸引と吐出を繰り返して混合し、室温 (22℃) で静置した (改良マグネシウム剤の処理濃度 200 ppm)。各処理 3 試験区設けた。改良マグネシウム剤を添加後、60, 75, 90, 120 および 300 分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) マグネシウム製剤溶解後の静置時間と安全性 (対象種: ブリ)

平均体長 292 mm, 平均体重約 263.3 g のブリを、試験日まで 2 日間餌止めして供試した。試験前日に 100 L 水槽に 3 尾ずつ収容し、1 日間の馴致期間を設けた。改良型マグネシウム製剤 200 ppm を 2 L の海水が入ったビーカーに添加して 5 分間攪拌後、0, 30, 60, 75 および 90 分間静置した。対照には製剤無添加の海水 2 L を用いた。これらを供試魚を収容した水槽に散布し、止水・通気条件下で 40 分間曝露して遊泳行動等を観察した。水質 (水温, pH 等) 測定は、曝露前、曝露直後、曝露 5, 15, 30 および 40 分後に実施した。曝露終了後は速やかに生残魚を清浄海水に移し、止水・通気条件下で 24 時間後まで経過観察を行った。

平均体長 101 mm, 平均体重約 17.4 g のブリを、試験に供試した。試験前日まで給餌を行い、試験当日に 30 L 水槽に 20 L 海水とともに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、溶解後 0, 15, 60 および 240 分後にブリ稚魚を 2 尾ずつ収容して、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 22.3~22.5 度の範囲にあった。

3) マグネシウム製剤の添加濃度と安全性 (対象種: クロアワビ)

平均殻長 19.1 mm のクロアワビを供試した。試験前日に 30 L 水槽に 5 個体ずつ収容し、1 日間の馴致期間を設けた。改良型マグネシウム製剤 100, 200 および 300 ppm を 2 L の海水が入ったビーカーに添加して 5 分間攪拌した。対照には製剤無添加の海水 2 L を用いた。これらを供試貝を収容した水槽に散布し、止水・通気条件下で 1 時間曝露して生存状況等を観察した。水質 (水温, DO 等) 測定は曝露 5, 15, 30 および 60 分後に実施した。曝露終了後は速やかに生残貝を清浄海水に移し、止水・通気条件下で 24 時間後まで経過観察を行った。

4) マグネシウム製剤溶解後の静置時間と安全性 (対象種: クロアワビ)

平均殻長 19.6 mm のクロアワビを供試した。試験前日に 30 L 水槽へ 5 個体ずつ収容し、1 日間の馴致期間を設けた。改良型マグネシウム製剤 200 ppm を 2 L の海水が入ったビーカーに添加して 5 分間攪拌後、0, 15, 30, 45 および 60 分間静置した。対照にはマグネシウム製剤無添加の海水 2 L を用いた。これらを供試貝を収容した水槽に散布し、止水・通気条件下で 1 時間曝露して生存状況等を観察した。水質 (水温, DO 等) 測定は曝露 5, 15, 30 および 60 分後に実施した。曝露終了後は生残貝を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。

5) マグネシウム製剤の添加濃度と安全性 (対象種: ヒオウギガイ)

平均殻長 88.7 mm のヒオウギガイを供試した。試験前日に 30 L 水槽に 3 個体ずつ収容し、

1 日間の馴致期間を設けた。改良型マグネシウム製剤 100, 200 および 300 ppm を 2 L の海水が入ったビーカーに添加して 5 分間攪拌した。対照には製剤無添加の海水 2L を用いた。これらを生試具を収容した水槽に散布し、止水・通気条件下で 1 時間曝露して生存状況等を観察した。水質（水温、DO 等）測定は曝露 5, 15, 30 および 60 分後に実施した。曝露終了後は生残員を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。

6) マグネシウム製剤溶解後の静置時間と安全性（対象種：ヒオウギガイ）

平均殻長 87.5 mm のヒオウギガイを生試具を収容した水槽に 3 個ずつ収容し、1 日間の馴致期間を設けた。改良型マグネシウム製剤 200 ppm を 2 L の海水が入ったビーカーに添加して 5 分間攪拌後、0, 15, 30, 45 および 60 分間静置した。対照には製剤無添加の海水 2L を用いた。これらを生試具を収容した水槽に散布して、止水・通気条件下で 1 時間曝露し生存状況等を観察した。水質（水温、DO 等）測定は曝露 5, 15, 30 および 60 分後に実施した。曝露終了後は生残員を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) 結果及び考察

【サブテーマ (Ⅰ)】

1) 試作中層散布器の曳航試験

曳航中の様子について、1 回目の曳航試験では、曳航開始後すぐに中層散布器が浮き上がり、最終的に水面まで浮上する様子が確認された（図 9）。この後、重りを追加した 2 回目の曳航試験では、曳航中に水面まで浮上することはなかったものの、目視で確認できる水深（約 1m）まで浮上している様子が確認された（図 10）。

本試験より、現状の試作中層散布器を曳航しながら散布することは困難であることを確認した。曳航時の散布器の様子から、ポンプホース及び散布器の浮力が問題となっていると考えられることから、重りの追加もしくは浮力を抑える構造が必要である。

2) 中層散布の防除効果確認試験

試験の実施状況を図 11, 12 に、各試験区におけるクロロフィル及び濁度の推移を図 13～14 及び図 16～17 に、*K. mikimotoi* の細胞密度の推移を図 15, 18 に示す。

1 回目の散布では、粘土散布直後に目的層である 2m 層において濁度の上昇がみられたが、散布 5 分後には散布前とほぼ同等の数値まで低下した。細胞密度は、特に粘土散布を行った 2m 層において粘土散布中から低下し、散布 10 分後には散布前 (1,160 cells/mL) の約 35% (410 cells/mL) となった。

2 回目の散布では、粘土散布中及び散布直後に目的層である 2m 層において濁度の上昇がみられたが、散布 5 分後には散布前とほぼ同等の数値まで低下した。細胞密度は、特に粘土散布を行った 2m 層において粘土散布中から細胞密度が減少し、散布直後には散布前 (1,260 cells/mL) の約 40% (500 cells/mL) となったが、散布 5 分後には散布前とほぼ同等の細胞密度まで回復した。細胞密度が回復した原因としては、試験実施時が下げ潮であり、潮流等の影響で周囲の細胞密度の高い海水が流入したためであると考えられる。

本試験では、中層の *K. mikimotoi* に改良型粘土の中層散布を行うことで、目的層における防

除効果を確認できた。散布器については使いやすさや耐久性等の面で改良の余地はあるものの、本手法により、停船状態であれば中層の赤潮に対して直接防除することが可能であると考えられる。しかし、停船状態ではピンポイントでの防除しか行えないため、今後は中層散布器をさらに使いやすく改良を加えるとともに、広範囲に散布できる手法を検討する必要がある。

3) 改変改良型粘土の防除効果維持確認試験

各試験区における pH 及び *Chattonella antiqua* の細胞減少率の推移を図 19, 20 に示す。

pH について、全ての試験区において、散布 5 分後に約 6.5 まで大きく低下した。散布 30 分以降は、固形及び粉末区はわずかに上昇し、増粘区はわずかに低下したが、pH の推移に有意な差はみられなかった ($p < 0.05$)。

細胞減少率について、全ての試験区において、散布 5 分後に大きく上昇した。しかし、散布 30 分以降は、粉末区は細胞減少率が最高で約 90% まで上昇したのに対し、固形区及び増粘区は約 60% にとどまった。また、散布 30 分後において、粉末区と固形区の細胞減少率に有意に差がみられた ($p < 0.05$)。

本試験では、従来の粉末状態の改良型粘土に比べ、固形化・増粘化加工を施した改良型粘土の防除効果が低下するという結果が得られた。防除効果が低下した原因としては、加工を施したことにより海水に溶けにくくなり、アルミニウムイオンの溶出及び粘土の凝集効果が低下した可能性が考えられることから、改良型粘土加工時海水の配分や乾燥時間の変更、新たな加工方法の模索等により、防除効果を維持しつつ加工する方法を検討する必要がある。

4) 飼育環境の異なる水産生物に対する改良型粘土の安全性確認試験

試験の実施状況を図 21, 22 に、各試験区における生け簀内の pH 及び濁度の推移を図 23 ~ 28 に、鰓組織の電子顕微鏡写真を図 29 ~ 34 に示す。

本試験では、全ての試験区で異常行動及び斃死は確認されなかった。

水質について、全ての試験区で粘土散布直後に pH の低下 (7.7 ~ 8.0) 及び濁度の上昇 (0.0 ~ 359.5 FTU) がみられたが、散布 10 分後には pH 及び濁度は散布前 (pH: 8.1, 濁度: 0.4 ~ 1.7 FTU) とほぼ同等の数値 (pH: 8.1, 濁度: 0.8 ~ 9.4 FTU) まで回復した。

曝露 24 時間後の供試魚の鰓組織を電子顕微鏡で観察したところ、全ての試験区で観察した個体の鰓組織に大きな損傷はみられなかったが、ほとんどの個体で一次鰓弁上皮細胞上に粘液細胞の放出痕とみられる穴が確認されたことから、粘土散布により斃死には至らない程度の軽微なダメージはあったと考えられる。

本試験により、野外飼育環境下における改良型粘土への曝露では、餌止めの有無に関わらずブリの斃死は確認されなかった。しかし、粘土散布により鰓に多少の刺激を与えていると考えられるため、生け簀周辺では必要以上の濃度で散布しない等、散布方法には十分注意する必要がある。

【サブテーマ (2)】

- 1) 改良マグネシウム剤の調製及び *K. mikimotoi* への殺滅効果試験
(培養株を用いた駆除試験)

各培養株にC剤の溶解後の時間を5段階設定して、添加1時間後の殺滅率を求めた結果を表3に示した。C剤は溶解直後も、溶解後4時間経過したものも、いずれも*K. mikimotoi*の殺滅率は100%となっており、溶解後の時間によって殺滅率が変化することはなかった。

2) マグネシウム製剤溶解後の静置時間と安全性 (対象種: ブリ)

各試験区のブリの生残尾数を示したものが図35である(縦軸は個体数を示す)。暴露開始5分後に静置なしおよび静置30分間の試験区においてモジャコの鼻上げ行動が確認された。その後、全ての添加試験区で鼻上げ行動および激しい遊泳行動が確認されるようになり、30分後には静置なしおよび静置30分間の試験区で鰓を開き激しく遊泳する個体が確認された。40分後までには静置なし、静置30分間および90分間の試験区で3尾全てが、静置75分間の試験区では1尾が死亡した。清浄海水に戻した生残魚は24時間後も全てが生き残った。なお、対照区では試験期間中における死亡はなかった。

暴露期間中の飼育水のpHを示したものが図36である。pHは製剤添加前は7.73~7.83であったが、添加後は9.34~10.05まで上昇した。また静置時間が短いほどpHが高い傾向がみられた。

次に、溶解後の時間別にブリの稚魚を投入して、生残時間を調べた結果を表4に示した。すべての試験区でブリ稚魚は全滅したものの、溶解後の時間が経過するほど、死亡時間が遅延することが判明した。顕微鏡で観察しても、溶解後はC剤が微粒子として水中に漂っているものの、時間の経過とともに水槽の底で沈降・凝集していた。よって、この魚毒性の低下は、C剤の粒子が凝集によって粒径が大きくなって鰓の二次鰓弁へ侵入しにくくなり、かつ沈降して水中の濃度が低下することで、死亡が抑制されているものと推察された。

3) マグネシウム製剤の添加濃度と安全性 (対象種: クロアワビ)

各試験区のクロアワビの生残個体数を示したものが図37である。マグネシウム製剤を添加した区で曝露開始直後から水面付近まで上がってくる個体が確認され(図38)、すべての区でほとんどの個体が動かなくなった。曝露60分後に清浄海水に戻したが、濃度が濃い区ほど、裏返しても自力で元に戻れない個体が多く、衰弱した状況が確認された。24時間後には、推奨濃度200 ppmでも5個体中2個体の死亡が確認された。

4) マグネシウム製剤溶解後の静置時間と安全性 (対象種: クロアワビ)

各試験区のクロアワビの生残個体数を示したものが図39である。マグネシウム製剤を添加した全ての区で、ほとんどの個体が動かなくなった。曝露60分後に清浄海水に戻した結果、静置時間が短いほど弱っている個体が多い傾向がみられた。24時間後には、静置時間なしの試験区では5個中4個体が死亡したのに対し、静置時間30分間以上の試験区では全ての個体が生き残った。また、静置時間が長いほど弱っている個体が少ない傾向がみられた。

5) マグネシウム製剤の添加濃度と安全性 (対象種: ヒオウギガイ)

各試験区のヒオウギガイの生残個体数を示したものが図40である。マグネシウム製剤の添加濃度の高低に関わらず、全ての試験区において口を開いて濾水している様子が確認された。また、曝露60分後に清浄海水に戻し、24時間観察を行ったが、全ての試験区で全個体が生

き残った。

6) マグネシウム製剤溶解後の静置時間と安全性（対象種：ヒオウギガイ）

各試験区のヒオウギガイの生残個体数を示したものが図 41 である。マグネシウム製剤の添加の有無、静置時間の長短に関わらず、全ての試験区において口を開いて濾水している様子が確認された。また、曝露 60 分後に清浄海水に戻し、24 時間観察を行ったが、全ての試験区で全個体が生き残った。

本事業のサブテーマ①にあるように、改良粘土（鹿児島県水産開発技術センター 2018）によって、*K. mikimotoi* を駆除することが可能となった。当面の赤潮駆除策については、改良粘土によって実施することが有効と判断されるが、海域への酸性物質の投入は海洋酸性化の議論とも関連して今後議論を呼ぶ可能性がある。特に、改良粘土が沈降した海底での pH の低下を伴う硫化水素の発生誘発については未検討課題である。一方で、マグネシウム製剤に関してはアルカリ性物質であり、元々海底の底質改良材として開発されてきた経緯もあるため、底質中の AVS 含量が高い海域で赤潮駆除を行う場合は、沈降したマグネシウム製剤が pH をアルカリ側へ振ることで、硫化水素の発生を抑制し、結果的に二枚貝をはじめとしたベントス群集を保全する役割についても期待される。今後は複数の赤潮防除剤の優劣と海域特性を加味して、複合的な防除対策を確立することも必要であろう。

参考文献

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

Daekyung Kim, Li Wencheng, Yukihiro Matsuyama, Kichul Cho, Yasuhiro Yamasaki, Satoshi Takeshita, Kenichi Yamaguchi, Tatsuya Oda. Extremely high level of reactive oxygen species (ROS) production in a newly isolated strain of the dinoflagellate *Karenia mikimotoi*, European Journal of Phycology 54(4), 2019, 632 – 640.



図2 試作中層散布器



図3 試験実施場所（斜線部）

	1回目	2回目
使用散布器	図1, 2	図1, 2
重り	①1kg ②なし ③1kg	①3kg ②2kg ③3kg
曳航速度	約4ノット	約4ノット

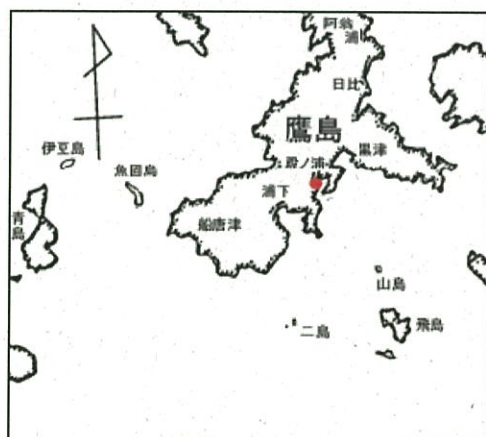


図4 試験実施場所（赤丸部）

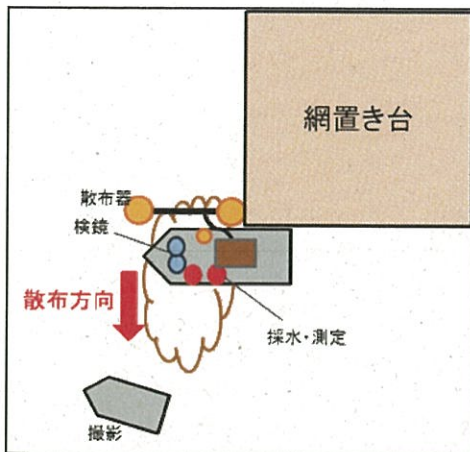


図5 散布イメージ（1回目）

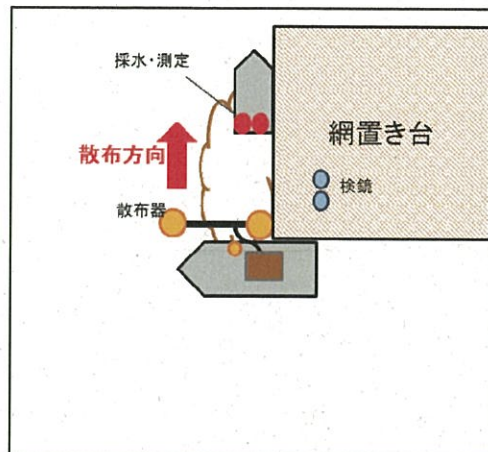


図6 散布イメージ（2回目）



図7 改良型粘土を固形化したもの（左）と増粘化したもの（右）

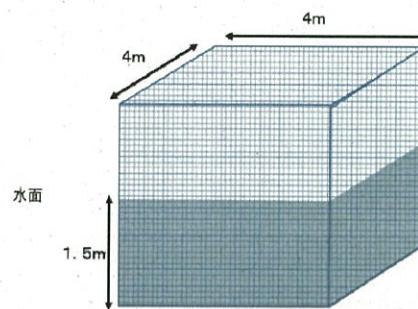


図8 生け簀概略図

表2 各生け簀の試験設定

生け簀番号	収容尾数	餌止め期間	粘土散布
1	10	9日間	1回目
2	10	3日間	1回目
3	10	0日間	1回目
4	10	9日間	2回目
5	10	3日間	2回目
6	10	0日間	2回目



図9 水面まで浮上する中層散布器



図10 水面直下まで浮上する中層散布器