

Relationships between light environment and subsurface accumulation during the daytime in the red-tide dinoflagellate *Karenia mikimotoi*. *Mar. Biol.* 2017; **164**: 18.

紫加田知幸, 北辻さほ, 鬼塚剛, 高山剛, 井口大輝, 中里礼大, 都留久美子, 木藪仁和, 石田幸生, 浦啓介, 古川新平, 上野翼. 既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成. 平成30年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書, 赤潮共同研究機関, 水産庁, 東京. 2019 ; 263-243.

紫加田知幸, 北辻さほ, 鬼塚剛, 井口大輝, 中里礼大, 内海訓弘, 浦啓介, 古川新平, 立元伸幸. 既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成. 平成30年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書, 赤潮共同研究機関, 水産庁, 東京. 2020 ; 302-317.

高見昭憲, 佐藤圭, 清水厚, 上田佳代, 吉野彩子, 谷本浩志, 猪俣敏, 岡本祥子, 池田恒平, 永島達也, 清水英幸, 青野光子, 越川海, 東博紀, 王勤学, 水落元之, 岡寺智大, 秋山千亜紀, 古市尚基. 渦鞭毛藻 *P. dentatum* の鉛直分布動態の実験的再現. 重要研究プログラム「東アジア広域環境研究プログラム」(期間:平成 23~27 年度), 国立環境研究所研究プロジェクト報告 第 115 号, 国立環境研究所. 2016 ; 49-50.

Yuasa K, Shikata T, Kuwahara Y, Nishiyama Y. Adverse effects of strong light and nitrogen deficiency on cell viability, photosynthesis, and motility of the red-tide dinoflagellate *Karenia mikimotoi*. *Phycologia* 2018; **57**: 525-533.

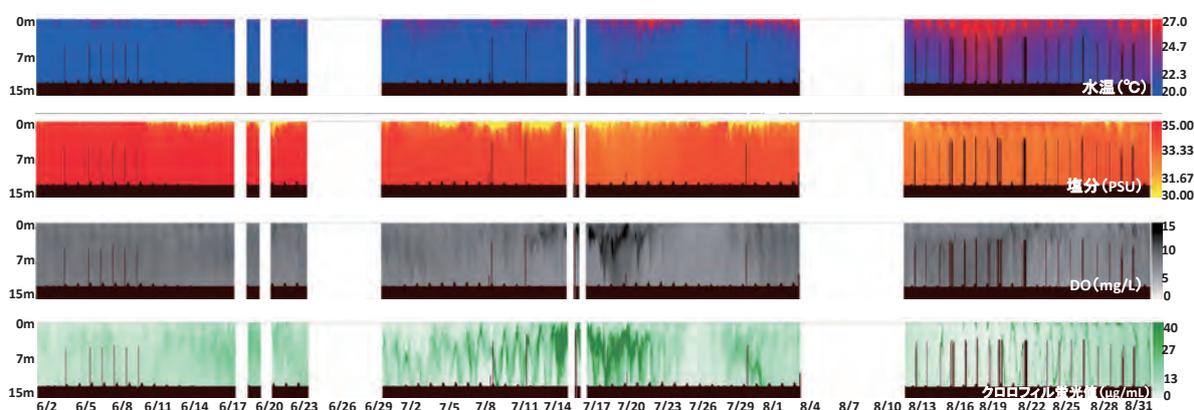


図 1. 2020 年佐伯湾 (鶴見ポンツーン) における自動昇降式多項目水質計による観測結果.

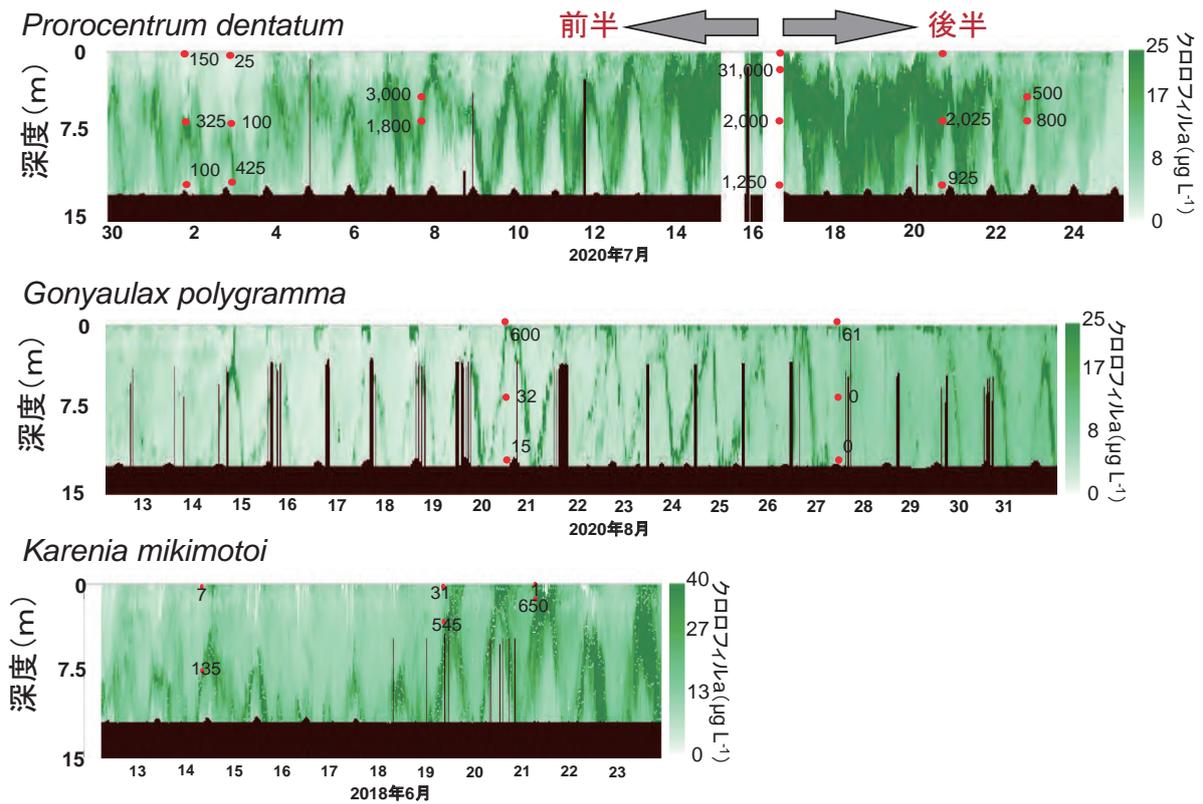


図2. 佐伯湾（鶴見ポンツーン）における自動昇降式多項目水質計によるクロロフィル蛍光値の観測結果. 図中の数値は赤点で示す深度層における各種赤潮藻類の細胞密度.

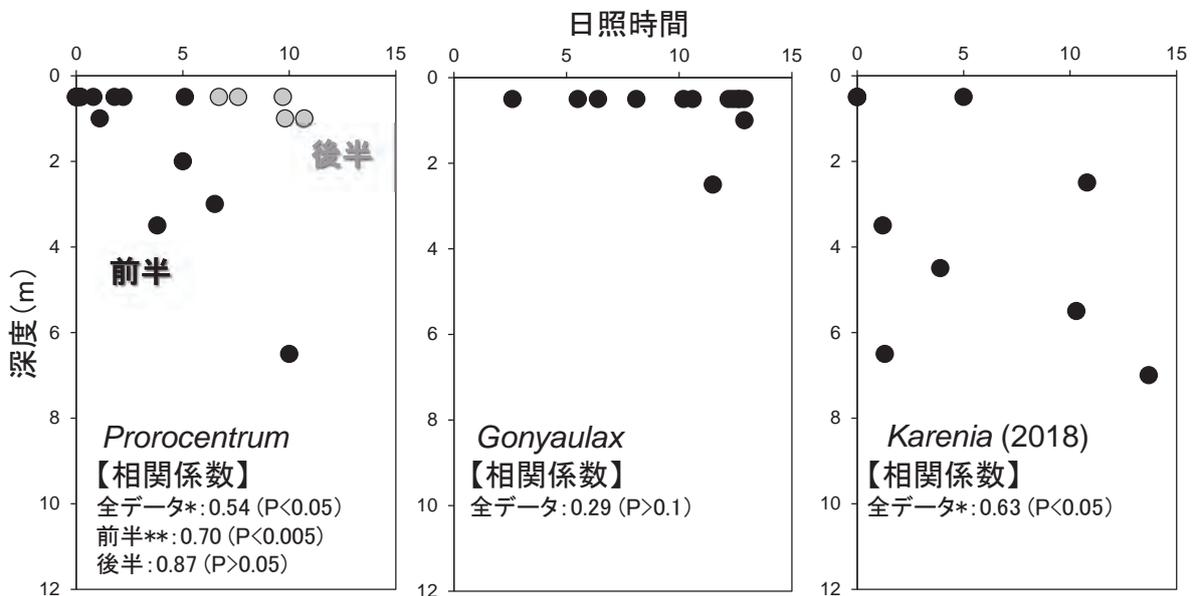


図3. 各種赤潮鞭毛藻における昼間の最高到達深度と日照時間との関係. 相関関係はスピアマンの順位相関係数を算出して分析した.

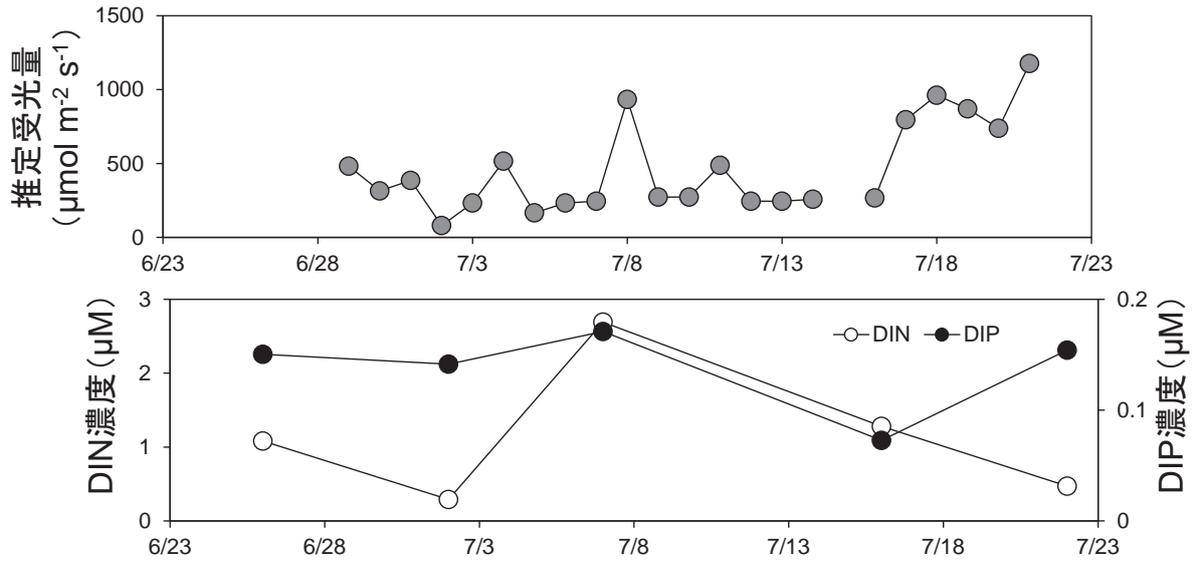


図4. 2020年佐伯湾における *Prorocentrum dentatum* の推定受光量と栄養塩濃度（全層の平均値）の経時変化.

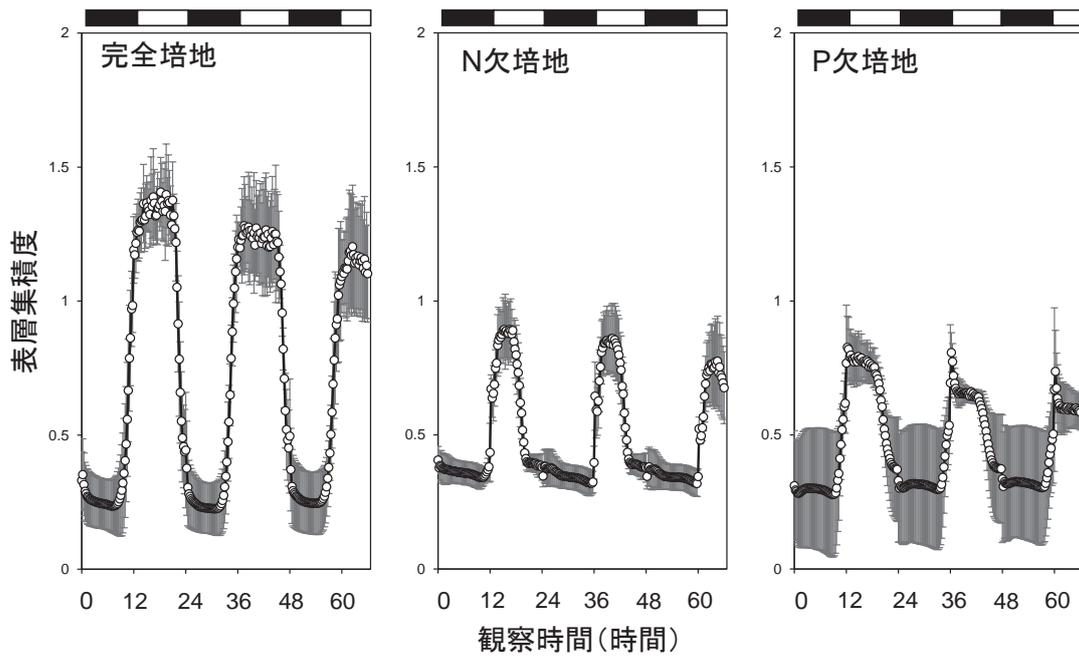


図5. *Chattonella antiqua* の日周鉛直移動に及ぼす栄養条件の影響. 上段のバーにおける黒色は暗期, 白色は明期を示す.

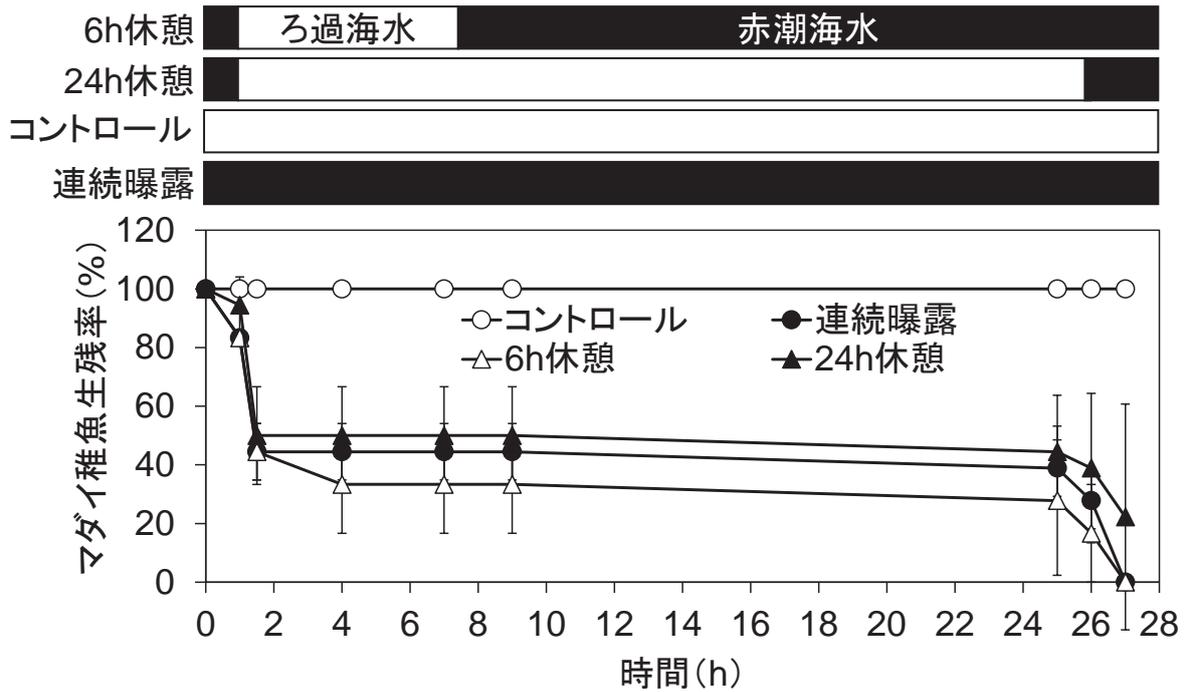


図 6. *K. mikimotoi* の断続曝露試験結果.

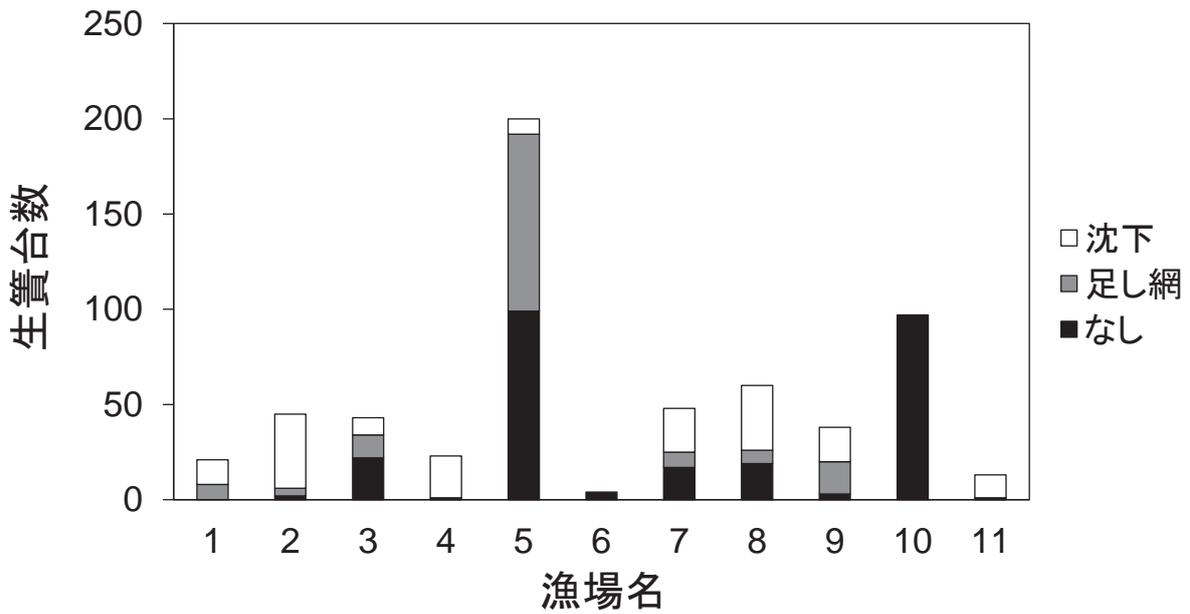


図 7. 2010 年の東町漁協管内における足し網および生簀沈下の実施状況.

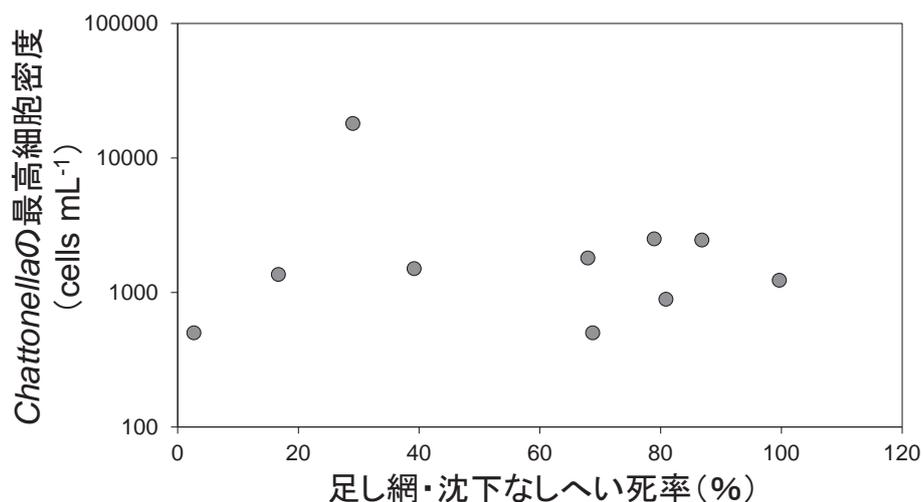


図 8. 2010 年の東町漁協管内におけるブリのへい死率と *Chattonella* の最高細胞密度の関係.

表 1. 佐伯湾における *Prorocentrum dentatum* の鉛直移動パラメータ (2020 年).

月日	上昇開始時刻	最高到達深度 (m)	最高到達時刻	下降開始時刻	最低到達深度 (m)	最低到達時刻
6月29日	不明	2	14:40	15:30	12	17:10
6月30日	4:00	1	15:40	16:30	12	18:10
7月1日	5:00	3	14:50	13:10	12	19:00
7月2日	1:40	6.5	6:40	14:00	12	15:40
7月3日	4:20	0.5	15:00	15:00	11	21:40
7月4日	1:50	0.5	9:10	-	-	-
7月5日	6:10	3.5	13:30	0:20	10.5	2:50
7月6日	-	0.5	11:00	14:20	12	18:30
7月7日	3:40	0.5	11:00	16:00	8.5	21:00
7月8日	不明	0.5	16:50	15:10	12	19:20
7月9日	1:10	0.5	14:20	15:10	12	20:10
7月10日	0:20	0.5	13:30	17:40	12	21:50
7月11日	2:50	0.5	16:40	16:40	12	21:40
7月12日	23:30	0.5	10:00	16:50	12	21:50
7月13日	-	0.5	10:10	17:40	12	21:50
7月14日	1:10	0.5	5:20	不明	不明	不明
7月15日	不明	不明	不明	不明	不明	不明
7月16日	不明	0.5	9:10	18:20	12	21:40
7月17日	不明	1	7:40	不明	12	18:20
7月18日	不明	0.5	13:30	不明	12	21:00
7月19日	2:00	0.5	16:50	16:50	-	-
7月20日	2:40	1	12:30	13:20	12	16:40
7月21日	0:10	0.5	15:50	12:30	12	16:40

表 2. 佐伯湾における *Gonyaulax polygramma* の鉛直移動パラメータ (2020 年).

月日	上昇開始時刻	最高到達深度 (m)	最高到達時刻	下降開始時刻	最低到達深度 (m)	最低到達時刻
8月14日	4:20	1	16:30	17:20	12	20:40
8月15日	0:50	0.5	9:00	不明	12	20:40
8月16日	不明	0.5	9:00	不明	不明	不明
8月17日	4:50	0.5	9:00	不明	12	20:30
8月18日	不明	0.5	9:00	13:50	12	20:40
8月19日	0:50	2.5	12:40	15:50	12	20:20
8月20日	0:30	0.5	9:10	16:30	12	21:30
8月21日	1:40	0.5	9:50	不明	11	21:20
8月22日	不明	0.5	11:30	16:30	12	22:20
8月23日	0:50	0.5	9:50	16:30	12	20:40
8月24日	10:40	0.5	10:40	17:20	12	20:40
8月25日	1:40	0.5	16:30	18:10	12	21:30
8月26日	不明	0.5	10:50	16:10	12	19:30

表 3. 佐伯湾における *Karenia mikimotoi* の鉛直移動パラメータ (2018 年).

月日	上昇開始時刻	最高到達深度 (m)	最高到達時刻	下降開始時刻	最低到達深度 (m)	最低到達時刻
6月12日	不明	不明	不明	不明	不明	不明
6月13日	8:00	7	10:00	14:00	11.5	17:30
6月14日	7:00	3.5	15:30	16:00	11.5	17:30
6月15日	7:00	5.5	15:00	14:30	11.5	15:30
6月16日	不明	不明	不明	不明	不明	不明
6月17日	9:10	4.5	14:40	15:10	11.5	16:10
6月18日	7:10	6.5	15:20	15:50	11.5	16:50
6月19日	6:50	0.5	15:20	16:50	11.5	20:20
6月20日	6:30	0.5	12:40	15:10	11.5	21:40
6月21日	4:40	0.5	9:00	16:10	11.5	21:50
6月22日	3:20	2.5	10:40	12:40	11.5	13:10
6月23日	4:40	0.5	11:00	14:00	11.5	18:30

## 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  
長副 聡, 松山幸彦  
大分県農林水産研究指導センター水産研究部  
中里礼大, 井口大輝  
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  
東條智仁, 高杉朋孝, 吉満 敏  
宇部マテリアルズ株式会社  
渡辺国男, 田中俊也

## 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、幅広い種類の有害赤潮に対して応用できる可能性が見いだされた。しかし、特に *K. mikimotoi* は中層で初期増殖することが知られており、粘土散布の効果を最大限活用するには、さらなる開発の余地が残される手法であるが、種々の赤潮防除手法が提案されてきた中で、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。

本課題では、赤潮海域で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）を散布する現場実証試験を実施し、その効果や経済性について検証し、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、粘土散布での駆除が困難であった *K. mikimotoi* に対し、5 分間で 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の確認試験を繰り返し実施したのち、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する。これらの結果に基づき、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。本課題は以下の 2 つのサブテーマからなる。

【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、中層で発生する有害赤潮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】これまで物理化学的防除が困難であった *K. mikimotoi* に関して、強力な駆除効果のある新たなマグネシウム製剤が開発されつつある。また、本製剤は *C. polykrikoides* についても有効であることが判明した。本製剤の効力が十分に発揮される適用条件を室内試験および野外試験で特定するとともに、安全性について検討を行う。

## 2 令和2年度計画および結果

### (1) 目的

「全体計画と同じ」

### (2) 方法

#### 1) サブテーマ①

##### ① 試作中層散布器の牽引試験

これまでに、中層で発生する赤潮に対して、改良粘土を高濃度のまま直接散布するために、様々な中層散布器を試作した(松山ら 2019, 2020)。しかし、過年度の報告(松山ら 2020)から、試作した散布器は船で曳航している最中に浮き上がり、散布器を目的とする水深帯に維持することが困難であった。そこで、本課題では、平成30年度に試作した中層散布器(松山ら 2020)に改良を加え、加重を目的として鉄筋を取り付けた散布器を作製した(図1, 2)。この改良した中層散布器について、様々な牽引条件(表1)における耐久力および曳航層を以下の方法で調べた。試験は、令和3年2月9日に鹿児島県指宿市今和泉漁港内(図3)において実施した。直径7mmのロープで結んだ散布器を漁港内の定点に沈め、人力で約3ノットの速さで約28m牽引し、所定の場所に取り上げた(図4, 5および6)。牽引条件(表1)である水深や重量は、中層散布器とフロートを結ぶロープの長さ(図1)や散布器に取り付ける重りの本数(鉄筋: 1本当たり5kg)で調整し、各条件で1回ずつ(合計3回)調査を行った。

##### ② 活性粘土の防除効果維持確認試験

活性粘土の有害プランクトンに対する高い防除効果は確認されているものの(鹿児島県水産試験場 1982, 鹿児島県水産技術開発センター 2018)、防除効果の長期的な持続性について改良の余地が残されている。このようなことから、活性粘土を固形化することで、成分の徐放性を高め、赤潮防除効果の持続性を長期化することを試みたが、過年度の固形化した活性粘土は、有害プランクトンの殺藻効果自体を低下させる結果となった(松山ら 2020)。そこで、本試験では過年度と異なる手法で活性粘土を加工し、作製した3種類の加工粘土について有害プランクトンに対する防除効果を評価した。

本試験で用いた加工粘土は鹿児島県工業技術センターで作製され、大きく2つに分類できる。1つは海水中で浮遊させて沈降速度を遅くすることを目的とした浮遊型であり、もう1つ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た固形型である。なお、焼きミョウバンについては、均一に殺藻成分を溶出させることが難しいと考えられたため、今回は活性粘土のみを用いて加工した。

浮遊型の加工には、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

であるシラスバルーンを用いた。体積比が 50 : 50 程度となるよう、16 g のシラスバルーン (0.20 g/cm<sup>3</sup>) と 84 g の入来モンモリ (1.10 g/cm<sup>3</sup>) を均一になるように混合し、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 (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、粒径が 2~3 mm のものを分取し自然乾燥させた加工粘土をシラスバルーン型とした (図 7)。また、固形型は、入来モンモリ 97 g に増粘剤 3 g を均一になるように混合したものに蒸留水を 50 mL 添加し、手で練った。さらに、適宜蒸留水を追加し、成型可能な状態となったものを約 1.5 g 計り取り、球体状に加工して自然乾燥させた。なお、増粘剤に CMC を用いた加工粘土を CMC 型 (図 8)、アラビアゴムを用いた加工粘土をアラビアゴム型 (図 9) とした。CMC およびアラビアゴムとも、食品化学分野で使用されている人体等に毒性がない素材である。浮遊型であるシラスバルーン型は令和 2 年 12 月 2 日、固形型である CMC 型およびアラビアゴム型は令和 3 年 1 月 18 日に作製し、試験当日まで直射日光が当たらず、湿気のない場所にて乾燥剤とともに保存した。

以上の加工した 3 種類の粘土 (シラスバルーン型、CMC 型、アラビアゴム型) と従来の粉末状態の活性粘土 (従来型) を用いて、有害プランクトンに対する防除効果を比較した。また、有害プランクトンには、ダイゴ IMK 培地で培養した *C. antiqua* (2017 年八代海株) を用い、下記の試験①および試験②の 2 試験を令和 2 年 2 月 5 日に実施した。

#### 試験①：浮遊型・固形型と粉末型の防除効果比較試験

*C. antiqua* の細胞密度が約 1000 cells/mL となるようにダイゴ IMK 培地で調整した培養液を 200 mL コニカルビーカーに 100 mL ずつ分注した。その後、各ビーカーにシラスバルーン型、CMC 型、アラビアゴム型、粉末型がそれぞれ 8000 ppm (入来モンモリ) となるように添加した。なお、実海域で想定する使用方法で効果があるか確認するため、加工粘土 (シラスバルーン型、CMC 型、アラビアゴム型) は静置し、粉末型のみ添加後 5 分間だけ攪拌した。*C. antiqua* の細胞密度の計数は、試料添加前、5 分後、30 分後、1 時間後に実施した。

#### 試験②：固形型の防除効果維持確認試験

固形型である CMC 型およびアラビアゴム型について、添加から 1 時間後以降も防除効果を有するか確認した。200 mL コニカルビーカーにダイゴ IMK 培地を 100 mL ずつ分注し、CMC 型およびアラビアゴム型がそれぞれ 8000 ppm (入来モンモリ) となるように添加した。1 時間経過後、コニカルビーカー内に溶解していない固形試料のみが残るようダイゴ IMK 培地を捨てた。その後、残った試料が崩れないよう注意しつつ、細胞密度が約 1000 cells/mL に調整した *C. antiqua* 培養液を 100 mL ずつ各容器に分注した。*C. antiqua* の細胞密度の計数は、分注前の培養液、分注から 5 分後、30 分後、1 時間後に実施した。

## 2) サブテーマ②

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、C 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、同時に C 剤は 100

L容の小型水槽を用いた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, 2020）。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。そこで、本課題では、より現場環境に近い状況での散布を実施し、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。大分県海域ではマグネシウム製剤散布後1週間ほどの長期的な水質環境を調査した。また、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20(A)に示す試験を実施した。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, 1 d, 2 d, 3 d, 4 d, 5 d, 6 d後の計14回実施した。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表層から10 m層までを1 m間隔で採水し、研究室に持ち帰り測定を行った。

#### ② 長崎県海域

試験海域は調査船を停泊させる長崎県総合水産試験場前の棧橋横とし、図20(B)に示す試験概要を実施した。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、メソコズム内にはモジャコ（平均全長 $12.9 \pm 0.5$  cm）を10尾収容したビク（直径×高さ、70 cm×150 cm）を垂下した。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 2019）。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、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、30 Lの海水に溶解したのち懸濁海水をメソコズム内に散布した（図24）。水質環境（濁度、クロロフィルa濃度およびpH）の観測は、対照区で散布後0, 1 h, 2 h, 3 hおよび20 h後、散布区で0, 15 min, 30 min, 45 min, 1 h, 1.5 h, 2 h, 2.5 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、ビクを海水から出さずに目視で行った。なお、供試魚が腹を上にし、動かなくなった状態を死亡と判定した。最終的に、散布 3 h 後に全ての供試魚を取り上げ、直ちに実験室に持ち帰り、鰓の状況などを観察した。

### (3) 結果および考察

#### 1) サブテーマ①

##### ① 試作中層散布器の牽引試験

1 回目の牽引試験は水深 3 m, 重り 15 kg で行い、牽引開始から約 2 秒で散布器が約 1.5 m の水深まで浮上する様子が確認された (図 10)。そこで、2 回目の牽引試験は重りを 20 kg に変更して行ったが、牽引開始から約 3 秒で約 1.5 m の水深まで浮上する様子が確認された (図 11)。また、3 回目の試験では、2 回目と同じ 20 kg の重さで、浅めの水深 (1 m) から牽引したが、開始から約 3 秒で約 0.5 m の水深まで浮上する様子が確認された (図 12)。なお、本試験中において、散布器の破損はみられなかった。

今回の試験において、散布器の牽引速度は 3.0~3.4 ノットであった (表 1)。実際の使用を考えた場合、船舶での曳航速度は 4 ノット以上が想定されることから、現状の散布器はさらに浮上することが予測される。牽引時の様子から、水深を調整するためのフロートの影響で散布器が浮上してしまうと考えられた。また、20 kg 以上になるよう重りを追加するとフロートが水没し、水深の維持は困難と考えられた。

以上の結果から、散布器を目的とする水深に維持させるためには、更なる改良が必要である。過年度の試験結果から、散布器を固定した状態にすれば、中層散布が可能であることが確認されている (松山ら 2020)。今後は散布器を直接船舶に固定するなど、フロート以外の方法も検討する必要があるだろう。

##### ② 活性粘土の防除効果維持確認試験

###### 試験①：浮遊型・固形型と粉末型の防除効果比較試験

各試験区における *C. antiqua* の細胞減少率の推移を図 13 に示す。シラスバルーン区 (浮遊型) と粉末区 (従来型) の細胞減少率は、添加 5 分後に 70% 以上まで上昇し、添加 30 分後に 90% 以上となった。一方、CMC 区およびアラビアゴム区の細胞減少率は、添加 5 分後に 20% 以上に上昇したものの、1 時間後も約 40% にとどまった。粉末区と各試験区を比較した結果、添加 5 分後は全ての試験区 (シラスバルーン区、CMC 区、アラビアゴム区) に対して有意な差が認められ (t 検定:  $p < 0.05$ )、30 分後以降は CMC 区とアラビアゴム区で有意な差がみられた (t 検定:  $p < 0.05$ )。各試験区の添加後の様子について、シラスバルーン型は添加直後に半分以上が溶解もしくは沈降しており、想定した浮遊状態を維持することによる防除効果の持続は期待できなかった (図 14)。また、CMC 区は時間の経過に伴って表面から徐々に崩れ (図 15)、アラビアゴム区は 5 分経過するまでに割れてしまう様子が確認された (図 16)。

以上の結果から、固形型である CMC 型とアラビアゴム型は粉末型や浮遊型に比べ、防除効果が低いという結果が得られた。固形型の防除効果が低下した原因としては、効果の持続を目的とした加工によって、単位時間当たりの水中に溶解する活性粘土の量が少ないためと考えられる。固形型粘土によって、粉末型と同等の防除効果を得ようとするれば、添加する活性粘土の量を増やす必要があると考えられた。浮遊型であるシラスバルーン型について、今回試作したものは想定したような浮遊状態を維持できず、溶解もしくは沈降した。今後、シラスバルーンの割合を変えることで浮遊状態を維持できるか検討する必要があると考えられた。

#### 試験②：固形型の防除効果維持確認試験

CMC 型およびアラビアゴム型について、添加から 1 時間後以降の防除効果の持続性を調べた。両試験区（CMC 型およびアラビアゴム型）における *C. antiqua* の細胞減少率の推移を図 17 に示す。両試験区とも *C. antiqua* 培養液の分注から 5 分後に細胞の減少が確認され、1 時間後は約 40% となった。CMC 型およびアラビアゴム型を用いた *C. antiqua* の細胞減少率について、添加してから 1 時間後までの試験（試験①）と添加してから 1 時間後以降（試験②）の結果を比較したところ（図 18, 19）、有意な差は見られなかった（t 検定： $p < 0.05$ ）。CMC 区とアラビアゴム区の細胞減少率についても、有意な差は見られなかった（t 検定： $p < 0.05$ ）（図 17）。なお、試験②においても、試験①と同様に試料の形状の変化が確認された。

以上の結果から、CMC 型およびアラビアゴム型とも 1 時間後以降も同等の防除効果を維持しており、CMC 型とアラビアゴム型では防除効果について有意な差がないという結果が得られた。ただし、静置した状態でも時間経過によって試料の形状が崩れていくことから、実海域で使用するには、波浪対策や形状を維持する加工方法を検討する必要があると考えられた。

## 2) サブテーマ②

まず、本課題では、天然の赤潮生物、特に *Karenia mikimotoi* 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 2 年度）は赤潮非発生となり、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 2 d 後までの状況を図 21 に示す。また、この試験期間中 6 日間の水質環境に関するプロファイルについて、特にクロロフィル *a* 濃度の観測データを見ると、散布直後から 1 h 後まで対照区に対して数値が上昇する状況が観測された（図 22）。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* 濃度の測定が十分にできていないと考えられた。そこで、水質環境に関するプロファイルの経時的変化を、散布開始から 1 h 後まで（図 22）と散布後 1 h～6 d まで（図 23）に分けて図示した。各環境項目に関して以下に説明する。

#### ・濁度

散布直後、水深 8~9 m 付近まで速やかに観測値の上昇が確認され、最大で 245 FTU 程度まで上昇したが、15 min 後までに極大値が 45 FTU に急激に減少し、同様に 1 h 後には 22 FTU にまで減少した (図 22)。これは、散布したマグネシウム製剤のうち、沈みやすい粒子が沈降したためと考えられる。ただし、水深 10 m における濁度の上昇は殆ど観測されなかった。本試験に用いたメソコズムは全長 10 m であり、10 m 以深は解放された状態であった。そのため、横方向への拡散の影響があると考えられる。

散布後 3 h 以降、散布区における急激な濁度の減少は観測されなかったが、水深 6 m までの濁度は対照区と比べ高い状況が継続した (図 23)。散布後 4 d 後には散布区と対照区の差が認められなくなった。

#### ・クロロフィル a 濃度

前述したように、散布直後から 1 h 後まで対照区に対して数値が上昇する状況が観測された (図 22)。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 を測定できていないと判断された。

散布後 3 h 以降、水深 6 m 以浅のクロロフィル a に関して、対照区と比べ散布区の濃度の低下が 4 d 後まで継続した (図 23)。特に、散布後 4 d におけるクロロフィル a 濃度は、水深 8 m 付近までの低下していた (図 23)。散布後 5 d 以降、散布区と対照区の差が認められなくなった (図 23)。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

pH に関して、散布直後に最大で 9.5 付近まで上昇する水深帯が観測された (図 22, 23)。pH については、散布後 1 日経過後までに極大値が 9.0 まで減少したものの、対照区と差が認められない程度になるには相当数の時間経過が必要であり、本試験においては 5 日を要した (図 23)。

### ② 長崎県海域

マグネシウム製剤散布後と散布から 20 h 後の状況を図 25 に示す。また、この試験期間中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 26 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 25 FTU 付近まで上昇する水深帯が観測されたが、その後 45 min 後までに極大値が 6 FTU まで減少した。散布後 45 min 以降、水深 2 m までの散布区の濁度は、試験終了 (20 h) まで対照区と比較して高い状況が確認された。

#### ・クロロフィル a 濃度

クロロフィル a 濁度に関して、散布直後 (0 min) の鉛直プロファイルは散布区と対照区の間で顕著な差は確認されなかった。その後、表層付近のクロロフィル a 濃度から次第に減少し、散布後 45 min までに水深 2 m までのクロロフィル a 濃度が減少している状況が確認された。水深 2 m までの散布区のクロロフィル a 濃度は、試験終了 (20 h) まで

対照区と比較して低い状況が継続することが確認された。一方、2 m 以深のクロロフィル *a* 濃度は、散布区と対照区で顕著な差は認められなかった。なお、今回の試験では、海水の顕微鏡観察は行っていないため、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、表層から底層まで速やかに pH が上昇することが確認できた。また、5 m 以浅の pH は試験期間を通して、散布区のほうが対照区よりも高い状況であった。しかし、散布区における B-1 m の pH は散布後 1.5 h 後に、対照区と同程度の 8 付近に低下した。これは、メソコズムの高さが 9 m しかなく、潮汐により水深が 10 m ほどになったため、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。

供試魚の観察結果について、以下にまとめた。

#### ・供試魚の生残

マグネシウム製剤による魚毒性に関して、各試験区における散布 3 h 後の生残率を表 2 に示した。散布区に供試したモジャコ 10 尾のうち、試験期間中に 1 尾がビクから逃げ出し、取り上げ時に回収できた供試魚は 9 尾のみであった。各試験区の供試尾数に違いが生じたが、散布区の回収した 9 尾すべてが斃死していたのに対し、対照区の供試魚は 10 尾すべてが生残していた。また、散布区の供試魚が全滅に至るまでの経緯を表 3 にまとめた。マグネシウム製剤散布直後から、供試魚の鼻上げ行動が観察され、90 min 以内に全滅した。また、斃死したモジャコは、鰓蓋が開いた状態であった (図 27)。

#### ・供試魚の鰓の観察状況

試験終了後、各試験区の供試魚を解剖し、鰓の状況を観察した (図 28)。対照区の個体の状況と比較すると、散布区の個体の鰓には粘着物が付着している状況が観察された。

水質環境の結果から、メソコズム中のマグネシウム製剤は沈降しにくく、懸濁した状態 (大分県海域の試験では水深 6 m 以浅、長崎県海域の試験では水深 2 m 以浅) で長期間浮遊することが確認された (図 23, 26)。マグネシウム製剤が長期間浮遊することで、植物プランクトン量の指標となるクロロフィル *a* 濃度も低く維持された。赤潮生物の駆除効果が長期間持続することは、非常に有用な特性であるように思われる。しかしながら、魚類への致死的效果を考慮すると、長期的に海水中で微粒子が浮遊することは望ましくない。今回の試験において、マグネシウム製剤散布区の供試魚は全て斃死した (表 2)。斃死した供試魚の鰓を観察すると粘着物が付着している状況が観察され (図 28)、この観察結果は粘土散布により斃死した際の供試ブリの鰓の状況と酷似していた (田原ら 2013)。過去の報告によると、粘土散布によるブリの斃死原因は、懸濁物粒子および懸濁物粒子の刺激により分泌された粘液によって鰓組織が覆われ、窒息したと推測されている (田原ら 2013)。このことから、過年度までの結果も含めて、マグネシウム製剤による斃死も同様の原因と考えられる。ただし、過年度までの実験は 100 L 容水槽を用いた小規模空間であったため、沈降したマグネシウム製剤粒子がエアレーション等の攪拌作

用により再懸濁し、飼育水中での粒子の浮遊状態が長期間継続したためと考えていた。しかしながら、前述したように、水質環境の調査から（図 23, 26）、マグネシウム製剤がそもそも沈降しにくい特性を有しているため、現場海域でも魚類へ致命的に影響する可能性が示唆される。

粘土防除剤とマグネシウム製剤との間で、試験条件は異なるものの、魚類の致死濃度に違いがある。粘土防除剤では、200～800 ppm の範囲においてハマチの斃死率が 0 % であることが報告されている（鹿児島県水産試験場 1982）。一方、過年度の実験において、100 ppm および 200 ppm のマグネシウム製剤を懸濁した飼育水においてモジャコに致命的な影響が認められた（松山ら 2019）。供試魚のサイズが異なる結果ではあるが、赤潮生物の殺滅有効濃度である 200 ppm を散布した場合、粘土防除剤で魚類の斃死が起こる可能性は低いが、マグネシウム製剤では魚類の斃死が起こる可能性が高いことが示唆された。以上のことから、マグネシウム製剤の実用化を考えた場合、粒子の物性を改良することで魚毒性を低減させる必要があると考えられる。

## 引用文献

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．「赤潮対策技術開発試験成果集（3）」，水産庁，東京，1982．

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．

松山幸彦，長副 聡，井口大輝，中里礼大，都留久美子，山本佳奈，平江 想，山砥稔文，宮田翔也，高杉朋孝，森島義明，西 広海，田中俊也，渡辺国男．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 ②生簀等の魚介類を守る技術開発と実証 ウ．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，対策マニュアルの作成．平成 30 年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書，赤潮共同研究機関，2019; 285-303．

松山幸彦，長副 聡，井口大輝，中里礼大，都留久美子，山本佳奈，平江 想，山砥稔文，宮田翔也，高杉朋孝，吉満 敏，田中俊也，小田康太，渡辺国男．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，対策マニュアルの作成．平成 31 年度漁場環境改善推進事業のうち 栄養塩，赤潮・貧酸素水塊に対する被害軽減技術等の開発 (2) 赤潮被害防止対策技術の開発 報告書，赤潮共同研究機関，2020; 318-336．

田原義雄，折田和三，西 広海，小湊幸彦．既存赤潮防除剤の効果的使用方法の検証及び赤潮防除剤の改良．平成 24 年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業 シヤトネラ属有害プランクトンの漁業被害防止・軽減技術に関する研究 報告書，独立行政法人水産総合研究センター 西海区水産研究所・鹿児島県・熊本県・長崎県・九州大学・片山化学工業研究所，2013; 3-44．