

## 改良型マグネシウム製剤による カレニア等赤潮被害防止技術の開発

渡辺 国男、田中 俊也、高橋 広樹 [宇部マテリアルズ(株) マグネシア関連事業部 営業企画部]

松山 幸彦 [(国研) 水産研究・教育機構 水産技術研究所]

2018～2022年度に実施された水産庁委託事業「漁場環境改善推進事業（赤潮被害防止対策技術の開発）」において、新規の赤潮防除剤である改良型マグネシウム製剤が開発され、事業成果物として散布方法などを取りまとめた「改良型マグネシウム製剤を用いたカレニア等赤潮被害防止マニュアル」（以下、マニュアル）が水産庁のウェブサイトに掲載された（<https://www.jfa.aff.go.jp/j/sigen/attach/pdf/230616-7.pdf>）。本稿ではマグネシウム製剤の開発経緯、水産庁委託事業における性能評価の結果およびマニュアルの内容について概説する。

### 開発の経緯

海水からマグネシウム化合物を資源として抽出する技術は、古くは製塩産業の発展と同時に構築されてきた。海水から抽出された水酸化マグネシウムは、pHが弱アルカリ性を呈し難溶性である。この特性を利用して、およそ30年前から養殖漁場の底質の酸性化を緩和し、底質からの硫化水素の発生を低減させる目的で養殖事業者に広く活用されている<sup>1)</sup>。

一方、赤潮の防除技術は1980年代に粘土鉱物の散布が検討され、改良を重ねながら現在に至っている<sup>2)</sup>。また、水酸化マグネシウムによる赤潮プランクトンの殺滅効果は2002～2004年度にかけて、（一社）マリノフォーラム21にて、赤潮等被害防止対策事業として検討および報告されている。また、2013～2017年度にかけて行われた漁場環境・生物多様性保全総合

対策委託事業のうち赤潮・貧酸素水塊対策推進事業「九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」において、赤潮プランクトンの防除効果を高めるために物理的処理と化学的処理の併用が検討されている。化学的処理（散布剤）のうちマグネシウム製剤として酸化マグネシウムが水酸化マグネシウムと並行して評価を受け、赤潮プランクトンの殺滅効果が確認されている。

2016年度の試験では、200 ppm濃度の水酸化マグネシウム、酸化マグネシウム（マグネシウム製剤B）、酸化マグネシウム（マグネシウム製剤C）に *Karenia mikimotoi* を15分間曝露して、それぞれ残存率が90.4%、75.4%、47.9%となった評価が得られ、同時に検討された化学的処理（散布剤）の食塩水や粘土と同等もしくは高い防除効果を有することが報告されている<sup>3)</sup>。同様に2017年度の試験では200 ppm濃度の水酸化マグネシウム（薬剤①）、酸化マグネシウム（薬剤②）に実海域で発生した *K. mikimotoi* を5分間曝露した結果、それぞれ残存率が74%、2%となったことが報告されている<sup>4)</sup>。なお前述のマグネシウム製剤Cおよび薬剤②は、後述する改良型マグネシウム製剤の粉状品に該当する。以上の経緯でマグネシウム製剤の赤潮防除に関する有効性が確認され、水産庁委託事業において効果検証を進めることになった。

### 水産庁委託事業

近年、瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域にお

いて、有害赤潮による養殖・天然魚介類への甚大な被害が頻発している。2009～2010年に八代海で発生したシャットネラ赤潮では86億円、2012年に瀬戸内海西部・豊後水道海域で発生したカレニア赤潮では13億円、2017年に伊万里湾で発生したカレニア赤潮では5億円、2022年に八代海で発生したカレニア赤潮では19億円に上る漁業被害が報告されている。そのような漁業被害の防止および軽減技術の開発が強く求められていることを背景として、水産庁委託事業「漁場環境改善推進事業（赤潮被害防止対策技術の開発）」が展開された。そのなかの研究課題のひとつに「新たなマグネシウム製剤の開発」があり、特に先行技術の粘土による防除では対応が困難であった *K. mikimotoi* に対する殺滅効果の評価を主眼に置き、2018～2022年度にかけて開発・改良が行われた。次項より検討結果を述べるが、データなどの詳細は農林水産省のウェブサイトに掲載されている委託事業成果物一覧を参照されたい。

### ①改良型マグネシウム製剤

使用した改良型マグネシウム製剤（主成分：酸化マグネシウム）は、既存のマグネシウム製剤（主成分：水酸化マグネシウム）を加工して製造したものであり、形状の違いにより粉状品と粒状品の2種類がある。2018年度の検討開始時は粉状品のみ使用していたが、安全性の評価段階で魚毒性（微細粒子のエラへの吸着による呼吸障害）の懸念が生じたため、2021年度より製剤原料および加工工程を改良して魚介類への安全性を向上させた粒状品を開発した。以下、改良型マグネシウム製剤の粉状品をRAタイプ、粒状品をRBタイプと表す（図1）。

### ②赤潮プランクトンの殺滅効果

5種類の赤潮プランクトンの培養株を0.5～2×10<sup>4</sup> cells/mLとなるよう調製し、100 ppmおよび200 ppm濃度となるようRAタイプを添加した結果、既往の知見において効果が認められていた *K.*



図1 改良型マグネシウム製剤の外観

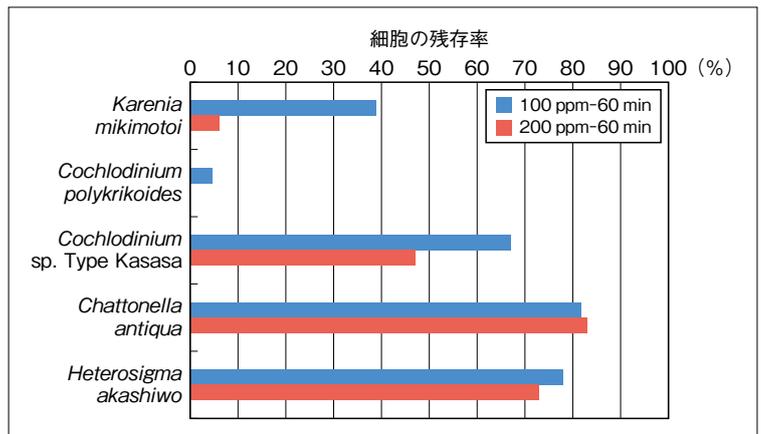


図2 5種類の赤潮プランクトンに対するRAタイプの殺滅効果  
棒グラフは3回繰り返し試験の平均値を示す（試験時水温22度）。

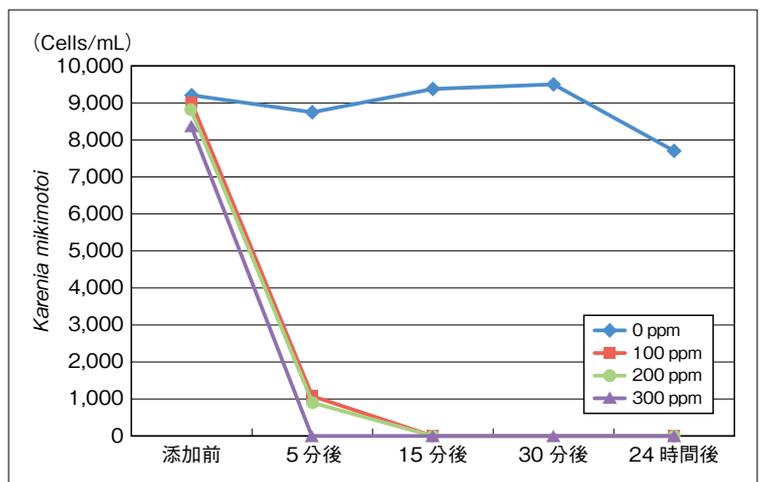


図3 天然の *Karenia mikimotoi* 細胞に対するRAタイプの殺滅効果（大分県水産研究部の試験結果）

*mikimotoi* のみならず *Cochlodinium polykrikoides*、*Cochlodinium* sp. Type Kasasa に対しても高い殺滅効果が確認された（図2）。天然の *K. mikimotoi* を用いた試験においても培養株と同等の殺滅効果が確認され、RAタイプは100 ppm濃度の添加後、1時間以内に90%以上の殺滅効果が得られた（図3）。

RBタイプの性能評価は、*K. mikimotoi* を対象に

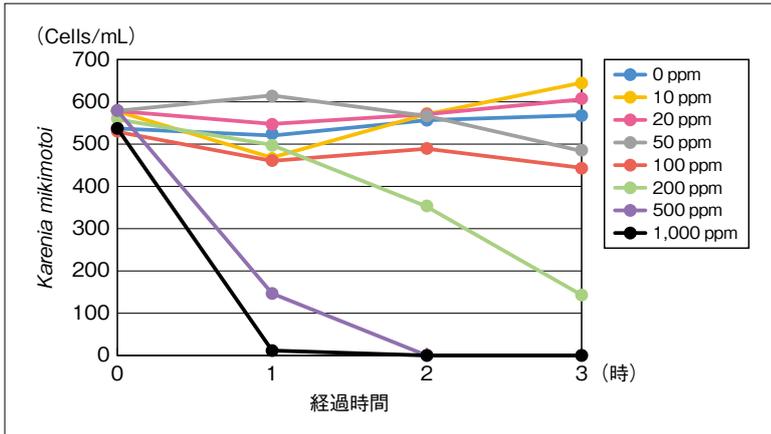


図4 培養*Karenia mikimotoi*に対するRBタイプの殺滅効果

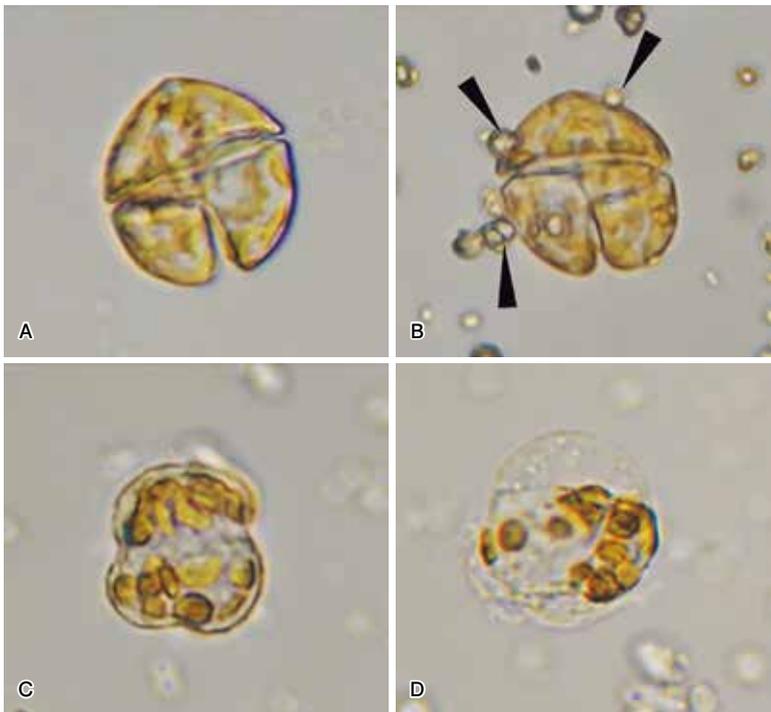


図5 RBタイプを添加された*Karenia mikimotoi*の殺滅状況  
 A: 添加前の遊泳細胞。B: RB添加直後の様子。細胞表面に粒子の付着(▲)が見られる。  
 C: 添加30分後の不動・球形化細胞。D: 添加60分後の溶藻細胞。

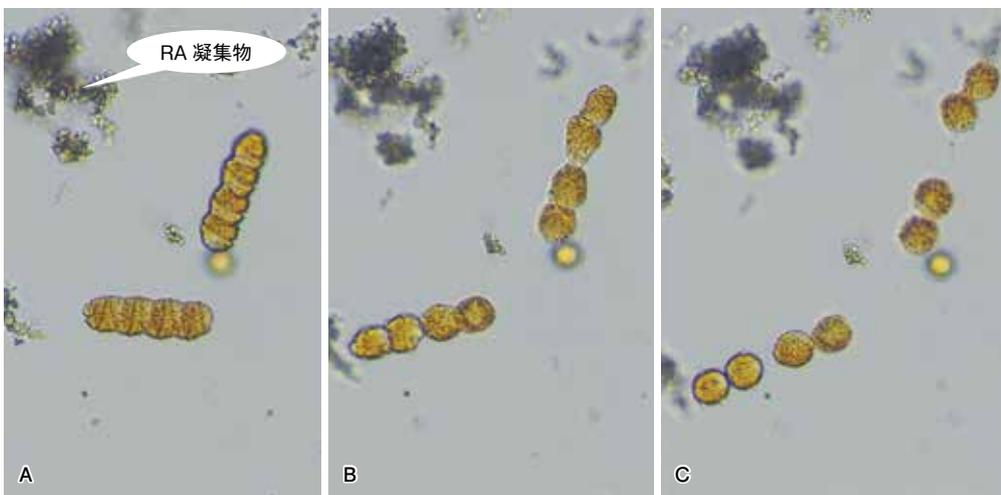


図6 RAタイプを添加された*Cochlodinium polykrikoides*の殺滅状況  
 A: 添加直後の不動細胞。B: 添加8分後の形態変化開始時。C: 添加15分後の球形化細胞。

行った。*K. mikimotoi*の培養株を1,000 cells/mLとなるよう調製し、0、10、20、50、100、200、500および1,000 ppm濃度となるようRBタイプを添加した結果、200 ppm以上で殺滅効果が得られた(図4)。RAタイプと比較すると細胞が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。これはおおむねRAタイプの100 ppm濃度条件と同等の殺滅効果であった。

殺滅の挙動について、改良型マグネシウム製剤の粒子が赤潮プランクトンの細胞表面や鞭毛に付着・接触することにより、細胞の変形や原形質の膨潤を引き起こしている様子が観察された(図5・6)。防除機構に関する既往の知見では、水酸化マグネシウムを用いた場合の防除について滑川ら<sup>5)</sup>が示しており、水酸化マグネシウム粒子が赤潮プランクトンの鞭毛に付着することで影響を与えると述べている。改良型マグネシウム製剤も同様の防除機構を有すると考えられ、鞭毛のみならず細胞表面にも強固に付着すること、水酸化マグネシウムでは効果が低かった*Cochlodinium*属にも高い殺滅効果が見られたことから、赤潮プランクトンへ与える影響が水酸化マグネシウムよりも強化していると考えられる。付着後の殺滅に至る分子生物学的メカニズムの詳細については今後の検討課題としているが、改良型マグネシウム製剤は*Karenia*属をはじめ、無殻の渦鞭毛藻類へ比較的広範囲に殺滅効果を示すことを期待している。

### ③魚類への安全性

ろ過海水にRAタ

イブを 20、50、100、200 ppm となるよう添加・攪拌し、3～5尾の供試魚（ブリ稚魚、平均体長 82.0 mm、平均体重 8.34 g）を収容して通気しながら生残数を確認した結果、100 ppm 以上で魚毒性が確認され、供試魚は 3 時間以内に全滅した（図 7）。50 ppm では 3 尾中 2 尾が 5 時間半後までにへい死し、残る 1 尾は 24 時間後まで生残して、20 ppm では 24 時間後まで全数が生残した。

ろ過海水に RB タイプを 200 ppm となるよう添加・攪拌し、4 尾の供試魚（ブリ稚魚、平均体長 60.3 mm、平均体重 3.3 g）を収容して通気しながら生残数を確認した結果、RB タイプは *K. mikimotoi* の殺滅効果を有する 200 ppm の条件下でも供試魚の全数が生残し、魚毒性の軽減が確認された（図 8）。

魚毒性因子について、改良型マグネシウム製剤の存在下で pH を供試魚の生残に安全な範囲まで低下させても魚毒性が確認された（図 9）。また、GF/C フィルターろ過により改良型マグネシウム製剤に含まれる酸化マグネシウム粒子を取り除いた溶液の状態では魚毒性が認められなかったことから、少なくとも酸化マグネシウムの溶解に伴う pH 上昇が供試魚の生残に悪影響を与えた可能性は考えられない。一方、へい死した供試魚を解剖した結果、鰓弁に粘着物が付着している様子が観察された（図 10）。この観察結果は粘土散布によりへい死した際の状況と酷似しており、過去の報告によると、へい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<sup>6)</sup>。このことから改良型マグネシウム製剤によるへい死も同様の原因（鰓弁の物理的な閉塞）と推察され、RB タイプは製造工程の改良により微粒子含有量を減らして鰓弁への侵入・付着が抑制されたため、魚毒性が軽減したと考えられる。

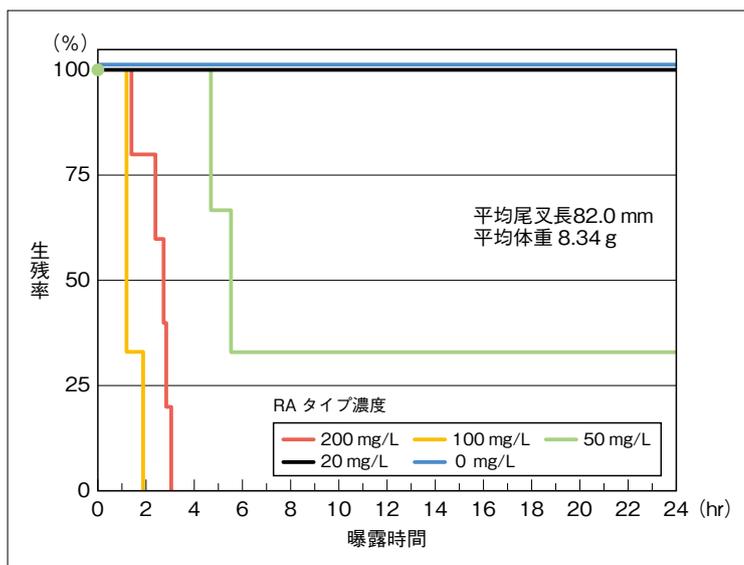


図7 プリ稚魚に対するRAタイプの魚毒性評価①

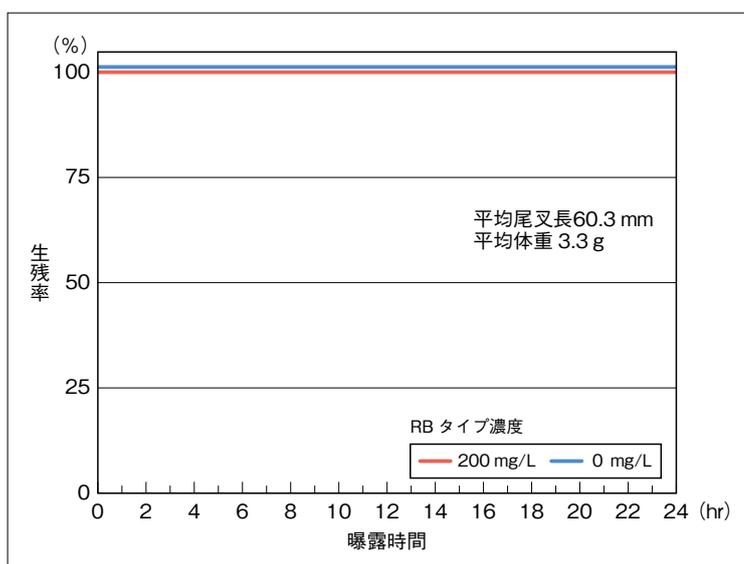


図8 プリ稚魚に対するRBタイプの魚毒性評価②

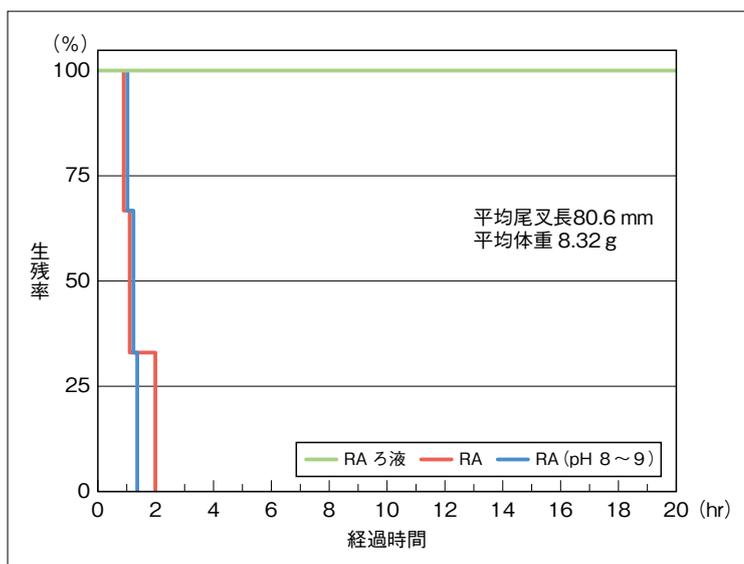


図9 プリ稚魚の対するRAタイプの魚毒性評価③

RA添加後のpH調整およびろ過による魚毒性の変化。

対照区



散布区



図 10 RAタイプで死亡したブリ稚魚のエラの観察結果

表 1 RBタイプの推奨濃度（200 ppm）において安全性（へい死なし）が確認された魚介類

生物群	種名
魚類	ブリ、ヒラメ、クロホシイシモチ
軟体動物	マガキ、アサリ、クロアワビ、タイラギ、ヒオウギガイ
甲殻類	—
棘皮動物	マナマコ、イトマキヒトデ

## マニュアルの概要

マニュアルは赤潮による漁業被害を軽減することを目的として、水産庁委託事業「漁場環境改善推進事業（赤潮被害防止対策技術の開発）」の成果を基に作成され、全文は水産庁のウェブサイトにて公開されている。

前項の通り改良型マグネシウム製剤は *K. mikimotoi* を含む渦鞭毛藻に対して高い殺滅効果を発揮し、散布状況としては赤潮発生時の初動対応（被害の最小限化）、ほかの対策を実施するまでの対応（緊急避難）に適しており、閉鎖性の強い海域での防除には特に効果的である。

散布量は対象水深を 1 m までとして、RA タイプは 100 ppm (= 10 kg/100 m<sup>2</sup>)、RB タイプは 200 ppm (=

20 kg/100 m<sup>2</sup>) が推奨濃度であり、対象が *K. mikimotoi* であれば RA タイプ、RB タイプいずれも散布から 3 時間以内に 70% 以上を殺滅することができる。RA タイプの場合は養殖生簀から離れた場所での散布を推奨するが、海域に散布後は自然拡散により希釈され、推奨濃度のおおむね 1/4 以下になれば魚毒性が消失することを確認している。なお、RB タイプの場合は推奨濃度の散布においても魚介類への毒性は確認されていない（表 1）。

散布に特殊な器具は不要であり、漁船の活け間もしくは水槽などの大きな容器、攪拌するための棒、ポンプもしくはバケツを用意すれば散布作業を実施できる。具体的な散布方法は、活け間もしくは船上に設置した容器に海水を汲み入れ、所定の量の改良型マグネシウム製剤を入れて攪拌し、乳白色の懸濁液状態となったものをポンプやバケツなどで対象海域に万遍なく散布して完了となる。散布後の海面をスクリューで攪拌すれば、散布した改良型マグネシウム製剤と赤潮プランクトンが接触しやすくなるため、殺滅効果も向上すると推察している。

さらに改良型マグネシウム製剤は副次的な効果として底質改善にも寄与する。主成分である酸化マグネシウムは難溶性物質であり、散布後は海底まで沈降して底質近傍を弱アルカリ性に保ち、硫化水素の発生抑制および海底に堆積した有機物を分解する底生生物の生残を促すと考えている。これは同じ酸化マグネシウムを主成分とする資材を用いて、環境省環境技術実証事業において第三者機関により実証されている（実証番号 090-1402）<sup>7)</sup>。

そのほかの使用上の注意点として、懸濁液状態となった改良型マグネシウム製剤は時間経過により防除効果が減衰する恐れがあるため、作り置きには適しておらず、遅滞なく散布することを推奨している。また、散布海域は製剤が沈降するまで一時的に海面が白濁するため、改良型マグネシウム製剤の使用にあたっては関係者との事前協議および漁業協同組合などとの連携が必要とされる。

## 今後の展開

改良型マグネシウム製剤は先行する技術では駆除が難しかった *K. mikimotoi* に高い殺滅効果があり、さらに安全性も両立させた防除技術である。本年度も瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域において *K. mikimotoi* による赤潮発生が確認されており、事業者の被害を低減できる防除技術のひとつとして、水産・養殖業界からの期待は高いものと推察している。一方で赤潮による漁業被害は養殖事業者単位ではなく発生

した海域全体での問題であり、都道府県・自治体などの行政や漁業協同組合など大きな組織規模で対策を考え、実行することが有効と思われる。改良型マグネシウム製剤は現場海域での有効性の評価を行った上での上市を予定しているが、新規赤潮防除技術として幅広く検討を受け、マニュアルの活用とともに赤潮被害の防止・軽減のための一助となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 西野伸幸, 河内敏昭. 水酸化マグネシウム散布による底質・水質の改善技術. 用水と廃水 2003; 45 (11): 1085-1091.
- 2) 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. 鹿児島. 2018.
- 3) 松山幸彦, 永江彬, 栗原健夫, 橋本和正, 塚本達也, 長副聡, 首藤俊雄, 河口真弓, 高見生雄, 山砥稔文, 平江想, 吉村直見, 川崎信司, 伊藤信夫, 小林創. 水産研究・教育機構西海区水産研究所編. 有害赤潮の防除および漁業被害軽減のための技術開発. 平成 28 年度九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊発生機構解明と予察・被害防止等技術開発報告書, 水産研究・教育機構, 長崎. 2017; 197-205.
- 4) 松山幸彦, 永江彬, 栗原健夫, 橋本和正, 塚本達也, 長副聡, 首藤俊雄, 高見生雄, 山砥稔文, 平江想, 吉村直見, 山下博和, 伊藤信夫, 小林創. 5. シャットネラ等による魚漁被害防止、軽減技術開発 1) 赤潮発生時における緊急出荷・救命技術の開発. 平成 29 年度赤潮・貧酸素水塊対策推進事業「九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書(漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業), 水産庁, 長崎. 2018; 243-256.
- 5) 滑川輝, 程川和宏, 日高正康, 吉川毅, 中野みよ, 田中礼士, 前田広人. 水酸化マグネシウムによる赤潮生物の運動性に対する影響とその作用機序, 防菌防黴 2010; 38 (5): 289-295.
- 6) 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 年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シヤットネラ属有害プランクトンの魚漁被害防止・軽減技術に関する研究」報告書(漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業), 水産庁, 長崎. 2013; 3-19.
- 7) 酸化マグネシウムによる底質改善技術. 平成 27 年度環境技術実証事業「閉鎖性海域における水環境改善技術分野」実証試験報告書, 環境省. 2016.