



図 32 新長崎漁港内における散布試験の実施状況

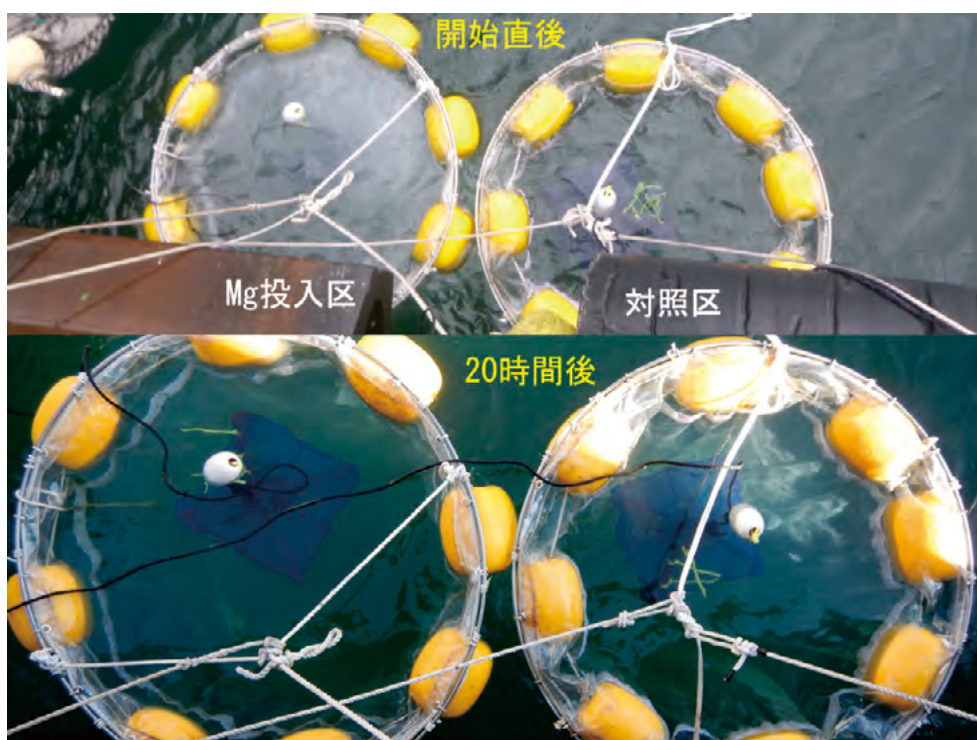


図 33 R3 改良型マグネシウム製剤の投入直後（上左）と投入 20 時間後の様子（下左）

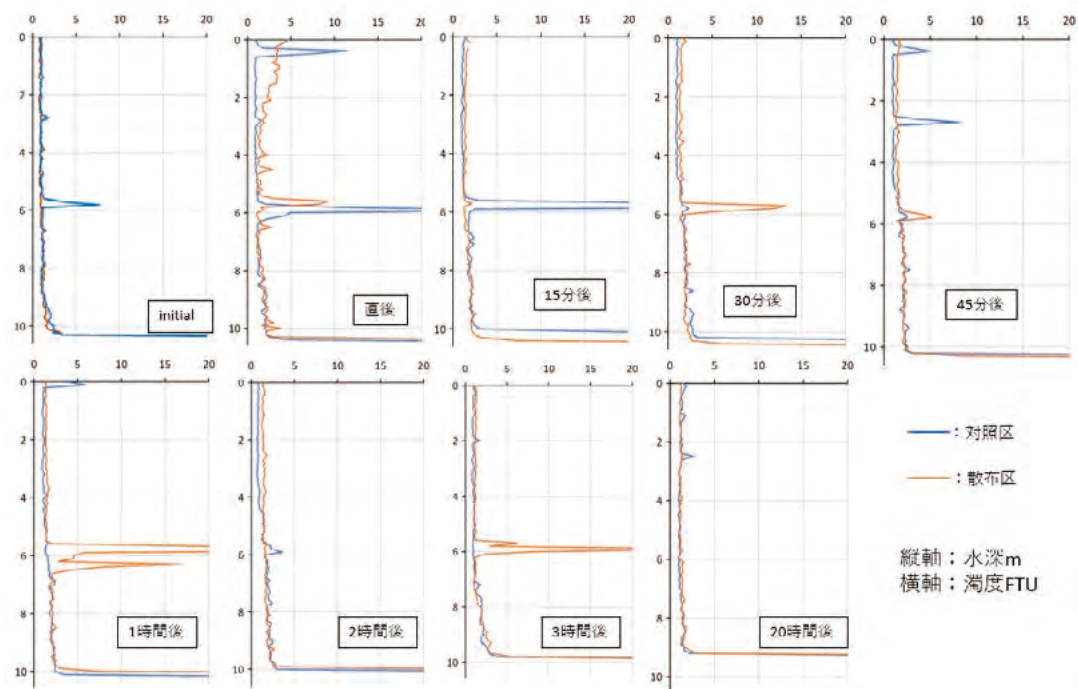


図 34 R3 改良型マグネシウム製剤を投入後のメソコスム内濁度の経時的変化

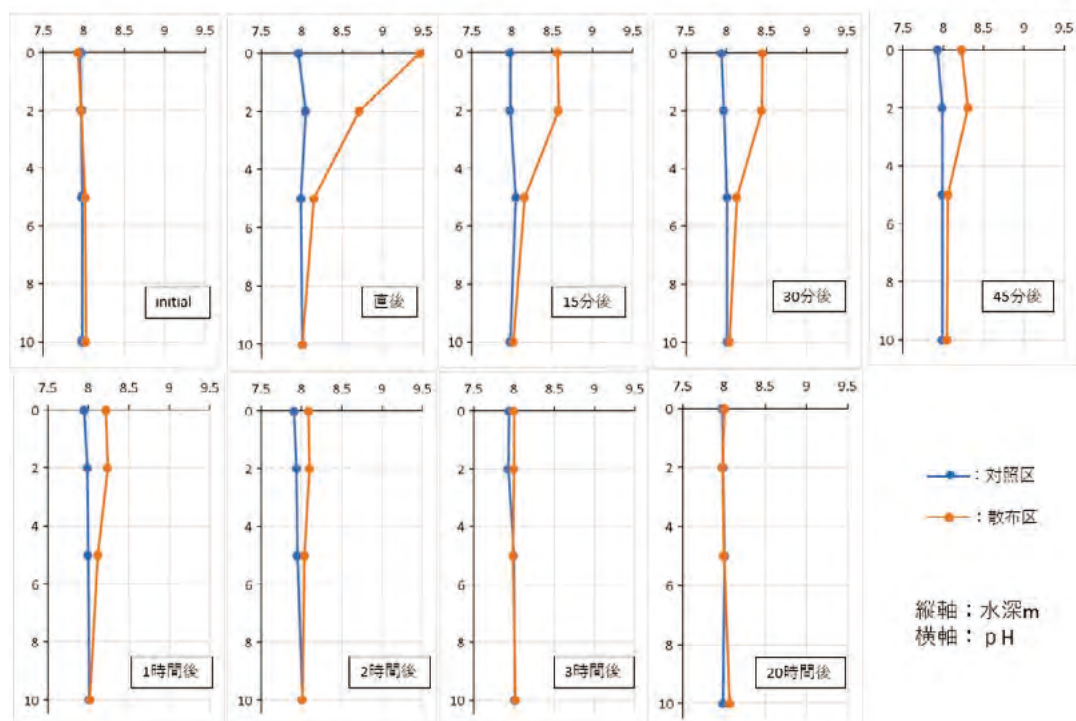


図 35 R3 改良型マグネシウム製剤を投入後のメソコスム内 pH の経時的変化（長崎）

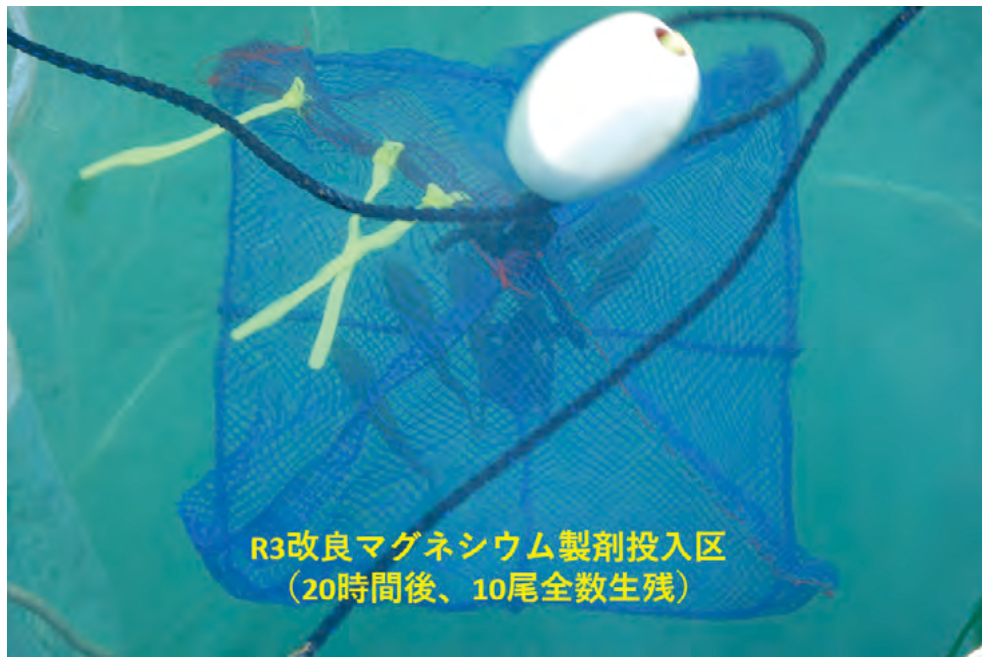


図 36 R3 改良型マグネシウム製剤を投入されたのち生残したブリ稚魚

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

④ 物理化学的防除策および過飽和救命策併用によるブリ類の救命

水産研究・教育機構 水産技術研究所

松山幸彦

海洋エンジニアリング株式会社

伊藤信夫, 高木 洋

1 全体計画

(1) 目的

瀬戸内海西部，土佐湾，有明海，八代海海域，鹿児島湾など魚類養殖が盛んな西日本沿岸では，近年，シャットネラ属，カレニア属，及びコクロディニウム属による赤潮の発生規模が高水準で推移していること，赤潮の初期発生海域や時期，発生環境に年変動が大きいなど周期性が少なく，かつ赤潮発生規模が県境を越えて全海域に及ぶこともあり，これら予察技術の確立や餌止め，避難の実施による赤潮駆除技術対策は手詰まりとなっているのが実情である。従来型の対策（生簀沈下，避難，餌止め）では，大規模赤潮発生時に漁業被害を十分に抑制できていないことから，甚大な漁業被害を回避するためには，何らかの技術的なブレイクスルーが必要である。有明海や八代海海域を中心に毎年発生する *Chattonella* 赤潮による漁業被害は未だに増え続けており，魚病とともに魚類・貝類養殖業の主要な阻害要因となっている。

本課題では，西日本海域において頻発するシャットネラ属，カレニア属，及びコクロディニウム属による赤潮に伴う漁業被害を必要最小限の費用で軽減し，赤潮の防除，漁場環境の保全に資することを目的とする。特に，シャットネラ属とコクロディニウム属は物理的防除で細胞の殺滅と魚毒性を軽減させることが容易であること，物理的防除が困難なカレニア属であっても，魚類の死亡が鰓の呼吸機能障害に起因すること，この影響緩和のために，酸素の過飽和が有効であるとの既存試験結果が示されている。そこで，赤潮プランクトンが魚介類の呼吸障害を引き起こす現象を軽減するため，溶存酸素を高める手法を適用し，赤潮が発生しても養殖魚を出荷して被害を軽減する等の実用策の可能性を検討することで，漁業被害防止策の基礎を確立する。

2 令和3年度計画及び結果

(1) 目的

全体計画と同じ

(2) 方法

1) 高濃度酸素発生装置の改良

過年度までに効果が検証された試作品について、処理能力を高めるための改良を施した。特に、3) の試験とともに、混在プランクトンの酸素上昇抑制効果についてデータを取得した。さらに現地での機動性を確保するため、高濃度酸素供給装置を改良し、その溶存酸素濃度向上性能について評価した。

2) 赤潮海水を用いた救命試験の実施

赤潮分布情報システム等による赤潮モニタリング結果に基づき、試験に好適な時期と海域を事前に特定し、発生した赤潮海水を採取してすみやかに室内へ持ち込む、あるいは現地に簡易な試験生簀等を敷設し、高濃度酸素水供給装置を用いた救命試験を実施した。試験中の魚毒性への影響等について、養殖対象種となる試験魚を搬入あるいは買い上げて投入し、生残時間を指標として定量化することで判定した。

今年度は、7月を中心に八代海北部でシャットネラの大規模赤潮が発生したため、現地において、赤潮海水中でのブリの救命試験を実施した。赤潮発生海域が当初想定していた漁場ではなかったため、試験生簀を用いた試験ではなく、大型の活魚運搬船を用船し、この生け間に赤潮海水を収容して試験を実施した。その際、ブリの稚魚（尾叉長 64～78 mm [平均 68.1 mm] , 体重 3.8～6.7 g [平均 4.6 g]）と成魚（尾叉長 510～545 mm [平均 526 mm] , 体重 1,800～2,420 g [平均 2,157 g]）を同時に収容して延命効果を評価した。

3) 酸素供給装置の効果検証

過年度の実海域における試験毎に、到達する酸素濃度あるいは稼働停止後の減衰速度に差異が見られたことから、有害赤潮プランクトン発生時に、救命のために必要な溶存酸素濃度を十分に達成することができない可能性が示唆された。そこで、室内試験で培養された *Chattonella antiqua* と *Karenia mikimotoi* の存在下でナノバブル発生装置を稼働させ、溶存酸素の濃度上昇抑制作用がみられるかどうか検討を行った。この試験と同時に、1) における検討のため、赤潮プランクトン自体がナノバブル発生環境下で殺滅されるかどうか、検討を行った。

(3) 結果及び考察

1) 高濃度酸素発生装置の改良

本課題では、採用する機器の選定、実海域における酸素濃度上昇速度の確認および高濃度酸素が養殖魚類に及ぼす毒性等についての検討を中心に行った。

採用する機器の選定については、将来的な魚類養殖の生簀への適用性（規模拡大の実現性）、作業性（軽量、コンパクト）、経済性（価格、レンタルサービス）を総合的に考慮し、株式会社ワイビーエムサービス社製のファビー（酸素ガス濃縮装置、オージネーター601）

とフォームジェット（ナノバブル発生装置, Fjp-6-SP-02, ワイビーエム株式会社製）を選定した。本装置による高濃度酸素生産手法の概念図は松山ら（2019）の図 1 に示した。

本装置は大きく水中ポンプ、酸素濃縮装置およびキャビテーションとコアンダ効果によるフォームジェット産生部からなり、すべて 100 V の通常電源で稼働させることができる。酸素濃縮装置では、ファビーにより現地大気を吸引し、窒素ガス吸着タイプの特種な樹脂を通過させて酸素濃度のみを上昇させ（およそ 94% まで上昇）、この高濃度酸素をフォームジェット内部で海水と気液混合して 100 nm 程度まで微細化することで、高濃度酸素海水を生成させる。高濃度酸素の給気速度は処理量を最大化するために、100 L の通水量に対して 6 L (6%(v/v)) に設定した。水中ポンプとフォームジェット発生部分は通常インシュロックで固定して一体化させてあり、ロープで水中を上下できるようにしてある。今年度は船舶上での作業を行うため、水中ポンプとフォームジェットを切り離して耐圧ホースで連結することで、機動性を確保した。水中ポンプは船外の赤潮海水中に投入し、酸素濃縮装置は船上に固定し、チューブを経由してフォームジェットへ濃縮酸素を供給するシステムである。図 1 に示したように、装置一式自体はコンパクトであるため、セッティングに関してウインチなどの重機は不要である。発電機の音以外は非常に静穏で、試験中に魚が音や微細気泡に反応して暴れることはない。

なお、今年度は溶存酸素濃度モニタリングのため、AAQ-RINKO 式の溶存酸素濃度計を用いた。

2) 赤潮海水を用いた救命試験の実施

本年度の有明海から八代海における有害赤潮は、赤潮ネット (<https://akashiwo.jp/>) および現地漁業協同組合を通じ情報を確認した。過年度試験を実施した伊万里湾では、6 月 28～7 月 5 日にかけて 1,000 cells/mL を超える *K. mikimotoi* の赤潮発生がみられたが、短期間で終息したため、致死的濃度の赤潮下で試験を実施することは困難と判断し、現地試験を断念した。今年度は、年度当初より、*C. antiqua* や *K. mikimotoi* 赤潮の頻発海域として知られる楠浦湾内の漁場を想定し、現地漁業者と打合せを行って試験の準備を行っていた。今シーズンの九州北部地方は例年より 1 ヶ月も早い 5 月中旬に梅雨入りしたため、初期に珪藻類の発生が多く、*Chattonella* や *K. mikimotoi* の赤潮発生は低調であった。しかし、まとまった降雨がおさまり、曇天が続くようになった 6 月下旬以降に八代海の広域で *C. antiqua* の初期出現がみられるようになり、7 月 12 日以降、北部海域で 100 cells/mL を超えて赤潮化した。図 2 に令和 3 年度現地救命試験を実施した定点 (32.40739235N, 130.41504599W) を示した。赤潮の発生が当初想定していた楠浦湾ではなく、球磨川河口で、かつ養殖漁場のない八代海北部海域に集中したことから、試験方法の見直しを行った。出航地点と試験海域は船舶で往復 2 時間かかること、現地が海上であるため、試験生簀を組み立てるスペースがないこと、予め陸上で組み立てた試験生簀を船に乗せて移動することが困難であることから、予定された試験生

簀を用いた海上試験については断念した。そこで、協力養殖業者の保有船舶のうち、活魚運搬用の大型船の生け間が 8.7 m^3 (図 3) と、予定された試験生簀の 8 m^3 と大きく変わらないことから、赤潮海域まで装置一式を載せて移動したのち、この生け間に赤潮海水を導入して試験を実施することで、試験規模を保持した状況で、現地での試験時間を最大限確保できると判断した。現地調整後、7月17日に楠浦湾を出港して、赤潮発生海域へ向かった。

図 4 に試験海域のすぐ隣にある姫戸ブイにおける、試験日までの水質情報 (0.5 m 層) と試験開始時の水質の鉛直プロファイルを示した。赤潮発生期間中、基本的にクロロフィル蛍光値が日中上昇し、夜間は 10 m 深までクロロフィル蛍光値の極大層が沈下する日周鉛直移動が観測された。試験日の 7 月 17 日は曇天で小雨が混じり、*C. antiqua* は光を求めて表層に濃密に蟄集している状態であり、赤潮盛期であった。現地の AAQ-RINKO で計測されたクロロフィル蛍光値から間接的に推定された *C. antiqua* 細胞密度は、表層で 1,200~7,600 cells/mL の範囲にあった (図 5 参照)。なお、定点での赤潮海中には渦鞭毛藻 *Ceratium fusus* が最大 150 cells/mL ほど混在していたため、推計値はやや過大評価されていることに留意が必要である。

試験は表 1 に示した条件で全 3 回実施した。第 1 回は開始時の *C. antiqua* 細胞密度が 3,009 cells/mL であった。現地試験の実施状況は図 6 に示した。赤潮海水を電動ポンプで揚水・注水すると *C. antiqua* の細胞にアジテーションがかかり、破裂や形態変化による魚毒性低下が懸念されたので、まず対照区 1 として、生け間の栓を抜いて船底から赤潮海水をほぼ無攪拌で導入した。通気は漁船に備え付けのエアコンプレッサーで実施した (通常の活魚運搬時の状況を再現)。供試する試験魚を減らして試験回数を増やしたため、いずれの試験も 1 回あたりの注水量は概ね 3 m^3 であった。

図 7 に第 1 回 (対照区 1) の試験結果を示した。溶存酸素濃度は試験開始時に 9.9 mg/L と高く、通気によって徐々に低下して 7.0 mg/L で安定した。これは、*C. antiqua* の赤潮が高密度であるために、赤潮海水の溶存酸素が *C. antiqua* の光合成活性によって過飽和になっているためである。クロロフィルは試験開始時に約 $45 \mu\text{g/L}$ と高かったが、その後は $35\sim 40 \mu\text{g/L}$ の間で変動していた。ブリ稚魚は試験開始 23~40 分後にかけて供試した 5 尾すべてがへい死した。ブリ成魚については稚魚よりも遅れて異常がみられた。試験開始 36~1 時間 1 分後にかけて供試した 3 尾すべてがへい死した。赤潮海水中でブリは口から水を吐くようにして鰓に絡まった *C. antiqua* を排出しようと試み、時折激しく突進を繰り返して徐々に疲弊して行った。その後、低酸素症によると推定される背側体表の黒化がみられるようになると生け間の片隅に頭を入れてあまり動かなくなり、時折突進して脱出するような行動を繰り返し、最後は横転して徐々に鰓蓋の動きが低下して死亡した。これは *C. antiqua* の培養株でブリ稚魚に対する室内曝露試験を行った時と同様の経過・行動を示していることから、*C. antiqua* の魚毒性によってへい死したことは明らかである。