

赤潮総合対策調査事業－Ⅱ
(赤潮対策技術高度化事業－２)
(シャットネラ等赤潮被害防止技術高度化)

宮田翔也・高杉朋孝・吉満 敏

【目的】

近年、有害赤潮は表層だけでなく、カレニア ミキモトイ (*Karenia mikimotoi*,以降 *K.mikimotoi* と呼ぶ) 等による中層で有害赤潮が発生する事象がみられている。現在、表層の赤潮を防除する手法として海面から赤潮防除剤の改良型粘土(入来モンモリに焼ミョウバンを添加したもの)を散布するというものがあるが、本手法では中層赤潮に対し十分な効果を望むことができない。そこで本事業では、中層赤潮に対し効果的な防除手法の開発を行う。また、様々な発生状況の赤潮に対応するため、改良型粘土の新たな使用方法の開発や、安全性確認の補強試験を行い、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。

【方法】

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、耐久性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 5 m 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)。

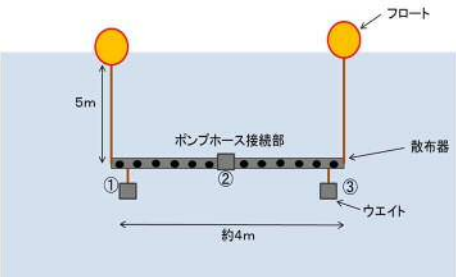


図 1 中層散布器イメージ



図 2 試作中層散布器



図 3 試験実施場所(斜線部)

表 1 曳航条件

	1回目	2回目
使用散布器	図 1, 2	図 1, 2
重り	① 1kg ② なし ③ 1kg	① 3kg ② 2kg ③ 3kg
曳航速度	約 4 ノット	約 4 ノット

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，EBARAPUMP）に塩ビ管で作製した中層散布器をクロロフィルが最も高かった水深2mまで沈め、あらかじめ改良型粘土（入来モンモリ 16kg＋焼ミョウバン 1.6kg）を2トン水槽に収容した海水約1トンに投入し、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（2m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0.3m，1m，2m，3m，4m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。

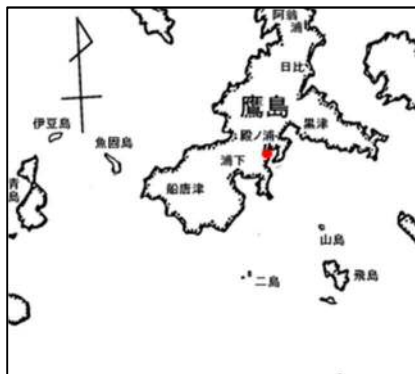


図4 試験実施場所（赤丸部）

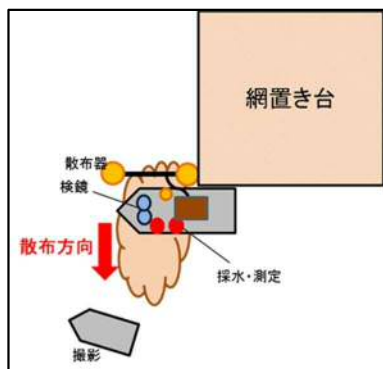


図5 散布イメージ（1回目）

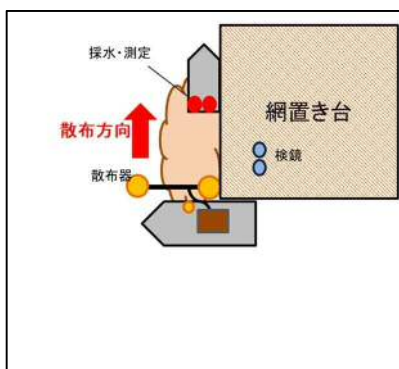


図6 散布イメージ（2回目）

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（以下「改変改良型粘土」という、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 10g，焼ミョウバン 1g，濾過海水 10mL 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，もう片方はガラスびーカーに収容して 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 2017 年八代海産シャットネラ アンティーカー (*Chattonella antiqua*, 以下 *C. antiqua* と呼ぶ) 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 700cells/mL) を 200mL フラスコに 100mL ずつ収容し、固形化粘土, 増粘化粘土, 加工を施していない改良型粘土 (入来モンモリ+焼ミョウバン=1,000+100ppm) 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。



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)

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 (1.2kg) を搬入し, 実飼育容積 4 m × 4 m × 1.5m 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+100ppm) 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, 体重の測定及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。

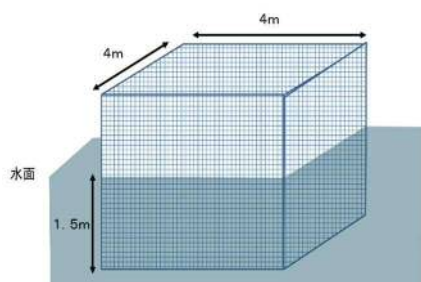


図 8 生け簀概略図

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

【結果及び考察】

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）。その後、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。



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

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量、濁度及び *K. mikimotoi* の細胞密度の推移を図13～18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（1,160cells/mL）の約35%（410cells/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（1,260cells/mL）の約40%（500cells/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。



図 11 試験実施状況 1



図 12 試験実施状況 2

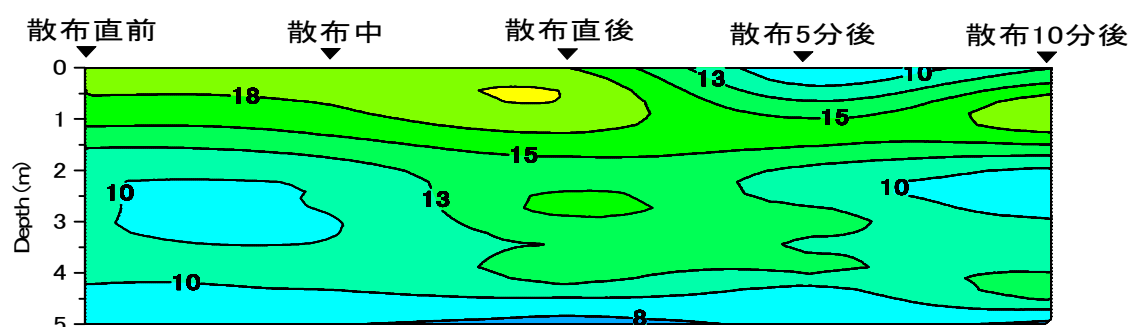


図 13 1 回目散布時のクロロフィル量 ($\mu\text{g/L}$)

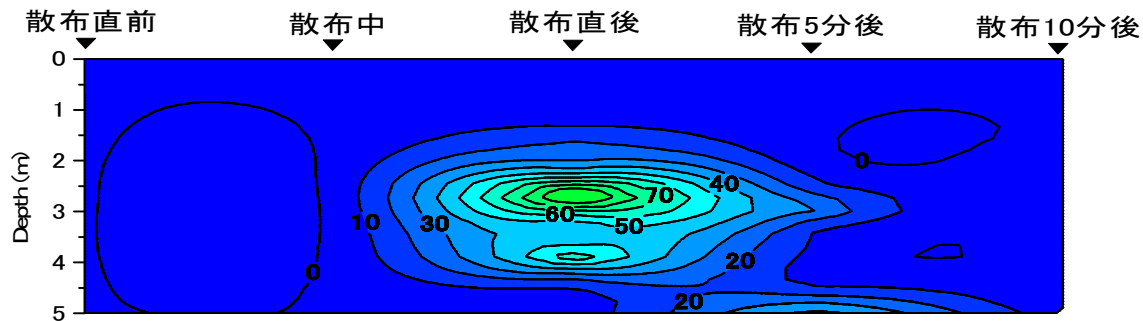


図 14 1 回目散布時の濁度 (FTU)

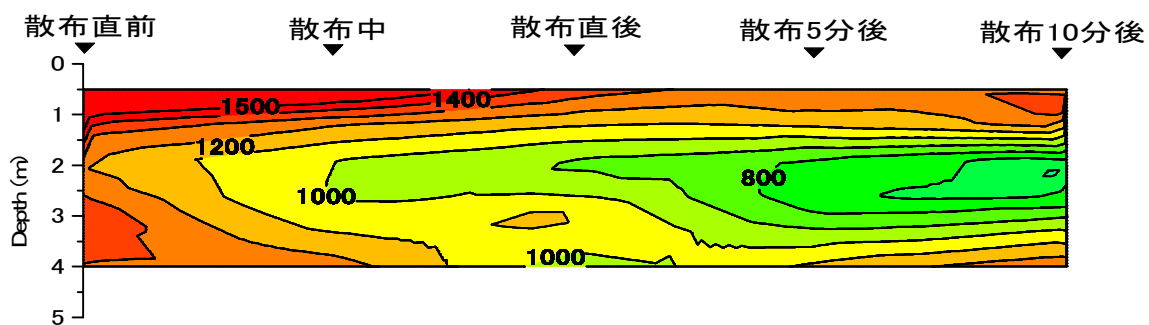


図 15 1 回目散布時の *K. mikimotoi* の細胞密度 (cells/mL)

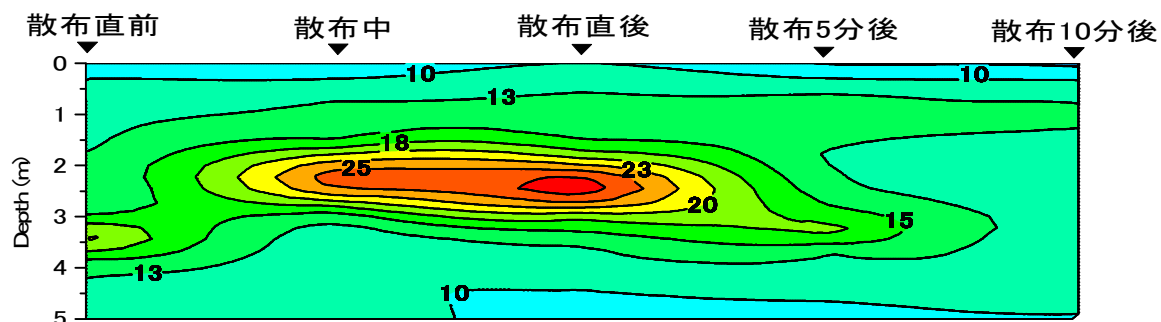


図 16 2 回目散布時のクロロフィル量 ($\mu\text{g/L}$)

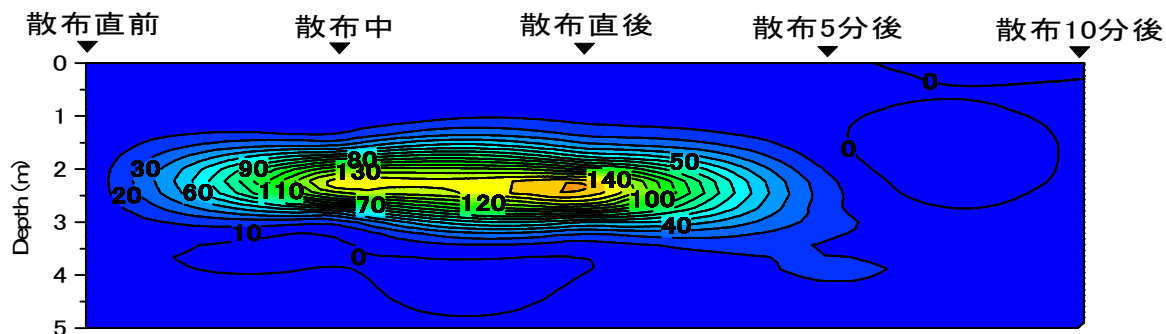


図 17 2 回目散布時の濁度 (FTU)

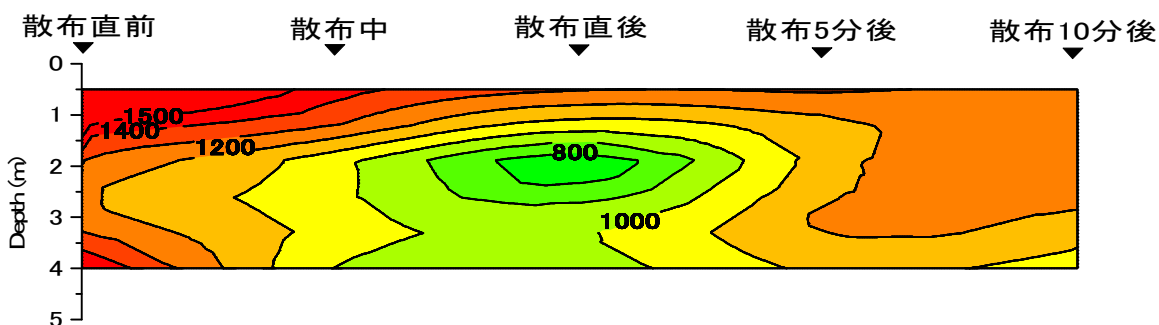


図 18 2 回目散布時の *K. mikimotoi* の細胞密度 (cells/mL)

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 *C. 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。

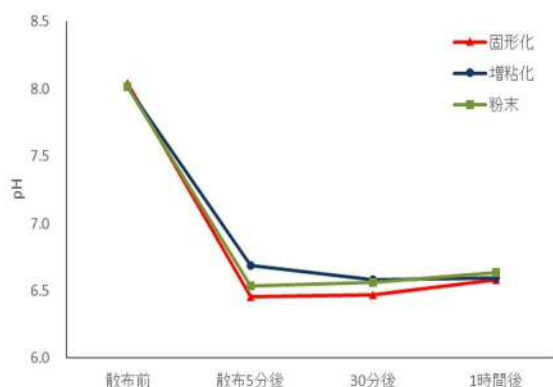


図 19 pH の推移 (* : t 検定, $p < 0.05$)

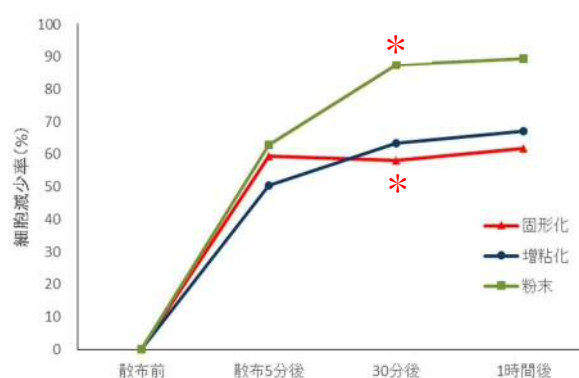


図 20 細胞減少率の推移 (* : t 検定, $p < 0.05$)

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。



図 21 試験実施状況 3



図 22 試験実施状況 4

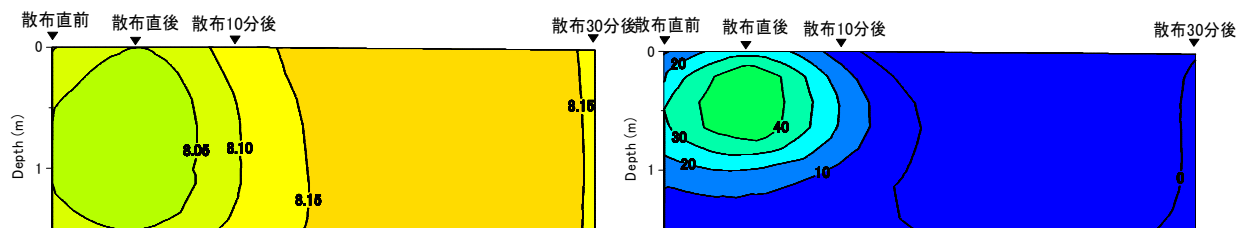


図 23 pH (左) 及び濁度 (右) の推移 生け簀 1 (散布 1 回目 : 9 日間餌止め区)

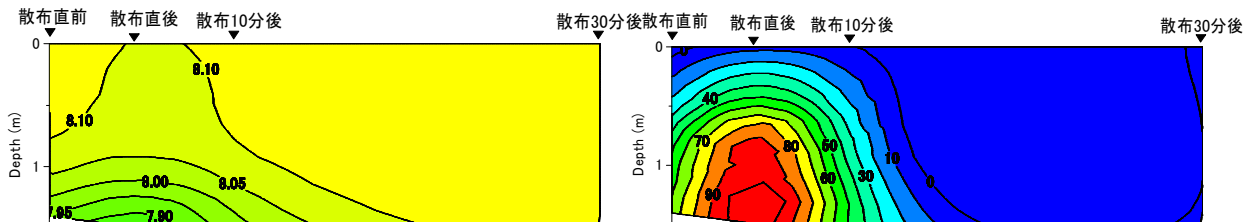


図 24 pH (左) 及び濁度 (右) の推移 生け簀 2 (散布 1 回目 : 3 日間餌止め区)

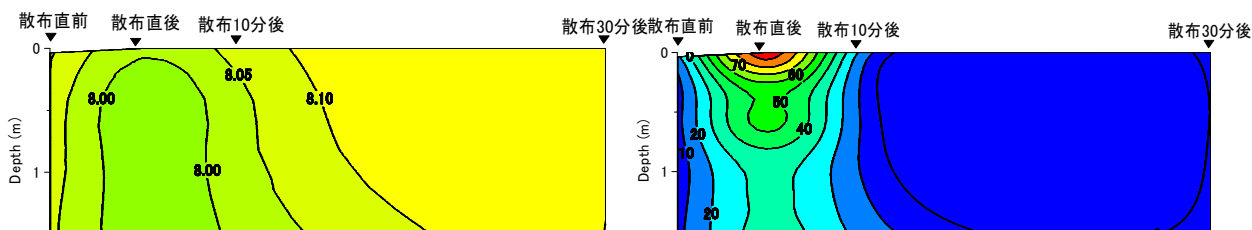


図 25 pH (左) 及び濁度 (右) の推移 生け簀 3 (散布 1 回目 : 0 日間餌止め区)

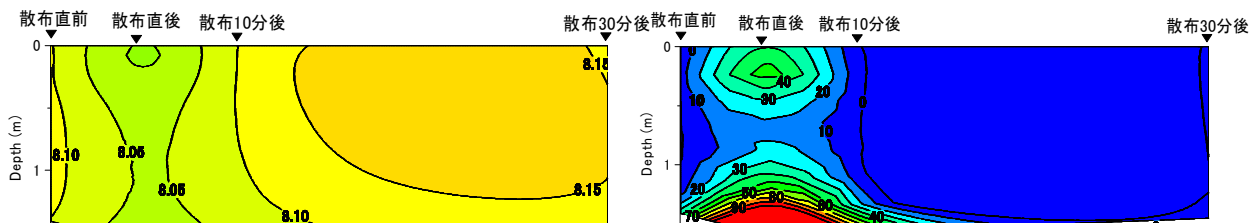


図 26 pH (左) 及び濁度 (右) の推移 生け簀 4 (散布 2 回目 : 9 日間餌止め区)

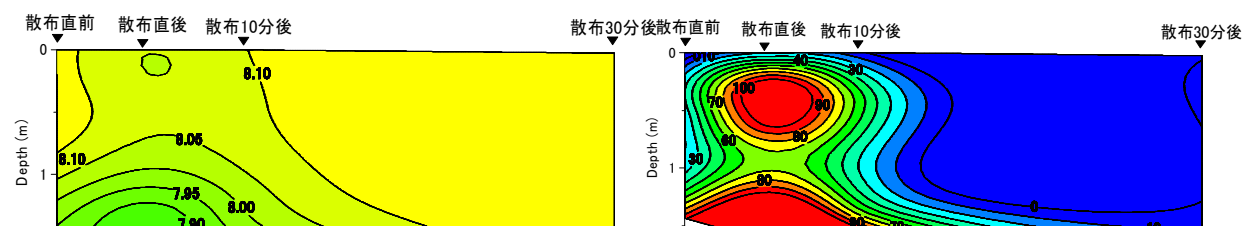


図 27 pH (左) 及び濁度 (右) の推移 生け簀 5 (散布 2 回目 : 3 日間餌止め区)

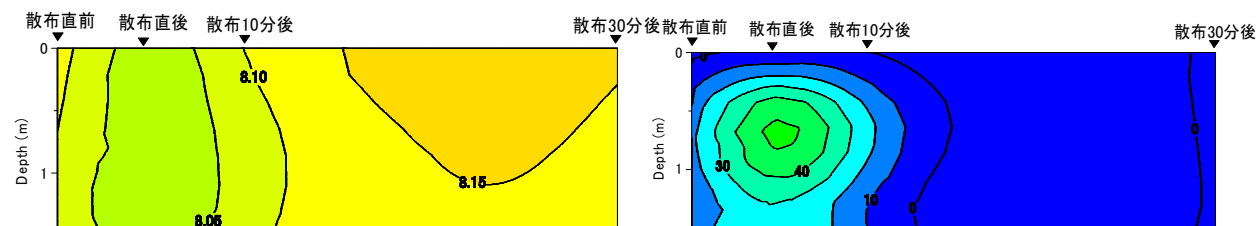


図 28 pH (左) 及び濁度 (右) の推移 生け簀 6 (散布 2 回目 : 0 日間餌止め区)

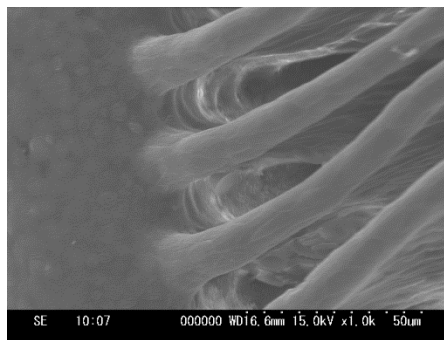
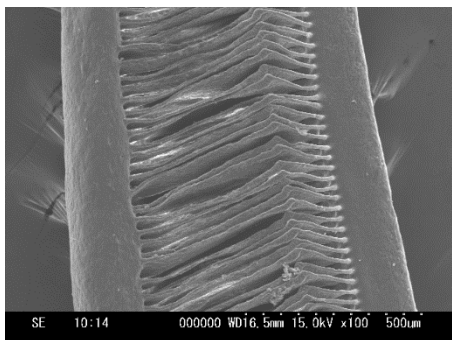


図 29 電子顕微鏡写真（左：100 倍，右：1000 倍 生け簀 1）

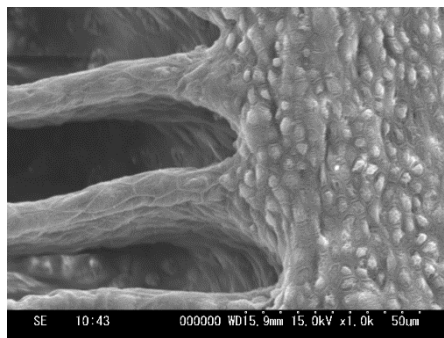
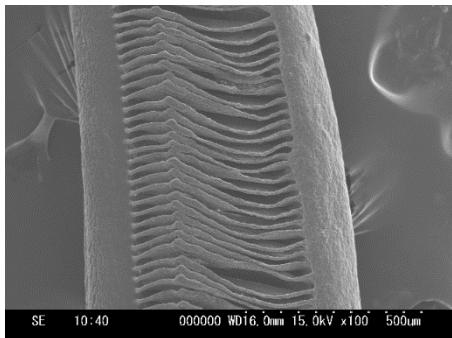


図 30 電子顕微鏡写真（左：100 倍，右：1000 倍 生け簀 2）

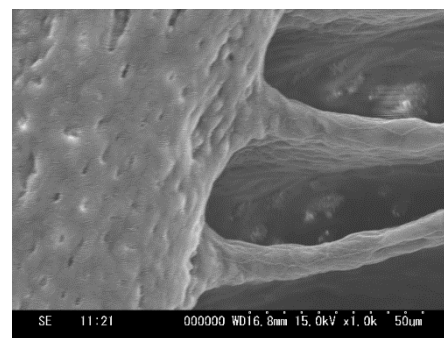
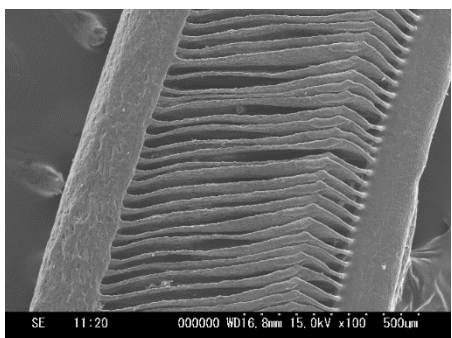


図 31 電子顕微鏡写真（左：100 倍，右：1000 倍 生け簀 3）

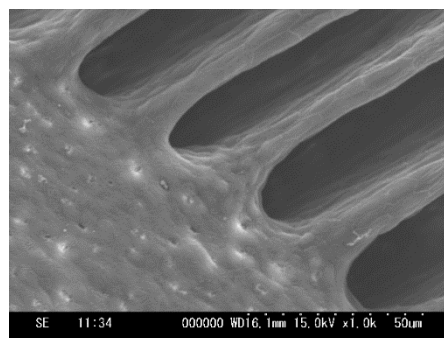
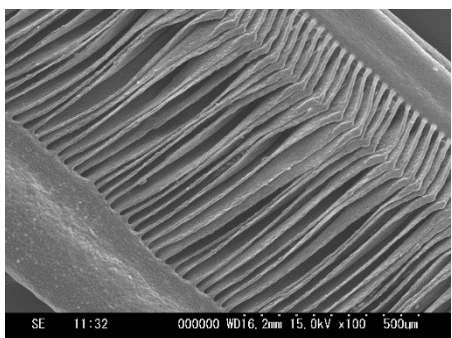


図 32 電子顕微鏡写真（左：100 倍，右：1000 倍 生け簀 4）

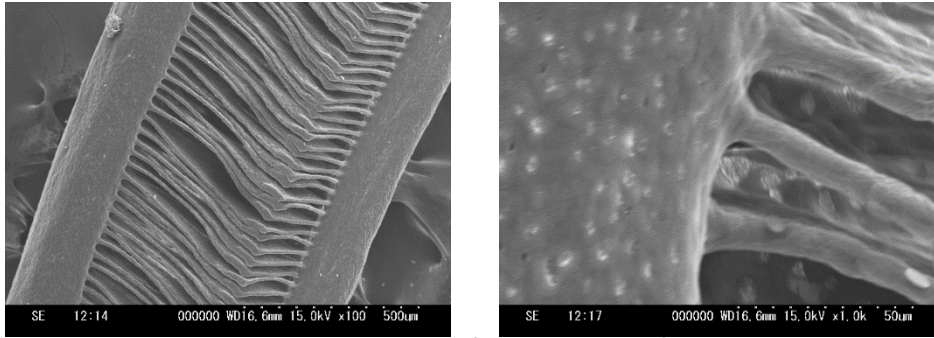


図 33 電子顕微鏡写真（左：100 倍，右：1000 倍 生け簀 5）

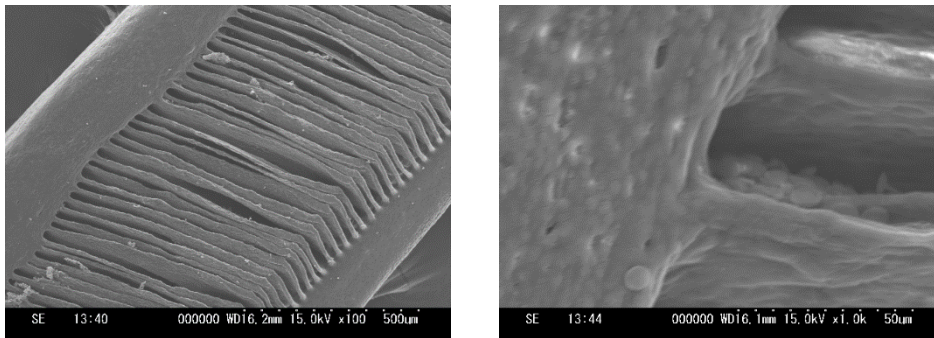


図 34 電子顕微鏡写真（左：100 倍，右：1000 倍 生け簀 6）

【参考文献】

- 1) 粘土散布による赤潮被害防止マニュアル，鹿児島県水産試験場，1981.
- 2) 広石伸互，今井一郎，石丸隆．水産学シリーズ[134]有害・有毒藻類ブルームの予防と駆除． 2002
- 3) 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.