

有害赤潮・貧酸素水塊による 漁業被害の軽減に向けて

**平成25～29年度
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」**

事業成果ダイジェスト

九州海域赤潮・貧酸素共同研究機関

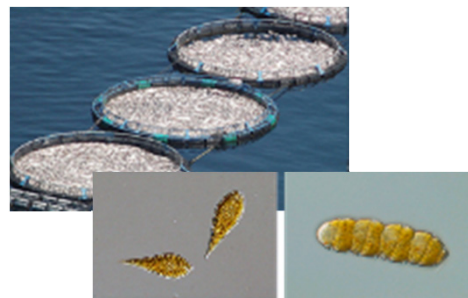
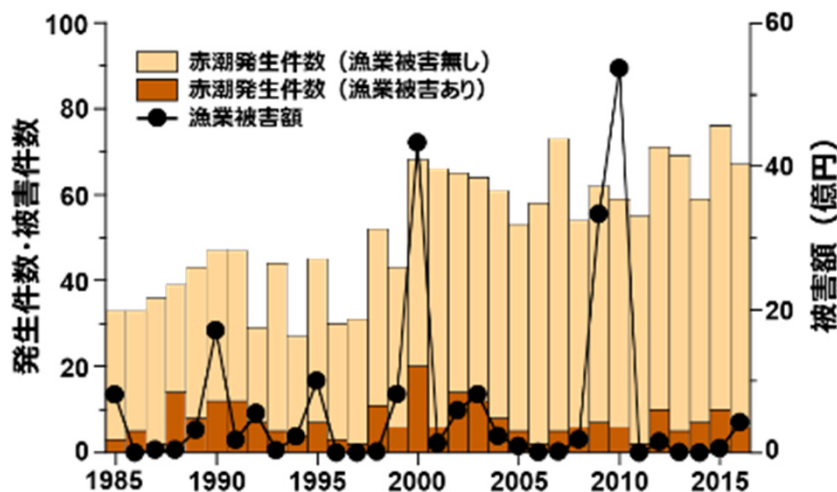
目次

はじめに：九州西岸域における有害赤潮及び貧酸素水塊の発生状況	1
1) 九州海域における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明	2
(1) 八代海における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明	
(2) 鹿児島湾における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明	
(3) 九州北部海域における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明	
2) 有明海における貧酸素水塊による漁業被害防止対策	7
(1) 有明海における貧酸素水塊モニタリングの高度化	
(2) 有明海における夏季の栄養塩動態の把握	
(3) 有明海における夏季の赤潮動態の把握	
(4) 有明海熊本海域の赤潮・貧酸素動態の把握	
3) 有明海におけるノリ色落ち原因ケイ藻の出現特性の解明と発生予察技術の開発	9
(1) 有明海奥部における冬季の水質モニタリングの高度化	
(2) 有明海奥部における冬季のケイ藻等の赤潮動態の把握	
(3) 有明海熊本県海域における冬季のケイ藻等の赤潮動態の把握	
4) シャットネラ等の魚介類への影響、毒性発現機構の解明	11
(1) 有害プランクトンによる魚介類へい死機構の解明	
(2) 有害プランクトンによる貝類への影響評価	
5) シャットネラ等による漁業被害防止、軽減技術の開発	13
(1) 赤潮発生時における緊急出荷・救命技術の開発	
(2) 初発赤潮水塊の活性粘土を用いた防除技術の開発	
6) 広域赤潮等情報の収集・提供システムの開発	15
(1) 自動観測ブイ情報の収集と提供及び水温予測精度の向上	
(2) 広域赤潮等情報の収集・提供システムの開発	
(3) 広域赤潮等情報の収集・提供システムの実証試験	
おわりに：有害赤潮・貧酸素水塊による漁業被害の軽減に向けて	16

はじめに：九州西岸域における有害赤潮及び貧酸素水塊の発生状況

九州西岸域（伊万里湾、有明海、橘湾、八代海及び鹿児島湾）における赤潮の発生件数は、2000年以降、年間60件程度で推移しており、2000年（八代海）、2009、2010年（有明海、橘湾、八代海）の養殖魚の斃死、2000～2001年冬季のノリの大不作など、しばしば多大な漁業被害が生じています。また、有明海の奥部海域では、毎年、夏季に底層の溶存酸素濃度が低下し、貧酸素水塊が形成されます。貧酸素水塊の形成は、有明海の重要な漁業資源である二枚貝類の減耗要因のひとつと考えられています。

本事業では、広域共同モニタリングや各種研究を実施することにより、有害赤潮及び貧酸素水塊の監視体制の強化、発生機構の解明、発生予測技術の開発並びに被害防止技術の開発を行うことで、有害赤潮等による漁業被害の防止と健全な海洋生態系の保全に資することを目的としています。

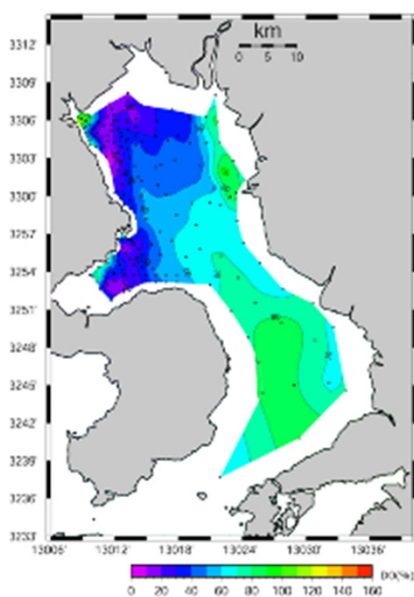


養殖魚を斃死させる主な有害プランクトン

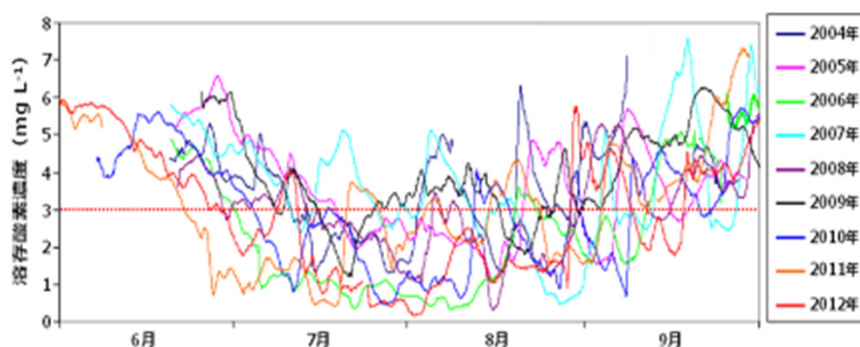


ノリの色落ちの原因プランクトン（珧藻）

九州西岸域（伊万里湾、有明海、橘湾、八代海及び鹿児島湾）における赤潮発生件数、漁業被害件数及び漁業被害額の推移（九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮」をもとに作成）



有明海奥部海域の底層における溶存酸素飽和度（％）の分布（2012年8月10日）



有明海奥部海域（沖神瀬西）の底層における6～9月の溶存酸素濃度の経時変化（2004～2012年）



貧酸素水塊の形成によって斃死したサルボウ

1) 九州海域における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

(1) 八代海における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

① 八代海における赤潮モニタリングの高度化

担当機関：水産研究・教育機構西海区水産研究所

八代海における養殖業に大きな打撃を与える有害赤潮の消長を早期に把握し、その被害を軽減する目的で、八代海に設置した3基の鉛直自動観測ブイにより、海況（水温、塩分、クロロフィル蛍光、溶存酸素濃度及び流向・流速など）のモニタリングを行い、観測データを収集しました。また、得られた観測データをリアルタイムで公表するとともに、それらデータにより有害赤潮の消長メカニズムの解明を試みました。

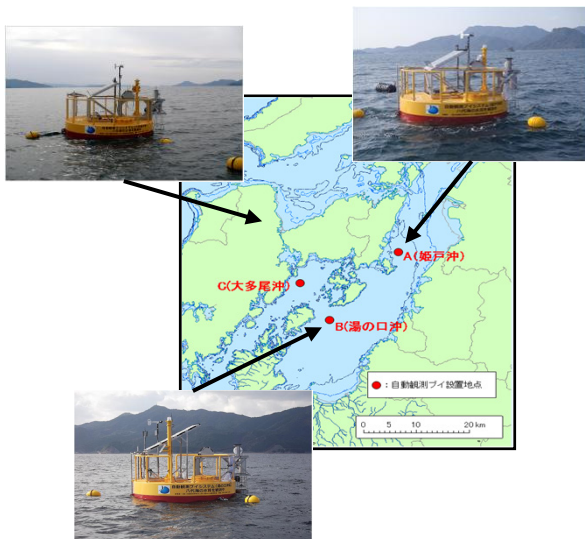


図1 八代海における3基の大型自動観測ブイの設置点

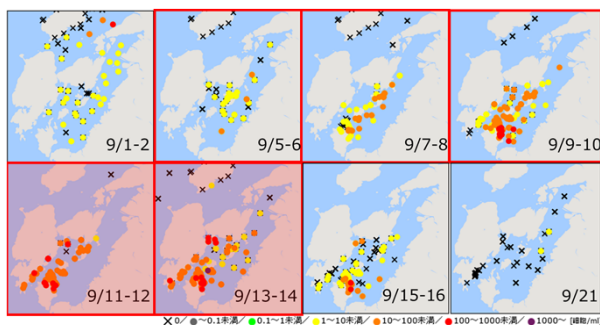


図2 八代海における赤潮情報の共有（2016年夏季）
（沿岸水質・赤潮分布情報）

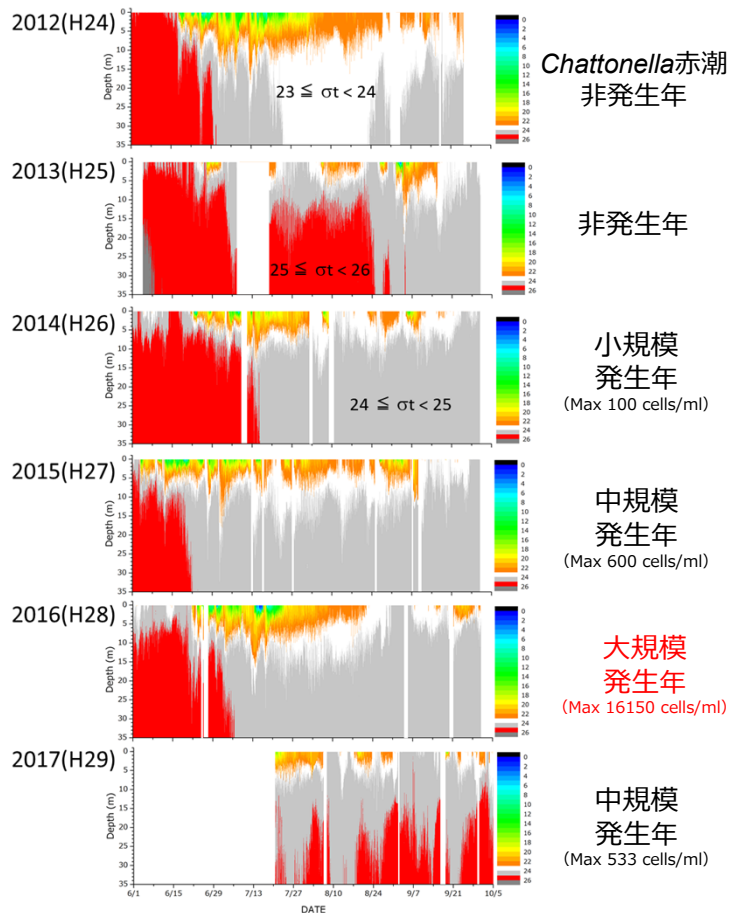


図3 八代海姫戸沖における密度（ σ_t ）の鉛直分布の年変動（2012～2017年夏季）

(1) 大型自動観測ブイ及び関係各県の定期・臨時観測により、八代海における赤潮の分布及びその消長、さらにはそれに関わる環境情報の把握ができるようになりました。

(2) 大型自動観測ブイによって得られる鉛直時系列データのうち、2012～2017年の姫戸沖ブイの密度分布から、同海域の海水の分布に特徴的な変動がみられました。

① 球磨川の出水後に、海域を占有していた海水（ $25 \leq \sigma_t < 26$ ）に変わり、低塩分水or高水温水（ $\sigma_t < 24$ ）の下層に高栄養塩の海水（ $24 \leq \sigma_t < 25$ ）が出現します。

② 高栄養塩の海水（ $24 \leq \sigma_t < 25$ ）が水柱を幅広く占有している年に*Chattonella*属が発生する傾向にあります。

③ ②の条件、かつ表層の低密度水（ $\sigma_t < 24$ ）が薄層化（もしくは消滅）なるときに*Chattonella*属が増加する傾向にあります。

これらの結果は、連続観測データから読み取れる*Chattonella*赤潮発生時の条件の1つであり、今後、水温、塩分、光環境、栄養塩、多種との競合などとあわせて、消長要因の更なる特定を進め、赤潮発生の予察精度を上げることが望めます。

1) 九州海域における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

(1) 八代海における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

② 八代海における漁場環境調査

担当機関：熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター、東町漁業協同組合

八代海では、*Chattonella*属、*Karenia*属、*Cochlodinium*属などの有害種による赤潮が頻発し、これらによる甚大な漁業被害が発生しています。

本課題では、これらの発生状況の監視と発生機構の解明を目的として、熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター及び東町漁業協同組合による共同調査を行いました。

調査は、八代海に設定した9定点において、5月から9月の間、原則週1回の頻度で、上記3機関が交代して行い、多項目水質計による鉛直観測、栄養塩分析、植物プランクトンの種組成の把握を行いました。



図1. *Karenia*属及び*Chattonella*属の出現及び密度増加時期



図2. 多雨、低日照及び表層の高栄養塩化時期

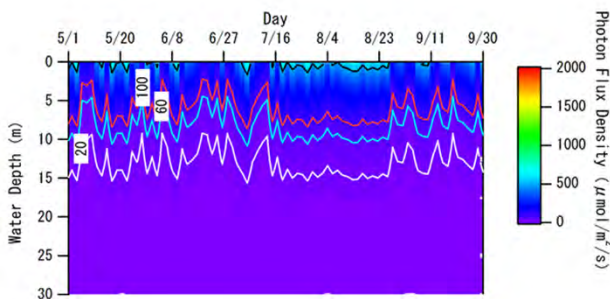


図3. 気象データ及び観測データから推定した八代海中部における水中光量子束密度の鉛直プロファイルの季節変化（平成28年度）

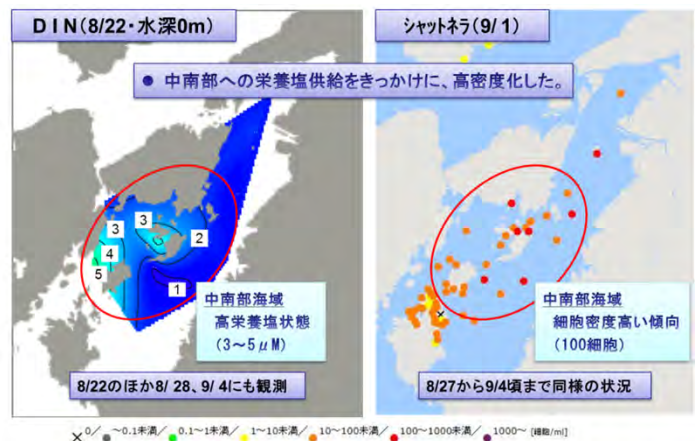


図4. DIN及び*Chattonella*属の平面分布状況の比較（平成29年度）

- (1) 6月から7月の日照が弱い場合、*Karenia mikimotoi* の増殖が先行しやすい傾向にありました。
- (2) 大量降雨後のエスチャリー循環などにより、表層が高栄養塩状態になると、*Karenia mikimotoi* は大規模かつ長期間、赤潮を形成しやすい傾向にありました。
- (3) その間、*Chattonella*属の増殖は抑制され、比較的深い水深まで光が届く状態がある程度継続した後、本格的な増殖を開始するため、晩期発生型となりやすいと考えられました。
- (4) その際、中南部海域は、好適な光環境が深い水深まで整いやすく、栄養塩供給のタイミングが高密度化するかどうかを左右すると推察されます。

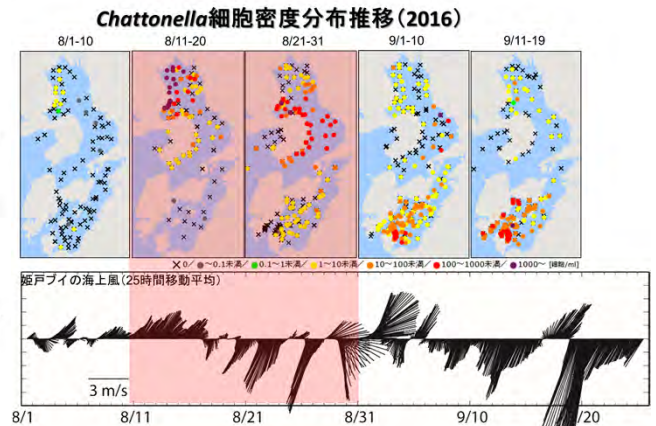
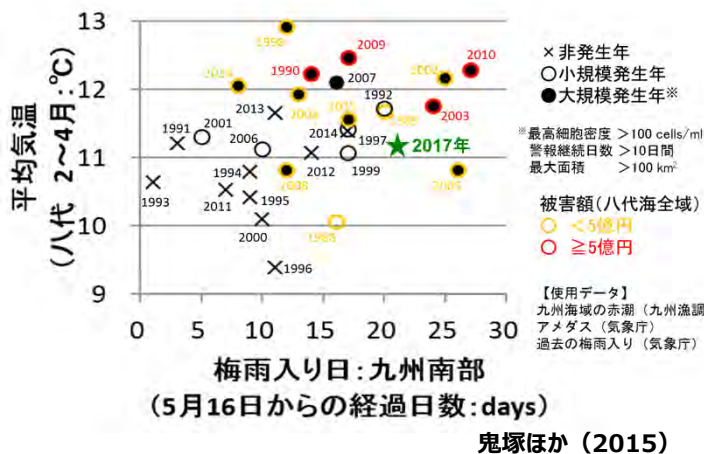
1) 九州海域における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

(1) 八代海における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

③ 八代海における赤潮発生メカニズムの解析

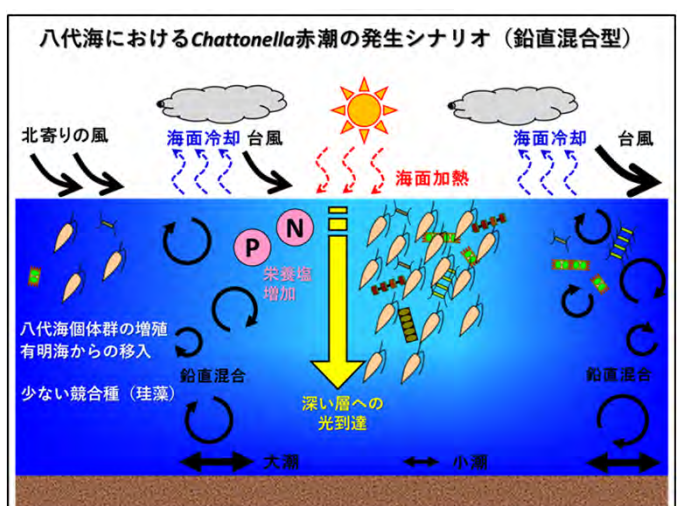
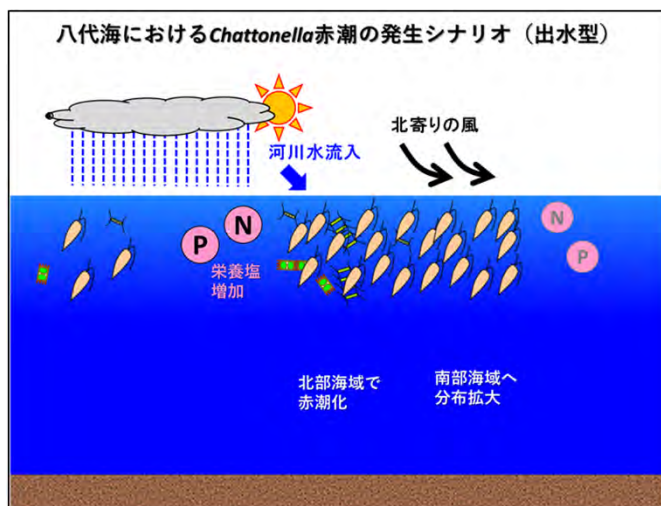
担当機関：水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所、同 中央水産研究所

本課題では、八代海における有害赤潮の発生条件・分布拡大要因を明らかにすることを目的として、自動観測ブイにおける調査、課題1) (1)における各種調査、これまでの長年の調査等により得られた赤潮プランクトン細胞密度や環境条件等のデータを用いて、主に*Chattonella* 赤潮の発生パターンを整理しました。



冬～春の平均気温が高く、梅雨入り日が遅いと
*Chattonella*赤潮は大規模化しやすい傾向

有明海で赤潮化 + 北風の連吹で
Chattonella が八代海に移入



八代海における*Chattonella* 赤潮の発生シナリオ

八代海における*Chattonella* 赤潮は冬～春の平均水温が高く、梅雨入り日が遅いほど大規模化しやすい傾向が認められました。また、八代海で細胞密度が増加する前に、多くの場合、有明海で本種赤潮が先行すること、栄養塩濃度の上昇が起こることが分かりました。最終的に、八代海における*Chattonella* 赤潮発生は、①梅雨明け後の7月上旬に北部海域で高密度化し、出水と北風の連吹で南部へ分布拡大するパターンと、②8月下旬以降の鉛直混合等起因するDIN・DIPの供給およびその直後の成層化によって高密度化するパターンに整理されました。

1) 九州海域における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

(2) 鹿児島湾における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

担当機関：鹿児島県水産技術開発センター

*Chattonella*属、*Heterosigma*属等が形成する赤潮により漁業被害がたびたび発生している鹿児島湾において、漁業被害の防止・軽減を図るため、赤潮発生状況の把握や赤潮発生機構の解明を行うことが求められています。そこで、本課題では、鹿児島湾において有害赤潮プランクトンの発生状況及び海洋環境を広域的に調査するとともに、室内実験により*Chattonella*属等の増殖特性を把握しました。

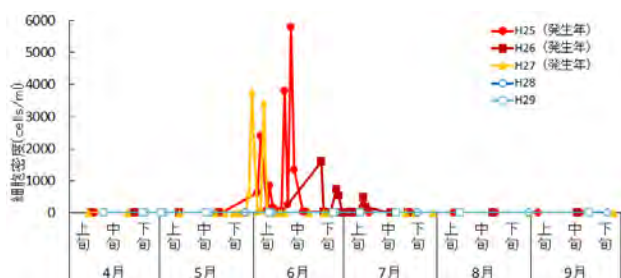


図1. 鹿児島湾における*Chattonella marina*の最大細胞密度の推移（平成25～29年度）

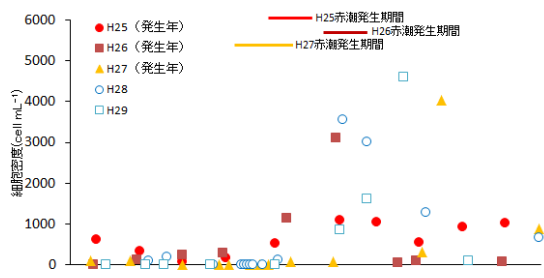


図2. 鹿児島湾南部（St.8）における珪藻類の推移（平成25～29年度）

表1. 鹿児島湾における*Chattonella marina*赤潮の発生状況（平成25～29年度）

年度	<i>Chattonella</i> 赤潮の発生有無	初認日 (細胞密度)	発生期間 (10 cells/mL以上)	最高細胞密度 (観測日)	発生海域
平成25年度	○	5/7 (0.02 cells/mL)	6/2～6/14	5,800 cells/mL (6/13)	湾奥部
平成26年度	○	5/20 (1 cell/mL)	6/23～7/7	1,600 cells/mL (6/23)	湾奥部
平成27年度	○	4/20 (0.001 cells/mL)	5/19～6/6	3,755 cells/mL (5/31)	湾奥部 湾中部
平成28年度	×	4/26 (0.001 cells/mL)	—	2 cells/mL (5/2)	—
平成29年度	×	6/6 (1 cell/mL)	—	5 cells/mL (6/27)	—

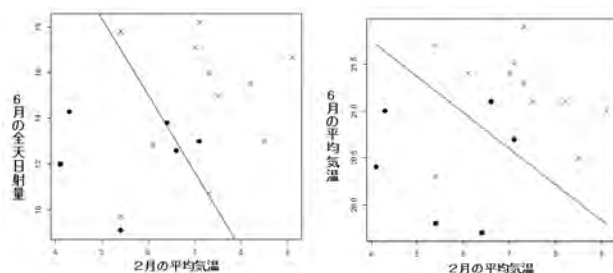


図3. 鹿児島湾における*Chattonella*赤潮の発生判別（線形判別）結果例（平成28年度実施）色付きが発生年，×が非発生年を示す。

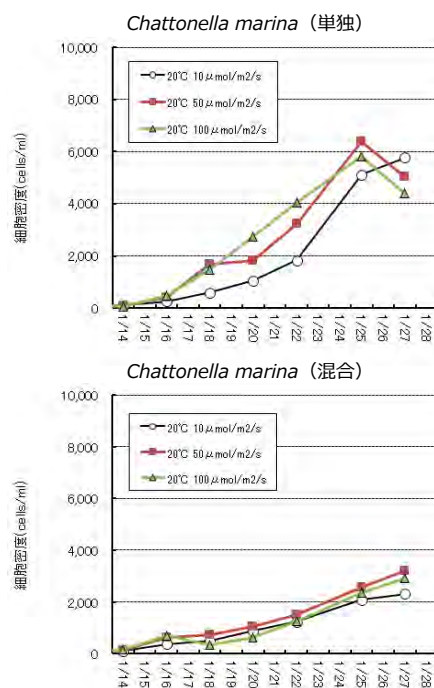


表2. *Chattonella marina*, *Chaetoceros*属の増殖に及ぼす水温，光強度の影響試験の結果例。

- (1) 定期モニタリング調査を実施することで、赤潮発生の詳細な状況をリアルタイムに把握し（図1，2，表1），赤潮の発生要因等について考察しました。
- (2) 赤潮増殖特性の解明を目的とした室内培養試験により、*Chattonella*属（*Chattonella antiqua*, *Chattonella marina*）の増殖特性および珪藻類との競合関係について一部把握しました。その結果、*Chattonella*属は珪藻類との混合で増殖が抑制された可能性があると示唆されました（図3）。
- (3) 気象・海象データを用いた統計解析により、鹿児島湾における*Chattonella*赤潮の発生・非発生に影響する環境因子を明らかにし、赤潮発生を予測できる可能性が示唆されました（図4）。

なお、赤潮発生の詳細な状況をリアルタイムに把握すると同時に、関係漁協や漁業者等に迅速・正確に情報提供することで、漁業被害の防止・軽減を図ることができました。

1) 九州海域における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

(3) 九州北部海域における有害赤潮等の発生監視と発生機構の解明

担当機関：長崎県総合水産試験場、長崎県県北水産業普及指導センター、佐賀県玄海水産振興センター、水産研究・教育機構中央水産研究所

【背景】平成24年7～8月に、伊万里湾の福島周辺（佐賀・長崎県に跨る）海域で、*Karenia mikimotoi* 赤潮により、養殖魚（トラフグ等）に約9.2千万円の漁業被害が発生しました。

【目的】本課題では、九州北部海域（伊万里湾等）において、有害赤潮プランクトン（標的種：*Karenia mikimotoi* 等）の発生状況及び海洋環境を広域的に監視するとともに、既存データの解析によって発生機構を解明し、漁業被害の防止に資することを目的としました。

【方法】伊万里湾内の14点（●1～14）で、6～8月に週1回、多項目水質計による鉛直観測（水温、塩分、クロロフィル蛍光等）と0.5、10m層及びクロロフィル蛍光極大層での採水調査（植物プランクトン組成、無機栄養塩分析）を実施するとともに、2点（○10、15）で水温とクロロフィル蛍光の連続観測を行いました（図1）

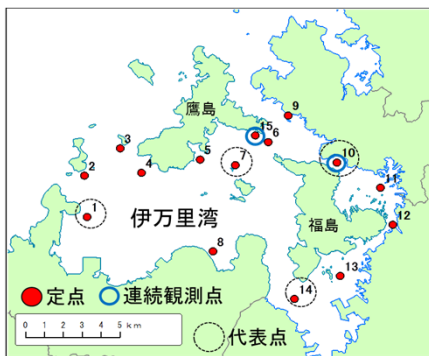


図1. 調査地点図

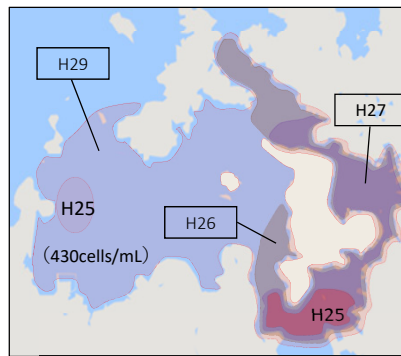


図2. *K. mikimotoi* 赤潮の発生海域

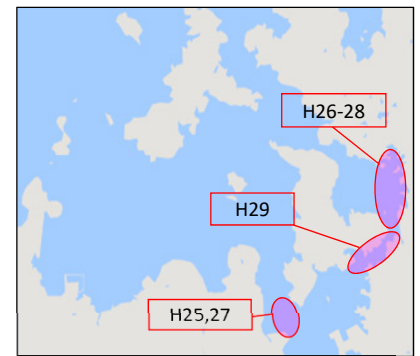


図3. *K. mikimotoi* の初期増殖海域

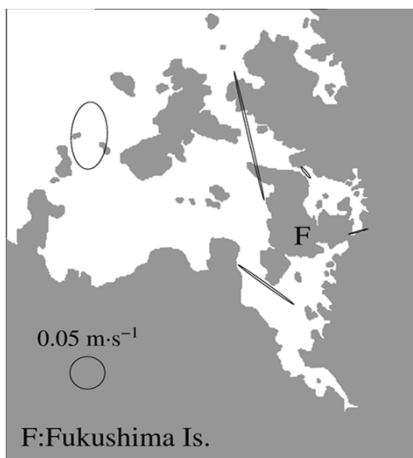


図4. 伊万里湾でのM₂潮流楕円分布

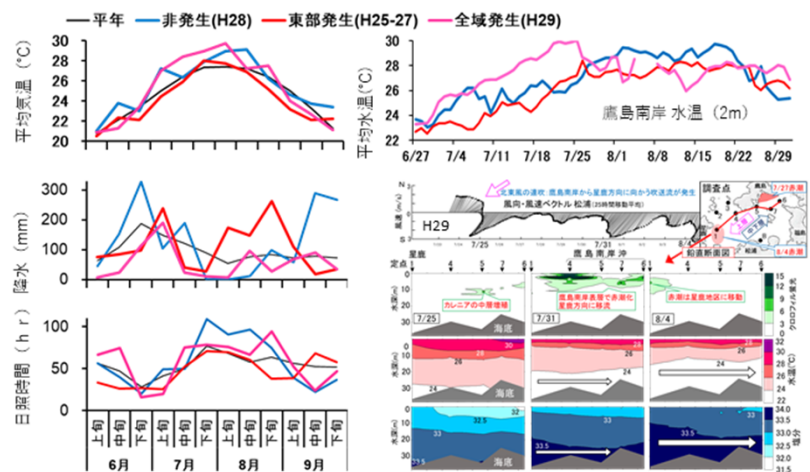


図5. 伊万里湾の気象、海象

(1) 伊万里湾での*K. mikimotoi* 赤潮 (500 cells/mL<) は、夏季に平成25～27年度は湾東部で、平成29年度は全域で発生しました。平成28年度は赤潮の発生はみられませんでした（図2）。

(2) *K. mikimotoi* の初期増殖は、平成25～29年度共通して、湾東部の福島東方海域で確認されました。平成28年度の潮流解析の結果、この海域は湾西部海域に比べ、静穏、閉鎖的で、赤潮が発生しやすい環境であると考えられました（図3、4）。

(3) 湾東部での赤潮の発生・非発生年（平成25～28年度）の比較から、6月下旬～8月下旬が低水温、7月上旬、7月下旬～8月中旬に降水量が多く、日照時間が少ない時に発生がみられました（図5）。

(4) 平成29年度は、7月下旬～8月中旬の降水量は少なく、7月下旬まで高水温で推移し、非発生年に近い環境でした。ところが、7月下旬以降、平成25～28年度には観測されなかった北東風の連吹によって、水温が急降下し、その後は発生年と同様に低めで推移しました。また、外洋冷水が湾内の中下層に貫入しました。これらのことが、赤潮の大規模化につながったと考えられました（図5）。

(5) 平成29年に甚大な漁業被害（約6.1億円）が生じた長崎県では、漁業者、漁業協同組合、市、県、国が構成員となる対策検討会を設け、本事業の成果に基づき、『伊万里湾赤潮対策ガイドライン』を策定しました。

2) 有明海における貧酸素水塊による漁業被害防止対策

(1) 有明海における貧酸素水塊モニタリングの高度化、(2) 有明海における夏季の栄養塩動態の把握、(4) 有明海熊本海域の赤潮・貧酸素動態の把握

担当機関：水産研究・教育機構西海区水産研究所、福岡県水産海洋技術センター有明海研究所、熊本県水産研究センター

有明海湾奥部において、自動観測機器等を用いた水質連続観測を実施し、近年夏季に頻発する貧酸素水塊の発生状況の監視を行うとともに、テレメトリーによるリアルタイム情報提供により、関係機関および漁業者と水質情報を共有しました。また、有明海湾奥部及び熊本県海域において、貧酸素水塊発生と大きく関わりとされる*Chattonella*属や珪藻などのプランクトンが形成する赤潮の発生状況を調査しました。得られた観測データは、過去の観測データや知見と合わせ、有明海における貧酸素水塊及び赤潮の発生機構の解明に供しました。

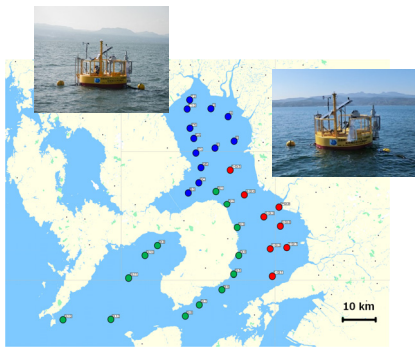


図1. 有明海及び周辺海域における定期観測点

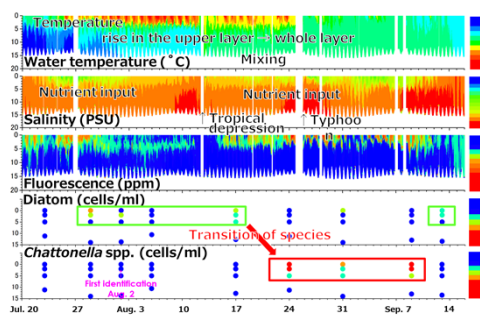


図2. 大型自動観測ブイおよび定期観測による時系列データ（2015年夏季）

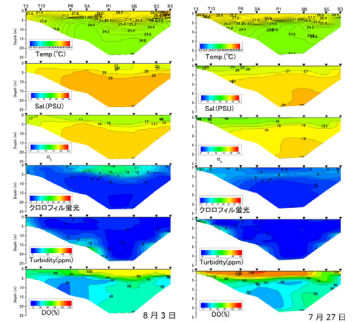


図3. 定期観測による水質鉛直分布（2015年夏季）

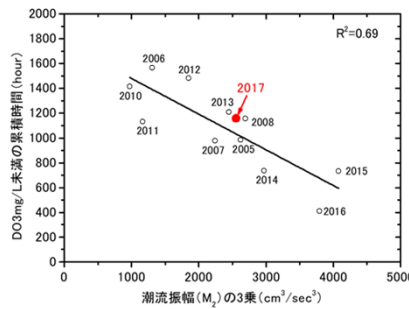
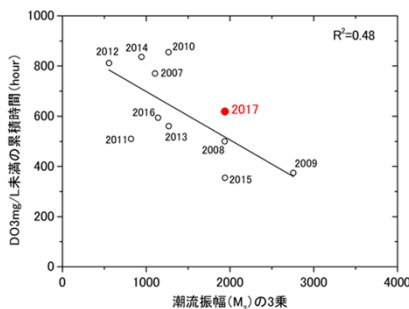


図4. 有明海奥部干潟縁辺域（左図）と沖合域（右図）における潮流振幅の3乗と7月～9月におけるDO 3mg L⁻¹未満の累積時間との関係

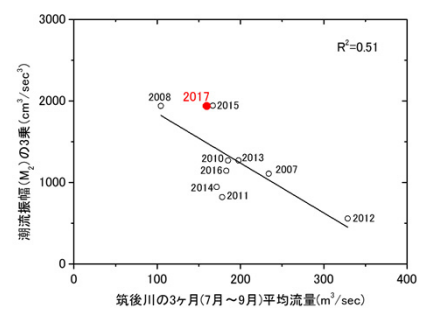


図5. 筑後川における平均流量とT13における底層潮流振幅の3乗との関係



図6. 潮汐振幅（大浦）と底層潮流振幅（P6）の経年変化

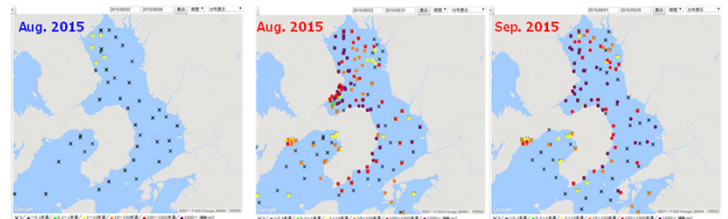


図7. 関係機関により取得された*Chattonella* 赤潮データ（2015年）

(1) 連続観測機器による水質の時系列データ及び関係各県の定期観測によるデータにより、有明海における貧酸素水塊や赤潮の分布及び消長とそれに関わる環境情報の把握ができるようになりました。

(2) 有明海奥部の干潟縁辺域における貧酸素水塊の経年変動は、月の昇交点運動を考慮した潮汐振幅の変動では説明できず、河川出水とそれに伴う底層潮流振幅の変化に依存すること、沖合域における貧酸素水塊の経年変動は、河川出水とそれに伴う底層潮流振幅の変化では説明できず、月の昇交点運動を考慮した潮汐振幅の変動で説明できることが明らかになりました。

(3) *Chattonella* 赤潮の発生に先立ち、珪藻ブルームが観測されることが多く、筑後川の流量増加から1週間以内に小潮期が重なると4割程度の確率でブルームが発生することが明らかとなりました。

(4) *Chattonella* 赤潮は筑後川の流量が増加し、高日射が3日以上継続した場合に、およそ3週間後に3割程度の確率で大規模な赤潮が起こることが明らかになりました。

2) 有明海における貧酸素水塊による漁業被害防止対策

(3) 有明海における夏季の赤潮動態の把握

担当機関：長崎県総合水産試験場、長崎県県南水産業普及指導センター、水産研究・教育機構中央水産研究所

【背景】平成21年、22年に、有明海と橘湾海域では、*Chattonella*赤潮により、養殖魚（ハマチ等）に合計5億円を超える漁業被害が発生しました。また、高密度かつ広域で*Chattonella*赤潮が発生した場合、諫早湾では強い貧酸素水塊が形成され、養殖アサリの大量斃死（被害額平成16年約2.5億円、平成19年約3億円）が発生しました。

【目的】有明海長崎県海域周辺において、夏季の*Chattonella*赤潮等の動態を把握し、赤潮等による漁業被害の軽減に必要な知見を得るため、定期観測を実施しました。

【方法】有明海8点（●St.1-8）、橘湾5点（●St.9-13）で、6～8月に2週間に1回（計5回程度/年）、多項目水質計による鉛直観測（水温、塩分、溶存酸素濃度、クロロフィル蛍光等）と各層採水（植物プランクトン組成、無機栄養塩分析）（図1）を行いました。その他、諫早湾等で臨時調査を実施しました。

表1. 赤潮発生状況概要

年度	発生期間	発生海域	最高細胞密度 (cells/mL)	被害	他種出現状況
H25	8/6-13 (8日間)	諫早湾～島原地先	11,600	なし	<i>Gyrodinium dominans</i> (捕食種)が多数出現
H26	9/11-30 (20日間)	諫早湾	152	なし	珧藻類など (競合種)が多数出現
H27	8/16-9/16 (32日間)	諫早湾～南串山地区	19,700	あり (養殖ハマチ・ヒラス約7千万円)	少なかった
H28	8/12-31 (20日間) 9/28-10/6 (9日間)	諫早湾～口之津港	19,800	なし	少なかった
H29	8/29-9/18 (21日間)	諫早湾～深江漁港	1,800	あり (定置網コシロ15千円)	珧藻類など (競合種)が出現 <i>Cochlodinium polykrioides</i> <i>Karenia mikimotoi</i> (他有害種)と混合

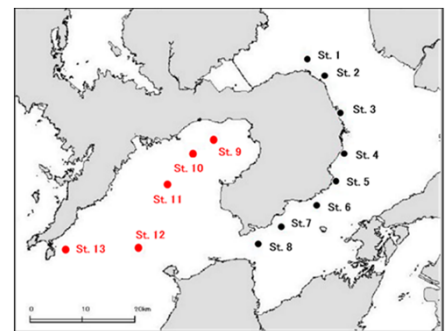


図1. 調査定点

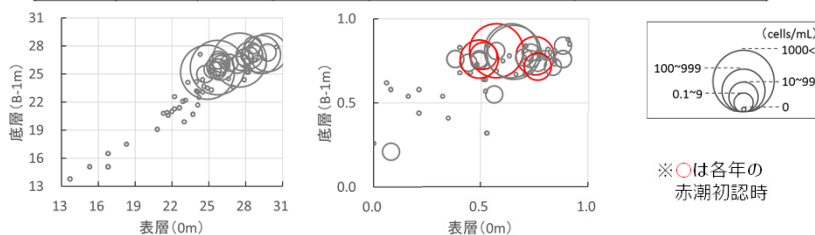


図2. 当日水温 (°C) と細胞密度 (左)、当日-2週間前のDINとPO₄-Pによる増殖速度 (day⁻¹) (Nakamura et al., 1988) と細胞密度 (右)

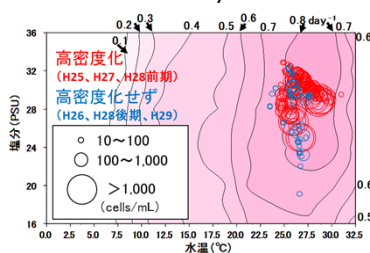


図3. 水温塩分による増殖速度 (山砥ほか, 2006を改訂) と細胞密度

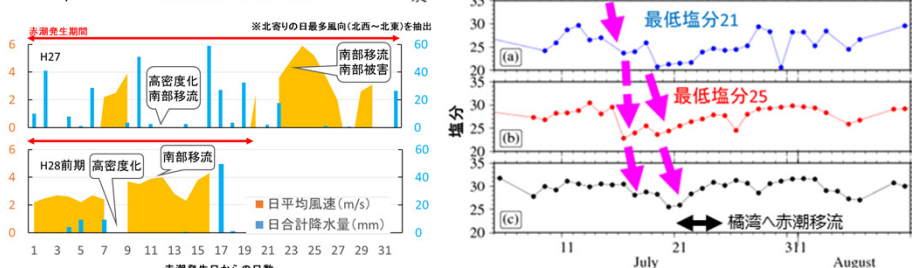


図4. 南部移流時の北寄りの風と降水 (左)、筑後川大量出水と南部の塩分低下 (右)

- (1) 毎年（平成25～29年）、*Chattonella*赤潮が発生し、平成27年と平成29年には漁業被害が発生しました（表1）。
- (2) *Chattonella*赤潮は、底層水温22℃<（シスト発芽が活発化）、表層水温25℃<（増殖好適水温）、当日～2週間前の表底層の増殖速度がともに0.5day⁻¹<の条件で発生する傾向にありました（図2）。
- (3) 水温、塩分が最適条件付近で *Chattonella*赤潮は高密度化する傾向にありました（図3）。
- (4) 高密度化した後、捕食種や競合種の出現が少ない場合に長期化する傾向にありました（表1）。
- (5) 北寄りの風や降水による筑後川からの出水で*Chattonella*赤潮が有明海南部へ移流しました（Aoki & Kataoka, 2018）。また、大量出水（2,000m³/s<）の場合は、橘湾へ移流する可能性が高いことも明らかとなりました（図4）。
- (6) 平成27年に橘湾で降水直後に地場発生型の*Chattonella*赤潮が発生しました。
- (7) HFレーダーデータを用いて、島原半島南岸の流れを把握する技術を開発しました。
- (8) 本事業で得られた成果は、赤潮自主監視体制強化のための「橘湾周辺海域赤潮対策ガイドライン」の策定にも貢献しました。

3) 有明海におけるノリ色落ち原因ケイ藻の出現特性の解明と発生予察技術の開発

(1) 有明海奥部における冬季の水質モニタリングの高度化、(2) 有明海奥部における冬季のケイ藻等の赤潮動態の把握、(3) 有明海熊本県海域における冬季のケイ藻等の赤潮動態の把握

担当機関：福岡県水産海洋技術センター有明海研究所、佐賀県有明水産振興センター、熊本県水産研究センター、水産研究・教育機構西海区水産研究所

有明海では、冬季にケイ藻赤潮が発生することで、栄養塩濃度の低下によるノリの色落ち被害が問題となっています。そのため、ノリ色落ち原因ケイ藻の発生機構を解明し、赤潮の発生予察技術の開発が求められています。本課題では、ノリ漁期のケイ藻赤潮の発生機構を解明し、赤潮の動態予測技術の開発に資するために、有明海の広域で関係機関が連携して定点観測を実施し、また有明海奥部においてはブイによる水質の連続観測を実施して、海洋環境と植物プランクトンのモニタリングを行い、ノリ色落ち原因ケイ藻の出現特性と海洋環境との関連を解析しました。

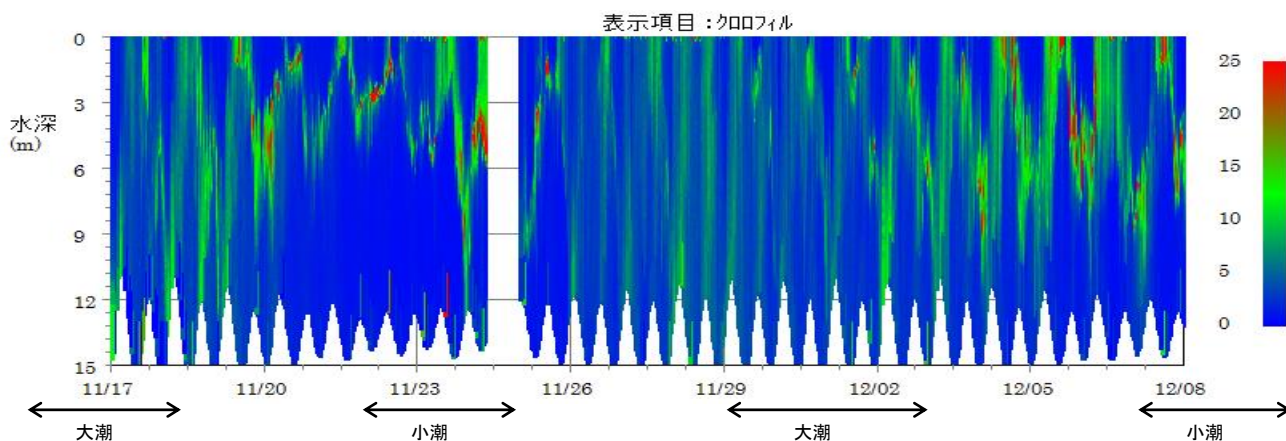


図1. 定点P6（湾奥西部、沖神瀬西）の連続観測ブイで観測された2016年11月17日から12月7日までのクロロフィル蛍光強度の鉛直分布の変化（高い値はAkashiwo sanguineaの出現による）

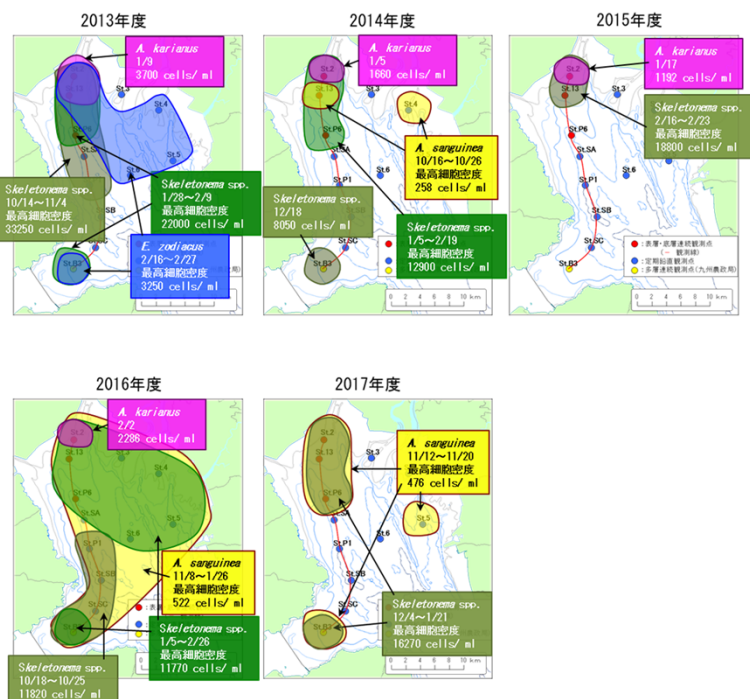


図2. 2013年度から2017年度の湾奥における冬季の赤潮形成種の出現動向

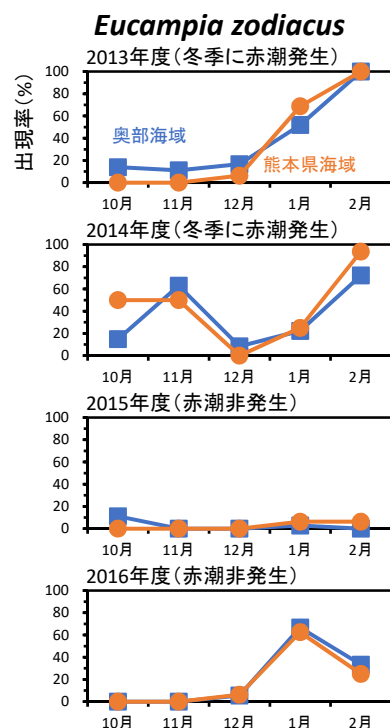


図3. 2013年度から2016年度におけるEucampia zodiacusの出現率の月変化

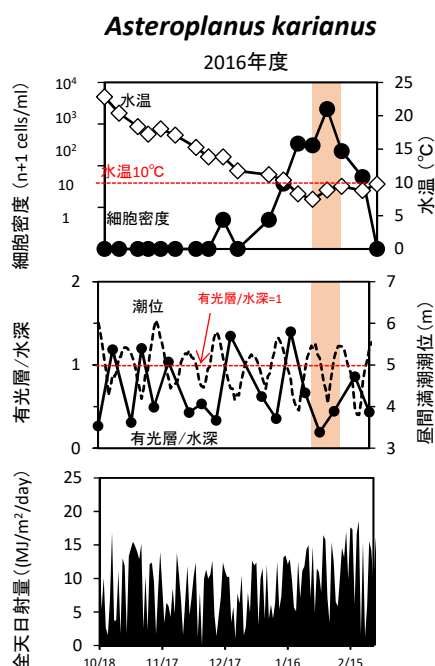


図4. 2016年10月から2017年2月の定点2（湾奥西部、六角川河口沖）における*Asteroplanus karianus*の細胞密度と水温の変化（上）、有光層/水深と潮位の変化（中）、佐賀市の全天日射量（下）

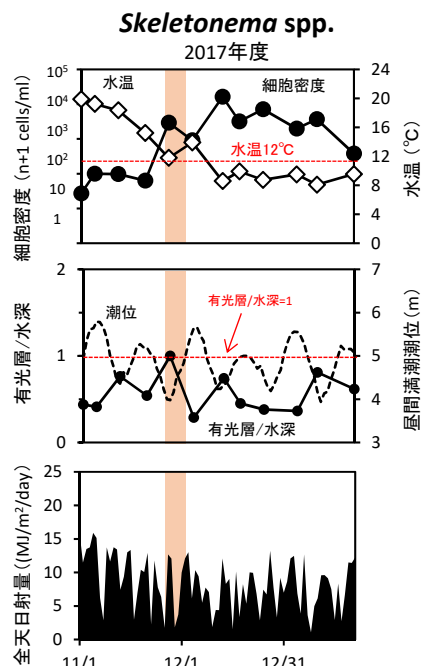


図5. 2017年11月から2018年1月の定点T13（湾奥北西部）における*Skeletonema* spp.の細胞密度と水温の変化（上）、有光層/水深と潮位の変化（中）、佐賀市の全天日射量（下）

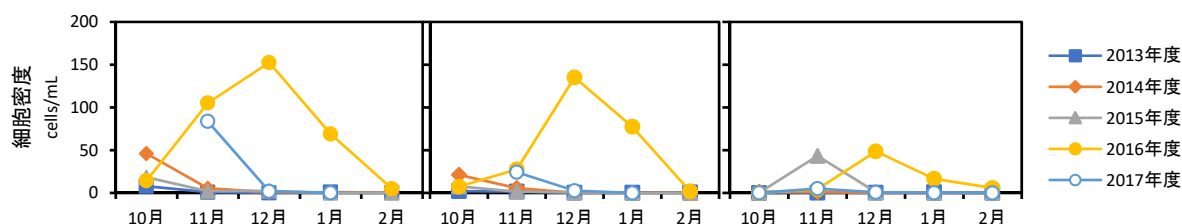


図6. *Akashiwo sanguinea*の平均細胞密度（表層）の月変化（左：湾奥西部、中央：湾奥東部、右：熊本県海域）

（1）有明海奥部に設置した連続観測ブイによる水温、塩分等の海洋環境データを、有明海・八代海等の水質観測情報（<http://ariake-yatsushiro.jp>）で公表しました。連続観測ブイのデータから赤潮の消長を観測し、発生や衰退の要因を、連続観測や定期観測等のデータを用いて解析しました（図1）。

（2）有明海広域で定点観測を実施し、赤潮形成種の出現動向を明らかにしました。有明海でナリ色落ちの原因種は複数におよび、ケイ藻の*Eucampia zodiacus*と渦鞭毛藻の*Akashiwo sanguinea*による赤潮は広範囲で、ケイ藻の*Skeletonema* spp.と*Asteroplanus karianus*による赤潮は比較的限られた水域で見られました（図2）。

（3）*Eucampia zodiacus*による赤潮が、2013年度と2014年度の2月以降に有明海の広域で発生しました。冬季に赤潮が発生した年は、10月から11月の出現率が高く（図3）、特に湾奥南部沖合域を中心に高いことから、湾奥部へは秋季に有明海中央部から移送される可能性が考えられます。低塩分を好む*Akashiwo sanguinea*の赤潮が秋季に長期間発生した年は、冬季に*E. zodiacus*の赤潮が発生しないという関係がみられ、冬季の*E. zodiacus*の赤潮化に、秋季の水環境が影響している可能性が考えられます。本種の発生予察のためには、一年を通した有明海広域での調査が必要と考えられます。

（4）*Asteroplanus karianus*の赤潮の発生は、湾奥北西部の六角川や塩田川の河口沖合に限られます。水温が10℃を下回った後の大潮後の小潮期に細胞密度が上昇します（図4）。本種については生理・生態学的な知見が蓄積されてきており、発生メカニズムの解明により予察技術の開発が期待されます。

（5）*Skeletonema* spp.による赤潮が、湾奥の西部を中心とする水域と熊本県沿岸域で発生しました。冬季の増殖は水温が12℃を下回ると発生し、水中の光環境の好転による休眠期細胞の発芽や栄養細胞の増殖によると考えられます（図5）。

（6）渦鞭毛藻の*Akashiwo sanguinea*による赤潮が、2016年度の秋季から冬季に有明海広域で長期間発生しました（図6）。長期間の発生には、降水や河川流量の変動による塩分の低下が影響し、赤潮の衰退には、塩分上昇や水温低下等による物理環境の変化が影響していると考えられます。

4) シャットネラ等の魚介類への影響、毒性発現機構の解明

(1) 有害プランクトンによる魚介類へい死機構解明

担当機関：水産研究・教育機構西海区水産研究所

愛媛県農林水産研究所水産研究センター、愛媛大学南予水産研究センター

*Chattonella*属、*Karenia*属及び*Chochlodinium*属による赤潮による漁業被害を軽減するためには、まず魚類がへい死するメカニズムを科学的に解明する必要があります。このため、赤潮の影響を定量的に評価するための室内曝露試験系を構築し、併せて延命のための基礎的知見の収集を行うことを目的としました。

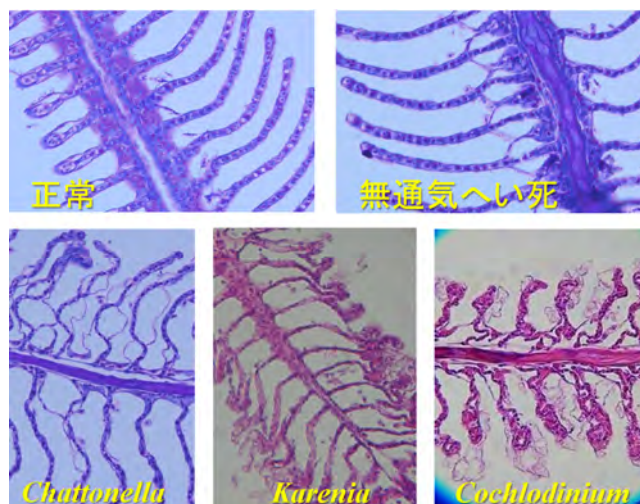


図1. 3種赤潮プランクトンに曝露されたブリ稚魚の鰓組織切片像

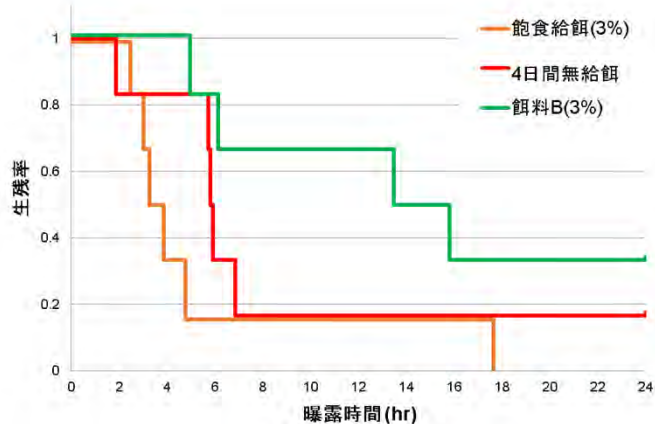


図3. *Chattonella antiqua* 強毒株に曝露されたブリ稚魚の生残率

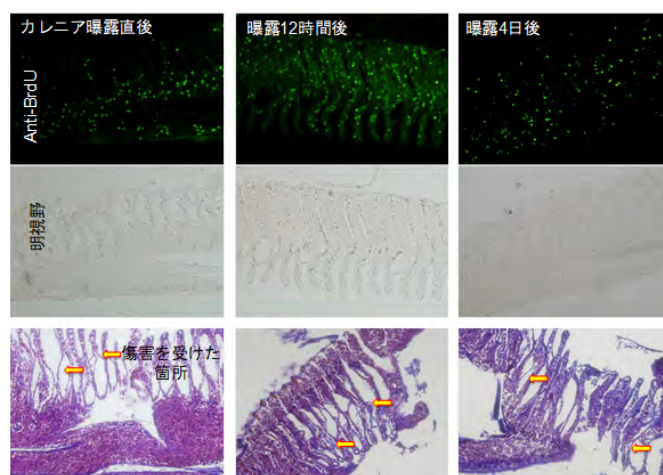


図2. *Karenia mikimotoi* に曝露されたマダイ鰓組織におけるBrdU陽性細胞 (緑蛍光)

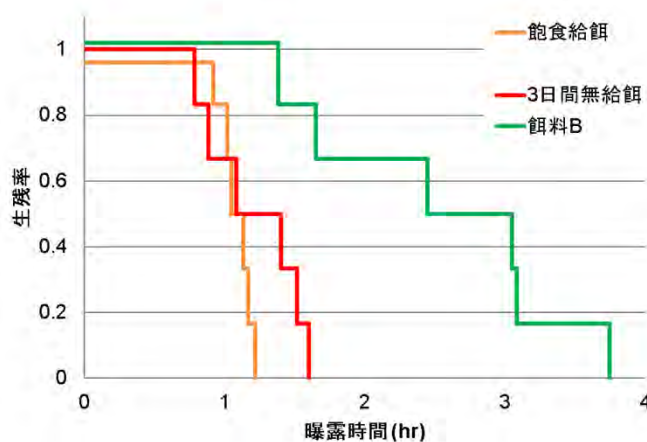


図4. *Chattonella antiqua* 強毒株に曝露されたクロホシシモチの生残率

【曝露試験系が確立された】 ブリの人工稚魚と赤潮プランクトンの強毒培養株の組み合わせ試験により、室内で簡便かつ定量的に赤潮の影響を評価する手法が確立されました、

【赤潮の影響はプランクトンにより異なる】 3種赤潮プランクトンによる鰓の組織像を観察した結果、3種とも鰓組織へ障害を与えるものの、その病理組織像はそれぞれ異なるものでした(図1)。これは赤潮が魚の鰓を痛めるメカニズムが三者三様であることを示すものです。

【鰓の回復は早い】 特殊な核酸の取り込み速度を免疫染色により調べたところ、赤潮に曝露された直後から傷んだ鰓組織の修復が始まり、4日後にはかなり修復が完了するようです(図2)。

【餌止めは効果がある】 経験的に認められた餌止めの延命効果ですが、室内曝露試験により、3種赤潮プランクトンともかなりの延命効果があることが確認されました。

【餌を与えても延命可能】 ある種の成分を調整された餌を与えると、餌止めを超える延命作用が認められることが分かりました(図3・4)。これにより、餌止め以外の方法で赤潮の被害を軽減できる可能性があります。

4) シャットネラ等の魚介類への影響、毒性発現機構の解明

(2) 有害プランクトンによる貝類への影響評価

担当機関：大分県農林水産研究指導センター水産研究部、広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター、山口県水産研究センター、水産研究・教育機構西海区水産研究所

近年、*Chattonella*属や*Karenia*属といった有害プランクトンによる大規模な赤潮が発生し、二枚貝養殖業や干潟域、磯根に生息する貝類に対して甚大な被害をもたらしています。しかし、現状では*Chattonella*属や*Karenia*属赤潮による貝類のへい死機構は不明な点が多く、魚類で知られている餌止めなどの適切な被害軽減策が講じられていない状況です。有害プランクトンが貝類に影響を与えるメカニズムについては、複雑で多岐に亘ることが推定されますので、集約的な調査研究により影響解明を進める必要があります。そこで、本課題では、貝類に最も影響を与えることが知られている*Karenia*属を中心とした有害プランクトンが有用貝類に与える影響を特定するとともに、へい死に至るメカニズムの解明に取り組みました。

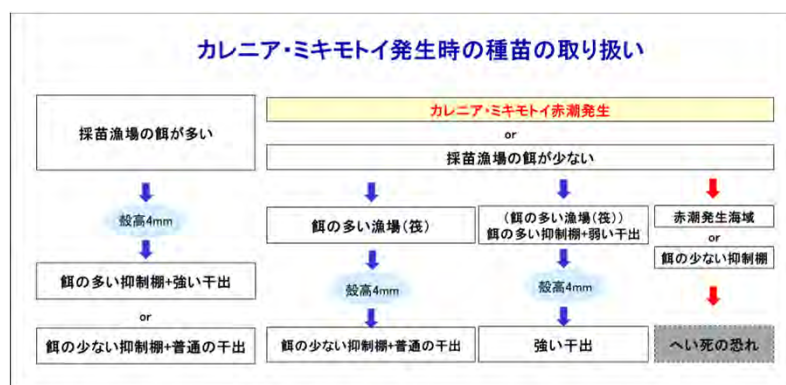


図1. *K. mikimotoi* 赤潮の発生を想定したかき種苗の取り扱い



図2. アワビの酸素供給試験

(1) *Karenia*属がマガキに与える影響評価

- 曝露試験により、マガキの成長段階（受精卵～稚貝）における*Karenia mikimotoi* の影響を解明しました。*K. mikimotoi* は、受精卵～D型幼生では幼生の残存、小型幼生以降は摂餌行動の指標となるろ水速度の低下や付着率の低下の影響を与えることが明らかになりました。また、ろ水速度が低下したマガキ稚貝は、通常海水に戻すことでろ水速度が回復しますが、干出のストレスが加わると*K. mikimotoi* の影響が長期化し、回復に時間を要することも明らかになりました。
- 近年の天然海域における採苗不調の一因に、*K. mikimotoi* の増殖による影響の可能性も考えられることから、*K. mikimotoi* 赤潮が発生した場合には、採苗後の対策として、餌の多い場所に稚貝を置くなど、種苗の管理に気を配り、へい死を防ぐ必要があります（図1）。今後もマガキ幼生や有害プランクトンのモニタリングを継続し、採苗不調の原因究明や採苗予測に貢献することが期待されます。

(2) *Karenia*属がアサリに与える影響評価

- 曝露試験により、*K. mikimotoi* は、アサリにへい死を引き起こすことはありませんでしたが、ろ水速度を低下させるとともに、その後の成長（殻長）及び肥満度に影響を与えることが明らかになりました。
- アサリ種苗生産施設は天然海域から海水を取水しているので、*K. mikimotoi* が発生した場合には、直ちに情報提供することが重要になります。また、干潟域では母貝団地の造成に取り組んでいますので、モニタリング調査の結果をもとに、*K. mikimotoi* 赤潮が頻発する海域は避けるよう指導・助言する必要があります。有害プランクトンのモニタリングと連動した対応により、健全な種苗の生産及びアサリの生産量の増大に貢献することが期待されます。

(3) *Chattonella*属、*Karenia*属、*Chochlodinium*属がアワビ等に与える影響評価

- 曝露試験により、*K. mikimotoi* は低密度であっても、アワビ類に対して強い致死性があることが明らかになりました。また、低酸素がアワビに対して極めて強い致死活性を示すことが確認されましたが、人為的に酸素を供給することで、*K. mikimotoi* による影響を軽減させ、アワビのへい死を抑制できることが明らかになりました（図2）。
- アワビの種苗生産施設では、*K. mikimotoi* が発生した場合には、水槽にフィルターを取り付けて対処していますが、*K. mikimotoi* が通過してしまうこともありますので、酸素供給対策が実用化され、アワビ類へい死の防除や餌止めによる成長阻害の防止に貢献することが期待されます。

5) シャットネラ等による漁業被害防止、軽減技術の開発

(1) 赤潮発生時における緊急出荷・救命技術の開発

担当機関：佐賀県玄海水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、海洋エンジニアリング株式会社、水産研究・教育機構西海区水産研究所

九州海域において頻発する*Chattonella*属、*Karenia*属及び*Chochlodinium*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するために、①*Chattonella*属、*Karenia*属及び*Chochlodinium*属を選択的に駆除可能な防除剤を開発するとともに、②魚介類に及ぼす悪影響を物理的または化学的手法で徹底的に遮断することで、③漁場で実施可能な赤潮被害低減策の基礎を確立し、赤潮による漁業被害のリスクを低減することを目的としました。

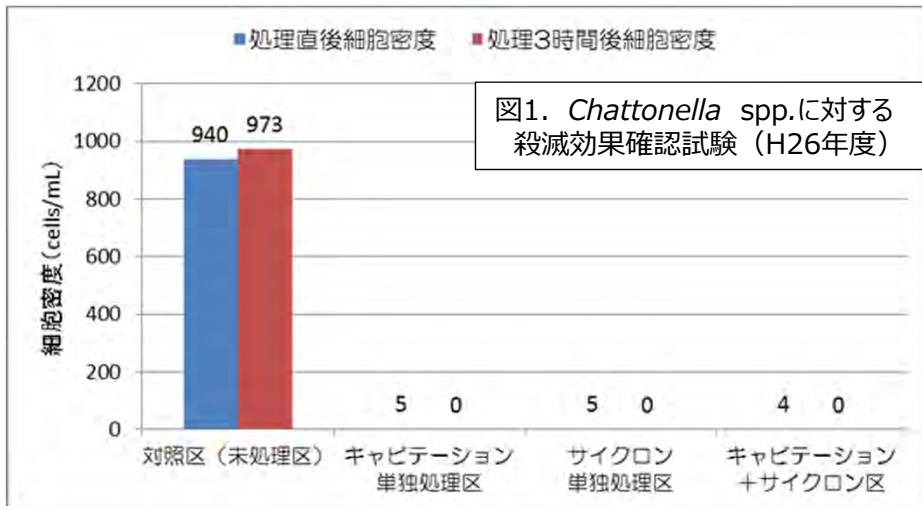


図3. 船上に設置した試験装置

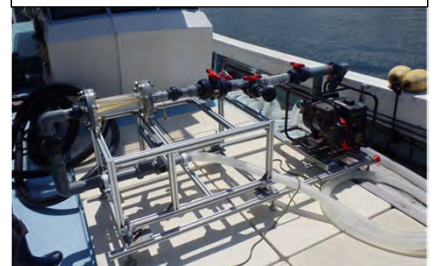


図4. 運用試験時の運転状況

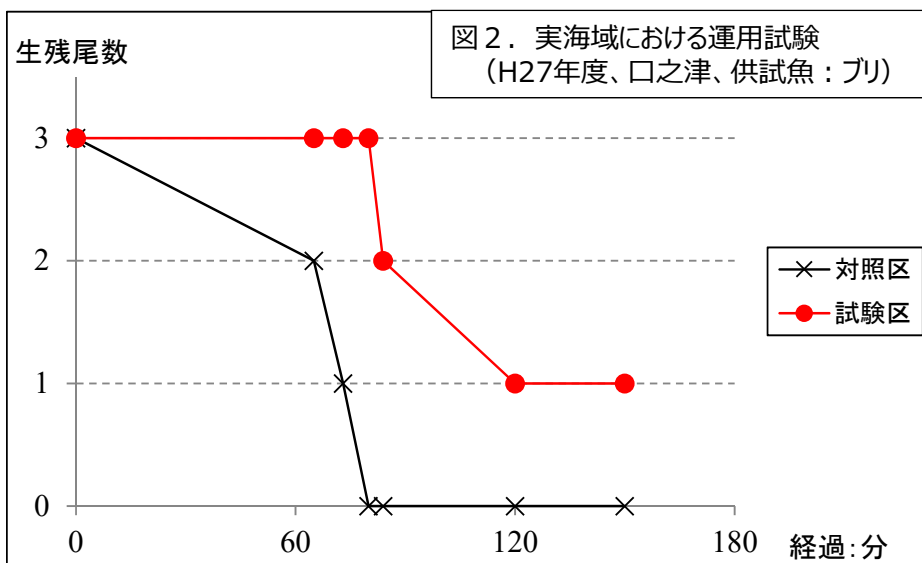


図5. 運用試験時の生簀内 (無処理区で狂奔するブリ)



- (1) 生簀単位での救命措置 (=シートで周囲から隔離した内部をキャビテーションおよびサイクロン処理して、有害プランクトンを殺滅、魚毒性低減) を施すための試験装置を開発しました (平成25年度)。
- (2) 試験装置を単独で用いることで、*Chattonella* spp.に対して、ほぼ100%の殺滅効果と魚毒性消失の効果を確認しました (平成25年度、図1)。
- (3) 試験装置による処理と過酸化水素処理 (30ppm) を併用することで、*Cochlodinium polykrikoides* に対しても効果が発現されました (平成26～27年度)。
- (4) 試験装置によるキャビテーション処理と海水系マグネシウム剤添加 (200ppm) を併用することで、*Karenia mikimotoi* に対しても効果が発現されました (平成26～29年度)。
- (5) 実海域の*Chattonella* 赤潮に対して運用し、生簀内のブリを延命させることを確認しました (処理区：供試魚は2時間半生存、無処理区：供試魚は1時間20分で全滅) (H27年度、図2)。

5) シャットネラ等による漁業被害防止、軽減技術の開発

(2) 初発赤潮水塊の活性粘土を用いた防除技術開発

担当機関：鹿児島県水産技術開発センター

従来から赤潮防除剤として利用されている粘土は、*Cochlodinium polykrikoides* に対して高い防除効果が得られますが、*Chattonella antiqua* に対しては防除効果が低いことが知られていました。

本課題では、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）を用いて、*Chattonella antiqua* に対しても、より高い赤潮防除効果を達成するとともに、水産生物を使用した安全性試験も実施し、従来の粘土単体との比較検討データを蓄積しました。さらに、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ました。

表 1. 粘土単体と改良型粘土の有害種別有効濃度

(単位：ppm)

	粘土単体	改良型粘土(粘土+焼ミョウバン)
シャットネラ アンティーカ	3,000～8,000	1,000+100
シャットネラ マリーナ	1,000～2,000	1,000+100
ヘテロシグマ アカシオ	5,000～6,000	1,000+100
カレニア ミキモイ	2,000～4,000	1,000+100
コクロディニウム ポリクリコイデス	300～1,000	-
シュードシャットネラ ベルキュローサ	2,000以上	1,000+150

◎改良型粘土の効果（粘土単体の有効濃度を3,000 ppmとした場合）

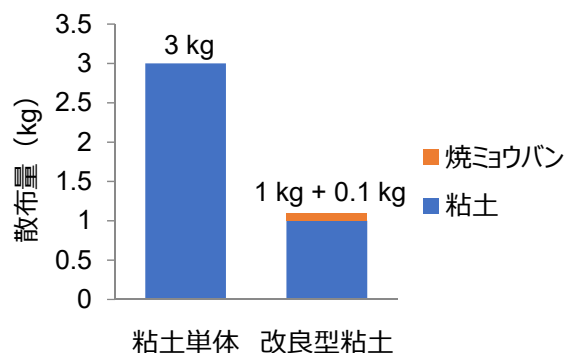


図 1. *Chattonella antiqua* に対する粘土散布量 (1m²あたり)

表 2. 改良型粘土 (1,000+100 ppm) の安全性確認試験対象種

安全性を確認した水産生物	
・ブリ ・カンパチ ・イワガキ ・アサリ	※前事業で確認済み ・クルマエビ ・ヒオウギガイ ・アコヤガイ

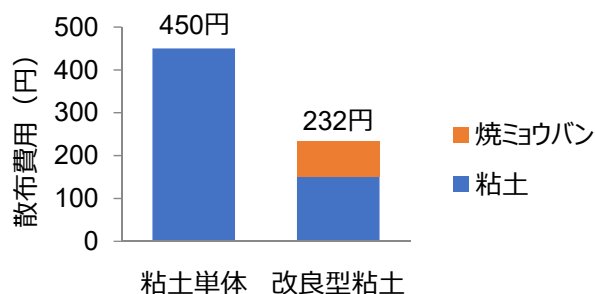


図 2. *Chattonella antiqua* に対する粘土散布コスト (1m²あたり)

- (1) 改良型粘土（粘土に焼ミョウバンを添加したもの）を*Chattonella antiqua* へ散布したところ、粘土単体に比べ少ない散布量（1,000+100ppm）で防除効果を得ることができ、散布にかかる労力や費用が削減されました。
- (2) *Chattonella antiqua* や*Heterosigma akashiwo* 等の有害赤潮プランクトンに対しても有効濃度確認試験を行い、いずれも粘土単体に比べ少ない散布量で防除効果を得ることができました。
- (3) 改良型粘土の水産生物への安全性確認試験を行い、これまでに確認済みのクルマエビ等の3種に加え、ブリ、カンパチ、イワガキ、アサリの合計7種について安全性を確認することができました。
- (4) 改良型粘土の散布方法について、一般の漁業者向けに散布マニュアルを作成しました（URL; <http://suigi.jp/akashio/newHP/2018/>（最終版）散布マニュアル-2.pdf）。

6) 広域赤潮等情報の収集・提供システムの開発

(1) 自動観測ブイ情報の収集と提供及び水温予測精度の向上、(2) 広域赤潮等情報の収集・提供システムの開発、(3) 広域赤潮等情報の収集・提供システムの実証試験

担当機関：株式会社サイエンスアンドテクノロジー、いであ株式会社、株式会社アイコック、水産研究・教育機構西海区水産研究所、同 瀬戸内海区水産研究所

九州西岸域や瀬戸内海等で頻発している有害赤潮による漁業被害の防止・軽減を図るためには、水温、塩分、栄養塩濃度などの環境項目や有害赤潮の発生状況などの情報を迅速に収集し、提供することが求められています。そこで、本課題では、(1) 自動観測ブイ等によって得られた広域の水温、塩分等の観測データを収集し、水温速報と水温予報を提供するシステムを開発、(2) 有害赤潮の発生状況や関連する環境項目を迅速に収集し、提供するシステムを開発、(3) 開発したシステムを運用し、海域毎に水温、塩分、有害赤潮プランクトン細胞密度等の情報を漁業者ならびに一般向けに広く迅速に提供しました。



図1. 赤潮ネット（沿岸海域水質・赤潮観測情報）

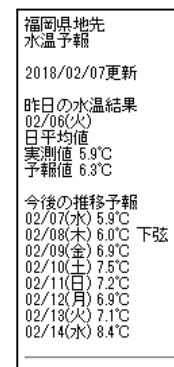
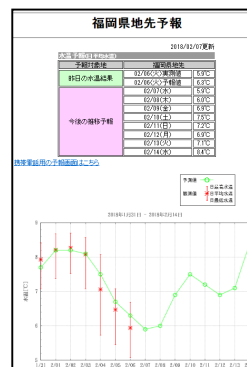


図2. 水温予報の配信例（左図は福岡県地先の1週間予報、右図は携帯電話による配信）

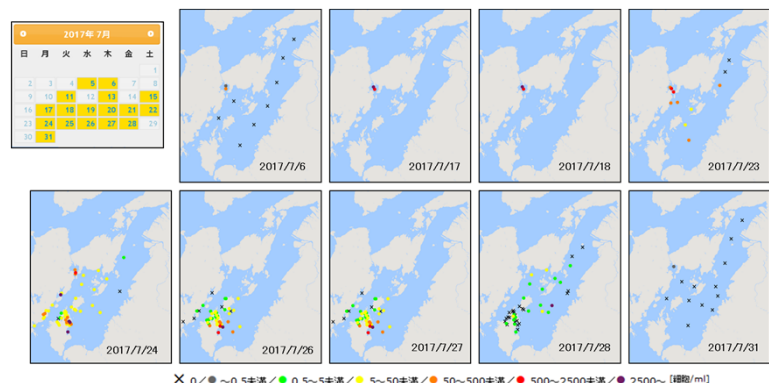
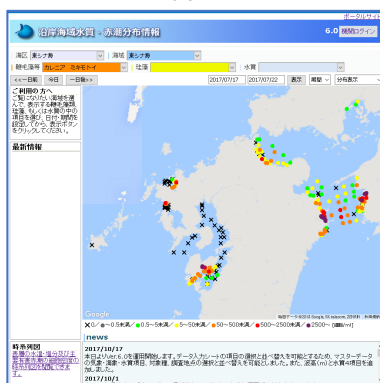


図3. 「赤潮分布情報」(左図)で収集・公表された有害赤潮プランクトン*Karenia mikimotoi*の細胞密度の分布（八代海）

- (1) 水質、赤潮情報など、複数の関連するウェブサイトを統合した「赤潮ネット（沿岸海域水質・赤潮観測情報、<https://akashiwo.jp/>）」を開発し、2015年6月より運用を開始しました（図1）。
- (2) 瀬戸内海、有明海、八代海を対象に、自動観測ブイによる水温データや気象観測及び予報値を用いた水温予測式を作成し、1週間先（一部では2週間先）までの水温予報を配信しました（図2）。
- (3) 2013年5月に、九州沿岸域及び瀬戸内海西部海域における水質や有害赤潮プランクトンの細胞密度等のデータを迅速に収集し、広く情報提供するための新たなシステム「赤潮分布情報」を開発し、運用を開始しました（図3）。その後、適用範囲を瀬戸内海東部海域に拡張するとともに、データの登録や公表用のインターフェースを改善するなど、本システムの利活用の促進に取り組みました。
- (4) 本事業で開発・運用した「水温速報」、「水温予報」及び「赤潮ネット」への年間アクセス数（2016年度）は、それぞれ5,639回、26,913回及び43,231回で、有害赤潮の監視、被害軽減対策及びノリ養殖の生産工程などに大きく貢献しました。

おわりに：有害赤潮・貧酸素水塊による漁業被害の軽減に向けて

- 八代海、鹿児島湾、伊万里湾および有明海において、有害赤潮や貧酸素水塊の発生を監視するためのモニタリング体制を構築し、関係機関で連携して、有害赤潮や貧酸素水塊、関連する海況などのモニタリングを実施しました。また、これまでのモニタリング調査で得られた観測データや知見を基に、各海域における有害赤潮や貧酸素水塊の発生機構の解明にも取り組みました。本事業で構築された体制をベースに、今後も継続してモニタリングに取り組むことで、魚類養殖場などにおける早期の警戒や迅速な対策の実施などにつながることが期待されます。
- 室内で簡便かつ定量的に赤潮の影響を評価する手法（曝露試験系）を開発するとともに、開発した曝露試験系を用いて、魚介類への死機構の解明やマガキ、アサリ、アワビ等の貝類への影響評価に取り組みました。これらの取り組みで得られた成果は、有害赤潮による漁業被害の軽減や防除に向けた技術開発を進める上で、重要な知見となります。
- 有害赤潮による漁業被害を軽減するため、有害赤潮の原因プランクトンを選択的に駆除可能な防除剤を開発するとともに、物理的または化学的手法を用いた有害赤潮の駆除技術の開発に取り組みました。また、有害赤潮の防除効果が高い新型活性粘土（改良型粘土）の開発ならびに実証試験に取り組み、漁業者向けの散布マニュアルを作成しました。今後、さらなる検証を重ねることで実用化につながることが期待されます。
- 有害赤潮の発生状況や水温、塩分、栄養塩濃度などの環境項目などを迅速に収集し、提供するためのシステムを開発するとともに、開発したシステムを運用することで、水温、塩分、有害赤潮プランクトン細胞密度などの情報を漁業者ならびに一般向けに広く迅速に提供しました。モニタリング調査を継続して実施するとともに、本システムを用いて、得られた観測データなどの情報を提供することで、迅速かつ効果的な被害軽減策の実施に貢献することが期待されます。

発行 平成30年3月

**編集 国立研究開発法人 水産研究・教育機構
西海区水産研究所**

〒851-2213 長崎市多以良町1551-8