

平成30～令和4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
「赤潮被害防止対策技術の開発」
事業成果ダイジェスト

栄養塩、赤潮・貧酸素共同研究機関

もくじ

はじめに：西日本における有害赤潮の発生状況と漁業被害	1
1) 有害プランクトンの出現動態監視及び予察技術開発	
ア. 瀬戸内海東部海域	2
イ. 瀬戸内海西部・豊後水道海域・土佐湾海域（重点海域）	3
ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域	4
エ. 日本海西部海域	5
オ. 九州北部海域	6
カ. 有明海・八代海・鹿児島湾海域（重点海域）	
① 有明海海域	7
② 八代海・鹿児島湾海域	8
2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発	
ア. 魚毒性診断技術の開発	9
イ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証	
① ウイルス等微生物による赤潮防除法の確立と現場証	10
② 既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成	11
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	12
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	13
⑤ 給餌条件の改変による赤潮発生下での延命効果検証	14
3) 有害赤潮プランクトンのモニタリング技術の開発・実証及び普及並びにデータ利活用の促進	
ア. モニタリング技術の開発・実証	15
イ. 赤潮関連情報の提供及び利活用の促進	16
ウ. モニタリング技術の普及と事業検討会の開催	17
主要な成果	18

はじめに：西日本における有害赤潮の発生状況と漁業被害

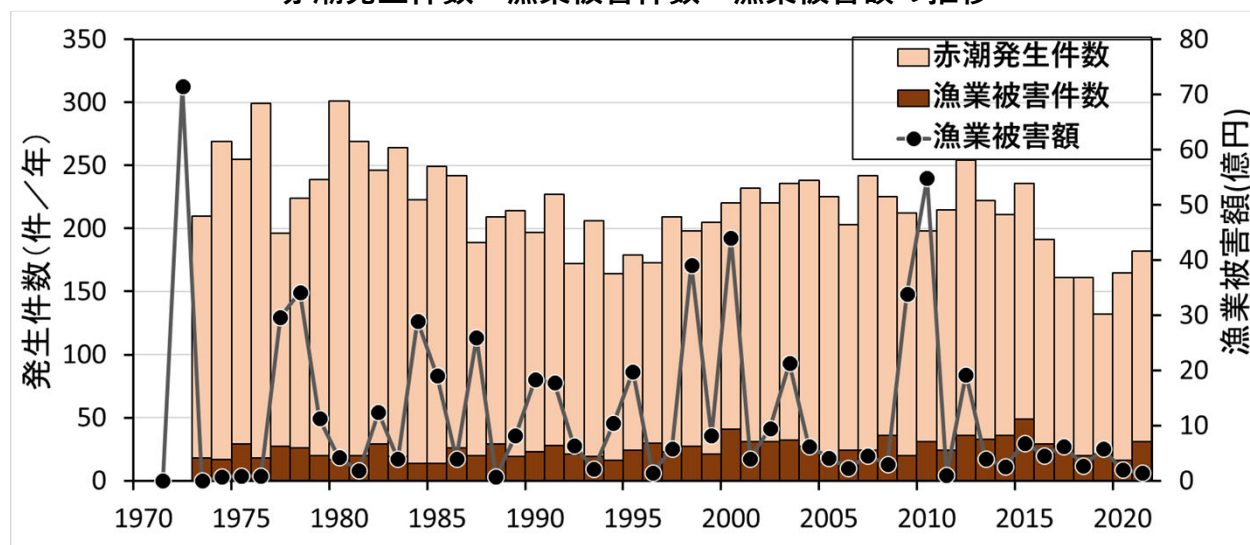
近年、瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域では、有害赤潮による養殖・天然魚介類への甚大な被害が頻発しています。特に、八代海で平成21～22年に発生したシャットネラ赤潮では養殖魚類を中心に被害総額86億円、平成24年には瀬戸内海西部・豊後水道海域で広域に発生したカレニア赤潮により養殖魚や天然磯根資源に約13億円、平成29年には九州北部伊万里湾で発生したカレニア赤潮により養殖トラフグを中心に約6億円、令和4年には八代海で発生したカレニア赤潮により養殖魚を中心に約20億円の漁業被害が報告されています。また、ノリ養殖が盛んな有明海や瀬戸内海東部海域などでは、冬季の珪藻赤潮によりノリの色落ちが発生し、商品価値低下による経済的損失が問題となっています。

これらの有害赤潮は、我が国の水産業の振興と発展に向けての大きな阻害要因となっており、漁業被害の防止対策や軽減技術の開発が強く求められています。

本事業では、広域共同モニタリングによる赤潮監視体制強化、新たなモニタリング技術や予察技術、防除技術等の研究開発、赤潮関連情報の提供や利活用の促進などに取り組みました。

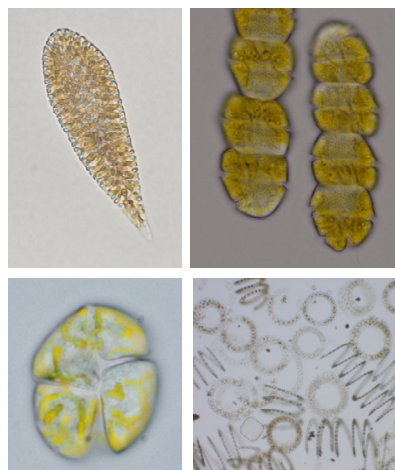
本資料は、事業の成果概要を紹介することを目的として作成しました。

瀬戸内海（土佐湾、熊野灘を含む）・九州海域における
赤潮発生件数・漁業被害件数・漁業被害額の推移



「瀬戸内海の赤潮（瀬戸内海漁業調整事務所）」、「九州海域の赤潮（九州漁業調整事務所）」より作成

様々な有害赤潮プランクトン



赤潮による漁業被害

養殖魚の大量斃死



養殖ノリ色落ち



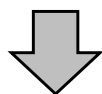
1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視及び予察技術開発 ア. 瀬戸内海東部海域

担当機関：徳島県立農林水産総合技術支援センター、兵庫県立農林水産技術総合センター、岡山県農林水産総合センター、香川県水産試験場、大阪府立環境農林水産総合研究所

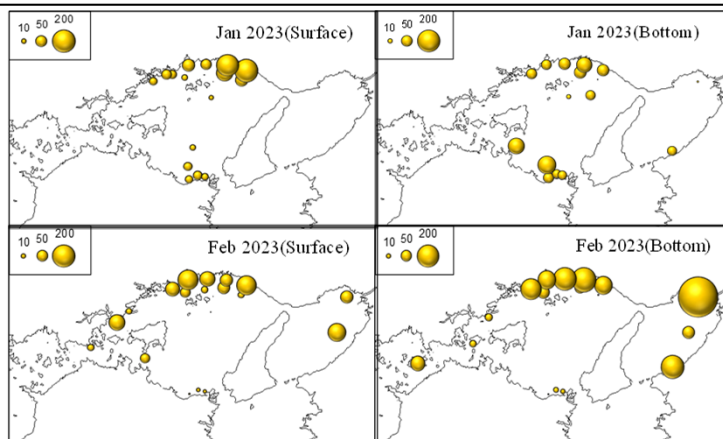
近年、瀬戸内海東部海域では有害赤潮プランクトンにより、魚介類の斃死やノリの色落ちなどの漁業被害が生じています。そこで、関係機関が連携して調査し、有害赤潮の発生監視と環境調査を行いました。また、有害赤潮（夏季：シャットネラ 冬季：ユーカンピア）の発生シナリオを再検証し、予察技術の精度を向上させました。

広域的な赤潮監視

夏季および冬季に赤潮監視調査を実施



調査結果は速やかに関係機関で共有するとともに、漁業者に提供し、赤潮被害の軽減に貢献しました。

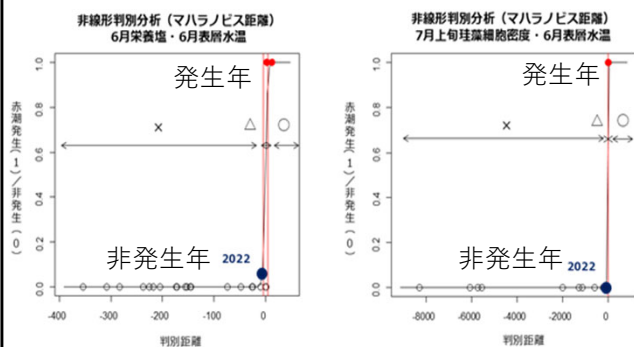


2022年度漁期（1月～2月）におけるユーカンピアの細胞密度の水平分布（単位: cells/mL）

赤潮発生予察技術の開発

既存の赤潮発生予察モデルの精度を検証・改良し、精度を向上させました。

改良モデルによる予察（徳島県の例）
2022年度夏季のシャットネラ赤潮を非発生と予察し、結果は的中しました。



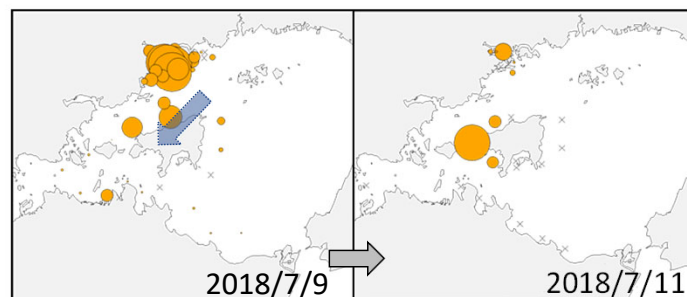
徳島県海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察(●:2022年度)

シャットネラ赤潮の海域間輸送

2018年度に播磨灘で広域的にシャットネラ赤潮が発生しました。播磨灘北部から南部への水塊移流、初期個体群の移動の可能性が考えられました。



シャットネラ赤潮については、海域間の移動や輸送についても考慮する必要があり、湾灘を超えた調査、情報交換の重要性が再認識されました。



2018年の播磨灘西部におけるシャットネラ赤潮の水平分布

5年間で得られた主要な成果

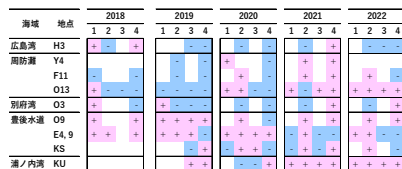
- ・ 関係機関が連携してモニタリングを実施し、結果を漁業者等に迅速に提供しました。
- ・ 赤潮発生予察モデルの精度検証を行い、的中率が低いモデルについては、高精度化を行いました。
- ・ 2018年に発生したシャットネラ赤潮について検討を行い、海域間の輸送の可能性を明らかにしました。

1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視及び予察技術開発 Ⅰ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域

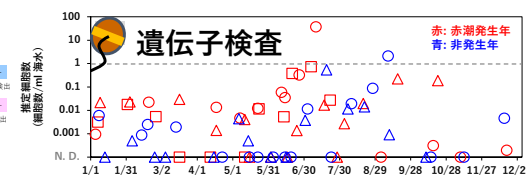
担当機関：高知県水産試験場、山口県水産研究センター、福岡県水産海洋技術センター、大分県農林水産研究指導センター、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター、高知大学、愛媛大学、水産研究・教育機構 水産技術研究所

瀬戸内海西部・豊後水道海域・土佐湾海域では赤潮による漁業被害が頻繁に発生し、2012年夏季には当該海域で広範囲に*Karenia mikimotoi*赤潮により十億円を超える漁業被害が発生しました。赤潮による漁業被害を未然防止・軽減するためには、赤潮発生海域を網羅した広域連携調査が必要です。本課題では各機関が連携して広範な調査を実施し、有害赤潮の発生状況・海洋環境を監視しつつ、既存のモニタリングデータの解析、モデルを用いた解析、培養実験技術の高度化等によって当該海域における有害赤潮の発生シナリオを構築し、赤潮発生予察や漁業被害軽減に役立てることを目的としています。

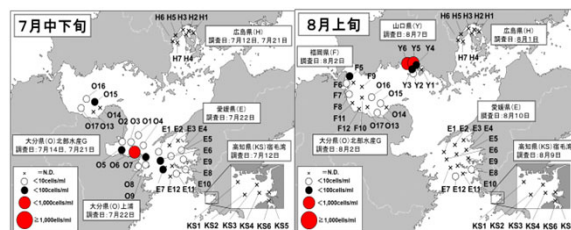
○広域モニタリング調査と遺伝子検出技術を用いた高感度調査



赤潮プランクトンが低密度で推移する際の挙動を明らかにしました。また、参画機関の共同モニタリングによって赤潮分布の情報共有がなされ、当該海域における早期赤潮警戒と赤潮全体像の把握ができました。

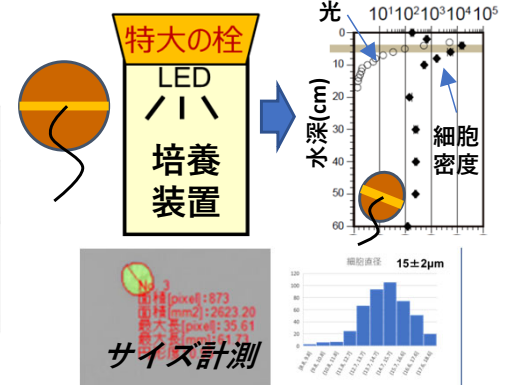


広域モニタリング



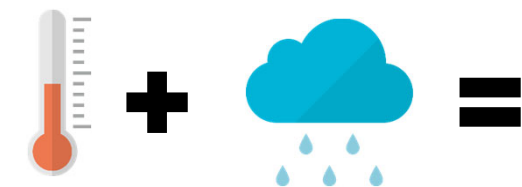
○赤潮の新規培養装置、細胞の簡易計測技術の開発

赤潮の挙動を室内で再現可能にするとともに、細胞サイズを簡易に計測できるようにしました。

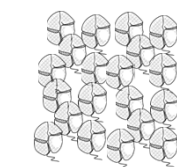


○赤潮発生時期・規模の予察モデルの開発

宇和海における赤潮発生状況や周辺環境のデータ解析によって、赤潮化と関連する環境因子を抽出し、赤潮発生日・発生規模の予察式を作成しました。



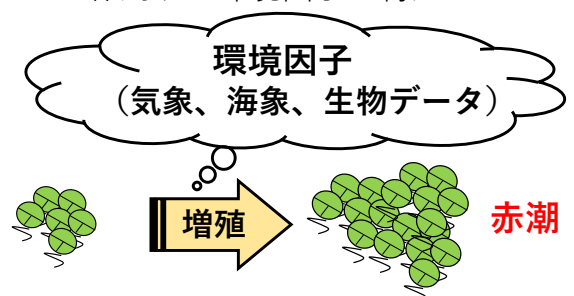
水温・降水関連指標をスコア化



赤潮発生日
規模

○有害プランクトンの増殖に關与する環境因子の特定

各海域において、これまでに蓄積されたデータを解析し、有害プランクトンの増殖にプラスまたは、マイナスに作用する環境因子を特定しました。



- ・ 広域モニタリングにより、海域間における赤潮分布情報の共有を行いました。
- ・ 冬季の海水中に、カレニア・ミキモトイのシードポピュレーションが存在する可能性ならびに赤潮発生日・非発生日の増加パターンを示しました。
- ・ 赤潮の発生日と発生規模を6月上旬に予察できる可能性を示しました。
- ・ 赤潮を自然に近い状態で培養できる装置を作製するとともに、細胞の画像解析を行いました。
- ・ 赤潮発生時期を予察するために必要となる“増殖”に関連した環境因子を特定しました。

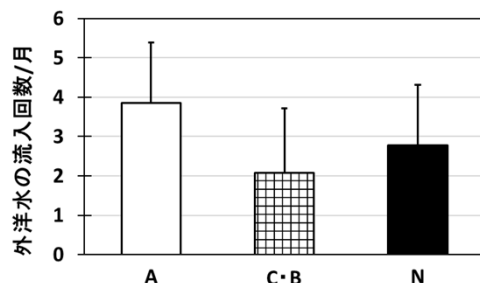
1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視及び予察技術開発 ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域

担当機関：水産研究・教育機構水産技術研究所、三重県水産研究所、愛知県水産試験場

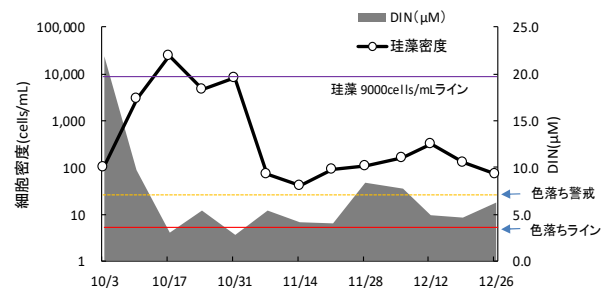
伊勢湾・三河湾・英虞湾海域では、ヘテロカプサ等の有害赤潮プランクトンやノリ色落ち原因珪藻による漁業被害が生じています。

本事業では、各機関が連携して広範な調査を実施し、有害赤潮プランクトンならびにノリ色落ち原因珪藻の発生状況および海洋環境を監視するとともに、既存データも含めたデータ解析によって当該海域における有害赤潮およびノリ色落ち原因珪藻の発生シナリオを構築・改良し、赤潮発生予察により漁業被害軽減に資することを目的としました。

また、貧酸素など環境要因によるヘテロカプサ等有害プランクトンの増殖への影響を評価し、より精緻なシナリオ構築への貢献を図りました。



黒潮流路別の英虞湾への外洋水流入回数
(A：大蛇行流路)



伊勢湾の三重県側ノリ漁場における珪藻密度とDIN濃度の推移
(鈴鹿地先, 2018年)

異なる溶存酸素濃度下における有害藻類主要種等の増殖試験結果

プランクトン	培養/天然	溶存酸素濃度 (mg/L)				
		0	2	4	6	通常濃度
<i>H. circularisquama</i>	培養株	+	++	++	+	+
<i>Chattonella</i> spp.		—	++	++	++	++
<i>H. akashiwo</i>		—	++	++	++	++
<i>K. mikimotoi</i>		—	×	×	×	++
<i>C. polykrikoides</i>		—	—	×	+	++
<i>H. circularisquama</i>	天然赤潮海水・底質	—	++	++	+	+
<i>K. mikimotoi</i>		—	×	×	×	++
珪藻類		—	—	×	—	++

×；死滅，+；生残又はわずかに増殖，++；良く増殖，—；実験無し

*E. zodiacus*赤潮によるノリ色落ち被害発生予測と結果

年度	【条件】			【検証】	
	A. 気温(高)	B. 水温(高)	C. 珪藻(少)	予測	結果
2018	○	○	×	—	—
2019	○	○	○	●	●
2020	○	×	×	—	—
2021	○	×	×	—	△
2022	○	○	×	—	—

A:11月の平均気温 B:11月の2底層水温平均
C:12月の主要珪藻類細胞密度の合計

【条件】
○：該当
×：非該当

【検証】
●：赤潮発生，被害あり
△：赤潮発生，被害なし
—：発生なし

5年間で得られた主要な成果

英虞湾では、（黒潮大蛇行の期間は）黒潮系外洋水が湾内へ底層から流入し、栄養塩濃度が上昇した地点において*K. mikimotoi*と珪藻類が増殖し、栄養塩をめぐる競合を経て*K. mikimotoi*が赤潮化するシナリオを構築しました。

伊勢湾北中部漁場で、珪藻が9,000 cells/mL以上で、ノリの色落ちレベルとなることが判明しました。クロロフィル値から、色落ちの注意喚起システム構築へとつなげました。

三河湾での*E. zodiacus*赤潮によるノリ色落ち被害発生を予測する手法の検証を2018～2022年度漁期を対象に実施した結果、予測通りとなりました。

有害藻類主要5種及び珪藻類について、溶存酸素濃度がそれらの増殖に影響を与えていることがわかりました。

1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術の開発

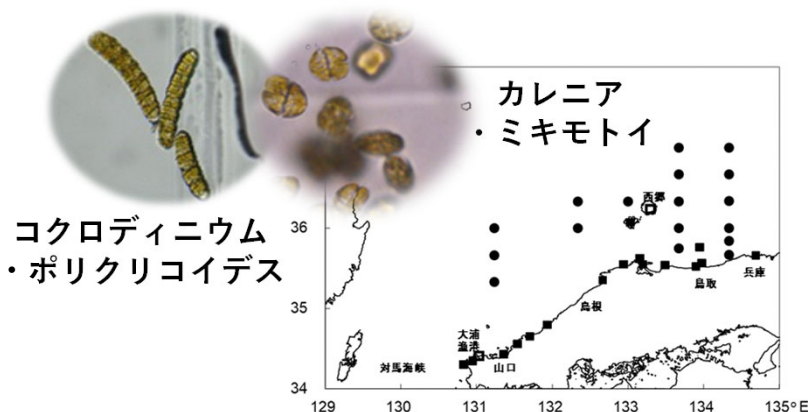
エ. 日本海西部海域

担当機関：兵庫県立農林水産技術総合センター，鳥取県栽培漁業センター，鳥取県水産試験場，島根県水産技術センター，山口県水産研究センター，水産研究・教育機構水産技術研究所

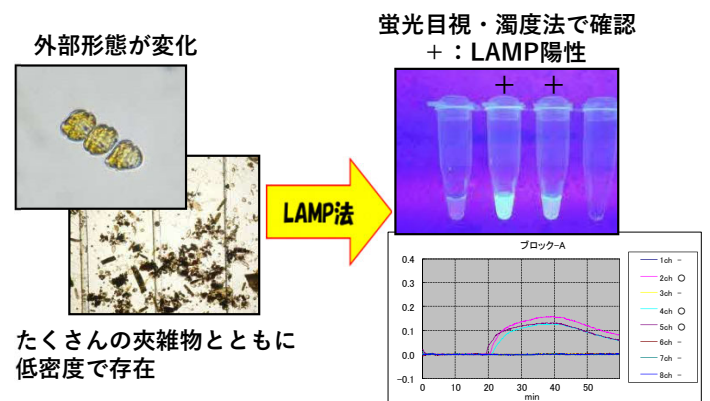
2000年代以降，有害赤潮プランクトンのコクロディニウム・ポリクリコイデス（以下、コクロディニウム）およびカレニア・ミキモトイ（以下、カレニア）による漁業被害が発生し，これら赤潮の発生状況の監視と予察が求められています。また，対馬暖流上流部である中国や韓国沿岸，および九州北部海域では，1990年代以降，コクロディニウムやカレニア等，様々な有害赤潮が頻発しており，今後もそれらの山陰沿岸への漂着や将来的には新奇有害赤潮の定着が懸念されています。

本課題では日本海西部海域（山口県～兵庫県の沿岸から沖合）において各機関が連携して広域的な海域を調査し，有害赤潮プランクトンの発生状況および海洋環境を監視するとともに，衛星データや数値モデル等を用いた解析を組み合わせ当該海域における有害赤潮発生シナリオの構築および検証を行い，赤潮発生予察や漁業被害軽減に資することを目的としました。

有害赤潮の広域モニタリング

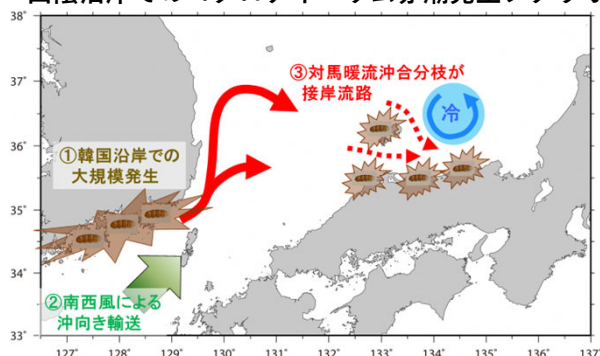


分子生物学的手法（LAMP法）の導入によるモニタリングの高度化と有害プランクトン広域化の実態把握

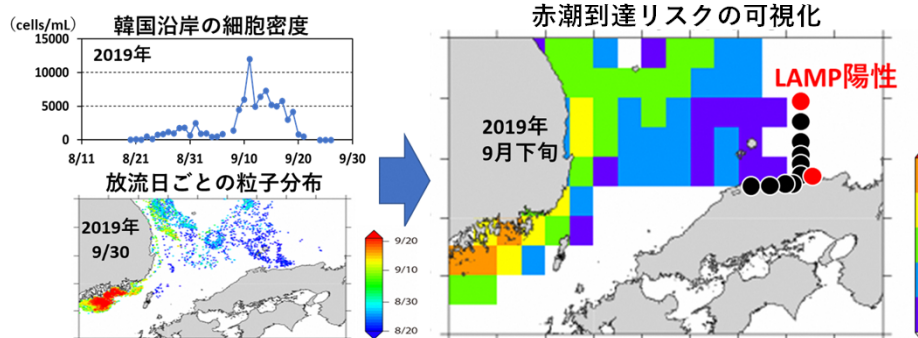


発生シナリオの検証

山陰沿岸でのコクロディニウム赤潮発生シナリオ



赤潮輸送シミュレーションの高度化



主要な成果

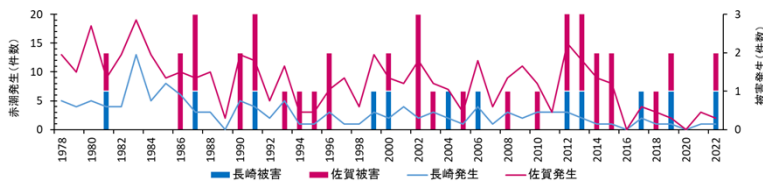
- ・日本海西部海域における広域モニタリング体制を維持し，有害赤潮の広域監視を行いました。
- ・分子生物学的手法（LAMP法）の導入によるモニタリングの高度化を図り，コクロディニウムおよびカレニアの広域化の実態を把握しました。
- ・有害赤潮発生シナリオの検証を実施し，予察精度向上のための赤潮輸送シミュレーションの高度化（赤潮到達リスクの可視化等）を行いました。

1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術開発 オ. 九州北部海域

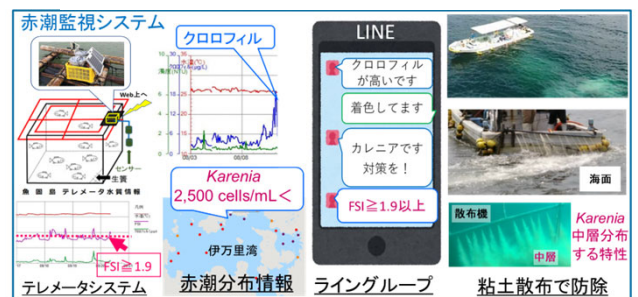
担当機関：長崎県総合水産試験場、佐賀県玄海水産振興センター、九州大学、
水産研究・教育機構水産資源研究所

近年、伊万里湾を中心とする九州北部海域においてカレニア等鞭毛藻による有害赤潮が発生し、魚介類がへい死する漁業被害が発生していることから、各機関が連携して広域共同モニタリングを実施することにより、有害赤潮の監視体制の強化、発生機構の解明と、発生予測技術の開発並びに被害防止技術の開発を行い、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ました。

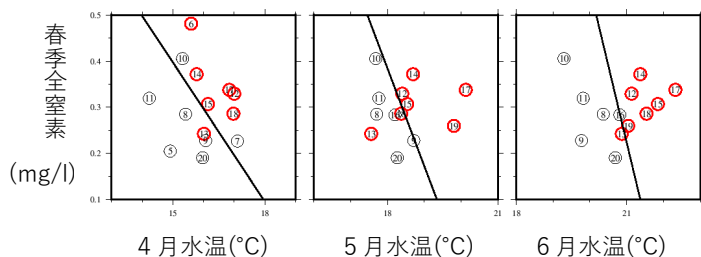
伊万里湾における赤潮発生と漁業被害



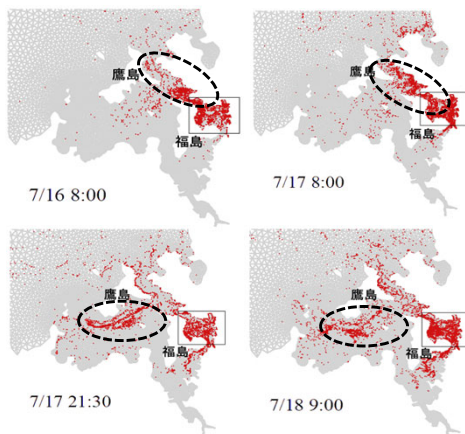
モニタリング・情報共有・対策
(長崎県での例)



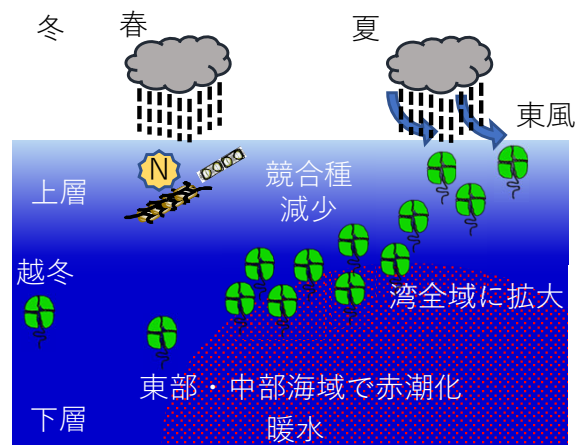
中長期予察技術



高精度数値モデルによる赤潮挙動再現実験
(2012年に発生した赤潮挙動の再現)



伊万里湾カレニア赤潮発生シナリオ



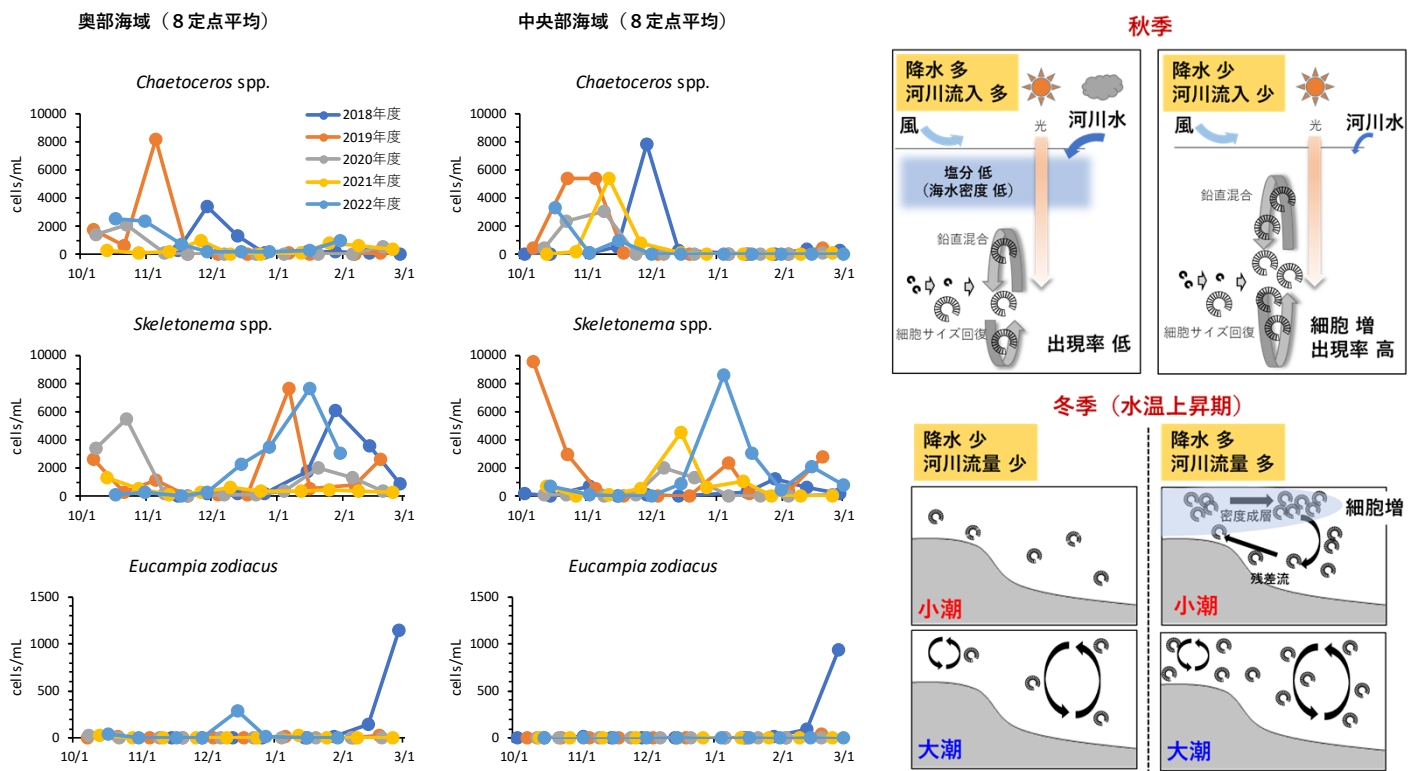
5年間で得られた主要な成果

- ・伊万里湾におけるカレニア赤潮の発生機序について整理を行いました（山砥ら、2022 養殖ビジネス）。
- ・高精度海洋モデル開発・能動的日周鉛直移動を組み込んだ粒子追跡実験により、赤潮拡大の再現を行いました。
- ・湾内外の環境データを使用した直線判別式による中長期予察技術の開発を行いました。
- ・関係者が密に連携する広域共同モニタリング調査が強化され、調査結果がweb等で即時共有されるようになりました。結果として、平成30年以降赤潮は頻発しているものの、億単位の被害は記録されていません。

1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視及び予察技術開発力、有明海・八代海・鹿児島湾海域 ①有明海海域

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・教育機構水産技術研究所

有明海は全国最大の養殖ノリの生産地であり、有明海の水産業においてノリ養殖は重要な位置づけとなっています。しかし、有明海では秋季から冬季に珪藻赤潮が発生することで栄養塩が減少し、養殖ノリの色落ち被害が頻繁に発生しています。そこで、被害軽減対策のために、赤潮の動態予測技術の開発が必要とされています。本課題では、有明海の奥部海域から中央部海域にかけて広域的な調査を実施し、ノリ色落ち原因珪藻の発生状況及び海洋環境を監視するとともに、ノリ色落ち原因珪藻の発生シナリオを構築し、赤潮発生予察手法を検討することを目的としています。



2018年度から2022年度の10月から2月の有明海奥部海域と中央部海域における主要種の平均細胞密度（表層）の変化

*Eucampia zodiacus*の赤潮発生メカニズムの概念図

小型珪藻の*Chaetoceros* spp.は、2018年度以降、秋季に高密度化することが多くなりましたが、その要因は明らかでなく、引き続き検討が必要です。*Skeletonema* spp.による赤潮は冬季に毎年発生し、水温低下と良好な光環境が増殖の要因と考えられてきましたが、近年は出現様式が変化しており、変化に対応した要因解明の検討を継続する必要があります。

有明海のノリ色落ち原因珪藻として最も注意の必要な*Eucampia zodiacus*は、秋季に水温が20℃程度まで低下すると細胞サイズが最小から最大に回復し、この時期に降水が少ないと鉛直混合の生じやすい環境となり、大型化した細胞が光環境の良好な表層に出現する機会が増えて生残に有利になると考えられます。また、2月以降の水温が上昇する時期に、降水により河川流量が増加すると、栄養塩が供給されるとともに密度成層が形成され、細胞の増殖に有利になると考えられます。このような環境条件から赤潮発生予察ができる可能性が示されました。

1) 有害赤潮プランクトンの出現動態監視および予察技術開発力、有明海・八代海・鹿児島湾海域

② 八代海・鹿児島湾海域

担当機関：水産研究・教育機構 水産技術研究所、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

餌止め、生簀避難などの事前策をより効果的に実施する方策が現場から強く求められています。本課題では、八代海および鹿児島湾において、赤潮モニタリング、室内実験、過去のデータの解析を行って、赤潮の盛衰に影響する主たる因子を特定するとともに、当該海域における有害赤潮の短期・中長期動態予測手法を提案することを目的としました。

○八代海における高頻度モニタリングおよび自動観測ブイの運用

栄養塩濃度の上昇が有害赤潮の発達を引き起こす主たる要因の一つであることを特定しました。



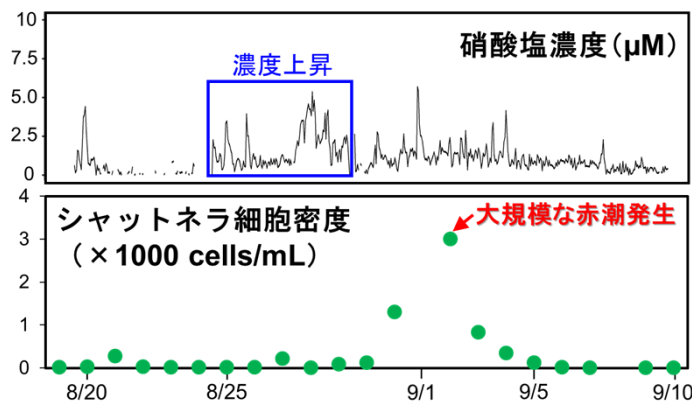
高頻度モニタリング

- ・5～9月毎週
- ・赤潮や水質の分布
- ・栄養塩の即日分析



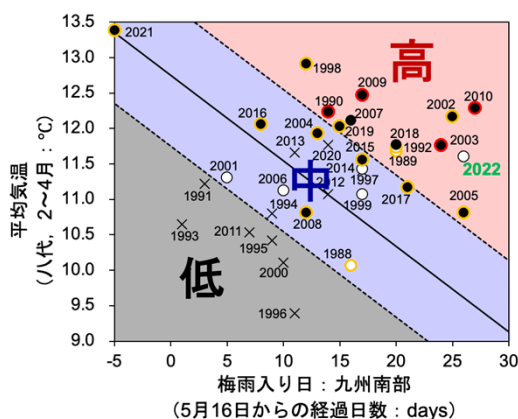
自動観測ブイ

- ・5～9月毎時
- ・水質の鉛直分布
- ・硝酸塩センサー



○Chattonella赤潮の中期動態予察技術の開発

2～4月の平均気温と梅雨入り日による赤潮の発生確率（高・中・低）判別手法を開発しました。

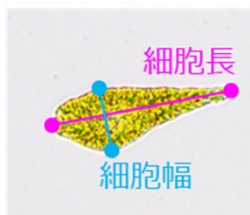


○細胞形態による増殖活性診断方法の開発

Chattonella細胞の長幅比、異常形態の出現が本種の増殖活性の指標となる可能性を見出しました。

長幅比が小さい
→不調

異常細胞の出現→不調



テイルド細胞



核クリア細胞



光学顕微鏡下で核が
はっきり見える

5年間で得られた主要な成果

【八代海】栄養塩濃度や細胞形態が有害種の増殖活性や赤潮の短期動態と関連することを見出しました。また、初夏までの気象条件により、赤潮発生規模・時期を予察できる可能性を示しました。

【鹿児島湾】近年のChattonella非発生の要因は貧栄養である可能性を見出しました。

2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発

ア. 魚毒性診断技術の開発

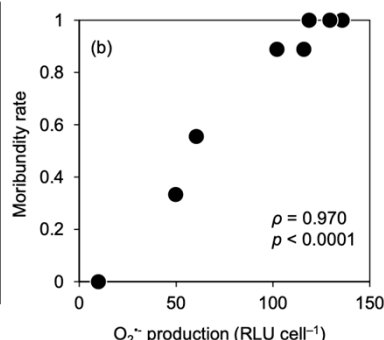
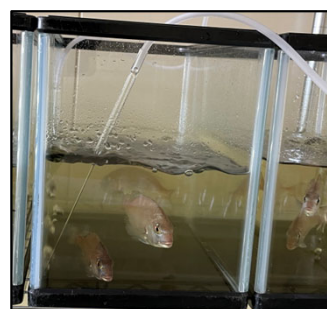
担当機関：水産研究・教育機構水産技術研究所、水産研究・教育機構水産大学校、基礎生物学研究所、埼玉大学、北里大学、鹿児島県水産技術開発センター、大分県農林水産研究指導センター

背景と目的

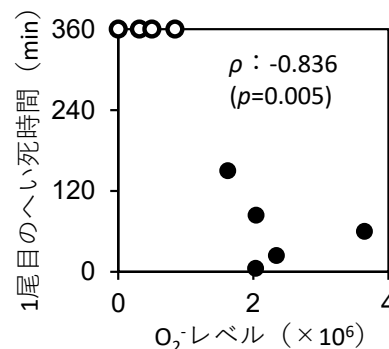
有害赤潮は長期化することも多く、魚介類のへい死という直接的な被害だけでなく、餌止めなどの対策を講じることによって生じる「間接的な損失」も大きく、無視することはできません。一方で、赤潮の魚毒性は赤潮原因プランクトンの生理状態等によって大きく変動することが知られており、魚毒性が高い時に餌止め等の苦肉の策を限定すれば被害軽減につながると考えられます。本課題では、各種簡易バイオアッセイ系や分子生物学的・分析化学的指標（活性酸素マーカー、遺伝子発現、生物毒など）を用いた魚毒性診断技術を開発し、最終的にマニュアル作りを行いました。

室内外における赤潮プランクトンの魚類に対する暴露試験

室内培養赤潮プランクトンの魚類暴露試験

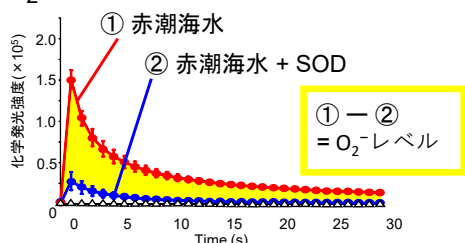


現場赤潮海水の魚類暴露試験



毒性診断技術の開発

化学発光法による O_2^- の検出

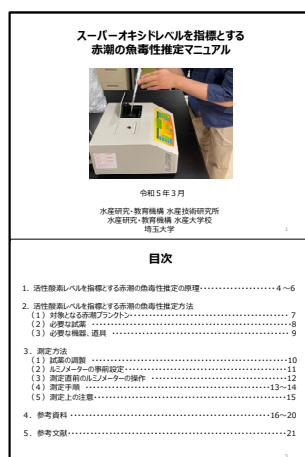


シオミズツボワムシを用いた毒性試験



マニュアルの作成

スーパーオキシドレベルを指標とする赤潮の魚毒性推定マニュアル



赤潮の毒性リスク評価のためのワムシ毒性試験マニュアル



5年間で得られた主要な成果

- ・室内外でスーパーオキシド (O_2^-) レベルと魚毒性が相関することを明らかにしました。
- ・赤潮藻類の O_2^- 産生が光や水温、塩分、栄養塩濃度、微量金属の影響を受けることを明らかにしました。
- ・ワムシ毒性を示す赤潮原因種を明確にし、現場赤潮海水におけるワムシ毒性試験の有用性を示しました。
- ・赤潮によってへい死した魚類等の組織学的解析手法を確立しました。

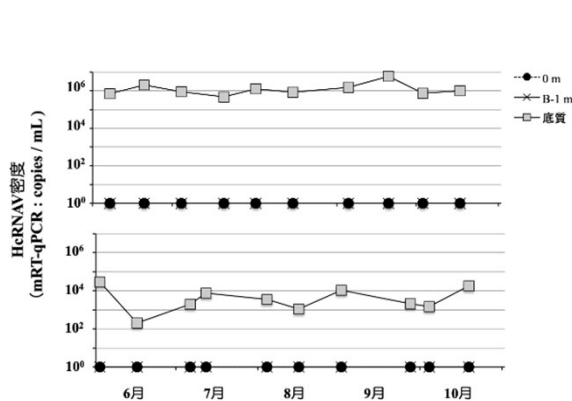
2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発

イ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証

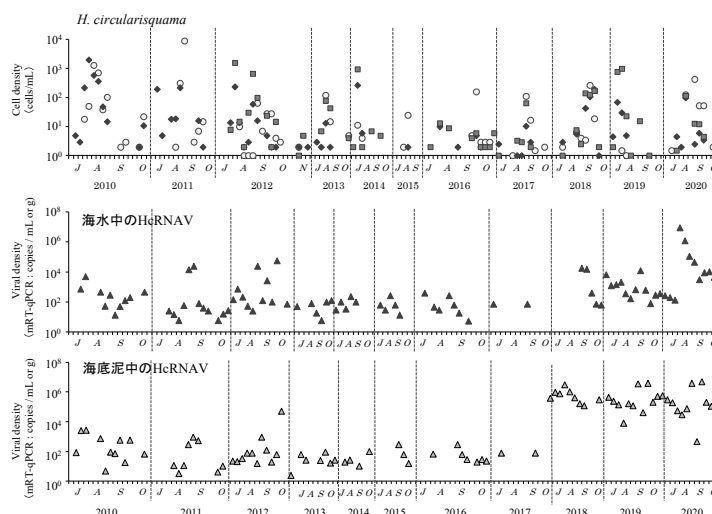
① ウイルス等微生物による赤潮防除法の確立と現場実証

担当機関：水産研究・教育機構 水産技術研究所，三重県水産研究所，愛知県水産試験場

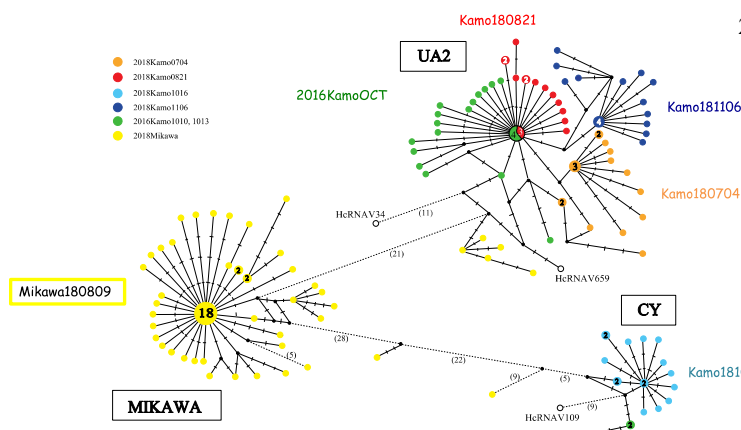
有害赤潮原因藻 *Heterocapsa circularisquama* (以下、ヘテロカプサ) は、1988年に高知県浦ノ内湾で初めて確認されてから急速に分布を拡大し、西日本ならびに東海地方や、近年では、新潟県においても同種による赤潮被害が確認されています。そのため、その防除・軽減対策の開発・現場適用は喫緊の課題となっています。近年、ヘテロカプサ発生海域の海底泥表層には、それらを特異的に死滅させるウイルス (HcRNAV) が高密度に存在することが確認されています。2011年に、予備試験的に行ったヘテロカプサ赤潮海水への底泥接種試験 (閉鎖系) では、底泥中のHcRNAVがヘテロカプサ細胞密度の減少に寄与していることが認められました。そのため、前事業課題では、HcRNAVを含む海底泥散布の効果を室内実験や半開放系での現場実証試験において証明を行いました。本課題では、本技術の実用化を進めるとともに、現地の方々に本法を普及しました。さらに、海底泥に含まれるHcRNAV定量法の開発やHcRNAVの多様化について評価を行いました。



2022年 底質中のHcRNAVの発生状況。
上段：愛知県三河湾，下段：三重県英虞湾



2010~2020 *H. circularisquama* とHcRNAV発生状況 加茂湖



HcRNAVのハプロタイプネットワーク解析

R2年度結果



HcRNAVを含む海底泥接種試験の現場導入

a) 手順の説明，b) 赤潮海水と底泥の混合
c) 泥入り海水をポリタンクに注分，d) 散布

5年間で得られた主要な成果

HcRNAVを正確に定量できる技術を開発し、天然試料中の同種の定量を可能にしました。三重県英虞湾や愛知県三河湾では、ヘテロカプサはほとんど認められなくなったものの、海底泥中にHcRNAVの存在が認められました。新潟県加茂湖では、2009年以来、毎年ヘテロカプサが出現するため、HcRNAVも蓄積しています。RNAウイルスであるHcRNAVの多様化について、ハプロタイプネットワーク解析を行ったところ、地域や季節ごとに出現する感染タイプが異なることが明らかになりました。このことにより、ヘテロカプサ赤潮対策に用いる海底泥は、現地由来が最も効果的であることを示しました。2019年より、新潟県加茂湖で、HcRNAVを高密度に含む海底泥をヘテロカプサ赤潮時に散布しています。簡略化を模索しながら、2020年、2022年と実施しており、底泥散布後にヘテロカプサは増殖していません。また、2022年度は、本技術の現場関係者への普及に努めました。

2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発

Ⅰ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証

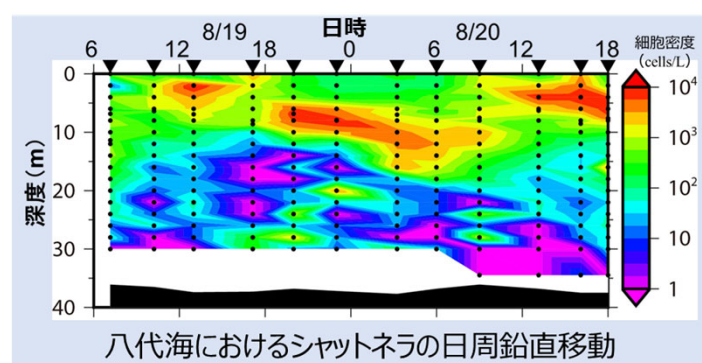
②既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成

担当機関：水産研究・教育機構 水産技術研究所、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、東町漁業協同組合

西日本の沿岸域において、長年有害赤潮が発生しており、有効な被害軽減策が求められています。本課題では、既存の技術である足し網、生簀沈下を対象として科学的な検証と基礎情報の収集を行い、高度化を図ることを目的としました。赤潮鞭毛藻の鉛直移動および養殖魚介類の生簀内行動、環境条件の影響を把握し、網を足すあるいは生簀を沈下する条件等を検討しました。

○赤潮鞭毛藻の日周鉛直移動に関する情報収集

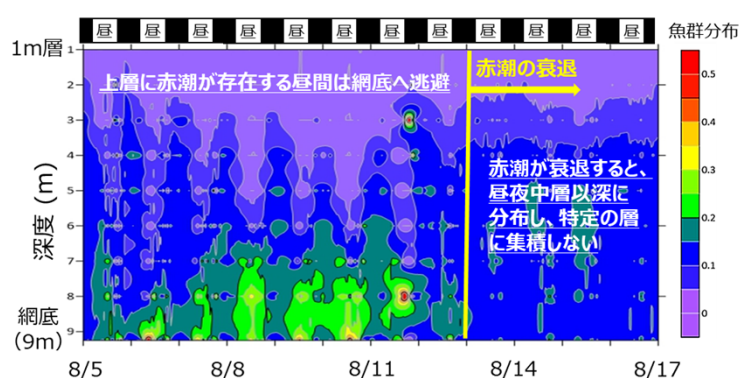
現地調査や室内実験により、赤潮鞭毛藻の移動パターンと環境条件の関係について情報を整理



八代海におけるシャットネラの日周鉛直移動

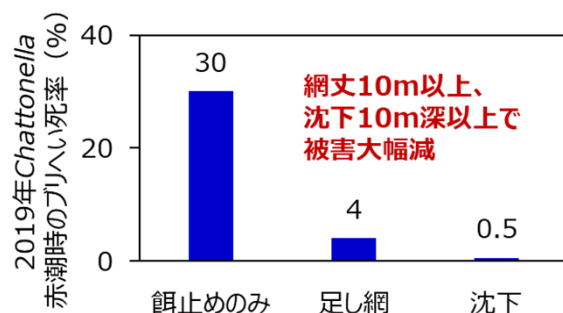
○養殖魚の赤潮に対する行動応答の観察

ソナー観測等から赤潮時の行動が魚種や年齢によって異なることを発見（下図はマダイ2歳）



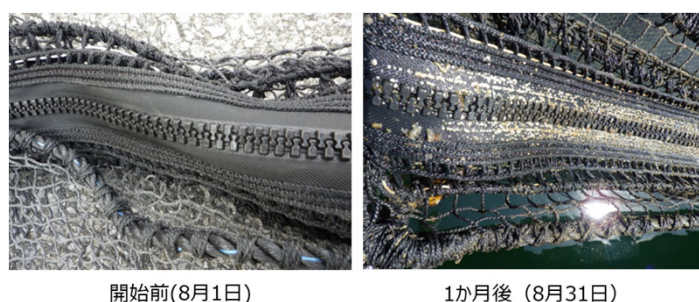
○足し網・生簀沈下の効果検証

八代海における Chattonella 赤潮発生時の生簀ごとの被害率を解析



○ファスナー式足し網の検討

ファスナーで連結した網を夏場3か月現場設置し、付着生物はあるが着脱可能であることを検証



5年間で得られた主要な成果

各種赤潮鞭毛藻の鉛直移動や養殖魚の行動を解析し、一部の魚種（年齢）について、足し網や生簀沈下が赤潮被害軽減効果を有することを証明しました。また、足し網を簡便に行ううえで、ファスナーが有効であることを検証しました。得られた情報はマニュアルにまとめました。

2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発

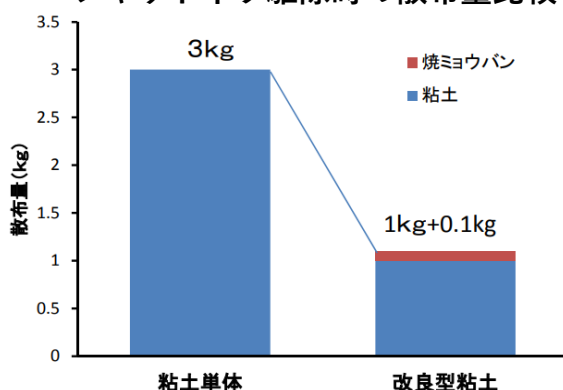
Ⅰ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証

③改良粘土散布の実証試験及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

担当機関：鹿児島県水産技術開発センター、大分県水産研究指導センター、長崎県総合水産試験場
水産研究・教育機構水産技術研究所、宇部マテリアルズ株式会社

鹿児島県で開発されたアルミニウム含有酸性粘土の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を実証すること、また、近年駆除が困難だった*K. mikimotoi*に対して100%の駆除効果を示すマグネシウム製剤が開発されており、この新規防除剤についても効果と安全性の試験を実施すること、両防除剤とも、より有効な散布方法を確認したうえで、実用化と対策実施マニュアルの更新を図ることを目的としました。

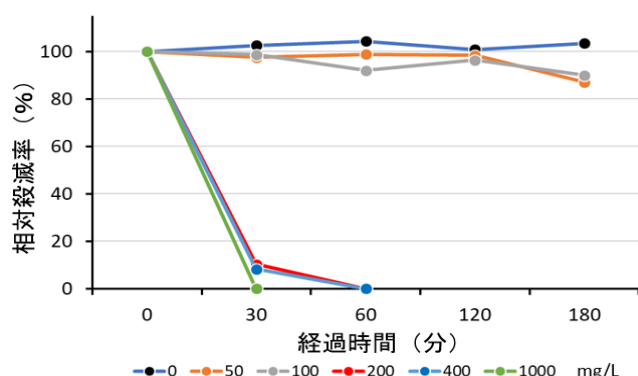
シャットネラ駆除時の散布量比較



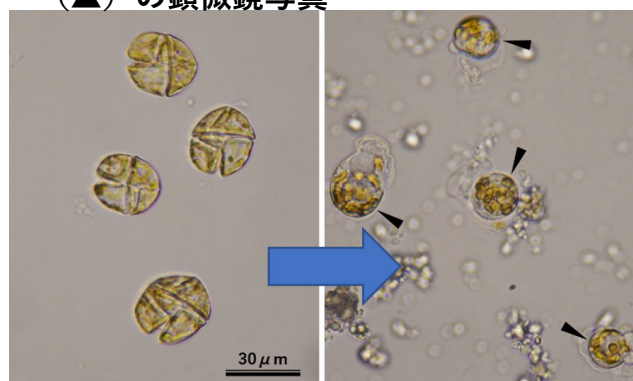
中層散布装置の稼働状況



改良マグネシウム製材による*Karenia*殺滅



マグネシウム製材による*Karenia*殺滅時 (▲) の顕微鏡写真



粘土単体に焼ミョウバンを10%添加することで、有効散布濃度が1/3まで減少し、散布コストも従来の半分まで縮減できました。このことから、養殖現場（八代海、伊万里湾）での赤潮対策としての実装化が急激に進むこととなりました。また中層赤潮防除のために、散布手法の改良も行いました。マグネシウム製材については、高い*Karenia*殺滅効果がある一方で、鰓に詰まるなど魚毒性がみられたため、粗粒化加工等による魚毒性軽減に取り組みました。これにより、有効濃度200 mg/Lでも魚類に安全な防除が可能となり、防除のための暫定マニュアルを作成しました。

2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発

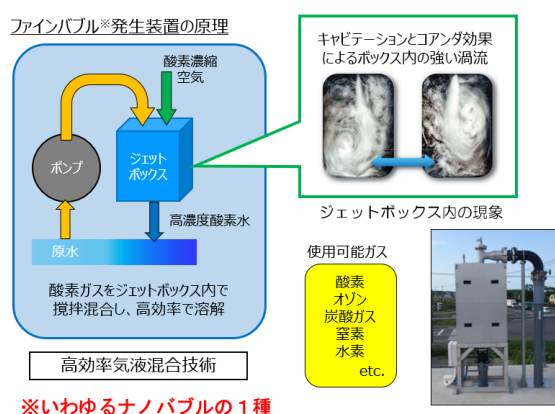
Ⅰ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証

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

担当機関：水産研究・教育機構水産技術研究所、海洋エンジニアリング株式会社

赤潮に伴う漁業被害を必要最小限の費用で軽減し、環境負荷が少なく、かつ効率的に養殖魚類を救命する技術開発を目指し、具体的には、赤潮プランクトンが致死密度で存在していても、溶存酸素を高度に上昇させる手法を駆使して、養殖魚の被害を軽減し、安心して出荷できる手法開発を模索することにより漁業被害防止策の基礎の確立に取り組みました。

ナノバブル発生装置の概略図



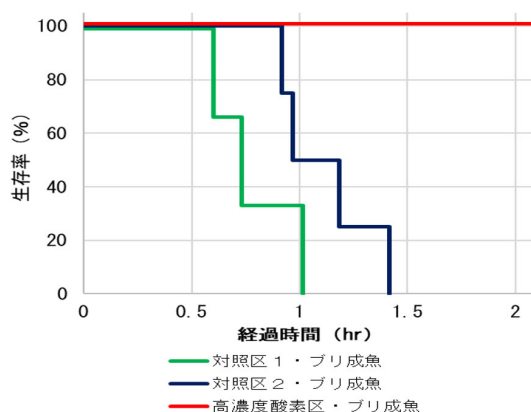
試験生簀で用いた高濃度酸素発生装置



Chattonella赤潮時のブリ救命 (2021年7月)



Chattonella赤潮時のブリ生残率



ナノバブル発生装置とPSA装置を組み合わせることにより、海上で30~40mg/Lの高濃度酸素水を生成させることができました。この高濃度酸素水を試験生簀に投入して遮水幕で遮蔽することで、救命に必要な酸素濃度(14 mg/L以上)を維持することが可能となりました。2021年に八代海で発生した致死密度の28倍ものシャットネラ赤潮に対しても発生時に高濃度酸素による救命試験を実施し、対照区では1時間あまりでブリが全滅した中、高濃度酸素区では試験終了時の2時間6分後まで全尾生残しました。今後の養殖現場における実装化に向けた実用的な知見が得られました。

2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発

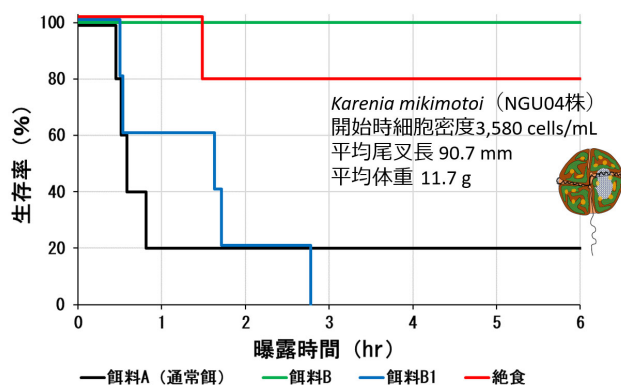
Ⅰ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証

⑤ 給餌条件の改変による赤潮発生下での延命効果検証

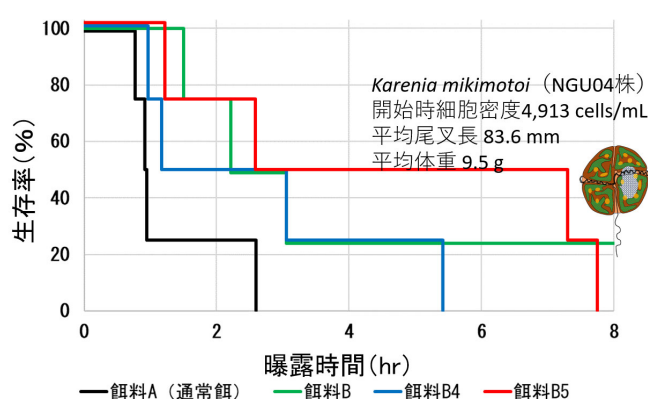
担当機関：水産研究・教育機構水産技術研究所、林兼産業株式会社

赤潮被害軽減策として、簡便でコストもかからないとして餌止めが指導されています。一方で、餌止めは稚魚へのストレスが大きく、さらには魚病などの投薬機会の喪失、餌止めによる品質低下などの問題もあり、漁家経営に対して悪影響を及ぼすことから代替策が求められています。本課題では、赤潮プランクトンが魚類に与える有害性とこれに対する鰓組織上の炎症反応との関係に着目し、この炎症反応を極力軽減するのに有効な餌料成分の改変を行うことを提案・立証することで、給餌を行いながら赤潮による漁業被害を防止する対策の基礎を確立することを目的としました。

延命効果のある餌料Bと絶食との比較



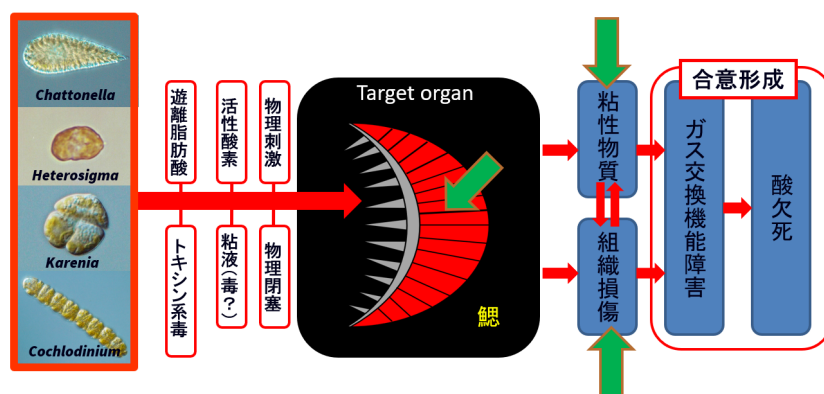
餌料Bのうち有効2成分の延命効果



餌料Bの5成分毎の半数致死時間

餌料名	半数致死時間 (相対値)
通常餌	100
B	>213
B1	104~303
B2	125
B3	69~115
B4	193~210
B5	145

餌料Bによる延命効果の作用箇所の推定図 (緑矢印)

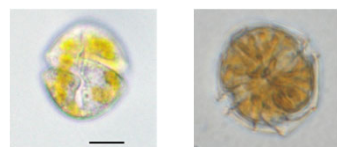


餌料Bの給餌により、特に*Karenia mikimotoi*において顕著な延命効果がみられることを明らかにしました。その延命効果は絶食による延命効果に匹敵するもしくは凌ぐものでした。餌料Bの給餌により、絶食と同様なメカニズムで魚体側の生理状態の変化をもたらし、*K. mikimotoi*が鰓の上皮細胞に接触した際の炎症反応に差異が生じている可能性が示唆されます。今後は、餌料Bをベースとした改良餌料の開発と赤潮発生時における改良餌料への切り替えを通じ、赤潮被害軽減策の普及促進が進展するものと期待されます。

3) 有害赤潮プランクトンのモニタリング技術の開発・実証 及び普及並びにデータ利活用の促進 ア. モニタリング技術の開発・実証

担当機関：水産研究・教育機構水産技術研究所、広島大学

背景・目的：日本沿岸で赤潮を形成し漁業被害を引き起こす有害プランクトンの中には、従来の顕微鏡によるモニタリングや培養が難しい種が在り、これらの種は赤潮予察や漁業被害軽減のための情報が不足しています。そこで、このような有害プランクトンを特異的に検出できる遺伝的な検出手法を確立するとともに、その検出手法を用いて現場調査をおこない、季節変動や水平分布などの生態的情報を収集しました。対象種は*Karenia digitata*と*Alexandrium leei*の2種（図1）です。両種ともに形態が酷似している近縁種が存在するため形態分類が難しく、日本沿岸における分布や生態についても情報が限られています。



Karenia digitata *Alexandrium leei*

図1. 本課題の調査研究対象種

表1. 我が国における*K. digitata*と*A. leei*赤潮による漁業被害

	<i>K. digitata</i>	<i>A. leei</i>
漁業被害	魚類斃死, ノリ芽の異常	魚類斃死
赤潮発生時期	1990年代, 2012-2015年初夏～秋	2017年4月
赤潮発生海域	播磨灘、伊予灘、伊万里湾	高知県野見湾

表2. 遺伝的検出手法の特徴

	検出操作	高価な機器	定量性
LAMP法*	簡便	不要	なし
定量PCR法	やや難	必要	あり

* Loop-mediated Isothermal Amplification法

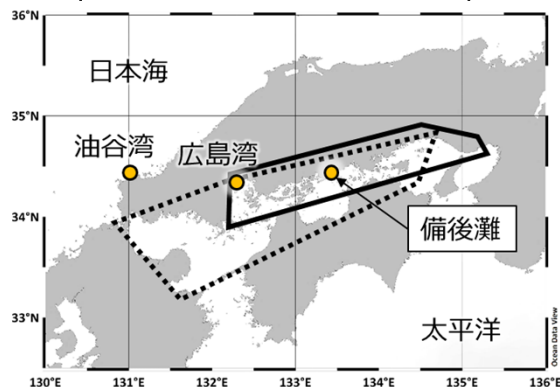
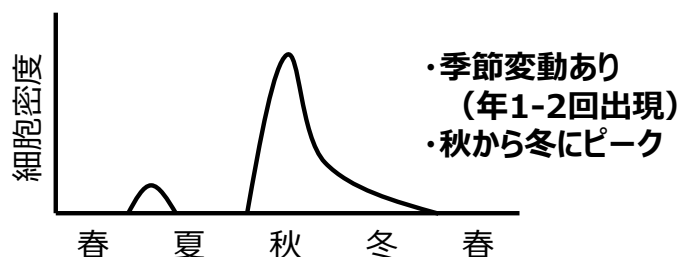


図2. 分布域（実線: *K. digitata*, 点線: *A. leei*）

K. digitata（季節変動：油谷湾，広島湾，備後灘）



A. leei（季節変動：広島湾，備後灘）

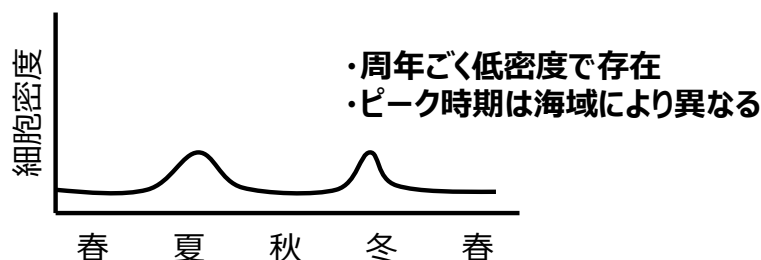


図3. 対象種2種の周年出現動態を示した模式図

主要な成果：（1）有害プランクトン2種（*K. digitata*, *A. leei*）の遺伝子検出手法として、LAMP法と定量PCR法を確立し、両種の高感度なモニタリングが可能となりました。（2）*K. digitata*は年1-2回、春または夏と秋から冬に出現し、一年の中で出現と消失を繰り返すことが明らかになりました（図3）。秋から冬には瀬戸内海の広い範囲（広島湾～大阪湾）に本種が分布していることがわかりました。（3）*A. leei*は明瞭な季節変動が捉えられず、周年ごく低密度で存在していることがわかりました。また、春に瀬戸内海の広い範囲（周防灘～播磨灘）に分布することがわかりました。

本研究の結果、瀬戸内海の広範囲で*K. digitata*と*A. leei*の赤潮化と漁業被害のリスクがあることが示唆されました。また、出現季節パターンなどの生態情報の一部が明らかになりました。一方で、赤潮化のトリガー（引き金）となる環境条件についてはまだ不明な点が多いことから、さらなる調査研究が必要です。

3) 有害赤潮プランクトンのモニタリング技術の開発・実証 及び普及並びにデータ利活用の促進

担当機関：水産研究・教育機構水産技術研究所、いであ株式会社、株式会社アイコック

有害赤潮による漁業被害の防止・軽減、及び迅速な把握と予察のため、現場調査による情報収集と迅速な情報の提供が求められています。本課題では、漁業者や関係各機関、及び一般に向けて、1) 水質や赤潮原因プランクトンの観測情報を迅速に収集し情報を提供すること、2) 水温等のリアルタイム情報を収集・提供するとともに、「水温予報」の運用と予報精度の検証に取り組みました。



- ・「赤潮ネット」の原型となるポータルサイトを平成27年に開設し、以降アップデートを重ねつつ運用してきました。
- ・関係各機関からの観測情報を集積し、「赤潮分布情報」、「水温・塩分速報」「水温予報」にて公表してきました。
- ・「水温予報」の精度検証を重ね、予報技術の評価を行いました。

3) 有害赤潮プランクトンのモニタリング技術の開発・実証 及び普及並びにデータ利活用の促進 ウ. モニタリング技術の普及と事業検討会の開催

担当機関：水産研究・教育機構水産技術研究所、水産技術研究所

[背景・目的]

有害プランクトンモニタリングは赤潮の発生予察や漁業被害軽減のための重要な活動です。本課題ではモニタリングや調査研究の技術的な均質化、高度化を図るため、道府県の職員等を対象に有害プランクトン同定研修会を開催しました。研修会では、有害プランクトンの形態や分子分類等に関する講義および試料処理やプランクトン種同定の実習を行うとともに、本事業で開発した種同定技術等の普及を行いました。

また、本事業は30を超える研究機関や大学、民間企業からなる共同研究機関が担当し、16の課題を実施することから、各機関や実施課題間の連携、および事業の進行管理を図るため、3名の有識者を検討委員とした事業の計画検討会および結果検討会を開催しました。

有害プランクトン同定研修会の開催

年1回、4日間の同定研修会を開催

内容は「有害プランクトン種同定の基礎に関する研修」



講義の様子



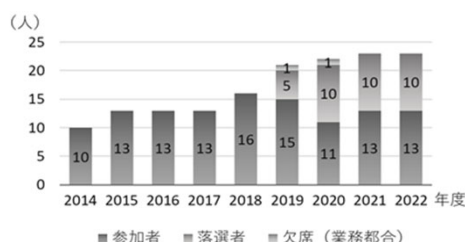
プランクトン観察の様子



観察用プランクトン

同定研修会参加希望者の推移 (2014～2022年度)

近年、希望者は増加傾向。2020～2022年度は新型コロナウイルス感染症の影響で受入可能人数を制限。



事業検討会の開催

計画検討会（5月）、結果検討会（2～3月）

有識者3名の助言・指導を得ながら、課題を実施



[5年間で得られた主要な成果]

有害プランクトン同定研修会には道府県の有害プランクトンモニタリングの担当者等が、5年間で延べ71名参加し、有害プランクトンの形態分類や遺伝子検査（LAMP法）による種同定手法などの講義・実習を受講し、知識や技術を習得しました。これにより、有害プランクトンのモニタリング技術の向上、均質化、継続性が図られ、より精度の高いモニタリングの実施につながっています。

年1回の計画検討会議及び結果検討会議の開催を通じ、関係機関の連携を図りながら調査研究が実施されました。検討会の開催は、各実施課題内および課題間の連携の強化につながるとともに、研究計画および成果の向上を促進し、本事業の成果の一部は学会発表や論文等で公表されています。

主要な成果

論文

特集 赤潮の発生シナリオと予察, 月刊 養殖ビジネス59 (13), 2022

- 今井一郎・持田和彦：モニタリングに基づく赤潮の発生シナリオと予察手の重要性. 4-8.
小川健太、秋山 諭、妹背秀和、高木秀蔵、嵐 俊右：瀬戸内海東部海域. 10-14.
占部敦史、上村海斗、鬼塚 剛、外丸裕司：瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾. 16-21.
二ノ方圭介、奥村宏征：伊勢湾・三河湾・英虞湾. 22-27.
鬼塚 剛、清川智之、鈴木雅巳、福本一彦、柿並宏明、坂本節子：日本海西部海域. 28-32.
山砥稔文、津城啓子、山口創一、青木一弘：九州北部海域（伊万里湾）. 34-40.
紫加田知幸、杉松宏一、向井宏比古、今吉雄二、浦 啓介：八代海. 42-45.

月刊 養殖ビジネス 連載 新しい赤潮研究と赤潮対策

- 中山奈津子：ウイルスを用いた生物学的赤潮対策 海底泥散布によるヘテロカプサの防除. 月刊 養殖ビジネス 59 (9), 49-53, 2022.
湯浅光貴：有害赤潮プランクトンによるスーパーオキサイド産生と魚類へい死. 月刊 養殖ビジネス59 (13), 47-51, 2022.
紫加田知幸、宮村和良、野田 誠、浦 啓介、松尾 斉：足し網や生簀沈下による赤潮の魚類へい死軽減. 月刊 養殖ビジネス59 (12), 37-41, 2022.

紫加田知幸:国内における有害赤潮対策の高度化と課題. アクアネット24 (7), 9, 44-48, 2021.

山本 佳奈, 平江 想, 石田 直也, 山砥 稔文, 小原 静夏:佐世保湾における有害赤潮鞭毛藻 *Heterosigma akashiwo*, *Karenia mikimotoi* および *Chattonella* spp. の出現状況と環境特性. 日本水産学会誌 87 (6), 662-671, 2021.

鬼塚 剛, 鈴川 健二, 吉江 直樹, 平井 真紀子, 竹中 彰一, 吉原 勇作, 大西 秀次郎, 清水 園子, 竹内 久登, 太田 耕平, 外丸 裕司, 坂本 節子, 阿部 和雄, 山口 聖, 紫加田 知幸, 山口 一岩, 武岡 英隆: 宇和島湾およびその周辺海域における有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* の出現特性: 赤潮発生年と非発生年の比較. 日本水産学会誌 87 (2), 144-159, 2021.