

有害赤潮による漁業被害の軽減と 海域の生産力向上に向けて

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
「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と
予察・被害防止等技術開発」

事業成果ダイジェスト

瀬戸内海赤潮共同研究機関

もくじ

はじめに：瀬戸内海とその周辺海域における有害赤潮の発生状況と海域の貧栄養化	1
---------------------------------------	---

1) 魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築

① 瀬戸内海東部海域	2
② 瀬戸内海西部・豊後水道海域	3
③ 土佐湾海域	4
④ 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域	5
⑤ 日本海西部海域	6

2) カレニア等有害赤潮の高度モニタリング技術開発，発生機構解明，予察技術開発および被害防止対策

① カレニア属等有害赤潮鞭毛藻の簡易検出，同定・定量法の開発	7
② 光合成活性を指標としたカレニア等有害赤潮鞭毛藻の現場増殖活性評価手法の開発	8
③ カレニア等有害鞭毛藻の生理・生態特性の把握による発生機構の解明	
ア．カレニア等有害赤潮鞭毛藻の物理・化学的要因に対する増殖特性，生活史応答の把握	9
イ．現場マイクロズムを用いたカレニア等有害赤潮鞭毛藻の動態と環境条件との関係の解明	10
④ カレニア等有害赤潮鞭毛藻による魚介類斃死機構の解明と斃死防止技術の開発	
ア．カレニア等有害赤潮鞭毛藻による斃死原因の特定とアッセイ系の構築	11
イ．有害赤潮鞭毛藻類の遊泳特性を利用した新規赤潮防除技術の開発	12
ウ．ヘテロカプサ赤潮被害軽減に向けた底泥接種法現場適用の検討	13
エ．ヘテロカプサ等有害赤潮の分布拡大機構の解明と防止技術開発	14
⑤ 現場珪藻類休眠期細胞の有効活用による有害赤潮防除対策	15

3) ノリ色落ち珪藻の発生モニタリング，発生機構解明，予察技術開発

① 瀬戸内海東部海域におけるノリ色落ち原因珪藻の出現諸特性の解明と発生予察	16
② ノリ色落ち原因珪藻の生物学的諸特性の解明	
ア．ノリ色落ち原因珪藻類の物理・化学的要因に対する増殖特性，生活史応答の把握	17
イ．ノリ色落ち原因珪藻類による栄養塩摂取特性の把握と現場栄養塩環境の予測技術開発	18

4) 栄養塩類等の水質環境が低次生産生物に及ぼす影響解明

① 海域の栄養塩環境が低次生産に及ぼす影響解明	19 - 20
② 海域の栄養塩が二枚貝の生産に及ぼす影響調査	
ア．海域の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響調査	21
イ．下水処理管理運転が二枚貝生産に及ぼす影響調査	22

5) 事業検討会および有害プランクトン同定研修会の開催

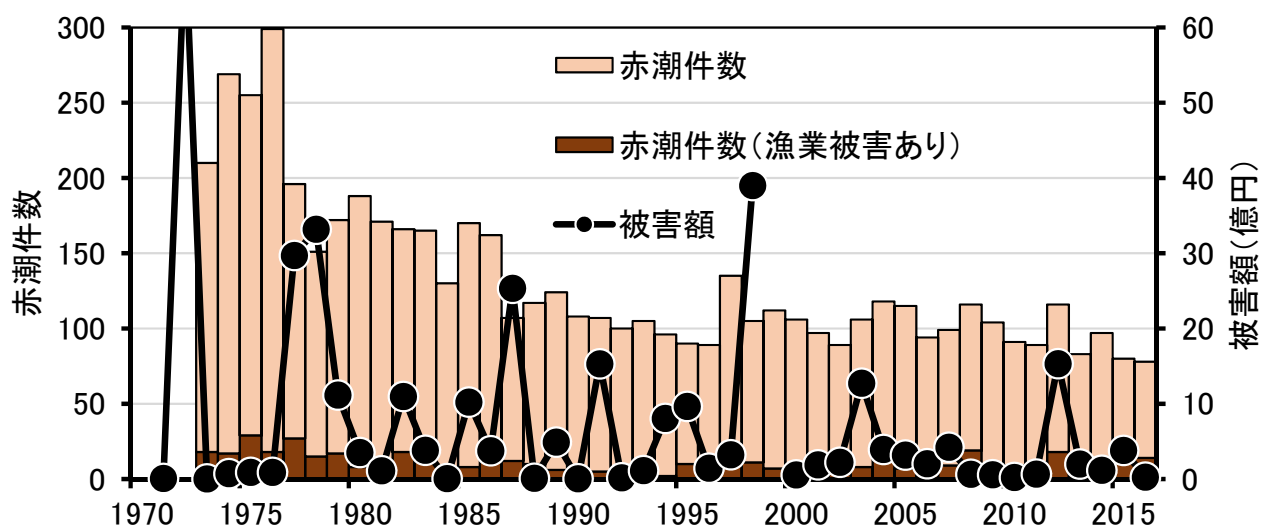
まとめ：有害赤潮による漁業被害の軽減と海域の生産力向上に向けて	24
---------------------------------	----

はじめに：瀬戸内海とその周辺海域における有害赤潮の発生状況と海域の貧栄養化

瀬戸内海とその周辺海域における赤潮発生件数は、高度経済成長期に比べ減少したものの、年間100件程度で推移し、赤潮による漁業被害件数も依然として年間10件程度が報告されています。一方で、1970年代から実施されている排出規制は、近年、一部の海域で窒素やリンなどの栄養不足である貧栄養化を招いており、ノリの色落ちや漁獲量低下といった水産資源への影響の可能性が指摘されています。

本事業では、瀬戸内海およびその周辺海域を主要なフィールドとして、広域共同モニタリングや各種調査・研究を実施することにより有害赤潮による漁業被害の防止・軽減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。

瀬戸内海における赤潮発生件数・漁業被害件数・漁業被害額の推移



様々な有害赤潮プランクトン



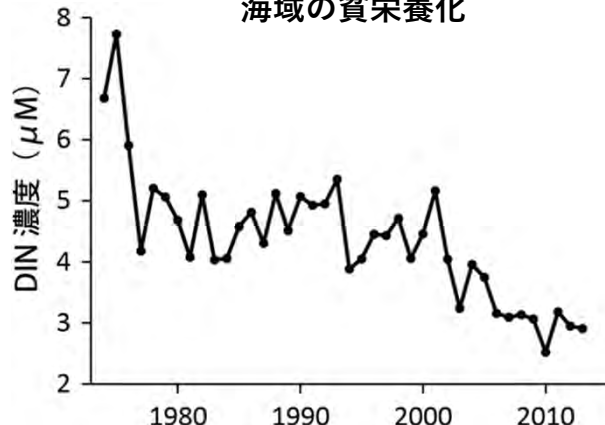
養殖魚の斃死



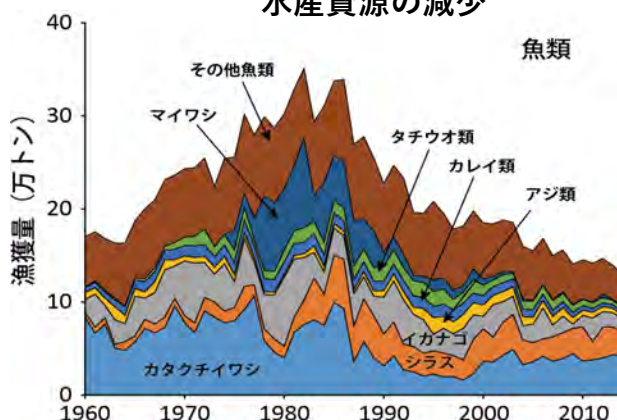
養殖ノリ色落ち



海域の貧栄養化



水産資源の減少



出典：阿保（2016）水環境学会誌, 39, 97-101

1) 魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築

①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，有害プランクトンの発生パターンや時期が変化しており，依然として有害赤潮による漁業被害が生じています。赤潮による漁業被害を未然防止・軽減するために，瀬戸内海東部の関係機関で連携し，広域赤潮監視調査（赤潮モニタリング）を実施しました。また，過去の赤潮発生状況に関する膨大な蓄積データを解析することにより，近年の赤潮発生シナリオを構築するとともに，赤潮発生予察技術を開発しました。

広域的な赤潮監視の実施

シャットネラやカレニア等の有害赤潮種の増殖が活発になる6～8月に赤潮監視調査を実施しました。調査結果は，速やかに関係機関や漁業者に情報提供するとともに，赤潮被害に関する注意喚起を実施しました。これらの取り組みにより漁業被害の防止や軽減が図られるとともに，得られたデータを赤潮の発生解析に活用することができました。

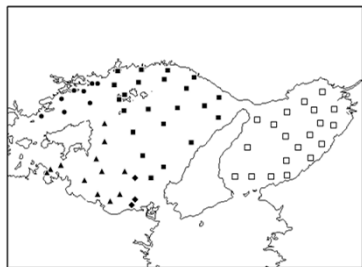


図1. 瀬戸内海東部を網羅する計68点の調査定点で広域的な共同調査を実施し，効果的かつ効果的に赤潮を監視しました。

海洋環境と赤潮発生状況

近年，水温や栄養塩濃度等の海洋環境が大きく変化し，シャットネラ赤潮の発生パターンにも変化が生じていることがわかりました。これを受けて，1999年以降の環境条件に適合した「シャットネラ赤潮発生予察技術」の開発に取り組みました。

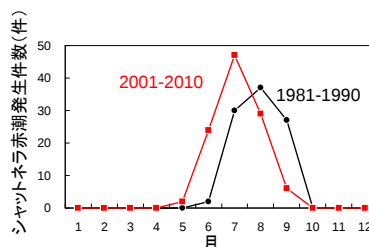


図2. 近年のシャットネラ赤潮の発生時期は6～7月が主体となってきており，赤潮発生の早期化に対応した新たな予察技術開発に取り組みました。

赤潮の発生予察技術の開発

多変量解析の結果，府県により赤潮発生年の環境条件の特徴は異なることがわかりました。そこで府県海域毎に，環境条件の特徴を利用して，判別解析の手法により，発生年・非発生年を予察する統計学的モデルを開発しました。

これによって，一定の精度で赤潮の発生予察が可能となりました。また一部の海域では，早期予察と直前予察の段階的な予察が可能となりました。

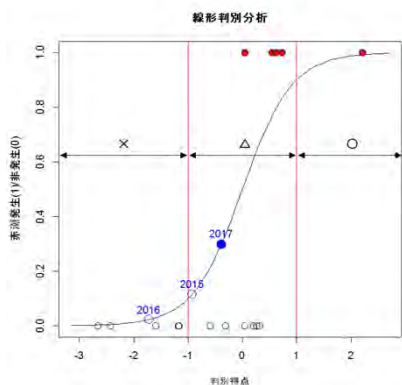


図3. 岡山県海域での5月表層水温と塩分，6月降水量を用いた判別分析の結果。2015～17年の予察を行った結果，不確実性を伴う中間的な発生判別を含めて，予察結果は概ね的中しました。

主要な成果

- ・関係機関との連携により，広域的な赤潮監視を効果的に実施する体制を確立するとともに，調査結果を迅速に漁業現場に提供する仕組みを構築しました。
- ・過去の赤潮監視調査結果を総合的に解析し，近年の海洋環境に適合した赤潮発生予察モデルを構築しました。
- ・一部の海域では赤潮の段階的な予察が可能となり，毎年の海洋環境の推移に対応した発生予察が可能となりました。予察精度の向上が期待されます。

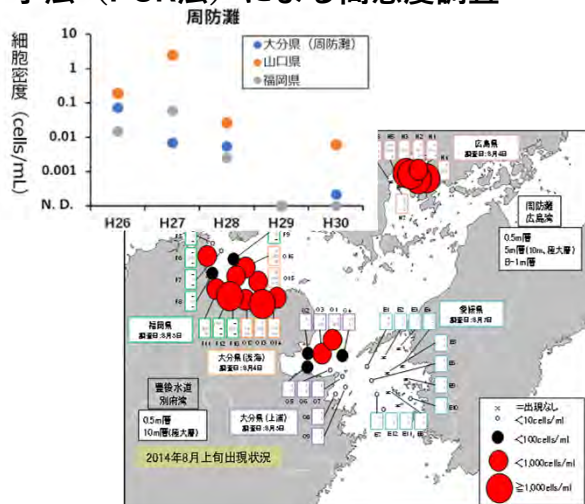
1) 魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築

②瀬戸内海西部・豊後水道海域

担当機関：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，宮崎県水産試験場，愛媛県農林水産研究所，広島県立総合技術研究所，愛媛大学，水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所

瀬戸内海西部・豊後水道海域ではカレニア赤潮が頻発しており，平成24年夏季の大規模赤潮では，県によっては過去最大の漁業被害が発生しました。本課題では，瀬戸内海西部・豊後水道海域において各機関が連携・協力した広範な調査に加え，遺伝情報を利用した分子生物学的手法による高感度調査を新たに実施し，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，既存のモニタリングデータの解析，数値モデルを用いた解析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つなげることを目的としました。

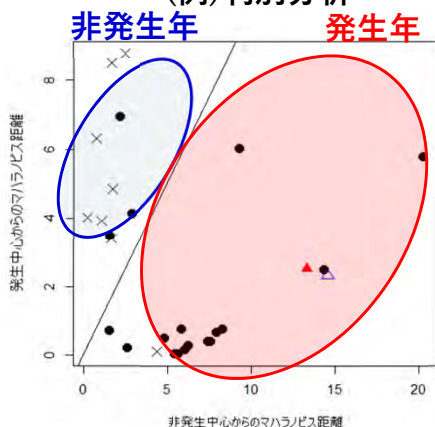
○広域モニタリング調査と分子生物学的手法（PCR法）による高感度調査



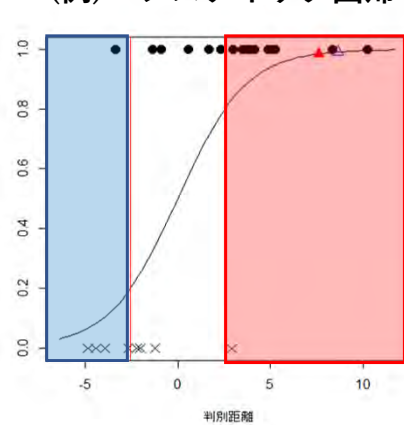
○赤潮発生要因の抽出と予察技術開発

過去の赤潮発生状況や環境条件の統計解析によって赤潮化と関連する要因の抽出・予察式の作成を行いました。

(例)判別分析

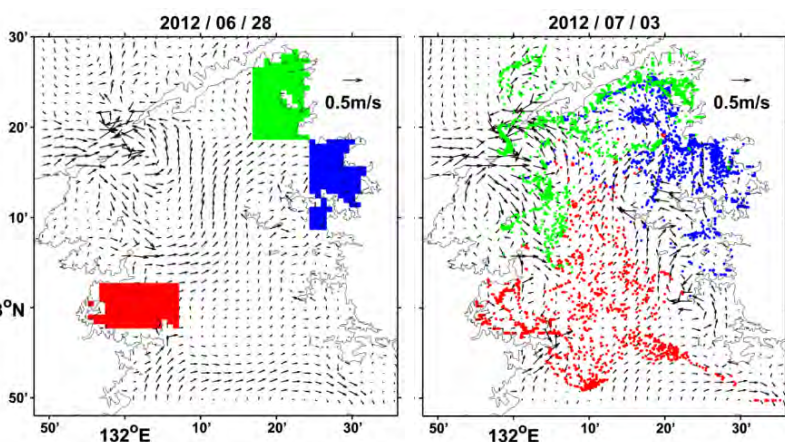


(例)ロジスティック回帰



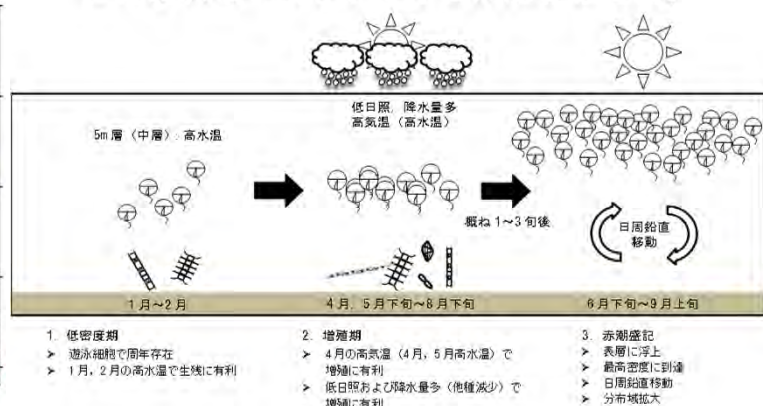
○平成24年夏季のカレニア赤潮大規模化の要因解析

数値モデルを用いて赤潮水塊の輸送過程を解析しました。



○発生シナリオ構築

各海域毎に赤潮発生に関連する環境要因をもとに赤潮化へのシナリオを作成しました。



主要な成果

- ・広域モニタリング調査と高感度調査でカレニアの低密度からの分布推移を明らかにしました。
- ・各海域において，カレニア赤潮発生に関係する環境因子の特定し，赤潮発生シナリオ構築と予察技術開発を行いました。
- ・平成24年夏季のカレニア赤潮が海域間の物理的な輸送によって大規模化した可能性があることを示しました。

1) 魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築

③土佐湾海域

担当機関：高知県水産試験場

1) 浦ノ内湾

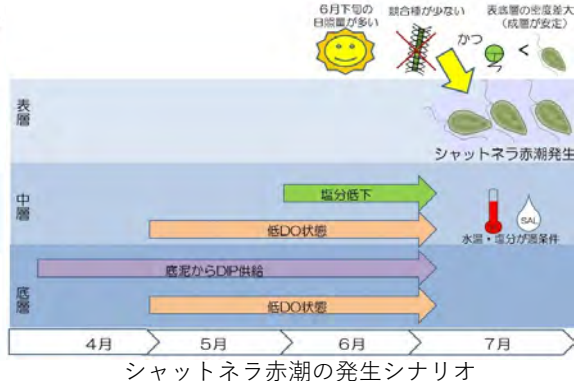
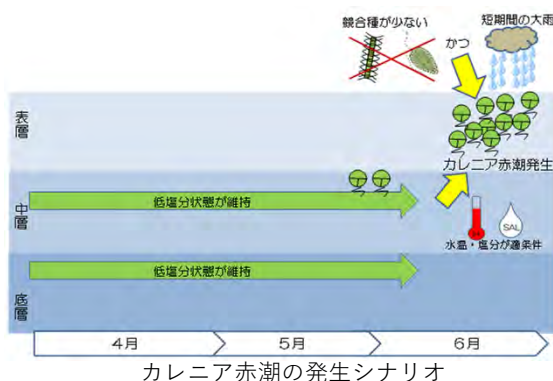
高知県中部の浦ノ内湾では、シャットネラやカレニアを主とした有害赤潮による漁業被害が多発しており、これまでの調査・研究で気象、海象条件を利用して中長期的な予察ができる可能性が示されてきました。本課題では、有害種および海洋環境の監視、既存データの解析によって、従来の予察手法の改良と予察精度の向上を目的としました。

2) 宿毛湾

高知県西部の宿毛湾では、平成21年からコクロディニウム・ポリクリコイデス赤潮による漁業被害が続いていますが、近年から赤潮を形成し始めた種であり、データの蓄積が少なく、発生条件も特定されていません。本課題では、本種を中心とした有害種および海洋環境の監視、既存データの解析によって、赤潮発生シナリオを構築することを目的としました。

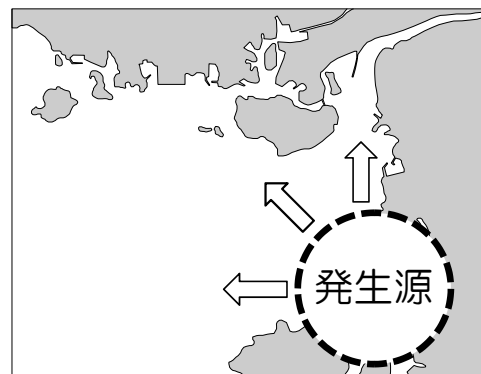
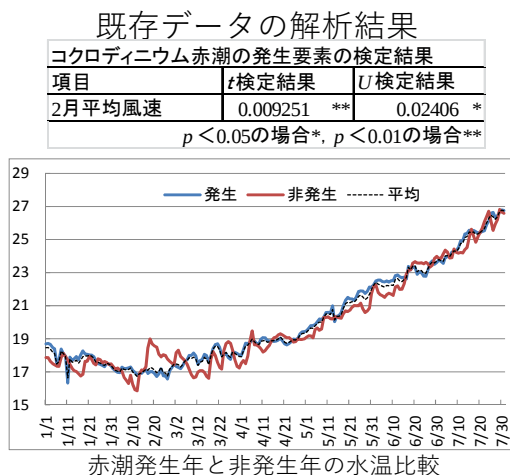
1) 浦ノ内湾

カレニア、シャットネラの両種における従来の予察手法を再検証し、精度が低い手法を改良しました。また、従来の予察手法と既存データの解析結果を総括し、発生シナリオの作成を行いました。



2) 宿毛湾

コクロディニウム赤潮の発生シナリオの構築に向け、モニタリングと既存データの解析を行いました。モニタリングの結果、発生源の海域が特定できましたが、発生条件の特定には至りませんでした。今後もモニタリングを継続し、早期の発生シナリオ構築を目指します。



コクロディニウムの発生源の位置
* 特徴として河川が近く、栄養塩の供給があり、塩分・透明度が低下しやすい。

主要な成果

1) 浦ノ内湾

- ・カレニア赤潮の発生には、中長期的には塩分の推移、短期的には競合種の動態、降水量、水温、塩分の推移から発生が予察できることが示されました。
- ・シャットネラ赤潮の発生には、中長期的には底層の栄養塩（DIP）と溶存酸素の推移、短期的には競合種の動態や表層と底層の密度差、水温・塩分の推移から予察できることが示されました。

2) 宿毛湾

- ・コクロディニウムの赤潮の発生源の特定、赤潮発生に関わる気象、海象データを蓄積することができました。

1) 魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築

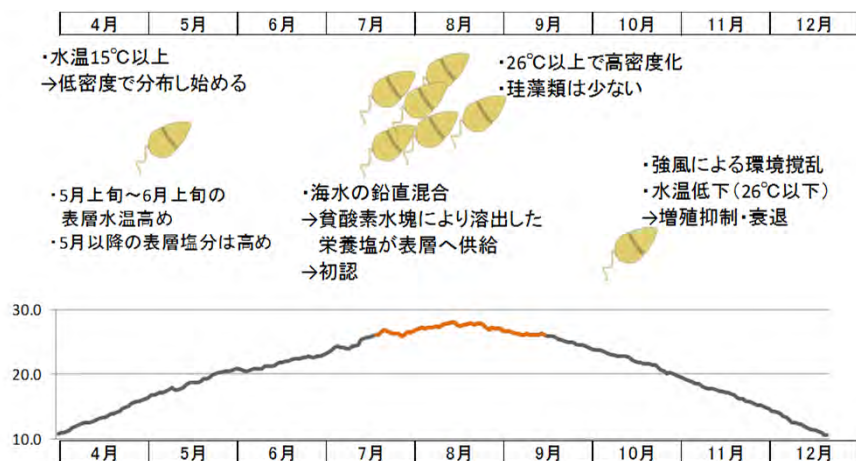
④伊勢湾・三河湾・英虞湾海域

担当機関：三重県水産研究所，愛知県水産試験場

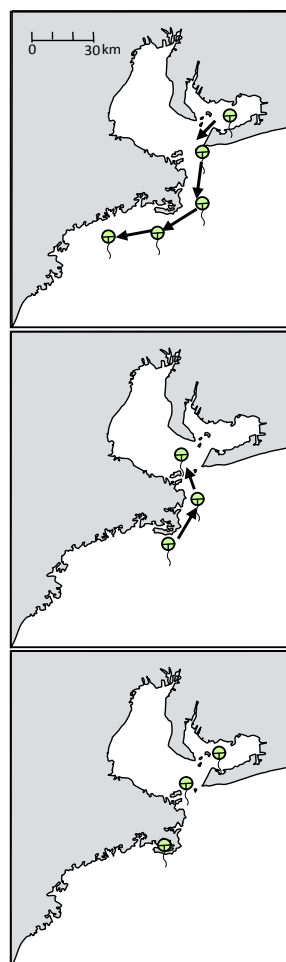
近年，伊勢湾・三河湾・英虞湾海域では，*Heterocapsa circularisquama*（ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマ）等の有害赤潮プランクトンやノリ色落ち原因珪藻による漁業被害が生じています。

本課題では，伊勢湾・三河湾・英虞湾海域において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，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することで，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。

三河湾における*H. circularisquama*発生シナリオ模式図



広域赤潮発生パターン



主要な成果

- ・三河湾と英虞湾におけるヘテロカプサ赤潮発生シナリオを構築しました。
- ・英虞湾におけるヘテロカプサ赤潮発生パターン（7月までに赤潮発生，8月以降に赤潮発生，非発生）のモデル式を作成しました。
- ・有害プランクトンの広域赤潮の発生パターンについて取りまとめました。
- ・伊勢湾三重県側の漁場で最初に色落ちが発生する傾向がある鈴鹿地区において珪藻密度が9,000 cells/mLを上回るとDINが100 $\mu\text{g/L}$ 以下となることを確認しました。
- ・三河湾におけるユーカンピア赤潮によるノリ色落ち被害発生予測指標を明らかにし，2015～2017年に被害発生予測を行いました。

1) 魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築

⑤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，鳥取県立とっとり賀露かにっこ館，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・教育機構瀬戸内海区水産研究所

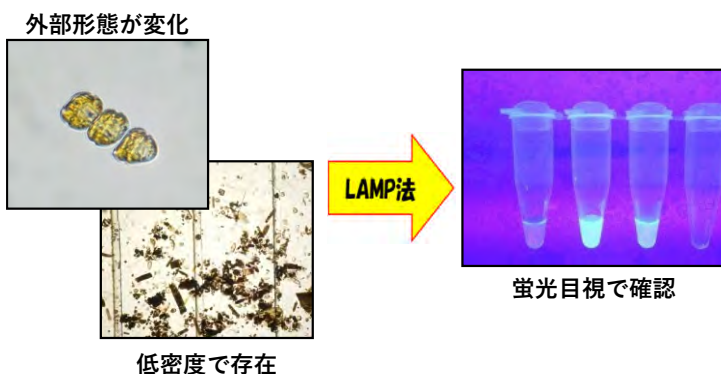
近年，日本海西部海域では有害赤潮プランクトン，コクロディニウム・ポリクリコイデスによる漁業被害が発生し，本赤潮の発生状況の監視と予察が求められています。また，対馬暖流上流部である中国や韓国沿岸では，1990年代以降，コクロディニウムを含む様々な有害赤潮が頻発しており，今後もそれらの山陰沿岸への漂着や将来的には新奇有害赤潮の定着が懸念されています。

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。

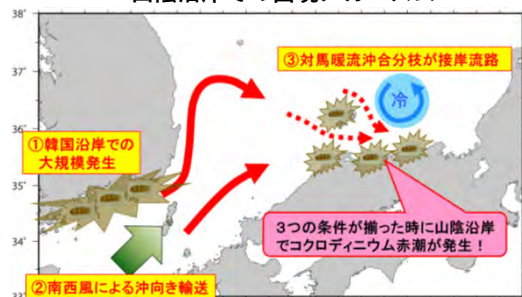
コクロディニウム・ポリクリコイデス



遺伝情報を利用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

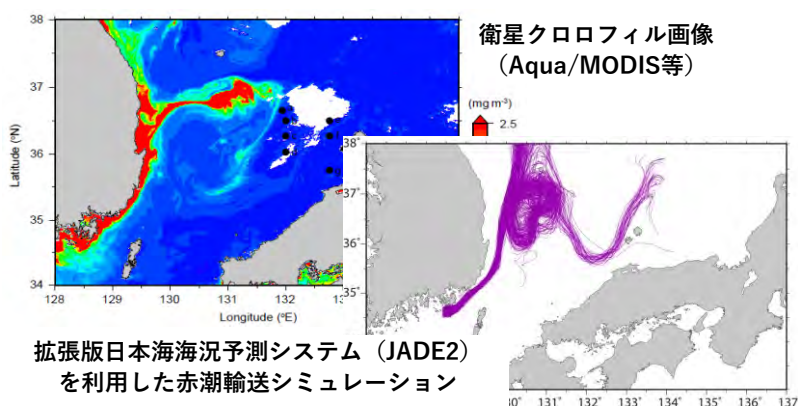


発生シナリオの検証と予察精度の向上 山陰沿岸での出現メカニズム



参照：宮原ほか（2009）日本プランクトン学会報，56，56-59
Onitsuka et al. (2010) Harmful Algae, 9, 390-397

衛星画像による監視と赤潮輸送シミュレーション



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構築し，有害赤潮の広域監視を行いました。
- ・遺伝情報を利用した分子生物学的手法（LAMP法）を導入し，モニタリングの高度化を図りました。
- ・有害赤潮発生シナリオの構築および検証を実施し，予察精度向上のために赤潮輸送シミュレーションの高度化を行いました（流動場の更新，日直鉛直移動の導入，九州北部海域のカレニア・ミキモトイ等による有害赤潮を監視対象に追加）。

2) ①カレニア属等有害赤潮鞭毛藻の簡易検出、同定・定量法の開発

担当機関：水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所

赤潮モニタリングでは、より早期に、正確に有害種の発生を検出、同定し、赤潮原因種に応じた対策を取ることが漁業被害の防止や軽減につながります。そこで、本課題ではカレニア属等を含む有害赤潮プランクトンの簡易検出、同定手法の開発を行いました。特に、細胞形態の変化が大きく同定が困難な無殻渦鞭毛藻等を対象として、LAMP法やNASBA法等の遺伝情報を利用した分子生物学的手法による簡易検出手法の検討を進めました。

新たな有害種のLAMP法の確立

有害カレニア属2種

- ・カレニア・パピリオナシア
- ・カレニア・ディジタータ

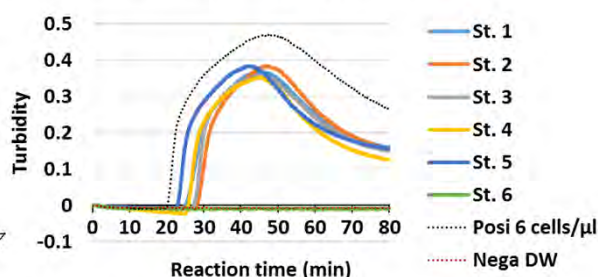
現場試料での検証と活用

ディクチオカ藻1種



カレニア・ディジタータ

福山沿岸海水中のカレニア・ディジタータ検出



LAMP法検出キットの開発

- ・「赤潮原因プランクトン検出キット」を企業と共同開発

- ・検出マニュアルを整備

ニッポンジーン（株）

http://nippongene.com/kensa/products/leaflet/NE0161_NE0171_Catalog.pdf



NASBA法（RNA増幅）＋核酸クロマトグラフ（目視検出）

- ・カレニア・ミキモトイ
- ・ディクチオカ藻

rRNA-D1D2領域で簡易検出に成功

将来性：発現遺伝子を基にした、赤潮の簡易生理診断に応用を視野



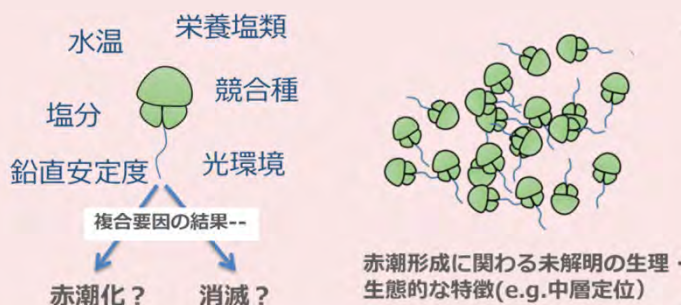
主要な成果

カレニア属の2種およびディクチオカ藻1種を対象に新たにLAMP法による簡易検出手法を確立しました。また、カレニア・ミキモトイおよびシャットネラ属を対象に赤潮原因プランクトン検出キットを企業と共同開発し、マニュアルを整備しました。これによりLAMP法による簡易検出技術の普及体制が一步前進しました。

NASBA法と核酸クロマトグラフの技術を組み合わせることで、短時間で有害赤潮種の存在可否を目視判定可能な技術の開発に成功しました。本技術は発現遺伝子の検出にも有効であることから、将来的な赤潮細胞の生理診断技術への応用も期待されます。

2) ②光合成活性を指標としたカレニア等有害赤潮鞭毛藻の現場増殖活性評価手法の開発

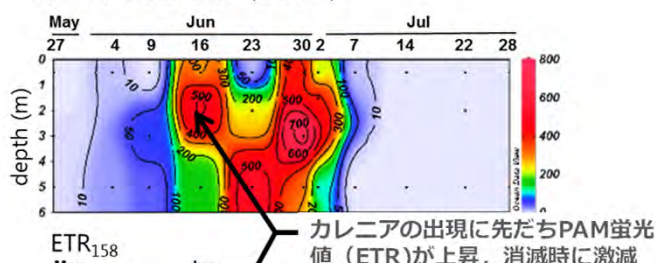
担当機関：広島大学



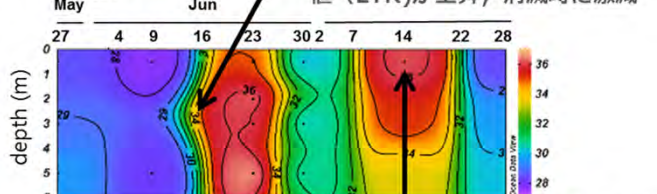
現場で簡単に光合成活性をモニターできる「パルス変調蛍光法」を用いて
●現場・迅速・赤潮予察手法の開発
●中層定位現象の解明

◎佐世保湾調査(2014)

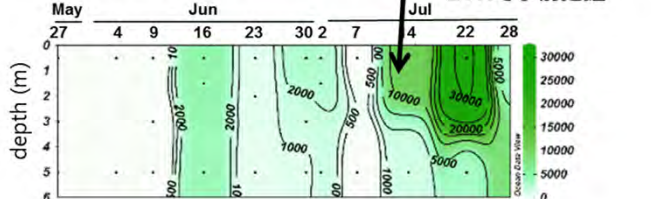
Karenia mikimotoi (cells ml⁻¹)



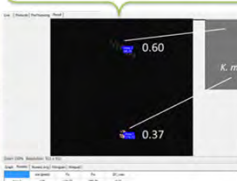
カレニアの出現に先だちPAM蛍光値 (ETR)が上昇, 消滅時に激減



競合種 (珪藻) の出現も ETRで事前把握

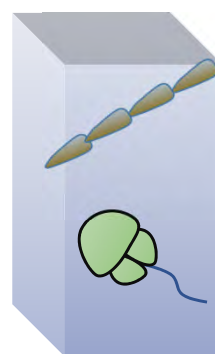


<i>Karenia mikimotoi</i>	0.41 ± 0.08 (n=10 cells)
珪藻類	0.61 ± 0.03 (n=8 colonies)



←顕微鏡型PAMによる細胞・種ごとの活性把握も併用 (赤潮消滅前, 6/30)

◎カレニアの中層定位 vs プロロセントラム シコクエンセの表層定位

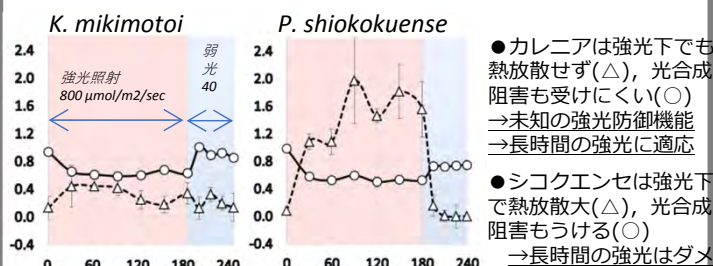


フィールドでも, 室内カラム実験によっても---

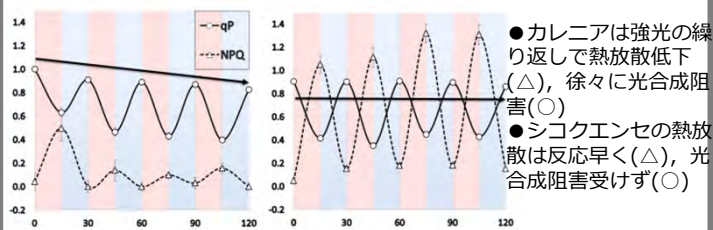
- シコクエンセは表層に分布
- カレニアはそれよりも下層に分布

両者の光合成反応の違いが分布の違いを決定?

3時間の強光照射に対して----



短時間の強光・弱光繰り返しに対して----



主要な成果

◎PAM蛍光法の現場赤潮予察への応用

- 当日中に, 数日~1週間後の動態が予察可能
- すでに長崎県では活用 (「長崎方式」)
- CTDなどの観測機器のように現場モニタリングの「デフォルト」になるポテンシャル (スイッチボンの簡便性, 価格)

◎PAM蛍光法によるカレニアの生理解明

- シコクエンセと比較して, 強光・弱光の繰り返しに弱い
- 典型的な気象 (曇⇔晴れ間) においては, 光のダイナミックレンジが狭い中層を好む
※シコクエンセはレンジが広い表層でOK

2) ③ア. カレニア等有害赤潮鞭毛藻の物理・化学的要因に対する増殖特性、生活史応答の把握

担当機関：水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所，県立広島大学

赤潮の発生機構を明らかにするためには，原因プランクトンの増殖特性を把握することが重要です。本課題では，主に有害赤潮鞭毛藻カレニア・ミキモトイの増殖や生残に影響を及ぼす環境条件，特に栄養塩や鉄などの化学的条件の影響を明らかにすることを目的として，カレニア頻発海域における栄養塩や鉄の分布調査および増殖ポテンシャル（AGP）試験等を実施しました。

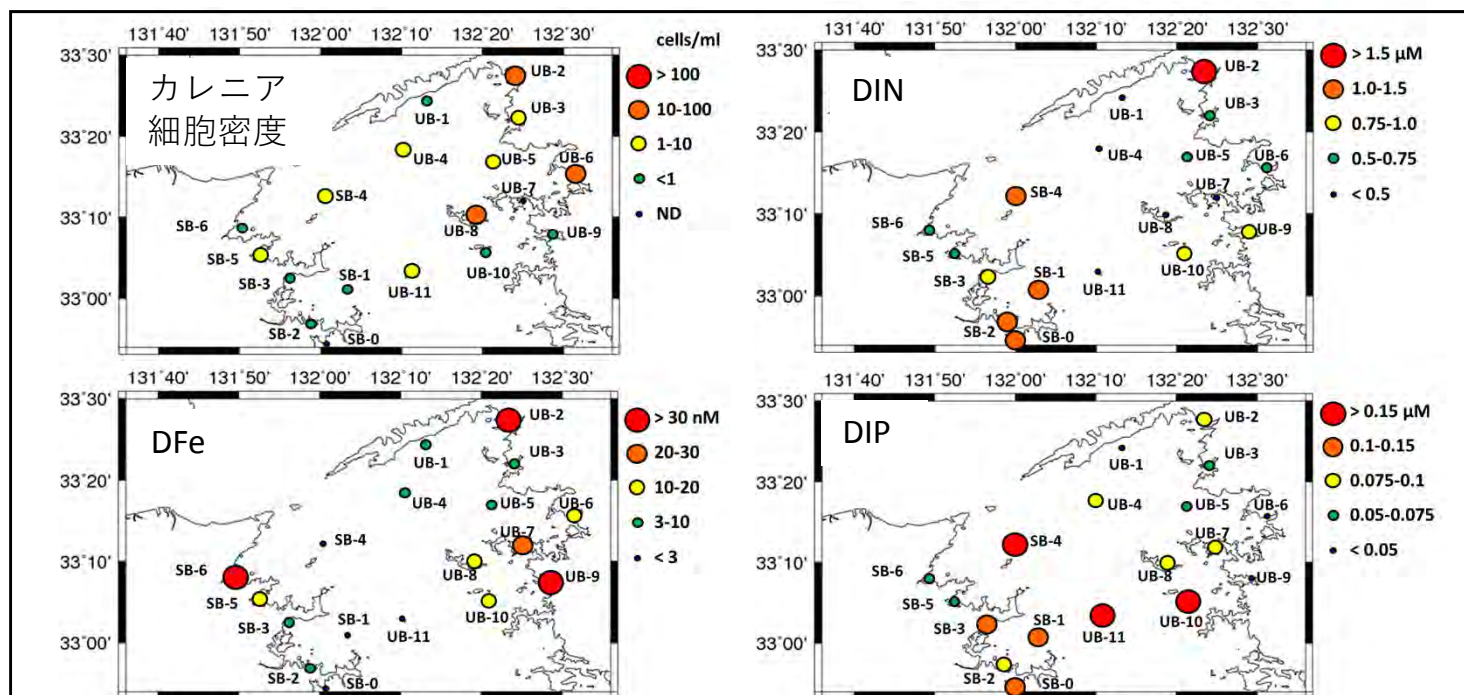


図1. 2016年7月の豊後水道表層におけるカレニア細胞密度，無機態の窒素(DIN)，リン(DIP)および溶存態鉄(DFe)の分布

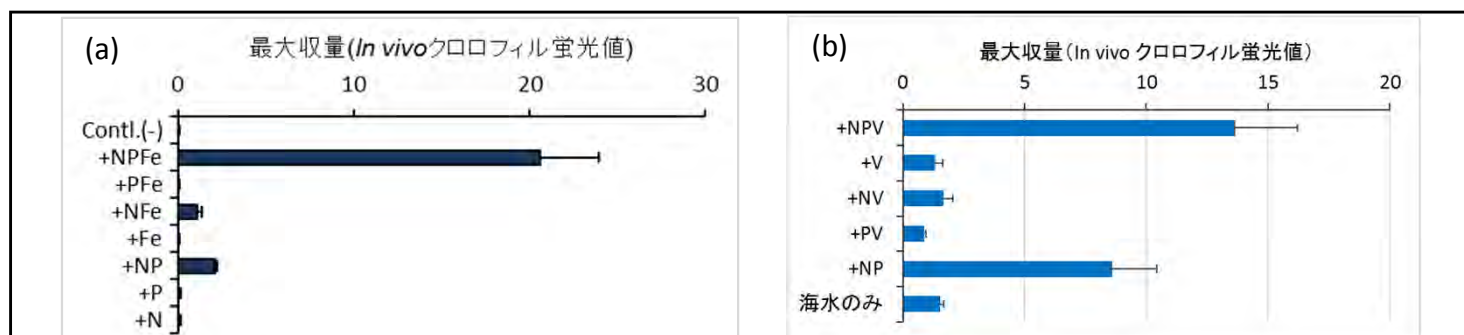


図2. 夏季豊後水道の海水によるカレニアのAGP試験. (a) DIN, DIP, DFeの影響（2013年6月宇和島湾遊子表層海水），(b)ビタミンB群の影響（2015年8月北灘5m層海水）

主要な成果

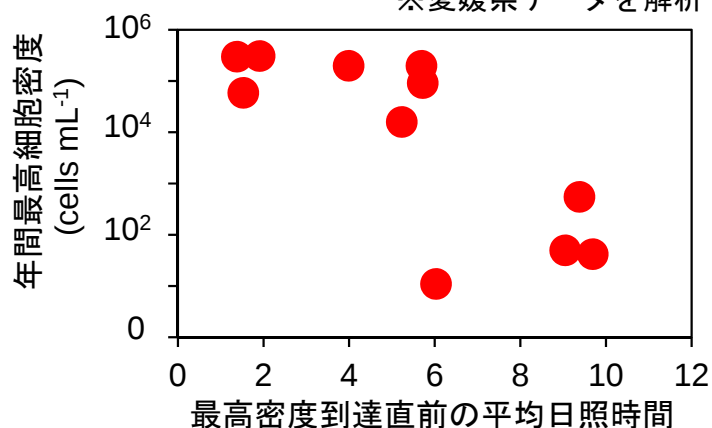
カレニア発生時の豊後水道において栄養塩や鉄の濃度分布を調査した結果，海域によってはDINやDIPだけでなく，DFeも非常に低濃度になることを見出しました（図1）。また，豊後水道で採水した一部の海水についてAGP試験を行ったところ，窒素やリンに加えDFe（図2a）およびビタミンB群（図2b）もカレニアの増殖制限因子として影響する場合があることがわかりました。本研究により，現場における本種赤潮の発達には窒素やリンだけでなく，鉄やビタミンB群も関与する可能性が示唆されました。

2) ③イ. 現場ミクロコズムを用いたカレニア等有害赤潮鞭毛藻の動態と環境条件との関係の解明

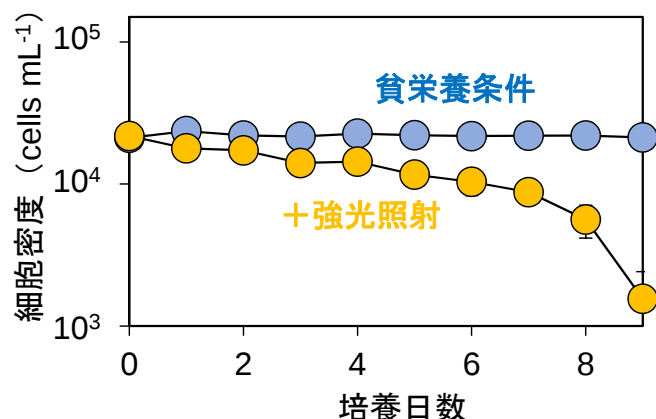
担当機関：水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所，大分県農林水産研究指導センター

本課題では，近年豊後水道等において甚大な被害をもたらしている有害赤潮渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi*（カレニア・ミキモトイ）の生残増殖を制御する諸環境条件等を特定することを目的として，現場垂下式のミクロコズム実験，生理活性の計測（光合成活性など），室内培養実験などを実施しました。

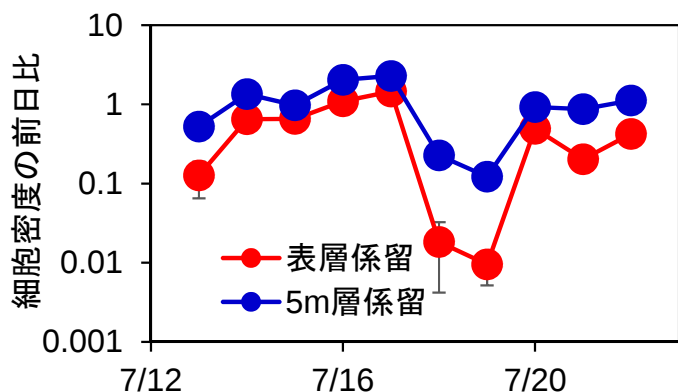
※愛媛県データを解析



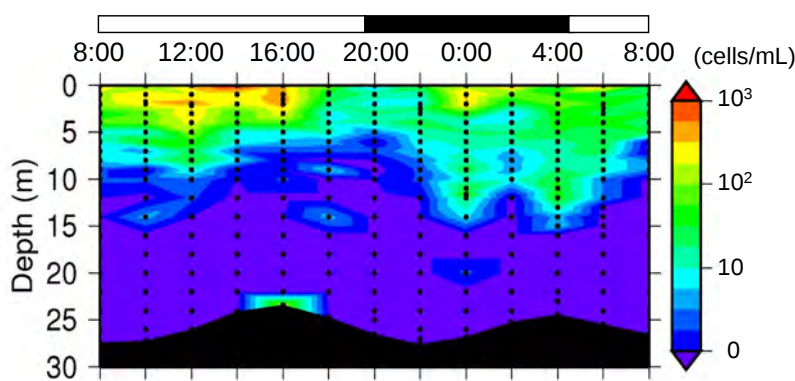
宇和島湾では日照時間が短いと
*K. mikimotoi*赤潮は大規模化する傾向



貧栄養と強光の条件が重なると
*K. mikimotoi*は死滅



強光が当たる表層に置かれると
*K. mikimotoi*は増殖不良，死滅促進



赤潮衰退直前，*K. mikimotoi*は
鉛直移動停止，表層集積

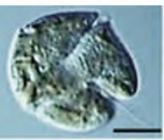
主要な成果

本研究により，光および栄養塩環境はカレニア赤潮の発達および衰退に深く関与していること，日周鉛直移動の不調は衰退の重要なトリガーとなることが明らかとなりました。そのため，光，栄養塩濃度，カレニアの鉛直分布パターンは本種赤潮の盛衰を予測するための重要な指標となると考えられます。

2) ④ア. カレニア等有害赤潮鞭毛藻による斃死原因の特定とアッセイ系の構築

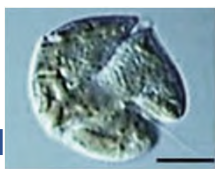
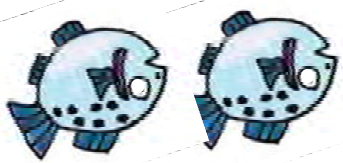
担当機関：水産機構・瀬戸内海区水産研究所，高知大学

有害 *Karenia*（カレニア）属等鞭毛藻による赤潮の頻発により，養殖魚類斃死などの深刻な被害が発生しています。このような漁業被害を未然防止・軽減するためには，カレニア属等による魚類への毒性を評価するとともに，その斃死機構を解明する必要があります。しかしながら，有害赤潮による魚類の斃死現象を室内で安定的に再現することは，これまできわめて困難でした。そのため，有害赤潮の魚類への毒性評価法は未だ確立されていません。本課題では，天然赤潮に依存しないカレニア属等鞭毛藻の培養細胞を用いた，安定かつ再現性の高い魚類斃死試験法ならびに魚毒性評価法の確立を目標としました。



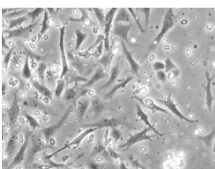
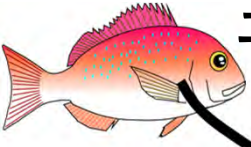
**カレニア属培養（殺魚能有）
10L規模の大量培養 簡易化に成功！**

暴露実験



①

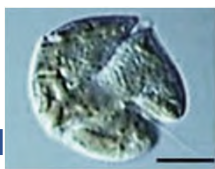
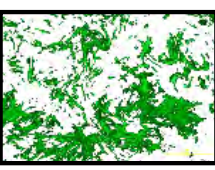
**再現性の高い
魚類斃死実験系
構築に成功**



エラ細胞培養

**マダイ，マグロ类等
赤潮による影響は？**

vs.赤潮



②

**赤潮のエラ細胞への影響
画像解析で定量化に成功！**

①②→魚類斃死の原因究明につながる成果

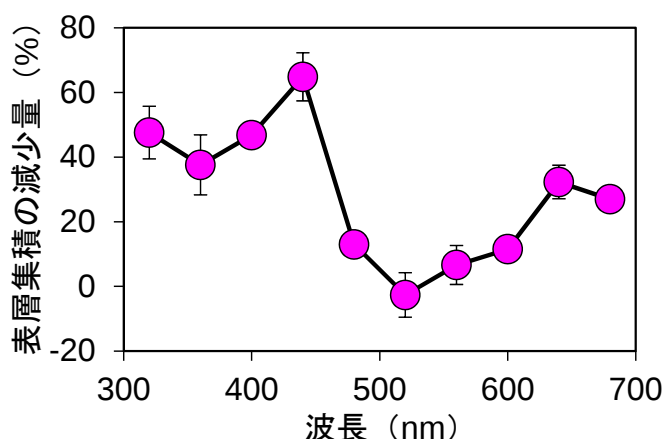
主要な成果

- 有害赤潮プランクトンの大量培養システムの構築
- 室内で魚を殺すカレニア属培養株の確立
- マダイ・ブリ・マグロ類・カレイ類のエラ細胞培養
- 赤潮のエラ細胞への影響（死滅・剥離）の定量化

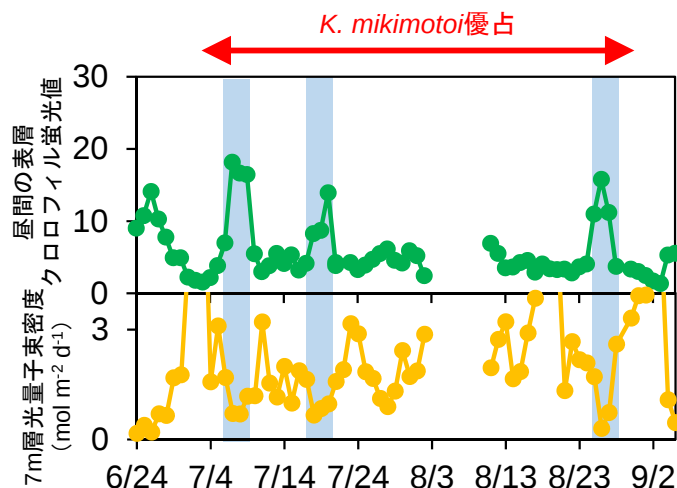
2) ④イ. 有害赤潮鞭毛藻類の遊泳特性を利用した新規赤潮防除技術の開発

担当機関：水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所，水産工学研究所，水産大学校，大分県農林水産研究指導センター

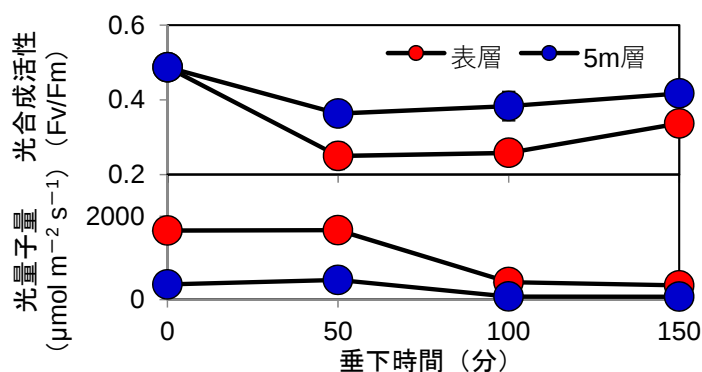
本課題では，有害赤潮鞭毛藻 *Chattonella*（シャットネラ）や *Karenia mikimotoi*（カレニア・ミキモトイ）等の遊泳特性を詳細に明らかにし，それらを利用した新しい赤潮防除技術を提案することを目的として，室内培養実験や現場実証試験などを実施しました。



紫外線や青色光を上方から照射すると *Chattonella* は逃避する



K. mikimotoi は普段昼間中層に分布するが，水中光量が低いと表層まで浮上する



強光が当たる表層に置かれると *K. mikimotoi* は光阻害を起こす



中層赤潮浮上装置を現場に設置して実証試験を実施

主要な成果

本研究により，①シャットネラは青色光から逃避するが，黄色～橙色光が混在すると逃避行動が消失するという性質，②実環境中において，カレニア・ミキモトイは強光下で光阻害を受けるため曇天時以外は中層までしか浮上しない性質を有することを発見しました。①を踏まえ，光学的手法によりシャットネラを表層に集積させない技術開発，また，②を利用して大型ポンプで強制的に中層にいるカレニアを表層に揚げる技術開発を推進しました。実用化のためには，今後，現場の厳しい物理環境に耐える設置方法や効果範囲を上げる方法などについて更なる検討が必要です。

2) ④ウ. ヘテロカプサ赤潮被害軽減に向けた底泥接種法現場適用の検討

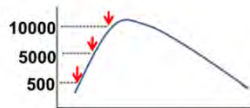
担当機関：水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所，三重県水産研究所

近年，*Heterocapsa circularisquama*（以下，ヘテロカプサ）発生海域にはそれらを特異的に死滅させるウイルス（HcRNAV）が存在し，赤潮終息時期の海底泥表層に高密度に存在することが確認されています。予備試験的に行ったボトル内での天然ヘテロカプサ赤潮海水への底泥接種試験において，底泥接種によるヘテロカプサ細胞数の減少とウイルス力価の上昇が見られたため，本手法の現場適用の可能性が見出されました。本課題では，赤潮が発生した海域からウイルスを含む底泥を採取し，それを同じ海域で翌年以降の赤潮発生時に散布するという，土着の生物を利用した赤潮防除法について，効果や安全性などを検証し，本手法の現場適用を目指しました。

各種検討試験

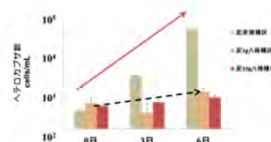
* 底泥接種タイミング

- 底泥接種区にて，ヘテロカプサの増殖は抑えられた。
⇒ 低密度のときに接種するのがより効果的



* 底泥接種量の検討・低密度期への接種

- 底泥の量が少なくても，ヘテロカプサの増殖は抑えられた。
⇒ 泥の量を減らすことができる



* リアルタイムPCRによる迅速・簡便なウイルス高感度定量法開発

- 効果：ウイルスの効果，必要な泥の量，タイミング等を推定できる
- 環境試料中のウイルス量の把握

簡便・迅速・正確に，海水や底泥中のHcRNAVを定量
タイプ別 ⇒ ほぼ定量可能であるが要再検討

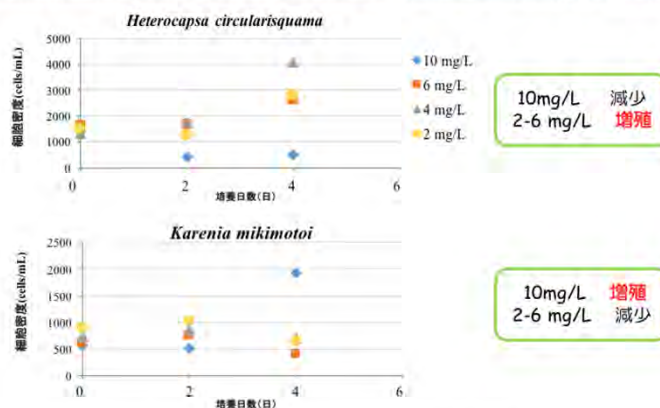


* 他の藻類への影響試験

- ⇒ 珪藻類，カレンシア，シャットネラ等に感染しなかった

溶存酸素のヘテロカプサ増殖速度への影響

溶存酸素量の違いによるヘテロカプサとカレンシアの増殖適正試験



ヘテロカプサは，溶存酸素量の少ないところで好条件
多いところでは増殖が抑制される傾向

現場実証試験

ヘテロカプサ赤潮に対する海底泥接種現場実証試験

2016 新潟県佐渡市加茂湖にて（半開放系）



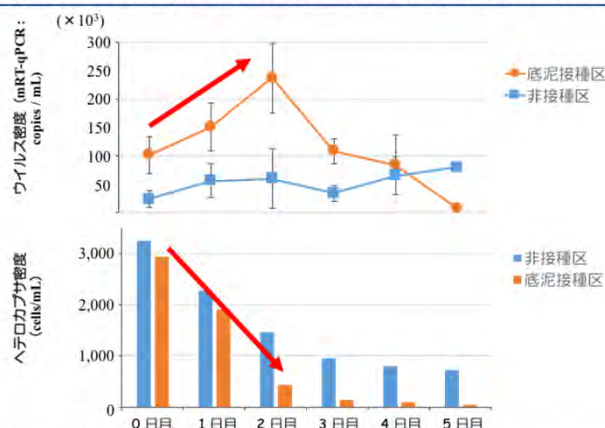
キャンバス水槽（3×3×2m）

ヘテロカプサ赤潮海水約15トン
細胞密度：約3000細胞/ml

別に準備した50L水槽に，赤潮海水50Lと泥
1.3kgを入れて一晩放置し，赤潮海水+泥を
キャンバス水槽の一つに入れた。

- ①向かって右側：対照区 泥添加なし
- ②向かって左側：試験区 赤潮海水+泥

結果：ヘテロカプサ赤潮に対する海底泥接種試験



❖ ヘテロカプサ細胞密度 試験区 1%，対照区 20-30% まで減少
⇒ 泥の接種が細胞密度の減少を促進，わずかな泥の量で効果あり。

主要な成果

ウイルスを高密度に含む海底泥を赤潮海水に投入するという技術を現場適用するために，ウイルスの接種量やタイミングを検討するなど種々の検討試験を行いました。それらデータをもとに，現場レベルでの実証試験を行い，泥の投入によって，ヘテロカプサ赤潮がより早く衰退することがわかりました。

2) ④エ. ヘテロカプサ等有害赤潮の分布拡大機構の解明と防止技術開発

担当機関：水産研究・教育機構中央水産研究所

ヘテロカプサは、1988年に浦の内湾において日本で初めて赤潮を形成した後、西日本のほとんどの海域で赤潮を形成し、二枚貝類養殖に大きな漁業被害をもたらしてきました。貝類種苗の海域間における売買移植に伴う有害種の輸送により、分布拡大が生じたことが指摘されていますが、まだ、十分に要因が解明されたとはいえません。

本課題では、個体レベルが識別可能な遺伝子マーカーを用いて分布拡大が生じた原因の解明、また、種苗売買のため貝類種苗を購入し、消化管内のヘテロカプサ等の有害赤潮種の検出および生存を確認することにより、種苗の売買・移植による海域間の移送実態を解明を目指しました。以上の結果から、有害赤潮種の海域間移送の有無とその原因を解明し、分布拡大のための防止対策を考案することを目的としました。

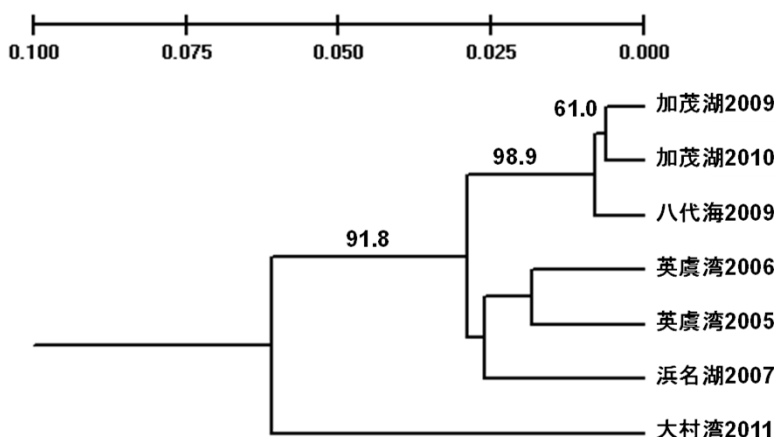


図1. ヘテロカプサの集団遺伝学解析の結果
UPGMAデンドログラム



図2. PCAgeneによる解析
加茂湖の集団は八代海から運ばれた可能性を示唆

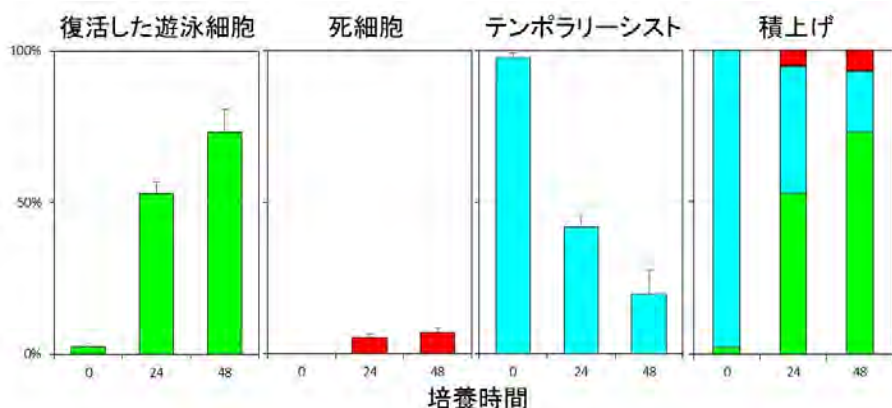


図3. マガキの浸漬海水からのヘテロカプサのテンポラリーリストの検出
(培養開始0, 24, 48時間後の結果を示す。アサリ浸漬海水を50 μ mのナイロンメッシュでろ過後の海水を10 μ mのメッシュで回収後、培養した。)

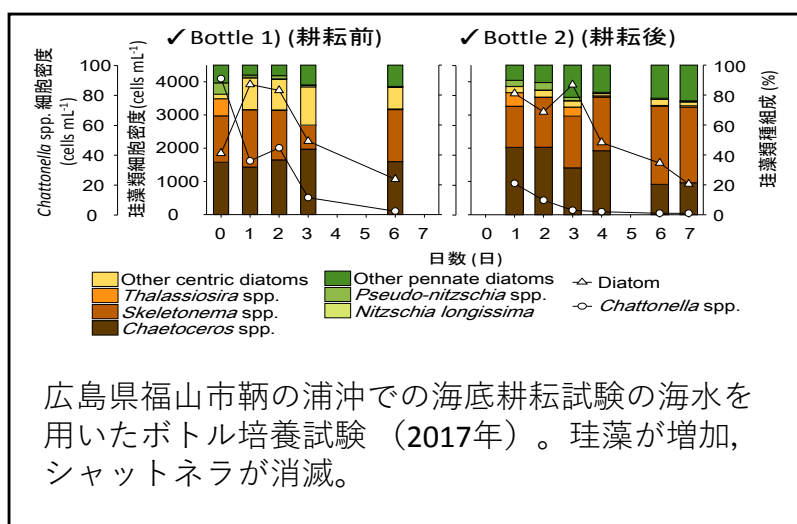
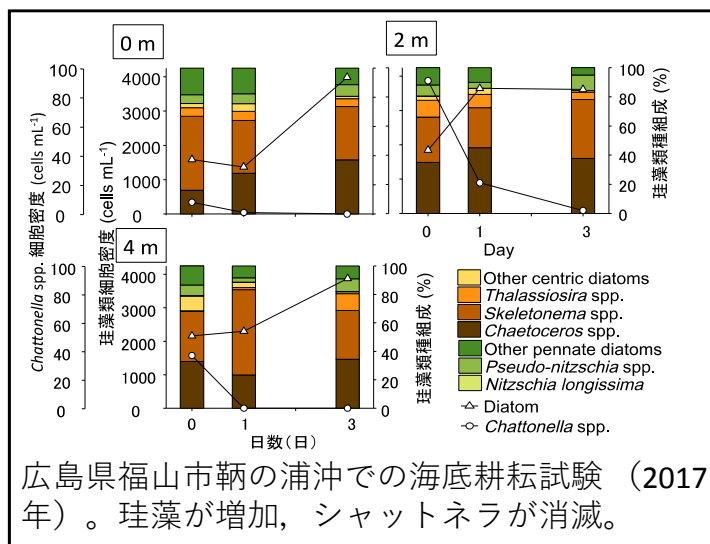
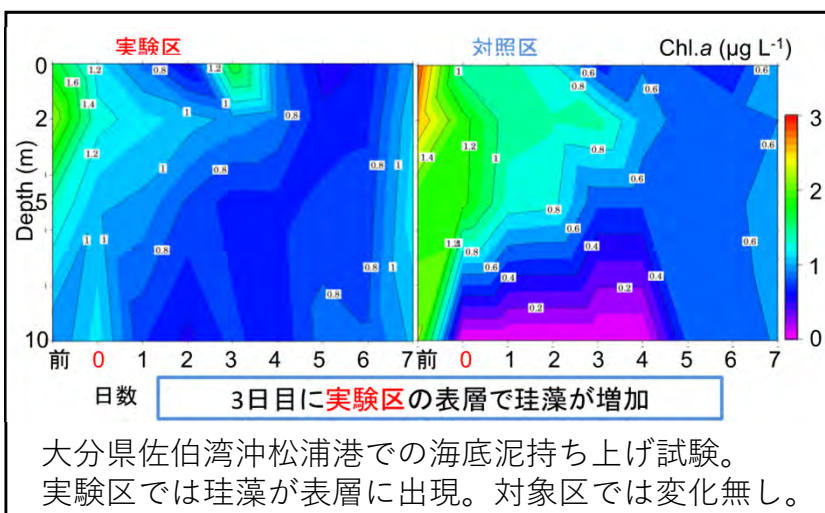
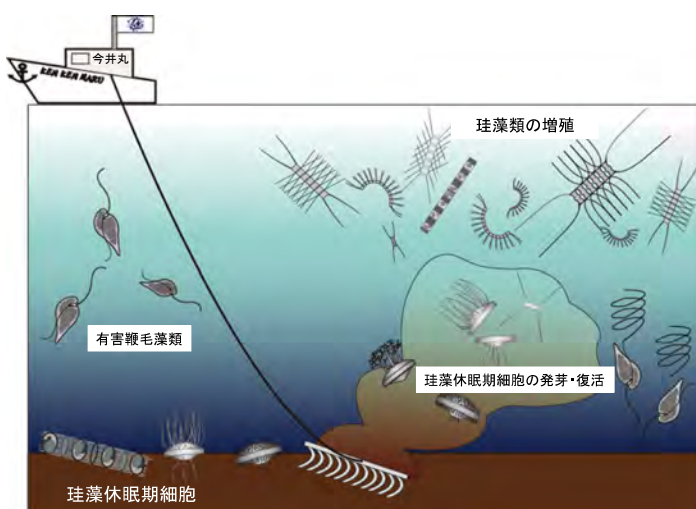
主要な成果

ヘテロカプサの集団遺伝学解析の結果、遺伝的な構造が存在し、人為的な要因によると推測される分布拡大現象を検出しました。また、アサリ、マガキおよびアコヤ貝の種苗が、ヘテロカプサ細胞を摂食し、これらが低い割合ではあるものの糞や偽糞の中で未消化・未分解のままテンポラリーリストとして生存すること、種苗の売買により他海域へ移送された際に、糞や偽糞として海水へ放出されることで栄養細胞として復活し、速やかに増殖することを見出しました。これらの結果は、本種がどのように分布を広げ、二枚貝の養殖業に大きな被害をもたらしてきたかを示しています。

2) ⑤現場珪藻類休眠期細胞の有効活用による有害赤潮防除対策

担当機関：北海道大学

わが国における有害赤潮は西日本の沿岸域を中心に多発し、養殖魚介類を大量に斃死させ、甚大な漁業被害を引き起こすことが大きな問題となっています。特にラフィド藻 *Chattonella* (シャットネラ) 属は代表的な有害赤潮生物です。赤潮による漁業被害を未然防止および軽減するためには、有効な防除技術の開発が必要です。有害鞭毛藻類による赤潮の発生する時には、水柱に珪藻類が少ないという事実が経験的に知られるようになってきています。本課題では、海底泥中の珪藻類休眠期細胞に着目し、それらの発芽・復活を通じて水柱の有光層に珪藻の個体群を増大させ、栄養塩の消費を通じてシャットネラや渦鞭毛藻カレンア (*Karenia mikimotoi*) 等の有害鞭毛藻類による赤潮を未然に予防あるいは制圧するための方策を検討しました。



主要な成果

わが国の沿岸域の海底泥中には、珪藻休眠期細胞が $10^4 - 10^6$ MPN g^{-1} (湿泥) もの高密度で存在しており、これらを活用して有害鞭毛藻の赤潮の発生を未然に防止する技術を開発しました。海底耕耘によって海底泥を有光層に持ち上げた結果、珪藻類が水柱で増加し、シャットネラは減少し消滅しました。海底耕耘後の海水試料をボトルに入れて培養試験を行った結果、珪藻が鞭毛藻を駆逐しました。海底耕耘は低コストで環境に優しい生態学的な研究成果に基づく赤潮の制御対策技術であり、これからの積極的な現場での活用が望まれます。

3) ①ア. 瀬戸内海東部におけるノリ色落ち原因珪藻の出現諸特性の解明と発生予察

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，水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所

近年，瀬戸内海東部海域では，ノリの色落ち原因となる珪藻が発生し，ノリ養殖業に大きな被害が生じています。そこで，瀬戸内海東部の関係機関で連携し，ノリ色落ち原因珪藻の発生監視調査を実施しました。また，過去の赤潮発生状況に関するデータを解析することにより，珪藻（ユーカンピア・ゾディアクス）の出現特性と環境要因との関係を明らかにしました。

広域的な漁場調査の実施

ノリ養殖時期に併せ，11月～翌年2月に赤潮監視調査を実施しました。調査結果は，各機関のホームページやファクシミリ等を通じて速やかに漁業者に提供され，また関係機関で共有し，適切な養殖管理に不可欠な資料として活用されています。

また，得られたデータをノリの色落ち原因珪藻の出現特性解析に活用しました。

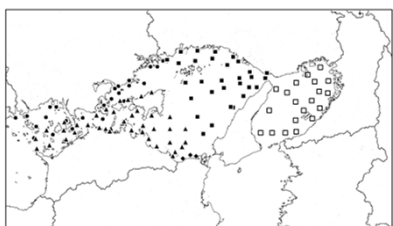


図1. 瀬戸内海東部を網羅する計127点の調査定点で広域的な共同調査を実施し，効率的かつ効果的に赤潮を監視しました。

珪藻赤潮の発生状況解析

瀬戸内海東部海域全体で2005年以降の漁場調査結果を解析し，海域ごとにユーカンピア・ゾディアクスの発生パターンを明らかにしました。地場で増殖することで赤潮となる「地場発生」と，他海域から輸送されることで赤潮となる「流入発生」があることがわかりました。

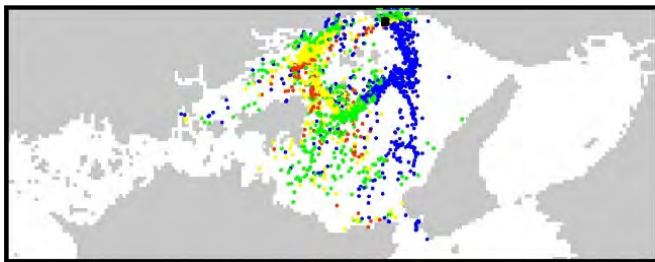
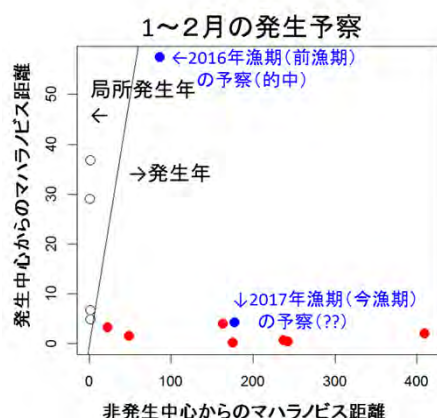


図2. 流動モデルによる粒子追跡計算の結果例（播磨灘での広域拡散）。赤潮の規模や発生海域が気象海象要因の影響を受けることを明らかにしました。

珪藻赤潮発生予察技術の開発



ユーカンピア赤潮と漁場環境要因（栄養塩濃度や光条件等）との関係を解析することにより，府県海域ごとに赤潮発生のシナリオを構築し，赤潮発生予察技術を開発しました。

今後も現場モニタリングを通じて環境データを蓄積することで，技術の高度化を図っていきます。

図3. 兵庫県海域における1～2月のユーカンピア赤潮発生予察。11月のN/P比および1月の $\text{PO}_4\text{-P}$ のデータを使用しました。2016，17年の発生予察を行ったところ，どちらも的中しました。

主要な成果

- ・ 関係機関との連携により，広域的な珪藻赤潮の監視を効率的に実施する体制を確立するとともに，調査結果を迅速に漁業現場に提供する仕組みを構築しました。
- ・ 過去の赤潮監視調査結果を総合的に解析し，珪藻赤潮の発生パターンを明らかにしました。
- ・ 多変量解析によって，海域ごとの珪藻赤潮の発生予察モデルを構築しました。

3) ②ア. ノリ色落ち原因珪藻の物理・化学的要因に対する増殖特性、生活史応答の把握

担当機関：水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所，佐賀県有明水産振興センター

近年，我が国有数のノリ生産海域である有明海では，冬季に珪藻類のアステロプラヌスの赤潮によるノリの色落ち被害が頻発しています。しかし，本種については生物学的な知見が非常に乏しく，赤潮発生メカニズムが不明でした。そこで本課題では，アステロプラヌスの赤潮発生メカニズムを解明するために，室内試験により水温や塩分等に対する増殖特性や休眠細胞の復活（タネの発芽）特性，さらに沈降速度（沈む速さ）を調べました。また，アステロプラヌスの細胞の連鎖数を指標とした赤潮の短期動態予察法を検討しました。

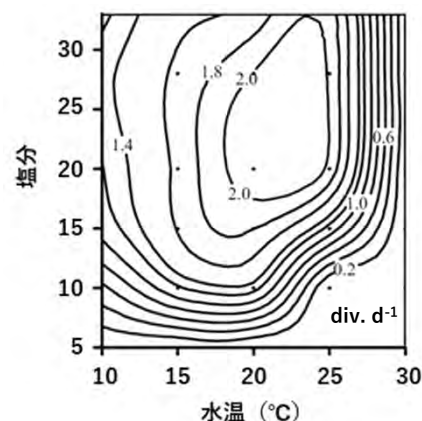


図1. 水温・塩分に対する増殖応答
(Shikata et al.(2015)*を改変)

*Shikata et al. (2015) Fish. Sci., 81, 1063-1069.

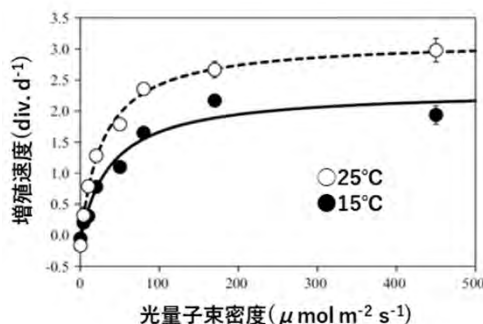


図2. 光に対する増殖応答
(Shikata et al.(2015)*を改変)

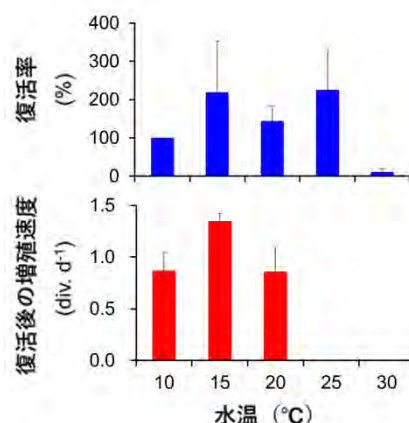


図3. 水温が休眠細胞の復活とその後の増殖に与える影響

アステロプラヌスは10°Cの低水温でも増殖できる一方，30°Cでは増殖できないことが分かりました（図1）。また，非常に弱い光を利用できることが分かりました（図2）。

休眠細胞の復活とその後の増殖に至適な水温は15°Cと低いことが分かりました。

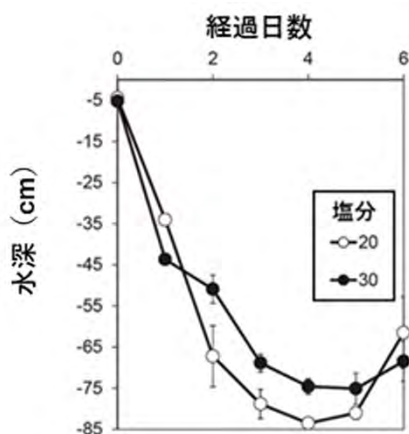


図4. 25°Cにおける沈降過程

アステロプラヌスは沈降速度が高く，沈みやすいことが分かりました。

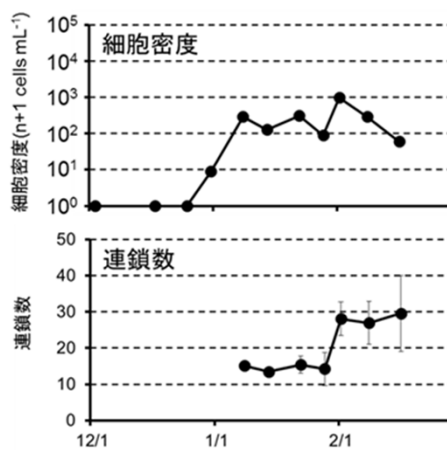


図5. 細胞密度と連鎖数との関係

アステロプラヌスの赤潮がピークを迎える時には，連鎖数が長くなる傾向が確認されました。

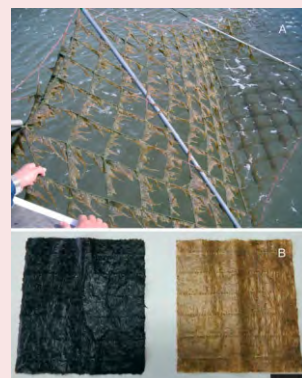
主要な成果

本研究により，「冬の弱い光をうまく利用できる」「休眠細胞の復活とその後の増殖が低水温で活発になる」「沈みやすいために冷却期（鉛直混合期）しか増殖できない」という特性を持つため，アステロプラヌスは冬季に赤潮を形成することが明らかになりました。また，連鎖数で赤潮のピークを判断できる可能性が示され，将来的に赤潮の衰退予察に応用されることが期待されます。

3) ②イ. ノリ色落ち原因珪藻類による栄養塩摂取特性の把握と現場栄養塩環境の予測技術開発

担当機関：高知大学，水産機構・瀬戸内海区水産研究所

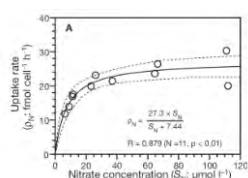
わが国のノリ養殖場では，冬季になると珪藻が大発生することにより，しばしば栄養塩の枯渇現象が引き起こされます。この現象によって生じる「ノリの色落ち」被害を未然に軽減するため，本課題では，赤潮原因珪藻類の消長および栄養塩摂取特性を解明し，栄養塩環境の予測技術基盤を開発することを目的としました。



①新奇赤潮珪藻種の消長・栄養塩摂取能を解明



カンザシ状の
新奇赤潮珪藻



強力な栄養塩
摂取能を備える！

*Asteroplanus karianus*の
消長・栄養塩摂取能を解明



ノリ色落ち現象を説明可能に！

②新奇赤潮発生・拡大時の栄養塩予測技術基盤を開発



科学的な解析に基づいて
栄養塩の変動を予測



早期収穫，栄養塩補給対策を合理的に！

①② ノリ養殖被害の軽減に直結する成果

主要な成果

- ・ 新奇珪藻の正体，消長，栄養塩摂取能を明らかに
- ・ より簡易かつ高速の栄養塩モニタリング関連技術を開発
- ・ 赤潮拡大時の栄養塩変動を予測可能な技術基盤を開発

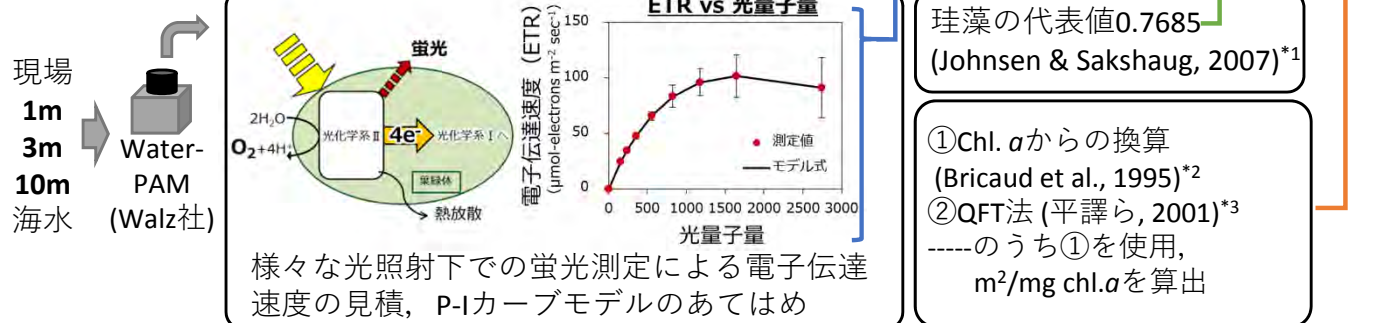
4) ① 海域の栄養塩環境が低次生産に及ぼす影響解明

担当機関：兵庫県立農林水産技術総合センター、大阪府立環境農林水産総合研究所、広島大学、北海道大学、水産研究・教育機構東北水産研究所、瀬戸内海区水産研究所

近年、瀬戸内海を中心に海域によっては貧栄養化による水産資源への影響が指摘され、赤潮被害軽減とともに海域の生産力向上を図るための研究・開発が求められています。栄養塩等の海域の水質環境および動・植物プランクトンに関する調査を行い、水質環境が海域の生産力に及ぼす影響を把握しました。また、今後想定される栄養塩管理の影響をより正確かつ簡易に評価するために、現場の基礎生産速度等を簡易測定するための技術開発を行いました。

パルス変調（PAM）蛍光法による基礎生産推定

1. 電子伝達速度($\mu\text{mol e}^-/\text{mg chl.}a/\text{秒}$)= 各光照射下相対電子伝達速度 × 光化学系II分配係数 × 吸収断面

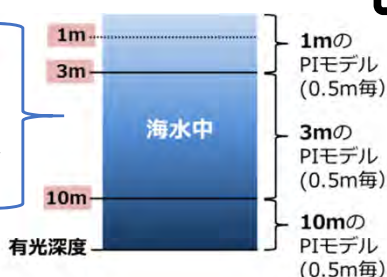


2. 電子伝達速度($\mu\text{mol e}^-/\text{mg chl.}a/\text{秒}$) × 0.117 (光<500 μmol) or 0.073 (光>500 μmol) × 1.3($\text{O}_2 \rightarrow \text{C}$)
 ↳ Goto et al. (2008)*⁴による $\text{O}_2/\text{e}^- \rightarrow \text{炭素同化速度}$

3. 光 vs 炭素同化速度の
現場水柱へのあてはめ

4. 水深別現場光のInput
該当月平均の海表面・毎時
PAR × 海面下透過率
(85%) × $e^{-k \cdot \text{depth}}$

※(k) 現場で実測した水柱減衰係数



更に解決すべき問題点

- ① PAM蛍光装置のStandardization
- ② 試料生理状態のpre-adjustment
- ③ 吸収断面の簡易測定法の開発
- ④ サンプルインターバル (水深)
- ⑤ ¹³C法との摺り合わせ

*¹ Johnsen & Sakshaug (2007) J Phycol 43, 1236–1251.

*² Bricaud et al. (1995) J Geophys Res, 100, 13321–13332.

*³ 平譯ら (2001) 海の研究, 10, 471–484.

*⁴ Goto et al. (2008) Fundam Appl Limnol, 172, 121–134.

PAM蛍光法による基礎生産速度の海域間比較

PAM蛍光法による基礎生産速度の簡易測定により各海域の基礎生産速度を比較することができた。基礎生産速度 (ETR based Primary Production) は、広島湾 (北部) で高く、播磨灘 (中央部) と大阪湾 (中央部) で低かった。大阪湾 (湾奥) と播磨灘 (北部) では変動が激しく、特に大阪湾 (湾奥) では非常に高い生産速度が見られることがあった。

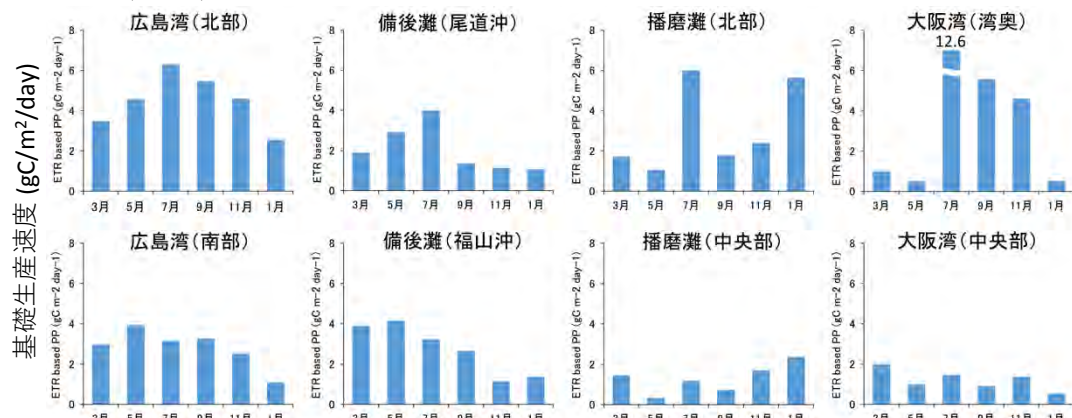


図 PAM法で測定した各海域の基礎生産速度 (gC/m²/day)

基礎生産測定方法の比較と検討 (PAM,明暗瓶,同位体)

播磨灘、大阪湾の各2定点で異なる3手法により基礎生産速度を算出した。PAMと明暗瓶法間では有意な正の傾きが得られたが、海域により対応状況は異なった。基礎生産速度を目的変数とする重回帰分析を行った結果、クロロフィルa濃度と日射量の寄与率が大きいことが分かった。

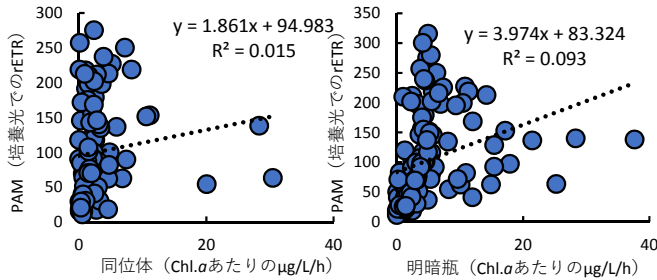


図 播磨灘,大阪湾において異なる3手法で算出された基礎生産速度の関係

クロロフィルa濃度の 長期変動 (播磨灘)

30年間 (1987-2016年) の植物プランクトンの現存量 (クロロフィルa濃度) の時空間変化を解析したところ、栄養塩濃度の減少傾向との明確な同調性は検出されなかった。一方で、冬季濃度の上昇や、光条件 (透明度・日射量) の向上による分布重心の深化傾向が確認された。生態系構造や低次生物生産の変化が生じている可能性が考えられた。

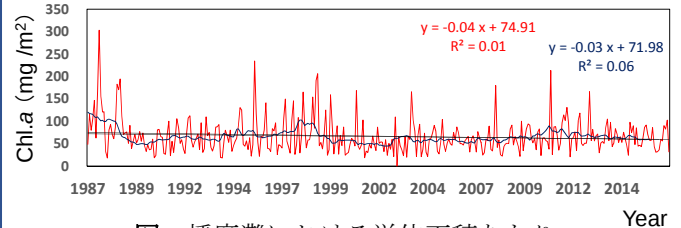


図 播磨灘における単位面積あたりクロロフィルa量の経年変化 (1987-2016)

¹³Cによる基礎生産測定

¹³C擬似現場法を用いて、大阪湾と播磨灘において植物プランクトンによる基礎生産速度と生産量を調べた。近年 (2013年9月~2017年7月) の基礎生産量は、1979-80年や1990年代の値と比較して、有意に低下してはいなかった。

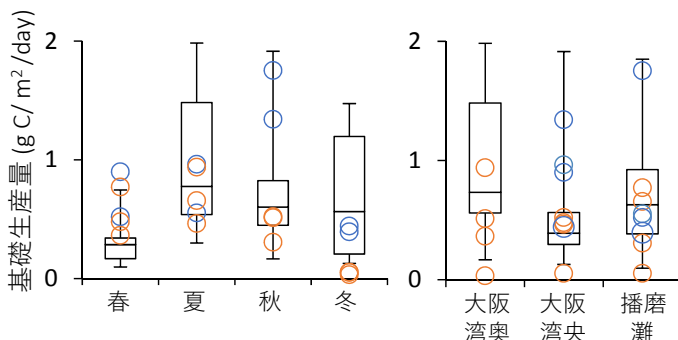
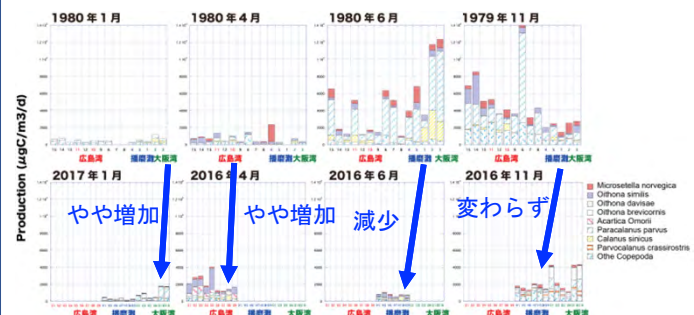


図 基礎生産量の調査間比較. 箱ひげ図:2013年9月-2017年7月, ○: Uye *et al.* (1986)*¹, ○: Tada *et al.* (1998)*².

*¹ Uye *et al.* (1986) J Oceanogr, 42, 421-434.

*² Tada *et al.* (1998) J Oceanogr, 54, 285-295.

動物プランクトン 生産速度の長期変動



Uye *et al.* (1986)による1979-80年の生産速度と現在の値を比較した。同じ月、同じ海域で比較すると、1月大阪湾、4月広島湾では増加、6月の播磨灘は減少、11月の播磨灘では同等であった。富栄養に多いとされる、*A. omorii*の減少や、貧栄養で増えるとされる*M. norvegica*の増加は見られなかった。

主要な成果

- ・パルス変調 (PAM) 蛍光法により海域の基礎生産速度を簡易に推定する技術を開発しました。
- ・基礎生産速度に及ぼす環境要因を明らかにすると共に、海域間の比較を行いました。
- ・植物プランクトン、動物プランクトンの現存量と生産速度は、1980年代と現在との間で有意な差は認められませんでした。ただし、一次生産生物の種組成や群集組成、あるいは生産構造は変化している可能性があります。

4) ②ア. 海域の栄養塩環境が二枚貝生産に及ぼす影響調査

担当機関：和歌山県水産試験場，水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所

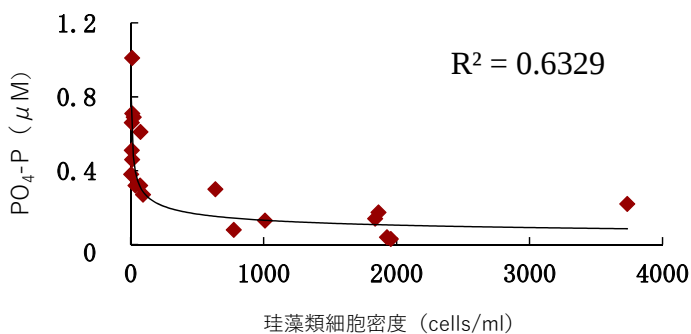
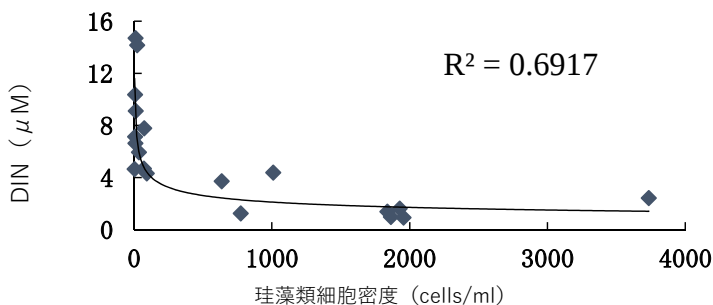
近年，瀬戸内海のアサリやハマグリ等の二枚貝の生産量は激減していますが，和歌山県の干潟域でも同様に減少しています。アサリ等二枚貝の生産性低下の原因のひとつとして，海域の栄養塩の低下や冬季水温の上昇などの環境変化が関係していると考えられていますが，実海域において調査・研究した事例は少なく詳細は明らかになっていません。

そこで本課題では，海域の栄養塩動態等を把握するための環境調査を実施するとともに，アサリ等二枚貝の生産量を把握するための飼育実験を実施し，栄養塩環境がアサリ等二枚貝の生産に及ぼす影響を検討しました。

< 海域の栄養塩環境と二枚貝生産の関係 >

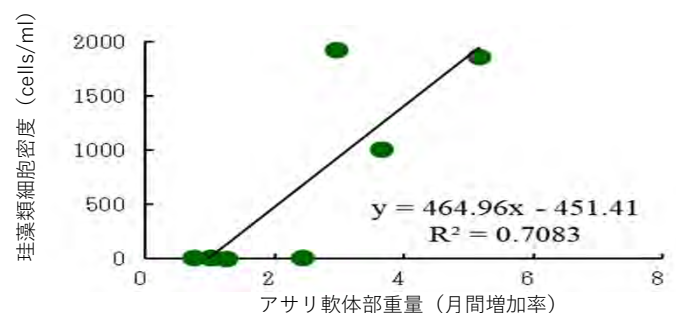
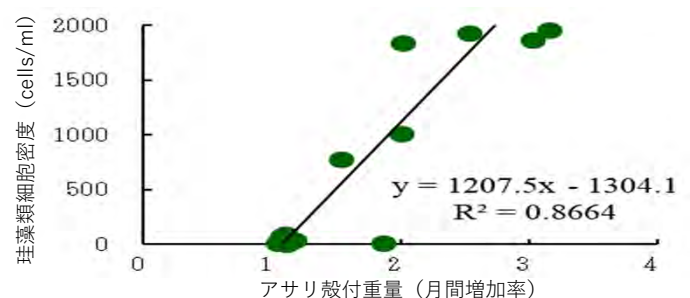


栄養塩濃度と珪藻類細胞密度の関係



栄養塩濃度の変動が珪藻類等の植物プランクトンの増殖に影響（相関： $p < 0.01$ ）⇒珪藻類は栄養塩類を使って増えますが，この図からこの海域では珪藻類が増えると窒素やリンが不足してしまうことが判ります。

珪藻類細胞密度と二枚貝生産量の関係



珪藻類の現存量の変動がアサリの軟体部重量等の成長に影響（相関： $p < 0.01$ ）⇒珪藻類は二枚貝の重要な餌ですが，栄養塩が豊富であればたくさん増殖します。従って栄養塩が増えれば珪藻が増えてアサリ等二枚貝も増えます。

主要な成果

瀬戸内海沿岸海域の栄養塩環境と二枚貝生産の関係について調べた結果，海域の栄養塩が不足しており，それによって二枚貝の主な餌料と考えられる珪藻類の増殖が制限されていることが判りました。従って，二枚貝の生産性を改善するためには栄養塩類が重要ということが示唆されました。

4) ②イ. 下水処理管理運転が二枚貝生産に及ぼす影響調査

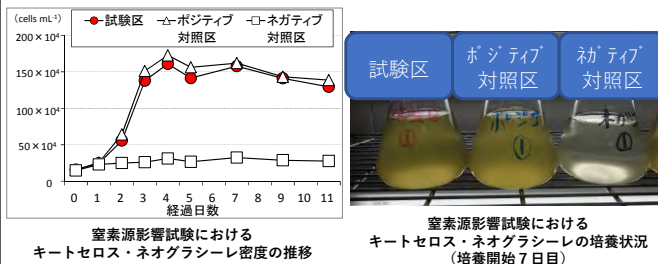
担当機関：大分県農林水産研究指導センター，水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所

近年、瀬戸内海では、貧栄養化による水産資源への影響が指摘されています。その中でもアサリ資源の減少は、栄養塩濃度の低下が動・植物プランクトンや二枚貝等の低次生産生物の生産力に影響を与えた結果である可能性が高いと言われています。海域の生産力を向上させるためには、適正な栄養塩濃度を保持して低次生産生物の基礎生産力を上げる必要があります。そのため、人為的に栄養塩を管理した場合の低次生産生物に対する影響を把握して、今後、適正管理を行うための手法を開発する必要があります。

そこで本課題では、下水処理管理運転が低次生産生物へ及ぼす影響について明らかにするために、管理運転を行った際の栄養塩が植物プランクトンやアサリに及ぼす影響について室内実験により確認しました。また、中津市終末処理場から排出される処理水の海域での動態について、数値シミュレーション等を行い、管理運転の低次生産生物への影響評価を行いました。

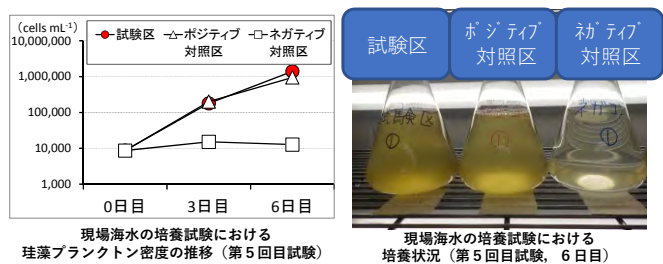
下水処理水中の栄養塩がアサリ等の餌料植物プランクトンの増殖に及ぼす影響試験

室内試験の結果、アサリ等の餌料植物プランクトン（キートセロス・ネオグラシーレ）が、下水処理水を加えた試験区でポジティブ対照区と遜色なく増殖することが確認されました。



下水処理水中の栄養塩が現場海水中の植物プランクトンの増殖に及ぼす影響試験

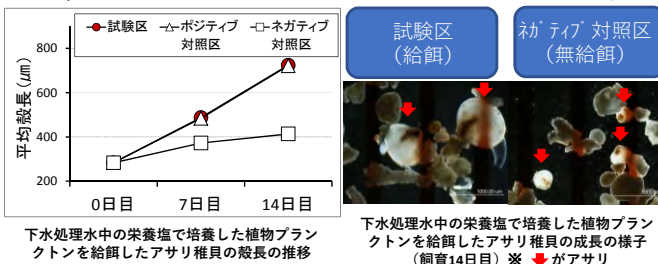
室内試験の結果、現場海水中の植物プランクトン（珪藻類等）が、下水処理水を加えた試験区でポジティブ対照区と遜色なく増殖することが確認されました。



植物プランクトンの培養試験におけるポジティブ対照区は、試験区と同じ濃度になる様に栄養塩（N，P）を添加しています。一方、ネガティブ対照区には、栄養塩（N，P）を添加していません。

下水処理水中の栄養塩で培養した植物プランクトンを用いたアサリ稚貝の飼育試験

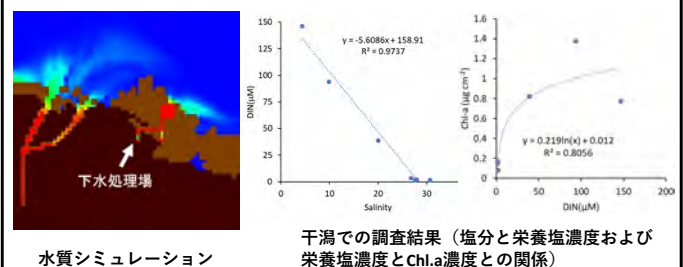
室内試験の結果、下水処理水の栄養塩類で培養した植物プランクトン（キートセロス・ネオグラシーレ）を餌として与えると、アサリ着底稚貝が成長することが確認されました。



対照区は、通常の肥料（栄養塩）で培養した植物プランクトンを給餌。ネガティブ対照区は、植物プランクトンを給餌していない。

下水処理水の海域への影響評価

海域の栄養塩濃度は処理水の影響を受けていました。干潟域では処理水が栄養塩の主な供給源であり、二枚貝の餌料生物生産に重要な役割を果たしていることが示唆されました。



主要な成果

- 植物プランクトンの室内培養試験では、アサリ等の餌料プランクトンであるキートセロス・ネオグラシーレや現場海水中の珪藻類等が下水処理水中の栄養塩を利用して増殖可能なことが確認されました。
- アサリ着底稚貝は、下水処理水中の栄養塩で増殖した植物プランクトン（キートセロス・ネオグラシーレ）を餌として成長可能なことが確認されました。
- 処理場近傍の干潟域では処理水が栄養塩の主な供給源であり、付着ケイ藻など二枚貝の餌料生物生産に重要な役割を果たしていることが示唆されました。

5) 事業検討会および有害プランクトン同定研修会の開催

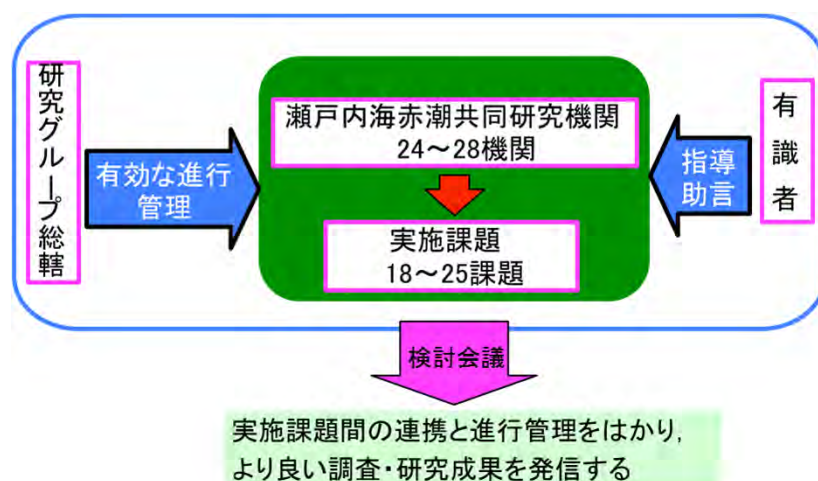
担当機関：水産研究・教育機構瀬戸内海区水産研究所，中央水産研究所

本事業の課題は複数の研究機関からなる共同研究機関が担当し，実施課題数も複数あることから実施課題間の連携と課題進行の管理をはかる必要があります。そこで，より良い調査・研究の成果を発信するため，3名の有識者を検討委員とした事業計画および結果検討会を開催し，種々の検討・議論を行いました。また，正確なプランクトンの種同定技術は有害プランクトンモニタリングの基盤であることから，道府県のモニタリング担当者等を対象に有害プランクトン同定研修会を開催し，モニタリング技術の高度化，均質化を目指しました。

事業検討会

- ・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



有害プランクトン同定研修会開催

- ・年1回，5日間の研修会を開催
- ・道府県有害赤潮モニタリング担当者等を対象に講義・実習
- ・分子同定法やシスト観察法など新たな技術の普及



有害プランクトン同定研修会風景

主要な成果

毎年，計画検討会議及び結果検討会議の開催を通じ，本事業の各課題間の連携を図りながら調査研究が実施されました。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。また，開発された技術の一部は現場モニタリングなどに活用されています。

有害プランクトン研修会には延べ59名の道府県の担当者等が研修会に参加し，有害プランクトンの形態分類やLAMP法による分子同定法，シスト観察法などの講義・実習を受講し，モニタリング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。

まとめ：有害赤潮による漁業被害の軽減と海域の生産力向上に向けて

- 瀬戸内海およびその周辺海域において有害赤潮のモニタリング体制を構築し、関係機関が連携して広域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データを基に赤潮発生年の環境条件等の特徴を明らかにし、発生予察のための技術開発を行いました。魚類養殖現場などでの早期警戒と迅速な対策実施に繋げることで漁業被害軽減が期待されます。
- 有害プランクトンの高感度簡易検出や光合成活性の現場計測による増殖活性の把握などモニタリング手法の高度化を進めました。現場モニタリングの効率化・高精度化が期待できます。
- 有害プランクトンの増殖特性と環境条件との関係、分布拡大要因等、赤潮の発生や短期動態の予測・解明に繋がる多くの科学的知見を取得しました。
- 培養した魚の鰓細胞を用いた魚毒性試験系を開発し、鰓細胞への有害プランクトンの影響の定量化を実現しました。これまで困難だった魚類斃死原因特定や魚毒性評価に繋がる技術開発です。
- 有害プランクトンの遊泳特性、有害プランクトンの増殖に影響を与える微生物や珪藻休眠期細胞を利用した赤潮防除法の開発・実験を行いました。今後、現場実証を重ねることで実用化が期待されます。
- ノリ色落ち原因珪藻の発生パターンや増殖特性、栄養塩摂取能の把握を行うとともに、珪藻赤潮や現場栄養塩濃度の予察技術開発を進めました。ノリ養殖現場において適切な時期での対策実施等への活用が期待されます。
- 道府県担当者等を対象に有害プランクトン同定研修会を開催し、形態分類や分子同定法などの技術を普及することで、モニタリング技術の向上と均質化を図りました。より精度の高い有害赤潮モニタリングの実施に繋がっています。
- 栄養塩等の水質環境が動植物プランクトンや二枚貝に与える影響を調べるとともに、現場の基礎生産速度を簡易に測定する手法を開発しました。海域の生産力把握のために、今後も同様の取り組みを継続していく必要があります。

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

瀬戸内海区水産研究所

〒739-0452 広島県廿日市市丸石2-17-5

TEL 0829-55-0666