

令和6年度豊かな漁場環境推進事業のうち

海域特性に応じた赤潮・貧酸素水塊、栄養塩類対策推進事業

(1) 赤潮等による漁業被害への対策技術の
開発・実証・高度化
報告書

令和7年3月

目次

1. 研究開発の概要

(1) 目的.....	1
(2) 研究開発課題と実施体制.....	1
(3) 研究開発の内容.....	3

2. 研究開発結果

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並びに赤潮の発生段階に応じた一連の対策（行動計画）の検討・策定	
ア. 瀬戸内海東部海域.....	7
イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域.....	54
ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域.....	106
エ. 日本海西部海域.....	136
オ. 九州北部海域.....	153
カ. 有明海・八代海海域	
① 有明海海域.....	168
② 八代海海域.....	200
2) 赤潮の被害軽減手法の開発	
ア. 魚毒性診断技術の開発.....	243
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.....	266
② 生簀の魚の救命・延命技術の高度化技術開発と実証.....	274
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. 有害赤潮プランクトンの画像情報に基づくモニタリング技術の開発.....	294
イ. 赤潮等関連情報の提供及び利活用の促進.....	301
ウ. モニタリング技術の普及.....	316

1. 研究開発の概要

(1) 目的

かつて瀬戸内海では富栄養化による赤潮の頻発と漁業被害が社会的な問題となった。近年、富栄養化は改善され、年間の赤潮発生件数もかつての 1/3 程度まで減少してきている。しかしながら、富栄養海域での代表的な赤潮原因種であったシャットネラから低栄養環境でも発生するカレニアへと主役が交代しつつ、漁業被害を伴う赤潮の発生は続いている。その状況は瀬戸内海だけでなく、九州海域およびその周辺海域でも同様で、養殖・天然魚介類に甚大な被害が頻発している。特に、平成 24 年に瀬戸内海西部・豊後水道海域で広域発生したカレニア赤潮によって、マダイ、ハマチ、カンパチ等の養殖魚やアワビ・サザエ等の天然磯根資源で約 13 億円、平成 29 年に伊万里湾で発生したカレニア赤潮によって養殖トラフグを中心に約 6 億円、令和 4 年には八代海でカレニア赤潮により 19 億円もの漁業被害が報告されており、赤潮の発生は各地域の水産業の脅威となっている。シャットネラ赤潮も消滅したわけではなく、養殖が盛んな入り組んだ湾で毎年のように高密度に発生している海域があり、シャットネラ赤潮の脅威の種は残っている。また、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って養殖ノリの色落ちが発生し、商品価値低下による経済的損失も問題となっている。これらの有害赤潮は、我が国の水産業、とりわけ養殖漁業の振興と今後の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および軽減技術の開発が強く求められている。さらに、有明海や橘湾などでは貧酸素水塊の発生も漁業被害の大きな要因となっている。その被害軽減には発生の早期把握と予察技術開発・高度化が求められている。そこで、本課題では、瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域等を主要なフィールドとして、広域共同モニタリングによる監視体制強化、モニタリング技術や予察技術、防除技術等の研究開発を行うことにより、有害赤潮および貧酸素水塊発生による漁業被害の軽減、および健全な海洋生態系の保全に資することを目的とした。

(2) 研究開発課題と実施体制

本課題は、国立研究開発法人水産研究・教育機構（水産機構水産技術研究所、水産資源研究所、水産大学校）、国立大学法人大阪大学、国立大学法人愛媛大学、国立大学法人埼玉大学、国立大学法人九州大学、国立大学法人高知大学、国立大学法人熊本大学、公立大学法人福井県立大学、公立大学法人熊本県立大学、学校法人北里研究所、徳島県、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、地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所、福岡県、山口県、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、広島県立総合技術研究所、高知県、三重県、愛知県、鳥取県、島根県、佐賀県、長崎県総合水産試験場、熊本県、鹿児島県水産技術開発センター、熊本県天草市水産研究センター、東町漁業協同組合、熊本県海水養殖漁業協同組合、海洋エンジニアリング株式会社、林兼産業株式会社、いであ株式会社、株式会社アイコックの計 36 機関で実施した。

表 1 に研究開発の実施体制を示す。

表1. 研究開発の実施体制

研究総統括・課題進行管理：水産研究・教育機構（代表機関）	
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並びに赤潮の発生段階に応じた一連の対策（行動計画）の検討・策定	
ア. 瀬戸内海東部海域	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 香川県赤潮研究所 大阪府立環境農林水産総合研究所 大阪大学 水産研究・教育機構
イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域	水産研究・教育機構 愛媛大学 福岡県水産海洋技術センター 山口県水産研究センター 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 広島県立総合技術研究所 高知県水産試験場
ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域	水産研究・教育機構 三重県水産研究所 愛知県水産試験場
エ. 日本海西部海域	水産研究・教育機構 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 島根県水産技術センター 山口県水産研究センター
オ. 九州北部海域	水産研究・教育機構 九州大学 長崎県総合水産試験場 佐賀県玄海水産振興センター
カ. 有明海・八代海海域	
①有明海海域	水産研究・教育機構 福岡県水産海洋技術センター 佐賀県有明水産振興センター 熊本県水産研究センター 長崎県総合水産試験場
②八代海海域	水産研究・教育機構 熊本県立大学 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 熊本県海水養殖漁業協同組合 熊本県天草市水産研究センター 東町漁業協同組合
2) 赤潮の被害軽減手法の開発	
ア. 魚毒性診断技術の開発	水産研究・教育機構 埼玉大学 北里大学 大分県農林水産研究指導センター 鹿児島県水産技術開発センター
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	水産研究・教育機構 福井県立大学 三重県水産研究所 愛知県水産試験場
②生簀の魚の救命・延命技術の高度化技術開発と実証	水産研究・教育機構 大分県農林水産研究指導センター 熊本県水産研究センター 海洋エンジニアリング 林兼産業
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. 有害赤潮プランクトンの画像情報に基づくモニタリング技術の開発	水産研究・教育機構 高知大学 熊本大学 高知県水産試験場
イ. 赤潮等関連情報の提供及び利活用の促進	水産研究・教育機構 アイコック いであ
ウ. モニタリング技術の普及	水産研究・教育機構

(3) 研究開発の内容

瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域において、広域共同モニタリングにより有害赤潮等に対する監視体制を強化するとともに、有害赤潮等の発生シナリオの構築や発生予察技術の開発・改良を進めた。また、モニタリングによる監視・情報発信を漁業被害軽減につなぐため、海域特性を考慮した、漁業被害軽減対策のための効果的な行動計画について現状を把握し、改善点について検討・検証した。モニタリング技術については魚毒性等を指標にした手法など新たな技術開発を進めることによりモニタリングの効率化、および生簀の魚介類を守るための赤潮防除技術や漁業被害軽減技術の開発と現場実証を行った。赤潮等関連情報については、細胞形態等画像情報から自動的に種同定や細胞生理状態の推定を簡易判定するための技術開発を検討するとともに、赤潮ネット等を用いた迅速な情報提供やデータ利活用のさらなる促進のための体制を整えた。さらに、モニタリング担当者への有害プランクトン同定研修会等を開催して正確なプランクトン種同定や新たに開発されたモニタリング技術の普及にも取り組んだ。

本事業は、以下に示す研究課題構成で実施した。

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並びに赤潮の発生段階に応じた一連の対策（行動計画）の検討・策定

瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域において、各機関が連携して広範な調査を実施し、有害鞭毛藻やノリ色落ち原因珪藻などの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。また、赤潮発生シナリオの改善・検証ならびに有害赤潮発生予察技術開発・改良を進める。さらに、モニタリング等で得られた情報を漁業被害軽減対策へ効果的に連携させるため、赤潮の発生段階や海域特性に応じた被害軽減のための行動計画について検討する。海域毎の調査研究内容は以下の通りとする。

ア. 瀬戸内海東部海域

大阪湾、播磨灘および備讃瀬戸を主海域とする瀬戸内海東部海域を対象として、夏季（6～8月）に24点程度の観測定点において7回以上、冬季（10～2月）に40点程度の観測定点において4回以上の調査を行い、水温・塩分等の海況、プランクトン細胞数、クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。また、近年有害赤潮の発生が頻発する片上湾を対象として、有害赤潮種の出現特性や湾外への流出機構を明らかにする。さらに、各機関が有する有害赤潮発生シナリオと発生予察技術について、取得データ解析等による検証を重ね、当該技術の精度向上を図り、予察対象種の拡大等についても検討する。また、漁業被害軽減のための行動計画策定に向けた知見の収集を行う。

イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域

周防灘と広島湾を主海域とする瀬戸内海西部海域および豊後水道・土佐湾を対象として、夏季（5～9月）に58点程度の観測定点において4回以上の調査を行い、水温・塩分等の海況、プランクトン細胞数、クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。顕微鏡でのカレニア・ミキモトイの確認が困難な時期（1～6月）には8点程度の観測定点において4回以上の調査を行い、分子生物学的手法も含めた有害赤潮プランクトンの高感度監視を実施する。また、5～8月に宇和島湾における高頻度観測（週1回）を実施するとともに、カレニア・ミキモトイ赤潮の動態の理解や予測に向けたデータ解析および統計モデル等の開発を行う。得られたデータをもとに有害赤潮発生シナリオ構築と有害赤潮発生予察技術開発を行う。さらに赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）について各県の現状把握ならびに各種漁業被害軽減対策技術に関する情報を収集することで、関係海域の漁業被害軽減に資する。

ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域

伊勢湾，三河湾，英虞湾等を主な対象として，周年（契約月～翌3月）に計26点程度の観測定点において月1回以上の調査を行い，水温・塩分等の海況，プランクトン細胞数，クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。また，ノリ色落ち原因珪藻の出現諸特性の解明を目的として，同海域において冬季（10月～翌3月）に計29点程度の観測定点において月1回以上の調査を行い，周年調査と同様な観測項目について海洋モニタリングを実施する。取得データの解析や既存データ等に基づいて，当該海域における有害赤潮種およびノリ色落ち原因珪藻の発生と気象条件・海洋環境との関係を解析し，有害赤潮およびノリ色落ち被害の発生シナリオを構築・検証することで，漁業被害軽減に資する。

エ. 日本海西部海域

日本海南西部を主な対象水域として，夏季（7～9月）を中心に15点程度の観測定点において8回程度の調査を行い，水温，塩分，透明度，水色等の海況およびプランクトン細胞数等のモニタリングを実施する。細胞がごく低密度に存在する場合や混雑物が多い場合でも，迅速かつ正確な種判別を行うために *Cochlodinium polykrikoides* および *Karenia mikimotoi* については一部の試料で分子生物学的手法を導入し，日本海西部海域における有害プランクトンの広域化の実態把握を行う。また，衛星データや数値モデル等を用いた解析を組み合わせることで，当該海域における有害赤潮発生シナリオおよび赤潮発生予察の検証を図るとともに，漁業被害軽減のための行動計画策定に向けた知見の収集を行う。

オ. 九州北部海域

伊万里湾を主な対象海域として，夏季（6～8月）を中心に14点程度の観測定点において原則週1回の調査を行い，水温・塩分等の海況，プランクトン細胞数，クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。また，養殖漁場の1点で観測機器による水質連続観測も実施する。取得されたデータの解析および数値シミュレーション手法を使用することにより有害赤潮発生シナリオと有害赤潮発生予察技術の検証を行い高精度化することで，漁業被害の軽減に資する。

カ. 有明海・八代海海域

①有明海海域

有明海および近接海域を対象海域として，夏季の赤潮・貧酸素では，有明海において7～9月に16点程度の観測点で月2～4回，湾口部に近接する橘湾において6～9月に20点程度の観測点で月2回程度の調査を行い，水温・塩分等の海況，溶存酸素濃度，プランクトン細胞数，クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。冬季のノリ色落ち原因珪藻では，有明海において10月～翌年2月に20点程度の観測点で月2回程度の調査を行い，水温・塩分等の海況，プランクトン細胞数，クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。また，有明海奥部の3定点において7月～翌年2月に自動観測ブイおよび表層に設置する観測機器で海洋環境の連続観測を行う。取得データの解析等により，夏季の有明海における貧酸素水塊について形成機構の検証や短期・長期の発生予察技術の検証と高度化，赤潮と貧酸素水塊との関係解明，橘湾においては有害プランクトンの消長や貧酸素水塊の形成特性の解析を行う。冬季の有明海における赤潮については，赤潮の発生・非発生と気象条件・海洋環境との関連を解析し，赤潮の発生機構と発生予察手法の検証を進めるとともに，近年発生頻度の高い秋季の赤潮の発生要因および予察手法を検討することで，漁業被害の軽減に資する。

② 八代海海域

八代海では赤潮被害を低減するため，1. 発生予察手法の開発，2. 現状把握，3. 拡大予察手法の開発，4. 行動計画，という段階に分けて赤潮対策に取り組む。これらは時系列になっており，まず今年の赤潮発生の見通しを立て，次に赤潮発生状況を把握し，そして発生した赤潮がどのように広

がるかを予測し、最後に漁場に近づくと分かったときに有効な防除策を実施する、ということの基本軸に据えた対処である。本課題では、各段階に関する技術開発を目的としている。

発生予察手法の開発では、判別分析による予察と、他の統計的分類手法の適用を実施する。前者では、過年度まで開発を続けてきた予察手法を継続して運用する。後者では、昨年度に見出した予察に有効と考えられる変数と手法を用いた予察を試行する。

現状把握では、高頻度赤潮モニタリング、水質連続観測、赤潮観測の機械化を実施する。高頻度赤潮モニタリングでは 8 定点の多層で採水・検鏡・分析を 5~9 月に週 1 回の頻度で行う。水質連続観測では、過年度までに開発された広域監視システムを運用・活用し、水質状況を把握する。赤潮観測の機械化では、赤潮カメラ、HAI センサー、ドローン、seaMS の現場導入に向けた検証および技術開発を行う。

拡大予察手法の開発では、赤潮の輸送過程の解明と、赤潮発生時の栄養塩動態の解明に取り組む。前者では、赤潮の移送を把握するため、流動モデルおよび粒子追跡モデルを開発する。今年度は、赤潮の輸送に大きく関与すると考えられる風向風速を解析し、赤潮の移動方向の推定を試みる。後者では、混合モデルを用いて、主要な栄養塩の供給源とその貢献の度合いを推定する。将来的には、両者の技術と知識を融合して物質循環モデルの開発を目指す。

行動計画では、昨年度に整理した赤潮発生状況と対策について、改善・更新を繰り返し、より良い対策を見出していく。昨年度に立案された改善点は、東町漁協では深い生簀での養殖、海水養殖漁協では赤潮防除剤の常時設置と赤潮の輸送過程を考慮した生簀避難であった。今年度はこれらを含めた対策を実施する。

2) 赤潮の被害軽減手法の開発

餌止めなどの「苦肉の策」を最小限に留めて被害を軽減するために、現場において有害赤潮プランクトンの魚毒性を定量する技術を開発する。また、有害赤潮が発生した際に生簀の魚介類を守り漁業被害を軽減するための防除・被害軽減技術の開発・現場実証を行う。調査研究内容は以下の通りとする。

ア. 魚毒性診断技術の開発

現場において有害赤潮プランクトンの魚毒性の判定基準を設定するために、生化学的・分析化学的指標を用いた魚毒性診断技術を新たに開発し、マニュアルを作成すると共に、既存技術の改良および現場普及を行う。餌止めなどの対策を適切なタイミングで講じるとともに最小化させることで被害軽減を目指す。

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

ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマに対するウイルス等微生物を利用した防除法を、他の有害プランクトンに応用するため、検討試験を行う。本法は、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、技術課題や改善点を精査し、手法についてマニュアルにまとめ、普及に努める。

②生け簀の魚の救命・延命技術の高度化技術開発と実証

シャットネラ属、カレニア属、及びココロディニウム属による魚類の死亡が鰓の呼吸機能障害に起因すること、この影響緩和のために、酸素の過飽和が有効であるとの既存試験結果がこれまでの研究から示された。そこで、本課題では赤潮プランクトンが致死密度で存在しているも、溶存酸素を高度に上昇させる手法を駆使して、赤潮が発生しても養殖魚の被害を軽減して、安心して出荷できる手法開発を模索することで、漁業被害防止策の基礎を確立する。

また、赤潮への対処療法的な対策として餌止めが指導されているが、餌止めのストレスによる養

殖魚の減耗や、品質低下も漁家経営に対して甚大な悪影響を及ぼす。そこで、本課題では赤潮プランクトンの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、この炎症作業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。改変餌料と魚類死亡との関係を室内繰り返し試験で把握し、この改変餌料を飽食させることで、餌止めに匹敵もしくはそれを超える延命効果を発揮させ、赤潮が発生しても養殖魚の被害を軽減する等の実用策の可能性を模索する。

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

我が国沿岸域に出現する有害赤潮プランクトンのモニタリングや種同定等を支援する技術の開発に取り組むとともに、研修会を開催して都道府県担当者のモニタリングやプランクトン種同定の技術の普及・向上を図る。また、モニタリングデータの一元管理・迅速な公表により漁業被害軽減対策への利活用を促進する。

ア. 有害赤潮プランクトンの画像情報に基づくモニタリング技術の開発

現場海域ならびに室内培養で得られる有害赤潮プランクトンの細胞形態等画像情報に基づき、自動的な種判別・計数ならびに細胞生理状態や赤潮の挙動予測推定を簡易判定する技術開発を目指す。

イ. 赤潮等関連情報の提供及び利活用の促進

これまで開発した「赤潮分布情報」および「貧酸素・水質情報」を運用し、改良することで、最新の水温・塩分、溶存酸素濃度、有害赤潮プランクトンの細胞密度等の観測データを多数の提供者より収集・データベース化し、一般向けに分かりやすく迅速に提供する。また、水温予報についても有明海、瀬戸内海等の複数の定点を対象に提供を行う。これらのデータの利活用を促進することで、有害赤潮発生時や貧酸素水塊形成時に速やかな対策の実施に繋げ、漁業被害軽減に資する。

ウ. モニタリング技術の普及（事業検討会の開催を含む）

都道府県の職員等を対象に、有害プランクトン同定研修会（以下、同定研修会）を開催し、技術の普及を行う。同定研修会では、有害プランクトンの発生動向、生理・生態、形態分類等に関する講義、および形態観察を中心としたプランクトン種同定技術や遺伝子検査法を用いたプランクトン種同定技術の習得のため実習を行う。また、新たなモニタリング技術の普及に向け、必要に応じて研修会のプログラムを見直すとともに、デジタル技術を活用して現場担当者が技術を習熟するための教材開発についても検討する。

事業で実施する調査・研究開発の課題間の連携と進行管理を行うため、瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域の海洋環境分野（赤潮・貧酸素水塊）に精通した2名以上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する。

2. 研究開発結果

本事業の各課題で得られた研究開発結果を次頁以降にまとめた。

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並びに赤潮の発生段階に応じた一連の対策（行動計画）の検討・策定

ア. 瀬戸内海東部海域

香川県赤潮研究所
小川健太, 松下悠介
大阪府立環境農林水産総合研究所 水産技術センター
秋山 諭, 辻村裕紀
兵庫県立農林水産技術総合センター 水産技術センター
鈴木雅巳, 肥後翔太
岡山県農林水産総合センター 水産研究所
角田成美, 古村振一, 高木秀蔵, 乾 元気
徳島県立農林水産総合技術支援センター 水産研究課
岡本裕太, 川上 萌
大阪大学 大学院工学研究科
中谷祐介
水産研究・教育機構 水産技術研究所
坂本節子

1 全体計画

(1) 目的

瀬戸内海東部海域では、近年でも有害赤潮プランクトンによる漁業被害が生じている。赤潮の小規模化・早期化など、過去の発生状況とは様相が変化しており、海域特性に応じた対策が求められる。一方で、県域を跨いで広域移動する赤潮も確認されており、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、赤潮発生海域を網羅した広域的な調査を実施し、積極的に情報共有を行う必要がある。本課題では、瀬戸内海東部海域において、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の発生シナリオを検証し、赤潮発生予察技術の精度向上を図る。併せて、これらの予察技術や既存の科学的知見に基づいた行動計画を策定することで、赤潮による漁業被害軽減に資することを目的とする。

2 令和6年度計画および結果

(1) 目的

全体計画と同じ。

(2) 方法

有害赤潮が問題となる夏季および冬季に共同提案機関が保有する海洋観測調査船または備船を用いて広域的な海洋調査を実施し、瀬戸内海東部海域における有害赤潮種の出現特性を明らかにする。また、近年有害赤潮が頻発する片上湾を対象として、有害赤潮種の出現特性や湾外への流出機構を明らかにする。さらに、各機関が有する有害赤潮発生シナリオと発生予察技術（夏季：シャットネラ、冬季：ユーカンピア）について、取得データ解析等による検証を重ね、当該技術の精度向上を図り、予察対象種の拡大についても検討する。また、漁業被害軽減のための行動計画策定に向けた知見の収集を行う。

1) 夏季海洋モニタリング調査

1. 広域モニタリング調査

当該海域に計 24 点の調査定点を配置し（図 1）、有害赤潮が発生する 6~8 月までに計 8 回以

上、海洋環境（水温、塩分、栄養塩等）およびプランクトン細胞密度等のモニタリング調査を実施した（表1、表2）。

調査定点（24 定点，図1）

岡山県 5 点（OY1, OY2, OY3, OY4, OY5）

兵庫県 6 点（H2, H28, H30, H31, Bz1, Bz2）

大阪府 3 点（OS1, OS2, OS3）

徳島県 3 点（T4, T1, St.4）

香川県 7 点（K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7）

アンダーラインは、珪藻の全数計数を行った定点を示す。

調査実施月日

岡山県 6/19, 6/26, 7/2, 7/9, 7/16, 7/22, 7/30, 8/5

兵庫県 6/3, 6/17, 7/1, 7/8, 7/16, 7/22, 7/31, 8/5

大阪府 6/10, 6/24, 7/2, 7/8, 7/16, 7/22, 7/29, 8/5

徳島県 6/10, 6/24, 7/1, 7/8, 7/16, 7/22, 7/29, 8/5

香川県 6/24, 7/1, 7/8, 7/16, 7/24, 7/29, 8/5, 8/13

観測層および調査項目等

観測層および調査項目を表1、2に示した。水温、塩分および溶存酸素飽和度（以下、溶存酸素）は、多項目CTDにより測定した。採水は、北原式採水器またはバンドーン式採水器にて行い、栄養塩濃度（以下、栄養塩）、クロロフィルa濃度（以下、クロロフィルa）、プランクトン細胞密度の測定に供した。プランクトンの細胞密度は、原則として試水1mLを検鏡した。また、代表点の表層において全珪藻数の測定を行った。

なお、赤潮の発生に関しては、本事業以外での調査結果も一部含めてとりまとめた。気象データとして、気象庁気象統計情報（<http://www.jma.go.jp/jma/menu/manureport.html>）から姫路特別地域気象観測所（兵庫県姫路市）における気温、風速、降水量および大阪管区气象台（大阪府大阪市）の全天日射量の観測値と平年値（1991~2020年）を解析に用いた。

2. 片上湾調査

①湾奥調査

2024年5~9月に、図2で示した片上湾の湾奥部において表層、中層（1.5m層）、底層（底上0.5m）で採水し、*Chattonella antiqua*、*C. marina* および珪藻類の細胞密度を調べた。ただし、現場海水では*C. antiqua* と *C. marina* の識別困難な個体が多く出現することから、本報では両種を区分せず、これらを全て合わせたものを2種合計の細胞密度（*C. antiqua*+*C. marina*）として解析に供した。また、水温、塩分、クロロフィルa、栄養塩等の測定を行った。なお、調査頻度は、5~6月は週に1回程度、7~9月は月に2回程度とした。また、6~8月には、各層に測器を設置し、10分に1回、水温、塩分、蛍光クロロフィル量と底層の溶存酸素を測定した。

②湾内モニタリング調査

2024年5~9月に、毎月2回、図2で示した31定点において、表層水を採取し、*C. antiqua*+*C. marina* の細胞密度を調べた。また、同期間中の岡山市における降水量を取得し、*C. antiqua* と *C. marina* の分布状況との関係を検討した。

③*Chattonella* 属のシスト調査

2023年12月18日と2024年11月15日に片上湾およびその周辺海域で採泥を行った。柱状採泥器により採取した表層泥（0~1cm）約5gを篩（20~150 μ m）により分画回収し、滅菌ろ過海水で10mLに定容した。泥試料の一部について、明視野および蛍光（B励起）下で*Chattonella* 属のシストを顕微鏡により計数した。シスト密度は各泥試料の比重を元に体積あたりに換算して求めた。

2) 冬季海洋モニタリング調査

当該海域に計 40 点の調査定点を配置し（図 3）、有害珪藻赤潮が発生する 10~翌 2 月までに計 4 回以上、海洋環境（水温、塩分、栄養塩等）およびプランクトン細胞密度等のモニタリング調査を実施した（表 3）。

調査定点（40 定点，図 3）

岡山県 11 点（OY1, OY2, OY3, OY4, OY5, OY6, OY7, OY8, OY9, OY10, OY11）
兵庫県 12 点（H1, H2, H3, H4, H6, H7, H8, H28, H29, H30, H31, H32）
大阪府 3 点（OS1, OS2, OS3）
徳島県 3 点（St. 2, St. 4, St. 5）
香川県 11 点（KA1, KA2, KA4, KA7, K4, KA11, KA19, KA21, KA22, KA23, KA26）

調査実施月日

岡山県 11/5, 12/4, 1/14
兵庫県 11/6, 12/4・5, 1/6, 2/3
大阪府 11/5, 12/2, 1/14, 1/31
徳島県 11/27, 12/4, 12/13, 1/6, 1/22
香川県 10/31・11/8, 12/3・4, 1/14・15

*岡山県，大阪府，徳島県および香川県は 2 月にも調査を実施予定。

観測層および調査項目等

水温，塩分および溶存酸素は，多項目 CTD により測定した（表 2，3）。採水は，北原式採水器またはバンドーン式採水器にて行い，栄養塩，クロロフィル *a*，プランクトン細胞密度の測定に供した。各調査項目の測定および分析方法を表 2 に示した。プランクトンの細胞密度は，原則として試水 1~3 mL を検鏡した。*Coscinodiscus wailesii* については，試水（100 mL~1 L）を濃縮して計数した。なお，とりまとめにあたり，全機関の調査日がほぼ揃っている 11 月上旬，12 月上旬，1 月上旬，2 月上旬の結果を中心に，一部本事業以外の調査結果も含めてデータの整理と解析を実施した。

気象データとして気象庁気象統計情報（<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>）から姫路特別地域気象観測所（兵庫県姫路市）における気温，風速，降水量および大阪管区気象台（大阪府大阪市）の全天日射量の観測値と平年値（1991~2020 年）を解析に用いた。

3) 赤潮の広域輸送機構の解明

過去に片上湾から流出し，播磨灘，備讃瀬戸へと拡大したシャットネラ赤潮の広域輸送機構を明らかにするために，数値流動モデルを用いて，赤潮に見立てたラグランジュ粒子を片上湾から発生させ，その挙動を追跡した。数値モデルには，令和 5 年度に構築した瀬戸内海一太平洋領域の三次元流動・粒子追跡モデルを使用した。2018 年 7 月上旬の西日本豪雨の直後に発生したシャットネラ赤潮を解析対象とした。2018 年 6 月 30 日 0 時に片上湾に粒子を配置（水平方向：10 m 間隔，鉛直方向：1 m 間隔）し，その後の挙動を追跡した。モデルの概要や計算条件等（図 4，5）については，秋山ら（2024）に詳述しているため，本稿では省略する。

令和 5 年度事業では，粒子は移流によって受動的に輸送されるものと仮定していたが，実際の海域において *C. antiqua* と *C. marina* は日周鉛直移動を行うことが知られている。沿岸海域では風による水面シアや成層構造の影響により水平流速は鉛直分布を有するため，数 m の鉛直移動が数十 km オーダーの水平輸送を変化させる可能性がある。そこで，今年度は，シャットネラ赤潮の日周鉛直移動が片上湾から播磨灘に至る広域輸送に及ぼす影響について解析を行った。

Watanabe et al. (1995) は，播磨灘北部の家島諸島付近において現地メソコスム実験を行い，*C. antiqua* の日周鉛直移動を観測した結果，移動速度は上下方向ともに約 0.8 m/h と推計している。また，櫻田ら（2013）は八代海において *C. antiqua* の 24 時間の連続観測を行い，下層への移動速度は約 1.0 m/h，上層への移動速度は約 2.0 m/h と見積もっている。さらに，Katano et al. (2014)

は有明海において *C. marina* を対象とした現地調査を実施し、鉛直移動は栄養塩の利用可能性や光向性には依存しないことを明らかにしている。これらの既往研究を参考に、本解析では鉛直移動速度は、日中（6-18時）では上向き 0.8 m/h、夜間（18-6時）では下向き 0.8 m/h と設定し、水中光量や水質には依らないものとした。

4) 有害赤潮発生シナリオおよび発生予察技術の検証

1) および2) で取得したデータならびに既存データ等に基づいて、当該海域における有害赤潮発生と気象条件・海洋環境との関係を解析し、既存の有害赤潮発生シナリオおよび発生予察技術の検証を行った。また、予察対象種等の拡大に向けて、過去の調査データより、新予察対象種の赤潮発生シナリオを作成するために有効な環境因子（説明変数）を抽出した。なお、モニタリング調査結果および予察情報については国立研究開発法人水産研究・教育機構が運用するポータルサイトを活用し、情報発信を行った。

5) 行動計画の検討

海域の特性に合わせて科学的知見に基づき漁業者が実施する赤潮対策を策定・改善するために、昨年度作成したフローチャート（赤潮の発生段階に応じた各府県の対策実施状況を整理したもの）をもとに、瀬戸内海東部における赤潮対策の課題を検討した。

(3) 結果および考察

1) 夏季海洋モニタリング調査

1. 広域モニタリング調査

① 気象

概況：2024年の近畿地方は、梅雨入りが平年より11日程度遅い6月17日頃となり（平年：6月6日頃）、梅雨明けは7月18日頃（平年：7月19日頃）であった。6月前半は高気圧に覆われて晴れる日が多かったが、6月後半から7月中旬にかけては低気圧や前線、湿った空気の影響で曇りや雨の日が多かった。7月下旬から8月中旬にかけては概ね晴れたが、8月下旬には台風10号や湿った空気の影響で曇りや雨の日が多かった。

気象庁観測結果：6-8月の気温、日平均風速、降水量および全天日射量の旬平均値・旬合計値と旬平年値の推移を図6-9に示した。気温は、6月上旬は平年よりも低かったが、中旬以降は高め傾向が8月下旬まで継続した（図6）。特に7月下旬から8月上旬は平年を約2°C上回り、かなり高めとなった。日平均風速は、調査期間を通じて平年並みか平年をやや下回った（図7）。降水量は、6月下旬、8月中旬および同月下旬に平年より多く、その他の期間では平年並みか平年より少なかった。特に、7月下旬の降水量は0.0mmであった。（図8）。全天日射量は、調査期間を通じて平年並みか平年より多く推移した（図9）。

② 海象

水温（図10）：播磨灘北部の表層では23~29°C前後で、中層から底層（5m層~B-1m層）では20~26°C前後で推移した。大阪湾の表層では、6月中旬から7月上旬に22~23°C前後であったが、7月中旬以降では26~30°C前後で推移した。中層から底層では18~23°C前後で推移した。播磨灘南部の表層では18~28°C前後で、中層から底層では17~26°Cで推移した。各海域ともに、調査期間を通して水温成層が形成されており、大きな混合は見られなかった。

塩分（図11）：播磨灘北部では、調査期間を通じて30前後で推移したが、7月上旬と中旬には表層で25~27前後まで低下した。大阪湾では表層の変動が大きく、17~20前後で推移した。播磨灘南部では大きな変化は見られず、32前後で推移した。

透明度（図12）：播磨灘北部では4~7m前後で、大阪湾では1~4m前後で推移した。播磨灘南部では、6月中旬に約12mを示したが、以降は7~11m前後で推移した。

③ 水質

栄養塩 (図 13~15) : 全般に低めで推移した。DIN 濃度 (以下, DIN), PO₄-P 濃度 (以下, PO₄-P), SiO₂-Si 濃度 (以下, SiO₂-Si) のいずれについても, 基本的には底層で濃度が高かったものの, 7月中旬の岡山県海域と大阪府海域では表層が高く, 表底層の逆転が見られた。

クロロフィル *a* (図 16) : 兵庫県海域と大阪府海域では, 特に表層で高かった。岡山県海域と播磨灘南部では全体的に低く, 表層よりも中層で高くなる傾向であった。

溶存酸素 (図 17) : 各海域ともに調査期間を通じて表層では高く, 底層では低く推移した。

④ 有害赤潮種

Chattonella antiqua および *C. marina* (図 18, 19) : 播磨灘北部では, 6月上旬に初認され (0.7 cells/mL, 6/3, 兵庫県海域, H30, 表層, Bz2, 10 m 層), その後, 兵庫県海域では最高 351.3 cells/mL (7/22, H30, 表層), 岡山県海域では最高 84.7 cells/mL (7/22, OY-1, B-1 m 層) まで増殖し, 8月上旬には散見される程度まで低下した。大阪湾では, 調査期間中における出現はなかった。ただし, 9月上旬から大阪湾奥部で初認され (9/2, 1 cell/mL), 同月下旬には最高 85 cells/mL まで増殖したものの, 11月上旬には散見される程度まで低下した (本事業の調査期間外)。播磨灘南部では散見される程度であった (最高 4.3 cells/mL, 7/24, 香川県海域, K1, 表層)。

Karenia mikimotoi (図 20, 21) : 6月上旬に播磨灘北部で初認された (0.7 cells/mL, 6/17, 兵庫県海域, H30, 表層)。その後, 播磨灘では低密度で推移し, 大きく増殖することはなかった (最高 7.3 cells/mL, 8/5, 兵庫県海域, H31, 5 m 層)。ただし, 香川県屋島湾 (本事業の調査範囲外) では, 最高 58,000 cells/mL まで増殖し, 湾奥部で局所的な赤潮を形成した。大阪湾では確認されなかった。

Chattonella ovata (図 22) : 7月上旬に播磨灘南部で初認された (最高 0.04 cells/mL, 7/1, 徳島県海域, T1, 表層, St4, 5 m 層)。その後, 播磨灘では低密度で推移し, 大きく増殖することにはなかった (最高 10 cells/mL, 7/22, 兵庫県海域, H30, 表層)。大阪湾では調査期間中における出現は確認されなかった。しかし, 9月上旬に *C. antiqua* および *C. marina* より 1 週間遅れで初認され (最高 3 cells/mL, 9/9), 両種と分布が重複しながら穏やかに増殖し, 9月中旬には湾南部で 11 cells/mL を示した。9月下旬以降は確認されていない。

Margalefidinium polykrikoides (= *Cochlodinium polykrikoides*) (図 23) : 7月上旬に播磨灘南部で初認された (最高 0.1 cells/mL, 7/8, 徳島県海域, T1, 5 m 層)。その後も 8 月末まで播磨灘南部で散見されたが, 低密度で推移した (最高 1.96 cells/mL, 7/29, 徳島県海域, St4, 5 m 層)。

Heterocapsa circularisquama (図 24) : 本事業の調査期間外の 9 月下旬から 10 月中旬にかけて出現し, 兵庫県海域 (播磨灘北部沿岸), 香川県海域 (備讃瀬戸南部 : 志度湾), 徳島県海域 (播磨灘南部 : ウチノ海) で本種の赤潮が発生した。岡山県海域と大阪府海域ではごく低密度で散見される程度であった。赤潮発生時の海況は, 播磨灘では 10 月上旬の水温が全層ではなほだ高めであった。また, 小型珪藻類は散見される程度であった。これらのことから本種が増殖しやすい環境にあったと推察された。

Heterosigma akashiwo : 播磨灘では 6 月中旬に初認され (最高 15.3 cells/mL, 6/17, 兵庫県海域, H28, 表層), 最高 7,398 cells/mL (6/26, 岡山県海域, OY-2, 表層) まで増殖した。大阪湾では 4 月中旬に初認され (本事業の調査期間外), 調査期間中にも断続的に出現が確認されたものの (最高 19 cells/mL, 6/24, 大阪府海域, OS1, 5 m 層), 大規模な増殖には至らなかった (最高 25 cells/mL, 6/24, 本事業の調査定点外)。

⑤ まとめ

珪藻類の発生は, 播磨灘北部では一時的な減少はあるものの, 概ね 10³~10⁴ cells/mL 前後で推移した。播磨灘南部では北部よりも低く推移した。大阪湾では, 10³ cells/mL を超過する密度で推移した (図 25)。2024 年 6~8 月の瀬戸内海東部海域における赤潮発生状況を表 4 に示した。発生件数は 9 件で, *H. akashiwo* によるものが 4 件, *K. mikimotoi* によるものが 2 件, *Chattonella* 属によるものが 2 件, *Alexandrium pacificum* によるものが 1 件であった。この赤潮

による漁業被害は、岡山県海域で確認された。また、*H. circularisquama* の発生が兵庫県、香川県、徳島県海域で確認された。その他の有害種については、調査期間中の高密度化は確認されなかった。

2. 片上湾調査

①湾奥調査

湾奥部では、5月30日に *C. antiqua* と *C. marina* が初認された（中層；0.02 cells/mL，底層；0.02 cells/mL）（図 26a）。6月20日にはいずれの層でも 1 cell/mL を超えた。その後も増加し、表層では8月1日に 33,400 cells/mL，中層では7月11日に 3,136 cells/mL，底層では8月1日に 335 cells/mL となった。8月1日以降は減少し、9月5日ではいずれの層でも確認されなかった。一方、珪藻類は5月27日から6月6日にかけて 1,000 cells/mL を超えていたが、その後減少し、6月20日には全ての層でほとんど確認されなくなった（図 26b）。珪藻類の減少に伴って *C. antiqua* と *C. marina* が増加する傾向がみられた。また、*C. antiqua* と *C. marina* が減少した8月19日以降、珪藻類の増加が再び確認された。底層溶存酸素の25時間移動平均値は、5月27日は100%程度であったが、6月3日に30%前後まで低下した（図 27）。その後、昇降を繰り返し推移したが、7月9日以降はほぼ無酸素となった。前年度と同様に、無酸素状態となった後に *C. antiqua* と *C. marina* が増加する傾向がみられた。

②湾内モニタリング調査

5月13日から6月10日に実施した調査では、いずれの定点においても *C. antiqua* と *C. marina* は確認されなかった（図 28）。6月下旬以降は分布が拡大し、7月22日には全定点で確認され、うち5定点で 100 cells/mL 以上であった。以降、徐々に減少し、8月5日、19日に確認された定点数は、それぞれ15と4となり、9月9日にはいずれの定点でも見られなくなった。

6月1日から8月31日の日合計降水量は、6月中旬から7月中旬にかけて 30 mm/日を超える日が散見され、6月18日には期間中最高となる 56 mm/日となった（図 29）。その後も7月中旬までは散発的な降雨がみられたが、7月後半から8月中旬にはほとんど雨が降らなかった。本年度もまとまった降雨の後に *C. antiqua* と *C. marina* の分布が拡大する傾向が見られた。今後は、過去の事例を踏まえ、片上湾奥からの赤潮流出にかかる条件を精査することとしている。

③*Chattonella* 属のシスト調査

2023年の調査では、3定点（全4定点）で *Chattonella* 属のシストが確認された（図 30, 31）。シスト密度は、湾内（Sts. 1~3）では0~103 cysts/cm³を示したのに対し、湾外（St. 4）では103 cysts/cm³であった。一方、2024年では、8定点（全10定点）で本属のシストが確認され、湾内（Sts. 1'~9'）では0~63 cysts/cm³，湾外（St. 10'）では154 cysts/cm³を示した（図 30）。いずれの年も、湾奥部（St. 1 および St. 1'）では確認されなかった。以上より、湾外と比べて密度は低いものの、湾内に堆積する本属のシストが栄養細胞の供給源となっている可能性が考えられた。

2) 冬季海洋モニタリング調査

① 気象

概況：11月の近畿地方は、下旬に寒気の影響で曇りや雨の日があったものの、高気圧に覆われて晴れる日が多かった。12月の上旬から中旬のはじめにかけては高気圧に覆われて晴れる日が多かったが、中旬の中頃から下旬にかけては曇りや雨の日が多かった。1月は降水量が少なく、晴れる日が多かった。

気象庁観測結果：11月から2月上旬の気温、日平均風速、降水量および全天日射量の旬平均値・旬合計値と旬平年値の推移を図 32~35 に示した。気温は、11月と12月は平年を上回っ

たが、他は概ね平年並みであった(図 32)。日平均風速は、概ね平年並みで推移し、12 月下旬と 1 月上旬に一時的に平年を上回った(図 33)。降水量は、10 月上下旬と 11 月上下旬に平年を上回ったが、他は平年並みか平年よりも少なかった(図 34)。全天日射量は、期間を通じて、概ね平年を上回った(図 35)。

② 海象

水温(図 36)：期間ごとの全海域平均でみると、11 月上旬は 22°C 前後、12 月上旬は 17°C 前後、1 月上旬は 10°C 前後で推移した。播磨灘北部では 11 月上旬に約 1~2°C 表層より底層の方が高かった。

塩分(図 37)：播磨灘北部では 11 月に表層塩分が約 28 まで低下したが、12 月以降は表層、底層ともに 32 前後で推移した。播磨灘南部では 11 月と 12 月の塩分は両層ともに 32 前後で推移したが、1 月に表層で約 31 まで低下した。備讃瀬戸では調査期間を通じて両層ともに 31~32 で推移した。大阪湾では期間を通じて他の海域より表底差およびばらつきが大きかった。

透明度(図 38)：11~1 月の大阪湾の透明度は 3.5~7.2 m、播磨灘北部で 3.7~6.5 m、備讃瀬戸は 4.5~6.9 m で推移した。播磨灘南部は 7.4~10.1 m と他の海域に比べ高く、これは植物プランクトンの発生が少なかったことが影響したと考えられた。

③ 水質

栄養塩(図 39~41)：DIN は 11、12 月に播磨灘北部で 3.8~5.4 μM 、播磨灘南部で 4.9~5.8 μM 、備讃瀬戸で 5.4~8.8 μM 前後となったがいずれも 1 月には低下した。大阪湾では他海域よりも表層、底層ともに DIN は高かった。PO₄-P は全海域ともに 0.5~1.0 μM 前後で推移した。SiO₂-Si は、播磨灘では 6~20 μM 前後で、備讃瀬戸では 7~20 μM 前後で、大阪湾では 15~19 μM 前後で推移した。

クロロフィル *a*(図 42)：播磨灘南部では期間中の変動が小さかった。播磨灘北部では 11 月を除いて底層で高く、備讃瀬戸では期間を通じて底層で高かった。大阪湾では 11 月と 1 月に表層で増加した。

溶存酸素(図 43)：大阪湾を除いて表層、底層とも大きな変動は見られなかった。大阪湾は表底差が他の海域と比べ大きく、上昇傾向がみられた。

④ ノリ色落ち原因種

Coscinodiscus wailesii(図 44)：11 月の観測開始時から瀬戸内海東部の広い海域で確認され、12 月には播磨灘北部(最高 250 cells/L、兵庫県海域、H28、表層)、播磨灘南部(最高 140 cells/L、徳島県海域、St. 2、10 m 層)と大阪湾(最高 595 cells/L、大阪府海域、OS3、底層)で増殖した。1 月には全域で数十 cells/L 前後まで減少した。

Eucampia zodiacus(図 45)：播磨灘北部では 11 月に最高 17.3 cells/mL (1/6、兵庫県海域、H8、表層)が確認された。12 月には減少したが、1 月には再び最高 132 cells/mL (1/6、兵庫県海域、H28、底層)が確認された。播磨灘南部、備讃瀬戸および大阪湾では低密度で推移した。

その他の種類：

- ・播磨灘北西部、播磨灘南西部および備讃瀬戸(岡山県、香川県および徳島県海域)では、*Skeletonema* spp., *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros* spp. といった小型珪藻が一定程度確認されたものの、ノリ漁期における DIN は平年並みかやや低めで推移した。
- ・播磨灘北東部(兵庫県海域)では、主に 11 月は *Stephanopyxis* sp., 1 月は *Chaetoceros* spp. や *Guinardias* sp., *Thalassiosira. diporocyclus* が確認され、2 月は *Skeletonema* spp. や *Chaetoceros* spp. が多かった。

⑤ まとめ

今年度は調査期間を通じて *C. wailesii* および *E. zodiacus* の大きな増殖はなかった。播磨灘および備讃瀬戸のノリ養殖漁場では DIN が平年並みかやや低めで推移したため、現時点では大規模なノリの色落ち被害は確認されていない。

3) 赤潮の広域輸送機構の解明

豪雨前後におけるシャットネラ赤潮の表層分布（細胞密度）の観測値（小川ら 2022a）と、同日正午におけるラグランジュ粒子の分布の比較を図 46 に示す。計算値は粒子密度（1 km メッシュ内の粒子個数）として表示している。観測結果をみると、7月2日に片上湾付近で発生したシャットネラ赤潮は播磨灘北西岸に沿って西部に拡がり、7月9日には香川県沿岸にまで分布域を拡大していた。計算結果においてもその傾向は概ね再現されていることから、シャットネラ赤潮は移流によって県域をまたいで広域に輸送されたものと考えられる。鉛直移動を考慮していない計算結果では、粒子は小豆島の東部や南部にまで輸送され、観測結果に比べて分布が過大となった。一方、鉛直移動を考慮した場合には粒子の拡がりには抑制され、観測結果により近い分布を示した。このことから、*C. antiqua* と *C. marina* の鉛直移動を考慮することで、広域にわたる赤潮挙動の予測精度が向上することが示唆された。

4) 有害赤潮発生シナリオおよび発生予察技術の検証

1. シャットネラ赤潮

前事業で予察精度を検証し、高精度化に取り組んだ各モデル（小川ら 2022b）で発生予察を行った。各府県海域における本年度取得したデータによる予察結果（表 5）およびシナリオ適合状況を以下に示す。なお、本予察モデルは *C. antiqua* および *C. marina* の 2 種による赤潮（以下、シャットネラ赤潮）を対象とし、生理生態学的特性の異なる *C. ovata* の発生履歴は勘案されていない（秋山ら 2021）。また、地球温暖化や貧栄養化等の影響を受けて海域環境は年々変化している。現在運用しているモデルが適合しなくなる可能性も高いことから、今後もデータを継続的に取得し、解析を進めることによりモデルの修正と的中率の向上に努める必要がある。

①岡山県海域（播磨灘北西部）

前事業で作成したシャットネラ赤潮発生シナリオ（図 47）とモデルを用いて、直近 16 年間（2008~2023 年）のデータを用いた発生予察を行った。モデル①表層水温（5 月）、表層塩分（5 月）、表層 DIN（6 月）とモデル②表層水温（5 月）、表層塩分（5 月）、底層水温（7 月）を説明変数とした。

本年のシャットネラ赤潮は本県基準（100 cells/mL 以上を発生年）を超えることがなく、「非発生年」であった。前述したモデルを 2024 年に適応したところ、予察モデル①及び②について「×（非発生）」となったことから予察は的中したものと考えた（図 48）。なお、当該モデルは片上湾内での発生については除外した結果である。

②兵庫県海域（播磨灘北東部）

シャットネラ赤潮発生シナリオ（図 49）にもとづく兵庫県海域における線形判別分析の結果を図 50 に示した。予察モデルは 5 月の表層水温、底層水温、6 月または 7 月の珪藻密度を説明変数として、珪藻密度のデータ獲得時期別に 6 月時点での予察を早期予察、7 月時点での予察を直前予察とした（長谷川ら 2018a）。

本年のシャットネラの発生は、局所的に高密度化したが規模、期間ともに限定されたものであり非発生に区分した。両予察モデルとも珪藻密度が高いことが寄与して「×（非発生）」の判定結果となり、予察は的中した。

③大阪府海域（大阪湾）

大阪府海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオを図 51 に示す。令和元年度に作成したフローチャート（吉田ら 2020）に基づいて予察を実施した。フローチャートでは、第 1 段階として 6 月の *C. antiqua* + *C. marina* の細胞密度、第 2 段階として環境条件（7 月上旬の水温平年偏差、5~6 月の降水量、6 月下旬~7 月上旬の日照時間）のうち 2 変数を説明変数とする線形判別により判別基準を設けている。また、予察モデルの精度検証および高精度化により追加した 5~6 月降水量と 6 月下旬~7 月上旬日照時間を説明変数とし、判別期間を予察年前年まで延長した新たなモデルも使用した。

本年は、6 月中旬に *C. antiqua* および *C. marina* が確認されなかった（0 cells/mL）ことから、第 1 段階の *C. antiqua* + *C. marina* の細胞密度で「×（非発生）」となった（表 5）。また、第 2 段階の判別式では 4 モデルのすべてで「△（判断保留）」となった（図 52）。本年夏季にはシャットネラ赤潮は発生しなかった（非発生）ことから、第 1 段階での予察結果が的中した。

④徳島県海域（播磨灘南東部）

図 53 に徳島県海域におけるシャットネラ赤潮の発生シナリオを示す。前事業において予察モデルの精度検証と高精度化を行い、現在では予察モデル①1999~2014 年までの「降水量（徳島市 5 月）」、予察モデル②1999~2021 年までの「DIN（6 月 St.4, 10m）、水温（6 月 St.4, 1m）」および予察モデル③「珪藻の細胞数（7 月上旬 St.4, 0-5m）、水温（6 月 St.4, 5m）」を説明変数とする 3 つのモデルによる予察を実施している。2024 年に適用した結果、予察モデル①で「○（発生）」、予察モデル②および③で「×（非発生）」となった（表 5, 図 54）。2024 年夏季、シャットネラ赤潮は非発生であり、予察モデル①では予察を的中させることはできなかったが、予察モデル②および③では予察が的中した。

2024 年 5 月の降水量は、教師データ期間における赤潮発生年（2003, 2011）の平均値である 311.8 mm に対して 257.5 mm と平均値を大きく下回ることにはなかったが、6 月の表層の DIN は教師データ期間における赤潮発生年（2003, 2011, 2021）の平均値である 1.59 μM に対して 1.00 μM と低く、7 月上旬の珪藻細胞密度が発生年の平均である 29.6 cells/mL に対して 340.7 cells/mL と高密度であった。これらの要因がシャットネラ赤潮発生シナリオ（図 53）に適合していなかったものと考えられる。

⑤香川県海域（播磨灘南西部）

前事業では、1999 年以降のデータセットを用いたシャットネラ赤潮発生予察モデルを構築した（小川ら 2022b）。図 55 に香川県海域におけるシャットネラ赤潮の発生シナリオを示す。香川県では本シナリオに従って、「5 月塩分、5 月 $\text{PO}_4\text{-P}$ （早期予察）」と「5 月降水量、6 月 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、7 月珪藻類細胞密度（直前予察）」を説明変数とする 2 つの予察を実施している。

2024 年の予察結果を表 5 に、代表モデルによる解析例を図 56 に示す。本年はシャットネラ赤潮の非発生年であった。早期予察モデルでは「×（非発生）」判定となった一方、直前予察では「△（判断保留）」判定となった（表 5）。引き続きデータを蓄積し、両モデルの精度検証に取り組む予定である。

2. ユーカンピア赤潮

これまでの海洋環境データの解析や数値計算から、瀬戸内海東部海域のユーカンピア赤潮には、地場発生型と海流依存発生型の 2 種類の赤潮発生パターンの存在が明らかとなり、これらを考慮した発生シナリオが作成されている（長谷川ら 2018b）。ユーカンピア赤潮についても、

シャットネラ赤潮と同様に、前事業において予察精度を検証し、高精度化に取り組んだ各モデル（妹背ら 2023）で発生予察を行った。本検証では昨年度漁期（2023 年 11 月から 2024 年 3 月）の予察結果（表 6）とシナリオ適合状況を確認するとともに、本年度の予察状況（本報告作成時点で漁期が終了していないため暫定的な予察）についても各府県海域別に以下に示す。

①岡山県海域（播磨灘北西部・備讃瀬戸北部）

図 57 に示すシナリオをもとに作成したモデルを 2023 年度に適応させ、予察モデルの的中結果やシナリオの適合状況を確認した。播磨灘については 2011~2021 年度、備讃瀬戸では 2005~2015 年度のデータを用いてモデルを構築している。なお、各海域 20%以上の調査点で細胞密度が 100 cells/mL となった場合を発生年としているが、教師データによる判別分析で誤判別があったため、予察を「判断保留」とする「△」の範囲を設定している。

ア) 播磨灘

2023 年漁期は、*E. zodiacus* の細胞密度が 100 cells/mL を超える測点が見られなかったことから、局所発生年（×）であった。11 月底層水温、11 月表層クロロフィル *a*、1 月表層クロロフィル *a* を説明変数とした予察モデルでは「○（大量発生）」となり、予察は的中しなかった（図 58）。1、2 月ともに低密度ながらも競合となる小型珪藻が優占していたことから、*E. zodiacus* の増殖が抑えられたと考えられた。

イ) 備讃瀬戸

播磨灘と同じく、ユーカンピア赤潮の局所発生年（×）であった。予察は 12 月日照時間（岡山、気象庁データ）、12 月底層 PO₄-P、1 月底層水温のモデルにおいて「△（判断保留）」、1 月底層 SiO₂-Si、1 月底層水温を用いたモデルで「×（局所発生）」となり、概ね的中したものと考えられた。播磨灘と同じく小型珪藻が継続して海域に存在しており、*E. zodiacus* が増殖しにくい状況であった可能性が考えられた。

②兵庫県海域（播磨灘北東部）

本海域はユーカンピア赤潮の初期発生海域のため地場発生のみを想定した。ユーカンピア赤潮発生シナリオ（図 59）をもとに、これまでの検討から①1~2 月の発生と②3 月の継続性を区別することが妥当と考えられ、それぞれの期間毎に発生を予察した。なお、本海域では程度判断が困難な中間的な発生が確認されていないため、「大量発生」と「局所発生」の二区分による予察を運用している。2023 年漁期の 1~2 月予察は「○（大量発生）」、3 月予察は「×（局所発生）」の判別領域に区分された（図 60）。

2023 年漁期の兵庫県海域における *E. zodiacus* の細胞密度は、最大でも 3 月 4 日の 83 cells/mL（St. H1、表層）と低密度で推移したことから、2023 年漁期の発生状況は「×（局所発生）」と判断され、1~2 月予察は的中せず、3 月予察は的中した（表 6）。1~2 月は主に小型珪藻類との競合により本種は低密度で局所的な発生に留まったと考えられた。また、継続発生的前提となる 2 月までの発生が限定的であったことから、3 月の発生も限定的であったと考えられた。

2024 年漁期の 1~2 月予察は「○（大量発生）」の判別領域に区分された。予察結果の検証は本年度の最終調査結果の判明後となる。（3 月予察は 2 月データを用いるため未実施。）

③大阪府海域（大阪湾）

図 61 に大阪府海域におけるユーカンピア赤潮発生シナリオを示す。大阪府海域のユーカンピア赤潮は、類型化により大阪湾内における地場発生と明石海峡を經由した播磨灘北部からの流入発生に場合分けしている。流入赤潮は、播磨灘北東部で高密度化した *E. zodiacus* が、西風により大阪湾に高密度のまま進入することを想定している。ここでは、地場発生赤潮の予察結

果について報告する。

浅海定線調査 20 定点のうち、明石海峡に近い St. 6 および St. 7 を除いた 18 定点のうち 3 点以上で 100 cells/mL を超過した調査年月を地場赤潮発生と定義しており、2023 年度漁期には、2023 年 11 月から 2024 年 2 月のいずれも非発生であった。令和 4 年度に実施した予察の高精度化により、当該月の 1 ヶ月前の「透明度」「10m 層の海水密度」「鉛直安定度」の 3 変数を使用し、判別モデルを予察に使用している。その結果、2023 年 11 月は「× (非発生)」、2023 年 12 月および 2024 年 1 月は「△ (判断保留)」、2024 年 2 月は「○ (発生)」と判別され (図 62)、2024 年 2 月を除いて概ね的中したと言える。

④徳島県海域 (播磨灘南東部)

徳島県海域における *E. zodiacus* は、最高細胞数に達する時期が 1 月 (2011 年度)、2 月 (2016 年度)、3 月 (2012、2015 年度) の 3 パターンに分かれることから、それぞれで発生シナリオを構築している。2023 年漁期は、最高細胞密度が 36.40 cells/mL にとどまり、局所発生年となった。シナリオとの適合状況を検証した結果を以下に示す。

ア) 1 月の発生シナリオ

1 月は、「他海域の *E. zodiacus* が北～北西寄りの吹送流によって流入し、地先の栄養塩を利用して増殖する」という発生シナリオを、過去の発生年 (2011) の特徴解析から構築している (図 63)。2023 年 12 月において兵庫及び香川県海域では本種がほとんど出現せず、流入量が少なかったために赤潮が発生しなかったと考えられた。

イ) 2、3 月の発生シナリオ

2、3 月も、他海域からの流入による発生シナリオを想定している (図 63)。前事業において「1 月の北風風速合計値 (徳島地方気象台における北寄りの最大風速のベクトル成分合計) と「1 月の兵庫県沿岸のユーカンピアの最高細胞密度」からなる予察モデルを作成しており、2023 年漁期の予察結果は「非発生」であった (図 64、65)。なお、2024 年漁期は「非発生」と予察されているが、本年度の最終調査実施後に改めて予察結果の検証を進める。

⑤香川県海域 (播磨灘南西部・備讃瀬戸南部)

前事業では、2005~2015 年度のデータを用いた予察モデルの構築と高精度化を図った (妹背ら 2023)。図 66 に香川県海域のユーカンピア赤潮発生シナリオを示す。本県海域では播磨灘南西部と備讃瀬戸南部について 11~12 月の環境条件データセットより、当該漁期 (1~3 月) の「○ (大発生)」、「△ (発生)」および「× (局所発生)」を予察するモデルを作成しており、その検証を行った。

ア) 播磨灘南西部

2023 年漁期のユーカンピア赤潮は局所発生 (×) であり、「12 月北風、12 月表層珪藻細胞密度」の 2 変数による判別分析の結果は「× (局所発生)」と予察され的中した (表 6、図 67)。2024 年漁期については「× (局所発生)」と予察されているが、本年度の最終調査結果判明後、予察結果の検証を進める。

イ) 備讃瀬戸南部

2023 年漁期のユーカンピア赤潮は局所発生 (×) であり、「11 月西風、12 月降水量」の 2 変数による判別分析では「○ (大発生)」と予察され非的中となった (表 6、図 67)。本海域のシナリオでは、11~12 月の西寄りの風が強く、降水量の少ない年ほど赤潮が発生しやすいとされている (図 66)。2023 年は 11 月の西風が強かったものの、同時期に *C. wailesii* や小型珪藻類 (*Chaetoceros* spp. など) が発生していたことから、これら競合種との関係から本種の増殖が抑制された可能性が考えられた。2024 年漁期については「○ (大発生)」と予察されているが、本

年度の最終調査結果判明後、予察結果の検証を進める。

3. 新予察対象種の選定

令和 5 年に各府県の重要水産種や赤潮対策状況に応じて選定した新たな予察対象種について、赤潮の発生シナリオを構築するための環境因子（説明変数）について検討した。各府県の検討結果は表 7 および以下のとおりである。

①岡山県

Coscinodiscus wailesii : 1994~2023 年度の 10~翌 3 月における *C. wailesii* の発生状況を整理した。毎月上旬の調査において、いずれかの月で全定点の平均値が 100 cells/L を超えた場合を発生、それ以外を非発生としたところ、2003 年度までは全て発生年となったが、2007 年度以降は発生年が 9 件、非発生年が 8 件となった。また、2003 年度までの発生月は概ね 1~3 月だったが、2007 年度以降は 10~12 月に変わった。2007 年度から *C. wailesii* の発生パターンが変化したと考えられたことから、解析には 2007 年度以降のデータを用いた。

岡山県海域における 7~9 月の水温、塩分、栄養塩、クロロフィル *a*、降水量、日照時間等の計 54 要素のデータを用いて、10 月における *C. wailesii* の発生との関係性を調べた (Mann-Whitney *U*-test)。なお、11、12 月の発生時には 10 月の発生が伴っていたことから、10 月を対象とした。本種の赤潮発生年と非発生年における環境因子を比較したところ、8 月表層 PO₄-P、8 月降水量、9 月透明度、9 月日照時間と 9 月降水量で有意差が認められた (有意水準 10%)。今後は解析を進め、*C. wailesii* の発生シナリオを構築する。

②兵庫県

Coscinodiscus wailesii : 1989~2023 年度の播磨灘兵庫県海域での毎月上旬の調査における *C. wailesii* の発生状況を整理した。*C. wailesii* は主に 9~4 月まで多く出現し、秋季 (10~11 月中心) と春季 (2~3 月中心) に発生のピークが確認された。最大細胞密度は 35 年間のうち全ての年で 100 cells/L を超過し、県警戒密度の 500 cells/L を超過したのは 25 年であった。特に秋季発生のピークが増大する傾向にあり、2010 年度以降は 5,000 cells/L を超過する年が頻発するようになったが、春季発生のピークは減少傾向にある。また、ピークは 11 月に多かったが、2013 年度以降は 10 月に多くなり、大量発生時期の早期化が示唆された。

C. wailesii の秋季発生が早期化した 2013 年度以降について、秋季の *C. wailesii* の最大細胞密度と 7、8 月の水温、塩分、透明度、栄養塩 (DIN, PO₄-P, SiO₂-Si)、溶存酸素、クロロフィル *a*、降水量、全天日射量との関係を網羅的に調べた。その結果、8 月の表層と底層の水温差が大きく、底層 PO₄-P と底層 SiO₂-Si が高く、底層溶存酸素が低い年に大量発生する傾向にあった。次年度以降解析を進め、本種の発生シナリオを構築する。

③大阪府

Karenia mikimotoi : 2006~2023 年の *K. mikimotoi* の発生状況を整理した。18 年間で注意密度 (100 cells/mL) を超過したのは 7 年、警戒密度 (1,000 cells/mL) を超過したのは 5 年であった。警戒密度を超えた 5 年のうち、2 年 (2014, 2019 年) は 7 月下旬から 8 月上旬に、3 年 (2016, 2020, 2022 年) は 9 月中旬から 10 月上旬に細胞密度がピークとなった。なお、警戒密度を上回らなかった年でも、7~8 月頃と 9~10 月頃にそれぞれ細胞密度のピークが見られることが多く、増殖環境の異なる 2 群の存在が示唆された。

過去の日本国内での *K. mikimotoi* の発生事例から、本種の増殖に関わる知見を収集したとこ

ろ、水温（加藤ら 2024, 久米 2017）や日照時間（久米 2017, 鬼塚ら 2021）、成層構造（加藤ら 2024, 江藤・俵積田 2008）、栄養塩類（一見ら 2007, 鬼塚ら 2021, 山砥ら 2016）による影響が示唆されたことから、本年はこれらの項目を中心に大阪湾における本種の発生状況との関係を調べた。その結果、水産技術センター（大阪府岬町）の定置観測水温が 20~27°C の時に、同塩分が一時的に約 1 程度低下したおよそ 1 ヶ月後に、日照時間（大阪市、大阪管区气象台）が低下すると *K. mikimotoi* が増殖していた。概ね過去の知見とも一致しており、成層崩壊後（塩分低下後）に増殖期に入り、日照時間が短くなると顕在化したものと考えられる。次年度以降は、これらの結果に統計的根拠を与え、本種の発生シナリオを構築する。

④徳島県

Chattonella ovata : 初めに、1999~2023 年度の 5~8 月における *C. ovata* の発生状況を整理した。実施した調査において、いずれかで最高細胞密度が 50 cells/mL 以上の場合を発生、それ以外を非発生としたところ、発生年が 5 件、非発生年が 20 件となった。発生年のうち、7 月発生が 2 件、8 月発生が 1 件、9 月発生が 2 件であった。また、非発生年について、細胞密度が最大となる時期は概ね 7~9 月であったが、近年、最高細胞密度に達する時期が 9 月となる事例が増加傾向であるため、予察の対象月は 9 月とし、解析には引き続き 1999~2023 年度のデータを用いた。

次に、徳島県海域における 5~8 月の水温、塩分、DIN、PO₄-P、SiO₂-Si、降水量、日照時間等の計 68 要素の環境データと各年の最高細胞密度を用いて *C. ovata* の増殖と環境要因の相関関係を調べた。その結果、5 月珪藻細胞数、5 月降水量、6 月 DIN（10 m 層）、6 月 PO₄-P（10 m 層）、6 月 SiO₂-Si（1 m 層及び 10 m 層）、6 月珪藻細胞数、7 月 SiO₂-Si（1 m 層、10 m 層及び B-1 m 層）の 10 要素においてやや強い正の相関関係が、8 月水温（10 m 層）においてやや強い負の相関関係が見出された。

最後に、徳島県海域における上述と同様の 68 要素の環境データを用いて 9 月における *C. ovata* の発生との関係性を調べた（Mann-Whitney *U*-test）。その結果、本種の 9 月発生については、6 月水温（1 m 層）、6 月 DIN（10 m 層）、6 月降水量、7 月 PO₄-P（10 m 層）、7 月 SiO₂-Si（B-1 m 層）が有効な説明変数の候補となった（有意水準 5%）。今後は解析を進め、*C. ovata* の発生シナリオを構築する。

⑤香川県

Coscinodiscus wailesii : 本種の赤潮発生シナリオを構築するために有効な環境因子を検討した。まず、2005~2023 年 10~11 月における *C. wailesii* の発生状況を確認した。両月上旬の調査において、4 定点（KA1, KA2, KA4 および KA7）の表層と底層の平均値が 100 cells/L 以上を赤潮の発生年、それ未満を非発生年と定義した。その結果、10 月では発生が 5 ヶ年、非発生が 13 ヶ年となった（ただし、2022 年については欠測）。また、11 月では発生が 4 ヶ年、非発生が 13 ヶ年となった（ただし、2009 年と 2023 年については欠測）。

次に、各年 7~10 月の海洋環境（水温、塩分、溶存酸素、クロロフィル *a*、DIN、PO₄-P、SiO₂-Si）と気象条件（引田観測所における気温、降水量、日照時間、風速と高松観測所における全天日射量）データについて、本種の赤潮発生・非発生との関係をマンホイットニーの *U* 検定により調べた（有意水準 5%）。なお、10 月発生については 7~9 月、11 月発生については 8~10 月のデータを使用した。10 月発生の赤潮については、9 月表層溶存酸素、7 月および 9 月表層 DIN、9 月表層 SiO₂-Si、7 月および 8 月降水量と気温で発生年と非発生年で有意差が認められた。一方、11 月発生の赤潮については、9 月表層水温、8 月と 9 月底層水温および 8 月降水量

で有意差が認められた。次年度以降は、これらの結果と生理・生態的知見踏まえ、本種の発生シナリオを構築する。

5) 行動計画の検討

令和5年度は、各府県が実施する赤潮対策状況について、水産試験研究機関、行政の担当課、漁業者それぞれの対応状況が区別できる形で整理し、フローチャートにまとめることにより可視化を行った(秋山ら 2024)。このうち、魚類養殖の盛んな徳島県と香川県のフローチャートを図68, 69に示す。いずれも地場発生型の赤潮に特化した対策であり、移流発生型の赤潮への対応が整備されていないことが分かった。2018年には、播磨灘では、灘北部沿岸から灘南部の魚類養殖漁場まで、県域を跨ぐ赤潮の広域輸送が確認されている(高木ら 2024)ことから、両県は新たに移流発生型の赤潮対策を構築する必要がある。次年度以降、本研究課題で取り組んでいる予察技術や広域輸送シミュレーションの結果に基づき、5府県共同での改善提案を行う予定である。

引用文献

- 秋山諭, 辻村裕紀, 田中咲絵, 近藤健, 中嶋昌紀, 宮原一隆, 高倉良太, 山下泰司, 高木秀蔵, 乾元気, 越智洋雅, 小川健太, 吉田和貴, 朝田健斗, 加藤慎治. 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ア. 瀬戸内海東部. 令和2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 (2) 赤潮被害防止対策技術の開発報告書, 水産庁, 東京. 2021 ; 7-58.
- 秋山諭, 辻村裕紀, 近藤 健, 山本圭吾, 妹背秀和, 肥後翔太, 宮原一隆, 高木秀蔵, 乾 元気, 角田成美, 石黒貴裕, 朝田健斗, 岡本裕太, 棚田教生, 池脇義弘, 小川健太, 松下悠介, 中谷祐介, 三宅陽一, 坂本節子. 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並びに赤潮の発生段階に応じた一連に対策(行動計画)の検討・策定 ア. 瀬戸内海東部海域. 令和5年度豊かな漁場環境推進事業のうち海域特性に応じた赤潮・貧酸素水塊, 栄養塩類対策推進事業 (1) 赤潮等による漁業被害への対策技術の開発・実証・高度化報告書, 水産庁, 東京. 2024 ; 7-50.
- 江藤拓也, 俵積田貴彦. 2006年夏季に周防灘西部海域で発生した *Karenia mikimotoi* 赤潮. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 2008 ; 18 : 107-112.
- 一見和彦, 宮尾和宏, 門谷 茂. 瀬戸内海引田湾における有害赤潮鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* (渦鞭毛藻) の赤潮発生年と非発生年の海域環境の比較. 日本プランクトン学会報, 2007 ; 54 : 9-15.
- 妹背秀和, 肥後翔太, 宮原一隆, 小川健太, 松下悠介, 秋山諭, 辻村裕紀, 近藤健, 高木秀蔵, 乾元気, 嵐俊右, 朝田健斗, 棚田教生. 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ア. 瀬戸内海東部. 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 (2) 赤潮被害防止対策技術の開発報告書, 水産庁, 東京. 2023 ; 7-54.
- 加藤毅士, 柘植朝太郎, 二ノ方圭介. 三河湾における有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* の出現状況と環境特性及び2021年夏季赤潮の消長要因の検討. 愛知県水産試験場研究報告, 2024 ; 29 : 15-29.
- Katano, T., Yoshida, M., Yamaguchi, S., Yoshino, K., Hamada, T., Koriyama, M., and Hayami, Y.: Effect of nutrient concentration and salinity on diel vertical migration of *Chattonella marina* (Raphidophyceae), *Marine Biology Research*, 2014; 10: 1007-1018.
- 久米 洋, 宇和海における *Karenia mikimotoi* 赤潮の現状と対策. 瀬戸内海, 2017 ; 74 : 25-27.
- 小川健太, 秋山諭, 妹背秀和, 高木秀蔵, 嵐俊右. 赤潮の発生シナリオと予察—瀬戸内海東部海域—. 養殖ビジネス 2022a ; 59 : 10-14.
- 小川健太, 松下悠介, 秋山諭, 辻村裕紀, 近藤健, 妹背秀和, 宮原一隆, 石黒貴裕, 古村振一,

- 嵐俊右, 朝田健斗, 棚田教生. 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ア. 瀬戸内海東部. 令和3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 (2) 赤潮被害防止対策技術の開発報告書, 水産庁, 東京. 2022b ; 7-56.
- 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 mikimoi* 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, 2021 ; 87 : 144-159.
- 櫻田清成, 高日新也, 梅本敬人: 2010年に八代海で赤潮化した *Chattonella antiqua* の発生状況と日周鉛直移動. 熊本県水産研究センター研究報告, 2013; 9: 85-90.
- 高木秀蔵, 鹿島千尋, 中谷祐介, 角田成美, 小川健太, 秋山 諭, 妹背秀和, 朝田健斗. 降雨出水に伴う *Chattonella* 属赤潮の播磨灘内湾部から備讃瀬戸への広域輸送. 土木学会論文集, 2024; 80 : 24-17226.
- 吉田和貴, 朝田健斗, 加藤慎治, 越智洋雅, 小川健太, 山下泰司, 高木秀蔵, 宮原一隆, 高倉良太, 秋山諭, 山本圭吾, 田中咲絵, 上田真由美. 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ア. 瀬戸内海東部. 平成31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 (2) 赤潮被害防止対策技術の開発報告書, 水産庁, 東京. 2020 ; 7-56.
- Watanabe, M., Kohata, K., Kimura, T., and Takamatsu, T.: Generation of a *Chattonella antiqua* bloom by imposing a shallow nutricline in a mesocosm, *Limnology and Oceanography*, 1995; 40: 1447-1460.
- 山砥稔文, 石田直也, 江平 想, 杉原志貴, 鎌田正幸, 西山嘉乃, 青木一弘. 2012年伊万里湾で発生した有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* 赤潮の環境特性と養殖トラフグの大量斃死. 藻類, 2016 ; 64 : 94-101.

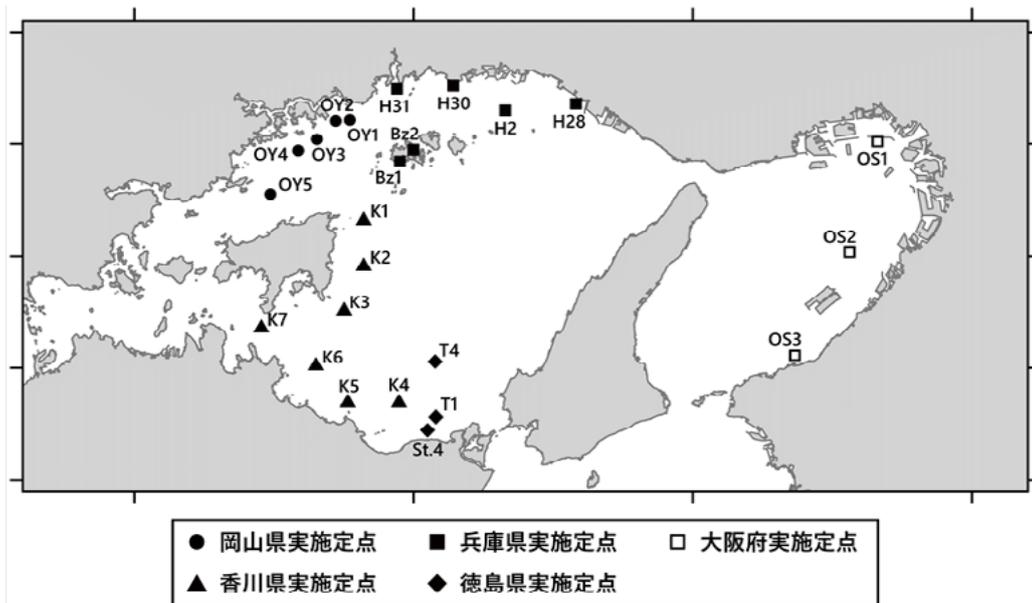


図1 夏季調査定点位置

表1 夏季調査観測層および調査項目

府県名	岡山県	兵庫県	大阪府	徳島県	香川県	
観測層 (m)	0.5/5 or 10/B-1	0.5/5 or 10/B-1	0.5/5/10/B-1	1/5/10/B-1	0.5/5/10/B-1	
調査定点数	5	6	3	3	7	
調査回数	8	8	8	8	8	
調査項目	水温	○	○	○	○	
	塩分	○	○	○	○	
	透明度	○	○	○	○	
	NH ₄ -N	○	○	○	○	
	NO ₂ -N	○	○	○	○	
	NO ₃ -N	○	○	○	○	
	DIN	○	○	○	○	
	PO ₄ -P	○	○	○	○	
	SiO ₂ -Si	○	○	○	○	
	クロコフィル _a	○	○	○	○	
	DO	○	○	○	○	
	プランクトン*	<i>Chattonella antiqua</i> , <i>C. marina</i> , <i>C. ovata</i>	○	○	○	○
		<i>Karenia mikimotoi</i>	○	○	○	○
		<i>Margalefidinium polykrikoides</i>	○	○	○	○
<i>Heterocapsa circularisquama</i>		○	○	○	○	

*：プランクトンは原則として試水 1 mL中の有害赤潮種の細胞数を計数する。

兵庫県：水深10m前後の3定点(H28, H30, H31)は3層(0, 5, B-1 m)で観測。

：一部の定点において光合成活性の測定を実施する。

岡山県：水深10m前後の4定点(OY1~4)は3層(0, 5, B-1 m)で観測。

：水深20m前後の4定点(OY5)は3層(0, 10, B-1 m)で観測。

表2 測定・分析方法一覧（夏季調査，冬季調査共通）

府県名		岡山県	兵庫県	大阪府	徳島県	香川県
水温・塩分	多項目CTD	○	○	○	○	○
透明度	透明度板	○	○	○	○	○
NH ₄ -N	インドフェノール青吸光光度法	○	○	○	○	○
NO ₂ -N	ナフチルエチレンジアミン吸光光度法	○	○	○	○	○
NO ₃ -N	銅カドミウムカラム還元 ナフチルエチレンジアミン吸光光度法	○	○	○	○	○
PO ₄ -P	モリブデン青(アスコルビン酸還元)吸光光度法	○	○	○	○	○
SiO ₂ -Si	モリブデン青(アスコルビン酸還元)吸光光度法	○	○	○	○	○
クロロフィルa	アセトン抽出蛍光法		○	○		○
DO	多項目CTD	○*			○	

*：多項目CTDの蛍光値をアセトン抽出吸光法で補正。

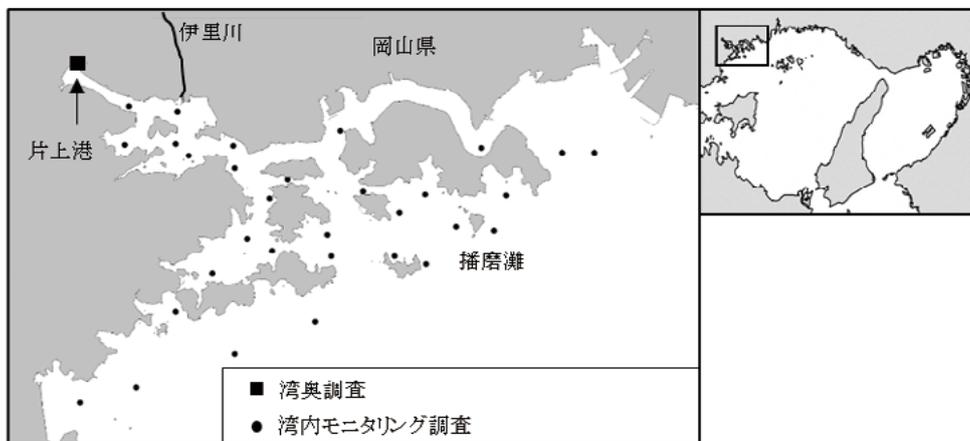


図2 片上湾調査定点位置

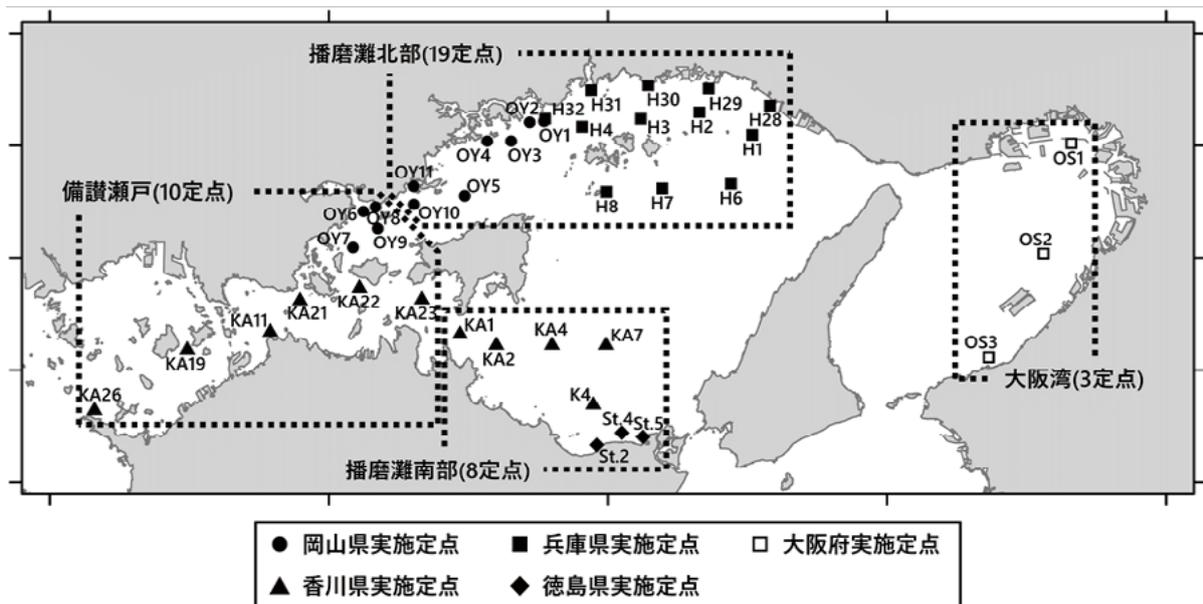


図3 冬季調査定点位置

表3 冬季調査観測層および調査項目

府県名		岡山県	兵庫県	大阪府	徳島県	香川県	
観測層 (m)		0.5/2.5 or 5 or 10/B-1	0.5/5 or 10/B-1	0.5/5/10/B-1	1/5/10/B-1	0.5/5/10/B-1	
調査定点数		11	12	3	3	11	
調査回数		4	4	4	6	4	
調査項目	水温	○	○	○	○	○	
	塩分	○	○	○	○	○	
	透明度	○	○	○	○	○	
	NH ₄ -N	○	○	○	○	○**	
	NO ₂ -N	○	○	○	○	○**	
	NO ₃ -N	○	○	○	○	○**	
	DIN	○	○	○	○	○**	
	PO ₄ -P	○	○	○	○	○**	
	SiO ₂ -Si	○	○	○	○	○**	
	クロロフィル _a	○	○	○	○	○**	
	DO	○	○	○	○	○**	
	プランクトン*	<i>Eucampia zodiacus</i>	○	○	○	○	○
		<i>Coscinodiscus wailesii</i>	○	○	○	○	○
		その他	○	○	○	○	○

* : *Coscinodiscus wailesii* は海水(100 mL~1 L)を濃縮して計数。その他は生海水 1 mL中の細胞数を計数。

** : K4(全層)およびKA19(B-1 m)は測定なし。その他は0.5 mと底層(20~B-1 m)で測定。

兵庫県 : 5 m層はH28~32, 10 m層はH1~8で測定。
 : 一部の定点において光合成活性の測定を実施する。

岡山県 : 2.5 m層はOY6およびOY11, 5 m層はOY1~4およびOY10, 10 m層はOY5およびOY7~9で測定。

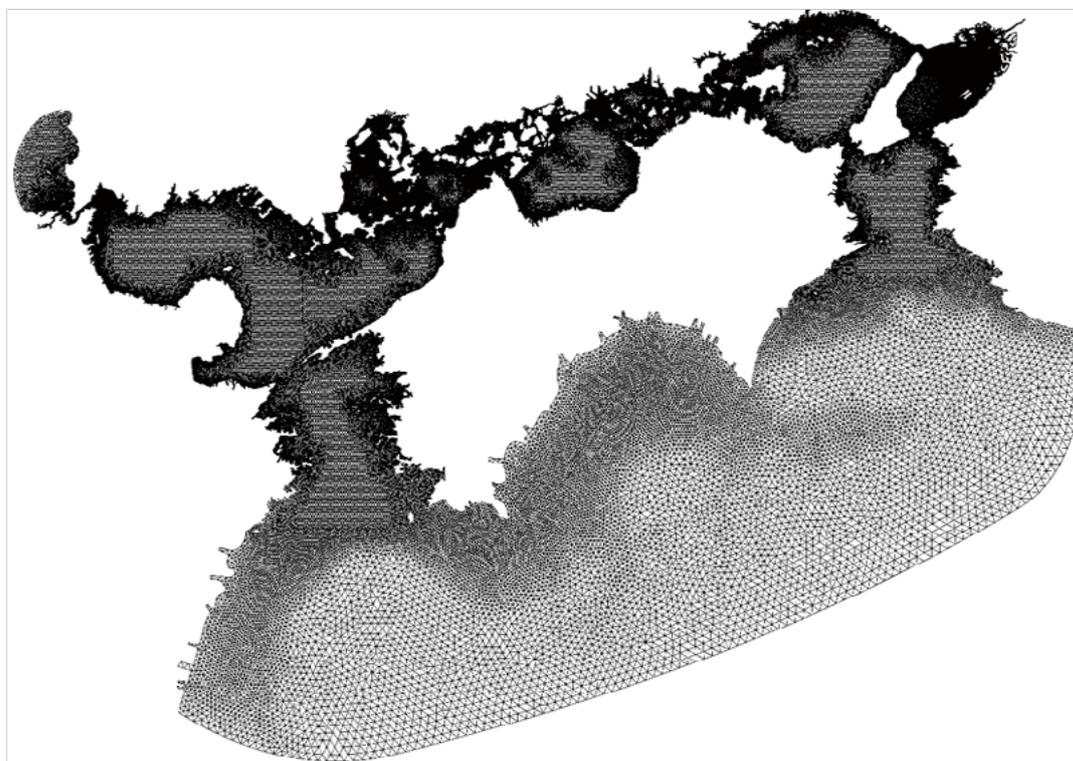


図4 計算領域

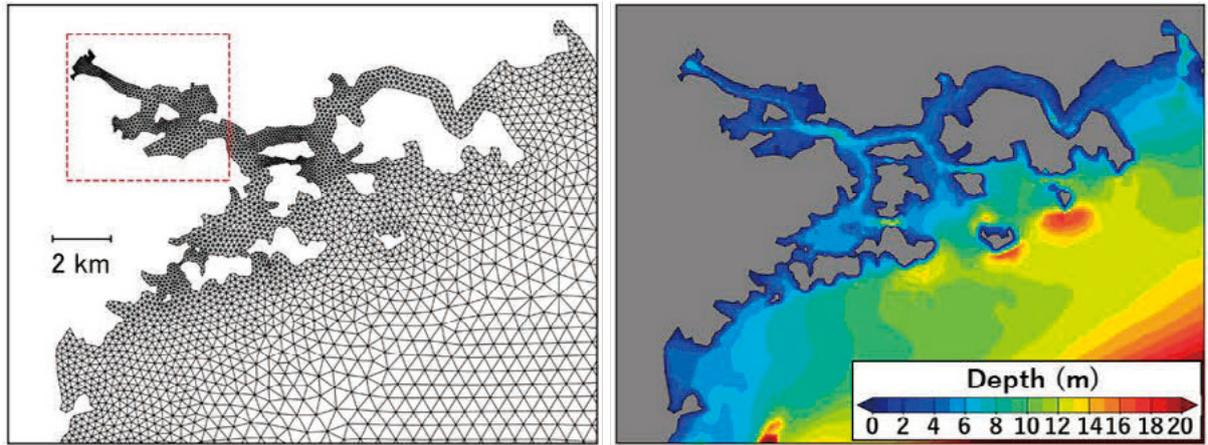


図5 片上湾周辺の計算格子 (左) と水深 (右)

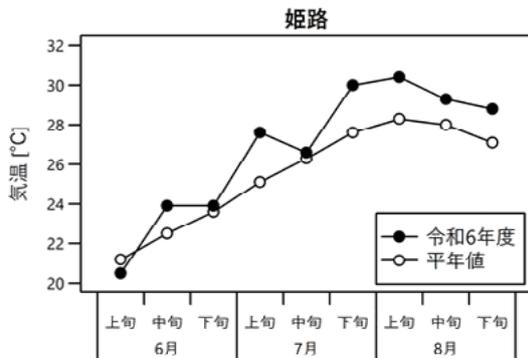


図6 気温の旬平均値の変動 (気象庁気象統計情報から引用)

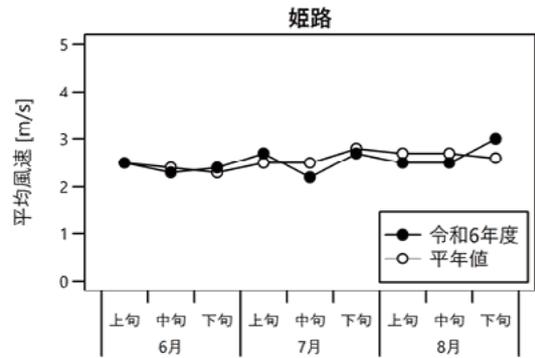


図7 日平均風速の旬平均値の変動 (気象庁気象統計から引用)

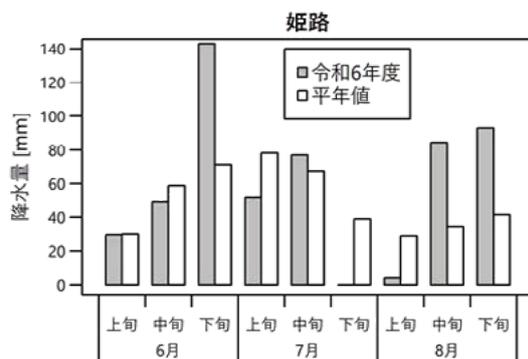


図8 降水量の旬合計値の変動 (気象庁気象統計情報から引用)

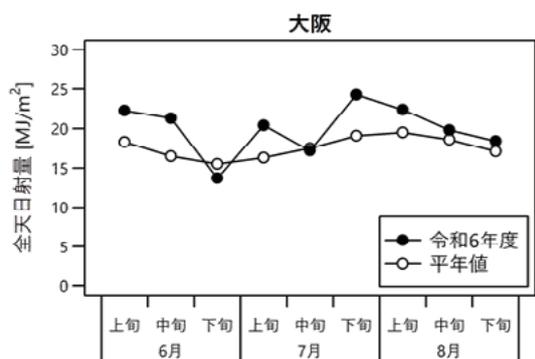


図9 全天日射量の旬平均値の変動 (気象庁気象統計情報から引用)

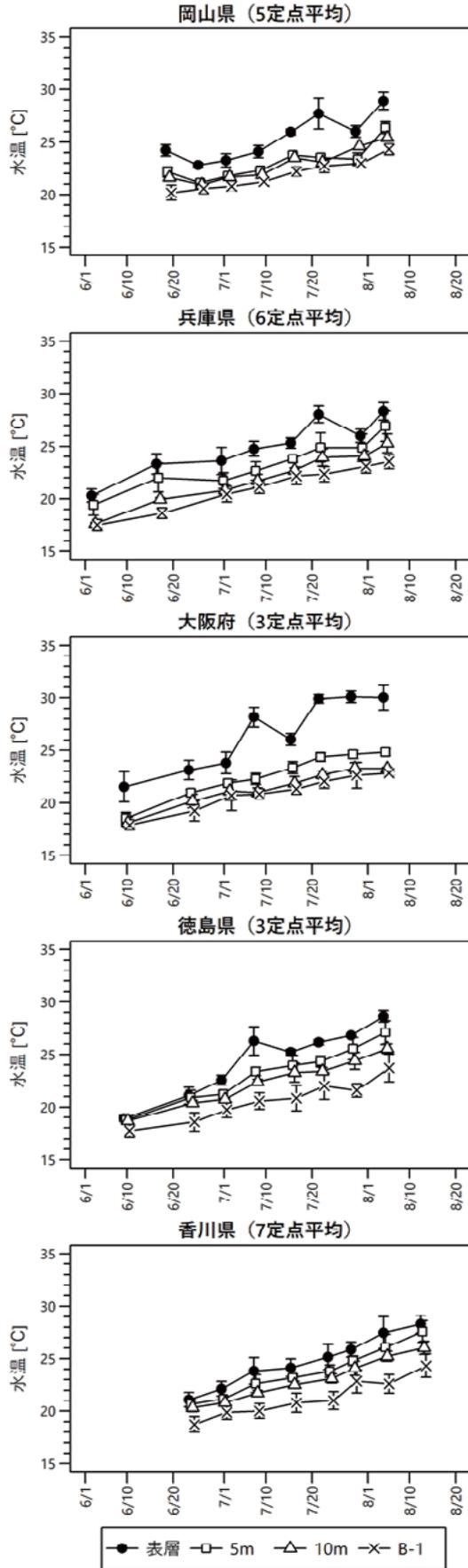


図10 水温の変動

(縦バーは標準偏差。「B-1」はB-1mを示す。以下同じ)

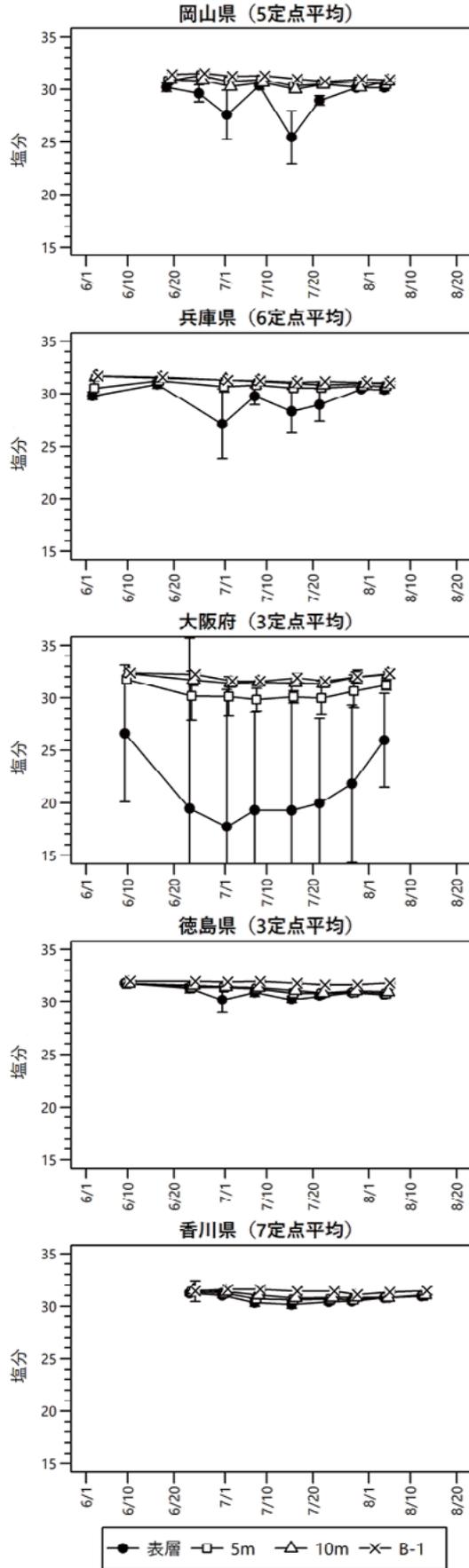


図11 塩分の変動

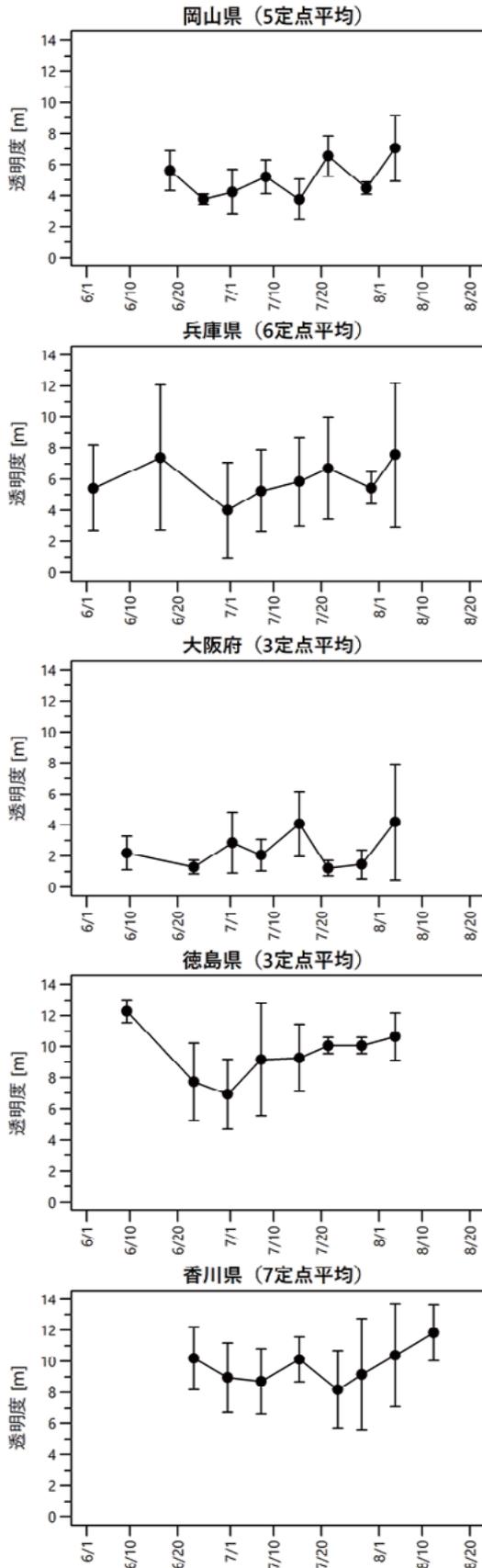


図12 透明度の変動

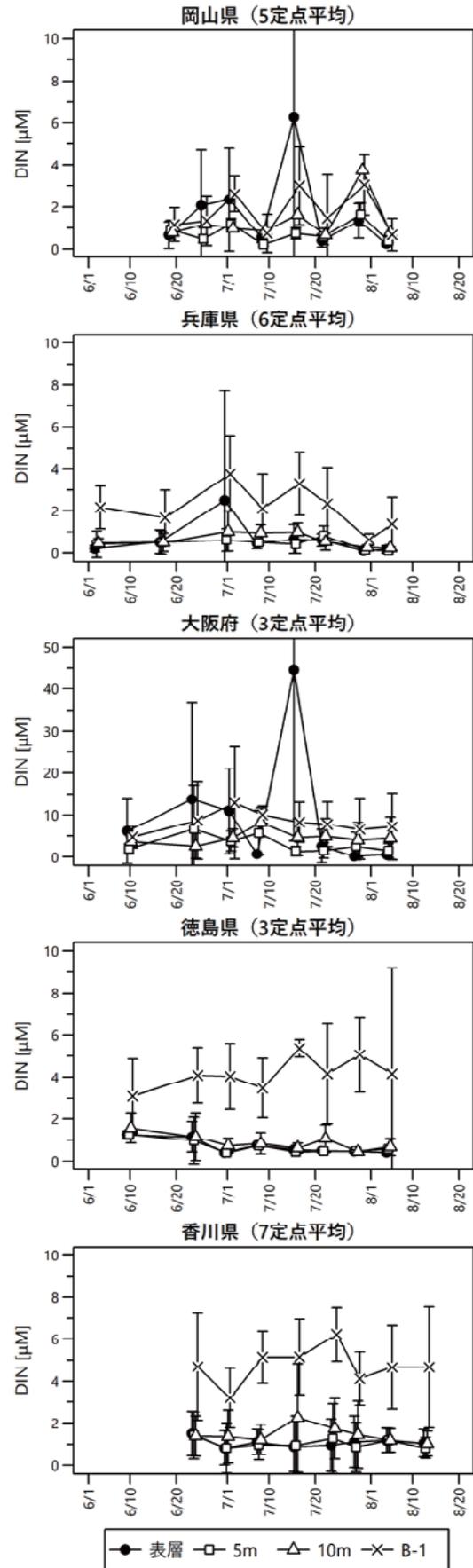


図13 DINの変動

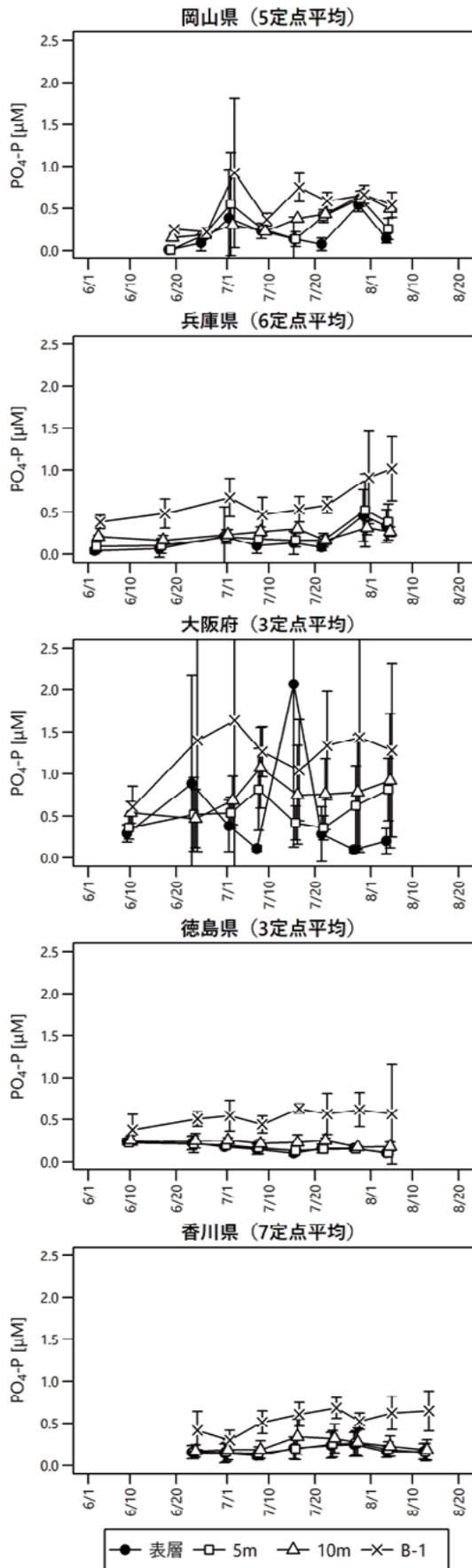


図14 PO₄-Pの変動

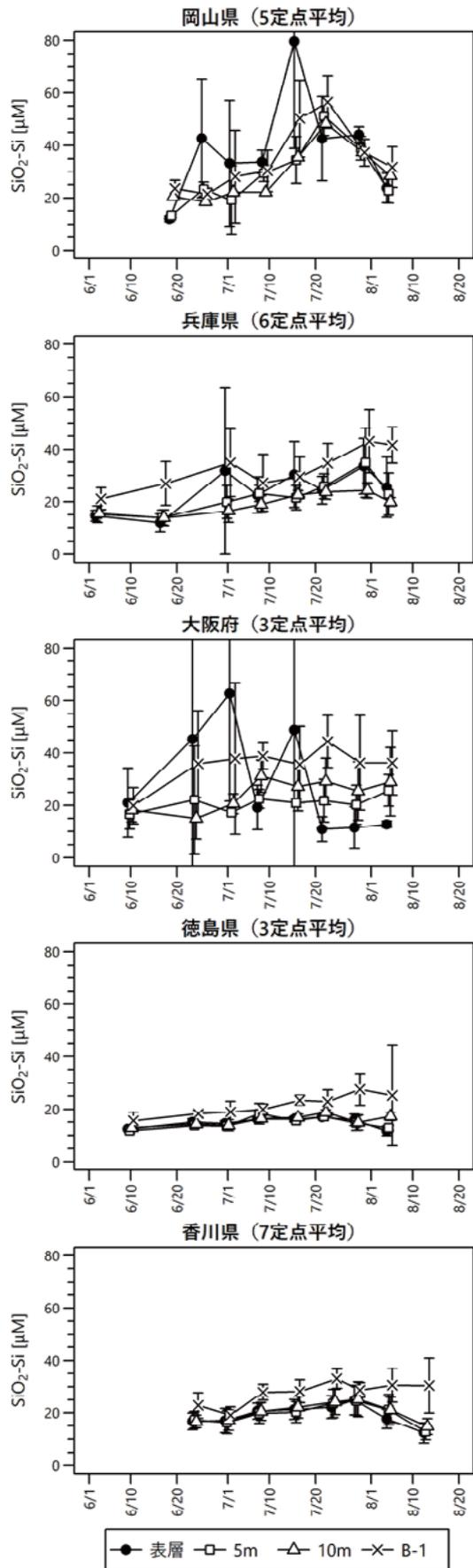


図15 SiO₂-Siの変動

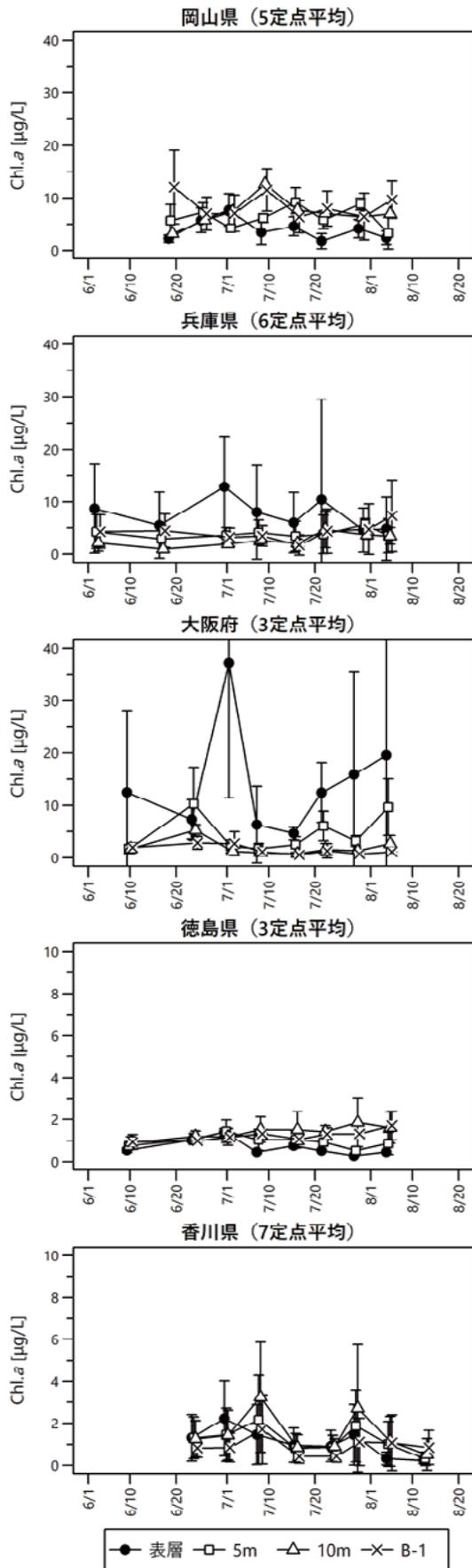


図16 クロロフィルaの変動

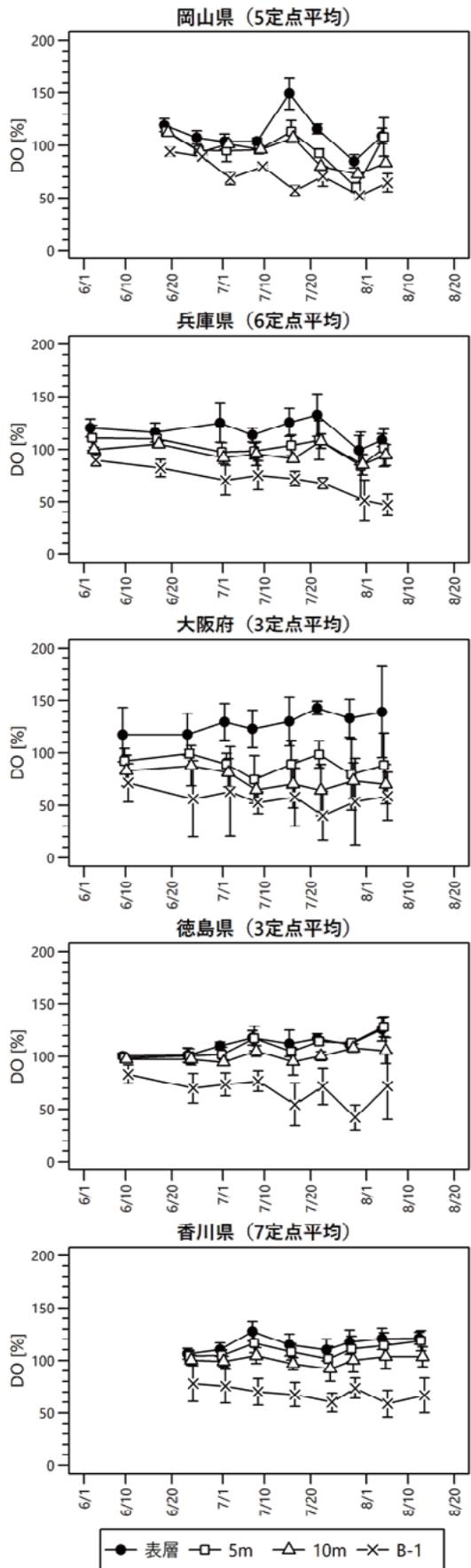


図17 DOの変動

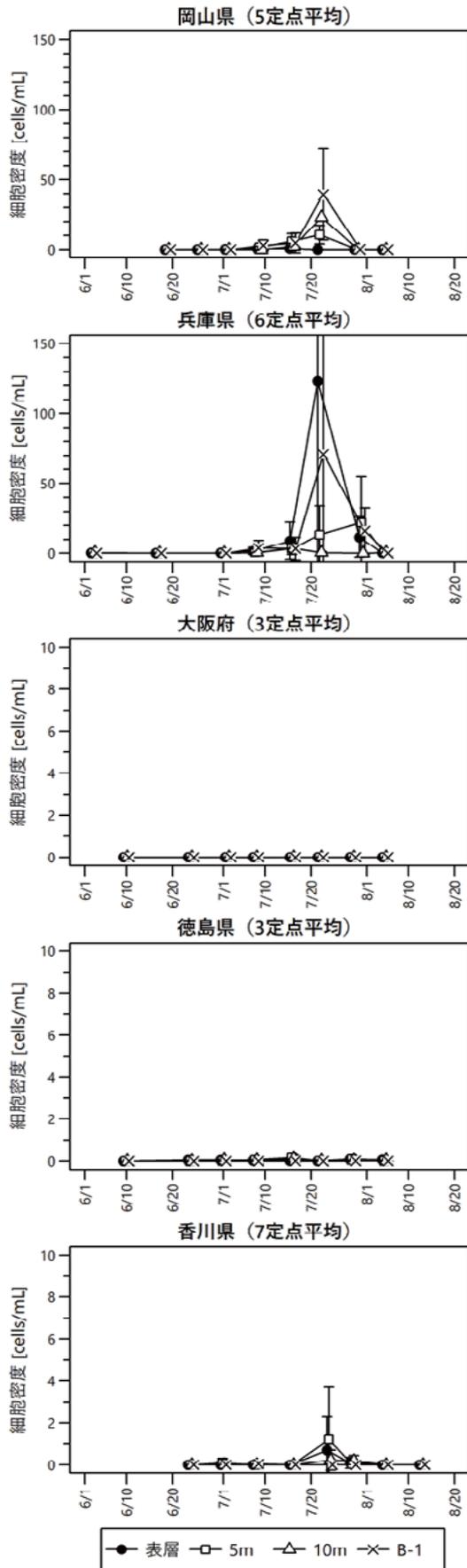


図18 *Chattonella antiqua*+*C. marina*の細胞密度の推移

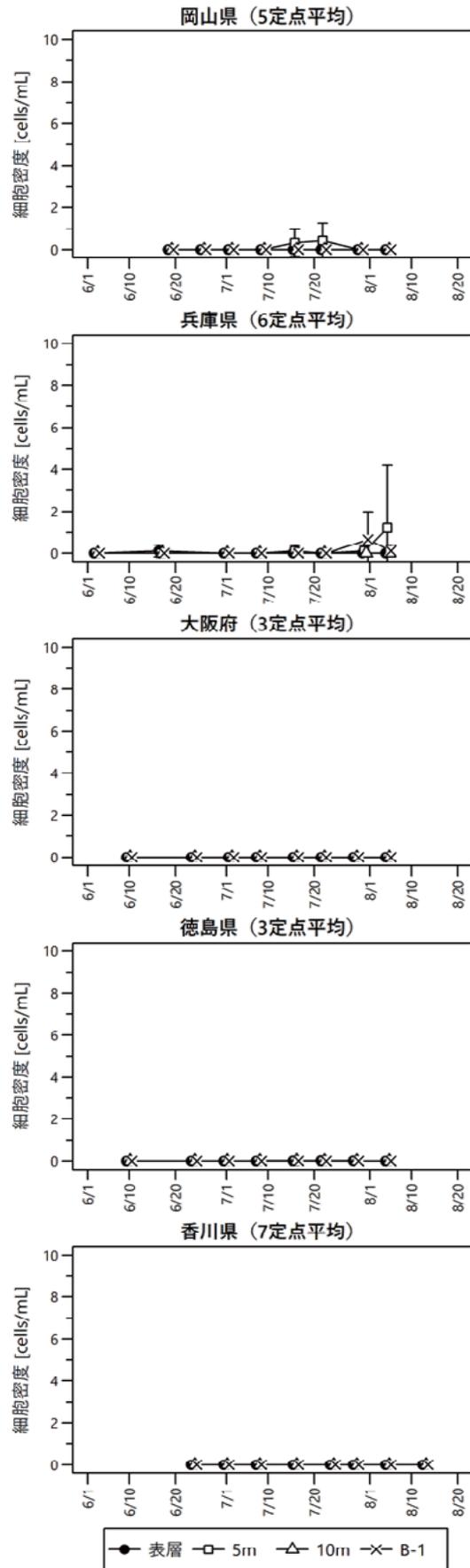


図20 *Karenia mikimotoi*の細胞密度の推移

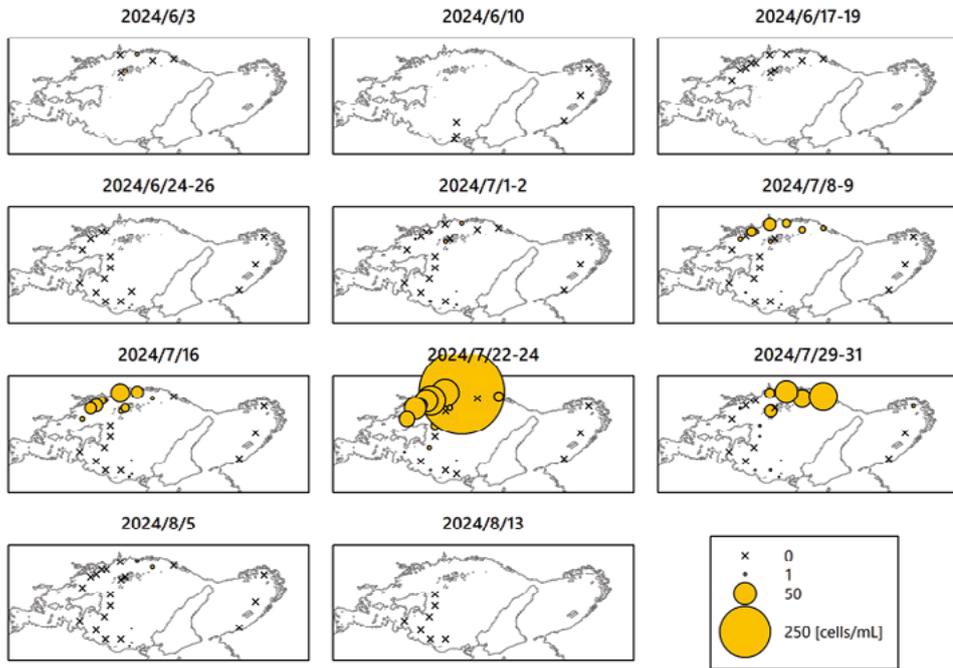


図19 夏季調査期間中の*Chattonella antiqua* + *C. marina*の細胞密度の水平分布
 (各調査日、定点において最高細胞密度を記録した層のデータを示した)

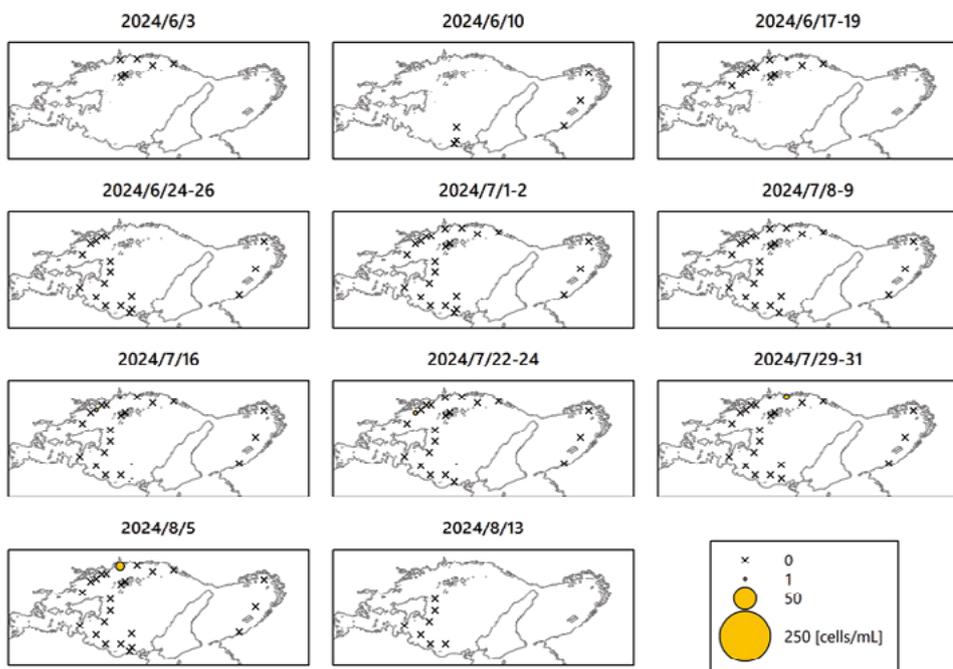


図21 夏季調査期間中の*Karenia mikimotoi*の細胞密度の水平分布
 (各調査日、定点において最高細胞密度を記録した層のデータを示した)

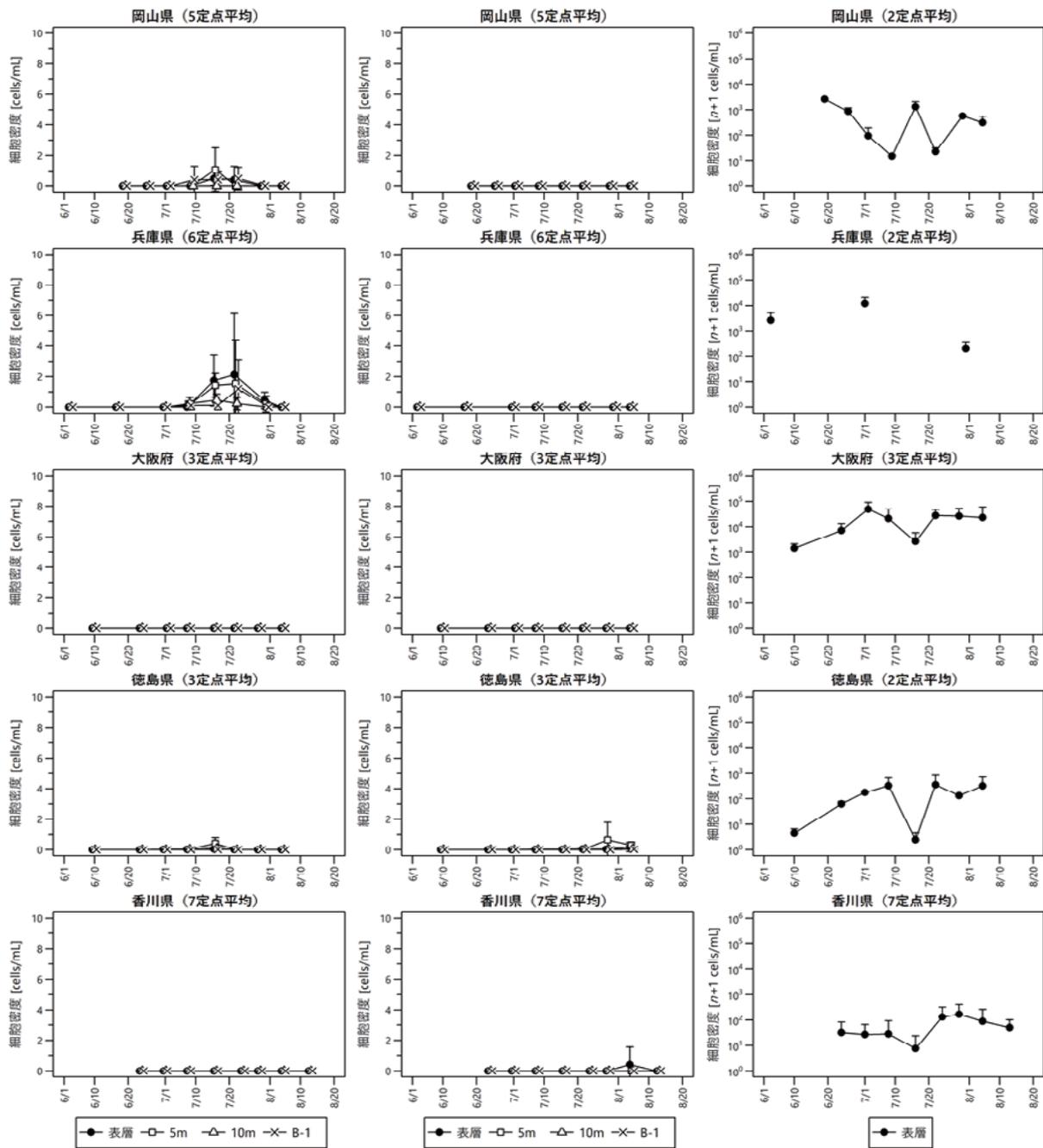


図22 *Chattonella ovata*の細胞密度の推移

図23 *Margalefidinium polykrikoides* (= *Cochlodinium polykrikoides*)の細胞密度の推移

図25 珪藻類の細胞密度の推移

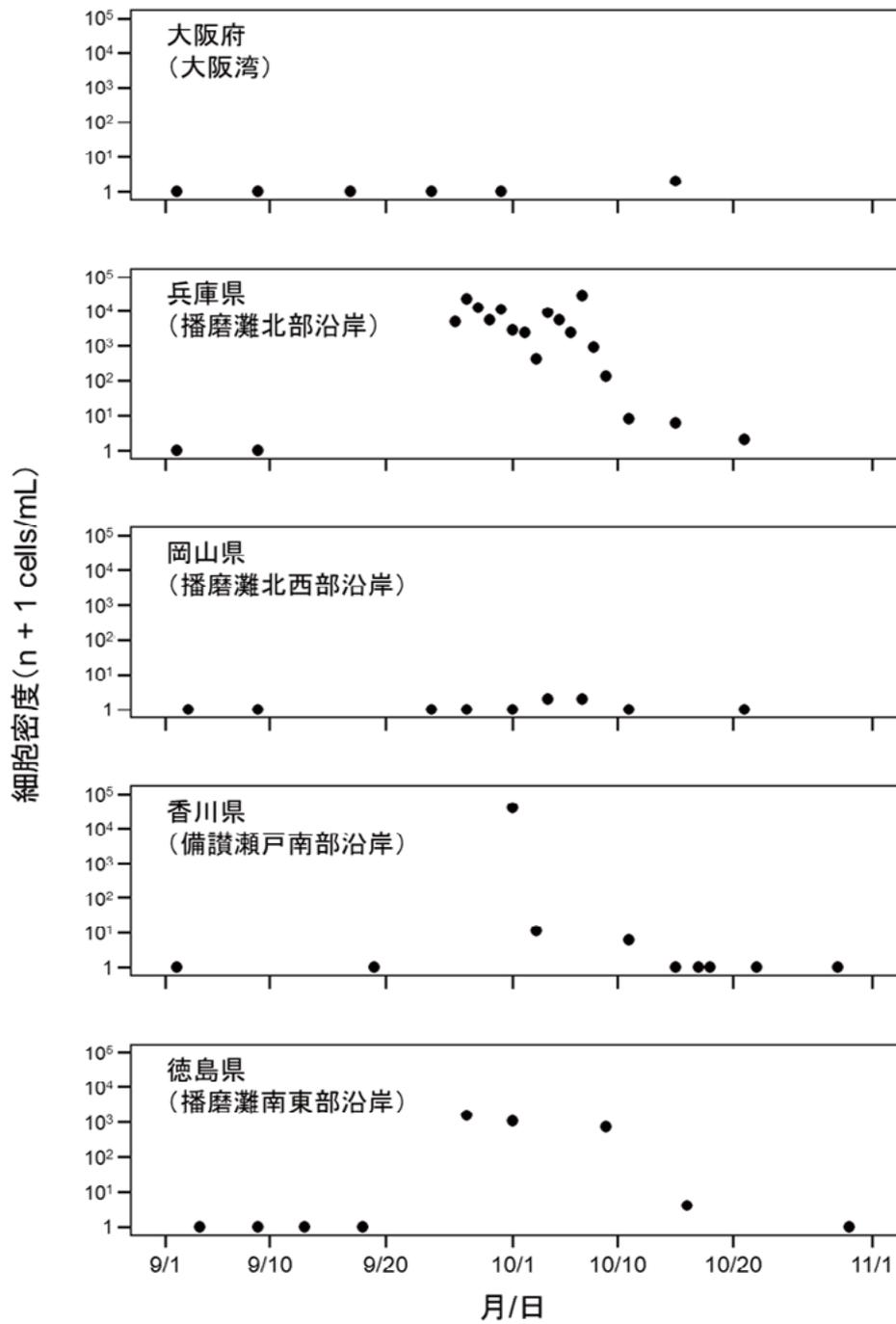


図24 2024年9-10月の瀬戸内海東部5府県海域における*Heterocapsa circlarisquama*の最高細胞密度の推移

表4 2024年6~8月に調査機関が確認した赤潮発生状況（有害種のみ）

番号	発生期間	日数	府県名	構成種名	発生状況および発達状況	最高細胞密度 [cells/mL]	漁業被害
1	6/3 - 6/23	21	兵庫県	<i>Heterosigma akashiwo</i>	明石市二見人工島水路の一部で着色した。	32,095	無し
2	6/3 - 6/8	6	香川県	<i>Alexandrium pacificum</i>	屋島湾の漁港や湾奥部で局所的に発生。 <i>Heterosigma akashiwo</i> との複合赤潮。	634	無し
3	6/3 - 6/11	9	香川県	<i>Heterosigma akashiwo</i>	屋島湾の漁港や湾奥部で局所的に発生。 <i>Alexandrium pacificum</i> との複合赤潮。	101,666	無し
4	6/10 - 6/16	7	兵庫県	<i>Heterosigma akashiwo</i>	赤穂市福浦地先で着色した。	53,500	無し
5	6/25 - 6/30	6	兵庫県	<i>Heterosigma akashiwo</i>	相生湾内の一部で着色した。	38,900	無し
6	7/8 - 8/19	43	岡山県	<i>Chattonella marina</i>	備前市片上湾内において発生した。	2,010	無し
7	7/22 - 8/5	15	兵庫県	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Chattonella marina</i> <i>Chattonella ovata</i>	播磨灘北部沿岸で局所的に高密度化した。	344.7 6.7 10.0	無し
8	7/30 - 8/9	11	岡山県	<i>Karenia mikimotoi</i>	浅口市沿岸および笠岡市沿岸において発生した。	4,900	有り
9	8/2 - 8/23	22	香川県	<i>Karenia mikimotoi</i>	屋島湾の漁港や湾奥部で局所的に発生。	58,000	無し

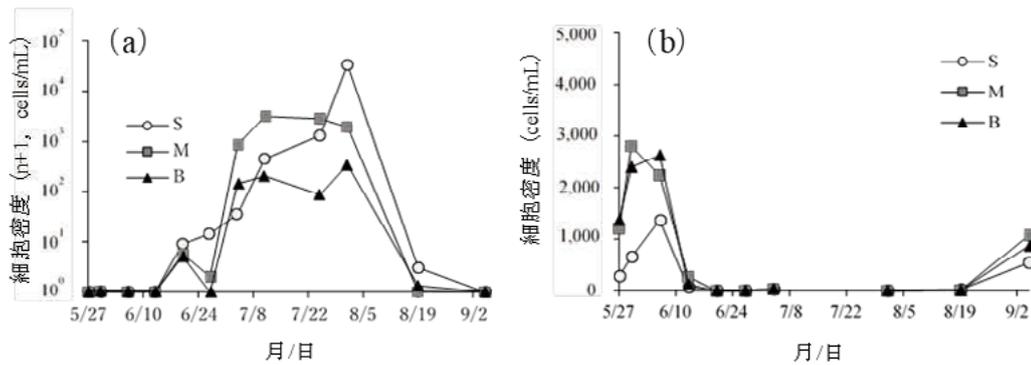


図26 2024年5月27日~9月5日の片上湾奥部における*Chattonella antiqua* + *C. marina* (a) と珪藻類 (b) の細胞数の変化

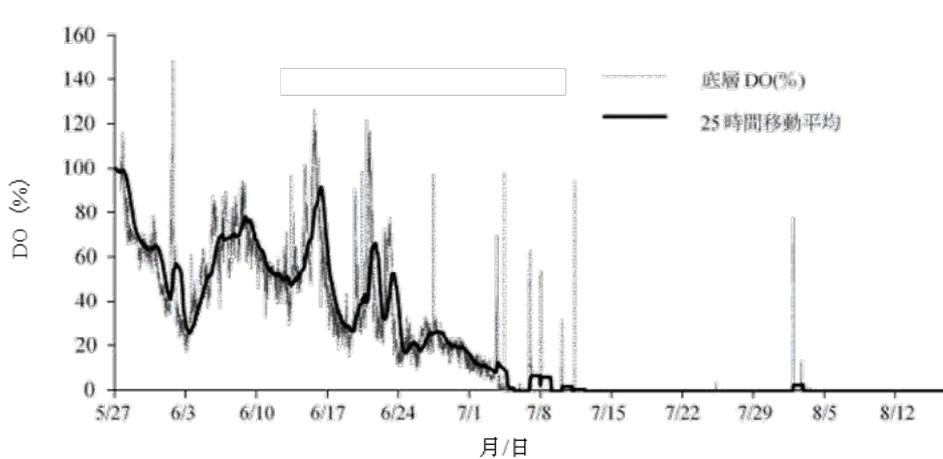


図27 2024年5月27日~8月12日の片上湾奥部における底層DOの推移

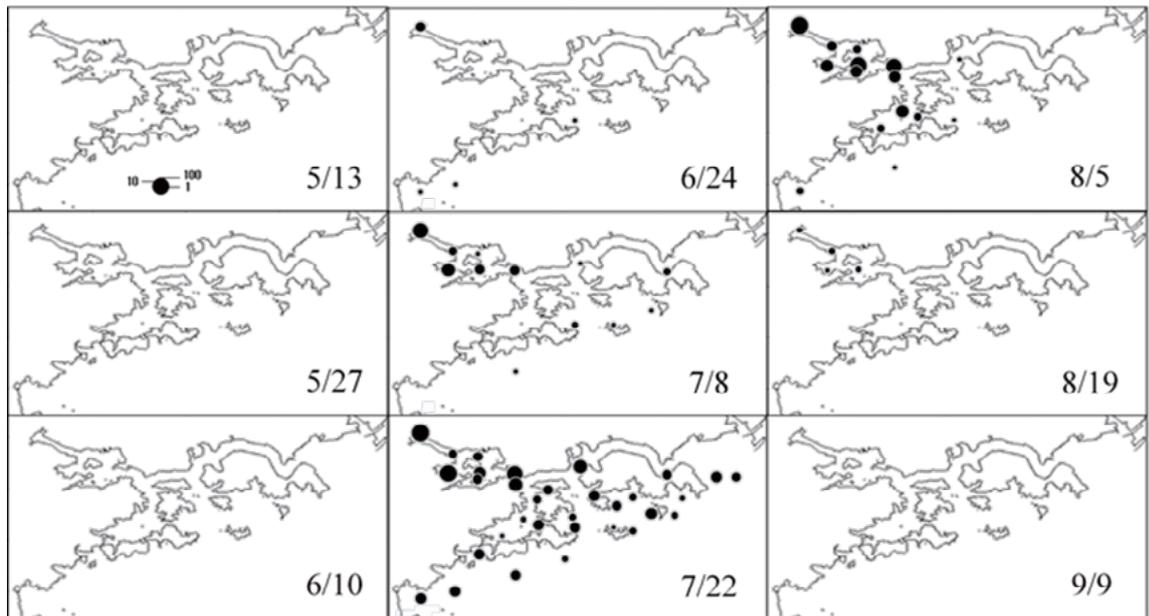


図28 2024年5~9月の片上湾周辺の*Chattonella antiqua*+*C. marina*の細胞密度の変化 (cells/mL)

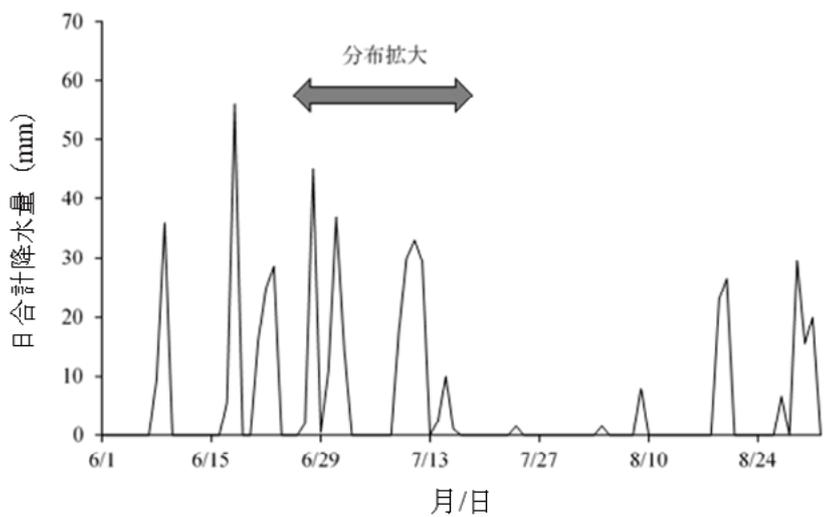


図29 2024年6月1日~8月31日の岡山市における降水量の推移

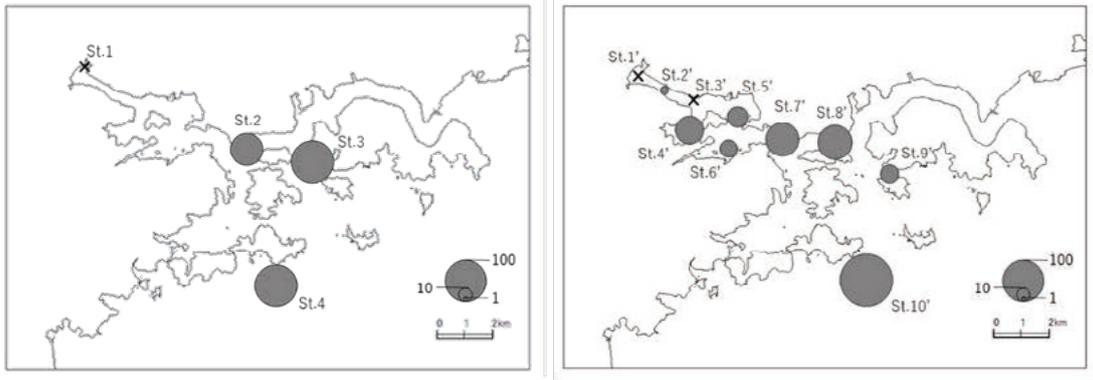


図30 2023年12月（左）と2024年11月（右）の*Chattonella* spp.のシストの分布（cysts/cm³, ×は未検出を示す）

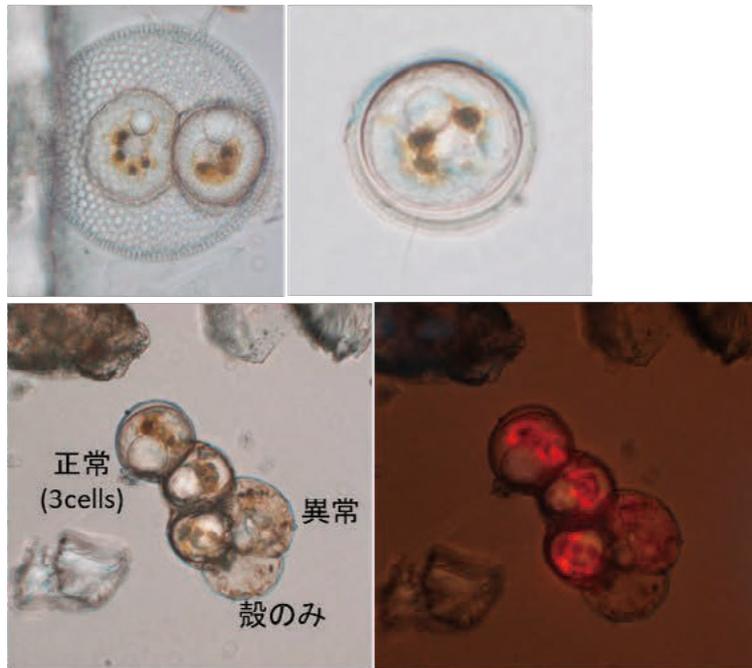


図31 片上湾で検出された*Chattonella* spp.のシスト

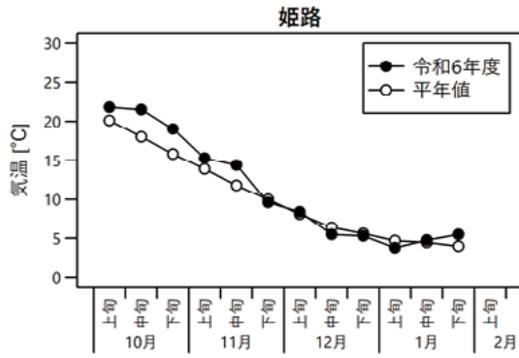


図32 気温の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

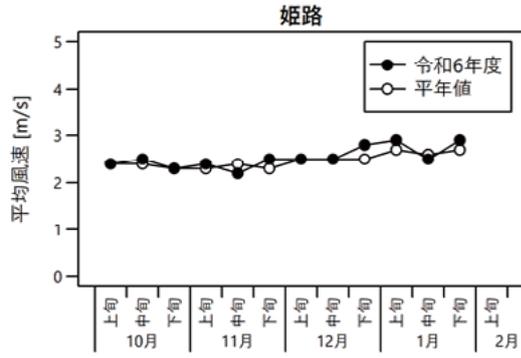


図33 日平均風速の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

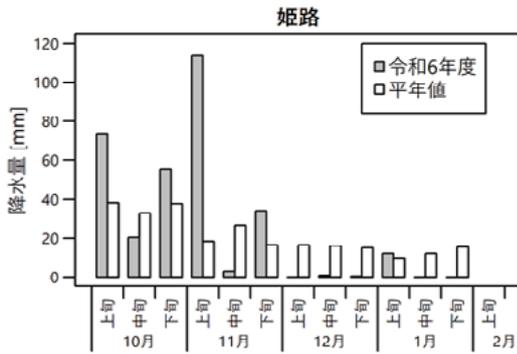


図34 降水量の旬合計値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

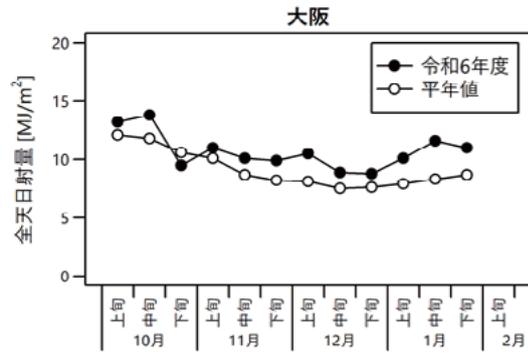


図35 全日射量の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

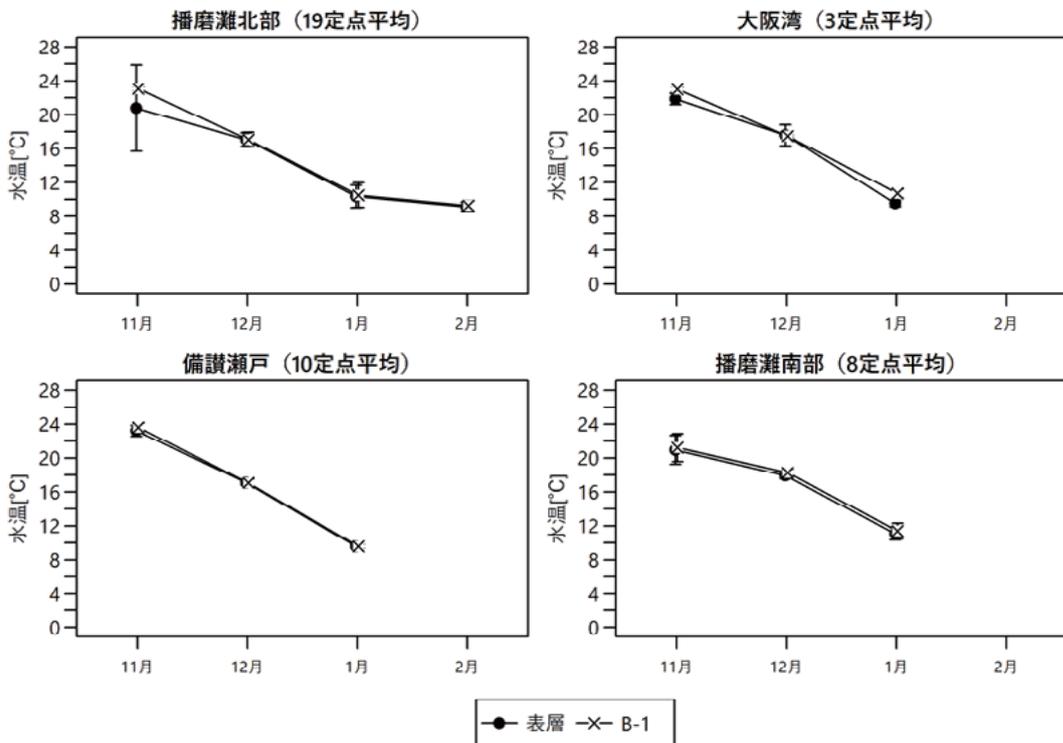


図36 水温の変動

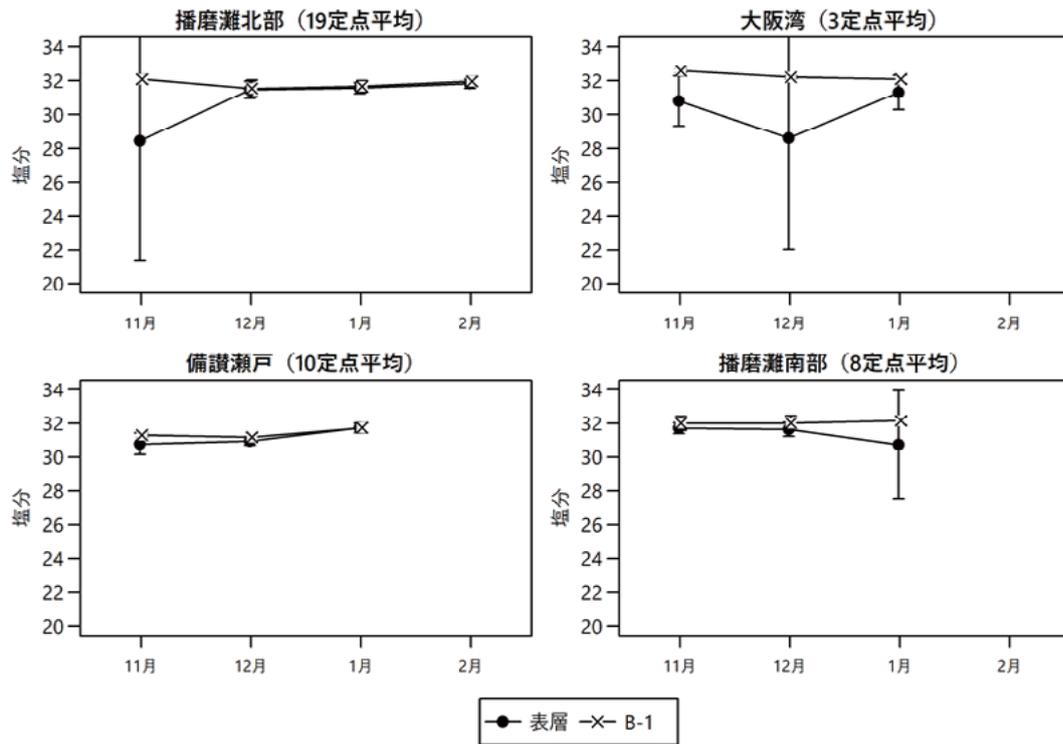


図37 塩分の変動

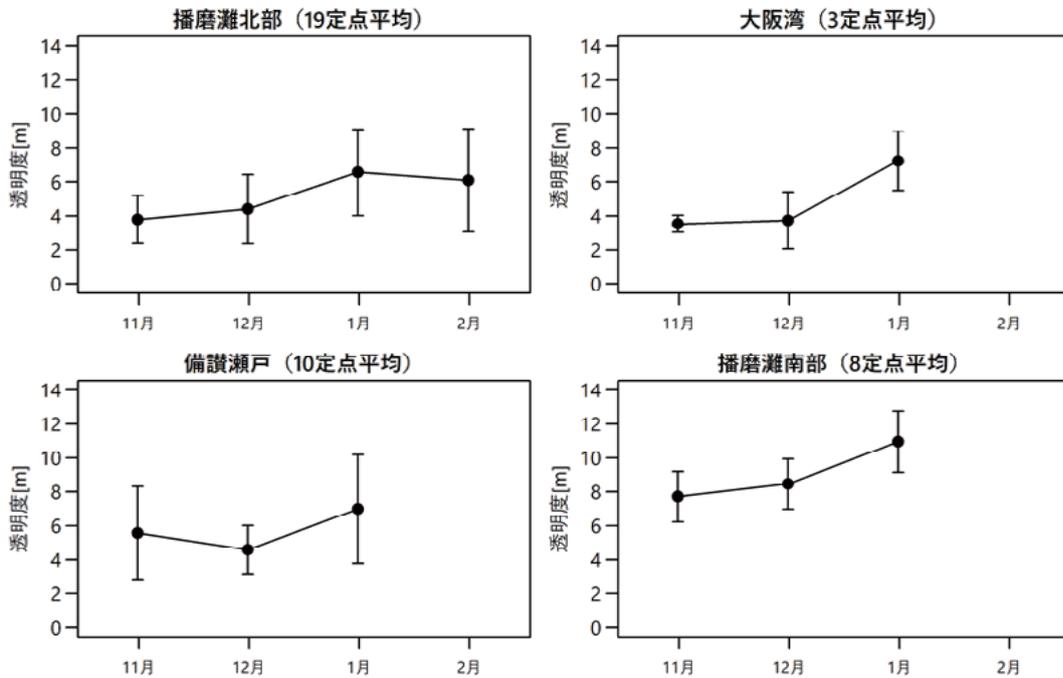


図38 透明度の変動

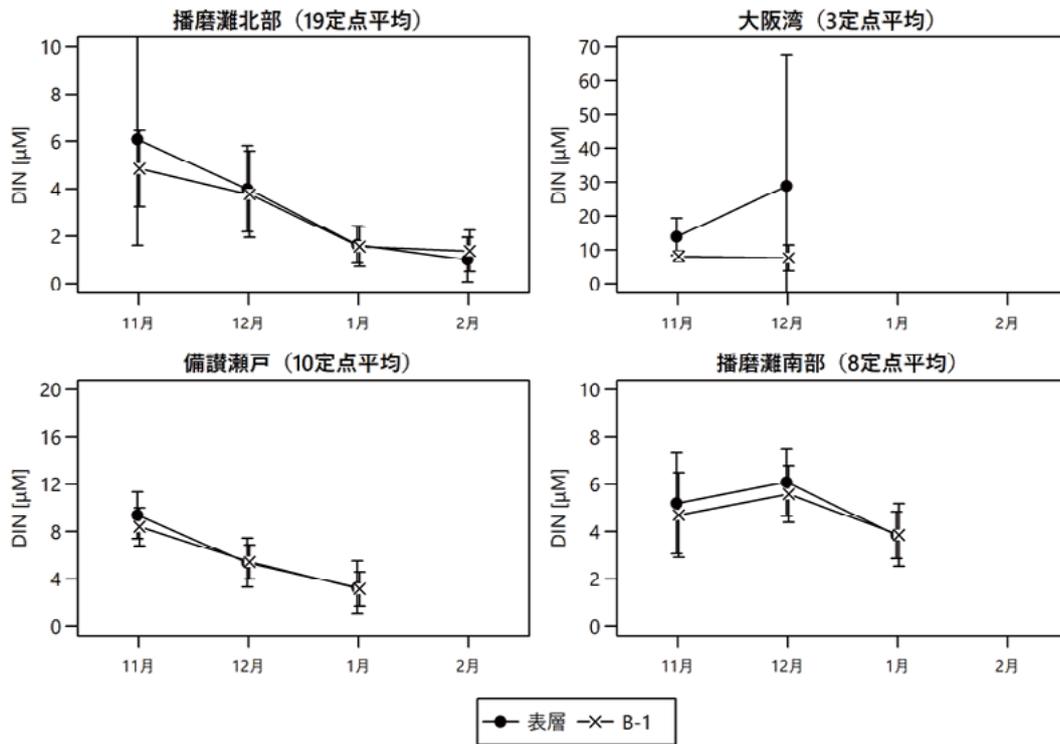


図39 DINの変動

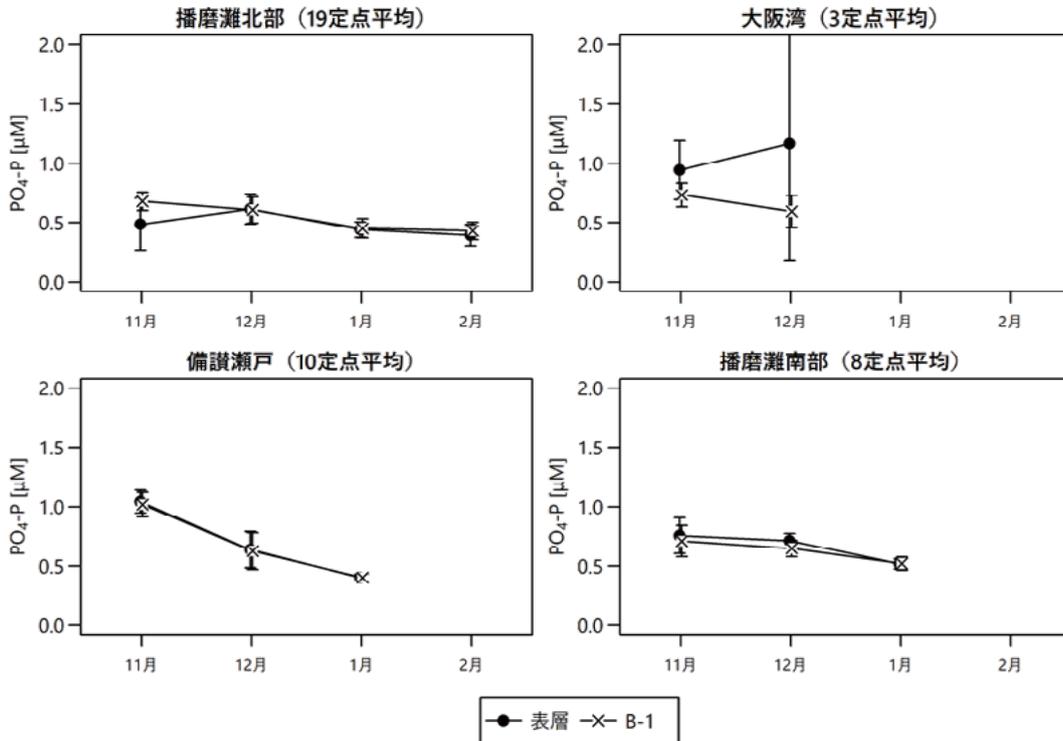


図40 $\text{PO}_4\text{-P}$ の変動

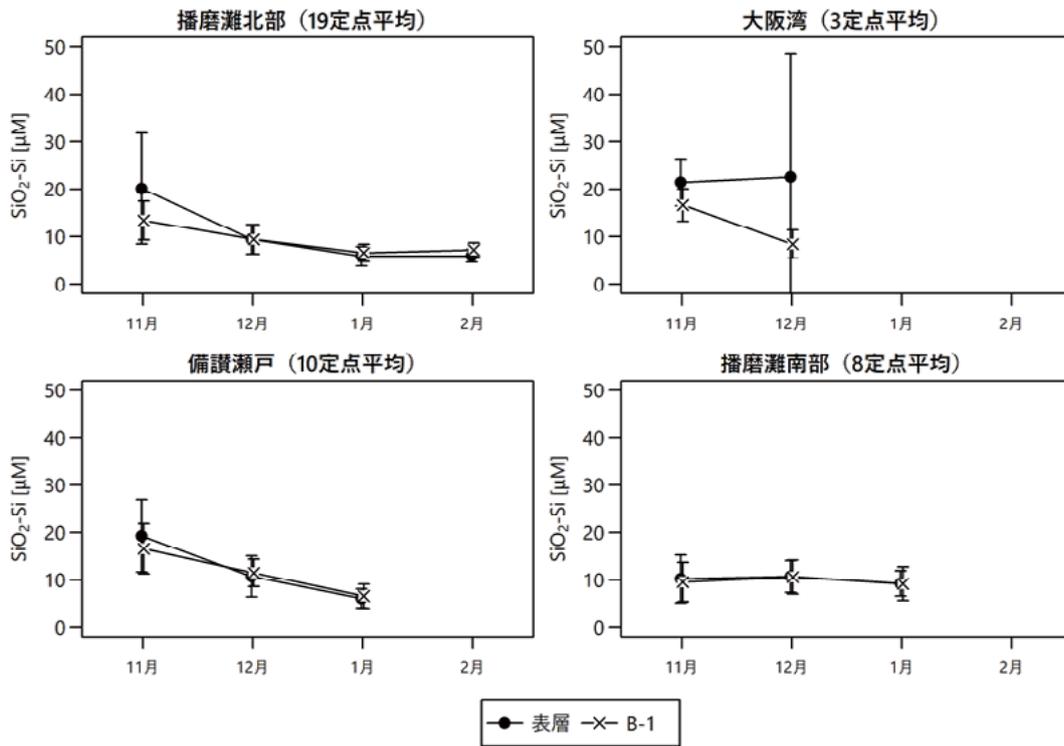


図41 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ の変動

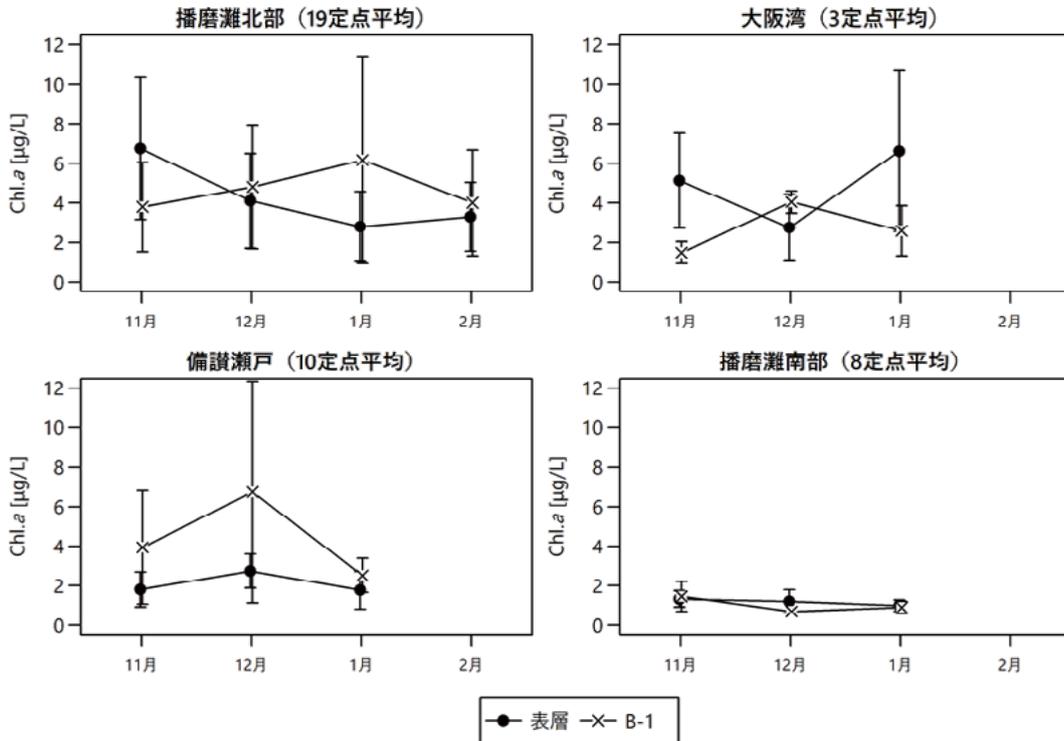


図42 クロロフィルaの変動

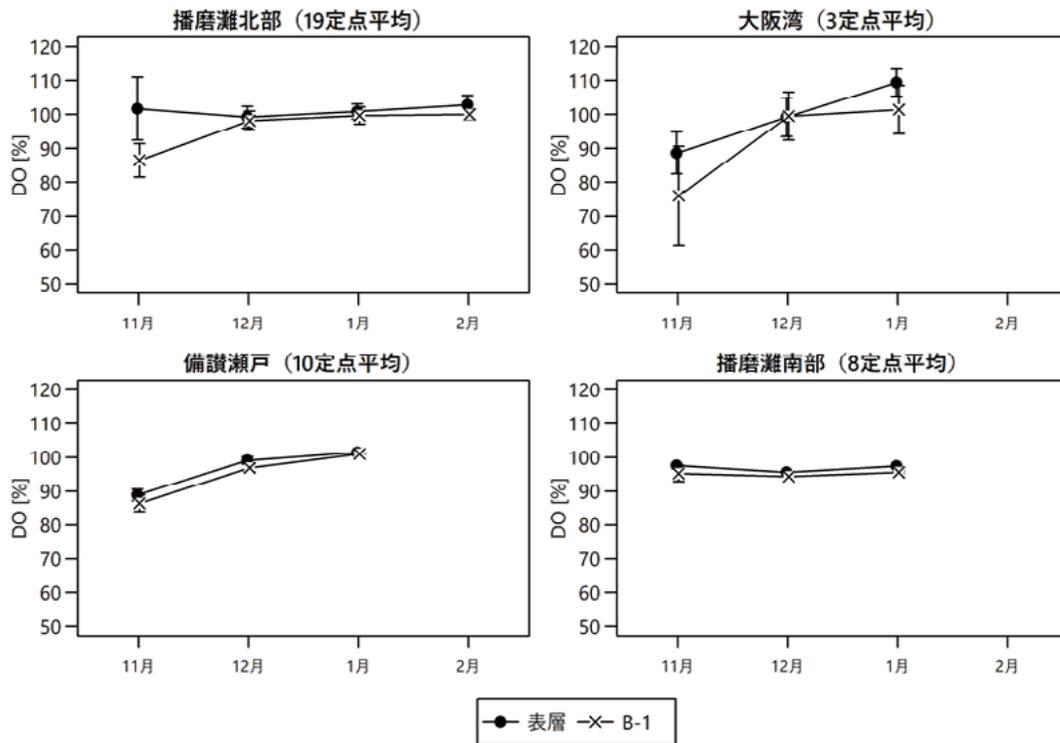


図43 DOの変動

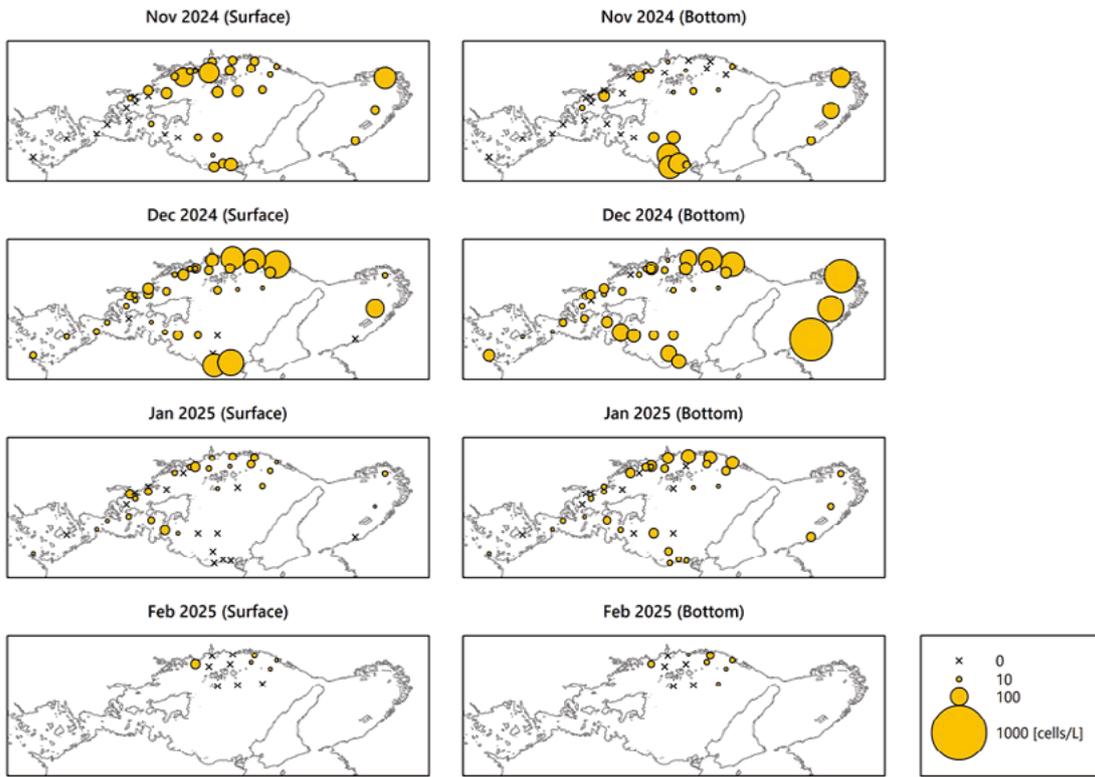


図44 2024年漁期における*Coscinodiscus wailesii*の細胞密度の水平分布

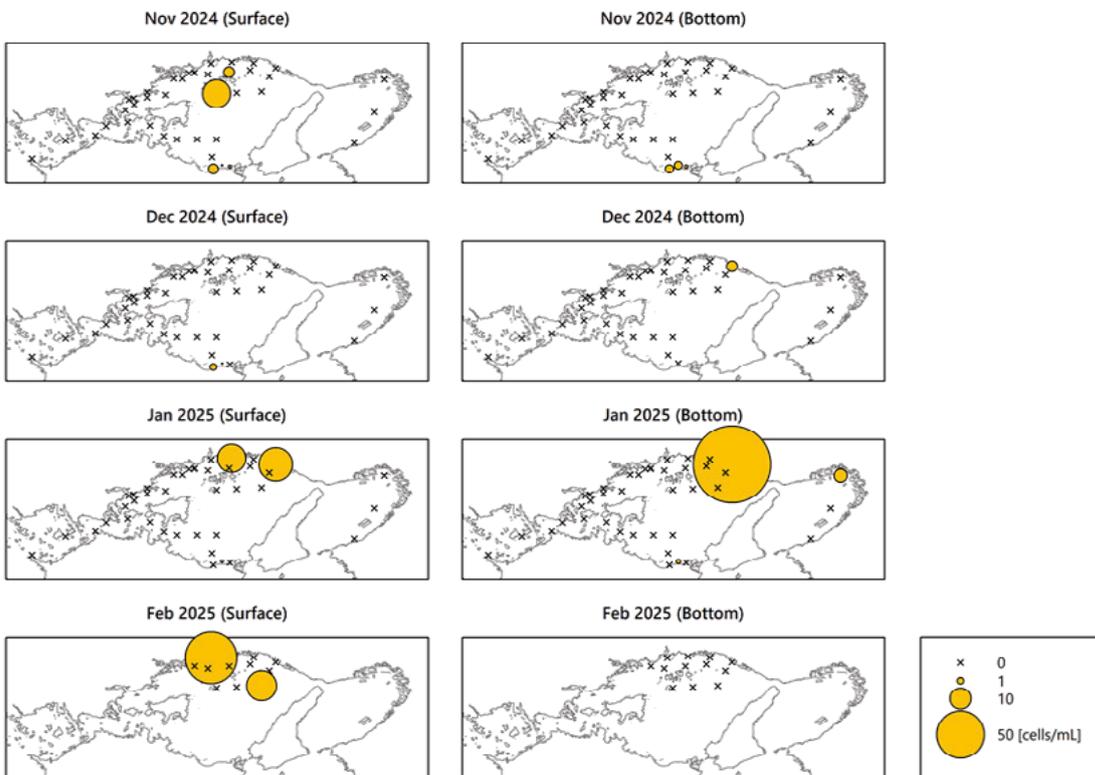


図45 2024年漁期における*Eucampia zodiacus*の細胞密度の水平分布

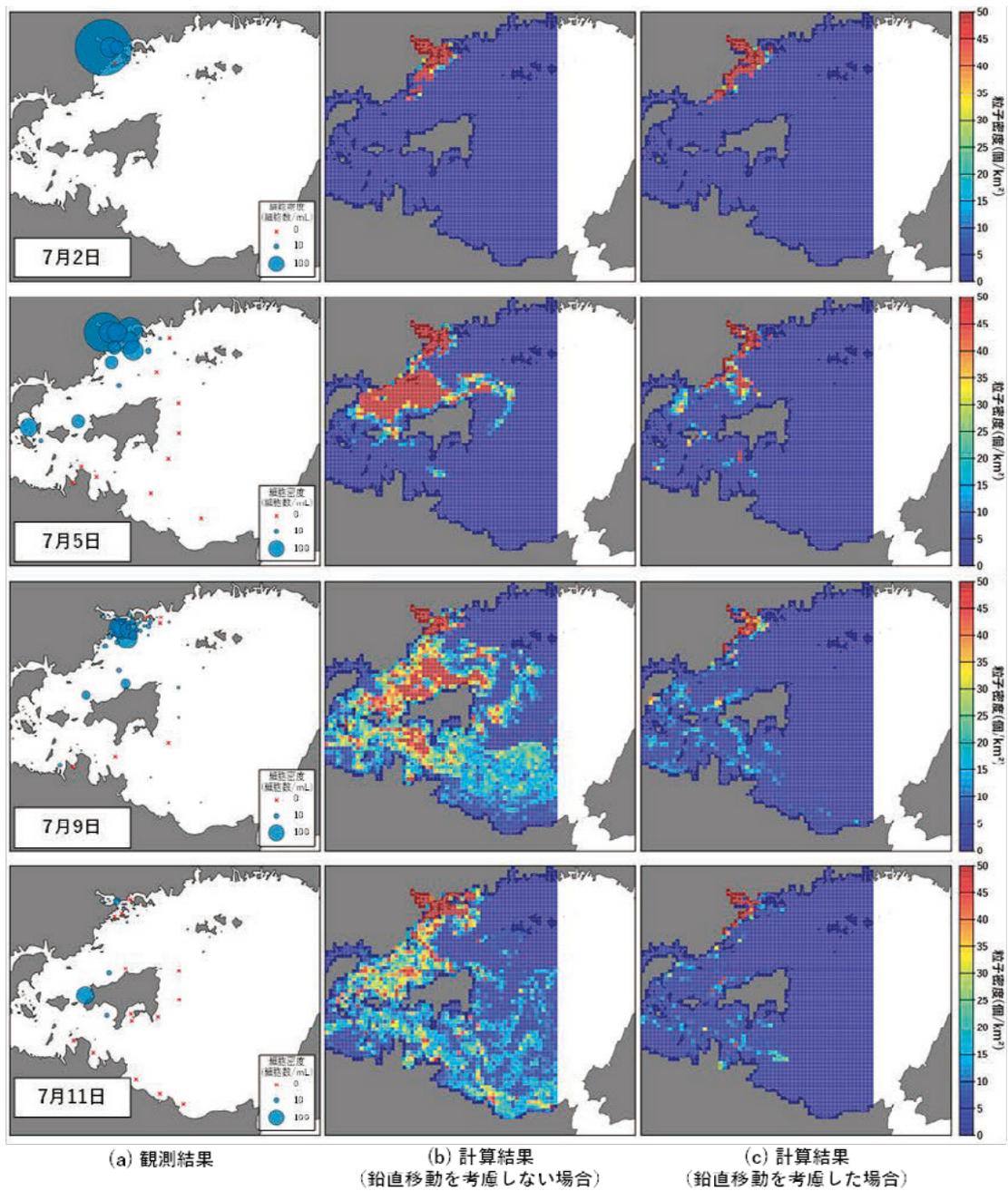


図46 表層細胞密度の観測結果（左：小川ら2022）と粒子追跡計算結果（中：鉛直移動を考慮しない場合，右：鉛直移動を考慮した場合）の比較

表5 シャットネラ赤潮の判別予察・結果。予察の的の中については、予察と結果が一致した場合を「◎」, 「△」と予察して発生した場合を「○」, 「△」と予察して非発生の場合を「△」, 予察と結果が一致しなかった場合を「×」と表す。

広域 湾・灘	小海域	解析手法	説明変数	説明変数の数	教師データ期間 (年)	2024年		
						予察	結果	的の中
播磨灘	北西部 (岡山沖)	マハラノビス距離 (早期予察)	5月塩分(St.2-0.5m層) 5月水温(St.2-0.5m層) 6月DIN(St.2-0.5m層)	3	予察対象年の前年から 過去16年間	×	×	◎
		マハラノビス距離 (直前予察)	5月塩分(St.2-0.5m層) 5月水温(St.2-0.5m層) 7月水温(St.2-B-1m層)	3		×	×	◎
	北東部 (兵庫沖)	線形判別 (早期予察)	5月表層水温 5月底層水温 6月珪藻細胞密度	3	1999-2014 (2012年は除く)	×	×	◎
		線形判別 (直前予察)	5月表層水温 5月底層水温 7月珪藻細胞密度	3	1999-2014 (2012年は除く)	×	×	◎
	南東部 (徳島沖)	マハラノビス距離	6月栄養塩(St.4, 10m層) 6月表層水温(St.4, 1m層)	2	1999-2021	×	×	◎
		マハラノビス距離	7月上旬珪藻細胞数(St.4, 0-5m層) 6月表層水温(St.4, 5m層)	2		×	×	◎
		マハラノビス距離	5月降水量(徳島)	1		○	×	×
	南西部 (香川沖)	マハラノビス距離 (早期予察)	5月塩分(表層) 5月PO ₄ -P(表層)	2	1999-2014	×	×	◎
		マハラノビス距離 (直前予察)	5月降水量(引田) 6月PO ₄ -P(表層) 7月珪藻細胞密度	3	1999年から予察対象年 の前年まで	△	×	△
	大阪湾 大阪沖	フローチャート	6月シャットネラ細胞数	1		×	×	◎
		線形判別	6月下-7月上旬日照時間(大阪) 7月水温(10m層)	2		△	×	△
		線形判別	7月水温(10m層) 5-6月降水量(大阪)	2	1999-2014	△	×	△
線形判別		5-6月降水量(大阪) 6月下-7月上旬日照時間(大阪)	2		△	×	△	
線形判別		5-6月降水量(大阪) 6月下-7月上旬日照時間(大阪)	2	1999年から予察対象年 の前年まで	△	×	△	

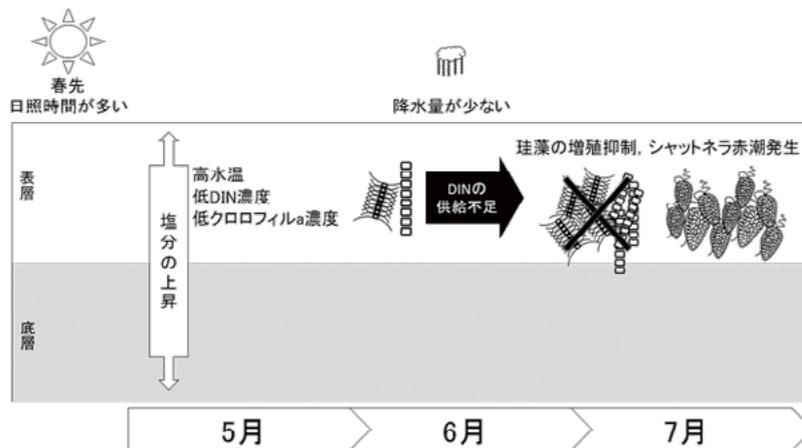


図47 岡山県播磨灘海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

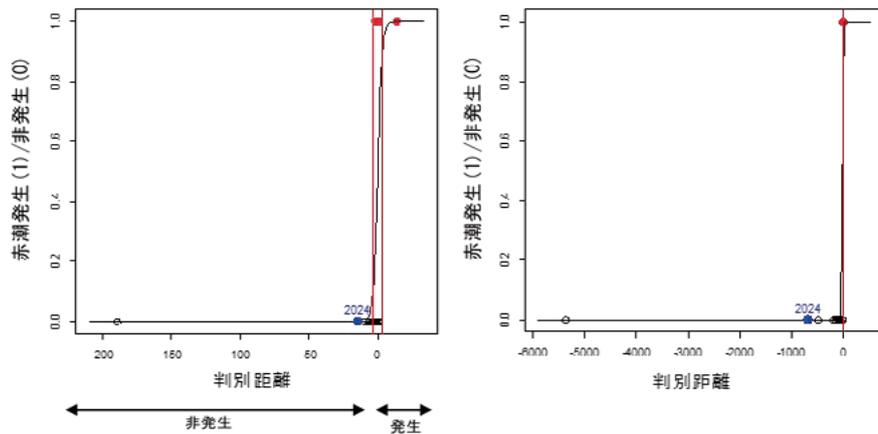


図48 岡山県播磨灘海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。左：予察モデル①，右：予察モデル②。青丸が2024年の予察結果を示す。

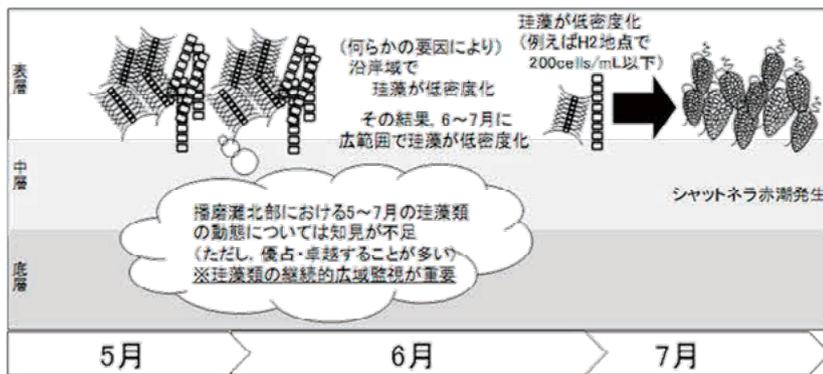


図49 兵庫県海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

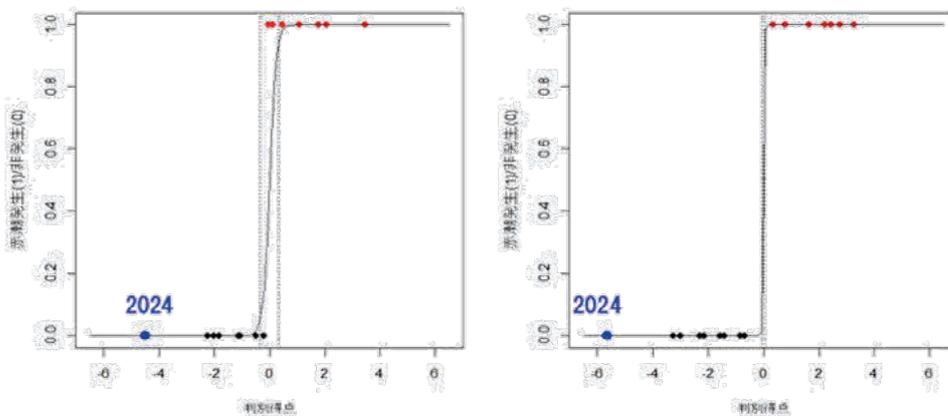


図50 兵庫県海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。左：早期予察，右：直前予察。青丸が2024年の予察結果を示す。

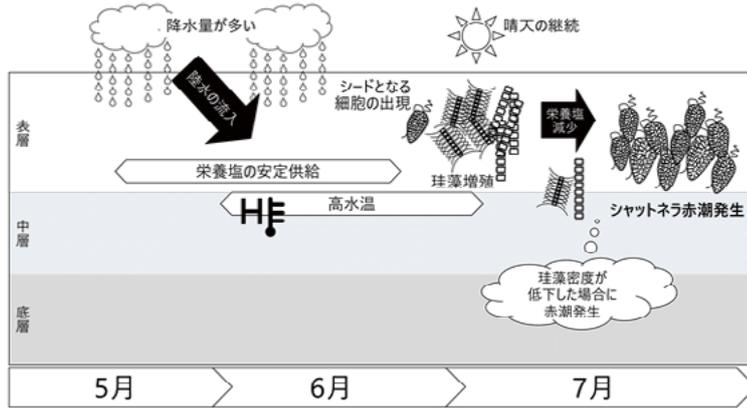


図51 大阪府海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

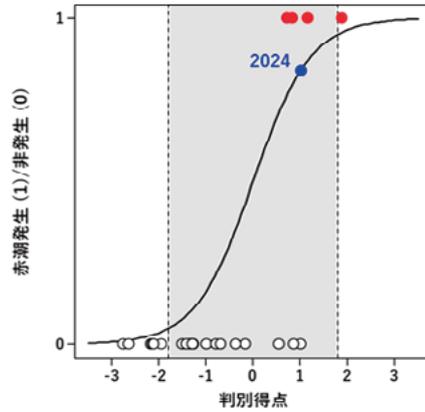


図52 大阪府海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。降水量と日照時間による予察。青丸が2024年の予察結果を示す。

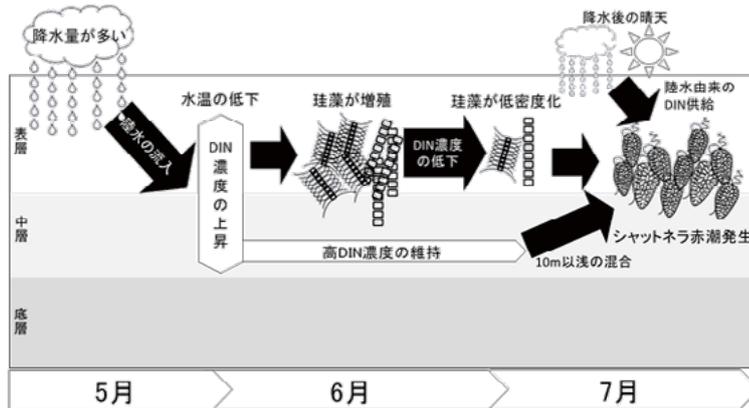


図53 徳島県海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

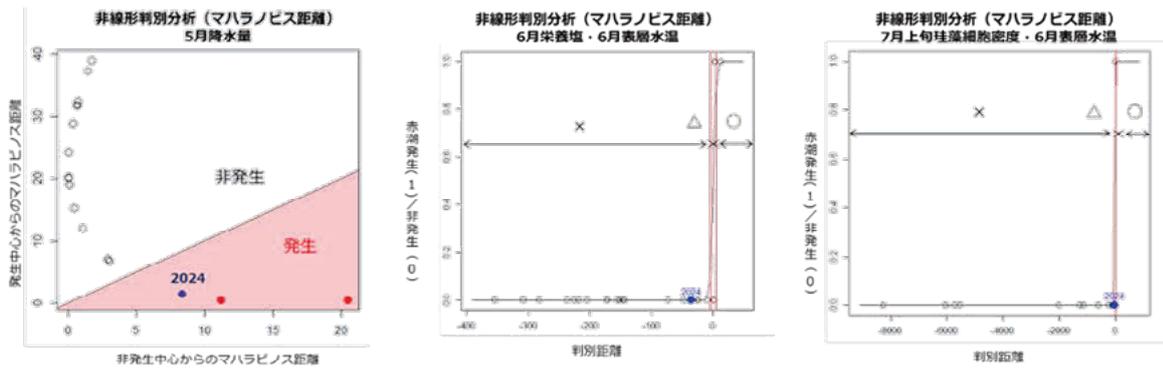


図54 徳島県海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。赤丸が発生年，白丸が非発生年，青丸が2024年を表す。

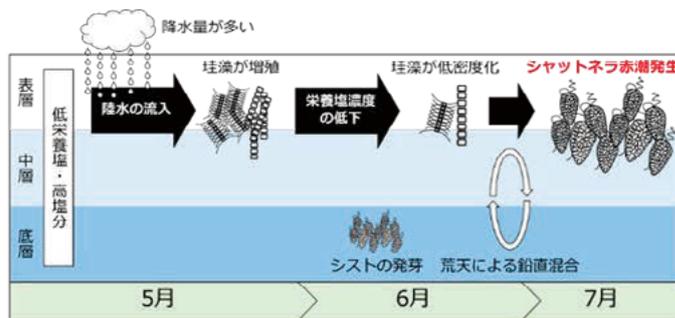


図55 香川県海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

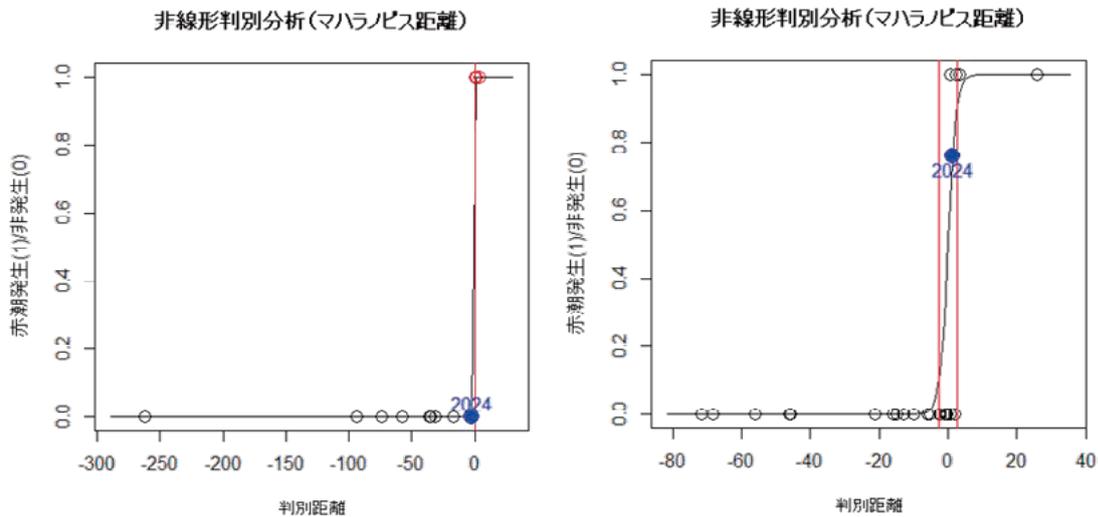


図56 香川県海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。使用データは「5月DIP, 5月塩分」(a; 長期予察), 「5月降水量, 6月 $PO_4\text{-P}$, 7月珪藻類細胞密度」(b; 直前予察)。青丸が2024年の予察結果(非発生)を表す。

表6 ユーカンピニア赤潮の判別予察・結果。発生含有率は「○」「△」「×」「○」と判別されたり発生年の含まれた割合を、括弧内の分母は「○」「△」「×」と判別された母数を、分子はユーカンピニア赤潮発生回数を示す。予察の中については、予察と結果が一致した場合を「◎」、 「△」と予察して発生した場合を「○」、 「△」と予察して非発生の場合を「△」、予察と結果が一致しなかった場合を「×」と表す。

海域	判別手法	目的変量	説明変量	説明変数の数	判別期間(年)	発生含有率(%)			2023年予察結果的中
						○	△	×	
岡山県(播磨灘)	マハラノビス距離	1~2月の赤潮発生 or 局所発生	11月 底層水温 11月 クロコフィルの濃度 1月 クロコフィルの濃度	3	2011~2021	100 (3/3)	25 (1/4)	20 (1/5)	○ ×
岡山県(備讃瀬戸)	線形判別分析	1~2月の赤潮発生 or 局所発生	12月 日照時間(岡山) 12月 PO ₄ -P(B-1m) 1月 水温(B-1m)	3	2005~2015	100 (3/3)	50 (3/6)	0 (0/3)	△ × △
		1~2月の赤潮発生 or 局所発生	1月 水温(B-1m) 1月 SiO ₂ -Si(B-1m)	2	2005~2015	100 (0/0)	86 (6/7)	20 (1/5)	× × ○
兵庫県(播磨灘)	マハラノビス距離	1~2月の大量発生 or 局所発生	11月 N/P比 1月 PO ₄ -P	2	2005~2015	100 (7/7)	—	0 (0/4)	○ × ×
		3月の大量発生 or 局所発生	2月 最高細胞数 2月 日照時間 2月 PO ₄ -P	3	2005~2020	100 (6/6)	0 (0/0)	10 (1/10)	× × ◎
徳島県(播磨灘)	マハラノビス距離	2~3月の発生 or 局所発生	1月 北風風速合計値 1月 兵庫県沿岸の最高細胞密度	2	2005年から予察対象年の前年まで				× × ○
香川県(播磨灘)	線形判別分析	1~3月の赤潮発生 or 局所発生	12月 北風 12月 表層珪藻密度	2	2005~2015	100 (1/1)	25 (1/4)	0 (0/5)	× × ◎
香川県(備讃瀬戸)	線形判別分析	1~3月の赤潮発生 or 局所発生	11月 西風 12月 降水量	2	2005~2015	100 (4/4)	50 (2/4)	0 (0/3)	○ × ×
海域	判別手法	目的変量	説明変量	説明変数の数	判別期間(年)	発生含有率(%)			2023年11月予察結果的中
						○	△	×	× × ◎
大阪府	マハラノビス距離	(地場発生赤潮) 11~2月各月の大量発生 or 局所発生	前月 透明度 前月 10m層の海水密度σ _t 前月 鉛直安定度(5m層σ _t -底層σ _t)	3	1996~2016 (11, 12, 1, 2月のみ)	57 (4/7)	13 (6/45)	0 (0/28)	2023年12月予察結果的中
									△ × △
									2024年1月予察結果的中
									△ × △
								2024年2月予察結果的中	
								○ × ×	

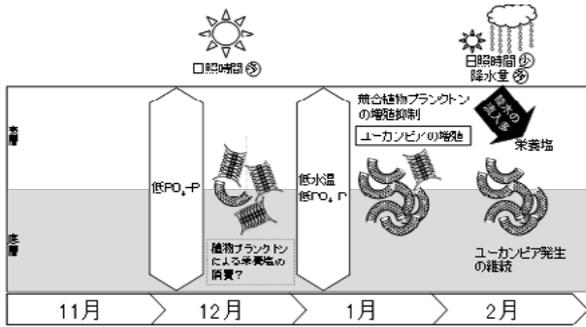


図57 岡山県海域におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ模式図

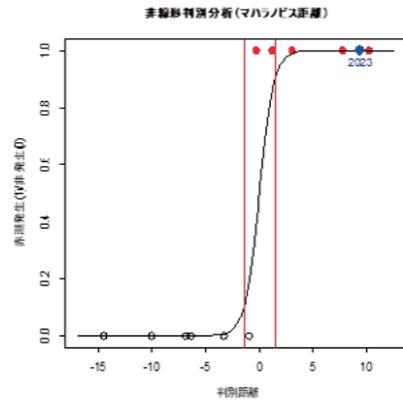


図58 岡山県海域におけるユーカンピア赤潮の発生子察結果。青丸が2023年の予察結果（非発生）を表す。

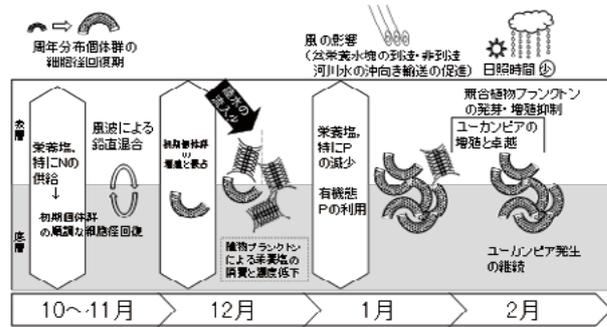


図59 兵庫県海域におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ模式図

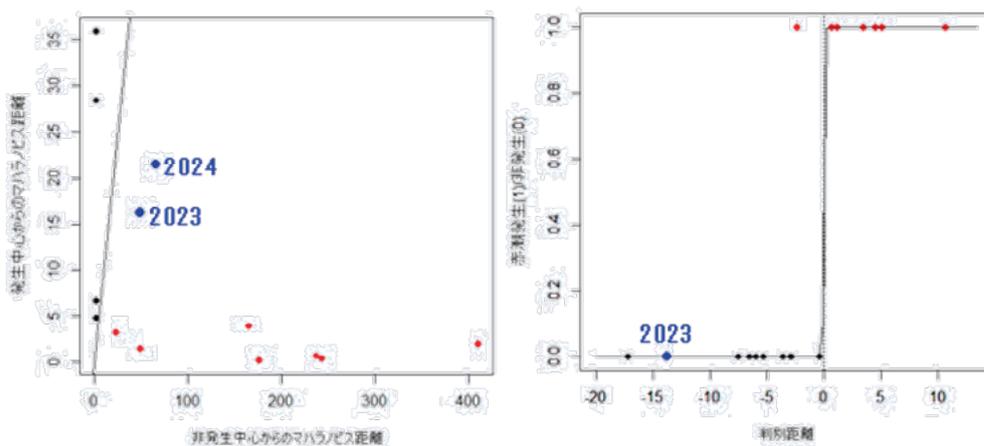


図60 兵庫県海域におけるユーカンピア赤潮の発生子察結果。（左図：1～2月予察，右図：3月予察）。青丸が予察結果を示す。

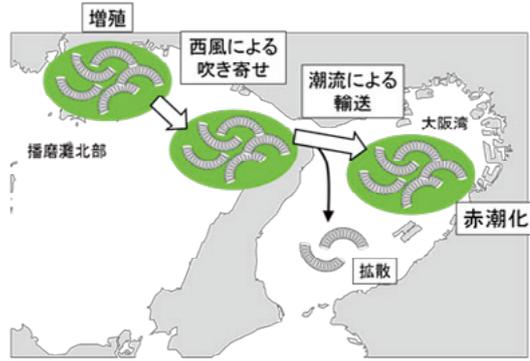


図61 大阪府海域におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ模式図

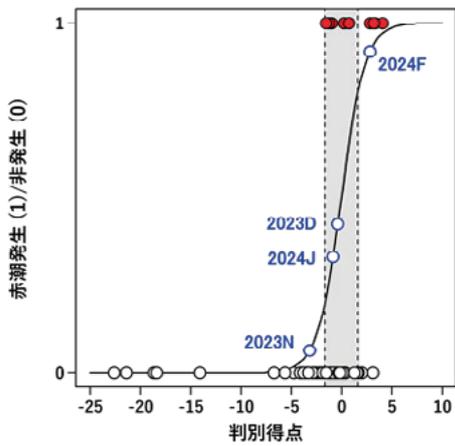


図62 2005～2016年データを用いた3変数による大阪府海域におけるユーカンピア赤潮発生予察結果。赤丸が赤潮発生年、白丸が赤潮非発生年、青字が予察結果を示す（2023年11月～2024年2月はいずれも非発生）。網掛けは「△」予察範囲を示す。

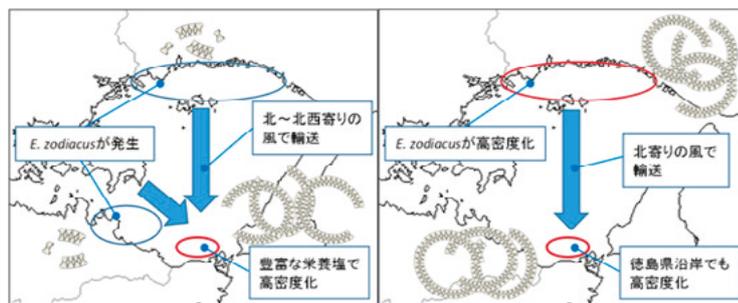


図63 徳島県海域におけるユーカンピア赤潮発生のシナリオ（左：1月発生、右：2月または3月発生）

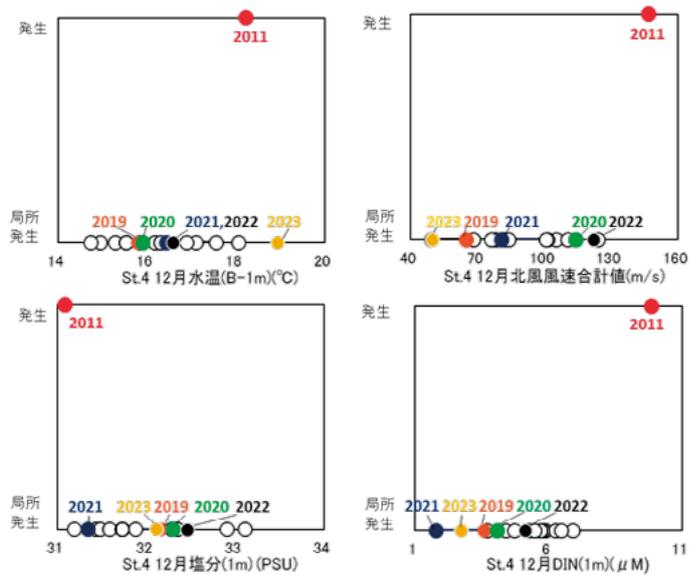


図64 徳島県海域におけるユーカンピア赤潮発生年（1月発生）の特徴解析例。1月に赤潮が発生した年は12月に水温が高く、塩分が低く、北風合計風速値が高く、栄養塩濃度が高いという特徴を有する可能性が示唆された。

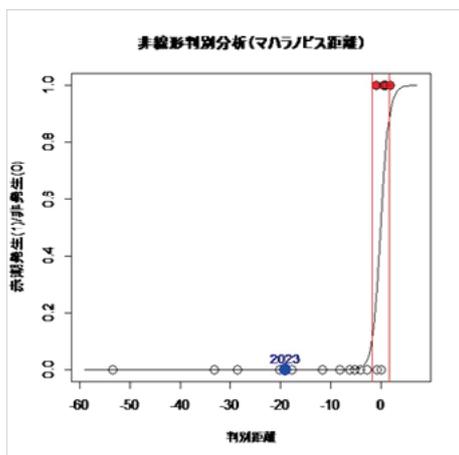


図65 徳島県海域における2月、3月のユーカンピア赤潮の発生予察結果。赤丸が発生年，白丸が局所発生年，青丸が2023年を表す。

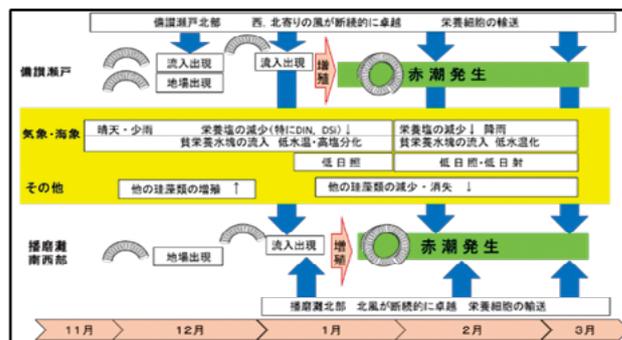


図66 香川県海域におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ模式図

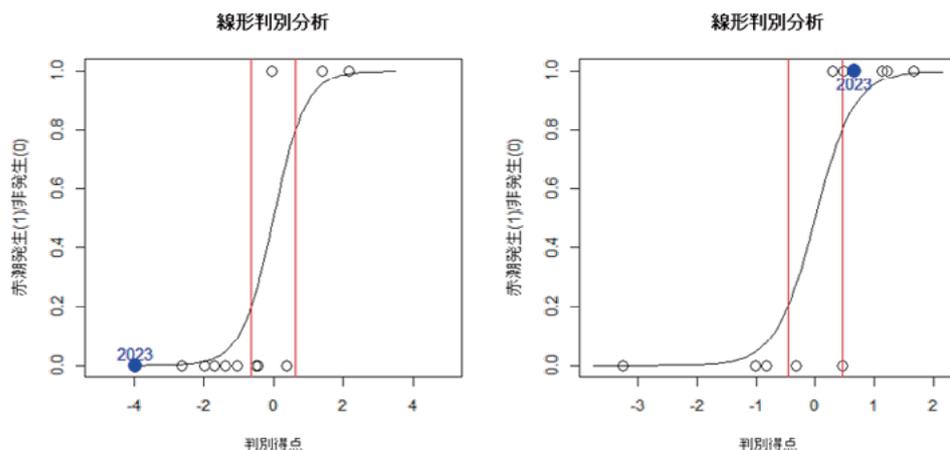


図67 香川県海域（播磨灘・備讃瀬戸）におけるユーカンピア赤潮の発生予察。使用データは，播磨灘（a）が12月北風，12月表層珪藻細胞密度，備讃瀬戸（b）が11月西風，12月降水量。青丸が2023年の予察を表す。

表7 新予察対象種の赤潮発生シナリオ作成における環境因子（説明変量）の候補

海域	種名	使用データ期間	目的変量	説明変量（候補）
岡山県 （播磨灘・備讃瀬戸）	<i>C. wailesii</i>	2007～2023年	10月の赤潮発生	8月 PO ₄ -P（表層）、降水量 9月 透明度、日照時間、降水量
兵庫県 （播磨灘）	<i>C. wailesii</i>	1989～2023年	秋季（10～11月）の赤潮発生	8月 水温（表層と底層の差）、PO ₄ -P（底層）、 SiO ₂ -Si（底層）、DO（底層）
大阪府 （大阪湾）	<i>K. mikimotoi</i>	2006～2023年	7～8月の赤潮発生 9～10月の赤潮発生	水温20～27℃（水産技術センター定置観測水温） 塩分低下（成層崩壊） 日照時間の低下
徳島県 （播磨灘）	<i>C. ovata</i>	1999～2023年	9月の赤潮発生	5月 珪藻細胞密度、降水量 6月 水温（1 m層）、DIN（10 m層）、 PO ₄ -P（10 m層）、SiO ₂ -Si（1、10 m層）、 珪藻細胞密度、降水量 7月 SiO ₂ -Si（1、10、B-1 m層）、 PO ₄ -P（10 m層）、 8月 水温（10 m層）
香川県 （播磨灘・備讃瀬戸）	<i>C. wailesii</i>	2005～2023年	10月の赤潮発生 11月の赤潮発生	7月 DIN（表層）、降水量、気温 8月 降水量 9月 DO（表層）、DIN（表層）、SiO ₂ -Si（表層） 8月 水温（底層）、降水量 9月 水温（表・底層）

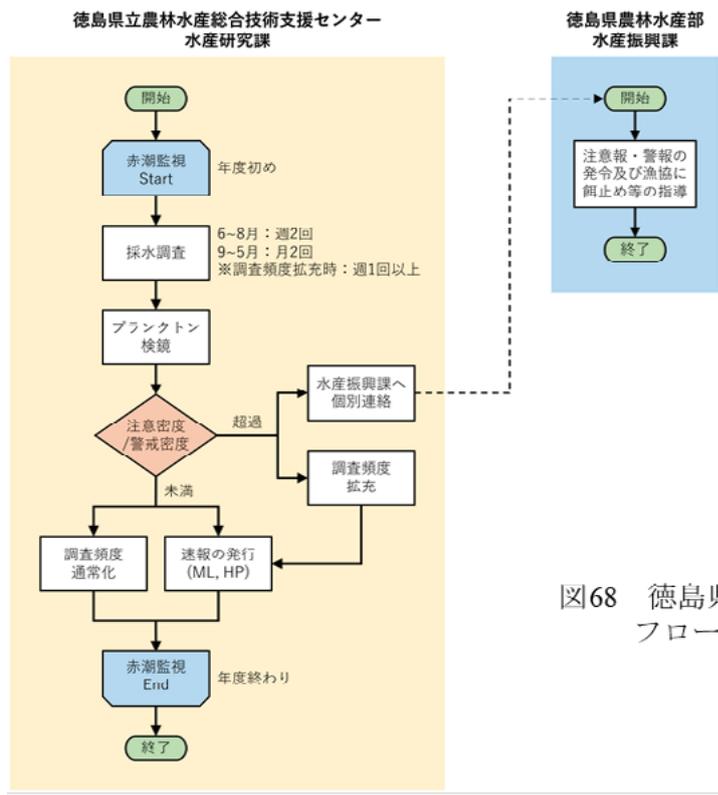


図68 徳島県における赤潮対策実施状況
フローチャート

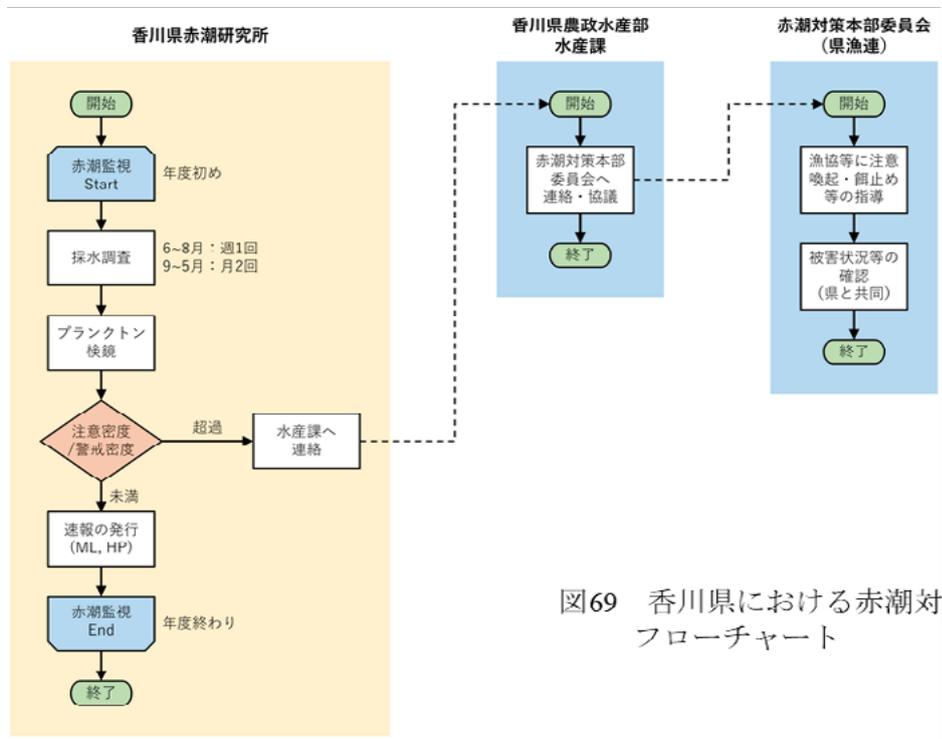


図69 香川県における赤潮対策実施状況
フローチャート