

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

令和6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.....	51
ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域.....	101
エ. 日本海西部海域.....	126
オ. 九州北部海域.....	143
カ. 有明海・八代海海域	
① 有明海海域	157
② 八代海海域	192

2) 赤潮の被害軽減手法の開発

ア. 魚毒性診断技術の開発.....	228
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.....	252
② 生簀の魚の救命・延命技術の高度化技術開発と実証.....	262

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.....	276
イ. 赤潮等関連情報の提供及び利活用の促進.....	284
ウ. モニタリング技術の普及.....	300

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に、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、漁業被害軽減対策に向けた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8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によって、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

八代海における赤潮被害低減のため、現行の対策にモニタリングおよび予察の増強、および行動計画の項目を追加して実施する。これらは、「まず現状を把握し、それをもとに予察を行い、赤潮発生の兆候が見られたときにどのような行動をすべきか整理しておく」という被害低減の考え方に

において必要な項目である。

モニタリングでは、従前のモニタリングに加え、モニタリングの高度化として、赤潮観測に先端機器を導入するための技術開発を行う。従前のモニタリングでは、高頻度モニタリングと ICT ブイ等による水質観測を実施する。高頻度モニタリングでは八代海を縦断する調査定点を 8 点設定し、5～9 月に週 1 回の頻度で水温・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。ICT ブイ等による観測では、大型自動観測ブイ 1 基、テレメータ 15 基、赤潮カメラ 1 台、有害赤潮プランクトンセンサー 1 台を八代海に設置し、それぞれ水質、海色、FSI 値を連続観測する。モニタリングの高度化ではドローンと自動採水顕微鏡装置を用いて現場観測を行う。ドローンでは、採水機能を追加し、観測点の採水・検鏡を通して、赤潮範囲推定の精度確認を行う。自動採水顕微鏡装置では、現場観測を通して機器の改善点を探索し、改修後、室内実験にて作動テストを行う。

予察では、これまでの判別分析による発生予察に加え、発生後の拡大予察に向けたモデル開発に取り組む。発生予察では、判別分析による発生予察を実施し、さらに使用する変数や統計的分類手法の刷新を検討する。拡大予察では、八代海の流動モデルの開発と栄養塩動態の解明に取り組み、将来的に両者を組み合わせて物質循環モデルの開発を目指す。

行動計画では、当海域において、これまで取り組みがなかったことから、過去の情報収集と整理から始める予定である。まずは過去の状況と対策を収集し、整理表を作成する。次に、この整理表をドロッカーのフィードバック分析を用いて改善していく。また、科学的裏付けによる改善も並行して実施する。

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を定量するために、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を軽減する。

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、およびクロディニウム属による魚類の斃死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ても、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独学で技術を習得するための教材開発についても検討する。

本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

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, 近藤 健, 山本圭吾
兵庫県立農林水産技術総合センター 水産技術センター
妹背秀和, 肥後翔太, 宮原一隆
岡山県農林水産総合センター 水産研究所
高木秀蔵, 乾 元気, 角田成美, 石黒貴裕
徳島県立農林水産総合技術支援センター 水産研究課
朝田健斗, 岡本裕太, 棚田教生, 池脇義弘
香川県 赤潮研究所
小川健太, 松下悠介
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
三宅陽一, 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5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傭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 6/20, 6/27, 7/4, 7/11, 7/18, 7/25, 8/2, 8/22

兵庫県 6/5, 6/19, 6/26, 7/3, 7/10, 7/18, 7/24, 7/31, 8/7

大阪府 6/12, 6/19, 6/26, 7/3, 7/10, 7/18, 7/24, 7/31, 8/7

徳島県 6/12, 6/19, 6/26, 7/3, 7/10, 7/18, 7/24, 7/31, 8/17

香川県 6/5, 6/12, 6/19, 6/26, 7/3, 7/10, 7/18, 7/24, 7/31, 8/14, 8/21, 8/28

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 1 mL 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

（湾奥調査）令和 5 年 6~9 月に、片上湾周辺の湾奥部の表層、中層（1.5 m 層）、底層（底上 0.5 m）において採水し（図 2）、珪藻類と *Chattonella antiqua* および *C. marina*（以下、*C. ovata*）を含まない上記 2 種を併せて *Chattonella* 属とする）の細胞数を計数した。また、海水中の水温、塩分、クロロフィル *a*、栄養塩濃度等の測定も行った。なお、採水頻度は、6 月は週に 2 回程度、7~9 月は月に 2 回程度とした。また、6~8 月には、中層と底層にクロロフィル濁度計を設置し、30 分 1 回、蛍光クロロフィル量を測定するとともに、底層 DO の連続観測も併せて実施した。

（湾内モニタリング調査）令和 5 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、*Chattonella* 属の計数を行った。また、同期間中の当該調査海域に流入する伊里川の水位と岡山市における降水量を取得し、*Chattonella* 属の分布状況との関係を検討した。

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 10/31, 12/5, 1/9, 2/6
兵庫県 10/31, 11/13, 11/20, 11/29, 12/8, 12/19, 1/4, 1/15, 1/22, 1/31
大阪府 11/8, 12/4, 1/9, 1/31
徳島県 11/8, 12/8, 12/19, 1/5, 1/18, 2/7
香川県 11/1・2, 12/5・6, 1/5・11, 2/1・2

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

過去に片上湾から播磨灘へと拡大したシャットネラ赤潮の挙動を明らかにするために、数値流動モデルを構築し、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。

流動計算には、三次元流動モデル SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model) (Zhang et al. 2016) を用いた。支配方程式は Reynolds 方程式、連続式、水温・塩分の輸送方程式、密度の状態方程式であり、静水圧近似と Boussinesq 近似を仮定している。水平粘性には Laplacian 型の Shapiro フィルタ、乱流モデルには Mellor-Yamada2.5 レベルモデルを採用した。

計算領域は、瀬戸内海全域から太平洋南岸の黒潮域までとした (図 4) (鹿島・中谷 2023)。水平方向には三角形要素の非構造格子を採用することで、河口域から外洋までをシームレスに接続した。格子辺長は海岸付近や海峡付近では約 10~100 m、湾灘沖合では約 200~500 m、太平洋領域は約 1~3 km とし、片上湾とその周辺海域は約 50 m で詳細に解像した。鉛直方向には多重 σ 座標系 LSC2 (Localized Sigma Coordinate with Shaved Cell) (Zhang et al. 2015) で最大 84 層に分割した。水深は内海府南海トラフ巨大地震検討会による地形データを基に設定し、片上湾周辺については、格子辺長は約 50 m とし、水深は海図から直接読み取ることで航路などを忠実に表現した (図 5)。

外洋境界には、MOVE/MRI.COM-JPN (Hirose et al. 2019) による海面高度、水温、塩分、流速の出力値 (時間解像度 1 d, 空間解像度 2 km) を与えるとともに、グローバル潮汐モデル FES2014 (<https://www.aviso.altimetry.fr/>) による主要 28 分潮の潮位・潮流振動を加えた。

大気境界には、気象庁メソ数値予報値 GPM-MSM (気温、気圧、比湿、風向・風速)、全球気候モデル解析値 NCEP-CFSv2 (Saha et al. 2011) (長波放射)、AMeDAS 沿岸観測値 (降水量、短波放射) を基に設定した。

陸域からの淡水流入量には、分布型流出モデル Hydro-BEAM (小尻ら 1998) を瀬戸内海および太平洋南岸の集水域に適用し、解析雨量を入力とした水文流出計算により求めた毎時流量を与えた (山根ら 2022)。一級水系 27 河川、中小河川 87 河川の計 114 河川を解析対象とし、片上湾への流入河川としては伊里川を考慮した。水平解像度は 4 次メッシュ (約 500 m 正方格子) とし、

鉛直方向はA～D層に4分割した。河道とA層の地表面流出にはkinematic waveモデル、B～D層には線形貯留モデルを適用した。

流動計算により得られた流動場を用いて、中立粒子をシャットネラに見立てたラグランジュ粒子追跡計算を行った。粒子は移流のみによって輸送されるものとし、拡散は考慮しなかった。また、シャットネラは鉛直移動を行うことが知られているが、今回の計算では考慮せず、粒子は流れによって受動的に輸送されるものと仮定した。

数値計算の実行には、大阪大学サイバーメディアセンター大型計算機システム SQUID (Supercomputer for Quest to Unsolved Interdisciplinary Datascience) を使用した。比較的計算規模が大きいので、SCHISM は MPI, Hydro-BEAM は OpenMP により領域を分割した並列計算を行った。

計算期間は2018年1月1日から開始し、2018年7月豪雨を主な解析対象期間とした。2018年6月30日0時に片上湾内に粒子を配置(水平方向:50m間隔、鉛直方向:1m間隔、計4,919個)し、その後の挙動を追跡した。

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、対象種の選定を実施した。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、今年度は赤潮の発生段階に応じた各府県の対策実施状況について整理・情報共有し、フローチャートにより可視化した。

(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：2023年の近畿地方は、梅雨入りが平年より1週間程度早い5月29日頃となり(平年：6月6日頃)、梅雨明けは7月16日頃(平年：7月19日頃)であった。5月下旬の初めごろは高気圧に覆われて晴れる日が多かったが、中頃以降は気圧の谷や前線の影響で曇りや雨の日が多かった。6月以降も、6月中旬に高気圧に覆われて晴れる日もあったが、7月中旬までは全般的に梅雨前線や湿った空気などの影響で曇りや雨の日が多かった。特に6月上旬は降水量がかなり多く、日照は少なかった。7月下旬～8月前半は、高気圧に覆われて晴れる日が多かった。8月14～15日は台風第7号の影響で大雨となったところがあり、また台風通過後も大気の状態が不安定な日が続き、8月中下旬の降水量は多かった。

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～8月上旬は平年を約1.5℃上回り、かなり高めとなった。日平均風速は、6月上旬～7月下旬には平年並みか平年をやや下回って推移したが、8月上旬には九州周辺で1週間以上複雑な動きをしていた台風第6号の影響で慢性的にやや強い南風が吹きこみ、平年を上回った(図7)。降水量は、6月上旬および7月上旬、8月中下旬に平年より多く、7月中下旬は少なかった。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、6月上旬は平年よりも少なかったが、6月中旬～7月上旬

は平年並みで推移した。7月中旬~8月上旬は平年よりも多かった（図9）。

② 海象

水温（図10）：播磨灘北部では6月中旬に19~23℃前後で、その後穏やかに上昇したが、7月中旬に表層で急激に27~29℃まで上昇した。7月下旬にやや低下した後、穏やかに上昇した。大阪湾では6月中旬に表層で23℃前後で、その後穏やかに上昇した。7月下旬に29℃前後にまで達したが、8月上旬にはやや低下した。播磨灘南部では6月中旬に17~23℃前後で、その後穏やかに上昇し8月中旬には24~27℃前後に達した。いずれの海域でも7月中旬に表層で急激に水温が上昇し、その後横ばいもしくは一旦水温低下が見られた。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7月上旬に表層で22~24前後まで大きく低下するとともに、中底層でもやや低下した。その後、7月中下旬に表層塩分は回復した。大阪湾では、表層の変動が大きく、20~29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3~8mで推移し、7月上中旬に低下が見られた。大阪湾では3~8mで推移し、6月下旬にはOS2で12.7mとなったことにより一時的に上昇した。播磨灘南部では、6~11m前後で推移し、特に徳島県海域では調査期間中に低下傾向が継続した。

③ 水質

栄養塩（図13~15）：全般に低めで推移した。DIN, PO₄-P, 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、岡山県海域の7月上中旬、大阪府海域の6月下旬~7月上旬では表層が高く、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、特に表層が高かった。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。

DO（図17）：期間を通じて表層は高く、底層は低く推移した。播磨灘北部では7月下旬に表層で低下し、以後中層と同程度で推移した。大阪湾では表層、5m層、10m層、底層の4層で飽和度に差が見られた。播磨灘南部では、底層のみが低く、表中層は100%前後で推移した。

④ 有害赤潮種

Chattonella antiqua および *C. marina* (*Chattonella* 属)（図18, 19）：6月中旬に播磨灘北東部で初認された（0.7 cells/mL (6/19) 兵庫県海域, H28, H30, H31）。その後も播磨灘北部で低密度で出現していたが、7月上中旬にやや増殖し、7月10日に兵庫県海域で最大32 cells/mL（H2, 表層）、11日に岡山県海域で21.3 cells/mL（OY-3, 底層）が確認されたと同時に、播磨灘南部でも出現が確認された（最大2.3 cells/mL (7/10) 香川県海域, K6, 5m層）。その後、播磨灘で低密度で推移し、大阪湾では7月24日に初認された（2 cells/mL, OS2, 底層）。7月末には兵庫県海域 H28 で表層から底層にかけて一時的に増加した（最大60.0 cells/mL, 底層）が、それ以後は播磨灘南部で散見される程度であった。

Karenia mikimotoi（図20, 21）：6月下旬に播磨灘北部と南部で初認された（最大3.0 cells/mL (6/27) 岡山県海域, OY-2, 表層）。その後播磨灘で低密度で推移していたが、7月25日に岡山県海域で増加し（最大98.7 cells/mL, OY-4, 底層）、7月末~8月頭に播磨灘北部の沿岸域で増殖した（最大250 cells/mL (8/2) 岡山県海域, OY-5, 10m層）。その後も、播磨灘では広範囲で数~80 cells/mL 程度確認されていたが、徐々に細胞密度が低下し、8月末には確認されなくなった。期間中、大阪湾ではごくわずかに確認されたのみである（最大1 cell/mL）。

Chattonella ovata（図22）：7月上旬に播磨灘北部と南部で初認された（最大0.3 cells/mL (7/4) 岡山県海域 OY-2, 底層）。7月中旬以降には、大阪湾を含めていずれの府県の地先海域でも出現が確認されたが、大きく増殖することはなかった（最大2.7 cells/mL (7/31) 兵庫県海域, H28, 5m層）。

Margalefidinium polykrikoides (= *Cochlodinium polykrikoides*)（図23）：7月上旬に播磨灘南部で初

認められた（最大 4 cells/mL (7/3) 香川県海域, K7, 10 m 層）。その後も 8 月末まで播磨灘で散見されたが、低密度で推移した（最大 4.4 cells/mL (7/31) 徳島県海域, T1, 5 m 層）。

Heterocapsa circularisquama：期間中における出現は確認されなかった。

Heterosigma akashiwo：6 月上旬に播磨灘北東部で初認められた（最大 18 cells/mL (6/5) 兵庫県海域, H30, 表層）。その後、兵庫県海域と大阪府海域で出現が断続的に確認されたものの、大規模な増殖には至らなかった（最大 1,046.7 cells/mL (7/10) 兵庫県海域, H30, 表層）。

⑤ まとめ

珪藻類の発生は、播磨灘北部では 7 月上中旬にピークが確認された。大阪湾では、一時的な減少はあるものの 10^4 cells/mL を超過する高密度で推移した（図 24）。2023 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 10 件で、*H. akashiwo* によるものが 5 件、*K. mikimotoi* によるものが 3 件、*Chattonella* 属によるものが 2 件であった。この赤潮による漁業被害は、大阪府海域、徳島県海域、兵庫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、6 月 16 日に *Chattonella* 属が初認められた（中層 1.3 cells/mL, 底層 ; 0.3 cells/mL）（図 25）。その後、いずれの層においても細胞密度が増加し、6 月 30 日には、表層 ; 4.7 cells/mL, 中層 ; 9.7 cells/mL, 底層 ; 15.3 cells/mL となった。以降も増加は継続し、表層では 8 月 14 日に 3,800 cells/mL, 中層では 8 月 2 日に 12,725 cells/mL, 底層では 8 月 2 日に 3,725 cells/mL となった。8 月 14 日以降は急速に減少し、9 月 7 日にはいずれの層においても確認されなくなった。

湾奥底層の DO についてみると、6 月 1 日の 25 時間移動平均値は 20%程度であったが、6 月 12 日に急減し、6 月 14 日にかけてほぼ無酸素となった（図 26）。その後も散発的に無酸素状況を示しつつ推移した。因果関係についてははっきりしない点が残っているが、一昨年度、昨年度と同様に、無酸素状態となった後に *Chattonella* 属が増加する傾向がみられた。来年度以降もこの両者の関係についての調査と検証を行うこととしている。

②湾内モニタリング調査

5 月 15 日~6 月 12 日に実施した調査では、先に示した湾奥での結果と同様に、いずれの定点においても *Chattonella* 属は確認されなかった（図 27）。その後、6 月 26 日の湾奥部の 1 定点で発生が確認された（5 cells/mL）。その後、分布は拡大し、7 月 10 日には湾内の 22 定点で確認された。7 月 24 日には期間中最高となる 26 定点で確認され、そのうちの 7 定点では 100 cells/mL 以上であった。以降、徐々に減少し、8 月 7 日と 8 月 21 日に発生が確認できた定点数は、それぞれ 11 と 5 となり、9 月 11 日にはいずれの定点でも見られなくなった。

6 月 1 日~8 月 31 日の日合計降水量と湾内に流入する伊里川の日平均水位を見ると、通常時の水位は 0.6 m 程度であったが、降雨時には水位が上昇する傾向がみられた（図 28）。特に、6 月下旬から 7 月上旬にかけては、30 mm/日を超える降雨が散見され、7 月 9 日には期間中最高となる 64 mm/日となった。同日の水位は 1.1 m となり、期間中の最高値を示した。

播磨灘北西部では、出水時に、片上湾内の *Chattonella* 属が海域に流出し、赤潮化する事例が報告されている（小川ら 2022a）。本年度も、*Chattonella* 属の分布拡大と降雨・出水はほぼ同時期に生じており、両者の関係は否定されなかった。今後は、過去の事例も併せて解析を行い、播磨灘北西部の赤潮に対する片上湾の影響を検証する必要がある。

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、上旬から中旬は気圧の谷や湿った空気等の影響で大雨となった日

があったものの、高気圧に覆われて晴れた日が多かった。12 月の上旬と下旬は高気圧に覆われて晴れる日が多く、降水量は少なかった。1 月は上旬から中旬に冬型の気圧配置になり日本海側で降雪があったが、太平洋側では降水が少なく、気温も平年を上回った。

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 29~32 に示した。気温は、12 月までは 11 月上旬と 12 月中旬に平年を大きく上回ったが、他は概ね平年並みであった。1 月は月を通して平年を約 1℃上回った（図 29）。日平均風速は、概ね平年並みで推移し、11 月中旬や 12 月中旬に一時的に平年を上回った（図 30）。降水量は、11 月上中旬は平年よりかなり多かった。11 月下旬~12 月上旬、12 月下旬~1 月中旬は平年よりも少なかった（図 31）。全天日射量は、期間中概ね平年を上回り、大阪市では日照時間が 11 月に観測開始以来多い方から第 3 位、12 月に第 1 位となった（図 32）。

② 海象

水温（図 33）：期間ごとの全海域平均でみると、11 月上旬は 22℃ 前後、12 月上旬は 16℃ 前後、1 月上旬は 12℃ 前後、2 月上旬は 9~11℃ であった。大阪湾は、11 月から 2 月にかけて表層より底層の水温が 0.2~1℃ 程度高く、他の海域と比べて表底差が大きかった。大阪湾北部の定点では河川水の影響が大きく、特に表層で低水温、低塩分であったことにより、この表底差が生じたと推察された。

塩分（図 34）：播磨灘では 11 月から 2 月にかけて塩分が緩やかに上昇した。備讃瀬戸では底層で期間中に塩分が緩やかに上昇したが、降水の影響で表層では 2 月に低下した。大阪湾では期間中の表層塩分が 30~31、底層は 32~33 となっており、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。水温と同様、河川水が影響したと推察された。

透明度（図 35）：11~2 月の大阪湾の透明度は 5~8.5 m、播磨灘北部で 5~8 m、備讃瀬戸は 4.5~7 m で推移した。播磨灘南部は 8~12 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 36~38）：DIN は 11、12 月に播磨灘北部で 1.8~2.3 μM 、播磨灘南部で 2.6~4.1 μM 、備讃瀬戸で 4 μM 前後となったがいずれも 1 月には低下した。播磨灘北部や備讃瀬戸で特に低く、1 μM を下回った。2 月も低位で推移したが、児島湾口に位置する OY6 では降水により局所的に高濃度となった（31.3 μM ）。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度（以下 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）は播磨灘、備讃瀬戸ともに 0.2~0.8 μM 前後で推移し、減少傾向であった。 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 濃度（以下 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ）は播磨灘では 6~11 μM 前後で、備讃瀬戸では 2 月の OY6 を除いて 8~13 μM 前後で推移した。播磨灘では、秋以降 12 月まで *Coscinodiscus wailesii* が高密度で発生したことで、栄養塩濃度が低かった。大阪湾では、DIN は表層で 20 μM 前後、底層で 5 μM 前後、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は 0.5~1.0 μM 前後、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は 5~20 μM 前後で推移したが、表層と底層で濃度差がみられた。

クロロフィル *a*（図 39）：播磨灘南部と備讃瀬戸では期間中の変動が小さかった。播磨灘北部では 11 月に沿岸寄りの一部定点において高いクロロフィル *a* がみられ、大阪湾では 12 月に南部の定点の底層で大きく増加した。

DO（図 40）：大阪湾を除いて表層、底層とも大きな変動が見られなかった。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 41）：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（最大 1,120 cells/L、兵庫県海域、H28、底層）と大阪湾（最大 1,073 cells/L、

大阪府海域, OS3, 5 m 層) で増殖した。1 月には大きく減少し, 播磨灘南部で数十~100 cells/L 確認された以外は, ほとんど出現しなかった。大規模発生した大阪府海域と兵庫県海域における発生状況を下記に示す。

(大阪府海域) 本事業調査前である 10 月上旬に底層を中心に高密度で確認された (最大 2,258 cells/L, OS1, 底層)。11 月には数十 cells/L に減少したものの, 12 月には再び増殖し, 最大 1,073 cells/L に達した。底層の DIN は 8~9 月には約 5.7 μM (浅海定線調査 20 定点平均) で推移したものの, 10 月には 1.4 μM にまで低下しており, *C. wailesii* の増殖が寄与したものと考えられた。また, 9 月の大阪市における降水量は少なく (観測開始以来少ない方から第 4 位), 10 月は表層でも 0.9 μM と低濃度であった。近年, 秋に *C. wailesii* が中底層で増殖することが多く, 本種による底層の栄養塩消費により, 成層崩壊後の鉛直混合による表層への栄養塩供給量の減少が示唆される。

(兵庫県海域) 9 月 4, 5 日の調査において播磨灘全域で発生が確認された (本調査外の調査, 最大 540 cells/L, H28 中層, H32 底層)。10 月 2, 3 日の調査では増加が確認された (本調査外の調査, 最大 6,300 cells/L, H7, 底層) が, その後 10 月 31 日, 11 月 1 日の観測では減少した (最大 190 cells/L, H2, 表層)。しかし, 11 月 13 日の調査では再び増加した (最大 1,600 cells/L, H31, 表層)。翌週にはさらに増加した (最大 3,340 cells/L (11/21) Na6, 表層) が, 12 月 19 日の観測では減少した (最大 50 cells/L, H30 表層)。

本年度の発生は 9 月初旬には確認され 11 月初めに減少した期間があったが, 再度増加し 12 月中旬に終息した。秋季の本種の大量発生は 2021 年にもあったが, 本年も 2021 年と同様に発生が長期化した。この時期は鉛直混合で表層の栄養塩濃度が増加するが, 近年は平年に比べて低いレベルにとどまることが多くなっており, 同時期に発生する本種の増殖の影響を受けることが多くなっていると考えられる。本年においても 9 月 4 日, 5 日の調査では表層の DIN 濃度の播磨灘における平均値は 0.4 μM , 10 月 2 日, 3 日の調査では表層の DIN は 0.2 μM と低濃度で推移し, 同種が低密度化した 11 月初旬に表層の DIN が 1.3 μM に回復するまで, 低濃度であった。

Eucampia zodiacus (図 42) : 11 月にはいずれの定点においても出現は確認されなかった。12 月以降も低調に推移し, 12 月は播磨灘北部において 18 cells/mL ((11/29) 兵庫県海域, H29, 表層) 確認されたものの, それ以外はほとんど確認されなかった。1 月は播磨灘北部や備讃瀬戸, 大阪湾の数地点で確認されたものの, いずれも 20 cells/mL を上回ることにはなかった。2 月には播磨灘北部でやや増加し, 最大 62 cells/mL ((2/6) 岡山県海域, OY3, 表層) が確認された。本年漁期の, 2024 年 2 月上旬現在までの暫定的な発生状況について, 平成 25 年度の報告書 (高木ら 2014) に基づく発生基準をあてはめると, いずれの海域においても B (局所発生年) となる見込みである。

その他の種類 :

- ・播磨灘北西部および備讃瀬戸 (岡山県西部海域) では, *Skeletonema* spp., *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros* spp. といった小型珪藻が一定程度海域で確認されており, ノリ漁期における DIN 濃度は平年より低めで推移した。
- ・播磨灘北東部 (兵庫県海域) では, 1 月上旬以降, *Chaetoceros* spp. や *Skeletonema* spp., *Pseudo-nitzschia* sp. を中心とした小型珪藻が多く出現し, 2 月上旬はそれらに加えて *L. danicus* も確認された。
- ・大阪湾 (大阪府海域) では, *Skeletonema* spp. や *Chaetoceros* spp. がみられたものの, 例年と比べると低密度で推移した。*Noctiluca scintillans* が継続して確認されており, 特に 1~2 月は透

明度も平年値を 2~3 m 上回っていた。

- ・播磨灘南東部（徳島県海域）では、*Skeletonema* spp., *Chaetoceros* spp.といった小型の珪藻が確認され、調査期間の末にやや増加したものの、概ね低密度で推移した。
- ・播磨灘南西部および備讃瀬戸（香川県海域）では、*Chaetoceros* spp.や *Leptocylindrus* spp.を中心とした小型珪藻が調査期間を通じて一定程度出現し、DIN 濃度は平年より低めで推移した。

⑤ まとめ

今年度は 12 月に播磨灘と大阪湾で *C. wailesii* の大量発生がみられたこと、*E. zodiacus* が期間を通して大きく増殖しなかったことが特徴的な事象であった。秋季に瀬戸内海東部の広域で *C. wailesii* の大量発生がみられたこと、降水量が少なかったことにより栄養塩濃度が低下し、兵庫県海域や香川県海域では、一部漁場で養殖ノリの育苗開始の遅れが生じた。その後も栄養塩濃度は低水準で推移し、本張り後にはノリの色落ちが確認された。12 月末には一部の海域で色調がやや持ち直したが、現在は色調低下が進んでいる。燧灘からの貧栄養水塊の東進については、例年より西風が弱かったこと、急激な塩分変化もなかったことから、影響は少なかったものと考えられる。

3) 赤潮の広域輸送機構の解明

2018 年 7 月上旬におけるシャットネラ赤潮の観測データ（細胞密度の表層分布）（小川ら 2022a）と、同日におけるラグランジュ粒子の分布の比較を図 43 に示す。粒子の色は、その時刻に粒子が位置している水深を示している。観測データをみると、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。数値シミュレーションの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流動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。今後はシャットネラの鉛直移動を考慮することで、赤潮挙動予測の精度向上を図る予定である。

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（*Chattonella* 属）による赤潮を対象とし、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）

前事業で作成したモデルを用いて、直近 16 年間（2007~2022 年）のデータを用いて発生予察を行った。モデル①:表層水温（5 月）、表層塩分（5 月）、表層 DIN 濃度（6 月）、モデル②:表層水温（5 月）、表層塩分（5 月）、底層水温（7 月）を説明変数とする。なお、本県では有害種の発生初期に陸水の流入が少ない場合、海域の DIN 量が不足して（競合となる）珪藻の増殖が抑制され、その結果 *Chattonella* 属が増殖する可能性が高くなるとしたシナリオを構築している（図 44）。

本年の *Chattonella* 属は本県基準（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。前述した予察モデルを 2023 年に適応したところ、予察モデル①については「×（非発生）」、予察モデル②については「×（非発生）」となったことから概ね予察は的中した。

ものと考えた（表 5，図 45）。一方，近年の赤潮の発生状況を検証したところ，片上湾で発生した *Chattonella* 属が降雨に伴う淡水流入や風といった気象要因によって，播磨灘海域に流出し，赤潮化する事例が確認されている。今後は，新たなシナリオ構築と予察技術の開発も考慮に入れて，各種調査と解析を行う必要がある。

②兵庫県海域（播磨灘北東部）

西岡ら（2017）で示されたシャットネラ赤潮発生シナリオをもとに行った兵庫県海域における判別分析の結果を図 46 に示した。予察は 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おり，長谷川ら（2018a）で示されたとおり，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。

本年は，両予測モデルでシャットネラ赤潮の「×（非発生）」と予察され，予察は的中した（表 5）。2023 年は 4 月から当該海域の表層水温は高めで推移していたが，底層の水温も高めであった。*Chattonella* 属の初認は 6 月 19 日であり出現が早くなかった。7 月 31 日に 60 cells/mL（H28，底層）まで増加したが，終息した。珪藻類の発生は 6 月中旬に低下したが，細胞密度の高い状態が続き，シャットネラの発生を抑制したことが考えられた。

③大阪府海域（大阪湾）

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 *Chattonella* 属細胞密度，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 月中に *Chattonella* 属が確認されなかった（0 cells/mL）ことから，第 1 段階の *Chattonella* 属細胞密度で「×（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 47）。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）

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（小川ら 2022b），現在では 1999~2021 年までの「降水量（徳島市 5 月）」並びに 1999~2021 年までの「DIN（6 月 St.4, 10 m），水温（6 月 St. 4, 1 m）」及び「珪藻の細胞数（7 月上旬 St. 4, 0-5 m），水温（6 月 St. 4, 5 m）」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。2023 年に適用した結果，いずれも「×（非発生）」となった（表 5，図 48）。2023 年夏季，シャットネラ赤潮は非発生であり，予察が的中した。

2023 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 179.5 mm と少なかった。また，6 月の表層の DIN 濃度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 1.12 μM と大きく下回ることにはなかったが，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 135.7 cells/mL とやや高密度であった。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 49 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 $\text{PO}_4\text{-P}$ 」と「5 月降水量，6 月 $\text{PO}_4\text{-P}$ ，7 月珪

藻類細胞密度」を説明変数とする2つのモデルによる予察を実施している。

2023年の予察結果を表5に、代表モデルによる解析例を図50に示す。本年はシャットネラ赤潮の非発生年であった。両モデルともに「×（非発生）」の判定となり、予察は的中した（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（2022年11月～2023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）

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両海域で1～2月における*E. zodiacus*の発生予察モデルを構築している（妹背ら 2023）。いずれの予察についても良好な光環境で競合する小型珪藻の増殖後、栄養塩が制限要因となり、有機態リンの利用能で優位な*E. zodiacus*が優占化しやすいという考え方を基にしている（図51）。本検証では、2022年度を中心に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。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

2022年漁期は*E. zodiacus*の最高細胞密度が71 cells/mLであり、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。昨年度から運用を開始した11月底層水温（OY2）、11月表層クロロフィル*a*濃度、1月表層クロロフィル*a*を用いた予察において「△（判断保留）」となった（表6、図52）。同年度は、低密度ではあったものの小型珪藻が継続して海域に存在しており、*E. zodiacus*が増殖しにくい海域環境であった可能性が考えられた。

イ) 備讃瀬戸

2022年漁期は播磨灘と同様に、*E. zodiacus*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（表6）。同海域では、大型珪藻の*C. wailesii*が漁期当初に発生し、栄養塩が枯渇する状況が続いており、的中率の低下につながっていたが、同年度は*C. wailesii*の発生がほとんどなかったために、予察が的中した可能性がある。今後は*C. wailesii*の発生による栄養塩濃度の変化を加味した予察技術の開発についても検討する必要がある。

②兵庫県海域（播磨灘北東部）

長谷川ら（2018b）で示された兵庫県海域のユーカンピア赤潮発生シナリオをもとに予察を行った。本海域はユーカンピア赤潮の初期発生海域であり、地場発生のみが想定されている。これまでの事業での検討から、本海域については、①1～2月の発生と、②3月の継続性について、区別して検討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。また、本海域では、程度判断が困難な中間的な発生がこれまで確認されていないため、大量発生・局所発生との二区分のみとして予察を運用している。

2022年漁期においては、兵庫県海域では1月13日に*E. zodiacus*の最高細胞密度が585

cells/mL (H29, 底層) に達し北部の広い範囲で増加傾向となったが、その後は減少傾向となった。2月21日に局所的に 399 cells/mL (本調査外の調査, H31, 底層) に増加し、3月1日に 738 cells/mL (本調査外の調査, H31, 底層)、3月23日に 261 cells/mL (本調査外の調査, H30, 底層) の高密度化が確認されたが局所的であった。したがって、2022年漁期の発生状況判断としては1~2月は「○ (大量発生)」で3月は「× (局所発生)」であると判断した。

予察結果は1~2月は「○ (大量発生)」で、3月期については「△ (判断保留)」であった(表6, 図53)。1~2月の予察は的中した。なお、海域の栄養塩濃度は極度の低下が長期に続くことなく推移し、ノリ養殖では製品品質が確保され、生産金額は前年から増加した。

本種の大量発生は、日照・栄養塩・水温等の環境要因が他の珪藻類に不適となるタイミングを契機とすることが多い(西川 2011)。先行または同時発生する珪藻類構成種が *E. zodiacus* の大量発生にどのように影響するかは不明な点が多いが、3月の播磨灘海域は水温が高く DIN 濃度は平年並み、PO₄-P 濃度および SiO₂-Si 濃度は高めで、沿岸に位置する姫路の日照時間が多い状況であったので、他の珪藻類の発生に適した環境条件であったことで、*E. zodiacus* が局所発生にとどまった可能性が考えられた。今後は、他の珪藻類との競合・共存関係にも着目し、予察技術の高度化を検討する必要がある。

2023年漁期の予察については、1~2月の判別領域としては「大発生」が予察された。本年度の最終調査結果の判明後、予察結果の検証を進める(3月期については、2月に獲得されるデータを用いるため未実施)。

③大阪府海域 (大阪湾)

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、2022年度漁期には、2022年11月~2023年1月が非発生、2023年2月が発生であった。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」「10 m 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、2022年11月は「× (非発生)」、2022年12月および2023年1月は「△ (判断保留)」、2023年2月は「○ (発生)」と判別され(表6, 図54)、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(妹背ら 2023)。2022年漁期は、最高細胞密度が 52.57 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年)の特徴解析から構築している(図55)。2022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56)。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、2022

年漁期の予察結果は「△（判断保留）」であった（表 6）。なお、2023 年漁期は「非発生」と予察されているが（図 57）、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 58 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

2022 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 59）。2023 年漁期については「非発生」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

2022 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 59）。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 58）。2022 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。2023 年漁期については「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

各府県の重要水産種や赤潮対策状況に応じて、新たな予察対象種の選定を行った。各府県の新規対象種候補は以下のとおりである。これらの候補に対して、次年度以降データ整理や解析を進め、赤潮発生シナリオや予察モデルを構築していく予定である。

①岡山県

Coscinodiscus wailesii：岡山県の沿岸域では近年、秋季における *C. wailesii* の増殖によって海域の DIN 濃度が低下し、ノリ養殖の漁期開始の遅れや生育不良、色調低下が懸念されている。本種の発生動向はノリ養殖の漁期開始時期などに大きく影響するため、赤潮予察の新たな対象種として、*C. wailesii* を選定した。

②兵庫県

Coscinodiscus wailesii：兵庫県の瀬戸内海側では近年、秋季に *C. wailesii* が増殖することで海域の DIN 濃度が低下し、ノリ養殖の漁期開始の遅れや生育不良、色調低下が発生している。本種の発生動向はノリ養殖の漁期開始時期などに大きく影響するため、兵庫県では赤潮予察の新たな対象種として、*C. wailesii* を選定した。

③大阪府

Karenia mikimotoi：大阪府では近年、マガキの養殖が拡大してきており、自家採苗も取り組み始められている。*K. mikimotoi* は、マガキをはじめとした二枚貝類を斃死させること、マガキ幼生の着底率を低下させることが知られていることから、本種の動向はマガキ養殖の成否に影響するため、大阪府では赤潮予察の新たな対象種として、*K. mikimotoi* を選定した。

④徳島県

Chattonella ovata：徳島県では近年、本種の増殖がしばしば確認され、単独発生ではないものの本種の赤潮による漁業被害が生じており、本種の動向は現場の養殖業者にとって非常に気になりなものとなっている。また、本県では令和 4 年度に魚類養殖業赤潮被害防止指導指針を

改正し、本種を重要監視対象種に指定した。これらの理由から、徳島県では赤潮予察の新たな対象種として、*C. ovata* を選定した。

⑤香川県

Coscinodiscus wailesii : 香川県では近年、養殖ノリの色落ち被害が深刻化しており、その要因として *C. wailesii* の秋季発生が挙げられる。本種は他珪藻類と比較して栄養要求が高く、育苗～本張りまでの期間における赤潮発生の有無はノリ生産に直接影響することから、予察の新たな対象種として *C. wailesii* を選定した。

5) 行動計画の検討

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（図 60~64）。次年度以降、フローチャートに基づき、赤潮対策の課題抽出や改善提案を実施していく予定である。

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.
- 長谷川尋士, 本田恵二, 山下泰司, 濱崎正明, 宮原一隆, 原田和弘, 秋山諭, 山本圭吾, 田中咲絵, 住友寿明, 池脇義弘. 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. 平成 29 年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業赤潮・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」報告書, 水産庁, 東京. 2018a ; 9-38.
- 長谷川尋士, 本田恵二, 山下泰司, 濱崎正明, 宮原一隆, 原田和弘, 秋山諭, 山本圭吾, 田中咲絵, 住友寿明, 池脇義弘, 鬼塚剛, 阿保勝之, 松原賢. 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. 平成 29 年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業赤潮・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」報告書, 水産庁, 東京. 2018b ; 282-321.
- Hirose N, Usui N, Sakamoto K, Tsujino H, Yamanaka G, Nakano H, Urakawa S, Toyoda T, Fujii Y, Kohno N. Development of a new operational system for monitoring and forecasting coastal and open-ocean states around Japan, *Ocean Dynamics* 2019; **69**: 1333-1357.
- 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.
- 鹿島千尋, 中谷祐介. 地形改変による瀬戸内海の流動変化. 土木学会論文集特集号 (海岸工学) 2023 ; **79** : 23-17055.
- 小尻利治, 東海明宏, 木内陽一. シミュレーションモデルでの流域環境評価手順の開発. 京都大学防災研究所年報 1998 ; **41** : 119-134.
- 西川哲也. 養殖ノリ色落ち原因珪藻 *Eucampia zodiacus* の大量発生機構に関する生理生態的研究. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 (水産編), 2011 ; **42** : 1-82.
- 西岡智哉, 池脇義弘, 長谷川尋士, 本田恵二, 山下泰司, 濱崎正明, 宮原一隆, 原田和弘, 秋山

- 論, 山本圭吾, 田中咲絵. 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. 平成 29 年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業赤潮・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」報告書, 水産庁, 東京. 2017 ; 9-36.
- 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.
- Saha S, Moorthi, S, Wu X, Wang J, Nadiga S, Tripp P, Behringer D, Hou YT, Chuang H, Iredell M, Ek M, Meng J, Yang R, Mendez MP, van den Dool, H, Zhang Q, Wang W, Chen M, Becker E. NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) Selected Hourly Time-Series Products. *Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research*. Computational and Information Systems Laboratory. 2011.
- 高木秀蔵, 石黒貴裕, 宮原一隆, 原田和弘, 山本圭吾, 秋山諭, 斎浦耕二, 西岡智哉, 吉松定昭, 大山憲一, 鬼塚剛, 阿保勝之. ノリ色落ち珪藻のモニタリング, 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技術の開発. 平成 25 年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書「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」報告書, 水産庁, 東京. 2014 ; 196-209.
- 山根成陽, 鹿島千尋, 中谷祐介. 過去 30 年の降雨パターンと土地利用の変化が瀬戸内海への淡水流入量に及ぼす影響. 土木学会論文集 G (環境) 2022 ; 78 : II_89-II_97.
- 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.
- Zhang YJ, Ateljevich E, Yu HC, Wu CH, Jason CS. A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model. *Ocean Modelling* 2015; 85: 16-31.
- Zhang YJ, Ye F, Stanev EV, Grashorn S. Seamless cross-scale modeling with SCHISM. *Ocean Modelling* 2016; 102: 64-81.

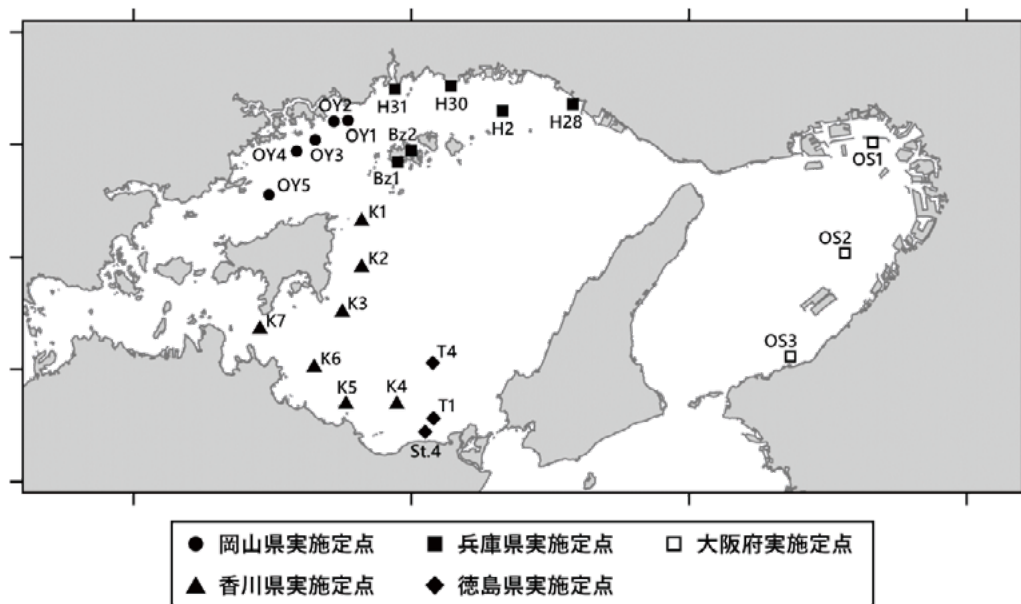


図1 夏季調査定点位置

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	9	9	9	12
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>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		○	○		○
	多項目CTD	○*			○	
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。

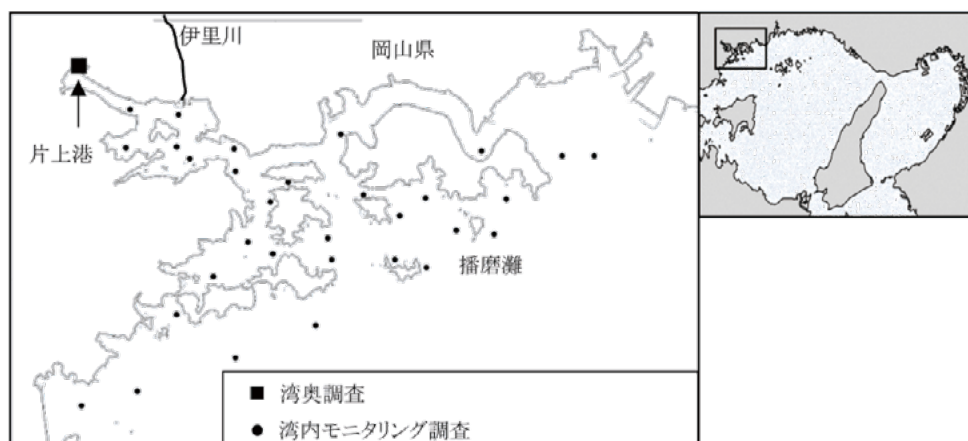


図2 片上湾調査定点位置

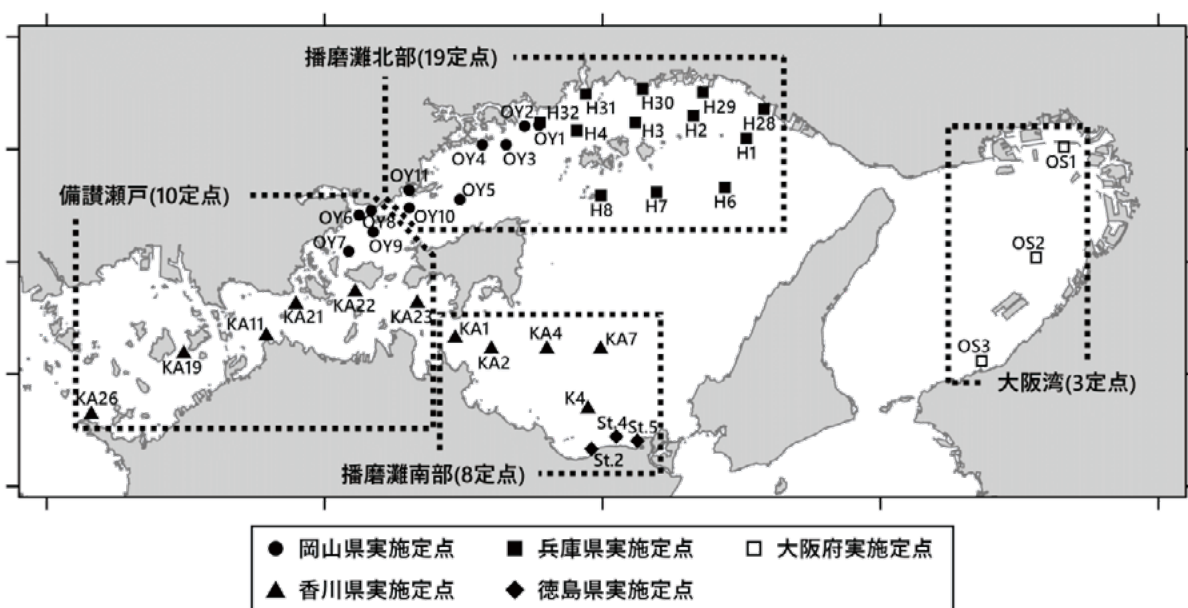


図3 冬季調査定点位置

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	10	4	6	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。

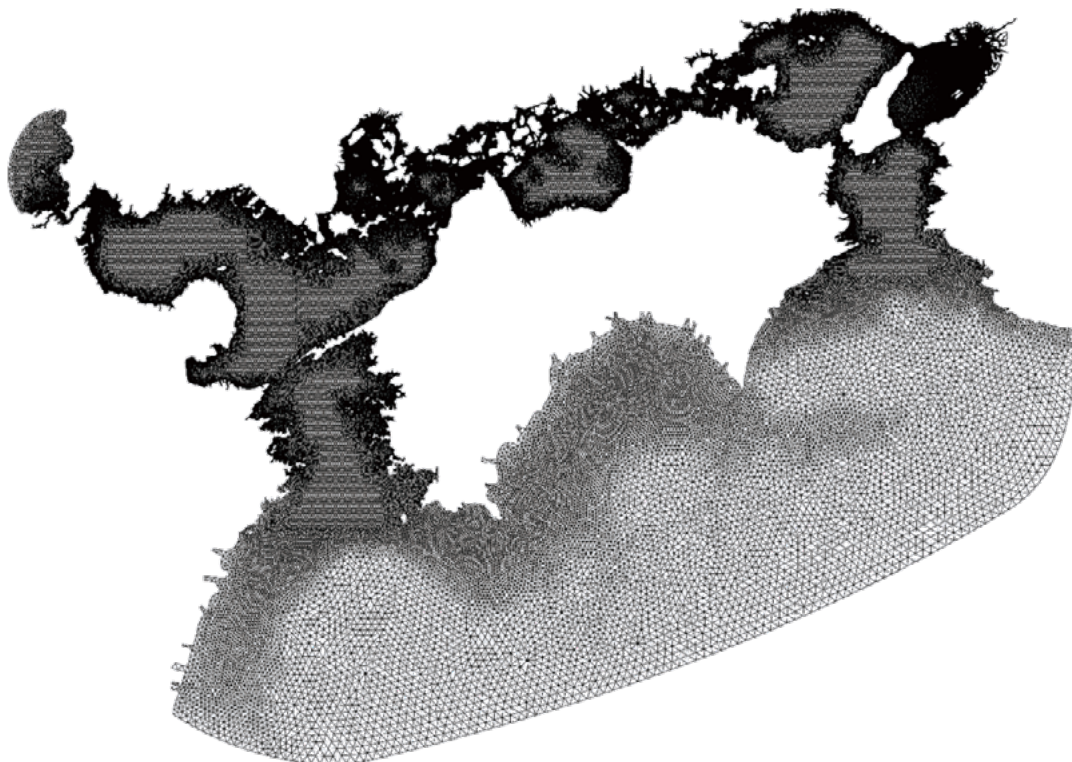


図4 計算領域

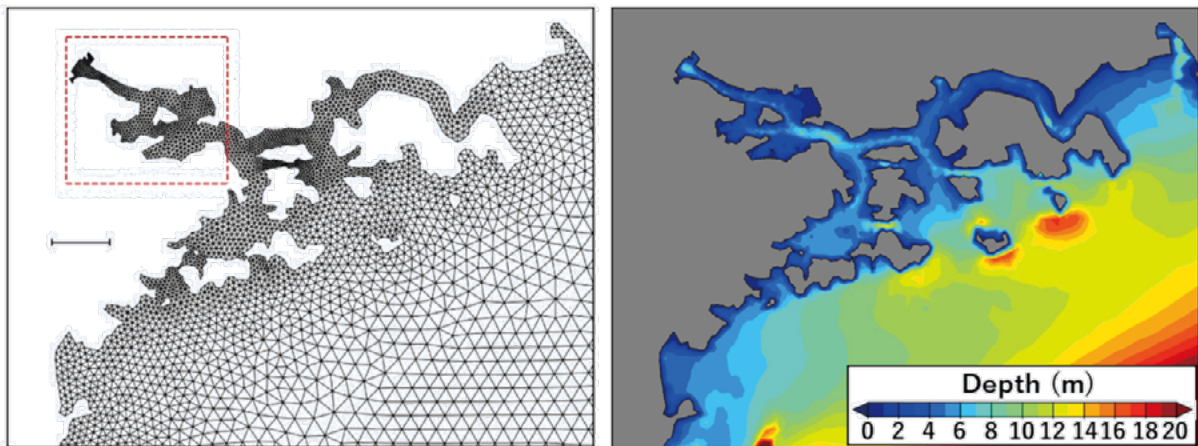


図5 片上湾周辺の計算格子（左）と水深（右）

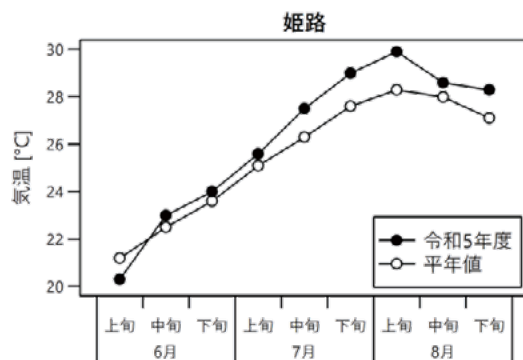


図6 気温の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

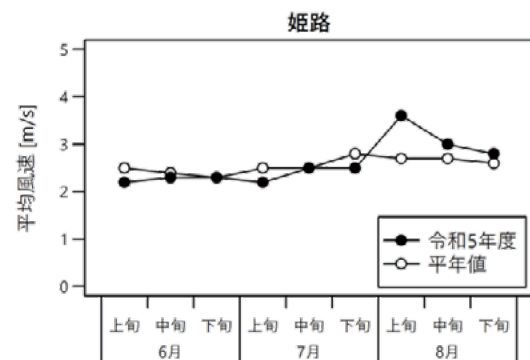


図7 日平均風速の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

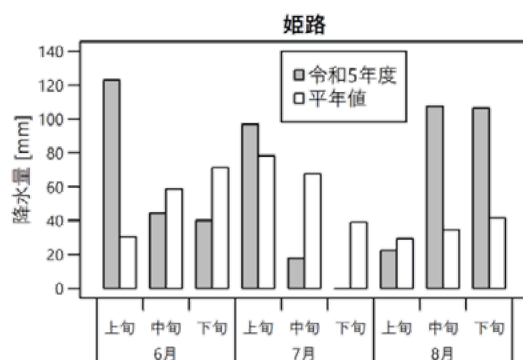


図8 降水量の旬合計値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

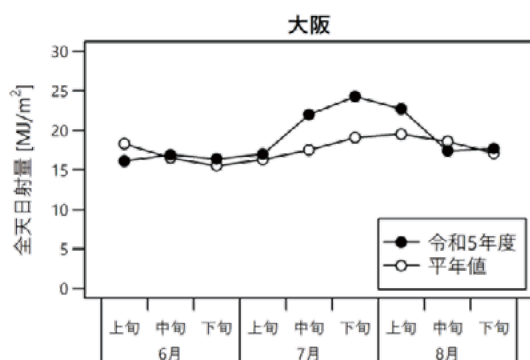


図9 全天日射量の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

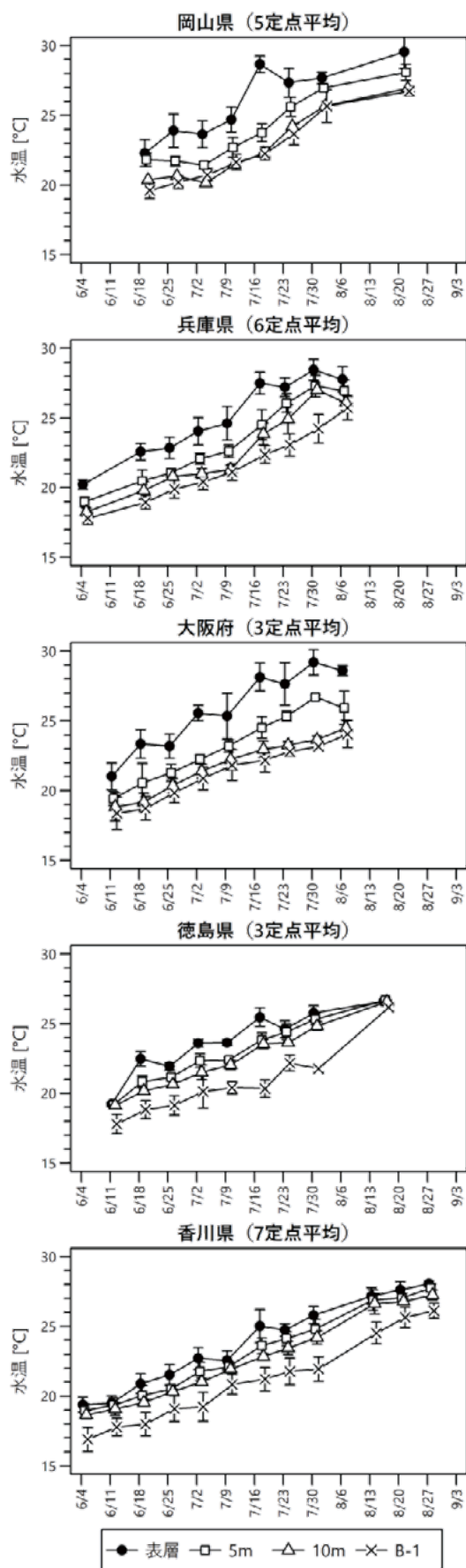


図10 水温の変動
(縦バーは標準偏差。以下同じ)

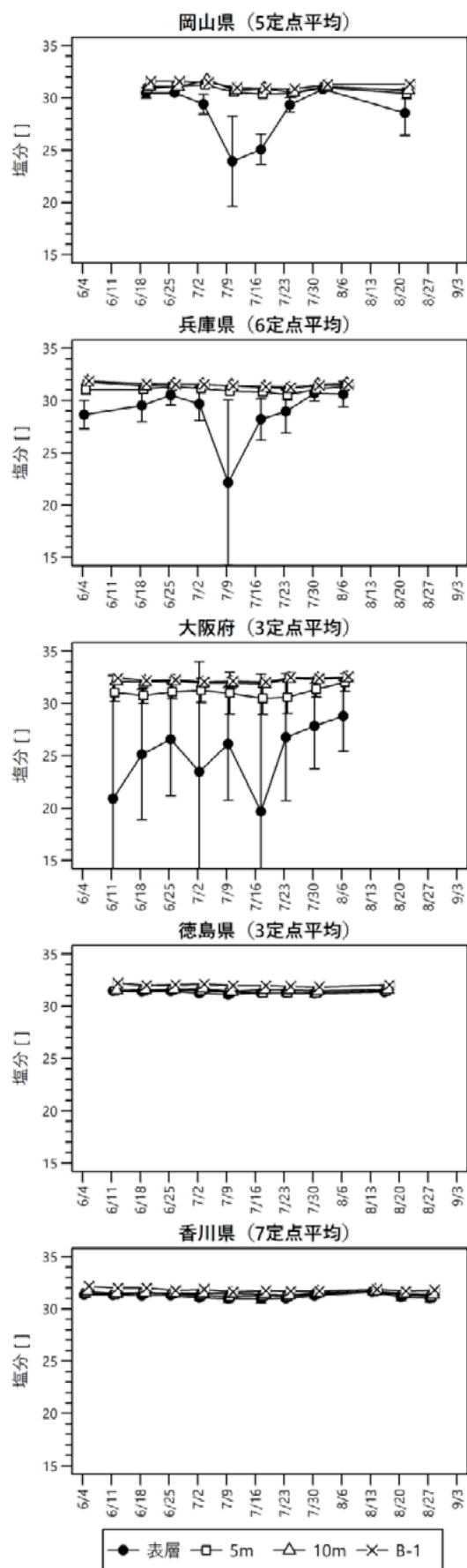


図11 塩分の変動

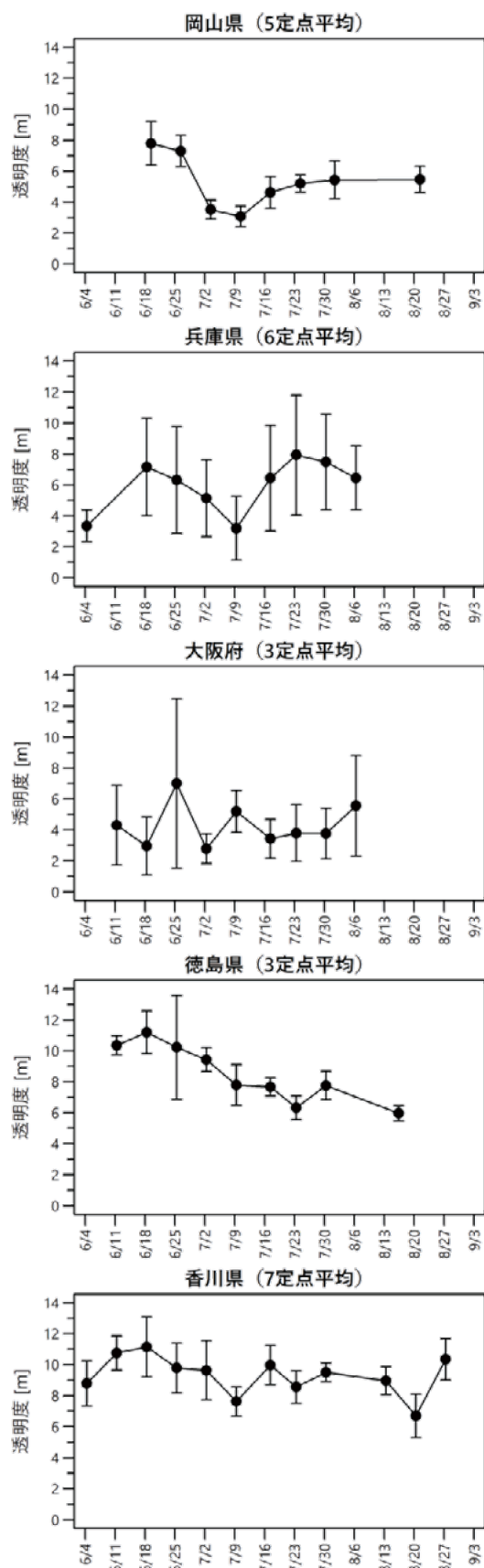


図12 透明度の変動

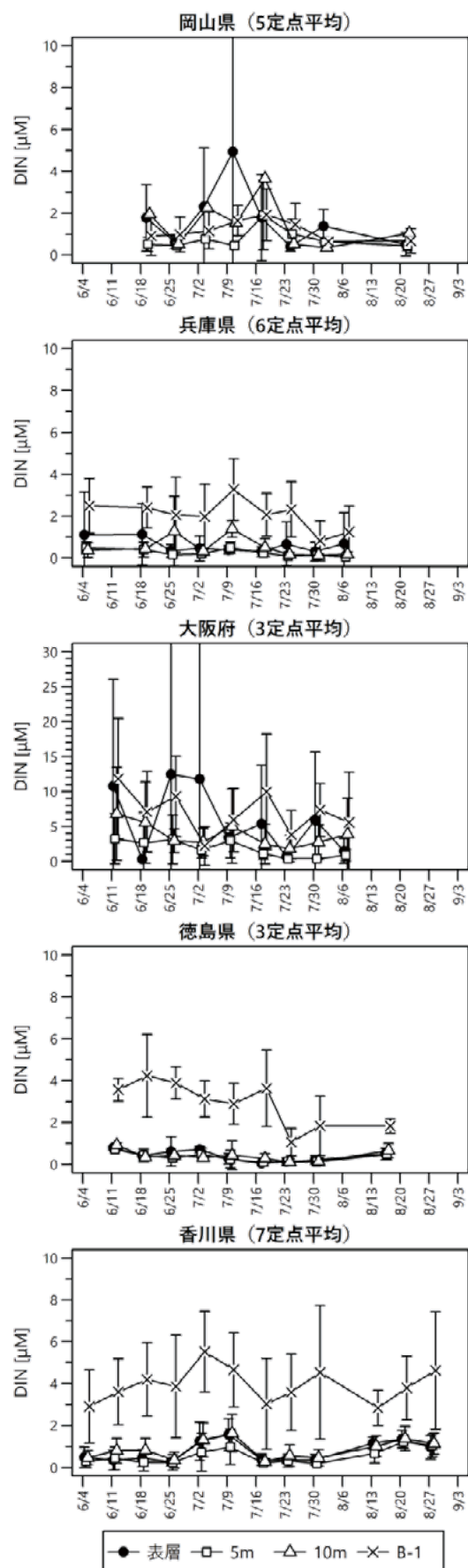


図13 DINの変動

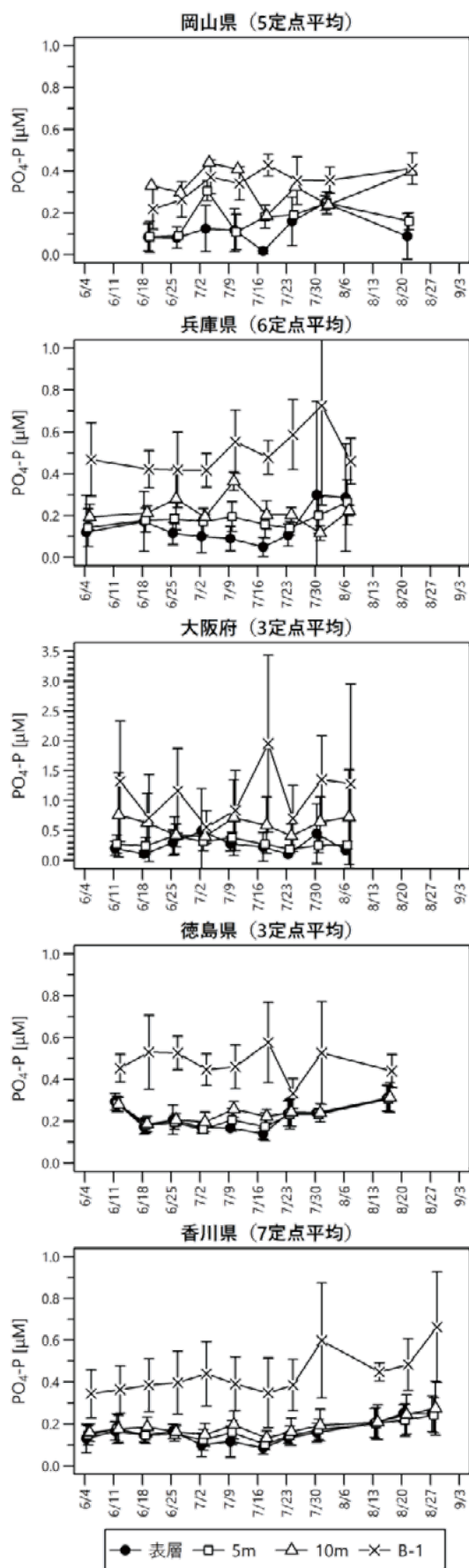


図14 PO₄-P水温の変動

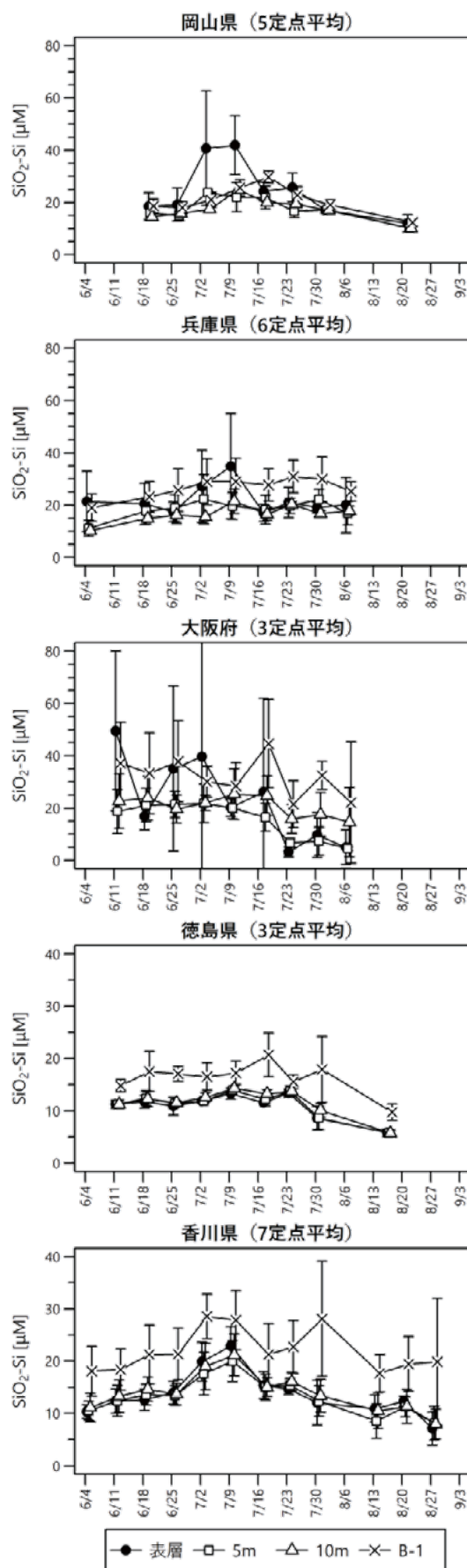


図15 SiO₂-Siの変動

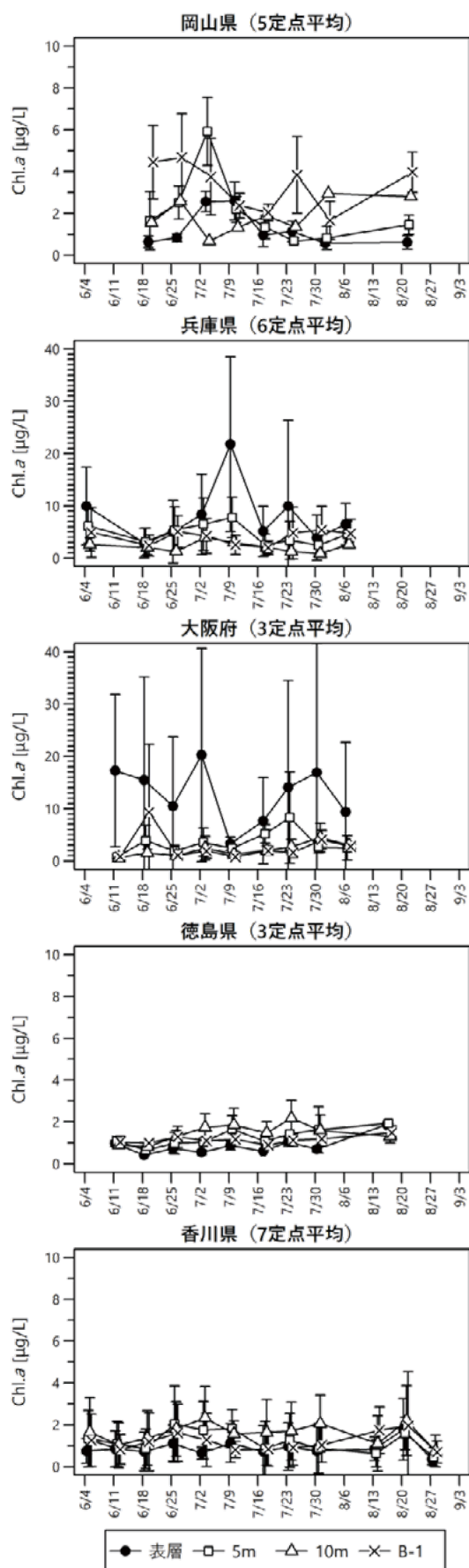


図16 クロロフィルaの変動

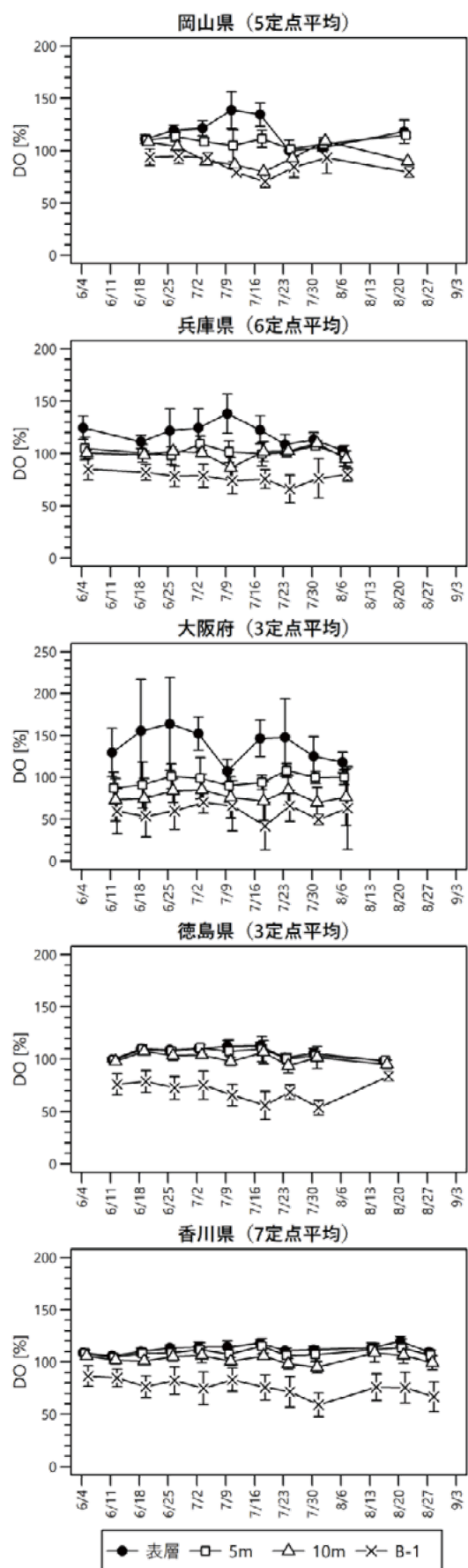


図17 DOの変動

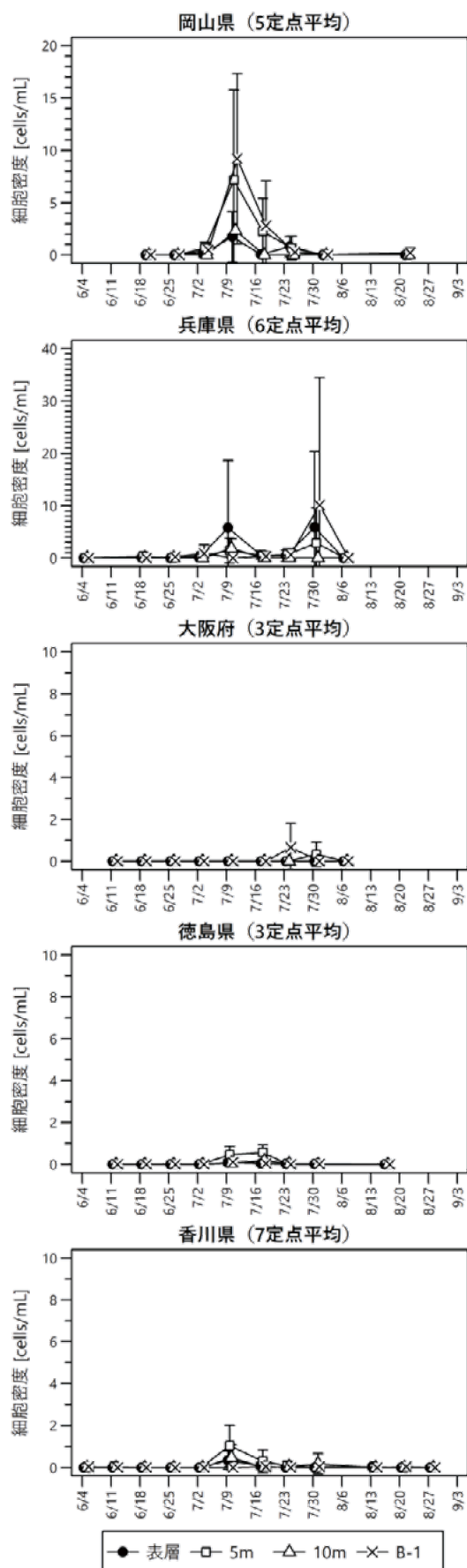


図18 *Chattonella antiqua* + *C. marina* の細胞密度の推移

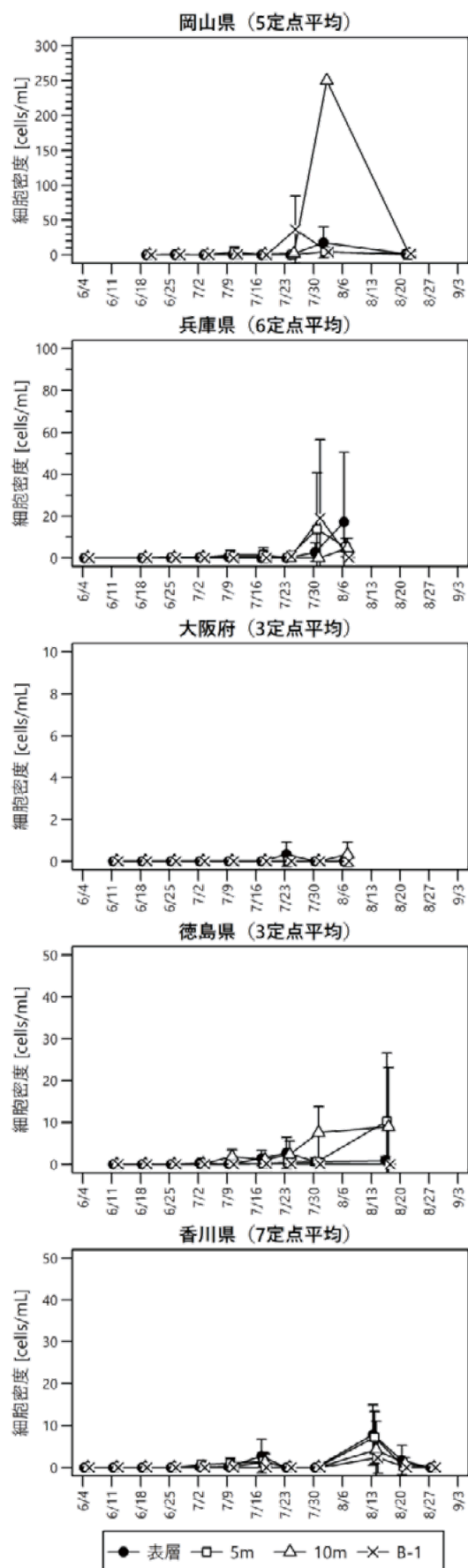


図20 *Karenia mikimotoi* の細胞密度の推移