

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

イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域

広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター
岡田 亮, 村上倫哉, 上原達亮, 戸田竜哉, 相田 聡
山口県水産研究センター内海研究部
馬場俊典, 和西昭仁, 茅野昌大, 渡邊俊輝, 内田喜隆
福岡県水産海洋技術センター豊前海研究所
増田浩美, 佐藤利幸, 恵崎 撰
大分県農林水産研究指導センター水産研究部
毛利文香, 西山雅人, 宮村和良
大分県農林水産研究指導センター水産研究部北部水産グループ
岡田 理, 江頭潤一
愛媛県農林水産研究所水産研究センター
神野 智, 莖田峻希, 関信一郎
高知県水産試験場
上村海斗, 黒原健朗
愛媛大学沿岸環境科学研究センター
郭 新宇
愛媛大学先端研究院
吉江直樹
愛媛大学南予水産研究センター
清水園子, 竹内久登
水産研究・教育機構水産技術研究所
外丸裕司, 西村朋宏, 三宅陽一, 坂本節子

1 全体計画

(1) 目的

瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域では有害赤潮プランクトンによる漁業被害が頻繁に発生しており、2012年夏季には、当該海域で広範囲に *Karenia mikimotoi* の赤潮が発生し、県によっては、十数億円の過去最大の漁業被害が発生した。赤潮による漁業被害を未然防止及び軽減するためには、赤潮発生海域を網羅した広域連携調査を実施する必要がある。本課題では、当該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及び海洋環境を監視するとともに、PCR法を用いた高感度調査や赤潮発生期の高頻度調査を実施し、有害赤潮プランクトンの動態を解析する。さらに、赤潮発生シナリオならびに環境要因を基にした予察技術等の改良と更新によって赤潮発生予察の高度化を進めるとともに、過去の知見も踏まえて漁業被害軽減に資するため関係県が実行する「行動計画」を取りまとめることを目的とする。

2 令和6年度計画及び結果

(1) 目的

全体計画と同じ

(2) 方法

1) モニタリング調査

当該海域に計 58 点の調査定点を設置し（図 1），原則，有害赤潮が発生する 5～9 月に計 4 回以上，海洋環境（水温，塩分，栄養塩等）及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）。なお調査の際，多項目 CTD にクロロフィル極大層の反応が確認された場合は，その層を採水し，プランクトン細胞密度の検鏡計数を行うこととした。広島県広島湾海域，山口県徳山湾・笠戸湾海域，福岡県・大分県周防灘海域及び高知県浦ノ内湾海域については，水塊の成層強度を示す鉛直安定度を以下の式（1）により求めた。上層と下層の海水密度差÷水深差×10⁻³（Sverdrup et al. 1942）（1）

また，気象データとして気象庁 HP 気象統計情報から広島，豊後高田，宇和島，須崎における降水量，気温，日照時間及び風速の観測値と平年値（1992～2021 年の 30 年間の平均値）を用いた。

2) *K. mikimotoi* 高感度監視調査

① 海水中 *K. mikimotoi* 遺伝子の挙動解析

1) のモニタリング調査定点 58 点のうち 8 点を調査定点に設置し（図 1），モニタリング調査前の 4～6 月，及び冬季の 2～3 月に PCR 法による高感度調査を実施した（表 1）。各県の共同提案機関は各調査点で採水した海水 1 L を孔径 5 μm のメンブレンフィルター（Millipore）で濃縮濾過し，そのフィルターを凍結保存して愛媛大学南予水産研究センターに送付した。同センターにおいて送付された凍結試料を解凍後，DNeasy Plant Mini Kit（QIAGEN）を用いて DNA を抽出した。DNA の検出・定量は *K. mikimotoi*，*Cochlodinium polykrikoides*，*Heterocapsa circularisquama*，*Chattonella* spp. (*antiqua* + *marina* + *ovata*)，*Heterosigma akashiwo* の遺伝子をそれぞれ特異的に識別するプライマーと蛍光プローブを用いたリアルタイム PCR 法により行い，解析にはマルチプレックス検出可能なリアルタイム PCR 機（BioRad, CFX Opus 96）を用いた。得られた定量値は，既知の細胞数を測定して得られた検量線を基に細胞数へと変換した（向井ら 2017，鬼塚ら 2021，清水 未発表）。

② 海底泥からの *K. mikimotoi* RNA の検出

2022 年に高知県浦ノ内湾で採取後，愛媛大学南予水産研究センターにて -80℃ で冷凍保存されていた海底泥サンプル（表層から 2cm の層）を試料とし，*K. mikimotoi* RNA の検出を試みた。試料を解凍後，RNeasy PowerSoil Total RNA Kit（QIAGEN）を用いて RNA を抽出し（2g/試料），DNA 分解酵素処理を行った後，逆転写反応で cDNA を合成し，2)-① 定量 PCR 法により *K. mikimotoi* cDNA を検出した。

3) 高頻度観測とデータ解析・モデル構築等

図 3 に示す宇和島湾 6 定点にて 5～8 月に週一回の頻度で採水及び多項目水質計（JFE アドバンテック社製 AAQ-RINKO）を用いた観測を行った。重点調査定点の U6 では表層，5 m，10 m，海底上 1 m（B-1 m），クロロフィル極大層で採水を行い，海水試料は植物プランクトン種組成・細胞密度の分析に供するとともに，オートアナライザー（ビーエルテック社製 QuAAtro 2-HR）で栄養塩濃度（DIN: NO₂-N + NO₃-N + NH₄-N，DIP: PO₄-P，DSi: SiO₂-Si）を測定した。さらに，気象庁の宇和島特別地域気象観測所で観測された日照時間と降水量をそれぞれ用いた。

モデル構築の一環として，昨年度までに開発した 5 つの環境要因を用いた数か月先の中期的な予測手法により，2024 年の豊後水道東部海域（宇和海）における *K. mikimotoi* 赤潮発生について，その発生日と最大細胞密度の予測を試みた。具体的な 5 つの環境要因は，① 宇和海中央部における 4 月の表層 5 m 水温が 17℃ 以上となる日の積算日数，② 4 月下旬の同表層水温の平均値，③ 同表層水温から求めた 5 月上旬の急潮強度，④ 同表層水温が 20℃ に到達する日付，⑤ 気象庁宇和島特別地域気象観測所の 6 月上旬の平均降水量である。

その他に、この5つの環境要因を用いて、小規模データでもそれなりの推定精度が見込まれる次の9つの推計手法（線形回帰、ラッソ回帰、リッジ回帰、サポートベクトルマシン(SVM)、k-近傍法、ベイズ回帰、決定木回帰、ランダムフォレスト回帰、Deep Learning (MLP, 深層学習)) による中期予測を試みた。

4) 赤潮発生シナリオと予察技術の検証と改良及び赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）の検討

① 赤潮予察モデルの改良と検証

2017年度までに実施した統計解析により、*K. mikimotoi* 赤潮の発生シナリオの構築及び判別分析による予察モデルを開発し（加川ら 2020）、2018～2022年にかけて予察結果を検証したところ、的中率の低下が認められた（上村ら 2023）。的中率の高い予察モデルであっても、長期的な気候変動等での的中率が低下する可能性があるとの報告もある（長谷川ら 2018）ことから、予察の精度向上を目的に、2018～2022年までのデータを追加した予察モデルを2023年に再構築した。予察モデルの詳細について、統計解析により赤潮発生に關与すると想定された環境因子（海象・気象）を用いて、赤潮発生年と非発生年に分けて、環境因子の組合せで判別分析により判別得点を求めた。次に赤潮の発生と非発生を目的変数、判別得点を説明変数とし、ロジスティック回帰式を作成した。最後に、本年取得したデータで求めた判別得点から本年の赤潮発生または非発生を予測し的中率を検討した。本予察モデルは的中の欄では、予測と赤潮発生状況（結果）が一致した場合を「◎」、「△」と予測して発生した場合を「○」、「△」と予測して非発生の場合を「△」、予測と結果が一致しなかった場合を「×」と表記した。また、本年度は関係県各海域に特徴的な有害種についても *K.mikimotoi* と同様のモデルを用いて、2023年と2024年の赤潮発生または非発生を予測しの中率を検討した。

② 赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）の検討

赤潮被害の軽減には、モニタリング体制の充実とともに情報発信体制や近隣県を含めた情報共有体制の構築が必要であり、漁業者が各種の具体的な赤潮被害軽減対策をとるためには、得られた情報をもとに各県が適切なタイミングで赤潮注意／警戒情報を発出し、被害軽減体制の構築を図る必要がある。当グループでは、赤潮被害軽減対策の現状把握を目的として、各県における赤潮発生時の行動計画に関するアンケート調査を昨年度に行った。本年度は、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、赤潮の発生段階に応じた各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) モニタリング調査

① 気象

【概況】

本年度の梅雨入りは、中国地方（山口県を除く）、九州北部地方（山口県を含む）及び四国地方では6月17～20日頃（平年は6月4～6日頃）、梅雨明けは7月17～21日頃（平年は7月17～19日頃）で、梅雨入りは平年より11～14日程度遅く、梅雨明けは中国地方で平年より2日遅く、四国地方で平年並み、九州北部地方で平年より2日早かった。また、8月下旬に台風10号が九州、中四国地方に接近または上陸した。

【広島、豊後高田、宇和島、須崎の観測結果】

各観測所における4～9月の降水量、日照時間、平均気温及び平均風速の旬別気象データ

と平年値の推移を図 4～5 に示す。

降水量（図 4a）：期間中，平年に比べて 4 月上旬～7 月上旬までは概ね多め，7 月中旬～9 月下旬は概ね少なめで推移したが，四国地方，九州北部地方では，台風 10 号の影響により 8 月下旬の降水量が特に多かった。

平均気温（図 4b）：期間中，平年並みから高めで推移し，特に 4 月は須崎以外で最大で平年より 1.9～3.5℃，9 月は最大で平年より 1.4～5.7℃高かった。

日照時間（図 5a）：期間中，6 月中旬までは概ね平年並み，7 月下旬以降は多めで推移し，7 月下旬以降の日照時間は平年より 5.2～42.3 h 長かった。6 月下旬は各地域の梅雨入りに当たり，日照時間が平年より 19.2～30.2 h 短かった。

平均風速（図 5b）：期間中，豊後高田は平年より高めで推移した。その他は平年並みで推移したが，台風 10 号の影響により 8 月下旬の平均風速は平年より 0.6～1.7 m/s 高かった。

② 海象

各県海域の 2024 年 4～9 月の海象データの推移を図 6～9 に示す（海域によっては本事業以外で得られた調査結果もデータに含む）。

水温（平均値；図 6）：広島県広島湾海域（5 m 層，4～9 月）は 12.4～27.3℃，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5 m 層，5～9 月）は 16.6～25.6℃，福岡県周防灘海域（5 m 層，5～8 月）は 17.6～30.0℃，大分県周防灘海域（5 m 層，4～9 月）は 13.2～29.5℃，大分県別府湾・豊後水道海域（10 m 層，4～8 月）は 13.7～23.5℃，愛媛県豊後水道海域（10 m 層，5～8 月）は 17.6～24.5℃，高知県宿毛湾海域（5 m 層，5～9 月）は 21.2～29.3℃，高知県浦ノ内湾海域（5 m 層，5～9 月）は 20.8～29.5℃で推移した。

塩分（平均値；図 7）：広島県広島湾海域（5 m 層，4～9 月）は 29.46～32.44，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5 m 層，5～9 月）は 31.56～32.85，福岡県周防灘海域（5 m 層，5～8 月）は 30.60～32.58，大分県周防灘海域（5 m 層，4～9 月）は 30.13～32.34，大分県別府湾・豊後水道海域（10 m 層，4～8 月）は 32.79～33.70，愛媛県豊後水道海域（10 m 層，5～8 月）は 33.36～34.06，高知県宿毛湾海域（5 m 層，5～9 月）は 32.70～34.34，高知県浦ノ内湾海域（5 m 層，5～9 月）は 29.00～31.44 で推移した。

透明度（平均値；図 8）：広島県広島湾海域（4～9 月）は 1.4～4.7 m，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5～9 月）は 3.3～6.1 m，福岡県周防灘海域（5～8 月）は 2.8～7.2 m，大分県周防灘海域（4～9 月）は 4.2～9.6 m，大分県別府湾・豊後水道海域（4～8 月）は 8.9～10.8 m，愛媛県豊後水道海域（5～8 月）は 10.9～15.3 m，高知県宿毛湾海域（5～9 月）は 7.7～16.1 m，高知県浦ノ内湾海域（5～9 月）は 2.2～3.5 m で推移した。

鉛直安定度（平均値；図 9）：広島県広島湾海域（4～9 月）は $6.6 \times 10^{-5} \sim 100.9 \times 10^{-5}$ ，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5～9 月）は $7.6 \times 10^{-5} \sim 46.0 \times 10^{-5}$ ，福岡県周防灘海域（5～8 月）は $1.1 \times 10^{-5} \sim 44.0 \times 10^{-5}$ ，大分県周防灘海域（4～9 月）は $2.8 \times 10^{-5} \sim 27.3 \times 10^{-5}$ ，高知県浦ノ内湾海域（5～9 月）は $33.0 \times 10^{-5} \sim 76.1 \times 10^{-5}$ で推移した。

③ 水質

各県海域の 2024 年 4～9 月の水質データの推移を図 10～13 に示す（海域によっては本

事業以外で得られた調査結果もデータを含む)。

クロロフィル a (平均値 ; 図 10) : 広島県広島湾海域 (5 m 層, 4~9 月) は 1.84~12.68 $\mu\text{g/L}$, 山口県徳山湾・笠戸湾海域 (5 m 層, 5~9 月) は 1.58~5.40 $\mu\text{g/L}$, 福岡県周防灘海域 (5 m 層, 4~8 月) は 0.24~2.09 $\mu\text{g/L}$, 大分県周防灘海域 (5 m 層, 4~9 月) は 1.41~7.55 $\mu\text{g/L}$, 大分県別府湾・豊後水道海域 (10 m 層, 4~8 月) は 1.71~2.81 $\mu\text{g/L}$, 愛媛県豊後水道海域 (10 m 層, 5~8 月) は 0.78~2.79 $\mu\text{g/L}$, 高知県宿毛湾海域 (10 m 層, 5~9 月) は 0.326~1.41 $\mu\text{g/L}$, 浦ノ内湾海域 (5 m 層, 5~9 月) は 1.24~4.44 $\mu\text{g/L}$ の範囲で推移した。

DO (溶存酸素飽和度) (最低値 ; 図 11) : 広島県広島湾海域 (B-1 m 層, 4~9 月) は 10.0~84.1%, 山口県徳山湾・笠戸湾海域 (B-1 m 層, 5~9 月) は 52.1~91.1%, 福岡県周防灘海域 (B-1 m 層, 4~8 月) は 55.2~94.5%, 大分県周防灘海域 (B-1 m 層, 4~9 月) は 65.2~94.7%, 大分県別府湾・豊後水道海域 (10 m 層, 4~8 月) は 86.3~101.5%, 愛媛県豊後水道海域 (10 m 層, 5~8 月) は 76.3~88.2%, 高知県宿毛湾海域 (20 m 層, 5~9 月) は 76.1~100.0%, 浦ノ内湾海域 (B-1 m 層, 5~9 月) は 0.4~18.7% の範囲で推移した。

DIN (溶存無機態窒素) (平均値 ; 図 12) : 広島県広島湾海域 (5 m 層, 4~9 月) は 0.07~2.78 μM , 山口県徳山湾・笠戸湾海域 (5 m 層, 5~9 月) は 0.29~0.59 μM , 福岡県周防灘海域 (5 m 層, 4~8 月) は 0.94~2.02 μM , 大分県周防灘海域 (5 m 層, 4~8 月) は 0.13~1.54 μM , 大分県別府湾・豊後水道海域 (10 m 層, 4~8 月) は 0.45~2.09 μM , 愛媛県豊後水道海域 (10 m 層, 5~8 月) は 0.53~2.04 μM , 高知県宿毛湾海域 (10 m 層, 5~9 月) は 0.60~2.60 μM , 浦ノ内湾海域 (5 m 層, 5~9 月) は 1.40~22.14 μM の範囲で推移した。

DIP (溶存無機態リン) (平均値 ; 図 13) : 広島県広島湾海域 (5 m 層, 4~9 月) は N.D.~0.39 μM , 山口県徳山湾・笠戸湾海域 (5 m 層, 5~9 月) は 0.02~0.09 μM , 福岡県周防灘海域 (5 m 層, 4~8 月) は N.D.~0.08 μM , 大分県周防灘海域 (5 m 層, 4~9 月) は 0.01~1.67 μM , 大分県別府湾・豊後水道海域 (10 m 層, 4~8 月) は 0.11~0.21 μM , 愛媛県豊後水道海域 (10 m 層, 5~8 月) は 0.11~0.19 μM , 高知県宿毛湾海域 (10 m 層, 5~9 月) は 0.02~0.12 μM , 浦ノ内湾海域 (5 m 層, 5~9 月) は 1.86~4.02 μM の範囲で推移した。

④ プランクトン

各県海域の 2024 年 4~9 月のプランクトンの観測値 (最高細胞密度, 珪藻は表層平均密度) を図 14, 各県海域の 2024 年 4~9 月の *K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp. の観測値 (最高細胞密度) の水平分布を図 15~18 に示す (本事業以外の調査結果もデータとして使用)。

K. mikimotoi (最高値 ; 図 14, 15, 17) : 広島県広島湾海域 (全層, 4~9 月) では N.D.~2,317 cells/mL, 山口県徳山湾・笠戸湾海域 (全層, 5~9 月) では N.D.~139 cells/mL, 福岡県周防灘海域 (全層, 5~8 月) では N.D.~80 cells/mL, 大分県周防灘海域 (全層, 4~9 月) では N.D.~5,400 cells/mL, 大分県別府湾・豊後水道海域 (全層, 4~8 月) では N.D.~5 cells/mL, 愛媛県豊後水道海域 (全層, 5~8 月) では N.D.~182 cells/mL, 高知県宿毛湾海域 (全層, 4~9 月) では N.D.~7 cells/mL の範囲で推移した。浦ノ内湾海域 (全層, 4~9 月) では 6 月下旬に遊泳細胞が初認され, その後 8 月中旬まで 10 cells/mL 前後の低密度で推移した。8 月下旬に最高細胞密度 73 cells/mL に達したが, 9 月上旬には 10 cells/mL 未満となった。

C. polykrikoides (最高値 ; 図 14) : 山口県徳山湾・笠戸湾海域 (全層, 5~9 月), 福岡県周防灘海域 (全層, 5~8 月), 大分県周防灘海域 (全層, 4~9 月), 大分県別府湾・豊後水道

海域（全層，4～8月）では検出されなかった。広島県広島湾海域（全層，4～9月）では N.D.～2 cells/mL，愛媛県豊後水道海域（全層，5～8月）では N.D.～0.03 cells/mL，高知県宿毛湾海域（全層，5～9月）では N.D.～6 cells/mL，浦ノ内湾海域（全層，4～9月）では N.D.～8 cells/mL の範囲で推移した。

H. circularisquama（最高値；図 14）：広島県広島湾海域（全層，4～9月），山口県徳山湾・笠戸湾海域（全層，5～9月），福岡県周防灘海域（全層，5～8月），大分県周防灘海域（全層，4～9月），大分県別府湾・豊後水道海域（全層，4～8月），愛媛県豊後水道海域（全層，5～8月），高知県宿毛湾海域（全層，5～9月）では検出されなかった。浦ノ内湾海域（全層，4～9月）では，9月下旬に 1,000 cells/mL を超えて赤潮を形成し，最高細胞密度 4,500 cells/mL に達した。

Chattonella spp. (*antiqua* + *marina* + *ovata*)（最高値；図 14, 16, 18）：広島県広島湾海域（全層，4～9月）では N.D.～3 cells/mL，山口県徳山湾・笠戸湾海域（全層，5～9月）では N.D.～1 cell/mL，福岡県周防灘海域（全層，5～8月）では N.D.～51 cells/mL，大分県周防灘海域（全層，4～9月）では N.D.～94 cells/mL，大分県別府湾・豊後水道海域（全層，4～8月）では N.D.～1 cell/mL，愛媛県豊後水道海域（全層，5～8月）では N.D.～1 cell/mL，高知県宿毛湾海域（全層，5～9月）では N.D.～2 cells/mL の範囲で推移した。浦ノ内湾海域（全層，4～9月）では遊泳細胞は 5月上旬に初認され，その後すぐに 100 cells/mL を超えて赤潮を形成し，6月下旬に最高細胞密度 46,000 cells/mL に達した。

H. akashiwo（最高値；図 14）：広島県広島湾海域（全層，4～9月）では N.D.～3,094 cells/mL，山口県徳山湾・笠戸湾海域（全層，5～9月）では 1～150 cells/mL，福岡県周防灘海域（全層，4～8月）では N.D.～1 cell/mL，大分県周防灘海域（全層，4～9月）では N.D.～2 cells/mL，大分県別府湾・豊後水道海域（全層，4～8月）では N.D.～125 cells/mL，愛媛県豊後水道海域（全層，5～8月）では N.D.～2 cells/mL の範囲で推移した。高知県浦ノ内湾海域（全層，4～9月）では，6月中旬に赤潮を形成し，最高細胞密度の 13,300 cells/mL に達した。高知県宿毛湾海域（全層，5～9月）及び愛媛県豊後水道海域（全層，5～8月）では検出されなかった。

珪藻類（平均値；図 14）：広島県広島湾海域（表層，6～9月）では 434～12,105 cells/mL，山口県徳山湾・笠戸湾海域（表層，5～9月）では 261～16,947 cells/mL，福岡県周防灘海域（表層，5～8月）では 9～307 cells/mL，大分県周防灘海域（表層，4～9月）では 8～9,623 cells/mL，大分県別府湾・豊後水道海域（表層，4～8月）では 4～1,332 cells/mL，愛媛県豊後水道海域（表層，5～8月）では 13～1,037 cells/mL，高知県宿毛湾海域（表層，5～9月）では 20～41 cells/mL，浦ノ内湾海域（表層，4～9月）では 7～29,700 cells/mL で推移した。

⑤ まとめ

2024年4～12月の赤潮発生状況を表3に示す。*K. mikimotoi* 赤潮は広島県燧灘海域，広島県広島湾，山口県周防灘海域，大分県周防灘海域，大分県別府湾，大分県豊後水道海域，愛媛県豊後水道海域で計14件発生し，前年の13件から1件増加した。本種赤潮は広島県燧灘海域では7月下旬～10月中旬，広島湾では8月上旬～10月中旬，山口県周防灘海域では7月上旬～8月上旬，大分県周防灘海域では7月中旬～9月中旬，大分県豊後水道海域では7月上旬～9月下旬，愛媛県豊後水道海域では7月上旬～10月上旬に発生した。*K. mikimotoi* 赤潮による漁業被害は山口県周防灘海域で3件，福岡県周防灘海域で1件，大分県周防灘海域で1件，大分県豊後水道海域で1件，愛媛県豊後水道海域で1件発生した。

一方、*Chattonella* 赤潮は広島県燧灘海域、福岡県周防灘海域、大分県周防灘海域、大分県豊後水道海域、高知県浦ノ内湾海域で計 7 件発生し、前年の 4 件より 3 件増加した。*Chattonella* 赤潮による漁業被害は福岡県周防灘海域で 1 件、高知県浦ノ内湾海域で 1 件発生した。

本年は複数海域で *K. mikimotoi* 赤潮が発生した。主要海域において本種赤潮が発生及び非発生に至った経過及び要因を以下のように整理した。

広島県広島湾海域：当該海域では、顕微鏡観察での初認は 6 月上旬に 1 cell /mL 確認された後、7 月上旬に 5 cells /mL、8 月上旬には 2,317 cells /mL 程度で増加後、8 月中旬に 1 cell /mL まで減少した。6 月下旬～7 月上旬にかけて降雨により日照時間が減少したことで、珪藻類の増殖が抑制され本種の増加につながったと考えられる。その後は降雨がほとんどなく、平年より日照時間も多かったことから以後も抑制され続けたと考えられる。

山口県徳山湾・笠戸湾海域：当該海域では、*K. mikimotoi* による赤潮が 7 月上旬～8 月上旬に周南市沿岸で、7 月中旬～8 月上旬に下松市沿岸で、7 月下旬～8 月上旬に山口市（秋穂湾）～宇部市沿岸で、7 月下旬～8 月上旬に防府市沿岸域で発生した（最高細胞密度は、山口県の注意報（100 cells/mL 以上）及び警報（5,000 cells/mL 以上）基準を超えた（それぞれ 19,975 cells/mL, 9,450 cells/mL, 3,575 cells/mL, 7,000 cells/mL）。2～6 月の高感度監視調査の期間中、濃縮検鏡では 2 月上旬、5 月上旬に 0.02～0.08 cells/mL 観察され、PCR 法では調査期間中 0.242～6.740 cells/mL 検出されており、6 月下旬～7 月中旬に日照時間が短かったことで珪藻類等の増殖が抑制され、本種が広域に増殖したものと考えられる。

福岡県周防灘海域：当該海域では、*Chattonella* 属赤潮が 7 月上旬から 7 月下旬にかけて、*K. mikimotoi* 赤潮が 7 月上旬～8 月中旬にかけて発生した。*Chattonella* 赤潮は 7 月上旬、*K. mikimotoi* 赤潮は、7 月中旬に増殖のピークに達した。本年は、4 月の日照時間がかなり少なく、透明度は 4～6 月にかけて低かったことで、珪藻は増殖に至らず、非常に低調だった。一方、栄養塩は、平年並みからやや高めで推移しており、競合種である珪藻の低密度下では、*Chattonella* 属及び *K. mikimotoi* が増殖しやすい環境下であったと考えられる。

大分県周防灘海域：当該海域では、*Chattonella* 属及び *K. mikimotoi* による赤潮が発生した。これらは 6 月中旬まで低密度で推移していたが、6 月下旬に *Chattonella* 属が増加し、7 月上旬に赤潮を確認した。これは 6 月中旬に底層水温がシストの発芽が活発になる 20℃に達したことに加え、6 月下旬の日照時間が少なく珪藻が減少したためと考えられる（6/20～7/1 の日照時間、計 7.8 時間）。また、7 月 1 日調査時の溶存態窒素（DIN）は表層と底層で高値となっている。*Chattonella* 属の増殖は DIN が制限しているとの報告があるため、DIN が多かったことも要因となった可能性がある。その後、*Chattonella* 属は減少し、7 月中旬に *K. mikimotoi* の赤潮を確認した。これは栄養塩の消費及び 7 月中旬の低日照により *Chattonella* 属が減少に転じたことに加え、珪藻がさらに減少したことで、低栄養塩及び低日照に強い *K. mikimotoi* が優位になったため赤潮を形成したと考えられる。

大分県別府湾・豊後水道海域：当該海域では、有害プランクトンは低密度で確認された。調査地点の一部である臼杵湾では、7 月中旬～8 月下旬に *K. mikimotoi* の赤潮が発生し、最大で 3,250 cells/mL と高密度であった。発生要因としては、臼杵湾の赤潮が発生した以前に、大分県北部（周防灘）で *K. mikimotoi* が高密度で確認されており、その赤潮水塊が臼杵湾に流入し、赤潮が発生したことが考えられる。また、大分県の他の南部海域でも *K. mikimotoi* や *Chattonella* 属などの赤潮が発生した。

愛媛県豊後水道海域：当該海域において *K. mikimotoi* は、本事業の調査では最大 182 cells/mL 確認されたが、本事業以外の調査では、沿岸域で 7 月上旬に赤潮の発生が確認された。本年度、本種は 5 月中旬に豊後水道沖合で初認された。5 月下旬～6 月中旬には、沿岸域においても数 cells/mL 程度が確認され、その後 6 月下旬にかけて、急速に高密度化した。本年度、宇和島市沿岸域の水温は、冬季から春季にかけて継続的に、平年より 1～3℃ 程度高めに推移し、例年と比較して本種の初期個体群が維持されやすい環境にあったと推測される。その後、梅雨期間中の 6 月下旬には、日照時間が 1 日当たり 2 時間未満と著しく短くなったことに加え、同時期、珪藻類等の競合種が一時的に減少したことで、本種の増殖に有利な環境が整い、赤潮の発生に至ったと考えられた。

高知県宿毛湾海域：当該海域において、*K. mikimotoi* は 7 月中旬及び 8 月上旬にのみ観察され、最高細胞密度は 8 月 5 日の 7 cells/mL であった。本年の赤潮発生について、宿毛湾で問題となっている *M. polykrikoides* は赤潮を形成せず、遊泳細胞（検鏡）も僅かに確認されたのみであった。また、本種は高感度調査（qPCR）において 5～6 月は検出されたものの、何れも推定細胞密度が 1 cell/mL 未満であり、シードポピュレーションが少なかったことに加えて、増殖に不適な環境条件であったことが窺われた。

高知県浦ノ内湾海域：本年は 7 月以降の気温が高く、それに伴い同時期における水温も高い値で推移した。2008 年以降、*K. mikimotoi* の赤潮（1,000 cells/mL 以上）は毎年発生していたが、本年は 16 年ぶりに非発生年となった。例年 4～5 月頃には、本種が遊泳細胞として普通に確認されるが、本年は 6 月中旬まで全く確認されておらず、高感度調査（qPCR）においても 1～4 月の本種遺伝子量はごく僅かであった。一方、*Chattonella* spp. は例年より早い 5 月上旬に赤潮を形成し、当該赤潮は *K. mikimotoi* の増殖が確認される直前の 8 月上旬まで継続した。また、*Chattonella* spp. が高密度の赤潮を形成していた 6 月は、水柱（表層、5 m 層、B-1 層）の DIN 濃度が大きく低下しており、大量発生した同藻によって消費されたものと考えられた。これらのことから、冬季における *K. mikimotoi* のシードポピュレーションが少なかったことに加え、例年本種が増殖し、赤潮を形成するような時期に既に競合種となり得る *Chattonella* spp. が高密度で出現したことが、本年の *K. mikimotoi* 赤潮が非発生であった要因の一つであると推察された。

2) *K. mikimotoi* 高感度監視調査

① 海水中 *K. mikimotoi* 遺伝子の挙動解析

2024 年 1～9 月の期間における各海域の本種遺伝子測定を実施した。各海域における 2024 年の推定細胞密度を表 4 及び図 19, 20, 水柱平均を図 21 に示している。

今年度の瀬戸内海西部海域では、*K. mikimotoi* 赤潮が広島湾、周防灘、豊後水道海域にて発生した。まず、周防灘海域については、山口県、福岡県及び大分県北部海域において、7～9 月まで本種赤潮が確認された。また、豊後水道海域においても、7～10 月まで愛媛県及び大分県海域で本種赤潮が形成された。さらに、広島湾海域で 8～10 月に本種赤潮が発生した。

各県海域における *K. mikimotoi* 遺伝子の挙動を解析した結果、周防灘海域においては、山口県海域では 2 月から 1 cell/mL 以上の高濃度で検出され、6 月まで高値が維持された（水柱平均値 Y4: 0.884 cells/mL～4.93 cells/mL）。一方、福岡県では、2 月には検出限界以下であったが、4 月から検出され、5 月及び 6 月は 1 cell/mL 以上の高い値となった（F11: N. D.～4.62 cells/mL）。大分県北部海域についても、2 月までは検出限界以下であったが 3 月から検出され、5 月以降に 1 cell/mL まで増加した。その後、赤潮発生時期には推定細胞

数が 404 cells/mL まで増加した (O13: N. D.~404 cells/mL)。

豊後水道海域においては、愛媛県、大分県共に 2 月にはおよそ 0.01 cells/mL で検出されたが、その後 4 月または 5 月に検出量が減少した。しかしながら 6 月から再び検出量が増加し、赤潮発生時には最も高い値を示した (O9: 0.001~2.48 cells/mL, E4: N. D.~55 cells/mL, E9: N. D.~0.548 cells/mL)。一方、同じ豊後水道海域の高知県宿毛湾では赤潮の発生は見られなかったが、愛媛県や大分県と同様に、2 月に検出されたのち 5 月にかけて検出量が減少し、その後 6 月は増加に転じた (KS1: N. D.~0.044 cells/mL)。

8 月に本種赤潮が発生した広島湾については、2 月から本種遺伝子が検出され、その後春季にも連続して検出され、5 月には 1 cell/mL を超える検出量であった (H3: 0.008~1.56 cells/mL)。

その他の海域については、大分県別府湾では赤潮発生は見られなかったが、大分県周防灘海域と同様に 4 月から検出され、8 月にかけて検出量が増加した (O3: N. D.~5.43 cells/mL)。また、高知県浦ノ内湾においても今年度は本種赤潮が発生せず、遺伝子モニタリングにおいても 2024 年 1 月に低濃度で検出されたが、それ以降の 2~4 月は未検出であった (KU1: N. D.~0.005 cells/mL)。

瀬戸内海西部瀬戸海域において 2018 年~今年度まで実施した遺伝子モニタリングの連続データを図 22 に示す。周防灘海域及び別府湾海域における今年度の検出状況は、何れの海域も例年と同様に、冬季から春季にかけて本種遺伝子が増加する傾向であった。また、豊後水道海域においてもこれまでと同様に、冬季から検出されるものの、春季に減少し、初夏から再び増加する傾向が見られた。一方、広島湾海域については、これまでの赤潮発生年と同様に、今年度は冬季から高い数値を示していた。また、浦ノ内湾においては、赤潮発生年には春季に本種遺伝子が高濃度に検出されることが多いが、今年度の春季は未検出で赤潮も非発生であり、本湾のシードが低濃度であった可能性が考えられた。

これまでに実施した遺伝子モニタリングにより、各海域で特徴的な検出パターンが見られ、本種の出現に海象や天候などの環境条件が関与している可能性が考えられた(後川ら, 2024)。そこで今年度より本種遺伝子の動態と環境データの比較検証を開始した。図 23 に周防灘 2 地点 (福岡県の F11, 大分県北部の O13) 及び豊後水道 2 地点 (愛媛県の E4, 大分県南部の O9) の 2018~2023 年度における *K.mikimotoi* 検出量と水温との関係を示す。いずれの海域でも水温の上昇に伴い、本種遺伝子の検出量が高くなる傾向が見られた。一方で、同程度の水温でも未検出となる場合もあり、水温以外の環境因子についても今後検討する予定である。

② 海底泥からの *K. mikimotoi* RNA の検出

浦ノ内湾底質からの *K. mikimotoi* RNA 検出結果を表 5 に示す。逆転写反応を行った際のみ *K. mikimotoi* RNA (cDNA) が検出されるサンプルが認められた (0.66~80.06 コピー/反応)。近年中国において海底泥から様 *K. mikimotoi* シストが発見された報告もあることから (Liu et al. 2020), 浦ノ内湾海底泥中に *K. mikimotoi* の生細胞が存在する可能性が示唆された。今後は、同様の方法で 2022 年の春から冬にかけて浦ノ内湾で採取された海底泥試料を解析し、検出される RNA がシスト等のシードポピュレーションとして機能する細胞群に由来するかどうかを検証する予定である。

3) 高頻度観測とデータ解析・モデル構築等

図 24 に 2024 年 5~9 月にかけての気象条件と宇和島湾の重点調査定点 U6 におけるクロフィル極大層のプランクトン細胞密度推移を示す。本年度は、6 月中下旬と 7 月中旬にまとまった降雨があり、日照時間は 6 月下旬と 7 月中旬に平年より著しく短くなった。珪藻類は 6 月上旬には 1,000 cells/mL 前後、6 月中下旬には 20,000 cells/mL 前後が確認されて

いたが、7月下旬には一時的に数百 cells/mL に減少した。一方、*K. mikimotoi* は7月3日に初認され、7月中旬にかけて低密度に推移した後増加に転じ、7月23日には本定点における最高細胞密度 640 cells/mL が確認された。図 25 に U6 における水質と植物プランクトン細胞密度の鉛直分布の推移を示す。6月中下旬には、降雨による表層塩分の低下と DSi 濃度の上昇が認められ、珪藻類が表層付近において高密度に分布した。7月上中旬には、表層の DSi 濃度が低下した一方で、中底層において DIN 及び DIP の上昇が認められ、直後に珪藻類が一時的に減少した。これらのことから *K. mikimotoi* は、7月上中旬にかけて中底層の栄養塩を利用しながら徐々に増殖し、その後、競合種が一時的に衰退した7月下旬に、急激に集積・高密度化したものと考えられる。以降は、8月上旬にかけて日照時間が増加するに従い、*K. mikimotoi* は衰退し、珪藻類の増殖が確認された。

宇和海における *K. mikimotoi* 赤潮発生に関わる5つの環境要因について、平年値からの偏差をスコア化し、4月から6月上旬にかけて環境情報の蓄積に伴い段階的に赤潮発生日の予測を行った。その結果、5つの環境要因が全て揃う6月10日の段階で、2024年度の赤潮発生日は6月24日、最大細胞密度は135,596 cells/mL と予測された。今年度の宇和海においては、7月4日に初めての *K. mikimotoi* 赤潮が確認され、最大細胞密度は45,000 cells/mL であり、発生日は概ね予想通りだが、細胞最大密度は過大評価であった。本研究で用いた環境要因は、気象庁アメダス (<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>) 及び宇和海水温情報システム “You see U-sea” (<http://akashio.jp/kaisuion/>) の準リアルタイムデータとして公開されており、予測計算法も簡易である。本研究を応用すれば、赤潮発生の1~2カ月前から、早期・中期・直前と段階的に予測精度を高めながら宇和海における *K. mikimotoi* 赤潮の発生日と規模をある程度の誤差（発生日の RMSE = 17 日、最大細胞密度の RMSE = 80,026 cells/mL）で予測することが可能である。

先のスコア法と新たに用いた推計手法による2024年の年最初の発生日と最大細胞密度の予測値、過去約20年分の観測値と予測値から求めた誤差と決定係数を表7にまとめた。その結果、年最初の発生日は、決定木回帰、スコア法、ランダムフォレスト回帰の推定精度が高く、最大細胞密度は、k-近傍法の推定精度が高かった。これまでのスコア法は、年最初の発生日は決定木回帰と同等、最大細胞密度はk-近傍法の次に精度が高く、最新の統計手法と比べ遜色ないだけでなく、両方を同時に高精度で予測することができる有用な手法であることが明らかとなった。

4) 赤潮発生シナリオと予察技術の検証と改良及び赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）の検討

① 赤潮予察モデルの改良と検証

各海域において実施した予察の結果について、*K. mikimotoi* と各海域に特徴的な有害種の予察結果を表8~21に示した。また各海域の解析結果の特徴を以下に記載した。

広島県広島湾海域（表8, 9）：広島湾では *K. mikimotoi* の最高細胞密度 1000 cells/mL 以上の年を「発成年」として解析を行った。本年は赤潮発成年となったが、予察モデルでは14通りのうち1通りで「発生」、6通りで「どちらでもない」、7通りで「非発生」となった。「発生」と予察できた1通りの組合せについては的中しており、5月の底層 DO と4月の気温が抽出された。昨年度と比較して、4月の気温は1.8℃高く、5月の底層 DO は1.78 mg/L 低くなっていたことから、春先の気温が高いことで初期個体が増殖し、底層 DO が低いことで競合種が繁殖し難かったことが本種の赤潮発生につながったと考えられる。

また、*Chattonella* 属については、100 cells/mL 以上を発成年として解析を行った。2002~2022年の環境データを用いて直近2か年について解析を行った結果を表9に示す。抽出された環境項目の組合せは12通りであった。2023年は発成年であり12通り中、3通りが「発

生」, 5 通りが「どちらでもない」, 1 通りが「非発生」, 3 通りが判別不能であり, 3 通りについての的中した。2024 年は非発生年であり 12 通り中, 2 通りが「発生」, 3 通りが「非発生」, 7 通りが判別不能となり, 3 通りについての的中した。両年で共通して的中した環境項目の組合せは 5 月 5m 層 DIP と 3 月気温であった。気温が高ければ初期個体の増殖に有利に働き, DIP が遊泳細胞が確認され始める時期に存在することで赤潮発生につながると考えられる。両年に共通して的中した項目はあったものの, 判別不能となった組合せも多く, 環境項目の精査等により予察モデルの精度を高める必要がある。

山口県徳山湾海域 (表 10, 11) : 徳山湾では, *K. mikimotoi* 最高細胞密度が 1,000 cells/mL 以上の年を「発生年」として解析を行った。2002~2022 年の解析期間で抽出された徳山湾の赤潮発生に関する環境項目は 7 項目で, これらの項目をもとに抽出した的中率の高い組合せ(7通り)及び環境項目を用いた本年の判別分析結果を表 10 に示した。本年は, *K. mikimotoi* 赤潮の発生年となった。今回作成した予察モデル 7 通りのうち 6 通りでは「発生年:○」, 1 通りでは「どちらとも区別できない:△」と予察された。

また, *H. akashiwo* 最高細胞密度が 50,000 cells/mL 以上の年を「発生年」として解析を行った。2002~2022 年の解析期間で抽出された徳山湾の赤潮発生に関する環境項目は 18 項目で, 発生年と非発生年の間で 5%水準で有意差が見られた項目は 7 項目であった。これらの項目を基に抽出した的中率の高い組合せ (17 通り) を用いた本年の判別分析結果を表 11 に示した。2023 年は, *H. akashiwo* 赤潮の発生年となった。的中率上位 17 通りのうち 8 通りでは「非発生年:×」, 9 通りでは「どちらとも区別できない:△」と予察され, 「発生年:○」は予察されなかった。2024 年は, *H. akashiwo* 赤潮の発生年 (小規模) となった。的中率上位 17 通りのうち 3 通りでは「発生年:○」, 8 通りでは「非発生年:×」, 6 通りでは「どちらとも区別できない:△」と予察された。

福岡県周防灘海域 (表 12, 13) : 福岡県周防灘海域では, *K. mikimotoi* 及び *Chattonella* 属の予察モデルの解析を行った。*K. mikimotoi* では最高細胞密度が 1000 cells/mL 以上, *Chattonella* 属では最高細胞密度が 30 cells/mL 以上の年を「発生年」として解析を行った。

昨年度に抽出した福岡県周防灘海域の赤潮発生に関係する項目 (解析期間: 2002~2022) のうち, 的中率の高い組合せを用い, 本年度の *K. mikimotoi* の判別分析を行った結果を表 12 に示した。本年度は *K. mikimotoi* 赤潮発生年であったが, 作成した予察モデル 13 通りのうち 11 通りで「発生」の予測となった。非発生年であった昨年度は, 13 通りのうち 9 通りで予測が的中しており, 発生年・非発生年に関わらず, 比較的高い中率であった。よって昨年度に抽出された項目は, 引き続き赤潮発生に関係が深い環境因子である可能性が窺えた。

また, 同じく的中率の高い組合せを用い, 昨年度及び本年度の *Chattonella* 属の判別分析を行った結果を表 13 に示した。昨年度及び本年度は *Chattonella* 属赤潮発生年であったが, 作成した予察モデル 9 通りのうち, 昨年度は全て「非発生」, 本年度は 3 通りで「発生」, 3 通りで「発生・非発生のどちらとも区別できない」と予測された。昨年度はすべて予察が外れた一方, 本年度は的中する項目もあり, モデルの精度は不安定であった。よって *Chattonella* 属の予察モデルについては, データの蓄積や説明変量の入替等によって精度の向上を検討する必要がある。

大分県周防灘海域 (表 14, 15) : 周防灘大分県海域では, 2024 年における *K. mikimotoi* 赤潮の判別分析に加えて, *Chattonella* spp. の予察モデル作成及び 2023 年, 2024 年の赤潮判別分析を行った。

当該海域では, *K. mikimotoi* の最高細胞密度が 1,000 cells/mL 以上の年を「発生年」とし

て解析を行った。本年は本種赤潮の発生年であり、5通りの予察モデルの組合せのうち2通りで「発生」と予測的中した。残りの3通りは「発生・非発生のどちらとも区別できない」であった。的中した2通りの項目には「5月表層水温」が共通しており、当該海域の本種赤潮予察において重要な項目であることが示唆された。また、「7月分布指標」と「5月表層水温」は昨年も中した組合せであり、周防灘大分県海域のカレニア赤潮発生シナリオ（5月の表層水温が低く、7月分布指標（10 cells/mL）が高いと発生しやすい）に合致しているものであった。しかし、本年度の赤潮が発生したのは7月であり、7月分布指標が高値になるのは当然である。結果として、赤潮発生月のデータを使用した予察であるため、的中したとは言えないと考えられる。

当該海域では、*Chattonella* spp.の最高細胞密度が100 cells/mL以上の年を「発生年」として解析を行った。2002～2022年のデータを解析し、的中率の高い組合せを抽出した結果、当該海域において本種赤潮発生に関係する環境項目は表15に示したとおりであった。「6月の細胞分布指標」及び「3月の5m層、底層水温」が多く抽出されていることから、重要な項目であることが考えられる。本種は底泥内のシストから発芽するが、3月の底層付近の水温が春先の発芽に関係しているのかもしれない。

次に、作成した予察モデルを使用して、2023年（発生年）及び2024年（非発生年）の本種赤潮の判別分析を行った。その結果、予察と結果が一致したのは、両年とも2通りずつであった。さらに、両年ともに的中した組合せはなく、予察精度の低い結果となった。また、当該海域では6～7月に本種赤潮が発生することが多い。そのため6～7月の項目を使用しての予察は不適と考えられ、今後検討が必要である。

大分県佐伯湾海域（表16, 17）：大分県佐伯湾海域では、*K. mikimotoi* 最高細胞密度が1,000 cells/mL以上の年を「発生年」として解析を行った。また、今回は*H. akashiwo*でも同様の解析を行い、最高細胞密度が10,000 cells/mL以上の年を「発生年」として解析を行った。

本年度の判別分析結果を表16, 17に示した。今年、佐伯湾では7月下旬に最高細胞密度10,400 cell/mlの*K. mikimotoi*の赤潮が発生したため、「発生年」とした。2002～2022年の解析期間で抽出された佐伯湾海域の赤潮発生に関する環境項目の組合せ10通りのうち、9通りで「非発生」、1通りで「発生・非発生のどちらとも区別できない」と予測され、的中率は低かった。

*H. akashiwo*の解析について、佐伯湾では、2023年は6月上旬に最高細胞密度100 cells/mLが確認されたため、「非発生年」とし、2024年は6月下旬に最高細胞密度71,000 cells/mLの赤潮が発生したため、「発生年」とした。2002～2022年の解析期間で抽出された佐伯湾海域の赤潮発生に関する環境項目は、2月平均気温、2月表層水温、3月表層塩分であり、*K. mikimotoi*と同様に冬季の環境項目が抽出された。抽出された環境項目の組合せ3通りのうち、2023年は3通りで「発生・非発生のどちらとも区別できない」、2024年は3通りで「非発生」と予測され、的中率は低かった。

*K. mikimotoi*と*H. akashiwo*ともに、解析により抽出された環境項目が1～3月の項目であったことから、その期間の環境が多種のプランクトンで赤潮発生に大きく関与していることが考えられる。今後、1～3月を中心とした環境項目を追加し、解析の精度をあげることを検討する必要がある。

愛媛県岩松湾海域（表18, 19）：岩松湾では、*K. mikimotoi*の最高細胞密度が1,000 cells/mL以上の年を「発生年」として解析を行った。本年度は、*K. mikimotoi*赤潮の発生年となったが、予察モデルでは14通りの組合せのうち、10通りで「発生」、2通りで「非発生」、2通りで「発生・非発生のどちらとも区別できない」と予察された。ただし、本海域において*K. mikimotoi*は、直近2か年ともに7月上旬までに既に赤潮化していたが、14通りの組合

せのうち、10通りに7月中旬以降の環境項目が含まれていることから、これらは赤潮発生中もしくは終息後のデータを使用していることとなり、予察モデルとして機能したとは言い難い。一方、残りの組合せについては、4通りとも「発生年」と予察され、すべての中する結果となった。特にこれらの組合せに関する環境項目のうち、「4月下旬5m層水温」については、前期（2022～2017）の解析から継続して抽出されており、また直近2か年においても予察を的中させたモデルに含まれていることから、本海域における *K. mikimotoi* の赤潮化に深く関与している可能性がある。実際に、本年度の4月下旬における5m層水温は、平年と比較して0.6℃程度高く推移していたことから、*K. mikimotoi* の初期個体群が維持されやすい状況であったと考えられ、このような晩春の温暖な環境が本種の赤潮発生に寄与したものと推察される。

また、*C. polykrikoides* では、最高細胞密度が300 cells/mL以上の年を「発生年」として解析を行った。今回の解析においては、「1月上旬5m層水温」や「2月中旬平均気温」といった冬季の気温や水温が高いと赤潮が発生しやすい傾向が見られた。また、5～6月の気象に関する項目についても複数抽出され、赤潮発生年においては、初夏の気温が高いもしくは降水量が多いといった傾向が見られた。今回抽出された環境項目を用いて、直近2か年の判別分析を実施した結果を表19に示した。2023年は、*C. polykrikoides* 赤潮発生年であったが、今回作成した12通りの予察モデルのうち、2通りで「発生」、10通りで「非発生」と予察された。また2024年は、非発生年となったが、7通りで「発生」、4通りで「非発生」、1通りで「発生・非発生のどちらとも区別できない」と予察され、2か年を通してモデルの半数以上が的中しない結果となった。この要因として、本海域では解析期間である2002～2022年において、「非発生年」がその多くを占めていることから（発生年；4年、非発生年；17年）、「発生年」のデータが不足し、赤潮非発生にやや偏ったモデルが構築されている可能性が挙げられる。一方で、「5月上旬降水量」と「2月中旬平均気温」の組合せにおいては、今回作成したモデルの中で唯一、2か年を通して予察を的中させており、前者は赤潮形成時期直前の栄養塩類や競合種の動態、後者は冬季におけるシードポピュレーションの動態に関与している可能性がある。したがって今後は、これら2つの環境項目について注視していくとともに、解析手法や使用する環境項目等について検討を行い、予察精度の向上を図る必要があると考えられる。

高知県浦ノ内湾海域（表20、21）：浦ノ内湾では、*K. mikimotoi* 及び *Chattonella* spp.を対象として解析を実施した。

K. mikimotoi は、最高細胞密度が1,000 cells/mL以上の年を赤潮の「発生年」として解析を行い、今期（2002～2022年）の解析期間で抽出された海域の赤潮発生・非発生に関する環境項目を用いた。2024年は、本種赤潮が非発生年であったが、予察モデル10通りのうち8通りは「発生」、2通りは「発生・非発生のどちらとも区別できない」と予察し、「非発生」と予察する組合せはなかった。さらに、前期事業（2018～2022年）及び今期事業（2023年）においても「非発生」と予察した事例は皆無であった。当該予察モデルに供したデータの多くが「発生年」（発生年；18年、非発生年；3年）であり、赤潮発生に偏った予測手法になっていると考えられる。このため、現行モデルで「非発生」を予察することは困難であり、新たな解析手法あるいは説明変量の探索が必要である。

Chattonella spp.は最高細胞密度が1,000 cells/mL以上を「発生年」とした場合に、「非発生年」が2ヶ年と非常に少ないことから、10,000 cells/mL以上を大規模赤潮の「発生年」として解析を行った。2002～2022年の解析期間で抽出された赤潮発生・非発生に関する環境項目の組合せは10通りであり、これらの項目を用いて2023年及び2024年の予察を実施した。2023年は「非発生年」であり、予察モデル10通りの組合せのうち、6通りで的中した。一方、環境項目に「7月中旬気温」を含む4通りでは、全てが「発生・非発生のど

ちらとも区別できない」と予察した。2024年は「発生前」であったが、予察モデル10通りの組合せのうち、的中したものはなかった。また、浦ノ内湾における *Chattonella* spp.赤潮は、7月上旬～中旬に 10,000 cells/mL に達することが多いため、7月中旬以降に予察を実施する組合せは不適であると考えられる。以上のことから、6月中旬までに予察の実施が可能であり、且つ2023年の予察が的中している組合せ3通り（①「1月下旬日照時間」と「5月10m層塩分」、②「1月下旬日照時間」と「6月中旬日照時間」、③「6月中旬日照時間」と「5月10m層塩分」）が、予察モデルとして適当と考えられた。

② 赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）の検討

各県におけ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を区別できる形で整理し、フローチャートにより可視化を行った（図26～31）。今後は、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する予定である。

引用文献

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．1) 魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築 ①瀬戸内海東部海域．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，東京．2018；9-38.

加川真行，黒田麻美，村田憲一，工藤孝也，本田宇聖，吉村栄一，馬場俊典，國森拓也，後川龍男，恵崎 撰，井口大輝，中里礼大，内海訓弘，岩野英樹，畦地和久，竹中彰一，平井真紀子，鈴川健二，谷口越則，吉江直樹，郭 新宇，清水園子，松原孝博，武岡英隆，山口晴生，外丸裕司，坂本節子，鬼塚 剛，山口 聖．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 イ．瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域．平成31年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書，水産庁，東京．2020；57-116.

上村海斗，占部敦史，山下慶太郎，加川真行，上原達亮，相田 聡，馬場俊典，茅野昌大，内田喜隆，畑間俊弘，後川龍男，恵崎 撰，鹿島祥平，斉藤義昭，野田 誠，宮村和良，平野莊太郎，徳丸泰久，三門哲也，神野 智，関信一郎，吉江直樹，郭 新宇，清水園子，松原孝博，竹内久登，山口晴生，外丸裕司，三宅陽一，坂本節子，鬼塚 剛．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 イ．瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域．令和4年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書，水産庁，東京．2023；55-108.

Liu Y, Hu Z, Deng Y, Tang YZ. Evidence for production of sexual resting cysts by the toxic dinoflagellate *Karenia mikimotoi* in clonal cultures and marine sediments. *J. Phycol.* 2020; **56**: 121-134.

向井幸樹，太田耕平，島崎洋平，鶴木陽子，大嶋雄治．定量 PCR を用いた有害ラフィド藻 *Chattonella marina* 及び *Heterosigma akashiwo* 定量法の検討．九州大学大学院農学研究院学芸雑誌，2017；**72**：39-46.

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．宇和島湾及びその周辺海域における有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* の出現特性：赤潮発生前と非発生前の比較．日本水産学会誌，2021；**87**：144-159.

Sverdrup HU, Johnson MW, Fleming RH. The Oceans: Their physics, chemistry, and general biology. Prentice-Hall, New York. 1942.

後川龍男，金澤孝弘，恵崎 撰，加川真行，上原達亮，戸田竜哉，相田 聡，永井崇裕，茅野昌大，渡邊俊輝，馬場俊典，内田喜隆，畑間俊弘，毛利文香，野田 誠，宮村和良，岡田 理，三門哲也，神野 智，関信一郎，上村海斗，黒原健朗，岡部正也，吉江直樹，郭新宇，清水園子，竹内久登，外丸裕司，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の対策（行動計画）の検討・策定 イ．瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域．令和5年度豊かな漁場環境推進事業「赤潮等による漁業被害対策技術の開発・実証・高度化」報告書，水産庁，東京．2024；51-100．

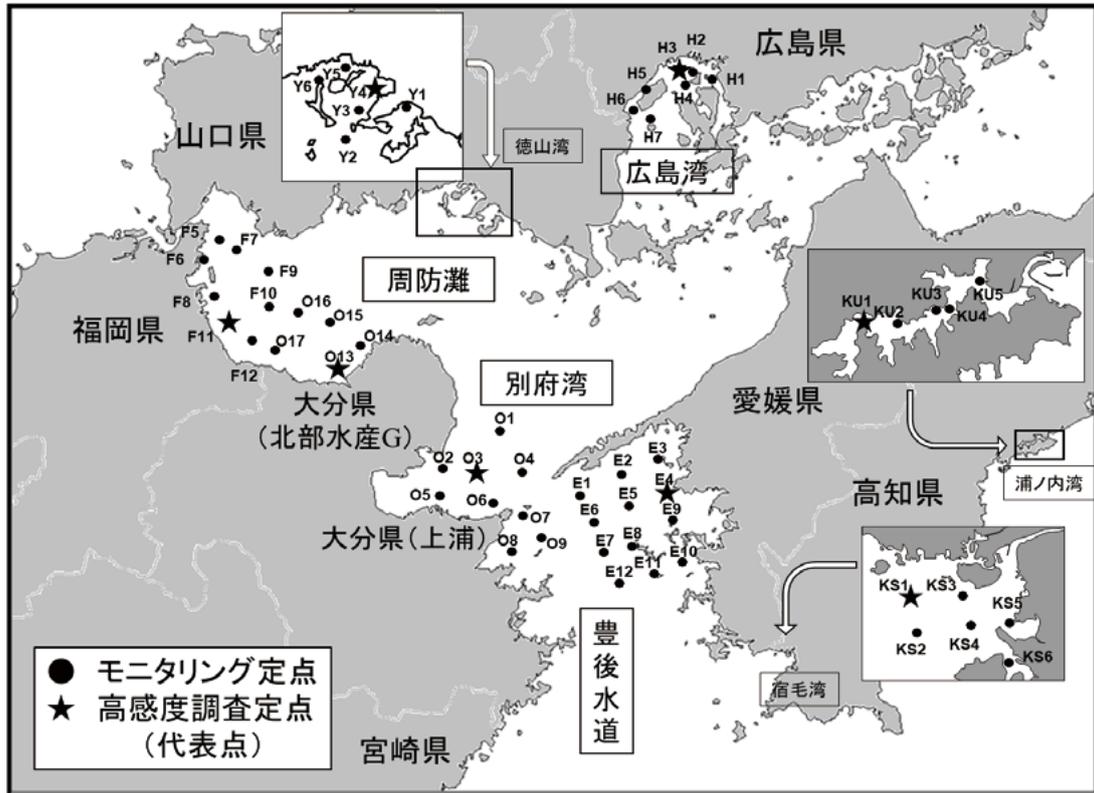


図1 モニタリング調査，高感度調査の定点

表1 モニタリング調査，高感度監視調査の観測分析項目と対象プランクトン

海域		広島湾	周防灘・徳山湾			豊後水道・別府湾・宿毛湾			浦ノ内湾
担当県		広島県	山口県	福岡県	大分県 (北部)	大分県 (上浦)	愛媛県	高知県	高知県
調査点数	モニタリング調査	6	4	4	4	5	5	5	5
	高感度監視調査	1	1	1	1	1	1	1	1
観測層 (m)	モニタリング調査	0.5, 5, B-1	0.5, 5, B-1	0.5, 5, B-1	0.5, 5, B-1	0.5, 10	0.5, 10	0.5, 10	0.5, 10
	高感度監視調査	0.5, 5, B-1	0.5, 5, B-1	0.5, 5, B-1	0.5, 5, (10,) B-1	0.5, 10	0.5, 10	0.5, 2, 5, 10	0.5, 2, 5, 10, B-1
調査回数	モニタリング調査	6	4	4	4	5	5	5	14
	高感度監視調査	4	4	4	4	4	4	4	4
観測分析項目	水温	○	○	○	○	○	○	○	○
	塩分	○	○	○	○	○	○	○	○
	透明度	○	○	○	○	○	○	○	○
	NH4-N	○	○	○(代表点)	○	○	○	○	○(代表点)
	NO2-N	○	○	○(代表点)	○	○	○	○	○(代表点)
	NO3-N	○	○	○(代表点)	○	○	○	○	○(代表点)
	PO4-P	○	○	○(代表点)	○	○	○	○	○(代表点)
	クロロフィルa	○	○	○(代表点)	○	○	○	○	○(代表点)
DO	○	○	○	○	○	○	○	○	
検鏡対象プランクトン	<i>Karenia mikimotoi</i>	○	○	○	○	○	○	○	○
	<i>Chattonella antiqua</i>	○	○	○	○	○	○	○	○
	<i>Chattonella marina</i>	○	○	○	○	○	○	○	○
	<i>Chattonella ovata</i>	○	○	○	○	○	○	○	○
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	○	○	○	○	○	○	○	○
	<i>Heterosigma akashiwo</i>	○	○	○	○	○	○	○	○
	<i>Heterocapsa circularisquama</i>	○	○	○	○	○	○	○	○
	珪藻類	○(表層のみ)	○(代表点)	○	○(代表点)	○(代表点)	○	○(代表点)	○
PCR解析対象プランクトン	<i>Karenia mikimotoi</i>	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)
	<i>Chattonella</i> spp.	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)
	<i>Heterosigma akashiwo</i>	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)
	<i>Heterocapsa circularisquama</i>	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)	○(代表点)

表 2 測定・分析方法

調査・分析項目	方法(機器)	広島湾	周防灘・徳山湾			豊後水道・別府湾・宿毛湾・浦ノ内湾		
		広島県	山口県	福岡県	大分県(北部)	大分県(上浦)	愛媛県	高知県
水温・塩分	多項目CTD	○	○	○	○	○	○	○
透明度	透明度板	○	○	○	○	○	○	○
NH4-N	インドフェノール青吸光度法	○	○	○	○	○	○	○
NO2-N	ナフチルエチレンジアミン吸光度法	○	○	○	○	○	○	○
NO3-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度法	○	○	○	○	○	○	○
PO4-P	モリブデン青(アスコルビン酸還元) 吸光度法	○	○	○	○	○	○	○
クロロフィルa	アセトン抽出吸光度法	○ (アセトン抽出吸光度法)	○	○	○			○
	DMF抽出蛍光法					○	○	
DO	ウィンクラー法				○	○	○	
	溶存酸素計	○	○	○				○

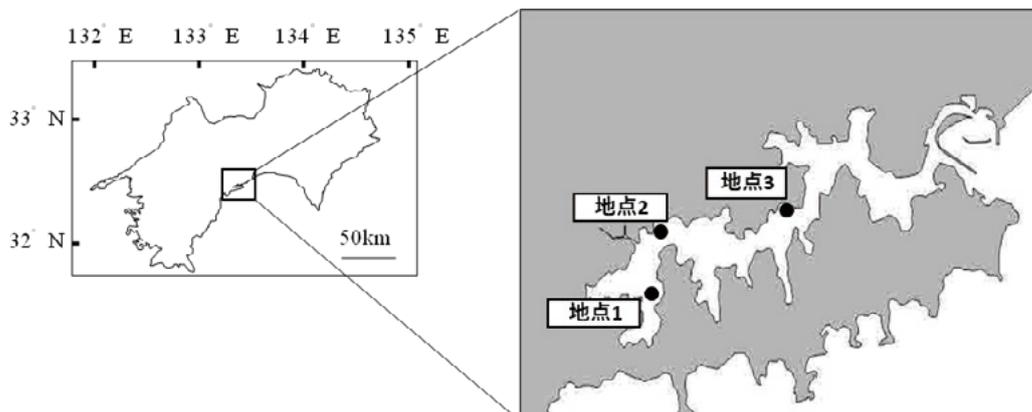
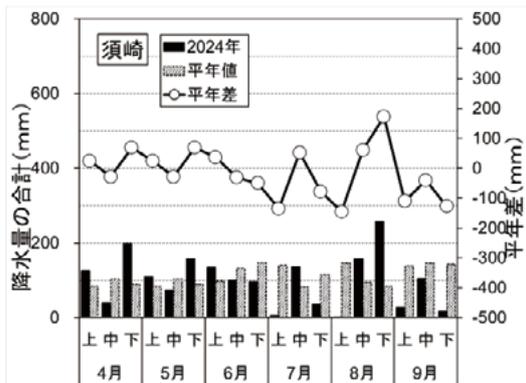
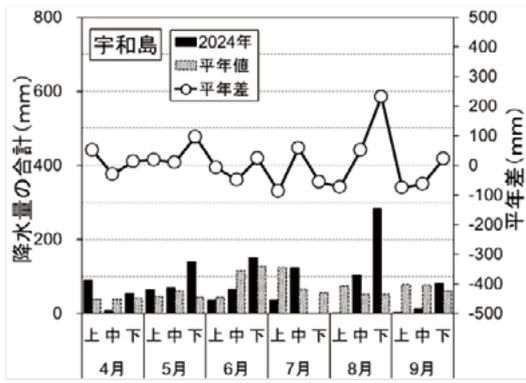
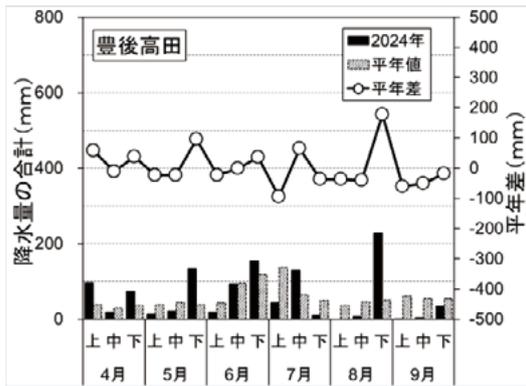
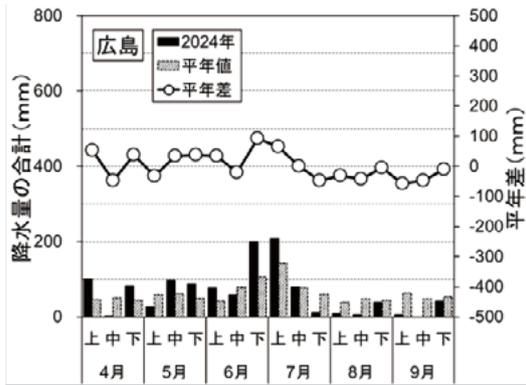


図 2 浦ノ内湾における底質調査地点



図 3 宇和島湾内の調査定点 (◆は通常調査定点、◇は重点調査定点 U6) 及び気象観測所 (○は気象庁宇和島特別地域気象観測所)

(a)



(b)

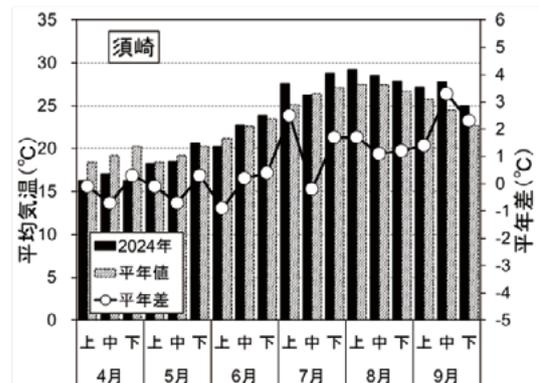
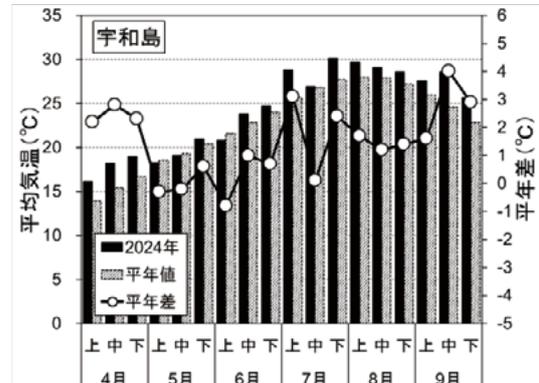
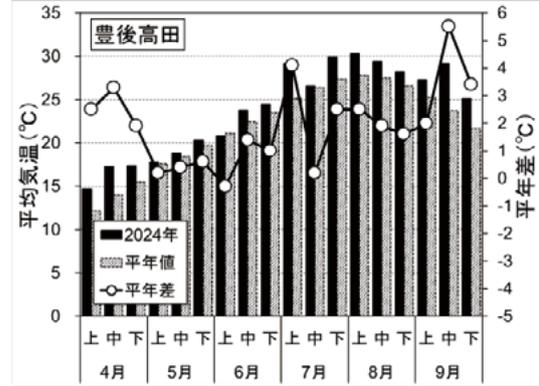
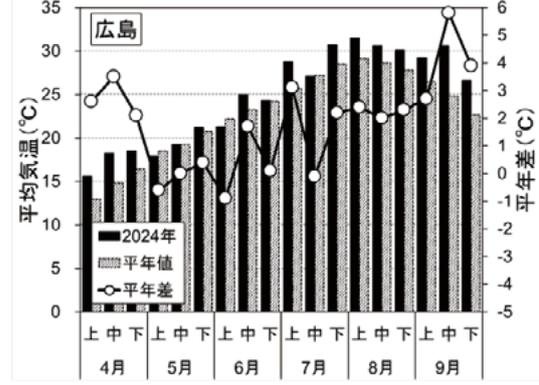


図4 旬別の(a)合計降水量, (b)平均気温, 各項目の平年値及び平年差の推移

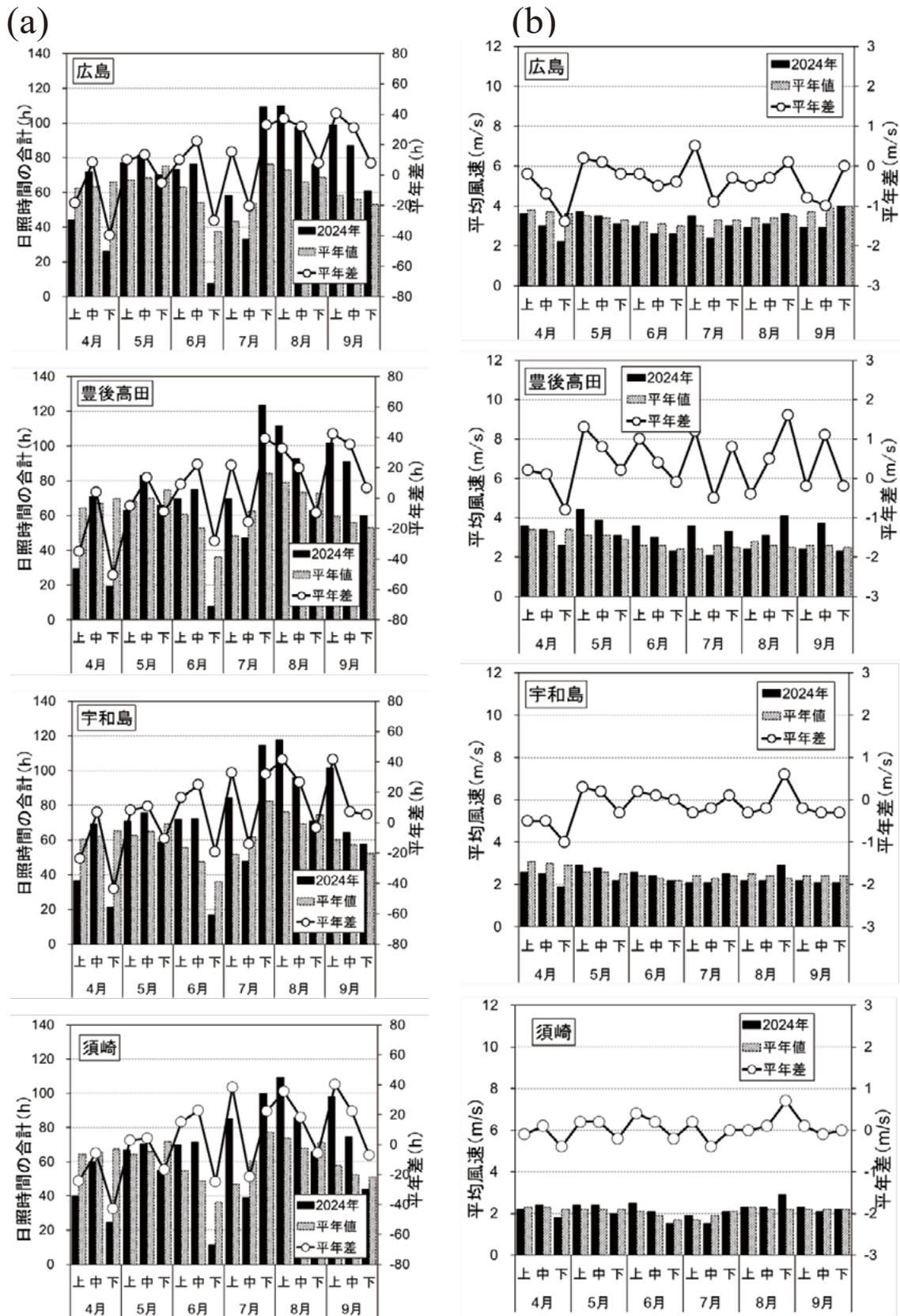


図5 旬別の(a)合計日照時間, (b)平均風速, 各項目の平年値及び平年差の推移

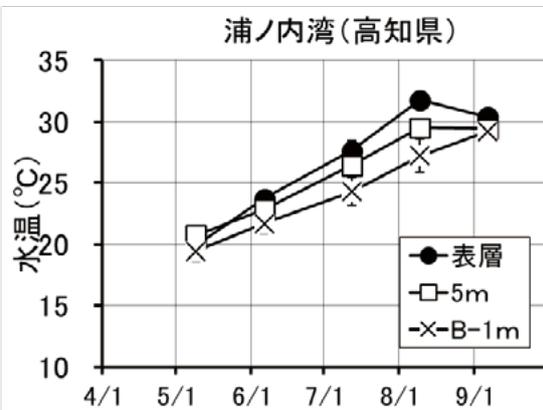
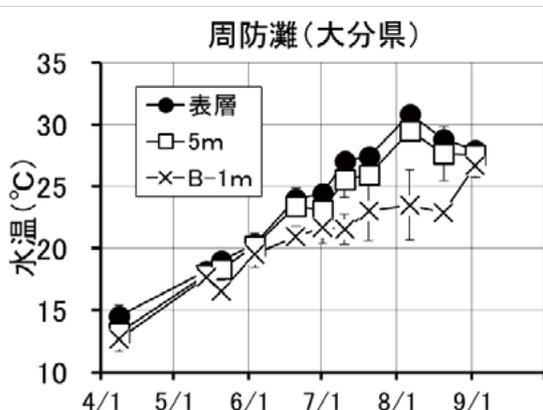
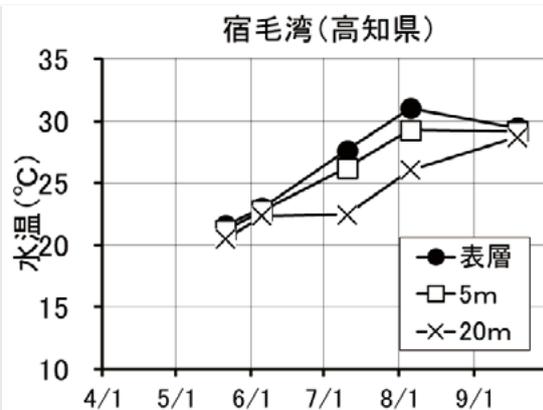
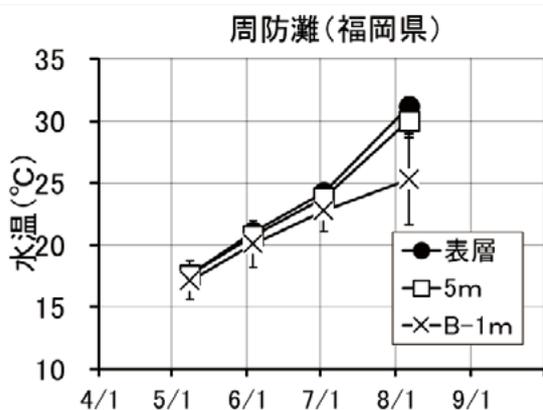
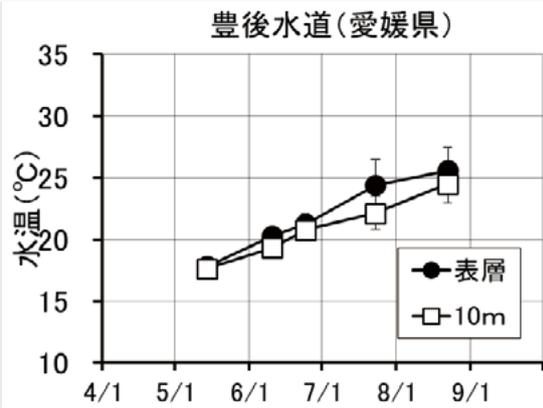
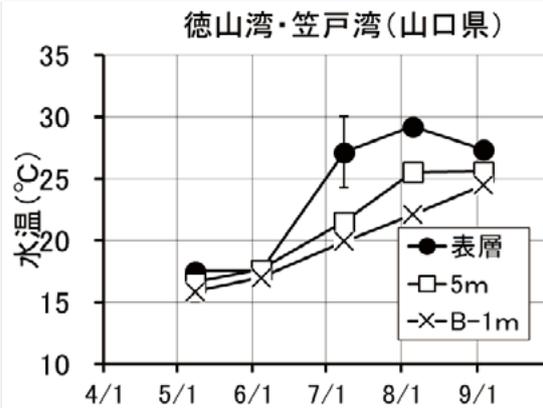
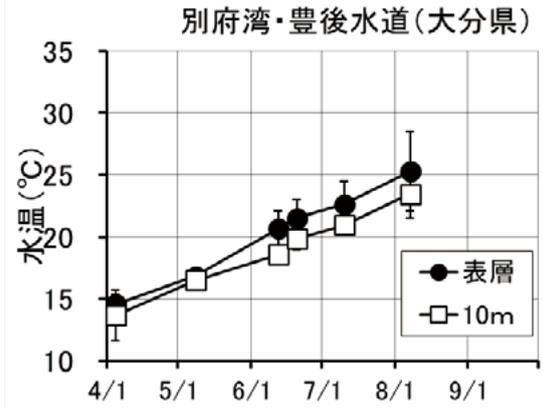
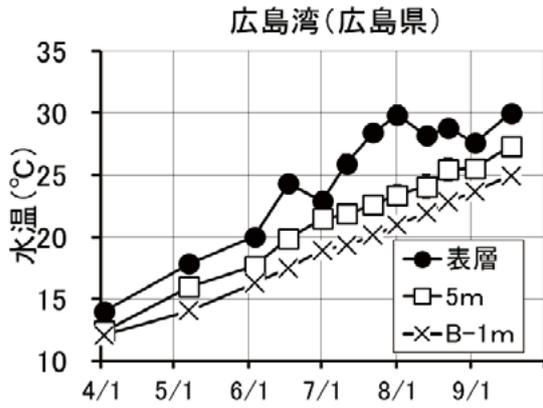


図6 各県海域における水温(平均値)の推移
(縦バーは標準偏差)

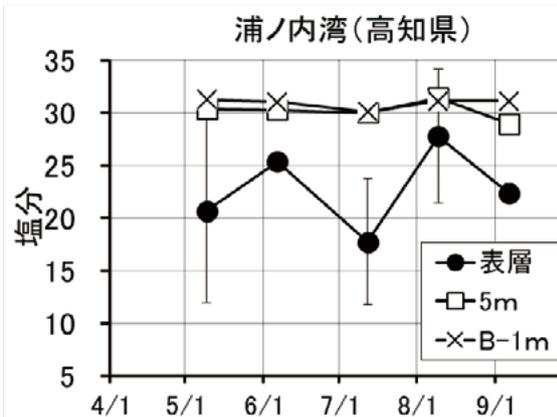
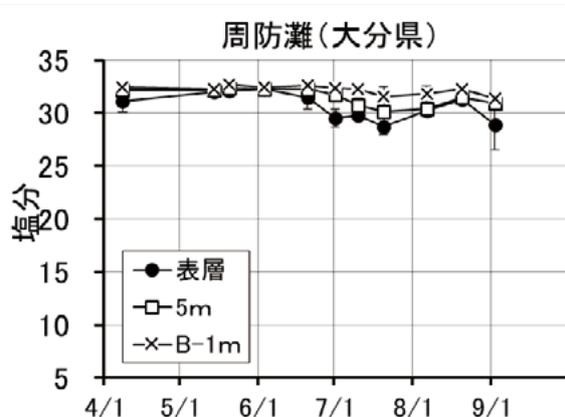
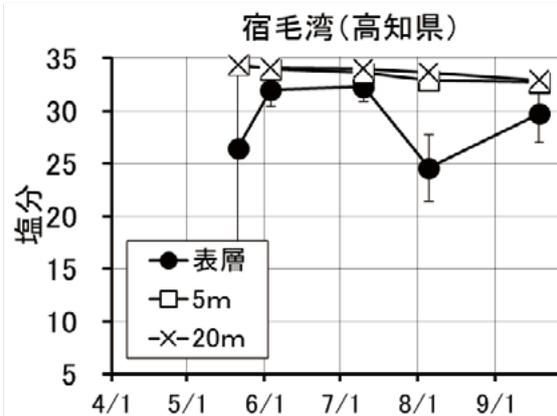
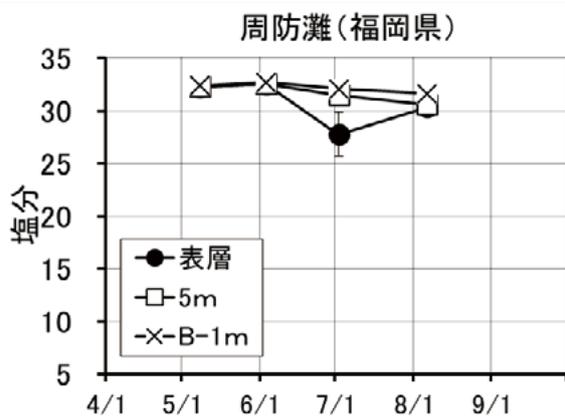
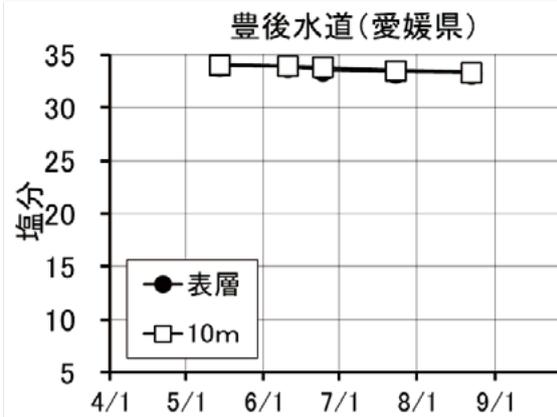
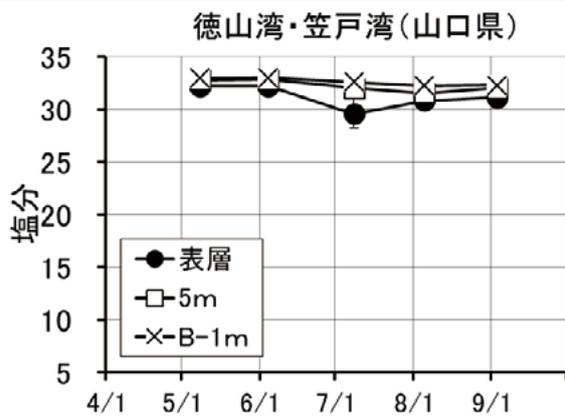
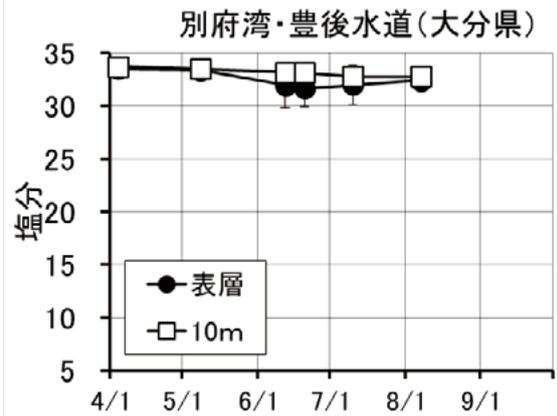
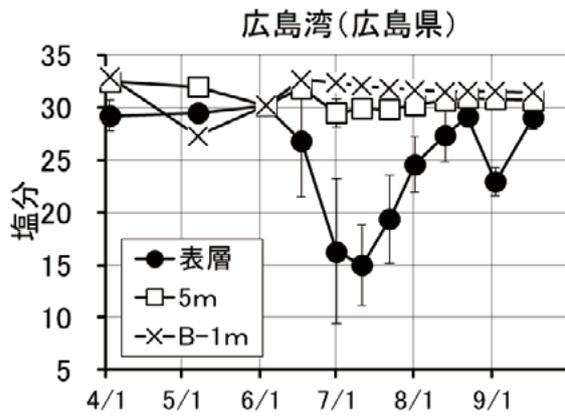


図7 各県海域における塩分(平均値)の推移
(縦バーは標準偏差)

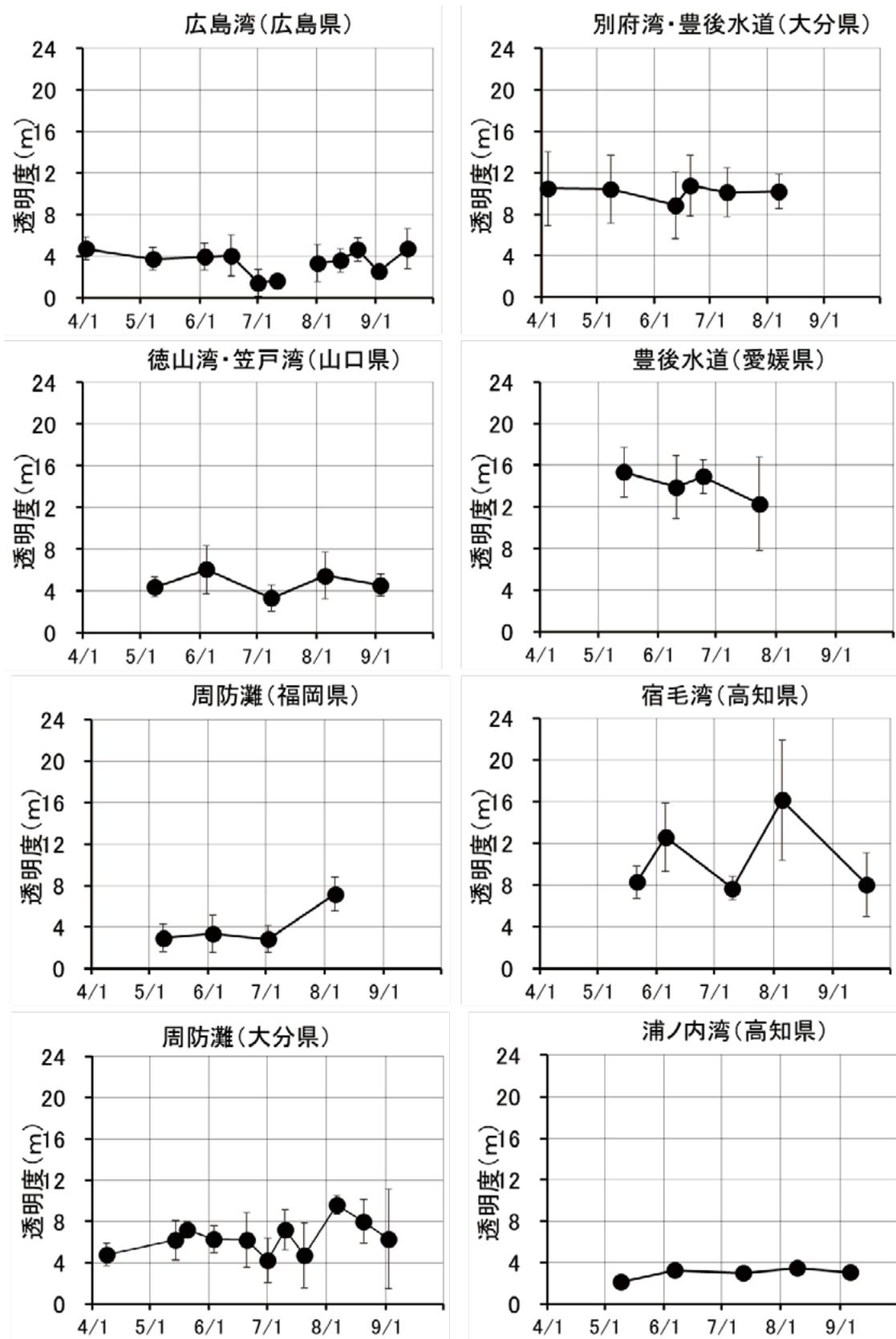


図8 各県海域における透明度（平均値）の推移
（縦バーは標準偏差）

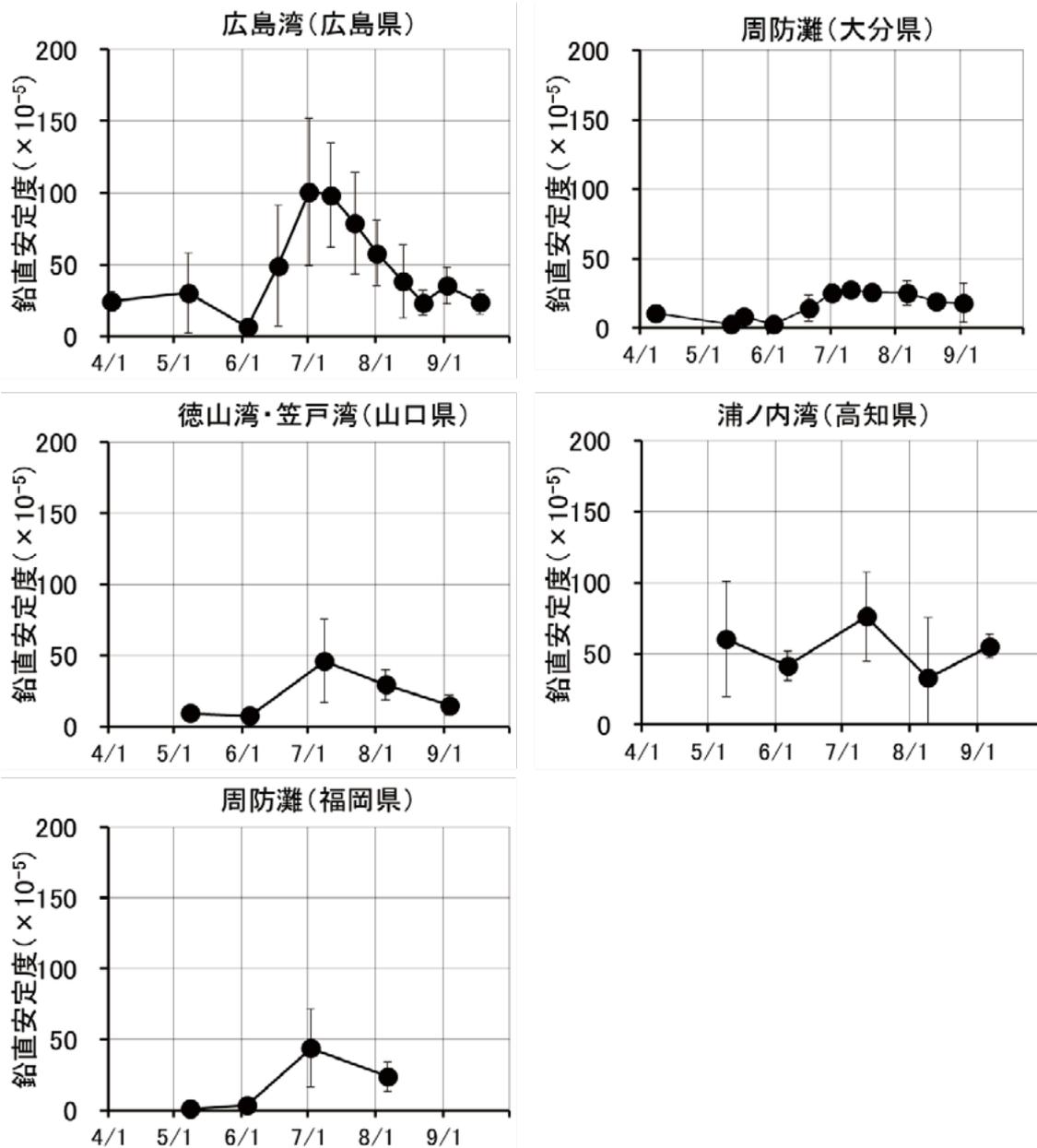


図9 広島湾，徳山湾・笠戸湾，周防灘，浦ノ内湾における鉛直安定度（平均値）の推移（縦バーは標準偏差）

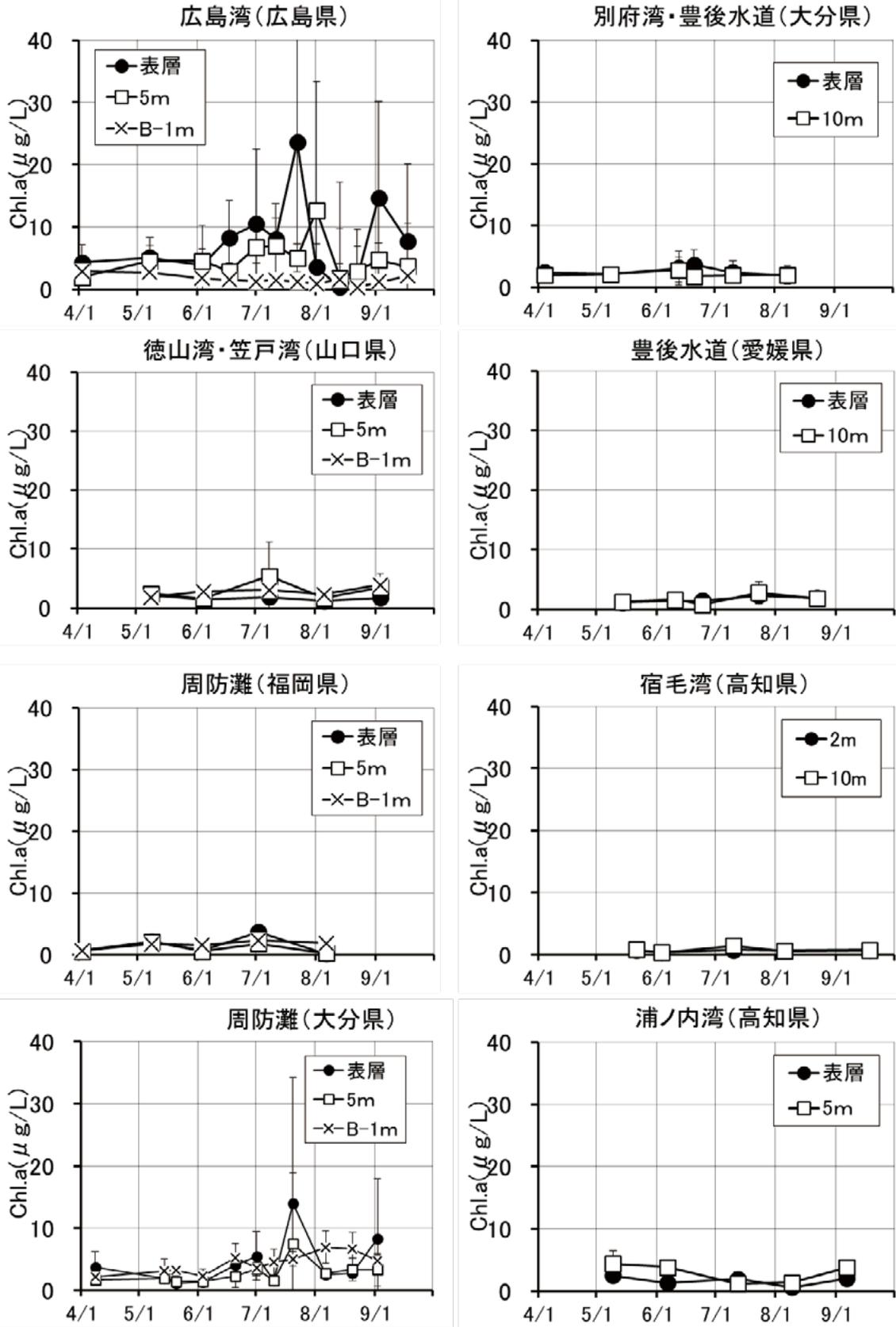


図 10 各県海域におけるクロロフィル *a* (平均値) の推移
(縦バーは標準偏差)

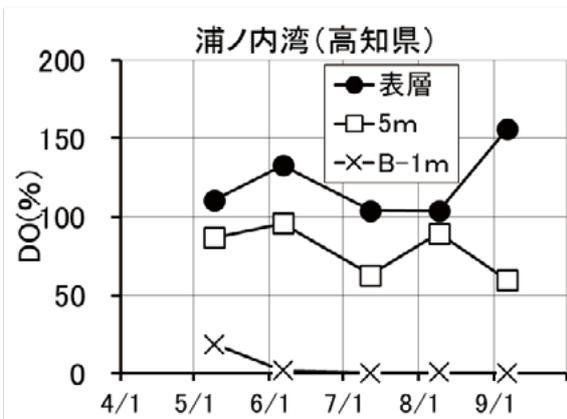
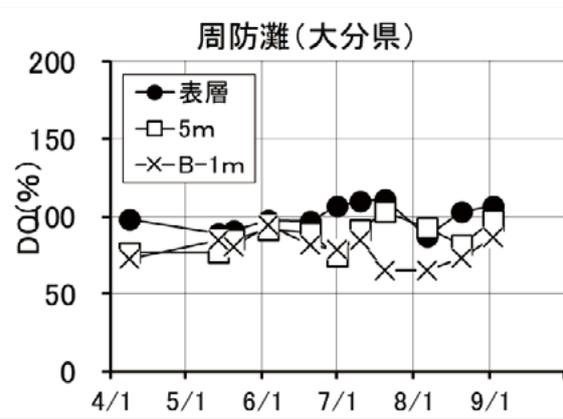
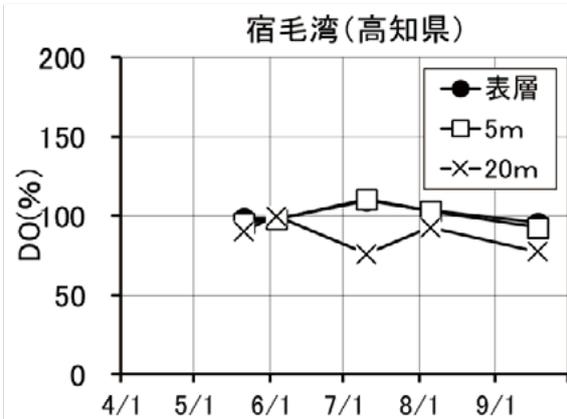
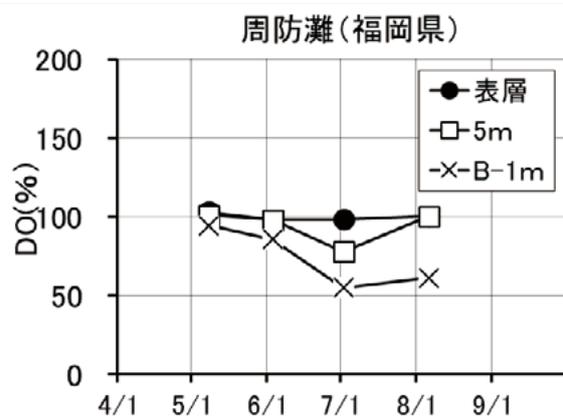
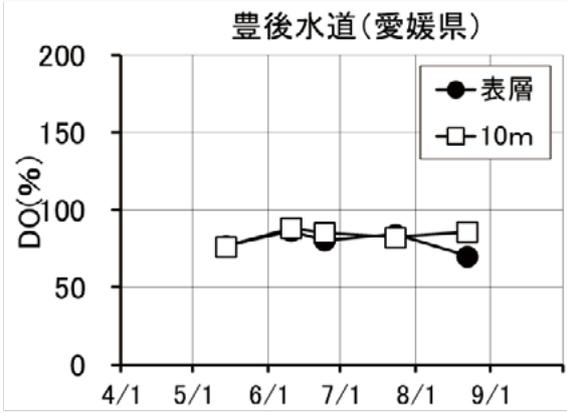
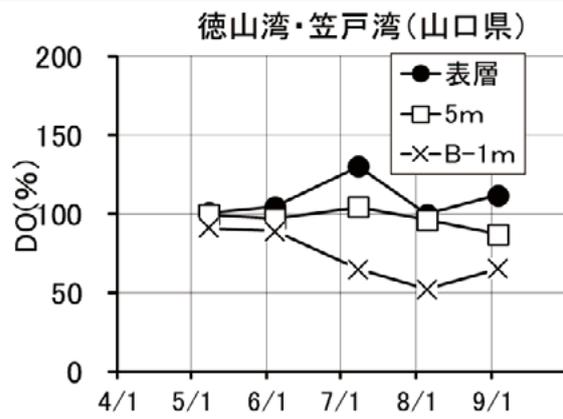
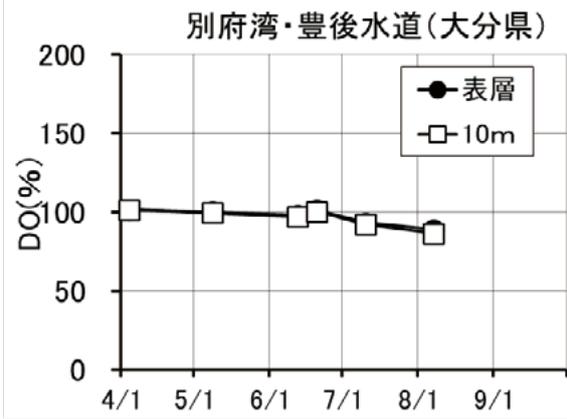
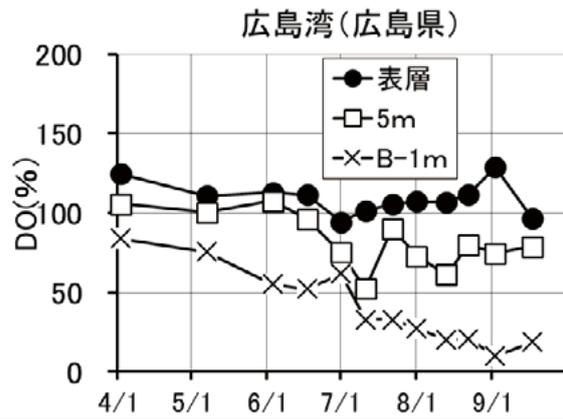


図 11 各県海域における DO (平均値) の推移
(縦バーは標準偏差)

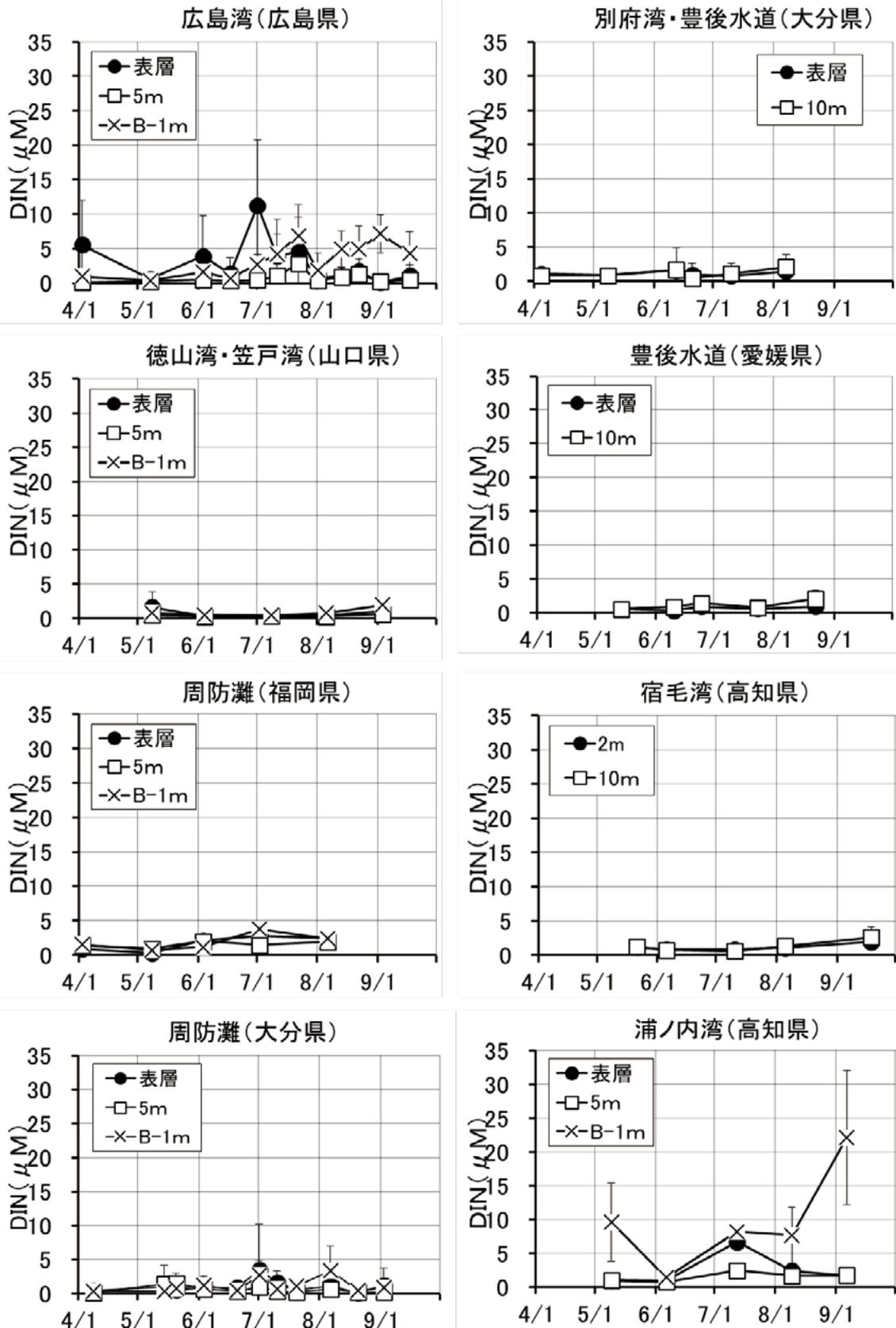


図 12 各県海域における DIN (平均値) の推移
(縦バーは標準偏差)

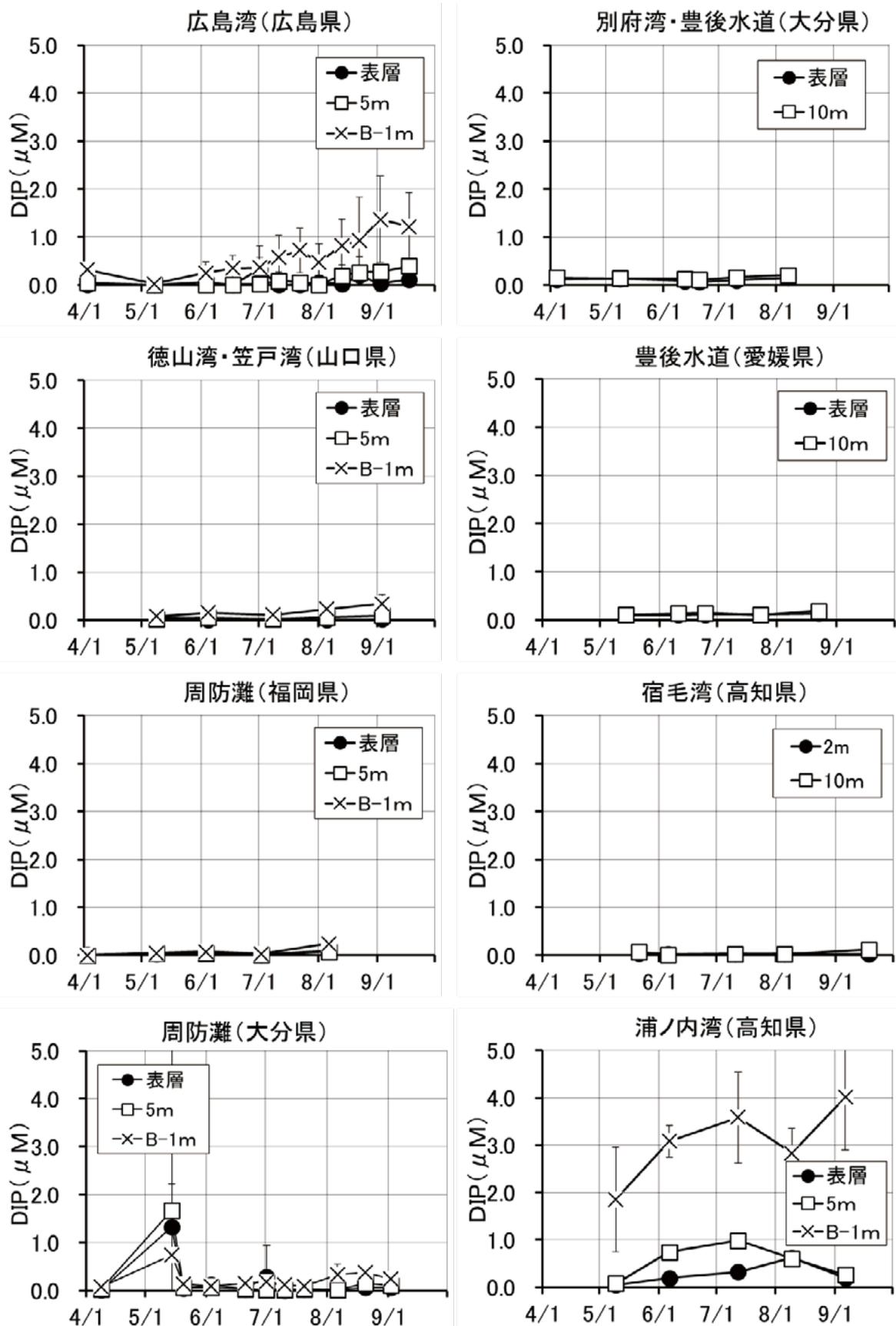


図 13 各県海域における DIP (平均値) の推移
(縦バーは標準偏差)

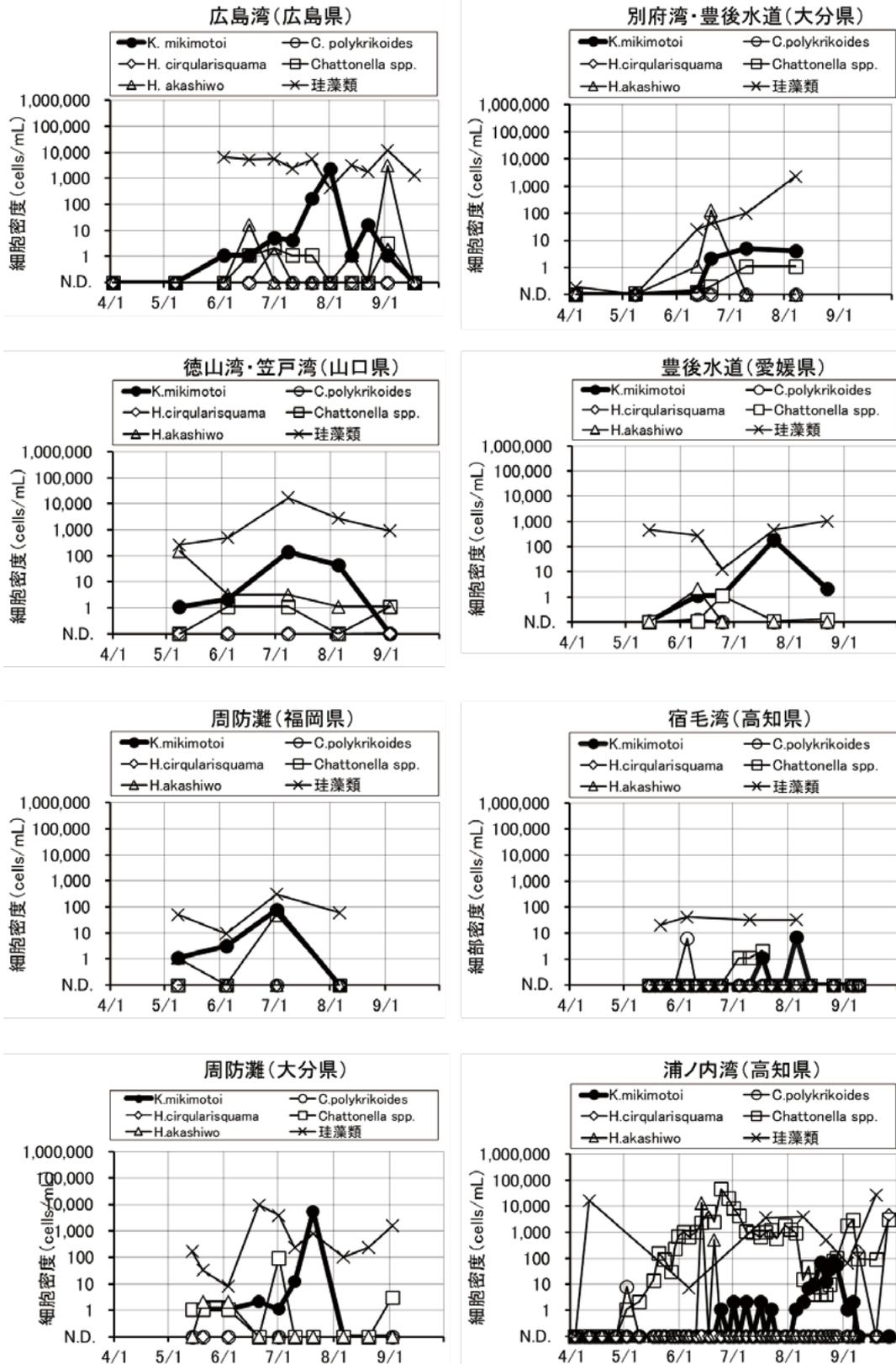


図 14 各県海域におけるプランクトン密度の推移
(有害種は最高密度, 珪藻類は平均密度)

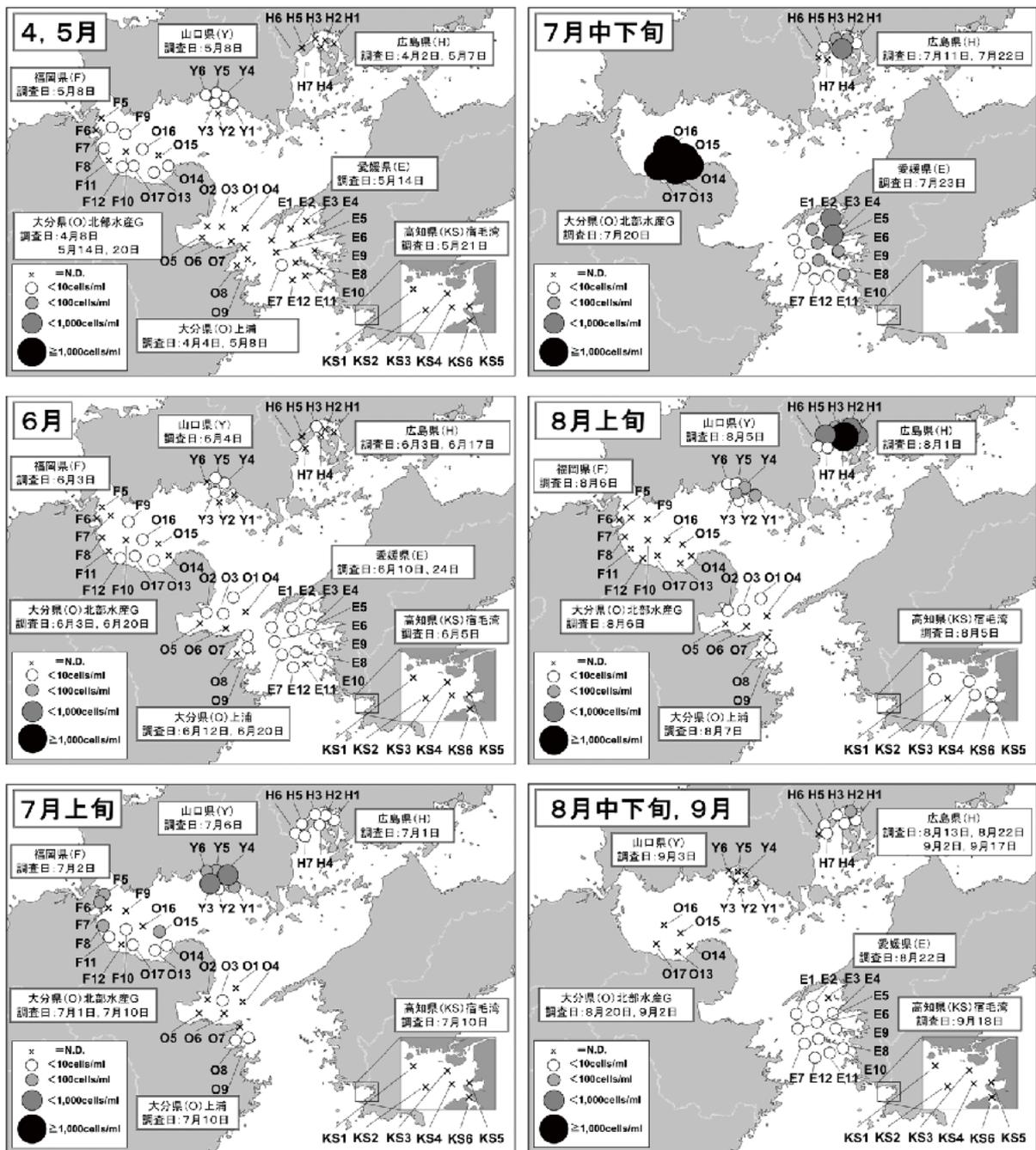


図 15 *Karenia mikimotoi* 細胞密度の水平分布
(広島湾, 徳山湾・笠戸湾, 周防灘, 別府湾, 豊後水道, 宿毛湾)

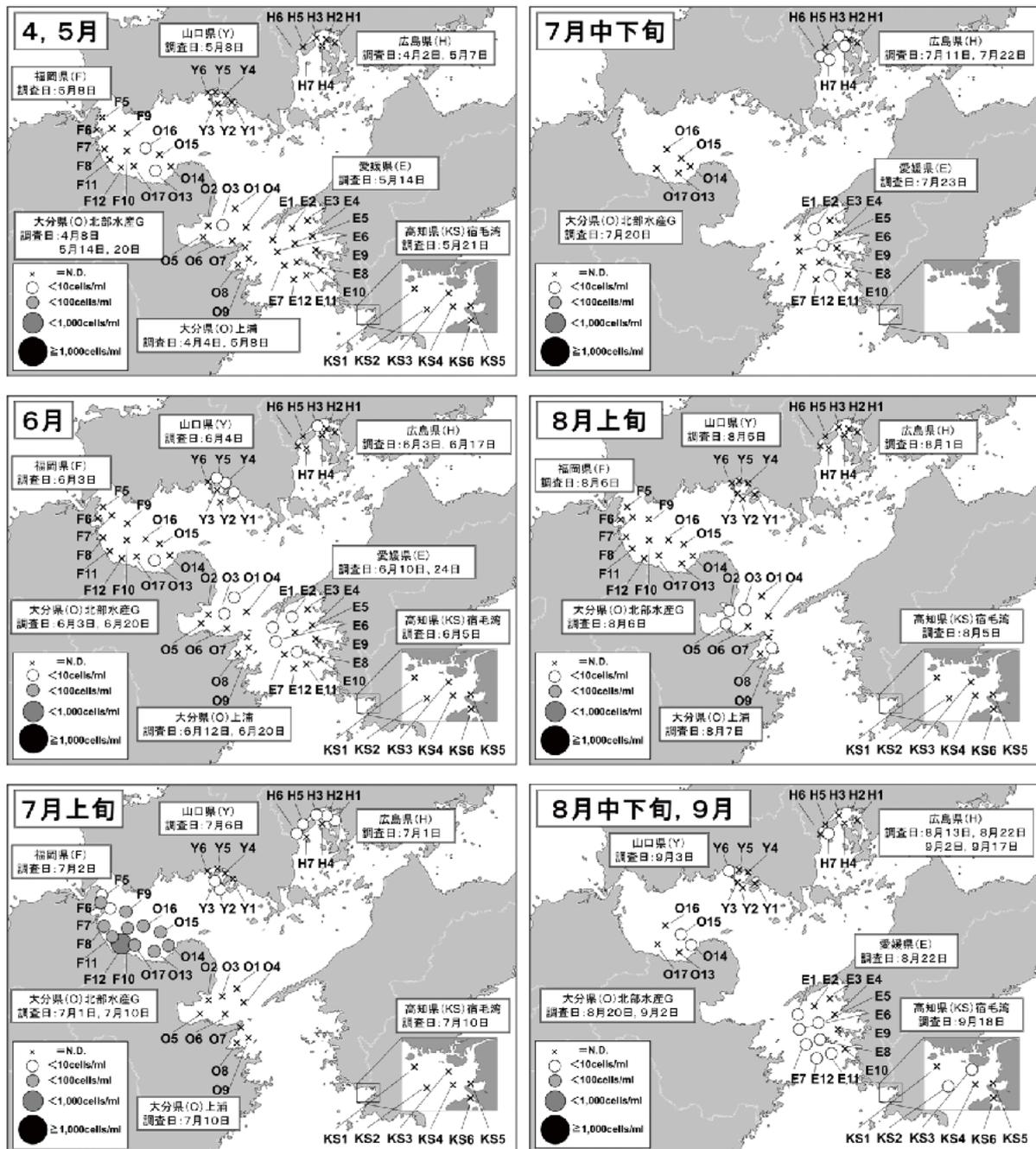


図 16 *Chattonella* spp.細胞密度の水平分布
(広島湾, 徳山湾・笠戸湾, 周防灘, 別府湾, 豊後水道, 宿毛湾)

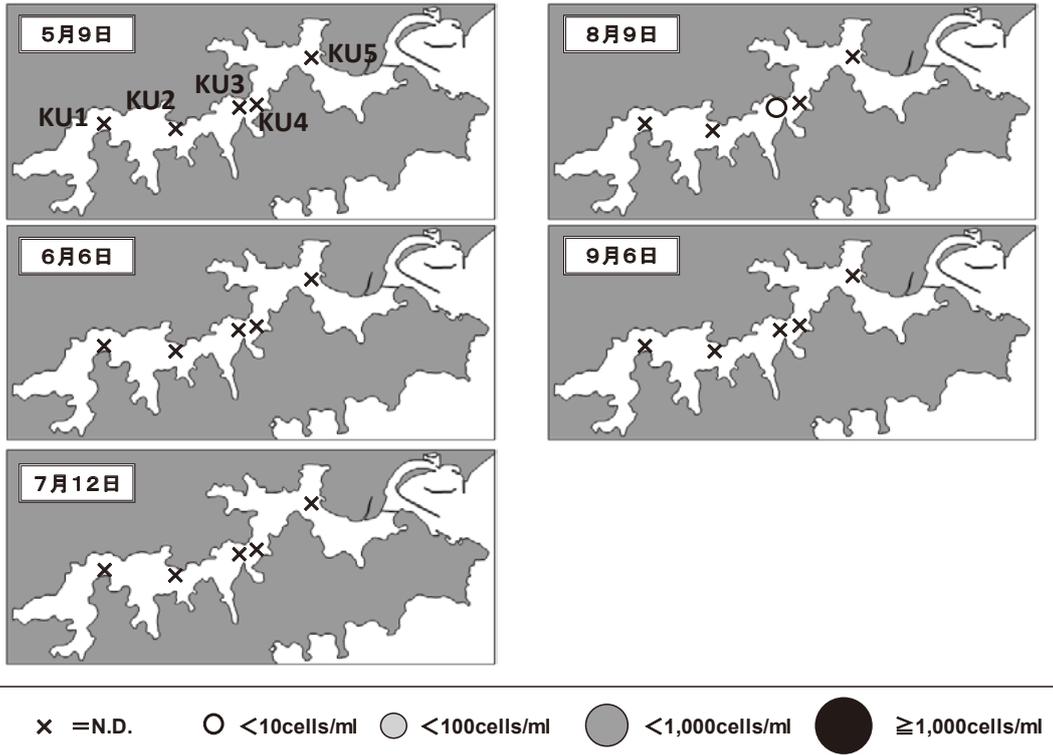


図 17 *Karenia mikimotoi* 細胞密度の水平分布 (浦ノ内湾)

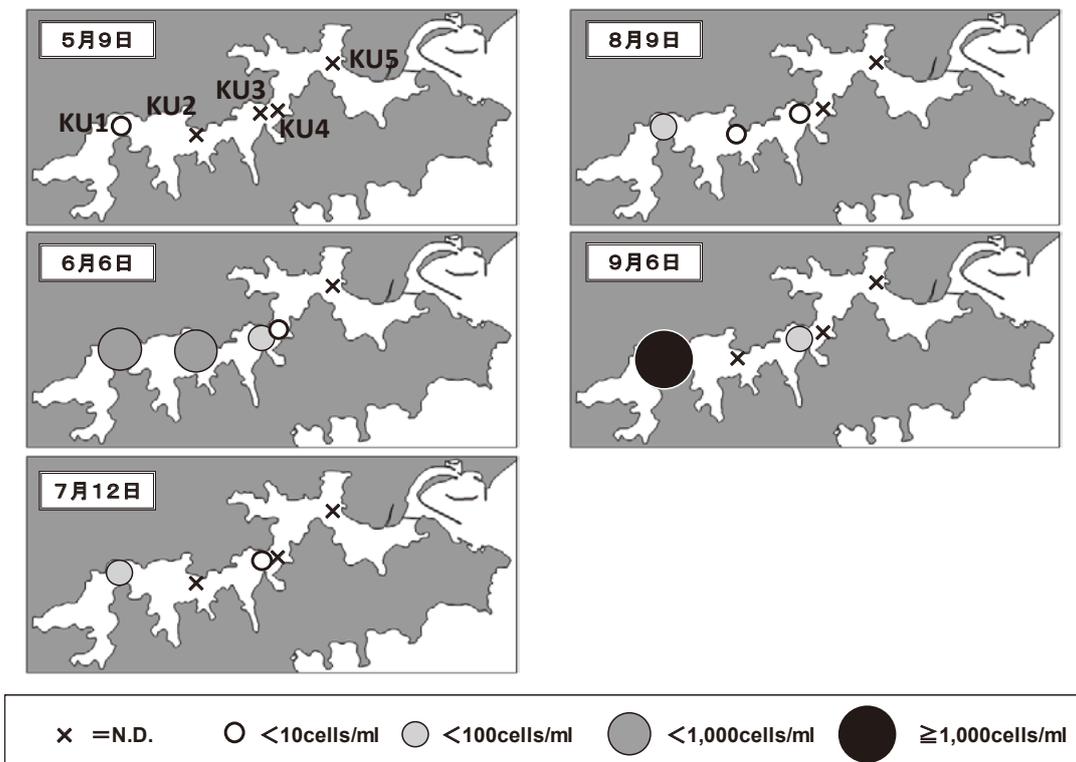


図 18 *Chattonella* spp. 細胞密度の水平分布 (浦ノ内湾)

表3 西部瀬戸内海における赤潮発生状況（2024年4～12月）

番号	発生期間	灘名	県名	発生水域	構成プランクトン	最高密度 (cells/mL)	漁業被害
1	4月23日～5月7日	周防灘	山口県	防府市三田尻湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	73,000	無し
2	4月26日～5月2日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Prorocentrum triestinum</i>	34,800	無し
3	5月1日～5月29日	周防灘	山口県	徳山湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	9,750	無し
4	5月1日～5月21日	周防灘	山口県	笠戸湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	80,500	無し
5	5月10日～8月1日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Ceratium</i> spp.	850	無し
6	5月20日～8月9日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Chattonella</i> spp.	46,000	有り
7	5月24日～5月29日	周防灘	山口県	宇部市沿岸	<i>Heterosigma akashiwo</i>	71,000	無し
8	5月29日～6月10日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Ceratium furca</i>	1,160	無し
9	6月3日～7月31日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Heterosigma akashiwo</i>	71,000	無し
10	6月6日～8月15日	豊後水道	大分県	佐伯市	小型渦鞭毛藻類	12,000	無し
11	6月10日～6月17日	別府湾	大分県	別府市亀川	<i>Noctiluca scintillans</i>	8,000	無し
12	6月13日～7月8日	周防灘	山口県	宇部市沿岸	<i>Heterosigma akashiwo</i>	6,500	無し
13	6月13日～6月17日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Heterosigma akashiwo</i>	13,300	無し
14	6月20日～7月20日	周防灘～伊予灘	大分県	国東市小野田～熊毛 豊後高田市、宇佐市、中津市	<i>Chattonella</i> spp.	94	無し
15	6月25日～10月15日	燧灘	広島県	東部海域	<i>Chattonella</i> spp.	950	無し
16	7月1日～9月27日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Karenia mikimotoi</i>	10,400	有り
17	7月4日～10月7日	豊後水道	愛媛県	宇和海北部～南部	<i>Karenia mikimotoi</i>	45,000	有り
18	7月5日～7月25日	周防灘	福岡県	豊前海沿岸域	<i>Chattonella</i> spp.	692	有り
19	7月5日～8月14日	周防灘	福岡県	豊前海沿岸域	<i>Karenia mikimotoi</i>	9,050	有り
20	7月8日～7月29日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Eutreptiella</i> spp.	453,000	無し
21	7月8日～8月8日	周防灘	山口県	周南市沿岸	<i>Karenia mikimotoi</i>	19,975	無し
22	7月12日～8月8日	周防灘	山口県	下松市沿岸	<i>Karenia mikimotoi</i>	9,450	有り
23	7月16日～8月21日	豊後水道	大分県	臼杵市	<i>Karenia mikimotoi</i>	3,250	無し
24	7月17日～8月16日	豊後水道	大分県	津久見市	<i>Karenia mikimotoi</i>	95,000	無し
25	7月18日～9月13日	周防灘～伊予灘	大分県	国東市来浦～国東港 豊後高田市、宇佐市、中津市	<i>Karenia mikimotoi</i>	40,500	有り
26	7月23日～8月5日	周防灘	山口県	山口市沿岸(秋穂湾)、宇部市沿岸	<i>Karenia mikimotoi</i>	3,575	有り
27	7月24日～8月8日	周防灘	山口県	防府市沿岸	<i>Karenia mikimotoi</i>	7,000	有り
28	7月25日～10月15日	燧灘	広島県	東部海域	<i>Karenia mikimotoi</i>	2,700	無し
29	7月29日～9月2日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>karenia mikimotoi</i>	675	無し
30	7月29日～9月13日	周防灘	大分県	中津市今津～宇佐市長洲漁港	<i>Gonyaulax polygramma</i>	2,020	無し
31	7月30日～9月27日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Karenia mikimotoi</i>	580	無し
32	8月1日～10月17日	広島湾	広島県	西部海域	<i>Karenia mikimotoi</i>	2,458	無し
33	8月1日～8月7日	宿毛湾	高知県	宿毛市	<i>Noctiluca scintillans</i>	165	無し
34	8月8日～10月3日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Prorocentrum sigmoides</i>	12,000	無し
35	8月13日～8月22日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Mesodinium rubrum</i>	8,000	無し
36	8月15日～8月19日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Mesodinium rubrum</i>	2,000	無し
37	8月16日～9月11日	豊後水道	大分県	津久見市	<i>Mesodinium rubrum</i>	1,625	無し
38	8月16日～8月21日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Mesodinium rubrum</i>	2,225	無し
39	8月19日～9月19日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Takayama</i> spp.	203,000	無し
40	8月28日～10月8日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Chattonella</i> spp.	6,000	無し
41	9月12日～9月30日	宿毛湾	高知県	宿毛市	<i>Prorocentrum triestinum</i>	19,300	無し
42	9月18日～11月7日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Chattonella</i> spp.	292	無し
43	9月24日～11月11日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Chattonella</i> spp.	10	無し
44	9月25日～11月7日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Prorocentrum dentatum</i>	30,000	無し
45	9月25日～10月30日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Heterocapsa circularisquama</i>	17,700	無し
46	11月27日～12月20日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Mesodinium rubrum</i>	5,000	無し

表 4 - 2 real-time PCR による高感度監視調査 (6~9 月) (cells/mL)

K. mikimotoi

海域	県名	定点	採水層	6月			7月			8月			9月		
				上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
広島湾	広島県	H3	0.5m	0.016											
			5m	0.187											
			B-1m	0.053											
徳山湾	山口県	Y4	0.5m	0.364											
			5m	0.715											
			B-1m	5.515											
周防灘	福岡県	F11	0.5m	1.207											
			5m	1.487											
			B-1m	11.189											
大分県 (北部)	O13	0.5m		1.084	0.138		0.001	0.375	1188.894		0.152	0.023	0.010		
		5m		1.062	0.156		8.058	0.040	23.758		0.225	0.021	0.140		
		B-1m		1.489	4.168		3.171	3.796	0.075		0.152	0.838	0.155		
別府湾	大分県	O3	0.5m	9.479											
			10m	1.391											
豊後水道	愛媛県	E4	0.5m	0.012	1.139	0.315									
			10m	0.027	0.024	N.D.									
宿毛湾	高知県	KS1	0.5m	0.044											
			10m	0.038											
浦ノ内湾	高知県	KU1	0.5m												
			10m												

C. polykrikoides

海域	県名	定点	採水層	6月			7月			8月			9月		
				上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
広島湾	広島県	H3	0.5m	N.D.											
			5m	N.D.											
			B-1m	N.D.											
徳山湾	山口県	Y4	0.5m	N.D.											
			5m	N.D.											
			B-1m	N.D.											
周防灘	福岡県	F11	0.5m	N.D.											
			5m	N.D.											
			B-1m	N.D.											
大分県 (北部)	O13	0.5m		N.D.	N.D.		N.D.	0.000	N.D.		N.D.	0.000	N.D.		
		5m		N.D.	N.D.		N.D.	0.002	N.D.		N.D.	0.002	N.D.		
		B-1m		N.D.	N.D.		N.D.	0.001	N.D.		0.000	N.D.	N.D.		
別府湾	大分県	O3	0.5m	0.040											
			10m	0.004											
豊後水道	愛媛県	E4	0.5m	N.D.	0.001	N.D.									
			10m	N.D.	N.D.	N.D.									
宿毛湾	高知県	KS1	0.5m	0.406											
			10m	0.076											
浦ノ内湾	高知県	KU1	0.5m												
			10m												

H. circularisquama

海域	県名	定点	採水層	6月			7月			8月			9月		
				上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
広島湾	広島県	H3	0.5m	N.D.											
			5m	N.D.											
			B-1m	N.D.											
徳山湾	山口県	Y4	0.5m	N.D.											
			5m	N.D.											
			B-1m	N.D.											
周防灘	福岡県	F11	0.5m	0.592											
			5m	0.339											
			B-1m	1.065											
大分県 (北部)	O13	0.5m		N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.		
		5m		N.D.	N.D.		0.000	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.		
		B-1m		N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.		
別府湾	大分県	O3	0.5m	N.D.											
			10m	N.D.											
豊後水道	愛媛県	E4	0.5m	N.D.	N.D.	N.D.									
			10m	N.D.	N.D.	N.D.									
宿毛湾	高知県	KS1	0.5m	N.D.											
			10m	N.D.											
浦ノ内湾	高知県	KU1	0.5m												
			10m												

Chattonella spp.

海域	県名	定点	採水層	6月			7月			8月			9月		
				上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
広島湾	広島県	H3	0.5m	N.D.											
			5m	N.D.											
			B-1m	0.009											
徳山湾	山口県	Y4	0.5m	0.040											
			5m	0.090											
			B-1m	0.733											
周防灘	福岡県	F11	0.5m	0.315											
			5m	0.278											
			B-1m	1.814											
大分県 (北部)	O13	0.5m		0.649	0.669		13.871	2.046	N.D.		0.021	N.D.	0.461		
		5m		0.839	0.885		62.077	0.400	N.D.		0.156	N.D.	0.768		
		B-1m		1.627	5.571		69.590	0.609	N.D.		0.006	N.D.	9.372		
別府湾	大分県	O3	0.5m	0.035											
			10m	1.548											
豊後水道	愛媛県	E4	0.5m	0.009	N.D.	N.D.									
			10m	0.003	N.D.	N.D.									
宿毛湾	高知県	KS1	0.5m	N.D.											
			10m	0.039											
浦ノ内湾	高知県	KU1	0.5m												
			10m												

H. akashiwo

海域	県名	定点	採水層	6月			7月			8月			9月		
				上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
広島湾	広島県	H3	0.5m	0.180											
			5m	0.181											
			B-1m	0.184											
徳山湾	山口県	Y4	0.5m	0.127											
			5m	0.391											
			B-1m	0.166											
周防灘	福岡県	F11	0.5m	0.001											
			5m	0.001											
			B-1m	0.002											
大分県 (北部)	O13	0.5m		0.348	0.053		0.000	0.021	0.131		0.028	0.000	0.106		
		5m		0.513	0.109		0.000	0.006	0.066		0.009	0.000	0.090		
		B-1m		0.487	0.194		0.000	0.010	0.004		0.002	0.001	0.122		
別府湾	大分県	O3	0.5m	0.078											
			10m	0.957											
豊後水道	愛媛県	E4	0.5m	0.002	0.061	0.008									
			10m	0.001	0.040	0.002									
宿毛湾	高知県	KS1	0.5m	0.050											
			10m	0.165											
浦ノ内湾	高知県	KU1	0.5m												
			10m												

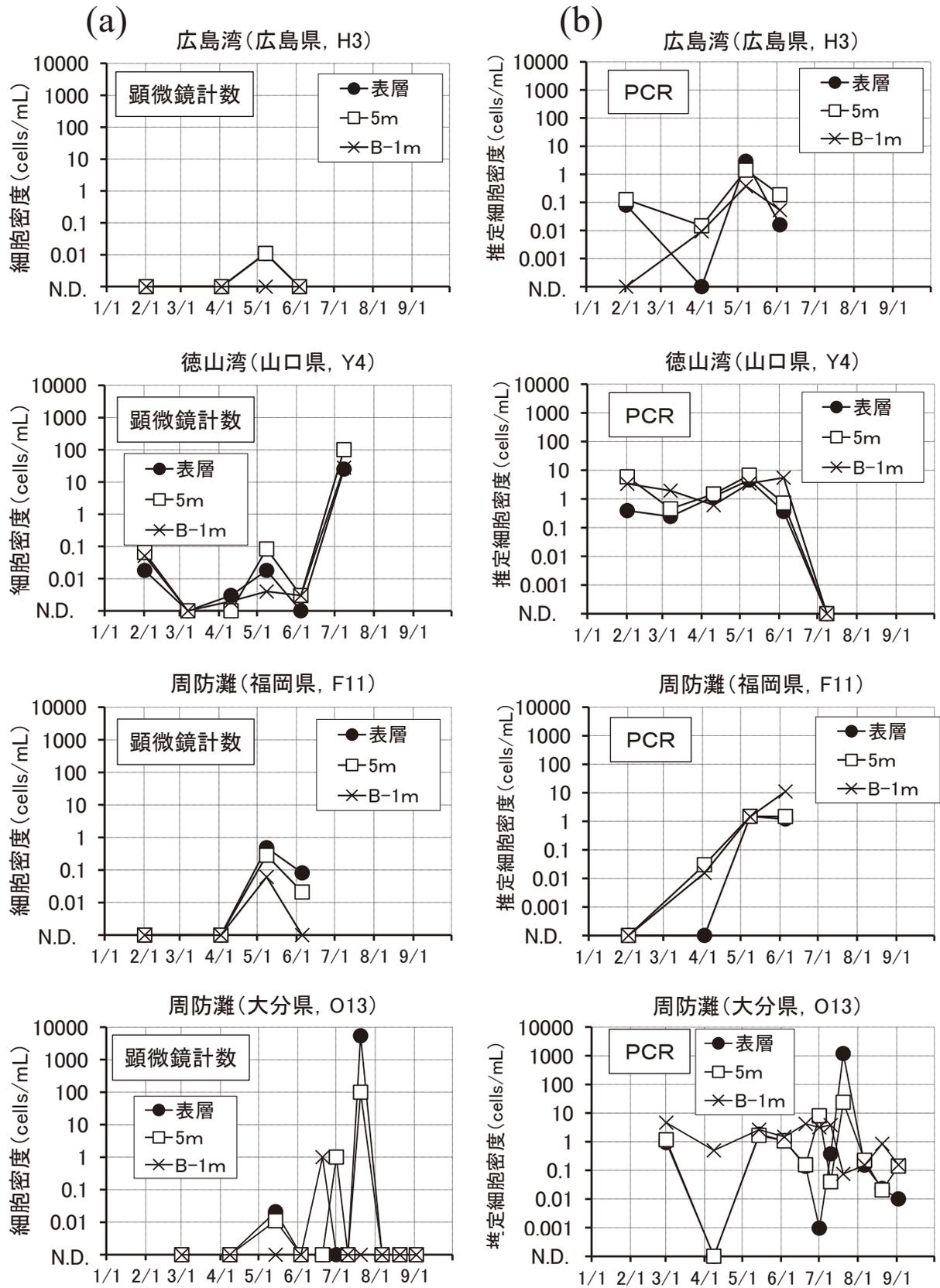


図 19 (a) 顕微鏡計数と(b) real-time PCR 法による *Karenia mikimotoi* の検出密度 (広島湾, 徳山湾, 周防灘)

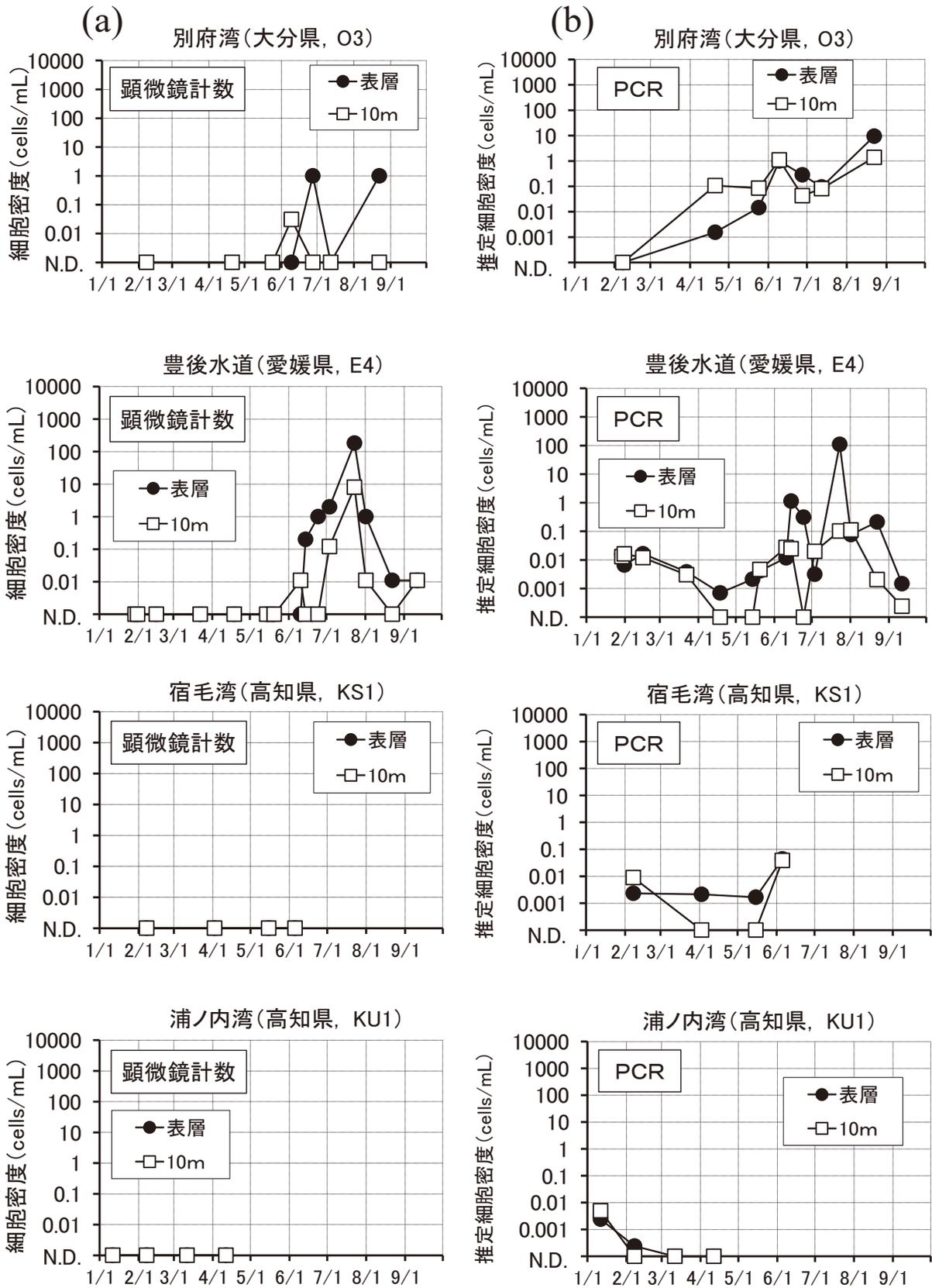


図 20 (a) 顕微鏡計数と(b) real-time PCR 法による *Karenia mikimotoi* の検出密度 (別府湾, 豊後水道, 宿毛湾, 浦ノ内湾)

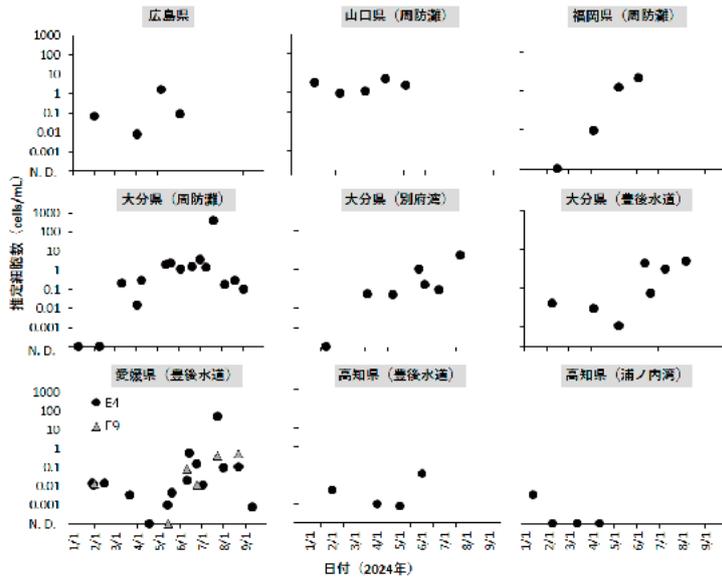


図 21 瀬戸内海西部海域における 2024 年 1~10 月までの *K. mikimotoi* 遺伝子検出状況 (本事業以外の各県調査データ含む：大分県 [周防灘、別府湾、豊後水道]、愛媛県 [E9])

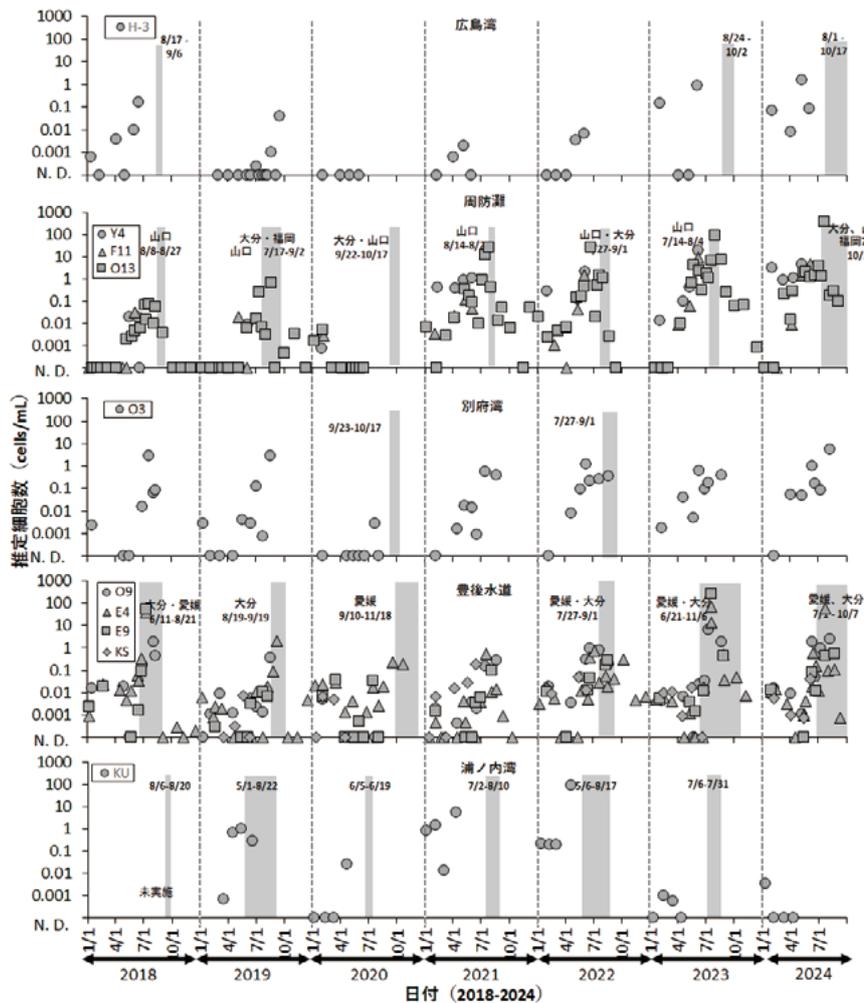


図 22 高頻度調査海域における 2018 年~2024 年の *K. mikimotoi* 推定細胞数の推移

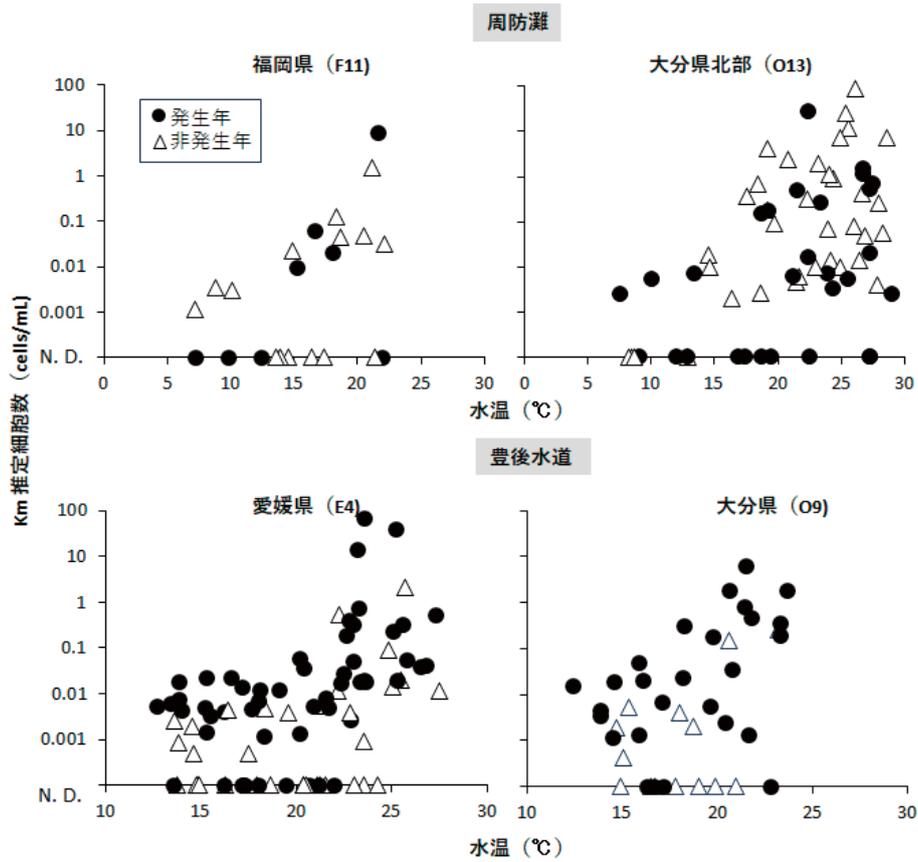


図 23 周防灘及び豊後水道における *K. mikimotoi* 推定細胞数と水温の関係

表 5 高知県浦ノ内湾海底泥からの *K. mikimotoi* RNA 検出結果

採取時期	サンプル No	コピー数/反応	
		逆転写反応	逆転写反応
		あり	なし
2022年9月	1	1.80	未検出
	2	1.73	未検出
	3	1.83	未検出
	4	1.60	未検出
2022年12月	5	89.06	未検出
	6	0.66	未検出

表 6 様々な統計的な推計手法の長所と短所

手法	長所	短所
線形回帰	シンプルで高速、解釈しやすい	非線形の間係をとらえられない、外れ値に敏感
ラッソ回帰	特徴選択ができ、高次元データにも対応	パラメータ調整が必要、線形関係に限る
リッジ回帰	過学習を抑制し、高次元データにも対応	パラメータ調整が必要、線形関係に限る
サポートベクトルマシン(SVM)	線形・非線形データに対応、小規模データでも高精度	計算コストが高く、パラメータ調整が難しい
k-近傍法	シンプルで非線形データ対応	予測に時間がかかる、メモリを多く消費
ベイズ回帰	不確実性を考慮でき、過学習しにくい	計算コストが高く、事前分布の設定が難しい
決定木回帰	解釈しやすく、非線形の間係を捉えやすい	過学習しやすく、ノイズに敏感
ランダムフォレスト回帰	過学習を抑え、安定した予測が可能	学習時間が長く、単一の木より解釈が難しい
Deep Learning (MLP, 深層学習)	複雑なパターンを捉えやすく、多用途に利用可能	計算コストが非常に高く、大規模データが必要

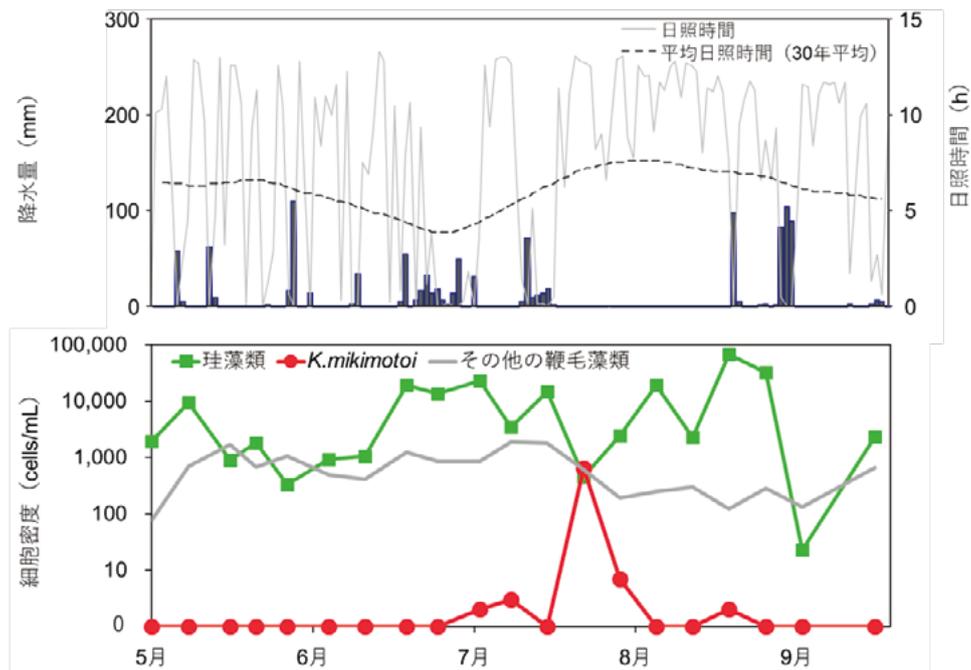


図 24 2024 年 5～9 月の宇和島市における日照時間 (3 日間移動平均) と重点調査定
点 U6 のクロロフィル極大層における植物プランクトン細胞密度の推移

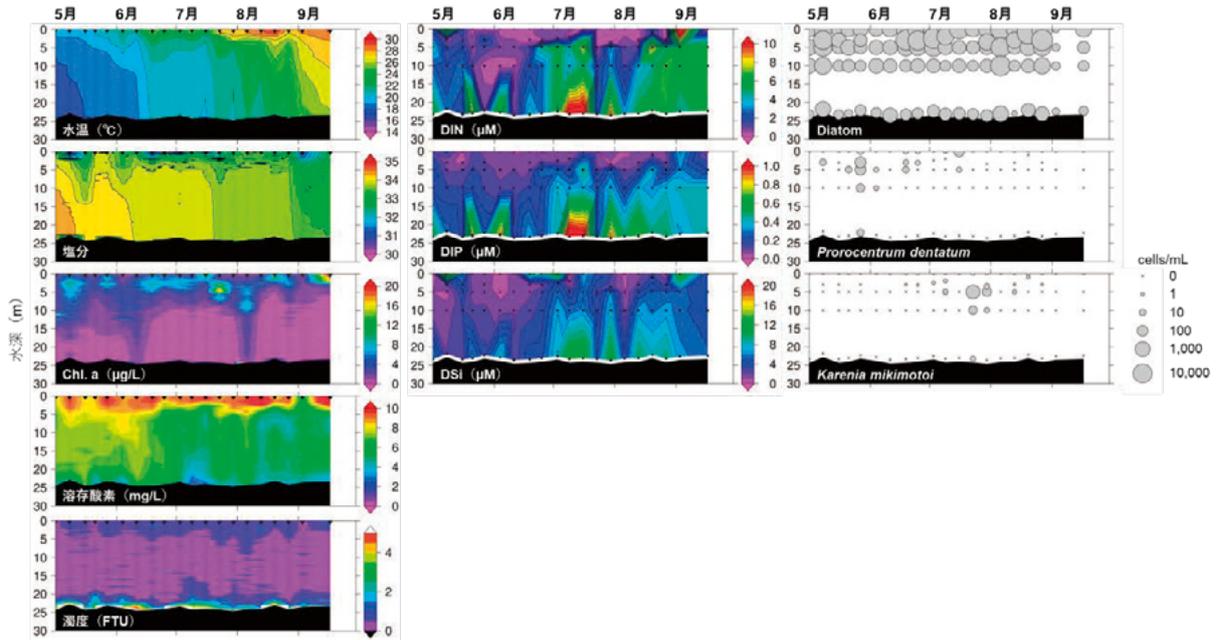


図 25 宇和島湾の重点調査定点 U6 における 2024 年 5~9 月の水質及び植物プランクトン細胞密度の鉛直分布の推移

表 7 様々な推計手法による 2024 年の予察の精度の概要(誤差と決定係数については、2024 年単年だけではなく、約 20 年分の予測値と観測値との関係から求めた)

推定手法	最初の発生 日の予測値	誤差 (RMSE)	決定係数 (R ²)	最大細胞密 度の予測値	誤差 (RMSE)	決定係数 (R ²)
2024観測値	186			45000		
これまでのスコア法(林 2023)	175	17	0.56	135596	80026	0.28
1 線形回帰	193	20	0.31	118345	174334	0
2 ラッソ回帰	190	21	0.19	118346	174329	0
3 リッジ回帰	192	20	0.27	119798	174855	0
4 サポートベクトルマシン(SVM)	186	24	0	63999	62325	0
5 k-近傍法	185	18	0.39	75800	25839	0.8
6 ベイズ回帰	183	26	0	128179	153241	0
7 決定木回帰	186	15	0.61	45000	76135	0
8 ランダムフォレスト	189	17	0.48	65533	54309	0.1
9 Deep Learning (MLP)	189	29	0	2403	89054	0

赤いほど適切に予報できており、青いほど不適切な予報

表8 広島県広島湾海域における *Karenia mikimotoi* の予察結果

判別時期	解析手法	説明変量	2002~22年の 的中率(%)	2024年の 値	2024年(発生)	
					予察	的中
3月	マハラノビス	3月表層DO	90.5	9.70	×	×
		2月気温		8.4		
	マハラノビス	2月表層水温	90.5	12.2	×	×
		3月5m層DO		9.62		
	マハラノビス	3月表層水温	85.7	11.7	×	×
		3月表層DO		9.70		
	マハラノビス	3月表層水温	85.7	11.7	×	×
		3月5m層DO		9.6		
4月	マハラノビス	4月底層DO	85.7	8.05	△	○
		1月底層クロロフィルa		1.3		
	マハラノビス	3月表層DO	90.5	9.70	×	×
		4月底層DO		8.05		
	マハラノビス	3月表層水温	90.5	11.7	△	○
		4月底層DIP		0.3		
	マハラノビス	3月表層DO	85.7	9.70	△	○
		4月底層DIP		0.3		
	マハラノビス	2月表層水温	85.7	12.2	△	○
		4月気温		17.5		
	マハラノビス	4月底層DO	85.7	8.05	△	○
		4月底層DIP		0.3		
5月	マハラノビス	5月表層DIP	85.7	0.0	×	×
		2月気温		8.4		
	マハラノビス	3月表層水温	85.7	11.7	△	○
		5月表層DIP		0.0		
	マハラノビス	5月底層DO	85.7	5.92	○	◎
		4月気温		17.5		
	マハラノビス	5月表層DIP	90.5	0.0	△	○
		4月底層DIP		0.3		
マハラノビス	4月底層DO	90.5	8.05	△	○	
	5月表層DIP		0.0			
6月	マハラノビス	6月底層クロロフィルa	85.7	1.7	×	×
		2月気温		8.4		
	マハラノビス	3月5m層DO	85.7	9.62	△	○
		6月底層クロロフィルa		1.7		
	マハラノビス	3月表層水温	90.5	11.7	△	○
		6月底層クロロフィルa		1.7		
	マハラノビス	4月底層DIP	85.7	0.3	△	○
		6月底層クロロフィルa		1.7		
	マハラノビス	4月底層DO	85.7	8.05	△	○
		6月底層クロロフィルa		1.7		
マハラノビス	5月表層DIP	85.7	0.0	△	○	
	6月底層クロロフィルa		1.7			
7月	マハラノビス	3月5m層DO	85.7	9.61	△	○
		7月5m層DIN		0.1		
	マハラノビス	7月5m層DIN	85.7	0.1	△	○
		4月底層DIP		0.3		
マハラノビス	7月5m層DIN	85.7	0.1	△	○	
	5月表層DIP		0.0			

表9 広島県広島湾海域における *Chattonella* spp. の予察結果
(発生基準は >100 cells/mL)

判別時期	解析手法	説明変量	2002~22年の 的中率(%)	2023年の 値	2024年の 値	2023年 (発生)		2024年 (非発生)	
						予察	的中	予察	的中
3月	マハラノビス	3月気温	95.2	12.6	9.60	△	○	-	-
		3月平均全日射量		16	13.5				
	マハラノビス	2月平均全日射量	95.2	11.2	10.5	△	○	-	-
		3月平均全日射量		16	13.5				
4月	マハラノビス	4月表層水温	95.2	14.9	13.9	○	◎	○	×
		5月5m層DO		7.95	9.06				
	線形判別	4月5m層水温	95.2	13.1	12.4	○	◎	○	×
		7月5m層塩分		30.0	29.1				
	線形判別	4月5m層水温	95.2	13.1	12.4	×	×	×	◎
		7月底層塩分		32.1	32.4				
5月	マハラノビス	5月5m層DIP	95.2	0.22	0.0	○	◎	×	◎
		3月気温		12.6	9.6				
	マハラノビス	5月5m層DIP	95.2	0.22	0.0	-	-	×	◎
		5月平均風速		3.3	3.4				
	マハラノビス	5月5m層DIP	95.2	0.22	0.0	△	○	-	-
		2月平均全日射量		11.2	10.5				
	マハラノビス	5月5m層DIP	95.2	0.22	0.0	△	○	-	-
		3月平均全日射量		16	13.5				
	マハラノビス	5月5m層DIP	95.2	0.22	0.0	△	○	-	-
		2月日照時間		139.9	139.0				
7月	線形判別	7月5m層塩分	95.2	30.0	29.1	-	-	-	-
		3月気温		12.6	9.6				
	線形判別	7月5m層塩分	95.2	30.0	29.1	-	-	-	-
		2月日照時間		139.9	139				

表10 山口県徳山湾海域における *Karenia mikimotoi* の予察結果

判別時期	解析手法	説明変量	2002~22年の 的中率(%)	2024年の 値	2024年 (発生)	
					予察	的中
前年11月	線形判別	前年10月中層水温	85.7%	25.7	○	◎
		前年11月表層塩分		32.04		
	線形判別	前年10月中層水温	85.7%	25.7	○	◎
		前年11月中層塩分		32.18		
	線形判別	前年10月中層水温	90.5%	25.7	○	◎
		前年11月上旬日照時間		64.8		
	線形判別	前年10月中層水温	81.0%	25.7	○	◎
		前年11月下旬日照時間		72.0		
	線形判別	前年10月表層塩分	81.0%	31.87	△	○
		前年11月表層塩分		32.04		
	線形判別	前年11月上旬日照時間	85.7%	64.8	○	◎
		前年11月下旬日照時間		72.0		
1月	線形判別	前年11月下旬日照時間	90.5%	72.0	○	◎
		1月中旬日照時間		57.0		

表 11 山口県徳山湾海域における *Heterosigma akashiwo* の予察結果
(発生基準は >50,000 cells/mL)

判別時期	解析手法	説明変量 (平均値：発生年/非発生年)	2002～22年の 的中率(%)	2023年の 値	2023年（発生）		2024年の 値	2024年（発生）	
					予察	的中		予察	的中
2月	マハラノビス距離	3月底層DIN	90.5%	0.57	×	×	0.2	○	◎
		2月降水量		52.0			195.5		
	マハラノビス距離	4月底層DIN	81.0%	0.10	×	×	1.06	○	◎
		2月降水量		52.0			195.5		
	線形判別	2月降水量	85.7%	52.0	×	×	195.5	△	○
		4月平均気温		15.1			16.6		
	線形判別	2月降水量	85.7%	52.0	△	○	195.5	△	○
		4月下旬平均気温		15.4			17.7		
	線形判別	2月降水量	85.7%	52.0	×	×	195.5	△	○
		4月平均風速		2.1			1.6		
3月	マハラノビス距離	3月表層DIN	81.0%	1.40	△	○	0.22	△	○
		3月底層DIN		0.57			0.2		
	線形判別	3月表層DIN	90.5%	1.40	×	×	0.22	×	×
		4月平均気温		15.1			16.6		
	線形判別	3月表層DIN	90.5%	1.40	△	○	0.22	×	×
		4月下旬平均気温		15.4			17.7		
	線形判別	3月表層DIN	85.7%	1.40	△	○	0.22	×	×
		4月平均風速		2.1			1.6		
	マハラノビス距離	3月底層DIN	81.0%	0.57	×	×	0.2	△	○
		4月底層DIN		0.10			1.06		
マハラノビス距離	3月底層DIN	85.7%	0.57	×	×	0.2	×	×	
	4月平均気温		15.1			16.6			
マハラノビス距離	3月底層DIN	85.7%	0.57	△	○	0.2	×	×	
	4月下旬平均気温		15.4			17.7			
マハラノビス距離	3月底層DIN	85.7%	0.57	△	○	0.2	×	×	
	4月平均風速		2.1			1.6			
4月	マハラノビス距離	4月底層DIN	81.0%	0.10	△	○	1.06	○	◎
		4月平均気温		15.1			16.6		
	マハラノビス距離	4月底層DIN	81.0%	0.10	△	○	1.06	△	○
		4月下旬平均気温		15.4			17.7		
	線形判別	4月平均気温	81.0%	15.1	△	○	16.6	×	×
		4月下旬平均気温		15.4			17.7		
	線形判別	4月平均気温	85.7%	15.1	×	×	16.6	×	×
		4月平均風速		2.1			1.6		

表 12 福岡県周防灘海域における *Karenia mikimotoi* の予察結果

判別時期	解析手法	説明変量	判別期間 (年)	2002～ 2022年の 的中率 (%)	2024年 (発生)	
					予察	的中
5月	線形判別	7月底層水温	2002～ 2022	95.2	○	◎
		5月5m層塩分				
	線形判別	7月底層水温	2002～ 2022	95.2	○	◎
		5月底層塩分				
	線形判別	5月5m層塩分	2002～ 2022	90.5	○	◎
		4月上旬日照時間				
6月	マハラノビス距離	6月0m層DIP	2002～ 2022	90.5	×	×
		4月上旬降水量				
	線形判別	6月0m層DIP	2002～ 2022	90.5	○	◎
		6月下旬気温				
	マハラノビス距離	6月0m層DIP	2002～ 2022	90.5	○	◎
		6月下旬日照時間				
	マハラノビス距離	6月5m層DIP	2002～ 2022	90.5	○	◎
		4月上旬降水量				
	マハラノビス距離	6月5m層DIP	2002～ 2022	90.5	○	◎
		6月下旬日照時間				
	マハラノビス距離	6月底層DIP	2002～ 2022	90.5	○	◎
		4月上旬降水量				
マハラノビス距離	6月底層DIP	2002～ 2022	90.5	○	◎	
	4月上旬日照時間					
マハラノビス距離	6月底層DIP	2002～ 2022	90.5	×	×	
	6月下旬気温					
マハラノビス距離	6月底層DIP	2002～ 2022	95.2	○	◎	
	6月下旬日照時間					
7月	マハラノビス距離	7月中旬降水量	2002～ 2022	90.5	○	◎
		4月上旬日照時間				

表 13 福岡県周防灘海域における *Chattonella* spp.の予察結果
(発生基準は >30 cells/mL)

判別時期	解析手法	説明変量	判別期間 (年)	2002～ 2022年の 的中率 (%)	2023年 (発生)		2024年 (発生)	
					予察	的中	予察	的中
2月	マハラノビス距離	3月表層水温	2002～ 2022	85.7	×	×	△	○
		2月表層DIP						
	マハラノビス距離	3月5m層水温	2002～ 2022	85.7	×	×	△	○
		2月表層DIP						
	マハラノビス距離	3月底層水温	2002～ 2022	85.7	×	×	△	○
		2月表層DIP						
	マハラノビス距離	2月5m層塩分	2002～ 2022	85.7	×	×	×	×
		2月表層DIP						
	マハラノビス距離	2月5m層塩分	2002～ 2022	85.7	×	×	○	◎
		2月5m層DIP						
マハラノビス距離	2月表層DIP	2002～ 2022	85.7	×	×	×	×	
	3月底層DIP							
マハラノビス距離	2月表層DIP	2002～ 2022	95.2	×	×	△	×	
	2月下旬気温							
マハラノビス距離	2月5m層DIP	2002～ 2022	90.5	×	×	○	◎	
	2月下旬気温							
マハラノビス距離	2月底層DIP	2002～ 2022	95.2	×	×	○	◎	
	2月下旬気温							

表 14 大分県周防灘海域における *Karenia mikimotoi* の予察結果

判別時期	解析手法	説明変量	判別期間 (年)	2002～ 2022年の 的中率 (%)	2024年の 値	2024年 (発生)	
						予察	的中
5月	線形判別	5月5m水温	2002～ 2022	95.2	18.1	△	○
		1月気温			5.7		
	線形判別	5月表層水温	2002～ 2022	85.7	18.6	○	◎
		1月気温			5.7		
7月	マハラノビス	7月分布指標 (10cells/mL)	2002～ 2022	85.7	42.9	○	◎
		5月表層水温			18.6		
	マハラノビス	7月分布指標 (10cells/mL)	2002～ 2022	85.7	42.9	△	○
		7月5m水温			24.9		
	マハラノビス (欠測あり)	7月表層DIN	2002～ 2022	88.9	1.9	△	○
		1月気温			5.7		

表 15 大分県周防灘海域における *Chattonella* spp. の予察結果
(発生基準は >100 cells/mL)

判別時期	解析手法	説明変量 (平均値：発生年/非発生年)	判別期間 (年)	2002～ 2022年の 的中率 (%)	2023年の 値	2024年の 値	2023年 (発生)		2024年 (非発生)	
							予察	的中	予察	的中
6月	マハラノビス	6月細胞分布指標	2002～ 2022	90.5	14.3	35.7	×	×	○	×
		2月気温			7	8.2				
	マハラノビス	6月細胞分布指標	2002～ 2022	90.5	14.3	35.7	×	×	○	×
		3月合計日照時間			201.2	186.5				
	マハラノビス	6月細胞分布指標	2002～ 2022	90.5	14.3	35.7	△	○	○	×
		3月5m層水温			9.7	9.9				
	マハラノビス	6月細胞分布指標	2002～ 2022	90.5	14.3	35.7	△	○	○	×
		3月底層水温			9.7	9.9				
	マハラノビス	6月細胞分布指標(1cell/mL以上)	2002～ 2022	90.5	7.1	35.7	△	○	○	×
		3月5m層水温			9.7	9.9				
	マハラノビス	6月細胞分布指標(1cell/mL以上)	2002～ 2022	90.5	7.1	35.7	△	○	○	×
		3月底層水温			9.7	9.9				
マハラノビス	6月細胞分布指標(1cell/mL以上)	2002～ 2022	90.5	7.1	35.7	×	×	△	△	
	3月合計日照時間			201.2	186.5					
マハラノビス	6月細胞分布指標(5cell/mL以上)	2002～ 2022	90.5	0.0	0.0	○	◎	○	×	
	3月5m層水温			9.7	9.9					
マハラノビス	6月細胞分布指標(5cell/mL以上)	2002～ 2022	90.5	0.0	0.0	○	◎	○	×	
	3月底層水温			9.7	9.9					
7月	マハラノビス	6月細胞分布指標	2002～ 2022	90.5	14.3	35.7	×	×	×	◎
		7月DO%			95.7	112.3				
マハラノビス	マハラノビス	7月細胞分布指標	2002～ 2022	90.5	71.4	33.3	×	×	×	◎
		7月DO%			95.7	112.3				

表 16 大分県佐伯湾海域における *Karenia mikimotoi* の予察結果

判別時期	解析手法	説明変量	判別期間 (年)	2002～ 2022年の 的中率(%)	2024年 (発生)	
					予察	的中
1月	線形判別	1月表層水温	2002～ 2022	71.4%	×	×
		2月表層水温				
3月	線形判別	3月降水量	2002～ 2022	81.0%	△	○
		3月日照時間				
	線形判別	3月降水量	2002～ 2022	76.2%	×	×
		1月表層水温				
	線形判別	3月降水量	2002～ 2022	90.5%	×	×
		2月表層水温				
	線形判別	3月降水量	2002～ 2022	76.2%	×	×
		3月表層水温				
	線形判別	3月日照時間	2002～ 2022	85.7%	×	×
		1月表層水温				
	線形判別	3月日照時間	2002～ 2022	90.5%	×	×
		2月表層水温				
線形判別	3月日照時間	2002～ 2022	85.7%	×	×	
	3月表層水温					
線形判別	1月表層水温	2002～ 2022	71.4%	×	×	
	3月表層水温					
線形判別	2月表層水温	2002～ 2022	71.4%	×	×	
	3月表層水温					

表 17 大分県佐伯湾海域における *Heterosigma akashiwo* の予察結果
(発生基準は >10,000 cells/mL)

判別時期	解析手法	説明変量	判別期間 (年)	2002~ 2022年の 的中率(%)	2023年 (非発生)		2024年 (発生)	
					予察	的中	予察	的中
2月	線形判別	2月平均気温	2002~ 2022	72.7%	△	△	×	×
		2月表層水温						
	線形判別	2月平均気温	2002~ 2022	77.3%	△	△	×	×
		3月表層塩分						
	線形判別	2月表層水温	2002~ 2022	68.2%	△	△	×	×
		3月表層塩分						

表 18 愛媛県岩松湾海域における *Karenia mikimotoi* の予察結果

判別時期	解析手法	説明変量	判別期間 (年)	2002~ 2022年の 的中率 (%)	2024年(発生)	
					予察	的中
3月	マハラノビス距離	3月上旬クロロフィルa濃度	2002~ 2022	90.5	○	◎
		2月平均気温				
	マハラノビス距離	3月クロロフィルa濃度	2002~ 2022	95.2	○	◎
		2月中旬5m層水温				
	マハラノビス距離	3月クロロフィルa濃度	2002~ 2022	90.5	○	◎
		2月平均気温				
4月	線形判別	4月下旬5m層水温	2002~ 2022	90.5	○	◎
		3月上旬クロロフィルa濃度				
7月	線形判別	7月中旬平均気温	2002~ 2022	90.5	×	×
		2月中旬5m層水温				
	線形判別	7月中旬平均気温	2002~ 2022	95.2	○	◎
		2月下旬平均気温				
	線形判別	7月中旬平均気温	2002~ 2022	90.5	×	×
		2月平均気温				
	マハラノビス距離	7月中旬平均気温	2002~ 2022	95.2	○	◎
		7月中旬降水量				
	マハラノビス距離	7月中旬降水量	2002~ 2022	95.2	○	◎
		2月中旬5m層水温				
	マハラノビス距離	7月中旬降水量	2002~ 2022	90.5	△	○
		2月平均気温				
	マハラノビス距離	7月中旬降水量	2002~ 2022	90.5	○	◎
		2月上旬日照時間				
	マハラノビス距離	7月中旬降水量	2002~ 2022	95.2	○	◎
3月上旬クロロフィルa濃度						
マハラノビス距離	7月中旬降水量	2002~ 2022	90.5	○	◎	
	3月クロロフィルa濃度					
線形判別	7月下旬クロロフィルa濃度	2002~ 2022	90.5	△	○	
	2月下旬平均気温					

表 19 愛媛県岩松湾海域における *Cochlodinium polykrikoides* の予察結果
(発生基準は >300 cells/mL)

判別時期	解析手法	説明変量	判別期間 (年)	2002～ 2022年の 的中率 (%)	2023年（発生）		2024年（非発生）	
					予察	的中	予察	的中
3月	線形判別	3月上旬クロロフィルa濃度	2002～ 2022	100.0	*	×	*	×
		1月上旬5m層水温						
	マハラノビス距離	3月上旬クロロフィルa濃度 2月下旬平均風速	2002～ 2022	100.0	×	×	○	×
5月	線形判別	3月クロロフィルa濃度	2002～ 2022	95.2	×	×	○	×
		1月上旬5m層水温						
	マハラノビス距離	5月上旬降水量 1月上旬5m層水温	2002～ 2022	95.2	○	◎	○	×
5月	マハラノビス距離	5月上旬降水量	2002～ 2022	95.2	○	◎	×	◎
		2月中旬平均気温						
	マハラノビス距離	5月上旬降水量 3月上旬クロロフィルa濃度	2002～ 2022	100.0	×	×	×	◎
6月	線形判別	5月上旬降水量	2002～ 2022	95.2	×	×	△	△
		3月クロロフィルa濃度						
	マハラノビス距離	6月下旬平均気温 3月上旬クロロフィルa濃度	2002～ 2022	95.2	×	×	○	×
6月	マハラノビス距離	6月平均気温	2002～ 2022	95.2	×	×	×	◎
		2月中旬平均気温						
	線形判別	6月平均気温 3月上旬クロロフィルa濃度	2002～ 2022	95.2	×	×	○	×
7月	マハラノビス距離	7月上旬クロロフィルa濃度	2002～ 2022	95.2	×	×	×	◎
		2月下旬平均風速						
	線形判別	7月上旬クロロフィルa濃度 3月上旬クロロフィルa濃度	2002～ 2022	100.0	*	×	*	×

表 20 高知県浦ノ内湾海域における *Karenia mikimotoi* の予察結果

判別時期	解析手法	説明変量	2002～22年の 的中率(%)	2024年（非発生）	
				予察	的中
4月下旬	マハラノビス距離	4月下旬降水量	95.0%	○	×
		3月中旬気温			
6月下旬	マハラノビス距離	6月下旬降水量	95.0%	○	×
		3月中旬気温			
	マハラノビス距離	6月下旬降水量	95.0%	○	×
		4月下旬降水量			
7月	マハラノビス距離	7月5m層水温	95.0%	△	△
		3月中旬気温			
	マハラノビス距離	7月5m層水温	90.0%	○	×
		4月下旬降水量			
	マハラノビス距離	7月5m層水温	95.0%	△	△
		6月下旬降水量			
	マハラノビス距離	7月5m層DO	90.0%	○	×
		3月中旬気温			
	マハラノビス距離	7月5m層DO	95.0%	○	×
		4月下旬降水量			
マハラノビス距離	7月5m層DO	90.0%	○	×	
	6月下旬降水				
マハラノビス距離	7月5m層DO	95.0%	○	△	
	7月5m層水温				

表 21 高知県浦ノ内湾海域における *Chattonella* spp. の予察結果
(発生基準は >10,000 cells/mL)

判別時期	解析手法	説明変量	2002～22年の 的中率(%)	2023年（非発生）		2024年（発生）	
				予察	的中	予察	的中
5月	マハラノビス距離	1月下旬日照時間	86.0%	×	◎	×	×
		5月10m層塩分					
6月中旬	線形判別	1月下旬日照時間	86.0%	×	◎	×	×
		6月中旬日照時間					
	マハラノビス距離	6月中旬日照時間	86.0%	×	◎	×	×
		5月10m層塩分					
7月中旬	マハラノビス距離	7月中旬気温	76.0%	△	△	△	○
		1月下旬日照時間					
	マハラノビス距離	7月中旬気温	76.0%	△	△	△	○
		5月10m層塩分					
	マハラノビス距離	7月中旬気温	71.0%	△	△	△	○
		6月中旬日照時間					
7月下旬	マハラノビス距離	7月中旬気温	76.0%	△	△	△	○
		7月下旬気温					
	線形判別	7月下旬気温	86.0%	×	◎	×	×
		1月下旬日照時間					
	マハラノビス距離	7月下旬気温	86.0%	×	◎	×	×
		5月10m層塩分					
	マハラノビス距離	7月下旬気温	86.0%	×	◎	×	×
		6月中旬日照時間					

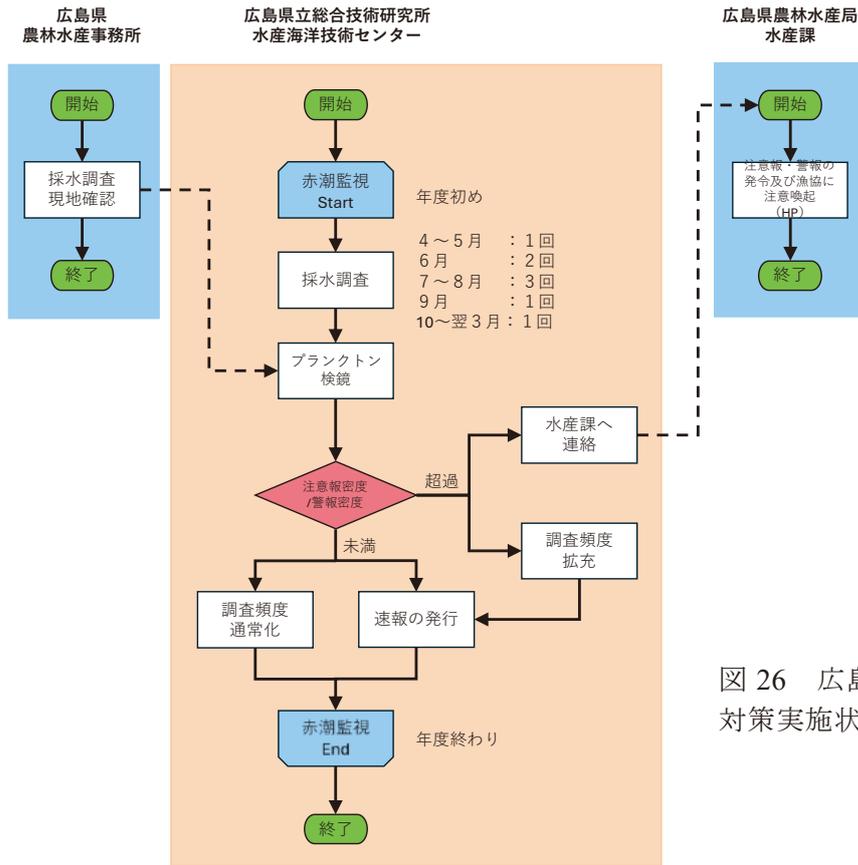


図 26 広島県における赤潮 対策実施状況フローチャート

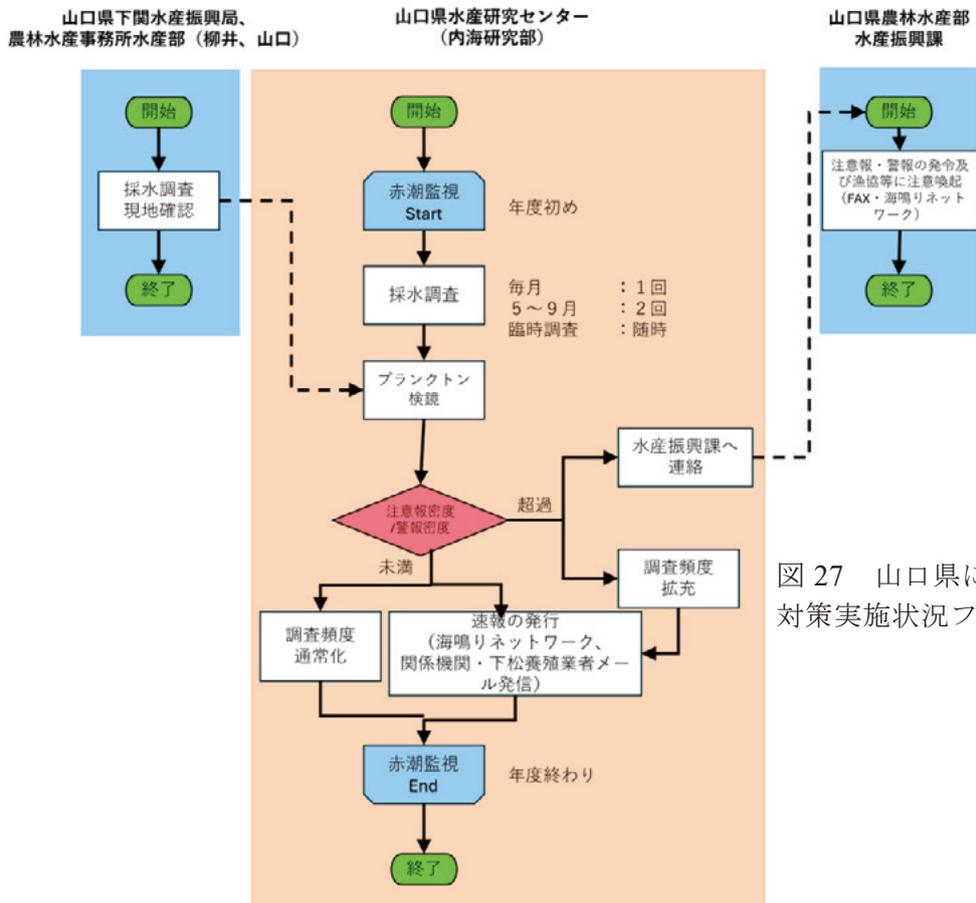


図 27 山口県における赤潮 対策実施状況フローチャート

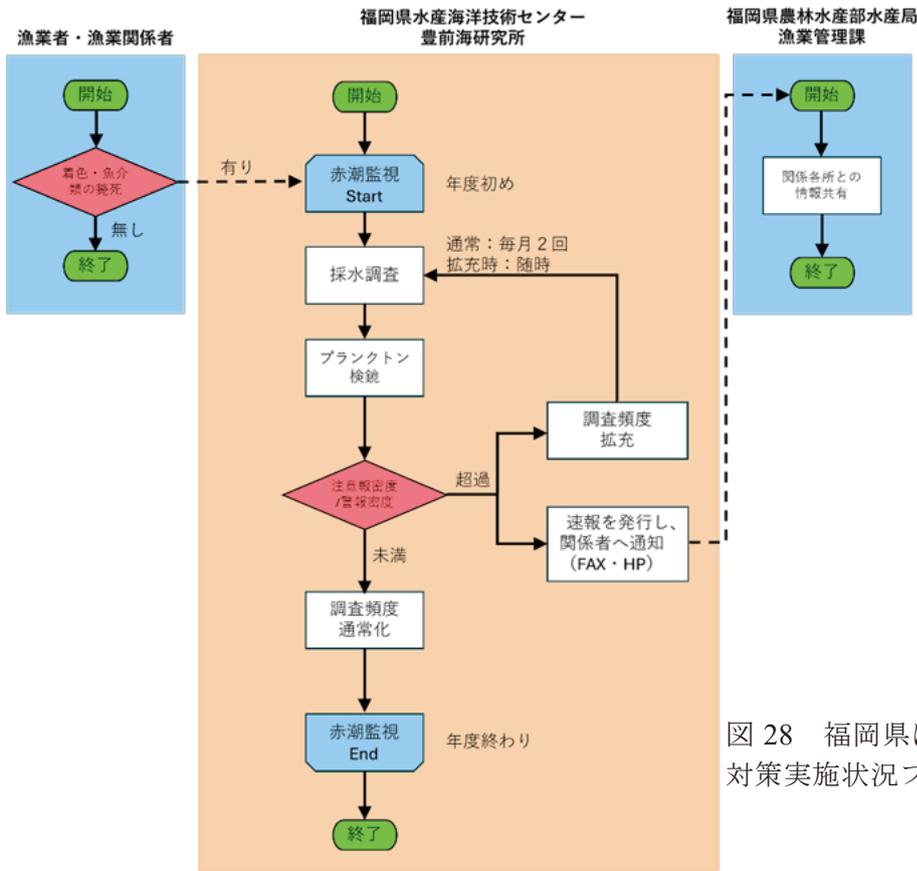


図 28 福岡県における赤潮対策実施状況フローチャート

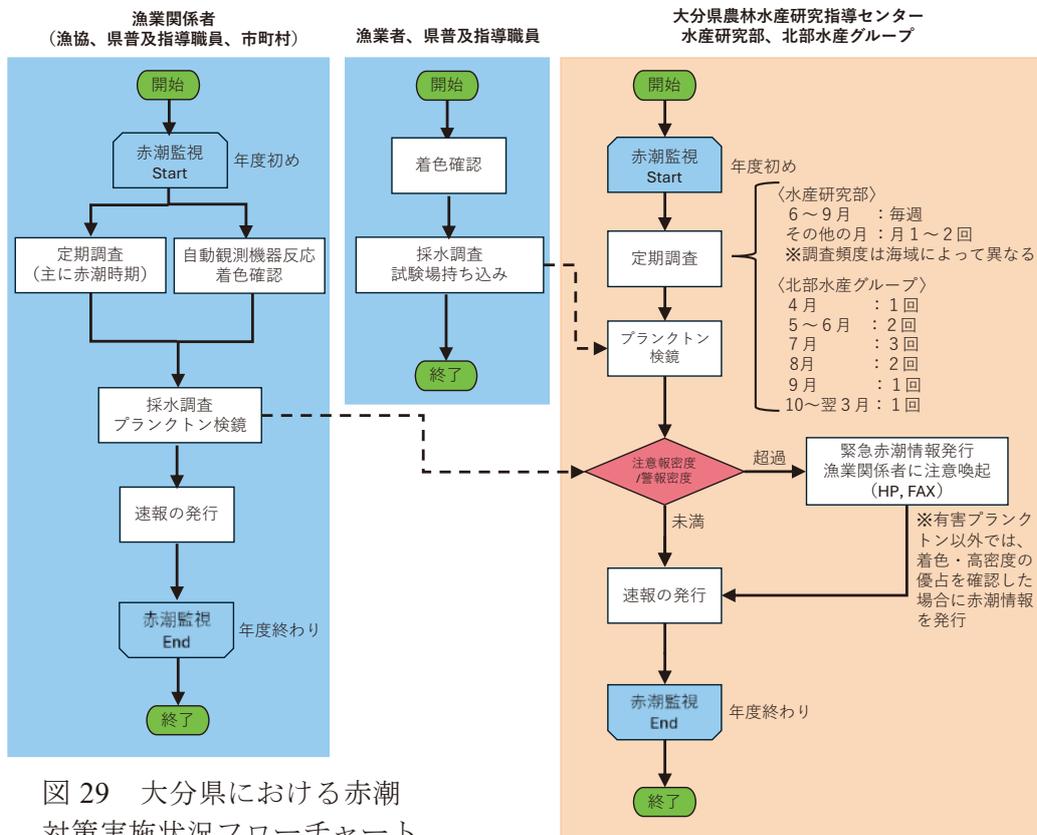


図 29 大分県における赤潮対策実施状況フローチャート

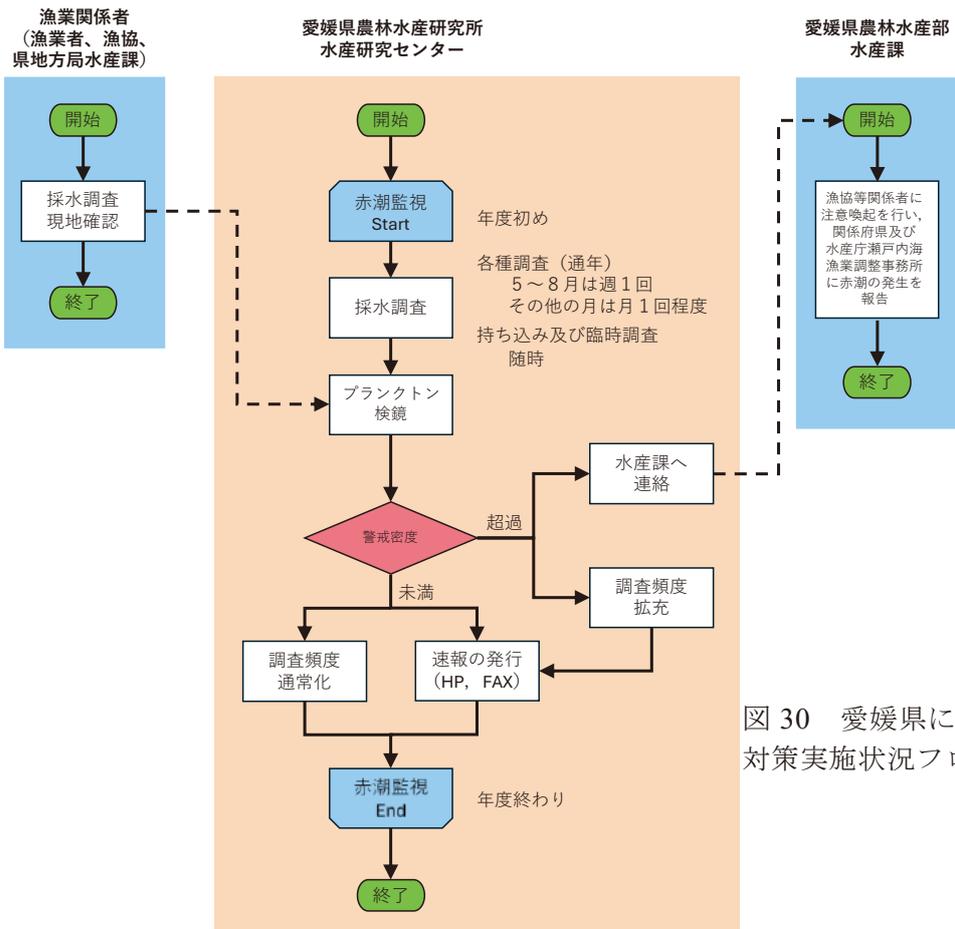


図 30 愛媛県における赤潮 対策実施状況フローチャート

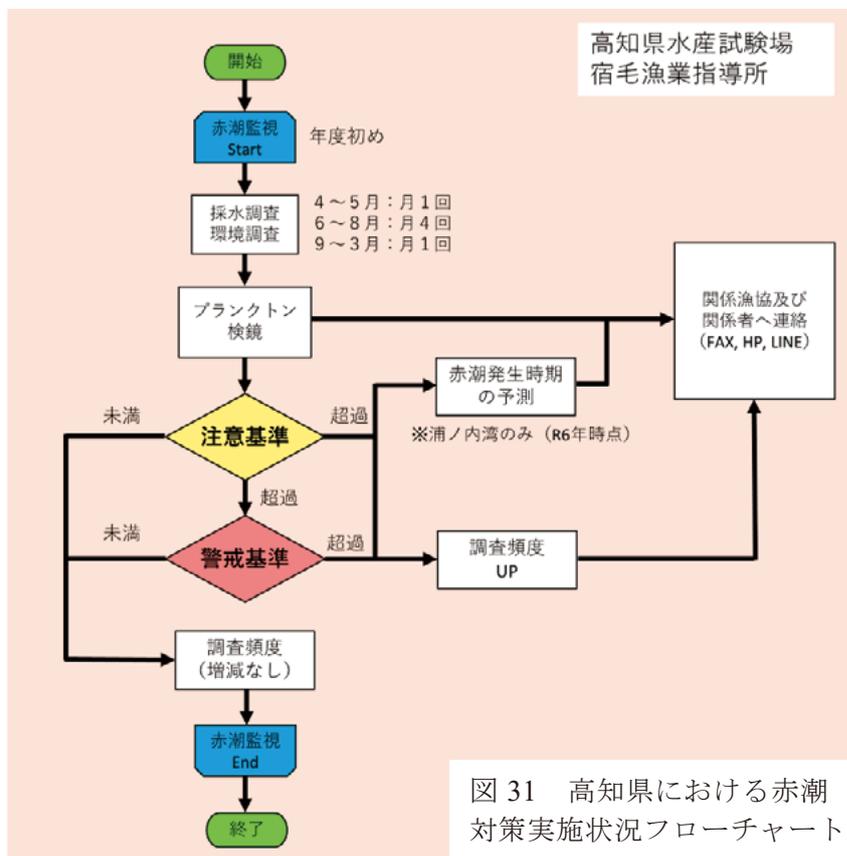


図 31 高知県における赤潮 対策実施状況フローチャート