

図48 徳島県海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。赤丸が発生年，白丸が非発生年，青丸が2023年を表す。

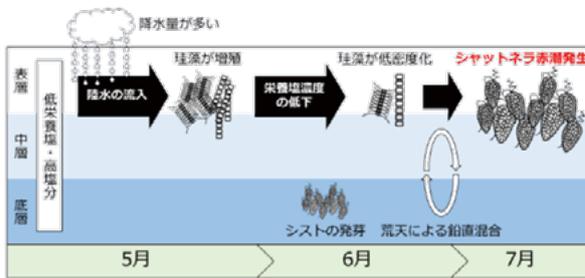


図49 香川県海域におけるシャットネラ赤潮発生シナリオ模式図

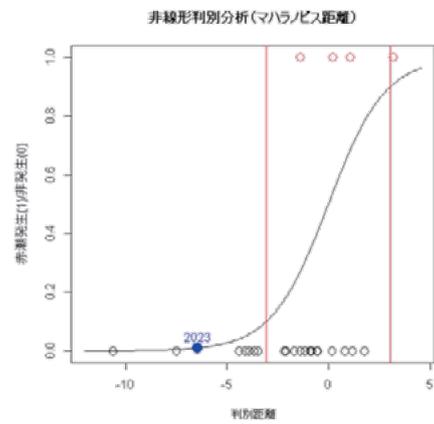


図50 香川県海域におけるシャットネラ赤潮の発生予察結果。使用データは「5月降水量，6月 $PO_4\text{-P}$ ，7月珪藻類細胞密度」（直前予察）。青丸が2023年の予察結果（非発生）を表す。

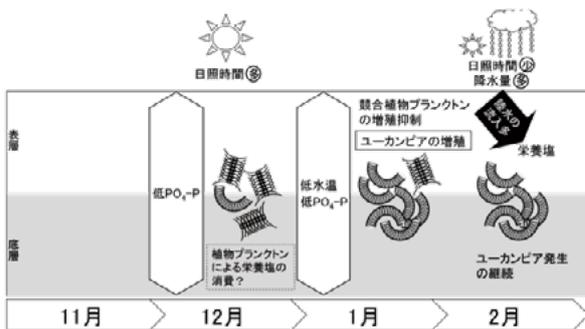


図51 岡山県海域におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ模式図

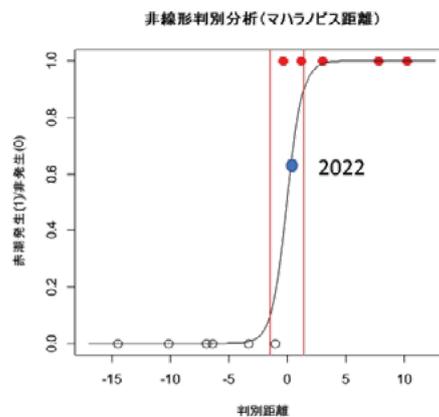


図52 岡山県海域におけるユーカンピア赤潮の発生予察結果。青丸が2022年の予察結果（非発生）を表す。

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

海域	判別手法	目的変量	説明変量	説明変数の数	判別期間(年)	発生含有率(%)	2022年予察結果の中
岡山県(播磨灘)	マハラノビス距離	1～2月の赤潮発生 or 局所発生	11月 底層水温 11月 クロコフィラ濃度 1月 クロコフィラ濃度	3	2011～2021	100 (3/3) 25 (1/4) 20 (1/5)	△ × △
岡山県(備讃瀬戸)	線形判別分析	1～2月の赤潮発生 or 局所発生	12月 日照時間(岡山) 12月 PO ₄ -P(B-1m) 1月 水温(B-1m)	3	2005～2015	100 (3/3) 50 (3/6) 0 (0/3)	△ × △
岡山県(備讃瀬戸)	マハラノビス距離	1～2月の赤潮発生 or 局所発生	1月 水温(B-1m)	2	2005～2015	100 (0/0) 86 (6/7) 20 (1/5)	× × ○
岡山県(備讃瀬戸)	マハラノビス距離	1～2月の大量発生 or 局所発生	11月 N/P比 1月 PO ₄ -P	2	2005～2015	100 (7/7) — (0/4)	○ ○ ◎
兵庫県(播磨灘)	マハラノビス距離	3月の大量発生 or 局所発生	2月 最高細胞数 2月 日照時間 2月 PO ₄ -P	3	2005～2020	100 (6/6) 29 (2/7) 0 (0/3)	△ × △
徳島県(播磨灘)	マハラノビス距離	2～3月の発生 or 局所発生	1月 北風風速合計値 1月 兵庫県沿岸の最高細胞密度	2	2005年から予察対象年の前年まで		△ × △
香川県(播磨灘)	線形判別分析	1～3月の赤潮発生 or 局所発生	12月 北風 12月 表層柱藻密度	2	2005～2015		× × ◎
香川県(備讃瀬戸)	線形判別分析	1～3月の赤潮発生 or 局所発生	11月 西風 12月 降水量	2	2005～2015		○ × ×
大阪府	マハラノビス距離	(地場発生赤潮) 11～2月各月の大量発生 or 局所発生	前月 透明度 前月 10m層の海水密度 or 前月 鉛直安定度(5m層σ _t -底層σ _t)	3	1996～2016 (11, 12, 1, 2月のみ)	57 (4/7) 13 (6/45) 0 (0/28)	△ × △ 2023年1月予察結果の中 △ × △
大阪府	マハラノビス距離	(地場発生赤潮) 11～2月各月の大量発生 or 局所発生	前月 透明度 前月 10m層の海水密度 or 前月 鉛直安定度(5m層σ _t -底層σ _t)	3	1996～2016 (11, 12, 1, 2月のみ)	57 (4/7) 13 (6/45) 0 (0/28)	△ × △ 2023年2月予察結果の中 ○ ○ ◎

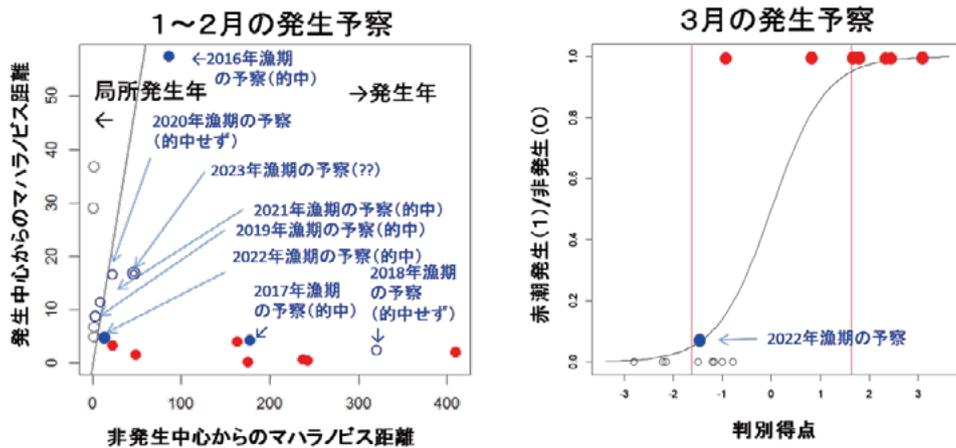


図53 兵庫県海域におけるユーカンピア赤潮の発生予察結果。解析に用いた説明変数は、左：11月のN/P比と1月の $PO_4\text{-P}$ 、右：2月の最高細胞数と2月の日照時間と2月の $PO_4\text{-P}$ 。赤丸が発生年，白丸が局所発生，青丸が2016~2022年の予察を表す。

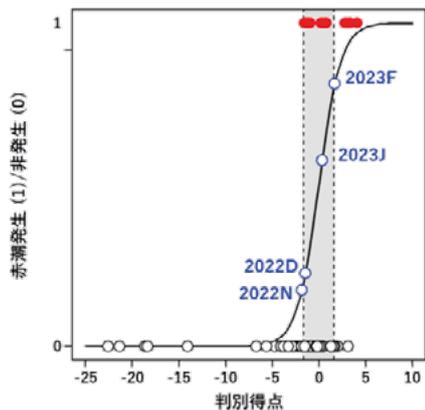


図54 大阪府海域におけるユーカンピア赤潮の発生予察結果。青丸が2022年の予察結果を示す。

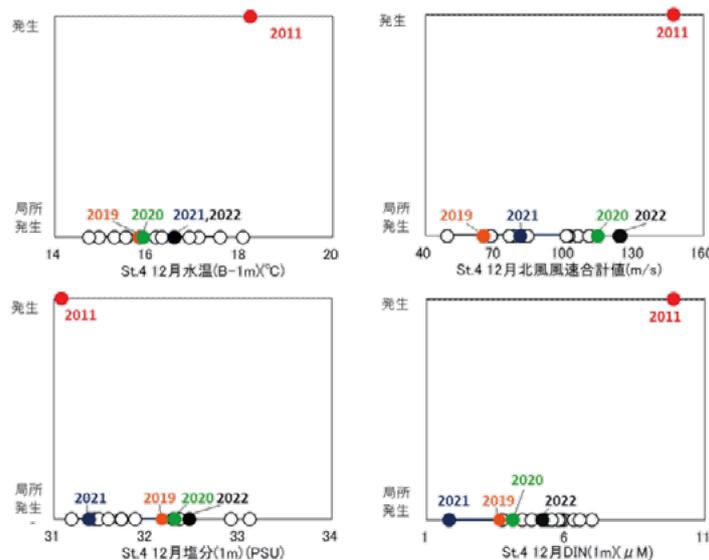


図55 徳島県海域におけるユーカンピア赤潮発生年（1月発生）の特徴解析例。1月に赤潮が発生した年は12月に水温が高く、塩分が低く、北風合計風速値が高く、栄養塩濃度が高いという特徴を有する可能性が示唆された。

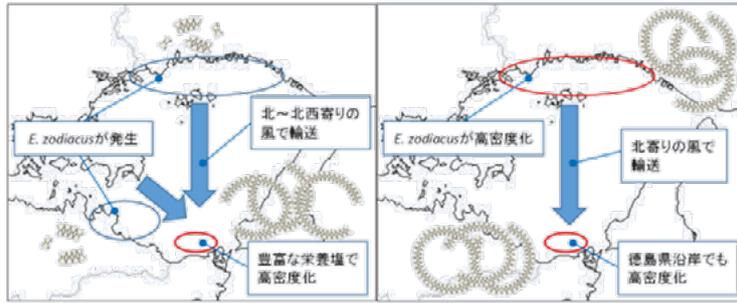


図56 徳島県海域におけるユーカンピア赤潮発生シナリオ (左：1月発生，右：2月または3月発生)

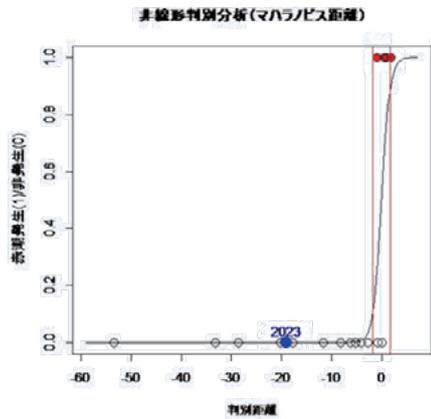


図57 徳島県海域における2月，3月のユーカンピア赤潮の発生予察結果。赤丸が発生年，白丸が局所発生年，青丸が2023年を表す。

図58 香川県海域におけるユーカンピア赤潮の発生シナリオ模式図

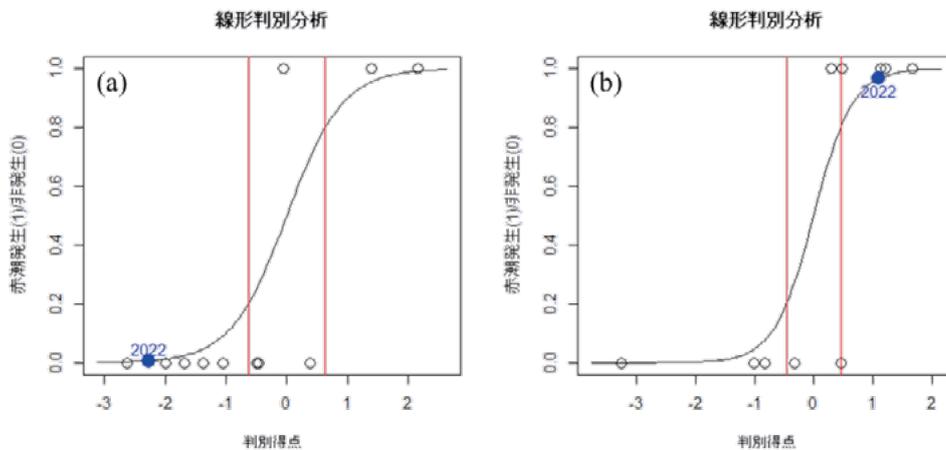
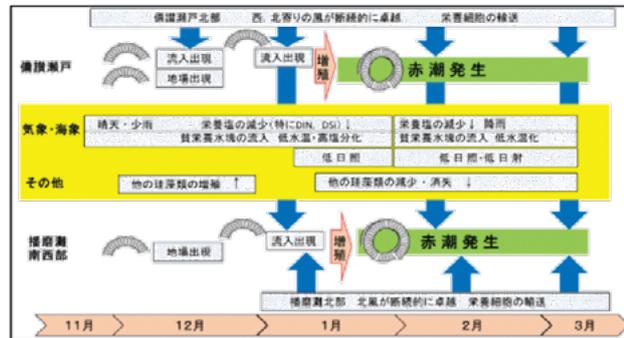
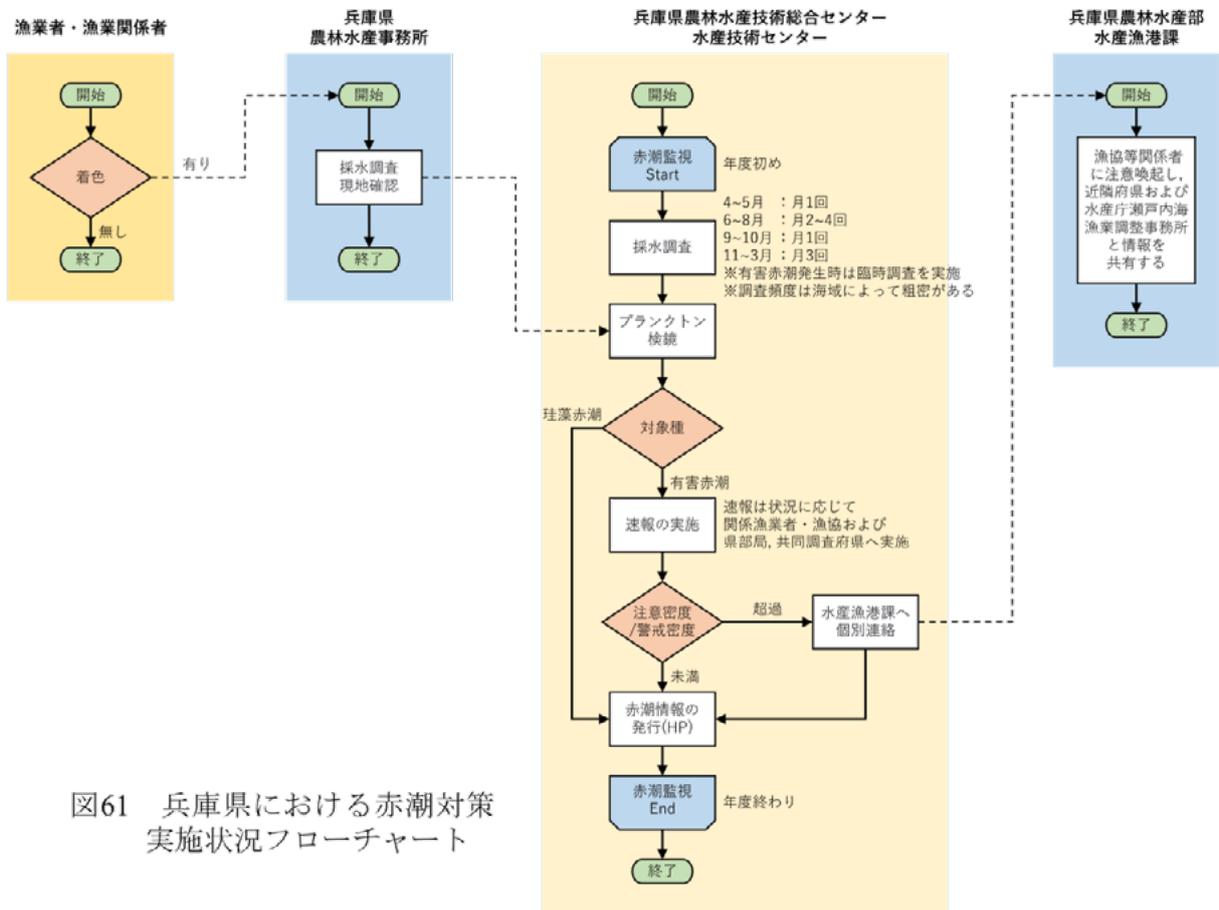
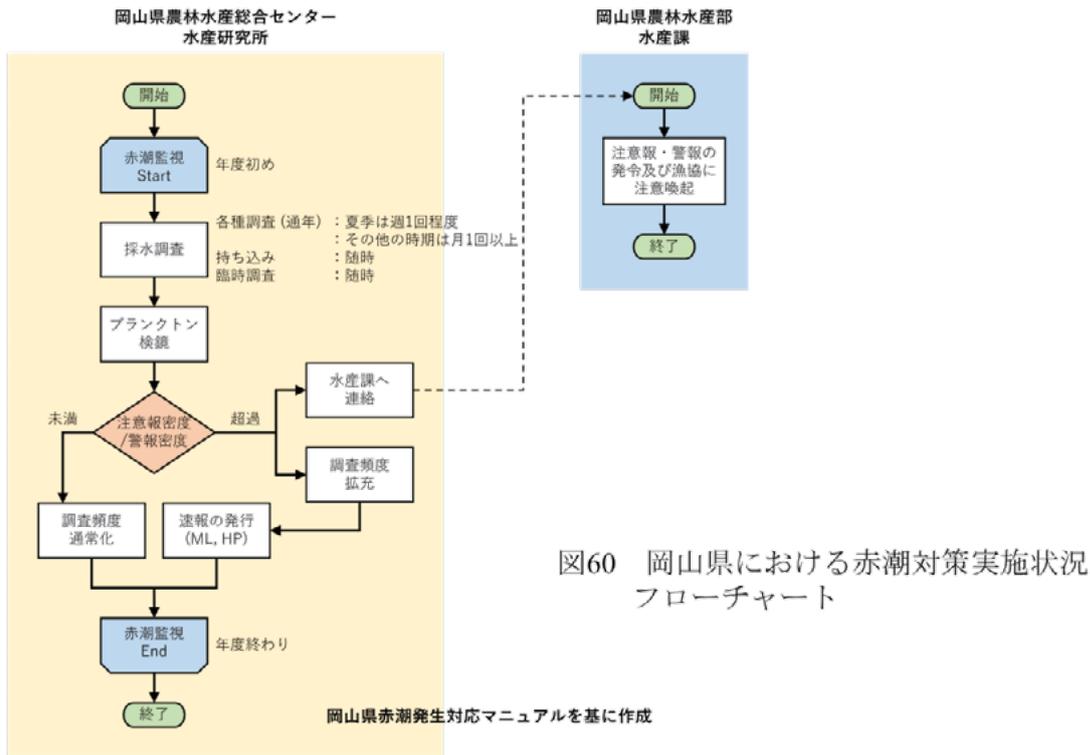


図59 香川県海域（播磨灘・備讃瀬戸）におけるユーカンピア赤潮の発生予察。使用データは，播磨灘 (a) が12月北風，12月表層珪藻細胞密度，備讃瀬戸 (b) が11月西風，12月降水量。青丸が2022年の予察を表す。



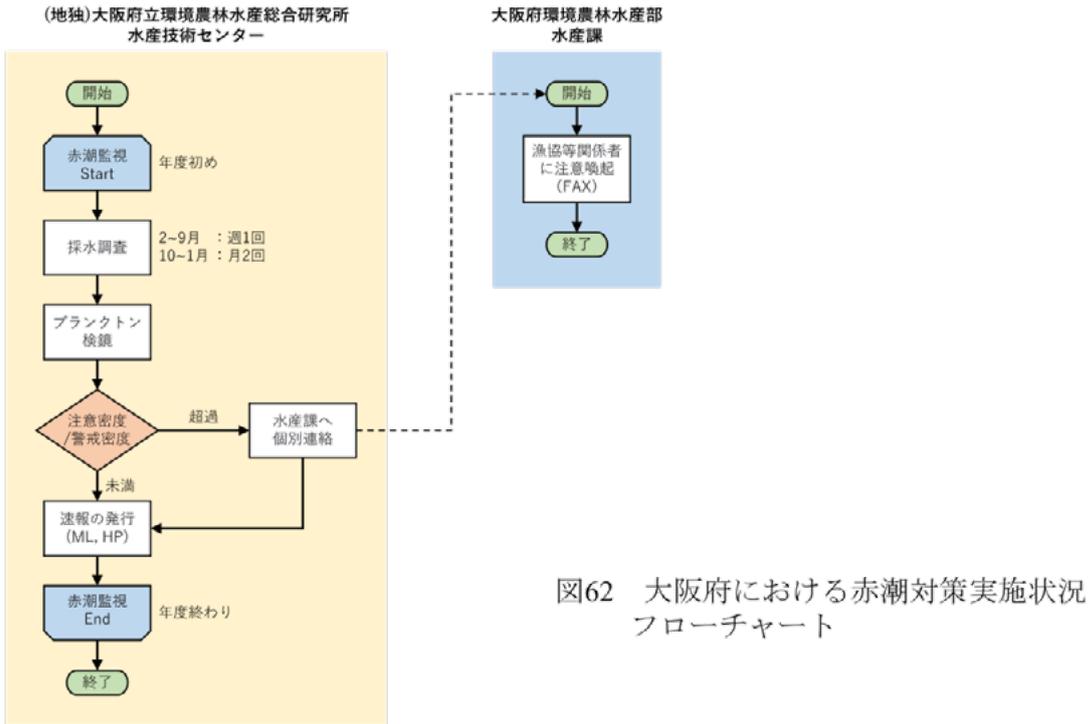


図62 大阪府における赤潮対策実施状況
フローチャート

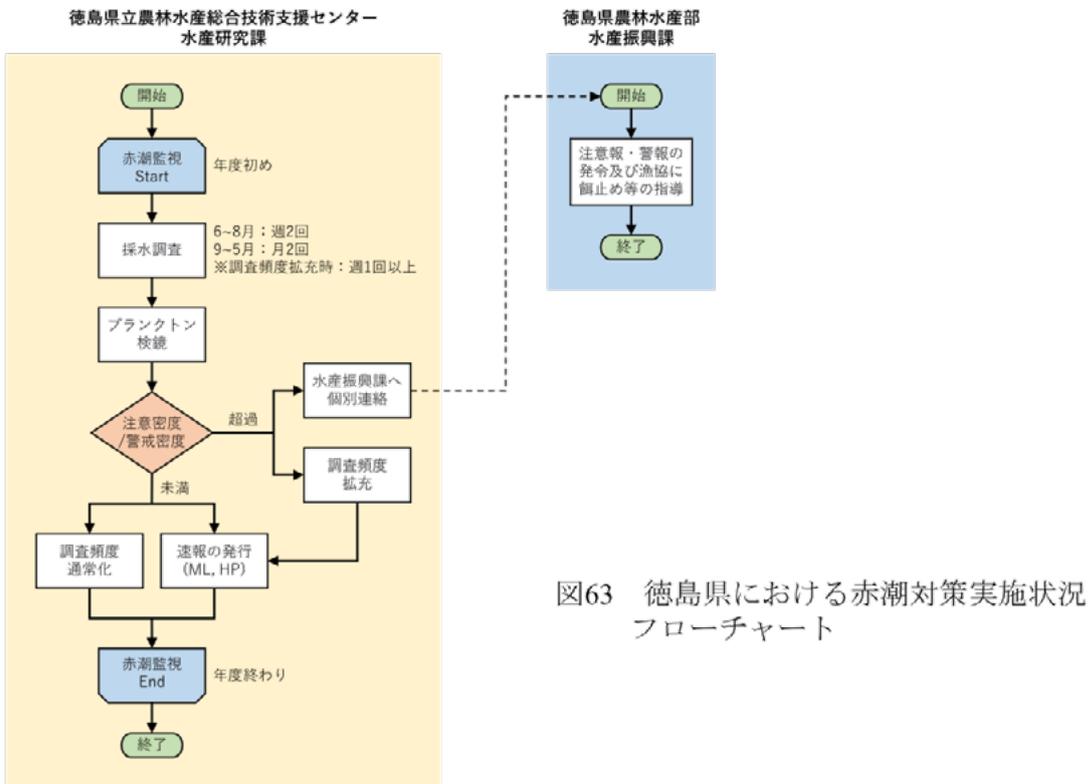


図63 徳島県における赤潮対策実施状況
フローチャート

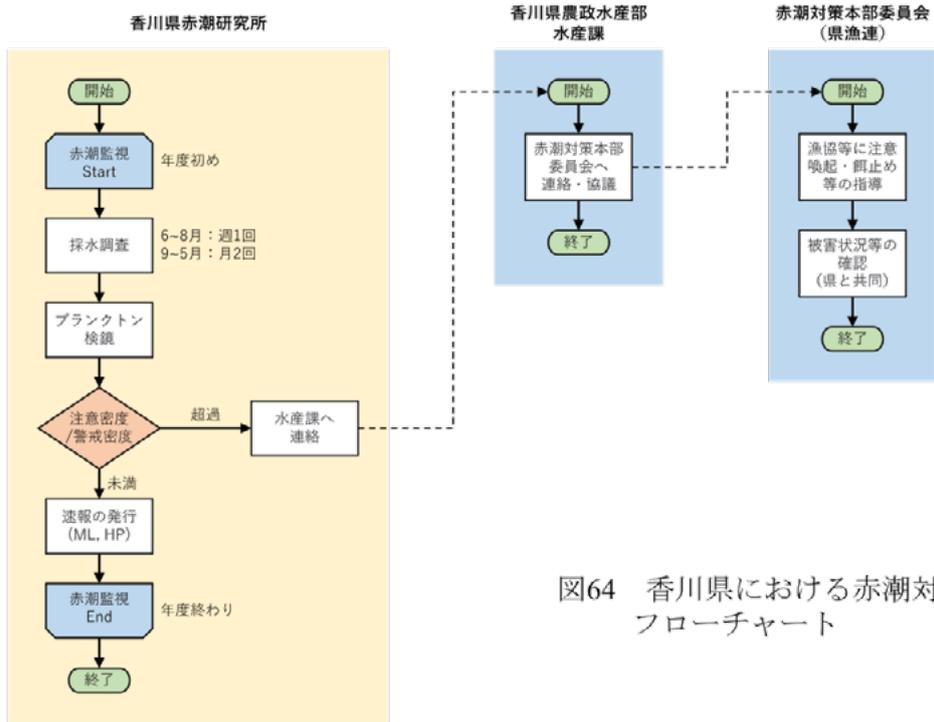


図64 香川県における赤潮対策実施状況フローチャート

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

福岡県水産海洋技術センター豊前海研究所
後川龍男, 金澤孝弘, 恵崎 撰
広島県水産海洋技術センター
加川真行, 上原達亮, 戸田竜哉, 相田 聡, 永井崇裕
山口県水産研究センター内海研究部
茅野昌大, 渡邊俊輝, 内田喜隆, 畑間俊弘, 馬場俊典
大分県農林水産研究指導センター水産研究部
毛利文香, 野田 誠, 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
愛媛県農林水産研究所水産研究センター
三門哲也, 神野 智, 関信一郎
高知県水産試験場
上村海斗, 黒原健朗, 岡部正也
愛媛大学沿岸環境科学研究センター
吉江直樹, 郭 新宇
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, 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およ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およ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5年度計画および結果

(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) 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)。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・大分県周防灘海域およ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。

$$\text{上層と下層の海水密度差} \div \text{水深差} \times 10^{-3} \quad (\text{Sverdrup et al. 1942}) \quad (1)$$

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, 日照時間およ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* 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, および冬季の 1~3 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 JMWP04700) 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, 速やかにビーズ粉砕によりホモジナイズし, DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN, 69106) 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 (バイオ・ラッド, CFX96) 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高知県浦ノ内湾底質からの *K. mikimotoi* DNA の検出

冬季の底質中 *K. mikimotoi* 遺伝子測定によるシードポピュレーション調査に向けて, 底質中からの本種遺伝子検出の可否を検証するため, 本種による赤潮が頻発する高知県浦ノ内湾底質からの *K. mikimotoi* DNA の定量検出を試みた。2022 年 4, 9, 12 月に浦ノ内湾 3 地点 (図 2) においてエクスマンバージ採泥器によって採取され, 表層から 1 cm および 2 cm 層に分画・冷凍保存された底泥 0.25 g (n=5/層) を試料とした。底泥から DNeasy PowerSoil Pro Kit (QIAGEN) により DNA を抽出し, 2) -①と同様の方法で *K. mikimotoi* DNA の定量検出を行った。加えて比較対照として, 生活環の中で休眠細胞 (シスト) となり底泥中で休眠することが知られている *Chattonella* spp. および *H. akashiwo* DNA の定量検出も併せて行った。

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および多項目水質計 (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) 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、1 週間先の *K. mikimotoi* 赤潮の発生・非発生の予測を目的に、2014~2023 年 4~12 月のプランクトンおよび環境データを用いて機械学習モデル (サポートベクトルマシン) を構築した。本モデルの詳細については、一昨年度および昨年度の報告書 (茅野ら 2022, 上村ら 2023) を参照されたい。説明変数には、昨年度に最も高い正解率を示した *K. mikimotoi* の細胞密度 (予測対象日 7 日前) を使用したモデル、そして細胞密度と日別最大潮位差 (予測対象日) を説明変数として使用したモデルの両方を評価した。2014~2017 年をトレーニングデータ、2018~2023 年をテストデータとして、赤潮発生日、終息日、正解率に基づいて各モデルを評価した。なお、正解率は、7 日後の赤潮の発生および非発生を正しく予測できた割合である。

その他に、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、2023 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°C 以上となる日の積算日数、②4 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°C 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。

4) 赤潮発生シナリオと予察技術の検証と改良およ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およ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再構築し、以前構築した赤潮発生シナリオ (加川ら 2020) との整合性を検討するとともに、2023 年の予察結果を検証した。まず、統計解析により赤潮発生に関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、環境因子の組み合わ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。本予察モデルは各環境因子の組み合わせで予測した発生確率が 80% より大きい場合を「○」、20~80% を「△」、20% 未満を「×」と表記し、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。

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。瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域グループでは、赤潮被害軽減対策の現状把握を目的として、グループ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行った。アンケート内容は赤潮情報の発出基準、連絡体制、赤潮フェーズ毎の対応等である。このうち特に本年度は、各県の赤潮情報発出基準について、各県が赤潮注意／警戒情報を発出する際に対象となる赤潮原因種とその細胞密度、対象魚種等について情報を集約しとりまとめた。

(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）および四国地方では5月29日頃（平年は6月4～6日頃）、梅雨明けは7月16～25日頃（平年は7月17～19日頃）で、梅雨入りは平年より6～8日程度早く、梅雨明けは中国四国地方で平年より1～3日程度早く、九州北部地方で平年より6日程度遅かった。

また、8月上旬に台風6号、7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、平均気温およ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、須崎では梅雨時期の降水量が少なく8月の降水量が多かった。中国地方、九州北部地方を中心に6月下旬から7月上旬にかけて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月上中旬と6～7月は最大で平年より1.4～2.3℃、9月中～下旬は最大で平年より2.2～3.3℃高かった。

日照時間（図5a）：期間中、平年並みで推移したが、7月下旬の日照時間は平年より17.9～38.7h長く、宇和島、須崎では8月上旬の日照時間が平年より37.9～43.6h短かった。

平均風速（図5b）：期間中、広島は平年より低めで推移した。その他は平年並みで推移したが、台風6、7号の影響により8月上旬の平均風速は平年より0.6～2.7m/s高かった。

② 海象

各県海域の2023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場合あり）。また平年偏差を表3、平年偏差の算出に用いたデータ期間、対象調査点、対象水深を表4に示す。

水温（平均値；図 6）：広島県広島湾海域（5 m 層，4～9 月）は 13.8～26.8℃，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5 m 層，5～8 月）は 16.1～27.1℃，福岡県周防灘海域（5 m 層，5～8 月）は 16.4～28.5℃，大分県周防灘海域（5 m 層，4～9 月）は 14.6～28.6℃，大分県別府湾・豊後水道海域（10 m 層，4～8 月）は 16.0～24.0℃，愛媛県豊後水道海域（10 m 層，5～8 月）は 17.1～25.6℃，高知県宿毛湾海域（5 m 層，5～9 月）は 19.7～28.3℃，高知県浦ノ内湾海域（5 m 層，5～9 月）は 21.3～29.2℃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 29.99～32.45，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5 m 層，5～8 月）は 29.63～32.57，福岡県周防灘海域（5 m 層，5～8 月）は 29.96～32.71，大分県周防灘海域（5 m 層，4～9 月）は 29.04～32.88，大分県別府湾・豊後水道海域（10 m 層，4～8 月）は 31.37～33.93，愛媛県豊後水道海域（10 m 層，5～8 月）は 33.27～34.04，高知県宿毛湾海域（5 m 層，5～9 月）は 32.80～34.35，高知県浦ノ内湾海域（5 m 層，5～9 月）は 27.55～31.29 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 1.3～6.7 m，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5～8 月）は 5.1～8.0 m，福岡県周防灘海域（5～8 月）は 3.4～8.2 m，大分県周防灘海域（4～9 月）は 2.0～11.4 m，大分県別府湾・豊後水道海域（4～8 月）は 8.7～15.3 m，愛媛県豊後水道海域（5～8 月）は 11.9～17.9 m，高知県宿毛湾海域（5～9 月）は 5.4～11.2 m，高知県浦ノ内湾海域（5～9 月）は 1.5～4.2 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 $15.5 \times 10^{-5} \sim 134.4 \times 10^{-5}$ ，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5～8 月）は $18.3 \times 10^{-5} \sim 55.4 \times 10^{-5}$ ，福岡県周防灘海域（5～8 月）は $3.8 \times 10^{-5} \sim 20.0 \times 10^{-5}$ ，大分県周防灘海域（4～9 月）は $1.4 \times 10^{-5} \sim 62.7 \times 10^{-5}$ ，高知県浦ノ内湾海域（5～9 月）は $24.0 \times 10^{-5} \sim 121.3 \times 10^{-5}$ で推移した。

③ 水質

各県海域の 2022 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に含む場合あり）。また平年偏差を表 3，平年偏差の算出に用いたデータ期間，対象調査点，対象水深を表 4 に示す。

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 1.52～13.97 $\mu\text{g/L}$ ，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5 m 層，5～8 月）は 3.72～7.93 $\mu\text{g/L}$ ，福岡県周防灘海域（5 m 層，4～8 月）は 0.77～2.37 $\mu\text{g/L}$ ，大分県周防灘海域（5 m 層，4～9 月）は 0.74～3.26 $\mu\text{g/L}$ ，大分県別府湾・豊後水道海域（10 m 層，4～8 月）は 0.96～2.97 $\mu\text{g/L}$ ，愛媛県豊後水道海域（10 m 層，5～8 月）は 0.93～2.21 $\mu\text{g/L}$ ，高知県宿毛湾海域（10 m 層，5～9 月）は 0.64～4.55 $\mu\text{g/L}$ ，高知県浦ノ内湾海域（5 m 層，5～9 月）は 1.94～5.65 $\mu\text{g/L}$ 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 9.3～89.3%，山口県徳山湾・笠戸湾海域（B-1 m 層，5～8 月）は 42.0～78.0%，福岡県周防灘海域（B-1 m 層，4～8 月）は 44.5～94.1%，大分県周防灘海域（B-1 m 層，4～9 月）は 57.8～94.4%，大分県別府湾・豊後水道海域（10 m 層，4～8 月）は 81.3～100.4%，愛媛県豊後水道海域（10 m 層，5～8 月）は 83.5～95.9%，高知県宿毛湾海域（20 m 層，5～9 月）

は 69.9～85.0%，高知県浦ノ内湾海域（B-1 m 層，5～9 月）は 0.1～21.4%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 0.15～2.46 μM ，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5 m 層，5～8 月）は 0.04～0.82 μM ，福岡県周防灘海域（5 m 層，4～8 月）は 0.04～1.77 μM ，大分県周防灘海域（5 m 層，4～8 月）は 0.04～4.29 μM ，大分県別府湾・豊後水道海域（10 m 層，4～8 月）は 0.52～1.25 μM ，愛媛県豊後水道海域（10 m 層，5～8 月）は 0.69～1.80 μM ，高知県宿毛湾海域（10 m 層，5～9 月）は 0.44～4.08 μM ，高知県浦ノ内湾海域（5 m 層，5～9 月）は 2.72～7.16 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 0.02～1.67 μM ，山口県徳山湾・笠戸湾海域（5 m 層，5～8 月）は 0.03～0.07 μM ，福岡県周防灘海域（5 m 層，4～8 月）は N.D.～0.22 μM ，大分県周防灘海域（5 m 層，4～9 月）は 0.02～1.02 μM ，大分県別府湾・豊後水道海域（10 m 層，4～8 月）は 0.14～0.20 μM ，愛媛県豊後水道海域（10 m 層，5～8 月）は 0.10～0.15 μM ，高知県宿毛湾海域（10 m 層，5～9 月）は 0.05～0.30 μM ，高知県浦ノ内湾海域（5 m 層，5～9 月）は 0.10～0.40 μM の範囲で推移した。

④ プランクトン

各県海域の 2023 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 2023 年 4～9 月の *K. mikimotoi* および *Chattonella* spp. の観測値（最高細胞密度）の水平分布を図 15～18 に示す。なお，各海域において本事業以外の調査結果もデータとして使用している。

K. mikimotoi（最高値；図 14，15，17）：高知県宿毛湾海域（全層，4～9 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.～164 cells/mL，山口県徳山湾・笠戸湾海域（全層，5～8 月）では N.D.～131 cells/mL，福岡県周防灘海域（全層，5～8 月）では N.D.～49 cells/mL，大分県周防灘海域（全層，4～9 月）では N.D.～213 cells/mL，大分県別府湾・豊後水道海域（全層，4～8 月）では N.D.～11 cells/mL，愛媛県豊後水道海域（全層，5～8 月）では N.D.～190 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 4 月下旬に遊泳細胞が初認され，その後 6 月中旬まで 10 cells/mL 前後の低密度で推移した。6 月下旬に 100 cells/mL を超え，7 月上旬に 1,000 cells/mL 以上となって赤潮を形成し，7 月 24 日に最高細胞密度 139,000 cells/mL に達した。

C. polykrikoides（最高値；図 14）：山口県徳山湾・笠戸湾海域（全層，5～8 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），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），高知県浦ノ内湾海域（全層，4～9 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.～108 cells/mL，大分県別府湾・豊後水道海域（全層，4～8 月）では N.D.～0.08 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，5～8 月），福岡県周防灘海域（全層，5～8 月），大分県周防灘海域（全層，5～8 月）

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。高知県浦ノ内湾海域(全層, 4~9月)では, 5月下旬に1,000 cells/mLを超えて赤潮を形成し, 6月上旬に最高細胞密度21,000 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.~9 cells/mL, 山口県徳山湾・笠戸湾海域(全層, 5~8月)ではN.D.~1 cells/mL, 福岡県周防灘海域(全層, 5~8月)ではN.D.~4 cells/mL, 大分県周防灘海域(全層, 4~9月)ではN.D.~137 cells/mL, 大分県別府湾・豊後水道海域(全層, 4~8月)ではN.D.~3 cells/mL, 愛媛県豊後水道海域(全層, 5~8月)ではN.D.~1 cells/mL, 高知県宿毛湾海域(全層, 5~9月)ではN.D.~4 cells/mLの範囲で推移した。高知県浦ノ内湾海域(全層, 4~9月)では遊泳細胞は7月下旬に初認され, その後すぐに100 cells/mLを超えて赤潮を形成し, 8月25日に本事業外の調査で最高細胞密度600 cells/mLに達した(図14)。

H. akashiwo (最高値; 図14): 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), 愛媛県豊後水道海域(全層, 5~8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.~9 cells/mL, 山口県徳山湾・笠戸湾海域(全層, 5~8月)ではN.D.~42 cells/mL, 大分県別府湾・豊後水道海域(全層, 4~8月)ではN.D.~1 cells/mLの範囲で推移した。高知県宿毛湾海域(全層, 5~9月)では, 5月中旬および6月上旬に赤潮を形成し, 細胞密度はそれぞれ93,500, 8,780 cells/mLであった。高知県浦ノ内湾海域(全層, 4~9月)では, 4月上旬および5月上旬に赤潮を形成し, 5月上旬に最高細胞密度の68,400 cells/mLに達した。

珪藻類(平均値; 図14): 広島県広島湾海域(表層, 6~9月)では8~31,866 cells/mL, 山口県徳山湾・笠戸湾海域(表層, 5~8月)では53~1,631 cells/mL, 福岡県周防灘海域(表層, 5~8月)では59~3,284 cells/mL, 大分県周防灘海域(表層, 4~9月)では15~459 cells/mL, 大分県別府湾・豊後水道海域(表層, 4~8月)ではN.D.~2,275 cells/mL, 愛媛県豊後水道海域(表層, 5~8月)では9~1,275 cells/mL, 高知県宿毛湾海域(表層, 5~9月)では5~80 cells/mL, 高知県浦ノ内湾海域(表層, 4~9月)では2~12,700 cells/mLで推移した。

⑤ まとめ

2023年4~11月の赤潮発生状況を表5に示す。*K. mikimotoi*赤潮は広島県燧灘海域, 広島県広島湾, 山口県徳山湾, 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, 高知県浦ノ内湾で計13件発生し, 前年の12件から1件増加した。本種赤潮は広島県燧灘海域では8月上旬から9月上旬, 広島湾では8月下旬から10月上旬, 山口県徳山湾では6月中旬から8月上旬, 山口県周防灘海域では8月中旬から下旬, 大分県周防灘海域では8月上旬から9月上旬, 大分県豊後水道海域では6月下旬から10月中旬, 愛媛県豊後水道海域では6月下旬から11月上旬, 高知県浦ノ内湾海域では7月上旬から下旬にそれぞれ発生した。*K. mikimotoi*赤潮による漁業被害は豊後水道海域で2件発生した。一方, *Chattonella*赤潮は福岡県周防灘海域, 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4件発生し, 前年の4件と同件数だった。

Chattonella 赤潮による漁業被害はなかった。

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およ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8月下旬から10月上旬に *K. mikimotoi* 赤潮が発生した。調査定点での顕微鏡観察での初認は6月中旬の7 cells/mLであり、その後7月中旬まで低位で推移した。7月下旬から8月上旬にかけていったん確認されなくなったが、8月中旬に46 cells/mLを確認し、9月上旬まで100 cells/mL程度で推移した後、9月中旬に4 cells/mLまで減少した。なお、調査水深以外のクロロフィル極大層からの数値であるが、8月下旬に当県の注意報基準を超える526 cells/mLを確認した。

山口県徳山湾・笠戸湾海域：当該海域では、*K. mikimotoi* 赤潮が6月中旬～6月下旬と7月上旬～8月上旬に徳山湾で、7月下旬～8月下旬に防府市沿岸域で、8月中旬～8月下旬に山口市沿岸（山口湾・秋穂湾）で発生した（最高細胞密度は山口県の注意報基準である100 cells/mLを超えており、それぞれ630 cells/mL, 3,983 cells/mL, 2,178 cells/mL, 3,400 cells/mL）。2～6月の高感度監視調査の期間中、濃縮検鏡では5月上旬～6月上旬に0.01～0.47 cells/mL観察され、PCR法では調査期間中0.001～49.257 cells/mL検出されており、5月下旬以降、日照時間が短かったことで珪藻類の増殖が抑制され、本種が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 *K. mikimotoi* 赤潮は発生しなかった。同種は、PCR法では2月に未検出だったが4月以降検出され、6月に最高値を示した。検鏡では8月に北部海域で最高49 cells/mLを示したが、赤潮化しなかった。*K. mikimotoi* 赤潮の発生に至らなかった要因として、当該海域では栄養塩が低レベルで推移し、珪藻類は沿岸域で多く推移したが8月に減少し、透明度が上昇したことから、競合する珪藻類の減少時に栄養塩も不足していたことと、透明度が高く日照時間が多かったことで、*K. mikimotoi* の好適増殖条件に至らなかったことが考えられた。また北部海域で最高細胞密度を示す直前には、隣接する山口県海域で *K. mikimotoi* が赤潮化しており、ここからの移送による一時的な増加の可能性も考えられた。なお *Chattonella* spp. が7月末に一部の漁港域で赤潮化した。

大分県周防灘海域：当該海域では7月中旬および8月上旬に *Chattonella* spp. 及び *K. mikimotoi* による赤潮が発生した。両種は7月上旬まで低密度で推移していたが、7月中旬から増殖し、7月19日に *Chattonella* spp. による赤潮が発生した。その後に *Chattonella* spp. の減少に伴って *K. mikimotoi* が増加し、8月1日に *K. mikimotoi* が赤潮を形成した。この2種が増殖したタイミングで珪藻類は減少していた。また珪藻類が減少したのは7月上旬の豪雨と重なっている。これらのことから7月の豪雨による低日照により珪藻が減少するとともに、栄養塩が供給され *Chattonella* spp. が増加したと考えられる。次いで、*Chattonella* spp. の減少と7月下旬の著しい日照時間の増加によって *K. mikimotoi* が高密度化したと推察する。

大分県別府湾・豊後水道海域：当該海域において、一部の調査は多雨直後に行ったため、塩分や透明度で低い値が記録された。本調査の検鏡では、有害プランクトンは低密度で確認されたものの、別府湾奥や佐賀関沿岸では、*C. polykrikoides* と *Chattonella* spp. が7～8月

に高密度で確認された。また、大分県の他の海域では、南部を中心に *K. mikimotoi* など多くの赤潮が発生した。

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 190 cells/mL 確認されたが、本事業以外の調査では、沿岸域で 6 月下旬に赤潮の発生が確認された。宇和島市では、6 月下旬の日照時間が 1 日当たり 3 時間程度と短く、水温が平年より高めであったことから、本種の増殖に有利な環境となっていたと考えられる。また、6 月上旬に沿岸域で 10^4 cells/mL 以上で確認されていた珪藻類が減少したことが *K. mikimotoi* の高密度化に有利に働き、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* は確認されず、また *Chattonella* spp. は 4 cells/mL 以下で推移し、両種による赤潮は発生しなかった。過去に漁業被害をもたらした宿毛湾で問題となっている *C. polykrikoides* は検鏡で遊泳細胞が確認されず、赤潮も形成されなかった。qPCR による高感度調査では、昨年度本種が検出されていたが本年度は調査期間中未検出であったことから、水柱における遊泳細胞が非常に少なかったものと推察された。

高知県浦ノ内湾海域：本年は 6 月に梅雨入りしたものの、降水量は 6 月中下旬が平年より少なく、8 月が平年より多かった。昨年は、*K. mikimotoi* の赤潮が 5 月に発生したが、本年は 7 月に発生しており、例年よりも遅い発生となった。本年は、*K. mikimotoi* の細胞密度が 4~6 月中旬まで低密度で推移しており、冬季のシードポピュレーションが少なく、増殖に不適な環境であったと考えられた。また 5~6 月には *H. circularisquama* の赤潮が発生し、*K. mikimotoi* の増殖を阻害したと考えられた。*K. mikimotoi* 赤潮は 7 月下旬に大規模化し、7 月末に急激に減少して終息した。その後 8 月には *Chattonella* spp. が増殖して赤潮化したものの、小規模であった。栄養塩濃度は、表層を除く深度層において 8 月に減少しており、7 月下旬の大規模な *K. mikimotoi* 赤潮によって消費されたものと考えられた。一方、8 月に表層の栄養塩濃度は降雨により上昇したが、これに伴う表層塩分の低下が成層強度を高めることとなり、中層への栄養塩供給が少なかったと推察された。これにより、8 月における有害プランクトンの増殖は小規模であったと考えられた。

2) *K. mikimotoi* 高感度監視調査

① 海水中 *K. mikimotoi* の挙動解析

K. mikimotoi 初期細胞の挙動を推定するために、2023 年 1~6 月（愛媛県は 11 月、大分県は 9 月まで）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 2023 年の推定細胞密度を表 6 および図 19, 20, 水柱平均を図 21 に示す。

瀬戸内海西部海域における 2023 年の *K. mikimotoi* 赤潮は、6 月~11 月に豊後水道の愛媛県および大分県海域、7 月~8 月に高知県浦ノ内湾、8 月~10 月に広島湾海域および周防灘山口県海域においてそれぞれ確認された。*K. mikimotoi* 赤潮が発生した海域において本種遺伝子の挙動と比較した結果、まず、6 月に赤潮が発生した豊後水道海域においては、大分県海域では 2 月から検出され、その後 5 月に未検出になったものの 6 月までやや増加傾向であったが、赤潮発生時期の 7 月に著しく増加し、8 月まで高値を維持した（O9 : N.D.~6.19 cells/mL）。また、愛媛県海域においても 1 月から検出され、断続的に未検出の時期が

出現したのち 6 月まではほぼ一定の検出量であったが、7 月の赤潮発生時には著しく増加した。その後 8 月以降は検出量は低下した (E4: N.D.~66.0 cells/mL, E9: 0.001~252 cells/mL)。一方、同じ豊後水道海域でも本種赤潮が発生しなかった宿毛湾では、大分県や愛媛県と同様に 1 月から検出されたが、6 月下旬には未検出となった (KS: N.D.~0.017 cells/mL)。次に、7 月に本種赤潮が発生した高知県浦ノ内湾においては、1 月には *K. mikimotoi* 遺伝子が未検出であったが、2 月~3 月にわずかに検出され、4 月には再度未検出となった (KU: N.D.~0.001 cells/mL)。8 月に *K. mikimotoi* 赤潮が発生した周防灘の山口県海域では、1 月から本種遺伝子が検出され、その後検出量は増加し、6 月には 10 cells/mL 以上の数値が検出された (Y4: 0.013~19.5 cells/mL)。一方、周防灘海域で赤潮発生が見られなかった福岡県と大分県の調査地点では、1 月~3 月の冬季には未検出であったが、4 月から検出され、夏季に向かって検出量は増加し、大分県海域では 8 月には 88 cell/mL を超える検出量となった (F11: N.D.~8.81 cells/mL, O13: N.D.~88.1 cells/mL)。同じく 8 月に本種赤潮赤潮が発生した広島湾では、2 月に比較的高濃度の遺伝子量が検出されたが、4 月と 5 月は未検出になり、赤潮発生約 2 か月前の 6 月には高濃度の遺伝子量が検出された (水柱平均値, H3: N.D.~0.870 cells/mL)。

その他の海域においては、大分県別府湾海域では豊後水道の大分県海域と同様に 2 月から本種遺伝子が検出され、夏季~秋季に向けて検出量は増加したが、1 cell/mL は超えなかった (O3: 0.002~0.656 cells/mL) (図 20)。

瀬戸内海西部海域において 2018 年から 2023 年まで実施した *K. mikimotoi* 遺伝子モニタリングの連続データを図 22 に示す。昨年度まで実施したモニタリングの結果 (上村ら 2023) と同様に、今年度も各海域において 1~4 月に本種の遺伝子が海水中から検出されており、瀬戸内海西部海域には継続的に遊泳細胞がシードポピュレーションとして存在している可能性が示唆された。しかしながら、各海域について詳細に確認すると、周防灘海域においては、冬季~春季の遺伝子検出量の多寡に関わらず、赤潮が発生する年があり、本海域にはシードポピュレーションは常に分布しており、気象や海象が赤潮発生およびその規模に影響をおよぼしている可能性が示唆された。また、豊後水道海域においては、愛媛県および大分県海域のいずれにおいても昨年度までの報告と同様に、冬季に本種遺伝子が検出されたのち春季に減少し、再度増加して赤潮発生につながっている。このことから、春季に一度減少した後、他海域からの流入や休眠細胞の発芽などによる細胞の再加入、夏季の海況、気象などの環境条件などが赤潮形成の要因となる可能性が考えられ、今後詳細な解析が必要である。高知県浦ノ内湾においては、過去 5 年間のモニタリングでは冬季~春季に高値で検出されていたのに対し、今年度は同時期の検出量が低濃度であったが赤潮発生に至っており、浦ノ内湾におけるシードポピュレーションの分布状況や環境要因との関係性を検討する必要がある。

② 高知県浦ノ内湾底質からの *K. mikimotoi* DNA の検出

浦ノ内湾底質からの *K. mikimotoi* DNA 検出の結果、本種 DNA は全調査時期および全地点の底泥から 1cm, 2cm 層の両者において検出され、検出量は 1cm 層で $7.260 \times 10^1 \sim 6.208 \times 10^4$ (平均 1.341×10^4) copies/g 底質, 2cm 層で $1.798 \times 10^2 \sim 1.978 \times 10^4$ (平均 3.386×10^3) copies/g 底質で推移した (図 23)。浦ノ内湾では 2022 年 4 月中旬から *K. mikimotoi* の水中細胞数増加が認められており (上村ら 2023)、その際に地点 1 および 2 では 1cm 層での検出量が高くなったが、それ以外の時期および地点でも継続的に DNA が検出された。

さらに、シスト形成能を有する *Chattonella* spp. および *H. akashiwo* DNA も同様に全調査時期・全地点で継続的に検出された (*Chattonella* spp.: $7.194 \times 10^3 \sim 7.089 \times 10^5$ [平均 2.198×10^5] copies/g 底質, *H. akashiwo*: $2.012 \times 10^2 \sim 1.121 \times 10^7$ [平均 1.225×10^6] copies/g 底質)。以上の結果、および近年の底質中の *K. mikimotoi* シスト様細胞の発見に関する報告(Liu et al. 2020) を考え合わせると、本調査において検出された *K. mikimotoi* DNA の一部は、底質中で休眠するシスト由来である可能性が考えられる。しかしながら、本調査は DNA を検出対象としていることから、底層付近の遊泳細胞、または死んだ細胞等の DNA も検出している可能性がある。今後は、RNA 検出等、生細胞の遺伝子のみを検出できる手法を開発し、底質中の遺伝子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必要がある。

3) 高頻度観測とデータ解析・モデル構築等

図 24 に 2023 年 5 月から 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。本年は、6 月上旬と 7 月上旬にまとまった降雨があり、日照時間は 6 月中旬と 7 月上中旬に一時的に平年より低くなった。珪藻類は 6 月上旬に 10,000 cells/mL 前後で確認されたのち、7 月中旬にかけて数十 cells/mL に減少した一方で、*K. mikimotoi* は 6 月中旬に初認されてから増加し続け、7 月 18 日には 3,380 cells/mL 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 月上中旬には、降雨による表層塩分の低下と DSi (溶存態ケイ素) 濃度の上昇が認められ、競合種である珪藻類が表層から底層にかけて高密度に分布した。7 月上旬には表層の栄養塩濃度が低下する一方で中底層では上昇が認められ、直後に珪藻類が急減した。それと同時に *K. mikimotoi* が急増し、幅広い層で数百 cells/mL 確認されたことから、中底層への栄養塩供給と競合種の衰退が増殖の引き金になったものと考えられる。その後、7 月中下旬に日照時間が増加するとともに、DSi 濃度の上昇が認められ、珪藻類の増殖に適した環境条件になったため、*K. mikimotoi* は衰退したと考えられる。

K. mikimotoi 赤潮の短期予測モデルとして、昨年と同様に、説明変数として予測対象日 7 日前の *K. mikimotoi* 細胞密度のみを使用したモデルを構築した。本モデルの正解率は、昨年 (0.86, $p=0.004$) よりもわずかに低い値 (0.83, $p=0.002$) を示した (本年のテストデータは 2023 年を追加した 2018~2023 年)。2018 年のテストデータにおいては、赤潮発生と判別すべき最初の日を非発生と判別した一方で、日別最大潮位差を説明変数に加えたモデルは、前述のモデルよりもわずかに低い正解率 (0.81, $p=0.008$) を示したが、最初の発生日を正しく判別できていた。また、その次に細胞密度データが赤潮発生 (>1,000 細胞/mL) を捉えていた年は 2023 年であり、日別最大潮位差を説明変数に加えたモデルは、この年の赤潮発生初日も正しく判別できていた。細胞密度のみ、細胞密度と日別最大潮位差を使用したモデルはいずれも赤潮の終息日を予測できていなかったため、本海域における短期予測の高精度化には、今後も継続的なモデル改善が必要である。

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、2023 年度の赤潮発生日は 6 月 24 日、最大細胞密度は 140,518 cells/mL と予測された。今年度の宇和海においては、6 月 21 日に初めての *K. mikimotoi* 赤潮が確認され、最大細胞密度は 180,000 cells/mL であり、発生日と細胞最大密度を適切に予測できた。1997 年から 2023 年にか

ての環境要因スコアと発生日・最大細胞密度との相関解析から、それらに有意相関（発生日との Pearson product-moment correlation: $r = 0.74$, $p < 0.01$, RMSE = 19 日, 最大細胞密度との Pearson product-moment correlation: $r = 0.54$, $p < 0.05$, RMSE = 8,400 cells/mL）が認められた。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>) およ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 = 19 日, 最大細胞密度の RMSE = 8,400 cells/mL）で予測することが可能である。

4) 赤潮発生シナリオと予察技術の検証と改良およ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モデルの改良結果について、使用する環境項目を表 7~13 に、2023 年の予察結果を表 14~20 にそれぞれ示した。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 7, 14）：広島湾では *K. mikimotoi* の最高細胞密度 500 cells/mL 以上の年を「発生日」として解析を行った。2002~2022 年の解析期間で抽出された広島湾海域の赤潮発生に関する項目は表 7 のとおりであった。発生日と非発生日の間で、5%水準で有意差が見られた項目は、昨年度までの解析期間では 168 項目中 5 項目であったのに対し、今回の解析期間では同項目中 13 項目であった。共通して抽出された項目は「4 月底層 DO」と「4 月平均気温」の 2 項目であった。

これらの項目を元に抽出した的中率の高い組み合わせを用いた本年度の判別分析結果を表 14 に示した。本年は *K. mikimotoi* 赤潮発生日であったが、的中率上位 24 通りの組み合わせのうち、66.7%が「非発生日：×」、33.3%が「どちらとも区別できない年：△」となり、赤潮発生と予察結果が合致した組み合わせは無かった。このため、本年の赤潮発生の予察はできなかったと考えられた。

山口県徳山湾海域（表 8, 15）：徳山湾では、*K. mikimotoi* 最高細胞密度が 1,000 cells/mL 以上の年を「発生日」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表 8 のとおりであった。前回の解析期間と比較すると、判別に使用される項目のうち、「前年 10 月底層塩分」、「5 月中旬表層 DO」、「6 月中旬底層 DO」が外れ、「前年 10 月中層水温」、「前年 10 月表層塩分」、「前年 11 月上旬日照時間」、「前年 11 月下旬日照時間」が加わった。また、「前年 11 月表層塩分」、「前年 11 月中層塩分」、「1 月中旬日照時間」が前期事業との共通項目として抽出された。これらの項目からの的中率の高い組合せを求めた。

今回抽出した項目は、前年 10 月の中層で水温が高いことで、*K. mikimotoi* 越冬細胞の減少を抑えるという点において、徳山湾における *K. mikimotoi* 赤潮発生シナリオと一致した。本項目については、近年暖秋の傾向であり、データが蓄積されたことによって抽出された可能性が考えられる。

新たな環境項目を用いた本年度の判別分析結果を表 15 に示した。本年は、*K. mikimotoi*

赤潮の発生年となったが、「前年 10 月中層水温」、「前年 10 月表層塩分」の調査データが欠測のため、今回作成した予察モデル 7 通りのうち 5 通りで判別分析が不可能となった。なお、残り 2 通りのうち 1 通りでは「発生年」、1 通りでは「非発生年」と予察された。

福岡県周防灘海域（表 9, 16）：周防灘福岡県海域では、*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。2002～2022 年の解析期間で抽出された周防灘福岡県海域の赤潮発生に関する環境項目は表 9 のとおりであった。前回の解析期間と比較すると、判別に使用される項目のうち、「4 月表層 DIP」、「4 月底層 DIP」、「4 月上旬気温」、「5 月中旬気温」、「7 月 5 m 層水温」が外れ、「4 月上旬降水量」、「6 月 0 m 層 DIP」、「6 月中旬降水量」、「6 月下旬気温」、「6 月下旬日照時間」、「7 月底層水温」が加わった。また「4 月上旬日照時間」、「5 月 5 m 層塩分」、「5 月底層塩分」、「6 月 5 m 層 DIP」、「6 月底層 DIP」が前期事業との共通項目として抽出された。これらの項目からの的中率の高い組合せを求めた。

今回抽出した項目は、4 月上旬の日照が少ない（＝4 月上旬の降水量が多い）ことで *K. mikimotoi* のシードが生き残りやすい、6 月の中～底層で水温が低く DIP が高いと、鉛直移動できる *K. mikimotoi* が増殖しやすい、という福岡県周防灘での *K. mikimotoi* 赤潮発生シナリオにおおむね合致した。また長期予察に向くモデルとしては、前回に引き続き「5 月 5 m 層塩分と 4 月上旬日照時間」の組み合わせが抽出された。今回外れた 4 月、5 月の気温は近年春季の高温傾向が常態化していることから、これらを用いた判別分析の精度が低下した可能性がある。全体的に見ると判別率も向上し、データの蓄積と説明変量の入替による予察の精度向上が見込まれた。

新たな環境項目を用いた本年度の判別分析結果を表 16 に示した。本年は *K. mikimotoi* 赤潮の非発生年となったが、今回作成した予察モデル 13 通りのうち 9 通りで「非発生」の予測となりおおむね的中した。一方「6 月下旬日照時間」を含む全ての組み合わせ（3 通り）が発生を予測し非的中となった。6 月下旬に *K. mikimotoi* の増殖に好適な低日照環境となったものの、6 月以前の段階では *K. mikimotoi* の赤潮化リスクが低い環境条件であったことと、6 月の DIP が低かったことから赤潮化に至らなかったと考えられた。

大分県周防灘海域（表 10, 17）：周防灘大分県海域では、*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。2002～2022 年のデータを解析した結果、周防灘大分県海域において赤潮発生に関する環境項目は表 10 に示したとおりであった。前期事業の解析期間（2002～2017 年）と比較すると、「7 月最大風速」、「1 月表層塩分」の項目が除外され、「1 月気温」、「7 月 5 m 水温」および「7 月表層 DIN」が項目に加わった。前期事業と共通で抽出された環境項目は、「5 月表層水温」、「5 月 5 m 水温」および「7 月分布指標（10 cells/mL）」であった。これらの項目からの的中率の高い組合せを求めた。

今回抽出された環境項目のうち「5 月表層水温」および「7 月分布指標（10 cells/mL）」は、5 月の表層水温が低く、7 月分布指標（10 cells/mL）が高いと *K. mikimotoi* の赤潮が発生しやすいという周防灘大分県海域での赤潮発生シナリオにおおむね合致した。また、前期事業に引き続き、「5 月表層水温と 7 月分布指標（10 cells/mL）」の組合せが抽出された。しかし、的中率は 94%から 85.7%に低下した。低下要因は、追加データ（2018～2022 年）の 7 月分布指標（10 cells/mL）の値が 2002～2017 年と比較して、非常に低い値であることに加えて、追加データ（2018～2022 年）の発生年（35,000～36,800 cells/mL）と非発生年

(26~89 cells/mL) の間で7月分布指標 (10 cells/mL) の値の差が小さいため、的中率が低下した可能性がある。なお、全体的に的中率は高くなっており、データの追加により予察精度は向上したと考えられる。

今回抽出された環境項目を用いて、2023年度の判別分析を行った結果を表17に示した。今回の予察モデル4通りのうち、「5月表層水温 と7月分布指標 (10 cells/mL)」、「1月気温と5月5m水温」の2通りで「非発生」と予測し、今年度の非発生 (1,000 cells/mL 未満) を的中した。特に、前者の組合せは前期事業と共通の組合せであり、予測において重要な項目であることが考えられる。残りの2通りは、「発生」、「中間」と予測し非的中となった。なお、今年は5月の表層水温が平年よりも高めであったこと、7月分布指標 (10 cells/mL) の値が低かったことから、赤潮発生年にならなかったと考えられる。

大分県佐伯湾海域 (表11, 18) : 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。佐伯湾の赤潮発生予察に関して、前回の2002~2017年の解析で抽出された環境項目と、今回新たに行った2002年~2022年の解析で抽出された環境項目の比較を表11に示した。前回の抽出項目と比べ、新たに「2月表層水温」、「3月表層水温」および「8月表層塩分」の環境項目が抽出された。また、「3月降水量」、「3月日照時間」および「1月表層水温」は前回の解析と同じく抽出された。これらの項目からの的中率の高い組合せを求めた。

本年度の判別分析結果を表18に示した。今年、佐伯湾では9月下旬に最高密度3,275 cells/mLの*K. mikimotoi* 赤潮が発生したため、「発生年」とした。抽出された環境項目の組み合わせ15通りのうち、3通りで「非発生」、9通りで「発生・非発生のどちらも区別できない」、3通りで「発生」と予測された。的中した3通りの組み合わせの環境項目は、「3月の降水量」と「2月の表層水温」、「3月の表層水温」、「3月の日照時間」であり、2月と3月の環境項目が赤潮発生に関与していると考えられた。また、「3月の降水量」は、的中した3通りの項目のうち、2通りに含まれており、かつ、前回の抽出項目にも含まれていたことから、赤潮発生予察のデータとして有意であると考えられる。今回の解析では的中率が低かったため、今後は環境項目を増やして解析することを検討する必要がある。

愛媛県岩松湾海域 (表12, 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。2002~2022年の解析期間で抽出された赤潮発生に関する環境項目は表12のとおりであった。

今回の解析では、2~3月の気象や海象に関する項目が多く抽出され、気温や水温が低いと赤潮が発生しやすい傾向がみられた。これは、冬季に温暖な気候が形成されると初期個体群の生残率が向上して赤潮が発生しやすくなるという、これまでの赤潮発生シナリオと異なる解析結果となった。また、前回の解析から継続し、2月平均風速が強く、4月下旬5m層水温が高いと赤潮が発生しやすい傾向がみられた。西に開けた宇和島湾では、冬季の西風によって海水交換が弱まり、湾内に本種の初期個体群が維持されやすくなる可能性が指摘されている (Shikata et al. 2022)。宇和島湾と同様に西に開けた岩松湾では、冬季の北西風が強いと湾内の個体群が維持され、春季の水温上昇に伴い増殖が早まることで、赤潮の発生が促進されると考えられる。

新たな環境項目を用いた本年度の判別分析結果を表19に示した。本年は*K. mikimotoi* 赤潮の発生年となったが、今回作成した16通りの予察モデルのうち14通りで「発生」、2通

りで「発生・非発生のどちらとも区別できない」と予測され、概ね的中する結果となった。発生を的中させた 14 通りの予察モデルのうち、9 通りに「6 月中旬平均気温」が、3 通りに「4 月下旬 5 m 層水温」が含まれていることから、特に晩春や初夏の温暖な環境により赤潮の発生が促進されたと考えられる。

高知県浦ノ内湾海域（表 13, 20）：浦ノ内湾では、*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。今期（2002～2022 年）の解析期間で抽出された海域の赤潮発生に関する環境項目は表 13 のとおりであった。前期（2002～2017 年）と共通する項目および説明変量の組み合わせは抽出されなかった。当該海域では、「発生年」が解析期間中の多くを占めており（発生年；18 年，非発生年；3 年），赤潮発生に偏った予測手法になっていることが懸念される。このため，発生年における説明変量の値ばかりが多様となり，非発生年との差が不明瞭になっている可能性が考えられた。

新たな環境項目を用いた本年度の判別分析結果を表 20 に示した。本年は *K. mikimotoi* 赤潮の発生年となり，今回作成した予察モデル 10 通りのうち 9 通りで「発生」，1 通りで「発生年・非発生年のどちらとも区別できない」と予測された。前期事業 5 か年（2018～2022 年）でも，すべての期間および組み合わせが「発生年」または「発生年・非発生年のどちらとも区別できない」のどちらかに予測された。今期事業の解析期間は 2002～2022 年へと更新されたが，依然「非発生年」は増えておらず，3 か年と少ないままである。このため，本予察モデルからは「非発生年」を予測することは困難であることが伺える。さらに，前期予察モデルと共通する説明変量の組み合わせがなかったことから，予察結果の解釈もより困難になると考えられる。一方で，今期の予察モデルの組み合わせに含まれる「4 月下旬および 6 月下旬の降水量」と「3 月中旬の気温」は，冬季におけるシードポピュレーションの増殖に関与している可能性があり，今後注視していく必要があると考えられた。

まとめ：旧予察モデルでの 5 ヶ年間の中率と新たに構築した予察モデルの本年度的中率を表 21 に示した。なお本表は「◎」（発生と予察し発生した場合と，非発生と予察し非発生だった場合）のみを的中として予察的中率を求めたものである。前期事業において各海域で構築した予察モデルでは的中率の低下が認められたものの（上村ら 2023），今回新たに構築した予察モデルでは，広島県広島湾と大分県佐伯湾を除き中率が向上した。また抽出された環境因子を見ると，浦ノ内湾を除いて旧予察モデルと共通する項目が複数抽出されており，浦ノ内湾でも「4 月降水量」と「4 月下旬降水量」のように類似する項目が抽出されている。前期事業に引き続いて抽出された共通項目を含む予察モデルに限ればその的中率は更に高まることから（表 21），こうした共通項目は *K. mikimotoi* の赤潮化に特に関係が深い環境因子である可能性が伺えた。また新たに抽出された環境因子にも今後注目していく必要がある。

赤潮盛期より数ヶ月以上前の環境因子を用いた長期予察では，予察対象海域で「地場発生型」の赤潮を引き起こす，冬季～春季のシードポピュレーションの生残に基づく予察を行っている可能性が高い。このため，赤潮盛期よりかなり前の環境因子によって地場発生を否定する予察が行われた場合でも，他海域から移送されたシードポピュレーションを起源として赤潮が発生すれば的中率が下がることが想定される。実際に豊後水道では移送型の赤潮の発生が報告されており（宮村ら 2005），本年度とりまとめたデータを元に，自海域へのシードポピュレーションの供給源となり得る隣接海域の長期予察結果の活用や，隣

接海域のデータなど広域のデータを用いた長期予察の実施，短期的な予察の検討など，予察精度の向上および被害軽減につながる取組を今後も検討していく必要がある。

② 赤潮が発生した際の一連の対策方法（行動計画）の検討

瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域グループ各県における，赤潮発生時の行動計画に関するアンケート調査を実施した結果を表 22 に示した。本グループ各県は海域によって地形や産業構造に様々な特徴的違いがあるが，いずれの県においても赤潮発生時の連絡・対応手順等が設定されていた。当グループ海域では 70 年代以降継続的に赤潮による漁業被害が発生しており，各県においてその経験に基づいた対応手順が構築されてきたものと思われる。

アンケート結果に基づき，今年度は赤潮情報発出基準の集約を行った。主要赤潮原因種の各県における赤潮注意／警戒情報の発出基準となる細胞密度を図 26 に取りまとめた。*K. mikimotoi* の赤潮注意／警戒基準は概ね数百／数千 cells/mL オーダーであり，愛媛県ならびに大分県では魚貝類の種に基づいた詳細な基準が設定されていた。*Chattonella* spp. の赤潮注意／警戒基準は概ね数十／100 cells/mL 程度であった。山口県においては *Chattonella* spp. 内の種によって詳細な基準が設定されていた。*C. polykrikoides* については海域や魚種によって基準が異なっていたが，警戒情報は全体的に概ね数百～1,000 cells/mL であった。*H. akashiwo* の赤潮注意／警戒基準は海域による違いは少なく，5,000／50,000 cells/mL であった。上記 4 種を通し，大分県ではマグロに対する注意／警戒基準が他魚種の 1/10 量という基準が設けられていた。*H. circularisquama* の赤潮注意基準は大分県周防灘，広島県ならびに山口県においていずれも 50 cells/mL であり，警戒基準はそれぞれ 1,000，500 ならびに 1,000 cells/mL であった。また，愛媛県ならびに高知県では警戒基準のみ設定されており，それぞれ 100 cells/mL ならびに 50 cells/mL であった。その他の種については，愛媛県のみ *Gonyaulax polygramma* の赤潮警戒基準が設定されており，その基準は 10,000 cells/mL であった。また，福岡県や高知県では海域の着色や魚貝類の異常，斃死などの報告に基づいて細胞数によらない赤潮注意／警戒情報の発出が行われる例もあるとの回答であった。

赤潮注意／警戒情報の発出基準の設定には，各海域における漁業産業構造が大きく影響を与えているものと推察される。そのため，養殖業が盛んな海域や，赤潮に対する感受性の高い魚介類を多く取り扱う海域では，実情に応じてより詳細な基準設定がなされているものと思われる。赤潮情報の発出基準を決定する際には行政部局や漁業関係者の理解が必要であることから，その根拠として当海域でとりまとめた基準値が一つの参考になると思われる。今後，本グループ以外の情報も集約されることで，より実態に即した省力的かつ効果的な赤潮に対する行動計画が構築される事が期待される。

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および予察技術開発 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および予察技術開発 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.
- 茅野昌大, 吉村栄一, 馬場俊典, 畑間俊弘, 加川真行, 相田 聡, 村田憲一, 後川龍男, 恵崎 撰, 宮村和良, 野田 誠, 内海訓弘, 徳丸泰久, 都留勝徳, 平井真紀子, 三門哲也, 関信一郎, 上村海斗, 占部敦史, 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および予察技術開発 イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域. 令和3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. 2022 ; 57-118.
- 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.
- 宮村和良, 三ヶ尻孝文, 金澤 健. 2003年大分県臼杵湾沿岸に発生した有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* 赤潮の出現特性. 水産海洋研究, 2005 ; **69** : 91-98.
- 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* および *Heterosigma akashiwo* 定量法の検討. 九州大学大学院農学研究大学院学芸雑誌, 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. 宇和島湾およびその周辺海域における有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* の出現特性: 赤潮発生年と非発生年の比較. 日本水産学会誌, 2021 ; **87** : 144-159.
- Shikata T, Onitsuka G, Shono H, Hirai M, Inokuchi D, Miyamura K. Meteorological factors influencing the timing and magnitude of bloom by the noxious dinoflagellate *Karenia mikimotoi* in two bays of the Bungo Channel. *JARQ* 2022; **56**: 189-198.
- Sverdrup HU, Johnson MW, Fleming RH. The Oceans: Their physics, chemistry, and general biology. Prentice-Hall, New York. 1942.

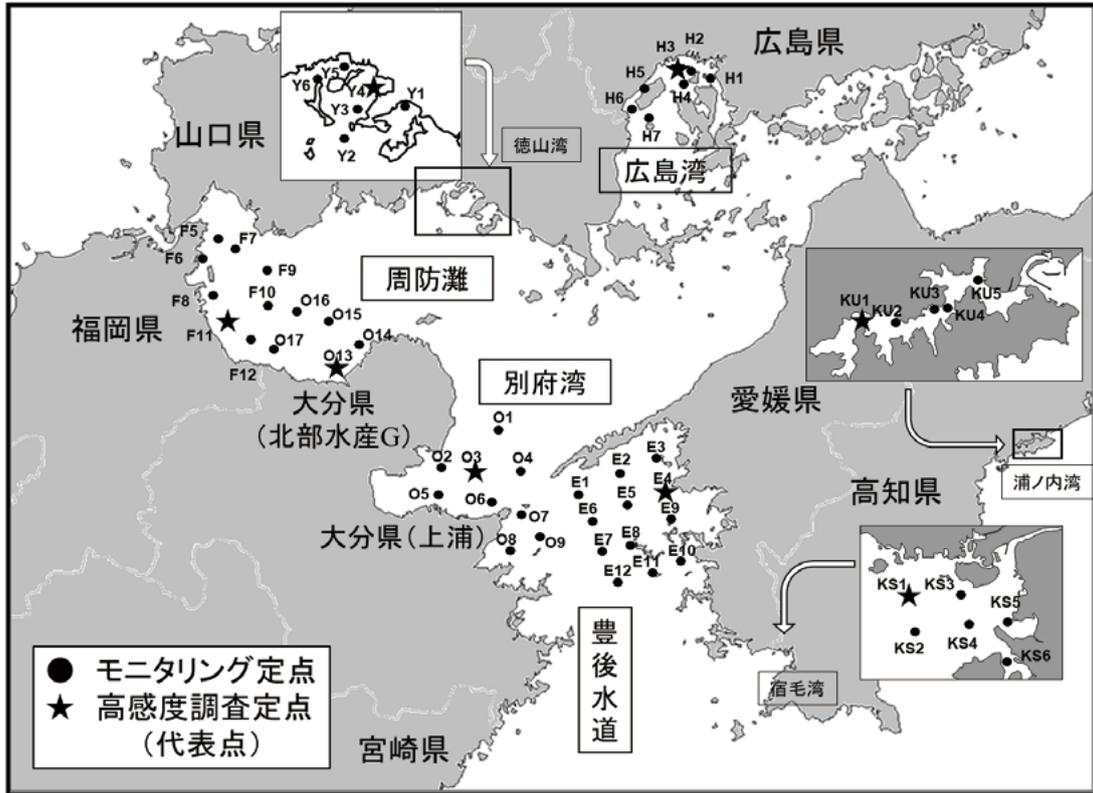


図1 モニタリング調査，高感度調査の定点

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	14
	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)
検鏡対象プランクトン	DO	○	○	○	○	○	○	○	○
	<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>	○	○	○	○	○	○	○	○
PCR解析対象プランクトン	珪藻類	○(表層のみ)	○(代表点)	○	○(代表点)	○(代表点)	○	○(代表点)	○
	<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 <small>(アセトン抽出蛍光法)</small>	○	○	○	○			○
	DMF抽出蛍光法					○	○	
DO	ウィンクラー法				○	○	○	
	溶存酸素計	○	○	○				○

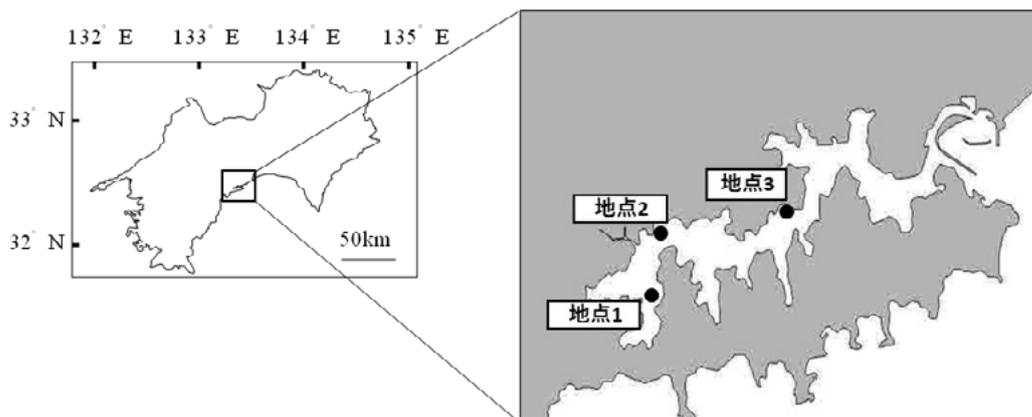


図 2 浦ノ内湾における底質調査地点



図 3 宇和島湾内の調査定点 (◇は重点調査点 U6) および気象観測所 (○は気象庁宇和島特別地域気象観測所)

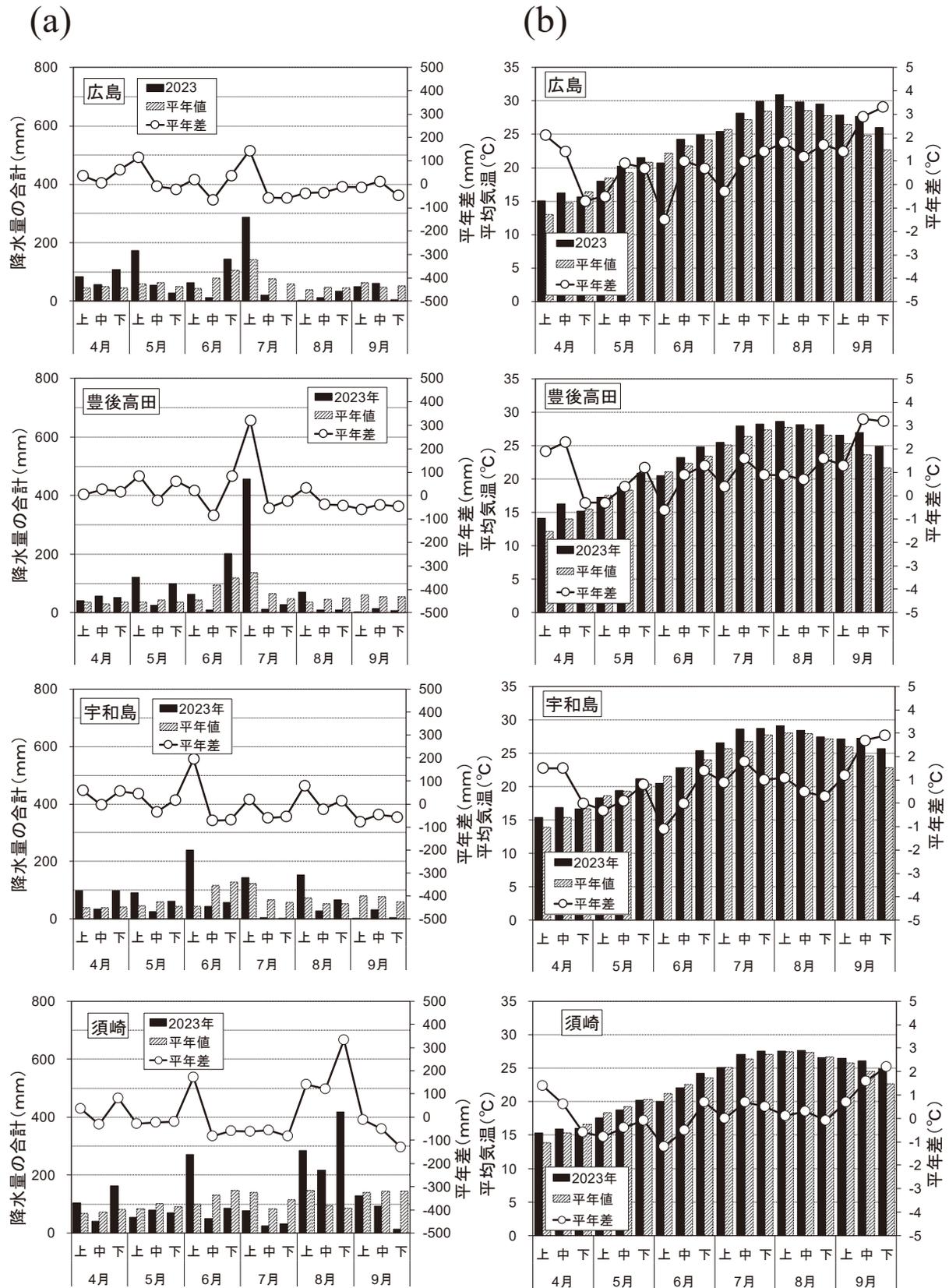


図4 旬別の(a)合計降水量, (b)平均気温, 各項目の平年値および平年差の推移

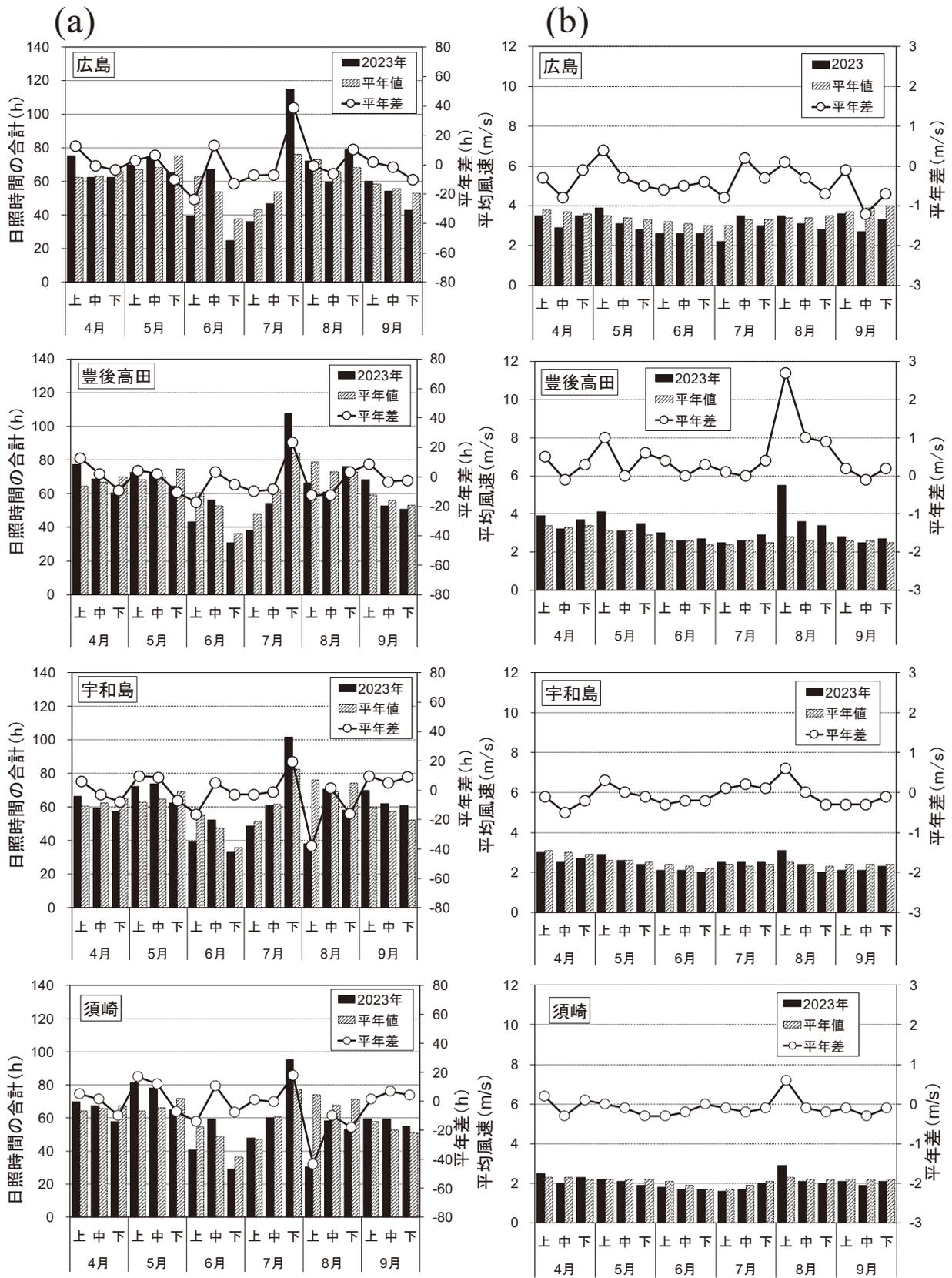


図5 旬別の(a)合計日照時間, (b)平均風速, 各項目の平年値および平年差の推移

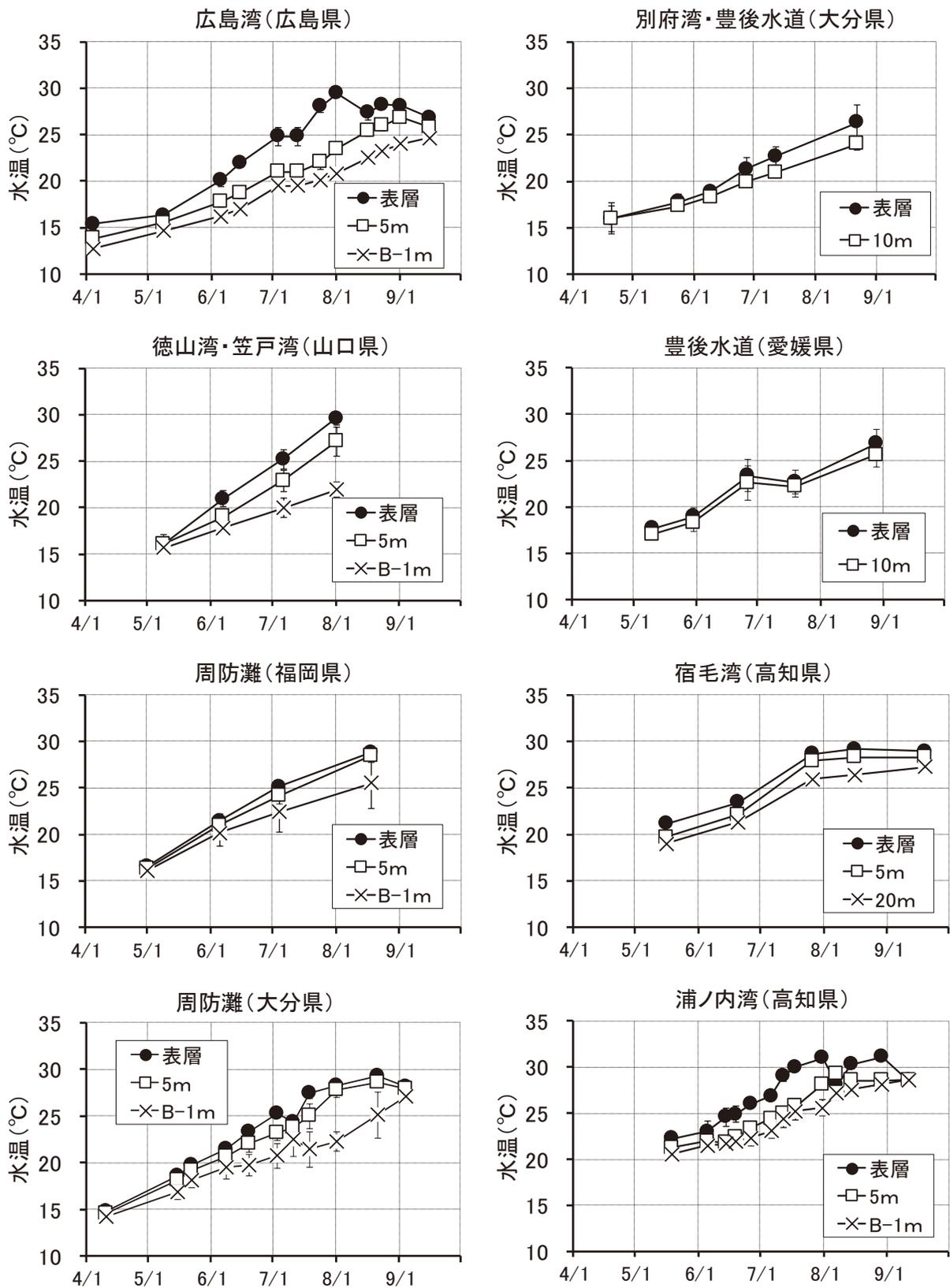


図6 各県海域における水温(平均値)の推移
(縦バーは標準偏差)

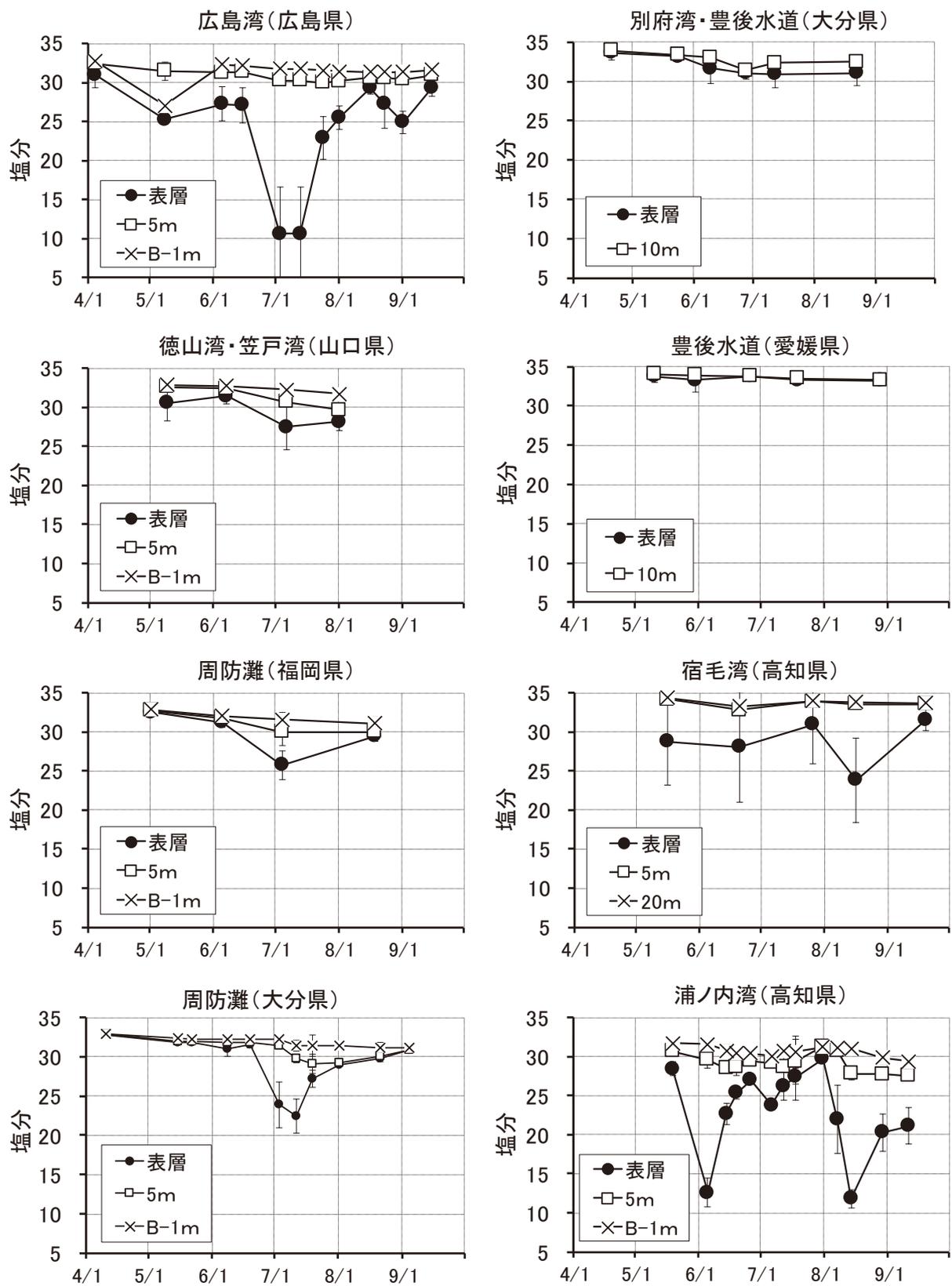


図7 各県海域における塩分（平均値）の推移
（縦バーは標準偏差）

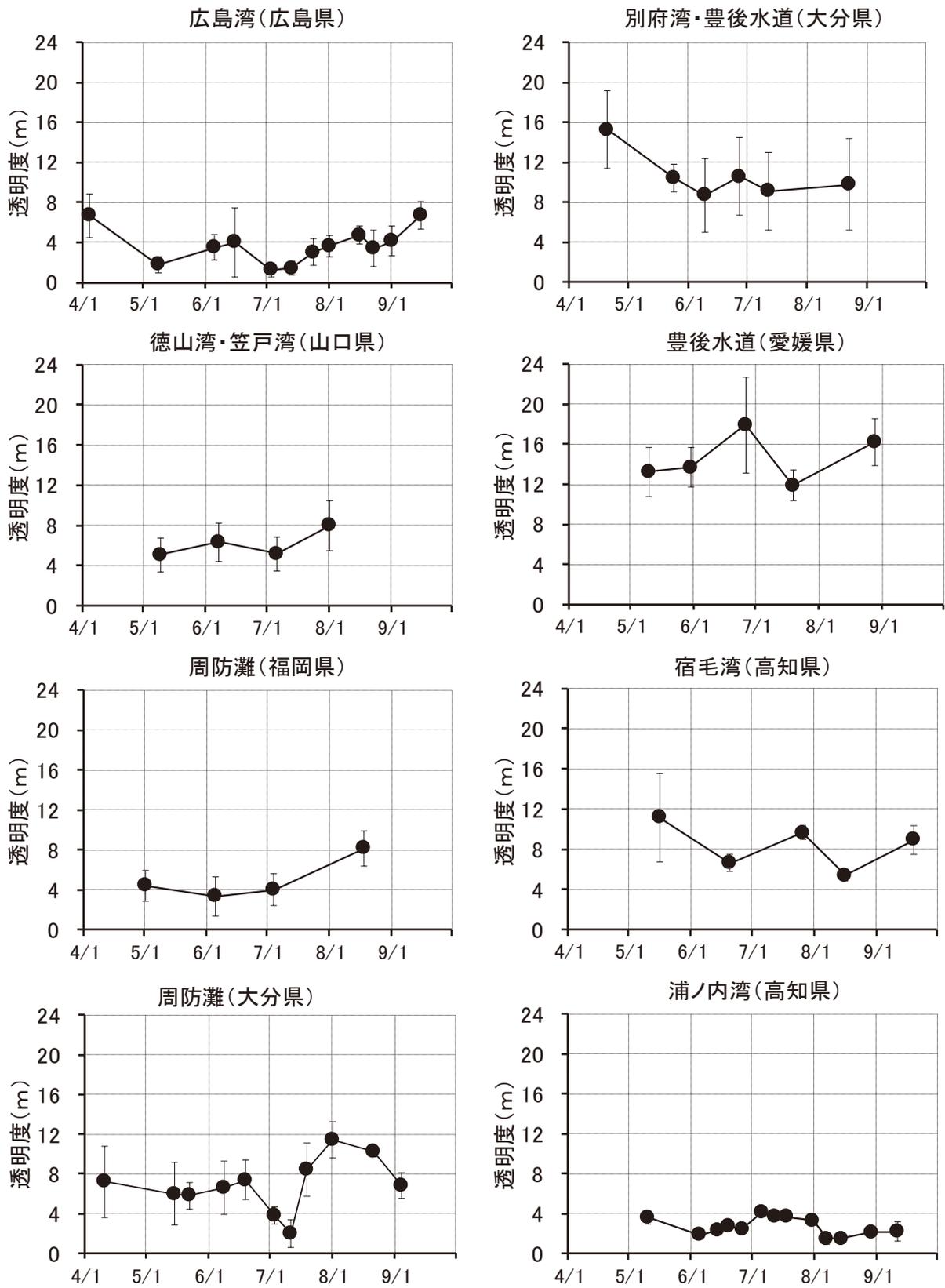


図8 各県海域における透明度（平均値）の推移
（縦バーは標準偏差）

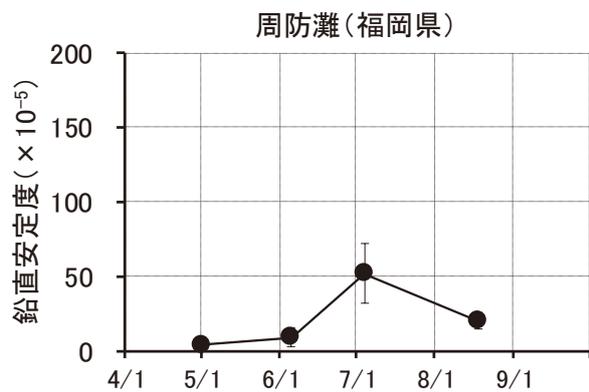
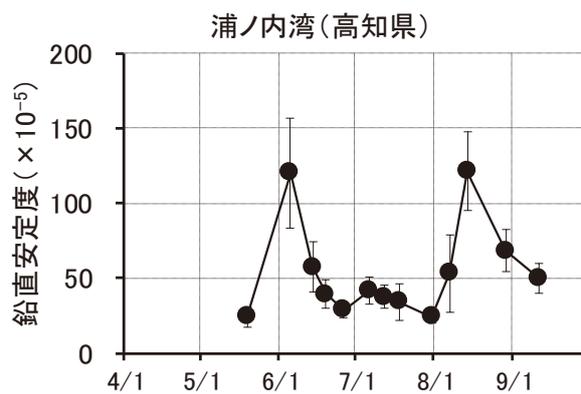
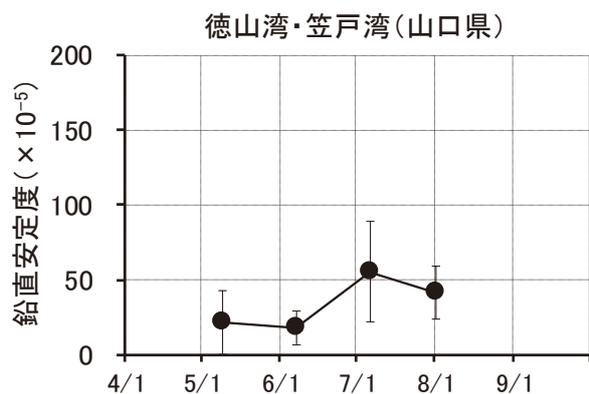
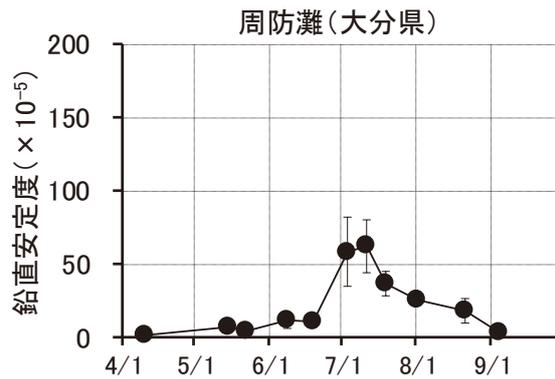
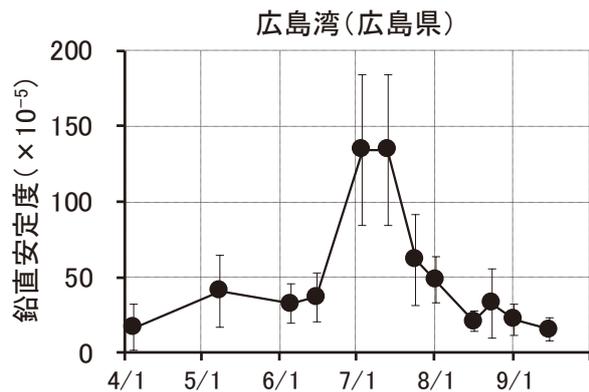


図9 広島湾, 徳山湾・笠戸湾, 周防灘, 浦ノ内湾における鉛直安定度(平均値)の推移(縦バーは標準偏差)

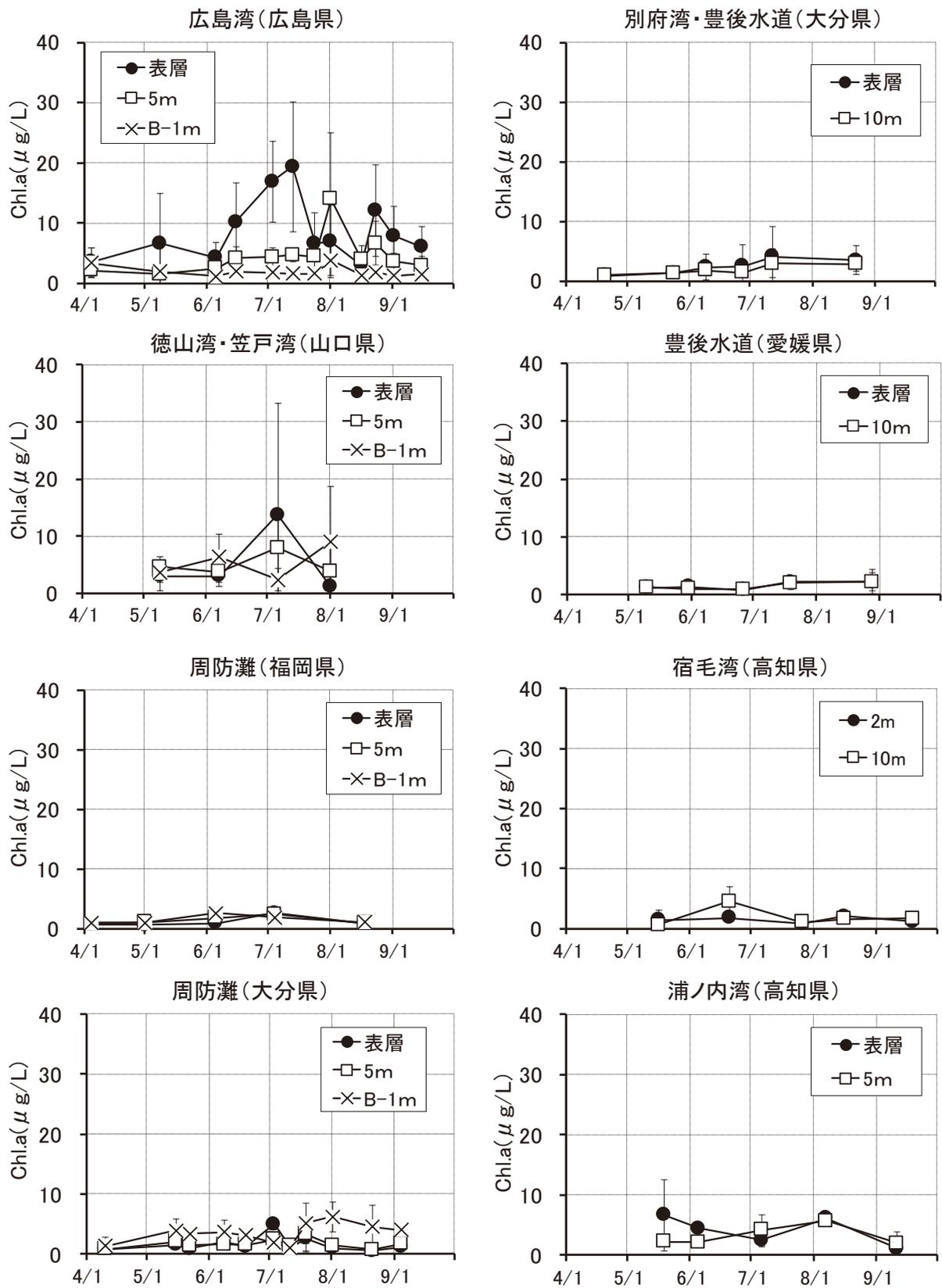


図 10 各県海域におけるクロロフィル a (平均値) の推移
(縦バーは標準偏差)

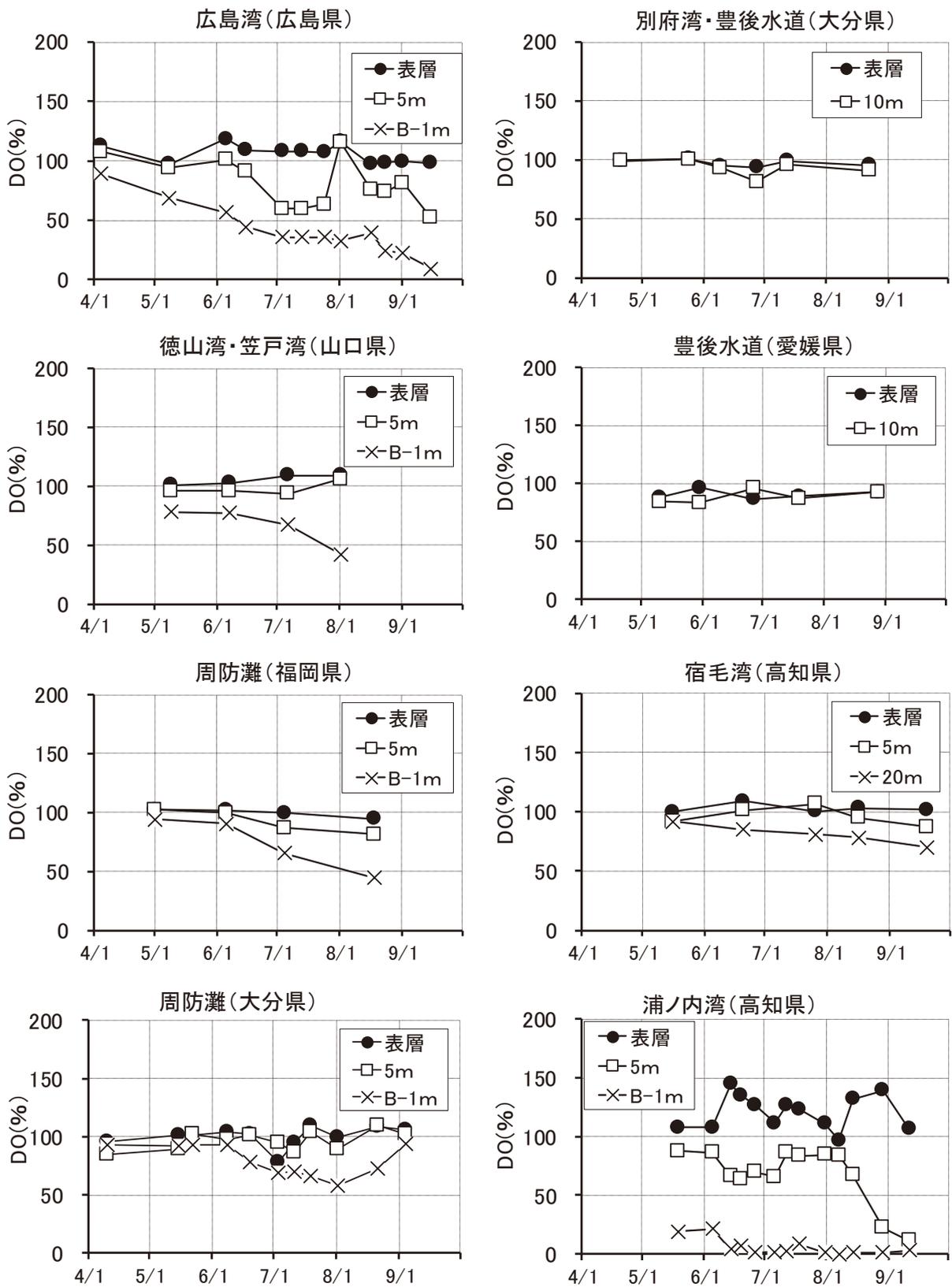


図 11 各県海域における DO (最低値) の推移
(縦バーは標準偏差)

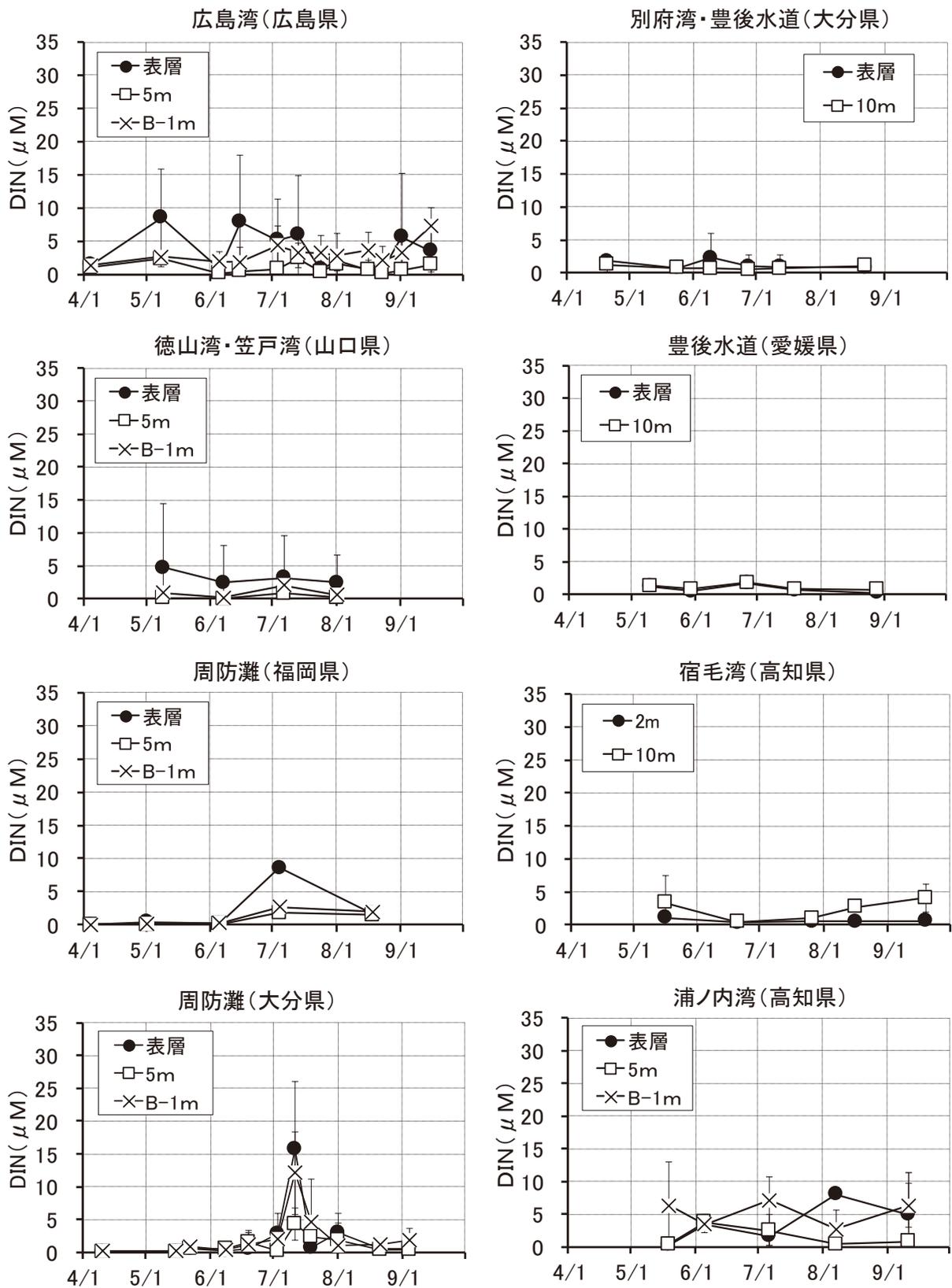


図 12 各県海域における DIN (平均値) の推移
(縦バーは標準偏差)

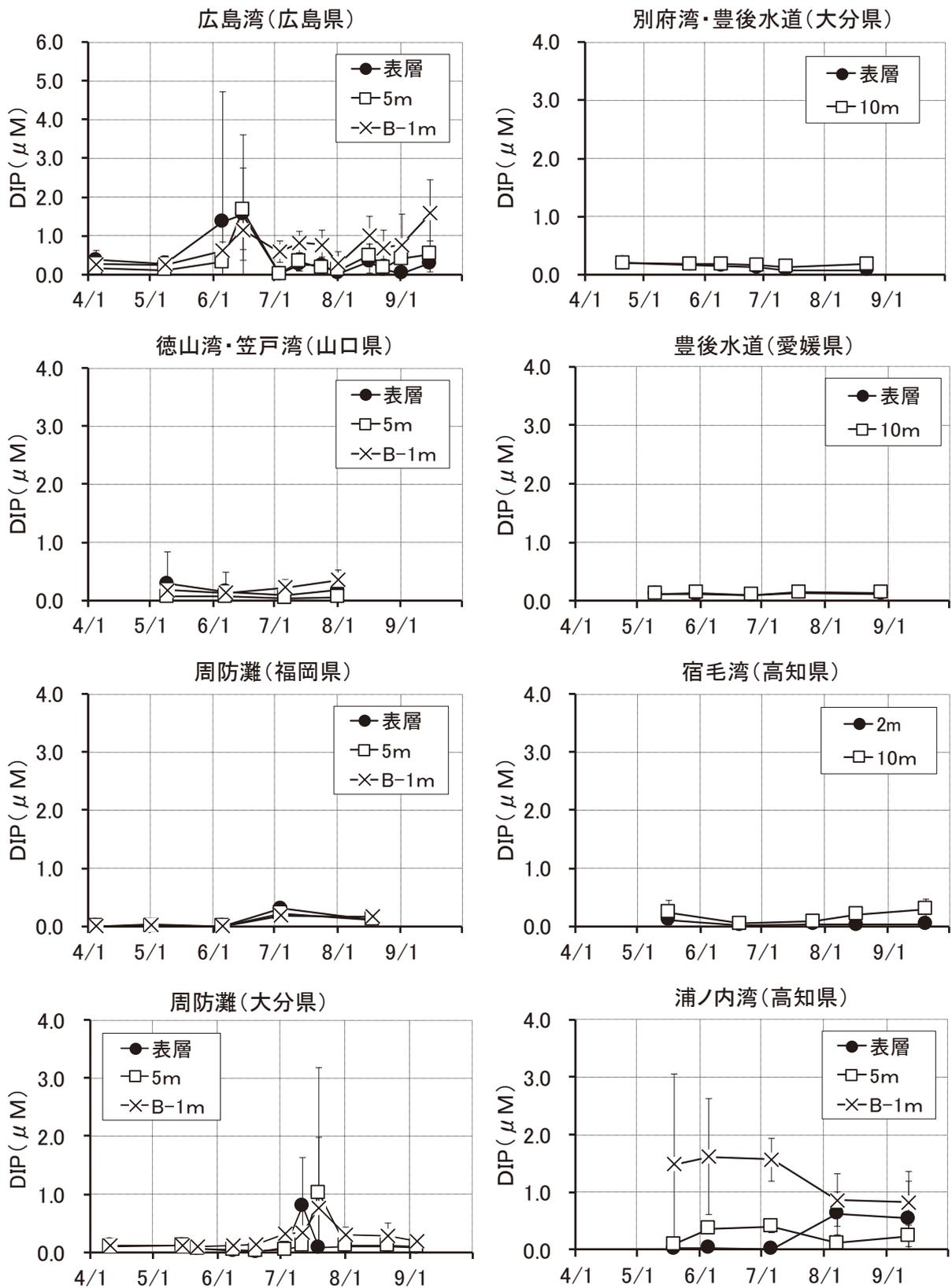


図 13 各県海域における DIP (平均値) の推移
(縦バーは標準偏差)

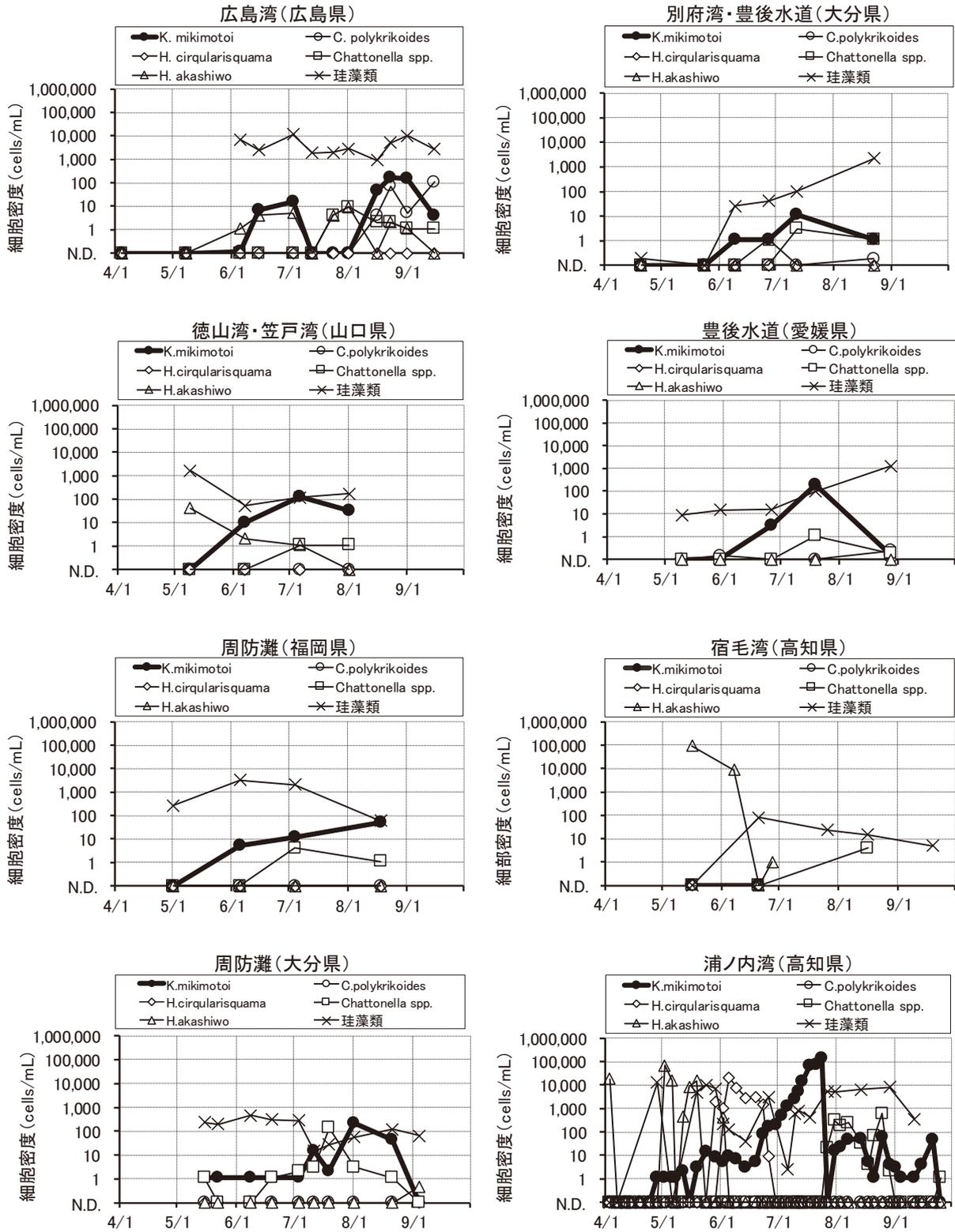


図 14 各県海域におけるプランクトン密度の推移
(有害種は最高密度，珪藻類は平均密度)

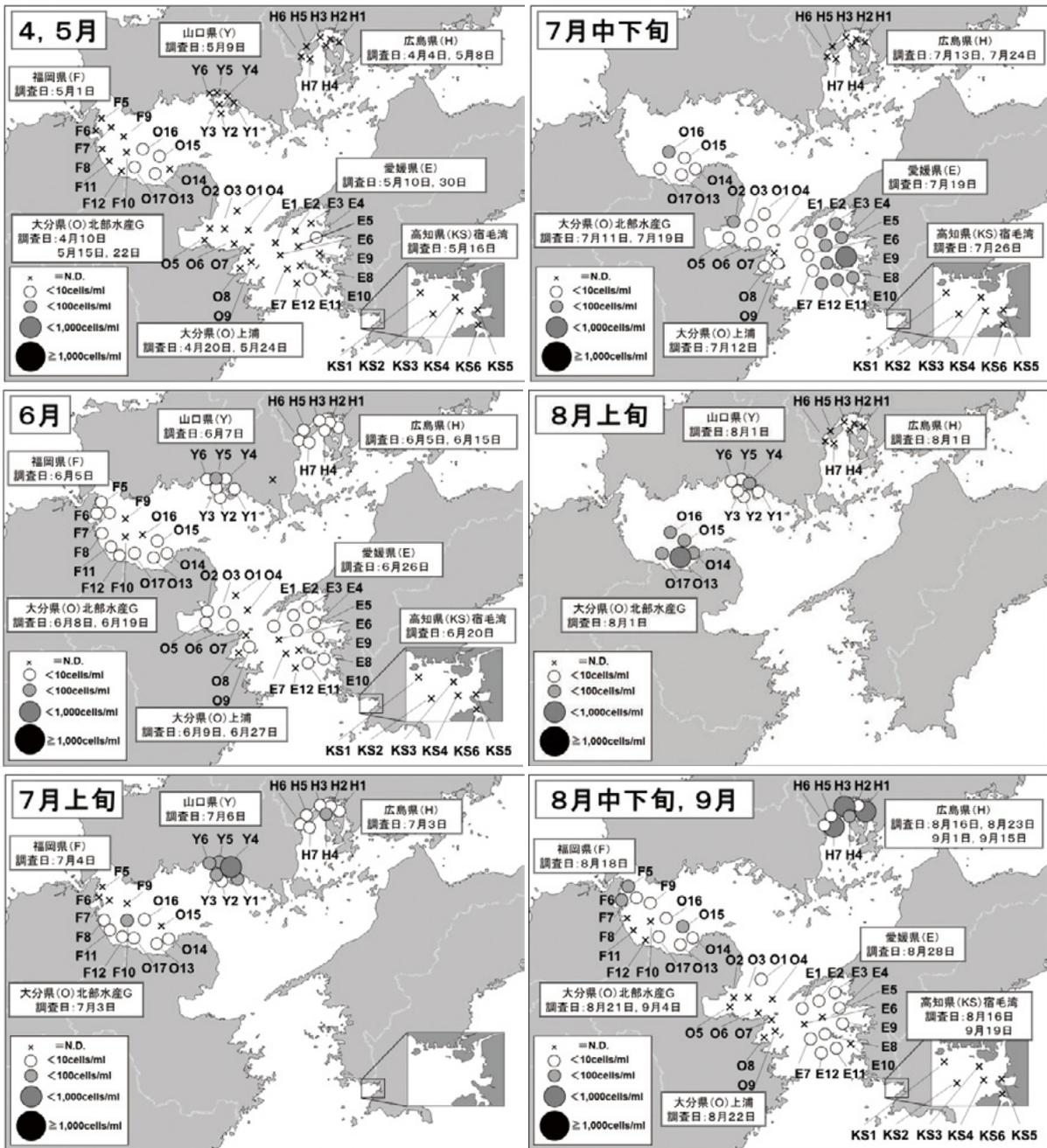


図 15 *Karenia mikimotoi* 細胞密度の水平分布
(広島湾, 徳山湾・笠戸湾, 周防灘, 別府湾, 豊後水道, 宿毛湾)

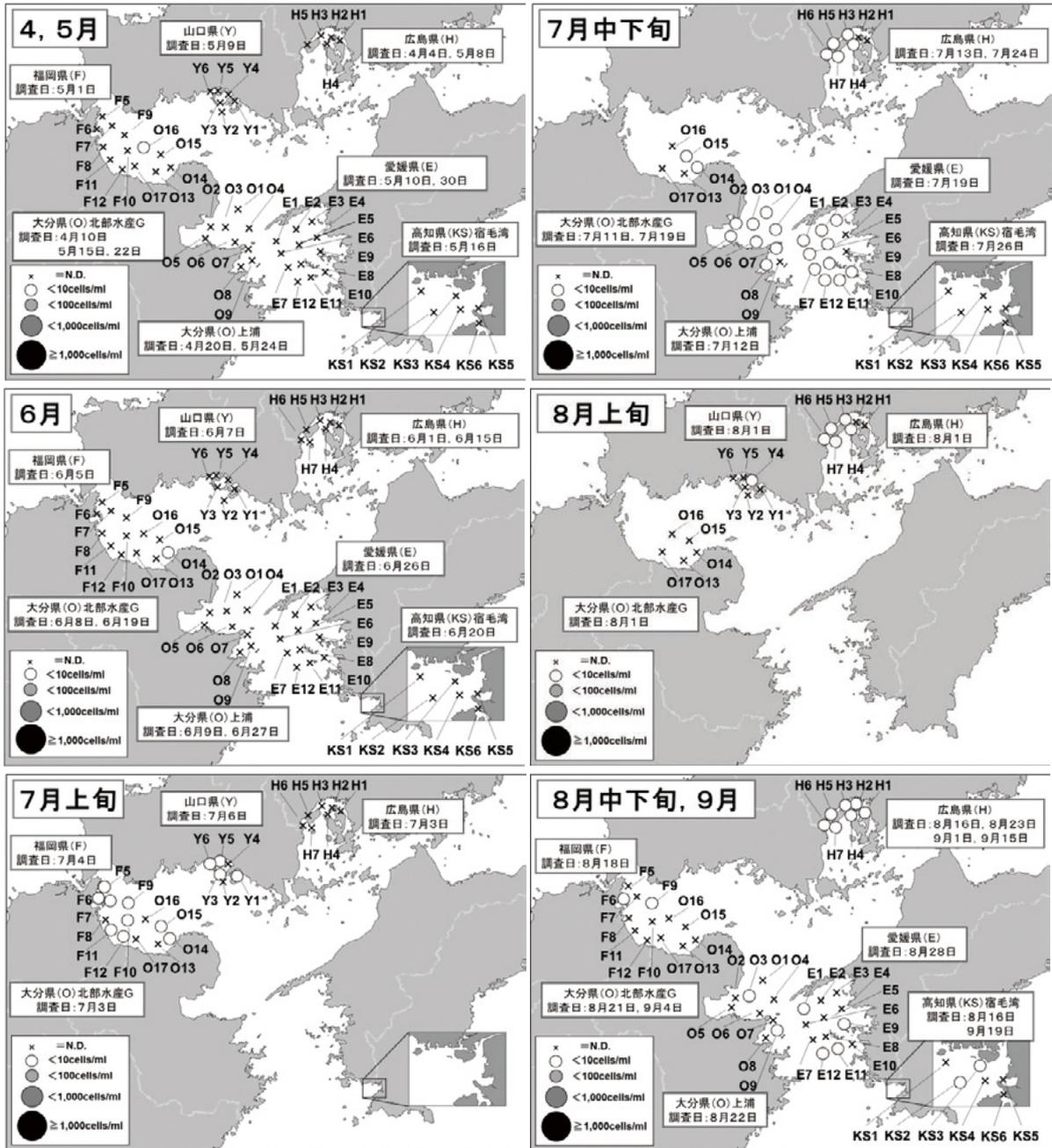


図16 *Chattonella* spp.細胞密度の水平分布
(広島湾, 徳山湾・笠戸湾, 周防灘, 別府湾, 豊後水道, 宿毛湾)

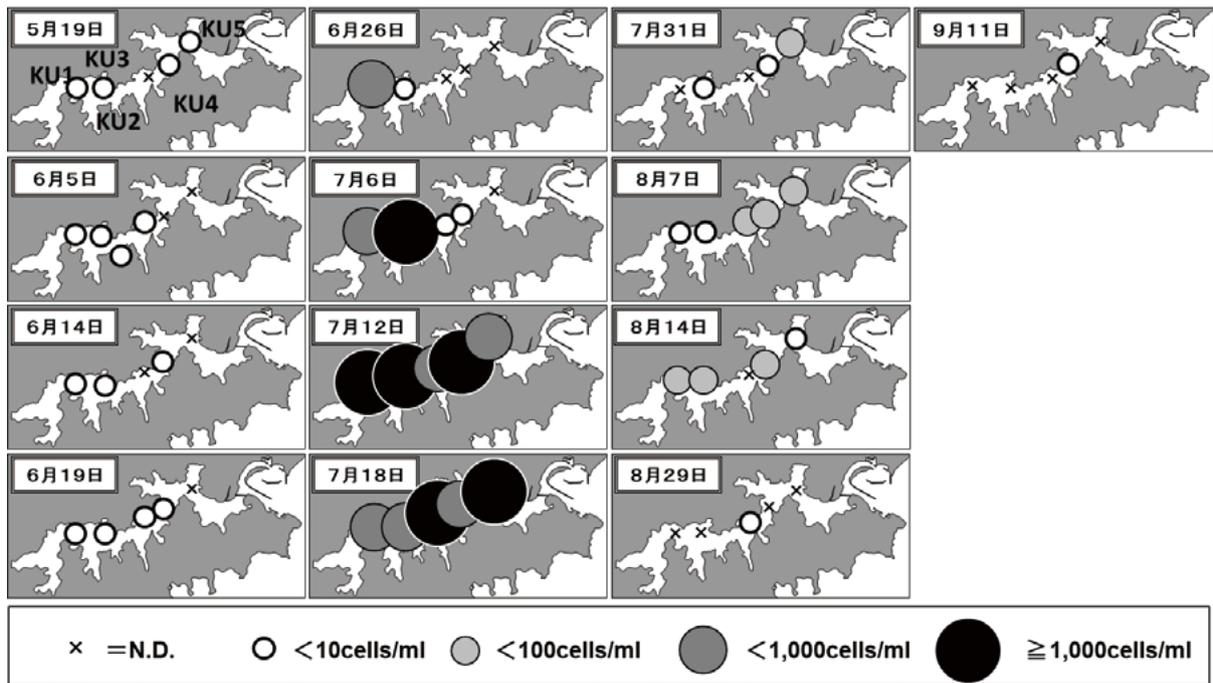


図 17 *Karenia mikimotoi* 細胞密度の水平分布 (浦ノ内湾)

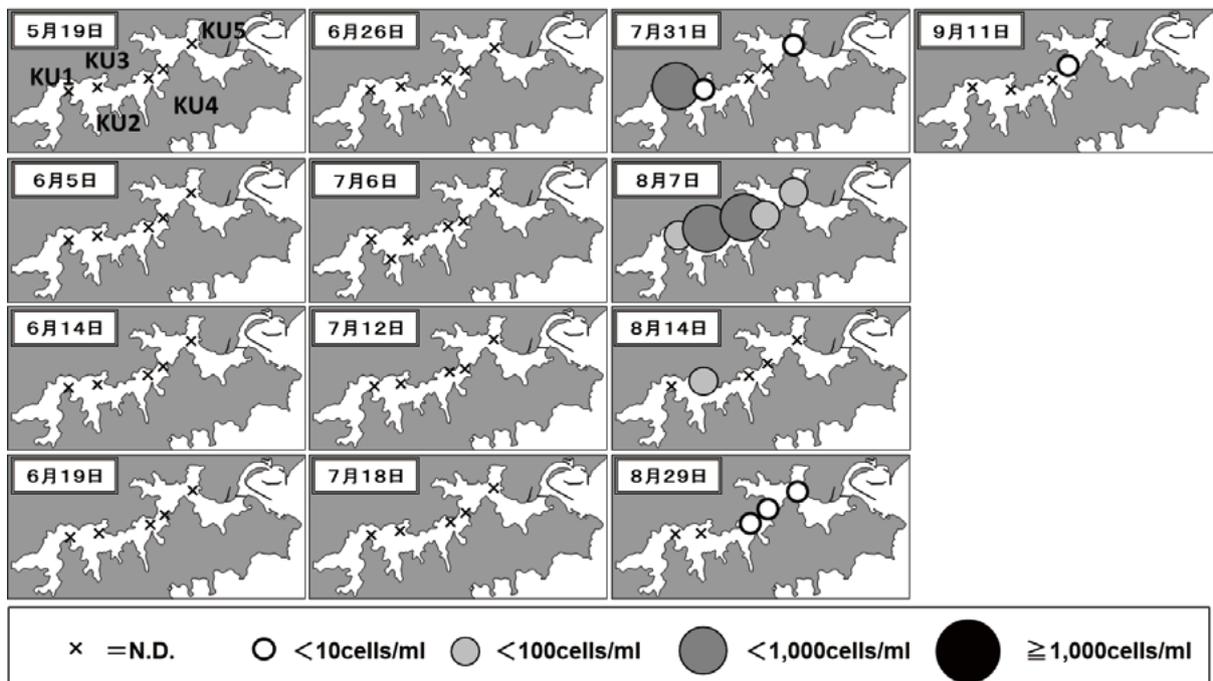


図 18 *Chattonella* spp. 細胞密度の水平分布 (浦ノ内湾)

表3 各県海域における水質データの平年偏差（標準化）

海域	担当県	月	水温	塩分	DIN (μM)	DIP (μM)	クロロフィルa ($\mu\text{g/L}$)	透明度	DO (%)	鉛直 安定度	珪藻類	
広島湾	広島県	5	1.2	-1.5	3.8	0.0	1.5	-2.6	-2.7	3.3		
		6	0.1	-2.2	-0.7	-1.1	-0.5	-1.1	-1.0	1.0	-0.1	
		7	1.1	-2.1	-0.2	-1.7	0.4	-2.2	-0.9	1.3	0.2	
		8	-0.1	-0.9	2.0	-1.2	-0.7	0.1	1.4	0.2	-0.7	
		9	0.1	0.0	-1.0	-0.7	-0.4	0.1	-0.4	-0.6	-0.2	
徳山湾	山口県	5	1.9	-3.4	-0.8	3.5	1.0	0.7	-1.9	-0.2	0.0	
		6	0.9	-2.4	-1.1	0.4	-0.1	1.9	-0.7	0.1	-0.6	
		7	-0.1	-0.8	0.6	0.5	-0.8	0.5	0.4	2.3	-0.5	
		8	1.8	-4.1	-1.3	0.7	0.7	2.4	-3.9	1.2	-0.4	
		9	2.5	-0.8	-0.4	-0.8	2.8	1.3	-0.1	-0.2	0.3	
周防灘	福岡県	5	-0.8	0.5	-0.2	-1.3	-0.3	0.2	-0.2	-0.2	-0.2	
		6	0.0	-1.8	-0.9	-1.6	-0.4	-0.6	0.4	0.3	1.7	
		7	0.1	-1.8	0.4	2.1	2.1	-0.4	-0.9	3.3	0.3	
		8	0.6	-1.2	0.2	1.2	0.4	1.2	-1.0	0.3	-0.6	
		9	1.8	-0.2	-0.8	-0.1	0.1	-0.6	0.4	-0.7		
	大分県 北部水産G	5	0.8	-0.6	-1.7	1.6	-0.2	1.8	-0.6	0.2	-0.4	
		6	0.0	-1.1	-0.6	-0.7	-0.6	1.4	0.6	0.2	-0.2	
		7	-1.4	0.4	0.0	1.0	-1.7	-1.0	0.1	5.0	-1.1	
		8	-1.0	-2.3	-0.4	1.2	0.1	2.5	0.0	1.4	-0.6	
別府湾	大分県 水産研究部	5	1.9	-0.3	0.0	0.2	0.6	-0.2	-0.1		-0.4	
		6	-0.6	-0.7	-0.2	0.1	0.5	-0.5	-0.3		-0.5	
		7	0.0	-1.3	0.1	-0.5	0.8	0.4	0.6		-0.5	
		8	0.9	-0.6	-0.1	-0.4	0.3	0.5	0.4		1.5	
		9	0.3	-1.8	0.2	0.0	1.2	-1.2	0.1		-0.1	
豊後水道	愛媛県	5	-0.8	-1.1	0.9	0.0	0.4	-0.9	-2.3		-1.1	
		6	3.2	-2.4	1.2	0.2	-0.2	2.0	0.9		-0.4	
		7	0.6	-0.8	-1.1	1.3	0.1	0.1	0.3		0.1	
		8	0.9	-2.2	-1.0	0.8	1.7	0.8	0.7		15.9	
	宿毛湾	高知県	5	-2.2	0.1	-0.3	1.2	0.7	2.0	0.2		
			6	-2.0	-0.9	-1.1	-1.1	1.3	-0.1	1.0		
			7	1.8	1.5	-1.1	-0.7	0.5	1.8	0.0		
			8	1.2	0.7	-0.8	-0.6	3.3	-2.0	1.5		
9			1.3	0.7	-0.6	0.6	-0.3	-0.7	-2.6			
浦ノ内湾	高知県	5	1.7	-1.3	-0.6	-0.4	-0.8	1.1	0.3	-0.7	-0.3	
		6	-1.3	-1.9	1.3	0.4	-0.8	-0.8	-0.1	-0.1	-1.2	
		7	-1.3	-0.9	-1.0	-0.2	-1.5	3.9	-0.5	-1.0	-0.6	
		8	2.3	0.7	-0.6	-0.8	-0.8	-2.6	-0.7	-0.4	2.0	
9	0.1	-2.7	-0.8	0.1	-1.4	-1.7	-0.8	-0.8	-0.8	-1.1		

表4 平年偏差の算出に用いたデータ期間, 対象調査点, 対象水深

	海域	担当県	水温	塩分	DIN (μ M)	DIP (μ M)	クロロフィルa (μ g/L)	透明度	酸素飽和度 (%)	鉛直安定度	珪藻類	
データ期間	広島湾	広島県	H25-R4									
	徳山湾	山口県										
	周防灘	福岡県										
			大分県 北部水産G	H25-R4								
	別府湾	大分県 水産研究部										
	豊後水道	大分県 水産研究部										
			愛媛県	H25-R4								
宿毛湾	高知県											
浦ノ内湾	高知県											
対象調査点	広島湾	広島県	H1,3,4,5									
	徳山湾	山口県	Y4									
			福岡県	F5-F12								
	周防灘	大分県 北部水産G	O13,14,17(H27.5月, H29.8月, R2.5月.8月.9月, R3.5月欠測)									
	別府湾	大分県 水産研究部	O1-O6(5月はO3のみ)									
	豊後水道	大分県 水産研究部	O7-O9(5月はO9のみ)									
			愛媛県	E1-E12								
	宿毛湾	高知県	KS1									
		高知県	KU1									
対象水深	広島湾	広島県	5m									
	徳山湾	山口県										
	周防灘	福岡県										
			大分県 北部水産G	10m								
	別府湾	大分県 水産研究部										
	豊後水道	大分県 水産研究部										
			愛媛県	5m								
宿毛湾	高知県											
浦ノ内湾	高知県											

表5 西部瀬戸内海における赤潮発生状況（2023年4～11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3日～4月3日	周防灘	山口県	光市沿岸	<i>Noctiluca scintillans</i>	38	無し
2	4月3日～4月6日	野見湾	高知県	須崎市	<i>Heterosigma akashiwo</i>	196,000	有り
3	4月19日～4月19日	周防灘	山口県	周南市沿岸	<i>Noctiluca scintillans</i>	不明	無し
4	5月2日～5月24日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Heterosigma akashiwo</i>	68,400	無し
5	5月11日～5月29日	周防灘	山口県	徳山湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	155,000	無し
6	5月16日～5月24日	宿毛湾	高知県	宿毛市	<i>Heterosigma akashiwo</i>	93,500	無し
7	5月22日～7月3日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Ceratium</i> spp.	367	無し
8	5月29日～6月26日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Heterocapsa circularisquama</i>	21,000	無し
9	6月12日～6月29日	周防灘	山口県	徳山湾	<i>Karenia mikimotoi</i>	630	無し
10	6月13日～6月29日	周防灘	山口県	徳山湾	<i>Heterosigma akashiwo</i>	89,500	無し
11	6月19日～6月29日	周防灘	山口県	防府市三田尻港内	<i>Heterosigma akashiwo</i>	18,450	有り
12	6月19日～7月31日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Heterosigma akashiwo</i>	8,333	無し
13	6月21日～11月9日	豊後水道	愛媛県	宇和海中部	<i>Karenia mikimotoi</i>	180,000	有り
14	6月23日～6月29日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Heterosigma akashiwo</i>	81,400	無し
15	6月26日～8月10日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Karenia mikimotoi</i>	300	無し
16	6月28日～8月30日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Ceratium furca</i>	960	無し
17	6月29日～9月5日	燧灘	広島県	東部海域	<i>Chattonella</i> spp.	180	無し
18	7月5日～7月26日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Heterosigma akashiwo</i>	8,000	無し
19	7月6日～8月4日	周防灘	山口県	徳山湾	<i>Karenia mikimotoi</i>	3,983	無し
20	7月6日～7月6日	周防灘	山口県	山陽小野田市小野田港沖	<i>Skeletonema</i> sp.	31,900	無し
21	7月6日～7月31日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>karenia mikimotoi</i>	139,000	無し
22	7月12日～7月27日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Heterosigma akashiwo</i>	48,500	無し
23	7月19日～8月30日	周防灘～伊予灘	大分県	宇佐市長洲～豊後高田市香々地～国東市熊毛	<i>Chattonella</i> spp.	208	無し
24	7月19日～8月7日	豊後水道	大分県	別府市	<i>Chattonella</i> spp.	30	無し
25	7月20日～8月30日	別府湾	大分県	大分市	<i>Chattonella</i> spp.	20	無し
26	7月24日～8月21日	周防灘	山口県	防府市沿岸域	<i>Karenia mikimotoi</i>	2,178	無し
27	7月25日～7月31日	周防灘	福岡県	豊前海沿岸域	<i>Chattonella</i> spp.	300	無し
28	7月26日～8月30日	豊後水道	大分県	臼杵市	<i>Karenia mikimotoi</i>	234	無し
29	7月31日～8月29日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Chattonella</i> spp.	600	無し
30	8月1日～9月4日	周防灘	大分県	宇佐市長洲沖	<i>Karenia mikimotoi</i>	213	無し
31	8月1日～8月17日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Chattonella</i> spp.	28	無し
32	8月2日～10月2日	広島湾	広島県	西部海域	<i>Chattonella</i> spp.	19	無し
33	8月3日～9月5日	燧灘	広島県	東部海域	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	386	無し
34	8月4日～8月22日	別府湾	大分県	別府市	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	46	無し
35	8月7日～10月4日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Chattonella</i> spp.	102	無し
36	8月7日～9月5日	燧灘	広島県	東部海域	<i>Karenia mikimotoi</i>	2,150	無し
37	8月10日～8月30日	豊後水道	大分県	臼杵市	<i>Cochlodinium polykrikoides</i> <i>Mesodinium rubrum</i>	126 4,350	無し
38	8月16日～8月31日	周防灘	山口県	山口市沿岸(山口湾・秋穂湾)	<i>Karenia mikimotoi</i>	3,400	無し
39	8月24日～10月2日	広島湾	広島県	西部海域	<i>Karenia mikimotoi</i>	5,236	無し
40	8月30日～10月4日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Prorocentrum sigmoides</i>	1,175	無し
41	8月31日～9月27日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Mesodinium rubrum</i>	28,000	無し
42	9月11日～9月21日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Takayama</i> spp.	31,700	無し
43	9月12日～10月16日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Karenia mikimotoi</i>	6,075	有り
44	9月15日～10月2日	広島湾	広島県	西部海域	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	108	無し
45	9月26日～10月11日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Karenia mikimotoi</i>	3,275	無し
46	10月2日～11月20日	浦ノ内湾	高知県	須崎市	<i>Heterocapsa</i> spp.	15,900	無し
47	10月19日～10月19日	周防灘	山口県	防府市沿岸	<i>Noctiluca scintillans</i>	不明	無し
48	10月23日～10月30日	豊後水道	大分県	佐伯市	<i>Noctiluca scintillans</i>	1,000	有り
49	10月31日～10月31日	周防灘	山口県	宇部市沖合	<i>Noctiluca scintillans</i>	112	無し

表6 real-time PCRによる高感度監視調査結果 (cells/mL)

海域	県名	定点	採水層	1月			2月			3月			4月			5月			6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	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬			
K. mikimotoi	広島湾	広島県	H3	0.5m			0.357													1.836				
				5m				0.041													0.839			
				B-1m					0.043												0.339			
	徳山湾	山口県	Y4	0.5m										0.059		0.507				1.920				
				5m											0.098		0.738			7.180				
				B-1m											0.155		0.009			49.257				
	周防灘	福岡県	F11	0.5m												0.031				11.558				
				5m																4.488				
				B-1m													0.028		0.132	10.394				
	大分県(北部)	O13	0.5m				N.D.									0.004		0.339	5.265	0.039	0.017			
			5m				N.D.											1.658	4.084	5.244	0.117			
			B-1m				N.D.											0.076	3.191	2.803	0.851			
	別府湾	大分県	O3	0.5m																0.002	1.245	0.131		
				10m																		0.059		
				10m				0.005	0.006	0.008			0.005						0.001		0.008	0.068	0.374	
豊後水道	愛媛県	E4	0.5m																		0.080			
			10m				0.005	0.009	0.004			0.004						0.001		N.D.				
			10m																					
宿毛湾	高知県	KS1	0.5m																		N.D.			
			10m																			N.D.		
			10m																				N.D.	
浦ノ内湾	高知県	KU1	0.5m																			N.D.		
			10m																				N.D.	
			10m																					N.D.
C. polykrikoides	広島湾	広島県	H3	0.5m																0.005				
				5m																	N.D.			
				B-1m																		N.D.		
	徳山湾	山口県	Y4	0.5m																	0.125			
				5m																		0.055		
				B-1m																			N.D.	
	周防灘	福岡県	F11	0.5m																	0.120			
				5m																		0.046		
				B-1m																			0.074	
	大分県(北部)	O13	0.5m				N.D.														0.003	0.001		
			5m				N.D.														0.005	0.002		
			B-1m				N.D.														0.002	0.053		
	別府湾	大分県	O3	0.5m																		0.003	0.000	
				10m																			0.000	
				10m																				0.000
豊後水道	愛媛県	E4	0.5m				N.D.	N.D.	N.D.												N.D.	N.D.		
			10m				N.D.	N.D.	N.D.													N.D.		
			10m																				N.D.	
宿毛湾	高知県	KS1	0.5m																			N.D.		
			10m																				N.D.	
			10m																					N.D.
浦ノ内湾	高知県	KU1	0.5m																			N.D.		
			10m																				N.D.	
			10m																					N.D.
H. circularisquama	広島湾	広島県	H3	0.5m																				
				5m																				
				B-1m																				
	徳山湾	山口県	Y4	0.5m																				
				5m																				
				B-1m																				
	周防灘	福岡県	F11	0.5m																				
				5m																				
				B-1m																				
	大分県(北部)	O13	0.5m				N.D.																	
			5m				N.D.																	
			B-1m				N.D.																	
	別府湾	大分県	O3	0.5m																			N.D.	
				10m																				N.D.
				10m																				
豊後水道	愛媛県	E4	0.5m				N.D.	N.D.	N.D.													N.D.		
			10m				N.D.	N.D.	N.D.														N.D.	
			10m																					N.D.
宿毛湾	高知県	KS1	0.5m																			N.D.		
			10m																				N.D.	
			10m																					N.D.
浦ノ内湾	高知県	KU1	0.5m																			N.D.		
			10m																				N.D.	
			10m																					N.D.
H. akashiwo	広島湾	広島県	H3	0.5m																	0.658			
				5m																		1.505		
				B-1m																			0.003	
	徳山湾	山口県	Y4	0.5m																		0.137		
				5m																			0.270	
				B-1m																				0.058
	周防灘	福岡県	F11	0.5m																		2.078		
				5m																			255.641	
				B-1m																				12.236
	大分県(北部)	O13	0.5m																			0.219		
			5m																				0.295	
			B-1m																					0.027
	別府湾	大分県	O3	0.5m																			0.026	
				10m																				0.004
				10m																				
豊後水道	愛媛県	E4	0.5m				0.001															N.D.		
			5m																				N.D.	
			B-1m																					N.D.
宿毛湾	高知県	KS1	0.5m																			N.D.		
			10m																				N.D.	
			10m																					N.D.
浦ノ内湾	高知県																							

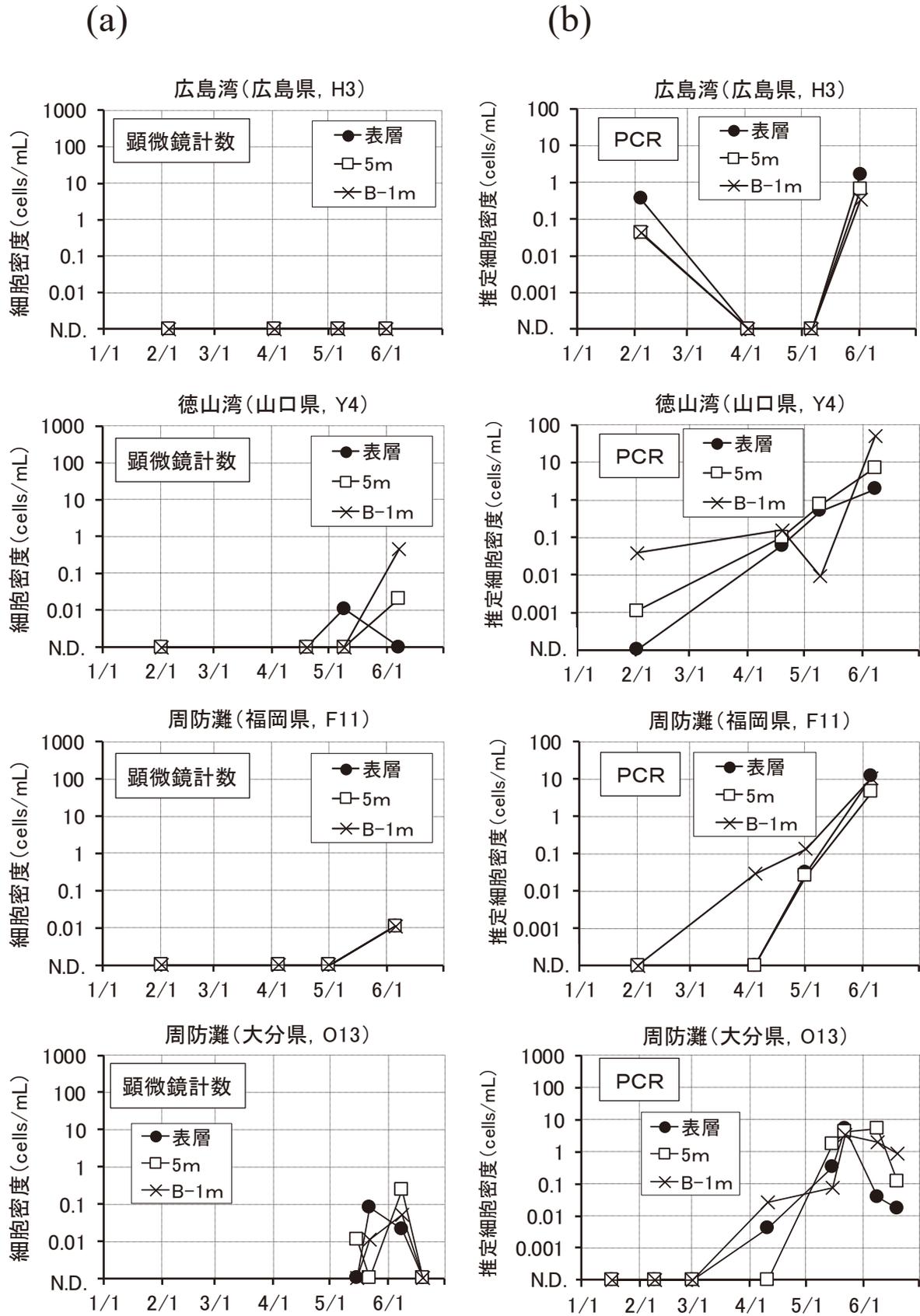


図 19 (a) 顕微鏡計数と(b) real-time PCR 法による *Karenia mikimotoi* の検出密度 (広島湾, 徳山湾, 周防灘)

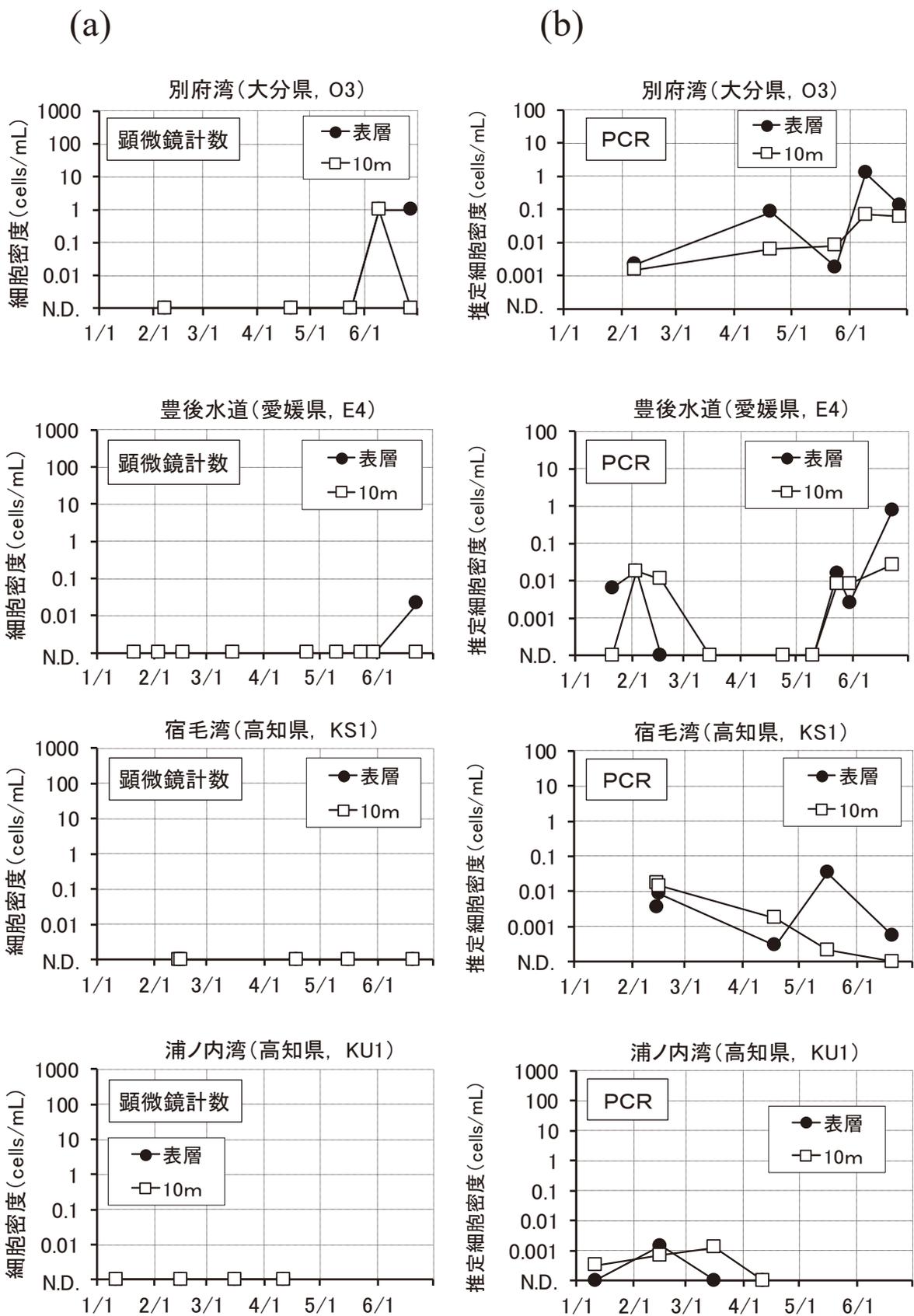


図 20 (a) 顕微鏡計数と(b) real-time PCR 法による *Karenia mikimotoi* の検出密度 (別府湾, 豊後水道, 宿毛湾, 浦ノ内湾)

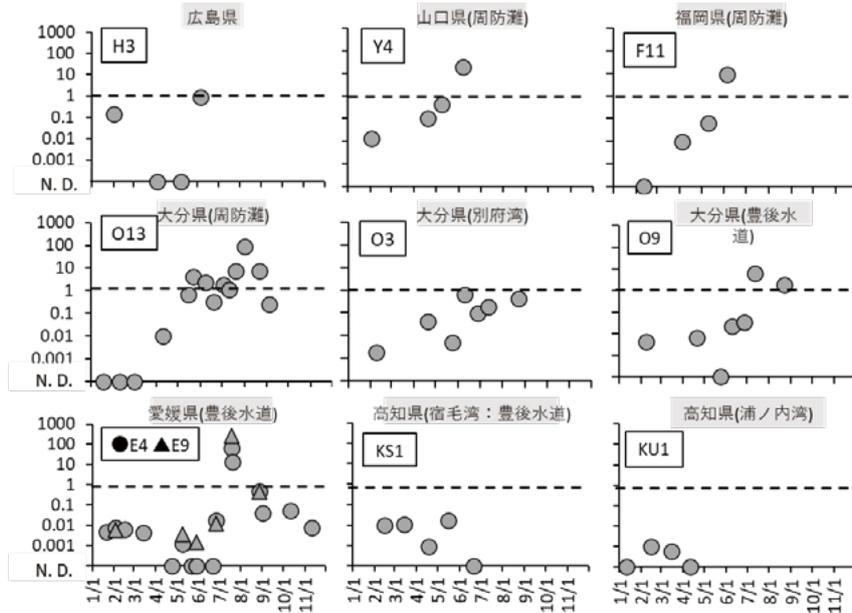


図 21 瀬戸内海西部海域における 2023 年 1～10 月までの *Karenia mikimotoi* 遺伝子検出状況 (一部本事業以外の各県調査データを含む：O9, E9)

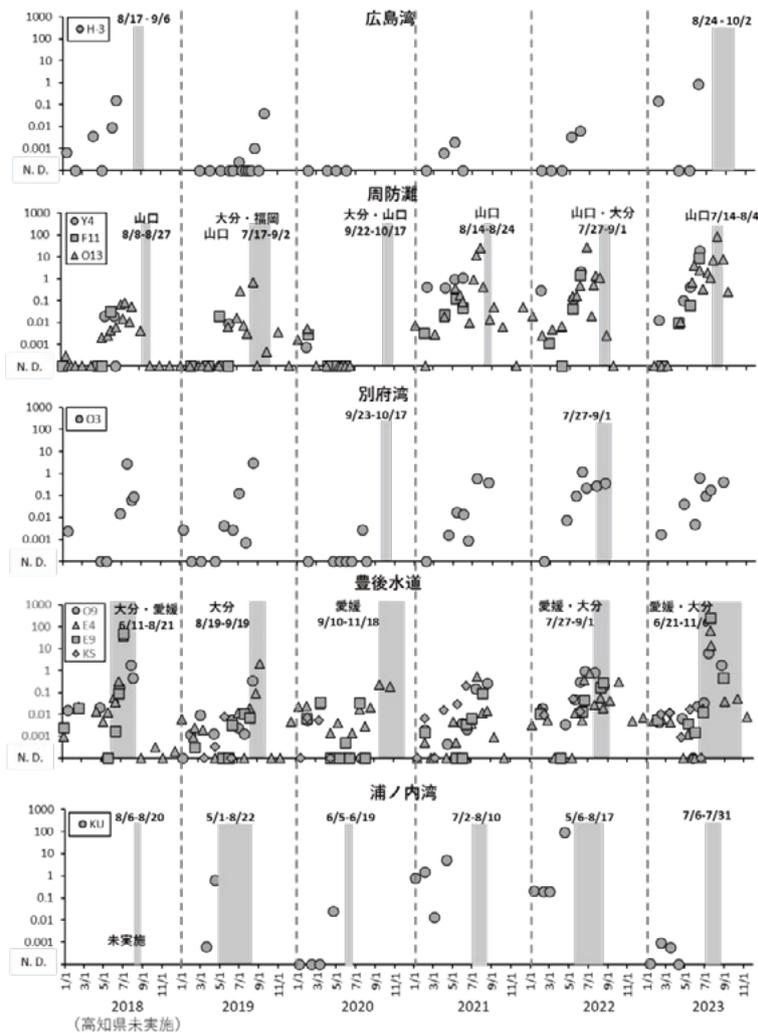


図 22 高頻度調査海域における 2018 年～2023 年の *Karenia mikimotoi* 遺伝子の比較
太字及び日付は赤潮発生期間を示す。

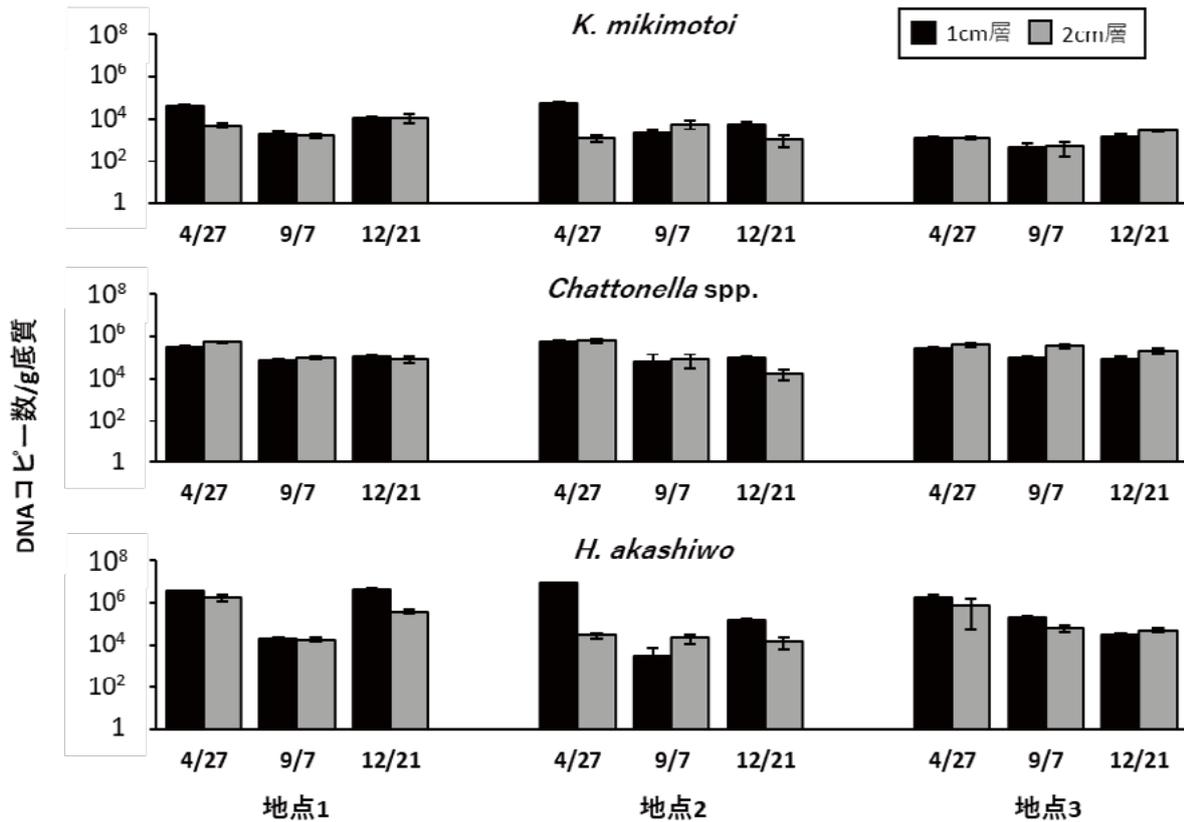


図 23 2022 年 4, 9, 12 月における浦ノ内湾底質中からの *K. mikimotoi*, *Chattonella* spp. および *H. akashiwo* DNA の検出結果

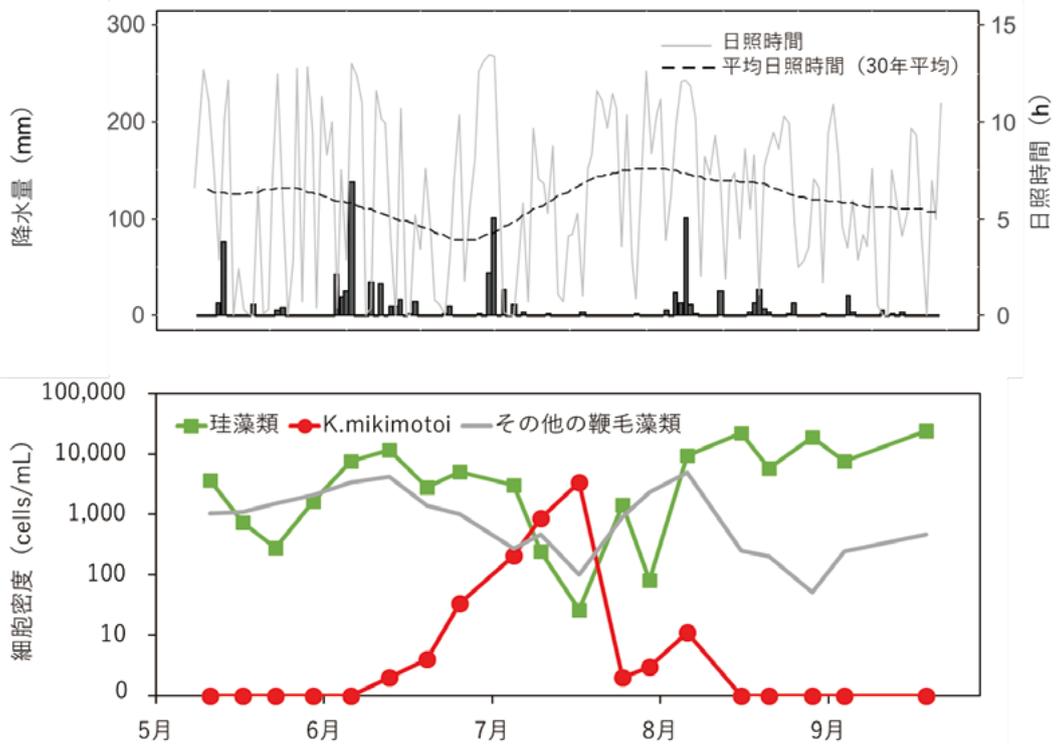


図 24 2023 年 5~9 月の宇和島市における日照時間 (3 日間移動平均) と重点調査地点 U6 のクロロフィル極大層における植物プランクトン細胞密度の推移

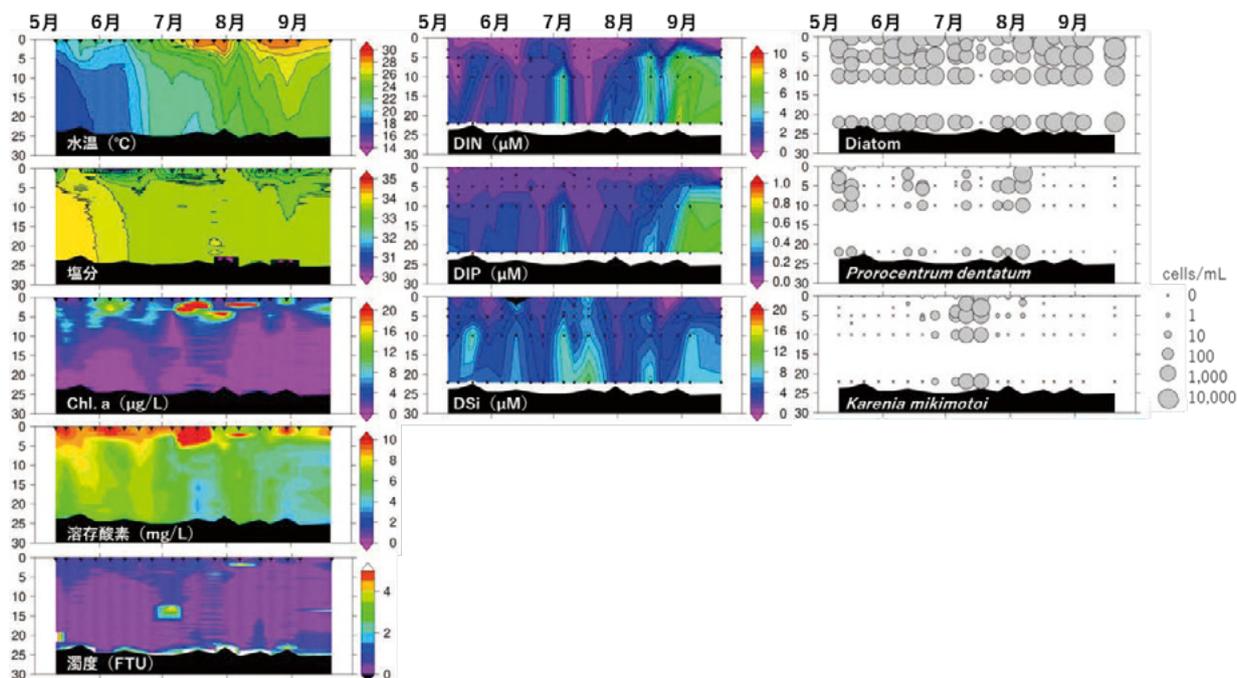


図 25 宇和島湾の重点調査定点 U6 における 2023 年 5 月から 9 月の水質および植物プランクトン細胞密度の鉛直分布の推移

表 7 広島県広島湾海域の判別分析に用いた環境項目（太字は新旧共通項目）

	2002-2017年（旧）	2002-2022年（新）
1月	-	1 月底層クロロフィルa
2月	2 月降水量	-
	2 月表層クロロフィルa	-
	-	2 月表層水温
3月	-	2 月平均気温
	-	3 月表層水温
	-	3 月表層DO
4月	-	3 月 5 m層DO
	-	4 月底層DIP
	4 月底層DO	4 月底層DO
5月	4 月平均気温	4 月平均気温
	5 月底層クロロフィルa	-
	-	5 月表層DIP
6月	-	5 月底層DO
	-	6 月底層クロロフィルa
7月	-	7 月 5 m層DIN

表 8 山口県徳山湾海域の判別分析に用いた環境項目（太字は新旧共通項目）

	2002-2017年（旧）	2002-2022年（新）
10月	-	前年10月中層水温
	-	前年10月表層塩分
	前年10月底層塩分	-
11月	前年11月表層塩分	前年11月表層塩分
	前年11月中層塩分	前年11月中層塩分
	-	前年11月上旬日照時間
	-	前年11月下旬日照時間
1月	1月中旬日照時間	1月中旬日照時間
5月	5月中旬表層DO	-
6月	6月中旬底層DO	-

表 9 福岡県周防灘海域の判別分析に用いた環境項目（太字は新旧共通項目）

	2002-2017年（旧）	2002-2022年（新）
4月	4月上旬気温	-
	-	4月上旬降水量
	4月上旬日照時間	4月上旬日照時間
	4月表層DIP	-
	4月底層DIP	-
5月	5月5m層塩分	5月5m層塩分
	5月底層塩分	5月底層塩分
	5月中旬気温	-
6月	-	6月0m層DIP
	6月5m層DIP	6月5m層DIP
	6月底層DIP	6月底層DIP
	-	6月中旬降水量
	-	6月下旬気温
	-	6月下旬日照時間
7月	7月5m層水温	-
	-	7月底層水温

表 10 大分県周防灘海域の判別分析に用いた環境項目（太字は新旧共通項目）

	2002-2017年（旧）	2002-2022年（新）
1月	1月表層塩分	-
	-	1月気温
5月	5月表層水温	5月表層水温
	5月5m水温	5月5m水温
7月	7月分布指標（10cells/mL）	7月分布指標（10cells/mL）
	-	7月5m水温
	-	7月表層DIN
	7月最大風速	-

表 11 大分県豊後水道海域の判別分析に用いた環境項目（太字は新旧共通項目）

	2002-2017年（旧）	2002-2022年（新）
1月	1月表層水温	1月表層水温
	1月表層塩分	-
2月	-	2月表層水温
	2月表層塩分	-
	2月気温	-
3月	-	3月表層水温
	3月降水量	3月降水量
	3月日照時間	3月日照時間
8月	-	8月表層塩分

表 12 愛媛県豊後水道海域の判別分析に用いた環境項目（太字は新旧共通項目）

	2002-2017年（旧）	2002-2022年（新）
1月	1月下旬5m層水温	-
2月	2月上旬5m層水温	-
	-	2月中旬5m層水温
	-	2月平均気温
	-	2月下旬平均気温
	-	2月上旬日照時間
	2月平均風速	2月平均風速
3月	-	3月上旬5m層水温
	-	3月クロロフィルa濃度
4月	4月下旬5m層水温	4月下旬5m層水温
	-	4月下旬降水量
5月	5月平均風速	-
	5月下旬日照時間	-
	5月下旬平均風速	-
6月	-	6月中旬平均気温
	6月中旬日照時間	-
7月	7月日照時間	-
	7月中旬日照時間	-

表 13 高知県浦ノ内湾海域の判別分析に用いた環境項目（太字は新旧共通項目）

	2002-2017年（旧）	2002-2022年（新）
1月	1月中旬降水量	-
3月	-	3月中旬気温
	3月中旬日照時間	-
4月	4月5m層DIN	-
	4月底層DIN	-
	4月降水量	-
	-	4月下旬降水量
5月	5月表層DO	-
	5月10m層DO	-
	5月底層DO	-
6月	6月下旬平均気温	-
	6月降水量	-
	-	6月下旬降水量
	6月下旬日照時間	-
7月	-	7月5m層水温
	-	7月5m層DO

表 14 広島県広島湾海域における判別予察・結果（太字は前期との共通項目）

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（非発生）	
					予察	的中
3月	マハラノビス	3月表層DO (10.61/9.97 mg/L)	90.5	9.95	△	○
		2月気温 (5.8/7.1 °C)		6.9		
	マハラノビス	2月表層水温 (10.3/11.3 °C)	90.5	11.1	×	×
		3月5m層DO (10.29/9.83 mg/L)		9.69		
	マハラノビス	3月表層水温 (10.5/11.4 °C)	85.7	12.7	×	×
		3月表層DO (10.61/9.97 mg/L)		9.95		
	マハラノビス	3月表層水温 (10.5/11.4 °C)	85.7	12.7	×	×
		3月5m層DO (10.29/9.83 mg/L)		9.69		
4月	マハラノビス	4月底層DO (8.83/8.34 mg/L)	85.7	8.27	△	○
		1月底層クロロフィルa (2.5/4.0 μg/L)		2.3		
	マハラノビス	3月表層DO (10.61/9.97 mg/L)	90.5	9.95	×	×
		4月底層DO (8.83/8.34 mg/L)		8.27		
	マハラノビス	3月表層水温 (10.5/11.4 °C)	90.5	12.7	×	×
		4月底層DIP (0.25/0.41 μM)		0.33		
	マハラノビス	3月表層DO (10.61/9.97 mg/L)	85.7	9.95	△	○
		4月底層DIP (0.25/0.41 μM)		0.33		
	マハラノビス	2月表層水温 (10.3/11.3 °C)	85.7	11.1	△	○
		4月気温 (15.3/14.3 °C)		15.7		
	マハラノビス	4月底層DO (8.83/8.34 mg/L)	85.7	8.27	△	○
		4月底層DIP (0.25/0.41 μM)		0.33		
5月	マハラノビス	5月表層DIP (0.03/0.16 μM)	85.7	0.2	×	×
		2月気温 (5.8/7.1 °C)		6.9		
	マハラノビス	3月表層水温 (10.5/11.4 °C)	85.7	12.7	×	×
		5月表層DIP (0.03/0.16 μM)		0.2		
	マハラノビス	5月底層DO (8.25/7.70 mg/L)	85.7	7.37	△	○
		4月気温 (15.3/14.3 °C)		15.7		
	マハラノビス	5月表層DIP (0.03/0.16 μM)	90.5	0.2	×	×
		4月底層DIP (0.25/0.41 μM)		0.33		
	マハラノビス	4月底層DO (8.83/8.34 mg/L)	90.5	8.27	×	×
		5月表層DIP (0.03/0.16 μM)		0.2		
6月	マハラノビス	6月底層クロロフィルa (2.2/1.5 mg/L)	85.7	1.3	△	○
		2月気温 (5.8/7.1 °C)		6.9		
	マハラノビス	3月5m層DO (10.29/9.83 mg/L)	85.7	9.69	×	×
		6月底層クロロフィルa (2.2/1.5 mg/L)		1.3		
	マハラノビス	3月表層水温 (10.5/11.4 °C)	90.5	12.7	×	×
		6月底層クロロフィルa (2.2/1.5 mg/L)		1.3		
	マハラノビス	4月底層DIP (0.25/0.41 μM)	85.7	0.33	△	○
		6月底層クロロフィルa (2.2/1.5 mg/L)		1.3		
	マハラノビス	4月底層DO (8.83/8.34 mg/L)	85.7	8.27	×	×
		6月底層クロロフィルa (2.2/1.5 mg/L)		1.3		
マハラノビス	5月表層DIP (0.03/0.16 μM)	85.7	0.2	×	×	
	6月底層クロロフィルa (2.2/1.5 mg/L)		1.3			
7月	マハラノビス	3月5m層DO (10.29/9.83 mg/L)	85.7	9.69	×	×
		7月5m層DIN (2.58/0.67 μM)		0.5		
	マハラノビス	7月5m層DIN (2.58/0.67 μM)	85.7	0.5	×	×
		4月底層DIP (0.25/0.41 μM)		0.33		
	マハラノビス	7月5m層DIN (2.58/0.67 μM)	85.7	0.5	×	×
		5月表層DIP (0.03/0.16 μM)		0.2		