

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 オ. 九州北部海域

佐賀県玄海水産振興センター
川崎北斗, 松本日向乃, 豊福太樹, 梅田智樹
長崎県総合水産試験場
平江 想, 山砥稔文, 水田浩二
九州大学総合理工学研究所
山口創一
水産研究・教育機構 水産資源研究所
青木一弘

1 全体計画

(1) 目的

近年、伊万里湾を中心とする九州北部海域において *Karenia mikimotoi* 等鞭毛藻による有害赤潮が発生し、魚介類がへい死する漁業被害が発生していることから、各機関が連携して広域共同モニタリングを実施することにより、有害赤潮の監視体制の強化、発生機構の解明と、発生予測技術の開発並びに被害防止技術の開発を行い、有害赤潮等による漁業被害の防止と健全な海洋生態系の保全に資することを目的とした。

2 令和7年度計画および結果

(1) 目的

全体計画と同じ。

(2) 方法

1) 長崎県海域における赤潮モニタリング（長崎県総合水産試験場）

【定点調査】

① 調査定点

伊万里湾内8定点。(Stn. 1-8: 図1と表1参照)

② 調査回数

6月下旬-8月下旬にかけて、原則1回/週。

③ 調査項目

- ・多項目水質計による鉛直観測（水温、塩分、クロロフィル蛍光値）
- ・プランクトン検鏡（0, 5, 10mおよびクロロフィル蛍光あるいはFSI値極大層）
- ・栄養塩分析（0, 5, 10m層のNO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, PO₄-P）

【定点連続観測】

図1および表1のStn. 15の養殖筏において実施した。

① テレメーター（水温、クロロフィル蛍光値、濁度）によるリアルタイムモニタリング

- ・設置期間：6月-8月（3ヶ月間）
- ・設置水深：1.5, 5, 10m層

30分毎にデータを取得し、関係機関に専用WEBサイト上で自動送信。

2) 佐賀県海域における赤潮モニタリング（佐賀県玄海水産振興センター）

① 調査定点

伊万里湾内6定点程度（Stn. 9-14: 図1と表1参照）

② 調査回数

6—8月：週1回程度

③ 調査項目

(水質) 水温, 塩分, DO, pH, 栄養塩 ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$),
クロロフィル蛍光値

(プランクトン) 有害赤潮プランクトンの同定・計数

④ 調査層

0, 5, (10), B-1 m (水温, 塩分, クロロフィル蛍光値, DO については多項目水質計による鉛直測定を実施)

3) 数値モデル等を用いた解析による発生シナリオの検証 (九州大学総合理工学研究院)

本研究では, 有限体積法・非構造格子を採用した高解像度沿岸海洋モデル FVCOM (Finite Volume Community Ocean Model (Chen et al., 2006)) をベースとして, 外海条件に Dreams_D (Hirose et al., 2005), 淡水流入量評価に降雨流出氾濫モデル RRI (Rainfall Runoff Inundation model (佐山・岩見, 2014)), 気象条件に気象庁による解析雨量, 降水短時間予報, 数値予報モデル GPV (MSM, GSM) を用いた高解像度沿岸海況予測モデル (UCHI, ICT を利用した漁業技術開発事業のうちスマート沿岸漁業推進事業, 2017~) を伊万里湾およびその近海に対して実装した。

計算対象領域および格子分布を図2に示す。格子サイズは最大 1500 m, 最小 30 m となっている。鉛直方向の格子は多重 σ 層 20 層とし, 海面付近で層間隔は小さくなるように設定しており, 夏季の密度成層をより精度良く再現することが出来る。水平拡散係数には Smagorinsky モデル (Smagorinsky, 1963), 鉛直には乱流クロージャーモデル (Mellor and Yamada, 1982) を適用している。海底地形については, 日本水路協会発行の J-BIRD&JODC500 m メッシュデータを用いた。気象条件は, 78 時間先までは MSM, その先は GSM を用いた。開境界条件は, 潮位, 流れ, 水温, 塩分は Dreams_D (Hirose et al., 2005) を用いた。淡水の流入流量については, RRI により求めて FVCOM の境界条件として与えた。RRI は降雨や可能蒸発散, 標高 (河道位置), 土地利用, 土壌分布 (モデル定数), 河川断面といった項目について情報を入力し, 側方/鉛直浸透流や内水/外水氾濫, 河川と陸の水のやり取りを計算することにより, 河川流量や水位, 氾濫水深を出力するものである。土地データとして, 計算領域内に流入する河川集水域の 3 秒角 (約 92 m) の標高, 落水方向, 集水面積に関するデータを HydroSHED (<https://hydrosheds.org/>) より入手し使用した。また, 土地利用データとして, 国土数値情報土地利用細分メッシュデータ (平成 28 年度, <https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>) を用いた。河道断面については, 測量データが乏しいことから, 流域面積に基づく経験式を用いて長方形近似によりモデル化した。本モデルでは図2 (上図) に示す河川の流量を計算し, それぞれの河口に位置する非構造格子に境界条件として考慮した。陸上の雨量データソースとして, 現況再現計算までは解析雨量, 15 時間先の未来までは降水短時間予報, これより 78 時間先までは MSM, さらにその先は GSM のデータを与えた。

UCHI によって拡散・流動場を予測し, *K. mikimotoi* および *Chattonella* spp. による能動的日周鉛直移動, ランダムウォーク手法による拡散を組み込んだ仮想粒子を現地観測により得られた細胞数情報に応じて投入することによって, その後の近未来挙動を計算した。*K. mikimotoi* および *Chattonella* spp. による能動的日周鉛直移動様式については表2に示した。粒子の初期配置海域, 鉛直分布および数は各水産試験場の定期モニタリング地点と有害プランクトン検出センサー (JFE アドバンテック株式会社) による FSI 値および検鏡細胞密度を基に設定した。*K. mikimotoi* について, FSI 値と現地の検鏡細胞数との関係を図3に示す。一般に $\text{FSI} > 1.9$ で有害藻類が多く存在すると言われており, 図3を見ると $\text{FSI} > 1.9$ において FSI と細胞数には一定の関係が存在することが分かる。図中に示した4次の多項式を用いて, 現地観測と同

日中にサーバにアップロードされる FSI 情報を基に初期の粒子密度を設定した。*Chattonella* spp.については検鏡細胞数を基に設定した。観測日と同日にこれらのデータを受け取り、UCHIによる挙動予測計算を実施する体制を構築した。

4) 伊万里湾 *K. mikimotoi* 赤潮の中長期予察指標の探索・発生機構の解明（水産研究・教育機構）

赤潮発生前～発生期における海況の変化の解析を実施した。伊万里湾周辺海域の水温変動解析のために、NOAA の人工衛星最適内挿海面水温の日別プロダクトを用いた。海面水温偏差は、過去 30 年（1996–2025）平均からの差とした。また、アメダス伊万里局の気温・日照時間のデータも使用した。

遠山ら（2023）で、湾西部における春季全窒素量および五島沖水温を用いた中長期予察手法が考案された。より簡便な手法開発のため、アメダス伊万里局の降水量および JRA-3Q の海面気圧データを用いて、赤潮発生と関連する環境因子の抽出を試みた。Aoki et al.（2020）で、モンスーンインデックス（気圧差）が、春季全窒素量と相関することが報告されているので、2–4 月における仮屋と各モデルグリッドの気圧差および東京と各グリッドの気圧差を解析に用いた。各環境因子の発生年と非発生年の差の有意性を統計的に検定するために、Mann-Whitney *U*-test を実施した。

(3) 結果および考察

1) 植物プランクトンの出現状況

令和 7 年度調査期間中の伊万里湾における赤潮発生件数は 3 件で、構成種は *K. mikimotoi* *Chattonella* spp., *Margalefidinium* sp.（笠沙型）（旧 *Cochlodinium* sp. 笠沙型）であった。なお、本節における *K. mikimotoi*, *Margalefidinium* sp.（笠沙型）（旧 *Cochlodinium* sp. 笠沙型）の赤潮の定義については、山砥・石田（2016）に基づく警戒基準値の 500 cells/mL 以上とする。*Chattonella* spp.については、山砥ら（2006a）が 50 cells/mL 未満で養殖ブリの斃死を報告していることから、着色が確認されずとも 30 cells/mL 以上とする。*K. mikimotoi*, *Chattonella* spp., *Margalefidinium* sp.（笠沙型）（旧 *Cochlodinium* sp. 笠沙型）および珪藻類の出現状況を海域別（西部、中部、東部）に、臨時調査の結果を含めて図 4–7 に示す。なお、細胞密度（cells/mL）は、各層およびクロロフィルあるいは FSI 値極大層で採水・検鏡された最高値である。

① *K. mikimotoi*

K. mikimotoi は 5 月 26 日に湾全域で 1–5 cells/mL が初認されたものの、その後 6 月中下旬まで 0–5 cells/mL と低密度で推移した。初期増殖は 7 月 8 日に東部一帯で確認され、最高 400 cells/mL まで増殖した。2 日後にあたる 7 月 10 日には Stn. 13 付近で 1,070 cells/mL を記録し赤潮を形成した。東部での増殖はその後も継続し、7 月 16 日に最高 17,800 cells/mL を記録した。また、東部だけに限らず、7 月 19 日に中部 Stn. 7 で 1,400 cells/mL、7 月 22 日に西部 Stn. 4 で 440 cells/mL を記録したことから、東部から中西部へ移流した様子が確認された。7 月下旬以降、湾全域で減少傾向となり、本赤潮は 8 月中旬に終息した。

② *Chattonella* spp.

Chattonella spp. は 7 月 10 日に湾最奥部で 2 cells/mL が初認された。その後、*K. mikimotoi* が減少傾向となった 7 月下旬から東部一帯で増殖し、赤潮を形成した。しかしながら、8 月 12 日には東部 Stn. 10 で 2 cells/mL と低密度となり、本赤潮の終息が確認された。一方、中西部では調査期間を通じて 2 cells/mL 以下の低密度で推移し、前述の *K. mikimotoi* でみられた移流は確認されなかった。なお、東部海域で養殖ブリの幼魚（モジャコ）に斃死被害が発生した。

③ *Margalefidinium* sp. (笠沙型) (旧 *Cochlodinium* sp. 笠沙型)

Margalefidinium sp. (笠沙型) (旧 *Cochlodinium* sp. 笠沙型) は7月中旬に東中部で2 cells/mL が初認された。8月上旬に東中部で2–96 cells/mL まで増殖した後、8月12日に西部 Stn. 9 で640 cells/mL を記録し赤潮を形成した。しかしながら、その2日後にあたる8月14日には同地点で28 cells/mL まで減少し、8月18日にはいずれの調査地点においても確認されず終息した。

④ 珪藻類

珪藻類は6月30日に東中部で10,000 cells/mL 以上の *Skeletonema* spp. を確認したが、7月8日には1,000 cells/mL 以下に急減した。その後、珪藻類は8月上旬までの約1ヵ月間で1,000–5000 cells/mL 前後で安定して推移し、8月14日に再び東中部で一時的に増殖した。

2) 水質

Stn. 1, 7, 10 および 14 における令和7年6月3日–8月25日の0.5 m および 10 m の水温、塩分、DO、DIN および PO₄-P の推移を図8–11に示す。また Stn. 15 の水深1.5, 5, 10 m 層における令和7年6月13日から8月31日までの水温連続観測結果を図12に示す。

- ① 水温 0.5 m 層は 20.1–31.5 °C, 10 m 層は 18.1–28.3 °C の範囲で推移した。
- ② 塩分 0.5 m 層は 25.0–33.3, 10 m 層は 32.7–34.2 の範囲で推移した。
- ③ DO 0.5 m 層は 82.3–158.0 %, 10 m 層は 42.6–125.0 % の範囲で推移した。
- ④ DIN 0.5 m 層は 0.00–26.00 μmol/L, 10 m 層は 0.00–5.89 μmol/L の範囲で推移した。
- ⑤ PO₄-P 0.5 m 層は 0.00–1.01 μmol/L, 10 m 層は 0.00–0.61 μmol/L の範囲で推移した。
- ⑥ 定点連続水温 1.5 m 層は 20.9–30.5 °C, 5 m 層は 25.2–29.8 °C, 10 m 層は 25.1–28.5 °C の範囲で推移した。

3) 気象

令和7年6–8月の伊万里の平均気温、降水量および日照時間の旬別の推移を図13に示す。気温は、20.5–29.3 °C (平年値 21.0–27.9 °C) で推移し、6月上旬を除き期間を通じて平年より高めで、特に7月上旬は平年値を3 °C以上上回った。降水量は、0–171.5 mm (平年値 54.9–192.7 mm) で推移し、九州北部が梅雨明けした6月下旬以降、7月中旬、8月上旬を除き月平年値は平年よりも少なかった。旬別日照時間は、43.3–130.0 時間 (平年値 26.9–77.0 時間) で推移し、8月上旬を除き平年並みもしくは平年より長かった。令和7年6–9月の松浦での風速ベクトルの推移を図14に示す。期間を通して南風の頻度が多かった。

4) *K. mikimotoi* 赤潮と環境要因の関係

今年度、*K. mikimotoi* は7月上旬に東部で増殖し、赤潮を形成したのち7月中下旬には中西部へ移流する様子が確認された (図15)。昨年度および一昨年度に本種赤潮が非発生となった要因の仮説として、6–7月の降雨にともなう密度流と、同時期に卓越した南風による吹送流が東部の海水交換を活発化させ、本種の初期増殖個体を拡散、低密度化させたとしている (豊福ら2024; 山砥ら2025)。そこで今年度発生した要因について、これら気象海況に着目し解析を行った。

今年度は6月中旬–7月上旬にかけて伊万里で合計320 mmの降雨があり (図13)、福島東岸3地点の0–2 m 層の平均塩分は非発生年と同程度まで低下し密度成層が形成された (図16–17)。降雨にともなう密度成層はエスチュアリー循環と呼ばれる密度流を駆動させ、躍層以浅の表層水は沖合へ、以深は反対の湾奥に向かう流れが生じる (藤原2007)。そのため、成層化した6月中旬–7月上旬は密度流による表層水の北向きの流れが強化されていたと考えられる。一方、同時期は特に北西風が卓越しており (図18)、吹送流によって表層水の南向きの

流れが強化されたと考えられる。その結果、密度流と吹送流が互いに相殺し、東部の海水交換作用が弱まったことで初期増殖を引き起こしたと考えられた。

また、本種と競合関係にある *Skeletonema* spp. は 6 月下旬に東中部で 10,000 cells/mL 以上確認されたが、7 月上旬に急減した。九州北部地方では観測史上最速となる 6 月 27 日頃に梅雨明けの発表が行われた。福島東岸 3 地点の 0–2 m 層における平均水温は 7 月 1 日に 30.4 °C を観測し、6 月下旬–7 月上旬の表層水温は直近 12 年間で過去最高を記録した (図 19)。*Skeletonema* spp. は種によって水温に対する増殖特性が異なるとされており、例えば *S. costatum* は水温 32°C (Y Tian et al. 2002), *S. japonicum* は水温 30 °C で衰退することが報告されている (Kaeriyama et al. 2011)。今回 *Skeletonema* spp. の種同定を行っていないため、両者の関連性の有無については不明である。しかしながら、急激な水温上昇は過去にみられなかった特異現象であり、表層で優占していた *Skeletonema* spp. に何らかの影響を及ぼしたと考えられた。

K. mikimotoi は、7 月上旬に東部での初期増殖後、同月中旬には赤潮を形成した。この時の水温、塩分から見積もった本種の比増殖速度は 0.5 day⁻¹ を上回り最適増殖条件であったといえる (図 20)。

赤潮発生後、7 月中下旬に東部から中西部への移流が確認された。松浦では同月中旬に南風、下旬に南東風が卓越しており (図 14)、吹送流によって表層水の北および北西向きの流れが強化されたと考えられた。また、大潮によるプランクトンの拡散作用も加わったことで中西部へ移流した可能性がある。

移流後、湾全域で本種の細胞密度が減少傾向となり 8 月中旬に終息した。終息の要因として、7 月 30 日に湾奥部福島南岸で捕食種の渦鞭毛藻 *Polykrikos* spp. が確認 (最大 240 cells/mL) されたこと、また同時期は降雨による栄養塩供給が少なく、*K. mikimotoi* の半飽和定数 (山口 1994) を下回っていたことに起因すると考えられた (図 21)。

5) *Chattonella* spp. 赤潮と環境要因の関係

Chattonella spp. は東部で *K. mikimotoi* の減少が確認された 7 月下旬–8 月上旬に増殖し赤潮を形成した。本種の増殖が確認された 7 月下旬は、東部 Stn. 10, 14 の水温が 10 m 層で 25 °C 付近だった (図 8)。山砥ら (2006b) は水温 25–30 °C において短期間での増殖が可能であることを報告しており、好適な増殖水温にあったと考えられた。

また本赤潮は前述の *K. mikimotoi* 赤潮と異なり、初期発生した東部から中西部への移流が確認されなかった (図 22)。これは 8 月初旬の増殖期は小潮に加え、弱風かつ降雨もなかったことで密度流と吹送流による海水交換作用が小さかった可能性がある。その結果、東部で増殖した個体は移流せず滞留したと考えられた。

8 月上旬は南西風が卓越し、東部の成層が解消されたことによる水柱の不安定化および曇天による光環境の悪化が生じたといえる (図 13, 14, 23)。また 8 月 9–12 日はまとまった降雨による出水で栄養塩の供給があり (図 11)、直後の珪藻類の増殖を招いたことで赤潮が終息したと考えられた (図 7)。

6) *Margalefidinium* sp. (笠沙型) (旧 *Cochlodinium* sp. 笠沙型) 赤潮と環境要因の関係

Margalefidinium sp. (笠沙型) (旧 *Cochlodinium* sp. 笠沙型) は前述の *K. mikimotoi*, *Chattonella* spp. と入れ替わり、8 月 12 日に東中部で赤潮を形成した。ただ前述の *Chattonella* spp. 赤潮と同様、増殖した珪藻類が競合したことで短期間で終息したと考えられた。

7) 数値モデル等を用いた解析による発生シナリオの検証 (九州大学総合理工学研究院)

2025 年は 7 月初旬から *K. mikimotoi* による赤潮 (最大 17800 cells/mL), 下旬には *Chattonella* spp. による赤潮 (最大 478 cells/mL) が発生した。これらの赤潮発生時の細胞密度変動に対して、本モデルによる挙動予測を適用した結果について述べる。図 24 は 7 月 14 日と 18 日の各観測

地点における *K. mikimotoi* の最大細胞密度 (a,b) および UCHI による細胞密度予測結果 (c) を示している。7 月 14 日から 18 日にかけて福島南部と東部において、高い細胞密度が維持される一方で、7 月 18 日に湾西部において 164 cells/mL と急上昇が確認された。同図の c は、7 月 14 日の観測値を初期値として本モデルにより予測された 7 月 18 日の細胞密度分布を示す。*K. mikimotoi* の最大遊泳水深である 20 m までを 5 m ごとに区切り、各水深層における最大細胞密度分布を示している。10 m 以浅において福島周辺での高濃度の維持および 10 m 以深における湾西部への高細胞水塊の延伸が予測されており、観測で見られた細胞数変動と整合的な結果が得られた。図 25 は 7 月 22 日から 25 日にかけて観測された同じく *K. mikimotoi* の細胞密度と本モデルによる予測結果である。この期間、鷹島南部から西部にかけて細胞密度の増加が確認された。22 日の細胞密度分布を初期値とした予測 (c) においても、鷹島西部への高細胞水塊の分布拡大が示されており、整合的な結果となっていることが分かる。続いて、7 月下旬から湾奥部で発生した *Chattonella* spp. による赤潮に対する予測結果を示す。図 26 は 7 月 28 日から 31 日にかけて *Chattonella* spp. の細胞密度分布および UCHI による予測結果を示している。*Chattonella* spp. 細胞密度はこの期間、福島東部から南部で高い状態を維持し、外への拡大は見られないことが分かる。28 日の観測データを初期値とした UCHI による 31 日の予測においても、同じ海域に留まる様子が再現されており、観測で見られた 100 cells/mL を超える地点と予測での高密度海域がよく一致していることも分かる。

8) 伊万里湾 *K. mikimotoi* 赤潮の中長期予察指標の探索・発生機構の解明 (水産研究・教育機構)

7 月初旬の *K. mikimotoi* 発達前に珪藻類が激減していた (図 27)。6 月末 - 7 月初旬には、海面塩分低下および成層強化がみられており、高海面水温や成層形成による下層からの栄養塩供給の弱体化が珪藻類の激減に寄与していた可能性がある。同時期に、2 °C 以上の正気温偏差や長日照時間の持続があり、これらが上記の海況変化の要因と考えられる。

7 月上旬の伊万里湾周辺海域における人工衛星海面水温偏差は 3 °C を上回ることもあり、2 °C 以上の偏差は 10 日以上継続した (図 28)。-2 °C 以下および 2 °C 以上の海面水温偏差が発生した確率は 10 % 未満であることから、当海域で 7 月初旬に観測された高水温は海洋熱波であると特定した。

赤潮発生年・非発生におけるアメダス伊万里局降水量の有意差を検定した結果、各月 (図 29 の上段)・2 ヶ月平均 (中段)・3 ヶ月平均降水量 (下段) に有意差 ($p < 0.05$) は認められなかった。

仮屋との気圧差が発生年と非発生年で有意差が認められたのは、2 月の北海道北方の領域で、東京との気圧差では 2 月の黄海・中国沿岸部であった (図 30)。仮屋 - 北海道北方領域の気圧差および東京 - 黄海・中国沿岸部の気圧差は、中長期予察に利用可能であると期待される。

9) 行動計画

佐賀県では、赤潮情報を迅速に漁業者個人へ配信することを目的に、公式ラインを作成しており、漁業者個人への登録を促している。登録者数は令和 8 年 1 月時点で 240 名となり、伊万里湾の魚類養殖業者はすべて登録が完了している。今後も関係機関と連携し、迅速な情報配信により被害の軽減を図る。長崎県では、モニタリング等で得られた情報をホームページ (長崎県漁場テレメーターシステム水質情報) やラインで公表し、漁業被害軽減対策を効率的に実施するための赤潮の発生状況や FSI、クロロフィル等の水質、気象、海況に加え、現状が赤潮種の増殖にとって好適な条件かどうかを提示した。

引用文献

Chen C, Beardsley RC, Cowles G. An unstructured-grid finite-volume coastal ocean model (FVCOM) system.

- Oceanogr. 2006, 19, 78-89.
- Hirose N., et al. "Numerical simulation and satellite altimeter data assimilation of the Japan Sea circulation." Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2005, 52.11-13, 1443-1463.
- 佐山敬洋, 建部祐哉, 藤岡 奨, 牛山朋來, 田中茂信. 大規模洪水氾濫の時空間資源分析に関する研究. 水工学論文集, 2013, 57, I_463-I_468.
- Smagorinsky J (1963) General circulation experiments with the primitive equations, I. The basic experiment. Mon Weather Rev 91:99-164
- Mellor GL, Yamada T (1982) Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problem. Reviews of Geophysics and Space Physics 20(4):851-875
- Aoki K, Yamatogi T, Hirae S, Yamamoto K, Yoshida K, Muta K. Increased occurrence of red-tides of fish-killing dinoflagellate *Karenia mikimotoi* and related environmental conditions in Imari Bay, Japan. *Regional Studies in Mar. Sci.* 2020; 39:101470.
- 遠山陽香・戸澤隆・山砥稔文・津城啓子・川名拓里・梅田智樹・山口創一・青木一弘. 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 オ. 九州北部海域. 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, 赤潮共同研究機関, 2023; 149-162.
- 山砥稔文, 石田直也. 島嶼海域での低密度赤潮による新たな漁業被害の発生. 「有害有毒プランクトンの科学」(今井一郎・山口峰生・松岡數充編) 恒星社厚生閣, 東京. 2016 ; 131-138.
- 山砥稔文・坂口昌生・岩滝光義・松岡數充 2006a. 長崎県薄香湾における有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella* 3 種の出現状況と増殖特性. 藻類 54 : 157-164.
- 山砥稔文・坂口昌生・岩滝光義・松岡數充 2006b. 諫早湾に出現する有害赤潮鞭毛藻 4 種の増殖に及ぼす水温, 塩分の影響. 日水誌 72(2) : 160-168.
- 豊福太樹・松本日向乃・梅田智樹・鎌田正幸・山名涼太・山砥稔文・山口創一・青木一弘. 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 オ. 九州北部海域. 令和 5 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, 赤潮共同研究機関, 2024; 143-156.
- 山砥稔文・宮崎隆徳・鎌田正幸・松本日向乃・豊福太樹・梅田智樹・山口創一・青木一弘. 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 オ. 九州北部海域. 令和 6 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, 赤潮共同研究機関, 2025; 153-167.
- 藤原建紀. 河口域および内湾域におけるエスチュアリー循環流. 沿岸海洋研究 2007 ; 44 : 95-106.
- Yan Tian, Zhou Mingjiang, Qian Peiyuan. Combined effects of temperature, irradiance and salinity on growth of diatom *Skeletonema costatum*. Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 2002 ; 20 ; 237-243.
- Hideki Kaeriyama, Eri Katsuki, Mayuko Otsubo, Machiko Yamada, Kazuhiko Ichimi, Kuninao Tada, Paul J. Harrison. Effects of temperature and irradiance on growth of strains belonging to seven *Skeletonema* species isolated from Dokai Bay, southern Japan. European Journal of Phycology. 2011 ; 46(2) ; 113-124.
- 山口峰生 1994. *Gymnodinium nagasakiense* の赤潮発生機構と発生予知に関する整理生態学的研究. 南西水研研報 27 : 251-394.

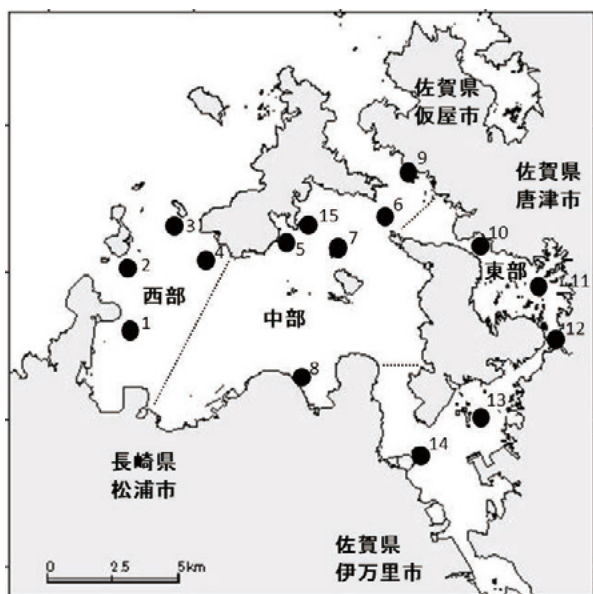


表 1 伊万里湾における調査定点座標

定点番号	緯度経度	
	北緯	東経
1 (城山下)	33°22' 56.64"	129°41' 22.92"
2 (青島南)	33°24' 13.68"	129°41' 18.24"
3 (魚固島南)	33°25' 04.08"	129°42' 32.04"
4 (船唐津沖)	33°24' 18.36"	129°43' 15.24"
5 (浦下沖)	33°24' 42.12"	129°45' 15.48"
6 (初崎沖)	33°25' 13.80"	129°47' 35.52"
7 (山島東)	33°24' 31.32"	129°46' 27.48"
8 (今福沖)	33°21' 51.12"	129°45' 40.32"
9 (晴気)	33°26' 03.00"	129°48' 16.80"
10 (阿漕)	33°24' 34.80"	129°49' 55.80"
11 (大浦浜)	33°23' 47.40"	129°51' 24.60"
12 (波多津)	33°22' 38.40"	129°51' 49.20"
13 (福島南)	33°21' 03.60"	129°50' 00.60"
14 (伊万里港入口)	33°20' 21.60"	129°48' 26.40"
15 (南ヶ崎)	33°25' 02.00"	129°45' 39.00"

図 1 伊万里湾における調査定点 (Stn. 15 は連続観測定点)

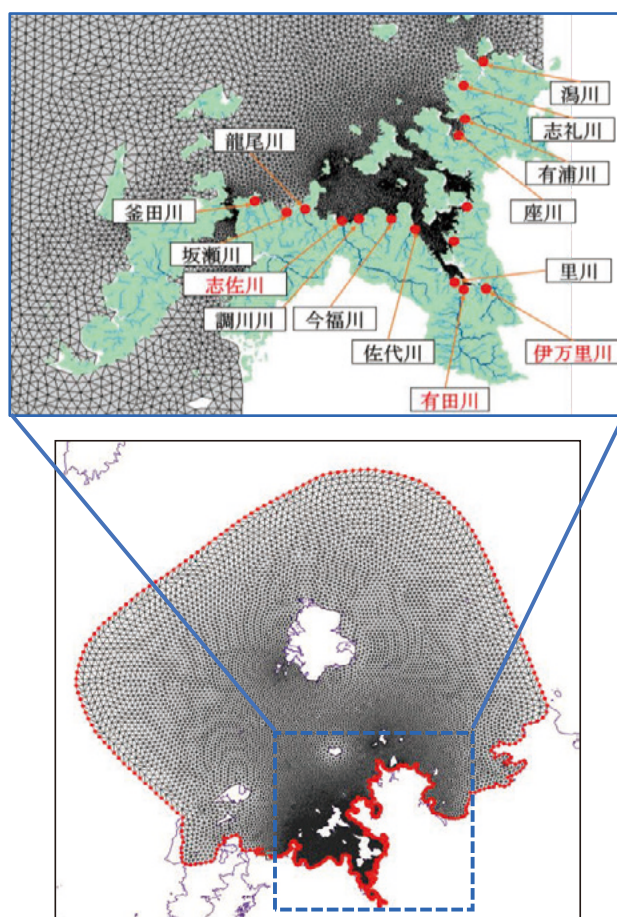


図 2 FVCOM および RRI モデルの計算対象領域
(下 : FVCOM 上 : RRI モデル)

表2 *K. mikimotoi* および *Chattonella* spp.による能動的日周鉛直移動様式

	<i>Karenia mikimotoi</i>	<i>Chattonella</i> spp.
浮上速度[m/hour]	0.85 ± 0.085	0.90 ± 0.2
沈降速度[m/hour]	0.85 ± 0.085	2.35 ± 0.55
浮上・沈降開始のトリガー	体内時計 (AM5時浮上開始, 14時沈降開始)	走光性 (光強度: $35 \pm 15 [\mu \text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}]$)
最適光強度 [$\mu \text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	100.0	—
最大沈降水深[m]	20.0	10.0

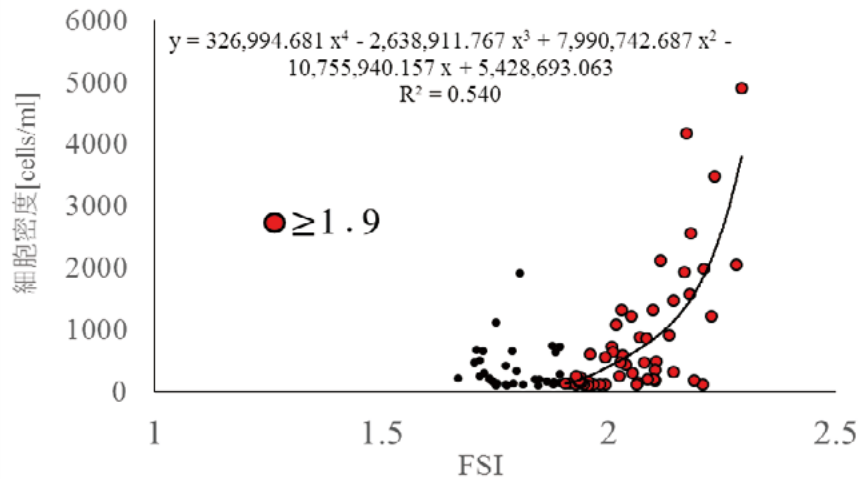


図3 *K. mikimotoi* 細胞密度と FSI の関係

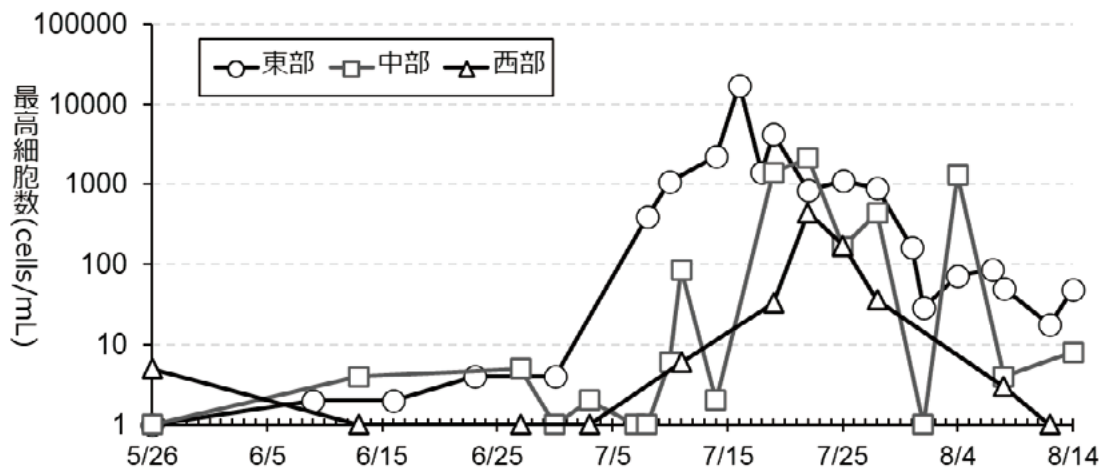


図4 *K. mikimotoi* の海域別の最高細胞密度の推移

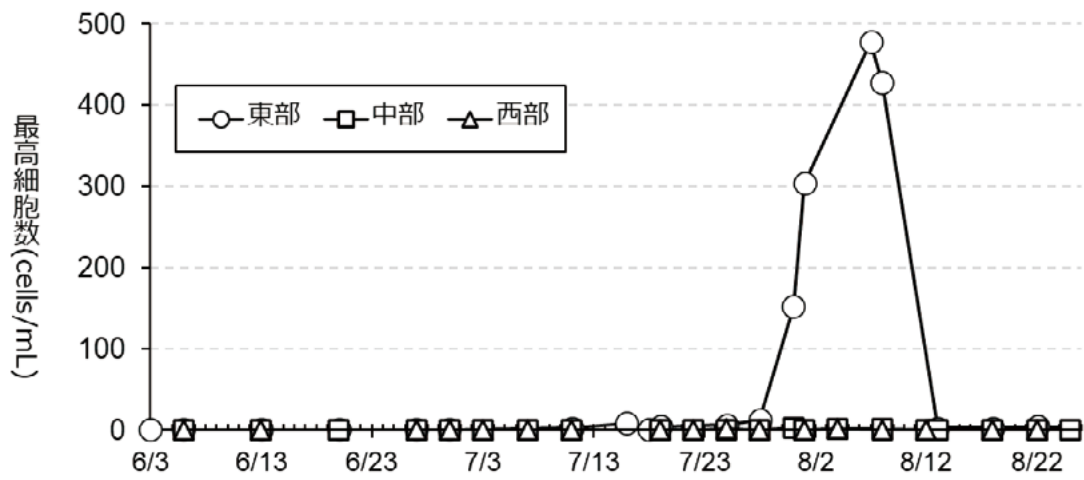


図5 *Chattonella* spp.の海域別の最高細胞密度の推移

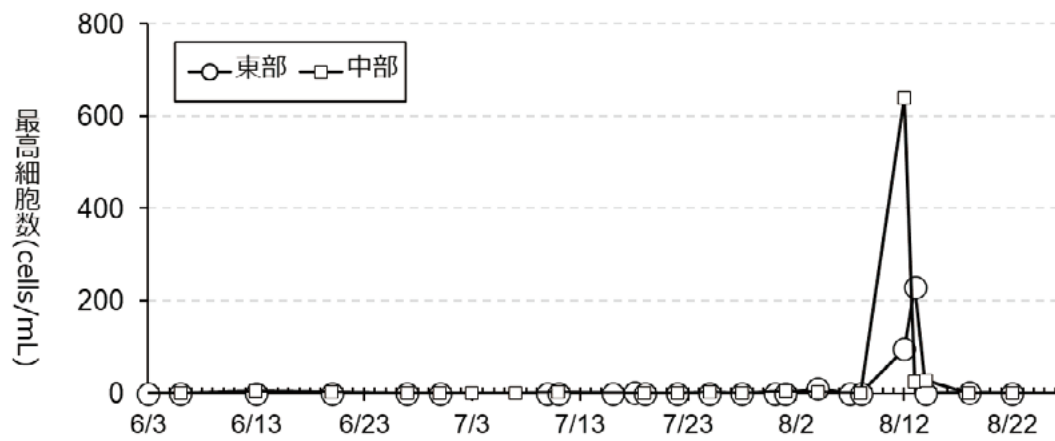


図6 *Margalefidinium* sp. (笠沙型) (旧 *Cochlodinium* sp. 笠沙型) の海域別の最高細胞密度の推移

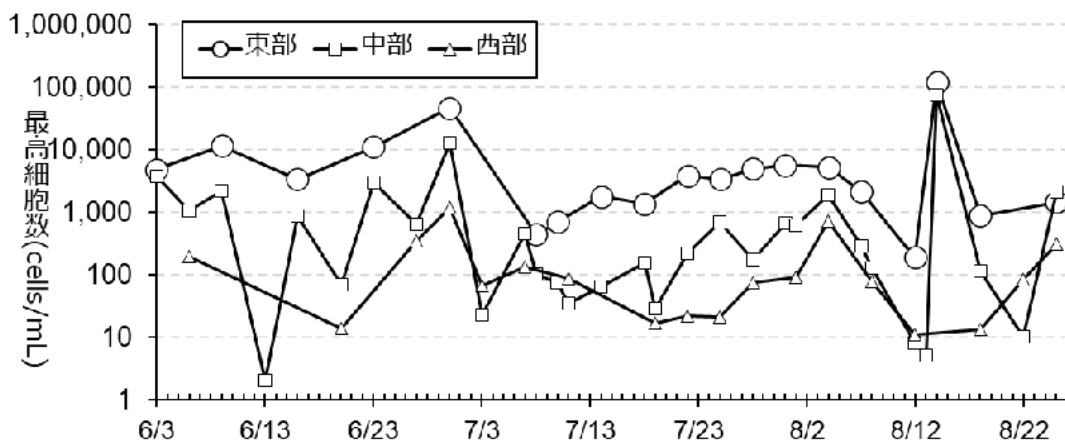


図7 珪藻類の海域別の最高細胞密度の推移

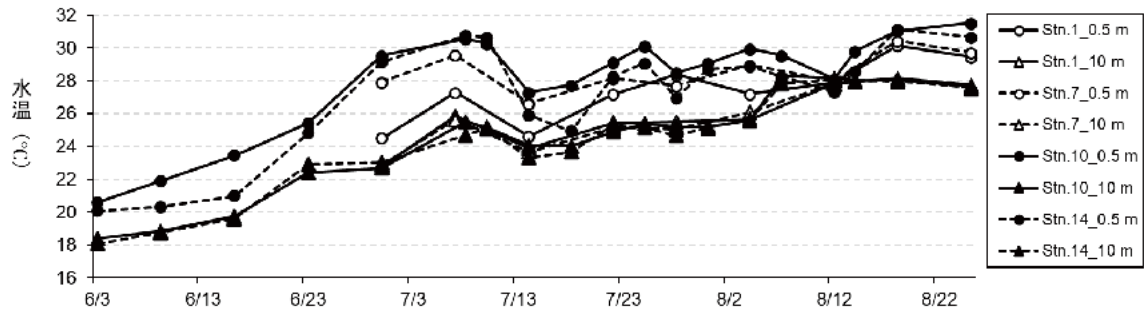


図8 Stn. 1, 7, 10, 14における水温の推移

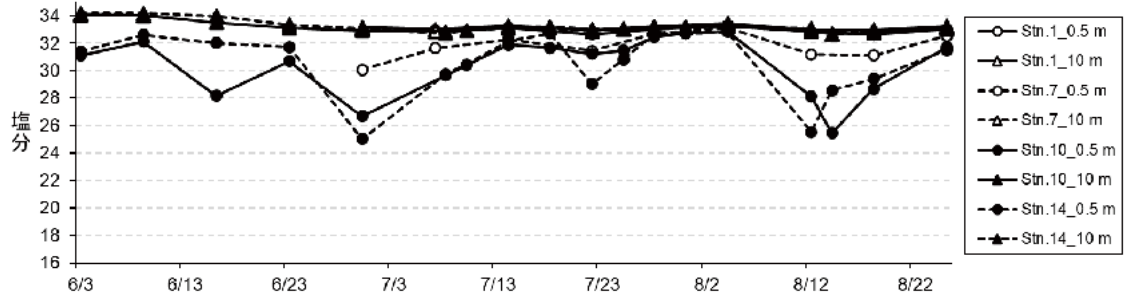


図9 Stn. 1, 7, 10, 14における塩分の推移

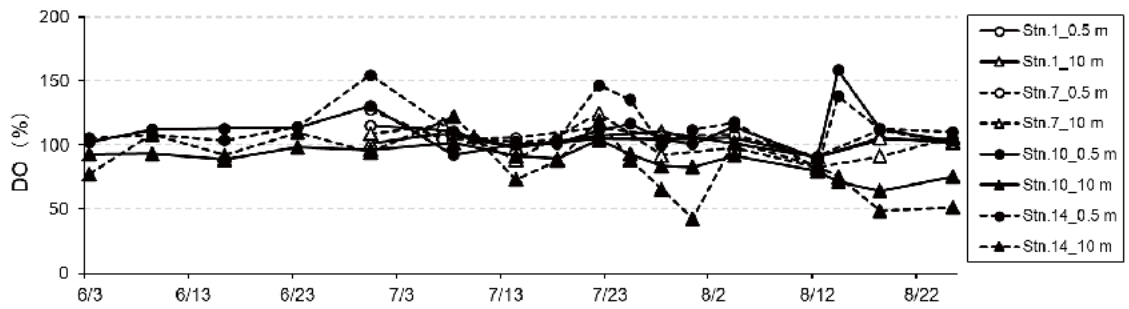


図10 Stn. 1, 7, 10, 14におけるDOの推移

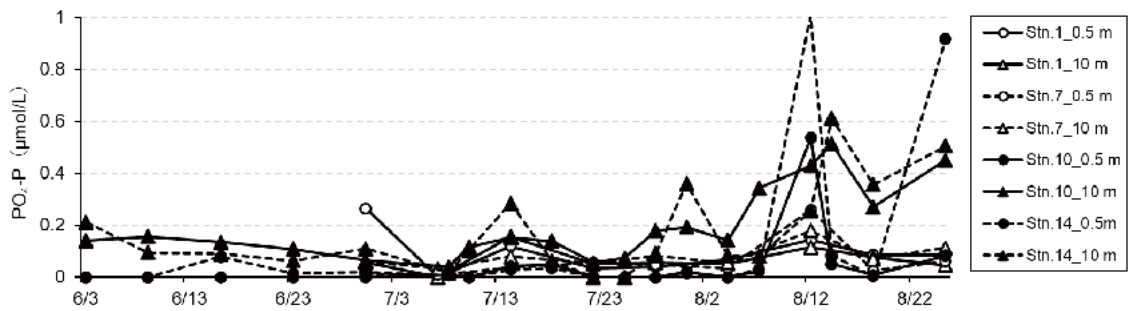
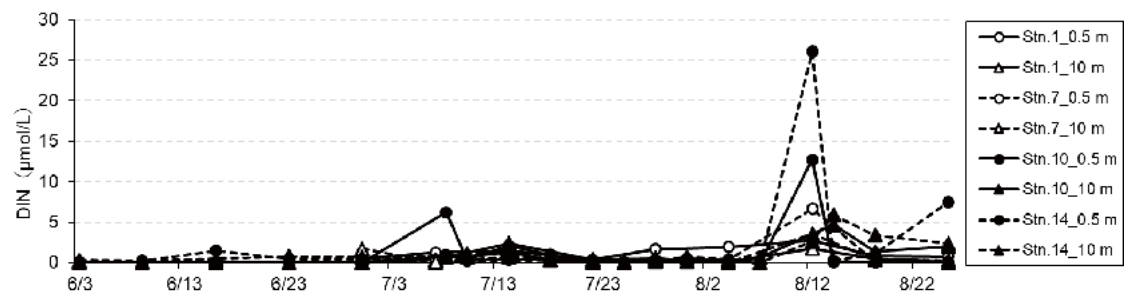


図11 Stn. 1, 7, 10, 14におけるDINおよびPO₄-Pの推移

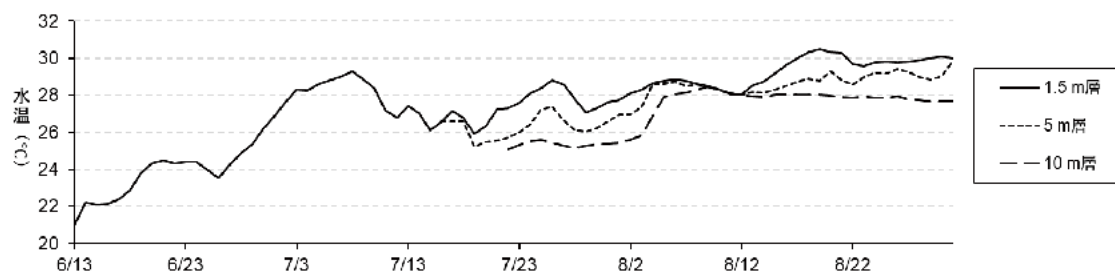


図 12 Stn.15 における水温の推移

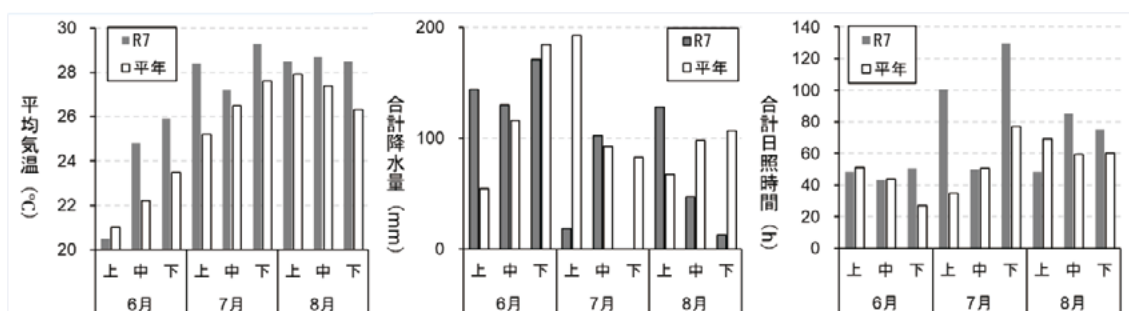


図 13 伊万里における旬別平均気温, 降水量, 日照時間の推移

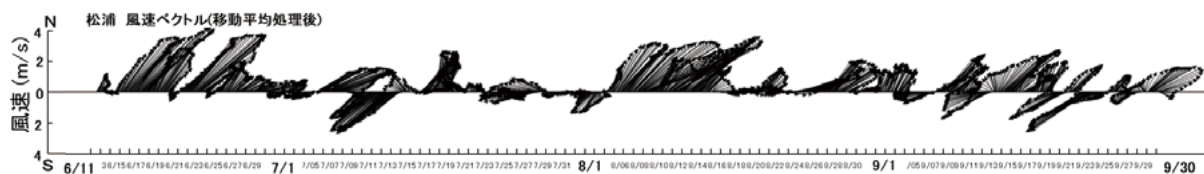


図 14 松浦における風速ベクトルの推移

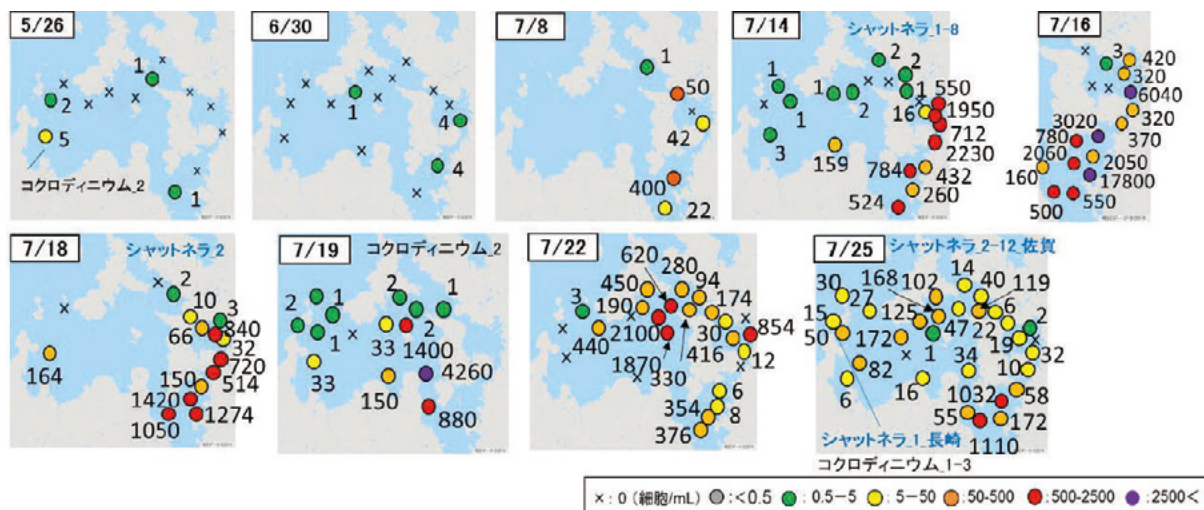


図 15 *K. mikimotoi* の水平分布図 (複数層採水による最高細胞密度)

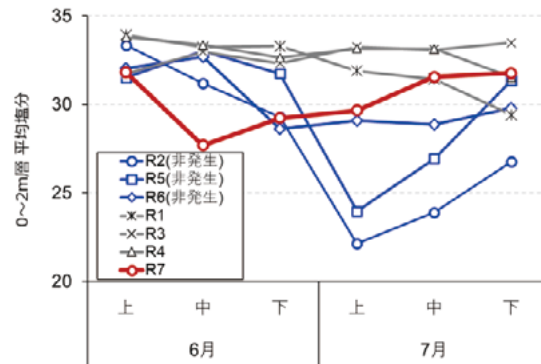


図 16 福島東岸3地点における0-2m層の平均塩分

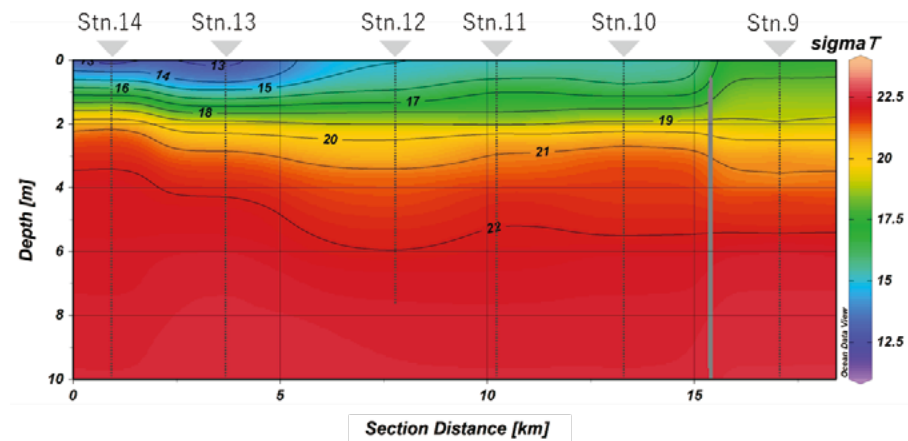


図 17 令和7年6月30日の東部の鉛直 σT 分布

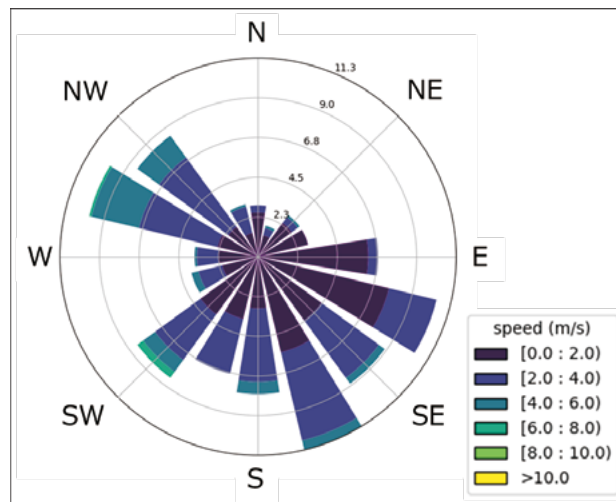


図 18 令和7年6月中旬-7月上旬の伊万里における風向風速

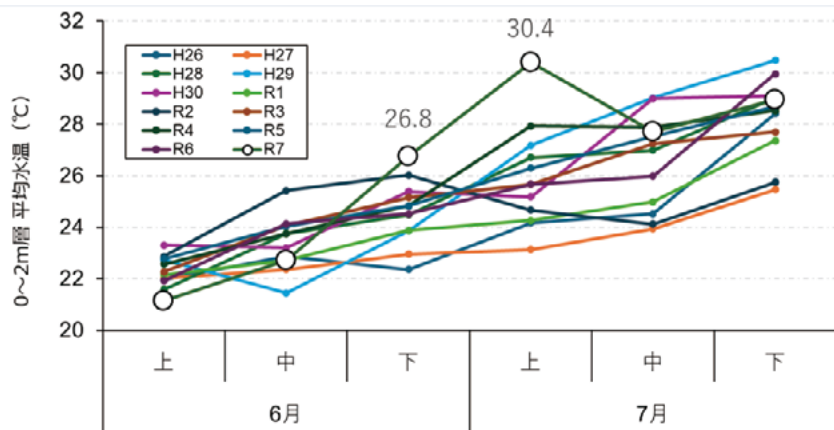


図 19 福島東岸 3 定点における 0-2 m 層の平均水温

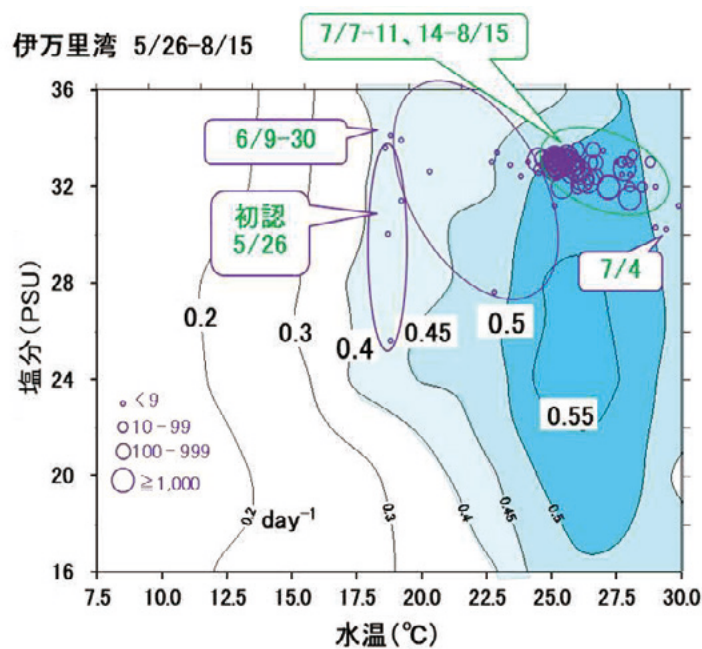


図 20 *K. mikimotoi* の発生量 (cells/mL) と比増殖速度 (day^{-1}) に及ぼす水温, 塩分の関係

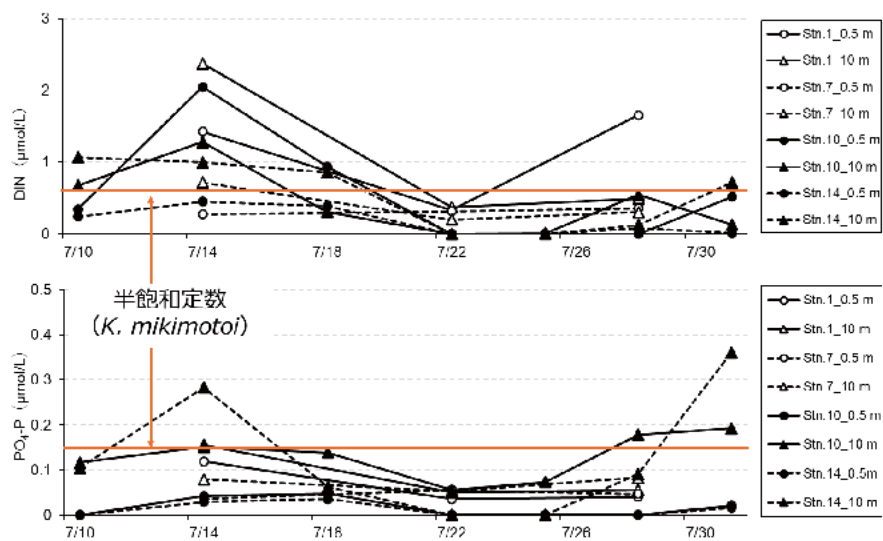


図 21 7 月 10-31 日の栄養塩 (Stn. 1, 7, 10, 14) の推移

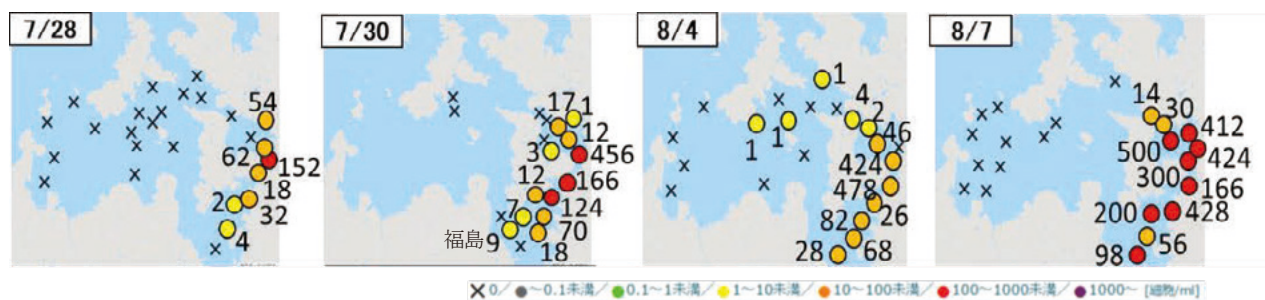


図 22 *Chattonella* spp.の水平分布図（複数層採水による最高細胞密度）

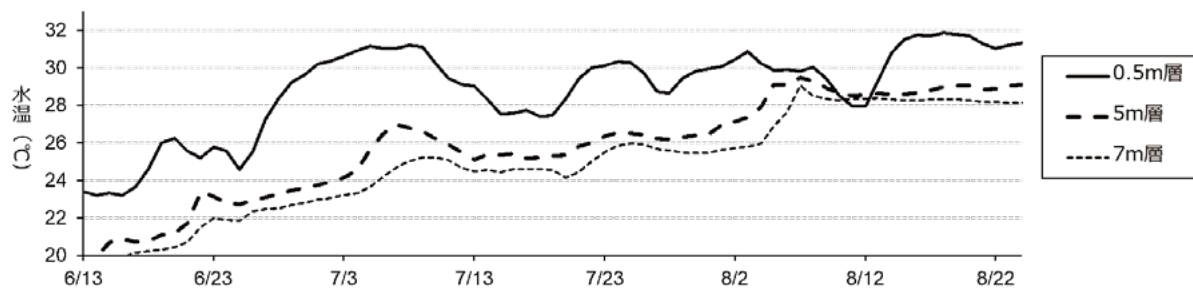


図 23 Stn. 12における水温の推移

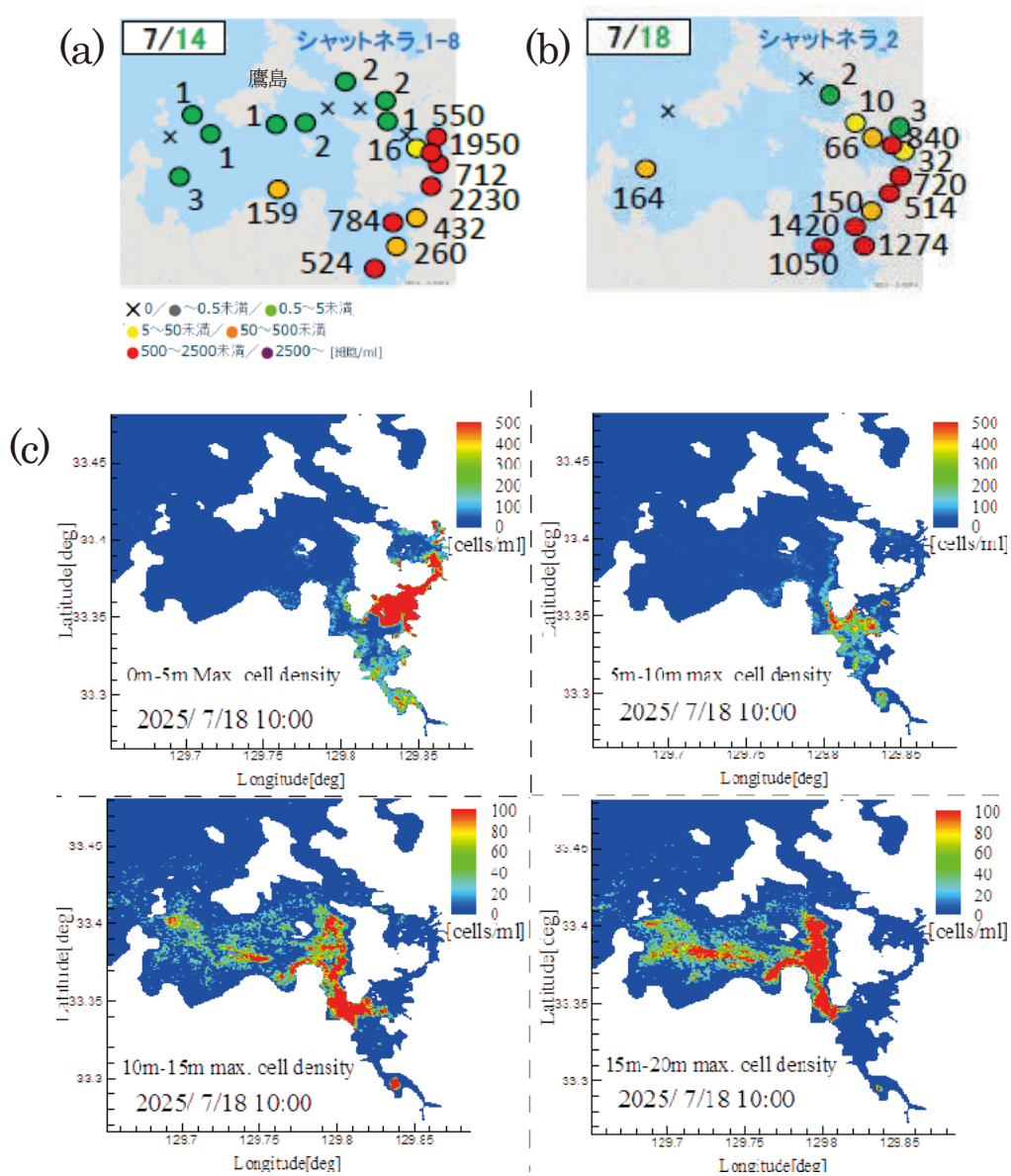


図24 2025年7月14日から7月18日にかけての *K. mikimotoi* 細胞密度の推移
 (a,b : 観測値 c : 7月14日の観測結果を初期値とした18日の予測細胞密度
 (海面から5mごとで区切った各層の最大細胞密度[cells/mL])

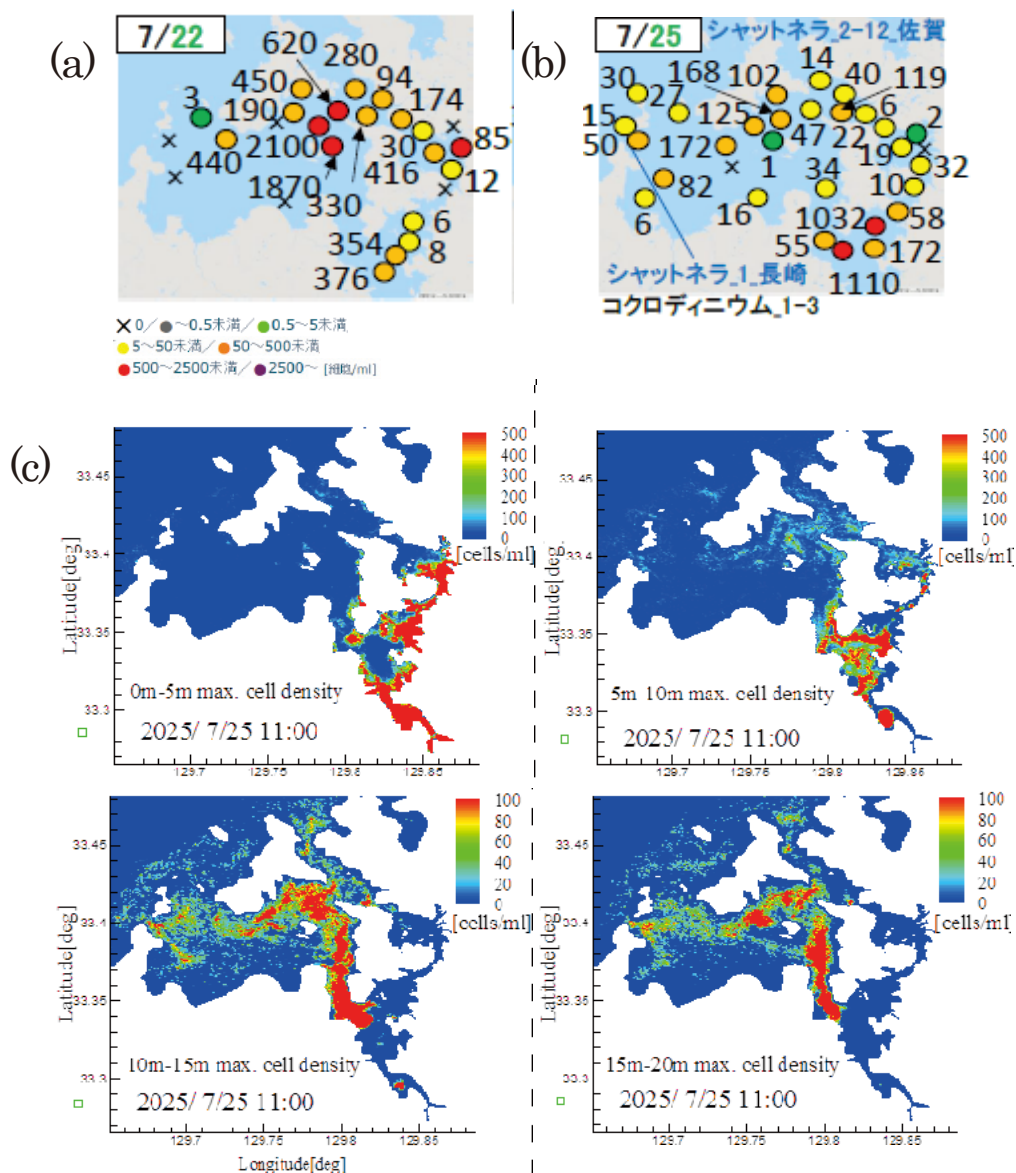


図 25 2025 年 7 月 22 日から 25 日にかけての *K. mikimotoi* 細胞密度の変化と UCHI による予測
 (a,b : 観測値 c : 7 月 22 日の観測結果を初期値とした 25 日の予測細胞密度
 (海面から 5m ごとに区切った各層の最大細胞密度[cells/mL])

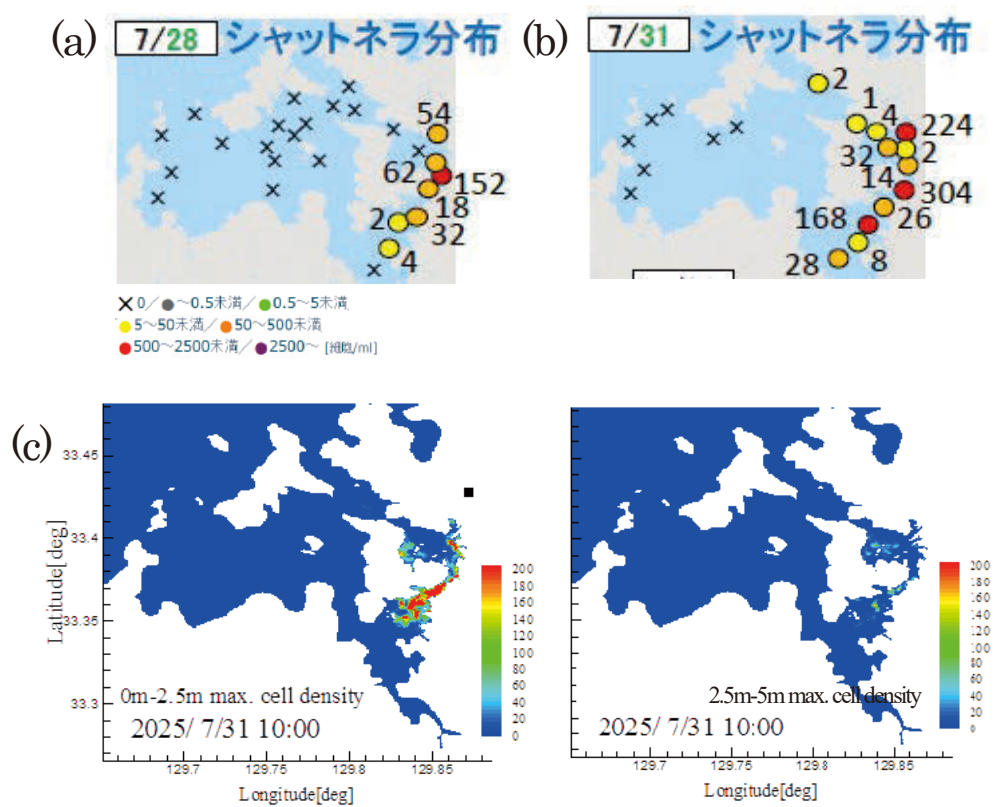


図 26 2025 年 7 月 28 日から 31 日にかけての *Chattonella* spp.細胞密度の変化と UCHI による予測
 (a,b : 観測値 c : 7 月 28 日の観測結果を初期値とした 31 日の予測細胞密度
 (海面から 2.5m ごとで区切った各層の最大細胞密度[cells/ml])

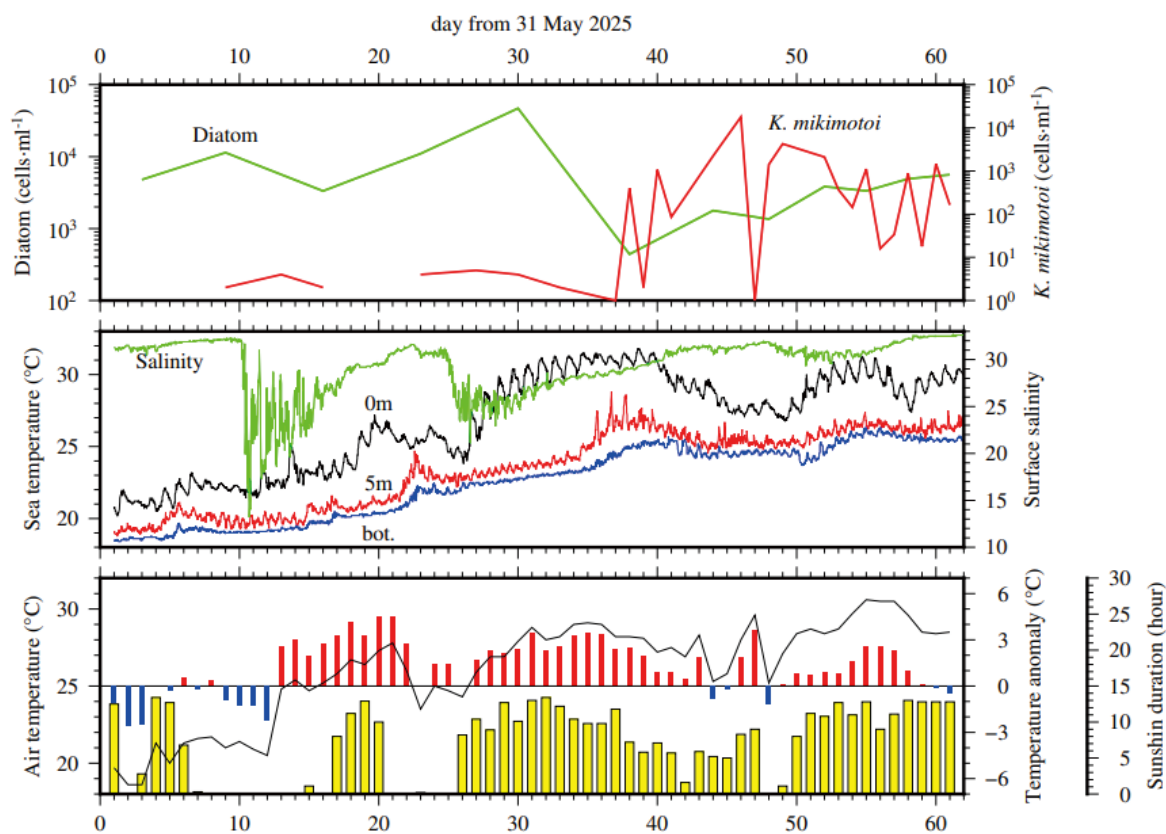


図 27 2025 年夏季 *K. mikimotoi* 赤潮発生前後の珪藻・*K. mikimotoi* の細胞密度および波多津の水温・塩分およびアメダス伊万里局の気温・気温偏差・日照時間

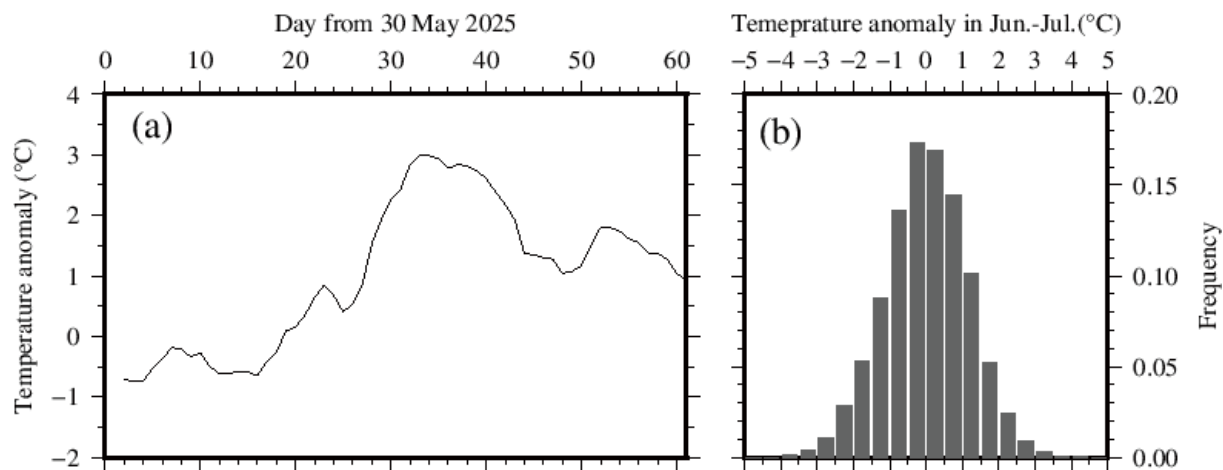


図 28 伊万里湾周辺海域における人工衛星海面水温偏差および 6-7 月の水温偏差の頻度分布

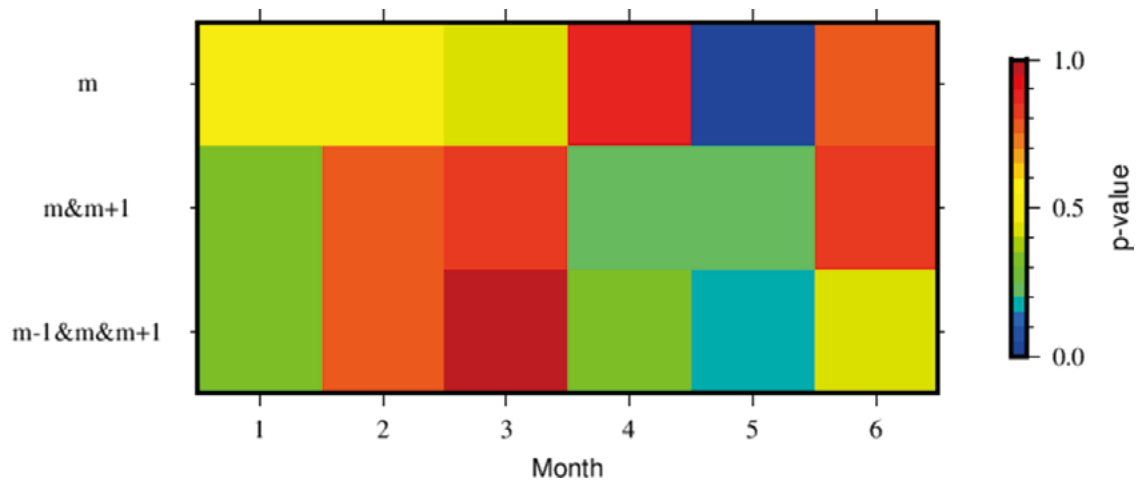


図 29 赤潮発生年・非発生におけるアメダス伊万里局降水量の有意差検定結果 (危険率 p)

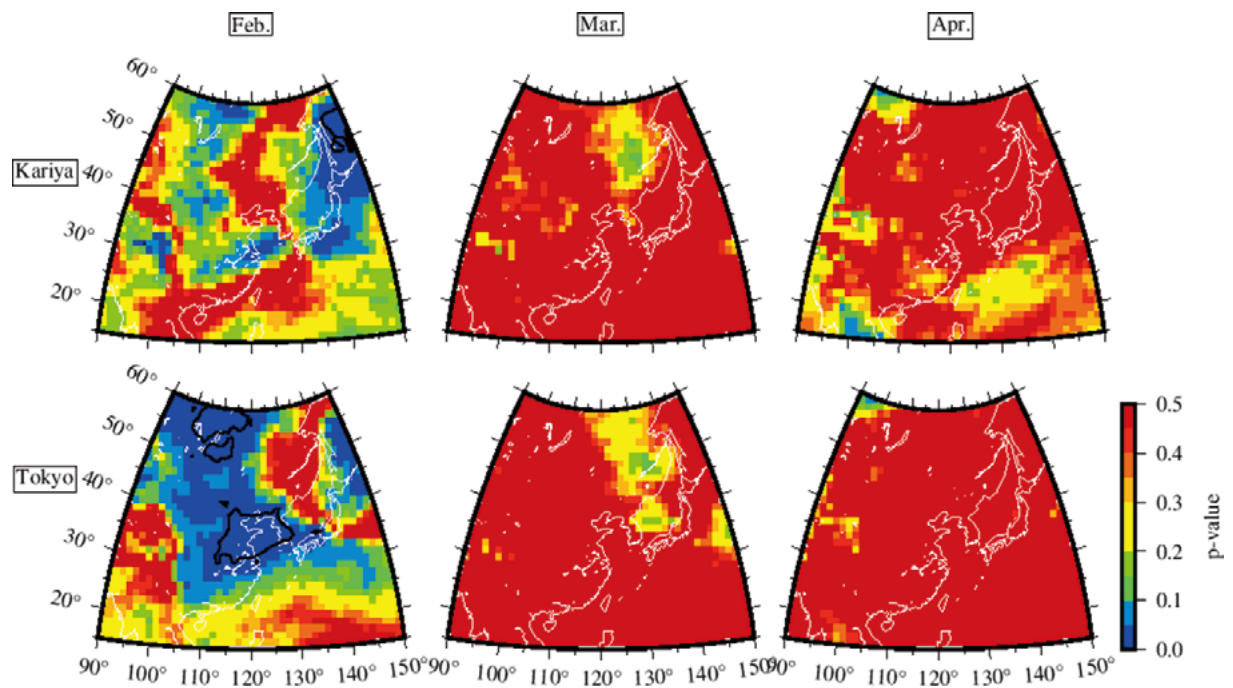


図 30 赤潮発生年と非発生年における JRA-3Q 海面気圧差の有意差検定結果 (p :危険率). 黒太線は $p=0.05$ の等値線.