

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

カ. 有明海・八代海海域

① 有明海海域

水産研究・教育機構水産技術研究所
福岡弘紀, 徳永貴久, 山口 聖, 杉松宏一, 岡村和磨
福岡県水産海洋技術センター有明海研究所
森 慎也, 堀之内倫太郎, 洲上 哲
佐賀県有明水産振興センター
岩永卓也, 中原啓太, 山田秀樹, 藤武史行
長崎県総合水産試験場
平江 想, 山砥稔文, 水田浩二
熊本県水産研究センター
對馬康史, 阿部慎一郎, 生嶋 登

1 全体計画

(1) 目的

有明海および近接海域の橘湾では、毎年夏季に貧酸素水塊が形成され、有用魚介類のへい死のみならず、餌料となる生物の生息にも多大な影響を及ぼしている。そのため、貧酸素水塊の発生メカニズムや貧酸素水塊の発生が魚介類に及ぼす影響等を明らかにするとともに、漁業被害を軽減するための予察技術開発を推進する必要がある。また、有明海では秋季から冬季に珪藻赤潮の発生により、養殖ノリの色落ち被害が頻繁に発生している。被害の未然防止や軽減対策のためには、赤潮の発生機構の解明と予察技術の開発が必要である。本課題では、関係機関が連携して、夏季に有明海の奥部海域から橘湾にかけて、冬季に奥部海域から中央部海域にかけて、広域的な調査を実施し、夏季は貧酸素水塊の発生状況を監視するとともに短期・長期の予察技術の検証・高度化や赤潮と貧酸素水塊の関係解明によって、貧酸素水塊の発生予察と操業の効率化に資することを目的とし、冬季はノリ色落ち原因珪藻の発生状況および海洋環境を監視するとともに、既存を含むモニタリングデータの解析等によって、当該海域におけるノリ色落ち原因珪藻の発生機構を構築・検証し、赤潮発生予察に資することを目的とする。

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) 夏季の貧酸素水塊

1-1) 有明海奥部

① 水質の連続観測

有明海奥部において、7月から9月まで、図1に示す2定点（Stn. P6, T13）において連続観測を行った（表1）。観測データは海面に設置した通信装置から携帯電話通信網を通じて、観測後30分以内にデータ処理サーバーへ送信され、水温、塩分、クロロフィル蛍光値、溶存酸素（DO）濃度等のデータをウェブサイト「赤潮ネット（有明海・八代海等の水質観測情報）」（<https://akashiwo.fra.go.jp/ariake-yatsushiro/>）において公表された。

② 水質の定期観測

奥部海域から諫早湾に至る8定点（図1）において、7月から9月まで1週間に1回程度の頻度（大潮期と小潮期）で、水質（水温、塩分、DO濃度、クロロフィル蛍光等）の鉛直観測および栄養塩濃度や植物プランクトンのモニタリングが実施された（表1）。

1-2) 熊本県海域

有明海熊本県海域の8定点において、7月から9月の間に定期観測を実施した(図1)。調査地点は宇土市網田沖から荒尾市沖(沖合点)5点、熊本港地先から玉名市岱明町地先(沿岸点)3点であった。調査頻度は隔週であり、計6回行われた。多項目水質計(JFEアドバンテック社製 AAQ176型)を用いて、表層から底層までの水温、塩分、クロロフィル蛍光値、濁度及びDO等の鉛直観測が行われた。また、表層・中層・底層から栄養塩(溶存態無機窒素・溶存態無機リン・溶存態ケイ素)、植物プランクトンの組成・細胞密度を測定するための採水が行われた。また、解析には調査を通して取得したデータ及び気象庁が公開しているアメダスデータ(熊本市)、国土交通省が公開している河川の水位データが使用された。

1-3) 橘湾(長崎県)

橘湾奥部の20定点(図2)において、6月から9月まで10回の観測を行った。多項目水質計(JFEアドバンテック社製 AAQ-RINKO 及びCTD RINKO-Profiler)により、水温、塩分、溶存酸素飽和度(以下DO%)、クロロフィル蛍光及び濁度を0.1m間隔で測定した。4点(Stn. 4, 8, 11, 14)では表層(0.5m)、中層(5m)、底層(海底上1m)の栄養塩濃度(DIN, PO₄-P)の分析と植物プランクトンの細胞数を計数した。なお、有害赤潮や貧酸素水塊の発生時には臨時調査を実施した。有害プランクトンの出現やDO%(底層)の分布状況を速やかにまとめて、観測翌日までに関係漁協等にFAXやe-mailにより伝えた。併せて、赤潮ネット(貧酸素情報・赤潮観測情報)や長崎県漁場テレメータシステム水質情報(<https://telemeter-area.jp/nagasaki/>)により公開した。

1-4) 当該年度結果および既存データを用いた解析

得られた観測データ及び既往知見などを基に、有明海奥部海域では底層フロントの位置と貧酸素水塊の潮汐周期変動との関係解明、栄養塩・植物プランクトンと貧酸素水塊との関係解明について解析する。また、熊本県海域では過去の観測データも用いて、河川からの淡水供給と底層における高塩分水の貫入プロセスについて解析する。橘湾においては、見かけの酸素消費量について解析し、有害赤潮の防除手法(駆除の試行を含む)の検討を併せて行う。

2) 冬季のノリ色落ち原因珪藻赤潮

2-1) 連続観測

有明海奥部海域に設けたStn. T13の表層に連続観測機器を設置し、2025年10月から2026年2月までの期間、30分間隔で、水温、塩分、クロロフィル蛍光および濁度の連続観測を実施した(図3, 表2)。また、Stn. P6に設置されている鉛直観測ブイを用いて、2025年10月から2026年2月までの期間、30分間隔で、水温、塩分、クロロフィル蛍光、濁度、水中光量子量、風向・風速および空中光量子量の観測データを取得した(図3, 表2)。得られた観測データは、通信装置から携帯電話通信網を通してデータ処理サーバーへ送信し、ウェブサイト(赤潮ネット「有明海・八代海等の水質観測情報」, <https://akashiwo.fra.go.jp/ariake-yatsushiro/>)において公表した。

2-2) 定期観測

2025年10月から2026年2月に、有明海奥部海域に設けた8定点(Stn. P1, P6, T13, T2, T3, T4, T5, 6)および中央部海域に設けた8定点において観測を実施した(図3, 表2)。原則月2回の頻度で、多項目水質計(JFEアドバンテック社製 AAQ175, AAQ176, AAQ177, ASTD102)により、水温、塩分、クロロフィル蛍光、濁度、水中光量子の鉛直観測を行うとともに、透明度の測定を行った。また、表層(0m層)と底層(底上1m層、中央部沖合のStn. 1~5では10m層)から採水し、塩分(奥部のみ)、クロロフィルa濃度(奥部のみ)、栄養塩(硝酸態窒素NO₃-N、亜硝酸態窒素NO₂-N、アンモニア態窒素NH₄-N、溶存態無機リンDIP、溶存態ケイ素DSi)濃度の分析及び植物プランクトンの同定、計数(試水0.1~1mL)に供した。さらに、孔径100µmのプランクトンネットの鉛直曳き(原則、5m層から表層まで、水深の浅い定点においては底層から表層まで)を行い、固定後、プランクトン沈殿量の分析に供した(中央部はStn. 7~9のみ)。中央部沖合域の

5 定点 (Stn. 1~5) から得られた鉛直観測データからは水質の鉛直断面図を作成し、ウェブサイト (赤潮ネット「有明海・八代海等の水質観測情報」, <https://akashiwo.fra.go.jp/ariake-yatsushiro/>) において公表した。また、奥部西側域の 8 定点 (Stn. T2, T13, P6, SA, P1, SB, SC, B3) では、月に 1, 2 回の頻度で多項目水質計 (JFE アドバンテック社製 AAQ1183, AAQ176) による鉛直観測を実施し、得られた観測データから水質の鉛直断面図を作成し、ウェブサイト (赤潮ネット「有明海・八代海等の水質観測情報」, <https://akashiwo.fra.go.jp/ariake-yatsushiro/>) において公表した。

(3) 結果および考察

1) 夏季の貧酸素水塊

1-1) 有明海奥部

有明海奥部の Stn. T13 (国営干拓沖) における底層の DO 濃度は、7 月 1 日から 6 日まで低下し、その後上昇したが、14 日まで断続的に貧酸素状態 (DO 濃度 3.0 mg/L 未満) になった (図 4)。15 日から 20 日は高い値を示したが、18 日から低下し、21 日から 23 日に再び貧酸素状態が観測された。8 月 4 日に貧酸素状態から回復したものの、増減を繰り返しながら徐々に低下し、14 日には再び貧酸素状態となった。22 日から 28 日の底層 DO は断続的な貧酸素状態が観測され、29 日以降は継続的な貧酸素状態が観測された。18 日、19 日及び 31 日には 0.5 mg/L 未満の著しい貧酸素状態が観測された。9 月 1 日から 7 日まで断続的に貧酸素状態が観測された。8 日から 14 日まで短時間貧酸素状態となることがあったが、高い状態が継続した。15 日に DO 濃度は急激に低下し、18 日まで貧酸素状態が継続した。18 日以降は、断続的に貧酸素状態が観測されたが、DO 濃度は上昇傾向となり、22 日以降は高い値だった。

沖合域の Stn. P6 (沖神瀬西) の底層の DO 濃度は、観測開始の 7 月 1 日には貧酸素状態が観測され、15 日まで継続的に貧酸素状態が観測された。16 日から 18 日まで DO 濃度は上昇したが、断続的に貧酸素状態が観測され、その後低下し、20 日から 24 日まで継続的に貧酸素状態が観測された。27 日から 28 日は貧酸素状態から回復したが、29 日以降は低下し、断続的に貧酸素状態が観測された。8 月 1 日から 3 日まで断続的に貧酸素状態が観測され、4 日から 6 日まで継続的に貧酸素状態だった。8 月 9 日から 14 日まで高い値だったが、17 日から 9 月 8 日まで貧酸素状態が継続的に観測された。9 日から 11 日まで DO 濃度は大きく変動し、貧酸素状態が断続的に観測され、12 日から 10 月 8 日まで概ね貧酸素状態が継続した。10 月 8 日から 10 日にかけて DO 濃度は大きく上昇したが、その後下降傾向となり、17 日にも貧酸素状態が観測され、その後は大きく上昇し、高い値だった。

全体的な DO 濃度の変化傾向として、Stn. T13 では DO 濃度の短期的な変動が沖合域 (Stn. P6) に比べ大きく、基本的に小潮期に DO 濃度は低下、大潮期に DO 濃度は上昇する傾向が見られた。小潮一大潮の変動は、小潮期には底層フロントが Stn. T13 より岸側に位置し、大潮期には沖側に見かけ上移動するためと考えられる (図 5)。また、Stn. P6 では、数時間スケールの変動は小さく、水平移流の影響は Stn. T13 に比べて小さいことが示唆される。Stn. P6 では、大潮一小潮周期で底層フロントの見かけ上の移動の影響が小さいため、水平移流の影響は小さく、鉛直方向の成層と底層酸素消費により貧酸素化すると考えられる。

Stn. T2, T13, P6, P1 における DIN (溶存態無機窒素) の時系列変化を図 6 に示す。Stn. T2, T13 では各層とも 8 月 12 日に最高値を示した。その後急減し、8 月 19 日~9 月 1 日を 0~4.2 $\mu\text{mol/L}$ で推移し、9 月 15 日に 15.6~51.6 $\mu\text{mol/L}$ に増加した。Stn. P6, P1 では、B-1 層を除き 8 月 12 日に最高値を示した後急減し、8 月 19 日~9 月 1 日を 0~6.8 $\mu\text{mol/L}$ で推移した。Stn. P6 の表層、2 m 層、5 m 層、Stn. P1 の表層、2 m 層においては 9 月 15 日に 8.1~38.5 $\mu\text{mol/L}$ に増加した。Stn. B3 では、全層とも 8 月 12 日に最高値を示した。その後、表層、2 m 層では 0~1.4 $\mu\text{mol/L}$ で推移した。一方、5 m 層、B-1 層では 3.1~9.0 $\mu\text{mol/L}$ で推移した。調査期間中、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は 0~4.4 $\mu\text{mol/L}$ の範囲で推移し、最大値は 8 月 12 日における Stn. T2 の表層、最小値は 8 月 19 日における Stn. P6 の表層および Stn. P1 の 2 m 層であった。 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は 47.9~227.4 $\mu\text{mol/L}$ の範囲で推移し、最大値は 8 月 12 日における Stn. T2 の表層、最小値は 8 月 1 日における観測点 P1 の B-1 層であった。

各定点における *Chattonella* 属の細胞密度の推移を図 7 に示す。*Chattonella* 属は、7 月 17 日および

7月24日には全地点0 cells/mLであった。8月1日にはStn. T13で196 cells/mLと高密度化を確認したが、8月12日では全地点で0~6 cells/mLと減少していた。その後、8月19日には*Chattonella*属の増殖がみられ、9月1日のStn. T13で256 cells/mLと再び高密度化したが、9月15日には全地点で0~8 cells/mLと低密度化していた。その他のラフィド藻類は確認されなかった。珪藻類の細胞密度は、0~9,334 cells/mLの範囲で確認され、7月24日のStn. B3では9,334 cells/mLと高密度化していた。珪藻類が高密度で確認された観測における優占種は、*Leptocylindrus minimus*であった。Stn. P1およびStn. P6の珪藻類の細胞密度は、期間を通し低密度で推移した。渦鞭毛藻類は、2~732 cells/mLの範囲で確認され、8月19日のStn. T13で*Akashiwo sanguinea*および*Ceratium*属の細胞密度がそれぞれ236 cells/mL及び490 cells/mL、Stn. T2では*Ceratium*属が296 cells/mLと高密度化したが、その後は低密度で推移した。

8月中旬の河川等からの出水によって表層栄養塩は増加し（図6）、その後8月中旬から下旬に珪藻類及び渦鞭毛藻類の増殖が見られた。また、Stn. T13における表層栄養塩は急激に減少し、8月下旬には0 $\mu\text{mol/L}$ となった。さらに、Stn. T13表層塩分の上昇とともにDINは減少し（図8左）、また筑後川流量とStn. T13表層塩分は負の相関が見られたため（図8右）、栄養塩負荷→珪藻類・渦鞭毛藻類の増殖→表層栄養塩枯渇→底層栄養塩を利用した*Chattonella*属の増殖のプロセスの可能性が示唆される。ただし、8月中旬から下旬には表層DINも枯渇していたため、*Chattonella*属の増殖に必要なDINの由来は不明である。

1-2) 熊本県海域

小潮における調査点、St. 1, St. 5, St. 9と大潮における調査点、浅9, 浅19, 浅17を、近接していることから同じとみなし、St. 1, St. 5, St. 9の3点を小潮及び大潮における代表3点として、各調査項目の推移を示す。小潮及び大潮における調査定点のうち代表3点の水温の推移を図9に示す。水温は21.9°Cから31.3°Cで推移した。小潮においては、7月上旬から、表層付近の水温が上昇しはじめ、8月上旬まで底層との鉛直差が大きくなった。大潮における調査期間中は、表層付近と底層付近の水温に鉛直差は見られなかった。

小潮及び大潮における調査定点のうち代表3点の塩分の推移を図10に示す。調査期間中、塩分は17.5から32.3で推移した。小潮においては、7月上旬の降雨の影響により7月中旬まで、8月中旬の降雨の影響により8月下旬まで、表層から水深5m層付近までの塩分が低下した。大潮においても、8月中旬の降雨の影響により8月下旬まで表層から水深5m層付近までの塩分が低下した。

小潮及び大潮における調査定点のうち代表3点の海水密度 (σ_t) の推移を図11に示す。調査期間中、 σ_t は8.3から21.6で推移した。小潮においては、7月中旬と8月中下旬に表層から水深5m付近にかけて低下し、大潮においては、8月下旬に表層から水深5m付近にかけて低下した。これらは塩分の低下による影響が大きいものと考えられた。

小潮及び大潮における調査定点のうち代表3点のクロロフィルaの推移を図12に示す。調査期間中、クロロフィルaは0.4から14.7 $\mu\text{g/L}$ で推移した。小潮及び大潮において8月中旬から9月中旬に表層から水深5m付近にかけてクロロフィルaの増加がみられたが同時期に確認されたシャットネラ属（最高細胞数1,100 cells/mL）によるものと考えられた。

小潮における調査定点のうち代表3点のDINの推移を図13に示す。調査期間中、DINは0.3 μM から11.3 μM で推移し、7月上旬および8月中旬の降雨後に濃度が上昇する傾向がみられた。小潮における調査定点のうち代表3点のDIPの推移を図14に示す。調査期間中、DIPは0 μM から1.6 μM で推移し、DINと同様に、7月上旬および8月中旬の降雨後に濃度が上昇する傾向がみられた。小潮における調査定点のうち代表3点のDSiの推移を図15に示す。調査期間中、DSiは2.0 μM から124.6 μM で推移した。7月上旬の降雨の影響で、7月上旬から7月中旬にかけて、表層から水深20m付近にかけて濃度が上昇する傾向が見られた。また、8月中旬の降雨の影響で、8月中旬から9月中旬にかけて、表層から水深20m付近にかけて濃度が上昇する傾向が見られた。

図 16 に調査期間の気温、降水量、全天日射量の推移を、表 3 に気温、降水量、日照時間の旬毎の階級区分を示す。気温については、7 月中旬、8 月上中旬を除き、平年より「かなり高い」状態で推移し、8 月 1 日には期間中で最高となる 31.3℃を記録したほか、9 月 16 日には、平年より 4.4℃高い 29.6℃を記録した。降水量については、8 月上中旬は「かなり多い」状態であったが、それ以外は「かなり少ない」、「少ない」または「平年並」で推移した。全天日射量については、降水量が多いときには少なく、少ないときには多い傾向であった。図 17 に菊池川、白川、緑川の水位の変動を示す。各河川について、8 月中旬での降雨が確認された後、水位が上昇していることが確認された。

小潮及び大潮における調査定点のうち代表 3 点の DO 濃度の推移を図 18 に示す。小潮では、調査期間中、DO 濃度は 1.0 mg/L から 12.3 mg/L で推移し、8 月中旬と 9 月中旬に、熊本県北部海域の沿岸から沖合にかけて、水深 5 m 層以深の層で、3.0 mg/L を下回る貧酸素が確認された。次に、大潮における調査期間中の DO 濃度は、2.9 mg/L から 8.7 mg/L で推移し、8 月下旬に、熊本県北部海域の沿岸点 St. 5 付近の水深 5 m 層以深の層で、3.0 mg/L を下回る貧酸素が確認された。また、その他の地点において 3.0 mg/L を下回る貧酸素は確認されなかった。小潮では複数の調査定点で貧酸素の発生が確認された一方で、大潮では貧酸素が St. 5 付近の代表点以外の点に確認されなかった理由は、大潮で海水交換が活発となり成層が緩和され、貧酸素が解消されたことが考えられる。

貧酸素水塊の発生要因については、(a) 物理的要因として表層水温の上昇および表層塩分の低下による海水の鉛直密度差の増加や、(b) 生物学的要因として底層付近での酸素消費量の増加が考えられる。(a) については、気温および降雨により、大きく影響を受ける。今年度は、例年より高く気温が推移したため、特に、7 月上旬から 8 月上旬にかけて表層と底層との水温の鉛直差が大きくなった。また、8 月中旬の降雨により海水の鉛直密度差が大きい状態が 9 月中旬まで確認された。

(b) については、赤潮の発生と衰退によりプランクトンの死骸が沈降し、底層で分解される際に、酸素を消費することにより貧酸素化することが考えられる。今年度の有明海では、8 月中旬から 9 月中旬にかけて *Chattonella* 属による赤潮が確認されており、底層で酸素が消費されたと考えられる。よって、今年度は、これら (a) および (b) の要因により、小潮においては、8 月中旬と 9 月中旬に、熊本県北部海域の沖合から沿岸にかけて、水深 5 m 層以深の層で、3.0 mg/L を下回る貧酸素が発生したと考えられた。大潮においては、小潮から大潮に変化することで、貧酸素状態の海水の交換が活発となり、底中層の貧酸素が解消される可能性が示唆されたものの、熊本県北部海域の沿岸点 St. 5 付近では、水深・塩分躍層が強く、海水交換が他地点ほどなかったため、水深 5 m 層以深の層で、3.0 mg/L を下回る貧酸素が発生したと考えられた。

なお、8 月中旬にも DO 濃度の低下が確認されたが、水深 5 m 付近と局所的であること、それ以後の調査では解消していることから、小潮時等の潮が小さい時期に赤潮や大規模な出水が同時に発生することで、一時的に貧酸素水塊が発生しやすいものの、短期間で解消されることが考えられた。

1-3) 橘湾

調査期間中の気温（口之津）は、ほぼ例年より高めで推移した。橘湾は付近に大きな河川がなく、有明海からの淡水の流入に影響をうけるとの報告があるため、降水量は、有明海の筑後川流域に位置する久留米市の観測値を用いた。6 月 23 日に 96.5 mm、7 月 19 日に 52.0 mm、8 月 10 日に 77.5 mm、8 月 11 日に 79.5 mm、10 月 4 日に 107.5 mm のまとまった降水（50 mm 以上）が観測された。*Chattonella* spp. が有明海南部で高密度（10 cells/mL 以上）分布した 8 月 13 日～9 月 1 日には、有明海南部の口之津では、北風は吹かず、南風や西風の連吹が主体であった（長崎県漁場テレメータシステム水質情報の有明海橘湾情報を参照）。

水温は、表層が 25.1～31.6℃、中層が 23.0～29.8℃、底層が 20.7～26.0℃の範囲で推移した。塩分は、表層が 28.5～32.6、中層が 31.5～33.0、底層が 32.65～33.5 の範囲で推移した。DO%は、表層が

93.9～164.8%, 中層が 88.8～172.7%, 底層が 0.9～89.7%の範囲で推移した。クロロフィル蛍光値は, 表層が 0.2～82.48, 中層が 0.3～5.9, 底層が 0.4～38.1 の範囲で推移した。DIN は, 表層が 0.00～0.84 μM , 中層が 0.00～0.67 μM , 底層が 0.06～7.73 μM の範囲で推移した。PO₄-P は, 表層が 0.00～0.41 μM , 中層が 0.02～0.74 μM , 底層が 0.05～1.20 μM の範囲で推移した。表層はまとまった降水があった時期に高く, 底層は調査期間を通じて, 他層に比べて高めで推移した (図 19)。

橘湾では, 6 月 23 日から 7 月 29 日に *Gonyaulax polygramma* による赤潮が発生したが, 漁業被害の報告はなかった。*Chattonella* spp.は 6 月 19 日から 9 月 20 日に 0.3～18 cells/mL, *Karenia mikimotoi* は 6 月 12 日～9 月 20 日に 1～10 cells/mL, *Margaledifinium* (*Cochlodinium*) sp.笠沙型は 6 月 26 日～9 月 9 日に 1～4 cells/mL, *Margaledifinium* (*Cochlodinium*) *polykrikoides* は 6 月 18 日～9 月 20 日に 1～28 cells/mL 出現したが, いずれも赤潮の形成には至らなかった。その他期間を通じて珪藻類が 0～25,400 cells/mL, *Prorocentrum triestinum* が 6 月 9 日～19 日に 340～1,700 cells/mL 出現した。*Chattonella* spp.は有明海南部で 8 月中旬から 9 月上旬に高密度 (警戒基準の 10 cells/mL 以上) 分布したが, 橘湾では, 有明海南部に隣接する南串山地先で 8 月 18 日に 11 cells/mL, 9 月 3 日に 18 cells/mL, 9 月 5 日に 16 cells/mL と警戒基準を超えて出現したが, 漁業被害の報告はなかった。

貧酸素水塊の定義は水産用水基準 (日本資源保護協会 2000) に示された底生生物が生存可能な最低濃度 2.0 ml/L を参考に, 水温 25°C, 塩分 30 の時の DO に換算すると約 40%となるため, DO 40%未滿を貧酸素化とした。6 月 30 日には貧酸素水塊は確認されなかったが, 7 月 17 日～10 月 6 日には継続して貧酸素水塊が確認された。7 月 17 日には St. 6, 8, 12, 13, 16, 19 (6 点), 7 月 24 日には St. 1～4, 6, 7, 11～13, 16 (10 点), 8 月 5 日には St. 6, 7, 10, 12～16 (8 点), 8 月 15 日には St. 5～8, 10～13, 16 (9 点), 8 月 25 日には St. 1, 2 (2 点), 9 月 2 日には St. 1, 2, 4～10 (9 点), 9 月 7 日には St. 1～3, 5～12 (11 点), 9 月 19 日には St. 2, 7, 8, 11 (4 点), 10 月 6 日には St. 1～8, 11～13 (11 点) で貧酸素水塊が確認された。10 月 6 日の DO%の最低値は 23%であった (図 20)。

2025 年の St. 7 の底層 (B-0.2 m) の DO 濃度の時系列変化から DO 低下速度を算出したところ, 0.0072 mg/L/hour だった。有明海奥部西部海域の沖合域 (St. P6) の DO 低下速度は 0.0063～0.0388 mg/L/hour であることが報告されている (未発表データ)。このことから, 有明海奥部に位置する St. P6 より密度差が小さく, かつ薄い層 (海底から 4 m 程度) で貧酸素化するにもかかわらず, DO 低下速度は小さいことから, 橘湾においては酸素消費速度が小さいことが示唆される。

調査後は当日中に貧酸素, 赤潮速報を関係機関へ送付し, 詳細は先述の長崎県漁場テレメーターシステム水質情報の「橘湾情報」にアップロードした。また, 「赤潮ネット」内の「貧酸素情報」, 「赤潮分布情報」でも公開した。橘湾では小型底びき網, 刺網漁業等が操業されているが, 貧酸素水塊が広域化・長期化した場合は, 漁獲量が減少する。特にガザミを対象とした刺網漁業では, 漁獲物が水揚げ前にへい死することにより収益面で損失となる。漁業者への貧酸素情報の情報提供は, 漁場選択や休漁等の操業の効率化等に有効に活用されているとの情報を現場関係者から得ている。

2) 冬季のノリ色落ち原因珪藻赤潮

2-1) 気象および河川流量の推移

気象庁 (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>) による, 2025 年 10 月から 2026 年 1 月までの佐賀市および熊本市における旬別平均気温, 旬別積算降水量, 旬別積算日照時間および旬別平均全日日射量の推移を図 21 に示した。また, 9 月から 1 月の筑後大堰直下の日平均流量の変化及び 2002 年度以降の日平均流量データを基にした 2025 年度のアノマリーを図 22 に示した。

① 気温

10 月上旬から 1 月下旬までの旬別平均気温は, 10 月上旬から中旬は非常に高く, 佐賀市では平年値より 3.8～5.6°C, 熊本市では 4.0～5.9°C 上回り, その後は低下し, 10 月下旬から 12 月上旬までは平年並みで推移した。12 月中旬以降は上昇, 低下を繰り返し, 12 月中旬から下旬と 1 月中旬はやや高く, 佐賀市では平年値より 1.6～2.4°C, 熊本市では 1.2～2.4°C 上回った。1 月下旬は低下し,

平年値より佐賀市で 1.6℃、熊本市で 1.8℃下回った。

② 降水量

10 月上旬から 1 月下旬までの旬別積算降水量は、佐賀市では 10 月上旬は平年値を大きく上回る 88.5 mm（平年値の 3 倍）を記録し、その後、10 月中旬は平年並みで、10 月下旬から 12 月上旬は 0.0～17.0 mm（平年値の 0.0～0.5 倍）と少なかった。12 月中旬から下旬は 16.0～26.0 mm と平年並みかやや多かったが、1 月上旬から下旬は 0.5～5.0 mm（平年値の 0.2 倍以下）と少なかった。熊本市では、10 月上旬から 1 月下旬まで平年値を上回ることがなく、平年値の 0.5 倍以上を記録したのは 10 月下旬から 11 月上旬、12 月中旬から下旬のみだった。

③ 日照時間および全天日射量

10 月上旬から 1 月下旬までの旬別の積算日照時間および平均全天日射量は、佐賀市では 10 月上旬から 11 月中旬まで増加、減少を繰り返したが、平年並みで変動し、熊本市では 10 月上旬から中旬は高かったが、10 月下旬から 11 月中旬は平年並みで変動した。その後は、佐賀市、熊本市とも 1 月下旬まで平年値より多く、佐賀市では 12 月中旬から下旬を除くと日照時間は平年値の 1.3～1.5 倍、日射量は 1.2～1.4 倍、熊本市では日照時間は平年値の 1.2～1.5 倍、日射量は 1.2～1.3 倍だった。

④ 河川流量

9 月から 1 月までの筑後川大堰直下の日平均流量は、9 月上旬から 10 月上旬まではしばしば 100 m³/s 以上を記録し、10 月 4 日に降水（79 mm）の影響で期間の最大となる 191.4 m³/s を記録した。10 月中旬以降は 1 月まで、概ね 40 m³/s 台と低位で推移し、10 月中旬以降のアノマリーは、12 月 26 日を除くと 1 月まで常にマイナスだった。

2-2) 海況とクロロフィル *a* 濃度 (Chl. *a*) の推移

有明海奥部海域および中央部海域で実施した定期観測調査の結果をもとに、2025 年 10 月から 2026 年 1 月の有明海奥部西側域 (Stn. T2, T13, P6, P1)、奥部東側域 (Stn. T3～T5, 6)、中央部沖合域 (Stn. 1～5)、中央部沿岸域 (Stn. 7～9) における表層の平均水温、塩分、栄養塩濃度、Chl. *a* 濃度および透明度の変化を図 23a に示した。また、2013 年度から 2025 年度の奥部全定点および中央部全定点による表層平均水温、塩分、栄養塩濃度、Chl. *a* 濃度及び透明度の変化を図 23b～c に示した。さらに、奥部西側域の Stn. T13 の表層に設置した観測機器及び Stn. P6 の鉛直観測ブイに設置されている鉛直観測機器による 10 月から 1 月の水温、塩分、Chl. 蛍光強度の変化を図 24, 25 に示した。

① 水温

2025 年度の表層平均水温は、奥部では 10 月下旬に西側域で 21℃台、東側域で 20℃台まで低下し、12 月上旬に両域とも 15℃を下回り、1 月上旬に 10℃台まで低下した。中央部は、沖合域では 11 月中旬、沿岸域では 10 月下旬に 21℃台まで低下し、12 月中旬に沖合域で 16℃台まで低下、沿岸域では 15℃を下回り、1 月下旬に沖合域で 11℃台、沿岸域で 10℃台に低下した。2025 年度の平均水温を 2013 年度以降と比較すると、10 月中旬は高く、その後は概ね平年並みだった。

奥部西側域の Stn. T13 における表層の連続観測では、10 月 19 日は 26℃台だったが、21 日から 23 日にかけて 21℃台まで急激に低下した。その後は徐々に低下し、12 月 28 日から 10℃を下回ることがあり、1 月 2 日以降は概ね 10℃を下回った。Stn. P6 における連続鉛直観測では、10 月は全層で徐々に低下し、11 月から 1 月も徐々に低下したが、5～10 m よりも浅い層で低くなるが多かった。

② 塩分

塩分の表層平均は、中央部沖合域で最も高く、31.4～32.2 で推移し、中央部沿岸域は 30.1～31.5 で推移し、奥部では西側域は 29.6～30.9、東側域は 29.4～30.7 で変動した。期間中、1 月上旬に奥部東側域で低下したのを除くと変動は小さかった。2025 年度の表層平均塩分の変化を 2013 年度以降と比較すると、奥部、中央部とも高めで推移した。

奥部西側域の Stn. T13 における表層の連続観測では、観測を開始した 10 月 14 日から 17 日まで 28～29 だったが、その後は大きく低下することはない、29～30 台で変動した。Stn. P6 における連続鉛直観測では、10 月上旬から中旬は主に 5 m 以浅の層で低かったが、その後は 1 月まで表層でも 29 を下回ることがなく、鉛直的に一樣になるが多かった。

③ DIN

DIN の表層平均濃度は、奥部では 10 月中旬は西側域、東側域とも $0.4\ \mu\text{M}$ と低かった。10 月下旬から 11 月中旬はやや上昇し、それぞれ $2.6\sim 3.3\ \mu\text{M}$, $3.1\sim 5.4\ \mu\text{M}$ となったが、11 月下旬から 12 月中旬は再び低下し、それぞれ $0.5\sim 1.5\ \mu\text{M}$, $0.5\sim 0.9\ \mu\text{M}$ だった。12 月下旬から 1 月上旬はやや回復し、西側域で $4.8\sim 6.4\ \mu\text{M}$, 東側域で $4.4\sim 10.1\ \mu\text{M}$ だったが、1 月下旬に再び低下し、それぞれ $0.6\ \mu\text{M}$, $0.8\ \mu\text{M}$ だった。中央部では、10 月中旬は低く、沿岸域で $3.0\ \mu\text{M}$, 沖合域で $1.5\ \mu\text{M}$ だった。沿岸域ではその後上昇し、12 月中旬まで $8.8\sim 13.9\ \mu\text{M}$ だったが、その後は低下し、1 月下旬まで $3.5\sim 4.6\ \mu\text{M}$ で変動した。沖合域では 10 月下旬以降はやや上昇し、1 月下旬まで $2.6\sim 5.9\ \mu\text{M}$ で変動した。2025 年度の表層平均 DIN 濃度の変化を 2013 年度以降と比較すると、期間を通して低かった。

④ DIP

DIP の表層平均濃度は、奥部西側域、東側域とも、10 月中旬から下旬にかけて $0.5\sim 0.6\ \mu\text{M}$ から $0.8\sim 0.9\ \mu\text{M}$ に上昇し、11 月中旬から下旬にかけて $0.3\sim 0.5\ \mu\text{M}$ まで低下、その後再び上昇し $0.7\sim 1.0\ \mu\text{M}$ となったが、1 月下旬には $0.2\sim 0.4\ \mu\text{M}$ に低下した。中央部では、10 月下旬から 11 月下旬までやや高く、沿岸域で $0.8\sim 0.9\ \mu\text{M}$, 沖合域で $0.6\sim 0.7\ \mu\text{M}$ だったが、その他の期間は沿岸域で $0.2\sim 0.3\ \mu\text{M}$, 沖合域で $0.3\sim 0.5\ \mu\text{M}$ で変動した。2025 年度の表層平均 DIP 濃度の変化を 2013 年度以降と比較すると、奥部では 12 月下旬から 1 月上旬を除くと低く、中央部では 10 月下旬から 11 月下旬を除くと低かった。

⑤ DSi

DSi の表層平均濃度は、奥部西側域では 10 月中旬から 11 月下旬は $8.1\sim 15.6\ \mu\text{M}$ で変動し、12 月中旬以降は高くなり、 $21.5\sim 45.3\ \mu\text{M}$ で変動した。東側域では、10 月下旬に $40.3\ \mu\text{M}$ と高かったが、それを除くと西側域と同様の変動をしたが、1 月上旬は $66.2\ \mu\text{M}$ と高かった。中央部沿岸域では DIN や DIP とほぼ同様に変動し、10 月下旬から 12 月中旬は $50.3\sim 63.2\ \mu\text{M}$ と高く、その他の期間は $22.9\sim 29.6\ \mu\text{M}$ だった。沖合域は 10 月中旬に $4.8\ \mu\text{M}$ と低く、その後は $11.3\sim 20.5\ \mu\text{M}$ で変動した。2025 年度の表層平均 DSi 濃度の変化を 2013 年度以降と比較すると、奥部の 1 月上旬を除くと低かった。

⑥ Chl. *a*

Chl. *a* の表層平均濃度（中央部は蛍光強度の補正值）は、奥部では 10 月中旬に西側域で $9.2\ \mu\text{g/L}$, 東側域で $6.0\ \mu\text{g/L}$ を記録し、その後は、西側域では 11 月中旬に $11.2\ \mu\text{g/L}$ に上昇したが、それを除くと 1 月上旬まで $2.9\sim 6.4\ \mu\text{g/L}$ で変動し、東側域では 1 月上旬まで $1.9\sim 3.7\ \mu\text{g/L}$ で変動した。1 月下旬は両海域でやや上昇し、それぞれ $8.1\ \mu\text{g/L}$, $8.3\ \mu\text{g/L}$ を記録した。中央部沖合域は、10 月から 11 月は $3.3\sim 8.1\ \mu\text{g/L}$ で変動し、12 月中旬に $12.2\ \mu\text{g/L}$ に上昇、その後は $3.4\sim 7.3\ \mu\text{g/L}$ で変動した。沿岸域は大きく変動し、10 月から 11 月は上昇、下降を繰り返し、10 月下旬に最低の $3.8\ \mu\text{g/L}$, 11 月中旬に最高の $19.9\ \mu\text{g/L}$ を記録し、12 月から 1 月は $8.8\sim 15.0\ \mu\text{g/L}$ と高めで変動した。2025 年度の表層平均 Chl. *a* 濃度の変化を 2013 年度以降と比較すると、期間を通して平年並みから低め、中央部は 11 月から 12 月はやや高め、その他は平年並みから低めで推移した。

奥部西側域の Stn. T13 における表層の Chl. 蛍光強度は、10 月 27 日の前後で大きく上昇し、11 月 13 日から 22 日まで再び高くなったが、その後は 12 月中旬まで低い値で推移した。12 月下旬から潮汐に伴う変動が大きくなり、1 月下旬から 2 月上旬にかけて徐々に上昇した。Stn. P6 における連続鉛直観測では、10 月上旬に表層、中旬に中層でやや高くなったが、その後は 1 月まで鉛直に一樣になることが多く、また 12 月上旬から 1 月中旬は全層で低い値だった、

⑦ 透明度

平均透明度は、奥部では、10 月中旬は西側域では $3.3\ \text{m}$ だったが、東側域で $5.9\ \text{m}$ と高かった。10 月下旬から 11 月下旬は、西側域で $3.9\sim 4.1\ \text{m}$, 東側域で $3.7\sim 4.4\ \text{m}$ で変動し、その後はやや低下して、西側域、東側域とも $2.1\sim 3.0\ \text{m}$ で変動した。中央部沿岸域は、奥部東側域と同様に変動し、10 月から 11 月は $3.7\sim 5.8\ \text{m}$, 12 月から 1 月は $2.2\sim 2.7\ \text{m}$ だった。中央部沖合域の透明度は高く、10 月から 11 月は $6.9\sim 9.4\ \text{m}$ で変動し、12 月から 1 月は $4.1\sim 6.3\ \text{m}$ で変動した。2025 年度の平均透明度の変化を 2013 年度以降と比較すると、奥部、中央部とも、10 月から 11 月は非常に高く、12 月から 1 月は平年並みかやや高かった。

2-3) 定期観測による植物プランクトン細胞密度と経時変化

近年の有明海において、ノリの色落ち原因となる主要な藻類は、珪藻の *Eucampia zodiacus*, *Skeletonema* spp., *Chaetoceros* spp., 渦鞭毛藻の *Akashiwo sanguinea* である。2000 年度に大規模なノリ色落ち被害をもたらした珪藻の *Rhizosolenia imbricata* は、その後は本種を主体とした赤潮は形成されていない。*Asteroplanus karianus* は、2007 年度から奥部西側域の河口域からその沖合において単独で赤潮を形成するようになり、奥部西側域ではノリ色落ち原因種として注視されていたが、2015 年度以降は単独での赤潮を形成せず、2021 年度以降は本事業の定点で栄養細胞の出現は確認されていない。

有明海奥部および中央部で実施した定期観測調査をもとに、2025 年 10 月から 2026 年 1 月までの各定点における主要種の細胞密度の経時変化を図 26 に示した。なお、図 26 では各定点の各採水層で記録された密度のうちの最高密度が示されている。また、2025 年度の海域別の表層平均細胞密度の変化、2013 年度から 2025 年度の奥部全定点および中央部全定点の全層平均細胞密度の変化を図 27 に示した。

① *Chaetoceros* spp. (図 26a, 27a)

Chaetoceros spp. の表層平均細胞密度は、奥部西側域では 10 月中旬から 1 月上旬まで 0.0~78.3 cells/mL と低く、1 月下旬に 701.8 cells/mL を記録した。東側域では、12 月中旬と 1 月下旬にそれぞれ 474.6 cells/mL, 460.1 cells/mL を記録したが、それを除くと 0.0~83.3 cells/mL と低かった。中央部では、10 月から 11 月は低く、沖合域で 0.0~22.4 cells/mL, 沿岸域で 0.0~25.3 cells/mL だった。12 月から 1 月は、1 月上旬に沖合域で 8.0 cells/mL, 沿岸域で 48.0 cells/mL と低く、それ以外もそれぞれ 108.8~169.6 cells/mL, 249.3~393.3 cells/mL だった。2025 年度の細胞密度変化を 2013 年度以降と比較すると、両海域とも期間を通して大きな上昇は見られず、低かった。

② *Skeletonema* spp. (図 26b, 27b)

Skeletonema spp. の表層平均細胞密度は、10 月から 11 月まで奥部、中央部とも低く、奥部西側域で 0.0~97.8 cells/mL, 東側域で 0.0~258.5 cells/mL, 中央部沖合域で 0.1~152.0 cells/mL, 沿岸域で 0.0~890.3 cells/mL だった。12 月~1 月は、奥部西側域では上昇して 196.5~1540.8 cells/mL で変動したが、東側域では、12 月中旬と 1 月下旬は 588.5 cells/mL, 577.8 cells/mL を記録したものの、12 月下旬と 1 月上旬は最高でも 62.8 cells/mL だった。中央部においても 12 月以降に上昇し、沖合域は 345.6~1993.0 cells/mL で変動したが、沿岸域では 4726.7~8506.7 cells/mL と高い密度を記録した。2025 年度の細胞密度の変化を 2013 年度以降と比較すると、奥部は期間を通して低く、中央部は 10~11 月は低く、12 月~1 月は高かった。

③ *Eucampia zodiacus* (図 26c, 27c)

Eucampia zodiacus は、奥部では、10 月から 11 月は散発的に出現し、奥部西側域では 10 月中旬に 1.3 cells/mL, 11 月中旬に 2.0 cells/mL, 東側域では 11 月下旬に 10.6 cells/mL, 中央部沿岸域では 11 月下旬に 1.3 cells/mL を記録した。その後、奥部では 12 月から 1 月上旬まで出現せず、1 月下旬に西側域で 19.5 cells/mL, 東側域で 22.3 cells/mL を記録した。中央部では、10 月中旬から 11 月中旬まで出現せず、その後は、沖合域で 12 月中旬から 1 月上旬に 2.1~3.9 cells/mL, 1 月下旬には 32.5 cells/mL を記録し、沿岸域では 11 月下旬から 1 月上旬に 1.3~9.2 cells/mL を記録した。2025 年度の細胞密度の変化を 2013 年度以降と比較すると、全域で期間を通して低く、大きな上昇は見られなかった。

④ *Akashiwo sanguinea* (図 26d, 27d)

Akashiwo sanguinea は、10 月から 1 月まで細胞密度は低く、奥部西側域での最高は 1 月下旬の 1.0 cells/mL, 東側域では 10 月中旬の 2.5 cells/mL, 中央部沖合域では 12 月中旬と 1 月下旬の 1.0 cells/mL, 沿岸域では 12 月下旬の 0.3 cells/mL だった。2025 年度の平均細胞密度を 2013 年度以降と比較すると、全海域で期間を通して低かった。

2-4) 植物プランクトンの出現動態と予察手法の検討

① *Chaetoceros* spp.

有明海では 2018 年度から 2023 年まで、10 月~11 月に *Chaetoceros* spp. が高密度化した。その要因として、秋季に降水量が少なく、そのため河川流量が少ないことで栄養塩供給量が少ない環境となったが、平均透明度が高く、晴天が多かったことで水中の光環境が良かったことにより、*Skeletonema* 属など内湾性種よりも *Chaetoceros* 属の増殖に有利に働き、秋季の高密度化の要因とな

ったと考えられた（福岡ら 2025）。2024 年度の秋季は、*Chaetoceros* 属の細胞密度が低かったが、その要因として、平均透明度は奥部で比較的高かったが、10 月の日照率が低く、全天日射量も 10 月および 11 月に低かったことで、水中の光条件が増殖には十分でなかった可能性が考えられた（福岡ら 2025）。2025 年度の秋季も *Chaetoceros* 属の細胞密度は低く、海域の栄養塩濃度は少雨により河川流量が少ない影響で低く、平均透明度も高かった。しかし、10 月の日照率は低いものの、全天日射量が佐賀市で 2023 年度の 0.85 倍、熊本市で 0.92 倍と少なかったことから、増殖には適していなかった可能性が考えられる（図 28）。

② *Skeletonema* spp.

Skeletonema 属は分子形質による種分類が可能となり、佐賀県海域では 7 種が出現し、種による出現時期の特性が報告されている（Yoshida et al. 2023）。2023 年度より広域での出現状況を把握することを目的に、定期観測定点のうち、佐賀県海域の Stn. P6, T2, 福岡県海域の Stn. T4, T5, 熊本県海域の Stn. 7, 9 の計 6 定点の表層から採水試料を得て、Yoshida et al. (2023) の方法に従い定量 PCR により 7 種の検出を行ってきた。これまでの結果では、*Skeletonema dohrnii*, *S. costatum*, *S. tropicum*, *S. japonicum* が主要な種であることが分かってきた。*S. dohrnii* は出現頻度が最も高く、10 月から 2 月まで増加がみられ、*S. japonicum* は 1 月から 2 月に増加した（図 29, 1 月～2 月は分析中）。両種は低水温期にも生育可能とされており（Kaeriyama et al. 2011）、有明海においてはノリ養殖の冷凍網期にける *Skeletonema* 属の増殖は、主に両種によるものと考えられる。秋季の主要種についても今後分析を進めて検討していく予定である。

Skeletonema 属は冬季に高密度化することが多く、それは奥部で顕著であり、奥部において増殖する時期は、水温が 12℃を下回り、全天日射量が多い条件において、小潮から大潮へのタイミングに生じるとされた（山口ら 2018）。2025 年度は 12 月中旬から水温が 12℃を下回るようになり、その後六角川河口沖の Stn. T2 を中心に細胞密度が上昇した。しかし、広域的な細胞密度の上昇はみられず、2023 年度や 2024 年度と同様に、少雨により河川流量が低位で推移したことで栄養塩濃度が低い状況が続いた影響が考えられる。一方、中央部では 12 月から沿岸域を中心に高密度化した。2020 年度以降、中央部沿岸域では 12 月から 1 月に高密度化することが多くなった。2024 年度は、中央部沿岸域では 12 月上旬から 1 月上旬まで DIN 濃度が比較的高く、奥部と異なり増殖できた要因と考えられた（福岡ら 2025）。2025 年度も中央部沿岸域では 11 月から 12 月中旬まで降水量は少ないが DIN 濃度が高く、本種が増殖した要因の一つと考えられる（図 30）。降水量が少ない状況にもかかわらず DIN 濃度が高かった要因は明らかでない。

③ *Eucampia zodiacus*

濃縮試料により測定した細胞サイズ（一部に *E. cornuta* が含まれている可能性があるが、ここでは *E. zodiacus* として扱う）の変化から 2025 年度の細胞のサイズ回復時期（大型化した細胞が全体の >50%を基準）は 10 月下旬から 11 月上旬と推定され、これまでの結果と同様に、Stn. P6 表層における水温がおよそ 20℃まで低下した時期だった。

これまで秋季のデータに基づく冬季の赤潮発生・非発生の予察手法（長期予察）として、細胞サイズ回復後の細胞出現率（各月において細胞が出現した延べ定点数を延べ観測定点数で除した百分率）に着目してきてが、本事業の定期観測定点に基づいている手法のため、予察手法としては見直しが必要と考えられた（福岡ら 2025）。そこで、判別分析による予察手法について検討を試みた。説明変数として使用したデータは 2013 年から 2024 年の気象、河川流量、本事業の定期観測による水質データとした。気象は、9 月から 12 月の佐賀市における月別及び旬別の平均気温、合計降水量、合計日射量、平均全天日射量とし、河川流量は月別及び旬別の筑後大堰直下日平均流量の平均値とした。水質は、10 月から 12 月の月別の奥部全点、西側域定点、東側域定点の表層の平均水温、塩分、透明度、栄養塩濃度とした。*Eucampia zodiacus* の赤潮発生・非発生は「九州海域の赤潮」（九州漁業調整事務所）の報告を基にした。なお、長期予察の検討は 1 月以降の赤潮の発生・非発生を目的とし、12 月の発生については含めなかった。線形判別分析による解析の結果、最良な 2 変数として、「10 月上旬の筑後大堰直下流量」と「10 月下旬の合計降水量」が選択され、この 2 変数による分析の結果、正解率は 75.0%の結果を得た（図 31）。しかし、サンプル数が少ないことから、今後もデータを蓄積して検討を継続するとともに、手法についてもさらに検討を進める必要がある。これまでの細胞出現率による検討では、本種の細胞が最小から最大に回復する時期である 10 月から 11 月における物理環境が重要と考えてきたが、判別分析の結果においても 10 月の流量や降水量

が説明変数として選択され、秋季の海洋環境が1月以降の赤潮の発生・非発生に影響している可能性が考えられる。

④ *Akashiwo sanguinea*

Akashiwo sanguinea は、10月から12月に局所的に高密度化することがあり、2016年度と2017年度は秋季を中心に奥部から中央部の広域で高密度化し、2023年度と2024年度も比較的広域で本種の高い細胞密度が記録された。2016年度と2017年度は、筑後大堰直下の流量が僅かながら継続的に多かったことにより広域で表層塩分が低下し、本種の好む低塩分環境と躍層の形成による表層への集積が影響したと示唆された（山口ら 2018, 福岡ら 2018）。2023年度と2024年度に高い細胞密度が記録された時期は、筑後大堰直下の流量は少なく、表層塩分も継続的に低下することはなかったが、継続的に高い細胞密度が記録されたのは六角川河口沖の Stn. T2 とその周辺海域であり、河川から僅かに流入する栄養塩を取り込みながら細胞密度を維持していたと考えられた（福岡ら 2025）。本種は広塩性であるが低塩分を好むことから、六角川河口沖など塩分が低く、滞留しやすい海域で初期増殖するものと考えられる。また、本種の増殖は中心目珪藻が高密度で存在すると抑制されることが知られており（松原ら 2008）、2023年度と2024年度の本種の増殖時期は、小型珪藻が極端に少なかったため、本種の増殖に有利な条件だったと考えられた。一方、2025年度の本種の出現は期間を通して少なく、定点別においても10月に筑後川河口沖である Stn.T4 の表層で10~20 cells/mL を記録したのを除くと、出現しても最高で4 cells/mL だった。10月から12月は少雨の影響により筑後大堰直下の流量は少なく、奥部海域においても塩分は高めで推移し、本種の好む環境ではなかったと推察される。一方、10月~11月は小型珪藻も少なかったが、2023年度や2024年度のように河口域での増殖はみられず、その要因は明らかでない。

引用文献

- 福岡弘紀, 岡村和麿, 井手浩美, 小谷正幸, 藤井直幹, 山口 聖, 太田洋志, 森川太郎, 三根崇幸, 松谷久雄, 吉村直晃, 山下博和. 有明海におけるノリ色落ち原因ケイ藻の出現特性の解明と発生予察技術の開発, 5カ年のまとめ. 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 九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊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; 189-196.
- 福岡弘紀, 徳永貴久, 山口 聖, 杉松宏一, 橋本和正, 岡村和麿, 白石日出夫, 古賀まりの, 藤井直幹, 岩永卓也, 山田秀樹, 中原啓太, 野口浩介, 鎌田正幸, 山砥稔分, 宮崎隆徳, 阿部慎一郎, 岩田隆太, 生嶋 登. 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檀家に応じた一連の対策(行動計画)の検討・策定, カ. 有明海・八代海, ①有明海海域. 令和6年度豊かな漁場環境推進事業のうち海域特性に応じた赤潮・貧酸素水塊, 栄養塩類対策推進事業(1)赤潮等による漁業被害への対策技術の開発・実証・高度化報告書, 水産庁, 東京. 2025; 168-199.
- Kaeriyama H, Katsuki E, Otsubo M, Yamada M, Ichimi K, Tada K, Harrison PJ. Effects of temperature and irradiance on growth of strains belonging to seven *Skeletonema* species isolated from Dokai Bay, southern Japan. *Eur. J. Phycol.* 2011; **46**: 113-124.
- 松原 賢, 長副 聡, 山崎康裕, 柴加田知幸, 島崎洋平, 大嶋雄治, 本城凡夫. 渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* に対する中心目珪藻類による増殖抑制作用. 日本水産学会誌 2008; **74**: 598-606.
- 日本水産資源保護協会. 水産用水基準(2000年版) 社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 2000: 21.
- 山口 聖, 太田洋志, 森川太郎, 三根崇幸, 井手浩美, 小谷正幸, 藤井直幹, 福岡弘紀, 岡村和麿. 有明海におけるノリ色落ち原因ケイ藻の出現特性の解明と発生予察技術の開発, 有明海奥部における冬季のケイ藻等の赤潮動態の把握. 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 九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊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; 161-174.
- Yoshida K, Ota H, Iwanaga T, Yoshitake A, Mine T, Omura M, Kimura K. Species-specific monitoring of *Skeletonema* blooms in the coastal waters of Ariake Sound, Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2023; **703**: 31-46.

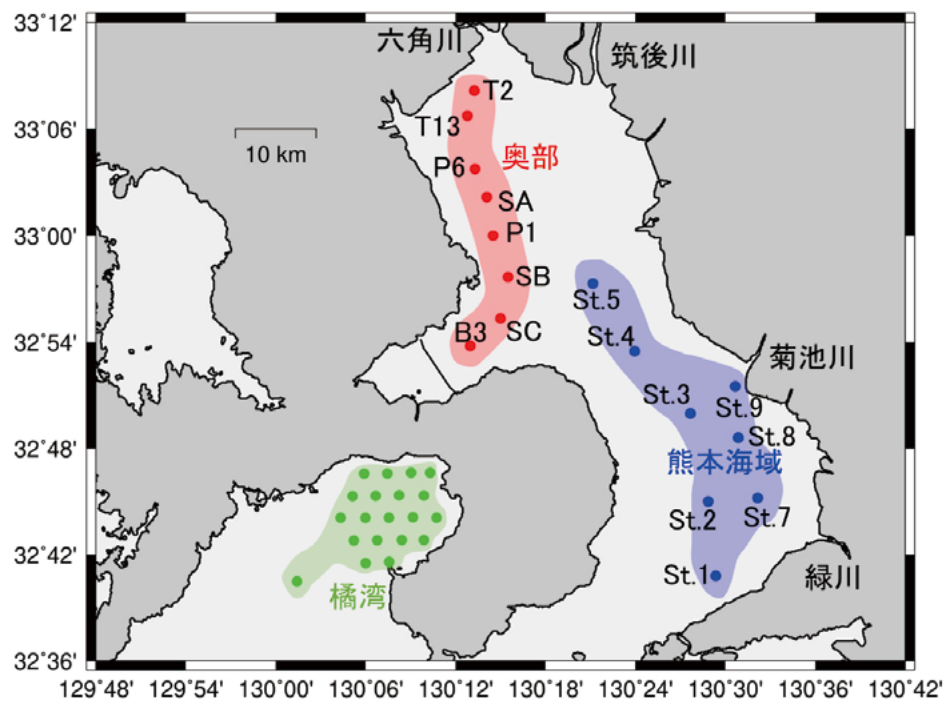


図1 夏季の有明海奥部海域及び熊本県海域における調査定点

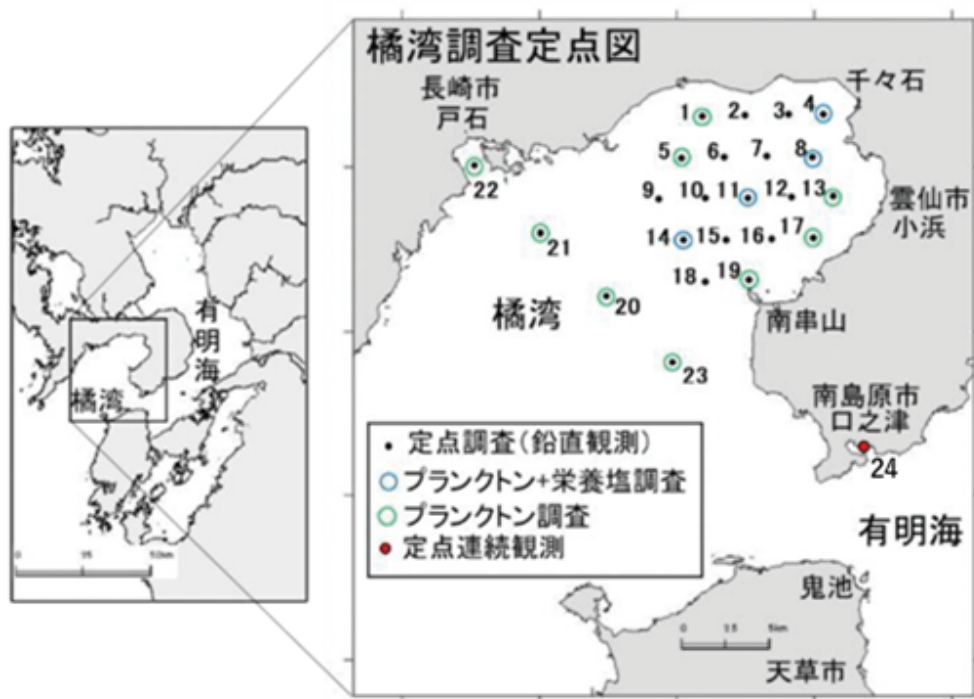


図2 橘湾における調査定点

表1 「夏季の貧酸素水塊」における有明海の連続・定期観測の調査項目

海域	奥部		中央部
担当機関	水産機構	水産機構・福岡県・佐賀県	熊本県
	連続観測	定期観測	定期観測
期間	7月～9月	7月～9月の 約1週間毎	7月～9月の隔週毎
調査定点数	3点 (T13, P6, P1)	8点 (T2, T13, P6, SA, P1, SB, SC, B3)	8点 (St.1～5, St.7～9)
調査方法・採水層	表層及び底層に 設置したセンサー (T13) 及び自 動観測ブイ (P6)	多項目水質計による鉛直観 測・表層, 2 m, 5 m, 底層 (海 底上 1 m)	多項目水質計による 鉛直観測・表層・底 層 (海底上 1 m)
調査項目			
透明度	—	○	○
水温・塩分	○	○	○
クロロフィル蛍光値	○	○	○
濁度	○	○	○
溶存酸素	○	○	○
流向・流速	○	—	—
栄養塩 (採水)	—	△ (B3, P1, P6, T13, T2)	○
植物プランクトン (採水)	—	△ (B3, P1, P6, T13, T2)	○

*1 多項目水質計のクロロフィル蛍光値補正用のみ

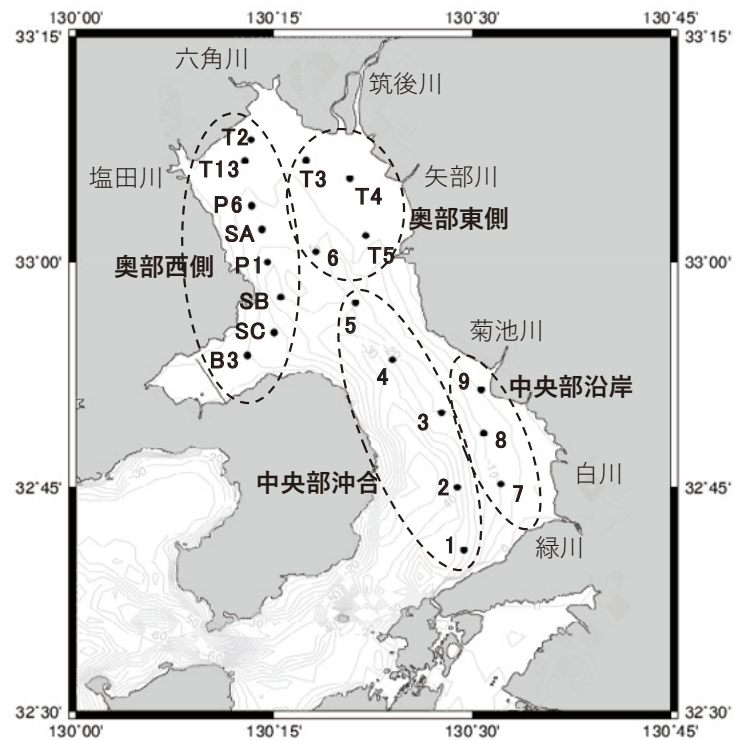


図3 冬季の有明海における観測定点位置

表2 冬季の有明海における観測定点

海域	定点		北緯	東経	水深(m)	観測
奥部	T2	六角川観測塔	33° 08.15′	130° 13.25′	1	定期観測
	T3	早津江川観測塔	33° 06.78′	130° 17.42′	1	定期観測
	T4	筑後川沖観測塔	33° 05.57′	130° 20.73′	1	定期観測
	T5	大牟田沖	33° 01.76′	130° 21.93′	5	定期観測
	6		33° 00.70′	130° 18.16′	12	定期観測
	T13	国営干拓沖	33° 06.75′	130° 12.79′	5	定期観測・連続観測(表層)
	P6	沖神瀬西	33° 03.75′	130° 13.30′	10	定期観測・連続観測(ブイ鉛直)
	SA		33° 02.17′	130° 14.08′	12	ブイマンテ時観測(採水なし)
	P1	大浦沖	33° 00.00′	130° 14.50′	20	ブイマンテ時観測(採水なし)
	SB		32° 57.67′	130° 15.50′	10	ブイマンテ時観測(採水なし)
	SC		32° 55.33′	130° 15.00′	13	ブイマンテ時観測(採水なし)
B3	諫早湾央	32° 53.79′	130° 12.98′	8	ブイマンテ時観測(採水なし)	
中央部	1	宇土市赤瀬沖	32° 40.80′	130° 29.36′	34	定期観測
	2	熊本港沖	32° 45.00′	130° 28.86′	38	定期観測
	3	菊池川河口沖	32° 49.97′	130° 27.67′	27	定期観測
	4	玉名郡長洲町沖	32° 53.49′	130° 23.95′	26	定期観測
	5	荒尾市沖	32° 57.30′	130° 21.16′	35	定期観測
	7	熊本港地先	32° 45.20′	130° 32.16′	12	定期観測
	8	玉名市横島町地先	32° 48.60′	130° 30.86′	11	定期観測
	9	菊池川河口地先	32° 51.50′	130° 30.67′	11	定期観測

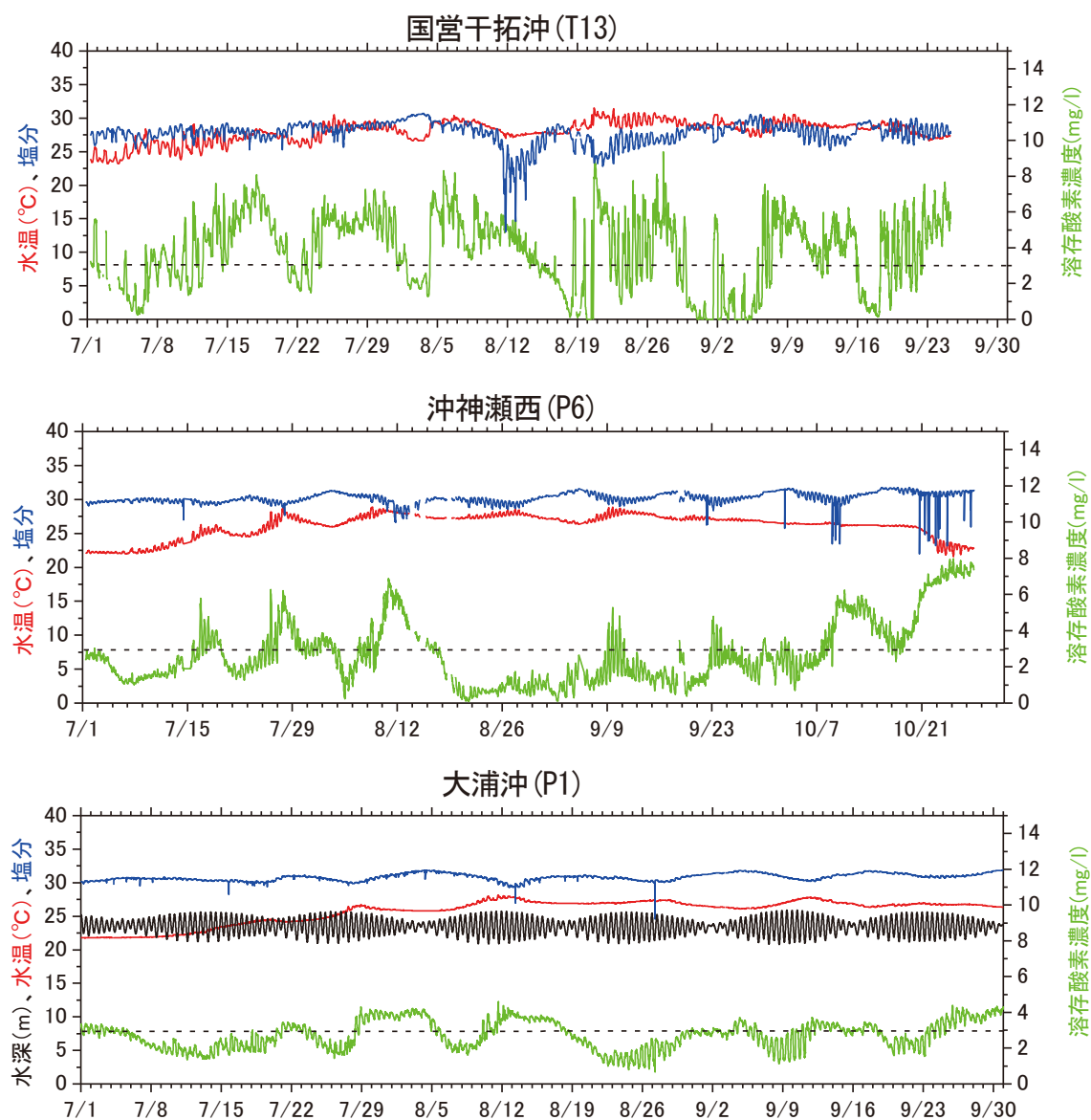


図4 2025年7月から9月の国営干拓沖 (T13), 沖神瀬西 (P6), 大浦沖 (P1) における底層 (底上 20 cm) の水温, 塩分, 溶存酸素濃度の変動。点線は溶存酸素濃度 3.0 mg/L を表す。

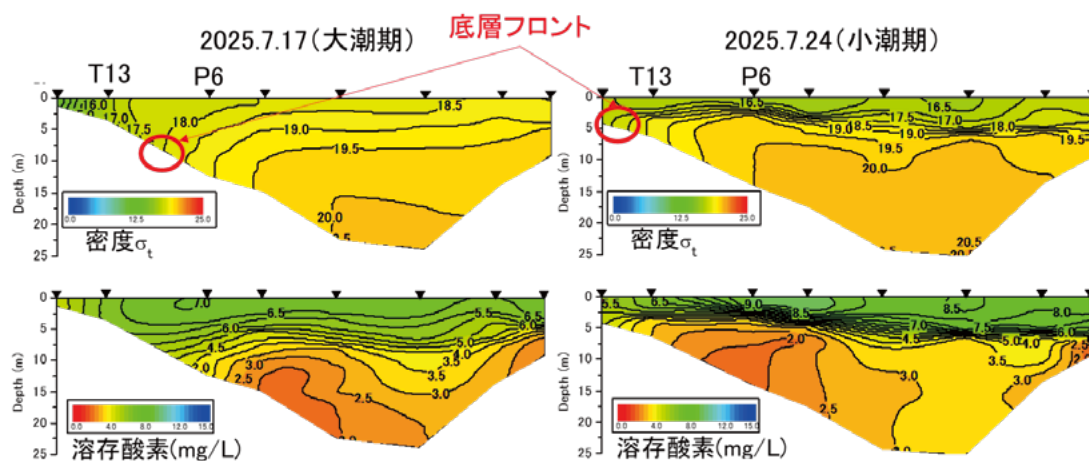


図5 小潮及び大潮期における底層フロントの位置と溶存酸素濃度との関係

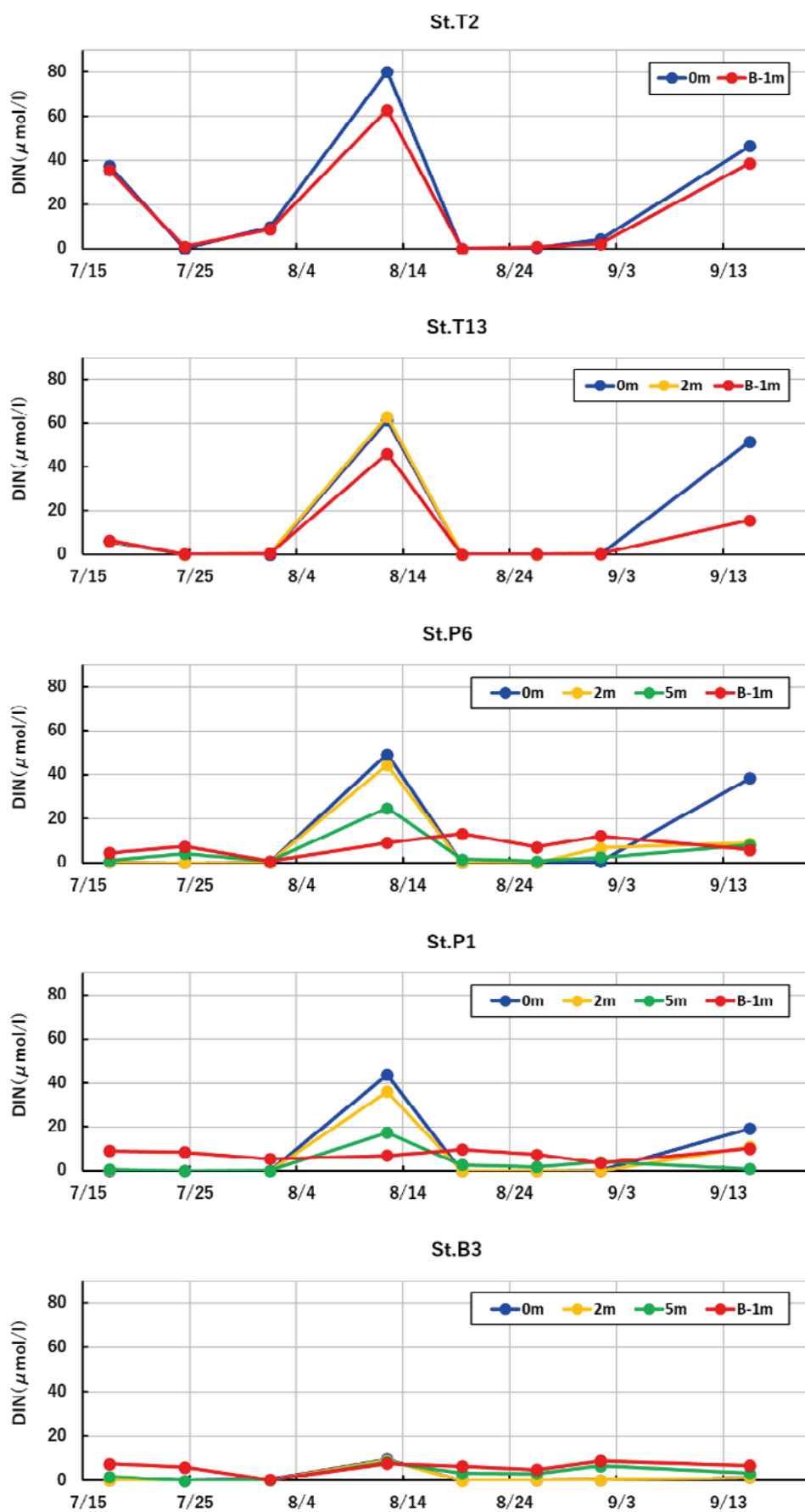


図6 T2, T13, P6, P1, B3 における DIN の時系列変化

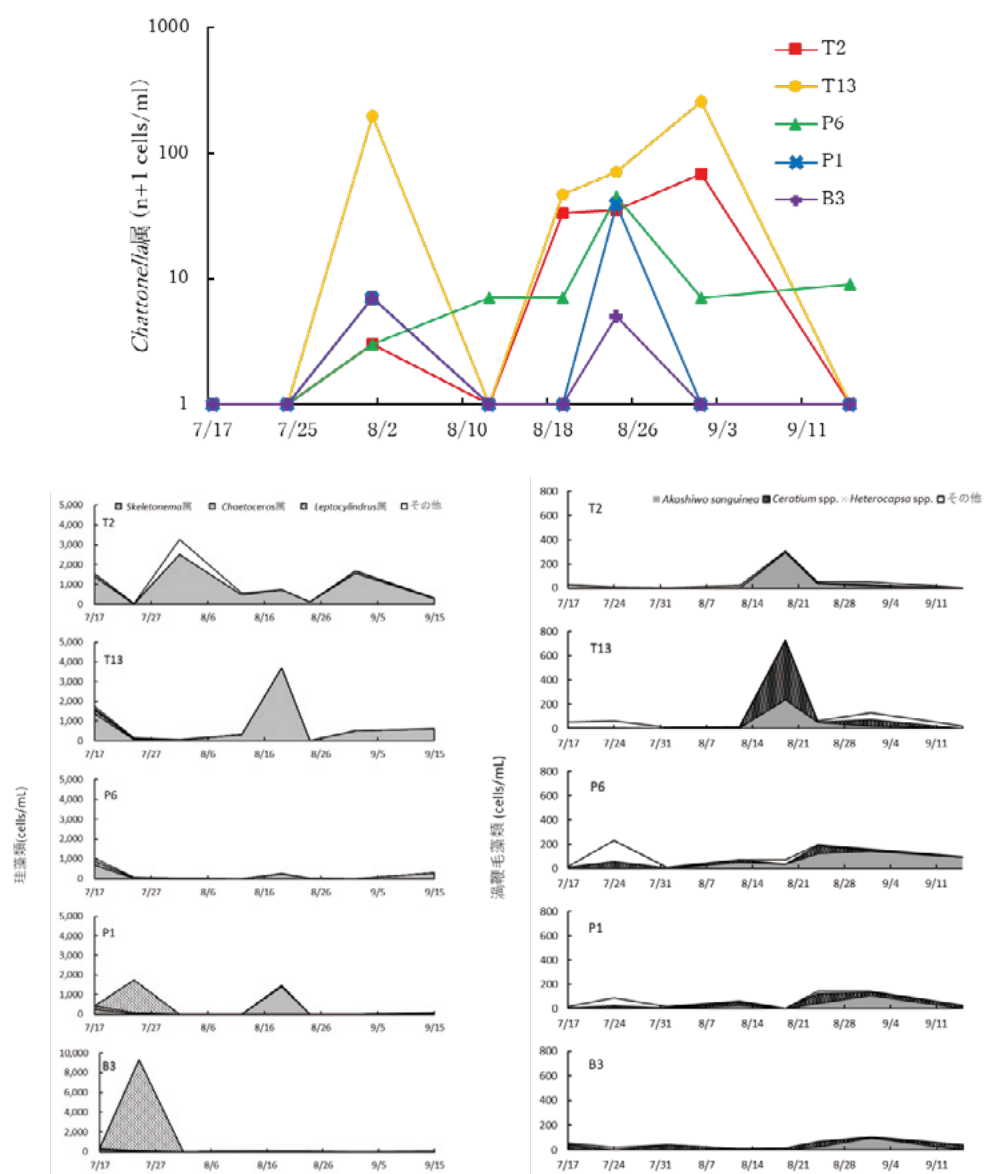


図7 *Chattonella* 属，珧藻類，渦鞭毛藻類の細胞密度の時系列変化

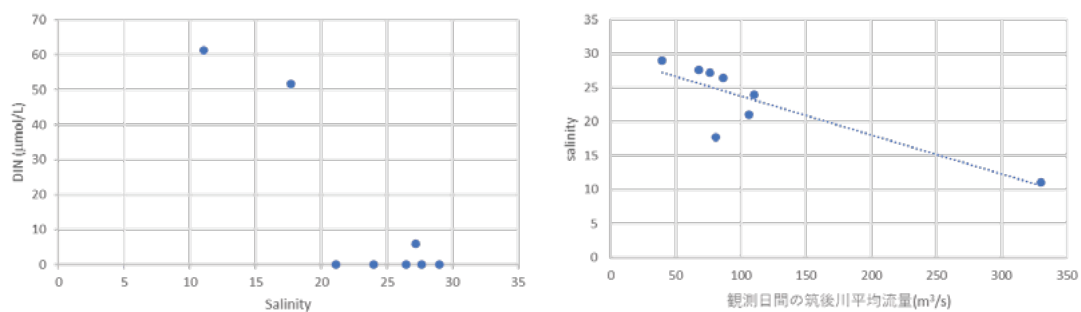


図8 T13 表層塩分と DIN の関係（左図）及び筑後川流量と T13 表層塩分の関係（右図）。

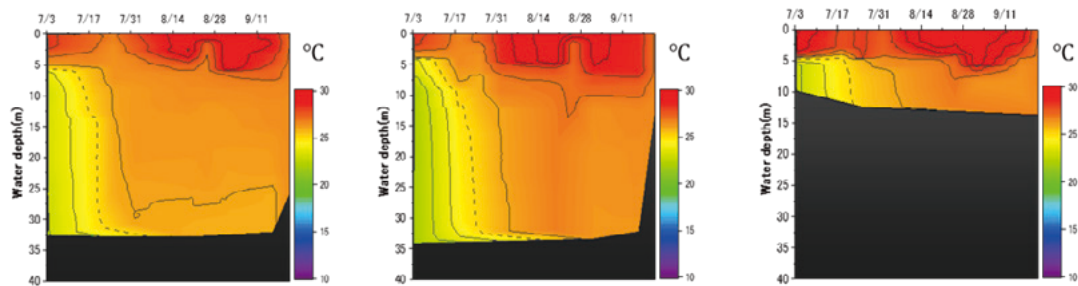


図9 水温の推移 (代表3点: 左図から St.1, St.5, St.9)

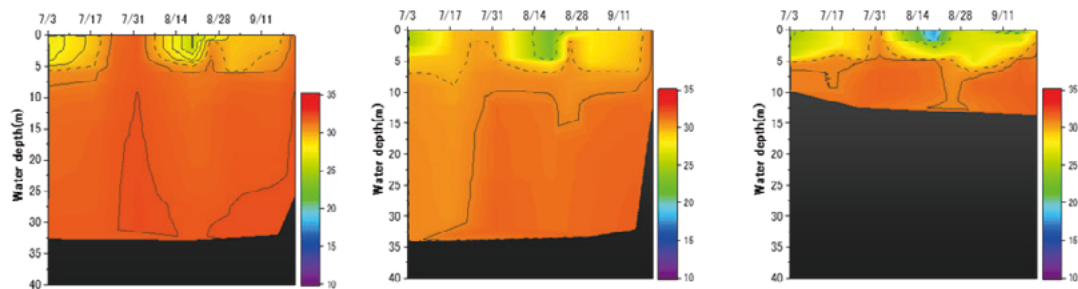


図10 塩分の推移 (代表3点: 左図から St.1, St.5, St.9)

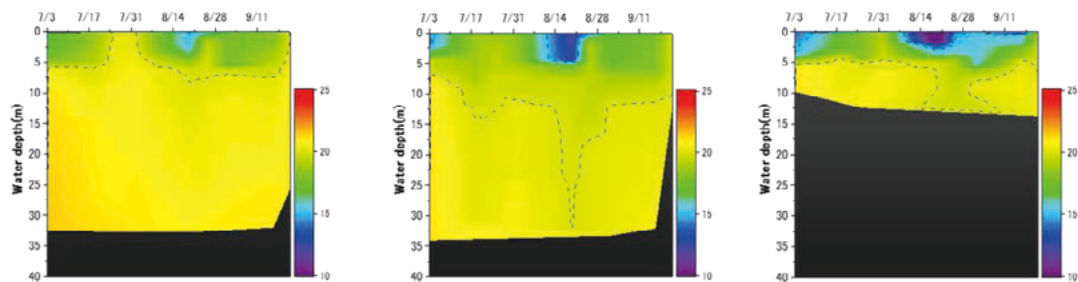


図11 σ_t の推移 (代表3点: 左図から St.1, St.5, St.9)

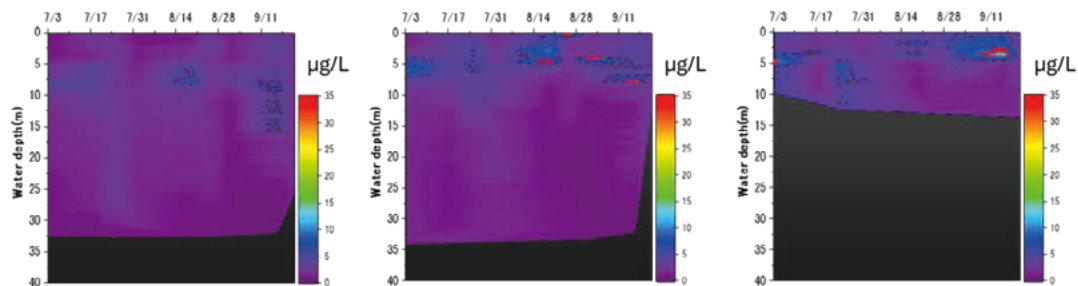


図12 クロロフィルaの推移 (代表3点: 左図から St.1, St.5, St.9)

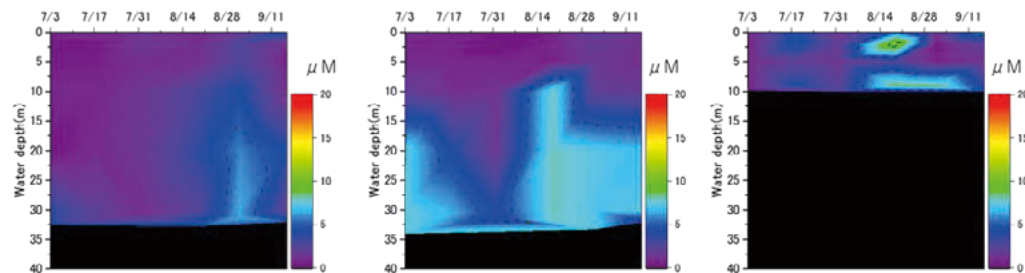


図13 DINの推移 (代表3点: 左図から St.1, St.5, St.9)

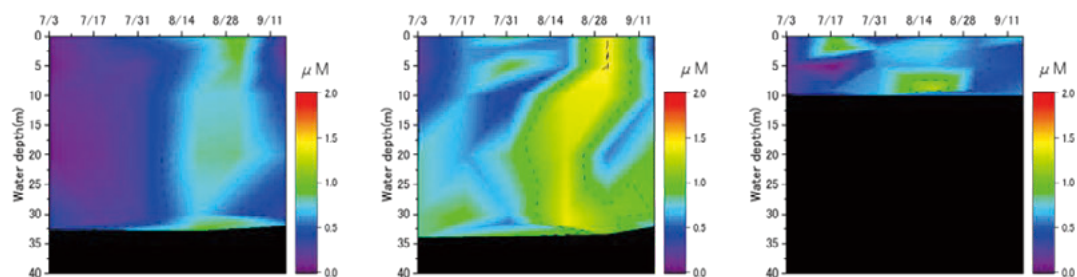


図 14 DIP の推移 (代表 3 点 : 左図から St.1, St.5, St.9)

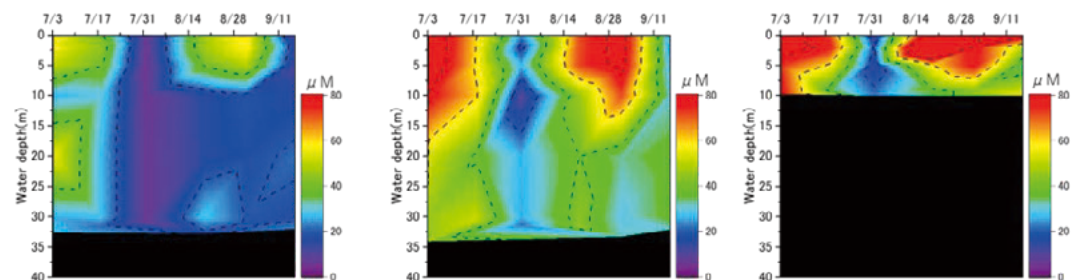


図 15 DSi の推移 (代表 3 点 : 左図から St.1, St.5, St.9)

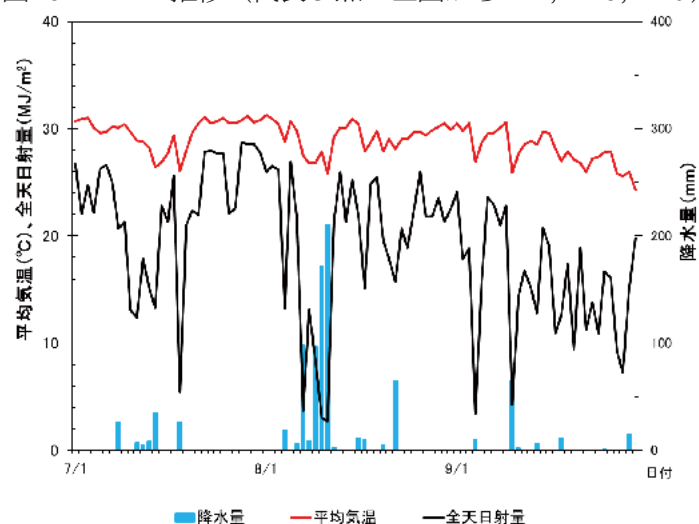


図 16 気温, 降水量, 全天日射量の推移
出典 気象庁 (観測点: 熊本市)

表 3 気温, 降水量, 日照時間の旬毎の階級区分

月	時期	気温	降水量	日照時間
7月	上旬	かなり高い	少ない	かなり多い
	中旬	高い	平年並	平年並
	下旬	かなり高い	かなり少ない	かなり多い
8月	上旬	平年並	かなり多い	少ない
	中旬	平年並	かなり多い	多い
	下旬	かなり高い	平年並	多い
9月	上旬	かなり高い	平年並	多い
	中旬	かなり高い	少ない	平年並
	下旬	かなり高い	少ない	平年並

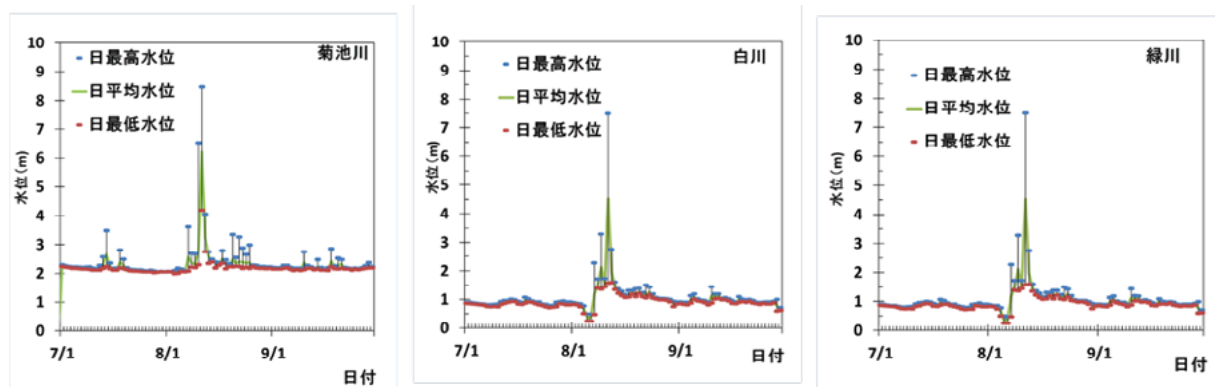


図 17 河川の水位の変動

出典 国土交通省（観測点：菊池川（菰田） 白川（代継橋） 緑川（城南））

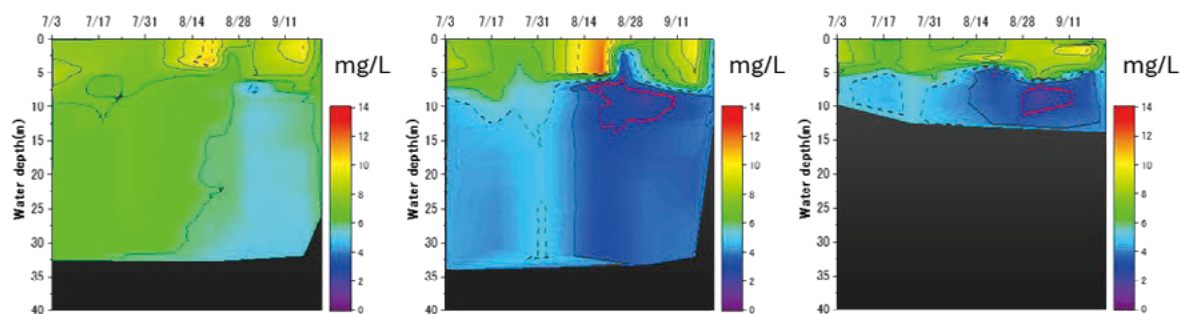


図 18 DO 濃度の推移（代表 3 点：左図から St.1, St.5, St.9）
（赤線：3.0 mg/L）

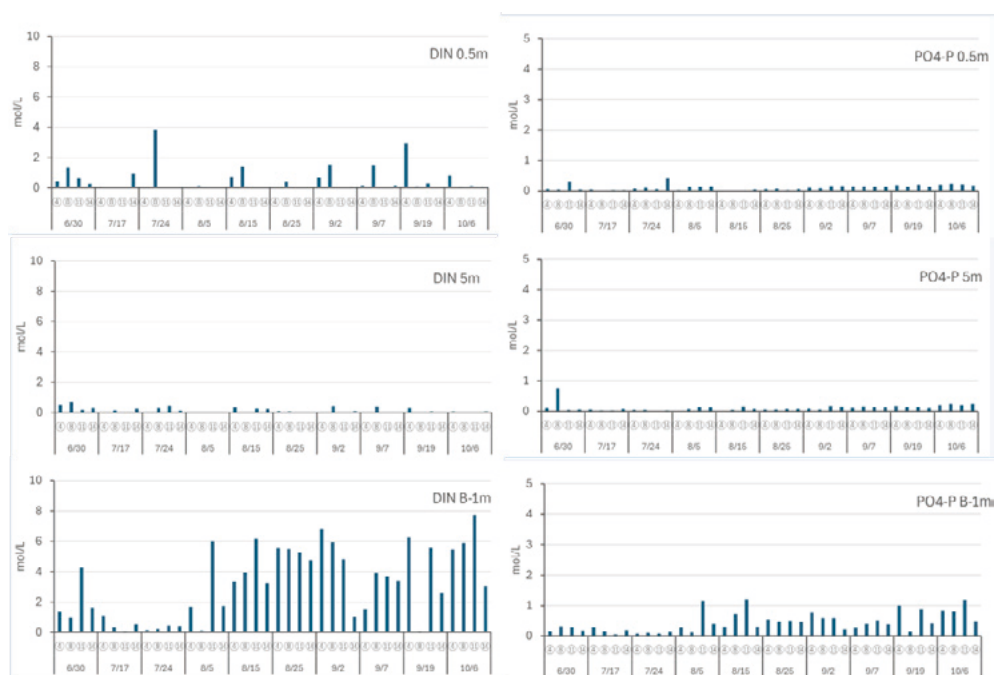


図 19 調査点毎の DIN と PO₄-P (μM)

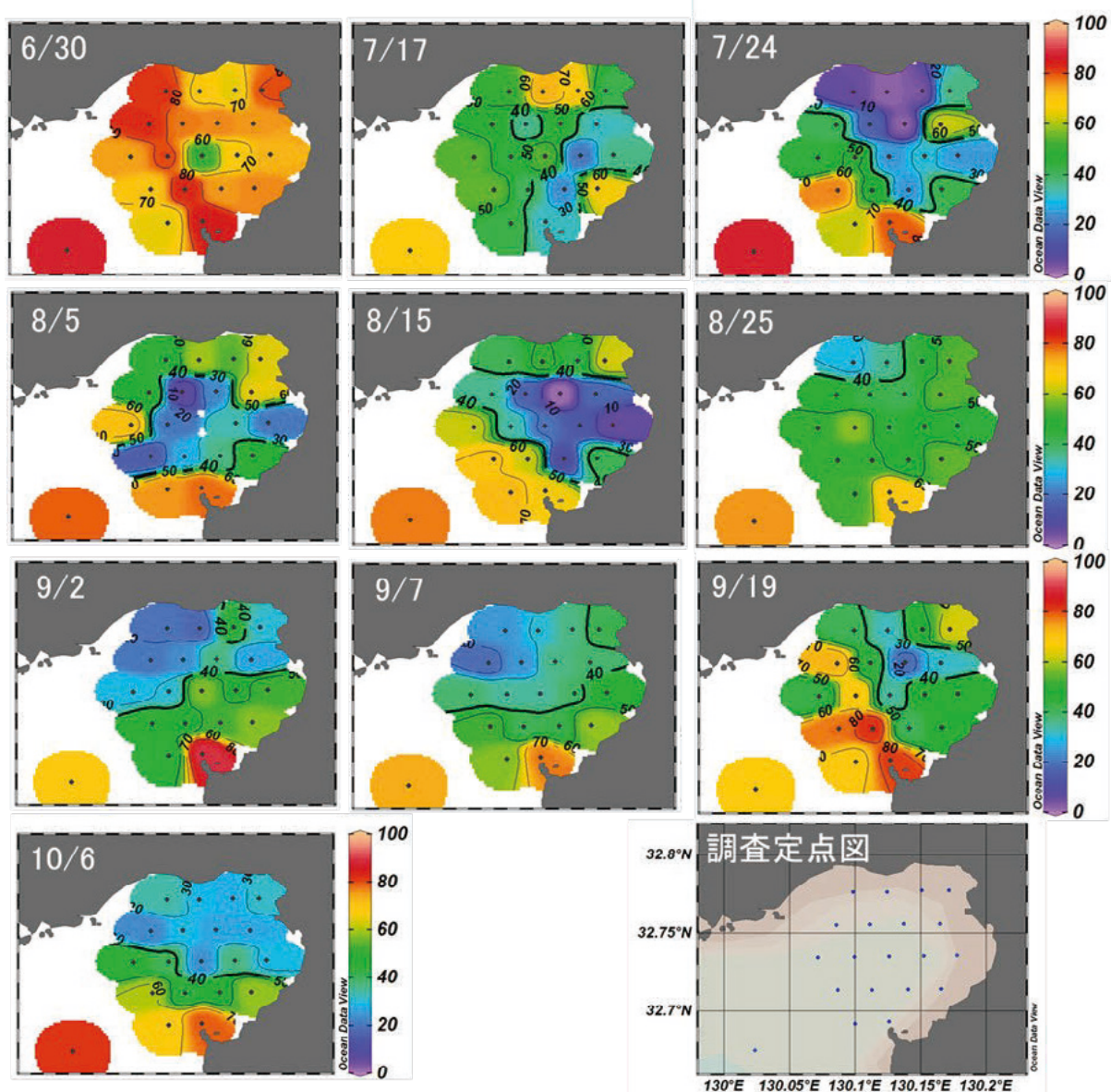


図 20 底層 (B-1 m) における DO%の推移

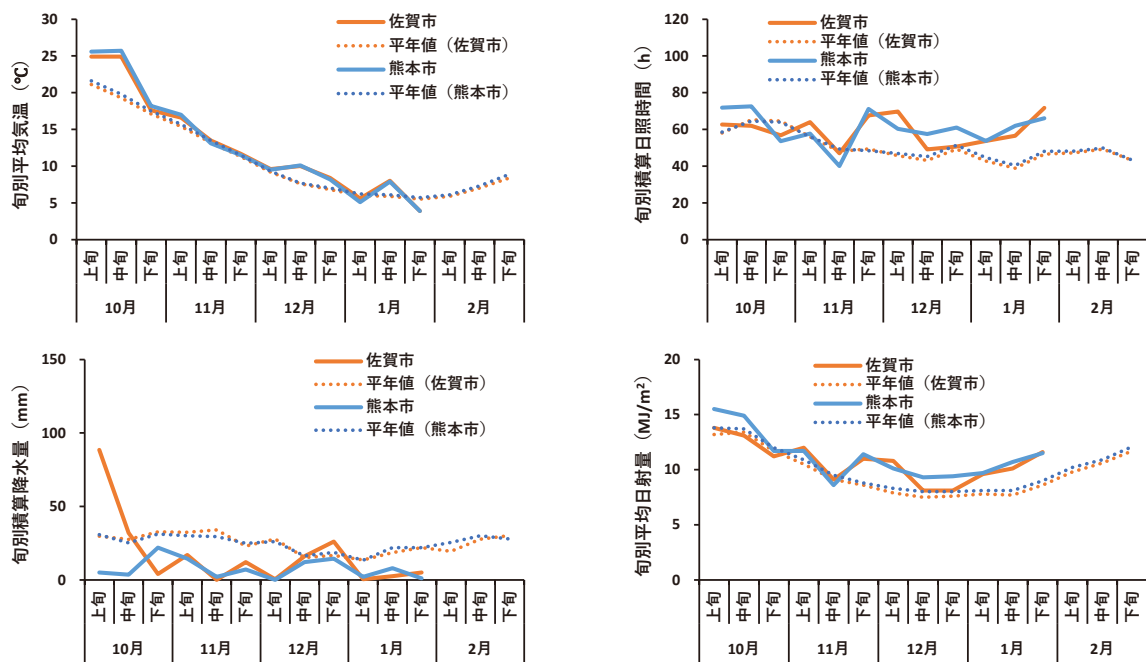


図 21 2025 年 10 月から 2026 年 1 月の佐賀市および熊本市における旬別平均気温（左上）、旬別積算降水量（左下）、旬別積算日照時間（右上）、旬別平均全天日射量（右下）の推移（平年値は 2 月下旬まで）

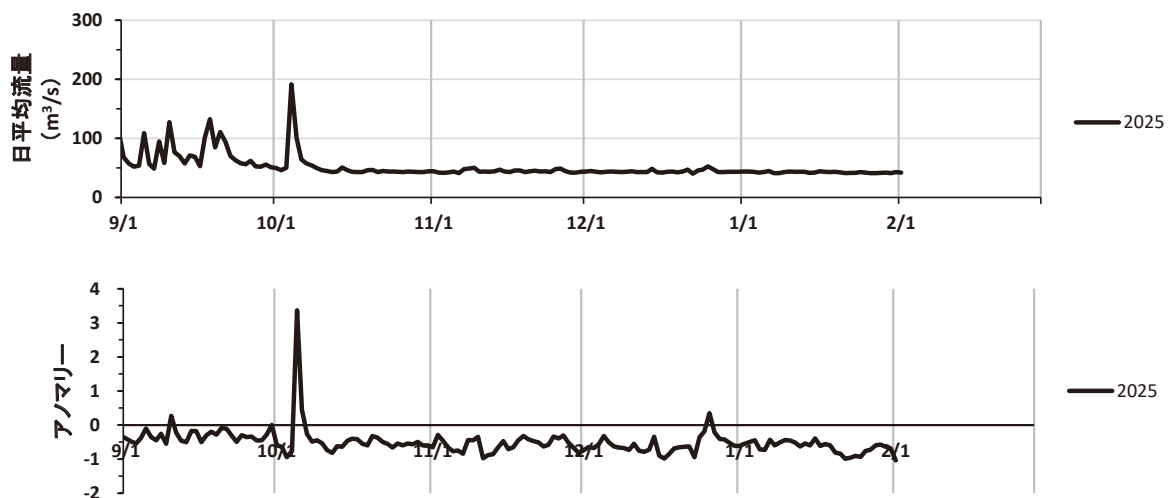


図 22 2025 年度の 9 月から 1 月の筑後大堰直下の日平均流量（上段）及びアノマリーの変化（下段）

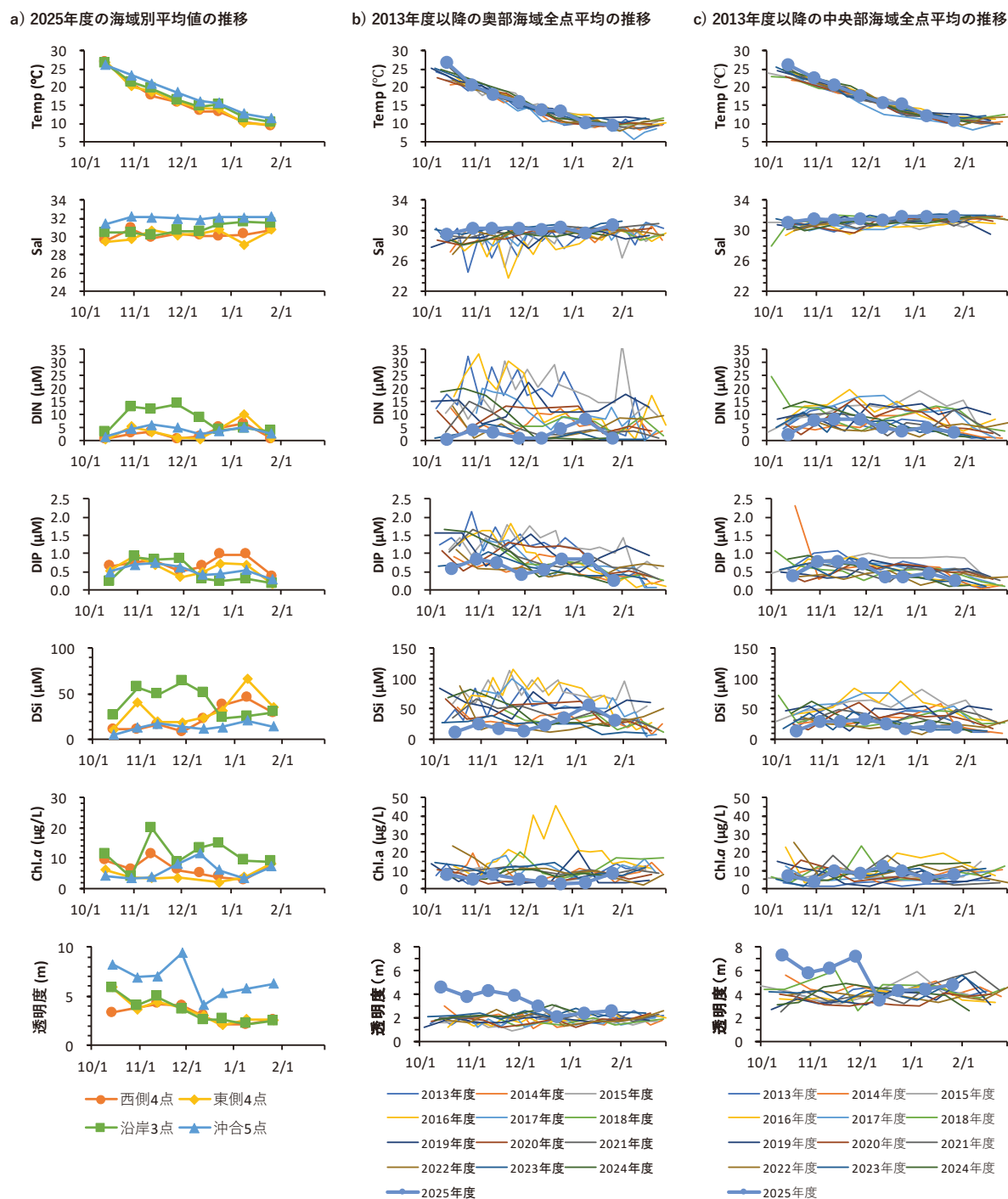


図 23 a) 2025 年 10 月から 2026 年 1 月の有明海奥部西側域 (T2, T13, P6, P1), 奥部東側域 (T3~T5, 6), 中央部沖合域 (1~5), 中央部沿岸域 (7~9) の表層における水温, 塩分, DIN, DIP, DSI, Chl. a, 透明度の平均値の推移, および 2013 年度から 2025 年度の 10 月から 2 月 (2025 年度は 1 月まで) における b) 奥部海域全定点および c) 中央部海域全定点の表層における水温, 塩分, DIN, DIP, DSI, Chl. a, 透明度の平均値の推移

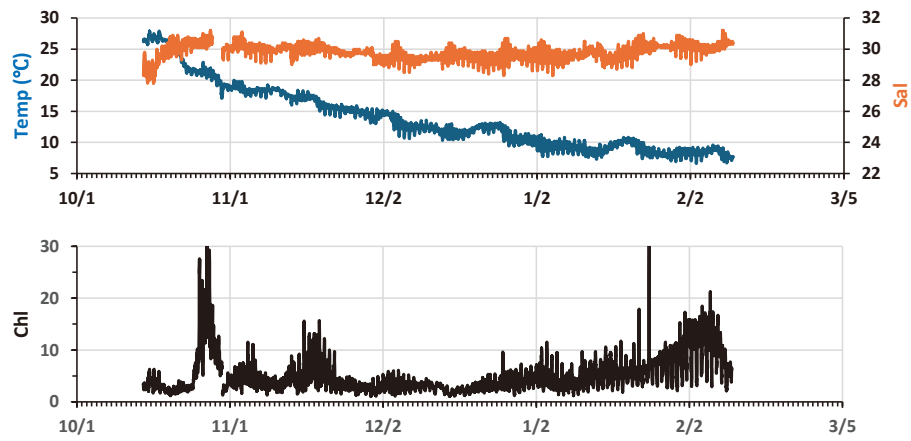


図 24 Stn. T13 における 10 月から 2 月上旬までの表層の水温と塩分（上段）およびクロロフィル蛍光強度（下段）の変化

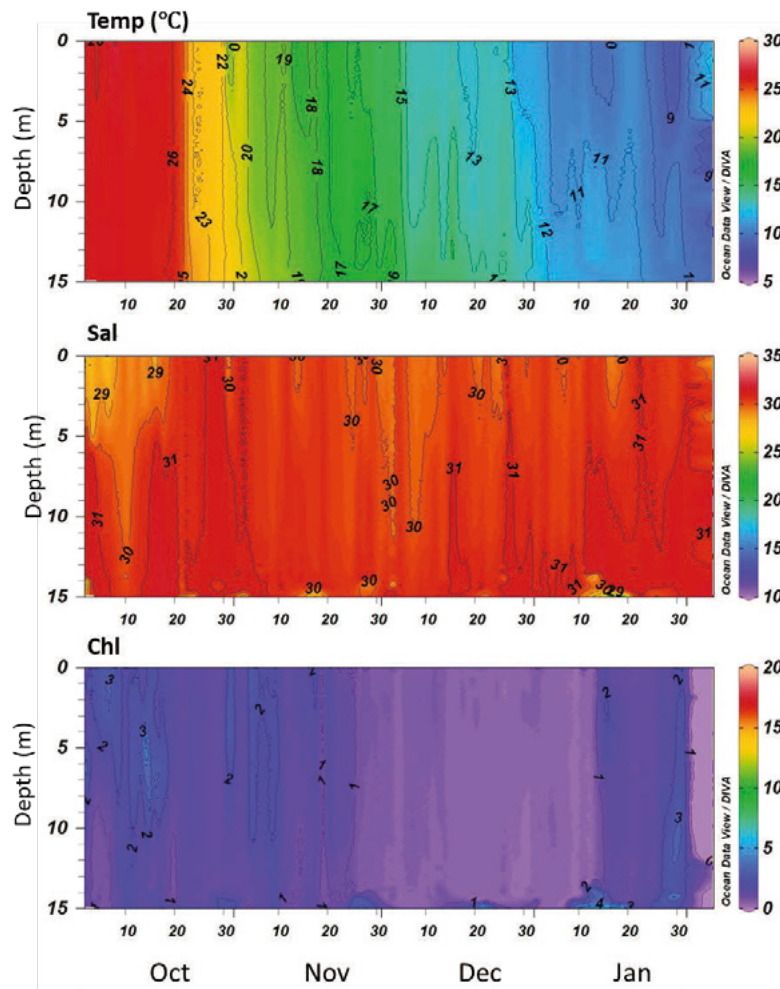
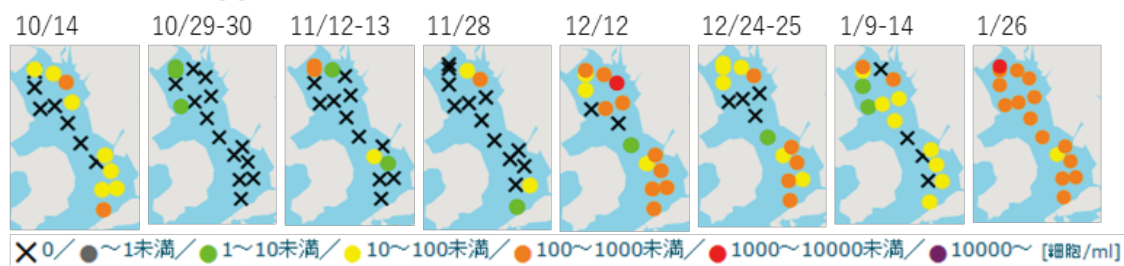
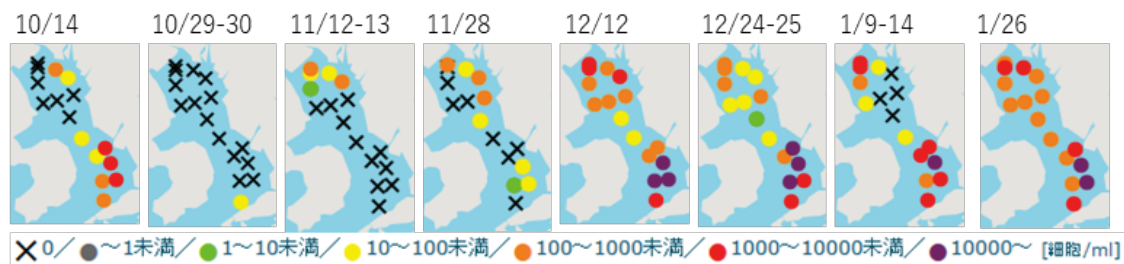


図 25 Stn. P6 における 10 月から 1 月までの水温（上段）、塩分（中段）、クロロフィル蛍光強度（下段）の鉛直分布

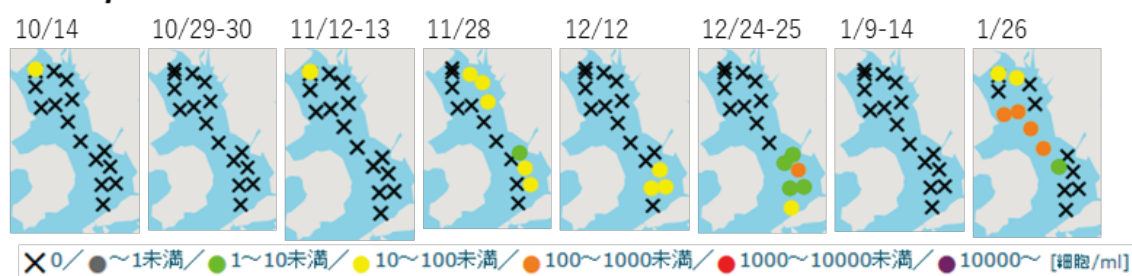
a) *Chaetoceros* spp.



b) *Skeletonema* spp.



c) *Eucampia zodiacus*



d) *Akashiwo sanguinea*

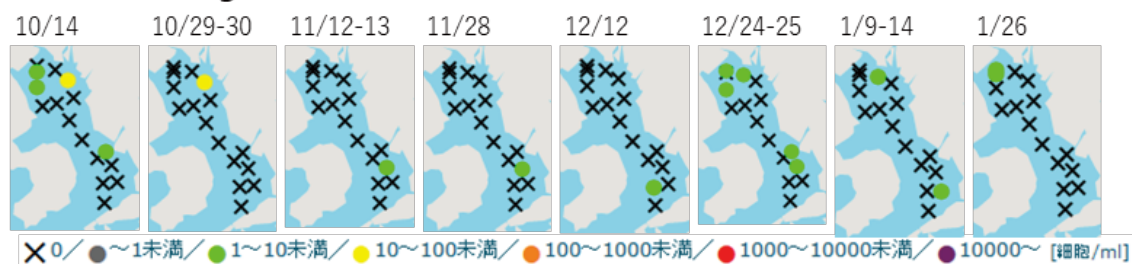


図26 2025年10月から2026年1月までのa) *Chaetoceros* spp., b) *Skeletonema* spp., c) *Eucampia zodiacus*, d) *Akashiwo sanguinea* の各定点における細胞密度（赤潮ネット「赤潮分布情報」の分布図より作成）

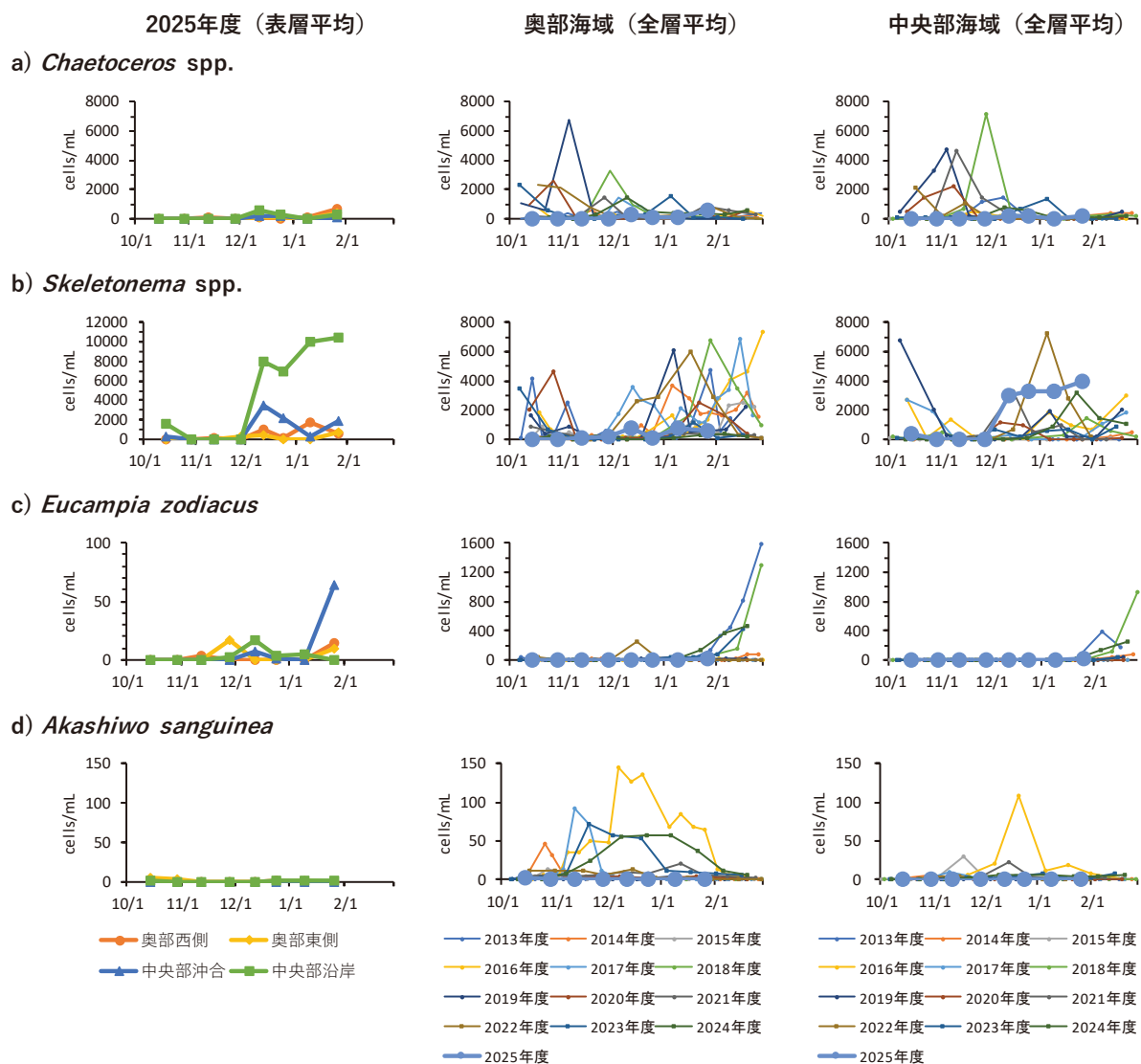


図 27 2025 年 10 月から 2026 年 1 月の水域別定点における表層（左）および 2013 年度から 2025 年度の 10 月から 2 月（2025 年度は 1 月まで）の奥部海域（中央）および中央部海域（右）における全定点の全採水層の a) *Skeletonema* spp., b) *Chaetoceros* spp., c) *Eucampia zodiacus*, d) *Akashiwo sanguinea* の平均細胞密度の変化

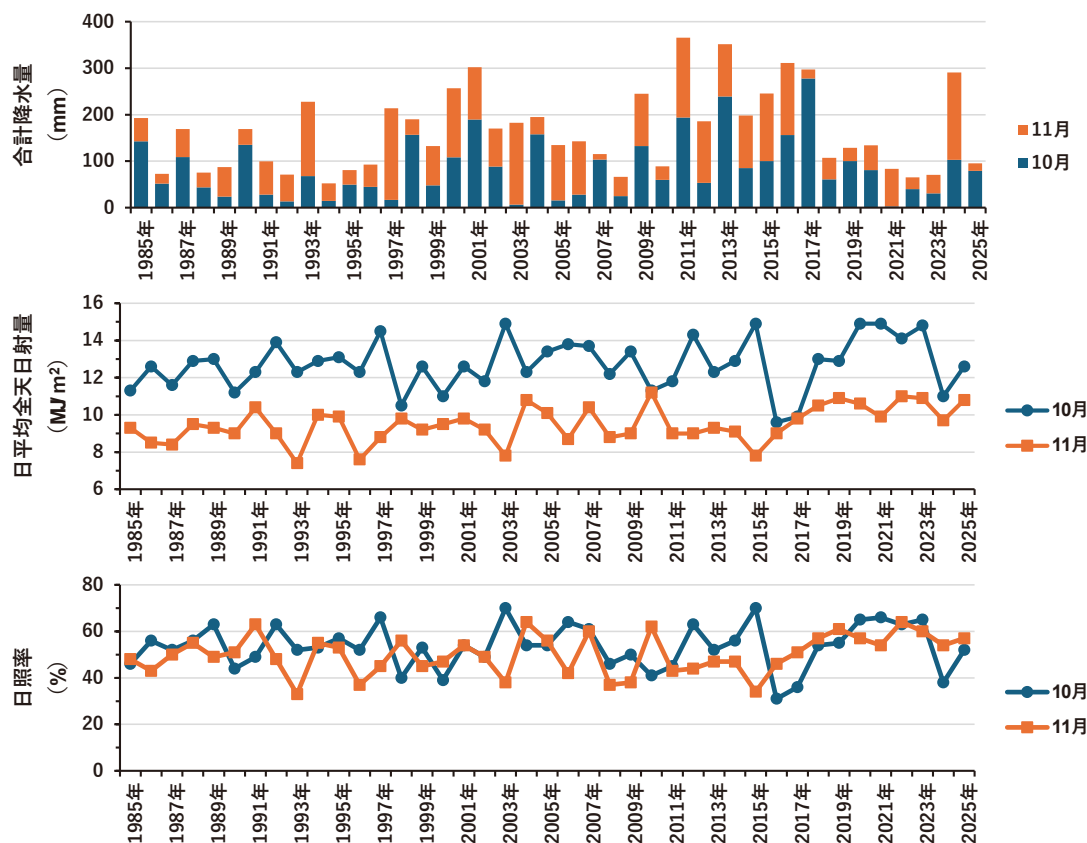


図 28 佐賀市における 1985 年から 2025 年の 10 月及び 11 月の合計降水量（上段），日平均全天日射量（中段），日照率（下段）の変化

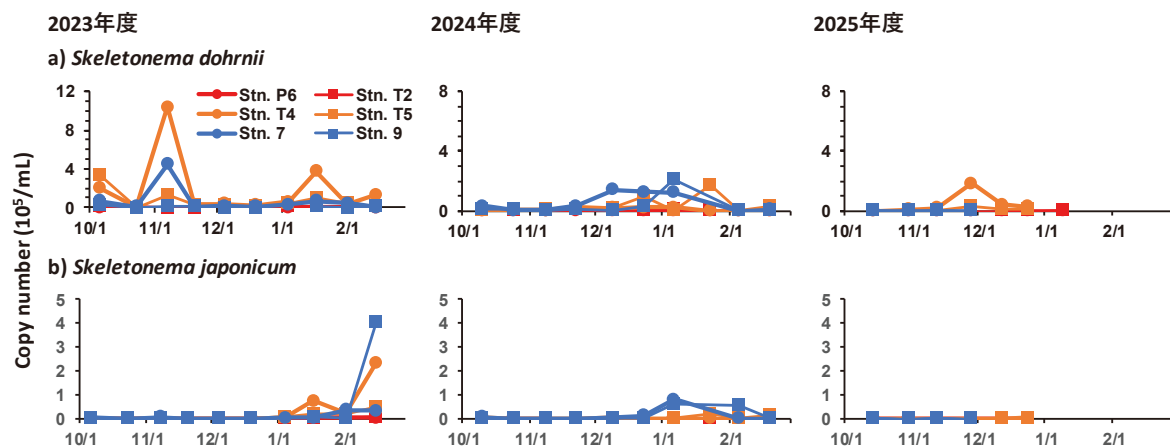


図 29 定量 PCR による 2023 年度から 2025 年度の各定点における a) *Skeletonema dohrnii* と b) *S. japonicum* のコピー数の変化

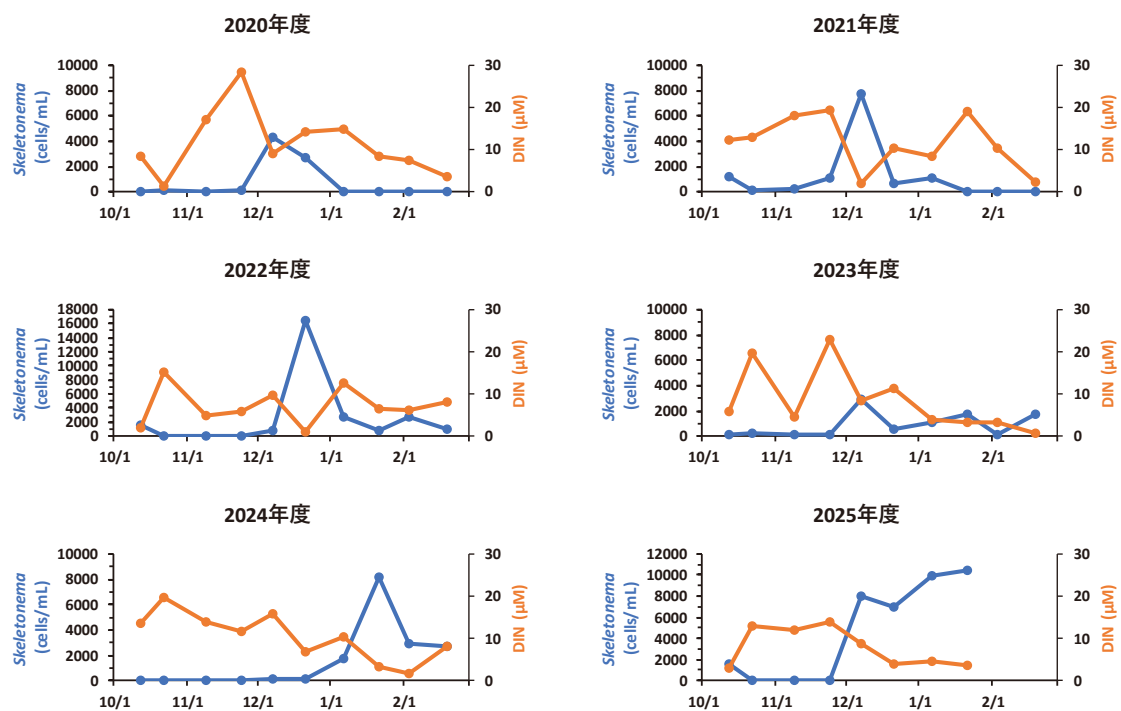


図 30 2020 年度から 2025 年度の 10 月～2 月の中央部沿岸域における表層の *Skeletonema* spp. の細胞密度及び DIN 濃度の変化

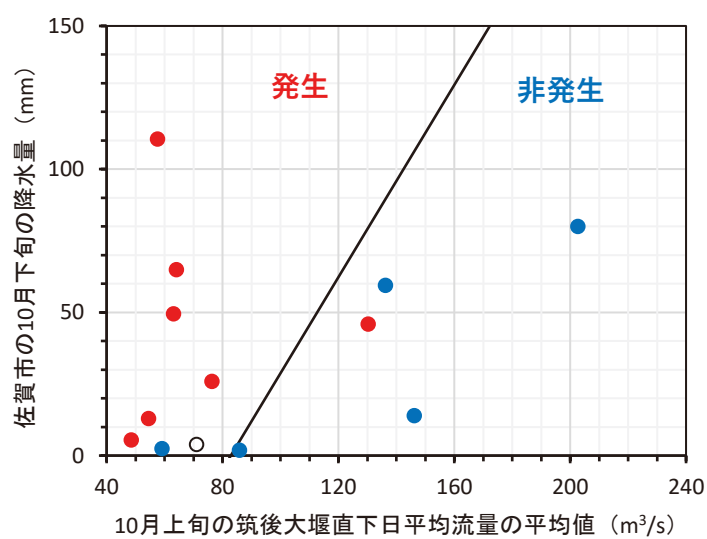


図 31 1 月以降における *Eucampia zodiacus* の赤潮の発生・非発生の判別分析の結果 (○は 2025 年度)

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

カ. 有明海・八代海海域

② 八代海海域

水産研究・教育機構 水産技術研究所（長崎）
中野 善，岡村 和磨，杉松 宏一，山口 聖
水産研究・教育機構 水産技術研究所（廿日市）
中山 奈津子，湯浅 光貴
熊本県水産研究センター
生嶋 登，阿部 慎一郎，對馬 康史
鹿児島県水産技術開発センター
穴道 弘敏，久保 満，西 広海
熊本県天草市水産研究センター
水口 匡史，糸田 拓馬
熊本県海水養殖漁業協同組合
金棒 昭幸，濱田 裕貴
鹿児島県東町漁業協同組合
浦 啓介，立元 伸幸
熊本県立大学
小森田 智大
熊本大学
戸田 真志，佐藤 壱成
九州大学
山口 創一

1 全体計画

(1) 目的

八代海では毎年 *Chattonella* spp. 赤潮が発生しており，養殖業への被害は甚大である。特に近年では *Karenia mikimotoi* による赤潮も発生しており，2022 年から 2024 年にかけて熊本県海域で大きな被害をもたらした。このような赤潮被害の軽減を図るためには，次の 4 段階に区分して体系的な対策を実施することが重要であると考えられる。

1. 発生予察
2. 現状把握
3. 拡大予察
4. 行動計画

これらは時系列に基づく対応プロセスである。まず本年度における赤潮発生の予測を行い，続いて実際の発生状況を正確に把握し，その後，発生した赤潮の拡散動態をモデル化・予測し，最終段階として漁場接近が判明した場合には効果的な防除措置を講じることを基本方針とする。本課題では，各段階に対応した技術開発を主たる目的とする。本報告書では，まず今年度の海況と赤潮発生状況の把握および赤潮観測の機械化を含む現状把握について述べた後，発生予察手法の開発，拡大予察手法の開発，行動計画の順に報告す

る。

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) 現状把握

本課題では、赤潮被害低減策を講じる上でもっとも重要な情報となる赤潮発生状況の把握を目的とした。手法は大きく分けて次の3つとした。

- 高頻度赤潮モニタリング
- 水質連続観測
- 赤潮観測の機械化

本事業では、赤潮の発生を確実に把握することを目的として、高頻度赤潮モニタリングを実施した。あわせて、赤潮発生時の環境特性を把握するため、八代海に広域的に配置した観測機器を用いて水質の連続観測を行った。これらの観測により得られたデータは、将来的な発生予察および拡大予察手法の開発に資する重要な基礎資料として位置づけられる。また、従来、人力により実施してきた赤潮調査については先端機器を導入し、調査の機械化・高度化を図った。

① 高頻度赤潮モニタリング（熊本水研，鹿児島水技セ，東町漁協）

2025年5～9月，表1および図1に示す8定点（Stn. 2, 4～7, A, K, D）において，週1回の頻度で採水（採水器：バンドーン採水器，離合社）および多項目水質計（AAQ-RINKO176, JFE アドバンテック）を用いた環境観測（海面から海底まで）を行った。採水層は Stn. A, K で表層，1.5 m 層（Stn. A のみ），クロロフィル極大層（無い場合は 5 m 層），10 m 層，20 m 層とし，その他の定点で表層，5 m 層，10 m 層とした。全ての海水試料について有害赤潮プランクトン種の細胞密度および栄養塩濃度（ $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ）の分析に供した。また，代表定点 Stn. 2, 4, 6 の表層，5 m 層，10 m 層，Stn. A, K, D の表層及びクロロフィル極大層（A, K は不明瞭な場合未実施。D は不明瞭な場合 5 m 層）で採取した海水試料については植物プランクトン種組成を算出した。植物プランクトンの細胞密度は，光学顕微鏡（IMT-2, BX53, BX51, BH2, オリンパス）下で海水試料 1 mL 中に含まれる細胞を計数して算出した。栄養塩分析はオートアナライザー（QuAAtro36, QuAAtro39, ビーエルテック）を用いて分析した。調査期間終了後，得られたデータについて気象データ，過去のデータおよび既往知見との比較等を行い，八代海における赤潮発生シナリオを提案するとともに，短期動態に関与する主たる環境条件を考察した。また，気象観測データは気象庁ホームページ（<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>）より得た。

② 水質連続観測

本課題では，これまでに開発した大型自動観測ブイおよびテレメータシステムを運用・

活用し、八代海において広域的な水質環境の常時観測を実施した。観測により得られたデータについては、迅速に可視化を行い、ホームページを通じて公表した。

〈1〉大型自動観測ブイ（水技研〔長崎〕）

八代海姫戸沖（北緯 32 度 24.683 分，東経 130 度 26.567 分）に設置されている大型観測ブイ（図 2，Stn. H）に 自動昇降式多項目水質計（AAQ-170W，JFE アドバンテック），流向流速計（Aquadopp Profiler，Nortek，抽出深度：1.5m，3.0m，以下 1.0 m 毎に海底まで），風向風速計（CYG-5106，Climatec，海面から高さ 3.0 m），光量子計（DEFI-L，JFE アドバンテック，海面から高さ 3.0 m）および硝酸塩センサー（SUNA V2，SEA-BIRD SCIENTIFIC，設置深度：1.5 および 5.0 m）を装着して各種観測を試みた。機器の設置を予定していた 2025 年 6 月 5 日，大型自動観測ブイを固定するための 3 本の係留索のうち，西側係留索が破断していることが確認され，安全性を鑑みて自動昇降式多項目水質計，流向流速計，硝酸塩センサーの設置を延期し，風向風速計及び光量子計のみ設置した。8 月 20 日，係留索の復旧に伴い機器の再設置を試み，流向流速計と硝酸塩センサーは正常に稼働することを確認したが，自動昇降式多項目水質計については機器不具合により再び設置を延期した。自動昇降装置制御 BOX の不具合が疑われ，多項目水質計の今期の観測はこれで終了とした。11 月 7 日に流向流速計，風向風速計，光量子計，硝酸塩センサーを回収し，2026 年度のブイ観測終了となった。多項目水質計の観測データは得ることができなかったが，機器を設置した 6 月 5 日から 1 時間間隔で海上風の風向・風速，1 分間隔の光量子束密度データ，及び 8 月 20 日から 1 時間間隔で流向・流速の鉛直観測データ，15 分間隔で硝酸塩濃度のデータを取得し，機器を回収した 11 月 7 日まで観測を行った。また光量子束密度以外の観測データは，携帯電話通信網を通してデータ処理サーバーへ送信し，ホームページ（有明海・八代海等の水質観測情報，<http://ariake-yatsushiro.jp/>）上で公開した。さらに，鉛直自動観測ブイの機能維持と観測データの精度向上を図るため，初回機器設置の 6 月 5 日から機器回収の 11 月 7 日まで計 4 回の頻度で点検を行うとともに，表層，深度 1.5 m，2 m，5 m，および 10 m から採水を行い，塩分（8400B，GUILD LINE），クロロフィル濃度（10AU，TURNER DESIGNS，Holm-Hansen 法 [Holm-Hansen et al. 1965]），懸濁物質濃度（孔径 0.45 μm のミリポアフィルターでろ過・乾燥後に秤量 [植松ほか・1978]）および栄養塩（TRACCS2000，BRAN+LUEBBE）の分析に供した。採水試料の分析結果の一部は，自動観測ブイに搭載した多項目水質計で得られた観測データの較正を試みた。

〈2〉テレメータによる水質の常時観測（鹿水技セ，熊本水研，天草水研，海水養殖漁協，東町漁協，水技研〔長崎〕）

本課題では，八代海に広域に配置された自動水質監視システムを利用して包括的な水質環境の把握を行い，既存のセンサーの組み合わせを工夫したコストパフォーマンスに優れた水質監視システムにより，効率的な赤潮等の広域監視を実施するための自動観測システムのネットワークを維持管理・活用した。

本課題では，水産研究・教育機構水産技術研究所，熊本県水産研究センター，天草市水産研究センター，熊本県海水養殖漁業協同組合，東町漁業協同組合が八代海に所有する 24 時間連続観測が可能な自動観測ブイや自動水質監視テレメータシステム（表 2，図 3）で得られる水質等の観測データを監視システムホームページ上および熊本県水産研究セ

ンター（熊本県海域のデータ）、鹿児島県水産技術開発センター（鹿児島県海域のデータ）のホームページ上で随時公開することで、有害赤潮の広域的な監視を行った。また、令和7年6月～10月に、月1回程度の頻度で熊本県水産研究センター、天草市水産研究センター、熊本県海水養殖漁業協同組合および東町漁業協同組合の4機関がテレメータシステム設置場所を中心に定期調査を実施した。調査項目は多項目水質計、有害赤潮プランクトンセンサー等による水質（水温、塩分、溶存酸素飽和度、クロロフィル蛍光値等）の鉛直観測、複数層の採水・検鏡調査とした。

③ 赤潮観測の機械化

本課題では、これまで開発を継続してきた有害赤潮プランクトンセンサーについて、現場への導入試験を実施した。あわせて、seaMS（自動採水顕微鏡装置）を現場へ導入する際に想定される課題の解消に向け、必要な技術開発を行った。

〈1〉 有害赤潮プランクトンセンサー（熊本水研、天草水研、海水養殖漁協）

(i) 有害赤潮プランクトンセンサーを組み込んだテレメータによる定点観測

熊本県水産研究センター及び熊本県海水養殖漁業協同組合は、熊本県天草市楠浦町（楠浦湾）及び熊本県天草市御所浦町（御所浦嵐口）に、有害赤潮プランクトンセンサー（JFEアドバンテック（株）製 AHIW2；以下、センサーという）を組み込んだテレメータを設置した（図4）。令和7年（2025年）5月30日から9月30日までの約4ヶ月間、水深1.5m、5m及び10mの3層で、水温、塩分、クロロフィル蛍光、DO、FSI（Fluorescence spectral Shift Index）を30分間隔で自動観測した。

また、必要に応じて、現場での採水及び有害赤潮プランクトンの検鏡を行い、センサーの効果を検証した。

なお、水深5mのFSIが1.95以上となった場合、関係機関にメールが通知されるように設定を行ったほか、観測結果は、熊本県及び「八代海赤潮等広域監視システム」のホームページでリアルタイムに公表した。

(ii) 有害赤潮プランクトンセンサー及び多項目水質計による鉛直観測

天草市水産研究センターは、楠浦湾及び御所浦嵐口にて、令和7年（2025年）6月から7月の間に月1回から2回の頻度で、有害赤潮プランクトンセンサー（JFEアドバンテック（株）製 AHI-CAD）及び多項目水質計（JFEアドバンテック（株）製 AAQ176）を用いた鉛直観測による定期調査を実施した（図5）。

〈2〉 seaMS の導入と赤潮プランクトン検出（熊本大学、水技研 [長崎]）

八代海で採水し、海上設置型の自動顕微鏡システム seaMS で撮影された映像から有害な赤潮プランクトンの自動検知および計数する手法としては、深層学習の物体検出手法のひとつである DINO（DETR with Improved denoising anchorboxes）（Zhang et al. 2022）を用いており、令和7年度も令和6年度に引き続いて使用した。

過年度の取り組みにより、有害プランクトンが低密度の場合には顕微鏡動画中に写り込まないことがあり、その結果として密度推定精度が低下することが確認されている。特に *Chattonella* 属は低密度であっても魚毒性が高いことから重要な課題である。そこで本課題では、seaMS による撮影回数を増加させ、写り込みの確率を高めることで、低密度条件下における細胞密度推定精度の向上が可能か否かを検討した。

(i) 深層学習フレームワーク

昨年度より採用している DINO は DETR (Detection Transformer) を拡張、改良したものを位置付けられる。DETR (CARION, et al. 2020) は Transformer を機構に取り入れた関係抽出型の物体検出手法である。これは自然言語処理分野で大きな成功を収めた Transformer を物体検出に応用した新しい戦略であり、全ての物体を一度に予測し、推論と正解の二部マッチング問題として捉えることで End-to-End を実現し、高い精度や高速処理を達成している。

DINO は DETR と同様に関係抽出型の物体検出手法である。DINO ではさらに Contrastive DeNoising Training という機構を追加しており、ラベルに少しノイズを加えたポジティブサンプルとラベルに大きなノイズを加えたネガティブサンプルの両方を使用し、モデルがより識別力のある特徴を学習できるようにしている。DINO は、Transformer に基づくアーキテクチャにより、従来の CNN ベースの物体検出手法に比して、特に複雑な背景や多様なサイズの物体を含むシーンに対して有効であり、プランクトンの自動検出にも適用できる可能性がある。上記を踏まえ、本課題では DINO を採用している。

(ii) データセット

本課題で用いるデータセットは、seaMS で撮影された動画をもとに作成した。seaMS は現場設置型の採水から撮影、洗浄までの一連の流れを自動で行うことができる。

訓練用データは、10,000 cells mL⁻¹ の培養試料について 30 枚の画像を準備し、学習用画像として 24 枚、検証用画像として 3 枚、テスト用画像として 3 枚を用いた。なお、画像の解像度は 1920×1080 pixel である。

実験用データとしては、細胞密度が 100, 80, 60, 40, 20, 1 cells mL⁻¹ の 6 区分の培養試料を準備し、各区分で 1,000 枚の画像を撮影したものを準備した。

(iii) 学習条件

前述の通り、本課題では、DINO を用いて赤潮プランクトンの検出を試みた。エポック数は 100 epoch と設定し一番性能の良いモデルを採用した。

(iv) 実験手順

上述した 6 区分の培養資料に関する 1,000 枚の画像を推論し、各区分 1,000 枚における検出数から回帰直線を算出した。実験手順を図 6 に示す。

2) 発生予察手法の開発（水技研 [長崎]）

本課題は、八代海における *Chattonella* spp. 赤潮を対象として、中長期予察の実施とその高度化、ならびに短期予察手法の検討を進めることを目的とした。従来、本海域では平均気温（2～4 月）および梅雨入り日を用いた判別分析手法により、数ヶ月前から赤潮発生の有無および発生日を予察してきた。しかし、この手法は他海域において精度低下が報告されており、八代海でも将来的に予察精度の低下が懸念される。そのため、本年度は従来の判別分析モデルを継続するとともに、ランダムフォレスト (RF) を用いた新たな予察手法の試行を行い、中長期予察の精度維持と高度化を図った。

あわせて、発生直前の環境変化を踏まえた短期的な予察手法はこれまで十分に整備されておらず、対策上の必要性が高い。本年度は、八代海における *Chattonella* spp. の初発域を明らかにし、気象・水質・河川水位など多様な環境データを日別に整理することで、発生数日前の変動を捉える短期予察の可能性を検討し、将来的な実用化に向けた基盤構築を進めた。

① 中長期予察

本年度も、八代海における *Chattonella* spp. 赤潮の数ヶ月予察を目的として、過年度から運用している手法を継続しつつ、予察精度の維持・向上を図るために新たな統計的手法を併用した。まず、従来の判別分析モデルを用いて、中長期的な赤潮発生予察を実施した。本モデルは、2～4 月の平均気温および九州南部の梅雨入り日（5 月 16 日からの経過日数）と赤潮発生との相関に基づいて構築されたものであり、これらの気象情報に基づいて赤潮の発生・非発生を判別した。また、判別分析により得られる判別得点を赤潮発生日（6 月 30 日からの経過日数）に関する回帰式に代入することで、今年度の発生日推定も併せて行った。

さらに、予察精度の向上を図るため、RF を用いた予察を行った。使用した説明変数は、気象データ（AMeDAS：八代）、河川水位データ（水文水質データベース：横石観測所）、ENSO 関連指数（気象庁：NINO.3, NINO.WEST, IOBW, SOI, OLR, U200, U850, SAMOI 等；図 7）であり、前年 6 月から当年 5 月までを 1 年として再整理した月単位データである。これらのデータを過年度分と併せ、分類用ランダムフォレストモデルを構築して赤潮発生の有無を推定した。また、同じデータを用い、回帰木によるランダムフォレストモデルを作成し、赤潮発生日の予察も実施した。今年度については、取得した最新の気象・水文などの環境データを上記各モデルに入力し、発生の有無および発生日の推定を行った。

② 短期予察

短期予察については、発生直前の環境変動を視野に入れた予察手法の基盤を整備することを目的として実施した。まず、赤潮ネットより 2013～2024 年の *Chattonella* spp. 赤潮データを取得し、日別・定点別に細胞密度を集計した。これらのデータを用い、初発日の状況を把握するために、年ごとの初発日の細胞密度および空間分布を地図上に整理した。

次に、短期予察モデルに必要なとなる環境データを収集した。気象（AMeDAS：八代；気温、降水量、日照時間）、水質（姫戸ブイ：水温、塩分、DO、濁度、クロロフィル）、河川水位（水文水質データベース：横石）について、観測位置、水深、日付などの整合を図りつつ、複数観測点・複数水深のデータを統合して解析データを作成した。得られた日別の環境データを用い、観測日の 1～4 日前の環境条件を説明変数とする RF モデルを構築し、赤潮発生の有無を日別に推定した。また、2024 年度のデータをテストデータとしてモデルの精度を検証し、短期予察手法としての適用可能性を検討した。

3) 拡大予察手法の開発

現在、赤潮発生時にはモニタリング強化が行われているが、観測のみでは赤潮の移動や拡大、衰退過程を十分に把握することは困難である。その背景には、赤潮の挙動に移送と増殖・減衰の両過程が関与し、物理・生物両面からの検討が必要となることが挙げられる。そこで本課題では、以下の 2 項目に取り組んだ。

- 有害赤潮プランクトンの輸送過程の解明
- 赤潮発生から衰退に至る栄養塩動態の解明

前者では観測データおよび数値モデルを用いた赤潮移動予測を行い、後者では広域観測に基づき栄養塩動態と基礎生産過程の把握および予測モデル構築を進めた。

① 有害赤潮プランクトンの輸送過程の解明（九州大学，水技研〔長崎〕）

〈1〉 風向・風速からの輸送過程予測

有害赤潮プランクトンの輸送へ最も大きく寄与する流れ場は平均残差流であり，潮流などの往復流は輸送への寄与は少ないことが推測されるため，過去の大型自動観測ブイの流向・流速データから平均残差流の推定を試みた。平均残差流は，各地点の流向・流速データの東西成分（ u 成分）と南北成分（ v 成分）に非線形潮汐周期を含む 67 分潮の調和分解を施し予報潮流を算出した上で，実測流速から予報潮流を差し引き，さらに 24 時間の移動平均を施すことで算出した。算出された平均残差流は，風向・風速の東西成分（ u 成分）と南北成分（ v 成分）を説明変数とする重回帰分析にかけて予測式を導きだした。本年度は大多尾及び姫戸沖における平均輸送距離（平均残差流）予測を行い，関係者間で共有を行った。

〈2〉 流動モデルの構築と粒子追跡モデルによる赤潮挙動の短期予測

(i) UCHI による海況再現・予測

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_Ep (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，全球数値予報モデル GPV (MSM, GSM) を用いた高解像度沿岸海洋モデル UCHI を八代海に対して実装した。

計算対象領域および格子分布を図 8 に示す。格子サイズは最大 1,500 m，最小 30 m となっている。鉛直方向の格子は多重 σ 層 13 層とし，海面付近で層間隔は小さくしており，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 メッシュデータおよび沿岸 4 県による測量データを使用した。冠水・干出を再現するために，水深が基準値（本研究では 0.15 m）よりも小さくなった場合には干出したものとみなし，隣り合う格子間でのフラックスをゼロとしている。河川水の流入については，RRI により求めた淡水流量を FVCOM の境界条件として与えた。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，潮位変動について Matsumoto et al. (2000) による 14 分潮 ($Q_1, O_1, M_1, P_1, K_1, 2N_2, \mu_2, N_2, v_2, M_2, L_2, T_2, S_2, K_2$) の振幅および位相を強制入力し，水温，塩分は Dreams_Ep (Hirose et al. 2005) を用いた。

次に RRI 適用における条件を解説する。RRI は衛星情報や気象予測情報を活用し，世界各地の大規模洪水を河川流量から洪水氾濫まで準リアルタイムに流域一体で予測する技術である。具体的には，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，有明海および八代海に流れる河川集水域の 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。なお，土地利用データの空間解像度は ArcGIS Pro 3.1.0 を用いて土地データに合わせて補間した。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 9 に示すように，八代海のみではなく，有明海や橘湾に流入する河川流量を計算し，それぞれの河口に位置する格子に境界条件として淡水流入を考慮した。陸上に降る雨量データには現況計算までは解析雨量，15 時間先までは降水短時間予報，これ以降は 78 時間先まで MSM，その先は GSM のデータを与えた。

(ii) 粒子追跡モデルによる赤潮挙動の短期予測

UCHI によって拡散・流動場を高精度に再現・予測し，*K. mikimotoi* による能動的鉛直移動を組み込んだ仮想粒子を現地の細胞数に応じて海域に投入することによって，その後の挙動を追跡した。*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 3 に示した。粒子の初期配置海域および数は赤潮ネット (<https://akashiwo.fra.go.jp/>) にアップロードされた細胞密度を基に設定し，現地観測と同じ地点・日時・深さに粒子を配置した。粒子挙動への拡散による寄与はランダムウォーク手法で考慮した。

② 赤潮発生から衰退に至る栄養塩動態の解明（熊本県立大学）

2021 年 3 月から 2022 年 7 月にかけて水俣湾において月 1 回の頻度で調査を行い，2024 年 8 月には八代海全域において調査を実施した（図 10）。観測では，多項目水質計（AAQ）を用いて水温，塩分，Chl-a，光合成有効放射（PAR）を測定した。水俣湾では 2 測点において 0 m, 2 m, 5 m, B-1 m において採水試料を採取し，八代海全域においては全 27 測点において表層から底層にかけて水深に応じて 5 層から 10 層採水した。基礎生産量は，水俣湾では光を 4 段階に調整した水槽において ^{13}C 法（ $n=569$ ）で定量し，八代海の全域ではパルス変調型蛍光法（PAM 蛍光法）により電子伝達速度を定量し，得られた電子伝達速度を ^{13}C 法で基礎生産量に補正した（ $n=3605$ ）。基礎生産量の予測モデルの構築には PAR，Chl-a，水温，塩分を説明変数としたランダムフォレスト回帰を実行した（R ver 4.2.3 の ranger パッケージを使用）。

4) 行動計画（水技研 [長崎]，海水養殖漁協，熊本水研，天草水研，鹿水技セ，東町漁協）

本年度は，昨年度までに整理された赤潮対策の改善点を踏まえ，ドロッカーのフィードバック分析を赤潮対策用に改変した手法を実施するとともに，熊本県および鹿児島県の海域を対象として赤潮対策タイムラインの作成を行った。

フィードバック分析については，計画書に基づき，以下の手順で実施した。

1. 昨年度までに整理された赤潮対策に関する改善点の確認
2. 当該年度における赤潮被害額の目標値の設定
3. 昨年度の改善点を反映した赤潮対策の実施
4. 目標として設定した被害額と実際に発生した被害額との比較
5. 当該年度に実施した対策に関する良かった点および課題点の協議

6. 協議結果を踏まえた次年度に向けた改善点の整理および立案

あわせて、熊本県および鹿児島県の海域を対象に、赤潮対策タイムラインの作成を行った。タイムライン作成にあたっては、シャットネラの細胞密度区分および着色の有無等を基準として、赤潮の進行状況を段階的に整理し、それぞれの段階において県、漁協、漁業者が取るべき対応を整理した。

熊本県海域については、複数の調査海域を想定し、危機度の段階に応じた検鏡調査、注意喚起、餌止め、足し網、沈下、駆除剤対応等の対応内容を整理した。また、鹿児島県海域については、御所浦島北側・南側および八代海全域を対象として、細胞密度の上昇に伴う対応の流れを整理した。これらの整理結果をもとに、赤潮発生初期から被害拡大防止に至るまでの対応を時系列的に示した赤潮対策タイムラインを作成した。

(3) 結果および考察

1) 現状把握

① 高頻度赤潮モニタリング

〈1〉プランクトン細胞密度の推移

2025 年の八代海では、5 月から 9 月にかけて 4 種の有害赤潮プランクトンによる赤潮が継続的に発生した。珪藻類も含め、本調査における代表定点でのプランクトン細胞密度の推移を図 11 に示す。

有害赤潮プランクトン種ごとの発生状況について、他事業での調査結果も含めて整理すると次のとおりであった。

Chattnella 属は、8 月 7 日に Stn. A で 4 cells mL^{-1} 確認された。その後、八代海の広範囲で確認された。9 月上旬以降高密度化し、9 月 5 日他事業により大築島東沖で $2.0 \times 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$ 確認された。9 月中旬以降は減少傾向となり、9 月下旬は低位で推移したことから、本種による赤潮は 9 月下旬には終息したと考えられる。

K. mikimotoi は 7 月 16 日、他事業調査により熊本県天草市楠浦湾で確認された ($390 \text{ cells mL}^{-1}$)。その後、8 月 21 日までは楠浦湾周辺で $190 \sim 390 \text{ cells mL}^{-1}$ 程度の細胞が確認されていたが、楠浦湾で 8 月 25 日 $5.8 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 、8 月 28 日 $8.0 \times 10^3 \text{ cells mL}^{-1}$ 確認された。その後、小康状態となったが、9 月 16 日、他事業調査により鹿児島県長島町伊唐島で $2.0 \times 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$ 確認された。9 月下旬以降は低位で推移したことから、本種による赤潮は 9 月下旬には終息したと考えられる。

Heterosigma akashiwo は、5 月 14 日、他事業調査により熊本県宇城市大岳地先から八代市鏡町地先にかけて最高細胞密度 ($3.9 \times 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$) 確認された。5 月 20 日、他事業調査により同海域で最高細胞密度 ($1.3 \times 10^5 \text{ cells mL}^{-1}$) 確認された。5 月 23 日、他事業調査により熊本県上天草市龍ヶ岳及び天草市嵐口地先で最高細胞密度 ($2.0 \times 10^4 \text{ cells mL}^{-1}$) 確認された。6 月上旬以降は確認されなかったことから、本種による赤潮は 6 月上旬には終息したと考えられる。

Cochlodinium sp.Type-Kasasa は、9 月 12 日に他事業調査により鹿児島県長島町獅子島で最高細胞密度 ($600 \text{ cells mL}^{-1}$) 確認された。9 月下旬以降は確認されなかったことから、本種による赤潮は 9 月下旬には終息したと考えられる。

これらの有害赤潮プランクトンの競合種である珪藻類の細胞密度は、調査期間中、最

高で 3.5×10^3 cells mL⁻¹ (7月23日, Stn.2, 5m 層) が確認され, 6月上旬から8月中旬まで $0 \sim 3.5 \times 10^3$ cells mL⁻¹ で昨年度より好調に推移した。また, 珪藻類の主な優占種は *Skeletonema* spp. 及び *Chaetoceros* spp. であった。

〈2〉 気象条件

八代市の気温は, 5月から9月の調査期間中, 17.0 (5月1日) ~29.8 °C (7月28日) の範囲で推移した。5月上旬から下旬にかけては「平年並み」から「高め」で推移したが, 6月上旬から8月中旬にかけては「かなり高め」, 8月下旬から9月下旬にかけては「高め」で推移した。

降水量は, まとまった降雨があったものを抽出すると, 5月21日から22日までで合計 114.5 mm, 6月9日から11日までで合計 176 mm, 6月22日から6月25日までで合計 80 mm, 8月7日から8月11日までで合計 571 mm を記録した。なお, 気象庁発表資料によると, 八代海が含まれる九州北部地域の梅雨入りは5月16日頃で平年より19日, 昨年より32日早く, 梅雨明けは6月27日頃で平年より22日早かった。

日照時間は6月下旬から7月上旬, 7月下旬, 8月中旬から9月上旬は「多い」または「かなり多い」であり, その他の期間は「平年並み」から「少ない」または「かなり少ない」で推移した (図12)。

〈3〉 水質

水温は, 調査期間中, 17.8 (5月13日, Stn.D, 10m 層) ~31.4 °C (8月19日, Stn.K, 0m 層) で推移した。なお, 鹿児島県が実施している八代海南部調査において, 表層の平均値は, 19.7 (5月20日) ~29.9 °C (8月19日) で推移し, 平年値と比較して, 5月から7月は平年並み, 8月はやや高め, 9月は平年並みの評価であった。

塩分は, 調査期間中, 15.1 (8月12日, Stn.K, 0m 層) ~34.0 (5月13日, Stn.7, 10m 層) で推移し, 降雨の影響を受けた5月下旬から7月上旬, 8月中旬に, 主に八代海北部から中部 (Stn. 2, Stn. 4, Stn. A), 楠浦湾 (Stn. K) で低い傾向となった。

DIN, DIP 及び DSi 濃度は, それぞれ 0.02 (7月15日, Stn. K, 0m 層) ~24.06 µM (6月4日, Stn. 2, 表層), 0.00 (5月13日, 5月26日, 6月17日, 6月24日, 7月8日, Stn. 2, 4, 5, 6, A, D, K, 表層等) ~3.24 µM (9月17日, Stn.5, 0m 層), 0.39 (8月19日, Stn. K, 5m) ~162.86 µM (6月4日, Stn. 2, 表層) の範囲で推移した。また, 調査期間を通して, 八代海の北部 (Stn. 2, Stn. 4, Stn. A, Stn. D,) 及び楠浦湾 (Stn. K) で栄養塩が高い傾向で, 南部は8月上旬以降高い傾向にあった。

DIN 及び DIP 濃度は, 8月上旬まで *Chattnella* 属及び *K. mikimotoi* の増殖に必要となる半飽和定数 (*Chattnella* 属 - DIN : 0.65 µM, DIP : 0.25 µM, *K. mikimotoi* - DIN : 0.78 µM, DIP : 0.14 µM) を水深 0~10m とともに下回ることが度々あったが, 8月上旬以降は概ね両種の半飽和定数を超えた。これは, 8月上旬の降雨による河川からの供給によるものと考えられた (図13)。

以上のように, 八代海海域では3月から4月は水温がやや低めで推移し, 梅雨入りが平年より19日も早かったため, 5月中旬から6月上旬の日照時間が少なく, 降雨により栄養塩が供給された。その後, 梅雨明けにより日照時間が平年より多くなり, 6月下旬から8月上旬まで珪藻類が多い状態が続き, さらに *Gonyaulax polygramma* が発生したことにより, 8月上旬まで有害プランクトンの増殖に適さなかった。8月上旬の降雨で栄養塩

の供給等があったことにより、*Chattnella* 属は8月中旬から9月中旬まで広域で発生した。*K. mikimotoi* は7月中旬から9月上旬まで局所的に、9月中旬は広域で発生した。*Cochlodinium* sp.Type-Kasasa は9月中旬に局所的に発生した。

9月20日から23日は大潮で有害プランクトンが滞留しなかったことから濃密化に至らず、また、9月下旬から鉛直混合が進んでいたため(赤潮ネット 八代海水質鉛直面図)、低層の酸素が減少し有害プランクトンの増殖が抑制され終息したと考えられた。

② 水質連続観測

〈1〉大型自動観測ブイ

大型観測ブイは、係留索破断により機器の設置が遅れ、また自動昇降装置の不調により多項目水質計観測に欠測がでたものの、風向・風速と光量子束密度観測は6月5日から、流向・流速と硝酸塩については8月20日から観測を開始し、11月7日まで観測を行った。

硝酸塩センサーにより得られた NO_3 濃度の、補正を施す前の経時変化を図14に示す。硝酸塩センサーの観測頻度については、毎週行われる高頻度赤潮調査の採水による測定結果と合わせることを考慮し、採水時間により近い時刻のデータを拾いやすくするため、昨年度より15分間隔に計測した。9月10日以降、およそ0時から12時まで観測結果に欠測が認められ、これは観測頻度を15分にしたことによりバッテリーが消耗したためと推測された。また硝酸塩センサーによる値と、採水による実測値と比較すると(図15)、現場海域の硝酸塩濃度はほぼ $0.5 \mu\text{mol L}^{-1}$ を下回っており、硝酸塩センサーの精度 $\mu\text{mol L}^{-1}$ よりもはるかに小さい。検量線を引くことができず、今年度はセンサー値に補正は施さないものとした。

24時間移動平均をかけた海上風を図16上段に示す。8月下旬の風向・風速は機器の不調により欠測である。9月からほぼ数日周期で南北方向の卓越風が入れ替わっており、数日周期で来襲する低気圧の変化が表れているものと推測できる。また10月以降は北風の連吹が顕著である。水深1.5 mの平均残差流(図16内、上から2段目)は北東に向かう流れが顕著であり 30 cm s^{-1} を超える非常に強い流れが確認できる一方、水深5 m(図16内、上から3段目)および水深10 m(図16内、一番下)では数日周期に入れ替わる平均残差流を示し、 10 cm s^{-1} を超える強い流れも見られる。

光量子束密度の経時変化を図17に示す。光量子計は6月に計測開始したものの、機器トラブルにより期間中欠測が生じた。梅雨前線の影響のある6月には光量子束密度は低く $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ を下回る値が多くあるが、梅雨が明けた7月、および8月後半から9月にかけての光量子束密度は安定して高い。

〈2〉テレメータによる水質の常時観測

各観測システムから得られるデータを効率的に収集・公開するとともに、データベース化して一元的に管理することを目的として、過年度に開発・拡張した「八代海赤潮等広域監視システム」を、水産研究・教育機構水産技術研究所のホームページ上(<https://ariake-yatsushiro.jp/yatsushiro/yatsushiro-sea2/top.php>)に公開した(図18)。あわせて、関係各機関のホームページへのリンクを設定することにより、各種観測データを即時に確認できる環境を整備した。

本取組により、関係機関間における情報共有の円滑化が図られるとともに、八代海に

おける赤潮等の発生状況を迅速かつ俯瞰的に把握することが可能となり、調査・研究活動および関係機関による対応判断の高度化に資する効果が認められた。

さらに、今後は本システムの継続的な運用を通じて、観測データの蓄積・活用が一層進むことで、赤潮等の発生要因の解明や予測精度の向上に寄与することが期待される。また、行政機関や漁業関係者を含む多様な利用者による情報活用が促進されることにより、八代海における水産資源の保全および被害軽減対策の強化につながる波及効果が見込まれる。

③赤潮観測の機械化

〈1〉有害赤潮プランクトンセンサー

(i) 有害赤潮プランクトンセンサーを組み込んだテレメータによる定点観測

今年度、八代海の熊本県海域では、*H. akashiwo*、*K. mikimotoi* 及び *Chattonella* 属の3種類の有害赤潮プランクトンによる赤潮が発生した。4月21日と5月14日に *H. akashiwo* (警報発令基準 $10,000 \text{ cells mL}^{-1}$)、8月12日に *Chattonella* 属 (警報発令基準 10 cells mL^{-1})、8月25日に *K. mikimotoi* (警報発令基準 $1,000 \text{ cells mL}^{-1}$) の警報を発令した。

ここでは、楠浦湾における *K. mikimotoi* の赤潮発生時の結果を報告する。今年度の観測期間におけるクロロフィル蛍光及びFSIの推移を図19に示す。今年度、楠浦湾においては、7月16日から9月14日まで *K. mikimotoi* による赤潮が発生した。まず、*K. mikimotoi* の早期探知について報告する。7月18日に、水深5mでFSIが1.95を超過し、アラートメールが関係機関に発信された。さらに、同日に熊本県がセンサー付近の海域を調査したところ、水深5mで *K. mikimotoi* が 112 cells/mL 確認された。これは、初期発生時に中層で増殖する *K. mikimotoi* (Honjo et al. 1990) をセンサーが捉えたものと考えられた。このように、センサーの設置により、*K. mikimotoi* を早期に発見することができた。

また、今年度は、7月18日に水深5mでFSIが1.95を超過し、今年度初となるアラートメールが発信されたが、それ以前の7月10日時点で既に水深10mでFSIが1.95を超過していたことが確認された。同様の傾向は、令和6年度も確認されており、*K. mikimotoi* の発生をより早期に探知するために、アラートメールの発信設定を水深5mから10mに変更することを検討したい。なお、*Chattonella* 属については、8月12日の熊本県による楠浦湾の調査で初めて1細胞が確認されたが、それ以降の調査で1細胞以上確認されることはなかった。

続いて、*K. mikimotoi* 赤潮の発達期のセンサー観測値の推移を図20に示す。*K. mikimotoi* 赤潮の発達期では、FSI及びクロロフィル蛍光の反応の変化に周期性がみられた。これは *K. mikimotoi* が発達期に行う日周鉛直移動 (Honjo et al. 1990) を捉えていると考えられ、昨年度同様に観察することができた。

最後に、*K. mikimotoi* 赤潮の終息期のセンサー観測値の推移を図21に示す。終息期になると、*K. mikimotoi* は運動能力を消失させ、表層に集積して消滅していくが (Honjo et al. 1990)、今年度の楠浦湾では、水深10mから1.5mへと順に、FSIが1.95を下回る反応が確認された。このような傾向は令和5年度及び令和6年度の観測においても確認されており、*K. mikimotoi* 赤潮においては、水深10mから1.5mへと順に、FSIが1.95を下回るようになることが終息の判断指標になると考えられた。また、水深10mでFSIの値が1.95を下回るようになってから水深1.5mのFSIが1.95を下回るまでに要した期間として、令和5年度は約3日、令和6年度は約2日であった。しかし、今年度は5日から6日間

を要したため、センサーによる *K. mikimotoi* の終息期の予測を行うには、さらなるデータの蓄積が必要であると考えられる。以上のように、定点観測では異なる 3 層の水深にセンサーを設置することで、*K. mikimotoi* の発生及び日周鉛直運動、*K. mikimotoi* 赤潮の終息を令和 5 年度及び令和 6 年度と同様に捉えることができた。このことから、*K. mikimotoi* 赤潮の観測におけるセンサーの有効性が確認された。

(ii) 有害赤潮プランクトンセンサー及び多項目水質系による鉛直観測

K. mikimotoi の赤潮時の鉛直観測結果を表 4 に示す。観測期間中、7 月 17 日、7 月 18 日及び 7 月 31 日に楠浦湾で FSI が 1.95 を超過する反応が確認され、反応が見られた全ての水深で *K. mikimotoi* が確認された。一方で、6 月 20 日の嵐口の調査では、水深 1.5 m で FSI が 1.95 を超過する反応が確認されなかったにもかかわらず、検鏡で *K. mikimotoi* が 1 細胞確認された。同様に、7 月 18 日及び 7 月 31 日の楠浦湾の調査でも FSI が 1.95 を超過する反応が確認されなかったにもかかわらず、それぞれ、水深 10m で 24 細胞、水深 0m で 89 細胞が確認された。

6 月 20 日と 7 月 18 日の調査において、*K. mikimotoi* が存在するにもかかわらず、FSI が 1.95 を超過する反応を示さなかった原因として、*K. mikimotoi* の細胞数が、センサーの検出限界である 50 cells mL⁻¹ 未満であったことが考えられる。また、7 月 31 日の調査で水深 0 m において FSI が 1.95 を超過する反応を示さなかったことについては、珪藻類等の他プランクトンが多く、*K. mikimotoi* の優占割合が 50%未満であったため、センサーに反応しなかったと考えられる。

また、センサーによる細胞数推定の精度を確認するために、検鏡細胞密度の閾値をセンサーの検出限界である 50 cells mL⁻¹ 以上とし、*K. mikimotoi* の検鏡細胞数と推定細胞数の相関関係を調べたところ、正の相関が確認された (図 22)。このことから、現場海域の *K. mikimotoi* の細胞数が 50 cells mL⁻¹ 以上であれば、現場採水を実施せずに *K. mikimotoi* のおおよその細胞数をセンサーで推定できることが示唆された。今後は、今年度の成果の再現性を確認するとともに、更なるデータの蓄積を進める必要がある。

〈2〉 seaMS の導入と赤潮プランクトン検出

DINO を用いた赤潮プランクトンの検出例を図 23 に示す。図 23 は *C. antiqua* の検出例であり、海水中の対象細胞が良好に検出されていることが確認された。

また、各細胞密度区分における検出結果から算出した回帰直線を図 24 に示す。この回帰直線の決定係数は 0.931 と高い値を示しており、推定された検出数と実際の細胞密度との間に良好な対応関係が認められた。この結果は、本手法による検出結果が細胞密度に対して定量的な関係を有していることを示している。

本課題の目的は低密度条件下における細胞密度推定精度の検討にあり、低細胞密度条件を含めた検出結果から回帰関係が得られたことは、今後の評価に向けた基礎的な結果として位置付けられる。以上より、DINO を用いた本手法は、低密度条件を含む赤潮プランクトンの検出および細胞密度推定に関して、今後の適用可能性を検討する上で有用な知見を与えるものと考えられる。

2) 発生予察手法の開発

① 中長期予察

中長期予察では、判別分析モデルおよび RF モデルを用いて、今年度の赤潮発生の有無

および発生日の予測を行った。判別分析モデルによる今年度の判定では、「発生しない」と予測された（図 25）。しかし、実際には *Chattonella* spp. 赤潮が発生しており、発生の有無については的中しなかった。判別分析から得られた判別得点は -1.29 であり、この値を回帰式に代入して推定された発生日は「8 月 30 日頃」であった（図 26）。実測の発生日は「8 月 12 日」であり、予測には一定のずれがみられた。濃密化日（9 月 4 日）は予測日に比較的近い時期であったが、発生日の正確な中には至らなかった。

RF 分類モデルでは、今年度の月別データを入力したところ約 77% の決定木が「発生」と判定し、赤潮の発生を的中させた。RF 回帰モデルによる発生日の推定値は「7 月 20 日頃」であり、実際の発生日「8 月 12 日」と比較すると、初認日（8 月 4 日）が予測日に最も近い結果となった。学習時の性能指標としては、再現率 0.90、適合率 0.69、F 値 0.78、OOB 誤差率 34.48% が得られ、発生有無の分類については一定の予測性能を示したものの、発生日の推定精度には改善の余地が示された。

これらの結果を踏まえると、判別分析は限られた説明変数に基づく手法であり、近年の気象・海象変動がその前提条件を超えて変化していることが影響した可能性がある。一方、RF は赤潮発生の有無について一定の予測性能を示したが、発生日の推定精度には課題が残されており、今後は RF モデルにおける説明変数の見直しを進め、赤潮発生に寄与する環境要因をより適切に反映させる必要があると考えられた。

② 短期予察

短期予察では、観測日の 1～4 日前の環境条件を説明変数とする RF モデルを用いて日別の発生予測を実施した。まず、2013～2024 年の赤潮データを使用し、初発日の空間分布を整理したところ、初発は八代海奥部、楠浦、御所浦周辺に多く確認され、これらが主たる初発域と判断された（図 27）。一方、2023 年には長島周辺でも初発が認められたが、この年に限られており、平年としての一般化は難しかった。

短期予察モデルの検証では、2013～2023 年のデータを学習用、2024 年のデータをテスト用として予測を実施した。その結果、テスト年においてはすべてのサンプルが「非発生」と判定され、実際の赤潮発生日を一件も捉えることができなかった（表 5）。この結果から、短期的な赤潮発生を単純な日別環境データのみで説明することは困難であり、赤潮発生には連続的な環境変動や累積条件が強く関与していることが示唆された。

静的な説明変数を用いた今回の手法では、発生直前に形成される環境状態の推移を十分に反映できなかったと考えられる。したがって、短期予察の高度化に向けては、赤潮発生前の連続的な環境変化をより適切に取り込むために、前日の発生確率を翌日の予測に反映しながら逐次的に更新していく逐次ベイズ推定といった、時間的連続性を扱える枠組みの導入が必要であると考えられた。

3) 拡大予察手法の開発

① 有害赤潮プランクトンの輸送過程の解明

〈1〉風向・風速からの輸送過程予測

有害赤潮プランクトンの輸送過程に最も寄与するものと考えられる平均残差流の算出に先駆けて、姫戸沖大型自動観測ブイの観測点における流向・流速観測結果に 67 分潮の調和分解を施した。2025 年のデータを加えた主要 4 分潮の潮流楕円を図 28 に示すが、過年度報告から潮流に大きな変化はなく、潮流は半日周潮の M_2 と S_2 分潮が卓越しており、潮

流槽円は主に等深線に沿う方向で、両分潮を合わせると 30 cm s^{-1} 程度の潮流があることが確認できた。過年度に算出した風向・風速を用いた予測式により、平均残差流を予測し、適宜関係者へ配信を行った（図 29）。ただし現状では予測精度は低く、引き続き風向・風速だけではなく他の要因も含めた精度向上を検討する必要がある。

〈2〉流動モデルの構築と粒子追跡モデルによる赤潮挙動の短期予測

(i) UCHI による海況再現・予測

過去に得られた観測データとハインドキャスト計算により得られた値を比較した。八代海の入り口(長島海峡, 図 8 の白抜き丸)において 2013 年 11 月 25 日-2014 年 12 月 15 日で計測された海面下 3.0 m におけるハイドログラフと流向流速頻度分布で比較を行った。本モデルは海峡における流れを的確に再現できることが分かる（図 30）。

(ii) 粒子追跡モデルによる赤潮挙動の短期予測

ここでは 2025 年 8 月終わりから 9 月にかけて増殖が見られた *K. mikimotoi* および *Chattonella* spp. の赤潮に対して、本システムを適用した結果について述べる。図 31a, b はそれぞれ 8 月 28 日と 9 月 1 日にかけて楠浦湾周辺で確認された *K. mikimotoi* の細胞密度の推移である。楠浦湾口で高い細胞数が確認され、3 日後には南東方向へ流出しているように見える。同図の c および d は本システムによる赤潮の短期挙動予測により得られた細胞密度の変化を示す。8 月 28 日に得られた現地細胞密度データを元に仮想粒子の初期分布を求めて挙動予測計算を実施し、その 4 日後にあたる 9 月 1 日に予測された細胞密度分布である。現場での変化と同じく、予測結果は楠浦湾から流出するような挙動を示しており、南西方向にも輸送されているような結果となっている。次に *Chattonella* spp. に対する実証実験結果を示す。図 32a, b はそれぞれ 9 月 8 日と 9 月 11 日に確認された *Chattonella* spp. の細胞密度の推移である。9 月 8 日には八代海中央部から北部にかけて高い細胞密度が確認され、その 3 日後には樋島周辺で高い状態が維持されている。同図の c および d は本システムが予測した細胞密度の分布である。予測結果は樋島周辺で高い細胞密度を示しており、現場の細胞数変動と整合的な結果が得られていることが分かる。

八代海で発生する有害藻類赤潮の短期挙動予測を目指して、高解像度沿岸海洋モデル UCHI をベースとした短期挙動予測システムを開発し、2025 年に八代海で発生した *K. mikimotoi* および *Chattonella* spp. による赤潮に対して挙動予測の実証実験を行った。予測は現場の細胞数変動と整合的な結果を示しており、短期挙動予測の実現可能性を示唆するものであった。今後は、過去に発生した赤潮に対するハインドキャスト計算を実施し、赤潮挙動モデルの高精度化を目指すと共に、予測についても実証実験を重ね、本システムの予測精度について検証していきたいと考えている。

②赤潮発生から衰退に至る栄養塩動態の解明

八代海全域において得られた PAM 蛍光法と ^{13}C 法の基礎生産量は良好な相関を示し ($n=12$, $r^2=0.853$)、PAM 蛍光法で得られた基礎生産量を補正することができた（図 33）。RF モデルは、赤潮時・非赤潮時ともに高い精度を示し ($r^2>0.9$)、Chl-a と PAR が最も重要な変数として抽出された（図 34）。連続観測において、Chl-a と *K. mikimotoi* 細胞数の間には有意な正の相関関係が検出され ($r=0.573$, $p<0.0001$)、Chl-a が *K. mikimotoi* 細胞数の指標になることが示された。N のマスバランス解析では、溶存無機態窒素の総現存量 ($\text{NO}_x\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) は 8.25 mmolN/m^2 、窒素ベースの基礎生産量は $3.83 \text{ mmolN/m}^2/\text{d}$ であっ

た（図 35）。DIN 現存量を基礎生産量で除すと、約 2.7 日後には赤潮の成長が窒素で制限される可能性があることが示された（図 35）。本研究では、赤潮発生時の基礎生産量を定量的に推定可能とする予測モデルを構築し、栄養塩のマスバランスから赤潮の持続性を評価できた。今後は、本研究で構築した基礎生産量推定モデルを、移流過程を模した粒子追跡実験に組み込み、赤潮の増殖過程の再現に応用することを目指す。

4) 行動計画

本年度は、赤潮被害が比較的軽微であり、被害額は熊本県海域で 212 万円、鹿児島県海域で 0 円であった。フィードバック分析では、昨年度までに整理された改善点の確認を行い、足し網の徹底、生簀の大型化、ならびに赤潮発生・拡大予測結果を踏まえた対策が、引き続き重要であることを確認した。一方で、本年度は被害がほとんど認められなかったことから、被害額の目標値と実績値の比較による評価よりも、赤潮発生初期から被害拡大防止に至るまでの対応の整理に注力した。

その取組の中心として、熊本県および鹿児島県の海域を対象に、シャットネラの細胞密度区分や着色の有無等を基準とした赤潮対策タイムラインの試作を行った。熊本県海域については、複数の調査海域を想定し、危機度の段階に応じて、県、漁協、漁業者それぞれが取るべき調査、注意喚起、餌止め、足し網、沈下、駆除剤対応等を整理した（図 36 図 37）。また、鹿児島県海域についても、御所浦島北側・南側および八代海全域を対象として、細胞密度の上昇に伴う対応の流れを整理した（図 38）。

これらのタイムラインは、赤潮の進行状況に応じた対応を時系列的に可視化し、関係機関間で共有可能な形に整理した点に特徴がある。従来、赤潮対応は個々の経験に基づいて判断される場面が多かったが、タイムラインとして整理することで、判断基準や対応内容の共通理解が促進され、将来的な赤潮発生時に迅速な対応が可能になると考えられる。

一方で、本年度に作成したタイムラインは、現行の対応を整理した試作段階のものであり、実際の赤潮発生事例に基づく検証は十分ではない。今後は、赤潮発生時の運用状況を踏まえて内容を見直し、地域特性や養殖形態の違いを反映させることで、より実践的な内容へと改良していく必要がある。

引用文献

- Carion N et al. End-to-end object detection with transformers. *European Conference on Computer Vision*. Springer International Publishing, 2020; 213-229.
- 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 Res. II* 2005; 52: 1443-1463.
- Holm-Hansen O, Lorenzen CJ, Holmes RW, Strickland JD. Fluorometric determination of chlorophyll. *Int. J. Mar. Sci.* 1965; 30: 3-15.
- Honjo T, Yamamoto S, Nakamura O, Yamaguchi M. Annual cycle of motile cells of *Gymnodinium nagasakiense* and ecological features during the period of red tide development. In: Graneli E et al. (eds). *Toxic Marine Phytoplankton*. Elsevier Science, Amsterdam. 1990; 165-170.
- Matsumoto K, Takanezawa T, Ooe M. Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: a global model and a

- regional model around Japan. *J. Oceanogr.* 2000; 56: 567-581.
- Mellor GL, Yamada T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.* 1982; 20: 851-875.
- 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. General circulation experiments with the primitive equations, I. The basic experiment. *Mon. Weather Rev.* 1963; 91: 99-164.
- Zhang H et al. DINO: DETR with improved denoising anchor boxes for end-to-end object detection. arXiv 2022; arXiv:2203.03605.

表 1. 調査定点

測点番号	測点名	北緯		東経	
2	大築島北	32°	30.40′	130°	29.70′
4	田浦沖	32°	20.20′	130°	25.26′
5	津奈木沖	32°	16.20′	130°	21.46′
6	米ノ津沖	32°	11.80′	130°	17.65′
7	獅子島西	32°	17.60′	130°	11.65′
A	姫戸ブイ	32°	24.68′	130°	26.57′
D	嵐口	32°	21.39′	130°	21.72′
K	楠浦湾	32°	23.61′	130°	13.67′

表 2. 機器設置一覧

定点名	管理機関名	観測項目				
		水温	塩分	DO	クロロフィル・濁度	FSI
田浦	熊本県	0.5m	-	-	-	-
楠浦	熊本県, 海水養殖漁協（天草市）	1.5m, 5m	1.5m, 5m	1.5m, 5m	1.5m, 5m	1.5m, 5m
嵐口	海水養殖漁協（天草市）	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m
宮野河内	海水養殖漁協	1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	-
深海湾		1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	-
久玉湾		1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	-
葛輪黒崎	東町漁協	1m, 3m, 10m	-	-	-	-
薄井竹島		1m, 3m, 5m, 10m	1m	1m, 5m, 10m	5m	-
宮ノ浦		1m, 3m, 5m, 10m	1m	1m, 5m, 10m	5m	-
脇崎		1m, 3m, 10m	-	-	-	-
多々羅		1m, 3m, 10m	-	-	-	-
柏栗		1m, 3m, 10m	-	-	-	-
福ノ浦		1m, 3m, 10m	-	-	-	-
御所浦		1m, 3m, 10m	-	-	-	-

表 3. *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±15[μ mol photons m ⁻² s ⁻¹])
最適光強度[μ mol photons m ⁻² s ⁻¹]	100.0	—
最大沈降水深[m]	20.0	10.0

表 4. 楠浦湾におけるクロロフィル蛍光及び FSI の鉛直観測値及びプランクトン細胞数黄色：FSI 1.95 以上を観測した値，緑色：*K. mikimotoi* の推定細胞数，ピンク色：*K. mikimotoi* の検鏡細胞数をそれぞれ示す。

観測地点	水深 (m)	FSI	Chl-a (ppm)	推定細胞数 (cells/ml)	検鏡細胞数 (cells/ml)
嵐口 6月20日	0	1.62	3.5	0	0
	1.5	1.71	4.4	0	1
	5	1.72	5.6	0	0
	8	1.70	6.0	0	0
	10	1.75	8.0	0	0
楠浦 7月17日	0	1.74	7.2	0	0
	1.5	1.74	6.9	0	0
	5	1.67	4.5	0	0
	7	2.08	12.1	149	11
	10	1.96	9.0	68	24
楠浦 7月18日	0	1.68	5.6	0	0
	1.5	1.68	5.5	0	0
	5	1.97	8.9	69	9
	10	1.81	6.5	4	24
	14	2.40	8.2	183	6
楠浦 7月31日	0	1.88	5.5	21	89
	1.5	1.97	8.7	67	118
	5	2.02	10.3	101	117
	6	2.01	11.3	111	99
	10	1.75	8.0	0	61

表 5. 短期予察の混同行列

		予測	
		赤潮	非赤潮
観測	赤潮	0	22
	非赤潮	0	31

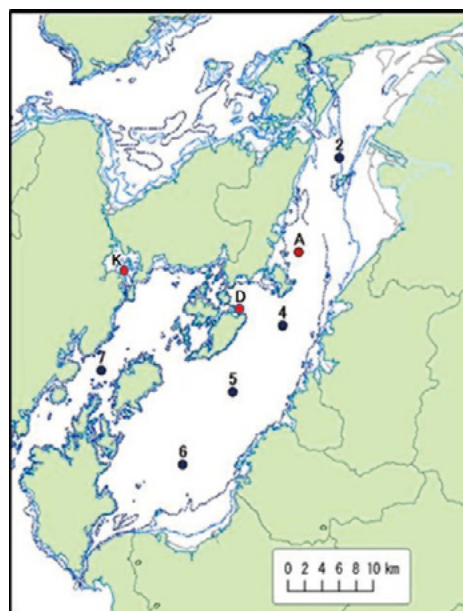


図 1. 調査定点

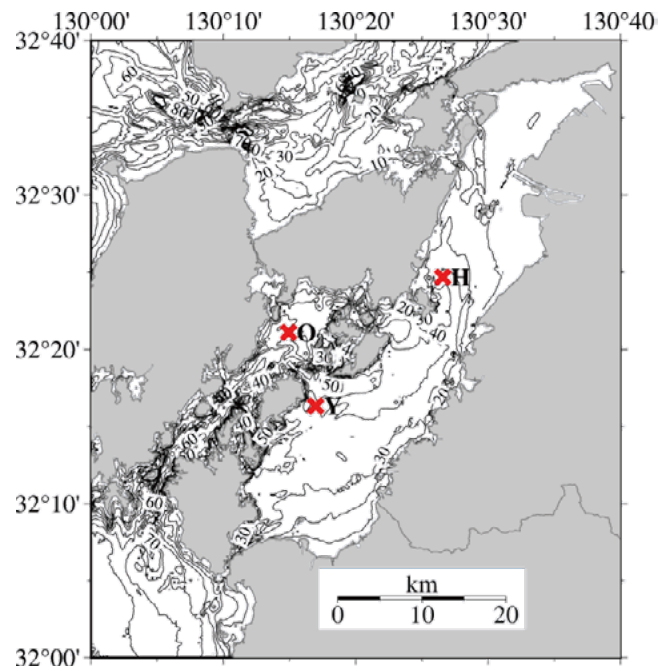


図 2. 大型自動観測ブイ設置地点. H : 姫戸沖, O : 大多尾, Y : 湯ノ口



図 3. 自動水質監視テレメータと自動観測ブイ等の設置場所と観測・管理担当機関



図 4. 楠浦湾設置のテレメータ



図 5. 有害赤潮プランクトンセンサー，多項目水質計及び採水器



図 6. 細胞密度推定の実験手順

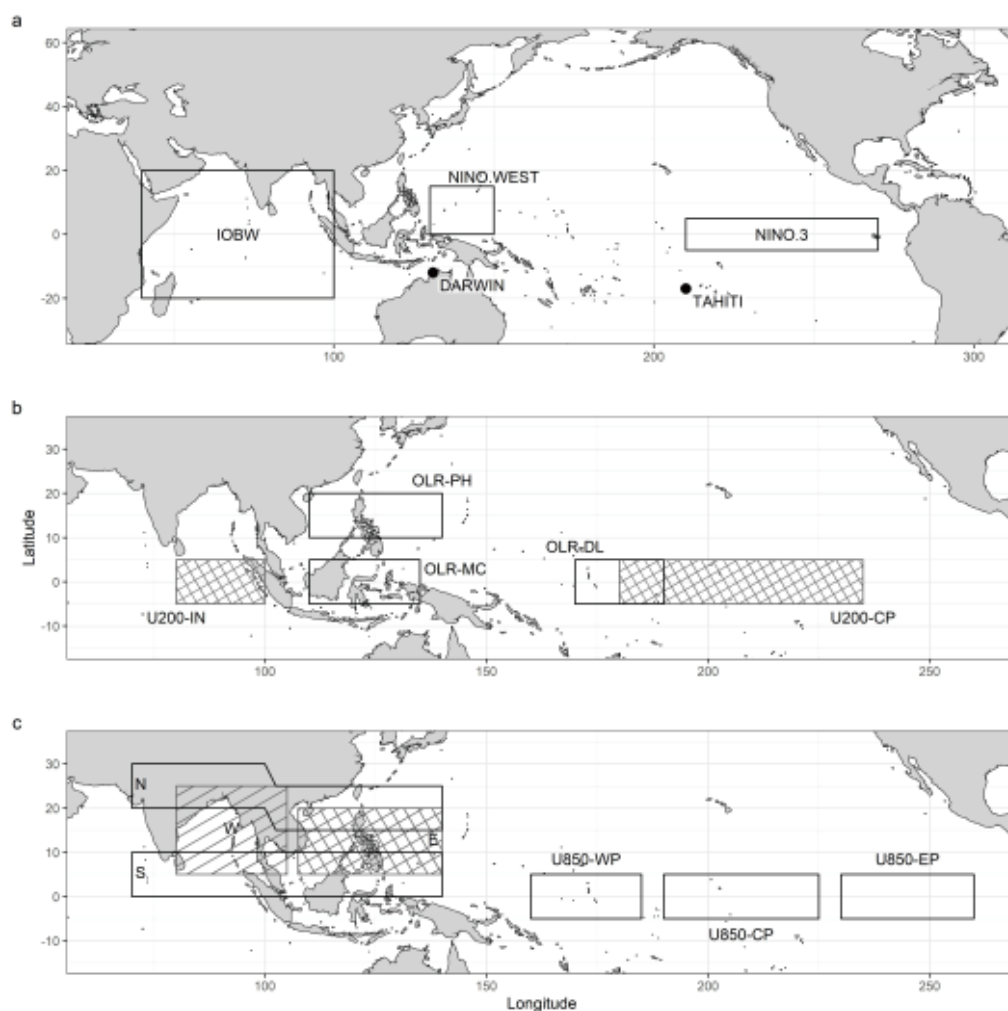


図 7. ENSO 関連指数の観測海域

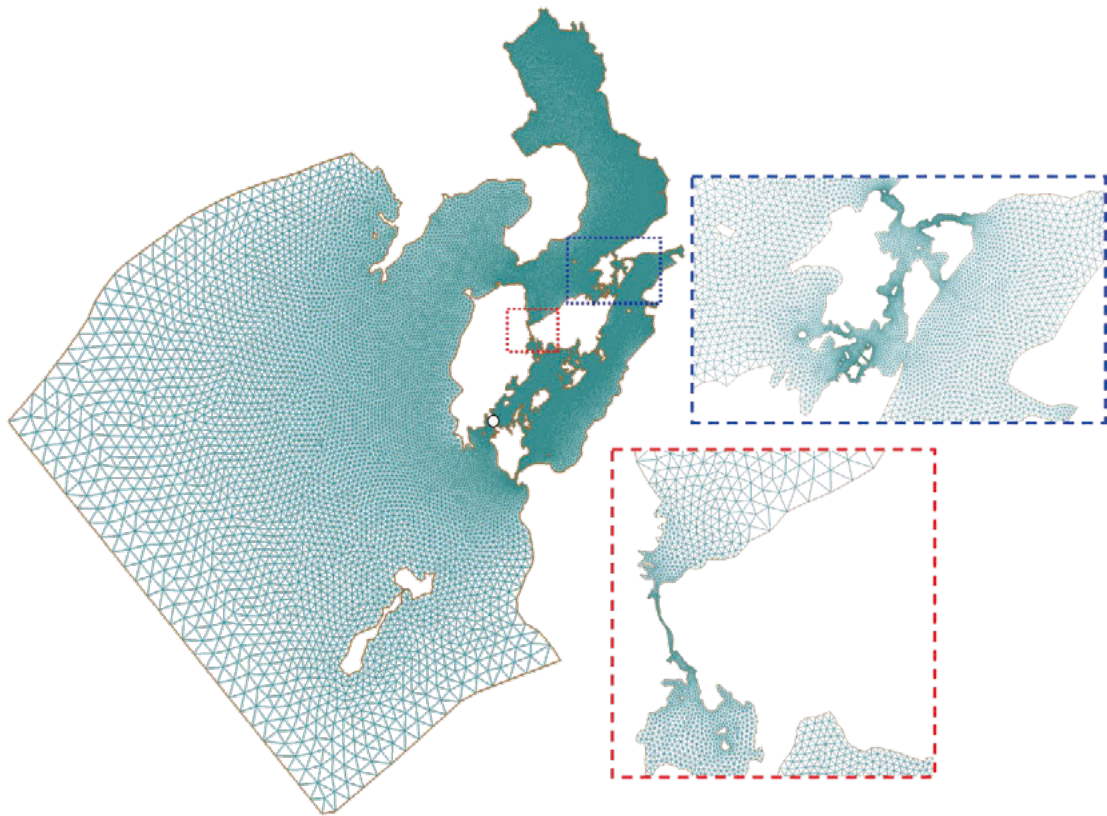


図 8. 計算対象領域および非構造三角形格子



図 9. RRI で流量計算を行った河川群

項目	水俣湾	八代海全域
状態	平常状態	<i>Karenia</i> 赤潮発生時
期間	2021年3月～2022年7月	2024年8月2日～9日
頻度	月1回	集中観測
手法	^{13}C 法 (Hama et al. 1983) 3時間培養	^{13}C 法+PAM蛍光法 (Phyto-PAM-II)
地点数	2地点×4層 全136層	^{13}C 法 : 1地点×2層 PAM法 : 全域202層
光強度	4段階	5段階 (^{13}C) 13段階 (PAM)



図 10. 基礎生産モデル構築の概要

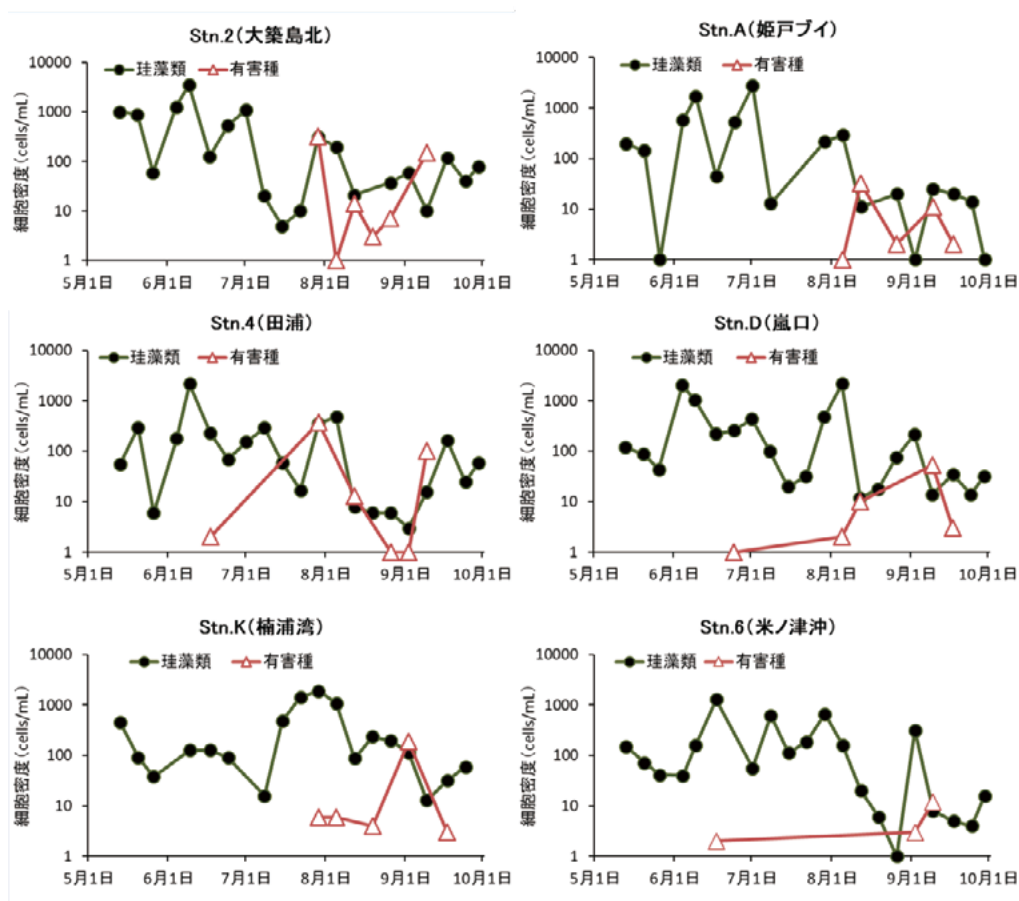


図 11. 八代海 6 定点の水深 0m～10m のクロロフィル極大層におけるプランクトン細胞密度の推移.

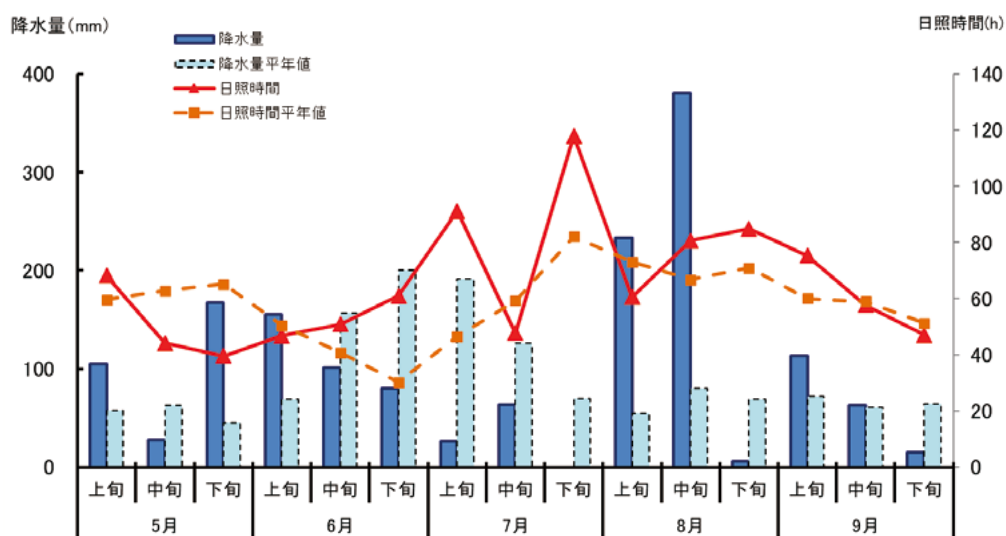


図 12. 調査期間中の降水量，日照時間の推移（八代アメダス）.

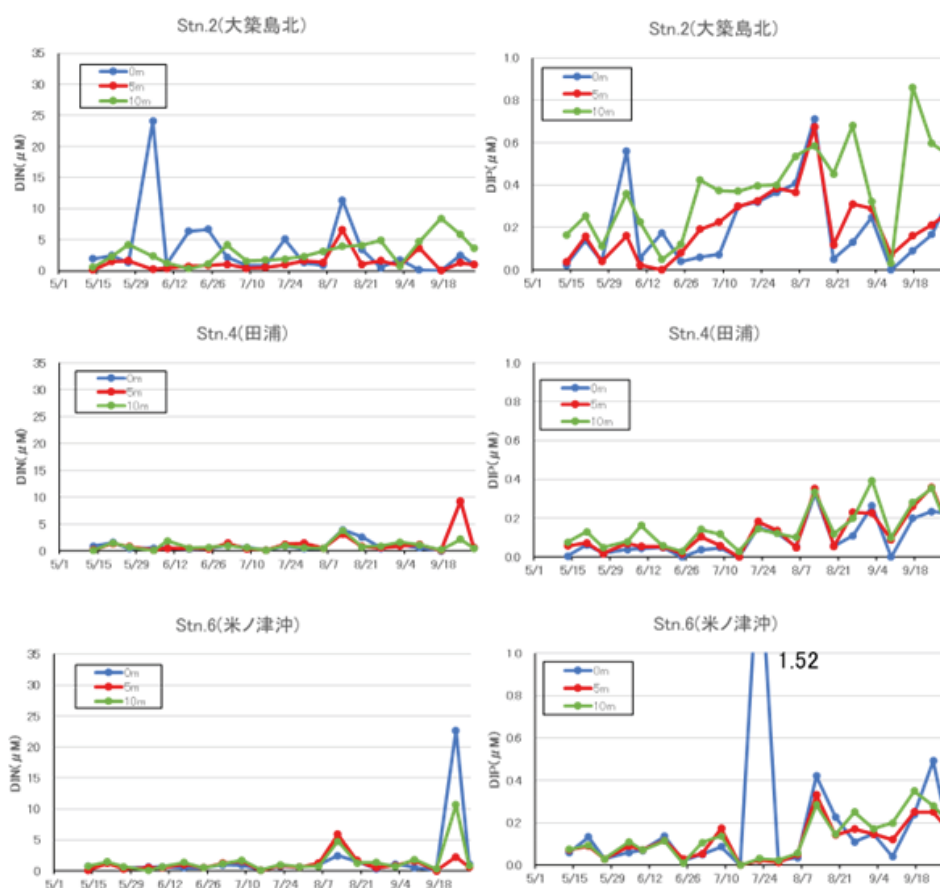


図 13. 八代海 3 定点（北部：Stn.2，中部：Stn.4，南部：Stn.6）の DIN，DIP 推移.

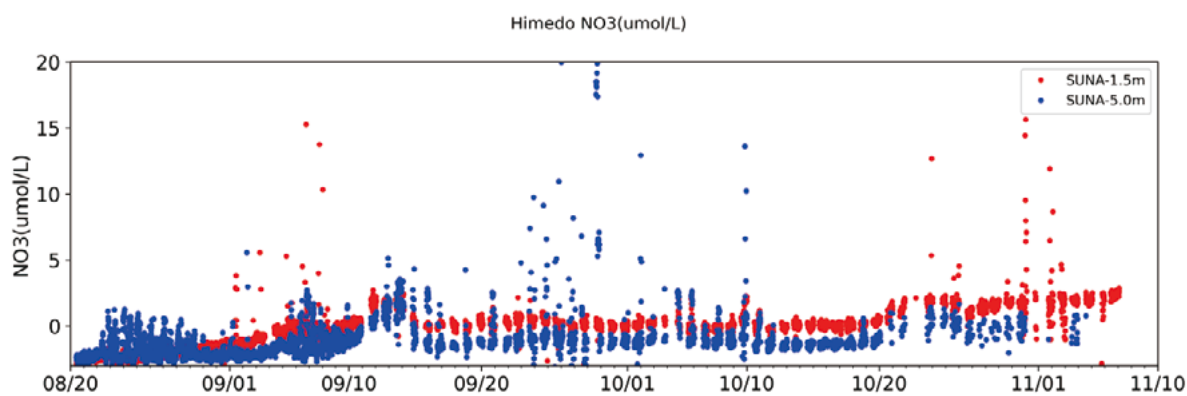


図 14. 2025 年夏季における硝酸塩濃度の経時変化（センサー値，補正なし）

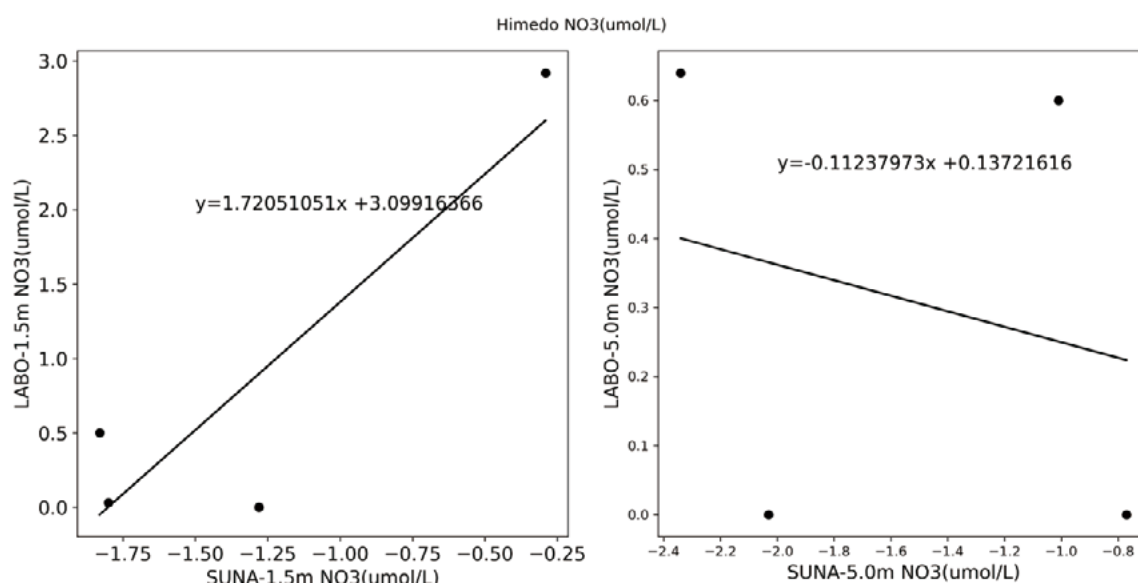


図 15. 2025 年夏季における硝酸塩濃度のセンサー値と採水分析結果の比較

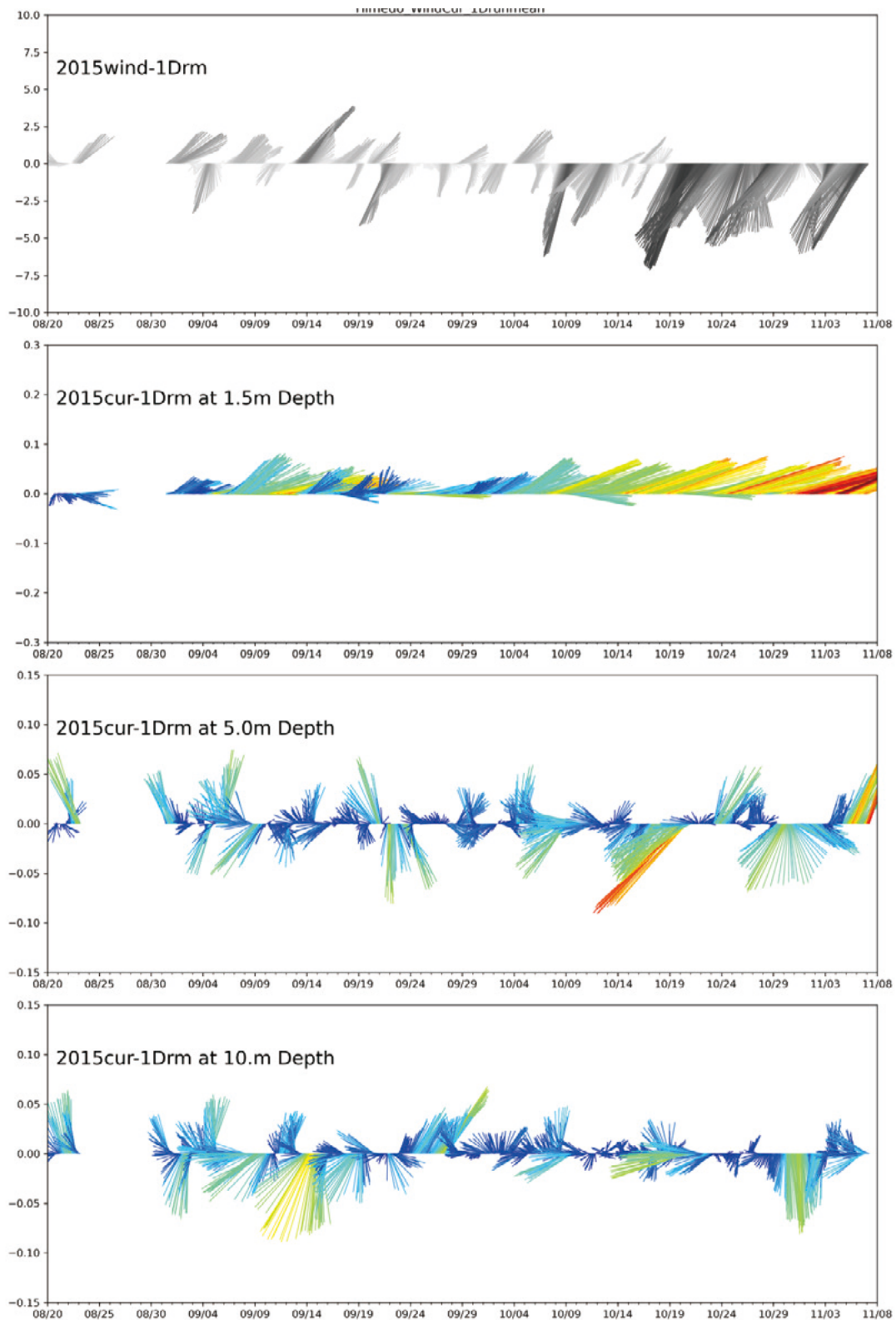


図 16. 大型観測ブイ（姫戸沖）における風向風速の経時変化．1 段目：海上風に 24 時間移動平均を施したもの．2 段目：水深 1.5m 深の平均残差流．3 段目：水深 5m 深の平均残差流．4 段目：水深 10m 深の平均残差流．

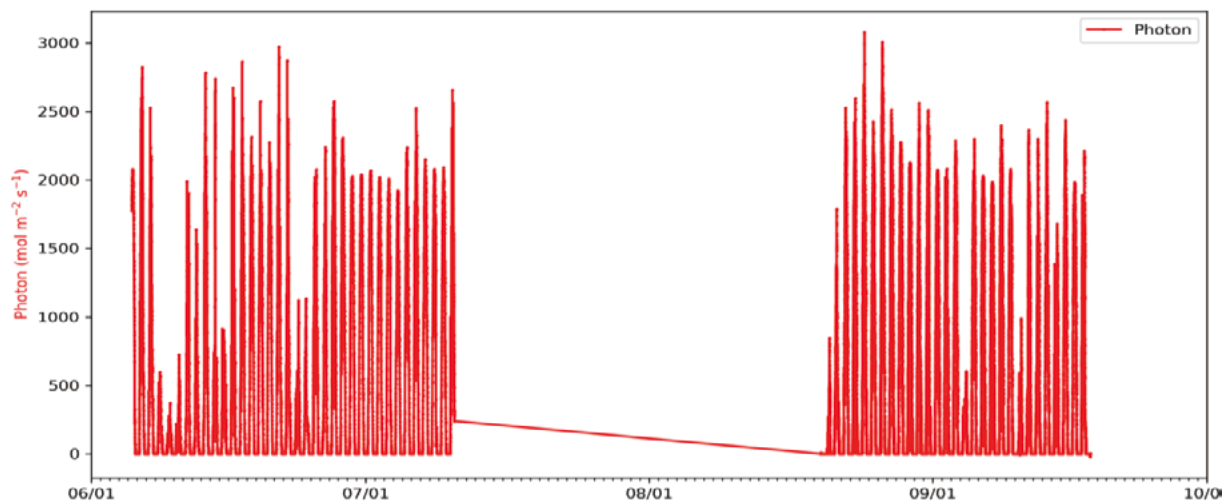


図 17. 姫戸沖ブイ観測点における光量子束密度の経時変化



図 18. 八代海赤潮等広域監視システムホームページ

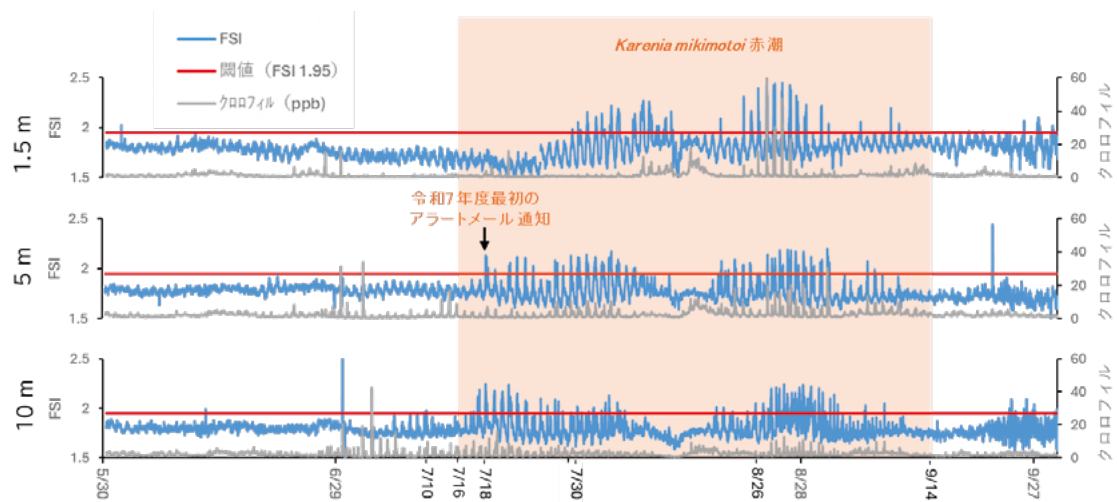


図 19. 令和 7 年度（2025 年度）観測における水深 1.5 m, 5 m, 10 m のクロロフィル
ル蛍光及び FSI の推移

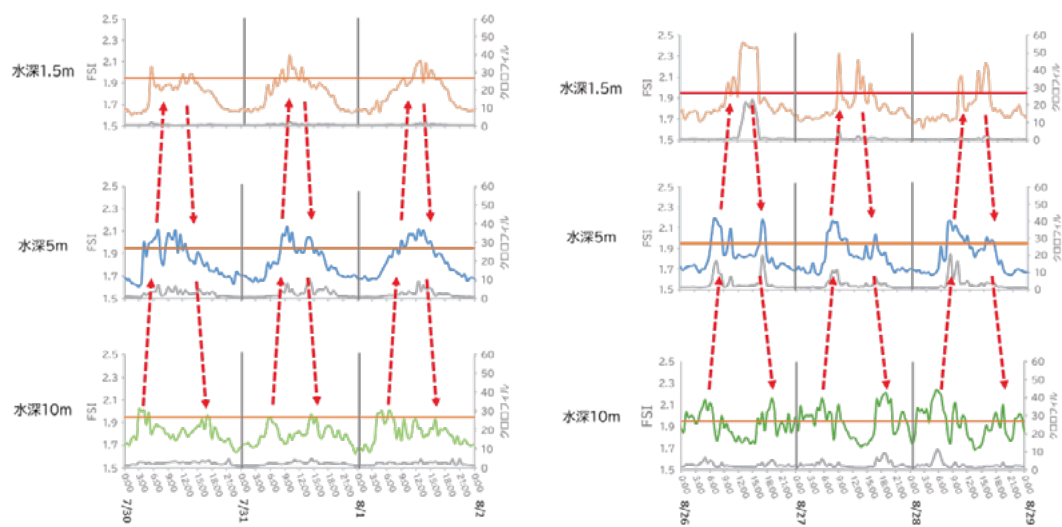


図 20 *K. mikimotoi* 発達期の観測値の推移

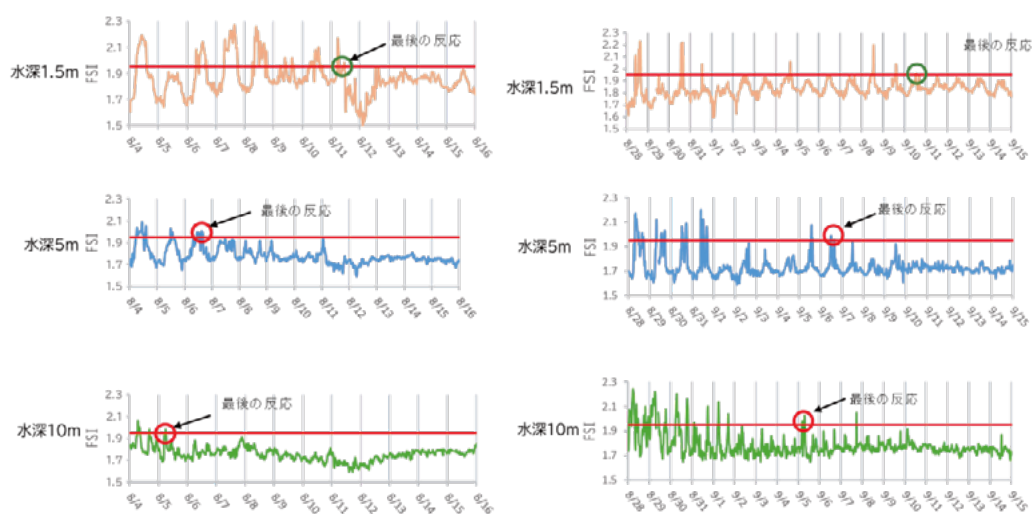


図 21. *Karenia mikimotoi* の終息期の観測値の推移

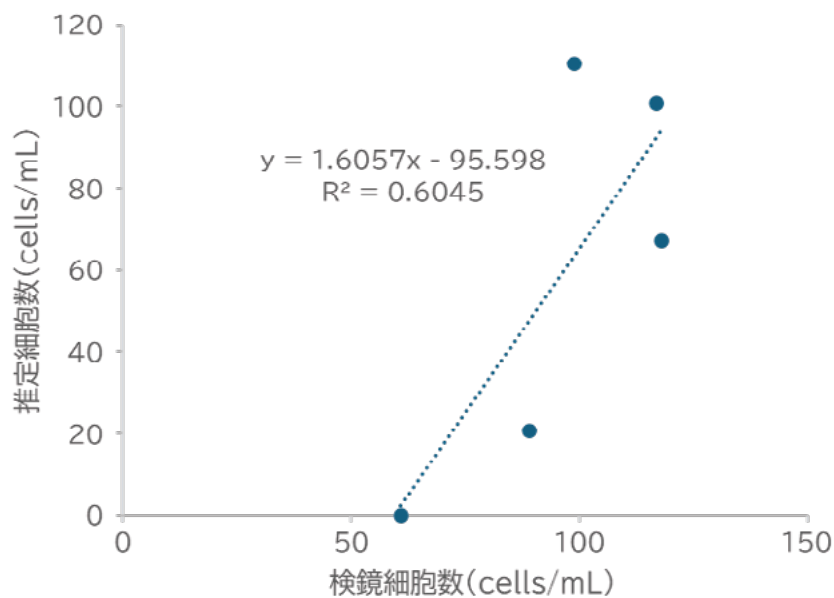


図 22. 検鏡細胞密度の閾値を 50 cells mL^{-1} 以上とした場合の *Karenia mikimotoi* の検鏡細胞数と推定細胞数の相関関係

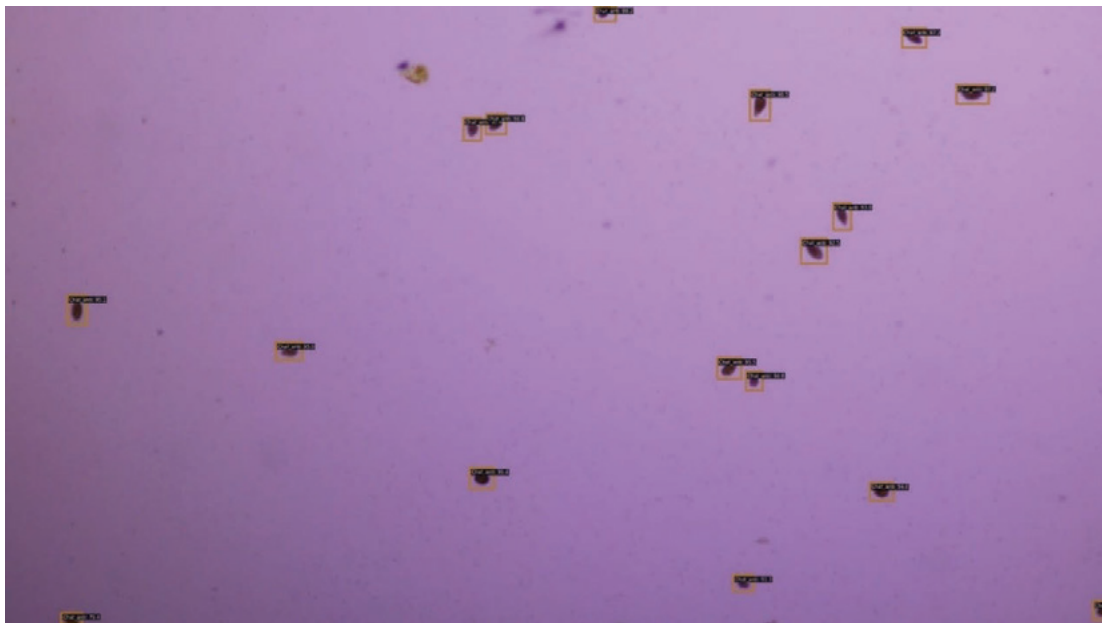


図 23. *Chattonella antiqua* の検知例

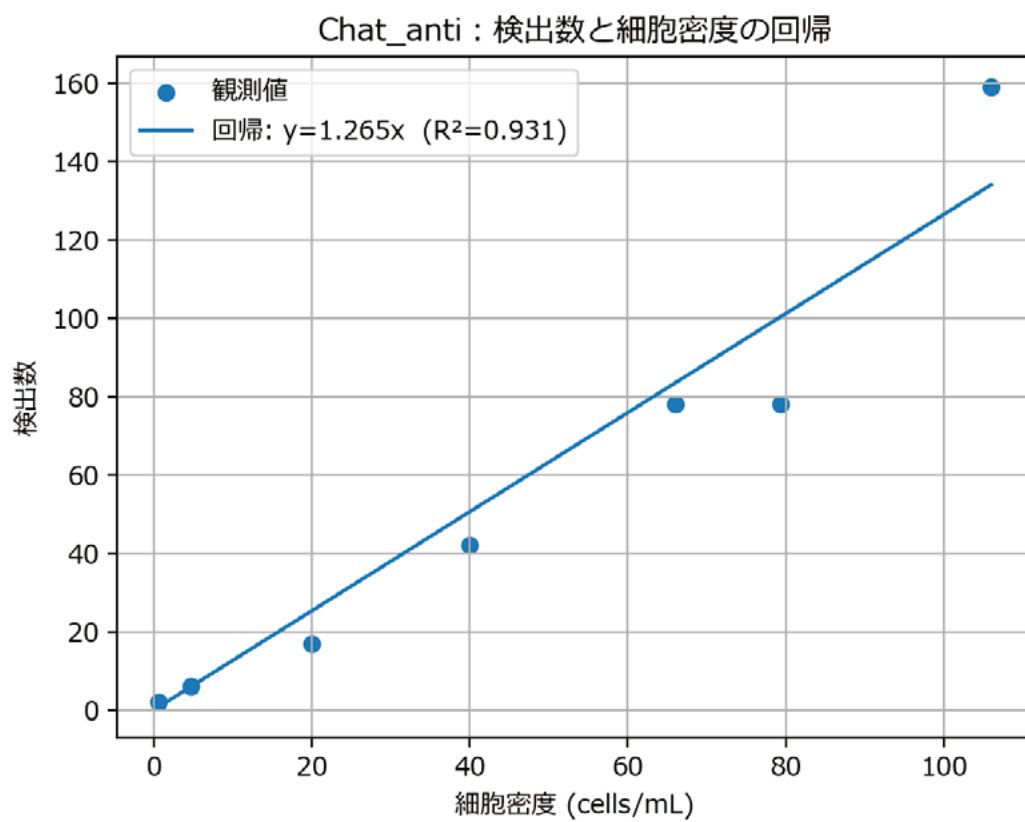


図 24. 回帰直線の算出

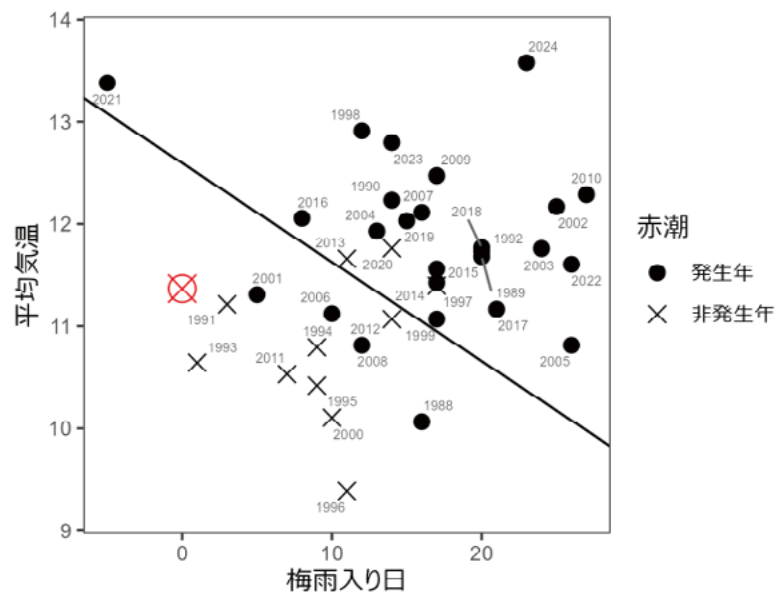


図 25. 梅雨入り日と平均気温の関係. 赤印：今年度のプロット，実線：判別直線.

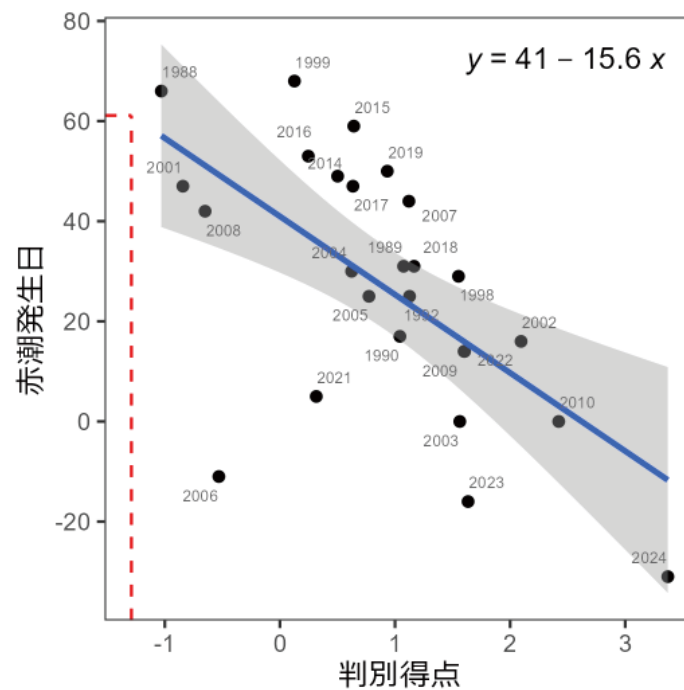


図 26. 判別得点と赤潮発生日の関係. 青線：回帰直線，赤破線：推定結果.

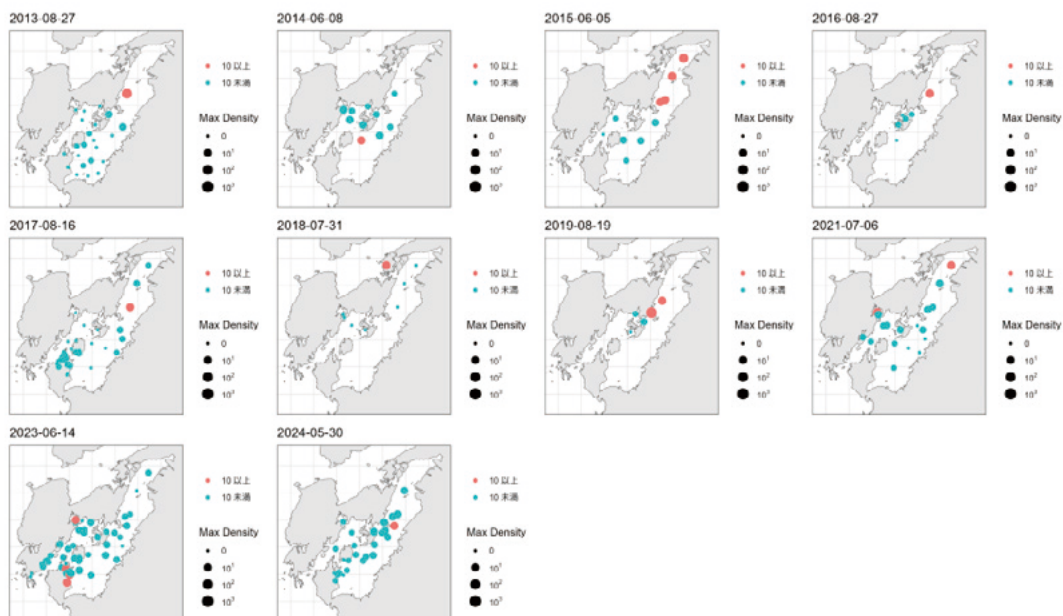


図 27. 各年の初発域 (*Chattonella* spp.)

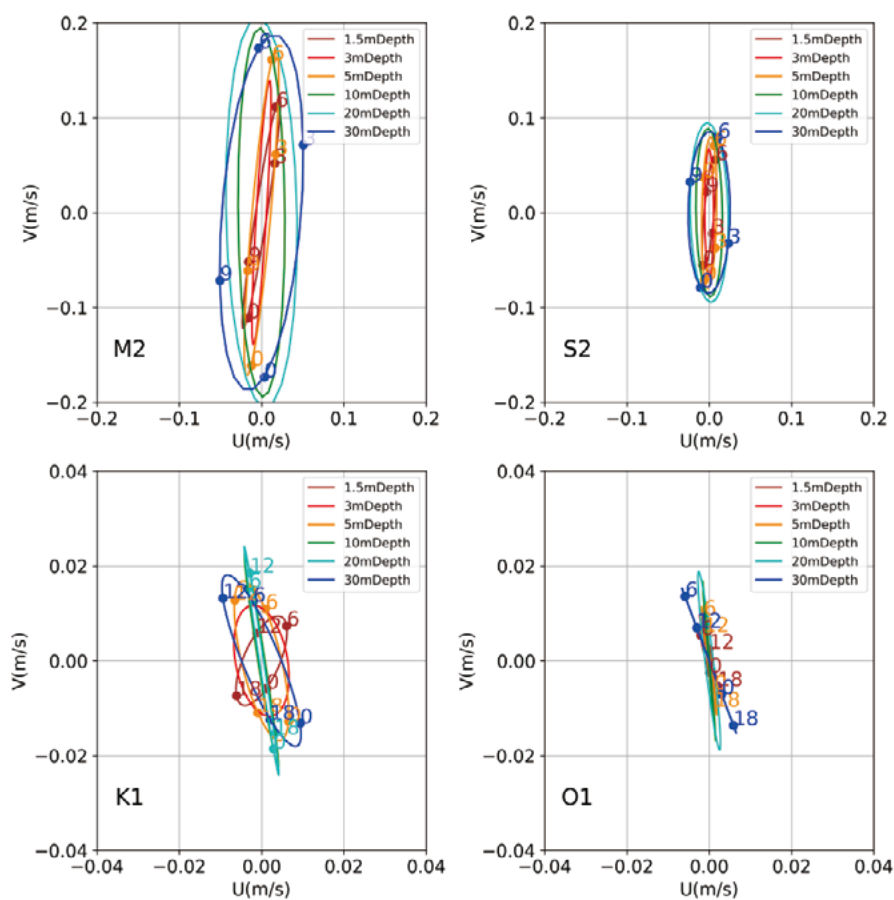


図 28. 姫戸沖ブイ観測点における主要 4 分潮の潮流楕円 (2012 年から 2025 年までのデータを使用)

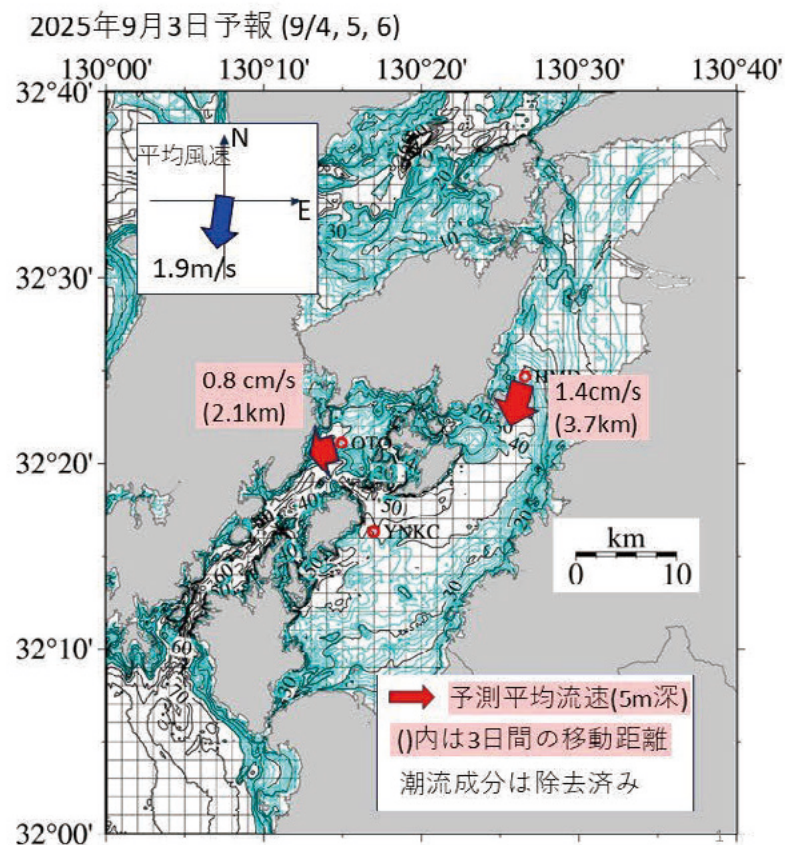


図 29. 風向・風速の予測値から予測される平均流速の分布図の一例.関係者へのみ適宜配信.

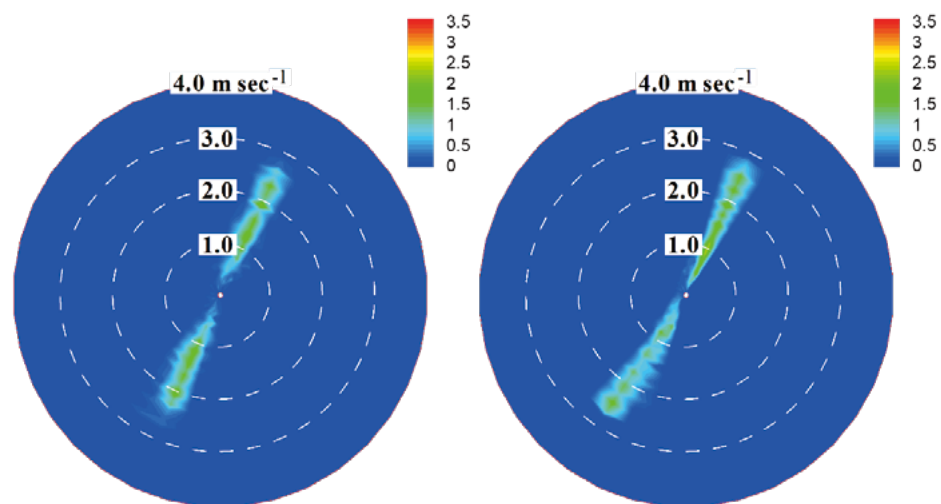


図 30. 長島海峡における測流結果(海面下 3mにおける流向流速頻度分布)との比較

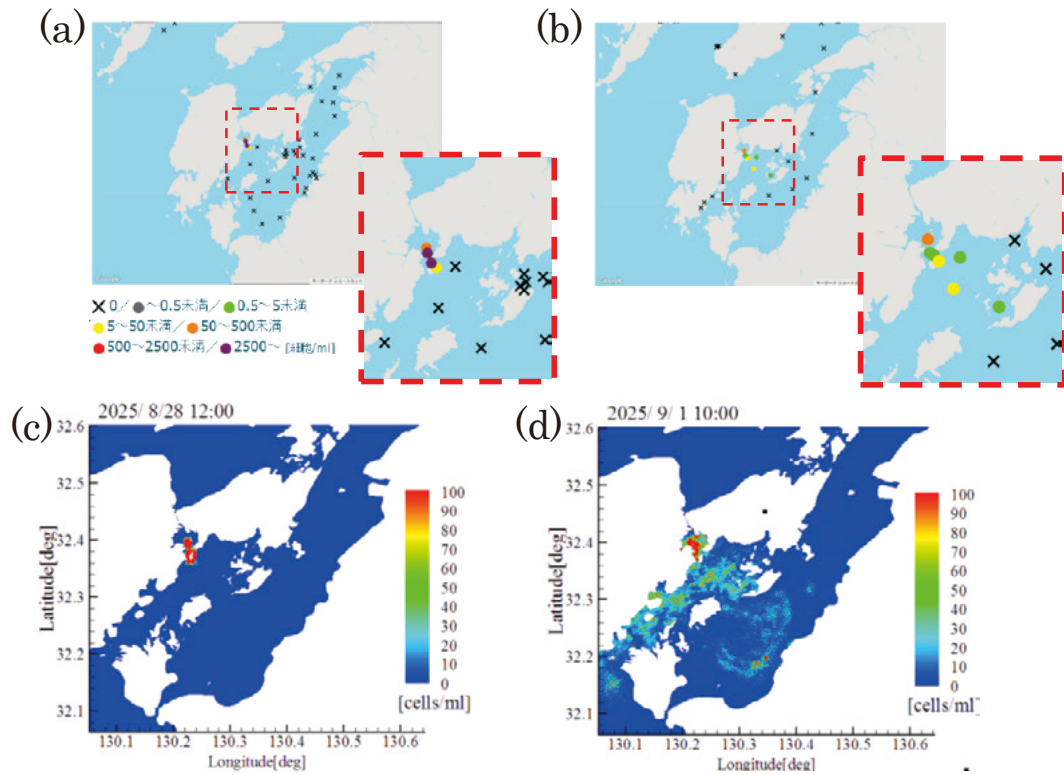


図 31. 2025 年 8 月 28 日から 9 月 1 日にかけての楠浦湾周辺の *Karenia mikimotoi* 細胞密度の推移 (a,b: 観測値 c,d: 粒子分布に基づく細胞密度 (c は初期分布, d は予測結果))

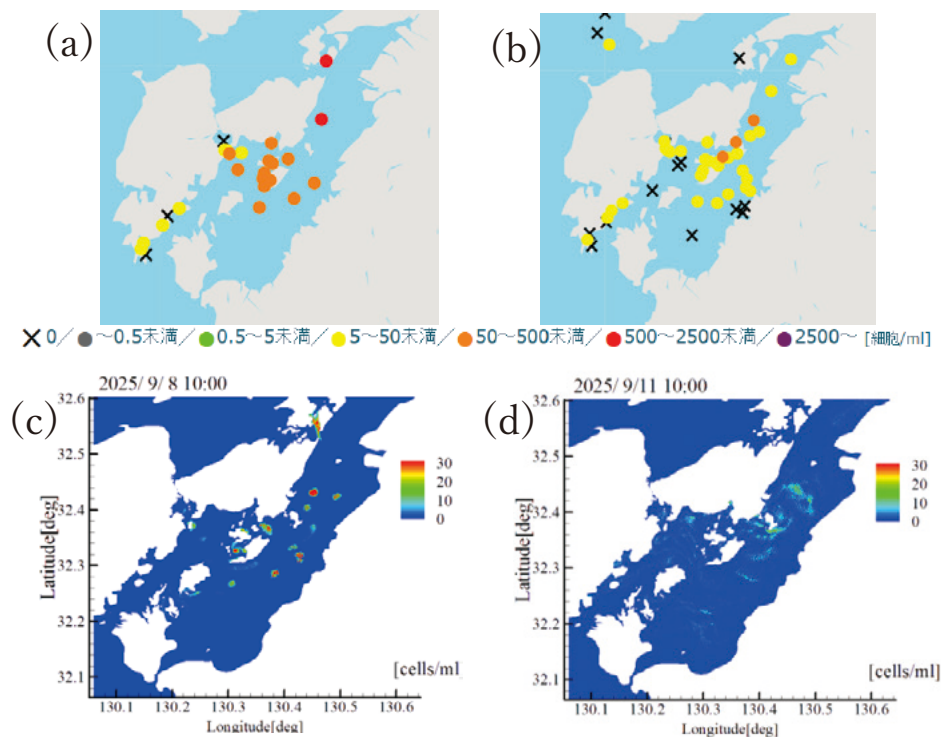


図 32. 2025 年 9 月 8 日から 9 月 11 日にかけての *Chattonella* spp. 細胞密度の推移 (a,b: 観測値 c,d: 粒子分布に基づく細胞密度 (c は初期分布, d は予測結果))

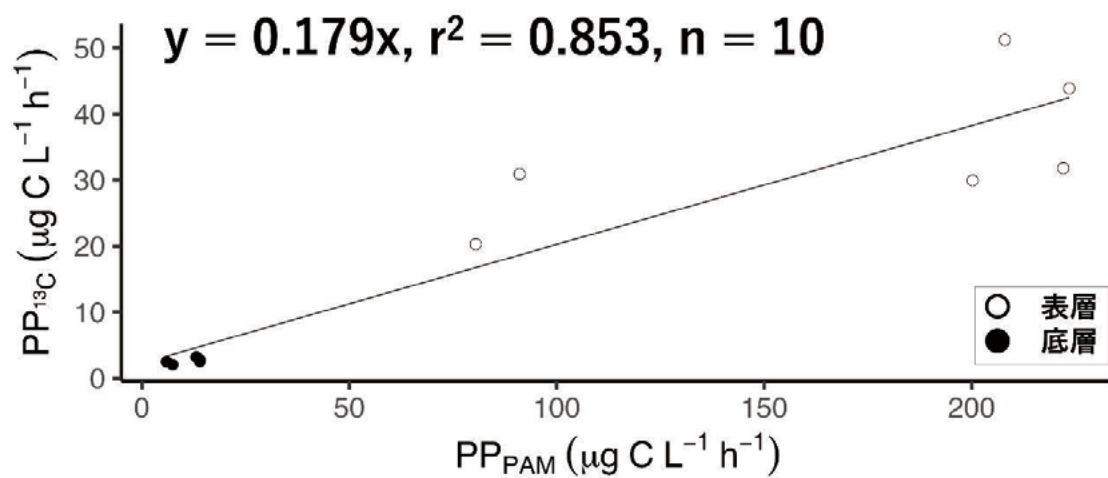


図 33. PAM 法 (PP_{PAM}) と ^{13}C 法 ($PP_{^{13}C}$) による基礎生産量の関係

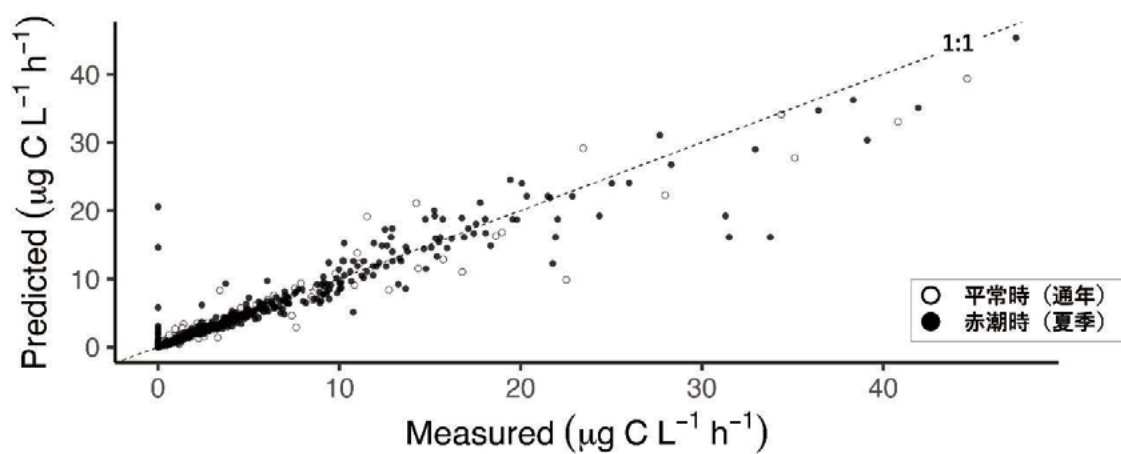


図 34. RF 回帰による予測値 (Predicted) と実測値 (Measured) の比較

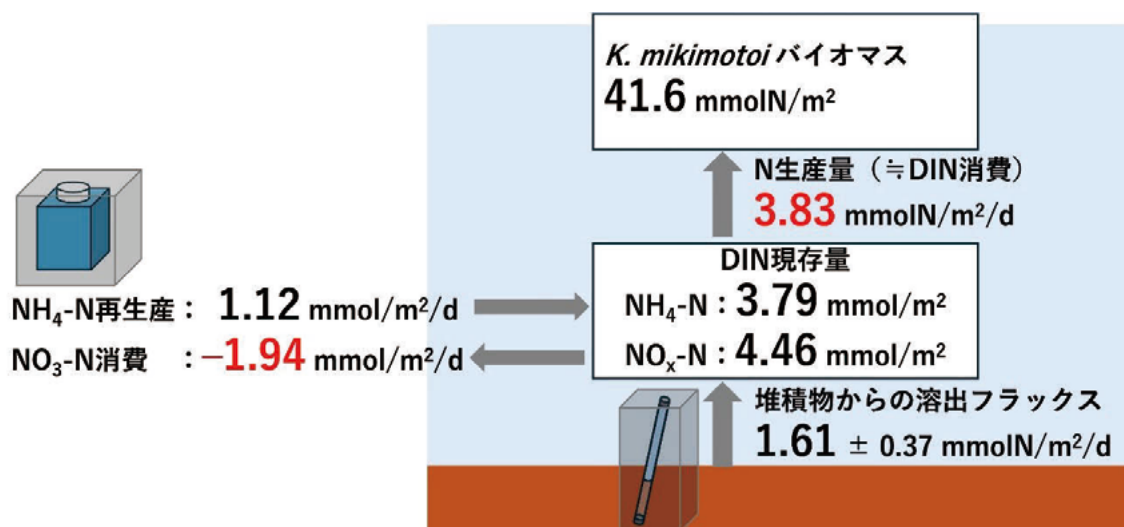


図 35. 養殖海域 (Stn YK22) の *K. mikimotoi* 赤潮衰退期における N 収支

危機的状況 小 → 大

調査海域	①姫戸ブイまたは 各地先、②楠浦湾または 各地先			
シャットネラ	1 ~ 5 cells/mL	5 ~ 10 cells/mL	10 cells/mL 以上	着色
県	検鏡調査	検鏡調査	検鏡調査	
漁協	注意喚起 駆除剤準備	早期出荷 餌止め	餌止め 駆除剤散布	駆除剤散布
漁業者	自主調査	自主調査 早期出荷検討 餌止め	自主調査 餌止め 駆除剤準備	駆除剤散布

①大矢野、維和・松島、龍ヶ岳、大道、御所浦、芦北、津奈木
②楠浦、倉岳・栖本、新和・宮野河内
※赤潮対策のため、足し網や大型生簀による飼育を常時実施

図 36. 熊本県海域北部・中央部における赤潮対策タイムライン

危機的状況 小 大

調査海域	天草市深海底先(出月)北			天草市深海底先(出月)南			着色
シャットネラ	1 ~ 5 cells/mL	5 ~ 10 cells/mL	10 cells/mL 以上	1 ~ 5 cells/mL	5 ~ 10 cells/mL	10 cells/mL 以上	
県	検鏡調査	検鏡調査	検鏡調査	検鏡調査	検鏡調査	検鏡調査	
漁協		注意喚起 ↓ 指導	注意喚起 ↓ 指導	注意喚起 駆除剤準備 ↓ 指導	早期出荷 餌止め ↓ 指導	餌止め 駆除剤散布 ↓ 指導	駆除剤散布 ↓ 要請
漁業者	自主調査	自主調査	自主調査	自主調査	自主調査 早期出荷検討 餌止め	自主調査 餌止め 駆除剤準備	駆除剤散布

※赤潮対策のため、足し網や大型生簀による飼育を常時実施

図 37. 熊本県海域南部における赤潮対策タイムライン

危機的状況 小 大

調査海域	御所浦島 北側		御所浦島 南側		八代海全域
シャットネラ	1 ~ 5 cells/mL	5 ~ 10 cells/mL	1 ~ 5 cells/mL	5 ~ 10 cells/mL	着色
漁協	自主調査	自主調査 ↓ 指示	自主調査 ↓ 要請	自主調査 ↓ 指示	粘土散布
漁業者		沈下・足し網の準備	検鏡	沈下・足し網の実施	

図 38. 鹿児島県海域における赤潮対策タイムライン