

図5 カレニア赤潮発生海域における高濃度酸素水の発生状況（2023年7月2日撮影）

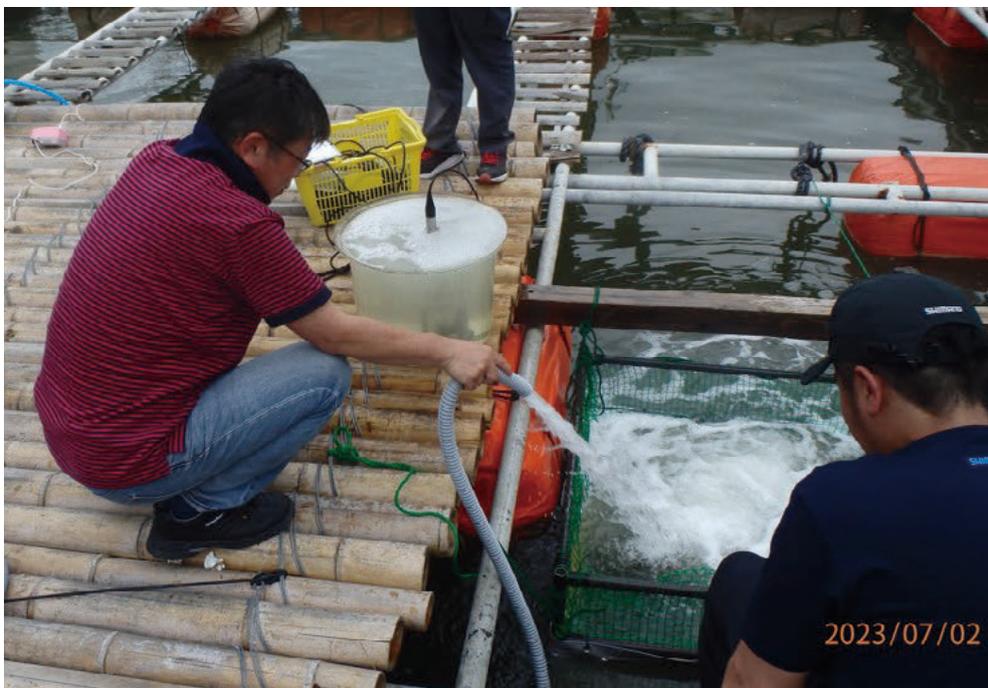


図6 カレニア赤潮発生海域における高濃度酸素水の発生状況（2023年7月2日撮影）
吐出口の海水を水槽で受けて溶存酸素濃度を計測しているところ（27 mg/L、水温 26° C）



図7 試験用ブリ稚魚の収容（2023年7月2日撮影）

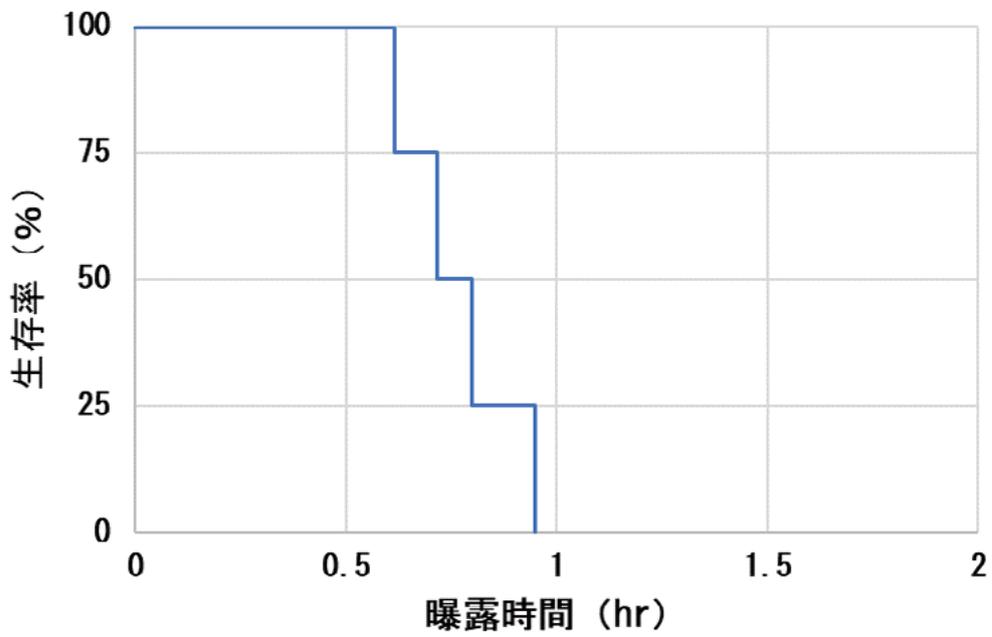


図8 対照区でのブリの生残率の推移（2023年7月2日実施）

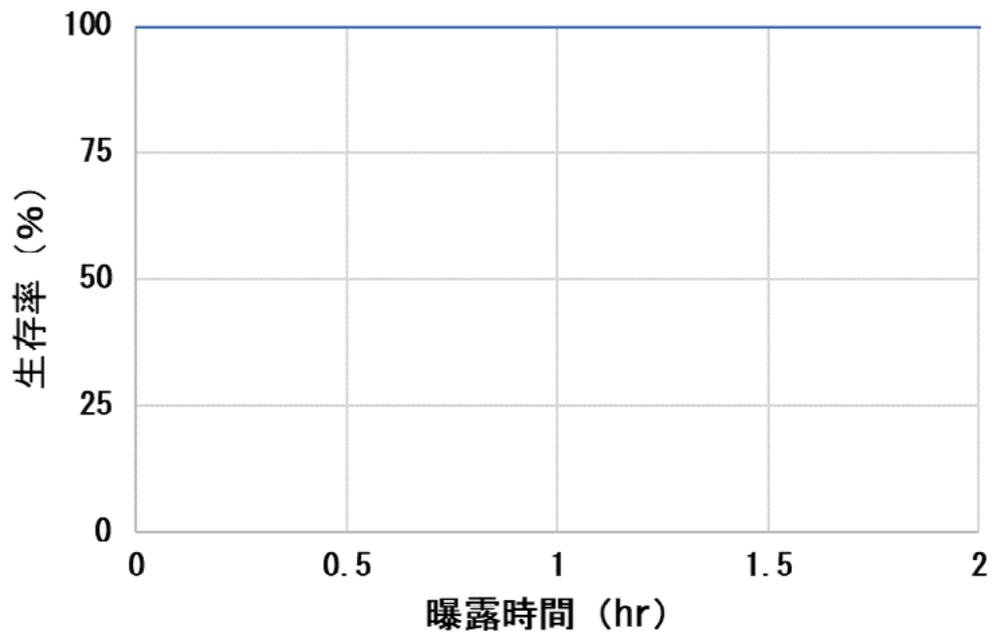


図9 高濃度酸素発生区でのブリの生残率の推移 (2023年7月2日実施)



図10 カレニア赤潮発生海域における高濃度酸素水の発生状況 (2023年7月2日撮影)
吐出口からの距離と溶存酸素の濃度を計測しているところ

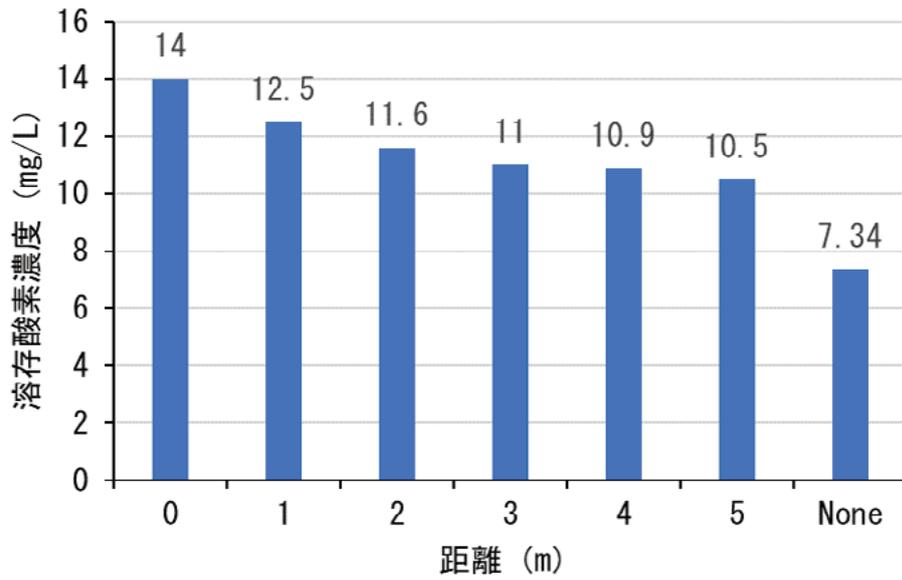


図 11 カレニア赤潮発生海域における高濃度酸素水の発生状況 (2023 年 7 月 2 日撮影)
吐出口からの距離と溶存酸素濃度の関係

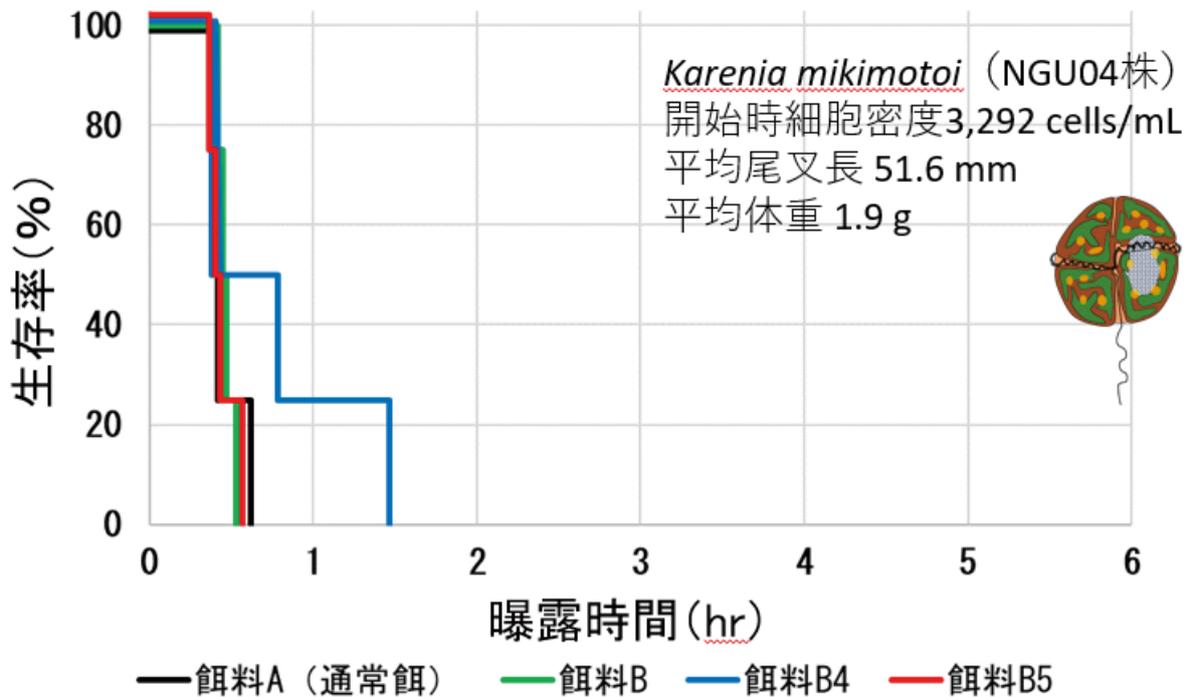


図 12 異なる餌料 B の給餌 (4 日間) がブリ稚魚の生存率に与える影響
(*Karenia mikimotoi* 曝露時: 1 回目実験)

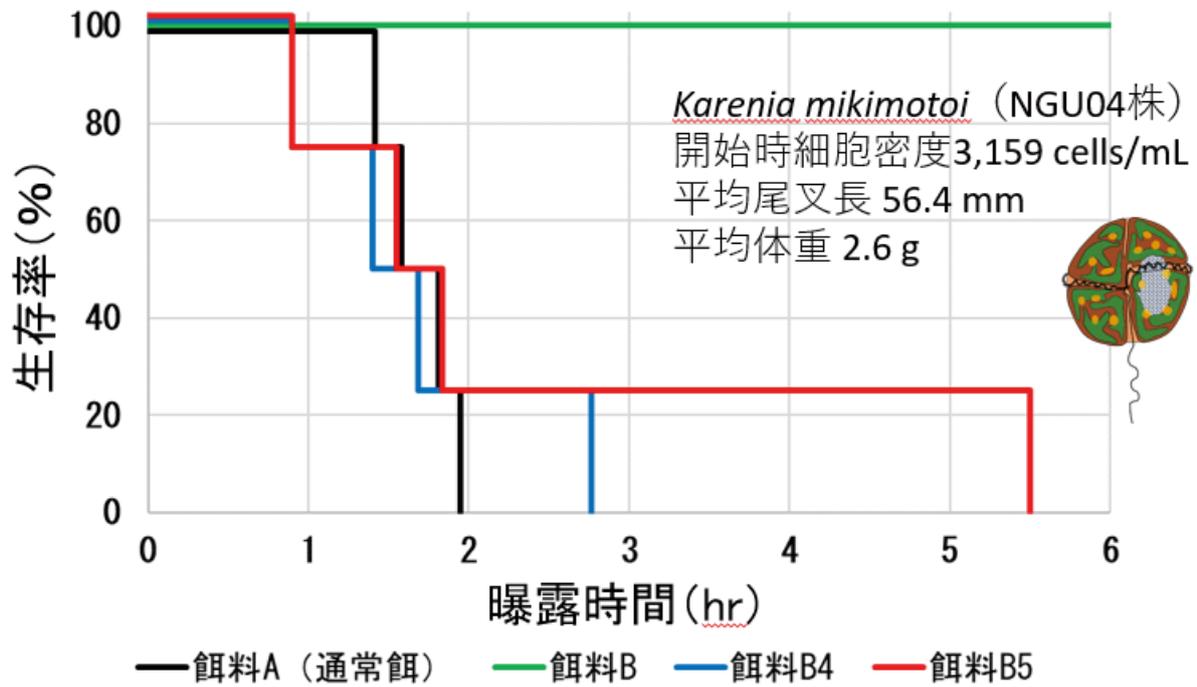


図 13 異なる餌料 B の給餌 (4 日間) がブリ稚魚の生存率に与える影響
 (*Karentia mikimotoi* 曝露時: 2 回目実験)

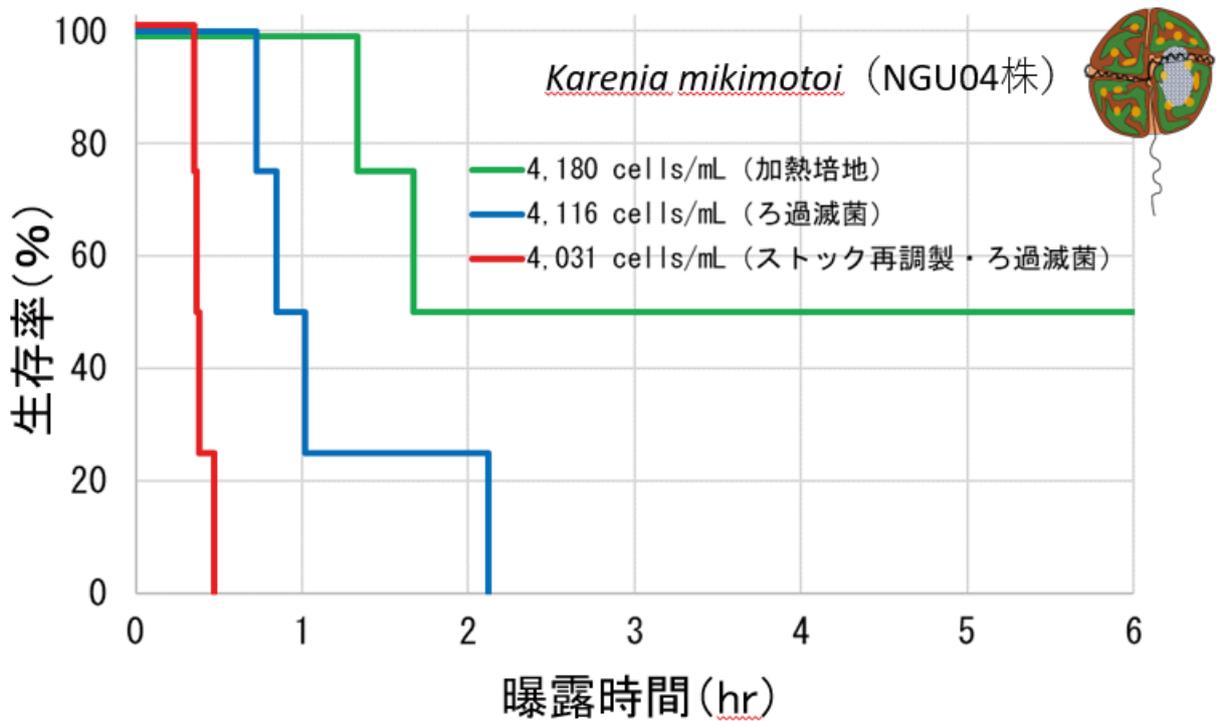


図 14 異なるロットの培地で培養された場合のブリ稚魚の生存率に与える影響
 (*Karentia mikimotoi* 曝露時: 3 回目実験)

3) 有害赤潮プランクトンのモニタリング技術の開発・実証及び普及並びにデータ利活用の促進

ア. 有害赤潮プランクトンの画像情報に基づくモニタリング技術の開発

高知県水産試験場
上村海斗
熊本大学半導体・デジタル研究教育機構
戸田真志, 河野友香
高知大学農林海洋科学部
山口晴生
水産研究・教育機構 水産技術研究所
羽野健志, 坂本節子, 外丸裕司

1 全体計画

(1) 目的

西日本海域では有害赤潮プランクトンによる漁業被害が頻発しており、十数億円の漁業被害が発生する場合もある。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、赤潮発生の変向を詳細に理解する必要がある。この際、赤潮監視態勢におけるモニタリングの省力化ならびに高解像度化は極めて重要な要件となっている。本研究課題では、近年開発が急速に進んでいる画像解析技術を赤潮モニタリングに導入することで、有害赤潮プランクトンの画像情報に基づく新規モニタリング技術の開発を行う。具体的には室内実験や赤潮頻発海域での調査を通し、有害赤潮プランクトンの画像情報を各種環境・生物学的パラメータとともに蓄積する。以上により、得られた画像情報から特定赤潮プランクトンの判別ならびに挙動に関する情報解析技術の高度化を図る。

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) 有害赤潮プランクトンの画像情報蓄積 (高知県, 高知大学, 水技研)

1-1) プランクトン画像データの取得

高知県中央部に位置する浦ノ内湾を対象海域として (図1, KU1~KU5), R5年5~9月に有害, 無害問わず赤潮が発生している際に, プランクトンの画像を取得した。画像は, 現場で採水した海水 (以下「海水試料」という。) を計数板に載せて生物顕微鏡 (ECLIPS Ni, Nikon) および画像撮影装置 (Ds-Fi2, Nikon) を用いて撮影した。海水試料は, 終濃度0.01%のグルタルアルデヒドで固定してから撮影した。対物レンズを10倍, カメラをオートモードおよび自動ホワイトバランスに設定し, 画像は1280×680 dpi, 拡張子jpgで保存した。

1-2) メタボローム解析用サンプル回収手法の簡易化

海水中の植物プランクトンをメタボローム解析に資するには, 現場において細胞を蝟集後, メタノール添加によりクエンチング (細胞の瞬間破壊) し, 得られた溶液をチューブに移す必要がある (図2 黒矢印)。しかし, 現状の方法では, 2人以上の作業要員が必要で, また技術的な難易度も高く, 現場普及の大きな障害となっていた。そこで, 省人省力化を目的に, サンプル回収手法の簡易化を試みた。

1-3) メタボローム解析用サンプルの取得と前処理

当該解析は *Karenia mikimotoi* を対象として、赤潮 (1,000 cells/mL 以上) が発生している期間中 (R5 年度) に週 1 回程度の頻度でサンプリング (図 2 赤矢印) を行った。KU1 および KU3 の 2 定点において、測器 (AAQ-RINKO, JFE アドバンテック) のクロロフィル蛍光値が最大となる層で採水した。採水した海水試料のうち、1 mL は検鏡による細胞数の計数に供し、300~500 mL は 150 μm のプランクトンネットで一次濾過、3 μm メンブレンフィルターを用いて二次濾過を行った。二次濾過は、吸引ポンプを用いて圧力が 0.02 MPa 以下となるように調整しながら実施した。濾過後のフィルターはジルコニアビーズと共にマイクロチューブに入れ、チューブ内にメタノールおよびリトールを加えた後に激しく攪拌した。攪拌後のサンプルは -30°C 以下で保存した。

1-4) 有害赤潮プランクトンの画像情報蓄積に伴う生物学的パラメータの測定 (R4 年度浦ノ内湾事例の検証)

Hano and Tomaru (2023) は、有害赤潮藻類 (*K. mikimotoi*) 細胞の生理状態別に代謝物変動を調べ、終息間近 (定常期後期) に特異的に増加する指標 (細胞内グルコース/グリシン比, 以下, GG 比) を見出している。この指標を用い、終息のおおよそ 1 週間前を事前に予測する手法の開発を目指し、現場適用に向けた検討を行った。

対象海域は高知県浦ノ内湾に定めた 2 定点 (図 1, KU1, KU3) とした。R4 年 5~8 月に適宜採水し、図 2 に示す手法で回収したサンプルを保存した。この保存サンプルについて、サンプル調整、分析ならびにデータ解析を実施した。メタノール中に溶出した代謝物は既報 (Hano and Tomaru 2023) に準じて前処理を行い、ガスクロマトグラフ質量分析計を用いて細胞内グルコース、グリシン濃度を測定し、GG 比を算出した。また同時に測定されていた植物プランクトンデータについては、*K. mikimotoi* ならびに *Chattonella* 属の合計細胞密度が 1,000 cells/mL を超過した状態を「赤潮」、赤潮形成後 1,000 cells/mL を下回った状態を「終息」とした。

1-5) 無殻植物プランクトン画像撮影手法の検討

この小課題では、プランクトン細胞の形態変異を伴う一般的な固定法 (グルタルアルデヒド等を用いた手法) に代わり、一定時間、細胞の形態を維持可能な固定法について検討した。供試藻および固定液として、それぞれ *K. mikimotoi* KmURN6Y 株および塩化ニッケル溶液 (Naitoh 1966) を用いた。試験に先立ち、海水ベースの 25 mM NiCl₂ (6 水和物) 溶液を 0.2 μm フィルターでろ過滅菌した。一週間培養した供試料に対して、終濃度 0~10 mM となるように塩化ニッケル溶液を添加し、その 5~60 分後、倒立顕微鏡下で供試株の細胞像を観察した。画像・動画におさめた細胞の形態・遊泳性に基づいて固定法の有効性を評価した。

2) 赤潮プランクトン画像解析技術の高度化 (熊本大学, 高知県, 高知大学, 水技研)

本課題では、深層学習の物体検出手法として広く用いられている You Only Look Once (YOLO) (Redmon et al. 2016) を用いて、赤潮プランクトンの *K. mikimotoi* や *Chattonella* 属等の物体検出を試みた。YOLO は複数のモデルが存在するが、本課題では YOLOv5 を使用した。

YOLOv5 の学習では、教師データとして画像データとその正解ラベル付されたデータが必要である。正解ラベル付は画像データに写った検知対象の領域の中心座標、および高さや幅、そしてラベル付されたクラスの情報である。本課題では、R3 年~R4 年に顕微鏡撮影された高知県浦ノ内湾産のプランクトン画像を対象として、目視による形態分類に基づき、アノテーションツール Labellmg を用いて YOLOv5 の対象物体の位置情報およびクラスを作成した。アノテーションされた画像の例を図 3 に示す。また、画像データセットは表 1 に示される 10 のクラスに分類した。

学習に際してのハイパーパラメータの設定は、epoch 数を 1,000epoch、学習の早期終了を行う early stopping を 100epoch に設定した。また、バッチサイズは 16、学習率は 0.01 とした。さらに、転移学習として事前学習済みの YOLOv5s モデルを使用し、学習を行った。学習終了時点では、early stopping により 910epoch で学習が早期に終了しており、また 810epoch 時点のモデルが mAP (mean

Average Precision) が最も高いモデルとなった。

(3) 結果および考察

1) 有害赤潮プランクトンの画像情報蓄積 (高知県, 高知大学, 水技研)

1-1) プランクトン画像データの取得

本年は 6~7 月に合計 163 枚のプランクトン画像を撮影した。撮影した画像内の優占種は *K. mikimotoi*, *Chattonella* 属, *Ceratium furca*, *Dictyocha fibula* の 4 種と珪藻類であった。このうち, 「*K. mikimotoi*, *C. furca* および *D. fibula*」ならびに「*K. mikimotoi* および *Chattonella* 属」は同時期に出現していた。この様な複数の優占プランクトンが同時に存在する群集写真を蓄積することは, 画像解析による種判別を行う上で重要であると考えられた。

1-2) メタボローム解析用サンプル回収手法の簡易化

簡易化した回収方法の過程を図 2 に示す。これにより作業時間は 1/3 (3 分→1 分) に, 作業要員は 2 人→1 人となり, 当該作業の簡易化が実現した (図 2 赤矢印)。

1-3) メタボローム解析用サンプルの取得と前処理

R5 年度解析用サンプルの取得ならびに保存を予定通り行う事ができた。今後, 慎重かつ精密な解析を進めるための基盤作りに成功した。

1-4) 有害赤潮プランクトンの画像情報蓄積に伴う生物学的パラメータの測定 (R4 年度浦ノ内湾事例の検証)

本年度は過年度 (R4 年度) に収集したサンプル計 50 回分 (KU1_22 回, KU3_28 回) の解析を行った。その結果, 赤潮状態は計 19 回 (KU1_7 回, KU3_12 回) あった。細胞数の推移と GG 比を図 4 に示す。赤潮状態にある細胞群の GG 比は 0.025 から 15 まで幅広い値を示した。図 5 は図 4 にさらに 1 週間後に赤潮状態が解消された日を Yes, 維持された日を No とした。ROC 曲線 (Receiver Operate Characteristic) により GG 比の閾値を算出した結果, Yes, No を最もよく予測できた GG 比の閾値が 0.41 として産出され, 診断正確率は 68% であった。これは, 「GG 比が 0.41 以下だと 1 週間後には終息しない」「0.41 以上だと 1 週間後には終息する」と正確に診断できる確率が 68% であることを意味する。不正解の事例は赤潮が減衰を繰り返した 6~7 月上旬に集中した (図 5)。一方で, 7 月中旬以降の診断率は 85% (7 回中 6 回中) であり, 一般に赤潮が形成される 5~8 月の中で赤潮形成期後半に診断率が向上することが分かった。

1-5) 無殻植物プランクトン画像撮影手法の検討

ある試料に含まれるプランクトン細胞群を一つの画像に投影し, その画像情報に基づいて各細胞を識別していくには, 細胞多数の“結像”を果たすことが重要となる。より具体的かつ平易に言うと, 一つの焦点観察下において, 多くの細胞にピントが合った状態を構築する事が求められる。今回, *K. mikimotoi* の培養試料に塩化ニッケル溶液を添加することで, 細胞を一時的に停止した状態にすることが可能と判断された (図 6)。塩化ニッケル終濃度 5~10 mM であれば, 少なくとも 60 分間は細胞形態が保たれた。この際, 観察視野内外への細胞の移動は認められなかった。これらの結果より, 塩化ニッケル溶液を用いた固定法は, 顕微鏡観察画像に基づいた細胞識別技術の開発・展開において基礎的に重要かつ有用と判断する。

2) 赤潮プランクトン画像解析技術の高度化 (熊本大学, 高知県, 高知大学, 水技研)

YOLO の学習で作成されたベストモデルからテスト画像を用いて検出した結果について述べる。まず, 表 2 にそれぞれのクラスの正解ラベル付された個体数, 適合率, 再現率, mAP50 の結果を示す。信頼度スコアの閾値は 0.25 で設定した。表 2 より赤潮プランクトンである *K. mikimotoi* は適合

率が 79.0%, 再現率が 76.1%, mAP50 が 81.9%であった。同じく赤潮プランクトンである *Chattonella* 属については、適合率が 89.2%, 再現率が 81.5%そして mAP50 が 88.7%であり、各クラスの中で最も良い精度が得られた。しかし、*Thalassiosira* 属から Others までのクラスについては、適合率, 再現率, mAP50 がすべて 0 であった。これは、学習時点において、表 1 に示す各クラスの個体数が *K. mikimotoi* や *Chattonella* 属と比較して十分でなかったことが原因であると考えられる。

図 7 および図 8 は、赤潮プランクトンの検出実験例である。図 7 は画像中の多くが *K. mikimotoi* であるため、一部で *K. mikimotoi* の検知漏れや *Dinophysis* 属を *K. mikimotoi* と誤分類する事例が見受けられるものの、比較的良好な結果と判断できる事例である。一方で、図 8 は、画像中のプランクトンの多くが *K. mikimotoi* や *Chattonella* 属以外であるため、検知漏れ、過剰検知が頻発しており、必ずしも良好な結果ではないと判断できる事例である。

以上をまとめると、本課題では物体検出アルゴリズムの YOLO を用いて赤潮プランクトンの検出精度を検証した。転移学習や画像データに対するデータ拡張を適用して学習を行った結果、*K. mikimotoi* や *Chattonella* 属については、検出精度は適合率, 再現率, mAP50 において約 8 割の精度を得られた。しかし、*Dinophysis* 属等, *K. mikimotoi*, *Chattonella* 属以外の赤潮プランクトンについては、十分な検出精度は得られなかった。

精度向上をするためのアプローチとして、まずは学習データの枚数の少なさへの対処が挙げられる。本課題ではデータ拡張を行ったが、クラスによっては個体数が 2~4 個とデータの不均衡が目立つため、新たな教師データの作成が必要である。また、現在の画像データでは背景色のバランスが画像によって異なり、検出精度に影響を及ぼしている可能性があるため、この点に関する検討も予定している。さらに、本課題では YOLOv5 を用いたが、現在も改良は続いており YOLOv8 まで開発されている。これはより高精度な検出が可能と考えられ、物体検出手法の検討をさらに行っていく予定である。

引用文献

- Hano T, Tomaru Y. Chronological age-related metabolome responses in the dinoflagellate *Karenia mikimotoi*, can predict future bloom demise. *Commun. Biol.* 2023; **6**: 273.
- Naitoh Y. Reversal response elicited in nonbeating cilia of *Paramecium* by membrane depolarization. *Science* 1966; **154**: 660-662.
- Redmon J, Divvala S, Girshick R, Farhadi A. You only look once: Unified, real-time object detection. In: *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. Las Vegas, NV, USA. 2016; 779-788.

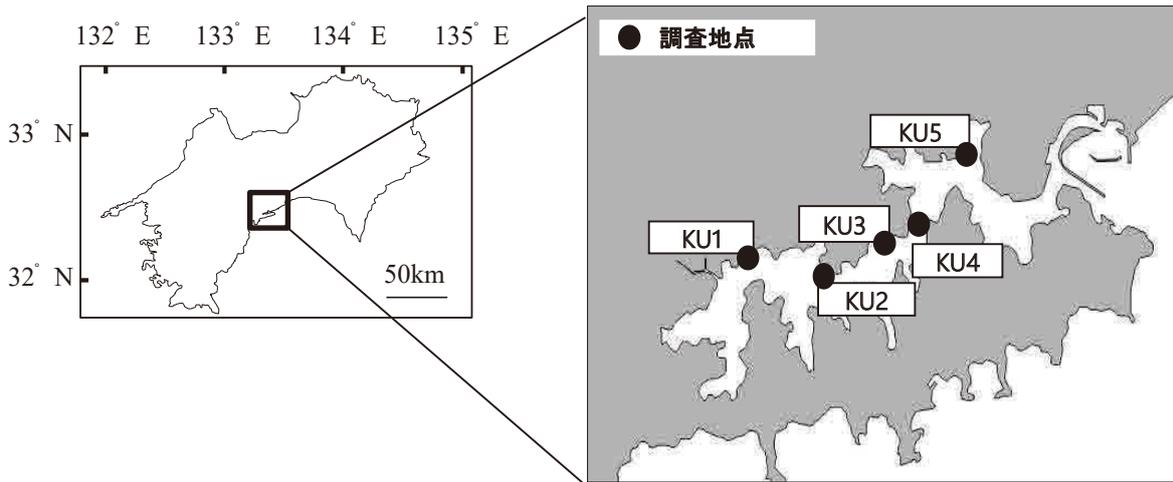


図1 調査定点（高知県浦ノ内湾）

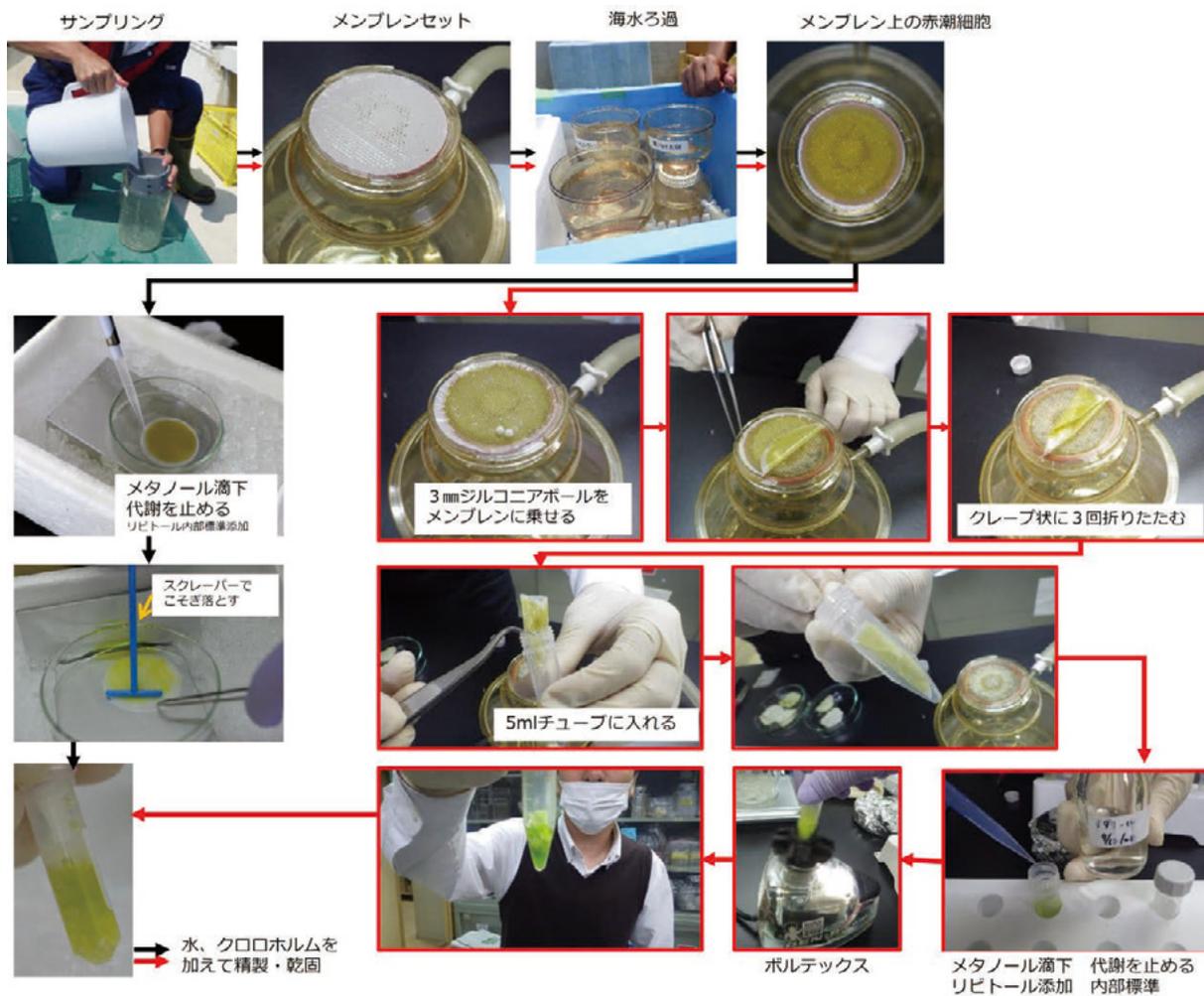


図2 サンプル回収工程（改良前；黒矢印，改良後；赤矢印）

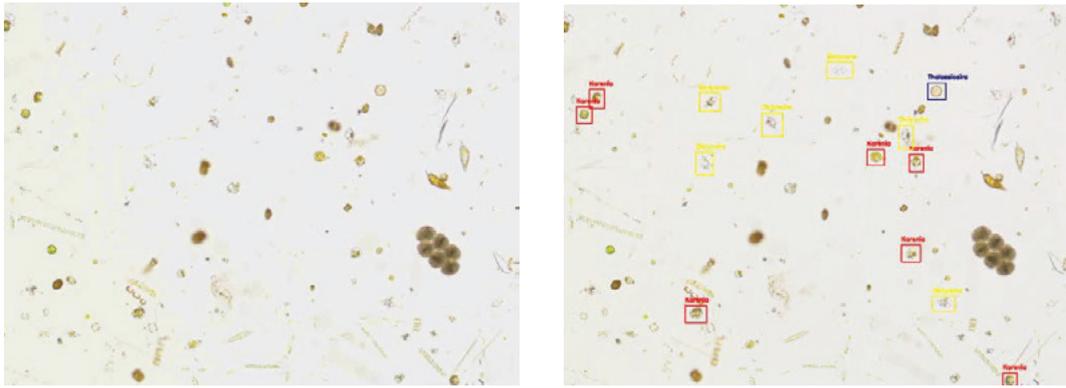


図3 アノテーション例 (左:元画像, 右:アノテーション付与後)

表1 学習データにおける各クラスの個体数

クラス	個体数
<i>Karenia mikimotoi</i>	706
<i>Chattonella</i> 属	220
<i>Prorocentrum</i> 属	44
<i>Thalassiosira</i> 属	4
<i>Dictyocha</i> 属	23
<i>Dinophysis</i> 属	2
<i>Ebria</i> 属	12
<i>Heterocapsa</i> 属	2
<i>Takayama</i> 属	4
Others	13

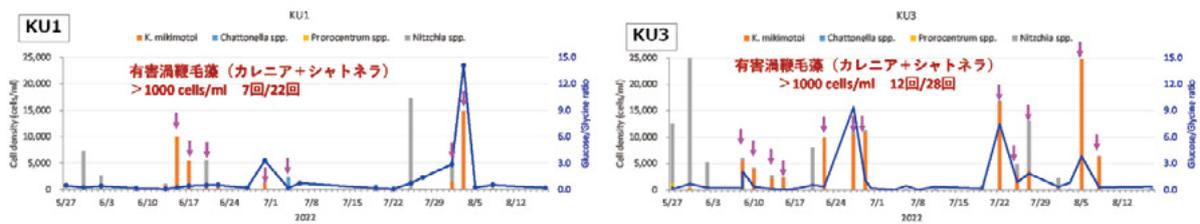


図4 細胞数の推移と GG 比の推移

(ピンク矢印: 赤潮状態; 細胞数: 棒グラフ, 左 Y 軸; GG 比: 折れ線グラフ, 右 Y 軸)

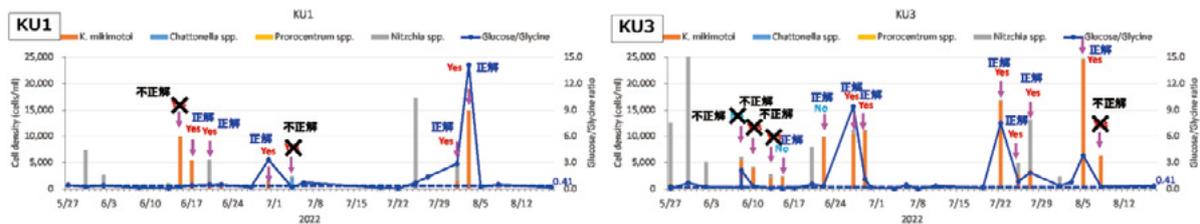


図5 細胞数の推移と GG 比の推移

(Yes: 1週間後に終息, No: 1週間後に終息しない, 正解: 閾値によって診断した結果正解のもの, 不正解: 閾値によって診断した結果不正解のもの)

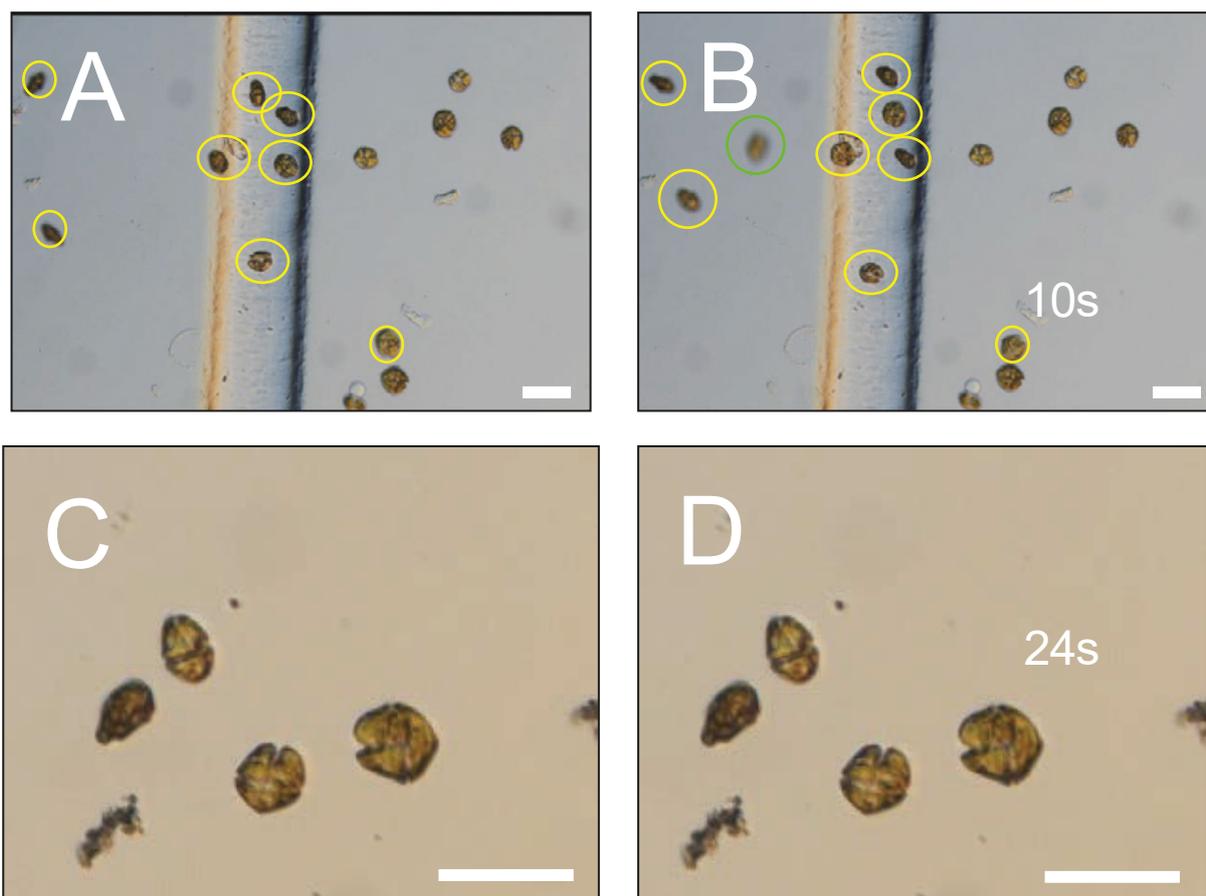


図6 *Karenia mikimotoi* 細胞の検鏡像

塩化ニッケル溶液による非固定処理（上段 A および B）および固定処理（下段 C および D）を施した試料に含まれる細胞群の観察時 0 秒時（A および C）から 10 秒後（B）あるいは 24 秒後（D）の様子。黄色の円で囲った細胞は運動性を有していると判断される細胞を示す。また、緑色枠の細胞は視野外から侵入したものを指す。スケールバー：40 μm 。

表 2 各クラスの検出結果

クラス	個体数	適合率	再現率	mAP50
all	264	0.233	0.187	0.216
<i>Karenia mikimotoi</i>	109	0.790	0.761	0.819
<i>Chattonella</i> 属	81	0.892	0.815	0.887
<i>Prorocentrum</i> 属	45	0.650	0.289	0.453
<i>Thalassiosira</i> 属	1	0	0	0
<i>Dictyocha</i> 属	20	0	0	0
<i>Dinophysis</i> 属	1	0	0	0
<i>Ebria</i> 属	1	0	0	0
<i>Heterocapsa</i> 属	1	0	0	0
<i>Takayama</i> 属	1	0	0	0
Others	4	0	0	0

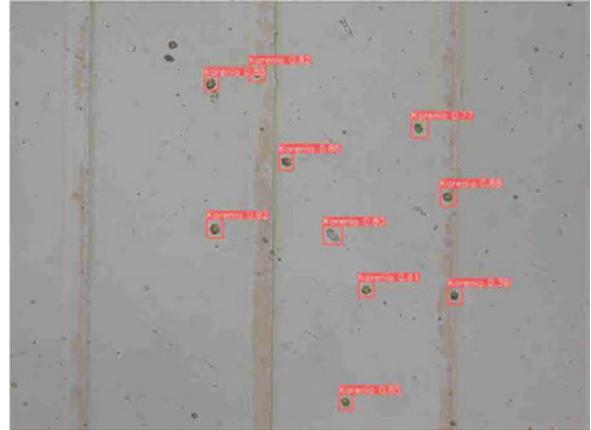
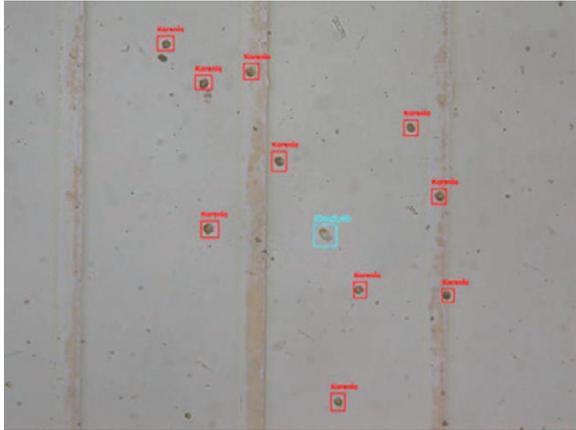


図7 検出実験例 (赤: *Karenia mikimotoi*, 水色: *Dinophysis* 属)。左図は手動での正解データ, 右図は Yolo を用いた自動抽出結果。

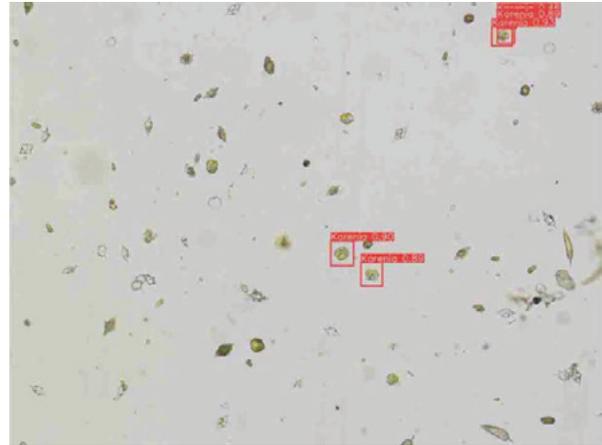
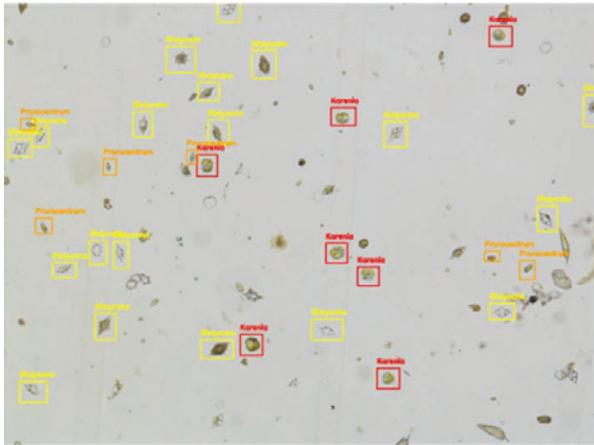


図8 検出実験例2 (赤: *Karenia mikimotoi*, 黄色: *Dictyocha* 属, オレンジ: *Prorocentrum* 属)。左図は手動での正解データ, 右図は Yolo を用いた自動抽出結果。

3) 有害赤潮プランクトンのモニタリング技術の開発・実証及び普及並びにデータ利活用の促進

イ. 赤潮等関連情報の提供及び利活用の促進

水産研究・教育機構 水産技術研究所

杉松宏一, 福岡弘紀, 岡村和磨,

徳永貴久, 中野 善, 山口 聖,

坂本節子, 持田和彦

いであ株式会社

河野史郎, 窪田 務

株式会社アイコック

松尾 斉, 浦川俊二, 井手元保博, 前田亜貴子

1 全体計画

(1) 目的

西日本の沿岸域（離島のマグロ養殖場を含む）では *Chattonella* 属や *Karenia* 属等の鞭毛藻による有害赤潮が頻発し、また閉鎖性海域では夏季に貧酸素水塊が頻繁に形成されており、有害赤潮や貧酸素水塊による漁業被害の防止・軽減、および有害赤潮の迅速な把握と予察のため、水温、塩分等の連続観測データ及び有害赤潮プランクトンの細胞数等の観測データの情報収集と迅速な提供が求められている。

本課題では、有害赤潮プランクトンおよび貧酸素水塊による漁業被害の防止・軽減、有害赤潮および貧酸素水塊の迅速な把握と予察のため、漁業者や都道府県等の行政担当者、試験研究機関の担当者及び広く一般に向けて、1) 水質や赤潮原因プランクトンの細胞密度等の観測情報を迅速に収集するとともに、情報を提供することを目的とする。また、2) 自動観測ブイネットワークによる広域的な水温等のリアルタイム情報の収集及び提供を継続して実施するとともに、自動観測ブイで測定された水温情報をもとにした「水温予報」の運用と予報精度の検証に取り組む。

そのために、本研究では以下のことを行う。

【サブテーマ 1】「赤潮分布情報」および「貧酸素・水質情報」の運用と改良

瀬戸内海および九州西岸海域を対象に「赤潮分布情報」、九州西岸海域を対象に「貧酸素・水質情報」を運用し、最新の水温、塩分、溶存酸素濃度、有害赤潮プランクトンの細胞密度等の観測データを多数の提供者より収集してデータベース化し、一般向けに分かりやすく迅速に提供するとともに、利活用を促進するため全体デザイン改良のための設計および登録機能の改良を行う。

【サブテーマ 2】瀬戸内海・有明海の水温速報と水温予報

瀬戸内海、有明海等の複数の定点を対象に、自動観測ブイ等の水温データを迅速に収集すると共に、水温予報について提供を行う。

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) 「赤潮分布情報」および「貧酸素・水質情報」の運用と改良

平成 25 年度より開発し九州西岸海域及び瀬戸内海西部海域を対象に運用してきた「赤潮分布情報」、および令和 2 年度より開発し九州西岸海域を対象に運用してきた「貧酸素・水質情報」を運用し、最新の水温、塩分、溶存酸素濃度、有害赤潮プランクトンの細胞密度等の観測データを多数

の提供者より収集してデータベース化し、一般向けに分かりやすく迅速に提供した。利便性を向上させるため、全体デザインの改良のための設計を行うとともに、臨時登録機能を追加することで臨時調査等において現場で簡便に登録できるよう改良した。

2) 瀬戸内海・有明海等の水温速報と水温予報

広域的な情報提供および水温予報の基礎データの収集・蓄積を目的として、瀬戸内海域、有明海八代海の関係機関が管理・運営する自動観測ブイ等から観測データを収集し、ウェブサイトを通じて、水温・塩分等の観測情報をリアルタイムで提供した。また、各機関より提供された観測データを基に、データベースを構築し、データ提供機関とデータの共有を図った。また、漁業や養殖業の生産管理に向けた情報提供を目的として、気象庁の観測データ（アメダスデータ等）、気象予報データ等を入手するとともに、自動観測ブイ等の観測情報を入手し、水温の1週間予報もしくは2週間予報を行った。予報情報は、利用者の利便性を考慮し、ウェブサイトにより提供した。また、水温予報の精度を検証した。

(3) 結果および考察

1) 「赤潮分布情報」および「貧酸素・水質情報」の運用と改良

① 「赤潮ネット（沿岸海域水質・赤潮観測情報）」

平成27年6月に開設した「沿岸海域水質・赤潮観測情報ポータルサイト」の名称を、平成30年2月に「赤潮ネット（沿岸海域水質・赤潮観測情報）」に、「沿岸海域水質・赤潮分布情報」の名称を「赤潮分布情報」に改めた。また令和4年度は、「赤潮ネット」の下部サイト「貧酸素情報」を「貧酸素・水質情報」に改め、貧酸素水塊観測時の水質（水温、塩分、溶存酸素、クロロフィル蛍光、濁度）情報も表示した。さらに本年度はトップページの表示を改め、計画にはなかった「赤潮発生機構・予察関連情報」をサイト右上部に掲載させ、「八代海におけるシャットネラ赤潮発生の中長期予察」情報の発信を行った（図1）。なお、計画していた臨時登録機能については、「赤潮発生機構・予察関連情報」の追加を優先させたこと、大幅なシステム改修となり各機関の担当者の混乱が予想されたことから、各機関の担当者の意見を収集しつつ次年度以降に対応することとなった。

「赤潮ネット」では、「水温速報」、「水温予報」、「赤潮分布情報」の他、「貧酸素・水質情報」、「公共用水域水質調査情報」等の関係サイトが運用されており、赤潮及び環境データが迅速に収集、公表され、多岐にわたる情報を収集・公表する体制が整備、運用されている。「赤潮ネット」の下部サイトの概要を表1に示す。

2023年（令和5年）1月から12月までの、月毎のサイトアクセス数を図2に示す。有害赤潮や貧酸素水塊の発生が多発する夏季は来訪者数、閲覧数ともに増加し、特に2023年は八代海などで有害赤潮の発生期間が長期化した影響もあり、6月から8月にかけての閲覧数が前年（2022年：令和4年）よりも多い。2023年の1年間での来訪者数は35,315人で、前年度差ではプラス1,592人、閲覧数は813,601回で、前年度差ではプラス11,794回であった。

また利便性をさらに向上させるため、全体デザインの変更に着手した。令和5年度は全体デザイン変更のための設計を行い、トップページに赤潮分布情報の最新画像を配置し、視認性の向上を図る案が出された（図3）。次年度以降、テストページの作成等に着手し、利便性の向上を目指したデザイン変更を進める計画である。

② 「赤潮分布情報」の運用

「赤潮分布情報」は、平成28年度に「赤潮情報」の適用範囲を瀬戸内海東部及び周辺海域に拡張したことにより、九州西岸域や瀬戸内海域及び周辺海域における関係県や市の機関、漁業協同組合、大学、及び水産研究・教育機構などから水質や有害赤潮等の分布情報を迅速に収集し、公表することができるようになった。「赤潮分布情報」の主な機能を表2に示す。

令和5年夏季には、伊万里湾で、有害赤潮原因プランクトンの一種の *Karenia mikimotoi* による赤潮が発生した。また八代海や橘湾でも、*K. mikimotoi* の赤潮が発生し、八代海沿岸では大きな漁業被

害が発生した。「赤潮分布情報」で収集、公表された伊万里湾、豊後水道を含む瀬戸内海西部、及び八代海における本種の細胞密度の分布情報を図4～6に例示する。

イ. 九州西岸における赤潮調査日一覧

「赤潮分布情報」の利活用を推進するために、令和2年度に九州西岸海域における調査日を一覧できるページを作成し、利便性を図った。本年度も引き続き運用した。

② 「貧酸素・水質情報」の運用

有明海、八代海及び橘湾で関係機関が多項目水質計等を使用して観測する水温、塩分、溶存酸素等の鉛直データの提供(表3)を受け、既存の「沿岸海域水質鉛直データベース」に収録した。収録したデータは関係機関で共有して活用した。「貧酸素・水質情報」で収集された観測データは、直ちに公表される。2022年夏季に収集・公表された有明海、橘湾、及び八代海における最下層の溶存酸素濃度の分布を図7に示す。

2) 瀬戸内海・有明海等の水温速報と水温予報

① 瀬戸内海・有明海等の水温速報

播磨灘及び周辺海域に設置されている14基の自動観測ブイ等をネットワーク化するとともに、水温観測データをリアルタイムで収集した。各自動観測ブイ等の運用期間中(メンテナンス等による休止期間を除く)に随時更新される観測情報は、自動送信メールの受信あるいはサーバ経由により収集し、観測情報データベースに蓄積した。

② 瀬戸内海・有明海の水温予報

ア. 瀬戸内海

a. 実施状況

明石(兵庫県)、別府(兵庫県漁連)、牛窓(岡山県)、屋島(香川県)の各予報地点において、水温予報を実施し、ウェブ上への公開を行った。本年度の水温予報には、昨年度までの観測データに基づいて算出した重回帰係数を使用した令和5年度版の予報式を用いた。

水温予報の種類は、当日から7日後までを予報期間とした1週間水温予報とし、各日の日平均水温を予報した。公開の期間は表4に示す通りであり、水温予報結果は、実施期間中毎日更新を行い、PC及び携帯電話を介して提供を行った。

b. 予報精度の検証

瀬戸内海海域の水温予報結果の検証を実施した。本年度は、屋島(香川県)で令和5年6月15日にハードウェア(サーバー)の不具合により水温観測値が正常に送信されなかった日を除いて予報値を提供することができた。

本年度の予報実施期間のうち公開初日からの1か月間を例にとり、水温の観測値と予報値の違いを図8a～dに示す。いずれの予報地点でも直前の予報値は観測値に比較的近いが、予報実施日と予報対象日が隔たるにつれて差は大きくなる傾向がみられた。また、7日前に予報された値は時期によって観測値を中心にその上下を推移し、概ね観測値から $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲にあったが、これを超える場合もみられた。

水温予報の令和5年9月21日から令和6年1月22日までの観測値と観測日の7日前に出された予報値との差を集計した結果を表5に示す。全ての地点において $\pm 2^{\circ}\text{C}$ を超える予報値はみられなかった。差が 1°C 以上 2°C 未満で予報値が高めとなった日が明石で0日、別府で8日、牛窓で2日、屋島で5日発生し、逆に 1°C 以上 2°C 未満で予報値が低めとなった日が別府で11日、屋島で2日発生した。 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内に含まれた割合は、明石124日(100%)、別府105日(85%)、牛窓122日(98%)、屋島117日(94%)であり、昨年度と同程度の割合であった。

2009年度以降の各予報地点での水温予報の結果について、精度の目安である観測値の $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲に予報水温が含まれた割合の経年変化を表6に示す。それぞれの地点によって若干異なる経緯を

示すが、いずれも 80～100%の間で推移している。

イ. 有明海

a. 実施状況

福岡県地先, 佐賀県地先, 熊本市地先及び熊本県長洲の各予報地点において, 水温予報を実施し, ウェブ上への公開を行った。本年度の水温予報には, 昨年度までの観測データに基づいて算出した重回帰係数を使用した令和 5 年度版の予報式を用いた。

水温予報の種類は, 当日から 7 日後までを予報期間とした 1 週間水温予報 (福岡県, 佐賀県, 熊本県: 長洲, 熊本市), ならびに 8 日後から 14 日後までを予報期間として加えた 2 週間水温予報 (福岡県, 佐賀県, 熊本市) とし, 各日の日平均水温を予報した。公開の期間は表 7 に示す通りであり, 水温予報結果は, 実施期間中毎日更新を行い, PC 及び携帯電話を介して提供を行った。

b. 予測精度の検証

有明海の水温予報結果の検証を実施した。本年度は, ブイ装置の異常により熊本県地先にて長期間の欠測期間が生じている。

予報実施期間のうち公開開始からの 1 か月間を例にとり, 水温の観測値と予報値の違いを図 9 a～d に示す。いずれの予報地点でも直前の予報値は観測値に比較的近いが, 予報実施日と予報対象日が隔たるにつれて差は大きくなる傾向がみられた。また, 7 日前に予報された値は時期によって観測値を中心にその上下を推移し, 観測値から概ね $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲にあったが, これを超える場合もみられた。

水温予報の令和 5 年 10 月 4 日から令和 6 年 1 月 22 日までの観測値と観測日の 7 日前に出された予報値との差を集計した結果を表 8 に示す。 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以上の差がみられた日数は, 福岡県地先で 6 日, 佐賀県地先 3 日, 熊本市地先 5 日あり, 差が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内に含まれた割合は, 福岡県地先 68 日 (69%), 佐賀県地先 84 日 (76%), 熊本市地先 84 日 (76%), 熊本県長洲 49 日 (75%) であり, 佐賀県地先と熊本県地先では昨年度より低くなっていた。

2009 年度以降の各予報地点での水温予報の結果について, 精度の目安である観測値の $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲に予報水温が含まれた割合の経年変化を表 9 に示す。それぞれの地点によって若干異なる経緯を示し, 経年的に単純な傾向がみられるわけではないが, 全般に 70～90%程度の値が得られている。



図1. 赤潮ネット (沿岸海域水質・赤潮観測情報).

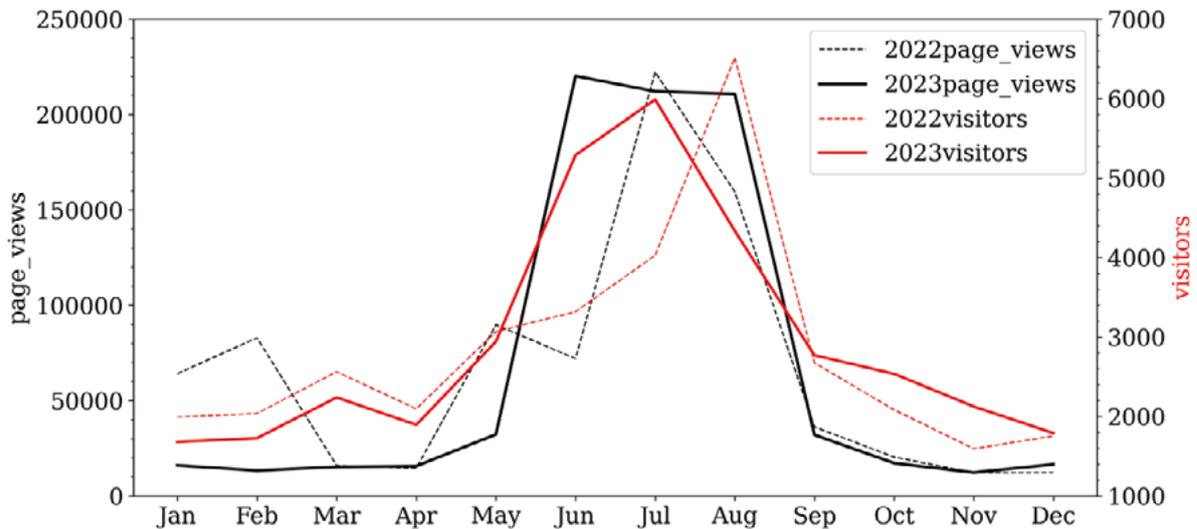


図2. 「赤潮ネット」で閲覧された月ごとの閲覧回数. 左軸はページ閲覧数を、右軸は来訪者数を示す。またグラフ内、黒実線は2023年(令和5年)の閲覧数、黒点線は2022年(令和4年)の閲覧数、赤実線は2023年の来訪者数、赤点線は2022年の来訪者数を示す。

表 1. 「赤潮ネット（沿岸海域水質・赤潮観測情報）」の下部サイトの名称と運用内容

「赤潮ネット」の下部サイト名称	運用内容
有明海・八代海等の水質観測情報	水産研究・教育機構水産技術研究所が運用する水質連続観測の結果を公表
水温速報	有明海・八代海及び瀬戸内海の関係機関が運用する水質連続観測の結果を公表
水温予報	有明海及び瀬戸内海東部の自動観測された水温データを元に1~2週間の水温を予報
赤潮分布情報	東シナ海、瀬戸内海及び周辺海域の関係機関が取得した水質・赤潮プランクトンの調査結果を収集し、公表
貧酸素・水質情報	有明海、橘湾、及び八代海の多項目水質計による観測結果を収集し、公表
浅海定線調査情報	有明海沿岸4県の浅海定線調査結果を収集し、公表（平成30年度は非公表で試験運用）
公共用水域水質調査情報	有明海、橘湾、及び八代海沿岸5県の公共用水域水質調査結果を収集し、公表

表 2. 「赤潮分布情報」の主な機能

機能	方法	備考
水質・赤潮分布表示	●及び数値(細胞数等)を表示 詳細な数値を表で表示	海区, 海域, 対象種(鞭毛藻類, 珪藻), 水質を選択
時系列表示	水質, 対象種の細胞密度を表示	初期設定:1年間
散布図表示	水温, 塩分, 細胞密度の散布図を表示	初期設定:1年間
データ登録	Excel ファイルにデータを入力し, ウェブにアップロードして登録	
データ検索/修正/削除/出力	データ参照可能機関が, ウェブでデータを検索し, 表示及び CSV 出力が可能	修正・削除はデータ取得機関のみ可能
マスタ管理機能	認証パスワード変更, 地点登録, 入力項目, 入力対象種を設定	調査別のマスターデータの設定が可能
情報共有機能	グループ内で情報(テキスト及びファイル)の投稿, 閲覧が可能。	参画機関は管理者が設定
ドキュメント作成支援ツール	「赤潮発生状況速報」等の作成が可能	

表 3. 「貧酸素・水質情報」のため収集した鉛直データ（2023年度）

海域	地点	観測回数	備考
有明海	奥部 8 地点	7 回	水産技術研究所観測
	全域 111 地点	1 回	10 機関による共同観測
	中央部 8 地点	6 回	熊本県水産研究センター観測
橘湾	20 地点	8 回	長崎県総合水産試験場観測
八代海	21 地点	1 回	水産技術研究所・熊本県水産研究センターによる共同観測

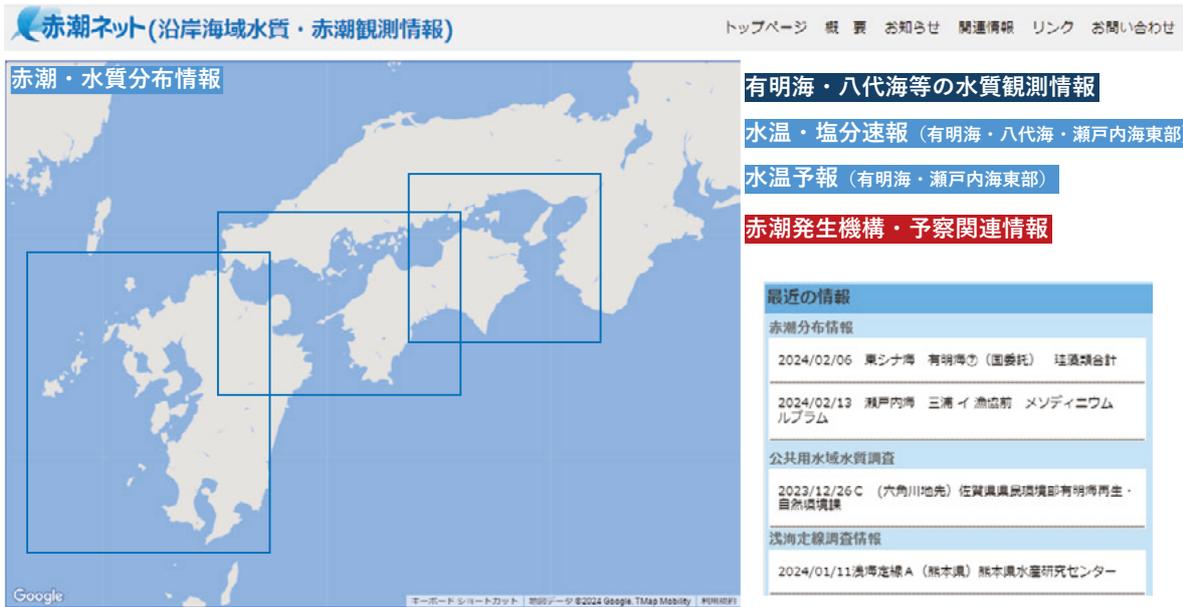


図3. 「赤潮ネット」デザイン変更案

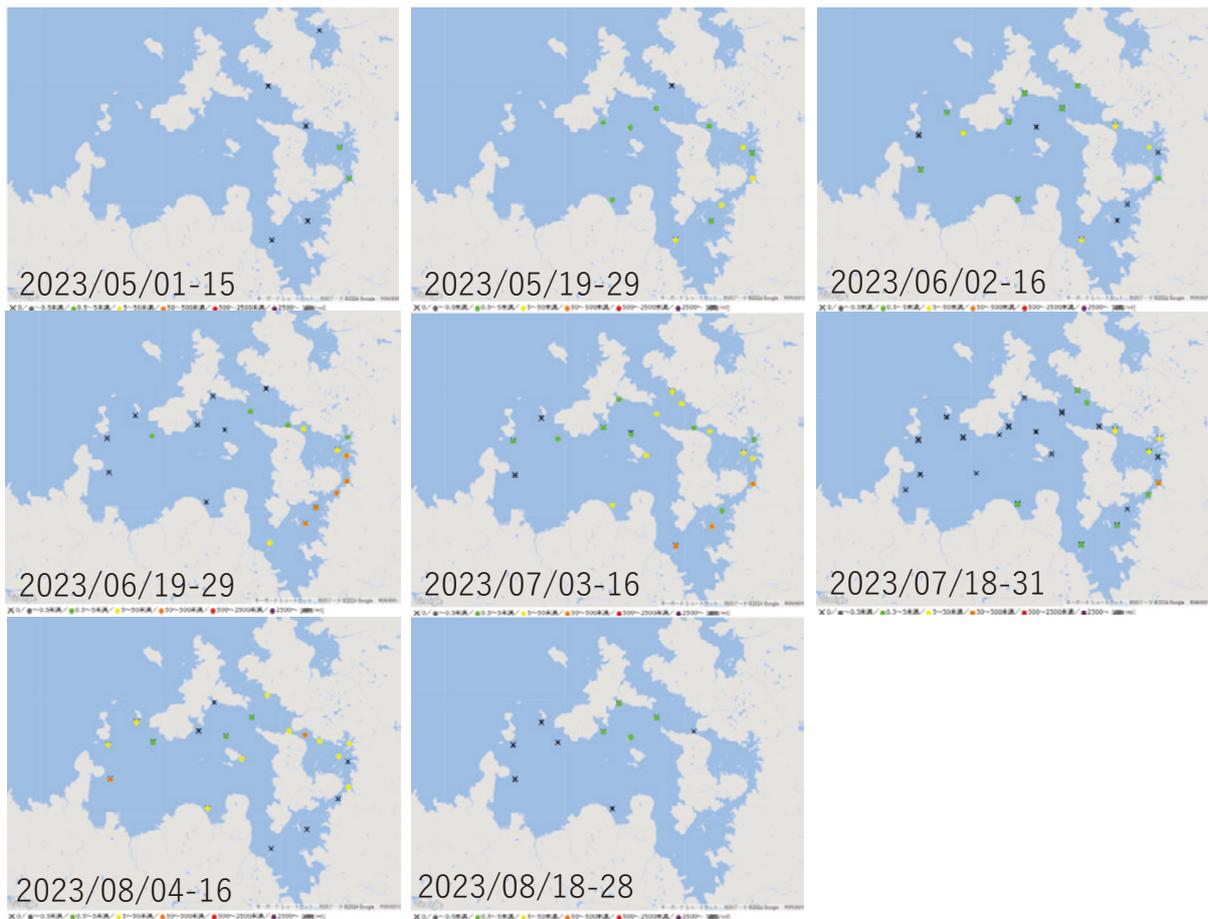


図4. 「赤潮分布情報」で収集・公表された伊万里湾における有害赤潮原因種 *Karenia mikimotoi* の細胞密度の分布(長崎県総合水産試験場, 佐賀県玄海水産振興センターの調査結果による。)

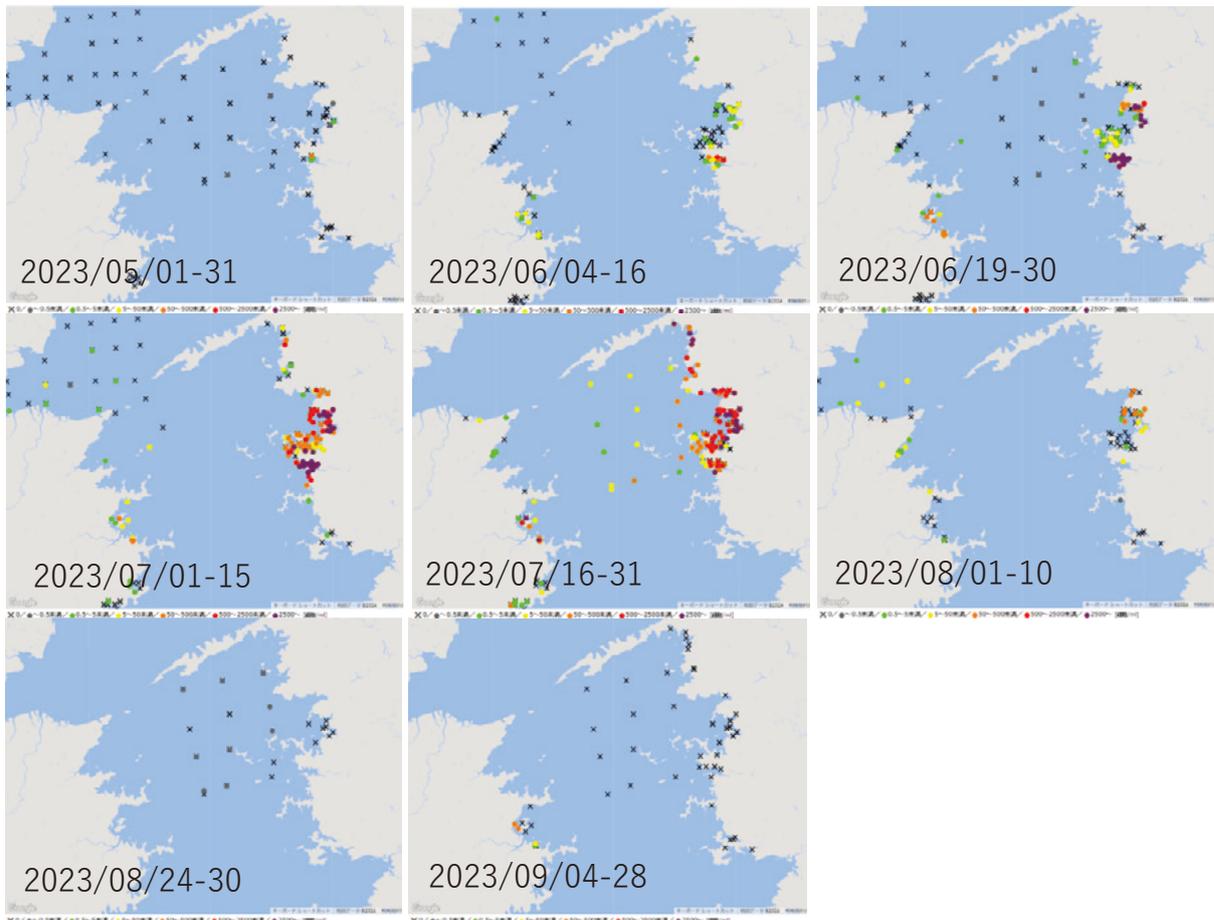


図5. 「赤潮分布情報」で収集・公表された豊後水道における有害赤潮原因種 *Karenia mikimotoi* の細胞密度の分布（大分県農林水産研究指導センター水産研究部，愛媛県農林水産研究所水産研究センター他の調査結果による.）

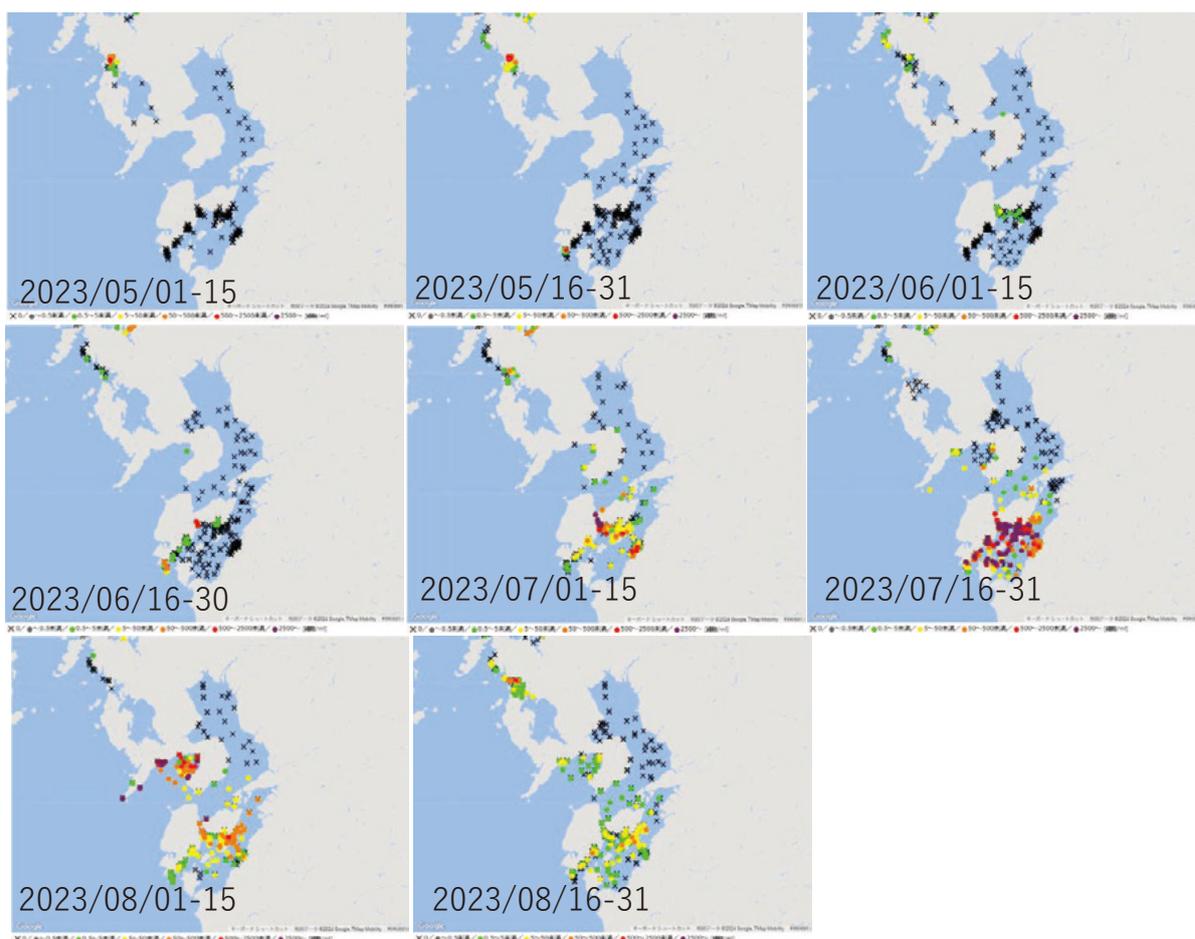


図 6. 「赤潮分布情報」で収集・公表された有明海・八代海・橘湾における有害赤潮原因種 *Karenia mikimotoi* の細胞密度の分布（福岡県水産海洋技術センター有明海研究所，佐賀県有明海水産振興センター，長崎県総合水産試験場，熊本県水産研究センター，鹿児島県水産技術開発センター，天草市水産研究センター，熊本県海水養殖漁業協同組合，東町漁業協同組合，水産研究・教育機構の調査結果による。）

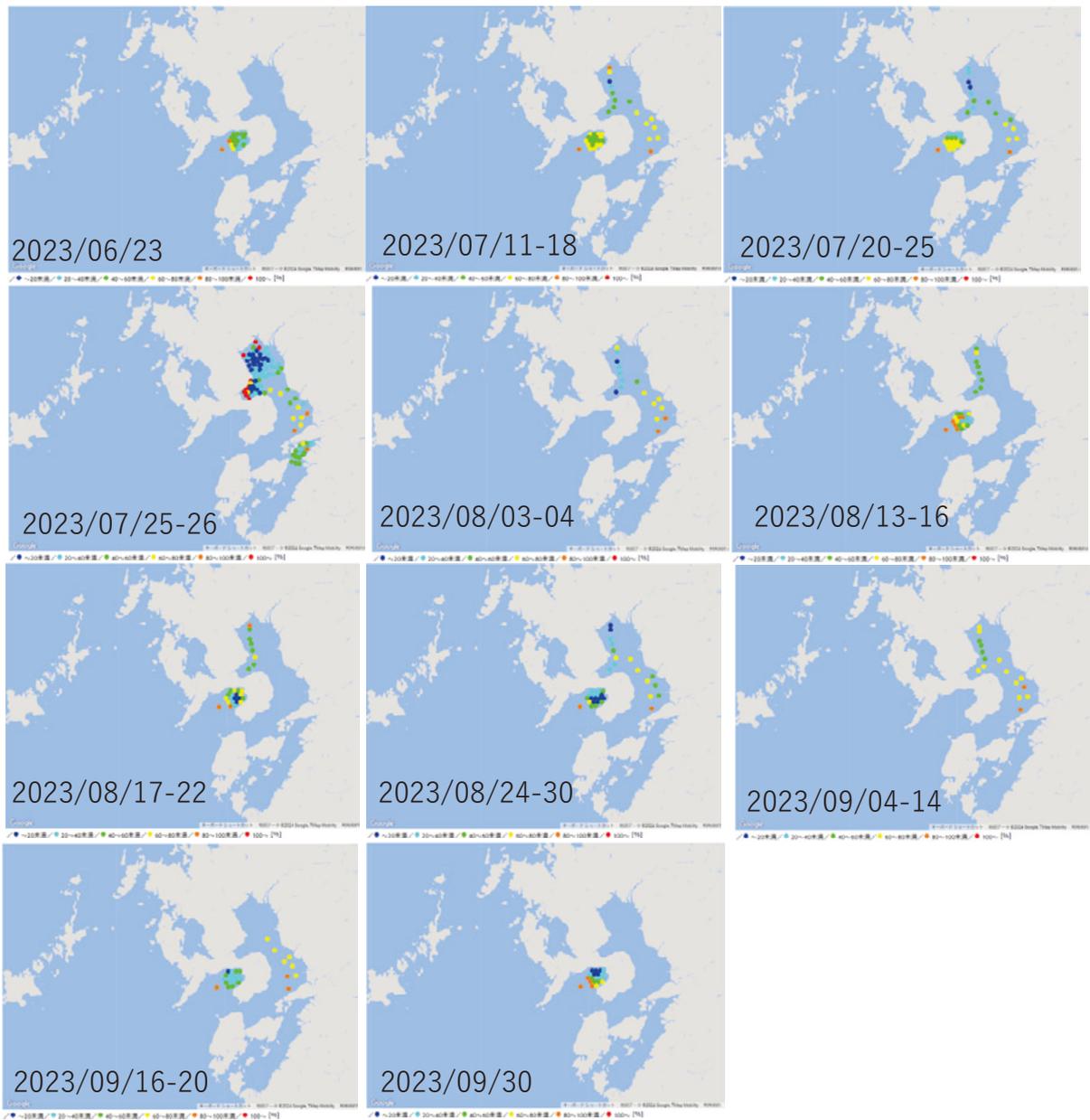


図7. 有明海・橘湾・八代海における底層の溶存酸素（%）の分布

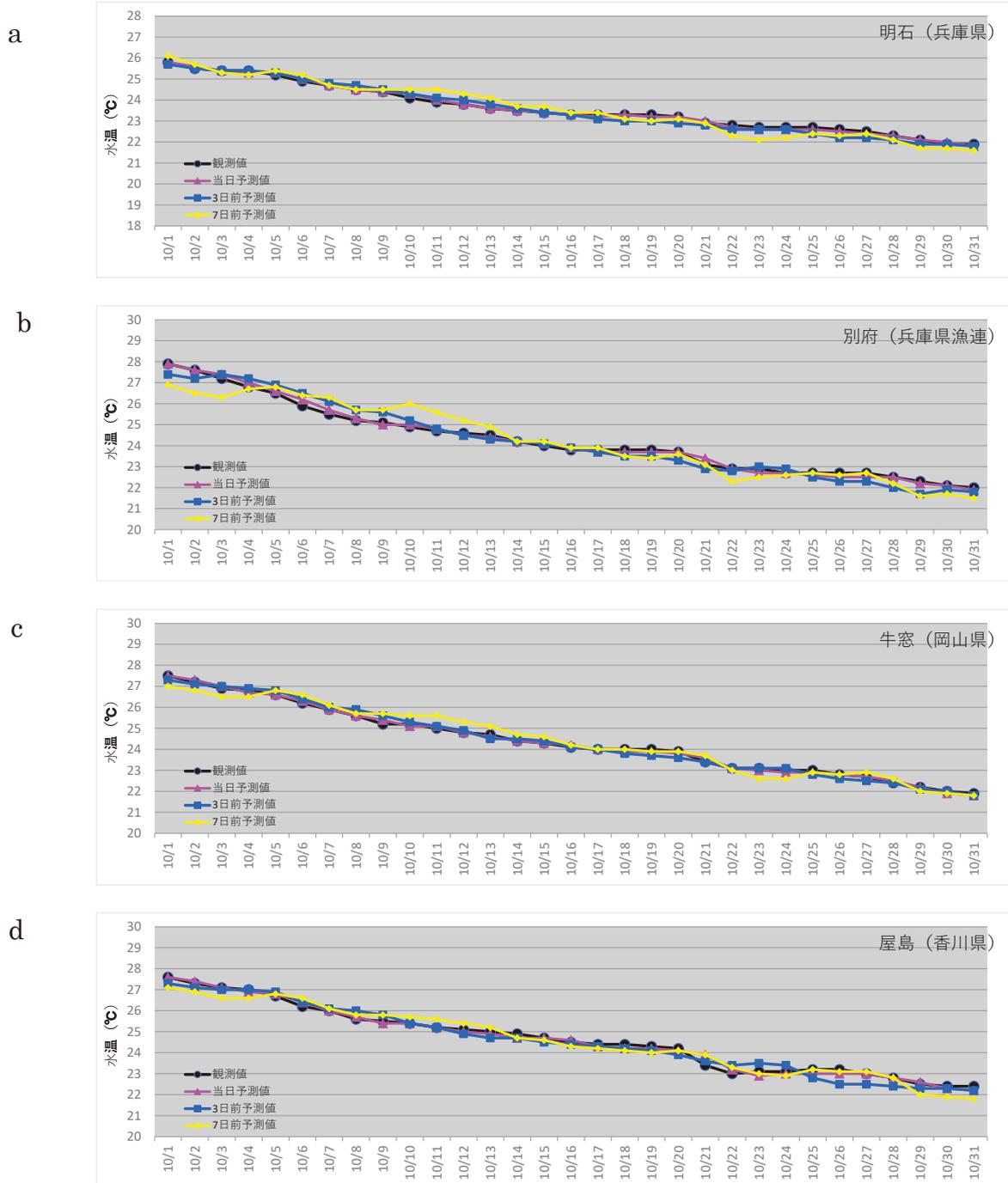


図8. 水温の観測値と当日、3日前及び7日前予報値との比較 (令和5年10月)
 a. 明石 (兵庫県), b. 別府 (兵庫県漁連), c. 牛窓 (岡山県), d. 屋島 (香川県)

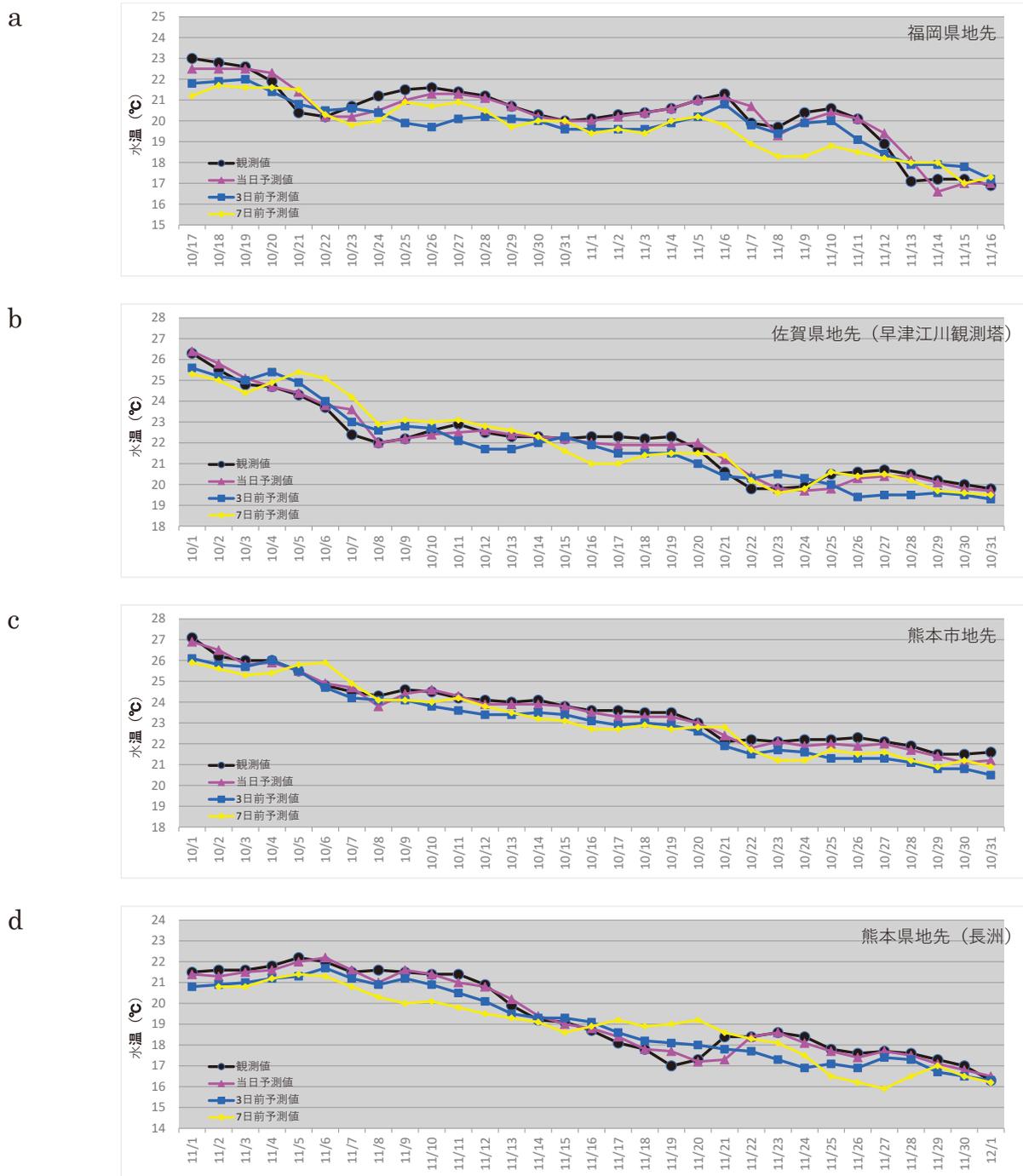


図9. 水温の観測値と当日，3日前，及び7日前予報値との比較（令和5年10～11月）
 a. 福岡県地先（ブイ 6 基平均），b. 佐賀県地先（早津江川観測塔），c. 熊本市地先（ブイ 5 基平均），d. 熊本県地先（長洲）

表4. 令和5年度水温予報実施状況（瀬戸内海）

海 域	期 間（予定）	備 考
明石（兵庫県）	9月21日～3月15日	1週間予報
別府（兵庫県漁連）	9月21日～3月15日	1週間予報
牛窓（岡山県）	9月21日～3月15日	1週間予報
屋島（香川県）	1月4日～3月31日	1週間予報（周年）

表5. 観測値から予報値（7日前に予報）を引いた差の実数（日数）と割合（%）（瀬戸内海）

令和5(2023)年度 （日平均値で検討）	予報値が高め ←————→ 予報値が低め						予報 または 観測なし
	-2未満	-2以上 -1未満	-1以上 0未満	0以上 1未満	1以上 2未満	2以上	
明石(兵庫県) (9/21～1/22) 有効日数:124日	0日 (0%)	0日 (0%)	47日 (38%)	77日 (62%)	0日 (0%)	0日 (0%)	0日
別府(兵庫県漁連) (9/21～1/22) 有効日数:124日	0日 (0%)	8日 (6%)	40日 (32%)	65日 (52%)	11日 (9%)	0日 (0%)	0日
牛窓(岡山県) (9/21～1/22) 有効日数:124日	0日 (0%)	2日 (2%)	61日 (49%)	61日 (49%)	0日 (0%)	0日 (0%)	0日
屋島(香川県) (9/21～1/22) 有効日数:124日	0日 (0%)	5日 (4%)	44日 (35%)	73日 (59%)	2日 (2%)	0日 (0%)	9日

屋島（香川県）では、周年運用を実施しているが、他の予報地点と評価期間を合わせた。

表6. 7日前予報値が観測値±1℃の範囲に含まれた割合(%) (瀬戸内海)

対象海域 年度	明石 (兵庫県)	別府 (兵庫県漁連)	牛窓 (岡山県)	屋島 (香川県)
2008(平成20年)	92.5	89.5	74.6	—
2009	96.2	92.3	90.4	—
2010	96.3	89.0	97.0	—
2011	97.9	93.7	93.3	—
2012	97.6	92.1	95.0	94.6
2013	100.0	97.8	95.7	96.4
2014	96.1	(100.0) [*]	86.8	88.4
2015	97.1	83.8	99.1	97.8
2016	99.3	90.6	100.0	100.0
2017	99.2	81.3	93.8	89.8
2018	100.0	89.0	98.5	98.5
2019(令和元年)	100.0	98.3	100.0	97.3
2020	99.1	83.0	91.7	86.7
2021	97.9	84.2	93.7	98.5
2022	97.0	82.2	93.9	98.4
2023	100.0	84.7	98.4	94.4

^{*}ブイ故障のため観測・予報は最初の1か月間のみ(同期間では全地点が100%だった)

表7. 令和5年度水温予報実施状況（有明海）

海 域	期 間（予定）	1 週間予報	2 週間予報
福岡県地先	10月12日～3月15日	○	○
佐賀県地先	4月1日～3月31日	○（通年）	○
熊本市地先	10月4日～3月15日	○	○
熊本県長洲	6月6日～3月31日	○（通年）	—

表8. 観測値から予報値（7日前に予報）を引いた差の実数（日数）と割合（%）（有明海）

令和5(2023)年度 （日平均値で検討）	予報値が高め ← → 予報値が低め						予報 または 観測なし
	-2 未満	-2 以上 -1 未満	-1 以上 0 未満	0 以上 1 未満	1 以上 2 未満	2 以上	
福岡県地先(6基平均) (10/4～1/22) 有効日数:98日	4日 (4%)	7日 (7%)	28日 (29%)	40日 (41%)	17日 (17%)	2日 (2%)	13日
佐賀県地先(早津江川) (10/4～1/22) 有効日数:111日	3日 (3%)	12日 (11%)	41日 (37%)	43日 (39%)	12日 (11%)	0日 (0%)	0日
熊本市地先(5基平均) (10/4～1/22) 有効日数:111日	3日 (3%)	7日 (6%)	19日 (17%)	65日 (59%)	15日 (14%)	2日 (2%)	0日
熊本県地先(長洲) (10/4～1/22) 有効日数:65日	0日 (0%)	4日 (6%)	10日 (15%)	39日 (60%)	12日 (18%)	0日 (0%)	46日

佐賀県地先・熊本県地先では、周年運用を実施しているが、他の予報地点と評価期間を合わせた。

表9. 7日前予報値が観測値±1℃の範囲に含まれた割合(%) (有明海)

対象海域 年度	福岡県地先 (6基平均)	佐賀県地先 (早津江川観測塔)	熊本市地先 (5基平均)※	熊本県地先 (長洲)	熊本県地先 (鏡町)
2008(平成20年)	62.4	60.8	66.2	78.7	—
2009	59.4	65.2	66.0	78.4	—
2010	67.7	75.0	74.2	85.6	—
2011	67.6	74.8	77.5	84.4	—
2012	72.3	85.1	82.5	79.8	—
2013	76.2	85.6	83.2	95.5	—
2014	71.5	75.2	78.3	87.1	(83.6)**
2015	70.8	72.3	78.3	62.8	(49.4)**
2016	77.5	61.2	71.1	78.2	(72.6)**
2017	61.2	76.4	80.0	84.1	73.6
2018	81.9	89.7	84.6	59.1	(86.7)**
2019(令和元年)	74.8	78.9	83.9	92.4	89.6
2020	72.5	86.2	81.3	91.6	—
2021	70.5	71.1	72.0	85.3	—
2022	64.7	80.7	75.0	90.2	—
2023	69.4	75.7	75.7	75.4	—

※2015年度及び2016年度11月まで1基不調のため4基平均値の運用となっている。**試行期間

3) 有害赤潮プランクトンのモニタリング技術の開発・実証及び普及並びにデータ利活用の促進

ウ. モニタリング技術の普及

水産研究・教育機構 水産技術研究所
中山奈津子, 紫加田知幸, 西村朋宏, 山口峰生
持田和彦, 長井敏, 松嶋良次

1 全体計画

(1) 目的

有害プランクトンモニタリングは赤潮・貝毒の発生予察や漁業被害軽減において重要な活動であり、的確な調査技術や正確な種同定技術がその基盤となる。本課題ではモニタリングや調査研究の技術的な均質化、高度化を図るため、都道府県の職員等を対象に有害プランクトン同定研修会を開催し、技術の普及を図る。研修会では、有害・有毒プランクトンの形態・分子分類、検索に関する講義、および有害・有毒プランクトンの試料処理、計数法、種の同定法等の実習を行うとともに、必要に応じて本事業で開発した各種の同定技術の普及を行う。それにより、現場における有害・有毒プランクトンに対するモニタリング技術の高度化を目指すことを目的とする。さらに、本事業5年間で、講義や一部実習のデジタル化を図り、実習や意見交換を中心とする研修会の実施を目指す。

本事業は複数機関が共同で担当することから、実施課題間の連携と進行管理を図る必要がある。そのため、2名以上の有識者を検討委員とした事業の計画および結果検討会を開催し、種々の検討・議論を行う。得られた指導・助言を調査・研究計画、成果の取りまとめ及び報告書に反映することにより、より良い調査・研究成果の達成および発信を目指す。

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) 有害プランクトン同定研修会（同定研修会）

水産機構水産技術研究所が外部講師（委嘱）と連携し研修会を開催した（図1）。講師は水産機構および外部講師から成る8名とした。研修会事務局を設置し、本研修会開催に関わる準備・運営（カリキュラム作成、研修会場および器材の調達、研修生の募集、講師の選定・委嘱、観察のためのプランクトン培養株の維持・培養、講義・実習など）を行った。今年度は、一部の講義についてデジタル資料の作成を行い、テキスト改訂について協議した。実習では、従来の研修項目に加え、培養株や現場試料を対象としたプランクトンカウント法の実習、珪藻の観察や分類などを新たに組み込むこととした。

2) 事業検討会議

有害藻類生態、海洋環境および魚毒分野に精通した有識者3名および課題実施機関が参加する事業検討会（計画及び結果）を開催した。

(3) 結果および考察

1) 有害プランクトン同定研修会

令和5年11月27日（月）～30日（木）の4日間、広島県廿日市市大野西市民センターにおいて同定研修会を開催した。水産機構は、研修会開催に関わる一連の運営や実務（カリキュラム作成、講義資料や参考資料の準備、研修会場手配および顕微鏡や観察に必要な消耗品等機材、試薬等の調達、研修生の募集、外部講師の委嘱、観察のためのプランクトン培養株の収集・維持・培養、当日の講義や実習）を担当した。詳細は以下の通りである。

①講師

水産機構水産技術研究所

中山奈津子^{1),2),3)} (廿日市庁舎 環境保全部 有害・有毒藻類グループ)

紫加田知幸^{1),2),3)} (五島庁舎 環境保全部 有害・有毒藻類グループ)

西村朋宏^{1),2),3)} (廿日市庁舎 環境保全部 有害・有毒藻類グループ)

山口峰生^{1),2),3)} (水産研究・教育機構フェロー)

長井 敏¹⁾ (横浜庁舎 沿岸生態システム部)

外部講師

岩滝光儀¹⁾ (東京大学)

板倉 茂^{1),2),3)} (岡部株式会社)

¹⁾研修会開催を担当

²⁾デジタル資料の制作を担当

³⁾テキスト改訂を担当

②研修対象者および受講者人数

有害・有毒プランクトンのモニタリング及び漁業者の指導を行なっている各都府県の水産課及び水産試験場の職員を対象として研修生の募集を行った。今年度は、17名の応募があったが、技術の習得状況・経験等を鑑みて選考を行い、表1に示す16名を受講者とした。

③対象プランクトン

わが国において赤潮・貝毒の原因となる有害・有毒プランクトンであり、モニタリングの対象として最低限同定技術を習得しておかなければならない種(又は属)で、光学顕微鏡又は蛍光顕微鏡で同定可能なものを対象とした。対象プランクトンのリストを表2に示す。

④時間割および研修内容

研修会の時間割及び研修内容を表3に示した。

今年度は、戦略委員会を設置し、受講生がより効率的に技術を習得できるよう本研修会の内容を見直し、カリキュラムを大幅に改定した。改定点は以下の通りである。

-時間割の変更1:受講生が研修内容を把握しやすいよう、1日の中で講義とそれに関わる実習を組み合わせて実施した。

-時間割の変更2:現場におけるプランクトンのモニタリングや同定作業に沿って技術を習得できるよう、講義や実習内容の流れを整理し変更した。

-実習内容の見直し:珪藻類の観察や分類に関する講義や実習、採水法、濃縮法、カウント法など実践的な内容を追加した(図1)。

-講義の一部をデジタル化して一般配信し、実習時間を増やした。

⑤講義のデジタル資料の作成及び公開

今年度は、「赤潮プランクトンの生理生態」に関する講義をデジタル化し、水産研究・教育機構のウェブページにて公開した。

https://www.fra.go.jp/gijutsu/project/environmental_conservation/red_tide_plankton_movie.html

まずは受講者に視聴していただけるようリンクをメールで周知した。資料の活用については注意事項を検討し、Webページに掲載した。

⑥研修会の新テキストの制作

研修会テキストの改訂についてデジタル資料・新テキストの制作委員会を設置した。今年度は、既存のテキストを見直して問題点や改善すべき点を洗い出し、新テキストの内容等について協議した。

⑦アンケートの実施

研修会終了後、研修会受講者に対して本研修会の実施内容や今後の研修会のあり方についてアンケート調査を実施した。アンケート調査は、今年度より Forms を活用したウェブ形式を導入し、アンケート項目も受講生のより具体的な意見を収集できるよう工夫した。結果の概要を表4に示した。アンケートの回答者は、受講者16名中15名であった。アンケート結果によると、全体的に研修会に対する満足度が高かったことが窺える回答が多かった。一方で、プランクトンの観察時間に関する意見や、プランクトンの単離法の習得など研修内容の追加を希望する声が寄せられた。後日、アンケート結果を踏まえて戦略委員会を開き、今後改善すべき点について整理した。

2) 事業検討会議

有害プランクトンの生態や魚毒性および海洋環境に精通した有識者3名（北海道大学・今井一郎名誉教授、佐賀大学・速水祐一准教授、長崎大学・小田達也名誉教授）および課題実施機関が参加する事業検討会を以下の日程及び場所で開催し、種々の検討・議論を行った。

- ・令和5年6月1～2日：事業計画検討会（廿日市市：オンライン併用）
- ・令和6年2月27～28日：事業結果検討会（廿日市市：オンライン併用）

得られた指導・助言を調査や研究成果の取りまとめ及び報告書に反映することにより、より良い調査や研究成果の発信を目指した。

表1. 令和5年度有害プランクトン同定研修会受講者名簿

府県	所属機関	氏名
青森	青森県産業技術センター 水産総合研究所 漁場環境部	扇田 いずみ
千葉	千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所	速水 啓介
愛知	愛知県水産試験場 漁場環境研究部 漁場保全グループ	河住 大雅
三重	三重県水産研究所 養殖・環境研究課	岡野 健次
大阪	大阪府立環境農林水産総合研究所 生物多様性センター 環境研究部自然環境グループ	丸山 勇氣
兵庫	兵庫県立農林水産技術総合センター 水産技術センター	肥後 翔太
岡山	岡山県農林水産総合センター 水産研究所	角田 成美
広島	広島県立総合技術研究所 水産海洋技術センター 水産研究部	戸田 竜哉
鳥取	鳥取県栽培漁業センター 増殖推進室	田中 秀一
山口	山口県水産研究センター 外海研究部	田中 健太郎
佐賀	佐賀県玄海水産振興センター	松本 日向乃
長崎	長崎県総合水産試験場 環境養殖技術開発センター 漁場環境科	山名 涼太
大分	大分県農林水産研究指導センター 水産研究部 養殖環境チーム 環境班	毛利 文香
大分	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
鹿児島	鹿児島県水産技術開発センター 漁場環境部	赤塚 麻美
沖縄	沖縄県水産海洋技術センター 海洋資源養殖班	安里 聖貴

表 2. 同定研修会で観察対象としたプランクトン

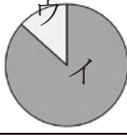
有毒種		有害種	
分類群	学名	分類群	学名
渦鞭毛藻	<i>Alexandrium catenella</i> (=旧 <i>A. tamarense</i>)	渦鞭毛藻	<i>Akashiwo sanguinea</i>
渦鞭毛藻	<i>Alexandrium ostenferdii</i>	渦鞭毛藻	<i>Alexandrium leei</i>
渦鞭毛藻	<i>Alexandrium pacificum</i> (=旧 <i>A. catenella</i>)	渦鞭毛藻	<i>Cochlodinium polykrikoides</i> (= <i>Margalefidinium polykrikoides</i>)
渦鞭毛藻	<i>Dinophysis acuminata</i>	渦鞭毛藻	<i>Cochlodinium</i> sp. type-Kasasa (= <i>Margalefidinium</i> sp. type-Kasasa)
渦鞭毛藻	<i>Dinophysis caudata</i>	渦鞭毛藻	<i>Gymnodinium impudicum</i>
渦鞭毛藻	<i>Dinophysis fortii</i>	渦鞭毛藻	<i>Heterocapsa circularisquama</i>
渦鞭毛藻	<i>Dinophysis norvegica</i>	渦鞭毛藻	<i>Karenia mikimotoi</i>
渦鞭毛藻	<i>Dinophysis tripos</i>	渦鞭毛藻	<i>Karenia selliformis</i>
渦鞭毛藻	<i>Gymnodinium catenatum</i>	渦鞭毛藻	<i>Prorocentrum minimum</i>
渦鞭毛藻	<i>Alexandrium pseudogoniaulax</i>	渦鞭毛藻	<i>Prorocentrum shikokuense</i>
渦鞭毛藻	<i>Gambierdiscus</i> sp.	渦鞭毛藻	<i>Prorocentrum triestinum</i>
渦鞭毛藻	<i>Prorocentrum lima</i>	ラフィド藻	<i>Chattonella antiqua</i>
		ラフィド藻	<i>Chattonella marina</i>
		ラフィド藻	<i>Chattonella ovata</i>
		ラフィド藻	<i>Heterosigma akashiwo</i>
		ディクチオカ藻	<i>Pseudochattonella verruculosa</i>
		ディクチオカ藻	<i>Vicicitus globosus</i> (= <i>Dictyocha fibula</i>)

表3. 令和5年度有害プランクトン同定研修会時間割と内容

日付	時間	内容
11/27 (月)	9:15~9:30	受付
	9:30~10:00	挨拶, 事務連絡, 開講
	10:00~11:50	《講義》 プランクトンの分類の基礎 (東京大学 岩滝光儀) ・有害プランクトンの形態分類と検索 ・ラフィド藻・無殻渦鞭毛藻の形態分類
	12:00~13:00	昼休み
	13:00~14:00	《講義》 珪藻類の観察や分類 (岡部株式会社 板倉茂)
	14:00~16:45	〈実習〉 プランクトンの観察・同定技術 ・光学顕微鏡で培養株や固定試料を観察
11/28 (火)	9:15	集合
	9:30~10:00	《講義》 有毒プランクトンの形態分類と検索 (水産研究・教育機構 山口峰生)
	10:00~11:50	〈実習〉 プランクトン観察・同定技術 (有毒) 固定・染色法 ・光学顕微鏡及び蛍光顕微鏡で培養株や固定試料を観察
	12:00~13:00	昼休み
	13:00~16:45	〈実習〉 プランクトンの観察 ・光学顕微鏡および蛍光顕微鏡で培養株や固定試料を観察 〈実習〉 ・篩作成
11/29 (水)	9:15	集合
	9:30~11:00	〈実習〉 現場試料の採集・処理・濃縮法
	11:00~11:50	〈実習〉 プランクトンの観察・カウント法 ・カウント法の説明と実習
	12:00~13:00	昼休み
	13:00~16:45	〈実習〉 プランクトンの観察・カウント法 ・各自の顕微鏡で培養株や固定試料を観察し計数
11/30 (木)	9:05	集合
	9:15~10:15	《講義》 赤潮・有毒プランクトン分子同定法の解説 (水産研究・教育機構 長井敏)
	10:15~10:35	廿日市庁舎会議室へ移動
	10:35~12:00	〈実習〉 赤潮・有毒プランクトン分子同定法の実習 ・DNA抽出やLAMP法など
	12:00~13:00	昼休み
	13:00~14:00	〈実習〉 赤潮・有毒プランクトン分子同定法の実習及び解説
14:00~14:30	総合討論・閉会	

表4. 令和5年度有害プランクトン同定研修会アンケート集約結果

回答数：15名（受講者数：16名；94%）

<p>1. 今回の研修会で得た同定技術の習得状況について選択をお願いいたします。</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ● ア. あまり習得できなかった。 回答数：0名（0%） ● イ. ある程度習得できた。 回答数：13名（87%） ● ウ. 完全に習得できた。 回答数：2名（13%） 	
<p>2. 1. でア－ウを選択した理由の記入をお願いいたします。</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ● 「ア. あまり習得できなかった。」を選択した理由。 回答数：0名 ● 「イ. ある程度習得できた。」を選択した理由。 回答数：13名 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 時間内に全ての培養株を観察できたが、時間的に切迫していて詳細に観察できなかったため（顕微鏡操作が当初不慣れなところもあって観察の準備に時間をかけてしまった）。 ➢ 4日という日程の中で、密度の濃い経験ができたため、ある程度習得できたと感じています。完全な習得を目指して、現場での経験や主体的な研究活動をしていきたいと考えています。 ➢ 本研修を受講するまでプランクトンの見方が全く分からなかったのですが、同定に関してキーとなる形質や動き、顕微鏡の使い方などの講義を受け、実際に様々なプランクトンを観察することで、自分でも少しなら出来そうだと感じる事が出来たためです。 ➢ アレキサンドリウム属等の同定方法、蛍光顕微鏡の使用手法、LAMP法などの重要なポイントについて学ぶことができました。完全に習得するには、練習が必要と感じるため、ある程度習得できたを選びました。 ➢ 多くの有毒・有害プランクトンを観察することができたので、今後のモニタリングの際の顕鏡に活かせるかと思う。ただ、採水の方法や篩を用いた濃縮方法について、ターゲットのプランクトンにあわせた方法で行っているのか不安があるため、今後さらに手技を含めて学習できたらと思っているため。 ➢ 数多くのプランクトンの同定手法を紹介いただいたので、その全てを期間内で習得はできませんでした。充実した資料を配布いただいたので、実地で同定しながら今後習熟していく予定です。 ➢ アレキサンドリウム属の染色や殻の特徴の見分けが難しく、実際に出現したときに見分けられる自信がないため。 ➢ 多くの主要なプランクトンの同定に必要な形態的な特徴について講義や培養株の観察で理解することができた。一方、現場海水の中から有害種を同定する技術は今後経験を積んでいく必要があると思う。染色法やLANP法についても手法や流れを理解できたが、準備等をしてもらった上での実習だったため、準備から1人でできるように経験を積んでいく必要がある。 ➢ 研修前と比較して、知識および技術が向上したことは実感できている。しかし、完全に習得できたと言えるほどの自信がありません。 ➢ ランプ法は慣れていないとコンタミしそうなので、練習を重ねて習得率を上げていきたい。 ➢ 蛍光顕微鏡を用いた同定技術の習得はあまりできなかったが、それ以外の技術習得については期待以上にできた。 ➢ 実務で監視対象となっている有害藻の特徴を押さえることができた。 	

- 普段の検鏡では、見る機会のなかった有害・有毒プランクトンを形態や泳ぎ方を含めて、しっかりと長い時間見ることができ、大変参考になりました。

● 「ウ. 完全に習得できた。」を選択した理由。 回答数：2名

- プランクトンの検鏡する時間が多くあったため、より詳しくプランクトンを観察することができました。またLANP法は説明だけでなく、実際見ることや経験することができたため、自分の職場でも実践しやすくなったと思います。
- 培養株により、プランクトンの動きを観察できたのは非常に大きかった。また、蛍光顕微鏡でのアレキサンドリウム属の形態による同定方法についても明瞭に形態が観察できてよかった。

3. 研修会の日数について選択をお願いいたします。

- ア. 現行で適当。 回答数：12名 (80%)
- イ. もう少し短く。 回答数：2名 (13%)
- ウ. もう少し長く。 回答数：1名 (7%)



4. 3. でイもしくはウを選択した場合、その理由の記入をお願いいたします（イの場合は削減・削除しても良い項目、ウの場合は追加すべき項目などについても、ご意見・ご要望があれば記入をお願いいたします）。

- 「イ. もう少し短く。」を選択した理由、意見もしくは要望。 回答数：2名
 - 全体的に顕鏡の時間、特に2日目午後の時間は短くしても良いかもしれません。1日目にお出しいただいた培養株は1日目で全て見きれました。2日目に追加で出していたものも、2日目の午前中には見きれました。短縮した時間でLAMP法の1細胞抽出の練習（パスツール折るところなども）など追加していただけるとありがたいです。
 - 開始時間を1時間程度でも遅らせると前泊なしでも参加できる人数が増えると思います。
- 「ウ. もう少し長く。」を選択した理由、意見もしくは要望。 回答数：1名
 - 自由に観察する時間がもう少し増えると良いと思う。

5. 研修会の開催時期について選択をお願いいたします。

- ア. 現行で適当。 回答数：13名 (87%)
- イ. 別の時期が良い。 回答数：2名 (13%)



6. 5. でイを選択した場合、開催希望の時期、理由の記入をお願いいたします。

- 「イ. 別の時期が良い。」を選択した理由。 回答数：1名
 - 11月はノリの珪藻赤潮の調査があり繁忙期のため、10月開催がありがたいです。

7. 今回の研修会の「講義」の内容について、お気づきの点やご意見を記載してください。

- 駆け足なところもあったが有害有毒プランクトンについて知ることができ大変有意義だった。
- 赤潮・貝毒プランクトンの基礎から教えてくださったため、理解できました。スライドの写真・図があったことがとても分かりやすく、特にアレキサンドリウム属の鎧板の違いの図はとても分かりやすく、他の資料も今後仕事で使用したいと思いました。
- 日程の都合で難しいかもしれませんが、赤潮貝毒プランクトンの生態にフォーカスした講義があると嬉しいです。
- 私のようなプランクトン初心者にはレベルが適当で非常に良かったと思います。

- 基本事項の確認から高度な内容までを一貫して学ぶことで、体系的にプランクトンの同定手法について知ることができたように感じます。今回の内容を復習し、日々の業務に活かしていきたいと思います。
- 多くの培養株などを用いた実際の生きたプランクトンを観察でき、大変有意義でした。形態観察による同定技術を学ぶことができましたが、顕微鏡の操作を含め、こまかい形態観察での同定技術は多くの時間と経験を要するものだと感じました。そこで、LAMP法などの遺伝子解析などの簡易的な技術の習得に関する講義・実習について、もう少し時間があればなと感じました。
- どの講義も分かりやすかったです。業務上では基本から学ぶ機会はなかったもので、一からの内容で講義していただきありがたいです。
- 資料がしっかりと作られているので持ち帰って他の担当者と共有できて大変ありがたいです。
- 岩滝先生のプランクトンの分類の講義は現場海水で種同定をしていく上で重要と感じたため、時間をとってゆっくり進めてもらえるとありがたいです。
- 内容が細かく分けられており、非常に有意義な講義であったと感じました。
- 日頃見ているプランクトンも講義を受けることで理解を深めることが出来ました。
- プランクトンに関して学校で学んでこなかったが、有害プランクトン同定のため体系立てた講義であり、かつ、配布資料はそのまま実務参考資料となる有意義なものでした。
- 現行の内容で満足でした。
- 今回の講義では、講義と実習が分かれており、講義を受けた後、実習を行いました。実習のプランクトンを顕微鏡でみながら、実習を受ける時間がありましたら、より良い経験になると感じました。
- 講義内容は自分の業務にも直結する内容で、非常に参加できてよかった。

8. 今回の研修会の「実習」の内容について、お気づきの点やご意見を記載してください。

- 蛍光顕微鏡について実習形式で使い方を学べると良いと思う。
- 採水や濃縮作業は、自分の職場のやり方しか教わっていなかったため、今回水研の方々のやり方やアドバイスが聞けたり、他の県の方々ともやり方について話せたので良かったです。
- 限られた時間の中で十分な内容になっていたと思います。個人的には自由検鏡の時間が多い印象だったので何か発展的なタスクが欲しかったと感じました。
- 同定する前段階の顕微鏡の設定、試薬の準備などで私レベルの初心者は詰まってしまうと思うので、事前準備設定のチェックリスト的なものがあると嬉しいです（県独自で作るべきなのかもしれませんが、もしあれば）。
- 実習の分量や難易度について丁度良く感じました。特に LAMP 法について、今年の冬期より業務で使用する予定であったため、具体的な実施手順を知ることができ、非常に嬉しく思います。実施にあたり、不明点などがありましたら、ご相談に乗っていただけますと幸いです。
- プランクトンの観察に多く時間を使い、じっくりプランクトンの様子を見ることができ、とても良い経験になりました。
- 見回りの講師の方がたくさんいらっしゃり、気軽に質問できる環境で非常に有意義な実習でした。
- 顕微鏡で観察できる時間やサンプルが充分にあって良かったです。
- 二日目のプランクトン観察の時間は少し長く感じました。一方、3日目の採水サンプルのカウントや4日目の LAMP 法は少し駆け足だったため、スケジュールの調整をしてもらえるとありがたいです。

- 多種にわたるプランクトンを観察できたうえに、LAMP 法を実際に経験できて良かったと思います。
- 自分で手を動かすと頭に残りやすいので、実習が多くて勉強になりました。
- 有害・有毒プランクトンの生きたサンプルの主要種を一通り、自分の時間でじっくり見ることができた貴重な研修でした。また、府県の担当者及び講師との交流もできる有意義なものでした。顕微鏡のセッティングなど実務に関するコツなども意識して教えて頂けると良いと思いました。
- フリーの時間が多かったので、その時間に単離の練習ができれば良いなと思いました。
- 普段の検鏡では、すべてのプランクトンをカウントする機会が多いため、今回の講義のカウント法では1種のみをカウントしたのですが、すべてのプランクトンをカウントする場合のテクニックや実習があるとありがたいと感じました。
- 今回の講義では、細胞の単離をスポイトにて行ったが、ガラス管での方法も行いたかった。

9. その他今回の研修会について、ご意見・ご要望がありましたらお聞かせください。

- 4日間、ありがとうございました。
- 今回の研修で蛍光顕微鏡での観察やLAMP法などの技術を学べて、すぐにでも職場で実践したいと思うほど、とても良い研修でした。開催していただきありがとうございました。
- とても充実した研修でした。ありがとうございました。今回の研修からさらに発展したようなスキルアップ研修があれば受けた人も多いのではないかと思います。
- とても良い研修だったと思います。久々に授業を受けたような気持ちになりました。
- 講義および実習双方につき、大変満足であり職務を遂行する上で重要な知識・技術を得ることができたと感じます。また、講師の皆様方との縦のつながり、他県職員の方々との横のつながりをつくる事ができたように感じます。貴重な機会をご提供いただきまして誠にありがとうございました。今後とも、何卒よろしくお願い申し上げます。
- 講師の方々は、とても明るく声をかけやすい雰囲気があり、どんな質問にも丁寧に答えてくださっていて大変ありがたく感じました。
- わたしは職場内の選考含めると3年落ちて、ようやく今年受講することができました。それに見合う有意義な研修でしたので、職場でも伝達していきたいと思います。それでは、今後ともよろしく願いいたします。
- 現地では見られないプランクトンが多く観察出来て勉強になりました。ありがとうございました。
- 珪藻をカウントすることもあるので、主要な珪藻の培養株が観察できるようになればありがたいです。採水したサンプルにシャトネラの培養株を混ぜてカウントする実習は実践的で良かったので、複数種で実施してもらえると力がつくと思います。
- 特にありません。4日間の研修大変お世話になりました。得た知識、技術を活かし、さらなる向上に励みたいと思います。ありがとうございました。
- プランクトンを1細胞取る練習をしてみたかったです。
- 有害・有毒プランクトンは、産業、人体に大きな影響を及ぼすものであり、こうした研修会が行われていることは大変貴重で重要なので、是非引き続きの継続を。またHP等でも研修のエッセンスやマニュアルを作成し提供して頂けると参考になると思いました。
- 実務に追われずじっくりとプランクトンの観察ができる良い機会なので、ぜひ続けてほしいです。
- 他県のプランクトンを取り巻く現状等も知る事ができる大変有意義な時間でした。

- お忙しい中，研修会の準備等，誠にありがとうございました。今回の技術を職場に持ち帰り，自分で利用するのはもちろん，後輩にも伝えていきたいです。



図1. 研修会のようす（篩作成作業）