

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

外丸裕司, 羽野健志, 坂本節子, 中野 善

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6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

1-1) 海洋環境およびプランクトン調査

高当該調査は高知県浦ノ内湾に設けた5定点で実施した(図1)。各項目データの取得方法については、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の開発 イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域と同様であるため省略する。

1-2) 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主な対象海域として、有害赤潮が発生している5月から9月にかけて、プランクトンの画像を取得した。現場で採水した海水(以下「海水試料」という。)を計数板上に滴下し、10倍対物レンズを備えた生物顕微鏡(ECLIPS Ni, Nikon)で細胞像を観察し、画像撮影装置(Ds-Fi3, Nikon)を用いて撮影した。あるいは海水試料を終濃度1~10 mMの塩化ニッケルで固定してから細胞像を撮影した。オートモードおよび自動ホワイトバランスの設定において画像を取得し、2,880×2,048 dpi および拡張子 jpg で画像を保存した。

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* および *Chattonella* spp. を対象として、赤潮(1,000 cells/mL および 100 cells/mL 以上)が発生している期間中に週1回程度の頻度でサンプリングを行った。KU1 および

KU3 の 2 定点において、多項目水質計 (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、*K. mikimotoi*, *Chattonella* spp., *Heterocapsa circularisquama*, *Heterosigma akashiwo* および珪藻類の細胞密度をそれぞれ算出した。また、同試料のうち 100~500 mL は 150 μm のプランクトンネットで一次濾過、目合い 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ビ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

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。R5 年 6~8 月に適宜採水し、R5 事業で報告した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、サンプル調製、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、高知県の警報基準に沿って *K. mikimotoi* 属および *Chattonella* 属の細胞密度がそれぞれ 1,000 および 100 cells/mL を超過した状態を「赤潮」、赤潮形成後これらの基準を下回った状態を「終息」とした。

1-5) 植物プランクトン画像撮影

この小課題では、赤潮プランクトンの種判別・計数技術の高度化のため、それに向けて欠かせない *K. mikimotoi*, ならびに同種と形態が酷似している *Karenia selliformis* の画像を収集した。また、本課題の対象海域 (高知県沿岸) において、しばしば大発生する *Alexandrium leei* の細胞画像についても収集した。これらのうち有害赤潮プランクトンとして代表的な *K. mikimotoi* については、同藻の栄養状態を識別することも視野に入れ、窒素・リンで増殖が制限された細胞群を調製し、それらの画像を収集しようとした。

供試株には *K. mikimotoi* KmURN6Y, *K. selliformis* 21Ks9AK および *A. leei* Aleci A-2 を用いた。これらを一般的な培地および光照射下で培養し、昨年度に報告したニッケル溶液を用いる手法 (上村ら 2024) にしたがって「活発に遊泳している細胞群」が含まれる試料を固定処理、それにより動きが停止した細胞群を倒立生物顕微鏡 IX-70 (Olympus) により観察した。各種カメラを用いる撮影条件に関することとして、露光時間・ホワイトバランスについてはオートメーション機能を活用した。出力ファイルの解像度については 1,280 \times 980 以上とした。

また、供試対象の *K. mikimotoi* 培養株については窒素非添加, リン非添加および両者添加の SWM-3 培地で培養し、その培養期間中、蛍光度計ターナー (10-AU Fluorometer) を用いて *in vivo* クロロフィル蛍光量を経時的に測定した。その蛍光量を培養試験区間で比較することで、窒素あるいはリンによる増殖制限状態について評価した。

2) 赤潮プランクトン画像解析技術の高度化

本課題では、深層学習の物体検出手法を利用することで、赤潮プランクトンの検出を試みる。2023 年度は、物体検知手法として広く用いられている You Only Look Once (YOLO) (Redmon et al. 2016) による検出結果を報告したが、2024 年度は、より精度向上が見込める DINO (DETR with Improved denoising anchorboxes) (Zhang et al. 2022) を試みた。

DINO は DETR (Detection Transformer) を拡張, 改良したものとして位置付けられる。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 を採用することにした。

DINO の学習では、YOLO 同様に、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、昨年度に引き続き、専門家のプランクトン分類に基づき、アノテーションツール LabelImg を用いて DINO の対象物体の位置情報およびクラスを作成した。学習用画像として 460 枚を用い、画像データセットは表に示される 10 のクラスに分類した。

(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

1-1) 海洋環境およびプランクトン調査

当該結果については、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の開発 イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域に記載したため省略する。

1-2) プランクトン画像データの取得

本年度は、7~9 月に合計 184 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 *Chattonella* spp., *H. akashiwo*, *Takayama* spp. と珪藻類であった。*Chattonella* spp. および *H. akashiwo* の細胞は終濃度 10 mM の塩化ニッケル固定で変形した。そのため、1 mM の塩化ニッケルで固定した細胞あるいは非固定の細胞を撮影した。*Takayama* spp. は、細胞の変形がみられなかったため、10 mM の塩化ニッケルで固定して撮影した。対象とする微細藻によって、細胞の動きを静止させるために、有効な固定液濃度が異なる可能性が考えられた。

1-3) メタボローム解析用サンプルの取得と前処理

本年度、*K. mikimotoi* の赤潮は非発生であったため、5 月から 8 月にかけて赤潮を形成した *Chattonella* spp. を当該解析用サンプルに供した。

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

本年度は過年度 (R4-5 年度) に「赤潮」形成後に収集したサンプル計 33 回分 (KU1 13 回, KU3 20 回) の解析を行った。細胞数の推移と GG 比を図 2 に示す。赤潮状態にある細胞群の GG 比は 0.01 から 14 まで幅広い値を示した。赤潮状態が解消された場合を 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 0.51 として産出され、診断正確率は 67% であった。これは、「GG 比が 0.51 以下だと 1 週間後には終息しない」かつ「0.51 以上だと 1 週間後には終息する」と正確に診断できた確率が 67% (33 回中 22 回中) であることを意味する。一方で、7 月以降では、診断正確率は 73% (22 回中 16 回中) にまで向上した。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

K. selliformis および *A. leei* については 10 倍対物レンズで、視野内の異なる細胞に焦点を合わせながら 2~4 枚/セットの画像を撮影した。今年度はカレニア・セリフォルミスの画像を 28 セット (87 枚) および *A. leei* の画像を 62 セット (188 枚) 取得し、後述課題に供した。

K. mikimotoi の試験培養 11 日目ならびに 15 日目、窒素・リン非添加の培地で得られた *in vivo* クロロフィル蛍光量は、両栄養塩添加培地のそれと比較して明確に少なく (図 3)、供試株の増殖を窒素・リンで制限することができたと判断した。そのことを裏付けるように、窒素・リンで増殖が制限された細胞群の色調は概して薄い (図 4)。また、リンで制限された細胞群のなかには、目視の限りとはいえ、細胞サイズ (特に細胞幅) がやや大きいものが散見された (図 4)。Yamaguchi and Itakura (1999) においても、*K. mikimotoi* の培養細胞群はリン欠乏の進行に伴い肥大化することが報告されている。それと矛盾のない現象を捉えたことで、栄養状態が異なると考えられる *K. mikimotoi* 培養細胞群の画像を収集できたと考えられる。この知見は、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

Karenia, *Chattonella*, *Prorocentrum*, *Dictyocha* の各プランクトンについて、DINO を用いた検出結果を表 1 にまとめた。ここでは、各プランクトンについて、それぞれのクラスの正解ラベル付された個体数と Average Precision を示している。また、Faster R-CNN, Retina Net, DETR, YOLOv5 の結果も併せて掲載した。主要な赤潮プランクトンである *Karenia* および *Chattonella* については、DINO がそれぞれ 94.4% および 95.4% の値を示し、かつ、全ての手法の中で最も高い精度であることが確認できた。ただし、*Prorocentrum* と *Dictyocha* について、検出精度は必ずしも十分ではなく、その対策を今後検討する予定である。なお、赤潮プランクトンの検出実験例については図 5 および図 6 に示されている。

本課題では、物体検出アルゴリズムの DINO 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、*Karenia* や *Chattonella* については、検出精度は Average Precision において約 95% の精度を得られた。しかし、*Prorocentrum*, *Karenia*, *Chattonella* 以外の赤潮プランクトンについては、改善の余地がある結果であった。

今後は DINO 以外の手法等も検討を進めることで、特に *Karenia* や *Chattonella* 以外の赤潮プランクトンの検出精度向上を図る予定である。なお、当該課題で開発した赤潮プランクトン検出技術は、八代海課題で扱う SeaMS 映像の分析に適用することで、その性能評価を行っている。詳しくは八代海課題報告書を参照されたい。

引用文献

Carion N, Massa F, Synnaeve G, Usunier N, Kirillov A, Zagoruyko S. End-to-end object detection with transformers. European conference on computer vision, Springer International Publishing, 2020: pp. 213-229.

Hano T, Tomaru Y. Chronological age-related metabolome responses in the dinoflagellate *Karenia mikimotoi*, can predict future bloom demise. *Commun. Biol.* 2023; 6: 273.

上村海斗, 戸田真志, 河野友香, 山口晴生, 羽野健志, 坂本節子, 外丸裕司. 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. 令和 5 年度豊かな漁場環境推進事業「赤潮等による漁業被害対策技術の開発・実証・高度化」報告書, 水産庁, 東京. 2024 ; 276-283.

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.

Yamaguchi M, Itakura S. Nutrition and growth kinetics in nitrogen- or phosphorus-limited cultures of the noxious red tide dinoflagellate *Gymnodinium mikimotoi*. *Fish. Sci.* 1999; **65**: 367-373.

Zhang H, Li F, Liu S, Zhang L, Su H, Zhu J, Shum HY. DINO: DETR with improved denoising anchor boxes for end-to-end object detection. arXiv:2203.03605, 2022: 23 pages.

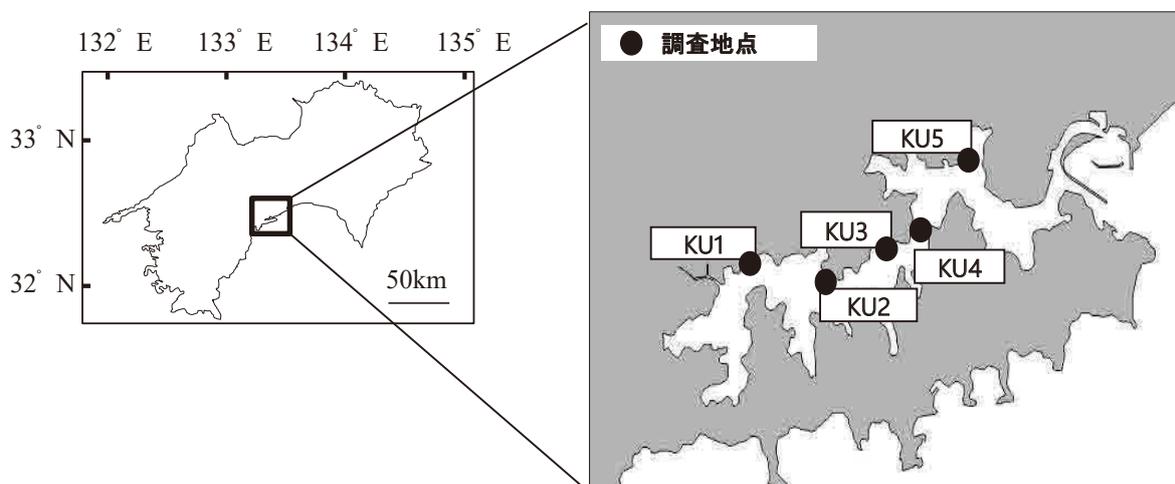


図1 調査定点 (高知県浦ノ内湾)

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
0	<i>Karenia</i>	2,278
1	<i>Chattonella</i>	260
2	<i>Prorocentrum</i>	411
3	<i>Thalassiosira</i>	24
4	<i>Dictyocha</i>	181
5	<i>Dinophysis</i>	4
6	<i>Ebriaceae</i>	12
7	<i>Heterocapsa</i>	24
8	<i>Takayama</i>	8
9	Others	104

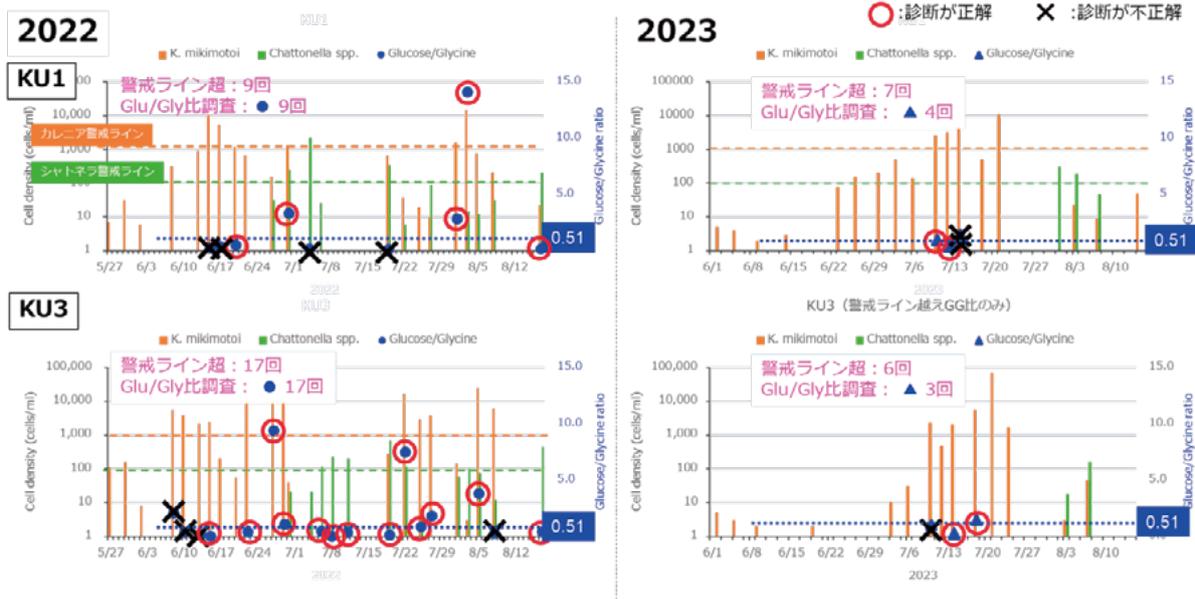


図2 細胞数の推移と GG 比の推移
(細胞数：棒グラフ，左 Y 軸，GG 比：青プロット，右 Y 軸)

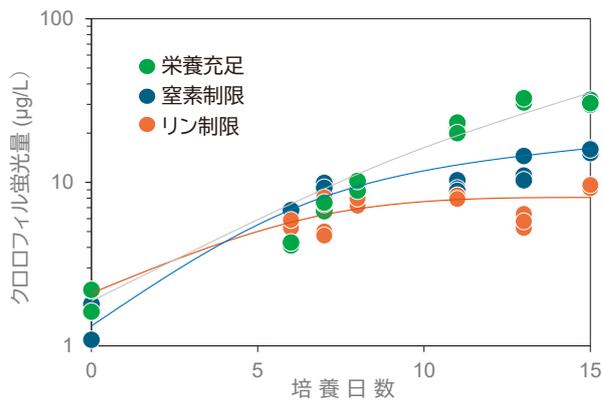


図3 栄養充足，リン制限および窒素制限条件下で培養した *Karenia mikimotoi* の *in vivo* クロロフィル蛍光量の時系列

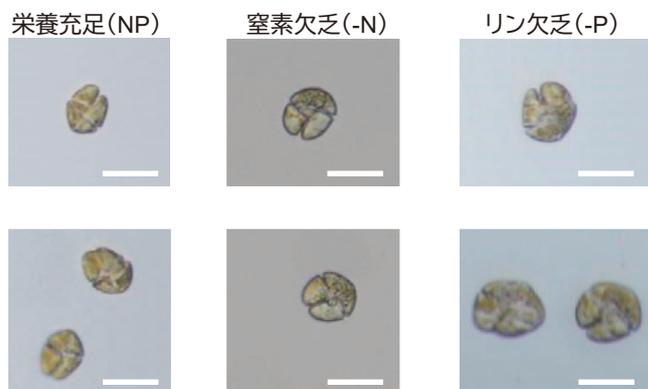


図4 栄養充足，リン制限および窒素制限培養した *Karenia mikimotoi* の細胞画像
スケールバー=30 µm

表 1 各クラスの検出結果

クラス	個体数	Faster R-CNN	Retina Net	DTER	DINO	YOLOv5
<i>Karenia</i>	211	87.0	88.9	87.0	94.4	73.5
<i>Chattonella</i>	83	86.5	78.5	90.1	95.4	92.8
<i>Prorocentrum</i>	90	66.4	68.8	47.6	74.6	83.7
<i>Dictyocha</i>	23	19.8	28.7	13.1	30.1	57.0
Global	414	31.2	40.9	27.4	35.2	18.6

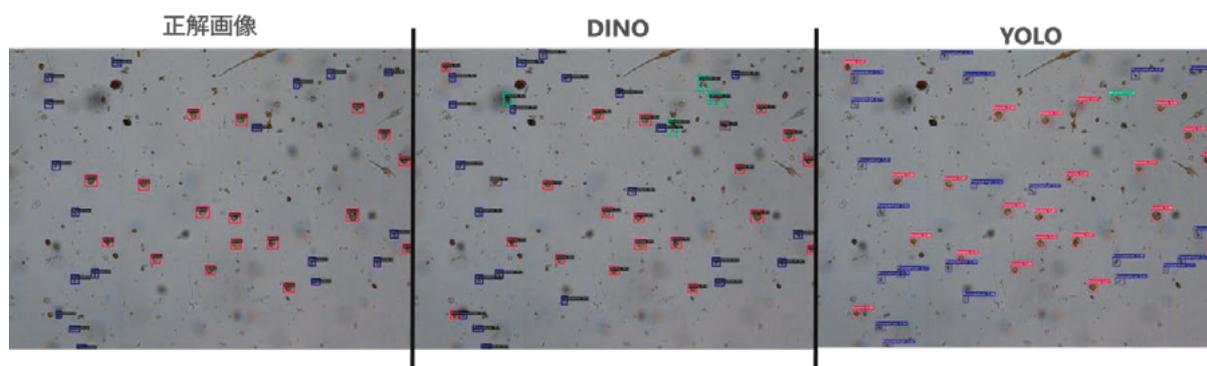


図 5 検出実験例 (左: 正解画像, 中: DINO での検出結果, 右: YOLOv5 での検出結果) (赤: *Karenia*, 青: *Prorocentrum*, 緑: *Dictyocha*)

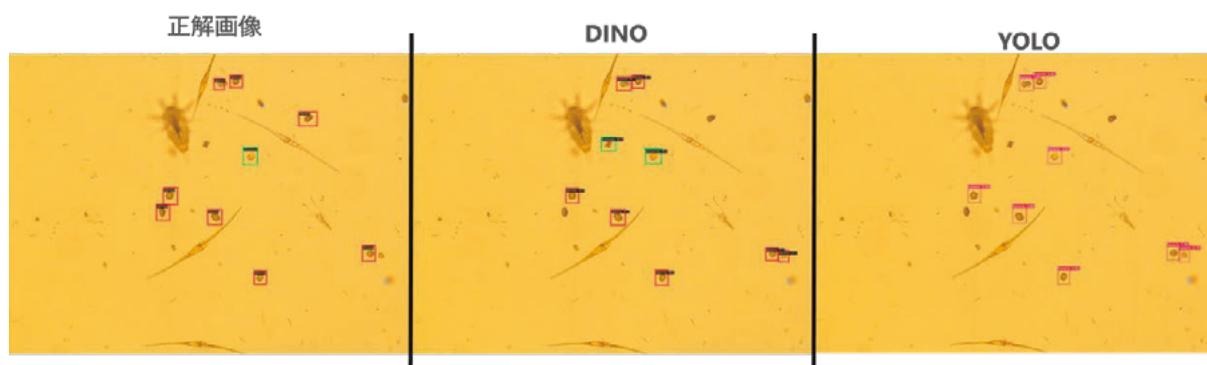


図 6 検出実験例 2 (左: 正解画像, 中: DINO での検出結果, 右: YOLOv5 での検出結果) (赤: *Karenia*, 緑: *Dictyocha*)

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
，坂本節子，中山奈津子
いであ株式会社
河野史郎，窪田 務，南浦修也
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

全体計画と同じ。

2 令和6年度計画および結果

(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開発および予察関連情報の追加を行う。

【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) 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する。利便性を向上させる

ため、全体デザイン改良の開発を行うとともに、「赤潮発生機構・予察関連情報」を追加・更新し、各海域で整理されている赤潮発生のメカニズムや予察情報を公表することで利活用を促進する。

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する。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る。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週間予報を行う。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する。また、水温予報の精度を検証する。

(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。さらに昨年度、トップページの表示を改め、サイト右上部に「赤潮発生機構・予察関連情報」を掲載させ、「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）。今年度は「赤潮発生機構・予察関連情報」の拡充のため、瀬戸内海東部海域におけるシャットネラ赤潮の発生シナリオを取りまとめ、同ページ内で公表する準備を進めている。また、高知県海域における有害赤潮プランクトンの観測情報等（高知県 NABRAS）へのリンクも準備中であり、情報の集約と利便性向上を進めた。

「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。

赤潮ネットのアクセス数について、2024年6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。2024年はサーバドメイン変更を5月に行ったためアクセス解析ツールも変更となり、1月から5月までのアクセス数は不明である。有害赤潮や貧酸素水塊の発生が多発する夏季は閲覧数が増加し、7月には18,876回の閲覧数であった。特に閲覧数の多いページは赤潮分布情報であり、7月は12,965回の閲覧数があった。水温速報・予報の閲覧数は、10月に最大となり1,150回の閲覧数であった。6月から12月までの総閲覧数66,562回のうち、半数以上が赤潮分布情報へのアクセスであり、次いでトップページを含むポータルサイト、浅海定線調査情報、水温速報・予報のページへのアクセスが多かった（図3）。

利便性をさらに向上させるため、全体デザイン変更の開発を行った。令和5年度に行った全体デザイン案をベースに開発を進め、視認性の向上を図るデザイン案が出された（図4、および図5）。また、データ蓄積量が膨大になったために「赤潮分布情報」等の表示速度の低下が認められたため、年度ごとにデータベースを構築する等の対策が必要となり、次年度以降、利便性の向上を目指したデザイン変更や表示速度の向上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6年夏季は、伊万里湾において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が、1 mL 当たりの細胞数が1000を超えるような大規模化は認められなかった。豊後水道では7月に同種の赤潮が愛媛県宇和島沿岸や大分県沿岸の佐伯湾で発生が見られた。八代海では、*Cochlodinium Polykrikoides*, *Chattonella antiqua*, *Karenia mikimotoi* の3種の赤潮が発生し、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有害赤潮プランクトンの細胞密度の分布情報を図6～8に例示する。

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(表3)の提供を受け、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。2024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9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・有明海等の水温予報

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。本年度は、ブイ装置の異常により別府(兵庫県漁連)にて令和6年10月21日以降の予報値を提供することができていない。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6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、令和6年10月21日以降の予報値を提供できていない別府(兵庫県漁連)の検証は行っていない。その他の地点に関しては、令和6年11月1-3日にハードウェア(サーバ)の不具合が発生し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10 a～c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6年10月1日から令和7年1月13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6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1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明石で4日発生した。±1°C以内に含まれた割合は、明石97日(95%)、牛窓102日(100%)、屋島102日(100%)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±1°Cの範囲に予報水温が含まれた割合の経年変化を表7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。本年度は、システム変更により福岡県地先にて全期間、佐賀県地先にて令和6年9月21日以降の水温観測値を取得できないため、予報値を提供することができていない。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6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(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(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5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、全期間の予報値を提供できていない福岡県地先と、令和6年9月21日以降の予報値を提供できていない佐賀県地先の検証は行っていない。熊本市地先及び熊本県長洲に関しては、令和6年11月1-3日にハードウェア(サーバー)の不具合が発生した日を除いて予報値を提供することができた。

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11 a, b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±1°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6年10月1日から令和7年1月13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。±2°C以上の差がみられた日数は、熊本市地先で1日あり、差が±1°C以内に含まれた割合は、熊本市地先79日(78%)、熊本県長洲77日(73%)であり、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±1°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。

東シナ海

有明海・八代海等の水質観測情報

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所の水質連続観測情報を公表しています。

水温・塩分速報

国、県、市、漁業協同組合の水質連続観測情報を公表しています。

水温予報

自動観測された水温データをもとに、1～2週間の水温を予報しています。

赤潮分布情報

各機関の水質・赤潮プランクトンの調査結果を分布図で公表しています。

硝酸素・水質情報

有明海・八代海等の多項目水質計による観測結果を分布図で公表しています。

浅海定線調査情報

有明海・八代海等の浅海定線調査結果を分布図で公表しています。

公共用水域水質調査情報

有明海・八代海等の公共用水域水質調査結果を分布図で公表しています。

瀬戸内海

水温・塩分速報

県及び漁業協同組合の水質連続観測情報を公表しています。

水温予報

自動観測された水温データをもとに、1週間の水温を予報しています。

赤潮分布情報

各機関の水質・赤潮プランクトンの調査結果を分布図で公表しています。

瀬戸内海西部赤潮調査一覧 瀬戸内海東部赤潮調査一覧

赤潮発生機構・予察関連情報

東シナ海（九州沿岸）
・八代海におけるシャットネフ赤潮発生の中長期予察

お知らせ

2023/10/4：2023年度の有明海における水温予報を開始しました。

2023/9/21：2023年度の瀬戸内海における水温予報を開始しました。

2023/8/25：「赤潮発生機構・予察関連情報」の公表を開始しました。

2021/7/7：「赤潮分布情報」操作マニュアル（ver.6.5）を「赤潮分布情報」のサイトに掲載しました。「赤潮分布情報」の「お知らせメール」機能の説明を追加しました。

2021/7/1：「観測情報」を改訂（ver.1.4）しました。本改訂により、質疑応答窓口が変更されます。

2021/3/15：「赤潮分布情報」操作マニュアル（ver.6.4改訂版）を「赤潮分布情報」のサイトに掲載しました。「質疑応答」の「お知らせメール」機能の説明を追加しました。

2020/7/20：水産研究・教育機構の組織改編にともない、赤潮ネット

最近の情報

赤潮分布情報

2024/02/06	東シナ海	有明海②（国巻誌）	持瀬観測計
2024/02/07	瀬戸内海	半和島 赤城山（景の西側）	アレキザントリウム属

公共用水域水質調査

2023/12/26 C	（六舟川地先）佐賀県県民環境部有明海再生・自然環境課
--------------	----------------------------

浅海定線調査情報

2024/01/11	浅海定線 A（熊本県）熊本県水産研究センター
------------	------------------------

図 1. 赤潮ネット（沿岸海域水質・赤潮観測情報）.

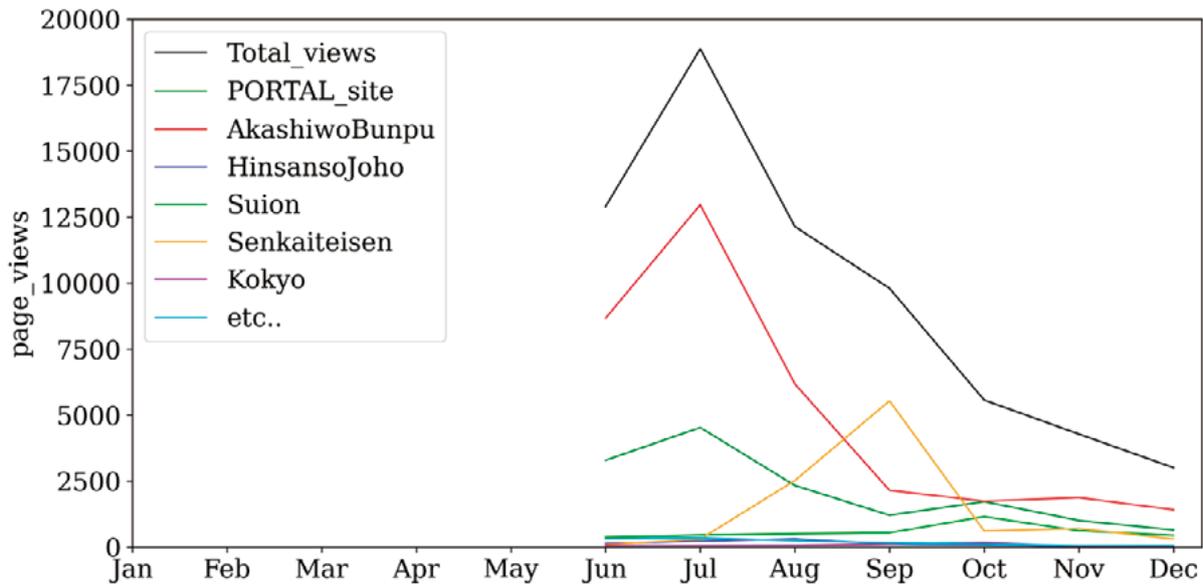


図2. 「赤潮ネット」で閲覧された月ごとの閲覧回数. グラフ内, 凡例の Total_views は赤潮ネット全体の, PORTAL_site はトップページを含むポータルサイトの, AkashiwoBunpu は赤潮分布情報の, HinsansoJoho は貧酸素・水質情報の, Suion は水温速報と水温予報の, Senkaiteisen は浅海定線調査情報の, Kokyo は公共用水域水質調査情報の, etc はその他のページの閲覧数を示す。

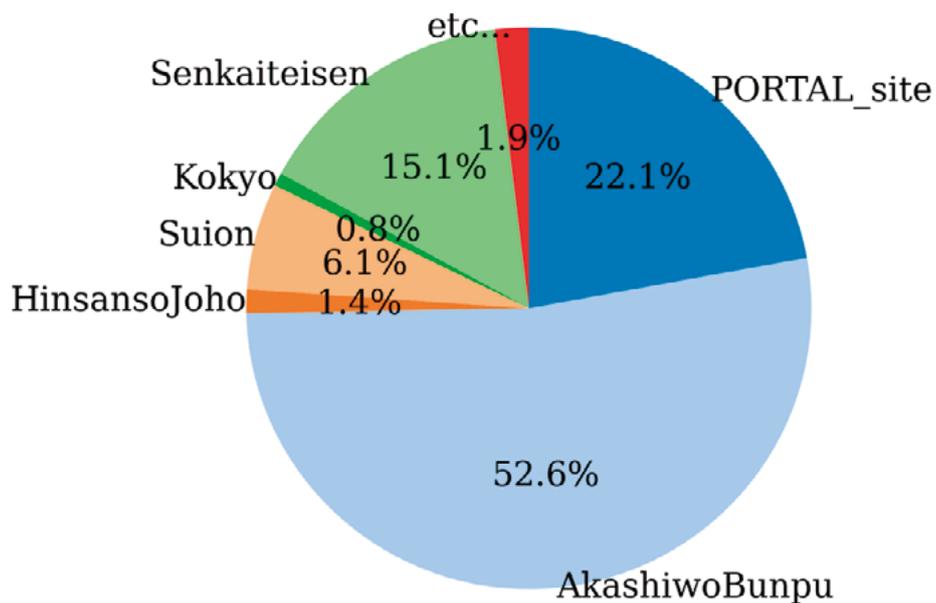


図3. 2024年6月から12月までに「赤潮ネット」で閲覧された総閲覧数66,562回の内訳. グラフ内, 凡例の PORTAL_site はトップページを含むポータルサイトの, AkashiwoBunpu は赤潮分布情報の, HinsansoJoho は貧酸素・水質情報の, Suion は水温速報と水温予報の, Senkaiteisen は浅海定線調査情報の, Kokyo は公共用水域水質調査情報の, etc はその他のページの閲覧数を示す。

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（2024年度）

海域	地点	観測回数	備考
有明海	奥部 8 地点	8 回	水産技術研究所観測
	全域 111 地点	2 回	10 機関による共同観測
	中央部 9 地点	5 回	熊本県水産研究センター観測
橘湾	20 地点	9 回	長崎県総合水産試験場観測
八代海	21 地点	2 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4. 「赤潮ネット」デザイン変更案

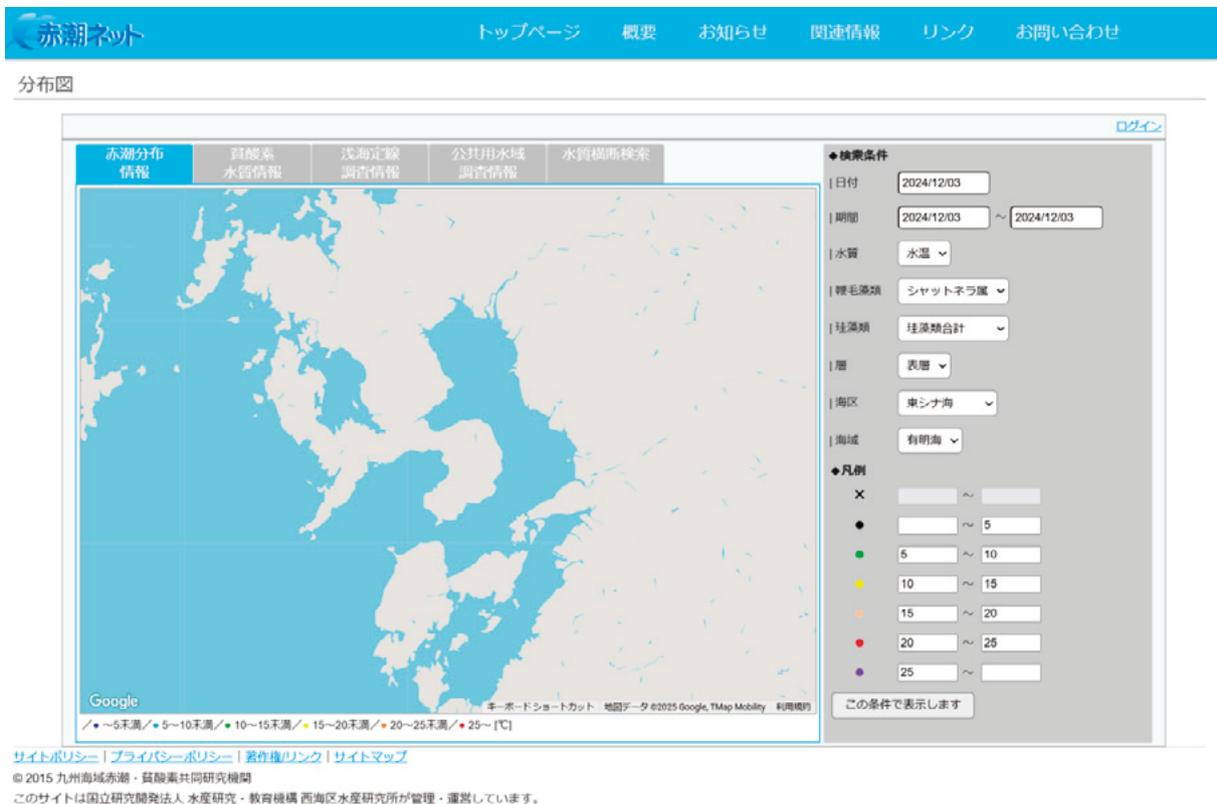


図5. 「赤潮分布情報」デザイン変更案

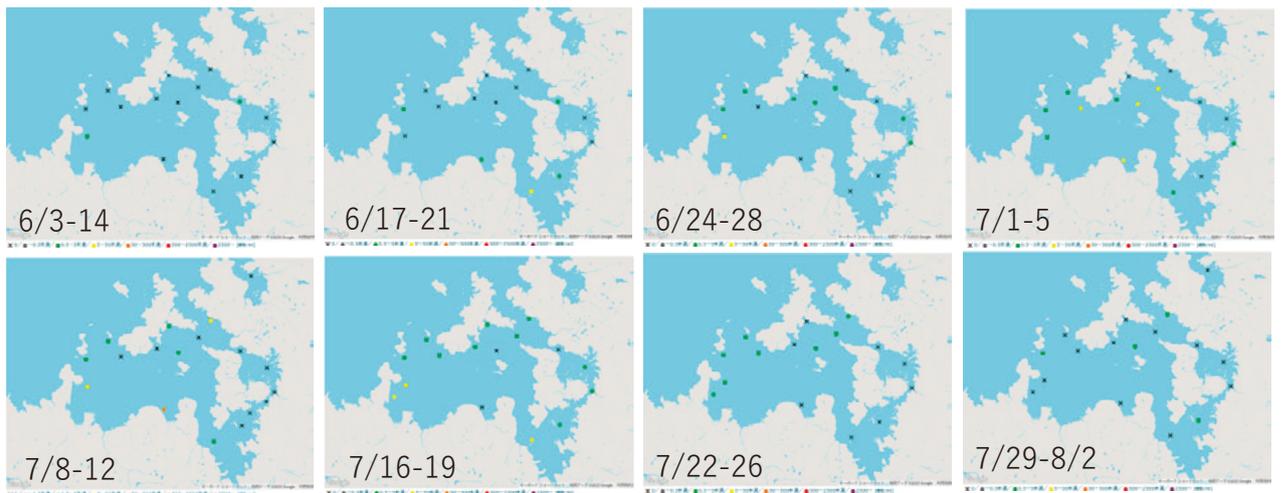


図 6. 「赤潮分布情報」で収集・公表された伊万里湾における有害赤潮原因種 *Karenia mikimotoi* の細胞密度の分布（長崎県総合水産試験場，佐賀県玄海水産振興センターの調査結果による。）

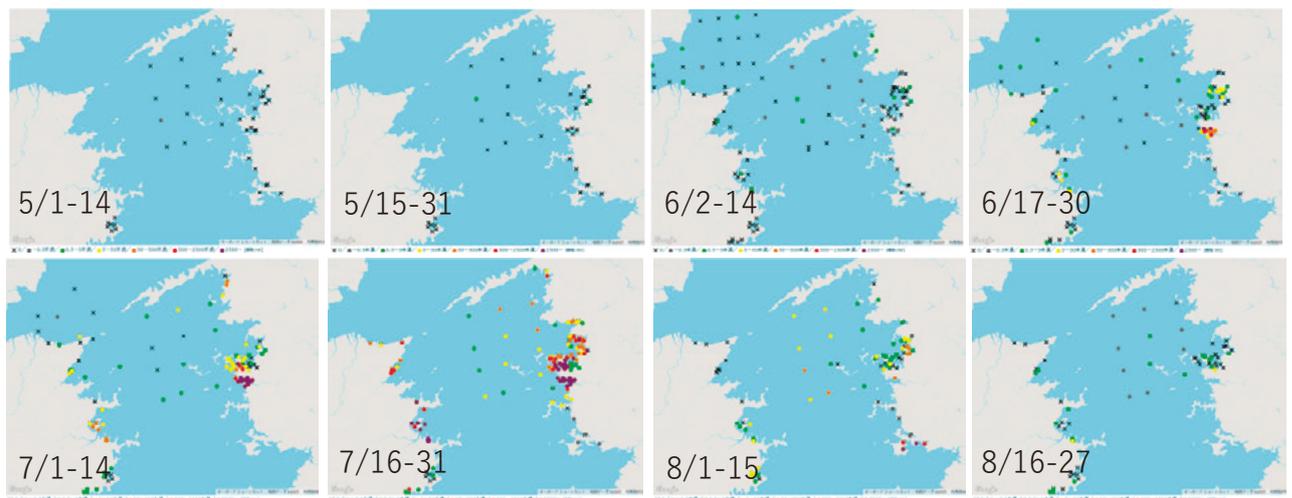


図 7. 「赤潮分布情報」で収集・公表された豊後水道における有害赤潮原因種 *Karenia mikimotoi* の細胞密度の分布（大分県農林水産研究指導センター水産研究部，愛媛県農林水産研究所水産研究センター他の調査結果による。）

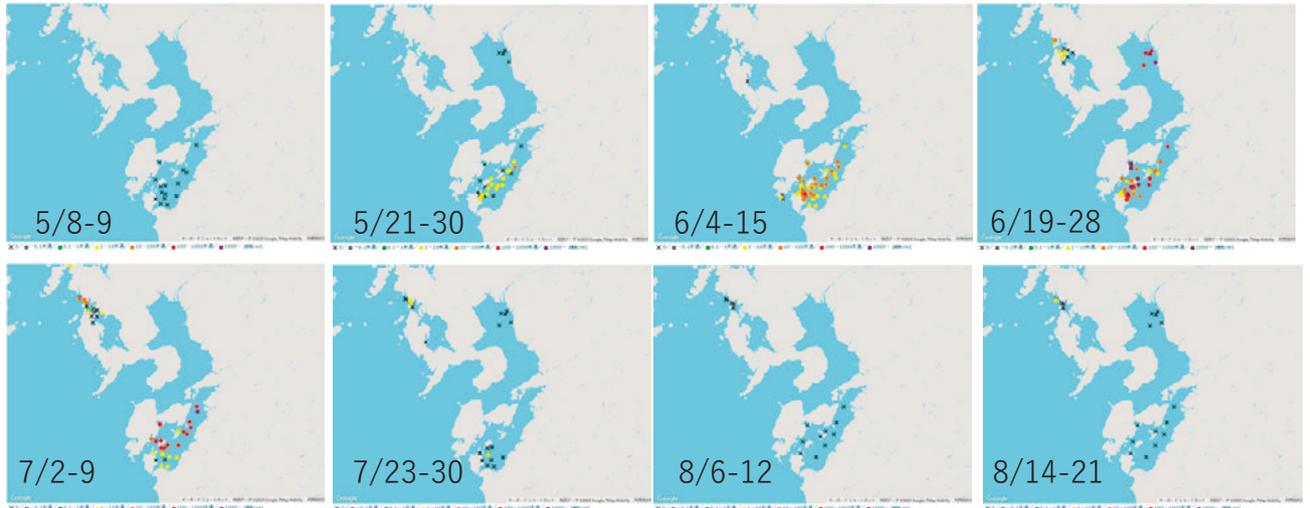


図 8. 「赤潮分布情報」で収集・公表された有明海・八代海・橘湾における有害赤潮原因種 *Chattonella antiqua* の細胞密度の分布 (福岡県水産海洋技術センター有明海研究所, 佐賀県有明海水産振興センター, 長崎県総合水産試験場, 熊本県水産研究センター, 鹿児島県水産技術開発センター, 天草市水産研究センター, 熊本県海水養殖漁業協同組合, 東町漁業協同組合, 水産研究・教育機構の調査結果による.)

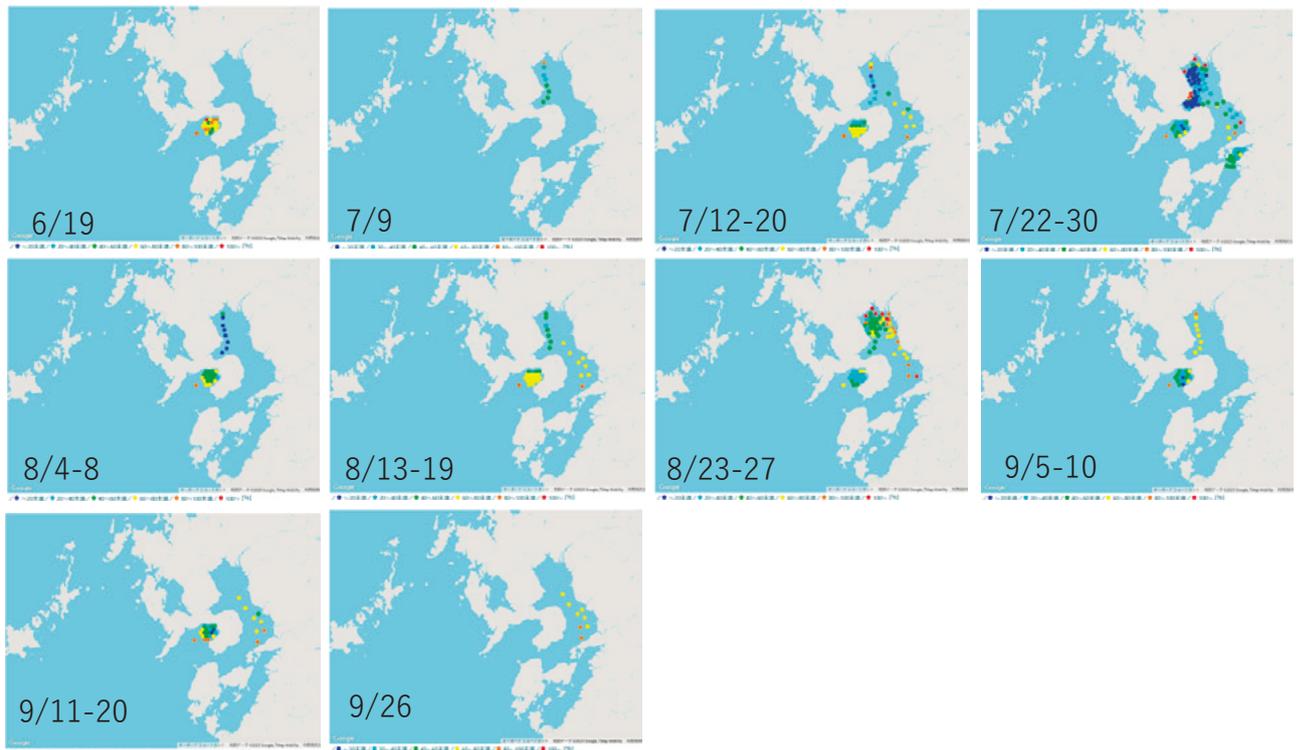


図 9. 有明海・橘湾・八代海における底層の溶存酸素 (%) の分布

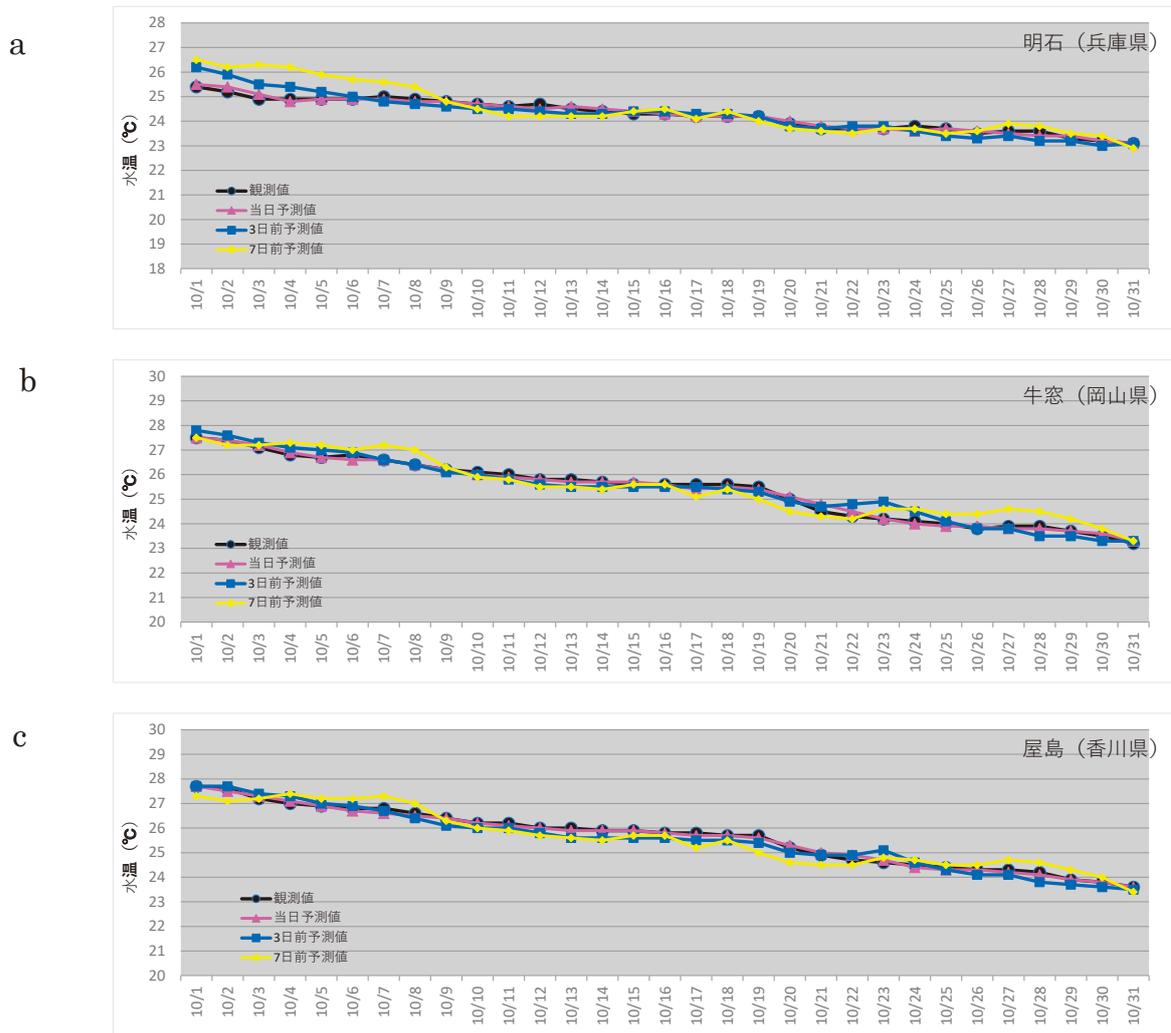


図 10. 水温の観測値と当日，3 日前及び 7 日前予報値との比較（令和 6 年 10 月）
 a. 明石（兵庫県），b. 牛窓（岡山県），c. 屋島（香川県）

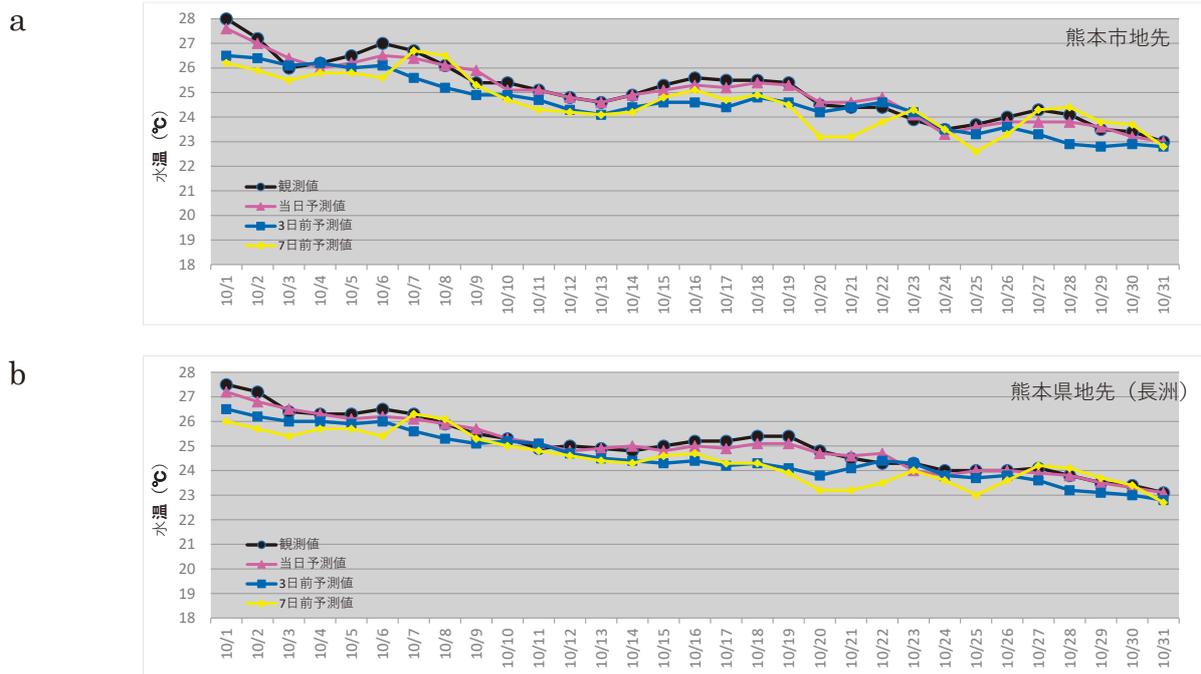


図 11. 水温の観測値と当日，3 日前，及び 7 日前予報値との比較（令和 6 年 10～11 月）
a. 熊本市地先（ブイ 5 基平均），b. 熊本県地先（長洲）

表 4. 令和 6 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）	10月1日～3月14日	1週間予報
別府（兵庫県漁連）	10月1日～10月20日	1週間予報
牛窓（岡山県）	10月1日～3月14日	1週間予報
屋島（香川県）	4月1日～3月14日	1週間予報（周年）

表 5. 令和 6 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	-	-	-
佐賀県地先	4月1日～9月20日	○	-
熊本市地先	10月1日～3月14日	○	○
熊本県長洲	4月1日～3月14日	○（通年）	-

表 6. 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 6 (2024) 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) (10/1~1/13) 有効日数: 102 日	0 日 (0%)	4 日 (4%)	50 日 (49%)	47 日 (46%)	1 日 (1%)	0 日 (0%)	3 日
別府(兵庫県漁連)	-	-	-	-	-	-	-
牛窓(岡山県) (10/1~1/13) 有効日数: 102 日	0 日 (0%)	0 日 (0%)	72 日 (71%)	30 日 (29%)	0 日 (0%)	0 日 (0%)	3 日
屋島(香川県) (10/1~1/13) 有効日数: 102 日	0 日 (0%)	0 日 (0%)	66 日 (65%)	36 日 (35%)	0 日 (0%)	0 日 (0%)	3 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 7. 7 日前予報値が観測値 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 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	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	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
2024	95.1	—	100.0	100.0

※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 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6(2024)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)	-	-	-	-	-	-	-
佐賀県地先(早津江川)	-	-	-	-	-	-	-
熊本市地先(5基平均) (10/1~1/13) 有効日数:102日	1日 (1%)	3日 (3%)	23日 (23%)	56日 (55%)	19日 (19%)	0日 (0%)	3日
熊本県地先(長洲) (10/1~1/13) 有効日数:102日	0日 (0%)	1日 (1%)	22日 (22%)	52日 (51%)	27日 (26%)	0日 (0%)	3日

熊本県地先では、周年運用を実施しているが、熊本市地先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	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	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	—
2024	—	—	77.5	72.6	—

※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
長井敏, 松嶋良次, 持田和彦

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6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。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、顕微鏡画像を大型スクリーンに投影し、プランクトンの形態や遊泳について詳細に説明することで、受講生が視覚的に理解しやすいよう工夫した。また、配布テキストの充実化を図り、さらにスケッチやクイズを取り入れることにより、受講生が積極的にプランクトンの観察に参加できるよう実習内容を改善した。新テキストについては、役割分担を行い、効率的に進めた。

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6年10月15日（火）～18日（金）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)
松嶋良次²⁾ (横浜庁舎 水産物応用開発部)

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⁾新テキスト作成を担当

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、16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11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。また、今年度は、各県より問い合わせの多い複数種を追加した。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。

今年度も戦略委員会にて、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、カリキュラムを改善した。具体的な改善点や成果は以下の通りである。

-時間割の変更：受講生が効率的に研修を受けられるよう、一部スケジュールを変更するとともに、スケジュール表に講義や実習の実施場所を追加した。

-観察技術向上へ向けた取り組み：顕微鏡画像を大型スクリーンに投影し、プランクトンの形態や遊泳について詳細に説明することで、受講生が視覚的に理解しやすいよう工夫した。また、プランクトンの観察時に、スケッチや試料に含まれるプランクトンの種類を当てるクイズを取り入れることにより、受講生が種同定に必要な観察ポイントを意識し積極的に観察できるよう実習内容を改善した(図1)。

-蛍光顕微鏡観察において、有毒プランクトンの微細な構造の識別を容易にするため、従来の蛍光フィルターを変更するとともに、顕微鏡の映像をリアルタイムに観察しながら詳細な説明を行った(図2)。

-プランクトンの顕微鏡画像・映像をスマートフォンで容易に写真撮影・動画撮影ができるよう各種デバイスを用意し、その取り付け方法や撮影方法及び活用方法を紹介した。

-実習内容の更新：昨年度に追加した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について、受講生によりわかりやすい内容となるよう改善した。

-講義の一部について、デジタル化を進めた。

⑤講義のデジタル資料の作成

今年度は、「有毒プランクトンの生理生態」に関する講義についてデジタル化を進めている。

⑥研修会の新テキストの制作

研修会用の新テキストの作成について、デジタル資料・新テキストの制作委員会を定期的開催し、内容について協議しながら各々の分担する項目について制作を進めている。今年度は、目次、まえがき、*Chattonella* 属について第1稿を完成させた(図3,4)。他の項目についても順次進めている。

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、昨年度に引き続き Forms を活用したウェブ形式で実施した。結果の概要を表4に示した。アンケートの回答は研修会受講の一部であるため、受講者全員から回収した。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、開催日や培養方法など項目の追加を希望する声も寄せられた。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6年 5月28～29日：事業計画検討会(廿日市市：オンライン併用)
- ・令和7年 2月26～27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 (人数)	所 属 機 関	氏 名
岩手 (1)	岩手県水産技術センター 漁場保全部	高木 稔
宮城 (1)	宮城県水産技術総合センター 気仙沼水産試験場	長田 知大
新潟 (1)	新潟県水産海洋研究所 佐渡水産技術センター	小川 雅史
千葉 (1)	千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所	渡邊 晟也
三重 (1)	三重県水産研究所	坂下 奨悟
兵庫 (1)	兵庫県立農林水産技術総合センター 但馬水産技術センター	中村 匠
鳥取 (1)	鳥取県栽培漁業センター 増殖推進室	武坂 亮
徳島 (1)	徳島県農林水産総合技術支援センター 水産研究課	岡本 裕太
愛媛 (1)	愛媛県農林水産研究所 水産研究センター	莖田 峻希
大分 (1)	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	西山 雅人
熊本 (1)	熊本県水産研究センター	阿部 慎一郎

表2. 同定研修会で観察対象としたプランクトン
 1~21：観察必須種，22~31：観察推奨種

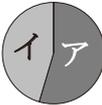
No	分類群	有毒/有害	学名
1	渦鞭毛藻	有毒	<i>Alexandrium catenella</i> (=旧 <i>A. tamarense</i>)
2	渦鞭毛藻	有毒	<i>Alexandrium ostenferdii</i>
3	渦鞭毛藻	有毒	<i>Alexandrium pacificum</i> (=旧 <i>A. catenella</i>)
4	渦鞭毛藻	有毒	<i>Dinophysis acuminata</i>
5	渦鞭毛藻	有毒	<i>Dinophysis caudata</i>
6	渦鞭毛藻	有毒	<i>Dinophysis fortii</i>
7	渦鞭毛藻	有毒	<i>Dinophysis norvegica</i>
8	渦鞭毛藻	有毒	<i>Dinophysis tripos</i>
9	渦鞭毛藻	有毒	<i>Gymnodinium catenatum</i>
10	珪藻	有毒	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.
11	渦鞭毛藻	有害	<i>Alexandrium leei</i>
12	渦鞭毛藻	有害	<i>Cochlodinium polykrikoides</i> (= <i>Margalefidinium polykrikoides</i>)
13	渦鞭毛藻	有害	<i>Cochlodinium</i> sp. type-Kasasa (= <i>Margalefidinium</i> sp. type-Kasasa)
14	渦鞭毛藻	有害	<i>Heterocapsa circularisquama</i>
15	渦鞭毛藻	有害	<i>Karenia mikimotoi</i>
16	渦鞭毛藻	有害	<i>Karenia selliformis</i>
17	ラフィド藻	有害	<i>Chattonella antiqua</i>
18	ラフィド藻	有害	<i>Chattonella marina</i>
19	ラフィド藻	有害	<i>Chattonella ovata</i>
20	ラフィド藻	有害	<i>Heterosigma akashiwo</i>
21	ディクチオカ藻	有害	<i>Pseudochattonella verruculosa</i>
22	渦鞭毛藻	有毒	<i>Alexandrium pseudogoniaulax</i>
23	渦鞭毛藻	有毒	<i>Gambierdiscus scabrosus</i>
24	渦鞭毛藻	有毒	<i>Prorocentrum lima</i>
25	渦鞭毛藻	有毒	<i>Ostreopsis</i> cf. <i>ovata</i>
26	渦鞭毛藻	有害	<i>Akashiwo sanguinea</i>
27	渦鞭毛藻	有害	<i>Gymnodinium impudicum</i>
28	渦鞭毛藻	有害	<i>Prorocentrum minimum</i>
29	渦鞭毛藻	有害	<i>Prorocentrum shikokuense</i>
30	渦鞭毛藻	有害	<i>Prorocentrum triestinum</i>
31	ラフィド藻	有害	<i>Fibrocapsa japonica</i>

表3. 令和6年度有害プランクトン同定研修会時間割と内容

日付		場所	内容(予定)
10/15 (火)	9:15~9:30	公民館2F	受付
	9:30~10:00	会議室	挨拶, 事務連絡, 開講
	10:00~12:00	会議室	《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	児童室	--昼休み--
	13:00~14:00	実習室	《講義》珪藻類の観察や分類 (岡部株式会社 板倉茂)
	14:00~16:45	実習室	〈実習〉プランクトンの観察・同定技術 (有害プランクトン) ・光学顕微鏡で培養株や固定試料を観察
10/16 (水)	9:15	公民館2F	集合
	9:30~10:30	会議室	《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)
	10:30~11:10	会議室	〈実習〉篩作成
	11:10~12:00	実習室	〈実習〉プランクトンの観察・同定技術 (有毒プランクトン) 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	児童室	--昼休み--
	13:00~16:45	実習室	〈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
10/17 (木)	9:15	水技研2F	集合 (水技研2F会議室)
	9:30~11:00	水槽室 ~移動~	〈実習〉現場試料の処理・濃縮法
	11:00~12:00	公民館2F 実習室	〈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	児童室	--昼休み--
	13:00~16:45	実習室	〈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
10/18 (金)	9:05	水技研2F	集合
	9:15~10:15	会議室	《講義》有害・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)

表4. 令和6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：11名（受講者数：11名；100%）

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。	
<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：10名（91%） ● ウ. 完全に習得できた。 回答数：1名（9%） 	
2. 1. でア～ウを選択した理由の記入をお願いいたします。	
<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：10名 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 顕微鏡による観察等は通常業務で行っているの、日頃、疑問に感じている部分を意識しながら実習できたので取得できた部分が多かったように思います。最終日のLAMP法は実際にやったことがなかったので、事前に自分の中で課題設定等ができていませんでした。今後、業務の中で実際に行うことで技術の定着に努めていきたいと思ひます。 ➢ 有害赤潮原因種については、同定能力が身についたが、アレキサンドリウム属の鎧板による形態分類については、非常に難しいので完全に習得はできていない（職場に蛍光顕微鏡がないので、復習も難しい）。最終日に習得したLAMP法に頼ることになるかと思ひます。 ➢ 鳥取県では有毒・赤潮プランクトンはあまりみられないため、今回、水研が用意していただいたサンプルで実際に初めて見た種が多かった。それでも、最終日にはおおむね判別できるようになった。 ➢ 生きた株をたくさん見せていただき、泳ぎ方まで把握できたため、検鏡での種同定できる種に関しては技術の習得が出来ました。アレキサンドリウム属の形態分類については、初めての経験だったため、知識として理解はできましたが、習得までは至っていません。 ➢ 技術の習得には、研修後の経験も必要と思われるので、この選択としました。 ➢ ほとんど検鏡の経験が無かったが、ある程度の種判別ができるようになったため。 ➢ 実際に現場で行ってきた技術の再確認ができたことに加え、LAMP法や培養について教えていただき実践しようと思ったためです。 ➢ 答えが分かっている状態で標本を観察することで、非常によく似た種の見分け方を学ぶことができた。また、先入観から難しそうだと感じていたLAMP法の手順や原理を学び、その簡便さについて理解することができた。 ➢ 形態観察などを現場での作業に活かすことができたため。 ➢ 一朝一夕には、習得は難しいと感じました。経験を積み重ねる必要があると思ひました。 ● 「ウ. 完全に習得できた。」を選択した理由。 回答数：1名 <ul style="list-style-type: none"> ➢ 今回の研修会で習得した同定技術を、現場での実務に十分生かせることができると思ひう。 	
3. 研修会の日数について選択をお願いいたします。	
<ul style="list-style-type: none"> ● ア. 現行で適当。 回答数：11名（100%） ● イ. もう少し短く。 回答数：0名（0%） ● ウ. もう少し長く。 回答数：0名（0%） 	

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： 0名
● 「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： 0名
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： 6名 (55%)
● イ. 別の時期が良い。	回答数： 5名 (45%)
	
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： 5名
<ul style="list-style-type: none"> ➢ 6～7月頃。鳥取県では赤潮の検鏡業務が7月ごろから始まるため、それ以前の開催だと実務での参考にできる。 ➢ 準備や委託契約の関係で難しいとは思いますが、新任の方向けには6月までに開催できると良いかもしれません。 ➢ 今回においては、水産業普及指導員の試験に係る事前課題の提出時期の重なっていたためです。例年、若手職員の参加が多いのであれば、1ヶ月程度後（11月）の方が余裕を持って研修を受けられることと推察いたします。 ➢ 6～7月モニタリング調査の期間が7～10月のため、それ以前に技術を習得できると現場作業に活かすことができるため。 ➢ 10月は底質調査の採泥時期と重なるので11月頃の開催だと助かります。 	
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。	
● プラクトンの分類等に関する講義は、体系立てた説明で理解が深まりました。LAMP法等の分子同定の解説は、実際に分析に携わったことがないため、言葉の意味そのものが理解できていない部分もありました。ただし、正確に操作をすればきれいで正確な結果が出ることは理解できたので、今後の業務に生かしていきたいと思います。	
● 先に講義をすることで、実際に観察したときに比較しやすかったです。学生の頃にプランクトンの授業がなかったので、非常に新鮮でした。	
● 初日に基礎的な導入があったので、その後の理解がし易かった。	
● 講義の内容には非常に満足しています。強いて挙げるとすれば、近年のプランクトンに関する研究など同定とは関係ないかもしれませんが、簡単に触れていただけると有り難かったかなと思いました。	
● 普段、このような講義を、まとまった時間で聞く機会がないので、勉強になりました。	
● 有害プランクトンの知識が無い初心者にも分かりやすい説明だったため、とても理解しやすかった。	
● 有害プランクトンの種ごとの細かな特徴などを知ることができたので、実習での観察と合わせて、有害プランクトンの同定技術の向上に大いに役立った。	
● 特にありません。非常に勉強になりました。ありがとうございました。	
● 行政への異動などで試験研究やプランクトンの知識や情報から遠ざかっていたこともあり、新しい知識を学ことができたので、十分な内容でした。	
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。	

- 約 30 種類の生きた状態のプランクトンを観察できた経験は非常に良かったです。形態は図鑑等で、絵合わせでなんとかわかりますが、実際の遊泳している姿は生きた状態でないと確認できないので非常に有益な研修内容でした。最終日の LAMP 法等の分子同定実習が少し苦戦しました。ただ、実際にチューブによる細胞採取等はやったことがなかったので、経験できてよかったです。分子同定技術をきちんと取得できれば、より仕事の幅が広がるように思いましたので、今後の業務に生かしていきたいです。
- 動画で見るより、実物を見ることで同定能力が非常に向上したと思います。個人的にはコクロディニウムと似た種である *Gyrodinium impudicum* を観察することができたのが、今回の研修で最も良かったです。今年度の検鏡結果に自信を持つことができました。
- 実際の生サンプルを見る時間を長く頂いて良かった。準備は大変かもしれませんが、今後も同じように生サンプルがあれば、研修会参加者にとって非常に参考になると思います。
- 生きた株を検鏡でき、泳ぎ方まで把握できたのはとても良い実習でした。プランクトン培養の基礎など実習（または講義）があれば、なお良かったかなと思いました。
- 今回、濃縮検鏡サンプルにシャットネラ培養株を加えたもので実習しましたが、コクロディニウムやカレニア、混合等での実習もあるとよいかもかもしれません。
- LAMP 法の仕組みや作業方法が詳しく理解することができた。
- 単離培養された有害種を観察することができたのが、非常に良かった。これまでは、現場で有害種を確認しても、図鑑と見比べながら、なんとなく同定していたが、今回の研修で、種名が確実に判明しているものを観察することができたので、同定技術の向上に大いに役立った。
- 特にありません。有毒および有害プランクトンの実際に生きた細胞を顕微鏡観察でき、とても貴重な経験でした。ありがとうございました。
- 顕鏡の時間が多く様々な有害プランクトンを見ることができて良かったですが、蛍光染色法やシストの検鏡法などが合間に入ってくるよりも、それぞれの時間を設けて実習をしていただけたらと感じました。

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。

- 本研修は、通常の業務にすぐにでも役立つ内容ばかりで、参加させていただき本当に助かりました。講師の方を含め、当日はもとより事前準備が大変だったと思います。大変ありがとうございました。
- 研修の準備段階から大変お世話になりました。今後ともよろしく願いいたします。
- 新しくプランクトンのモニタリング担当となった都道府県職員にとっては、今回の研修会はなくはないものだと思います。ぜひとも、今後とも続けてほしいです。



図1. 研修会のようす（プランクトン種類当てクイズ）



図2. 研修会のようす（蛍光顕微鏡観察）

		内容
有害有毒プランクトン観察手法と分類・計数法		まえがき
I	概論	大まかな流れ（採水→固定・輸送・保存→検鏡・分析）
	1 採水	適切な採水条件、採水器、採水瓶、一時保存法など
	2 輸送・保存？	輸送方法、輸送上の注意、保存法??
	3 固定法	アルデヒド系固定、片野固定液、無固定の推奨など
	4 運動停止法	シェイク、塩化ニッケル
	5 濃縮法	ふるいをういた濃縮法、ふるいの作り方
	6 検鏡（光学顕微鏡）	光学顕微鏡の説明、光学顕微鏡の基本操作、メンテナンス
	7 検鏡（蛍光顕微鏡）	蛍光顕微鏡の説明、蛍光顕微鏡の基本操作、メンテナンス
	8 蛍光染色法	DAPI、カルコフロール
	9 計数	界線入り計数板、希釈、詳しい分類→割合算出
	10 写真撮影・サイズ計測法	写真撮影、対物マイクロメータ、ImageJを使った方法
	11 動画撮影	動画撮影のながれ、注意すべきポイント
	12 分子同定法	サンプル処理（ isolate動画リンク含む 、キャピラリーの作り方も?）（→培養）→LAMP法の手順、プライマーリスト
		サンプル処理→qPCR法の手順、プライマーリスト
II	生物種ごとの同定法	形態的特徴に基づく大まかなカテゴライズ
	1 ラフィド藻	形態的特徴に基づく大まかなカテゴライズ
	1 <i>Chattonella</i>	3亜種、光学顕微鏡下における特徴（着眼点）、 シスト や異常細胞の形態的特徴、類似種（ベルキュローサ、グロボサス、底生性珪藻）との差異、計数法
	2 <i>Heterosigma akashiwo</i>	光学顕微鏡下における特徴（着眼点）、計数法
	2 無殻渦鞭毛藻	形態的特徴に基づく大まかなカテゴライズ
	1 <i>Karenia mikimotoi</i>	光学顕微鏡下における特徴（着眼点）、固定法
	2 <i>Karenia selliformis</i>	光学顕微鏡下における特徴、固定法、DAPIを用いた核位置による同定法
	3 <i>Margalefidinium</i>	有害種（polykrichooides、笠沙型）の光学顕微鏡下における特徴、他の無害種との差異
	4 <i>Gymnodinium catenatum</i>	有害種（polykrichooides、笠沙型）の光学顕微鏡下における特徴、他の連鎖種（ <i>Margalefidinium</i> ）との差異
	3 有殻渦鞭毛藻	形態的特徴に基づく大まかなカテゴライズ
	1 <i>Alexandrium</i> 属	蛍光顕微鏡+カルコフロールを用いた分類、分かりやすいスキーム図が欲しい、 分子同定
	2 <i>Heterocapsa circularisquama</i>	光学顕微鏡下における特徴（着眼点）、遊泳の特徴（ 動画リンクをはる ）、LAMP
	3 <i>Dinophysis</i>	光学顕微鏡下における特徴（着眼点）、LAMP
	4 珪藻	形態的特徴に基づく大まかなカテゴライズ
	1 <i>Skeletonema</i>	光学顕微鏡下における特徴
	2 <i>Chaetoceros</i>	光学顕微鏡下における特徴
	3 <i>Thalassiosira</i>	光学顕微鏡下における特徴
	4 <i>Asteroplanus karianus</i>	光学顕微鏡下における特徴

図3. 新テキスト目次

Chattonella marina complex (シャットネラ)



【分類群】ラフト藻
【細胞長】35~130 μm
【形態的特徴】

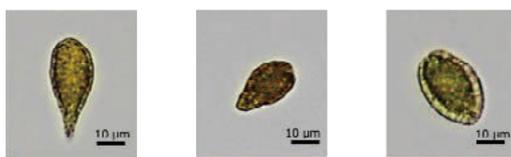
- ・黄褐色で遊泳性の単細胞生物
- ・回転しながら遊泳
- ・細胞前端的くぼみから2本の鞭毛が伸びている
- ・変種や環境条件等によって細胞の大きさや形状が異なる

国内では、3変種から構成される *Chattonella marina* complex をシャットネラと呼び、ラフト藻に属します。細胞の大きさは35~130 μm と大きなバリエーションがあり、変種や環境条件などによって異なります。細胞は黄褐色で、鞭毛を使って回転しながら遊泳します。鞭毛は細胞前端的くぼみから、進行方向に向かって伸びる前鞭毛と細胞表面に沿うようにして後部へと伸びる後鞭毛の2本が伸びています。

-1-

シャットネラの3変種

分類指標として用いられる遺伝子では3変種を区別できない
→独立した3種としては認定されていない



シャットネラ・アンティーク <i>Chattonella marina</i> var. <i>antiqua</i>	シャットネラ・マリナ <i>Chattonella marina</i> var. <i>marina</i>	シャットネラ・オバータ <i>Chattonella marina</i> var. <i>ovata</i>
体長：50~130 μm 体幅：30~50 μm 形態的特徴：後端がとがる	体長：35~70 μm 体幅：20~30 μm 形態的特徴：比較的小型	体長：50~70 μm 体幅：30~45 μm 形態的特徴：縁辺部の色が薄い

国内に、シャットネラ・アンティーク、シャットネラ・マリナ、シャットネラ・オバータの3変種が存在することが知られています。
3変種は形態的に異なりますが、一般的な分類指標として用いられる遺伝子（18SrRNA遺伝子など）では識別できず、一種として取り扱われています。

-2-

図4. 新テキスト抜粋 (II-1 *Chattonella* 属)