

表5 *H. circularisquama* 発生状況と貧酸素水塊形成時期との関係

ピーク時の 細胞密度	最高細胞密度 の時期	初認日	貧酸素水塊 形成開始時期
高密度	夏季	早い	遅い
低密度	秋季	遅い	早い

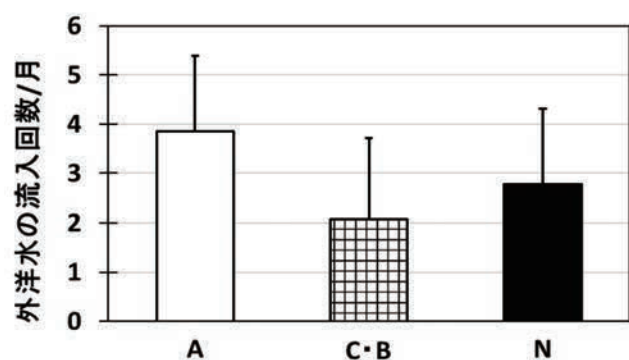


図21 黒潮流路別の英虞湾への外洋水流入回数（タコノボリにおける2003年10月～2007年9月および2020年3月～12月の水温・塩分観測結果から算出した1か月平均値）

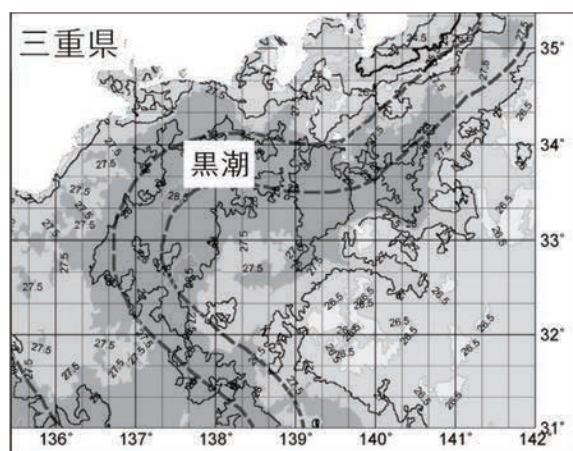


図22 黒潮大蛇行（A型流路）の例（2022年7月25日 関東・東海海況速報から）

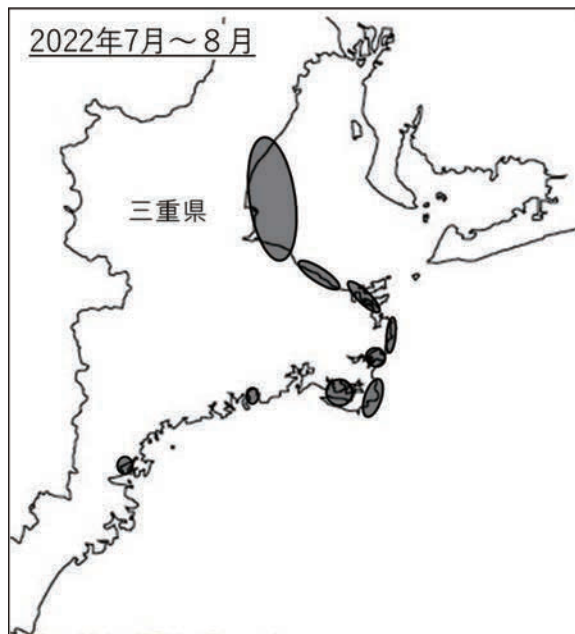


図 23 2022 年の三重県沿岸における *K. mikimotoi* 赤潮発生海域

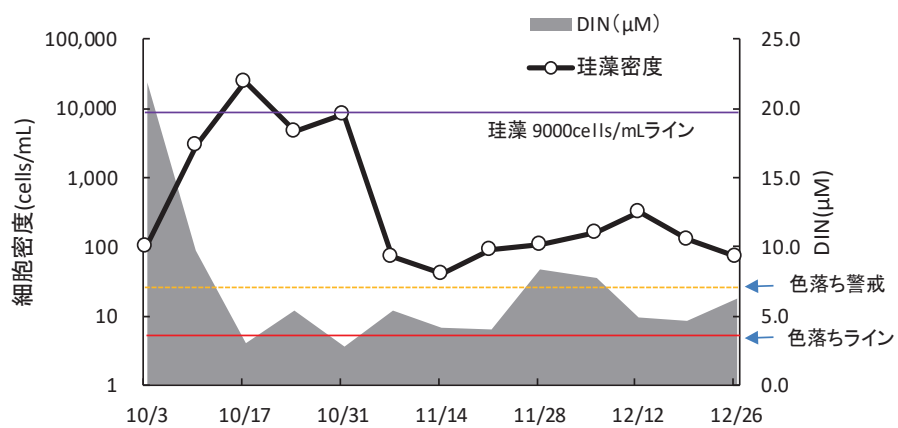


図 24 伊勢湾の三重県側漁場における珧藻密度と DIN 濃度の推移 (鈴鹿地先, 2018 年)

表 6 2018～2022 年度の *E. zodiacus* 赤潮による被害発生予測と結果

年度	【条件】			【検証】	
	A.気温(高)	B.水温(高)	C.珪藻(少)	予測	結果
2018	○	○	×	—	—
2019	○	○	○	●	●
2020	○	×	×	—	—
2021	○	×	×	—	△
2022	○	○	×	—	—

A:11 月の南知多町平均気温 B:11 月の 2 号ブイ底層水温平均

C:12 月の *Skeletonema* spp. と *Chaetoceros* spp. 細胞密度の合計(cells/mL)

【条件】 ○：該当 ×：非該当

【検証】 ●：赤潮発生，色落ち被害あり △：赤潮発生，被害なし —：発生なし

表 7 異なる溶存酸素濃度下における有害藻類主要種等の増殖試験結果

プランクトン	培養/天然	溶存酸素濃度 (mg/L)				
		0	2	4	6	通常濃度
<i>H. circularisquama</i>	培養株	+	++	++	+	+
<i>Chattonella</i> spp.		—	++	++	++	++
<i>H. akashiwo</i>		—	++	++	++	++
<i>K. mikimotoi</i>		—	×	×	×	++
<i>C. polykrikoides</i>		—	—	×	+	++
<i>H. circularisquama</i>	天然赤潮海水・ 底質	—	++	++	+	+
<i>K. mikimotoi</i>		—	×	×	×	++
珪藻類		—	—	×	—	++

×；死滅，＋；生残又はわずかに増殖，++；良く増殖，—；実験無し

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

エ. 日本海西部海域

島根県水産技術センター内水面浅海部
清川智之
島根県水産技術センター漁業生産部
谷口祐介
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
鈴木雅巳
鳥取県栽培漁業センター
福本一彦
鳥取県水産試験場
前田啓助
山口県水産研究センター外海研究部
柿並宏明, 白木信彦
水産研究・教育機構水産技術研究所
鬼塚 剛, 坂本節子

1 全体計画

2000年代以降, 日本海西部海域では有害赤潮プランクトン *Cochlodinium polykrikoides* による赤潮がたびたび発生しており, 本種による赤潮は魚類に加えて貝類などの磯根資源にも被害が及ぶため, その発生状況の監視と予察の精度向上が求められている。対馬暖流上流部に位置する中国や韓国沿岸では, 1990年代以降, *C. polykrikoides* を含む有害渦鞭毛藻による赤潮が頻発しており, 今後もそれら有害赤潮の山陰沿岸への漂着や将来的には新奇有害赤潮種の定着が懸念される。2015年には北海道函館湾で *Karenia mikimotoi* による漁業被害を伴う赤潮が発生し, この由来として対馬暖流上流域が推察されるなど, 我が国沿岸域における有害赤潮プランクトンの広域化も懸念されている。このような赤潮による漁業被害を軽減するために, 赤潮発生海域を網羅した広域連携調査を実施する必要がある。

本課題では, 日本海西部海域において各機関が連携して広範な海域を調査し, 有害赤潮プランクトンの発生状況および海洋環境を監視するとともに, 衛星データや数値モデル等を用いた解析を組み合わせることによって, 当該海域における有害赤潮発生シナリオの検証および赤潮発生予察の高精度化を進め, 漁業被害軽減に資することを目的とする。

2 令和4年度計画および結果

(1) 目的

「全体計画と同じ」

(2) 方法

1) 海洋観測調査・サンプル分析・当該年度調査結果の解析および考察, 分子同定技術の効率化

C. polykrikoides および *Karenia* 属等の有害赤潮が発生する主に7月から9月まで, 共同提案機関がそれぞれに有する調査船(または傭船), 陸上からの採水調査等により, 広域的な海洋調査を実施した。図1-1および図1-2に示す海域にそれぞれ計20点程度の調査定点を配置し, 主に7月から9月までに, 沖合調査定点では計8回程度, そして沿岸調査定点では, 計30回程度, 海洋環境(水温, 塩分, 水色, 透明度等)および有害赤潮プランクトン細胞密度等のモニタリング調査を実施した。プランクトン細胞密度は, フィルター(Whatman Track-Etch Nucleopore Membrane φ47 mm 以上 孔径3 μm)を使用して1 Lの海水を10 mlに濃縮し, 濃縮サンプルを1 mlずつ3回以上, もしくは3 ml以下に濃縮した場合は全量を検鏡した。また,

有害赤潮の発生状況に応じて、臨時調査を実施した。

日本海西部海域におけるモニタリングの高度化として、①調査点を沖合の広範囲に設定しているため低密度な場合や生海水での検鏡の際にコンディションが劣化した細胞があった場合への対応、②形態のよく似た類似種との判別が難しい場合への対応のため、検鏡による確認の補完として迅速かつ正確な種判別を行うために分子生物学的手法 (LAMP 法) を導入し、モニタリング精度の向上を図った。検鏡に比べてより高い精度で対象プランクトンの有無を検出することで、日本海西部海域における有害プランクトンの広域化の実態をより詳細に把握した。

検鏡による形態的な特徴と LAMP 法の結果が一致しない事例については、*C. polykrikoides* には異なるリボタイプが存在するが (対馬暖流上流部の韓国や長崎県沿岸ではフィリピンタイプや笠沙型と呼ばれるリボタイプが出現)、グループ内で検討した結果、現在行っている LAMP 法 (東アジアタイプのみを検出) で陽性であったもののみを *C. polykrikoides* とし、陽性でなかったものについては *Cochlodinium* sp. と判断することとした。

2) 衛星データや数値モデル等を用いた解析による発生シナリオの検証と予察技術の高度化

対馬暖流上流域である韓国沿岸域や九州北部海域における有害赤潮発生情報 (韓国水産科学院赤潮情報 <http://www.nifs.go.kr/redtideInfo>, 赤潮ネット <https://akashiwo.jp>, 各県赤潮情報等), 対馬海峡での風向・風速 (気象庁メソ数値モデル GPV-MSM), 日本海西部海域の水温分布 (日本海漁場海況速報 <http://jsnfri.fra.affrc.go.jp/Physical/sokuho.html>), 衛星画像によるクロロフィル 高濃度水塊 (Aqua/MODIS: https://www.eorc.jaxa.jp/cgi-bin/adeos/modis_index.cgi, GCOM-C/SGLI: https://www.eorc.jaxa.jp/JASMES/SGLI_NRT/index_j.html) の監視, 水産研究・教育機構で開発・運用されている改良版我が国周辺の海況予測システム (FRA-ROMS II) の流動場を用いた赤潮輸送シミュレーション等から、日本海西部海域における有害赤潮分布を推定し、山陰沿岸への赤潮到達可能性を検討した。また、1) で取得したデータや上記解析データをもとに赤潮発生シナリオの検証と予察技術の高度化を行った。

(3) 結果および考察

1) 漁場モニタリング調査

本海域では、*C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* を主要対象種とした。今年度の検鏡結果は、*K. mikimotoi* が高密度で確認されたが、*C. polykrikoides* は低密度でのみ確認された。また、その他有害種として、*Cochlodinium fulvescens*, *Cochlodinium* sp., *Alexandrium* sp., *Dinophysis fortii*, *D. acuminata*, *D. mitra*, *D. caudata*, *Noctiluca scintillans*, および *Akashiwo sanguinea* が低密度で確認された。

① 沖合調査

ア) 主要対象種

C. polykrikoides, *K. mikimotoi* とも確認されなかった。

イ) その他有害種 (図 2-1)

兵庫県沖合で、8 月 5 日に *Dinophysis acuminata* が 0.001 cells/ml (St. H3 20 m), 0.01 cells/ml (St. H4 20 m), *Dinophysis mitra* が 0.001 cells/ml (St. H3 20 m), 0.002 cells/ml (St. H4 0 m), *Alexandrium* sp. (*A. fraterculus* 様) が 0.023 cells/ml (St. H1 0 m), *Cochlodinium fulvescens* が 0.002 cells/ml (St. H5 20 m) 確認された。また、8 月 30・31 日に *Dinophysis caudata* が 0.002 cells/ml (St. H1 20 m), 0.002 cells/ml (St. H3 0 m), *Alexandrium* sp. (*A. fraterculus* 様) が 0.046 cells/ml (St. H1 0 m), 0.040 cells/ml (St. H1 20 m), 0.018 cells/ml (St. H3 20 m), 0.019 cells/ml (St. H4 20 m), 0.042 cells/ml (St. H5 0 m), 0.003 cells/ml (St. H6 0 m) 確認された。

② 沿岸調査

ア) 主要対象種

C. polykrikoides は、兵庫県沿岸で 9 月 5 日に 0.008 cells/ml, 9 月 12 日に 0.002 cells/ml, 9

月 16 日に 0.002 cells/ml (いずれも St. HS 0 m), 鳥取県沿岸で 7 月 28 日に 0.24 cells/ml (St. T7 0 m) 確認された。*K. mikimotoi* については、本調査では確認されなかった。

イ) その他有害種 (図 2-2)

島根県沿岸で、7 月 6 日に *N. scintillans* が 0.02 cells/ml (St. S1 0 m), 0.003 cells/ml (St. S1 5 m), 0.013 cells/ml (St. S2 0 m), 0.007 cells/ml (St. S2 5m), 0.087 cells/ml (St. S3 0 m), 0.023 cells/ml (St. S3 2m), 0.067 cells/ml (St. S6 0 m), 0.043 cells/ml (St. S6 5 m), *Akashiwo sanguinea* が 0.033 cells/ml (St. S1 0 m), 0.013 cells/ml (St. S1 9m), *Dinophysis mitra* が 0.013 cells/ml (St. S2 5 m), 0.003 cells/ml (St. S6 0m), 0.003 cells/ml (St. S6 5 m) 確認された。

③臨時調査 (図 2-2)

9 月 5 日に兵庫県柴山湾で *C. polykrikoides* が低密度ながら検鏡で確認されたため、St. HS (0 m) において検鏡を行った (9 月 12・16・28 日, 10 月 3・31 日, 11 月 28 日の計 6 回)。その結果, ア) で示したとおり, 9 月 12 日に 0.002 cells/ml, 9 月 16 日に 0.002 cells/ml 確認された。また 9 月 2 日に島根県隠岐の島町西郷湾で着色域が確認されたため検鏡を行ったところ, *K. mikimotoi* が 1,300 cells/ml (西郷湾 (島根県合同庁舎前)) 確認された。そのため, 近隣県である兵庫県 (St. HS 0 m, 9 月 12・16・28 日, 10 月 3・31 日, 11 月 28 日の計 6 回), 鳥取県 (St.T8 と St.T9 の 2 定点, 9 月 7 日の 1 回), 島根県 (S1 および西郷湾 (島根県合同庁舎前)) の 2 定点, 9 月 7・15 日の 2 回) において臨時調査を行った。その結果, 西郷湾 (島根県合同庁舎前) で 9 月 7 日に実施した調査において 8 cells/ml 確認したものの, それ以外では確認されなかった。

2) LAMP 法を併用したモニタリング体制の高度化

今年度, 各県で実施した *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* の検鏡結果と LAMP 法による検出結果の比較を表 1 に示す。

C. polykrikoides については, 検鏡で確認された兵庫県の 3 サンプルと鳥取県の 1 サンプルはいずれも LAMP 法で陽性を示した。一方, 検鏡で確認されなかった兵庫県の 8 サンプル, 鳥取県の 4 サンプル, および島根県の 2 サンプルで陽性を示した。なお兵庫県のサンプルのうち, 蛍光目視により採水後数日以内に陽性と判定した 2 サンプルが, 後日行った濁度計による判定では陰性となり, また採水後数日以内に陰性と判定した 1 サンプルでは, 後日行った濁度計による判定において陽性となった。これら 3 サンプルについては再度分析を行ったところ, 濁度計による結果と同じだったため, 濁度計で得られた結果を採用した。

K. mikimotoi については, 海水に着色がみられた島根県 (西郷湾) の臨時調査において, *K. mikimotoi* が確認された 9 月 2・7 日の 2 回の調査で陽性を示したが, *K. mikimotoi* が確認されなかった 9 月 15 日の調査は陰性であった。定期調査については検鏡では全く確認されなかったが, 兵庫県の 2 サンプル, 鳥取県の 3 サンプル, および島根県の 3 サンプルで陽性を示した。

C. polykrikoides または *K. mikimotoi* が検鏡で確認されなかったサンプルが, LAMP 法で陽性を示した理由については, 海水を濃縮して検鏡するため, 汚れや珪藻類等に紛れたこと, 極めて低密度で当該種が存在していたため, 検鏡したサンプルには含まれなかったこと, 細胞のコンディションが劣化し, 外部形態が変化してしまい当該種と判定されなかったこと等が考えられるが, 現時点において明らかにすることはできなかった。しかしながら本調査により, 極めて低密度ながら, *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* が赤潮の発生がない時であっても広範囲に分布することが明らかとなった。

なお令和 3 年度からは, LAMP 法の実施時期を, 広域での赤潮発生を想定して採水検鏡後の翌日から遅くとも約 2 週間以内には検査を行っている。このことにより早い時点で結果を共有することができ, より迅速な検査体制が構築され, モニタリング体制の高度化に繋げることが可能となった。

3) *Karenia mikimotoi* の底泥中シスト（あるいは一時休眠細胞）の存在確認の試み

日本海西部海域では、これまでの調査において *K. mikimotoi* が頻繁に確認されている。また近年、本種がシストを形成することが中国の研究グループにより報告された。昨年度の結果検討会の質疑において、本種赤潮発生要因解明の一助として、本種などの底泥シスト、あるいは一時休眠シストを DNA 分析での確認の必要性が示された。そのため過去に本種が確認されている柴山湾（兵庫県）、および油谷湾（山口県）において 3～4 月に採泥を行い、泥から DNA を抽出（合計 7 サンプル）、定量 PCR または LAMP 法を用いて検出の可能性を検討した。その結果、泥からは *K. mikimotoi* や *C. polykrikoides* は検出されなかった。分析方法については検討の余地はあるものの、サンプルはすべて増幅していなかったことから、両種は存在していなかったと判断された。泥からの検出に関しては、赤潮が頻繁に発生している九州でも検出されておらず、現時点においてその存在を確認するのは難しいと思われた。

4) 赤潮発生シナリオの検証と予察技術の高度化

本海域では、これまでに得られた成果から、*C. polykrikoides* 赤潮が山陰沿岸域や隠岐諸島周辺海域で出現する条件として、①韓国沿岸域で大規模な赤潮が発生すること、②南西風により韓国沿岸域から *C. polykrikoides* の赤潮水塊が沖合域へ輸送されること、③対馬暖流沖合分枝が接岸傾向であること、この 3 つの条件が全て揃う必要があることが示されている（Onitsuka et al. 2010）。このシナリオをもとに、図 3 に示すように、Ⅰ．長期予測（～1 ヶ月程度）：7 月以降の韓国沿岸域での *C. polykrikoides* の発生状況とその際の風向風速（特に南西寄りの風）の監視、Ⅱ．中期予察（～1 週間程度）：対馬暖流流路の検討、衛星画像によるクロロフィル高濃度域の時空間変動の監視と赤潮輸送シミュレーションによる赤潮の到達可能性の検討、Ⅲ．短期予察（～数日程度）：調査船等による現場調査（赤潮プランクトン細胞密度等）、衛星画像によるクロロフィル高濃度域の監視、山陰周辺海域の気象・海象条件の検討、という 3 段階の赤潮監視・予察を行っている（宮原ら 2011）。また、韓国沿岸域と同様に対馬暖流の上流部にあたる九州北部沿岸域での有害赤潮発生状況等の監視も実施している。今年度も上記の手順に従って赤潮の監視・予察を行うとともに、発生シナリオの検証と予察精度の向上について検討した。

ア) 対馬暖流上流部における有害赤潮の発生状況

今年度は韓国南部沿岸域で 8 月下旬から 9 月下旬に *C. polykrikoides* が確認された（図 4）。最高細胞密度は 9 月 7 日に全羅南道で観測された 8,500 cells/ml だったものの、細胞密度が 5,000 cells/ml を超えたのは 2 日間のみで、発生海域も局所的であった。また、九州北部海域では伊万里湾や唐津湾などで 7 月から 9 月にかけて *K. mikimotoi* が数千 cells/ml 以上の高密度で確認されていた。

イ) 対馬海峡部における風向・風速

8 月から 9 月にかけての対馬海峡における海上風ベクトルの時系列を図 5 に示す。韓国南部沿岸域で *C. polykrikoides* が確認された 8 月下旬以降は対馬海峡では北東風が連吹していた。

ウ) 対馬暖流の流路

9 月上旬の 50 m 深水温分布によると、隠岐諸島の東側に冷水域があるため水温フロントは隠岐諸島の東側で沿岸寄りに位置しており（図 6）、水温フロント位置から想定される対馬暖流の沖合分枝の流路は赤潮発生年だった 2003 年や 2005 年と同様に接岸傾向であったと推察された。

エ) 衛星画像によるクロロフィル高濃度域

韓国南部沿岸域で *C. polykrikoides* が確認された 8 月下旬から 9 月下旬に同海域でクロロフィル高濃度域が分布していたが、*C. polykrikoides* 赤潮の発生は局所的だったことから珪藻等の無害種であったと推察される。

オ) 赤潮輸送シミュレーションと赤潮到達リスクの可視化

韓国南部沿岸域で *C. polykrikoides* が確認された 8 月上中旬に全羅南道麗水市沖を始点とす

る赤潮輸送シミュレーションを実施した。方法は Onitsuka et al. (2010) と同様の粒子追跡計算で、流動場は昨年度まで利用していた拡張版日本海海況予測システム (JADE2) に代わって、FRA-ROMS II の流動場再解析値 (日平均値) を用いた。計算では *C. polykrikoides* の日周鉛直移動を考慮し (Park et al. 2001), 赤潮を模した粒子の分布深度を昼間 (06:00-18:00) と夜間 (18:00-06:00) でそれぞれ 1 m 深と 20 m 深に変化させ、一日ごとに 400 個の粒子を投入した。計算結果は粒子軌跡を可視化するとともに、平成 31 年度に予察技術高度化として検討した赤潮発生リスク (旬毎) の可視化 (鈴木ら 2020) も行った。なお、赤潮発生リスクの可視化にあたっては粒子投入時の細胞密度として、韓国南部沿岸域では 8 月 26 日から 9 月 28 日までの最高細胞密度を設定し、1 ヶ月で細胞密度が約 20% に減衰する程度の減衰率 (0.05 day⁻¹) を与えた。図 7 に計算結果を示す。投入された粒子の大部分が韓国南部沿岸域に留まるか韓国東岸を北上し、隠岐諸島や山陰沿岸への到達リスクは低いとの結果が得られた。

一方、島根県隠岐の島町西郷湾では 9 月 2 日に *K. mikimotoi* が高密度で観測された (最高細胞密度 1,200 cells/ml)。対馬暖流上流域では 7 月下旬から 9 月上旬にかけて本種赤潮が発生しており (図 8), この個体群の一部が輸送された可能性が考えられた。そこで、隠岐の島の南側海域を始点として時間を遡って粒子追跡計算を行う赤潮輸送シミュレーション (粒子逆追跡計算) も実施した。図 9 に 9 月 2 日に投入した粒子の軌跡を示す。多くの粒子が 8 月上旬にかけて対馬暖流上流域にあたる九州北部海域に向けて南西方向に輸送され、一部は伊万里湾沖に達していたことから、西郷湾で確認された *K. mikimotoi* が九州北部海域から輸送された個体群由来の可能性を示す結果となった。

カ) まとめ

C. polykrikoides 赤潮が山陰沿岸域や隠岐諸島周辺海域で出現する 3 つの条件を検証した。まず、条件①の韓国南部沿岸域では *C. polykrikoides* が確認されたものの、局所的な発生に留まっており、大規模には至らなかった (図 4)。次に条件②について、韓国南部沿岸で *C. polykrikoides* が確認された 8 月下旬から 9 月下旬に対馬海峡部では北東風が連吹していた (図 5)。また、条件③について、9 月上旬の対馬暖流の沖合分枝の流路は接岸傾向であったと推察された (図 6)。以上のように、今年度は 3 つの条件のうち条件①②を満たしておらず、*C. polykrikoides* が韓国南部沿岸域から隠岐諸島や山陰沿岸域へ輸送される可能性は低かったと考えられた。図 7 の韓国全羅南道麗水市沖を始点とした赤潮輸送シミュレーション結果やモニタリング調査で得られたサンプルの顕微鏡観察や LAMP 法でも上記を裏付けており、今年度の結果はこれまで構築してきた *C. polykrikoides* 赤潮発生シナリオを支持する結果となった。

また、図 9 の西郷湾で発生した *K. mikimotoi* 赤潮を対象としたケースでは、多くの粒子が 8 月上旬にかけて対馬暖流上流域に輸送され、九州北部海域から輸送された個体群由来の可能性を示す結果となった。九州北部海域ではほぼ毎年本種赤潮が発生していることから、山陰沿岸域への輸送には今後も注意が必要である。ただし、伊万里湾などの九州北部沿岸域における湾外への流出条件や輸送途中での沖合域での個体群維持プロセスなど不明な点も多く、山陰沿岸域における本種赤潮発生シナリオ構築は今後の課題である。

5) 過去の有害赤潮発生状況の整理と潜在的な赤潮到達リスクの評価

今年度は本事業最終年度ということで、今後の調査時期・海域を検討する際の参考のため、過去の有害赤潮発生状況の整理と潜在的な赤潮到達リスクの評価も行った。図 10 は 2002 年以降の韓国沿岸域と山陰沿岸域 (ここでは兵庫・鳥取・島根・山口の 4 県の日本海側沿岸域を対象とし、島根県の隠岐諸島も含む。) での *C. polykrikoides* 赤潮発生状況である。本種赤潮は、山陰沿岸域では 2002 年 9 月に鳥取県で初めて確認されて以降、散発的に発生が報告されている。発生時期は 8 月下旬から 10 月上旬、発生期間は数日程度から約 1 ヶ月である。一方、韓国沿岸域ではほぼ毎年長期にわたって発生しており、主な発生時期は山陰沿岸域での発生と同時期もしくは先行する 8 月から 9 月である。赤潮輸送シミュレーション解析によると、本種赤潮は対馬暖流によって日本海西部海域を輸送され、韓国沿岸域から約 2 週間~1 ヶ月

で山陰沿岸域に到達することが示されている (Onitsuka et al. 2010)。図 11 は *C. polykrikoides* 赤潮が頻発している韓国南部沿岸域に 8 月 1~31 日の 1 ヶ月間毎日粒子を投入して、FRA-ROMS II の流動場再解析値 (日平均値) を用いて粒子追跡シミュレーションを行い、9 月 1~30 日の粒子数を緯度経度 0.5 度ごとに可視化した結果である。平均的には韓国沿岸から離れるほど粒子数は少なくなるが、年によって大きな違いがあり、対馬暖流によって隠岐諸島や山陰沿岸に多くの粒子が到達するケースもあった。この計算結果は韓国南部沿岸域からの潜在的な赤潮到達リスクと考えられ、今後の調査点設定見直しの参考資料となった。

3 5か年のまとめ

近年、日本海西部海域では有害赤潮プランクトン *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* による漁業被害が発生し、これら赤潮の発生状況の監視と予察が求められている。日本海西部海域での被害を未然に防止、軽減するため、その発生状況や海洋環境を監視する有害赤潮広域モニタリングを実施し、分子同定法 LAMP 法の導入によるモニタリング体制の高度化を図った。また、日本海西部海域における有害赤潮発生シナリオの構築および検証を行い、赤潮発生シナリオの確立と精度向上を図った。

1) 有害赤潮モニタリング

日本海西部海域では有害赤潮広域モニタリングを実施するため、各機関が連携体制を組み調査を行った。また有害赤潮種が確認された時には各機関内で情報共有を行い、必要に応じて注意喚起や臨時調査を行った。2018~2022 年の 5 年間のうち、*C. polykrikoides* 赤潮の発生はみられなかったが、*K. mikimotoi* 赤潮については、2021 年 8 月に山口県 (油谷湾, 最高細胞密度 3,480 cells/ml) で、2022 年 9 月に島根県 (西郷湾, 最高細胞密度 1,300cells/ml) において確認された。また 2019 年には、*Karenia digitata* による赤潮が山口県長門市で発生し、4 月 19 日には最高細胞密度 12,000cells/ml に達した。また赤潮にはならなかったものの、調査対象種である *C. polykrikoides* の出現が 2018 年、2020 年、2021 年、および 2022 年に検鏡により確認され、また *K. mikimotoi* の出現が 2018 年、2021 年、および 2022 年に検鏡により確認された。さらに LAMP 法では *C. polykrikoides*, *K. mikimotoi* の両種とも、2018 年から 2022 年のすべての年においてその存在が確認された。これらの調査結果は両種が日本海西部海域に広く分布しており、何らかのきっかけで増殖した場合には、山陰沿岸域で赤潮化する可能性があることを示している。そのため、これら有害赤潮種の出現状況を監視し、当該海域において連携した広域モニタリングを今後も引き続き実施する必要がある。

2) モニタリング体制の高度化

日本海西部海域での赤潮監視に際しては、その侵入経路から考えて沖合域に調査定点を設定する必要がある。採水からプランクトンの同定・計数のための検鏡までに時間を要する場合がある。加えて、本海域では通常、有害プランクトンの出現が低密度であることから、海水を濾過した濃縮サンプルによる検鏡を行う必要がある。無殻の渦鞭毛藻である *C. polykrikoides* および *K. mikimotoi* の外部形態を正常に保った状態で細胞を検鏡できず、種レベルの同定が困難なことが多い。このような背景から、当グループでは LAMP 法による種同定を併用し、モニタリング精度の向上を図っている。この 5 年間では、検鏡で確認され、LAMP 法により陰性となった事例が少数あったものの、逆に検鏡では確認されず、LAMP 法で陽性となった事例が数多くみられた。検鏡で確認されなかったケースでも、LAMP 法により当該プランクトンの存在が確認されたことは、モニタリングにおける LAMP 法の有用性を示している。過去 5 年間に山口県や島根県において *K. mikimotoi* 赤潮が突然発生するような事例が確認されたが、将来的には山陰沿岸域における本種赤潮の発生メカニズムを明らかにしていく上での一助になることも期待される。

3) 有害赤潮発生シナリオの検証と予察技術の高度化

これまでに本事業で得られた成果から、*C. polykrikoides* 赤潮発生シナリオを構築するとともに、シナリオに沿って段階的な予察フローを作成している。本事業期間中 (2018~2022 年)

の各年でシナリオを検証した結果、いずれの年でもシナリオを支持する結果が得られた（表2）。また、予察技術の高度化として、新たに赤潮輸送シミュレーション結果を用いた赤潮到達リスクの可視化に取り組んだほか、韓国沿岸域の *C. polykrikoides* だけでなく同じく対馬暖流上流部にあたる九州北部海域での有害赤潮（主として *K. mikimotoi* を対象とした）も監視対象に加えた。*K. mikimotoi* 赤潮については、事業期間中2回の発生が確認され、赤潮輸送シミュレーションによって九州北部海域から輸送された個体群由来の可能性が示された。九州北部海域ではほぼ毎年本種赤潮が発生していることから、山陰沿岸域への輸送には今後も注意が必要である。ただし、伊万里湾などの九州北部沿岸域における湾外への流出条件や輸送途中での沖合域での個体群維持プロセスなど不明な点も多く、山陰沿岸域における本種赤潮発生シナリオ構築に向けては、当該海域とのより密な情報交換が必要である。

引用文献

- 宮原一隆，鬼塚剛，渡辺秀洋，野々村卓美，勢村均，堀玲子，西川哲也，宮地邦明，山口峰生．日本海における *Cochlodinium polykrikoides* 赤潮．日本水産学会誌 2011；77：440.
- Onitsuka G, Miyahara K, Hirose N, Watanabe S, Semura H, Hori R, Nishikawa T, Miyaji K, Yamaguchi M. Large-scale transport of *Cochlodinium polykrikoides* blooms by the Tsushima Warm Current in the southwest Sea of Japan. Harmful Algae 2010; 9: 390-397.
- Park JG, Jeong MK, Lee JA, Cho KJ, Kwon OS. Diurnal vertical migration of a harmful dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae), during a red tide in coastal waters of Namhae Island, Korea. Phycologia 2001; 40: 292-297.
- 鈴木雅巳，門脇慧史，渡辺秀洋，松本洋典，安原豪，木原浩志，南部智秀，鬼塚剛，坂本節子．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 エ．日本海西部海域．平成31年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書．水産庁，東京．2020；144-161.

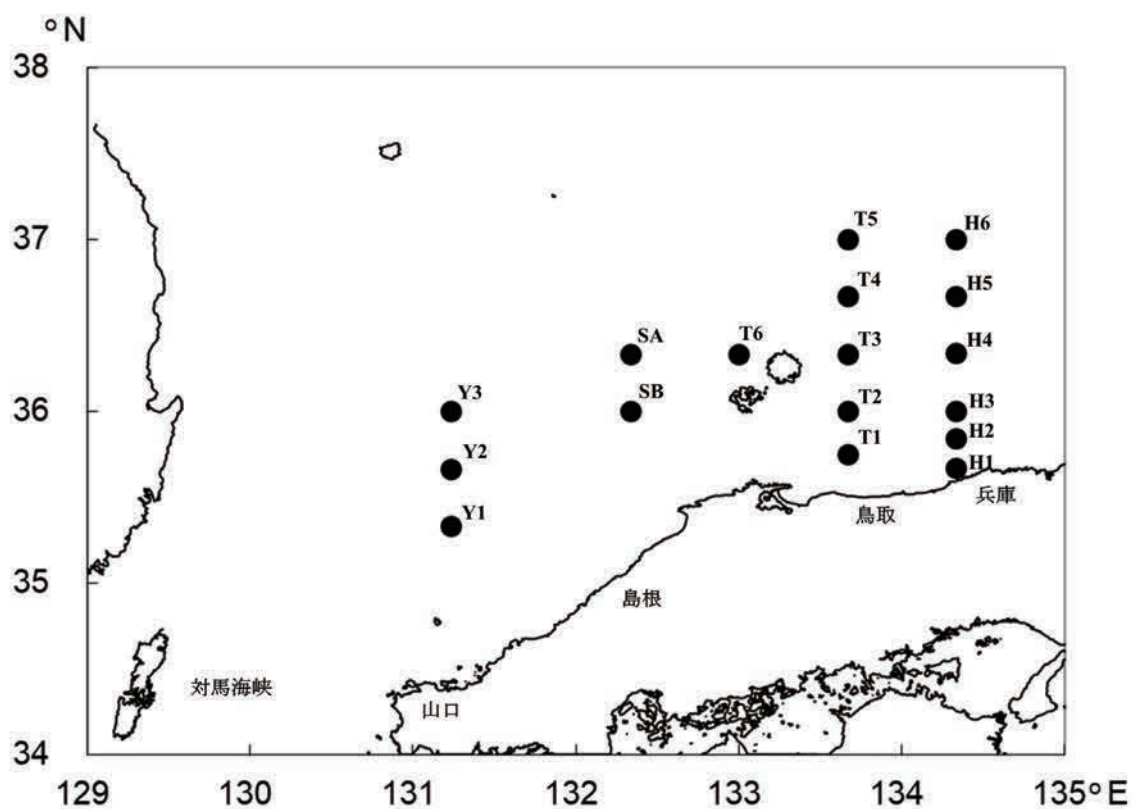


図 1-1 日本海西部海域における沖合調査定点位置図

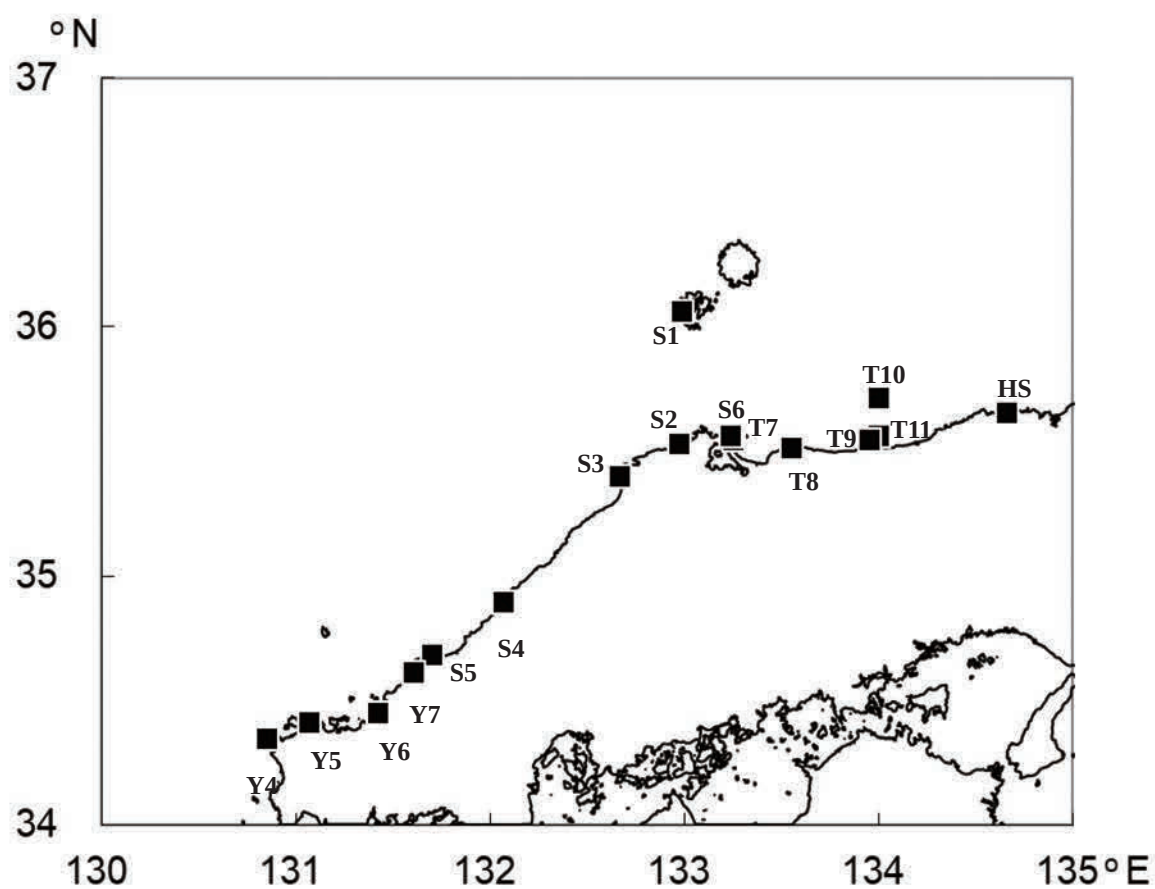


図 1-2 日本海西部海域における沿岸調査定点位置図

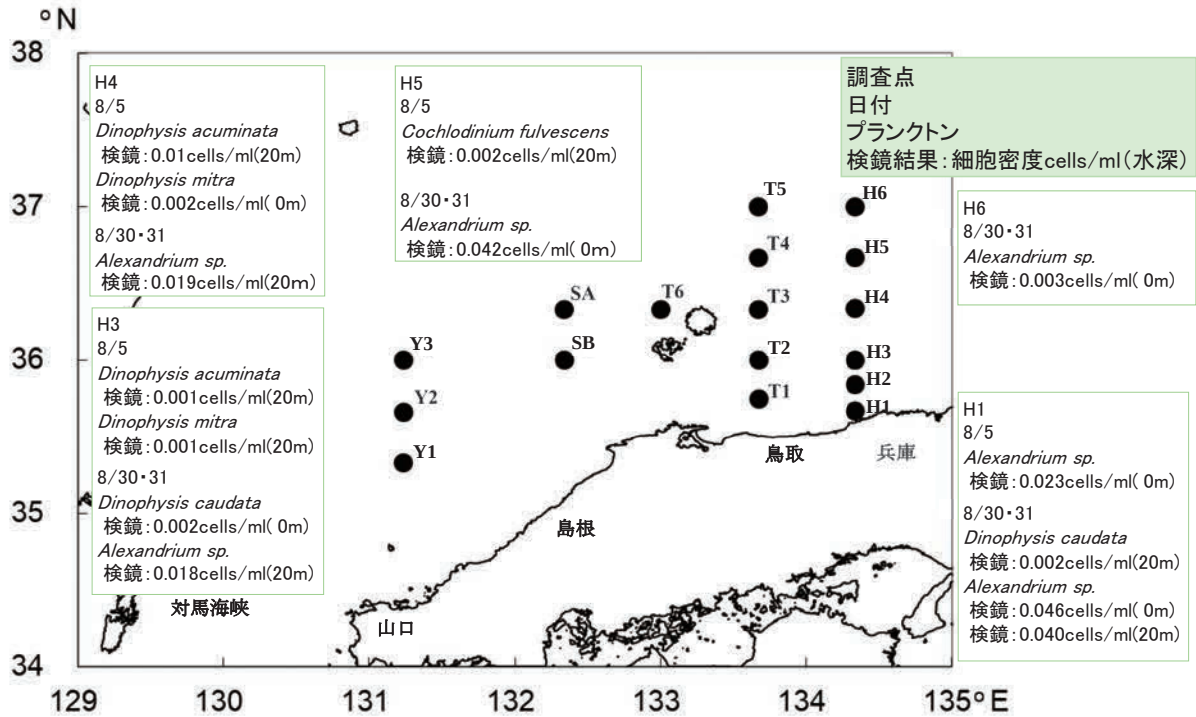


図 2-1 沖合調査におけるその他有害種の出現状況（主要対象種は出現なし）

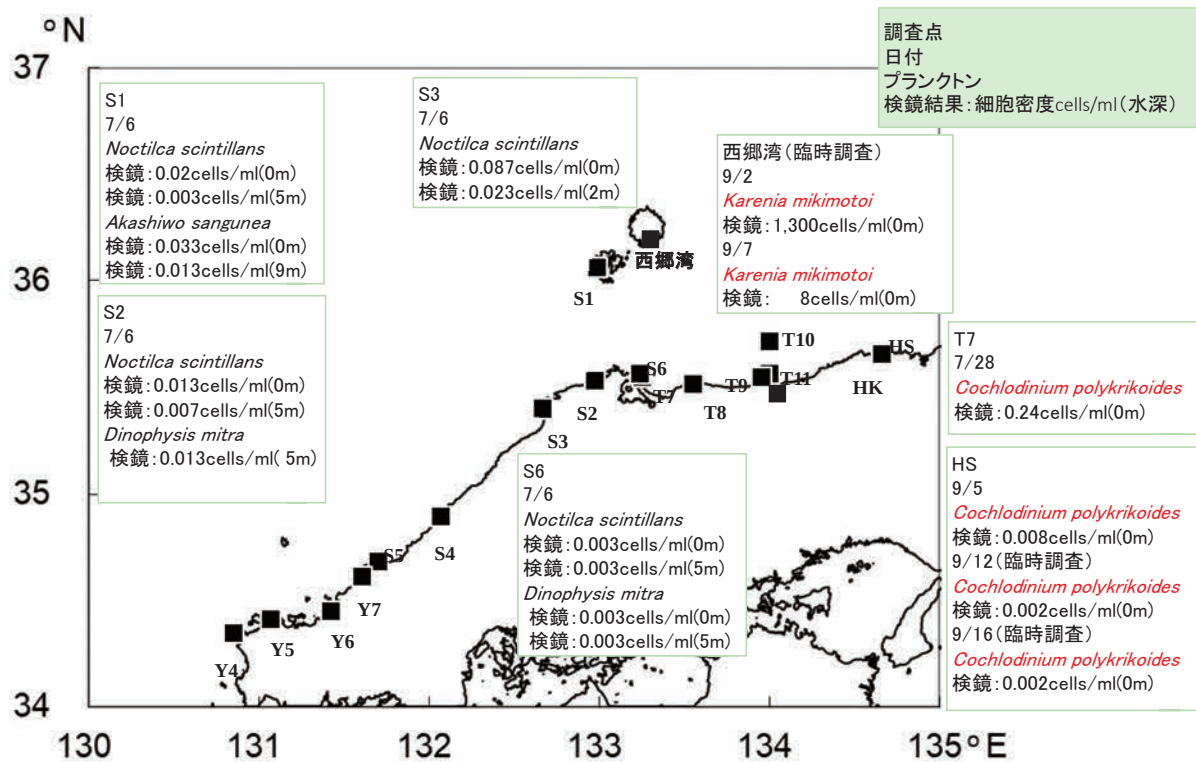


図 2-2 沿岸調査における主要対象種およびその他有害種の出現状況（主要対象種は赤字，臨時調査も含む）