

令和2年度漁場環境改善推進事業のうち
栄養塩、赤潮・貧酸素水塊に対する被害軽減技術等の開発

（2）赤潮被害防止対策技術の開発 報告書

令和3年3月

目次

1. 研究開発の概要

(1) 目的.....	1
(2) 研究開発課題と実施体制.....	1
(3) 研究開発の内容.....	1

2. 研究開発結果

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

ア. 瀬戸内海東部海域.....	7
イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域.....	59
ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域.....	118
エ. 日本海西部海域.....	139
オ. 九州北部海域.....	153
カ. 有明海・八代海・鹿児島湾海域	
① 有明海海域	166
② 八代海・鹿児島湾海域	191

2) 有害赤潮の防除および漁業被害軽減のための技術開発

ア. 魚毒性診断技術の開発.....	238
イ. 生簀等の魚介類を守る技術の開発・実証	
① ウイルス等微生物による赤潮防除法の確立と現場実証.....	258
② 既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成.....	267
③ 改良粘土散布の実証試験および新たなマグネシウム製剤の開発, 対策実施マニ アルの作成	278
④ 物理化学的防除策および過飽和救命策併用によるブリ類の救命.....	298
⑤ 給餌条件の改変による赤潮発生下での延命効果検証.....	307

3) 有害赤潮プランクトンのモニタリング技術の開発・実証および普及とデータ利活用の 促進

ア. モニタリング技術の開発・実証.....	316
イ. 赤潮関連情報の提供および利活用の促進.....	328
ウ. モニタリング技術の普及と事業検討会の開催.....	341

1. 研究開発の概要

(1) 目的

近年、瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域では、シャットネラやカレニア等の有害赤潮により、養殖・天然魚介類に甚大な被害が頻発している。特に、八代海で平成21～22年に発生したシャットネラ赤潮では、ブリ、カンパチ、シマアジ等を中心に被害総額86億円と養殖漁業に壊滅的な打撃をもたらした。その後も、平成24年に瀬戸内海西部・豊後水道海域で広域発生したカレニア赤潮によって、マダイ、ハマチ、カンパチ等の養殖魚やアワビ・サザエ等の天然磯根資源で約13億円、平成29年に伊万里湾で発生したカレニア赤潮によって養殖トラフグを中心に約6億円もの漁業被害が報告されており、各地で地域の水産業の脅威となっている。また、有明海や瀬戸内海東部海域などでは、冬季の珪藻赤潮によって養殖ノリの色落ちが発生し、商品価値低下による経済的損失も問題となっている。これらの有害赤潮は、我が国の水産業とりわけ養殖漁業の振興と今後の発展に向けての大きな阻害要因となっており、漁業被害の防止対策および軽減技術の開発が強く求められている。そこで本課題では、瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域等を主要なフィールドとして、広域共同モニタリングによる監視体制強化、モニタリング技術や予察技術、防除技術等の研究開発を行うことにより、有害赤潮による漁業被害の軽減および健全な海洋生態系の保全に資することを目的とした。

(2) 研究開発課題と実施体制

本事業課題は、国立研究開発法人水産研究・教育機構（水産技術研究所・水産資源研究所〔旧瀬戸内海区水産研究所，旧西海区水産研究所，旧中央水産研究所〕，水産大学校），国立大学法人広島大学，国立大学法人高知大学，国立大学法人愛媛大学，国立大学法人埼玉大学，国立大学法人九州大学，大学共同利用機関法人自然科学研究機構基礎生物学研究所，学校法人北里研究所，徳島県，兵庫県立農林水産技術総合センター，岡山県農林水産総合センター，香川県水産試験場，地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所，福岡県，山口県，大分県農林水産研究指導センター，愛媛県農林水産研究所，広島県立総合技術研究所，高知県，三重県，愛知県，鳥取県，島根県，佐賀県，長崎県総合水産試験場，熊本県，鹿児島県水産技術開発センター，東町漁業協同組合，海洋エンジニアリング株式会社，宇部マテリアルズ株式会社，林兼産業株式会社，いであ株式会社，株式会社アイコックの計 33 機関で実施した。表 1 に研究開発の実施体制を示す。

(3) 研究開発の内容

瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域において、広域共同モニタリングや各種研究開発により、有害赤潮等に対する監視体制の強化、有害赤潮発生シナリオの構築や原因プランクトンの生理・生態特性に基づく発生機構の解明と発生予察技術の開発、赤潮防除技術や漁業被害軽減技術の開発と現場実証を行った。また、赤潮関連情報の提供や利活用の促進、有害プランクトン同定研修会を開催してモニタリング技術などの成果の普及にも取り組んだ。

本事業課題は、以下に示す課題構成で実施した。

表 1. 研究開発の実施体制.

研究総統括・課題進行管理:水産研究・教育機構(代表機関)	
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	
ア. 瀬戸内海東部海域	徳島県立農林水産総合研究センター 兵庫県立農林水産技術総合センター 岡山県農林水産総合センター 香川県赤潮研究所 大阪府立環境農林水産総合研究所
イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域(重点海域)	水産研究・教育機構 愛媛大学 高知大学 福岡県水産海洋技術センター 山口県水産研究センター 大分県農林水産研究指導センター 愛媛県農林水産研究所 広島県立総合技術研究所 高知県水産試験場
ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域	水産研究・教育機構 三重県水産研究所 愛知県水産試験場
エ. 日本海西部海域	水産研究・教育機構 兵庫県立農林水産技術総合センター 鳥取県栽培漁業センター 鳥根県水産技術センター 山口県水産研究センター
オ. 九州北部海域	水産研究・教育機構 九州大学 長崎県総合水産試験場 佐賀県玄海水産振興センター
カ. 有明海・八代海・鹿児島湾海域(重点海域)	水産研究・教育機構 福岡県水産海洋技術センター 佐賀県有明水産振興センター 熊本県水産研究センター
①有明海海域	水産研究・教育機構 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 東町漁業協同組合
②八代海・鹿児島湾海域	
2)赤潮の防除・被害軽減手法の開発	
ア. 魚毒性診断技術の開発	水産研究・教育機構 自然科学研究機構基礎生物学研究所 埼玉大学 北里大学 大分県農林水産研究指導センター 鹿児島県水産技術開発センター
イ. 生け簀の魚介類を守る技術の開発・実証	水産研究・教育機構 三重県水産研究所 愛知県水産試験場
①ウイルス等微生物による赤潮防除法の確立と現場実証	水産研究・教育機構 大分県農林水産研究指導センター 東町漁業協同組合
②既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成	鹿児島県水産技術開発センター 長崎県総合水産試験場 大分県農林水産研究指導センター 宇部マテリアルズ 水産研究・教育機構
③改良粘土散布の実証試験および新たなマグネシウム製剤の開発、対策実施マニュアルの作成	海洋エンジニアリング 水産研究・教育機構
④物理化学的防除策および過飽和救命策併用によるブリ類の救命	林業産業 水産研究・教育機構
⑤給餌条件の改変による赤潮発生下での延命効果検証	
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. モニタリング技術の開発・実証	水産研究・教育機構 広島大学
イ. 赤潮関連情報の提供及び利活用の促進	水産研究・教育機構 アイコック いであ
ウ. モニタリング技術の普及	水産研究・教育機構

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

瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域において、各機関が連携して広範な調査を実施し、有害鞭毛藻やノリ色落ち原因珪藻などの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。また、当該海域における有害赤潮プランクトンの出現特性の把握や生理・生態特性等の各プロセス研究を融合することで、有害赤潮発生シナリオの構築と検証ならびに有害赤潮発生予察技術開発を進め、漁業被害を軽減する。

ア. 瀬戸内海東部海域

大阪湾、播磨灘および備讃瀬戸を主海域とする瀬戸内海東部海域を対象として、夏季（6～8月）に20点程度の観測定点において6回以上、冬季（10～2月）に25点程度の観測定点において4回以上の調査を行い、水温・塩分等の海況、プランクトン細胞数、クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。また、取得データ解析等により有害赤潮発生シナリオ構築と有害赤潮発生予察技術開発を行うとともに、情報発信方法の高度化を進め、漁業被害軽減に資する。

イ. 瀬戸内海西部・豊後水道・土佐湾海域

周防灘と広島湾を主海域とする瀬戸内海西部海域および豊後水道・土佐湾を対象として、夏季（5～9月）に58点程度の観測定点において4回以上の調査を行い、水温・塩分等の海況、プランクトン細胞数、クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。春季（4～6月）および冬季（2～3月）に瀬戸内海西部、豊後水道および土佐湾の8点程度の観測定点において4回以上の調査を行い、分子生物学的手法も含めた有害赤潮プランクトンの高感度監視を実施する。また、取得データの解析や有害赤潮プランクトンの増殖・衰退過程に関する実験等により有害赤潮発生シナリオ構築と有害赤潮発生予察技術開発を行うことで、漁業被害軽減に資する。

ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域

伊勢湾、三河湾、英虞湾等を主な対象として、周年（契約月～翌3月）に計25点程度の観測定点において月1回以上の調査を行い、水温・塩分等の海況、プランクトン細胞数、クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。また、ノリ色落ち原因珪藻の出現諸特性の解明を目的として、同海域において冬季（10月～翌3月）に計30点程度の観測定点において月1回以上の調査を行い、周年調査と同様な観測項目について海洋モニタリングを実施する。取得データの解析や有害赤潮プランクトンの増殖・衰退過程に関する実験等により有害赤潮発生シナリオ構築と有害赤潮発生予察技術開発を行うことで、漁業被害軽減に資する。

エ. 日本海西部海域

日本海南西部を主な対象水域として、夏季（7～9月）を中心に30点程度の観測定点において3回以上の調査を行い、水温、塩分、透明度、水色等の海況およびプランクトン細胞数等のモニタリングを実施する。また、取得データの解析や衛星画像解析、赤潮輸送シミュレ

ーション等により有害赤潮発生シナリオ構築と有害赤潮発生予察技術の開発を行うことで、漁業被害軽減に資する。

オ. 九州北部海域

伊万里湾を主な対象海域として、夏季（6～8月）を中心に14点程度の観測定点において原則週1回の調査を行い、水温・塩分等の海況、プランクトン細胞数、クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。また、養殖漁場の1点で観測機器による水質連続観測も実施する。これらの取得されたデータの解析および数値シミュレーション手法を使用することにより有害赤潮発生シナリオ構築と有害赤潮発生予察技術開発を行うことで、漁業被害軽減に資する。

カ. 有明海・八代海・鹿児島湾海域

①有明海海域

有明海を対象水域として、冬季のノリ色落ち原因珪藻について冬季（10～2月）を中心に20点程度の観測定点で月2回程度の調査を行い、水温・塩分等の海況、プランクトン細胞数、クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。取得データの解析等により有害赤潮発生シナリオ構築と有害赤潮発生予察技術開発を行うことで、漁業被害軽減に資する。

②八代海・鹿児島湾海域

八代海・鹿児島湾海域を対象水域として、5～9月に水温・塩分等の海況、プランクトン細胞数、クロロフィルおよび栄養塩等のモニタリングを実施する。八代海では5～9月に週1回の頻度で8定点、鹿児島湾では周年にわたり月1～2回の頻度で12点の調査を行う。また、八代海では2点の観測定点で観測機器による気象および水質の連続観測も実施する。上記現場調査に加えて室内実験を行って当該海域における赤潮の短期動態と環境条件との関係を定量的に解析し、有害赤潮生物の短期動態に影響する主たる因子を特定する。また、有害赤潮生物について増殖や光合成等に関する生理学的な解析を進め、赤潮の発達や衰退を予測する上で利用可能な生物指標を見出す。

2) 赤潮の防除・被害軽減手法の開発

餌止めなどの「苦肉の策」を最小限に留めて被害を軽減するために、現場において有害赤潮プランクトンの魚毒性を定量する技術を開発する。また、有害赤潮が発生した際に漁業被害を軽減するために講じる防除・被害軽減手法の開発・現場実証を行う。

ア. 魚毒性診断技術の開発

現場において有害赤潮プランクトンの魚毒性を定量するために、簡易アッセイ系、分子生物学的・生化学的手法等を用いた魚毒性診断技術を開発し、現場に普及するためのマニュアル作成を行う。餌止めなどの対策を適切なタイミングで講じるとともに最小化させることで被害を軽減する。

イ. 生簀等の魚介類を守る技術開発と実証

①ウイルス等微生物による赤潮防除法の確立と現場実証

有害赤潮プランクトンを特異的に死滅させるウイルス等微生物を利用した赤潮防除法の確立と現場実証を行う。特に、赤潮が発生した海域からウイルスを含む底泥を採取し、それを同じ海域で翌年以降の赤潮発生時に散布するという土着の生物を利用した赤潮防除法について、効果的かつ効率的な手法に改善する。

②既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成

養殖現場では長年の経験に基づいて構築された被害軽減技術（餌止め、生簀避難など）が実用されている。本課題では、既存の技術を対象として科学的な検証と基礎情報の収集を行い、高度化を図ること、そして技術普及を円滑に推進するためにマニュアルを作成することを目的とする。特に、海面養殖における足し網および生簀浮沈法について検討する。

③改良粘土散布の実証試験および新たなマグネシウム製剤の開発、対策実施マニュアルの作成

粘土に焼ミョウバンを補助的に添加することで、*Chattonella antiqua* に対する駆除効果を高めるのみならず、*Karenia mikimotoi* に対しても有効であることが確認され、漁業者でも実施できる簡便さと高い駆除効果により、実際の養殖漁場でも実施可能な赤潮被害低減策の基礎を確立することが期待される。本課題では、アルミニウムイオン等の濃度を増加した新型活性粘土（改良型粘土）の効果をさらに検証しつつ、赤潮海域でこれらの改良型粘土を用いた現場実証試験を実施し、その結果、経済性についても検証し、より有効な散布方法を確立したうえで対策実施マニュアルの更新を図る。また、近年駆除が困難だった *K. mikimotoi* に対して駆除効果を示すマグネシウム製剤が開発されつつある。そこで、改良型マグネシウム製剤を用いた室内駆除試験を繰り返し、必要に応じて現場実証試験を実施して社会実装に向けた基礎的データを取得する。

④物理化学的防除策および過飽和救命策併用によるブリ類の救命

西日本海域において頻発するシャットネラ属、カレニア属、及びコクロディニウム属による赤潮に伴う漁業被害を必要最小限の費用で軽減するため、赤潮プランクトンが魚介類に及ぼす悪影響を物理的手法で駆除しつつ、溶存酸素を高める手法を併用して、実際の養殖漁場でも実施可能な赤潮被害低減策の基礎を確立することを目指す。本課題では、既に救命効果が確認されている物理的防除と高濃度酸素供給効果に着目し、生簀周辺の環境を改変することを提案・立証する。また、赤潮が発生しても養殖魚を出荷して被害を軽減する等の実用策の可能性を模索することで、漁業被害防止策の基礎を確立する。

⑤給餌条件の改変による赤潮発生下での延命効果検証

赤潮被害軽減を目的とした餌止めは延命効果が知られており、コストのかからない対策であるものの、稚魚など餌止めに対するストレスが大きい時期、あるいは魚病などの罹患歴があつて投薬を行っている養殖魚では、餌止め自体がストレスとなって減耗を引き起こすリスクがある。加えて、近年は養殖現場に周年出荷体制が普及しており、餌止めによる品質低下

も魚価下落や販路の喪失など、漁家経営に対して甚大な悪影響を及ぼす。そこで、餌止めによる延命効果のメカニズムを解明しつつ、赤潮発生下でも給餌を行い、延命効果を発揮させる新たな手法を開発する。具体的には、赤潮生物が鰓組織上の炎症反応に与える影響について着目し、この炎症作業を極力軽減するのに有効な餌料成分の改変を行うことを提案・立証する。改変餌料と魚類死亡との関係を室内繰り返し試験で把握し、この特殊餌料を飽食させることで、餌止めに匹敵もしくはそれを超える延命効果を発揮させ、赤潮が発生しても養殖魚の被害を軽減する等の実用策を開発する。

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

我が国沿岸域に出現する有害赤潮プランクトンのモニタリング技術について、開発・実証に取り組むとともに研修会を通じて都道府県担当者に普及する。また、取得データの一元管理・公表により利活用を促進する。

ア. モニタリング技術の開発・実証

有害赤潮プランクトンの分子生物学的手法による簡易検出、同定法の開発・改良を行う。LAMP 法については、定量的検出手法の開発に向けて、分析条件の検討を進める。また、新奇有害プランクトンに関する生態や増殖生理特性等の情報収集のための現場調査、培養実験を行う。

イ. 赤潮関連情報の提供および利活用の促進

平成 25 年度より開発を進めてきた「赤潮分布情報」の運用・改良することによって、最新の水温・塩分や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・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。また、水温予報についても有明海、瀬戸内海等の複数の定点を対象に提供を行う。これらのデータの利活用を促進することで、有害赤潮発生時に速やかな対策の実施に繋げ、漁業被害軽減に資する。

ウ. モニタリング技術の普及

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事業成果の普及を行う。研修会では、有害プランクトンの発生動向、生理・生態、形態分類・分子同定、検索に関する講義と本事業等で開発した各種同定技術の実習を行う。また、新たな技術の普及に向け、研修テキストの改訂を検討する。本事業で実施する調査・研究開発課題間の連携と進行管理を行うため、瀬戸内海・九州海域およびその周辺海域の海洋環境分野に精通した 2 名以上の有識者を検討委員とした事業計画および結果検討会を開催する。

2. 研究開発結果

本事業課題で実施した研究開発結果を次頁以降に示す。

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

ア. 瀬戸内海東部海域

大阪府立環境農林水産総合研究所水産技術センター
秋山 諭, 辻村裕紀, 田中咲絵, 近藤 健, 中嶋昌紀
兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター
宮原一隆, 高倉良太
岡山県農林水産総合センター水産研究所
山下泰司, 高木秀蔵, 乾 元気
香川県赤潮研究所
越智洋雅, 小川健太
徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課
吉田和貴, 朝田健斗, 加藤慎治

1 全体計画

(1) 目的

近年、瀬戸内海東部海域では有害赤潮プランクトンによる漁業被害が生じている。赤潮による漁業被害を未然防止及び軽減するためには、赤潮発生海域を網羅した広域的な調査を実施する必要がある。本課題では、瀬戸内海東部海域において、各機関が連携して広域的な調査を実施し、有害赤潮プランクトンの発生状況及び海洋環境を監視するとともに、既存データも含めたデータ解析によって当該海域における有害赤潮の発生シナリオを検証し、赤潮発生予察技術の精度向上を図る。併せて、これらの情報発信方法を検討することで漁業被害軽減に資することを目的とする。

2 令和2年度計画及び結果

(1) 目的

全体計画と同じ。

(2) 試験等の方法

有害赤潮が問題となる夏季及び冬季に共同提案機関が保有する海洋観測調査船または傭船を用いて広域的な海洋調査を実施し、瀬戸内海東部海域における有害赤潮種の出現特性を明らかにするとともに、各機関が有する有害赤潮発生シナリオと発生予察技術（夏季：*Chattonella* spp., 冬季：*Eucampia zodiacus*）について、取得データ解析等による検証を重ね、当該技術の精度向上を図った。また、本課題で取得される調査結果及び予察情報を漁業者等が一元的に確認できる方法等、新たな情報発信方法を検討した。

1) 夏季海洋モニタリング調査

当該海域に計24点の調査定点を配置し（図1）、有害赤潮が発生する6月から8月までに計8回以上、海洋環境（水温、塩分、栄養塩等）及び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（表1、表2）。

調査定点（24 定点，図1）

徳島県 3 点（T4, T1, St.4）

香川県 7 点（K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7）

岡山県 5 点（OY1, OY2, OY3, OY4, OY5）

兵庫県 6 点（H2, H28, H30, H31, Bz1, Bz2）

大阪府 3 点（OS1, OS2, OS3）

アンダーラインは、珪藻の全数計数を行った定点を示す。

調査実施月日

徳島県 6/8, 6/15, 6/22, 6/29, 7/6, 7/13, 7/20, 7/27, 8/3

香川県 6/15, 6/22, 6/29, 7/6, 7/13, 7/20, 7/27, 8/3, 8/11

岡山県 6/22, 7/2, 7/6, 7/16, 7/20, 7/27, 8/4, 8/11

兵庫県 6/8, 6/22, 7/1, 7/6, 7/13, 7/20, 7/27, 8/3, 8/12

大阪府 6/8, 6/15, 6/22, 6/29, 7/13, 7/20, 7/29, 8/3, 8/12

観測層及び調査項目等

観測層及び調査項目を表 1, 2 に示した。水温及び塩分は、多項目 CTD により測定した。採水は、北原式採水器またはバンドーン式採水器にて行い、栄養塩、クロロフィル *a*、溶存酸素、プランクトン細胞密度の測定に供した。各調査項目の測定及び分析方法を表 2 に示した。プランクトンの細胞密度は、原則として試水 1 mL を検鏡した。また、代表点の表層において全珪藻数の測定を行った。

なお、赤潮の発生に関しては、本事業以外での調査結果も一部含めてとりまとめた。

気 象 デ ー タ と し て , 気 象 庁 気 象 統 計 情 報 (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>) から姫路特別地域気象観測所(兵庫県姫路市)における気温、風速、降水量及び大阪管区气象台(大阪府大阪市)の全天日射量の観測値と平年値(昭和 56 年～平成 22 年)を解析に用いた。

2) 冬季海洋モニタリング調査

当該海域に計 40 点の調査定点を配置し(図 2)、令和 2 年 10 月から令和 3 年 2 月までに計 4 回以上、海洋環境(水温、塩分、栄養塩等)及び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(表 3)。

調査定点(40 定点, 図 2)

徳島県 3 点
香川県 11 点
岡山県 11 点
兵庫県 12 点
大阪府 3 点

調査実施月日

徳島県 11/2, 12/7, 12/24, 1/4, 1/18, 2/1
香川県 10/15, 10/30・11/2, 11/16, 12/2-3, 12/18, 1/4-5, 1/15, 2/5・9
岡山県 11/4, 12/1, 1/5, 2/3
兵庫県 11/4, 11/12, 11/24, 11/30, 12/9, 12/21, 1/4, 1/14, 1/25, 2/1, 2/9
大阪府 11/2, 12/7, 1/4, 1/31

観測層及び調査項目等

水温及び塩分は、多項目 CTD により測定した(表 2, 3)。採水は、北原式採水器またはバンドーン式採水器またはニスキン採水器にて行い、栄養塩、クロロフィル *a*、溶存酸素、プランクトン細胞密度の測定に供した。各調査項目の測定及び分析方法を表 2 に示した。プランクトンの細胞密度は、原則として試水 1 mL を検鏡した。*Coscinodiscus wailesii* については、試水(100 mL～1 L)を濃縮して計数した。なお、とりまとめにあたり、全機関の調査日がほぼ揃っている 11 月上旬、12 月上旬、1 月上旬、2 月上旬の結果を中心にデータの整理と解析を実施した。

気 象 デ ー タ と し て , 気 象 庁 気 象 統 計 情 報 (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>) から姫路特別地域気象観測所(兵庫県姫路市)における気温、風速、降水量及び大阪管区气象台(大阪府大阪市)の全天日射量の観測値と平年値(昭和 56 年～平成 22 年)を解析に用いた。

3) 有害赤潮発生シナリオ及び発生予察技術の高精度化

当該海域における有害赤潮発生と気象条件・海洋環境との関係を解析し、既存の有害赤潮発生シナリオ及び発生予察技術の高精度化を行った。

4) 新たな情報発信方法の試行

各機関及び国立研究開発法人水産研究・教育機構が運営するホームページを活用し、漁業者等が迅速に利用できるよう当該海域の海洋モニタリング調査結果や予察情報の発信方法を検討した。

5) 水温予測手法の検討

説明変数として水温及び気温データを用い、人的・経済的コストを軽減することのできる新たな水温予測手法の構築を検討した。

(3) 結果及び考察

1) 夏季海洋モニタリング調査

① 気象

概況：令和2年の近畿地方は、月により気温の変動が激しく、6月と8月の気温は統計開始以来、高い方から第1位（平年差: +1.6℃, +2.1℃）となった一方、7月の気温は低かった。梅雨入りは6月10日頃（平年: 6月7日頃）、梅雨明けは7月31日頃（平年: 7月21日頃）で、6月中旬から7月下旬にかけては、梅雨前線や低気圧の影響で曇りや雨の日が多く、降水量はかなり多かった。その影響で、7月の日照時間は統計開始以来、少ない方から第1位（平年比: 46%）、降水量は多い方から第2位となった（平年比: 248%）。8月に入ると一転して太平洋高気圧に覆われ、中旬を中心に暑い日が多く、降水量はかなり少なかった。6～8月に近畿地方に接近した台風はなかった。

気象庁観測結果：6～8月の気温、日平均風速、降水量及び全天日射量の旬平均値と旬平年値の推移を図3～6にそれぞれ示した。気温は、6月中は平年より高く推移していたが、7月は低めに転じ、8月の中旬以降再びかなり高く推移した（図3）。日平均風速は、期間を通して概ね平年並みで推移した（図4）。降水量は、6月上旬はかなり少なめ、6月中旬～7月下旬は6月下旬を除き、平年より多めに推移し、特に6月中旬と7月上旬はかなり多かった（平年比: 453%, 289%）。一方で、8月は降水量の月合計値が1.5mmとかなり少なかった（図5）。全天日射量は、降水量の多かった6月中旬、7月上旬～下旬は平年を下回った。一方、降水がほとんどなかった6月上旬、8月上旬～下旬は平年を大きく上回った（図6）。

② 海象

水温（図7）：6月上旬に18～21℃前後で、その後緩やかに上昇した。大阪湾では、7月中旬に一時的に水温成層が崩壊し、その後中底層では8月上旬まで水温上昇が停滞した。播磨灘では、6月下旬から7月中旬にかけて全水深層で水温上昇が停滞し、その後水温は上昇に転じるも、7月下旬に表層水温が低下し、鉛直差が縮小した。また、播磨灘南部では期間を通して、水温が低い状態が継続した。

塩分（図8）：大阪湾や播磨灘北部では、降水の影響が強く、特に降水量の多かった7月には表層塩分が大きく低下した。播磨灘南部で期間中大きな変化は見られなかったが、底層では塩分が高い状態が継続した。

透明度（図9）：大阪湾では4m前後で微減しながら推移した。播磨灘北部では3～9mでやや低下、もしくは横ばい傾向で推移した。播磨灘南部では6月下旬までは12m前後で推移し、7月に入ると低下し始め、7月中旬以降6～8mで推移した。

③ 水質

栄養塩（図10～12）：全般に低めで推移した。大阪湾や播磨灘北部では、塩分の低下と同時に表層の栄養塩濃度が上昇した。その傾向は岡山県海域で顕著で、7月中旬にDINやSiO₂-Siが大きく上昇した。播磨灘南部は、横ばいかやや上昇傾向で、常に底層の栄養塩濃度が最も高い状態が継続した。

クロロフィルa（図13）：大阪湾及び播磨灘北部の兵庫県海域では高め、播磨灘南部では低めで推移した。播磨灘北部では、7月20日に表層でのクロロフィル値が中層での値を下回った。

DO（図14）：大阪湾及び播磨灘北部では、期間を通して鉛直勾配がみられ、表層は高く、底層は低く推移した。播磨灘南部では、6月中は表層～中層にほとんど差はなかったが、7月以降に鉛直勾配が形成された。大阪湾の定点OS1の底層では、期間を通して慢性的に貧酸素水塊がみられた。

④ 有害赤潮種

Chattonella marina 及び *C. antiqua*（図15, 19）：6月8日に兵庫県において初認された

(最高細胞密度 1.33 cells/mL, 6/8, 兵庫県海域 H30 表層) が、当該海域では、調査期間を通して細胞密度が 10 cells/mL を超えることはなく、大規模な発生には至らなかった。大阪湾では、調査定点外ではあるものの、7 月下旬から増殖し、7 月 29 日に注意密度を超えた (41 cells/mL)。その後、8 月下旬には警戒密度を超えた (最高細胞密度 179 cells/mL, 8/24) が、9 月中旬以降は減少した。岡山県海域では、本調査外の調査点で *C. marina* による赤潮が発生した (図 17)。7 月 6 日に同県片上湾で 903 cells/mL 確認され、一旦、低密度化したものの、8 月 11 日に期間中最高の 4,173 cells/mL となった。8 月 17 日も 1,186 cells/mL と高密度であったが、8 月 24 日には確認されず、終息した (図 18)。漁業実態の少ない湾奥を中心とした発生であったことから漁業被害はなかった。同湾では 2017 年以降 4 年続けて本種が高密度化している。広島県田尻港では、シャットネラ赤潮の発生と貧酸素化との関係が指摘されていることから (赤穂ほか、未発表)、同湾奥の底上 50 cm 付近にワイパー式メモリー水温・DO 計 Infinity-AROW2 (JFE アドバンテック社製) を設置し (図 17)、6 月 8 日から 9 月 4 日の間、30 分毎の溶存酸素量を観測した。無酸素となる期間が見られており (図 18)、同湾でも底層の貧酸素化が赤潮発生の要因となっている可能性が考えられた。この他徳島、香川県海域では、数 cells/mL 程度の発生に留まった。

Chattonella ovata (図 16, 20) : 各府県海域で出現が確認され、徳島県、香川県及び兵庫県海域で赤潮化した。各県海域における出現状況 (本事業以外の調査結果も含む) と赤潮形成に関連する発生要因は以下の通り。

- ・徳島県海域 (播磨灘南東部)

播磨灘南東部では 7 月上旬に初認された (最高細胞密度 0.03 cells/mL, 7/2, 徳島県海域 St.4, 表層)。8 月 3 日に最高細胞密度 50.7 cells/mL まで増加したが、8 月 6 日には珪藻の増加に伴い (1,062 cells/mL, St.4, 0-5m) 低密度化した。しかし、8 月中旬に表層または中層で再び高密度化がみられた (最高細胞密度 106 cells/mL, 8/15, 本調査外の調査点, 15 m)。この時、表層 DIN 濃度が増加していたものの、珪藻細胞密度も大幅に増加しており、本種と競合種である珪藻の挙動は対応していなかった。8 月 17 日以降は表層の DIN 濃度が 1 μ M となり、珪藻細胞密度は低密度化した一方で、*C. ovata* は減少せず、主に表層付近で高密度化していた (最高細胞密度 100 cells/mL, 本調査外の調査点, 0-5m)。本種が高密度発生していた期間中、養殖ハマチが約 5,000 尾斃死する漁業被害が生じた。ただし、この漁業被害については、同時期に *Cochlodinium polykrikoides* (= *Margalefidinium polykrikoides*, 本報告では、*Cochlodinium polykrikoides* と表記する) が高密度化していたこと (後述) も関与していると考えられる。翌日の 8 月 20 日には低密度化し、8 月 23 日には全く見られなくなった。

- ・香川県海域 (播磨灘南西部)

播磨灘南西部では 7 月 13 日に初認された (最高細胞密度 4 cells/mL 定点 K3, 10m)。8 月中旬までに広範囲で増殖し高密度化した (最高細胞密度 133 cells/mL, 8/11, 定点 K4, 5m)。8 月下旬には確認されなくなったが、9 月中旬には低密度ながら再確認された (最高細胞密度 0.4 cells/mL, 9/16)。本事業での調査対象海域外では隠灘で 7 月 16 日に初認された (最高細胞密度 2 cells/mL)。8 月 4 日には最高細胞密度 310 cells/mL まで高密度化した。その後は減少し 8 月下旬には観察されなくなった。備讃瀬戸中央部ではほとんど確認されなかった。

本種が広域発生した 2016 年 (西岡ら 2018) と同様に 2020 年も 7 月 29 日 (四国梅雨明け) 以降は晴天の日が多く、日照時間が長く、降水量が少なかった。*C. ovata* の最高細胞密度が 10 cells/mL 以上の密度で確認された期間、この間の日照時間の平均及び降水量の合計は、2016 年が 7 月 14 日～8 月 9 日, 8.6h, 15.5mm, 2020 年が 7 月 27 日～8 月 21 日, 8.2h, 11mm であった (高松, 気象庁データ)。珪藻細胞密度は 2016 年が 7 月中旬から 8 月中旬にかけて概ね 100 cells/mL 以上であったが、2020 年は 7 月上旬から 8 月下旬にかけて 100 cells/mL 未満であった。2020 年の表層の DIN 及び DIP は 2016 年より高かった。水温は屋島湾 1.5m 層で 7 月上旬から 8 月上旬まで平年より 1℃程度低かった (2016 年は平年より 0.5-1.4℃高かった)。2020 年夏季の

環境条件が 2016 年と同等程度に *C. ovata* の増殖にとって好適であったため、広範囲で増殖し高密度化したと考えられた。

- ・兵庫県海域（播磨灘北部）

7 月上旬に播磨灘北部沿岸域で初認された（最高細胞密度 1.3 cells/mL, 7/6, 兵庫県海域 H30, 表層）。7 月下旬以降細胞密度が増加し、8 月 12 日には 3 地点で 100 cells/mL を上回り（最高細胞密度 131 cells/mL, 本調査外の臨時調査点）、小規模（パッチ状）ながら赤潮化した（兵庫県瀬戸内海海域における本種の赤潮記録は今回が初）。その後は、赤潮は大規模化・高密度化することはなく、8 月 16 日には低密度化した。高密度化した要因の詳細は不明であるが、7 月中下旬の珪藻密度が低下した時期（図 29）に増殖が同期していたことから、競合種の低密度化が本種の増殖に有利に作用した可能性が考えられた。

なお、ほぼ同時期に発生した徳島県海域では珪藻類の出現動向との対応が確認されなかったことから、両海域での赤潮発生要因はそれぞれの地先海域の特性に依存していたものと考えられた。

- ・大阪府海域

7 月下旬に初認された（最高細胞密度 5 cells/mL, 7/29, OS3, 表層）。その後徐々に細胞密度が増加し、8 月上旬に最高細胞密度 185 cells/mL（8/3, 本調査定点外）となった後、減少した。

Cochlodinium polykrikoides（図 21, 23）：各府県海域で出現が確認され、徳島県と兵庫県海域で赤潮が発生した。

- ・徳島県海域（播磨灘南東部）

播磨灘南東部では 7 月上旬に初認された（最高細胞密度 0.03 cells/mL, 7/9, 徳島県海域 St.4, 表層）。8 月 19 日に北灘町沿岸において高密度化し、赤潮を形成した（最高細胞数 698 cells/ml）。特に、北灘町栗田漁港、大浦漁港内で明瞭な着色が見られていた。この時期に養殖ハマチが約 5,000 尾斃死する漁業被害が生じた。発生翌日の 8 月 20 日に本種は減少し、着色も見られなくなった。本種が赤潮化する直前には、表層 DIN 濃度の低下とそれに伴った珪藻の減少がみられた。無機栄養塩が低下しても有機態窒素やリンを利用できる本種にとって（坂本・山口 2016）、増殖に有利な環境が形成されていたと考えられる。

- ・兵庫県海域（播磨灘北部）

8 月上旬から遊泳細胞が確認され始め、本事業での調査対象期間外ではあるが 8 月 25～26 日の間、播磨灘北部の家島諸島周辺海域でパッチ状に赤潮化した（最高細胞密度 5,375 cells/mL）。兵庫県瀬戸内海海域における本種の赤潮記録は今回が初めてであった。本種の大量発生後、播磨灘の広域で褐色～白色の繊維状の有機物（ヌタ）の大量浮遊が確認されたが、顕微鏡観察では本種の遊泳細胞や死骸は視認できなかった。

- ・大阪府海域

8 月上旬から確認され、8 月下旬にかけて増殖した。最高細胞密度は 270 cells/mL（8/24, St.13, 表層（調査定点外）、図 24）であった。以後減少し、9 月 24 日まで確認された。

Karenia mikimotoi（図 22, 25）：岡山県を除く各府県海域で赤潮が確認された（ただし、徳島県は、本事業での対象外海域である紀伊水道南部～太平洋沿岸での発生）。地理的に離れた地域での発生であり、また、発生時期も異なったため、各府県海域における出現状況（本事業以外の調査結果も含む）と赤潮形成に関連する発生要因を海域別に記載する。

- ・香川県海域（播磨灘南西部）

播磨灘南西部では 9 月 16 日に小豆島東方沖で 3.15 cells/mL を確認したのみであった。周辺海域では備讃瀬戸東部の屋島湾奥で 8 月上旬から増殖し、8 月 21 日から 31 日まで着色域を形成した（最高細胞密度 12,000 cells/mL）。着色は小規模で発生要因は不明である。

- ・兵庫県海域（播磨灘北部相生湾）

本事業での調査対象海域外かつ調査対象期間外ではあるが、9月下旬から10月上旬に播磨灘北部の相生湾内で高密度化し、赤潮を形成した（最高細胞密度 32,300 cells/mL：ただし、港内での高密度集積海水の検鏡結果）。発生要因は不明だが、着色は閉鎖的な湾内での小規模なものであった。また、兵庫県海域における本種の赤潮としては、過去の発生より約1カ月以上遅い時期に発生したのが特徴であった。

- ・大阪府海域

8月中旬から確認され始め、9月14日に赤潮を形成した（8,700 cells/mL）。その後、大阪府の沿岸域で高密度を維持し、10月2日には岬町の漁港内で最高 72,050 cells/mLを確認した。赤潮は10月14日まで確認された（図 26）。以後密度は低下したものの、11月上旬でも最高 56 cells/mL 確認されている。大阪湾沿岸3地点の風向・風速データからは、9月上旬には南風が、10月上旬には南西風が卓越したことが確認できる（図 27, 28）。この風向・風速の推移と *K. mikimotoi* 個体群分布域の拡大方向は必ずしも一致していないことから、9月以降の高密度域の拡大は、水塊の移動によりもたらされたのではなく、湾内に拡散した少数の細胞が当該海域で増殖した結果である可能性が考えられた。

- ・徳島県海域

本事業での調査対象海域外かつ調査対象期間外ではあるが、10月1日～12日にかけて紀伊水道南部から太平洋沿岸（阿南市橘湾・椿湾～海部郡沿岸）で赤潮が発生した（最高細胞密度 9,400 cells/L）。この赤潮により、海部郡穴喰地先で畜養のイカ、小型魚類、サザエがへい死した。10月13日には 20 cells/mL まで減少し、10月21日の調査では全く見られなかった。発生原因は不明。徳島県海域において本種の赤潮は主に8月に発生することが多く、10月の発生は今回が初めてである。また、海部郡での本種の赤潮発生は今回を除いて過去に1例（平成7年）しか報告されていない。

Heterocapsa circularisquama：調査期間中における出現は確認されなかった。

その他（図 29）：*Skeletonema* spp.や *Thalassiosira* spp.等で構成された珪藻類が優占して出現した。

⑤まとめ

令和2年6～8月の瀬戸内海東部海域における赤潮発生状況を表4に示した。赤潮発生は15件で、混合赤潮を含めシャットネラ赤潮は5件であった。このうち、鳴門市北灘沿岸で発生した *C. ovata* 及び *C. polykrikoides* による赤潮について、養殖ハマチの斃死（被害金額 12,000 千円）が見られた。

2) 冬季海洋モニタリング調査

①気象

概況：11月の近畿地方（太平洋側）は、中旬を中心に高気圧に覆われて晴れた日が多くなり、気温が高かった。12月は、上旬から中旬のはじめにかけては高気圧に覆われる日が多かったが、その後は数日の周期で低気圧が日本付近を通過し、低気圧の通過後は冬型の気圧配置となった。気温は概ね平年並みだった。1月は、上旬は強い寒気の影響を受けて気温はかなり低く、下旬は寒気の影響を受けにくかったため気温はかなり高く、気温の変動が大きくなった。

気象庁観測結果：姫路市における11～1月の気温、日平均風速、降水量及び大阪市における全天日射量の旬平均値と旬平均値の推移を図30～33にそれぞれ示した。11月上旬には平年並みであった気温は、その後急激に上昇し、11月中下旬は平年よりおおそ2℃以上高い状態で推移した（図30）。12月は再び平年並みで推移し、1月上旬に平年比マイナス2.5℃と急激に低下した後、1月下旬には平年比3℃以上高くなった。2月上旬でもおおそ2℃高い状態が続いている。日平均風速は、12月上旬までは概ね平年を下回り、12月中旬から1月上旬は平年を上回った。1月中旬から下旬は平年を下回り、2月上旬は再び上回った（図31）。降水量は、11月上旬では平年の2倍以上とかなり多かったものの、11月中旬から1月中旬までは、12月下旬を除き平年値の15%以

下と平年に比べかなり少なかった。1 月下旬には一転して平年の 4 倍を超えるまとまった降水があった（図 32）。全天日射量は、期間を通して多く推移した（図 33）。

②海象

水温（図 34）： 11 月上旬は大阪湾の表層を除いて $20.3^{\circ}\text{C}\sim 21.7^{\circ}\text{C}$ であったのに対し、大阪湾の表層は 19.7°C と最も低かった。12 月上旬は大阪湾の表層を除いて $17.3^{\circ}\text{C}\sim 17.8^{\circ}\text{C}$ と海域差が小さくなったが、11 月と同様に大阪湾の表層では 16.0°C と最も低かった。1 月上旬は播磨灘北部、備讃瀬戸及び大阪湾の表層では $10.6^{\circ}\text{C}\sim 10.8^{\circ}\text{C}$ であったのに対し、播磨灘南部と大阪湾の底層では $11.8^{\circ}\text{C}\sim 12.0^{\circ}\text{C}$ と高かった。2 月上旬は播磨灘北部と備讃瀬戸では $8.5^{\circ}\text{C}\sim 9.0^{\circ}\text{C}$ であったのに対し、播磨灘南部と大阪湾では $9.3^{\circ}\text{C}\sim 10.2^{\circ}\text{C}$ と高かった。大阪湾の表底差については、大阪湾北部は河川水の影響が大きく、かつ潮流が弱く鉛直混合を受けにくいいため、水温下降期においては表層水が低温化しやすいことを示していると考えられた。また、特に 2 月における 4 海域での水温の水平較差については、冬季には内海よりも水温の高い紀伊水道に接している大阪湾（底層）と播磨灘南部は、より瀬戸内海の奥部に位置する播磨灘北部と備讃瀬戸より水温が高くなることを示していると考えられた。

塩分（図 35）： 大阪湾については特に表層で河川水の影響が大きく、 $29.39\sim 32.22$ の範囲で変動した。備讃瀬戸についても 2 月には河川水の影響とみられる塩分低下により表層で 30.79 となった。表層を除く備讃瀬戸と播磨灘北部・南部については、11 月から 2 月まで概ね緩やかに上昇した。紀伊水道に接する大阪湾（底層）と播磨灘南部は他の 2 海域に比べて塩分が高く、特に大阪湾の底層は $32.20\sim 32.97$ となり、どの調査月も他の海域より高かった。

透明度（図 36）： 11 月から 2 月の大阪湾の透明度は $4.6\text{m}\sim 5.1\text{m}$ 、播磨灘北部は $4.4\text{m}\sim 6.5\text{m}$ 、備讃瀬戸は $4.2\text{m}\sim 6.3\text{m}$ であった。播磨灘南部は $7.4\text{m}\sim 8.7\text{m}$ と他の海域に比べて高く、後述するクロロフィル a の観測値から考えると、昨年度と同様に植物プランクトンの発生が少なかったことが影響したと考えられた。

③水質

栄養塩（図 37～39）： 大阪湾におけるノリ漁期開始以前の栄養塩濃度の推移としては、8 月の DIN は過去 10 年間で比較して表層では低め傾向、底層では高め傾向であった。同様に $\text{PO}_4\text{-P}$ は表底層ともやや低めであった。成層期の底層に蓄えられた栄養塩としては近年と比較して著しく低濃度ではなかったものの、混合期初期の 11 月には DIN はかなり低め、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は低め傾向へと低下した。大阪湾を除く 3 海域の 11 月の DIN は $1.2\text{ }\mu\text{M}\sim 2.1\text{ }\mu\text{M}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は $0.3\text{ }\mu\text{M}\sim 0.5\text{ }\mu\text{M}$ 、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は $2.7\text{ }\mu\text{M}\sim 9.6\text{ }\mu\text{M}$ であり、これは昨年度よりも概ね低く、特に播磨灘南部で低かった。12 月には昨年度並みに上昇したが、1 月には、後述する小型珪藻類の増殖や西方からの貧栄養水塊の移動の影響もあり、3 海域とも低下した。ただし、播磨灘南部は北部に比べて小型珪藻類の増殖は顕著でなかったため、その影響は比較的小さく、主に貧栄養水塊の移動が影響していたと考えられる。2 月には、河川水の影響が見られた備讃瀬戸では DIN と $\text{SiO}_2\text{-Si}$ の上昇ないしは現状維持が見られたものの、播磨灘北部、播磨灘南部の DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は低下した。大阪湾の栄養塩は 11 月に低かったものの、12 月には塩分において河川水の影響も見られたとおり DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ とも上昇した。1 月、2 月にはすべての栄養塩濃度が低下し、河川水の影響が直接及びにくい底層についてみると、2 月の DIN は $2.2\text{ }\mu\text{M}$ で他の 3 海域の底層よりも高いものの、同 $\text{PO}_4\text{-P}$ は $0.2\text{ }\mu\text{M}$ 、同 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は $1.1\text{ }\mu\text{M}$ と他の 3 海域よりも低濃度であった。

播磨灘における冬季の栄養塩低下の一因として、西方海域からの貧栄養水塊の影響が考えられている（阿保ら 2006）。本年度の燧灘沖合域（弓削）の DIN 濃度は、11 月下旬には $5\text{ }\mu\text{M}$ 以上あったものの、その後は徐々に低下して 1 月上旬には $1\text{ }\mu\text{M}$ 以下となった（愛媛県令和 2 年度ノリ養殖情報、<https://www.pref.ehime.jp/h35149/norijyouhou/02noritop.html>）。12 月中旬以降、1 月上旬にかけては冬型の気圧配置になることが多く（前述）、明石市における西風成分（図 40、41）も同時期に卓越したことから瀬戸内海における西～東方向への通過流量は大きな

ったと想定され、1 月以降の播磨灘の栄養塩濃度の低下は西方からの貧栄養水塊の影響もあったものと推察された。

クロロフィル *a* (図 42)： 播磨灘南部は期間中の変動が最も小さく、1.4 µg/L～3.2 µg/L の範囲で変動した。播磨灘北部と備讃瀬戸は 1 月の底層で最も高く、播磨灘北部では 6.8 µg/L、備讃瀬戸では 7.3 µg/L であった。これらの 2 海域では、12 月以降に小型珪藻類（後述）の増殖が確認された。大阪湾は 4 海域中で 12 月を除いて最も高く、11 月の表層の 16.2 µg/L が最高値であった。これは *Skeletonema* spp.等の小型珪藻を主体とする赤潮発生（後述）の影響を受けたものと考えられた。

DO (図 43)： 大阪湾を除く 3 海域については 89%～101%の範囲で変動し、比較的変動が小さかった。大阪湾については、表層では *Skeletonema* spp.等の小型珪藻を主体とする赤潮発生（後述）の影響もあって 2 月は 121%と高かった。底層では夏季成層期の貧酸素化の影響を受け、混合期の 11 月でも 79%と低かったものの、1 月には 102%と回復した。

④ ノリ色落ち原因種

Coscinodiscus wailesii (図 44)： 本事業の調査に先行する 10 月には、瀬戸内海東部の広範囲で本種大量発生が確認されていた。ノリ養殖対策として本事業で調査を開始した 11 月上旬には、播磨灘北部の約半数の地点、播磨灘南部のほとんどの地点、備讃瀬戸と大阪湾の全ての地点において 100 cells/L を超える密度で出現していた。また、本事業以外の調査点とはなるが、播磨灘中央部でも同程度の細胞密度の発生が観察された。大阪湾と備讃瀬戸では 1,000 cells/L を超える密度で出現し、特に大阪湾では細胞密度が 2,000 cells/L を超えた（最高細胞密度：2,480 cells/L、11 月 2 日、大阪府南部海域 OS3 底層）。12 月にはすべての海域で急速に減少し、100 cells/L を超えた地点は見られなかった。その後は備讃瀬戸を除く海域でやや増加が見られたものの、概ね低密度で推移した。11 月上旬の栄養塩濃度はすべての海域で低く、本種の大増殖が栄養塩低下に関係したものと考えられた。本種は、日射量の減少によって増殖が顕著に阻害されることが知られており（長井 2000）、瀬戸内海東部では日射量の少なくなる 12～1 月にはブルームが衰退することが多い。本年度の調査でも、本種の増殖は 12 月には低調化し、栄養塩濃度が一旦回復した。

Eucampia zodiacus (図 45)： 11 月～12 月にはすべての海域において 0 cells/mL～6 cells/mL とほとんど発生が見られなかったが、1 月には播磨灘北部で 100 cells/mL を超える定点が 2 カ所出現した。2 月には播磨灘北部の 19 定点のうち 6 地点で 100 cells/mL を超え、最高では 255 cells/mL（2 月 1 日、播磨灘北部 H32 底層）となった。同じく 2 月の備讃瀬戸では 10 定点のうち 3 定点で 100 cells/mL を超え、最高では 212 cells/mL（2 月 3 日、備讃瀬戸 OY6）となった。昨年漁期は 12 月の播磨灘北部と 1 月の備讃瀬戸において増殖のピークに達したが、本年漁期は 2 月に最高密度を記録した。本年漁期は、2021 年 2 月上旬までの暫定的な発生状況について、平成 25 年度の報告書（高木ら 2014b）に基づく発生基準をあてはめると、いずれの海域も B（局所発生年）となる見込みである。

その他の種類：

- ・播磨灘南西部及び備讃瀬戸南部（香川県海域）では、12 月中旬以降 *Chaetoceros* spp. が、1 月以降 *Leptocylindrus* spp.等の小型珪藻が出現しはじめたが、期間を通して低密度であった。
- ・播磨灘北西部及び備讃瀬戸北部（岡山県海域）では、12 月中旬以降、西部海域で *Rhizosolenia setigera* や *Chaetoceros* spp.を中心とした小型珪藻が出現しはじめ、1 月上旬には全域で確認された。
- ・播磨灘北部（兵庫県海域）では、11 月までは *C. wailesii* 以外の珪藻類発生は低密度であったが、同種が衰退した 12 月以降は小型珪藻類 (*Chaetoceros* spp., *Skeletonema* spp., *Rhizosolenia* spp., が大量発生した。また、11 月下旬より、北部の沿岸域では麻痺性貝毒原因種の渦鞭毛藻 *Alexandrium pacificum* (Group IV) (旧称) *Alexandrium catenella* が増殖し、養殖マガキが毒化した（最高細胞密度 86.7 cells/mL）。

・大阪湾北部（兵庫県海域）の神戸市垂水～東須磨沿岸域では、12月末にラフィド藻の *Fibrocapsa japonica* が赤潮を形成した（最高細胞密度 4,550 cells/mL）。試験養殖中のサーモン（ニジマス）に被害（斃死）が発生するとともに、ノリ漁場でも栄養塩低下に伴う一時的な色調低下が報告された。

・大阪湾（大阪府海域）では、湾奥部で11月上旬と2月上旬（速報）に *Skeletonema* spp. を主体とする小型珪藻による赤潮の発生が見られた。

⑤まとめ

今年度は、漁期前の10月に *C. wailesii* が瀬戸内海東部の広い範囲で大量発生し、栄養塩濃度が低い状態にあった。その後、ノリ漁期はじめの11月も同種のブルームによる栄養塩消費の影響を受け、引き続き栄養塩濃度が低く推移した。同種が衰退した12月には一旦栄養塩濃度が回復したものの、1月には再び低下し2月も継続した。期間中の降水量が少なかったことに加え、瀬戸内海西部海域からの貧栄養水塊の東進も部分的に強勢であったと推察されることが栄養塩の供給面からの特徴であった。また、11月には *C. wailesii* が瀬戸内海東部の広い海域で大量発生したこと、1月には小型珪藻類の増殖が活発化したことがプランクトンにおける特徴であった。

3) 有害赤潮発生シナリオ及び発生予察技術の検証

①シャットネラ赤潮

・本検証の対象種：

近年、瀬戸内海東部海域では、*C. ovata* の高密度化や赤潮化がしばしば確認されている（例えば、西岡ら 2018 や本報告書）。*C. marina*, *C. antiqua*, *C. ovata* は、基本的に形態で判別されるものの、しばしばこれらの中間的な形態を持つ細胞が出現するため、形態学的な特徴からは連続的であり、各々が独立したグループとして認識することは困難とされている（今井 2016）。一方で、現場海域で赤潮調査を実施するうえでは、これら 3 種は監視対象種として個別に細胞密度が調査されており、高密度化して赤潮化した場合も個別の種名により記録されている。

C. ovata は他の 2 種よりもより強い光環境に適応していることが示唆されている（Yamaguchi et al. 2010, 今井・山口 2016）ほか、他の 2 種より高い水温においても増殖が可能と考えられている（Yamaguchi et al. 2010）。また、シストの発芽に及ぼす水温の至適温度が高いこと（Yamaguchi et al. 2008）や、増殖至適塩分も高く（Yamaguchi et al. 2010）、他の 2 種と比較して強い光環境ならびに高水温・高塩分に適応しているものと推察されている。

本事業では、1999～2014 年を対象に *C. marina* 及び *C. antiqua* を主体としたシャットネラ属赤潮が発生した場合の環境諸要因を解析し構築された予察モデルを運用している。瀬戸内海東部海域においては、*C. ovata* は、しばしば増殖するものの、赤潮化することなく終息する場合がほとんどで、広域的に大量発生したのは、2016 年の夏季が初めてであった（西岡ら 2018）。このため、予察モデルには *C. ovata* による赤潮の発生履歴は勘案されていない。上述のとおり、本種は他の 2 種とは発芽や増殖に関わる生理生態学的特性が異なるため、赤潮にいたるシナリオも異なる可能性が大きい。そこで、本事業における発生予察技術の検証にあたっては、*C. marina* と *C. antiqua* の 2 種による赤潮を対象とした。

・発生予察の検証：

近年の局所的なシャットネラ赤潮は過去の発生シナリオと適合しなかった（高木ら 2014a）ことから、1999～2014 年までの環境条件データセットを用いた判別解析により毎年の発生状況を予察するモデルを構築し、抽出された要素に基づく発生シナリオを作成した（長谷川ら 2018a）。本年度取得したデータによる各府県海域における予察結果とシナリオ適合状況を以下に示す。

1. 徳島県海域（播磨灘南東部）

前事業で作成した赤潮発生シナリオを図 46 に示した。赤潮発生予察モデルの構築には 1999～2014 年までの環境条件（水温（6 月 St.4, 1m）、DIN（6 月 St.4, 10m）、珪

藻の細胞数（7月上旬 St.4, 0-5 m）、降水量（徳島市 5 月））を使用している。2020 年の結果は、いずれも「非発生」となった（図 47）。2020 年夏季、シャットネラ赤潮は非発生であり、予察が的中した（表 5）。解析に用いた期間（1999～2014 年）における赤潮発生年（2003, 2011）の 5 月の降雨量は平均 311.8 mm であったが、2020 年は 103 mm と少なく、6 月の表層の DIN 濃度は、発生年の平均 1.97 μM に対して、0.33 μM と非常に小さかった。また、7 月の珪藻細胞数については発生年の平均が 28.6 cells/mL であったのに対して、330.5 cells/mL とやや高密度であった。これらの要因がシャットネラ赤潮発生シナリオに適合していなかったと考えられる。

2. 香川県海域（播磨灘南西部）

本年はシャットネラ赤潮の非発生年となったが、一昨年度作成した発生予察モデル（使用データ 1999～2014 年、説明変数：5 月塩分（表層・10 m・底上 1 m の三層平均、浅海定線調査全定点平均）、5 月降水量（引田、気象庁データ）、5 月 $\text{PO}_4\text{-P}$ （表層、浅海定線調査全定点平均）、5 月塩分と 5 月 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、5 月降水量と 5 月 $\text{PO}_4\text{-P}$ ）で 2020 年の予察をしたところ、全てのモデルで「×」となりの結果となった（表 5）。5 月降水量を説明変数とする判別結果を図 48 に示す。香川県海域の発生シナリオでは、5 月に降水量が多く表層に栄養塩が供給され、6 月に表層の栄養塩が珪藻で消費され珪藻が低密度になった後に、荒天により鉛直混合が起これば表層に栄養塩が供給されてシャットネラ赤潮が発生するとしている（図 49）。本年 5 月の降水量は 66 mm（1999～2014 年までの平均 110 mm）と少なく、発生シナリオに適合していなかった。

3. 岡山県海域（播磨灘北西部）

2019 年に続き、本年も片上湾においてのみシャットネラ赤潮が発生した。現在のモデルは、岡山県海域における局所発生の予察を目的としているため、発生要因が異なると考えられる片上湾のみの特異的な発生を除外し、的中結果を検証した。

予察は、5 月表層塩分、6 月降水量（姫路、気象庁データ）を説明変数とするモデル（図 50）で非発生となった（図 51（a））。一方、他 2 つのモデルは不明となったものの、非発生寄りにプロットされた（図 51（b, c））。片上湾を除けば、*C. marina* 及び *C. antiqua* の高密度化は見られず、概ね的中した（表 5）。いずれの説明変数も平年並みであり、赤潮発生時の特徴的な気象海象がなかったことを反映していると考えられた。

4. 兵庫県海域（播磨灘北東部）

前事業では、1999～2014 年のデータを用いて赤潮発生予察モデルを構築した。図 52 に兵庫県海域のシャットネラ赤潮発生シナリオを示した。兵庫県海域では、5 月の表層水温、底層水温、6 月または 7 月の珪藻密度を説明変数とする判別分析を適用して予察を実施している。2020 年の結果を図 53 に示した。なお、ここでは、長谷川ら（2018a）で示されたとおり、珪藻密度のデータ獲得時期別に、6 月時点での予察を早期予察、7 月時点での予察を直前予察とした。

本年は、両予測モデルでシャットネラ赤潮の非発生年と予察され、予察は的中した（表 5）。2020 年は、6 月上旬、7 月上旬とも播磨灘北部海域における珪藻類の細胞密度が高かったことが、赤潮の発生を抑制したものと考えられる。

5. 大阪府海域（大阪湾）

前事業で大阪府海域の 1999～2014 年の水温平年偏差（7 月上旬、10 m 層）、降水量（5, 6 月）、日照時間（6, 7 月）のデータを用いてシャットネラ赤潮発生モデルを作成した。図 54 に大阪府海域のシャットネラ赤潮発生シナリオを示した。予察モデルを 2020 年に適用したところ、「×（非発生）」または「△（不明）」と予測された（図 55）。なお、2020 年夏季の大阪府海域において、シャットネラ赤潮は非発生であった。

大阪府海域における 6 月の *Chattonella* spp. 最高細胞密度は 0 cells/mL であったことから、2018 年度に作成した大阪湾の赤潮発生フローチャート（図 56）による予察では、非発生と予測され、これによる予測は的中した。2020 年を含めた過去 6 年間は、いずれも 6 月までの *Chattonella* spp. 最高細胞密度が境界密度の 15 cells/mL を下回って

おり、非発生予察となるが、境界密度を超過した事例がないため、今後の検証が望まれる。

②ユーカンピア赤潮

シャットネラ赤潮と同様に、2005～2015 年までの環境条件データセットを用いた判別解析により毎年の発生状況を予察するモデルを構築した。また、これまでの海洋環境データの解析や数値計算から地場発生と海流依存発生の二種類の存在が明らかとなり、これを考慮した発生シナリオを作成した（長谷川ら 2018b）。本検証では昨年度漁期（2019 年 11 月～2020 年 3 月）の予察結果とシナリオ適合状況を確認するとともに、本年度の予察状況について各府県海域別に以下に示す。

1. 徳島県海域（播磨灘南東部）

徳島県海域では、*E. zodiacus* の大発生が 2011 年の 1 度のみであり、予察技術を確立するためのデータ数が十分ではない。徳島県海域における *E. zodiacus* は、最高細胞数に達する時期が 1 月（2011 年度）、2 月（2016 年度）、3 月（2012、2015 年度）の 3 パターンに分かれることから、それらパターンと水温、塩分、風速、栄養塩濃度などの環境パラメータとの関連性を解析し、それぞれの発生シナリオを構築している。2019 年漁期は、予察対象の期間外となる 12 月に最高細胞密度が 100 cells/mL を超えた地点があったものの、1～3 月は低密度で推移し、局所発生となったことから、シナリオとの適合状況を検証した結果を以下に示した。

ア) 1 月の発生シナリオ（流入発生）の検討

前事業において、1 月にユーカンピア赤潮が大発生した年（2011 年のみ）は「12 月に北寄りの風（徳島地方気象台における北寄りの最大風速のベクトル成分合計）が強い」、「表層塩分が低い」、「底層水温が高い」、「DIN が 12 月に高く、1 月に低い」という特徴を示した（図 57）。これらのことから、1 月のユーカンピア赤潮は、「他海域の *E. zodiacus* が北～北西寄りの吹送流によって流入し、地先の栄養塩を利用して増殖する」というシナリオが考えられた（図 58）。兵庫県海域では *E. zodiacus* が 12 月にやや多く発生しており、徳島県の 12 月の北風風速値は平年に比べて大きかった。したがって、*E. zodiacus* は徳島県海域に流入しやすい状況であったといえる。しかし、DIN 濃度は平年と比べて低かったために、*E. zodiacus* が流入していたとしても、大発生には至らなかったと考えられた。

イ) 2、3 月の発生シナリオ（流入発生）の検討

2、3 月の発生については、発生年と局所発生年との間で統計的に有意な環境条件を見いだせていないものの、発生年で「1 月に北寄りの風が強い」という傾向がみられた。このことから、2、3 月の発生シナリオも地場発生ではなく、他海域からの高密度水塊が流入を想定している（図 59）。徳島県の 1 月の北風風速合計値は平年に比べてやや高かったものの、兵庫県海域における 1 月の *E. zodiacus* は局所発生であったことから、徳島県海域への *E. zodiacus* の流入は少なく、低密度での発生に留まったと考えられた。

2. 香川県海域（播磨灘南西部・備讃瀬戸南部）

香川県海域のユーカンピア赤潮の発生シナリオを図 60 に示す（長谷川ら 2018b）。ユーカンピア赤潮の予察モデルとしては、播磨灘と備讃瀬戸の海域ごとに、11～12 月の環境データからその漁期（1～3 月）に発生か、局所発生かを予察するモデルを作成しており、その検証を行った。

ア) 播磨灘

2019 年漁期のユーカンピア赤潮は局所発生となり、6 つの説明変数を 2 つずつ組み合わせた 11 通りの組み合わせについて検証を行った結果、予察は発生確率 20 %以下の「×」が 10 通りで、発生確率 20～80 %の「△」が 1 通りとなり概ね的中したといえる。例として、12 月の北風のベクトル合計と表層珪藻密度の 2 つの説明変数を用いた解析結果を図 61 に示す。

2020 年漁期もユーカンピア赤潮は今のところ局所発生となっており、同様に 11 通りの組み合わせについて検証を行った結果、8 通りで「×」、3 通りで「△」と、局所

発生寄りの予察となっている。

イ) 備讃瀬戸

2019 年漁期のユーカンピア赤潮は局所発生となり、11 月西風（高松、気象庁データ）、12 月降水量（高松、気象庁データ）を説明変数として判別分析をした結果は「△」となった。

2020 年漁期のユーカンピア赤潮は今のところ局所発生となっているが、11 月西風（高松、気象庁データ）、12 月降水量（高松、気象庁データ）を説明変数として判別分析をした結果は「○」となっている。

3. 岡山県海域（播磨灘北西部・備讃瀬戸北部）

播磨灘と備讃瀬戸の 2 海域で発生シナリオと 1~2 月発生の予察モデルを構築している。いずれのシナリオも良好な光環境で競合する小型珪藻の増殖後、栄養塩が制限要因となり、有機態リンの利用能で優位な *E. zodiacus* が優占化している（図 62, 63）。本検証では、2019 年漁期を中心に予察モデルの的中結果やシナリオの適合状況を確認した。なお、各海域 20%以上の調査点で細胞密度が 100 cells/mL となった場合を発生年としているが、教師データによる判別分析で誤判別があり、予察を「不明」とする「△」の範囲を設定している。

ア) 播磨灘

2019 年漁期は *E. zodiacus* の発生年であった。予察は 11 月西風（姫路、気象庁データ）、1 月底層 PO₄-P（OY2）のモデル、12 月日照時間、1 月底層 PO₄-P のモデルともに「×」（局所発生）であり（図 64）、いずれも的中しなかった（表 6）。本種は 1 月上旬に基準以上で確認された後、減少した。同時期に *Chaetoceros spp.*が大量発生し、以降も優占種として推移したことから、当漁期は競合種の増殖に好適で、このような競合中の発生を予察するには課題があると考えられた。

2020 年漁期の予察は、前者のモデルが局所発生の「×」、後者が発生の「○」となった（図 64）。なお、1 月時点で局所発生であるものの、2 月の調査結果をもって確認する。

イ) 備讃瀬戸

2019 年漁期は *E. zodiacus* の局所発生年であった。予察は 12 月日照時間（岡山、気象庁データ）、12 月底層 PO₄-P、1 月底層水温のモデル、1 月底層 SiO₂-Si、1 月底層水温のモデルともに「×」（局所発生）となり（図 65）、いずれも的中した（表 6）。播磨灘と同様に 1 月上旬以降、*Chaetoceros spp.*が大量発生し、一時的に減少する時期はあったものの、西部を中心に再び小型珪藻が増殖した。同海域も競合種の増殖に好適な環境で、予察はこのような海況を反映していたと考えられた。なお、*E. zodiacus* の増殖は 2 月以降西部の一部海域でのみで確認された。

2020 年漁期の予察は、前者のモデルが発生の「○」、後者が不明の「△」となった（図 65）。1 月時点で局所発生であるものの、2 月の調査結果をもって確認する。

4. 兵庫県海域（播磨灘北東部）

前事業では、2005~2015 年漁期のデータを用いてユーカンピア赤潮発生予察モデルを構築した。図 66 に兵庫県海域のユーカンピア赤潮発生シナリオを示す。本海域（播磨灘北部）はユーカンピア赤潮の初期発生海域であり、これまで来遊発生と考えられる赤潮は確認されていない。このため、本種による赤潮発生予察では、引き続き地場発生のみを想定した。前事業での詳細検討から、本海域については、①1~2 月の発生と、②3 月の継続性について、区別して検討することが妥当と考えられ、それぞれの期間毎に発生を予察した。また、本海域では、程度判断が困難な中間的な発生がこれまで確認されていないため、大量発生・局所発生の二区分のみとして予察を運用している。なお、県海域の大量発生年の基準は、広範囲（=少なくとも複数の観測地点で）かつ長期間（1~3 月の間に概ね 1 カ月以上）200~250 cells/mL 以上の細胞密度が継続することとしている（西岡ほか 2017）。

2019 年漁期においては、兵庫県海域では 12 月上旬には *E. zodiacus* の最高細胞密度 600 cells/mL 以上に達したが、過去の広域大量発生年に比較すると高密度分布域は限定

的であった（吉田ら 2020）。また、1 月以降は明確なブルームは確認されなかった。本種の発生ピークは例年 1～4 月にあり（西川 2011）、12 月が発生ピークとなるのは、本事業による発生予察の教師データとして採用された 2005～2015 年の間にも例がない（宮原ら 2015, 秋山ら 2016）。したがって、2019 年漁期の発生状況判断としては、ノリ漁期全体としては播磨灘北部海域で「大量発生年」にあたる（吉田ら 2020）と判断されたものの、予察対象期間（1～2 月、3 月）に関しては「局所発生年」とであると判断した。

モデルによる予察結果は、1～2 月は局所発生、3 月期については局所発生と大量発生のほぼ境界上であると見込まれた（表 6, 図 67）。これらの予察は、1～2 月は的中し、3 月は判断保留となった（3 月にも大規模な発生は確認されなかった）。なお、本種の 12 月発生によるノリ漁業への悪影響（色落ち被害）も軽微であった。

12 月の大量発生が予察の対象期間外であるという点については課題が残るが、例年、この時期は本種の細胞径回復期の後期にあたり *Chaetoceros* spp. や *Skeletonema* spp. 等の複数の珪藻類が先行または同時発生する。これらの先行発生する珪藻類構成種が *E. zodiacus* の大量発生にどのように影響するかは不明な点が多いが、*E. zodiacus* の大量発生は、日照・栄養塩・水温等の環境要因が他の珪藻類に不適となるタイミングを契機とすることが多い。また、12 月は本種の細胞径回復期の直後にあたり（西川 2011）、細胞径回復の成否によっては細胞径が回復する前の小型サイズ（＝必ずしも 1 月以降のブルームのシードポピュレーションとは解釈できない個体群）が混在する（長谷川ら 2018b）。今後は、他の珪藻類との競合・共存関係や *E. zodiacus* の細胞径回復の成否にも着目し、より早期の大量発生を含めて予察技術の高度化を検討する必要がある。

2020 年漁期の予察については、1～2 月の判別領域としては大量発生が予察されたが、大量発生との境界領域の近傍となった。本年度の最終調査結果の判明後、予察結果の検証を進める（3 月期については、2 月に獲得されるデータを用いるため未実施）。

5. 大阪府海域（大阪湾）

大阪府海域のユーカンピア赤潮は、類型化により大阪湾内における地場発生と明石海峡を経由した播磨灘北部からの流入発生を想定している。ただし、2005 年以降の赤潮発生が 2005, 2007, 2011 年の 3 回のみで地場/流入発生のそれぞれについて統計解析に堪えなかったために、1997 年漁期にまで遡って再解析を行った結果を採用している。なお、2020 年漁期については、2021 年 1 月までは *E. zodiacus* は局所発生（赤潮非発生）であった。

ア) 地場発生赤潮

浅海定線調査 20 定点のうち、明石海峡に近い St. 6 及び St. 7（（地独）大阪府立環境農林水産総合研究所、水産技術センター平成 30 年度事業資料集、浅海定線調査 http://www.kannousuiken-osaka.or.jp/_files/00130363/h30-01.pdf）を除いた 18 定点のうち 3 点以上で 100 cells/mL（採水層は水深 0 m）を超過した調査年月を地場赤潮発生と定義している。これまでに作成した予察モデルでは、調査実施旬及び 1 旬前の降水量を説明変数とする判別分析と補足情報として *E. zodiacus* を除いた珪藻類細胞密度を使用している。判別分析による予察では、2020 年 11 月は発生確率 20～80%の「△」、2020 年 2 月、12 月及び 2021 年 1 月は非発生と判別された（図 68）。これらの調査月ではいずれも *E. zodiacus* による赤潮は発生しなかったことから、予察は概ね的中したと言える。2020 年 10 月下旬及び 11 月上旬の降水量は、39 及び 35.5 mm と平年値を上回った。しかしながら、2020 年 11 月の *E. zodiacus* を除いた珪藻類細胞密度の合計値は 93,243 cells/mL と他の調査月に比べて多く（2020 年 12 月から 2021 年 1 月は 21,890～24,545 cells/mL）、競合種の存在により本種の増殖が抑制されたと考えられた。これとは対照的に 2020 年 11 月下旬から 2021 年 1 月上旬までは 2020 年 12 月下旬を除き、全体的に降水量が少なかった。このことから、該当期間中は有光層への栄養塩供給が相対的に少なく、*E. zodiacus* の増殖に繋がらなかったと考えられた。

イ) 流入発生赤潮

明石海峡に近い St. 6 または St. 7（本調査定点外の定点）で 100 cells/mL を超えた

場合に流入発生赤潮が発生したと判断している。解析には調査月上旬の兵庫県海域（St. H1 と St. H28 の平均）の細胞密度及び西風成分（明石，毎時データの平均値）を使用し，明石海峡付近への吹き寄せが流入へ寄与しているとしている（図 69）。2020 年 11 月，12 月における兵庫県海域の細胞密度はともに 0 cells/mL であり，西風成分も小さかった（0.6~0.7 m/s）ことから，流入発生赤潮が生じる可能性は低いと考えられた。実際，11 月及び 12 月の St. 6 と St. 7 表層における *E. zodiacus* 細胞密度はともに 0 cells/mL であり，予察は的中したと言える。2021 年 1 月の明石における西風成分は 5.5 m/s であり，水中懸濁物の吹き寄せが起こる可能性が考えられたが，兵庫県海域での細胞密度は 43 cells/mL と高密度化するには至らなかった。同月の St. 6 及び St. 7 表層の細胞密度はともに 0 cells/mL であり，水中での混合・拡散により，大阪湾への *E. zodiacus* 流入はほとんど起こらなかったと考えられた。

4) 新たな情報発信方法の検討

（国研）水産研究・教育機構 水産技術研究所が管理運営している「赤潮ネット」との連携を図り，シャットネラ及びユーカンピア赤潮予察情報の発信手法を検討した。赤潮の予察に関する技術は，現在，予察精度の検証と高精度化の途上である。そのため，試行的な情報発信ツールとしてアクセス権限を有する関係者のみが閲覧できる公開手法を検討している。予察結果は赤潮ネットの「赤潮分布情報」（https://akashiwo.jp/public/kaikuInit.php?qkaiku_id=2&sid=1）における機関ログイン後に利用可能な「情報共有」に掲載し，関係者が確認できるようになっている。今年度は必要な説明変数が全て揃い，予察完了後の結果を共有する前にも予察の途中経過を掲載し，昨年度よりも早い時期から予察状況を共有した（図 70）。今後，予察の高度化と併せて予察情報の一元化により，統合的な情報発信ツールとなるよう検討を継続する。

5) 水温予測手法の検討

現在の水温予報業務で運用されている重回帰モデルを用いた水温予測手法は，説明変数として有料の気象情報を組み込んでいることや，説明変数間で相関があり多重共線性を随時確認する必要があるといった問題がある。また，将来的に各機関で独立して運用することも見据え，人的・経済的コストを抑えて運用することのできる代替手法の開発を目指している。このような背景から，説明変数として用いるデータは，各機関で長期間の定置観測データの蓄積・取得体制が整備されているものである必要がある。そこで本年度は，過去数十年分の水温データから秋山・中嶋（2018）に基づき計算して得られた水温平年値と，1 週間前の水温平年偏差，1 週間前の水温・気温差を一般化線形モデルに当てはめたモデルを作成した。予測精度の検証として，2019 年 1 月 1 日から 12 月 31 日までの 1 年間を対象にモデルを当てはめたところ，予測値と実測値との差が 1℃以内であった日は 88.2%，差の最大値は 1.91℃であった。本年度の検討で用いた水温データは汲み上げ海水の定時測定で得られたものであり，潮汐の影響を受けていることが考えられる。今後，潮汐の影響を無視できる日平均データを用いることにより，予測精度の向上を図る。

引用文献

- 阿保勝之，杜多哲，藤原建紀．冬季の東部瀬戸内海における残差流と栄養塩環境．海洋工学論文集 2006；53：1096-1100.
- 秋山諭，中嶋昌紀．不等間隔の月例観測データから見る大阪湾表層水温の経時的諸特性．水環境学会誌．2018；41(4)：83-90.
- 秋山諭，山本圭吾，池脇義弘，西岡智哉，長谷川尋士，本田恵二，山下泰司，高木秀蔵，宮原一隆，原田和弘，鬼塚剛，阿保勝之．ノリ色落ち珪藻の発生モニタリング，発生機構解明，予察技術開発①瀬戸内海東部におけるノリ色落ち原因藻類の出現諸特性の解明と発生予察．平成 27 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

- 「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書，瀬戸内海赤潮共同研究機関，東京．2016；215-230.
- 長谷川尋士，本田恵二，山下泰司，濱崎正明，宮原一隆，原田和弘，秋山諭，山本圭吾，田中咲絵，住友寿明，池脇義弘．魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築①瀬戸内海東部海域．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「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書，水産庁，東京．2018a；9-38.
- 長谷川尋士，本田恵二，山下泰司，濱崎正明，宮原一隆，原田和弘，秋山諭，山本圭吾，田中咲絵，住友寿明，池脇義弘，鬼塚剛，阿保勝之，松原賢．ノリ色落ち珪藻の発生モニタリング，発生機構解明，予察技術開発①瀬戸内海東部海域におけるノリ色落ち原因珪藻の出現諸特性の解明と発生予察．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「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書，水産庁，東京．2018b；282-321.
- 今井一郎 “ラフィド藻類の分類と分布”．有害有毒プランクトンの科学（今井一郎・山口峰生・松岡数充編），恒星社厚生閣．東京．2016；17-27.
- 今井一郎・山口峰生 “有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella* の生物学と赤潮動態”．有害有毒プランクトンの科学（今井一郎・山口峰生・松岡数充編），恒星社厚生閣．東京．2016；210-225.
- 宮原一隆，原田和弘，山本圭吾，中嶋昌紀，秋山諭，池脇義弘，西岡智哉，大山憲一，本田恵二，高木秀蔵，渡辺新，鬼塚剛，阿保勝之．ノリ色落ち珪藻の発生モニタリング，発生機構解明，予察技術開発①瀬戸内海東部海域におけるノリ色落ち原因珪藻の出現諸特性の解明と発生予察．平成26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「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書，瀬戸内海赤潮共同研究機関，東京．2015；205-226.
- 長井敏．播磨灘における有害大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* の大量発生機構とその予知．有害・有毒赤潮の発生と予知・防除，日本水産資源保護協会，東京．2000；71-100.
- 西川哲也．養殖ノリ色落ち原因珪藻 *Eucampia zodiacus* の大量発生機構に関する生理生態的研究．兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告(水産編)，2011；42：1-82.
- 西岡智哉，池脇義弘，長谷川尋士，本田恵二，山下泰司，濱崎正明，宮原一隆，原田和弘，秋山諭，山本圭吾，田中咲絵，鬼塚剛，阿保勝之，松原賢．ノリ色落ち珪藻の発生モニタリング，発生機構解明，予察技術開発①瀬戸内海東部海域におけるノリ色落ち原因珪藻の出現諸特性の解明と発生予察．平成28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「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書，瀬戸内海赤潮共同研究機関，東京．2017；228-263.
- 西岡智哉，池脇義弘，秋山諭，山本圭吾，田中咲絵，宮原一隆，原田和弘，山下康司，浜崎正明，長谷川尋士，本田恵二．2016年夏季の瀬戸内海東部海域における *Chattonella ovata* の広域的な発生．日本プランクトン学会報．2018；65：36-43.
- 坂本節子，山口峰生．*Cochlodinium polykrikoides* の増殖特性と生活環．「有害有毒プランクトンの化学」（今井一郎・山口峰生・松岡数充編），恒星社厚生閣，東京．2016；164-174.
- 高木秀蔵，石黒貴裕，宮原一隆，原田和弘，山本圭吾，秋山諭，斎浦耕二，西岡智哉，吉松定昭，大山憲一．魚介類の斃死原因となる有害赤潮等分布拡大防止のための発生モニタリングと発生シナリオの構築①瀬戸内海東部海域．平成25年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書，水産庁，東京．2014a；9-22.
- 高木秀蔵，石黒貴裕，宮原一隆，原田和弘，山本圭吾，秋山諭，斎浦耕二，西岡智哉，吉松定昭，大山憲一，鬼塚剛，阿保勝之．ノリ色落ち珪藻のモニタリング，発生機構解明，予察技術開発①瀬戸内海東部海域におけるノリ色落ち原因珪藻の出現諸特性の解明と発生予察技術の開発．平成25年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書，水産庁，東京．2014b；196-209.
- Yamaguchi, H., K. Mizushima, S. Sakamoto & M. Yamaguchi. Effects of temperature, salinity, and