

令和3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4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及び予察技術開発	
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.....	57
ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域.....	119
エ. 日本海西部海域.....	141
オ. 九州北部海域.....	155
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.....	188
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.....	235
イ. 生け簀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.....	265
② 既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成.....	274
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.....	285
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.....	308
⑤ 給餌条件の改変による赤潮発生下での延命効果検証.....	322
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.....	330
イ. 赤潮関連情報の提供及び利活用の促進.....	342
ウ. モニタリング技術の普及と事業検討会の開催.....	355

## 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

本課題は、国立研究開発法人水産研究・教育機構（水産機構水産技術研究所、水産資源研究所、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新たな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)	水産機構水産技術研究所 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	水産機構水産技術研究所 三重県水産研究所 愛知県水産試験場
エ. 日本海西部海域	水産機構水産技術研究所 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 島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	水産機構水産資源研究所 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)	水産機構水産技術研究所 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	水産機構水産技術研究所 熊本県水産研究センター
②八代海・鹿児島湾海域	水産機構水産技術研究所 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) 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	水産機構水産技術研究所 水産機構水産大学校 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	水産機構水産技術研究所 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	水産機構水産技術研究所 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 水産機構水産技術研究所
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 水産機構水産技術研究所
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 水産機構水産技術研究所
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	水産機構水産技術研究所 広島大学
イ. 赤潮関連情報の提供及び利活用の促進	水産機構水産技術研究所 アイコック いであ
ウ. モニタリング技術の普及	水産機構水産技術研究所

## 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

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。カレニア・ミキモトイの初期発生時期（1～6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40点程度の観測定点において8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、6～8月に養殖漁場の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、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い、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. 生け簀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

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、及びココ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っ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、モニタリングによる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。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及び利活用の促進**

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と事業検討会の開催**

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

香川県赤潮研究所

小川健太, 松下悠介

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, 近藤 健

兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター

妹背秀和, 宮原一隆

岡山県農林水産総合センター水産研究所

石黒貴裕, 古村振一, 高木秀蔵

徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課

嵐 俊右, 朝田健斗, 棚田教生

## 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およ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範な調査を実施し、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、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3年度計画および結果

### (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およ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る。また、本課題で取得される調査結果およ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する。

#### 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 6~8 月までに計 8 回以上、海洋環境(水温, 塩分, 栄養塩等)およ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 6/7, 6/14, 6/21, 6/28, 7/5, 7/12, 7/19, 7/26, 8/2

香川県 6/14, 6/21, 6/23, 6/28, 7/5, 7/12, 7/17, 7/19, 7/22, 7/26, 8/2, 8/11, 8/23

岡山県 6/21, 6/28, 7/6, 7/13, 7/19, 7/26, 8/4, 8/20

兵庫県 6/7, 6/14, 6/21, 6/30, 7/5, 7/12, 7/19, 7/26, 8/3, 8/11

大阪府 6/14, 6/28, 7/5, 7/12, 7/19, 7/26, 8/2, 8/11, 8/16, 8/23

観測層および調査項目等

観測層および調査項目を表 1, 2 に示した。水温, 塩分および溶存酸素は, 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*, プランクトン細胞密度の測定に供した。各調査項目の測定および分析方法を表 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/manureport.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, 降水量および大阪管区气象台(大阪府大阪市)の全天日射量の観測値と平年値(平成 3 年~令和 2 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 3 年 10 月から令和 4 年 2 月までに計 4 回以上, 海洋環境(水温, 塩分, 栄養塩等)およ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 (St. 2, St. 4, St. 5)

香川県 11 点 (KA1, KA2, KA4, KA7, KA11, KA19, KA21, KA22, KA23, KA26)

岡山県 11 点 (OY1, OY2, OY3, OY4, OY5, OY6, OY7, OY8, OY9, OY10, OY11)

兵庫県 12 点 (H1, H2, H3, H4, H6, H7, H8, H28, H29, H30, H31, H32)

大阪府 3 点 (OS1, OS2, OS3)

調査実施月日

徳島県 11/4, 12/3, 12/15, 1/6, 1/19, 2/2

香川県 10/15, 11/4・5, 11/15, 11/29・12/2, 12/14, 1/5・6, 1/19, 1/31・2/2

岡山県 11/4, 11/30, 1/5, 2/1

兵庫県 11/1, 11/11, 11/18, 11/30, 12/9, 12/20, 1/4, 1/14, 1/24, 2/1

大阪府 11/1, 12/6, 1/6, 1/31

## 観測層および調査項目等

水温、塩分および溶存酸素は、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にて行い、栄養塩、クロロフィル *a*、プランクトン細胞密度の測定に供した。各調査項目の測定および分析方法を表 2 に示した。プランクトンの細胞密度は、原則として試水 1~3 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、一部本事業以外の調査結果も含めて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、降水量および大阪管区気象台(大阪府大阪市)の全天日射量の観測値と平年値(平成 3 年~令和 2 年)を解析に用いた。

### 3) 有害赤潮発生シナリオおよび発生予察技術の検証

本年はこれまでに作成した赤潮予察技術の結果検証およびシナリオの適合状況を確認した。また、現在の予察モデルは構築後 6 年以上が経過することから、各モデルの予察精度を検証し、モデルの高精度化に取り組んだ。

### 4) 新たな情報発信方法の検討

新たな情報発信方法として赤潮ネット(<https://akashiwo.jp/>)との連携を模索した。海洋モニタリング調査により得られた瀬戸内海東部のプランクトン情報を網羅的に把握できる方法を検討した。

## (3) 結果および考察

### 1) 夏季海洋モニタリング調査

#### ① 気象

概況:2021 年の近畿地方は、梅雨入りが平年並みの 6 月 12 日頃となり(平年:6 月 11 日頃)、梅雨明けは 7 月 17 日頃(平年:7 月 19 日頃)であった。5 月中旬から下旬にかけては梅雨前線の影響で曇りや雨の日が多く、広い範囲で大雨となった日があった。6 月中旬から下旬は梅雨前線や上空の寒気の影響で曇りや雨の日が多かったが、降水量は平年より少なかった。7 月上旬から中旬にかけては梅雨前線や低気圧、上空の寒気の影響で曇りや雨の日が多く、中旬から下旬にかけては高気圧に覆われて晴れた日が多かった。7 月の降水量は平年並みであった。8 月上旬は晴れた日が多かったが、中旬から下旬のはじめにかけては本州付近に停滞した前線の活動が活発となった影響で、広い範囲で記録的な大雨となった。8 月の降水量は平年よりかなり多かった。本年は、8 月 9 日頃の台風 9 号による攪拌が海象に影響する事象であった。

気象庁観測結果:6~8 月の気温、日平均風速、降水量および全天日射量の旬平均値・旬合計値と旬平年値の推移を図 3~6 に示した。気温は、8 月中旬に平年よりかなり低かったが、その他の期間はほぼ平年並みであった(図 3)。日平均風速は、8 月上旬は平年を上回ったが、その他の期間は平年並みか平年より低く推移した(図 4)。降水量は、6 月中旬、7 月上

旬および8月中旬は平年より多く、その他の期間は平年並みか平年より低かった(図5)。全天日射量は、6月上旬および下旬は平年より多かったが、中旬は平年並みであった。7月上旬は平年より少なく、中旬から下旬にかけては多かった。8月上旬および下旬は平年並みであったが、8月中旬は少なかった(図6)。

## ② 海象

水温(図7):播磨灘では6月中旬に18~22°C前後で、その後穏やかに上昇した。その後8月上旬にかけて表層水温は27~28°C前後まで上昇した。大阪湾では6月中旬に表層水温が24°C前後と高く、その後穏やかに上昇した。

塩分(図8):播磨灘北部では6月下旬、7月上旬、8月下旬に降雨の影響による塩分低下がみられた。播磨灘南部では大きな変化はみられず、30~32前後で推移した。大阪湾では調査期間中18~30前後で推移し、7月中旬と8月中下旬に大きな塩分低下がみられた。

透明度(図9):播磨灘北部では2~6 m、播磨灘南部では6~12 m、大阪湾では2~5 mで推移した。

## ③ 水質

栄養塩(図10~12):全般に低めで推移した。DINについては、徳島県、香川県、兵庫県、大阪府海域ともに表層と底層の層間差が大きかった。岡山県海域では、6月下旬、7月上旬および8月下旬に表層のDINが高かった。

クロロフィルa(図13):大阪湾および播磨灘北部では高め、播磨灘南部では低めで推移した。岡山県海域および播磨灘南部では、表層のクロロフィル値が中底層の値を下回る傾向にあった。

DO(図14):期間を通じて表層は高く、底層は低く推移した。

## ④ 有害赤潮種

*Chattonella antiqua* および *C. marina* (図15, 16):播磨灘および大阪湾で高密度に発生し、播磨灘北部および大阪湾では赤潮を形成した。各府県海域における出現状況および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6月初旬に初認された(最高細胞密度;0.11 cells/mL(6/7)徳島県海域, T1, St. 4, 表層)。初認以降しばらくは10 cells/mL未満での推移にとどまったが、7月に入り表層水温が上昇すると漸増し始め、7月11日には最高細胞密度33.3 cells/mLまで増加した。その後は一旦減少に転じたものの、7月13日から7月15日までの晴天を挟み、7月16日には最高細胞密度114.3 cells/mLまで高密度化し赤潮を形成した。競合種である珪藻が *C. antiqua* および *C. marina* の初認以降低密度で推移しており、これが本種の増殖に有利に作用したと考えられた。また、本種が高密度発生していた期間中に、養殖魚介類や港内における畜養魚介類の斃死が確認された(表4)。ただし、この漁業被害については同期間中に *C. ovata* が高密度化していたこと(後述)も関与していたと考えられた(最高細胞密度;149.0 cells/mL(7/14), 本調査定点外)。7月20日以降は沈静化に向かい、7月26日にはほとんどみられなくなった。これは競合種である珪藻の細胞密度が増加に転じたためと考えられた。また、7月16日以降晴天が続き、降雨によるDINの供給が無かったことも要

因の 1 つであると考えられた。

また、本事業での調査対象海域外ではあるが紀伊水道から太平洋沿岸(徳島市～海部郡沿岸)でも本種が増加し、太平洋沿岸の浅川湾では養殖カンパチが 1,644 尾斃死する漁業被害が生じた(太平洋沿岸における最高細胞密度;31.5 cells/mL)。ただし、この漁業被害については同期間中に *C.ovata* が高密度化していたこと(後述)も関与していたと考えられた(最高細胞密度;112.5 cells/mL)。

・ 香川県海域(播磨灘南西部)

播磨灘南西部では 6 月上旬に初認され(最高細胞密度;5.0 cells/mL(6/14)香川県海域, K6, 表層), 7 月中旬にかけて増殖し(最高細胞密度;24.3 cells/mL(7/19)香川県海域, K3, 表層), 8 月上旬以降は低密度で推移した。香川県海域では *C. antiqua* および *C. marina* は高密度化しなかったものの、後述する *C. ovata* とともに混合赤潮を形成し、東かがわ市引田漁港内の畜養魚で 1 件の漁業被害が発生した(表 4)。

・ 岡山県海域(播磨灘北部)

6 月 7 日に本調査定点外で初認され、6 月 21 日には広範囲に増加がみられた(最高細胞密度;41 cells/mL(6/21)岡山県海域, OY3, 底層)。その後、6 月 28 日にはすべての調査定点で 10 cells/mL 未満となったが、7 月 12 日から再び増加し、7 月 19 日には最高細胞密度が 171 cells/mL(岡山県海域 OY3, 5 m 層)となった。なお、片上湾で同日の別調査では 3,660 cells/mL となり期間中で最高値を示した。その後徐々に減少し、8 月 2 日には本調査定点では確認されなくなった。岡山県海域では 6 月下旬および 7 月中旬に 2 度の高密度化がみられたが、いずれも晴天が続いた後に合計 100 mm 超の降雨があり、その直後から赤潮化していた。したがって、降雨による急激な DIN の供給が本種の赤潮化したきっかけになった可能性が考えられた。

・ 兵庫県海域(播磨灘北部)

赤潮調査開始の 6 月上旬に播磨灘北部で初認された(最高細胞密度;2.7 cells/mL(6/7)兵庫県海域, H30, 表層)。細胞密度は増減し、7 月 12 日に播磨灘北部で 107.3 cells/mL に達し(兵庫県海域, H30, 表層)、赤潮化した。7 月 20 日には家島諸島周辺の 2 地点で 100 cells/mL を上回った(最高細胞密度;782 cells/mL, 本調査外の臨時調査地点)。その後、8 月初旬には低密度化した。本種が高密度化している期間中に、養殖魚介類の斃死が確認された(表 4)。

初出現が 6 月上旬であったことから、初期のシードポピュレーションの発生が早かったと考えられた。その後、珪藻類が卓越していたが、7 月上旬からの海域の成層化で底層では溶存酸素の低下と栄養塩濃度の増加が進んだ(図 10, 14)ことと、珪藻類の増加が鈍化したことが、鉛直移動能を有するシャットネラの増殖に有利に働き、赤潮発生につながった可能性が考えられた。

また、本調査外であるが 7 月中旬から大阪湾でも両種と *C. ovata* が高密度化し、8 月 2 日には 100 cells/mL を上回り、ブリ等が約 4,600 尾斃死する漁業被害が生じた(最高細胞密度;166 cells/mL, *C.ovata* の最高細胞密度;169 cells/mL)。

・ 大阪府海域(大阪湾)

大阪府海域では 7 月 5 日に初認された(1 cell/mL)。本事業定点での初認は 7 月 19 日で、この時の最高細胞密度は 10 cells/mL(OS2, 5 m 層)であった。以後増殖し、翌週 7 月

26日には62 cells/mL, 8月2日には5,200 cells/mL(OS1, 表層)となり赤潮化した。翌週から減少傾向で8月11日に36 cells/mL, 8月16日に4 cells/mLとなり, 8月23日には本事業定点は確認されなくなった。7月中旬の梅雨明け以降, 天候が安定しており, 海域では成層化が進行していたことが本調査結果や大阪湾水質定点自動観測データ(<http://teiten.pa.kkr.mlit.go.jp/obweb/index.aspx>)からも明らかである。表層では珪藻類等の増殖により栄養塩が枯渇していた一方, 底層では貧酸素による溶出により栄養塩が十分に分布していたと考えられる。また, 昨年度の中規模発生により大阪湾の海底には例年よりも *Chattonella* spp. のシストが多く分布していた(山口峰生 私信)。シストの発芽によるシードポピュレーション供給のタイミングが底層の栄養塩が豊富な時期と一致したこと, また表層の栄養塩が枯渇しており珪藻類が増殖できなかったことが本年の *Chattonella* spp. の増殖に繋がったと考えられる。その後, 8月上旬の台風第9号の接近と中旬以降の令和3年8月の大雨により, 成層の崩壊や陸からの栄養塩の供給により *Chattonella* spp. は減衰した。

*Chattonella ovata* (図 17, 18): 播磨灘および大阪湾で高密度に発生し, 赤潮を形成した。各府県海域における出現状況および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6月初旬に初認された(最高細胞密度;0.01 cells/mL(6/4)徳島県海域, St.4, 中層)。初認以降しばらくは10 cells/mL未満での推移にとどまったが, 7月に入り表層水温が上昇すると漸増し始め, 7月9日には最高細胞密度156 cells/mLまで高密度化し赤潮を形成した。その後は一旦減少に転じたものの, 7月14日には最高細胞密度149 cells/mLまで高密度化し, 再び赤潮を形成した。7月20日以降は沈静化に向かい, 7月26日にはほとんどみられなくなった。今年度における本種の細胞密度の推移は *C. antiqua* のものと類似しており, 競合種である珪藻の細胞密度と降雨によるDINの有無が本種の増減に関係していたと考えられた。また, 本事業での調査対象海域外ではあるが, 紀伊水道から太平洋沿岸(徳島市~海部郡沿岸)でも本種が高密度化した(最高細胞密度;112.5 cells/mL)。また, 本事業での調査対象海域外ではあるが, 紀伊水道から太平洋沿岸(徳島市~海部郡沿岸)でも本種が高密度化した(最高細胞密度;112.5 cells/mL)。

・ 香川県海域(播磨灘南西部)

播磨灘南西部では6月下旬に初認され(最高細胞密度;1.0 cell/mL(6/21)香川県海域, K1, 5 m層), 7月中旬にかけて増殖し(最高細胞密度;70.3 cells/mL(7/19)香川県海域, K3, 5 m層), 8月上旬以降は低密度で推移した。香川県海域では前述の *C. antiqua* および *C. marina* とともに混合赤潮を形成した。本種は *C. antiqua* および *C. marina* と比較して高水温・高塩分に適応した種であり(Yamaguchi et al. 2010), 同じ栄養塩濃度下でもより高い細胞密度に達し得ることが報告されている(Yamaguchi et al. 2008)。7月上旬~中旬の香川県海域における表層水温は24~26°C前後, 塩分は30~31前後と安定して高く(図7, 8), 栄養塩も底層で高く推移した(図10, 11)。さらに, 競合珪藻類も低密度であった海域環境(図21)が本種の増殖に有利に働いた可能性が考えられた。

・ 岡山県海域(播磨灘北部)

6月21日に初認され(最高細胞密度;3 cells/mL(6/21)岡山県海域, OY1, 表層), 低密度のまま推移していたが, 7月5日から増加し始め, 7月19日には最高細胞密度が47 cells/mL(岡山県海域, OY2, 底層)となった。その後徐々に減少し, 8月2日にはいずれの