

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.....	3

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.....	57
ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域.....	117
エ. 日本海西部海域.....	144
オ. 九州北部海域.....	162
カ. 有明海・八代海・鹿児島湾海域	
① 有明海海域.....	178
② 八代海・鹿児島湾海域.....	200

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.....	253
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.....	289
② 既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成.....	302
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.....	318
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.....	337
⑤ 給餌条件の改変による赤潮発生下での延命効果検証.....	348

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.....	355
イ. 赤潮関連情報の提供および利活用の促進.....	364
ウ. モニタリング技術の普及と事業検討会の開催.....	377

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5億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。そこで本事業課題では、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（瀬戸内海区水産研究所、西海区水産研究所、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。

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および予察技術開発	
ア. 瀬戸内海東部海域	徳島県立農林水産総合技術支援センター 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 香川県立香川研究所 大分県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)	水産機構瀬戸内海区水産研究所 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	水産機構瀬戸内海区水産研究所 三重県水産研究所 愛知県水産試験場
エ. 日本海西部海域	水産機構瀬戸内海区水産研究所 兵庫県立農林水産技術総合センター 鳥取県水産試験センター 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	水産機構中央水産研究所 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)	水産機構西海区水産研究所 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	
② 八代海・鹿児島湾海域	水産機構瀬戸内海区水産研究所 水産機構西海区水産研究所 埼玉大学 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 東阿蘇農業協同組合
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	水産機構瀬戸内海区水産研究所 水産機構中央水産研究所 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
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	水産機構瀬戸内海区水産研究所 三重県水産研究所 愛知県水産試験場
② 既存の赤潮防除技術の高度化とマニュアル作成	水産機構瀬戸内海区水産研究所 水産機構水産工学研究所 東阿蘇農業協同組合 大分県農林水産研究指導センター
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	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 宇都宮マテリアルズ 水産機構西海区水産研究所
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	海洋エンジニアリング 水産機構西海区水産研究所
⑤ 給餌条件の変更による赤潮発生下での延命効果検証	林業産業 水産機構西海区水産研究所
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	水産機構瀬戸内海区水産研究所 広島大学
イ. 赤潮関連情報の提供および利活用の促進	水産機構西海区水産研究所 水産機構瀬戸内海区水産研究所 いであ アイコック
ウ. モニタリング技術の普及と事業検討会の開催	水産機構瀬戸内海区水産研究所 水産機構中央水産研究所

(3) 研究開発の内容

本事業課題は、以下に示す課題構成で実施した。

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、夏季および冬季に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、有害赤潮発生シナリオと発生予察技術（夏季：シャットネラ，冬季：ユーカンピア）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。

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、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、瀬戸内海西部海域および豊後水道・土佐湾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、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、既存データ等を用いた解析、宇和島湾での高頻度観測や数値モデル解析、有害赤潮プランクトンの増殖・衰退過程に関する室内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。

ウ. 伊勢湾・三河湾・英虞湾海域

伊勢湾，三河湾，英虞湾を主な対象として、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、有害赤潮プランクトンならびにノリ色落ち原因珪藻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およびノリ色落ち原因珪藻の発生シナリオを構築し、赤潮発生予察や漁業被害軽減に資する。また、貧酸素など環境要因が与えるヘテロカプサ等有害プランクトンの生理生態への影響を評価し、より精緻なシナリオ構築への貢献を図る。

エ. 日本海西部海域

日本海南西部を主な対象水域として、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、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、迅速で

正確な種判別を行うために分子生物学的手法を導入し、モニタリング精度の向上を図る。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検証と赤潮発生予察の高精度化を進める。

オ. 九州北部海域

伊万里湾を主な対象海域として、定期観測と水質のテレメトリ連続観測を実施し、有害赤潮プランクトンの発生状況および海洋環境を広域に監視するとともに、取得データの解析や流動モデルを用いた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。

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、海洋観測調査船または傭船を用いた広域的な調査や自動観測ブイを用いた連続観測を実施し、ノリ色落ち原因珪藻の発生状況および海洋環境を監視するとともに、既存のモニタリングデータの解析等によって、当該海域におけるノリ色落ち原因珪藻の発生シナリオを構築と有害赤潮発生予察技術開発を行う。

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、海洋観測調査船または傭船を用いた広域的な調査を行う。また、八代海では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) 有害赤潮の防除および漁業被害軽減のための技術開発

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、小型魚類や動物プランクトン等を用いた簡易バイオアッセイ系を現場適用するための条件検討や手法確立を行うとともに、分子生物学・生化学的手法等を用いた魚毒性診断技術の開発を行う。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、有害赤潮プランクトンに対する駆除効果が確認されている。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・実証および普及と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および予察技術開発
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
香川県赤潮研究所
越智洋雅, 小川健太
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
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
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, 山本圭吾, 田中咲絵, 上田真由美

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範な調査を実施し、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 平成 31 年度(令和元年度)計画及び結果

(1) 目的

全体計画と同じ。

(2) 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る。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 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 6/10, 6/17, 6/24, 7/1, 7/8, 7/16, 7/22, 7/29, 8/5

香川県 6/10, 6/17, 6/24, 7/1, 7/8, 7/16, 7/22, 7/29, 8/5

岡山県 6/17, 6/24, 7/1, 7/8, 7/16, 7/22, 7/29, 8/5

兵庫県 6/10, 6/24, 7/1, 7/8, 7/16, 7/22, 7/30, 8/5

大阪府 6/10, 6/17, 6/24, 7/1, 7/8, 7/16, 7/23, 7/29, 8/5

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気象台(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)、令和元年 10 月から令和 2 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 11/6, 12/11, 12/25, 1/9, 1/22, 2/5

香川県 10/18, 10/31～11/1, 11/13, 12/2～5, 12/16, 1/9～10, 1/17, 2/3～6

岡山県 11/5, 12/2, 1/7, 2/3

兵庫県 10/30, 11/12, 11/20, 12/2, 12/11, 12/23, 1/6, 1/16, 1/28, 2/3

大阪府 11/5, 12/9, 1/7, 2/4

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 1~3 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（兵庫県と香川県の一部定点は 10 月末日）、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検証

令和元年度はこれまでに作成した赤潮予察技術の結果検証及びシナリオの適合状況を確認した。

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及び予察情報を網羅的に把握できる方法を検討した。

5) シャットネラ赤潮出現状況と底層環境との関係の検討

過去のシャットネラ赤潮発生シナリオ（岡山県ら 1991；山口・今井 1995）では、瀬戸内海東部海域におけるシャットネラシストの発芽を巡る直接的な環境要因のひとつとして春~夏季の底層水温の上昇や鉛直安定度が、また、その遠因として紀伊水道沖の黒潮の動態（離岸距離等）が指摘されており、これらが初期個体群の動態に影響を及ぼすと考えられている。しかしながら、これまで、同海域における春~夏季の底層水温環境を年毎の調査日や観測点の違いを勘案したうえで統一した基準により整理した報告はない。そこで、シャットネラ赤潮と底層水温との関係を再整理することを目的に、以下の手法により、大阪湾及び播磨灘における 1973 年以降の毎年 6 月 1 日、7 月 1 日基準の底層水温の水平分布図を作成した。

解析試料として、浅海定線調査等、各府県が定例で実施する海洋観測データを使用した。各府県による観測は、実施機関や年によって観測日が異なることから、地点ごとに以下の手順により、各年各月 1 日の水温を推定した。

① データセットとして、各観測日について以下の項目を用意する。

- ・観測日のグレゴリオ暦による日付： Y 年 M 月 D 日
- ・任意に指定した日付から観測日までの通算日数： x 日
- ・観測日の水温： $T(x)=T(Y, M, D)$

② 観測水温 $T(x)$ を平年値 $N(x)$ と平年偏差 $\varepsilon(x)$ の和であると考え、秋山・中嶋（2018）に基づき、各地点の経年データから周期関数による 1 年周期の平年値を推定した。

$$T(x) = N(x) + \varepsilon(x)$$

$$N(x) = a_0 + \sum_{k=1}^m \{a_k \cos \omega_k(x - b_k)\}$$

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{365.2425}$$

ここで、 a_0 、 a_k 、 b_k は定数であり、 $N(x)$ は1年周期から $1/m$ 年周期までの和であることを示している。なお、 m は1～20の間で変化させ、赤池情報量基準（AIC）が最小となるモデルを最適と判断し、平年値モデルとして採用した。

③観測水温と算出した平年値モデルから観測日の平年偏差を求めた。

$$\varepsilon(x) = T(x) - N(x) = \varepsilon(Y, M, D)$$

④平年値モデルから当該月の1日の平年値 $N(Y, M, 1)$ を求めた。

⑤ D の大きさに基づき、観測日の平年偏差をスライドさせることで各年各月1日の平年偏差推定値 $\varepsilon_{\text{est}}(Y, M, 1)$ とした。

$$\varepsilon_{\text{est}}(Y, M, 1) = \begin{cases} \varepsilon(Y, M, D) & D \leq 25 \\ \varepsilon(Y, M-1, D) & D \geq 26 \end{cases}$$

⑥④及び⑤で算出した平年値と推定平年偏差の和を当該月1日の推定水温 $T_{\text{est}}(Y, M, 1)$ とした。

$$T_{\text{est}}(Y, M, 1) = N(Y, M, 1) + \varepsilon_{\text{est}}(Y, M, 1)$$

各地点で求めた $T_{\text{est}}(Y, M, 1)$ をもとに、同一日における底層水温の水平分布図を作成した。分布図の作成には、GISソフト（環境シミュレーション研究所、Marine Explorer 4）を使用した。

なお、等水温図（線）の作成は、相互に見通し可能な複数定点間の内挿に限定し、陸地等により阻まれた地点間や外挿による水温推定部分は除去した。

(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：令和元年の近畿地方は、梅雨入りが大幅に遅れ、統計開始以来最も遅い6月26日頃（平年：6月7日頃）となった。梅雨明けは7月24日頃（平年：7月21日頃）であった。6月下旬から7月下旬にかけては、梅雨前線や湿った空気の影響で曇りや雨の日が多く、7月26日から27日にかけては台風6号の影響で大雨があった。8月上旬は晴れた日が多かったが、中旬以降は台風や秋雨前線等の影響を受けて雨の日が多くなった。日照時間が短かったものの気温はかなり高かった。本年は、7月26日から27日頃の台風6号及び8月15日頃の台風10号による攪拌が気象、海象に影響を及ぼす事象であった。

姫路特別地域気象観測所観測結果：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月中旬、7月中旬及び8月下旬を除き、平年より高く推移し、特に8月上旬は平年よりかなり高かった（図3）。日平均風速は、8月中旬は平年を上回ったが、その他の期間はほぼ平年並みであった（図4）。降水量は、6月は平年並み、7月中旬は平年より多かったものの、上旬と下旬は少なかった。8月上旬は平年より少なく、中旬以降は平年より大幅に多かった（図5）。全天日射量は、6月上旬

は平年並みだったが、中旬、下旬はやや多かった。7月上旬、中旬は平年より少なく、下旬から8月中旬にかけて平年並みかやや多くなり、8月下旬は平年より少なかった(図6)。

②海象

水温(図7):6月中旬に20~22℃前後で、その後7月中旬まで緩やかに上昇した。7月中旬から下旬にかけて表層水温が急激に上昇した。

塩分(図8):播磨灘北部で7月中旬~下旬に梅雨前線や台風の影響により、塩分が低下した。播磨灘南部で期間中大きな変化は見られなかった。

透明度(図9):播磨灘北部では2~6 m、南部では6~15 m、大阪湾では3~8 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、兵庫県、香川県、大阪府海域では表層と底層の層間差が大きく、徳島県と岡山県海域では小さかった。

クロロフィル *a*(図13):大阪湾及び播磨灘北部では高め、播磨灘南部では低めで推移した。岡山県海域及び播磨灘南部では、表層でのクロロフィル値が中底層で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。大阪湾の湾奥(定点 OS1)の底層では6月中旬と7月中旬以降に低濃度の溶存酸素が確認され、周辺で貧酸素水塊が形成されていたものと考えられた。

④有害赤潮種

Chattonella antiqua 及び *C. marina* (図15, 16):7月上旬に播磨灘北部で初認された(最高細胞密度 1.33 cells/mL (7/8) 兵庫県海域 H31 表層)。7/22 に播磨灘北部海域で増殖したものの、高密度化することにはなかった(最高細胞密度 14.67 cells/mL 兵庫県海域 H30, H31)。播磨灘南部では 0.1 cells/mL 未満の低密度で推移し、大阪湾では確認されなかった。調査対象海域外では、7/1~9/9 に播磨灘北部の岡山県備前市地先片上湾において *C. marina* を主体として赤潮を形成した(後述のとおり、一時は *Karenia mikimotoi* との混合赤潮)。7/1 に *C. antiqua* と *C. marina* の両種で 6,053 cells/mL 確認され、増減を示しながら 97~6,333 cells/mL の範囲で推移した。高密度化したものの、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。

Chattonella ovata: 7月中旬に播磨灘北部で初認された(最高細胞密度 0.67 cells/mL (7/16) 兵庫県海域 H28 表層)。7月下旬に播磨灘南部においても 0.02~0.06 cells/mL 確認されたが、その後高密度化することはなく、期間中は 1 cell/mL の低密度で推移した。

Karenia mikimotoi (図17, 18): 各府県海域で出現が確認され、徳島県を除く4府県海域で赤潮が発生した。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は以下の通り。

・徳島県海域(播磨灘南部)

6月中旬に 0.04 cells/mL で出現が確認されて以降、7月下旬まで低密度で推移していた。8月上旬に増殖したものの、高密度化することなく9月上旬にはほとんどみられなくなった(最高細胞密度 55 cells/mL (8/9 定点 T4 水深 5m 層))。

・香川県海域(播磨灘南部)

7月上旬に 1 cell/mL で出現が初認されて以降、8月上旬から下旬にかけて播磨灘で散見され(最高細胞密度 360 cells/mL (8/19) K1 10 m 層)、8月20日から24日に志

度湾で赤潮を形成した（最高細胞密度 1.75×10^4 cells/mL (8/22)）。その後は減少に転じ9月上旬にはほとんど見られなくなった。

・岡山県海域(播磨灘北部)

本事業の調査対象海域外ではあるものの、7月下旬に播磨灘北部の備前市地先片上湾で *Chattonella antiqua* 及び *C. marina* と併せて混合赤潮を形成した。最高細胞密度は初認時7/22の733 cells/mLで、その後は減少した。本事業の調査対象海域では7/22に1 cell/mL確認されたのみであったことから、局所的な発生であった。

・大阪府海域

7月中旬に大阪湾北部の大阪府沿岸域に出現し、沿岸を南部に移動しながら増殖した(図19)。その後大阪湾西部に分布が拡大し、湾内の広い海域で赤潮がパッチ状に発生した(最高細胞密度 24,200 cells/mL:ただし、港内での高密度集積海水の検鏡結果)。この分布拡大には台風8号通過に伴う東風による吹送流が影響したと考えられた(図20)。また、8月中旬に台風10号が通過した後は、大阪府沿岸域ではほとんど細胞が確認されなくなった。この赤潮により、畜養生簀での魚類の斃死が1件発生した。

・兵庫県海域(大阪湾)

本事業での調査対象海域外ではあるが、8月上旬から下旬に大阪湾の中央部から淡路島沿岸域において高密度化し、赤潮を形成した(最高細胞密度 37,000 cells/mL:ただし、港内での高密度集積海水の検鏡結果)。小型底曳き網の漁獲物の斃死等が確認された。本赤潮は、大阪湾の各地でパッチ状に増殖していたものが、発生期間中に接近または通過した台風8号、10号に伴う強風の吹送により(図19)、分布拡大・集積・高密度した可能性が考えられた。

Cochlodinium polykrikoides: 播磨灘南部において7月中旬から8月上旬にかけて出現したものの、1 cell/mL未満の低密度で推移した。

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21): *Skeletonema* spp.や *Chaetoceros* spp.等で構成された珪藻類が優占して出現した。

⑤まとめ

令和元年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。発生件数は6件で、*Chattonella antiqua* 及び *C. marina* によるものが1件、*Karenia mikimotoi* によるものが4件、*Alexandrium pacificum* (Group IV) (旧称: *Alexandrium catenella*) によるものが1件であった。このうち、大阪湾で発生したカレニア赤潮について、畜養中の魚類の斃死や小型底曳き網による漁獲物のへい死がみられた(被害額不明)。その他の有害種については、調査期間中の高密度化は確認されなかった。

2) 冬季海洋モニタリング調査

①気象

概況: 11月の近畿地方は、晴れた日が多く、暖かい空気に覆われやすかったため、気温が高かった。12月は上旬に大陸から流れ込んだ寒気の影響を受けた。その後、寒気の影響を受けにくかったことや暖かい空気が流れ込むこともあり、気温はかなり高く推移した。1月は寒気の南下が弱く、暖かい空気が流れ込んだため気温が高くなったが、2月上旬には寒気が南下

したことで、気温が急激に低下した。

気象庁観測結果：11～1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22～25にそれぞれ示した。気温は、12月上旬まで平年より高いか、平年並みで推移したが、その後は平年より約2℃高く推移した(図22)。1月下旬に気温が上昇し、平年より約4℃高くなっていたが、2月上旬には急激に低下し、平年並みとなった。日平均風速は、期間中、概ね平年を下回った(図23)。降水量は、11月は平年よりかなり少なかったものの、12月、1月は平年より多かった(図24)。全天日射量は、12月中旬～下旬と1月下旬を除いて概ね多く推移した(図25)。

②海象

水温(図26)：11月上旬は21℃前後、12月上旬は16～17℃、1月上旬は12～13℃、2月上旬は10～12℃であった。12月中旬以降、気温が平年より約2～4℃高く推移しており、各海域の水温も高めで推移した。大阪湾は、11月から2月にかけて表層より底層の水温が1℃程度高く、他の海域と比べて表底差が大きかった。大阪湾北部の定点では河川水の影響が大きく、特に表層で低水温、低塩分であった一方、同南部の定点では紀淡海峡から高水温、高塩分の外洋系水が中底層に流入したことにより、この表底差が生じたと推察された。

塩分(図27)：11月上旬に備讃瀬戸の岡山県海域において、河川水の影響と思われる表層塩分の低下がみられた。大阪湾を除く海域では11月～2月にかけて塩分が緩やかに上昇し、2月上旬には32前後となった。大阪湾では表層の塩分が28～31で推移した一方、底層は32前後と、期間通じて他の海域より表底差が大きかった。水温と同様、河川水や高塩分水塊の流入が影響したと推察された。

透明度(図28)：11～2月の大阪湾の透明度は4～9 m、播磨灘北部で3～7 m、備讃瀬戸は5～7 mで推移した。播磨灘南部は9～11 mと他の海域に比べ高く、これは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29～31)：播磨灘、備讃瀬戸ではノリ漁期開始以前～本事業の調査期間を通じて栄養塩濃度が例年に比べて低めで推移した。11月から12月にかけてDIN、PO₄-Pは各海域で増加傾向にあったが、SiO₂-Siは播磨灘北部でのみ増加がみられ、その他の海域では減少した。12月から1月にかけて各海域でDIN、PO₄-P、SiO₂-Siいずれも減少した。11月の降水量が平年に比べてかなり少なかったことや、播磨灘北部では同時期に*C. waiesii*や*E. zodiacus*が、大阪湾では*C. waiesii*が大量に発生したこと(後述)が栄養塩の低下の一因となったと考えられた。その後、2月上旬に播磨灘北部でDIN、SiO₂-Siは減少し、その他の各海域では上昇または横ばいで推移した。DIPは大阪湾で増加がみられたが、その他の海域では減少した。播磨灘北部以外の海域では、1月以降のDIN濃度が約2～3 μMであり、極度なノリの色落ちレベルまで低下しなかった。

なお、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)。本年度は、燧灘の沖合域(弓削)において、12月から1月のDIN濃度が4～9 μMで推移しており(愛媛県令和元年度ノリ養殖情報、<https://www.pref.ehime.jp/h35149/norijyouhou/30noritop.html>)、過去と比較しても高い濃度で維持されていた。また、暖冬により西寄りの季節風が卓越することが少なく、瀬戸内海における西～東方向への通過流量も小さかったと想定されることから、播磨灘の栄養塩濃度動態に

及ぼす貧栄養水塊の影響は小さかったと考えられた。

クロロフィル *a* (図 32)：大阪湾を除いて期間中の変動が小さかった。播磨灘北部では 12 月に一部定点においてクロロフィル *a* 濃度の増加がみられたが、これはこの時期に高密度化していた *E. zodiacus* を反映していたと考えられた。大阪湾では、11 月と 1 月にクロロフィル *a* 濃度が大きく増加した。これらは 11 月に高密度化していた *C. wailesii* (後述) や、11 月と 1 月にみられていた *Skeletonema* spp. 等の影響を受けていたと考えられた。

DO (図 33)：大阪湾を除いて表層、底層ともに大きな変動がみられなかった。大阪湾では *Skeletonema* spp. 等の小型珪藻の大量発生に起因すると思われる高い値や大きな変動がみられた。また、大阪湾は表底差が他の海域と比べ大きい傾向があった。

④ノリ色落ち原因種

C. wailesii (図 34)：ノリ養殖対策として本事業で調査を開始した 11 月上旬には備讃瀬戸の一部海域を除く全ての海域で 100 cells/L を超える密度で出現していた。大阪湾では他の海域より高密度に出現し、細胞密度が 1,000 cells/L を超えた (最高細胞数：1,620 cells/L (11/5) 大阪府海域 OS2 表層)。12 月も大阪湾では底層で 1,000 cells/L を超えていたが、その他の海域では減少し、ほとんどの定点で 100 cells/L 未満となった。その後、播磨灘北部と大阪湾でやや増加がみられたものの、概ね低密度で推移した。本種の生態として、比較的栄養要求性が高いこと (西川 2011)、沈降速度が速いため、ブルームの形成に鉛直混合が重要であることや日射量の減少によって増殖が顕著に阻害されること (長井 2000) が報告されている。11 月上旬、大阪湾東部 (阪南沖窪地) では鉛直混合が発生していた (図 35, 36)。また、期間中、大阪湾の表層の栄養塩レベルは高く維持されており、11 月～12 月上旬まで全天日射量が概ね平年より多かった。これらの要因が本種の増殖に適していたと考えられた。その後、12 月中下旬の光条件の悪化 (日射量の減少, 図 25) に伴い、ブルームが衰退したものと推察された。大阪湾以外の海域は、11 月以降、例年より栄養塩レベルが低かったことが増殖に不適であったと考えられた。なお、本種は、本事業調査に先行する 9 月上旬～10 月上旬にかけて播磨灘北部及び備讃瀬戸において底層を中心に大量発生が確認され、これに伴う栄養塩濃度の急激な低下があった。播磨灘で本種が夏季～9 月上旬に大量発生することは過去の報告 (長井 2000 等) では希な現象であり、今後の出現動向に注意する必要がある。

E. zodiacus (図 37)：11 月は播磨灘及び備讃瀬戸の底層において 40～60 cells/mL 確認された定点があり、その後中下旬には増殖がみられ、12 月上旬には兵庫県海域において最高細胞密度が 660 cells/mL に達した。1 月上旬には岡山県海域でも高密度化し、一部定点では 500 cells/mL を超えて発生した。しかしながら、過去の広域発生年に比較すると高密度分布域は限定的であった。播磨灘南部海域において 12 月中旬～下旬、局所的かつ一時的に 50～100 cells/mL まで増加したが、1 月以降は低密度であった。備讃瀬戸では期間中、概ね低密度で推移した。本年漁期は、2020 年 2 月上旬現在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、播磨灘北部で AA (大量発生) または A (発生年)、その他の海域で B (局所発生年) となる見込みである。

その他の種類：

- ・播磨灘南部 (徳島県海域) では、*Chaetoceros* spp. 等の小型珪藻が低密度にみられた程度で、期間を通してプランクトンが少なかった。
- ・播磨灘南部及び備讃瀬戸 (香川県海域) では、全域で 10 月中下旬及び 1 月中旬に集塊群

体形成性の *Chaetoceros socialis* を中心とした小型珪藻が確認された(最高細胞密度 786 cells/mL)。他の期間は発生量の少ない状況が続いた。

・播磨灘北部及び備讃瀬戸北部(岡山県海域)では、1月上旬以降、*Chaetoceros* spp.を中心とした小型珪藻が多く出現し、1月上旬から中旬にかけては *C. socialis* の群体も全域にわたり確認された。

・大阪湾(大阪府海域)では、湾奥部で11月上旬に *Skeletonema* spp. (最高細胞密度 1.01×10^4 cells/mL)、12月中旬に *Heterosigma akashiwo* (最高細胞密度 3.71×10^3 cells/mL) が赤潮を形成した。また、1月下旬には湾奥部で *Skeletonema* spp. が赤潮を形成しており(最高細胞密度 6.58×10^3 cells/mL)、小規模ながら期間を通して散発的な赤潮発生が確認された。

⑤まとめ

今年度は9月～12月に瀬戸内海東部の広い範囲で *C. wailesii* が大量発生したこと、また、播磨灘北部では *C. wailesii* に引き続いて *E. zodiacus* が高密度発生したことが特徴的な事象であった。これらの発生は長続きせず、いずれも1月以降は低密度化した。播磨灘北部では DIN が $2 \mu\text{M}$ を下回ったが、他の海域では $2 \mu\text{M}$ 以上を維持しており、また、貧栄養水塊発生の東進も確認されず、全体的に栄養塩濃度の極度な低下はみられなかった。水温が例年より高く推移し、一部のノリ養殖現場では生産開始の遅れが見られたものの、甚大な色落ち被害は確認されていない。

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

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予察モデルは1999～2014年までの環境条件(水温(6月 St.4, 1 m)、DIN(6月 St.4, 10 m)、珪藻の細胞数(7月上旬 St.4, 0-5 m)、降水量(徳島市5月))を解析に使用している。2019年に適用した結果、いずれも「非発生」となった(表5、図38)。2019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。1999～2014年までの赤潮発生年(2003, 2011)の5月の降雨量は平均311.8 mmであったが、2019年は190 mmとやや少なく、6月の表層のDIN濃度も発生年の平均 $1.97 \mu\text{M}$ に対して、 $0.47 \mu\text{M}$ と小さかった。これらの要因がシャットネラ赤潮発生シナリオ(図39)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、前事業で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(引田アメダス)、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 $\text{PO}_4\text{-P}$ の、5月降水量と5月 $\text{PO}_4\text{-P}$) を2019年に適用

したところ、全てのモデルで「×」となりの的中した（表 5）。一例として 5 月降水量を説明変数とする判別結果を図 40 に示す。本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ると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 41）。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）

本年は、シャットネラ赤潮の発生年となったものの、いずれの予察モデルも「発生」を予察することができなかった（表 5）。このうち、2015～2017 年の的中結果が良好であった 5 月表層塩分、同水温、6 月降水量（姫路、気象庁データ）を説明変数とする判別分析の結果を図 42 に示した。これによる 2019 年の予察は発生確率 10～90%の「△」となったものの非発生寄りにプロットされ、ほか 2 つのモデルも含め予察精度としては課題が生じる結果となった。本年におけるシャットネラ赤潮の発生は備前市地先に位置する入り組んだ内湾（片上湾内）に限定されていた。予察モデルの教師データである 1999～2014 年の発生海域を確認したところ、本年のような湾内のみの発生がなかったことから予察が的中しなかったと考えられた。

本県海域の発生シナリオは、やや沖合に位置する定点 OY2 の環境データに基づいており、短期的には珪藻類の発生との関係を推察している（図 43）。2018 年に続きシャットネラ赤潮が形成された片上湾は閉鎖性が強く水深は 10 m に満たない。環境条件の違いから発生機序も異なると考えられ、同湾における今後の状況を注視する必要がある。

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 44 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。2019 年の結果を図 45 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）。2019 年は珪藻類の増殖が安定して高位にあり、6 月、7 月とも高密度であったことが、*Chattonella* spp. の増殖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 46 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 2019 年に適用したところ、「×（非発生）」または「△」と予測された（図 47）。なお、2019 年夏季は大阪府海域では、シャットネラ赤潮は非発生であった。

2016、2018 年は予察としては、「発生」もしくは「発生よりの△」であったが、兩年共に非発生であった（図 47）。昨年度、6 月の *Chattonella* spp. 栄養細胞をシードであると仮定し、細胞密度を加えた大阪湾の赤潮発生フローチャートを作成した（図 48）。フローチャートに則て予察を行うことで中率の向上、また「△」予察の減少を試みた。この予察では、最高細胞密度 15 cells/mL 程度を境界に、6 月時点で境界密度を下回っていれば、環境条件が整っていても 7 月には赤潮が形成されないと判断した。この結果を

踏まえると、2016、2018 両年は 6 月までの *Chattonella* spp. の最高細胞密度が 0 cells/mL であったことから非発生年であると予察される。2019 年を含めた過去 5 年間はいずれも 6 月までの *Chattonella* spp. 最高細胞密度が 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発生していないので今後の検証が望まれる。

ただし、8 月発生となった 1999 年については、環境条件は比較的整っていたものの、6 月時点では最高 0 cells/mL であったこと、また、図 47 のいずれの予察手法でも 1999 年は「△」もしくは「○と△の境界を定める点」となっていることから、8 月発生赤潮については再検討が必要である。

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（2017 年 11 月～2018 年 3 月）の予察結果とシナリオ適合状況と確認するとともに、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* の大発生は 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。2018 年漁期は、最高細胞密度 1.08 cells/mL と低密度であり、局所発生年となったことから、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 49）。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 50）。2018 年の漁期における兵庫県海域では *E. zodiacus* がほとんど出現しなかった。さらに平年に比べて 12 月の北風風速値は小さかった。その他のパラメータ（DIN、塩分、底層水温）についても発生シナリオと適合していなかった。したがって、*E. zodiacus* は徳島県海域にほとんど流入せず、増殖もし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 51）。1 月の徳島県の北風風速合計値は平年に比

べてやや高かったものの、上述の通り、昨年度の兵庫県海域において *E. zodiacus* は低密度であった。したがって、*E. zodiacus* は徳島県海域にほとんど流入しなかったと考えられた。

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 52 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

2018 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 7 通りで、発生確率 20～80 % の「△」が 4 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 53 に示す。

2019 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、10 通りで「×」、1 通りで「△」と、局所発生寄りの予察となっている。

イ) 備讃瀬戸

2018 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。

2019 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、中間的な予察となっている。

3. 岡山県海域（播磨灘北西部・備讃瀬戸北部）

岡山県海域では、2005～2015 年漁期のデータを用いて播磨灘と備讃瀬戸の 2 海域で地場発生を前提とした予察モデルと発生シナリオを構築している。各海域で発生年の出現パターンは異なるものの、いずれのシナリオも良好な光環境で小型珪藻類の競合種が増殖し、栄養塩を消費した結果、増殖が制限され有機態リンの利用能で優位な *E. zodiacus* が大量発生するとしている（図 54,55）。このため、シナリオ検証では競合種の発生状況との関係に着目して検証した。なお、予察については、前年度までは 1 月までのデータを用いて 1 月の発生予察としていたが、月毎の細胞密度と発生・局所発生との関係を確認した上で 1～2 月の発生予察モデルに変更し、以下に結果を示した。

ア) 播磨灘

2018 年漁期は局所発生であった。予察は 11 月西風（姫路，気象庁データ）、1 月底層 $\text{PO}_4\text{-P}$ (OY2) のモデルで「△」、12 月日照時間、1 月底層 $\text{PO}_4\text{-P}$ のモデルで「×」（局所発生）となり、後者は的中した（表 6）。

2019 年漁期は発生年であった。予察はいずれのモデルも局所発生の「×」となり（表 6，図 56），予察は的中しなかった。

イ) 備讃瀬戸

2018 年漁期は局所発生であった。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で「×」（局所発生）、1 月底層水温、1 月底層 SiO₂-Si のモデルで「△」となり、前者は的中した（表 6）。

2019 年漁期は局所発生であった。予察はいずれのモデルも局所発生の「×」となり（表 6、図 57）、予察は的中した。

ウ）2018 年漁期のシナリオの検証

2018 年漁期は播磨灘、備讃瀬戸ともに 1 月中旬まで群体形成性の *Chaetoceros socialis* が優占して発生したものの、その後は減少し、2 月には *C. wailesii* が高密度化した。1～2 月の栄養塩濃度は極度な色落ちレベルまで低下しなかったことから、当時期は他の珪藻類に比べて栄養要求性の高い *C. wailesii* にとって増殖に適していた可能性がある。1 月下旬の小型珪藻類の低密度化後、*E. zodiacus* が大量発生しなかった要因の一つとして他種珪藻類との競合関係は注視すべき課題であり、今後、両海域における優占種の推移と気象・海象条件を照合することで、シナリオの検証を重ねていく。

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 58 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、地場発生のみが想定されている。前事業での検討から、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、発生・局所発生の二区分のみとして予察を運用している。

2018 年漁期においては、1～2 月は大量発生が予察され、3 月期についてもその発生状況が継続すると予察された（表 6、図 59）。しかしながら、これらの予察はともに的中しなかった。2018 年漁期は、播磨灘北東部海域において、近年では栄養塩濃度レベルが高く、1 月には群体形成性の小型珪藻類（*Chaetoceros* spp., *Skeletonema* spp. 等）が、また 2 月には大型珪藻の *C. wailesii* が多く発生した一方で、期間を通じて *E. zodiacus* はほとんど発生がみられなかった。先行または同時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、本種の大量発生は、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。今後は、他の珪藻類との競合・共存関係にも着目し、予察技術の高度化を検討する必要がある。

2019 年漁期の予察については、1～2 月の判別領域としては局所発生が予察されたが、大量発生との境界領域のごく近傍となった。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 年以降の赤潮発生年が 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、2019 年漁期については、2020 年 1 月までは *E. zodiacus* は局所

発生（非発生）となっている。

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 を除いた 18 定点のうち 3 点以上で 100 cells/mL 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* を除いた珪藻細胞密度を使用している。判別分析による予察では、2019 年 11 月及び 2020 年 1 月は発生確率 20~80% の「△」、2019 年 12 月は非発生と判別されて（図 60）概ね的中したと言える。2018 年 11 月~2019 年 1 月については、12 月下旬、1 月下旬を除いて全体的に降水量が少なく、また高水温で静穏な気象が継続したことから鉛直混合が生じにくく、有光層への栄養塩供給が少なかったものと考えられる。また、11 月上旬、1 月下旬には *Skeletonema* spp., 12 月中旬には *Heterosigma akashiwo* がそれぞれ赤潮を形成しており、競合種の増殖により本種の増殖にはつな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 で 100 cells/mL を超えた場合を流入発生の可能性が高いとしている。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（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 61）。解析結果は、2019 年漁期には非発生と予察され、流入発生の予察は的中したと言える。2018 年 11 月~2019 年 1 月には期間を通して東風に対して西風が卓越していたものの、播磨灘北部では本種は確認されなかった（2 地点平均 0 cells/mL）ことから、明石海峡付近には *E. zodiacus* がほとんど吹き寄せられず、潮流によって大阪湾に進入した *E. zodiacus* も少なかったものと考えられる。

4) 新たな情報発信方法の検討

西海区水産研究所が管理運営している赤潮ネットとの連携を図り、夏季及び冬季海洋モニタリング調査結果の網羅的な確認手法と予察情報の発信手法を検討した。

① 海洋モニタリング調査結果の網羅的な確認手法

赤潮ネットの「赤潮分布情報」(https://akashiwo.jp/public/kaikuInit.php?qkaiku_id=2&sid=1)における表示海域で「瀬戸内海東部」が設定されるとともに（図 62）、漁業者に馴染みのある日付ごとのタブからプランクトン情報を網羅的に確認できるようなサイトも設定された。

② 予察情報の発信手法

現在、予察技術の検証と高度化の途中段階であり、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情報共有できるような手法を検討した。予察結果は、「赤潮分布情報」における機関ログイン後に利用可能な「情報共有」に入力し、関係者が確認できるようになっている（図 63）。今年度は実際に予察結果を関係機関で共有した。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) シャットネラ赤潮出現状況と底層環境との関係の検討

瀬戸内海東部の 6~7 月の底層水温は、毎年、明石海峡周辺部に高温帯が分布していた（付図 1）。明石海峡部は強混合域であり、先行して昇温している周辺海域の表中層水と混合するため、底層水の昇温が他海域よりも早いと考えられた。これにより、播磨灘の中央部の底層水温は毎年、明石海峡部からの波及により昇温し、等温線（等温域）が概ね南北方向に延伸する結果となった。また、気温等陸上の気象要因を受けやすい沿岸浅海部（播磨灘北西部）では、等温線は海岸線と平行となった。

播磨灘の海峡部を通じた海水交換量は、鳴門海峡経由よりも明石海峡経由が上回るとされている（今里・淡路 1982）。今回の解析でも、鳴門海峡を通じた 6~7 月の顕著な水温上昇は確認できなかった。また、大阪湾の底層にも明石海峡部を上回る高温帯は確認されなかったことから、紀伊水道沖からの外洋系水が大阪湾を通じて播磨灘の底層環境に影響する場合にも、紀淡海峡での混合や大阪湾の海水の密度分布等環境条件の影響、加えて大阪湾内や明石海峡周辺部での表中層水との混合の影響を受け、より間接化しているものと考えられた。

1970~80 年代については、6, 7 月の底層水温が高い年に広域発生する傾向があり、特に 1977~1979 年の赤潮発生年において顕著であった。これは今井（2012）の底層水温による発生予知結果とほぼ一致した。この年代においては、潮岬沖での黒潮大蛇行期に合致することが多く、上述のとおり間接的であったとしても、遠因として外洋系水が播磨灘東部の底層環境に影響した可能性がある。一方で、1990 年代以降は 6 月、7 月の底層水温が高くても赤潮が発生しない年（1998 年や 2004 年など）や、底層水温が低いにもかかわらず発生する年（1997 年や 2003 年など）がみられた。これらの結果の差異を生じさせた要因について以下のように考察した。

1970~80 年代における播磨灘は比較的海域の栄養塩が豊富であった（Nishikawa et al. 2010）。さらに、シャットネラ赤潮が頻発していたため、海域のシスト量が非常に多かった（一見ら 2005）。したがって、この頃はシャットネラ赤潮発生のための水温以外の因子による制限が少なく、播磨灘全体やシストの密度が高い中央部の水温環境が大規模なシャットネラ赤潮発生に影響したと考えられる。

一方、1990 年代以降は海域の貧栄養化が進行し（Nishikawa et al. 2010）、赤潮の発生頻度は減少、規模も小さくなった（吉松 2017）。また、播磨灘における *Chattonella* spp. の総シスト数は、水質の改善に伴い減少していたと報告されている（一見ら 2005）。これらのことから、1990 年代以降は 1970~80 年代よりも赤潮が大規模発生するための条件が揃いにくくなっており、沿岸部や湾内、港内などの狭い範囲での海底環境条件が、個々の小規模な赤潮発生に影響するようになったと考えられる。今後、シャットネラ赤潮の予察技術の高度化にあたっては、近年多発している小規模で局地的な赤潮を念頭に、関連性解析やモデルの改善を検討する必要がある。

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.

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.

一見和彦, 多田邦尚, 門谷茂. 瀬戸内海の植物プランクトン量の過去と現在—堆積物試料からの推定. 海洋と生物 2005 ; 27(3) : 214-221.

今井一郎. シャットネラ赤潮の発生予知. シャットネラ赤潮の生物学, 生物研究社, 東京. 2012 ; 134-144.

今里哲久, 淡路敏之. 明石・鳴門海峡を通しての海水交換の数値実験. 沿岸海洋研究ノート 1982 ; 20(1) : 19-32.

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.

Nishikawa, T., Hori, Y., Nagai, S., Miyahara, K., Nakamura, Y., Harada, K., Tanda, M., Manabe, T., & Tada, K. Nutrient and phytoplankton dynamics in Harima-Nada, eastern Seto Inland Sea, Japan during a 35-year period from 1973 to 2007. *Estuaries and Coasts*, 2010; 33(2): 417-427.

岡山県, 兵庫県, 大阪府, 和歌山県, 徳島県, 香川県, 株式会社富士総合研究所. 平成 2 年度赤潮対策技術開発試験シャットネラ赤潮被害防止技術開発試験東部瀬戸内海シャットネラ赤潮総合解析報告書, 水産庁, 東京. 1991 ; 144.

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.

山口峰生・今井一郎. 有害鞭毛藻シャットネラの生理・生態と赤潮発生予知の現状. 資源

環境対策, 1995 ; 31 : 173-182.

吉松定昭. 播磨灘のシャットネラ赤潮. 瀬戸内海 2017 ; 74 : 22-24.

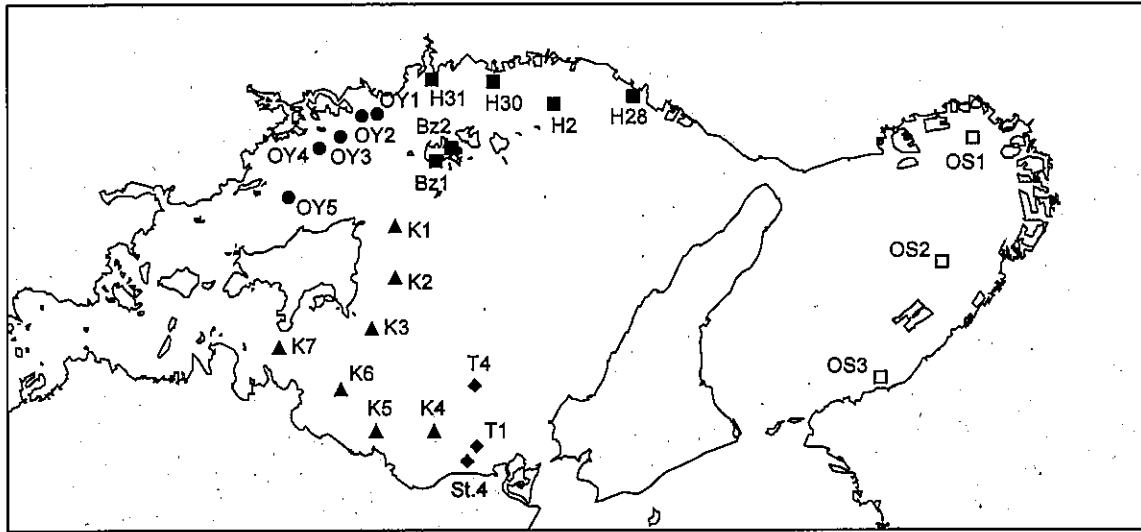


図1 調査定点図

■: 兵庫県実施定点 ●: 岡山県実施定点 ▲: 香川県実施定点
◆: 徳島県実施定点 □: 大阪府実施定点

表1 観測層及び調査項目 (夏季)

府県名		兵庫県	岡山県	徳島県	香川県	大阪府
観測層		0.5, 5 or 10, B-1m	0.5, 5 or 10, B-1m	1, 5, 10, B-1m	0.5, 5, 10, B-1m	0.5, 5, 10, B-1m
調査定点数		6	5	3	7	3
調査回数		8	8	9	12	9
調 査 項 目	水温	○	○	○	○	○
	塩分	○	○	○	○	○
	透明度	○	○	○	○	○
	NH ₄ -N	○	○	○	○	○
	NO ₂ -N	○	○	○	○	○
	NO ₃ -N	○	○	○	○	○
	DIN	○	○	○	○	○
	PO ₄ -P	○	○	○	○	○
	SiO ₂ -Si	○	○	○	○	○
	クロロフィル _a	○	○	○	○	○
	DO	○	○	○	○	○
	プランクトン・ Chattonella antiqua, C. marina, C. ovata	○	○	○	○	○
	Karenia mikimotoi	○	○	○	○	○
	Cochlodinium polykrikoides	○	○	○	○	○
	Heterocapsa circularisquama	○	○	○	○	○

*: プランクトンは原則として試水 1 mL 中の有害赤潮種の細胞数を計測する。

兵庫県: 水深 10 m 前後の 3 定点 (H28, H30, H31) は 3 層 (0, 5, B-1 m) で観測。

岡山県: 水深 10 m 前後の 4 定点 (OY1~4) は 3 層 (0, 5, B-1 m) で観測。

水深 20 m 前後の 1 定点 (OY5) は 3 層 (0, 10, B-1 m) で観測。

表2 測定・分析方法一覧（夏季及び冬季）

府県名		兵庫県	岡山県	徳島県	香川県	大阪府
水温・塩分	多項目CTD	○	○	○	○	○
透明度	透明度板	○	○	○	○	○
NH ₄ -N	インドフェノール青吸光光度法	○	○	○	○	○
NO ₂ -N	ナフチルエチレンジアミン吸光光度法	○	○	○	○	○
NO ₃ -N	銅カミウムカラム還元 ナフチルエチレンジアミン吸光光度法	○	○	○	○	○
PO ₄ -P	モリブデン青（アスコルビン酸還元） 吸光光度法	○	○	○	○	○
SiO ₂ -Si	モリブデン青（アスコルビン酸還元） 吸光光度法	○	○	○	○	○
クロロフィルa	アセトン抽出蛍光法 多項目CTD	○	○*	○	○	○
DO	多項目CTD	○	○	○	○	○

*: 多項目 CTD の蛍光値をアセトン抽出吸光法で補正

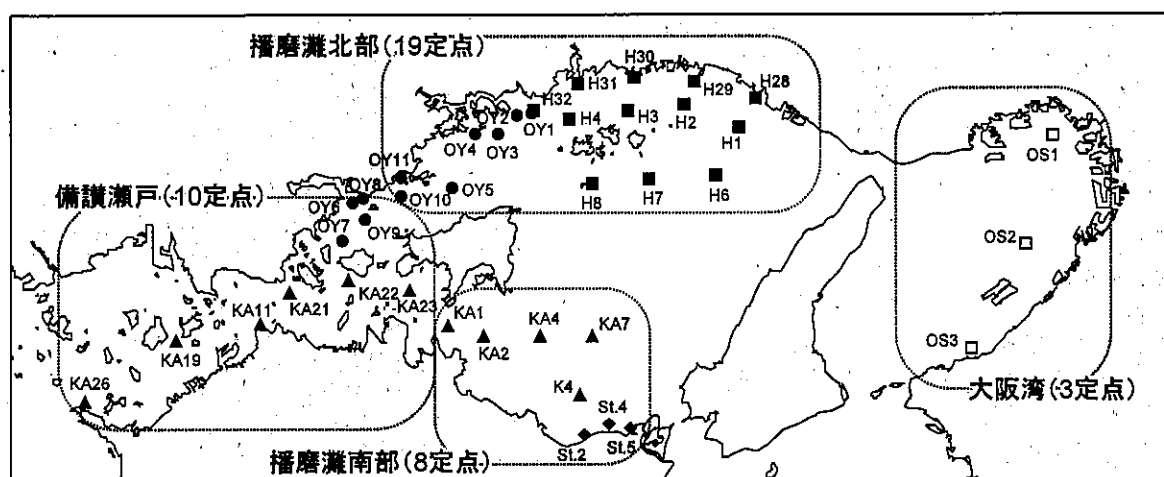


図2 冬季調査定点位置

- : 兵庫県実施定点 ●: 岡山県実施定点 ▲: 香川県実施定点
 ◆: 徳島県実施定点 □: 大阪府実施定点

表3 観測層及び調査項目（冬季）

府県名	兵庫県	岡山県	徳島県	香川県	大阪府
観測層	0.5, 5 or 10, B-1m	0.5, 2.5 or 5 or 10, B-1m	1, 5, 10, B-1m	0.5, 10, B-1m	0.5, 5, 10, B-1m
調査定点数	12	11	3	11	3
調査回数	8	4	6	8	4
調査項目	水温	○	○	○	○
	塩分	○	○	○	○
	透明度	○	○	○	○
	NH ₄ -N	○	○	○	○
	NO ₃ -N	○	○	○	○
	NO ₂ -N	○	○	○	○
	DIN	○	○	○	○
	PO ₄ -P	○	○	○	○
	SiO ₂ -Si	○	○	○	○
	クロロフィル _a	○	○	○	○
	DO	○	○	○	○
	プランクトン*				
	<i>Encampia zodiacus</i>	○	○	○	○
	<i>Coscinodiscus wailesii</i>	○	○	○	○
	その他	○	○	○	○

*: *C. wailesii* は海水(100 mL~1 L)を濃縮して計数。その他は生海水 1~3 mL 中の細胞数を計数。

** : K4(全層)及びKA19(底層)は測定なし。その他は0.5 mと底層(20~B-1 m)で測定。
 兵庫県: 5 m層はH28~32, 10 m層はH1~8で測定。
 岡山県: 2.5 m層はOY6及び11, 5 m層はOY1~4及び10, 10 m層はOY5及び7~9で測定。

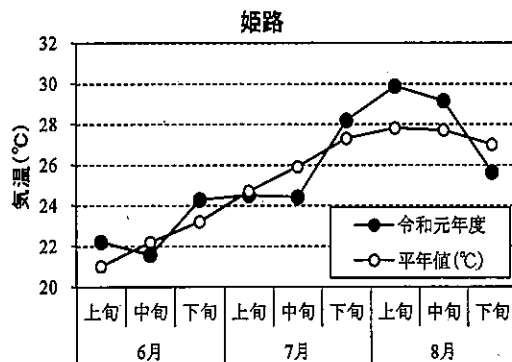


図3 気温の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

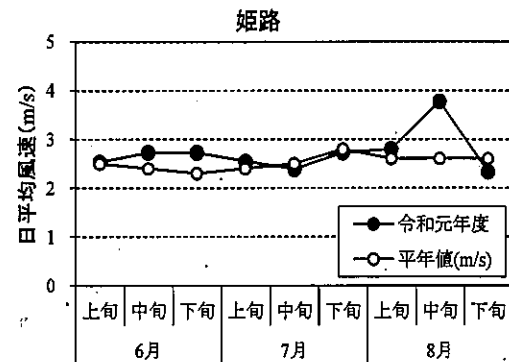


図4 日平均風速の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

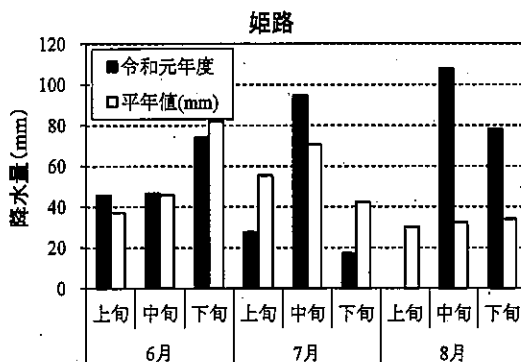


図5 降水量の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

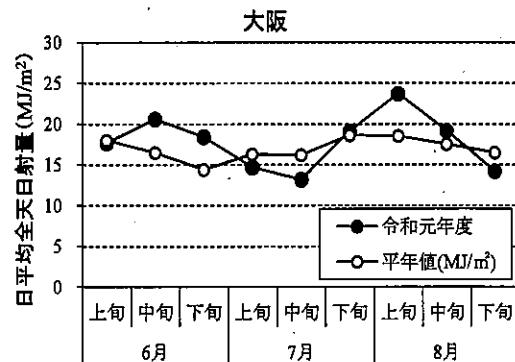


図6 全天日射量の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

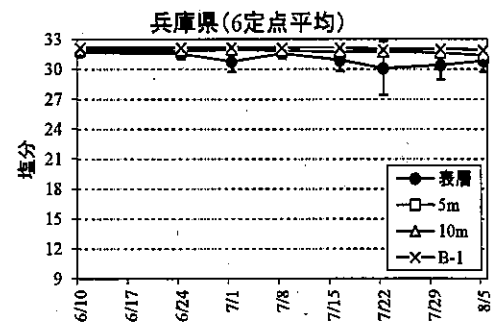
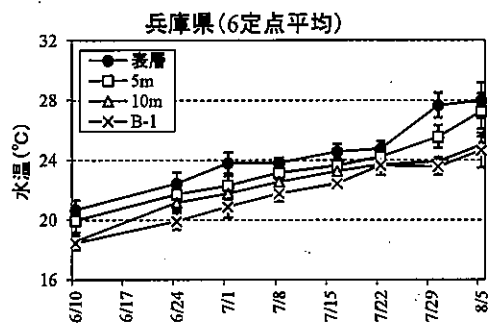
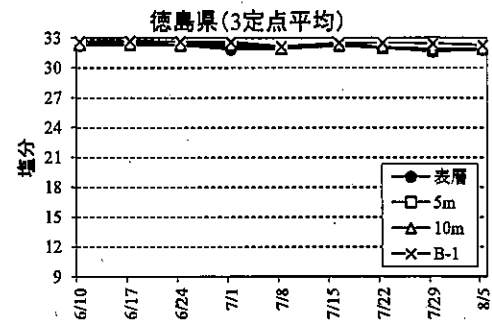
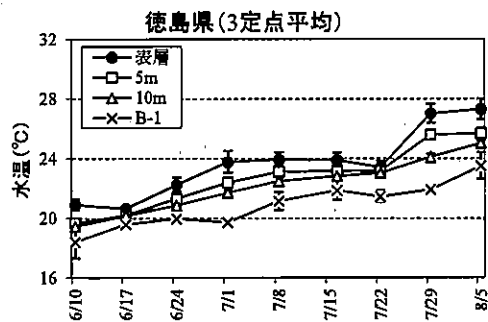
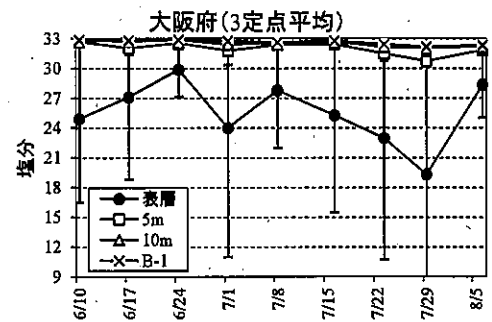
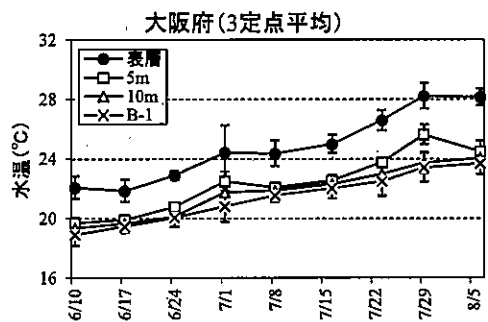
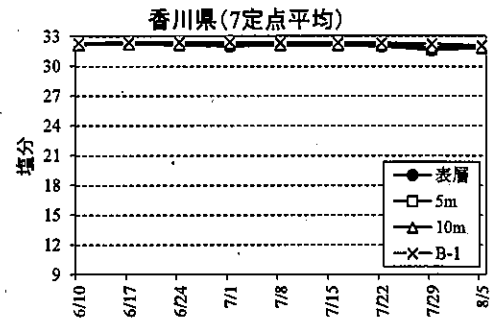
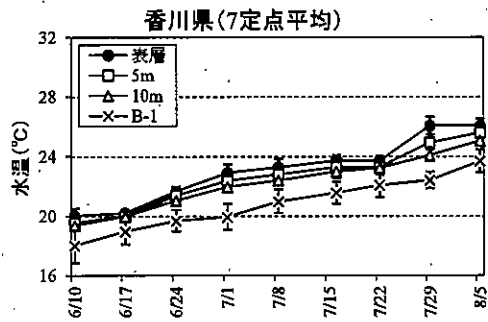
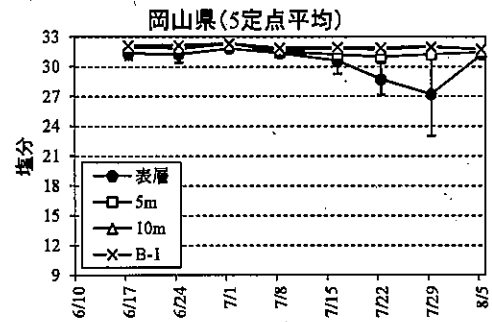
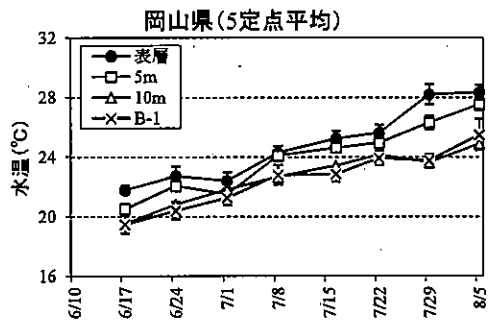


図7 水温の変動(縦バーは標準偏差。以下同じ)

図8 塩分の変動

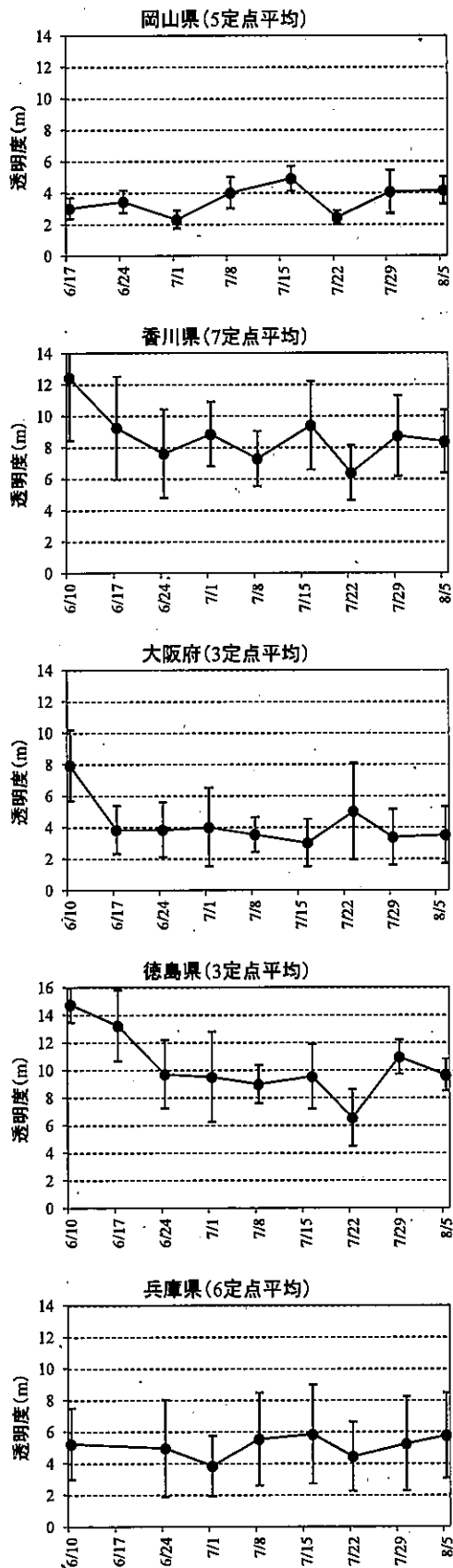


図9 透明度の変動

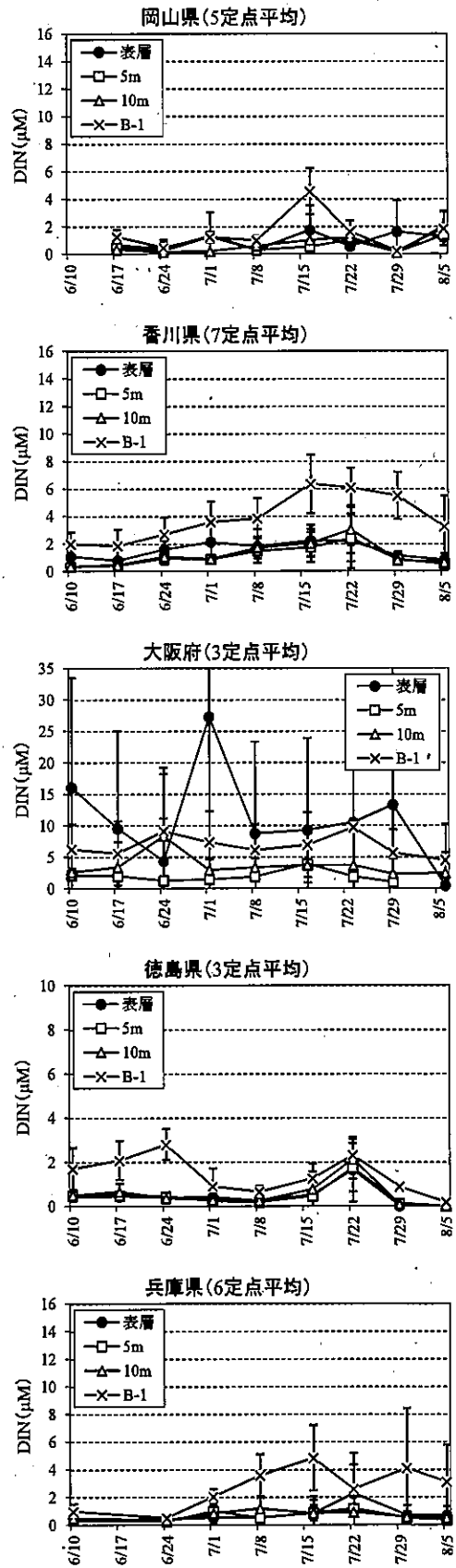


図10 DINの変動

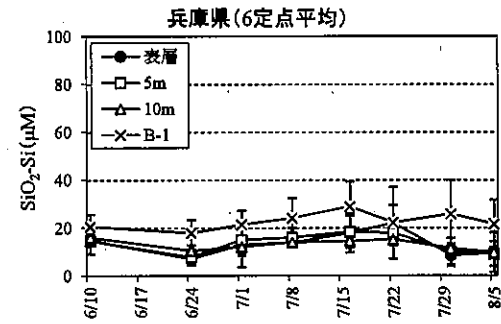
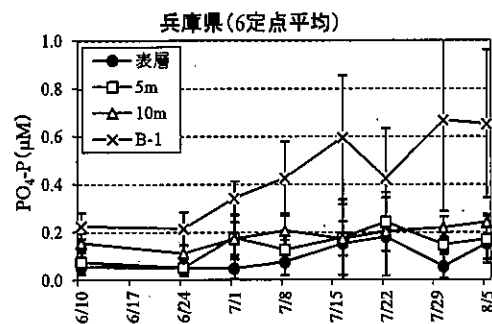
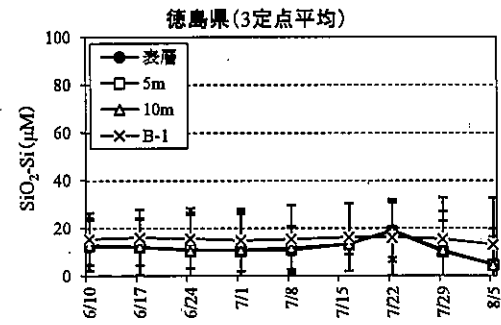
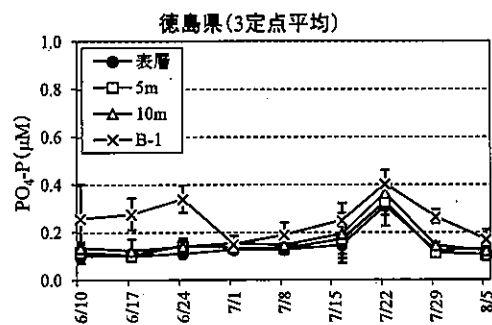
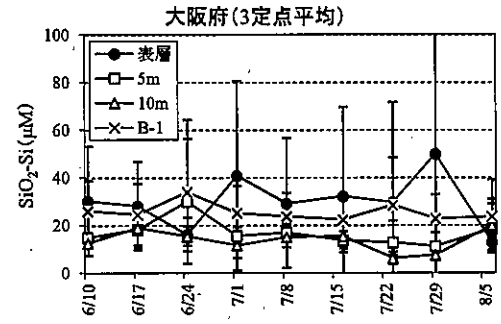
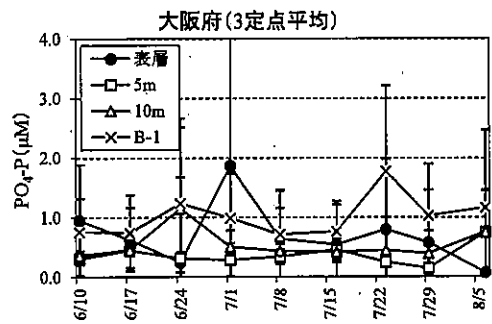
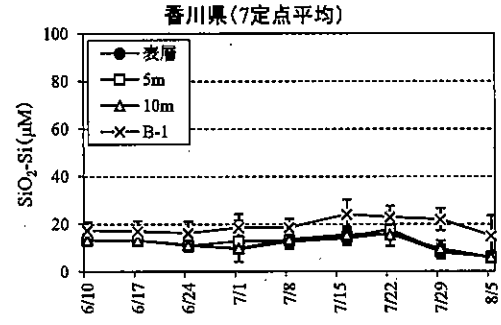
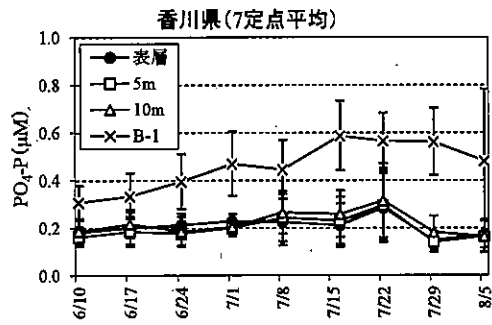
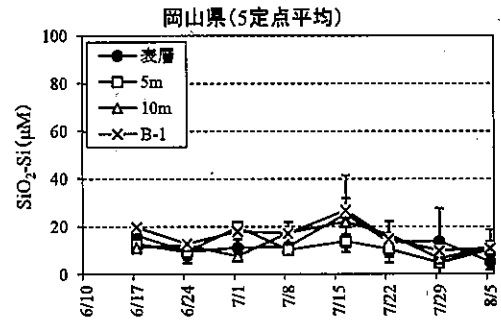
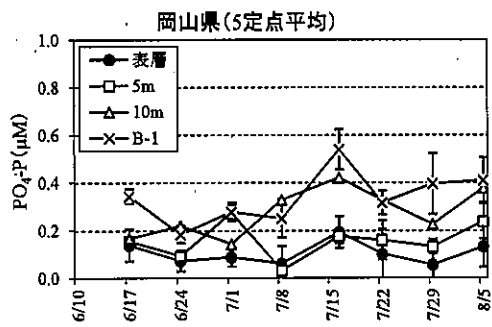


図 11 $\text{PO}_4\text{-P}$ の変動

図 12 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ の変動

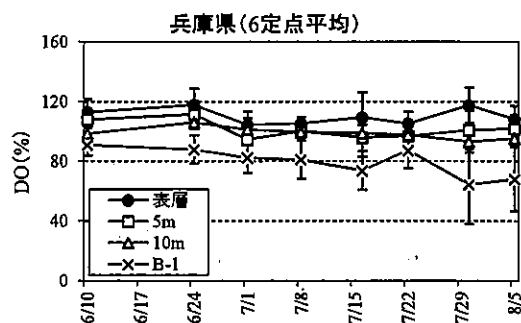
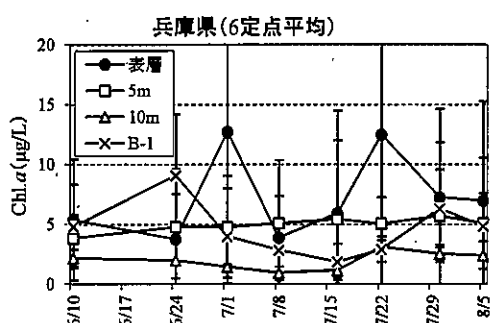
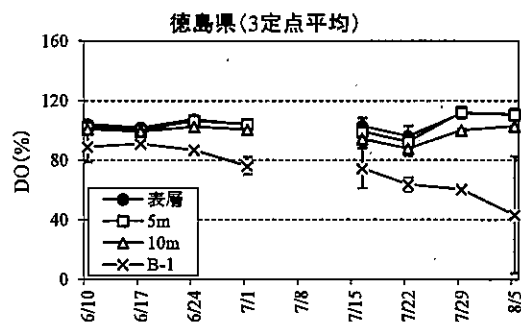
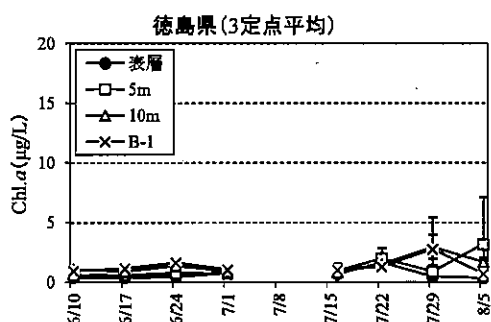
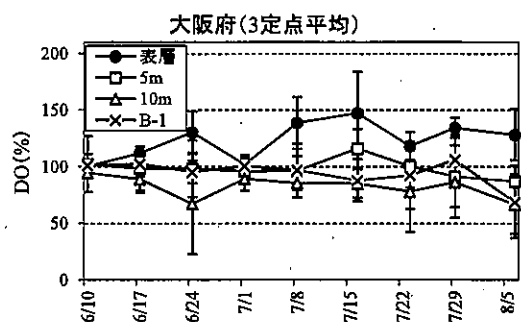
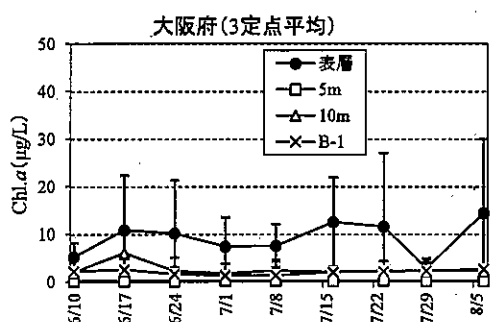
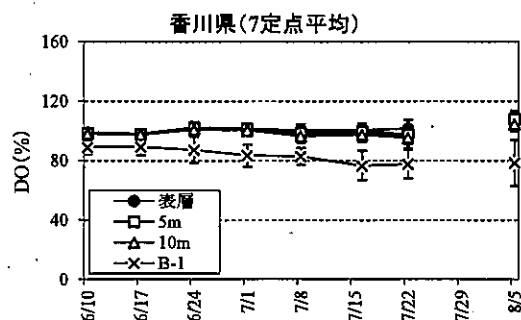
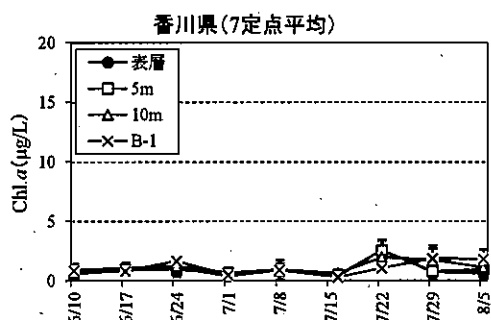
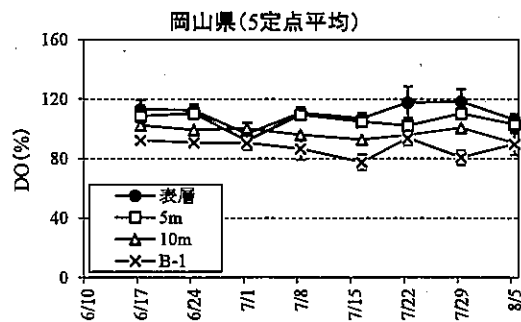
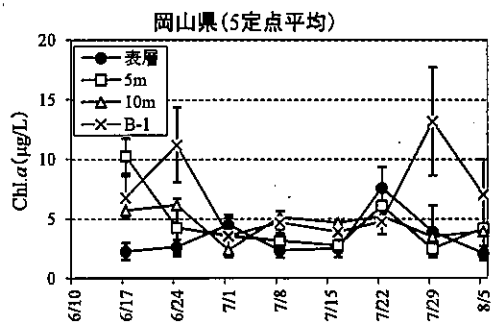


図 13 Chl. a の変動

図 14 DO の変動

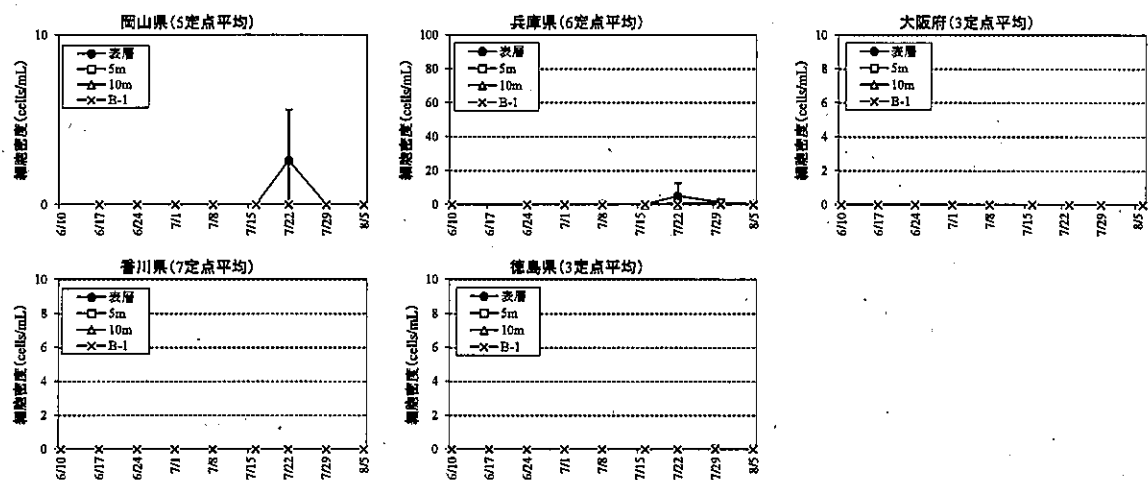


図 15 *Chattonella antiqua* + *C. marina* の細胞密度の推移

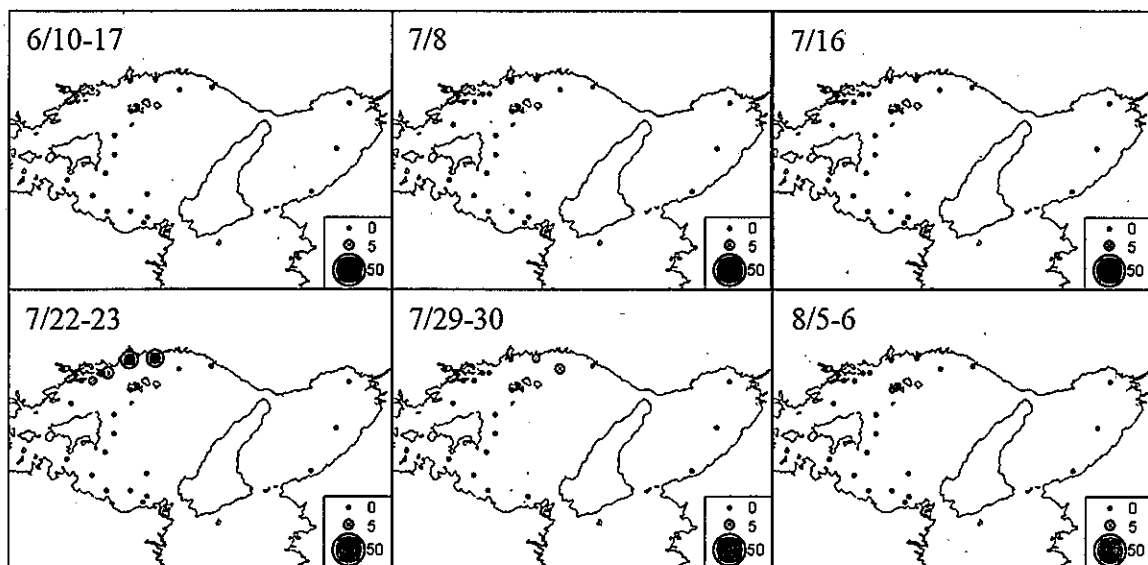


図 16 6 月上旬から 8 月上旬までの *Chattonella antiqua* + *C. marina* の細胞密度の水平分布
(各調査日、定点において最大細胞密度を記録した層のデータを示した。)

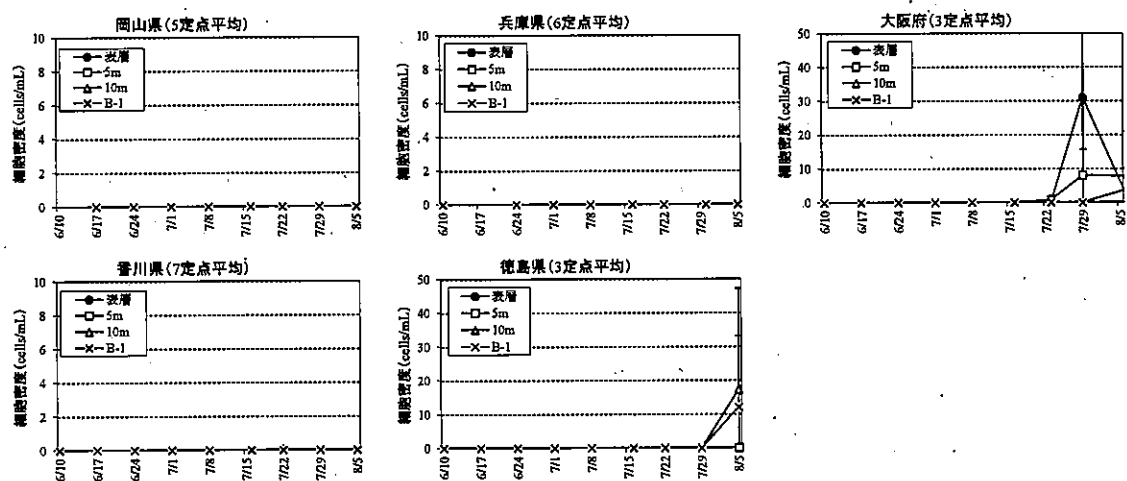


図 17 *Karenia mikimotoi* の細胞密度の推移

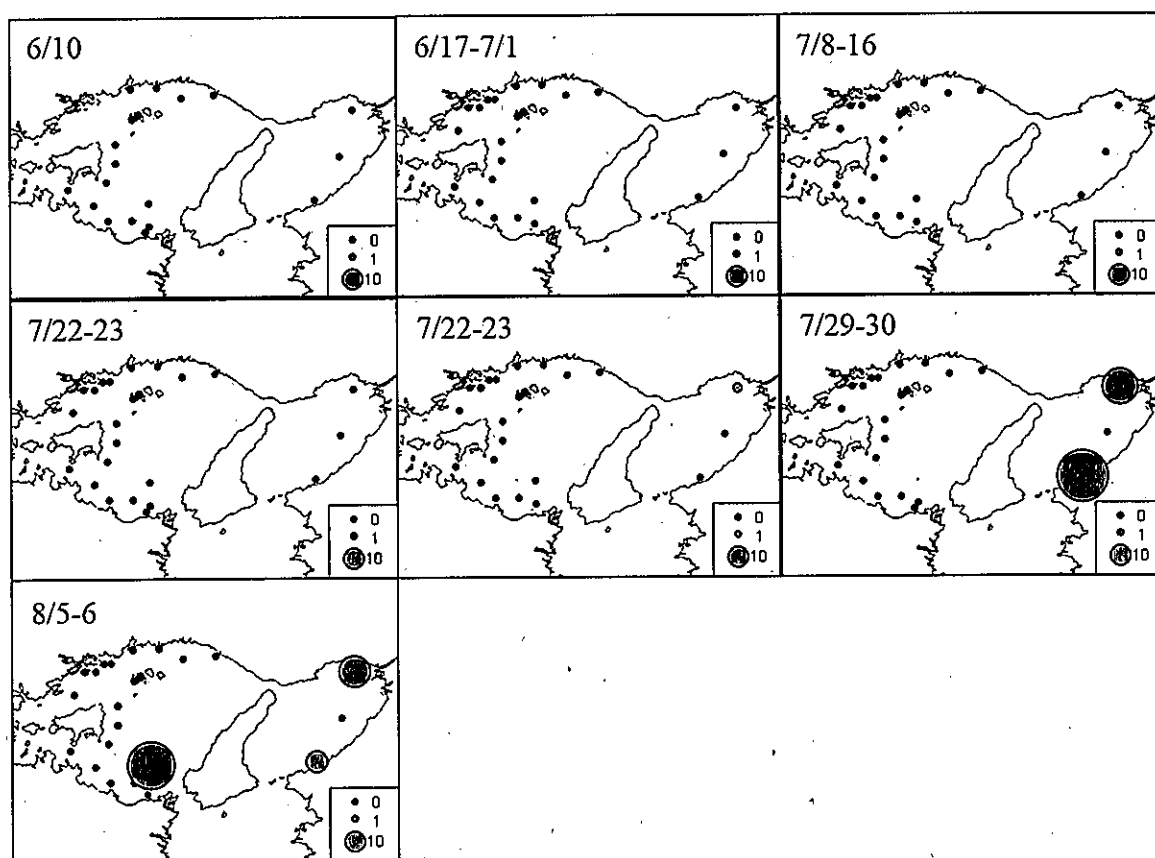


図 18 6 月上旬から 8 月上旬までの *Karenia mikimotoi* の細胞密度の水平分布
(各調査日、定点において最大細胞密度を記録した層のデータを示した。)

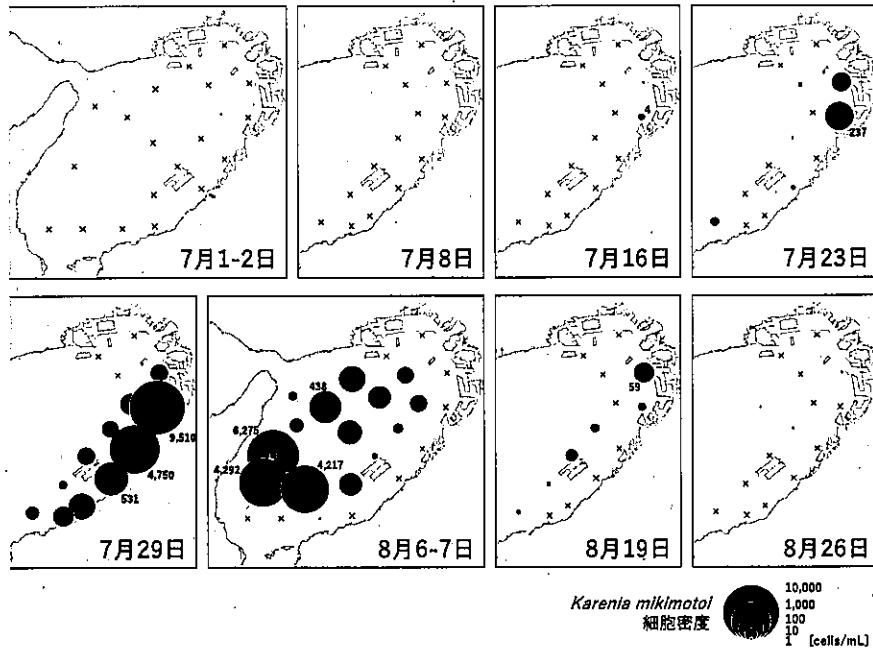


図 19 2019 年 7 月～8 月の大阪湾における *Karenia mikimotoi* の発生状況

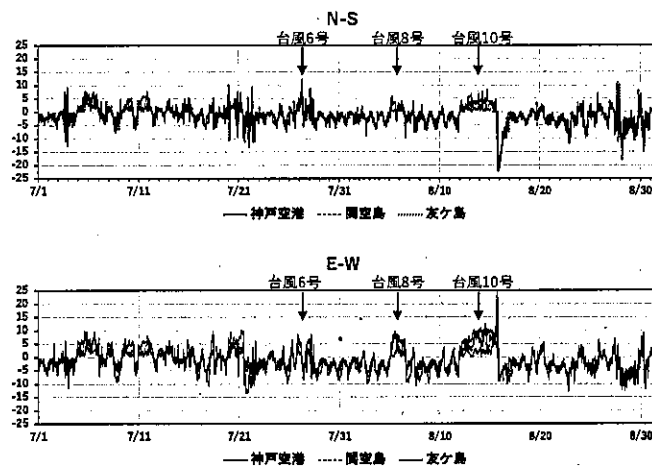


図 20 2019 年 7 月～8 月の大阪湾における南北方向と東西方向の風速の変動（気象庁気象統計情報から引用）

表 4 平成 31 年 6～8 月に調査機関が確認した赤潮発生状況（珧藻のみによる赤潮は除く）

番号	発生期間	日数	発生海域	府県名	構成種名	発生状況および発達状況	最高細胞数 (cells/mL)	漁業被害
1	6/7	1	播磨灘南西部	(香川県)	<i>Alexandrium pacificum</i> (Group IV) (旧称 <i>Alexandrium catenella</i>)	屋島湾奥部で高密度化した。	645	無
2	7/1～9/9	71	播磨灘北西部	(岡山県)	<i>Chattonella marina</i> <i>Chattonella antiqua</i>	備前市地先片上湾で発生し、 <i>C. marina</i> が主体で湾奥を中心に高密度化した。	6,333	無
3	7/22～7/29	8	播磨灘北西部	(岡山県)	<i>Karenia mikimotoi</i>	備前市地先片上湾で番号2の <i>Chattonella</i> 属との混合赤潮として発生した。	733	無
4	7/29～8/9	12	大阪湾	(大阪府) (兵庫県)	<i>Karenia mikimotoi</i>	泉大津～貝塚の沿岸域で発生を確認。その後、湾南部へ移動した。堺町で畜養中の魚類が斃死。	2.42×10^4	有 (金額不明)
5	8/7～8/21	15	大阪湾西部	(大阪府)	<i>Karenia mikimotoi</i>	湾西部海域でパッチ状に着色。淡路島東岸の一部の漁港・港湾内で高密度化した。	3.7×10^4	有 (金額不明)
						湾西部海域の広範囲でパッチ状に着色を確認。	6.28×10^3	無
6	8/20～8/24	5	播磨灘南西部	(香川県)	<i>Karenia mikimotoi</i>	志度湾奥部の玉浦湾で着色。	1.75×10^4	無

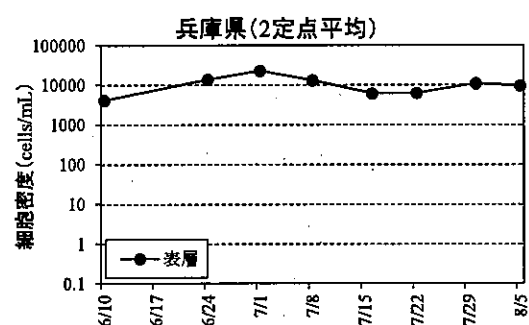
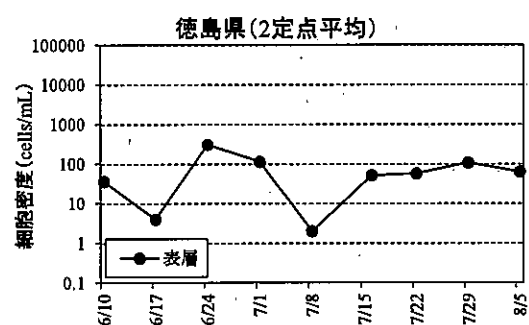
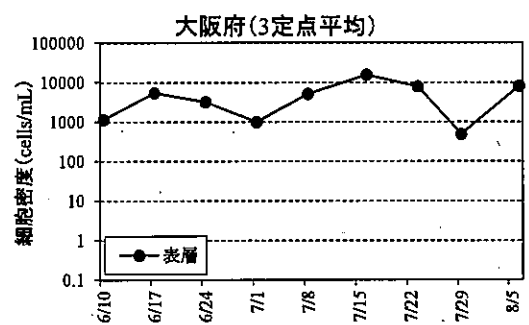
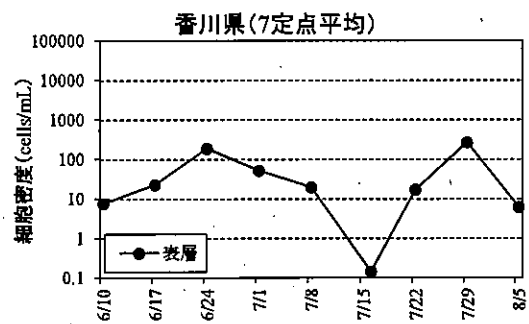
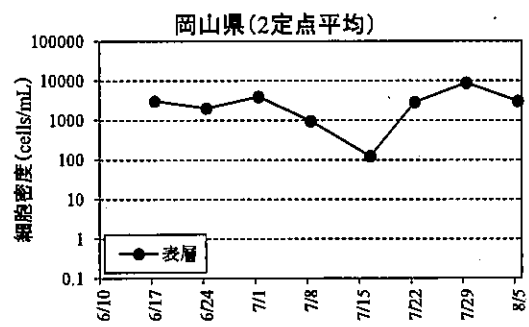


図 21 全珪藻数の推移

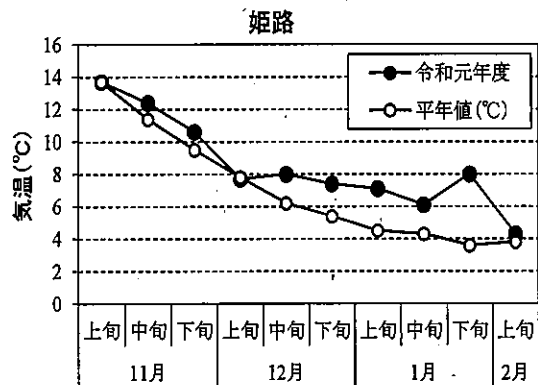


図 22 気温の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

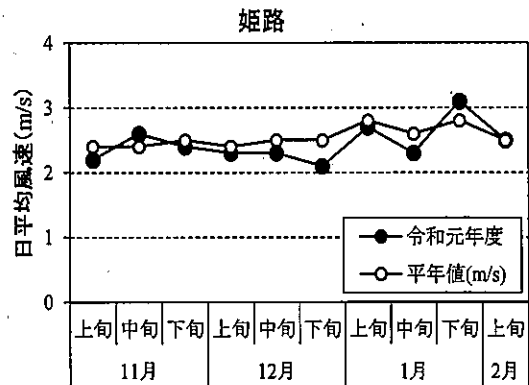


図 23 日平均風速の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

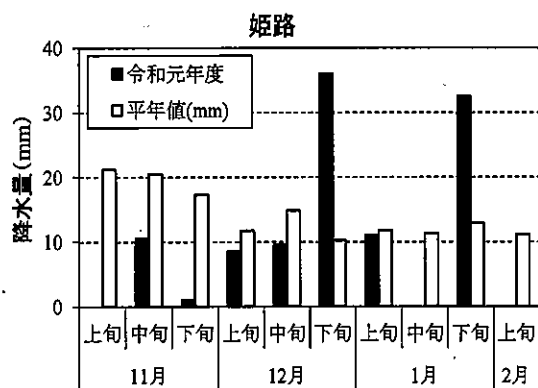


図 24 降水量の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

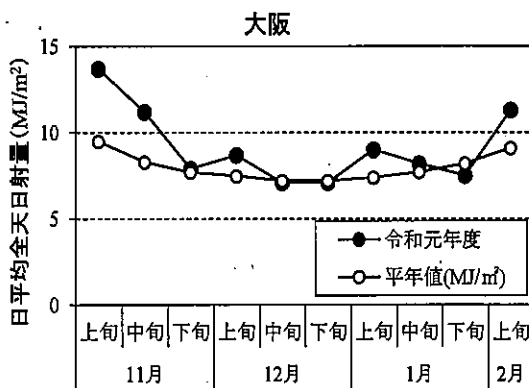


図 25 全天日射量の旬平均値の変動
(気象庁気象統計情報から引用)

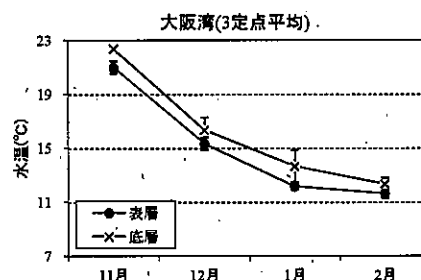
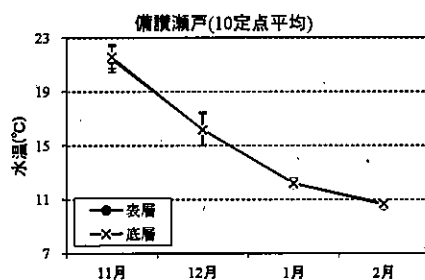
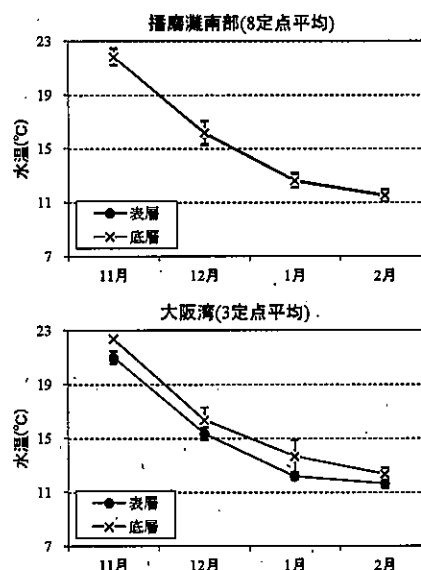
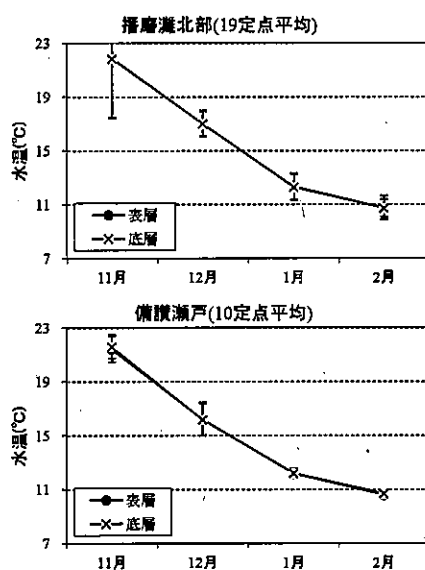


図 26 水温の変動（各月上旬。縦バーは標準偏差。以下同じ。）

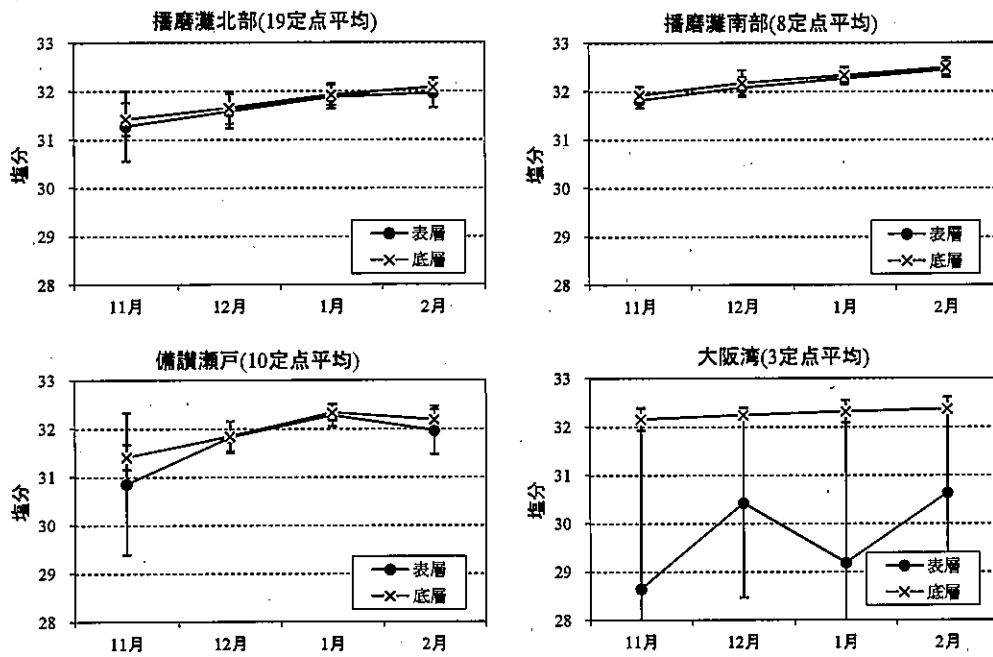


図 27 塩分の変動

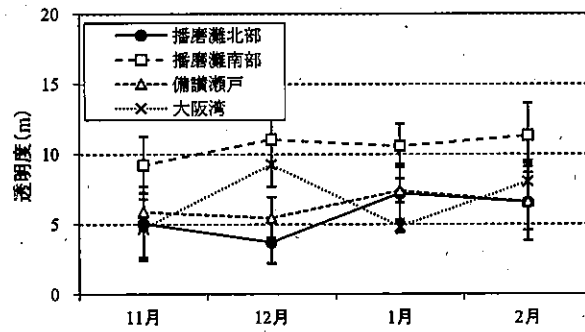


図 28 透明度の変動

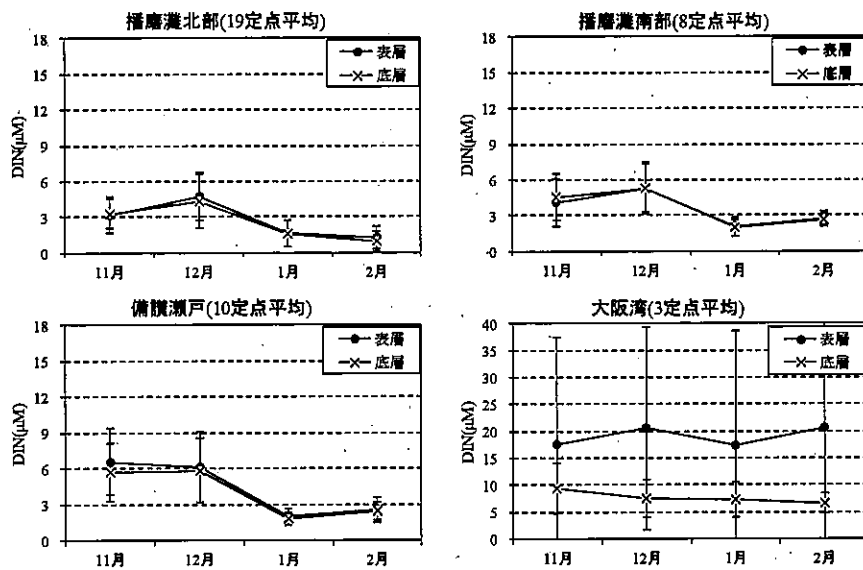


図 29 DIN の変動

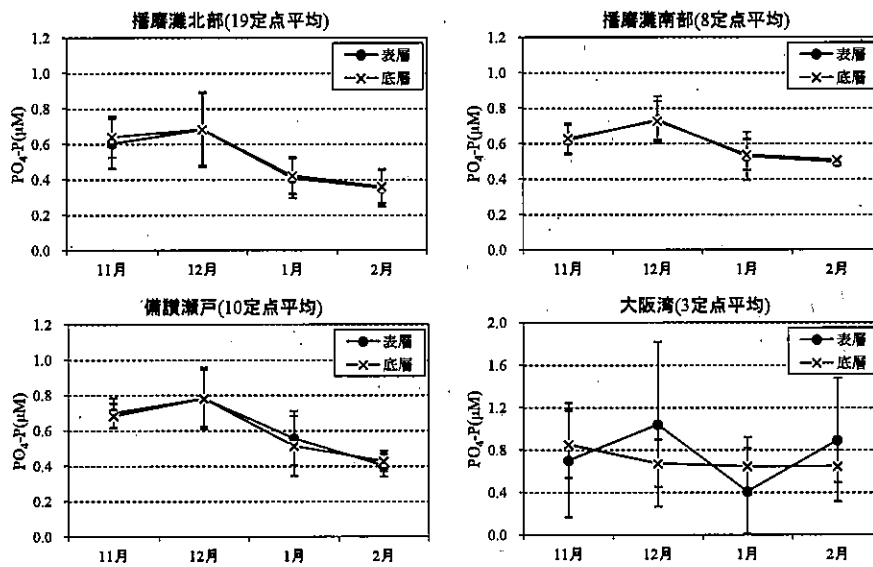


図 30 $\text{PO}_4\text{-P}$ の変動

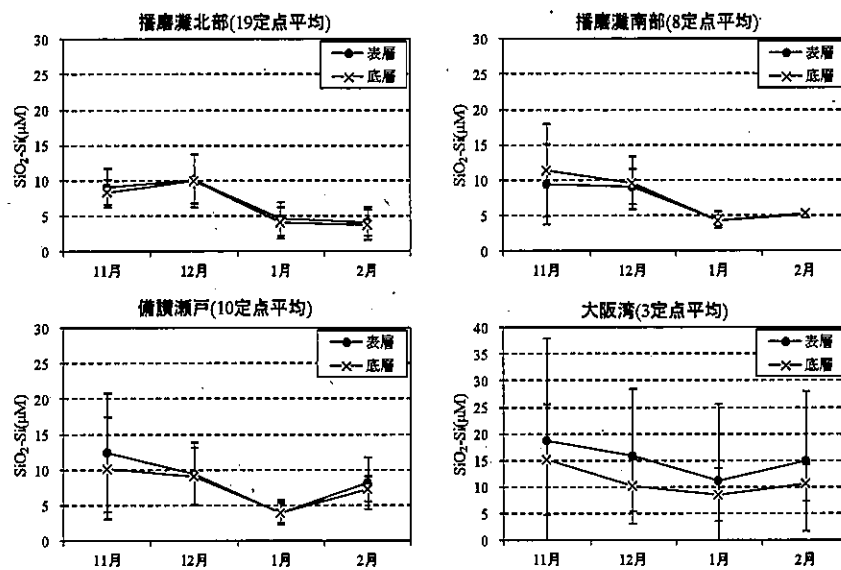


図 31 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ の変動

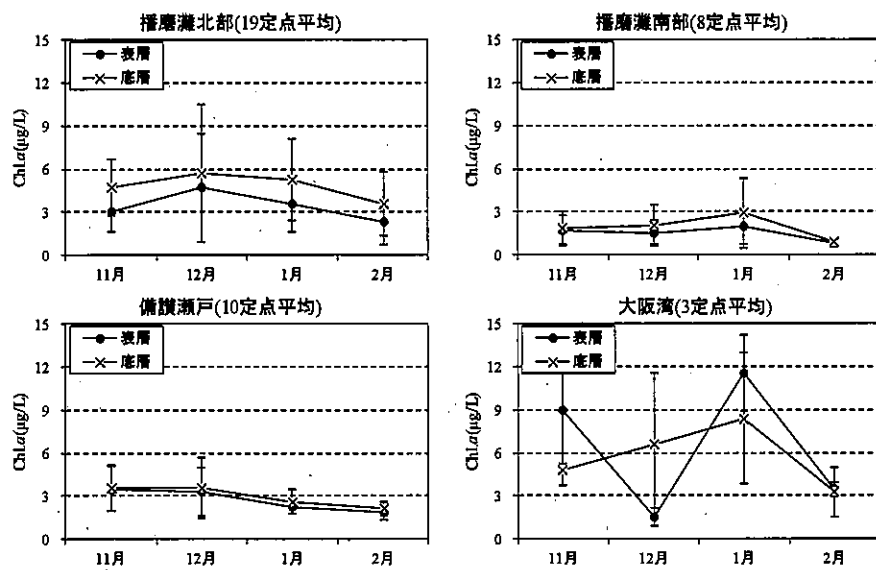


図 32 Chl. a の変動

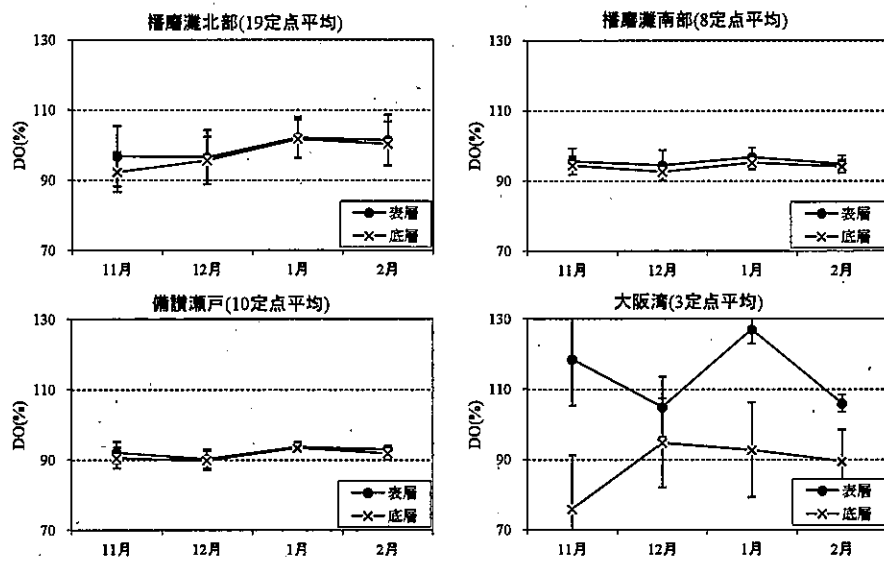


図 33 DO の変動