

3. 水質(貧酸素水塊の軽減対策、赤潮対策)

3.1 海洋環境整備事業(水塊構造調査)

国土交通省では、2004(平成16)年度から海洋環境整備船「海輝」・「海煌」を配備し、有明海・八代海の水塊構造調査を実施している。

3.1.1 調査の内容・方法

海洋環境整備船(海輝・海煌)は、様々な機器を装備しており、これらの機器を使って有明海・八代海において水塊構造調査を実施している。水塊構造調査の内容は表 3.1-1 に、調査位置は図 3.1-1 に示すとおりである。

表 3.1-1 海洋環境整備船(海輝・海煌)による水塊構造調査

| 調査名 | 各調査の目的 | 調査内容 | 時期 |
|--------|--|---|-------------------------------------|
| 水塊構造調査 | <ul style="list-style-type: none"> 水温・塩分等の水質の鉛直断面特性から水塊構造の季節変化、経年変化を把握する。 貧酸素水塊や赤潮の発生と水塊構造の関係性を把握する。 | <機器計測> 水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィルa <採水分析> 濁度、SS、クロロフィルa、植物・動物プランクトン | 原則として月2回(大潮期・小潮期) ※2004(平成16)年度～ |

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

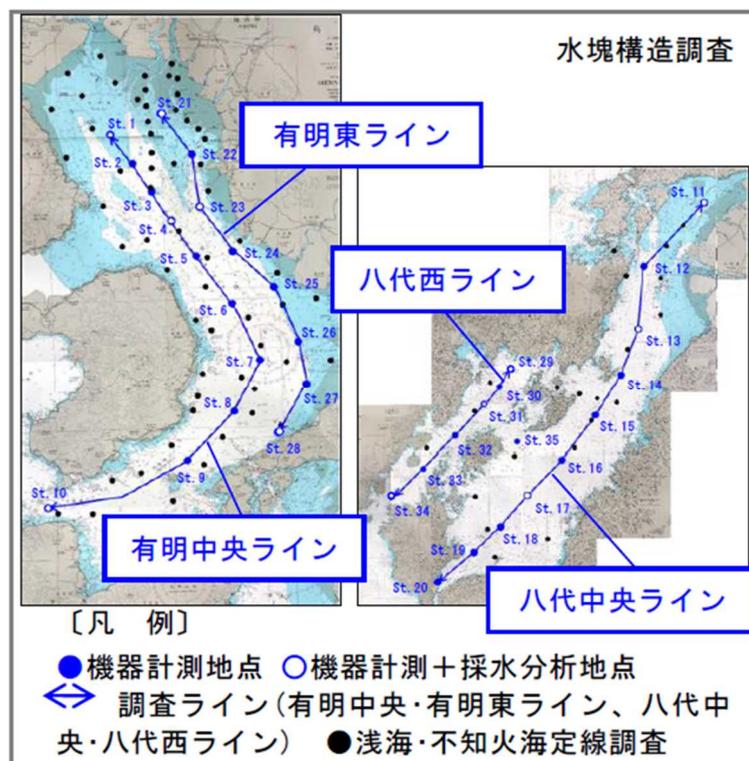


図 3.1-1 調査位置

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

3.1.2 調査結果

(1) 水温・塩分

水塊構造調査における 2018(平成 30)年 8 月の有明海・八代海の水温・塩分の分布は図 3.1-2 に示すとおりである。有明海、八代海ともに湾奥から湾央の広い範囲で上層が高水温、低塩分となる成層構造が確認された。

※図の左側が湾奥方向、右側が湾口方向

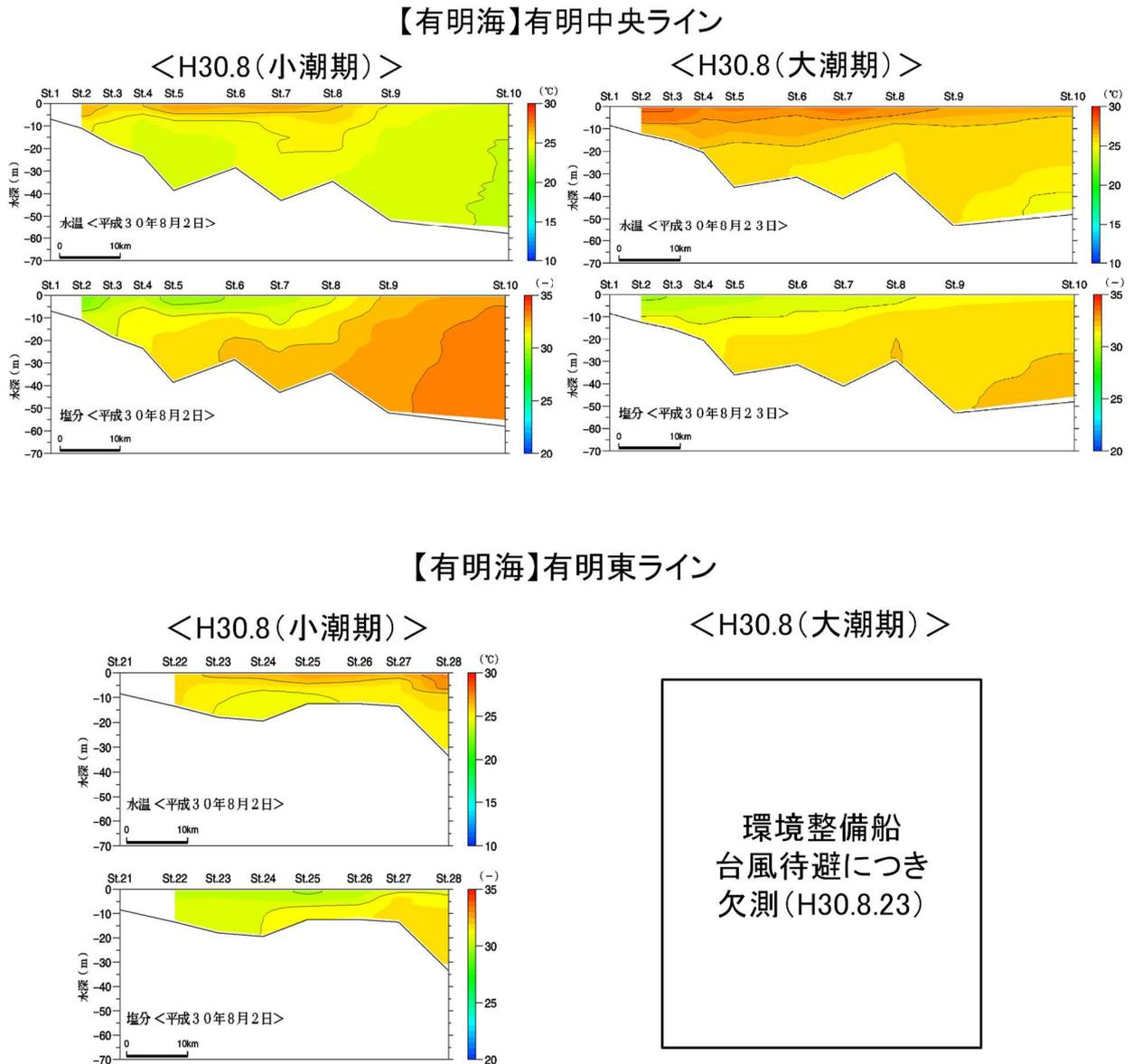
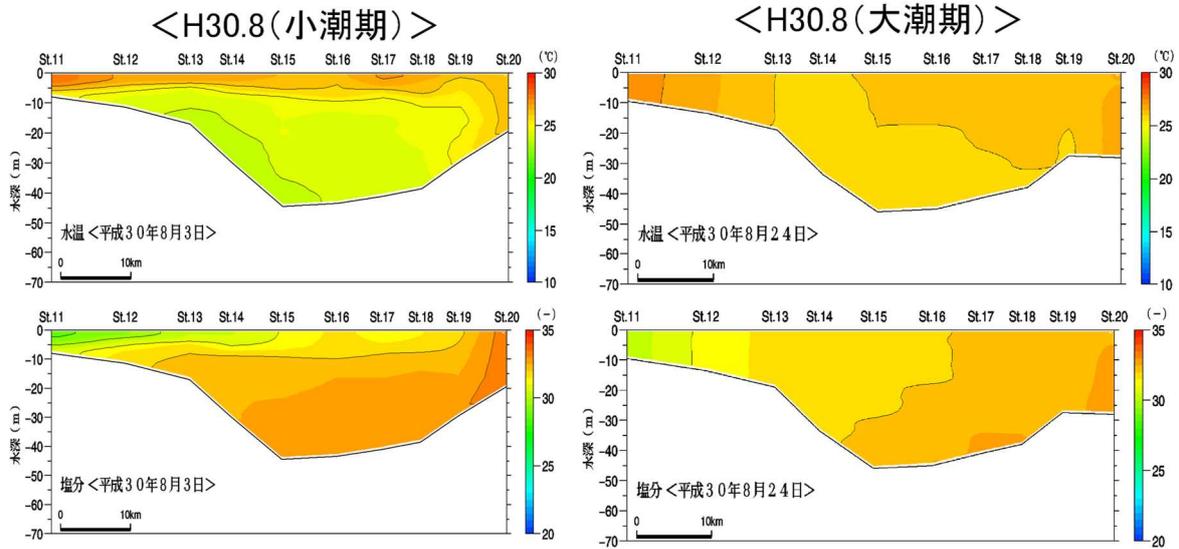


図 3.1-2(1) 水塊構造調査結果(2018(平成 30)年 8 月)【水温・塩分】

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

※図の左側が湾奥方向、右側が湾口方向

【八代海】八代中央ライン



【八代海】八代西ライン

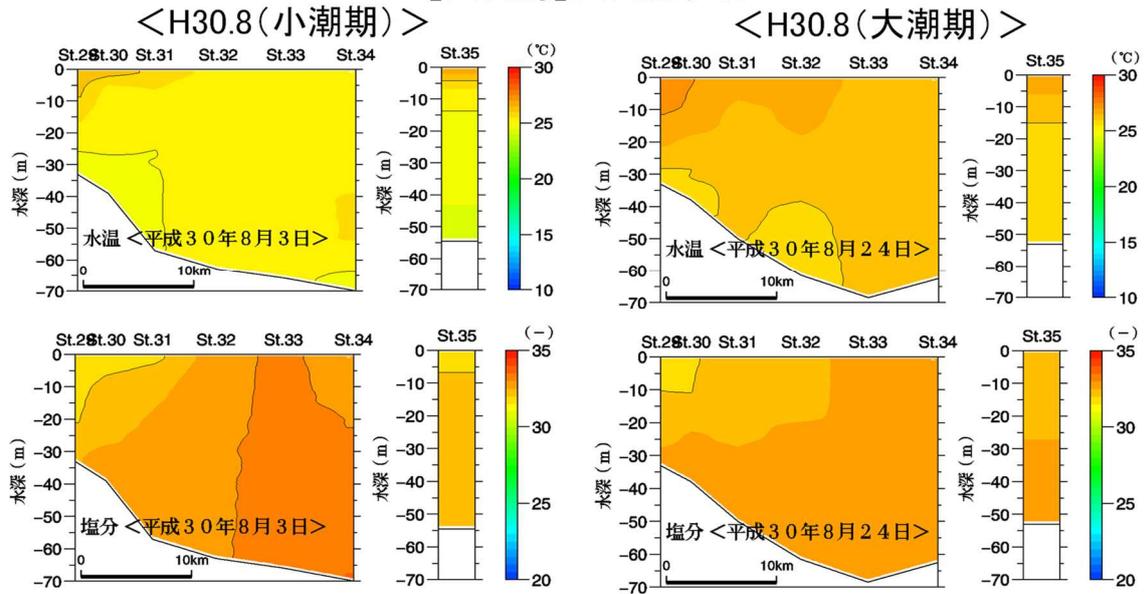


図 3.1-2(2) 水塊構造調査結果(2018(平成30)年8月)【水温・塩分】

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(2) クロロフィル a

水塊構造調査における 2018(平成 30)年 8 月の有明海・八代海のクロロフィル a の分布は 図 3.1-3 に示すとおりである。有明海のクロロフィル a は、特に小潮期の湾奥(St.7)表層において高い値が確認された。また、八代海では小潮期において、湾奥でやや高い値が認められた。

※図の左側が湾奥方向、右側が湾口方向

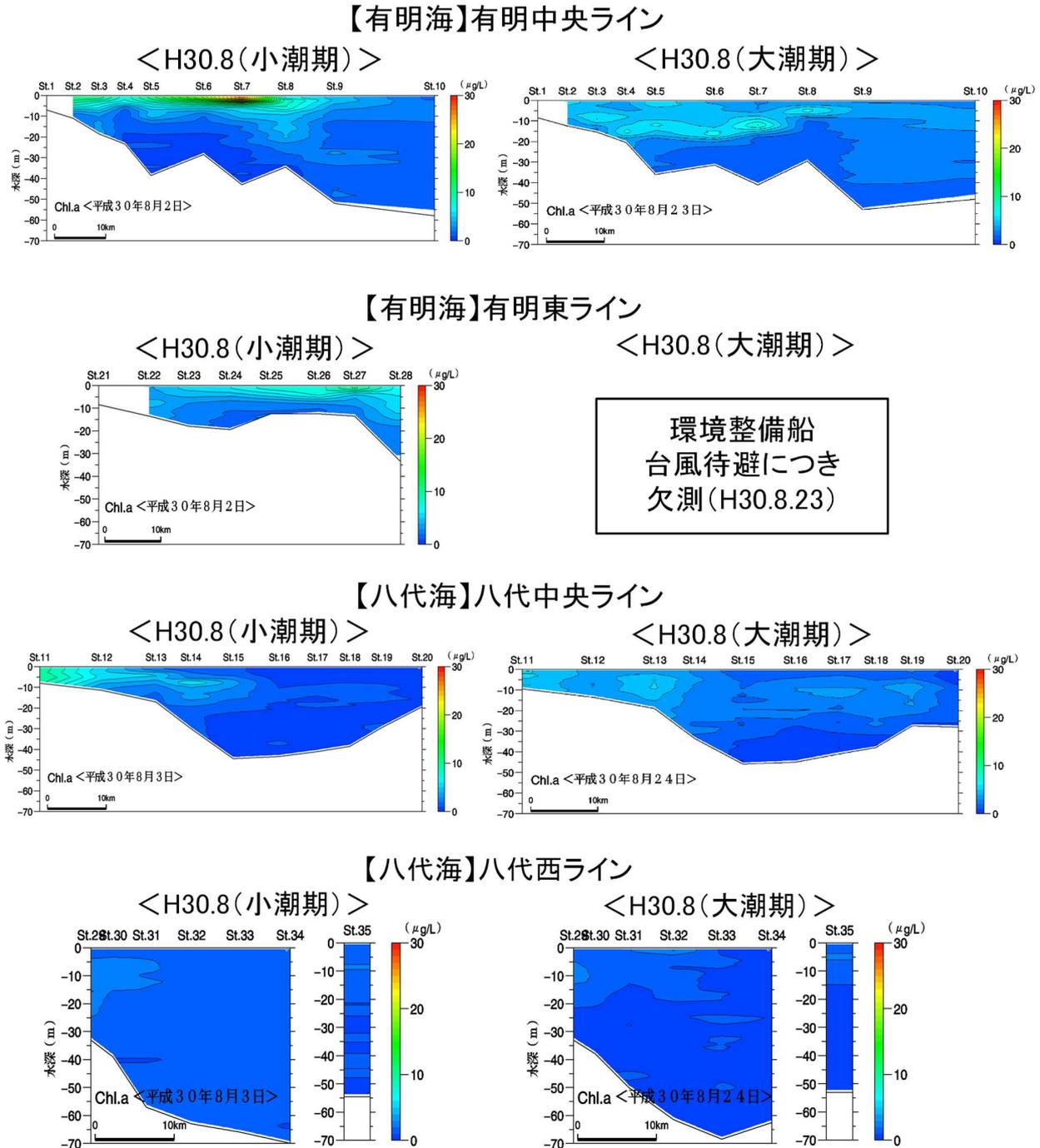


図 3.1-3 水塊構造調査結果(2018(平成 30)年 8 月)【クロロフィル a】

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(3) 溶存酸素量(DO)

水塊構造調査における2018(平成30)年8月の有明海・八代海の溶存酸素量(DO)の分布は図3.1-4に示すとおりである。有明海、八代海ともに河川流量の増加により成層度が高くなり、下層の溶存酸素量(DO)の低下が認められた。なお、有明海では大潮期において湾奥(St.2)の下層で3mg/Lを下回る貧酸素の状態が認められた。八代海では湾奥～湾中部(St.11～13)にかけての下層を中心に4.0mg/L前後の低い値がみられたが、3mg/Lを下回るような低酸素状態は確認されなかった。

※図の左側が湾奥方向、右側が湾口方向

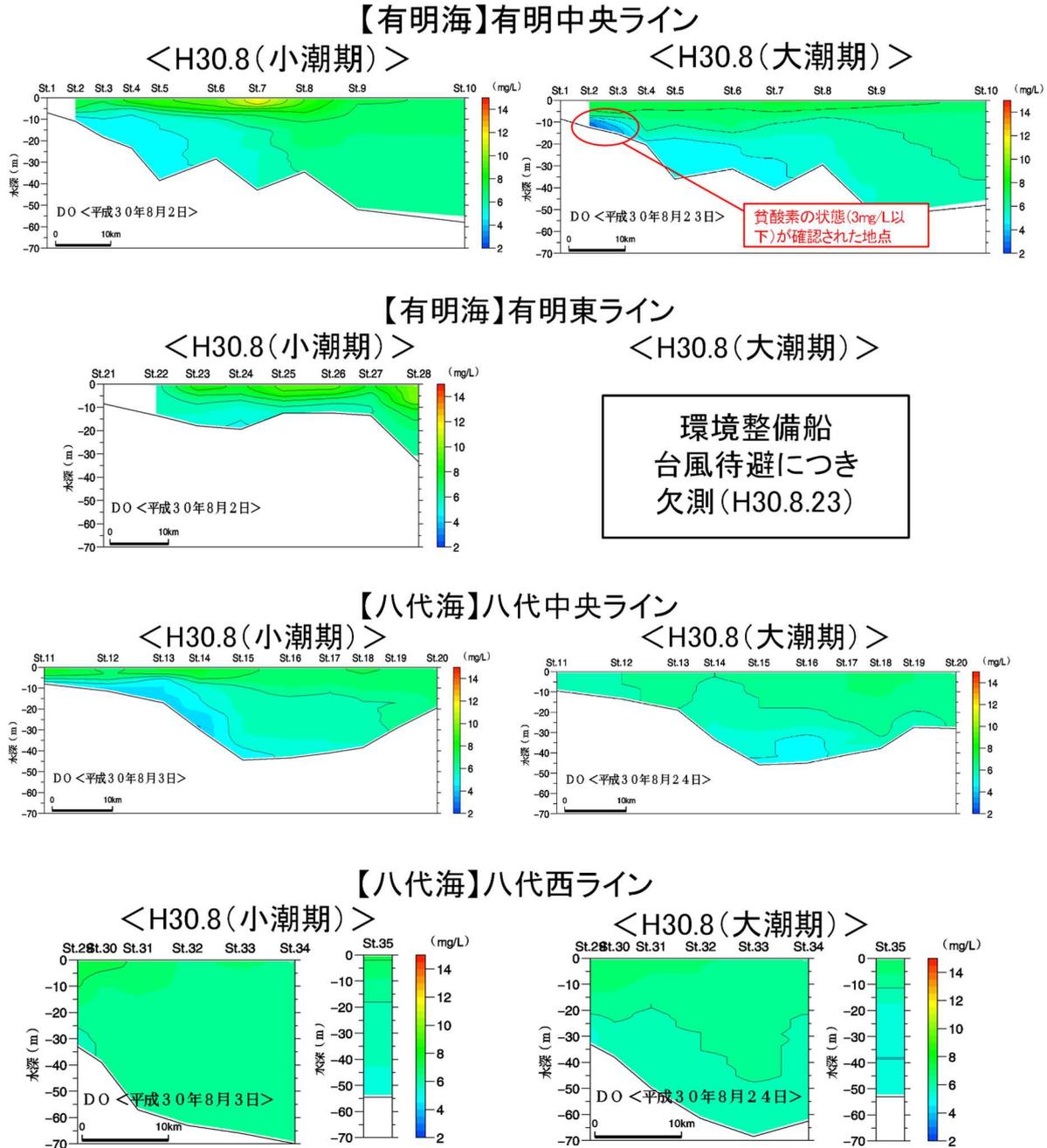


図 3.1-4 水塊構造調査結果(2018(平成30)年8月)【溶存酸素量(DO)】

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

(4) 植物・動物プランクトン

水塊構造調査における 2018(平成 30)年 8 月の有明海・八代海の植物プランクトン、動物プランクトンの分布状況は図 3.1-5 に示すとおりである。

植物プランクトンは、有明海、八代海ともに、おおよそ湾奥部で細胞密度が高い傾向がみられた。分類群別には珪藻類が優占した。

動物プランクトンは、有明海では、個体数は概ね湾奥部で多く、湾口部で少ない傾向であり、八代海では、個体数の分布に傾向はみられなかった。

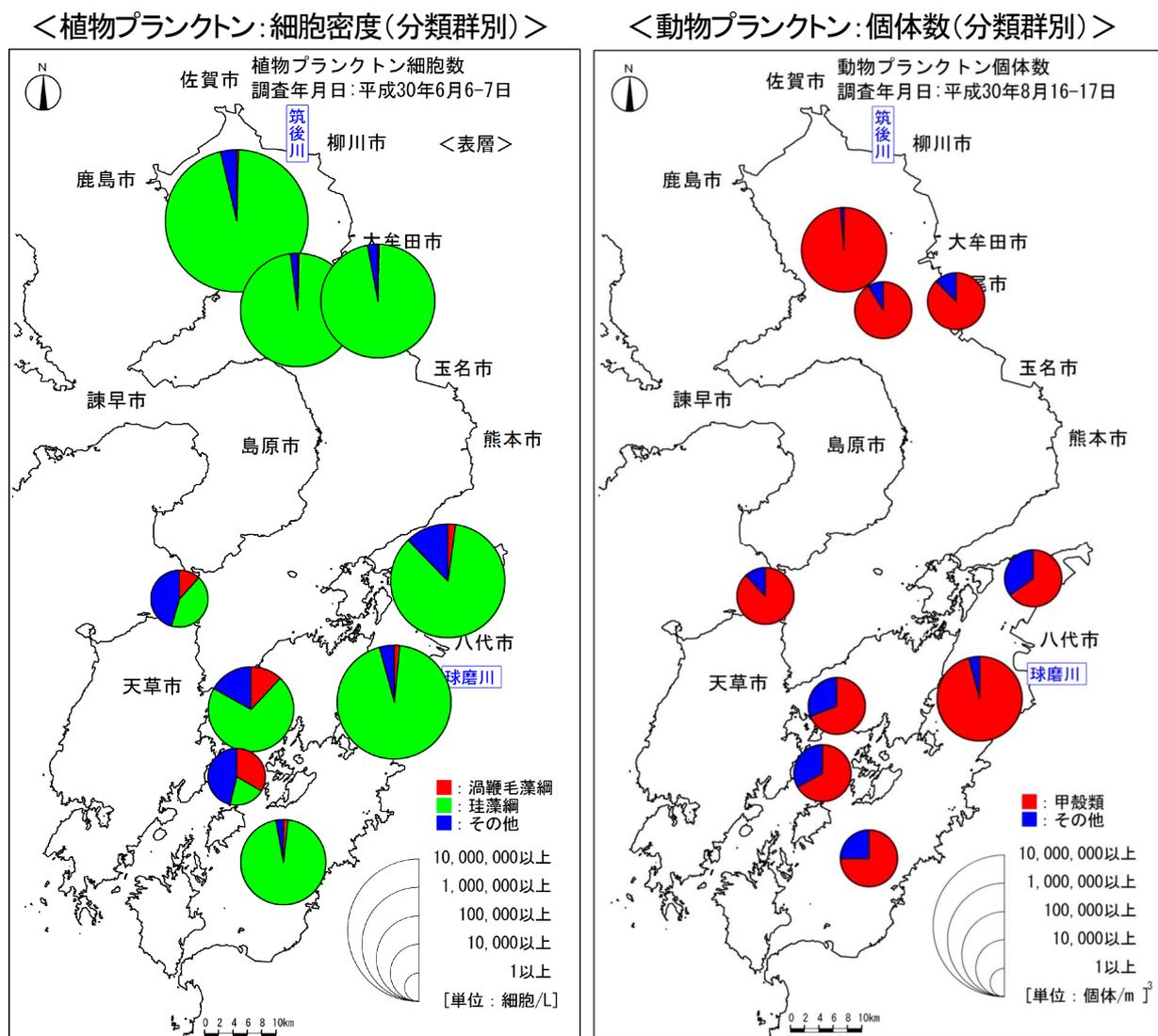


図 3.1-5 植物・動物プランクトンの分布状況(2018(平成 30)年 8 月)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

3.2 八代海における赤潮発生状況と発生予察

水産庁では、水産研究・教育機構、熊本県、鹿児島県とともに、八代海における赤潮対策として、赤潮プランクトンの観測データ及び気象、水質等の環境データの蓄積と解析を行い、赤潮発生状況の把握、経年的な出現特性から赤潮発生予察等を行ってきた。2016(平成28)年度から、八代海において *Chattonella* 属による赤潮の発生や漁業被害が報告されていることから、同種の出現・分布特性に基づいた解析を行った。

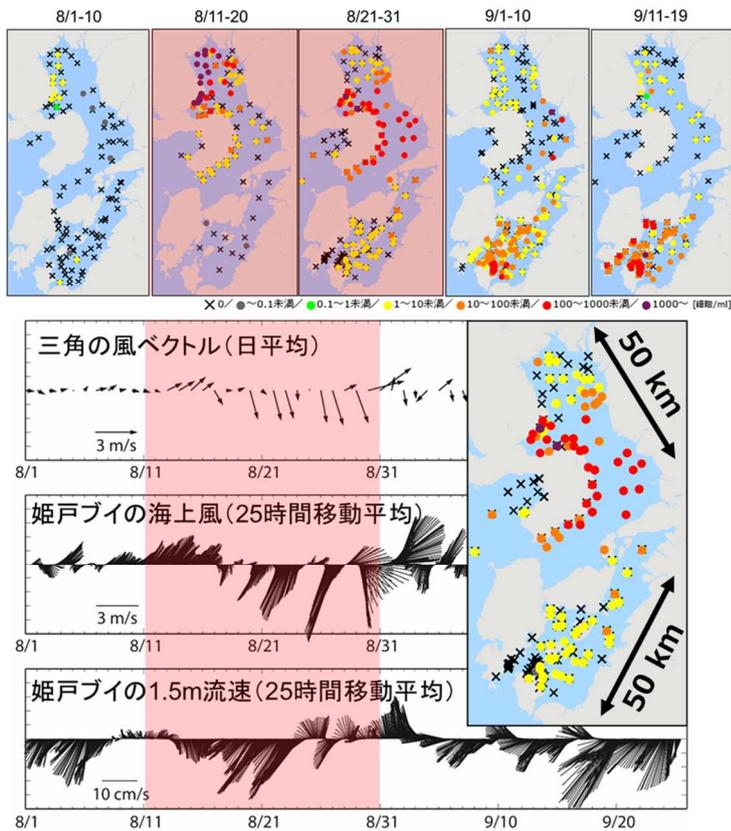
3.2.1 調査の内容、方法及び結果

赤潮発生状況(海域・年間・季節等)と環境要因(水温・塩分等)のデータを整理し、赤潮形成の予察技術の向上に向けた分析・検討を行った。なお、八代海における赤潮による魚類養殖被害の発生状況については、本編第2章2.8.4に記載した。

八代海北部海域において、*Chattonella* 属赤潮が室内実験等から推測される増殖速度を越えて細胞密度が増加する状況が2007(平成19)年(熊本県観測結果)、2015(平成27)年、2016(平成28)年、2018(平成30)年に観察されたが^{1)、2)}、同時期に、有明海においても *Chattonella* 属赤潮が発生しており、有明海から八代海に *Chattonella* 属の個体群が移入し、それがシードポピュレーションとなって八代海で増殖し、赤潮化した可能性が示唆されている。

その例として、2016(平成28)年の有明海及び八代海における *Chattonella* 属の分布密度の経時変化を解析した結果を図3.2-1に示す。8月上旬に有明海北部に低密度で確認された *Chattonella* 属は、8月中旬には有明海北部で増加し、北寄りの風と表層流が観測された8月下旬には有明海中南部に分布が拡大した。その直後から9月初めには八代海においても低密度で広範囲に *Chattonella* 属が確認されるようになった。このことから、*Chattonella* 属の細胞が有明海から希釈されながら一部海峡部を通じて八代海へ移入する可能性が示唆された。

このように、初期個体群については八代海を起源とするものだけでなく、有明海から移入するものについても注意が必要である^{1)、2)}。一方で、有明海と八代海を繋ぐ海峡部では、大きな潮汐差により双方向に強い潮流が生じることから、八代海で発生した *Chattonella* 属の細胞が有明海へ移入する可能性についても検討する必要がある。



有明海からの移入の可能性
 (北辻ら2016~2018 H27~29年度
 水産庁委託事業報告書,
 中島ら2019 日本水産学会誌)

吹送流は海上風の3%程度

約3 m/sの北寄りの風
 ⇒10 cm/s ≈ 10 km/day

- 8/18 荒尾市沖 150 cells/ml
- 8/22 三角町沖 220 cells/ml
- 8/23 松島町沖 9 cells/ml
- 8/26 姫戸町沖 100 cells/ml
- 8/28 芦北町沖 25 cells/ml
- 8/29 八代海ほぼ全域
1~9 cells/ml

三角ノ瀬戸と柳ノ瀬戸を合
 わせた1日あたりの通過流
 量は、大築島以北の体積の
数%程度

図 3.2-1 2016(平成 28)年 8 月から 9 月にかけての *Chattonella* 属細胞密度分布の推移(赤潮
 ネット)と三角(気象庁アメダス)の風向・風速、八代海姫戸沖自動観測ブイの風向・風
 速と 1.5 m 深流向・流速

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

次に、2018(平成 30)年の八代海における栄養塩濃度の動態を図 3.2-2 に示す。*Chattonella* 属の細胞密度は北部の熊本県戸馳島沖にて 8 月 23 日ごろ最高細胞密度 1,235 cells/mL を記録したが、中南部では 100 cells/mL 未満であった。赤潮発生時の栄養塩濃度は、中南部で低濃度であったが、北部では高く推移した。このように、栄養塩濃度の分布が本種赤潮の発生に影響を及ぼすことが示唆されている。

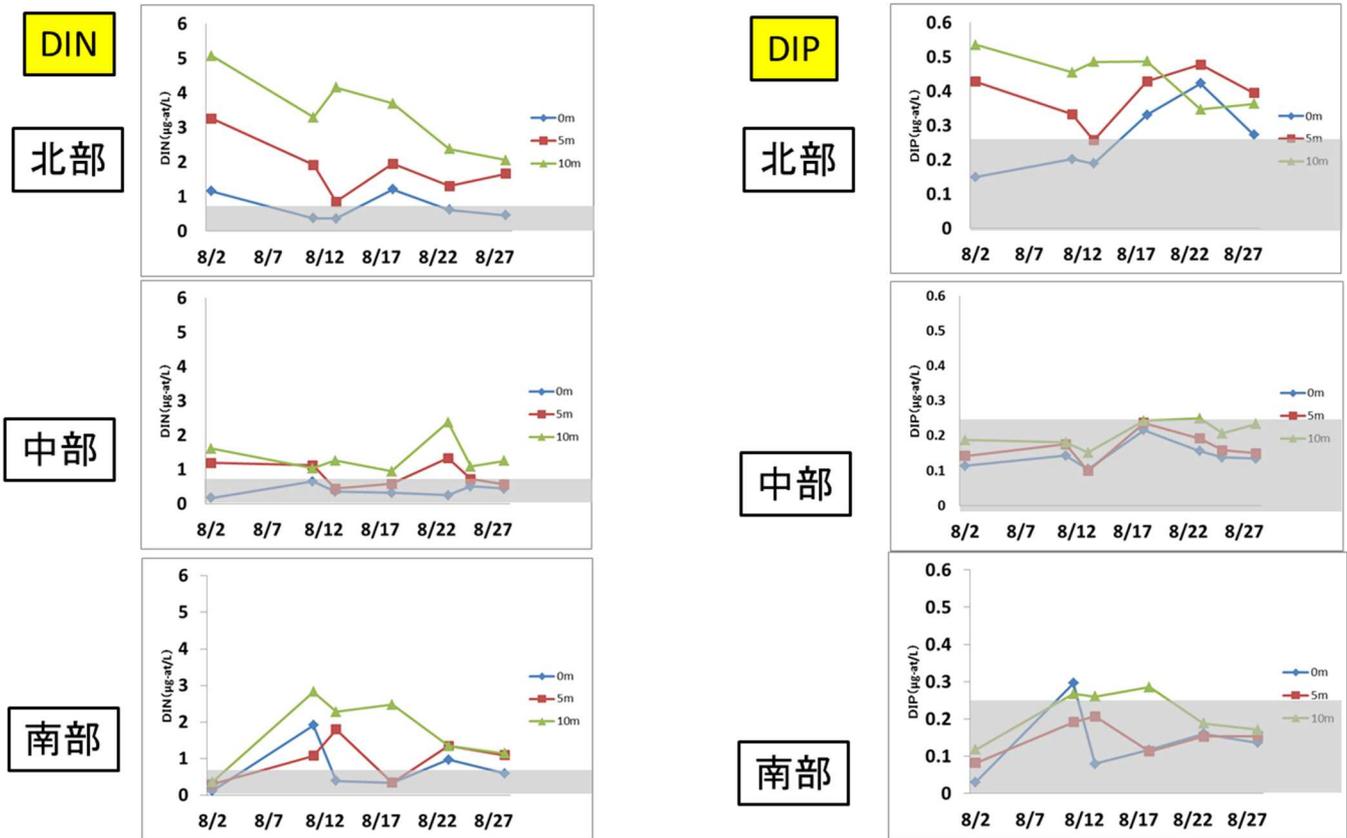


図 3.2-2 2018(平成 30)年の八代海における栄養塩濃度の経時変化(灰色域は *Chattonella* 属の増殖速度の半飽和定数³⁾以下を示す)

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

2010(平成 22)年に発生した *Chattonella* 属赤潮の発生模式図を図 3.2-3 に示す。梅雨明け後の7月上旬に八代海北部海域で高密度化し、球磨川の出水と北風の連吹で南部へ分布拡大していた^{5), 6)}(出水型)。これは平成 28 年度委員会報告の図 4.4.187 におけるⅢ型に相当する。漁業被害が発生した 2016(平成 28)年の赤潮の場合は、図 3.2-4 に示すように、8 月下旬の混合期に入ってから、鉛直混合による DIN 及び DIP の有光層への上昇及びその後の一時的な成層化によって赤潮が高密度化していたと推察された(鉛直混合型)。

八代海における*Chattonella*赤潮の発生シナリオ(出水型)

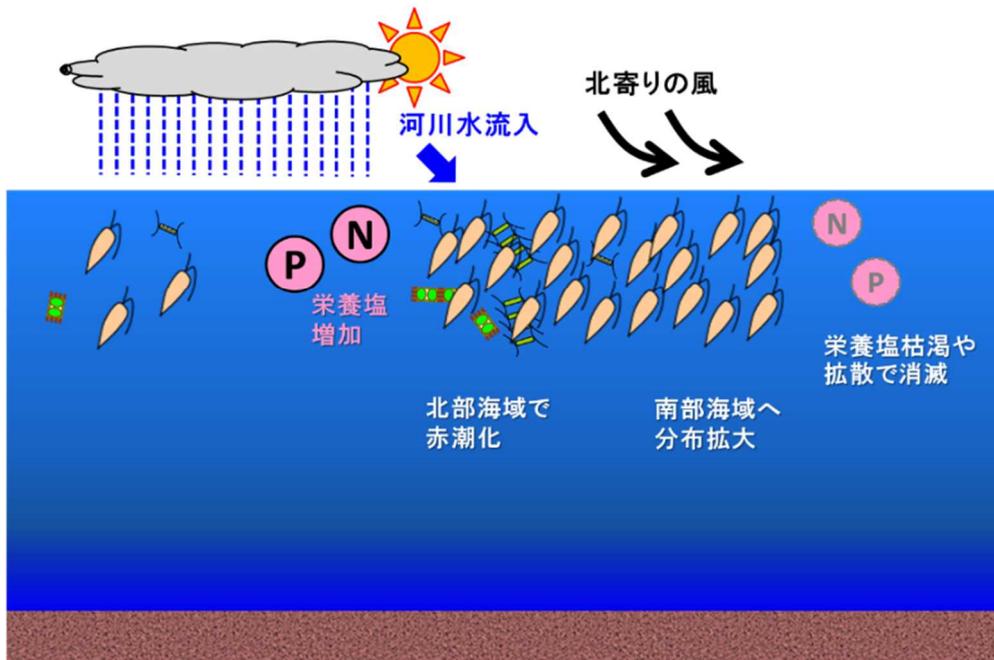


図 3.2-3 2010(平成 22)年夏期の球磨川出水に伴う *Chattonella* 属赤潮の発生シナリオ(出水型)
出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

八代海における*Chattonella*赤潮の発生シナリオ(鉛直混合型)
～出水を伴わないケース～

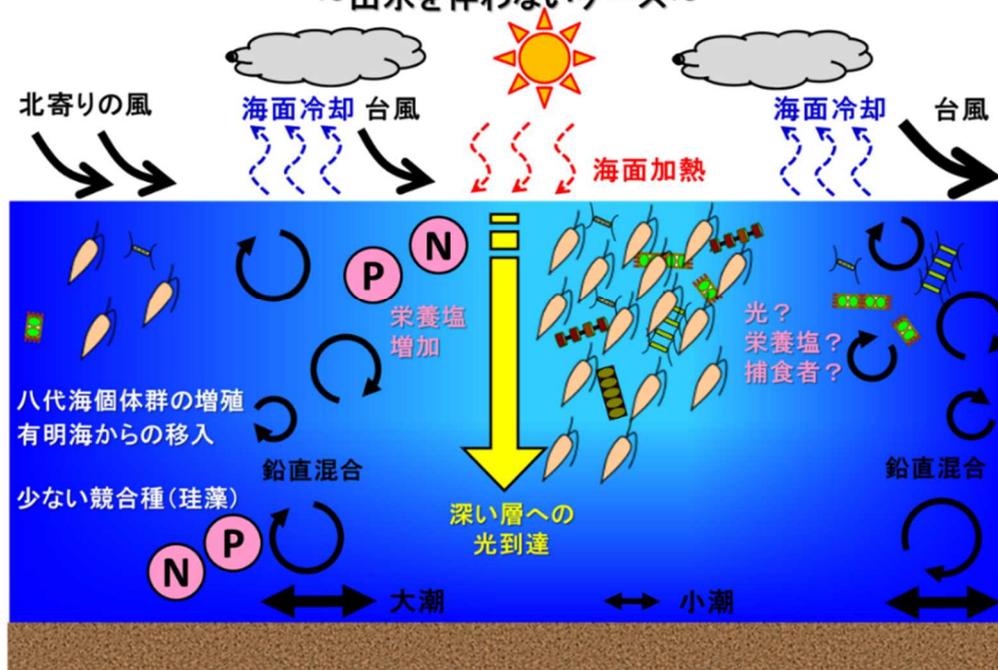
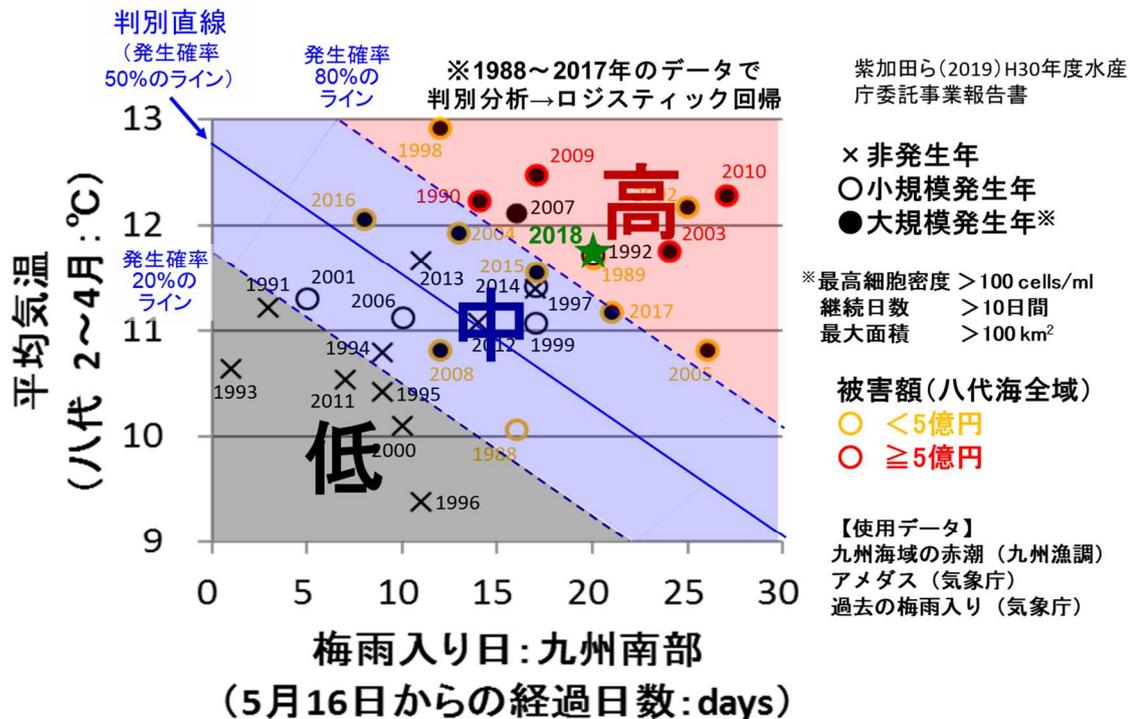


図 3.2-4 2016(平成 28)年夏期の球磨川出水を伴わない *Chattonella* 属赤潮の発生シナリオ(鉛直混合型)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

八代における2～4月の気温と九州南部梅雨入り日(5月16日からの経過日数)の2変量を用いた判別分析による *Chattonella* 属赤潮の中長期予察技術を図 3.2-5 に示す⁸⁾。この手法により、*Chattonella* 属赤潮が発生する1～3ヶ月前の予察が可能であるが、2016(平成28)年や2019(令和元)年といった、球磨川の出水を伴わない赤潮発生については、発生シナリオが異なることから、引き続きデータの蓄積による精度の検証及び向上が必要である。



「高め」の年の多くが大規模発生、「低め」の年はいずれも非発生

注) 赤潮の発生・非発生について2変量による線形判別分析を行った後、判別得点のロジスティック回帰によって判別得点ごとの発生確率を算出し、発生確率80%以上を「高め」、20%以上80%未満を「中程度」、20%未満を「低め」と設定している。

図 3.2-5 1991(平成3)年～2018(平成30)年の八代海における *Chattonella* 属赤潮発生と八代における2～4月の気温・九州南部梅雨入り日の関係

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

参考文献

- 1) 北辻さほ, 紫加田知幸, 鬼塚剛, 青木一弘. 八代海における赤潮発生メカニズムの解析. 平成27～31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「九州海域での有害赤潮・貧酸素水塊発生機構解明と予察・被害防止等技術開発」報告書. 九州海域赤潮・貧酸素共同研究機関, 東京. 2015～2017.
- 2) 中島広樹, 村田圭助, 矢野浩一, 西 広海, 吉村直晃, 黒木善之, 川崎信司, 古川新平, 浦 啓介, 松尾 斉, 北辻さほ, 紫加田知幸, 阿部和雄, 徳永貴久, 岡村和磨, 青木一弘, 鬼塚 剛(2019): 2016年夏季に八代海で発生した *Chattonella* 赤潮: 発生環境と養殖ブリの斃死. 日本水産学会誌, 85, pp. 162-172.
- 3) Nakamura Y, Takashima J, Watanabe M (1988): Chemical environment for red tides due to *Chattonella antiqua* in the Seto Inland Sea, Japan Part 1. Growth bioassay of the seawater and dependence of growth rate on nutrient concentrations. J. Oceanogr. Soc. Jpn., 44, pp. 113-124.
- 4) 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(1991): 平成2年度赤潮対策技術開発試験 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.
- 5) Onitsuka G, Aoki K, Shimizu M. (2015): Meteorological conditions preceding *Chattonella* bloom events in the Yatsushiro Sea, Japan, and possible links with the East Asian monsoon. *Fish. Sci.*, 81, pp. 123-130.
- 6) 鬼塚 剛, 青木一弘, 清水 学, 松山幸彦, 木元克則, 松尾 斉, 末代勇樹, 西 広海, 田原義雄, 櫻田清成(2011): 2010年夏季に八代海で発生した *Chattonella antiqua* 赤潮の短期動態 - 南部海域における出現特性 -. 水産海洋研究, 75, pp. 143-153.

- 7) 鬼塚 剛, 北辻さほ, 紫加田知幸, 阿部和雄, 青木一弘, 吉村直晃, 黒木善之, 中島広樹, 村田圭助, 矢野浩一, 浦 啓介, 古川新平, 岡村和麿, 徳永貴久(2018):2016 年夏季に八代海で発生したシヤットネラ赤潮の発生要因. 不知火海・球磨川流域圏学会誌, 12, pp. 41-44.
- 8) 紫加田知幸, 北辻さほ, 鬼塚 剛, 中野 善, 岡村和麿, 向井宏比古, 松谷久雄, 山下博和, 高杉朋孝, 宮田翔也, 森島義明, 西広海, 石田幸生, 古川新平, 浦啓介, 上野 翼, 西山佳孝(2019):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⑥イ. 八代海・鹿児島湾海域. 平成 30 年度漁場環境改善推進事業「赤潮被害防止対策技術の開発」報告書. 赤潮共同研究機関, 東京, pp. 179-224.

3.3 八代海での赤潮被害軽減対策の取組

八代海において、*Chattonella* 属赤潮や *Cochlodinium* 属など、魚毒性の高い有害種による赤潮が発生すると、養殖魚類に甚大な被害を与える可能性があることから、有害赤潮の発生は八代海における安定した魚類養殖の生産を阻害している要因のひとつであると考えられる。平成 28 年度委員会報告においては、本海域において、持続的な魚介類養殖の確保のため、赤潮モニタリング体制の強化、有害赤潮の発生予察技術の開発の推進等により、赤潮被害の回避を図るとともに、情報網の整備、防除技術に関する研究の推進等により、赤潮被害の軽減を図ることとされた。

3.3.1 迅速な赤潮発生の情報共有体制の構築

現時点においては、赤潮の発生そのものを防止することは困難であり、また、赤潮の規模を人為的に縮小させる手法は限られていることから、赤潮被害の軽減のためには、赤潮モニタリングと現場海域で実施可能な被害軽減対策を組み合わせる実施することが重要である。具体的には、モニタリングによって赤潮プランクトンの出現状況を把握し、赤潮発生規模に影響する水質情報を測定するとともに、気象や海象の予報とあわせて発生・拡大・移送等の短期動態を予測する。こうした情報を関係者と迅速に共有し、餌止め、足し網、生け簀沈下、改良粘土散布等の被害軽減対策を実施することで、赤潮による被害の軽減につなげることが可能となる。八代海においては、赤潮による漁業被害を軽減するため、国、八代海沿岸 2 県及び市町村、魚類養殖に取り組む漁業者団体等が連携して、八代海における赤潮モニタリングを実施するとともに、迅速に情報提供できる体制を構築している。

(1) 赤潮情報システム(赤潮ネット)

八代海では、赤潮発生が頻発する 5 月～9 月に週 1 回の調査船による定期観測(図 3.3-1)を実施している。これらの定期調査に加えて、漁業者団体が魚類養殖漁場近傍において赤潮調査を実施している。その他、自動観測ブイや水質自動監視テレメータシステムにより 24 時間体制で水質・赤潮(クロロフィル蛍光値)を監視するとともに(図 3.3-2)、赤潮の検鏡結果等の情報は図 3.3-3 に示す赤潮ネット(水産研究・教育機構水産技術研究所が運用)を通じて迅速に共有されている。水質情報のうち、赤潮の消長に大きな影響を与える栄養塩については、定期観測後、即日分析するとともに、自動観測ブイに硝酸塩センサーを搭載し(図 3.3-4)、リアルタイム観測を実施している。

2019(令和元)年 8 月 19 日に *Chattonella* 属の有害赤潮プランクトンが 10 細胞/mL 以上観測され、熊本県により警報が発令された。これを受けて、各県の研究機関及び漁協は観測体制を強化し、姫戸沖(定点 A)の自動観測ブイ(水産研究・教育機構水産技術研究所)の硝酸塩センサーの硝酸塩濃度上昇傾向から赤潮の発生と拡大を予想し、その後の 8 月末～9 月上旬に *Chattonella* 属の細胞密度は 3,000 細胞/mL を超え大規模な赤潮が発生した。

これらの観測結果に基づき、被害軽減対策として、ブリの餌止めを行いつつ、生け簀沈下、足し網の設置を開始し、さらに、赤潮殺滅効果の認められる粘土散布を実施した。赤潮モニタリング結果を迅速に共有できたため、適切な時期に餌止め等の対策が実施され、漁業被害を軽減することができたものと推定される。

今後も、赤潮モニタリングを実施して、その結果を迅速に情報共有し、早期に被害軽減対策を講じることで、赤潮による魚類養殖被害の軽減に繋げることが重要である。そのため、自動観測機器を用いたモニタリングの効率化や情報共有体制の強化、また、より効果的な被害軽減技術の開発が必要である。

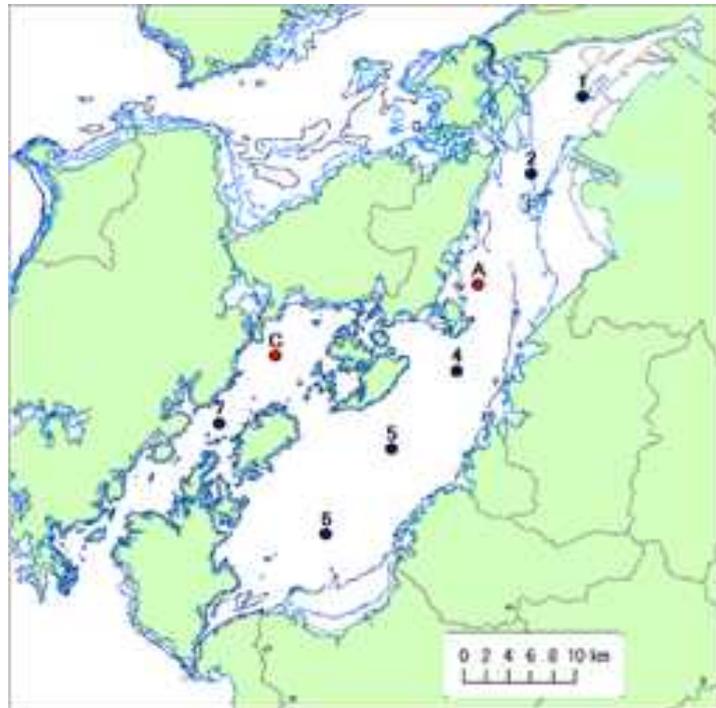


図 3.3-1 八代海における共同定期赤潮モニタリング定点

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」



図 3.3-2 八代海における自動観測ブイ(△)及び水質監視テレメータシステム(○)の配置定点

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」



図 3.3-3 2019(令和元)年 8 月 19 日の赤潮ネットの *Chattonella* 属の赤潮分布情報及び熊本県から発令された同赤潮の警報 FAX

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

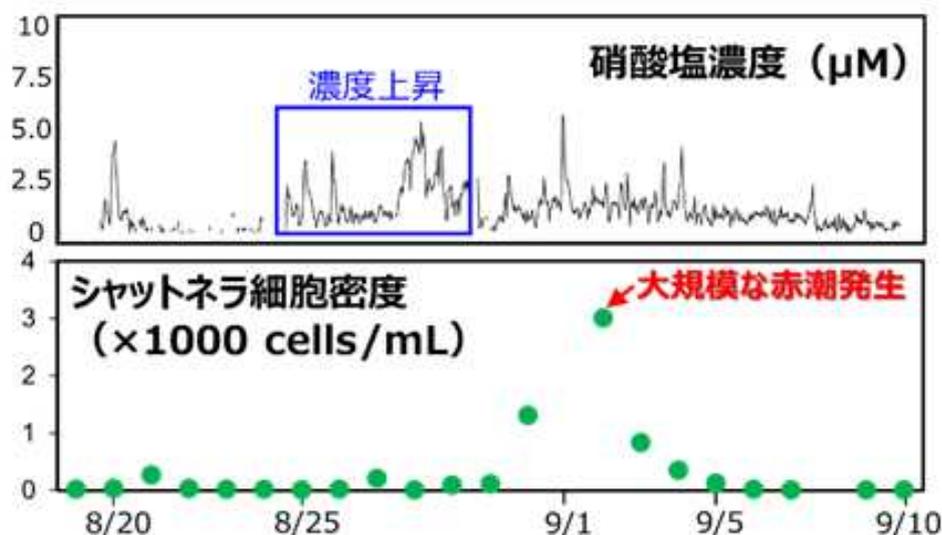


図 3.3-4 2019(令和元)年 8 月下旬～9 月上旬にかけての姫戸沖ブイにおける硝酸塩濃度(硝酸塩センサー)と *Chattonella* 属の細胞密度(検鏡)の経時変化

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 5 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」