

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。

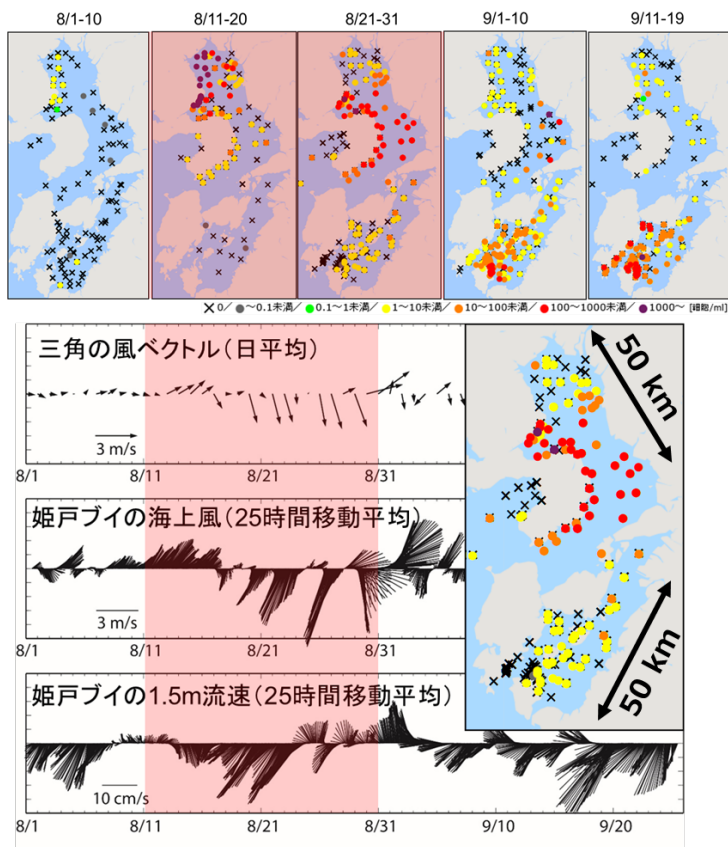
3.2.1 調査の内容、方法及び結果

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。

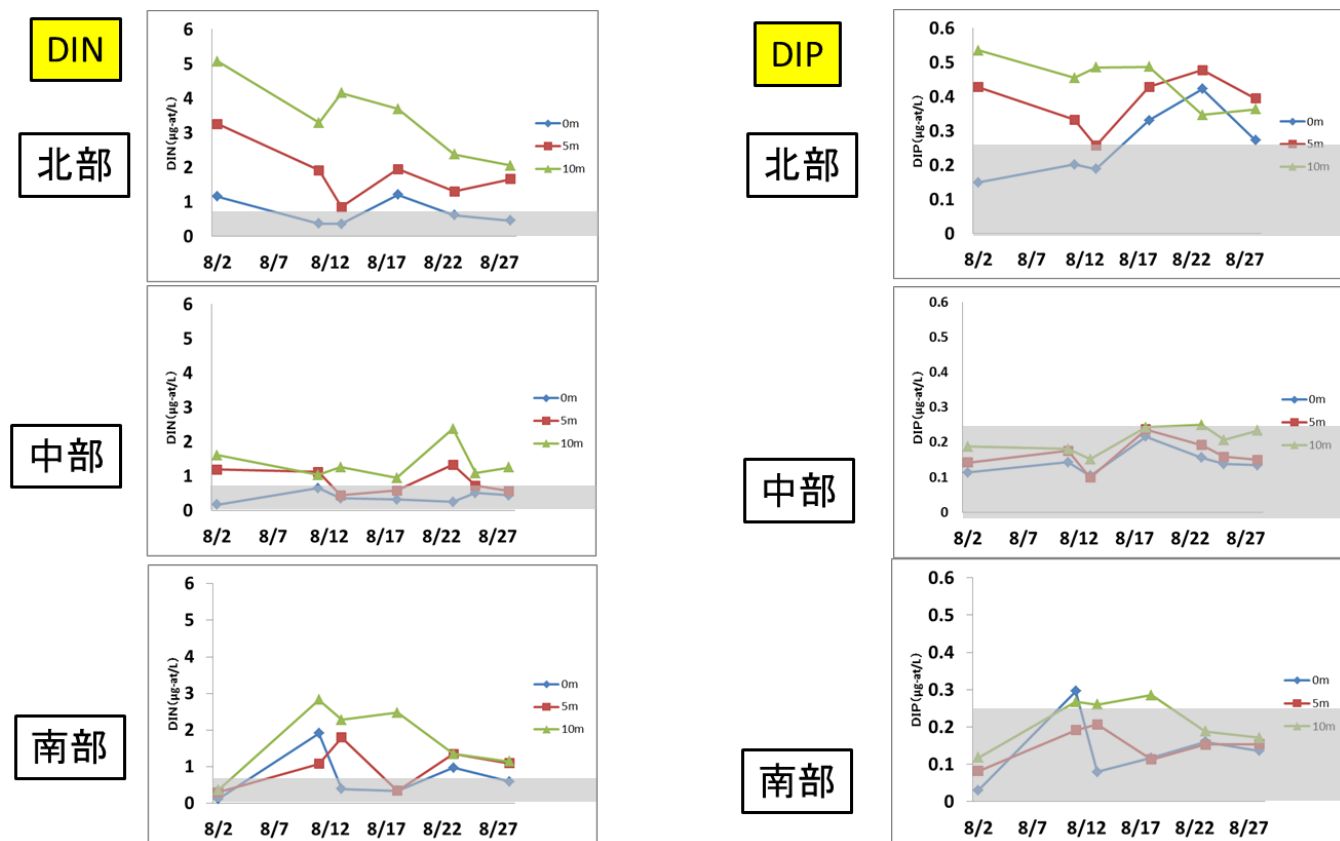


図 3.2-2 2018(平成30)年の八代海における栄養塩濃度の経時変化(灰色域は *Chattonella* 属の増殖速度の半飽和定数³⁾以下を示す)

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)

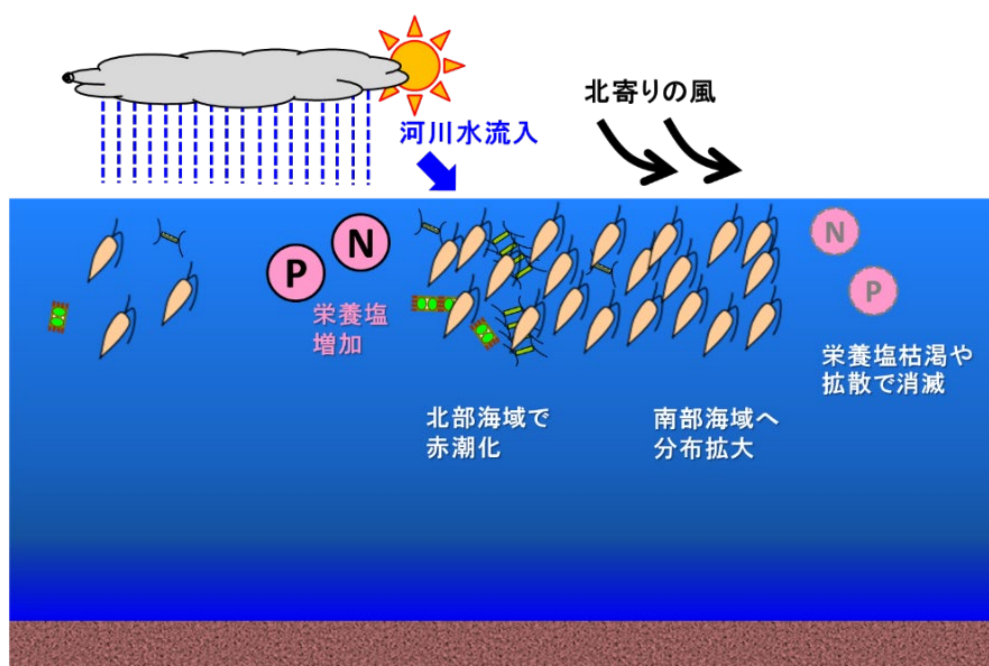


図 3.2-3 2010(平成 22)年夏期の球磨川出水に伴う *Chattonella* 属赤潮の発生シナリオ(出水型)
出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第5 回水産資源再生方策検討作業小委員会資料」

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～

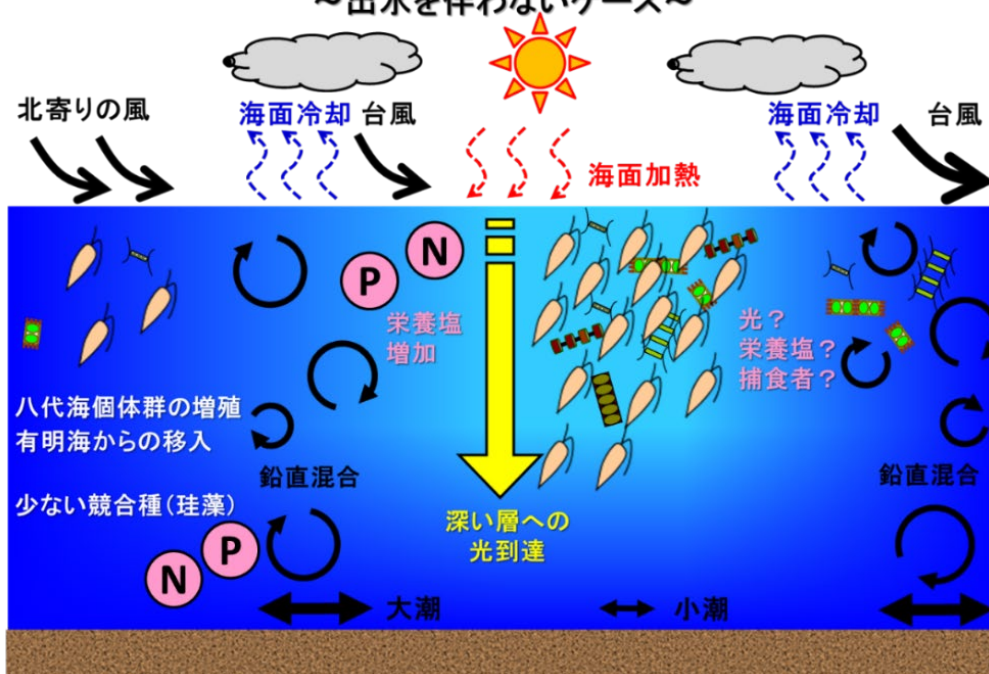
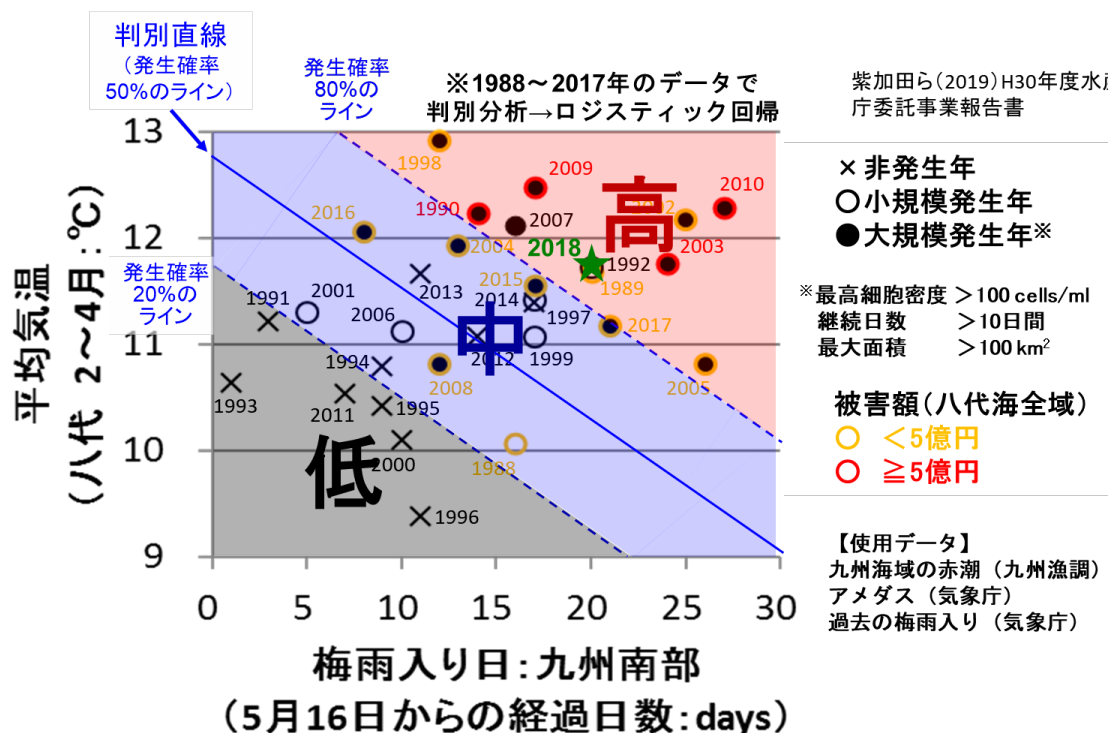


図 3.2-4 2016(平成 28)年夏期の球磨川出水を伴わない *Chattonella* 属赤潮の発生シナリオ(鉛直混合型)

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ャ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。

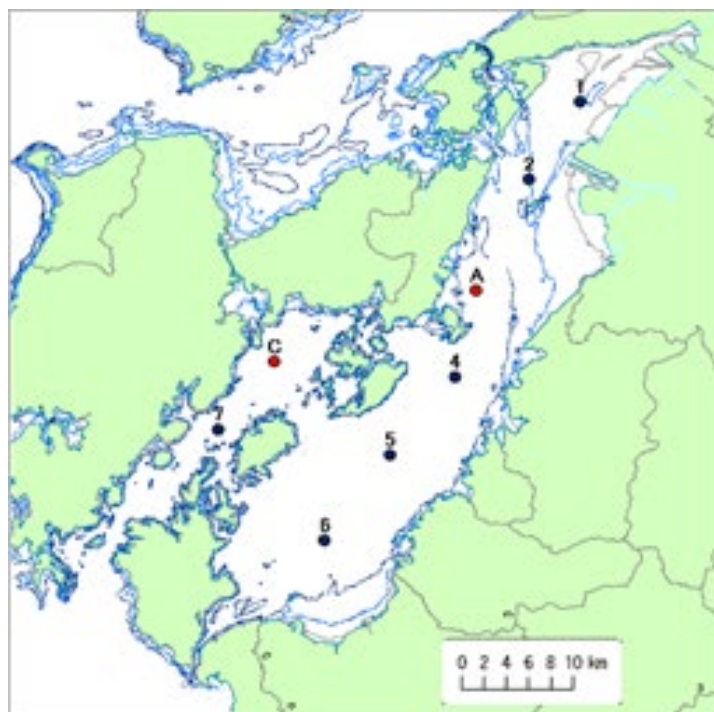


図 3.3-1 八代海における共同定期赤潮モニタリング定点

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」

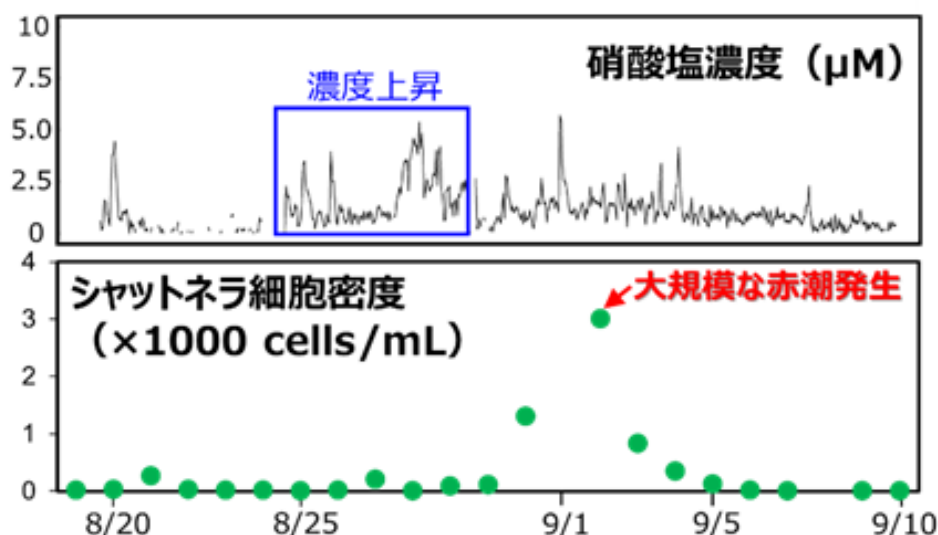


図 3.3-4 2019(令和元)年 8 月下旬～9 月上旬にかけての姫戸沖ブイにおける硝酸塩濃度(硝酸塩センサー)と *Chattonella* 属の細胞密度(検鏡)の経時変化

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」

4. ベントス群集・底質の継続的なモニタリング

4.1 海洋環境整備事業(底質・底生生物調査)

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・八代海の底質・底生生物等の環境調査を実施している。

4.1.1 調査の内容・方法

海洋環境整備船(海輝・海煌)による有明海・八代海の底質・底生生物調査を実施している。調査の内容は表 4.1-1 に、調査地点は図 4.1-1 に示すとおりである。

表 4.1-1 海洋環境整備船(海輝・海煌)による底質・底生生物調査

調査名	各調査の目的	調査内容	時期
底質・底生生物調査	・底質・底生生物の分布及び経年変化を把握する。 ・底質の変化と底生生物の増減との関係について把握する。	<機器計測> 水温、塩分、DO、pH、ORP、濁度、クロロフィルa <底質分析> 粒度組成、全硫化物、含水率、湿潤密度、強熱減量、T-N、T-P、COD、クロロフィルa、OPR、TOC <底生生物> マクロベントス	年 1 回(春季) ※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」

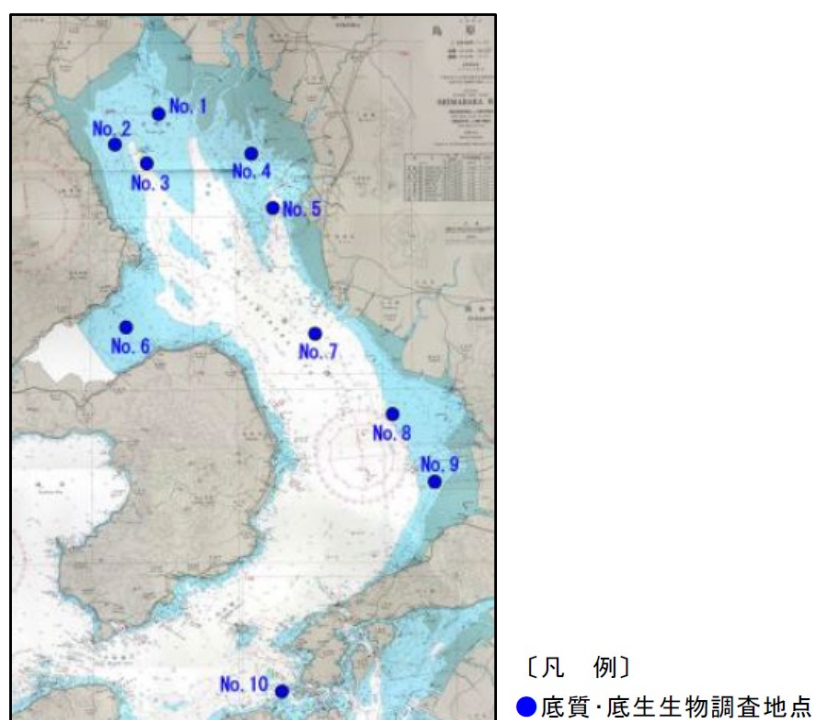


図 4.1-1 調査地点

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

4.1.2 底質・底生生物調査結果

有明海の底質調査結果は図 4.1-2 に示すとおりである。

有明海では湾奥の一部の地点(No.4)において、シルト・粘土分の割合が高くなる傾向が見られた。その他の地点では概ね大きな変化は認められていない。

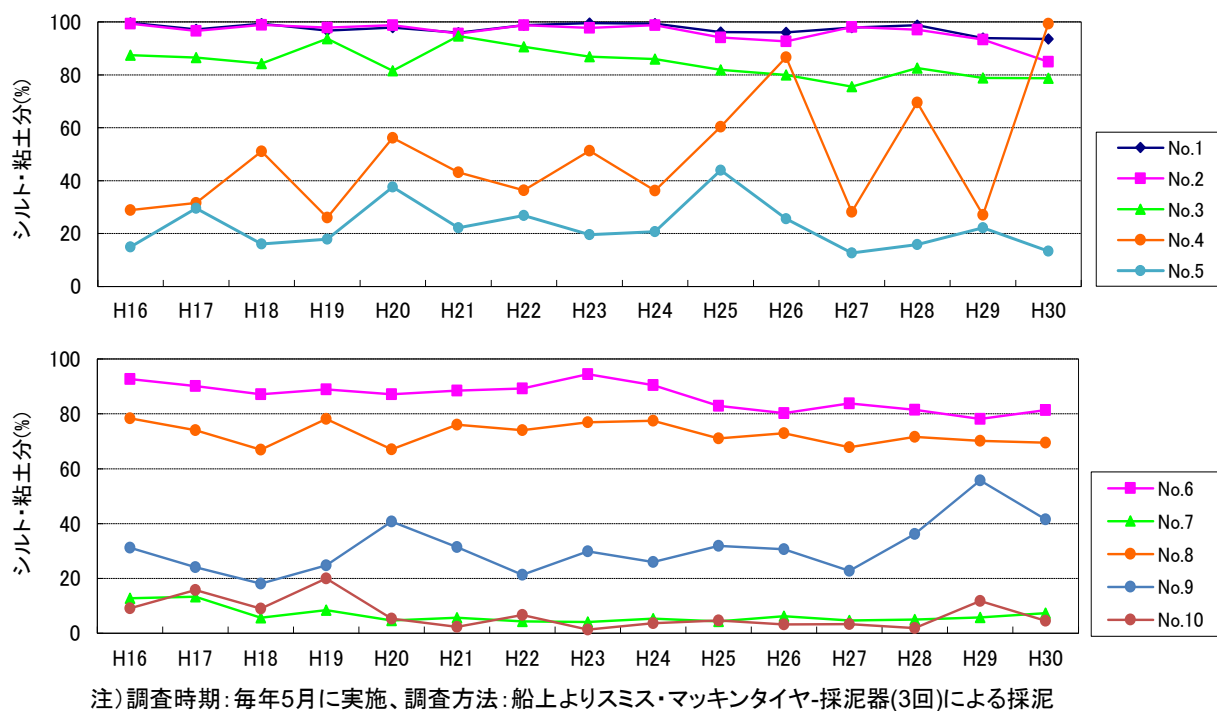


図 4.1-2 底質調査結果(有明海)

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」

5. ベントス群集の変化・変動要因の解析

5.1 ベントスの変動要因解析

環境省では、有明海・八代海の海域環境について、これまで底質・水質等の物理環境データや底生生物の門別種類数、個体数データ等を用いて様々な解析を行い、現状把握、変化傾向の予測等を行ってきた。2019(令和元)年度より、海域環境をベントスの生息場所としてとらえ、各海域に生息する生物種の分布特性に基づいた解析を行い、生物種の出現パターンから各調査点の底質を中心とした海域環境の変動状況を把握するとともに、その変動要因について検討を行った。

5.1.1 調査内容・方法

検討は以下の手順に従って実施した。

①海域環境(底質)とベントスデータの整理・解析

海域全体の底質とベントスの関連性について客観的に把握するため、それぞれのデータの類似性から調査点をグループ化し、各グループの特徴について整理・解析した。

②底質環境の指標となる生物種の抽出

上記のベントスについてグループ化した調査点において、出現頻度が高く、かつ、個体数比率が高い種を生物グループの代表的な種として抽出した後、底質との関連性が強い種をその生物グループにおける底質環境の指標種として選定した。

③ベントス群集(指標種)と海域環境との関連性

上記でグループ化した底質グループ及び生物グループ、ベントス群集(種類数、個体数、多様度指数、指標種)の経年的な変動状況を比較し、ベントス群集と海域環境(底質)との関連性について検討した。

5.1.2 調査結果

(1) 海域環境(底質)及びベントスデータの整理・解析

ア) 底質データ

有明海及び八代海の底質環境を客観的に把握するため、底質データの類似性から全調査年月の調査点(以下「調査点」という。)を複数のグループに分類し、各グループの物理環境の特徴及び分布から、底質環境の面的な状況、経年的な変動状況について検討を行った。

底質グループの類型化では、2005(平成 17)年度から 2018(平成 30)年度の調査で得られた図 5.1-1 に示す地点の底質データについて、有明海(12 地点)と八代海(10 地点)を別海域として、調査点ごとに整理したデータセットについてクラスター分析(凝集型階層的クラスタリング)を行った。

クラスター分析に用いる底質項目については、底生生物の生息環境に密接に関連する項目に着目し抽出することを検討した結果、T-N、T-S、中央粒径の3項目を抽出した。これらの3項目について、底生生物の生息環境との関連性についてみると、T-Nは栄養面、T-Sは毒性面、中央粒径は底質形状面として深く関わっている項目であることから、この3項目をその

後のクラスター分析に用いた。また、沿岸部に近い地点では河川等から流入する鉱物中のりの影響を受けやすいことから、T-Pも加えた4項目をクラスター分析の変数として用いた。

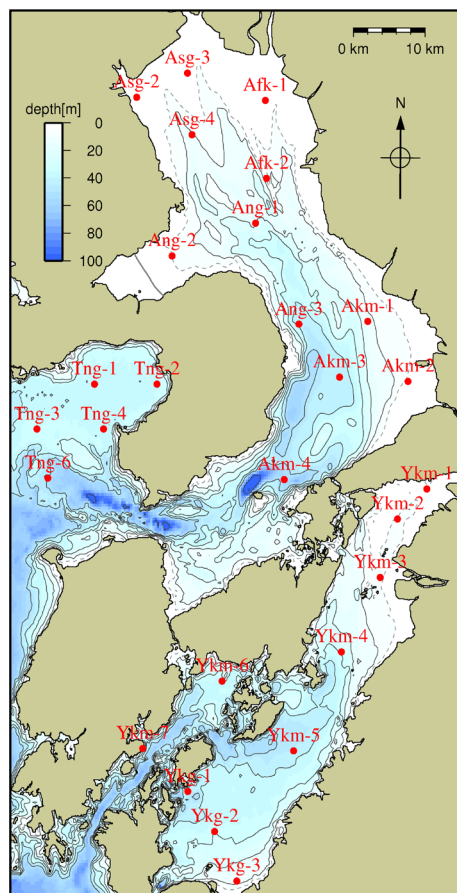


図 5.1-1 定点調査地点

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

① 有明海

有明海では、クラスター分析の結果、底質データの類似性から5つの底質グループに区分した。各グループの底質の範囲を図5.1-2に、各地点の分布状況を図5.1-3に示す。

底質グループ1はMdが最も小さく、T-N、T-Pの値が大きい泥底であった。底質グループ2から4になるに従ってMdが大きくなり、T-N、T-P、T-Sが小さくなる泥底～砂泥底であった。底質グループ5は、Mdが最も大きく、T-N、T-P、T-Sの値が小さい砂底であった。

各地点の分布については、湾奥部で沿岸に近い調査点では、底質グループ1～3の範囲で推移し、湾中央部や湾中央に近い調査点や湾口部の調査点では、底質グループ4～5の範囲で推移していた。中央東部では底質グループ4～5の範囲で推移しているものの、一時的に底質グループ1や3になる場合がみられた。

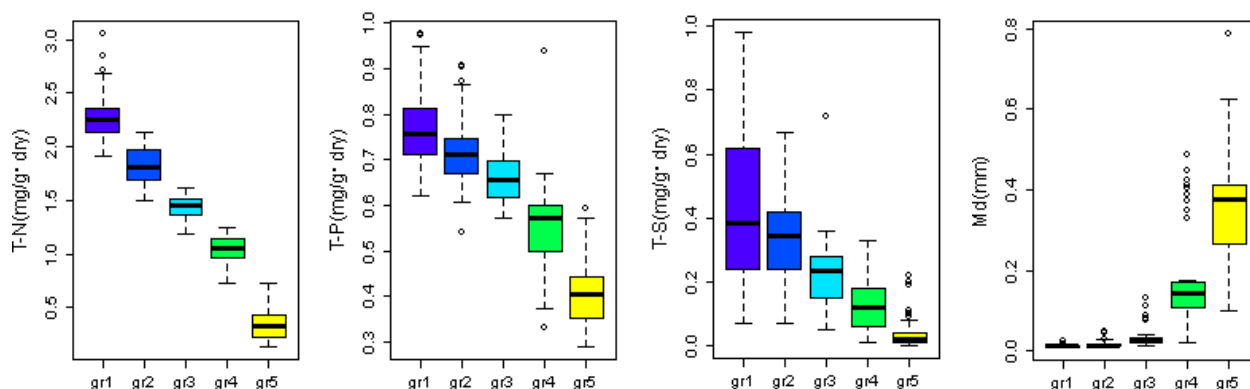


図 5.1-2 底質グループ別の底質範囲(有明海)

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」

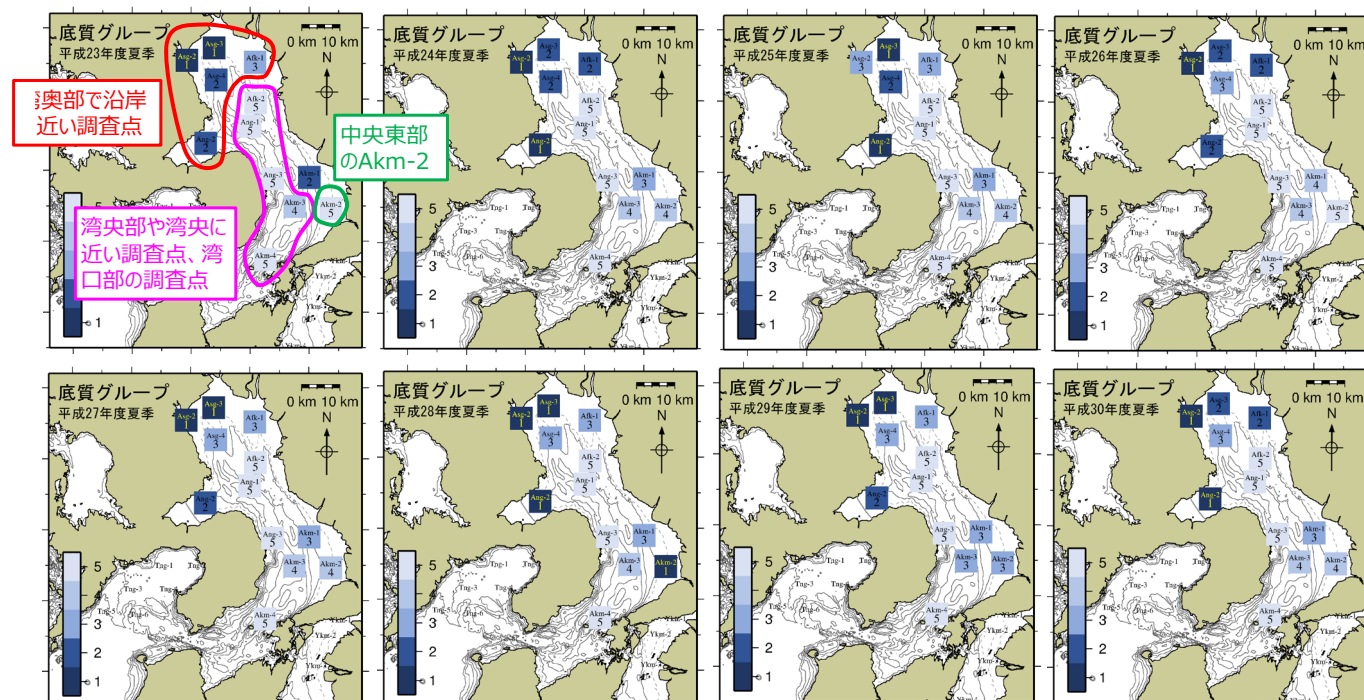


図 5.1-3 過去8年間における底質グループの分布(有明海・夏季調査)

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 八代海

八代海では、底質データの類似性から5つの底質グループに区分した。各グループの底質の範囲を図5.1-4に、各地点の分布状況を図5.1-5に示す。

底質グループ1は、Mdが最も小さく、T-N、T-Sの値が大きい泥底であった。底質グループ2から4になるに従って、Mdが大きくなり、T-N、T-Sが小さくなる泥底であった。底質グループ5は、Mdが最も大きく、T-N、T-Sの値が小さい砂底であった。なお、T-Pは底質グループとの関連性が不明瞭であり、調査点ごと、季節ごとに大きく変化していることが考えられた。

各地点の分布については、湾奥部の調査点及び湾中央部の調査点では、底質グループ1～3の範囲で推移しているが、球磨川河口部の調査点では湾奥部に近接しているものの底質グループ4になる場合がみられた。外洋に近い湾口部の調査点では底質グループ5で推移していた。

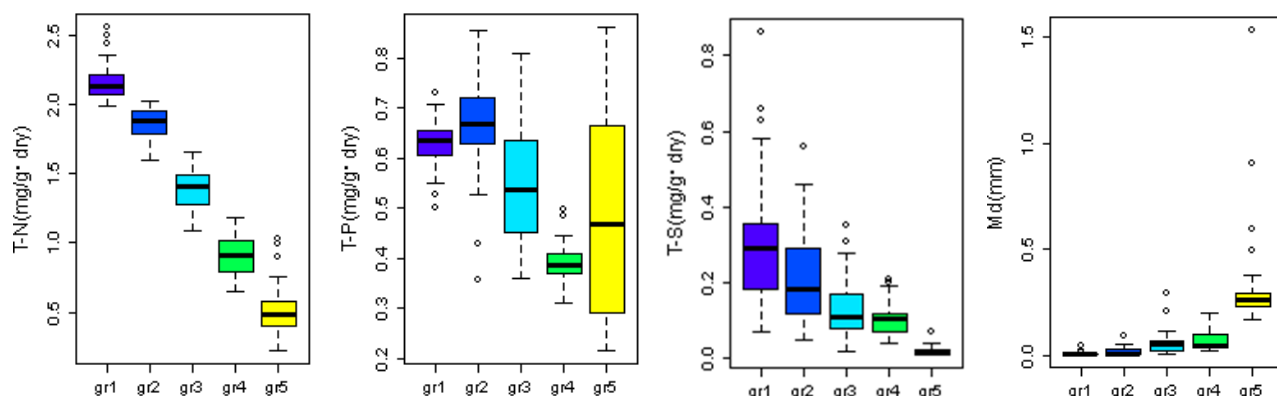


図 5.1-4 底質グループ別の底質範囲(八代海)

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」

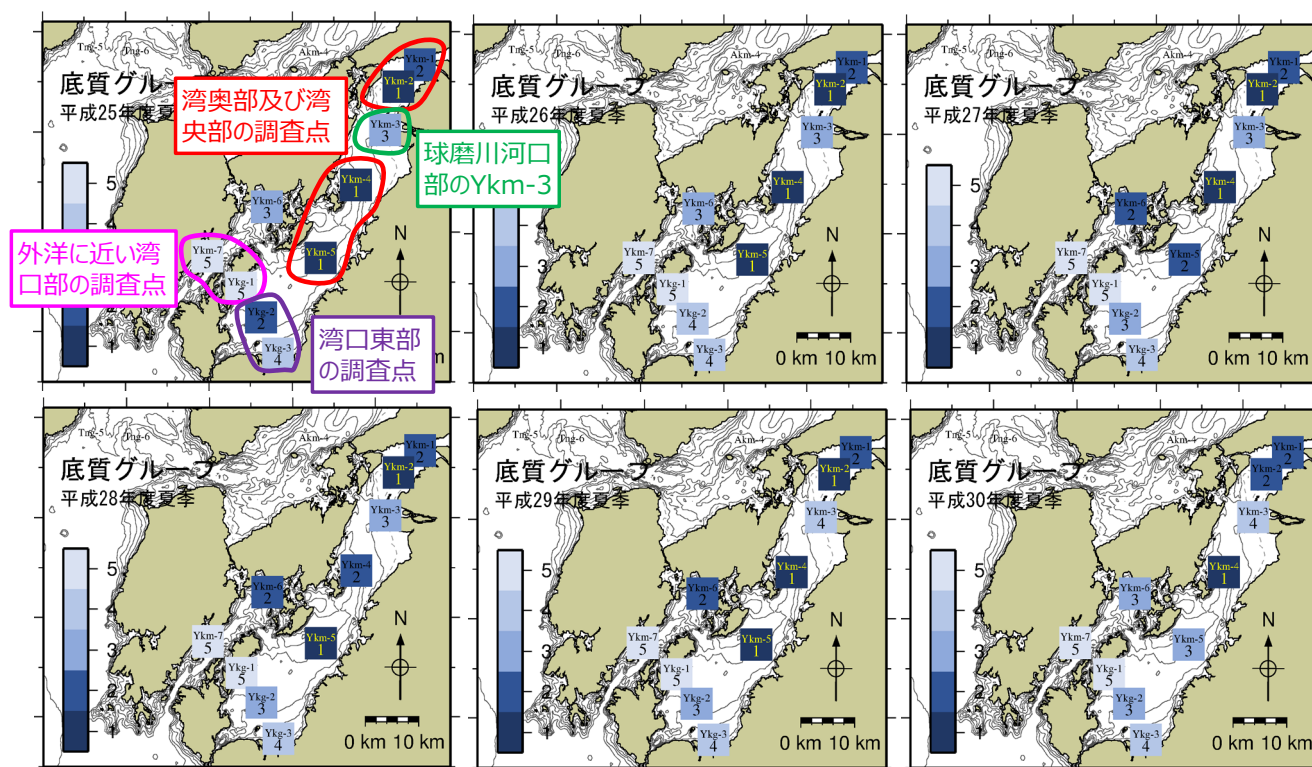


図 5.1-5 過去6年間ににおける底質グループの分布(八代海・夏季調査)

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」