

3.8 赤潮

3.8.1 赤潮の発生状況

赤潮は主に微細藻類が異常増殖することにより、海水が変色する現象を総称する。赤潮の発生そのものは自然現象であるが、その発生頻度や規模は全海域の富栄養化の進行に伴って変化することが指摘されており¹⁾、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海では COD、T-N 及び T-P の流入に対する水質総量削減、赤潮発生の監視が行われている。

注) 赤潮発生は原則として海域における着色現象を集計したものであるが、1998～2000 年以降は、着色を伴わないものであっても被害(特にノリの色落ち被害)に応じて赤潮発生として扱われるため、過去と比較する場合、同じ微細藻類の出現状況であっても発生件数が多く計上されている可能性があることに留意する必要がある。

付図 3.8.1-1 に有明海、八代海、橘湾における赤潮の発生件数を示した。有明海では 1998 年頃から、八代海では 1998 年～2000 年頃から赤潮の発生件数が増加しており、2000 年～2023 年までの平均発生件数(有明海 37 件/年、八代海 16 件/年)は 1970 年代～1980 年代(有明海 15 件/年、八代海 8 件/年)の 2 倍以上となっている。

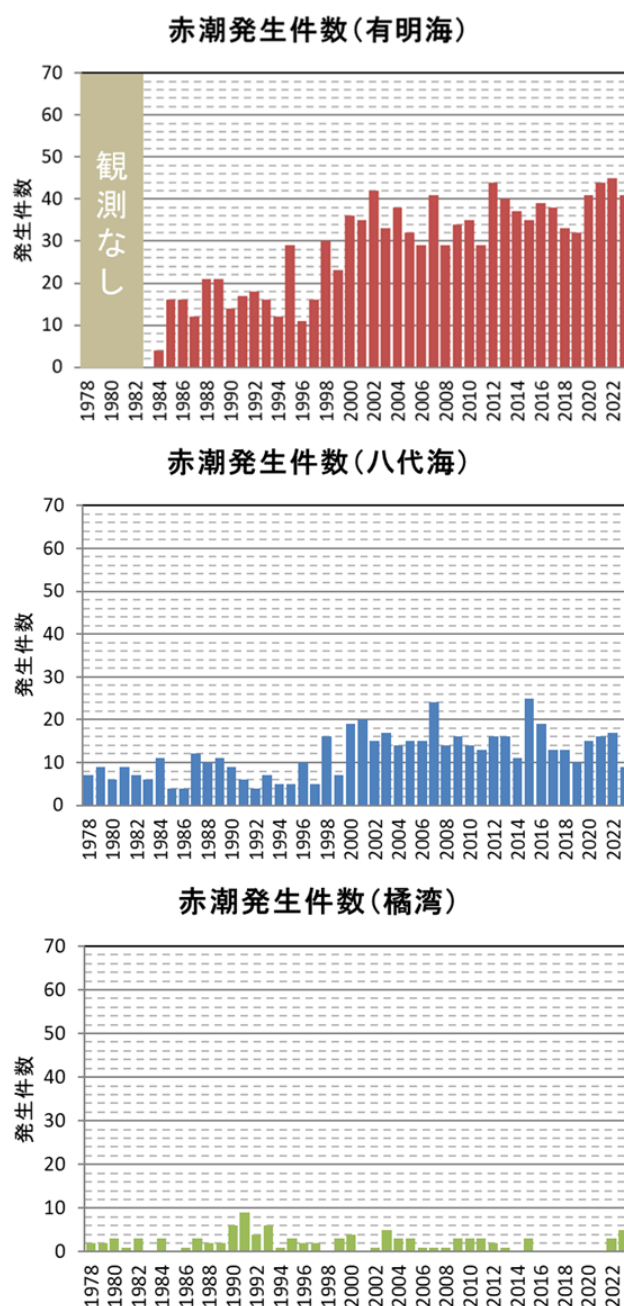
なお、赤潮発生は原則として海域における着色現象を集計したものであるが、1998 年～2000 年以降、着色現象の程度によらず、ノリの色落ちなどの漁業被害が報告されるようになり、これらの現象も赤潮発生として扱われている。また、赤潮の調査体制の強化や調査頻度の増加、原因となる珪藻類の優占種ごとに発生件数をカウントするなど報告の精緻化が図られているため、同じ微細藻類の出現状況であっても発生件数が多く計上されている可能性があることから、過去の数値と単純比較できない点に留意する必要がある。

有明海における海域への直接負荷量を含めた COD、T-N 及び T-P の汚濁負荷量(3.1 汚濁負荷量)は、直近 5 年間(2018 年度～2022 年度)は 1975 年度～1980 年度と比較して、COD で 77%、T-N で 66%(底質由来最小値の場合)、T-P で 67%に減少している。赤潮発生件数が増加した 1990 年代後半以降、汚濁負荷量は概ね横ばい傾向となっており、汚濁負荷量と赤潮発生件数の間に長期的な連動性はみられない。

八代海における海域への直接負荷量を含めた汚濁負荷量に関して、COD については、直近 5 年間(2018 年度～2022 年度)は 1975 年度～1980 年度と比較して、64%に減少した。T-N 及び T-P については、1990 年代中頃から増加し 2010 年度以降は減少傾向にあるが、直近 5 年間は 1975 年度～1980 年度と比較して T-N で 122%(底質由来最小値の場合)と高く、T-P では 87%(底質由来最小値の場合)程度となっている。八代海での赤潮の発生件数については、1998 年以降増加し、1997 年以前の 2 倍程度と高い発生状態が続いており、汚濁負荷量と赤潮発生件数の間に長期的な連動性はみられない。

1) 岡市友利(1997): 赤潮の科学(第二版), 恒星社厚生閣, 337pp.

橘湾は 1991 年に 9 件、1990 年と 1993 年に 6 件、2023 年に 5 件の赤潮発生がみられたが、ほとんどの期間は 3 件/年前後で推移しており、増減傾向は認められない。2016 年～2021 年にかけては赤潮の発生はみられなかった。



注) 赤潮発生は原則として海域における着色現象を集計したものであるが、1998～2000 年以降は、着色を伴わないものであっても被害(特にノリの色落ち被害)に応じて赤潮発生として扱われるため、過去と比較する場合、同じ微細藻類の出現状況であっても発生件数が多く計上されている可能性があることに留意する必要がある。

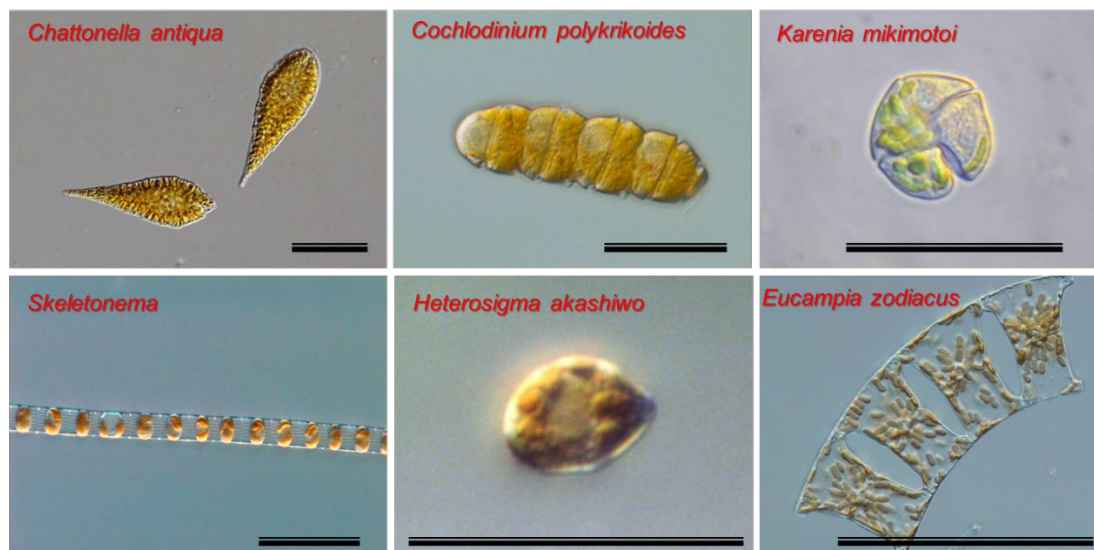
付図 3.8.1-1 有明海、八代海及び橘湾における赤潮発生件数の推移

出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 5 年)」をもとに環境省作成

3.8.2 赤潮(種類別)の特徴

有明海・八代海等で発生する赤潮生物の例を付図 3.8.2-1 に示す。

赤潮生物は、種類によってその生理的・生態的性質や発生機構、水産生物への影響が異なるほか、赤潮生物間で種間競合関係にあることから、赤潮全体を包括的に評価することが難しいため、ここでは、赤潮の構成種の推移をまとめた上で、主な種類ごとの赤潮発生の状況、赤潮による漁業被害の概況を整理した。



注) 写真の黒棒の長さは 50 μ m を示す。*Chattonella antiqua* については、*Chattonella marina* var. *antiqua* と表記する論文が提示されている¹⁾。*Cochlodinium polykrikoides* については、*Margalefidinium polykrikoides* と標記する論文が提示されている²⁾。

付図 3.8.2-1 有明海・八代海等で発生する赤潮プランクトンの顕微鏡写真

出典: 有明海・八代海等総合調査評価委員会 (2017) 「有明海・八代海等総合調査評価委員会報告」

(1) 構成種の推移

付図 3.8.2-2 に有明海、八代海及び橘湾における赤潮の構成種数の推移を示した。なお、1 件の赤潮は複数種で構成されることが多いため、赤潮の発生件数と構成種数とは必ずしも一致しないことに留意が必要である。有明海では全期間を通じて珪藻による赤潮の発生頻度が全体の半数程度を占めるなど高く、渦鞭毛藻やラフィド藻がこれに続く。ラフィド藻による赤潮は 1988 年頃まではほとんど確認されていなかったが(有明海における *Chattonella* 属赤潮の初検出は 1984 年)、その後徐々に増加し、1998 年頃から、渦鞭毛藻と匹敵する頻度まで増加している。有明海で発生する代表的なラフィド藻は *Heterosigma akashiwo* と *Chattonella* 属 (*C. antiqua*, *C. marina* 及び *C. ovata*) である。

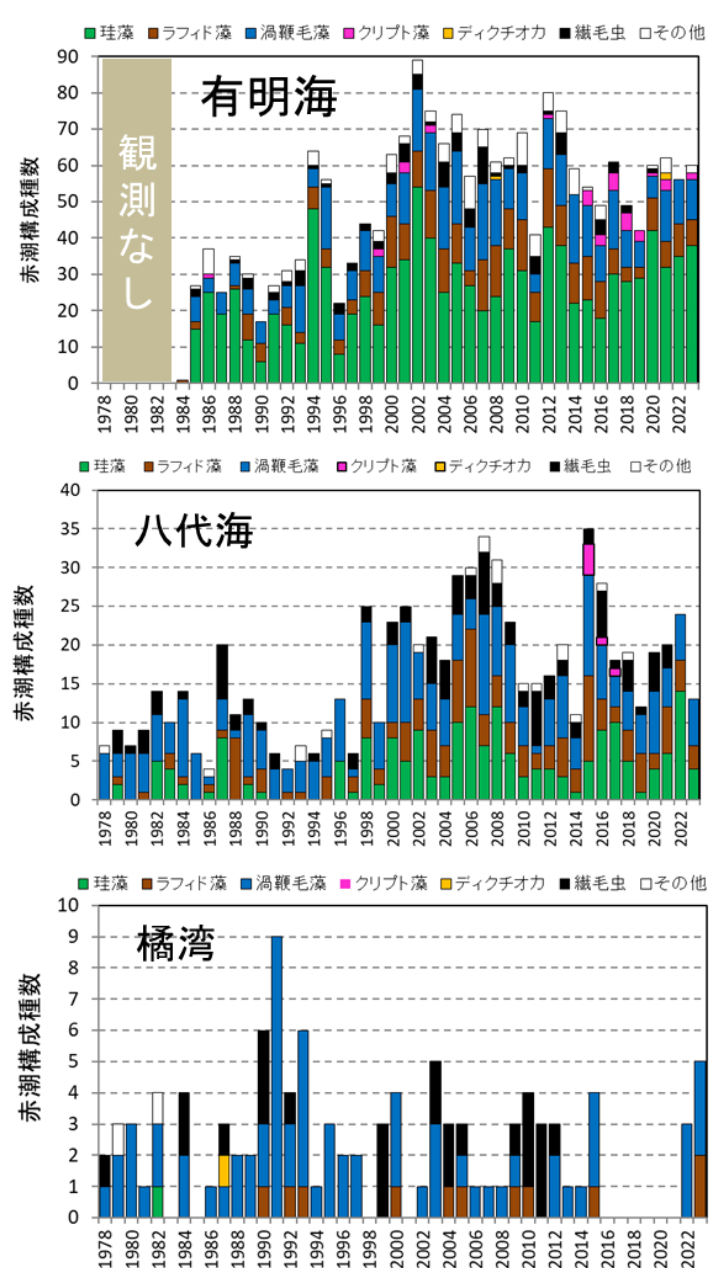
1) Demura M., Noël M-H, Kasai F., Watanabe M.M., Kawachi M (2009): Taxonomic revision of *Chattonella antiqua*, *C. marina* and *C. ovata* (Raphidophyceae) based on their morphological characteristics and genetic diversity., *Phycologia*, Vol.48(6), pp. 518-535.

2) Gómez, F.; Richlen, M. L.; Anderson, D. M. (2017). Molecular characterization and morphology of *Cochlodinium strangulatum*, the type species of *Cochlodinium*, and *Margalefidinium* gen. nov. for *C. polykrikoides* and allied species (Gymnodiniales, Dinophyceae). *Harmful Algae*, Vol. 63, pp. 32-44.

珪藻や渦鞭毛藻についても、1998 年頃から件数が増加していることが分かる。全体の構成割合について、1970 年代～1980 年代と比較してラフィド藻の割合の増加以外に、基本的に構成種の大きな変化は認められない。

八代海では 1998 年～2000 年頃から赤潮の発生件数が増加しているものの、渦鞭毛藻やラフィド藻の割合は 6 割程度と大きく変化していない。1991 年から 1995 年にかけて一時的に珪藻による赤潮が確認されないなど比率が低下しているものの、構成種の長期的な変動はほとんどみられない。

橘湾では渦鞭毛藻による赤潮が主体であり、1990 年代の初頭に弱い発生件数のピークが認められる以外、特に長期的な増加や減少傾向は認められない。なお、6～7年おきに発生しているラフィド藻赤潮は *Chattonella* 属である。



付図 3.8.2-2 有明海、八代海及び橘湾における赤潮構成種数の推移

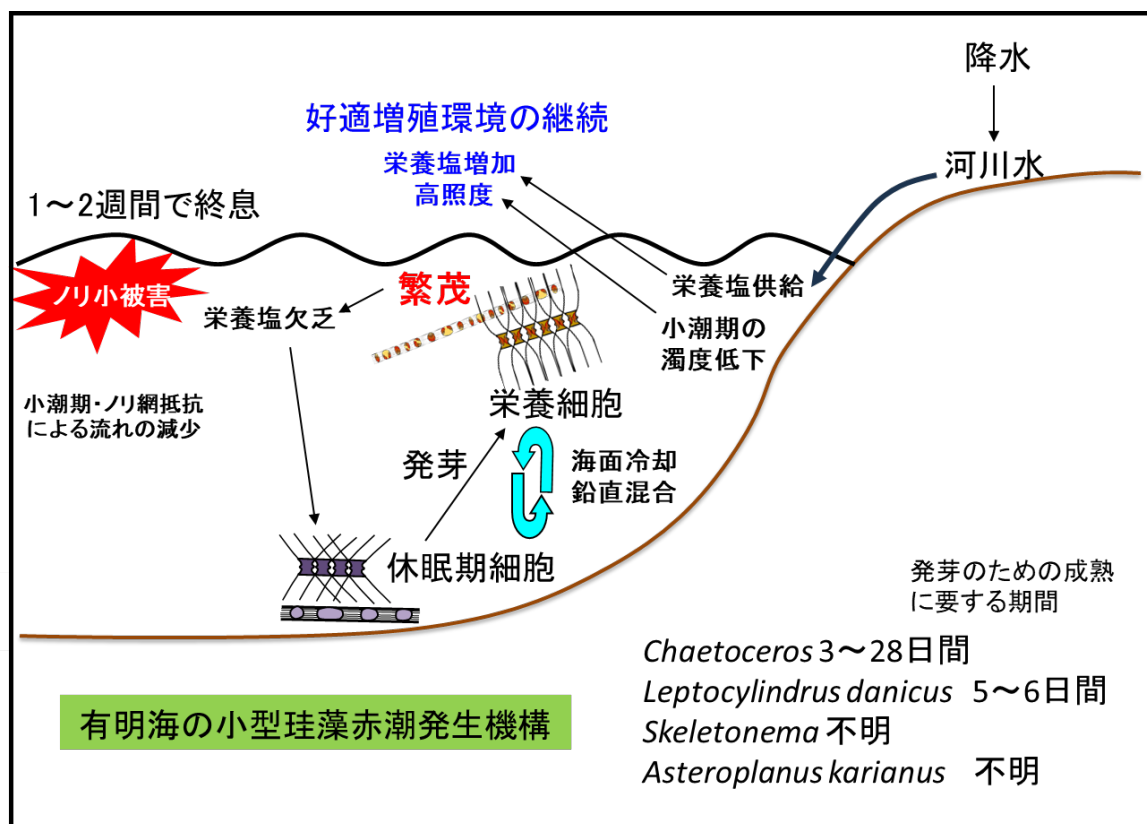
出典: 水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 5 年)」をもとに環境省作成

(2) 有明海・八代海等で発生する赤潮の種類ごとの特徴

ア) 小型珪藻(年中発生)

<特徴等>

- ・珪藻は沿岸や内湾の基礎生産者として重要であり、食物連鎖の根幹をなす。
- ・珪藻の多くは、河川から栄養塩が供給されて塩分が減少し、強い照度を与える晴天が続くと底泥中の休眠期細胞が発芽、増殖して赤潮となる。
- ・有明海では、浮泥の再懸濁³⁾や土砂流入等による濁りが植物プランクトンの光合成を抑制しているが、透明度の上昇によって海底面の照度増加は発芽を促進し、赤潮発生の原因になると考えられる。



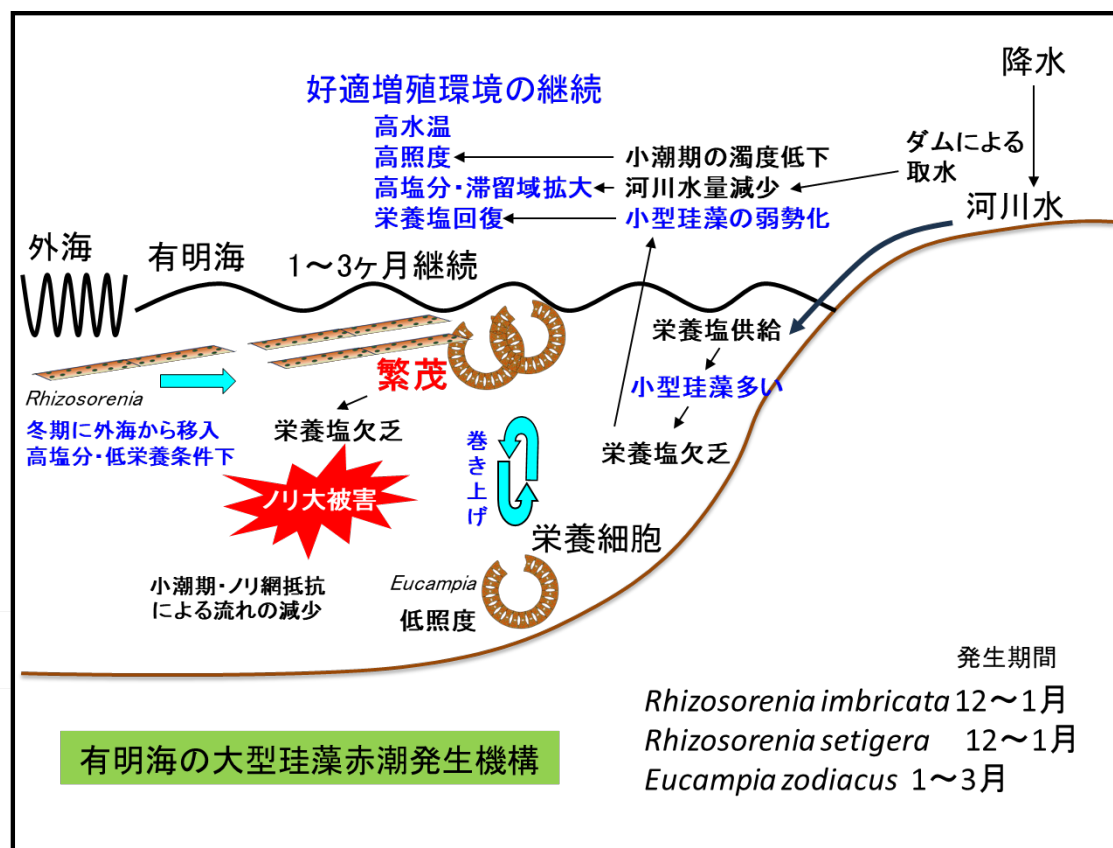
付図 3.8.2-3 小型珪藻の発生機構

3) 八木ら(2005) 冬季有明海湾奥部浅海域における底層懸濁態物質の空間構造と輸送特性、海岸工学論文集、第52巻、941-945

イ) 大型珪藻(秋期～冬期発生)

<特徴等>

- ・大型珪藻の *Rhizosolenia* 属は、2000 年以前には有明海で赤潮を形成してノリ養殖業に甚大な漁業被害を与えた。2000 年に大発生した *Rhizosolenia imbricata* は、毎年低レベルで観察されており、通常外海側に生息し、河川流入水が減少し高塩分状態(30～35)になる秋期以降に有明海に進入し、晴天が続くなど高い日照条件下で大発生する。
- ・*Eucampia zodiacus* も有明海でのノリの色落ちを引き起こす頻度の高い種類である。本種の発生は 1～3 月にみられ、日照時間の増大、小潮期の濁度低下などを引き金として大発生する。細胞のサイズが大きく群体を形成するため、栄養塩消費量が多いと考えられており、発生時はノリの色落ち被害が顕著である。
- ・大型珪藻は毎年発生するのではなく、気象や海象など、特殊な環境条件が整った時に大発生する。また、小型珪藻の赤潮と混在したり、時期が連続して発生したりするため、小型珪藻と大型珪藻によるノリの色落ち被害を明確に区分することは困難である。

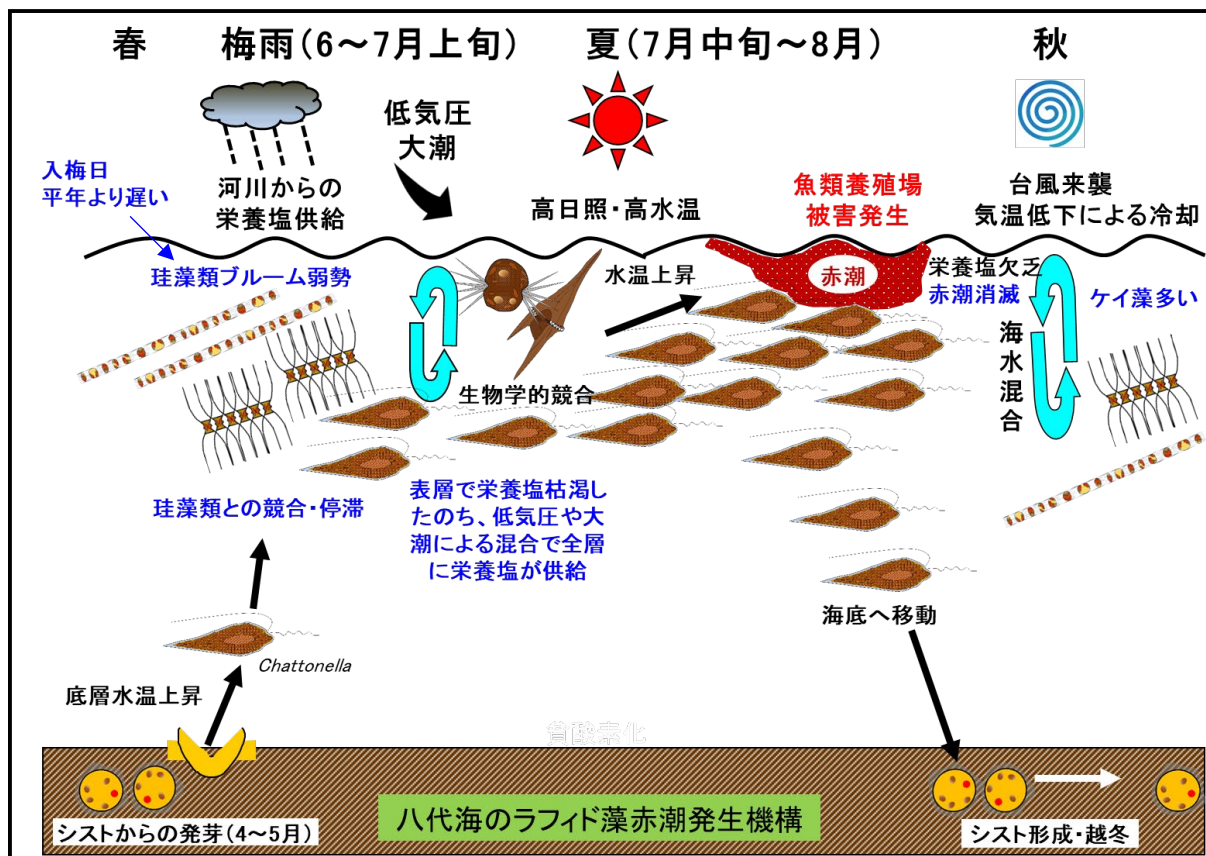


付図 3.8.2-4 大型珪藻の発生機構

ウ) ラフィド藻(夏期発生)

<特徴等>

- ・有明海のラフィド藻赤潮は、*Chattonella* 属と *Heterosigma akashiwo* が知られており、魚類へ被害を与える。いずれの赤潮も有明海湾奥部や諫早湾で発生頻度や規模が顕著である。ラフィド藻による赤潮発生には、休眠孢子(シスト)からの発芽、富栄養化や貧酸素水塊の発生、競合する珪藻の衰退などが関係している。
- ・有明海の *Chattonella* 属赤潮は 1984 年に佐賀県海域で初認され、諫早湾でも 1989 年に確認された。赤潮発生時は海底への有機物負荷が増大することにより、海域の貧酸素化が急速に進行すること、遊泳能力を有して夜間海底近くへ沈降し、底層から溶出する栄養塩が *Chattonella* 属赤潮の栄養源となっている。
- ・八代海の *Chattonella* 属赤潮は 1988 年に初めて出現し、以降発生が続いている。

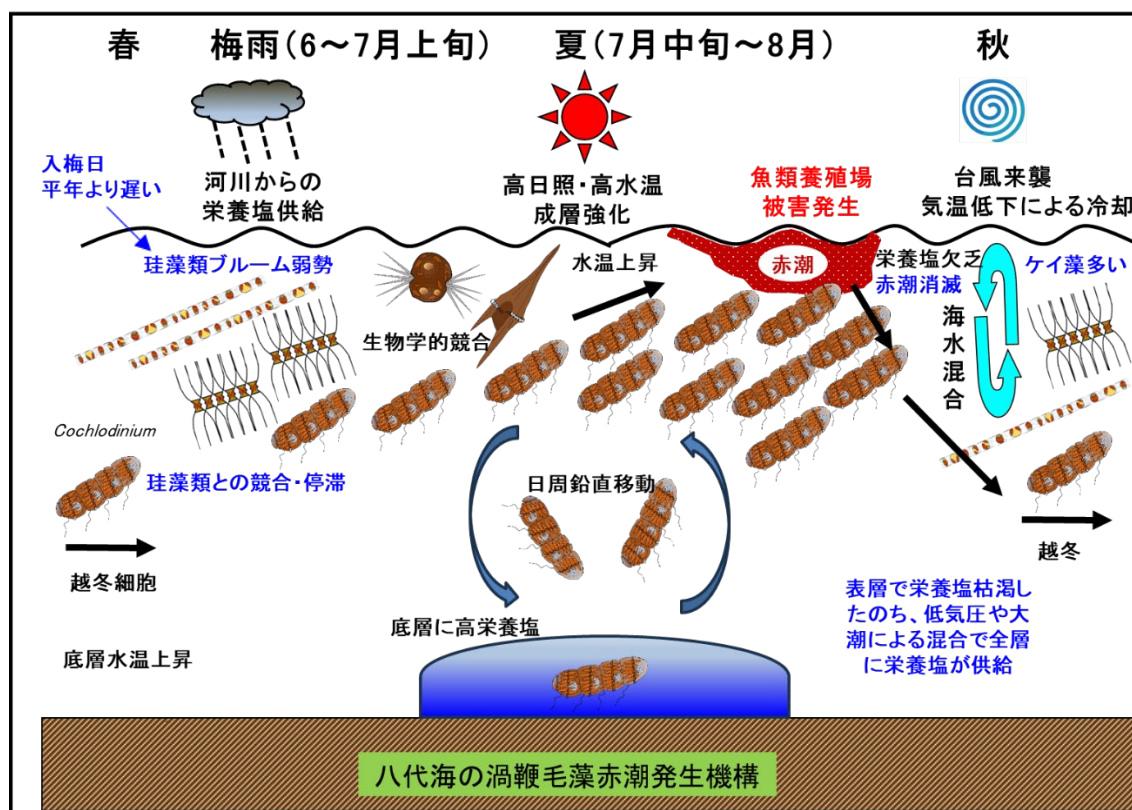


付図 3.8.2-5 *Chattonella* 属の生活環と八代海における赤潮発生機構

工) 渦鞭毛藻(夏期発生)

<特徴等>

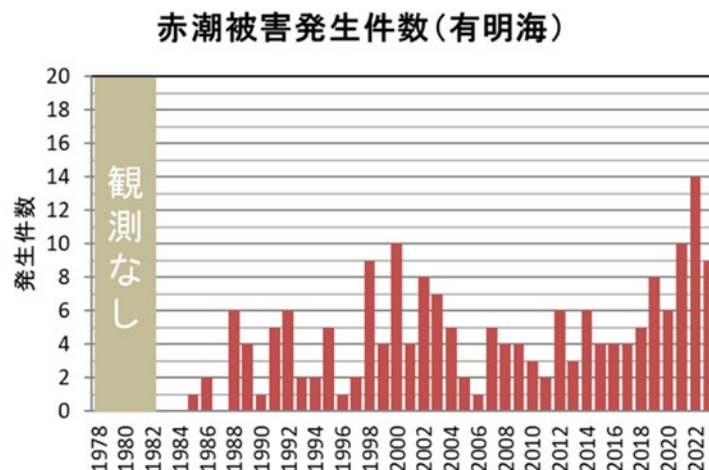
- ・有明海の渦鞭毛藻としては *Ceratium* 属 (*C. furca* 及び *C. fusus*) や *Akashiwo sanguinea* 等が赤潮を形成するが、大きな漁業被害や貧酸素水塊の誘発はほとんどみられない。後者は、夏期のみならず秋期から冬期に赤潮を形成するため、希にノリの色落ち被害を引き起こすことがある。
- ・八代海では 1970 年代から渦鞭毛藻類 *Cochlodinium* 属 (大半が *C. polykrikoides*) が大規模な赤潮を形成し、重大な漁業被害を招いている。同種のシストは八代海では確認できず、越冬栄養細胞である可能性が高く、水温と日射量の増加とともに高塩分環境下で増殖する。速い日周鉛直移動により、底層の栄養塩を利用して赤潮を持続すると考えられる。
- ・*C. polykrikoides* は、塩分変化に敏感(狭塩分性種)であり、赤潮は渇水年に発生し、降雨年で非発生であることが示唆される。
- ・この他、八代海では魚類や貝類に被害を与える *Karenia mikimotoi* 赤潮が発生しているが、*C. polykrikoides* と比較すると赤潮発生頻度、規模、被害額は小さい。



付図 3.8.2-6 八代海における *C. polykrikoides* の赤潮発生機構

3.8.3 有明海における赤潮による漁業被害(ノリ養殖等)

有明海における赤潮被害の年間発生件数は、1998 年から 2003 年まではそれまでのおよそ 2 倍の件数と高い傾向であった。2005 年以降は減少し、2018 年まで横ばいであったが、2019 年以降は再び増加している(付図 3.8.3-1)。原因プランクトン別にみると、年による変動が大きいものの、主に珪藻によるノリ養殖被害件数(ノリの色落ち)が多く発生している。また、夏期にはラフィド藻等の有害赤潮が頻発し、赤潮発生海域では天然魚介類のへい死等が発生している。



付図 3.8.3-1 有明海において漁業被害をもたらした赤潮発生件数(年間)の推移

出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 5 年)」をもとに環境省作成

(1) 有明海における夏期の赤潮

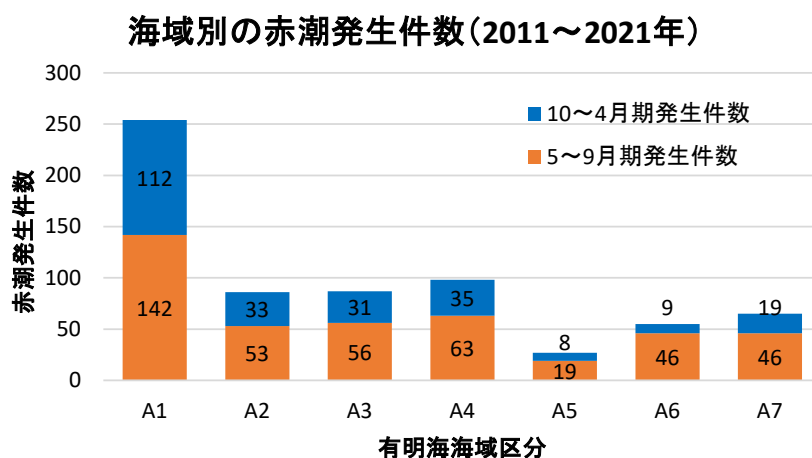
(更新予定)有明海における赤潮被害発生件数は 2011 年から 2021 年まで海域毎のデータを整理すると、赤潮は A1 海域で最も多く発生し、A1 海域に隣接する A2 から A4 海域でも発生件数が多い(付図 3.8.3-2)。干潟域である A1 海域を除くと、いずれの海域でも 5～9 月の夏期の赤潮発生件数が多く、夏期は珪藻のみならず、渦鞭毛藻及びラフィド藻による赤潮発生が多い。

夏期に発生する *Chattonella* 属や *Heterosigma* 属の赤潮は A1～A3 海域及び A6 海域では夏期に高密度となる。付図 3.8.3-3 に両属の赤潮発生規模(赤潮発生日数×最大細胞密度)の経年変化を示した。*Chattonella* 属による赤潮の発生規模は、1998 年、2004 年、2007 年～2010 年、2015 年～2016 年及び 2018 年に大きくなっている。赤潮発生海域では天然魚類のへい死などが発生しているが、漁獲量の減少にどの程度影響を与えたのかは不明であり、複合的な要因と推測されている。*Heterosigma* 属の発生規模は 1995 年、2002 年、2004 年、2011 年及び 2015～2016 年に大きくなっている。

ラフィド藻である *Chattonella* 属や *Heterosigma* 属は魚類等へ幅広く毒性を示すことが既に知られている。また、天然魚介類はこうした毒性の高い赤潮に遭遇すると逃避行動をとったり、不漁要因となることも知られている⁴⁾。

平成 28 年度委員会報告以降も、有明海では規模の大きな赤潮が発生している。赤潮発生状況や各種要因を整理し、赤潮形成の予察技術の向上に向けた分析・検討が進められている。既に *Chattonella* 属赤潮の発生機構については、平成 18 年度委員会報告や平成 28 年度委員会報告にとりまとめられているが、本種の赤潮発生の規模が拡大すると、赤潮水塊が橘湾にまで移流して養殖業へ漁業被害を引き起こすことも懸念され、赤潮発生規模の年変動要因についても知見の蓄積が求められている。

2013 年～2023 年の有明海奥部 (P6) 及び諫早湾 (B3) (付図 3.8.3-4) において、*Chattonella* 属 (鞭毛藻) と珪藻類の出現特性の把握、両者の間に競合と考えられる関係が確認され、*Chattonella* 属赤潮は珪藻類が衰退した隙間 (niche) で発生していることが示された (付図 3.8.3-5 及び付図 3.8.3-6)。一般的に鞭毛藻は珪藻類よりも増殖速度が低いため、栄養競合環境下では不利となるため、珪藻類が最大の競合者であると考えられる。一般的に種間競合関係は数値モデルでの再現が難しいとされているが、現地実測データが蓄積されていることから、これらのデータを用いて種間競合に関する調査研究を進める必要がある。

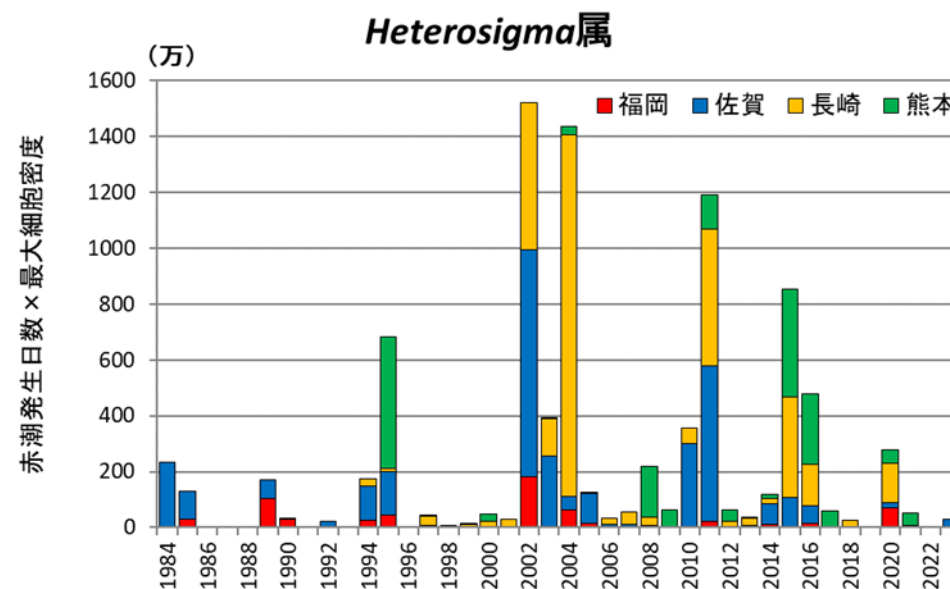
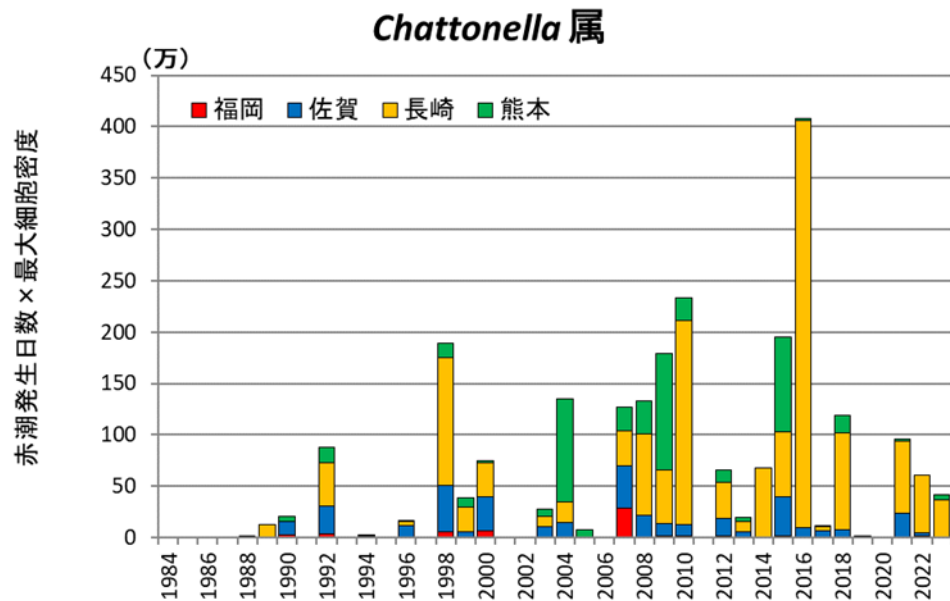


付図 3.8.3-2 有明海における海域区分別赤潮発生件数(2011 年～2021 年の累計値)

※更新予定

出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(平成 23～令和 2 年)」をもとに環境省作成

4) 荒木希世, 松岡貴浩, 森下貴文, 川崎信司(2013):有明海における *Chattonella* 属赤潮の日周鉛直移動がクルマエビに与える影響, 熊本県水産研究センター研究報告, 第 9 号, p. 13-18.



注) 1.用いた資料では、2000 年以降は、赤潮発生面積がほとんど「不明」であったことから、赤潮発生規模の目安として、便宜的に「赤潮発生日数(日) × 最大細胞密度(cells/mL)」を指標として採用した。

2.当該年に複数回赤潮が発生した場合、発生毎に上記の計算を行って合計した。

3.赤潮発生規模を便宜的に算出したものであり、当該期間を通して最高細胞密度の状態が継続していたわけではない。

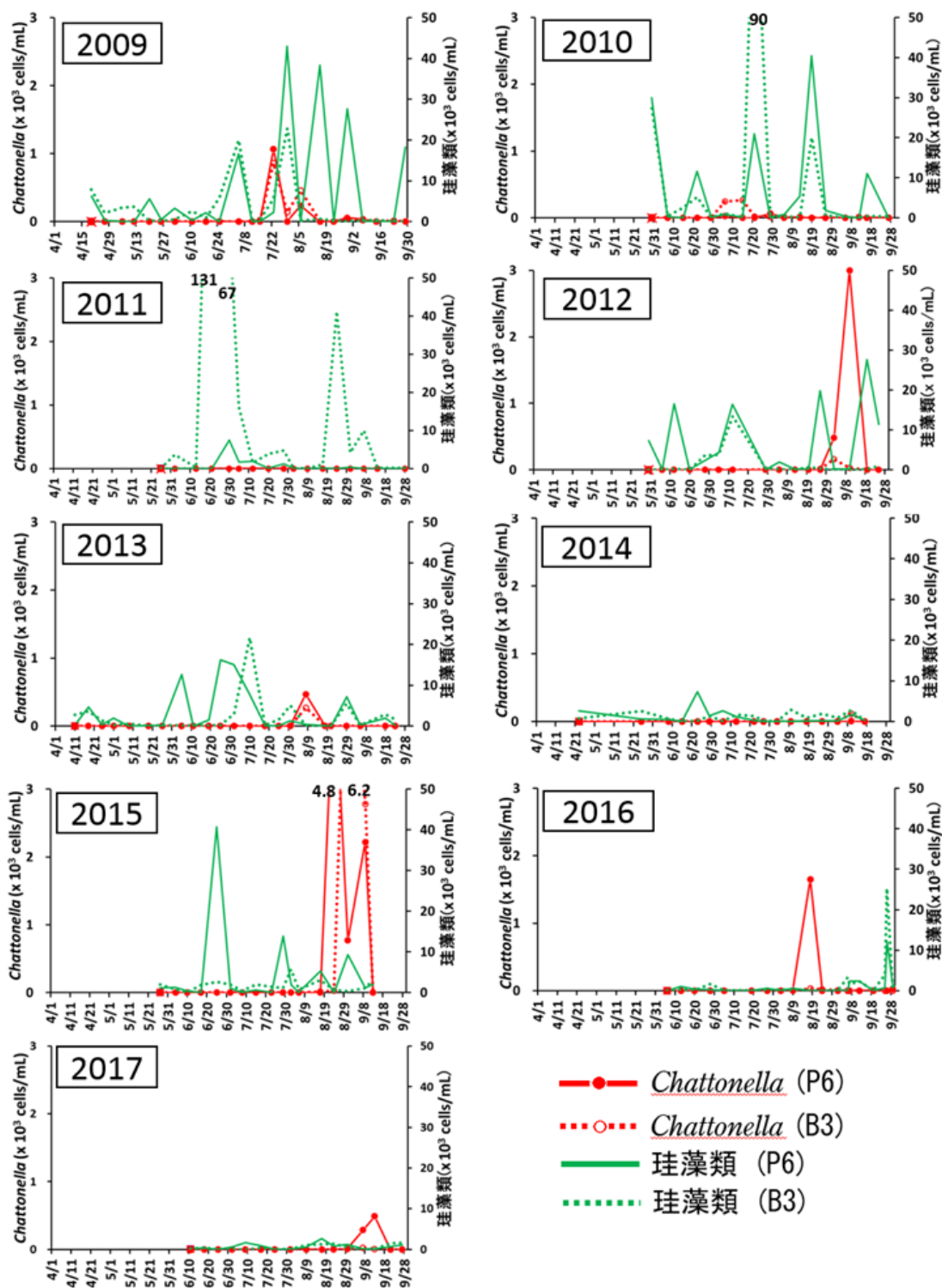
付図 3.8.3-3 有明海における2種有害赤潮生物の発生規模の推移

出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 5 年)」をもとに環境省作成

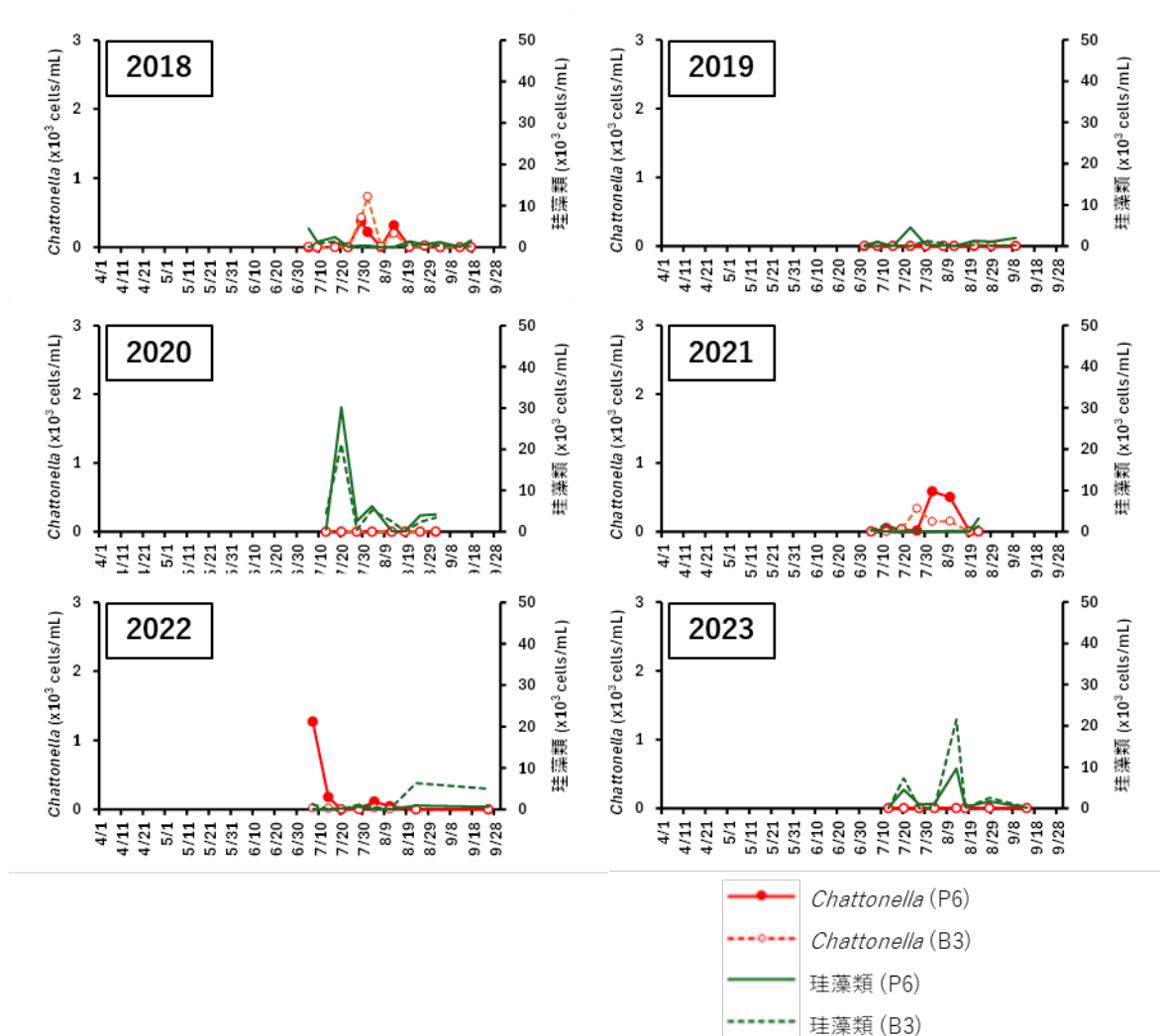


付図 3.8.3-4 有明海における *Chattonella* 属と珪藻類出現特性の観測定点
(2009～2023 年)

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」



付図 3.8.3-5 有明海奥部(測点 P6)及び諫早湾(測点 B3)における *Chattonella* 属と珧藻類の出現特性(2009 年～2017 年)



付図 3.8.3-6 有明海奥部(P6)及び諫早湾(B3)における
Chattonella 属と珧藻類の出現特性(2018 年～2023 年)

出典: 1. 水産総合研究センター、長崎県総合水産試験場、福岡県水産海洋技術センター有明海研究所、佐賀県有明水産振興センター、熊本県水産研究センター、(株)西村商会(2009・2010)「有明海における夏季の植物プランクトンの変動」、平成 21 年度・平成 22 年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書
2. 水産研究・教育機関、長崎県総合水産試験場(2013-2017)「有明海における貧酸素水塊モニタリングの高度化」
3. 水産庁漁場環境・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
4. 水産庁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、赤潮被害防止対策技術の開発報告書
5. 水産庁豊かな漁場環境推進事業のうち、海域特性に応じた赤潮・貧酸素水塊、栄養塩類対策推進事業、赤潮等による漁業被害への対策技術の開発・実証・高度化委報告書

(2) 赤潮によるノリ養殖被害

ア) 有明海における冬期の珧藻類赤潮の発生状況と発生機構

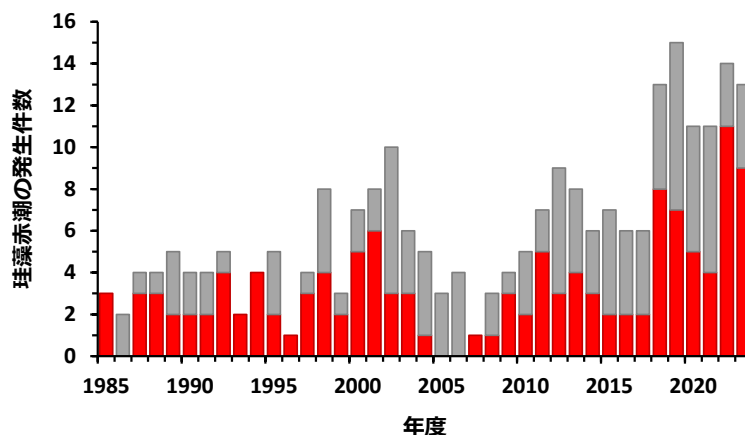
① ノリの色落ち

ノリの「色落ち」とは、ノリ葉体の細胞中における色素(クロロフィル、フィコエリスリンなど)の生成が阻害されることによって、色調が黒色から茶褐色に変化する現象を指す⁵⁾。

5) 有賀祐勝(1980): スサビノリの色彩と色素. 遺伝, 第 34 号, pp.8-13.

色落ちしたノリは商品価値が下がるため、生産枚数や生産額の減少につながる。ノリの「色落ち」が発生する生理学的メカニズムは不明な部分もあるが、基本的に海水中の栄養塩濃度の低下が重要な役割を果たしていると考えられる。^{6), 7), 8)} (平成 28 年度委員会報告 図 4.4.124)。秋期から冬期の有明海湾奥部における海水中の栄養塩濃度の低下をもたらす要因のひとつとして、珪藻類による赤潮の発生が挙げられる。有明海における秋期～冬期(10 月～翌 3 月)の珪藻赤潮の発生件数について、データが整理されている 1985 年度以降の推移を付図 3.8.3-7 に示した。赤潮発生件数は、1990 年代後半以降では、2002 年度に増加したが、その後、2007 年度に減少した。2011～2013 年度に再び増加し、2014～2017 年度はやや減少したが、2018 年度以降、再び増加している。また、有明海における年間の赤潮発生件数のうち、秋期～冬期(10 月～翌 3 月)の珪藻赤潮が占める割合は 4 分の 1 程度に過ぎないが、赤潮による被害件数に着目すると、その大部分は秋期～冬期(10 月～翌 3 月)の珪藻赤潮の発生によるノリの色落ち被害である。

ノリの色落ちと珪藻赤潮との関係を検証するため、有明海福岡県海域を例に、1985 年度以降のノリの色落ちの発生期間と珪藻赤潮の発生期間とを対比した(付図 3.8.3-8)。その結果、多くの場合、ノリの色落ちに先行する形で珪藻赤潮が発生しており、珪藻赤潮の発生とノリの色落ち被害とが密接に関係していることが示唆された。すなわち、珪藻類が赤潮を形成することによって、海水中の栄養塩濃度が急激に低下し、ノリ養殖に必要とされる栄養塩が減少する結果、色落ちが生じているものと推察される。なお、渦鞭毛藻の *Akashiwo sanguinea* 赤潮によるノリの色落ち被害も発生していることから、今後は本種にも留意する必要がある。



注) 赤色は被害件数を示す。

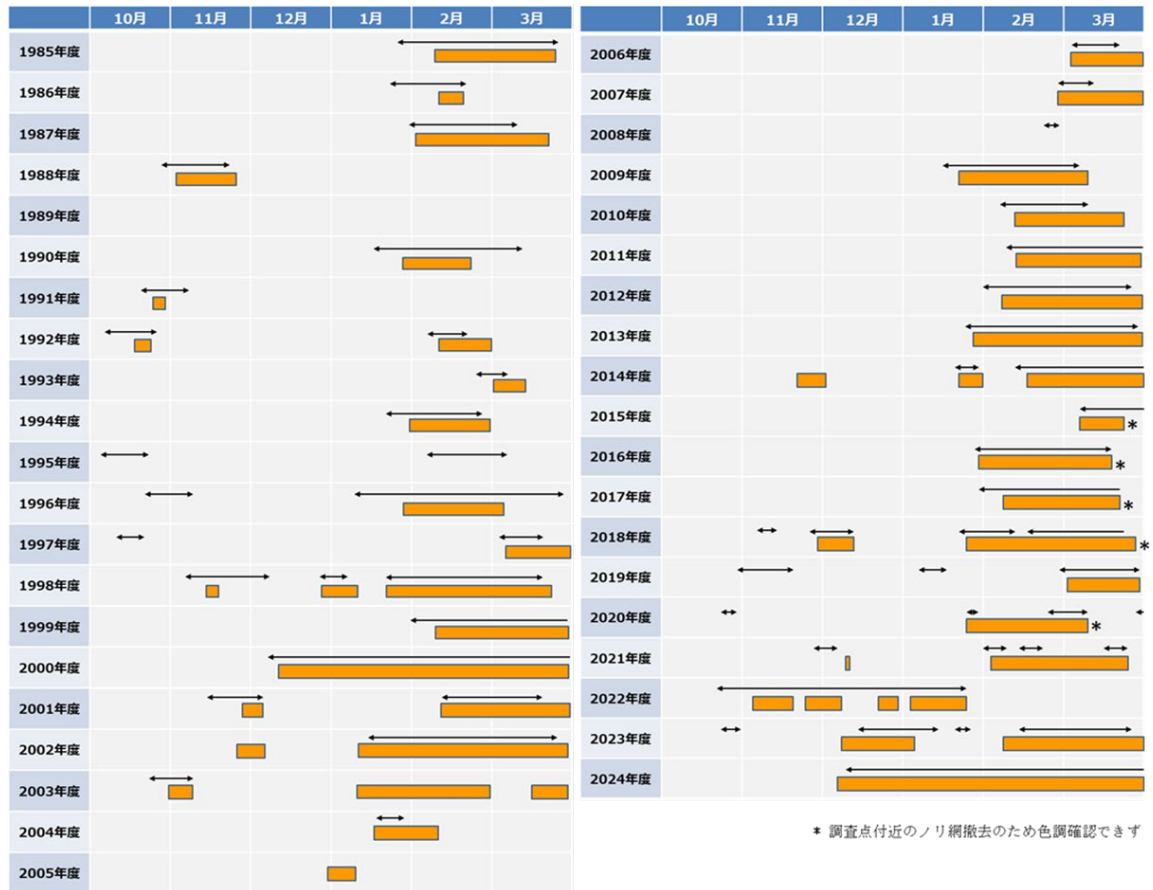
付図 3.8.3-7 有明海における秋期～冬期(10 月～翌 3 月)の珪藻赤潮の発生件数

出典: 水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮」をもとに環境省作成

6) 藤澤邦康, 小橋啓介, 林浩志(2000): ノリ養殖漁場における溶存態無機窒素とノリの色素量の関係について. 岡山県水産試験場報告, 第 15 号, pp.1-3.

7) 白石日出人(2010): ノリ葉体の色調変化に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 第 20 号, pp.131-134.

8) 村山史康, 清水泰子, 高木秀蔵(2015): 岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度とノリの色調および乾海苔単価との関係. 日本水産学会誌, 第 81 巻, 第 1 号, pp.107-114.

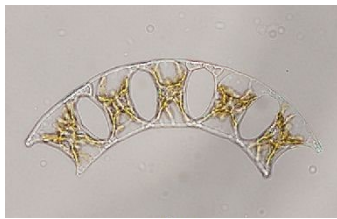


注) 終漁によるノリ網撤去期限が、1995 年度以前は 2 月中旬～3 月中旬、1996 年以降は 3 月末～4 月末に設定。

付図 3.8.3-8 有明海福岡県海域におけるノリの色落ちの発生期間(■)と珪藻赤潮の発生期間(⇔)

② 原因となる珪藻類

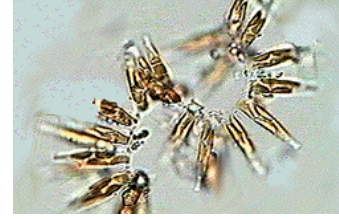
一般に、細胞あたりの栄養塩吸収量が高い大型の珪藻類、例えば *Eucampia zodiacus* や *Coscinodiscus wailesii*, *Rhizosolenia imbricata* などの種が、ノリの色落ちを引き起こす原因種として位置づけられている(付図 3.8.3-9)。また、世界各地の沿岸・内湾域で普遍的に生息している *Skeletonema* spp. や *Chaetoceros* spp. 等の小型珪藻類についても、ノリ漁期に赤潮を形成すると、色落ちを引き起こす。*Rhizosolenia imbricata* (平成 28 年度委員会報告 図 4.4.128) は、2000 年度のノリの大不作の原因種と推定されたが、それ以降、有明海において、本種による赤潮発生報告は、2023 年度の福岡県海域における *Eucampia zodiacus* 及び *Skeletonema* spp. との混合赤潮のみである。ここでは、*R. imbricata* を除く、これまでに有明海でノリの色落ち被害を引き起こした主要 3 種の珪藻類(*Eucampia zodiacus*, *Asteroplanus karianus* 及び *Skeletonema* spp.) と、2018 年度以降、色落ち被害を引き起こした *Chaetoceros* spp. について、それぞれの種の有明海における赤潮の発生状況と発生機構について述べる。



Eucampia zodiacus



Coscinodiscus wailesii



Asteroplanus karianus



Rhizosolenia imbricata



Skeletonema sp.

付図 3.8.3-9 ノリの色落ちの原因となる主な珪藻類

出典: 有明海・八代海等総合調査評価委員会 (2017)「有明海・八代海等総合調査評価委員会報告」

(i) *Eucampia zodiacus*

Eucampia zodiacus は、極域を除く世界中の沿岸域に広く分布し、頂軸長が 100 μ m に達する大型の珪藻類で、ノリの色落ち被害が頻発している瀬戸内海東部においても重要な色落ち原因種として位置づけられていることから、水温や栄養塩に対する増殖特性など、生理・生態学的知見が精力的に収集・整理されている^{9)、10)、11)、12)、13)}。

有明海において、*E. zodiacus* は 1980 年代より出現が確認されており、1980 年代後半や 2000 年前後に、比較的高密度で出現していた(付図 3.8.3-10)。2011 年度以降も、高密度での出現がみられており、特に 2013 年度、2018 年度、2019 年度の冬期には、本種による赤潮が有明海のほぼ全域で発生し、多くのノリ漁場で色落ち被害が生じた(付図 3.8.3-11)。

有明海での *E. zodiacus* による赤潮については、まず *Skeletonema* spp.などの小型珪藻類の増殖がみられ、それらが衰退した 2 月下旬から *E. zodiacus* の細胞密度が急激に増加したこと、海水中の栄養塩濃度は、小型珪藻類の増殖により減少し、その後の *E.*

9) 西川哲也 (2002) : ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の増殖に及ぼす水温、塩分および光強度の影響。日本水産学会誌, 第 68 巻, 第 3 号, pp.356-361

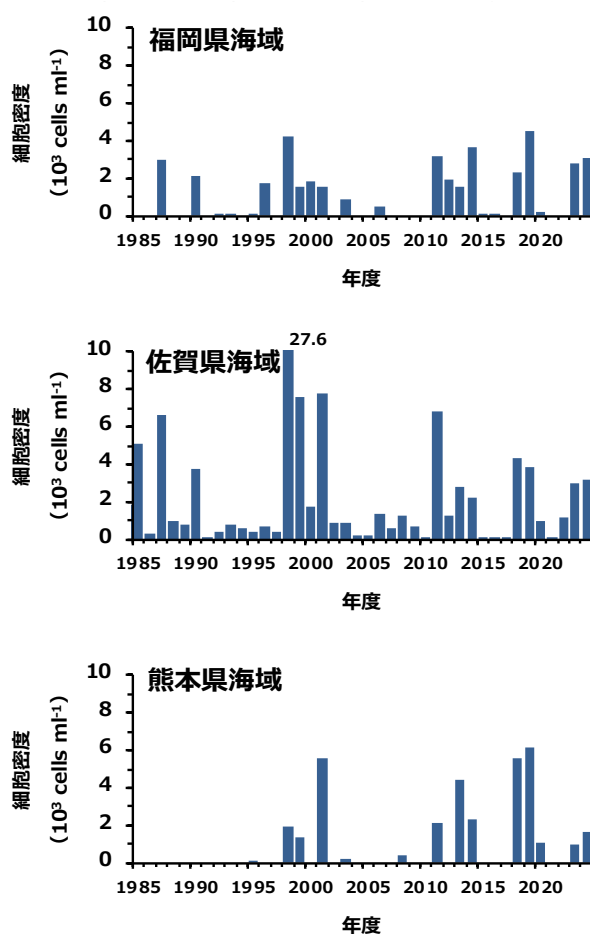
10) 西川哲也, 堀 豊 (2004) : ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の増殖に及ぼす窒素, リンおよび珪素の影響, 日本水産学会誌, 第 70 巻, 第 1 号, pp.31-38

11) Nishikawa, T., Hori, Y., Tanida, K., Imai, I. (2007): Population dynamics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg causing bleachings of *Porphyra thalli* in aquaculture in Harima-Nada, the Seto Inland Sea, Japan., Harmful Algae, Vol.6, pp.763-773

12) Nishikawa, T., Tarutani, K., Yamamoto, T. (2009): Nitrate and phosphate uptake kinetics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, a causative organism in the bleaching of aquacultured *Porphyra thalli*, Harmful Algae, Vol.8, pp.513-517

13) Nishikawa, T., Hori, Y., Nagai, S., Miyahara, K., Nakamura, Y., Harada, K., Tada, K., et al. (2011): Long time-series observations in population dynamics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* and environmental factors in Harima-Nada, eastern Seto Inland Sea, Japan during 1974 - 2008., Plankton & Benthos Research, Vol. 6, pp.26-34

zodiacus の増殖にともなって急激に低下したことが報告されている¹⁴⁾(平成 28 年度委員会報告 図 4.4.130)。赤潮の発生機構については、観測当初に沖合域の底層に分布していた *E. zodiacus* は、濁度が低下する小潮期の後に細胞密度が増加する傾向がみられたことから、光環境の改善が海水中で沈降しつつある *E. zodiacus* の個体群が赤潮のレベルまで個体群を拡大する要因の一つであると推察されている¹⁴⁾(平成 28 年度委員会報告 図 4.4.131、図 4.4.132)。2 月以降の水温が上昇に転じる時期に降水により河川流量が増加すると、小潮時の塩分成層の形成とエスチュアリー循環の発生により、沖合に向けて広がる表層水中で細胞が増殖するとともに、沈降した細胞は底層の残差流により岸方向へ回帰することで、再び河口域の栄養塩を利用して増殖し、赤潮が発達すると報告されている¹⁵⁾(付図 3.8.3-12)。

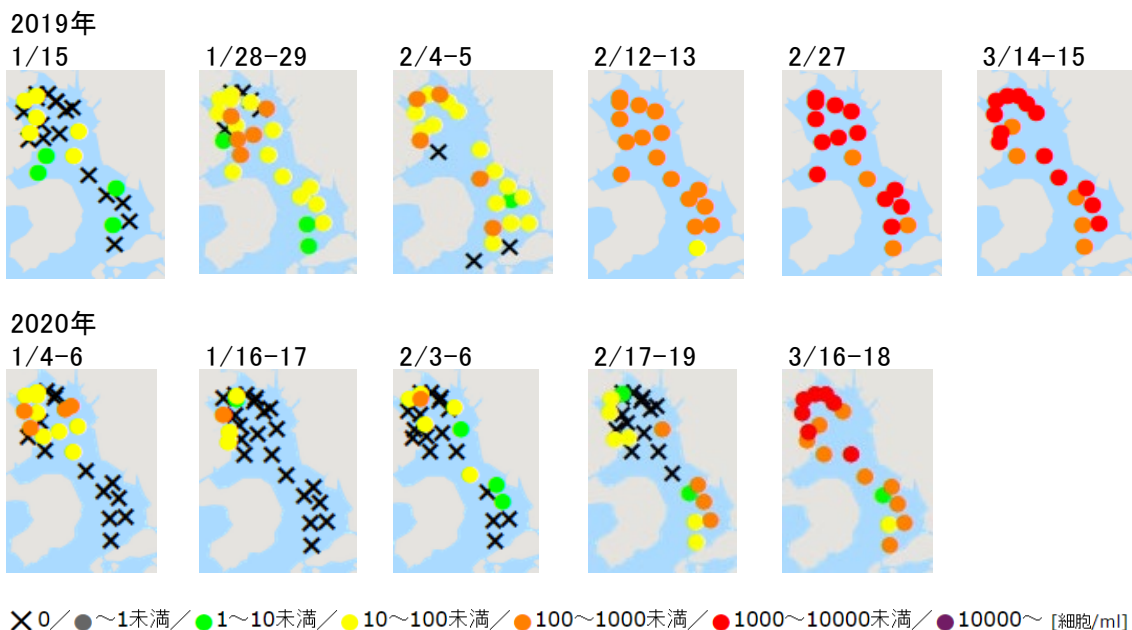


付図 3.8.3-10 有明海福岡県海域、佐賀県海域及び熊本県海域における *Eucampia zodiacus* の最高細胞密度の経年変化

出典:環境省(2015)「有明海・八代海等総合調査評価委員会生物・水産資源・水環境問題検討作業小委員会(第 10 回)」

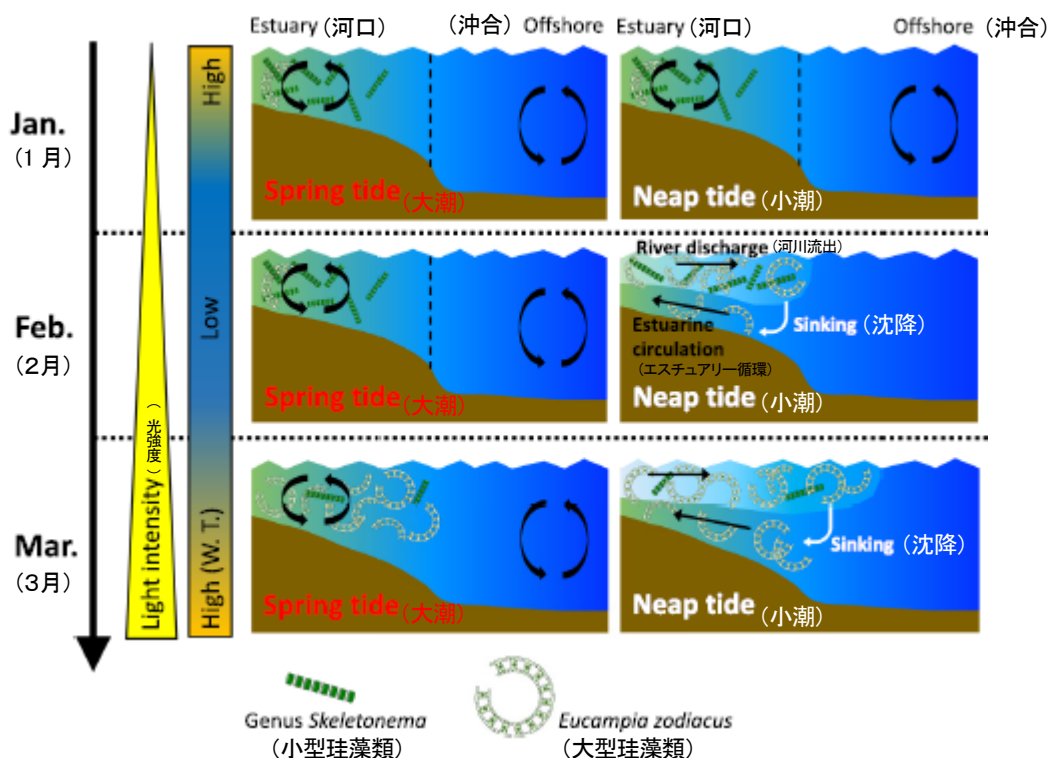
14) Ito, Y., Katano, T., Fujii, N., Koriyama, M., Yoshino, K., Hayami, Y (2013):Decreases in turbidity during neap tides initiate late winter blooms of *Eucampia zodiacus* in a macrotidal embayment., Journal of Oceanography, Vol.69, pp.467-479.

15) Yamaguchi, A., Fukuoka, K., Okamura, K., Ota, H., Naitou, T., Abe S. (2025):Development of *Eucampia zodiacus* blooms associated with salinity stratification in Ariake Bay during winter. Journal of Oceanography, Vol. 81, pp. 113-125.



付図 3.8.3-11 *Eucampia zodiacus* の出現状況の変化
(2019 年 1 月～3 月及び 2020 年 1 月～3 月)

出典:水産・研究教育機構水産技術研究所が運営する赤潮分布情報をもとに環境省作成



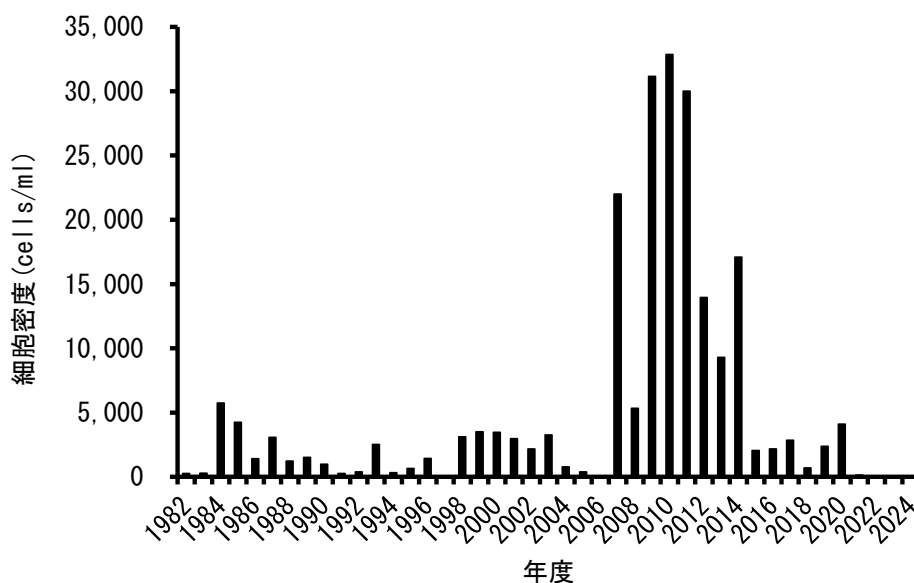
付図 3.8.3-12 有明海湾奥部における *Eucampia zodiacus* のブルーム形成の模式図

出典:Yamaguchi, A., Fukuoka, K., Okamura, K., Ota, H., Naitou, T., Abe S. (2025) Development of *Eucampia zodiacus* blooms associated with salinity stratification in Ariake Bay during winter. Journal of Oceanography, Vol. 81, pp. 113-125.

(ii) *Asteroplanus karianus*

Asteroplanus karianus は、有明海や噴火湾などの海域で分布が確認されている中型（細胞長 16～68 μ m）の珪藻類で、休眠期細胞の復活とその後の増殖は、高水温よりも低水温の方が至適であること、効率的に増殖するには窒素源が豊富に存在する環境が必要であること、他の珪藻より低い光強度を利用可能なことなどが明らかにされている¹⁶⁾、¹⁷⁾、¹⁸⁾。

有明海佐賀県海域における *A. karianus* による赤潮の発生状況を見ると、1980～2000 年代前半においても出現が認められていたが、2007 年度～2014 年度に、単独かつ高密度の赤潮を形成した（付図 3.8.3-13）。また、本種による赤潮の形成とノリの色落ち被害との関係を比較してみると、赤潮の発生海域の拡大にともない、ノリの色落ち被害も拡大していく様子が明瞭に認められる（平成 28 年度委員会報告 図 4.4.134）。一方で、本種は、有明海において、これまで佐賀県海域以外の海域で赤潮を形成した報告はなく、赤潮の発生海域が極めて限定されていることも特徴である。



付図 3.8.3-13 有明海佐賀県海域における *Asteroplanus karianus* の最高細胞密度の変動

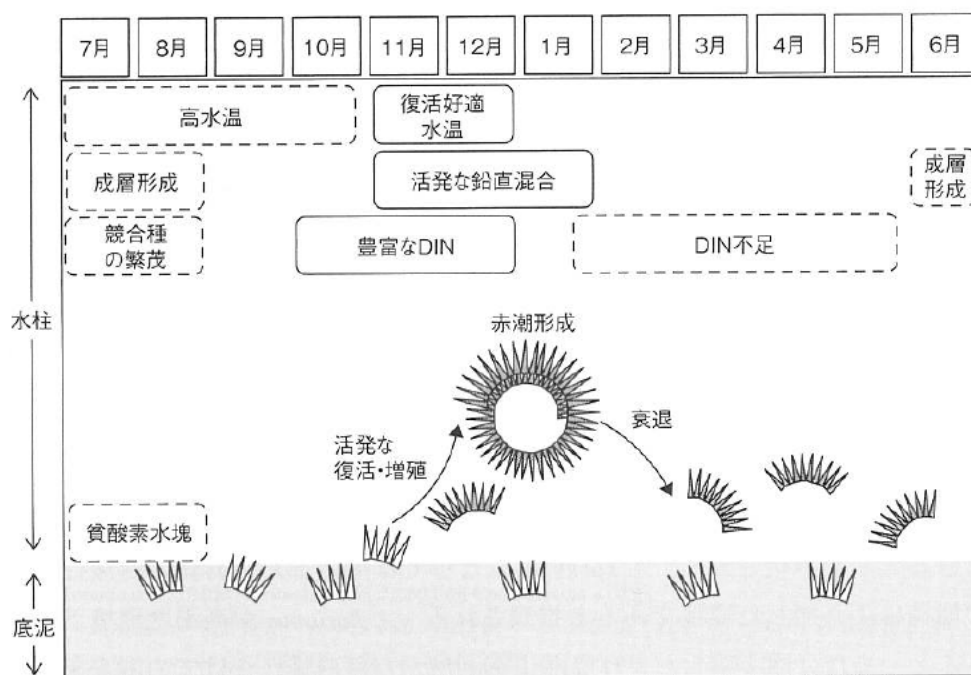
出典：佐賀県有明水産振興センターによる調査結果をもとに環境省作成

16) 松原 賢，横尾一成，川村嘉応(2014)：有害珪藻 *Asteroplanus karianus* の有明海佐賀県海域における出現動態と各種環境要因との関係，日本水産学会誌，第 80 巻，第 2 号，pp.222-232

17) Yamaguchi, H., Minamida, M., Matsubara, T., Okamura, K. (2014): Novel blooms of the diatom *Asteroplanus karianus* deplete nutrients from Ariake Sea coastal waters., Marine Ecology Progress Series, Vol.517, pp.51-60

18) Shikata, T., Matsubara, T., Yoshida, M., Sakamoto, S., Yamaguchi M. (2015): Effects of temperature, salinity, and photosynthetic photon flux density on the growth of the harmful diatom *Asteroplanus karianus* in the Ariake Sea, Japan. Fisheries Science, Vol.81, pp.1063-1069

現在のところ、*A. karianus* が、有明海の佐賀県海域において、2007 年度～2014 年度に、単独で高密度の赤潮を形成した要因は不明である。ただし、これまでの研究から、本種は水温及び全天日射量が年間で最低となる時期に赤潮を形成する傾向にあること（平成 28 年度委員会報告 図 4.4.135）、鉛直混合期に細胞密度が増加する傾向にあること（平成 28 年度委員会報告 図 4.4.136）などが明らかとなっており、本種による赤潮の発生には、水塊の鉛直混合や低水温、高栄養塩濃度などの環境条件が寄与している可能性が示唆される。そして、これまでの知見から想定される *A. karianus* の赤潮発生機構の概念図が示されている（付図 3.8.3-14）¹⁹⁾。また、ブルームピークの時期が水温 10℃を下回った後の初めての大潮期に続く小潮期であることから、水温変動予測と潮汐表の活用からブルームピーク時期の予察の可能性が示されている¹⁹⁾。2015 年度以降は単独で高密度の赤潮を形成することはなくなり、2023 年度と 2024 年度は、細胞の出現が確認されなかった。その要因として水温低下の遅れや 12 月～1 月の低栄養塩濃度が考えられるが、詳細な検討が必要とされる。



注) 1. 実線の囲みは好適な要因、破線の囲みは不適な要因を示す。
2. 貧酸素水塊について試験データはなく、負の影響を想定。

付図 3.8.3-14 *Asteroplanus karianus* の赤潮発生機構の概念図

出典：松原賢(2016)：有明海の新たなノリ色落ち原因珪藻 *Asteroplanus karianus*，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，pp. 252-257

19) 松原 賢，三根崇幸，伊藤史郎(2016)：ノリの色落ち原因珪藻 *Asteroplanus karianus* のブルームピーク時期の予察，日本水産学会誌，第 82 巻，第 5 号， pp.777-779

1 (iii) *Skeletonema* spp.

2 有明海では、*Skeletonema* 属による赤潮の発生は一年を通してみられるが、季節によ
3 り赤潮の構成種は異なることが示唆されている²⁰⁾。しかしながら、*Skeletonema* 属の種分
4 類は、光学顕微鏡では判断出来ない微細な形態が基準となることから、通常のモニタリ
5 ング調査では *Skeletonema* spp.として扱われているが、現在は分子形質による種判別も
6 可能となっている²¹⁾

7 有明海での *Skeletonema* 属による赤潮の発生機構については、奥部海域を中心に解
8 析が進められ、冬期に発生する赤潮は、奥西部の河口域が初期増殖域となっていること、
9 河川から栄養塩が供給される河口感潮域が増殖に重要であること、干潮時の河口沖合
10 域が珪藻の増殖場として機能していること、水温の低下と水柱の透過光量の増加がブル
11 ルーム形成に重要であることが示されている²²⁾、²³⁾ (付図 3.8.3-15、付図 3.8.3-16)。赤
12 潮が年間の最低水温後の最初の小潮時に発達する要因として、気温が低下から上昇
13 に転じるタイミングで海面の熱フラックスが冷却から加熱へ転じ、水柱の安定化により鉛
14 直混合が弱まるとともに、小潮時に有光層深度が増加するためと報告されている²⁴⁾。ま
15 た、現地観測データと数値シミュレーション解析から、秋期～冬期の奥部海域では、ノ
16 の色落ちが頻発している湾奥西部は密度流の未発達により水塊が滞留し、*Skeletonema*
17 属等の植物プランクトンの増殖に好適な環境が形成され、湾奥東部は一級河川からの
18 浮力負荷によって密度流が発達し、海水交換が促進され、植物プランクトンにとって増
19 殖しにくい環境が形成されていることが示されている²⁵⁾ (付図 3.8.3-17)。分子形質に基
20 づき 7 種を判別する種特異的な定量 PCR 法の開発により、有明海の奥西部では、3 種
21 が夏季に増加し、4 種が冬季に増加すること、増殖が短期的な種と持続的な種がみられ
22 ることが報告されている²¹⁾ (付図 3.8.3-18)。

20) 山田真知子, 大坪繭子, 多田邦尚, 中野義勝, 松原 賢, 飯田直樹, 遠藤宜成, 門谷 茂 (2017) 亜熱帯から亜
寒帯に及ぶ我が国の 5 海域における珪藻 *Skeletonema* 属の種組成, 日本水産学会誌, 第 83 巻, 第 1 号, pp.25-
33.

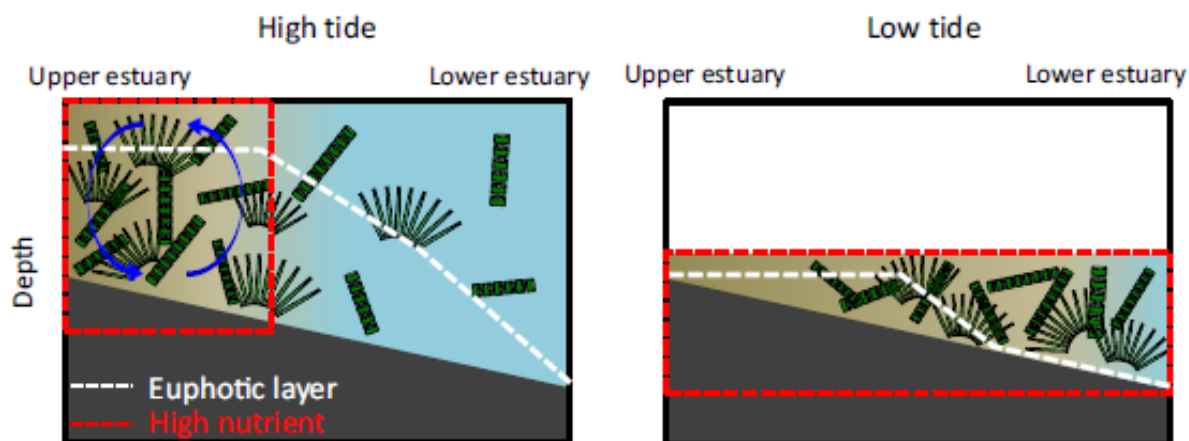
21) Yoshida, K., Ota, H., Iwanaga, T., Yohitake, A., Mine, T., Omura, M., Kimura, K. (2023): Species-specific
monitoring of *Skeletonema* blooms in the coastal waters of Ariake Sound, Japan. Marine Ecology Progress Series,
Vol. 703, pp. 31-46.

22) 山口 聖, 松原 賢, 増田裕二, 三根崇幸, 伊藤史郎 (2017) 有明海湾奥西部の鹿島川感潮域における高栄養
塩・高クロロフィル水塊と沿岸の冬季珪藻ブルームの関係, 沿岸海洋研究, 第 54 巻, 第 2 号, pp.193-201.

23) 松原 賢, 三根崇幸, 伊藤史郎 (2018) 有明海奥部, 塩田川河口域におけるノリ色落ち原因植物プランクトンの出
現動態, 沿岸海洋研究, 第 55 巻, 第 2 号, pp.139-153.

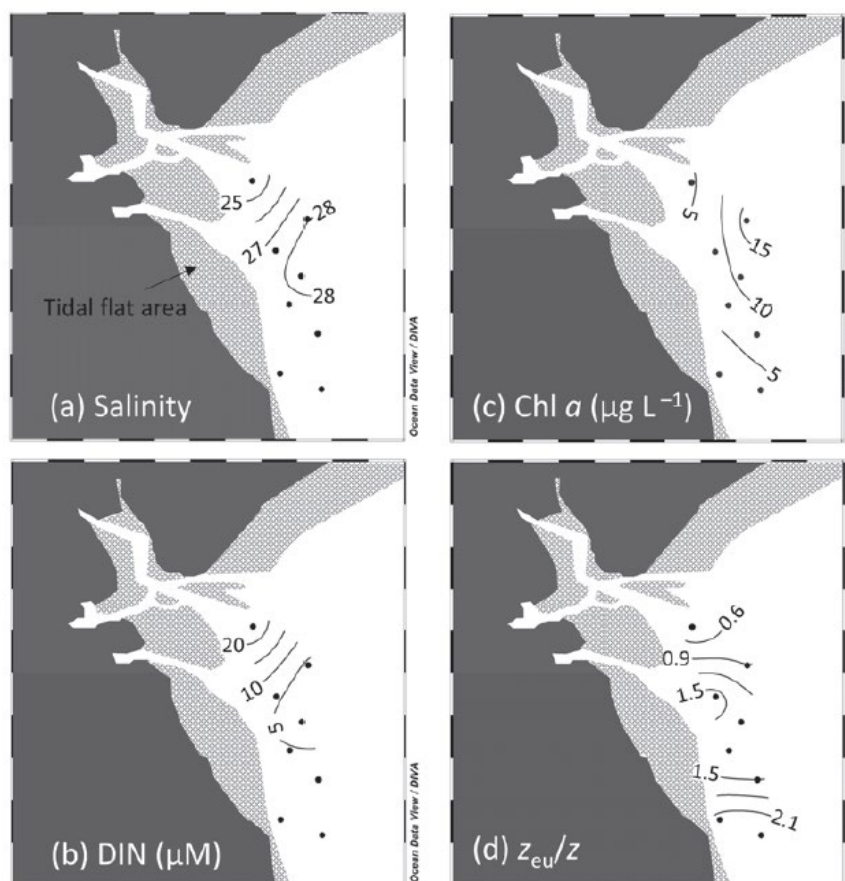
24) Minamiura, N., Yamaguchi, S., Mine T., Iwanaga, T. (2023): Winter bloom initiation with water column
stabilization and improvement of light environment in a turbid shallow coastal water. Journal of Oceanography,
Vol. 79, pp. 565-579.

25) 南浦修也, 山口創一 (2019) : 冬季有明海奥部におけるノリ色落ち原因藻 *Skeletonema* spp., *Eucampia zodiacus*,
Asteroplanus karianus の増殖と物理環境特性, 土木学会論文集 B2, 第 75 号, pp.991-996



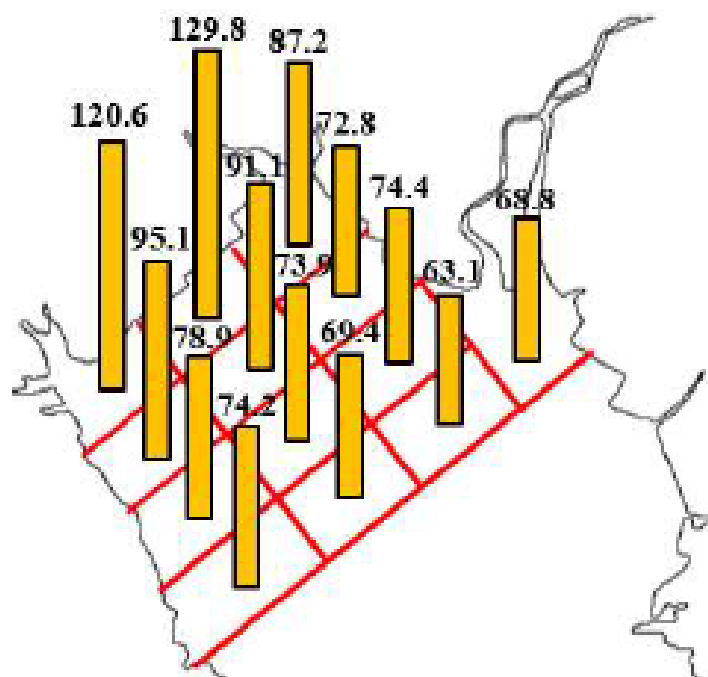
付図 3.8.3-15 河口域の満潮時(左)及び干潮時(右)における水塊と珪藻の挙動に関する模式図

出典: Yamaguchi, A., Ota, H., Mine, T. (2019): Growth environment of diatoms in turbid water in the inner western part of Ariake Bay during winter, Journal of Oceanography, Vol. 75, pp.463-743.



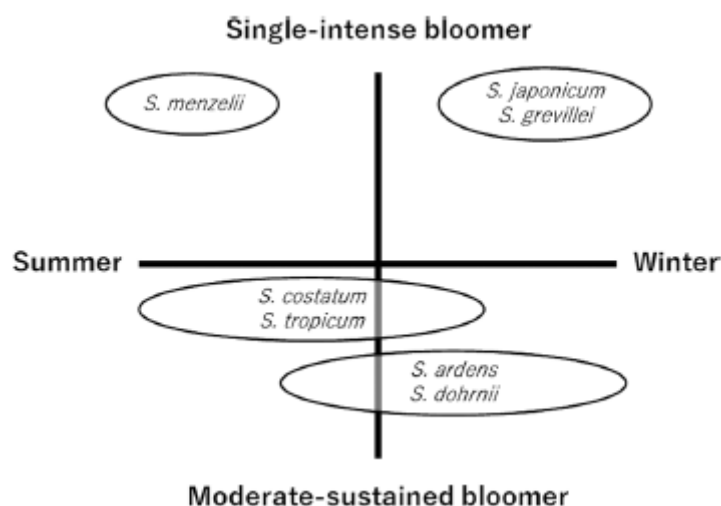
付図 3.8.3-16 佐賀県塩田川及び鹿島川の河口沖合域における干潮時の塩分、溶存無機態窒素濃度、クロロフィル *a* 濃度、有光層/水深比の水平分布

出典: 山口 聖, 太田洋志, 津城啓子, 三根崇幸 (2021): 有明海湾奥高濁度域で観察される冬季珪藻ブルームの消長を制御する物理化学的要因, 沿岸海洋研究, Vol. 59, pp.1-10.
<https://doi.org/10.32142/engankaiyo.2020.12.015>



付図 3.8.3-17 秋期～冬期の有明海奥部海域の各小領域における滞留時間分布
(hour)

出典:南浦修也, 山口創一(2019): 冬季有明海奥部におけるノリ色落ち原因藻 *Skeletonema* spp., *Eucampia zodiacus*, *Asteroplanus karianus* の増殖と物理環境特性, 土木学会論文集 B2, 第 75 号, pp.991-996

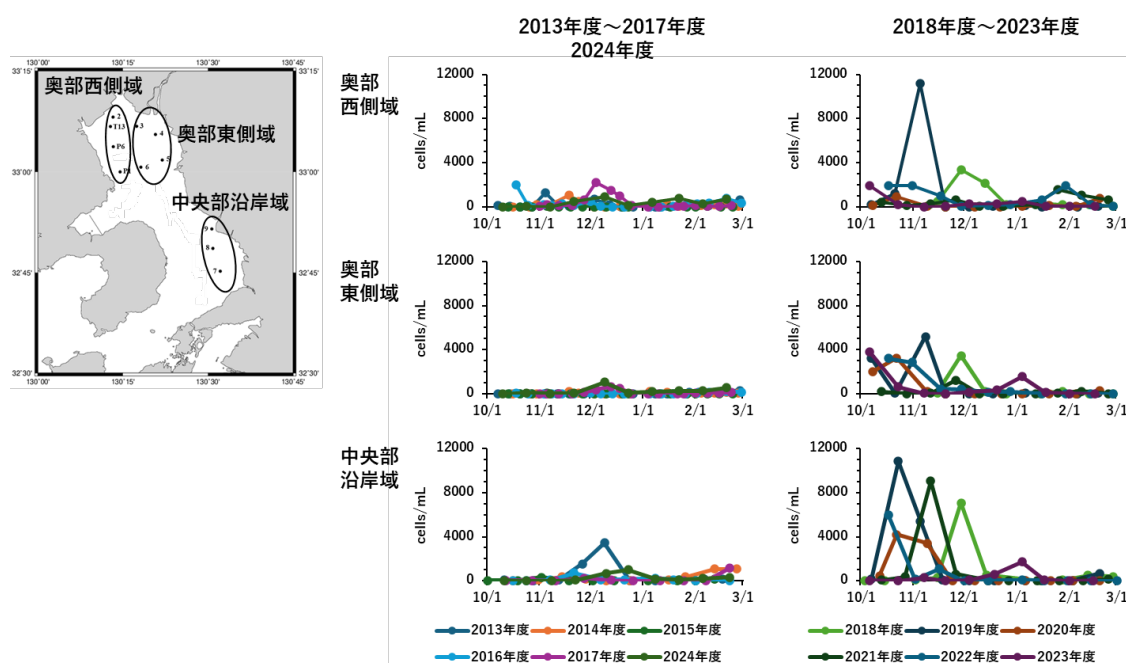


付図 3.8.3-18 有明海奥西部における *Skeletonema* 属各種の季節変動と
出現パターンの模式図

出典:Yshida, K., Ota, H., Iwanaga, T., Yoshitake, A., Mine, T., Omura, M., Kimura, K. (2023) Species-specific monitoring of *Skeletonema* blooms in the coastal waters of Ariake Sound, Japan. Marine Ecology Progress Series, Vol. 703, pp. 31-46.

(iv) *Chaetoceros* spp.

有明海では、*Chaetoceros* 属による赤潮の発生は一年を通してみられるが、多くは *Skeletonema* 属などとの混合赤潮である。しかし、2018 年度～2023 年度は、秋期に *Chaetoceros* 属の単独あるいは主体とする赤潮が発生し、ノリの色落ちを引き起こした(付図 3.8.3-19)。瀬戸内海や洞海湾、福岡湾では、珪藻の優占種が *Skeletonema* 属から *Chaetoceros* 属となる頻度が増加していることが報告され、その要因として、栄養塩の減少や、透明度の上昇による水柱内の光透過量の増加が示唆されている²⁶⁾、²⁷⁾、²⁸⁾、²⁹⁾。有明海において 2018 年～2023 年の透明度に顕著な上昇はみられないが、降水量が少なく、全天日射量が多かったことから、気象条件が水柱内の光透過量に影響した可能性があり、今後詳細な要因の検討が必要である(付図 3.8.3-20)。



付図 3.8.3-19 有明海における秋期～冬期(10月～翌2月)の
Chaetoceros 属の海域別平均細胞密度の変化

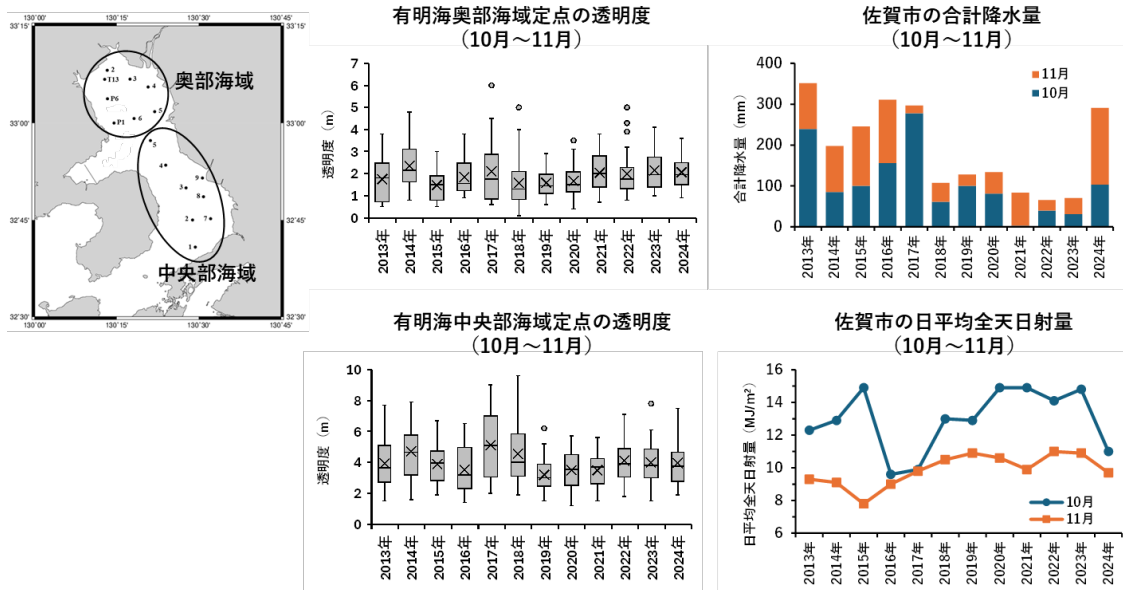
出典: 水産庁豊かな漁場環境推進事業のうち海域特性に応じた赤潮・貧酸素水塊、栄養塩対策推進事業「赤潮等による漁業被害への対策技術の開発・実証・高度化委報告書」

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

27) 山田真知子, 上田直子, 濱田健一郎(2011): 過栄養海域である洞海湾における栄養度の低下とそれに伴う赤潮発生状況の変化, 日本水産学会誌, 第77巻, 第4号, pp. 647-655.

28) 多田邦尚, 西川哲也, 樽谷賢治, 山本圭吾, 一見和彦, 山口一岩, 本城凡夫(2014): 瀬戸内海東部海域の栄養塩低下とその低次生物生産過程への影響, 沿岸海洋研究, 第52巻, 第1号, pp. 39-47.

29) 里道菜穂子, 恵崎 撰, 杉野浩二郎(2015): 福岡湾における植物プランクトンの変遷について, 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 第25号, pp. 27



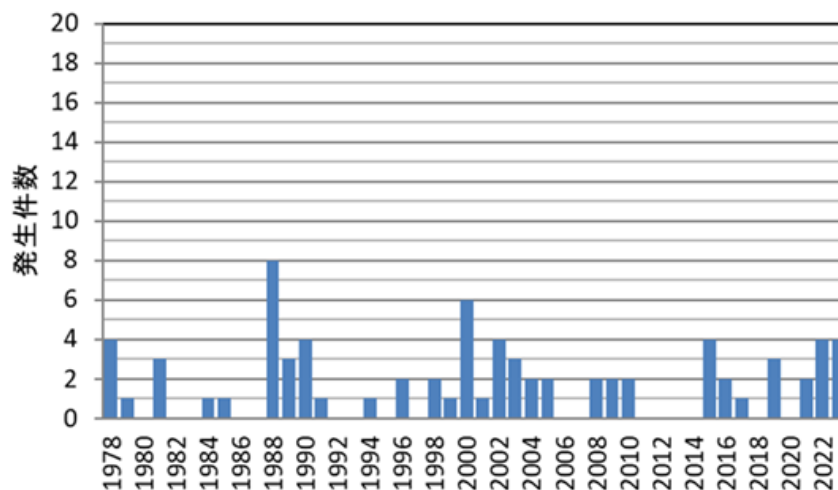
付図 3.8.3-20 有明海における秋期(10月～11月)の透明度、
佐賀市の降水量と全天日射量(気象庁)の変化

出典:水産庁豊かな漁場環境推進事業のうち海域特性に応じた赤潮・貧酸素水塊、栄養塩類対策推進事業「赤潮等による漁業被害への対策技術の開発・実証・高度化委報告書」

3.8.4 八代海における赤潮による漁業被害(魚類養殖等)

八代海における赤潮被害の年間発生件数は、1988～1990 年、1998～2010 年及び 2015 年～2023 年に発生件数が多く、2011 年から 2014 年にかけては被害が発生していない(付図 3.8.4-1)。原因プランクトン別にみると、*Chattonella* 属(ラフィド藻)、*Cochlodinium polykrikoides*(渦鞭毛藻)、*Karenia mikimotoi*(渦鞭毛藻)による被害件数が多く、養殖ブリやトラフグ等のへい死により特に大きな被害が発生している。

赤潮被害発生件数(八代海)



付図 3.8.4-1 八代海において漁業被害をもたらした赤潮発生件数(年間)の推移

出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 5 年)」をもとに環境省作成

(1) 八代海における夏期の赤潮

(更新予定)八代海における 2011 年～2020 年にかけての赤潮発生件数(海域別)を付図 3.8.4-2 に示した。Y1～Y4 海域の夏期の赤潮発生件数は 18～37 件であったが、外洋水の影響が大きい Y5 海域では 59 件と最も赤潮発生件数が多かった。この海域は枝湾が多く存在し、この奥部での赤潮発生件数が多いことが影響している。

八代海における *Chattonella* 属等の赤潮発生について、熊本県海域及び鹿児島県海域の発生日数、最大細胞密度をそれぞれ付図 3.8.4-3、付図 3.8.4-4 に示した。*Chattonella* 属は熱帯域から温帯域に広く分布する凡世界種であり、国内では三重県海域、瀬戸内海、舞鶴湾、有明海、八代海、鹿児島湾で赤潮の発生が知られている。瀬戸内海では 1970～1980 年代に赤潮が猛威をふるったが、近年、1990 年以降は減少傾向である。有明海や八代海では、1980 年代中頃から本種の赤潮が増加し、現在、国内でも本種の赤潮発生が多い海域のひとつとなっている。

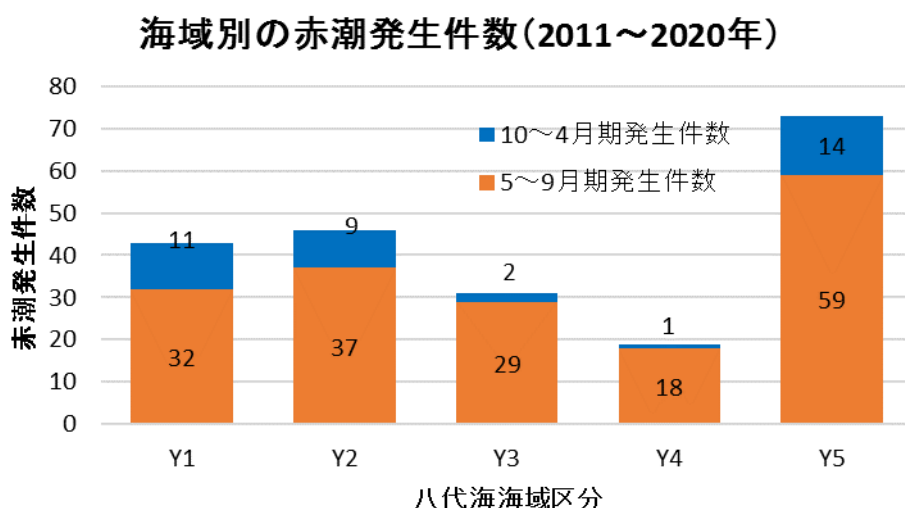
Chattonella 属による赤潮は、1998 年まで散発的で規模も小さく、漁業被害はほとんど発生していなかった。しかし、2003 年以降に発生頻度・規模が急激に拡大し、2008 年、2009 年、2010 年、2016 年、2019 年、2021 年に、ブリ類、マダイ、シマアジ、カンパチ、トラフグを中心に漁業被害をもたらした。2023 年と 2024 年は、*Chattonella* 属に加え

Cochlodinium 属と *Karenia* 属の混合赤潮が発生し、被害額はそれぞれ 16.0 億円、15.8 億円と大規模な漁業被害をもたらした。

Cochlodinium 属(ほとんどが *C. polykrikoides*)に関しては、1978 年～1981 年、1991 年、2000 年～2007 年と一定期間ごとにまとまった出現を示していた(付図 3.8.4-5)。特に 2000 年～2003 年にかけての熊本県海域における赤潮発生頻度・規模は大きく、2000 年の赤潮発生では魚類養殖魚へ 39.8 億円(ブリ類、マダイ、シマアジ、トラフグを中心に 217 万尾へい死)の漁業被害をもたらした。2015 年にはブリが 8,800 尾へい死し、2019(令和元)年にも小規模なへい死をもたらし、2023 年と 2024 年には *Chattonella* 属と *Karenia* 属を含む混合赤潮により大きな漁業被害をもたらした。なお、*Chattonella* 属と *Cochlodinium* 属による魚類のへい死は、鰓機能の障害による窒息死という症状において共通している。

八代海においては、*Cochlodinium* 属と比べると *Karenia* 属による赤潮の発生頻度は少なく、1989 年、2000 年、2009 年、2015 年及び 2016 年に発生している。1989 年の赤潮では 2.5 億円(ブリ類、マダイ、シマアジ、トラフグを中心に 15.4 万尾へい死)の漁業被害が発生している。2015 年と 2016 年は連続して本種の赤潮が発生し、その後、2021 年までは *Karenia* 属の赤潮による漁業被害はなかったが、2022 年にブリ、マダイ、トラフグ、シマアジ、カンパチ、アコヤガイなどが 294.8 万尾へい死し(被害額は 19.7 億円)、2023 年と 2024 年には *Chattonella* 属と *Cochlodinium* 属を含む混合赤潮により大きな漁業被害をもたらした。

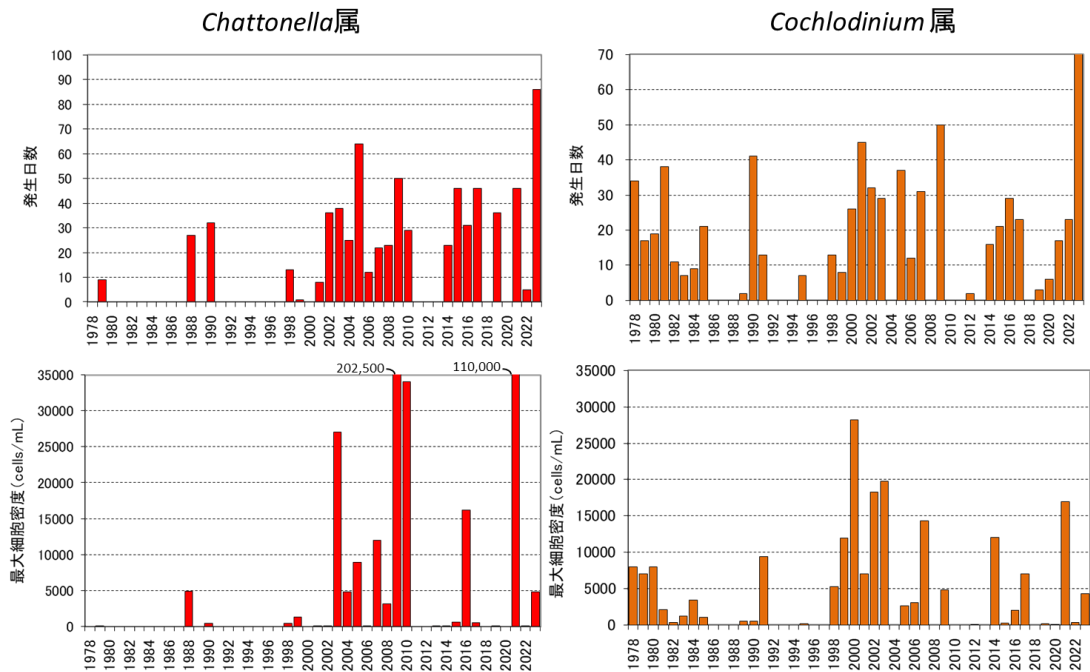
Heterosigma 属(ほとんどが *H. akashiwo*)による赤潮は散発的に発生しているが、上記 3 種に比較すると毒性が低く、単年度の赤潮発生で 1 億円を超える大きな漁業被害は発生していない。



付図 3.8.4-2 八代海における海域別赤潮発生件数(2011 年～2020 年の累計値)

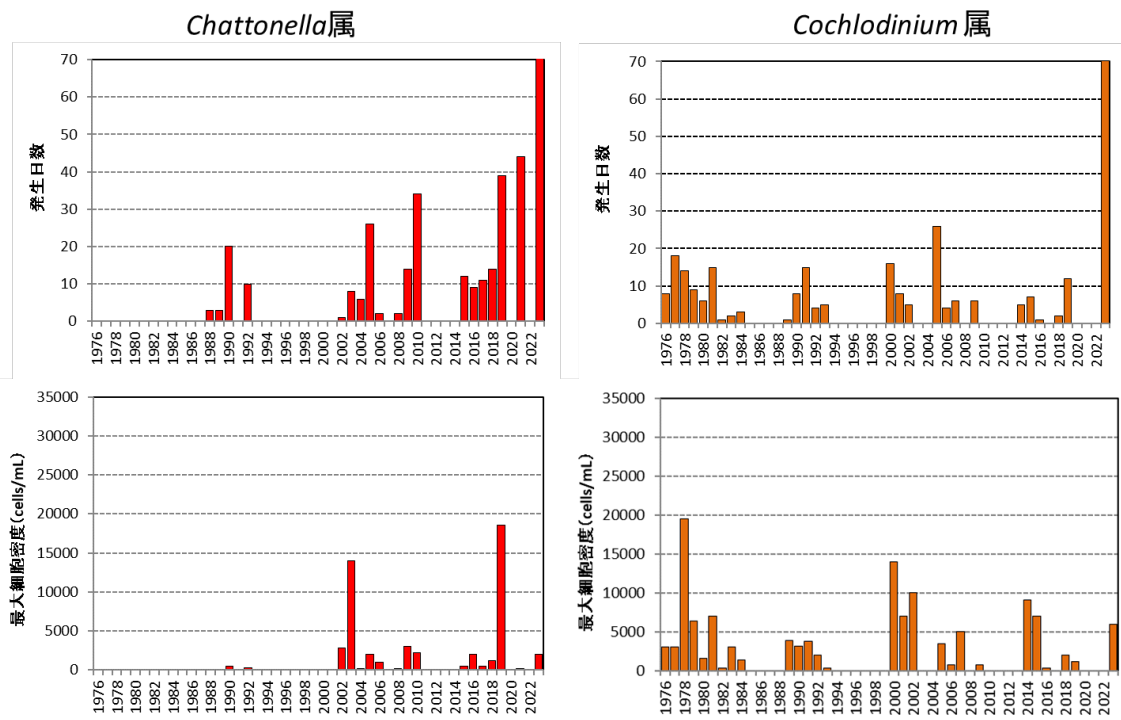
※更新予定

出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(平成 23～令和 2 年度)」をもとに環境省作成



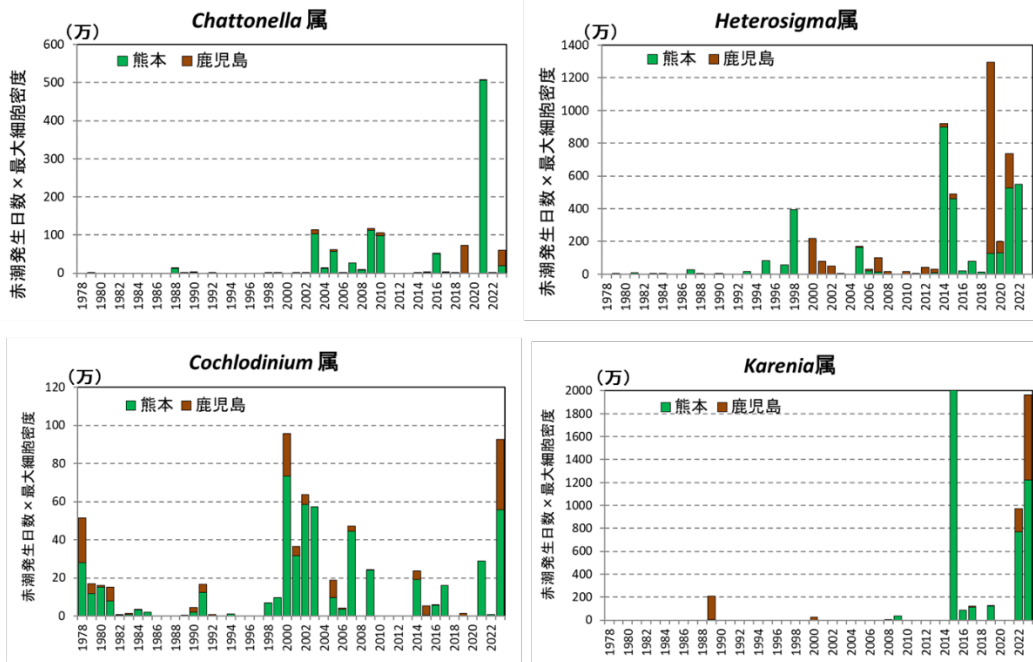
付図 3.8.4-3 八代海(熊本県海域)における *Chattonella* 属と *Cochlodinium* 属による赤潮発生日数、最大細胞密度の経年変化

出典:九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 5 年)」をもとに環境省作成



付図 3.8.4-4 八代海(鹿児島県海域)における *Chattonella* 属と *Cochlodinium* 属による赤潮発生日数、最大細胞密度の経年変化

出典:九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 5 年)」をもとに環境省作成



- 注) 1. 出典資料では、2000 年以降は、赤潮発生面積がほとんど「不明」であったことから、赤潮発生規模の目安として、便宜的に「赤潮発生日数(日) × 最大細胞密度(cells/mL)」を指標として採用した。
2. 当該年に複数回赤潮が発生した場合、発生毎に上記の計算を行った値を合計した。
3. 赤潮発生規模を便宜的に算出したものであり、当該期間を通して最高細胞密度の状態が継続していたわけではない。

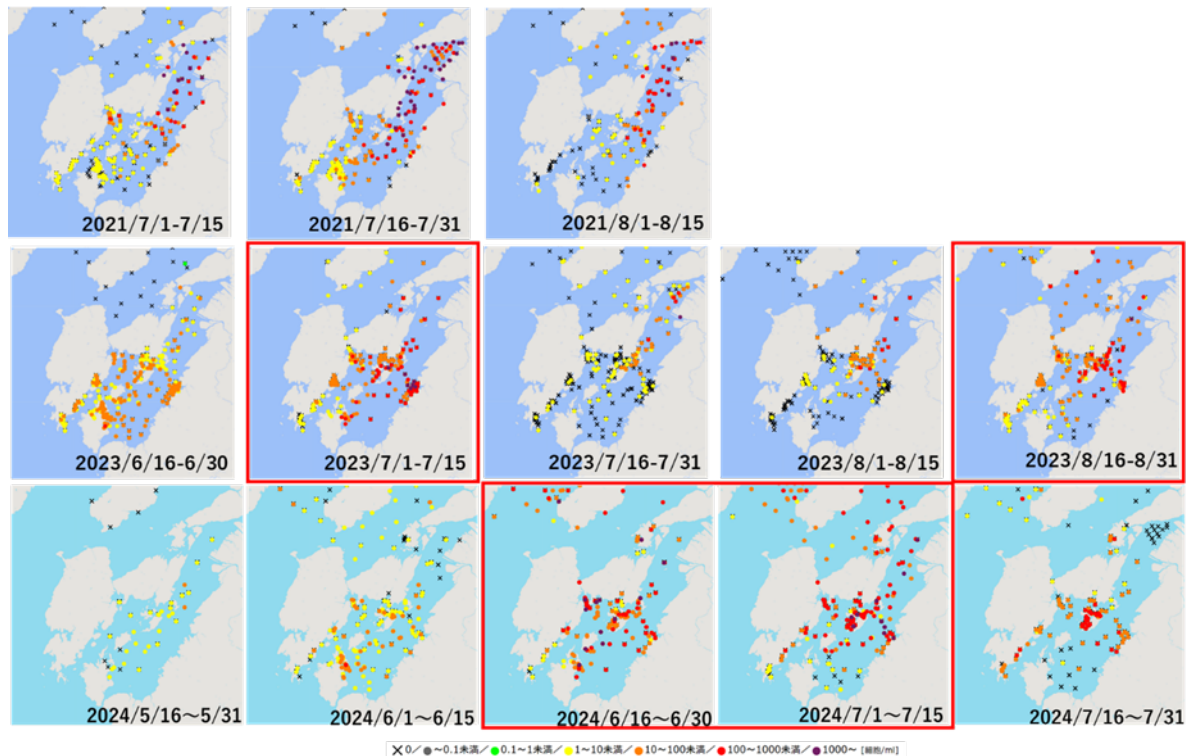
付図 3.8.4-5 八代海における有害赤潮発生規模の推移

出典: 水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 5 年)」をもとに環境省作成

(2) 八代海における赤潮による魚類養殖被害の発生状況

漁業被害が最も大きい *Chattonella* 属の赤潮発生状況とその原因・要因について、中間取りまとめ後に発生した 2021 年～2024 年のデータを中心に整理した。

Chattonella 属の大規模な赤潮は、2016 年、2017 年、2019 年に発生し、8 月下旬以降にピークを示したが、2021 年、2023 年、2024 年は、それぞれ 7 月後半、7 月前半及び 8 月後半、6 月後半から 7 月前半にかけてピークとなり、発生時期が早い傾向を示した(付図 3.8.4-6)。また、2023 年と 2024 年は、*Karenia* 属と *Cochlodinium* 属による赤潮も同時に発生し、漁業被害を大きくした。2021 年は、*Chattonella* 属は 5 月に初認されたが、梅雨による降雨により競合種とされる珪藻が増殖したことで衰退した。その後、6 月下旬に珪藻類の増殖速度が低下する水温(>25℃)となり、7 月前半の降雨と風による擾乱によって栄養塩が増加したことで細胞が増殖し、*Chattonella* 属の赤潮が形成された。一方、2023 年と 2024 年は、珪藻の発生が低水準であったことから、*Chattonella* 属は初認から急速に増殖して大規模な赤潮を形成し、漁業被害をもたらした。珪藻類が低密度となる要因の一つとして日照不足が考えられるが、栄養塩供給の量とタイミング、水塊の安定性などを加味した詳細な要因の検討が必要である。

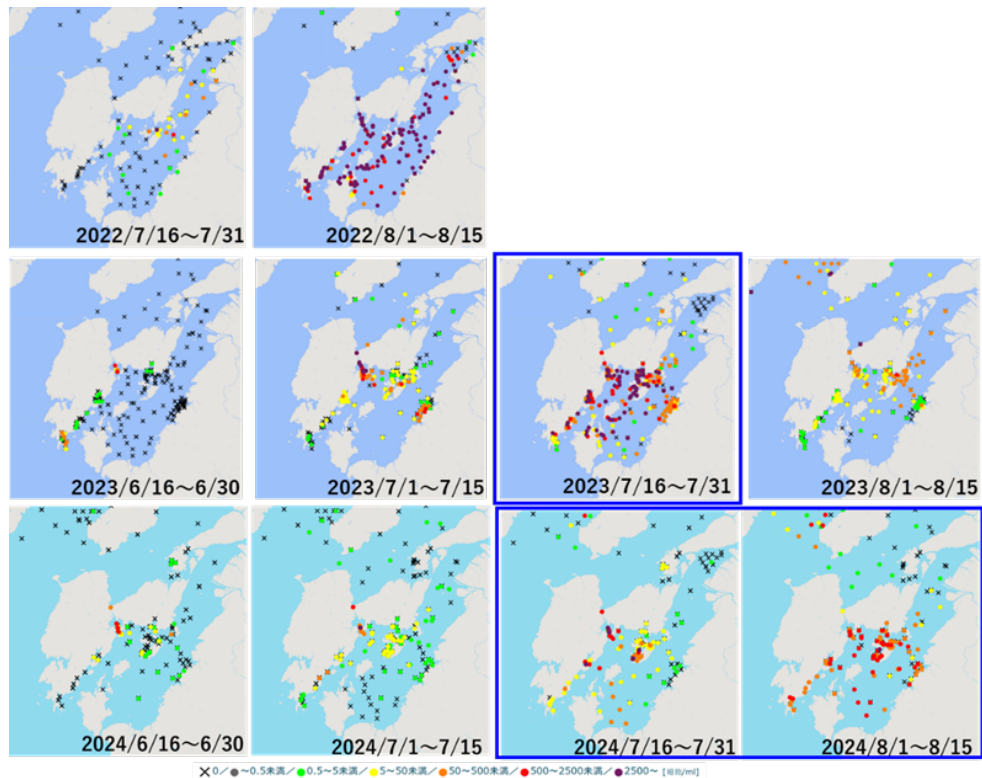


付図 3.8.4-6 2021 年から 2024 年の *Chattonella* 属による
大規模赤潮の発生状況(赤枠は細胞密度がピークとなった期間)

出典: 水産・研究教育機構水産技術研究所が運営する赤潮分布情報をもとに環境省作成

Karenia 属の大規模な赤潮は、2015 年、2017 年、2019 年に八代海西岸域から発生し、2015 年と 2017 年は 7 月後半～8 月後半、2019 年は 6 月～7 月前半にそれぞれピークを示した。2015 年に八代海西岸域で発生した赤潮は、増殖しながら風による北東方向の流れによって八代海南部全体に拡大したことが報告されている³⁰⁾。2022 年は、7 月後半に八代海全体で赤潮が発生し、そのまま 8 月前半にピークを示し、大規模な漁業被害をもたらした(付図 3.8.4-7)。2023 年と 2024 年は、6 月後半に八代海西岸域から赤潮が発生し、2023 年は 7 月後半、2024 年は 7 月後半～8 月前半にピークを示した。両年とも *Chattonella* 属の赤潮のピークの後に *Karenia* 属の赤潮のピークが出現する傾向にあり、2023 年は、*Karenia* 属の赤潮発生後に再び *Chattonella* 属の赤潮が発生した。両種の増殖特性の違いによる種の遷移が示唆されるが、そのメカニズムの解明には、今後詳細な検討が必要である。

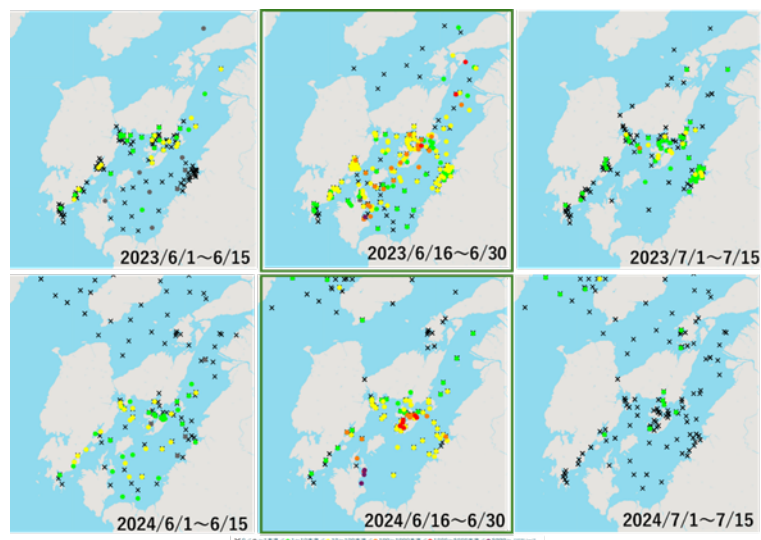
30) Aoki K., Sugimatsu K., Yoshimura N., Kuoki Y., Nakashima H., Hoshina K., Ura K. (2023): Dynamics of a fish-killing dinoflagellate *Karenia mikimotoi* red-tide captured by composite data sources. Marine Pollution Bulletin, Vol. 195, 115472.



付図 3.8.4-7 2021 年から 2024 年の *Karenia* 属による
大規模赤潮の発生状況(青枠は細胞密度がピークとなった期間)

出典: 水産・研究教育機構水産技術研究所が運営する赤潮分布情報をもとに環境省作成

Chattonella 属と *Karenia* 属の出現に加えて、2023 年と 2024 年には、*Cochlodinium* 属が 6 月～7 月前半にかけて出現し、八代海では 3 種類の有害赤潮が同時に発生することで赤潮による漁業被害対策を困難にさせた(付図 3.8.4-8)。過去にこのような発生状況は確認されていない。



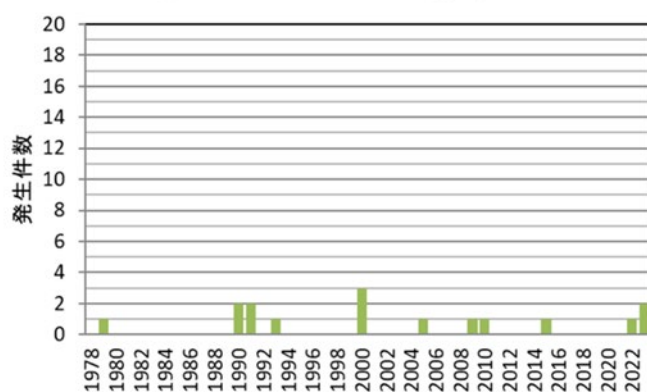
付図 3.8.4-8 2021 年から 2024 年の *Cochlodinium* 属による
大規模赤潮の発生状況(緑枠は細胞密度がピークとなった期間)

出典: 水産・研究教育機構水産技術研究所が運営する赤潮分布情報をもとに環境省作成

3.8.5 橘湾における赤潮による漁業被害

橘湾における赤潮被害の年間発生件数は、2000 年に最大 3 件発生したが、1978～2015 年までの 37 年間で 13 件の漁業被害と、有明海や八代海の発生件数の 1/5～1/10 程度に留まっている(付図 3.8.5-1)。原因プランクトン別にみると、*Chattonella* 属(ラフィド藻)と *Cochlodinium polykrikoides*(渦鞭毛藻)による被害件数が多く、養殖ブリ、マダイやトラフグ等のへい死により大きな被害が発生している。2016 年～2021 年までは赤潮による漁業被害はなかったが、2022 年に *Cochlodinium polykrikoides* の赤潮によりシマアジがへい死し、2023 年に *Karenia* 属の赤潮、2024 年に *Chattonella* 属と *Karenia* 属の赤潮により、ブリ、トラフグ、シマアジ、マダイ等がへい死した。2023 年と 2024 年には、被害額は11.0 億円、約 6 億円に及んだ。

赤潮被害発生件数(橘湾)



付図 3.8.5-1 橘湾において漁業被害をもたらした赤潮発生件数(年間)の推移

出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 5 年)」をもとに環境省が作成した

3.8.6 まとめ

有明海における赤潮の年間発生件数(1984～2023 年)は、1998 年頃から増加傾向が見られ、2000 年以降の発生件数(約 37 件/年)は 1980 年代(約 15 件/年)の 2.4 倍程度となっている。なお、赤潮発生は原則として海域における着色現象を集計したものであるが、1998 年～2000 年以降、着色現象の程度によらず、ノリの色落ちなどの漁業被害が報告されるようになり、これらの現象も赤潮発生として扱われている。また、あわせて赤潮の調査体制の強化や頻度の増加、原因となる珪藻類の優占種ごとに発生件数をカウントするなど報告の精緻化が図られている。このため、同じ微細藻類の出現状況であっても発生件数が多く計上されている可能性があることから、過去の数値と単純比較できない点に留意する必要がある。

汚濁負荷量と赤潮発生件数とを比較すると、両者の増減傾向の間に長期的な連動性はみられない。赤潮は、原因種によってその生理的・生態的性質や発生機構等が異なるほか、赤潮生物間で種間競合関係にあるため、原因種別に赤潮発生頻度をみると、珪藻による赤潮発生頻度が高く、渦鞭毛藻やラフィド藻がこれに続く。ラフィド藻の割合が増加しているものの、構成種の大きな変化はみられない。有明海の *Chattonella* 属赤潮(ラフィド藻)については、1998 年、2004 年、2007 年～2010 年、2015 年～2016 年及び 2018 年に赤潮発生規模(赤潮発生日数×最大細胞密度)が大きくなっている。赤潮発生地域では、漁獲量の減少に対する影響の度合いは不明であるが、天然魚類のへい死などが発生している。本種は珪藻類との生物学的な競合関係が認められ、珪藻類が衰退した隙間(niche)で赤潮発生規模が拡大していることが判明し、数値モデルによる現況再現のための貴重な知見が得られている。

安定したノリ養殖の生産を阻害している要因の一つとして色落ちが挙げられる。ノリの色落ちは、海水中の栄養塩濃度が急激に低下し、養殖ノリに必要とされる栄養塩が不足する結果生じる現象で、植物プランクトン、特に近年は *Eucampia zodiacus*、*Skeletonema* spp.、*Chaetoceros* spp. の赤潮形成による栄養塩の消費が要因の一つであると考えられ、*Eucampia zodiacus* は *Skeletonema* spp.などの小型珪藻類の増殖が衰退した 2 月頃から急激に増殖するなど、それぞれの増殖時期や発生機構が異なる。*E. zodiacus* については、2 月以降の水温が上昇に転じる時期に降水により河川流量が増加すると、小潮時の塩分成層の形成とエスチュアリー循環の発生により、沖合に向けて広がる表層水中で細胞が増殖するとともに、沈降した細胞は底層の残差流により岸方向へ回帰することで、再び河口域の栄養塩を利用して増殖し、赤潮が発達する。*Skeletonema* spp.については、湾奥西部の河口域が初期増殖域となっていること、河川から栄養塩が供給される河口感潮域が増殖に重要であること、干潮時の河口沖合域が珪藻の増殖場として機能していること、水温の低下と水柱の透過光量の増加がブルーム形成に重要とされている。一方、湾奥東部は一級河川からの浮力負荷によって密度流が発達し、海水交換が促進され、植物プランクトンにとって増殖しにくい環境が形成されていることが示されている。

1 八代海における赤潮の年間発生件数(1978～2023 年)は、1998～2000 年頃から増
2 加しており、1970～1980 年代(約 8 件/年)と比較して 2000 年以降の赤潮発生件数(約
3 16 件/年)は概ね 2 倍程度となっている。一方で、八代海の T-N 及び T-P は 2006 年
4 度、2009 年度頃が最大であり、2010 年度以降は減少傾向にあり、両者の増減傾向の間
5 に長期的な連動性はみられない。原因プランクトン別にみると、渦鞭毛藻やラフィド藻の
6 割合は 6 割程度と大きく変化しておらず、1991 年～1995 年に珪藻の割合が一時的に
7 低下したものの、長期的に種類組成の変動はみられない。なお、2023 年と 2024 年の発
8 生件数は減少しているが、早い時期に *Chattonella* 属の赤潮が発生し、*Cochlodinium* 属
9 (渦鞭毛藻)や *Karenia* 属(渦鞭毛藻)の赤潮が時期をずらして長期間発生したことから、
10 漁業被害は大規模なものとなっている。

11 橘湾における赤潮被害の年間発生件数は、調査期間を通じて少なく、有明海や八代
12 海の発生件数の 1/5～1/10 程度であり、長期的な発生件数の増減傾向はほとんどみら
13 れない。原因プランクトン別にみると、*Chattonella* 属と *Cochlodinium polykrikoides* によ
14 る被害件数が多く、養殖魚(ブリ、マダイ、トラフグ等)のへい死により大きな被害が発生
15 している。また、2022 年～2024 年は、*Cochlodinium polykrikoides*、*Karenia* 属、
16 *Chattonella* 属の赤潮が発生し、大きな漁業被害をもたらした。

(別添資料) 令和3年度中間とりまとめ以降の有明海・八代海・橘湾における赤潮による漁業被害の状況

付表(別添資料) 3-2 (1) 珪藻の赤潮発生による漁業被害(2021年～2023年)

発 生 年	海域名	赤潮原因種	漁業被害種・概 要	漁 業 被 害 額 (千円)
2021	有明海	<i>Skeletonema</i> spp. <i>Thalassiosira</i> spp. <i>Asteroplanus karianus</i> <i>Pseudo-nitzschia</i> spp. <i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2021	有明海	<i>Skeletonema</i> spp. <i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2021	有明海	<i>Skeletonema</i> spp. <i>Eucampia zodiacus</i>	ノリの色落ち	不明
2021	有明海	<i>Eucampia zodiacus</i> <i>Rhizosolenia setigera</i>	ノリの色落ち	不明
2021	有明海	<i>Skeletonema</i> spp. <i>Cerataulina pelagica</i>	ノリの色落ち	不明
2021	八代海	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Rhizosolenia imbricata</i>	ノリの色落ち	不明
2021	有明海	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Skeletonema</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2022	八代海	<i>Skeletonema</i> spp. <i>Chaetoceros</i> spp. <i>Eucampia zodiacus</i>	ノリの色落ち	不明
2022	有明海	<i>Skeletonema</i> spp. <i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2022	有明海	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Guinardia</i> spp. <i>Leptocylindrus</i> spp. <i>Skeletonema</i> spp. <i>Thalassiosira</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2022	有明海	<i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2022	有明海	<i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2022	有明海	<i>Asterionellopsis glacialis</i> <i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2022	有明海	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Skeletonema</i> spp. <i>Asterionellopsis glacialis</i> <i>Lauderia</i> spp.	ノリの色落ち、 葉体の形態異常	不明
2022	八代海	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Skeletonema</i> spp. <i>Asterionellopsis glacialis</i>	ノリの色落ち、 葉体の形態異常	不明
2022	有明海	<i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2022	有明海	<i>Skeletonema</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2022	有明海	<i>Eucampia zodiacus</i> <i>Skeletonema</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2022	有明海	<i>Skeletonema</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2023	有明海	<i>Skeletonema</i> spp. <i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2023	有明海	<i>Skeletonema</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2023	八代海	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Skeletonema</i> spp. <i>Eucampia zodiacus</i>	ノリの色落ち	不明
2023	有明海	<i>Skeletonema</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2023	有明海	<i>Detonula pumila</i> <i>Thalassiosira</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2023	有明海	<i>Skeletonema</i> spp. <i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち、 葉体の形態異常	不明
2023	有明海	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Bacteriastrum</i> spp. <i>Skeletonema</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2023	有明海	<i>Chaetoceros</i> spp.	ノリの色落ち	不明
2023	有明海	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Pseudo-nitzschia</i> spp.	ノリの色落ち	不明

注) 同一海域・時期に連続して発生した赤潮と見なされる場合は合算して集計した

出典: 水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(令和3年～令和5年)」から集計

付表(別添資料) 3-2 (2) ラフィド藻類の赤潮発生による漁業被害(2021 年～2023 年)

発生年	海域名	赤潮原因種	漁業被害種・概要	漁業被害額 (千円)
2021	八代海	<i>Chattonella</i>	シマアジへい死	91,329
2021	有明海	<i>Chattonella</i>	(天然)コノシロ、スズキ、クロダイへい死	不明
2022	有明海	<i>Chattonella</i>	ボラ(天然)へい死	不明
2022	有明海	<i>Chattonella</i>	ボラ(天然)へい死	不明
2023	八代海	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Karenia mikimotoi</i>	シマアジ、サバへい死	39,231
2023	八代海	<i>Chattonella</i> <i>Cochlodinium polykrikoides</i> <i>Karenia mikimotoi</i>	ブリ、カンパチ、マダイ、シマアジ、トラフ グ、アワビへい死	1,544,049
2023	有明海	<i>Chattonella</i>	ボラ(天然)へい死	不明

注) 1. 有明海及び八代海等を再生するための特別措置に関する法律(平成 14 年法律第 120 号)に基づく海面の区
分で整理しており、漁業被害額等は出典と異なる。
2. 同一海域・時期に連続して発生した赤潮と見なされる場合は各県海域における被害状況を合算して集計した。
3. 養殖魚の場合、被害尾数が 1,000 尾未満の場合は規模が小さいため割愛した。
出典: 水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(令和 3 年～令和 5 年)」から集計

付表(別添資料) 3-2 (3) その他赤潮生物による漁業被害(2021 年～2023 年)

発生年	海域名	赤潮原因種	漁業被害種・概要	漁業被害額 (千円)
2021	有明海	クリプト藻	ノリの色落ち	不明

注) 同一海域・時期に連続して発生した赤潮と見なされる場合は各県海域における被害状況を合算して集計
した。
出典: 水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(令和 3 年～令和 5 年)」から集計

付表(別添資料) 3-2 (4) 渦鞭毛藻類の赤潮発生による漁業被害(2021 年～2023 年)

発生年	海域名	赤潮原因種	漁業被害種・概要	漁業被害額 (千円)
2021	有明海	<i>Ceratium furca</i> <i>Ceratium fusus</i> <i>Heterosigma</i> spp.	(天然)コノシロ、スズキ、クロダイへい死	不明
2021	有明海	<i>Akashiwo sanguinea</i>	ノリの色落ち	不明
2022	橘湾	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	シマアジへい死	不明
2022	八代海	<i>Karenia mikimotoi</i>	ブリ、マダイへい死	9,150
2022	八代海	<i>Karenia mikimotoi</i>	(養殖)トラフグ、マダイ、ブリ、シマアジ、 カンパチ、他魚類、アコヤガイ等の貝類 へい死、(天然)カンパチ、ブリ、マダイ、 ヒラメ、ハモへい死	1,965,317
2022	有明海	<i>Akashiwo sanguinea</i>	ノリの色落ち	不明
2023	八代海	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Karenia mikimotoi</i>	シマアジ、サバへい死	39,231
2023	八代海	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	ブリ、マダイ、カンパチ、クエへい死	15,642
2023	八代海	<i>Chattonella</i> <i>Cochlodinium polykrikoides</i> <i>Karenia mikimotoi</i>	ブリ、カンパチ、マダイ、シマアジ、トラフ グ、アワビへい死	1,544,049
2023	橘湾	<i>Karenia mikimotoi</i>	ブリ、トラフグ、シマアジ、マダイへい死	1,097,821
2023	有明海	<i>Akashiwo sanguinea</i>	ノリの色落ち	不明
2023	有明海	<i>Akashiwo sanguinea</i>	ノリの色落ち	不明

注) 1. 同一海域・時期に連続して発生した赤潮と見なされる場合は各県海域における被害状況を合算して集計
した。
2. 養殖魚の場合、被害尾数が 1,000 尾未満の場合は規模が小さいため割愛した。
出典: 水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(令和 3 年～令和 5 年)」から集計