

## 2.8 赤潮

### 2.8.1 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<sup>1)</sup>、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。

図 2.8.1-1 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(平成 10)年頃から、八代海では 1998(平成 10)～2000(平成 12)年頃から赤潮の発生件数が増加しており、2000(平成 12)～2020(令和 2)年までの平均発生件数(有明海 35.8 件/年、八代海 15.9 件/年)は 1970(昭和 45)～1980(昭和 55)年代(有明海 15.0 件/年、八代海 8.0 件/年)のおよそ 2 倍となっている。

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(平成 10)～2000(平成 12)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に係る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。

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(データ集 2.1.3)は、直近 5 年間(2014(平成 26)～2019(令和元)年度)は 1975(昭和 45)～1980(昭和 55)年度と比較して、COD で 74%、T-N で 65%(底質由来最小値の場合)、T-P で 66%に減少しており、赤潮発生件数の増加時期である 1990 年代後半から減少し、現在は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ついては、直近 5 年間(2014(平成 26)～2019(令和元)年度)は 1975(昭和 45)～1980(昭和 55)年度と比較して、COD は 61%に減少したが、T-N 及び T-P については 1990(平成 2)年代中頃から増加し 2006(平成 18)、2009(平成 21)年度頃に最大となり、直近 5 年間は 1975(昭和 45)～1980(昭和 55)年度と比較して T-N で 126%(底質由来最小値の場合)と高く、T-P では 92%(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も、1998(平成 10)年以降増加し、1997(平成 9)年以前の 2 倍程度と高い発生状態が続いており、負荷量の増加と赤潮発生件数との関連性について留意が必要である。

橘湾は 1991(平成 3)年に 9 件、1990(平成 2)年と 1993(平成 5)年に 6 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(平成 28)年～2020(令和 2)年にかけて赤潮発生はみられなかった。

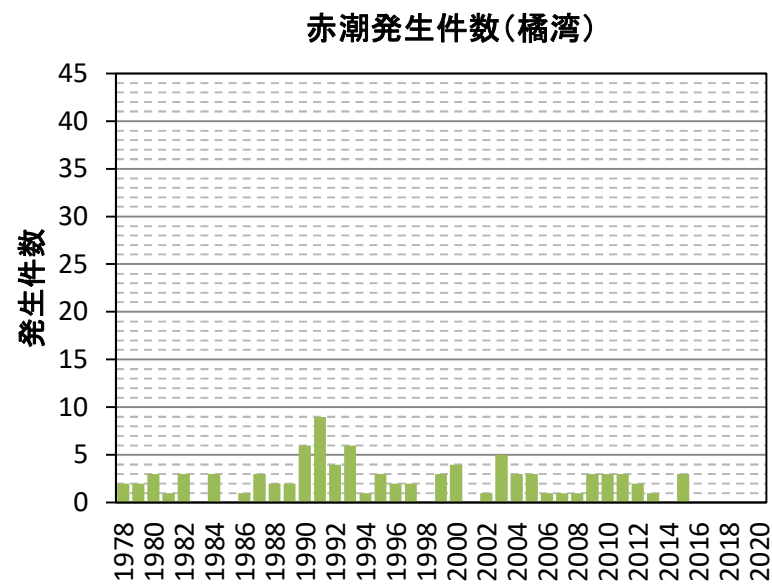
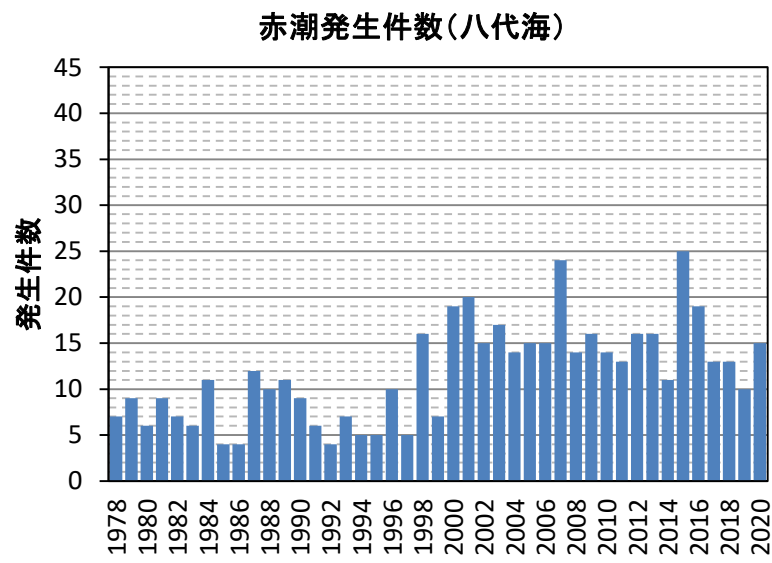
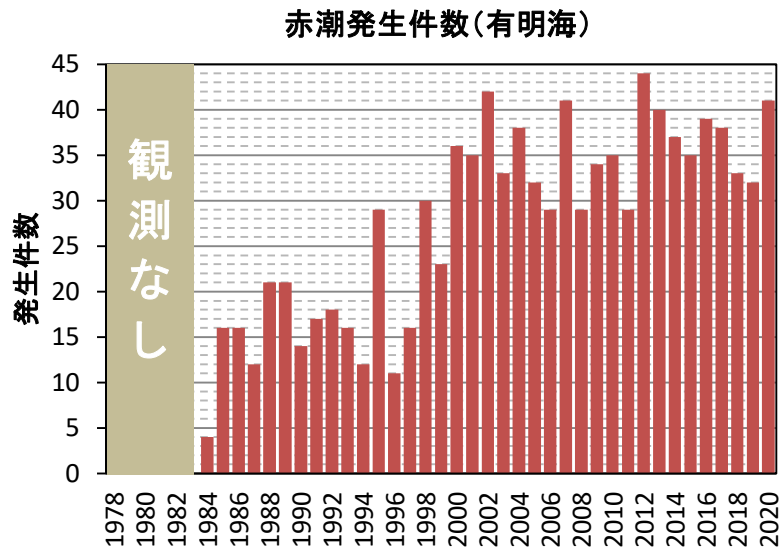


図 2.8.1-1 有明海、八代海及び橘湾における赤潮発生件数の推移

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 2 年)」をもとに環境省が作成した。

## 2.8.2 赤潮(種類別)の特徴について

有明海・八代海等で発生する赤潮生物の例を図 2.8.2-1 に示す。

赤潮生物は、種類によってその生理的・生態的性質や水産生物への影響も異なることから、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以下のとおり整理した。なお、種類ごとの特徴や赤潮発生状況、漁業被害等の詳細は資料編(データ集 2.8.2～2.8.5)に記載した。



注) *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<sup>2)</sup>(Demura et al. 2009)。

図 2.8.2-1 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(黒棒: 50  $\mu$ m)  
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

図 2.8.2-2 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することが必要である。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(昭和 63)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(昭和 59)年)、その後徐々に増加し、1998(昭和 63)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。珪藻や渦鞭毛藻についても、1998(昭和 63)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(昭和 45)～1980(昭和 55)年代と比較してラフィド藻の割合が増加した以外、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(平成 10)～2000(平成 12)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(平成

3)年から1995(平成7)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(平成2)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。

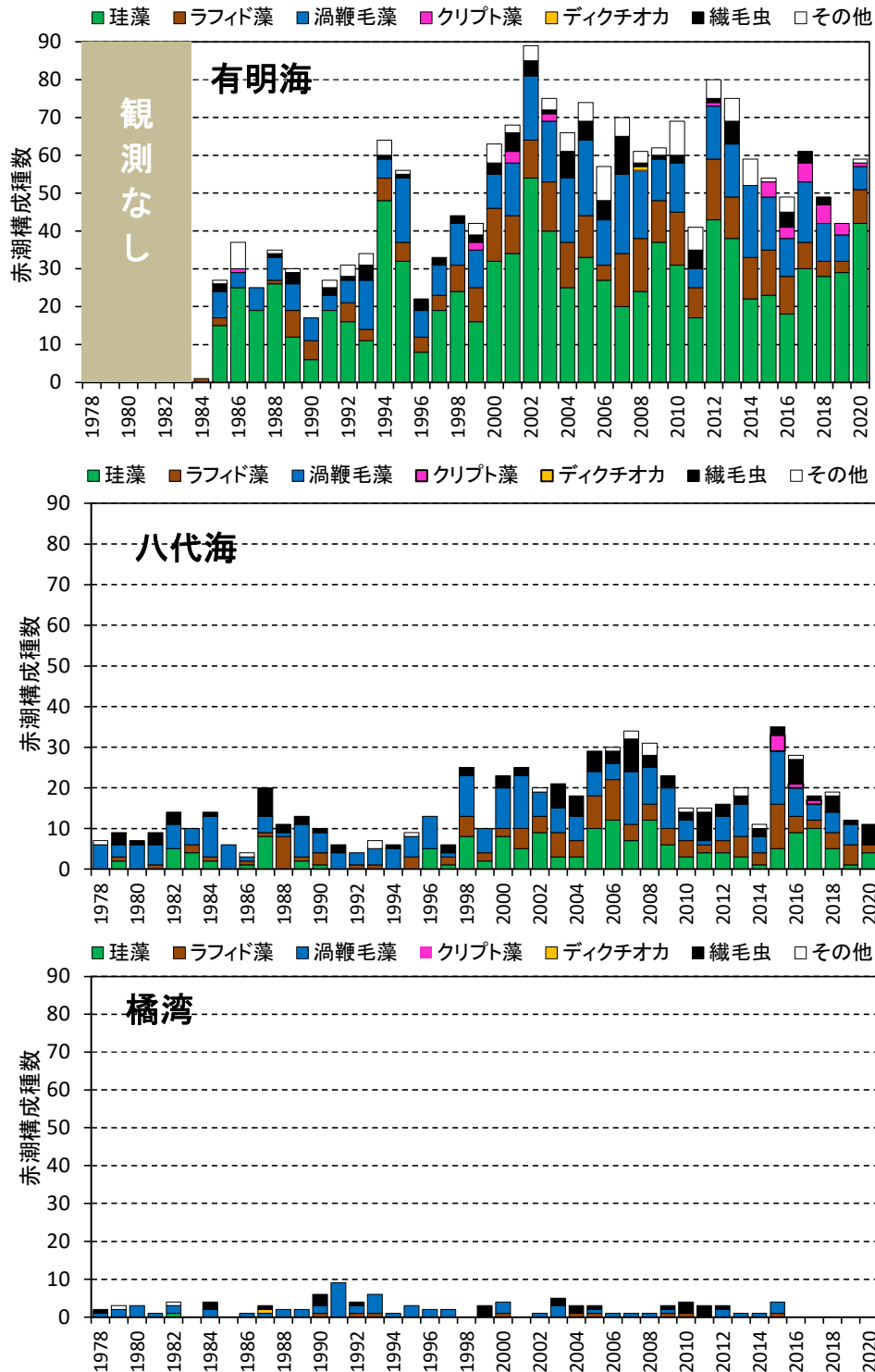


図 2.8.2-2 有明海、八代海及び橘湾における赤潮構成種数の推移

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2年)」をもとに環境省が作成した。

### 2.8.3 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(平成10)年から2003(平成15)年まではそれ以外の期間のおよそ2倍の件数と高い傾向であったが、2005(平成17)年以降は横ばいである(図2.8.3-1)。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(ノリの色落ち)被害件数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。

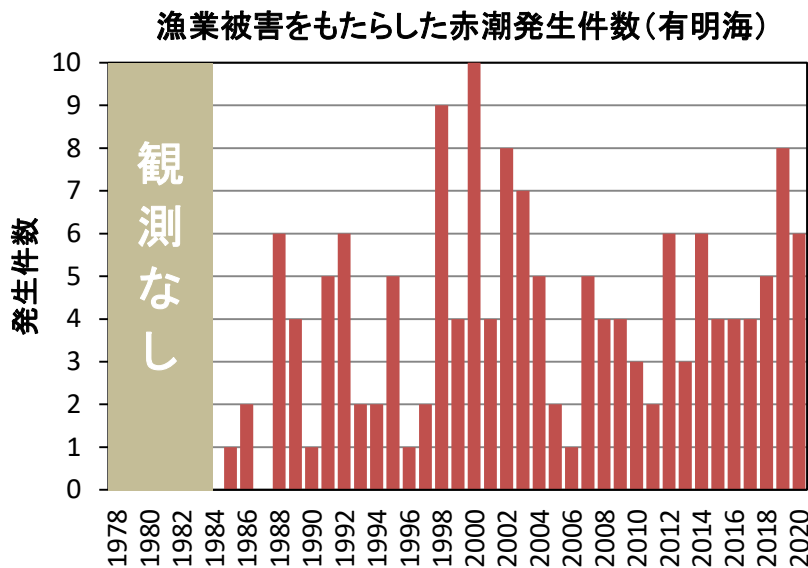


図 2.8.3-1 有明海において漁業被害をもたらした赤潮発生件数(年間)の推移  
 出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和53年～令和2年)」をもとに環境省が作成した。

#### (1) 有明海における夏期の赤潮

有明海における赤潮被害発生件数は2011(平成23)年から2020(令和2)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(図2.8.3-2)。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。図 2.8.3-3 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(平成10)年、2004(平成16)年、2007(平成19)～2010(平成22)年、2015(平成27)～2016(平成28)年及び2018(平成30)年に大きくなっており、どの程度漁獲量の減少に影響を与えたのか不明であり、赤潮だけでなく複合的な要因が推測されているが、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。*Heterosigma* 属の発生規模は1995(平成7)年、2002(平成14)年、2004(平成16)年、2011(平成23)年及び2015(平成27)～2016(平成28)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<sup>3)</sup>。

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(平成 25)年～2017(平成 29)年の有明海奥部(測点 P6)及び諫早湾(測点 B3)(図 2.8.3-4)において、*Chattonella* 属(鞭毛藻)と珪藻類の出現特性の把握が行われ、両者の間に競合と考えられる関係が確認された。有明海では 2009(平成 21)年以降、上記期間を含めて計 9 年間の現地観測のデータがあり、*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(図 2.8.3-5)。一般的に鞭毛藻は珪藻類よりも増殖速度が低いため、基本的に栄養競合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。

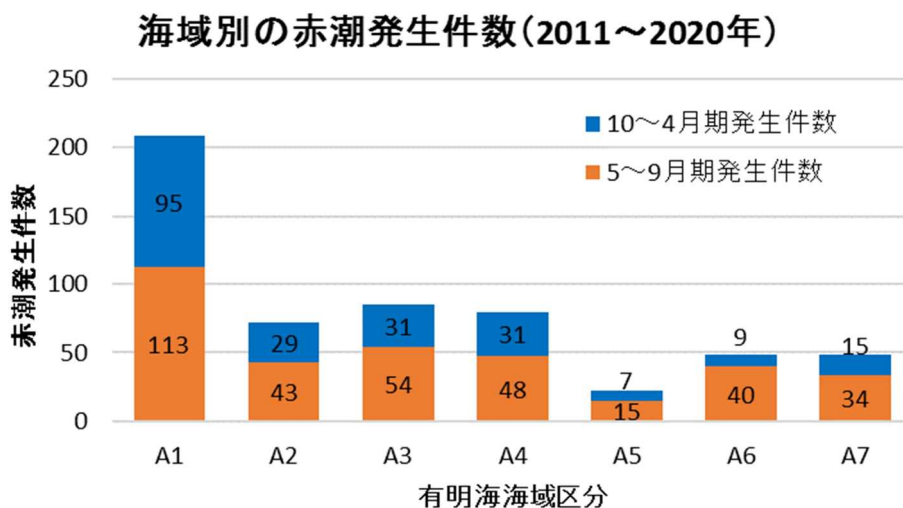
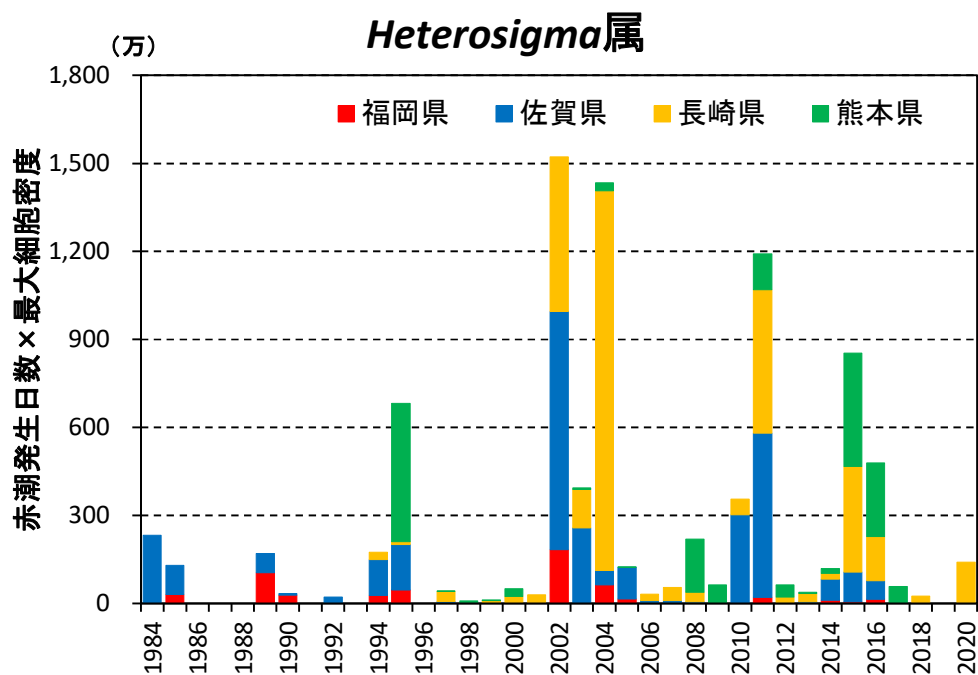
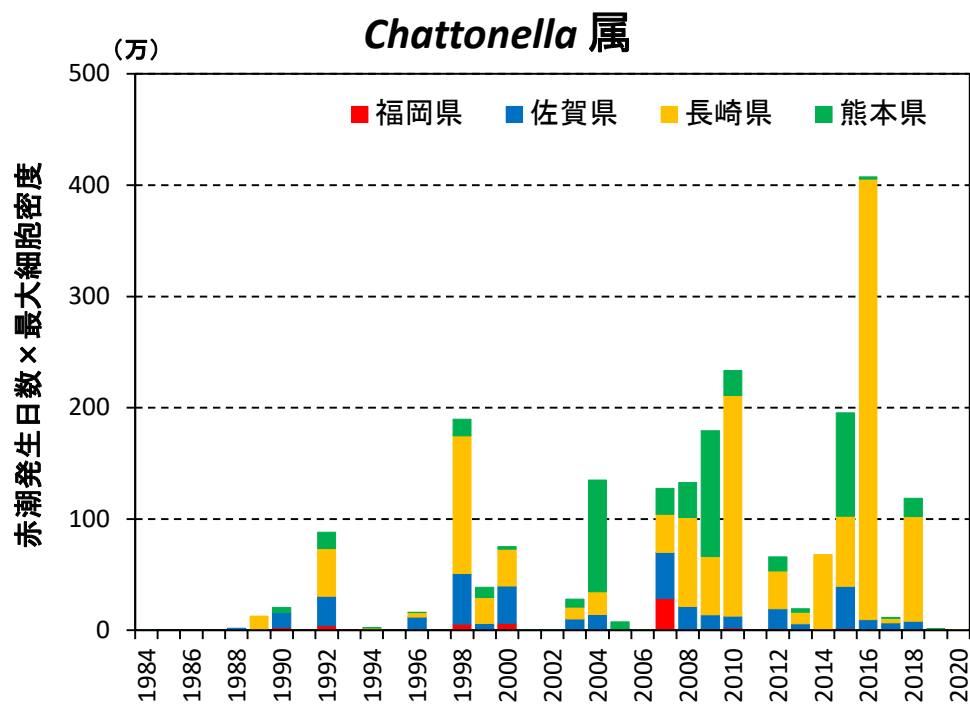


図 2.8.3-2 有明海における海域区分別赤潮発生件数(2011(平成 23)年～2020(令和 2)年の累計値)

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)」をもとに環境省が作成した。



- 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。

図 2.8.3-3 有明海における2種有害赤潮生物の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2年)」をもとに環境省が作成した。



図 2.8.3-4 有明海における *Chattonella* 属と珪藻類出現特性の観測定点(2009(平成21)～2017(平成29)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」



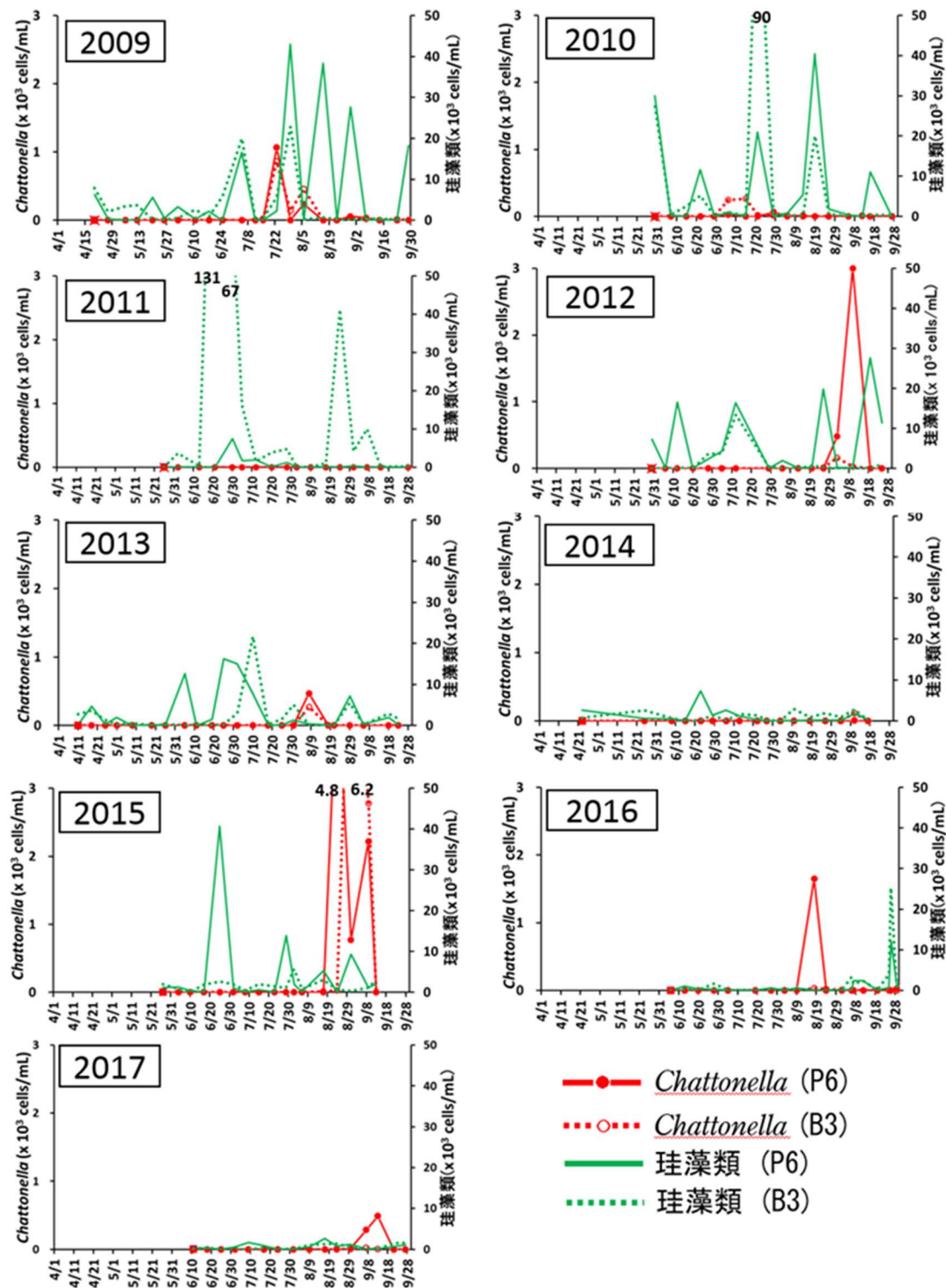


図 2.8.3-5 有明海奥部(測点 P6)及び諫早湾(測点 B3)における *Chattonella* 属と珪藻類の出現特性(2009(平成 21)年~2017(平成 29)年)

出典:・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

・水産研究・教育機関, 長崎県総合水産試験場「有明海における貧酸素水塊モニタリングの高度化」平成 25~29 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 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

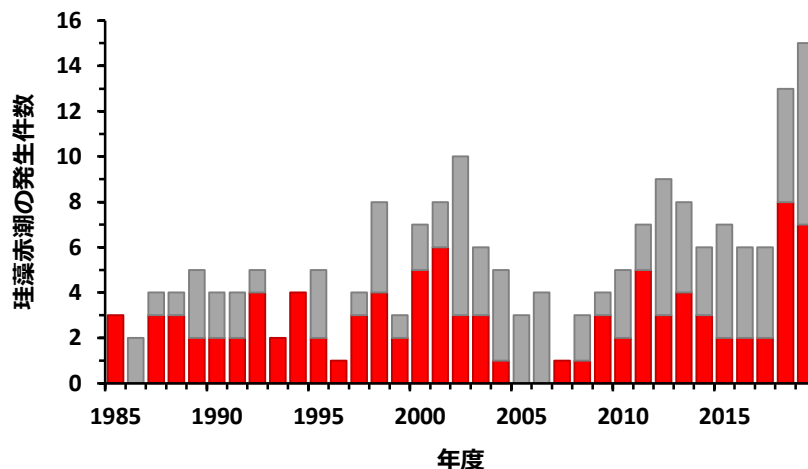
## (2) 赤潮によるノリ養殖被害

### ア) 有明海における冬期の珪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<sup>4)</sup>。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であろうと考えられている。<sup>5)、6)、7)</sup>(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(昭和 60)年度以降の推移を図 2.8.3-6 に示した。赤潮発生件数は、1990(平成 2)年代後半以降では、2002(平成 14)年に増加したが、その後、2005(平成 17)年前後に減少した。2011(平成 23)～2013(平成 25)年度に再び増加し、2014(平成 26)～2017(平成 29)年度はやや減少したが、2018(平成 30)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。

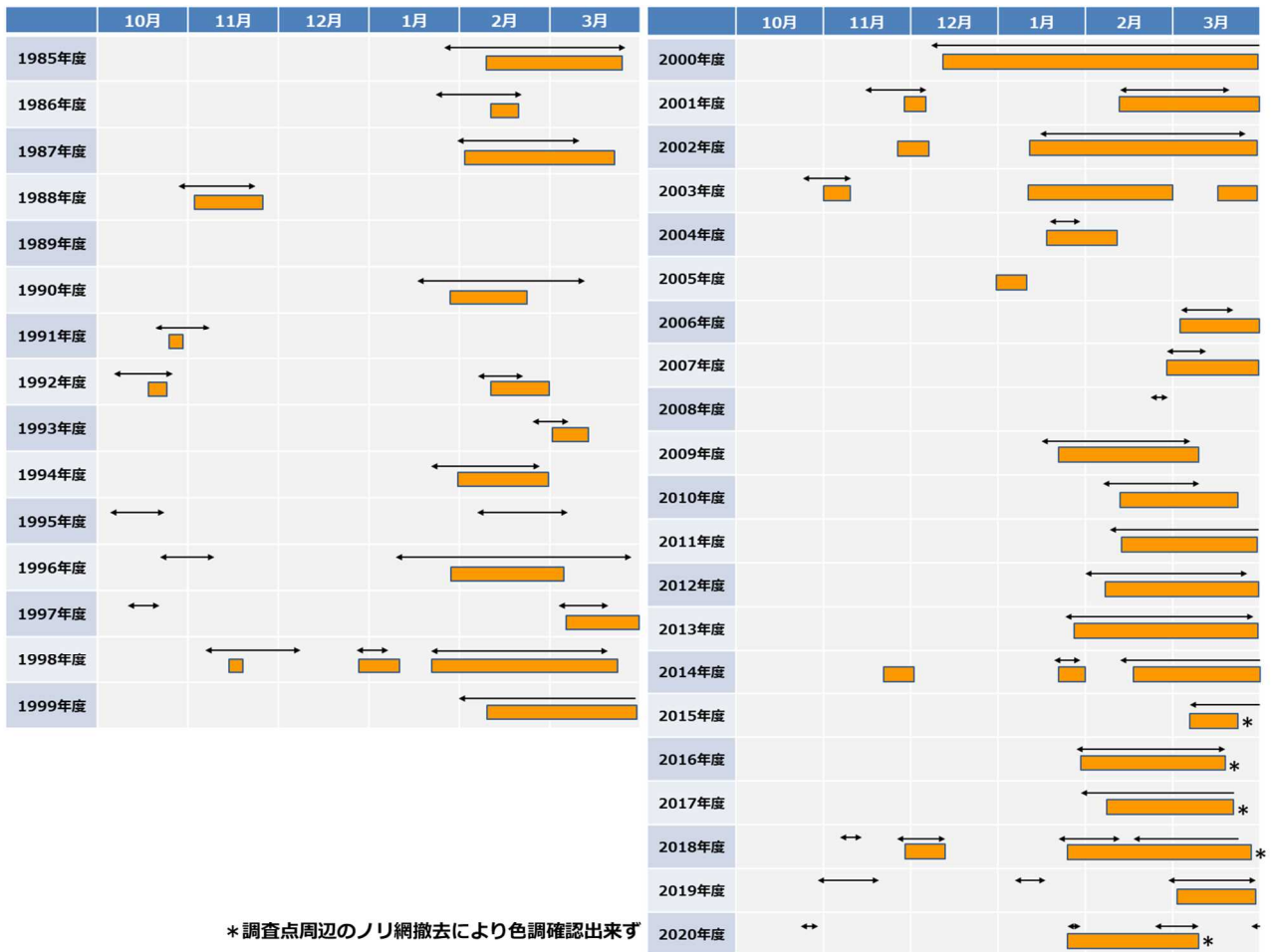
ノリの色落ちと珪藻赤潮との関係を検証するため、有明海福岡県海域を例に、1985(昭和 60)年度以降のノリの色落ちの発生期間と珪藻赤潮の発生期間とを対比した(図 2.8.3-7)。その結果、多くの場合、ノリの色落ちに先行する形で珪藻赤潮が発生しており、珪藻赤潮の発生とノリの色落ち被害とが密接に関係していることが示唆された。すなわち、珪藻類が赤潮を形成することによって、海水中の栄養塩濃度が急激に低下し、ノリ養殖に必要なとされる栄養塩が減少する結果、色落ちが生じているものと推察される。



注) 赤色のバーは被害件数を示す。

図 2.8.3-6 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」をもとに環境省が作成した。



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3/31～4/30に設定。

図 2.8.3-7 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(矢印)

## 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プランクトンとして位置づけられている(図 2.8.3-8)。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.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(平成12)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、本種による赤潮が発生したとの報告はなされていない。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.)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。

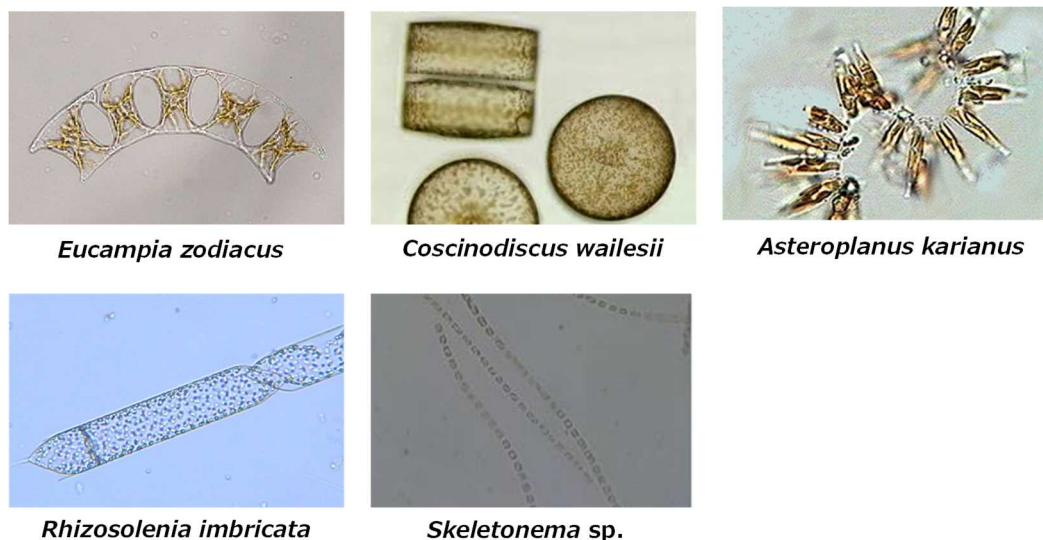


図 2.8.3-8 ノリの色落ちの原因となる主な珪藻類

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  $\mu$ 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<sup>8)、9)、10)、11)、12)</sup>。

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 (昭和 55) 年代後半や 2000 (平成 12) 年前後に、比較的高密度で出現していた (図 2.8.3-9)。2011 (平成 23) 年度以降も、高密度での出現がみられており、特に 2013 (平成 15) 年度、2018 (平成 20) 年度、2019 (平成 21) 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 (図 2.8.3-10)。

有明海での *E. zodiacus* による赤潮の発生機構については、いまだ充分には解明されておらず、断片的な知見にとどまっている。Ito et al. (2013) は、2011 (平成 23) 年度冬期の比較的大規模な本種による赤潮発生時の観測結果から、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. zodiacus* の増殖にともなって急激に低下したことを報告している<sup>13)</sup> (平成 28 年度委員会報告 図 4.4.130)。また、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* が赤潮のレベルまで個体群を拡大する要因のひとつであると推察した (平成 28 年度委員会報告 図 4.4.131、図 4.4.132)。

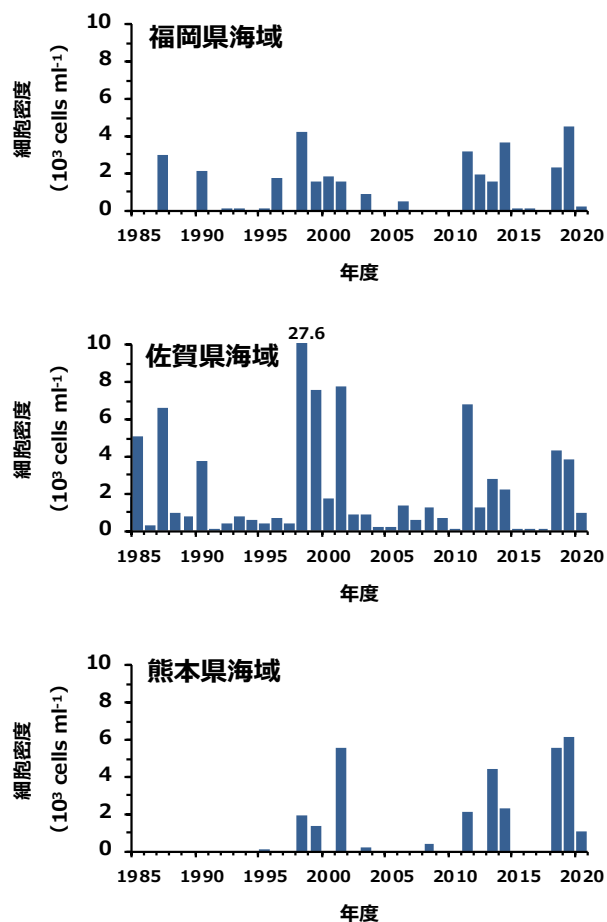


図 2.8.3-9 有明海福岡県海域、佐賀県海域及び熊本県海域における *Eucampia zodiacus* の最高細胞密度の経年変化

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)」

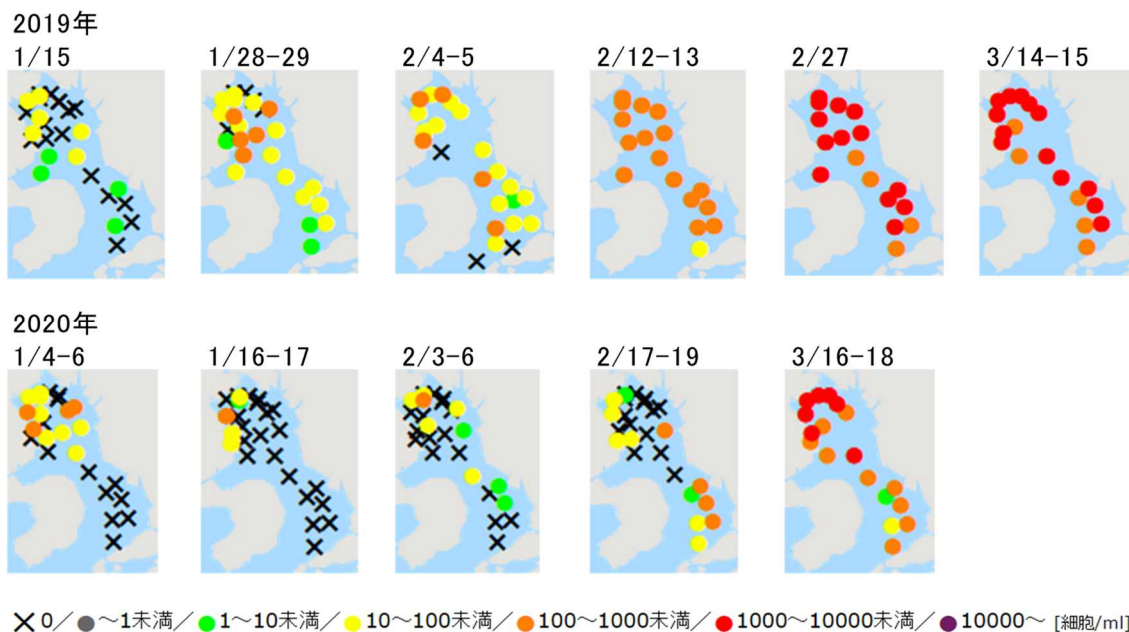


図 2.8.3-10 *Eucampia zodiacus* の出現状況の変化(2019(令和元)年1月～3月及び2020(令和2)年1月～3月)

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が作成した。

## (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  $\mu\text{m}$ ）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<sup>14), 15), 16)</sup>。

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(昭和55)～2000(平成12)年代前半においても出現が認められていたが、2007(平成19)年度～2014(平成26)年度に、単独で、かつ高密度の赤潮を形成した(図 2.8.3-11)。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、きわめて赤潮の発生海域が限定されていることも本種による赤潮の特徴である。

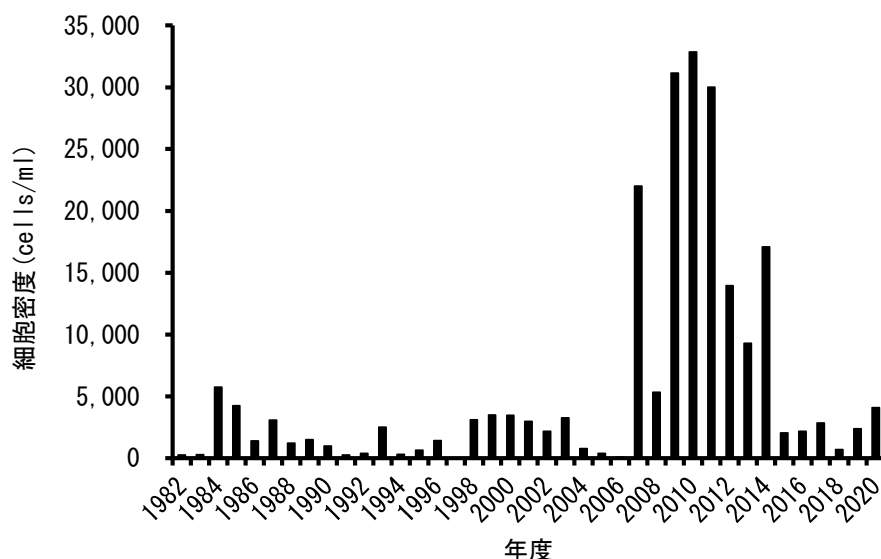
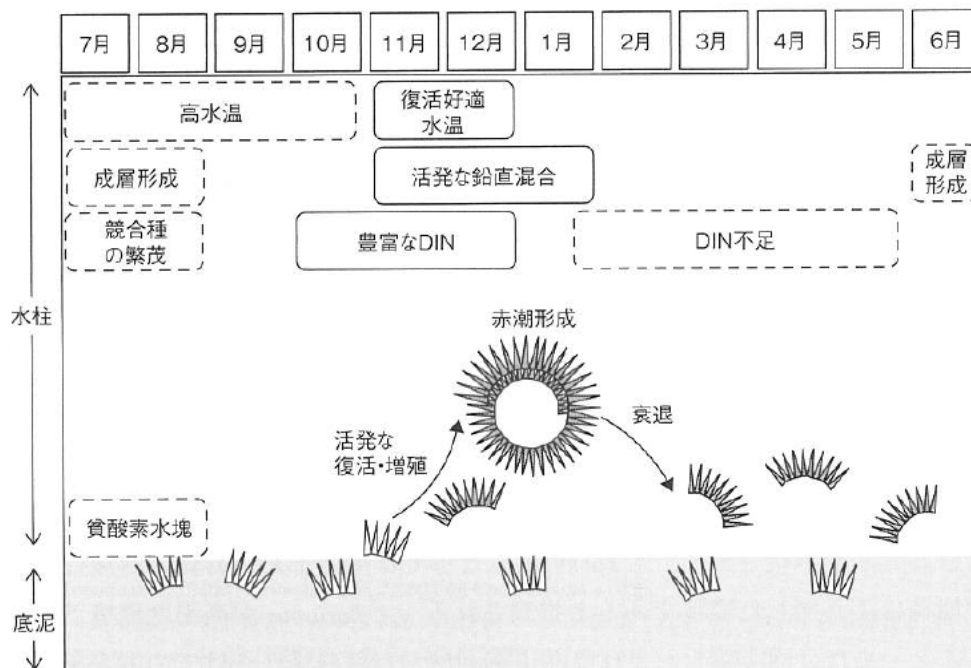


図 2.8.3-11 有明海佐賀県海域における *Asteroplanus karianus* の最高細胞密度の変動

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が作成した。

現在のところ、*A. karianus* による赤潮の発生が、有明海の佐賀県海域において、2007(平成19)年度～2014(平成26)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。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図 2.8.3-12 のように示されている<sup>17)</sup>。また、ブルームピークの時期が水温 10°C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<sup>17)</sup>。



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。

図 2.8.3-12 *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

### (iii) *Skeletonema* spp.

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、季節により赤潮の構成種は異なることが示唆されている<sup>18)</sup>。しかしながら、*Skeletonema* 属の種分類は、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、モニタリング調査では *Skeletonema* spp. として扱われているのが現状である。

有明海での *Skeletonema* 属による赤潮の発生機構については十分に解明されておらず、知見も一部の海域に限られている。奥部海域では、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、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であることが示されている<sup>19)</sup>、<sup>20)</sup>(図 2.8.3-13、図 2.8.3-14)。また、現地観測データと数値シミュレーション手法から、秋期～冬期の奥部海域では、ノリの色落ちが頻発している奥西部は密度流の未発達により水塊が滞留し、*Skeletonema* 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、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<sup>21)</sup>(図 2.8.3-15)。

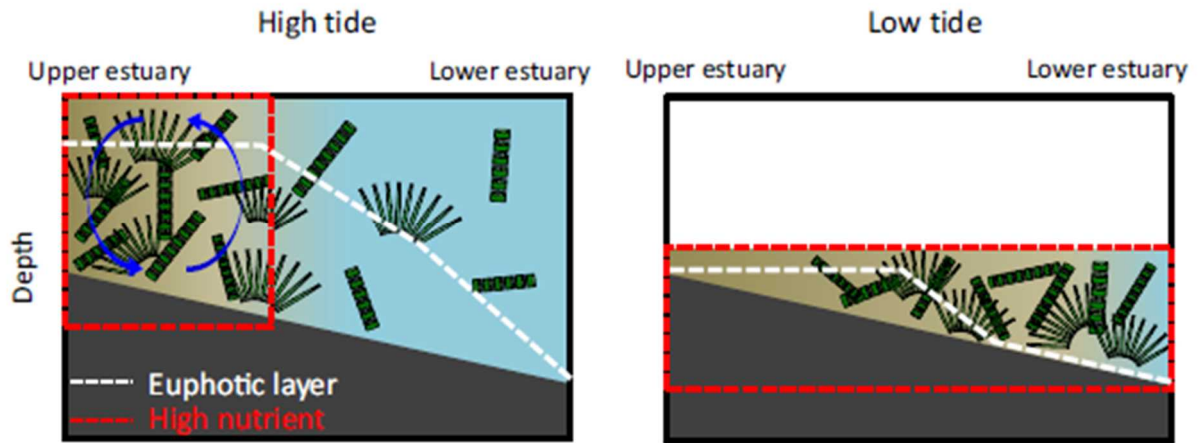


図 2.8.3-13 河口域の満潮時(左)及び干潮時(右)における水塊と珪藻の挙動に関する模式図

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.

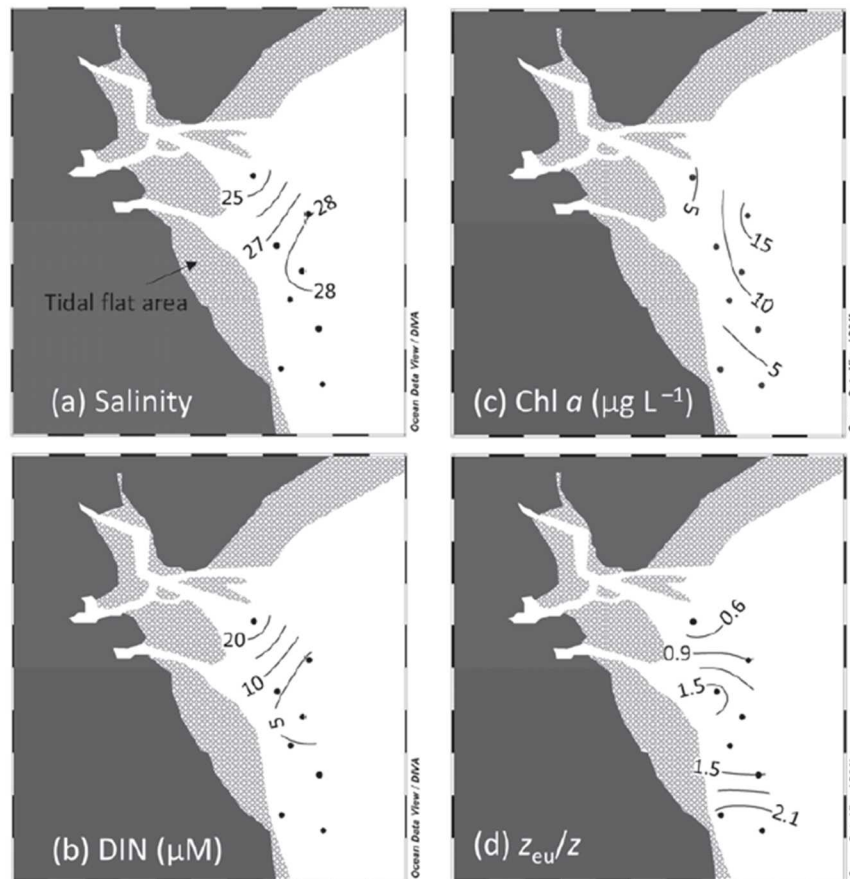


図 2.8.3-14 佐賀県塩田川及び鹿島川の河口沖合域における干潮時の塩分、溶存無機態窒素濃度、クロロフィル  $a$  濃度、有光層/水深比の水平分布

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.



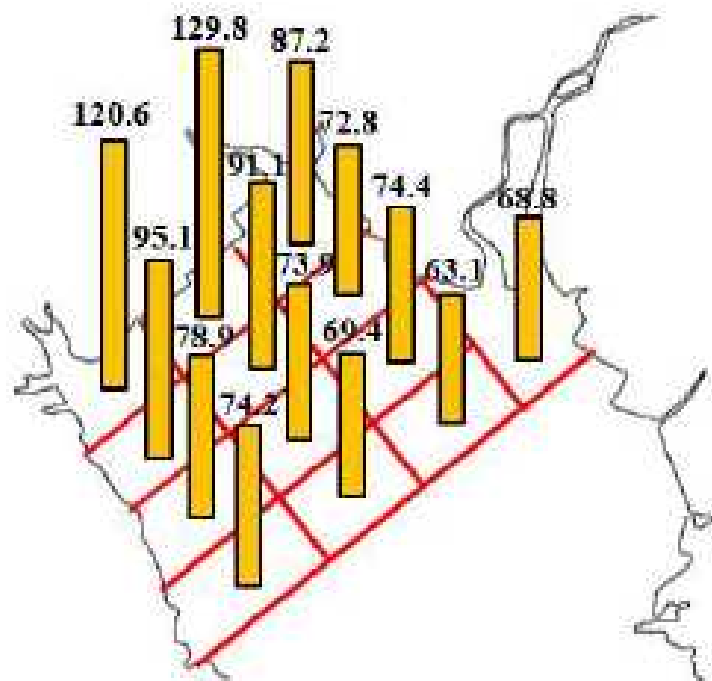


図 2.8.3-15 秋期～冬期の有明海奥部海域の各小領域における滞留時間分布(hour)

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

## 2.8.4 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(昭和 63)～1990(平成 2)年、1998(平成 10)～2010(平成 22)年及び 2015(平成 27)年～2019(令和元)年に発生件数が多く、2011(平成 23)年から 2014(平成 26)年にかけては被害が発生していない(図 2.8.4-1)。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。

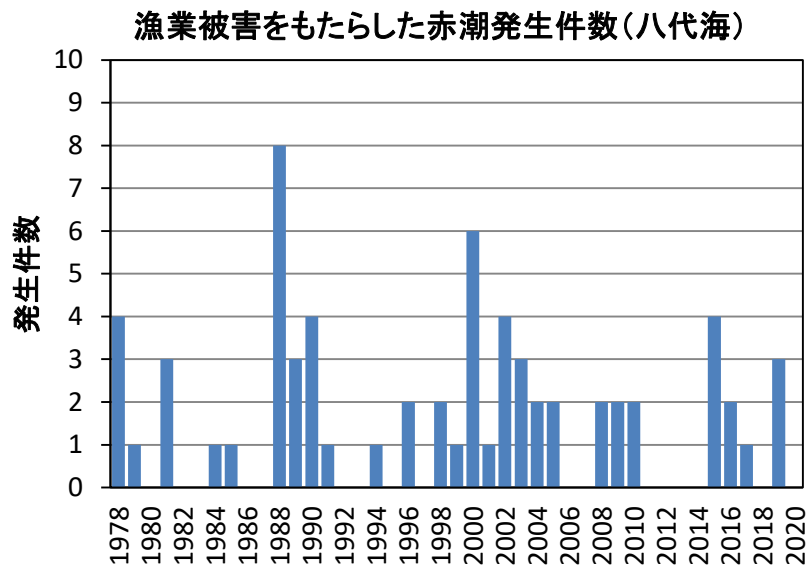


図 2.8.4-1 八代海において漁業被害をもたらした赤潮発生件数(年間)の推移  
 出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和 53 年～令和 2 年)」をもとに環境省が作成した。

### (1) 八代海における夏期の赤潮

八代海における 2011(平成 23)年～2020(令和 2)年にかけての赤潮発生件数(海域別)を図 2.8.4-2 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図 2.8.4-3、図 2.8.4-4 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(昭和 45)～1980(昭和 55)年代に赤潮が猛威をふるったが、近年、1990(平成 2)年以降は減少傾向である。1980(昭和 55)年代中頃から有明海や八代海で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(平成 10)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(平成 15)年以降に発生頻度・規模が急激

に拡大し、2008年(平成20)、2009(平成21)年、2010(平成22)年、2016(平成28)年、2019(令和元)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。

*Cochlodinium* 属(ほとんどが *C. polykrikoides*) に関しては、1978(昭和53)～1981(昭和56)年、1991(平成3)年、2000(平成12)～2007(平成19)年と一定期間ごとにまとまった出現を示していた(図2.8.4-5)。特に2000(平成12)～2003(平成15)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(平成12)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(平成27)年にはブリが8,800尾へい死している。なお、*Chattonella* 属と *Cochlodinium* 属による魚類のへい死について、鰓機能の障害による窒息死という症状について共通している。

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(平成元)年、2000(平成12)年、2009(平成21)年、2015(平成27)年及び2016(平成28)年に発生している。1989(平成元)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(平成27)年と2016(平成28)年は連続して本種の赤潮が発生し、養殖ブリがそれぞれ7,800尾及び3,000尾へい死した。

*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。

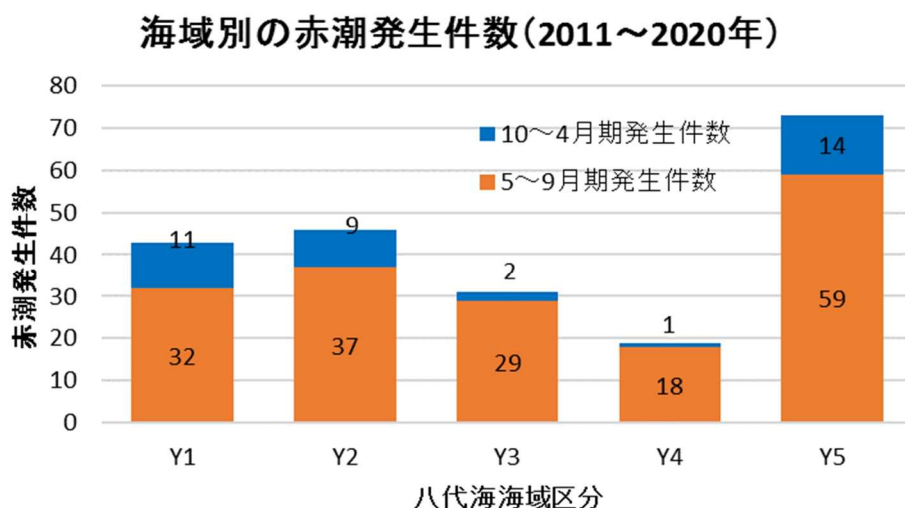


図 2.8.4-2 八代海における海域別赤潮発生件数(2011(平成23)年～2020(令和2)年の累計値)

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)」をもとに環境省が作成した。

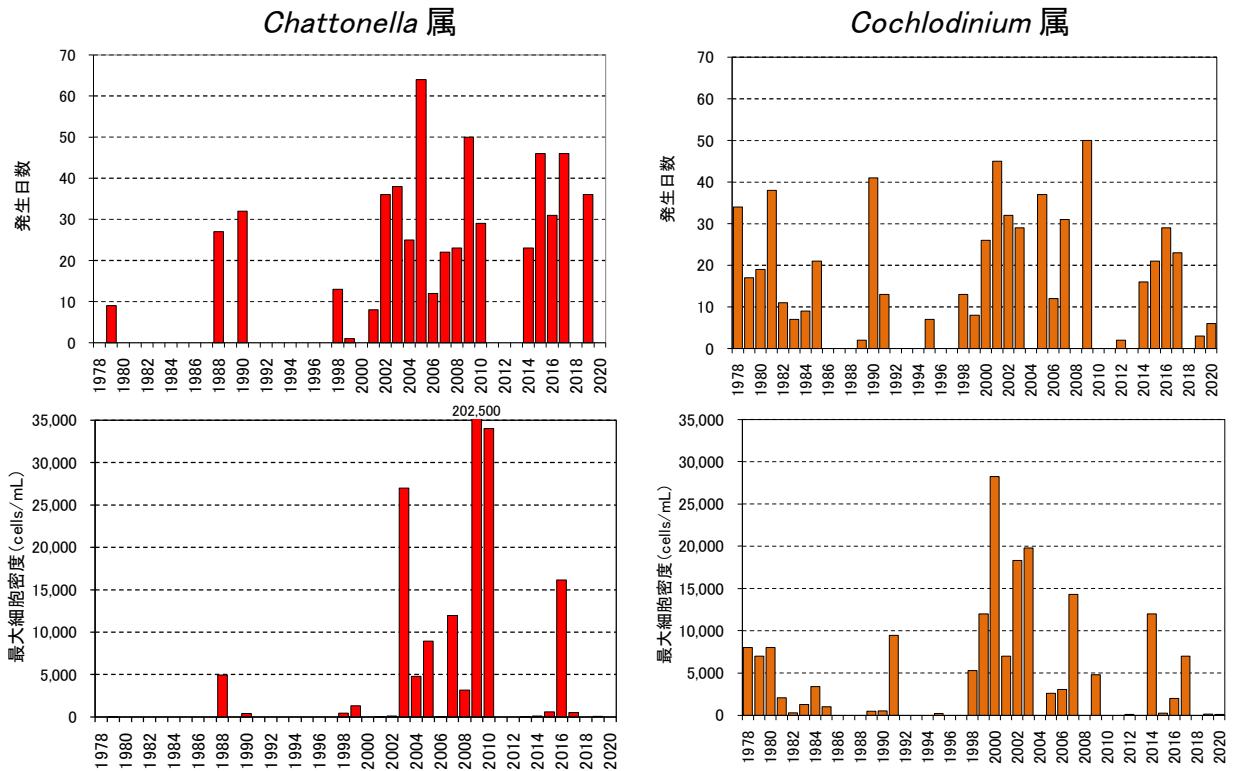


図 2.8.4-3 八代海(熊本県海域)における *Chattonella* 属と *Cochlodinium* 属による赤潮発生日数、最大細胞密度の経年変化

出典:九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和53年～令和2年)」をもとに環境省が作成した。

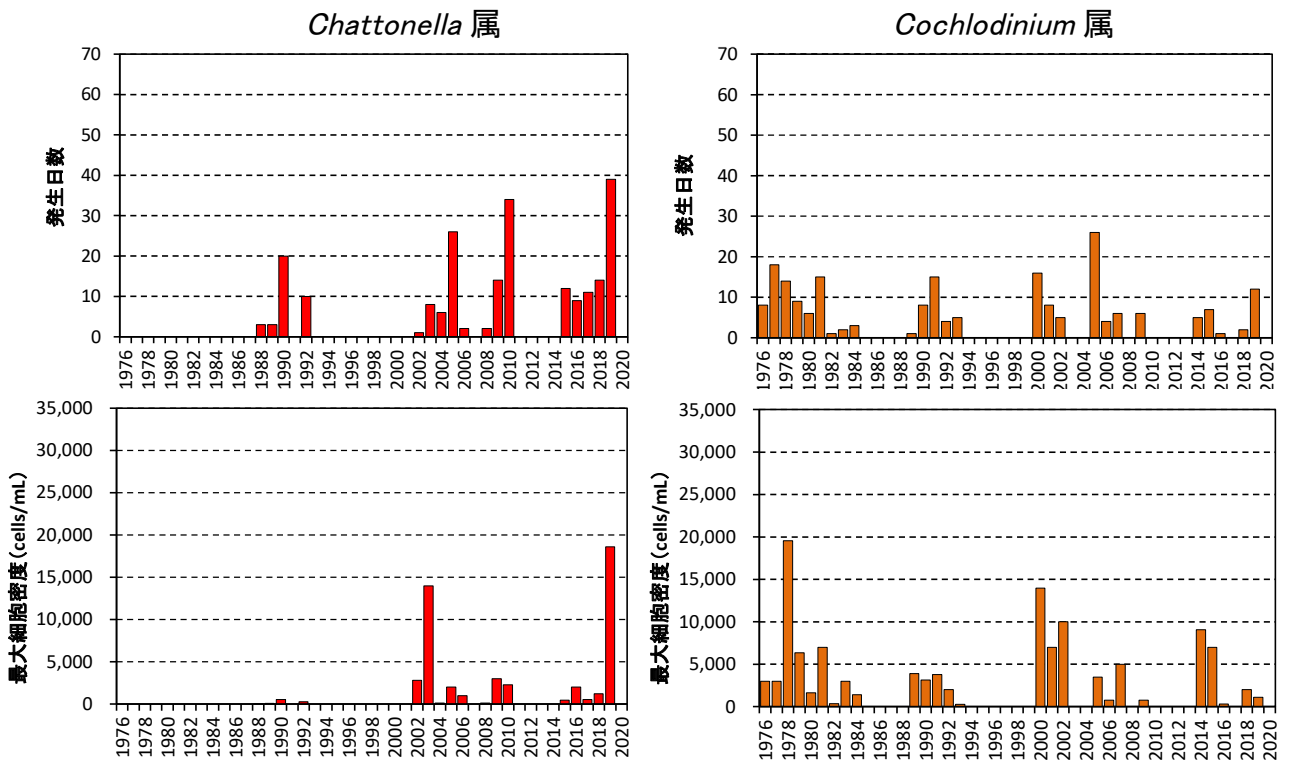
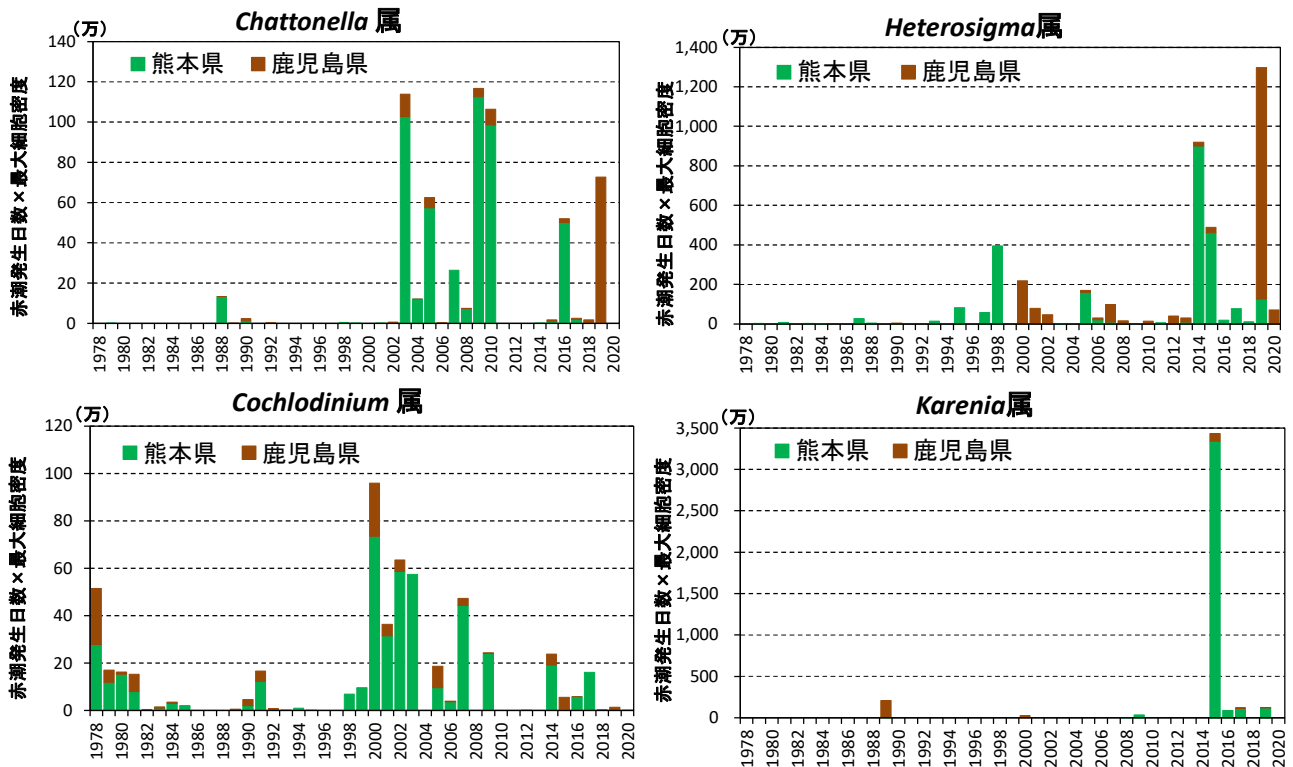


図 2.8.4-4 八代海(鹿児島県海域)における *Chattonella* 属と *Cochlodinium* 属による赤潮発生日数、最大細胞密度の経年変化

出典:九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和53年～令和2年)」をもとに環境省が作成した。



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。

図 2.8.4-5 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2年)」をもとに環境省が作成した。

## (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、平成28年度委員会報告後に発生した2016(平成28)年～2019(令和元)年のデータを中心に整理した結果を述べる。

図 2.8.4-6 に、八代海で *Chattonella* 属赤潮による漁業被害が発生した2016(平成28)年、2017(平成29)年、2019(令和元)年の最高細胞密度の分布状況を示した。八代海における養殖漁業の中心は Y5 海域である八代海西南部沿岸海域(熊本県海域)、Y4 海域を中心とした南部海域(鹿児島県)及び Y3 海域である中央海域の島嶼沿岸部(御所浦島周辺)であり、これらの漁場付近で 100～1,000 cells/mL 以上の *Chattonella* 属が出現した場合に漁業被害が生じる傾向がみられる。2016(平成28)年、2019(令和元)年は主漁場で 1,000 cells/mL を超える高い値(最大 15,000 cells/mL)を示し、大きな被害を及ぼした。平成28年度委員会報告で示した2010(平成22)年の *Chattonella* 属赤潮発生時のブリ被害発生状況と同様に、漁場付近で 100 cells/mL 以上の赤潮が発生した場合にブリへの漁業被害が発生している。2017(平成29)年は熊本県海域で被害が報告されたが、鹿児島県では報告がなされなかった。鹿児島県の主漁場である長島の北部、獅子島の南部における *Chattonella* 属の細胞密度は、ほとんどが 100 cells/mL 未満であったためと思われる。

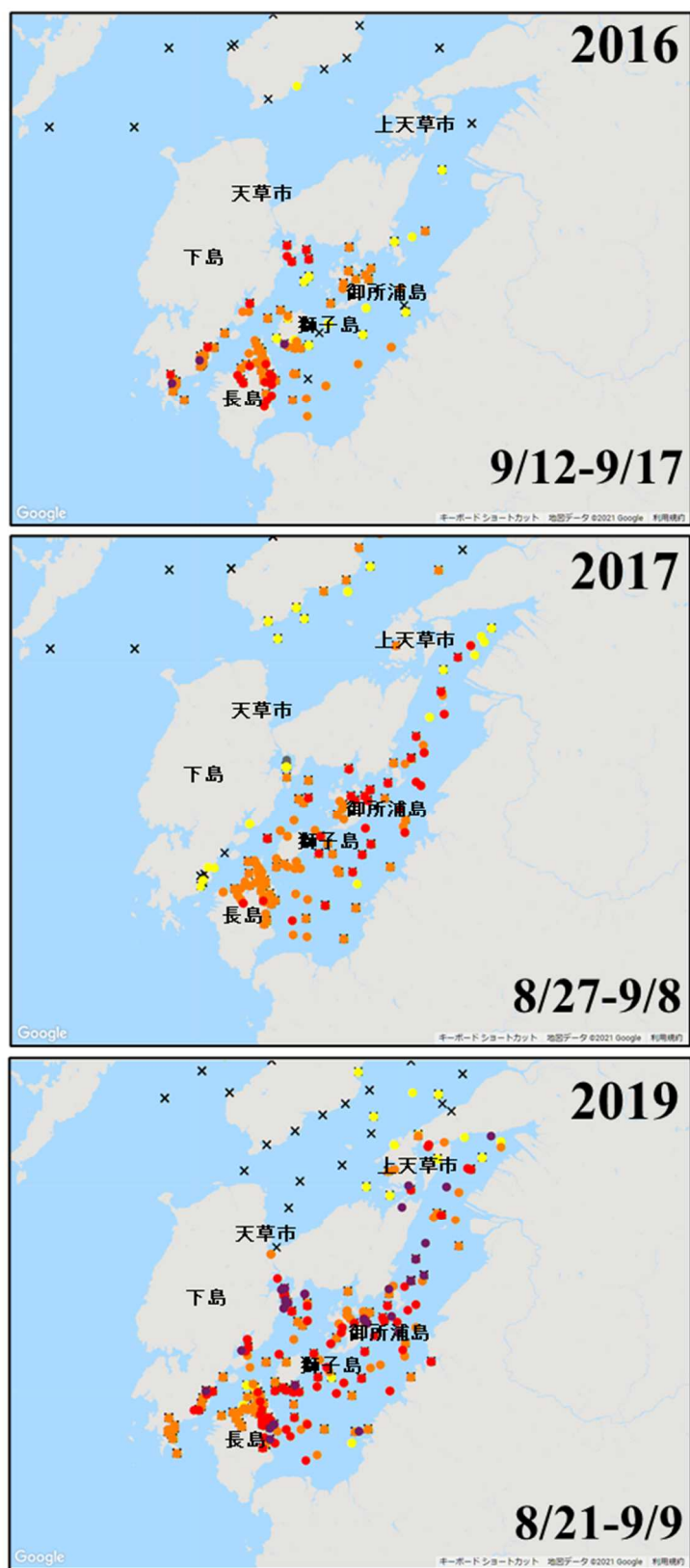


図 2.8.4-6 八代海における *Chattonella* 属赤潮による漁業被害が発生した期間(2016 (平成 28)年、2017(平成 29)年、2019(令和元)年の夏期)の *Chattonella* 属の発生分布状況

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が作成した。

## 2.8.5 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(平成 12)年に最大 3 件発生し、1978(昭和 53)～2015(平成 27)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(図 2.8.5-1)。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。

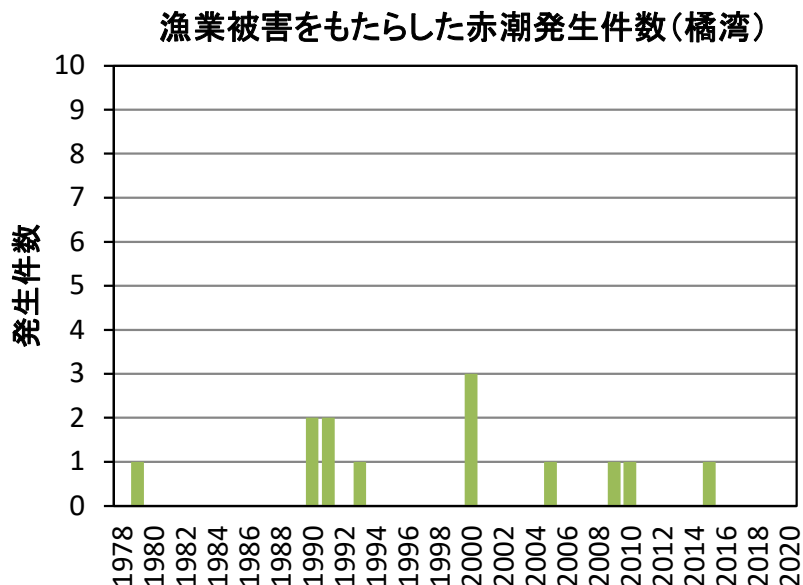


図 2.8.5-1 橘湾において漁業被害をもたらした赤潮発生件数(年間)の推移

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 2 年)」をもとに環境省が作成した

## 2.8.6 まとめ

有明海における赤潮の年間発生件数(1984(昭和 59)～2020(令和 2)年)は、1998(平成 10)年頃から増加傾向が見られ、2000(平成 12)年代の発生件数(約 36 件/年)は 1980(昭和 55)年代(約 15 件/年)の概ね 2 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(平成 10)～2000(平成 12)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に係る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、両者の増減傾向との間に長期的な連動性はみられない。また、原因プランクトン別にみると、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(ラフィド藻の一種)については、1998(平成 10)年、2004(平成 16)年、2007(平成 19)～2010(平成 22)年、2015(平成 27)～2016(平成 28)及び 2018(平成 30)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。赤潮発生地域ではどの程度漁獲量の減少に影響を与えたのか不明であるが、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、数値モデルにおけ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減少する結果、生じる現象で、植物プランクトン、特に近年は *Eucampia zodiacus*、*Skeletonema* spp.、*Asteroplanus karianus* の赤潮形成による栄養塩の消費が要因のひとつであると考えられる。赤潮発生には、*E. zodiacus* については光環境の改善、*Skeletonema* spp.については水塊の鉛直混合や低水温、高栄養塩濃度など、*A. karianus* については、海水交換の低い海域において、水温の低下と水柱の透過光量の増加が重要であることが示されている。

八代海における赤潮の年間発生件数(1978(昭和 53)～2020(令和 2)年)は、1998(平成 10)～2000(平成 12)年頃から増加しており、1970(昭和 45)～1980(昭和 55)年代(約 8 件/年)と比較して 2000(平成 12)年代の赤潮発生件数(約 16 件/年)は概ね 2 倍程度となっている。一方で T-N 及び T-P の汚濁負荷量は 1990(平成 2)年代中頃から増加し 2006(平成 18)、2009(平成 21)年度頃に最大となり、直近 5 年間はやや減少傾向であるものの、負荷量増加と赤潮発生件数との関連性について留意が必要である。原因プランクトン別にみると、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おらず、1991(平成 3)～1995(平成 7)年に珪藻の割合が一時的に低下したものの、長期的に種類組成の変動はみられない。

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れない。原因プランクトン別にみると、*Chattonella* 属(ラフィド藻)と *Cochlodinium polykrikoides*(渦鞭毛藻類)による被害件数が多く、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している。

#### 参考文献

- 1) 岡市友利(1997):赤潮の科学(第二版), 恒星社厚生閣, 337pp.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 有賀祐勝(1980):スサビノリの色彩と色素. 遺伝, 第 34 号, pp.8-13.
- 5) 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.



- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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.
- 14) 松原 賢, 横尾一成, 川村嘉広(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
- 15) 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
- 16) 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
- 17) 松原 賢, 三根崇幸, 伊藤史郎(2016):ノリの色落ち原因珪藻 *Asteroplanus karianus* のブルーピーク時期の予察, 日本水産学会誌, 第82巻, 第5号, pp.777-779
- 18) 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.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 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