

2.6.2 貧酸素水塊の発生状況

平成 28 年度委員報告以降も、有明海においては、毎年夏期の小潮期を中心に有明海奥部と諫早湾の 2 箇所では貧酸素水塊が別々に発生している。特に、九州北部地方で豪雨が記録された 2020(令和 2)年には、1990(平成 2)年～2019(令和元)年の 30 年間にわたる 7 月の平均値の約 3 倍の降水量に伴い、7 月から 8 月にかけての 1 ヶ月程度の長期間にわたって表層塩分は低下し、大規模な貧酸素水塊が発生した。この期間中の 7 月 29 日と 31 日における表層塩分と底層溶存酸素濃度の分布を図 2.6.2-1 に示す。

河川からの大規模出水が底層溶存酸素量の動態に与える影響については、有明海における流体力学モデルと低次生態系モデルを用いた解析によって、大規模出水の総流量が多いと貧酸素状態の継続日数が長くなること等が示唆されている¹⁾。「2.2 河川からの土砂流入」に記載のとおり、近年、九州北部地方では大雨に伴う大規模な出水が発生しており、貧酸素水塊の発生との関連についても、今後の調査研究が必要である。

平成 28 年度委員会報告において、有明海奥部における貧酸素水塊発生の様式図が示された(図 2.6.2-2)。その後、詳細な観測結果の解析の結果、半日スケールでの底層溶存酸素の変動幅(干潮と満潮の差)は干潟縁辺域が大きく、沖合域は小さいことから干潟縁辺域においては底層水の移流が大きく、沖合域は小さい²⁾と推察された。また、水深 5m 程度の干潟縁辺域(A1 海域)と水深 15m 程度の沖合域(A3 海域)では貧酸素状態の継続時間等は大きく異なること²⁾、底層酸素消費は干潟縁辺域が沖合域より大きいことから³⁾、有明海奥部の底層溶存酸素濃度の短期変動及び経年変動を明らかにするため、干潟縁辺域と沖合域とに区分して整理した。

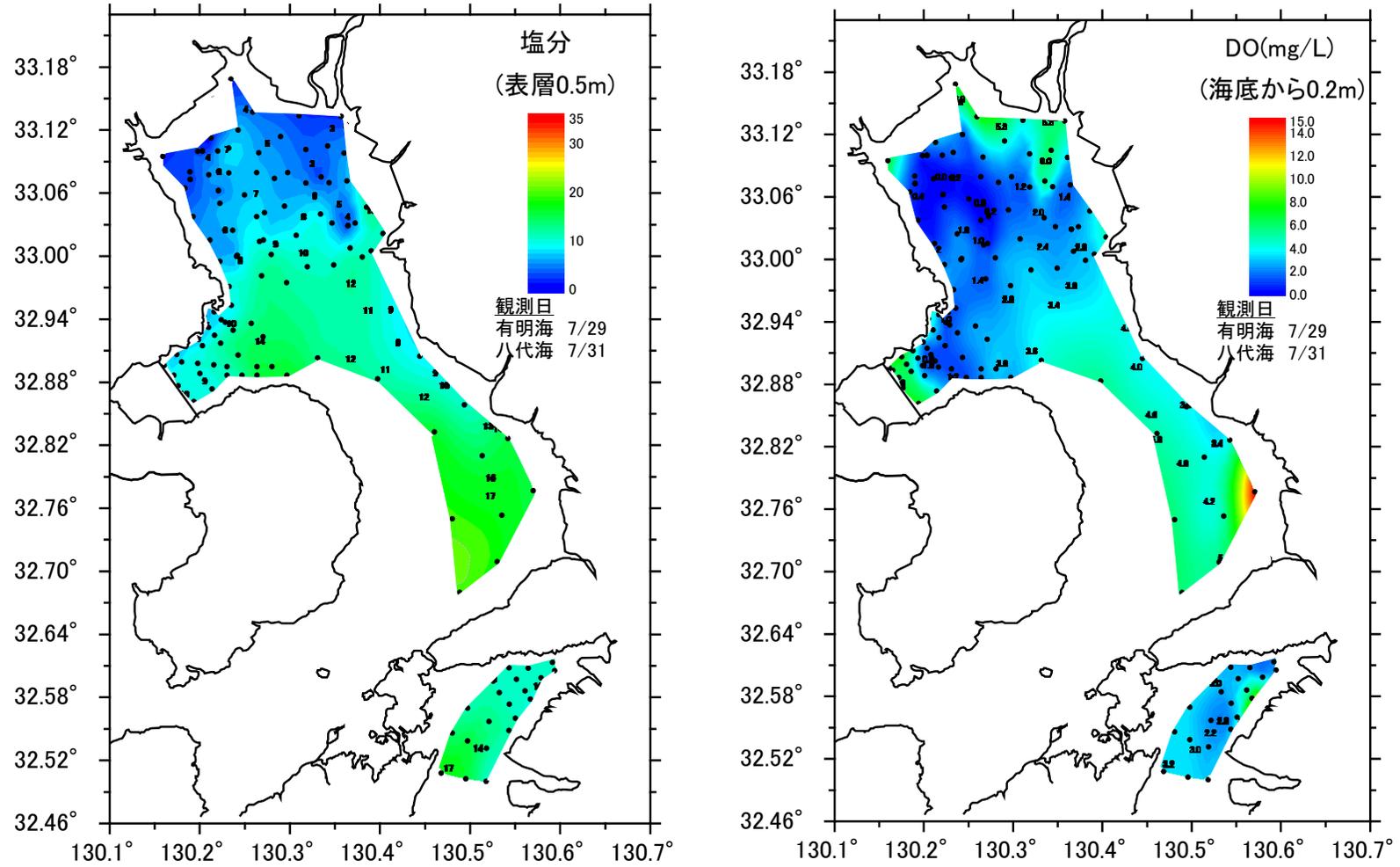
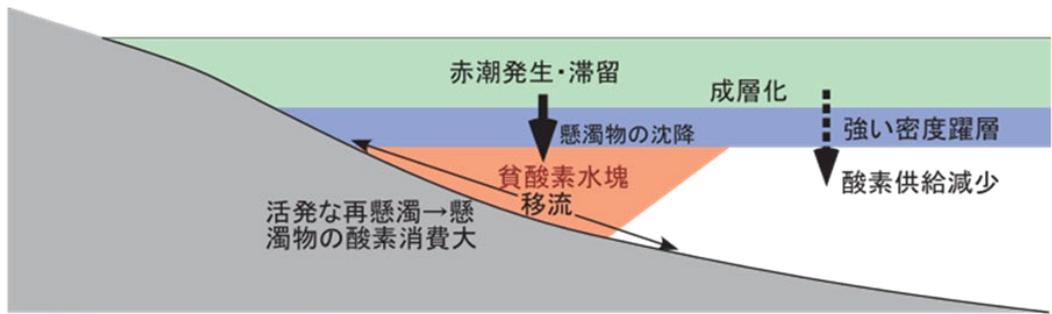


図 2.6.2-1 有明海及び八代海における表層塩分と底層溶存酸素濃度の分布(有明海:2020(令和2)年7月29日、八代海7月31日)

出典:水産技術研究所、農林水産省九州農政局、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、長崎県総合水産試験場、長崎県県南水産業普及指導センター、熊本県水産研究センター、九州大学、佐賀大学、日本クニヤ株式会社による共同一斉観測



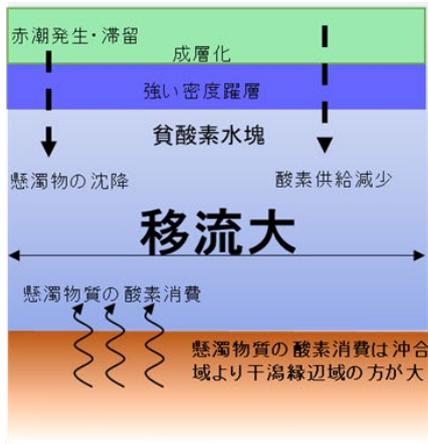
小潮期: 潮流速低下し、成層強化
→ 急激に貧酸素化

大潮期: 潮汐混合活発化 → 貧酸素
緩和

- ① 夏季の出水・沖から沿岸向きの高密度水進入
によって成層発達
- ② 密度躍層が発達し、表層から躍層以深への酸
素供給減少
- ③ 底泥・懸濁物の酸素消費で貧酸素化
- ④ 潮汐によって移動

平成28年度委員会報告

干潟縁辺域(水深5m程度)
A1海域



沖合域(水深15m程度)
A3海域

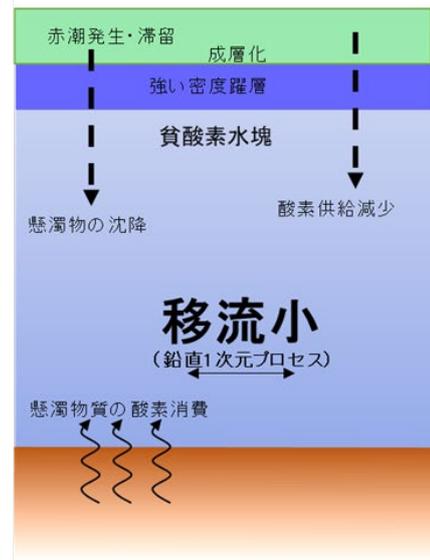


図 2.6.2-2 有明海湾奥部における貧酸素水塊発生の模式図

出典: (上図) 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」
(下図) 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」

2.6.3 貧酸素に関わる酸素消費特性

平成 28 年度委員会報告では、有明海奥部の場合、底泥に比べ海水による酸素消費の寄与が大きく、海水による酸素消費のうちでは、懸濁物質による酸素消費が大きいことが報告されている。その後、徳永ら(2016)は有明海奥部の 2 定点における底層水の生物学的酸素消費と化学的酸素消費の寄与率を現場実験により算出し、観測点によって酸素消費過程が大きく異なることを示した⁴⁾。また、内野ら(2019)は、貧酸素水塊形成時における全酸素消費に対する DOC(溶存態有機炭素)の分解の寄与は全体の約 2.1-4.4%を占めていたことを報告している⁵⁾。さらに、渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* の日周鉛直移動に伴う夜間の底層での呼吸は、有明海で観測される赤潮密度で推定すると、懸濁物及び堆積物に起因する酸素消費とともに貧酸素化へ寄与する可能性が高いことが示されるなど⁶⁾、貧酸素を引き起こす生物学的酸素消費と化学的酸素消費は多様であることが判明している。

2.6.4 貧酸素の経年変化特性

有明海奥部では、平成 28 年度委員会報告以降も毎年貧酸素水塊が発生してベントス群集に影響を及ぼしている。継続的な貧酸素モニタリング結果を用いて貧酸素の経年変化要因を物理的な観点から解析し、干潟縁辺域(T-13:A1 海域)と沖合域(P6:A3 海域)のそれぞれについて貧酸素と潮流との関係が検討されている。干潟縁辺域と沖合域における夏季(7月~9月)の底層溶存酸素濃度 3mg/L 未満(タイラギ稚貝の生残に影響する溶存酸素濃度⁷⁾)の累積時間と底層流速から評価した M_2 潮の潮流振幅の 3 乗との関係を図 2.6.4-1 と図 2.6.4-2 に示す。ここで、海底摩擦による鉛直混合を表す指標として、海底から 0.2m 高さの M_2 潮の潮流振幅の 3 乗を採用した。干潟縁辺域及び沖合域のいずれも相関関係が見られ、 M_2 潮の潮流振幅の 3 乗が大きければ、鉛直混合が大きく密度成層は形成しにくく⁸⁾、底層溶存酸素濃度 3mg/L 未満の累積時間は小さくなることが示唆された。逆に、 M_2 潮の潮流振幅の 3 乗が小さければ、鉛直混合が小さく密度成層は形成しやすく、底層溶存酸素濃度 3mg/L 未満の累積時間は大きくなることを示唆された。ただし、底層溶存酸素の変動は、河川からの淡水供給、干潟縁辺域における密度成層の形成、潮流振幅の変化⁸⁾等が影響しており、貧酸素化のプロセスは完全に説明できないため、今後定量的な評価に関する調査研究が必要である。

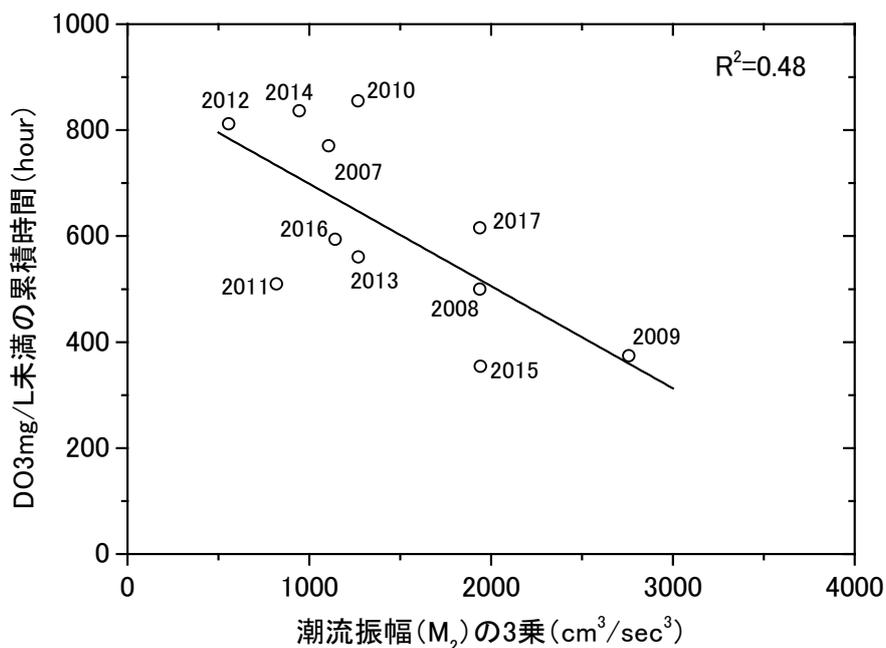


図 2.6.4-1 干潟縁辺域(T13)における底層潮流振幅の3乗と7月～9月におけるDO3mg/L未満の累積時間との関係

出典:平成29年度水産庁委託「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)」をもとに環境省が作成した

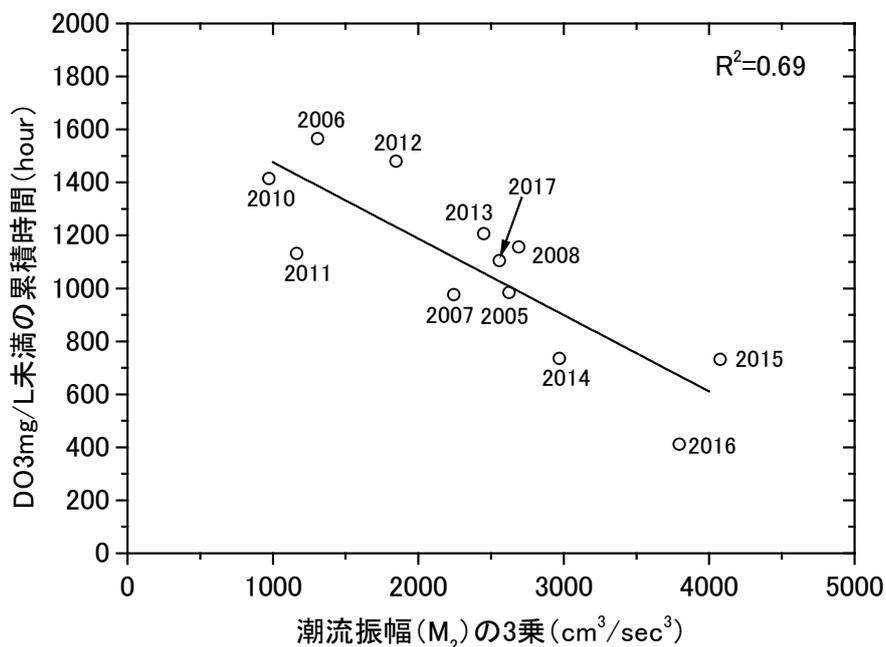
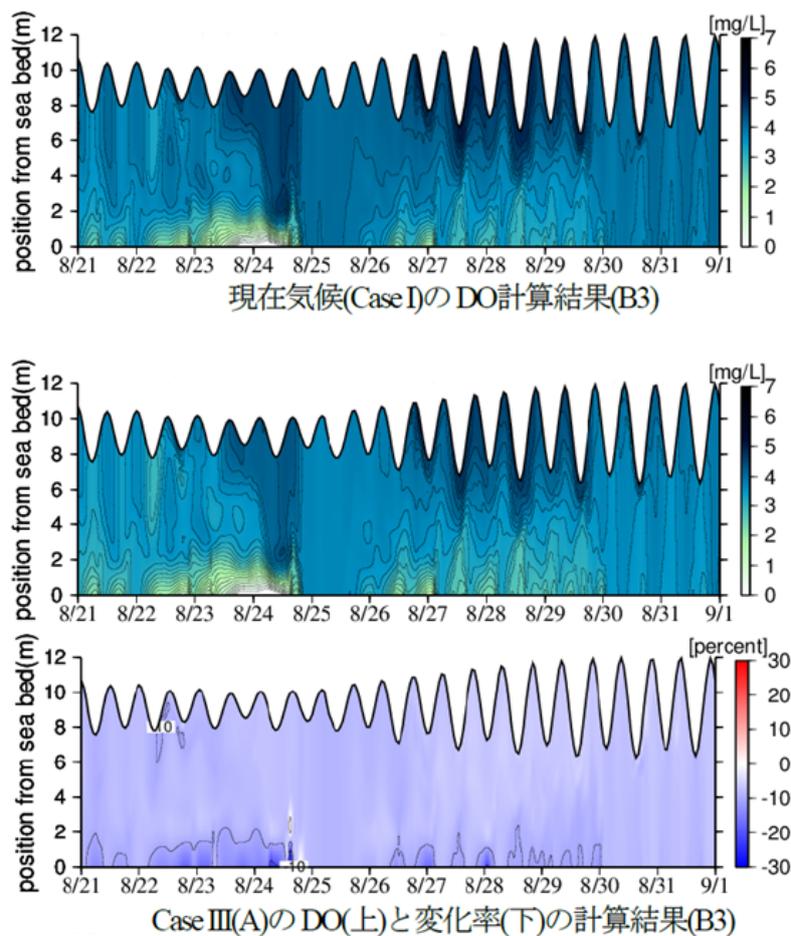


図 2.6.4-2 沖合域(P6)における底層潮流振幅の3乗と7月～9月におけるDO3mg/L未満の累積時間との関係

出典:平成29年度水産庁委託「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)」をもとに環境省が作成した

2.6.5 気候変動が底層溶存酸素濃度に与える影響

田所・矢野(2019)は、有明海を対象として準3次元流動モデルと3次元低次生態系モデルにより疑似温暖化実験を行い、気候変動による溶存酸素濃度分布への影響評価を試みた⁹⁾。その結果、温暖化により気温上昇が進んだ場合、底層の貧酸素水塊の発達が助長されることが示唆されている(図 2.6.5-1)。ただし、本モデルでは底質の違いや巻き上げられた懸濁物による酸素消費は考慮されておらず、今後さらなる検討が必要と考えられる。



項目	Case I (現在気候)	Case III (A) (気温上昇が進んだ場合)
計算条件	諫早湾の B3 地点における 2015(平成 27)年 8 月 21 日から 9 月 1 日までを対象に DO 濃度の数値シミュレーションを実施	
気温	同時期の気温データを使用	Case I の気温に一律 4°Cを加えた
河川水温	同時期の河川水温データを使用	Case I で得られた気温と河川水温との相関式から、気温が 4°C上昇した場合の河川水温の上昇幅を求め、これを Case I の河川水温に加えた
外海水温	同時期の外海水温データを使用	上記で得られた河川水温の上昇幅の平均値を Case I の外海水温に加えた

図 2.6.5-1 疑似温暖化実験による DO とその変化率の計算結果

出典: 田所壮也, 矢野真一郎(2019): 気候変動による温度や河川流量の変化が与える有明海の貧酸素水塊の消長への影響の評価, 土木工学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No. 2, pp. 1231-1236 をもとに環境省が作成した。

2.6.6 まとめ

有明海の浅海定線調査(基本的に毎月 1 回大潮満潮前後に調査)によると、データのある 1972(昭和 47)年度以降、6 地点のうち佐賀県の 4 地点(有明海湾奥奥部の 2 地点、有明海湾奥西部及び有明海湾中央部)において、底層溶存酸素量は経年的に有意に減少する傾向がみられた。

有明海では、毎年夏季の小潮期を中心に有明海奥部と諫早湾の 2 箇所で貧酸素水塊が別々に発生している。特に九州北部地方で豪雨が記録された 2020 年には、1 ヶ月程度の長期間にわたって表層塩分は低下し、大規模な貧酸素水塊が発生した。

河川からの大規模出水が底層溶存酸素量の動態に与える影響については、有明海における流体力学モデルと低次生態系モデルを用いた解析によって、大規模出水の総流量が多いと貧酸素状態の継続日数が長くなること等が示唆されている。近年、九州北部地方では大雨に伴う大規模な出水が発生しており、貧酸素水塊の発生との関連についても、今後の調査研究が必要である。

平成 28 年度委員会報告では、有明海奥部の場合、底泥に比べ海水による酸素消費の寄与が大きく、海水による酸素消費のうちでは、懸濁物質による酸素消費が大きいことが報告されている。その後、酸素消費には、DOC の分解や、渦鞭毛藻の呼吸も貧酸素化に一定の寄与がある可能性が示されており、貧酸素を引き起こす生物学的酸素消費と化学的酸素消費は多様であることが判明している。

有明海奥部の干潟縁辺域とその沖合域では、貧酸素の状況を示す夏季の底層溶存酸素濃度 3mg/L 未満(タイラギ稚貝の生残に影響する溶存酸素濃度)の累積時間と、潮流の状況を示す底層流速から評価した M_2 潮の潮流振幅の 3 乗との間には有意な相関が見られ、潮流振幅と貧酸素水塊の累積時間に関係があることが示唆された。ただし、底層溶存酸素の変動は、河川からの淡水供給、干潟縁辺域における密度成層の形成、潮流振幅の変化等が影響しており、貧酸素化のプロセスは完全に説明できないため、今後定量的な評価に関する調査研究が必要である。

有明海を対象とした疑似温暖化実験では、温暖化により気温上昇が進んだ場合、底層の貧酸素水塊の発達が助長されることが示唆されている。ただし、本モデルでは底質の違いや巻き上げられた懸濁物による酸素消費は考慮されておらず、今後さらなる検討が必要と考えられる。

参考文献

- 1) Lin HAO, Yuya SATO, Shinichiro YANO, Bing XIONG, Baixin CHI (2021) : Effects of Large-Scale Effluent of the Chikugo River due to 2020 Kyushu Floods on the Development of Hypoxia in the Ariake Sea, 土木工学会論文集 B2(海岸工学), Vol.77, No.2, pp.865-870
- 2) 徳永貴久, 児玉真史, 木元克則, 柴原芳一 (2009) : 有明海湾奥西部海域における貧酸素水塊の形成特性, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. B2-65, No.1, pp. 1011-1015
- 3) 児玉真史, 徳永貴久, 木元克則, 柴原芳一 (2009) : 夏季の有明海奥部における基礎生産速度と有機懸濁物質の分解特性, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. B2-65, pp.1006-1010
- 4) 徳永貴久, 速水祐一, 木元克則 (2016) : 有明海奥部の 2 定点における底層水の生物学的酸素消費と化学的酸素消費, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 72, No.1, pp.12-21
- 5) 内野宏治, 猪股はるか, 田原沙紀, 高巢裕之 (2019) : 有明海奥部における酸素消費に対する水柱中の有機炭素分解の寄与, 水環境学会誌, 42 巻, 5 号, pp. 195-200
- 6) 徳永貴久, 松山幸彦, 長副 聡 (2021) : 渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* の日周鉛直移動に伴う底層の酸素消費, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.77, No. 1, pp. 55-64
- 7) Sou Nagasoe, Takahisa Tokunaga, Tatsuya Yurimoto, and Yukihiro Matsuyama (2020) : Survival and behavior patterns associated with hypoxia at different life stages of the pen shell *Atrina cf. japonica*, *Aquatic Toxicology*, Vol. 227, 105610
- 8) 徳永貴久, 田井 明, 木元克則 (2013) : 有明海湾奥西部の干潟縁辺域における DO 経年変動特性, 土木学会論文集 B3(海洋開発), 69 巻, 2 号, pp. L1018-L1023
- 9) 田所壮也, 矢野真一郎 (2019) : 気候変動による温度や河川流量の変化が与える有明海の貧酸素水塊の消長への影響の評価, 土木工学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No. 2, pp. 1231-1236

2.7 藻場・干潟等

藻場・干潟は、水質浄化や生物多様性の維持(多様な生物種の保全、産卵場や成育場の提供)等多様な機能を有し、良好な水環境を維持する上で重要な役割を果たしており、近年ではブルーカーボンとしての役割も期待されている。特に、有明海・八代海等の泥質干潟は、国内で本海域のみに生息する固有種の生息環境として、希有な生態系を形成するとともに、我が国有数の渡り鳥の中継地又は越冬地ともなっており、一部の干潟は、シギ・チドリ類等が数多く飛来する重要な場として、ラムサール条約登録湿地となっている。

2.7.1 有明海・八代海の藻場・干潟

環境省では、2018(平成 30)年度から 2019(令和元)年度において衛星画像解析手法を用いて、有明海及び八代海における藻場・干潟の最新の分布状況について定量的な把握が行われている(データ集 2.7.1)。

衛星画像解析による有明海及び八代海における藻場・干潟分布図は図 2.7.1-1 に示すとおりであり、これらを集計した面積としては、有明海においては藻場が 1,456.8ha、干潟が 18,799.3ha、八代海においては藻場が 2,385.0ha、干潟が 4,992.4ha であった。(表 2.7.1-1)

今後も、衛星画像解析手法等の最新技術を用いた定期的な藻場・干潟の分布状況の把握が必要である。

< 藻場 >

< 干潟 >

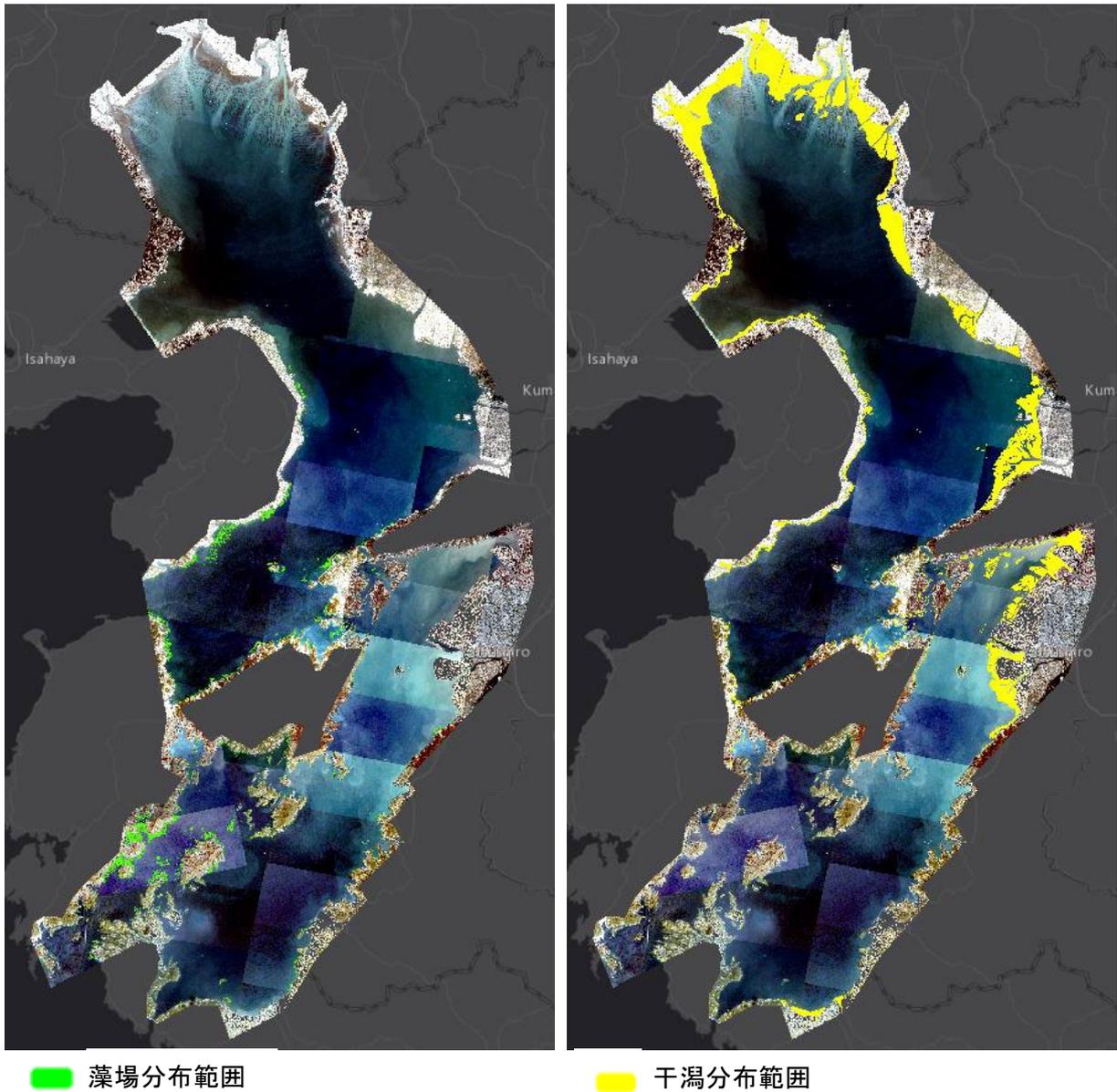


図 2.7.1-1 有明海・八代海における藻場・干潟分布図(左:藻場、右:干潟)

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第6回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

表 2.7.1-1 有明海・八代海における藻場・干潟面積

海域	藻場面積(ha)	干潟面積(ha)
有明海	1,456.8	18,799.3
八代海	2,385.0	4,992.4
有明海・八代海合計	3,841.7	23,791.7

※小数点第2位以下を四捨五入しているため、合計値が合致しない場合がある。

出典:環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第6回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

一方で、有明海・八代海の藻場・干潟の経年的な分布状況の把握は、これまで第 2 回、第 4 回及び第 5 回の自然環境保全基礎調査で行われてきたが、近年における藻場・干潟の分布状況を把握するためには、これら既往調査(自然環境保全基礎調査)と同様の手法で調査する必要がある。このため、2018(平成 30)年度から 2019(令和元)年度において、有明海・八代海の一部エリアを対象にヒアリング調査による藻場・干潟の分布状況の調査が行われた。これまでの調査結果は表 2.7.1-2 に示すとおりである。なお、ヒアリング調査結果は、一部エリアの集計結果である点、エリアによっては藻場・干潟が減少している点、調査時期による差異がある点に留意が必要である。

変動の要因としては、漁業管理や再生活動等(藻場)、土砂堆積(干潟)、水温の上昇や食害等(藻場)、出水による土砂流出等(干潟)が挙げられるが、詳細は不明であり、今後、要因分析が必要である。

表 2.7.1-2 藻場・干潟の面積にかかる調査結果

海域		既往知見			ヒアリング調査 (ha)
		第 2 回自然環境 保全基礎調査 (ha)	第 4 回自然環境 保全基礎調査 (ha)	第 5 回自然環境 保全基礎調査 (ha)	
		1978 (昭和53) 年度	1989 (平成元) ~1991 (平成 3) 年度	1997 (平成 9) 年度	
藻場	有明海	1,186	880	786	863
	八代海	460	453	521	645
藻場合計		1,647	1,333	1,308	1,508
干潟	有明海	18,887	18,009	17,765	18,819
	八代海	2,746	2,687	2,661	2,794
干潟合計		21,633	20,696	20,606	21,613

注) 1. 第 2 回及び第 4 回自然環境保全基礎調査は水深 20mまでの結果であり、第 5 回自然環境保全基礎調査は水深 10mまでの結果である。

2. 小数点以下を四捨五入しているため、合計値が合致しない場合がある。また、経年変化の割合は四捨五入した後の値で試算した。

3. 上表の藻場・干潟の面積は、2018(平成 30)年度から 2019(令和元)年度に実施したヒアリング調査と同じ範囲のみを対象に整理した面積であり、平成 28 年度委員会報告に記載されている面積とは異なることに留意が必要である。

出典: 環境省(2020)「有明海・八代海等総合調査評価委員会 第 6 回海域環境再生方策検討作業小委員会資料」

また、有明海に注ぐ熊本市の白川や、八代海に注ぐ宇城市の大野川の河口域の干潟で、特定外来生物である *Spartina* 属植物によるコロニー形成が確認されている。この *Spartina* 属植物による群落はその密度の高さと成長の速さから、干潟を草原化・陸地化することが危惧されており¹⁾、専門家、国、県、関係市等が連携して、2015(平成 27)年から防除が行われている。

なお、自然海岸の状況に関しては、新たな知見は得られていない。

2.7.2 海洋ごみ

日本の沿岸には毎年、多くのごみが沿岸域に漂着しており、有明海、八代海等においても、国、地方公共団体、関係者が連携し、生物の生息環境を含めた海洋環境の保全、港湾・漁港施設や海岸保全施設の適正な管理、航行船舶の安全確保等の観点から、流木等の海洋ごみの回収・処理等が行われている。ここでは、環境省と国土交通省で把握している海洋ごみの回収量に限定して整理する。

環境省では、地方公共団体での海洋ごみの回収・処理に財政的支援を行い、2020(令和2)年度には、有明海で約1,744t、八代海で約996tの海洋ごみの回収・処理が行われた(図2.7.2-1)。

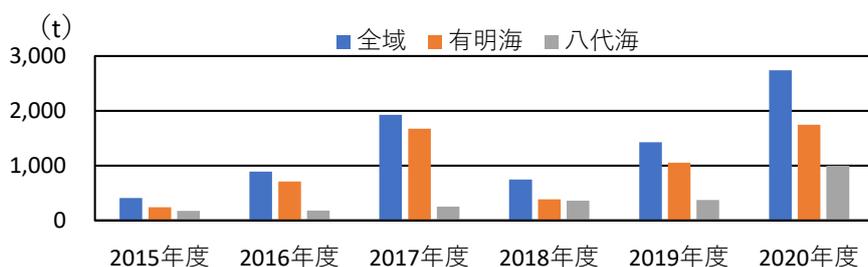


図 2.7.2-1 有明海・八代海における海洋ごみの回収量の推移

出典: 環境省資料

また、国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所では、海洋環境整備船を配備し、有明海・八代海における海面清掃を行っており、2020(令和2)年度には有明海で372m³、八代海で1,734m³のごみが回収された(図2.7.2-2)。

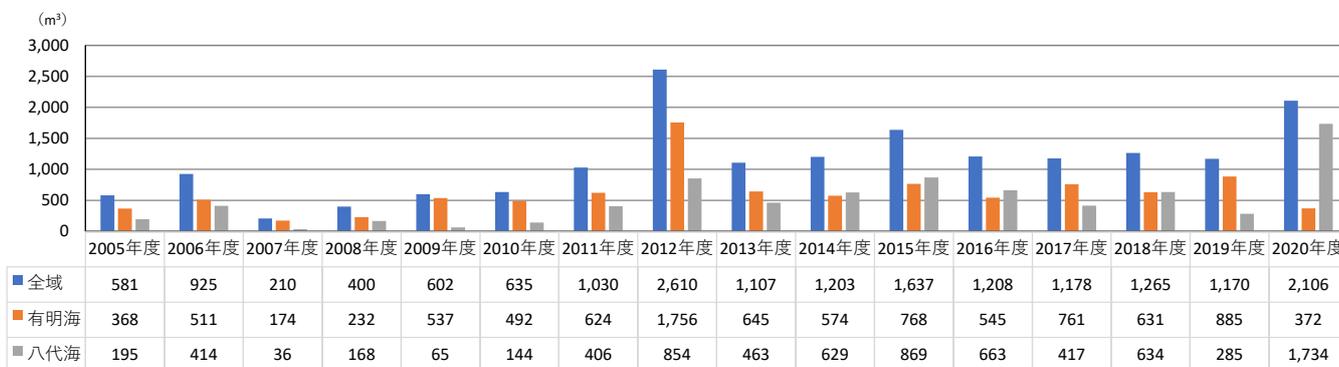


図 2.7.2-2 有明海・八代海における国の海洋環境整備船(海輝・海煌)によるごみ回収量の推移

出典: 国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所 HP より作成

なお、「令和2年7月豪雨」による有明海・八代海への漂流物流入を受けて、海洋環境整備船「海輝」「海煌」「がなりゅう」の3隻のほか、災害協定団体、沿岸県や漁業者団体が連携し、漂流物の回収が2020(令和2)年7月4日～31日に実施され、当該28日間で15,883m³の漂流物が回収された。この回収量のうち「海輝」「海煌」の回収量は、図2.7.2-2に示す2020(令和2)年度のごみ回収量に含まれている。

2.7.3 まとめ

藻場・干潟は、水質浄化や生物多様性の維持等多様な機能を有し、良好な水環境を維持する上で重要な役割を果たしており、近年ではブルーカーボンとしての役割も期待されている。

衛星画像解析手法による有明海・八代海の藻場・干潟面積は、有明海で藻場が1,456.8ha、干潟が18,799.3ha、八代海で藻場が2,385.0ha、干潟が4,992.4haであった。今後も、衛星画像解析手法等の最新技術を用いた定期的な藻場・干潟の分布状況の把握が必要である。

また、2018(平成30)年度から2019(令和元)年度において有明海・八代海の一部エリアを対象にヒアリング調査が実施されたが、一部エリアの集計結果である点、エリアによっては藻場・干潟が減少している点、調査時期による差異がある点に留意が必要である。変動の要因としては、漁業管理や再生活動等(藻場)、土砂堆積(干潟)、水温の上昇や食害等(藻場)、出水による土砂流出等(干潟)が挙げられるが、詳細は不明であり、今後、要因分析が必要である。

熊本市及び宇城市の河川河口域では、外来特定生物の *Spartina* 属植物による干潟の草原化が危惧されており、専門家、国、県、関係市等が連携して、2015(平成27)年から防除が行われている。

海洋ごみについては、国、地方公共団体、関係者が連携し回収・処理等が行われている。漂流物の発生量は、その年の豪雨等の有無に影響を受けると考えられ、生物の生息環境を含めた海洋環境の保全、港湾・漁港・海岸保全施設の適正な管理、航行船舶の安全確保のために、引き続き連携した取組が必要である。

参考文献

- 1) 玉置雅紀, 瀧崎吉伸 (2015) : 国内における *Spartina* 属植物の侵入実態とその影響, 水環境学会誌, Vol.38(A), No. 2, pp.61-66

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。

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。

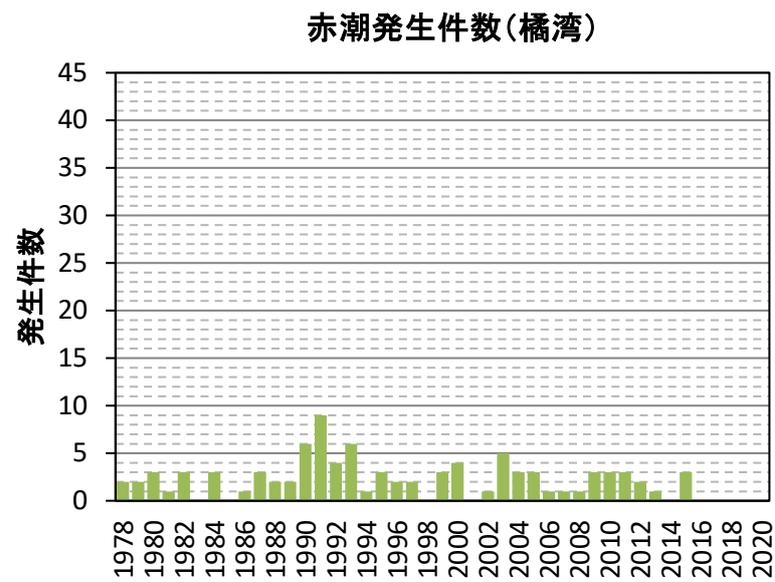
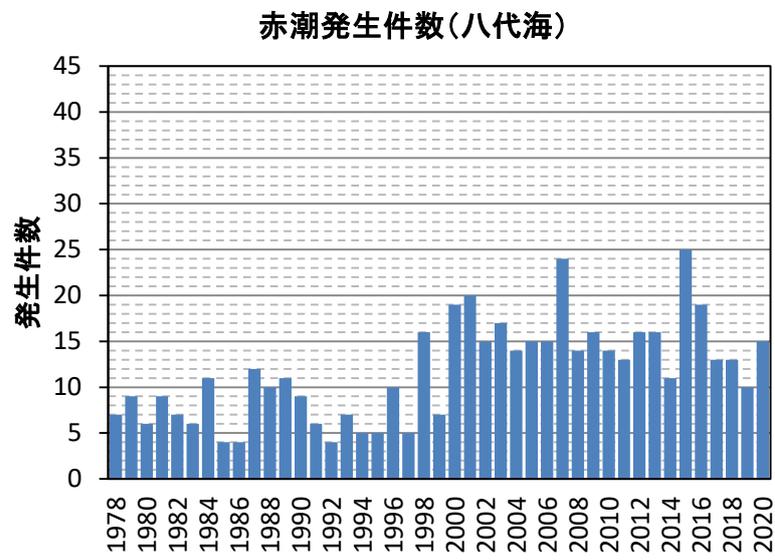
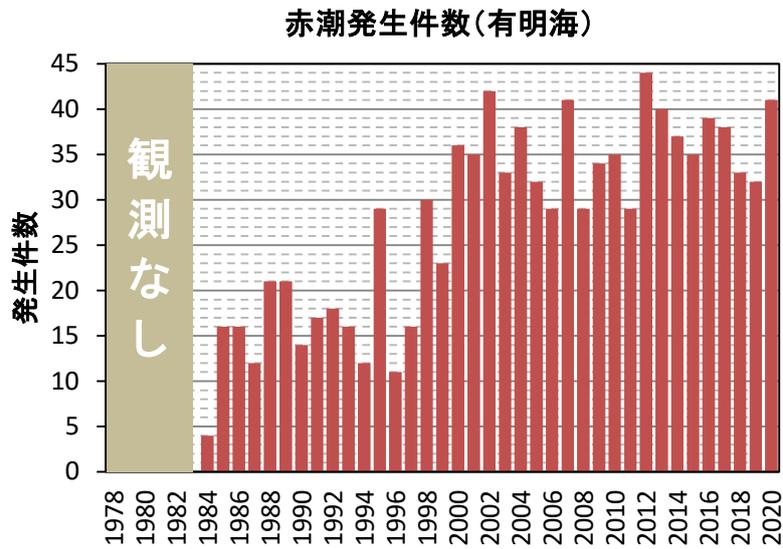


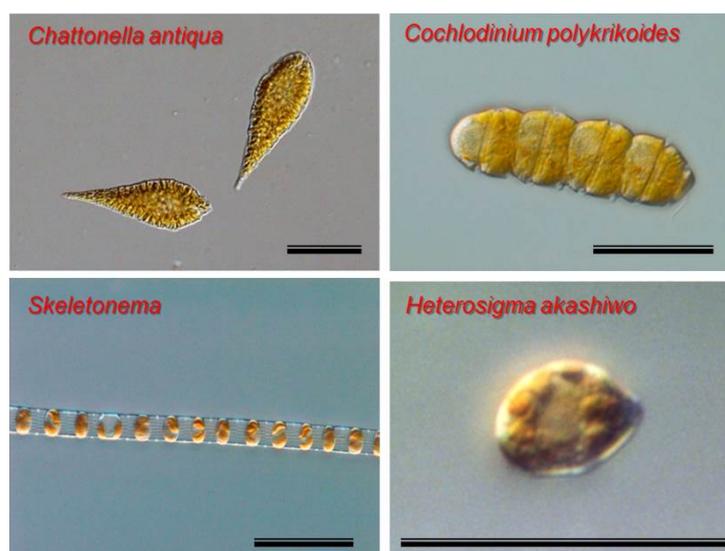
図 2.8.1-1 有明海、八代海及び橘湾における赤潮発生件数の推移

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²⁾(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 μ 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。

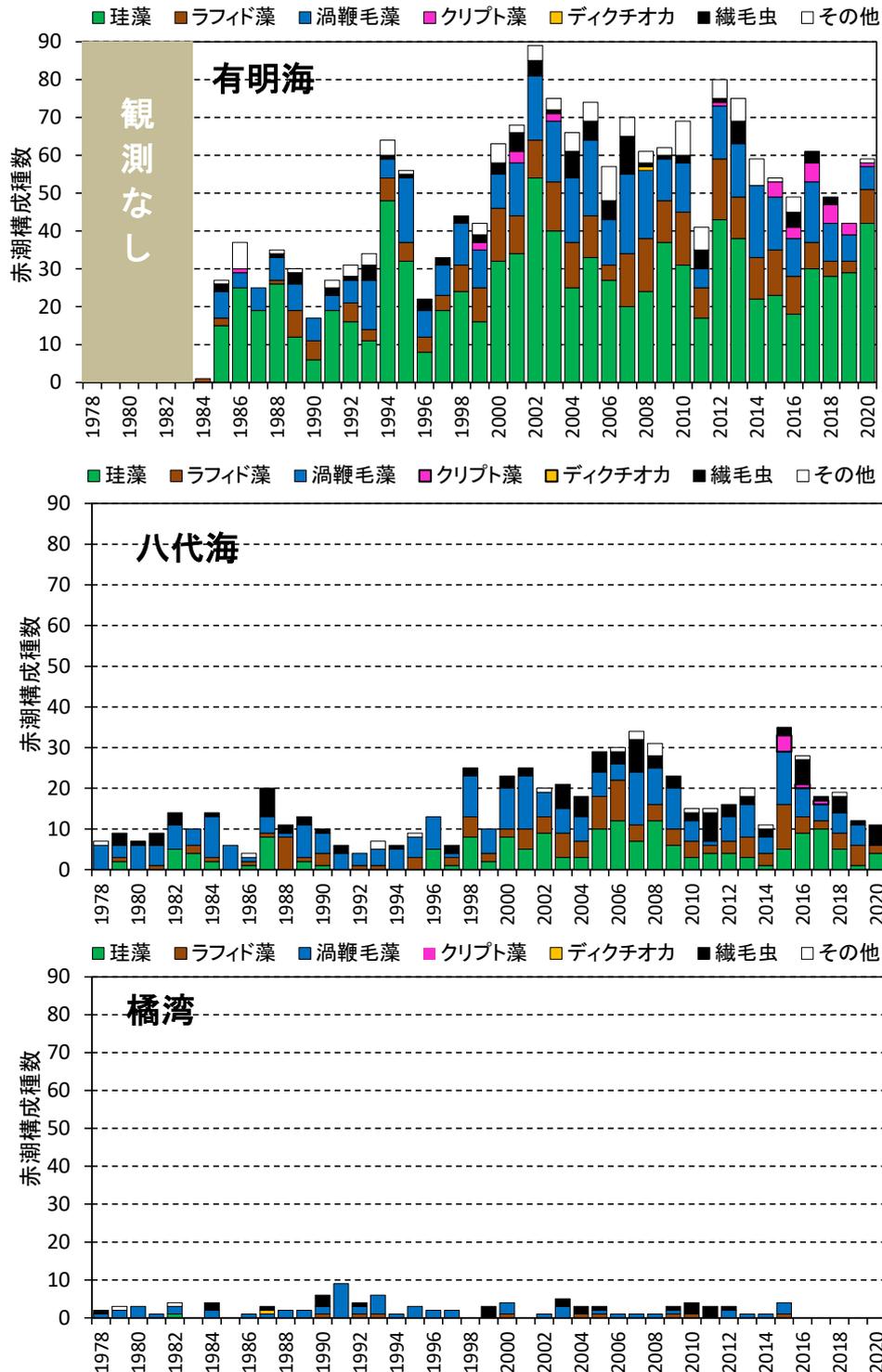


図 2.8.2-2 有明海、八代海及び橘湾における赤潮構成種数の推移

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。

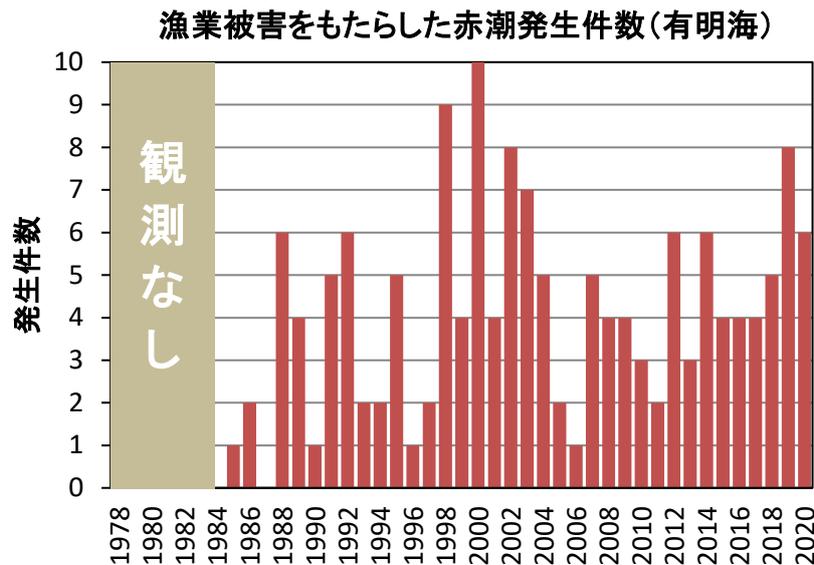


図 2.8.3-1 有明海において漁業被害をもたらした赤潮発生件数(年間)の推移
 出典:水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮(昭和53年～令和2年)」をもとに環境省が作成した。

(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³⁾。

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。

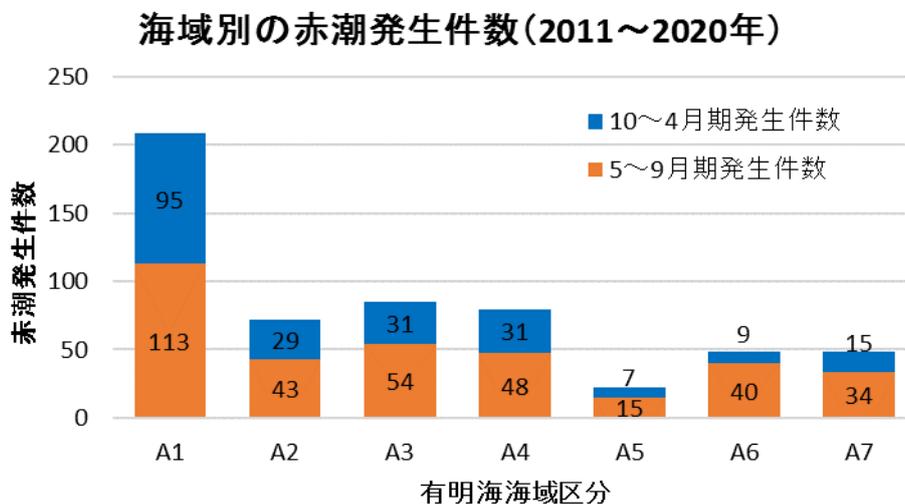
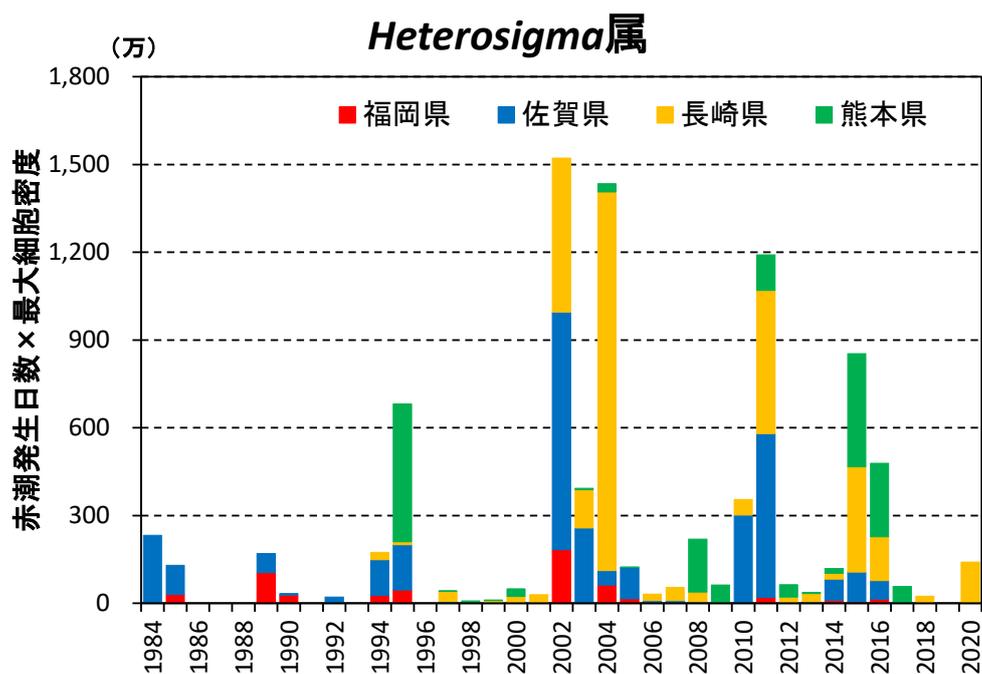
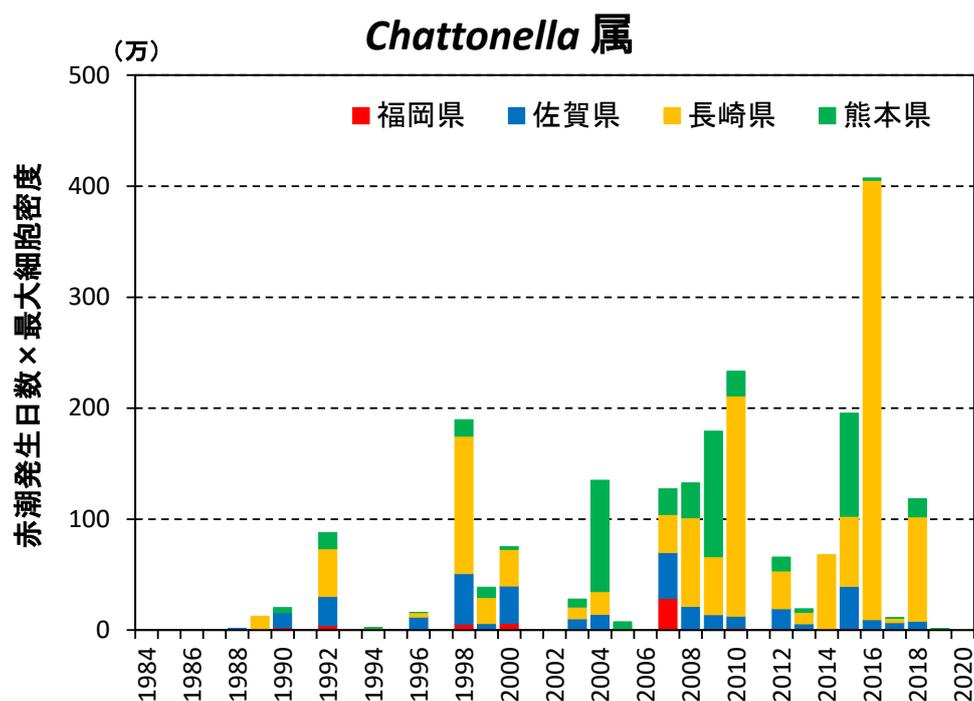


図 2.8.3-2 有明海における海域区分別赤潮発生件数(2011(平成 23)年～2020(令和 2)年の累計値)

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」

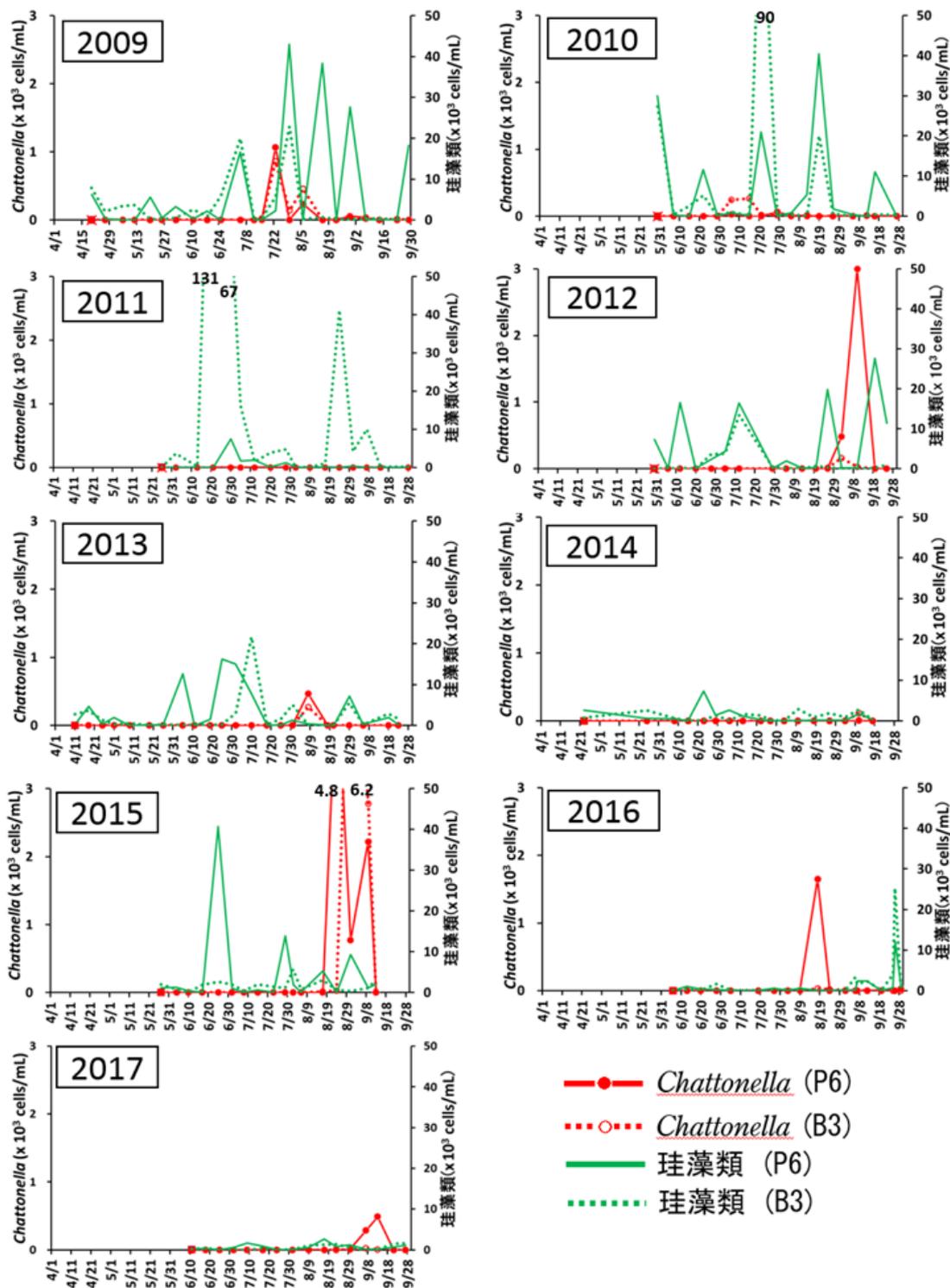


図 2.8.3-5 有明海奥部(測点 P6)及び諫早湾(測点 B3)における *Chattonella* 属と珪藻類の出現特性(2009(平成 21)年~2017(平成 29)年)

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

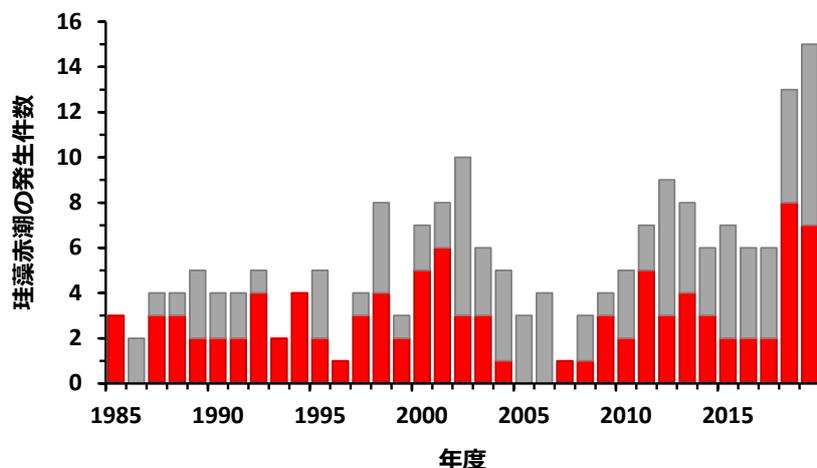
(2) 赤潮によるノリ養殖被害

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⁴⁾。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。^{5)、6)、7)}(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。

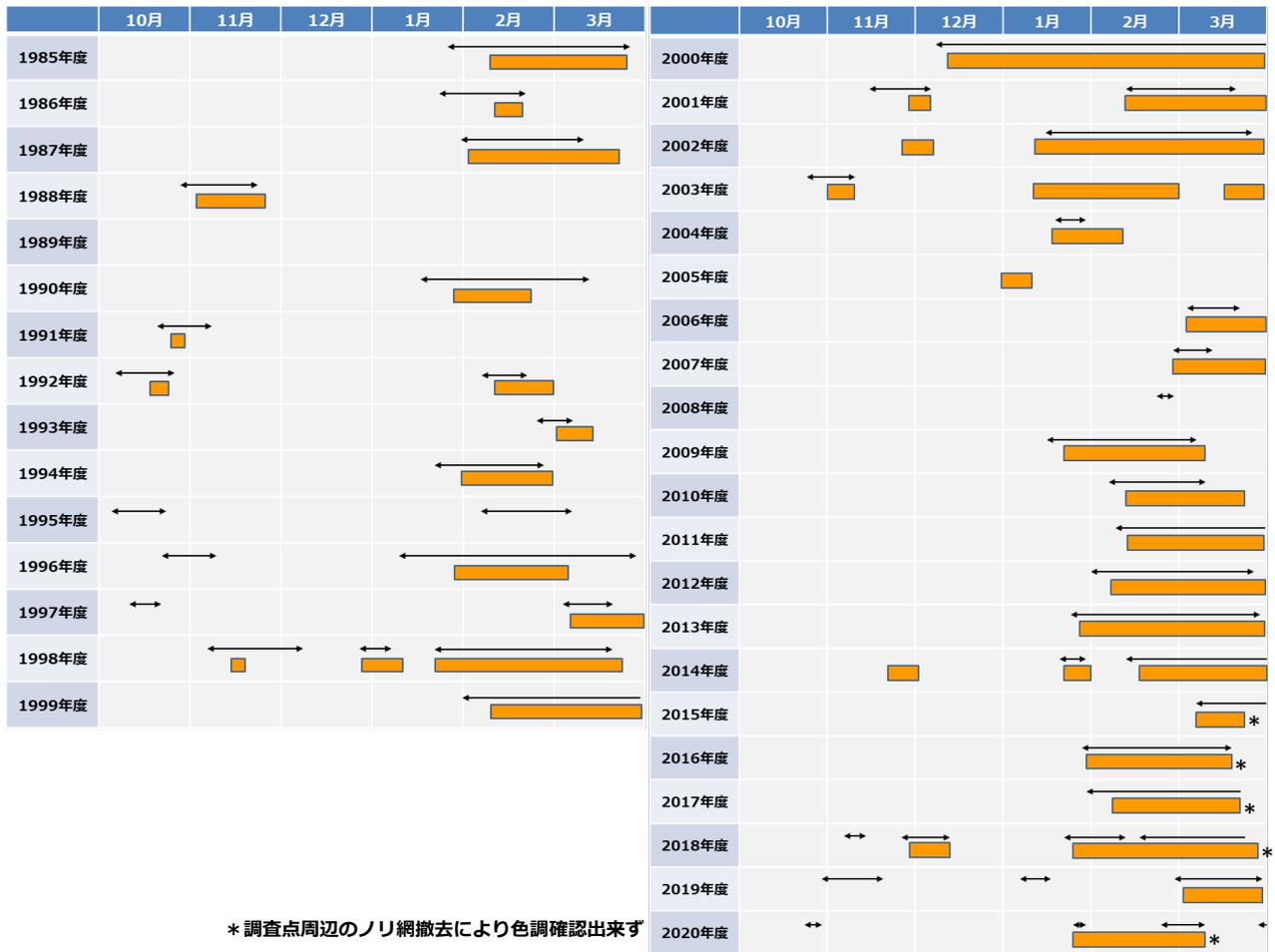
ノリの色落ちと珪藻赤潮との関係を検証するため、有明海福岡県海域を例に、1985(昭和 60)年度以降のノリの色落ちの発生期間と珪藻赤潮の発生期間とを対比した(図 2.8.3-7)。その結果、多くの場合、ノリの色落ちに先行する形で珪藻赤潮が発生しており、珪藻赤潮の発生とノリの色落ち被害とが密接に関係していることが示唆された。すなわち、珪藻類が赤潮を形成することによって、海水中の栄養塩濃度が急激に低下し、ノリ養殖に必要とされる栄養塩が減少する結果、色落ちが生じているものと推察される。



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。

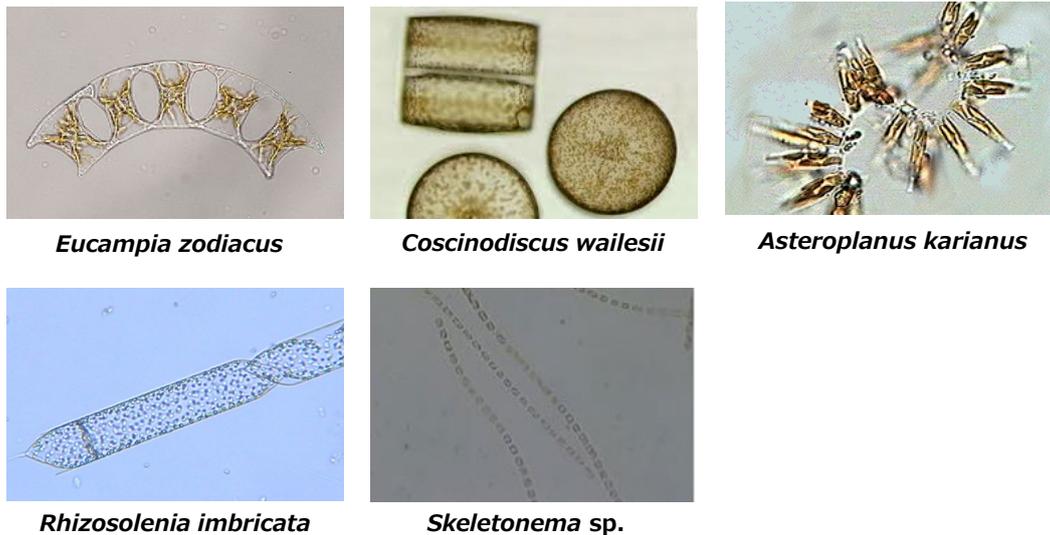


図 2.8.3-8 ノリの色落ちの原因となる主な珪藻類

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 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^{8)、9)、10)、11)、12)}。

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¹³⁾ (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)。

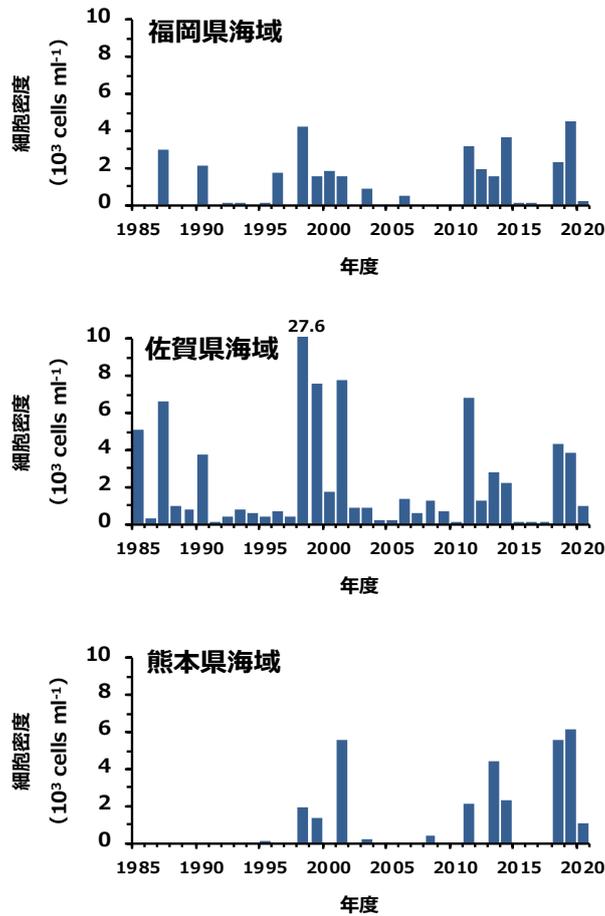


図 2.8.3-9 有明海福岡県海域、佐賀県海域及び熊本県海域における *Eucampia zodiacus* の最高細胞密度の経年変化

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)」

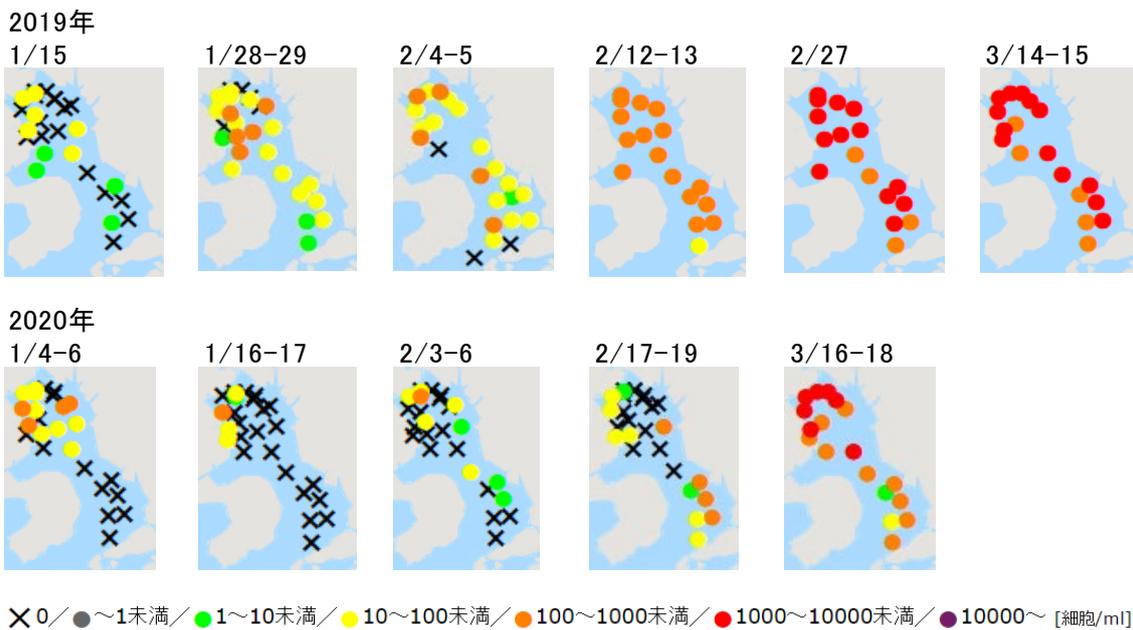


図 2.8.3-10 *Eucampia zodiacus* の出現状況の変化(2019(令和元)年1月~3月及び2020(令和2)年1月~3月)

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 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^{14), 15), 16)}。

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。

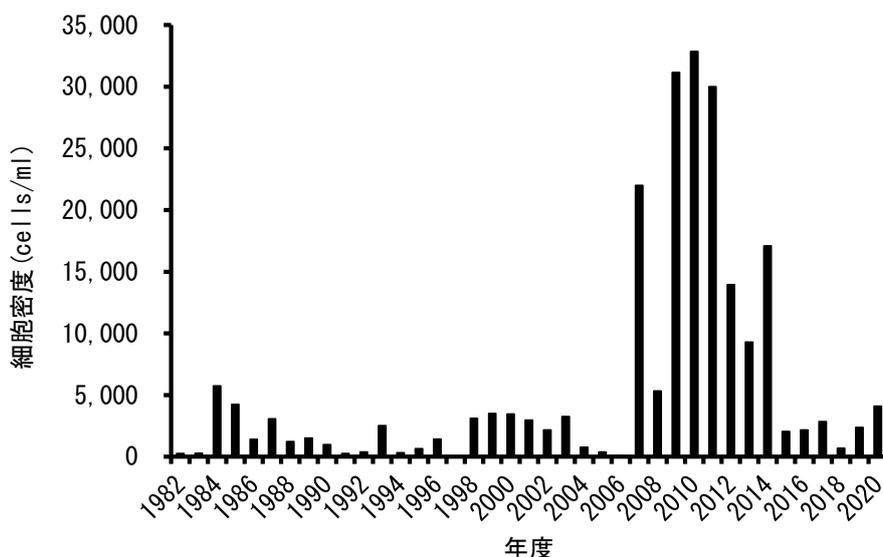
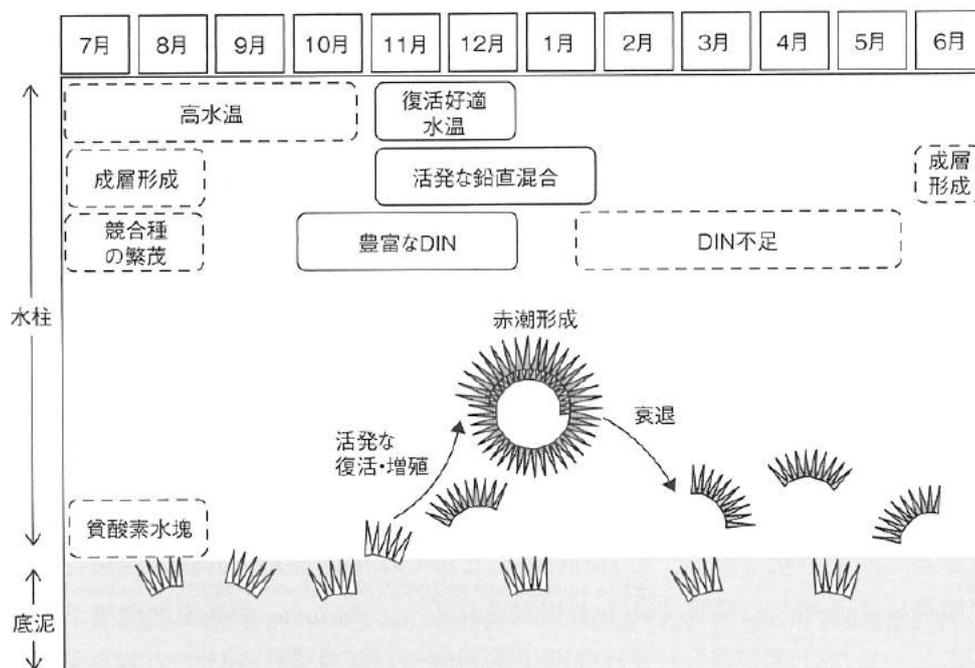


図 2.8.3-11 有明海佐賀県海域における *Asteroplanus karianus* の最高細胞密度の変動

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¹⁷⁾。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¹⁷⁾。



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¹⁸⁾。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、冬季に発生する赤潮は、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¹⁹⁾、²⁰⁾(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～冬季の奥部海域では、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²¹⁾(図 2.8.3-15)。

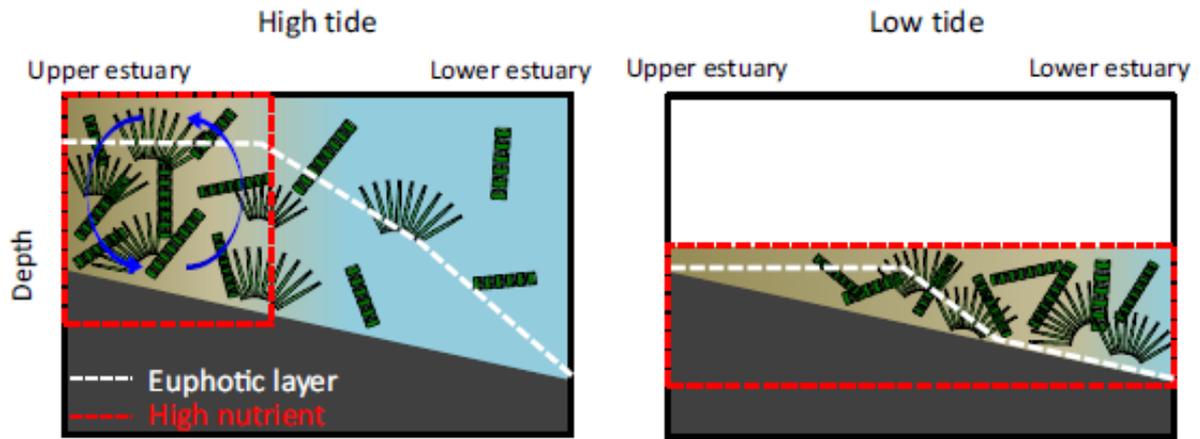


図 2.8.3-13 河口域の満潮時(左)及び干潮時(右)における水塊と珪藻の挙動に関する模式図

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.

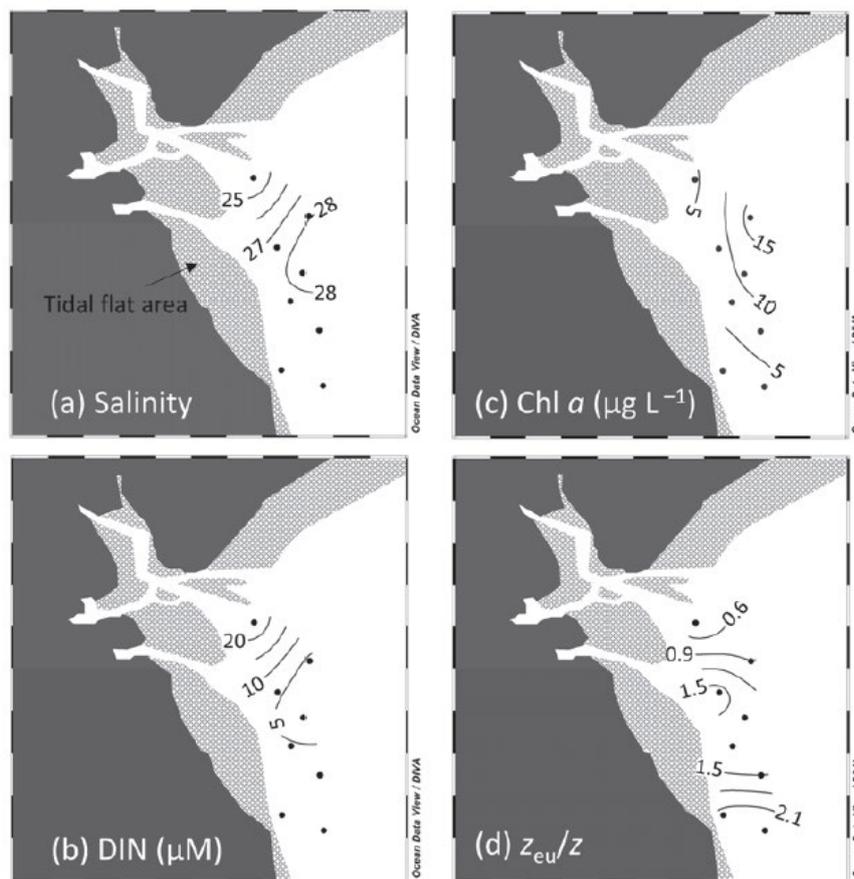


図 2.8.3-14 佐賀県塩田川及び鹿島川の河口沖合域における干潮時の塩分、溶存無機態窒素濃度、クロロフィル *a* 濃度、有光層/水深比の水平分布

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.

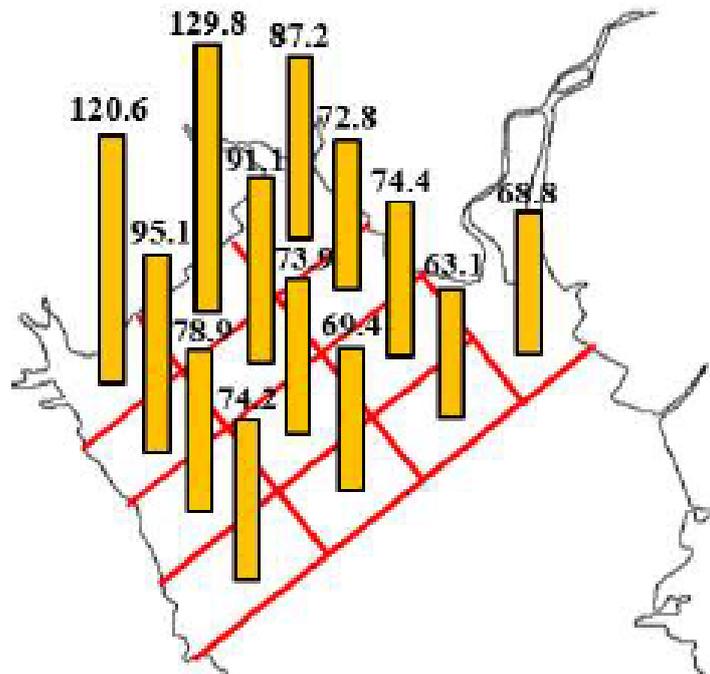


図 2.8.3-15 秋期～冬期の有明海奥部海域の各小領域における滞留時間分布(hour)

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