

ノリ養殖に係る資料の収集・整理・分析状況

珪藻赤潮の発生機構、被害軽減対策技術の開発・高度化

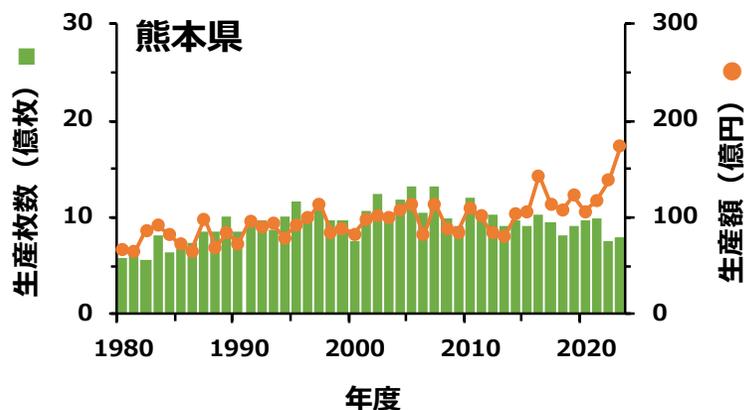
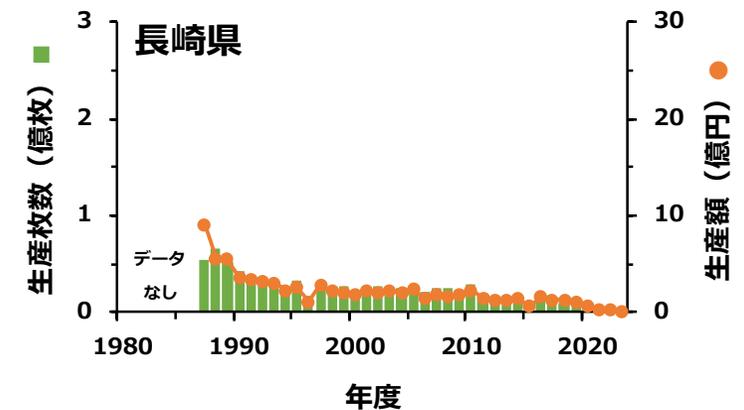
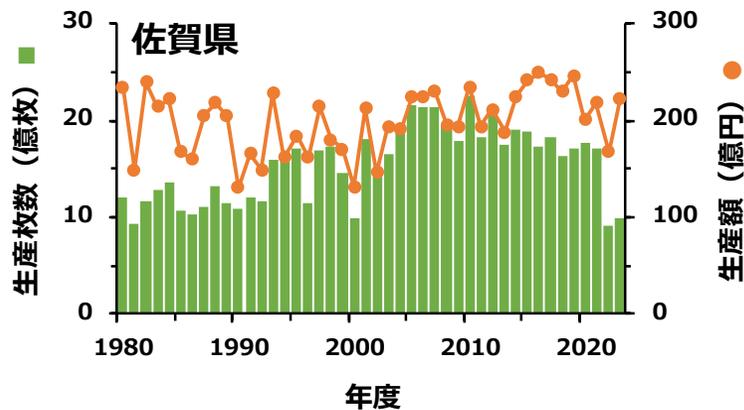
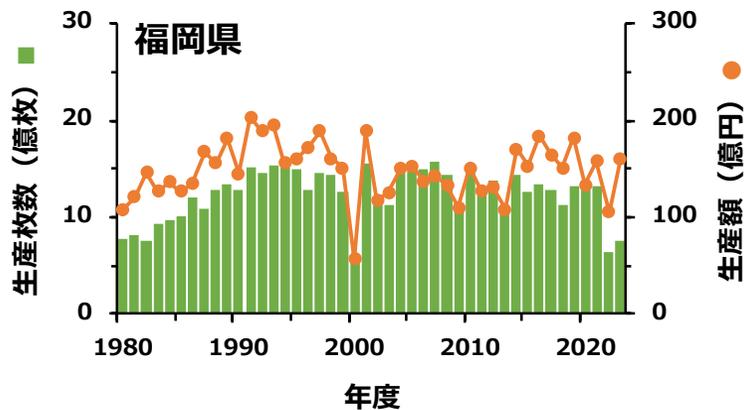
令和7年1月
有明海・八代海勉強会

- 水産庁委託「赤潮・貧酸素水塊対策事業」（九州海域）（H25～H29年度）
- 水産庁委託「漁場環境改善推進事業」（赤潮被害防止対策技術の開発）（H30～R4年度）
- 水産庁委託「豊かな漁場環境推進事業」（赤潮等による漁業被害への対策技術の開発・実証・高度化）（R5年度～）

本資料の説明内容

1. 川生産量
2. 赤潮発生状況
3. 水産庁事業による広域モニタリング
4. 情報共有
5. 赤潮発生機構と予察手法

1. ノリ生産量（有明海4県におけるノリの生産枚数と生産額）



2005年度～2021年度

	生産枚数(枚)	生産額(円)
福岡県	10～15億	100～184億
佐賀県	17～22億	187～249億
熊本県	8～13億	81～143億
長崎県	0.03～0.29億	0.3～2.4億

2022年度～2023年度

	生産枚数(枚)	生産額(円)
福岡県	6.4～7.7億	105～160億
佐賀県	9.0～9.9億	167～223億
熊本県	7.5～7.9億	138～173億
長崎県	0.01～0.02億	0.2億

有明海4県におけるノリ生産枚数と生産額
 (有明海四県ノリ担当者会議資料を基に作成)

2. 赤潮発生状況

【これまでの報告(H28、R3)】有明海の主要種として、*Eucampia zodiacus*、*Asteroplanus karianus*、*Skeletonema* spp.に焦点を当て、赤潮の発生状況が述べられた。

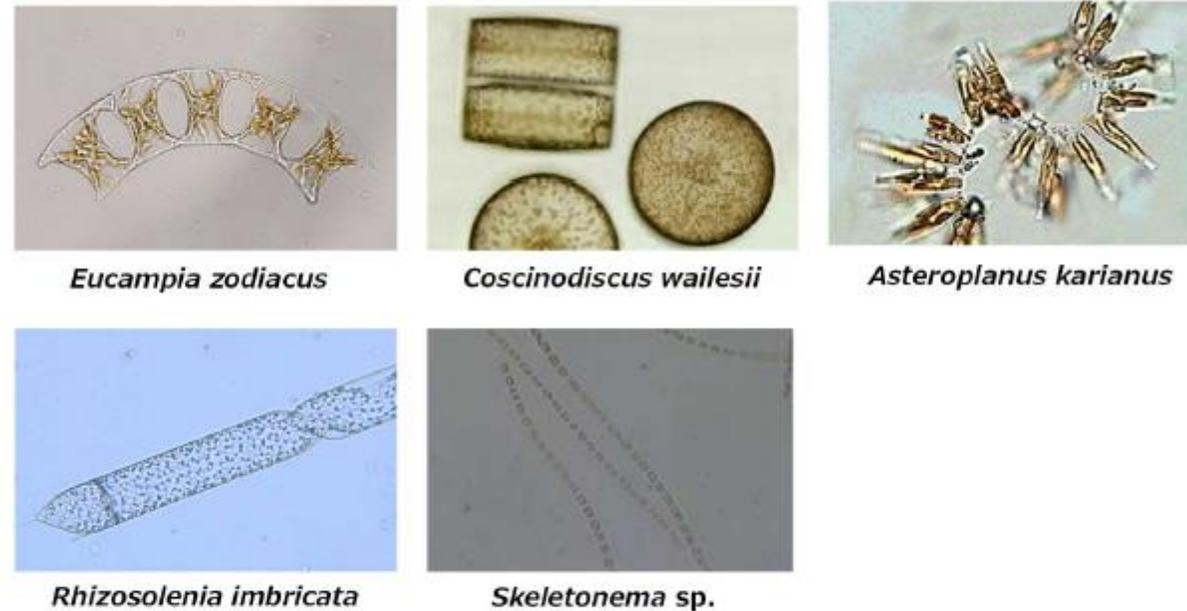


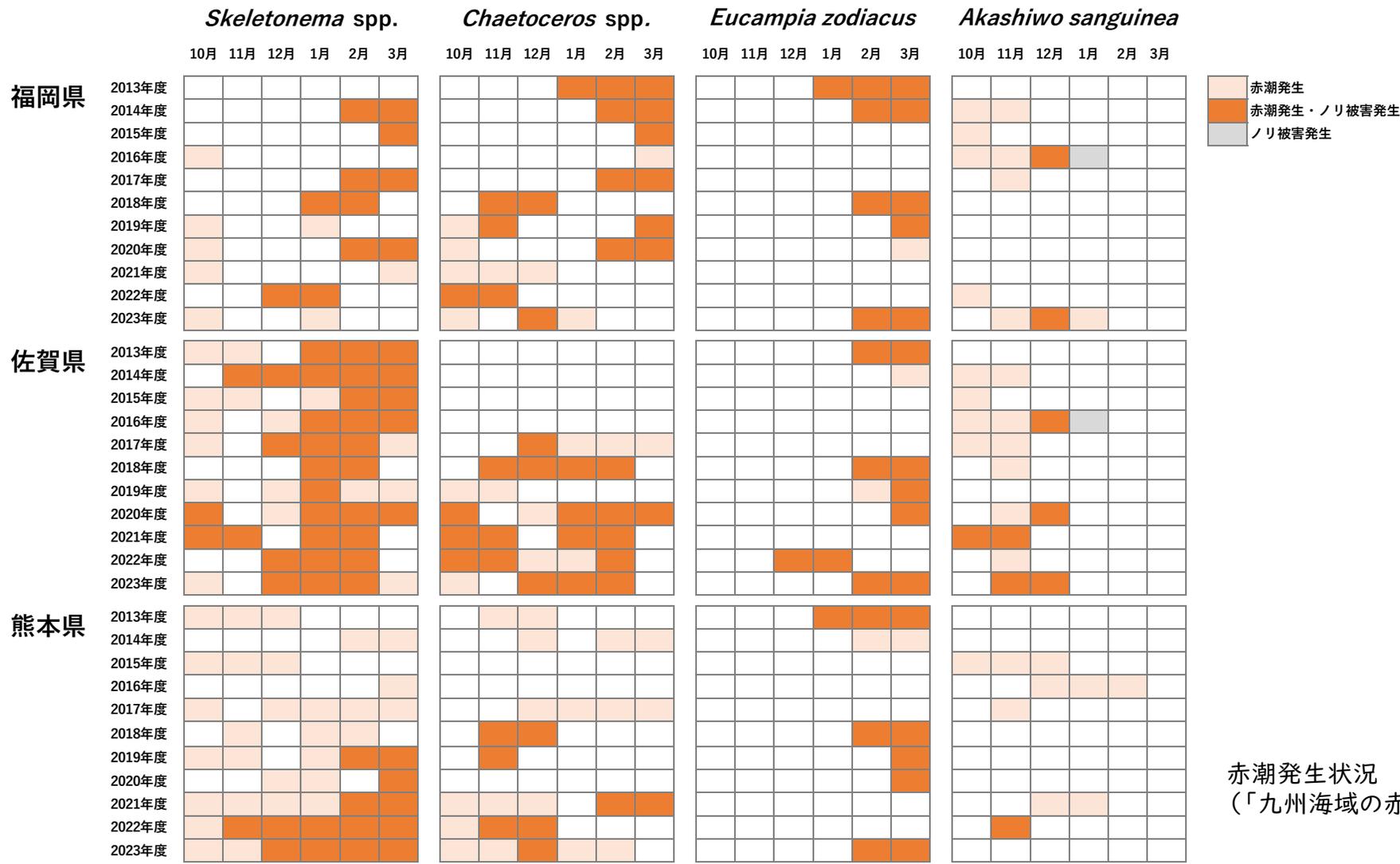
図 2.8.3-8 ノリの色落ちの原因となる主な珪藻類

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」

R3年度中間取りまとめ

2. 赤潮発生状況(2013年度以降の主要種による赤潮)

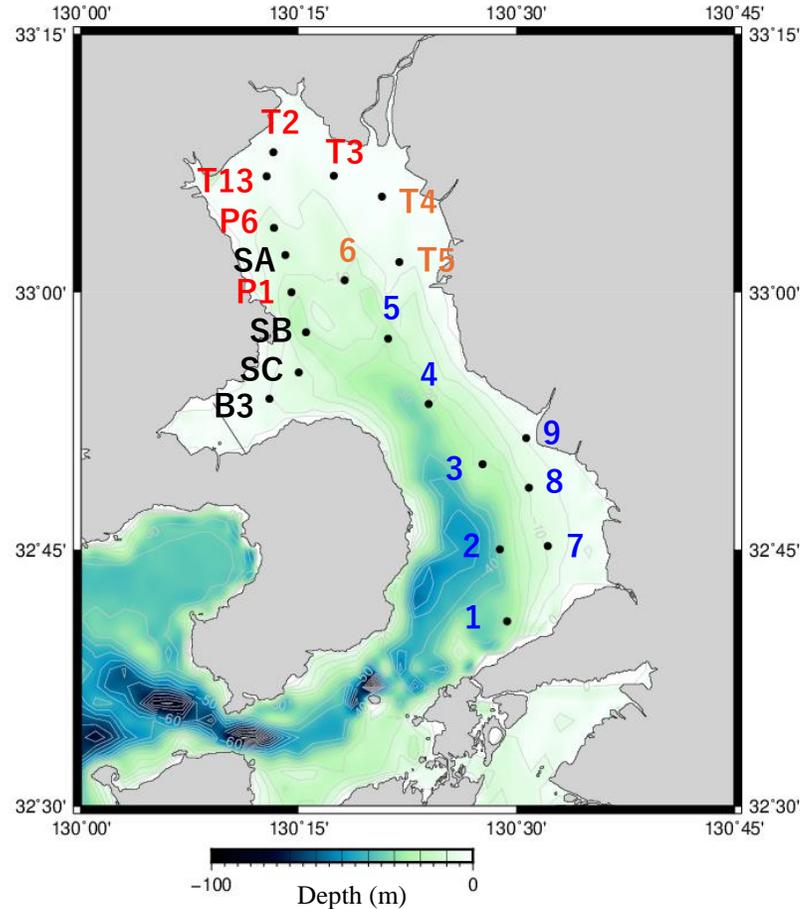
- 小型珪藻 (*Skeletonema*, *Chaetoceros*) による赤潮は毎年発生し、近年は広域で色落ち原因種となっている。
- *Eucampia zodiacus* は、主に2月以降に定期的に赤潮化している。
- *Akashiwo sanguinea* は、10~12月に赤潮化することがある。



赤潮発生状況
 (「九州海域の赤潮」を基に作成)

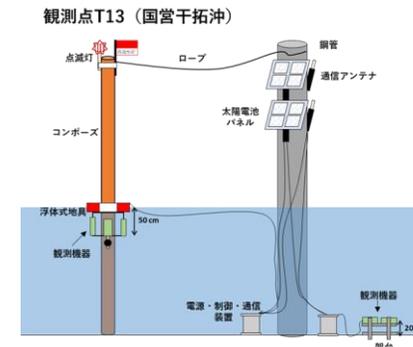
3. 水産庁事業による広域モニタリング

- 水産庁事業では赤潮の発生機構の解明と予察技術の開発に取り組む。
- 福岡県、佐賀県、熊本県、水産機構技術研で共同して広域モニタリングを実施。



水産庁事業における広域モニタリング定点

- 採水を伴う定期観測点 (福岡県3点、佐賀県5点、熊本県8点)
 - 多項目水質計
 - 栄養塩類
 - 植物プランクトン
 - 透明度等
- 多項目水質計のみの定期観測点 (水産機構8点、B3~T2)
- 水質計による連続観測点 (ブイ等)
 - 表層・底層の水質観測 (T13)
 - 水質の鉛直観測 (P1、P6)



T13における水質連続観測



P1、P6における水質自動観測ブイ

5. 赤潮発生機構と予察手法 ① *Asteroplanus karianus*

【特徴】佐賀県海域において、2007年度～2014年度に、単独で、かつ高密度の赤潮を形成。

【これまでの報告(H28、R3)】最高細胞密度の変動、生理生態学的な特徴、赤潮発生機構の想定概念図、水温変動予測と潮汐表の活用による予察手法。

【2015年度以降の赤潮発生状況】2020年度に *Skeletonema* 等との混合赤潮として記録されたのみ。

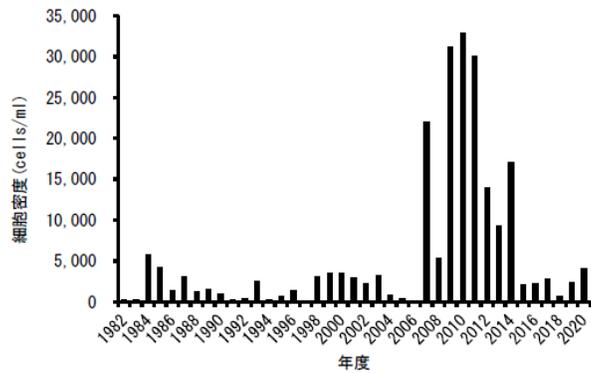
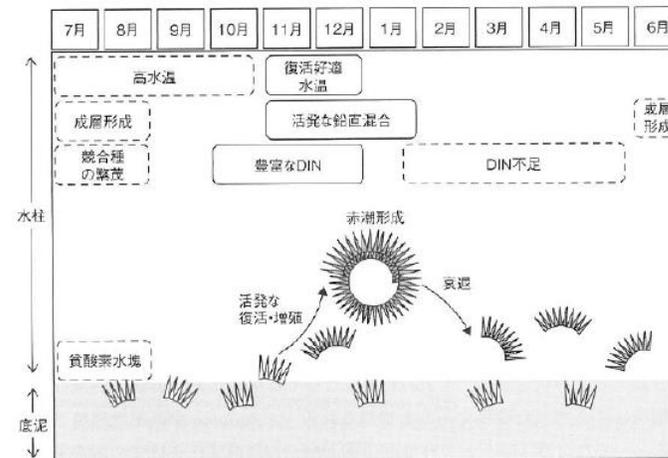


図 2.8.3-11 有明海佐賀県海域における *Asteroplanus karianus* の最高細胞密度の変動
出典：佐賀県有明水産振興センターによる調査結果をもとに環境省が作成した。



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)：有明海の新たな青色落ち原因珪藻 *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

R3年度中間取りまとめ

Asteroplanus karianus

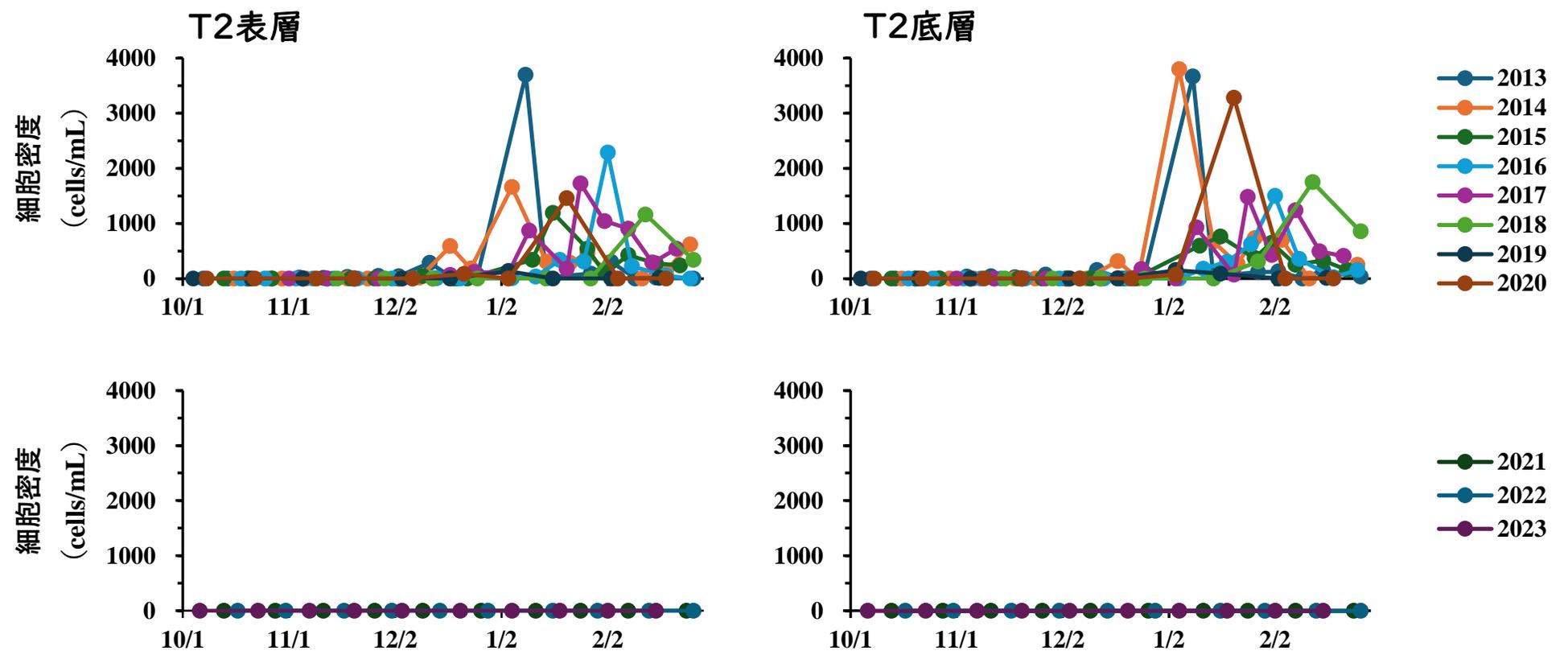
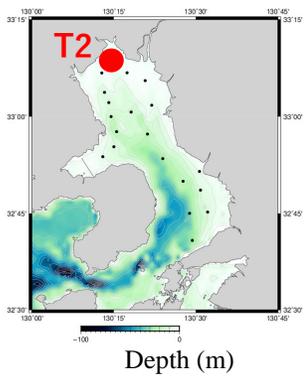
10月 11月 12月 1月 2月 3月

	10月	11月	12月	1月	2月	3月
福岡県	2013年度					
	2014年度					
	2015年度					
	2016年度					
	2017年度					
	2018年度					
	2019年度					
	2020年度					
	2021年度					
	2022年度					
2023年度						
佐賀県	2013年度					
	2014年度					
	2015年度					
	2016年度					
	2017年度					
	2018年度					
	2019年度					
	2020年度					
	2021年度					
	2022年度					
2023年度						
熊本県	2013年度					
	2014年度					
	2015年度					
	2016年度					
	2017年度					
	2018年度					
	2019年度					
	2020年度					
	2021年度					
	2022年度					
2023年度						

赤潮発生状況(「九州海域の赤潮」を基に作成)

5. 赤潮発生機構と予察手法 ① *Asteroplanus karianus*

- 2015年度以降は出現時期が遅くなり、2021年度以降は出現が確認されない。

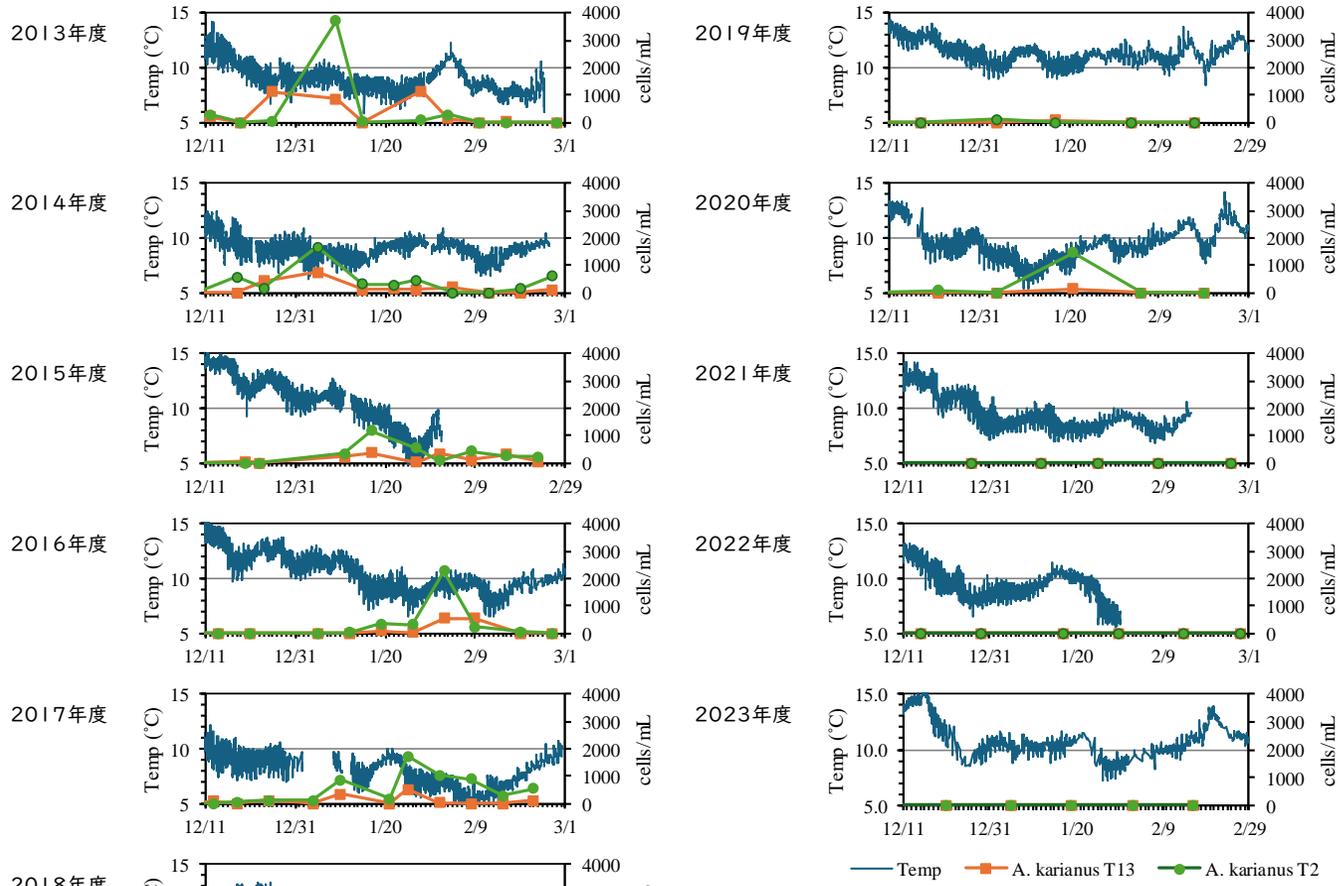
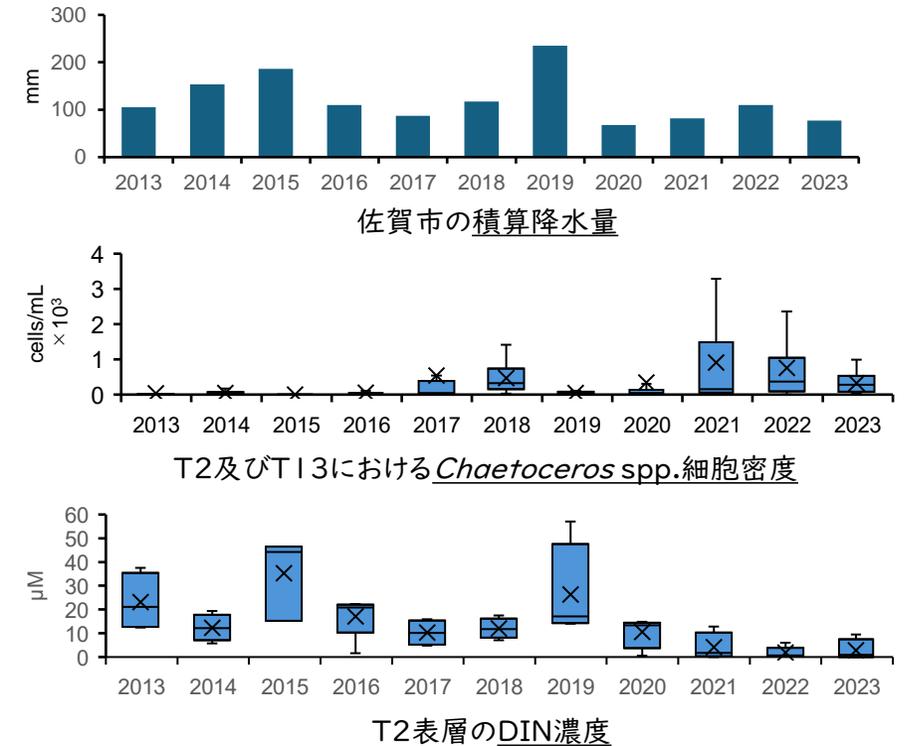


2013年度～2023年度の10月～2月の細胞密度の変化

5. 赤潮発生機構と予察手法 ① *Asteroplanus karianus*

- ブルームピーク時期は水温10℃を下回った後の初めての大潮期に続く小潮期(松原ら、2016)。
- DINの半飽和定数は高く、効率よく増殖するには窒素源が豊富に溶存する環境が必要(Yamaguchi et al., 2014; 松原、2016)。

2013年度～2023年度の12月～1月



2013年度～2023年度の12月中旬～2月におけるT13の水温およびT2、T13の*A. karianus*細胞密度の変化

- 増殖時期の遅れは水温低下の遅れが影響している可能性がある。
- 2021年度以降に出現が確認されない状況は、栄養塩(DIN)が低いことが影響していることも考えられる。

5. 赤潮発生機構と予察手法 ② *Eucampia zodiacus*

【これまでの報告(H28)】有明海での発生状況、赤潮発生機構についての断片的な知見。

【課題】発生要因の解析、発生機構の明確化と発生予察技術の開発、赤潮終息時期の検討。

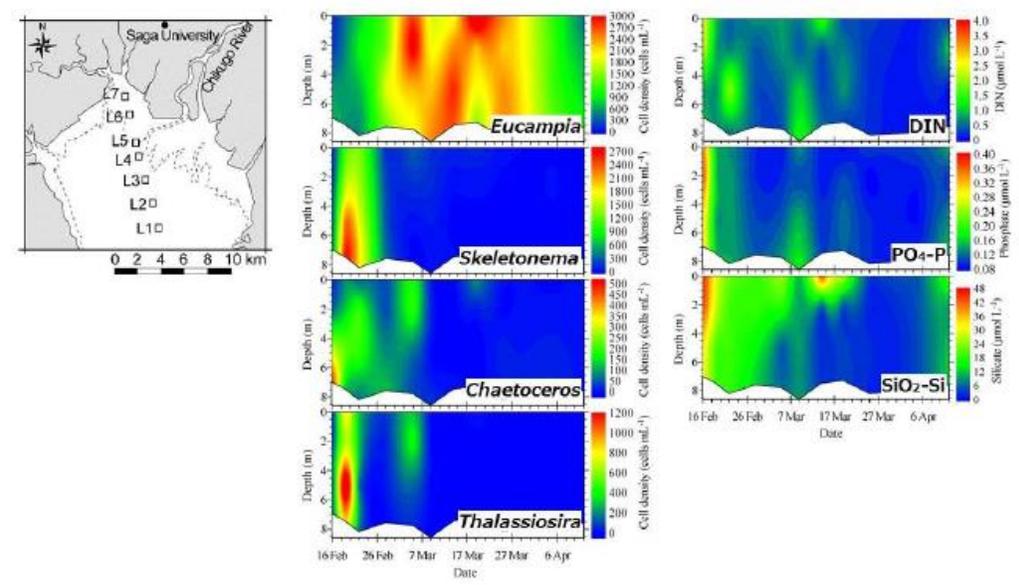


図 4.4.130 有明海湾奥部の観測定点 (L4) における植物プランクトン (*Eucampia zodiacus*、*Skeletonema* spp.、*Chaetoceros* spp.、*Thalassiosira* spp.) の細胞密度及び栄養塩濃度 (溶存態無機窒素 DIN、リン酸態リン $PO_4\text{-P}$ 、ケイ酸態ケイ素 $SiO_2\text{-Si}$) の経時変化 (2012年2~4月)
 出典: Ito, Y., Katano, T., Fujii, N., Koriyama, M., Yoshino, K., & Hayami, Y (2013): Decreases in turbidity during neap tides initiate late winter blooms of *Eucampia zodiacus* in a macrotidal embayment., *Journal of Oceanography*, Vol. 69, pp. 467-479

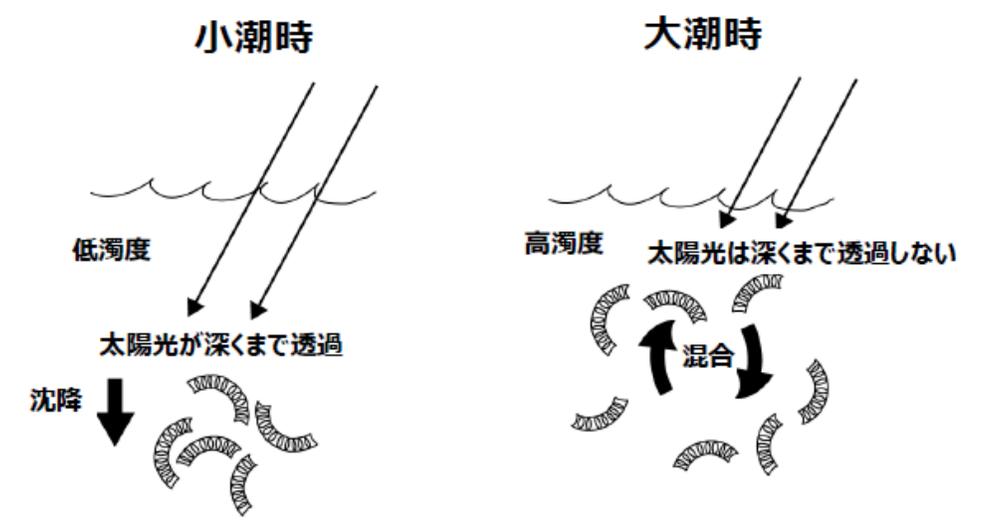
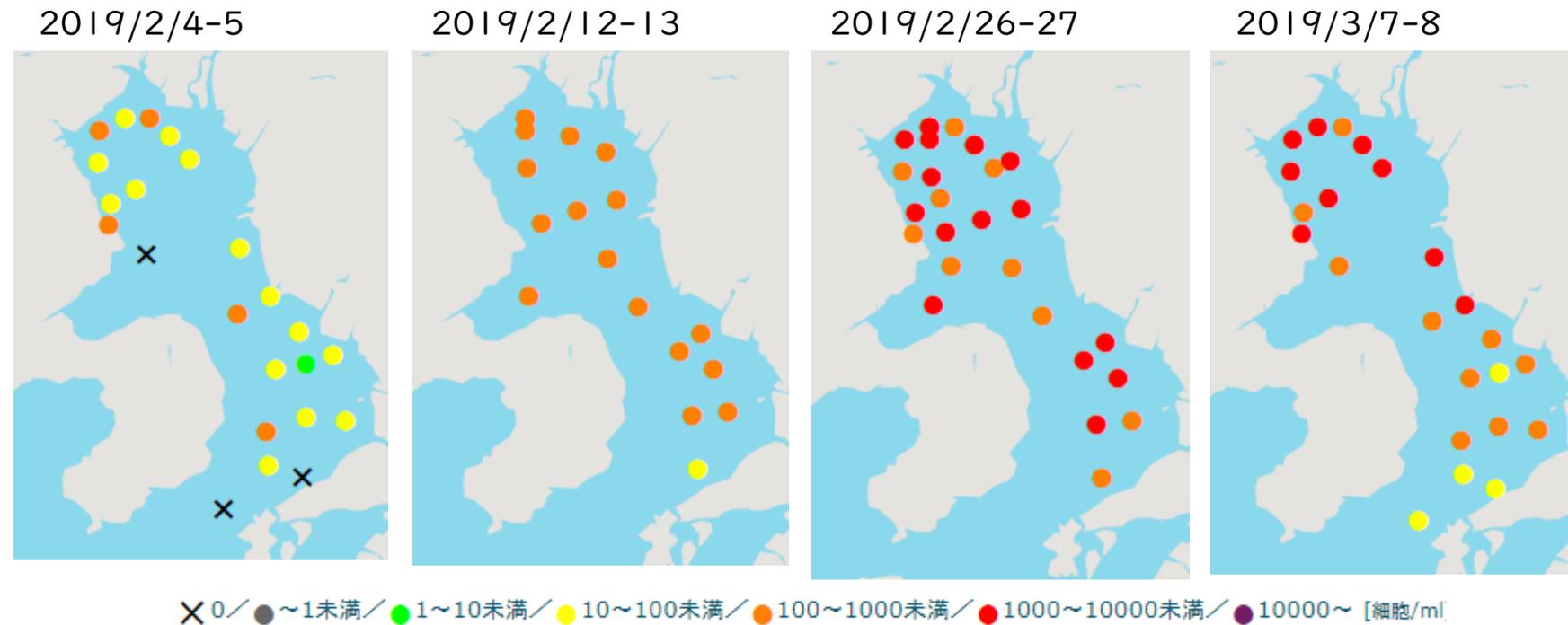


図 4.4.132 有明海における *Eucampia zodiacus* による赤潮の発生機構 (概念図)

出典: 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. をもとに環境省が作成した。

5. 赤潮発生機構と予察手法 ② *Eucampia zodiacus*

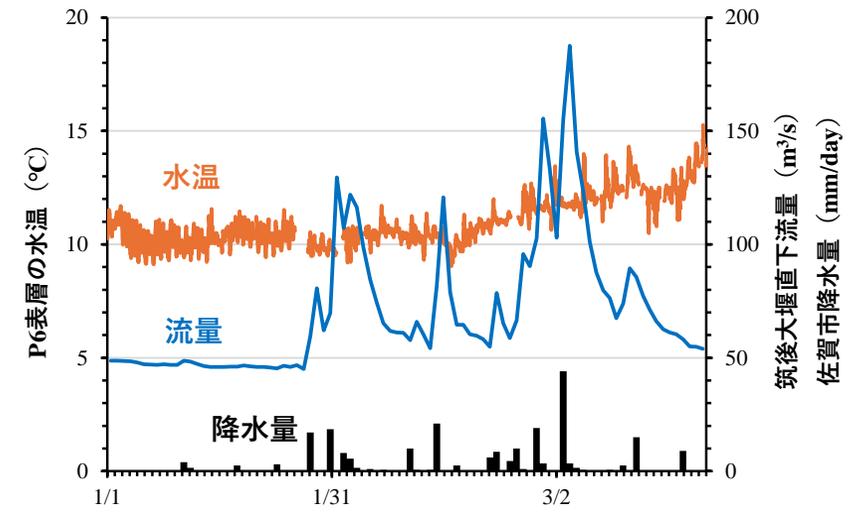
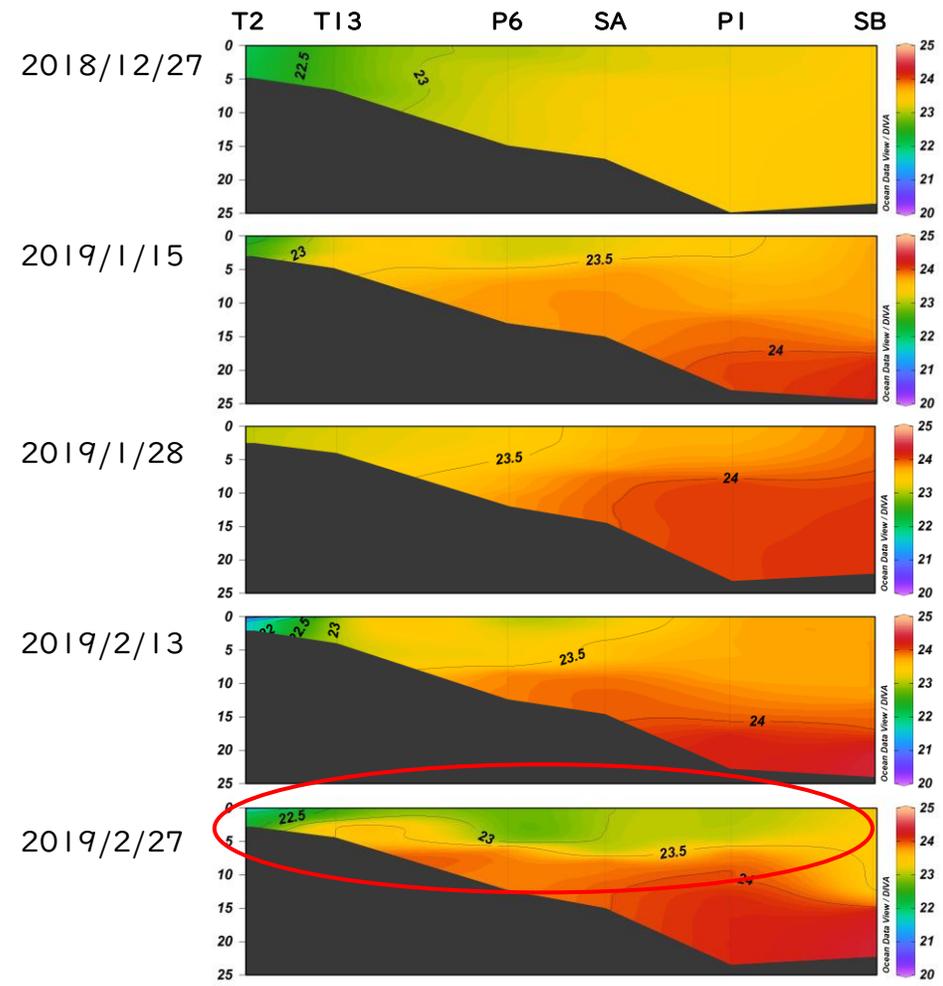
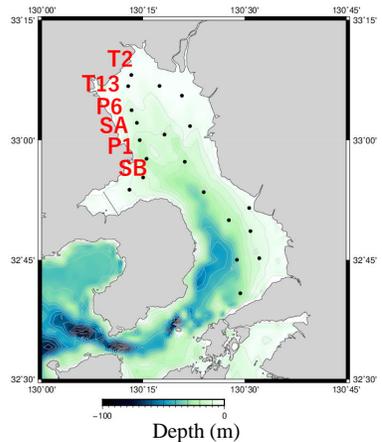
- 冬季の赤潮発生機構として2018年度の赤潮について解析を進めた。
- 赤潮発生年である2018年度の冬季の細胞密度は2月中旬から下旬にかけて上昇した。



Eucampia zodiacus の細胞密度の変化 (赤潮ネット「赤潮分布情報」より作成)

5. 赤潮発生機構と予察手法 ② *Eucampia zodiacus*

- 定期観測の水質データからは、湾奥では *Eucampia zodiacus* が増加した2月下旬に沖合まで密度成層が形成された。
- 2月中旬からの気温上昇に伴う表層水温の上昇と河川流量増加に伴う表層塩分の低下が、密度成層の強化とエスチュアリー循環の形成につながったと考えられる。

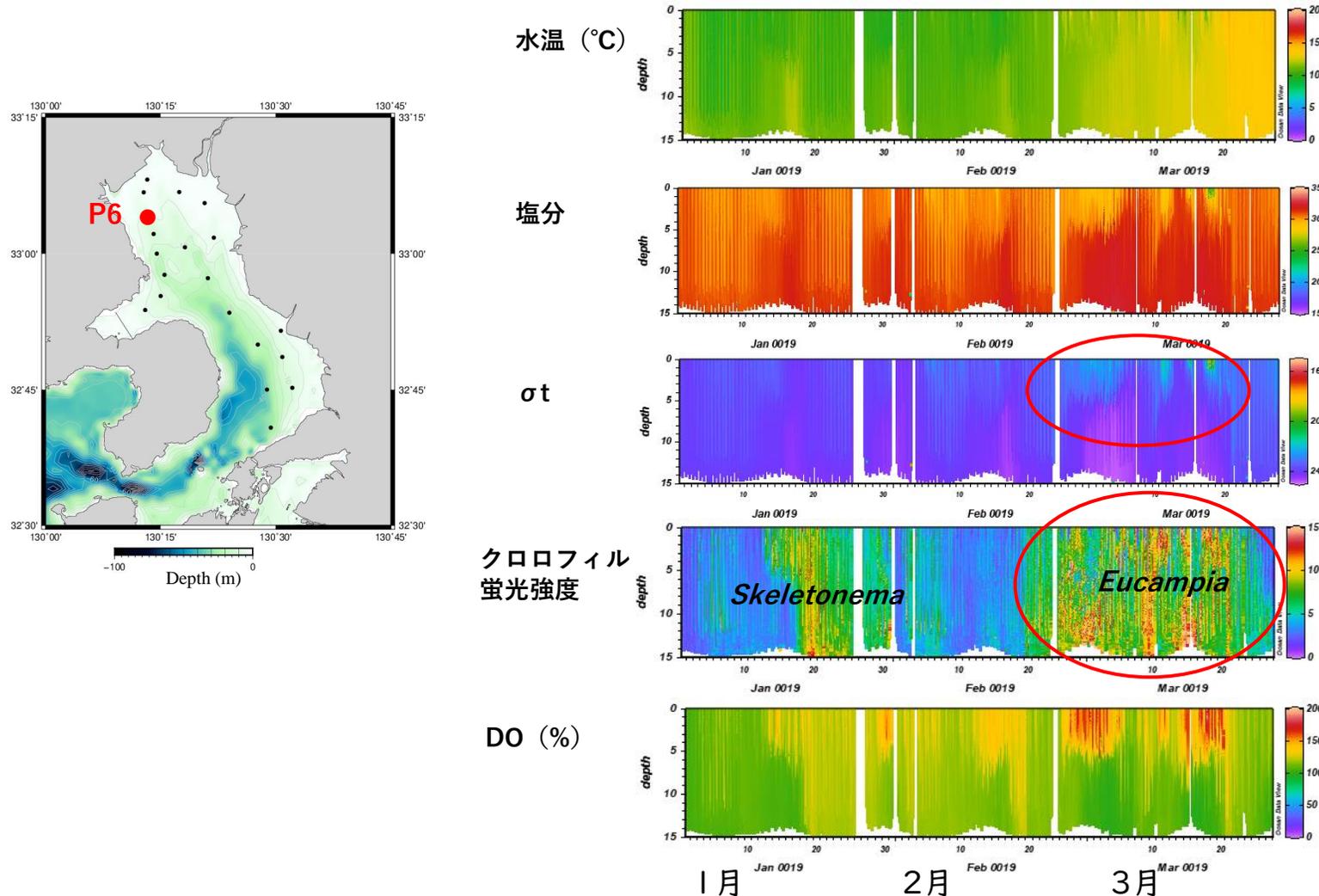


2019年1月～3月の水温(P6)、流量(筑後大堰直下)、降水量(佐賀市)の変化

2018年12月下旬～2019年2月下旬の定点T2～SBにおける海水密度(σ_t)の鉛直断面図

5. 赤潮発生機構と予察手法 ② *Eucampia zodiacus*

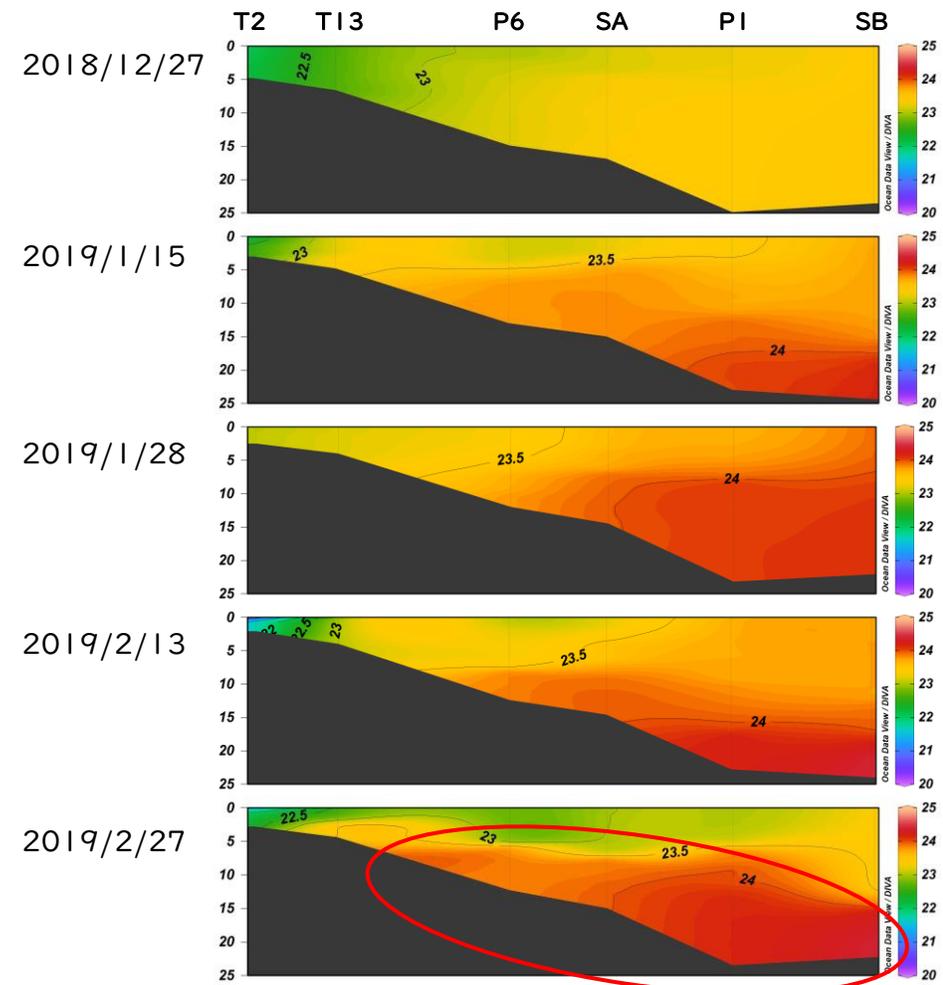
- P6自動観測ブイの水質鉛直データからは、2月中旬から密度成層の形成が確認され、2月下旬以降は全層に *Eucampia zodiacus* の細胞が分布している様子がみられた。
- 酸素飽和度 (DO%) からは表層で活発に光合成を行い、底層には沈降した細胞が存在していると推察された。



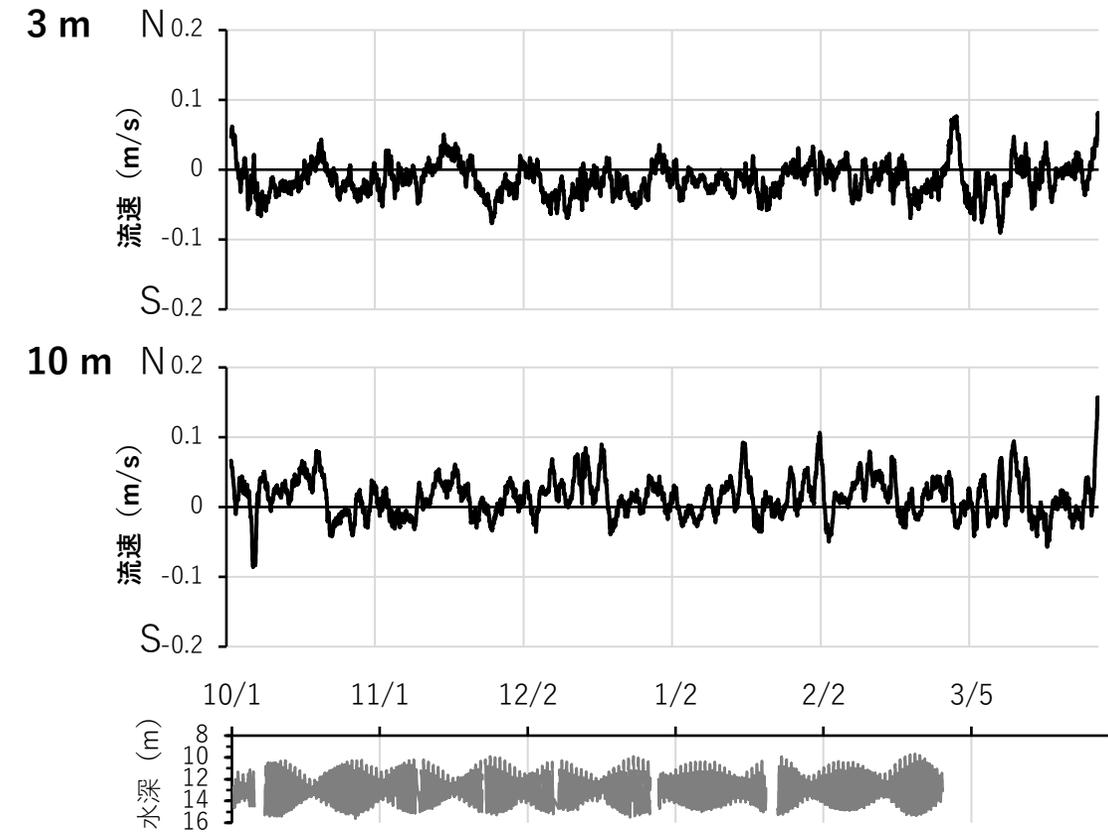
2019年1月～3月の定点P6の水質自動観測ブイによる水温、塩分、海水密度 (σ_t)、クロロフィル蛍光強度、酸素飽和度の鉛直分布変化

5. 赤潮発生機構と予察手法 ② *Eucampia zodiacus*

- 定期観測データからは、底層に湾口側から湾奥側へ張り出す水が確認された。
- P6自動観測ブイによる表層・底層の流向流速から、小潮期には底層で北向き（湾奥方向）の残差流がみられ、底層に沈降した細胞は浅い湾奥側へ輸送されると推察された。



2018年12月下旬～2019年2月下旬の定点T2～SBにおける海水密度 (σ_t) の鉛直断面図

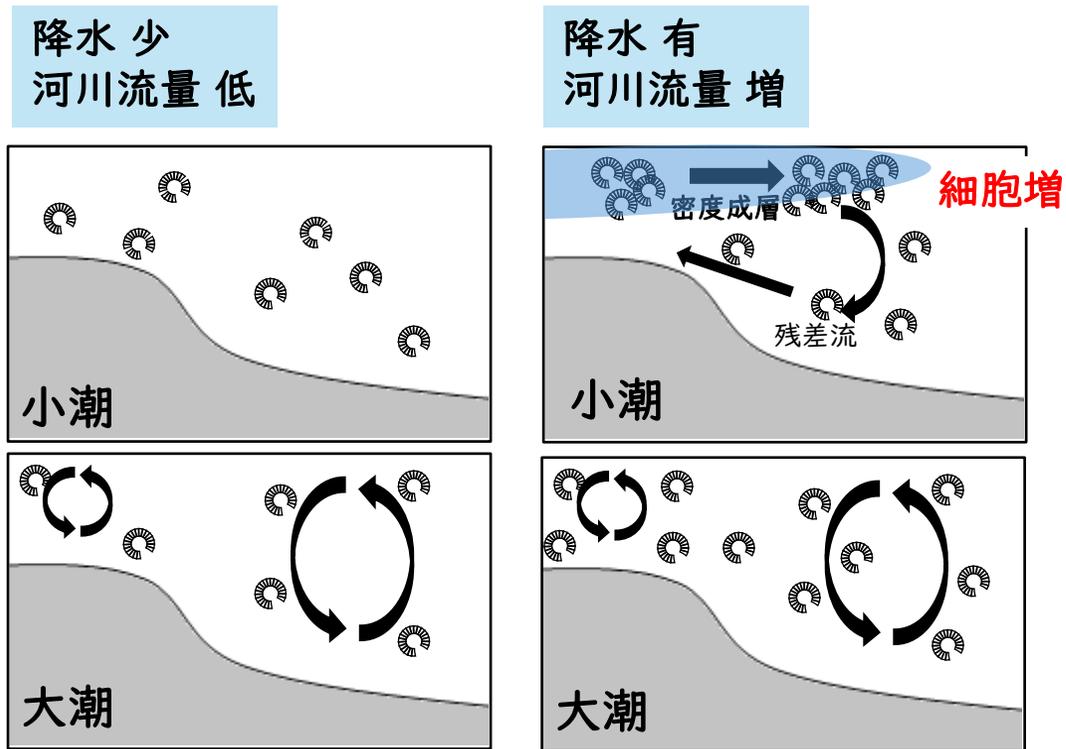


2018年10月～2019年2月下旬のP6自動観測ブイによる表層・底層の流向・流速の25時間移動平均および水深（1月中旬まで）の変化

5. 赤潮発生機構と予察手法 ② *Eucampia zodiacus*

- これらの結果から冬季の赤潮化の機構について想定されるシナリオ。

冬季
(水温上昇期)



- 2月の水温が上昇傾向に転じた時期に、降水による河川流量が増加すると密度成層が形成される。
- 小潮期には、エスチュアリー循環により、細胞は表層で増殖しながら沖合へ輸送され、沖合で沈降した細胞は底層の湾奥側へ向かう流れにより浅い水域に輸送されることでさらに増殖する。

5. 赤潮発生機構と予察手法 ② *Eucampia zodiacus*

- 冬季の赤潮発生機構の想定概念図。

2~3月

2月の水温:上昇
降水量・河川流量:増

- 栄養塩の供給
- 密度成層の形成
- エスチュアリー循環が発達

小型珪藻の減少

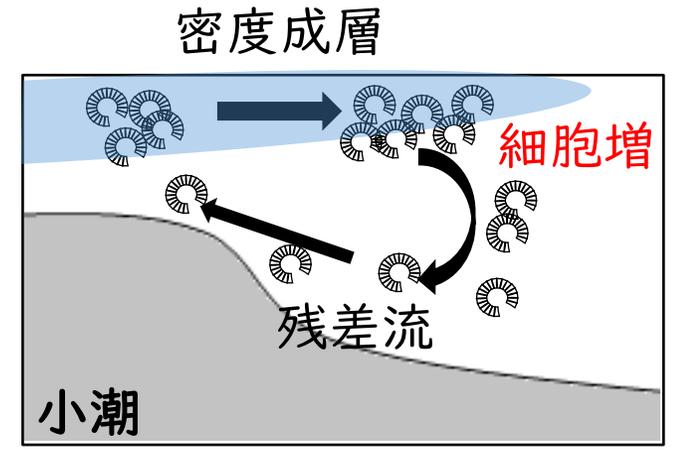
大規模赤潮

1~2月の水温:低
降水量・河川流量:少

- 低水温は増殖に不適
- 栄養塩が少ない
- 密度成層が形成されない

赤潮化せず

小規模赤潮



• 1月以降の細胞の出現状況を把握し、水温の変化と降水予測から短期予察が可能。

5. 赤潮発生機構と予察手法 ③ *Skeletonema* spp.

【これまでの報告(R3)】有明海奥部西側域における河口周辺での初期増殖および水塊の滞留による増殖。
 【課題】季節や海域毎の赤潮形成種を判別し、種の特性に応じた検討。

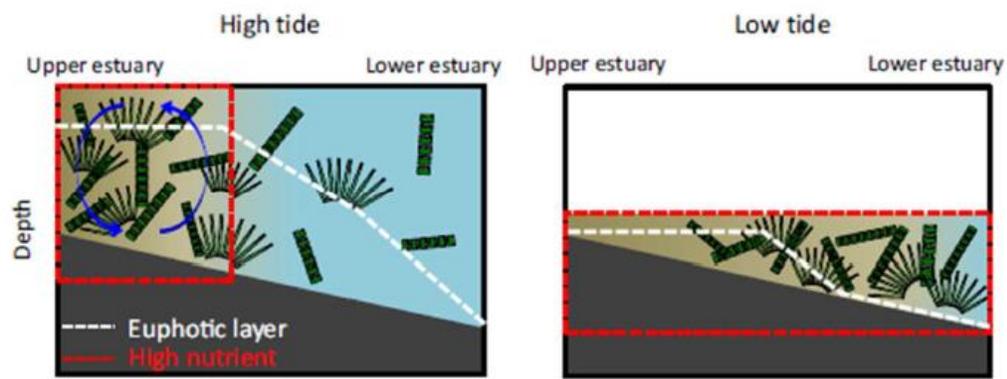


図 2.8.3-13 河口域の満潮時(左)及び干潮時(右)における水塊と珪藻の挙動に関する模式図

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.

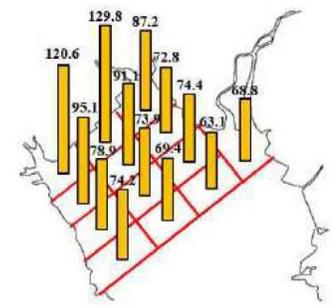


図 2.8.3-15 秋期～冬期の有明海奥部海域の各小領域における滞留時間分布 (hour)
 出典: 南浦修也, 山口創一 (2019): 冬季有明海奥部におけるノリ色落ち原因菌 *Skeletonema* spp., *Eucampia zodiacus*, *Asteroplanus karianus* の増殖と物理環境特性, 土木学会論文集 B2, 第 75 号, pp.991-996

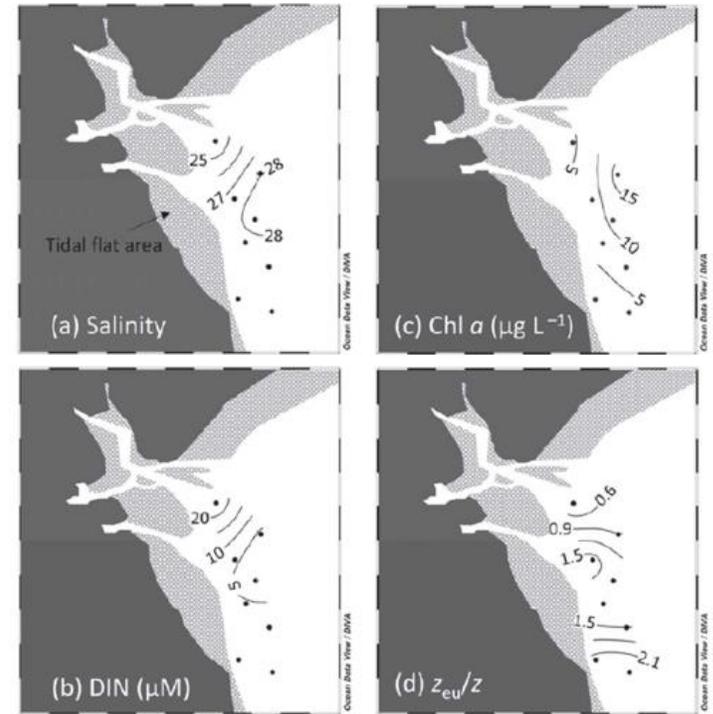
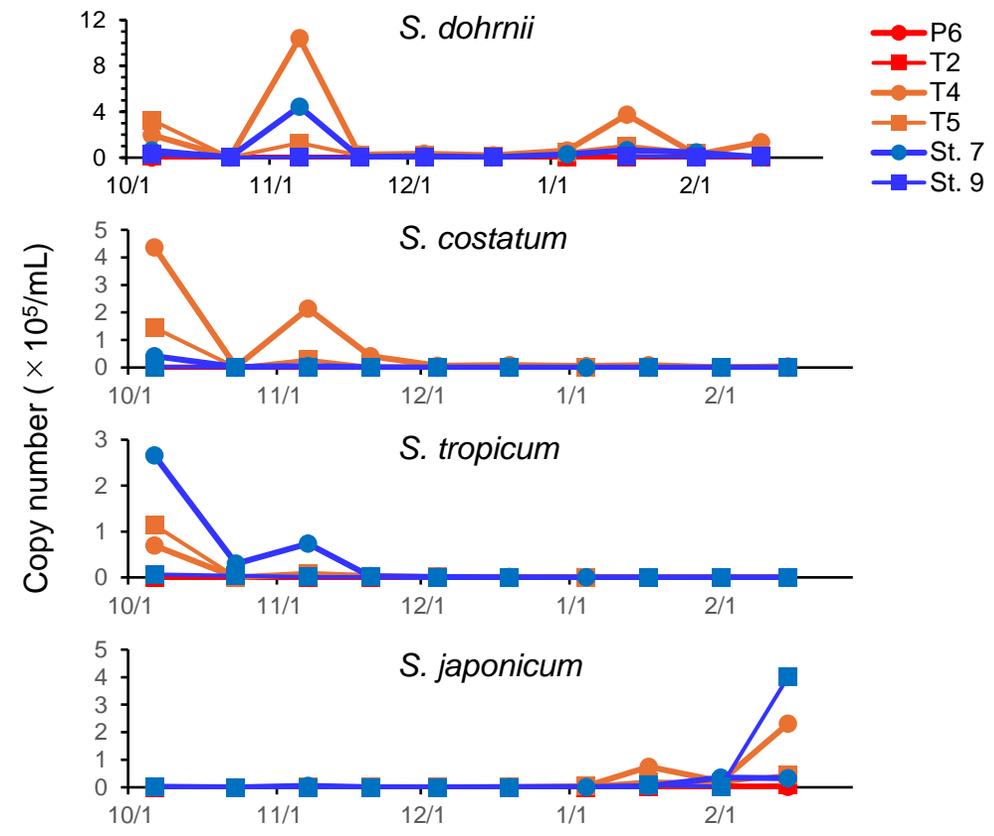
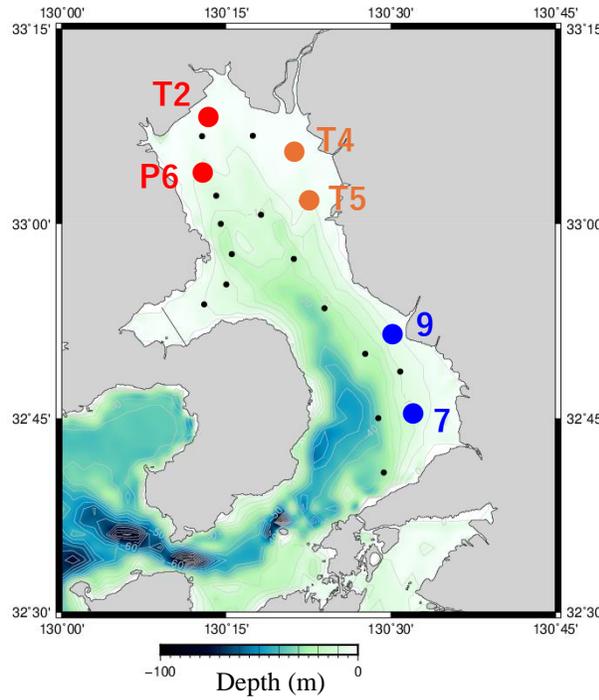


図 2.8.3-14 佐賀県塩田川及び鹿島川の河口沖合域における干潮時の塩分、溶存無機態窒素濃度、クロロフィル a 濃度、有光層/水深比の水平分布

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.

5. 赤潮発生機構と予察手法 ③ *Skeletonema* spp.

- Yoshida et al. (2023)の方法を基に、定量PCRにより有明海広域での *Skeletonema* 各種の出現状況の把握を2023年度から実施。



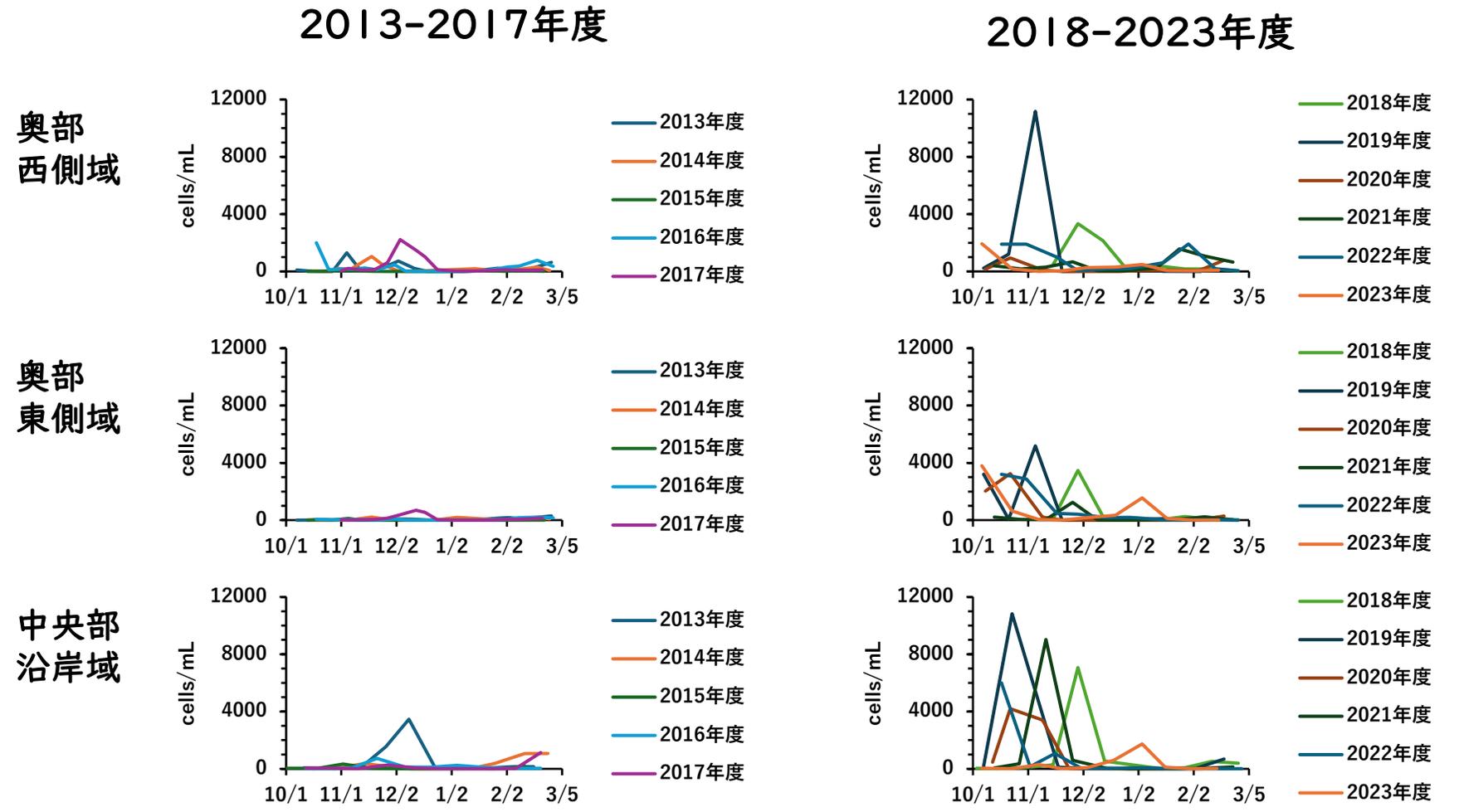
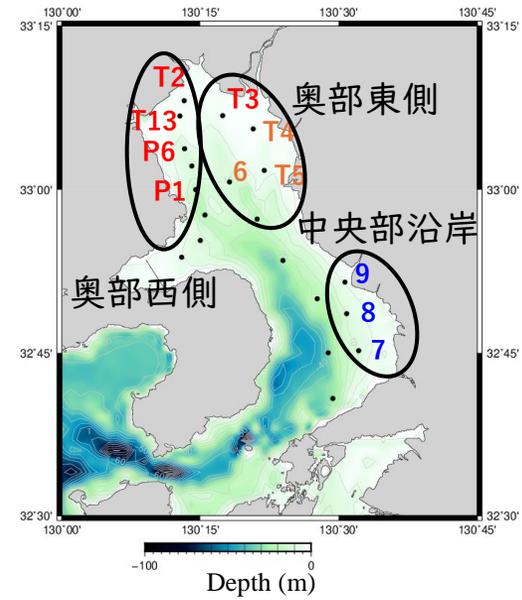
- S. dohrnii* が最も高い頻度で出現が確認された。
- S. costatum* と *S. tropicum* は10月~11月、*S. japonicum* は1月以降に出現が多い。

➡ 今後もモニタリングを継続して種及び海域における出現特性を把握し、種あるいは季節ごとの発生予察に向けた検討が必要である。

5. 赤潮発生機構と予察手法 ④ *Chaetoceros* spp.

【これまでの報告】 主要なノリ色落ち原因珪藻とは扱われてこなかった。

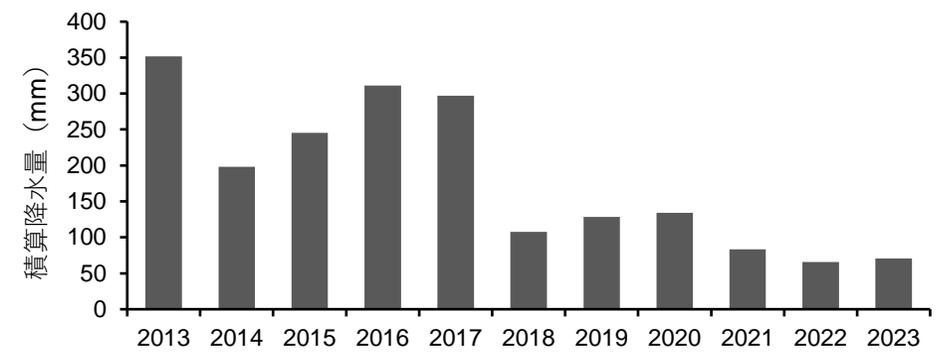
【出現状況の変化】 2018年度以降、秋季に有明海広域で細胞密度が上昇し、赤潮化する頻度が上昇してきた。



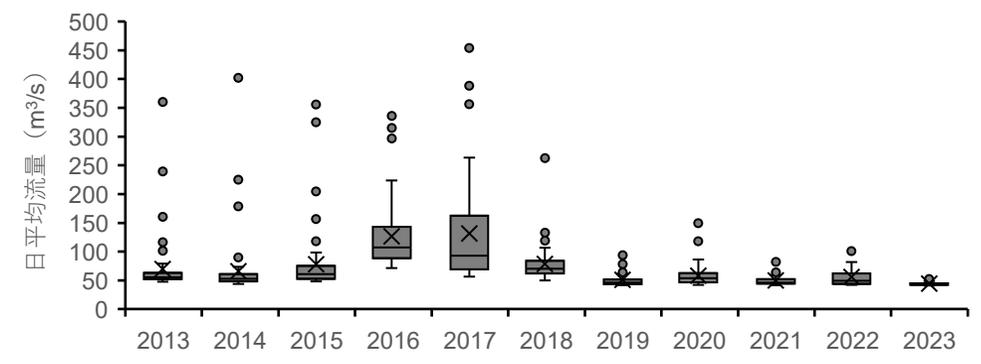
2013~2023年度における海域別の *Chaetoceros* spp.細胞密度の変化

5. 赤潮発生機構と予察手法 ④ *Chaetoceros* spp.

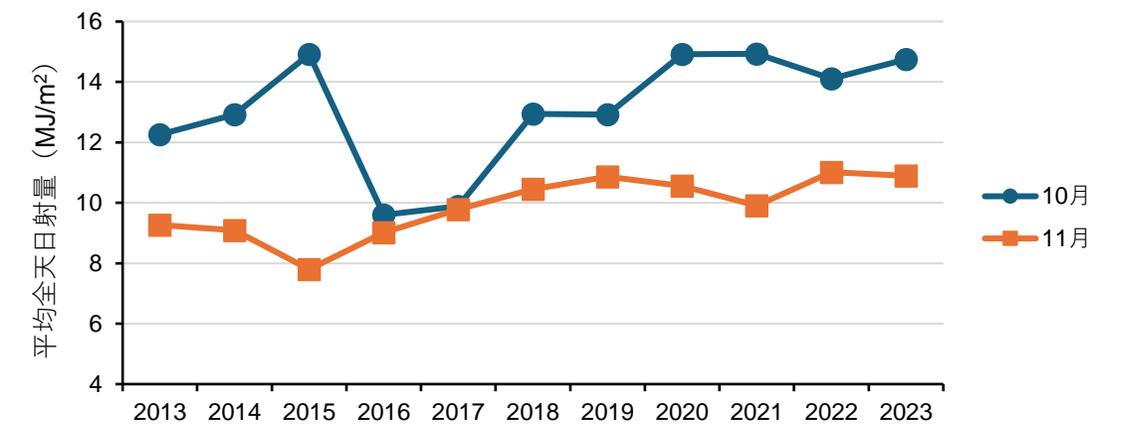
- 2018年度以降に秋季に赤潮化すようになった要因について気象および水質データから検討を行った。
- 2018年度～2023年度の10月～11月は、佐賀市の降水量および筑後大堰直下の流量が少なく、日照率が高いことで全天日射量は比較的多かった。



10月～11月の佐賀市における積算降水量



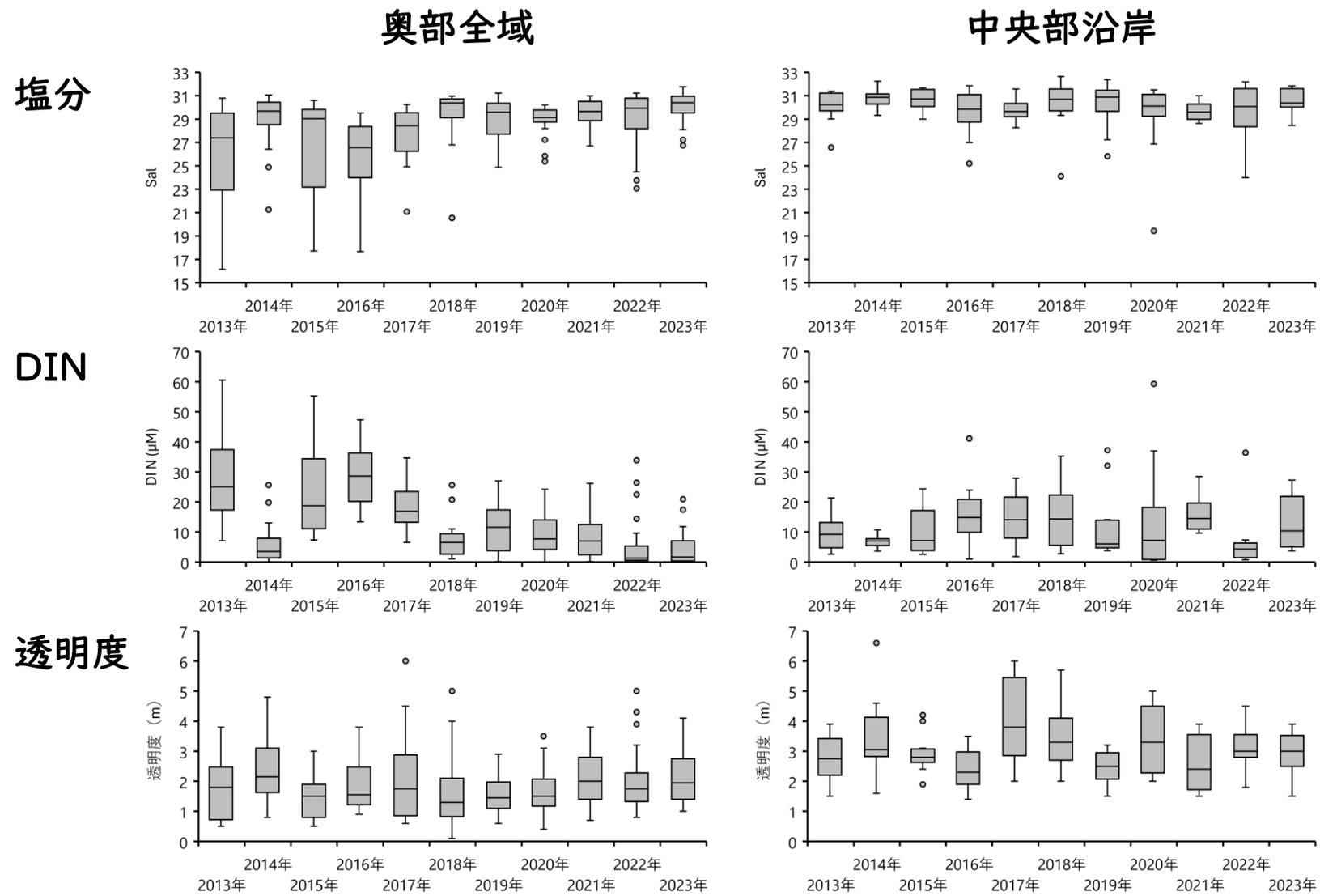
10月～11月の筑後大堰直下日平均流量



佐賀市における平均全天日射量

5. 赤潮発生機構と予察手法 ④ *Chaetoceros* spp.

- 定期観測データからは、2018年度～2023年度の10月～11月は降水量が少なかったことで表層塩分は高く、DINは低く、透明度については明瞭な上昇はみられなかった。



定期観測による2013年～2023年の10月～11月における表層の塩分とDIN、および透明度

5. 赤潮発生機構と予察手法 ④ *Chaetoceros* spp.

- 2018年度～2023年度の秋季の *Chaetoceros* spp. の増殖には気象条件の影響が大きかった可能性がある。
- 瀬戸内海（播磨灘、大阪湾）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ている（Nishikawa et al., 2010; 山田ら、2011; 多田ら、2012; 里道ら、2015）。
- 要因として、栄養塩減少や透明度上昇による水柱内の光透過量の増加が示唆されている（多田ら、2012）。



- 2018年度～2023年度の秋季は、透明度の明瞭な上昇はみられないが、晴天が続いたことで全天日射量が多く、水柱内で良好な光環境が継続したことが *Chaetoceros* 属の増殖に有利に働き、赤潮化した可能性がある。



今後はさらに水質データや競合種との関係について解析を進め、気象条件等を含めたデータから発生予察について検討を進める必要がある。

有明海の珪藻赤潮に関連する他の報告

Asteroplanus karianus

- Matsubara et al. (2022) Effects of temperature and salinity on rejuvenation of resting cells and subsequent vegetation of the harmful diatom *Asteroplanus karianus*. J. exp. mar. Biol. Ecol, 550: 151719.

Skeletonema spp.

- Yoshida et al. (2023) Species-specific monitoring of *Skeletonema* blooms in the coastal waters of Ariake Sound, Japan. Mar. Ecol. Prog. Ser., 703: 31-46.
- Minamiura et al. (2023) Winter bloom initiation with water column stabilization and improvement of light environment in a turbid shallow coastal water. J. Oceanogr., 79: 565-579.