

ノリ養殖に関する 資料の収集・整理・分析状況

～有明海におけるノリの色落ちにかかる整理と検討～

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

水産研究・教育機構提出資料

3. 水産小委における検討の方向性 (第3回水産小委決定事項)

イ) ノリ養殖

ノリ養殖については、養殖期間である秋季から春季を検討の対象時期として設定し、水質の状況や競合する赤潮等に関する情報収集を行う。

「赤潮の発生と増殖に係る各種要因の解明と予察技術の検討」については、ノリの色落ちに関連する**栄養塩（経年・季節別変化の状況等）**や、採苗時期や冷凍網期の開始の遅れ等の漁期の短縮に関連する**水温（秋季から春季における状況等）**、**透明度、降雨量等のデータ**整理を行うとともに、これらのデータに基づく植物プランクトン、特に**赤潮形成の予察技術の向上**に向けた分析・検討を行う。

赤字は今回収集できた項目を示す

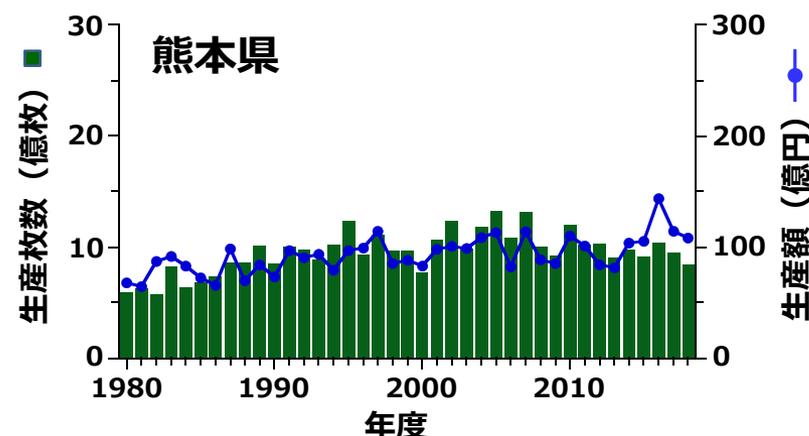
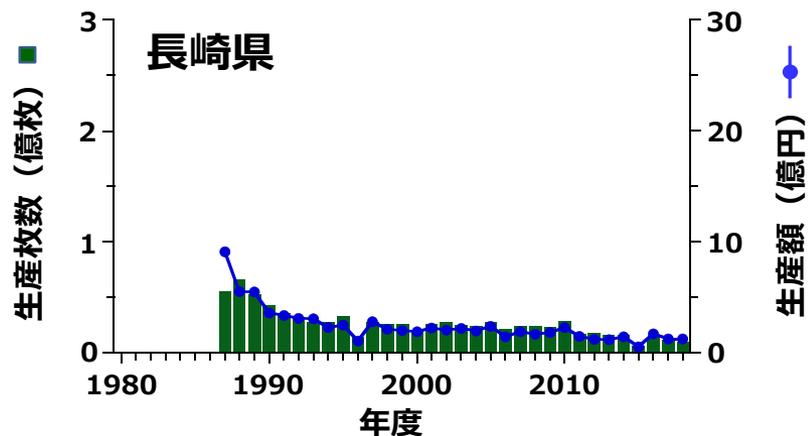
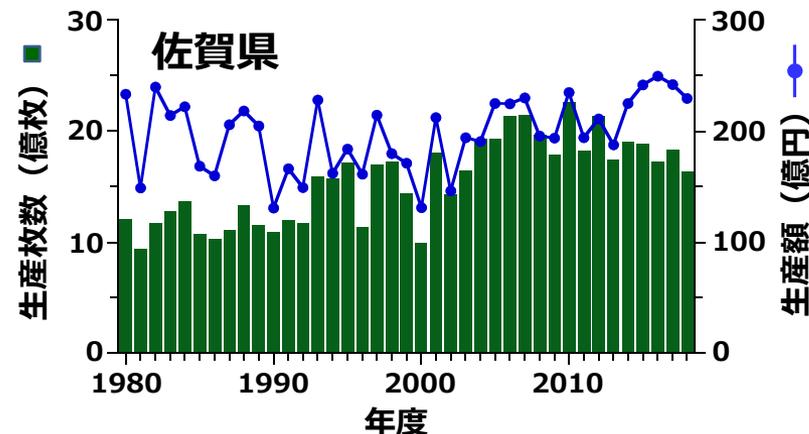
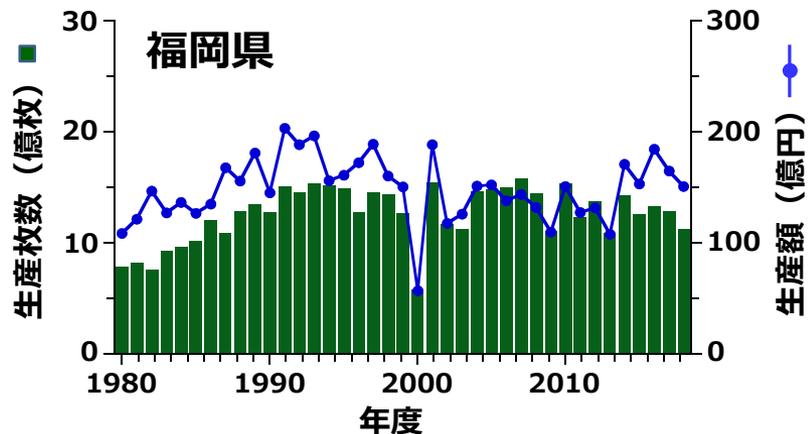
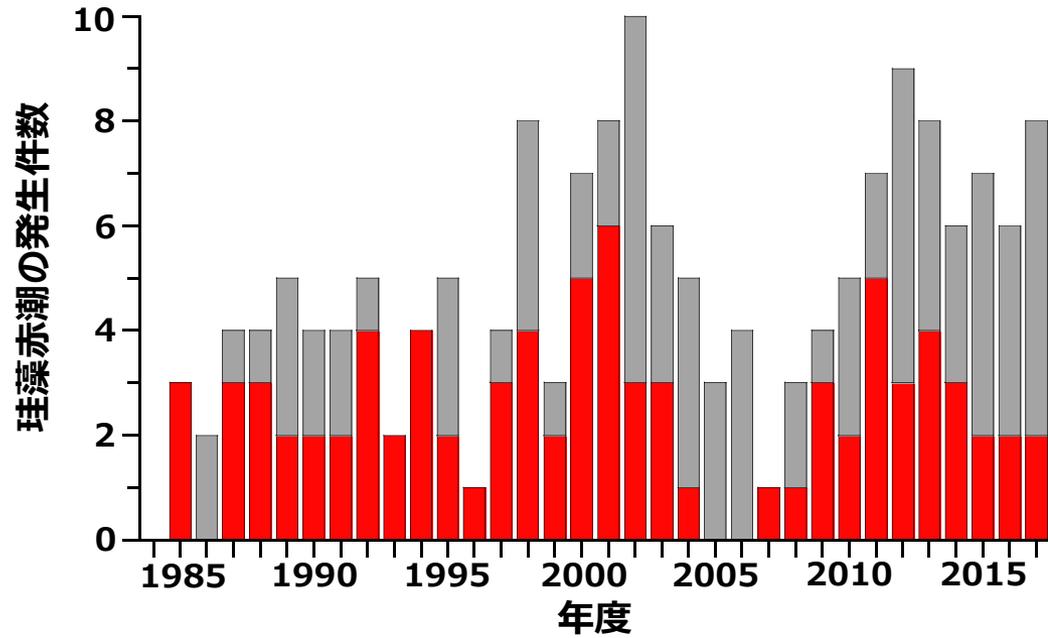


図4.4.123 (更新) 有明海の福岡県、佐賀県、長崎県及び熊本県海域における刀養殖の生産枚数(カラム)及び生産額(折れ線)の推移*

* 2018年度まで更新



注) 赤色のバーは被害件数を示す。

図4.4.125 (更新) 有明海における秋期～冬期 (10～翌3月) の珧藻赤潮の発生件数の推移

有明海のノリ色落ち原因赤潮

水産庁委託事業

2013年度（H25）～2017年度（H29）

赤潮・貧酸素水塊対策事業（九州海域）

「有明海におけるノリ色落ち原因ケイ藻」

（福岡県、佐賀県、熊本県、西水研）

2018年度（H30）～

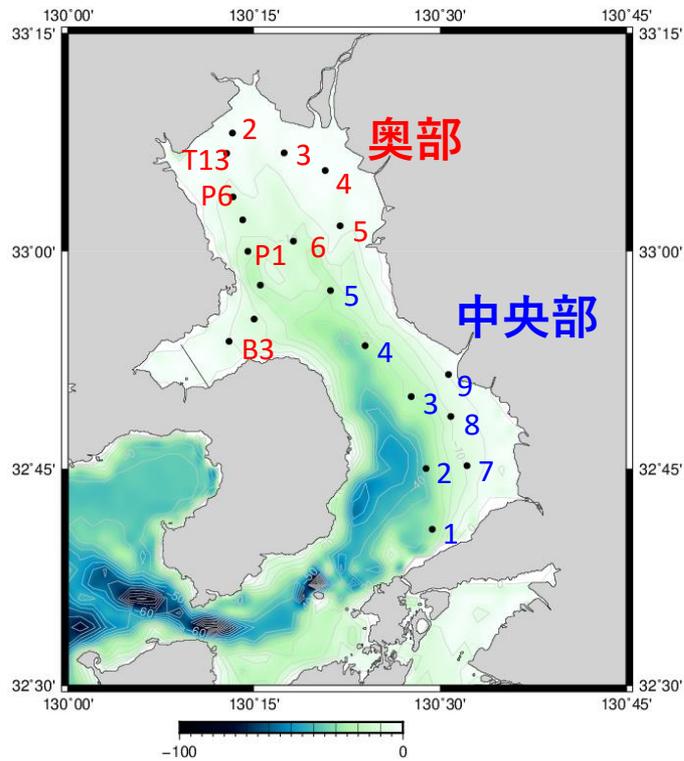
漁場環境改善推進事業（赤潮）

「有明海海域」

（福岡県、佐賀県、熊本県、西水研）

- ・ 広域モニタリング
- ・ 発生メカニズムの解明
- ・ 予察技術の開発

水産庁委託事業における採水観測



	奥部			中央部		
	定点数	期間	頻度	定点数	期間	頻度
2013年度	9	10月～2月	4回/月	8	10月～2月	2回/月
2014年度	9	10月～2月	4回/月	8	10月～2月	2回/月
2015年度	9	10月～2月	4回/月	8	10月～2月	2回/月
2016年度	9	10月～2月	4回/月	8	10月～2月	2回/月
2017年度	9	11月～2月	4回/月	8	10月～2月	2回/月
2018年度	9	11月～2月	2回/月	8	10月～2月	2回/月
2019年度	8	10月～2月	2回/月	8	10月～2月	2回/月

色落ち原因種と赤潮発生月・ノリ被害発生月（種別、県別）

小型珪藻

Skeletonema spp.
Chaetoceros spp.

中型珪藻

Asteroplanus karianus

大型珪藻

Eucampia zodiacus
*Rhizosolenia imbricata**

*2000年度の赤潮以降は赤潮発生の記録なし

渦鞭毛藻

Akashiwo sanguinea

Skeletonema spp.

10月 11月 12月 1月 2月 3月

Chaetoceros spp.

10月 11月 12月 1月 2月 3月

Asteroplanus karianus

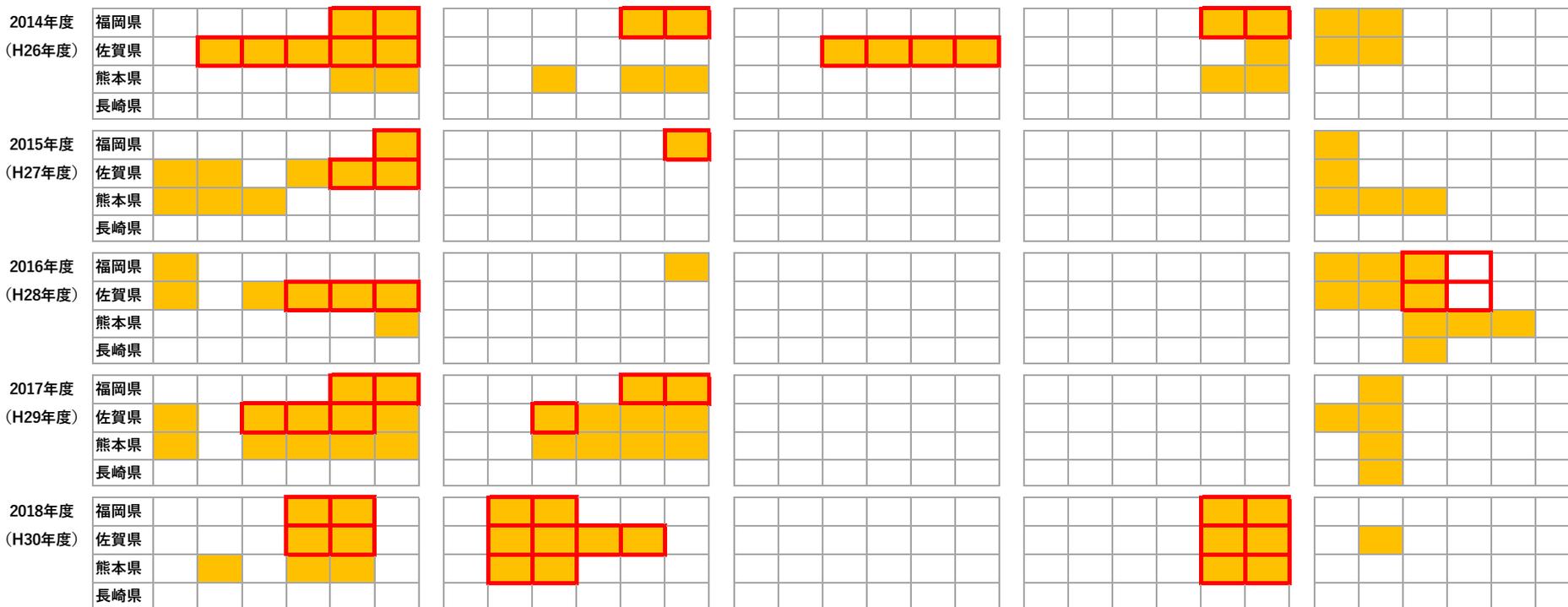
10月 11月 12月 1月 2月 3月

Eucampia zodiacus

10月 11月 12月 1月 2月 3月

Akashiwo sanguinea

10月 11月 12月 1月 2月 3月



赤潮発生 ノリ被害発生

(「九州海域の赤潮」のデータより作成)

Eucampia zodiacus

- ・ 広域で赤潮発生
- ・ 栄養塩類の少ない状況で赤潮化して栄養塩類を枯渇させる

赤潮の発生予察技術開発の考え方

- ・ 長期的な予察（冬季に赤潮が発生する可能性）
- ・ 短期的な予察（発生と終息の時期）

赤潮発生時期（2月～3月）における *Eucampia zodiacus*

- ・鉛直混合期
- ・水温低下とともに増殖に必要な光の閾値が低下 (Nishikawa & Yamaguchi, 2006)



光条件における増殖水深の増大 (西川, 2016)

有明海

小型珪藻減少後の低栄養塩の環境で増加 (Ito et al., 2013)

↑ 低栄養塩条件でも増殖可能な生理特性 (西川, 2013)

光環境の良好な小潮期から高密度化 (Ito et al., 2013; 松原ら, 2018)

→底層まで光が到達することで沈降速度の高い細胞も底層で増殖

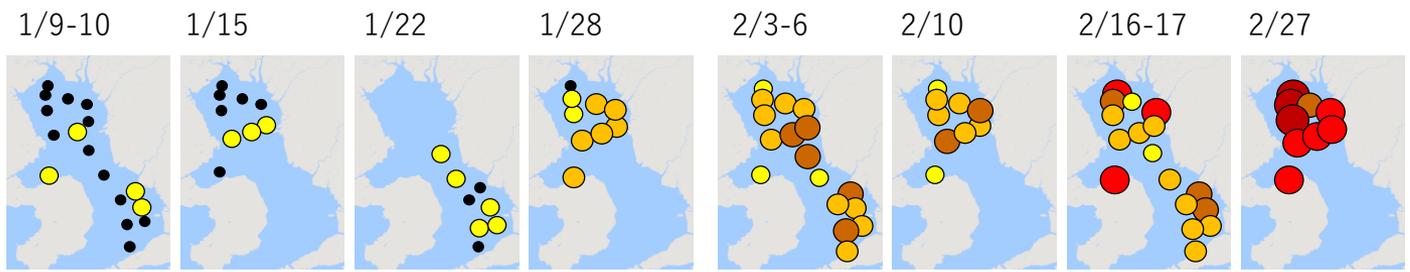
小潮期から大潮期に増殖 (Ito et al., 2013; 吉武・松原, 2017)

→細胞が水柱全体に拡散することで光環境の良好な層に出現

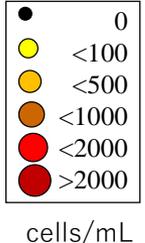
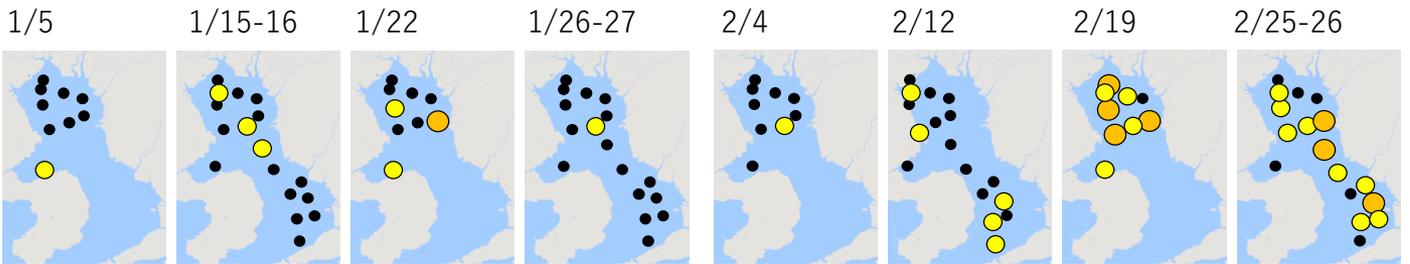
Ito et al. (2013)の成果はH28年度の委員会報告に掲載

1月～2月の *Eucampia zodiacus* の出現変化（赤潮発生年）

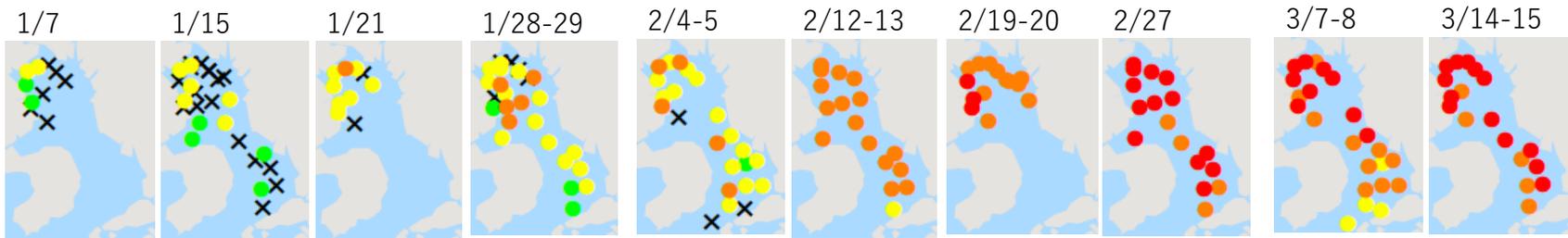
2013年度



2014年度



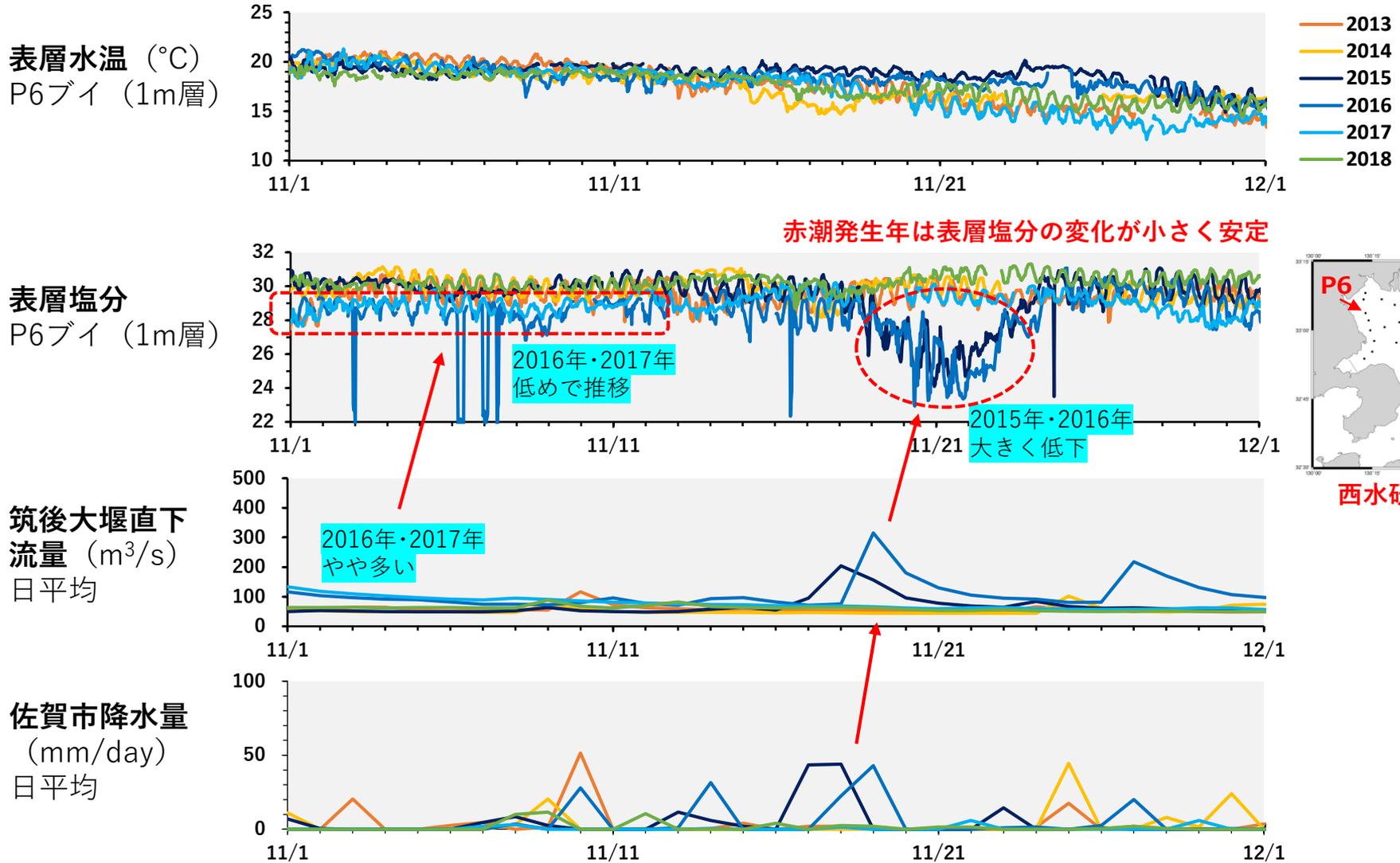
2018年度



2015および2016年度は赤潮非発生年

- ・ 発生初期から広域に出現
- ・ 奥部と中央部で同時期に密度上昇

11月のP6での水温・塩分、流量、降水量の変化 2013年～2018年



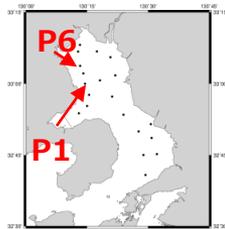
(H30年度事業報告書の図に水温、流量、降水量の図を追加)

赤潮非発生年は冬期に降雨に伴う塩分低下が認められる

赤潮発生年11月の奥部西側の光環境

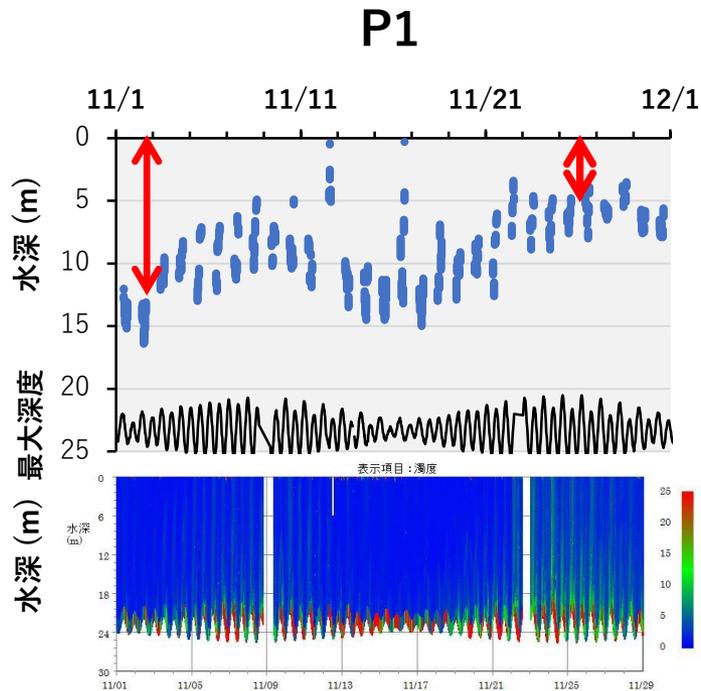
*E. zodiacus*の光量の閾値
 2.65~7.9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (8~20°C)
 (Nishikawa & Yamaguchi, 2006)

昼間(10時~15時)の
 水中光量子束密度
 5-7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$

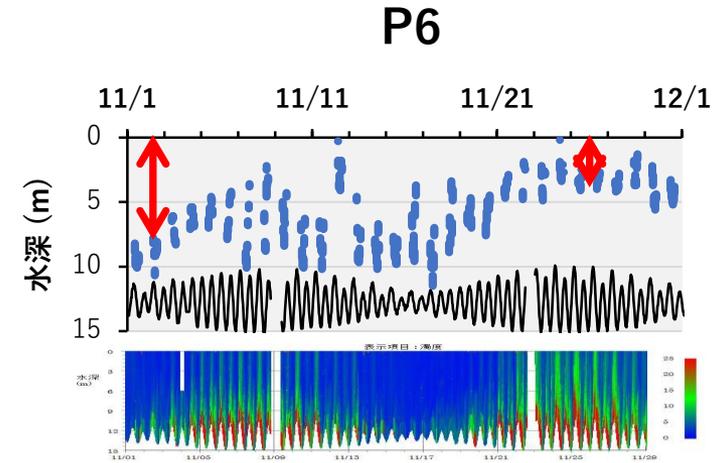
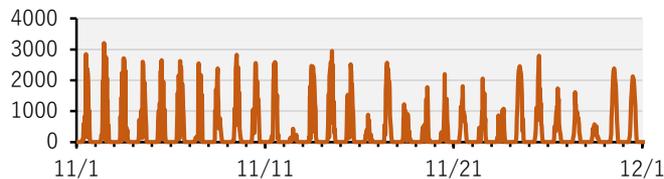


西水研ブイ

濁度



空中光量子



大潮時に海底からの巻き上げが
 水柱に大きく影響

沖合の表層は海底からの巻き上げ
 の影響が小さく光環境が良好

秋季における *Eucampia zodiacus*

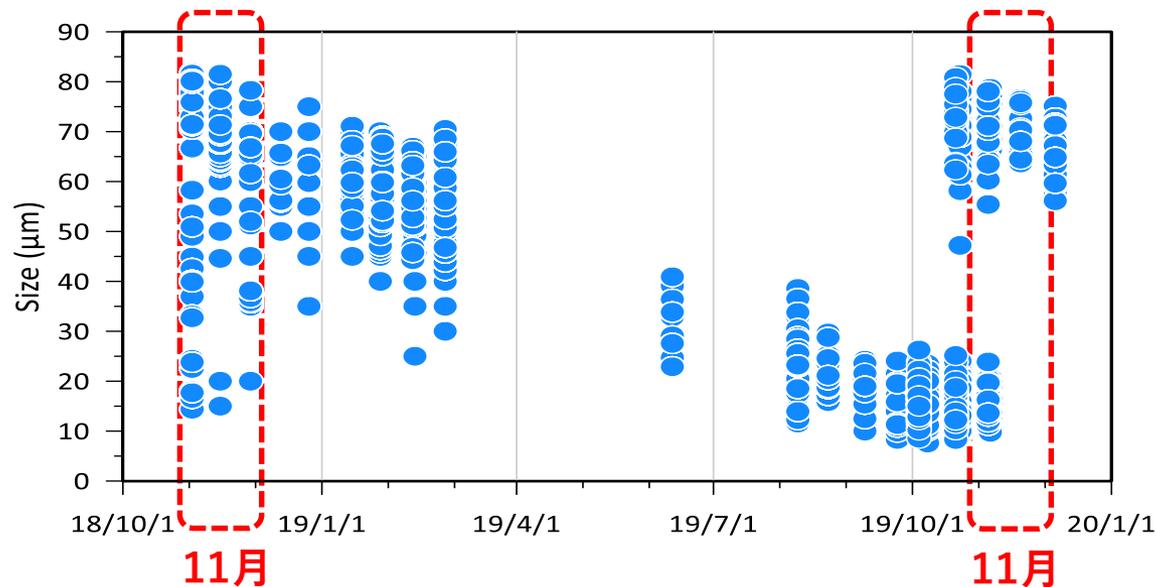
(瀬戸内海)

- ・ 小型化した細胞が秋季にサイズ回復 (Nishikawa *et al.*, 2007)

(有明海)

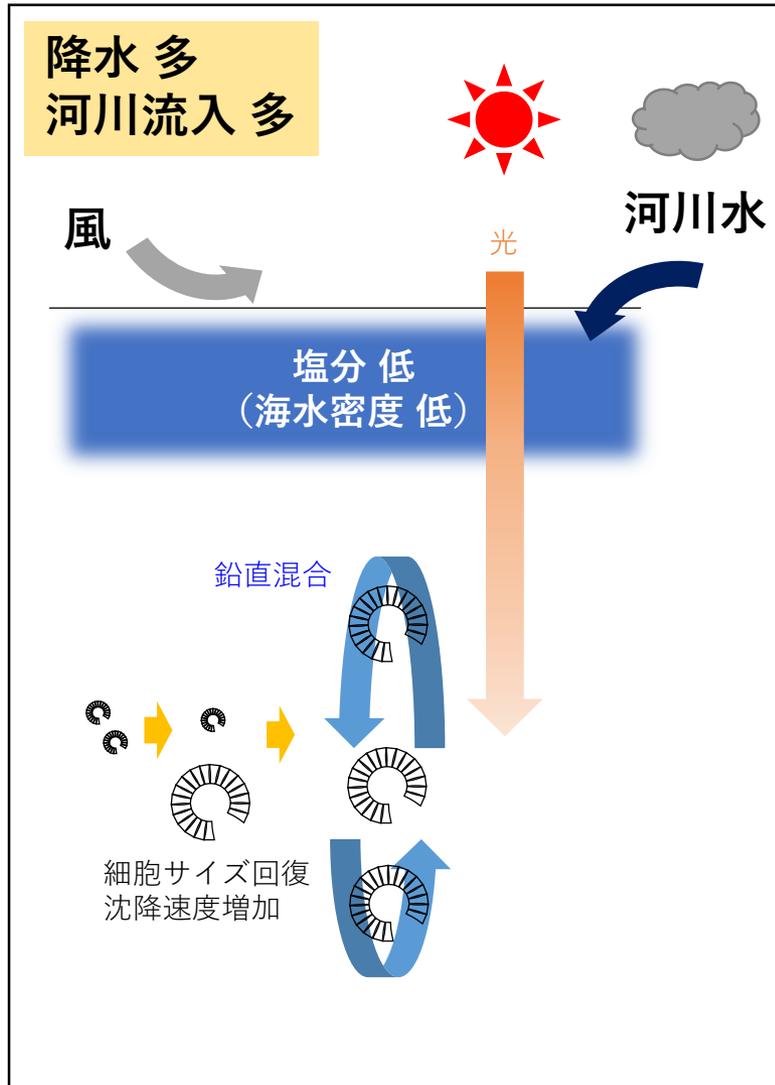
- ・ 出現しても低密度
- ・ 秋季に細胞サイズは最大となる (松原, 2017)

細胞サイズ (頂軸長) の変化 (2018年10月～継続中)

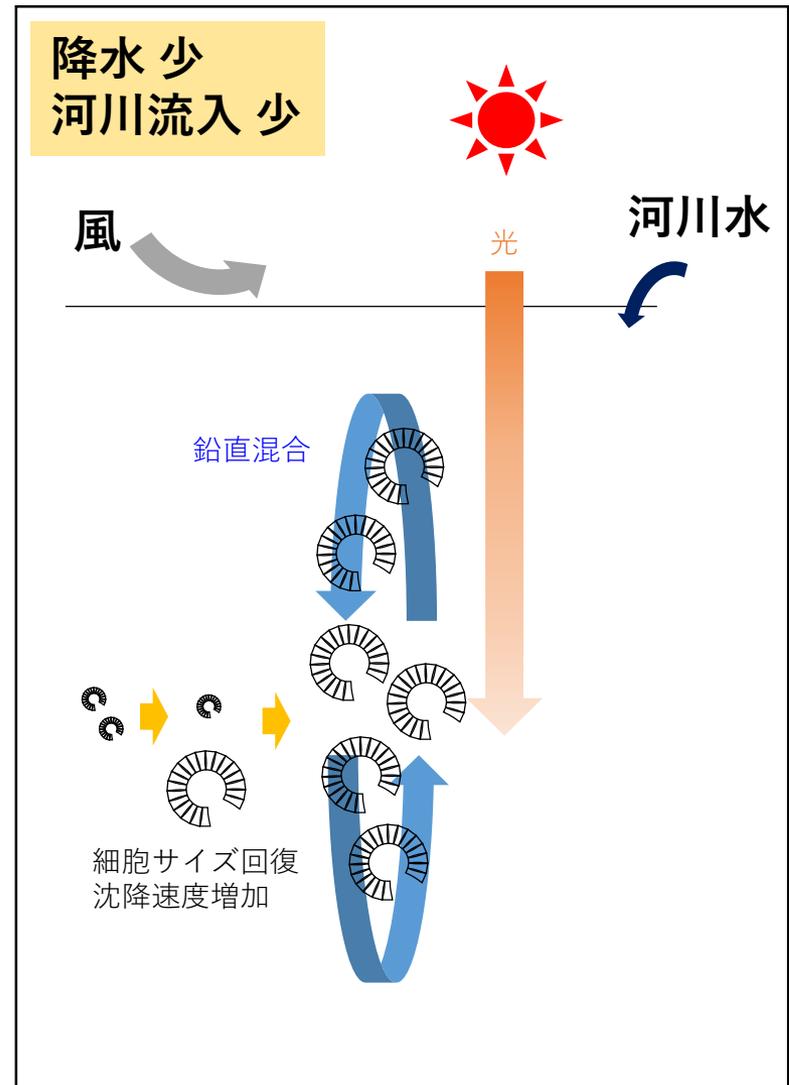


秋季（11月）の環境と *Eucampia zodiacus* 細胞（仮説）

赤潮非発生年



赤潮発生年



文献

Asteroplanus karianus

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 82: 777-779.

松原（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」 恒星社厚生閣, pp.252-257

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, 81: 1063-1069.

Skeletonema spp.

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, 75: 463-473.

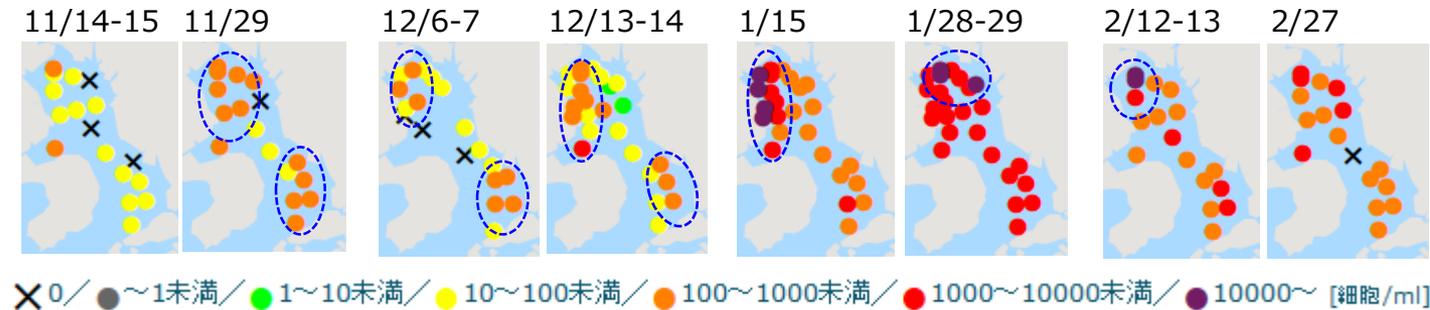
***Skeletonema* spp.**

- ・ 奥部海域では赤潮が長期化する傾向
- ・ 奥部海域では *Eucampia zodiacus* の増殖時期に関連する

赤潮の発生予察技術開発の考え方

- ・ 短期的な予察（発生と終息の時期）

Skeletonema spp.の出現変化（2018年度、11月～2月）



11月～12月
奥部西側と中央部沿岸で増加

1月～2月
全域で上昇するが奥部西側域で顕著

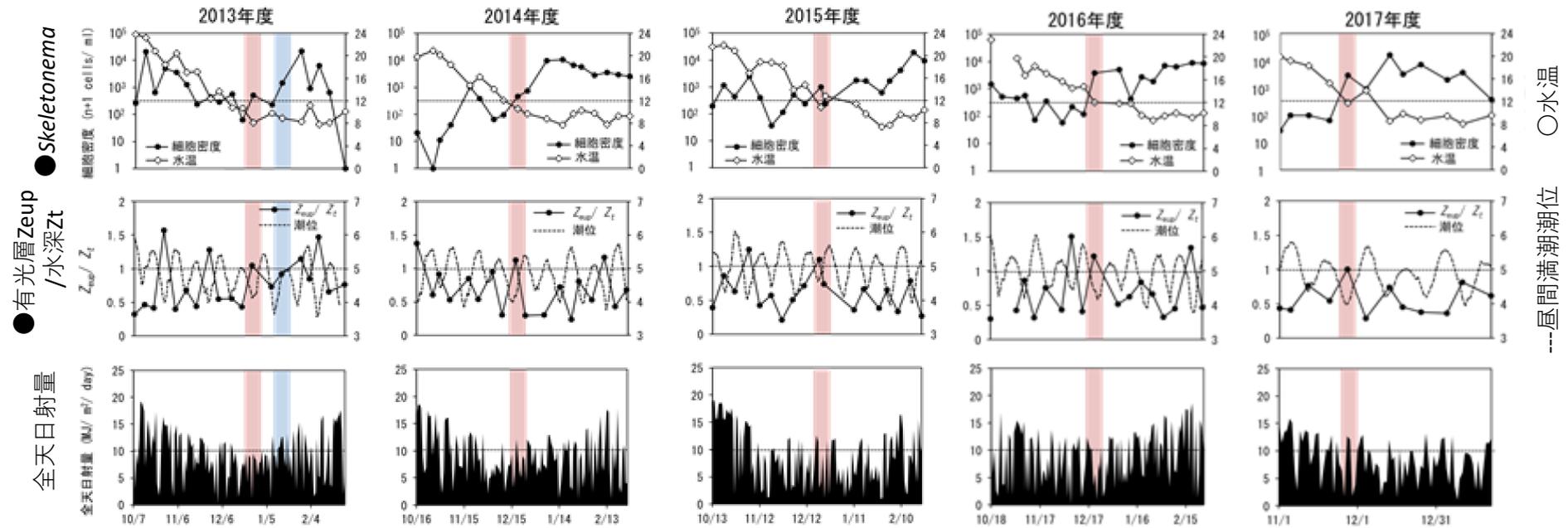
奥部西側域、諫早湾、熊本県沿岸で高密度化する傾向（H29年度事業報告書等）

奥部では六角川・塩田川河口沖が初期増殖域（H29年度事業報告書）

河口感潮域が供給源として寄与（山口ら, 2017）

- ・ 栄養塩枯渇時にも感潮域は河川からの栄養塩供給があり生産を維持
- ・ 増殖した細胞が潮汐により沖合域に輸送

Skeletonema spp.の出現特性（奥部西側）



(図：H29年度事業報告書)

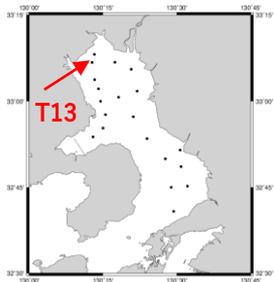
(H29年度事業報告書)

奥部西側域での出現特性

- ・細胞密度が上昇するのは水温が $\leq 12^{\circ}\text{C}$ となってから
- ・細胞密度が上昇に転じるタイミングは「有光層/水深」が ≥ 1 （2013年度除く←日射量不足が影響か）

このタイミングで増殖する理由（仮説）

- ・水温 $\leq 12^{\circ}\text{C}$ となって水塊が安定して小潮期の濁度が低下
- ・水柱光量が増加して休眠期細胞の発芽と栄養細胞の増殖

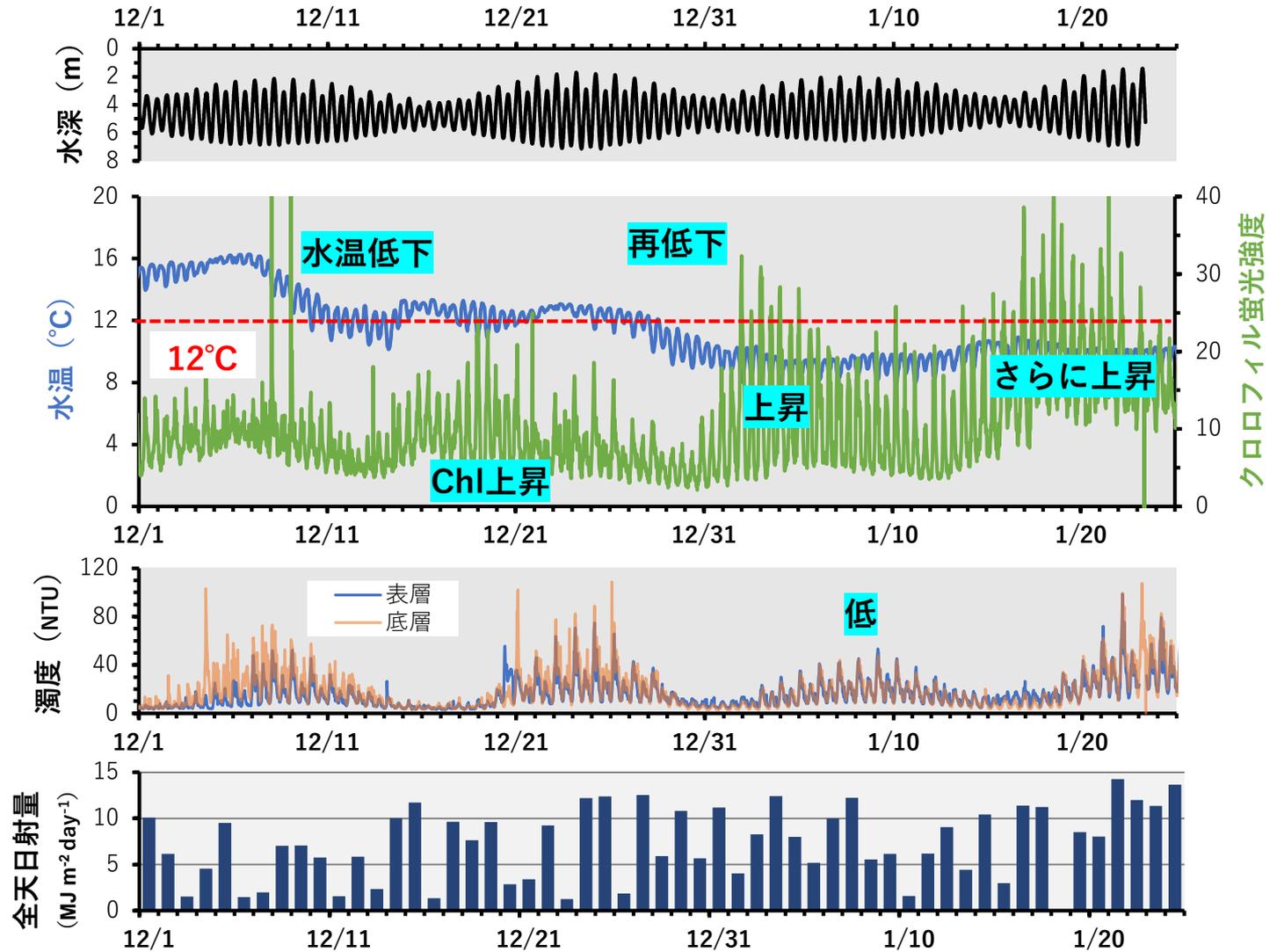


○水温
---風間満潮潮位

奥部西側Stn.T13表層の連続データ 2018年度 12月～1月



表底層連続観測点



- ・ 水温12°Cまで低下した小潮期にクロロフィル上昇
- ・ 濁度の低い大潮期に上昇

奥部西側域における *Skeletonema* 細胞密度と水温

2013年度～2017年度の西側奥定点の *Skeletonema* 細胞密度と水温の変化

2013年度

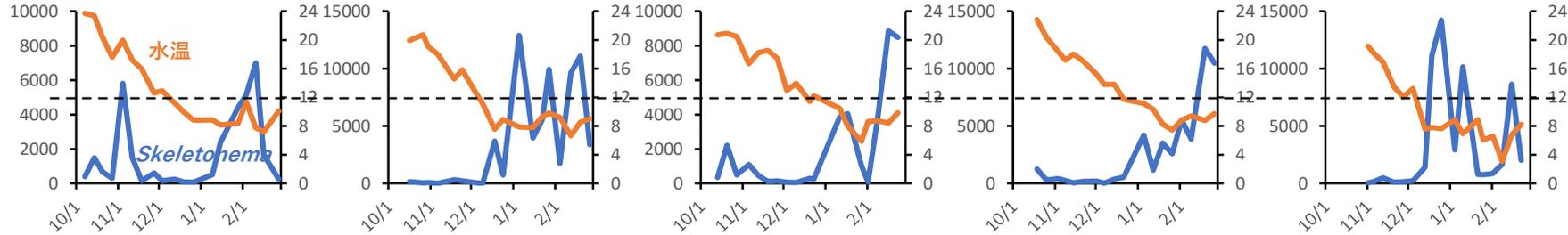
2014年度

2015年度

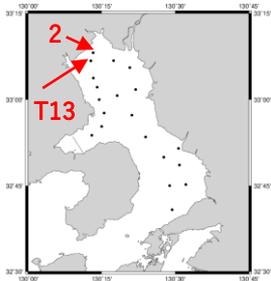
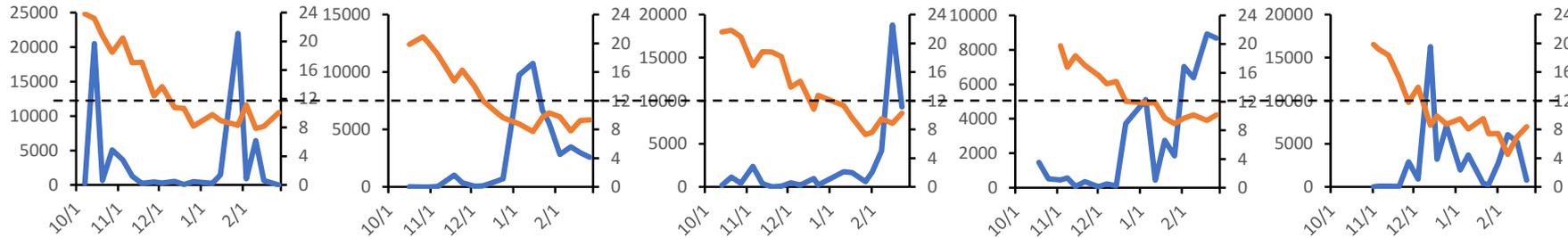
2016年度

2017年度

Stn.2



T13



過去5年間も西側奥では12°Cを下回ってから密度上昇

Asteroplanus karianus の赤潮発生機構

総合調査評価委員報告（2017）

- ・ 2007年度以降、単独で高密度の赤潮を形成するようになった要因は不明
- ・ 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
- ・ 鉛直混合期に細胞密度が増加する傾向

前回委員会報告後

- ・ 本種に関する学術文献が多数報告された
- ・ 赤潮が塩田川河口に集中する現象あるいは赤潮の発元年・時期の特徴が明らかとなった。

Asteroplanus karianus の赤潮発生機構

2015年以降の論文・報告書・書籍

松原ら (2016) ノリ色落ち原因珪藻 *Asteroplanus karianus* のブルームピーク時期の予察 (日水誌)

松原 (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」)

平成29年度赤潮・貧酸素水塊対策推進事業「瀬戸内海等での有害赤潮発生機構の解明と予察・被害防止等技術開発」報告書

松原ら (2018) ノリ色落ち原因珪藻類の物理・化学的要因に対する増殖特性、生活史応答の把握

山口・外丸 (2018) ノリ色落ち原因珪藻による栄養塩摂取特性の把握と現場栄養塩濃度の予測技術開発

Shikata *et al.* (2015) Effects of temperature, salinity, and photosynthetic photon flux density on the growth of the harmful diatom *Asteroplanus karianus* in the Ariake Sea, Japan (Fish. Sci.)

Tomaru *et al.* (2019) Preliminary analysis of diatom-infecting viruses in Ariake Sound, Japan (JARQ)

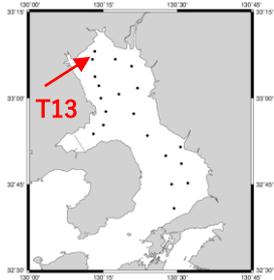
山口ら (2017) 有明海湾奥西部の鹿島川感潮域における高栄養塩・高クロロフィル水塊と沿岸の冬季珪藻ブルームとの関係 (沿岸海洋研究)

Yamaguchi *et al.* (2019) Growth environment of diatoms in turbid water in the inner western part of Ariake Bay during winter (JO)

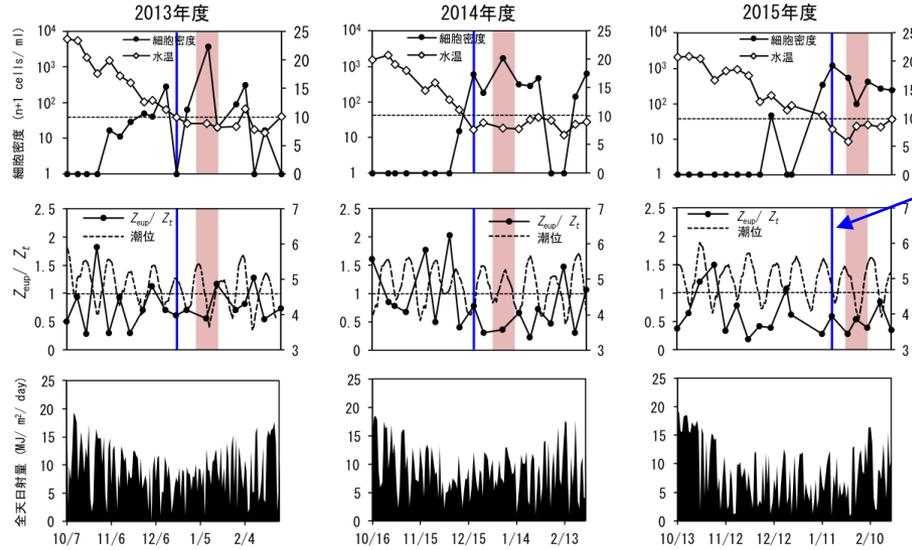
南浦・山口 (2019) 冬季有明海奥部におけるノリ色落ち原因藻 *Skeletonema* spp., *Eucampia zodiacus*, *Asteroplanus karianus* の増殖と物理環境特性 (土木学会論文集B2)

Asteroplanus karianus

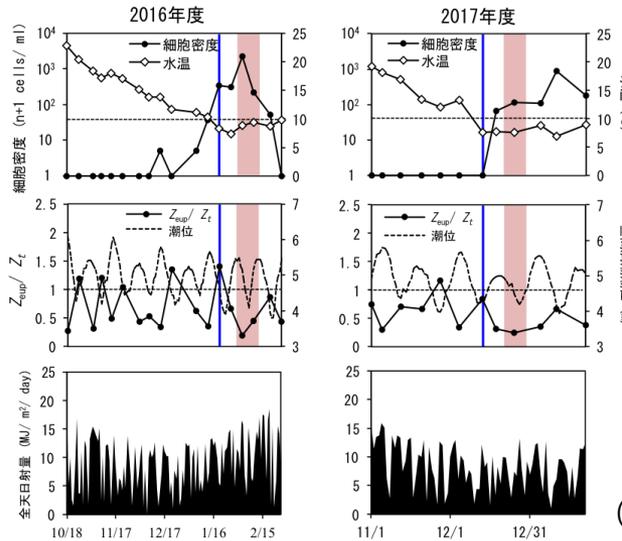
2013年度から2017年度のT13における *Asteroplanus karianus* の細胞密度の経時変化と水温、有光層 Z_{up}/Z_t 比と昼間満潮潮位、全天日射量の関係



● Skeletonema
● Z_{up}/Z_t
● 全天日射量



○水温
10°C以下となった観測日
---潮位



「水温が10°Cを下回った後の初めての大潮期に続く小潮期」にブルーム (松原ら, 2016) 概ね一致

(図：H29年度水産庁事業報告書より)

Asteroplanus karianus の赤潮発生機構

山口ら (2017) 沿岸海洋研究 鹿島川感潮域

- ・ 感潮域が栄養塩の供給源及び珪藻類の生産維持の場
- ・ 感潮域からの水塊移入が沿岸域での珪藻ブルームの発生・維持に寄与

Yamaguchi *et al.* (2019) J. Oceanogr. 塩田川・鹿島川河口域

- ・ 上流～中流域：
満潮時は、栄養塩あり、上げ潮により下流から珪藻が輸送されて高密度、しかし高濁度で光環境は良くない
- ・ 下流域：
満潮時は、光環境は良い、しかし栄養塩は低い
下げ潮に上・中流域から高濁度・高珪藻密度・高栄養塩が輸送
干潮時は、高栄養塩、水深低下による水柱の光環境の改善

光環境と栄養塩環境が干潮時に下流域で改善 → 珪藻の成長に適した場

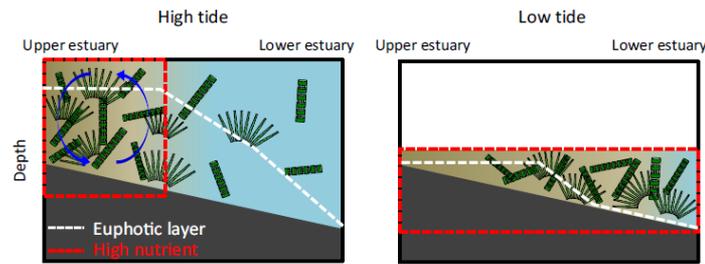


Fig. 11 Postulated environment of the estuary. Left: high tide. In the upper estuary, the water mass is vertically well mixed due to tidal motion, and has a thin euphotic zone, high nutrient content, and high diatom cell densities. In the lower estuary, the water mass has a deep euphotic zone, low nutrient content, and low diatom cell densities. Right: low tide. In the lower estuary, the water mass has a high nutri-

ent content and high diatom cell densities. Optimal euphotic conditions almost extend to the bottom. In the upper and intermediate estuary, it is inferred that a thin euphotic zone forms as a result of high turbidity, and nutrient content is high because of an increased freshwater supply

Asteroplanus karianus の赤潮発生機構

南浦・山口 (2019) 土木学会論文集B2

奥部において現地観測データと数値シミュレーションによりノリ色落ち原因珪藻の増殖と物理環境特性について検討

- 海水交換の強弱は残差流の強弱と関係
- 残差流の空間的な違いは密度流に依存 (潮汐残差流と吹送流の寄与は微弱)
 - 淡水流入量・密度流 → 西部 < 東部
 - 滞留時間 → 西部 > 東部
- 奥西部では密度流の未発達により水塊が滞留し、植物プランクトンの増殖にとって好適な環境が形成
- Skeletonema* や *Asteroplanus* の高濃度化が物理環境に強く依存

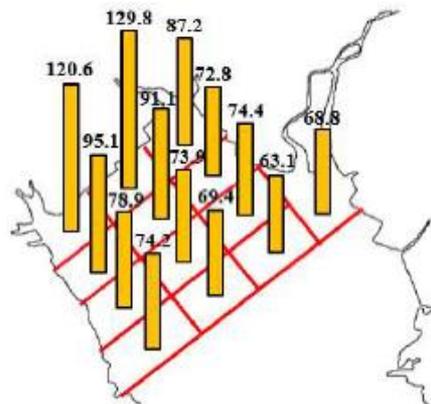


図-6 各小領域における滞留時間分布 (hours)

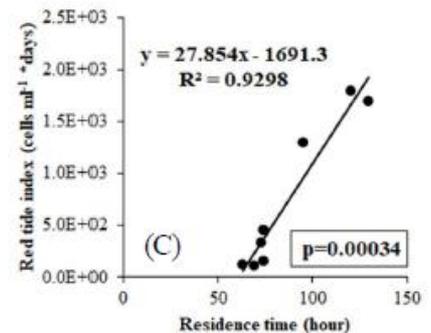
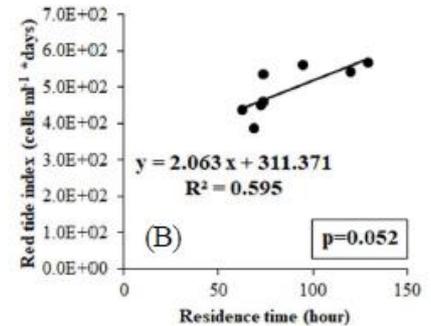
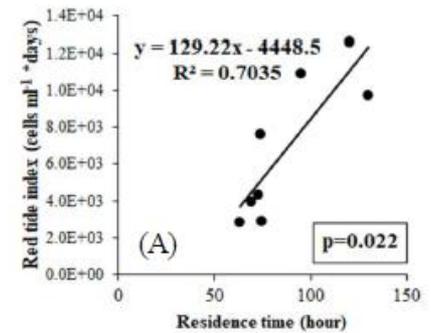


図-7 滞留時間とRIの相関関係

(A: *Skeletonema* spp. B: *E. zodiacus* C: *A. karianus*)

Asteroplanus karianus の赤潮発生機構

松原 (2016) 有害有毒プランクトンの科学

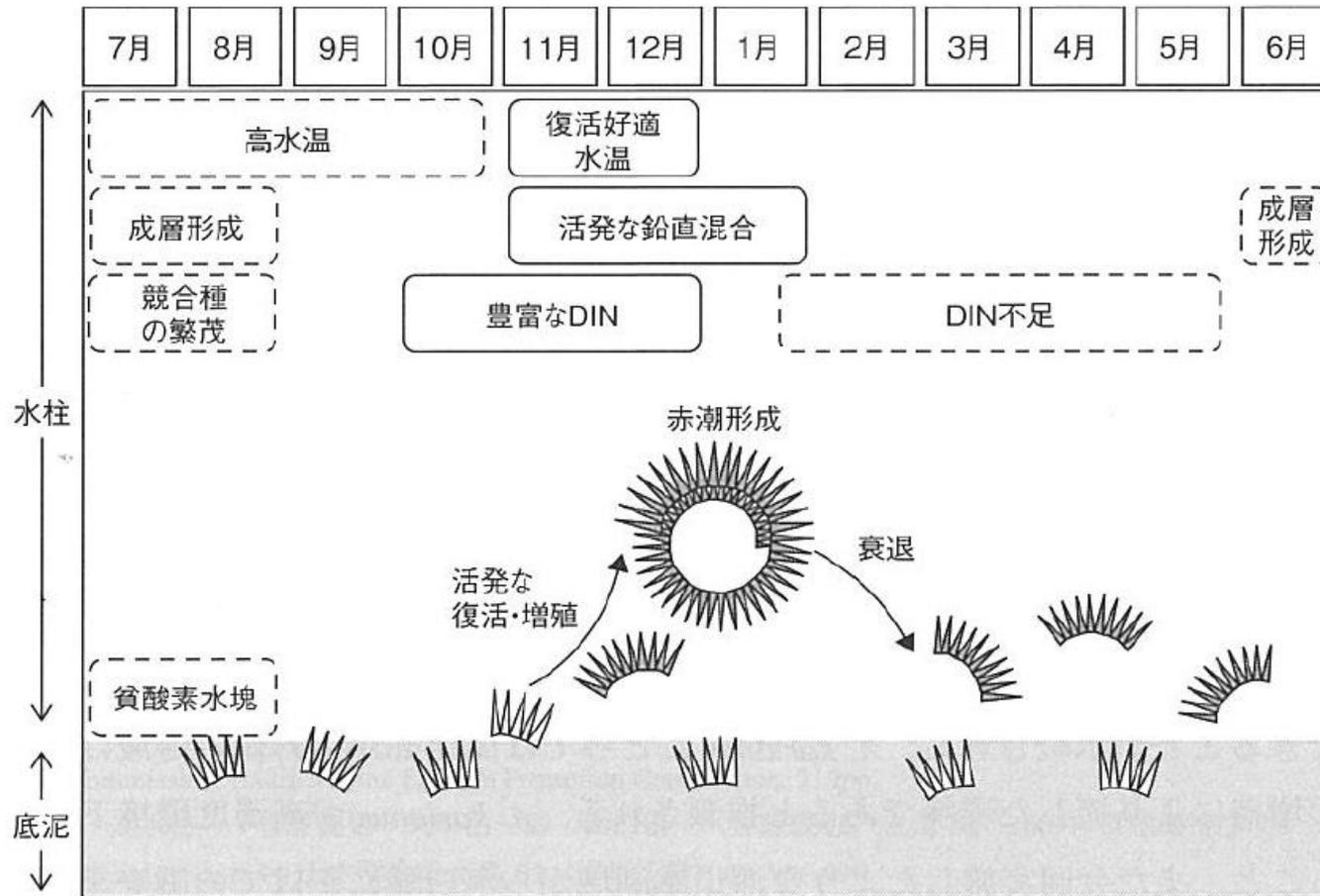


図4 有明海奥部における *Asteroplanus karianus* の赤潮発生機構の概念図

A. karianus に好適な要因を実線囲みで、不適な要因を破線囲みで示す。競合種の繁茂、貧酸素水塊は *A. karianus* についての試験データはないが、負の影響が想定される。

秋季～冬季の赤潮に関するまとめ

H29年委員会報告から新たに蓄積された知見

Eucampia zodiacus

- ✓ 広域モニタリングから出現特性を把握（水産庁委託事業、2013年から継続中）
- ✓ 長期予察のための秋季の増殖メカニズムの仮説（水産庁委託事業）
- ✓ 冬季の赤潮化のメカニズム（水産庁委託事業、Ito et al. (2013)を支持）

Skeletonema spp.

- ✓ 冬季に赤潮が長期化（水産庁委託事業等）
- ✓ 出現特性の把握（水産庁委託事業）
- ✓ 生産維持の場としての感潮域の重要性（Yamaguchi et al., 2019）
- ✓ 増殖時期の環境特性の把握（水産庁委託事業）

Asteroplanus karianus

- ✓ 生理学的特性の解明（Shikata et al., 2015、水産庁委託事業JV1）
- ✓ 発生機構の概念図（松原, 2016）
- ✓ ブルーム発生時期の予察（松原ら, 2016）

水温、流動場、降雨量、濁度などが赤潮発生予察に基礎的な項目である

今後の検討課題

・初期発生の解明

ノリ養殖に最も影響の大きい *Eucampia zodiacus* について、発生年と非発生年が大きく分かれることから、初期発生期の動態についてさらなる知見の蓄積が必要。

・モニタリングの重要性

珪藻類は出現と衰退が短期間で激しく変動することから、環境項目などの連続観測と情報提供が重要である。

・色落ち対策

珪藻類を恒常的に摂餌する二枚貝資源の回復など