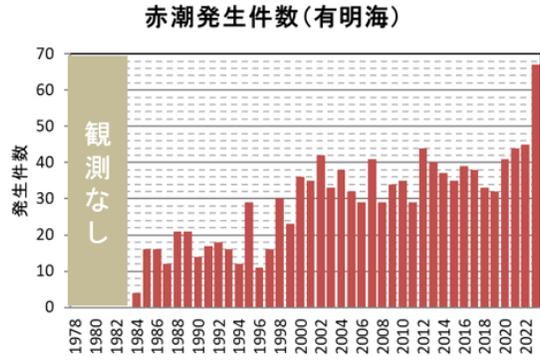


有明海・八代海の夏の赤潮発生状況

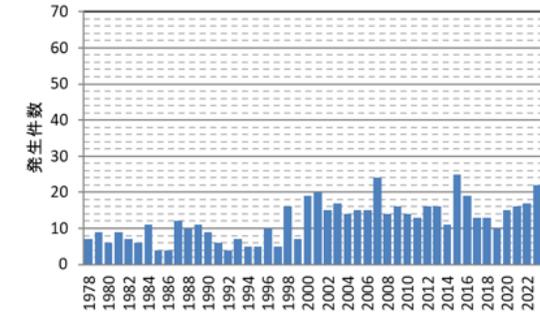
～赤潮による被害軽減技術の開発・高度化～

令和6年8月
有明海・八代海勉強会

有明海・八代海・橘湾の赤潮発生状況



赤潮発生件数(有明海)



赤潮発生件数(八代海)

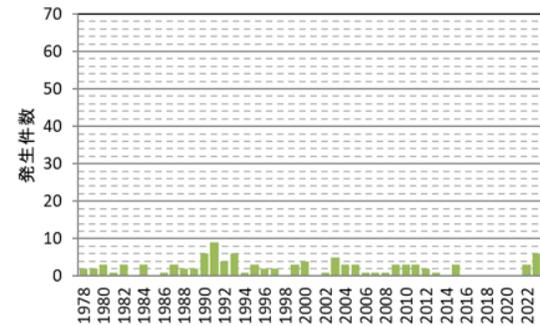


図 3. 8. 1 [図2. 8. 1-1] 有明海、八代海及び橘湾における赤潮発生件数の推移。出典：水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮（昭和53～令和4年）」をもとに作成した

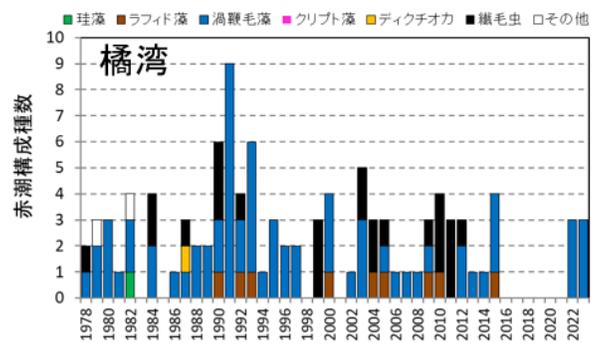
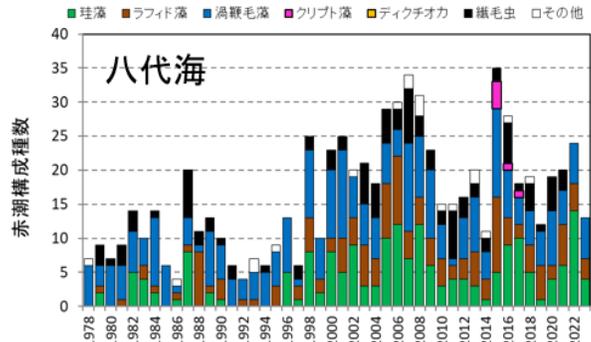
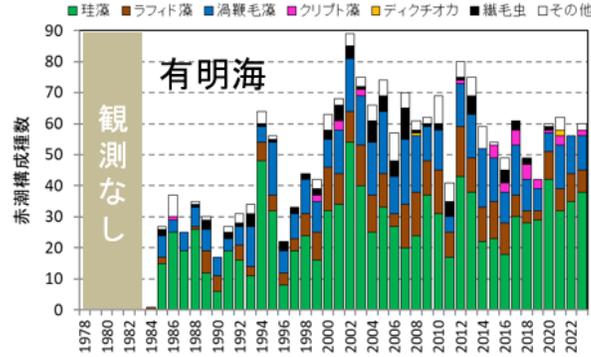
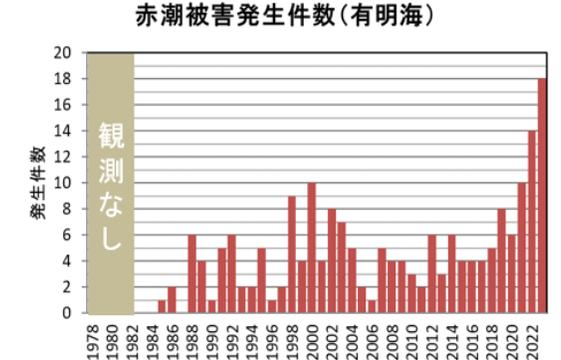
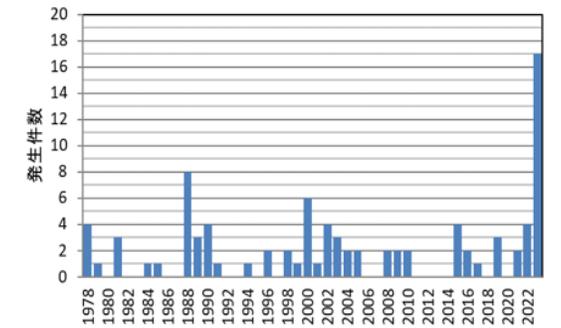


図 3. 8. 3 [図2. 8. 2-2] 有明海、八代海及び橘湾における赤潮構成種数の推移。出典：水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮（昭和53～令和4年）」をもとに作成した



赤潮被害発生件数(有明海)



赤潮被害発生件数(八代海)

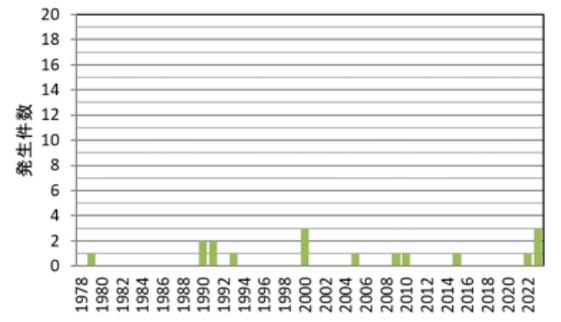
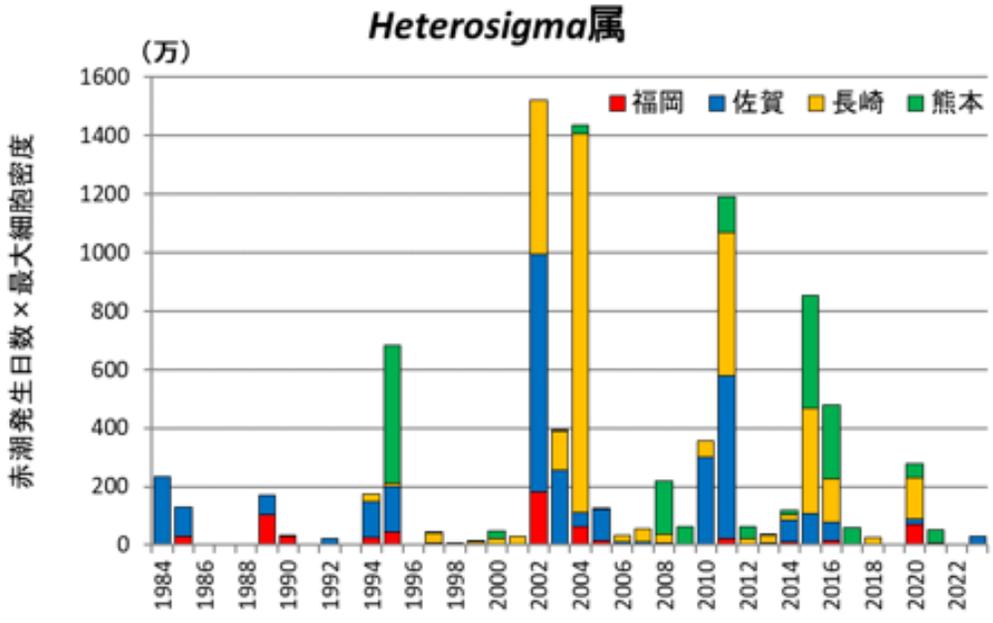
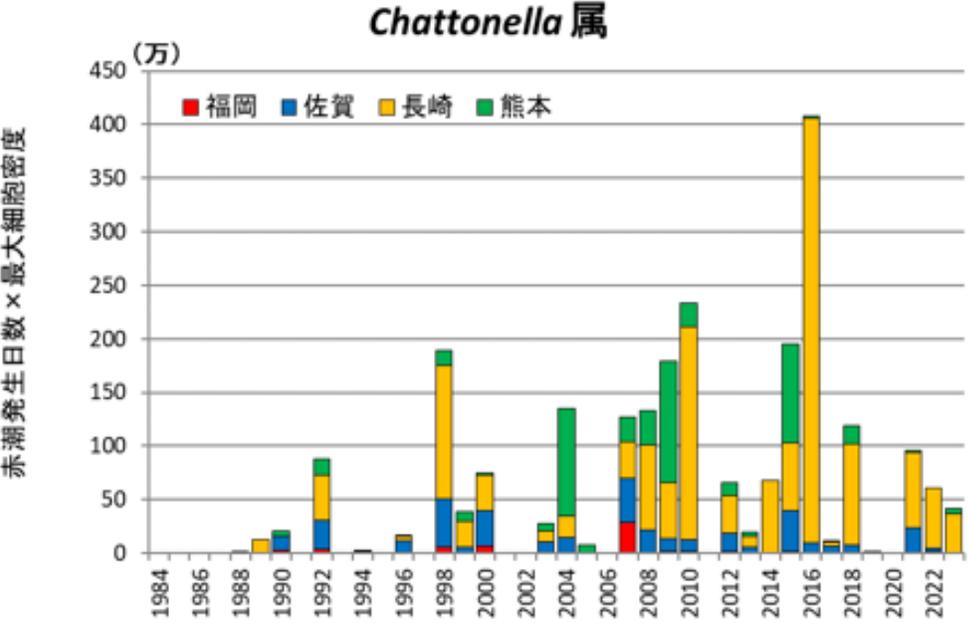


図 3. 8. 9～11 [図2. 8. 3～5-1] 有明海・八代海・橘湾において漁業被害をもたらした赤潮発生件数（年間）の推移。出典：水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮（昭和53～令和4年）」をもとに環境省が作成

有明海における有害赤潮発生規模の推移



八代海の魚類養殖生産量の経年推移

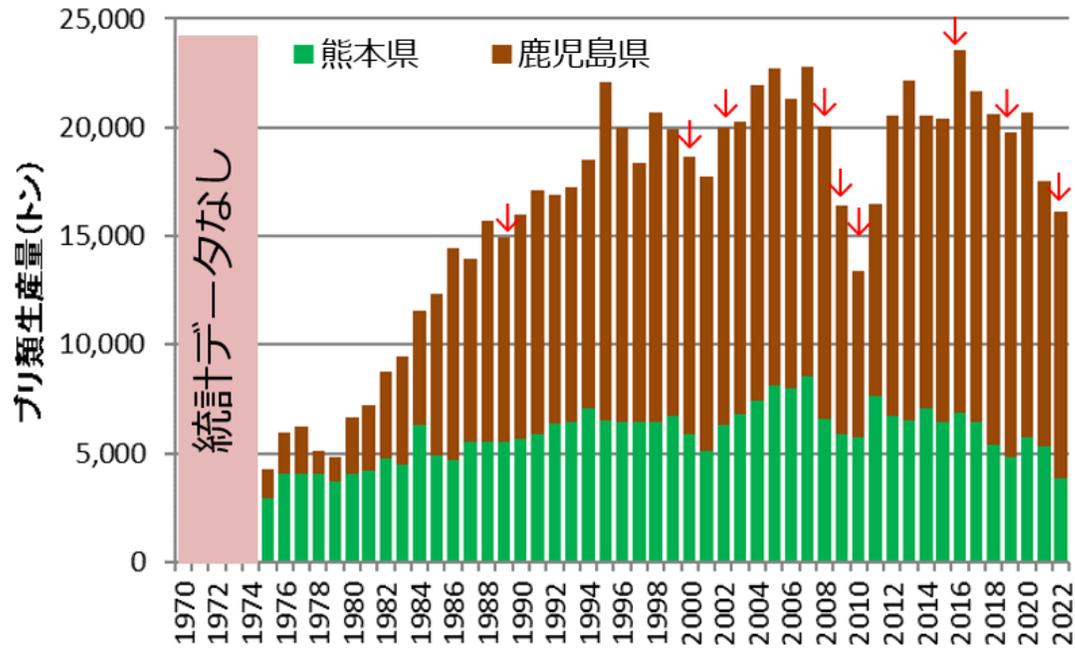


図 4. 4. 178 [図 2. 9. 5-4]
八代海におけるブリ類生産量の経年推移

出典：農林水産省「熊本農林水産統計年報（昭和 50～令和4 年）」
農林水産省「鹿児島農林水産統計年報（昭和 50～令和4 年）」をもとに環境省が作成した。

※1 2012年以降の熊本県漁獲量は、有明海区、牛深海域を含む

※2 ブリ、カンパチ、その他ブリ類

注) 矢印は赤潮により1 億円以上の漁業被害が発生した年を示す。

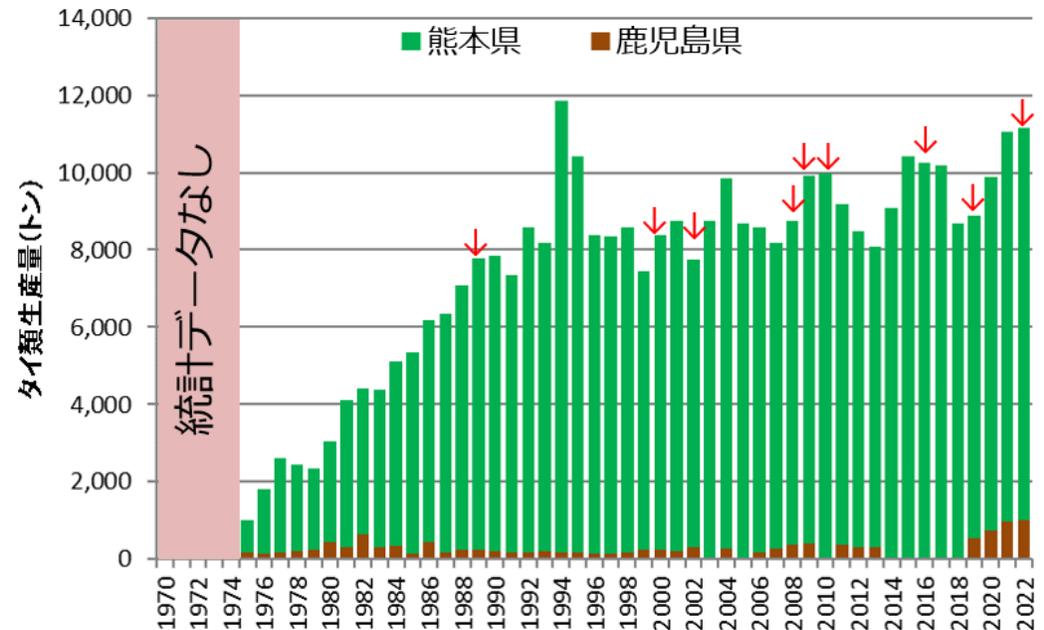


図 4. 4. 179 [図 2. 9. 5-5]
八代海におけるタイ類生産量の経年推移

出典：農林水産省「熊本農林水産統計年報（昭和50～令和4 年）」と農林水産省「鹿児島農林水産統計年報（昭和50～令和4 年）」をもとに環境省が作成した。

※1 2012年以降の熊本県漁獲量は、有明海区、牛深海域を含む

注) 矢印は赤潮により1 億円以上の漁業被害が発生した年を示す。

八代海における赤潮発生日数・最大細胞密度

近年、発生日数は増加傾向か？

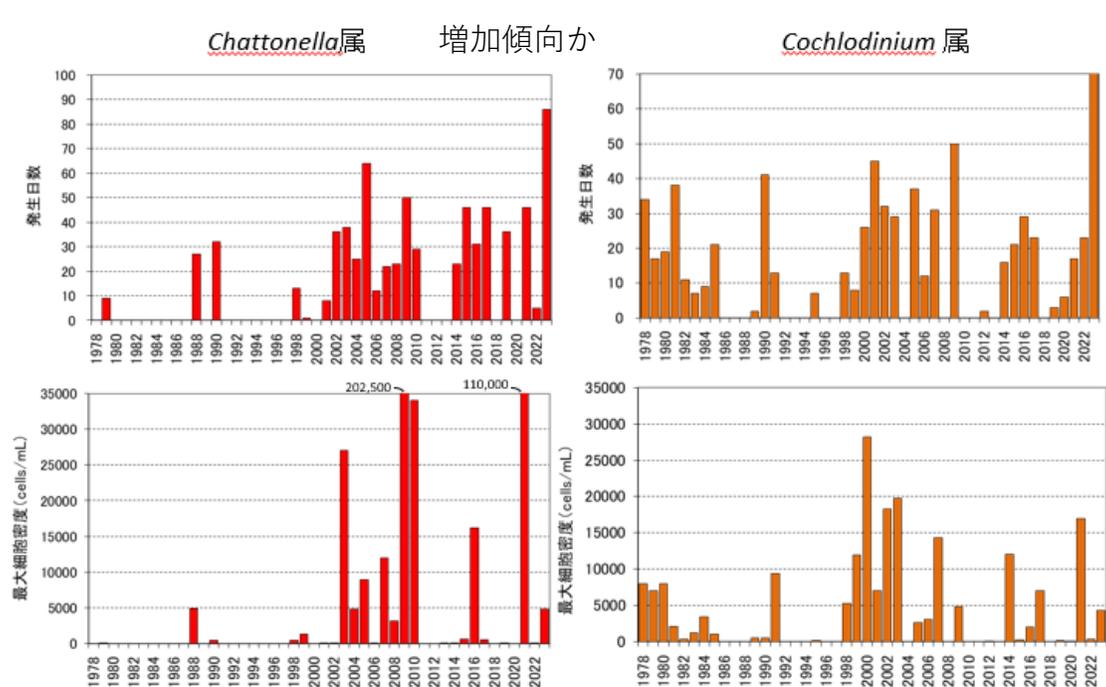


図 4.4.180 [図 2. 8. 4-3]

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～令和 5 年）」をもとに環境省が作成した。

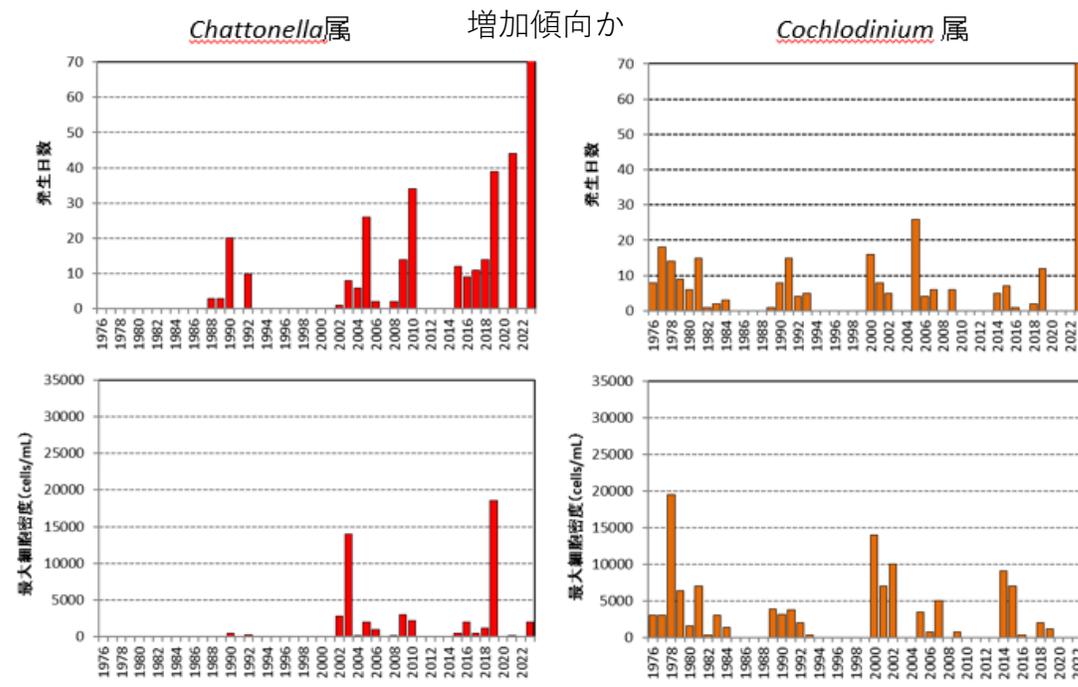
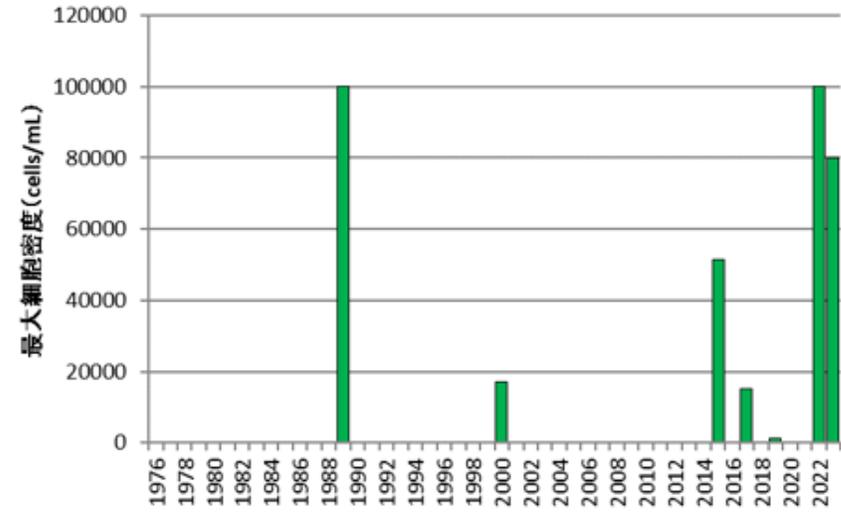
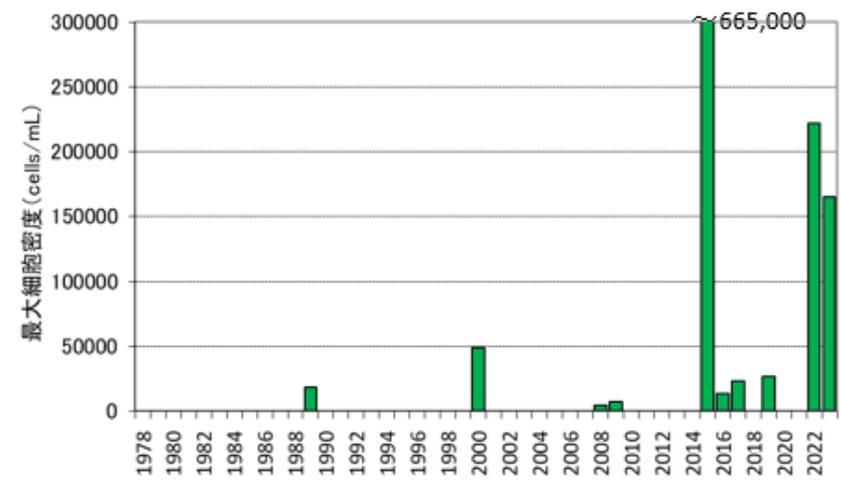
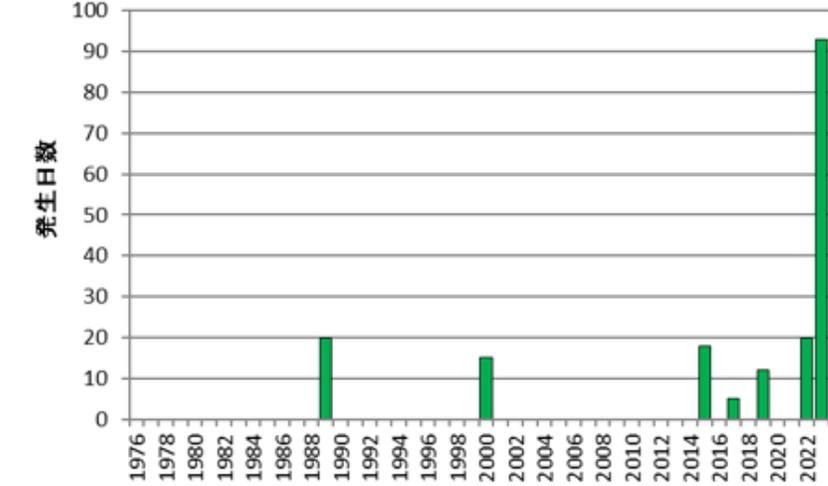
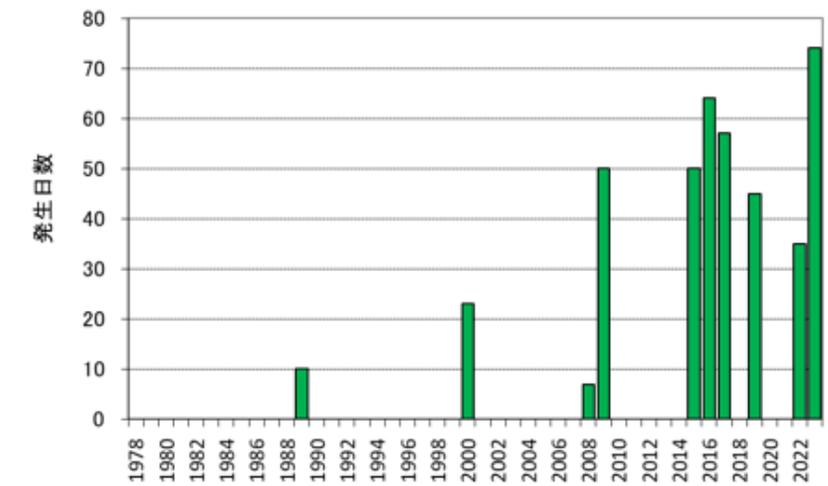


図 4.4.181 [図 2. 8. 4-4]

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～令和 5 年）」をもとに環境省が作成した

八代海における*Karenia mikimotoi*赤潮発生日数・最大細胞密度

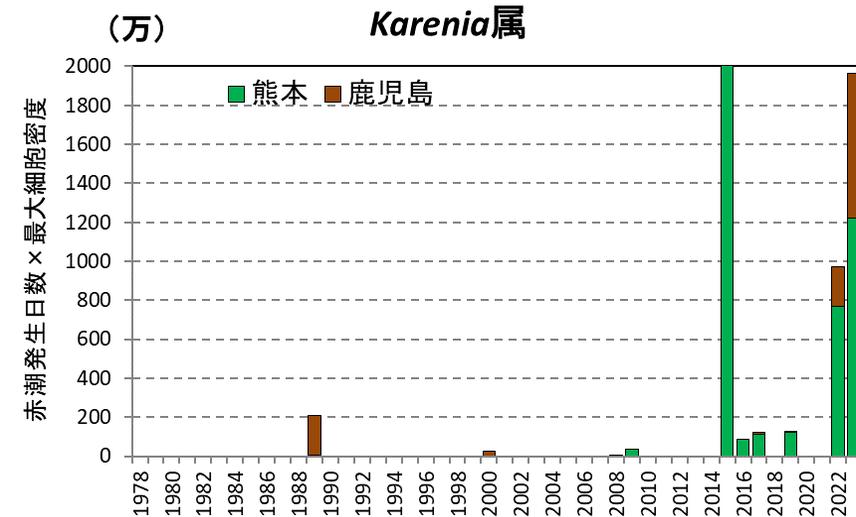
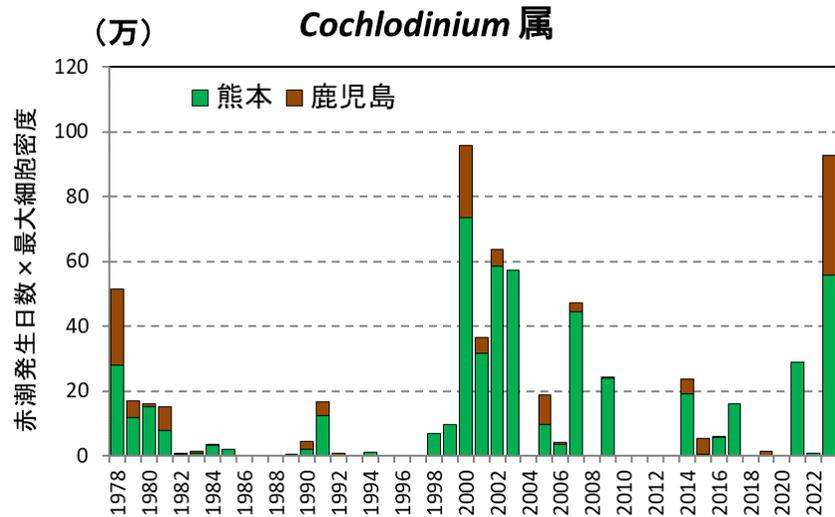
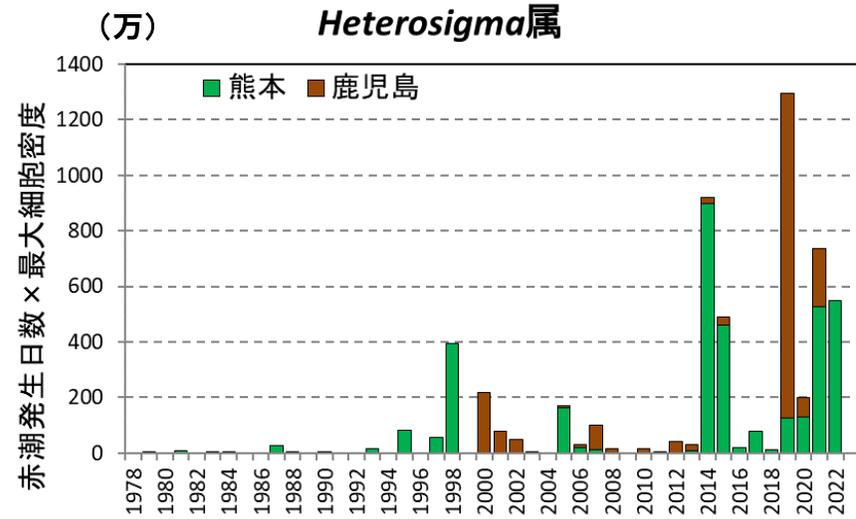
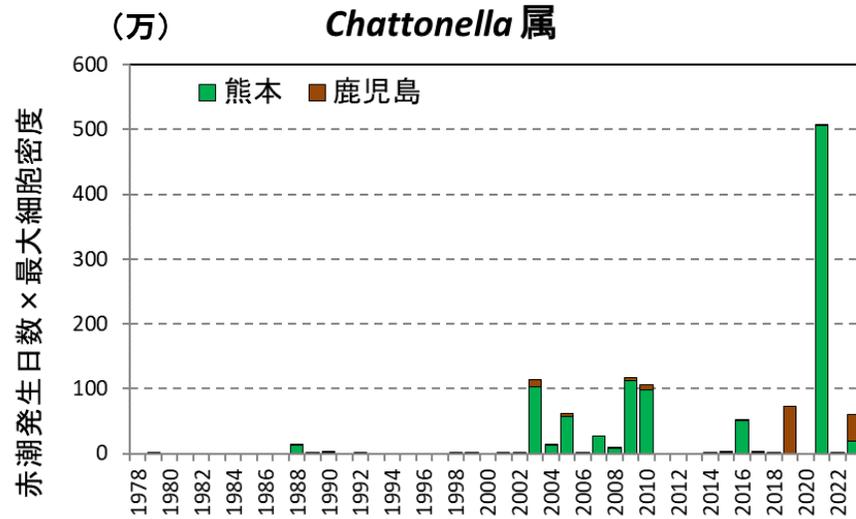


熊本県海域

鹿児島県海域

八代海では、2015年以降、*Karenia mikimotoi* の赤潮発生頻度が増加している

八代海における4種有害赤潮発生規模の推移



いずれの有害種も赤潮発生規模が高い水準にある

R3年度中間とりまとめで示された課題

有明海

- *Chattonella* 属と珪藻類の競合

八代海

- 近年の赤潮（*Chattonella* 属、*Karenia* 属）の発生状況と消長シナリオ
- 赤潮発生予察（*Chattonella* 属）
- 八代海における赤潮状況把握のための体制

有明海の赤潮

Chattonella 属と珪藻類の競合

有明海における *Chattonella* 属と珪藻類の競合



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地点(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」

2009年~2017年の *Chattonella* 属と珪藻類の細胞密度の変化から、**珪藻増殖時には *Chattonella* の細胞密度が減少する傾向**

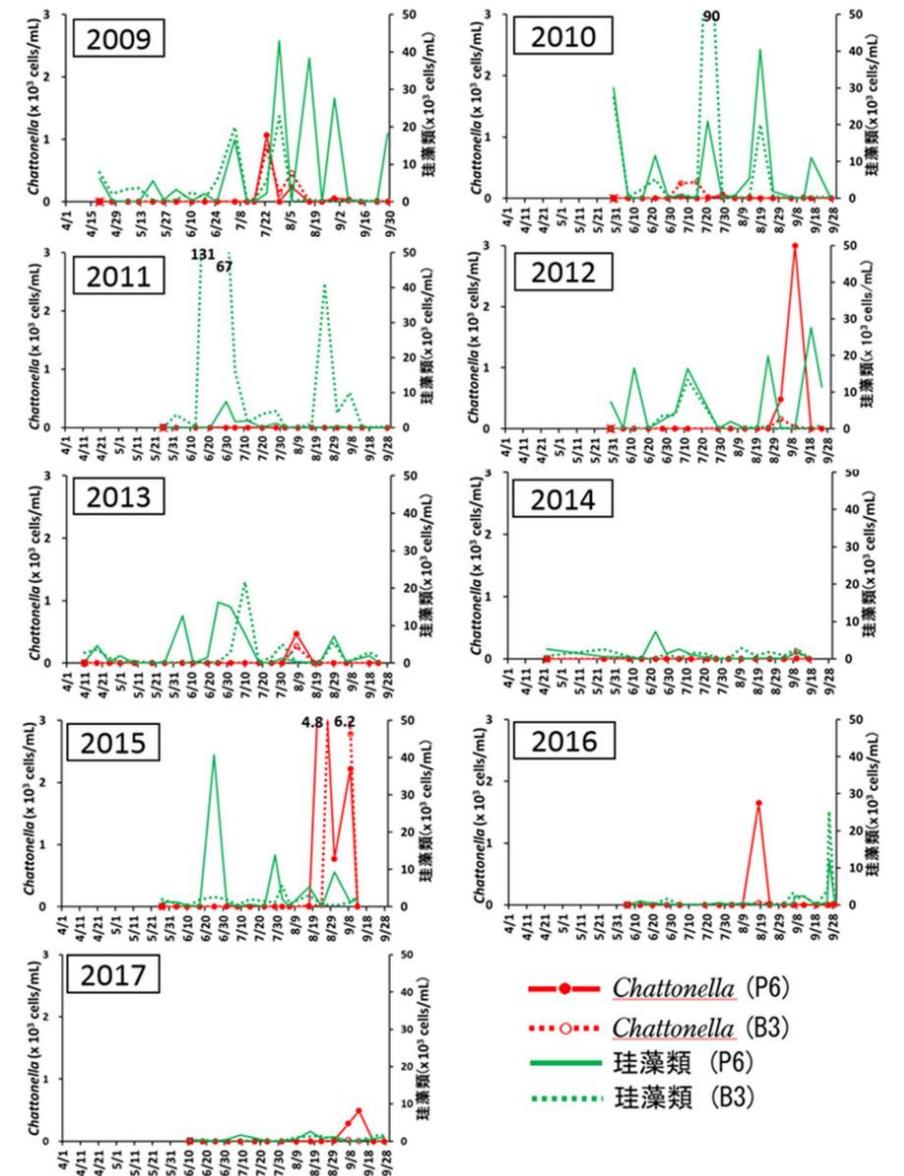
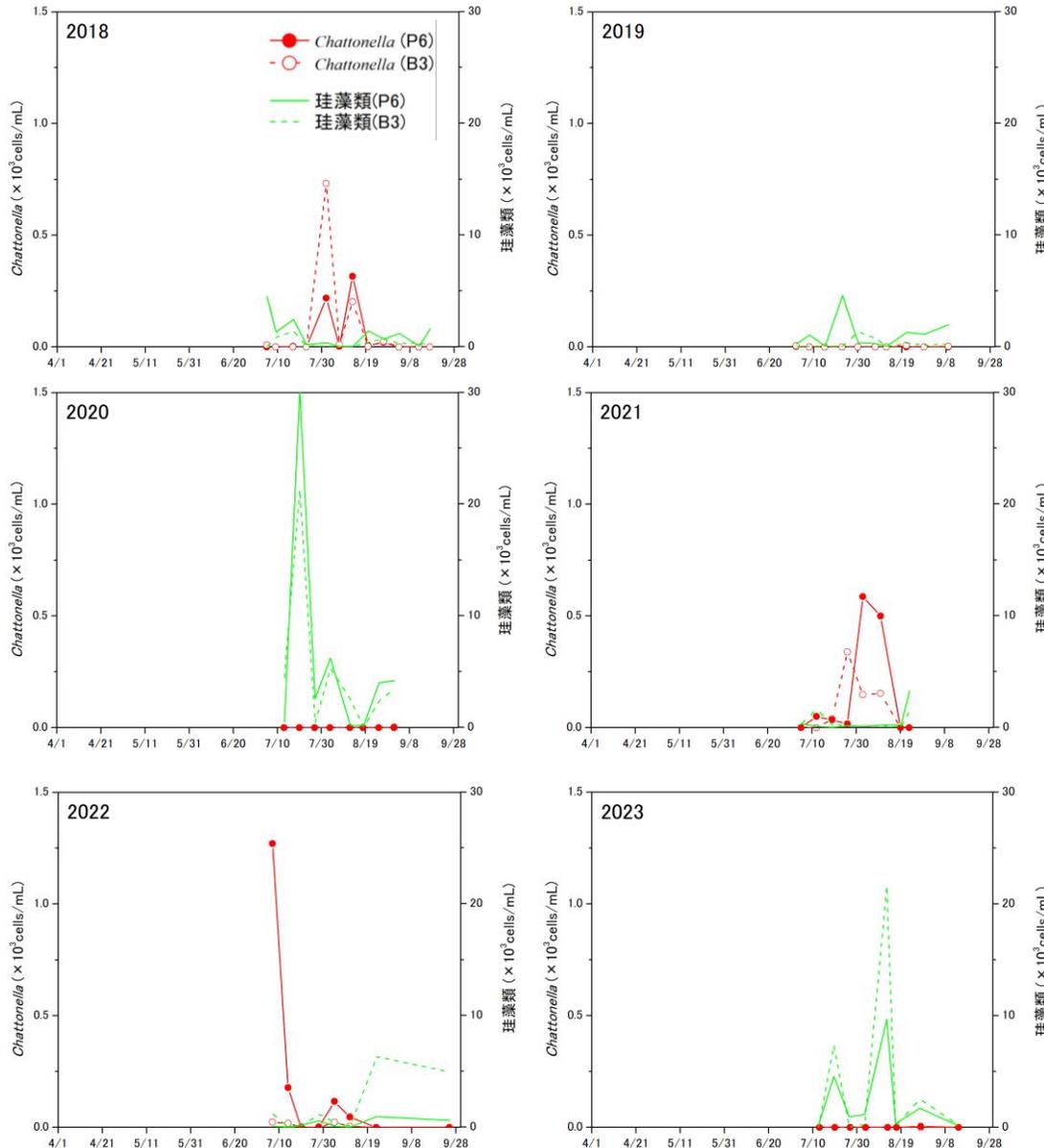


図 2.8.3-5 有明海奥部(測点 P6)及び諫早湾(測点 B3)における *Chattonella* 属と珪藻類の出現特性(2009(平成21)年~2017(平成29)年)

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

Chattonella 属と珪藻類の競合 (データの更新)



2018年～2023年についても、**珪藻増殖時には Chattonella の細胞密度が減少する傾向**

有明海では、基本的に**出水後**、栄養塩の増加に伴って**珪藻類がブルーム**を形成。ただし、太陽光が十分でないあるいは**表層栄養塩が枯渇**すると、珪藻類が衰退して**鞭毛藻が増加**するパターンが繰り返されている

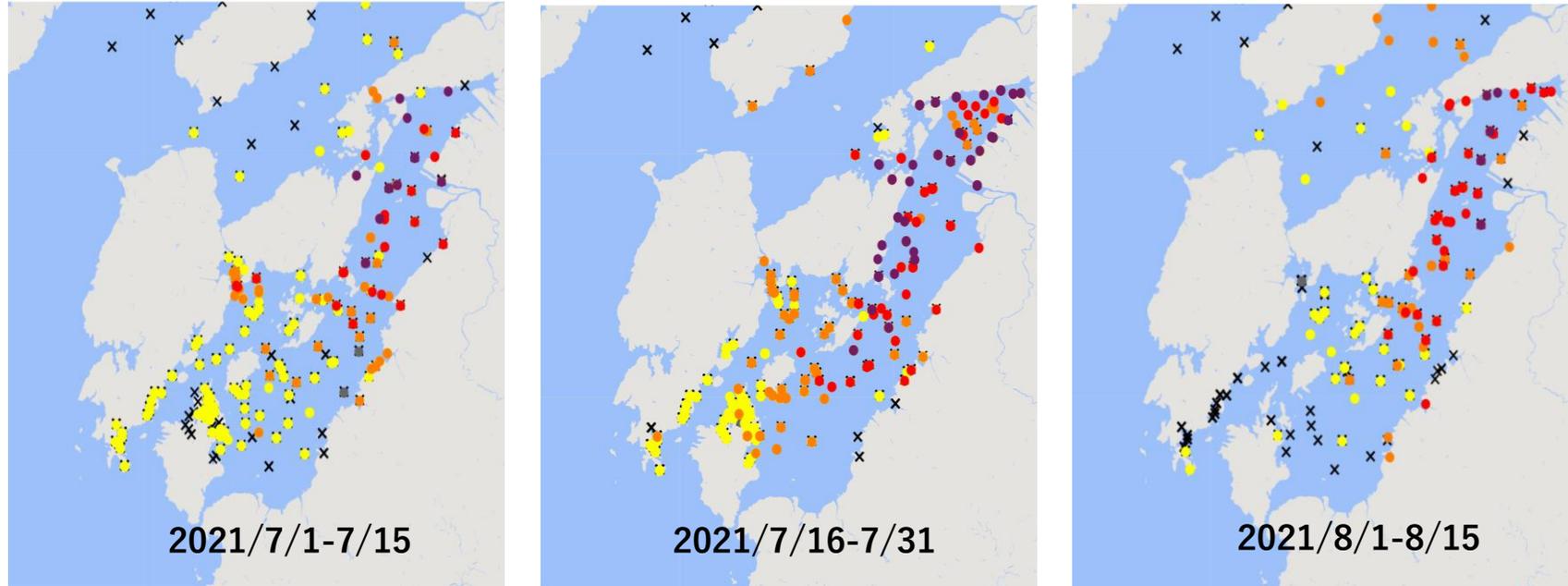
珪藻と有害赤潮プランクトンとの競合関係も踏まえた、赤潮予測について、今後取り組む必要がある

注) Chattonella の細胞密度のスケールは前資料の1/2

近年の八代海の赤潮の発生状況と 消長シナリオ ～R3年中間取りまとめ以降を中心に～

2021年 *Chattonella*赤潮の発生状況

Chattonella spp.



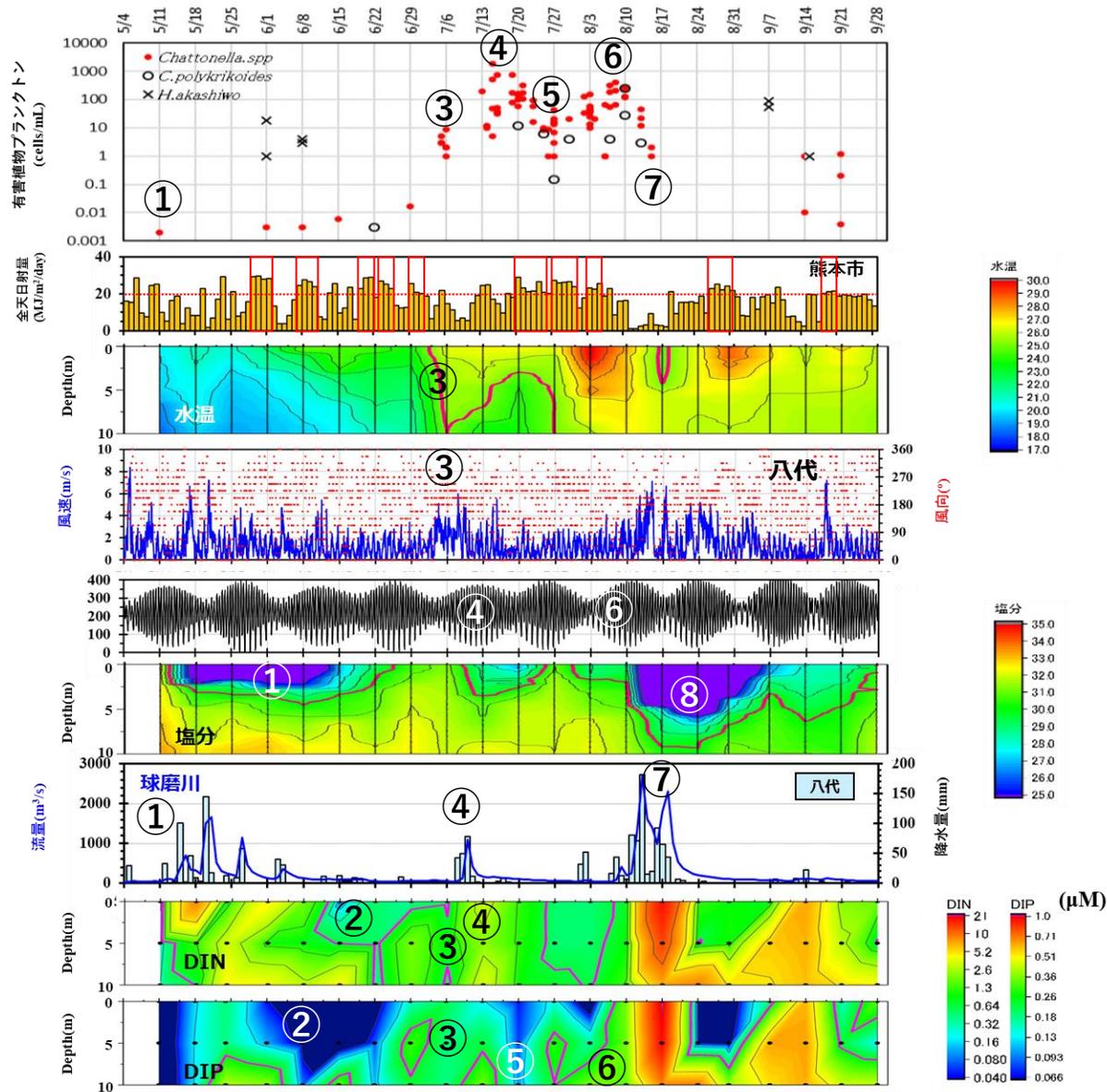
× 0 / ● ~0.1未満 / ● 0.1~1未満 / ● 1~10未満 / ● 10~100未満 / ● 100~1000未満 / ● 1000~ [細胞/ml]

2021年は7月から8月前半にかけて北部を中心に全域で、100 cells/ml以上の*Chattonella* 赤潮が発生。

細胞密度の分布・勾配から、有明海からの流入型ではなく八代海内部で発生した可能性が高い
→**八代海全域で初期発生がみられる地場発生型であった**

2021年Chattonella赤潮

Stn. 2 (大築島北)



2021年のChattonellaは、

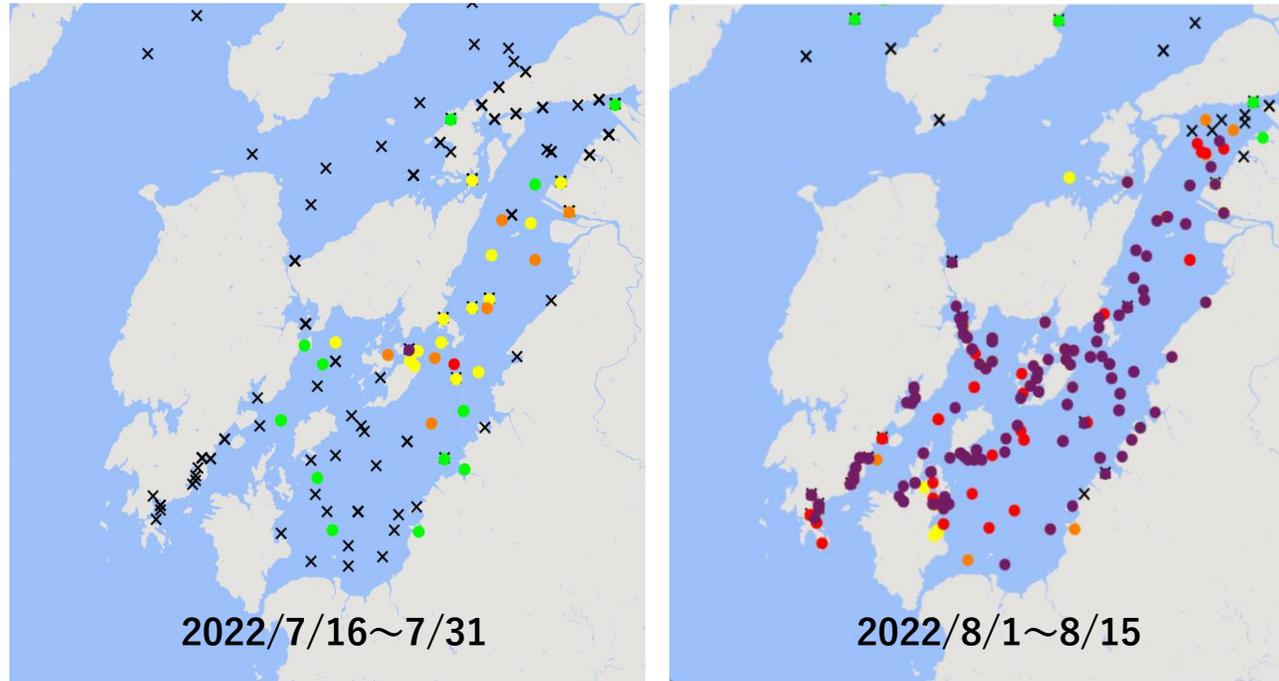
- ① 5月に初認。梅雨降雨で成層化し、珪藻増殖により低迷
- ② 6月上・中旬の少雨（栄養塩不足）で低迷が継続
- ③ 6月下旬、南寄りの風の連吹で密度成層崩壊しDIN、DIP増加、7月上旬、水温上昇（ $\geq 25^\circ\text{C}$ ）で7月上旬増加
- ④ 7月前半の降雨と大潮による鉛直混合で栄養塩が供給され、急激に増加
- ⑤ 7月下旬の小潮で栄養塩消費（DIP激減）により7月末に減少
- ⑥ 8月上旬に大潮による鉛直混合で再度栄養塩が供給され増加
- ⑦ 8月中旬の大雨による大規模出水後に衰退
- ⑧ その後、成層化により珪藻増加、秋季の鉛直混合により珪藻増加で終息

環境要因

- i) 風による水塊混合：4～5 m/s以上、南寄りの風の連吹により促進（観測による経験則）→栄養塩供給
- ii) 珪藻増殖と日射量：20MJ/m²/dayが3日以上（長副ら，2009）。全天日射量の図中の赤枠と赤点線

2022年 *Karenia mikimotoi*赤潮の発生状況

Karenia mikimotoi



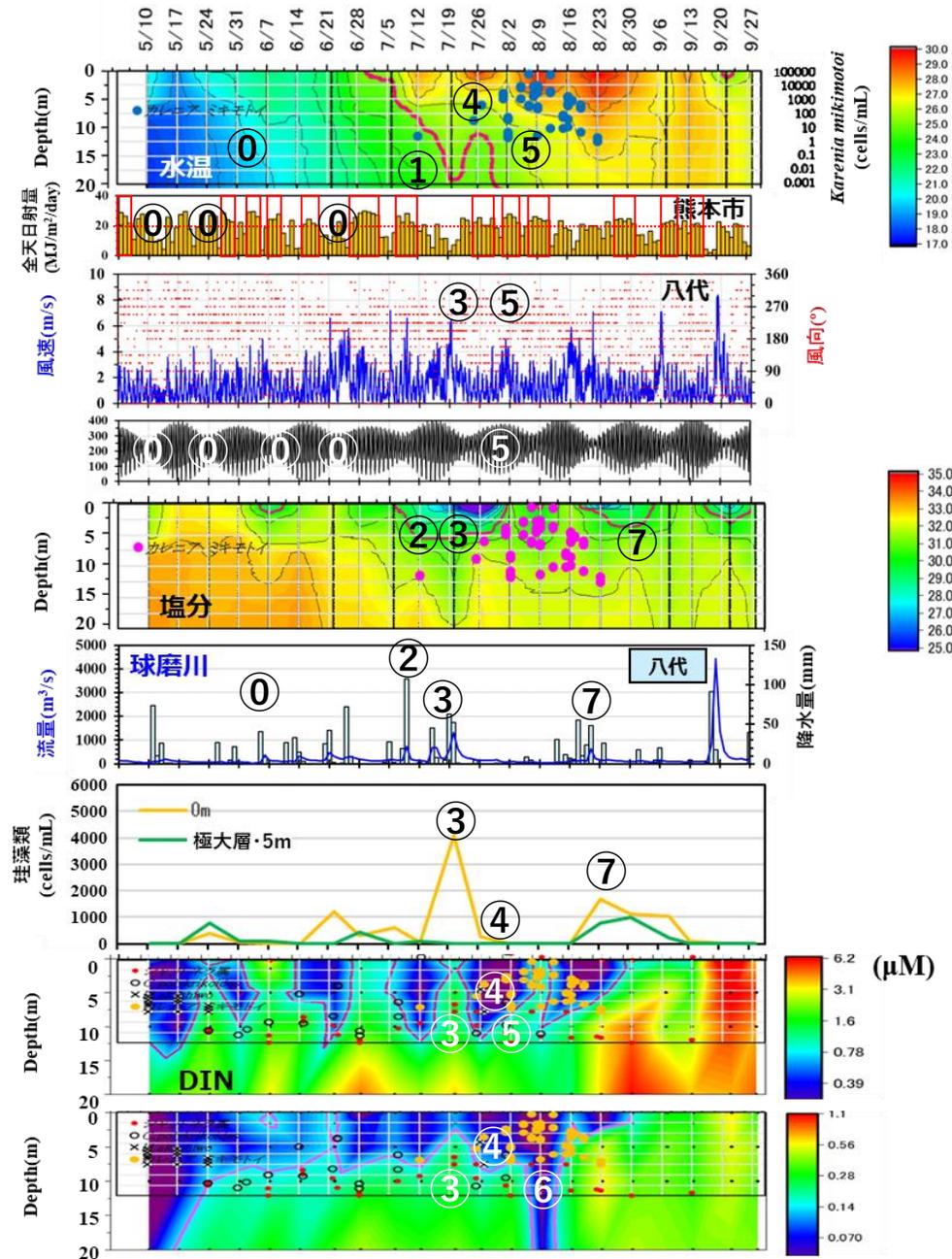
× 0 / ● ~0.5未満 / ● 0.5~5未満 / ● 5~50未満 / ● 50~500未満 / ● 500~2500未満 / ● 2500~ [細胞/ml]

2022年は7月後半から8月前半にかけて中央部から全域で、500 cells/ml以上の*Karenia*赤潮が発生。

初期の細胞密度の分布・勾配から、八代海内部で発生した可能性が高い
→**全域で初期発生がみられる地場発生型**

2022年Karenia赤潮

Stn. A (姫戸ブイ)



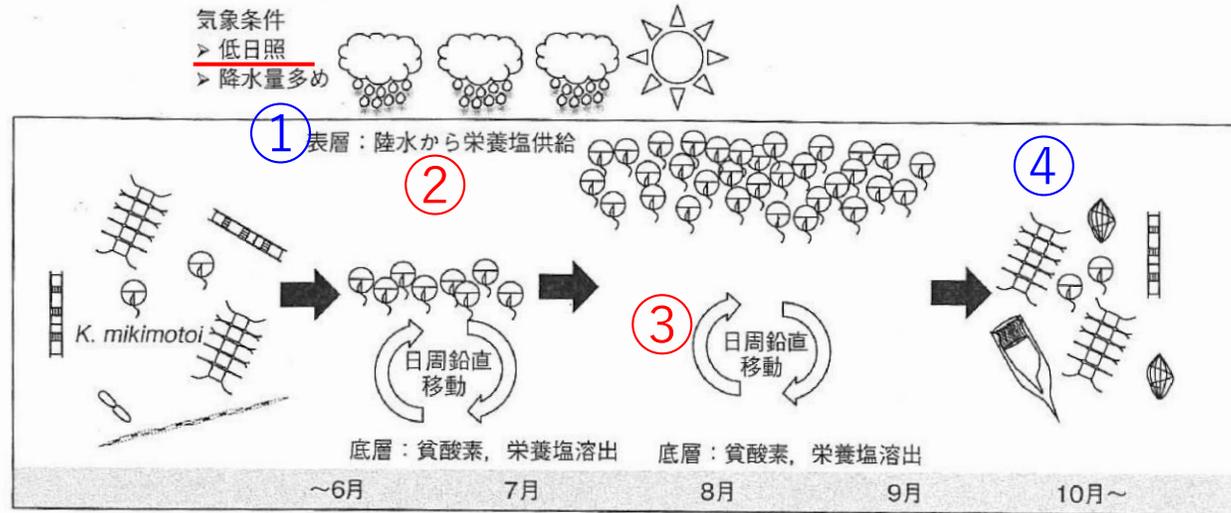
2022年のKarenia mikimotoi は

- ① 初期条件：珪藻の増殖する小潮期(成層)に低日射量、淡水流入が少ない
- ② 7/12 に初認、7/3 から7/9 の降雨による影響で7/12 に弱い塩分成層が形成
- ③ 7/15～7/20 の大雨・出水による影響で塩分成層が発達し、珪藻類が増加。大潮後に南寄りの風が吹くことで、底層に栄養塩が供給
- ④ 珪藻は高水温下で衰退^{*}。その後、7/27 には成層が更に強化、栄養塩減少により珪藻類は減少、Kareniaは増加傾向
- ⑤ 8月上旬、大潮時に南寄りの風が吹くことで鉛直混合が増し、DIN増加で小潮期に大規模に増殖
- ⑥ 8/8に表層から20 m 層にかけて、DIP 濃度が低下。以降は徐々に衰退
- ⑦ 8/13～8/25 の降雨の影響で、弱い塩分成層が形成、珪藻が増加した後に終息

環境要因

- i) 風による水塊混合：4～5 m/s以上、南寄りの風の連吹により促進（観測による経験則）→栄養塩供給
- ii) 珪藻増殖と日射量：20MJ/m²/dayが3日以上（長副ら, 2009）。全天日射量の図中の赤枠と赤点線
- iii) ^{*}珪藻増殖適水温：15～25℃（紫加田ら, 2010）

2022年 *Karenia*赤潮の発生・終息シナリオ



- | | | | |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1.初期出現期（初期出現）
> 遊泳細胞で周年存在
> 水温10℃以上で生存 | 2.対数増殖期（増殖期）
> 湾奥（閉鎖性海域水深10~20m）
の中層で濃密度層形成
> 栄養塩供給（降雨，底層貧酸素）
> 成層発達
> 日周鉛直移動（移動速度1.3~2.2m h ⁻¹ ）
> 底層の有機態窒素、リン利用可
> 珪藻細胞密度減少 | 3.定常期（盛期）
> 表層に浮上
> 最高密度に到達
> 日周鉛直移動
> 分布域拡大 | 4.衰退期（衰退期）
> 捕食圧増加
> 海水交換増加（急潮等，台風）
> 珪藻増加 |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|

図2 *Karenia mikimotoi* の生活史

- ①低日射量、少雨(出水)及び高水温による珪藻の不在
- ②大潮、強風による鉛直混合+降雨・河川水(小規模)流入で栄養塩供給
- ③日周鉛直移動による底層の栄養塩利用
→*Karenia* の増殖
- ④降雨、成層化、珪藻の増殖で終息

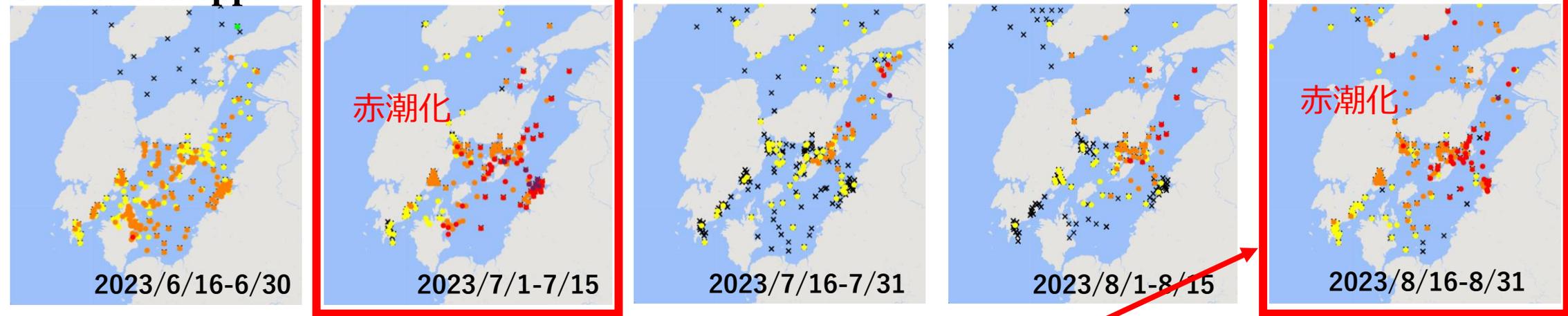
他海域でみられる本種の赤潮発生パターンに類似した発生状況であった

Karenia mikimotoi の生活史

Karenia mikimotoi の赤潮動態と発生予察・対策（宮村 2016）
 「有害有毒プランクトンの科学」より引用

2023年 *Chattonella*・*Karenia*赤潮の発生状況

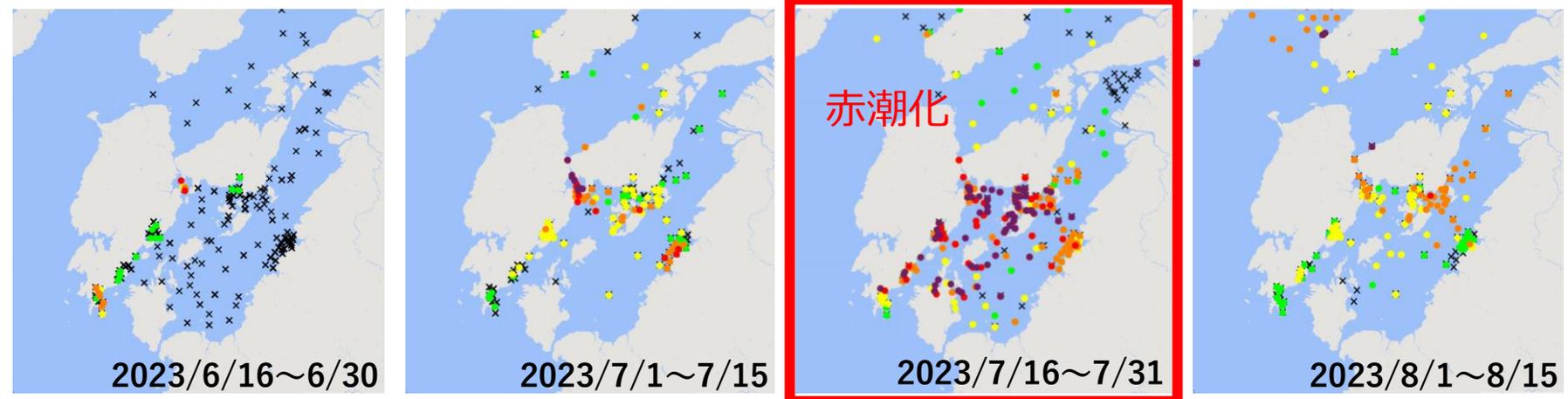
Chattonella spp.



× 0 / ● ~0.1未満 / ● 0.1~1未満 / ● 1~10未満 / ● 10~100未満 / ● 100~1000未満 / ● 1000~ [細胞/ml]

2023年は6月後半から8月にかけて中央部を中心に全域で100 cells/ml以上の*Chattonella* 赤潮が発生
 (全域で発生が始まる地場発生型)

Karenia mikimotoi



× 0 / ● ~0.5未満 / ● 0.5~5未満 / ● 5~50未満 / ● 50~500未満 / ● 500~2500未満 / ● 2500~ [細胞/ml]

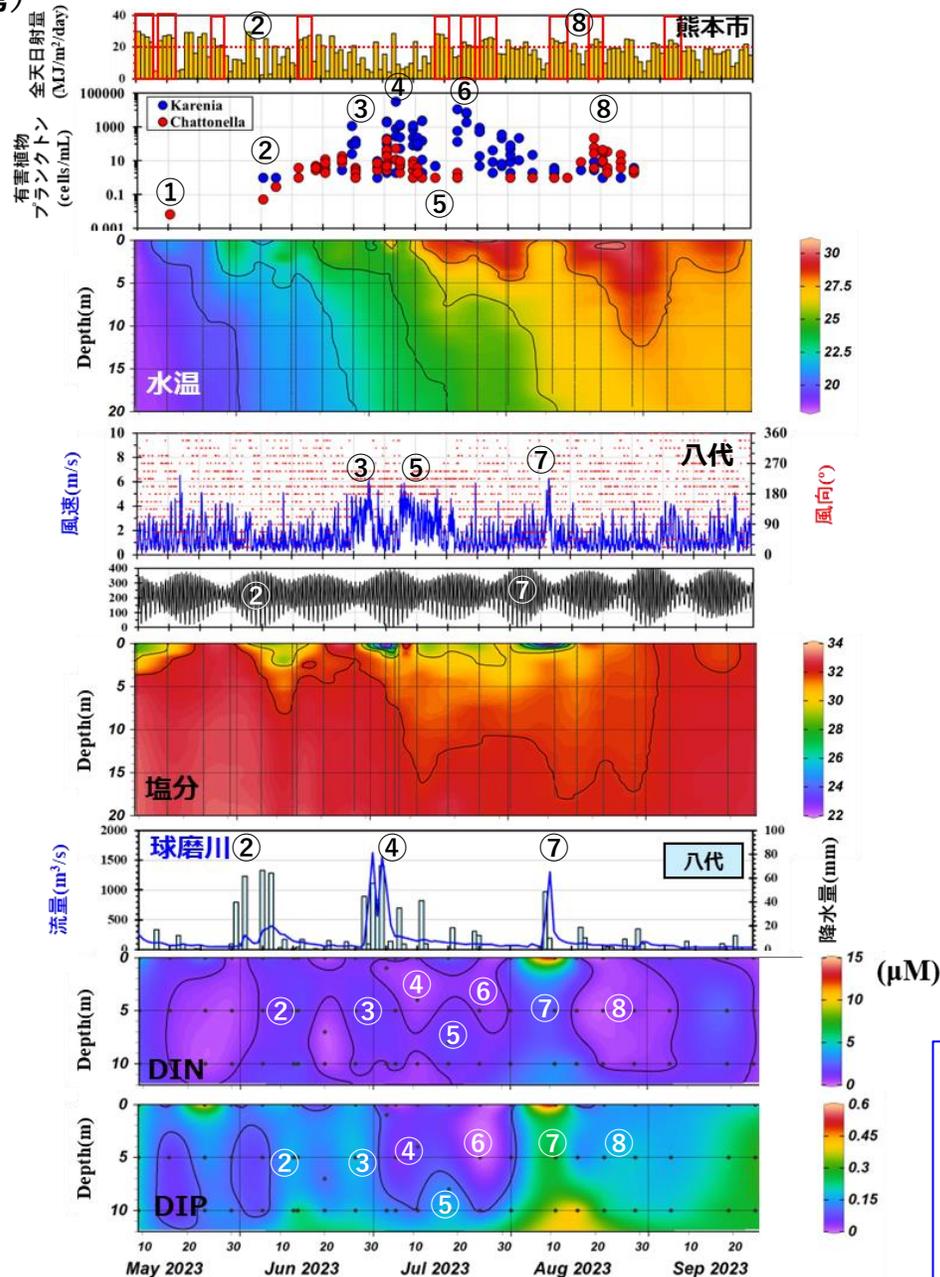
2023年は6月後半から8月前半にかけて西部から南部を中心に500cells/ml以上の*Karenia* 赤潮が発生し、
 ほぼ全域に拡大 (西側海域からの地場発生型)。

2023年は
*Chattonella*赤潮
 ↓
*Karenia*赤潮
 ↓
*Chattonella*赤潮

と夏期連続して赤潮が発生、甚大な漁業被害

2023年Chattonella・Karenia赤潮

Stn. K (楠浦湾)



2023年のChattonella spp.、Karenia mikimotoi は

- ① Chattonella が5/16 に初認
- ② 5/31～6/8 の降雨・出水と大潮の擾乱で、全層に栄養塩が供給、珪藻類増加も低日射量により低水準。Chattonella が徐々に増加、栄養塩は減少。Karenia は6/6に初認
- ③ 小潮期に6/26～7/2の南寄りの風の連吹により水塊が混合、下層から栄養塩供給。同時期にKarenia も増加
- ④ 6月末～7月上旬に降雨・出水でChattonella、Karenia がピーク。栄養塩供給あるも、DIN、DIPとも減少
- ⑤ 栄養塩減少でChattonella、Kareniaともに減少。但し、7/7～16に再び南寄りの風が連吹し、鉛直混合により下層から栄養塩供給
- ⑥ 栄養塩供給によりKarenia 増加、その後、栄養塩（特にDIP）低下によりKarenia、Chattonellaともに減少
- ⑦ 大潮による擾乱、8月上旬の南寄りの風による鉛直混合と出水により、表・底層からの栄養塩供給も、両種とも増加せず（低日射量、水塊不安定が要因か？）
- ⑧ 8月下旬の日射量の回復、小潮期に再びChattonellaが増加するも、栄養塩（特にDIN）が減少により、Chattonella は減少し終息

環境要因

- i) 風による水塊混合：4～5 m/s以上、南寄りの風の連吹により促進（観測による経験則）→栄養塩供給
- ii) 珪藻増殖と日射量：20MJ/m²/dayが3日以上（長副ら, 2009）。全天日射量の図中の赤枠と赤点線

2023年 *Chattonella*・*Karenia*の発生・終息シナリオ

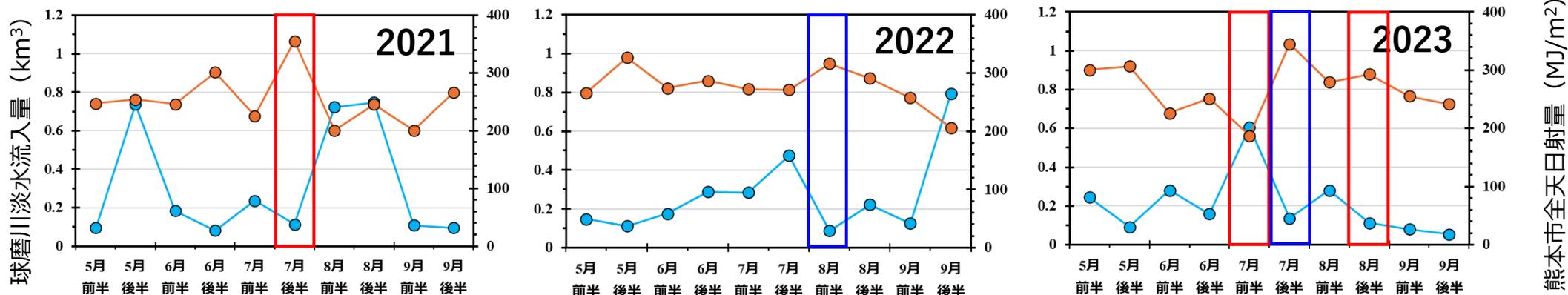


図 2021～2023年の半月毎の球磨川淡水流入量と熊本市の全天日射量の変化

- ① 5月後半～6月前半の降雨、河川水流入、6月～7月前半の低日射量により、競合種となる珪藻が低密度
- ② 7月前半の河川水流入（栄養塩供給）→*Chattonella* 赤潮発生（楠浦湾では*Karenia* 赤潮も同時発生）
- ③ 栄養塩減少後、*Chattonella* 減少、*Karenia* 増加→*Karenia* が主の赤潮発生
- ④ 栄養塩減少後、*Karenia* 減少
- ⑤ 8月前半の河川水流入・鉛直混合（栄養塩供給）、日射量回復→*Chattonella* 赤潮発生→栄養塩減少で衰退。

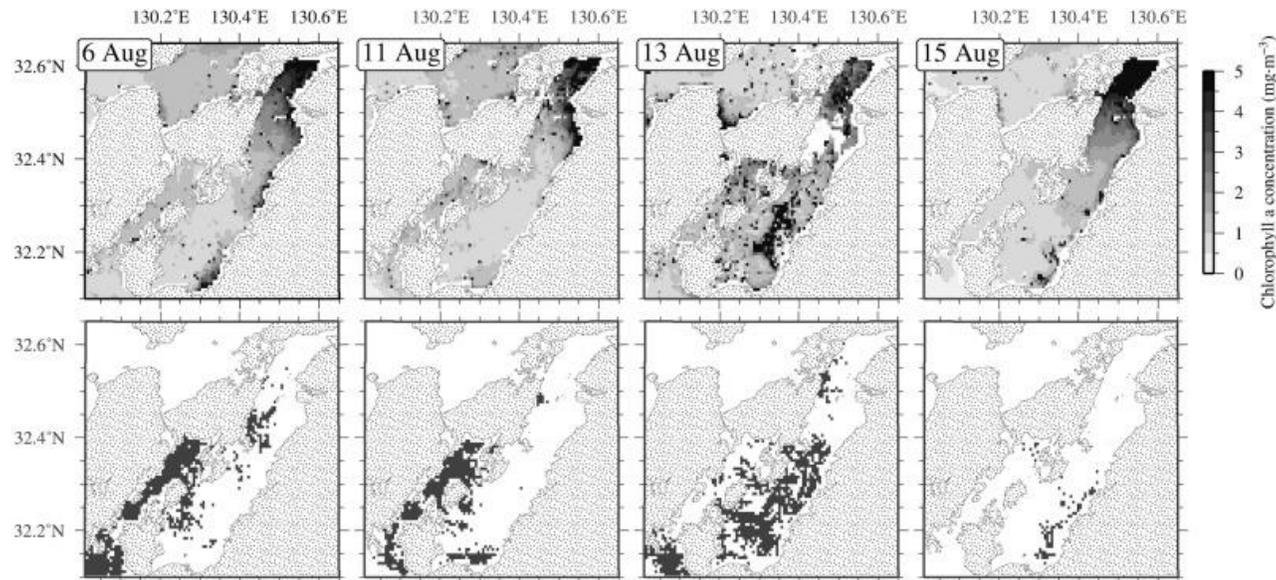
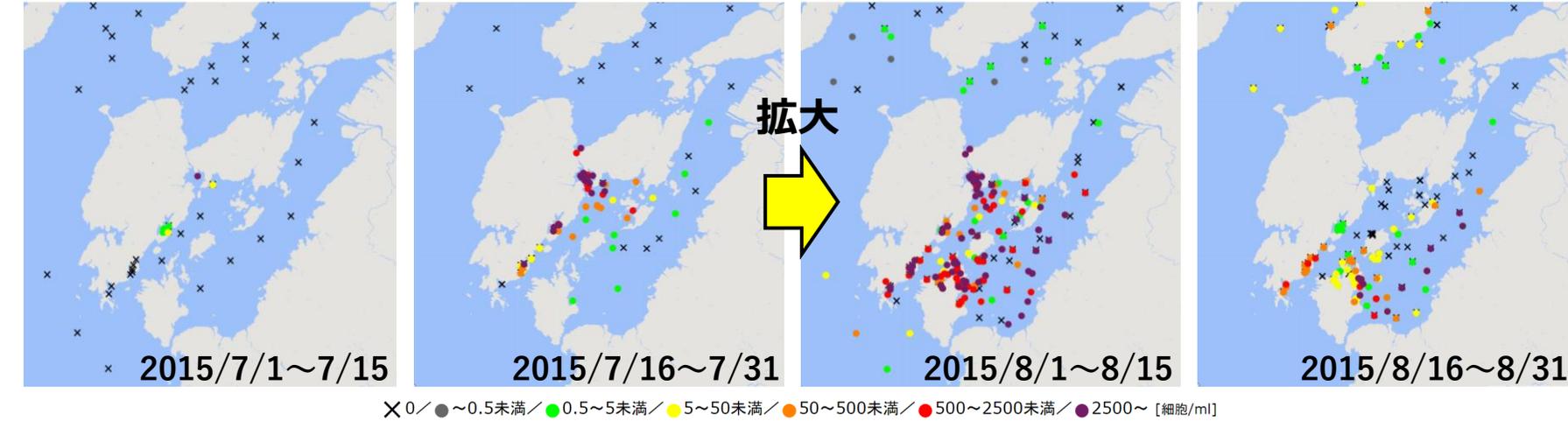
③ の*Chattonella* →*Karenia* の優占種交代の要因は特定されていないが、鉛直移動速度※の違い（*Chattonella* < *Karenia*）による栄養塩摂取能力の差が関与している可能性などが考えられる。

※*Chattonella* は～0.8m h⁻¹(Imai et al., 2012)、1.4m h⁻¹(中嶋ら, 2016)、*Karenia* は1.3～2.2m h⁻¹(宮村, 2016)

2023年と類似の*Karenia*赤潮の発生例（2015年の場合）

Karenia mikimotoi

西側海域からの地場発生



衛星画像を用いてクロロフィル（植物プランクトン）分布を把握
種判別アルゴリズムにより*Karenia*を判別し、その移流パターンを推定

引用文献

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*, 195, 115472.

図3 2015年8月6日～15日における衛星によるクロロフィル濃度（上段）とGOCIデータを処理して推定した*Karenia*ブルーム（下段）の水平分布

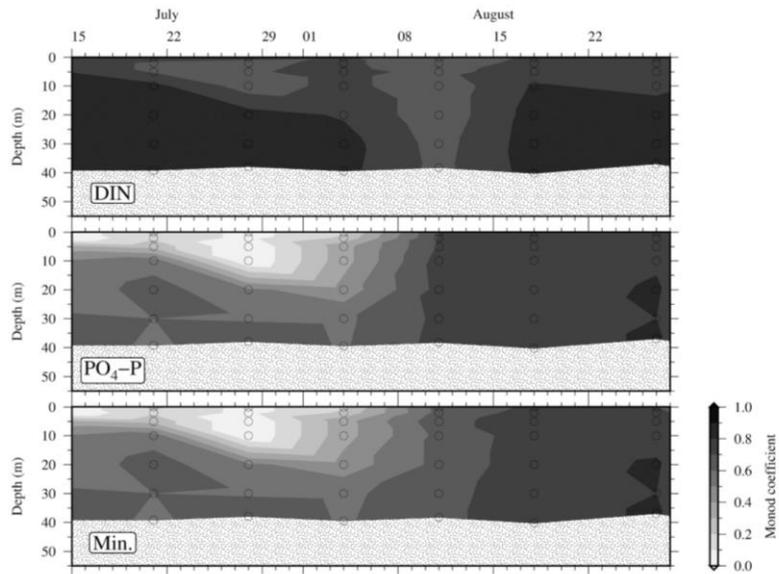


図6 測点8における DIN（上段）、 $PO_4\text{-P}$ （中段）のモノー係数及び、最小モノー係数（下段）のホフメラーダイアグラム

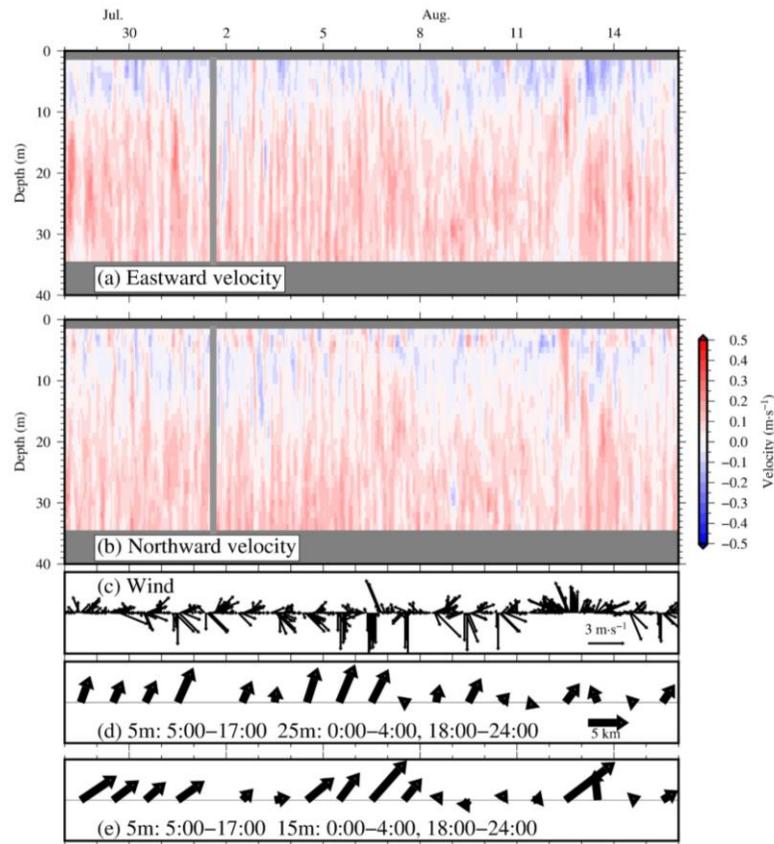


図7 測点8における 東方流速(a)、北方流速(b)のホフメラーダイアグラム、水俣気象台の風向風速の時系列(c)、ケースa (d)、ケースb (e)の水平輸送距離

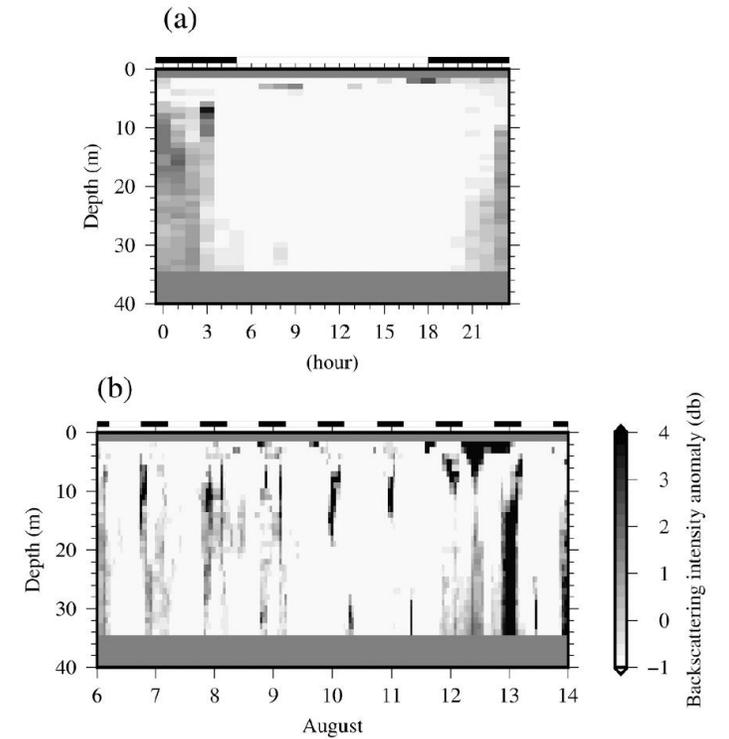


図8 2015年8月6日～14日の測点8における 後方散乱強度偏差の時間合成値(a)と、後方散乱強度偏差のホフメラーダイアグラム。黒と白は明暗サイクルを示す。

Aoki et al. (2023)

栄養塩の鉛直分布の変化、それに伴う *Karenia* の鉛直移動範囲の変化を考慮し、風によって生成される流れを *Karenia* の鉛直分布深度別に適用することで、西側海域から北東側海域への拡大（輸送）メカニズムを解明

八代海における有害赤潮の初期発生個体群の起源（推定）

表 *Karenia*・*Chattonella*赤潮の発生年と初期発生海域

発生年	種名	初期発生海域
2015	<i>Karenia mikimotoi</i>	八代海
2015	<i>Chattonella</i> spp.	有明海
2016	<i>Chattonella</i> spp.	有明海
2017	<i>Chattonella</i> spp.	八代海
2017	<i>Chattonella</i> spp.	八代海
2018	<i>Chattonella</i> spp.	有明海
2019	<i>Chattonella</i> spp.	八代海
2019	<i>Chattonella</i> spp.	八代海
2021	<i>Chattonella</i> spp.	八代海
2022	<i>Karenia mikimotoi</i>	八代海
2023	<i>Chattonella</i> spp.	八代海
2023	<i>Karenia mikimotoi</i>	八代海

大規模な*Karenia*及び*Chattonella*赤潮の初期発生は、2015年、2016年、2018年で発生した*Chattonella*赤潮の初期出現細胞が有明海由来であった以外、すべて八代海内で発生している。

*Karenia*赤潮については、これまで、すべて八代海が初期発生海域となっている。2022・2023年は*Karenia*が八代海から有明海へ流出していた。

*Cochlodinium*については、有明海側での発生がみられないため、ほとんどの場合八代海の地場発生と推定

両海域における*Karenia*、*Chattonella*の輸送とその後の影響については、引きつづき監視とメカニズム解明が必要

2021年 *Chattonella*赤潮の発生・終息

- ① 早期(5月)の河川水(栄養塩)流入・成層化+好天で珪藻(競合種)の増殖
- ② 珪藻消失、大潮、強風による鉛直混合+降雨・河川水(小規模)流入で栄養塩供給
→*Chattonella* 増殖 (全域で地場発生)
- ③ 河川水の大量流入→珪藻(競合)増殖により消滅

2023年 *Chattonella*赤潮の発生・終息

- ① 出水期の珪藻(競合種)の増殖が短期間
- ② 珪藻消失、大潮、強風による鉛直混合+降雨・河川水(小規模)流入で栄養塩供給
→*Chattonella* 増殖 (全域で地場発生)
- ③ 河川水の流入→*Karenia*赤潮化
- ④ 日射量回復に伴い再び*Chattonella*が短期間赤潮形成

R3年中間取りまとめのシナリオのいずれにも該当せず

八代海における*Chattonella*赤潮の発生シナリオ(出水型)

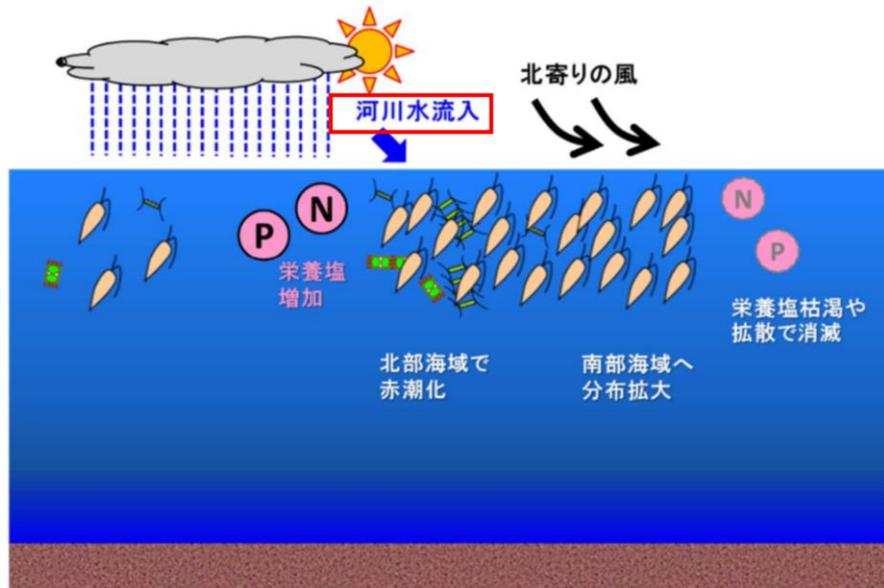


図 3.2-3 2010(平成22)年夏期の球磨川出水に伴う *Chattonella* 属赤潮の発生シナリオ(出水型)

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」

八代海における*Chattonella*赤潮の発生シナリオ(鉛直混合型)

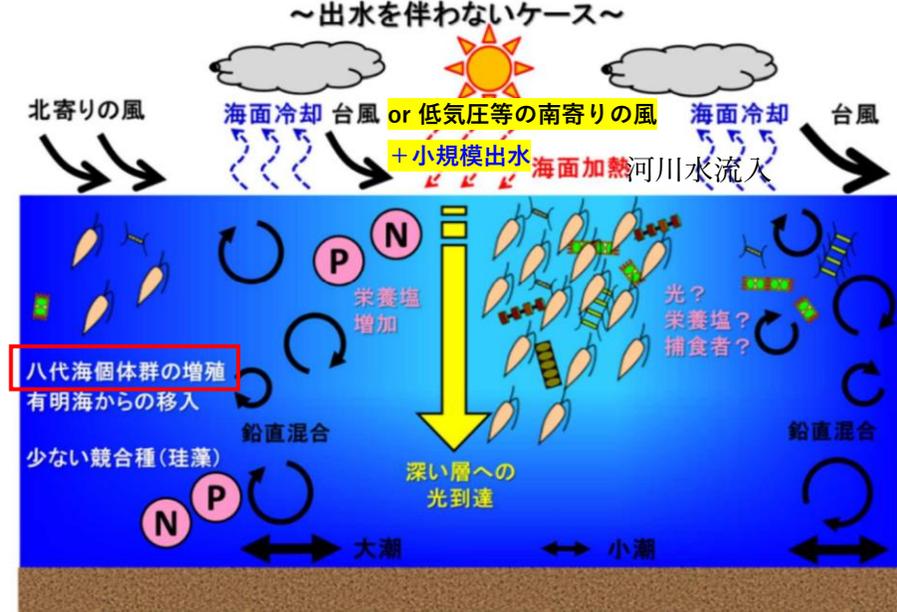


図 3.2-4 2016(平成28)年夏期の球磨川出水を伴わない *Chattonella* 属赤潮の発生シナリオ(鉛直混合型)

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」

既往知見に基づいた八代海における シャットネラ赤潮発生に関与する因子

5・6月に風が強い

→底層攪乱によるシスト発芽促進

5・6月に高日照

→初期発芽細胞の増殖促進？

発生時期にDINが低い

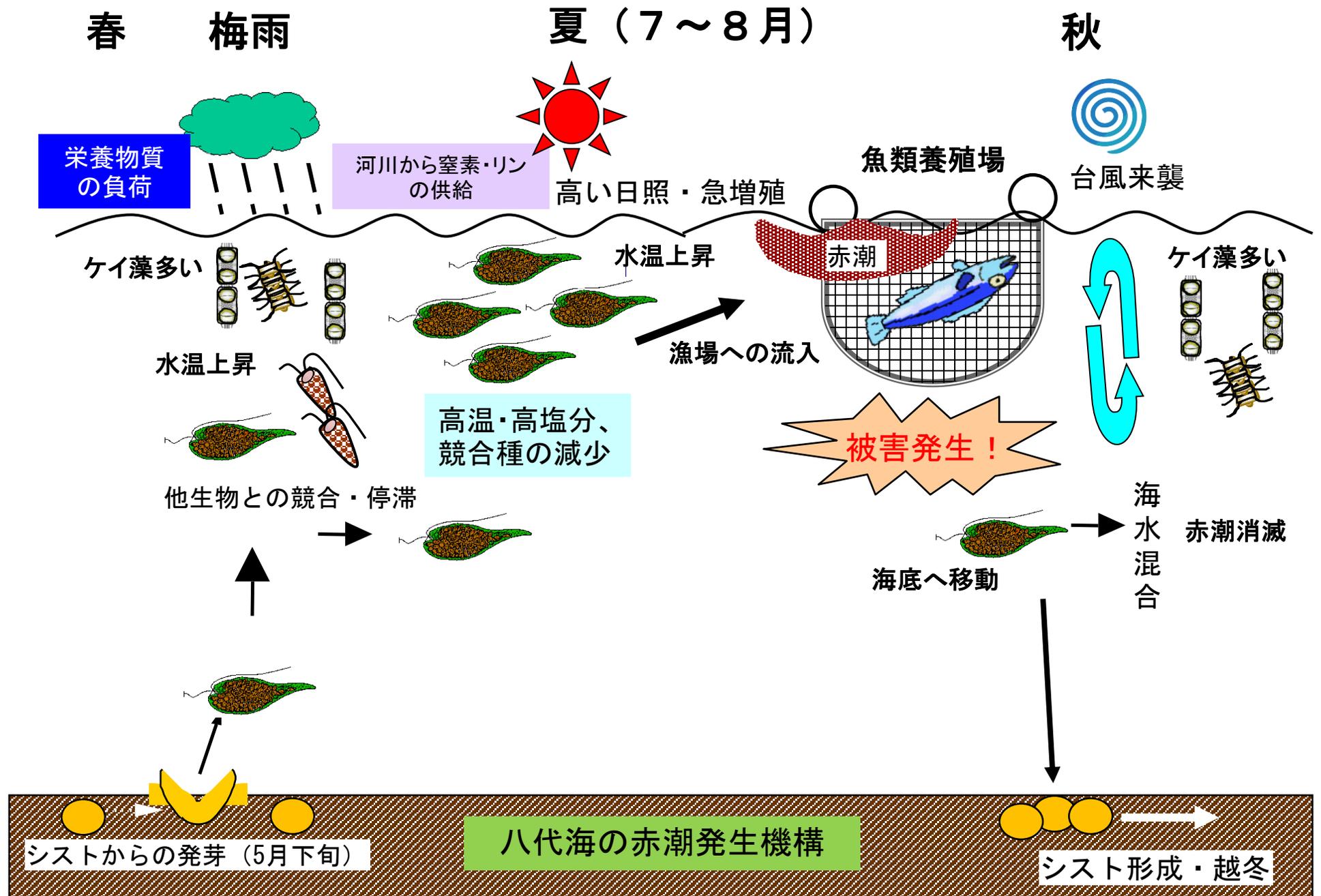
→河川水の流入が少ない、あるいは珪藻ブルーム後で表層栄養塩が枯渇

競合プランクトンが少ない

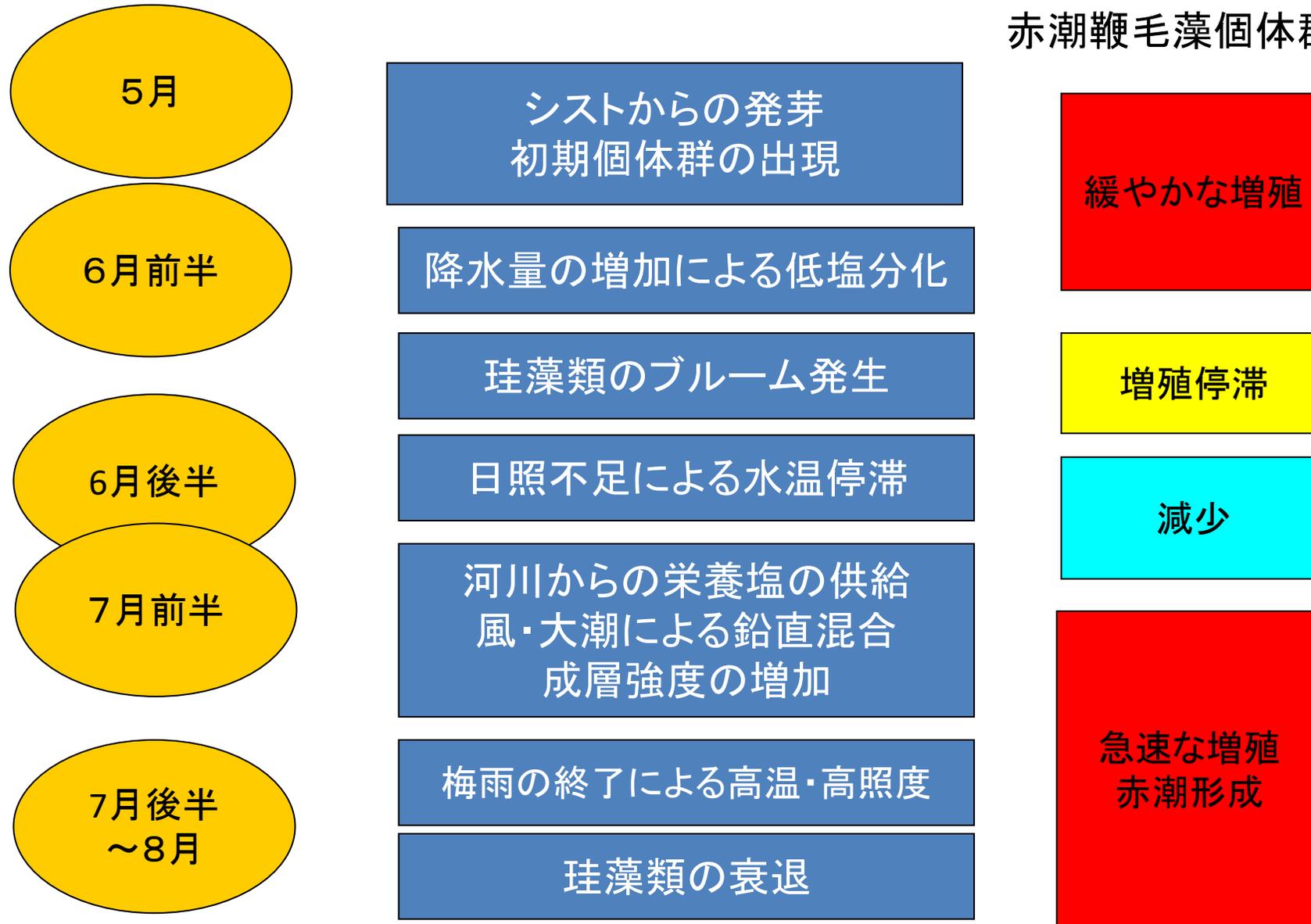
→珪藻類を筆頭に、有明海同様に種間競合が発生している

入梅日が遅い

→有明海同様に降水量が少ないと珪藻類の出現が低調、あるいは発生盛期に降雨が集中して赤潮発生時に栄養塩供給がおきるため？



赤潮鞭毛藻個体群



八代海における鞭毛藻赤潮発生のフロー図

春

梅雨 (6~7月上旬)

夏 (7月中旬~8月)

秋

入梅日
平年より遅い

河川から窒素・リン
の供給

低気圧
大潮

高日照・高水温

魚類養殖場
被害発生

台風来襲
気温低下による冷却

珧藻類ブルーム弱勢

水温上昇

赤潮
栄養塩欠乏
赤潮消滅

ケイ藻多い

Cochlodinium

珧藻類との競合・停滞

表層で栄養塩枯渇したのち、低気圧や大潮による混合で全層に栄養塩が供給

越冬細胞

Chattonella

底層水温上昇

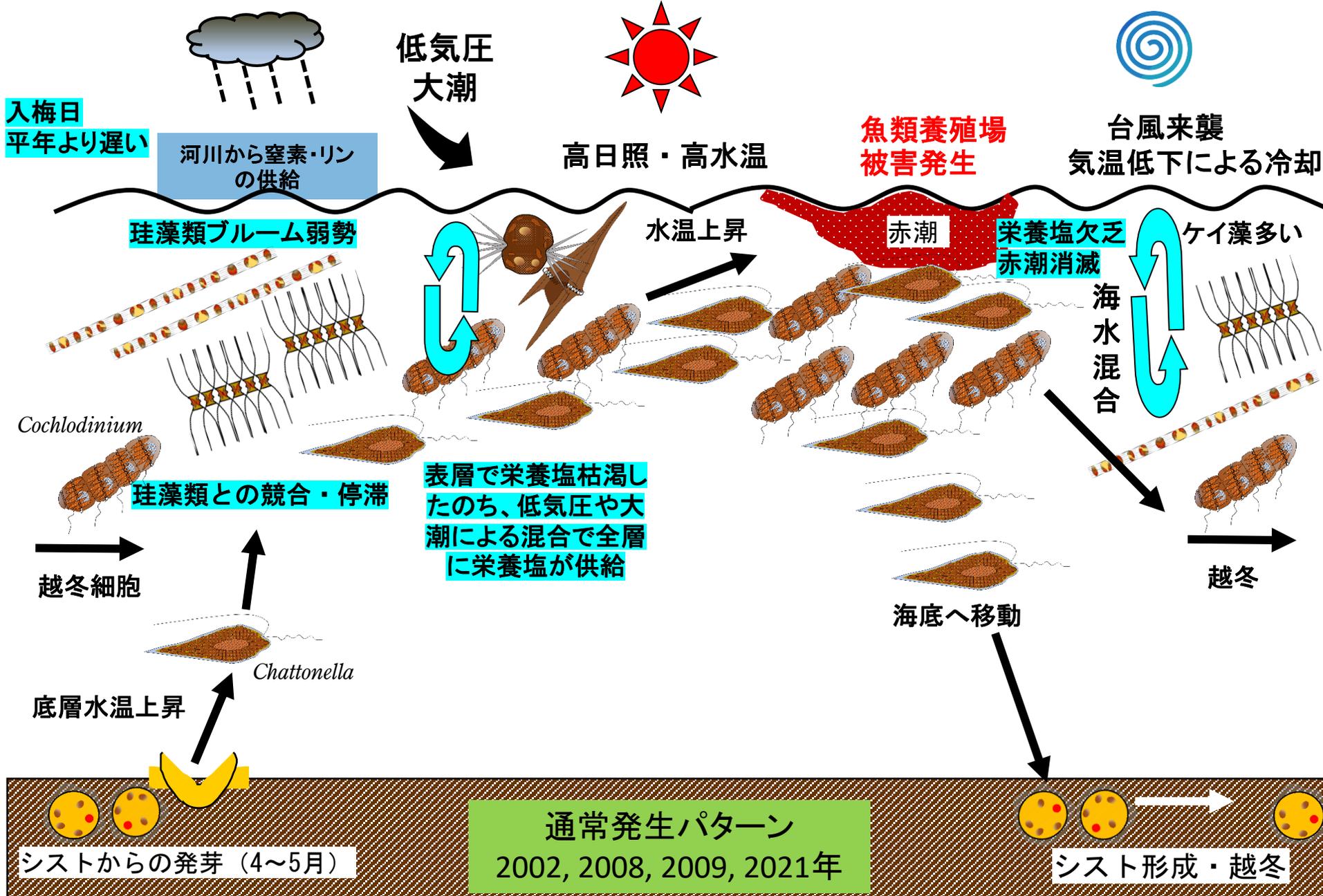
海底へ移動

越冬

シストからの発芽 (4~5月)

通常発生パターン
2002, 2008, 2009, 2021年

シスト形成・越冬



春

梅雨 (6~7月上旬)

夏 (7月中旬~8月)

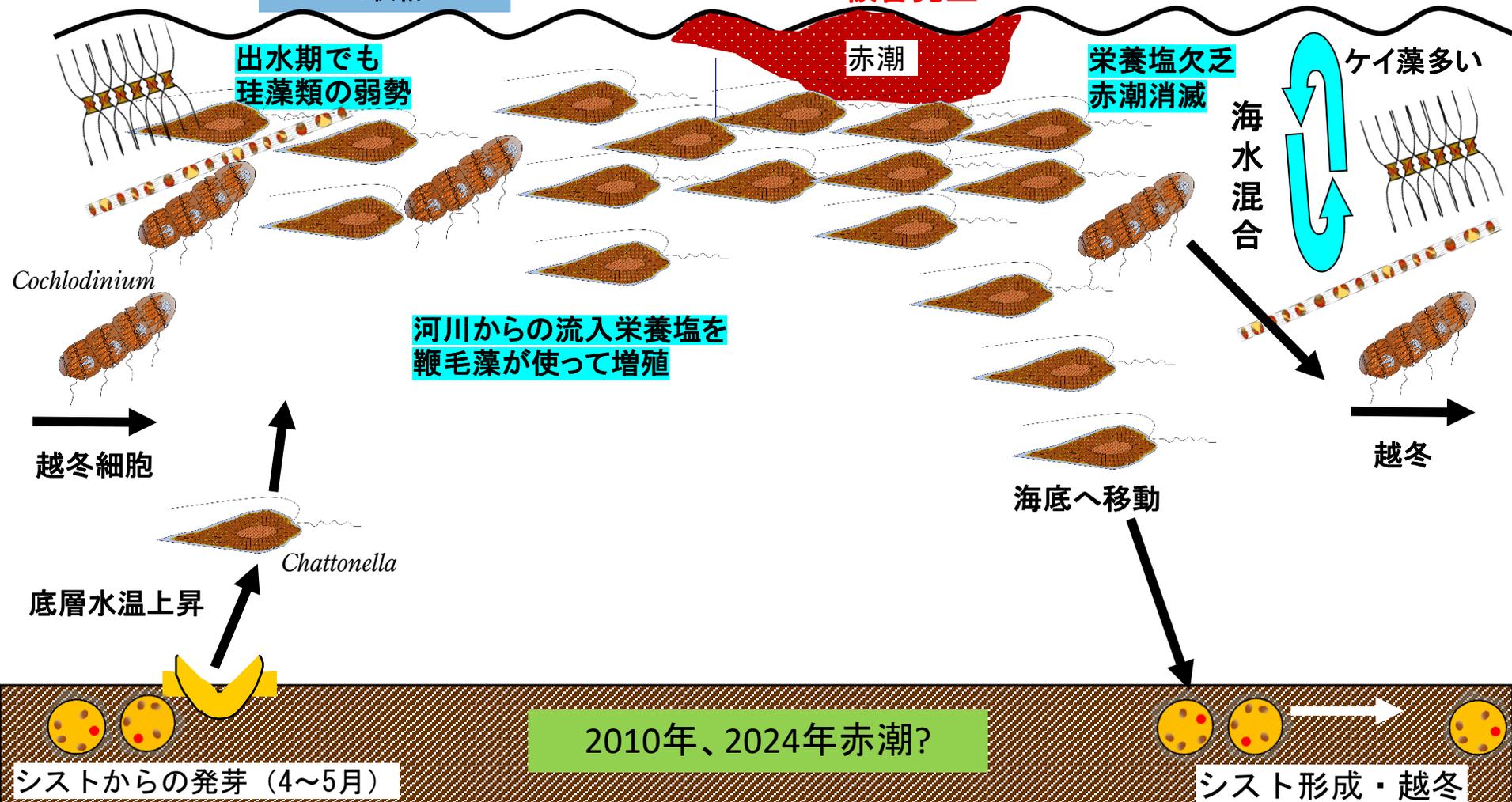
秋



河川から窒素・リンの供給

魚類養殖場被害発生

台風来襲
気温低下による冷却



出水期でも珪藻類の弱勢

赤潮

栄養塩欠乏
赤潮消滅

ケイ藻多い

海水混合

Cochlodinium

河川からの流入栄養塩を鞭毛藻が使って増殖

越冬細胞

Chattonella

底層水温上昇

海底へ移動

越冬

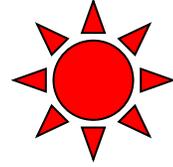
2010年、2024年赤潮?

シストからの発芽 (4~5月)

シスト形成・越冬

春 梅雨 (6~7月上旬) 夏 (7月中旬~8月) 9月上旬

秋



河川から窒素・リンの供給

高日照・高水温

小規模出水
有明海からの侵入*
海面冷却

魚類養殖場
被害発生

台風来襲
気温低下による
冷却

珪藻類ブルーム強勢

赤潮

ケイ藻多い

海水混合

Cochlodinium

珪藻類との競合・停滞

梅雨明け後も、珪藻類、
他種鞭毛藻との競合が
続いて停滞

越冬細胞

海底へ移動

越冬

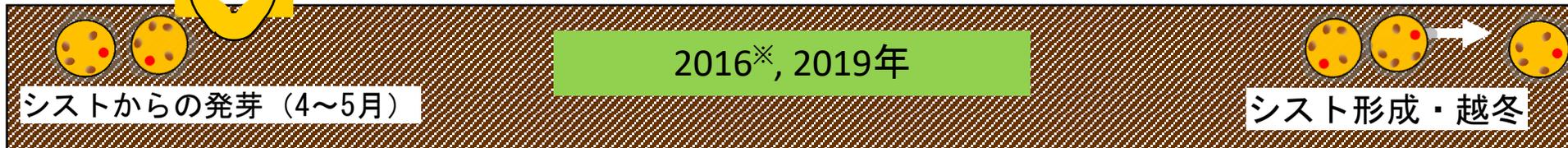
底層水温上昇

Chattonella

2016*, 2019年

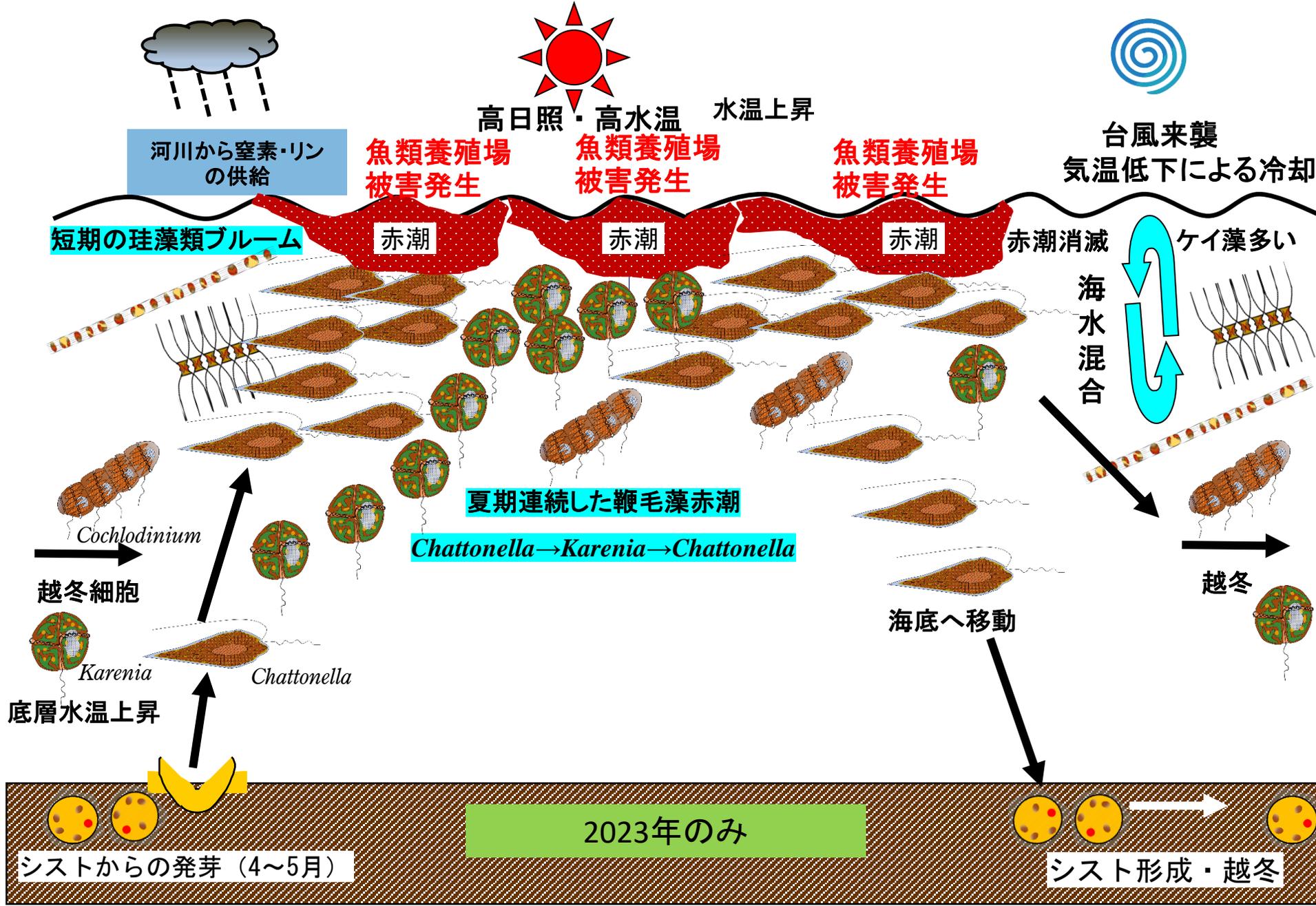
シストからの発芽 (4~5月)

シスト形成・越冬



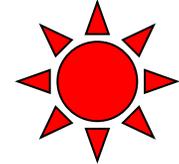
春 梅雨 (6~7月上旬) 夏 (7月中旬~8月)

秋



春 梅雨 (6~7月上旬) 夏 (7月中旬~8月)

秋



入梅日
平年より早い

河川から窒素・リン
の供給

高日照・高水温

台風来襲
気温低下による冷却

珪藻類ブルーム強勢

ケイ藻多い

Cochlodinium

珪藻類との競合・停滞

梅雨明け後も、珪藻類、
他種鞭毛藻との競合が
続いて停滞

越冬細胞

海底へ移動

越冬

底層水温上昇

Chattonella

赤潮非発生年

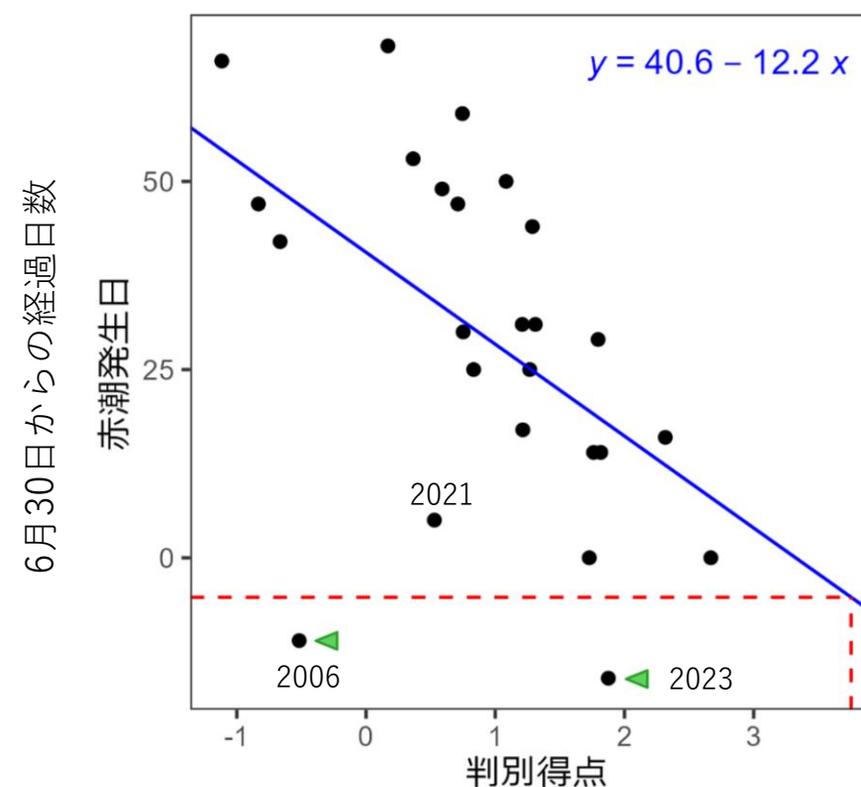
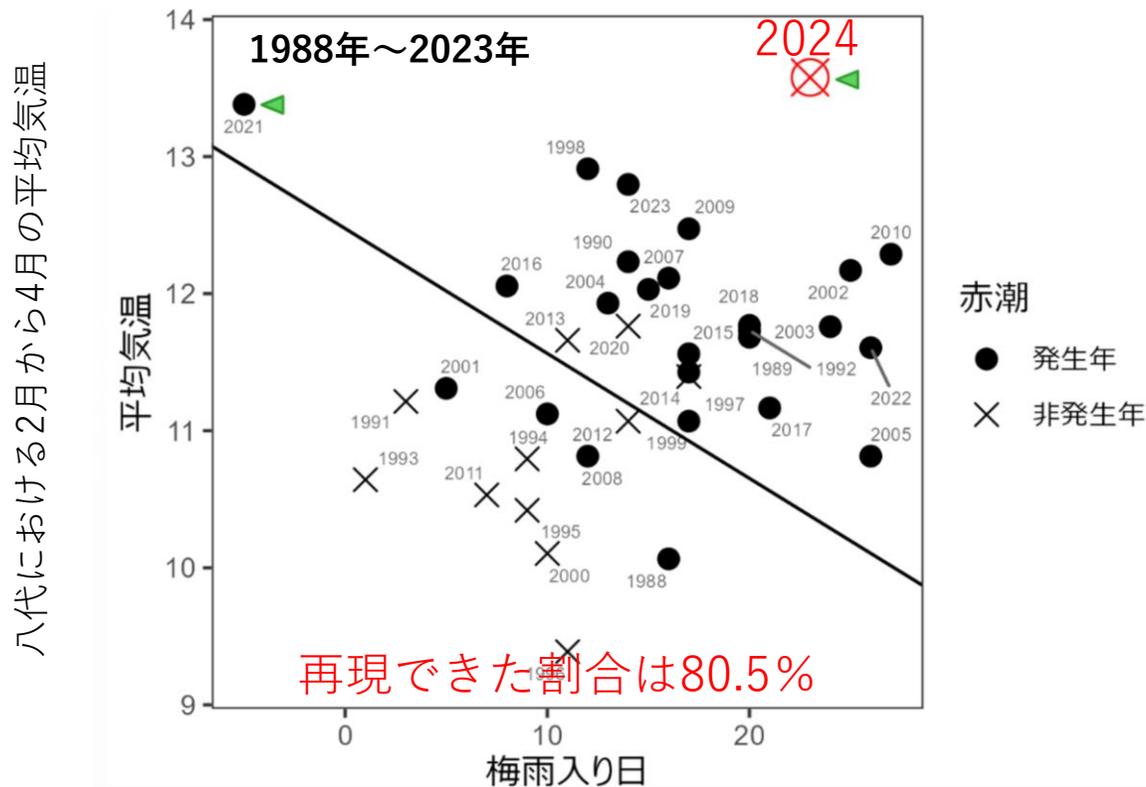
シストからの発芽 (4~5月)

シスト形成・越冬



赤潮発生予察 (*Chattonella* 属)

判別モデルによる*Chattonella*赤潮の発生予察



5月16日からその年の九州南部の梅雨入り日までの経過日数

発生・非発生は良好に判別されているが、近年の気候変動等の影響もあり、これまでの分布から大きくずれてきている

判別得点による赤潮発生日の推定は、近年外れることが多い。

参考文献：Onitsuka et al. (2015) Meteorological conditions preceding *Chattonella* bloom events in the Yatsushiro Sea, Japan, and possible links with the East Asian monsoon. Fisheries Science, 81: 123-130.

予察の高度化の必要性

- 八代海では現状では比較的良好に判別されているが、近年の気候変動等により、これまでの分布範囲から大きくずれるケースがみられる。
- 瀬戸内海においても判別モデルによる赤潮発生予察が行われているが、近年、精度の低下がみられ、説明変数の更新等が実施されている。



現在の手法を検証しつつ、精度の高い予報のために

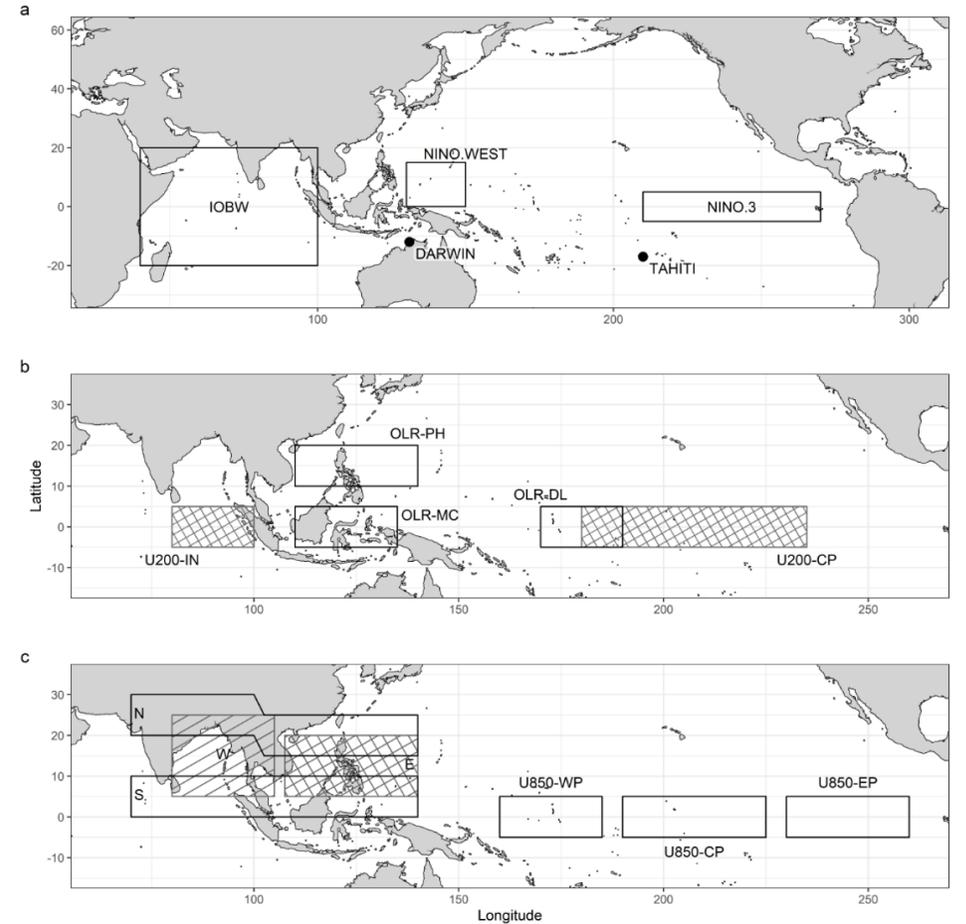
- 説明変数
- 推定方法

の検討・検証が必要

検討例

1. 環境データの取得

- 地域的なデータ
 - 八代の気象データ
 - 気温
 - 降水量
 - 日照時間
 - 球磨川データ
 - 河川水位（萩原観測所）
- 世界的なデータ
 - エルニーニョ監視指数
 - NINO.3 海面水温
 - NINO.WEST 海面水温
 - IOBW 海面水温
 - 南方振動監視指数
 - SOI
 - OLR
 - U200
 - U850
 - SAMOI (N, W, E, Sより算出)



2.データの整理

- ・1年の再定義

赤潮は主に7月以降に発生→前年7月～当年6月

- ・月単位で再整理

例：4月の気温、5月の降水量

- ・使用データ期間は1994～2022年（全てのデータが揃わない2年を除く27年分を使用）

3.検定による変数選択

- ・発生年・非発生年でデータを準備

例：赤潮発生年の4月の気温vs 非発生年の4月の気温

- ・検定

分散の等質性の検定、母平均の差の検定

- ・結果

04月の気温、5月の水位と降水量、前年11月の水位と降水量、前年9月の IOBW

変数	p値
4月の気温	0.003
11月の降水量	0.009
11月の河川水位	0.030
9月のIOBW ^{※1}	0.033
5月の河川水位	0.038
5月の降水量	0.039

※1 IOBW：インド洋熱帯域の海水面水温

1. モデルの準備

以下のモデルを試行した

- 判別分析
- k 近傍法
- GLM
- ベイズ推定
- SVM
- ランダムフォレスト

2. 試算と精度確認

- モデルの設定

赤潮発生状況 ~ 4月の気温
+ 5月の水位
+ 5月の降水量
+ 11月の水位
+ 11月の降水量
+ 9月のIOBW

- 精度確認
 - 交差検証法 (Cross-validation)
 - モデルの評価指標値

交差検証法 (Cross-validation)

判別分析		観測	
		赤潮	非赤潮
予測	赤潮	4	4
	非赤潮	5	14

k 近傍法		観測	
		赤潮	非赤潮
予測	赤潮	3	3
	非赤潮	6	15

GLM		観測	
		赤潮	非赤潮
予測	赤潮	5	3
	非赤潮	4	15

ベイズ推定		観測	
		赤潮	非赤潮
予測	赤潮	5	1
	非赤潮	4	17

SVM		観測	
		赤潮	非赤潮
予測	赤潮	4	1
	非赤潮	5	17

ランダムフォレスト		観測	
		赤潮	非赤潮
予測	赤潮	6	0
	非赤潮	3	18

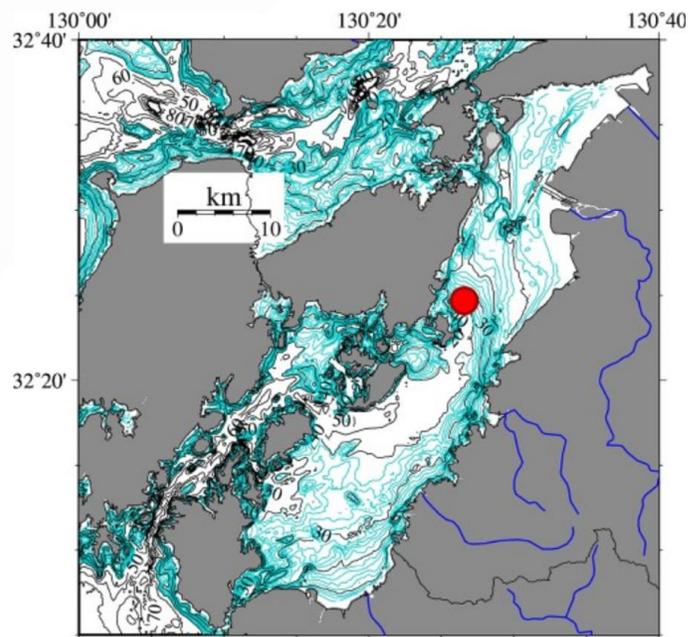
モデルの評価指標値 → ランダムフォレストが高精度であった

統計的分類手法	正解率	適合率	再現率	F 値	k 統計量
判別分析	0.67	0.50	0.44	0.47	0.23
k 近傍法	0.67	0.50	0.33	0.40	0.18
GLM	0.74	0.62	0.56	0.59	0.40
ベイズ推定	0.81	0.83	0.56	0.67	0.55
SVM	0.78	0.80	0.44	0.57	0.44
ランダムフォレスト	0.89	1.00	0.67	0.80	0.73

今後、予報の実施と検証、説明変数の影響過程の検討を実施

八代海における赤潮状況把握のための体制

テレメータシステムによるデータ収集



大型自動観測ブイ

期間：6月～10月

場所：熊本県上天草市姫戸沖

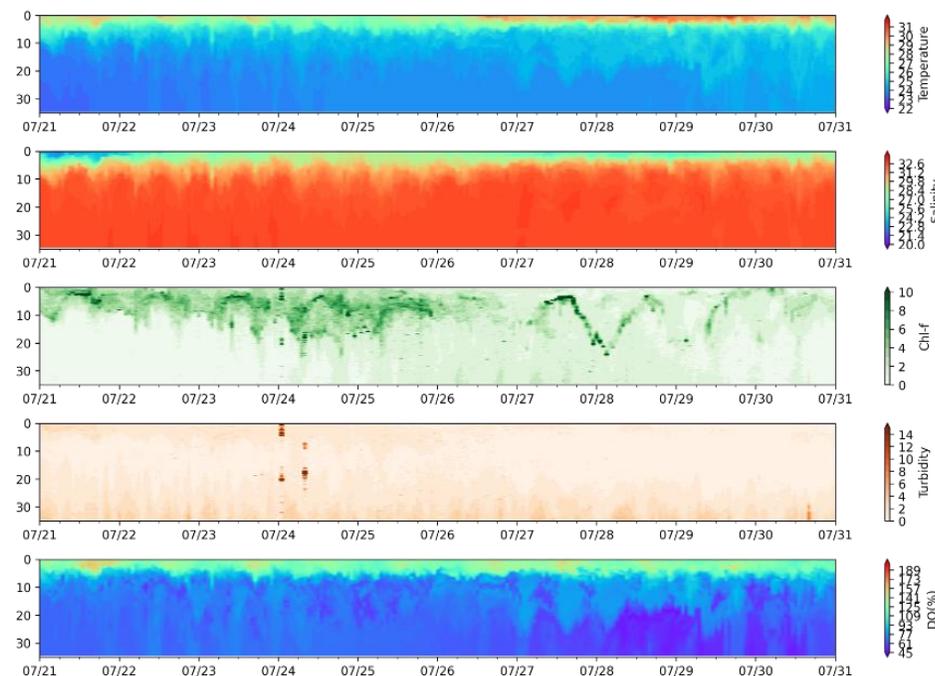
観測内容：

鉛直観測（水温・塩分・クロロフィル蛍光、濁度、DO）

固定層観測（硝酸塩センサー；1.5m、5m）

流向流速（ADCP、1.5m～30m程度）

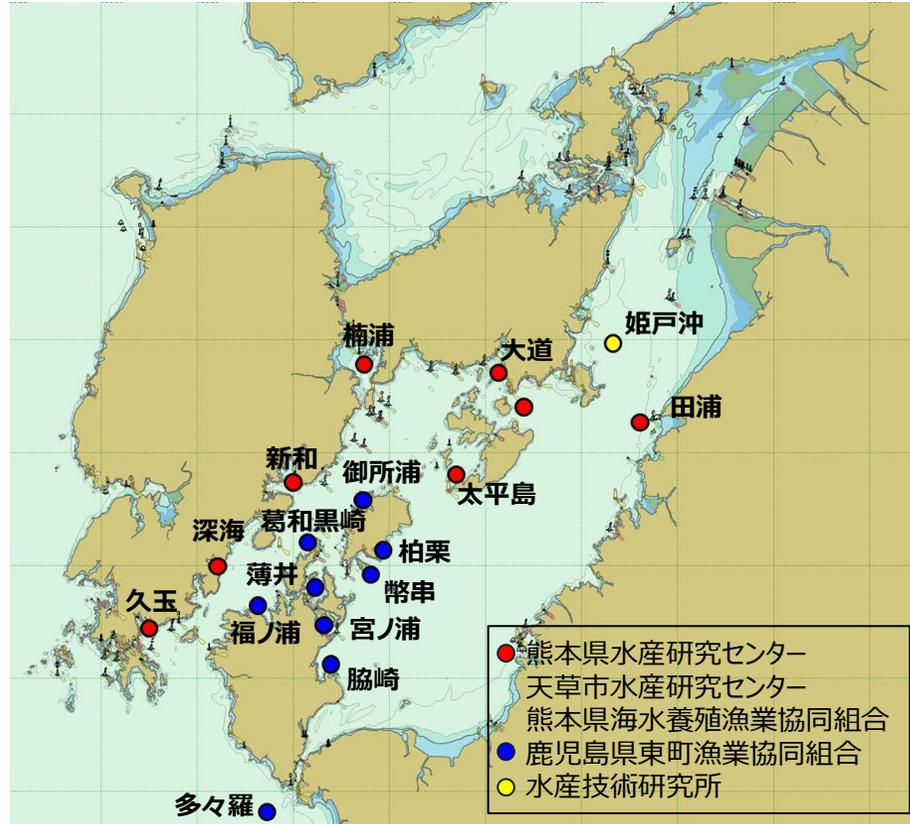
光量子量・風向風速（海上3m）



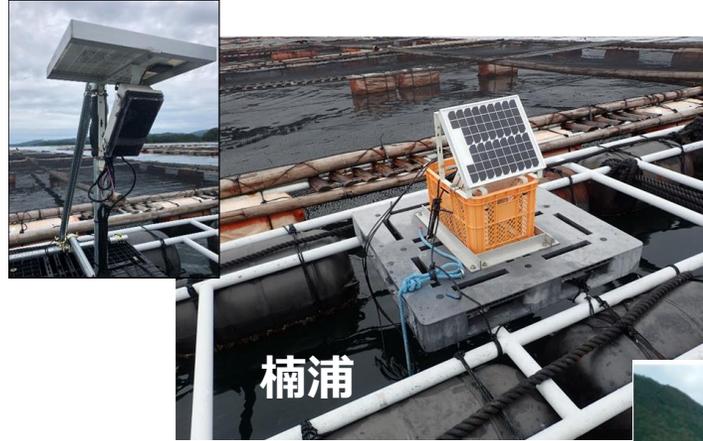
← カレニアの**日周鉛直移動**の状況が詳細にとらえられている

図 2023年の大型観測ブイ(Stn. A；姫戸沖)における水温，塩分，クロロフィル蛍光，濁度及びDOの鉛直プロファイルの経時変化(*Karenia* が発生していた7月21日～31日の拡大)

テレメータシステムによるデータ収集



八代海に広域にテレメータシステムを配置して、水質等のリアルタイム監視を行っている



楠浦



薄井・竹島



宮ノ浦



水質計類



有害植物プランクトンセンサー



新和



嵐口



深海

表 テレメータシステムの定点名、管理機関、観測項目・水深等の一覧

定点名	管理機関名	観測項目					八代海赤潮等広域監視システム 対応状況
		水温	塩分	DO	クロロフィル	FSI	
田浦	熊本県	0.5m	-	-	-	-	○
楠浦	熊本県、熊本県海水養殖漁業協同組合、天草市	1.5m, 5m, 10m	5m	5m	1.5m, 5m, 10m	1.5m, 5m, 10m	○表層のみ、それ以外はリンク
嵐口	熊本県海水養殖漁業協同組合、天草市	1.5m, 5m, 10m	1.5m	1.5m	1.5m, 5m, 10m	1.5m, 5m, 10m	○表層のみ、それ以外はリンク
新和	熊本県海水養殖漁業協同組合	1.5m, 5m, 10m	1.5m	1.5m	1.5m, 5m, 10m	5m, 10m	○表層のみ、それ以外はリンク
深海湾		1.5m, 5m, 10m	1.5m	1.5m	1.5m, 5m, 10m	5m, 10m	○表層のみ、それ以外はリンク
久玉湾		1.5m	1.5m	1.5m	1.5m	-	○表層のみ、それ以外はリンク
大道		1.5m, 5m, 10m	1.5m	5m	1.5m, 5m, 10m	1.5m, 5m, 10m	リンク
大平島		1.5m, 5m, 10m	1.5m	5m	1.5m, 5m, 10m	1.5m, 5m, 10m	リンク
横島(予定)		1.5m, 5m, 10m	1.5m	5m	1.5m, 5m, 10m	1.5m, 5m, 10m	リンク
葛輪黒崎	鹿児島県東町漁業協同組合	1m, 3m, 10m	-	-	-	-	○
薄井竹島		1m, 3m, 5m, 10m	5m	1m, 5m, 10m	5m	-	○水温・塩分、それ以外はリンク
宮ノ浦		1m, 5m, 10m	5m	1m, 5m, 10m	5m	-	○水温・塩分、それ以外はリンク
脇崎		1m, 3m, 10m	-	-	-	-	○
多々羅		1m, 3m, 10m	-	-	-	-	○
幣串		1m, 3m, 5m, 10m	-	-	5m, 10m	5m, 10m	リンク
福ノ浦		1m, 3m, 10m	-	-	-	-	○
御所浦		1m, 3m, 10m	-	-	-	-	○

公表データの集約、関連データへのリンクにより、八代海全体を俯瞰することが可能

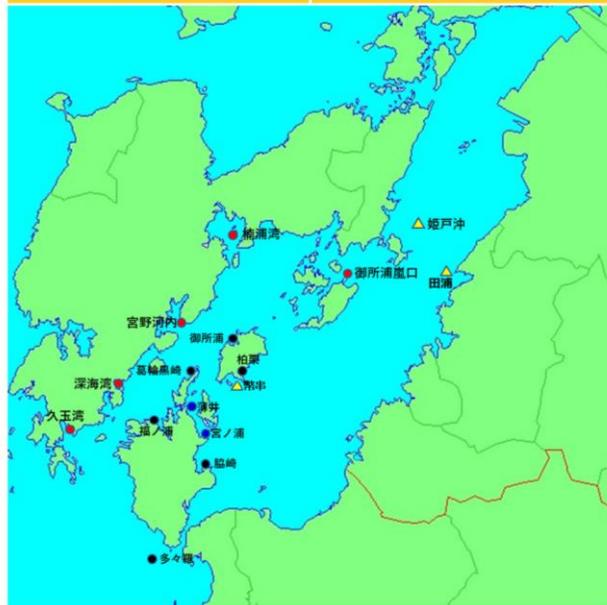
八代海赤潮等広域監視システム

2024年06月19日(水)

水産庁補助事業「漁業環境改善推進事業のうち赤潮及び有害藻類水塊の広域自動モニタリング技術の開発」に基づき、八代海における有害赤潮による漁業被害の軽減を図るために、八代海沿岸の水質試験研究機関等、赤潮監視機関と共同して赤潮の早期発見、早期対応を把握するための調査研究を実施している。本サイトは関係機関の自動観測データ、水質監視カメラのデータ、衛星画像画像等を集約し、八代海の水質・赤潮の状況を広域に把握できるようになっている。また、気象、水文等の情報についても関係サイトへのリンクによって容易に閲覧できるようになっている。

お知らせ
令和元年7月18日より八代海赤潮等広域監視システムの公表を始めました。
有明海・八代海漁業環境研究センター

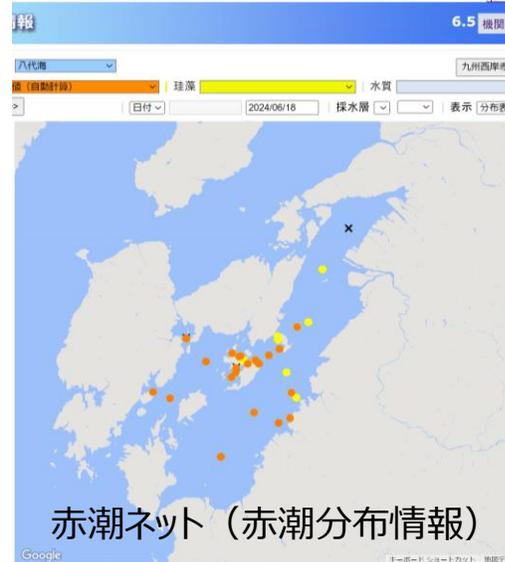
八代海広域 長島・獅子島周辺



- 関連リンク**
- [水産技術研究所] 八代海水質連続観測 船戸沖(自動観測ブイ)
 - [熊本県漁業改良普及協会] 天草水質 テレメータ情報 船口 船前 新和 深海 久玉
 - [熊本県水産研究センター] 八代海水質情報 杵北町(田浦)(自動観測ブイ) 観赤潮で田浦を選択 リアルタイムテレメータ 水質観測システム 船浦
 - [鹿児島県水産改良普及協会] 水温テレメータ観測情報 御所浦 柏原 豊崎 船浦 福ノ浦 船崎 多々羅 水質テレメータ観測情報 薄井 宮ノ浦 原町(自動観測ブイ)
- 気象庁**
- 八代 水保 本渡 牛深
 - [国土交通省 九州地方整備局] [八代河川国営事務所] **ライブカメラ情報** 球磨川 島原川
 - [水産技術研究所] 八代海赤潮監視カメラ 関係者専用
 - 船戸栄養塩テレメータ 関係者専用

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所
有明海八代海グループ
〒851-2213 熊本市東区長島町1551-8
TEL: 095-860-1600 / FAX: 095-850-7767

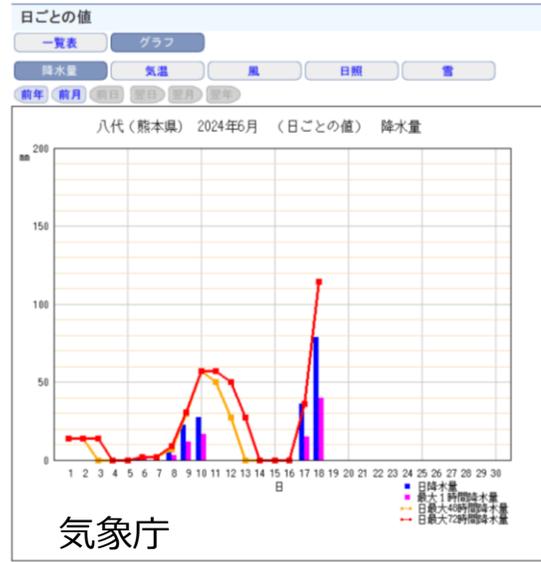
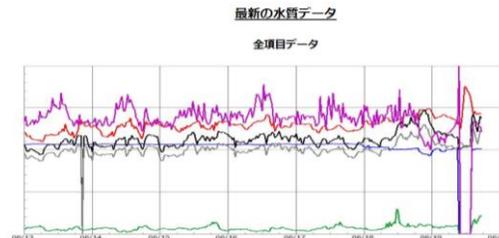
本ホームページによる情報提供は、システムの保守・障害等により利用者に事前に通知することなく、一時的に中断される場合があります。また、水質データは、機器測定による観測値であり、修正等により後日に修正する可能性があります。なお、本ホームページの情報については、水産研究・教育機構に無断で転載することを禁じます。



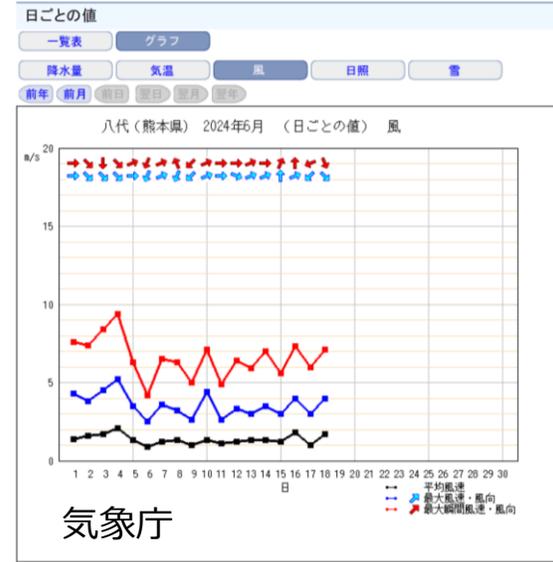
赤潮ネット (赤潮分布情報)

	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30
水温(°C)	24.2	24.6	24.3	24.2	24.4	24.3	24.3
塩分(PSU)	30.3	30.1	30.4	30.5	30.3	30.3	30.5
DO(%)	142.7	137.1	128.6	121.3	130.6	140.1	138.0
DO(mg/l)	10.05	9.60	9.03	8.53	9.15	9.84	9.68
クロロフィル(ppb)	1.44	1.78	1.22	1.49	1.86	2.17	2.10
FSI	2.17	2.17	2.17	2.16	2.14	2.14	2.11

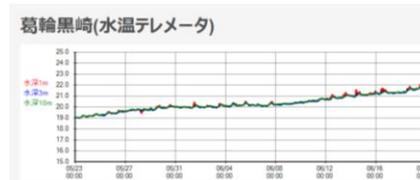
熊本県海水養殖漁業協同組合



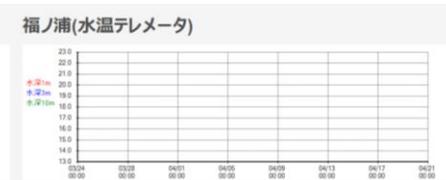
気象庁



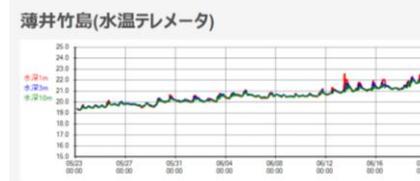
気象庁



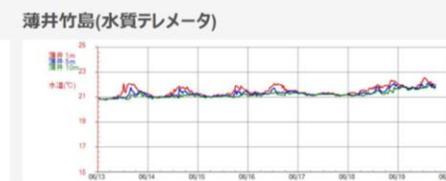
葛輪黒崎(水温テレメータ)



福ノ浦(水温テレメータ)



薄井竹島(水温テレメータ)



薄井竹島(水質テレメータ)

鹿児島県東町漁業協同組合

有害植物プランクトンセンサーを利用した*Karenia*赤潮検知

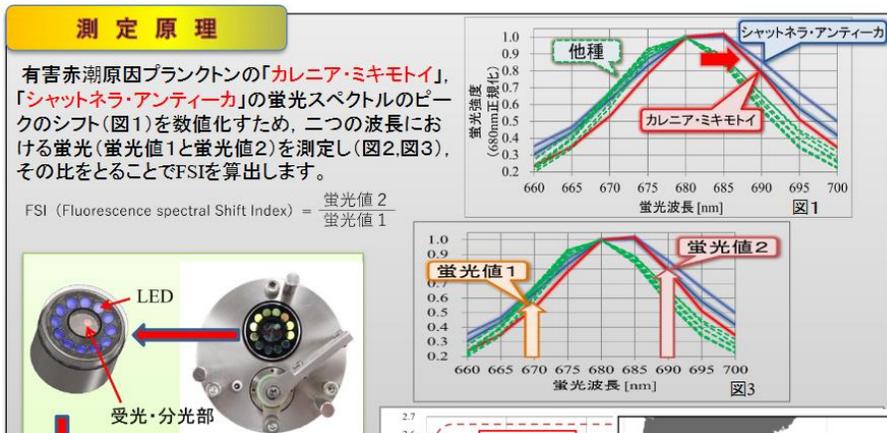


写真1 有害植物プランクトンセンサー。*Karenia*、*Chattonella*が約50 cells/ml以上でFSI値が1.95以上となる。



写真2 有害植物プランクトンセンサー設置点と設置風景。テレメータシステムによりリアルタイムで現場データの確認ができる。

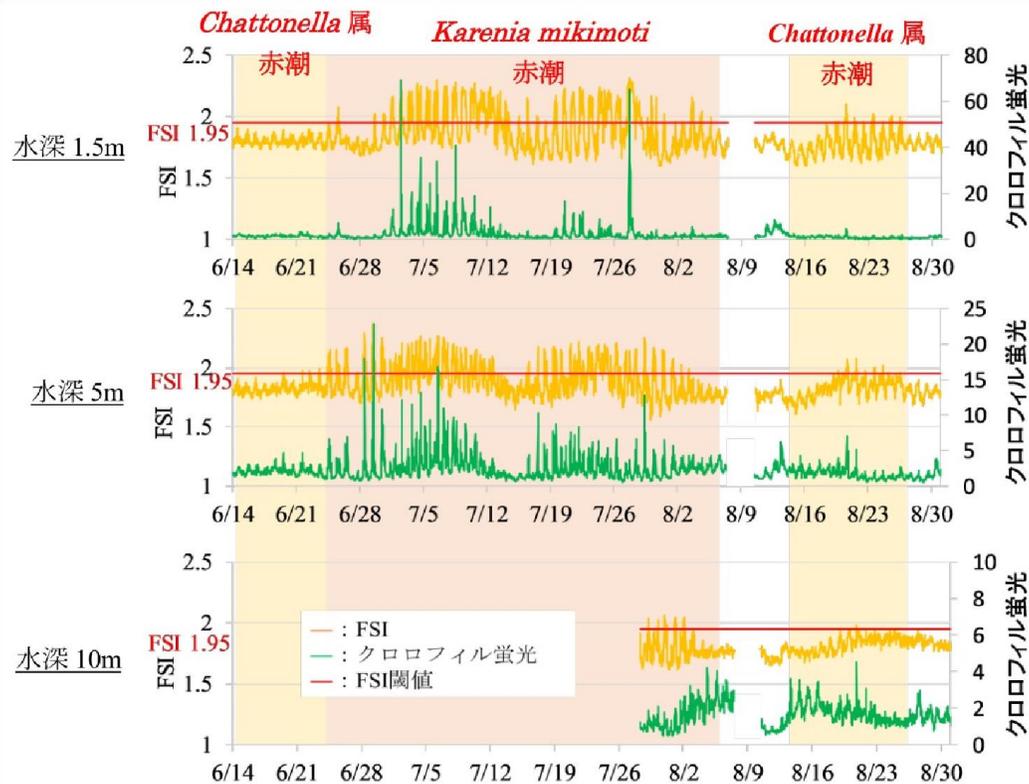


図 楠浦に設置した有害植物プランクトンセンサーのFSI及びクロロフィル蛍光値の時系列図。センサーは水深1.5m、5m、10mの3層に設置した。FSI値が1.95以上が有害植物(赤潮)プランクトン発生の日安。

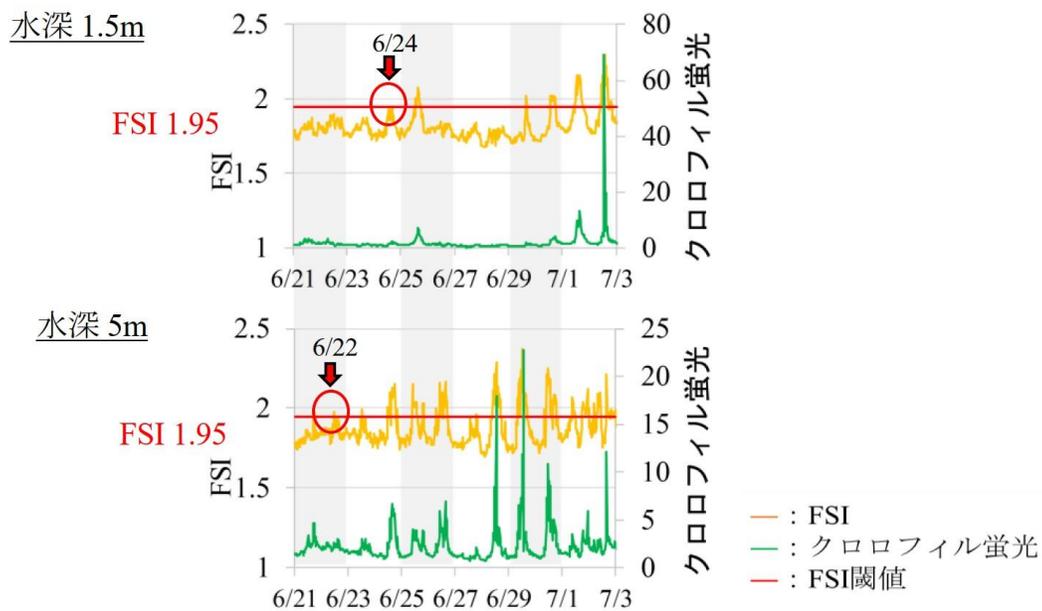


図 楠浦における*Karenia* の発生の検知。水深5mで6月22日にFSIが1.95を超え、水深1.5mでは2日後の6月24日にFSIが1.95を超え、深層からの出現が確認された。

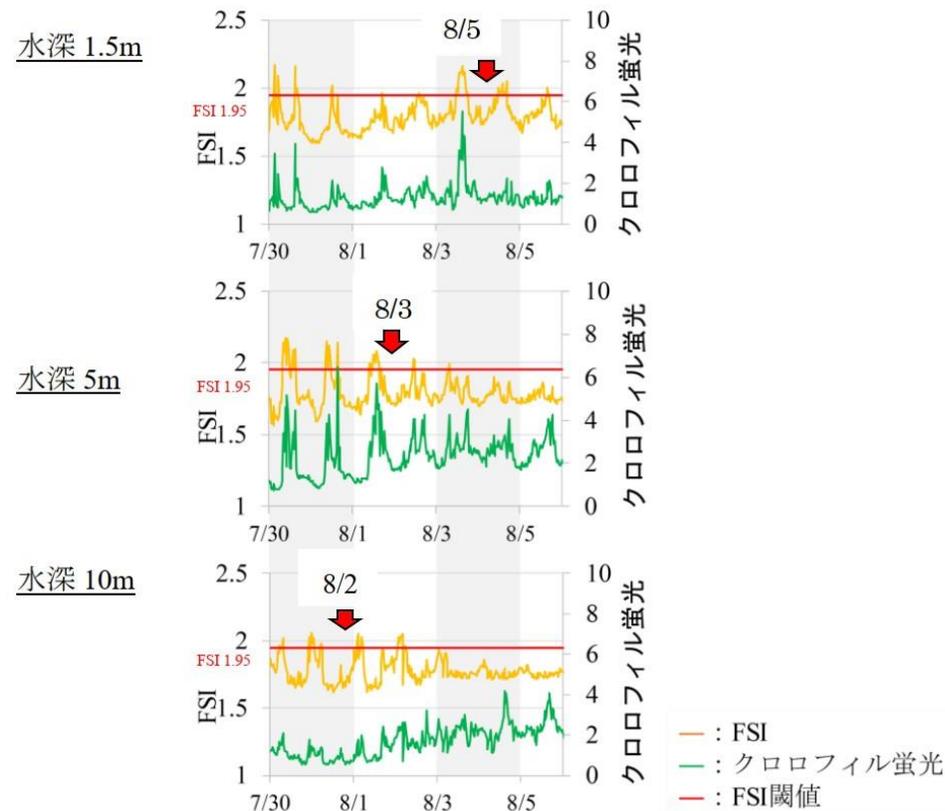


図 楠浦における*Karenia* の終息の検知。水深10mで8月2日頃、水深5mで8月3日頃、水深1.5mで8月5日頃からFSIが1.95を下回る傾向にあり、*Karenia*が表層に分布した後、終息することが確認された。

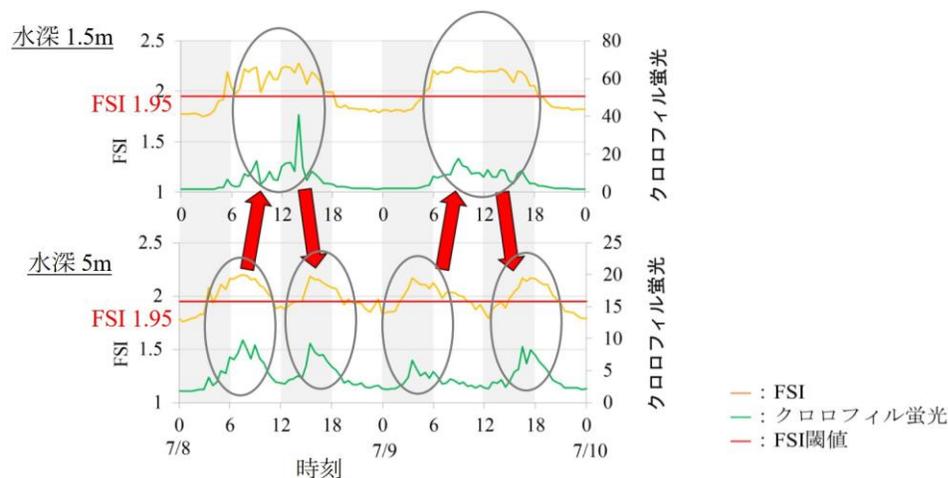


図 楠浦における*Karenia* の日周鉛直移動鉛直の検知。水深5mで2方型、水深1.5mで1方型のピークが確認された。

有害植物プランクトンセンサーが*Karenia*赤潮の検知、状態把握に有効な機器であることが確認された。

熊本県八代海域における漁業者による赤潮監視体制

○養殖地域ごとに養殖業者の15グループを設定



○養殖業者自ら採水・検鏡（週1～2回/グループ）
※赤潮発生時期



図2 養殖業者15グループによる採水・検鏡

○結果はSNSにより漁業者、漁協、自治体で共有



★漁業者による監視体制の構築で速やかな対策が実施可能
★調査地点の増加による赤潮の挙動がより把握可能
★赤潮対策に対する漁業者間の意識醸成



図1 養殖業者15グループによる調査体制



図3 SNSによる調査結果の共有