

中間取りまとめ(第2章)案 有明海・八代海における鞭毛藻赤潮にかかる整理と検討

1. 小委員会資料番号・タイトル等

- ・小委員会資料番号：第5回水産資源再生方策作業小委員会 資料2-2
- ・タイトル：魚類に関する資料の収集・整理・分析状況
有明海・八代海における鞭毛藻赤潮にかかる整理と検討
- ・発表者：国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所
- ・実施年度：平成28年度～令和元年度

2. テーマ

有明海・八代海における鞭毛藻赤潮にかかる既往知見の整理と検討

3. 背景・目的

赤潮発生状況（海域・年間・季節等）や各種要因（水温・塩分等）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・検討を行う。

4. 対象海域

有明海、八代海

5. 内容・方法・結果

1) 有明海における夏の鞭毛藻赤潮の発生状況（長崎県総合水産試験場、佐賀県有明水産振興センター、福岡県水産海洋技術センター有明海研究所、熊本県水産研究センター、水産研究・教育機構）

2013年～2017年の有明海奥部（測点P6）及び諫早湾（測点B3）において、*Chattonella*（鞭毛藻）と珪藻類の出現特性の把握を行い、両者の間に競合と考えられる関係が確認された（図1）。有明海では2009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*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。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。従って、珪藻類が最大の競合者であると考えられる。種間競合関係はモデルでの再現が難しいと言われているが、実測データについては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研究を進める必要がある。

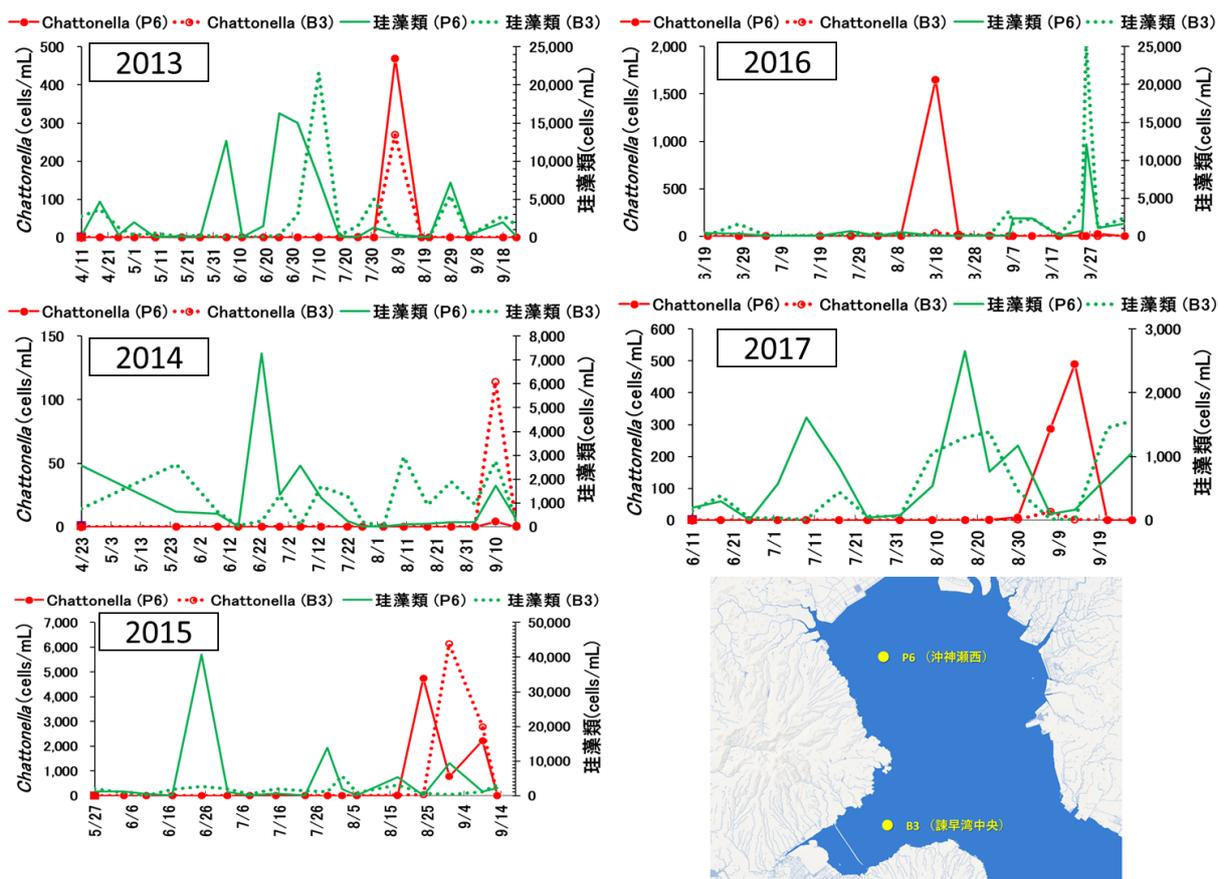


図 1 有明海奥部（測点 P6）及び諫早湾（測点 B3）における *Chattonella* と珪藻類の出現特性（水産研究・教育機構・長崎県総合水産試験場 2013～2017）

2) 八代海における夏の鞭毛藻赤潮の発生状況（熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター、水産研究・教育機構）

1989～2019 年の八代海における *Chattonella* 赤潮の発生時期を整理した結果、2014 年以降、発生のピーク時期が盛夏（6 月下旬～8 月上旬）から晩夏以降（8 月中下旬以降）にシフトする傾向が認められた（図 2）。

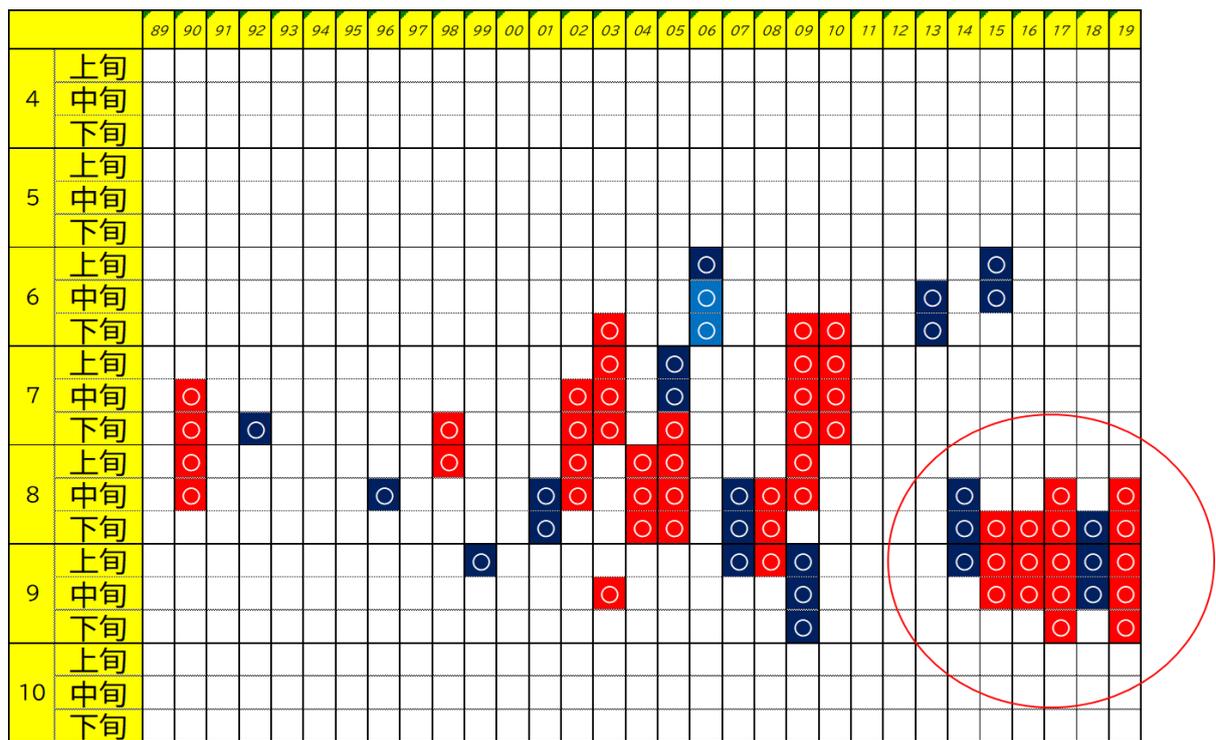


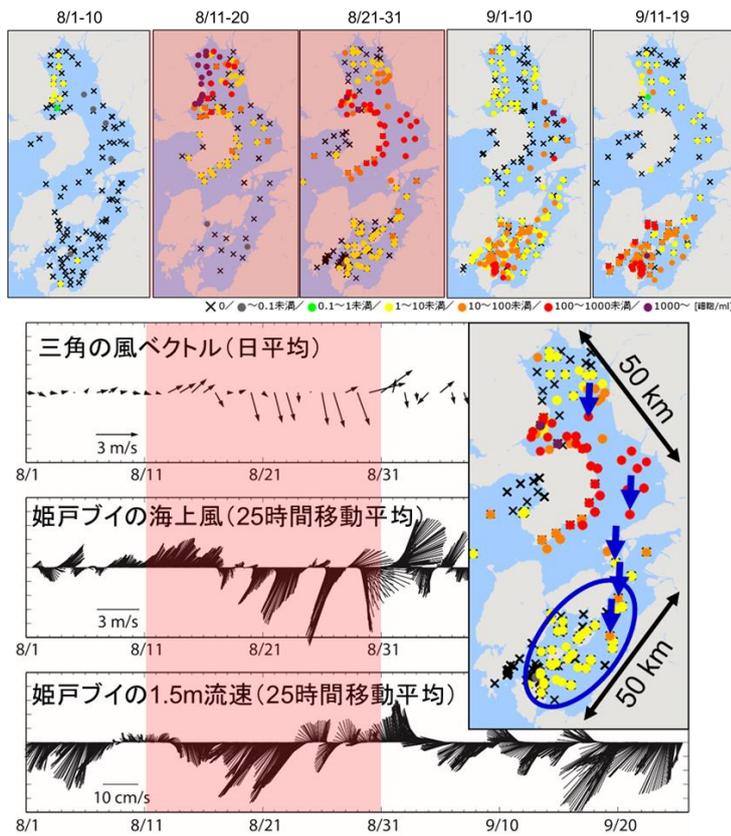
図 2 1989～2019 年の八代海における *Chattonella* 赤潮旬別発生状況（赤と青はそれぞれ漁業被害ありとなし）

2013 年以降の有明海および八代海における *Chattonella* 赤潮の発生状況を整理した結果、八代海だけでなく有明海においても近年は晩夏に発生する傾向が認められた(図 3)。また、多くの有害赤潮発生年において、有明海で発生した直後に八代海で発生していたことも分かった。このことは、有明海から八代海に *Chattonella* 個体群が移入し、それがシードポピュレーションとなって八代海で増殖し、赤潮化するパターンがあり得ることを示唆している。

年	発生状況				最高細胞数	漁業被害
2013	有明海	期間	7/29~8/21	荒尾市~上天草市	1,350	×
	八代海	海域	6/10~6/24	天草市楠浦湾	1	×
2014	有明海	期間	9/12~10/24	荒尾市~宇土市	3	×
	八代海	海域	8/18~9/9	宇城市~天草市宮野河内	100	×
2015	有明海	期間	8/17~9/1	荒尾市~天草市	31,000	○
	八代海	海域	8/23~9/15	上天草市~水俣市	600	○
2016	有明海	期間	8/18~9/7	荒尾市~宇城市	1,010	×
	八代海	海域	8/22~9/31	八代海全域	16,150	○
2017	有明海	期間	8/25~9/22	荒尾市~天草市	300	×
	八代海	海域	8/16~9/20	八代海全域	510	○
2018	有明海	期間	7/5~9/12	荒尾市~上天草市	2,250	×
	八代海	海域	7/31~9/13	八代海全域	198	×
2019	有明海	期間	8/21~9/25	長洲町・天草市	48	×
	八代海	海域	8/19~9/26	八代海全域	18,600	○

図 3 2013 年以降の有明海および八代海における *Chattonella* 赤潮の発生状況（赤枠は有明海から八代海へ *Chattonella* 細胞の移入が疑われる年）

2016 年の有明海および八代海における *Chattonella* 分布密度の経時変化を解析した結果を図 4 に示す。8 月上旬に有明海北部に低密度で確認された *Chattonella* は、8 月中旬には有明海北部で増加し、北寄りの風と向きの表層流が観測された 8 月下旬には有明海中南部に分布が拡大した。その直後から 9 月初めには八代海においても低密度で広範囲に *Chattonella* が確認されるようになった。このことから、*Chattonella* 細胞が有明海から希釈されながら一部海峡部を通じて八代海に移入する可能性が示唆された。2015 年にも *Chattonella* 赤潮は、有明海から三角瀬戸を通じて低密度で移入した個体群が増殖した可能性が指摘されており、初期個体群については八代海を起源とするものだけでなく、有明海から移入するものにも注意を払う必要がある（北辻ほか 2016~2018；中島ほか 2019）。



有明海からの移入の可能性
 (北辻ら2016~2018 H27~29年度
 水産庁委託事業報告書,
 中島ら2019 日本水産学会誌)

吹送流は海上風の3%程度

約3 m/sの北寄りの風
 $\Rightarrow 10 \text{ cm/s} \approx 10 \text{ km/day}$

- 8/18 荒尾市沖 150 cells/ml
- 8/22 三角町沖 220 cells/ml
- 8/23 松島町沖 9 cells/ml
- 8/26 姫戸町沖 100 cells/ml
- 8/28 芦北町沖 25 cells/ml
- 8/29 八代海ほぼ全域
1~9 cells/ml

三角ノ瀬戸と柳ノ瀬戸を合
 わせた1日あたりの通過流
 量は、大築島以北の体積の
 数%程度

図 4 2016年8月から9月にかけての *Chattonella* 細胞密度分布の推移と三角（気象庁アメ
 ダス）の風向・風速、八代海姫戸沖自動観測ブイの風向・風速と1.5m深流向・流速

3) 八代海における夏場の鞭毛藻赤潮と栄養塩との関係（鹿児島県水産技術開発センター）

図 5 に 2018 年の八代海における栄養塩濃度の動態を示す。この年は、8 月 23 日～9 月 5 日の 14 日間、八代海において *Chattonella* 赤潮が発生した。8 月 9 日以降徐々に分布密度が上昇していき、8 月 23 日にピークとなり、北部の熊本県戸馳島沖にて最高細胞密度 1,235cells/mL を記録したが、中南部では 100 cells/mL 未満であった。一方で赤潮発生時の栄養塩濃度は、中南部は概ね不足していたが（特に DIP）、高密度化した北部では充足していた。このことから、栄養塩濃度の分布は本種赤潮の分布に影響を及ぼすことが示唆された。

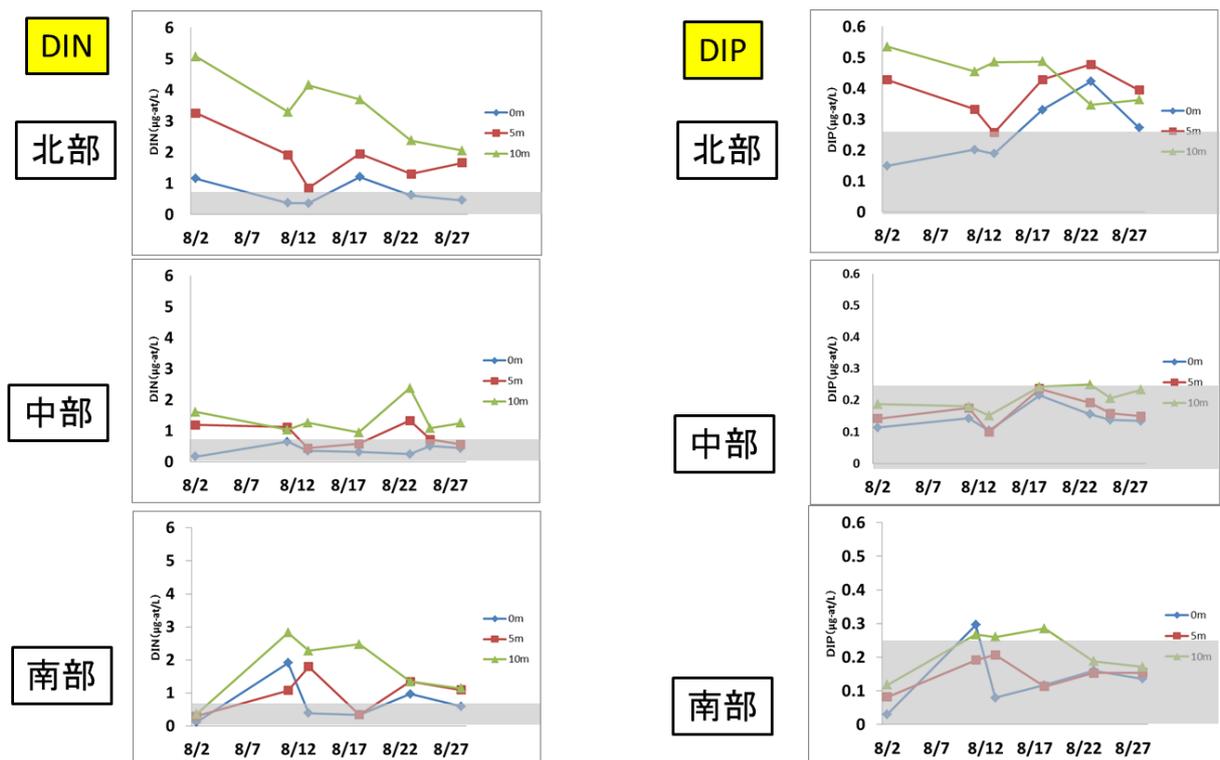


図 5 2018 年八代海における栄養塩濃度の経時変化（灰色域は *Chattonella* の増殖速度の半飽和定数以下を示す）

既往知見を踏まえると、八代海における *Chattonella* 赤潮は、2010 年に発生した赤潮のように梅雨明け後の 7 月上旬に八代海北部海域で高密度化し、球磨川の出水と北風の連吹で南部へ分布拡大するパターン（出水型、鬼塚ほか 2011）と図 6 に示す 2016 年のように 8 月下旬の混合期に入ってから、鉛直混合による DIN および DIP の供給や成層化によって高密度化するパターン（鉛直混合型）に大別することができる。この球磨川の出水に起因しない鉛直混合型は、瀬戸内海東部の播磨灘における過去の *Chattonella* 赤潮の発生機構と類似する（岡山県ほか 1991）。この場合、出水を伴わないため、八代海中南部の底層由来の栄養塩濃度や光環境、競合する珪藻類の動態によって赤潮の発生規模が左右される（北辻ほか 2018；鬼塚ほか 2018；中島ほか 2019）。しかしながら、いずれのパ

ターンにおいても *Chattonella* の高密度化に栄養塩供給が極めて重要な要因となる点は共通している。

八代海における*Chattonella*赤潮の発生シナリオ(鉛直混合型) ～出水を伴わないケース～

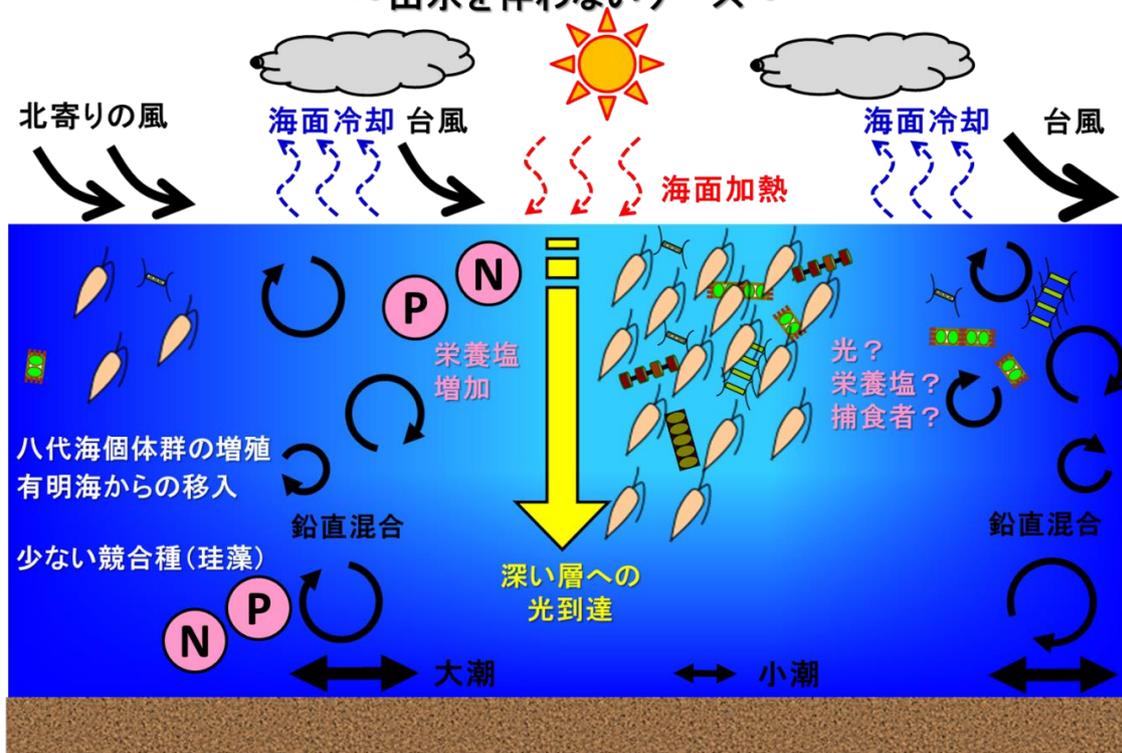


図 6 2016 年夏季の球磨川出水を伴わない *Chattonella* 赤潮の発生シナリオ (鉛直混合型)

図 7 に 2019 年の *Chattonella* 赤潮発生前後における八代海姫戸沖の観測ブイに設置された自動昇降式水質計および硝酸塩センサーによって連続観測されたクロロフィル濃度と硝酸塩濃度のデータを示す。8 月 25 日ごろから硝酸塩濃度の上昇が認められ、その後急速に *Chattonella* が高密度化し、赤潮が発生した。このことから、栄養塩濃度のモニタリングは *Chattonella* 赤潮の発生予測に有効であると考えられる。

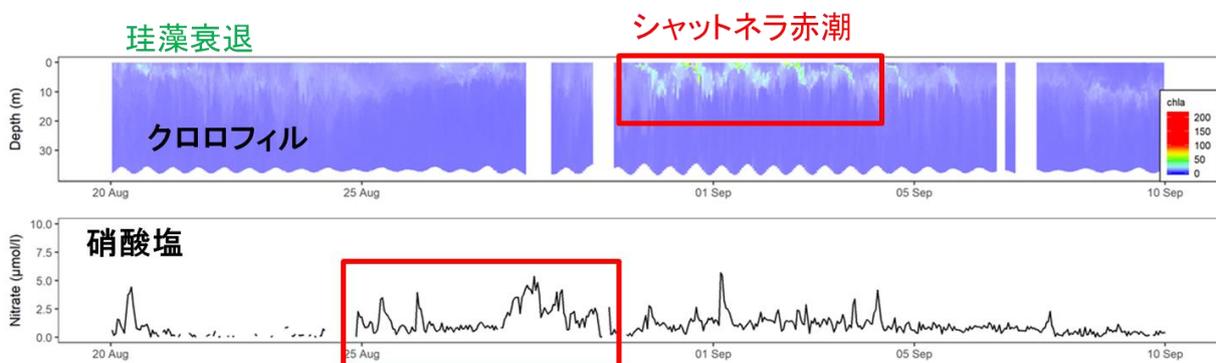
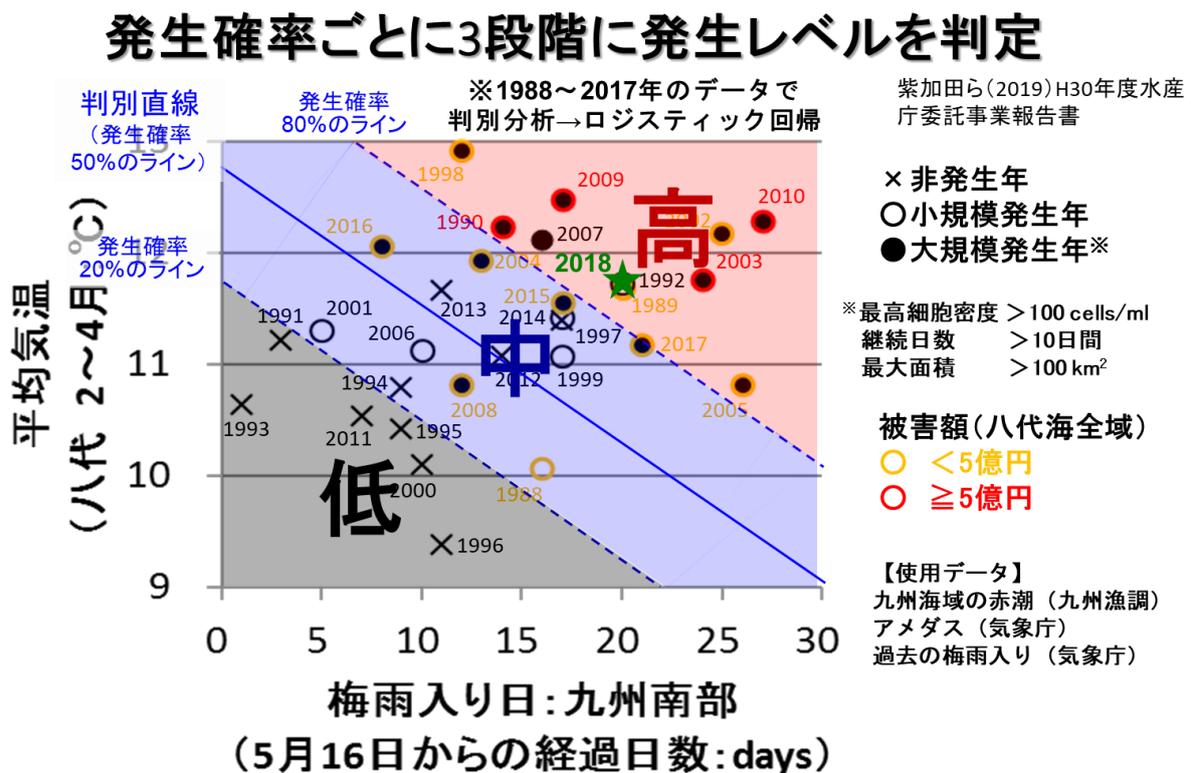


図 7 2019 年八代海における *Chattonella* 赤潮の発生タイミングと栄養塩動態との関係

4) 夏場の赤潮発生機構・予察手法・被害軽減に関する知見

八代海における *Chattonella* 赤潮の発生には冬から春の気温および梅雨入り時期が関係しており、気温が高く、梅雨入りが遅いほど赤潮が発生しやすいことが報告されている（北辻ほか 2018 ; Onitsuka et al. 2015）。この既往知見をもとに、八代における 2~4 月の気温と九州南部梅雨入り日（5月16日からの経過日数）の 2 変量を用いた判別分析による *Chattonella* 赤潮の中長期予察技術（図 8）が開発された（紫加田ほか 2019）。2018 年以降、この予察情報は気象庁から梅雨入りが発表された直後に関係者へ提供されており、*Chattonella* 赤潮が発生する 1~2 ヶ月前の見通しとして活用されている。



「高め」の年の多くが大規模発生、「低め」の年はいずれも非発生

図 8 八代海における *Chattonella* 赤潮発生と八代における 2~4 月の気温・九州南部梅雨入り日の関係（赤潮の発生・非発生について 2 変量による線形判別分析を行った後、判別得点のロジスティック回帰によって判別得点ごとの発生確率を算出し、発生確率 80%以上を「高め」、20%以上 80%未満を「中程度」、20%未満を「低め」と設定している）

6. 成果、新たな知見等

夏の鞭毛藻赤潮について H29 年委員会報告から新たに蓄積された知見として以下のことが挙げられる。

(有明海)

- ・有明海における 9 年間の現地観測により、*Chattonella* 赤潮の発生は珪藻類が衰退した隙間 (niche) で発生している可能性が示唆された。一般的に有害鞭毛藻類は珪藻に比べて増殖速度が低く、栄養競合では不利となるため、珪藻類が競合相手となり得る。
- ・種間競合関係は数値モデルによる再現が難しいため、モデル構築のための実測データが蓄積されている。

(八代海)

- ・*Chattonella* については、有明海で発生した直後に八代海で高密度化するパターンが認められており、風向や出水による流向とも矛盾しない。そのため、八代海での地場発生だけでなく、有明海由来の本種個体群がシードとなって八代海で増殖するケースも考えられることが明らかとなった。
- ・近年、*Chattonella* 赤潮の発生が晩夏化していることが判明した。晩夏型については、球磨川の出水に依存せず、鉛直混合による栄養塩供給などに起因するシナリオが提案された。
- ・出水型および鉛直混合型、いずれにおいても *Chattonella* の高密度化には栄養塩供給が重要な要因となることが分かった。そのため、栄養塩濃度のモニタリングは *Chattonella* 赤潮の発生予測に有効と考えられた。
- ・判別分析を用いた新たな *Chattonella* 赤潮の発生予測技術が提案された。2~4 月の気温と梅雨入り日の 2 変量から夏の *Chattonella* 赤潮の発生規模について大まかな見通しを立てることができるようになった。

7. その他(課題、今後の方針・計画等)

課題

(有明海)

- ・有明海における夏季の赤潮の魚類養殖に及ぼす被害は島原半島沿岸域に限られるが、大規模化およびそれらの流出により橘湾までに被害を及ぼす。有害鞭毛藻赤潮の大規模化の発生機構・予察についての知見は少ない。
- ・有明海と八代海の赤潮発生の相互関係については、幾つかの仮説が提案されているが、検証が十分になされていない。

(八代海)

- ・近年の *Chattonella* 赤潮の晩夏化についての原因は解明されていない。
- ・これまでに本種赤潮の発生機構は随分クリアになったが、衰退過程についての詳細は不明な点が多い。

- ・有害赤潮藻類の分布や栄養塩濃度の高頻度モニタリングは確かに発生予測に有効であるが、公的機関の調査や分析にかかる予算や人員の縮小は続いており、深刻化している。また、自動連続観測システムについても、現状メンテナンスに大きな労力と予算を消費している。
- ・現場で漁業被害を軽減するためには極めて正確な発生・動態予測が必要であり、現状より精緻な手法が期待される。
- ・近年、モニタリングや発生予測については技術や体制の面で大きく高度化した。一方、被害軽減手法は従来の餌止めや生簀避難などから大きな更新はなされていない。
- ・ *Chattonella* 以外の有害種に関する知見は少ない。

今後の方針・計画

(有明海)

- ・有明海における鞭毛藻赤潮の発生・大規模化の予察のための現場調査、室内実験のデータを集約し、統計的手法等も活用しながら解析を実施する。解析に不足しているデータは観測、室内実験等により適宜収集する。
- ・鞭毛藻赤潮の発生について、有明海と八代海の相互関係を解明するために、必要な観測、実験等を適宜実施する。

(八代海)

- ・関係機関によって蓄積されている現場調査や室内実験のデータを集約、整理後、適宜統計手法等を用いて解析を実施する。それにより、*Chattonella* 赤潮の晩夏化や衰退の要因を明らかにするとともに、より精緻な短期・中期的な赤潮動態予測手法の開発を行う。
- ・ *Karenia mikimotoi* など *Chattonella* 以外の有害種に関する知見の収集を進める。
- ・赤潮モニタリングの省力化や低コスト化のための技術開発等を進める。
- ・漁業被害軽減のための有害赤潮防除技術について、他分野との共同等により既存技術の改良および新規技術の開発を進める。