

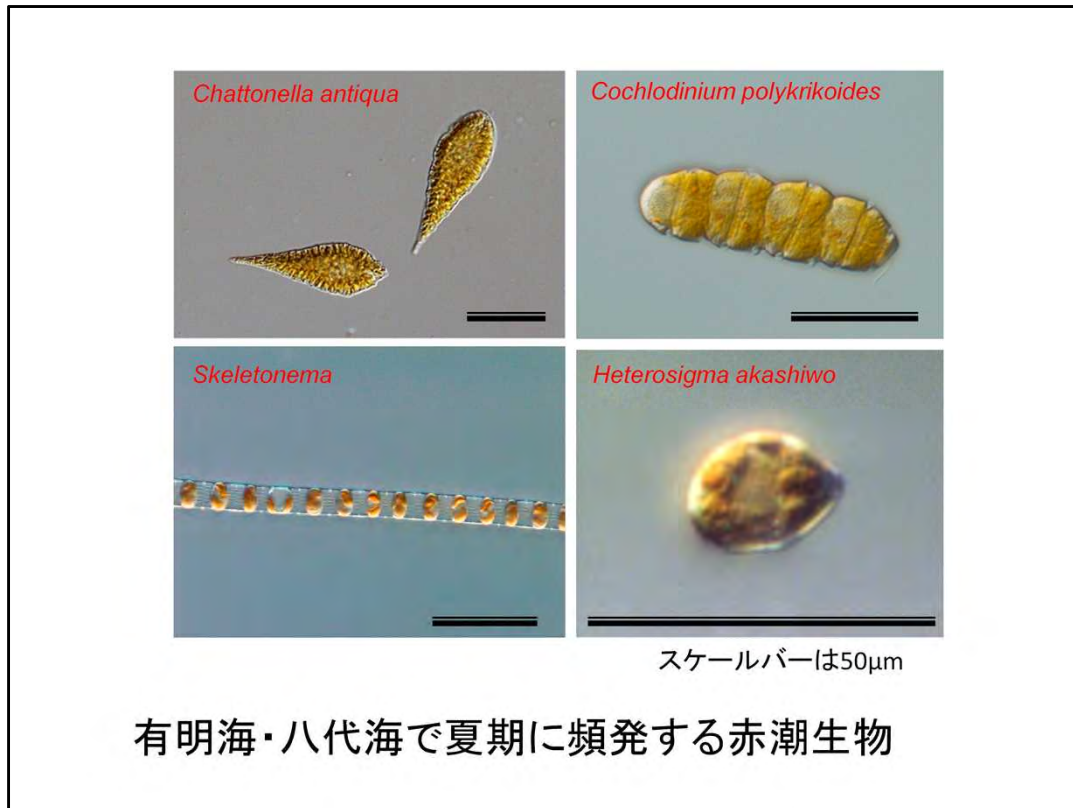
夏の赤潮について
(発生状況、被害状況、水質との関連、
被害軽減策 等)

資料の整理と検討結果

生物・水産資源・水環境問題検討作業小委員会

提出資料

2013年11月27日提出分



Chattonella antiqua (Hada) Ono

ラフィド藻綱ラフィドモナス目ヴァキユオラリア科に属する無殻鞭毛藻の一種。細胞長は100μm前後の長楕円形で、細胞前端から2本の鞭毛を出して活発に遊泳する。細胞内に多数の葉緑体を保有しており、光合成で活発に増殖し、日本沿岸で頻りに赤潮を形成する種である。生育は三河湾、瀬戸内海、九州沿岸など、西日本に広く生息する。近年有明海や八代海では頻りに赤潮を形成している。半球形のシストを形成し、海底泥中で越冬する。本種は魚類に対して強い魚毒性を有しており、赤潮が発生する多くの魚介類がへい死して問題となる。

Cochlodinium polykrikoides Margalef

渦鞭毛藻綱ギムノディニウム目ギムノディニウム科に属する無殻鞭毛藻の一種。細胞長は30μm前後で、ほとんど4もしくは8連鎖を形成する。細胞内に多数の葉緑体を保有しており、光合成で活発に増殖し、沿岸域で頻りに赤潮を形成する種である。生育は世界中の熱帯・温帯域に広く認められる。八代海では1970年代後半から頻りに赤潮を形成している。本種も魚類に対して強い魚毒性を有しており、赤潮が発生する多くの魚介類がへい死して問題となる。

*Skeletonema*属

珪藻綱円心目コスキノディスクス亜目タラシオシーラ科に属する小型の珪藻である。形態的に類似した6種以上が存在し、通常の顕微鏡では区別が困難であることから、ここでは*Skeletonema*属とした。周年を通じて世界中の内湾・沿岸で卓越し、特に富栄養化した海域では頻りに赤潮を形成する。本種の赤潮は魚介類に無害であるが、冬期に増殖するとノリの色落ち被害を与えることがある。

Heterosigma akashiwo (Hada) Hada

ラフィド藻綱ラフィドモナス目ヴァキユオラリア科に属する無殻鞭毛藻の一種。細胞長は15μm前後の楕円形で、形態の変異が大きい。細胞の前端から2本の鞭毛を出して活発に遊泳する。細胞内に多数の葉緑体を保有しており、光合成で活発に増殖し、世界中の内湾・沿岸で頻りに赤潮を形成する種である。西日本では毎年初夏から秋期にかけて赤潮の形成が認められる。本種も*Chattonella*属同様にシストを形成し、海底泥中で越冬する。本種は魚類に対して弱い魚毒性を有しており、高密度の赤潮が発生すると多くの魚介類がへい死して問題となる。



資料： 水産総合研究センター西海区水産研究所提供

*Chattonella antiqua*による着色(赤潮)は概ね数百cells/mL以上で視認される。色調は黄褐色(コーヒー色)である。



資料： 水産総合研究センター西海区水産研究所提供

*Chattonella antiqua*の赤潮が発生すると、専ら養殖魚のへい死が問題となるが、実際の海域では多くの天然魚のへい死も確認される。ただし、これらの天然魚の被害量や天然資源に与える影響についてはほとんど調べられていない。



資料：水産庁提供

赤潮が発生すると濃密な細胞の塊(パッチと呼ぶ)が風や潮流で漂い、養殖魚が飼育されている生簀などに来襲する。

特にブリなどの回遊魚は赤潮に対する耐性が低く、致死的密度に襲われると数時間以内にへい死する。

赤潮による漁業被害額

順位	発生年	発生海域	被害額 (億円)	赤潮原因 種	被害内容
1	昭和47年 (1972年)	播磨灘	71	シャットネ ラ	養殖ハマチ 1,400万尾
2	平成22年 (2010年)	八代海, 有明海, 橘湾	54	シャットネ ラ	養殖ブリ等285 万尾
3	平成12年 (2000年)	八代海	40	コクロディ ニウム	養殖ブリ等201 万尾
4	平成10年 (1998年)	安芸灘(広島湾)	39	ヘテロカ プサ	養殖マガキ 851億枚, 養殖 アサリ240トン
5	平成21年 (2009年)	八代海, 有明海, 橘湾	33	シャットネ ラ	養殖ブリ等209 万尾

水産庁とりまとめ資料

資料：「瀬戸内海の赤潮」「九州海域の赤潮」

2009年と2010年の八代海を中心とした赤潮被害は甚大で、それぞれ過去の国内の赤潮による漁業被害額の5位と2位に相当する。

また2000年には八代海における*Cochlodinium polykrikoides*による漁業被害が3位となっているように、八代海では赤潮問題が地域の養殖業の最大の懸案事項となっている。

H18年委員会報告の概要

①冬季の水温上昇

→冬季珪藻赤潮の増大

②透明度上昇(潮流低下による)

→基礎生産の増大

③富栄養化・貧酸素化

→栄養塩供給

④浄化能力の低下(二枚貝減少による)

⑤潮流の低下

アンダーラインは八代海でも想定されるシナリオ

■ 小委員会で収集すべき項目（赤潮）

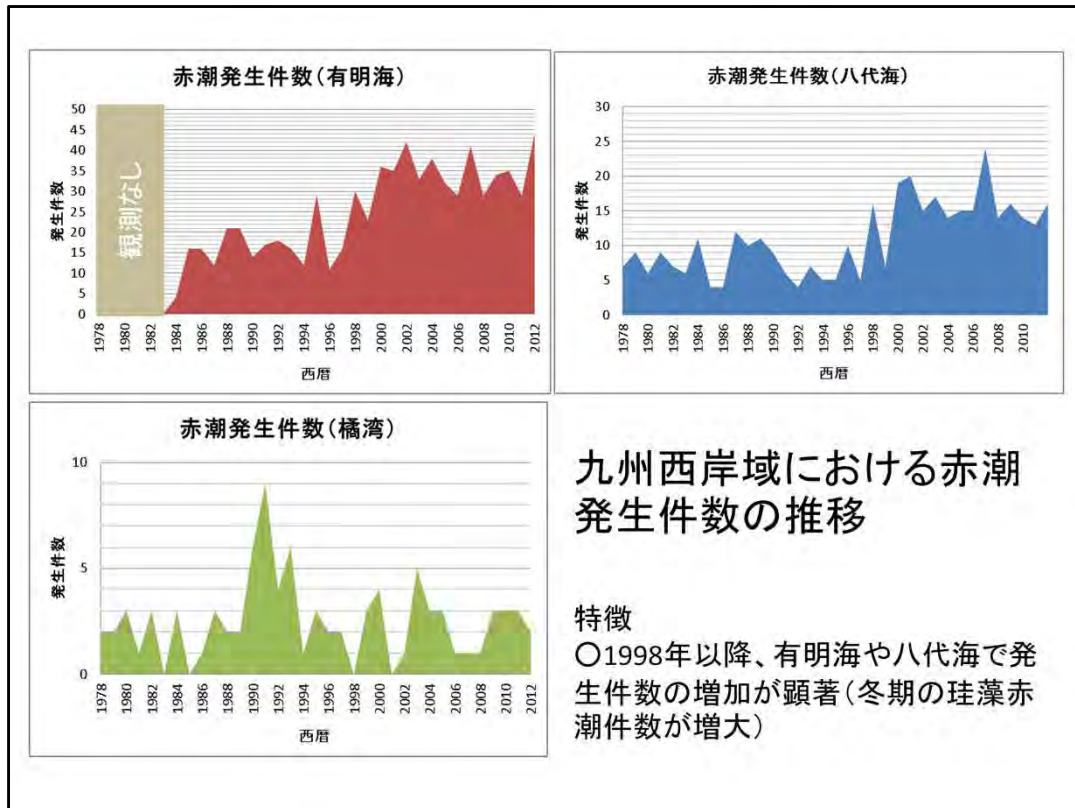
- ① 発生密度、発生時期、発生場所（種別）
- ② 発生時（発生前）の漁場環境（水温、塩分、栄養塩等）、気象条件
- ③ 被害水産生物（種類・量・サイズ・死因等）
- ④ 増殖速度・増殖条件
- ⑤ 競合生物・捕食生物
- ⑥ シスト分布・発芽条件
- ⑦ 対策技術（発生予防、被害防止・軽減）
- ⑧ その他

資料の収集と解析

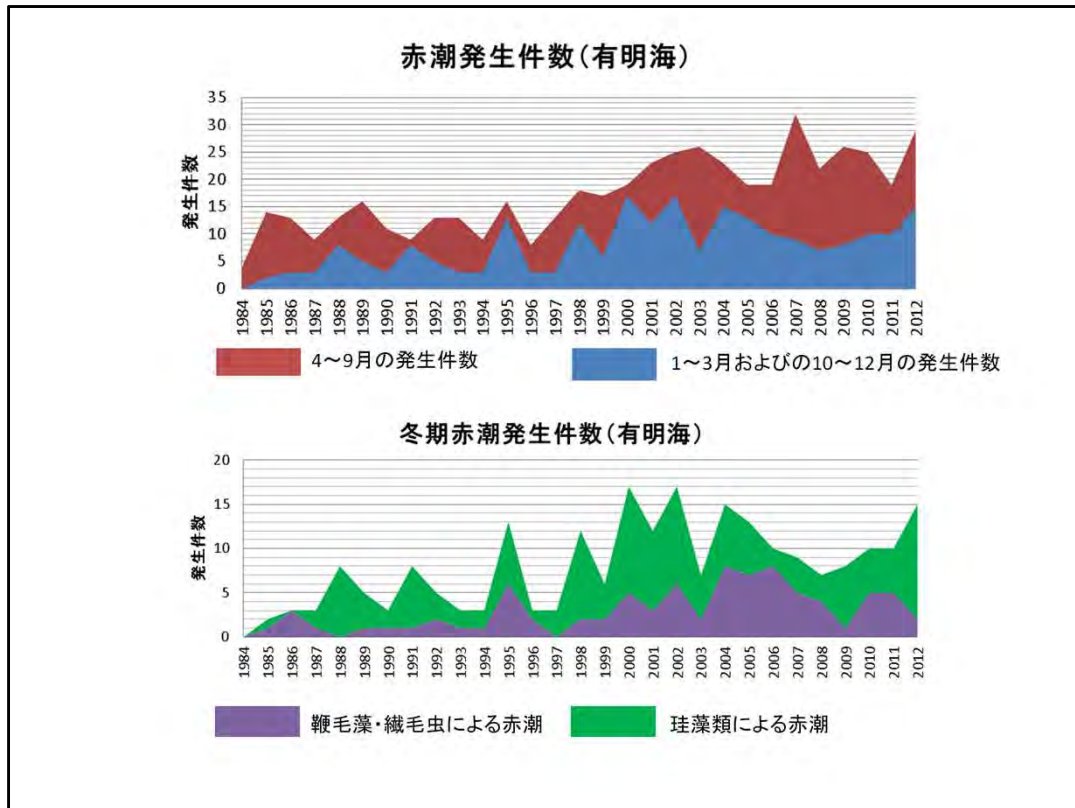
- (1) 有明海・八代海における赤潮発生と水質の経年変化
- (2) 有明海・八代海における夏場の鞭毛藻赤潮の発生状況
- (3) 現場海域における赤潮生物の出現特性
- (4) 赤潮(夏場)の赤潮発生機構・予察手法に関する知見
- (5) 赤潮プランクトン(シャットネラ)の毒性について
- (6) 赤潮に対する被害軽減策

(1)

有明海・八代海における
赤潮発生と水質の
経年変化



資料：水産庁九州漁業調整事務所 昭和53～平成24年「九州海域の赤潮」



資料：水産庁九州漁業調整事務所 昭和53～平成24年「九州海域の赤潮」

有明海では1998年ぐらいから冬期の赤潮発生件数が増加している

また夏期の赤潮発生件数についても、2002年以降高めで推移している

近年の赤潮発生件数の増加について

- H18年の委員会報告においても、1998年以降の有明海における赤潮発生件数増大に関して指摘されている。
- 冬場の赤潮発生件数の増加に関して、平成18年委員会報告(※)では冬期水温と透明度の上昇を指摘している。
- 今回、有明海について、長期の水質データを改めて解析し、この点について検討を試みた。

※ 平成18年委員会報告71ページを参照



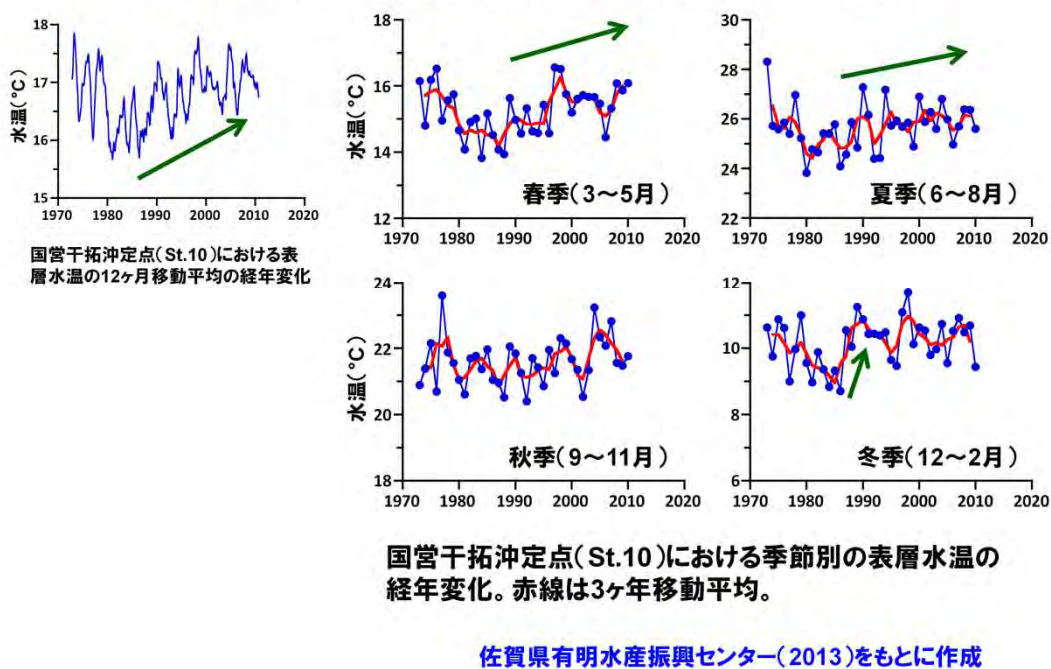
出典：「有明海佐賀県海域の海況と漁業等の現況」 佐賀県有明水産振興センター(2013)

本データのうち、湾奥に位置する定点10(国営干拓沖)のデータについて解析を試みた。

【浅海定線調査】

水産庁が推進してきた漁況海況予報事業のうち、増養殖漁場を主対象とした定点海洋観測(いわゆる浅海定線)を1972年から全国的に実施してきた。有明海での浅海定線調査は毎月1回、朔の大潮に各県一斉調査が実施されてきた。現在国内で最も長期かつ広範囲に蓄積された沿岸海洋データベースの一つである。

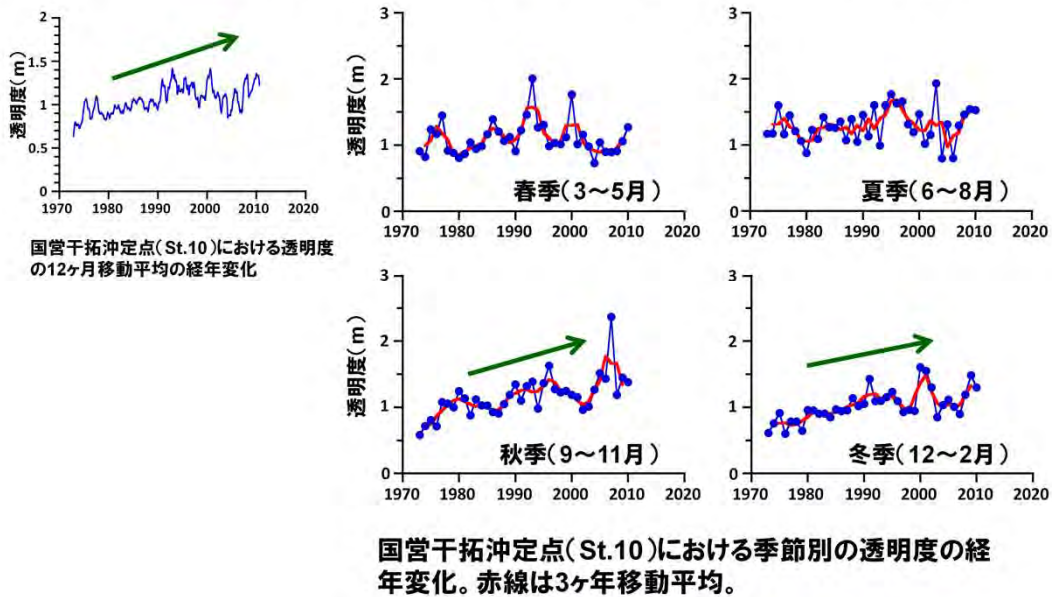
水温の長期変動傾向(国営干拓沖)



出典：「有明海佐賀県海域の海況と漁業等の現況」 佐賀県有明水産振興センター(2013)

有明海湾奥海域である国営干拓沖において、1980年代後半からの水温上昇が認められ、特に冬期に顕著である。本傾向は瀬戸内海など他海域でも同様な傾向が観察されている

透明度の長期変動傾向(国営干拓沖)

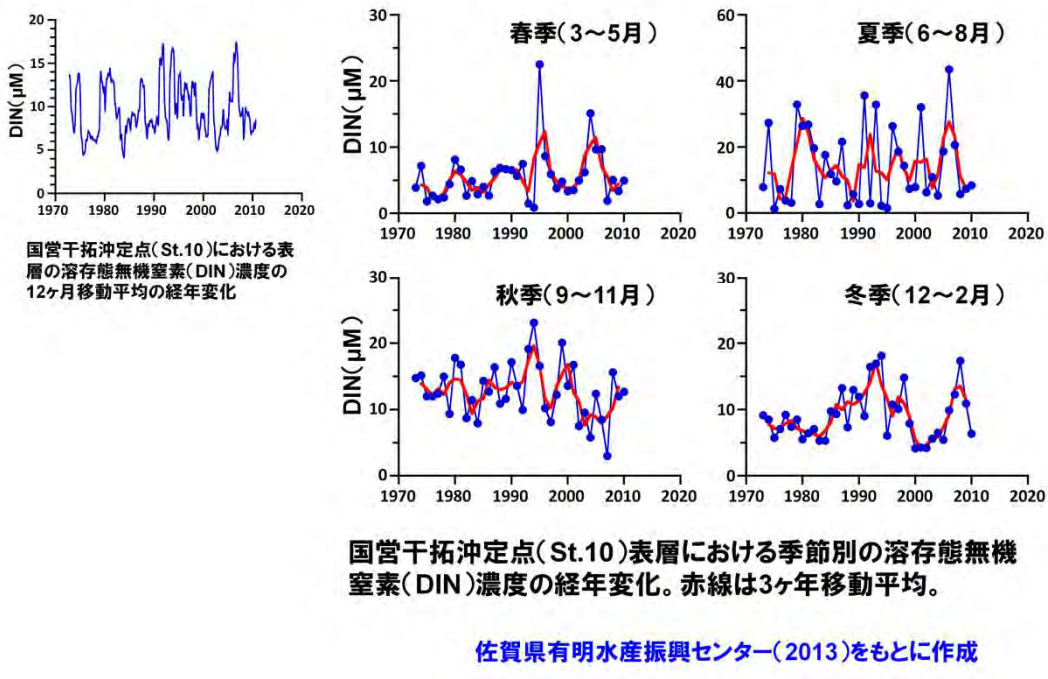


佐賀県有明水産振興センター(2013)をもとに作成

資料：「有明海佐賀県海域の海況と漁業等の現況」における佐賀県有明水産振興センターの調査データに基づく

有明海湾奥海域である国営干拓沖において、1970年代以降、透明度が長期的に上昇を続けている。春期と夏期は長期変動が認められないが、秋期と冬期に上昇が明瞭である。

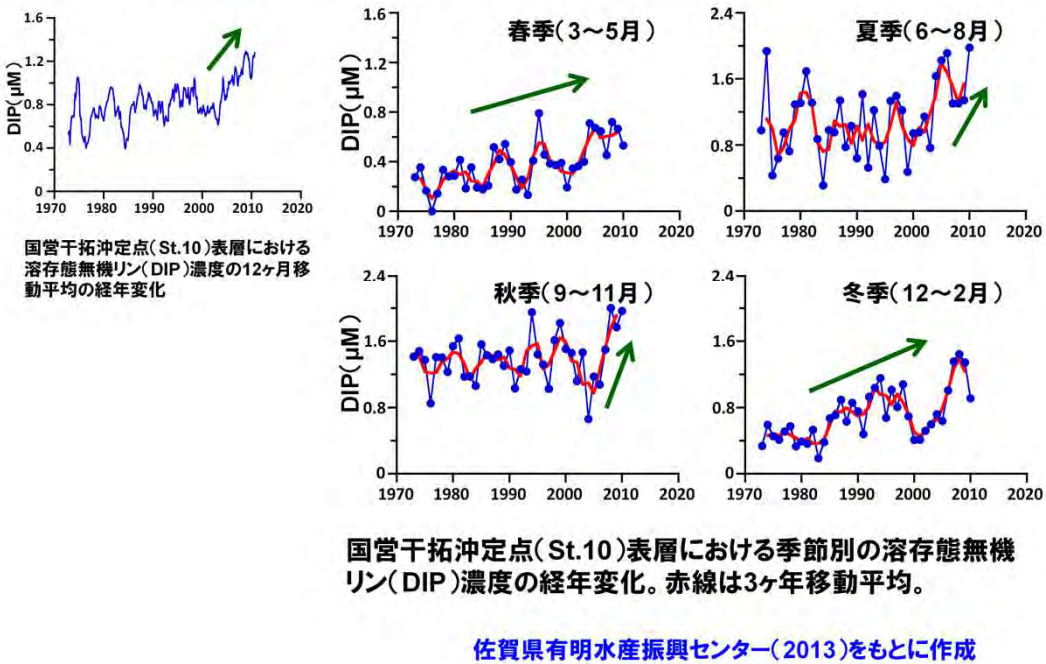
溶存態無機窒素濃度(DIN)の長期変動傾向(国営干拓沖)



資料：「有明海佐賀県海域の海況と漁業等の現況」における佐賀県有明水産振興センターの調査データに基づく

有明海湾奥海域である国営干拓沖においては年変動が大きく、特に長期変動は認められない。

溶存態無機リン(DIP)濃度の長期変動傾向(国営干拓沖)

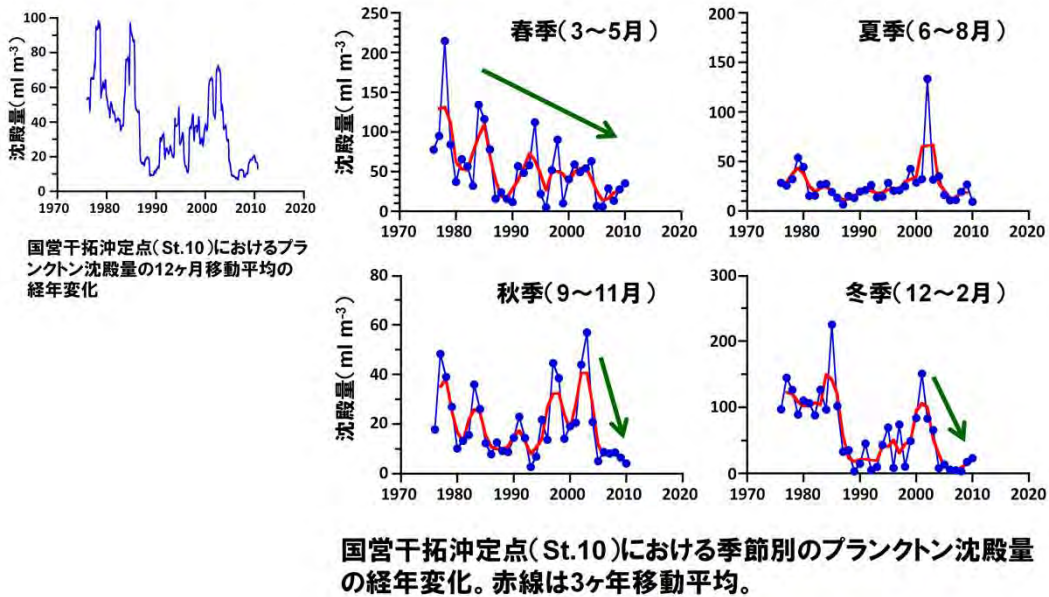


資料：「有明海佐賀県海域の海況と漁業等の現況」における佐賀県有明水産振興センターの調査データに基づく

有明海湾奥海域である国営干拓沖において、窒素とは異なり、リンは長期的に上昇傾向が明瞭である。特に2000年代中頃からの春期と冬期の上昇が明瞭である。

陸域からのリンの負荷量増加は認められないことから、この原因として底泥からの溶出量が増えているか、あるいは内部生産の低下によってリンが過剰となっているなどの要因が推定される。

プランクトン沈殿量の長期変動傾向(国営干拓沖)



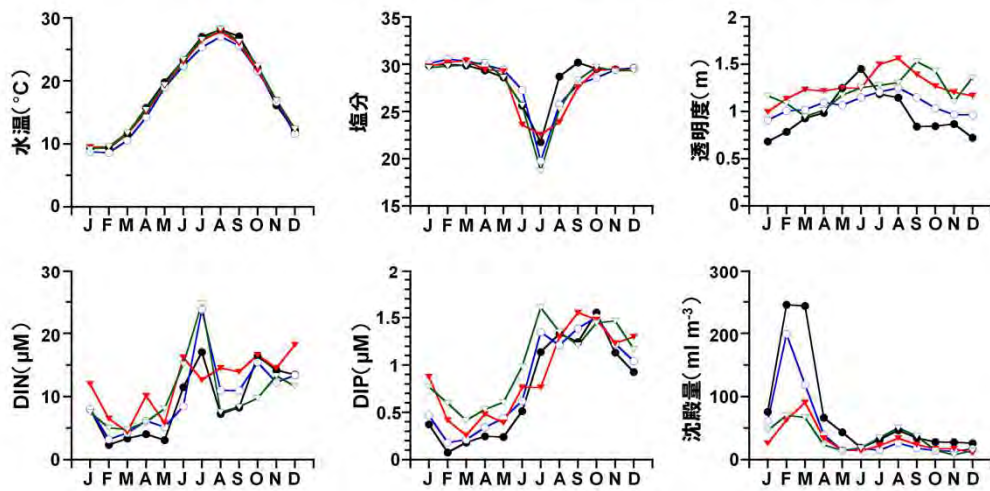
佐賀県有明水産振興センター(2013)をもとに作成

資料：「有明海佐賀県海域の海況と漁業等の現況」における佐賀県有明水産振興センターの調査データに基づく

有明海湾奥海域である国営干拓沖において、特に春期のプランクトン沈殿量低下が明瞭である。また、2005年以降は、秋期から冬期にかけてもプランクトン沈殿量が著しく低く、大型珪藻などの出現量が低下していることが推察される。

このことから、溶存態無機リンの上昇は、植物プランクトンの出現量低下によって引き起こされている可能性が考えられる。

環境要因の季節変動(国営干拓沖)



国営干拓沖定点(St.10)における水温(表層), 塩分(表層), 透明度, 溶存態無機窒素(DIN)濃度(表層), 溶存態無機リン(DIP)濃度(表層)およびプランクトン沈殿量の推移。●:1973~79年の平均値, ○:1980~89年の平均値, ▼:1990~99年の平均値, ▽:2000~09年の平均値。

資料:「有明海佐賀県海域の海況と漁業等の現況」における佐賀県有明水産振興センターの調査データに基づく

有明海湾奥海域である国営干拓沖において、年代別・季節別の環境項目の長期変動を示した。

水温の上昇(1℃前後)は冬期から春期にのみ認められる

透明度の上昇は冬期、秋期に明瞭である。

溶存態無機リン(DIP)については、2000年代に入って秋期を除く期間で上昇が認められる。

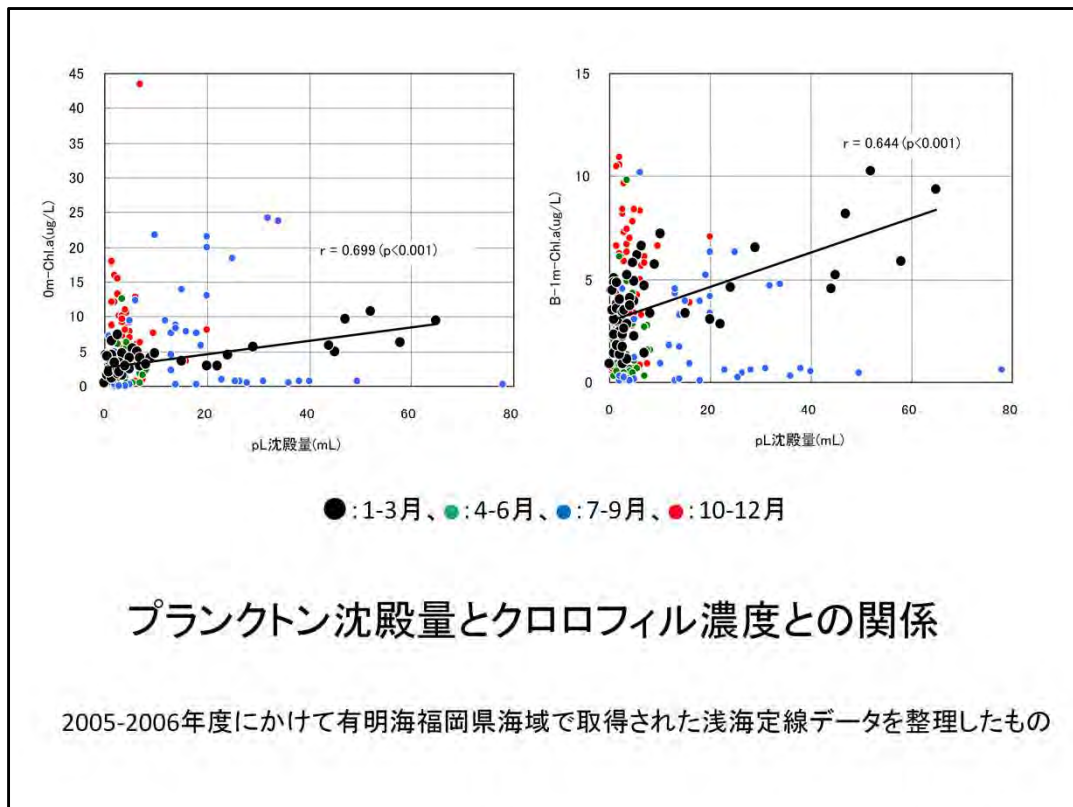
プランクトン沈殿量は、1990年代以降、冬期から春期に顕著に低下している。

同様の比較検討をやや沖合に位置する大浦沖定点のデータでも行ったが、傾向はほぼ同一であったので割愛した。

「赤潮発生件数増加」は、水質や底質の悪化による富栄養化を示唆しているのか？

生物・水産資源・水環境問題作業小委員会における「二枚貝減少要因解明」において、一部海域は夏期の赤潮発生増加と貧酸素による二枚貝への死が顕在化しているものの、全体としては再生産機能そのものが低下しており、その最大要因として基礎生産能力の低下が示唆された

富栄養化の進行の可能性について、赤潮の発生件数や水質環境から解析を行う必要がある



資料：平成12年～平成13年度福岡県水産海洋技術センター有明海研究所事業報告書

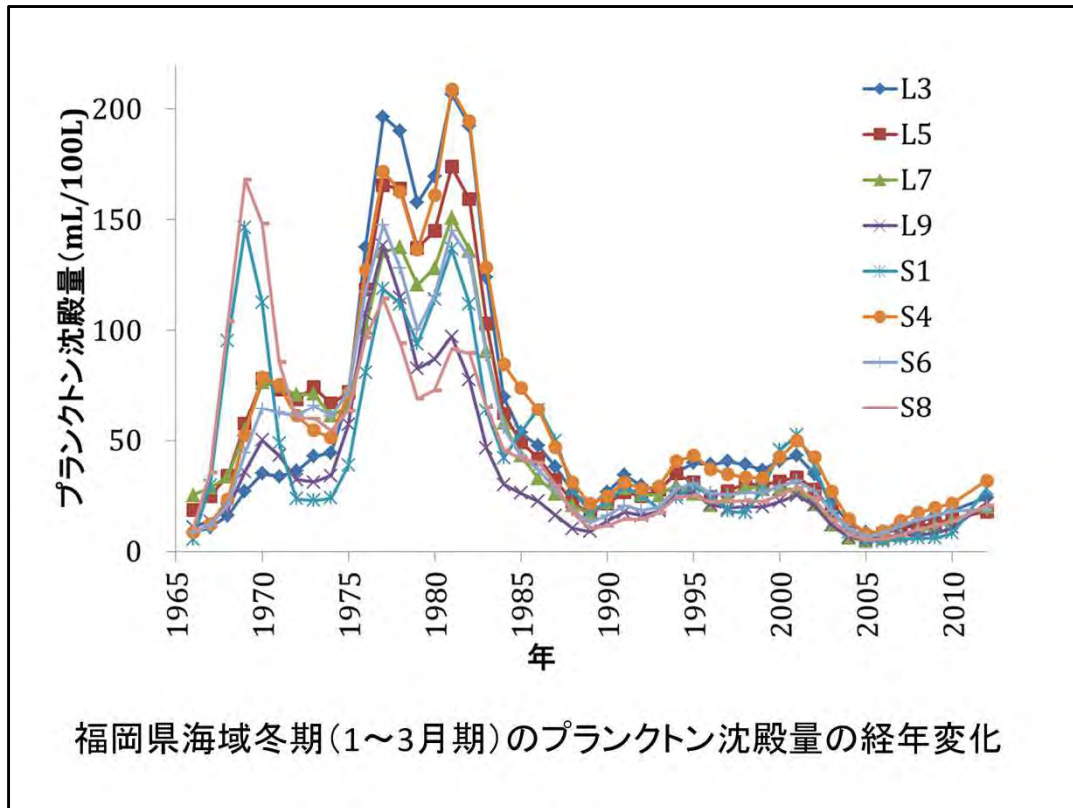
プランクトン沈殿量とクロロフィル濃度との関係を季節別に図示した。

解析の結果、冬期(1～3月)のプランクトン沈殿量とクロロフィル濃度との間には高い相関があり(大型の珪藻が冬期に優占するため)、この時期であれば植物プランクトン濃度の指標として評価できることが判明した

福岡県水産海洋技術センター有明海研究所が2011～2013年の1～3月期に調査したプランクトン沈殿物中の第1～3優占種を精査した結果、近年特に種組成が大幅に変化したとは判断できない。

*Chaetoceros*属(18%)、*Rhizosolenia*属(15%)、カイアシ類(14%)、*Eucampia*属(13%)、*Skeletonema*属(12%)、*Coscinodiscus*属(10%)

このことは、プランクトン体サイズの変化ではなく、現存量全体が変動していると見なすことができる

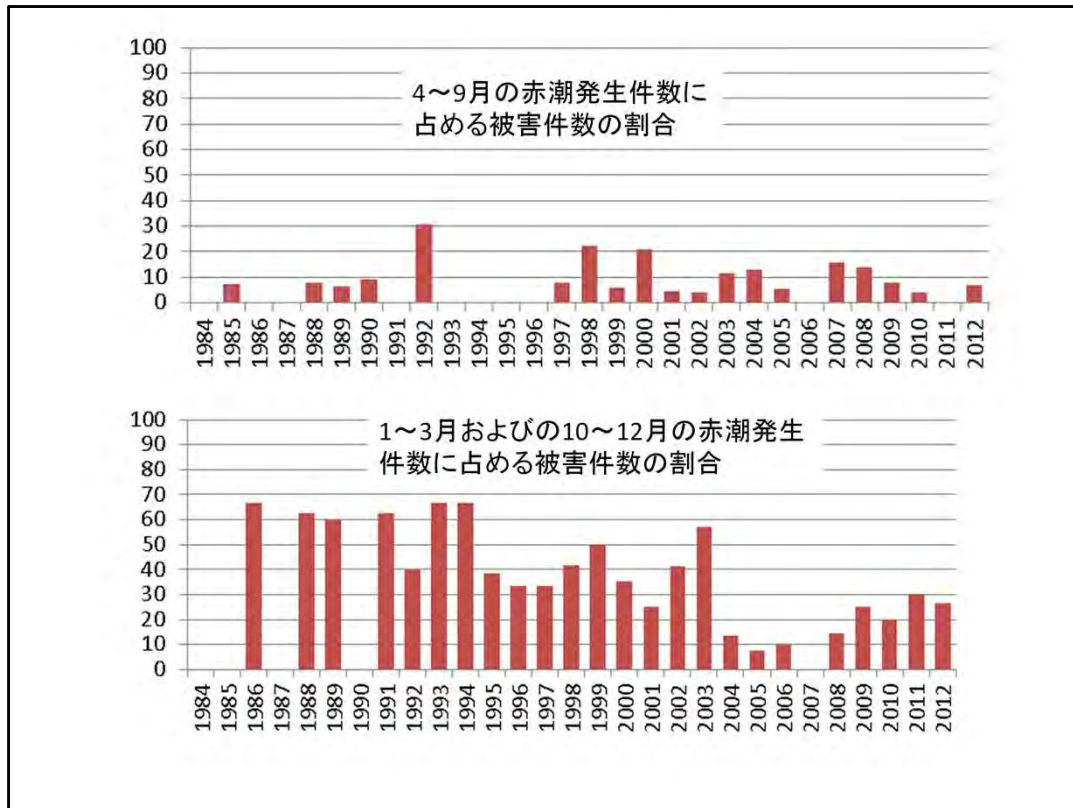


資料： 福岡県水産海洋技術センター有明海研究所「昭和41～平成23年度浅海定線調査事業」より

福岡県沿岸のデータを基に、クロロフィル濃度と相関が認められる1～3月期のプランクトン沈殿量の経年変化を図示した。

これによれば、すべての定点で1970年代中頃から1980年代中頃まで、クロロフィル濃度が極めて高い期間が認められた。近年はプランクトン沈殿量が低めに推移し、特に2005年以降は極めて低位で推移している。

一方で、1998年以降、有明海では冬期の珪藻赤潮発生件数が急激に増大し、全体の赤潮発生件数を押し上げている、しかしながら、プランクトン沈殿量から推定すると、むしろ1998年以降は珪藻類の発生が低下していると言える。



資料：水産庁九州漁業調整事務所 昭和53～平成24年「九州海域の赤潮」

年別、季節別の赤潮発生件数と被害件数から被害の発生率を計算した

冬期の被害発生率は夏期に比較して極端に高く、そのほとんどがノリ養殖業に対する色落ち被害である。このため、冬期の赤潮発生と色落ち被害との連動性が高いことが伺える

有明海における近年の赤潮発生件数増加 と被害件数減少に関する考察

《発生件数》

- 1998年から主に冬期の珪藻類、2002年以降は夏期の鞭毛藻を中心に赤潮発生件数が増加。赤潮発生件数のみから判断すると、富栄養化が疑われる
- 一方、透明度の上昇、プランクトン沈殿量の低下など、植物プランクトンの減少と推定される現象も観察される

《被害件数》

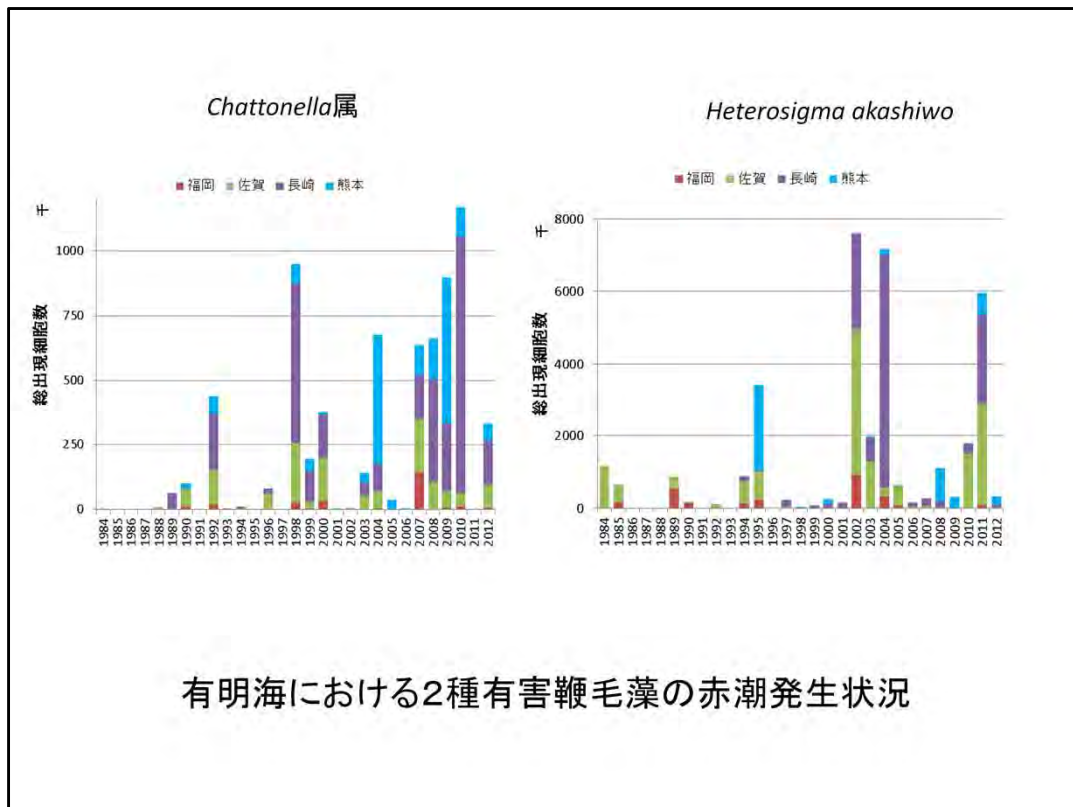
- 冬期の赤潮発生に関しては、2003年までは赤潮発生とノリの色落ち被害とがほぼ連動していた。このため、2003年までは、赤潮発生件数の増加は色落ち被害件数の増加とほぼみなされていた(必ずしもバイオマス増大を示していない)

○冬期の赤潮件数の増加は、ノリ漁場をめぐる栄養塩環境の低下を示唆しており、少なくともDINの上昇は確認されない。

○夏場の鞭毛藻赤潮については明らかに発生そのものが増加していると判断される(後述資料を参照)

(2)

有明海・八代海における
夏場の鞭毛藻赤潮の
発生状況



資料：水産庁九州漁業調整事務所 昭和53～平成24年「九州海域の赤潮」

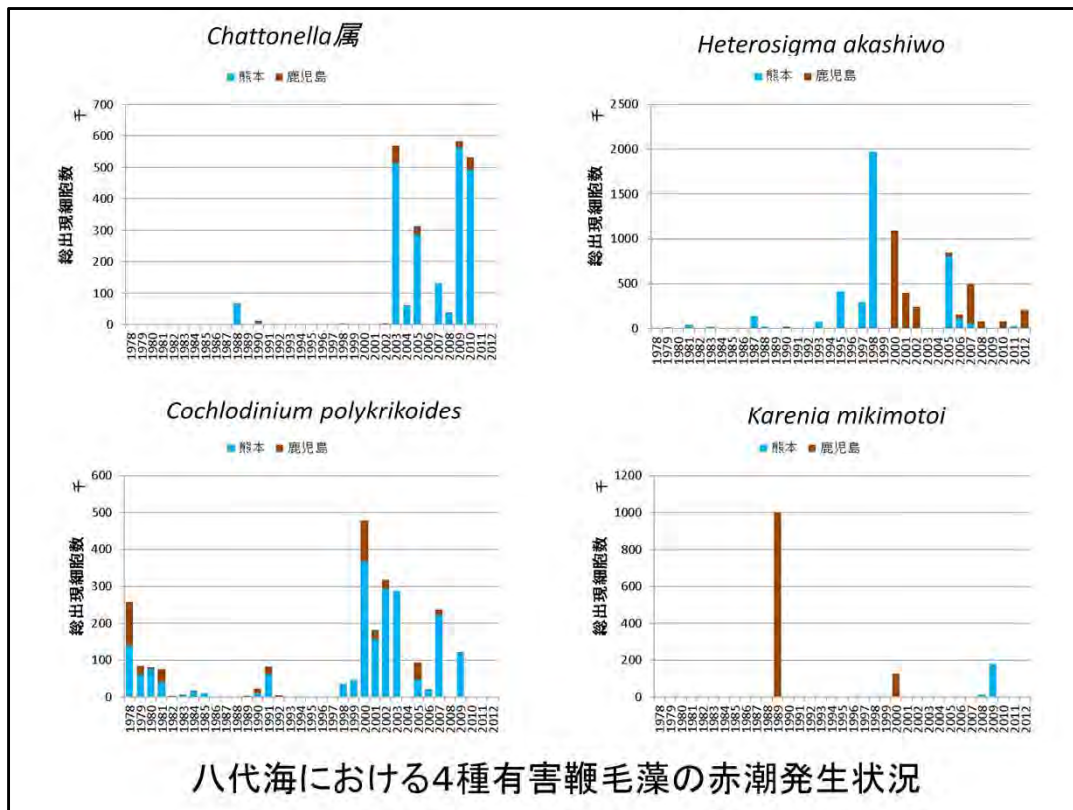
赤潮の発生規模を反映するため、以下のように総出現細胞数を算出した

$$\text{総出現細胞数} = \text{赤潮発生期間(日)} \times \text{最高出現密度(cells/mL)} \div 2$$

発生規模を反映するためには、本来であれば赤潮発生面積を加味して計算する必要があるが、近年の赤潮発生面積の把握率が4割以下であるため、今回は面積情報を加味していない

*Chattonella*属については、1998年ぐらいから全域で規模の大きな赤潮の発生が認められる

*Heterosigma akashiwo*については、2002年以降、佐賀県や長崎県海域で規模の大きな赤潮発生が認められる



八代海における4種有害鞭毛藻の赤潮発生状況

資料：水産庁九州漁業調整事務所 昭和53～平成24年「九州海域の赤潮」

*Chattonella*属の発生規模は2003年以降に顕著に拡大している。

*Heterosigma akashiwo*については明瞭な傾向は見いだせない

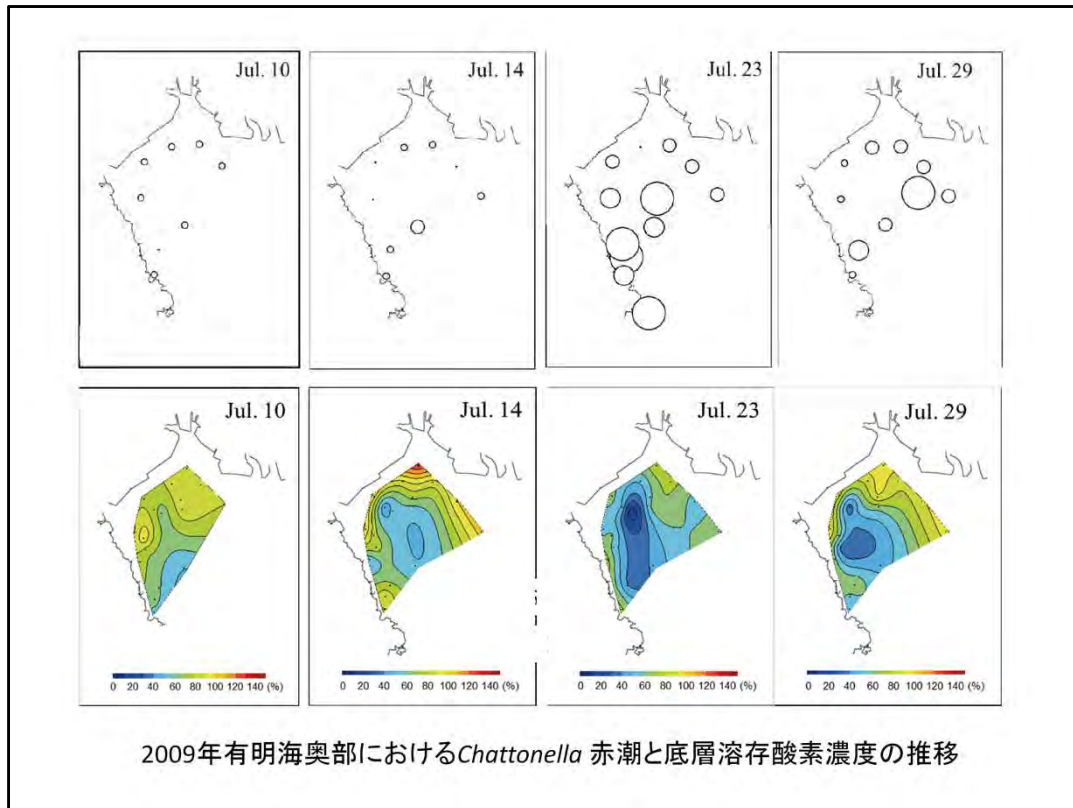
*Cochlodinium polykrikoides*については、過去34年間で集中して赤潮を形成する山が3度認められている

八代海において、*Karenia mikimotoi*の発生は低調である

有明海・八代海における近年の夏場の鞭毛藻赤潮発生頻度増加に関する考察

- 前回委員会報告同様に、1998年以降に有明海では*Chattonella*属による赤潮発生の増加傾向が続いている。また*Chattonella*属のみならず、*Heterosigma akashiwo*の発生も2002年以降長崎県や熊本県海域で増加傾向である。
- 八代海においても、2003年以降に*Cochlodinium polykrikoides*から*Chattonella*属へ主要赤潮種の変遷が認められている。

両海域で1998年から2003年を境に変動幅が顕著であることから、気象、外海側の潮位変動、局所的な潮流変化などマクロな要因についても検討する必要がある。



松原 賢, 首藤俊雄(2013) 有明海佐賀県海域における*Chattonella*赤潮および貧酸素水塊の動態と各種環境要因との関係(2009-2011). 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 26, 57-71.

シャットネラ赤潮が高密度で発生した海域では、ほぼ同時期に底層溶存酸素濃度の急激な低下が確認される。これはシャットネラ自体による酸素消費や、沈降・枯死による水中酸素の急激な消費によって発生していると推定される

シャットネラ赤潮発生のために海底の貧酸素化が必須とは言えないが、赤潮の発生規模を拡大したり、発生期間を長期化させるという意味で、貧酸素によって底層から溶出する栄養塩類が重要な役割を果たしている可能性は考えられる

本種が1998年以降に有明海において出現頻度が増加した要因については必ずしも明らかにできなかったことから、今後夏期の有明海における海洋環境の変化をさらに考察する必要がある。ただし、有明海の夏期に観察される $10\sim 20\mu\text{M}$ という高いDIN濃度は瀬戸内海東部などと比較すると2倍以上の濃度であり、赤潮を引き起こすポテンシャルは元々高い海域であると判断される

近年の*Chattonella* 赤潮発生頻度の増加について

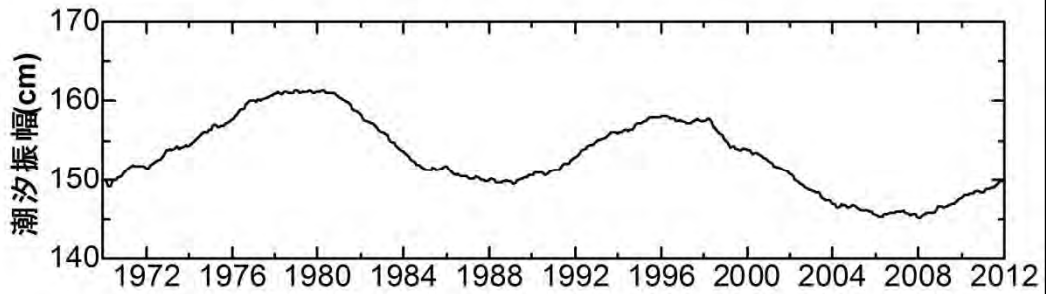
H18年委員会報告(73ページ)では、「貧酸素水塊の形成によって底泥から鉄や栄養塩類が溶解し、貧酸素水塊の崩壊の際に窒素やリンと一緒に鉄が供給されて*Chattonella* 属の増殖を促進していると考えられ、貧酸素水塊の発生が*Chattonella* 属の赤潮の増加の一因となっているものと思われる」としている。

- ・2000年以降は高泥化域の拡大は認められていない(第31回有明海・八代海等総合調査評価委員会資料2-2、2ページ参照)。
- ・有明海の潮位差は主に月の昇交点変動が大きく影響しており、2005年以降は増加に転じている(田井ら 2006)
- ・*Chattonella* 赤潮後に貧酸素が助長されるケースが多い(松・首藤 2003、30ページ参照)

有明海奥部の観測によれば、貧酸素が*Chattonella* 赤潮を増加させるのではなく、*Chattonella* 赤潮発生が貧酸素を助長しているとの知見が得られている(松原, 首藤 2013)。本種が1998年以降に有明海において出現頻度が増加した要因については必ずしも明らかにできなかったことから、今後夏期の有明海における海洋環境の変化をさらに考察する必要がある。ただし、有明海の夏期に観察される10~20 μ Mという高いDIN濃度は瀬戸内海東部などと比較すると2倍以上の濃度であり、赤潮を引き起こすポテンシャルは元々高い海域であると判断される

松原 賢, 首藤俊雄(2013) 有明海佐賀県海域における*Chattonella*赤潮および貧酸素水塊の動態と各種環境要因との関係(2009-2011). 佐賀県有明水産振興センター研究報告, 26, 57-71.

大浦における月の昇交点変動による潮汐振幅の長期変動

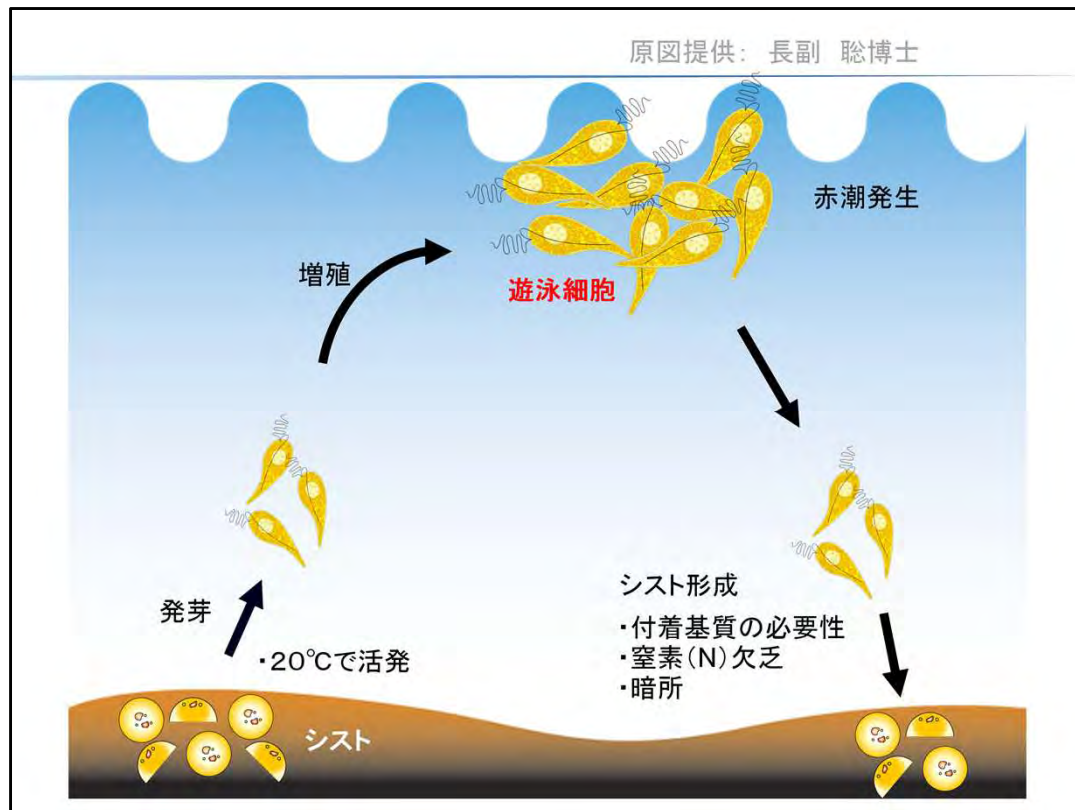


田井明, Mukhsan Putra Hatta, 矢野真一郎, 斎田倫範, 小松利光: 諫早湾湾奥の締切りが有明海の潮汐・潮流に与えた影響, 海岸工学論文集, 第53巻, 331-335, 2006.
を一部改変

田井明, Mukhsan Putra Hatta, 矢野真一郎, 斎田倫範, 小松利光 (2006) 諫早湾湾奥の締切りが有明海の潮汐・潮流に与えた影響, 海岸工学論文集, 第53巻, 331-335 (一部改変)

(3)

現場海域における
赤潮生物の出現特性



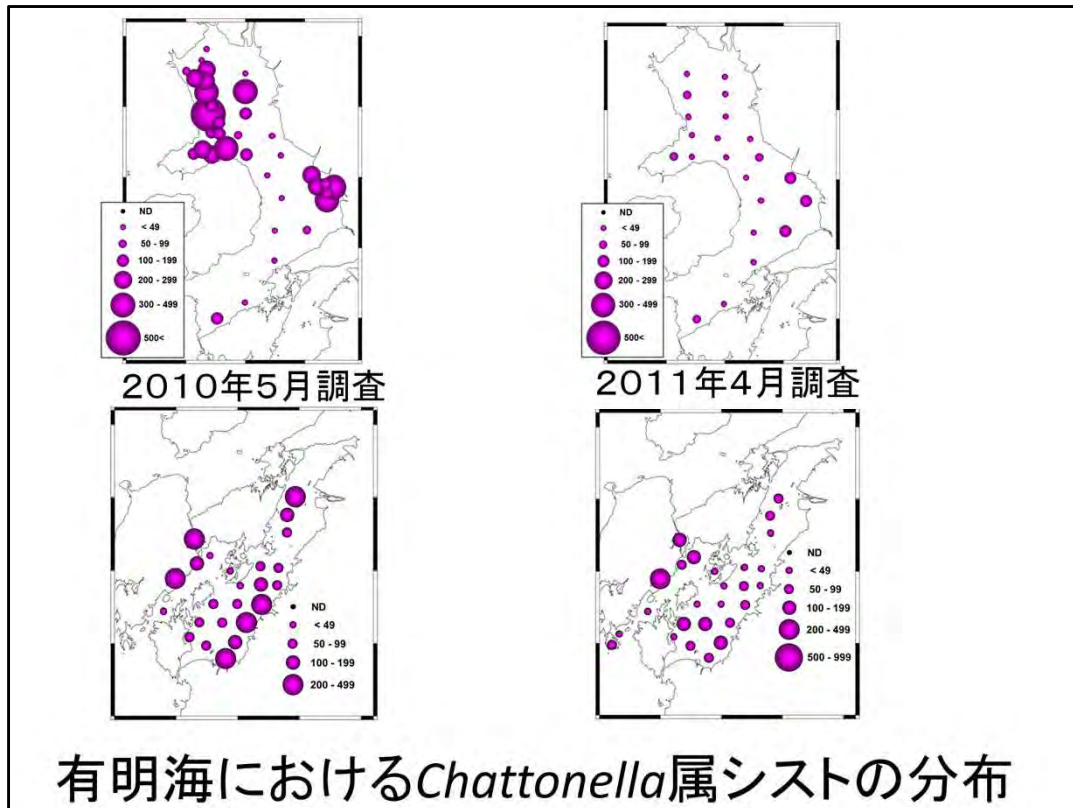
資料： *Chattonella*属の生活史

*Chattonella*属の初期出現は海底泥中に存在するシストに由来すると考えられることから、出現を予測するためには、赤潮発生前の海底泥中のシスト密度の把握が有効である。

また海底水温が20°Cを越えると発芽が開始されることから(Imai et al. 1991)、遊泳細胞出現のモニタリングを開始する目安となっている。

Imai I, Itakura S, Itoh K. (1991) Life cycle strategies of the red tide causing flagellates *Chattonella* (Raphidophyceae) in the Seto Inland Sea. Mar. Poll. Bull., 23, 165-170.

赤潮発生後は再びシストを形成し、海底泥中に沈降する。



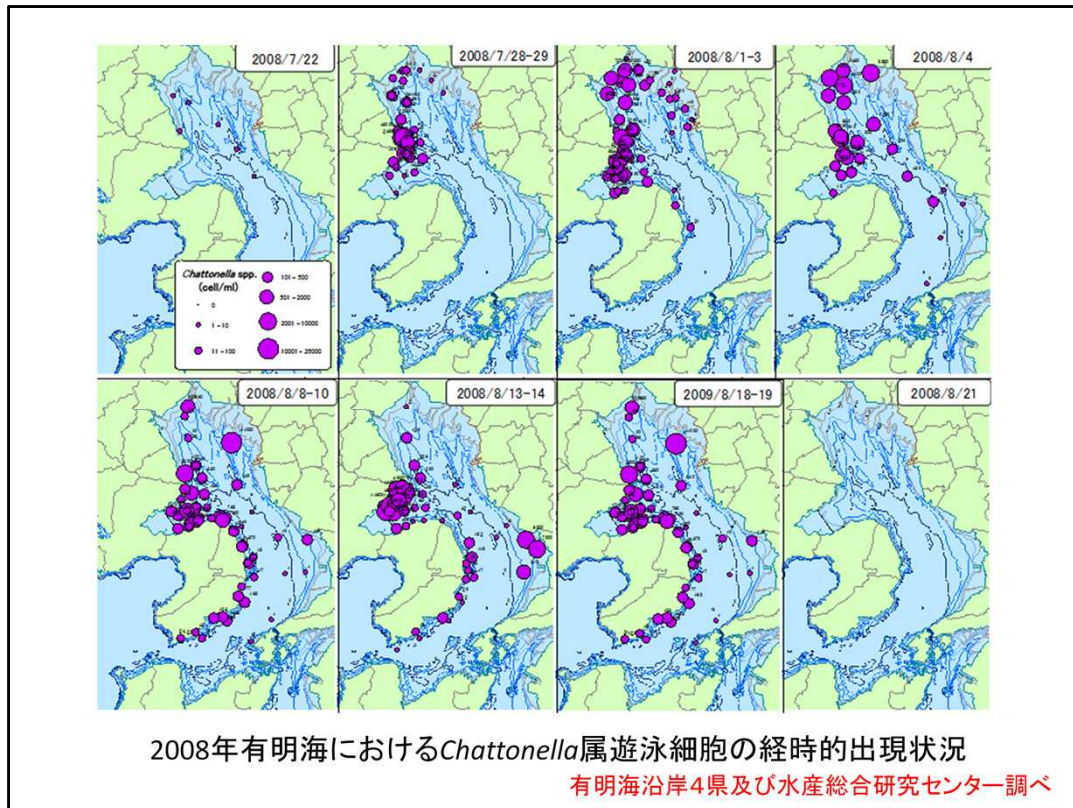
有明海における*Chattonella*属シストの分布

資料：水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所のホームページより抜粋

有明海における*Chattonella*属シストの分布密度は、主に湾奥西部や熊本県沿岸に多く検出される

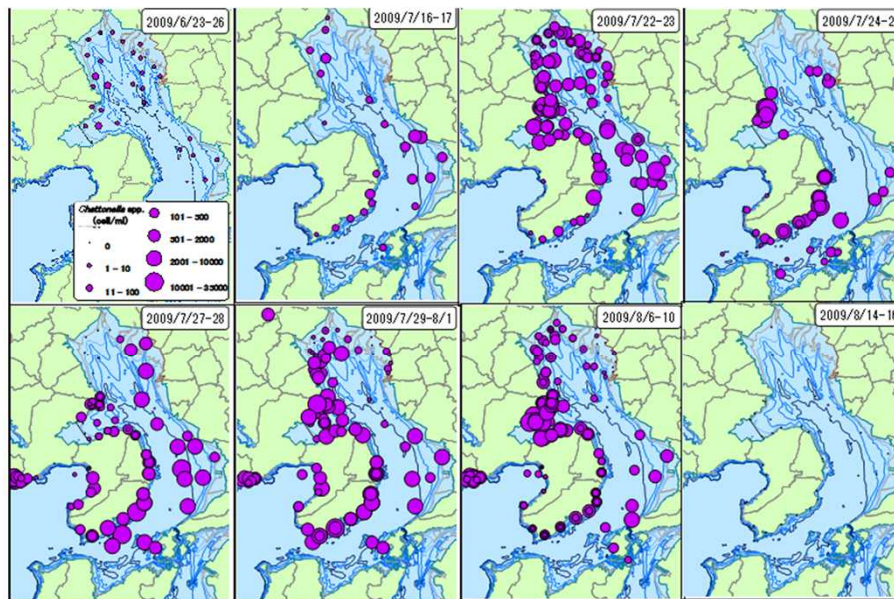
有明海のシスト密度は比較的短期間で変動している

八代海でシストが全域に分布が認められる



資料： 水産総合研究センター西海区水産研究所提供

2008年の有明海では、湾奥西部や中東部を中心に初期出現が認められ、その後湾奥で赤潮を形成したのち、諫早湾や島原半島を中心に分布を拡大した

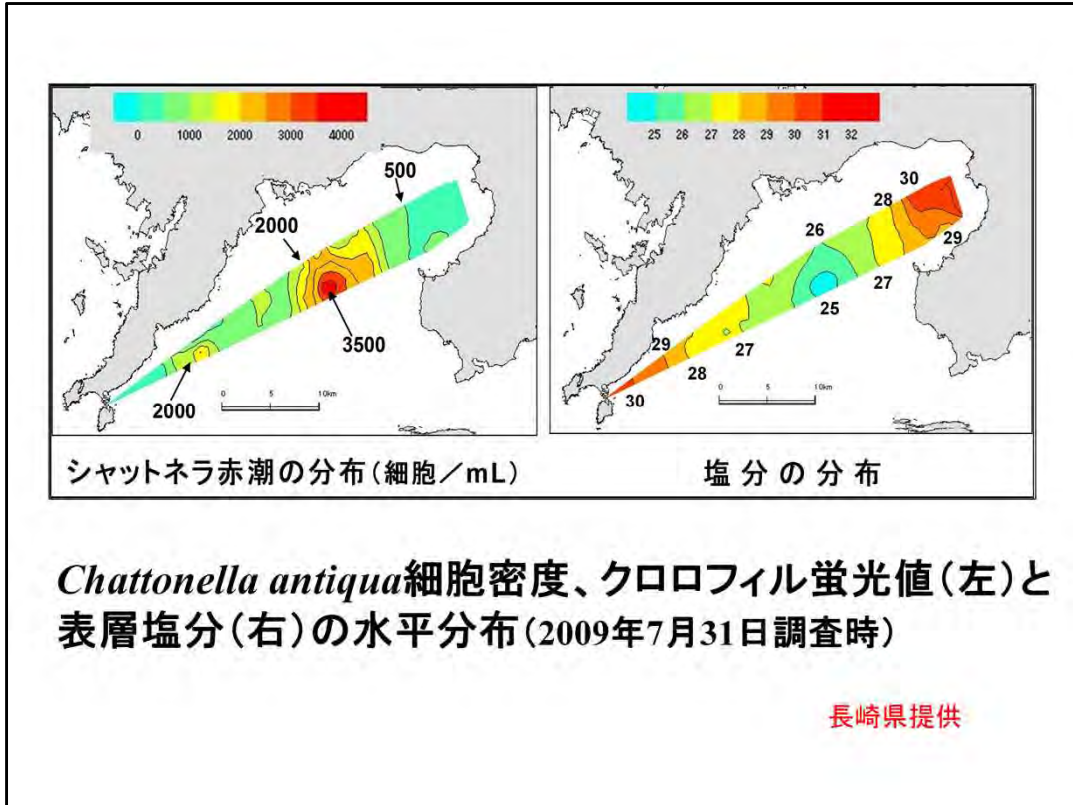


2009年有明海における*Chattonella*属遊泳細胞の経時的出現状況

有明海沿岸4県及び水産総合研究センター調べ

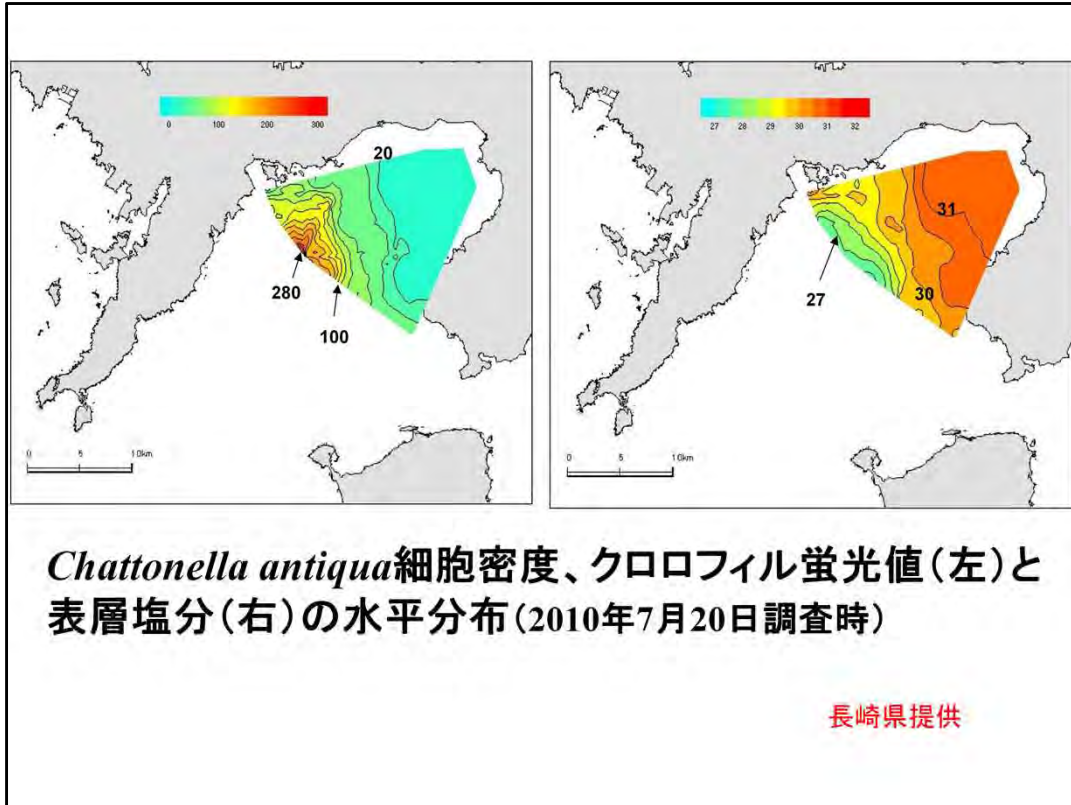
資料： 水産総合研究センター西海区水産研究所提供

2009年の有明海では、湾奥部から中東部全域に初期出現が認められ、その後赤潮を形成した後、諫早湾や島原半島を中心に分布を拡大するなど、2008年の赤潮発生に類似した発生状況であった



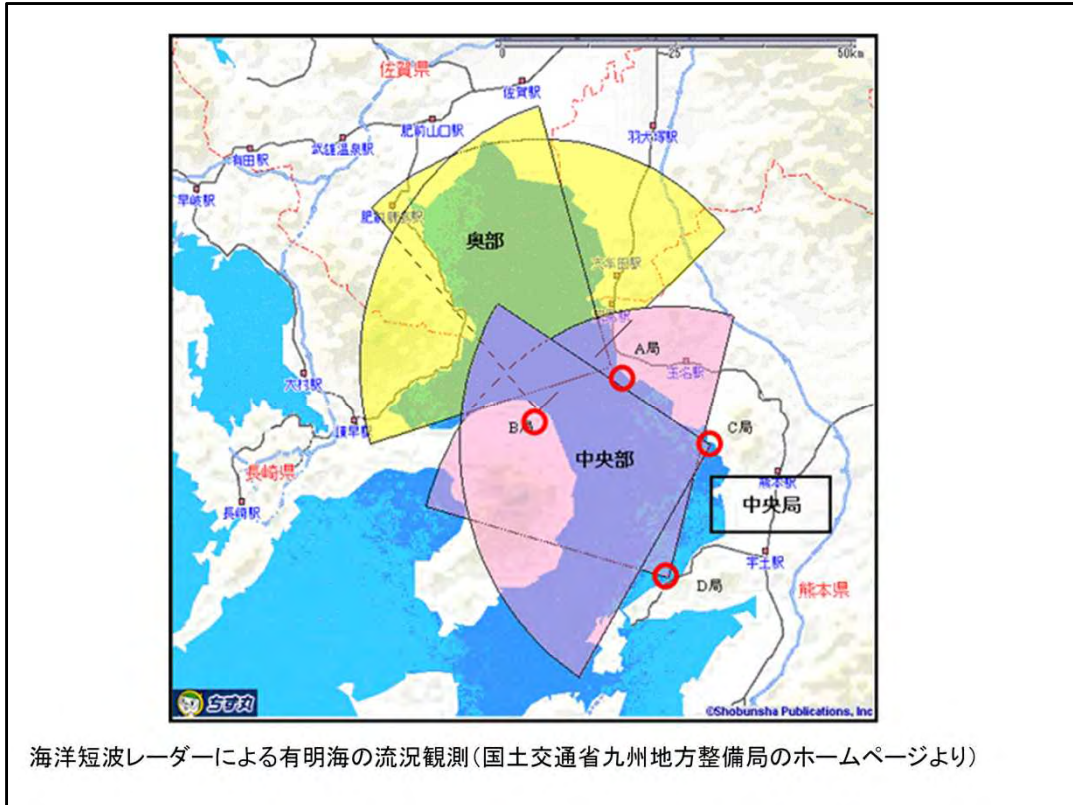
資料：長崎県提供

2009年に橘湾で赤潮が発生した際に、走行しながら表層の水温、塩分、クロロフィル蛍光値を測定した結果、*Chattonella antiqua*の高密度水塊は有明海から流出した低塩分水塊と完全に一致していた



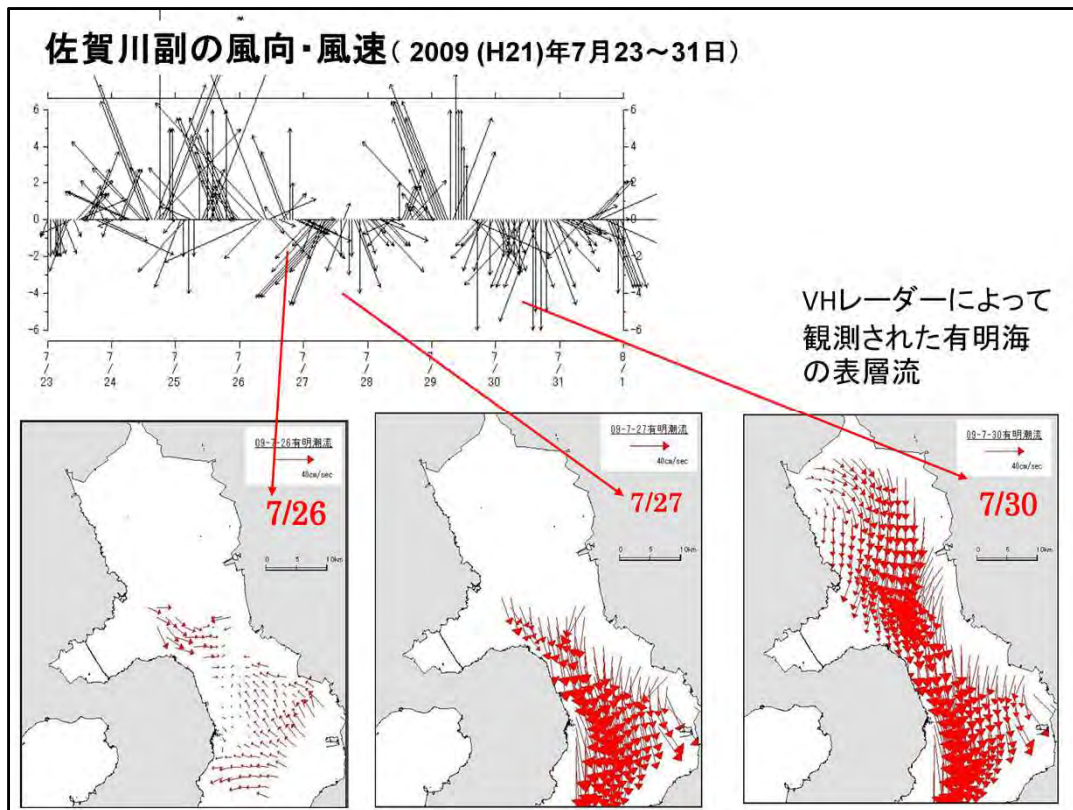
資料：長崎県提供

2010年に橘湾で赤潮が発生した際に、同様に走行しながら表層の水温、塩分、クロロフィル蛍光値を測定した結果、*Chattonella antiqua*の高密度水塊は有明海から流出した低塩分水塊と完全に一致していた



資料：（国土交通省九州地方整備局のホームページより）

海洋短波レーダーにより、有明海の表層流動場を実測することで、表層の赤潮水塊の移動を予測した



資料：長崎県提供

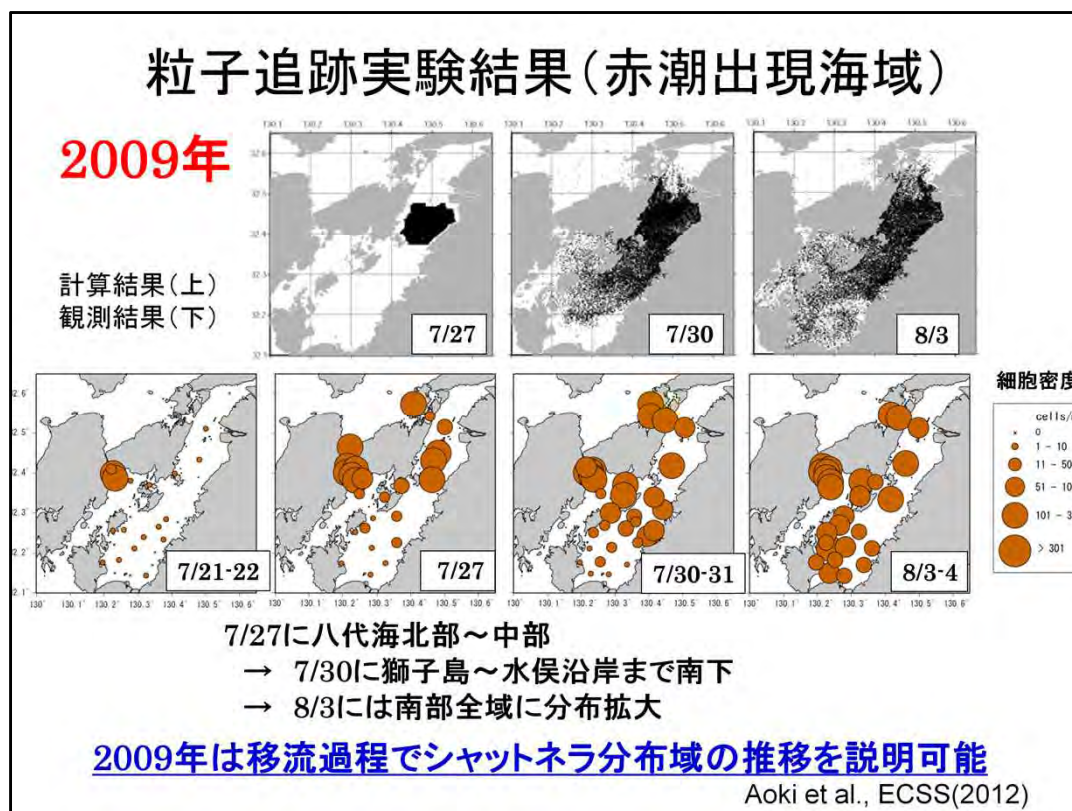
2009年に橘湾で赤潮が発生した際に、北風によって湾奥海水は急速に有明海南部に移送されていたことが判明し、有明海側の赤潮が橘湾に輸送されたことがほぼ解明された

有明海と橘湾の赤潮の連動

有明海では、湾奥および中東部海域で初期出現が見られたのち、湾奥西部、諫早湾で高密度な赤潮が形成される。その後、島原半島沿いに南下して消滅する。

橘湾では有明海から流入した赤潮が引き金となって漁業被害が発生している。橘湾への流入は、降雨など淡水の流入が強く影響している*。

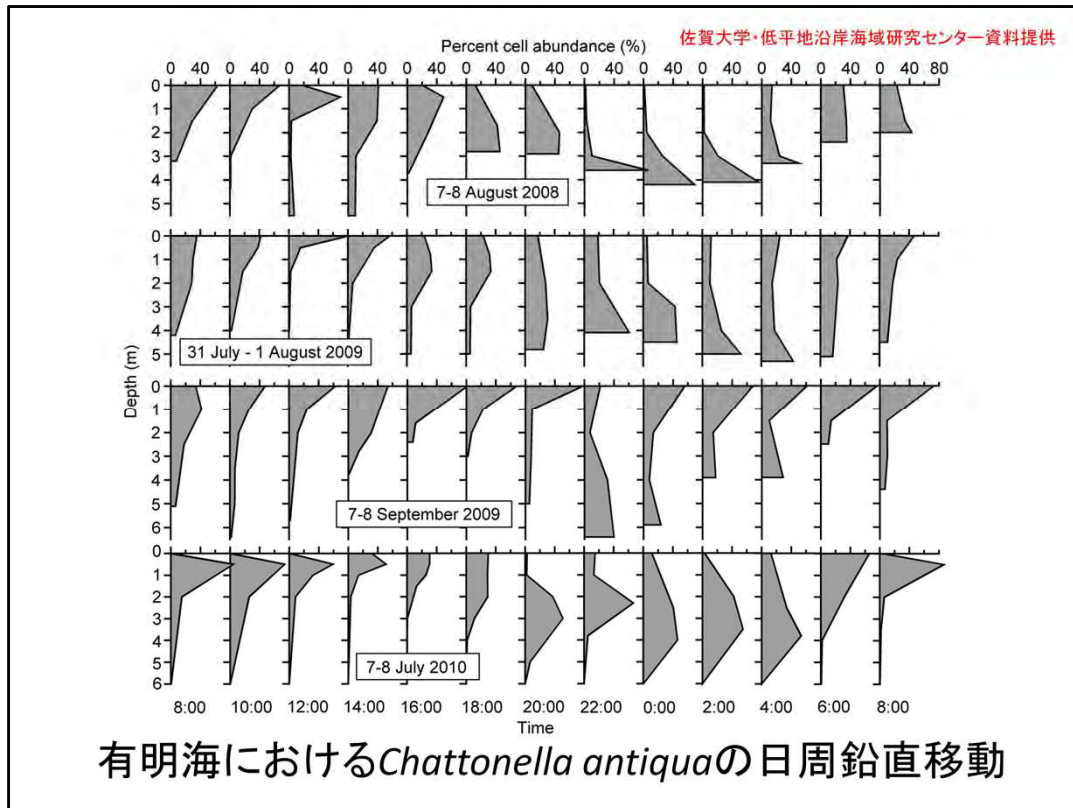
* 第30回有明海・八代海総合調査評価委員会資料による



出典: Aoki K., Onitsuka G., Shimizu M., Kuroda H., Matsuyama Y., Kimoto K., Matsuo H., Kitadai Y., Sakurada K., Nishi H., Tahara Y. (2012) Factors controlling the spatio-temporal distribution of the 2009 *Chattonella antiqua* bloom in the Yatsushiro Sea, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 114(1) 148-155.

八代海における赤潮発生と拡大機構を解明するため、粒子追跡試験と実測値の比較検討が行われた

2009年の赤潮発生については、北部海域からの物理的な輸送によって再現できることが判明し、観測結果と一致した。このことから、赤潮の移流現象が八代海でも発生していることが明らかとなった



資料： 佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター提供

有明海の干潟域は水深が浅いため、*Chattonella antiqua*は夜間海底直上まで沈下していることが伺える