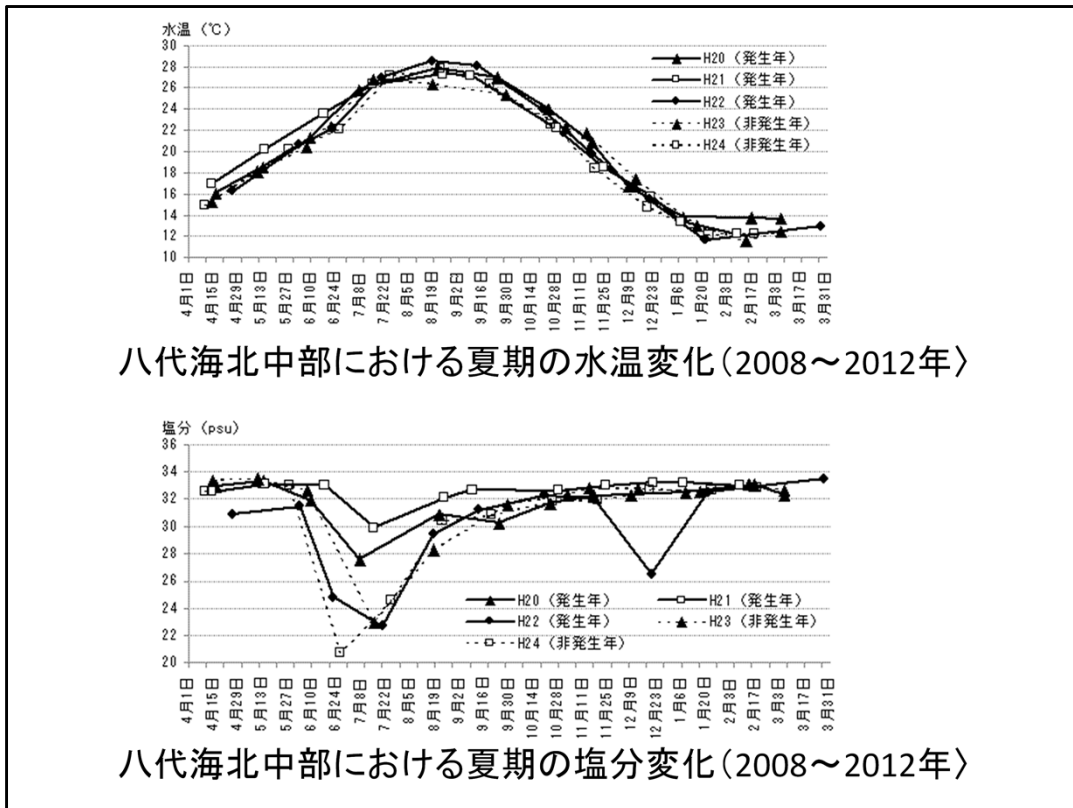
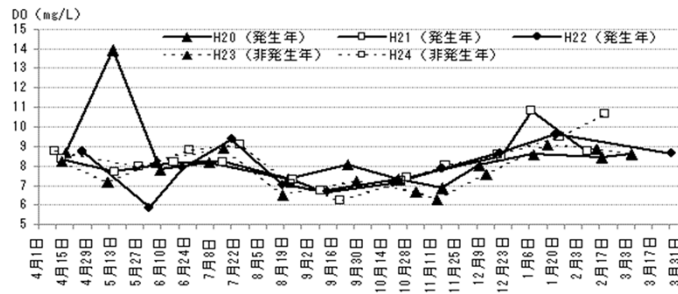


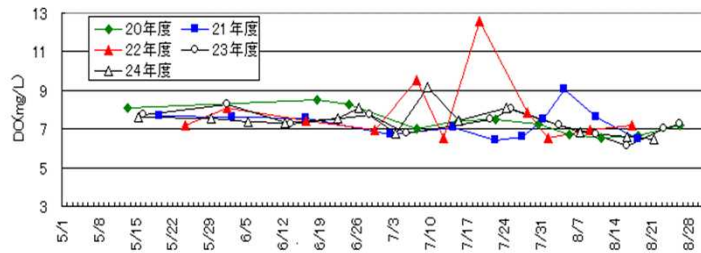
出典：水産総合研究センター・熊本県・鹿児島県(2013)平成24年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「八代海・鹿児島湾における有害赤潮等分布拡大防止報告書」, pp.58



出典：水産総合研究センター・熊本県・鹿児島県(2013)平成24年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「八代海・鹿児島湾における有害赤潮等分布拡大防止報告書」, pp.58



八代海北中部における溶存酸素(2008~2012年)

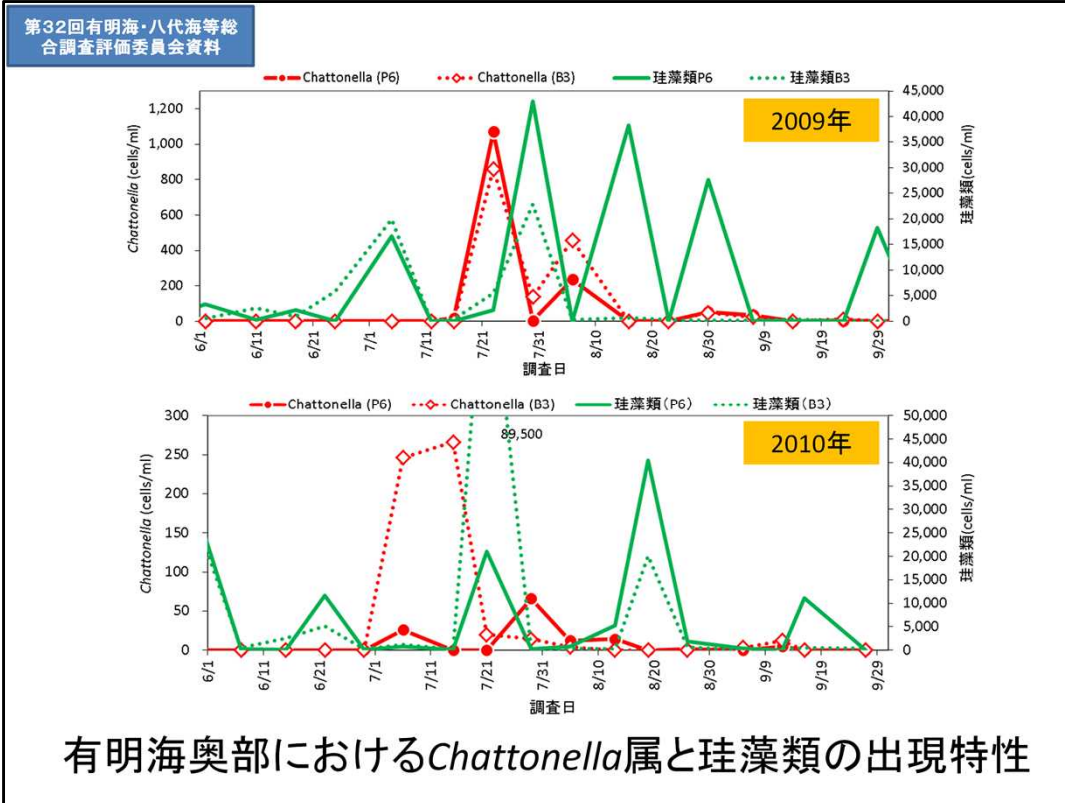


八代海北中部における溶存酸素(2008~2012年)

出典：水産総合研究センター・熊本県・鹿児島県(2013)平成24年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「八代海・鹿児島湾における有害赤潮等分布拡大防止報告書」, pp.58

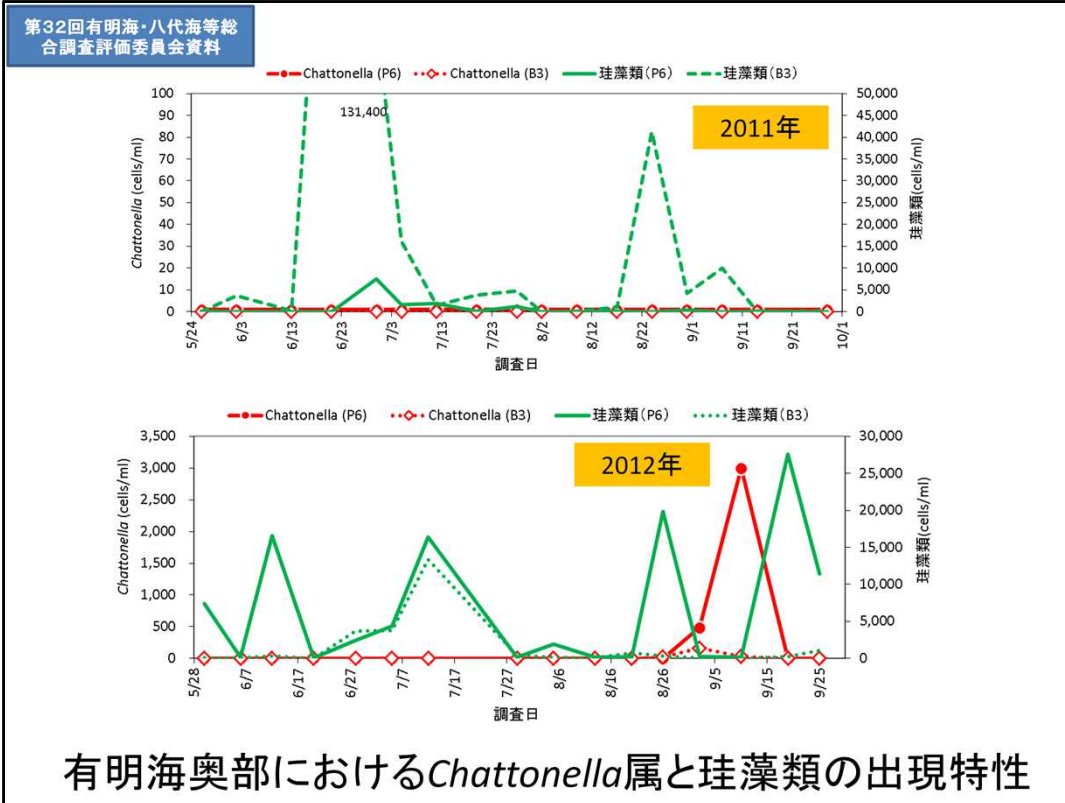


有明海における*Chattonella*属と珪藻類出現特性の観測定点(2009～2012年)



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

珪藻類の出現ピークと*Chattonella*属の出現ピークは位相が明瞭であり、生物学的あるいは栄養塩を巡って競合関係が伺える



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23年度・平成24年度 赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書

珪藻類の出現ピークとChattonella属の出現ピークは位相が明瞭であり、生物学的あるいは栄養塩を巡って競合関係が伺える

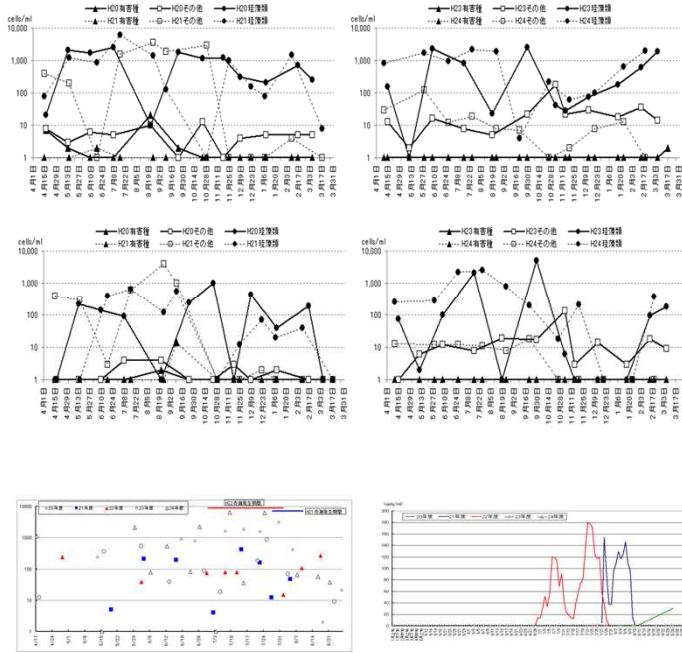
珪藻類との種間競争

一般的に赤潮鞭毛藻は珪藻類よりも増殖速度が低いため、基本的に栄養競争では不利となる。従って、珪藻類が最大の競争者である

有明海では珪藻類が衰退した隙間(niche)で鞭毛藻赤潮が発生していることが判明した

八代海でも同様な資料の収集と整理が必要

水産庁赤潮貧酸素事業(H20~24年)
で取得されたプランクトン組成変化



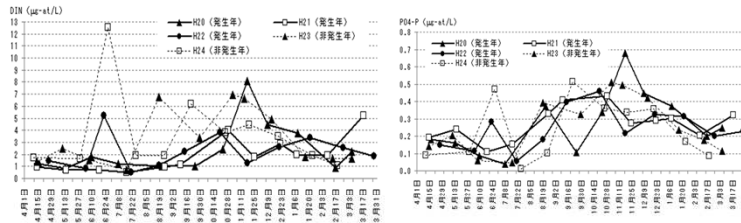
八代海北部海域

八代海中部海域

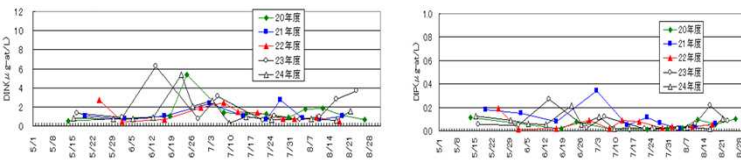
八代海南部海域

出典：水産総合研究センター・熊本県・鹿児島県(2013)平成24年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「八代海・鹿児島湾における有害赤潮等分布拡大防止報告書」, pp.58

水産庁赤潮貧酸素事業(H20～24年)で
取得された栄養塩濃度の変化



八代海北中部海域



八代海南部海域

DIN

DIP

出典：水産総合研究センター・熊本県・鹿児島県(2013)平成24年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「八代海・鹿児島湾における有害赤潮等分布拡大防止報告書」, pp.58

表1-3. 八代海北部～中部における5か年の調査結果概要

	<i>Chattonella</i> 赤潮の発生の有無	初認日 (細胞密度)	赤潮発生期間 (10cells/ml以上)	最高細胞密度 (観測日)	発生要因 (平成23・24年度は非発生要因)	衰退要因	赤潮発生海域	赤潮拡大要因
平成20年度	発生	6月上旬 (5cells/L)	8月11日～9月2日	3,175cells/ml (8月21日)	北部域でのシスト発芽 珧藻の低密度推移	台風	八代海中北部全域	有明海からの流入
平成21年度	発生	5月14日 (4cells/L)	7月14日～8月18日 9月2日～10月22日	202,500cells/ml (7月28日) 132cells/ml (9月17日)	低栄養状態の継続 珧藻類の低密度推移 6～7月の高い底層水温	不明	八代海全域 八代海北西部	不明
平成22年度	発生	5月6日 (5.3cells/L)	6月25日～8月9日	34,000cells/ml (7月5日)	前年度のシスト供給 珧藻類の低密度推移	不明	八代海中南部	前年度のシスト 広範囲供給
平成23年度	なし	5月19日 (60cells/L)	—	—	(珧藻類の増殖及び 赤潮の継続)	—	—	—
平成24年度	なし	5月28日 (1,300cells/L)	—	—	(珧藻類の増殖及び 赤潮の継続)	—	—	—

出典：水産総合研究センター・熊本県・鹿児島県(2013)平成24年度漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業 赤潮貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「八代海・鹿児島湾における有害赤潮等分布拡大防止報告書」, pp.58

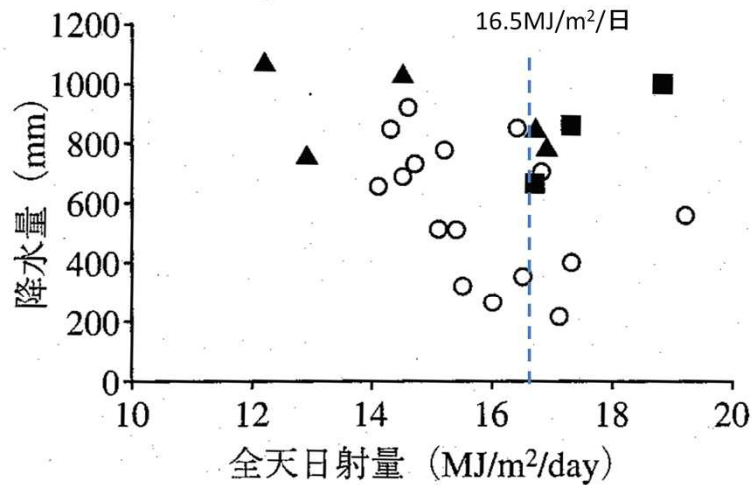
(5)

赤潮(夏場)の赤潮発生機構・予察手法に関する知見

中嶋雅考・横山佳裕・本城凡夫 (2008)
諫早湾及び北部有明海北部における*Chattonella*赤潮発生予察の試み. 環境管理38, 37-45

7月16～25日までの佐賀市の合計降水量が80mmを下回ると、珪藻類の増殖が低調で*Chattonella*赤潮が発生する

出典： 中嶋雅考, 横山佳裕, 本城凡夫 (2008) 諫早湾及び北部有明海北部における*Chattonella*赤潮発生予察の試み. 環境管理38, 37-45



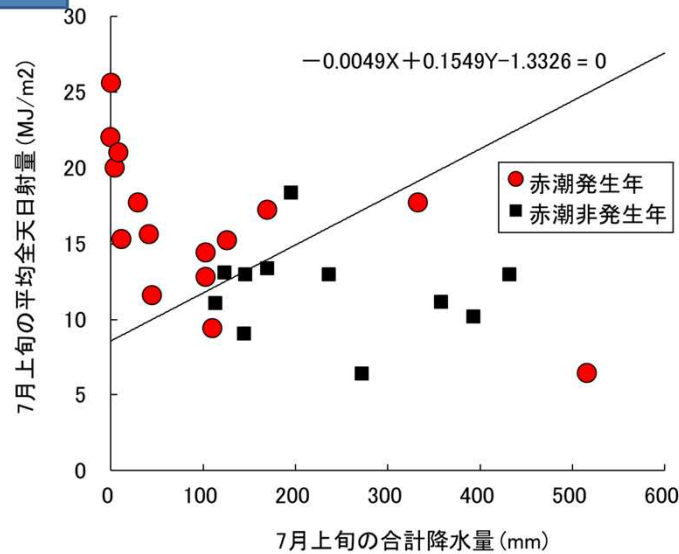
Chattonella 赤潮の発生規模と全天日射量および降水量との関係
■: 大発生年、○: 中・小規模発生年、▲: 非発生年
全天日射量は5・6月の平均値、降水量は6・7月の累計値

出典: 吉田誠(2012)有明海で発生する有害鞭毛藻—*Chattonella*を中心に. 豊穰の海・有明海の現状と課題(恒星社厚生閣)

降水量とは別に赤潮発生前である5・6月の全天日射量が16.5MJ/m²/日を越える年に大発生年が認められる。

今井(2000)*は、周防灘における観測において、6月上旬から7月上旬の日照時間が300時間を越えると*Chattonella*が卓越すると指摘している。*C. antiqua*の増殖には高い光強度が必要であるとの既往知見があること、有明海のように濁度が高く競合生物である珪藻類も多い環境では、高い光強度が増殖に必要である可能性が示唆される。

*今井一郎(2000) ラフィド藻赤潮の発生機構と予知. 「有害・有毒赤潮の発生と予知・防除. 日本水産資源保護協会編, pp.29-70.



7月上旬の合計降水量および平均全天日射量と*Chattonella* 赤潮の発生年・非発生年との関係。数式は判別関数1でZ=0としたもの。

(松原ほか 2011)

出典：松原 賢, 横尾一成, 古賀英昭 (2011) 有明海佐賀県海域における*Chattonella*赤潮の発生予察. 日本プランクトン学会報, 58(1), 18-22

有明海佐賀県海域における*Chattonella*赤潮の判別分析(1984-2009年までの気象データを使用)

判別関数1: $Z = -0.0049 \times (\text{7月上旬の合計降水量}) + 0.1549 \times (\text{7月上旬の平均全天日射量}) - 1.3326$

判別関数2: $Z = -0.0012 \times (\text{7月上旬の合計降水量}) + 0.029 \times (\text{7月上旬の平均全天日射量}) + 0.0654 \times (\text{5月下旬の平均全天日射量}) - 1.3364$

$Z > 0$ となる年が*Chattonella*赤潮の発生年

有明海におけるシャットネラ赤潮 発生に関する因子

降水量が平年より少ない

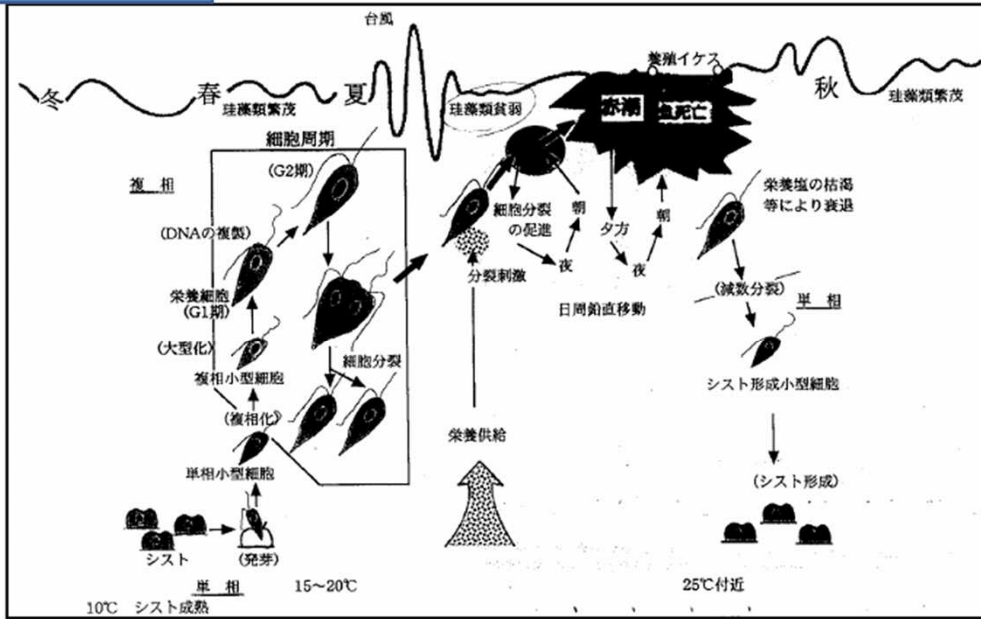
→珪藻類の増殖が低調で競合者が少なくなる

赤潮直前に高日照

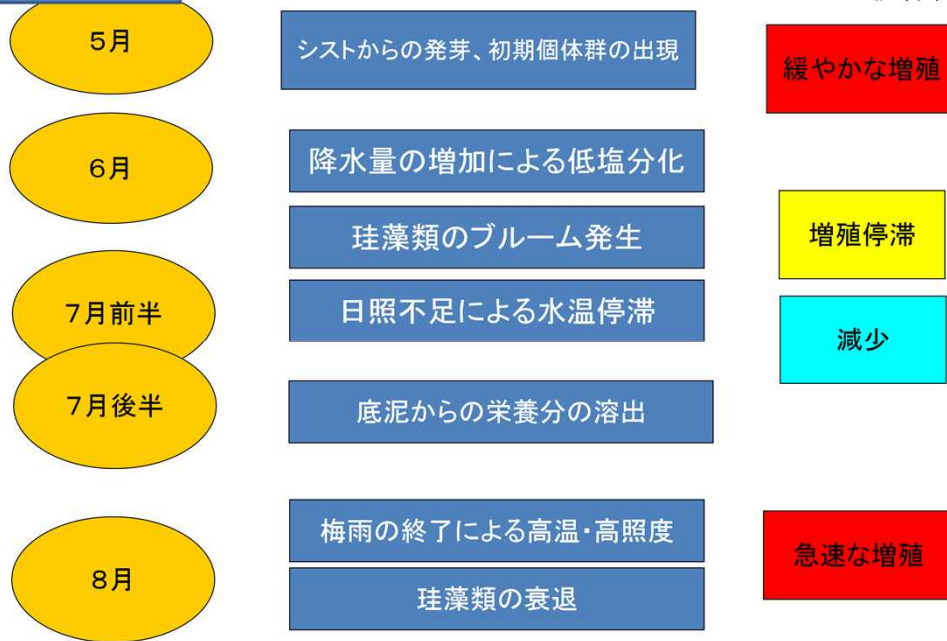
→透明度が低い有明海において、増殖に高い照度を必要とするシャットネラには必要な環境条件

還元化した底層からの栄養塩溶出

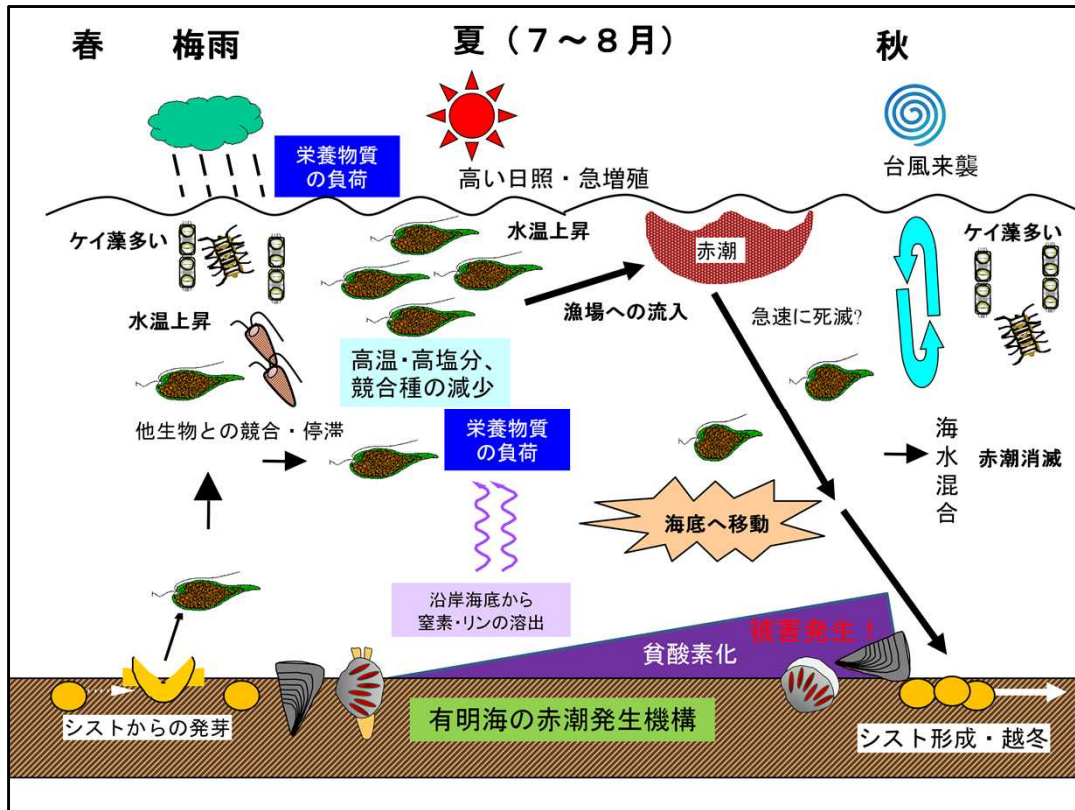
→日周鉛直移動能力により、底泥表面の栄養塩まで利用することが可能。珪藻との競合関係において生態学的優位性を維持

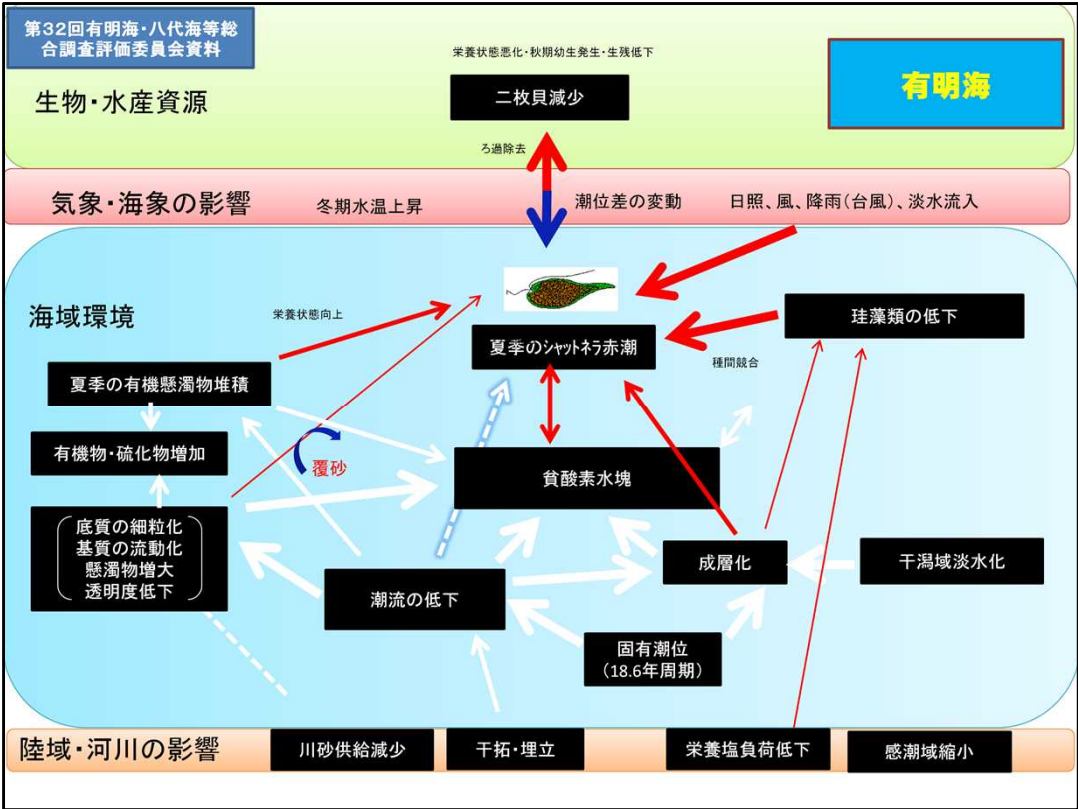


シャットネラの生活環と赤潮発生機構



有明海におけるChattonella赤潮発生への流れ





1986年から2005年までの気象、海況の項目を用いた重回帰分析結果

項目	β	r
降水量(三角5月上旬)	73 **	67 **
底層水温(6月中旬)	71 **	45 *
DIN(6月下旬) - .	50 **	- .34
R2	98	
調整済みR2	97	
F	135.43 **	

※ *: P < 0.05, **: P < 0.01

予測値 = - 21.946 + .016 降水量(5月上旬三角) + 1.044 底層水温(6月中旬) - 0.196 DIN(6月下旬)

※ 予測値 > 0 : 発生、予測値 < 0 : 非発生

櫻田ら(2008)より

八代海熊本県海域における*Chattonella antiqua*赤潮の重回帰分析による予測

出典： 櫻田清成, 山形 卓, 小山長久(2008)八代海における有害赤潮*Chattonella antiqua*の発生予察. 熊本県水産研究センター研究報告, 8, 35-45.

1986～2005年の気象(気温、降水量、日照時間、風向、風速)、海況(水温、塩分、栄養塩類、他種の赤潮形成状況)の各項目を説明変数とし、*Chattonella antiqua*赤潮の発生、もしくは非発生を目的変数とした重回帰分析を行い、説明変数として有為(P<0.01)な項目を抽出した。抽出した項目は、5月上旬の降水量、6月中旬の底層水温、そして6月下旬のDINであり、これらを用いた重回帰分析の結果、決定係数0.97の重回帰式が得られた。

重回帰分析による八代海における赤潮発生年の予測結果

年	赤潮発生	日照時間 6月中旬水俣	平均風速(北東) 6月八代	入梅日 5月1日起算	予測値	判定※
1988	小発生	26.6	0.7	31.0	-0.6	—
1989	小発生	46.3	0.5	35.0	-0.4	—
1990	発生	67.7	1.3	29.0	0.7	A
1991	非発生	12.8	0.7	18.0	-1.5	B
1992	発生	55.2	0.9	35.0	0.3	A
1993	非発生	16.2	1.1	16.0	-1.0	B
1994	非発生	16.2	0.8	24.0	-1.1	B
1995	非発生	40.5	0.7	24.0	-0.8	B
1996	非発生	9.4	0.7	26.0	-1.2	B
1997	非発生	47.1	0.9	32.0	0.0	B
1998	非発生	35.2	0.5	27.0	-1.0	B
1999	非発生	31.1	0.7	32.0	-0.4	B
2000	非発生	44.4	0.4	25.0	-1.1	B
2001	非発生	55.9	0.8	20.0	-0.6	B
2002	小発生	47.4	1.0	40.0	0.6	—
2003	発生	19.0	1.2	39.0	0.4	A
2004	発生	70.4	1.3	28.0	0.7	A
2005	発生	52.7	1.5	41.0	1.5	A
2006	小発生	44.6	0.9	25.0	-0.3	—
2007	非発生	31.6	0.4	31.0	-1.0	B
2008	小発生	27.6	0.6	27.0	-1.0	—
2009	発生	77.1	1.1	32.0	0.7	A
2010	発生	31.9	1.1	42.0	0.7	A
2011	非発生	5.8	0.9	22.0	-1.2	B
2012	非発生	21.2	1.2	30.0	-0.1	B

※判定 A:発生予想 B:非発生予想 —:判定対象外

折田ら(2013)

出典：折田和三，西広海，田原義雄，中村章彦(2013) 統計学的手法を用いた八代海の*Chattonella*赤潮発生に関与する要因抽出と予察の可能性. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告,4, 24-32.

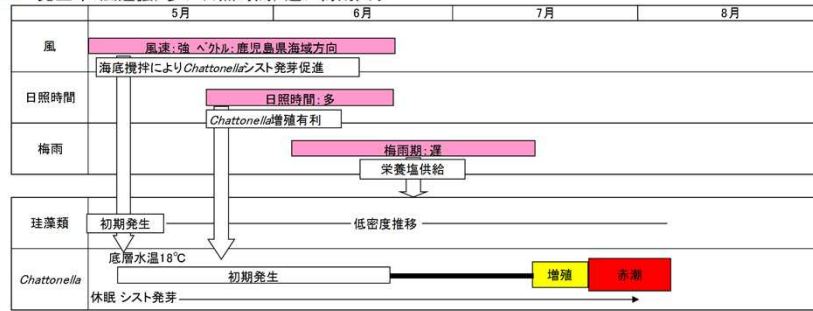
八代海における日照時間や風など気象要因や水温・塩分といった海象要因等について赤潮発生年グループと非発生年グループの平均値の差を検定したところ、32の項目で有意差が認められ、八代海の*Chattonella*赤潮には初期発生期の環境要因が大きく影響していることが示唆された。これらのうち5月末時点で日照時間(5月下旬水俣)，ベクトル平均風速(主軸，直交軸)(5月水俣)の3因子を用いた予測式の正判別率は100%，6月末時点で日照時間(6月中旬水俣)，平均風速(北東方向)(6月八代)，入梅日の3因子を用いた予測式の正判別率は100%となり、赤潮発生を予測することができる可能性が示唆された。

予測式は以下のとおり

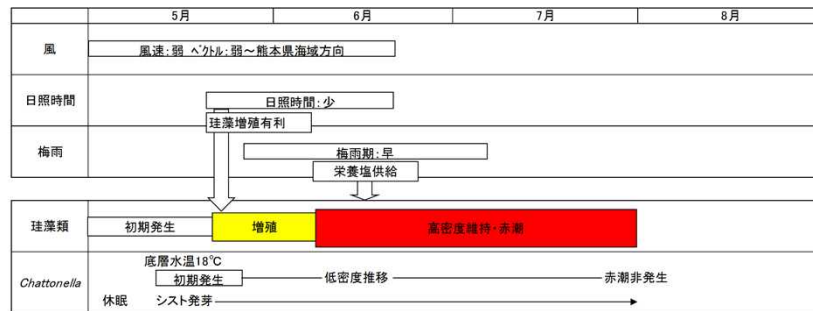
$$\text{赤潮発生} = 0.015 \text{日照時間(6月中旬水俣)} + 1.378 \text{平均風速(北東)(6月八代)} + 0.056 \text{入梅日} - 3.723$$

$$\text{補正R} = 0.734 \text{ F} = 18.48 (<0.001)$$

発生年: 風速強, 多い日照時間, 遅い梅雨入り



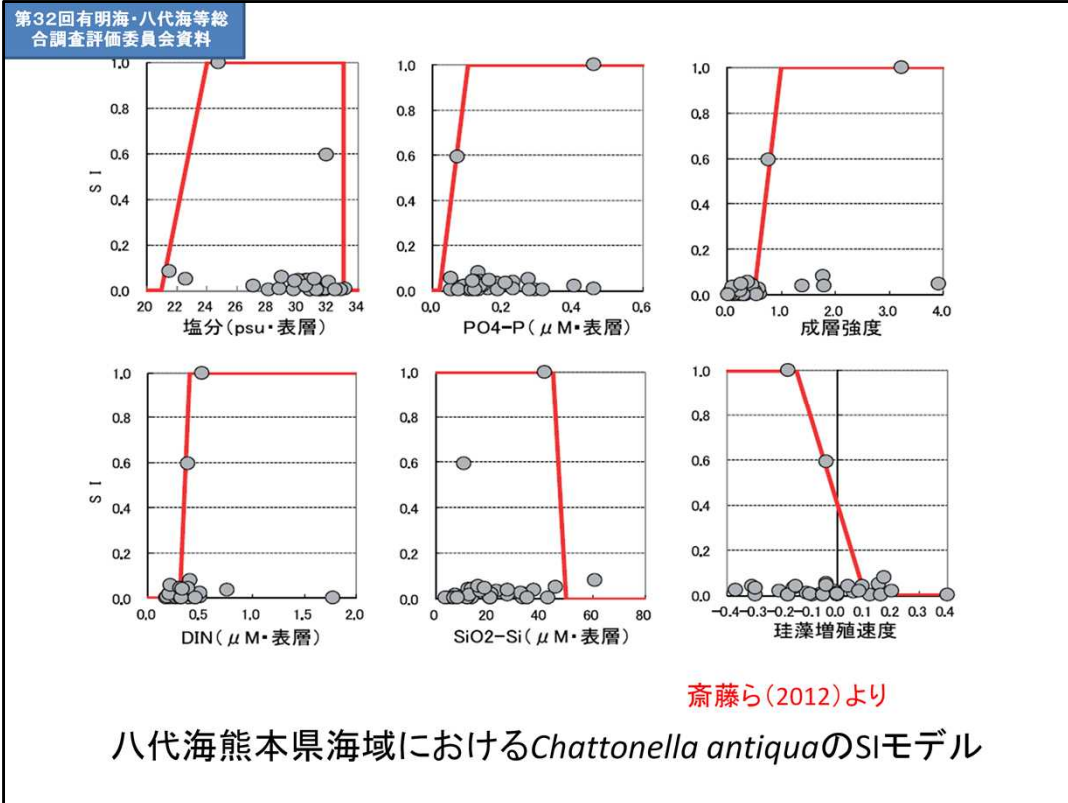
非発生年: 風速弱, 少ない日照時間, 早い梅雨入り



八代海において赤潮発生に関与する因子の相互作用 (折田ら 2013)

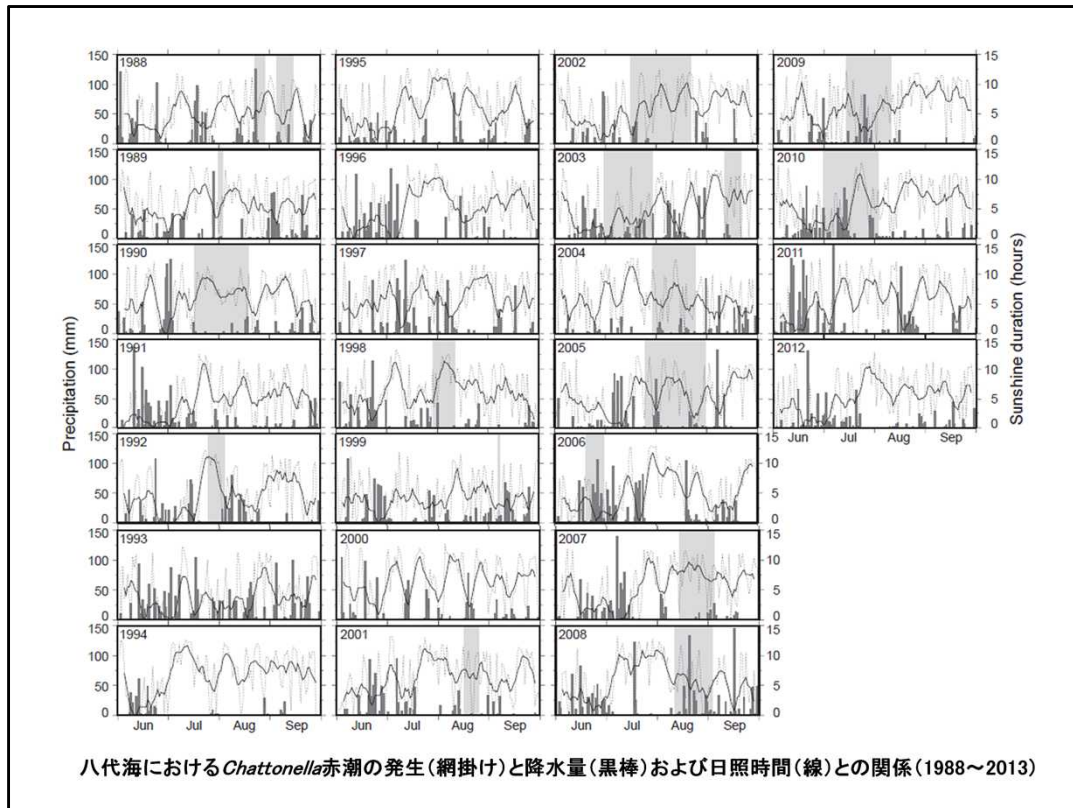
出典: 折田和三, 西 広海, 田原義雄, 中村章彦(2013) 統計学的手法を用いた八代海のChattonella赤潮発生に関与する要因抽出と予察の可能性. 鹿児島県水産技術開発センター研究報告,4, 24-32.

重回帰で関連性が認められた項目が、Chattonella属赤潮発生に影響すると想定されるパスウェイを図示したもの。



出典： 齋藤 孝, 滝川 清, 園田吉弘, 高日新也(2012) 八代海における有害赤潮藻*Chattonella antiqua*のHSモデルによる発生予測. 土木学会論文集B2(海岸工学), 68,(2), 11051-1055

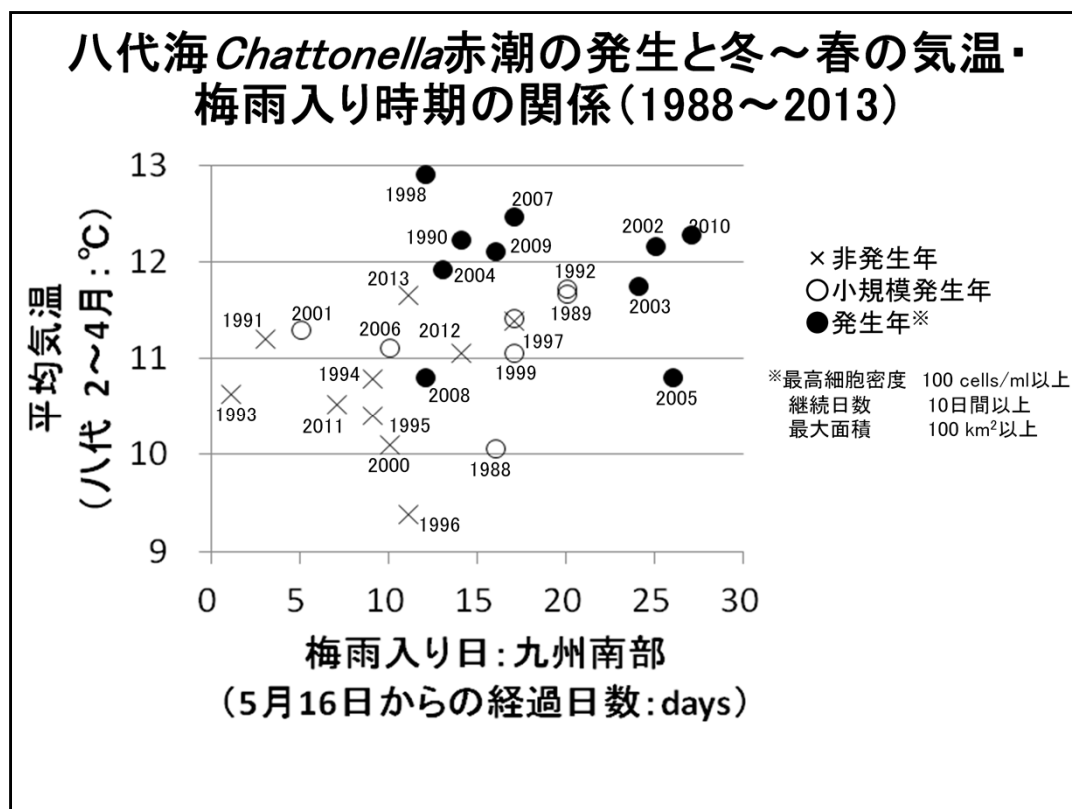
除歪対応分析(DCA)手法を用いて、八代海で観測された*Chattonella antiqua*赤潮と気象、海象、水質環境との関係を解析したところ、塩分、DIP、成層強度、DIN、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 、珪藻増殖速度が要因として抽出された。これら6要因を用いてSIモデルを作成し、*C. antiqua*出現密度の予測を試みた。これらの6要因のうち、特にDIN、成層強度、珪藻増殖速度の3要因については、*C. antiqua*の出現に強く影響を及ぼしている。



出典: Onitsuka G., Aoki K., Shimizu M. (2014) Meteorological conditions preceding *Chattonella* bloom events in the Yatsushiro Sea, Japan, and possible links with the East Asian monsoon. *Fisheries Science*, in press.

八代海においては、まとまった降水量が見られず、高日照が続く環境でシャットネラ赤潮が発生していることが分かる。

有明海でもほぼ同様な傾向が認められる。シャットネラの増殖整理を調べた既往知見では、生長のために高日照が必要との知見があり、関連性がうかがえる。



出典: Onitsuka G., Aoki K., Shimizu M. (2014) Meteorological conditions preceding *Chattonella* bloom events in the Yatsushiro Sea, Japan, and possible links with the East Asian monsoon. *Fisheries Science*, in press.

八代海におけるシャットネラ赤潮と、冬期の八代市の気温、九州南部の入梅日との関係

冬期の平均気温が高く、入梅日が遅いほど赤潮発生規模が増大する傾向が伺える

折田ら(2013)においても、多い日照時間、遅い梅雨入りの組み合わせにおいてシャットネラ赤潮が発生することが指摘されており、八代海における本種の出現を気象から予測する上で重要な因子であると判断される。

八代海におけるシャットネラ赤潮 発生に関する因子

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

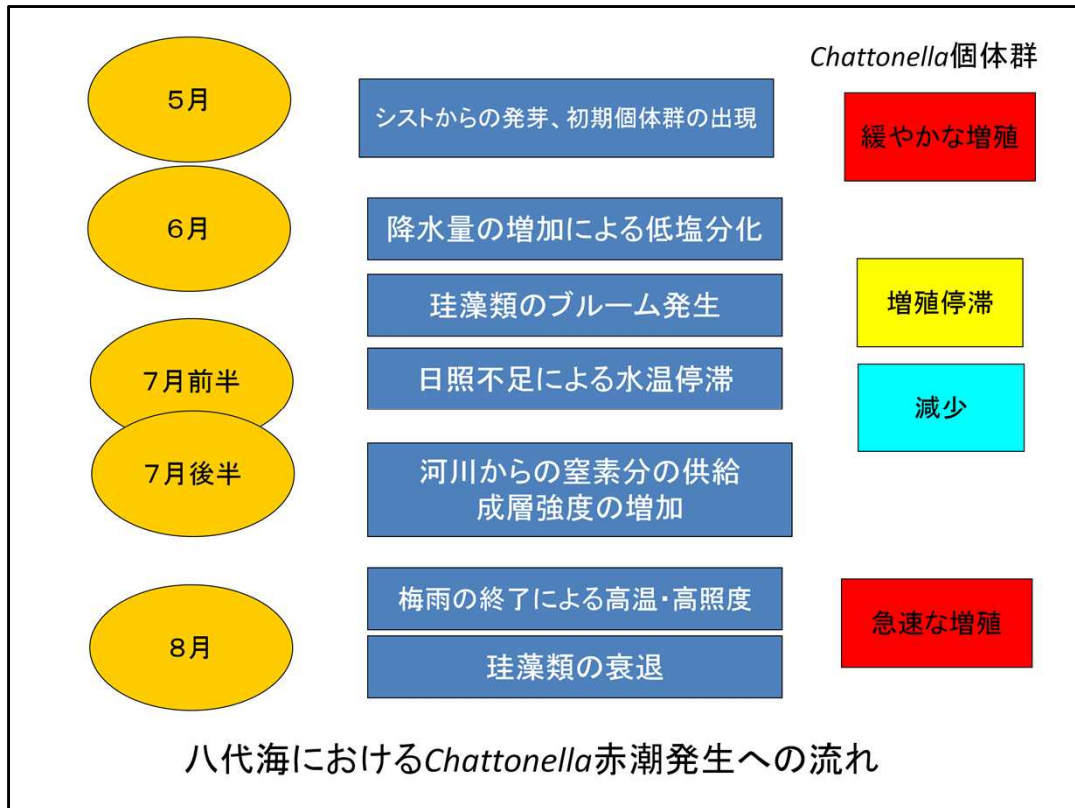
→河川水の流入が少ない、あるいは珪藻ブルーム後で表層栄養塩が枯渇

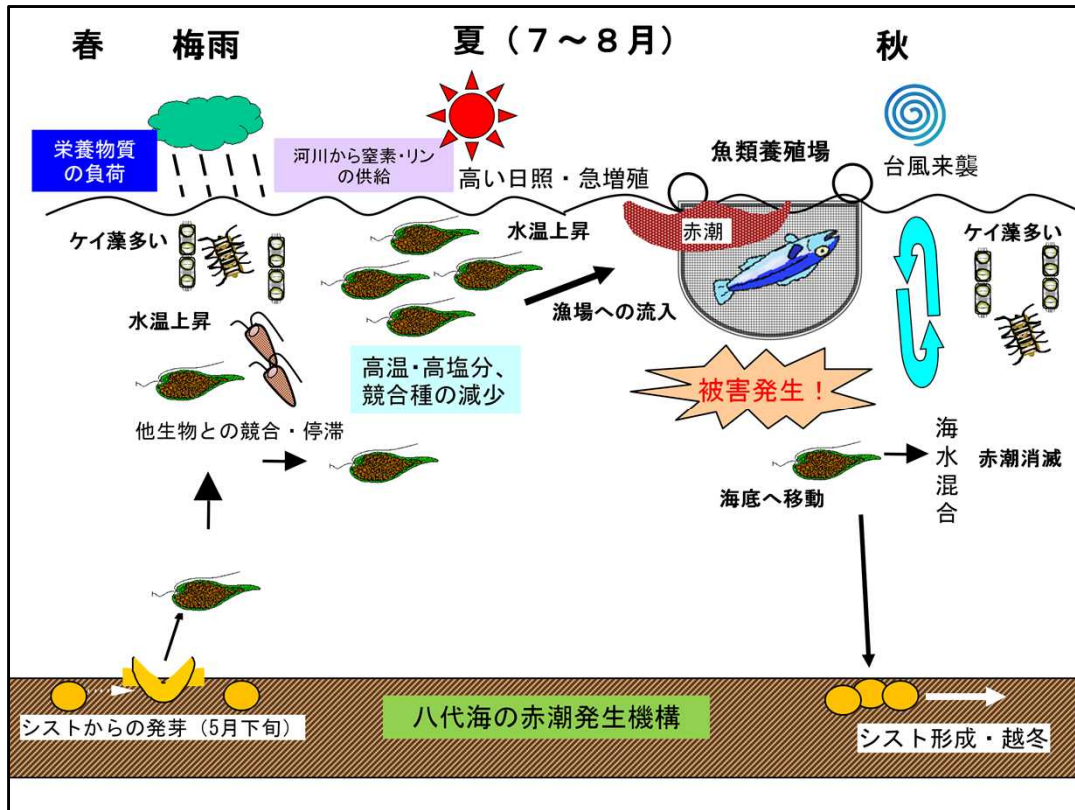
競合プランクトンが少ない

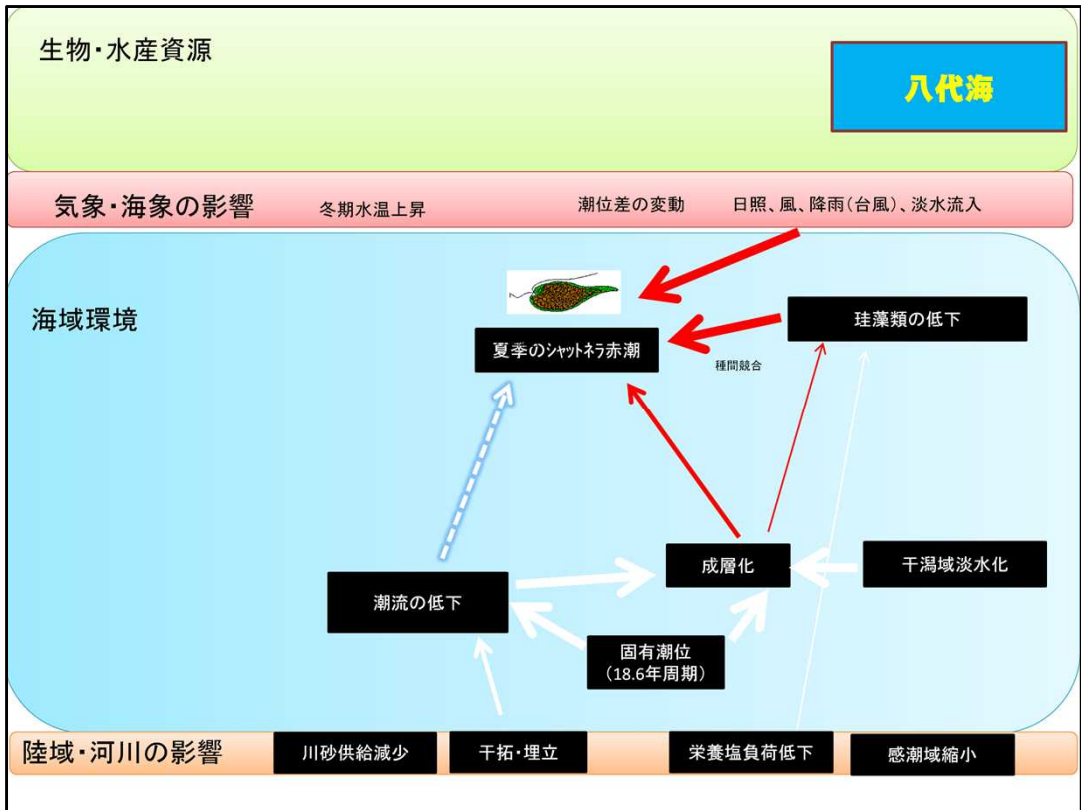
→有明海同様に種間競合が発生している

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過剰な栄養塩供給がおきるため？







八代海における赤潮発生機構について

- 出現時の気象、海象(水温・塩分)、競合生物との関係については、有明海側で整理された項目と合致する部分が多い。
- 2000年以降の赤潮増加については、連動する環境因子(水温上昇や潮位)は特定されたが、具体的にどのように赤潮発生件数に作用しているか、より詳細な検討が必要である。
- 発生予察に関して複数の因子間の相互作用が提案されているが、科学的整理を進めて行く。