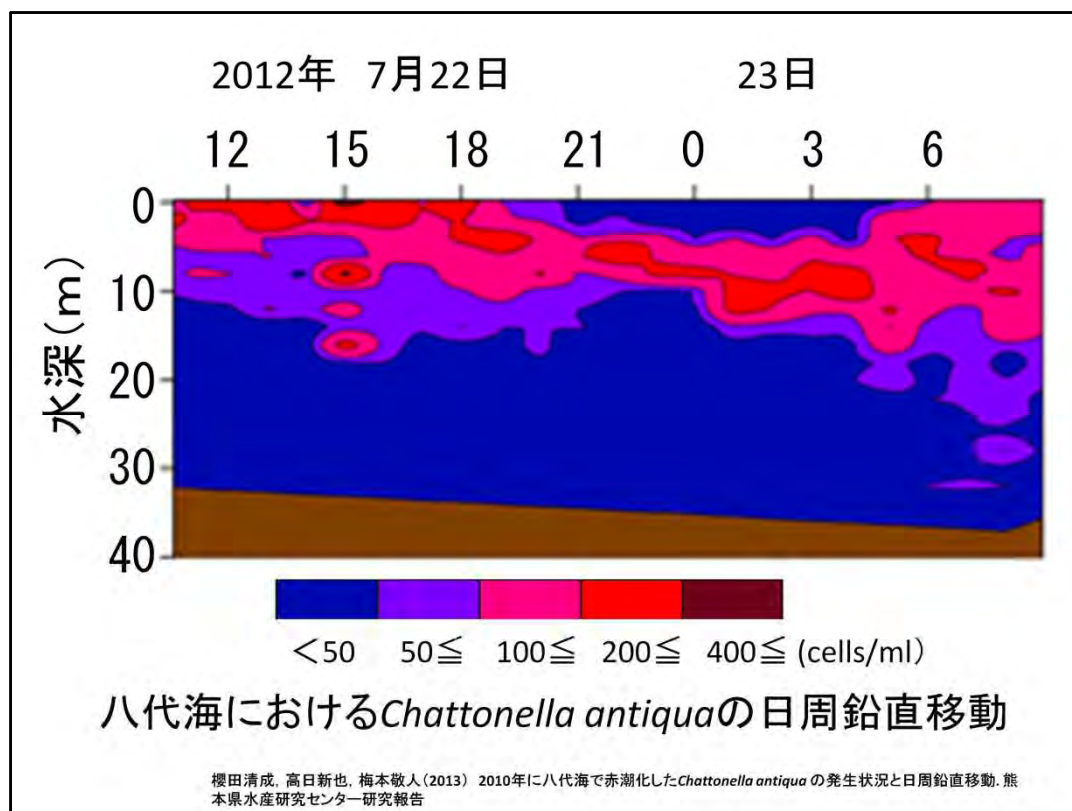


資料： 佐賀大学・低平地沿岸海域研究センター提供

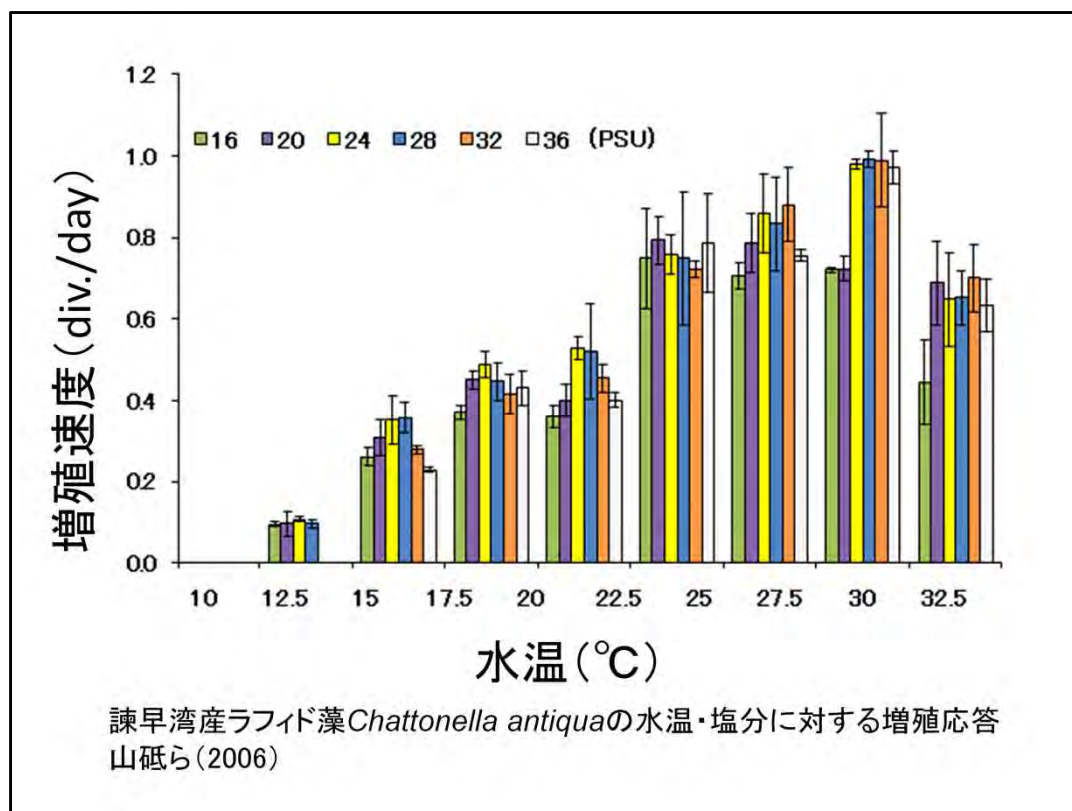
*Chattonella antiqua*の増殖に伴い、それまで干潟域の底層近くに高濃度に存在していたDINが急速に消費される現象が確認できる(2008年と2012年)

*Chattonella*赤潮発生のためには十分な量の栄養塩が必要である。*Chattonella*属は鉛直移動ができない珪藻類と異なり鉛直移動で海底近くに豊富に存在する栄養塩まで利用できるため、夏期の有明海干潟域の底層に豊富に存在する栄養塩が、本種の赤潮発生に寄与していることが推定される



出典： 櫻田清成, 高日新也, 梅本敬人(2013) 2010年に八代海で赤潮化した*Chattonella antiqua*の発生状況と日周鉛直移動. 熊本県水産研究センター研究報告9号, 85-90.

Watanabe et al. (1983) Jpn. J. Phycol. 31: 161-166において、*Chattonella antiqua*は水深7mの範囲内で日周鉛直移動を行うことが知られている。2010年の八代海における観測においても、本種の日周鉛直移動は水深10mの範囲内で起きていることが確認された。



出典： 山砥稔文, 坂口昌生, 岩滝光儀, 松岡數充 (2006) 諫早湾に出現する有害赤潮鞭毛藻 4 種の増殖に及ぼす水温, 塩分の影響. 日本水産学会誌, 72(2), 160-168

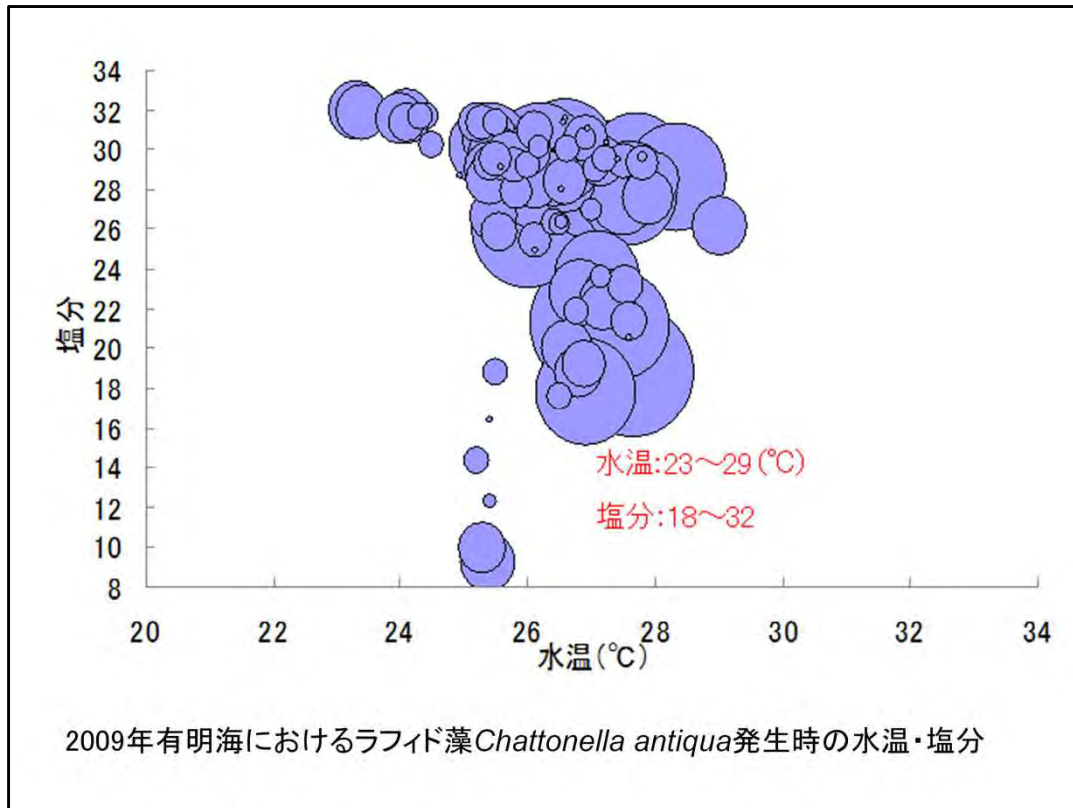
諫早湾から分離培養されたラフィド藻 *Chattonella antiqua* の培養株を用いて、水温と塩分に対する増殖応答を調べた結果。

諫早湾産の *C. antiqua* は競合する珪藻類などの増殖が低下する水温 30°C という高水温で最も活発に増殖することが判明した。

また水温 10°C 以下では増殖できず、シストの形態で越冬していると推察される。

八代海株による試験結果は以下の文献を参照

出典： 紫加田知幸, 櫻田清成, 城本祐助, 生地 暢, 吉田 誠, 大和田紘一 (2010) 八代海における植物プランクトンの増殖に与える水温、塩分、および光強度の影響. 日本水産学会誌, 76(1), 34-45



資料： 水産総合研究センター西海区水産研究所提供

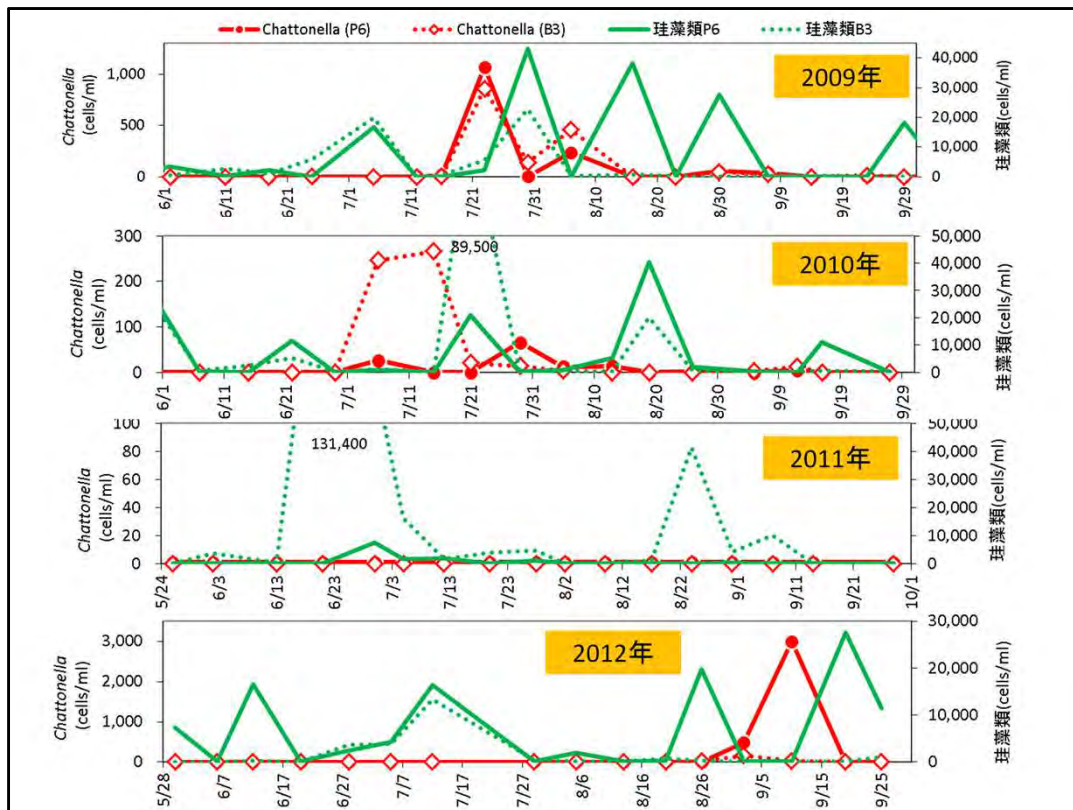
2009年に有明海沿岸4自治体と西海区水産研究所の観測結果から、出現時の水温と塩分を整理した

出現水温は23~29°Cの範囲で、高い細胞密度は26~28°Cの範囲で観察されており、培養試験における最高増殖温度付近で発生していたことが分かる



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)

平成21～24年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業報告書



有明海奥部における*Chattonella*属と珪藻類の出現特性

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(2009～2012)「有明海における夏季の植物プランクトンの変動」平成21～24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

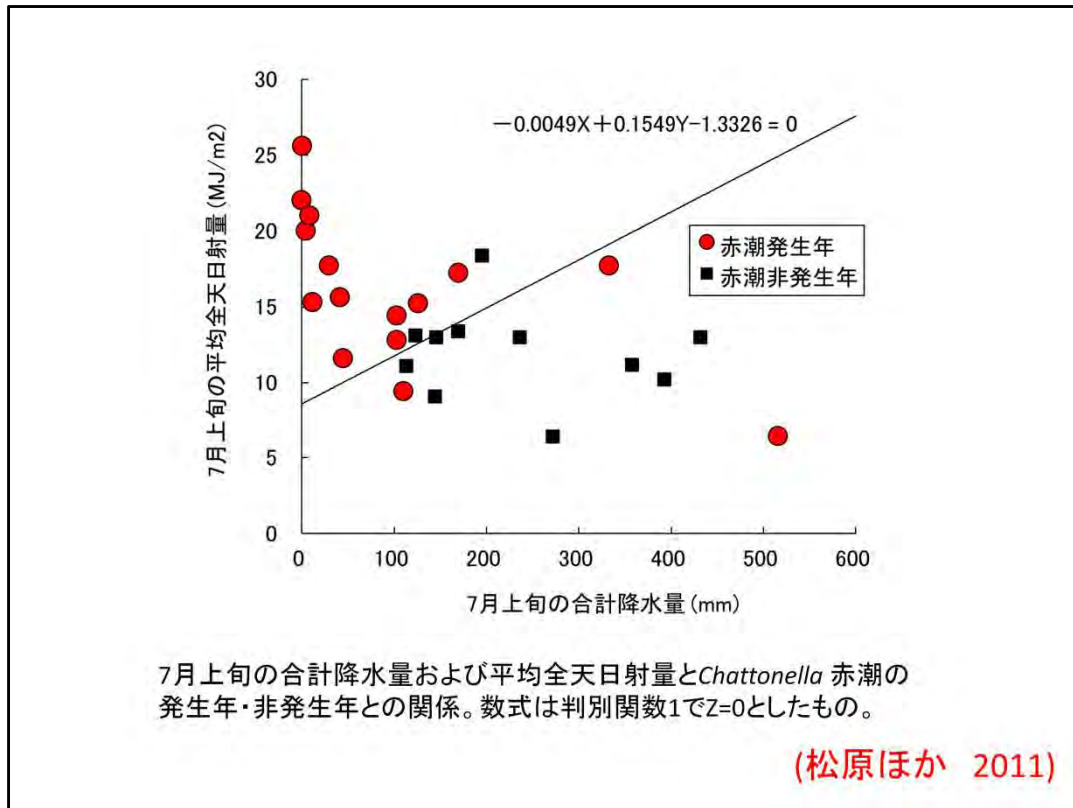
珪藻類との種間競争

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、栄養競争では常に不利となる。従って、生態学的にみて、珪藻類が最大の競争者である

有明海・八代海のいずれにおいても、鞭毛藻赤潮発生は珪藻類が衰退した隙間(niche)で発生していることが判明した

(4)

赤潮(夏場)の赤潮発生
機構・予察手法に
関する知見



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

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)

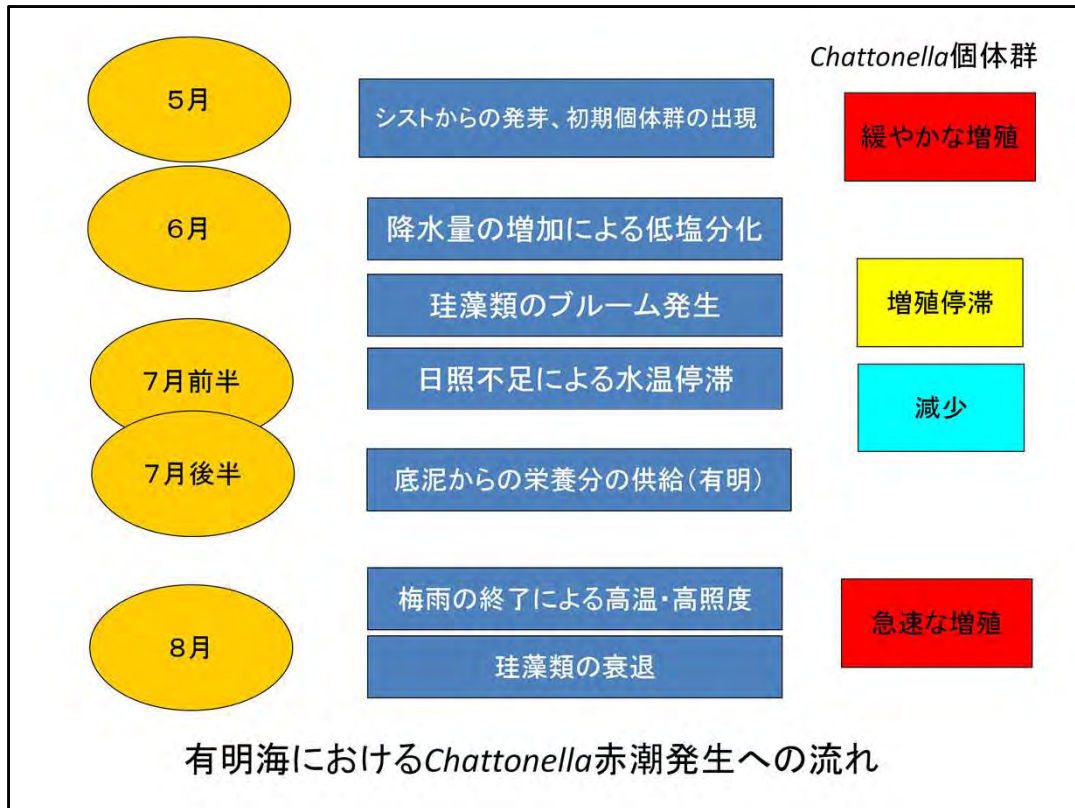
降水量とは別に赤潮発生前である5・6月の全天日射量が17MJ/m²/日を越える年に大発生年が認められる。

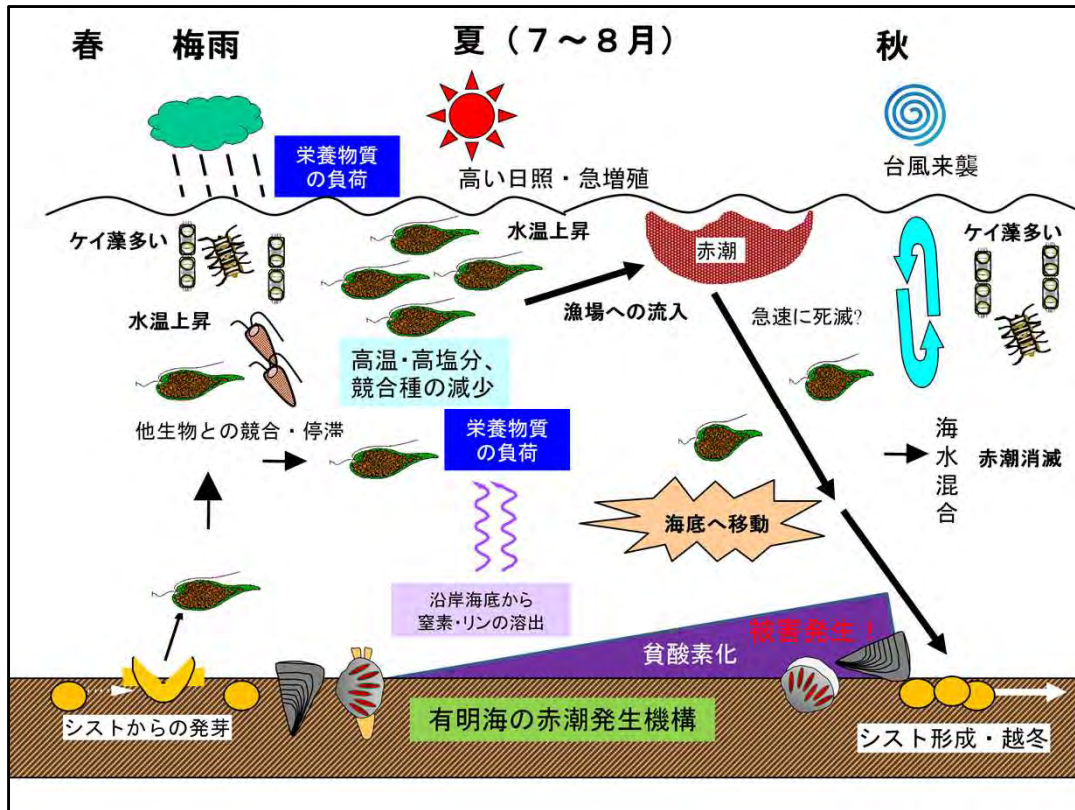
今井(2000)*は、周防灘における観測において、6月上旬から7月上旬の日照時間が300時間を越えると*Chattonella*が卓越すると指摘している。*C. antiqua*の増殖には高い光強度が必要であるとの既往知見があること、有明海のように濁度が高く競合生物である珪藻類も多い環境では、高い光強度が増殖に必要な可能性が示唆される。

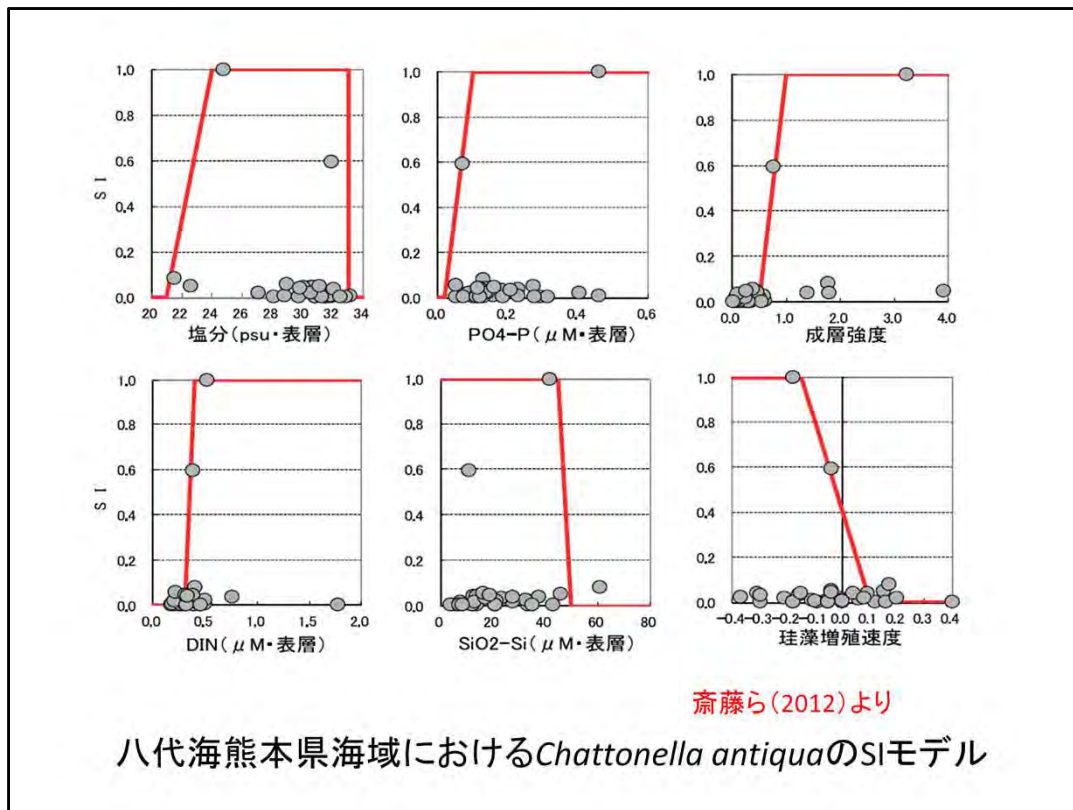
*今井一郎(2000) ラフィド藻赤潮の発生機構と予知. 「有害・有毒赤潮の発生と予知・防除. 日本水産資源保護協会編, pp.29-70.

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

諫早湾において、塩分低下と珪藻類の出現が*Chattonella*赤潮に抑制的に働いている現象を見だし、降水量から珪藻と鞭毛藻優占との関係を導くことが可能であった。



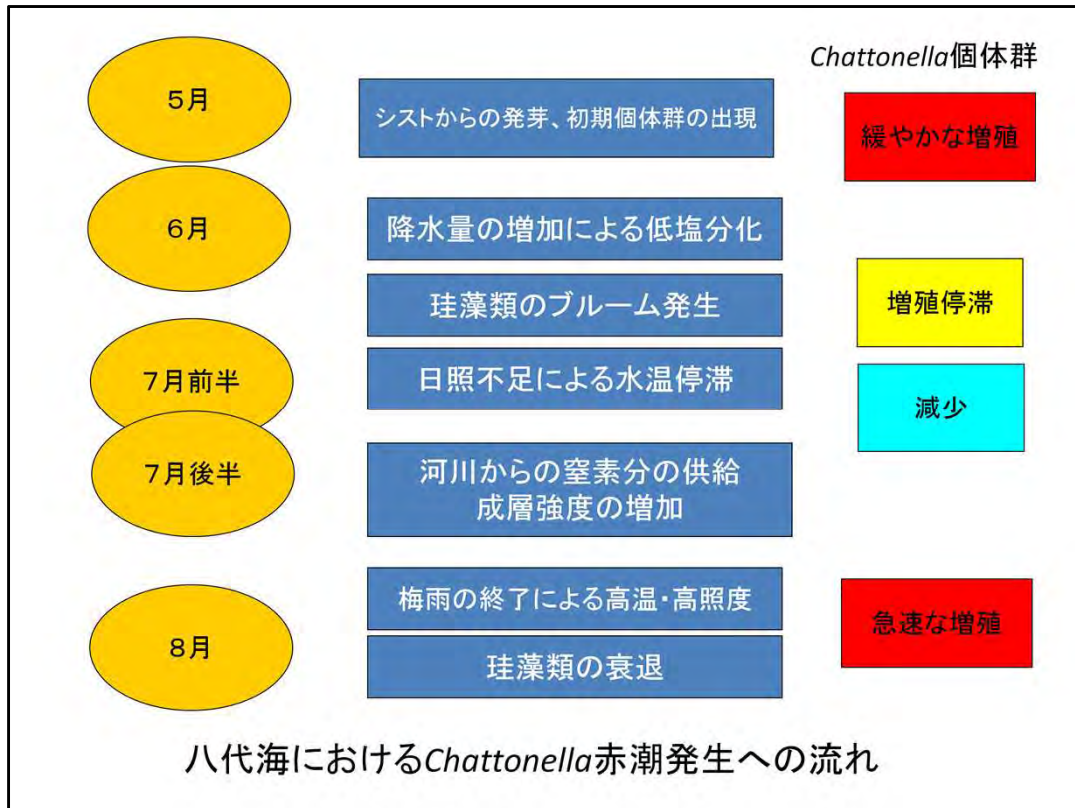


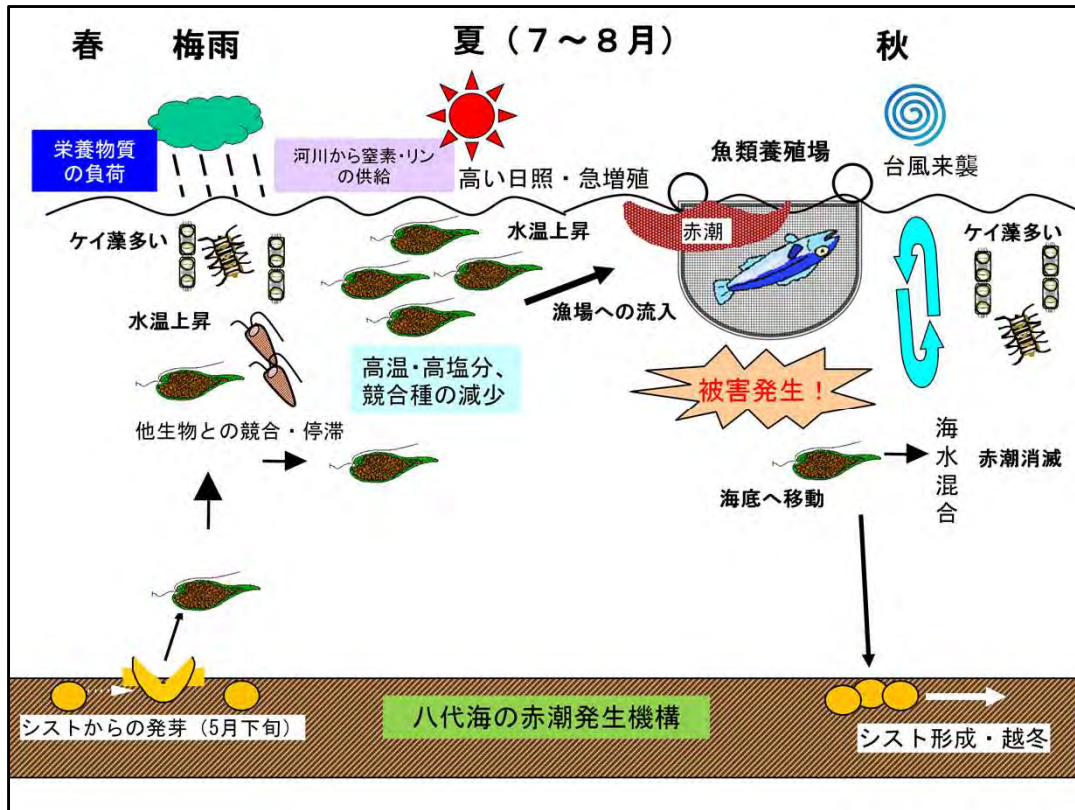


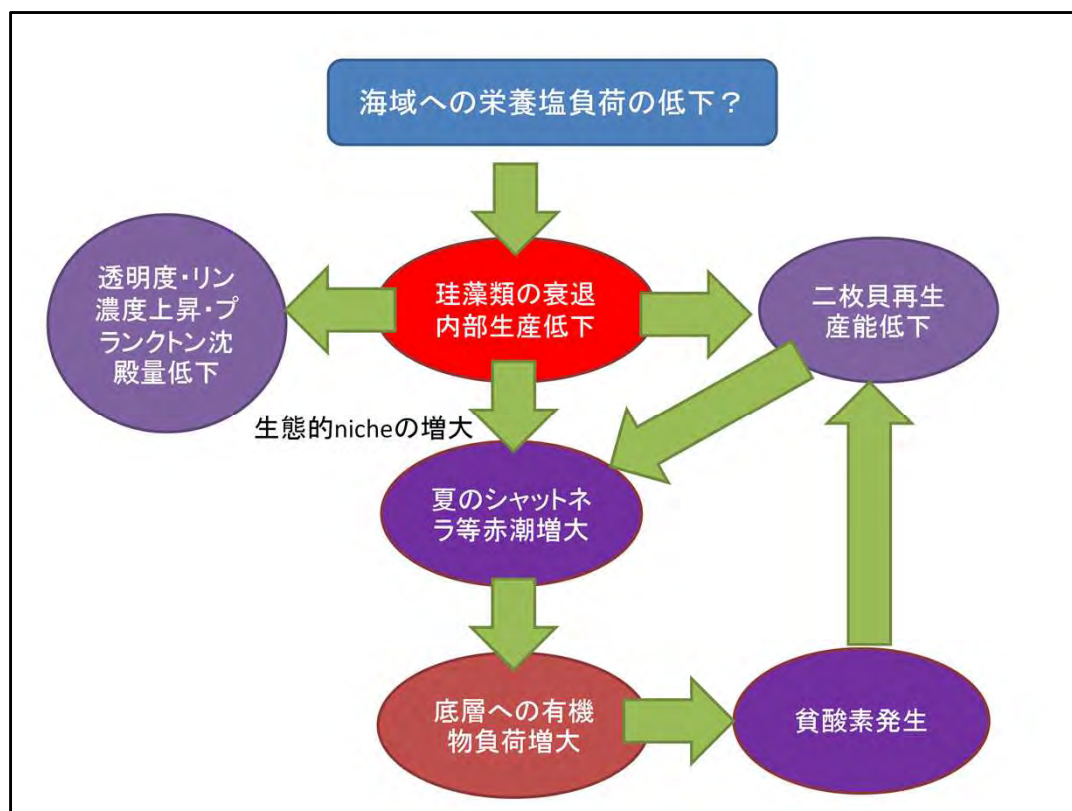
出典： 齋藤 孝, 滝川 清, 園田吉弘, 高日新也(2012) 八代海における有害赤潮藻*Chattonella antiqua*のSIモデルによる発生予測. 土木学会論文集B2(海岸工学), 68,(2), 1 1051-1055
 除歪対応分析(DCA)手法を用いて、八代海で観測された*Chattonella antiqua*赤潮と気象、海象、水質環境との関係を解析したところ、塩分、DIP、成層強度、DIN、SiO₂-Si、珪藻増殖速度が要因として抽出された。これら6要因を用いてSIモデルを作成し、*C. antiqua*出現密度の予測を試みた。これらの6要因のうち、特にDIN、成層強度、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： 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), ペクトル平均風速(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
 赤潮発生 = 0.015 日照時間(6月中旬水俣) + 1.378平均風速(北東)(6月八代) + 0.056入梅日 - 3.723
 補正R = 0.734 F = 18.48 (<0.001)

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。抽出された項目は、気温、降水量、6月中旬の底層水温、そして6月下旬のDIN濃度であり、これらを用いた重回帰分析の結果、6月下旬において決定係数0.97の重回帰式が得られた。重回帰モデルに用いた6月までの変数、7月中旬までの変数による判別分析により、過去の*C. antiqua*赤潮の発生を、非発生を100%判別することができた。







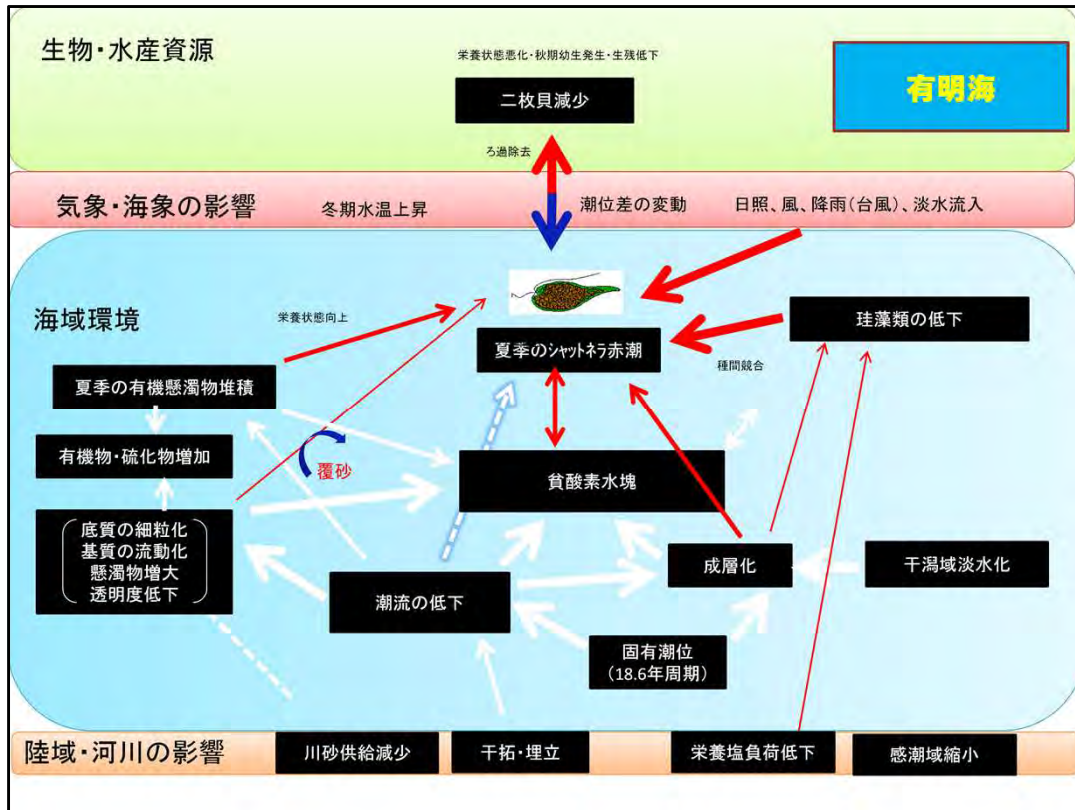
夏期の有明海をめぐる赤潮、水質、生物環境要因の相互作用に関する概念図(作業仮説)

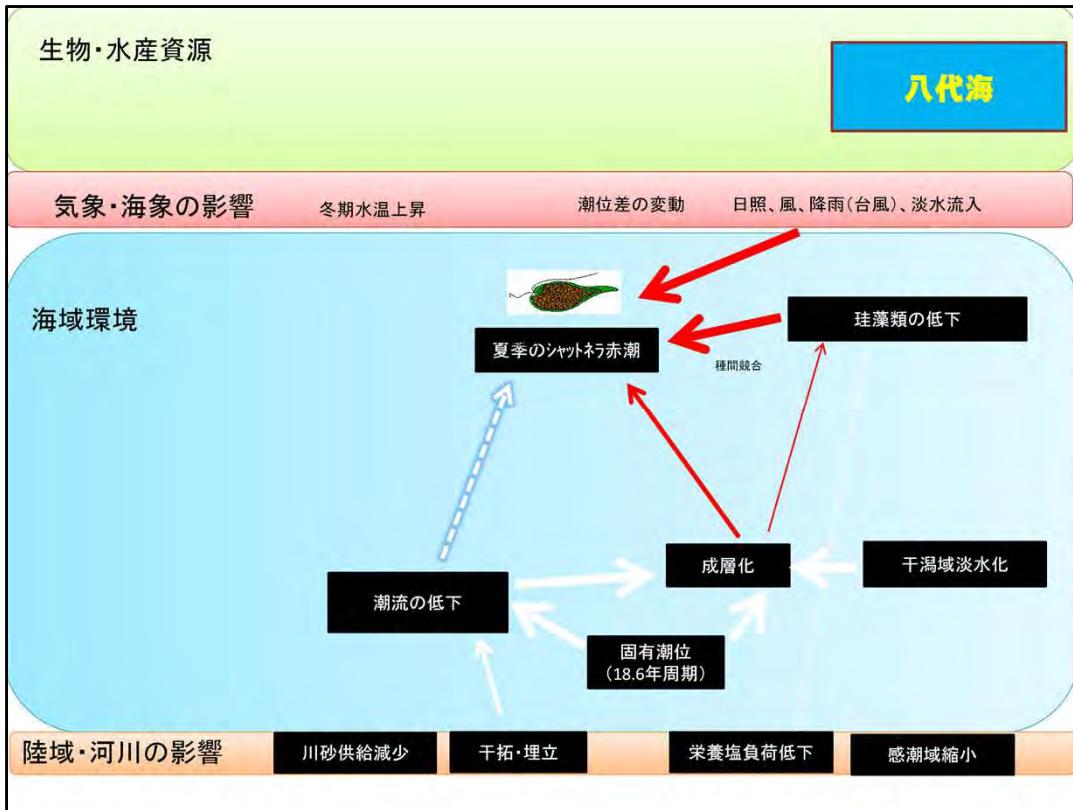
東京湾、伊勢湾、瀬戸内海などにおいては、陸域からの流入負荷による富栄養化(近年は貧栄養化)や沿岸部の開発による浄化能力の低下によって負のスパイラルが発生することが知られている

有明海では明瞭な流入負荷の増減は必ずしも認められないことから、内部生産低下とこれに伴う二枚貝などのベントス群集の崩壊が負のスパイラルを加速させていることが推察される

今後のさらなる検討を加えることで、原因究明をはかる必要がある

一方で、有明海におけるDIN濃度に大きな変動はないものの、これを消費する植物プランクトンは少なくとも秋期から冬期にかけて激減している。このことは、陸域や底質からの栄養負荷が低下している可能性を示唆するものであるが、データが不十分であるため、今後も詳細な解析が必要である





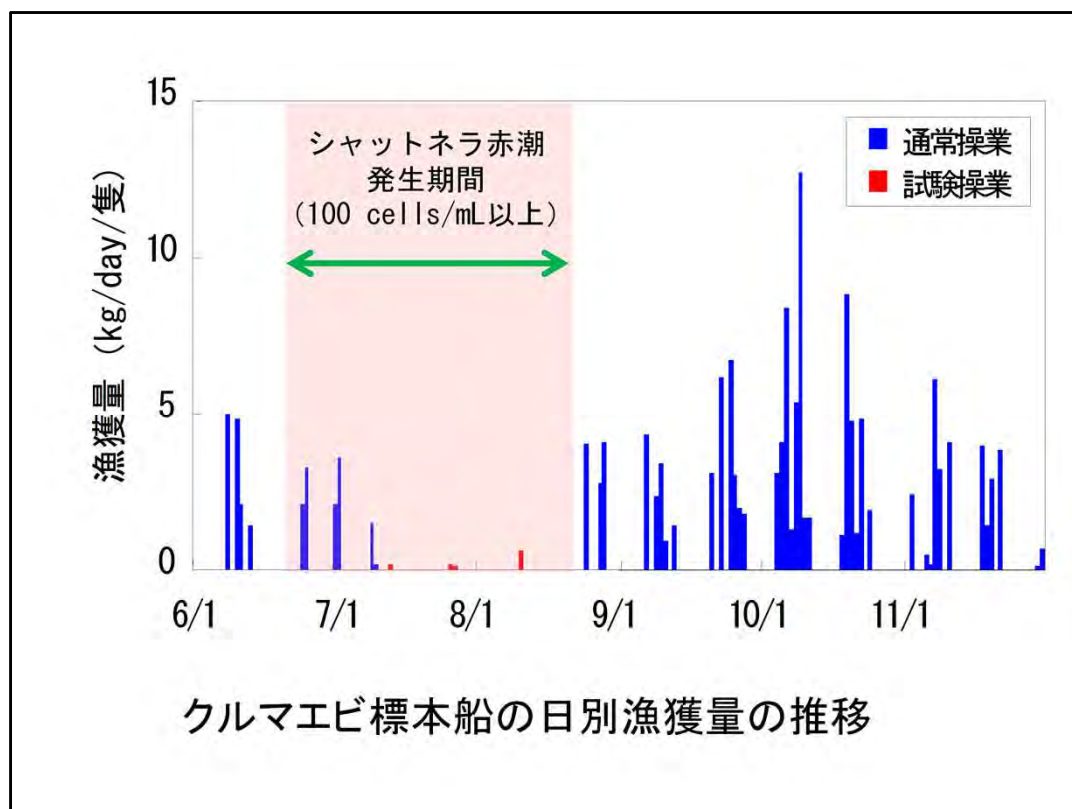
(5)

赤潮プランクトン
(シャットネラ)の
毒性について

有明海・八代海における 赤潮発生時の漁業被害例

被害生物	具体例	発生海域	発生頻度・要因
養殖魚類(ブリ、マダイ、カンパチ、シマアジ等)	養殖中の魚類の大量へい死現象	八代海、牛深海域、橘湾など	発生頻度が最も高い
天然魚類 (マアジ、コノシロ、ボラなど)	へい死、漁獲不振、異常漁獲(逃避行動による)	有明海、八代海、橘湾	広域な赤潮発生時は顕著
天然甲殻類 (クルマエビ、ガザミなど)	衰弱、漁獲不振、異常漁獲(逃避行動による)、資源減少	有明海	広域な赤潮発生時は顕著
天然二枚貝 (アサリ、サルボウ、タイラギなど)	へい死、漁獲不振、資源減少	有明海	大規模赤潮発生時に顕著、貧酸素の影響との区分が困難

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」
「シャットネラ等赤潮対策推進協議会」とりまとめ結果より



出典： 荒木希世・松岡貴浩・森下貴文・川崎信司(2013)有明海における*Chattonella*赤潮の日周鉛直移動がクルマエビに与える影響. 熊本県水産研究センター研究報告9号, 13-24

シャットネラ赤潮発生期間中は経験的にクルマエビ漁が不漁となるため、漁業者が自ら操業しないことが多い。このため、漁獲量のみでのデータでは赤潮の悪影響を過剰評価する可能性もある。

そこで、赤潮発生時に漁業者が操業しない時期に県が独自に試験操業を行ったところ、やはり赤潮発生期間中は漁獲量の一時的な低下が発生していた。赤潮発生後に漁獲量が速やかに回復していることから、シャットネラ赤潮が発生すると、クルマエビは何らかの逃避行動あるいは忌避行動を示し、漁獲に繋がらないことが推定される。

マガキ、タイラギへの 培養*Chattonella antiqua*の室内曝露試験

シャットネラの細胞密度:

50
1,000
2,500
5,000
10,000 cells/mL
の5段階に設定



曝露24時間後の生残率

マガキ: 100% (50 ~ 10,000 cells/mL 5段階)

タイラギ: 100% (50 ~ 10,000 cells/mL 5段階)

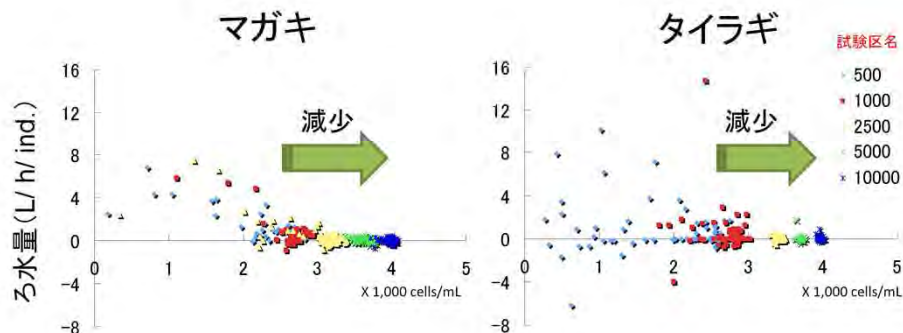
→急性毒性は確認されず

出典: 前野幸男・鈴木健吾・伏屋玲子・木元克則・塚本達也・長副 聡・深尾隆三(2009)有害藻シャットネラの重要二枚貝類に対する影響の解明. 西海区水産研究所主要研究成果集13号, p.28
Sou Nagasoe, Kengo Suzuki, Tatsuya Yurimoto, Reiko Fuseya, Tsuyoshi Fukao, Toshifumi Yamatogi, Katsunori Kimoto, Yukio Maeno (2011) Clearance effects of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* on the fish-killing algae *Chattonella marina* and *Chattonella antiqua*. *Aquatic Biology*, 11, 201-211.

赤潮の影響を室内試験で確認するために、培養シャットネラを用いた曝露試験をマガキとタイラギを用いて実施した。

最大曝露密度であっても、少なくとも24時間内にはへい死は認められず、急性毒性は低いと判断された。

Chattonella antiquaを含む飼育海水中でのマガキ、タイラギのろ水量



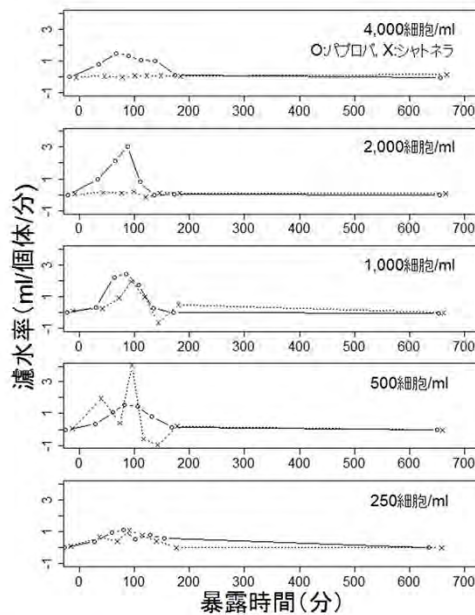
低密度実験区ではろ水率が高いが、概ね2,000 cells/mL以上でろ水活動が低調になることが明らかとなった。

出典： 前野幸男・鈴木健吾・伏屋玲子・木元克則・塚本達也・長副 聡・深尾隆三(2009)有害藻シャットネラの重要二枚貝類に対する影響の解明. 西海区水産研究所主要研究成果集13号, p.28
Sou Nagasoe, Kengo Suzuki, Tatsuya Yurimoto, Reiko Fuseya, Tsuyoshi Fukao, Toshifumi Yamatogi, Katsunori Kimoto, Yukio Maeno (2011) Clearance effects of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* on the fish-killing algae *Chattonella marina* and *Chattonella antiqua*. *Aquatic Biology*, 11, 201-211.

曝露試験中のシャットネラ細胞密度の変化から、ろ水速度を計算した結果を示す。この結果から、マガキもタイラギも低密度のシャットネラ存在下では高いろ水量を示すものの、概ね2,000 cells/mLを越えるとほぼろ水量を停止させることが判明した。

低密度の出現時は二枚貝によるシャットネラ除去効果は期待できるが、シャットネラの細胞密度が赤潮密度にまで達すると、これら二枚貝による環境浄化能力は失われると推察された。

*Chattonella antiqua*を曝露されたサルボウのろ水率

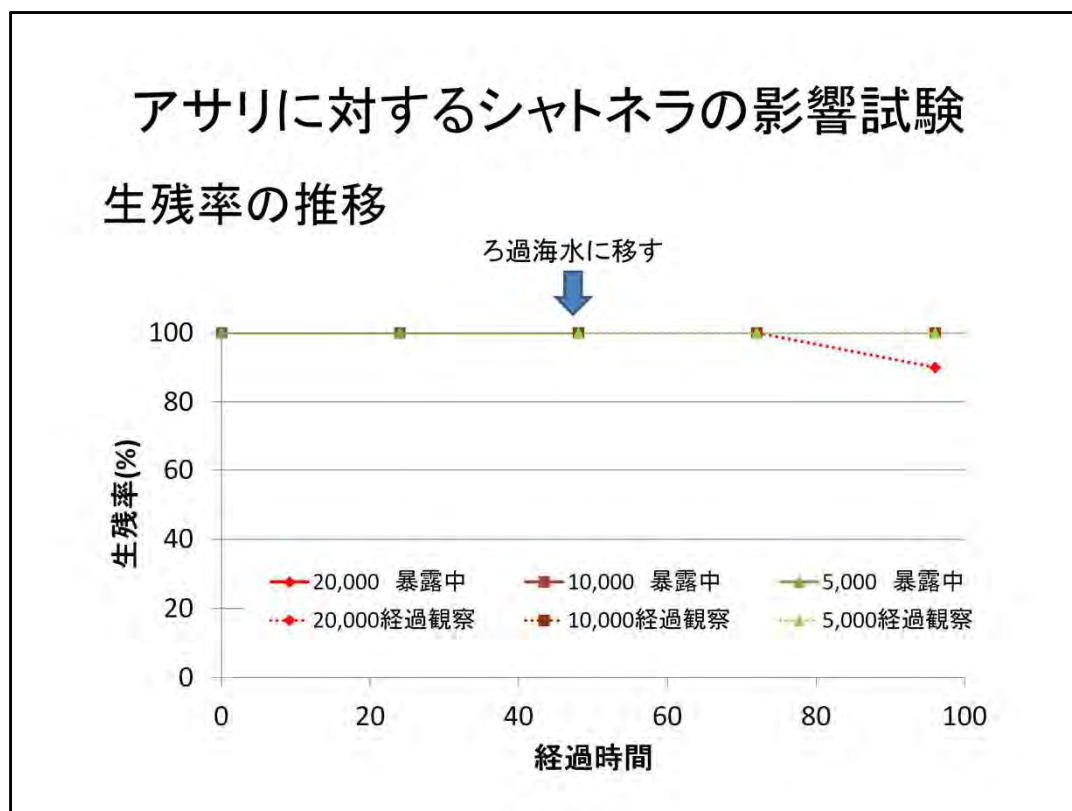


シヤトネラが高密度であると、ろ水が低下、特に2,000 cells/mL以上でろ水率がほぼ停止する

出典： 松山幸彦・吉田 誠・鈴木健吾・栗原健夫・橋本和正 (2012)シヤットネラ属に対する甲殻類、貝類および小型魚類への影響試験. 平成23年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シヤットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明に関する研究報告書」, p. 3-16.

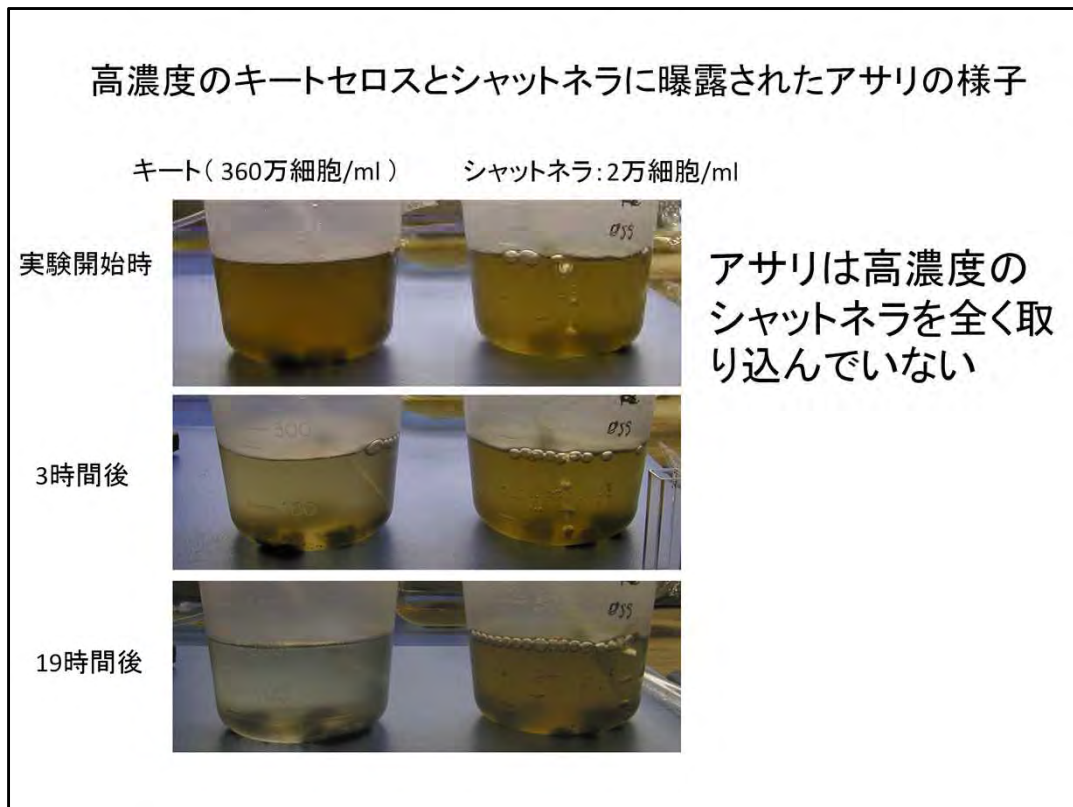
有明海奥部の干潟域で、かつシヤットネラ赤潮の頻発地帯に生息するサルボウに対するシヤットネラの影響。

マガキやタイラギ同様、赤潮密度での急性毒性は認められなかったが、シヤットネラ密度が2,000 cells/mLを越えろ水量を停止させることが判明した。



出典：鈴木健吾・伏屋玲子・吉田 誠・松山幸彦(2011)シャットネラ属に対する甲殻類、貝類の影響試験. 平成22年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シャットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明、漁業被害防止・軽減技術に関する研究報告書」, p. 27-34.

アサリに対するシャットネラの影響。他の二枚貝同様、アサリは20,000 cells/mLの高密度シャットネラ曝露によっても48時間以内にへい死は認めらなかった。



出典： 鈴木健吾・伏屋玲子・吉田 誠・松山幸彦(2011)シャットネラ属に対する甲殻類、貝類の影響試験. 平成22年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シャットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明、漁業被害防止・軽減技術に関する研究報告書」, p. 27-34.

この容器にはアサリが5個体收容された状態で試験が行われている。高密度のシャットネラ赤潮(右側)では、アサリはシャットネラを全く取り込んでいない。

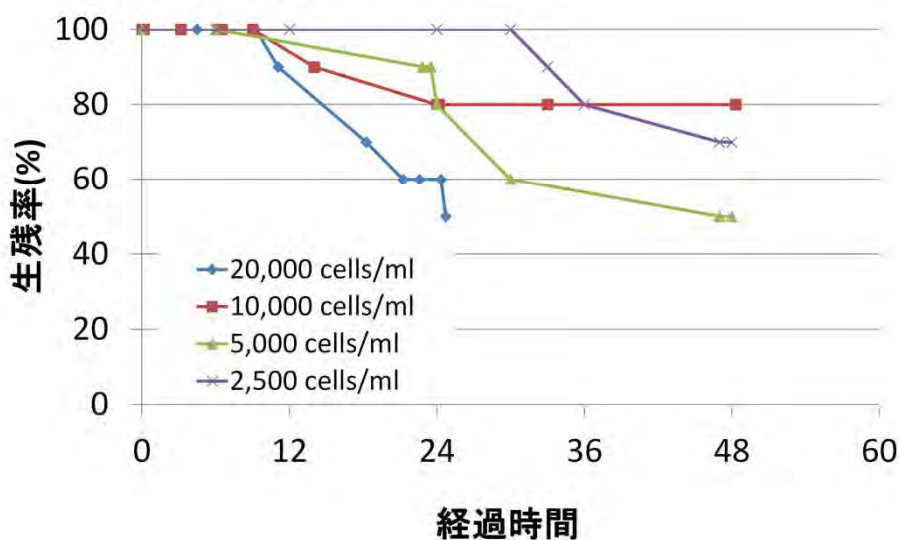
同じクロロフィル密度である左側のキートセロス(珪藻類)は、ほぼ19時間でアサリに除去されている。

二枚貝に対するシャットネラの影響試験

- 赤潮密度である1~2万cells/ml, 24時間曝露ではへい死は認められない
- → 魚類で認められる顕著な急性毒性は示さない
- 数百~2,000 cells/mLの細胞濃度でろ水活動が低下
 - 赤潮レベルの細胞密度に達すると、二枚貝によるシャットネラ赤潮の除去効果は期待できない

クルマエビに対するシャットネラの影響試験

生残率の推移



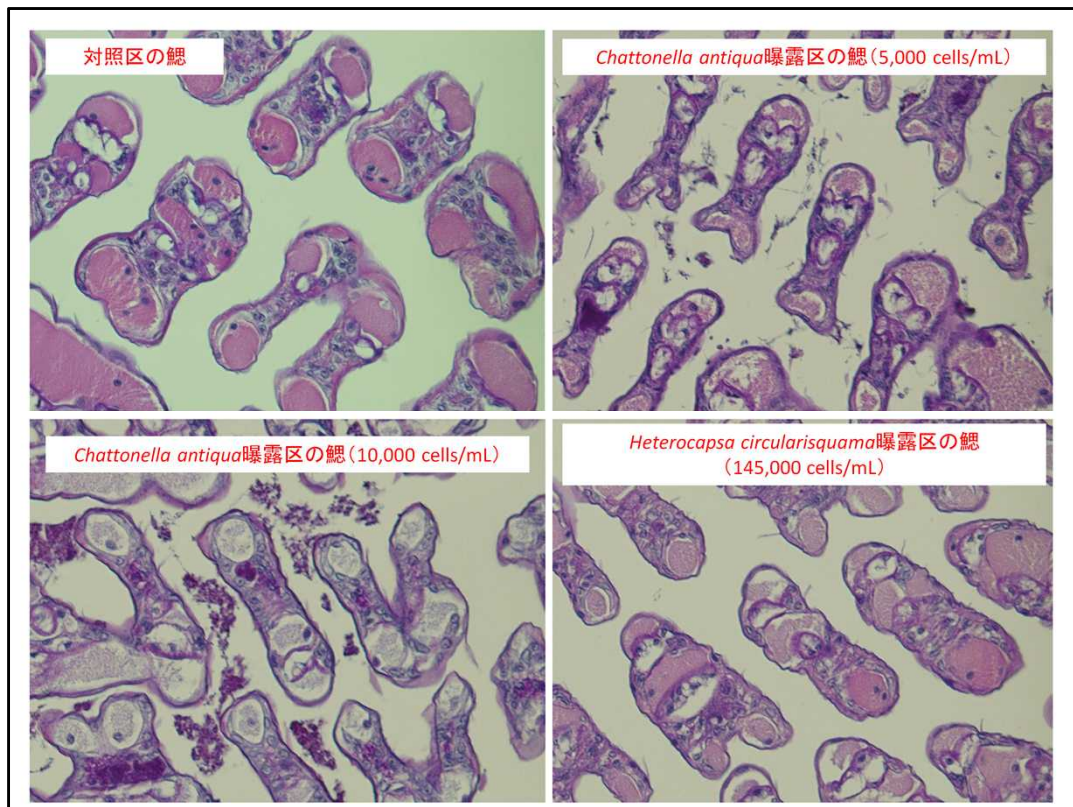
出典： 鈴木健吾・伏屋玲子・吉田 誠・松山幸彦(2011)シャットネラ属に対する甲殻類、貝類の影響試験. 平成22年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シャットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明、漁業被害防止・軽減技術に関する研究報告書」, p. 27-34.

シャットネラは稚クルマエビに対して急性毒性を示すことが明らかとなった。



出典： 鈴木健吾・伏屋玲子・吉田 誠・松山幸彦(2011)シャットネラ属に対する甲殻類、貝類の影響試験. 平成22年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シャットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明、漁業被害防止・軽減技術に関する研究報告書」, p. 27-34.

シャットネラを曝露されたクルマエビは、鰓の強い着色(シャットネラ細胞の付着)が認められた。

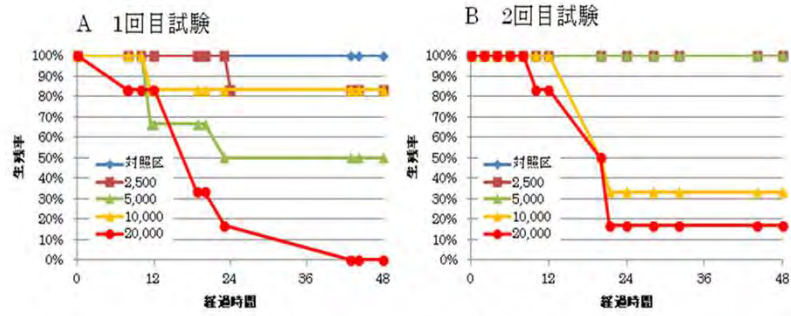


出典： 鈴木健吾・伏屋玲子・吉田 誠・松山幸彦(2011)シャットネラ属に対する甲殻類、貝類の影響試験. 平成22年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シャットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明、漁業被害防止・軽減技術に関する研究報告書」, p. 27-34.

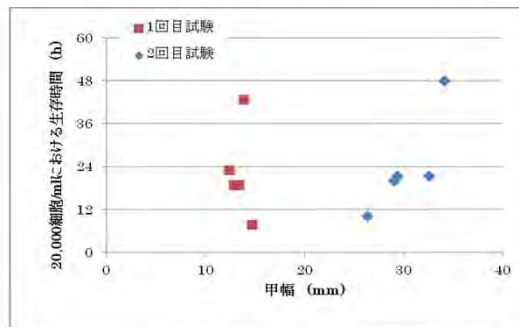
シャットネラを曝露されたクルマエビ鰓の組織切片画像。

高密度のシャットネラ曝露ほど、鰓の空隙にシャットネラ由来の粘液付着が認められた。鰓の組織そのものは傷害を受けておらず、物理的な閉塞による窒息死の可能性が示唆される。

ガザミ



シヤットネラ曝露試験時の生残率の推移



シヤットネラ20,000 cells/mL曝露時の生存時間と甲幅の関係

出典： 松山幸彦・吉田 誠・鈴木健吾・栗原健夫・橋本和正 (2012)シヤットネラ属に対する甲殻類、貝類および小型魚類への影響試験. 平成23年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シヤットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明に関する研究報告書」, p. 3-16.

シヤットネラは稚ガザミに対して急性毒性を示すことが明らかとなった。

ガザミ

鰓の様子



シャットネラ曝露個体(右)と対照区(左)の鰓



ヘテロカプサ曝露個体(右)と対照区(左)の鰓

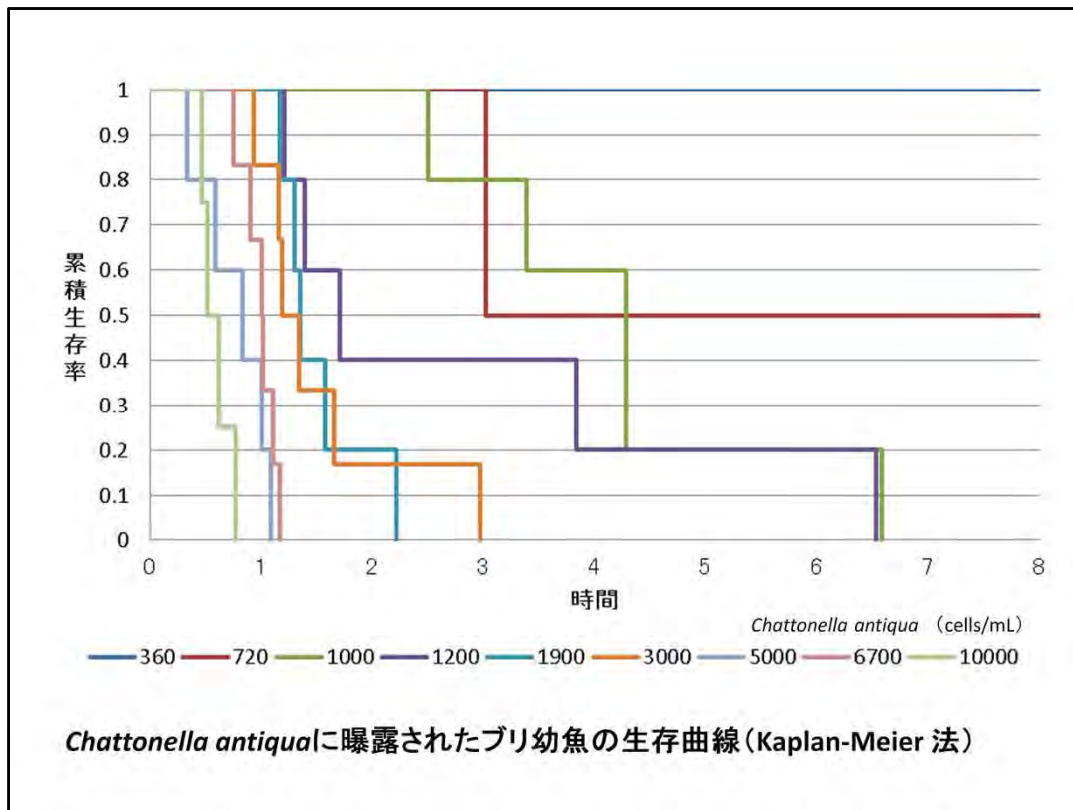
出典：松山幸彦・吉田 誠・鈴木健吾・栗原健夫・橋本和正
(2012)シャットネラ属に対する甲殻類、貝類および小型魚類への影響試験. 平成23年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シャットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明に関する研究報告書」, p. 3-16.

クルマエビ同様に、シャットネラを曝露されたガザミは、鰓の強い着色(シャットネラ細胞の付着)が認められた。

甲殻類に対するシャットネラの影響試験

結果

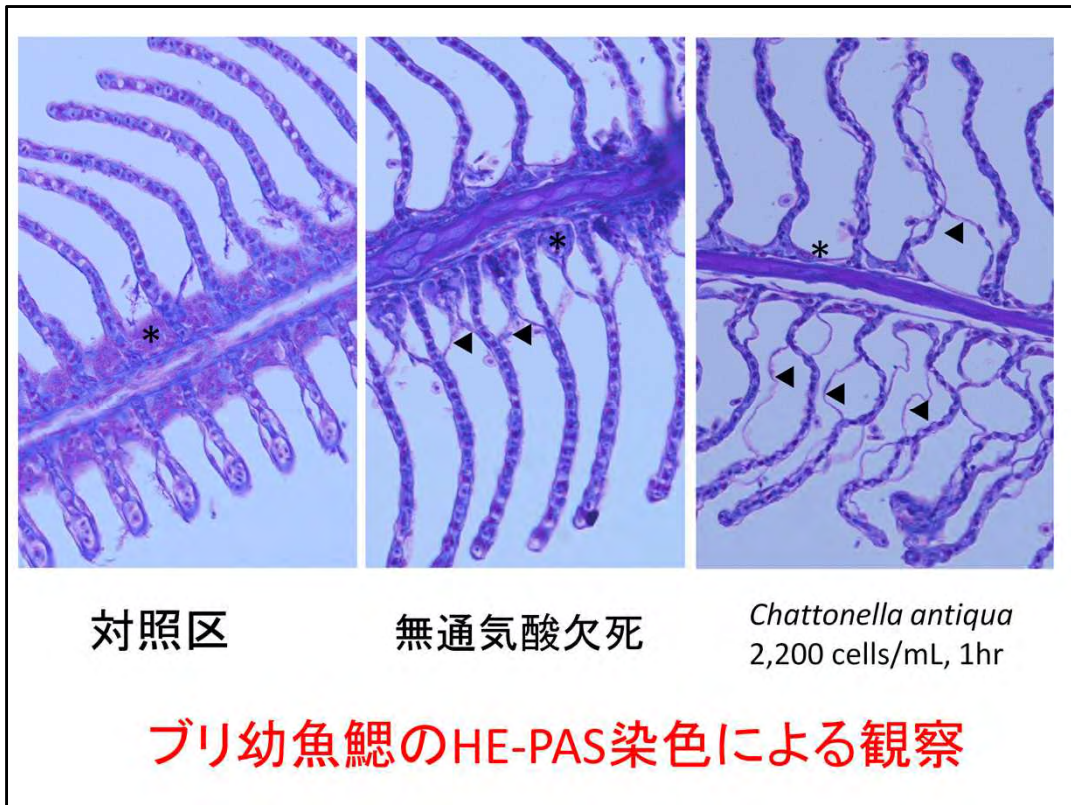
- 2,500 cells/mL以上, 24時間の曝露によって、クルマエビ、ガザミのいずれもへい死した
→魚類同様に急性毒性あり
- *Chattonella antiqua*は、甲殻類の鰓に絡みついて窒息死させている可能性が高い
→赤潮発生期の不漁との因果関係が示唆される



出典： 松山幸彦・吉田 誠・鈴木健吾・栗原健夫・橋本和正 (2012) シャットネラ属に対する甲殻類、貝類および小型魚類への影響試験. 平成23年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シャットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明に関する研究報告書」, p. 3-16.

Yoshida M, Nagae A, Matsuyama Y. (2012). Effect of monoculture of raphidophyte *Chattonella antiqua* on the survival rate of the juvenile Japanese amberjack *Seriola quinqueradiata*. The 15th international conference on Harmful Algae abstract book, p.194.

培養されたシャットネラはブリ幼魚に対して濃度依存的に強い魚毒性を示す。ブリ幼魚の場合は、720 cells/mL以上でへい死が認められた。

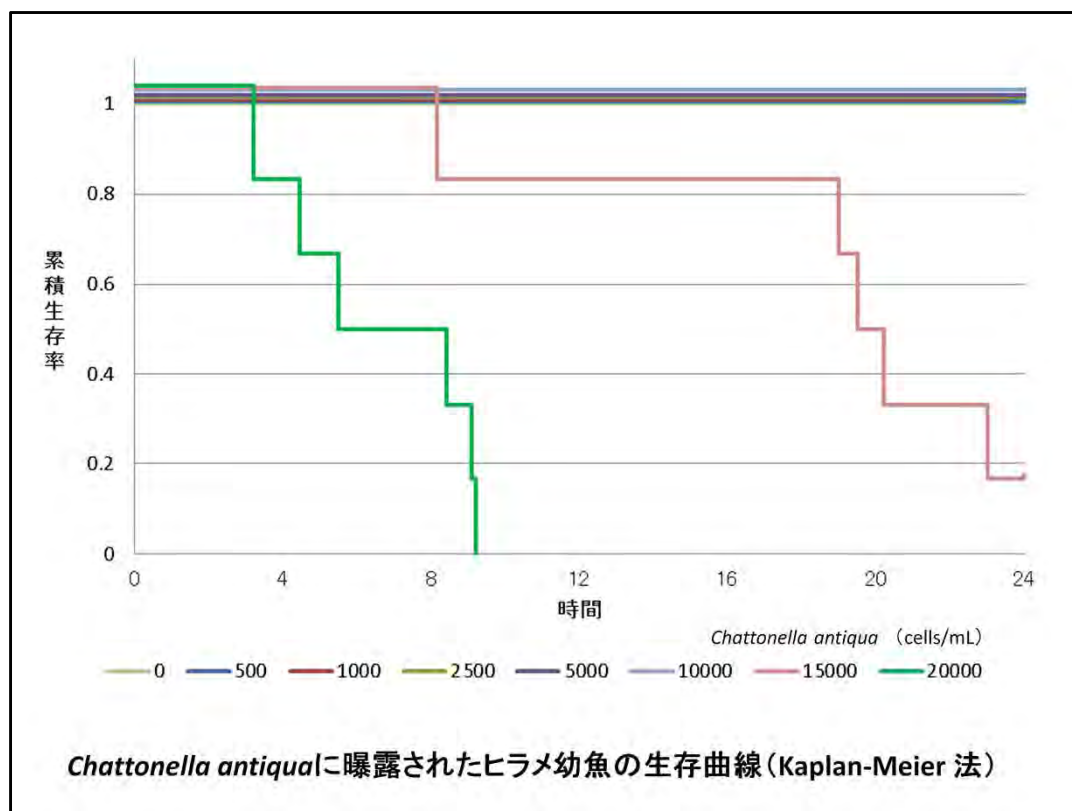


出典： 松山幸彦・吉田 誠・鈴木健吾・栗原健夫・橋本和正
(2012)シャットネラ属に対する甲殻類、貝類および小型魚類への影響試験. 平成23年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シャットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明に関する研究報告書」, p. 3-16.

Yoshida M, Nagae A, Matsuyama Y. (2012). Effect of monoculture of raphidophyte *Chattonella antiqua* on the survival rate of the juvenile Japanese amberjack *Seriola quinqueradiata*. The 15th international conference on Harmful Algae abstract book, p.194.

ブリ幼魚鰓の組織切片画像。無通気へい死区では上皮細胞の浮腫(▲)が進行しつつあるが、鰓の形状はほぼ保たれている。

シャットネラ曝露区では、広範囲に上皮細胞の浮腫(▲)と二次鰓弁間細胞(*)の消失が認められ、過去のシャットネラ曝露試験で得られた知見にほぼ合致する。



出典：松山幸彦・永江 彬・鈴木健吾・栗原健夫・橋本和正 (2013) シャットネラ属に対する甲殻類、貝類および小型魚類への影響試験. 平成24年度赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「シャットネラ属有害プランクトンの魚介類への影響、毒性発現機構の解明に関する研究報告書」, p. 3-10.

ブリ幼魚と同じ条件でヒラメ幼魚を用いて曝露試験を実施した。

ヒラメはブリ幼魚と異なり、15,000 cells/mL以上でのみへい死が認められるなど、シャットネラと比較すると強い耐性を示した。

既往知見でもブリが赤潮に弱く、マダイやヒラメは強いと言われているが、本試験結果はそれを支持するものである。

魚類に対するシャットネラの影響試験

結果

- ブリの幼魚では720 cells/mL以上, ヒラメでは15,000 cells/mL, 24時間の曝露によってへい死した
→急性毒性あり、ただし魚種特異性高い
- *Chattonella antiqua*に曝露された魚類の鰓は、顕著な組織傷害、粘液による閉塞現象が認められる
→鰓の機能障害による窒息死であることが改めて確認された

室内曝露試験で得られたシャットネラの影響試験結果

試験生物	致死性	生理傷害	特記事項
ブリ幼魚	有(1,000 cells/mL以上)	二次鰓弁間細胞の消失、上皮浮腫	成魚と同じ症状
マアジ	有(2,000 cells/mL以上)	〃	
ヒラメ	有(15,000 cells/mL以上)	鰓の物理的閉塞	
マガキ	無(10,000 cells/mLまで)	ろ水率低下(2,000 cells/mL以上)	
タイラギ	無(10,000 cells/mLまで)	ろ水率低下(2,000 cells/mL以上)	
アサリ	無(20,000 cells/mLまで)	鰓に異常なし ろ水率低下(150-200 cells/mL以上)	珪藻混在でろ水率は若干回復
サルボウ	無(4,000 cells/mLまで)	ろ水率低下(2,000 cells/mL以上)	
クルマエビ	有(2,500 cells/mL以上)	鰓の物理的閉塞、組織傷害なし	著しい潜砂行動
ガザミ	有(5,000 cells/mL以上)	鰓の物理的閉塞、組織傷害なし	

(6)

赤潮に対する被害軽減策

既に現場海域で普及している 赤潮被害軽減策

- **避難** 効果的。労力、コスト、避難漁場確保が問題。大規模赤潮時は困難。
- **餌止め** 効果的。大規模赤潮発生時はへい死を抑制できない。
- **生簀沈下・網継ぎ** 効果的。水深によって鉛直的な制約があり
- **粘土散布** 効果的。ベントスへの影響が不明
- **早期出荷** 被害を回避するには効果的。経済的メリットを考慮する必要がある

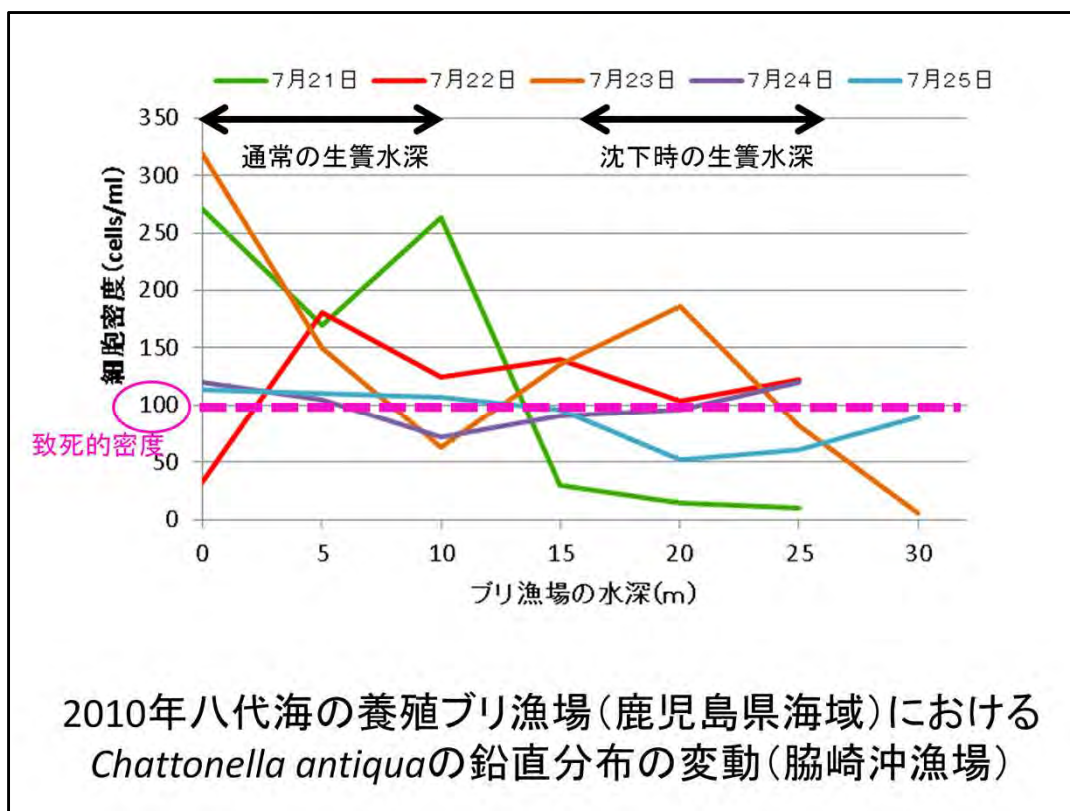
沈下式生簀を活用する場合考慮すべき項目

赤潮プランクトンの日周鉛直移動

- シャットネラ、ヘテロシグマ
7～10m

- コクロディニウム、カレニア
15～25m程度

赤潮の盛期に盛んに上下遊泳運動を行うことが判明している。下降時は細胞の集塊がやや逸散する

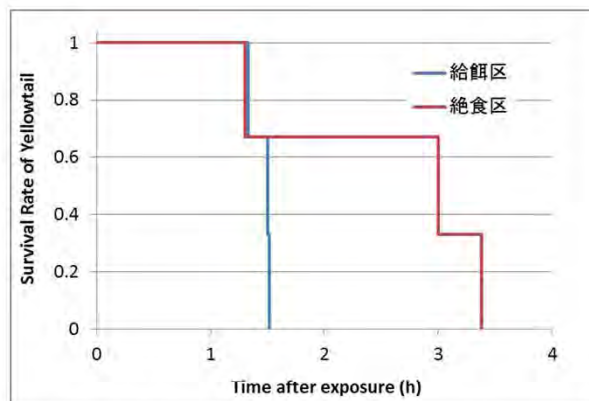


資料： 東町漁業協同組合提供

櫻田ら(2013)において、八代海での*Chattonella antiqua*は水深10 m以浅に大部分の細胞が分布していることが判明した。一方で、2010年の八代海南部(鹿児島県海域)での*C. antiqua*鉛直出現特性を示す。

2010年赤潮発生時に、いくつかの養殖漁業者は通常表層から10 m深に位置している生簀を水深15 m以深に沈下させることで、*C. antiqua*赤潮に曝露されることを防ぐ被害回避策を実施した。しかし、実際の漁場では水深25 m以深まで*C. antiqua*が致死密度で分布しており、漁業被害を回避できなかった。八代海南部では、漁場周辺での鉛直的な水塊の混合が示唆される。

餌止め効果



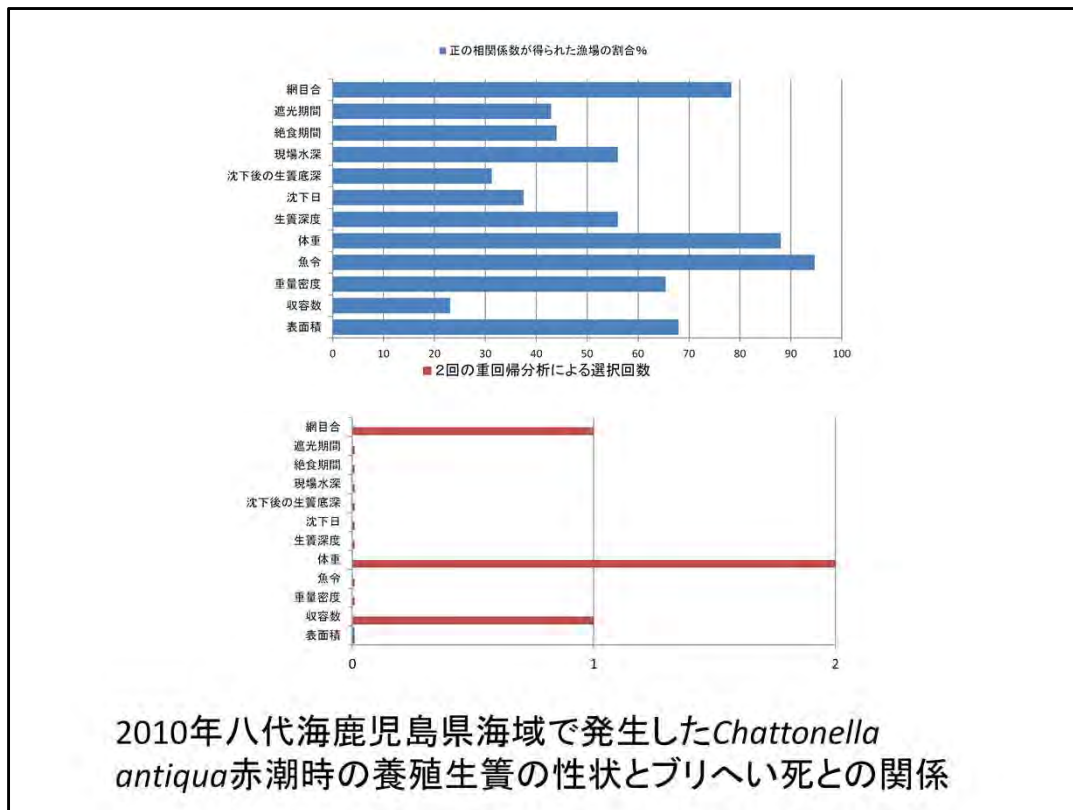
ブリ幼魚を4日間餌止めした後に*Chattonella antiqua*を曝露
(1,300 cells/mL)

ブリ幼魚の酸素要求量

試験区名 N=5	酸素消費速度 (mgO ₂ /g/h)
給餌区	0.39±0.09
餌止め96hr区	0.36±0.06

資料： 松山幸彦・吉田 誠・吉田一範・堀田卓郎・中川雅弘・津崎龍雄(2011)絶食がモジャコの貧酸素およびシャットネラ耐性に与える影響の予備的検討. 平成23年度日本水産学会秋季大会, 講演要旨集 p. 26.

4日間の絶食で延命効果は認められたものの、単位体重あたりの酸素消費速度に変化は認められない → 絶食の延命効果はあるが、酸素消費量の差異から、その科学的機作を明らかにできていない



出典：西海区水産研究所・鹿児島県・東町漁業協同組合（2012）2010年の八代海海域でのシャットネラ属赤潮発生と鹿児島県海域での養殖ブリの大量へい死現象：漁業者への聞き取り調査結果の統計的解析法による被害要因説明報告書, pp. 52.

上側の青い棒グラフの説明：東町漁協の27漁場における計612台の生簀を解析対象とした。各漁場内で、生簀ごとに変化する網目合・遮光期間・絶食期間などの生簀の性状と、ブリへい死率との間で相関係数を計算した。この相関係数が正になった漁場の、全漁場に対する割合を横軸に示した。「網目合の大きさ、収容しているブリの体重、収容しているブリの魚齢が大きい場合に、へい死率が高くなりやすい」という傾向を示した漁場が多かった。

下側の赤い棒グラフの説明：東町において欠測の少なかった2漁場における計220台の生簀を解析対象とした。各漁場内で、生簀ごとに変化する網目合・遮光期間・絶食期間などの諸性状と、ブリへい死率との間で重回帰分析を行った。生簀の各性質について、有意な相関を示した回数を横軸に示した。体重の大きなブリを収容している生簀が、有意にへい死率が高くなりやすかった。

以上の2通りの分析の結果、体重の大きなブリを収容している生簀ほど、赤潮でのへい死率が高いことが示唆された。従前から大型魚ほど赤潮に弱いと指摘されていたが、それが統計的にも明らかとなった。

従って、大型魚をできるだけ赤潮リスクの低い漁場で飼育すること、また赤潮発生時は、大型魚を中心に避難や早期出荷に重点を置いた対策が被害軽減に有効である。

赤潮被害軽減策について

○赤潮発生状況をリアルタイムで周知し、餌止め、避難、生簀沈下、早期出荷等の被害回避策を徹底する

○防除技術については、費用対効果、環境への影響を見極めて慎重に実施する必要がある

○赤潮発生海域における養殖業の場合、養殖形態の再検討(魚サイズや魚種ごとの漁場選定)は慎重に行う必要がある

○長期的には赤潮発生そのものの抑制を目指す必要があるが、何が赤潮発生抑制に有効なのか、科学的知見が必ずしも十分ではない