

有明海・八代海等総合調査評価委員会
生物・水産資源・水環境問題検討作業小委員会（第10回）
日時：2015年9月16日 10:00～12:00
場所：中央合同庁舎4号館 共用108会議室

冬季の珪藻赤潮とノリの色落ちについて

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
長崎県総合水産試験場
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
佐賀大学低平地沿岸海域研究センター
水産総合研究センター西海区水産研究所

全体構成

1. 有明海，八代海におけるノリ養殖

- ・全国のノリ養殖の現状
- ・有明海，八代海におけるノリ養殖の生産枚数や生産額などの推移 など

2. ノリ養殖における色落ちの重要性とそのメカニズム

- ・生産枚数や生産額の推移と色落ち被害の発生との関係
- ・ノリの色落ちのメカニズム など

3. ノリの色落ちと珪藻赤潮との関係

- ・ノリの色落ち被害の発生と珪藻赤潮の発生（時期・期間など）との関係 など

4. 主要な珪藻類による赤潮の発生状況と発生機構

- ・*Rhizosolenia imbricata*
- ・*Eucampia zodiacus*
- ・*Asteroplanus karianus*

1. 有明海，八代海におけるノリ養殖

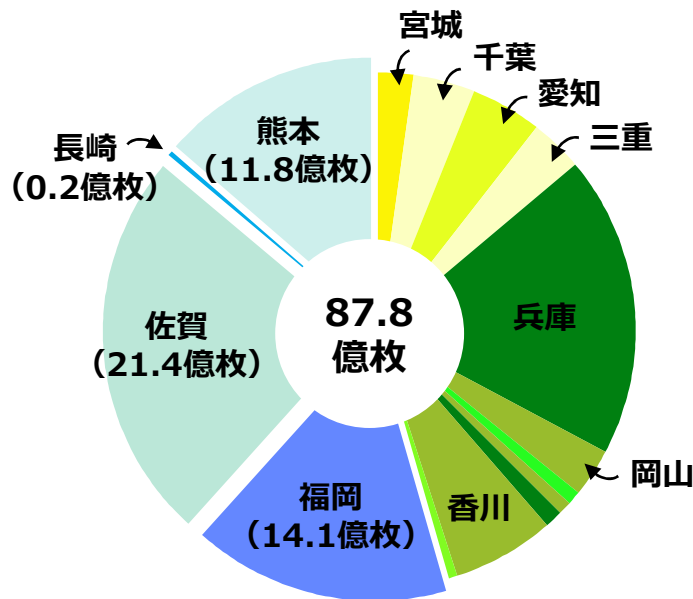
- ・ 全国のノリ養殖の現状
- ・ 有明海，八代海におけるノリ養殖の生産枚数や生産額などの推移

など

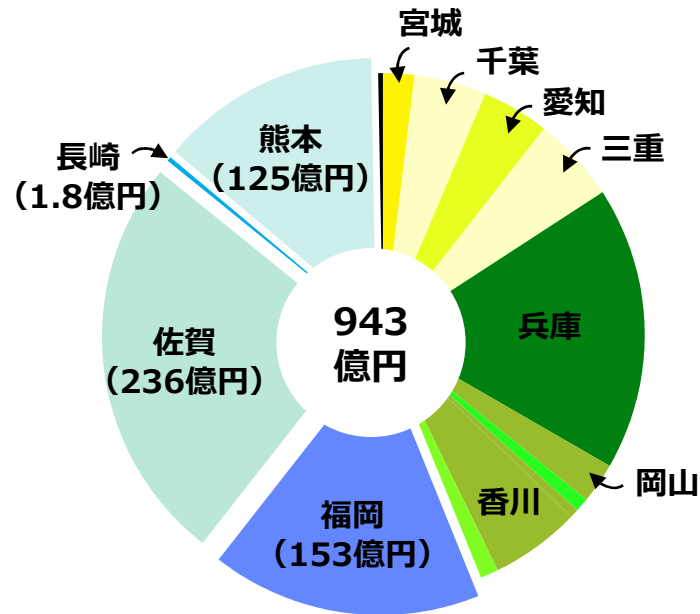
全国のノリ養殖の現状

- ▶ 近年、わが国の養殖ノリ生産枚数および生産額は、それぞれ80～90億枚および800～950億円程度で推移している。
- ▶ 福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県の5県で、わが国の養殖ノリ生産枚数の54%、生産額の55%を占める（平成24年）。
→ 有明海・八代海におけるノリ養殖の生産は、全国のノリ養殖やノリの流通などに多大な影響を及ぼす。

(1) 生産枚数



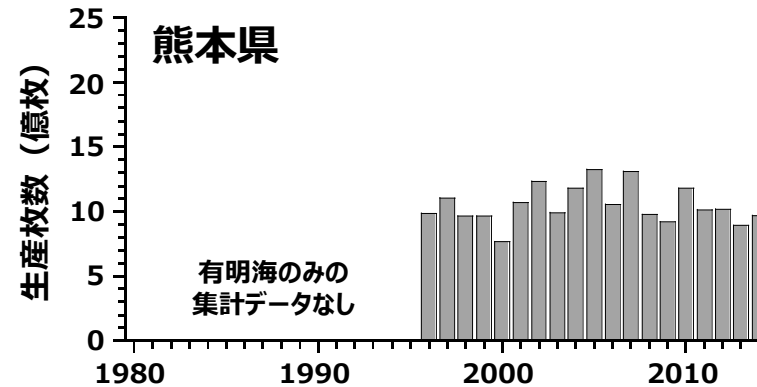
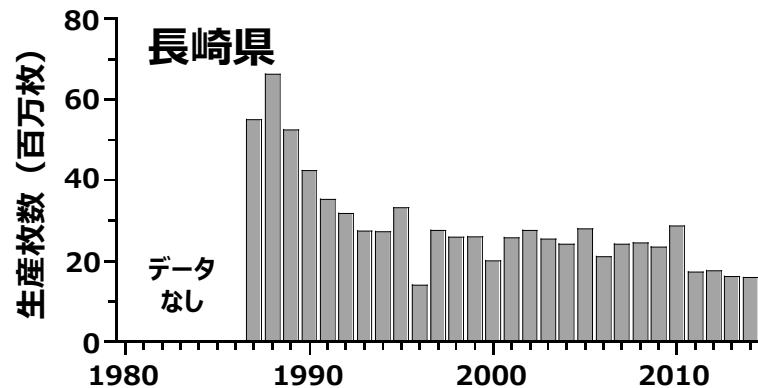
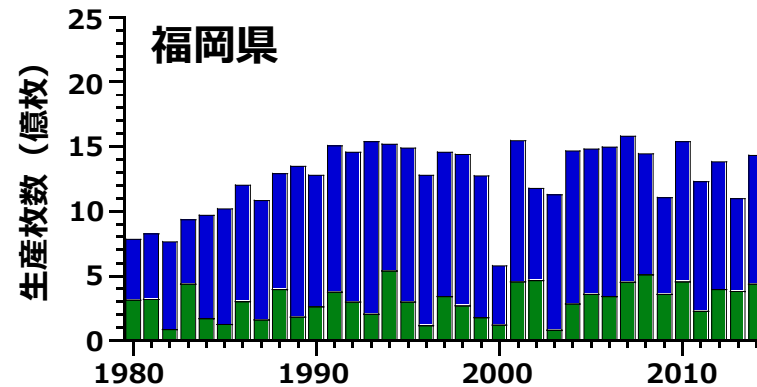
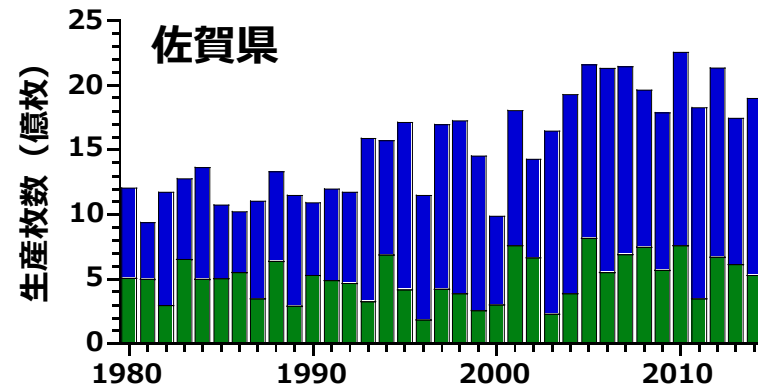
(2) 生産額



平成24年における養殖ノリの産地別生産枚数と生産額

有明海におけるノリ養殖の生産枚数の推移

- ▶ 福岡県：1980年代中頃以降，概ね10～15億枚の範囲で推移。
- ▶ 佐賀県：1990年代前半以降，概ね15～20億枚前後で推移。
- ▶ 熊本県：1990年代後半以降，概ね10億枚前後で推移。
- ▶ 長崎県：1990年前後に減少し，1990年代中頃以降，2千万枚前後で推移。

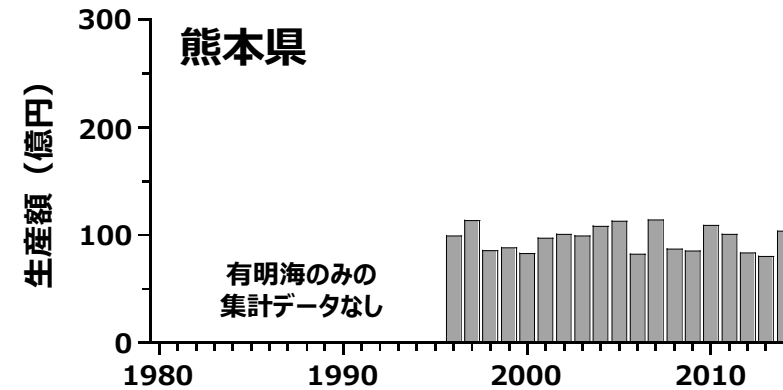
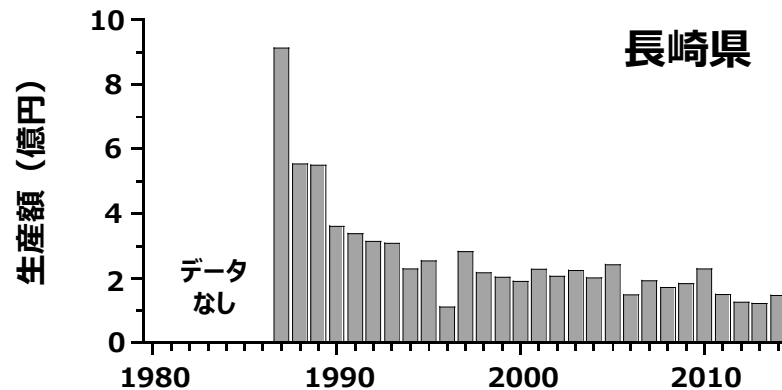
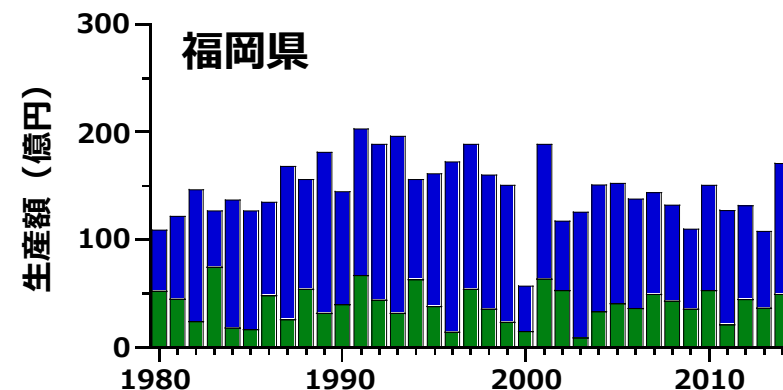
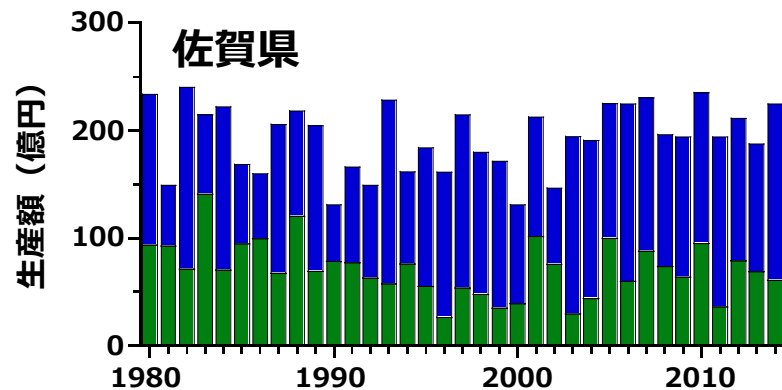


有明海における養殖ノリの県別生産枚数 (■; 秋芽網期, ■; 冷凍網期) の推移。
長崎県，熊本県については，漁期を通じた総生産枚数を示す。

各県機関からの提供データをもとに作成

有明海におけるノリ養殖の生産額の推移

- ▶ 福岡県：1980年代以降、概ね150億円前後で推移。
- ▶ 佐賀県：1980年代以降、概ね150～200億円前後で推移。
- ▶ 熊本県：1990年代後半以降、概ね100億円前後で推移。
- ▶ 長崎県：1990年前後に減少し、1990年代中頃以降、概ね2億円程度で推移。

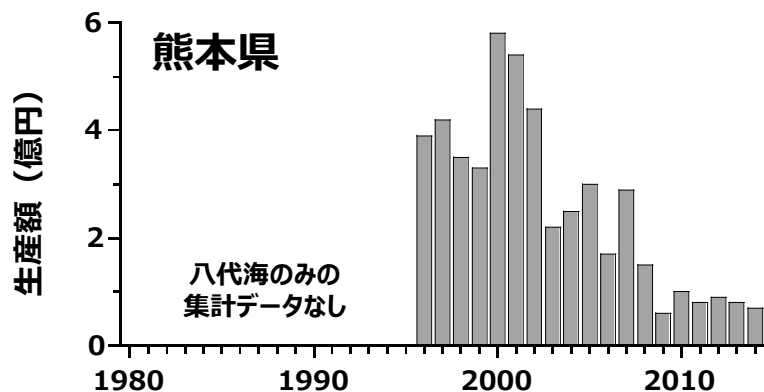
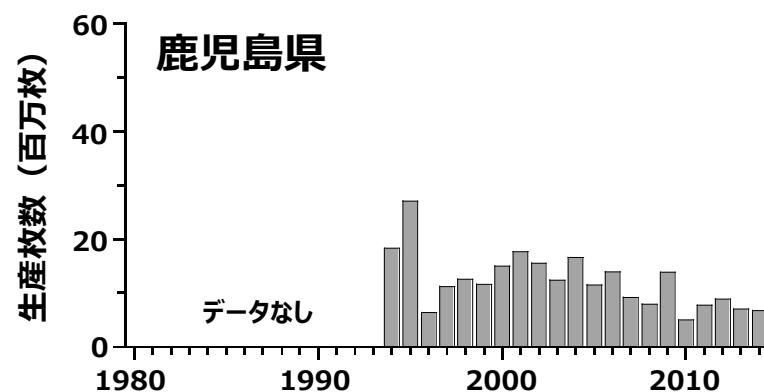
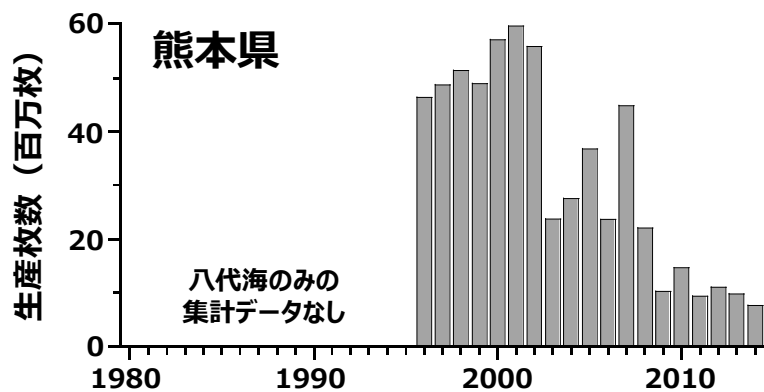


有明海における養殖ノリの県別生産額 (■; 秋芽網期, ■; 冷凍網期) の推移。
長崎県, 熊本県については, 漁期を通じた総生産額を示す。

各県機関からの提供データをもとに作成

八代海におけるノリ養殖の生産枚数・生産額の推移

- ▶ 熊本県：生産枚数は、2000年代前半以降、減少傾向にあり、2009年以降は、概ね1千万枚前後で推移。生産額も2000年代前半以降、減少傾向にあり、2009年以降は、概ね1億円前後で推移。
- ▶ 鹿児島県：生産枚数は、2000年代前半以降、減少傾向にあり、2010年以降は、概ね1千万枚弱で推移。



八代海における養殖ノリの県別生産枚数および生産額（熊本県のみ）の推移。

各県機関からの提供データをもとに作成

2. ノリ養殖における色落ちの重要性とそのメカニズム

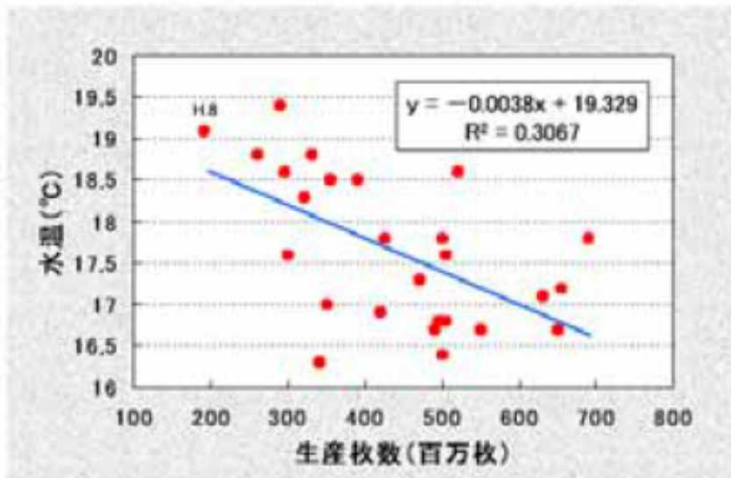
- ・ 生産枚数や生産額の推移と色落ち被害の発生との関係
- ・ ノリの色落ちのメカニズム

など

ノリ養殖の主な減産要因

▶ 有明海，八代海におけるノリ養殖の主な減産要因

- ① 秋季の高水温による漁期の短縮
- ② 病害（あかぐされ病，壺状菌病，スミノリ病など）
- ③ 食害（バリカン症など）
- ④ 色落ち



秋季水温と秋芽網期のノリ養殖生産枚数との関係（佐賀県）



養殖ノリのアカグサレ病



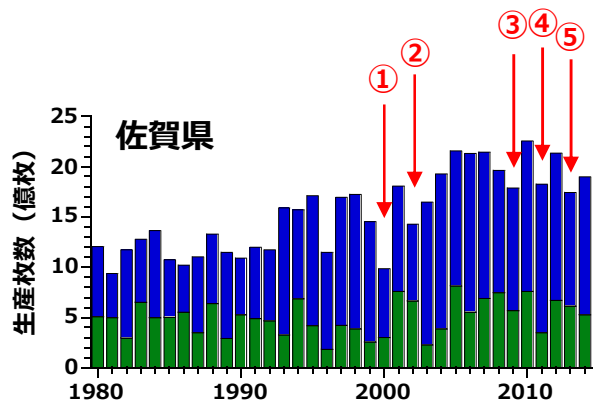
養殖ノリのバリカン症



養殖ノリの色落ち

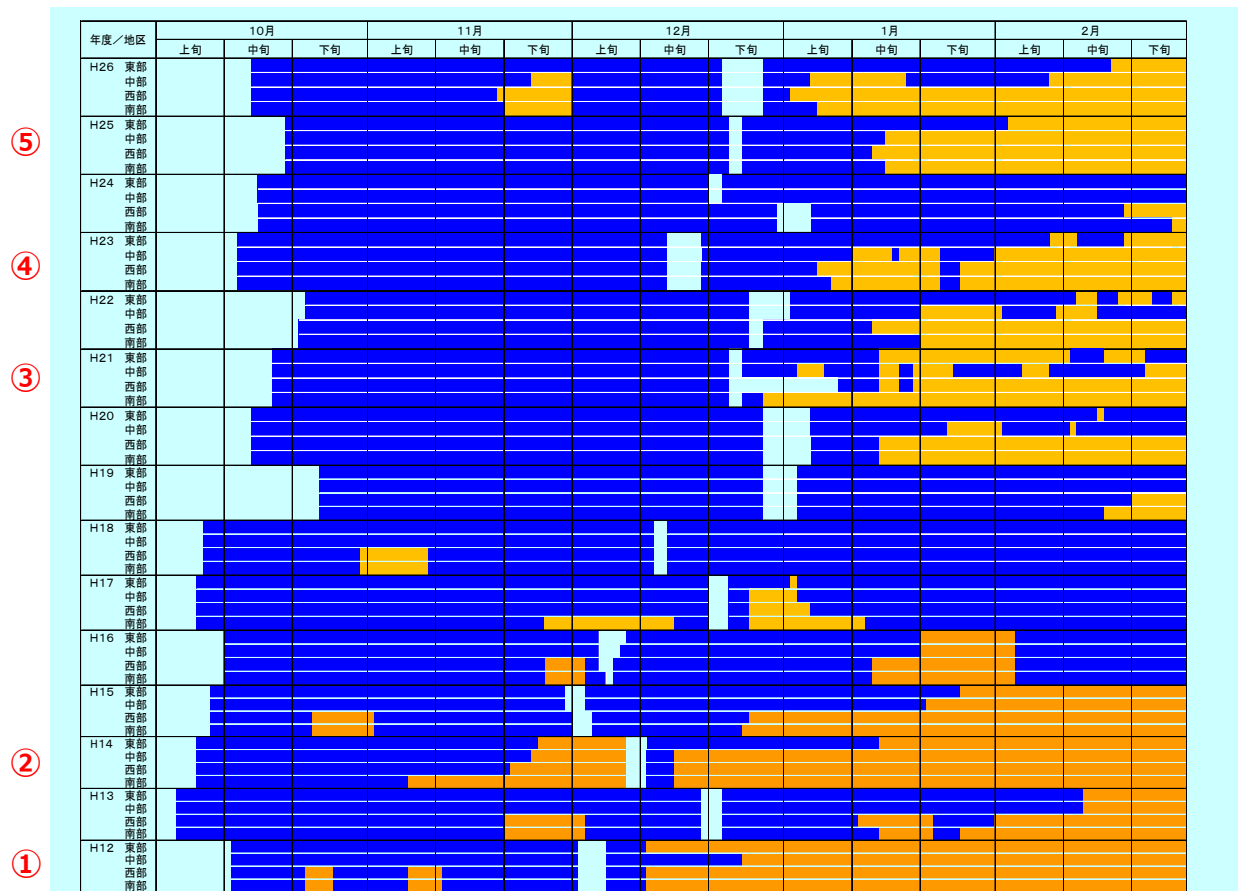
ノリ養殖における色落ちの重要性（有明海）

- ▶ 有明海におけるノリ養殖の生産量は、近年、高位横這い傾向で推移しているが、2000年度（平成12年度）の大不作に代表されるように、ノリの色落ちが長期にわたり発生すると、生産枚数、生産額が低下する。
- 色落ちは、有明海におけるノリ養殖の安定した生産を阻害する重要な要因のひとつである。



佐賀県海域における養殖ノリの生産枚数（■；秋芽網期，■；冷凍網期）の推移。

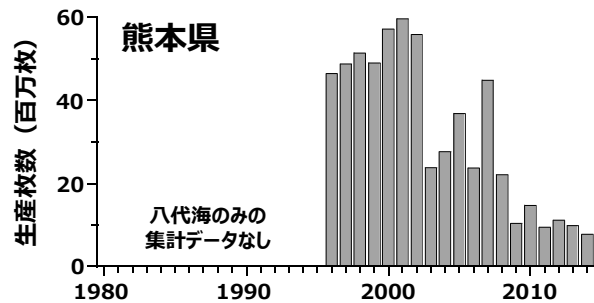
佐賀県有明水産振興センターからの提供データをもとに作成



佐賀県海域におけるノリ漁期（■）とノリの色落ちの発生期間（■）

ノリ養殖における色落ちの重要性（八代海）

- ▶ 八代海北部海域（熊本県海域）では，2000年代前半以降，生産枚数，生産額ともに減少傾向にある。
- ▶ 八代海北部海域では，2001年度（平成13年度）以降，毎年のようにノリの色落ち被害が発生している。



八代海北部海域（熊本県海域）における養殖ノリの生産枚数の推移。

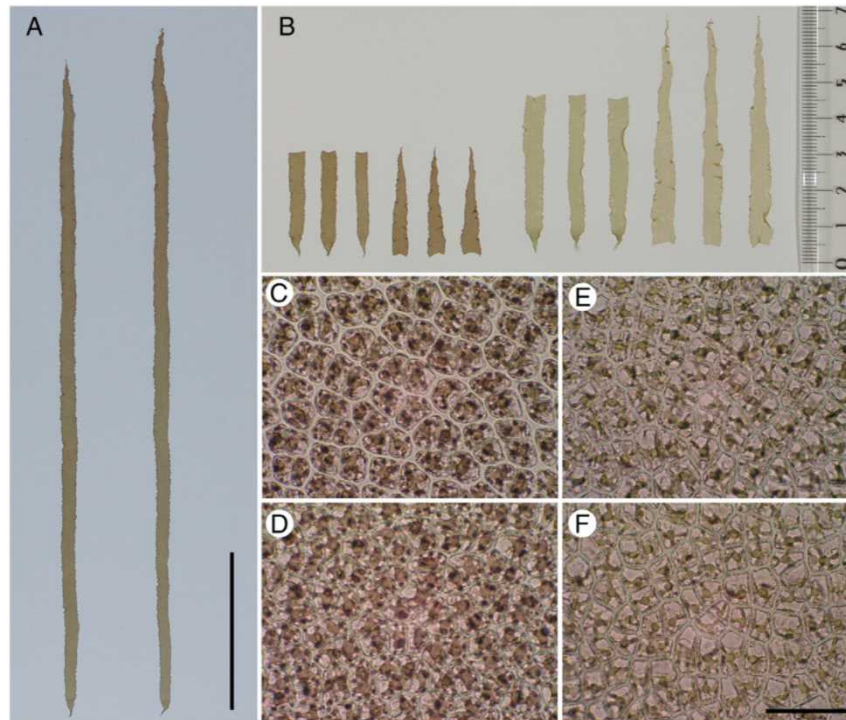
年度	10月上旬	10月中旬	10月下旬	11月上旬	11月中旬	11月下旬	12月上旬	12月中旬	12月下旬	1月上旬	1月中旬	1月下旬	2月上旬	2月中旬	2月下旬	3月上旬	3月中旬	3月下旬
平成26年度										■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成25年度										■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成24年度										■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成23年度									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成22年度				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成21年度				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成20年度																		
平成19年度																		
平成18年度									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成17年度									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成16年度									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成15年度								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成14年度								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成13年度										■	■	■	■	■	■	■	■	■
平成12年度																		
平成11年度																		

八代海北部海域（熊本県海域）におけるノリの色落ちの発生期間（データは1999年度（平成11年度）以降でそれ以前の集約されたデータはなし）

熊本県水産研究センターからの提供データをもとに作成

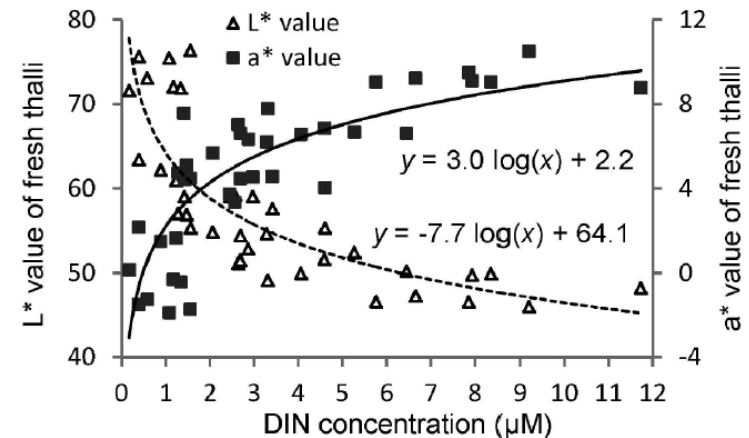
ノリの色落ちのメカニズム

- ▶ ノリ細胞中における色素（クロロフィル, フィコエリスリンなど）の生成が阻害されると色調が低下する（黒色→茶褐色）→『ノリの色落ち』
- ▶ ノリの色落ちのメカニズムの全容は明らかとなっていないが、海水中の栄養塩濃度の低下が重要な要因であると考えられている。
- ▶ 色落ちしたノリは、商品価値が下がるため、生産額の減少につながる。



色落ち試験におけるノリ葉状体の色調変化。(A) 色落ち前の葉状体, (B) 色落ち前と色落ち後の葉状体, (C, D) 色落ち前の葉状体細胞, (E, F) 色落ち後の葉状体細胞。

Niwa and Harada (2013) より引用



備讃瀬戸海域における溶存態窒素濃度とノリの色調 (L*値, a*値) との関係
L*値: 明るさ
a*値: 赤み

村山ら (2015) より引用

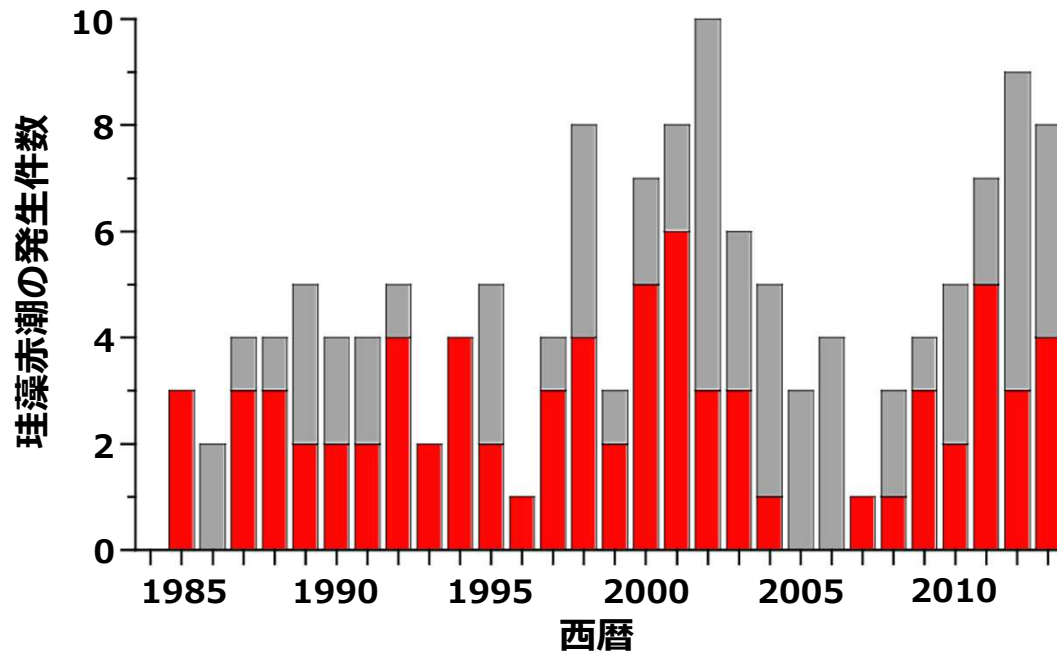
3. 川の色落ちと珪藻赤潮との関係

- **冬季の珪藻赤潮の発生件数および被害件数の推移**
- **川の色落ち被害の発生と珪藻赤潮の発生（時期・期間など）との関係**
- **川の色落ちの原因となる主な珪藻類**

など

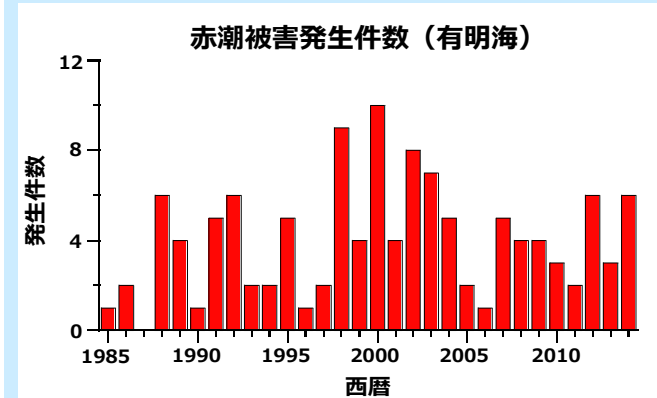
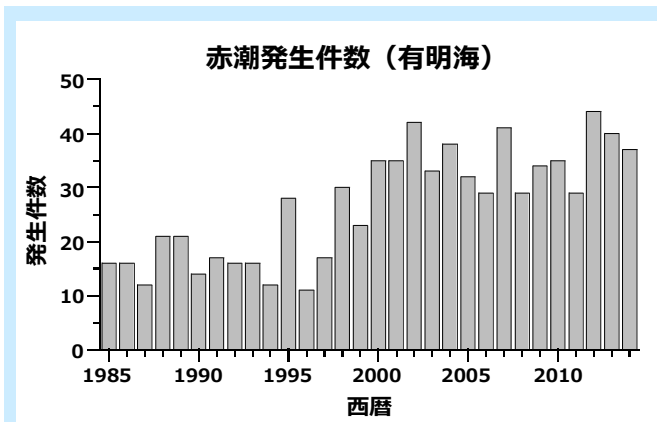
有明海における冬季の珪藻赤潮の発生件数

- ▶ 1980年代中頃～1990年代は、年間4～5件程度で推移。
- ▶ 2000年以降、急増。2005年前後に減少したものの、2010年以降、再び増加。
- ▶ 有明海における年間の赤潮発生件数のうち、約1/4を秋季～冬季の珪藻赤潮が占める。
- ▶ 有明海における赤潮による被害の大部分は、秋季～冬季の珪藻赤潮によるノリの色落ち被害。



有明海における秋季～冬季（10月～翌3月）の珪藻赤潮の発生件数の推移。赤色のバーは被害件数を示す。

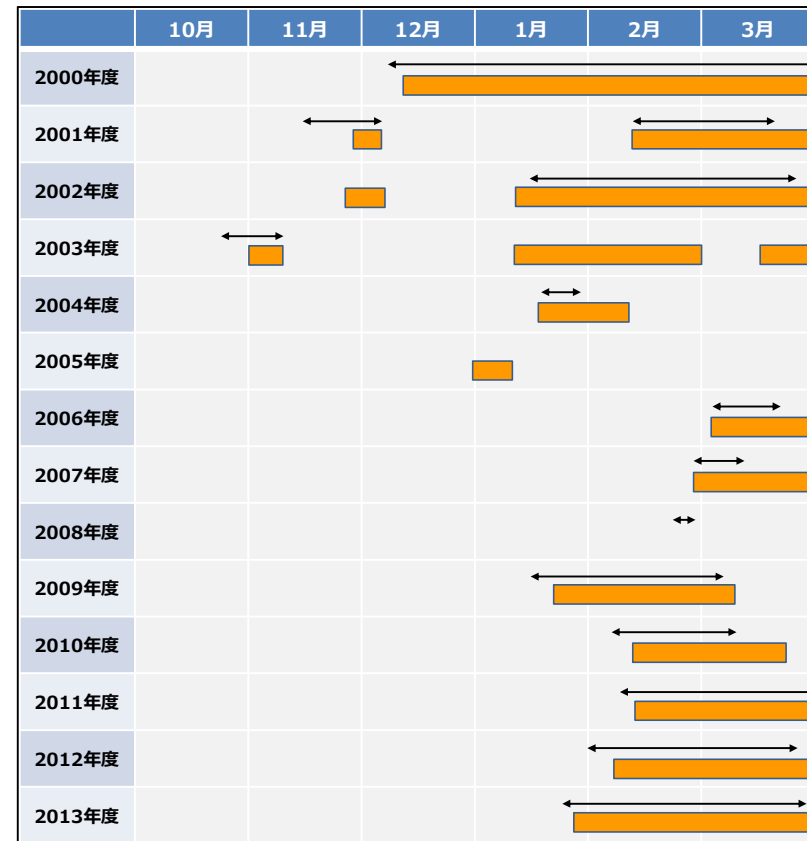
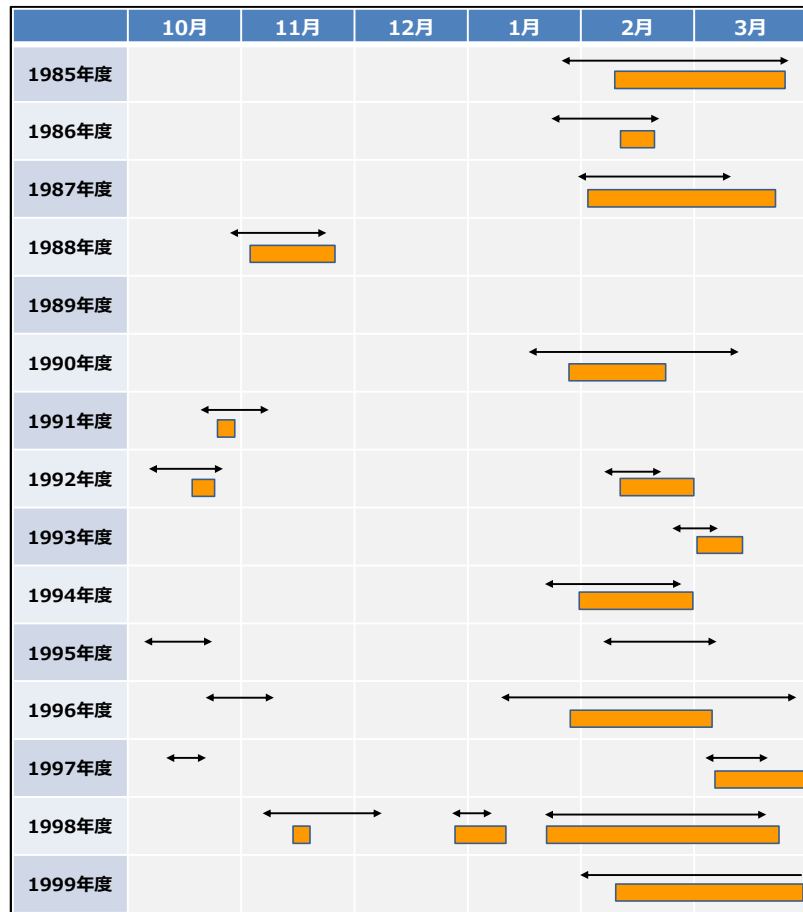
九州海域の赤潮（水産庁 九州漁業調整事務所）をもとに作成



（参考）有明海における赤潮の発生件数および被害発生件数の推移

ノリの色落ち被害の発生と珪藻赤潮の発生との関係

- ▶ 多くの場合、ノリの色落ちに先行して珪藻赤潮が発生。
 → 珪藻赤潮の発生による栄養塩濃度の急激な低下が有明海におけるノリの色落ちの発生をもたらす重要な要因であることを示唆。



有明海福岡県海域におけるノリの色落ちの発生期間（■）と珪藻赤潮の発生期間（←→）

福岡県水産海洋技術センター有明海研究所からの提供データをもとに作成

ノリの色落ちの原因となる主な珪藻類

- ▶ 一般的に、細胞あたりの栄養塩吸収量大きい大型の珪藻類がノリの色落ちを引き起こす原因プランクトンとして位置づけられている。

Eucampia zodiacus, *Coscinodiscus wailesii*, *Asteroplanus karianus*, *Rhizosolenia imbricata*など

- ▶ 小型珪藻類も、ノリ漁期に赤潮を形成すると、ノリの色落ちを引き起こす。



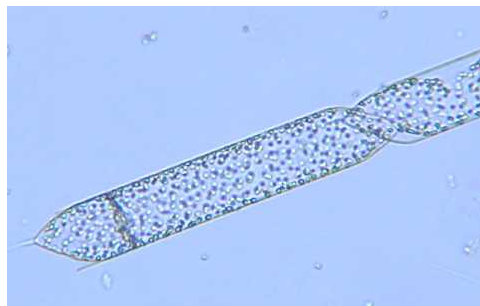
Eucampia zodiacus



Coscinodiscus wailesii



Asteroplanus karianus

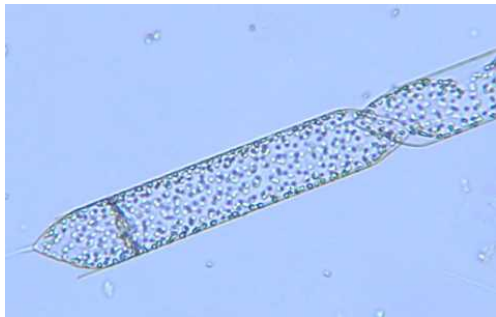


Rhizosolenia imbricata

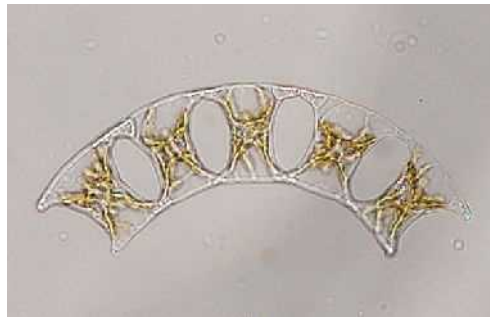


Skeletonema sp.

4. 主要な珪藻類による赤潮の発生 状況と発生機構



Rhizosolenia imbricata



Eucampia zodiacus

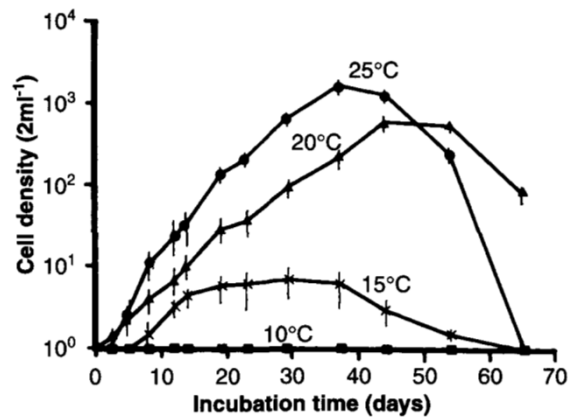


Asteroplanus karianus

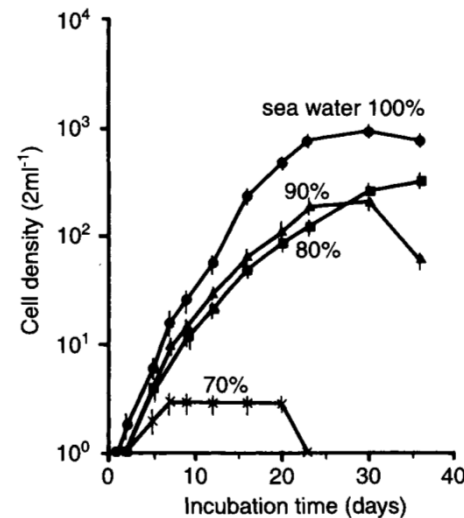
Rhizosolenia imbricata の生理・生態学的特徴

Rhizosolenia imbricata

- ・殻径10~60 μm , 殻長100~500 μm
- ・細胞は円筒形で, 数細胞からなる群体を形成するが多い。
- ・主に暖海の外洋に分布。
- ・水温15°C以上で増殖, 至適水温は20~25°C。
- ・低塩分への耐性が低い。
- ・栄養塩の要求性が低い (低濃度の栄養塩環境下でも増殖可能)
- ・2000年度の有明海におけるノリの大不作 (色落ち) の原因種と推定されている。



*Rhizosolenia imbricata*の増殖に及ぼす水温の影響

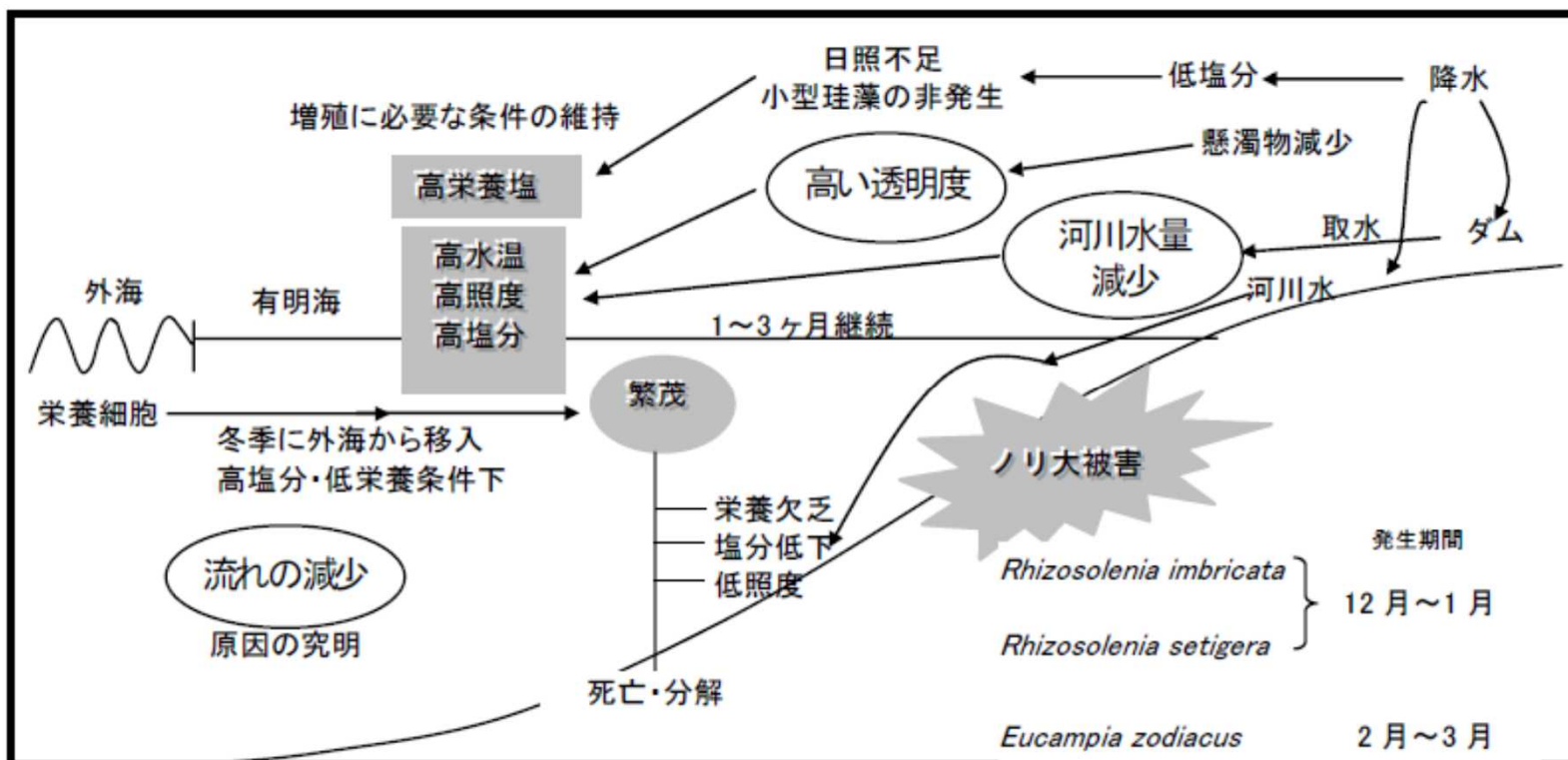


*Rhizosolenia imbricata*の増殖に及ぼす塩分の影響

佐々木・鬼頭 (2003)
より引用

Rhizosolenia imbricata による赤潮の発生機構

- ▶ 大型珪藻類として、主に*Rhizosolenia imbricata*を想定。
- ▶ *R. imbricata*は、塩分が高い冬季に外海から湾内に移入。日照不足等によって、小型珪藻の増殖が抑えられた後に、増殖に必要な条件（高水温、高照度、高栄養塩など）が整うと、大発生につながる。

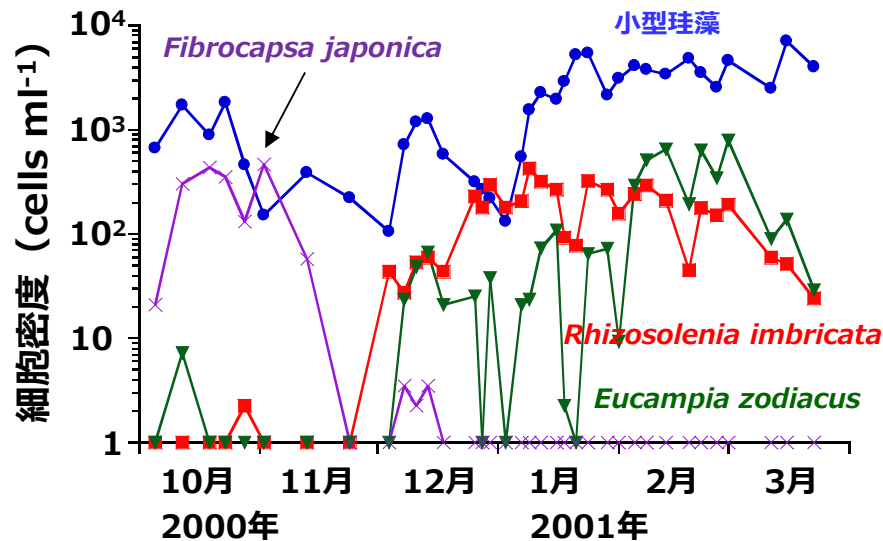


大型珪藻類の発生機構

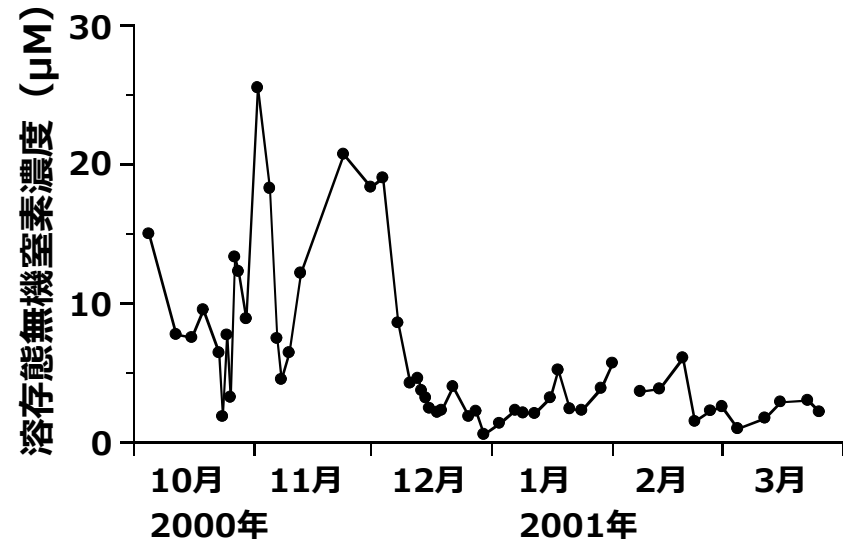
平成12年度秋季～冬季の有明海における *Rhizosolenia imbricata* と小型珪藻の動態

- ▶ 佐賀県海域では、*Fibrocapsa*による赤潮が消滅した12月初旬に*R. imbricata*の細胞密度が増加。直前に小型珪藻によるブルームは確認されなかった。
- ▶ *R. imbricata*の細胞密度が急増する直前の11月下旬～12月初旬における溶存態無機窒素はきわめて高濃度であった。
→ 平成18年委員会報告で提示された大型珪藻の発生機構を概ね支持

※ 平成12年度以降，有明海においては，本種による大規模な赤潮の発生は報告されていない。



平成12年度秋季～冬季の有明海佐賀県海域における
主要な植物プランクトンの細胞密度の推移



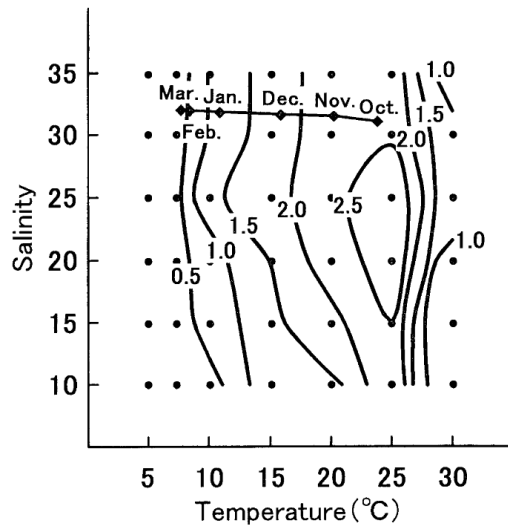
平成12年度秋季～冬季の有明海佐賀県海域における
溶存態無機窒素濃度の推移

佐賀県有明水産振興センターからの提供データをもとに作成

Eucampia zodiacus の生理・生態学的特徴

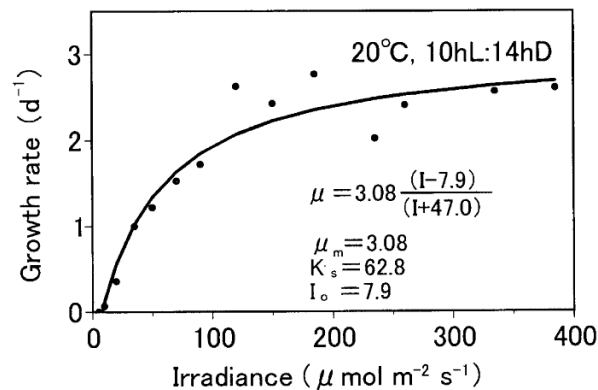
Eucampia zodiacus

- ・頂軸長13~100 μm
- ・細胞は扁平な楔形で、数細胞からなる螺旋状の群体を形成。
- ・極域を除く世界中の沿岸域に広く分布。
- ・広範な水温、塩分条件下で増殖可能（至適水温は25 $^{\circ}\text{C}$ ）。
- ・増殖には比較的高い光条件を必要とする。
- ・低水温条件下でも高い窒素取り込み能を維持。
- ・休眠細胞の存在が確認されていない。

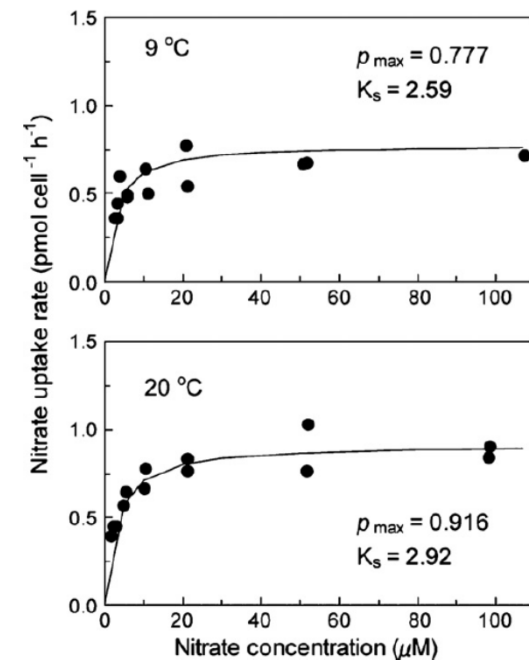


*Eucampia zodiacus*の増殖に及ぼす水温および塩分の影響

西川 (2002) より引用



*Eucampia zodiacus*の増殖速度と光強度との関係

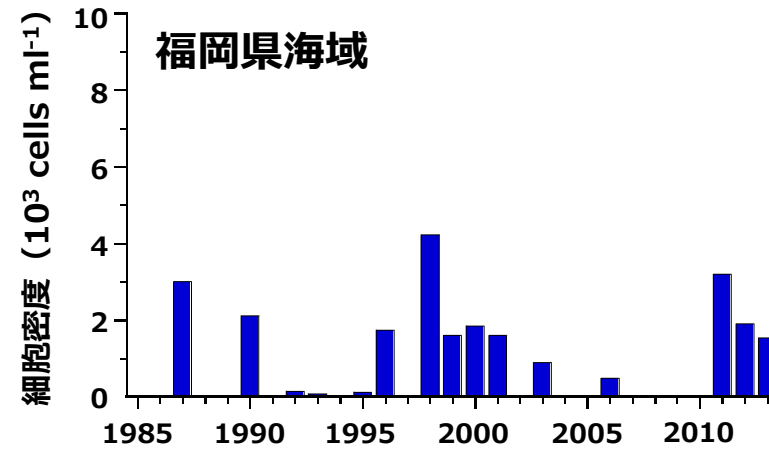
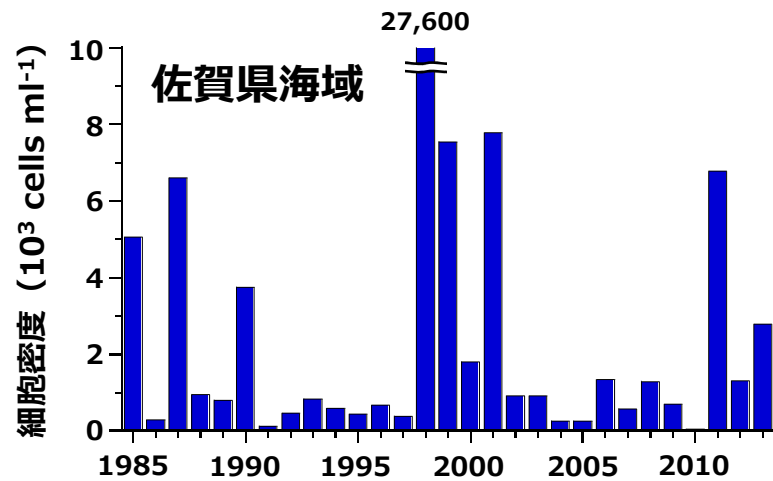


*Eucampia zodiacus*の硝酸態窒素の取り込み速度と硝酸態窒素濃度との関係

Nishikawa et al. (2009) より引用

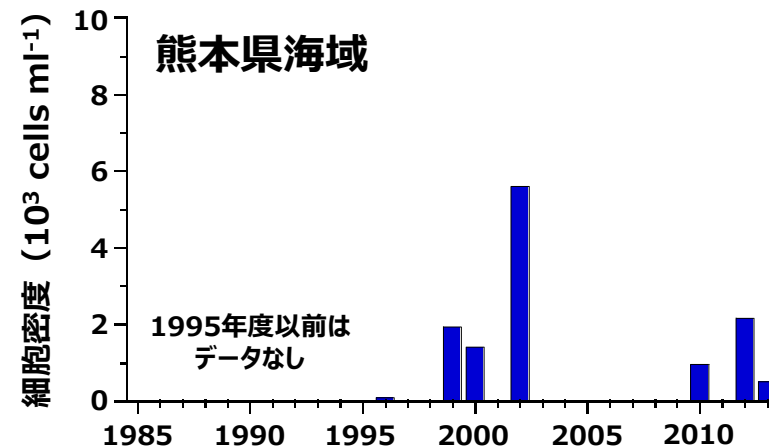
Eucampia zodiacus による赤潮の発生状況

- ▶ 有明海において、*E. zodiacus* は、1980年代後半（熊本県海域はデータなし）、2000年前後にも比較的高密度で出現していた。



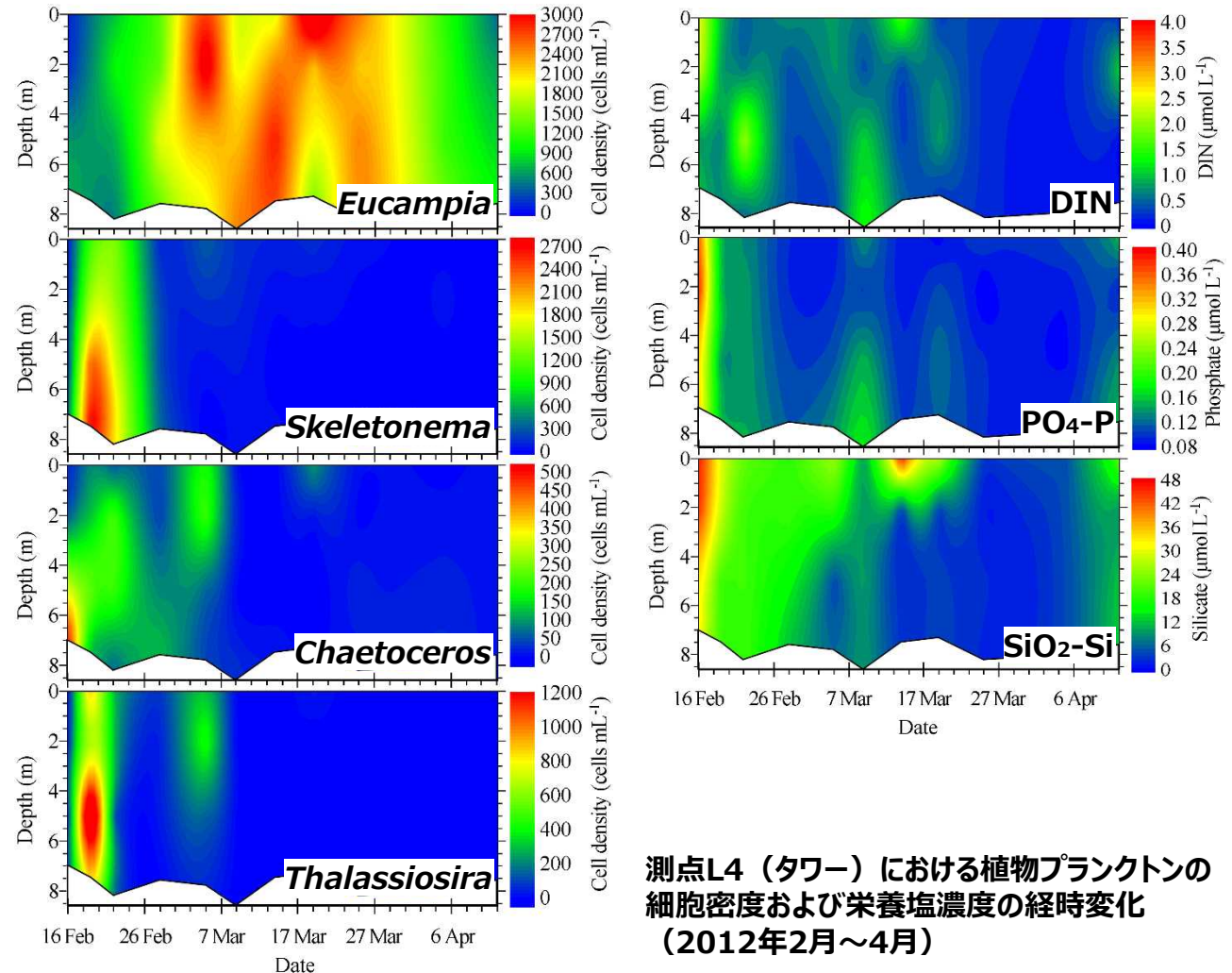
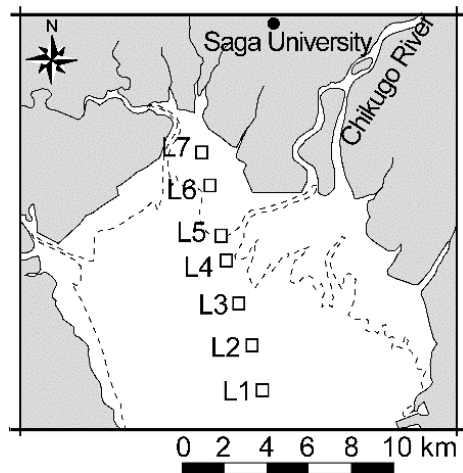
有明海の各県海域における*Eucampia zodiacus* の最高細胞密度の経年変化

各県機関からの提供データをもとに作成



Eucampia zodiacus による赤潮の発生機構（有明海）

- ▶ *Skeletonema* spp.などの小型珪藻の増殖，衰退後の2月下旬から，*E. zodiacus* の細胞密度が急激に増加した。また，*E. zodiacus* は表層から底層まで広範囲に分布。
- ▶ *E. zodiacus* の増殖にともない，栄養塩濃度が急激に低下した。

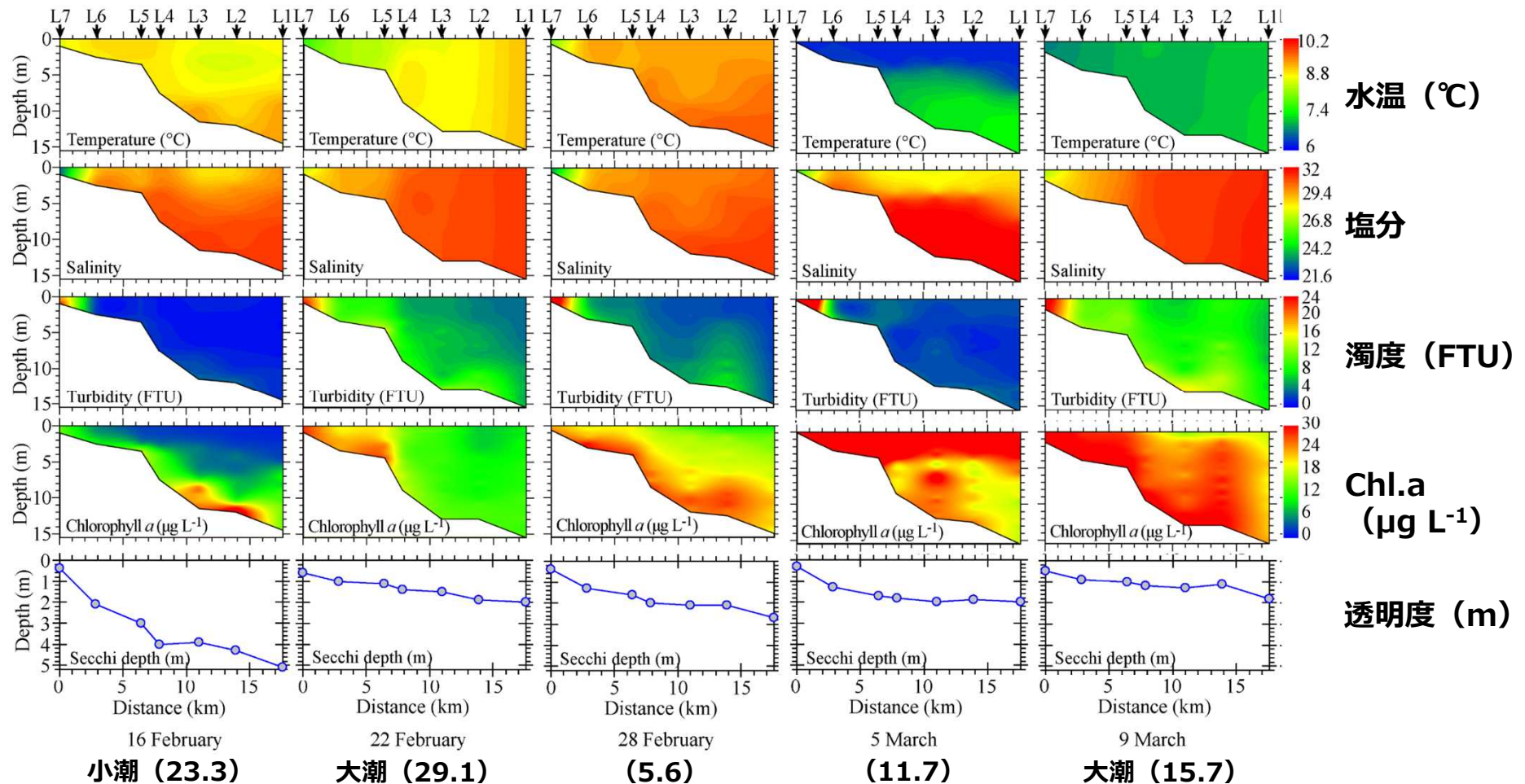


Ito et al. (2013) より引用

測点L4（タワー）における植物プランクトンの細胞密度および栄養塩濃度の経時変化（2012年2月～4月）

Eucampia zodiacus による赤潮の発生機構（有明海）

- ▶ 沖合域の底層に分布していた *E. zodiacus* の細胞密度は、小潮から大潮に向かう時期に増加した。
- ▶ *E. zodiacus* の細胞密度が増加する前の小潮期に、沖合域を中心に濁度が低下する傾向がみられた。
- ▶ *E. zodiacus* の細胞密度が急激に増加した3月上旬に、表層で低塩分の水塊が存在していた。

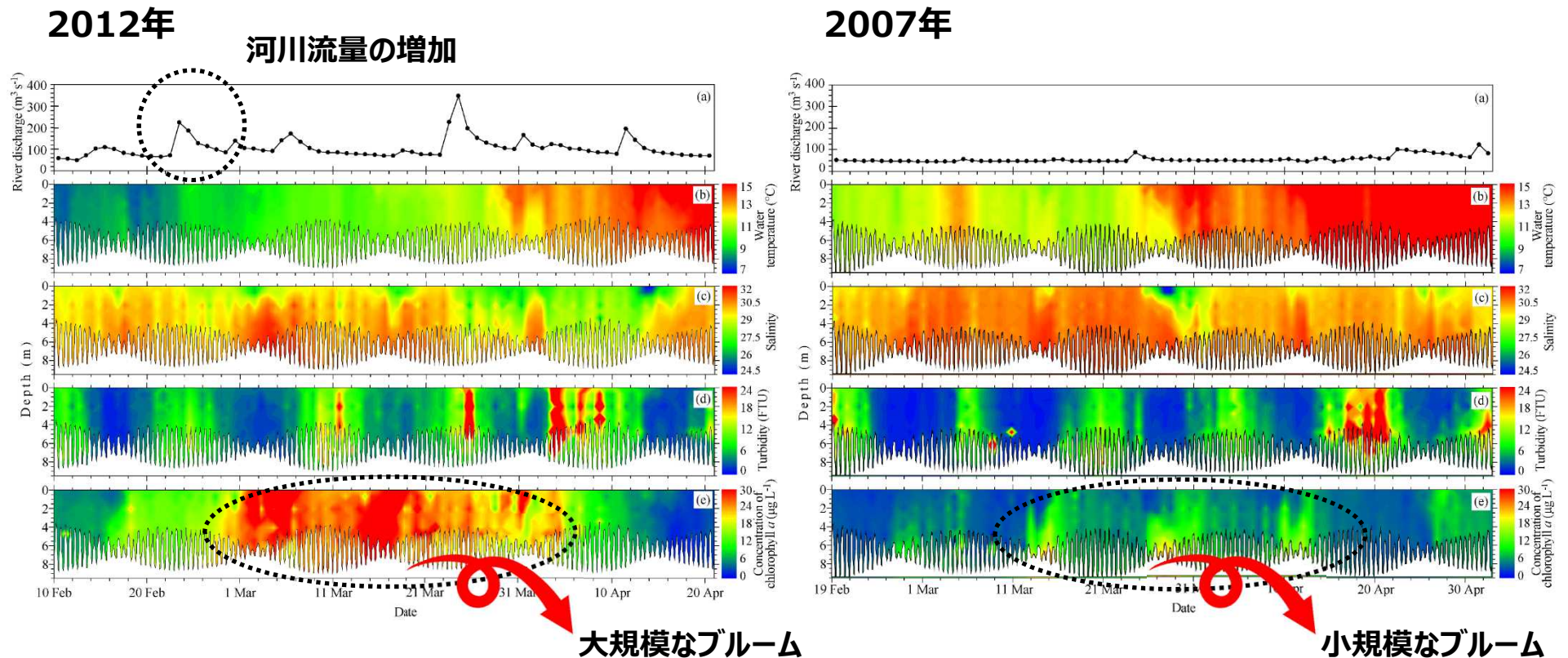


有明海奥部の観測定線における水温、塩分、濁度、クロロフィルa濃度の鉛直分布および透明度の経時変化（2012年2月～4月）

Ito et al. (2013) より引用

Eucampia zodiacus による赤潮の発生機構（有明海）

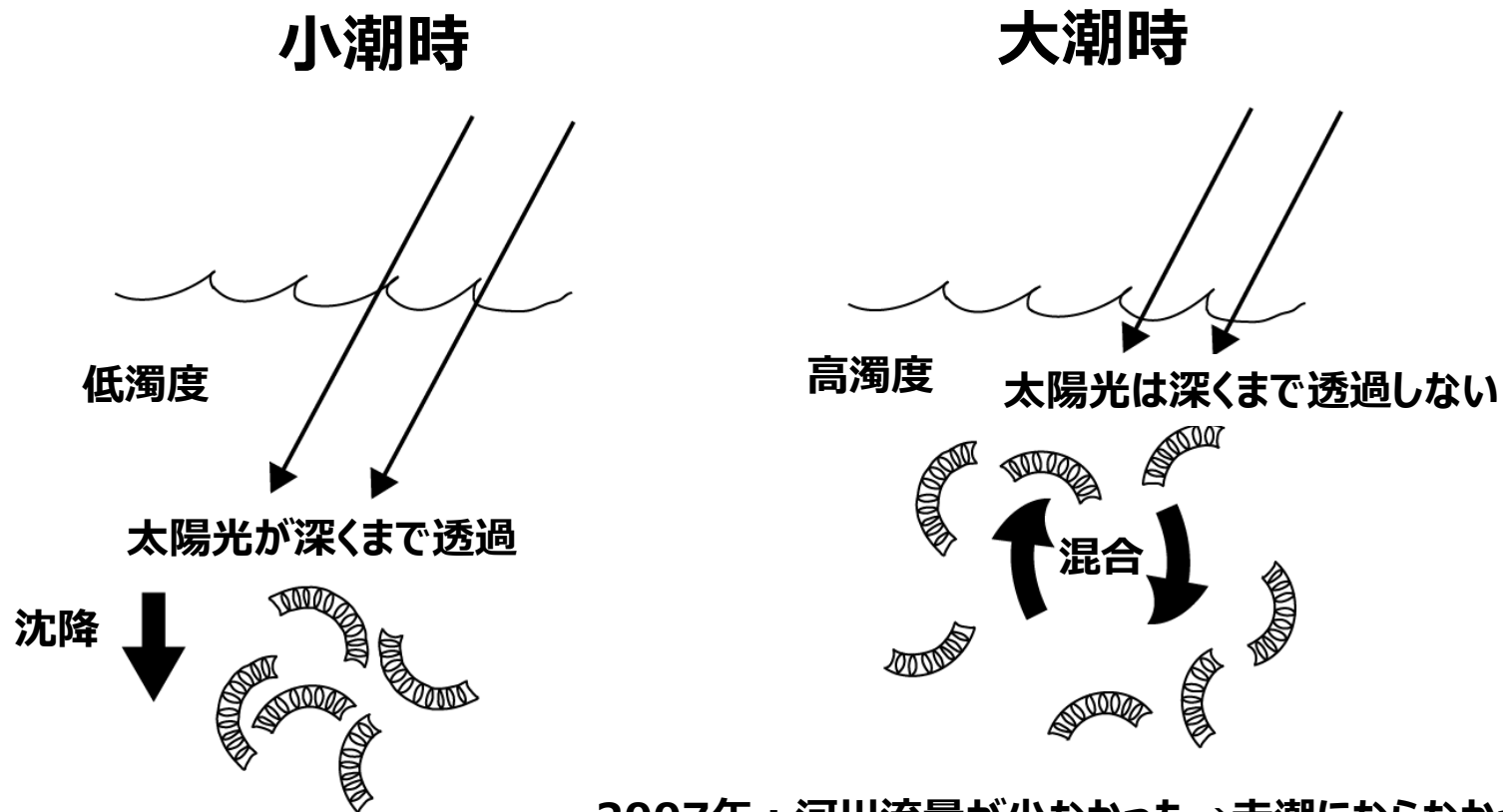
▶ 2012年と比較し、*E. zodiacus* によるブルームが小規模であった2007年においても、小潮から大潮に向かう時期に細胞密度が増加、細胞密度が増加する前の小潮期に濁度が低下する傾向が認められた。ただし、河川流量の増加は見られなかった。



測点L4（タワー）における水温、塩分、濁度、クロロフィルa濃度の鉛直分布および筑後川の河川流量の経時変化（2012年と2007年との比較）

Eucampia zodiacus による赤潮の発生機構（有明海）

- ▶ 沈降しつつある*E.zodiacus* が赤潮のレベルまで個体群を拡大するためには、小潮時に光環境が改善されることが重要である。
- ▶ 2007年と2012年の観測結果の比較から、小潮時に深い層に分布していた*E.zodiacus* が続く大潮時に急激に個体群を拡大するか否かは、河川流量（栄養塩の供給）に依存している。

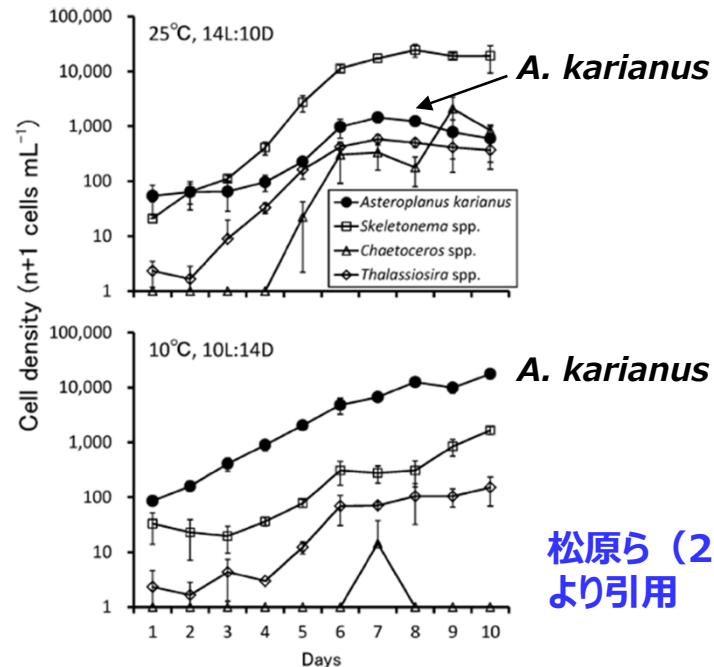


2007年：河川流量が少なかった→赤潮にならなかった
2012年：河川流量が多かった→赤潮化

Asteroplanus karianus の形態的特徴など

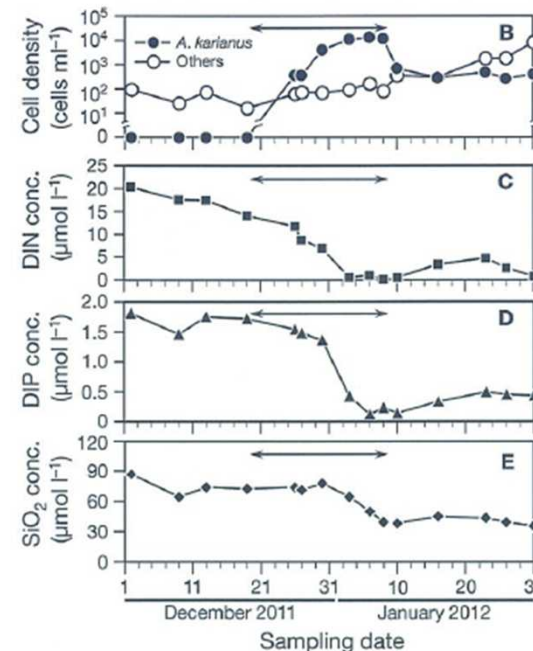
Asteroplanus karianus

- 16~68 μm
- 細胞はくさび形もしくは擬人型。螺旋状の群体を形成する。
- 国内では、有明海、噴火湾、秋田県男鹿市地先などに分布。
- 休眠期細胞を形成する。
- 休眠期細胞の復活とその後の増殖は、高水温よりも低水温の方が至適。
- 効率的に増殖するには、窒素源が豊富に存在する環境が必要。



松原ら (2014)
より引用

高水温 (25°C) と低水温 (10°C) 条件下における4種の珪藻類の休眠期細胞の発芽・増殖過程

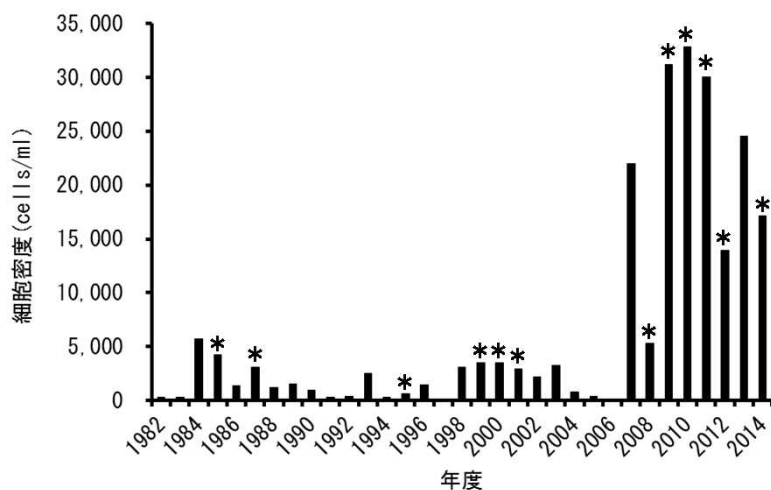


Yamaguchi et al.
(2014) より引用

有明海佐賀県海域における*A. karianus* および他の珪藻類の細胞密度と栄養塩濃度の経時変化

Asteroplanus karianus による赤潮の発生状況

- ▶ 佐賀県海域における*A. karianus* による赤潮の発生は、2007年度以降、恒常化・高密度化している。
- ▶ *A. karianus* の細胞密度は、12月下旬以降に増加する傾向にある。



有明海佐賀県海域における*A. karianus* の最高細胞密度の変動

(*本種を構成種に含む赤潮により色落ち被害が発生した年度)



図 1-1 有明海佐賀県海域

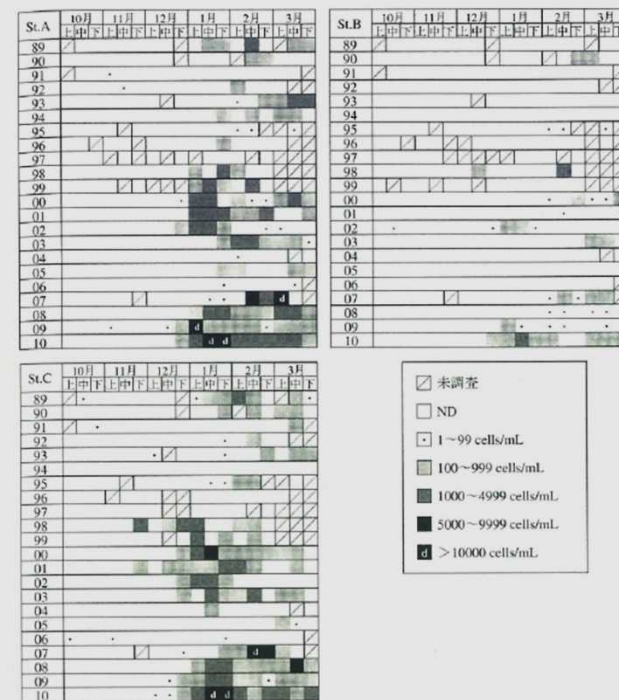


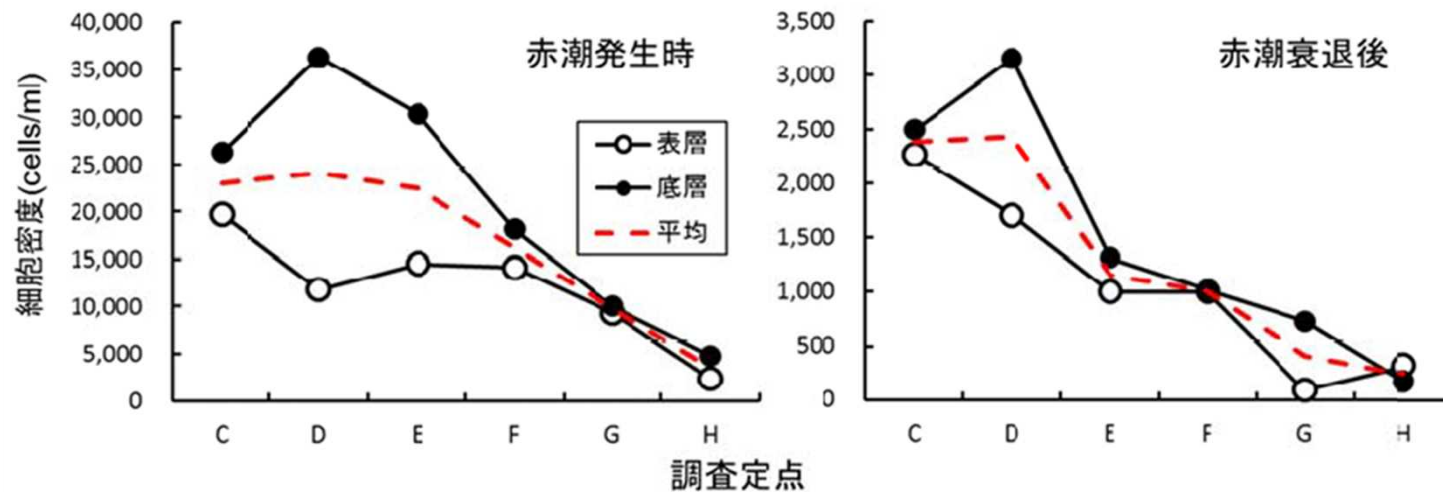
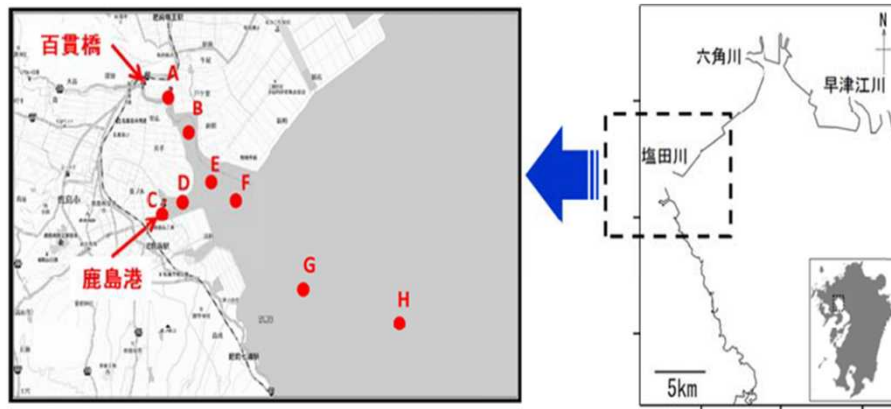
図 1-10 Asteroplanus karianus の出現動向
縦軸の数字、横軸の「上」、「中」、「下」については図 1-7 を参照。

有明海佐賀県海域における*A. karianus* の出現動向

松原 (2012) より引用

Asteroplanus karianus による赤潮の発生状況

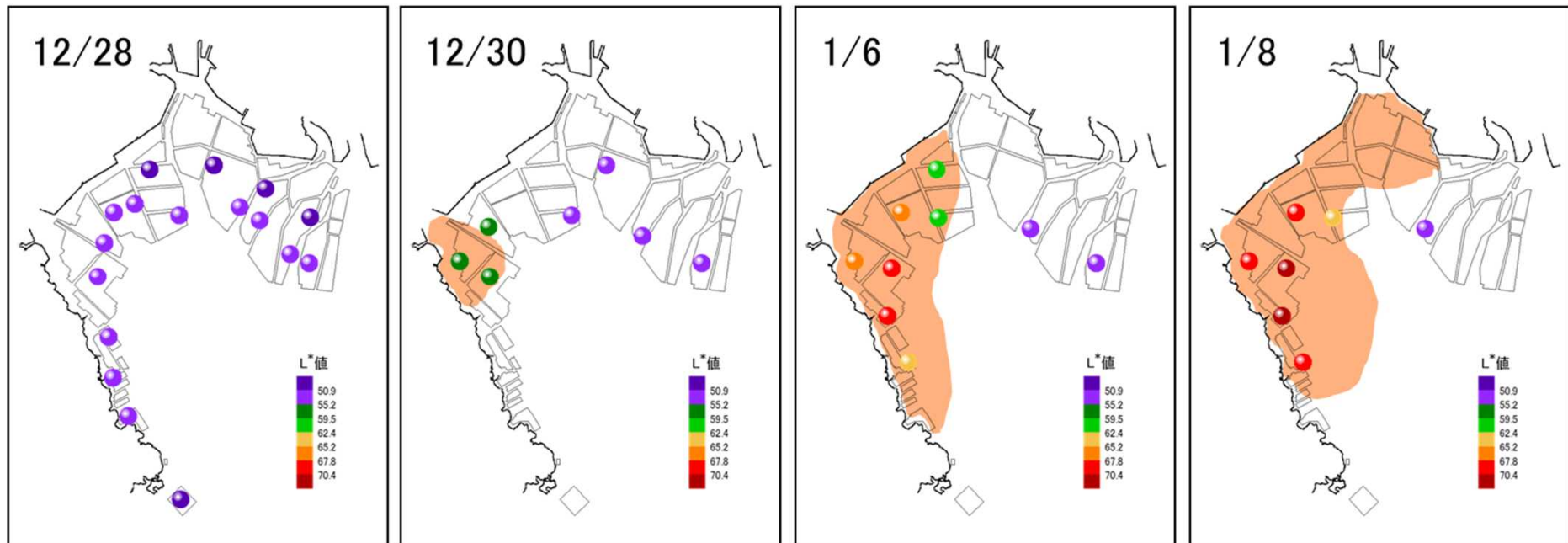
- ▶ *A. karianus* は、有明海佐賀県海域の中でも塩田川感潮域の上流で高密度化する傾向にある。
- ▶ 有明海において、*A. karianus* は、佐賀県海域以外の海域で赤潮を形成した報告はない。



赤潮発生時（左）および衰退後（右）の塩田川河口域における*A. karianus* の分布状況

Asteroplanus karianus 赤潮による被害状況

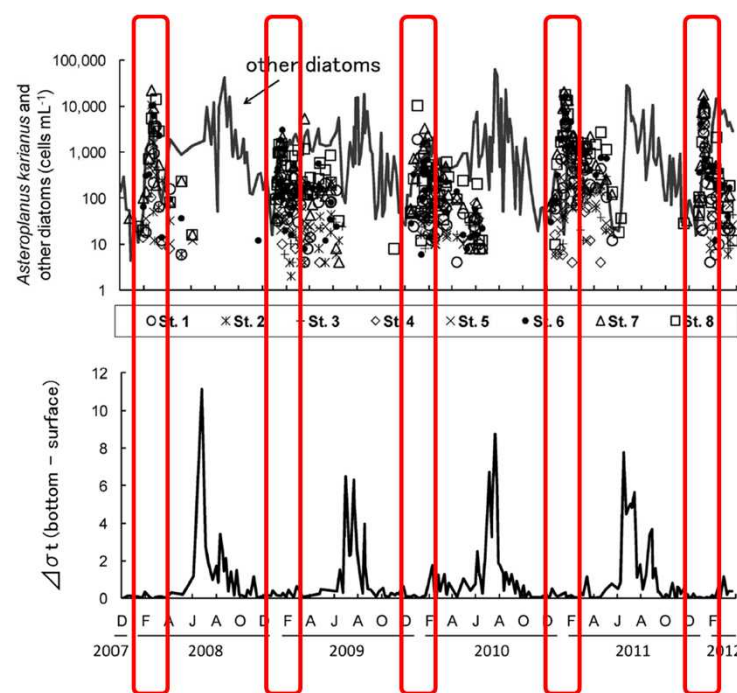
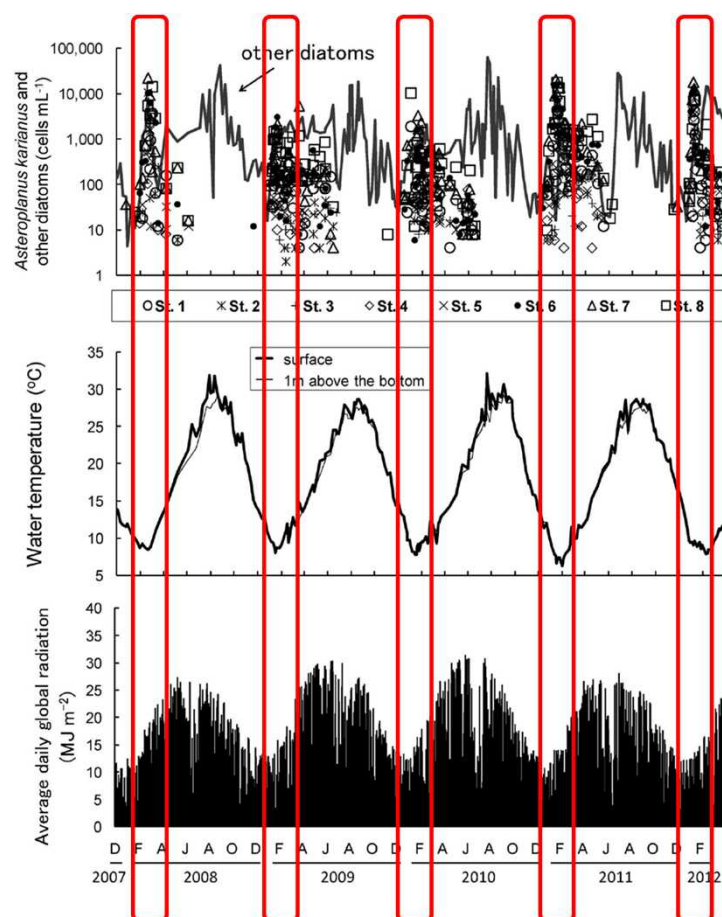
- ▶ *A. karianus* による赤潮の発生海域の拡大にともない、ノリの色落ち被害も拡大。
- ▶ *A. karianus* 赤潮による色落ちによって、ノリの単価が通常の7割程度に下落すると概算された (Yamaguchi et al. 2014)。



有明海佐賀県海域における*A. karianus* による赤潮の発生海域とノリの色落ち状況の推移 (2011年度)

Asteroplanus karianus による赤潮の発生機構

- ▶ *A. karianus* は水温および全天日射量が年間で最低となる時期に赤潮を形成する傾向が確認された。
- ▶ *A. karianus* の細胞密度は、鉛直混合期に増加する傾向が確認された。
→ 本種による赤潮の発生には、水塊の鉛直混合が寄与していると推察された。



有明海佐賀県海域表層における珪藻類の細胞密度と $\Delta\sigma_t$ の推移 (2007年12月～2012年3月)

有明海佐賀県海域表層における珪藻類の細胞密度、水温および全天日射量の推移 (2007年12月～2012年3月)

松原ら (2014) より引用

本日の報告の概要

1. 有明海（長崎県海域を除く）におけるノリ養殖は、近年、生産枚数、生産額ともに概ね高位横這い傾向にある。ただし、2000年度（平成12年度）の大不作に代表されるように、ノリの色落ちが長期にわたり発生すると、生産枚数、生産額が低下する。一方、八代海におけるノリ養殖は、生産枚数、生産額ともに減少傾向にある。
 - 色落ちは、有明海、八代海におけるノリ養殖の安定した生産を阻害する重要な要因のひとつである。
2. 有明海での赤潮による被害の大部分は、秋季～冬季の珪藻赤潮によるノリの色落ちである。また、ノリの色落ちに先行して珪藻赤潮が発生する傾向にある。
 - 珪藻赤潮の発生による栄養塩濃度の急激な低下が有明海におけるノリの色落ち被害をもたらす重要な要因である。
3. 2000年度（平成12年度）の大不作の原因種と考えられている大型珪藻 *Rhizosolenia imbricata* については、大不作以降、有明海における赤潮の形成は報告されていない。

本日の報告の概要

4. 近年、有明海におけるノリの色落ちの原因種として重要な位置づけにあるのは *Eucampia zodiacus* と *Asteroplanus karianus* である。
5. *Eucampia zodiacus* は、2000年以前から、有明海の様々な海域で赤潮発生の報告がなされている。近年の研究結果から、本種による赤潮の形成には、潮汐周期と透明度の回復、河川流量の増加が寄与している可能性が指摘されている。
6. *Asteroplanus karianus* による赤潮は、2007年度以降、有明海の佐賀県海域（特に塩田川河口域）で恒常的かつ高密度で発生する傾向にある。また、本種による赤潮の発生には、水塊の鉛直混合、低水温および高栄養塩濃度の環境条件が寄与している可能性が指摘されている。