

有明海全体に係る問題点と原因・要因の考察

【有用二枚貝の減少】

1 エイ類による食害

ナルトビエイやアカエイなど、一部のエイ類は近年生息数が増加したと考えられている。ナルトビエイの原産地はインド洋であり、太平洋沿岸にかけての暖かい水域に広く分布すると言われている。平均体重が雄で6kg、雌で12kgと大型のエイである。ナルトビエイは、タイラギ、アサリやサルボウなどの貝類のみを摂食する。このため、貝類資源の多い有明海においては、ナルトビエイをはじめとしたエイ類の捕食圧は資源変動に無視できない影響を与えていると推定されている（山口ら2012）。

有明海において、ナルトビエイは水温が18度を超える春先から外海側から回遊して摂餌行動を示し、水温が低下する秋から再び越冬のため外海に逸散していく行動を示すことが判明している（図1）。

近年の調査により、有明海に来遊するナルトビエイの資源量は年変動があるものの十数万～60万尾と推定されており、胃内容物の精査結果から、少なくとも二枚貝に対する捕食圧は多い時には年間3千トンを超えると推定されている（図2、表1）。前回委員会報告書にあるように、ナルトビエイの胃内容物からはタイラギ、サルボウ、アサリなどが確認されており、二枚貝資源の減少要因の1つと考えられる。



図1 有明海におけるナルトビエイの来遊概念図

出典：平成26年度二枚貝類生息環境保全調査業務（九州農政局）

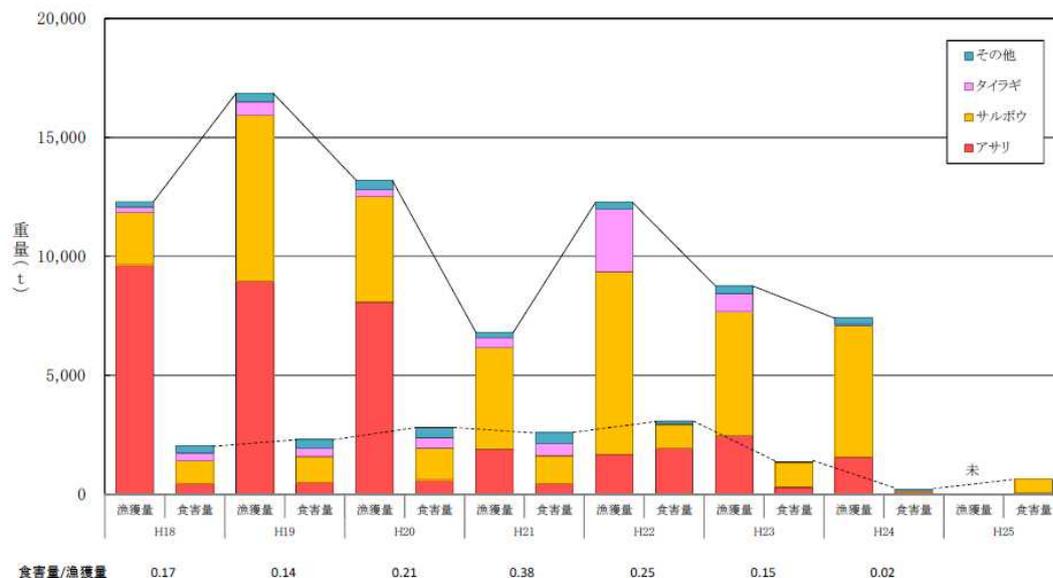


図 2 二枚貝類漁獲量とナルトビエイによる食害量推定値の経年変化

出典： 漁獲量データは『H24 海面漁業・養殖業生産統計(東シナ海区及び九州)H26.6 九州農政局統計部』

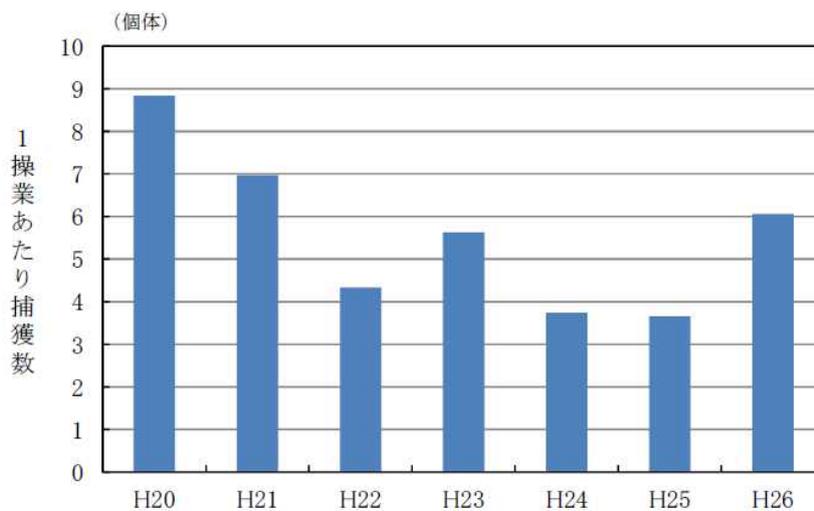


図 3 有明海における標本船調査における 1 操業あたりのナルトビエイ捕獲数 (CPUE) の経年変化

出典： 平成 26 年度二枚貝類生息環境保全調査業務 (九州農政局)

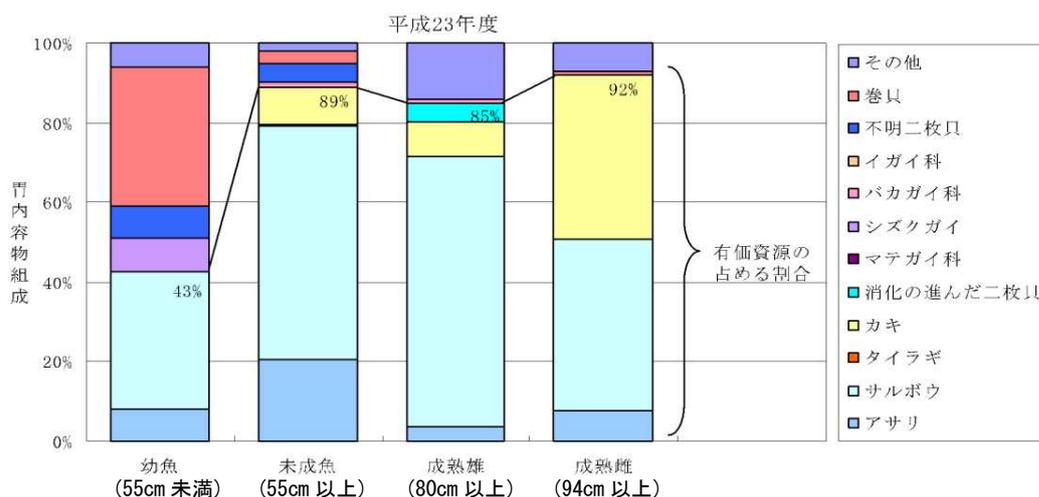
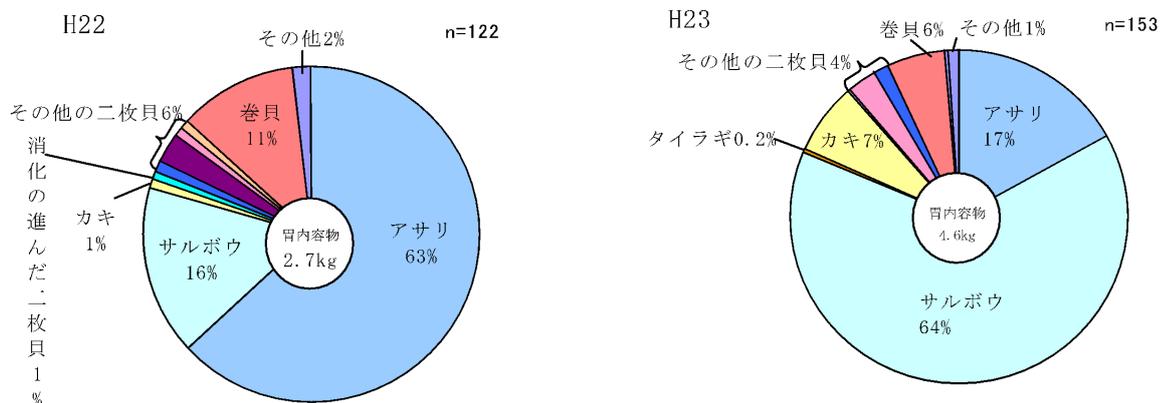


図 4 ナルトビエイの胃の内容物重量の合計値に占める各貝類の重量割合

出典：平成23年度二枚貝類生息環境保全調査業務（九州農政局）

表 1 その他の食害生物の食害量の推定

出典： 平成 26 年度二枚貝類生息環境保全調査業務（九州農政局）

No.	食害生物		食性	現存量	年間二枚貝 摂餌量
1	エイ類	ナルトビエイ	二枚貝専食	約16万個体 (1,200t程度)	3, 000t程度
2	エイ類	トビエイ	二枚貝(約50%) 巻貝(約30%)	1.7万個体程度	160~370t
3	硬骨魚 類	クロダイ コショウダイ ヘダイ ヒゲソリダイ	甲殻類(約60%) 魚類(約20%) 多毛類(約10%)	—	ほとんど影響なし

【ノリの色落ち】

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が、そのうち、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県の 4 県で、生産枚数の 54%、生産額の 55%を占めている（2012 年、図 5、農林水産省・大臣官房統計部 2013）。このように、有明海は、国内最大の養殖ノリの生産地であることから、有明海におけるノリ養殖の生産は、わが国のノリ養殖やノリの流通などに多大な影響を及ぼすことになる。

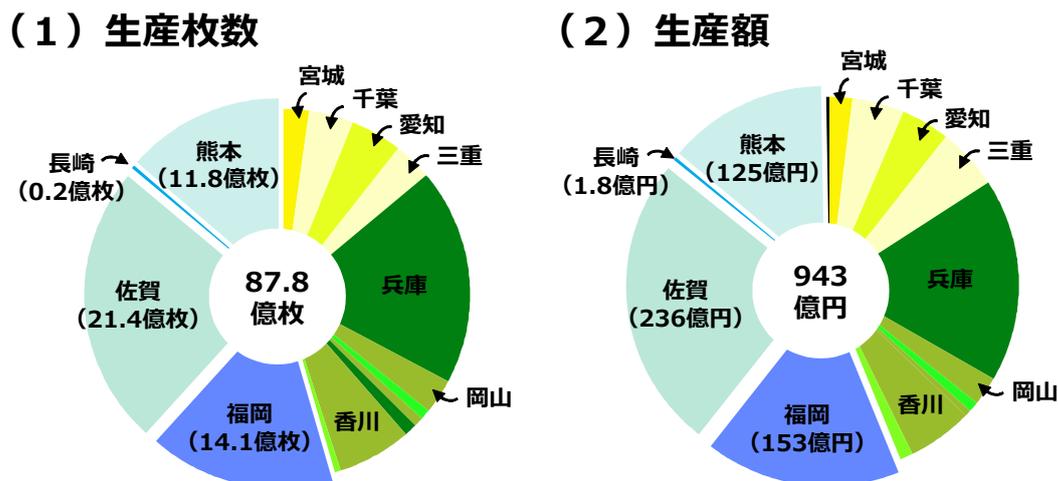


図 5 2012 年における養殖ノリの産地別生産枚数と生産額

① 現状と問題点の特定

有明海の福岡県、佐賀県、長崎県および熊本県海域における 1980 年代以降のノリ養殖の生産枚数および生産額の推移を図 6 に示した。福岡県海域におけるノリ養殖の生産枚数は 1980 年代に増加し、1990 年代以降、概ね 15 億枚前後で推移している。生産額についても、1980 年代に増加し、1991 年度には 200 億円にまで達した。その後、減少し、2000 年代以降は概ね 150 億円前後で推移している。佐賀県海域におけるノリ養殖の生産枚数は、1980 年代に 10 億枚程度であったのが、1990 年代以降増加し、2000 年代中頃以降は、概ね 20 億枚前後で推移している。生産額は、年度による変動が大きいですが、1980 年代以降、概ね 200 億円前後で推移している。熊本県海域におけるノリ養殖の生産枚数および生産額は、ともに 1980 年代に増加し、1990 年代中頃以降、それぞれ 10 億枚および 100 億円前後で推移している。一方、長崎県海域におけるノリ養殖の生産枚数および生産額は、1990 年前後に減少し、1990 年代中頃以降、生産枚数は 2 千万枚前後、生産額は概ね 2 億円程度で推移している。

このように、近年、有明海湾奥部におけるノリ養殖の生産量は、長崎県海域を除くと、高い水準で推移している。しかしながら、毎年、高い生産量が安定して維持されているわけではなく、年度によって、生産量の増減が見られる。

ノリ養殖の減産要因については、あかぐされ病、壺状菌病、スミノリ症などに代表される病害、色落ちなどが挙げられる。これらのなかで、病害は干出や活性

処理等に対応可能であるものの、「色落ち」は、2000～2001年のノリ漁期に、有明海で大きな問題となったノリの大不作をもたらした要因とされており、現在でも有効な対策を講じるには至っていない。

以上のことから、有明海で実施されているノリ養殖は、近年、概ね好調ではあるが、安定した生産を維持するには至っておらず、特に養殖ノリの「色落ち」が、安定したノリ養殖の生産を阻害している重要な要因のひとつとして位置づけられる。

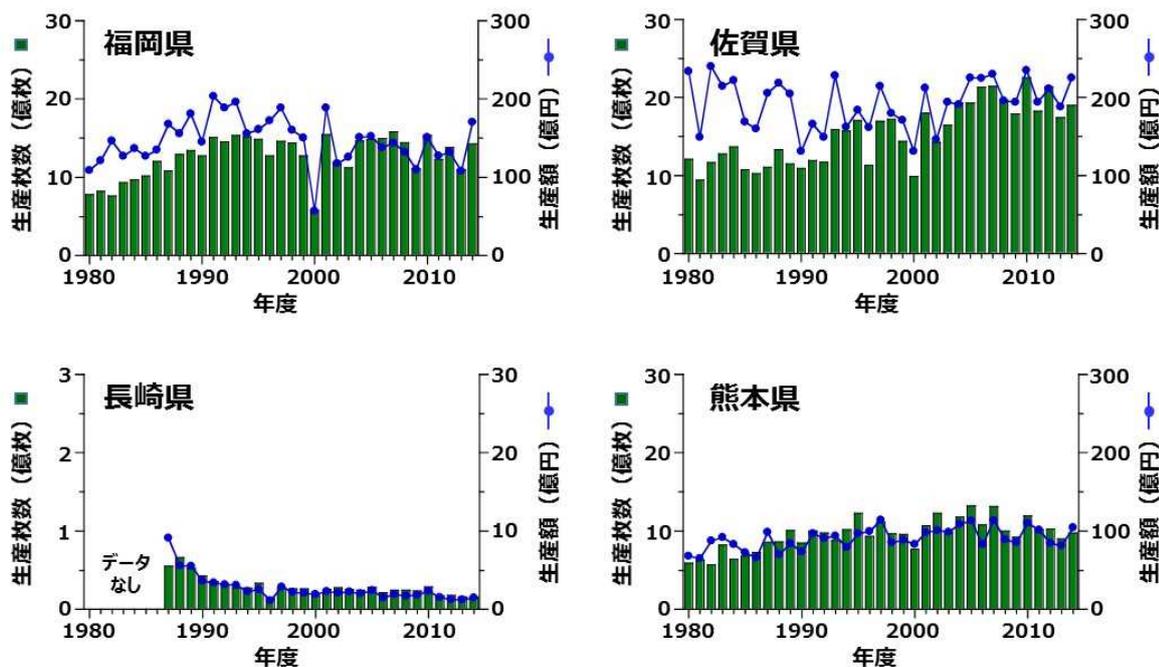


図 6 有明海の福岡県、佐賀県、長崎県および熊本県海域における養殖ノリの生産枚数(カラム)および生産額(折れ線)の推移。長崎県海域については、1986年度以前のデータが集計されていない。また、1995年度以前の熊本県海域のデータについては、八代海のデータを含む。

② 要因の考察

ノリの「色落ち」とは、ノリ葉体の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ことによって、色調が黒色から茶褐色に変化する現象を指す(有賀 1980)。色落ちしたノリは、商品価値が下がるため、生産枚数や生産額の減少につながる。ノリの「色落ち」のメカニズムについて、その全容は明らかとされていないが、海水中の栄養塩濃度の低下が重要な役割を果たしているであろうと考えられている(藤澤ら 2000、白石 2010、村山ら 2015; 図 7)。秋季から冬季の有明海湾における海水中の栄養塩濃度の低下をもたらす要因のひとつとして、珪藻類による赤潮の発生が挙げられる。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について、データが整理されている1985年度以降の推移を図8に示した。1980年代中頃～1990年代における珪藻赤潮の発生件数は、年間4～5件程度であったが、2000年以降、急増し、2005年前後に減少したものの、2011年以降、再び増加傾向にある。また、有明海における年間の赤潮発生件数のうち、秋季～冬季(10月～翌3月)の珪藻赤潮

が占める割合は4分の1程度に過ぎないが、赤潮による被害件数に着目すると、その大部分は秋季～冬季（10月～翌3月）の珪藻赤潮の発生によるノリの色落ち被害である。

ノリの色落ちと珪藻赤潮との関係を検証するため、有明海福岡県海域を例に、1985年度以降のノリの色落ちの発生期間と珪藻赤潮の発生期間とを対比した（図9）。その結果、多くの場合、ノリの色落ちに先行する形で珪藻赤潮が発生しており、珪藻赤潮の発生とノリの色落ち被害とが密接に関係していることが示唆された。すなわち、珪藻類が赤潮を形成することによって、海水中の栄養塩濃度が急激に低下し、養殖ノリに必要なとされる栄養塩が減少する結果、色落ちが生じているものと推察される。

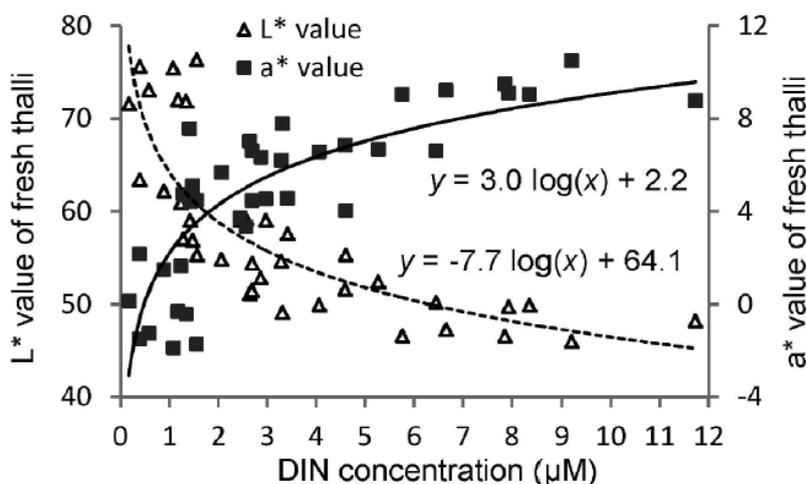


図7 備讃瀬戸海域における溶存態無機窒素(DIN)濃度とノリの色調(L*値, a*値)との関係。村山ら(2015)より引用。L*値は明るさ、a*値は赤みを示す指標で、ともに色彩色素計などで測定される。

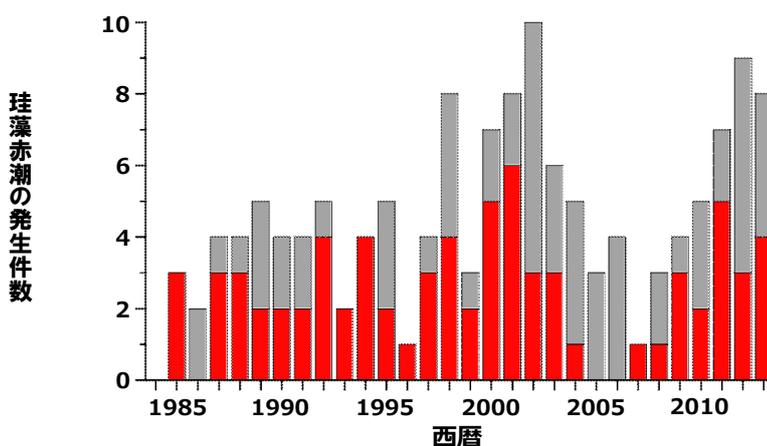


図8 有明海における秋季～冬季(10月～翌3月)の珪藻赤潮の発生件数の推移。赤色のバーは被害件数を示す。
出典：九州海域の赤潮(水産庁九州漁業調整事務所)をもとに作成。

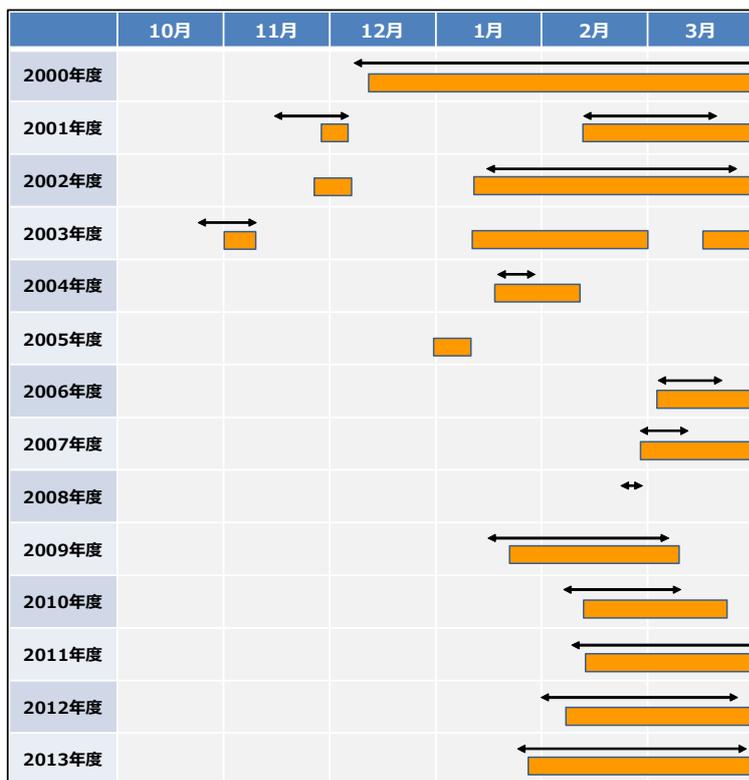
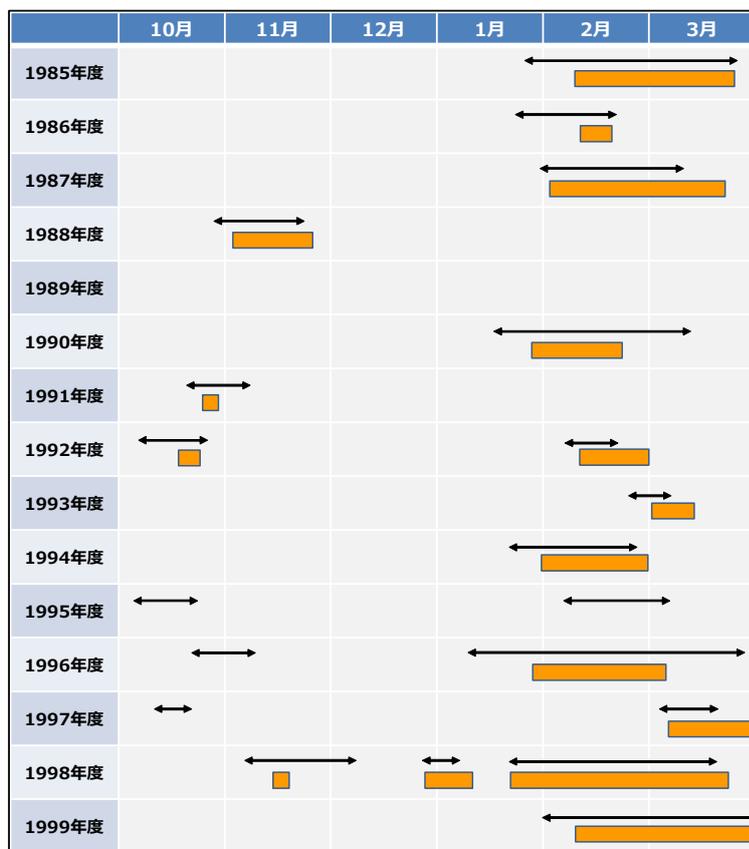


図 9 有明海福岡県海域におけるノリの色落ちの発生期間(■)と珪藻赤潮の発生期間(矢印)

通常、細胞あたりの栄養塩吸収量が大きい大型の珪藻類、例えば *Eucampia zodiacus* や *Coscinodiscus wailesii*、*Rhizosolenia imbricata* などの種が、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（図 10）。また、世界各地の沿岸・内湾域で普遍的に生息している *Skeletonema* spp.等の小型珪藻類についても、ノリ漁期に赤潮を形成すると、色落ちを引き起こす場合がある。ここでは、これまでに有明海で大規模なノリの色落ち被害を引き起こした3種の珪藻類（*Rhizosolenia imbricata*、*Eucampia zodiacus* および *Asteroplanus karianus*）に焦点を当て、それぞれの種の有明海における赤潮の発生状況と発生機構について述べる。

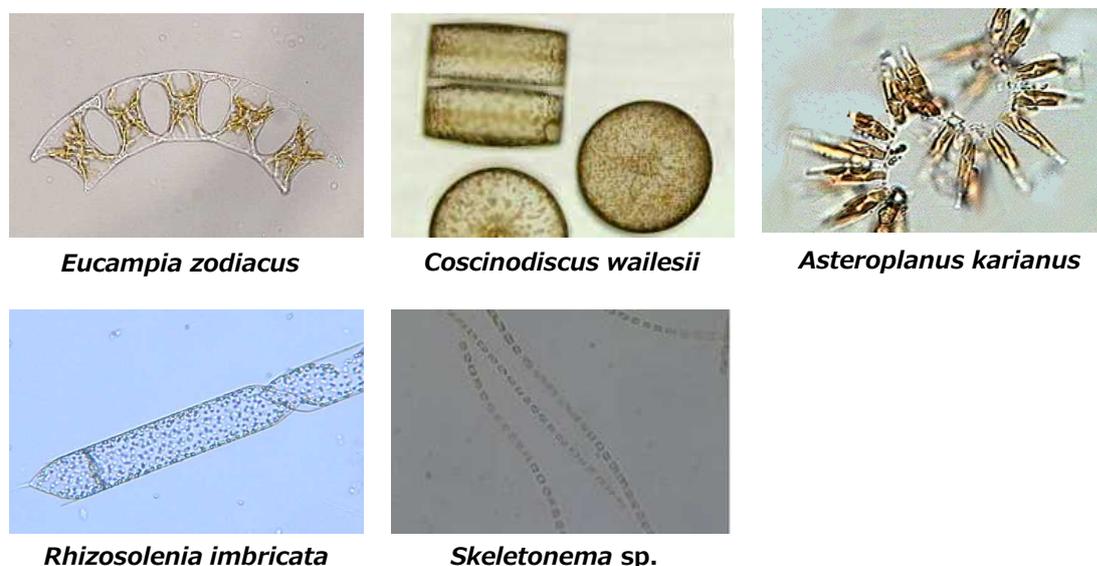


図 10 ノリの色落ちの原因となる主な珪藻類

1) *Rhizosolenia imbricata*

Rhizosolenia imbricata（図 10）は、主に暖海の外洋域に分布する大型（殻径 10~60 μm ，殻長 100~500 μm ）の珪藻類で、増殖可能な水温帯が比較的高く、低塩分への耐性が低いという特徴を持つ（佐々木・鬼頭 2003）。本種は、2000年度に有明海で発生したノリの大不作（色落ち）の原因種と推定されていることもあり、平成 18 年委員会報告においては、本種を想定した形で、大型珪藻類の発生機構が整理されている（図 11）。しかしながら、2000年度のノリの大不作以降、有明海において、*R. imbricata* による赤潮が発生したとの報告はなされていない。

2) *Eucampia zodiacus*

Eucampia zodiacus（図 10）は、極域を除く世界中の沿岸域に広く分布し、頂軸長が 100 μm に達する大型の珪藻類で、ノリの色落ち被害が頻発している東部瀬戸内海においても重要な色落ち原因種として位置づけられていることから、水温や栄養塩に対する増殖特性など、生理・生態学的知見が精力的に収集・整理されている（例えば、西川 2002、西川 2004、Nishikawa et al. 2007、Nishikawa et al. 2009、Nishikawa et al. 2011）。

有明海において、*E. zodiacus* は 1980 年代より出現が確認されており、1980 年代後半や 2000 年前後に、比較的高密度で出現していた (図 12)。2011 年度以降も、高密度での出現が連続してみられており、特に 2013 年度の冬季には、本種による赤潮が有明海のほぼ全域で発生し、多くのノリ漁場で色落ち被害が生じた。

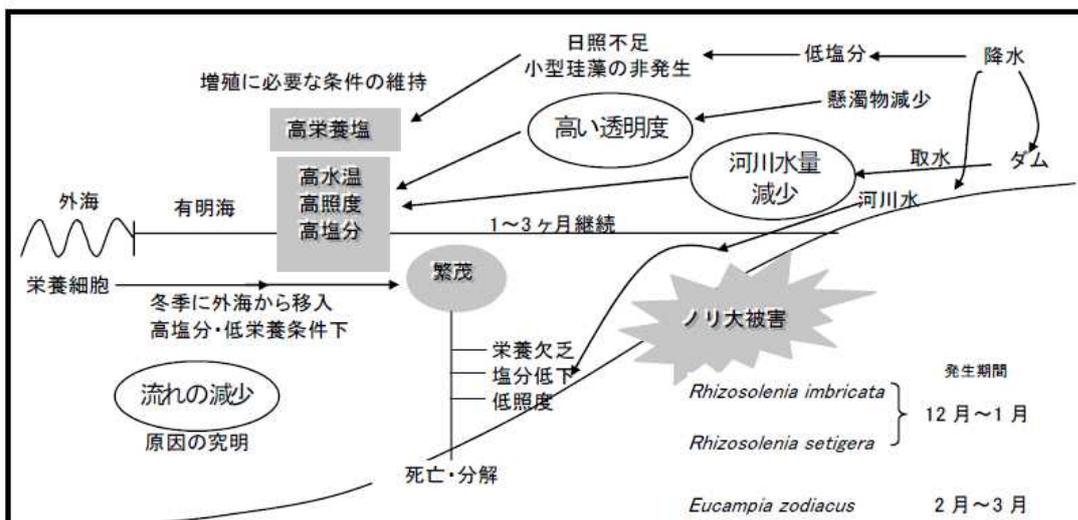


図 11 大型珪藻類(主に *Rhizosolenia imbricata*) の発生機構。平成 18 年委員会報告より抜粋。*R. imbricata* は、塩分が高い冬季に外海から湾内に移入。日照不足等によって、小型珪藻の増殖が抑えられた後に、増殖に必要な条件(高水温、高照度、高栄養塩など)が整うと大発生につながる。

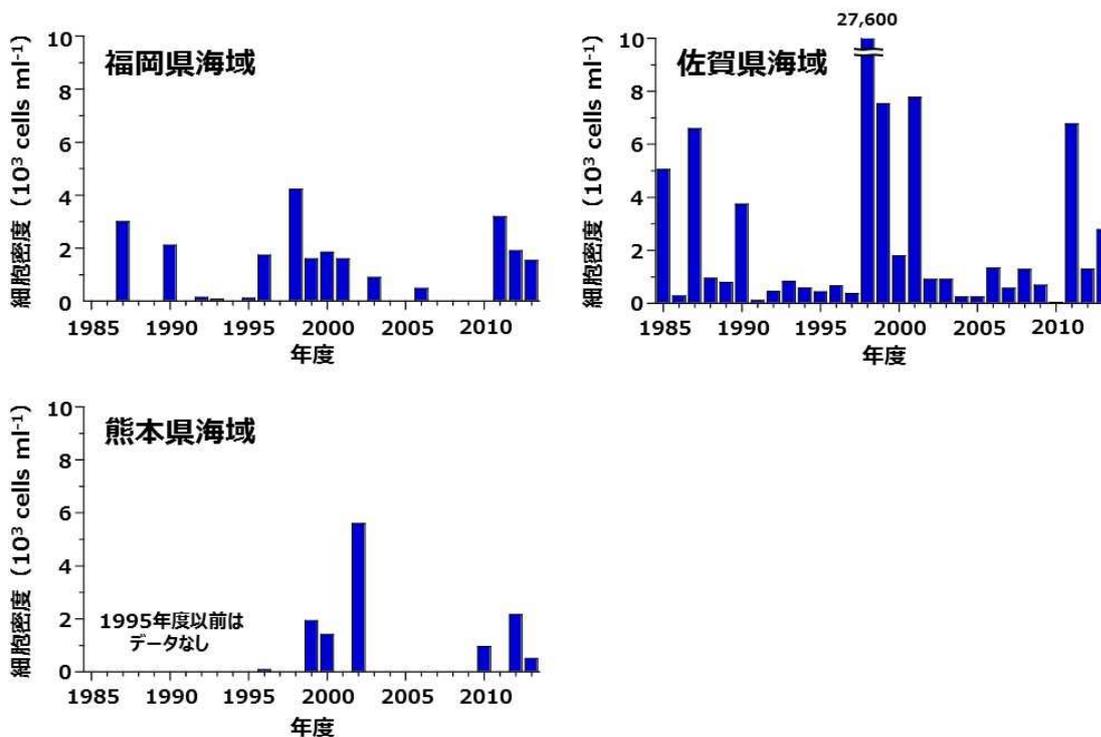


図 12 有明海福岡県海域、佐賀県海域および熊本県海域における *Eucampia zodiacus* の最高細胞密度の経年変化

有明海での *E. zodiacus* による赤潮の発生機構については、いまだ充分には解明されておらず、断片的な知見にとどまっている。Ito et al. (2013) は、2011年度冬季の比較的大規模な本種による赤潮発生時に実施した観測結果から、まず *Skeletonema* spp.などの小型珪藻類の増殖が見られ、それらが衰退した2月下旬から *E. zodiacus* の細胞密度が急激に増加したこと、海水中の栄養塩濃度は、小型珪藻類の増殖により減少し、その後の *E. zodiacus* の増殖にともなって急激に低下したことを報告している (図 13)。また、観測当初に沖合域の底層に分布していた *E. zodiacus* は、濁度が低下する小潮期の後に、細胞密度が増加する傾向がみられたことから、海水中で沈降しつつある *E. zodiacus* が赤潮のレベルまで個体群を拡大するためには、光環境が改善されることが重要であると推察した (図 14、図 15)。

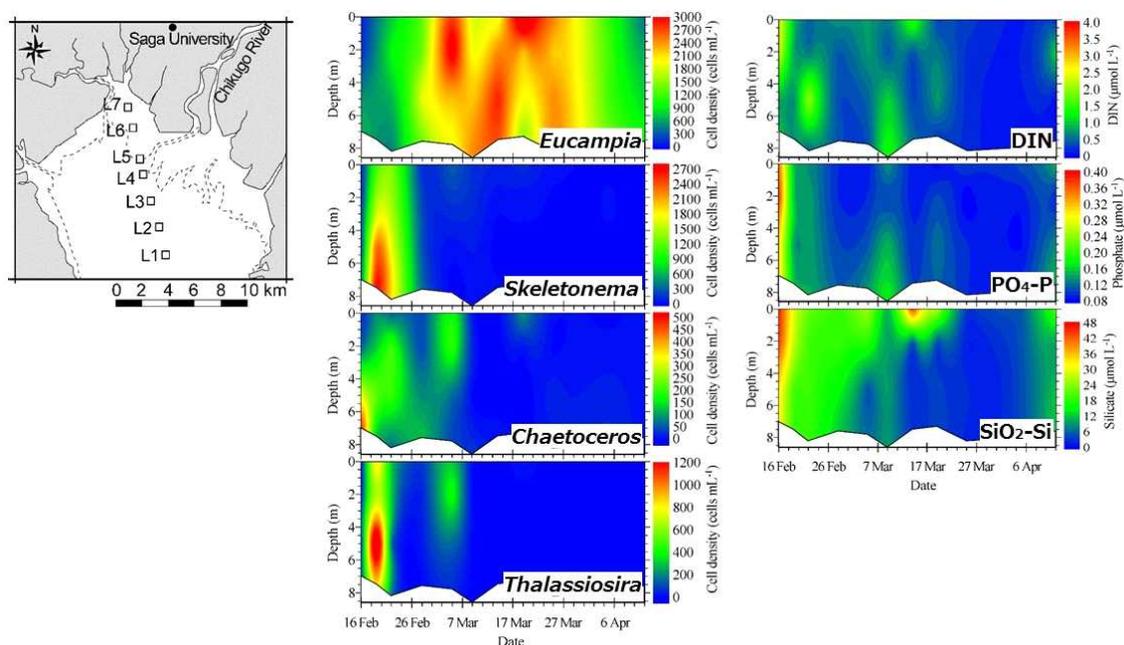


図 13 有明海湾奥部の観測地点(L4)における植物プランクトン(*Eucampia zodiacus*、*Skeletonema* spp.、*Chaetoceros* spp.、*Thalassiosira* spp.)の細胞密度および栄養塩濃度(溶存態無機窒素 DIN、リン酸態リン PO₄-P、ケイ酸態ケイ素 SiO₂-Si)の経時変化(2012年2月~4月)。Ito et al.(2013)より引用。

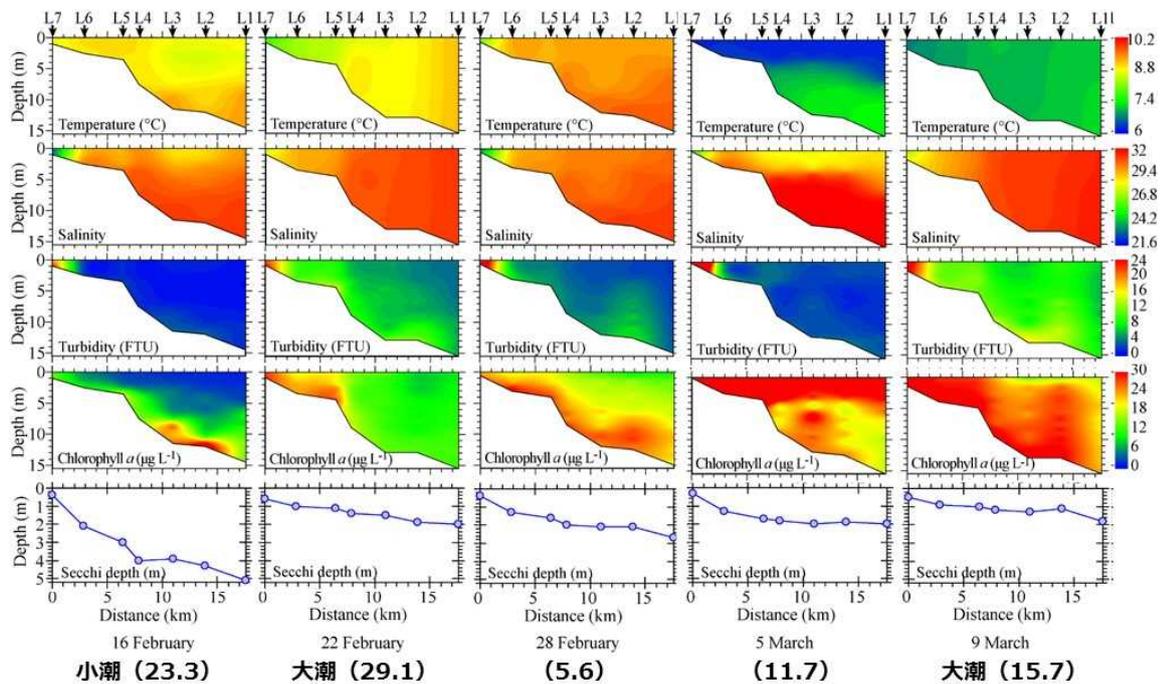


図 14 有明海湾奥部の観測定線における水温、塩分、濁度、クロロフィル a 濃度の鉛直分布および透明度の経時変化(2012年2月~4月)。Ito et al. (2013)より引用。

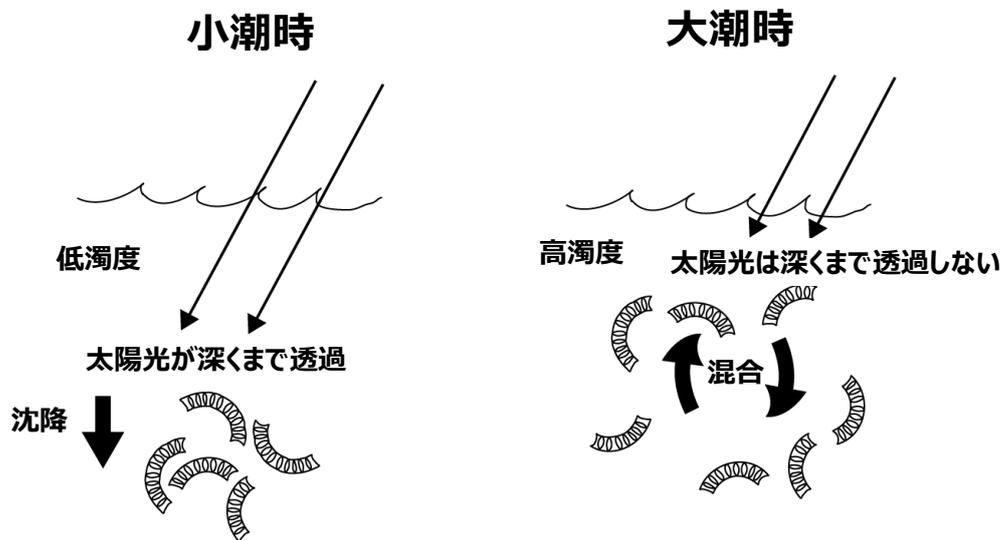


図 15 有明海における *Eucampia zodiacus* による赤潮の発生機構(概念図)。Ito et al. (2013)をもとに作成。

3) *Asteroplanus karianus*

Asteroplanus karianus は、有明海や噴火湾などの海域で分布が確認されている中型（細胞長 16~68 μm）の珪藻類で、近年の研究から、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であること、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であることなどが明らかにされている（松原ら 2014、Yamaguchi et al. 2014）。

有明海佐賀県海域における *A. karianus* による赤潮の発生状況を見ると、1980~2000 年代前半においても出現が認められていたが、2007 年度以降、単独で、かつ高密度の赤潮を形成する傾向が見られる（図 16）。また、本種による赤潮の形成とノリの色落ち被害との関係を比較してみると、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していく様子が明瞭に認められる（図 17）。一方で、本種は、有明海において、これまで佐賀県海域以外の海域で赤潮を形成した報告はなく、きわめて赤潮の発生海域が限定されていることも本種による赤潮の特徴である。

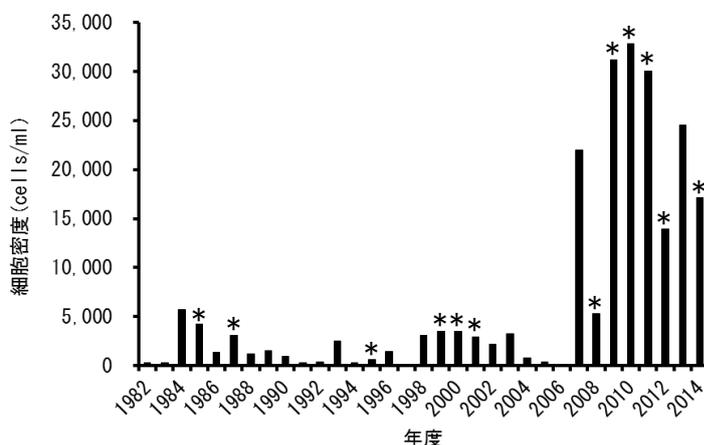


図 16 有明海佐賀県海域における *Asteroplanus karianus* の最高細胞密度の変動。
*は、本種を構成種に含む赤潮により色落ち被害が発生した年度を示す。

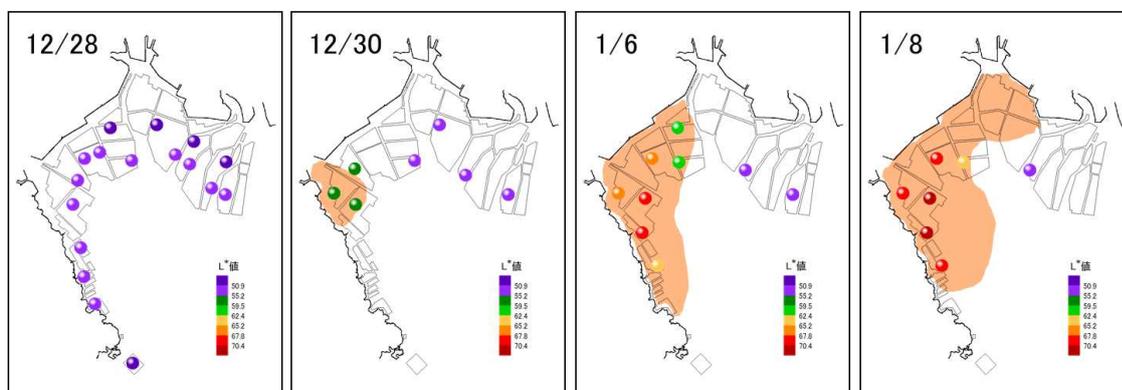


図 17 有明海佐賀県海域における *Asteroplanus karianus* による赤潮の発生海域とノリの色落ち状況の推移(2011 年度)

現在のところ、*A. karianus* による赤潮の発生が、有明海の佐賀県海域において、2007年度以降、単独で高密度の赤潮を形成するようになった要因は不明である。ただし、これまでの研究から、本種は水温および全天日射量が年間最低となる時期に赤潮を形成する傾向にあること（図 18）、鉛直混合期に細胞密度が増加する傾向にあること（図 19）などが明らかとなっており、本種による赤潮の発生には、水塊の鉛直混合や低水温、高栄養塩濃度などの環境条件が寄与している可能性が示唆される。

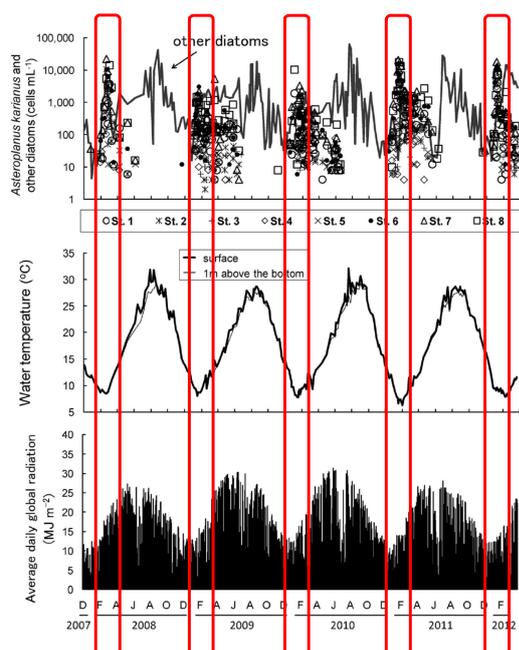


図 18 有明海佐賀県海域表層における珪藻類の細胞密度、水温および全天日射量の推移（2007年12月～2012年3月）。松原ら（2014）をもとに作成。

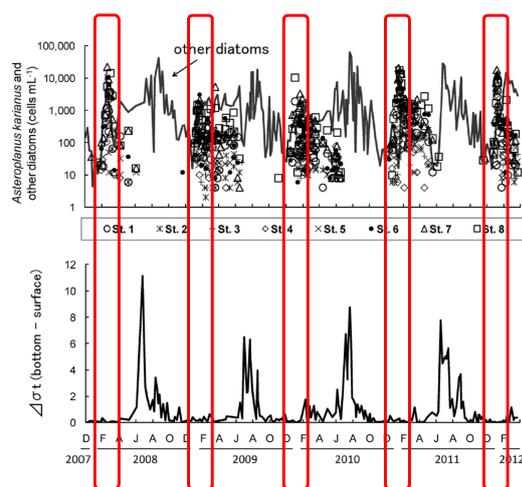


図 19 有明海佐賀県海域表層における珪藻類の細胞密度と鉛直安定度 $\Delta\sigma_t$ の推移（2007年12月～2012年3月）。松原ら（2014）をもとに作成。

引用文献

- 有賀裕勝（1980）スサビノリの色彩と色素．遺伝 34, 8-13.
- 藤澤邦康・小橋啓介・林 浩志（2000）ノリ養殖漁場における溶存態無機窒素とノリの色素量の関係について．岡山県水産試験場報告 15, 1-3.
- Ito, Y., Katano, T., Fujii, N., Koriyama, M., Yoshino, K., & Hayami, Y. (2013) Decreases in turbidity during neap tides initiate late winter blooms of *Eucampia zodiacus* in a macrotidal embayment. *Journal of Oceanography* 69, 467-479.
- 松原 賢・横尾一成・川村嘉応（2014）有害珪藻 *Asteroplanus karianus* の有明海佐賀県海域における出現動態と各種環境要因との関係．日本水産学会誌 80, 222-232.
- 村山史康・清水泰子・高木秀蔵（2015）岡山県ノリ漁場における栄養塩濃度とノリの色調および乾海苔単価との関係．日本水産学会誌 81, 107-114.

- 西川哲也 (2002) ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の増殖に及ぼす水温, 塩分および光強度の影響. 日本水産学会誌 68, 356-361.
- 西川哲也, 堀 豊 (2004) ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の増殖に及ぼす窒素, リンおよび珪素の影響. 日本水産学会誌, 70, 31-38.
- Nishikawa, T., Hori, Y., Tanida, K., Imai, I. (2007) Population dynamics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg causing bleachings of *Porphyra thalli* in aquaculture in Harima-Nada, the Seto Inland Sea, Japan. Harmful Algae 6, 763-773.
- Nishikawa, T., Hori, Y., Nagai, S., Miyahara, K., Nakamura, Y., Harada, K., Tada, K. (2011) Long time-series observations in population dynamics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* and environmental factors in Harima-Nada, eastern Seto Inland Sea, Japan during 1974 – 2008. Plankton and Benthos Research 6, 26-34.
- Nishikawa, T., Tarutani, K., Yamamoto, T. (2009) Nitrate and phosphate uptake kinetics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, a causative organism in the bleaching of aquacultured *Porphyra thalli*. Harmful Algae 8, 513-517.
- 佐々木和之・鬼頭 鈞 (2003) 有明海で発生した珪藻 *Rhizosolenia imbricata* Brightwell の増殖特性. 日本プランクトン学会報 50, 79-87.
- 白石日出人 (2010) ノリ葉体の色調変化に関する研究. 福岡県水産海洋技術センター 研究報告 20, 131-134.
- Yamaguchi, H., Minamida, M., Matsubara, T., Okamura K. (2014) Novel blooms of the diatom *Asteroplanus karianus* deplete nutrients from Ariake Sea coastal waters. Marine Ecology Progress Series 517, 51-60.