## （９）有明海全体－ノリ養殖、魚類等

有明海における問題点とその原因・要因は海域ごとに異なると考えられたことから、（１）から（７）までは環境特性により区分した海域ごとに問題点の特定及びその原因・要因の考察を進めてきた。

一方、有明海が抱える諸問題には、ノリ養殖に関する問題点等、環境特性による海域区分で検討しては事象を捉えることができないものや、魚類等、空間としての有明海全体で捉えるべきものもある。

このため、本節では有明海全体に係る問題点として、「ノリ養殖の問題」及び「魚類等の変化」について整理し、その原因・要因について考察を行うこととした。

なお、本節と同様に八代海全体に係る問題点とその原因・要因の考察については、（１５）八代海全体にて整理した。

### ア）ノリ養殖の問題

わが国のノリ養殖生産枚数及び生産額は、2005 年以降、それぞれ 70～100 億枚及び 680～970 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 4.4.122、農林水産省・大臣官房統計部，2013）。このように、有明海は、国内最大のノリ養殖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等に多大な影響を及ぼすことになる。

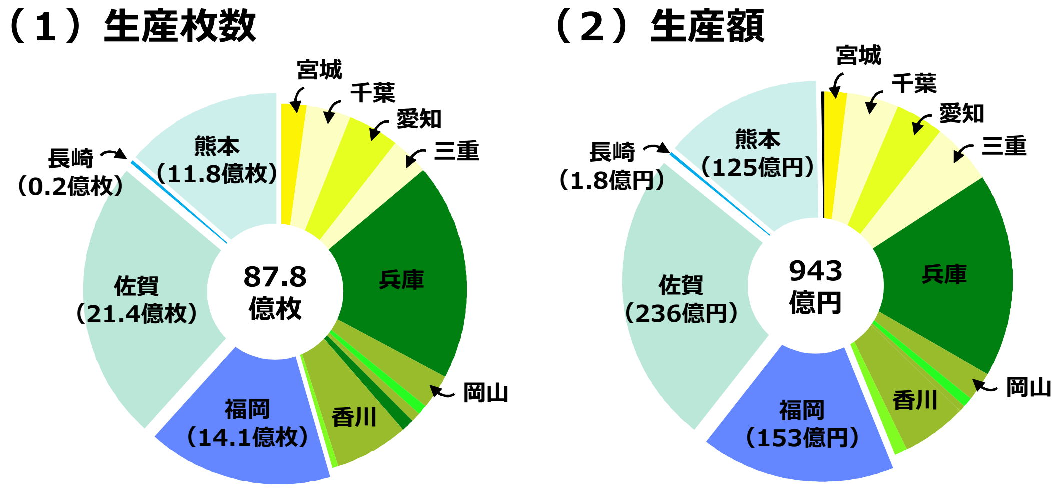


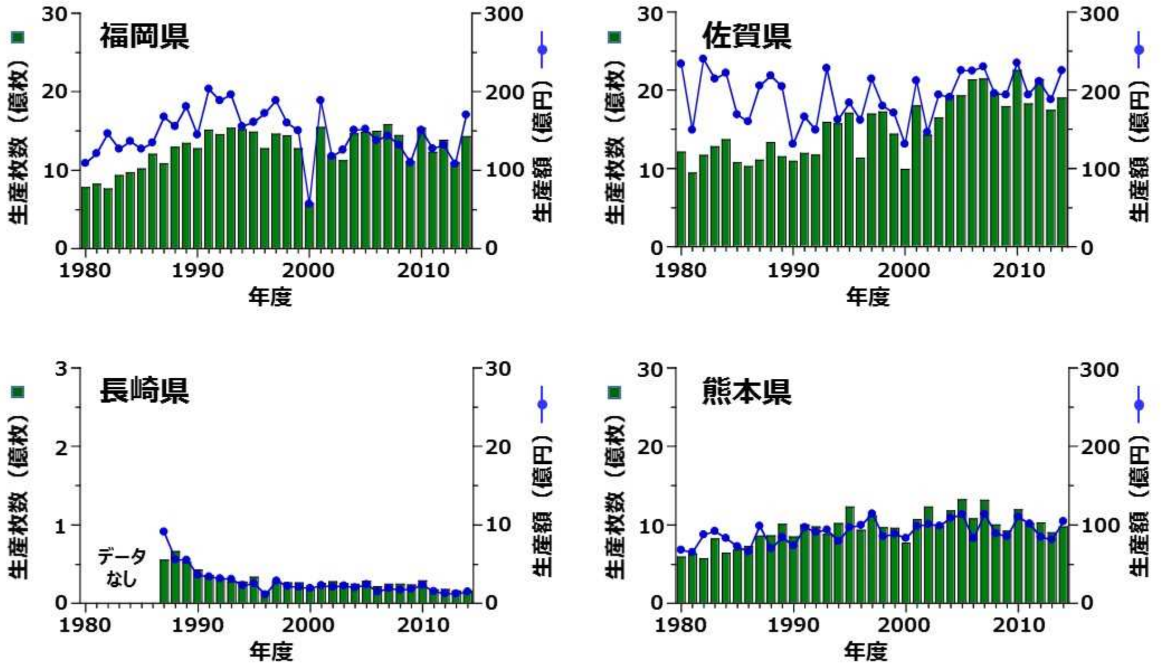

図 4.4.122　2012 年におけるノリ養殖の産地別生産枚数と生産額

① 現状と問題点の特定

有明海の福岡県、佐賀県、長崎県及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及び生産額の推移を図 4.4.123 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及び生産額は、ともに 1980 年代に増加し、1990 年代中頃以降、それぞれ 10 億枚及び 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及び生産額は、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、2000 年代中頃以降、有明海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、生産量の増減がみられる。




注）1. 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。
2. 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。

図 4.4.123　有明海の福岡県、佐賀県、長崎県及び熊本県海域におけるノリ養殖の生産枚数（カラム）及び生産額（折れ線）の推移

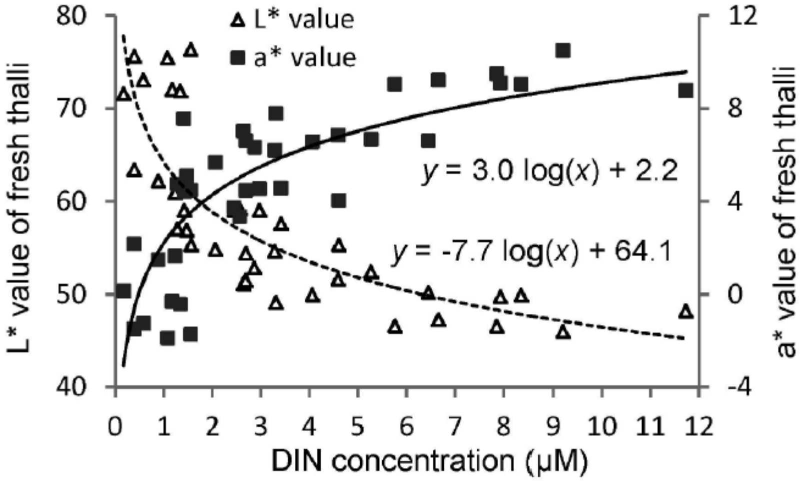
② 原因・要因の考察

安定したノリ養殖の生産を阻害している要因としては、あかぐされ病、壺状菌病、スミノリ症等に代表される病害、色落ち、水温上昇に伴う漁期の短縮等が挙げられる。これらのなかで、特に「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ずるには至っていない。

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、フィコエリスリン等）や色素タンパク質の生成阻害、葉緑体の縮小等によって、色調が黒色から茶褐色に変化する現象を指す[1)、2)]（有賀，1980；植木ら，2010）。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[3)、4)、5)]（藤澤ら，2000；白石，2010；村山ら，2015、図 4.4.124）。秋期から冬期の有明海湾奥部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。有明海における秋期～冬期（10～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 4.4.125

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、秋期～冬期（10～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、その大部分は秋期～冬期（10～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。

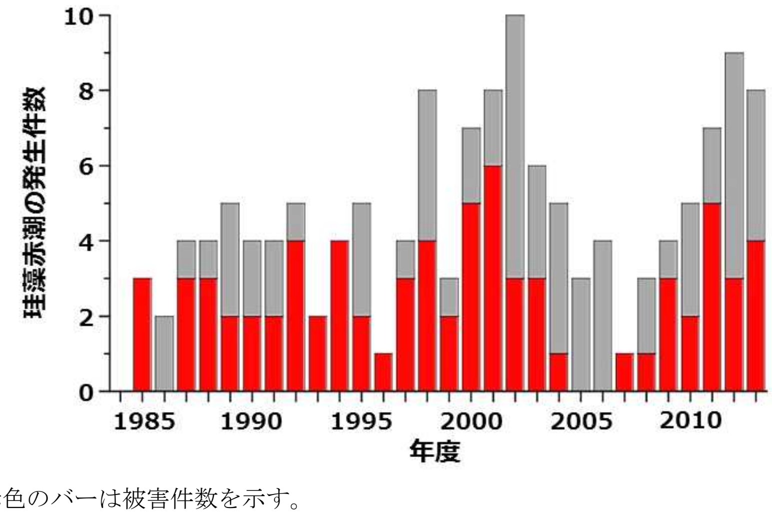
ノリの色落ちと珪藻赤潮との関係を検証するため、有明海福岡県海域を例に、1985 年度以降のノリの色落ちの発生期間と珪藻赤潮の発生期間とを対比した[6)]（図 4.4.126)。その結果、多くの場合、ノリの色落ちに先行する形で珪藻赤潮が発生しており、珪藻赤潮の発生とノリの色落ち被害とが密接に関係していることが示唆された。すなわち、珪藻類が赤潮を形成することによって、海水中の栄養塩濃度が急激に低下し、ノリ養殖に必要とされる栄養塩が減少する結果、色落ちが生じているものと推察される。




注）L*値は明るさ、a*値は赤みを示す指標で、ともに色彩色素計等で測定される。

図 4.4.124　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

出典：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，第 81 巻，第 1 号，pp. 107-114




注）赤色のバーは被害件数を示す。

図 4.4.125　有明海における秋期～冬期（10～翌 3 月）の珪藻赤潮の発生件数の推移

出典：水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮」をもとに環境省が作成した。

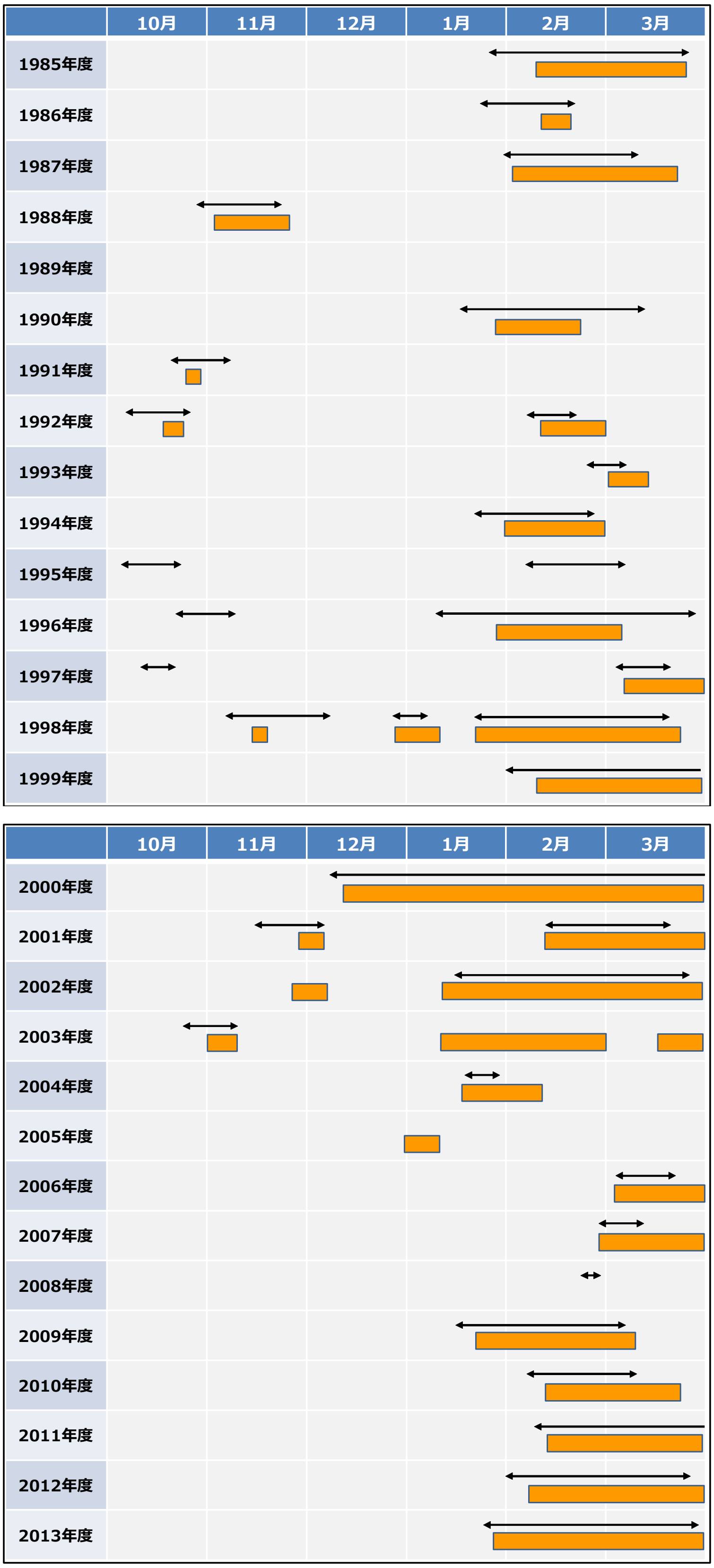
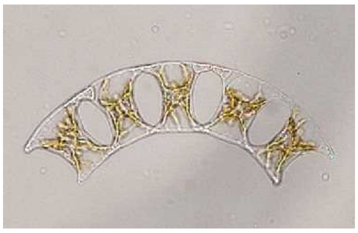
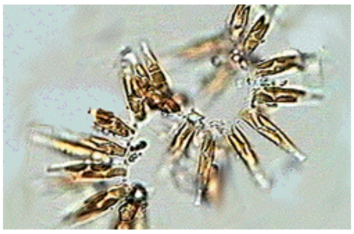


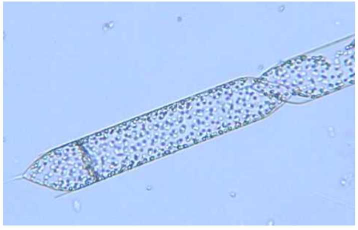

図 4.4.126　有明海福岡県海域におけるノリの色落ちの発生期間（■）と珪藻赤潮の発生期間（矢印）

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* 等の種が、ノリの色落ちを引き起こす原因プランクトンして位置づけられている（図 4.4.127)。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* 及び *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。


***Eucampia zodiacus***

***Coscinodiscus wailesii***


***Asteroplanus karianus***


***Rhizosolenia imbricata***

***Skeletonema* sp.**

図 4.4.127　ノリの色落ちの原因となる主な珪藻類

### i）*Rhizosolenia imbricata*

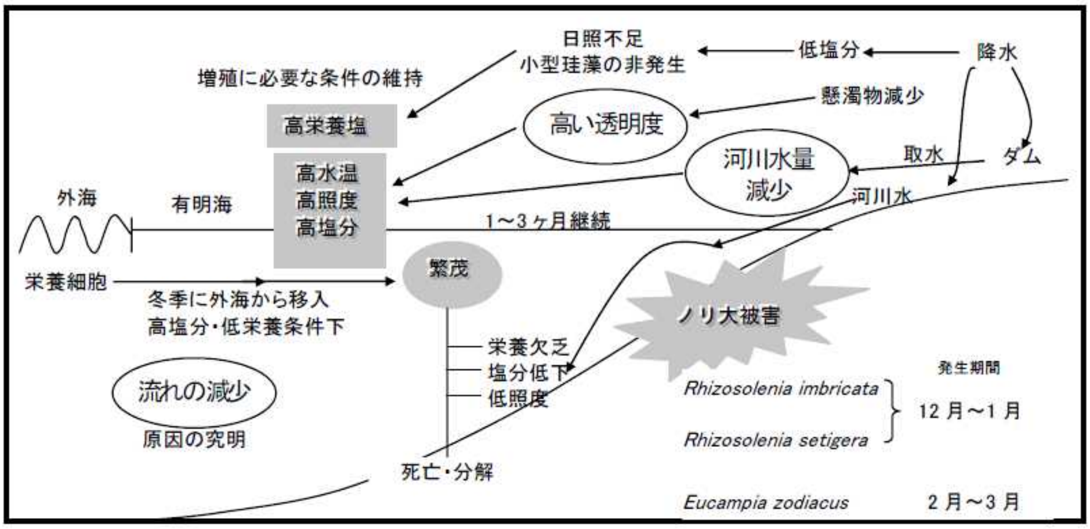
*Rhizosolenia imbricata*（図 4.4.127、図 4.4.128）は、主に暖海の外洋域に分布する大型（殻径 10～60 μm、殻長 100～500 μm）の珪藻類で、増殖可能な水温帯が比較的高く、低塩分への耐性が低いという特徴を持つ[7]（佐々木・鬼頭，2003)。本種は、2000 年度に有明海で発生したノリの大不作（色落ち）の原因種と推定されていることもあり、有明海・八代海総合調査評価委員会（2006）委員会報告においては、本種を想定した形で、大型珪藻類の発生機構が整理されている[8]（図 4.4.128)。しかしながら、2000 年度のノリの大不作以降、有明海において、*R. imbricata* による赤潮が発生したとの報告はなされていない。

### ii）*Eucampia zodiacus*

*Eucampia zodiacus*（図 4.4.127）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瀬戸内海東部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等、生理・生態学的知見が精力的に収集・整理されている[9)、10)、11)、12)、13)]（例えば、西川，2002；西川・堀，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 4.4.129)。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 年度の冬期には、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。




注）*R. imbricata* は、塩分が高い冬期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、高栄養塩等）が整うと大発生につながる。

図 4.4.128　大型珪藻類（主に *Rhizosolenia imbricata*）の発生機構

出典：有明海･八代海総合調査評価委員会（2006）「委員会報告」

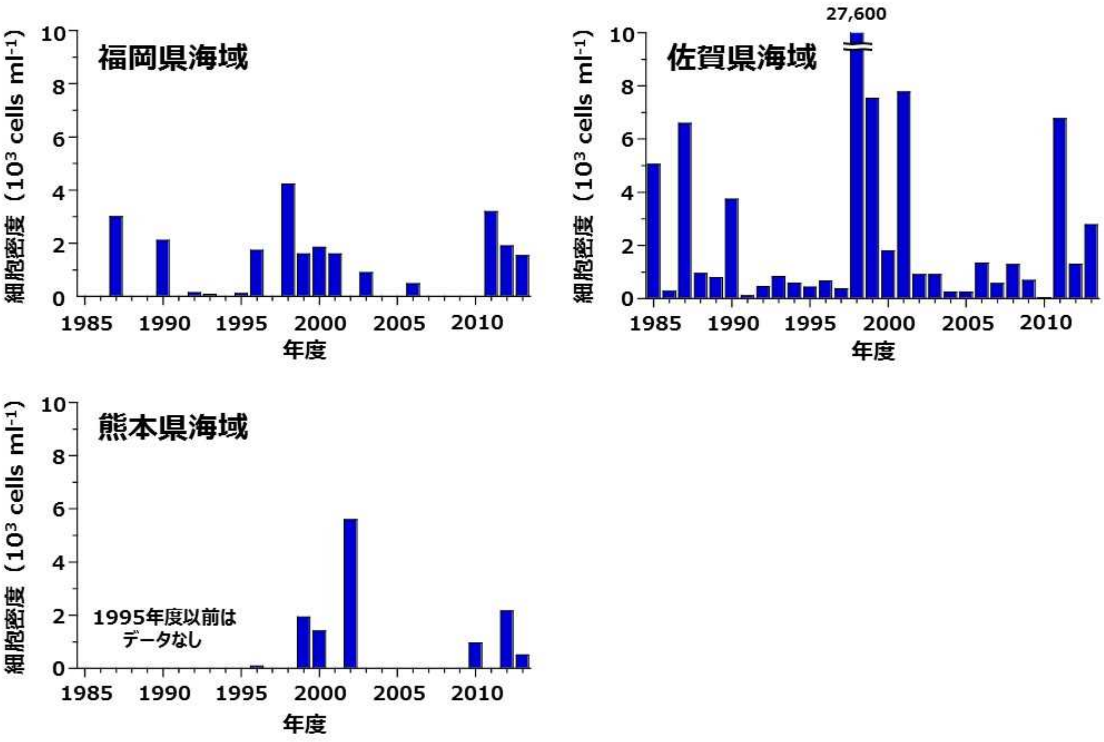



図 4.4.129　有明海福岡県海域、佐賀県海域及び熊本県海域における *Eucampia zodiacus* の最高細胞密度の経年変化

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 年度冬期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.等の小型珪藻類の増殖がみられ、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[14]（図 4.4.130）。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、光環境の改善が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要因のひとつであると推察した（図 4.4.131、図 4.4.132）。

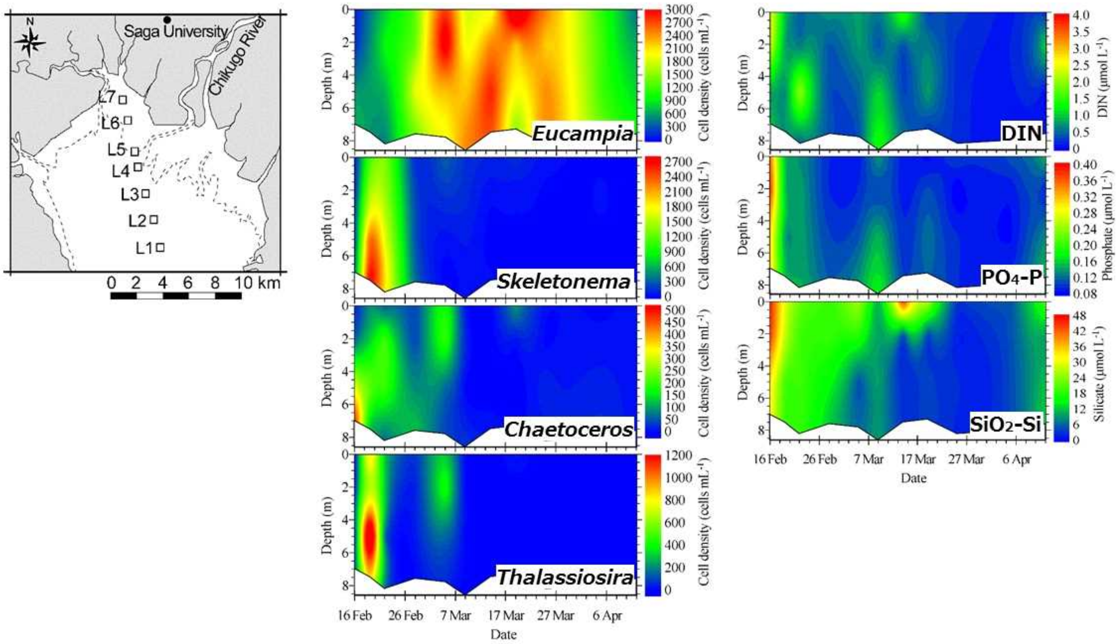



図 4.4.130　有明海湾奥部の観測定点（L4）における植物プランクトン（*Eucampia zodiacus*、*Skeletonema* spp.、*Chaetoceros* spp.、*Thalassiosira* spp.）の細胞密度及び栄養塩濃度（溶存態無機窒素 DIN、リン酸態リン $PO_4$-P、ケイ酸態ケイ素 $SiO_2$-Si）の経時変化（2012 年 2～4 月）

出典：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, Vol.69, pp.467-479

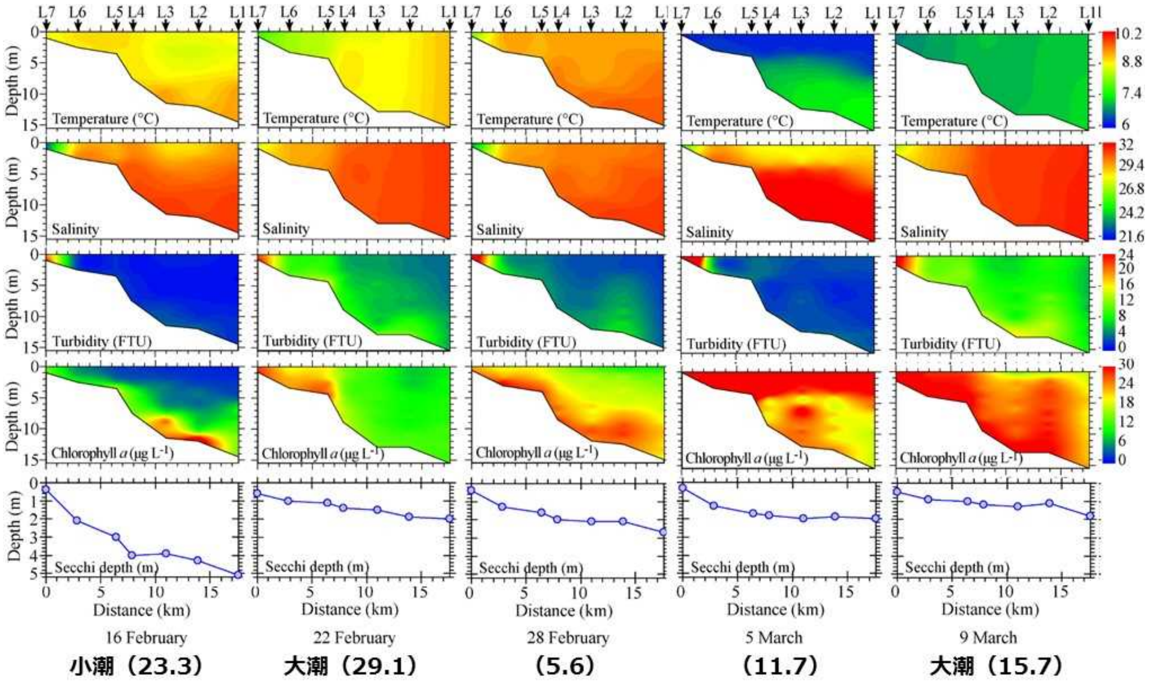



図 4.4.131　有明海湾奥部の観測定線における水温、塩分、濁度、クロロフィル a 濃度の鉛直分布及び透明度の経時変化（2012 年 2～4 月）。

出典：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, Vol.69, pp.467-479.

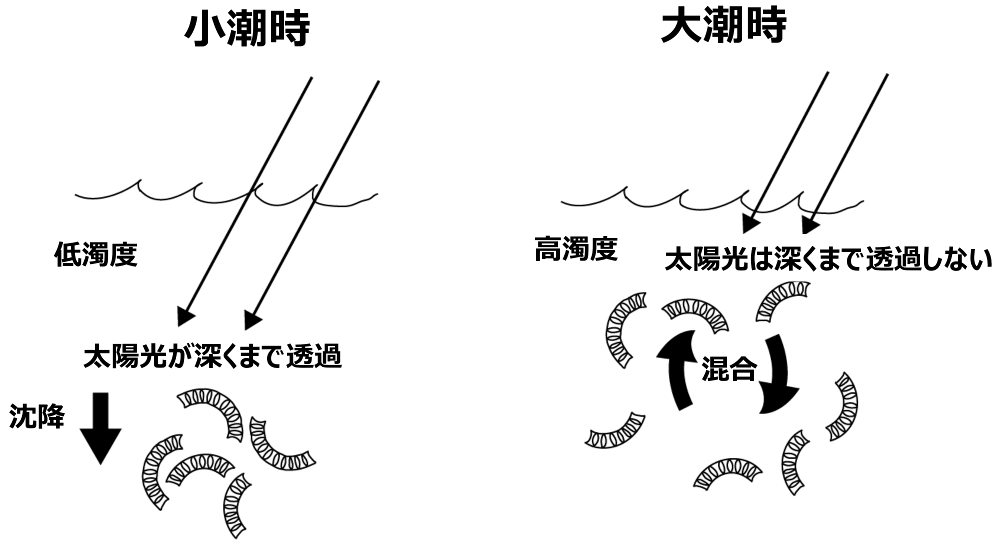


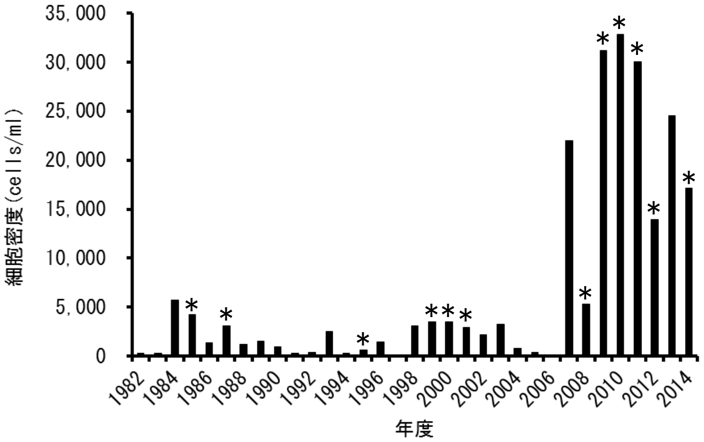

図 4.4.132　有明海における *Eucampia zodiacus* による赤潮の発生機構（概念図）

出典：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, Vol.69, pp.467-479. をもとに環境省が作成した。

iii）*Asteroplanus karianus*

*Asteroplanus karianus* は、有明海や噴火湾等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、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等が明らかにされている[15)、16)]（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みると、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みられる（図 4.4.133）。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 4.4.134）。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。




注）*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 4.4.133　有明海佐賀県海域における *Asteroplanus karianus* の最高細胞密度の変動

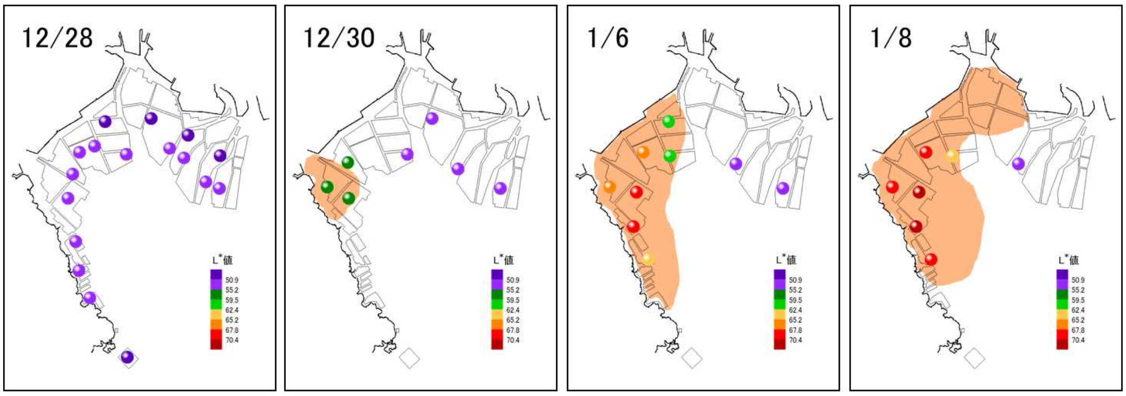



図 4.4.134　有明海佐賀県海域における *Asteroplanus karianus* による赤潮の発生海域とノリの色落ち状況の推移（2011 年度）

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、本種は水温及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にあること（図 4.4.135）、鉛直混合期に細胞密度が増加する傾向にあること（図 4.4.136）等が明らかとなってきており[15]、本種による赤潮の発生には、水塊の鉛直混合や低水温、高栄養塩濃度等の環境条件が寄与している可能性が示唆される。

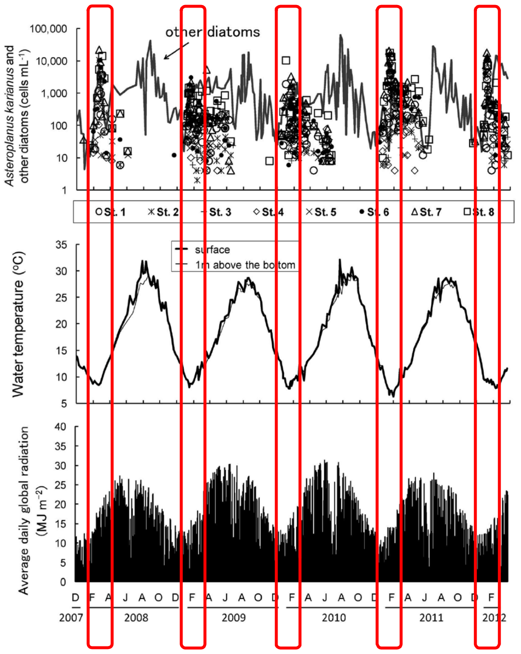



図 4.4.135　有明海佐賀県海域表層における珪藻類の細胞密度，水温及び全天日射量の推移（2007 年 12 月～2012 年３月）。

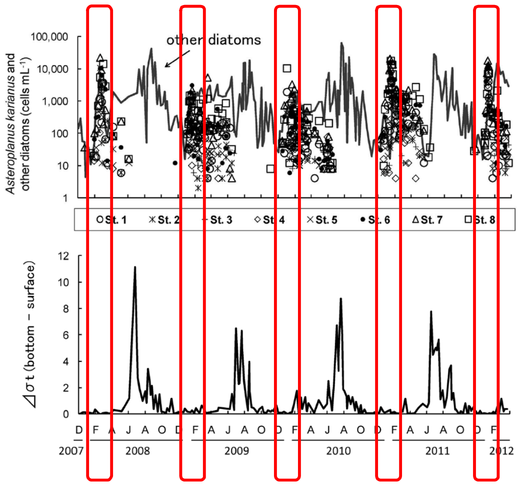
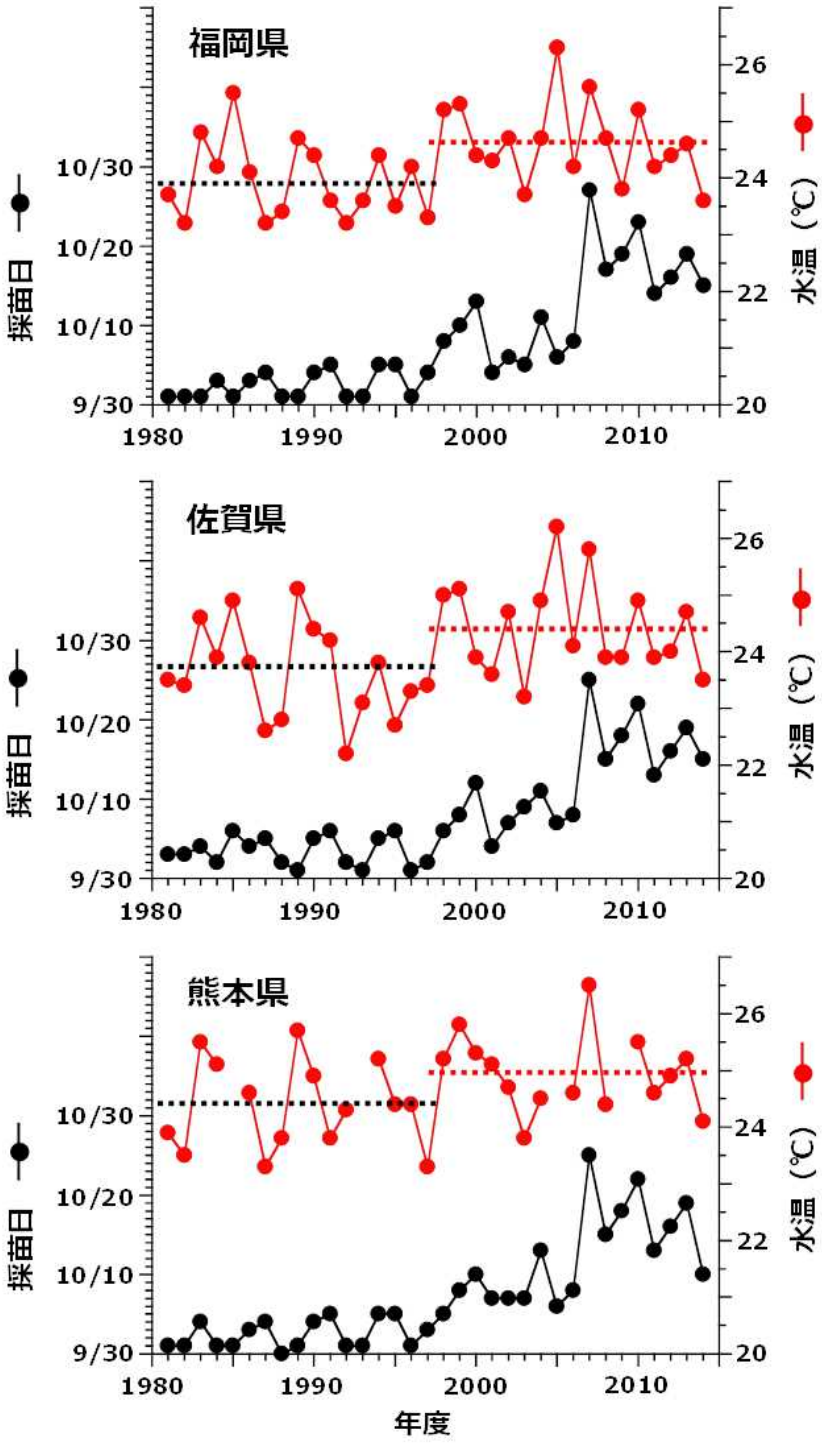



図 4.4.136　有明海佐賀県海域表層における珪藻類の細胞密度と鉛直安定度Δσｔの推移（2007 年 12 月～2012 年３月）。

出典：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，第 80 巻，第２号， pp. 222-232 をもとに環境省が作成した。

また、有明海では、1990 年代後半以降、ノリの採苗時期が遅れる傾向にある。有明海の福岡県、佐賀県及び熊本県海域における 1981 年度以降のノリの採苗日と 10 月の表層水温の推移を図 4.4.137 に示した。福岡県海域における 1997 年度までのノリの採苗日は、10 月 1～5 日（平均 10 月 2 日）の範囲にあったが、1998 年度以降 2006 年度までは 10 月 4～13 日（平均 10 月 8 日）、2007 年度以降は 10 月 14～27 日（平均 10 月 18 日）と 15 日程度も遅くなっている。同様の傾向は、佐賀県及び熊本県海域においても認められる。ノリの採苗時期は、水温や潮汐等の海況条件を踏まえ、関係者が協議のうえ決定される。特に、ノリは、採苗直後の幼芽の段階で水温 25℃以上の高水温にさらされると、様々な生育障害が生じることから[17]、[18]、[19]（山内 1974、三根ら 2013、島田 2014）、秋期水温の上昇は、ノリの採苗に多大な影響を及ぼす。実際、有明海のノリ漁場周辺海域における秋期（10 月）水温は、1990 年代後半以降、高めで推移している（図 4.4.137）。したがって、秋期水温の上昇が採苗時期の遅れやそれに伴う冷凍網期の開始（冷凍網出庫）の遅れ等につながっており、ひいてはノリ養殖の生産にも影響を及ぼしていることが示唆される。




注)1.黒色及び赤色の破線は､それぞれ 1981～1997 年度及び 1998～2014 年度の表層水温の平均値を示す。
2.ノリの採苗日は各県機関から提供されたデータを使用した。
3.10 月の表層水温については、各県機関で実施されている浅海定線調査で得られた水温データ（福岡県：定点 S4、佐賀県：定点 10、熊本県：定点 12）を使用した。

図 4.4.137　有明海の福岡県、佐賀県及び熊本県海域におけるノリの採苗日と10 月の表層水温の推移

③ まとめ

2000 年代中頃以降、有明海におけるノリ養殖の生産量は、比較的高い水準で推移しているが、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、生産量の増減がみられる。安定したノリ養殖の生産を阻害している要因として、あかぐされ病、壺状菌病、スミノリ症等に代表される病害、色落ち、水温上昇に伴う漁期の短縮等が挙げられる。ノリの色落ちは、海水中の栄養塩濃度が急激に低下し、養殖ノリに必要とされる栄養塩が減少する結果、生じる現象で、植物プランクトン、特に大型珪藻類の赤潮形成による栄養塩の消費が要因のひとつであると考えられる。また、秋期水温の上昇が採苗時期の遅れやそれに伴う冷凍網期の開始（冷凍網出庫）の遅れ等につながっている。