

八代海全体に係る問題点と原因・要因の考察

【魚類養殖業】

① 現状と問題点の特定

八代海では、ブリ、マダイ、トラフグ、シマアジなど魚類養殖、真珠養殖業も広範囲に行われている。八代海における魚類養殖については、ブリ類とタイ類で全体の90%以上を占めていることから、ここでは両者の生産量と問題点について考察する。図1にブリ類の、図2にタイ類の生産量を示した。ブリ類については、生産量が横ばいに転じた1990年代中頃以降(赤潮による大きな漁業被害があった2010年を除く)、概ね17,000～23,000tの範囲で推移している。

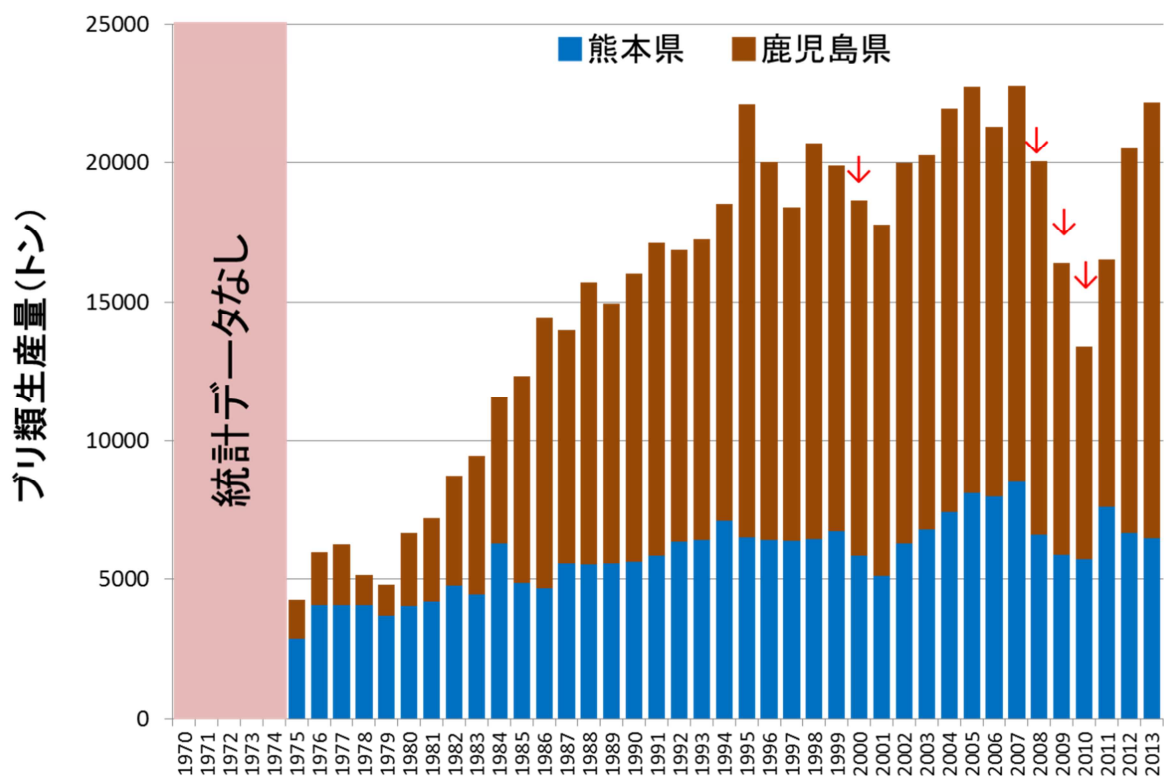


図1 八代海におけるブリ類生産量の経年推移

出典：昭和 50～平成 25 年 熊本農林水産統計年報

及び鹿児島農林水産統計年報より

※矢印は赤潮により1億円以上の漁業被害が発生した年を示す

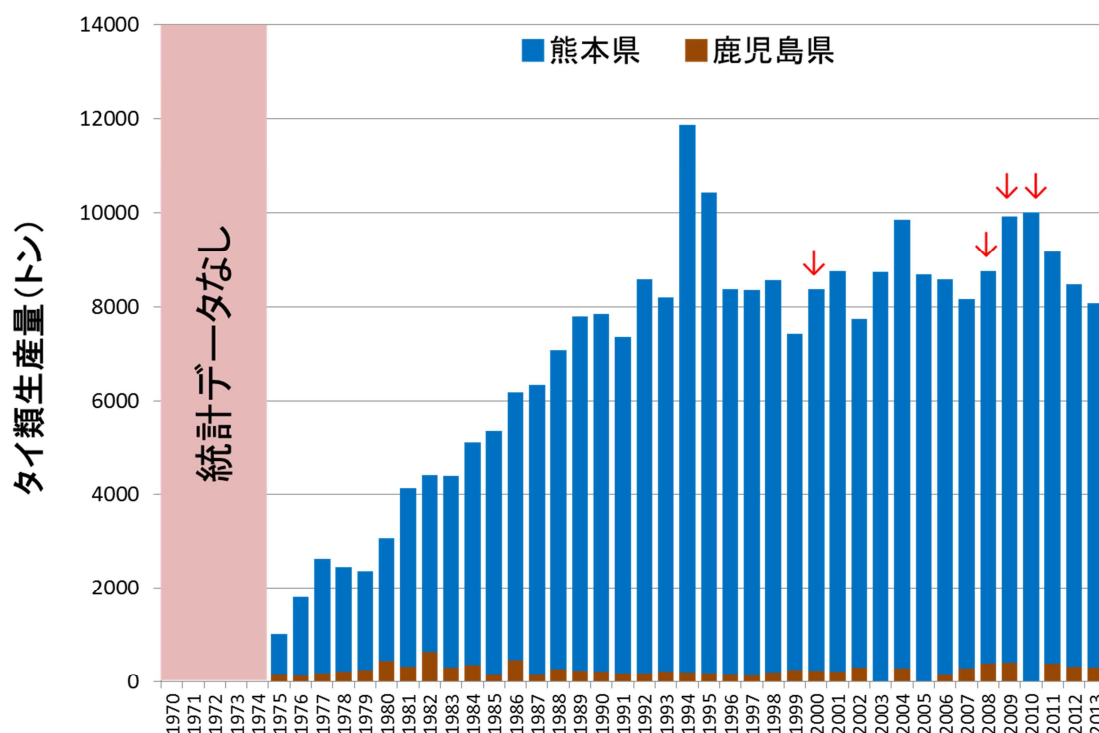


図2 八代海におけるタイ類生産量の経年推移

出典：昭和 50～平成 25 年 熊本農林水産統計年報
及び鹿児島農林水産統計年報より

※矢印は赤潮により 1 億円以上の漁業被害が発生した年を示す

タイ類については、生産量が横ばいに転じた 1990 年代中頃以降、概ね 7,400～12,000 t の範囲で推移している。

赤潮生物のなかでも、コクロディニウム属とシャットネラ属については、魚類、特にブリ類に対する毒性が強いため、赤潮が発生すると養殖魚類に甚大な被害を与えることが知られている。

② 原因・要因の考察

ブリ類については、2000 年以降、特に 2009 年および 2010 年に発生した生産減少要因として、主にシャットネラ赤潮による減産の影響が大きい。

シャットネラ赤潮については、有明海においても増加傾向が見られるが、その影響は天然魚介類のへい死、貧酸素の誘発などに限られる。一方で、八代海においては魚類養殖が広範囲に営まれていること、シャットネラは魚類に対する毒性が強く、赤潮が発生すると養殖魚類に甚大な被害を与えることから、この海域における安定した魚類養殖の生産を阻害している重要な要因であると考えられる。

八代海におけるシャットネラ属等の赤潮発生について、発生件数、最大細胞密度について図 3～4 に示した。シャットネラ属は熱帯域から温帯域に広く分布する凡世界種であり、国内では三重県海域、瀬戸内海、舞鶴湾、有明海、八代海、鹿児島湾で赤潮の発生が知られている。瀬戸内海では 1970～1980 年代に赤潮が猛威をふるったが近年は減少傾向である。1980 年代中頃から有明海や八代海で本種の赤潮が頻発するようになり、現在国内で有数の赤潮発生海域となっている。

シャットネラ属による赤潮は、1998 年まで散発的で規模も小さく、漁業被害はほとんど発生していなかった。しかし、2003～2010 年まで発生頻度・規模が急激に拡大し（図 5）、漁業被害額は 2008 年に 1.8 億円（ブリ類やシマアジを中心に 7.6 万尾へい死）、2009 年に 28.7 億円（ブリ類、マダイ、シマアジ、トラフグを中心に 245.4 万尾へい死）、2010 年に 52.7 億円（ブリ類、マダイ、シマアジ、トラフグを中心に 278.1 万尾へい死）をもたらした。

コクロディニウム属に関しては、1978～1981 年、1991 年、2000～2007 年と一定期間ごとにまとまった出現を示していた（図 5）。特に 2000～2003 年にかけての熊本県海域における赤潮発生頻度・規模は大きく、2000 年の赤潮発生では魚類養殖魚へ 39.8 億円（ブリ類、マダイ、シマアジ、トラフグを中心に 217 万尾へい死）の漁業被害をもたらした。なお、シャットネラ属とコクロディニウム属による魚類のへい死について、鰓機能の障害による窒息死という症状について共通している。

八代海においてはカレニア ミキモトイ赤潮の発生頻度は少なく、1989 年、2000 年、2009 年、2015 年に発生している。1989 年の赤潮では 2.5 億円（ブリ類、マダイ、シマアジ、トラフグを中心に 15.4 万尾へい死）の漁業被害が発生している。

ヘテロシグマ属による赤潮は散発的に発生しているが、上記 3 種に比較すると毒性が低く、大きな漁業被害は発生していない。

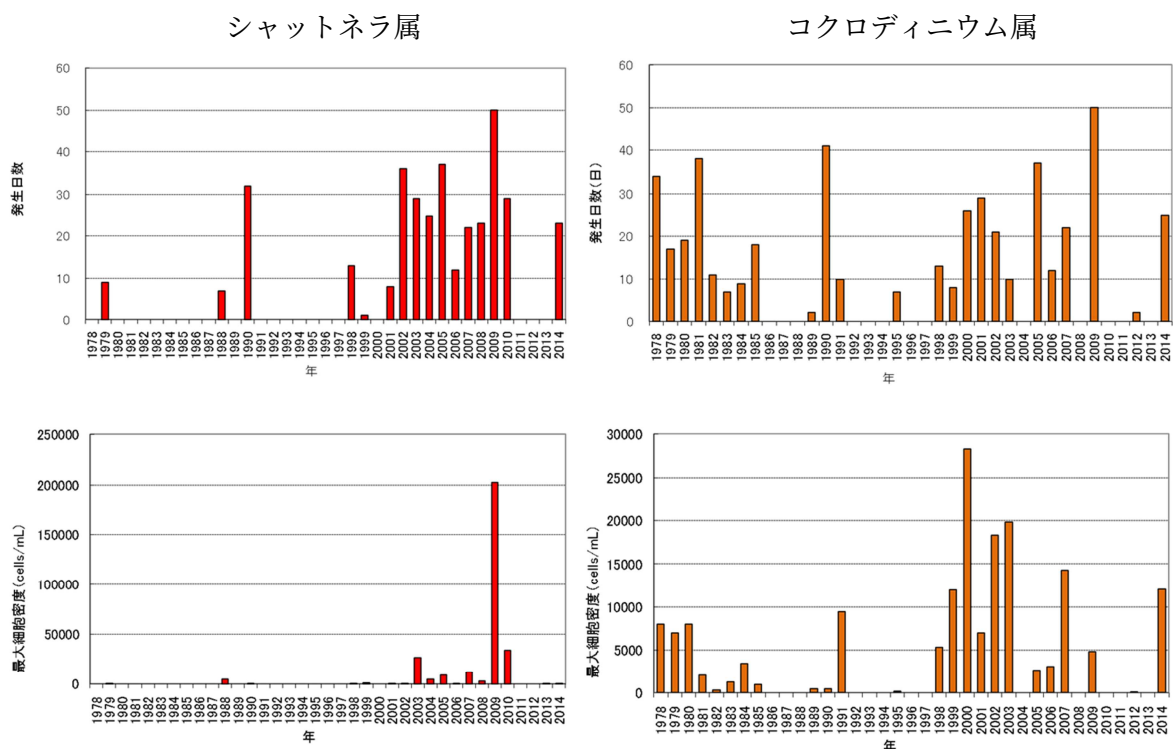


図3 八代海（熊本県海域）におけるシャットネラ属とコクロディニウム属による赤潮発生日数、最大細胞密度の経年変化
九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮」より整理

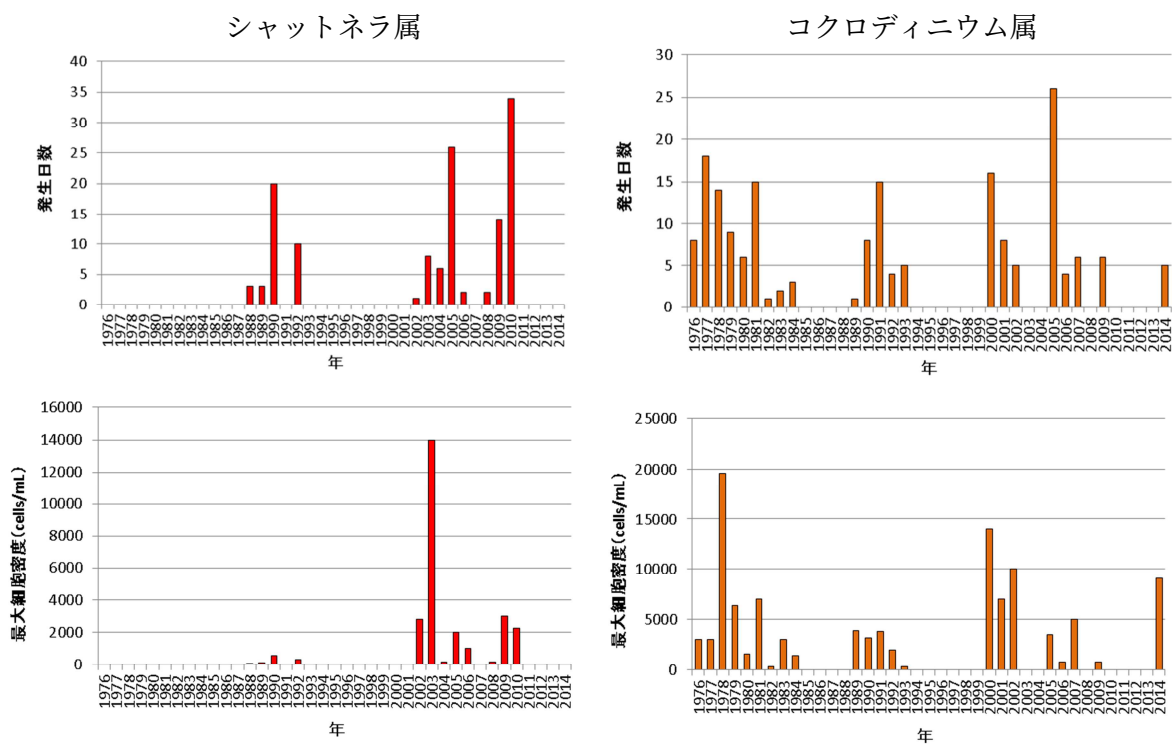


図4 八代海（鹿児島県海域）におけるシャットネラ属とコクロディニウム属による赤潮発生日数、最大細胞密度の経年変化
九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮」より整理

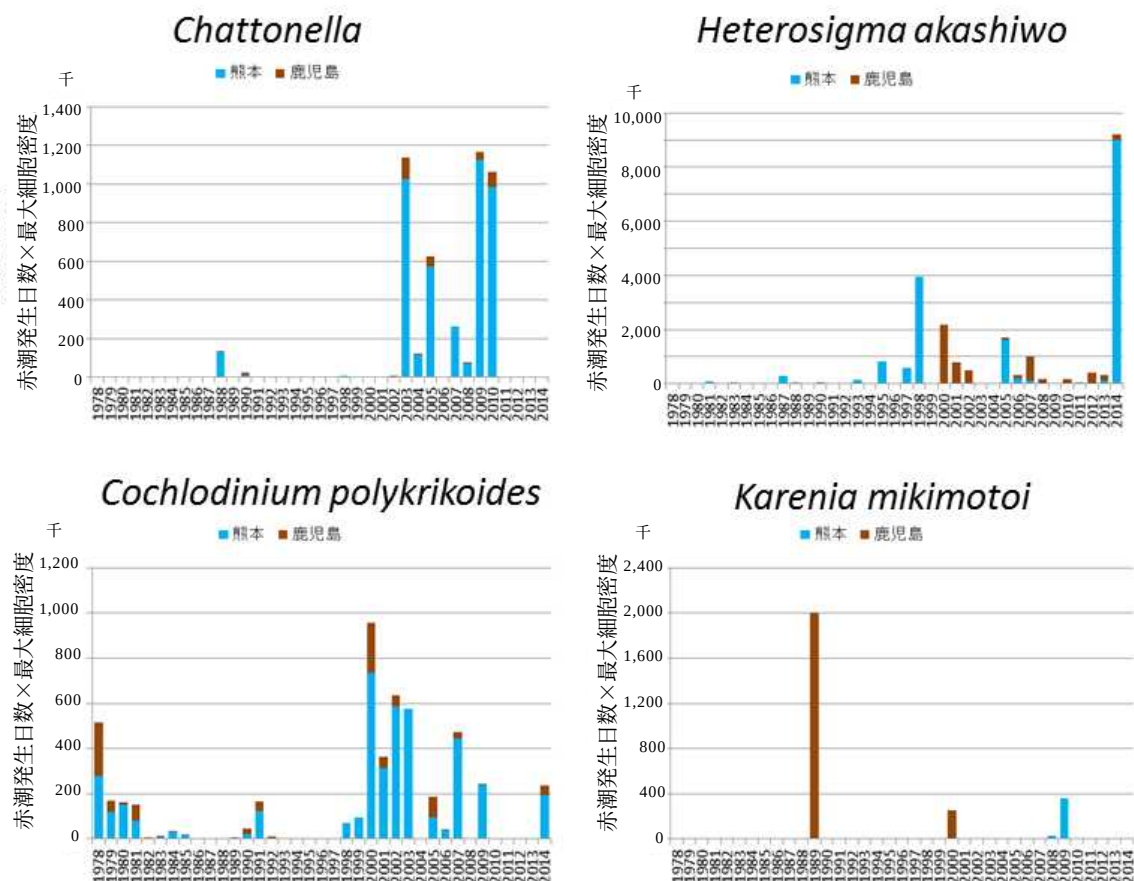


図5 八代海における有害赤潮発生規模の推移

出典：水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮（昭和53年～平成26年）」より整理

赤潮の発生規模を反映するため、以下のように総出現細胞数を算出した

総出現細胞数＝赤潮発生期間（日）×最高出現密度（cells/mL）

当該年度に複数回赤潮が発生した場合、発生件数毎に上記の計算を行って合計した

八代海ではシャットネラ属やコクロディニウム属による赤潮発生が繰り返し発生している。

ここでは、漁業被害が最も大きいシャットネラ属の赤潮発生状況と問題点について考察する。

表1に、2010年の八代海において発生したブリの大量へい死に関する調査結果を示した。各ブリ漁場における毎日のブリ死亡（寒色系）と当日のシャットネラ細胞密度（暖色系）との関係をみたところ、いずれの漁場においてもシャットネラの細胞密度が高い日あるいはそれより数日遅れてブリの死亡も発生しており、本種の細胞密度の上昇がブリのへい死に密接に関与していたことが読み取れる。

表1 2010年赤潮被害発生時の養殖漁場毎のブリ被害発生状況とシャットネラ属細胞密度との関係

出典：水産総合研究センター・鹿児島県・東町漁業協同組合（2012）2010年の八代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：魚御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解明報告書

漁場	6/21	6/22	6/23	6/24	6/25	6/26	6/27	6/28	6/29	7/1	7/2	7/3	7/4	7/5	7/6	7/7	7/8	7/9	7/10	7/11	7/12	7/13	7/14	7/15	7/16	7/17	7/18	7/19	7/20	7/21	7/22	7/23	7/24	7/25	7/26	7/27	7/28	7/29	7/30	7/31	
御所浦1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	81	54	45		120	120		72	39	60	900	38	21	21	29	40	117	94	90	234	80	78	231	39	56	23	7	0		
御所浦2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1100	100	33	33	33	33		120	192	85	29	73	18	21	14	12	14	167	75	145	130	148	104	58	84	119	15	6	0	
豊串4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	26	68	222	38	66	156	45	20	91	74	93	47	128	17	18	22	280	290	95	130	65	223	90	369	182	123	113	40	9	0
豊串5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
豊串6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
豊串7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
葛輪8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
白瀬9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
藤井10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	35	19	13	66	136	201	163	90	31	36	20	34	11	3	9	51	38	51	39	65	42	51	73	137	141	4	2	0	
三船11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	19	25	22	89	85	46	86	65	50	18	12	11	11	1	6	21	41	25	63	156	48	62	44	0	1				
三船12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
船ノ浦13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
船ノ浦14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
葛輪15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
葛輪16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
本浦17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	14	7	34	48	93	64	139	151	35	11	25	10	35	88	65	113	96	140	247	81	182	148	99	46	16	4	0		
本浦19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
本浦20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
伊賀21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
藤井24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
藤井25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
藤井26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
宮ノ浦27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
宮ノ浦28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
宮ノ浦29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
脇崎30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

各地点の上段（赤色）はシャットネラ属細胞密度（cells/mL）、下段（青色）はブリ被害率（へい死発生イケス数÷全イケス数の%表示）を示す。

細胞密度・被害率の表示色の濃淡を、数値の大小に応じて変えた。水深別・時刻別のシャットネラ密度記録のうち、ブリの分布水深に近い5～10m深におけるデータを抽出し、さらに抽出データの中での日内最大値を、ブリへい死と関連の深いものとして表示した。空欄は、データがないことを意味する。

次に魚類養殖業の阻害要因であるシャットネラ赤潮の発生と環境要因との関係について考察する。シャットネラ属の生活史を図6に示す。本属は海底泥中で耐久性の休眠孢子（シスト）を形成し、越冬した後に春先に発芽して栄養細胞となり、無性的な2分裂を繰り返すことで増殖する。従って、赤潮の発生はシストの分布と発芽、発芽した栄養細胞の増殖過程の2段階によって影響を受ける。

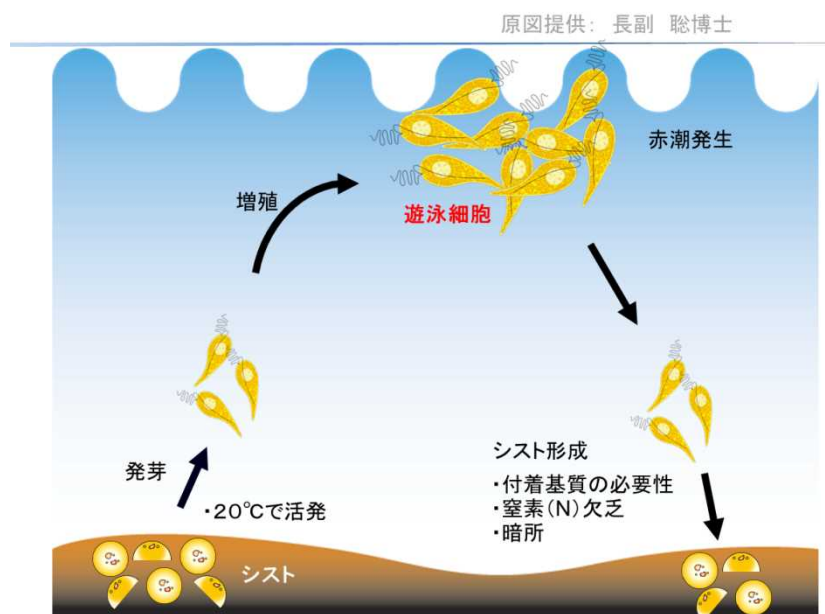
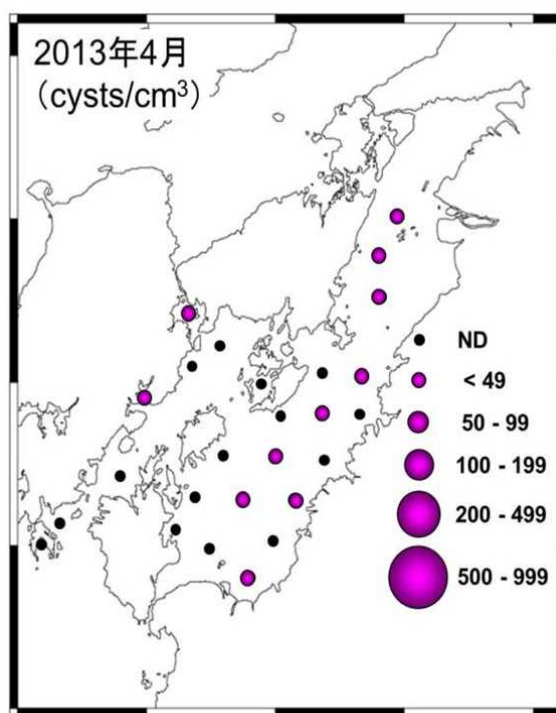
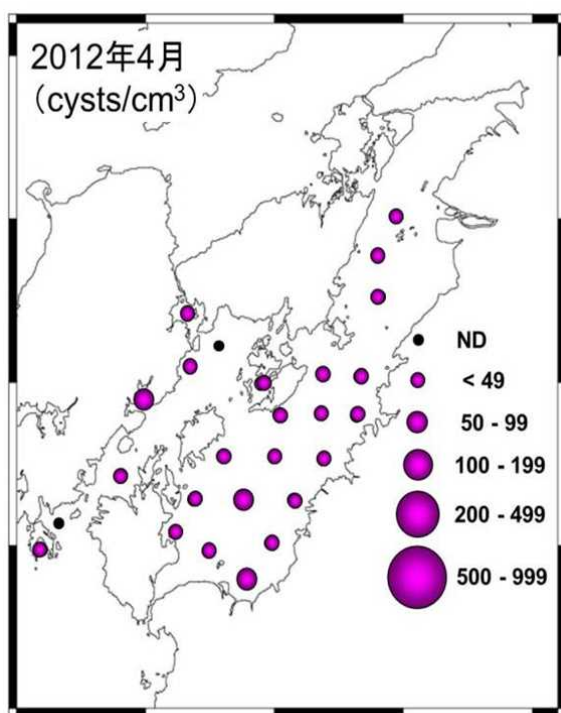
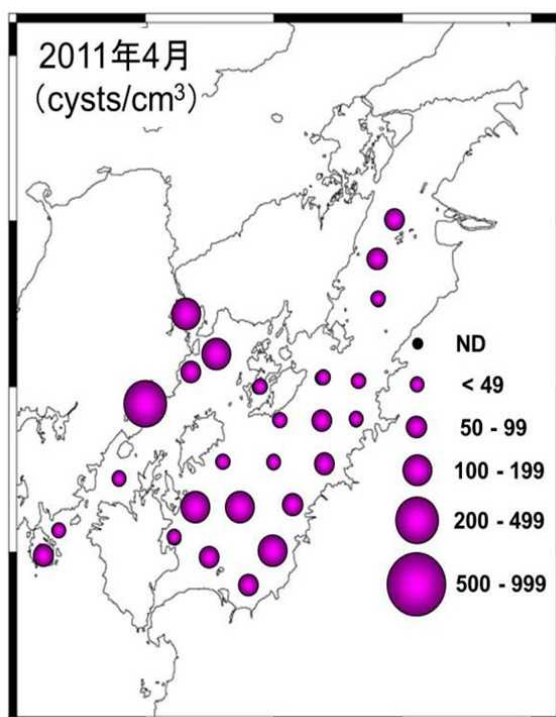
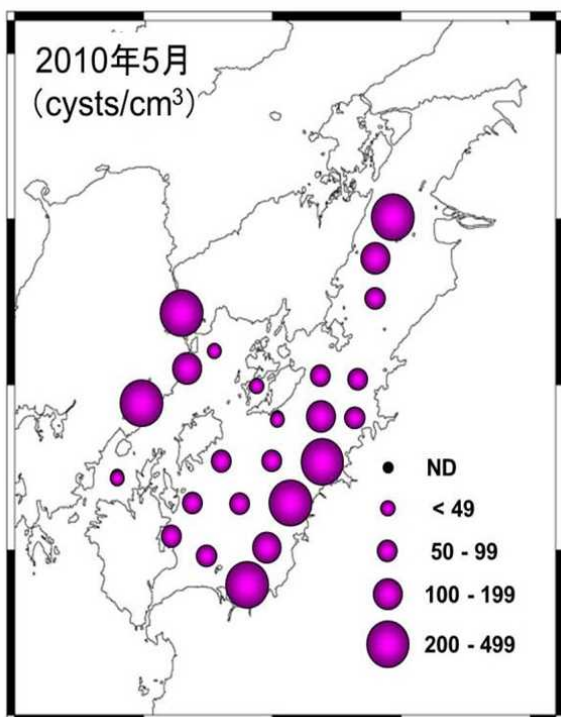


図6 シャットネラ属の生活史

図7に八代海海域におけるシャットネラ属シストの分布を示した。シャットネラ属の休眠孢子は八代海全域に分布している。過去の知見において、シャットネラ属のシストは赤潮発生規模が大きく、かつ底質の泥分率が高い海域において高密度に分布することが知られている（今井 2000）。

シストは広範囲に分布していること、シストの分布には年変動があることなどから、このデータのみから、特定の海域が赤潮の初発海域であると断定することは困難である。



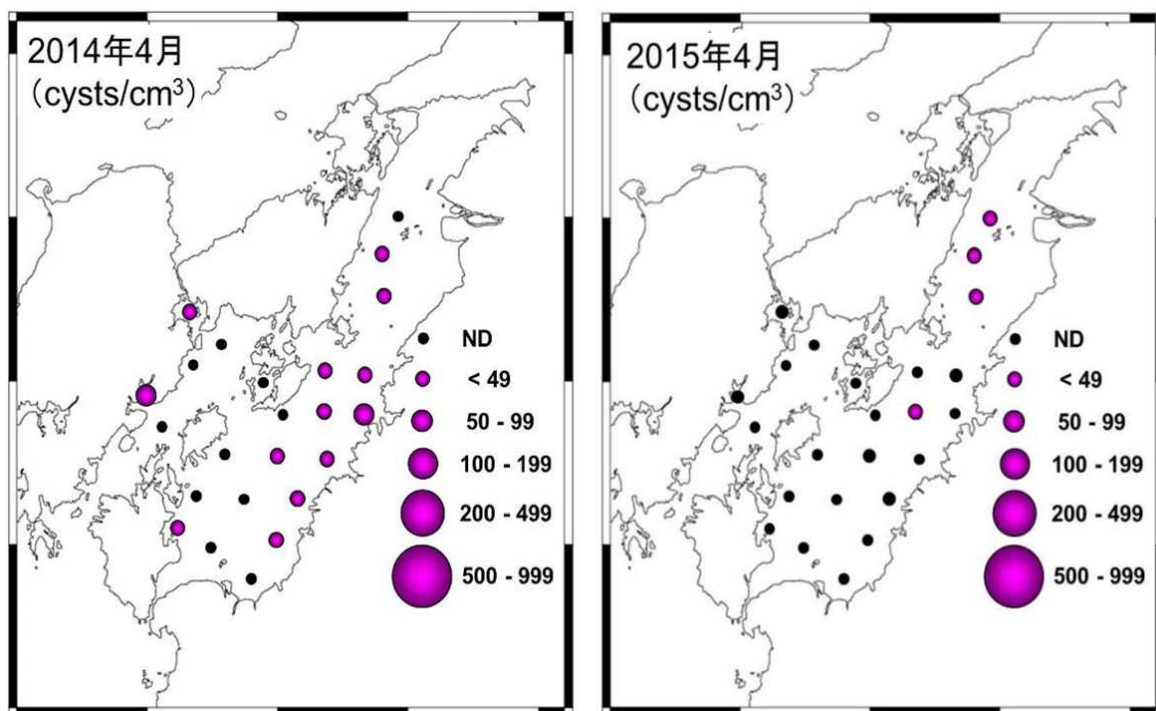


図7 八代海における *Chattonella* 属休眠胞子（シスト）の分布状況

出典：水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所のホームページより

<http://feis.fra.affrc.go.jp/topics/230610-chattonella/230610-chattonella.html>

シストより発芽し、海域へ出現した遊泳細胞は水温の上昇とともに分裂増殖する。これら初期増殖域は通常海水の停滞性が強い海域で見られることが多い。また、河口域など、極度に低塩分化する海域では至適水温であっても増殖阻害を受ける。過去のモニタリング調査の結果から、初期増殖域はY2もしくはY3海域を中心とした海域であることが推定されている。

遊泳細胞の急激な増殖は水温が20度を超える夏期にみられ、室内培養試験から得られた至適増殖水温（図8）と実際の海域における高密度出現時の水温（図9）は概ね一致している。従って、本種の増殖には第一義的に水温が重要な影響を及ぼしていることが推定される。

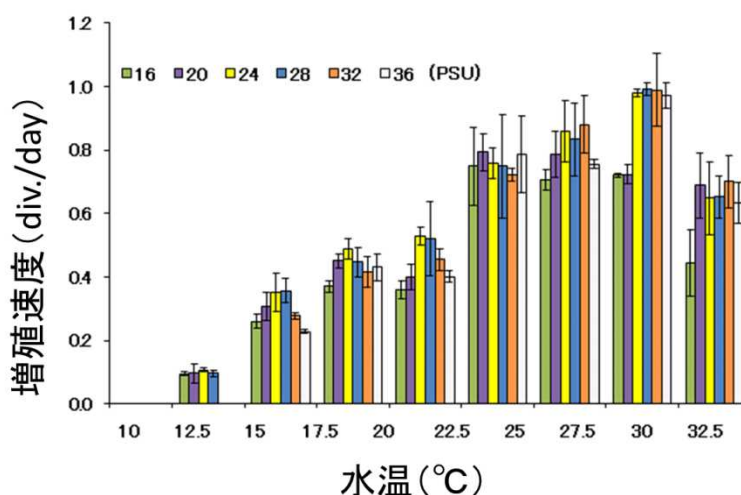


図8 諫早湾産ラフィド藻 *Chattonella antiqua* の水温・塩分に対する増殖応答

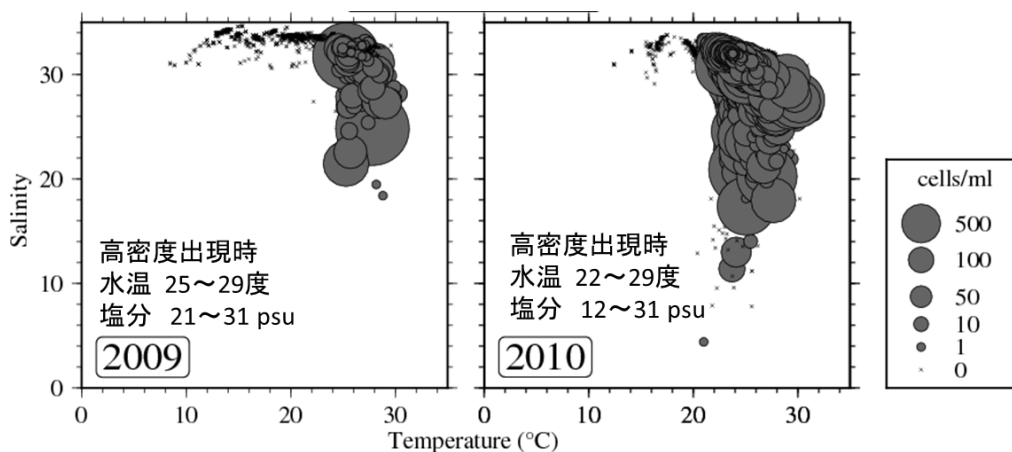


図9 2009年および2010年八代海における *Chattonella antiqua* 出現密度と水温・塩分の関係

出典：熊本県及び鹿児島県からの提供データを水産総合研究センターで整理

折田ら（2013）は、重回帰分析と気象との関係について整理したところ、6月中旬までの日照時間、平均風速および入梅日の3項目が1%未満の危険率で赤潮発生率と非発生率の平均値に有意差が認められたことを示した。北東風の増加は海底に存在するシストからの栄養細胞の発芽量促進、日照時間増加は増殖初期の光合成を促進し、遅い入梅日により赤潮発生密度に達するのに必要な栄養塩の供給タイミングが一致することで赤潮発生に影響していることが推定されている。

また、折田ら（2013）は、過去の発生状況から、八代海における赤潮について以下のⅠからⅢのパターンを示している（図 10）。Ⅰが発生頻度が高く、漁業被害はⅠとⅢで高くなる。漁業被害が大きかった 2009 年に関してはⅢ型であったと推定されている（Aoki et al. 2012。図 11）。Ⅲ型が発生する原因として、河口域からもたらされる豊富な栄養塩を用いて Y 2 もしくは Y 3 海域で増殖したシャットネラの赤潮水塊が、吹送流や密度流によって主要な漁場が存在する Y 4 や Y 5 海域へと移流拡散し、急激な細胞密度の上昇によって魚類のへい死を引き起こすためであると推定されている。

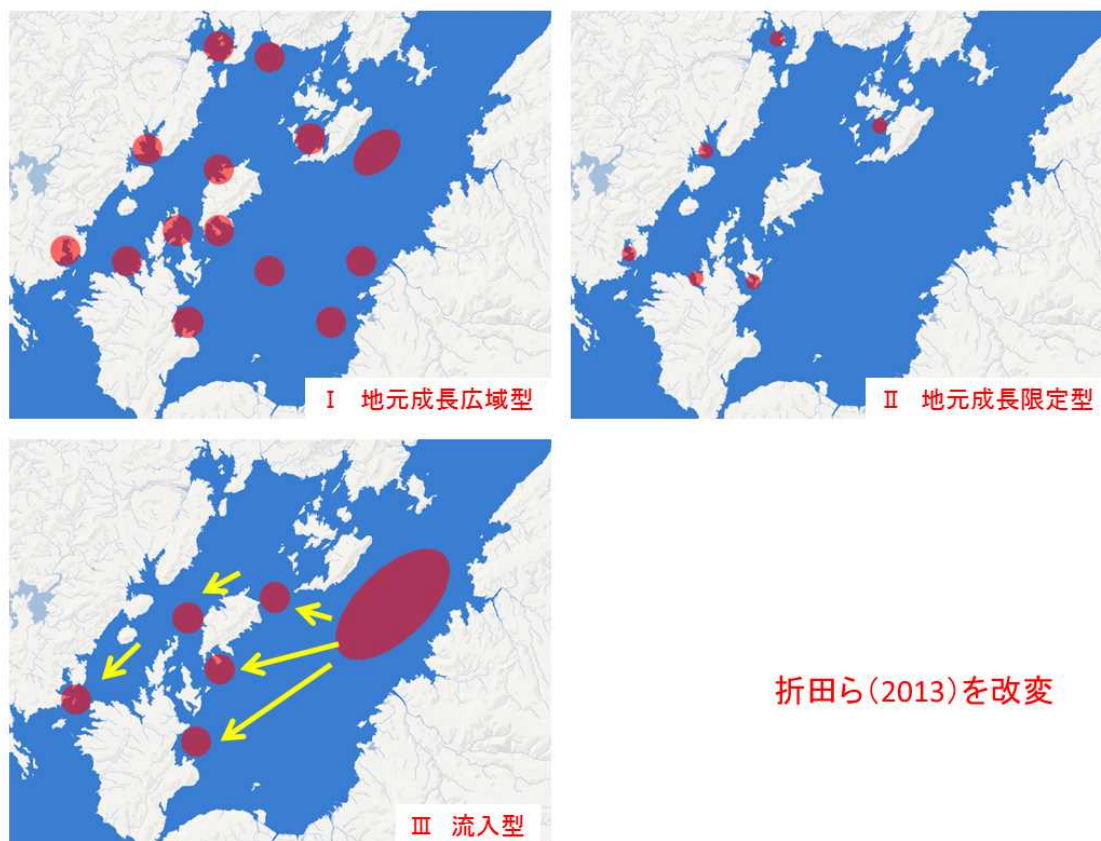


図 10 八代海における *Chattonella* 属赤潮の発生パターン
（折田ら 2013 年の図を改変）

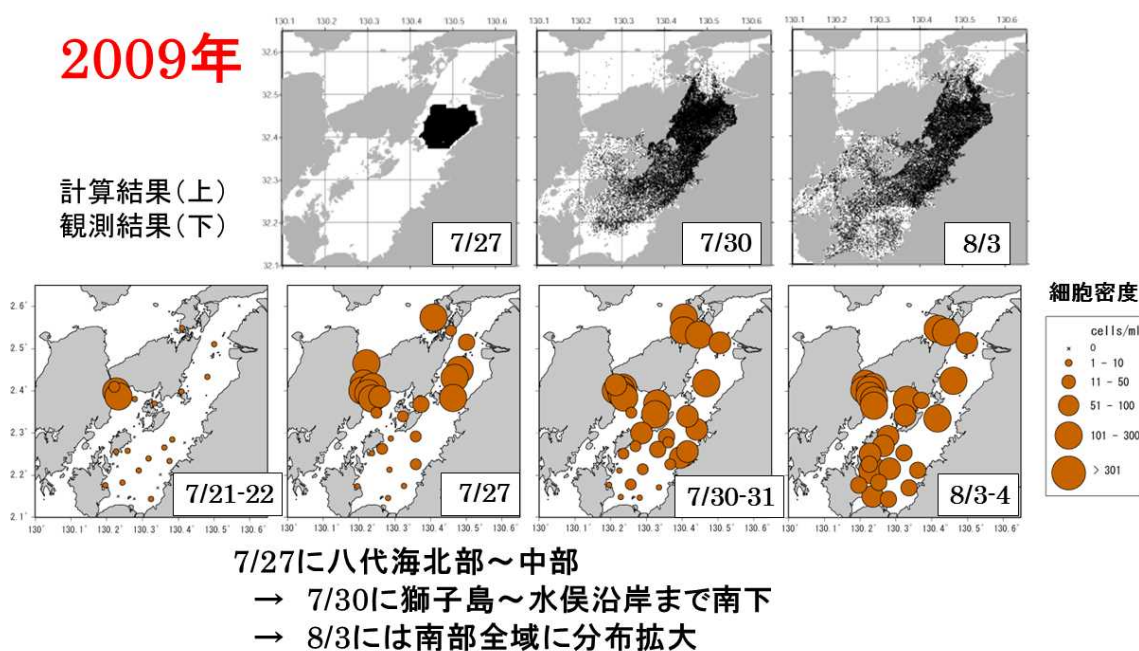


図 11 粒子追跡実験結果（上段）と 2009 年シャットネラ赤潮発生状況との関係
Aoki et al. (2012)

一般的に赤潮の発生には、好適な物理学的環境下（潮流、日照時間・光強度、水温）において、植物プランクトンの生長に必要な栄養塩等の負荷、および競合他種との栄養競合、動物プランクトンによる捕食など、化学的および生物学的要因も影響する。沿岸や内湾域における過度の魚類養殖業の展開は、残餌や糞尿から海域への栄養塩負荷を引き起こすことが知られており、クロロディニウム赤潮については、魚類養殖が盛んな海域で発生頻度が高く、魚類養殖に伴う負荷との関連が示唆されている（平成 18 年委員会報告書）。魚類養殖においては、生産効率と海域への栄養負荷軽減のため、生餌から水に難溶状のペレット状に加工されたものの割合が増加している（図 12）。内湾奥部発生型の赤潮においては、漁場周辺の栄養塩環境も影響していることが推定される。

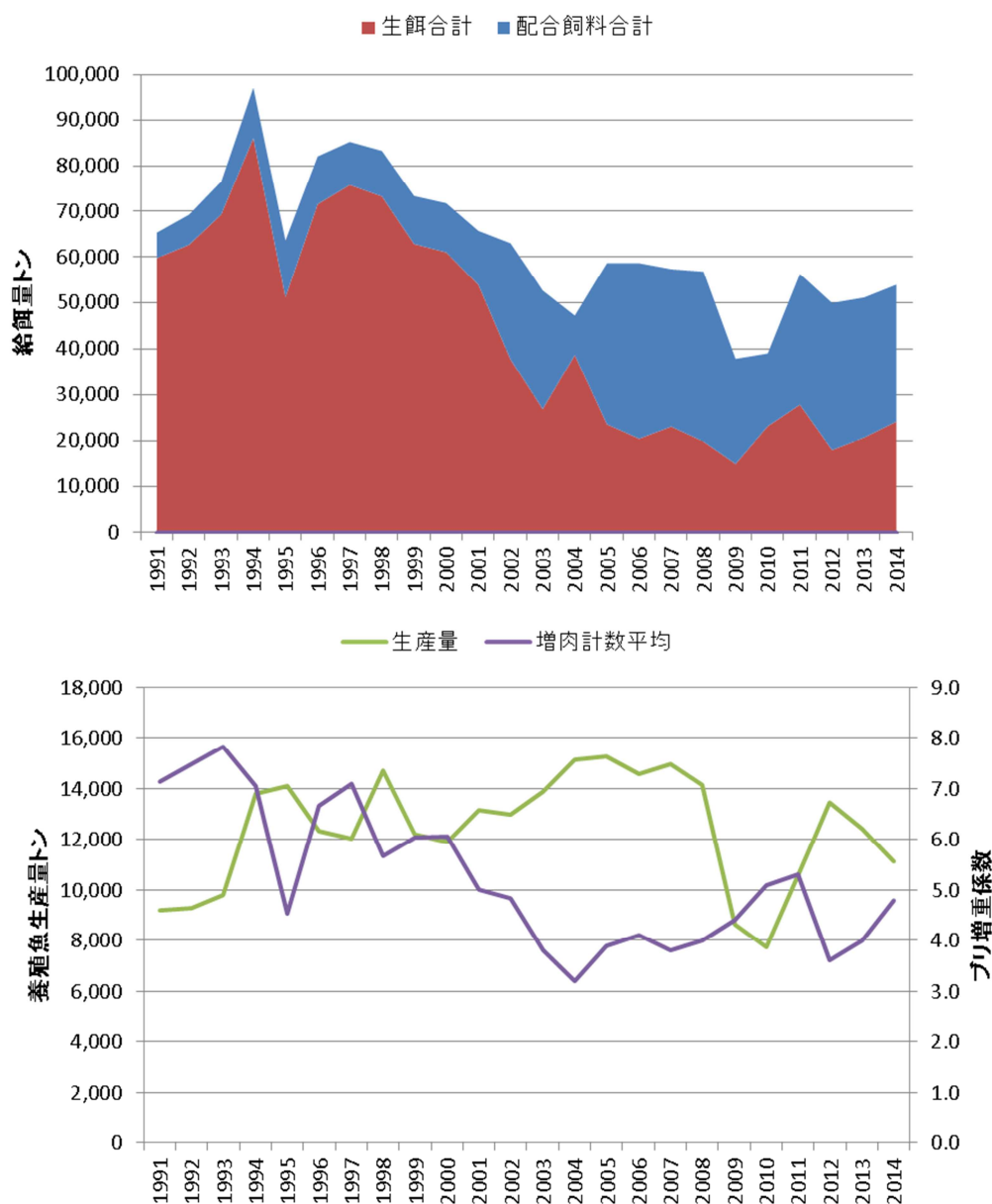


図 12 鹿児島県東町漁協における給餌量・餌料形態（上）と養殖魚生産量・ブリ増重係数の経年変化（下）（1991～2014 年）

出典：鹿児島県東町漁協提供資料

【ノリの色落ち】

① 現状と問題点の特定

八代海では、有明海と比較すると規模が小さいものの、湾奥部（熊本県海域）および南東部海域（鹿児島県海域）でノリ養殖が行われている。八代海の熊本県および鹿児島県海域における 1980 年以降のノリ養殖の生産枚数の推移を図 13 に示した。熊本県海域におけるノリ養殖の生産枚数は、2000 年代前半以降、減少傾向にあり、2009 年以降は概ね 1 千万枚前後で推移している。鹿児島県海域における生産枚数についても、2000 年代前半以降、減少傾向にあり、2010 年以降は概ね 1 千万枚弱で推移している。

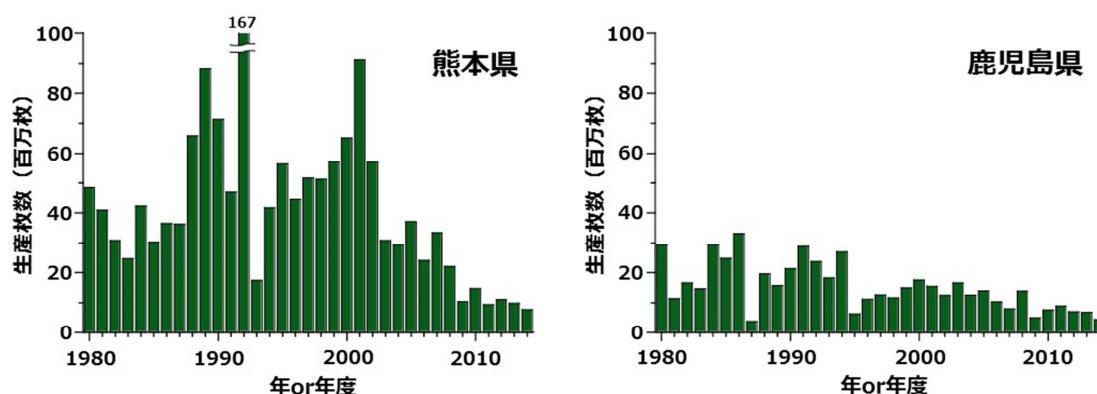


図 13 八代海の熊本県および鹿児島県海域における養殖ノリの生産枚数の推移。熊本県海域については、1988 年までは暦年（1～12 月）の集計値、1989 年以降は年度（7 月～翌 6 月もしくは 9 月～翌 4 月）の集計値。鹿児島県海域については、暦年（1～12 月）の集計値。

このように、近年、八代海におけるノリ養殖の生産枚数は減少傾向にあるが、この間、熊本県海域においては、毎年のようにノリの色落ちが発生している（図 14）。1999 年度以前のノリの色落ちの発生期間に関する記録は残されていない。

八代海の熊本県海域におけるノリ養殖の経営体数の推移を図 15 に示した。1980～90 年代には 100 経営体前後の規模でノリ養殖が行われていたが、2000 年代前半以降、経営体数は急減し、2014 年度には 11 経営体にまで縮小した。

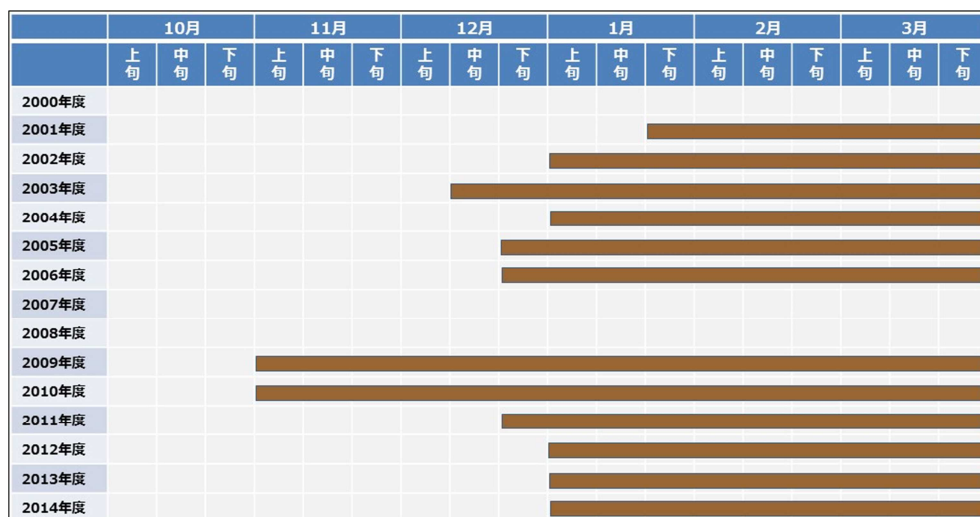


図 14 八代海熊本県海域における 2000 年度以降のノリの色落ちの発生期間
出典：熊本県水産研究センター提供資料

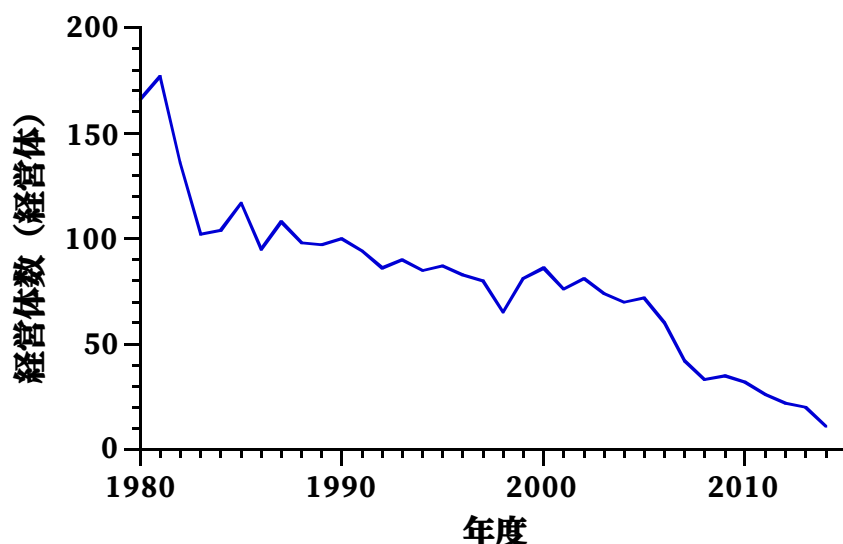


図 15 八代海熊本県海域におけるノリ養殖の経営体数の推移
出典：熊本県水産研究センター提供資料

② 要因の考察

有明海における議論でも述べたように、ノリの色落ちには、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と考えられている。八代海では、夏季に、*Chattonella* 属や *Cochlodinium* 属などによる赤潮が発生し、しばしば魚類養殖に多大な被害を及ぼしている（第3章参照）。一方で、秋季から冬季の珪藻類による赤潮の報告は少なく、発生期間が数日のものを除くと、2000 年度以降の珪藻赤潮の報告は、2010 年 2 月～4 月上旬に八代市鏡町地先で発生した *Eucampia zodiacus* と *Chaetoceros* spp. による混合赤潮 1 件のみである（水産庁九州漁業調整事務所「九州海域の赤潮」）。

珪藻赤潮の報告は少ないものの、有明海をはじめとする他の海域でノリの色落ちの原因とされている大型の珪藻類については、八代海においても出現が確認されている。

八代海の熊本県海域において、記録が残っている 2006 年度以降の *E. zodiacus* の最高細胞密度の推移を図 15 に示した。2006 年度以降、八代海湾奥部においては、ほぼ毎年、*E. zodiacus* の出現が認められている。また、八代海湾奥部における *E. zodiacus* の細胞密度と海水中の溶存態無機窒素濃度および養殖ノリの色調（黒み度）の経時変化を 2011 年度を例に、図 16 に示した。*E. zodiacus* の細胞密度の増加にともない、海水中の溶存態無機窒素濃度が減少し、養殖ノリの色調が低下していることがわかる。したがって、八代海においても、*E. zodiacus* などの大型の珪藻類をはじめとする植物プランクトンの細胞密度が増加することによって、海水中の栄養塩濃度が急激に消費され、養殖ノリ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。

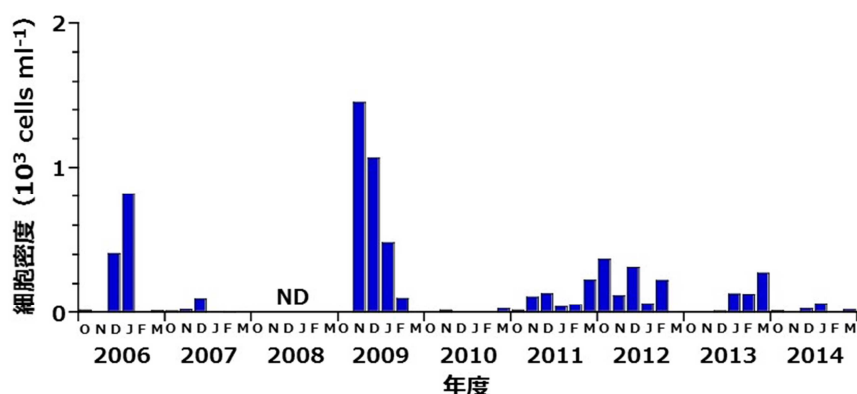


図 16 八代海熊本県海域における *Eucampia zodiacus* の最高細胞密度の経年変化（10 月～3 月）

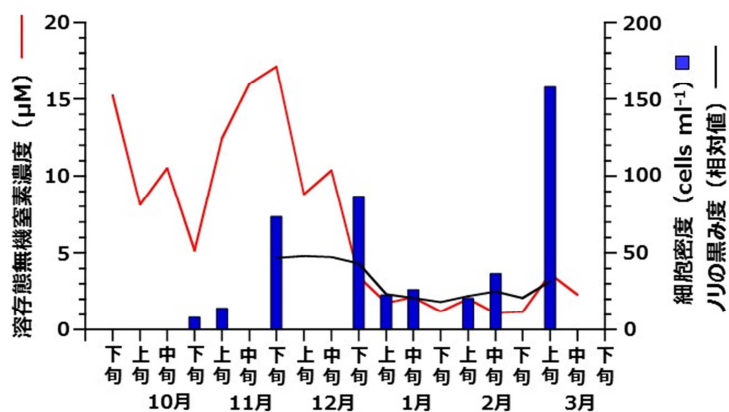


図 17 八代海湾奥部における *Eucampia zodiacus* の細胞密度と海水中の溶存態無機窒素濃度および養殖ノリの色調（黒み度）の経時変化（2011 年 9 月下旬～2012 年 3 月）

③ まとめ

ノリの色落ちは、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、養殖ノリに必要とされる栄養塩が減少する結果、生じているものと推察される。