

2007年夏季に有明海佐賀県海域で発生した *Chattonella* 赤潮

松原 賢・吉田幸史*・久野勝利*

A Series of Two Red Tides of *Chattonella* spp. Occurred in Saga Ariake Sea in Summer, 2007

Tadashi MATSUBARA, Yukifumi YOSHIDA and Katsutoshi KUNO

During the period of a field study at sea area of Saga Prefecture in Ariake Sea from June 29th to August 30th in 2007, a series of two red tides of *Chattonella marina* like cells (1st red tide) from August 1st to 13th and *C. antiqua* (2nd red tide) from August 20th to 30th occurred. These red tides extended over the Ariake Sea and continued during three weeks. '1st red tide' and '2nd red tide' occurred at above 30°C, and at 15 psu and 20–25 psu respectively. Mortalities of wild fish and shellfish and anoxic phenomena in the bottom layer were observed during and after '2nd red tide', but, not observed these events during '1st red tide'. It was presumed that the mortalities of fish and shellfish were caused by combined effects such as damage by contact of *Chattonella* cells on gills, respiration blocking by anoxic seawater, and decrease in vitalities of these organisms under high water temperature condition.

The present study implied that these red tides occurred when the favorable conditions such as the formation of the stratification, fine weather, neap tides and south winds were prepared after vertical mixing of sea water.

はじめに

Chattonella 属はラフィド藻綱ラフィドモナス目バキュオラリア科に属する鞭毛藻類である。本属には基準種である *Chattonella subsalsa* をはじめ *C. antiqua*, *C. marina*, *C. globosa*, *C. ovata*, *C. minima*, および *C. verruculosa* が記載されており、我が国では *C. subsalsa* 以外の6種の生息が確認されている¹⁾。なかでも *C. antiqua* および *C. marina* の2種は夏季に西日本の内湾を中心に大規模な赤潮を形成し、多大な漁業被害を引き起こしてきた有害種である。特に、兵庫県播磨灘で1972年に発生した *Chattonella* 赤潮は未曾有な漁業被害を伴い、「播磨灘赤潮訴訟」にまで発展したことは有名である。そうした背景もあり本属の赤潮発生機構に関する調査および研究は瀬戸内海を中心に多くなされてきたが、有明海においてはほとんど行われていない。

1984年以降に有明海佐賀県海域で確認された *Chattonella* 赤潮を表1に示す。赤潮の発生期間は佐賀

県の赤潮月報を元に、着色が確認された日から消失した日の前日までとした。近年では2004年の8月に *Chattonella* 赤潮が発生した後、2005年および2006年の2年間の非発生年を経て、2007年8月に広域かつ長期間にわたる大規模な赤潮が発生した。今回は2007年の *Chattonella* 赤潮の発生経過と環境要因との関係およびこの時期に確認された漁業被害の状況について報告する。

材料および方法

2007年6月29日から8月30日までの期間、図1に示す有明海佐賀県海域に調査地点8点を基本調査地点とし、原則として週に一回、昼間満潮前後2時間の間に調査を行った。また、必要に応じ他の調査地点を追加した。採水層は原則として表層および底層とし、必要に応じて中層(1 m層)を追加した。表層水はバケツで、中層および底層水はリゴ B 号透明採水器(離合社)で採水し、ポリビンに採取した。試水は実験室に持ち帰るまでの

* : 現在, 水産課

表1 有明海佐賀県海域における *Chattonella* 赤潮の発生例

発生年	発生期間	発生海域	赤潮構成種名	最高細胞密度 (cells/ml)	漁業被害の有無
1984	8/25~8/26	全域	<i>Chattonella</i> sp.	430	無し
1988	8/22~8/25	西部海域	<i>C. antiqua</i>	3,990	無し
1989	7/13	西部海域	<i>C. antiqua</i>	1,000	無し
1989	8/17	西部海域	<i>C. antiqua</i>	2,780	魚介類の斃死
1990	7/30~8/12	全域	<i>C. antiqua</i>	9,700	魚介類の斃死
1992	8/10~9/11	全域	<i>C. antiqua</i>	8,000	魚介類の斃死
1994	8/3~8/14	全域	<i>C. antiqua</i>	507	無し
1996	8/10~8/22	西部海域	<i>C. antiqua</i>	9,180	無し
1998	7/16~8/6	全域	<i>C. antiqua</i>	20,700	魚類の斃死と衰弱
1999	8/30~9/10	全域	<i>C. antiqua</i>	4,420	エビ・ガザミの衰弱
2000	8/7~8/29	全域	<i>C. antiqua</i>	14,570	魚介類の斃死と衰弱
2003	9/3~9/24	中部・南西部	<i>Chattonella</i> spp.	7,530	無し
2004	8/9~8/23	南西部	<i>Chattonella</i> spp.	9,120	魚介類の斃死
2007	8/1~8/26	全域	<i>C. marina</i> 様細胞 および <i>C. antiqua</i>	18,000	魚介類の斃死

間、直射日光を避け、濡れタオルで覆い、さらに水をか
けることにより温度の上昇を防いだ。

調査項目は水温、塩分、各種栄養塩類 (NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N および PO₄-P)、溶存酸素 (DO) およびプランクトン組成である。水温は調査船上で採水後すぐに水銀温度計により測定した。塩分は実験室で卓上塩分計 (鶴見精機社, Digital Salinometer E-202) を用いて測定し、各種栄養塩類はオートアナライザー (Bran Luebbe社, Traacs 2000) により Strickland and Parsons²⁾ の方

法に従って測定した。DO はウインクラー法により測定した。プランクトン組成調査は原則として表層試水 500 μl 中の種組成および細胞数の検鏡を界線スライドグラス (松浪硝子工業株式会社, S6117) を用いて倒立顕微鏡下で行った。また、気象データは気象庁統計情報ホームページ (<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>) の佐賀気象台のものを用いた。

結 果

1. *Chattonella* 赤潮の発生経過

Chattonella 赤潮の発生経過を図2に示す。

1) 赤潮発生前 (6/29~7/31)

6月29日に St.1 の北東 500m 地点において *Chattonella marina* あるいは小型の *C. antiqua* と思われる栄養細胞 (以降 *C. marina* 様細胞とする) が 2 cells/ml の細胞密度で初認された。なお、当地点での採水は着色を確認したため臨時で行ったが、原因生物は渦鞭毛藻類の *Ceratium furca* (1,488 cells/ml) であった。7月6日には St.4 でのみ 6 cells/ml の細胞密度で確認された。しかし、12日には全ての調査地点で *C. marina* 様細胞は確認されなかった。7月20日および23日には St.1, 2 を中心とした本県西南部海域において 2~24 cells/ml、7月31日にはほぼ全ての調査地点において *C. marina* 様細胞が約 10~100 cells/ml の密度で観察された。特に St.4 の 1 m 層において 622 cells/ml という比較的高密度で確認されたが、着色域は認められなかった。

2) 前期赤潮~一時衰退期 (8/1~8/17)

8月1日にはほぼ全ての調査地点において *C. marina*

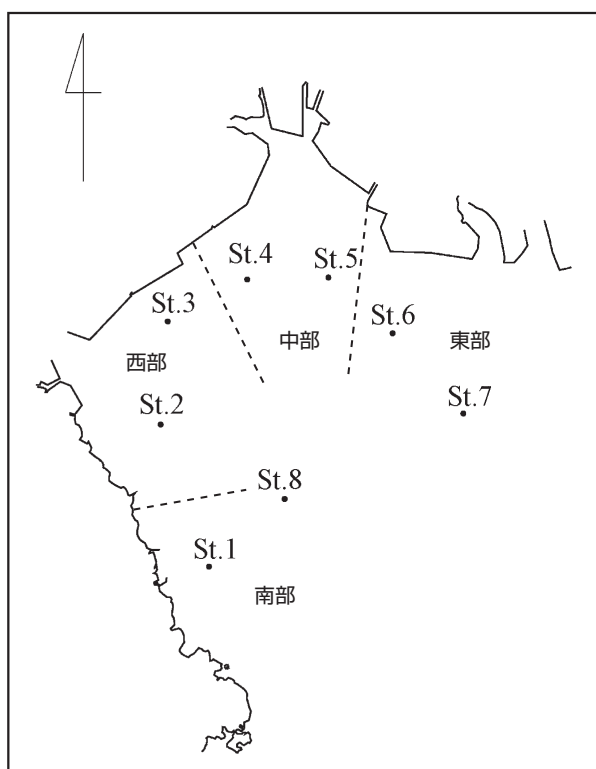


図1 調査地点

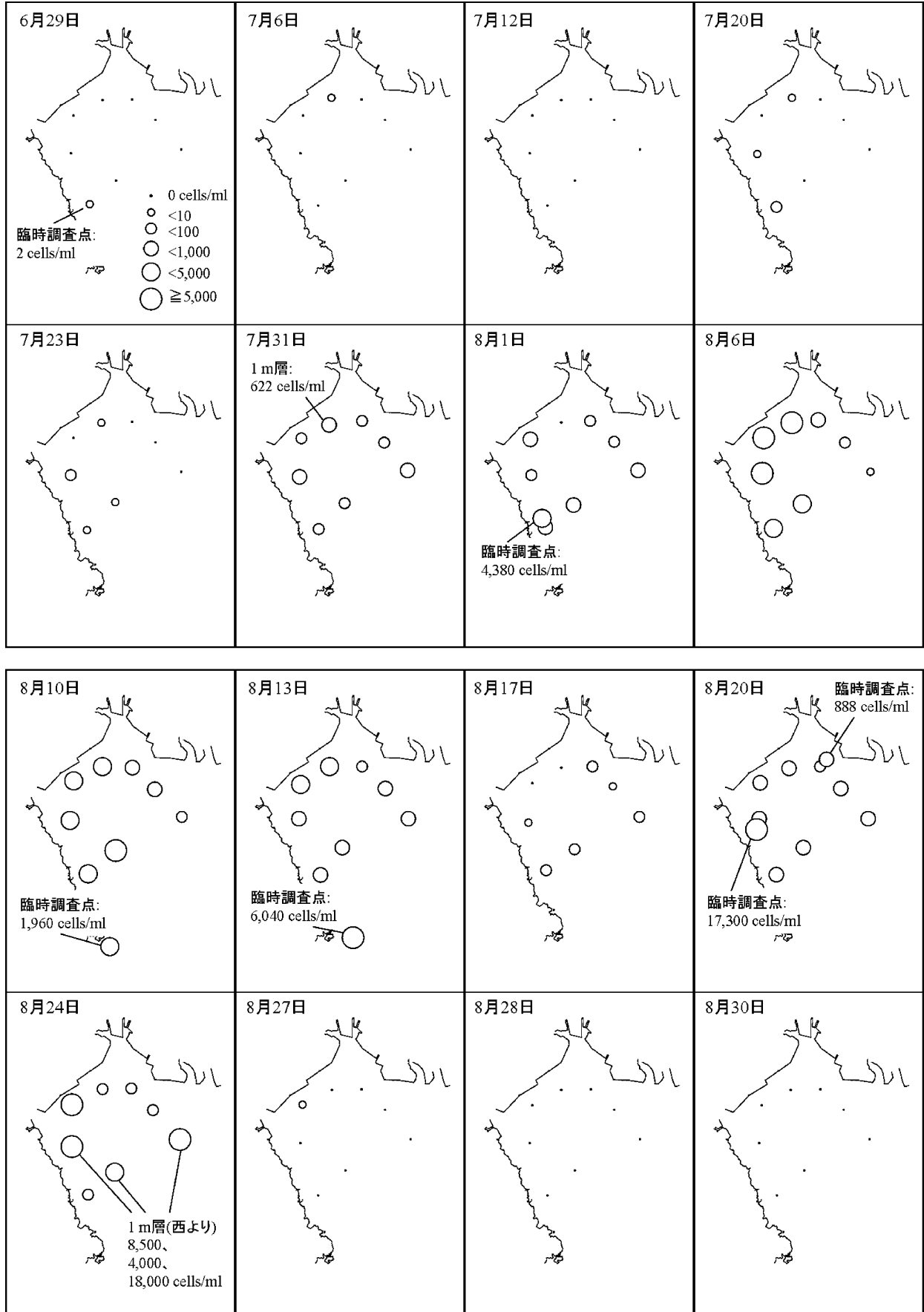


図2 2007年佐賀県における *Chattonella* 赤潮の発生経過

様細胞が確認された。特に、中部～西南部海域で濃密な着色域が形成されており、St.1の北東1 kmにおいて4,380 cells/mlに達した。8月6日には着色域が拡大し、中部～西南部海域を中心に約4,000～5,000 cells/mlとなった。この赤潮は13日の調査時まで継続したが、6日から10日までは珪藻類 *Skeletonema costatum* との混合赤潮を形成していた。しかし、13日には *S. costatum* が減少して *C. marina* 様細胞の単独赤潮となった。この前期赤潮は福岡、長崎、熊本各県の有明海海域にわたる広域的な発生であった³⁾。8月17日にはほぼ全調査地点で *C. marina* 様細胞は低密度となり、St.8で最高96 cells/mlが確認されたが *Chattonella* による着色域は確認されず、赤潮は衰退していた。なお、同時期、長崎県および熊本県の有明海海域でも *Chattonella* による着色域は確認されなかった³⁾。 *Chattonella* に替わり本県中部、南部海域では渦鞭毛藻類 *Akashiwo sanguinea* および原生動物繊毛虫に属す動物プランクトン *Mesodinium rubrum* による着色域が確認された。

3) 後期赤潮～赤潮終息期 (8/20～8/30)

8月20日には *C. antiqua* 主体の赤潮が広範囲に確認され、特にSt.2付近の臨時調査地点では17,300 cells/mlの高密度であった。24日は本県海域全域において着色域が確認され、St.3において13,000 cells/mlに達し、St.7の1 m層では今回の *Chattonella* 赤潮の最高細胞密度である18,000 cells/mlが確認された。この後期赤潮も前期赤潮と同様に、福岡、長崎、熊本各県の有明海海域にわたる広範囲な発生となった。8月27日にはSt.3でのみ8 cells/mlで確認され、本県海域における *C. antiqua* 赤潮は終息した。その後、東部海域では従属栄養型の渦鞭毛藻類 *Gyrodinium dominans* が最高19,700 cells/mlで増加し、西部海域では *A. sanguinea* の着色域が確認された。28日および30日には全調査地点において *C. antiqua* は確認されなかつ

表2 *Chattonella* 赤潮出現前後の旬別平均気温、降水量

月	旬	気温 (°C)		降水量 (mm)	
		平年値	2007年	平年値	2007年
6	下	23.8	26.3	172.8	44.5
	上	25.5	24.8	144.0	516.0
7	中	26.7	25.8	118.4	77.5
	下	27.8	28.4	74.3	0.0
8	上	27.8	28.4	61.6	189.5
	中	27.6	29.8	60.1	8.0
	下	26.8	28.5	82.7	16.0

た。

以上のように2007年の *Chattonella* 赤潮は前期赤潮の発生から後期赤潮の終息まで3週間以上の長期間、有明海4県海域にわたる大規模なものであった。

2. 気象海況

Chattonella 赤潮の出現前後における旬別平均気温、降水量を表2に、全調査地点(8点)平均の水質、 *Chattonella* 細胞および珪藻類の細胞密度および気象の変化を図3に示す。また、 *Chattonella* が発生した際の水温—塩分ダイアグラムを図4に示す。

1) 赤潮発生前 (6/29～7/31)

6月下旬の旬別平均気温は平年値を2.5°C上回っていた。7月上旬から7月中旬まで平年値を0.7～0.9°C下回ったが、7月下旬には再び旬別平均気温の平年値を0.6°C上回った。一方、表層水温は6月29日には平年値を上回り、7月6日および12日には下回った。その後7月23日に平年値を上回り、31日に再び下回った。7月上旬の降水量は516 mmと平年値を大幅に上回っていた。しかし、6月下旬、7月中旬および下旬には平年値を下回った。7月14日に台風4号が接近したが、降水量は7.5 mmと低かった。なお、梅雨明けは7月23日であり、7月下旬に降水量は記録されなかった。表層と底層の塩分差は7月6日、12日および23日の調査において5.02～13.1 psuであり、塩分層が形成されていたことがうかがえたが、台風の影響で7月14日に成層は一度崩壊したと推測された。7月31日には塩分差は1.13 psuとなり、成層の緩和が示唆された。全天日射量は7月中旬までは20 MJ/m²を下回る日が続き、時には10 MJ/m²以下となる低い傾向にあったが、7月下旬には20 MJ/m²を上回る日が大半であった。

2) 前期赤潮～一時衰退期 (8/1～8/17)

8月上旬～中旬の旬別平均気温は平年値を0.6～2.2°C上回っていた。8月6日および10日の表層水温は30°Cを超え、17日は29.2°Cであり、平年値を上回っていた。8月上旬の降水量は8月2日の台風5号の影響で189.5 mmと平年値を大幅に上回ったが、中旬の降水量は平年値を大きく下回り、8 mmであった。表層と底層の塩分差は8月6日および10日においてはそれぞれ10.72および8.88 psuであり、塩分層が形成されていたことがうかがえたが13日には塩分差が1.59 psuとなり、成層の緩和が示唆された。全天日射量は8月上旬から中旬まで20 MJ/m²を上回る日が大半であった。さらにこの期間、8月1日は大潮、7日が小潮、13

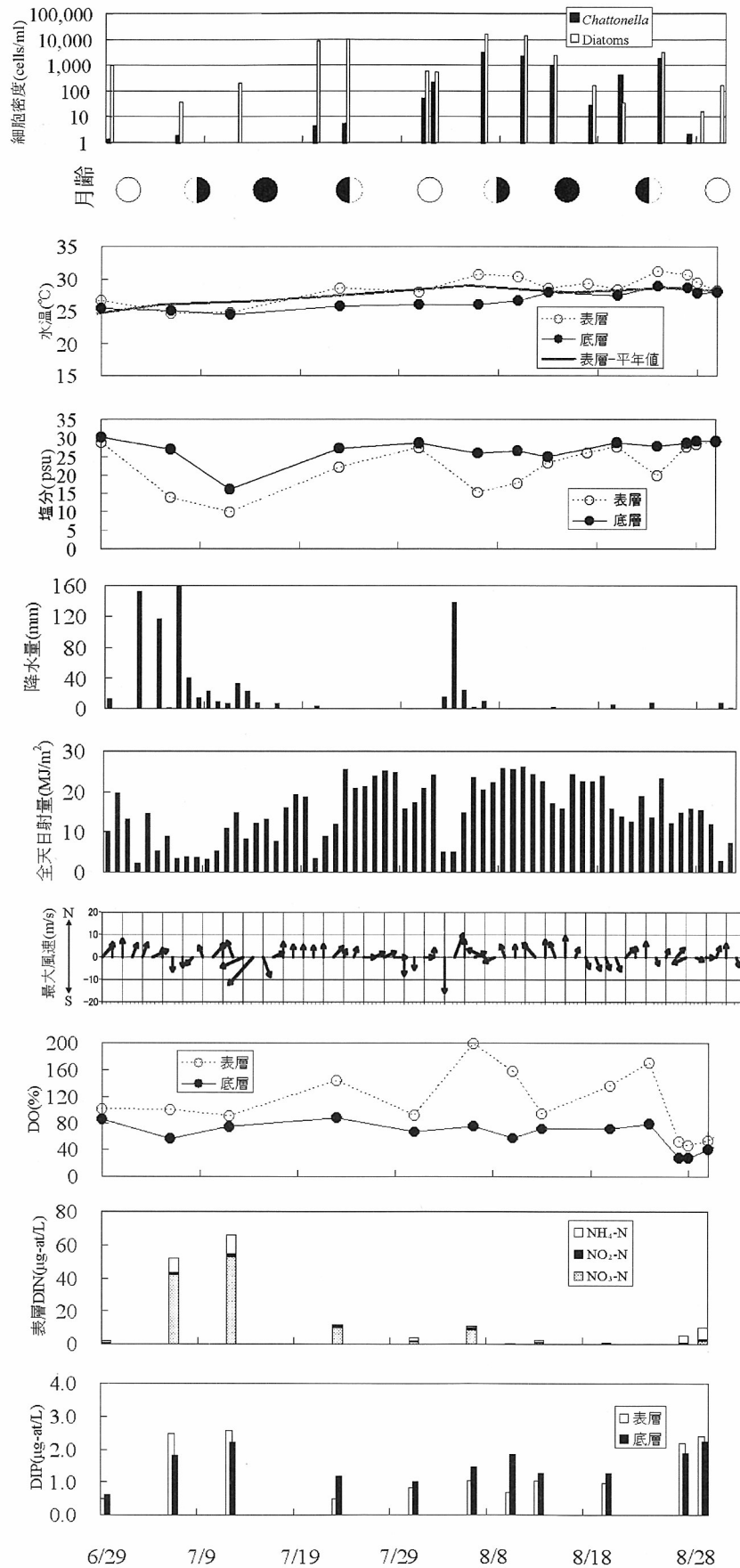


図3 *Chattonella* 細胞，珪藻類の細胞密度，気象および水質

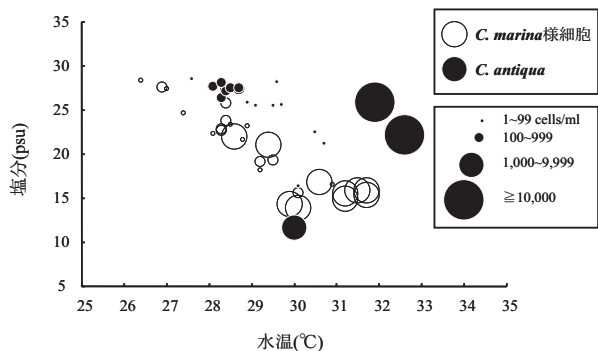


図4 Chattonella 発生時の水温-塩分ダイアグラム

日は再び大潮であり、南風が吹く傾向にあった。底層のDOの値は貧酸素の目安とされる40%をほぼ全ての調査地点で上回っていた。栄養塩に関してはDINが低濃度で推移していた。

3) 後期赤潮～赤潮終息期 (8/20～8/30)

8月下旬の旬別平均気温は平年値を1.7°C上回っていた。表層水温は、最高で31.1°Cにまで達し、常に平年値を上回っていた。一方、8月下旬の降水量は平年値を大きく下回り、16mmであった。表層と底層の塩分差は24日に7.92psuと大きくなっており成層の形成が示唆されたが、そのほかの期間で塩分差はほとんどなく、成層は崩壊して鉛直混合が起っていたことが考えられ

た。全天日射量はほぼ12～16MJ/m²の範囲であった。この期間、8月22日が小潮、29日が大潮であり、南風が吹く傾向にあった。赤潮終息後の28日以降、DIN、DIP濃度はともに若干増加した。また、DINに占めるアンモニア態窒素の割合が増加しており、St.2から3にかけて異臭が確認された。さらに底層のDOは40%以下まで低下しており、大潮期であるにも関わらず貧酸素傾向は解消されなかった。

図4に示すように前期および後期赤潮が高密度となったのは水温に関しては概して30°C以上の高水温期と共通しており、塩分に関して前期は15psu、後期赤潮は20～25psuと異なっていたが、いずれにせよ高水温、低塩分という条件下であった。

3. 斃死発生状況

赤潮発生期間中および終息後に確認された魚介類の斃死の概要を表3に示す。

1) 前期赤潮～一時衰退期 (8/1～8/17)

前期赤潮の発生期間中に、大浦地域の活け間におけるガザミの斃死以外、海域での魚介類の斃死は確認されなかった。

2) 後期赤潮～赤潮終息期 (8/20～8/30)

表3 魚介類の斃死概要一覧

日付	場 所	詳 細
8/7	大浦	活け間のガザミが斃死
8/22	大浦 里	ヒイラギ (幼魚、数千尾)、ハゼ類 (数百尾)、クチゾコ (百尾程度)、シバエビ (数百尾)、シラタエビ (数百尾) が斃死
8/23	竹崎漁港	フグ等が数百尾斃死
8/24	鹿島沖 七浦 音成 多良川河口 大浦沖	ワラスボが約千尾斃死 ハゼグチ、メナダ、ワラスボが合わせて数千尾斃死 メナダ、クチゾコ類が斃死 (尾数は少ない) ハモ、アナゴ、ウナギ等が斃死
8/25	戸ヶ里漁港	エツが無数に斃死
8/27	355 鋼管～七浦 有明海全域 竹崎島東部	調査にて採取したサルボウのうち1/3程度が斃死 エツ、アナゴ、スズキ、グチ等が斃死 フグ類、ボラ、アカメ、ワラスボ、ハゼ類、エイ類等が斃死
8/28	大浦沖 七浦地先 有明支所の漁場	潮目で多数のカタクチイワシが狂奔 放流アゲマキのうち2004、2005年度放流群の1/4、2006年度放流群の約90%が斃死 調査にて採取したサルボウはほぼ全滅
8/29	新有明支所の漁場 七浦地先 塩田川河口域	サルボウがほぼ全滅 当センターが試験放流したアゲマキが全滅 ボラ、エイが斃死
8/31	塩田川河口域 東与賀町支所の漁場 芦刈支所の漁場 白石町北明支所の漁場 竜王支所の漁場 鹿島市支所の漁場	スズキ、ボラ、ハゼ類が斃死 調査にて採取したサルボウのうち53%が斃死 調査にて採取したサルボウのうち23%が斃死 調査にて採取したサルボウのうち88%が斃死 調査にて採取したサルボウがほぼ全滅 調査にて採取したサルボウのうち48%が斃死
9/7	大浦	カキ養殖の70～80%が斃死

後期赤潮の発生期間中に、本県海域において天然魚介類の斃死が発生した。22日に太良町の里海岸等でヒイラギ、ハゼ、クチゾコ、シバエビおよびシラタエビ等の、24日に鹿島沖でワラスボ、七浦音成地先でハゼグチ、メナダおよびワラスボ等の、大浦沖でハモ、アナゴおよびウナギ等の斃死等が確認された。さらに、27日にSt.3以南の西部海域においてサルボウの斃死が、28日には鹿島七浦地先において放流アゲマキの斃死が確認された。31日には有明海中西部の漁場でサルボウの斃死が確認された。また、9月7日の当センターによる調査で、大浦における養殖カキの斃死が確認された。

考 察

1. 赤潮発生と気象海況との関係

1) 赤潮発生前 (6/29~7/31)

Chattonella のシストの発芽は15℃から始まり、22~25℃で最も活発に起こると報告されている⁴⁾。*C. marina* 様細胞が初認された6月29日で底層水温はすでに25℃付近にあり、シストから発芽した栄養細胞は水中にかなり以前から供給されていたはずである。しかし、7月12日まで*C. marina* 様細胞はほとんど観測されなかった。この原因の1つとして、7月上旬は降水量が多く全天日射量が顕著に低かったことで*C. marina* 様細胞の増殖が制限されたことが考えられた。

Chattonella の増殖を促進する要因としては、鉛直混合等による底泥からの鉄分およびビタミン等の増殖促進物質の供給や、日射量の増加および水塊の安定が重要であるとされる^{5,6)}。7月14日の台風で底泥が攪拌され、その後7月下旬に全天日射量が増加したことで、7月20日から31日にかけては*Chattonella* の増殖を促す環境条件が整ったことがうかがえたが、7月20日から23日にかけて*C. marina* 様細胞の増加は僅かであった。*Chattonella* 赤潮は海域中に有力な栄養塩競合種である珪藻類が少ない期間に発生するとされる⁵⁾が、この期間、海域には珪藻類(*S. costatum* 主体)が繁茂しており、*C. marina* 様細胞の増殖を栄養塩競合により抑制していた可能性が考えられた。

2) 前期赤潮～一時衰退期 (8/1~8/17)

前期赤潮は8月1日に中部～西南部海域で発生して6日以降着色域を拡大し、13日まで継続した。*Chattonella*赤潮の発生条件として、鉛直混合後、引き続き成層が形成され、好天が続き、日照時間が長くなる必要があるとされる^{5,7)}。また、潮汐が赤潮の集積

に適している場合でも、潮流の方向と逆向きに強風が吹くと*Chattonella*の急増は見られないか、急増していても細胞が散逸するため、*Chattonella*赤潮の発生には潮汐と風の条件がともに好適である必要がある⁸⁾。8月2日の台風5号による鉛直混合後、塩分成層が形成され、好天が継続するなど8月2日以降は*Chattonella*赤潮に好適な状況にあったと思われる。さらに、この期間は小潮および南風の複合的な条件から判断して、*Chattonella*赤潮が拡散されず維持されやすい条件が整っていたことが推測された。一方、前述したように*Chattonella*赤潮は海域中に栄養塩競合種である珪藻類が少ない場合に発生するとされるが、8月6日から10日までは珪藻類*S. costatum*との混合赤潮であった。*C. antiqua*は*S. costatum*からアレロパシーや細胞接触による増殖抑制を受けないことが室内実験において確認されており(山崎他 未発表)、栄養塩競合が起こらなければ*Chattonella*属は*S. costatum*と共存可能であると思われる。*C. marina*様細胞がほとんど増殖できなかった7月20日から23日までとは異なり、8月6日から10日までは*C. marina*様細胞と*S. costatum*の細胞密度のバランスが栄養塩競合において平衡状態にあったのかもしれない。

8月17日に*C. marina*様細胞の赤潮は衰退したが、これは13日以降の大潮や鉛直混合および16日以降の北風による赤潮の拡散等が影響したものとと思われる。

3) 後期赤潮～赤潮終息期 (8/20~8/30)

8月20日から24日にかけての後期赤潮形成時の環境は前期赤潮の場合と同様に、20日までの鉛直混合の後に再び塩分成層の形成、小潮、南風の傾向にあるという赤潮形成に好適と思われる状況であった。

8月27日以降に赤潮は終息したが、これは大潮期になり塩分成層が崩壊していることから、海水の攪拌により赤潮が拡散されたことが要因の1つと考えられた。*C. antiqua*赤潮の終息後、東部海域では従属栄養型の渦鞭毛藻類*G. dominans*が増加した。*G. dominans*は*C. antiqua*を捕食するという報告があり⁹⁾、*C. antiqua*から*G. dominans*への種交替の要因の1つとして考えられた。28日以降、DINに占めるアンモニア態窒素の割合が増加し、底層のDOは40%以下まで低下していた。このアンモニア態窒素の増加および貧酸素化は、衰退した*Chattonella*細胞および赤潮発生時期にみられた斃死魚介類由来の有機物が好気性細菌により分解される過程で引き起こされたものと考えられた。

今回、*Chattonella*赤潮の変遷とDINおよびDIP濃

度変化との間に明確な因果関係は見出せなかった。ここでは有機態窒素およびリンのデータは示していないが、*C. antiqua* は窒素源として硝酸塩、アンモニウム塩、尿素等を利用するがアミノ酸は利用せず、またリン源として主にリン酸塩を利用し、株によってはグリセロリン酸をある程度利用する程度であるとされる¹⁰⁾。故に、*Chattonella* の赤潮発生に関してはさほど有機態の窒素およびリンの動態を考慮する必要はないものと思われるが、有明海産の *Chattonella* 株の栄養利用特性を今後研究する必要がある。

2. 魚介類の斃死原因

2007年に発生した2度の *Chattonella* 赤潮において、前期赤潮時には天然魚介類等の被害は発生せず、後期赤潮時に発生した。*Chattonella* は活性酸素を放出して魚類の鰓を損傷させ窒息させることが報告されており^{11,12)}、*Chattonella* の赤潮海水でアサリが斃死することも室内実験で調べられている¹³⁾。また赤潮の終息後に赤潮生物の細胞が分解される過程で生じる貧酸素により魚介類が被害を受けることが一般に知られている。今回の一連の魚介類の斃死は30℃を上回る高水温で活力が低下している状況の中で、*Chattonella* による直接的な影響と貧酸素による酸欠の影響が複合したことが原因で生じた可能性が高いと考えられた。天然魚類の斃死については貧酸素条件下でない状況でも発生したので高水温と *Chattonella* 細胞による影響が大きく、一方、貝類の斃死に関しては赤潮の終息および魚類の斃死を受けて底質が悪化し、それにより引き起こされた貧酸素化も大きく影響していると思われる。

次に前期赤潮では魚類の斃死が発生せず、後期赤潮で発生した要因を考察する。まず前期赤潮よりも後期赤潮において細胞密度が濃密であったことが要因の1つとして考えられた。また、*C. antiqua* の魚介類への影響は環境条件によって異なり、塩分に関しては低塩分の場合、魚類の狂奔が起こらないという報告がある¹⁴⁾。そこで、2度の赤潮時の塩分に着目すると、前期赤潮時で塩分が低く(図4)、そのために斃死が軽減された可能性がある。また、前期赤潮は *C. marina* 様細胞の赤潮であったが、後期赤潮は *C. antiqua* 主体の赤潮であった。*C. marina* 様細胞が実際には *C. marina* であったのか、もしくは *C. antiqua* の尾部が消失した細胞であったかは検鏡観察だけでは判断できなかった。しかし、いずれにせよ前期赤潮と後期赤潮の *Chattonella* は種もしくは生理状態が異なる細胞であったことは間違いなく、前期赤潮の *C.*

marina 様細胞は魚介類の斃死を引き起こさない細胞であったかも知れない。他の要因としては前期赤潮によりダメージを受けていたところに後期赤潮が発生したことで致命的な影響を受けたということも十分に考えられた。

3. 2007年赤潮発生の特徴および今後の課題

以上のように、2007年の有明海佐賀県海域における2度の *Chattonella* 赤潮は海水の鉛直混合後に成層の形成、好天、小潮、南風という条件がそろった時期に発生した。この *Chattonella* 赤潮発生の特徴は過去に播磨灘で提唱された *Chattonella* 赤潮発生機構⁵⁾との共通点多かったが、珪藻類との混合赤潮の形成、細胞密度の変遷と DIN および DIP の動態との間に因果関係が見出せないなど有明海に独特な発生状況を示した。

2006年夏季には過去最大規模の貧酸素水塊が発生した¹⁵⁾が顕著な天然魚類の斃死は確認されず、サルボウの斃死も2007年のように大規模ではなかった(森 私信)。魚介類の斃死が *Chattonella* 赤潮および貧酸素の複合的な作用によるものならば、有明海における *Chattonella* 赤潮発生機構の解明および赤潮発生予察法の構築を急ぐ必要がある。

今回は主に物理的要因と赤潮発生との関連について整理したが、*Chattonella* 細胞の増殖生理に関してはあまり議論できていない。有明海における *Chattonella* 赤潮発生機構を解明するには有明海産 *Chattonella* 株の増殖に及ぼす化学的、生物学的要因に関する調査および研究を充実させる必要がある。例えば、*Chattonella* は鉄およびビタミンを増殖に要求することがよく知られている¹⁶⁾。一般に、鉄は底泥からの溶出もしくは河川水の流入により海域に供給されるとされ、川村ら¹⁷⁾は有明海に流入する河川水に高濃度の鉄が含まれていることを示唆している。現に今回の赤潮の発生時には海域の塩分の低下が観測されている。今後 *Chattonella* 細胞および鉄等増殖促進物質の動態を河川流量や降水量に着目して調査および解析し、さらに室内実験で有明海産 *Chattonella* 株の増殖促進物質の利用特性を調べることで、*Chattonella* 赤潮と塩分低下との因果関係を明らかにする必要がある。

また、播磨灘においても今回の赤潮と同様に *C. marina* から *C. antiqua* への赤潮形成種の交替現象が報告されている¹⁸⁾。しかし、短期間での *Chattonella* における同属間での種交替の機構は不明であり、両種の分類学的見地からの今後の研究が必要であろう。

有明海における *Chattonella* 赤潮はもはや恒常化していると言っても良く、過去の *Chattonella* 赤潮に関する情報を整理し、予察指針を作成することも必要である。播磨灘では底層水温が高めに推移し、シストの発芽時期に早く到達した年に *Chattonella* 赤潮がよく発生すると報告されている¹⁹⁾。また同海域において毎年の赤潮発生日を水温加算によって予測することが試みられており、水温の単純累積値によって *Chattonella* 赤潮発生日が予測できることが示されている⁶⁾。さらに本報告において、2007年の有明海佐賀県海域における *Chattonella* 赤潮の発生経過と環境要因の関係を考察した。こうした情報をもとに過去のデータを整理することで本県海域における *Chattonella* 赤潮発生の予察法の構築が期待される。

本報告では有明海佐賀県海域における *Chattonella* 赤潮の発生と環境要因との関係について議論した。しかし今回の赤潮は有明海広域にわたる大規模なものであり、問題は佐賀県海域に留まらない。有明海における *Chattonella* 赤潮問題の抜本的な解決のためには、有明海全体の調査データを集約し、解析する必要がある。

最後に、本報告書の執筆にあたり多大なご助言を頂いた九州大学名誉教授の本城凡夫先生に厚く御礼申し上げます。また、*C. antiqua* と *S. costatum* の増殖競合に関する貴重な情報を頂いた長崎大学水産学部の山崎康裕博士に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 千原光雄・村野正昭 (1997) : 日本産海洋プランクトン検索図説. 初版, 157-168, 東海大学出版会, 東京.
- 2) JDH Strickland and TR Persons (1972) : A practical handbook of seawater analysis. Second edition, 310, Fisheries research board of Canada, Ottawa.
- 3) 水産庁九州漁業調整事務所 (2008) : 平成 19 年 九州海域の赤潮.
- 4) I. Imai, S. Itakura and K. Itoh (1991) : Life cycle strategies of the red tide causing flagellates *Chattonella* (Raphidophyceae) in the Seto Inland Sea. Marine Pollution Bulletin, (23), 165-170.
- 5) 社団法人 日本水産資源保護協会 (2000) : 有害・有毒赤潮の発生と予察・防除. 水産研究叢書, (48), 29-47.
- 6) 岡市友利 (1997) : 赤潮の科学. 第2版, 181-191, 恒星社厚生閣, 東京.
- 7) 今井一郎 (1990) : 有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella* のシストに関する生理生態学的研究. 南西水研研報, (23), 63-166.
- 8) 吉田陽一・沼田克己 (1982) : *Chattonella antiqua* (HADA) ONO の集積に及ぼす風の影響. 日水誌, 48 (9), 1277-1280.
- 9) Y. Nakamura, Y. Yamazaki, J. Hiromi (1992) : Growth and grazing of a heterotrophic dinoflagellate, *Gyrodinium dominans*, feeding on a red tide flagellate, *Chattonella antiqua*. Marine Ecology Progress Series, (82), 275-279.
- 10) Y. Nakamura and M. M. Watanabe (1983) : Growth character of *Chattonella antiqua* Part 2. Effects of nutrients on growth. Journal of Oceanographical Society of Japan, (39), 151-155.
- 11) A. Ishimatsu, M. Sameshima, A. Tamura and T. Oda (1996) : Histological analysis of the mechanisms of *Chattonella*-induced hypoxemia in yellowtail. Fisheries Science, 62 (1), 50-58.
- 12) A. Ishimatsu, T. Oda, M. Yoshida and M. Ozaki (1996) : Oxygen radicals are probably involved in the mortality of yellowtail by *Chattonella marina*. Fisheries Science, 62 (5), 836-837.
- 13) 藤井明彦・山本憲一 (2003) : 諫早湾におけるタイラギ・アサリの現状と問題点. 月刊海洋, (35), 235-240.
- 14) 古賀秀昭・吉本宗央 (1991) : 1990年夏季に佐賀県有明海で発生したシャトネラ赤潮-II 魚介類斃死試験. 佐有水研報, (13), 51-56.
- 15) 独立行政法人 水産総合研究センター 西海区水産研究所 (2008) : 有明海貧酸素水塊広域連続観測, http://ariake-do.jp/ariake/03_archive/h18.html.
- 16) T. Nishijima and Y. Hata (1986) : Physiological ecology of *Chattonella antiqua* (HADA) ONO on B group vitamin requirements. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries, 52 (2), 181-186.
- 17) 川村嘉応・北村博卿・小澄千尋・山下康夫 (1991) : 六角川河口沖合定点における微細環境-II 海水中の重金属数種と底泥中の C, N および IL の変動について. 佐有水研報, (13), 101-105.
- 18) 小野知足・吉松定昭・吉田陽一 (1999) : 播磨灘南西域における *Chattonella antiqua* の高密度発生と水質, 気象要因との関連. 日水誌, (65), 665-672.
- 19) 今井一郎 (1995) : 珪藻類を用いたシャトネラ赤潮の生態学的防除の可能性. 月刊海洋, (10), 603-612.