

# 統計学的手法を用いた八代海の *Chattonella* 赤潮発生に関する要因抽出と予察の可能性

折田和三, 西広海, 田原義雄, 中村章彦

## 要 約

八代海の *Chattonella* 赤潮発生に関する要因を抽出するため, 日照時間や風など気象要因や水温・塩分といった海象要因等について赤潮発生年グループと非発生年グループの平均値の差を検定したところ, 32 の項目で有意差が認められ, 八代海の *Chattonella* 赤潮には初期発生期の環境要因が大きく影響していることが示唆された。また, これらのうち5月末時点で日照時間(5月下旬水俣), ベクトル平均風速(主軸, 直交軸)(5月水俣)の3因子を用いた予測式の正判別率は100%, 6月末時点で日照時間(6月中旬水俣), 平均風速(北東方向)(6月八代), 入梅日の3因子を用いた予測式の正判別率は100%となり, 赤潮発生を予測することができる可能性があることが分かった。

赤潮の発生には, 水温・塩分といった海象要因, 気温・日照時間・降水量といった気象要因, 栄養塩・微量元素などの化学的要因, 競合生物や捕食生物による生物的要因, 集積や拡散といった物理的要因などが関与し, これらの要因が複雑に赤潮生物の群成長に影響を与え, ある特定の組合せを増殖の最適条件とする植物プランクトンの種が増殖, 集積し赤潮を形成すると考えられている。<sup>1)</sup> 気象情報や赤潮調査結果を基に赤潮発生を予測しようとする試みは, 大内・高山,<sup>2)</sup> 大内,<sup>3)</sup> 櫻田ら,<sup>4)</sup> 櫻田ら,<sup>5)</sup> 山本・岡井<sup>6)</sup> などによって行われ, 赤潮発生への関与と中期的予察が検討されてきた。本稿は, 同様な統計手法を用いて八代海における *Chattonella* 赤潮発生に関する要因の抽出と予察の可能性を検討した。

なお, 調査の一部は水産庁委託事業(漁場環境・生物多様性保全総合対策委託事業のうち赤潮・貧酸素水塊漁業被害防止対策事業「八代海・鹿児島湾における有害赤潮等分布拡大防止」)で実施した。

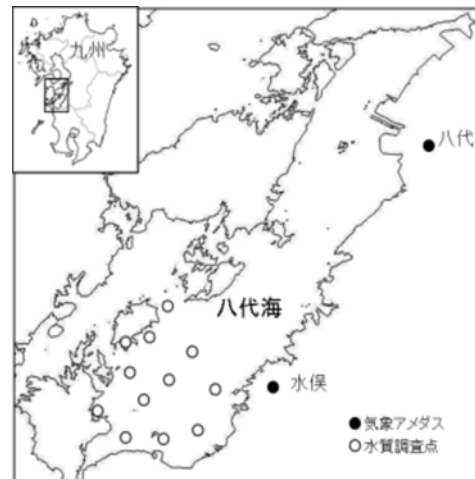


図1 観測点位置図

## 材料及び方法

検討に用いた項目を表1に, 気象アメダスおよび赤潮調査の観測点位置を図1に示す。

表1 平均値の差検定の検討項目

要因	地区	項目	使用データ	項目数
気象	水俣, 八代	平均気温, 日照時間合計, 降水量合計	2~6月旬, 月集計	120
	水俣, 八代	北東風率, 平均風速(全方位, 北東, 南西) ベクトル平均風速(主軸, 直交軸)	5~6月日毎集計	96
海象	九州南部	入梅日, 梅雨明け日, 梅雨期間		3
	八代海南部	0m平均水温, 10m平均水温	6~7月, 12定点平均値	4
	八代海南部	0m平均塩分, 10m平均塩分	6~7月, 12定点平均値	4
生物	薄井	水温(3m又は底層)	4~5月東町漁協	1
	八代海南部	珪藻類最高細胞密度, 定点平均細胞密度最高値	6~7月プランクトン組成	2
合計				230

気象要因は、熊本地方気象台が1988～2012年に水俣及び八代で観測した気温、日照時間、降水量、風及び梅雨とし、気象庁HP (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2013年3月31日)で公表されている2月から6月までの日及び旬並びに月毎集計資料、九州南部梅雨入り及び梅雨明け日を使用した。気温は旬及び月間平均、日照時間及び降水量は旬及び月間合計を用いた。風は、日毎集計資料の風向風速のうち、平均風速と最多風向を用いた。風向は、八代海が北東から南西方向に長い地形であることからこれを主軸と考え、北北西から東南東を北東方向、南南東から西北西を南西方向と区分し、日毎の最多風向から北東及び南西方向からの風に占める北東方向からの風の頻度(以下、北東風率という)を求めた。平均風速は、日毎の平均風速から全方位(以下、平均風速(全方位)という)、北東及び南西方向からの風の平均風速(以下、平均風速(北東)、平均風速(南西)という)を求めた。ベクトル平均風速は、通常風速の南北成分及び東西成分を求め、それぞれ平均化したもの<sup>7,8)</sup>であるが、本稿では次式より求めた主軸方向(以下、ベクトル平均風速(主軸)という)及び直交軸方向(以下、ベクトル平均風速(直交軸)という)の成分をそれぞれ旬及び月間で平均化した。

$$V_n = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos\left(\frac{\pi}{8} W_{di} - \frac{\pi}{4}\right) W_{si}$$

$$V_e = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin\left(\frac{\pi}{8} W_{di} - \frac{\pi}{4}\right) W_{si}$$

$V_n$  : ベクトル平均風速(主軸)

$V_e$  : ベクトル平均風速(直交軸)

$W_{di}$  :  $i$ 日における最多風向16方位  
(北0～北北西15)

$W_{si}$  :  $i$ 日における平均風速

$n$  : 期間内データ数

梅雨に関しては、入梅日、梅雨明け日を5月1日からの積算日数とした。

海象要因は、当所が6～7月に実施した八代海赤潮予察調査等で測定した水深0m及び10mの12定点平均水温、平均塩分から月平均値を求めた。なお、水温については、測定日が月1～2回で上旬又は下旬に偏っている場合は、測定値の勾配から各月15日付近の値を算出し、月平均値とした。さらに、東町漁協が薄井で測定している水温は、18の到達時期を4月1日からの積算日数で求めた。

表2 八代海における*Chattonella*赤潮発生状況

年	発生 月日	終息 月日	期間 (日)	赤潮生物種名	場所	細胞密度 (cells/ml)	被害	区分	発生 パターン
1988	9/9	9/11	3	<i>Chattonella antiqua</i>	東町幣串地先	41	有	小発生	II
1989	7/31	8/2	3	<i>Chattonella antiqua</i>	脇崎地先	100	有	小発生	II
1990	7/19	8/7	20	<i>Chattonella antiqua</i>	東町沿岸一円	533	有	発生	I
1991								非発生	
1992	7/25	8/3	10	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海東町地先	282	有	発生	I
1993								非発生	
1994								非発生	
1995								非発生	
1996								非発生	
1997								非発生	
1998								非発生	
1999								非発生	
2000								非発生	
2001								非発生	
2002	7/28	7/28	1	<i>Chattonella antiqua</i>	東町脇崎	2,800	無	小発生	II
2003	7/15	7/22	8	<i>Chattonella antiqua</i>	東町沿岸	14,000	有	発生	I
2004	8/9	8/14	6	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海南部	140	有	発生	III
				<i>C.marina</i>					
2005	8/1	8/26	26	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海南部	3,500	有	発生	I
				<i>C.polykrikoides</i>					
2006	6/28	6/29	2	<i>Chattonella antiqua</i>	長島町伊唐	1,000	無	小発生	II
				<i>C.polykrikoides</i>					
2007								非発生	
2008	8/25	8/26	2	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海	138	有	小発生	III
2009	7/28	8/10	14	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海南部	3,000	有	発生	I
2010	6/30	8/2	34	<i>Chattonella antiqua</i>	八代海南部	2,260	有	発生	I
2011								非発生	
2012								非発生	

※発生パターン I:地元成長広域型 II:地元成長限定型 III:流入型(図6参照)

生物要因は、従来の赤潮予察調査の期間が7月から9月だったことから、データが不足している。このため、調査が6月からの実施されるようになった2001年以降、当所が行った6月～7月までのプランクトン組成検鏡結果から、期間内における珪藻類の最高細胞密度及び定点平均細胞密度の最高値を用いた。

*Chattonella antiqua* による赤潮は、表2に示すように1988年以降発生しているが、今回の解析では発生期間6日以上、最高細胞密度100cells/ml以上を*Chattonella*赤潮発生年(以下、発生年という)とし、*Chattonella*赤潮が発生しなかった年(以下、非発生年という)及びそれ以外の小発生年の3グループに分けた。赤潮発生に關する要因抽出は、表1に示す230項目について発生年グループと非発生年グループの平均値の差を検定することで行った。検定はMicrosoft社製表計算ソフトExcelアドインで提供されている分析ツールを用い、あらかじめF検定で分散を比較し、母分散は等しいと推定された場合は「t検定：等分散を仮定した2標本による検定(Studentのt検定)」で、母分散は等しくないと推

定された場合は「t検定：分散が等しくないと仮定した2標本による検定(Welchのt検定)」で平均値の差を検定した。さらに平均値に有意な差が認められた項目を説明変数に、目的変数には赤潮発生年を1、非発生年を-1とし、Excel分析ツールで重回帰分析による2群の判別<sup>9)</sup>を行い、その適合具合により予察の可能性を検討した。

なお、*Chattonella*赤潮は、主に7月下旬に発生することが多いため、解析に用いる要因は基本的に6月までのデータとした。

## 結果

### 1 關与要因の抽出

各要因について検定した結果、32の項目で平均値に有意差が認められた(表3)。

気象要因のうち、気温では2月及び3月中旬に八代で発生年が非発生年よりも平均で約1.5高かった。日照時間では、5月下旬から6月中旬にかけて水俣、6月又は6月中旬に八代で、発生年が非発生年よりも平均で1.3～1.9倍多かった。降水量は2

表3 平均値に有意差のあった項目

要因	項目	単位	時期	地域	平均値			
					非発生年	発生年		
気象	気温	平均気温	(°C)	2月	八代	7.25	8.71	*
				3月 中旬	八代	10.03	11.57	*
	日照時間	日照時間計	(hr)	5月 下旬	水俣	47.08	70.77	*
				6月	水俣	94.78	145.07	**
				6月	八代	95.11	127.04	*
				6月 上旬	水俣	40.5	60.96	*
				6月 中旬	水俣	28.26	53.47	**
				6月 中旬	八代	28.21	49.59	*
	降水量	降水量計	(mm)	2月 下旬	八代	20.42	42.21	*
				6月	八代	486.23	290.5	*
				6月 上旬	水俣	103.85	52.5	*
				6月 中旬	八代	204.65	74.57	*
				6月 中旬	水俣	0.45	0.64	*
				5月 下旬	水俣	1.34	1.88	**
風	北東風率	平均風速(全方位)	(m/s)	5月	水俣	1.42	1.74	*
				5月 下旬	水俣	1.34	1.88	**
	平均風速(北東)	(m/s)	5月 下旬	八代	0.99	1.32	*	
			6月 上旬	水俣	1.26	1.57	*	
			5月 下旬	水俣	1.31	1.81	*	
			6月	八代	0.75	1.19	**	
	平均風速(南西)	(m/s)	6月 上旬	水俣	1.15	1.65	**	
			6月 下旬	八代	1.74	1.35	*	
	ベクトル平均風速(主軸)	(m/s)	5月	水俣	-0.04	-0.32	*	
			6月 中旬	水俣	0.28	-0.12	*	
5月			水俣	-0.11	-0.36	*		
5月 上旬			水俣	-0.07	-0.58	*		
ベクトル平均風速(直交軸)	(m/s)	6月	水俣	-0.13	-0.34	*		
		6月 下旬	八代	-0.32	-0.07	*		
梅雨	入梅日	(日)			5月25日	6月4日	**	
	梅雨期間	(日間)			49	40	*	
海象	塩分	0m平均塩分	6月		31.46	32.79	*	
		10m平均塩分	7月		31.78	32.56	*	
水温	薄井18°C到達日	(日)			5月12日	5月5日	*	

※\*: (p<0.05), \*\*: (p<0.01)

月下旬に八代で発生年が非発生年よりも平均で約 2 倍多く, 6 月上旬に水俣, 6 月又は 6 月中旬に八代で発生年が非発生年よりも平均で 0.5 ~ 0.6 倍少なかった。

風に関しては, 北東風率では 6 月中旬に水俣で発生年 0.64 と非発生年 0.45 に比べ高かった。北東風率は, 北東風と南西風が同頻度で吹けば 0.5 になるので, 発生年は北東方向からの風の頻度が高かったことを示している。平均風速(全方位)は, 5 月下旬から 6 月上旬にかけて水俣で, 5 月下旬に八代でも発生年の方が非発生年に比べて平均で 1.2 ~ 1.4 倍強かった。平均風速(北東)は, 5 月下旬から 6 月上旬にかけて水俣, また 6 月の八代でも発生年の方が非発生年に比べて平均で 1.4 ~ 1.6 倍強かった。逆に平均風速(南西)は, 6 月下旬に八代で非発生年の方が発生年よりも約 1.3 倍強かった。ベクトル平均風速(主軸)は, 5 月及び 6 月中旬に水俣で発生年の方が - 値が高かった。また, ベクトル平均風速(直交軸)も 5 月及び 6 月の水俣で発生年の方が - 値が高かったが, 6 月下旬の八代では非発生年の方が - 値が高かった。

梅雨に関しては, 入梅日では発生年は 6 月 4 日頃非発生年は 5 月 25 日頃で, 発生年の方が 10 日ほど遅く, 梅雨の期間は発生年が非発生年より 9 日ほど短かった。

海象要因のうち, 平均水温では水深 0m 及び 10m いずれの水深でも有意差が認められなかった。塩分では発生年が 6 月の 0m で非発生年よりも平均で約 1.3 高く, 7 月の 10m は発生年が非発生年よりも平均で 0.78 高かった。

薄井漁港の水温 18 到達時期は, 発生年が非発生年よりも 1 週間ほど早い平均 5 月 5 日だった。

生物要因では, 発生年は 6 ~ 7 月の珪藻類の最高細胞密度及び定点平均細胞密度の最高値は, 非発生

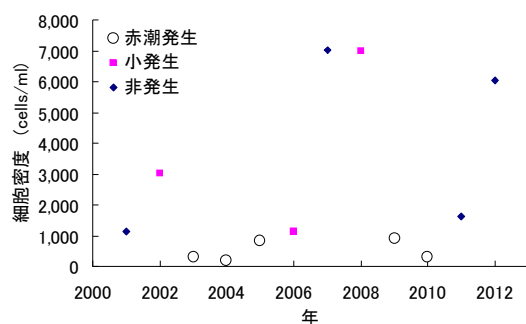


図2 珪藻類の期間最高細胞密度 (6~7月)

年に比べとも少ない傾向にある(図 2) が, 有意差は認められなかった。

## 2 予察の可能性

平均値に有意差が認められた要因には, 前述のように 5 月末時点で得られる情報と 6 月末時点まで分からないものがある。これらを分けて検討した。

表 3 に示す 5 月末時点で平均値に有意差のあった日照時間 (5 月下旬水俣), 平均風速(全方向) (5 月水俣, 5 月下旬水俣, 5 月下旬八代), 平均風速 (北東) (5 月下旬水俣), ベクトル平均風速(主軸) (5 月水俣), ベクトル平均風速(直交軸) (5 月水俣, 5 月上旬水俣), 薄井水温 18 到達日の 9 因子を説明変数に重回帰式を求め, 式に用いる全ての説明変数の  $p$  値が 0.05 未満になるように独立した説明変数を変数増減法により選択したところ, 次式が得られた。なお, 選択された説明変数の多重共線性を相関行列及び回帰係数と相関行列の符号から確認した。

$$\begin{aligned} \text{赤潮発生} = & 0.026 \text{ 日照時間 (5 月下旬水俣)} \\ & - 1.683 \text{ ベクトル平均風速(主軸) (5 月水俣)} \\ & - 1.625 \text{ ベクトル平均風速(直交軸) (5 月水俣)} \\ & - 2.288 \\ \text{補正 } R^2 = & 0.690 \quad F = 15.116 \quad (p < 0.001) \end{aligned}$$

予測式で + 値が出れば発生, - であれば非発生を示す。本予測式で得られた予測値により判別した結果を表 4 に示す。正判別率は 100 % であった。

同様に, 表 3 に示す 6 月末時点で平均値に有意差の見られた 32 項目のうち, 2,3 月の平均気温及び降水量の 3 項目, 塩分 2 項目を除く 27 因子を説明変数に重回帰式を求め, 式に用いる全ての説明変数の  $p$  値が 0.05 未満になるように独立した説明変数を変数増減法により選択したところ, 次式が得られた。なお, 選択された説明変数の多重共線性を相関行列及び回帰係数と相関行列の符号から確認した。

$$\begin{aligned} \text{赤潮発生} = & 0.015 \text{ 日照時間 (6 月中旬水俣)} \\ & + 1.378 \text{ 平均風速 (北東) (6 月八代)} \\ & + 0.056 \text{ 入梅日} \\ & - 3.723 \\ \text{補正 } R^2 = & 0.734 \quad F = 18.48 \quad (p < 0.001) \end{aligned}$$

本予測式で得られた予測値により判別した結果を

表5に示す。正判別率は100%であった。

**考 察**

1 *Chattonella* 赤潮発生に関する要因

本稿では, *Chattonella* 赤潮発生に関する要因を赤潮発生年と非発生年のグループで平均値の差から検討した。

表4 5月末時点の発生予測結果

年	赤潮発生	日照時間 5月下旬水俣	ベクトル 平均風速(主軸) 5月水俣	ベクトル 平均風速(直交) 5月水俣	予測値	判定 <sup>※</sup>
1988	小発生	67.6	-0.3	-0.6	0.9	—
1989	小発生	63.5	-0.1	0.1	-0.7	—
1990	発生	67.2	-0.1	-0.8	1.0	A
1991	非発生	7.4	0.0	-0.2	-1.8	B
1992	発生	99.6	0.1	-0.2	0.4	A
1993	非発生	43.9	-0.2	-0.3	-0.2	B
1994	非発生	48.6	0.3	-0.4	-0.8	B
1995	非発生	51.6	-0.2	-0.2	-0.4	B
1996	非発生	54.5	0.1	0.2	-1.4	B
1997	非発生	65.2	0.2	0.0	-0.9	B
1998	非発生	59.6	-0.2	0.0	-0.4	B
1999	非発生	43.9	0.1	-0.2	-1.0	B
2000	非発生	42.6	-0.1	-0.1	-0.8	B
2001	非発生	29.2	-0.4	-0.3	-0.5	B
2002	小発生	76.4	-0.4	0.0	0.5	—
2003	発生	43.9	-0.6	-0.5	0.6	A
2004	発生	76.8	-0.1	-0.8	1.1	A
2005	発生	80.2	-0.4	-0.1	0.7	A
2006	小発生	41.9	-0.2	0.0	-0.8	—
2007	非発生	83.2	0.2	0.2	-0.7	B
2008	小発生	63.6	-0.5	0.2	-0.2	—
2009	発生	65.7	-0.6	-0.1	0.5	A
2010	発生	62.0	-0.5	0.0	0.3	A
2011	非発生	25.7	0.0	-0.2	-1.4	B
2012	非発生	56.7	-0.4	0.1	-0.2	B

※判定 A:発生予想 B:非発生予想 —:判定対象外

表5 6月末時点の発生予測結果

年	赤潮発生	日照時間 6月中旬水俣	平均風速(北東) 6月八代	入梅日 5月1日起算	予測値	判定 <sup>※</sup>
1988	小発生	26.6	0.7	31.0	-0.6	—
1989	小発生	46.3	0.5	35.0	-0.4	—
1990	発生	67.7	1.3	29.0	0.7	A
1991	非発生	12.8	0.7	18.0	-1.5	B
1992	発生	55.2	0.9	35.0	0.3	A
1993	非発生	16.2	1.1	16.0	-1.0	B
1994	非発生	16.2	0.8	24.0	-1.1	B
1995	非発生	40.5	0.7	24.0	-0.8	B
1996	非発生	9.4	0.7	26.0	-1.2	B
1997	非発生	47.1	0.9	32.0	0.0	B
1998	非発生	35.2	0.5	27.0	-1.0	B
1999	非発生	31.1	0.7	32.0	-0.4	B
2000	非発生	44.4	0.4	25.0	-1.1	B
2001	非発生	55.9	0.8	20.0	-0.6	B
2002	小発生	47.4	1.0	40.0	0.6	—
2003	発生	19.0	1.2	39.0	0.4	A
2004	発生	70.4	1.3	28.0	0.7	A
2005	発生	52.7	1.5	41.0	1.5	A
2006	小発生	44.6	0.9	25.0	-0.3	—
2007	非発生	31.6	0.4	31.0	-1.0	B
2008	小発生	27.6	0.6	27.0	-1.0	—
2009	発生	77.1	1.1	32.0	0.7	A
2010	発生	31.9	1.1	42.0	0.7	A
2011	非発生	5.8	0.9	22.0	-1.2	B
2012	非発生	21.2	1.2	30.0	-0.1	B

※判定 A:発生予想 B:非発生予想 —:判定対象外

気象要因では、5～6月の日照時間、降水量、風及び入梅日で有意差が見られた。発生年は5月下旬から6月中旬の1ヶ月間、水俣で日照時間が多く、6月上旬の降水量は少なかった(表3)。八代でも6月又は6月中旬の日照時間が多く降水量が多かった(表3)ことから、光環境が赤潮発生に関与していると推測される。風は、5月下旬から6月上旬にかけて水俣で、5月下旬から6月にかけて八代でも平均風速(全方位及び北東)が発生年では強く(表3)、風の強さも赤潮発生に関与していると推測される。さらに、5月及び6月の月ベクトル平均風速から合成したベクトル平均風を図3に示す。図3では主軸が上下方向になるように表示した。水俣のベクトル平均風は、発生年では5月は鹿児島県長島方向、6月は熊本県御所浦島方向を指すのに対し、非発生年では5月は風速が弱く、6月は八代海北部方向を指している。八代では発生年、非発生年ともに5、6月は八代海北部方向を指した。このように、5～6月の八代海中央部付近の風は八代海鹿児島県海域方向に風が吹いており、風の方向も赤潮発生に関与していると推測される。また、平均入梅日は非発生年の平均入梅日に比べ10日ほど遅く、このためこの時期の日照時間も多くなっていたと推測される。以上のことから、気象要因では光環境と風が赤潮の発生に強く関与していることが考えられる。山本・岡井<sup>6)</sup>は三河湾の夏季における渦鞭毛藻類の赤潮発生と風速との相関を検討し、赤潮形成約30日前に風速と正の相関がみられ、風が水柱の混合による栄養塩供給とシストの巻き上げなどを高めると推測している。八代海の風も発生年の方が強いことから、三河湾と同様の影響を及ぼしていることが考えられる。

一方、海象要因では、平均水温では有意差が見ら

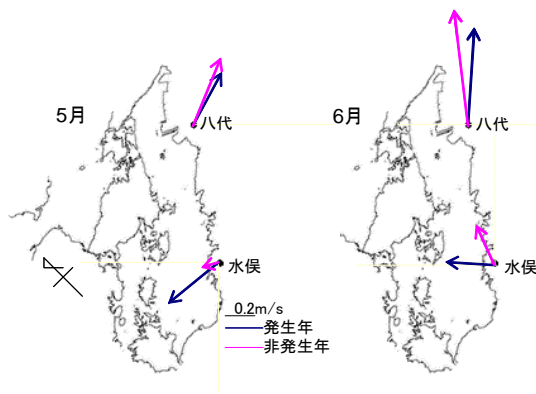


図3 ベクトル平均風(月平均)

れなかったものの、薄井水温 18 到達時期が5月上旬にあり、非発生年よりも1週間ほど早い傾向が見られた。鹿児島県長島周辺海域で採取された底泥を温度別に培養すると、水温 18 から *Chattonella* シストの発芽が確認されている。<sup>10)</sup>*Chattonella* 栄養細胞はシストから発芽すると水柱に供給されて、その年の個体群に加入するとともに、増殖する時期の環境条件が好適であれば自身も次第に増殖して個体群として成長していく<sup>11)</sup>が、シスト発芽が早ければ加入及び自己増殖する期間が長くなるため、より多くの栄養細胞となることができると考えられ、赤潮形成には有利に働くものと推測される。

生物要因では有意差が認められなかったものの、非発生年では6～7月の珪藻類が概ね1,000cells/mlを超えており、その年の気象や海象環境が珪藻類の増殖を促していたものと考えられる。紫加田ら<sup>12)</sup>は八代海における植物プランクトンの増殖に与える水温、塩分及び光強度の影響を調べ、*Skeletonema* の光半飽和定数は  $34.6\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  で *Chattonella* の  $61.1\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  に比べ小さいとしており、少ない光環境では *Skeletonema* の方が増殖には有利と考えられる。前述したように赤潮発生には光環境の関与が考えられており、非発生年の特徴である5月下旬から6月中旬の短い日照時間は、珪藻類の増殖を促し *Chattonella* の増殖を抑える要因の一つとなっていると考えられる。

気象要因は、対象と考える地域にまず変化が生じる要因であり、これが水温や塩分、潮流などの海象要因に影響を与え、さらに赤潮生物を含む生物要因に影響を及ぼすと考えられる。このことを踏まえ、八代海における *Chattonella* 赤潮発生と環境との相関モデルを推定した(図4)。八代海の *Chattonella* は未だに冬期の越冬細胞が確認されていないことから、毎年シストからの発芽により栄養細胞が供給されると考えられる。現場の底層水温が概ね 18 を超えると発芽が開始される。この頃に八代海全域に風が強く吹くと水柱の混合により海底泥の巻き上げが起こり、海底表面及び直下のシスト発芽が促されると推定される。さらに、八代海中央部付近の風の向きが鹿児島県海域方向を指す時、発芽して表層に浮上した栄養細胞は吹送流により鹿児島県海域に流入しやすくなると考えられる。*Chattonella* はシスト発芽と栄養細胞の分裂により次第に細胞密度が増してくるが、日照時間が長いと *Chattonella* の増殖が促され、さらに入梅時期が遅ければ、より長い時間

をかけて個体群が成長し得ると考えられる。一方、入梅が早まったり、日照時間が短いと光環境は珪藻有利となり *Chattonella* の増殖は鈍くなると推測される。6月の梅雨の間は、陸水から八代海に栄養塩が供給される。<sup>10)</sup> 梅雨の期間に一定以上の細胞密度が維持されたとき、降雨により供給された栄養塩を利用して増殖は活発になりやがて赤潮に成長していくものと考えられる。今井<sup>11,13)</sup>は、シストが発芽した初期個体群が増殖する期間の環境条件が極めて重要な意味を持ち、珪藻類との混合が発生した時点で *Chattonella* 細胞密度が 1cell/ml のオーダー以上で存在していることが赤潮の発生に必要な条件としている。八代海鹿児島県海域で発生する *Chattonella* 赤潮においても、以上のような初期発生期の環境が強く赤潮形成に関与していると推察される。

## 2 予察の可能性

有意差が認められた要因から予測式により予察の可能性を検討した結果、5月末時点で日照時間（5月下旬水俣）とベクトル平均風速（主軸，直交軸）（5月水俣）の3因子で正判別率は100%，6月末時点では日照時間（6月中旬水俣）と平均風速（北東）（6月八代）並びに入梅日の3因子で正判別率は100%となり、中期的に赤潮発生を予察することができる可能性があることが分かった。

櫻田ら<sup>5)</sup>は、八代海熊本県海域で発生する *Chattonella* 赤潮を多変量解析し、5月末で降水量と気温の2因子で正判別率82.0%，6月末では降水量と底層水温，DINの3因子で正判別率97.1%，7月中旬で気温，降水量，底層水温，表層塩分の4因子で正判別率99.1%の予測式を算出している。

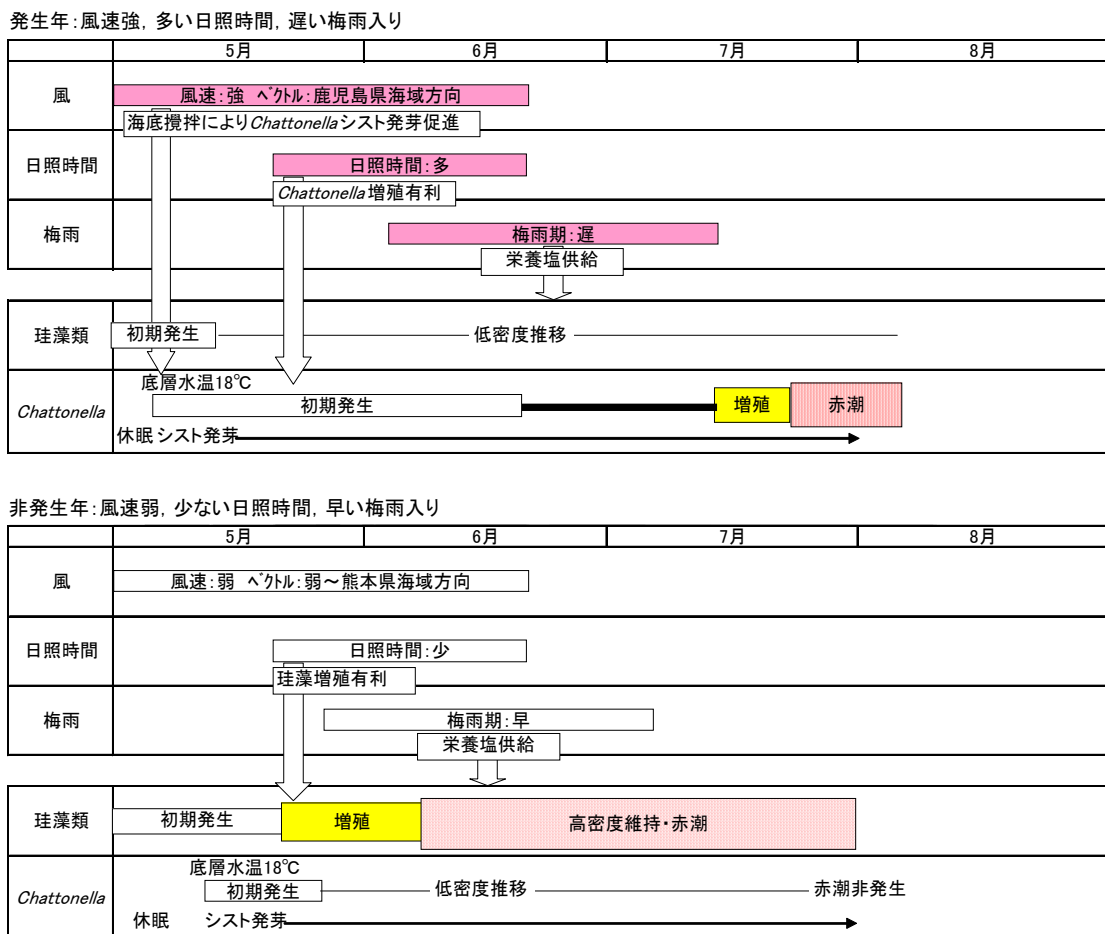


図4 *Chattonella* 赤潮発生と環境関連モデル



このように6月末までの環境要因から高い確率で赤潮発生を予測できる可能性が示されたが、では予測式で赤潮発生年と判定された場合、発生時期はいつ頃になるのか。その手がかりの一つに入梅日が考えられる。入梅日(5月1日からの経過日数)と赤潮形成日(6月1日からの経過日数)の関係を図5に示す。赤潮発生年の入梅日とその年の赤潮形成日の関係について回帰分析を行ったところ、統計学的には有意でない( $p>0.05$ )が、 $R^2=0.3151$ と弱いながら負の相関が見られる。すなわち、入梅日が遅い方が赤潮形成日が高い傾向にあると考えられる。

これまで八代海で発生した赤潮は、その分布範囲や着色域の移動等を考えた時、図6に示すような本県海域で発生し大規模に赤潮化する「地元成長広域型」、発生域が限定的な「地元成長限定型」、地域外からの赤潮流入による「流入型」の3タイプに大別できる(表2)。このうち、今回検討した発生年の

タイプはほとんどが地元成長広域型であり、その発生予測は正判別率100%であったが、小発生は5例ある内、5月末時点で3例(表4)が、6月時点で4例(表5)が-値を示した。すなわち、予測式が非発生年を示す場合には「地元成長限定型」や「流入型」の小発生が含まれている。このことから小発生には、今回検討した以外の要因が働いていることが考えられ、今後は非発生年の特徴をさらに分離し、小発生赤潮形成の要因を抽出する必要がある。また、珪藻等の競合藻類でやや赤潮発生年との傾向が見られた(図2)が、データとして十分でなかったり、他の赤潮生物との関係や栄養塩等化学的的要因など検討していない要因もある。今後、さらに赤潮発生に關する要因を精査し選択することで、発生時期までを含めたより精度の高い予測も可能になると考えられる。

謝 辞

本研究で解析に用いた薄井漁港の水温を提供していただいた東町漁業協同組合に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 池田三郎, 中田英昭. 7. 赤潮発生現象のシステム分析. 赤潮の科学第二版(岡市友利編) 恒星社厚生閣, 東京. 1997; 293-329.
- 2) 大内晟, 高山晴義. 主成分分析による赤潮図について. 日水誌 1981; 47: 1275-1279.
- 3) 大内晟. 重回帰式による赤潮発生予測. 日水誌 1982; 48: 1245-1250.

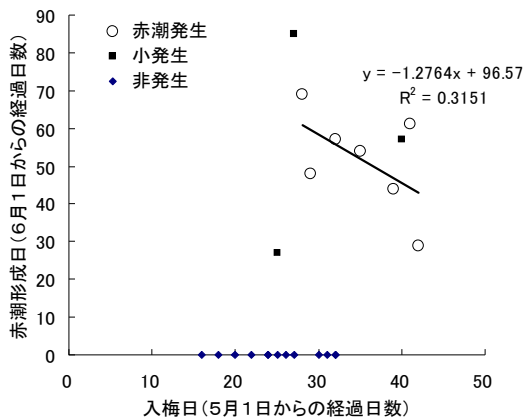


図5 入梅日と赤潮形成日の関係



図6 八代海鹿児島県海域における赤潮発生パターン(網掛けは発生域)



- 4) 櫻田清成, 木野世紀, 小山長久, 糸山力夫. 八代海における有害プランクトンの発生状況と予察法の検討. 熊水研セ研報 2006; 7: 31-44.
- 5) 櫻田清成, 山形卓, 小山長久, 糸山力夫. 八代海における有害赤潮 *Chattonella antiqua* の発生予察. 熊水研セ研報 2007; 8: 35-45.
- 6) 山本民次, 岡井満. 三河湾における赤潮形成と気象要因に関する統計的解析. 水産海洋研究 1996; 60(4): 348-355.
- 7) 気象観測の手引き 第4章 風. 気象庁. 1998; 16-21.
- 8) 気象観測統計の解説. 気象庁. 2005; 110.
- 9) 内田治. すぐわかる EXCEL による多変量解析. 東京図書, 東京. 2000.
- 10) 折田和三, 西広海, 田原義雄, 中村章彦. 赤潮総合対策調査事業- (赤潮被害防止緊急対策事業). 平成 23 年度鹿水技セ事報 2012; 110-123.
- 11) 今井一郎. シャットネラ赤潮の生物学 生物研究社, 東京. 2012.
- 12) 紫加田知幸, 櫻田清成, 城本祐助, 生地暢, 吉田誠, 大和田紘一. 八代海における植物プランクトンの増殖に与える水温, 塩分および光強度の影響. 日水誌 2010; 76(1): 34-45.
- 13) 今井一郎. ラフィド藻赤潮の発生機構と予知. 有害・有毒赤潮の発生と予知・防除 水産研究叢書 48, 日本水産資源保護協会, 東京. 2000; 29-70...