

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

山本 民次*・岡井 満*

Statistical Analyses on the Relationships between Red Tide Formation and Meteorological Factors in Mikawa Bay, Japan

Tamiji YAMAMOTO* and Mitsuru OKAI*

Abstract

Statistical analyses were carried out on the relationships between the red tide occurrence and their related four meteorological factors (air temperature, rainfall, sunshine duration and wind velocity) in Mikawa Bay, Japan for the data over 12 years from 1980 to 1991. The occurrence of both diatom and flagellate red tides through 12 years were significantly affected by those meteorological factors. However, the analysis on the seasonal basis showed that the contribution of the four meteorological factors was different among seasons, showing 31.3 % for autumn diatom population, 16.4% and 32.6% for spring and summer flagellate population. Among the four meteorological factors, temperature showed close correlation to the occurrence of both phytoplankton groups, although the correlation between temperature and flagellate red tide in summer was negative, indicating that temperature higher than the optimum level may suppress the growth of flagellates. In addition to temperature, it was assumed that gale-force wind during late spring to early summer may resuspend the flagellate cysts in the surface sediment into the upper water column, then induce to the formation of red tide in summer. Diatoms were significantly affected by rainfall about 10-20 days prior to the red tide inception. It is considered that this group can effectively utilize some riverine nutrients. Light inhibition was found for diatoms in spring when the solar radiation is the highest. Wind velocity showed significant negative correlation to the red tide occurrence of both diatoms and flagellates, excepting one positive correlation to the 30 days prior to the flagellate red tide inception in summer. From these results, it was concluded that calm weather with warm temperature and low wind velocity is commonly favorable condition for red tide formation, probably because of less dispersion of the vegetative cells of red tide organisms.

はじめに

内湾、沿岸域の富栄養化にともなって発生する赤潮は、海域の汚濁状況を海水の着色や濁りとして視覚的に訴え、見る者に汚濁状況が深刻であるとの印象を与える。形成種によっては海域で行われている各種養殖業に大きな被害をもたらすことがある。したがって、それらの形成状況の把握と解析は海域環境保全という面からも産業的な面からも極めて重要なことである。これまで、赤潮の発生に関与する要因として、気象、

海象、湾の形状などの物理的要因、水質などの化学的要因、他種との競合や上位食段階生物による捕食などの生物的要因などが複雑に関わっていると認識されてきた。これらの要因間の相互関連構造はすでに経験的に図示されているが(吉田, 1980), 十分な科学的解析がなされているわけではない。

池田・中田(1987)は、瀬戸内海におけるシャトネラ赤潮の形成に関して、気象や海況変化などの外的要因に対応して栄養塩環境などが変化し、引き続いて生物的諸条件が応答して赤潮を引き起こすという段階的な関連構造を示している。さまざまな要因が互いに影響を及ぼし合い、一連の連鎖系列として赤潮の形成に影響を与えていることは事実であろう。例えば、降雨

1996年8月26日受理
広島大学生物生産学部

* Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, 739, Japan

があれば河川からの栄養塩供給量が増加して赤潮発生を引き起こすと考えることは自然である。このように、赤潮の形成に影響を及ぼす諸要因をタイムスケールを考慮した階層構造としてとらえると、気象要因は最も初期段階で影響を与えている根本的な要因である。

赤潮発生機構に触れた報告はこれまで数多くなされてきたが、漁業被害を伴った特徴的な赤潮に関する発生を記述的にとらえたものや(岡市, 1987), さらには発生予測の試みもなされたが(大内, 1982; 大内・高山, 1984; 大内, 1986), 事例研究的であり、たやすく一般化できるようなものではなかった。このことは統計的な解析に耐えるデータの蓄積が十分ではなかったことが最も大きな要因であろうと思われる。

日本各地の内湾、沿岸域における赤潮発生状況の観測が各都道府県の水産試験場やその他の環境関連研究機関などによって行われている。今日では、このような海洋環境や生物に関するモニタリングデータは長期にわたる蓄積によって統計処理に耐え得るデータベースとなってきた。そこで今回は、12年間(1980~1991年)にわたる三河湾での赤潮発生とその発生過程に初期段階で影響を与えていると考えられる気象との関係について、(1)赤潮形成時の気象はどのような状態なのか、(2)時間的にどの程度前の気象状況が赤潮形成に影響を及ぼしているのか、また、(3)分類群で発生過程が異なるのかどうか、を統計的に明らかにすることを目的として解析・検討を行った。

資料および解析方法

1980~1991年の12年間に三河湾内(Fig. 1)で発生した赤潮の延べ日数データ(愛知県, 1981; 愛知県水産試験場, 1982, 1983, 1984; 土屋ほか, 1985, 1986; 宮本ほか, 1987; 山本ほか, 1988, 1989; 山本・土屋, 1990; 山本ほか, 1991; 坂口・石田, 1992), および三河湾に面した蒲郡市の地上観測点で測定された気象要因(気温, 降雨量, 日照時間, 風速; 日本気象協会東海本部, 1979~1991)との関係について以下に示す解析を行った。赤潮のモニタリングは海表面現象を目視観測することによって行われているので、プランクトンの運動性の有無は重要なパラメータである。そこで、赤潮発生延べ日数は、珪藻類(運動性無し)、鞭毛藻類(運動性有り)の二つのグループに分けて旬ごとの積算日数として集計した。鞭毛藻類には渦鞭毛藻、ラフィド藻、ユーグレナ藻、ブラシノ藻、クリプト藻など、鞭毛を有するものすべてを含めた。可能ならば

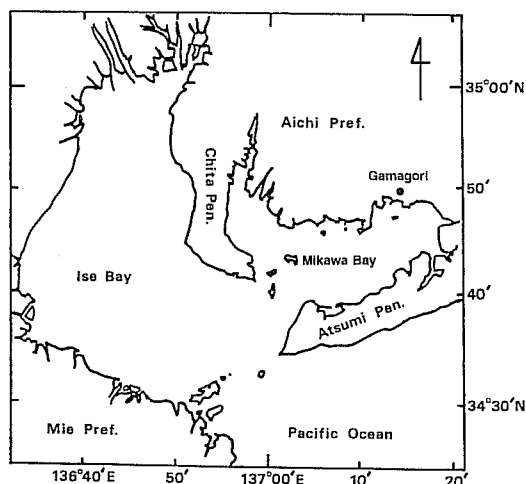


Fig. 1. Map showing the location of Mikawa Bay, Japan.

各分類群ごとに解析を行うことが望ましいが、出現回数の少ない分類群についての解析はこれら12年間のデータを使っても十分ではない。降雨量, 日照時間は旬ごとの積算値を, 気温, 風速は旬ごとの平均値を用いた。

解析は、(1)赤潮形成時の気象と赤潮発生延べ日数との関係に対して重回帰分析を、(2)気象データを旬ごとにずらしたものと赤潮発生延べ日数のデータセットに対して単回帰分析を行った。なお、解析は連続する12年間すべてのデータセットに対して、および季節別に分けたデータセットに対して行った。季節は3~5月を春季, 6~8月を夏季, 9~11月を秋季, 12~2月を冬季とした。計算は、StatView-4.5J, Macintosh版(Abacus Concepts社)によった。重回帰分析を行う際、各説明変数間で多重共線性が見られた場合にはそれらの変数のいずれかを取捨選択する必要がある。そこで今回、赤潮発生の説明に用いた気象4要因について分散拡大要因(VIF; variance inflation factor)による多重共線性の検定を田中ほか(1984)に基づいて行ったが、12年間の全データに対しても各季節ごとの解析においてもいずれもVIFは1.56以下で、共線性があるとされる基準VIF ≥ 10 よりはるかに小さい値であり、多重共線性の問題はないと判断された。

結果および考察

珪藻類および鞭毛藻類の季節別赤潮発生状況

1980~1991年の12年間に三河湾内で確認された赤潮の年間平均延日数は311日となり、ほとんど毎日のように湾内のどこかで赤潮が発生していると言える。季

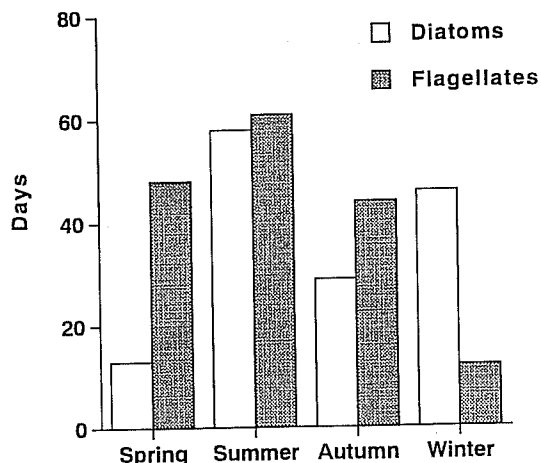


Fig. 2. Comparison of the red tide occurrence by diatoms and flagellates. Seasonal average of total number of days during 1980-1991 in Mikawa Bay, Japan.

節別には、春季が61日、夏季が119日、秋季が73日、冬季が58日で、夏季の発生が最も多かった。これらのうち、珪藻類によるものが146日、鞭毛藻類によるものが165日であり、後者の発生が多かった。

これら2つのグループの発生状況は季節別にみると、以下のような特徴が見られた (Fig. 2)。珪藻類は夏季が58日と最も多かったが、冬季にも46日とかなり見られた。一方、鞭毛藻類は夏季が61日と最も多い点では珪藻類と同じであったが、春季が48日、秋季が44日と多く、冬季が12日と少ないという特徴が見られた。三河湾では冬季のノリ養殖が水産業の重要な位置を占めているが、冬季にしばしば発生する珪藻赤潮は現場海域の栄養塩濃度を低下させるため、ノリ養殖にとっては大きな痛手となっていることはすでに報告されている (山本ほか, 1992)。

赤潮形成時の気象状況

連続する12年間の旬ごとのデータセットに対して重回帰分析を行った結果、気象要因は珪藻類と鞭毛藻類双方の赤潮形成に対して有意な影響 (前者で $F=3.778$, $P<0.01$, 後者で $F=8.983$, $P<0.01$) を及ぼしていることが明らかになった (Table 1a)。中でも気温の影響が両グループに対してもっとも大きく寄与しており ($P<0.01$)、標準偏回帰係数は珪藻類で0.178、鞭毛藻類で0.226であった。

季節別赤潮発生状況と発生時の気象状況との関係を重回帰分析を用いて検討したところ、重回帰係数 (R

が珪藻類では秋季に0.559で有意、鞭毛藻類では春季と夏季にそれぞれ0.405と0.571で有意であった (Table 1b)。寄与率 ($R^2 \times 100$) にすると、秋季の珪藻類で31.3%、春季と夏季の鞭毛藻類でそれぞれ16.4%、32.6%で高いが、冬季における気象要因の寄与率は両グループとも低く (珪藻類で3.5%、鞭毛藻類で5.2%)、両グループの発生に及ぼす気象の影響は季節によって重みが異なることがわかる (Fig. 3)。Fig. 2 で明らかなように、冬季には珪藻類の赤潮がよく発生しており、ノリ養殖などに被害を出していることから、気象以外の海域環境の影響について今後の解明が必要である。

季節別データセットに対する解析でも、12年間通じて行った解析結果同様、気象要因の中では気温が有意な影響を与えていることが標準偏回帰係数からわかる (Table 1b)。すなわち、珪藻類では春季 ($P<0.05$) と秋季 ($P<0.01$)、鞭毛藻類では春季 ($P<0.01$)、夏季 ($P<0.01$) と冬季 ($P<0.05$) において、気温が赤潮形成に対して有意な影響を与えている。

ただし、気温と赤潮形成の関係において統計的に有意な結果を与えたもののうち、夏季の鞭毛藻類だけは標準偏回帰係数が負であり、夏季には気温が低いときに鞭毛藻がよく発生していることを示している。愛知県水産試験場が三河湾に面した蒲郡地先で毎日測定した水温記録では、猛暑の夏の水温は30°Cを越えることがしばしばある。岩崎 (1980) がまとめた赤潮鞭毛藻の増殖に好適な温度範囲では、30°C付近で活発に増殖する種は *Pyrodinium bahamense* などの熱帯域にみられるものであり、三河湾のような温帯域に出現する赤潮形成種はほとんどない。以上のことから、夏季の三河湾は高温が鞭毛藻の発生を抑制していると考えられる。

赤潮形成前の気象の影響

気象データを旬ごとにずらしたものと赤潮発生延べ日数のデータセットに対して単回帰分析を行った結果を以下に示す。

気温の影響

12年間すべてのデータを用いた解析結果では、両グループとも発生時と同様、発生前においても気温との間に正の相関関係が見られた (Fig. 4a)。このことから、発生前の気温上昇は水温上昇を引き起こし、両グループの増殖速度を増加させるものと推測される。季節別には、珪藻類では春季 ($P<0.05$) と秋季 ($P<$

Table 1. Results of multiple regression analyses for testing the contribution of four meteorological factors on the red tide occurrence of diatoms and flagellates during 1980-1991 in Mikawa Bay, Japan. (a) For over 12 years, and (b) for each season. Single and double asterisks indicate significant correlation at 5% and 1% levels, respectively. Value in parentheses shows *t* value. D and F are diatoms and the other flagellates, respectively.

Period	Group	Standard partial regression coefficient				n	R	F value
		Air temp.	Rainfall	Sunshine duration	Wind velocity			
(a)								
All years	D	0.178 (2.975)**	-0.060 (-1.057)	-0.079 (-1.424)	-0.011 (-0.181)	424	0.187	3.778**
All years	F	0.226 (3.866)**	-0.003 (-0.049)	-0.028 (-0.518)	-0.085 (-1.483)	425	0.281	8.983**
(b)								
Spring	D	0.272 (2.581)*	-0.186 (-1.830)	-0.105 (-0.979)	0.066 (0.612)	107	0.280	2.169
Summer	D	0.201 (1.836)	0.000 (0.002)	-0.143 (-1.259)	-0.128 (-1.185)	108	0.220	1.303
Autumn	D	0.540 (5.946)**	0.018 (0.173)	-0.078 (-0.765)	0.012 (0.138)	105	0.559	11.38**
Winter	D	-0.164 (-1.418)	0.115 (0.997)	0.056 (0.499)	0.019 (0.166)	105	0.188	0.903
Spring	F	0.404 (4.028)**	0.021 (0.211)	-0.069 (-0.675)	0.007 (0.072)	107	0.405	4.991**
Summer	F	-0.546 (-5.938)**	-0.053 (-0.556)	0.090 (0.942)	-0.177 (-1.949)	108	0.571	12.43**
Autumn	F	-0.080 (-0.740)	-0.044 (-0.361)	0.070 (0.576)	0.043 (0.402)	105	0.161	0.666
Winter	F	0.127 (1.118)*	-0.225 (-1.980)	-0.143 (-1.283)	0.177 (1.586)	105	0.229	1.384

0.01)において、発生前の気温が高い方が赤潮の形成を促している (Fig. 4b, 4d)。一方、鞭毛藻類では春季 ($P < 0.01$) にその傾向が強くみられた (Fig. 4b)。

また、発生前の気温が低いことが赤潮の形成を促す場合も見られた (Fig. 4e)。例えば、珪藻類では冬季 ($P < 0.01$) にそのような傾向が見られた。このことは冬季の水温最低期の水温が低く、その後の水温上昇との差が大きいくほど赤潮を生じ易いという可能性が示唆される。また、タイムラグが大きいくほど相関係数が高い傾向は、早めに水温最低期を迎えた場合に春季に至らずとも冬季の間に赤潮を発生しやすくなることを示しているものと考えられる。

一方、鞭毛藻類では夏季に、赤潮形成30日前までの気温との間に強い負の相関関係 ($p < 0.01$) が見られた。先にも述べたように猛暑の年の盛夏には30℃を越すことはしばしば有り、高水温が鞭毛藻の発生を抑制

しているものと考えられる。

降雨の影響

12年間すべてのデータを用いた解析結果において、珪藻類は10~20日前の降雨の影響を強く受けていることが明らかとなった (Fig. 5a)。鞭毛藻類も10日前および30日前の降雨量と正の相関が見られた (ただし、下に述べるように、季節別に解析した結果では、鞭毛藻の発生に対して、降雨の影響は見られなかった)。このことは、降雨量の増加が河川経路による淡水および栄養塩負荷を増加させる場合には、主に珪藻類の赤潮が誘起されることを示唆している。特に珪藻類が10日前の降雨量と最も相関が高かったのは、一般的に渦鞭毛藻類などに比べ、珪藻類の分裂速度が大きく (飯塚・平山, 1980; 飯塚, 1987), 条件が良ければ通常は10日もあれば十分に赤潮を形成するほどの細胞

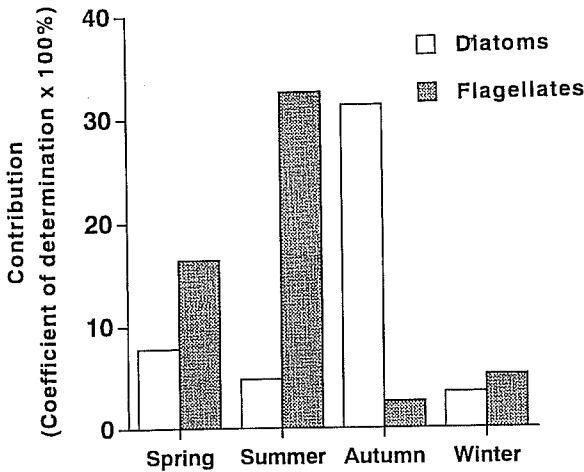


Fig. 3. Contribution of four meteorological factors on the red tide formations of diatoms and flagellates in Mikawa Bay, Japan (multiple regression results were used). Data sets from 1980-1991 were used.

密度に増殖できることによると思われる。例えば、YAMAMOTO and TSUCHIYA (1995) が珪藻類の *Skeletonema costatum* を用いて行った培養実験では、降雨量の増加による湾内の塩分低下やそれに伴って供給されるSiを含む栄養塩類の増加によって3~4日でバイオマスを急増させることが明らかとなっている。

季節別には、珪藻類は夏季と秋季において、いずれも10日前の降雨量との関係が最もよくなった ($P < 0.01$) のに対して、春季では20日前の降雨量との相関が見られた ($P < 0.05$)。このことは先にも触れた愛知県水産試験場による蒲郡市地先における1963~1994年(32年間)の毎日の測定結果を集計した季節別平均水温からわかるように、夏季と秋季にそれぞれ25.7℃と20.0℃であるのに対して、春季では13.6℃と低いことが原因していると推測される。すなわち、夏季や秋季に比べて春季には水温が低いことによって珪藻類の増殖速度が低く押さえられ、赤潮に至るまでに長時間を要するためと解釈できる。

一方、鞭毛藻類の発生は12年間すべてのデータによる解析では10日前および30日前の降雨量と正の相関が見られたものの、季節別の解析では、いずれの季節においても、赤潮形成前の降雨量との間に何らの関係もみられなかった。これは先に述べた珪藻類の増殖が河川由来の栄養塩類に依存しているという結果と対照的である。このことの原因の一つには、今回の解析では鞭毛藻グループとして、当然、栄養要求が異なるであろう渦鞭毛藻、ラフィド藻、ユエグレナ藻、プラシノ

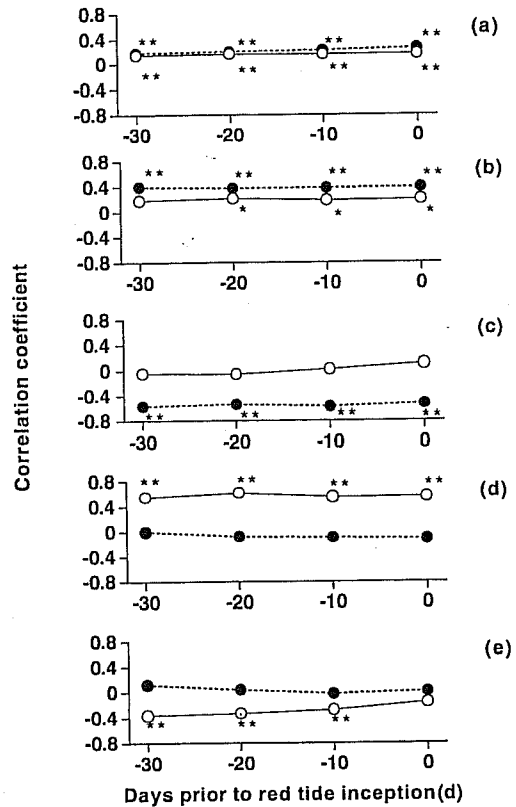


Fig. 4. Effect of air temperature on the red tide occurrence prior to the inception. Circle and filled circle are for diatoms and flagellates, respectively. (a) Over 12 years, (b) spring, (c) summer, (d) autumn and (e) winter. One and two asterisks show the significant level of 5% and 1%, respectively.

藻、クリプト藻など、すべてを含めたことによって結果が不明瞭なものとなったものとも考えられる。

日照時間の影響

日照時間が赤潮形成に及ぼす影響としては、珪藻類に関する12年間 (Fig. 6a) および春季の結果 (Fig. 6b) において10日前の日照時間が短いほど発生を促すという関係が得られた。赤潮形成と日照時間との関係が負になった理由として、春季表層での強光阻害の可能性が挙げられよう。パーソンズ・高橋 (1974) の光合成-光曲線からは、珪藻類では約 $210 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、渦鞭毛藻類では約 $520 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 以上と、珪藻類では強光阻害が起きる光強度が低いことが読み取れる。名古屋における平均太陽光強度は夏季よりも春季に強く、

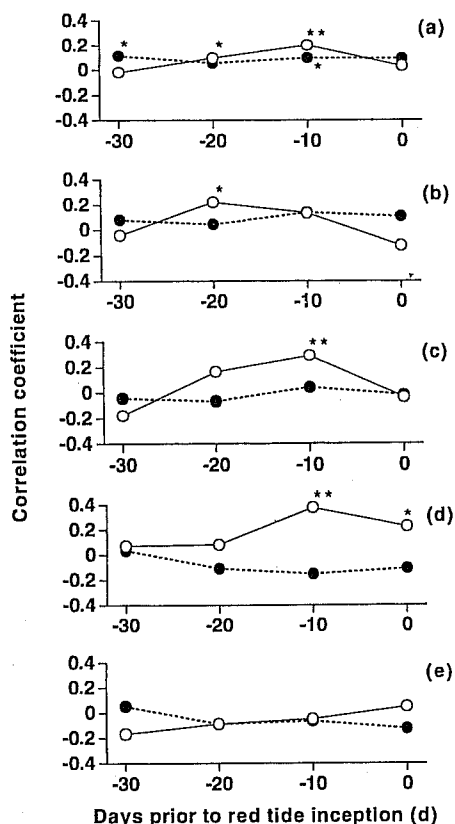


Fig. 5. Effect of rainfall on the red tide occurrence prior to the inception. Circle and filled circle are for diatoms and flagellates, respectively. (a) Over 12 years, (b) spring, (c) summer, (d) autumn and (e) winter. One and two asterisks show the significant level of 5 % and 1 %, respectively.

5月に最高 $1690 \mu E m^{-2} s^{-1}$ であり(国立天文台, 1994), 海表面の散乱などで入射する光強度が半減したとしても(パーソンズ・高橋, 1974), 十分に強光阻害が生じる光強度である。

また, 春季を除く季節の珪藻類, 及び全ての季節における鞭毛藻類と日照時間との間には統計的に有意な関係は見られなかった。田中・佐野(1980)の報告によると, 冬季の日射量でも補償深度は10~15mであり, 三河湾の平均水深9.2mがこれより浅いことを考えると一年を通じてほとんど水柱全体が有光層であり, 海底まで光合成が行われることが想像される(西条・宇野木, 1977)。つまり, 三河湾では強光阻害以外には光が植物プランクトンの光合成制限になっているとは考えにくく, このことが日照時間と赤潮発生延べ日数

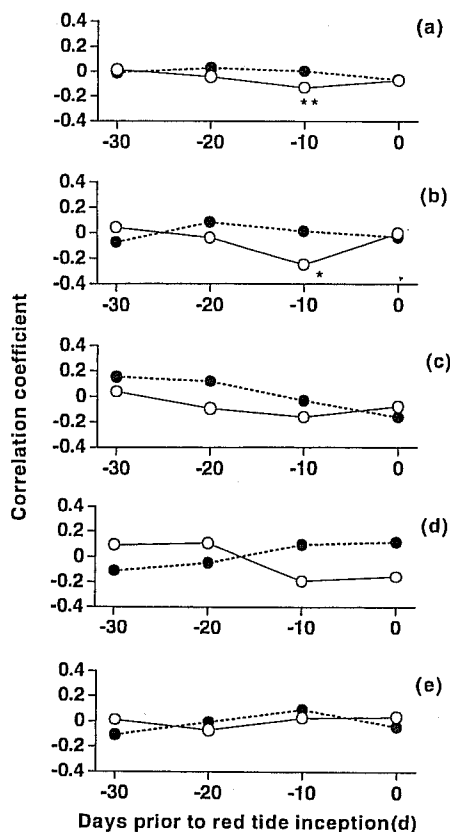


Fig. 6. Effect of sunshine duration on the red tide occurrence prior to the inception. Circle and filled circle are for diatoms and flagellates, respectively. (a) Over 12 years, (b) spring, (c) summer, (d) autumn and (e) winter. One and two asterisks show the significant level of 5 % and 1 %, respectively.

との間に有意な正の相関がなかった理由と考えられる。

風速の影響

12年間の風速データとの関係については, 両グループとも負の相関関係がみられた(Fig. 7a)。このことは, 風速が強いと栄養細胞が分散されて細胞密度が低くなるため, 赤潮としては確認されなくなることを示唆しているものと解釈できる。

季節別には, 夏季における風速と鞭毛藻類の関係にのみ特徴が見られた。すなわち, 赤潮形成時には負の相関関係($P < 0.01$)が, 約30日前の風速とは正の相関関係($P < 0.01$)がみられた。夏季の鞭毛藻類の形成時の状況としては, 上記の解釈と同様に風速が弱く

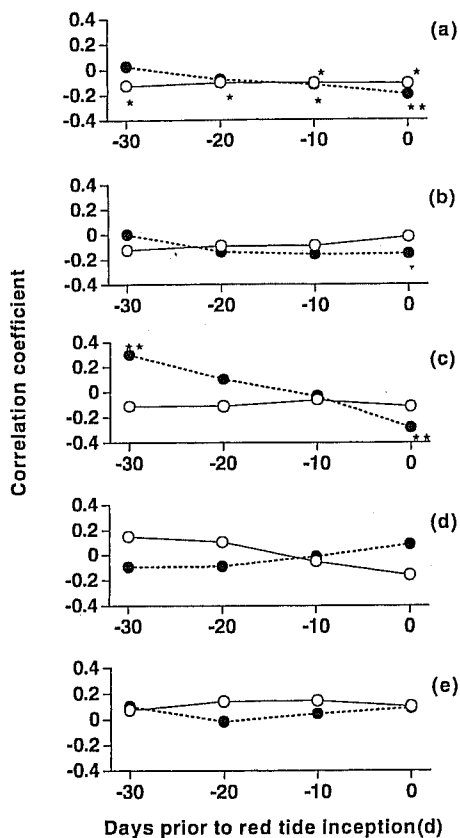


Fig. 7. Effect of wind velocity on the red tide occurrence prior to the inception. Circle and filled circle are for diatoms and flagellates, respectively. (a) Over 12 years, (b) spring, (c) summer, (d) autumn and (e) winter. One and two asterisks show the significant level of 5% and 1%, respectively.

海況が穏やかである方が鞭毛藻類の発生にとって好適状態であることを示している。特に今回、鞭毛藻類に含めた分類群のうち、優占群であり、一般的に増殖速度の小さい渦鞭毛藻（飯塚，1987）にとっては、風による細胞の分散の影響は大きい。

一方、夏季の赤潮形成の約30日前というのはちょうど晩春から初夏にあたり、三河湾では風向、風速ともに激しく変化する時期でもある。すなわち、風速の増加は水柱を混合し、底層水からの栄養塩および溶存物質の供給量や底層に沈降しているシストの巻き上げ量などを高めるものと考えられる。遠藤・長田（1984）は、渦鞭毛藻の一種 *Peridinium* sp. の培養実験の結果からシストが赤潮の発生源となる条件として休眠を

Table 2. Significance of four meteorological factors on the formation of red tide. + and - indicate the positive and negative effects, and those before and behind the slash show the time prior and during the occurrence, respectively. (a) Diatoms and (b) flagellates.

(a)				
Season	Air temp.	Rainfall	Sunshine duration	Wind velocity
Spring	+ / +	+ /	- /	
Summer		+ /		
Autumn	+ / +	+ / +		
Winter	- /			
All year	+ / +	+ /	- /	- / -

(b)				
Season	Air temp.	Rainfall	Sunshine duration	Wind velocity
Spring	+ / +			
Summer	- / -			+ / -
Autumn				
Winter	+ /			
All year	+ / +	+ /		- / -

終えた充分な量のシストが適水温期に底泥の攪乱などによって、海底泥の中から泥の表面や海水中に分散することが必要であるとしている。

まとめ

赤潮形成に及ぼす気象要因の影響について重回帰分析を用いて検討した。今回解析対象とした4つの気象要因が有意な影響を与えていると判断されたのは、珪藻類および鞭毛藻両プランクトン群に対する12年間すべてのデータ、および珪藻類では秋季、鞭毛藻類では春季と夏季であった (Table 1b)。逆に、珪藻類の春季、夏季、冬季、鞭毛藻類の秋季、冬季においては、気象要因は重要な影響を与えていないことが明らかとなった。しかし、冬季には珪藻類の赤潮がよく発生しており (Fig. 2)、気象以外の、例えば水質や海水交換などの海域環境の影響について、今後の解明が必要であろう。

赤潮形成機構の特徴を推測すると、以下のようにまとめられる (Table 2)。両グループとも一般的には発生前、発生時とも気温が高く、風速が弱いほどよく発生が見られる。これは気温上昇が水温上昇を引き起こし、赤潮生物の増殖速度を増加させること、および強風によって栄養細胞が分散されないこと、の2点が赤

潮形成にとって重要であることを示している。ただし、鞭毛藻類では夏季の高水温が赤潮の形成を抑制していることが明らかになった。それとともに、発生前の強風による鉛直混合が海底のシストを巻き上げ、赤潮の形成を導くことが統計結果から推測された。

両グループとも事前に降雨量が多い方が赤潮形成を促し、その傾向は珪藻類で顕著であった。このことは、珪藻類の増殖が河川由来の栄養塩類に依存していることを裏付けるものと考えられる。

珪藻類では太陽放射の最も強い春季に強光阻害の影響が見られたが、鞭毛藻類では日照時間は何ら統計的に有意な影響を及ぼさず、このことは三河湾の平均水深が浅いため、一年中水柱全体が有光層であることに起因していると結論された。

謝 辞

三河湾の赤潮発生状況に関するデータは、愛知県水産試験場が長年にわたって蓄積した非常に貴重なものである。主著者は元、同試験場に1985～1990年の6年間勤務したものであるが、その間に自身が業務としてまとめた以外の報告書も本研究で利用させて戴いた。同報告書は一般に公開されているものであるとはいえ、利用に際して寛容に対応戴いた愛知県に対し、ここに感謝の意を表す。また、本文中の英文に関して注意深く見てくださった広島大学生物生産学部教授 N. Rajendran 博士に感謝する。

引用文献

- 愛知県 (1981) : 昭和55年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 38, 46 pp.
- 愛知県水産試験場 (1982) : 昭和56年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 41, 40 pp.
- 愛知県水産試験場 (1983) : 昭和57年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 44, 38 pp.
- 愛知県水産試験場 (1984) : 昭和58年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 50, 43 pp.
- 遠藤拓郎・長田 宏 (1984) : 渦鞭毛藻 *Peridinium* sp. のシストの休眠と発芽。日本プランクトン学会報, 31, 23-33.
- 飯塚昭二 (1987) : 群成長・生物間関係・行動生態。岡市友利 (編), 赤潮の科学, 恒星社厚生閣, 東京, 91-123.
- 飯塚昭二・平山和次 (1980) : 群生長と分裂速度。水産研究叢書, 赤潮研究会編集委員会 (編), 赤潮に関する近年の知見と研究の問題点, 日本水産資源保護協会, 東京, 74-81.
- 池田三郎・中田英昭 (1987) : 赤潮発生現象のシステム分析。岡市友利 (編), 赤潮の科学, 恒星社厚生閣, 東京, 255-285.
- 岩崎英雄 (1980) : 赤潮生物の生理学的特性。水産研究叢書, 赤潮研究会編集委員会 (編), 赤潮に関する近年の知見と研究の問題点, 日本水産資源保護協会, 東京, 103-109.
- 国立天文台 (1993) : 理科年表。国立天文台 (編) 丸善, 東京, 1042 pp.
- 宮本淳司・土屋晴彦・水質調査船乗組員 (1987) : 昭和61年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 70, 58 pp.
- 日本気象協会東海本部 (1979-1991) : 気象月報。
- 岡市友利 (1987) : 赤潮現象。岡市友利 (編), 赤潮の科学, 恒星社厚生閣, 東京, 5-36.
- 大内 晟 (1982) : 重回帰式による赤潮発生予察。日水誌, 48, 1245-1250.
- 大内 晟 (1986) : フーリエ解析と重回帰モデルを用いた赤潮シミュレーション。日水誌, 52, 203-207.
- 大内 晟・高山晴義 (1984) : 赤潮図による *Gymnodinium* '65年型赤潮の予察について。日水誌, 50, 1201-1205.
- パーソンズ, T. R.・高橋正征 (1974) : 生物海洋学。市村俊英 (訳), 三省堂, 東京, 246 pp.
- 西條八東・宇野木早苗 (1977) : 伊勢湾・三河湾の海況特徴と生産力。沿岸海洋研究ノート, 14, 10-18.
- 坂口泰治・石田基雄 (1992) : 平成3年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 88, 44 pp.
- 田中庸央・佐野方昂 (1980) : 三河湾における植物プランクトンの一次生産動態に関する一考察。日本プランクトン学会報, 27, 75-85.
- 田中 豊・垂水共之・脇本和昌・辻谷将明 (1984) : パソコン統計解析ハンドブックII多変量解析編。田中 豊・垂水共之・脇本和昌 (編), 共立出版, 東京, 403 pp.
- 土屋晴彦・鈴木 裕・水質調査船乗組員 (1985) : 昭和59年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 58, 52 pp.
- 土屋晴彦・宮本淳司・水質調査船乗組員 (1986) : 昭和60年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 63, 60 pp.
- 山本民次・石田基雄・土屋晴彦 (1991) : 平成2年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 84, 50 pp.
- 山本民次・土屋晴彦 (1990) : 平成元年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 80, 43 pp.
- YAMAMOTO, T. and H. TSUCHIYA (1995) : Physiological responses of Si-limited *Skeletonema costatum* to silicate supply with salinity decrease. Bull. Plankton Soc. Japan, 41, 1-17.
- 山本民次・土屋晴彦・井野川仲男・蒲原 聡・岡田 元 (1992) : 渥美湾における冬季の赤潮の発生・消滅に伴う窒素収支。沿岸海洋研究ノート, 30, 79-90.
- 山本民次・土屋晴彦・水質調査船乗組員 (1988) : 昭和62年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 74, 41 pp.
- 山本民次・土屋晴彦・水質調査船乗組員 (1989) : 昭和53年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況。愛知水試研究業績Cしゅう, 78, 43 pp.
- 吉田陽一 (1980) : 赤潮の発生予察。日本水産学会 (編), 赤潮-発生機構と対策, 恒星社厚生閣, 東京, 90-104.