

三河湾における赤潮多発年の気象の特徴

山本民次*・岡井 満*・竹下邦明*・橋本俊也

Characteristics of Meteorological Conditions in the Years of Intensive Red Tide Occurrence in Mikawa Bay, Japan

Tamiji YAMAMOTO*, Mitsuru OKAI*, Kuniaki TAKESHITA* and Toshiya HASHIMOTO*

Abstract

Reported monitoring data on red tide found in Mikawa Bay, Japan, over 12 years from 1979 to 1990, revealed that the occurrence of red tides increased from 1983 and that the duration of red tide tended to be longer. In 1983, 1988 and 1990, the red tide occurrence was particularly prominent, with the total number of days reaching up to 390, *i. e.* were 100 days or higher than the average. Analyses on the meteorological parameters were carried out for different time scales. Deviations in the scales of year, month and day showed no clear trend, but the deviation in seasonal scale followed characteristics of meteorological conditions in each year. The possible mechanisms involved in increasing in number of red tide occurrence and the prolonging duration of individual red tide were considered as follows. A common meteorological factor governing the mechanisms of the increasing in number is heavy rainfall. Heavy rainfall appeared to bring nutrients and other chemical substances required for growth of phytoplankton from land through river discharge. In addition to this process, rainy weather seemed to protect phytoplankton in shallow Mikawa Bay water from photoinhibition in summer of 1988. Wind is also considered to play an important role in the accumulation of floating species, *Noctiluca miliaris*, in the case of 1990.

はじめに

三河湾は面積604km²、平均水深9.2mの浅い湾であり、知多、渥美の両半島の存在により湾口部は非常に狭く、海水交換は悪い(西条, 1984)。また、矢作川、豊川の一級河川をはじめとする河川による淡水流入量は非常に大きく、年間に湾の容積の約80%程度と言われている(西条, 1984)。したがって、海水交換の悪さに陸起源物質の負荷が手伝い、潜在的に赤潮が発生しやすい湾であるといえる。

わが国における赤潮発生状況のとりまとめは、1979年(昭和54年度)より水産庁の補助事業として予算化され、各漁業協同組合に水質汚濁監視員を配置して、マニュアル化された調査方法に則り、毎月2回の組織

的な水質の監視が行われてきた。三河湾では、これらに加え、水産試験場の調査船や愛知県の漁業取り締まり船による調査も毎月2回以上行われている。このような密度の高いモニタリングによって、赤潮の発生状況を十分に解析できるまでのデータの蓄積がなされてきた。

山本・岡井(1996)は赤潮の発生に影響を及ぼす諸要因のうち、気象要因を最も初期段階で影響を与えている根本的な要素としてとらえて解析し、三河湾では一般的には赤潮発生前および発生時とも気温が高く、風速が弱い、温暖な気候が赤潮形成に好都合であることを明らかにした。しかしながら、三河湾において発生する赤潮は長期化および拡大化してきていることが懸念されており(土屋ほか, 1985, 1986)、このことに関して十分な解釈は得られていない。そこで、本研究では三河湾における1979~1990年の12年間の赤潮発生状況の推移をまとめ、とくに赤潮多発年の気象要因の特徴を明らかにすることにより、赤潮発生延べ日数の

1997年2月12日受理

* 広島大学生物生産学部 Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, 739, Japan,

Email: tamiyama@ipc.hiroshima-u.ac.jp

増加原因およびその機構について考察することを目的とした。

材料と方法

赤潮データベースの作成

三河湾で発生した赤潮に関するデータベースは、「伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況」(愛知県, 1980, 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) をもとに作成した。数値データの入力に加え, 発生海域(範囲)については赤潮発生状況図をイメージスキャナ(NEC, PC-IN503G)でコンピュータ(NEC, PC9801)に取り込み, グラフィック機能を制御することによってデータベース化した(山本・橋本, 1997)。

気象要因の解析

気象データについても赤潮のデータベースと同様に1979~1990年の12年間について「気象月報」(日本気象協会東海本部, 1979~1991)を用いて, 名古屋市の気温, 降雨量, 日照時間, 風向・風速の4つの気象要因についてデータセットを作成した。赤潮延日数とこれらの気象要因それぞれについて, 年別, 季節別, 月別, 日別の偏差を算出し, その特徴を検討した。季節の区分は12, 1, 2月を冬, 3, 4, 5月を春, 6, 7, 8月を夏, 9, 10, 11月を秋とした。とくに, 赤潮多発年に注目し, それらの年の気象の特徴を調べ, 発生機構について考察した。なお, 風に関しては, 太田(1992)にならい, 日平均風速 5 m s^{-1} 以上, もしくは日最大風速 13 m s^{-1} 以上のものを強風とし, その回数で評価した。

結果と考察

三河湾における赤潮発生状況

三河湾において発生した赤潮の延べ日数は, 1979~1982年の平均が205日であるのに対して, 1983~1990年の平均は346日であり, 1983年以降, 延日数が大幅に増加していることが明らかであった(Fig. 1a)。一方, 赤潮発生件数は1989年の39件から1980年の74件とほぼ2倍程度の大きな変動を示しつつも, 増加傾向にあるとはいえなかった。これらのことから, 三河湾における近年の赤潮は, それら一件一件が長期化していると言える。実際には, 継続日数が11~30日のものや31日以上の件数の増加が顕著であった(Fig. 1b)。

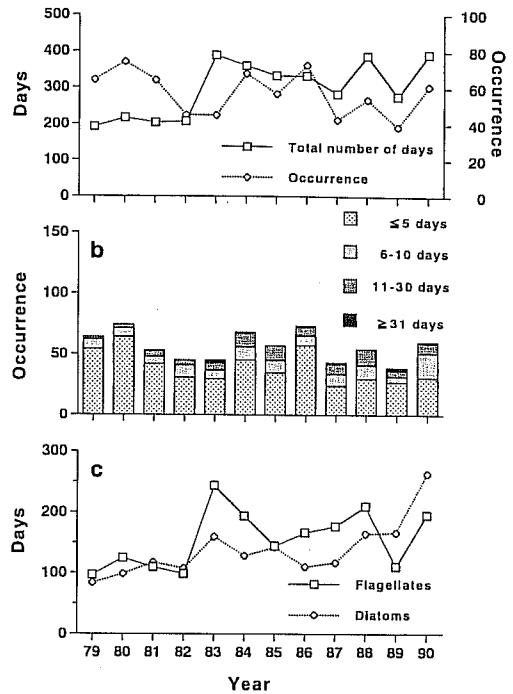


Fig. 1. Annual variations of red tide occurrence in Mikawa Bay during 1979-1990. (a) total number of days and the number of occurrence, (b) proportion of red tide forming duration, and (c) the proportion of two major phytoplankton taxonomic groups.

赤潮延べ日数の増加が明らかな1983年以降において, とくに1983, 1988, 1990年の赤潮延べ日数はそれぞれ391日, 390日, 393日と顕著であり, 12年間の平均延日数293日に比べて約100日程度, 1979年~1982年の平均延日数に対しては約200日程度上回っていた。また, これらの年はいずれも, 珪藻類の赤潮, 鞭毛藻類の赤潮ともに増加が見られたが, 1983年と1988年は鞭毛藻類が, 1990年は珪藻類が優占群であった(Fig. 1c)。また, 赤潮の発生海域は1982年以前は北東奥部に多く見られ, 延べ日数は120日以内であったが, 1983年以降は全湾に拡大し, 北東奥部ではほとんど慢性的に発生が見られるようになった(Fig. 2)。

赤潮多発年における時間スケール別の気象の特徴

赤潮延べ日数の増加が明らかであった1983年以降において, とくに1983, 1988, 1990年を赤潮多発年と見なした。解析は年別偏差, 季節別偏差, 月別偏差, 日別偏差について行ったが, 以下に示すように季節別偏

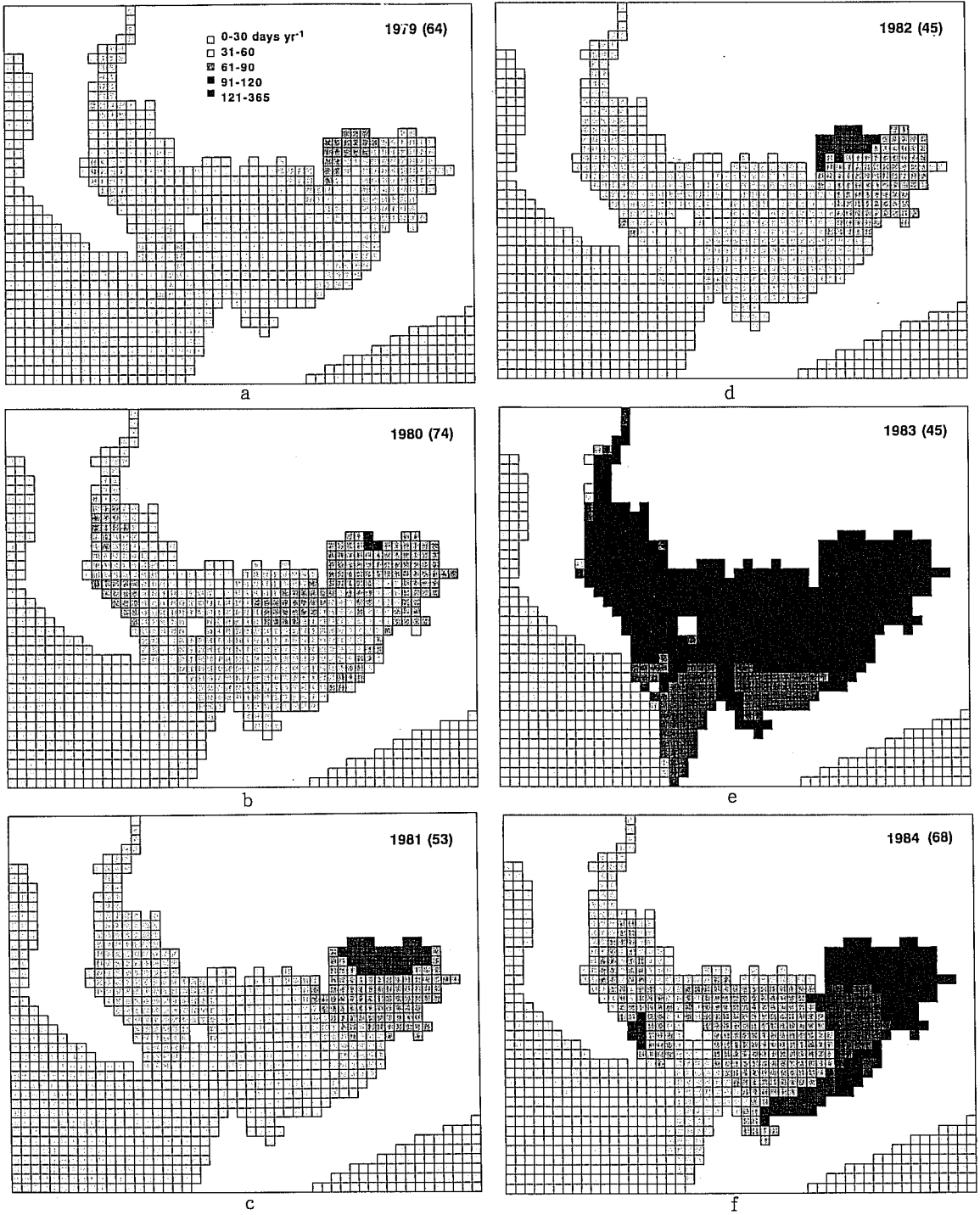
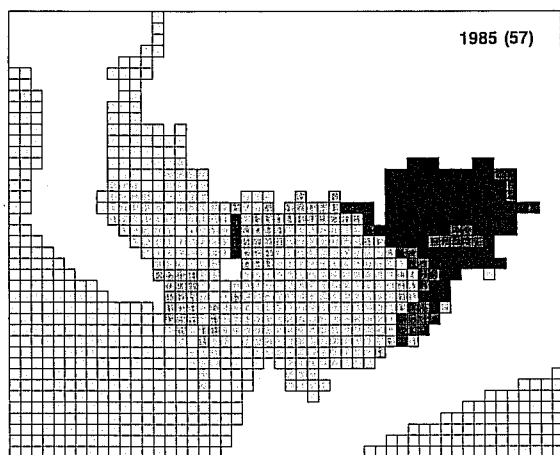
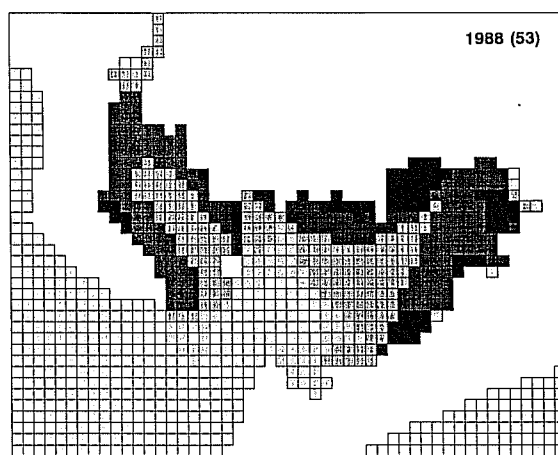


Fig. 2. Annual variation in areal distribution of red tide formation from 1979 to 1990. Rank was determined in terms of total number of days of red tide occurrence in each 1×1 km mesh. Number in parentheses shows the occurrence in each year.

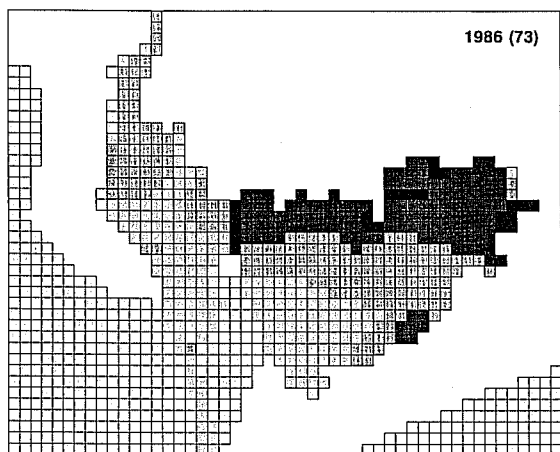
赤潮多発年の気象



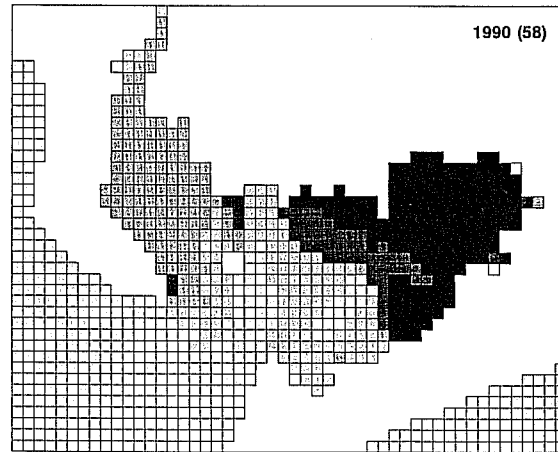
g



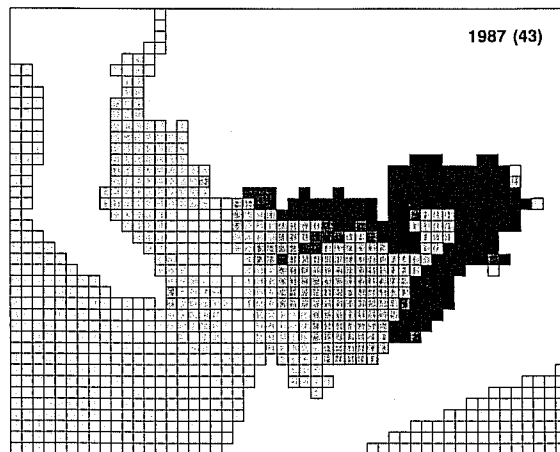
j



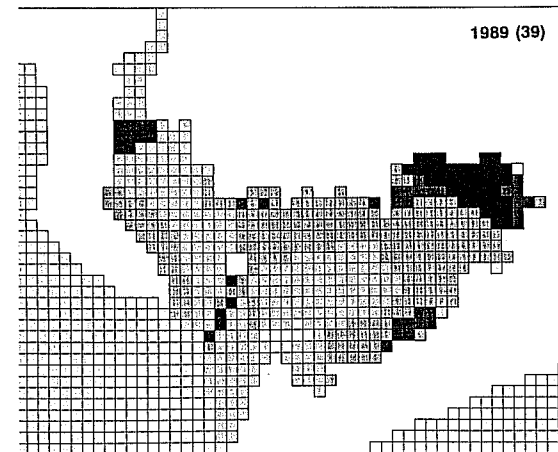
h



k



i



l

Fig. 2. Continued

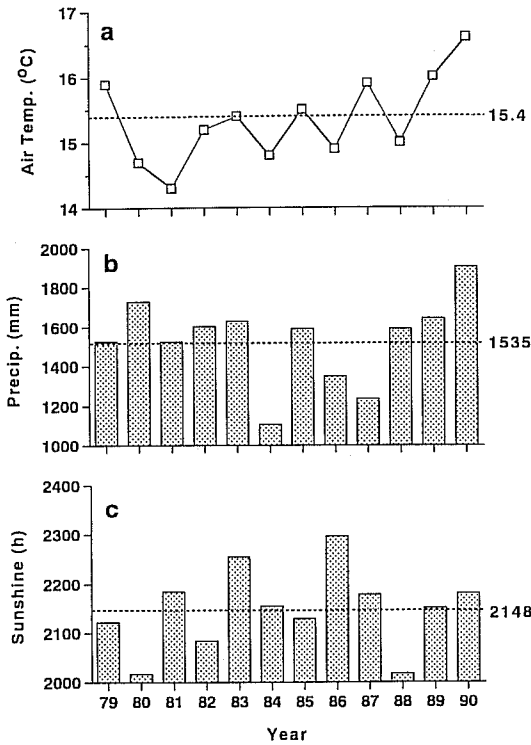


Fig. 3. Annual variations in (a) air temperature, (b) precipitation, and (c) sunshine duration at Nagoya. The average value is indicated by a broken line.

差を除いては大きな特徴は見られなかった。

年別偏差

1990年の年間平均気温は、12年間の平均15.4°Cに比べ約1.2°C高かったが、1983、1988年はそれぞれ15.4°Cと15.0°Cで特に高くはなかった (Fig. 3)。年間総降雨量は1983年が1628mm、1988年が1590mm、1990年が1904mmと12年間の平均値1535mmに比べて多かった。また、年間総日照時間は、1983年が2256時間、1988年が2018時間、1990年が2181時間であり、12年間の平均年間総日照時間2148時間と比べ、特に長いというわけではなく、1988年では平均を下回った。

月別偏差

赤潮多発年において延日数が最も多かった月は、1983年が10月、1988年が7月、1990年が12月であった (Fig. 4)。1983年10月は、降雨量、日照時間が平均を上回っていたが、気温は平均を下回っていた。ただし、

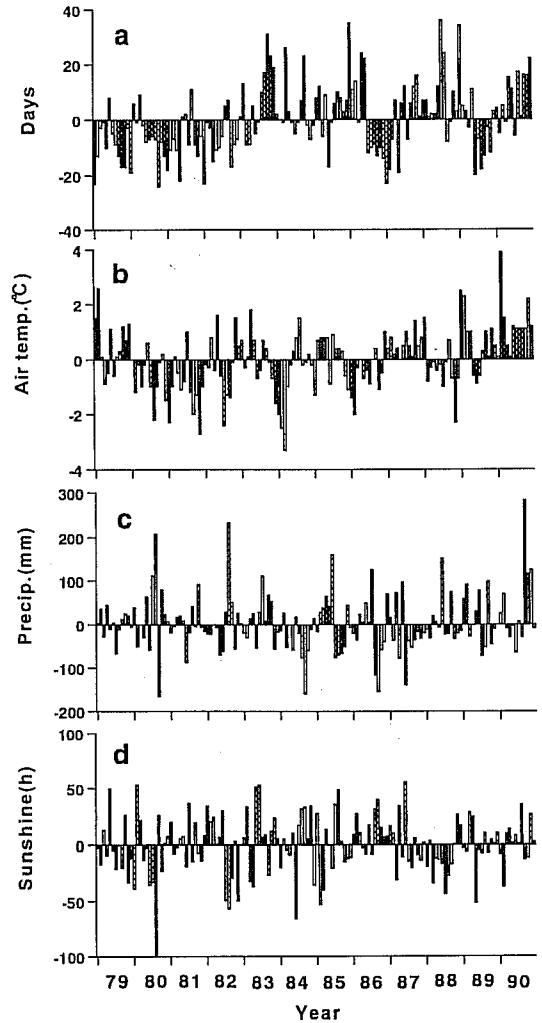


Fig. 4. Monthly variations of deviations to the average in (a) total number of days of red tide occurrence, (b) air temperature, (c) precipitation, and (d) sunshine duration.

先立つ7月と9月にも降雨量が多かったことが特徴であった。1988年7月は、気温、降雨量、日照時間ともに低く、その前月(6月)の降雨量が多かった。また、1990年12月は、その前の半年間の気温が高く、9~11月の3か月間の降雨量が多かった。以上の月別偏差からは、降雨と赤潮発生の方にタイムラグがあることが想像され、このことについては山本・岡井 (1996) が旬ごとのデータセットの解析からすでに統計的に明らかにしている。

赤潮多発年の気象

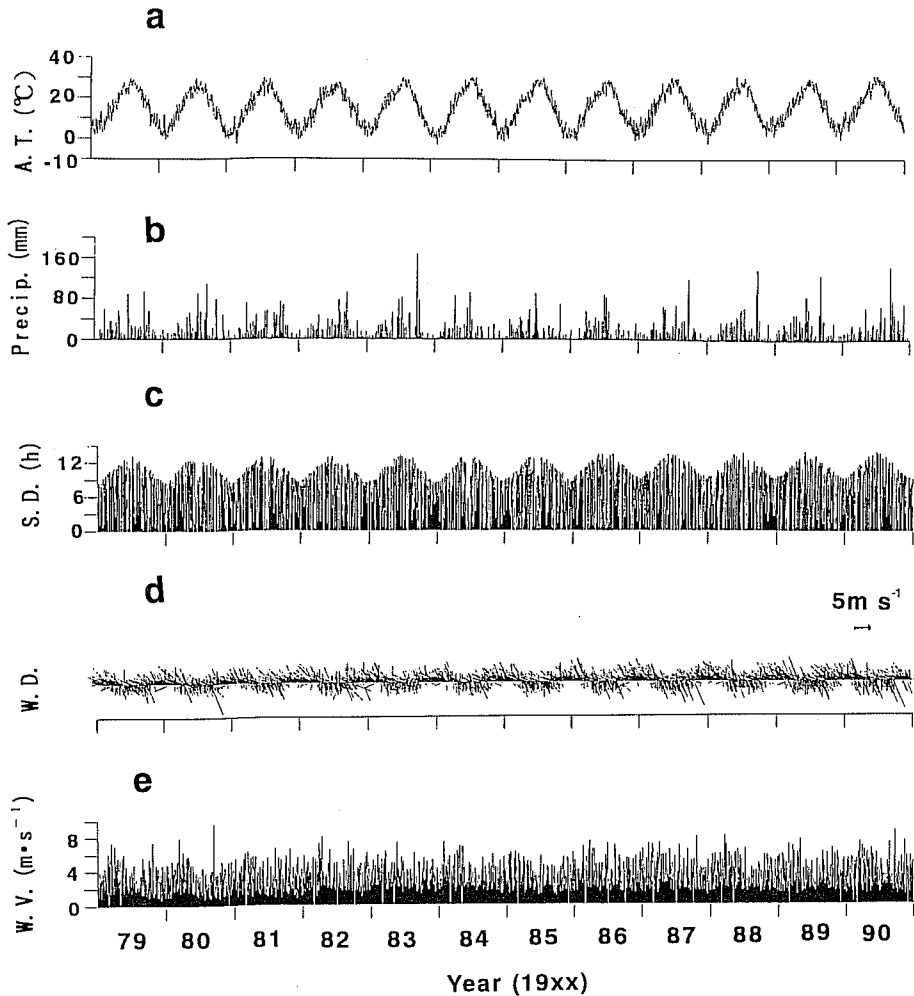


Fig. 5. Daily variations in (a) air temperature, (b) precipitation, (c) sunshine duration, (d) wind direction, and (e) wind velocity.

日別偏差

赤潮多発年における日降雨量は、1983年9月28日に166mm、1988年9月25日に137mm、1990年9月17日に143mmと記録的な大雨に見舞われており、降雨量の増加が大きく寄与しているものと考えられた (Fig. 5)。一方、風に関しては、10月から4月までは北北西の季節風が卓越し、7、8月は南南東の風が卓越するのが常で、温帯低気圧が通過する5、6月と9月は風向が一定せず、突風が吹く場合があることが理解できた。日平均風速が 5 m s^{-1} を越える強風は2～4月にかけて多くみられた。このような強風による鉛直混合が下層の栄養塩を上層にもたらし、赤潮の発生を促す

ことも考えられるが、一方で風による擾乱が植物プランクトンの濃密分布を分散させたり、表層性のプランクトンを風下の岸へ集積させたりすることも起こりうる。

季節別偏差

年別偏差、月別偏差、日別偏差に比べ、季節別偏差では1983、1988、1990年における赤潮発生および気象に関するいくつかの特徴が明らかとなった。1983年秋は平年にくらべて赤潮発生延べ日数が71日上回り、降雨が平均よりも21mm、夏季にも49mm上回っていた (Fig. 6)。1988年は、夏の延日数が平均に比べて79日

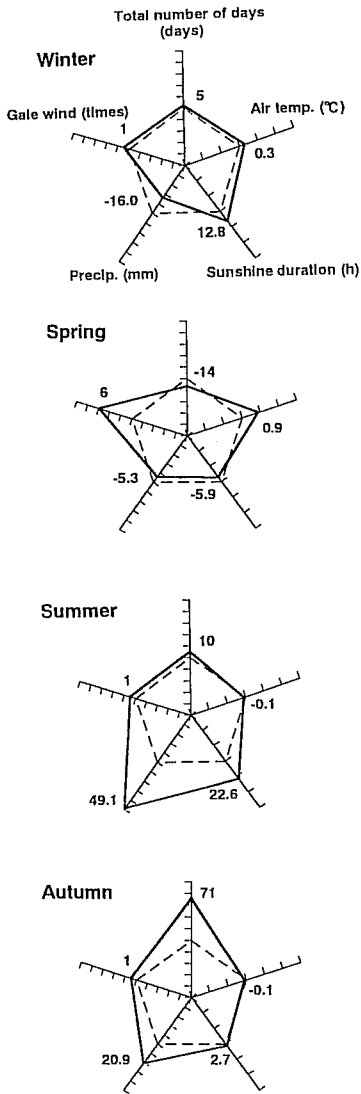


Fig. 6. Characteristics of meteorological conditions in 1983, a year with intensive occurrence of red tide in the autumn.

多かった (Fig. 7)。1983年秋と同様、この時も降雨量が平均より35mm上回った。1990年は冬を除くすべての季節で延日数の増加があり (春季20日, 夏季28日, 秋季33日), いずれの季節においても気温が高かった (Fig. 8)。また, 秋季には降雨量が173mm平均を上回り, 12年間の中でも最高値を記録した (Fig. 8)。冬季の降雨量も平均より32mm上回っていた。また, 春季における強風の回数は12年間の中で最も多かった (Fig. 8)。

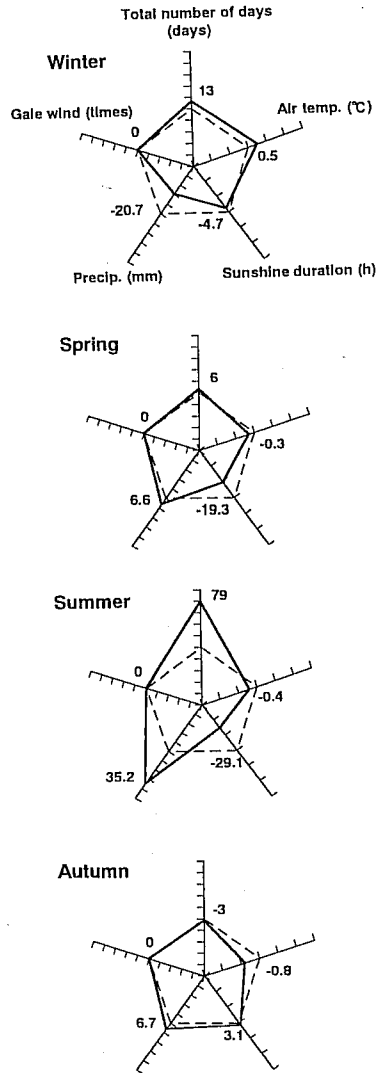


Fig. 7. Characteristics of meteorological conditions in 1988, a year with intensive occurrence of red tide in the summer.

三河湾の赤潮発生に影響を及ぼす気象要因

気象要因の中では, 降雨量が多いということが赤潮が多発した3か年に共通していた。三河湾は, 矢作川や豊川といった集水域の大きな河川をはじめ大小約30もの河川が流入しており, 非常に河川の影響を受けやすい地理的環境にある。先の日別偏差の結果においても, これら3か年も記録的な大雨があったことが注目される。河川水の流入は, (1)成層を強化するとともに, (2)栄養塩の供給, をともなう。これらのこ

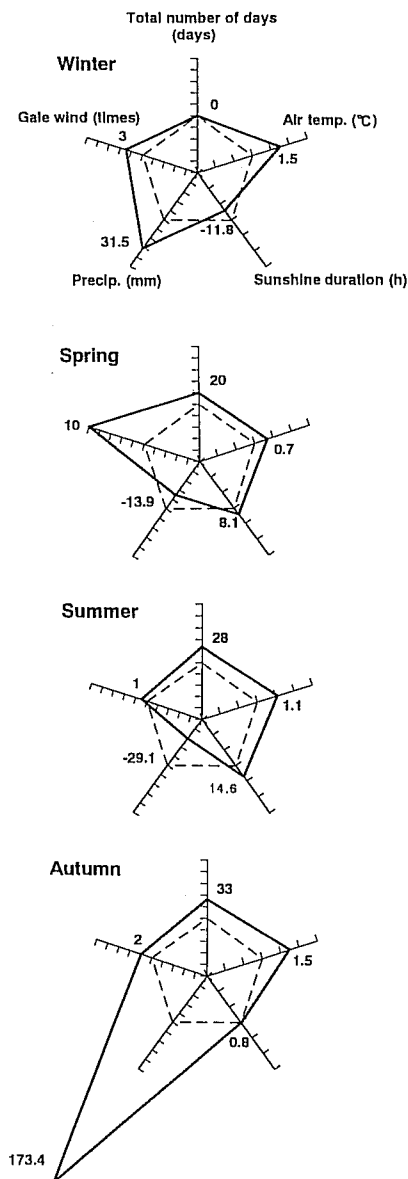


Fig. 8. Characteristics of meteorological conditions in 1990, a year with intensive occurrence of red tide in the spring, summer and autumn.

とから、一般的には河川水の流入は植物プランクトンにとって好適な光環境と栄養塩環境をもたらす、増殖を促進するのにもっとも基本的な要因であることは否定できない。例えば大雨によって河床に堆積していた有機物、無機物を一度に多量に湾内に流入させ（掃流）、湾内を富栄養化することは赤潮の発生を導く大きな要因の一つであろう。

一般に、大雨の後に穏やかな日が続き日照時間が増加することが、赤潮発生にとって好適であると言われてきたが（花岡, 1972; 太田, 1981）、植物プランクトンの増殖要因として、三河湾においては日照時間の増加はプラスには寄与しないと考えられる。日照時間の増加は植物プランクトンに対して水温上昇というメリットをもたらすが、三河湾の平均水深はわずか9.2 mであり、冬季でも補償深度が10~15 mであることから（田中・佐野, 1980）、成層化による光環境の面でのメリットはない。むしろ、夏季では晴天日に強光阻害が生じる可能性の方が高い。パーソンズ・高橋（1974）の光合成-光曲線からは、珪藻類では約 $210 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 以上、渦鞭毛藻類では約 $520 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 以上で強光阻害が起きると判断される。名古屋における平均太陽光強度は夏季には $1600 \mu E m^{-2} s^{-1}$ 程度であり（理科年表 1994）、入射光が海表面の散乱などで15%程度、さらにごく表層の海水中で半減したとしても（パーソンズ・高橋, 1974）、強光阻害が生じる光強度である。したがって、夏季の三河湾では降雨にともなって日照時間が低下し、植物プランクトンが強光阻害から解除されることが、赤潮発生の好適環境をもたらす一つの原因であり、1988年夏季はこのような状況であったと推測される。

風の影響は無視し得ない。LEVASSEUR *et al.* (1984) はセントローレンス河口での調査から、物理的環境要因が植物プランクトンに対して階層的に作用し、それらの種の遷移を引き起こすことを考察している。すなわち、もっとも基本的な階層（要因）として、水柱の成層-混合の頻度を取り上げ、これが植物プランクトンの増殖速度のレンジを選択し、ひいては細胞サイズや群集の種構成および成熟度を決定すると述べている。このような機構は三河湾においても否定できないが、1990年の春季の状況はこれとは異なる。すなわち、このとき赤潮発生延べ日数を増加させていた種は *Noctiluca miliaris* であることが、山本ほか（1991）の報告から明らかである。*N. miliaris* は表層性であるため、風によって集積されることが明らかである（福代ほか, 1990）。したがって、1990年春の場合は風によるプランクトンの集積効果が赤潮発生延べ日数を増加させたものと結論できる。

まとめ

1979から1990年の12年間に三河湾で発生した赤潮の延日数は1983年以降急増し、1982年以前の年間平均延

日数205日に比べて、その約2倍近くの346日にもなった。中でも1983, 1988, 1990年は特に多く、これらの年は、珪藻類の赤潮、鞭毛藻類の赤潮ともに多く、件数の増加が見られないにもかかわらず、延日数の増加が顕著であり、一件一件の赤潮が長期化していることが特徴的であった。そこで、これらの3か年に注目し、延日数と気象要因との関係を、さまざまな時間スケール別の偏差から考察した。

年別偏差, 月別偏差, 日別偏差の特徴は明確ではなかったが, 季節別偏差には各年の気象と赤潮発生状況の特徴が現れていた。すなわち, 1983年は秋季の, 1988年は夏季の延日数が著しく多く, 1990年は春, 夏, 秋の三季とも発生が多かったことがわかった。また, 赤潮が多発した季節においては, 降雨量が多いという共通点が見られたことから, 三河湾においては河川流量の増加にともなう栄養塩類の負荷が赤潮発生を引き起こすもっとも基本的な機構であると考えられた。また, 1988年と1990年については, このことに加えて, 強光阻害の解除, 強風にともなう表層性プランクトンの集積が赤潮延べ日数の増加につながったものと推定された。

謝 辞

本研究を行うにあたり御指導, 御助言を頂いた広島大学生物生産学部教授, 松田 治, N. REJENDRAN 両博士に謹んで感謝いたします。英文については同学部客員研究員 O. DECAMP 博士に見ていただいた。併せて感謝いたします。さらに, 水産海洋学会の編集委員および匿名の査読者には懇切なご指導を戴いた。皆様方に厚くお礼申し上げます。

また, 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。主著者自身, 1987~1990年の4年間, 同モニタリングをつとめた者であるが, 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します。

引用文献

- 愛知県 (1980) 昭和54年伊勢湾・三河湾の赤潮発生状況. 36 pp.
 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.
 福代康夫・高野秀昭・千原光雄・松岡数充 (編) (1990) 日本の赤潮生物. 407 pp.
 花岡 資 (1972) 海における異常発生. 生物の異常発生, 生態学講座32, 共立出版, 東京, 85-124.
 LEVASSEUR, M., J.-C. THERRIAULT and L. LEGENDRE (1984) Hierarchical control of phytoplankton succession by physical factors. Mar. Ecol. Prog. Ser., 19, 211-222.
 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.
 太田立男 (1981) 伊勢湾の赤潮予察. 用水と廃水, 33, 459-462.
 太田立男 (1992) 伊勢湾における赤潮予報にたいする一方法について. 海と空, 68, 25-27.
 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.
 理科年表 (1994) 気象部, 国立天文台 (編), 丸善, 東京, 191-417.
 西条八東 (1984) 内湾の富栄養化. 西条八東 (編), 内湾の環境科学, 培風館, 東京, 1-37.
 田中庸央・佐野方昴 (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.
 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.
 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.
 山本民次・橋本俊也 (1997) 画像処理による赤潮情報の解析. 平野敏行 (編), 沿岸環境科学事典, フジ・テクノシステム, 東京, (印刷中)
 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・岡井 満 (1996) 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, 60, 348-355.
 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.
 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.