

三種の *Ceratium* の生態に関する研究

佐々田憲・北上井隆・石郷岡隆・藤山虎也

広島大学水畜産学部水産学科

1976年4月12日 受理

Ecological Study of three Species of *Ceratium*

Ken SASADA, Takashi KITADOI, Takashi ISHIGOOKA, and
Toraya FUJIYAMA

Department of Fisheries, Faculty of Fisheries
and Animal Husbandry, Hiroshima University,
Fukuyama

(Figs. 1-21; Tables 1-7)

はじめに

渦鞭毛藻類は、珪藻類と並んで、最も重要な海産植物プランクトンである^{1)~4)}とともに、最近非常な注目を集めている赤潮現象の主要な原因生物である⁵⁾。

この綱に属する生物の研究は、歴史も古くその量も膨大である⁶⁾が、最近の生理学的方面からの研究を除けば、その殆どは、主として形態学的、或いは分類学的方面からの研究で、珪藻類に比べ、生態学的な研究は意外と少ない。

そこで、生態学的な仕事の手始めとして、渦鞭毛藻類のうち、非常に広い分布を示し、瀬戸内海にも普通に見られる⁷⁾3種の *Ceratium*、即ち、*C. fusus* (EHRBG.) DUJARDIN, *C. furca* (EHRBG.) DUJARDIN, *C. tripos* (O. F. MÜLLER) NITSCH⁸⁾ (Fig. 1) の生態に関して、初歩的な研究を行なった。

尚、*C. fusus*, *C. furca* は赤潮生物として、よく知られており⁵⁾, *C. fusus* を主要種とする赤潮は、本研究の観測期間中にも出現している。

最後に、本研究の実施にあたり、種々の便宜をはかっていただくとともに、多大な御援助を頂戴した本学、村上豊教授、遠部卓助教授、加藤仁氏、資料の取り纏めに際し、貴重な御助言を戴いた松田治氏に深謝の意を表する。

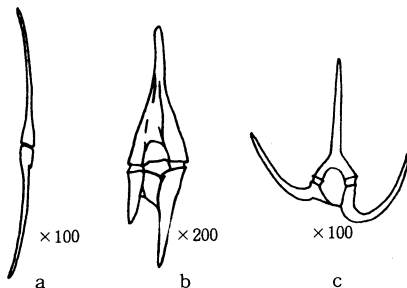


Fig. 1. Studied organisms.

- a: *Ceratium fusus* (EHRBG.) DUJARDIN.
- b: *Ceratium furca* (EHRBG.) DUJARDIN.
- c: *Ceratium tripos* (O. F. MÜLLER) NITSCH.

材料と方法

研究のための観測は、1975年5月から1976年2月までの10カ月間、福山市鞆町仙酔島の広島大学水畜産学部鞆水産実験所付近の定点 (Fig. 2, St. 1) で行なわれた。この期

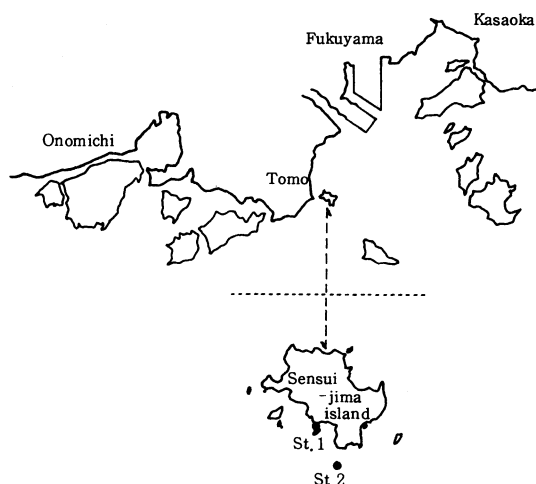


Fig. 2. Location of observational stations.

Table 1. Composition of fixative fluid*

Glutaraldehyde (27%)	4 ml
Formaldehyde (37%)	0.4 ml
CaCl ₂	1 g**

* add separately to 100 ml of sample water

** add as solution.

間中、時期により、月に2~5回、時刻を午前10時と定めて、プランクトン観察のための表層水の採取と水温の測定を行なった。この間、6月23日から25日までの3日間、実験所沖の他の定点 (Fig. 2, St. 2) で連続観測を行なった。連続観測は3時間ごとに行ない、観測層は、表層、1 m層、3 m層、5 m層、10 m層、15 m層とし、プランクトンの観察およびchlorophyll aの定量のための採水、各層の水温、透明度の測定を行なった。採水は北原式採水器、透明度の測定はセッキ板を用いて行なった。プランクトン観察用の試水は100 mlを用い、辻ら⁹⁾が開発したグルタルアルデヒドを主体とする固定液 (Table 1) を加えて生物を固定した後、ミリアポフィルター TYPE GS (pore size 0.22 μ; 25 mmφ) によって吸引濾過した。フィルターはグリセリンを用いて透明化し、顕微鏡観察に供した。chlorophyll aの定量はSTRICKLAND and PARSONS¹⁰⁾に従い、HITACHI 101型分光光度計を用いて行なった。

結果と考察

Fig.3, Fig.4, Fig.5 はそれぞれ、6月の連続観測の際の、*C. fusus*, *C. furca*, *C. tripos* の垂直分布とその経時の変化を示す図である。これらの図を見比べると、これらの生物の分布の間には、互いに何らかの

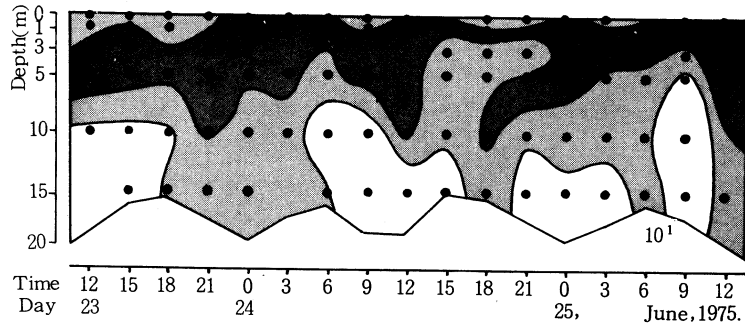


Fig. 3. Vertical distribution of *C. fusus* indicated as cell number per 100 ml.

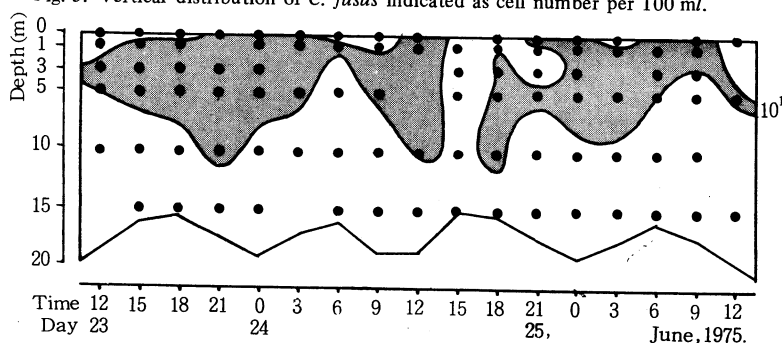


Fig. 4. Vertical distribution of *C. furca* indicated as cell number per 100 ml.

関連性があるように見受けられる。即ち、*C. fusus* が100 ml中に 10^2 のレベルで存在する範囲と、*C. furca* が 10^1 のレベルである部分は、かなりよく一致しており、*C. tripos* の細胞数が 10^1 のレベルである部分は、*C. furca* の 10^1 のレベルの範囲に含まれており、お互いに相関関係を有するのではないかと推定される。

まず、*C. fusus* と *C. furca* の細胞数に注目し、両者の間に一次的な関係が成立する

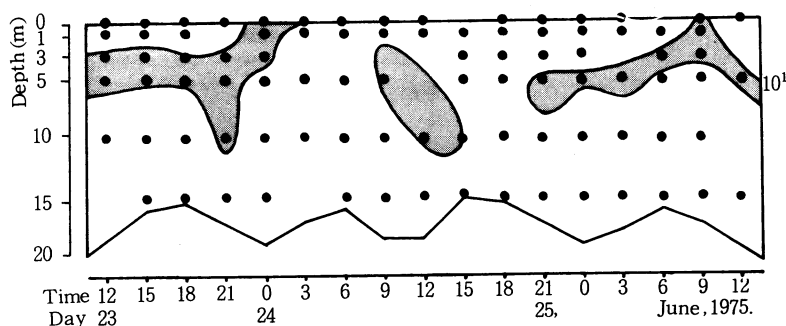


Fig. 5. Vertical distribution of *C. tripos* indicated as cell number per 100 ml.

標本数は、 $N = 88$ と十分に大きい¹⁴⁾ ので

$$\rho = r \pm 3 \times 0.675 \frac{1 - r^2}{\sqrt{N}}$$

により、95%の信頼限界の範囲で、母相関係数 ρ を求める¹⁴⁾ と

$$\rho = 0.672 \pm 0.118$$

となる。

Table 2は、同様にして *C. fusus* と *C. tripos*, *C. furca* と *C. tripos* の間の関係を求め、これらを取り纏めたものである。

Table 2. Correlations between cell number of 3 species of *Ceratium*

Organisms (x) (y)	Equation calculated by least square method	Correlation coefficient in population (ρ) at 95 % confidence limit
<i>C. fusus</i> and <i>C. furca</i>	$y = 0.094x + 4.59$	0.672 ± 0.118
<i>C. fusus</i> and <i>C. tripos</i>	$y = 0.040x + 2.77$	0.631 ± 0.130
<i>C. furca</i> and <i>C. tripos</i>	$y = 0.251x + 3.48$	0.505 ± 0.161

と仮定すれば、最小自乗法¹¹⁾¹²⁾により、両者の関係は、
 $y = 0.094x + 4.59$
 で表現される。ここで
 x : *C. fusus* の細胞数
 y : *C. furca* の細胞数
 この場合、標本相関係数 r ¹³⁾¹⁴⁾ は

$$r = 0.672$$

この結果によると、3種の *Ceratium* の細胞数相互の間には、順相関の関係があり、その相関程度はかなり高いと言いうる¹⁴⁾。即ち、この時期には、

これら3種の *Ceratium* は、よく似た分布傾向を示すものと考えてよいであろう。

Fig. 6 は、この連続観測の際測定した、各層の水温度変化を示した図である。この図によると表層水温は、12

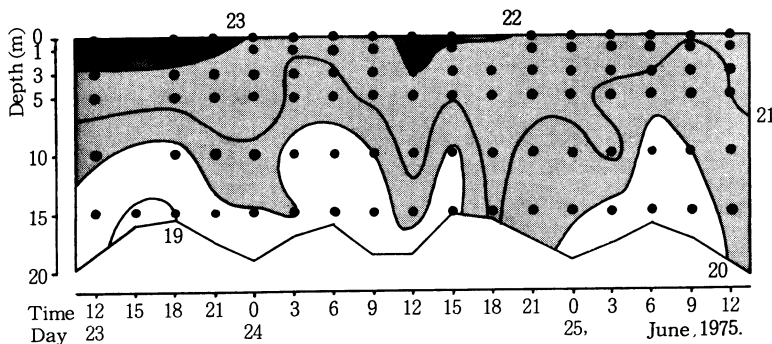


Fig. 6. Vertical distribution of water temperature ($^{\circ}\text{C}$).

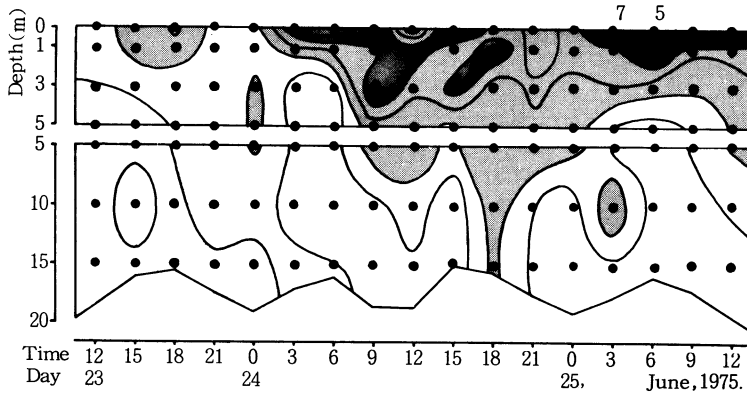
時ないし15時に最高となり、3時ないし6時に最低となるという傾向を示しているが、その較差は1~2°C程度と小さく、日中の高水温時にも、高温の影響はそれほど深い層まで及ばず、1m層では、すでにほぼ1°Cの温度低下が見られる。一方、底層の水温は、干潮に近い時刻¹⁵⁾に低くなる傾向があり、23日18時、24日6時、15時、25日6時には、いずれの時刻にも、19°C台の温度となっている。しかも、これらの時刻には、水温20°Cと推定される水深が、海底から6~9mと相対的に浅い層に見出され、底層の低水温の影響が、中層にまで及んでいることを示している。これは、既に、須田¹⁶⁾が大阪湾岸和田沖の6月の例で示しているように、下げ潮時に、より沿岸性の低

この結果によると、3種の *Ceratium* の細胞数相互の間には、順相関の関係があり、その相関程度はかなり高いと言いうる¹⁴⁾。即ち、この時期には、

温の水塊が、沖合に向って流出してくるために起る現象であると考えられる。

Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 を Fig. 6 と比べると, *C. fusus*, *C. furca*, *C. tripos* のいずれの場合にも, 最も細胞数の多い部分は, 水温が20~23°Cの範囲に含まれていることがわかる。

Fig. 7 は, 6月の連続観測の期間における, chlorophyll a 量の垂直分布とその変化を示した図である。こ



の図によると, chlorophyll a 量は, 表層近くに多く, 底層に少ない傾向がある。即ち, 3 mg/m³ 以上の濃度はいずれの時刻においても, 5 m 以浅の層に見出され, 15 m 層では, 6月24日18時の例を除いて, いずれも 1 mg/m³ 程度か, それ以下の濃度であった。一方, 水温との関係を見

Fig. 7. Vertical distribution of total phytoplankton indicated as chlorophyll a content (mg/m³).

ると, 5 mg/m³ 以上の chlorophyll a が検出された部分は, すべて21~22°Cの範囲に含まれている。

Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 を Fig. 7 と較べて見ると, これら3種の *Ceratium* の細胞数と chlorophyll a 量の間には, 殆ど何らの関係もないことがわかる。即ち, これら3種の *Ceratium* は, chlorophyll a 量によって表現される全植物プランクトンとは全く異なる分布をしているものと考えられる。

Fig. 8 に3種の *Ceratium* の, 0 m 層, 5 m 層, 10 m 層における細胞数の変化を示す。但し, 値は全て, 実

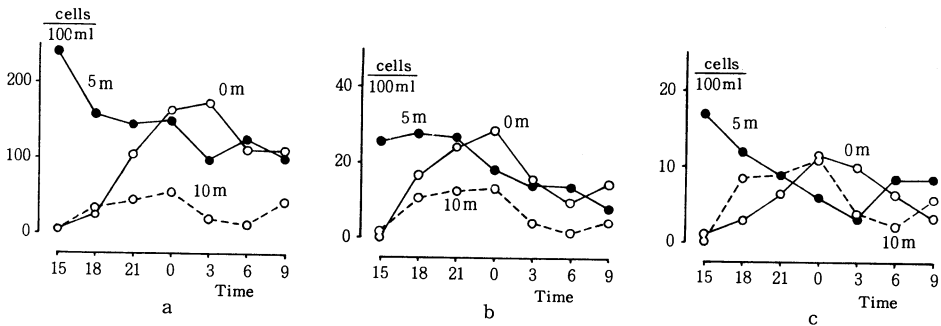


Fig. 8. Variation of cell number (n) of 3 species of *Ceratium* at selected layers.
a: *C. fusus* b: *C. furca* c: *C. tripos*.

測値をもとにして, ±3時間の時間範囲を考慮して, 平均移動法¹⁷⁾により求めたものである。また6月24日12時以降の部分に関しては, 資料が不十分なので除外して考えた。これらの図を見ると, これらの生物の細胞数は, 表層では, 15時から翌日の0時ないし3時まで増加し, その後6時ないし9時まで減少している。5 m 層では, *C. tripos* は, 15時から翌日の3時まで一様に減少し, その後増加しているが, *C. fusus*, *C. furca* では, 一様に増加の傾向を示している。10 m 層では, *C. fusus*, *C. furca* の細胞数は, 表層, 5 m 層に比べて相当少なく, その変化も小さいようであるが, *C. tripos* の場合には, ほぼこれらの層に匹敵する変化を示している。

先に示したように、chlorophyll a量によって推定される全植物プランクトン量は、表層近くに多く、底層に少ないという傾向があるが、これらの生物の細胞数は、5 m層の方が、表層よりも多いか、同程度の場合が多い。

Fig. 9 は、Fig. 8 に示した値をもとにして算出した、各生物の、表層から底層までの平均細胞数の変化を示した図である。

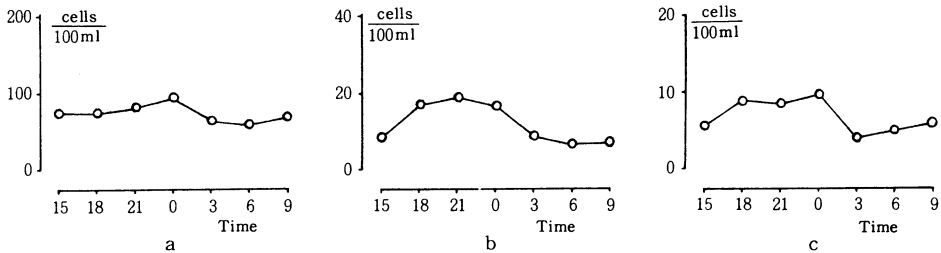


Fig. 9. Variation of average cell number (\bar{n}) of 3 species of *Ceratium* for the water column.
a: *C. fusus* b: *C. furca* c: *C. tripos*.

各生物の、各採水時刻における平均細胞数 \bar{n} は

$$\bar{n} = \frac{\sum n}{D}$$

により求めた。ここで $\sum n$ は、区分積法によって求めた、或る時刻における、表層から底層までの積算細胞数、Dはその時刻の水深の値である。これらの図によると、いずれの生物も、15時から、21時ないし翌日の0時まででは、増加の傾向にあるが、その後、*C. fusus*、*C. furca*では、6時まで減少の傾向を示し、*C. tripos*では、3時に最低となった後、再び増加している。このように、いずれの種においても、平均細胞数は、一日の間において、一応周期的な増減変化を示すものようであるが、その変化が、これらのプランクトンの増殖斃死によるものか、水塊の移動による、他の海域からの移入移出によるものかは不明である。しかし、潮汐の動向¹⁵⁾とは無関係の変化のようである。

Fig. 10 は、Fig. 8 に示した、3種の *Ceratium* の、各水深における細胞数 n と、Fig. 9 に示した平均細胞数 \bar{n} との偏差

$$D_n = n - \bar{n}$$

を示した図である。これらの図をもとにして考えると、Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 や Fig. 8 をもとにして考え

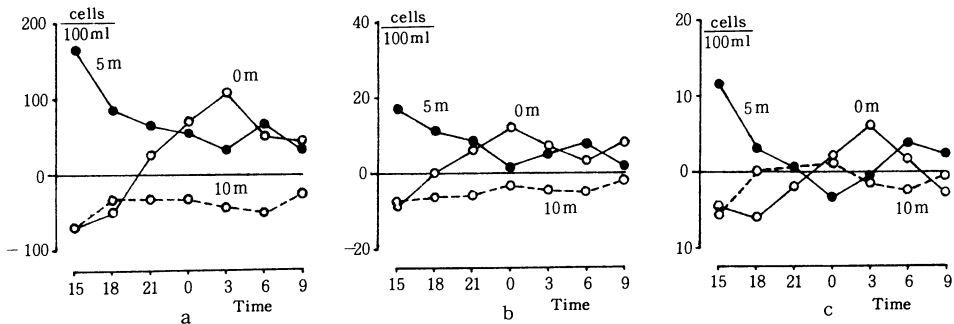


Fig. 10. Variation of cell number of 3 species of *Ceratium* at selected layers indicated as the deviation from the average ($D_n = n - \bar{n}$). a: *C. fusus* b: *C. furca* c: *C. tripos*.

る場合と異なり、増殖斃死や移入移出などによる、細胞数の全体的な増減変化の要素を除去して、かなり純粋に、各時刻における、各生物の垂直分布の傾向と、その変化の動向を眺めることができるものと考えられる。

C. fusus の場合、表層では、15時には、 $n = 5 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ 、 $\bar{n} = 75 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ で、 $D_n = -70 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ と相当大きな負の値となっているが、翌日の3時 ($D_n = 107 \text{ cells}/100 \text{ ml}$) まで一様に増加し、その後減少している。5 m層では15時には、 $D_n = 167 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ と、非常に大きな値であるが、翌日の3時までは一様に減少し、 $D_n = 33 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ と小さな値に達している。10m層においては、 D_n は、いずれの時刻においても負の値となり、その変動の幅も、表層や5 m層の場合と較べて、かなり小さい。*C. furca* の場合、表層では、*C. fusus* の場合と同様、15時には $D_n < 0$ であるが、翌日の0時まで一様に増加して $D_n = 12.5 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ となり、その後減少している。5 m層では、15時には $D_n = 17 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ と大きな値を示すが、翌日の0時まで一様に減少し、 $D_n = 1.5 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ となっている。10m層においては、*C. fusus* の場合と同様、常に $D_n < 0$ で、その変動の幅も小さい。*C. tripos* は、表層では、*C. fusus* や *C. furca* の場合と異なり、18時に最も小さい値 ($D_n = -5.8 \text{ cells}/100 \text{ ml}$) となっており、翌日の3時 ($D_n = 6 \text{ cells}/100 \text{ ml}$) まで一様に増加し、その後一様に減少している。5 m層では、15時に $D_n = 11.5 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ であるが、翌日の0時まで一様に減少し、 $D_n = -3.2 \text{ cells}/100 \text{ ml}$ となり、その後増加している。10 m層においては、*C. fusus* や *C. furca* の場合と異なり、 D_n 値の変動の幅は相対的に大きく、 $D_n > 0$ となることもある。

ところで、Fig. 10を見ると、*C. fusus*、*C. furca* の場合、表層における D_n の値と、5 m層の D_n 値はほぼ完全に逆の増減傾向を示している。Fig. 11は、*C. fusus*、*C. furca*、*C. tripos* の、表層における D_n の値と、5 m層の D_n の相関図である。これらの図を見ると、*C. fusus*、*C. furca* では、両値の間に非常によ

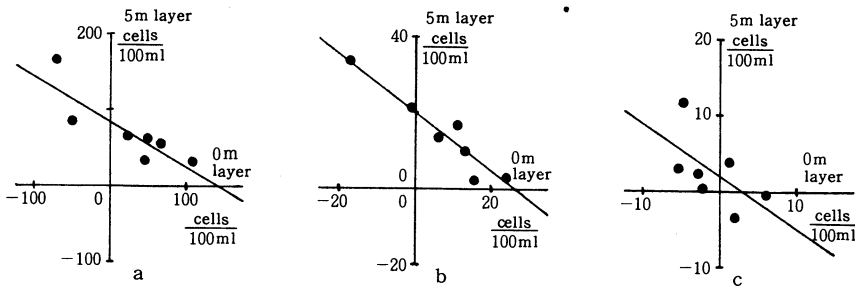


Fig. 11. Correlation between D_n of 3 species of *Ceratium* at surface and 5 m layers.
a: *C. fusus* b: *C. furca* c: *C. tripos*.

い逆相関の関係があり、これらの生物が、或る時刻には表層に、又或る時刻には5 m層に集積していることがわかる。Table 3に、各生物における両値の関係を纏めて示す。例えば、*C. fusus* の場合、両値の間に一次

Table 3. Correlations between D_n^* values of surface and 5 m layers of 3 species of *Ceratium*

Organisms	Equation calculated by least square method**	Correlation coefficient	Correlation coefficient in population (ρ) at 95 % confidence limit
<i>C. fusus</i>	$y = -0.60x + 85.7$	-0.851	$-0.272 \geq \rho \geq -0.978$
<i>C. furca</i>	$y = -0.79x + 10.3$	-0.945	$-0.678 \geq \rho \geq -0.992$
<i>C. tripos</i>	$y = -0.67x + 1.80$	-0.580	$0.309 \geq \rho \geq -0.927$

* $D_n = n - \bar{n}$
 n : cell number of sampling layer
 \bar{n} : average cell number for the water column

** x : D_n value of surface layer
 y : D_n value of 5 m layer.

的な関係が成立するとすれば、最小自乗法¹¹⁾¹²⁾により両者の関係は

$$y = -0.60x + 85.7$$

となる。ここで

x : 表層における D_n 値

y : 5 m層における D_n 値

この際、標本相関係数 r ¹³⁾¹⁴⁾は

$$r = -0.851$$

標本数は、 $N = 7$ と小さい¹⁴⁾ので、 r の値の負号を除いてZ変換¹³⁾¹⁴⁾すると

$$Z = \frac{1}{2} \log_e \frac{1+r}{1-r} = 1.26$$

今母集団におけるZ値を Z_p とくと、Zの分布は Z_p を平均値とし、 $1/\sqrt{N-3}$ を標準偏差とする正規分布とみなしてよい¹³⁾¹⁴⁾から、

$$\sqrt{N-3} (Z - Z_p)$$

を作ると、これは、平均値0、標準偏差1の正規分布となり、 Z_p の入るべき範囲は

$$X_c \geq \sqrt{N-3} |Z_p - Z|$$

となる。95%信頼限界における X_c は、

$$X_{95} = 1.96$$

である¹⁸⁾から、母集団におけるZ値 Z_p は

$$2.24 \geq Z_p \geq 0.28$$

この値を逆変換して負号を復活すると

$$-0.272 \geq \rho \geq -0.978$$

と推定される。*C. fusus*, *C. tripos*に関しても同様に計算される。この結果によると、*C. fusus*では、表層における D_n と、5 m層における D_n との間には逆相関の関係があり、その相関の程度は、それほど高くない可能性もあるが、一応相当高いものと判断してよいであろう。*C. furca*の場合には、両者の間には、よい逆相関の関係があり、母相関係数の値は相当大きくなっている。しかし、*C. tripos*の場合には、一応逆相関の関係があると考えてよいであろうが、そのような関係のない可能性も、かなり高い。

Fig. 12に、0 m層、5 m層、10 m層における *chlorophyll a* 量の変化を示す。但し値は、3種の *Ceratium*

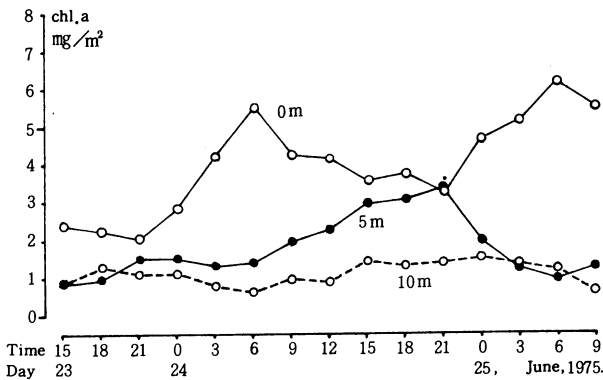


Fig. 12. Variation of chlorophyll a content (c) at selected layers.

の細胞数の場合 (Fig. 8)と同様、実測値をもとにして、±3時間の時間範囲を考慮して、平均移動法¹⁷⁾により求めたものである。この図を見ると、既に多くの研究者¹⁹⁾²¹⁾が指摘しているように、表層では、*chlorophyll a*量は早朝に最大となり、午後遅く最小となるという日変化を示しており、24日、25日の6時にそれぞれ 5.5 mg/m^3 , 6.1 mg/m^3 という極大値、23日、24日の21時に、 2.1 mg/m^3 , 3.3 mg/m^3 という極小値を示しているが、5 m層、10 m層では、このような明確な規則的変化は認められない。

Fig. 13は、定点における、各時刻の、表層から底層までの *chlorophyll a* 量の平均値の変化を示した図である。平均値 \bar{c} は

$$\bar{c} = \frac{\sum c}{D}$$

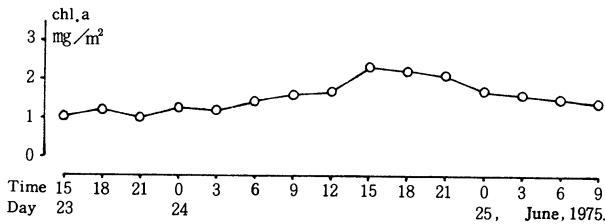


Fig. 13. Variation of average chlorophyll a content (\bar{c}) for the water column.

変化が、どのような原因によるものであるかは不明である。

Fig. 14 は、Fig. 12 に示した、各水深における chlorophyll a 量と、Fig. 13 に示した平均値との偏差

$$D_c = c - \bar{c}$$

の時間的変化を示したものである。この図をもとにして考えると、3種の *Ceratium* における Fig. 10 の場

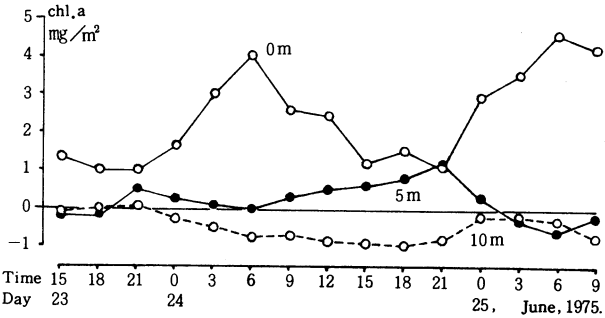


Fig. 14. Variation of chlorophyll a content at selected layers indicated as the deviation from the average ($D_c = c - \bar{c}$).

合同同様、潮汐による水塊の移動に伴う生物の移入移出や、生物自体の増殖斃死などによる、全体的な生物量の増減変化の要素を除去して、ほぼ純粋に、各時刻における全植物プランクトンの垂直分布の傾向と、その変化の動向を眺めることができるものと考えられる。この図を見ると、表層では常に $D_c > 0$ で、6時に極大(24日, 4.05 mg/m^3 ; 25日, 4.60 mg/m^3)となり、21時に極小(23日, 1.00 mg/m^3 ; 24日, 1.10 mg/m^3)となるという、かなり規則的な変化を示している。10m層においては $D_c \leq 0$ で、その変動の幅も小さい。5m層における D_c は、表層の D_c と10m層の D_c の値の間を縫うように変化している。即ち、5m層における D_c 値は、表層における D_c の値が極小となる21時に極大(23日, 0.49 mg/m^3 ; 24日, 1.16 mg/m^3)となって、表層の D_c に近い値を示し、表層における D_c の値が極大となる6時に極小(24日, 0 mg/m^3 ; 25日, -0.60 mg/m^3)となって、10m層の D_c に近い値を示す。換言すれば、chlorophyll a 量によって表現される全植物プランクトンは、6時を中心にした時間には表層に集積し、21時を中心にした時間には、少なくとも5m層までは、ほぼ一様に分布するという、周期的な運動を繰り返している。表層の D_c 値を x 、5m層における D_c 値を y とすれば、両者の関係は最小自乗法^{11) 12)}により

$$y = -0.23x + 0.78$$

と表現され、標本相関係数 r 、母相関係数 ρ ^{13) 14)} はそれぞれ

$$r = -0.61$$

$$-0.14 \geq \rho \geq -0.86$$

と推定される。それ故、両者の間には逆相関の関係があり、その相関程度は一応高いと結論してよいものと考えられる。

このように、Fig. 10 に示された *C. fusus*, *C. furca*, *C. tripos* の D_n の値、Fig. 14 に全植物プランクトン量を代表するものとして示された chlorophyll a 量の D_c 値は、いずれも表層と5m層で逆相関の関係を示し、5m層は、これらの生物にとって、生態的に何らかの重要な意味を有する層であると推定される。しかし、

により求めた。ここで Σc は、0m層、1m層、3m層、5m層、10m層、15m層の値をもとに、区分求積法によって求めた、或る時刻の表層から底層までの chlorophyll a 量の積算値、 D はその時刻の水深である。この図によると、この海域では、23日15時から24日15時にかけて、chlorophyll a 量は増加の傾向にあり、それ以降25日9時まで減少の傾向にあったことがうかがわれるが、この

と推定される。それ故、両者の間には逆相関の関係があり、その相関程度は一応高いと結論してよいものと考えられる。

一方、Fig. 14 と Fig. 10 を比較すると、全植物プランクトンが、表層を中心に、周期的に集積分散を繰り返すのに対して、*C. fusus*、*C. furca* は、或いはまた *C. tripos* においても他の 2 種におけるほど顕著ではないが、表層と 5 m 層の二つの層の間を、垂直的に移動するという傾向があり、ここでも、個々の生物に注目した場合には、Chlorophyll a 量で示される全植物プランクトンの分布とは、全く異なる分布生態を示すことが確認される。また、これらの生物が表層に集積する時間が、0~3 時と、全植物プランクトンが表層に集積する傾向のある 6 時よりも早くなっている点からも、この点は確認されるものと考えられる。

EPPLEY²²⁾ は、1967 年 11 月、カリフォルニアの Seal Beach 沖に赤潮が発生した際、蛍光測定法により、現場で chlorophyll a 量の垂直分布を調べ、植物プランクトンは、15 時頃には 2 m 以浅の層に集積しているが、19 時 20 分には 5 m 層に集積し、21 時 30 分頃には、5 m から 16 m の間に層に分散するとし、これは、主として *C. furca* によるものであろうと、今回我々の得た結果とは矛盾する考察を行なっている。彼等の示すところ²²⁾ により、0 m 層、5 m 層における値の時間的な変化を見ると、数値こそ異なれ、我々が Fig. 12 で示した chlorophyll a 量の変化と、ほぼ同じ様な変化傾向を示している。更に、彼等²²⁾ によれば、この赤潮は、*C. furca* 以外に、*C. furca* と同程度の *Prorocentrum gracile*、これら 2 種ほど多くはないが、*Prorocentrum micans*、*Peridinium depressum*、*C. fusus* 等の渦鞭毛藻類、更に、かなりの量の珪藻、*Ditylum brightwelli* によって形成されていたとの事で、彼等は、これらの生物のうち、*C. furca* と *P. micans* のみが垂直移動を行なうと考えられるので、観測された変化は *C. furca* によるものであると考えている訳であるが、その根拠はそれ程説得力のあるものとは考えられず chlorophyll a 量の変化が、直ちに *C. furca* の分布の変化によるものだと判断することは困難なのではないかと考えられる。

Table 4 に連続観測期間中の海水の透明度の変化を示す。この表によると、この期間の、この海域の透明度

Table 4. Transparency of sea water through the continual observations

Date	Time	Transparency (m)
June 23	12:00	2.3
	15:00	2.2
	18:00	2.0
24	6:00	2.2
	9:00	2.0
	12:00	2.2
	15:00	2.0
	18:00	1.5
25	6:00	2.0
	9:00	2.5
	12:00	2.5

は 1.5~2.5 m で、2.0~2.5 m の値が多く、平均値は 2 m であった。

ところで、水深 t における水中照度 I_t は、Beer の法則により

$$I_t = I_0 e^{-\alpha t}$$

ここで、 I_0 は表層における照度、 α は海水の吸光係数である。

一方、 α と透明度 T_r の間には

$$\alpha = 1.7/T_r$$

なる関係がある²³⁾。

$$I_t = \frac{1}{100} I_0$$

なる水深が、日補償深度 t_c と一致する²⁴⁾ とすれば

$$t_c = 2.5 T_r$$

となる。この関係は CLARKE²⁴⁾ が求めた実測値ともよく一致する。それ故、この海域における連続観測期間中の日補償深度は、ほぼ 5 m であったと考えられ、この 5 m という値は、先に、全植物プランクトン、*C. fusus*、*C. furca*、*C. tripos* にとって何らかの生態学的意味があると推定された 5 m 層とよく一致している。

Table 5 に、参考のため連続観測期間中の気象条件に関する資料を示す。このうち、照度はプランクトンの垂直分布と関連して興味のあるところであったが、今回は十分な資料が得られなかった。

Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17 は、それぞれ、1975 年 5 月から 1976 年までの観測期間中の、St. 1 の表層における *C. fusus*、*C. furca*、*C. tripos* の細胞数の変化を示した図である。これらの図によると、*C. fusus*、*C. furca* の 2 種では、5~6 月と 9~10 月に細胞数が増加する傾向があることがわかるが、*C. tripos* については、9~10 月にはこの傾向は認められない。*C. fusus*、*C. furca* で見られる細胞数の季節的变化は、RILEY²⁶⁾ が西部北大西洋の Georges Bank において示した植物プランクトン量の変化の傾向と非常によく似ており、中

Table 5. Meteorological conditions throughout the continual observations

Date	Time	Weather	Atmospheric temperature (°C)	Light intensity (lux)
June 23	12:00	fine	25.2	90,000
	15:00	fine	24.2	23,000
	18:00	fine	23.8	2,000
	21:00	cloudy	21.4	-
24	0:00	drizzly	22.4	-
	3:00	rainy	22.0	-
	6:00	rainy	19.8	580
	9:00	rainy	20.4	3,600
	12:00	rainy	20.9	6,800
	15:00	cloudy	21.8	20,000
	18:00	cloudy	21.6	-
	21:00	rainy	21.9	-
25	0:00	drizzly	22.5	-
	3:00	drizzly	22.0	-
	6:00	rainy	21.7	2,000
	9:00	drizzly	22.0	3,800
	12:00	drizzly	20.4	10,100

緯度地方において普通に見られる季節変化の型²⁷⁾²⁸⁾に属するものと考えられる。

Fig. 18 は、この期間の水温の変化を示した図である。この図によると、水温は5月から7月の下旬まで上昇の傾向を示し、その後9月上旬まではほぼ28~30°Cの高温が続き、以後一様に下降して、1月下旬から2月上旬にかけて7°C台となり再び上昇している。このような

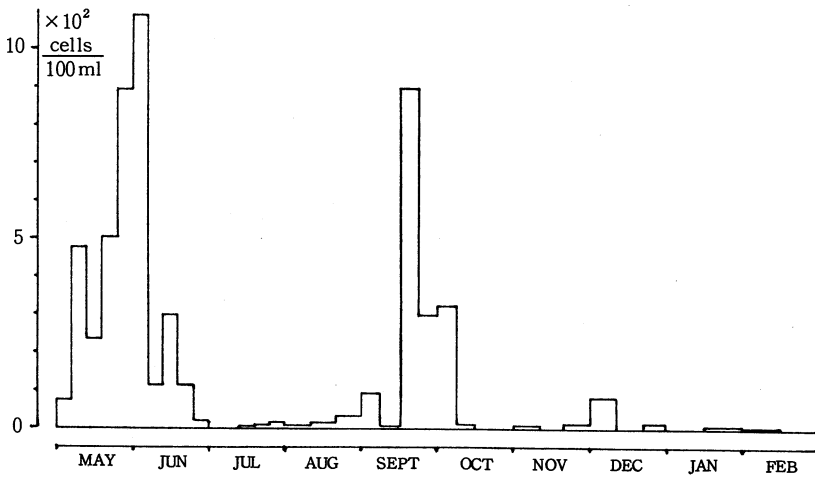


Fig. 15. Seasonal variation of cell number of *C. fusus*.

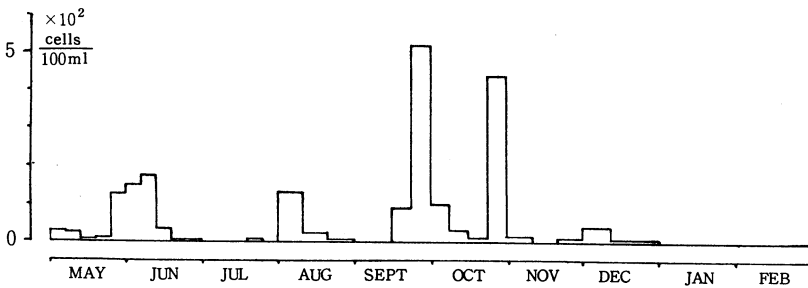


Fig. 16. Seasonal variation of cell number of *C. furca*.

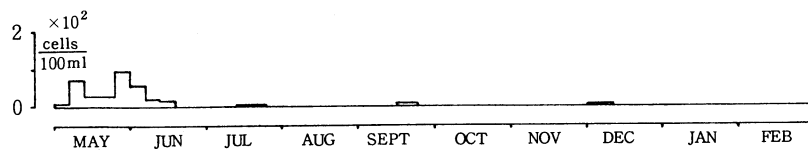


Fig. 17. Seasonal variation of cell number of *C. tripos*.

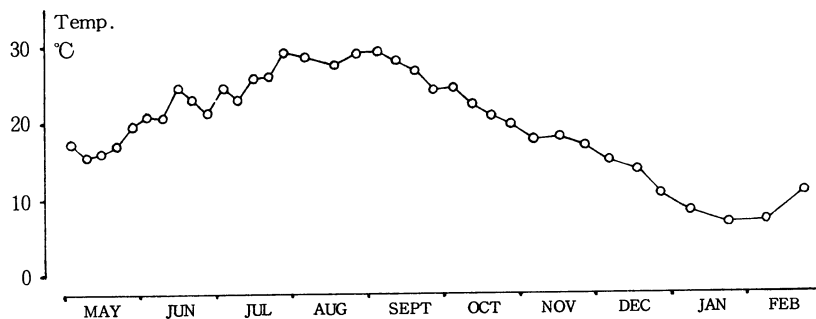


Fig. 18. Seasonal variation of water temperature.

温度変化は、この海域の一般的な温度変化と考えられ^{29) 30)}、この温度範囲は、この海域で観測される温度のほぼ全域にわたっているものと考えられる。

Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17を Fig. 18と対照すると、*C. fusus*, *C. furca*, *C. tripos*の細胞数の多い時期は、ほぼ水温15~20°Cの時期と一致していることがわかる。

Fig. 19, Fig. 20, Fig. 21は、それぞれ環境水温と、*C. fusus*, *C. furca*, *C. tripos*の細胞数との関係を示したものである。ただし、これらの値は全て、水温を1°Cずつの間隔に区切り、その温度範囲内での最高細胞数を求め、これらの値をもとにして、±2°Cの温度範囲を考慮して、平均移動法¹⁷⁾によって求めた値の相対値である。この値は、各温度範囲において生存可能な細胞数の、相対的な最高値を示すものと考えられる。これらの図により、*C. fusus*, *C. furca*, *C. tripos*に対する至適水温、好適水温範囲を求めると、Table 6に示すごとくである。但し、至適水温とは、各生物の生存に最適と推定される水温、好適水温範囲とは、至適水温に於いて生存可能な細胞数の半数以上の細胞数が生息すると推定される温度範囲である。これらの値は、

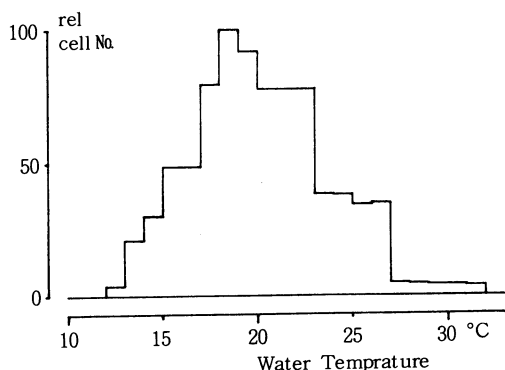


Fig. 19. Probable abundance of *C. fusus* at different environmental temperatures.

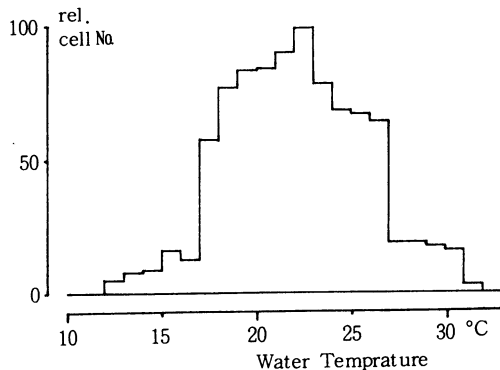


Fig. 20. Probable abundance of *C. furca* at different environmental temperatures.

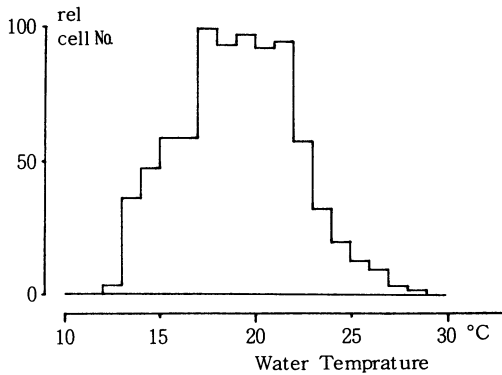


Fig. 21. Probable abundance of *C. tripos* at different environmental temperatures.

Table 6. Optimum temperature ranges for 3 species of *Ceratium*

Organisms	Most optimum temperature	Optimum temperature range*
<i>C. fusus</i>	18 – 19°C	15 – 23°C
<i>C. furca</i>	22 – 23°C	17 – 27°C
<i>C. tripos</i>	17 – 22°C	14 – 23°C

* Temperature range supposed to maintain half of cell number sustained at most optimum temperature.

増殖傾向をもとにした値とは、その意味も幾分異なるが、ともに、*C. fusus*, *C. furca*, *C. tripos*の好適水温範囲を求めたものである。これら両者を比較すると、今回得られた値は、NORDLI³¹⁾や BRAARUD³²⁾によって示された値よりも幾分高めである。BRAARUD³²⁾は、太平洋で得られた *Prorocentrum micans*と Oslo fjord で得られた *Prorocentrum*, ナポリで得られた *Peridinium trochoideum*と Oslo fjord で得られたものの温度特性を比較して、Oslo fjord で得られたものは、他の、より南の海域で得られたものよりも、幾分低い温度でよく増殖することを示している。それ故、NORDLI³¹⁾や BRAARUD³²⁾によって示された値と、今回我々が得た値との差異は、BRAARUD³²⁾によって示された *Prorocentrum* や *Peridinium* の場合と同様、生物の生息域の地理的な差異によるものであると考えられる。

ところで、最初にも並べたように、本観測中、9月23日には、*C. fusus*を主要構成種とする複合赤潮が出現した。この赤潮の生物組成は、Table 7に示すごとくであった。この日の水温は、24.3°Cで、我々の推測

Table 7. Composition of planktonic organisms of red tide occurred near Sensui-jima island around 23 September, 1975

Organisms	cells/100 ml
<i>Ceratium fusus</i>	898
<i>Ceratium furca</i>	91
<i>Ceratium tripos</i>	10
<i>Gymnodinium</i> spp.	} ca 1,000
<i>Peridinium</i> spp.	
Other phytoplanktons	

した *C. fusus*の好適水温範囲内ではなかったが、それに近い温度であった。また、*C. fusus*を主要種とする赤潮状態であったとはいえ、*C. fusus*自体の細胞数は、100 mlあたり898細胞で、6月4日(水温20.8°C)の1,040細胞には及ばず、細胞数で、全植物プランクトンの47%程度を占めるにすぎなかった。それ故、この点は、我々の推測と矛盾するものではないと考えられ、夏季の高水温期から、水温の下降期に移って(Fig. 18参照)、我々が推定した好適水温範囲に近づいたところで、この生物を主要構成種とする赤潮が出現しているのは興味あることである。

先に、Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5から推定された、これらの生物の好適水温範囲ともよく一致している。

NORDLI³¹⁾は、Oslo fjordから得た *C. fusus*, *C. furca*の単一種培養を用いて、これらの生物の増殖に与える温度の影響を調べている。その結果によると、*C. fusus*は、15°Cで最もよく増殖し、8~24°Cの範囲で、15°Cの場合の半分以上の増殖が得られている。また、*C. furca*では、20°Cで最大の増殖が得られ、12~25°Cの場合、その半数以上の増殖が見られる。更に、BRAARUD³²⁾によれば、*C. tripos*は20°Cで最もよく増殖

し、5°C以下から25°Cの範囲で半分以上の増殖が見られる。今回我々が得た値は、現場から得た細胞数に関する資料をもとにしたもので、これから実験室で得られた

した *C. fusus*の好適水温範囲内ではなかったが、それに近い温度であった。また、*C. fusus*を主要種とする赤潮状態であったとはいえ、*C. fusus*自体の細胞数は、100 mlあたり898細胞で、6月4日(水温20.8°C)の1,040細胞には及ばず、細胞数で、全植物プランクトンの47%程

要 約

1975年5月から1976年2月までの期間に、福山市鞆町仙酔島付近で得られた材料をもとにして、瀬戸内海海域に普通に見出され、赤潮の原因生物又は構成生物としてもよく知られている3種の *Ceratium* に関して、生態学的な方面から、初歩的な研究を行なった。その結果、以下に示す諸点が明らかになった。即ち、

1. これら3種の生物の分布は、chlorophyll a 量によって表現される全植物プランクトンの分布とは非常に異なるが、これらの生物の細胞数、全植物プランクトン量は、表層から底層までの平均値からの偏差をもとにして考えると、いずれも、表層における値と5 m層における値との間には逆相関の関係がある。
2. 全植物プランクトンが、表層を中心として、周期的に集積分散を繰り返すのに対して、これら3種の生物は、表層と5 m層の二つの層の間を、日周期的に垂直移動するという傾向がある。
3. 全植物プランクトンが6時に表層に集積しているのに対して、これらの生物は0～3時に表層に集積するという傾向を示す。
4. 透明度をもとにして計算すると、上記の5 m層は、日補償深度と一致している。
5. 通年の観測によると、*C. fusus*、*C. furca* は5～6月及び9～10月、*C. tripos* は5～6月に多く見出されるが、これらの時期は、水温15～20℃の時期と一致している。
6. 上記5に示した資料をもとに、これら3種の生物の至適水温、好適水温範囲を求めると、Table 6に示されるような結果となるが、これらの値は、当を得たものであると考えられる。

引 用 文 献

- 1) 丸川久俊：浮遊生物検索図解，第2冊，鞭藻類，p.1，水産講習所，東京（1921）。
- 2) FRITSCH, F. E.: The structure and reproduction of algae, Vol. 1, p. 664, Univ. Press, Cambridge (1935).
- 3) 小久保清治：プランクトン分類学，増訂二版，p.33，恒星社厚生閣，東京（1972）。
- 4) PARSONS, T. R. and TAKAHASHI, M.: Biological oceanographic processes, 生物海洋学，市村俊英訳，p. 3，三省堂，東京（1974）。
- 5) 安達六郎：赤潮生物の分類学的研究，三重県大産紀要，9(1)，9-145（1972）。
- 6) SARJEANT, W. A. S.: Fossil and living dinoflagellates, preface, Academic Press, London (1974).
- 7) 小久保清治：プランクトン分類学，増訂二版，pp. 48-53，恒星社厚生閣，東京（1972）。
- 8) 丸川久俊：浮遊生物検索図解，第2冊，鞭藻類，pp. 30-51，水産講習所，東京（1921）。
- 9) 辻堯・藤川清和・沼野井春雄・柳田友道：植物プランクトンの現存量測定法の改良について，昭和50年度海洋学会春季大会講演要旨，p. 144（1975）。
- 10) STRICKLAND, J. D. H. and PARSONS, T. R.: A practical hand-book of sea water analysis, pp. 185-192, Fish. Res. Bd. Canada, Ottawa (1968).
- 11) 林周二：統計学講義，pp. 39-44，丸善，東京（1963）。
- 12) WILLSON, E. G.: An introduction to scientific research, 科学研究の計画と進め方，福山美知子訳，pp. 232-233，技報堂，東京（1974）。
- 13) SNEDECOR, G. W.: Statistical methods, 5th ed., 統計学的方法，改訂版，畑村又好他訳，pp. 149-166，岩波書店，東京（1962）。
- 14) 寺田一彦：推測統計法，改訂新版，pp. 124-141，朝倉書店，東京（1965）。
- 15) 日本気象協会広島支部：昭和50年度広島県の暦象と潮位，p. 15，日本気象協会広島支部，広島（1975）。
- 16) 須田皖次：海洋科学，増訂版，pp. 161-162，古今書院，東京（1933）。
- 17) 石井進：生物統計学入門，第1版，pp. 20-21，培風館，東京（1975）。
- 18) 寺田一彦：推測統計法，改訂新版，pp. 41-51，朝倉書店，東京（1965）。

- 19) YENTSCH, C. S. and RYTHER, J. H.: Short-term variations in phytoplankton chlorophyll and their significance, *Limnol. Oceanogr.*, **2**, 140–142 (1957).
- 20) YENTSCH, C. S. and SCAGEL, R. F.: Diurnal study of phytoplankton pigment, An *in situ* study in East Sound, Washington, *J. Mar. Res.*, **17**, 567–583 (1958).
- 21) SHIMADA, B. M.: Diurnal fluctuations in photosynthetic rate and chlorophyll “a” content of phytoplankton from eastern Pacific waters, *Limnol. Oceanogr.*, **3**, 336–339 (1958).
- 22) EPPLEY, R. W., HOLM-HANSEN, O. and STRICKLAND, J. D. H.: Some observations on the vertical migration of dinoflagellates, *J. Phycol.*, **4**, 333–340 (1968).
- 23) 有賀祐勝：水界植物群落の物質生産Ⅱ，植物プランクトン，p. 6，共立出版，東京（1973）。
- 24) 宝月欣二：水界生態系，概論，p. 17，共立出版，東京（1973）。
- 25) CLARKE, G. L.: Dynamics of production in a marine area, *Ecol. Monogr.*, **16**, 321–335 (1946).
- 26) RILEY, G. A., STOMMEL, M. and BUMPUS, D. F.: Quantative ecology of the plankton of the western North Atlantic, *Bull. Bingham. Oc. Coll.*, **12** (3), 1–169 (1949).
- 27) HEINRICH, A. K.: The life histories of plankton animals and seasonal cycles of plankton communities in the ocean, *J. Cons. Int. Explor. Mer.* **27**, 15–24 (1962).
- 28) ODUM, E. P.: Fundamentals of ecology, 3rd ed., 生態学の基礎，三島次郎訳，p. 409，培風館，東京（1975）。
- 29) 尾島雄一・久岡実：既往資料による瀬戸内海の海況の変動，I．海況の周期性について，内水研報告，**5**，1–12（1953）。
- 30) MATSUDA, O., ENDO, T. and KOYAMA, H.: On the balance and seasonal variation of dissolved and particulate phosphorus in an eutrophicated coastal environment, *J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ.*, **14**, 214–240 (1974).
- 31) NORDLI, E.: Experimental studies on the ecology of *Ceratia*, *Oikos*, **8**, 201–265 (1957).
- 32) BRAARUD, T.: Cultivation of marine organisms as a means of understanding environmental influences on populations, in “Oceanography” (Sears, M. ed.) pp. 271–298, Am. Ass. Advmt. Sci., Washington, D.C. (1961).

SUMMARY

A primary study has been done on the ecology of 3 species of *Ceratum*, which are common in the Seto Inland Sea area and well known as causing or composing organisms of red tide phenomena, on the ground of materials obtained from stations near Sensuijima island, Tomo, Fukuyama, during the observational period of May, 1975 to February, 1976.

As the result of this study, the followings have become clear;

1. There are inverse correlations between the values of surface and 5 m layers as to the whole of cell number of 3 species and total phytoplankton represented by chlorophyll a content when examined on the basis of deviations from average values of water column, though the distributional patterns of these organisms are markedly different from that of chlorophyll a.
2. These organisms tend to show diurnal vertical migration bipolarly between surface and 5 m layers despite that total phytoplankton throng and disperse periodically centering around the surface.
3. Although total phytoplankton throng around 6:00, these organisms thrive 0:00 to 3:00 in surface layer.
4. Five meter layer referred above is in accord with the daily compensation depth estimated from transparency of sea water of the continual observational period.
5. According to the whole year observation, *C. fusus* and *C. furca* are abundant May to June and September to October when water temperature ranges 15 to 20°C, though *C. tripos* does not increase in number in autumn.
6. The most optimum temperatures and optimum temperature ranges of these organisms calculated from the data of the whole year observation thought to be reasonable are shown in Table 6.

(Received April 12, 1976)