

六角川河口沖定点における微細環境—I  
珪藻類と水温・塩分・栄養塩類との関連について

川村 嘉応・北嶋 博卿\*・小澄 千尋\*\*・山下 康夫

Detailed Environment on the Offing Rokkaku River Mouth—I  
Relationship to between diatom and water temperature, salinity, nutrients.

Yoshio KAWAMURA, Hiroo KITAJIMA\*, Chihiro OZUMI\*\* and Yasuo YAMASHITA

This paper describes the relationship between diatom and various environmental factors. We have investigated the seasonal variations of diatom(chl), water temperature, salinity, SiO<sub>2</sub>-Si, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N and PO<sub>4</sub>-P. Sampling were carried out more than every once week from October, 1980 to September, 1981 at the station of offing Rokkaku river mouth. In a central porphyra culture period, phytoplankton increase as bloom of diatom, but, from spring to autumn, it increase as bloom of diatom or flagellate. Seasonal changes of environmental factors have reference to the discharge of fresh water, with special reference to NO<sub>3</sub>-N, SiO<sub>2</sub>-Si, salinity. Diatom volume in which diatom increased, had reference to NO<sub>3</sub>-N, SiO<sub>2</sub>-Si, salinity. We considered that we can estimate diatom volume on that occasion by means of the regression equation. In the best regression equation, by the backward elimination method of multiple regression, analysis is as follows;

$$\text{chl} = -200.558 + 8.047 \text{ Salinity} + 0.546 \text{ SiO}_2\text{-Si} - 4.399 \text{ NO}_3\text{-N}$$

はしがき

有明海湾奥部における植物プランクトンは、発生の種類や量が定期的に調べられ、季節的消長に年による差が大きいことがすでに知られている<sup>1-3)</sup>。このうち珪藻類については、冬季の爆発的な増殖が述べられ、ノリ生産・環境要素との関連でも報じられている<sup>1-7)</sup>ものの、春から秋にかけて発生する鞭毛藻類については漁業被害が表面化していないためか殆ど述べられていないのが現状である。いずれにしても、その発生機構さらには発生の予察にまで触れた報文は数少ない<sup>7-10)</sup>。また、これらの報告は月に1, 2度といった間隔で調査されており、短い間隔の観測ではなく精査されているとはいえない。

そこで著者らは発生機構を解明し発生を予察することを目的として昭和55年10月から1年間にわたって週に1度の頻度で六角川河口沖定点における微細環境を調査した。ここでは調査結果のうち珪

\* 現佐賀県漁政課

\*\* 現佐賀県栽培漁業センター

藻類の消長と水温・塩分・栄養塩類の変動について述べ、この間の関連性について重回帰分析を行ない検討したので報告する。

## 方 法

### 1. 調査地点

調査は冬季にはノリ養殖が行なわれ、夏季にはモガイが養殖されている六角川河口沖（佐賀県福富町地先）に位置する地盤高 0 m の地点（図 1）で実施した。なお、この地点には佐賀県有明水産試験場の自動海況観測装置が設置されている。

### 2. 調査期間

調査は昭和55年10月15日から翌年9月28日まで原則として1週間毎にほぼ満潮時に1m毎の各層で実施した。ただし10月15日から2月5日までのノリ養殖漁期間は1～3日毎に表層だけでの観測も行なった。

### 3. 調査項目と方法

採水には北原式採水器を用い、底層水の採水は浮泥の混入をできるだけ避けるため底層から10～30cm上層で行なった。

調査項目と方法は下記のとおりとした。

- クロロフィル a 量（以下 chl と略す）：蛍光法
- 珪藻類の種類と個体数：珪藻類の種類と個体数は、海水試料を5%ホルマリンで現場で固定し、試験場に持帰り、後日、保存試料から0.1mlをスライドグラスに滴下し検鏡、計数した。種類の同定には、主に植物プランクトンを図鑑<sup>11)</sup>を用い、個体数は1ml当りに換算した。
- 水温（WT）：現場で棒状水銀水温計を用いて测温した。
- 塩分（S）：試料を試験場に持帰りサリノメーター（鶴見精機製 E-2 型）で測定した。
- ケイ酸態ケイ素（ $\text{SiO}_2\text{-Si}$ ）：モリブデン酸硫酸法
- 磷酸態磷（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）、亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）：Strickland & Parsons 法
- アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）：Indophenol 法

### 4. 解析方法

調査項目のうちから目的変数（Y）として chl、また説明変数（X）として WT、S、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$  をそれぞれ選び重回帰分析（パソコン統計ハンドブック<sup>12)</sup>の重回帰分析プログラム）を行なった。重回帰式は変数の打ち切り基準を  $\text{Fin}=2$ 、 $\text{Fout}=100$  として変数減少法により求めた。なお計算は佐賀県有明水産試験場のパーソナルコンピューター（PC-9801F3）によって行なった。

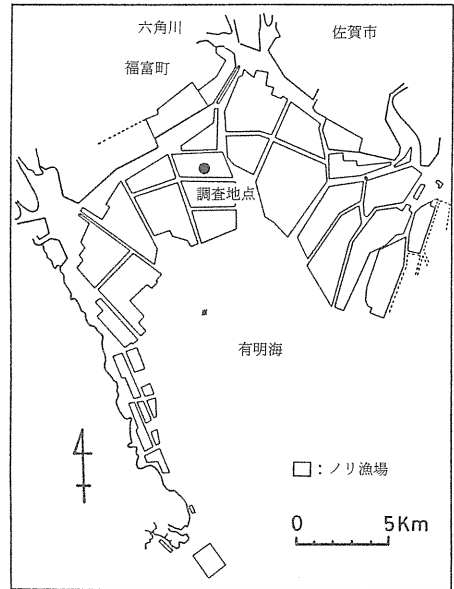


図 1 調査地点図

## 結果および考察

観測した期間をノリ養殖期である10月から3月までと、その漁閑期である4月から9月までの2期間に区別し、それぞれの測定項目について表層の変動を上側(a)に、鉛直分布を下側(b)に図示した。

### 1. 珪藻類の変動

植物プランクトンの量的変動を把握するための指標としてのchlの変動を図2, 3に表示し、珪藻類の個体数の変動を図4, 5に示した。また珪藻類の種の組成を表1に示した。

#### (1) chl

chlは10月中旬から12月下旬までは、1.02~19.08 mg/m<sup>3</sup>の範囲で推移したが、その後徐々に増加傾向を示し1月22日には65.40mg/m<sup>3</sup>と極めて高い値であった。それ以降低下傾向に転じたが3月中旬には再び増加傾向を示した(図2-a)。4月以降は7.20~214.90mg/m<sup>3</sup>の幅広い範囲で増減を繰返し、4月27日、5月25日、6月24日、8月11日にはそれぞれピークがみられた(図3-a)。

鉛直分布をみると表層で高い値を示した1月中下旬にかけて底層付近で100mg/m<sup>3</sup>以上の高濃度の分

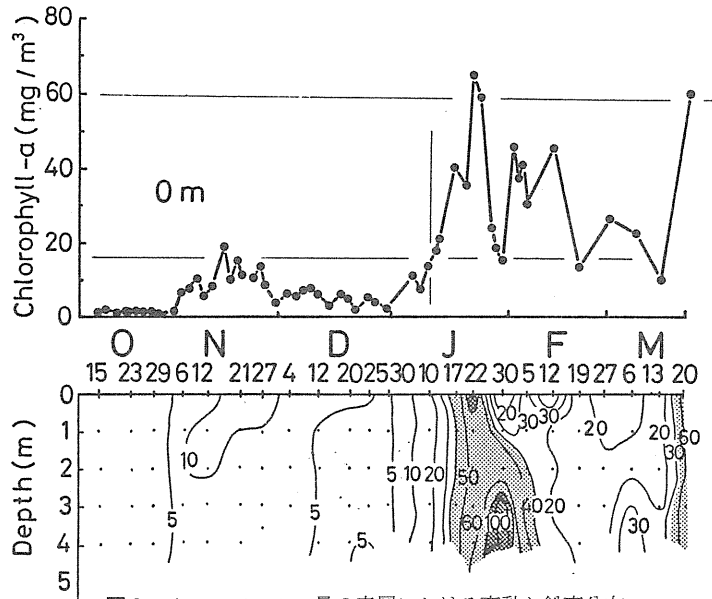


図2 クロロフィルa量の表層における変動と鉛直分布 (昭和55年10~3月)

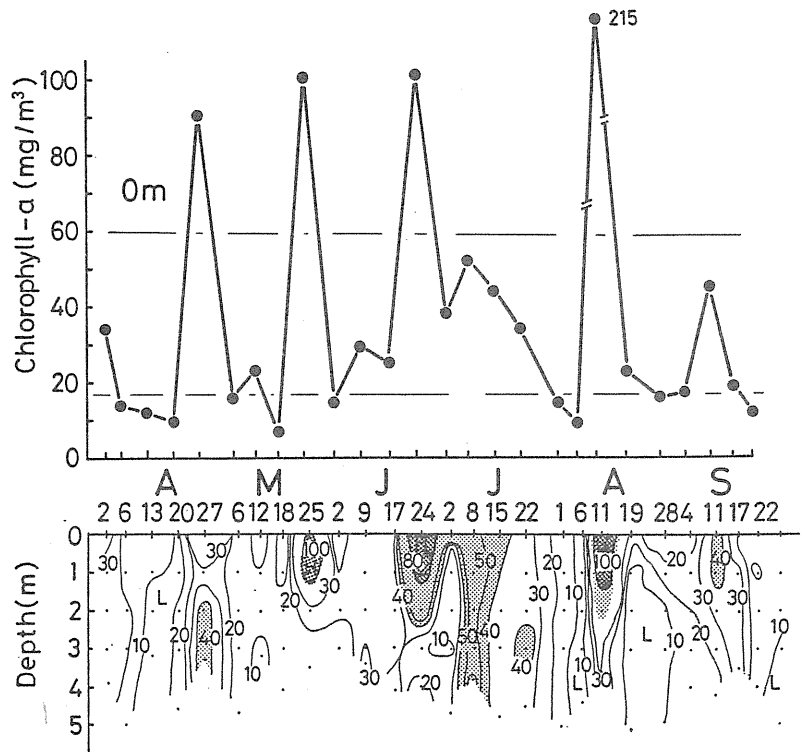


図3 クロロフィルa量の表層における変動と鉛直分布 (昭和56年4~9月)

布域が形成され特徴的であった(図2-b)。4月以降はいずれも表層で高く底層で低い傾向がみられ

表1-a 珪藻類の種の組成

種	採取日	S.55 10.15	10.23	10.29	11.6	11.12	11.21	11.27	12.4	12.12	12.20	12.25	12.30	S.56 1.10	1.17	1.22	1.30	2.5	2.12	2.19	2.27	
Melosira spp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	987	0	42
Skeletonema costatum		74	338	242	42	0	210	0	21	32	0	0	0	137	0	0	34	515	0	1,344	0	
Corethron hystrix		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Thalassiosira spp.		0	84	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	106	337	378	0	32	158	53	0	
Coscinodiscus spp.		0	0	32	20	53	21	31	21	95	53	95	11	105	62	137	0	0	42	11	0	
Rhizosolenia spp.		10	21	10	10	0	63	0	0	0	11	0	0	11	11	0	16	137	210	168	11	
Bacteriastrium spp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Chaetoceros spp.		21	0	42	0	0	0	0	82	0	0	0	0	0	179	42	67	201	337	526	331	
Biddulphia spp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84	0	0	32	0	0	
Eucampia zoodiacus		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	189	67	106	168	179	84	
Fragilaria sp.		0	0	21	32	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	32	0	74	0	21	0	
Navicula spp.		273	10	10	0	0	0	0	21	74	21	42	11	11	0	0	0	11	0	21	0	
Nitzsca spp.		0	21	31	21	0	136	0	21	137	0	0	0	32	118	179	142	64	315	53	11	
Achnanthes sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	189	
その他		10	10	10	20	31	0	0	21	64	43	32	11	17	0	13	0	53	0	63	12	
合計個体数(個/ml)		367	482	398	145	84	430	31	189	409	139	190	33	445	632	1,157	368	1,225	2,691	2,439	579	

表1-b 珪藻類の種の組成

種	採取日	S.56 3.6	3.13	3.20	4.13	4.20	5.6	5.11	5.18	5.25	6.1	6.9	6.17	6.24	7.2	7.9	7.16	7.20	7.22	8.1	8.6	
Melosira spp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Skeletonema costatum		53	21	1,019	1,932	914	3,520	3,696	4,602	242	1,733	357	903	8,916	4,274	6,993	819	3,223	126	728	0	
Corethron hystrix		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Thalassiosira spp.		105	0	218	84	84	0	42	32	0	210	200	473	1,398	84	1,596	1,197	4,880	1,600	1,288	126	
Coscinodiscus spp.		0	21	53	53	53	21	11	11	0	21	11	95	6	11	105	0	0	0	42	11	
Rhizosolenia spp.		42	11	11	0	11	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bacteriastrium spp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chaetoceros spp.		179	42	0	0	11	0	32	21	0	74	0	0	34	0	84	63	241	0	270	0	
Biddulphia spp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eucampia zoodiacus		158	32	147	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fragilaria sp.		0	0	336	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Navicula spp.		0	0	22	0	11	85	402	1,660	95	189	2,835	200	6	1,082	200	0	0	1,722	21	977	
Nitzsca spp.		63	106	11	11	95	95	105	22	21	33	242	74	101	21	231	35	514	42	154	0	
Achnanthes sp.		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他		42	1	32	0	94	53	12	43	21	0	0	81	0	0	11	0	0	0	21	0	
合計個体数(個/ml)		642	244	1,938	2,080	1,263	3,626	4,299	6,408	379	2,260	3,666	1,819	10,471	5,472	9,220	2,114	8,858	3,490	2,622	1,114	

た (図 3-b)。

(2) 珪藻類の種の組成・個体数の変化

珪藻類の種類は表 1 に示すように個体数が少なかった 12 月下旬までは混成し *Skeletonema costatum*, *Navicula* spp., *Nitzschia* spp.等が中心であった。1 月以降細胞数が急激に増加するに従い *Thalassiosira* spp., *Chaetoceros* spp.が優占し、細胞容量の比較的大きい *Eucampia zoodiacus* も増殖した。最も細胞数が多かった 2 月には種の交替がみられ *Chaetoceros* spp., *Rhizosolenia* spp., *Skeletonema costatum* が優占した。4 月以降 *Eucampia zoodiacus* は観察されなくなり、優占種としては *Skeletonema costatum* がみられた。とくに 5 月 18 日, 6 月 24 日~7 月 8 日, 9 月 17 日のピークはこの種類によるブルームであった。この他, 定期観測時には観察されなかったが 7 月 20~23 日には *Thalassiosira* spp.を優占種とするブルームがみられた。

珪藻類の細胞数は chl とほぼ対応した形の変動傾向を示した。即ち 1 月上旬まで 31~482cells/ml の範囲で推移し、以後 1 月上旬から急増して 2 月 12 日にはノリ漁期中で最高の 2691cells/ml に達した (図 4)。4 月上旬までは、冬季に比べて相対的に多く一例を除いて 1,000cells/ml 以上を示し 5 月 18 日, 6 月 9 日, 6 月 24~7 月 8 日にそれぞれ 6408, 3666, 5472~10471cells/ml の高い値が得られた。以後減少傾向となり 8 月 11 日にこの時期での最低を示した (図 5)。

鞭毛藻類は春から秋にかけてしばしば大量に増殖したので、採水後試験場に持帰りただちに検鏡した。その結果は 7 月 20 日に *Prorocentrum* spp. (672cells/ml), 8 月 12 日には *Heterosigma akashiwo* (2511cells/ml), 9 月 7~11 日にかけては *Gymnodinium nelsonii* (4626cells/ml) が観察された。これらのブルームに図 5 に個体数のピークとしては示されていないが、図 3-a に示すように chl のピークとして表われている。

表 1-c 珪藻類の種の組成

種	採取日	S.56 8.11	8.28	9.11	9.17	9.22	9.28
Melosira spp.		0	0	0	0	0	0
Skeletonema costatum		21	147	0	924	189	133
Corethron hystrix		0	0	0	452	0	0
Thalassiosira spp.		43	63	0	147	137	7
Coscinodiscus spp.		0	0	0	0	0	0
Rhizosolenia spp.		0	0	0	32	0	49
Bacteriastrum spp.		0	0	0	32	0	0
Chaetoceros spp.		11	0	416	442	32	70
Biddulphia spp.		0	0	0	0	0	0
Eucampia zoodiacus		0	0	0	0	0	0
Fragilaria sp.		0	0	0	0	0	0
Navicula spp.		0	0	0	0	0	0
Nitzschia spp.		0	63	11	21	42	0
Achnanthes sp.		0	0	0	0	0	0
その他		0	42	0	0	22	28
合計個体数(個/ml)		75	315	421	2,071	422	287

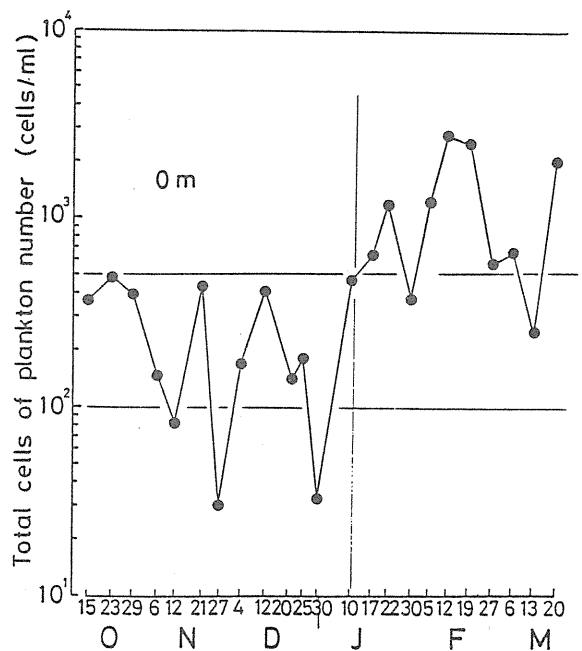


図 4 表層における珪藻類の個体数の変動 (昭和55年10月~昭和56年3月)

六角川河口沖の植物プランクトンは、以上のようにノリ養殖期を中心とした10月から2月には主に珪藻類が増殖し、春から秋にかけては珪藻類と種々の鞭毛藻類が交互に増殖を繰り返していると思われる。この結果は従来の知見<sup>1-3)</sup>とほぼ一致する。

また珪藻類の消長についてはその個体数によって述べたが、珪藻類は種類によって容積が大きく異なるため、一定容量海中における珪藻類の優占種を表示する場合、種類別の細胞数の多少で比較するか沈澱量、chlの絶対値で表現するか議論がわかれるところである。そこで2月19日の調査結果をもとに細胞容積の小さい *Skeletonema costatum* と大きい *Eucampia zoodiacus* を例としてとりあげ、その点に触れた。即ち細胞数では *Skeletonema costatum* が1344 cells/ml, *Eucampia zoodiacus* が179 cells/mlと全体に占める割合は *Skeletonema costatum* が明らかに多い。しかし一定海水中に浮遊する珪藻類の容量をみると *Eucampia zoodiacus* が *Skeletonema costatum* の10倍強の容量を持つ (Hitchcock の式<sup>13)</sup>を適用して概算すると *Eucampia zoodiacus* 約12000 $\mu$  m<sup>2</sup> *Skeletonema costatum* 約1000 $\mu$  m<sup>2</sup>となる) ので順位は逆転する。このように細胞数でみる場合と容積でみる場合では優占種を表現するについては大きな差が生じる。なお海水中に浮遊する珪藻類の多寡を表示するには一般的には chl を使用する場合が多いので、本報では chl を用いて検討した。

## 2. 水温・塩分の変動

水温、塩分について表層における変動と鉛直分布をそれぞれ図6～9に示した。

### (1) 水温

10月上旬は21°C台であったが徐々に低下し12月下旬から1月上旬にかけて5°Cとなり1月12日には4.8°Cと最低水温期に達した。そ

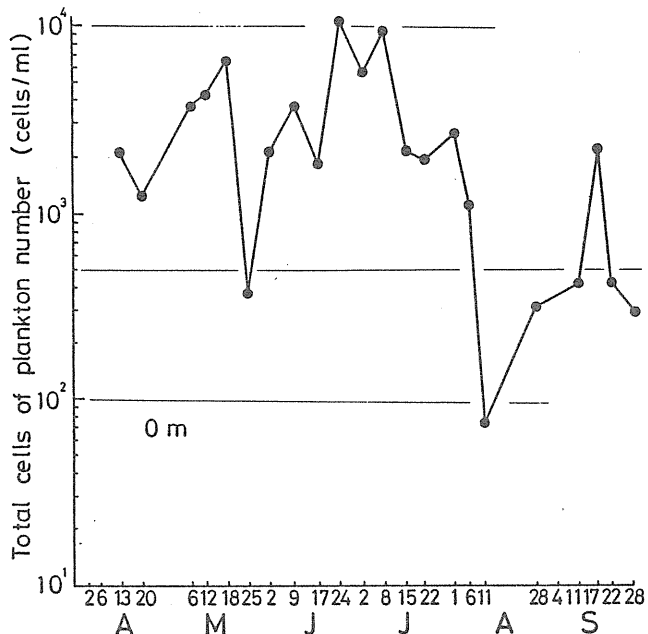


図5 表層における珪藻類の個体数の変動 (昭和56年4～9月)

なお海水中に浮遊する珪藻類の多寡を表示するには一般的には chl を使用する場合が多いので、本報では chl を用いて検討した。

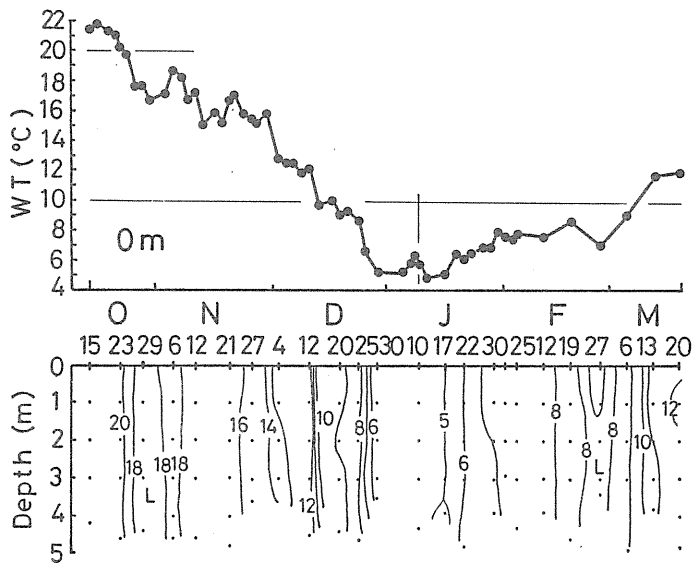


図6 水温の表層における変動と鉛直分布 (昭和55年10月～昭和56年3月)

の後暫時昇温し3月下旬には12°C台となった(図6-a)。珪藻類が増殖し始めたのは5°C台, 増殖期は5~8°Cの範囲であった。4月以降さらに昇温傾向は急激になり5月上旬には18°C台を, 8月中旬には29°C台となって最高水温を示した。以後次第に低下傾向を示した(図7-a)。

水温の鉛直分布を図6, 7-bからみると10~2月にはほとんど成層は認められず, 4~9月については成層は弱いものの表層が高く, 底層が低かった。

### (2) 塩 分

降雨による塩分低下のため一時22‰台を示したものの, 調査開始期から3月までは26~29‰の範囲でほぼ安定していた。(図8-a)。珪藻類が増殖し始めたのは27‰台で, 増殖期は26~28‰の範囲であった。つづいて4月から梅雨前までは23~29‰の範囲で推移したが, 7月2日には7.47‰と調査期間を通じ最低を示した。その後梅雨期を過ぎると塩分濃度は回復し, 降雨後に一時的に低下した他は26~28‰で推移した(図9-a)。

鉛直分布をみると降雨後など河川から淡水の流入があった場合には明らかに表層で低い濃度区域が特徴的にみられたが, 11~1月にかけて成層はほとんどみられなかった。(図8, 9-a)。

### 3. 栄養塩類の変動

海水中のSiO<sub>2</sub>-Si, PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-Nについて表層における変動と鉛直分布をそれぞれ図10~19に示した。

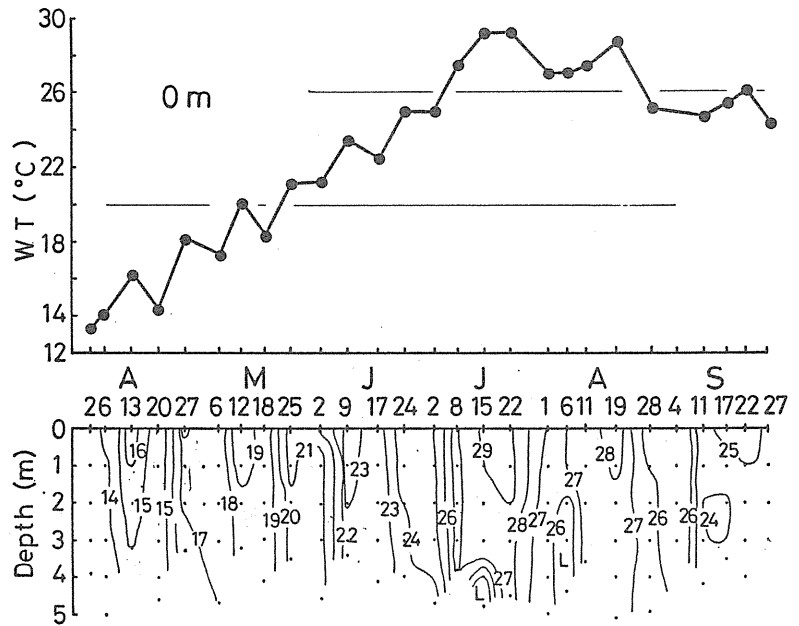


図7 水温の表層における変動と鉛直分布(昭和55年4~9月)

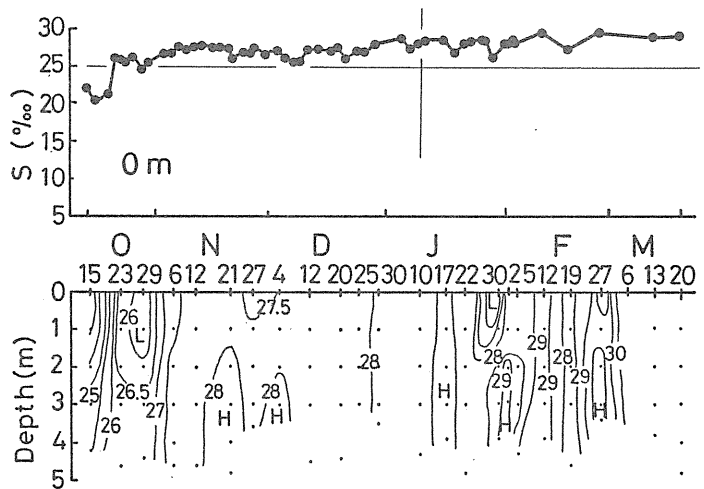


図8 塩分の表層における変動と鉛直分布(昭和55年10月~昭和56年3月)

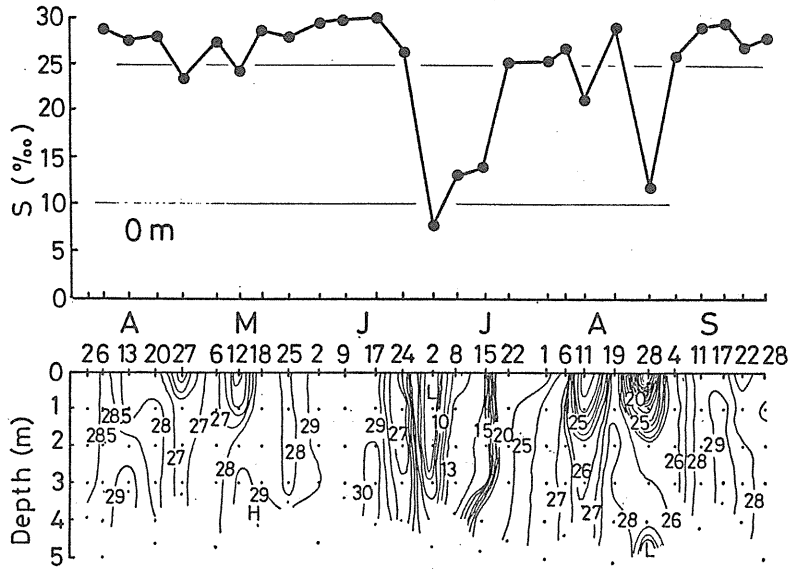


図9 塩分の表層における変動と鉛直分布 (昭和56年4～9月)

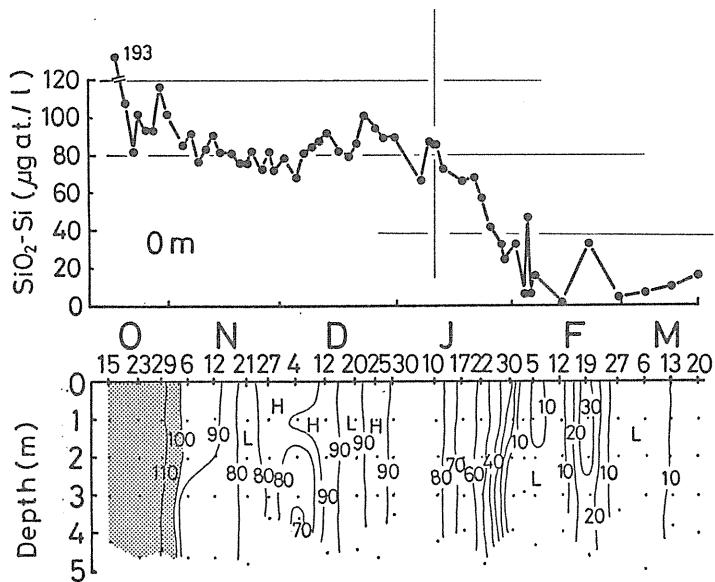


図10 SiO<sub>2</sub>-Siの表層における変動と鉛直分布 (昭和55年10月～昭和56年3月)

(1) SiO<sub>2</sub>-Si

SiO<sub>2</sub>-Siは10月下旬から12月下旬まで68～116μg at./lの範囲で推移したが、珪藻類の増殖とほぼ比例して急激に減少し2月中旬には2 μg at./lに達した。その後一時32μg at./lまで回復したもののそ



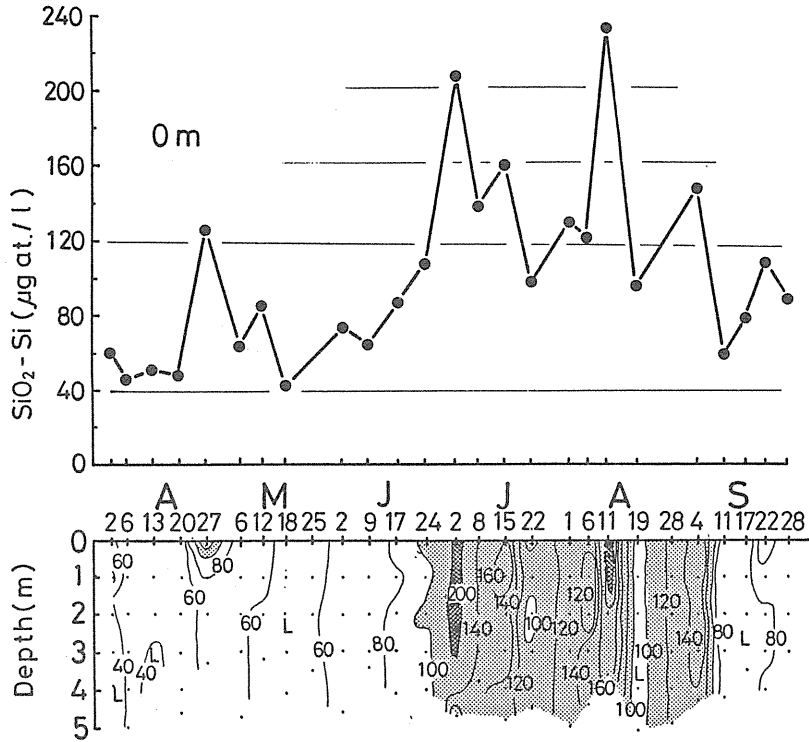


図11 SiO<sub>2</sub>-Siの表層における変動と鉛直分布（昭和56年4～9月）

の後低レベルで経過した（図10-a）。4月に入ってから、43 µg at./l以上を維持し、とくに4月27日、7月2日、8月11日、9月4日にそれぞれ127、208、234、149 µg at./lのピークが観測された（図11-a）。

鉛直分布をみると、層間に大差なかったものの、降水後の淡水の流入があった場合、表層で高い値が得られ河川水との関係が深いことが推察された（図10、11-b）。

(2) PO<sub>4</sub>-P

PO<sub>4</sub>-Pは10月下旬から11月上旬前半までは約2 µg at./lを示した

が以後徐々に減少し、1月中旬から4月まで皆無となった（図12-a）。その後7月上旬までは1 µg at./l以下の水準で推移し、梅雨時以降は7月8～22日に一時減少した他は1 µg at./l以上を維

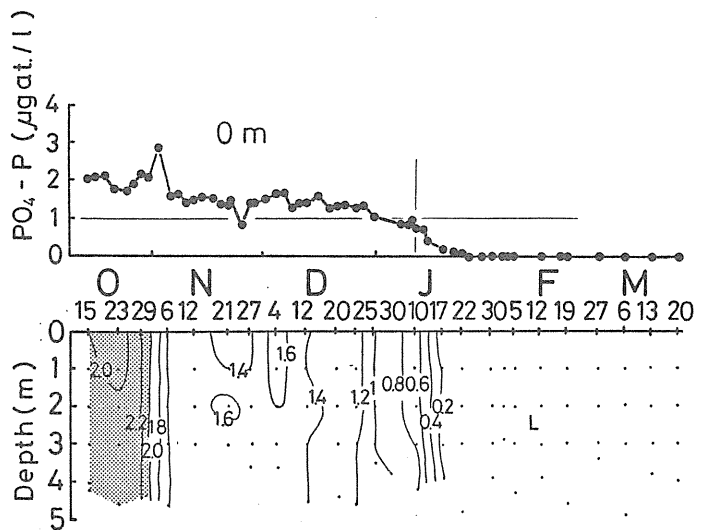


図12 PO<sub>4</sub>-Pの表層における変動と鉛直分布（昭和55年10月～昭和56年3月）

持した。とくに7月2日, 8月1日, 8月28日にそれぞれ2.35, 2.51, 3.94  $\mu\text{g at./l}$ と高い値が得られた。(図13-a)。とくに2月中旬に $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ が一時的に増加した時にも $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ と同様回復しなかった(図12-a)。このことは $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ の両者間の海水中への供給源にそれぞれ違いがあることを示していると考えられる。

また鉛直的には他の栄養塩類に比べて鉛直混合が著しく, 各層間に差はほとんどなかった(図12, 13-b)。

### (3) $\text{NO}_2\text{-N}$

$\text{NO}_2\text{-N}$ は10月下旬に4.5  $\mu\text{g at./l}$ 以上の高い値が観測されたが, 以後減少し1月中旬まで1.16~2.26  $\mu\text{g at./l}$ の範囲を維持した。その後珪藻類が増殖するとともにさらに減少し3月まで1  $\mu\text{g at./l}$ 以下を示した(図14-a)。4月以降は1.37  $\mu\text{g at./l}$ 以下のレベルで推移したが, 8月上中旬には2  $\mu\text{g at./l}$ 以上のピークが観測された(図15-a)。

鉛直的には各層間に差はほとんどなく, 淡水の影響も $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ と比較して少ないと考えられた(図14,

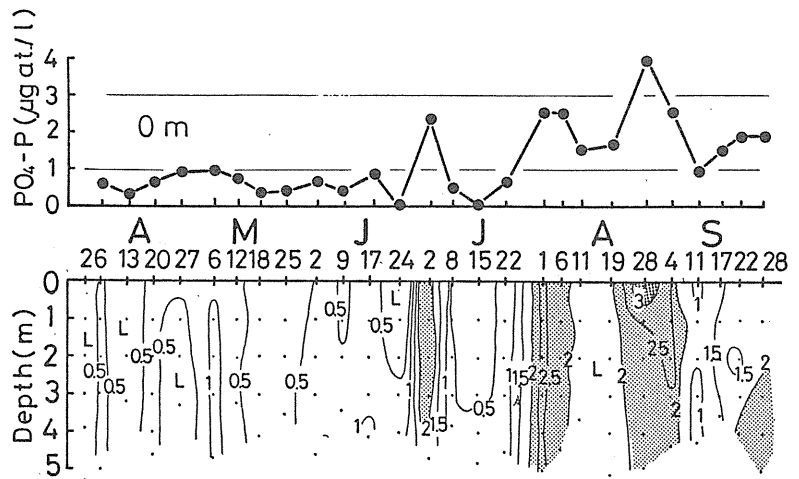


図13  $\text{PO}_4\text{-P}$ の表層における変動と鉛直分布 (昭和56年4~9月)

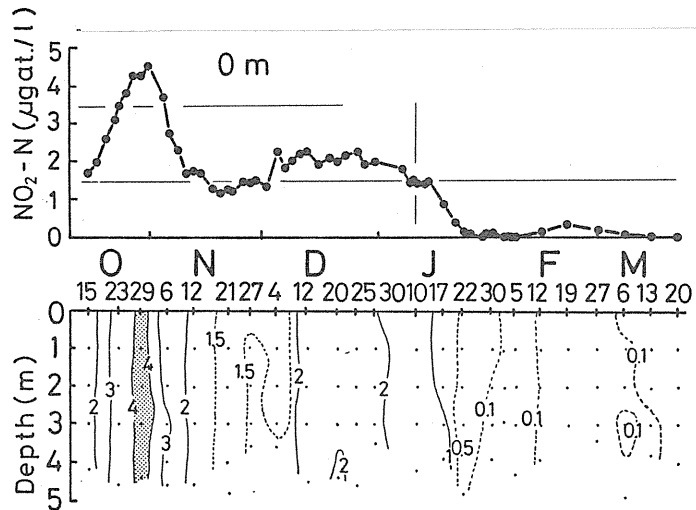


図14  $\text{NO}_2\text{-N}$ の表層における変動と鉛直分布 (昭和55年10月~昭和56年3月)

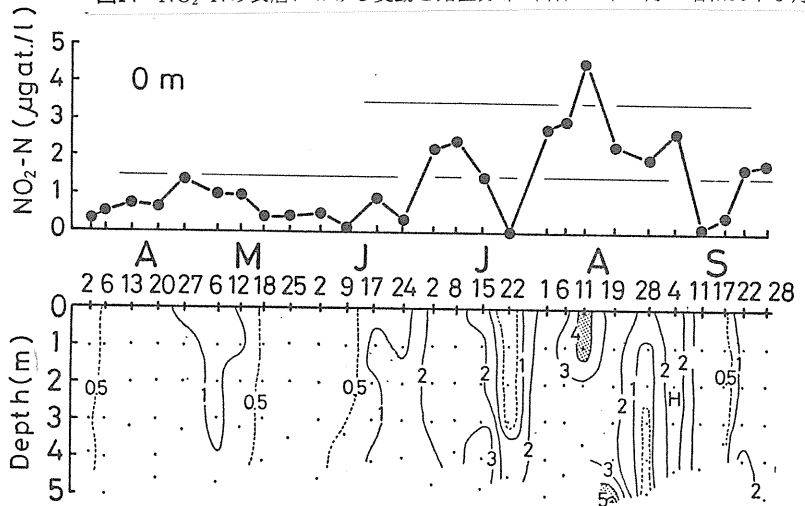


図15  $\text{NO}_2\text{-N}$ の表層における変動と鉛直分布 (昭和56年4~9月)

15-b)。

(4)  $\text{NO}_3\text{-N}$

$\text{NO}_3\text{-N}$ は、調査開始から1月上旬まで9.86~19.37  $\mu\text{g at./l}$ の高濃度の範囲内で推移したが、珪藻類の増殖に比例して急減し4月上旬まで低レベルであった。ただ2月19日だけは降雨後であったためか一時的に11.75  $\mu\text{g at./l}$ が観測された(図16-a)。4月以降は乱高下を繰り返したが、4月27日、7月2日、8月11日、28日にピークがみられ、とくに梅雨時の7月2日に最高値47.26  $\mu\text{g at./l}$ が得られた(図17-a)。

鉛直的には全般に表層の方で高い傾向がみられ、降雨後はとくにその傾向が著しかった。このことは $\text{NO}_3\text{-N}$ が河川水との関連が深いことを示唆している(図16, 17-b)。

(5)  $\text{NH}_4\text{-N}$

図18-aに示すように観測開始から0.39~15.01  $\mu\text{g at./l}$ の範囲で大きな増減を繰り返し1月8日に最高値15.01  $\mu\text{g at./l}$ が得られた。その後急激な減少傾向へ転じ1月28日には最低を示し、以後も低レベルで推移した(図18-a)。4月に入ると増加傾向を示したものの変

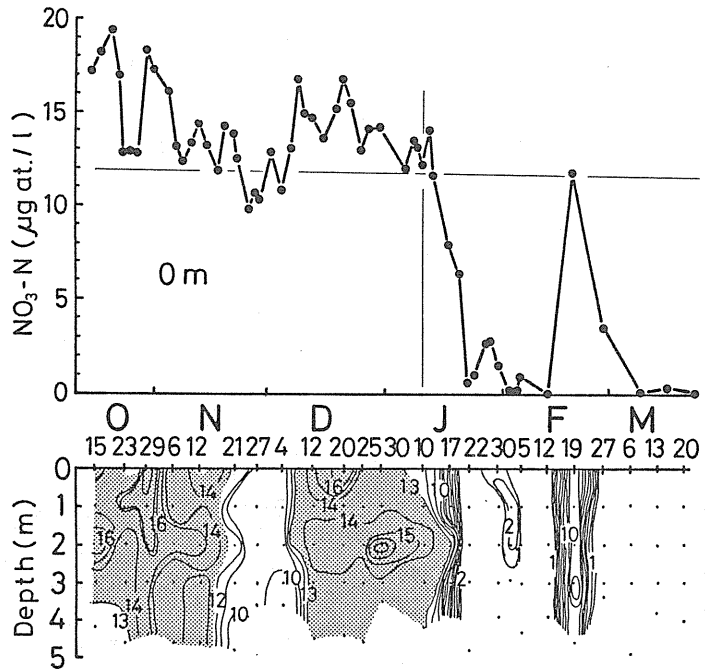


図16  $\text{NO}_3\text{-N}$ の表層における変動と鉛直分布(昭和55年10月~昭和56年3月)

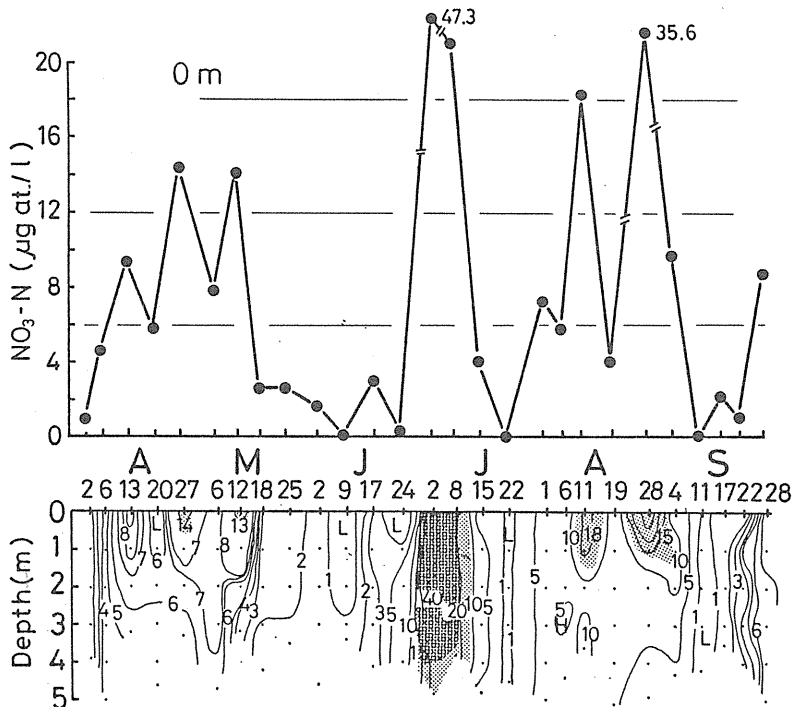


図17  $\text{NO}_3\text{-N}$ の表層における変動と鉛直分布(昭和56年4~9月)

動幅は大きく0.06~8.78 $\mu\text{g}$  at./lの範囲で乱高下した(図19-a)。

鉛直分布をみると9月から12月までは各層に部分的な高濃度域がみられ、とくに12・1月中旬には2~3m層に高濃度域がみられた(図18-b)。4月以降でも表層、底層で高濃度域が観測された(図19-b)。NH<sub>4</sub>-Nの鉛直分布をみると海水中への供給が底泥からの溶出や河川水由来など様々な形で行われている<sup>14)</sup>ことを裏付けているようである。

### 3. 珪藻類の増殖と環境要素との関連について

#### (1) 珪藻類増殖期(10月から2月まで)のchlと各種環境要素との関連

珪藻類の変動は前述したようにchlで表わすこととし、珪藻類増殖開始前である10月から珪藻類が連続的しかも大量に発生した2月にかけて表層で行なった調査の資料(n数=48:2.4日毎の調査頻度)をもとに以下の環境要素によるchlの推定を行なった。

まずchl(Y)とchlすなわち珪藻類の変動に関係すると思われる環境諸要素WT(X1), S(X2), SiO<sub>2</sub>-Si(X3), PO<sub>4</sub>-P(X4), NO<sub>2</sub>-N(X5), NO<sub>3</sub>-N(X6), NH<sub>4</sub>-N(X7)の相互間の相関

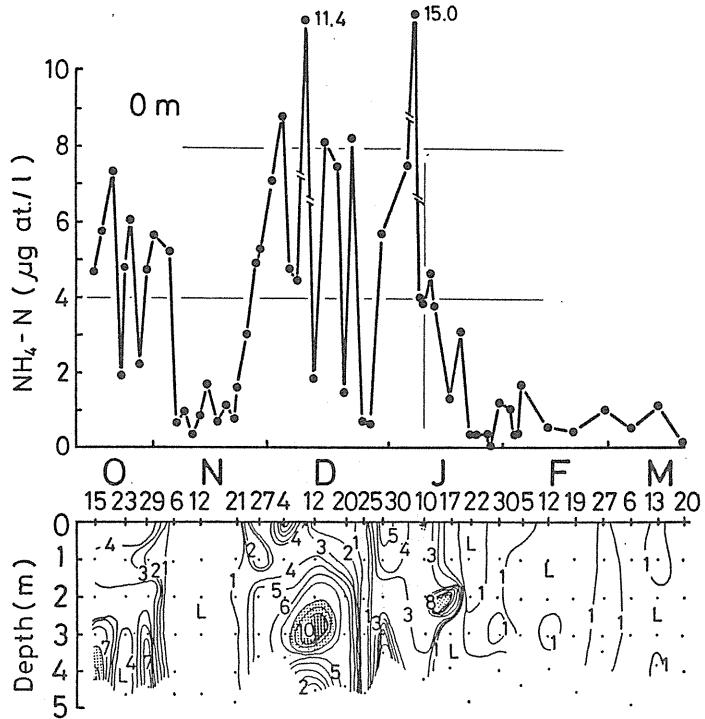


図18 NH<sub>4</sub>-Nの表層における変動と鉛直分布(昭和55年10月~昭和56年3月)

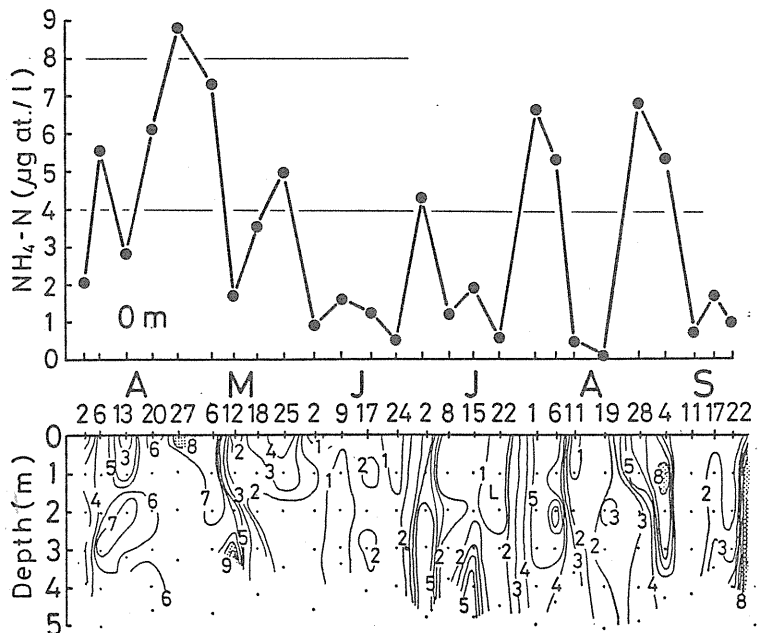


図19 NH<sub>4</sub>-Nの表層における変動と鉛直分布(昭和56年4~9月)

表2 各環境要素間の相関マトリックス (昭和55年10月～昭和56年2月, n数=48)

	Wt	S	SiO <sub>2</sub> -Si	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Chl
Wt		-0.604*	0.554**	0.768**	0.619**	0.552**	0.015	-0.543**
S			-0.693**	-0.552**	-0.446**	-0.512**	-0.342*	0.440**
SiO <sub>2</sub> -Si				0.670**	0.670**	0.839**	0.377**	-0.649**
PO <sub>4</sub> -P					0.864**	0.872**	0.352*	-0.800**
NO <sub>2</sub> -N						0.788**	0.352*	-0.733**
NO <sub>3</sub> -N							0.444**	-0.836**
NH <sub>3</sub> -N								-0.437**

\*\* : 1%有意水準, \* : 5%有意水準

マトリックスを表2に示した。

#### (イ) chlと各種環境要素

資料が得られた環境要素の変動の範囲内で chl (Y) と単独の環境要素 (X1～X7) との間の関係をみた。表2から明らかなように水温との相関係数が-0.543と1%有意水準にあり、水温の低下傾向にある場合、chlは増加することを示している。また塩分との相関は相関係数が0.440と1%有意水準で有意であるものの環境要因中、唯一、正の相関係数にあり塩分が高くなるにつれて chl は増加すると考えられる。栄養塩類とは負の相関関係にあり高いほうから NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>2</sub>-N, SiO<sub>2</sub>-Si, NH<sub>4</sub>-N の有意 (1%有意水準) であった。このように chl は環境中の栄養塩類との関係が深く、なかでも主に河川由来とされている NO<sub>3</sub>-N<sup>14)</sup> との間には顕著な相関関係が得られた。しかし、この調査時期においては当海域では沿岸部を中心にしてノリ養殖が行なわれ、そのノリが珪藻類と栄養塩吸収の面で競合関係にある<sup>4-7)</sup> にもかかわらず、chl (珪藻類) が環境要素間の単相関関係に高い相関を示していることには疑問が残り検討を必要とする。

#### (ロ) 環境要素間の関係

chl に影響すると思われる前記の7つの要素間にはある程度の関連をもつものがある。関係の深いものとして NO<sub>3</sub>-N と SiO<sub>2</sub>-Si との間で、相関係数0.839が得られた。しかし塩分と NO<sub>3</sub>-N の相関が低いにもかかわらず、塩分と SiO<sub>2</sub>-Si との間での相関は高く、また NO<sub>3</sub>-N と PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>2</sub>-N との相関も0.872, 0.788と高い結果が得られている。一方、相関関係がやや低いものとして NH<sub>4</sub>-N と水温、塩分、PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>2</sub>-N との相関係数0.015, -0.342, 0.352, 0.352があげられ、この NH<sub>4</sub>-N の供給源としては底層にも高濃度域がみられている (図18, 19-b) ことから底泥からの溶出や底層での有機物分解など考慮しなければならない。

このように環境要素間にはかなり強い相関があることから先に述べた chl と各要素の単相関係数をそのまま両者の関係を示すものとして捉えるわけにはいかない。そこで以下重回帰分析によって chl に対する諸要素の影響を検討した。

#### (ハ) 環境要素による chl の推定

先に使用した資料を用い、chl に対する各環境要素 (X1～X7) の影響を

$$\text{chl} = 31.266 - 0.223 \text{ WT} + 0.250 \text{ S} + 0.124 \text{ SiO}_2\text{-Si} + 4.149 \text{ PO}_4\text{-P} - 0.923 \text{ NO}_2\text{-N} \\ - 1.995 \text{ NO}_3\text{-N} - 0.510 \text{ NH}_4\text{-N} \quad \dots\dots\dots \textcircled{a}$$

表3 7つの環境要素を使用した重回帰分析結果（昭和55年10月～昭和56年3月，n数=48）

X 1 WT	X 2 S	X 3 PO <sub>4</sub> -P	X 4 NO <sub>2</sub> -N	X 5 NO <sub>3</sub> -N	X 6 NH <sub>4</sub> -N	X 7 SiO <sub>2</sub> -Si	Const.	重相関係数 R <sup>2</sup>	自由度調整 済み相関係数 R <sup>2*</sup>	AIC	F 値
-0.223 (0.208)	0.250 (0.023)	-4.194 (0.520)	-0.923 (0.185)	-1.995 (10.722)**	-0.510 (1.117)	0.124 (1.821)	31.266	0.744	0.699	350.62	16.615**
-0.246 (0.348)		-5.266 (1.152)		-2.006 (11.767)**	-0.546 (1.570)	0.118 (2.469)	38.746	0.743	0.712	346.86	24.259**
		-7.319 (4.553)**		-1.890 (11.952)**	-0.453 (1.263)	0.110 (2.250)	37.058	0.740	0.716	345.26	30.703**
		-7.002 (4.171)**		-2.051 (14.730)**		0.108 (2.176)	36.880	0.733	0.715	344.65	40.275**

( ) : 各偏回帰係数を検定するためのF値，\*\* : 1%有意水準，\* : 5%有意水準。

の形で求め、各偏回帰係数をその有意性で検定するためのF値(F'値)、全ての偏回帰係数を合わせ検定するためのF値(F値)、および重相関係数(R<sup>2</sup>)、自由度調整済み重相関係数(R<sup>2\*</sup>)、赤池の情報量規準(AIC)を表3に示した。ちなみにAICは悪さの指標であり、これが小さいものが良いモデルとされている<sup>15)</sup>。

7つの環境要素(X1~X7)をとりあげてchl(Y)を推定するとき、表3からそのR<sup>2</sup>は0.741となる。重回帰分析による式の重みづけとなっているR<sup>2\*</sup>は0.695となりこの式で約70%はchlの推定が説明できる。しかしF値は1%有意水準で有意であるもののF'値を検定するとNO<sub>3</sub>-Nのみは1%有意水準で有意であるが他は有意でなく、この式を十分に説明するには至っていない。そこで変数選択法によってchlに影響する要素の選択を行なった。変数選択法のうち変数減少法を用いて表3の結果を得た。

即ち予測の立場からすると少ない独立変数を用いて高い予測値を得ることが重要であるのでここでは

$$\text{chl} = 37.058 - 7.319 \text{ PO}_4\text{-P} - 1.890 \text{ NO}_3\text{-N} - 0.453 \text{ NH}_4\text{-N} + 0.110 \text{ SiO}_2\text{-Si} \quad \dots\dots\dots\textcircled{b}$$

の式を求めた。ちなみにR<sup>2\*</sup>は他の式と比べ0.716と最も大きく、AICは345.26であった。ただF値は1%有意水準で有意となったものの、F'値の検定を行なうとやはりNO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P(1%有意水準)だけが有意となり、この式でchlの説明を行なうには精度がまだ不十分である。

(二) 調査頻度(n数)を変えた場合の重回帰分析

ここでは同じ調査資料から各要素毎計18(n数=18:6.3日毎の調査頻度)の資料を選び出して同様な手順で重回帰分析を行なった。相関マトリックスを表4、重回帰分析結果を表5に示した。

chlと環境要素との関係はSとNH<sub>4</sub>-Nで相関がなかった。また環境要素間ではSとNO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>4</sub>-Nの間でそれぞれ相関がなく、NH<sub>4</sub>-Nでは他の全ての環境要素との関係が認められなかった。

重回帰分析の結果は

$$\text{chl} = -200.558 + 8.047 \text{ S} + 0.546 \text{ SiO}_2\text{-Si} - 4.399 \text{ NO}_3\text{-N} \quad \dots\dots\dots\textcircled{c}$$

が最も精度が高い式として得られた。これはR<sup>2\*</sup>が0.652を示し、R<sup>2</sup>が0.727の式

$$\text{chl} = -184.862 + 7.557 \text{ S} + 0.528 \text{ SiO}_2\text{-Si} - 4.219 \text{ NO}_3\text{-N} - 0.908 \text{ NH}_4\text{-N} \quad \dots\dots\dots\textcircled{d}$$

よりもやや低いものの、 $\textcircled{c}$ 式でchlの推定を72%位は説明できる。またF値の検定、F'値の検定はそれぞれ5%有意水準で有意となっており、AICでも134.629と他の式に比べると良い結果が得られて

表4 各環境要素間の相関マトリックス (昭和55年10月～昭和56年2月, n数=18)

	Wt	S	SiO <sub>2</sub> -Si	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	chl
Wt		-0.676**	0.609**	0.785**	0.579*	0.524*	0.132	-0.491*
S			-0.755**	-0.535*	-0.324	-0.365	-0.252	0.357
SiO <sub>2</sub> -Si				0.768**	0.570*	0.791**	0.284	-0.500*
PO <sub>4</sub> -P					0.851**	0.875**	0.413	-0.758**
NO <sub>2</sub> -N						0.771**	0.415	-0.691**
NO <sub>3</sub> -N							0.304	-0.766**
NH <sub>4</sub> -N								-414

\*\* : 1%有志水準, \* : 5%有意水準.

表5 7つの環境要素を使用した重回帰分析結果 (昭和55年10月～昭和56年2月, n数=18)

X 1 Wt	X 2 S	X 3 SiO <sub>2</sub> -Si	X 4 PO <sub>4</sub> -P	X 5 NO <sub>3</sub> -N	X 6 NO <sub>2</sub> -N	X 7 NH <sub>4</sub> -N	Const	重相関係数 R <sup>2</sup>	自由度調整 済み重相関 係数 R <sup>2*</sup>	AIC	F 値
0.434 (0.170)	8.065 (4.711)	0.542 (7.499)*	-6.226 (0.155)	0.595 (0.020)	-3.931 (7.169)*	-0.636 (0.293)	-203.283	0.795	0.652	140.298	5.548**
0.111 (0.035)	7.939 (5.439)*	0.538 (9.004)*			-4.302 (21.346)**	-0.874 (0.980)	-196.580	0.792	0.705	136.557	9.140**
	7.557 (8.262)*	0.528 (10.318)**			-4.219 (28.614)**	-0.908 (1.191)	-184.862	0.791	0.727	134.629	12.331**
	8.047 (9.517)**	0.546 (10.972)**			-4.399 (32.080)**		-200.558	0.772	0.724	134.278	15.828**

( ) : 各偏回帰係数を検定するためのF'値, \*\* : 1%有意水準, \* : 5%有意水準

いる。加えて独立変数が少ないことから利点の多い式である。

以上 n 数=48 (㉑式), 18 (㉒式) の資料を用いて算出した重回帰式を比較すると, ㉑では R<sup>2</sup>\* に差がないものの F, F' 値の検定では全てが有意を示している。さらに AIC でも小さい値が得られ, ㉑式 (6.3日毎の調査頻度) で信頼度の高い結果が得られている。この結果については今の場合, 本海域の潮汐周期の影響を全く考慮していないためか, これが珪藻類増殖期に限ってのことなのか, 今後有明海特有の海況を考慮した資料の取扱いもふくめ検討が必要であろう。

㉑式から chl は SiO<sub>2</sub>-Si, NO<sub>3</sub>-N, 塩分との関連が深く, これらの要素が河川水に大きく影響されることから chl すなわち珪藻類の増殖には降雨が密接に係わっていることを示していると推察される。このようなことから各栄養塩類の海水中への供給の過程やその量の正確な把握が必要であろう。

## (2) 珪藻類・鞭毛藻類発生期 (4月から9月まで) の chl と各環境要素との関連

先に述べたように10月から2月までに行なった調査 (n 数=18 : 6.3日毎の調査頻度) の資料を用いた重回帰分析によって有意な結果も得られており, 4月から9月までに行なった調査 (n 数=27 : 6.8日毎の調査頻度) の資料でも, ある程度の論議は可能であると考えられる。そこで4月から9月における chl の推定を前記と同じ方法で行ない相関マトリックスを表6, 重回帰分析の結果を表7に示した。

### (イ) chl と各種環境要素

表6から chl との相関がみられたのは SiO<sub>2</sub>-Si のみで相関係数は0.524 (1%有意水準) であった。これは珪藻類増殖期における chl がほとんどの環境要素と相関が深かったことと対照的であった。

### (ロ) 環境要素の間の関係

環境要因間では, 表6に示したように珪藻類増殖期の結果とは反対に NO<sub>3</sub>-N と塩分との相関が一

表6 各環境要素間の相関マトリックス (昭和56年4～9月, n数=27)

	Wt	S	SiO <sub>2</sub> -Si	PO <sub>4</sub> -P	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	(Chl)
Wt		-0.340	0.591**	0.419*	0.490	0.129	-0.361	0.198
S			-0.598**	-0.442*	-0.410*	-0.804**	-0.166	0.186
SiO <sub>2</sub> -Si				0.318	0.773**	0.494**	-0.118	0.524**
PO <sub>4</sub> -P					0.621**	0.547**	0.390*	-0.161
NO <sub>2</sub> -N						0.495**	0.149	0.360
NO <sub>3</sub> -N							0.301	0.139
NH <sub>4</sub> -N								-0.204

\*\* : 1%有意水準, \* : 5%有意水準

0.804と最も高く、NO<sub>3</sub>-Nが河川からの流入があってもノリなどのNO<sub>3</sub>-Nを消費する生物が少ないためにこの様に高い値になっているとも考えられる。またNO<sub>3</sub>-NとSiO<sub>2</sub>-Si, NO<sub>2</sub>-N, PO<sub>4</sub>-Pとの間については相関が高く珪藻類増殖期の結果と一致する。ただNH<sub>4</sub>-Nとの関係ではいずれの要素とも相関はなく、前述したようにNH<sub>4</sub>-Nの海水中への供給が他の栄養塩類と異なった形でされていることをここでも示唆している。

(ハ) 環境要素によるchlの推定

chlに対する各環境要素 (X1～X7) の影響を重回帰分析 (表7) すると

$$\text{chl} = 8.358 - 0.201\text{Wt} + 0.090\text{S} + 0.309\text{SiO}_2\text{-Si} - 25.975\text{PO}_4\text{-P} + 15.894\text{NO}_2\text{-N} + 0.381\text{NO}_3\text{-N}$$

表7 7つの環境要素を使用した重回帰分析結果 (昭和56年4～9月, n数=27)

X 1 Wt	X 2 S	X 3 SiO <sub>2</sub> -Si	X 4 PO <sub>4</sub> -P	X 5 NO <sub>2</sub> -N	X 6 NO <sub>3</sub> -N	X 7 NH <sub>4</sub> -N	Const	重相関係数 R <sup>2</sup>	自由度調整 済み重相関係数 R <sup>2*</sup>	AIC	F値
0.201 (0.005)	0.090 (0.001)	0.309 (0.633)	-25.975 (2.748)	15.894 (0.967)	0.381 (0.067)	-0.377 (0.081)	8.358	0.432	0.223	283.164	2.066
		0.332 (1.632)	-25.682 (5.265)*	15.534 (1.413)	0.282 (0.110)		12.631	0.431	0.328	277.206	4.172*
		0.363 (2.324)	-24.007 (6.005)*	14.947 (1.389)			10.820	0.428	0.354	275.341	5.748**
		0.580 (14.571)**	-16.815 (4.737)*				0.879	0.394	0.343	274.924	7.701**

( ) : 各偏回帰係数を検定するためのF'値, \*\* : 10%有意水準, \* : 5%有意水準

$$-0.377\text{NH}_4\text{-N} \quad \dots\dots\dots\text{⑥}$$

の式が得られた。またF値, F'値およびR<sup>2</sup>, R<sup>2\*</sup>, AICを表7に示した。7つの環境要素 (X1～X7) をとりあげてchl (Y) を推定するとき、そのR<sup>2\*</sup>は0.223となりかなり小さい、さらにF値を検定すると有意でなくこの式は不成立である。そこで先に使用した変数減少法によって重回帰分析の変数選択を行なうと

$$\text{chl} = 0.879 + 0.580 \text{SiO}_2\text{-Si} - 16.815 \text{PO}_4\text{-P} \quad \dots\dots\dots\text{⑦}$$

の式が得られる。R<sup>2\*</sup>は0.343と小さく、この推定式ではchlをSiO<sub>2</sub>-SiとPO<sub>4</sub>-Pで34%しか説明できず充足していないものの、F値は有意 (1%有意水準) で、しかもF'値もそれぞれ有意となっておりchlを推定する式としては一応成立する。この期間におけるchlの推定式である重回帰式が不充分となった理由として、春から秋における植物プランクトンの発生には珪藻類のみではなく他の鞭毛藻類が多く含まれているので、両者間の競合関係や鞭毛藻類の栄養吸収面での競合関係など複雑に係わつ



ていることや梅雨期が含まれているので栄養塩の変動が複雑多岐にわたっていることが考えられる。

以上、10～2月における珪藻類の増殖は  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、塩分と関係が深く、これらの要素を週に1度ぐらい調査することによって調査時の量のある程度の信頼性の範囲で推定できると思われる。しかし発生予察あるいは発生後の珪藻類の増殖予測には珪藻類の発生機構について現在なお充分には解明されていないので重回帰式をそのまま使用することは困難であろう。ただ確度の高い説明変数(ここでは  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、S)の変動予測が正確にできるようになれば珪藻類の変動予察は可能かもしれない。また春から秋にかけての植物プランクトンの発生予察は海況や生物間の競合関係など複雑な要因を含んでいると考えられ、今後、発生状況の把握と他の環境要素との関連について詳細に検討しなければならない。

## 要 約

1. 六角川河口沖定点における珪藻類の消長と水温、塩分、栄養塩類の変動について昭和55年10月から56年9月まで調査を実施した。
2. 六角川河口沖においてはノリ養殖期を中心とした10月から3月には主に珪藻類、春から秋にかけては珪藻類と鞭毛藻類などが増殖した。
3. 各環境要素の変動は河川水と関連があり、とくに  $\text{NO}_3\text{-N}$  と  $\text{SiO}_2\text{-Si}$  ではその傾向が著しいと考えられた。
4. 珪藻類増殖期における珪藻類の量は  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Sとの関係が深く、これを週に一度ぐらい調査することによって調査時の量を推定できると思われた。また珪藻類増殖期の chl の推定式として

$$\text{chl} = -200.558 + 8.047 \text{ S} + 0.546 \text{ SiO}_2\text{-Si} - 4.399 \text{ NO}_3\text{-N} \quad \text{が得られた。}$$

## 文 献

- 1) 弘田礼一郎 1980: 有明海のプランクトン. 海洋科学, 124, 138-142.
- 2) 山下輝昌 1982: 有明海湾奥部におけるプランクトンの季節的変動—XIV. 福岡県有明水産試験場試験研究業務報告書, 昭和55年度, 125-132.
- 3) ——— 1983: 有明海湾奥部におけるプランクトンの季節的変動—XV. 福岡県有明水産試験場試験研究業務報告書, 昭和56年度, 83-90.
- 4) ——— 1971: 有明海湾奥のノリ生産量とプランクトン量の相関について. 水産増殖, 20(1), 45-52.
- 5) ——— 1976: 有明海湾奥におけるノリ生産とプランクトンの指標性. 水産増殖, 24(1), 1-9.
- 6) ——— 1976: 有明海湾奥部における環境要素とノリ生産. 沿岸環境変動予察方法についての研究報告書, 水産庁・西海区水研・福岡有明・佐賀有明, 263-277.
- 7) 北嶋博卿・野口敏春 1980: 海況観測結果からみた漁場環境の特徴について. 佐賀県有明水試報告, (7), 1-14.
- 8) 佐賀県有明水試 1983: 九州海域赤潮予察調査事業報告書, 89-120.
- 9) 佐賀県有明水試 1984: 九州海域赤潮予察調査事業報告書, 61-96.
- 10) 佐賀県有明水試 1985: 九州海域赤潮予察調査事業報告書, 59-79.
- 11) 山路勇 1966: 日本海洋プランクトン図鑑. 保育社, 東京.
- 12) 田中豊・垂水共之・脇本和昌 1984: パソコン統計ハンドブック II. 多変量解析編, 共立出版, 東京.
- 13) Gray L. Hitchcock 1983: An examination of diatom area; volume ratios and their influence on estimate of plasma volume. Journal of plankton Research, (5), 311-324.

- 14) 代田昭彦 1980：有明海の栄養塩類とニゴリの特性. 海洋科学, 124, 127—137.
- 15) 赤池弘次 1976：情報量規準 AIC とは何か. 数理科学, 153, 5—11.