

希釈法を用いた三河湾における微小動物プランクトンの摂食量の測定

坂口泰治・石田基雄・井野川仲男・向井良吉・黒田伸郎

Grazing rates of microzooplankton in Mikawa Bay estimated by dilution method

SAKAGUCHI Taiji*, ISHIDA Motoo*, INOKAWA Nakao*, MUKAI Ryoukichi*, and KURODA Nobuo*

Abstract

The dilution technique was applied to estimate the contribution of micro-zooplankton to reproductivity in Mikawa Bay. Sea water samples, previously eliminated macro-zooplankton by 100 μm plankton net, were gradually diluted to change the chance of encounter between consumer and prey. Grazing rates were estimated from the apparent growth rate of phytoplankton in each dilution experiment. It was resulted that 61-127% of phytoplankton that will be produced under no grazing pressure were feeded by micro-zooplankton. It was suggested that a closed and simple community composed of only phytoplankton and primary consumer is formed in Mikawa Bay, under the condition that primary consumers are dominated by micro-zooplankton mainly ciliates.

キーワード；微小動物プランクトン，低次生産，希釈法，摂食量，三河湾

近年、内湾の低次生産において微小動物プランクトンが主な一次消費者として注目されている。彼らは、しばしば内湾で優占する微細な植物プランクトン（ナノプランクトン）の主な捕食者であり、¹⁾沿岸域では現存量が外洋域の1~2桁も高いこと²⁾などが知られ、植物プランクトンから生態系の他の構成者への物質の橋渡しを担うものとして重要であると考えられている。しかしその役割については、1) 植物プランクトンによって生産された有機物を無機化する分解者の側面、2) ネット動物プランクトンの有効な餌としての生産者の側面があり、それぞれの寄与の度合いは定量的には明らかにされていない。³⁾

三河湾においては、Suzuki et al.⁴⁾が、植物プランクトン現存量、大型動物プランクトン現存量、栄養塩の収支からボックスモデルを用いて解析した結果、夏季の底層においては、主に微小動物プランクトンが植物プランクトンを捕食している一方、表層においては植物プランクトンと微小動物プランクトンが交代して大型動物プランクトンの餌となっていることを示唆した。また、田中ら⁵⁾はセジメントトラップの解析結果から、夏季のナノ植物プランクトンが優占するときには、微小動物プランクトンがこれを捕食し、底層への沈降粒子の形成を促進しているとした。このように、三河湾における微小動

物プランクトンのさまざまな役割が指摘されているが、その摂食速度を直接測定した例はない。これは、微小動物プランクトンが植物プランクトンと同程度のサイズであり、両者の成長速度、両者間の被・捕食速度を分離して定量することが困難なためである。

希釈法は、微小動物プランクトンの摂食速度 (grazing rate) と植物プランクトンの成長速度 (growth rate) を同時に測定する方法として、近年さまざまな水域で応用されてきた。^{6,7)}本研究ではこの方法を三河湾に適用し、微小動物プランクトンが、低次生産でどの程度の役割を担っているかを明らかにすることを試みた。

方法

(1) 調査海域と調査項目

採水は1992年11月11日、12月9日、1993年1月26日、2月25日の4回、公共用水域水質監視調査の観測点のうち三河湾内の3地点A-5、A-7、A-10で行った。第1、2回は、0m、5m、底上1m（以下Bと表す）層、第3、4回は0m層のみで採水した。採水地点を図1に示した。

各試水の未固定試料について、植物プランクトンの同定と計数を行うとともに微小動物プランクトンを有鐘織

* 愛知県水産試験場
(Aichi Fisheries Research Institute, Miya, Gamagori, Aichi 443, Japan)

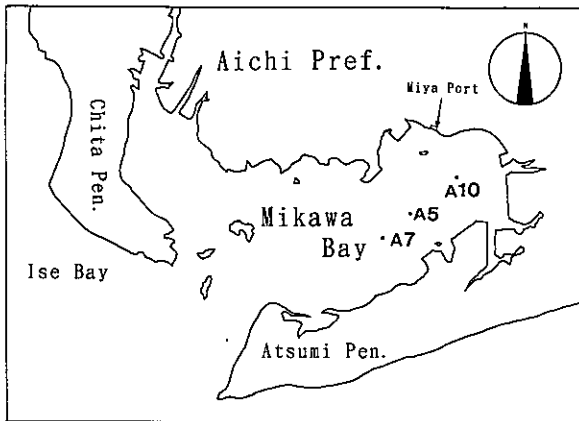


図1 調査点

毛虫，無殻繊毛虫，橈脚類にわけて計数した。

また各試水について(2)に述べる希釈法の培養実験を行った。

(2) 希釈法培養実験

布バケツまたはヴァン・ドーン採水器で採取した海水を直ちに開口100 μ m目合いのネットで濾過し，大型の動物プランクトンを取り除いたものを試水とした（以下100 μ m目合いネットを通過した試水に含まれる動物プランクトンを微小動物プランクトンと呼ぶ）。

次に，あらかじめ0.45 μ mメンブレンフィルターで濾過した海水を希釈用海水として，前述の試水の割合が1.0，0.5，0.3，0.1，0.05になるように希釈し1lに定容した。それぞれの希釈試料を2lポリカーボネートビンに収容し，三谷港に持ち帰った。希釈用海水は，第1回および第2回の調査では，それぞれの試水と同じ海水を船上で濾過して用い，第3回および第4回は実験前日に蒲郡市三谷地先で採水した海水を濾過して用いた。第3回の実験に用いた希釈用海水にはNH₄-Nが231.0 μ g/l，PO₄-Pが29.2 μ g/l含まれていた。また，第4回の実験時には十分量の栄養塩を添加した。第1，2回希釈用海水中の栄養塩濃度は測定していない。

三谷港内で，各試料を収容したポリビンを海表面に浮かせ24時間培養した。これは，水温，日射量をできるだけ採水現場の状況に合わせるためである。

各試料における培養前後のクロロフィルa濃度を測定し，これらの変化から(3)に述べる方法で，植物プランクトンの成長速度と微小動物プランクトンの摂食速度を算定した。クロロフィルaとフェオ色素の分析は，抽出蛍光法（海洋観測指針）によった。

なお，第1回・第2回は，0m・5m・B層の試水で各1回ずつ，第3回・第4回は0m層の試水で2回

ずつの希釈法培養実験を行った。

(3) 希釈法の理論および植物プランクトンの成長速度・微小動物プランクトンの摂食速度の算定

希釈法とは，現場海水を希釈することによって捕食者（ここでは微小動物プランクトン）と被食者（植物プランクトン）の出会い確率を段階的に小さくし，これら各希釈段階における植物プランクトンのみかけの成長速度の変動から，捕食者の摂食速度と被食者の成長速度を同時に見積もる方法である。

ところで，ここで対象となる植物プランクトン，微小動物プランクトンは分裂によって増殖するので，生物量の増加（production）=増殖（growth）とみなすことができる。したがって成長（生産）速度と増殖速度は同じ意味をもつ。本研究においては，growth rateについては「成長速度」の語を用いるが，生物量の増加という意味で「生産量」という語を用いることもある。また植物プランクトンの生物量の指標としては，統一的にクロロフィルa濃度を用いた。

植物プランクトンが，対数的に増殖し，同調して食べられるとすると，植物プランクトン量（P₀）のt日後の変化は次式で表せる。

$$P_t = P_0 e^{(k-g)t} \quad (1)$$

P₀：最初の植物プランクトン量（ μ g Chl a/l）

P_t：t日後の植物プランクトン量（ μ g Chl a/l）

k：植物プランクトンの成長速度（/day）

g：微小動物プランクトンの摂食速度（/day）

(1)式から，

$$1/t \cdot \ln(P_t/P_0) = k - g \quad (2)$$

ここで，各希釈系列において植物プランクトンを培養するとkは変化しないが，gは希釈率（X）に応じて減少するので，(2)式は，

$$1/t \cdot \ln(P_t/P_0) = k - g_0 X \quad (3)$$

となる。ここでg₀は希釈していない試料における微小動物プランクトンの摂食速度である。見かけ上の成長速度（1/t \cdot ln(P_t/P₀））をY軸，希釈率をX軸に取り各希釈段階の値をプロットした場合，一次関数の回帰直線となりY切片が植物プランクトンの成長速度（k），傾きが微小動物プランクトンの摂食速度（g）となる。以上が，希釈法の理論である。

しかし実際は，各希釈段階の1/t \cdot ln(P_t/P₀）をプロットしていくと希釈率が高いほど直線ではなく上の方にカーブする非直線（左上がりの曲線）になってしまう。

Gallegos⁹⁾は，この原因として微小動物プランクトンの摂食圧が希釈率（X）に直接比例しないことをあげ

た。つまり、微小動物プランクトン1個体あたりのろ水量が植物プランクトンの密度低下にもなって減少するため、摂食量は非線形的に低下してしまう。そこで、彼は信頼できる植物プランクトンの成長速度 (k) を求めるため、希釈法の変法である3点法を提案した。これは、試水の希釈率 (X) のうち、最小値を X_1 (今回は0.05)、2番目に小さい値を X_2 (今回は0.1) とし、それぞれの X における植物プランクトンの見かけ上の成長速度をそれぞれ r_{x1} , r_{x2} とし、以下の式に代入して k を求めるものである。

$$k = (X_2 r_{x1} - X_1 r_{x2}) / (X_2 - X_1) \quad (4)$$

また、彼は、微小動物プランクトンによる摂食速度 (g) もそれ自身の成長速度 (k_2) によって変化するため、以下の式で g を求めることを提案した。

$$P_t / P_0 = \exp(kt) - g[\exp(k_2 t) - \exp(kt)] / (k_2 - k) \quad (5)$$

ここで P_t , P_0 は希釈していない試料の培養前後の植物プランクトン量である。

今回の実験の第3回および第4回においても希釈率を高くするほど見かけの成長速度が上にカーブする非線形曲線となったため、解析にはこの3点法を用いた。

結 果

(1) 第1回 (1992年11月11日) と第2回 (1992年12月9日) の結果

希釈法の実験結果を図2に示した。左上がりの曲線になったのは第1回の調査点A7のみであった。とくに、第1回の調査点A5の0m, 5m, 第2回の調査点A5の5m, A7の0m, A10の5mは希釈率を高くするほど植物プランクトンの見かけの成長速度が小さくなる結果となった。第1回のA5のB, A10の5m, 第2回のA5の0m, A10の0mも全体に左下がりの曲線になった。このため、第1回と第2回の実験では、植物プランクトンの成長速度 (k) と微小動物プランクトンの摂食速度 (g) の計算は行わなかった。また、第1回、第2回の調査点A7の0m以外では、ほとんどの試料の各希釈段階で植物プランクトンの見かけの成長速度が0あるいは負の値を示した。これは、培養期間中に植物プランクトンが捕食圧の大きさに関係なく成長できなかったことを示しており、培養系内の栄養塩の不足の可能性が考えられた。そこで第3回、第4回の実験では希釈海水の栄養塩濃度を測定し、不足している場合は、栄養塩を添

表1 プランクトン調査結果 (cells/ml) (第1回・第2回)

Date	Nov. 11, 1992 (1st experiment)									Dec. 9, 1992 (2nd experiment)								
	A 5			A 7			A 10			A 5			A 7			A 10		
Station	0m	5m	B-1m	0m	5m	B-1m	0m	5m	B-1m	0m	5m	B-1m	0m	5m	B-1m	0m	5m	B-1m
DIATOMS																		
<i>Coscinodiscus</i> sp.											1	1						1
<i>Coscinosira polychorda</i>													1					
<i>Guinardia flaccida</i>					2													
<i>Skeletonema costatum</i>	14	28		34	20	6				19	53	14				3		2
<i>Thalassiosira</i> spp.	2				6							11				1		1
FLAGELLATES																		
<i>Alexandrium</i> sp.										1								
<i>Ceratium</i> spp.	3	1		2						6	5					20	15	1
<i>C. furca</i>	14	19	14	9	4		34	22	4	5	4	1	3	17		3	4	4
<i>C. fusus</i>		1	1	1	1		2	2	1	2	8		4	5	2		2	1
<i>Dinophysis</i> sp.			1	2			1	5	4	1			1	3				1
<i>D. acuminata</i>					3	2												
<i>Gyrodinium sanguineum</i>	18	30	21	5	3		43	20	9	210	112	4	66	155	3	175	71	36
<i>Gyrodinium</i> sp.	1	1								2	2	1		3				
<i>Katodinium</i> sp.		2		1	5		1	3	1	66	164	20	5	33	37			
<i>Polykrikos</i> sp.										1								
<i>Prorocentrum</i> sp.	5																	
<i>P. micans</i>		3	2	8	11	2	8	13	2	4	2		5	21	4	3	2	1
<i>P. sigmoides</i>	1	1		1														
<i>Protoperidinium</i> spp.	2	5	1	2			1	1	3	2			1					
OTHER FLAGELLATES																		
<i>Dictyocha fibula</i>													1					
<i>Ebria tripartita</i>												1						
Small flagellates	+	+		+	+	+				++	++	++		+	+	+		
OTHER PLANKTONS																		
<i>Mesodinium rubrum</i>	1	4		2	1	2			1									
Naked ciliates	4	1	3	3	3	1	3	6	5	12	15	2	5	7	4	2	6	1
Tintinnids						1				2	2		1	1	3	6	3	
Copepods nauplius	1					1	2	2						1				
Chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$)	8.1	9.2	8.5	4.6	4.0	2.5	13.8	10.0	4.5	22.6	15.4	1.8	7.1	16.2	1.6	18.6	7.8	4.1
Pheophytin a ($\mu\text{g/l}$)	1.2	1.1	1.5	1.4	1.5	2.0	0.2	1.5	5.8	0	0	0.4	2.0	0	0	1.0	0.7	0.6

No. 1 (Nov. 11, 1992)

No. 2 (Dec. 9, 1992)

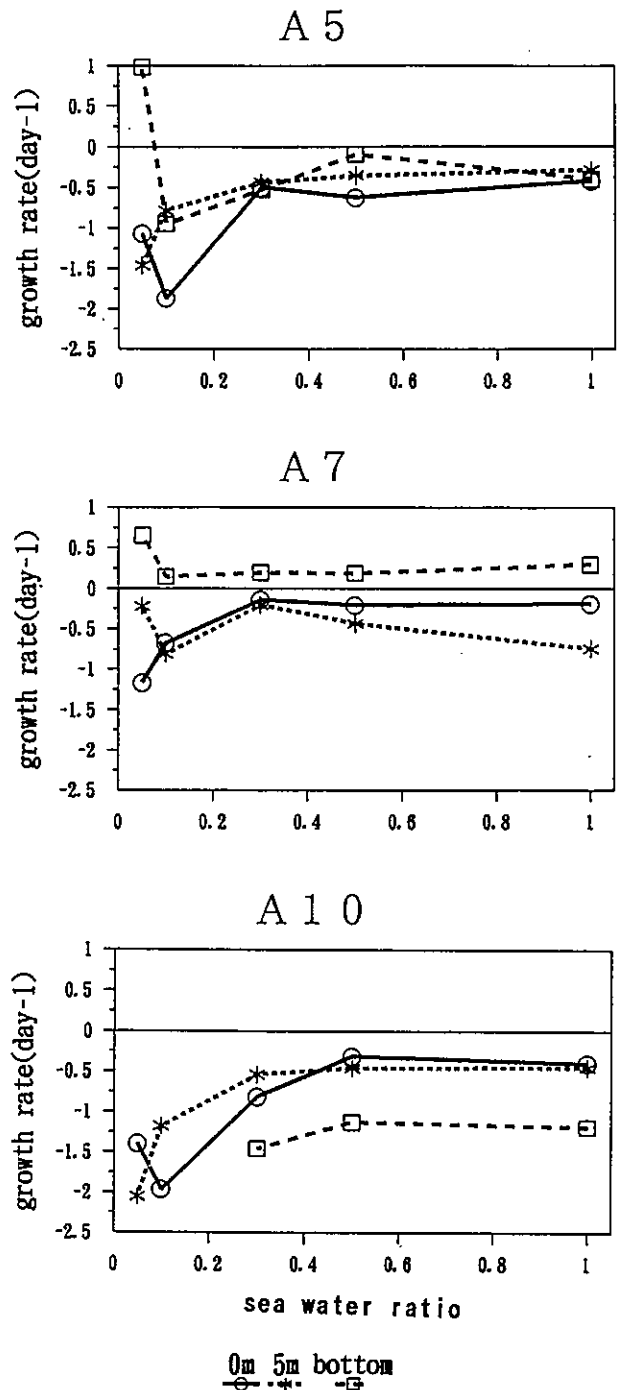
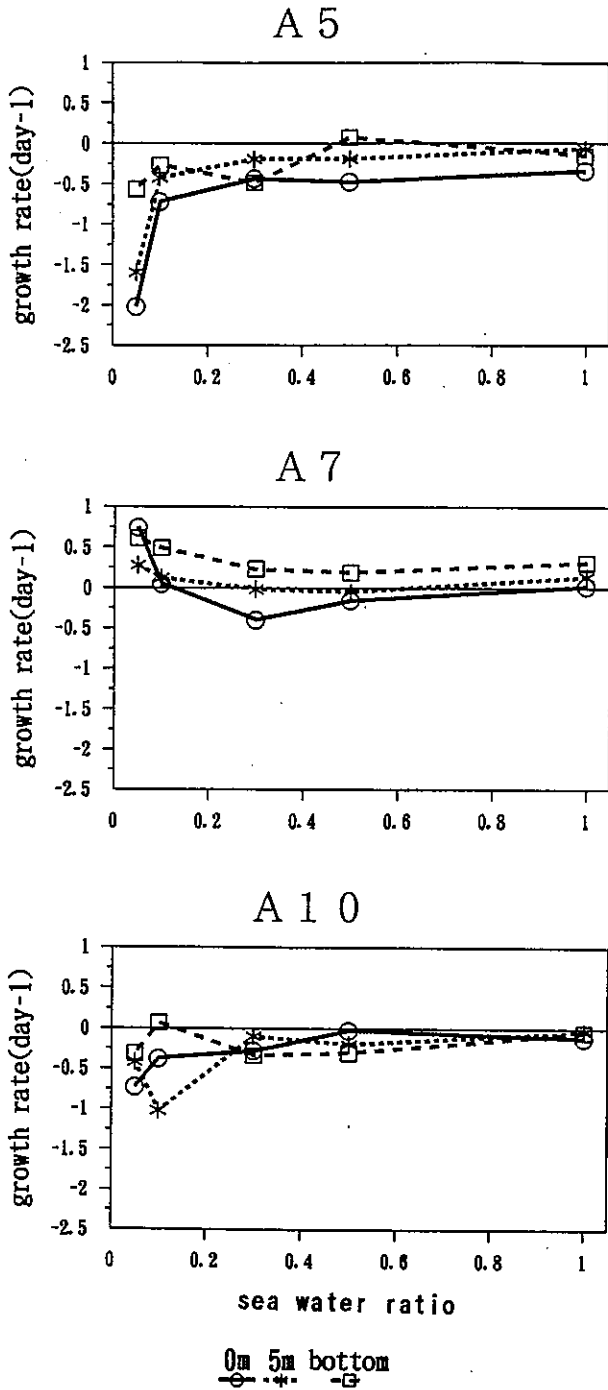


図2 希釈法実験結果 (第1回・第2回)

加することにした。

次に、実験時のプランクトンの計数結果とクロロフィルaの分析結果を表1に示した。第1回、第2回ともに優占していたのは鞭毛藻で、*Gymnodinium sanguineum* や *Ceratium furca* 等であった。これらは大型で前者は細胞長が約 40 μm 、幅が約 32 μm 、後者は細胞長が約 160~210 μm 、幅が約 15~30 μm である。一

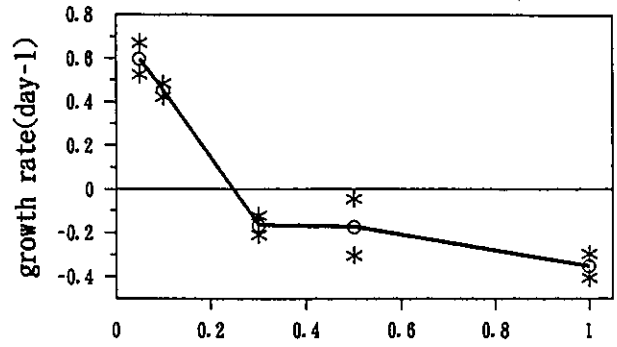
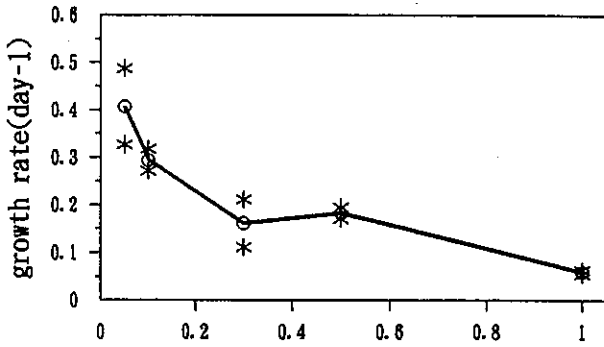
方、表1に示したように微小動物プランクトンの優占種は、両実験時ともに無殻の繊毛虫 (naked ciliate) であった。有殻繊毛虫中ではロリカの口径の45%までの粒子しか捕食できないとされている⁹⁾が、無殻の繊毛虫ではそれ自身と餌のサイズの関係については知られていない。また、今回は微小動物プランクトンのサイズも測定していないが、最大でも 100 μm であるから、ほとん

No. 3 (Jan. 26, 1993)

No. 4 (Feb. 25, 1993)

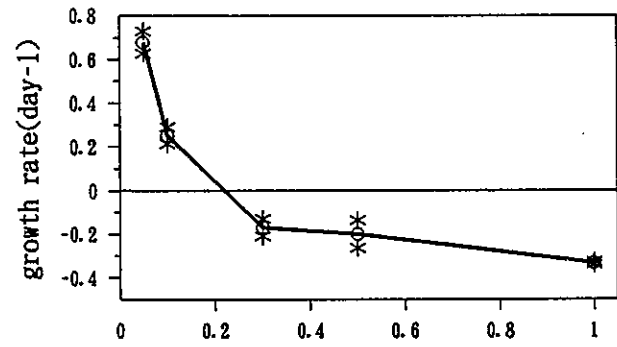
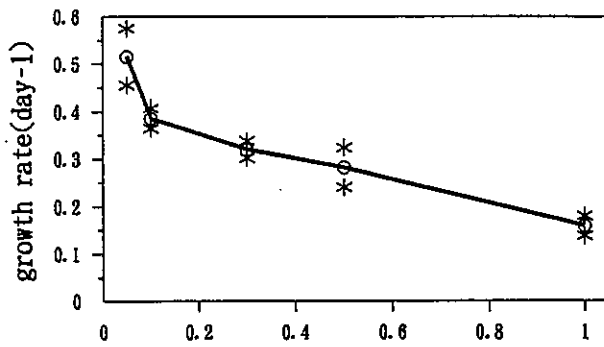
A 5

A 5



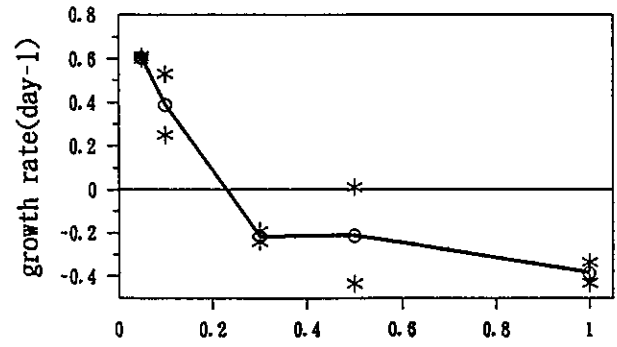
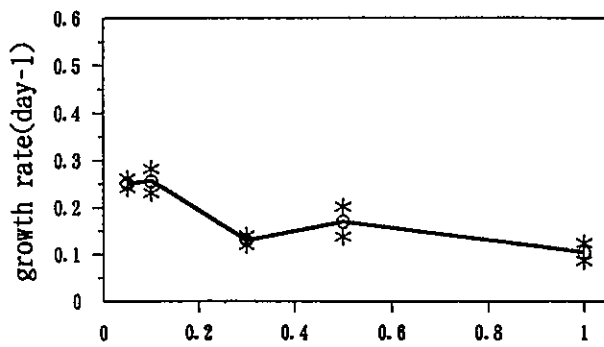
A 7

A 7



A 1 0

A 1 0



sea water ratio

sea water ratio

1 2 Mean
* * ○

1 2 Mean
* * ○

図3 希釈法実験結果 (第3回・第4回)

どが優占した植物プランクトンと同程度のサイズであると考えられる。したがって第1, 2回の実験では微小動物プランクトンにとって、優占した植物プランクトンを捕食するのは困難であったと考えられる。

(2) 第3回 (1993年1月26日) と第4回 (1993年2月26日) の結果

希釈法の実験結果を図3に示す。どの実験区も比較的なめらかな左上がりの曲線を示した。

第4回の調査点A7を例にして3点法をもちいて植物プランクトンの成長速度 (k) と微小動物プランクトンの摂食速度 (g) の計算例を以下に示す。第4回の調査点

表2 第4回(2月)の調査点A7における各希釈段階の培養前後のクロロフィルa量の値($\mu\text{g/l}$)

Dilution ratio (X)	Initial	after 24hr		
		bottle 1	bottle 2	Mean
1.0	11.65	8.41	8.29	8.35
0.5	5.825	5.08	4.47	4.78
0.3	3.495	2.83	3.07	2.95
0.1	1.165	1.44	1.56	1.50
0.05	0.585	1.10	1.21	1.15

表3 植物プランクトンの成長速度(k)と微小動物プランクトンの摂食速度(g)の計算結果

3rd experiment (Jan. 26, 1993)				
Station	k	g		
		$k_z=0$	$k_z=0.7$	$k_z=1.5$
A 5	0.52	0.47	0.34	0.22
A 7	0.65	0.52	0.37	0.24
A10	0.25	0.15	0.10	0.07

4th experiment (Feb. 25, 1993)				
Station	k	g		
		$k_z=0$	$k_z=0.7$	$k_z=1.5$
A 5	0.74	0.94	0.68	0.45
A 7	1.11	1.26	0.93	0.62
A10	0.82	1.03	0.74	0.49

k : Growth rate of phytoplankton(/day)
g : Grazing rate of micro-zooplankton(/day)
 k_z : Growth rate of micro-zooplankton(/day)

A7の各希釈段階における培養前後のクロロフィルa量は表2に示した。なお、今回の実験では微小動物プランクトンの成長速度(k_z)は測定していないので0および1.5を用いた。この値は、3点法を提案したGallagos⁸⁾の実測した微小動物プランクトンの一日の成長速度の最小と最大である。また、微小動物プランクトンの分裂時間が平均20~30時間という文献値¹⁰⁾から、1日に1回分裂する(2倍に増殖する)として $k_z=\ln 2=0.7$ としたときの計算結果も加えた。

まず(4)式に $X_1=0.05$, $X_2=0.1$, $r_{x1}=1/t \cdot \ln(P_t/P_0)=\ln(1.15/0.585)=0.68$, $r_{x2}=\ln(1.50/1.165)=0.25$ を代入すると植物プランクトンの成長速度(k)は1.11となる。(5)式に $k=1.11$, $t=1$, $k_z=0$, 0.7および1.5, $P_0=11.65$, $P_t=8.35$ をそれぞれ代入すると、微小動物プランクトンの摂食速度は $k_z=0$ のとき1.26, $k_z=0.7$ のとき0.93, $k_z=1.5$ のとき0.62となる。同様に計算した他の調査点の結果を表3に示した。

この計算結果によると、植物プランクトンの成長速度(k)は第3回が0.25~0.65, 第4回が0.74~1.11, 微小動物プランクトンの摂食速度(g)は仮に $k_z=0.7$ と

すると第3回が0.10~0.37, 第4回が0.68~0.93であった。

実験時のプランクトンの計数結果とクロロフィルaの分析結果を表4に示した。第3回は、全体的に植物プランクトンは少なかったが、珪藻類と小型鞭毛藻が比較的多くみられた。ここで小型鞭毛藻とは、数 μm 以下の同定不能の鞭毛藻で、細胞数は+がおよそ1000細胞/ ml 以上, ++がおよそ5000細胞/ ml 以上を表す。クロロフィルa量は7.4~8.2 $\mu\text{g/l}$ であった。第4回は、第3回に比べ珪藻類, 鞭毛藻とも若干多かった。優占種は同じく小型鞭毛藻であった。クロロフィルa量は11.7~12.4 $\mu\text{g/l}$ であった。

微小動物プランクトンの優占種は両実験とも、無殻の繊毛虫であった。

考 察

第3回・第4回実験で得られた結果より、微小動物プランクトンの摂食が植物プランクトンの生産量に対してどの程度であったかを見積もった。第4回のA7(表2)を例にして以下に計算例を示す。

培養前の植物プランクトン量(クロロフィルa量)は11.65, 微小動物プランクトンの摂食がなかったとすると, (1)式に, $k=1.11$, $g=0$, $t=1$ を代入して

$$P_t=11.65 e^{(1.11-0)}=35.35 \mu\text{g/l}$$

となり, 1日あたりの植物プランクトンの成長量は

$$P_p=35.35-11.65=23.70 \mu\text{g/l}$$

となる。ここで P_p は動物プランクトンの摂食がなかった場合の植物プランクトンの1日当たりの生産量であるから最大可能生産量と呼ぶ。

また, 試水を希釈していない $X=1.0$ の24時間培養後の実際のクロロフィルa量は8.35 $\mu\text{g/l}$ だから, 微小動物プランクトンの摂食量(G)は $35.35-8.35=27.00 \mu\text{g/l}$ となる。

表4 ブラントン調査結果 (cells/ml) (第3回・第4回)

Date Station	Jan. 26, 1993 (3rd exp.)			Feb. 25, 1993 (4th exp.)		
	A 5	A 7	A 10	A 5	A 7	A 10
Taxon						
DIATOMS						
<i>Coscinodiscus</i> sp.					1	
<i>Nitzschia</i> spp.	22	27	17	62	16	84
<i>Rhizosolenia setigera</i>	6	2	2	21	23	15
<i>Skeletonema costatum</i>	22		15	116	98	110
<i>Thalassiosira</i> spp.	11	14	12	3	12	25
Small diatoms	+	+	+	+	+	
FLAGELLATES						
<i>Ceratium</i> sp.	3					
<i>C. furca</i>		4	4	2	2	1
<i>C. fusus</i>	1		1	1	4	2
<i>Dinophysis acuminata</i>			1			
<i>Gonyaulax triacantha</i>				30	7	32
<i>Heterocapsa triquetra</i>				7	9	5
<i>Katodinium</i> sp.				1	1	
OTHER FLAGELLATES						
<i>Ebria tripartita</i>	1			4		
Small flagellates	+	+	+	++	++	++
OTHER PLANKTONS						
<i>Mesodinium rubrum</i>				1	5	
Naked ciliates	9	6	5	4	6	6
Tintinnids	2		1	2		
Copepods nauplius						

Chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$)	8.23	7.99	7.39	12.43	11.65	12.01
Pheophytin a ($\mu\text{g/l}$)	0.89	0.40	0.71	0	0	0

表5 微小動物プランクトンの摂食量の見積結果

	Station	P ₀	P _d	G	G/P _d (%)
3rd experiment	A 5	8.23	5.61	5.11	91
	A 7	7.99	7.32	5.94	81
	A10	7.39	2.10	1.28	61
4th experiment	A 5	12.43	13.62	17.28	127
	A 7	11.65	23.70	27.00	114
Feb. 25, 1993	A10	12.01	15.26	19.07	125

P₀: initial concentration of chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$)P_d: daily maximal production of phytoplankton ($\mu\text{g of chl. a/l}$)G: daily grazing amount of micro-zooplankton ($\mu\text{g of chl. a/l}$)

この計算結果の場合、微小動物プランクトンは植物プランクトンの最大可能生産量の実に114%も摂食していたことになる。同様に計算した他の調査点の結果を表5に示した。この結果から、微小動物プランクトンの最大可能生産量に対する摂食量は、第3回(1月)が

61~91%、第4回(2月)が114~127%となった。ここで注目すべきことは、三河湾では第4回調査結果のように、時として微小動物プランクトンの摂食量が植物プランクトンの最大可能生産量を上回るほどあるということである。

これらの計算結果は、植物プランクトンの枯死を考慮していないため過大評価している可能性もあるが、第3回、第4回実験時は十分量の栄養塩が存在しており、このような短時間の実験では、植物プランクトンの減少量の大部分が動物プランクトンによる捕食に負っていると考えても差し支えないと考えられる。

井野川ら¹¹⁾は、三河湾奥では生産者である植物プランクトンに対し、一次消費者である動物プランクトン(330 μm 目合いネット上に残ったもの)が相対的に少ないことを指摘した。そして、この原因の一つとして大

表6 微小動物プランクトン個体数調査 (個体/l) 1993年10月25日

Station		A10-0							A10-B						
Fraction (μm)		>330	>200	>100	>60	>40	>25	>10	>330	>200	>100	>60	>40	>25	>10
Copepoda	<i>Acartia</i> sp.	5	1						1.1	0.3	11.9				
	<i>Paracalanus</i> sp.	5							3.4	0.3					
	<i>Oithona</i> sp.			53					0.5		178.5				
	<i>O.</i> sp. (copepodide)				60	1						67			
	<i>Microsetella</i> sp.											1			
	others								0.8						
Cladocera	nauplius		2	55	282	154	268			11.9	68	184.5	48	540	
	<i>Evadne</i> sp.	1							0.7						
	<i>Podon</i> sp.								0.2						
Tintinnids	<i>Penilia</i> sp.								0.2						
	<i>Amphorella</i> sp.				156	275	78				1	145.5	174	162	
	<i>Tintinnus</i> sp.			3	13	6	11				1	12	6	13.5	
Others	others						667					1.5	1.5	466.5	
	<i>Okopjeura</i> sp.	1		1											
	<i>Ophioleutis</i>	1							0.3						

型一次消費者の不足分を繊毛虫などの微小動物プランクトンが補っている可能性を指摘した。

愛知県水産試験場が行っている漁海況予報事業（月1回）の大型動物プランクトンの計数結果（未発表）からは植物プランクトンの主な一次消費者であると考えられる枝角類と橈脚類は、三河湾内では互いに交代して出現するが、両者の交代期に両者ともほとんど見られない時期が存在することがうかがわれる。また、著者は今回の実験と同海域である三河湾奥（調査点A10）で、1993年10月にふるい分画により微小動物プランクトンの個体数調査をおこない、開口100 μm 目合いネットを通過するものの中に橈脚類のコペポダイド幼生およびノープリウス幼生、有鐘繊毛虫が相当量存在していることを見出した（表6）。これによると、開口100 μm 目合いネットを通過した微小動物プランクトンの総数は、1/lあたり表層で、橈脚類のコペポダイド幼生が61個体、ノープリウス幼生が759個体、有鐘繊毛虫類が1209個体、底層では橈脚類のコペポダイド幼生が67個体、ノープリウス幼生が840.5個体、有鐘繊毛虫類が984.5個体も存在していた。これらに、この時計数できなかった無殻の繊毛虫（有鐘繊毛虫の普通5~10倍多いといわれている¹⁰⁾）を加えると微小動物プランクトンは大量に存在していたと思われる。

以上のように、三河湾では大型動物プランクトンの現存量が低下する時期があること、微小動物プランクトンの現存量が多い時期があることがわかる。もし、大型動物プランクトンが少なくかつ微小動物プランクトンの現存量が多いときがあれば、植物プランクトンの生産量の大部分が微小動物プランクトンに摂食されることも、現実に起こり得ると言えよう。

第1回・第2回に希釈法の実験結果が左下がりの曲線を描いたことについては、優占していた植物プランクトンに着目する必要がある。

すなわち、第3回・第4回は珪藻類が比較的多かったが、第1回・第2回は大型の鞭毛藻が優占していた。この鞭毛藻類については光合成色素を持ちながら微細粒子の捕食も行っていること¹²⁾や、一次生産者を摂食していること¹³⁾が最近示されている。今回の実験結果も、優占していた *Gymnodinium sanguineum* や *Ceratium furca* が微細な粒子を摂食していたとすれば理解できる。第1回の調査点A5の0m、5mを例にとると、希釈法の理論上の結果である左上がりのグラフをX軸に対称にしたかたちで、左下がりの曲線になっている。まず、どの希釈率でもみかけの成長速度が負の値になったのは、培養液中の栄養塩が不足していたため、大型鞭毛藻が十分な光合成が行えず、独立栄養的に成長できなかったのではないかと考えられる。次に成長速度の変化は、Xが0.3までX軸にほぼ平行であるが、X=0.1で下がり、X=0.05で急減している。これは、光合成が十分に行えない条件下で、大型鞭毛藻が従属栄養的に餌を摂取して個体数の減少をくいとめているのに、高希釈率のサンプルでは餌である粒子に出会う確率が小さくなり、さらに成長速度が低下するためであると考えられる。同様の結果は第1回の調査点A10の0m、第2回のA5の5m、A7の0m、A10の5mなどでみられたが、これらの調査点はいずれも大型鞭毛藻が優占していたところである。逆に、同じ調査時でも、鞭毛藻が少なくクロロフィルa量が少なかった第1回の調査点A7の各層では、グラフは左上がりとなっている。

これらのことから、第1回および第2回の実験結果の一部は、大型鞭毛藻が微細な懸濁物質を摂食していたということ、すなわち従属栄養的一面を現場の実験でとらえたものと考えられる。

微小動物プランクトンのなかで、富栄養化した海域に多く、しばしばバリス的に発生が見られるのが有鐘・無殻の繊毛虫である。この繊毛虫の上位栄養段階にあるプ

ランクトン食性魚類（ウルメイワシ，カタクチイワシ，マアジおよびイカナゴなど）は，稚仔魚期を除けば橈脚類を中心とした大型の動物プランクトンを利用してゐる。¹⁴⁾ また，繊毛虫の生活サイクルが大型動物プランクトンに比べ短いことを考え合わせると，繊毛虫が恒常的に魚類に利用されている可能性は少ないと考えられる。

つまり，三河湾において大型動物プランクトンが減少し，繊毛虫が優占する時には，生態系内の物質が，植物プランクトン→繊毛虫→栄養塩→植物プランクトンという低次の栄養段階のみで回転し，より高次の栄養段階生物に利用されにくくなっており，繊毛虫は直接あるいは分解者を介して栄養塩類の再生産に寄与している可能性が高いと考えられる。しかし，本実験では微小動物プランクトンと植物プランクトンのみを系から取り出しているので，今後，微小動物プランクトンと大型動物プランクトンの個体数変動や，微小動物プランクトンと高次の消費者との被一捕食関係についてさらに研究を進める必要があろう。

謝 辞

今回の試験にあたって，希釈法実験について種々のコメントを頂いた，中央水産研究所海洋生産部低次生産研究室松川康夫博士に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Stoecker D. K., L. H. Davis and D. M. Anderson (1984) Fine scale spatial correlations between planktonic ciliates and dinoflagellates. *Biol. Bull. mar. biol. Lab.*, Woods Hole, 160, 136-145.
- 2) Paranjape M. A. (1980) Occurrence and significance of resting cysts in a hyaline tintinnid, *Helicostomella subulata* (Ehre.) Jorgensen. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 48, 23-33.
- 3) 谷口 旭 (1990) 微小動物プランクトン研究の歴史と将来の展望 (II). 海洋, 22, 55-59.
- 4) Suzuki T., K. Ishii, K. Imao and Y. Matsukawa (1987) Box model analysis on phytoplankton production and grazing

pressure in a eutrophic estuary. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 43, 261-275.

- 5) 田中庸夫, 佐野方昂, 大沼淳一 (1990) 三河湾におけるナノ植物プランクトンの生産. 海洋, 22, 87-92.
- 6) Landry M. R. and R. P. Hassett (1982) Estimating the grazing impact of marine microzooplankton. *Mar. Biol.*, 67, 283-285.
- 7) 津田 敦 (1990) 希釈法による微小動物プランクトンの摂食量の測定. 海洋, 22, 99-105.
- 8) Gallegos C. L. (1989) Microzooplankton grazing on phytoplankton in the Rhode River, Maryland: nonlinear feeding kinetics. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 57, 23-33.
- 9) 神山孝史 (1990) 有鐘繊毛虫類の個体群動態にかかわる飼料とシスト. 海洋, 22, 73-80.
- 10) 谷口 旭 (1989) 微小動物プランクトンの存在. 「生物海洋学—低次食段階論」(西澤敏編), 厚生社厚生閣, 27-48.
- 11) 井野川仲男, 石田基雄, 黒田伸郎, 蒲原 聡, 岡田 元 (1993) 夏季の三河湾における窒素の収支. 愛知県水産試験場研究報告, 1, 63-72.
- 12) 原 成光 (1990) 従属栄養鞭毛虫類. 海洋, 22, 9-15.
- 13) 小達恒夫 (1990) 噴火湾における微小動物プランクトン群集の摂食量の見積. 海洋, 22, 39-44.
- 14) 日本水産資源保護協会 (1981) 水生生物生態資料. 2-5, 16-20, 130-133, 172-175.

要 約

三河湾において，微小動物プランクトン（サイズ 100 μm 以下）の低次生産における役割を明らかにするために，希釈法による摂食量の見積もりを行った。これは，被・捕食者を含む試水を段階的に希釈することによって両者の遭遇率を変え，それらの条件下で得られる被食者の見かけの成長率の変化から捕食圧を算定する方法である。この結果，植物プランクトンは捕食圧がなかった場合の推定成長量（最大可能生産量）に対し，61～127% が微小動物プランクトンに摂食されていた。このことは，三河湾では繊毛虫を中心とする微小動物プランクトンが優占する場合（しばしばみられる）には植物プランクトンと一次消費者だけからなる単純な生態系が成立している可能性を示唆する。

