

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 494 Sept. 1984

マイクロズムによる海域生態系物質循環試験
について

堀	江	毅
細	川	史
三	好	一
加	藤	道
		康

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. ミクロコスム法適用の意義	3
3. ミクロコスム装置に係わる基礎的検討とその製作	4
3.1 材質と大きさ	4
3.2 ミクロコスム装置の製作	5
4. 室内プランクトン混合培養実験によるプランクトン特性	7
4.1 諸定数の測定	7
4.2 バッチ法による増殖速度の測定	7
4.3 混合培養による増殖速度, 死滅速度, 滲過速度の算定	7
4.4 流入-流出系での増殖速度の測定	10
5. 東京湾におけるミクロコスム試験	10
5.1 設置場所と時期	10
5.2 設置方法	10
5.3 サンプルングと分析項目	11
5.4 試験結果	11
6. ま と め	21
7. あ と が き	22
参 考 文 献	22

Microcosm Test for the Grasp of Nutrient Cycle in Marine Environment

Takeshi HORIE*
Yasushi HOSOKAWA**
Eiichi MIYOSHI***
Michiyasu KATO***

Synopsis

To cope with seawater degradation in public waters, it is fundamentally important to grasp the behavior of nutrients and organic substances involving mutual action of ecosystem and biological activity.

Aiming to develop the 'microcosm test', basic investigation of designing microcosm container and experimental procedures were performed, and application test was executed in the bay of Tokyo. The container is of 1 meter in diameter and 5 meters in length, and covered with transparent vinyl sheet. This container was installed for 5 to 10 days in the bay. The relation between phytoplankton and zooplankton, and the relation with nutrients were qualitatively observed, and several problems to the test and future subjects were pointed out.

* Chief of Purification Hydraulics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division
** Senior Research Engineer, Marine Hydrodynamics Division
*** Member of Purification Hydraulics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

マイクロゾムによる海域生態系物質循環試験について

堀 江 毅*
細 川 恭史**
三 好 英 一***
加 藤 道 康***

要 旨

港湾海域の公共水域の水質悪化に対処するためには、海域における生態系の相互作用や生物活動を含んだ動態の中で栄養塩や有機物の挙動をとらえ、沿岸海域の物質循環機構を明らかにすることが基本的に重要である。

このため、マイクロゾム試験法に着目し、同試験法に対し、装置や測定法についての基礎的研究、ならびに試作したマイクロゾム装置の現地海域への適用による同試験を試行した。容器は径1 m長さ5 mの円筒型(透明塩化ビニルシートを主体とする)を単位とするもので、東京湾内に5~10日間設置して内部の生態系の動態を観察した。この結果、動・植物プランクトン相互の関係、栄養塩との定性的な関係が観測されると同時に、同試験法に対する2、3の問題点、留意事項および今後の研究課題が示された。

1. ま え が き

わが国の沿岸海域、内湾および港湾などの公共水域の水質悪化に対処するには、抜本的な海水浄化のための技術開発とその実用化が急務である。

特に、閉鎖性内湾域では富栄養化による水質の悪化がしばしば問題となっている。この富栄養化は、内部生産によって加速度的に進行するもので、栄養塩やプランクトンの挙動が重要な役割を果たしている。

このため、生態系の相互作用や生物活動を含んだ動態の中で栄養塩や有機物の挙動を把握し、沿岸海域の物質循環機構を解明するとともに、その成果を利用して、流れ、拡散、エアレーションなどの力学的作用による浄化工法の開発を行い、汚染水域の浄化を図る必要がある。

本研究は、その前段として、潮汐運動による流れ、拡散の現象とは時間空間スケールが異なるため、力学現象と統合的に取り扱うには種々の問題点をもつ生態系ダイナミズムの機構解明を目的とした実海域試験法(マイクロゾム試験法)の開発を行うものである。

本文では、水系の一部を囲い込む装置の製作、および、プランクトンの混合培養時の挙動に関する室内実験的検討、中立懸垂型マイクロゾムの試作と海域への適用による栄養塩、植物プランクトン、動物プランクトン間の挙動に関する現場試験結果について述べる。現場試験は東

京湾にて実施し、閉鎖系内での栄養塩とプランクトンの挙動の観察からいくつかの特性と問題点を明らかにした。

2. ミクロゾム法適用の意義

マイクロゾムとは、「何らかの人工的制御環境下で、単一生物種あるいは生物群集を、長時間にわたり維持・発展させるための装置」²⁾などと定義されているが、これは本来幅広い性格をもっている。栄養塩の循環を検討する際に、現実の海域での栄養塩収支の調査を実施する方法と、境界を区切りその中では任意に条件を操作できる系を実験室内に設置し栄養塩の挙動を調査する方法とがある。前者は、現実の現象をそのまま取り扱っているため、複雑すぎたり調査地点や時期の特殊性が入ってきたり濃度や速度が小さいための誤差が入りやすくなり、栄養塩の挙動を正確に把握することが困難となりやすい。後者は、単純化された制御系内での現象を取り扱っているため、挙動がわかりやすいが自然界にそのまま直接には適応できなかったり、単純化の過程で省略した因子の作用についての評価ができないなどの特徴をもっている。両者の方法とも、水質変化の解析には不可欠であり、例えば、現場水域での水質情報を統計的機構的に解析して水質変化を律する因果関係を想定し、この関係性の定量的把握を実験室内の系で行う、などのアプローチが考えられる。しかし、こうした方法では物理、化学、生物学

* 海洋水理部 海水浄化研究室長

** 海洋水理部 主任研究官

*** 海洋水理部 海水浄化研究室

的諸作用が錯綜した富栄養化現象に対して不十分である。因果関係のモデル化に対してはパラメーターの選定の客観性やモデル構築に際して省略された諸作用項の評価に問題点を残すことが多い。また実験室レベルの解析に対しては、自然環境中で水質に対して果たす役割の大きさや、他の過程への影響の波及のしかたが明らかでなく、これがしばしば問題となる。そこで、両者を結びつける中間の方法に着目される。つまり、ある程度自然の複雑さをとり入れた制御系での調査、解析であり、これを称してマイクロコズム法という。無論、マイクロコズム法は現在の問題点を一挙に解決する方法ではなく、解決のための情報を得る一手段にすぎない。自然の複雑さをとり入れる方法として2つの方法があり、1つは自然の一部を囲い込み切りとってくる方法であり、他の1つは、既知の単純化された系に他の既知な系を付け加えてゆく方法である。富栄養化に関して生態系のもつ役割を観察するために、富栄養化水系の一部を囲い込みその中での挙動を調査するのが前者の方法であり、複雑種のプランクトンの共存培養時の挙動を調査するのが後者の方法である。両者を補完的に利用していく必要がある。

3. ミクロコズム装置に係わる基礎的検討と

その製作

3.1 材質と大きさ

水系の一部を囲い込む装置の製作に先立ち、材質、大きさ等の検討を行った。

従来用いられてきた現場設置型マイクロコズムの特性^{2), 3)}を表-1にまとめた。材質については、報文等では不明なものもあるが、主として透明なプラスチックが用いられ、特に加工のしやすさ、価格、強度などの点から、塩化ビニル、ポリエチレン、アクリルパイプが多いようである。材質については、光の透過度、プランクトン増殖

に対する阻害作用の面から検討した。

光の透過度は分光光度計による透過率により比較した。図-1に分光透過率の測定例を示す。透明ポリエチレン布、無可塑フィルムなどの透明材は、一般に可視部短波長側でよく光を吸収し、300~350nmの波長に対し透過率が極小値となる。クロロフィルaの吸光極値を与える430nm、660nmの2波長で比較すると、0.02mm厚のポリエチレン布は、それぞれ純水の20m深および1m深の吸光に相当することがわかる。可視部の照度を測定する市販の照度計で比較すると、5mm厚のアクリルパイプや0.2mm厚のやや厚手のビニル布でも90%の透過率を示し、10l広口ガラスビン容器壁と同程度であった。

したがって、光の透過度からは、透明なプラスチック材であれば相互に大きな差はないようである。

プランクトン増殖に対する阻害作用を各容器でのプランクトン増殖能によって比較した。滅菌した同一海水を各容器に分取後、単離した珪藻 *Skeletonema costatum* を、同一濃度となるように接種し、同一環境条件下に置き増殖を測定した。大型のビニル袋(20l)では、他と同一照度(6000lx)は得られていない。容器内でのプランクトン増殖はコールターカウンターを用いて cell volume (細胞体積)を1日ごとに測定し、更に培養開始時と5日目にクロロフィル濃度を測定している。5日目の現存濃度測定値を表-2に示す。ガラス容器が最も高い値を示し、透明無可塑フィルム袋、アクリルパイプ、ビニル袋の順となっている。アクリルパイプは、新しいパイプほど増殖に対する阻害が大きいようであり、パイプ相互に増殖量のばらつきが見られた。また、表-2には、1日ごとに測定した cell volume より得られる増殖速度 μ の最大値が同時に記述されている。

同様の検討を、自然海水についても行った。3月初旬の久里浜湾(東京湾湾口近辺)海水を採水し、十分混合

表-1 既往現場型マイクロコズム装置の諸元

種類	研究者	大きさ	形状	材質	光の透過率
水系囲い込み	Strickland (1961~62)	120m ³	球状	半透明ポリ塩化ビニル布	80~85%
	Gambleら (1973)	100m ³	円筒状	ナイロン強化ポリエチレン布	95%以上
	Menzelら (1973~)	1800m ³ 以下	円筒状	半透明強化ポリエチレン布	50%
	Goldman (1962)	10m ³ 以下	円筒状	—	—
	Thomas (1961)	—	円筒状	アクリルパイプ	—
水-底泥系囲い込み	Bodungen (1976)	30m ³	円筒状支持塔付	塩ビ被覆ナイロン布	30%
	沖野ら (1968)	10m ³	円筒状	0.1mm ビニル布	—

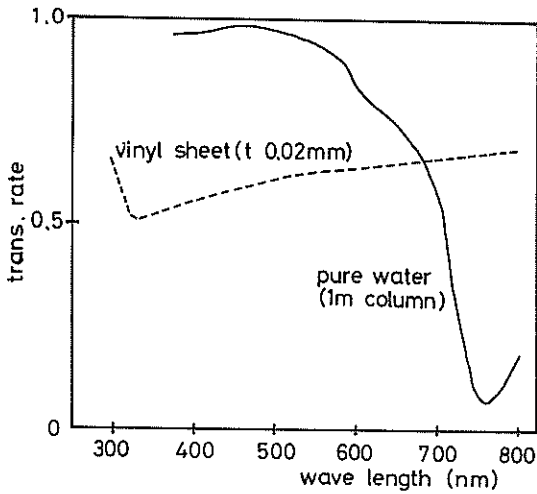


図-1. ビニールシート(0.02mm厚)の分光透過率

して後減菌なしで800 lポリ容器(1.5m径×1.5m深、フタなし)から1 lビニール袋まで各種容器に分取した。その後、陸上の大型水槽中に各容器を懸垂し、天日下で4日間放置した。3日後から各容器とも緑色に着色し、4日目には濃緑色となった。4日目に培養を止め、各容器のSS、PO₄-P、NH₄-Nを測定した。増殖物の粒度はコールターカウンターにて測定した。測定値を表-3に示す。こうした高濃度の培養実験では、増殖したプランクトン自身による光のしゃへい効果が大きく、容器には十分な光量を確保する必要がある。20 l容ビニール袋の一部は、水槽中での懸垂水深が大き過ぎて他の培養袋の影に置かれる結果となったため、低い増殖量を示していると思われる。他の容器についても、容器相互のばらつきは懸垂水深の相違によっていると思われる。表

ー3を見る限りでは、ビニール袋や無可塑フィルム袋に対し特別な阻害効果はみられない。十分な日照、含有種に適した水温、および栄養濃度とそのバランスなど、プランクトン増殖にとって好都合の条件に加えて、現場海水生態系のもつ緩衝効果などの影響により、単一種培養実験とはやや異なった結果になったと思われる。表-3では、容器の大きさによる増殖量の差はそれほど大きくないが、40 l程度までは、容量が大きいほど増殖も大きくなる傾向が見られる。水容積に対する表面積比でその大きさが左右される容器の壁面効果とも思われる。800 l容器では容器水深が他容器より深く、底部への光の透過が十分でないため、容器内海水の平均水質としては増殖量がやや低目になる。

以上の検討から、富栄養化の進化した浅い水系での夏期の実験に対しては、数百 l規模の容器では材質の面からの制約はあまり大きくはなく、主として加工のしやすさや強度などからマイクロゾムの設計を考えても良いようである。マイクロゾムの設計に当っては、この他に加工剤、接着剤の影響や容器の予備洗浄などの点についても検討を加えておく必要があろう。

3.2 ミクロゾム装置の製作

3.1では、マイクロゾム装置の材質、大きさ、構造等についての基本的な検討を行った。

本節では、これらの成果をもとに現地マイクロゾム試験のためのマイクロゾム装置の形状、大きさ、材質などを決定して、これを試作した。

製作したマイクロゾム装置は、図-2に示すように、直径約1 m、長さ5 mの円筒状で、塩化ビニル製フランジ、透明塩化ビニルフィルムシート、および、アクリル板等

表-2 容器材質による増殖の差異

照度	材質	容器	液量	Chl-a		Cell volume		
				0日目 (mg/m ³)	5日目	0日目 (×10 ⁴ μ ³ /ml)	5日目	μmax (1/d)
6000 lx	ガラス	エルレンマイヤー フラスコ	0.5 l	0.9	155.	29.	3430.	-
		ビーカー	1 l	0.9	167.	29.	3410.	-
		広口ビン	5 l	0.9	268.	29.	3640.	1.5
		広口ビン	10 l	0.9	228.	30.	3880.	1.5
		広口ビン	20 l	0.9	218.	27.	3710.	1.4
	無可塑フィルム ビニール0.02mm厚	袋	1 l	0.9	172.	29.	2260.	-
	袋	1 l	0.9	32.	29.	450.	-	
2500 lx	アクリル	20 cm径パイプ	20 l	0.9	134.	29.	1930.	1.4
	アクリル	20 cm径パイプ	20 l	0.9	-	32.	40.	0.4
	ビニール	袋	20 l	0.9	2.	26.	1990.	0.8

表-3 自然海水を用いた容器材質による増殖の差異

照 度	材 質	液 量 (l)	サンプル数	4 日目の平均水質				
				PO ₄ -P _i (μg-at/l)	NH ₄ -N (μg-at/l)	SS (mg/l)	(σ/ \bar{x})	Cell Volume (×10 ⁴ μm ³ /ml)
屋外自然光	ビ ニ ル	1	10	0.2	0.4	9.2	0.11	980
		3	8	0.3	0.7	9.9	0.12	1180
	無加塑フィルム	1	5	0.3	0.5	9.2	0.39	1090
		5	5	0.4	2.3	9.6	0.18	990
		20	2	0.5	6.5	8.3	0.02	710
	ポリエチレン	40	1	0.2	1.3	10.2	-	1440
		800	1	0.3	1.2	9.6	-	1210
屋 外 暗	ポリエチレン	200	1	1.2	9.8	4.6	-	30

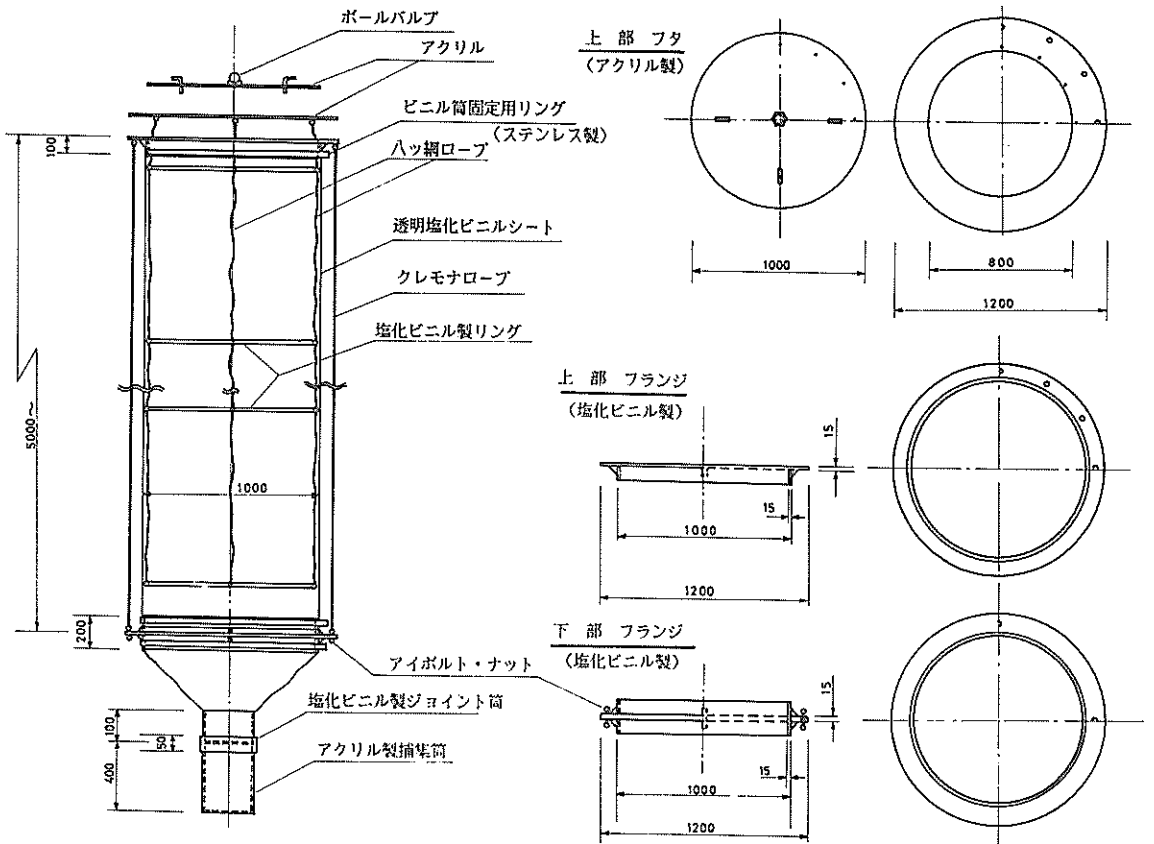


図-2. ミクロゾム装置図

で構成されている。この円筒を止め具によって連結することにより、全長を長くすることが出来る構造となっている。底部は、ロート状で最下部には、プランクトン群の死骸や排泄物等の沈降物捕集用カップ（アクリルパイプ、15 cmφ製）が付いている。一方、最上部は、採水口を設けたアクリル円形板のフタによって、外部と遮蔽されている。この装置をアンカーと、ブイによって水中に垂下し、自然海域の一部を囲い込むことができる構造となっている（写真-1参照）。

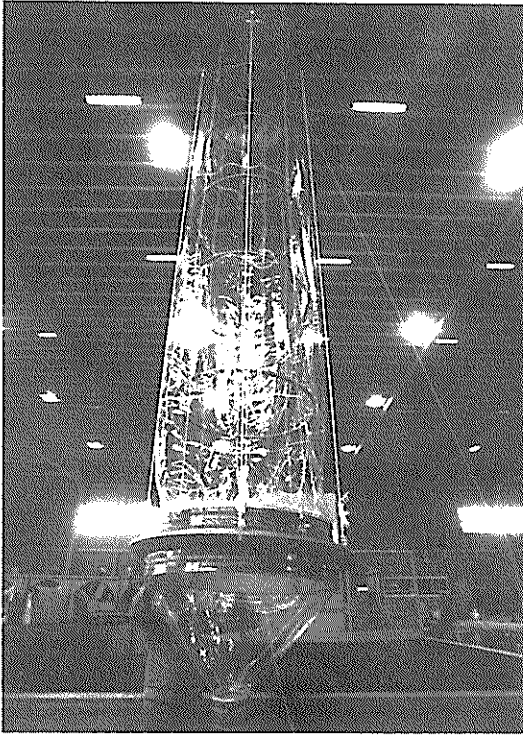


写真-1 ミクロゾム装置陸上組立図

4. 室内プランクトン混合培養実験によるプランクトン特性

4.1 諸定数の測定

プランクトンの基礎的生理、生態の観察には、単離したプランクトンの培養ビン内での無菌的な培養がよく用いられてきている。ビタミン類などの有機栄養塩要求性などはこの方法で把握されてきている。一方、現実の海域では、プランクトンを分解するバクテリアは、溶解栄養塩摂取の競争相手となる他のプランクトン、捕食者としての動物プランクトンや魚、などと共存しており、相互の関係の中で自身の現存量を変化させている。海域の植物プランクトンを用いた潜在生産力（AGP）は、無

菌ではないが、単一種の培養実験により測定されている⁴⁾。この経験をもまえ、プランクトンの増殖動力学に最も関係深い増殖速度、死滅分解速度、捕食者の捕食率の測定を試みた。ここでの培養は、いずれも滅菌なしで行った。対象種として自栄養の緑藻 *Dunaliella tertiolecta* を選び、従来のバッチ法、捕食者との混合培養、流入-流出系での培養などにより速度の比較を試みた。増殖速度（ μ ）、死滅分解速度（ D ）、汚過率（ α ）は、それぞれの増殖、死滅分解、捕食による植物プランクトン（ P ）の増減に対して次式で定義される。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \mu P \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -DP \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -\alpha PC \quad (3)$$

ここで C は捕食者の個体数、 t は時間である。

D. tertiolecta の細胞の諸元の測定値を表-4に示す。

4.2 バッチ法による増殖速度の測定

温度・照度・栄養条件を変え 10 l 広口ビンにてバッチ培養を行った。プランクトンの濃度を、cell volume、クロロフィル a などで毎日モニターし、対数増殖期の μ を算定した。 μ の温度・照度・栄養条件への依存性につき、測定結果を示すと図-3 のようになる。かなり大容量の培養であったことも原因し、結果はばらついている。しかし、用いた種では、20℃、8000 lx 程度で μ が最大となることがわかる。栄養条件への依存性は、培養時の栄養濃度が高すぎ、はっきりしない。

μ の温度・照度に対する依存性を、よく用いられているように次式で表現する。

$$\mu(T, I) = \mu_{\max} \cdot T_n \cdot \frac{I}{K_I + I} \cdot \theta^{T-T_0} \quad (4)$$

ここで、 T は温度（℃）、 I は照度（lx）、 μ_{\max} 、 T_0 は T_0 ℃での最大増殖速度（1/d）、 K_I は照度に関する半飽和値（lx）、 θ は温度効果を示す温度係数（無次元）である。図-2 のデータからは、 $K_I = 2500 \sim 3000$ lx、 $\theta = 1.1$ などと算定され、与えられた温度、照度条件での μ の予測ができる。

4.3 混合培養による増殖速度、死滅速度、汚過速度の算定

被捕食者の組み合わせとして① *D. tertiolecta* とシオミ

表-4 D. tertiolecta の細胞の諸元

生長の状態	平均径 (μm)	細胞体積 ($\mu\text{m}^3/\text{cell}$)	1 細胞内含有量					
			重量 (mg/cell)	C ($\mu\text{g}/\text{cell}$)	N ($\mu\text{g}/\text{cell}$)	P ($\mu\text{g}/\text{cell}$)	Chl-a ($\mu\text{g}/\text{cell}$)	COD (mg/cell)
対数増殖期	7	150	—	3×10^{-5}	6×10^{-6}	—	2×10^{-6}	—
定常期 6000lx	9	360	—	2×10^{-5}	2×10^{-6}	—	1×10^{-6}	—
3000lx			6×10^{-7}	12×10^{-5}	20×10^{-6}	—	4×10^{-6}	—
stock 種	6	130	—	8×10^{-5}	10×10^{-6}	—	0.8×10^{-6}	—
定常期 ^{A)} (照度不明)	7~9	—	3×10^{-7}	—	3×10^{-6}	—	1×10^{-6}	5×10^{-8}
文献値	—	—	3×10^{-7}	—	10×10^{-6}	3×10^{-7}	2×10^{-6}	—

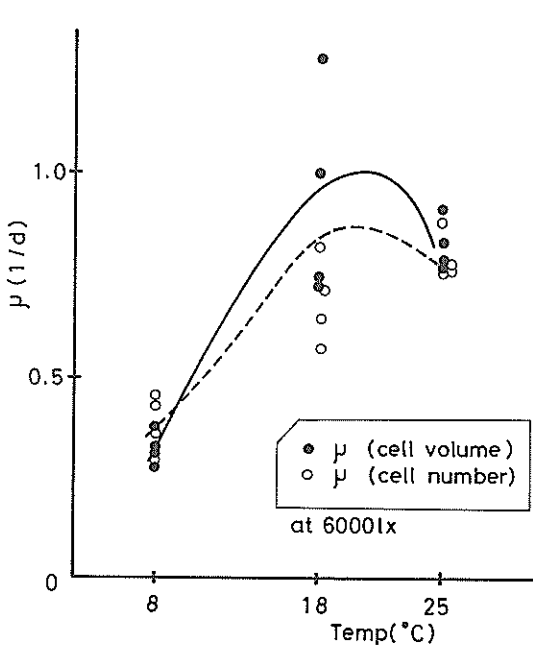


図-3. (a) 緑藻 (*D. tertiolecta*) の増殖速度 (μ) の温度依存性

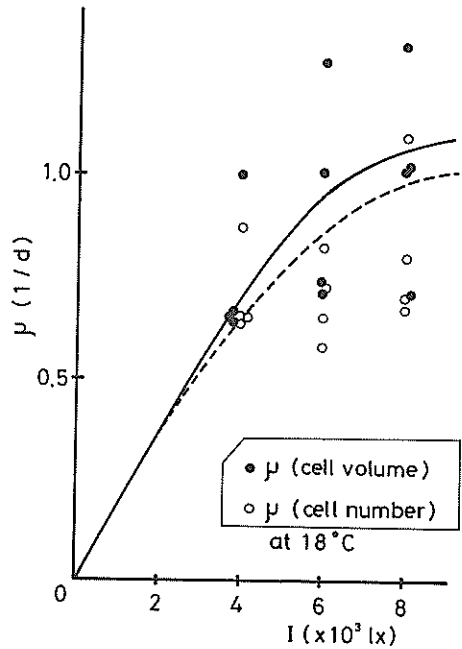


図-3. (b) 緑藻 (*D. tertiolecta*) の増殖速度 (μ) の照度依存性

ズツボワムシ (*Brachionus plicatilis*), ② *D. tertiolecta* とコベポーダ (*Oithona brevicornis* など) を選んだ。ワムシは自然水中での存在濃度が低く、捕食者としてはコベポーダが卓越している。

① *D. tertiolecta* - ワムシ混合系培養実験

3種の異なる濃度に調整した *D. tertiolecta* 懸垂液にワムシを $400 \text{ ind}'\text{s}/\text{l}$ 投入し、明状態 (300 lx , 24 h 明) に置いた。一方、ワムシを投入せず *D. tertiolecta* のみの培養液も明・暗各状態に置き同時に培養した。温度は 25°C , 18°C の2ケースである。4日間にわたり *D. tertiolecta* の細胞数、ワムシの個体数を検鏡により測定している。

結果の一例を図-4に示す。図-4の中の4曲線のうち、Aの曲線は *D. tertiolecta* のみを明状態に置いたケース、Bの曲線は *D. tertiolecta* のみを暗状態に置いたケースの *D. tertiolecta* の各細胞数変化を示している。また、C、Dの曲線は、ワムシと共存させた混合系培養での *D. tertiolecta* の細胞数とワムシ個体数のそれぞれの変化を示している。植物プランクトン濃度の $1/10^5$ 程度の個体数濃度のワムシを共存させると、*D. tertiolecta* の増殖はおさえられる。捕食作用により、捕食者 (ワムシ) の増加と被捕食者 (*D. tertiolecta*) の減少が起きていることが明示されており、生態系内での被捕食者-捕食者の相互の影響を把握するために混合系培養

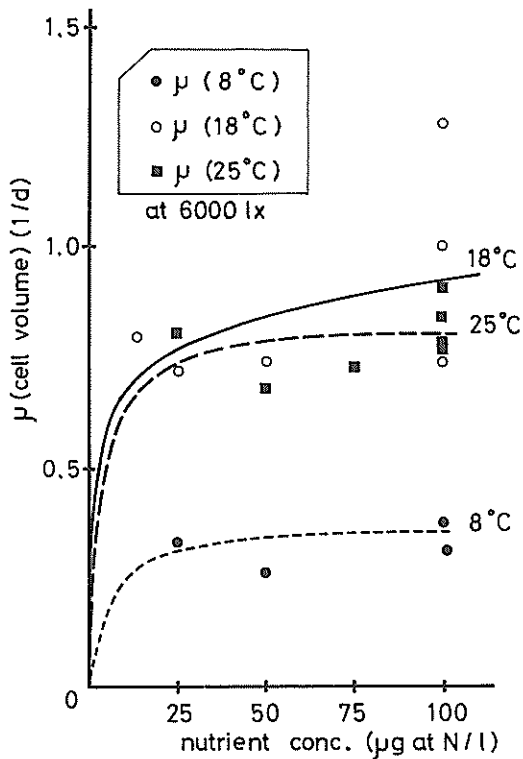


図-3. (c) 緑藻 (*D. tertiolecta*) の増殖速度 (μ) の栄養塩濃度依存性

による観察が有効であることがわかる。

図-4において、Aの曲線は式(1)、Bの曲線は式(2)に相当する。明状態の混合培養では、被捕食者Pの変化は次のように書ける。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \mu P - \alpha PC \quad (5)$$

表-5 *D. tertiolecta*-ワムシ混合培養による μ , D, α

温度	ケース	当初濃度	1日目~2日目			1日目 C (inds/l)	α (1/ind/d)
			μ (1/d)	D (1/d)	$\mu - \alpha C$ (1/d)		
25°C	A-1	4×10^4 cell/ml	1.62				
	A-2	1×10^4	1.59				
	B	1×10^4		0.61			
	C-1	2×10^3			0.71		4.5×10^{-1}
	C-2	1×10^4			0.14		7.3×10^{-1}
	C-3	5×10^4			0.49		2.8×10^{-1}
	D-1	3×10^2 ind/l				2×10^2	
	D-2	4×10^2				2×10^2	
	D-3	4×10^2				4×10^2	
18°C	A	1×10^4 cell/ml	1.42				
	B	9×10^3		0.38			
	C	1×10^4			0.88		
	D	1×10^4 ind/l				2×10^2	2.7×10^{-1}

A: *D. tertiolecta*のみ明状態, B: *D. tertiolecta*のみ暗状態, C: 混合系での明状態培養

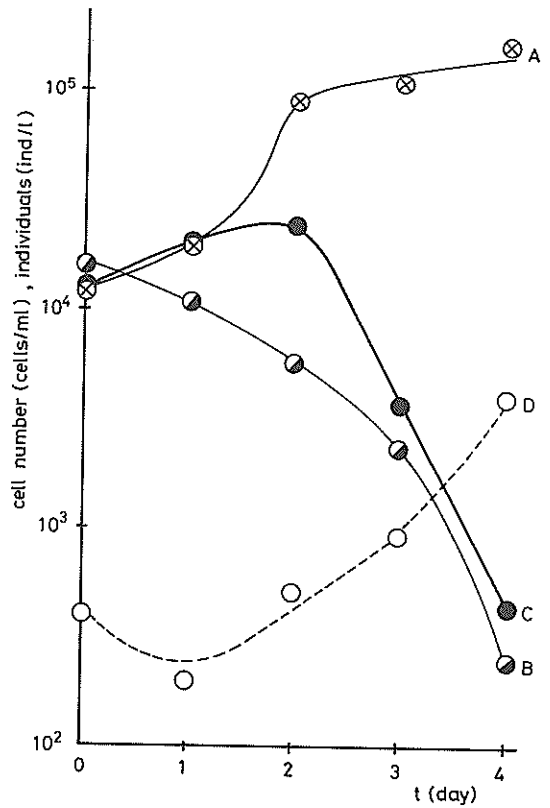


図-4. *D. tertiolecta*-ワムシ混合培養時の細胞数経時変化

式(1)と式(5)から、 α を算定することができる。1日目と2日目の cell 濃度の変化から μ , α , Dなどを求めると表-5のようになる。 α として $10 \sim 3$ ml/ind/d程度の値となり、*D. tertiolecta*の濃度が高いほど、水温が低いほど小さな値を示すようである。

② *D. tertiolecta*-コペポダ混合系培養実験

コペポダは、東京湾内にてプランクトンネット採取したものを、検鏡により分別したものである。コペポダを多量に収集することが季節的に困難であったため、実験ケースはごく限られている。*D. tertiolecta*のみ *D. tertiolecta*とコペポダとの混合系のいずれも25°Cの暗所に置いた。コペポダは採取海域の水温より高い水温への投入であったため、培養2日目以降ほとんど活性を失っている。0~1日目で α を求めると表-6のようになる。ここで、培養ケースの1では、*Oithoa brevicarinis* 単種を捕食者として用いているが、ケース2では *Acartia clausi*, *Oncaea sp.*などの混合種を捕食者として用いており、 α は見かけ上の値である。ワムシの実験例とよく似た値が得られている。

表-6 *D. tertiolecta* - コペポ-ダ混合培養による α

ケース No	捕食者	<i>D. tertiolecta</i> 濃度		D+ α (1/d)	0日目 C (ind's/t)	α (1/ind's/d)
		0日目 (cells/ml)	1日目 (cells/ml)			
1	<i>Oithona</i>	1.4×10^3	7.8×10^3	0.58	1×10^2	5.2×10^{-3}
2	混合種	13	5.8	0.81	8.5×10^2	1.2×10^{-3}
3	なし	6	5.7	0.06	-	-

4.4 流入-流出系での増殖速度の測定

定濁度培養装置での連続培養では、定常状態で流入水による希釈率と培養器内の μ とが一致する。連続培養では、絶えず栄養が流入水により供給され、また分裂したcellの一部は絶えず流出水にのり流出するため、プランクトンの生理状態や年齢分布が自然の状態に近い。また、バッチ法による増殖試験では、プランクトン濃度が高くなると自身による光のしゃへい効果や密度効果が表れ、分泌物による生長阻害効果などの可能性もあり、 μ を測定するのに不適な面もある。

ここでは、(1)で扱ったプランクトン種に対し、同じ濃度・照度・栄養条件で流入-流出系培養を実施し、得られた μ を比較してみた。流入-流出系培養では、(1)で得られた μ に近い希釈率を有する流入を与え、培養容器内でのcell濃度の変化を追っていった。定濁度培養ではなく、定希釈培養であり、濃度測定は1日ごとで、サンプリング頻度の面ではバッチ法と同じ粗さがある。18℃、6000lxでの μ の測定値を表-7に示す。ここでは次式で μ を算定した。

$$\mu = \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{f}{V} \quad (6)$$

ここで f/V は希釈率(I/d)を表す。図-6に示すバッチ法での μ に比してやや高い値を得た。

5. 東京湾におけるマイクロコズム試験

5.1 設置場所と時期

以上、4.で述べた室内試験によるプランクトン特性に対する予備知識をもとに、3.2で述べたマイクロコズム装

置を用いて現場試験を実施した。

マイクロコズム設置地点は、図-5、図-6に示すように、第一回目、第二回目の東京湾湾奥の品川沖地点(東京灯標北西約30m海域)と、第三回目の東京湾湾口西部に位置する久里浜湾湾口地点である。品川沖は北東に荒川河口、南西に多摩川河口がある。底質はシルト質ヘドロで、表面が浮泥で覆われている。一方、久里浜湾湾口は、大きな河川は無く、湾奥部に平作川(二級河川)がある。底質はシルト質砂で、近辺には岩場が点在しており、ヘドロ状の堆積物(浮泥)は確認されなかった。

第一回設置は、昭和57年10月7日から同13日までの7日間、第二回設置は同12月7日から同15日までの9日間である。また、第三回設置は58年8月1日から同10日までの10日間、中間日(同8月5日)に装置内の海水交換と、栄養塩の添加を行っている。

5.2 設置方法

図-2に示した中型マイクロコズムを陸上にて組立て、蛇腹状に折りたたむ。次に、本体下部を海底に設置されたアンカーに固定し、徐々に本体を立ち上げ、ブイと四方向からのロープによって円筒形を保つよう水中に固定する。最後に、所定水深長の採水用ホースを取り付けた上ブタと上部フランジとを接合固定し、本体下部には沈降物捕集用カップを接合し固定する。

以上の手順によって、現場海水を円筒状に仕切ることが出来る。

第一回目は図-7(a)に示すように、筒長5mのものを2本たて継ぎにして全長10mとし、海面下4~5mの所から吊下げた状態で設置した。

第二回目は図-7(b)に示すように、筒長5mのものを海面下3~4mおよび8~9mの所から2本設置した。

一方、第三回目は現場水深が-7m前後と浅いため、図-7(c)に示すように、筒長5mのものを海面下0.5~1.0mの所から吊り下げた状態で設置した。

また、中間日での海水交換は、図-7(c)に示したように、上ブタと捕集用カップを外し、水中で蛇腹状に折りたたみ、しばらく放置した後に再度設置時と同様の手順

表-7 流入-流出系培養での μ

温度	照度	希釈率	希釈水水質		μ				
			N ($\mu\text{g-at/l}$)	P ($\mu\text{g-at/l}$)	cell number (1/d)	cell volume (1/d)	Chl-a (1/d)	PON (1/d)	POC (1/d)
18℃	6000lx	0.74	50	10	1.03	1.21	1.33	1.26	1.17
		0.74	36	2	1.05	1.17	0.95	1.30	1.44

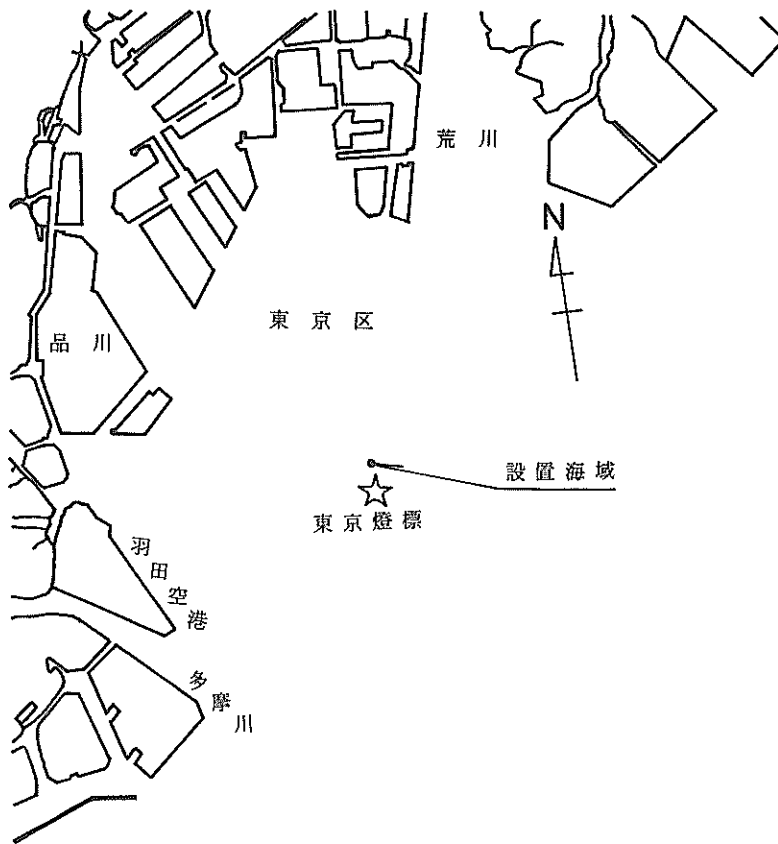


図 - 5. 第一回・二回設置海域図

によって立ち上げるにより行った。栄養塩の添加は、水溶液を船上より水中ポンプでボールバルブから注入した。

5.3 サンプルングと分析項目

品川沖での第一回、二回目の試料サンプルングは、大型注射器（アクリル製 6 l 容量）による吸引採水で、ダイバーによって行った。

第一回目設置期間では、0, 1, 2, 4, 6 日目の計 5 回で水深 - 4 m, - 8 m, - 11 m の 3 層から、また、第二回目設置期間は、0, 1, 2, 3, 6, 8 日目の計 6 回、上層中型マイクロゾムで水深 - 6 m, - 8 m, 下層中型マイクロゾムで水深 - 11 m, - 13 m の 4 層から、それぞれ採水を行った。

一方、久里浜湾湾口での第三回目は、装置に施された各層ごとの耐圧採水用ホースから、船上で真空ポンプを使用して吸引サンプルングを行った。

設置期間では、0, 1, 2, 3, 4 日目と、海水交換後の 0, 1, 3, 4, 5 日目の計 10 回で水深 - 0.5 m,

- 3.0 m, - 5.5 m の 3 層から、それぞれ採水を行った。

分析項目は、溶解性無機窒素 (DIN), 溶解性無機リン (DIP), 粒子状有機窒素 (PON), 粒子状有機リン (POP), 粒子状有機炭素 (POC), クロロフィル a, けん濁物 (SS), 検鏡によるプランクトン種の同定と個体数 (動物プランクトンについては、第一回目, 二回目は、0 日目と終了日) 等とした。

5.4 試験結果

(1) 設置時の水質

a. 第一回設置時水質

同装置設置点付近の塩分 (Sal.), 水温 (Temp), けん濁物量 (SS) の鉛直分布を図 - 8 (a) に示す。塩分濃度は、表層 2.4.6 ‰, 底層 3.2.0 ‰ の値を示し、その差は 7.4 ‰ で、荒川からの河川水の流入が影響している。また、塩分濃度の低い層 (表層から水深 - 4 ~ - 5 m) では、けん濁物 (透明度 1 ~ 2 m) が層をなしている。一方、水温は表層から底層まで 2.1 °C 前後で、温度差は小さい。現場海水の SS は、- 4 m で 5.4 mg/l, - 8

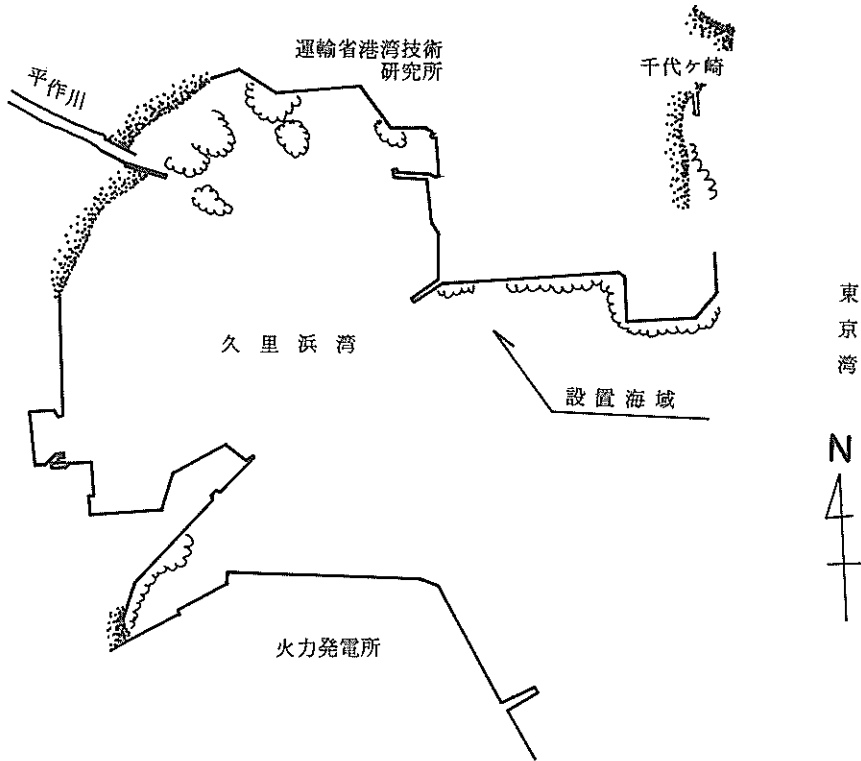


図-6. 第三回設置海域図

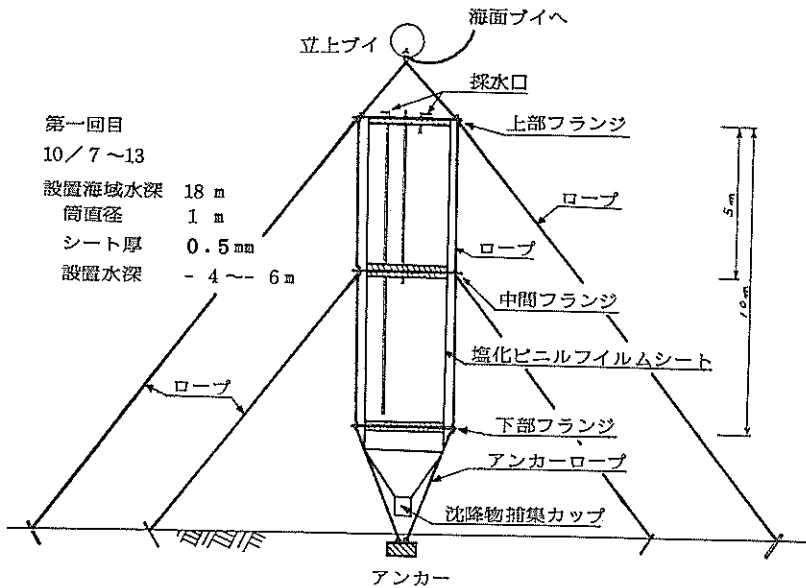


図-7 (a) 第一回マイクロゾム装置設置図

第二回目

12/7~15

設置海域水深 18 m

設置水深 (上層) -4~-6 m

(下層) -10~-12 m

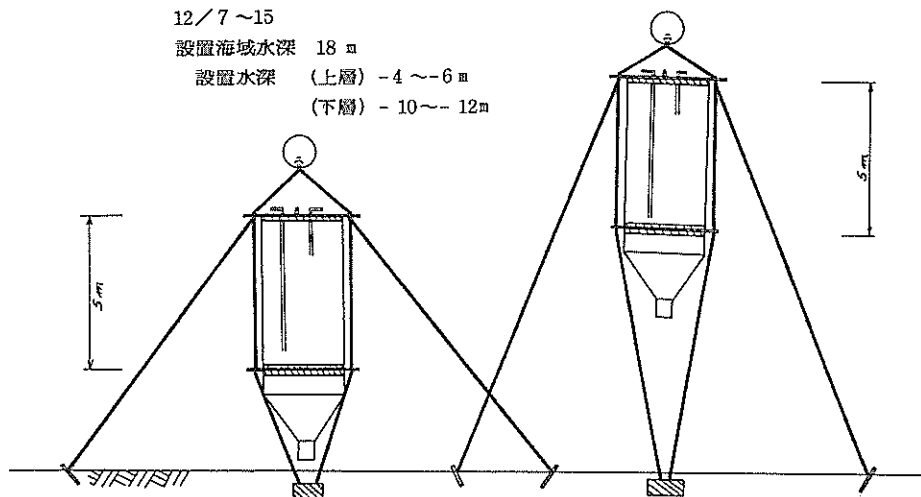


図-7 (b) 第二回マイクロゾム装置設置図

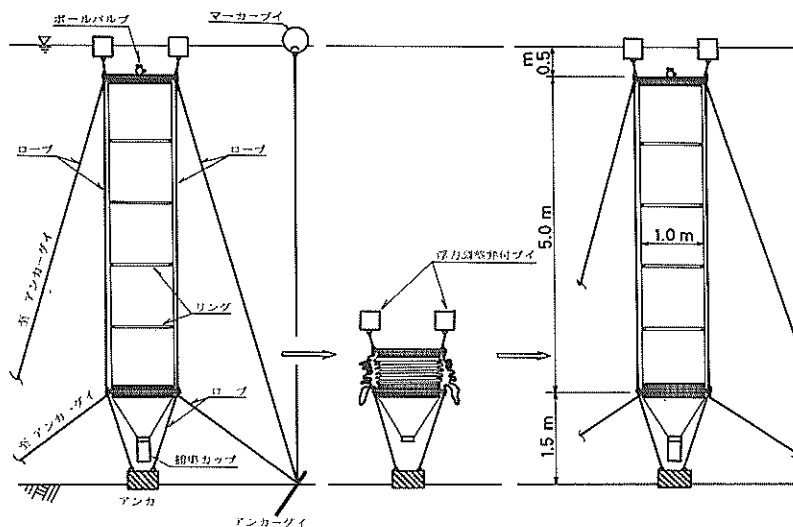


図-7 (c) 第三回マイクロゾム装置設置図

mで3.0 mg/l, -11 mで1.7 mg/lと水深が深くなるにつれて小さくなり, ダイバーによる目視観察(表層から-4~-5 mまで, けん濁水が層をなしている。)と一致している。

一方, 中型マイクロゾム内のSSは, -4 mで4.5 mg/l, -8 mで5.0 mg/l, -11 mで3.6 mg/lと水深

方向の変化は小さく, 現場海水とは異っている。これは, 設置時に水中ポンプにて, 表層水を中型マイクロゾム内に注入した影響と思われる。また, 周囲水とマイクロゾム内のクロロフィル a, DIN, についても同様の傾向がみられた。特にDIPは, 現場海水, 中型マイクロゾム内とも水深方向の濃度差は小さく, ほぼ一様であった。

第一回目
57. 10. 7

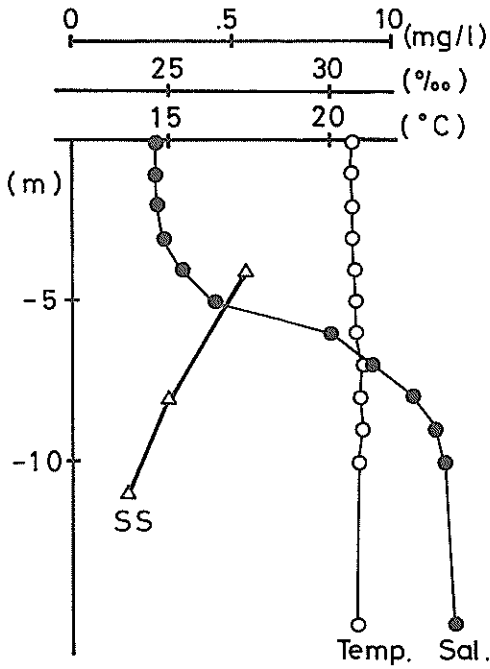


図-8(a) 設置時の水質鉛直分布図

第二回目
57. 12. 7

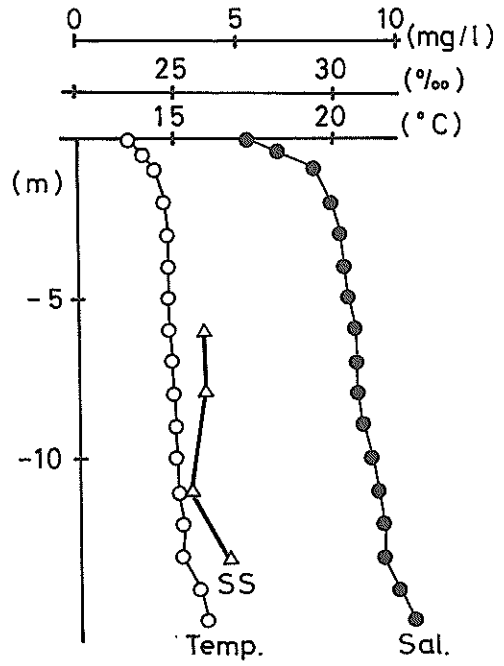
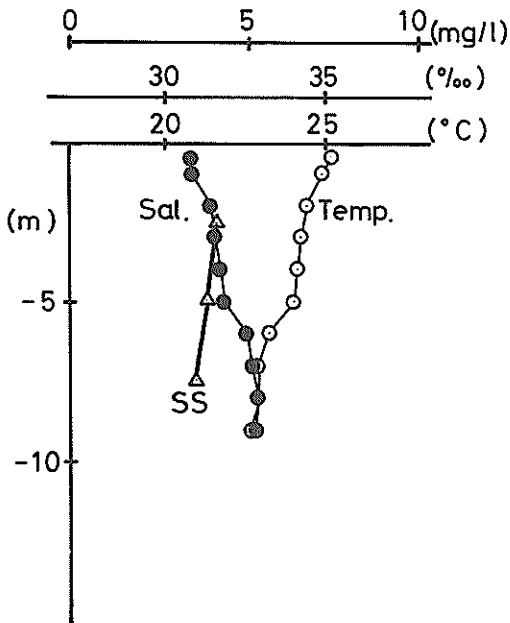


図-8(b) 設置時の水質鉛直分布図

第三回目 (前期)
58. 8. 1



第三回目 (後期)
58. 8. 5

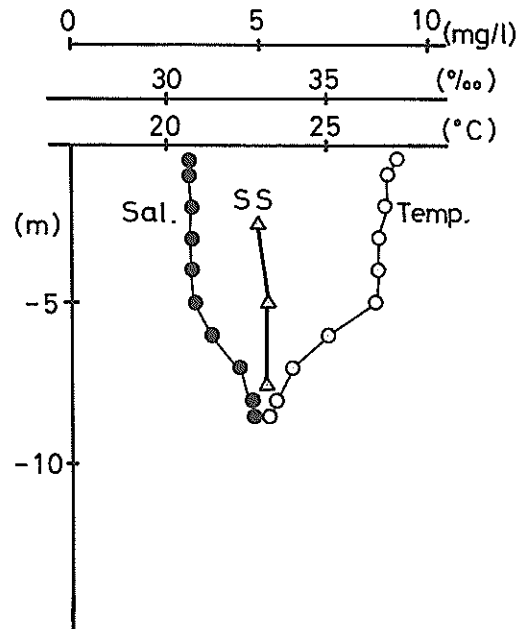


図-8(c) 設置時の水質鉛直分布図

これらのことから、第一回設置時は、現場の周囲海水と中型マイクロゾム内とでは、水質的にかなり異なっていることが認められる。

b. 第二回設置時水質

第二回設置時の水質の鉛直分布図を図-8(b)に示す。塩分濃度は、表層27.3‰、底層32.4‰であり、その差は5‰前後となっている。水温は、表層13.6℃、底層15.9℃であり、その差2℃強である。第一回設置時に較べ表層で約7℃、底層で約5℃、いずれも低く、全体的に低温となっている。また、中型マイクロゾム内サンプリング水深(-6m, -8m, -11m, -13mの4層)で、現場海水と中型マイクロゾム内海水とのSSを比較すると、上層の3層で3.3~3.9mg/l、-13m層で4.2~4.6mg/lであり、鉛直にほぼ様な分布をなしている。DIN, DIPについても、現場海水と中型マイクロゾム内海水とでは、上層の-6m層が他の層よりやや高いが、ほぼ様な鉛直分布をなしている。

これらのことから、第二回設置時は、現場海水をほぼ円筒状に仕切ることが出来ているものと考えられる。

c. 第三回設置時水質

第三回設置時の水質の鉛直分布を図-8(c)に示す。塩分濃度は表層30.8‰、底層32.8‰であり、その差は2‰となっている。水温は、表層25.2℃、底層22.7℃であり、その差は2.5℃である。

また、水深が深くなるにつれて、SS値は小さくなるが、その差は小さく、鉛直的にほぼ様な分布となっている。一方、中型マイクロゾム内海水も同様の値を示していることから、現場海水を円筒状に仕切ることが出来ているものと考えられる。

(2) ミクロゾム内の動態

本実験での、第一回、二回目においては、栄養塩・動物プランクトンの人工的操作は行わず、設置時の囲い込み塊中での各条件下で行ったが、第三回目では、中間日で海水交換を行い、その後、栄養塩(Pとしてリン酸第一カリウム、Nとして硝酸カリウムの各水溶液)の添加をしている。

第一回、二回目のマイクロゾム内の各経日変化を図-9, 10に示す。また、第三回目の前期と、海水交換と栄養塩を添加した後期の、マイクロゾム内の各経日変化も図-11, 12に示す。DIN, DIPの植物プランクトンに対する栄養塩の関係は、マイクロゾム装置による囲い込みにより、低下していく傾向にあり、また、PON, POP濃度は、反対に高くなっている。これはDINおよびDIPが、植物プランクトン内に取り込まれて上層部で増殖していることを示す。設置後3~4日で

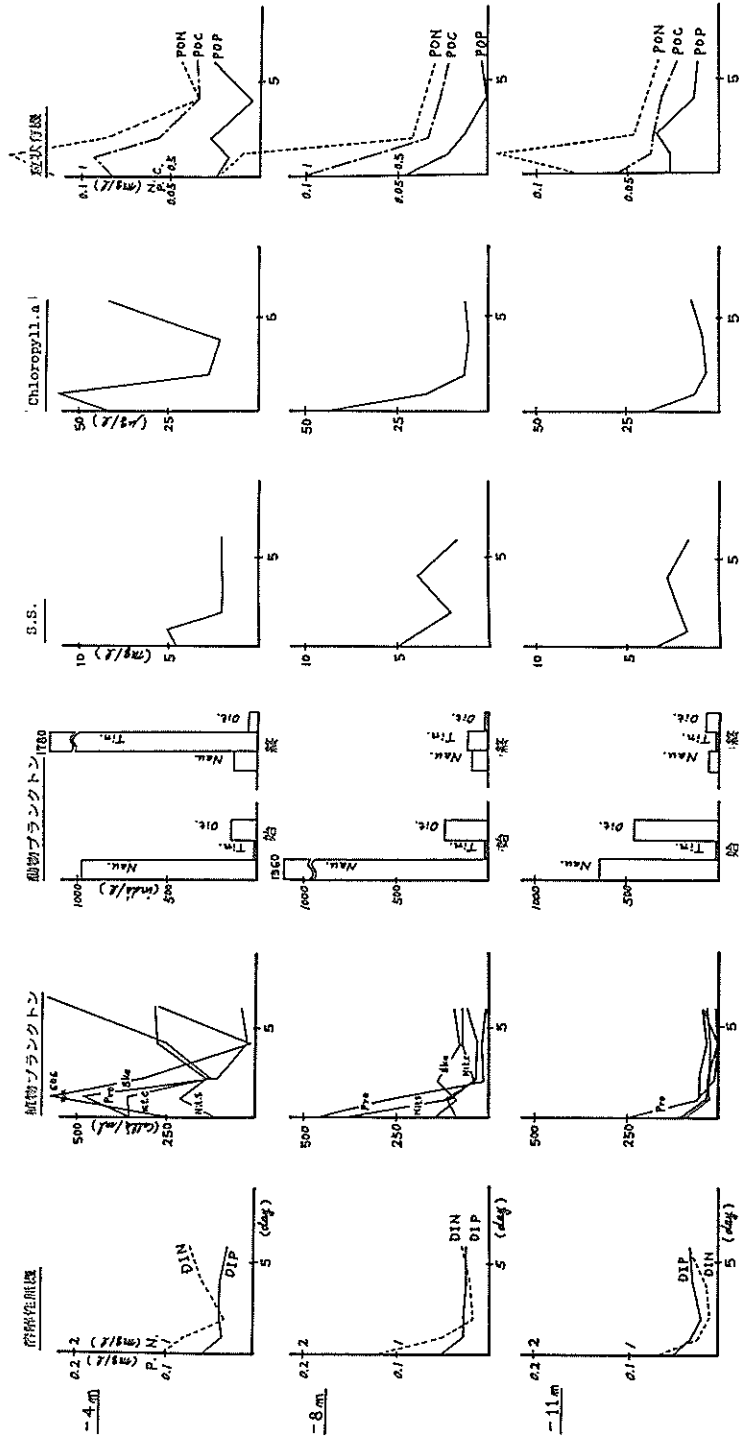
植物プランクトン個体数が減少している。この植物プランクトン個体数が減少したのは、自然海での潮流、風波などによる攪拌作用がマイクロゾム装置による囲い込みによって抑えられ、植物プランクトンが沈降したことや、特に、第一回、二回目では、設置海域、設置水深での植物プランクトンによる光合成活動に対する光量不足と、マイクロゾム装置に使用した塩化ビニルフィルムシートの白濁により、光の透過率が悪くなり、植物プランクトンの活性(光合成活動など)が著しく低下したこと、などの原因が考えられる。植物プランクトンの減少と同時に、DIN, DIP濃度の低下傾向はなくなり、PON, POP濃度も低下している。その後、DIN, DIP濃度は、動物プランクトンの各種類や数量、新生堆積物の量と性状などの内的条件と、水温、照度等の外的条件によって左右され、図-9に示すように、第一回目実験でのDIN濃度は高くなる傾向にある。この傾向は、上層部で大きく、次いで下層部、中層部の順となっている。また、DIPよりDINに著しく表れている。DIN, DIP濃度の再上昇の原因は種々考えられるが、本実験でのマイクロゾム内では、①植物プランクトンや、けん濁物が沈降し、下部沈降物捕集用カップに新生堆積物となり、バクテリア等によって分解され溶出した。②動物プランクトン等の動物による排泄作用があった。③マイクロゾム装置自体になんらかの原因による破損等が生じ、外界の海水が進入した。などが考えられる。

本実験の終了時には、マイクロゾム装置の破損等の確認を行っている。その際、破損等は見当らず、外界からの海水の進入は考えられず、①②の原因が組み合わさったものと考えられる。

沈降した植物プランクトン等のけん濁物がバクテリアによって分解される量は、バクテリアの活性に係わってくる。動物プランクトン等の動物の排泄活動については、十分に研究されていないが、その摂取食餌の10~50%を、リン酸あるいはアンモニアの形で排出するようである。¹⁰⁾

二回目実験の上下層マイクロゾム装置内でも、囲い込みによるDIN, DIP濃度の低下と、その後の植物プランクトン数の減少による一定濃度期までは一回目と同じ傾向を示しているが、DIN濃度の再上昇や、動物プランクトンの増加は認められなかった。また、マイクロゾム装置設置時の動物プランクトン数も、一回目よりは、かなり少なかった。

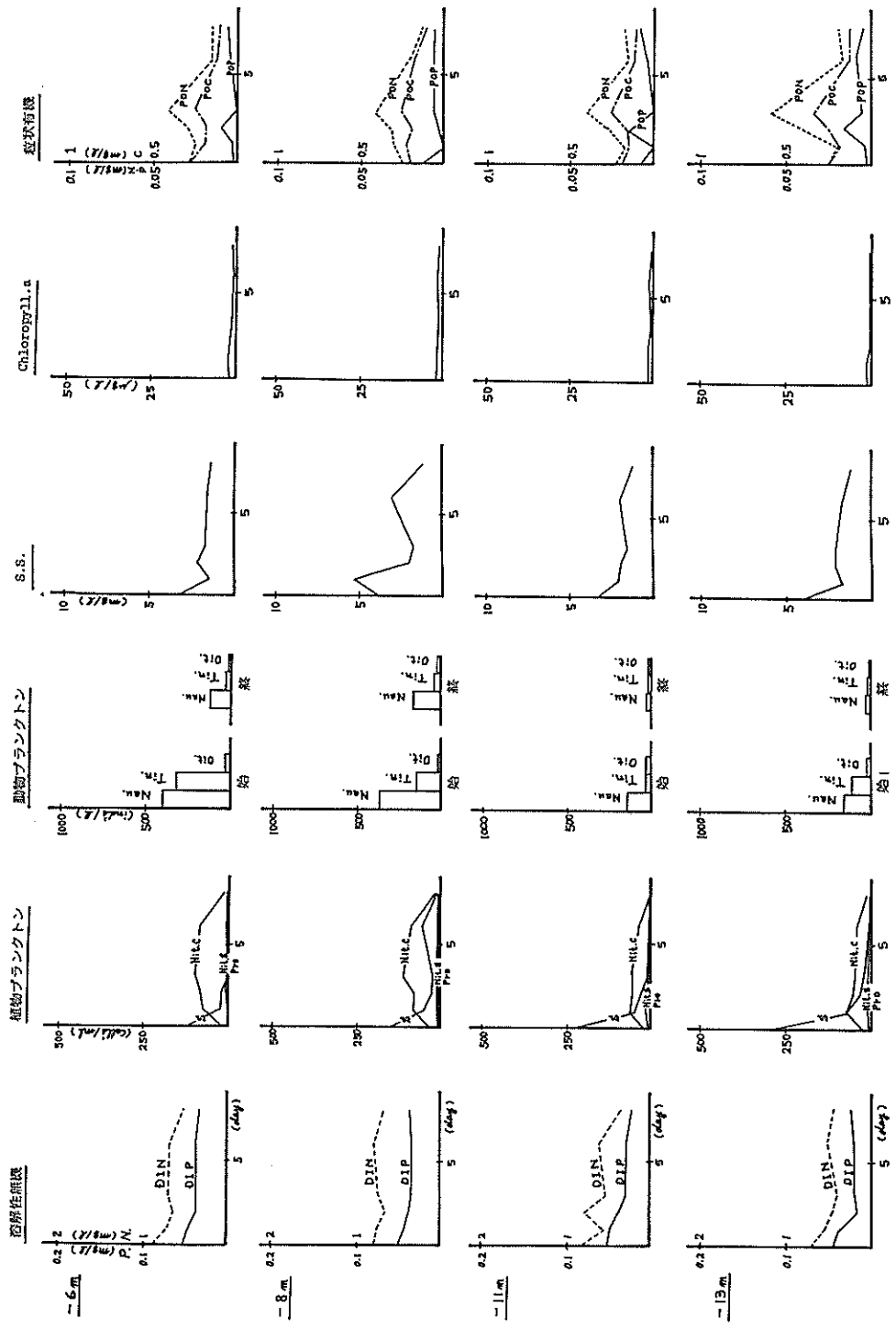
第三回目実験の前期(8月1日~5日)では、第一回二回目と比較して、植物プランクトンに対する栄養塩としてのDIN, DIP濃度はかなり低い。後期(8月5



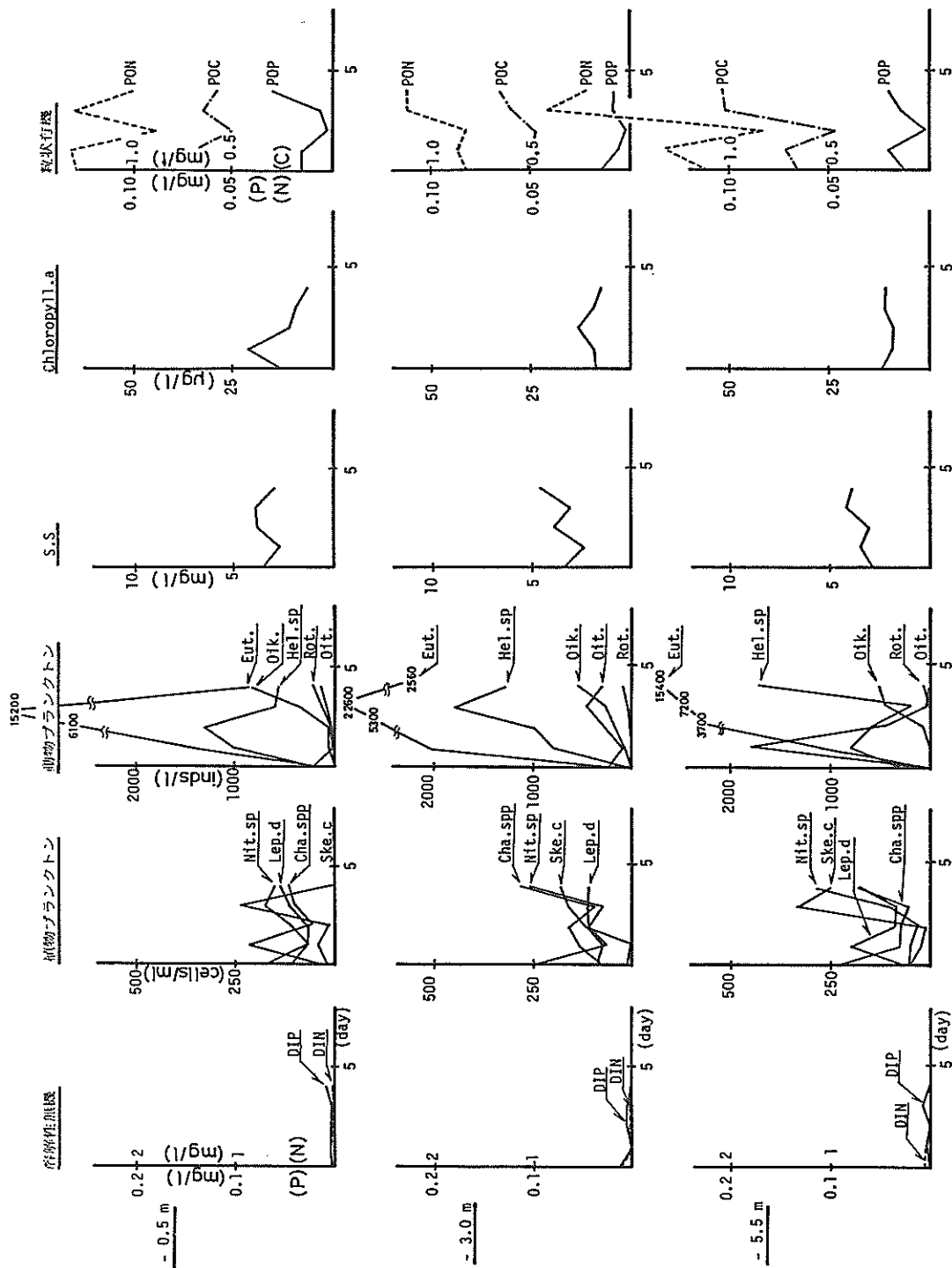
* *Dichona brevicornis*
Rauplius larva
Tintinnopsis sp.

* *Skuletonema costatum*
Prorocentrum minimum
Hitzschia closterium
Nitzschia sp.

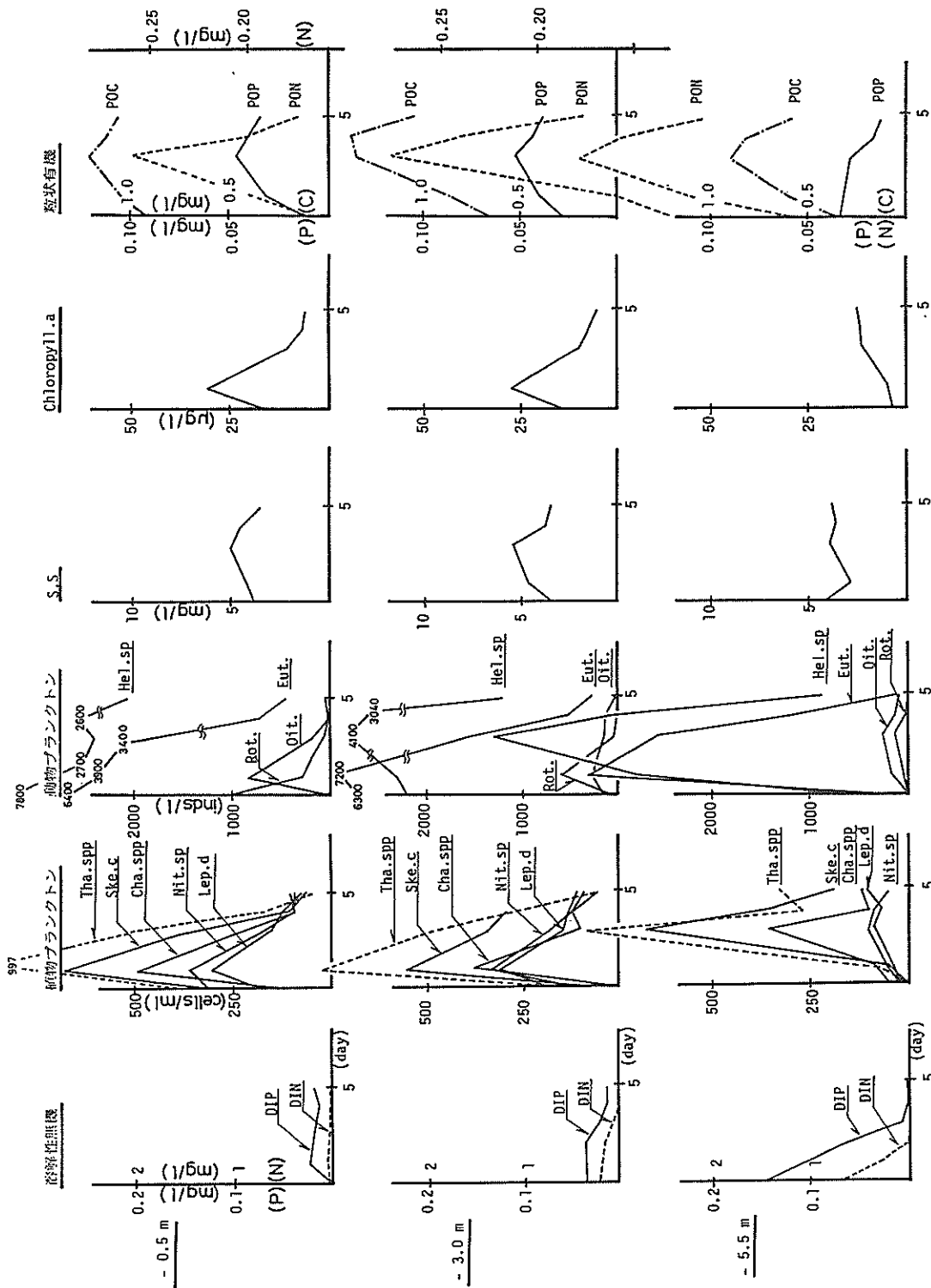
図一〇. 第一回マイクロコスム内径日変化図



図一10. 第二回マイクロコスム内径日変化図



図一 1.1. 第三回(前期)ミクロコズム内径日変化図



図一12. 第三回(後期)マイクロコスム内径日変化図

日～10日)は、栄養塩の添加に際しての攪拌不足による濃度分布が出来ている。一方植物プランクトン総数と動物プランクトン総数の経日変化を図に示すと、図-13のようになる。

動物・植物プランクトンの各経日変化は、第三回目の前

期と後期でかなり異っている。

前期の各層での植物プランクトン数は、囲い込み後1～2日目で減少し、その後、やや増殖する傾向にあるが、その増殖量は少なく、4日目の終了日には下層、中層、上層の順となっている。この植物プランクトンの経日変

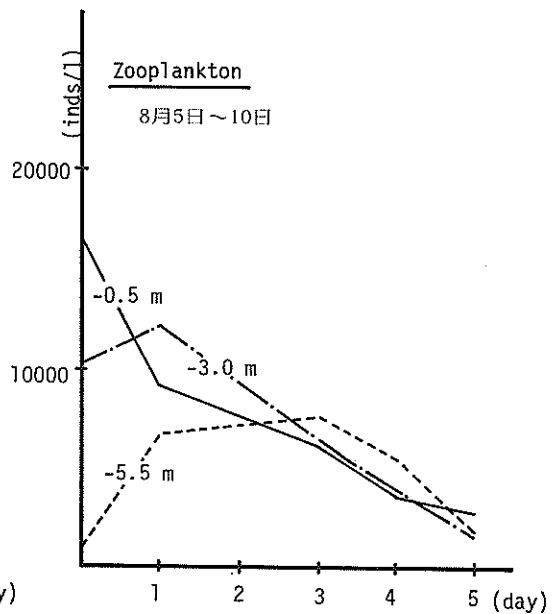
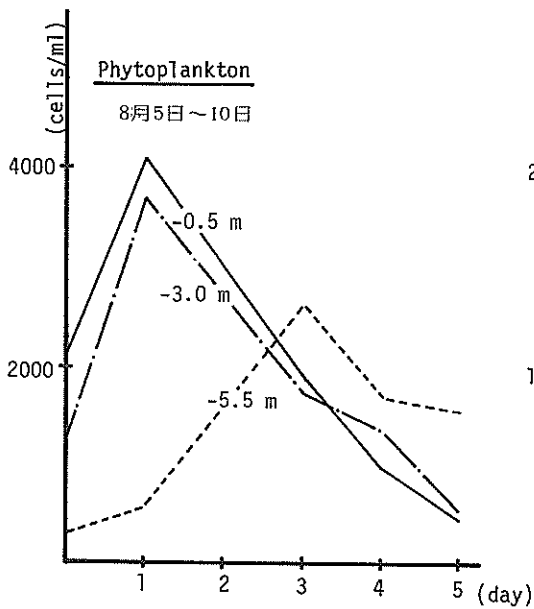
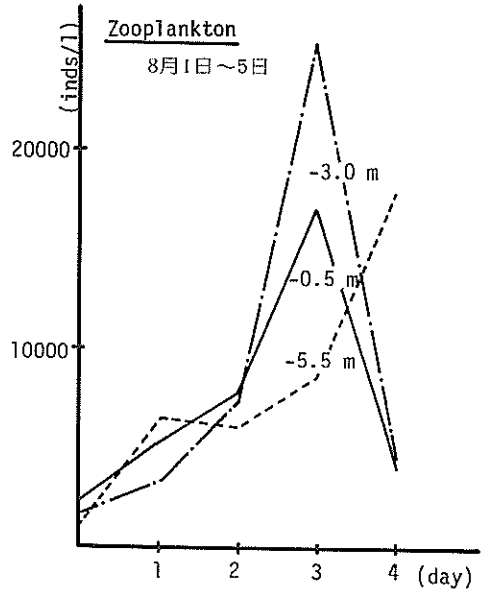
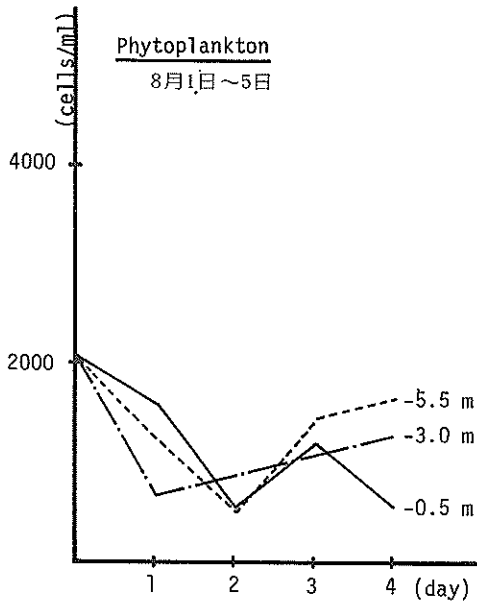


図-13. 動・植物プランクトン総数の各経日変化図

化は、すでに述べたように、栄養塩としてのDIN, DIP濃度が低く、一部の植物プランクトン種による増殖（潜在増殖）と、沈降による影響変化と考えられる。その後、動物プランクトン量の増加と共に、植物プランクトンが利用出来る栄養塩（動物プランクトン等の排出・排泄作用による物質）量の増加と、囲い込みによる沈降物（デトリタス等）からの再溶出があり、若干の増殖傾向を見せているものと考えられる。ここで各層別に見ると上層では3日目をピークに動物プランクトン数の減少と共に、植物プランクトン数も減少していく。中層と下層においては、上層からの植物プランクトンの沈降と、動物プランクトンの沈降による排出・排泄層の移動や、沈降物からの再溶出物質を利用して増加傾向を示している。

後期は、囲い込み後、栄養塩の添加によるものと考えられる植物プランクトンの増殖が上層と中層で1~2日目に、また、下層で2~3日目に見られる。その後、各層でその総数量は減少し、前期と同様に4日目には、下層、中層、上層の順となっている。一方、動物プランクトン総数の経日変化図を見ると、設置時では前期の数量より多くなっている。

しかし、前期のような変化（大きな増加）はなく、上層は囲い込みと同時に減少している。また、中層で1日目に、下層では1~3日目に若干増えている傾向にあるが、その増加量は少ない。これら、動物プランクトンの経日変化（沈降等による減少）と、それに伴う排出・排泄層の移動や、増殖した植物プランクトンの利用可能物質（栄養塩等）の供給不足によって、植物プランクトンの増殖力は、上層と中層で1~2日目以降、下層では2~3日目以降は抑えられているものと考えられる。

マイクロコズム内の生態系のメカニズムを示すと図14のようになる。マイクロコズム装置のような閉鎖水塊中での生態系は、沈降作用が大きく影響している。また、植物プランクトンと動物プランクトン間の被捕食者と捕食者の関係は、本実験でのマイクロコズム装置内の各動物プランクトン種が、幼生期（捕食活動を行わない。）のものであったり、食性があまり知られていないものが多く、この関係性についてや、動物プランクトンと植物プ

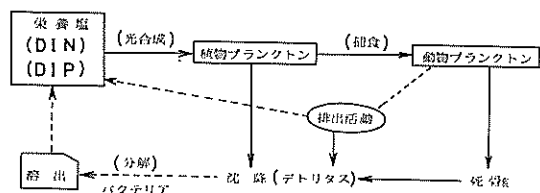


図14. マイクロコズム内生態系のメカニズム

ランクトンの各種間の共存性と共に、動物プランクトンの排出・排泄物質についても、さらに詳しく検討する必要がある。

6. まとめ

マイクロコズム試験に関する基礎的検討と現地海域への適用結果を要約するとつぎのとおりである。

- 1) マイクロコズム容器の製作に際し、浅い水域での夏期の実験に対しては、材質の面での制約はあまり大きくなく、加工のしやすさや強度などの点から決めてよい。
- 2) マイクロコズム装置内の水塊中の栄養塩（DIN, DIP）は、他からの供給が絶たれること、および植物プランクトンによる取り込みにより低下していく。
- 3) その後、生態系のバランスが崩れ、動物プランクトンが増える。その排泄物や植物プランクトン等の沈降による新生堆積物がバクテリアによって分解され、マイクロコズム装置内に新しい栄養塩（DIN, DIP）の供給源が出現して濃度は上昇する傾向にある。また、植物プランクトンは、動物プランクトンの排出・排泄物質や新に出来た供給源からの栄養塩を利用して増える傾向にあるが、利用出来る物質（栄養塩）量と植物プランクトン種と数量によってその傾向は左右される。
- 4) マイクロコズム設置時の水質、プランクトン数量と種類、および時期によるマイクロコズム内生態系物質循環への影響は大きい。
- 5) マイクロコズム装置で囲い込むことにより、装置内では直ちに沈降作用が外界よりも大きくなり、常に生態系はその影響を受けている。
- 6) 動物プランクトンは、室内実験用として一部の種は利用されるが、マイクロコズム試験への適用については種が多過ぎることや、その維持、増殖上難しい点がある。
- 7) マイクロコズムの設置海域、水深、水温、透明度等のマイクロコズム装置に対する外的環境と、マイクロコズム装置外壁の塩化ビニルフィルムシートの白濁による光量不足などがプランクトン生理に影響する。
- 8) マイクロコズム装置側面の塩化ビニルフィルムシートの白濁は側面からの採光を妨害するが、上部からの光量が十分に得ることが出来ればその影響は小さい。
- 9) マイクロコズム装置の設置に際しては、装置の上部を出来る限り海面直下、もしくは海面に設置し、上部からの光量を十分得られるようにすることが望ましい。
- 10) POC, PON, POPの測定分析結果は、その測定法によって、動物・植物プランクトン以外（糞粒、死細胞などのデトリタス）も含めて測定している。このことから、その量がすべて生物粒子（動植物プランクト

ン)量と解釈することは出来ない。また、プランクトン細胞内のC, N, P量は、細胞を取り囲む自然環境(塩分濃度, 栄養塩濃度, PH, 日照時間と強さ, 混在する他のプランクトン種と量, など)や、プランクトン自体の成長時期と活性の度合いによって、その量は増減する。このため測定分析値について再度考察し、実験、検討を進める必要がある。

7. あとがき

以上、57年度冬期2回、58年度夏期1回水中垂下型(水塊分離型)マイクロゾムを現地海域に設置し、その適用性について検討した。マイクロゾム装置を海水中において垂直に保つためには、その設置に先立って、天気や風浪などの現場海域条件と季節的気象を良く把握しておく必要がある。また、マイクロゾムのフィルムシートを溶剤により接着する方法では、はく離し易く水密性に問題があった。このため、接着部分の強度の保持と光の透過率が悪くならないことを考慮して、フィルムシートの加工には熱圧着法を用いることとした。さらに設置後3~4日目に水分のしん透などによる白濁はマイクロゾム内での光量不足の原因となるが、前述のように上部の水深に留意し、設置することで、その影響は緩和される。しかし、マイクロゾム装置による囲い込みによる水沈降促進に伴う内部の動態把握については、今後さらに実験調査を積重ねる必要がある。

今回の実験調査は、設置海域特性や囲い込み動植物プランクトン特性などの把握が不十分な点が多く、マイクロゾム内生態系物質循環メカニズムと現場海域(自然海)のそれとの結びつけを行うまでには至っていない。

今後は、設置海域・設置時期の再検討をさらに進めると共に、設置条件・設置回数を重ね、データ収集・解析を行う。また、その設置海域・時期に出現する代表プランクトン種の動態の把握と同時に、室内での培養(維持・発展)実験も行う必要がある。

マイクロゾム装置内の水質変化を律するおのおのの因果関係を定量的に把握するために、室内実験により限られたプランクトン種のみならず、前述によって、もしくは、現場海域からの持ち込みによって得た代表プランクトン種(動物・植物とも)の組合せによって混合培養実験等を進めて行く必要がある。なお、参考のため、第一二回目の現場海域とマイクロゾム内の代表動物プランクトン名とその数量、また、第三回目の前期と後期の代表動物・植物プランクトン名と、その数量を付録につけておく。

最後に、本報告は、国立研究機関等公害防止試験研究費(環境庁)による「生態系物質循環モデルによる港湾海域浄化工法の開発に関する研究」の一環として実施している研究の中間報告としてとりまとめたものである。本研究の遂行に当って尽力をいただいている関係各位に深く感謝します。

(1984年4月25日受付)

参考文献

- 1) Odum, E.P.: Fundamentals of Ecology, W.B. Saunders Company, Philadelphia, 574 p., 1971.
- 2) 高橋正征: 水質汚濁研究におけるマイクロゾムの利用, 水質汚濁研究, Vol. 2, No. 1, pp. 12~19, 1979.
- 3) Parsons, T.R.: The use of controlled experimental ecosystems: a review, Jour. Ocean. Soc. Japan, Vol. 37, pp. 294~298, 1981.
- 4) 堀江 毅・細川恭史・三好英一: 海水のAGP試験法とその適用, 港湾技術研究所報告, Vol. 17, No. 2, pp. 49~80, 1978.
- 5) 国立公害研究所水質土壌環境部陸水環境研究室: Microcystis aeruginosa (アオコ)による水の華の生成 — その発生防止のための基礎的研究, 陸水環境研究室研究資料FRL/80-1, 114 p., 1980.
- 6) 公害資源研究所第一部第二課: 沿岸海洋生態系の研究報告書, 255 p., 1978.
- 7) 細川恭史: 沿岸域物質循環ボックスモデルによるパラメータの感度解析, 第16回水質汚濁学会講演集, pp. 268~269, 1982.
- 8) 堀江 毅・三好英一・加藤道康・細川恭史: 生態系物質循環モデルによる港湾海域浄化工法の開発に関する研究, 昭和56年度瀬戸内海沿岸域の汚染防止に関する総合研究, 環境庁企画調整課編, 昭和57年8月, pp. 99-1~99-8.
- 9) 同上, 昭和58年8月, pp. 98-1~98-9.
- 10) 西沢 敏: 海洋の低次生産力の動態, 海洋の生産力, 海洋科学, Vol. 5, No. 2, pp. 14~19, 1973.

第一回目動物プランクトン計数結果

採集方法：5000cc 採水 単位：ind's/l

種 名	地点・採集層 経過日数(日)	M-4m		M-8m		M-11m	
		0	6	0	6	0	6
原生動物門 繊毛虫綱 <i>Tintinnopsis</i> sp.		6	1780	12	98	6	4
肉質綱 <i>Radiolaria</i>		72	7	126	10	180	10
環形動物門 多毛綱 <i>Nectochaeta larva</i>		12		12	4	24	6
節足動物門 甲殻綱 <i>Paracalanus Parvus</i>		12			2		2
<i>Oithona brevicornis</i>		150	58	228	16	450	54
<i>Nauplius larva</i>		984	132	1360	84	642	46
<i>Other Zooplankton</i> *		12	21	12	8	60	4

種 名	地点・採集層 経過日数(日)	外0m		外4m		外8m		外11m	
		6	0	6	0	0	6		
原生動物門 繊毛虫綱 <i>Tintinnopsis</i> sp.			18	852	12	6	12		
肉質綱 <i>Radiolaria</i>			600	120	330	90	74		
環形動物門 多毛綱 <i>Nectochaeta larva</i>	3	30	36	48	6	6			
節足動物門 甲殻綱 <i>Paracalanus parvus</i>		6	12	6	6	14			
<i>Oithona brevicornis</i>	3	252	396	288	30	12			
<i>Nauplius larva</i>		1580	204	390	132	36			
<i>Other Zooplankton</i> *		18	84	42	24	78			

* *Other Zooplankton*: *Tintinnopsis radix*, *Helicostomella subulata*, *Favella ehrenbergii*, *Codonellopsis* sp., *Synchaeta* sp., *Rotatoria*, *D-larva of Bivalvia*, *Nauplius larva of Cirripedia*, etc.,

第二回目動物プランクトン計数結果

採集方法：5000cc 採水 単位：ind's/l

種 名	地点・採集層 経過日数(日)	M-6m		M-8m		M-11m		M-13m	
		0	8	0	8	0	8	0	8
(織) <i>Tintinnopsis radix</i>		36		6					
<i>Tintinnopsis</i> spp.		320	4	140	24	20		100	4
<i>Amphorellopsis</i> sp.		660		640		580	2	140	
(二) <i>Veliger larva of Bivalvia</i>				16	6	20	2	16	
(橈) <i>Oithona brevicornis</i>		28	4	8	12	20	2	4	
<i>Nauplius larva of Copepoda</i>		396	104	360	147	128	8	148	12

種 名	地点・採集層 経過日数(日)	外-6m		外-8m		外-11m		外-13m	
		0	8	0	8	0	8	0	8
(織) <i>Tintinnopsis radix</i>		112		84	8	12	16	4	12
<i>Tintinnopsis</i> spp.		260	120	280	140	60	8	52	60
<i>Amphorellopsis</i> sp.		1020	20	1200		600		284	
(二) <i>Veliger larva of Bivalvia</i>			4	12		36	4	60	
(橈) <i>Oithona brevicornis</i>		52	40	60	68	56	20	24	4
<i>Nauplius larva of Copepoda</i>		396	540	352	352	228	112	208	68

(織) : 原生動物門 繊毛虫綱 (二) : 軟体動物門 二枚貝門
(橈) : 節足動物門 甲殻綱 橈脚豆綱

表-A・2 植物プランクトン計数結果(第一回)

単位: cells/ml

種名	地点, 採集層														
	M-4 m				M-8 m				M-11 m						
	0	1	2	4	0	1	2	4	0	1	2	4			
(渦) <i>Proocentrum minimum</i>	342	478	102	14	38	459	275	10	18	6	231	53	13	3	2
P. <i>triestinum</i>	45	188	28	31	76	66	27	23	5		18	7	1	3	4
(珪) <i>Skeletonema costatum</i>	220	606	321	12	265	148	87	139	78	92	90	26	31	6	42
<i>Leptocylindrus denicus</i>			40	22	66		13	15	17	19		7	2		
<i>Thalassiosira</i> spp.	161	222	94	195	322	194	78	53		57	140	26	27	23	20
<i>Chaetoceros debilis</i>		51	17	37	379				23					17	
C. <i>socialis</i>							2		5					23	7
<i>Chaetoceros</i> sp.(cf. <i>landeri</i>)				36	104		36		36	9		4		3	
<i>Eucampia zoodiacus</i>	95	128	63	66	113	145	207	25	14	111	172	20	64	59	32
<i>Navicula</i> sp.	59	68	151	98	66	46	76	46	32	51	27	27	18	18	19
<i>Nitzschia closterium</i>	343	350	199	244	550	389	116	63	70	73	233	50	54	31	44
<i>Nitzschia</i> sp.	113	205	131	268	275	82	121	23	32	57	98	34	25	25	31
(ミ) <i>Enlencocoe</i>	635	1370	174	110	740	602	214	40	44	38	277	100	13	21	53
(不) <i>Micro-flagellates</i>	326	282	85	75	469	352	40		21	185	358	11	6	11	43

植物プランクトン計数結果(第二回)

単位: cells/ml

種名	地点, 採集層																	
	上M-6 m				上M-8 m				下M-11 m				下M-13 m					
	0	1	2	3	6	8	0	1	2	3	6	8	0	1	2	3	6	8
(渦) <i>Proocentrum triestinum</i>	4.3	3.2	4.0	7.5	4.8	2.6	4.4	1.1	4.7	2.1	7.7	3.8				1.3	0.7	
(珪) <i>Skeletonema costatum</i>	1210	267	247	5.9	13.3	6.7	14.60	41.6	22.7	20.8	52.3	9.1	22.00	47.6	26.0	9.1		5.5
<i>Nitzschia closterium</i>	227	76.8	86.7	9.92	8.43	1.42	2.64	7.41	7.27	10.61	81.6	9.6	1.96	5.92	5.27	5.49	3.45	2.4
<i>Nitzschia</i> spp.	2.2	4.3	1.40	10.1	2.1	2.9	4.8	5.3	7.3	8.0	6.9	2.4	6.0	10.8	8.7	2.1	2.2	1.0

(注) 上記表には, 少数プランクトン 記載されていない。

(渦): 渦鞭毛植物門 渦鞭毛藻綱, (珪): 珪藻植物門 珪藻綱, (ミ): ミドリムシ植物門 ミドリムシ綱, (不): 不明微細鞭毛藻類

表-A・3 動物プランクトン計数結果(第三回前期)

採水量: 5 l 単位: inds/l

門	綱(亜綱)	種名	経過日数														
			0			1			2			3			4		
			上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
原生動物	纖毛虫	<i>Tiarina fusus</i>			200												
		<i>Helicosomella</i> sp. (cf. <i>subulata</i>)	320	120	320	1000	800	800	1300	1000	600	1800	1800	200	569	1280	1700
		<i>Favella taraikaensis</i>	80	80	40	216	10	15	124	16	12	48	24	48	40	20	40
		<i>Amphorella</i> sp.	40	120													
		<i>Eudimimus lusus-andae</i>	160	120	80	1400	2000	1100	6100	5300	3700	15200	22600	7200	853	2560	15400
		<i>Salpingera</i> sp.															
		<i>Ciliata</i>															
	肉質	<i>Sticholonche zanclea</i>	20	20		120	8	4									
		<i>Radiolaria</i>															
腔腸動物	ヒトコ虫	<i>Hydrota</i>				16		4									
袋形動物	輪虫	<i>Synchaeta</i> sp.															
		<i>Trichocerca marina</i>															
		<i>Rotatoria</i>	16			32	8	8	88	8	4	128	32	16	204	88	52
軟体動物	腹足	<i>Veliger</i> larva of <i>Gestropoda</i>	4	16		16		16	4	4	4						
	二枚貝	<i>Veliger</i> larva of <i>Bivalvia</i>	4	16		16		16	4	4	4						4
環形動物	多毛	<i>Trochophora</i> larva of <i>polychaeta</i>															
		<i>Nectochaeta</i> larva of <i>polychaeta</i>	60	76	32	26	40	124	40	20	40	56	8		56		24
節足動物	甲殼(總脚)	<i>Evadne tergestina</i>	4														
	(總脚)	<i>Paracalanus parvus</i>	8	4	4	4	4	8	28	16	12	48	16	8	30	18	2
		<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	4	4	4	4	4	12	16	8	40	48			12		12
		<i>Acartia clausi</i>				24			24	4							
		<i>Oithona arvensis</i>	1450	944	500	440	436	2400	24	528	1080	768	392	608	1200	140	110
		<i>O. similis</i>	208	244	216	8	100	1800	16	268	484	80	448	64	128	292	20
		<i>Unknown copepoda nauplius</i>	4		4												
	(總脚)	<i>Nauplius</i> larva of <i>Cirripedia</i>	4	4	4	4	4	4							4		
毛顎動物	矢虫	<i>Sagitta crassa</i> f. <i>naikaiensis</i>															4
棘皮動物	クモヒトデ	<i>Oikopleura</i> larva			4	4	4	4									
原索動物	尾索	<i>Oikopleura dioica</i>		8	4	56	76	12	48	176	96	360	248	464	868	524	604
		<i>Ascidia tadpole</i> larva	4														
	Total		2370	1788	1212	5378	3486	6515	7816	7348	6076	17344	25568	8608	3864	4980	17968
(補足)																	
渦鞭毛植物	渦鞭毛藻	<i>Noctiluca scintillans</i>	8	4			4		12		4	16	8	6			
		<i>Pyrocystis noctiluca</i>															

表-A・5 動物プランクトン計数結果(第三回後期)

採水盤: 5 l 単位: ind's/l

門	綱(亞綱)	種名	経過日数														
			0		1		3		4		5						
		採集層	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下			
原生動物	纖毛虫	<i>Tiarina fusus</i>	7800	2200	520	2700	2300	2800	2200	4100	4270	2600	3040	3120	2080	1200	900
		<i>Helicostomella sp.(cf. subulata)</i>	20												40		50
		<i>Amphorella sp.</i>	6400	6300	280	3900	7200	3300	3400	1600	2600	720	560	1200	440	280	150
		<i>Eutimianus lusus-undae</i>	200	267	100	700	100	100	100	500	100	40	80	680			200
		<i>Salpingera sp. ?</i>															
		<i>Ciliata</i>															
	肉質	<i>Sticholonche zanclea</i>	8	4													8
		<i>Radiolaria</i>															16
腔腸動物	ヒドロ虫	<i>Hydroida</i>															
袋形動物	輪虫	<i>Synchaeta sp.</i>															
		<i>Trichocerca marina</i>															
		<i>Rotatoria</i>	908	156	24	276	608	52	40	64	140	8	8	40	20		16
軟体動物	腹足	<i>Veliger larva of Gastrogoda</i>			4	12	8			4							
	二枚貝	<i>Veliger larva of Bivalvia</i>	40	112	60	132	80	32		20				32			40
環形動物	多毛	<i>Trichophora larva of polychaeta</i>															
		<i>Nectochaeta larva of Ppilychaeta</i>	176	60	28	40	48	20		36				36			32
節足動物	甲殻(鰓脚)	<i>Evadne tergestina</i>															
	(桡脚)	<i>Paracalanus parvus nauplius copepodite~</i>	4			4	16				16			32			4
		<i>Pseudodiaptomus marinus nauplius copepodite~</i>	4		4	4	32	4	4		8			20			8
		<i>Acartia clausi nauplius copepodite~</i>	4			8					28			4			8
		<i>Oithona arvensis nauplius copepodite~</i>	1290	1030	52	1260	1010	164	184	164	180	120	96	236		52	132
		<i>O. similis nauplius copepodites~</i>	81	184	5	812	280	180	176	160	276	28	140	152	48	48	120
		<i>Unknown copepoda nauplius</i>					4	12			4			12			
	(溞脚)	<i>Nauplius larva of Cirripedia</i>						8						8			
毛顎動物	矢	<i>Sagitta crassa f. natsikaensis</i>			4						8						
棘皮動物	タモヒトデ	<i>Ophiopluteus larva</i>															
原索動物	尾索	<i>Oikopleura dioica</i>	12	4	12	8	8	4	4								4
		<i>Ascidian tadpole larva</i>															
		Total	16951	10321	993	9256	12294	6676	6108	6588	7702	3516	3924	5568	2628	1580	1712
(補足)																	
渦鞭毛藻		<i>Noctiluca scintillans</i>	140	36		12	64		4	8	16				8		12
		<i>Pyrocystis noctiluca</i>															

表-A・6 植物プランクトン計数結果(第三回後期)

採水量: 5 l 単位: cells/ml

門	綱	種名	経過日数										採取層								
			0			1			3			4			5						
			上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下				
渦鞭毛植物	渦鞭毛藻	<i>Proocentrum minimum</i>	4															2		1	
		<i>P. iriesimum</i>	4											1							1
		<i>Protophidium bipes</i>	3	9		14				2											
		<i>P. pelliculum</i>		1										3							
		<i>Dinophysis acuminata</i>																			
		<i>Oxyphysis oxycaroides</i>																			
		<i>Dictyocha fibula</i>																			
有色植物	黄色鞭毛藻	<i>Distephanus speculatus</i>	4	3																1	1
		<i>Ebria tripartita</i>																			
		<i>Skeletonema costatum</i>	330	155	6	686	551	58	365	347	680	107	297	373	66	446	196				
		<i>Leptocylindrus danicus</i>	181	199	23	306	313	44	157	146	91	121	132	74	78	110	110				
		<i>Thalassiosira</i> spp.	256	166	8	992	775	87	05	496	841	172	277	279	42	63	338				
		<i>Coccolodiscus</i> sp.									4	8									
		<i>Rhizosolenia stortierfothii</i>	1	1																	
		<i>R. fragilissima</i>																			
		<i>R. setigera</i>			3					2											
		<i>Bacteriasterium varians</i>	139	63	7	288	121	23	102	187	69	57	34	88	5	3	373				
C.	<i>Chaetoceros affinis</i>																				
	<i>C. debilis</i>	193	124	46	320	295	73	39	207	13	57	176	98		28	81					
	<i>C. didymus</i>	41	6		21	18	11	29	41	56	30	6	40	6	7	24					
	<i>C. lorenzianus</i>	64	34	7	128	85	26	51	38	80	55	37	47	23	26	33					
	<i>C. socialis</i>																				
	<i>Chaetoceros</i> spp.	145	51	51	499	377	98	236	100	363	90	124	107	102	93	125					
	<i>Cerataulina pelagica</i>	55	60	11	36	36	6	9	11	21	14	17	17								
ミドリムシ	不明微細鞭毛藻類	<i>Ditylum brightwellii</i>																			
		<i>Eucampia zoodiacus</i>	3	4	30	7															
		<i>Navicula</i> sp.	40	46	37	92	89	46	34	28	56	16	30	128	18	12	102				
		<i>Nitzschia closterium</i>	4	1		7	3			1		3			1	2	3				
		<i>Nitzschia</i> sp.(cf. <i>pungens</i>)	306	121	33	363	334	67	174	182	109	92	127	94	86	65	54				
		<i>Neodelphinis pelagica</i>	54	57	27	57	100	7	153	26	69	144	98	141	33	91	71				
		<i>Asterionella japonica</i>																			
		<i>Englenaceae</i>	166	128	10	224	267	11	7	7	51	6	21	55	1	2	28				
		<i>Micro-flagellates</i>	83	38	19	96	160	38	77	38	128	32	6	179	2	19	19				
		Total	Total		2076	1267	318	4122	3535	598	1942	1761	2648	996	1384	1725	467	561	1583		

港湾技研資料 No. 494

1984・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.