

D-1 大陸棚海域循環過程における沿岸-外洋の物質フラックスに関する研究  
(1) 海洋生態系の遷移にともなう物質循環フラックスの変動機構に関する研究

研究代表者 国立環境研究所 地球環境研究グループ 海洋研究チーム 原田 茂樹

環境庁 国立環境研究所

地球環境研究グループ	海洋研究チーム	原島 省・功刀 正行・原田 茂樹
地域環境研究グループ	海域保全研究チーム	木幡 邦男
水圏環境部	部長	渡辺 正孝
	土壌環境研究室	高松武次郎
社会環境システム部	情報解析研究室	須賀 伸介
生物圏環境部	環境微生物研究室	高村 典子

平成5-7年度合計予算額 52,360千円  
(平成7年度予算額 17,702千円)

[要旨] 本研究の目的は、沿岸域から大陸棚にかけての水域における物質循環の素過程の連環を解明し、物質循環モデルの構築へと発展させることである。上記の水域は、人為起源の有害化学物質・栄養塩・有機物の負荷を受けやすく、かつ高い生物生産力を有して大きな物質循環フラックスを生み出しており、広域的な物質循環の変動に大きな影響を与える可能性が強く指摘されている。

上記の目的を達成するために、夏期に瀬戸内海の家島海域に海洋メゾコズム（隔離実験生態系）を設置し、環境条件の変遷にともなう、生態系構成の変遷、炭素現存量及び炭素循環フラックスの変動などを追跡した。海洋メゾコズムは海面から底泥まで円筒型（直径5m、深さ18m）に海水を隔離するものであり、物質収支を保存し、沿岸域の生物化学過程を再現する事ができる。

当該期間に得られた主な成果を以下に示す。

- ① 海洋メゾコズムの表層に導入した鉛直循環流装置により、遊泳力のない珪藻等の植物プランクトンの沈降を防ぐと共に水深約5mの地点に人為的成層を構築できることを示した。
- ② 植物プランクトン（珪藻円心目、珪藻羽条目、渦鞭毛藻）の優占種遷移に対する栄養塩濃度変化、及び優占動物プランクトン種遷移の影響を明らかにした。
- ③ 炭素安定同位体をトレーサーとして用い、光合成ループ（溶存無機態炭素：DIC→植物プランクトン→動物プランクトン）と、バクテリアループ（溶存有機態炭素：DOC→バクテリア→微小動物プランクトン→動物プランクトン）の両者における炭素循環フラックスを比較した。両ループによる動物プランクトンへの炭素移送の効率は生態系遷移に伴って大きく変動すること、平均値で見ればバクテリアループによる動物プランクトンへの炭素移送は、従来考えられていたよりも大きく、光合成ループによるものに匹敵する大きさであることを示した。

[キーワード] 海洋メゾコズム、生態系遷移、物質循環、光合成ループ、バクテリアループ

## 1. 序

近年の人間活動の増大により膨大な量の栄養塩、有機物、有害化学物質等が内湾や沿岸海域に負荷されており、さらには大陸棚にまで海洋汚染の影響が及びつつある。特に海洋生態系を通しての物質循環はそれら汚濁負荷の増大に伴い大きく変動することが危惧され、結果として地球環境にもたらす影響を早急に解明する必要がある。

海洋物質循環の機構解明とは、物理・化学・生物学的な素過程の連環を解明する事に他ならない。しかし、従来から行われてきた船舶による海洋観測のみでは、対象場での状態量変化が物理的移動によるものか、あるいは生物化学的物質変換によるものかを分離できないため、海洋物質循環を生み出す因果関係を明確に結論づけられない。このような点を補うために、自然海域に存在する海洋生態系をそのまま捕獲して物質循環を詳細・正確に追跡する海洋メゾコズム実験の手法を確立することを図った。従来より世界各地で行われてきた海洋メゾコズム実験では、水塊の隔離と共に上昇流が失われるために珪藻等の遊泳力のない植物プランクトン群衆が維持できないことが問題として指摘されてきた<sup>1)2)</sup>。本研究では、鉛直循環流装置の導入によってその問題の解決を図り、植物プランクトンを中心とする生態系の構成種遷移についての解析を行った。

海洋物質循環において、親生物元素である炭素の循環は、有害化学物質・栄養塩・有機物など、汚染物質の循環と相互に影響しあう。そのため、炭素の循環経路・速度および形態変化についての理解を深める事が、海洋汚染物質の影響を評価する上で最も重要である。炭素はラベルをつけてその循環を追跡できるという特徴を持っていることから、本研究では安定同位体を用いて現場での炭素循環を追跡することを図った。

炭素の循環においては、光合成ループ（溶存無機炭素: DIC-植物プランクトン-動物プランクトン）による炭素フローに加え、バクテリアループ（溶存有機炭素: DOC-バクテリア-微小動物プランクトン-動物プランクトン）による炭素フローが近年大きな注目を集めている。炭素循環において、バクテリアは「DOCの分解」とともに「粒子状有機炭素: POCの生産（以下、細菌生産と呼ぶ）」を行う、と位置づけられつつある。しかし、バクテリアループの役割の大きさを評価するには未だ観測が不足している。特に、細菌生産の生態系内輸送については、定まった答えが得られていない。細菌生産は原生動物等の微小動物プランクトンに活発に捕食されるという報告<sup>3)</sup>がある一方で、さらに動物プランクトンまで移送される間にほとんどの炭素が呼吸によって無機化されることを示唆した報告<sup>4)</sup>もある。後者については、隔離水塊に放射性炭素（<sup>14</sup>C-Glucose）を与え、細菌が取り込んだトレーサーの内、24時間後に $>100\mu\text{m}$ の粒子へと移送された割合（以下、移送効率と表現する）は0.03%以下とした報告<sup>5)</sup>がある。我々は、細菌生産の移送効率は環境条件（特に、生態系構成種）によって異なるのではないかと考え、<sup>13</sup>Cトレーサーを用いたボトル実験を海洋メゾコズム内で繰り返した。バクテリアループのみでなく、光合成ループの炭素フローも追跡し、その比較を通じてバクテリアループの役割の大きさを評価した点に特徴がある。

以下では、1994年に行った実験の結果を中心に、鉛直循環流によるメゾコズム内流動条件の制御、植物プランクトンを中心とする生態系の遷移、それに伴う光合成ループとバクテリアループによる炭素循環機構の変動について述べる。

## 2. 材料と方法

### (1) NIESメゾコズムの構造と特徴

メゾコズムの形状を図1に示す。メゾコズムは、ポリエステル繊維網目をエチレンビニルアセテート（EVA）で表面コーティングしたシートを用い、ステンレススチールのパイプを5本通して円筒型（直径5m、深さ18m）に海水を隔離する構造となっている。シートは透光性があり、また可塑剤を用いていないので、生物への影響を排除できる。設置においては、メゾコズム本体を蛇腹状に折り畳み海底に沈め、底部はチェーンをつけたカーテン部（約1.0m）を底泥中にダイバーが埋め込み固定した。その後数時間放置し、自然生態系に戻った後、シート上部をダイバーが静かに浮上させ、海上に固定されているフロートに吊るした。上記の手順により、底泥を含む約350m<sup>3</sup>の大きな隔離水塊を形成した。

本メゾコズムに導入した鉛直循環流装置の構造を図2に示す。表層約0.2mからポンプ揚水した海水を鉛直に吊り下げた2本の円筒（長さ2.7m、内径21cm、円筒の下部端は水深3mに位置する）内で上向きにジェット噴流することにより、メゾコズムの表層から水深5m付近の間にゆっくりとした鉛直循環流を形成させることを図った。円筒の長さを変えることにより、異なる流動条件をもたらすことが可能と考えられる。

メゾコズムを設置する家島海域は、瀬戸内海の播磨灘に位置する（図3）。家島海域における夏期・表層のバックグラウンドTN・TP濃度は、場所にもよるが東京湾よりも概ね1オーダー低い値であり、メゾコズムへの栄養塩添加、およびその濃度調節によって求める栄養状態の水塊を形成する事が可能である。

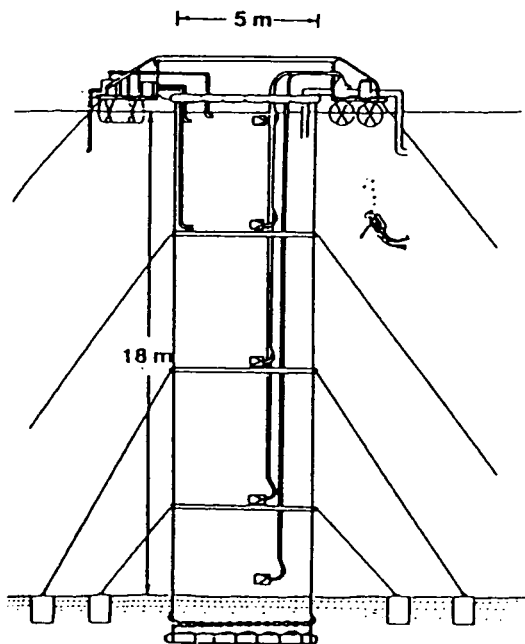


図1 NIESメゾコズムの形状

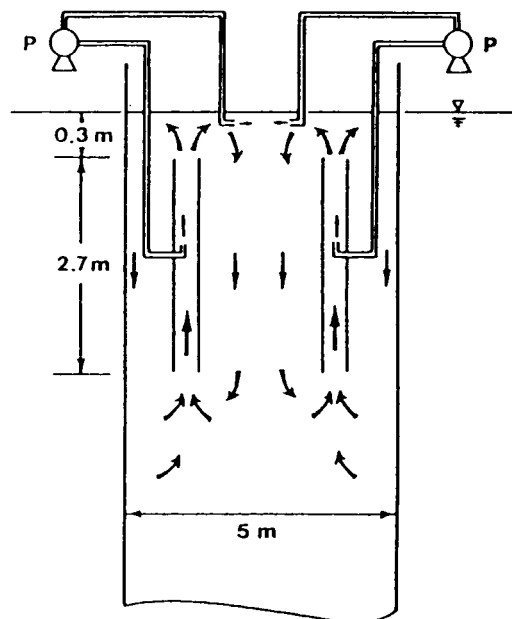


図2 鉛直循環装置

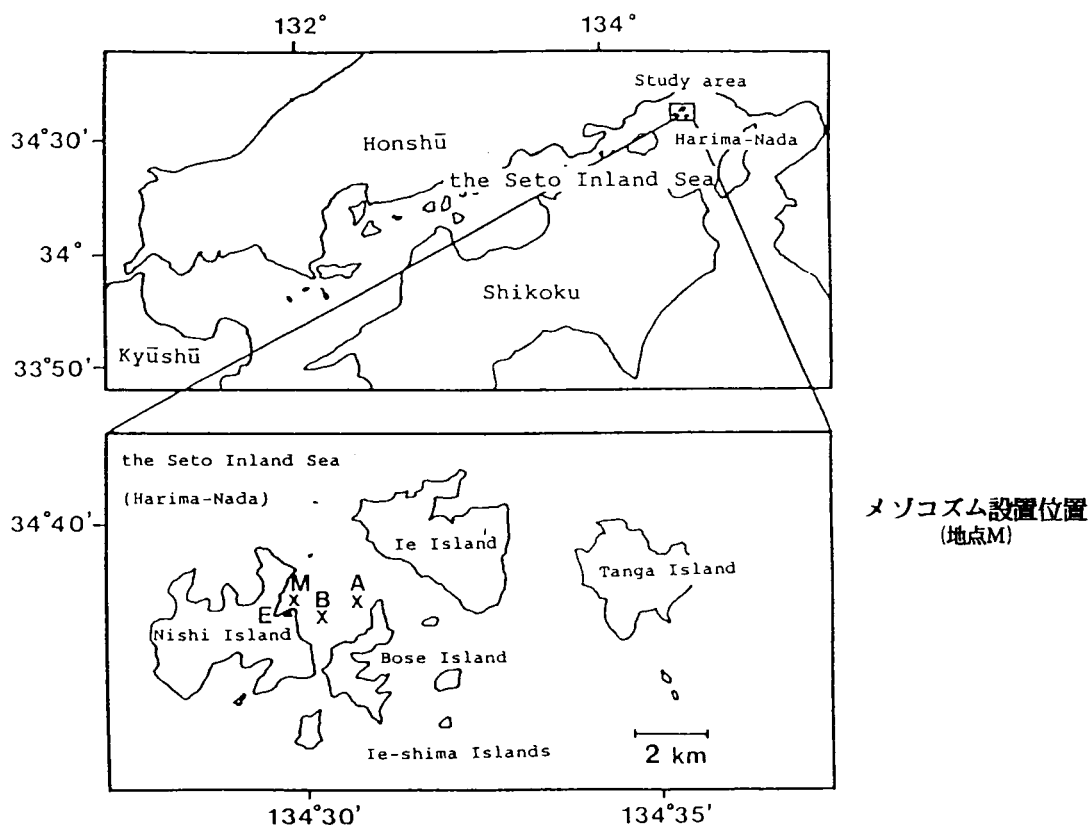


図3 メソコズム実験の場所

## (2) メソコズム実験の内容

### ① 栄養塩の添加

7月29日にメソコズムを形成し、直ちに窒素 ( $\text{NaNO}_3$ , 500g), リン ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 60g) 及びシリカ ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , 100g) をメソコズム全層に均一に添加した。

### ② 一般計測項目

水温, 塩分, pH, DOの鉛直分布 (0m, 1m, 2.5m, 5m, 7.5, 10m, 15m) を毎日計測した (ハイドロラブマルチサーベーターで)。さらに鉛直5点 (0m, 2.5m, 5m, 10m, 15m) でサンプル採水を行い, 色素量 (島津HPLCで<sup>6)</sup>), POC・PON (GF/Fで濾過後, 柳本CHNコーダで), DOC (GF/Fの濾液を島津TOCメータで), DIN・DIP・DISi (GF/Fで濾過および前処理後, テクニコンオートアナライザーで), 微量元素, 植物プランクトン種・個体数 (検鏡で), 動物プランクトン種・個体数 (検鏡で), 細菌数・ピコプランクトン数・原生動物数 (DAPI染色後, 蛍光顕微鏡で) の計測を行った。

その他, 鉛直4点 (0m, 5m, 10m, 15m) におけるDIC (酸処理によって発生した $\text{CO}_2$ の量を富士電機NDIRで), 鉛直3点 (5m, 10m, 15m) での沈降粒子中の色素量 (GF/Cで濾過後, 島津HPLCで), POC・PON (GF/Fで濾過後, 柳本CHNコーダで) を計測した。

### ③ 安定同位体トレーサー実験

光合成ループとバクテリアループによる炭素循環速度の計測のため, 安定同位体を用いたトレーサー実験を行った。メソコズムの水深0.5mと10mから朝9時に海水を採取し, 各々4.5Lの透明なポリカーボネイト製ボトルに封入した。光合成ループを計測する日は $^{13}\text{C}$ - $\text{NaHCO}_3$ を, バクテリ

アルループの場合は $^{13}\text{C}$ -Glucoseを添加し、いずれも採取水深に吊下して培養を行った（現場法）。 $^{13}\text{C}$ - $\text{NaHCO}_3$ はDIC濃度の約10%（2-3mgC/L）、 $^{13}\text{C}$ -Glucoseは不揮発性DOC濃度の約2倍（2mgC/L）となるように添加した。13時まで4時間の培養を行った後、懸濁粒子を粒径分画した。 $^{13}\text{C}$ - $\text{NaHCO}_3$ 添加の場合には200, 100, 20 $\mu\text{m}$ のナイロン製ネットおよびGF/Fフィルター（0.7 $\mu\text{m}$ ）を用い、 $^{13}\text{C}$ -Glucose添加の場合には、GF/Fフィルターの濾液をさらにAnoporeフィルター（0.2 $\mu\text{m}$ ）で濾過し、バクテリアを捕捉することを図った。ネットに捕獲された粒子は濾過海水に再懸濁後、GF/Cフィルター（1.2 $\mu\text{m}$ ）で再濾過した。各粒径画分中のPOC量と炭素安定同位体比（ $^{13}\text{C}$  atom%）の計測は、元素分析計（Fisons EA1108）と安定同位体比質量分析計（Finnigan Mat 252/B）を直結したシステムで行った。

上述のボトル実験に加え、メゾコズムの鉛直4点（0.5m, 2.5m, 5m, 10m）の試水を0.5Lのボトルに封入し、 $^{13}\text{C}$ - $\text{NaHCO}_3$ あるいは $^{13}\text{C}$ -Glucoseを添加してもとの深度で数時間培養した。この実験では粒径分画は行わず、光合成速度と細菌生産速度を求めた。光合成速度は、 $>0.7\mu\text{m}$ 粒子への $^{13}\text{C}$ - $\text{NaHCO}_3$ の移行速度からHama et al.の式<sup>7)</sup>を用いて計算した。細菌生産速度は、 $>0.2\mu\text{m}$ 粒子への $^{13}\text{C}$ -Glucoseの移行速度を別途求めた細菌生産への変換式（ $^{13}\text{C}$ -Glucose取り込み速度と画像処理により求めた細菌体積変化速度の関係式）を用いて計算した。これらの結果をもとにメゾコズム中の光合成速度と細菌生産速度の空間分布を求めた。

### 3. 結果と考察

#### (1) メゾコズム内流動条件について

図4にメゾコズム内の水温の分布を示す。これらの図において、表層では等温度線が垂直であ

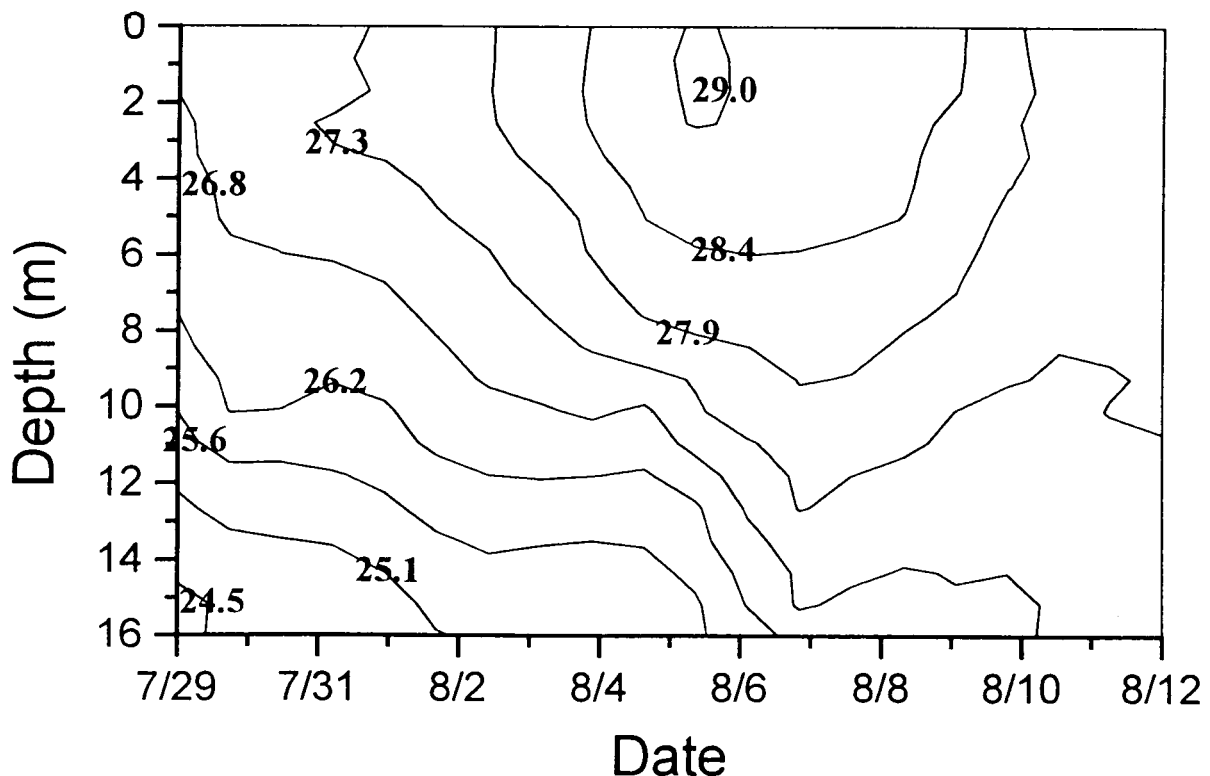


図4 メゾコズム内の水温分布

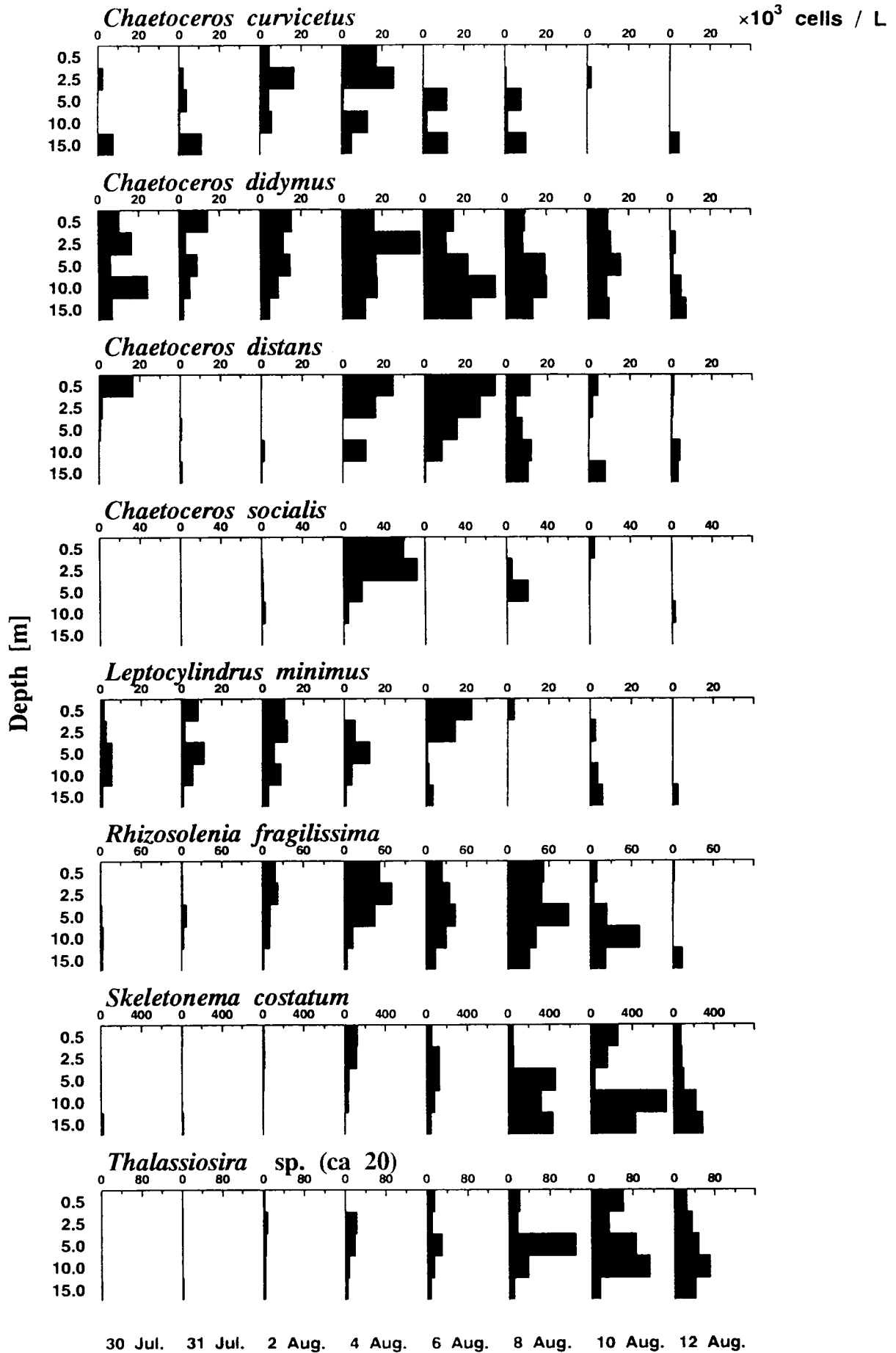


図 5 (a) 珪藻円心目の主要出現種の鉛直分布

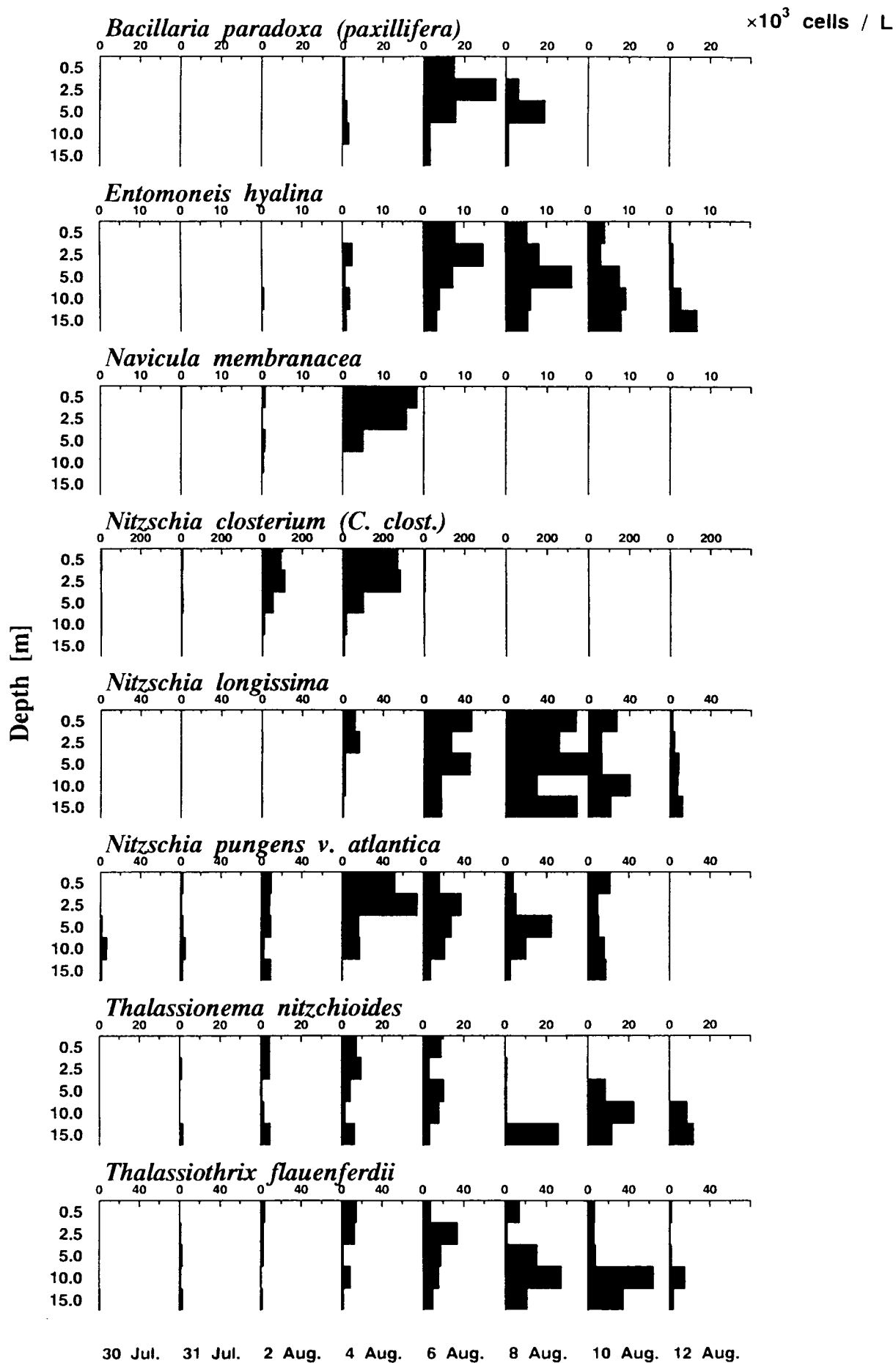


図 5 (b) 珪藻羽条目の主要出現種の鉛直分布

り、表層部では水塊がよく混合されていることがわかる。一方、5m以深では等温度線は水平方向に延びており、メゾコズム内に成層が発達したことを示している。従来より行われてきたメゾコズム実験ではスクリーやバブリングによってメゾコズム内の水塊を攪拌する試みがなされている<sup>9)</sup>。我々の方法によれば、メゾコズム全体でなく表層のみを攪拌することが可能であり、成層条件下における生物・化学的反応の考察<sup>8, 10)</sup>に適している。

図5は本実験における珪藻（円心目と羽条目）の主要出現種の鉛直分布を示している。円心目及び羽条目のいずれも遊泳力を持たないが、出現した後数日以上にわたって表層に維持されていることがわかる。これらのことより、我々のメゾコズムは、自然状態に近い形で生態系遷移についての考察を行うことに適した系と考えられる

## (2) 植物プランクトン種の変遷

図6(a)に、メゾコズム表層（0-5m）における珪藻円心目、珪藻羽状目、渦鞭毛藻の固体数（個々のカテゴリーに属する全植物プランクトン固体数の和）の変遷を示す。また、図6(b)にメゾコズム表層における栄養塩濃度の変遷を示す。メゾコズムの形成時には渦鞭毛藻（特に*Gymnodium mikimotoi*）が優占していたが、7月29日に行った栄養塩添加により、N・P・Siの濃度が増加したため珪藻円心目、珪藻羽条目、渦鞭毛藻のすべてのカテゴリーにおいて固体数の増加が見られた。

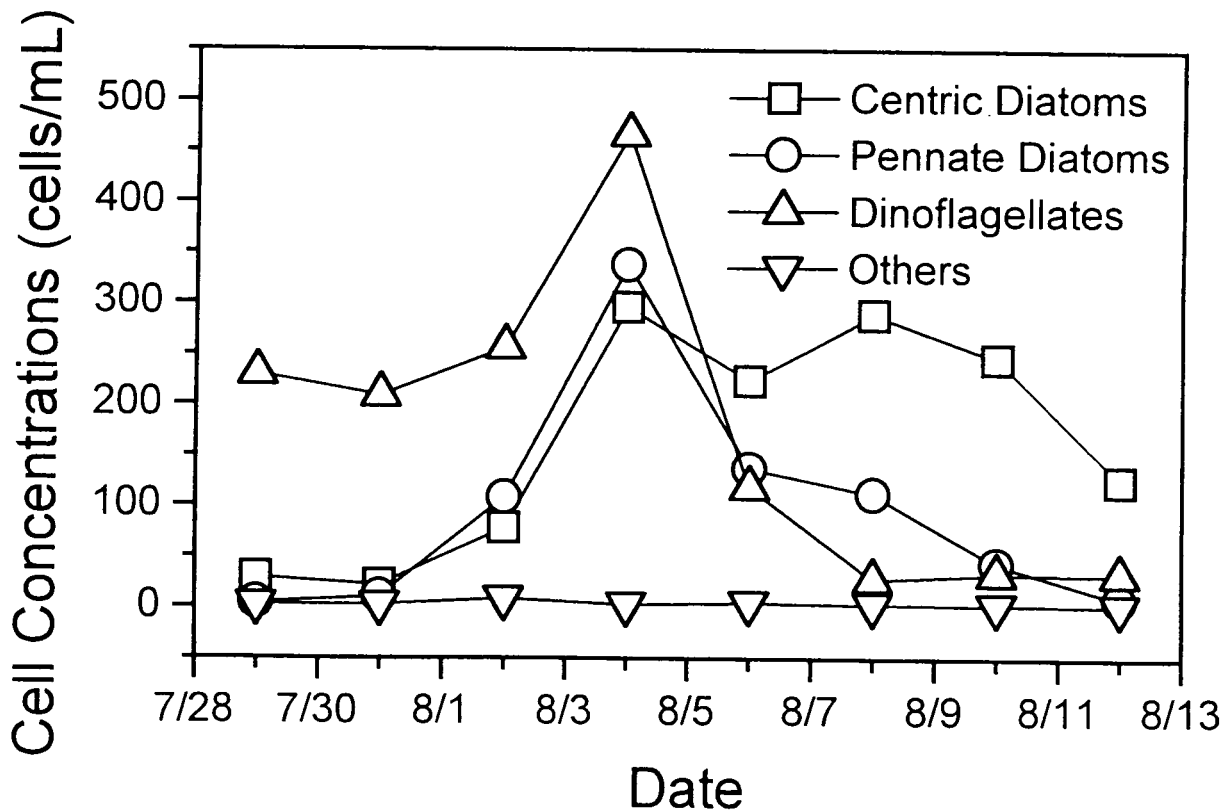


図6(a) メゾコズム表層における植物プランクトン固体数の変遷



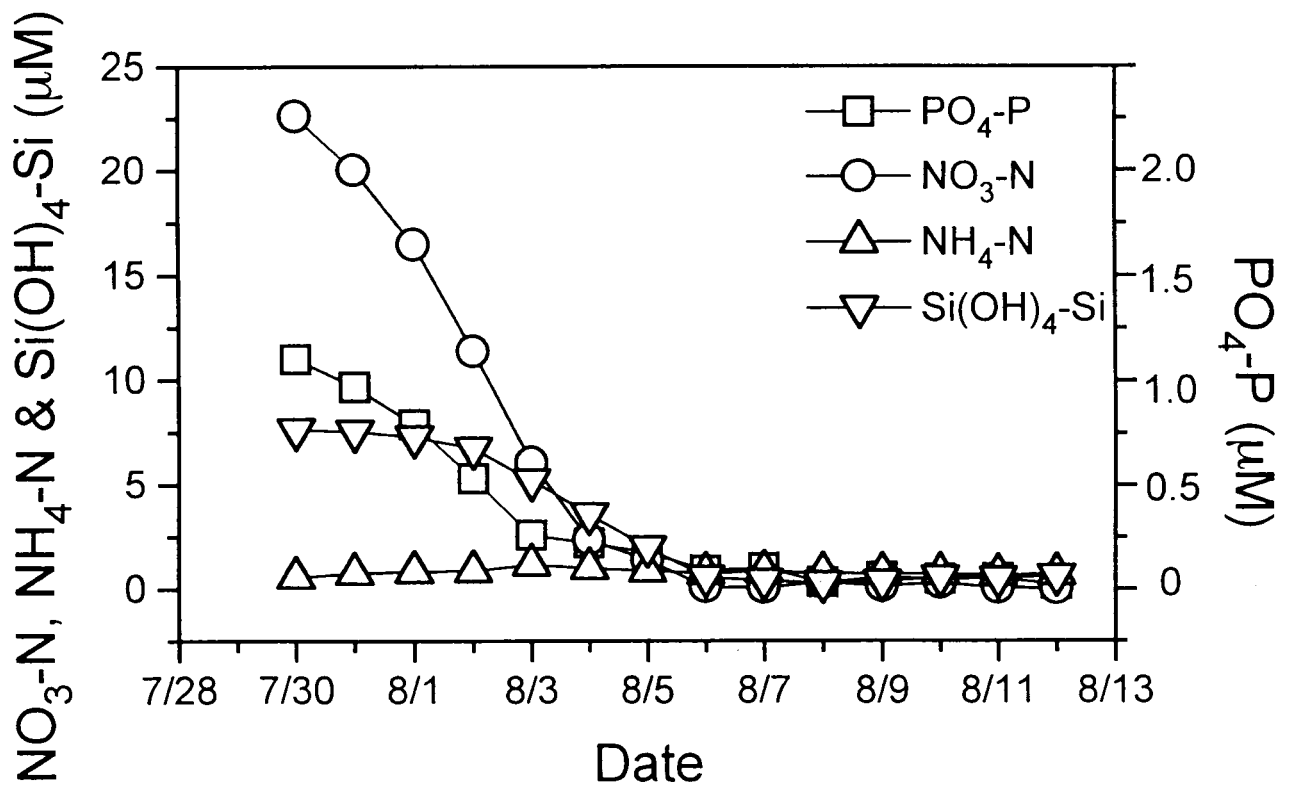


図 6 (b) メゾコズム表層における栄養塩濃度の変遷

その後、栄養塩の急減、及び珪藻羽条目と渦鞭毛藻の減少が見られたが、珪藻円心目は栄養塩濃度の低下にも関わらず固体数を維持していた。

植物プランクトンの優占種遷移について、同じメゾコズム実験で違うパターンが観測された例を加え考察する。図 7 (a) 及び図 8 (a) に示すように、1991 年及び 1992 年においては植物プランクトンの出現順が異なり、初期に珪藻円心目が卓越し、その後珪藻羽条目と渦鞭毛藻が増加した。図 7 (b) に示すように、1991 年においては初期に Si を初めとする栄養塩が急減した。これは、珪藻円心目の急減期と一致していた。一方、図 8 (b) に示すように、高い濃度の栄養塩添加を行った 1992 年には、実験期間を通じて栄養塩は豊富に残されている（特に NO<sub>3</sub>-N と PO<sub>4</sub>-P の濃度は、実験終盤において、1991 年同時期より 1 オーダー高い）にも関わらず、1991 年と同様の優占種遷移が起こっている。したがって、2 つの年度で類似して観察された優占種遷移は栄養塩の影響のみからは説明できない。一方、1994 年終盤には栄養塩は 1991 年序盤と等しい程度にまで減少したにも関わらず、1991 年に見られた珪藻円心目の急減は 1994 年には見られなかった。このことから、各年度のメゾコズム実験で数日おきに見られた植物プランクトン優占種遷移を説明するには、栄養塩濃度変化以外のファクターが必要であると考えられる。

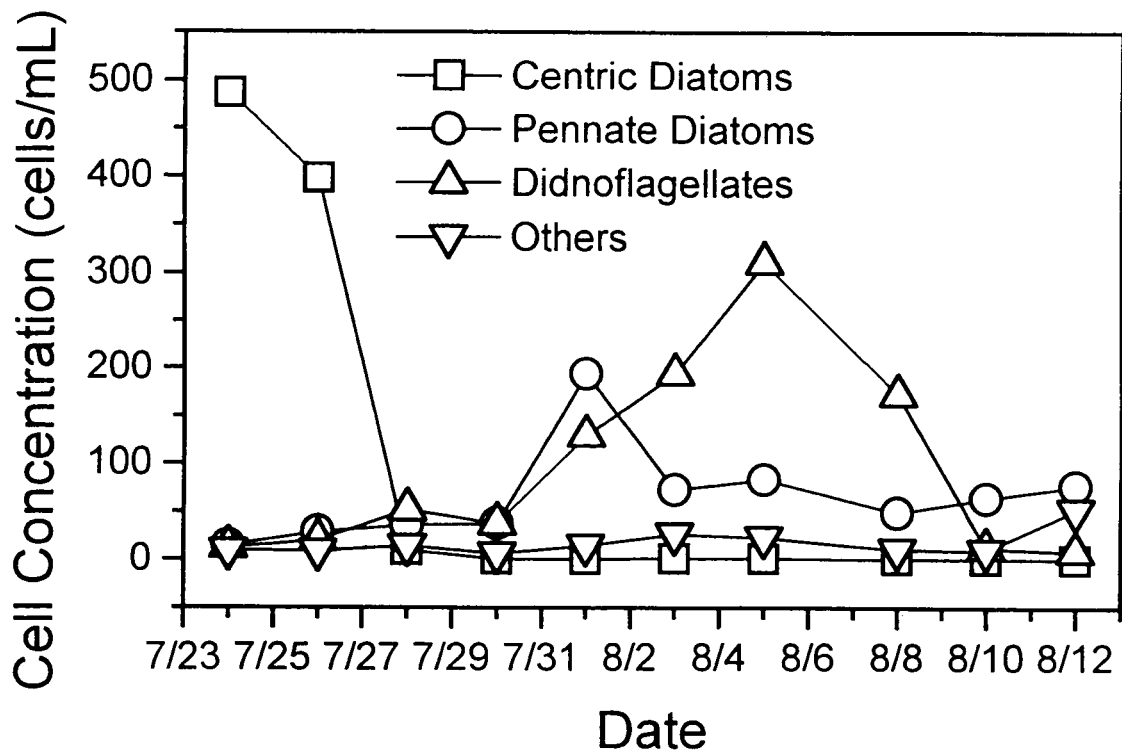


図7(a) メゾコズム表層における植物プランクトン固体数の変遷 (1991年)

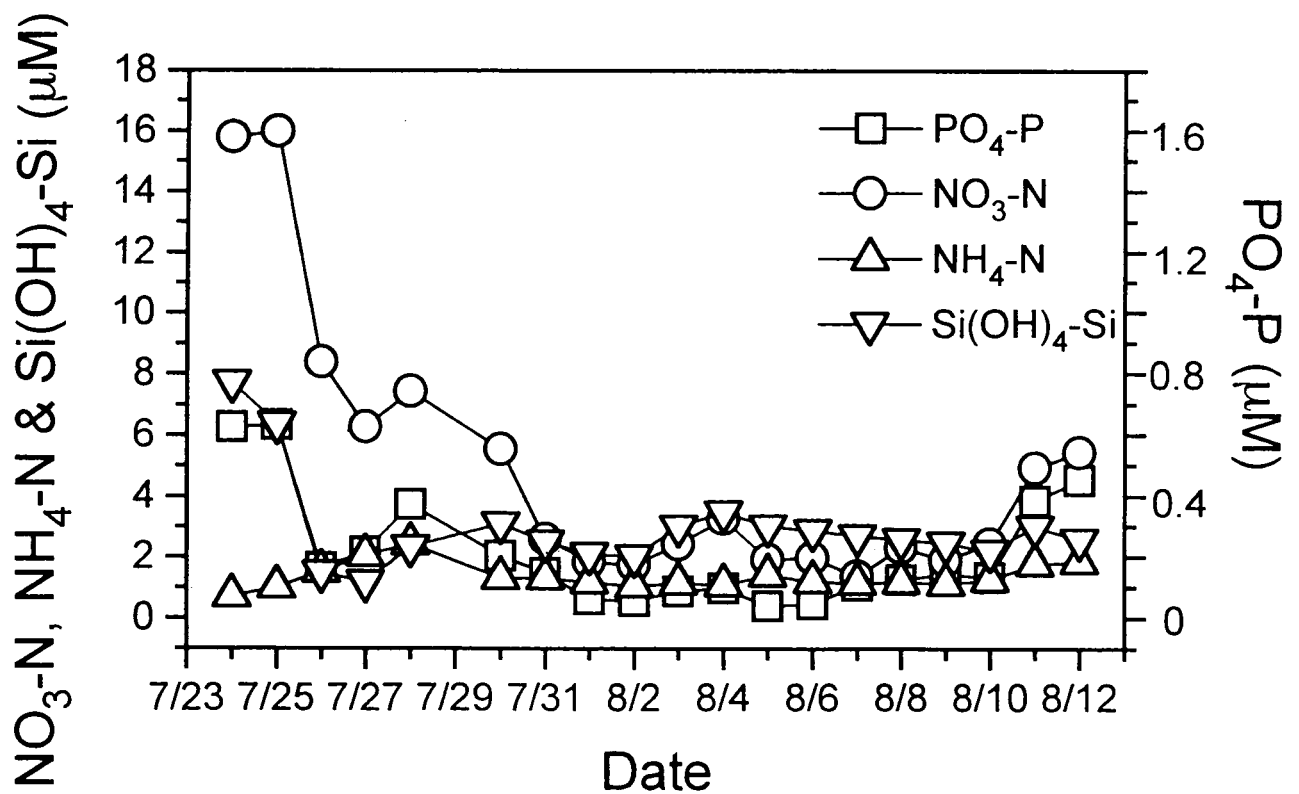


図7(b) メゾコズム表層における栄養塩濃度の変遷 (1991年)

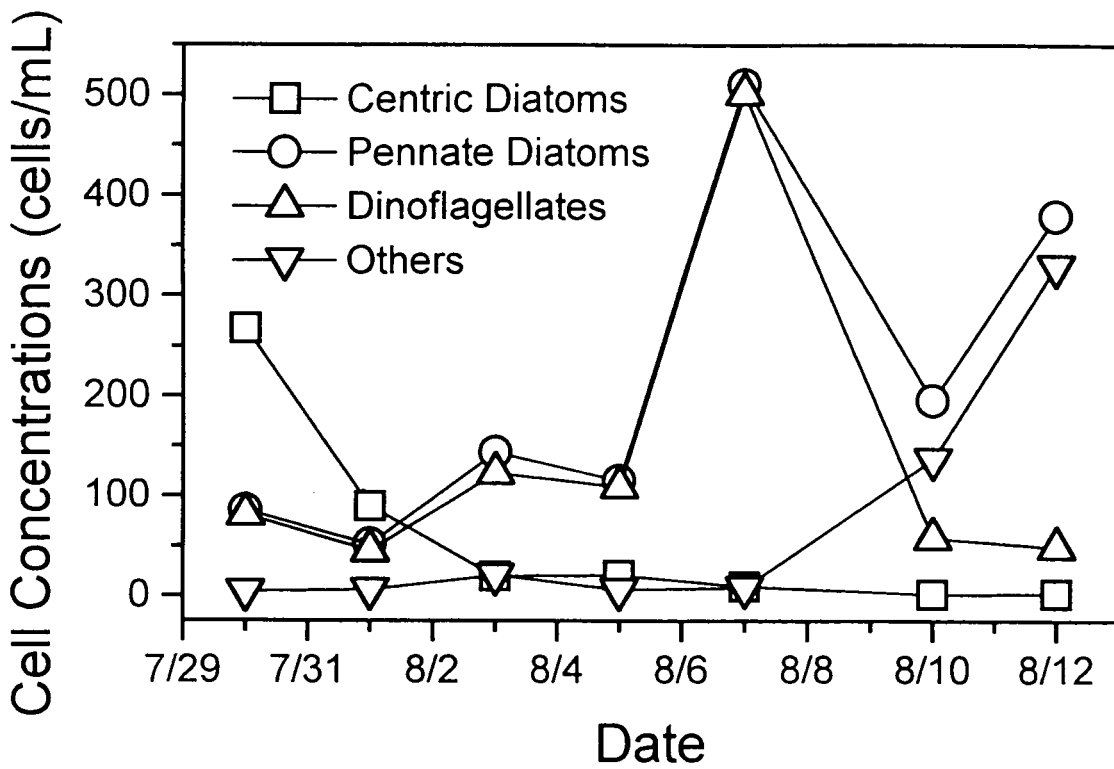


図 8 (a) メゾコズム表層における植物プランクトン固体数の変遷 (1992年)

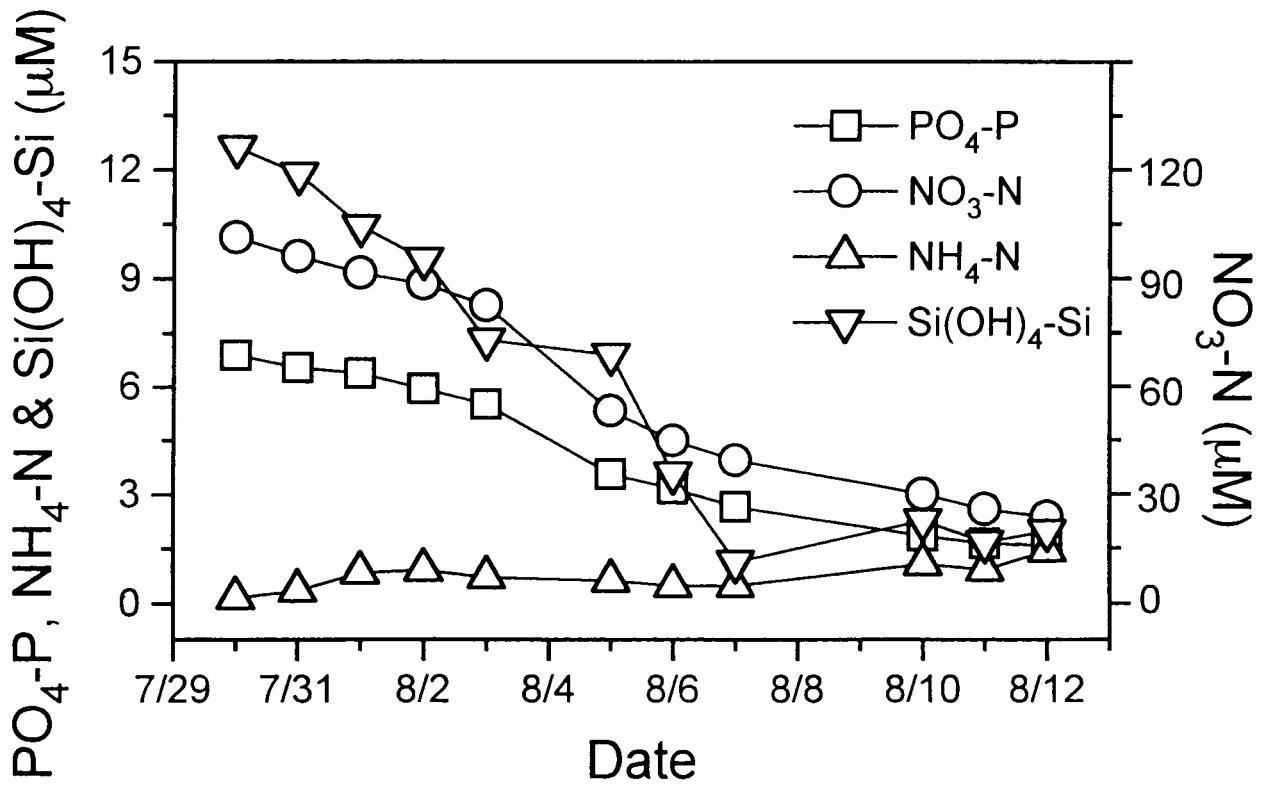


図 8 (b) メゾコズム表層における栄養塩濃度の変遷 (1992年)

上述のことから、観察された植物プランクトン優占種遷移は動物プランクトンによる捕食の影響を強く受けているのではないかと考えられる。図9に示すように、1991、1992、1994年のいずれにおいても実験序盤にはカイアシ類が優占した後、実験中盤に減少し、実験終盤には被嚢類が増加する傾向が見られた。カイアシ類は主に珪藻円心目を捕食し、被嚢類は渦鞭毛藻を捕食する

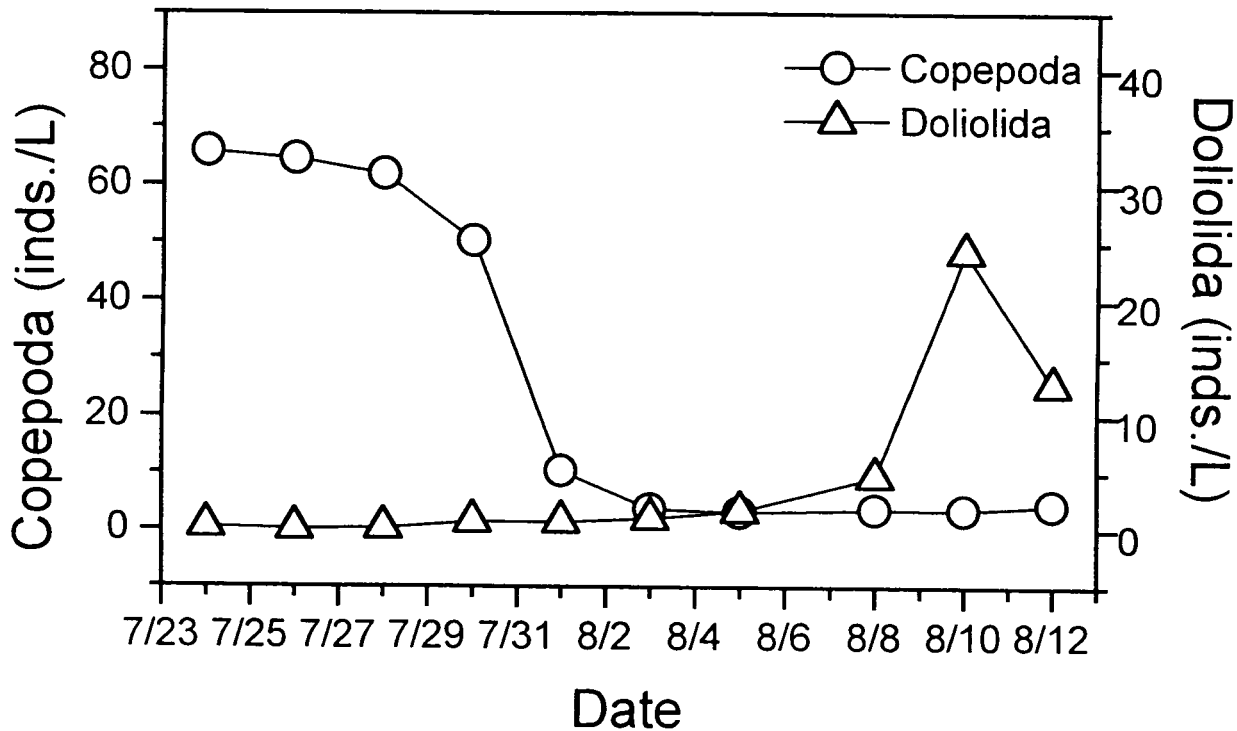


図9(a) メゾコズム表層における優占動物プランクトン種の変遷(1991年)

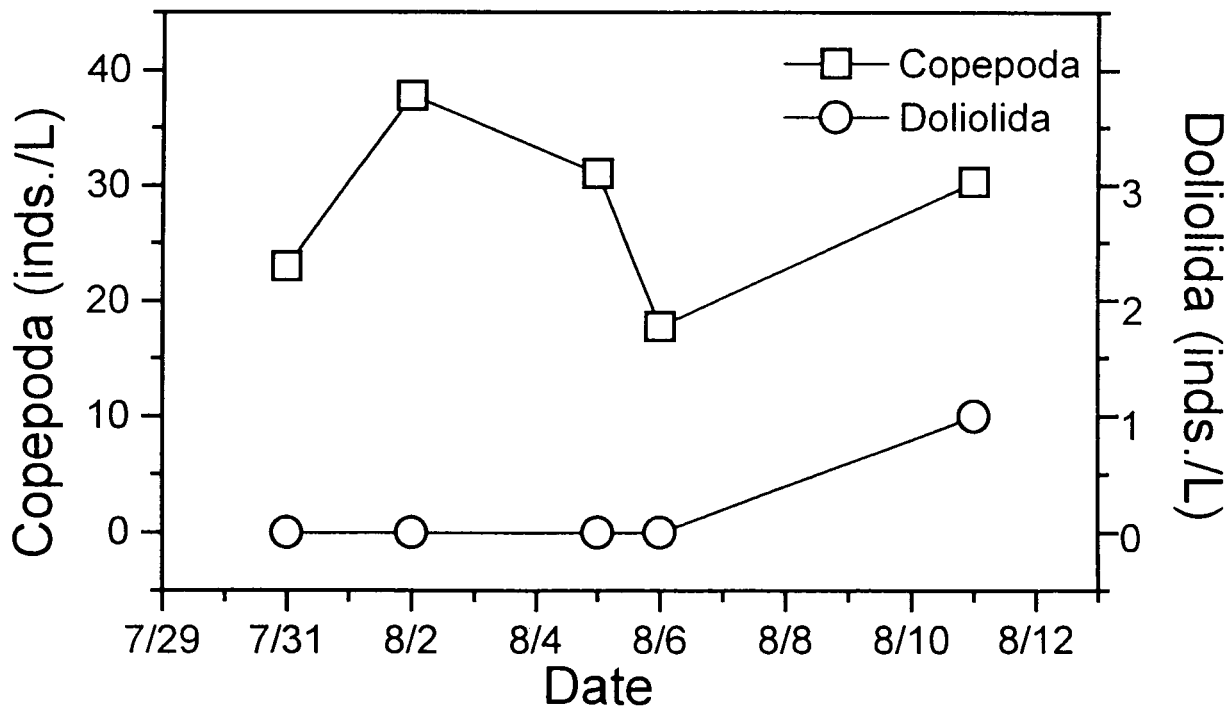


図9(b) メゾコズム表層における優占動物プランクトン種の変遷(1992年)

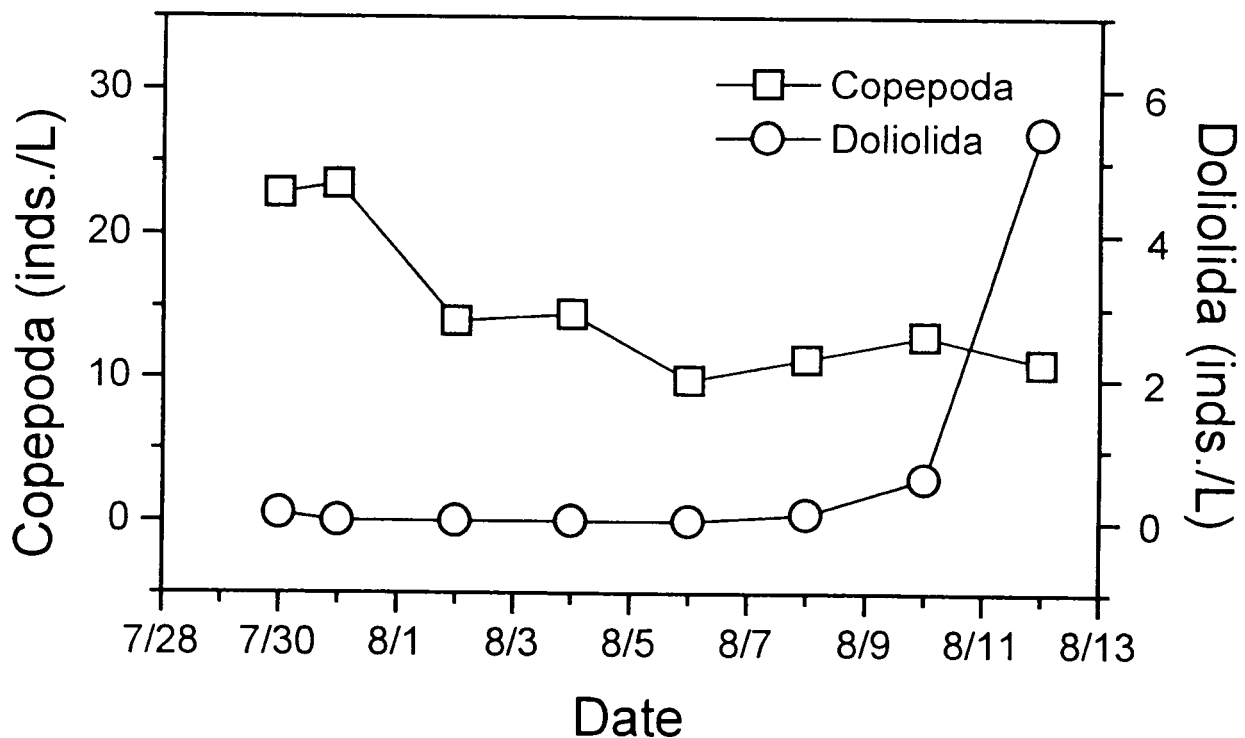


図9(c) メゾコズム表層における優占動物プランクトン種の変遷(1994年)

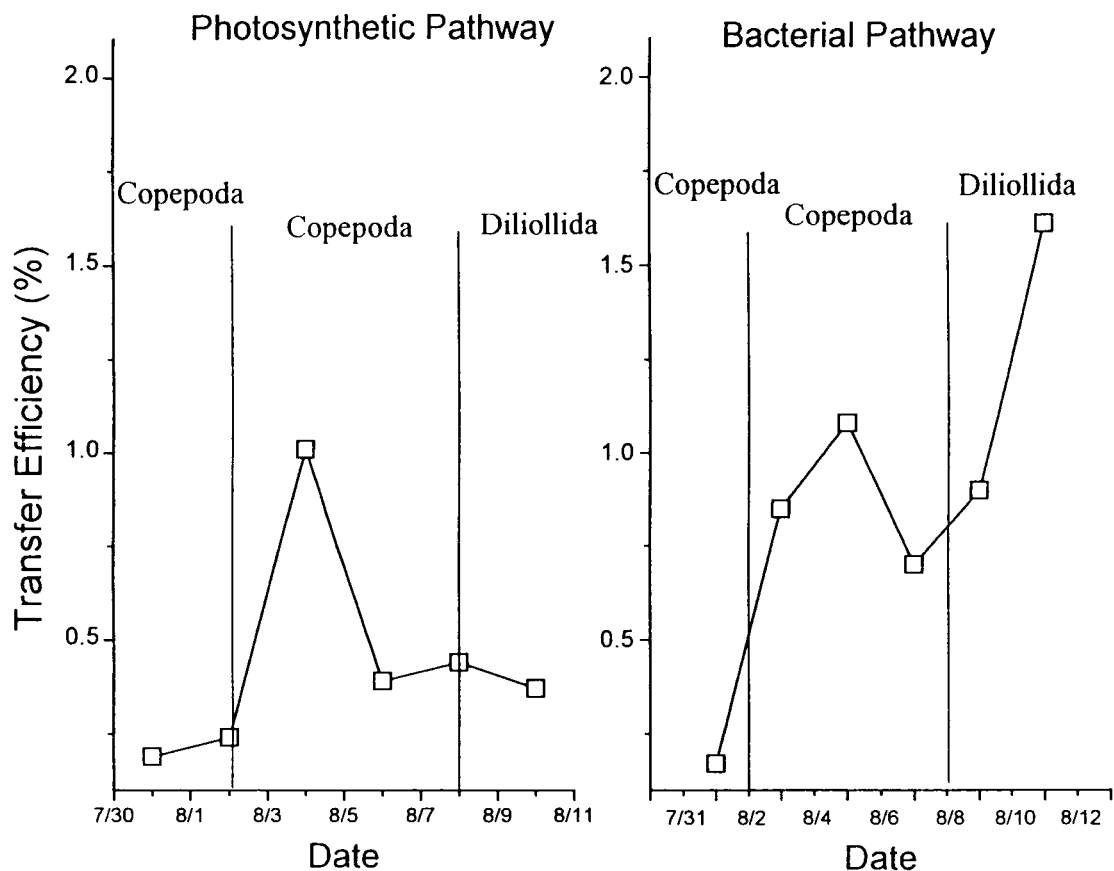
と仮定すると、3つの年度での植物プランクトン優占種遷移の一部が説明できる。すなわち、各年度終盤における渦鞭毛藻の減少期は、被囊類による捕食が原因と考えられる。また、1991年と1992年序盤の珪藻円心目の減少はカイアシ類による捕食が原因と考えられる。逆に、1994年終盤において珪藻円心目が減少しなかったのは、カイアシ類の密度(約10 inds./L)が1991年や1992年の序盤に比べて低かったためと考えられる。厳密には動物・植物プランクトンの種レベルでの捕食関係を考察する必要があるが、3つのメゾコズム実験において、ほぼ共通する傾向が得られたことから、植物プランクトン種遷移において動物プランクトンによる捕食が大きな影響を与えている可能性が示唆された。

### (3) 生態系遷移に伴う炭素循環機構の変動

#### ① 光合成ループ及びバクテリアループにおける動物プランクトンへの移送効率

光合成ループ及びバクテリアループの両経路において、 $>100\mu\text{m}$ 画分における $^{13}\text{C}$ 量を求め、全粒子(光合成ループの場合は $>0.7\mu\text{m}$ 画分、バクテリアループの場合は $>0.2\mu\text{m}$ 画分)中の $^{13}\text{C}$ 量に対する百分率を移送効率と定義した。

両経路における移送効率の変動を図10に示す。バクテリアループの移送効率は0.2~1.6%の値を示し、平均は0.9%であった。一方、光合成ループの移送効率は0.2~1.0%の値を示し、平均は0.4%であった。これらの結果より、バクテリアループの移送効率は光合成ループの場合と同じ程度に高いことがわかる。我々が得たバクテリアループの移送効率は従来の報告値<sup>5)</sup>より1オーダー以上高い値であった。



(a) 光合成ループ

(b) バクテリアルループ

図10 光合成ループ及びバクテリアルループにおける移送効率の変動

同様の結果は、他の年度の計測においても得られている（表1）。前項で示したように、各年度においては異なる栄養塩濃度、動物・植物プランクトン種遷移が観察されたが、両経路の移送効率の変化幅と平均値はほぼ等しい値が得られている。

表1(a) 1991, 1992, 及び1994年における光合成ループの移送効率の幅と平均値

年	ボトル実験回数	移送効率の幅 (平均値)
1991	8	0.1 - 2.7 (1.0)
1992	8	0.2 - 4.6 (1.2)
1994	6	0.2 - 1.0 (0.4)

表 1 (b) 1991, 及び1994年におけるバクテリアループの移送効率の幅と平均値

年	ボトル実験回数	移送効率の幅 (平均値)
1991	8	0.2 - 1.5 (0.5)
1994	6	0.2 - 1.6 (0.9)

1991年における両経路の移送効率の変動 (図11) を併せ、移送効率の変動と生態系遷移の関係について考察する。前項で述べたように、動物・植物プランクトン種の変遷に伴って捕食関係も変動することが考えられる。図10(a)及び図11(a)に見られるように、カイアシ類と珪藻円心目の組み合わせの時 (1991年は実験序盤, 1994年は中盤), 及び被囊類と渦鞭毛藻・珪藻羽条目の組み合わせの時 (1991年は実験終盤, 1994年には存在しなかった) に、特に高い値が示されている。

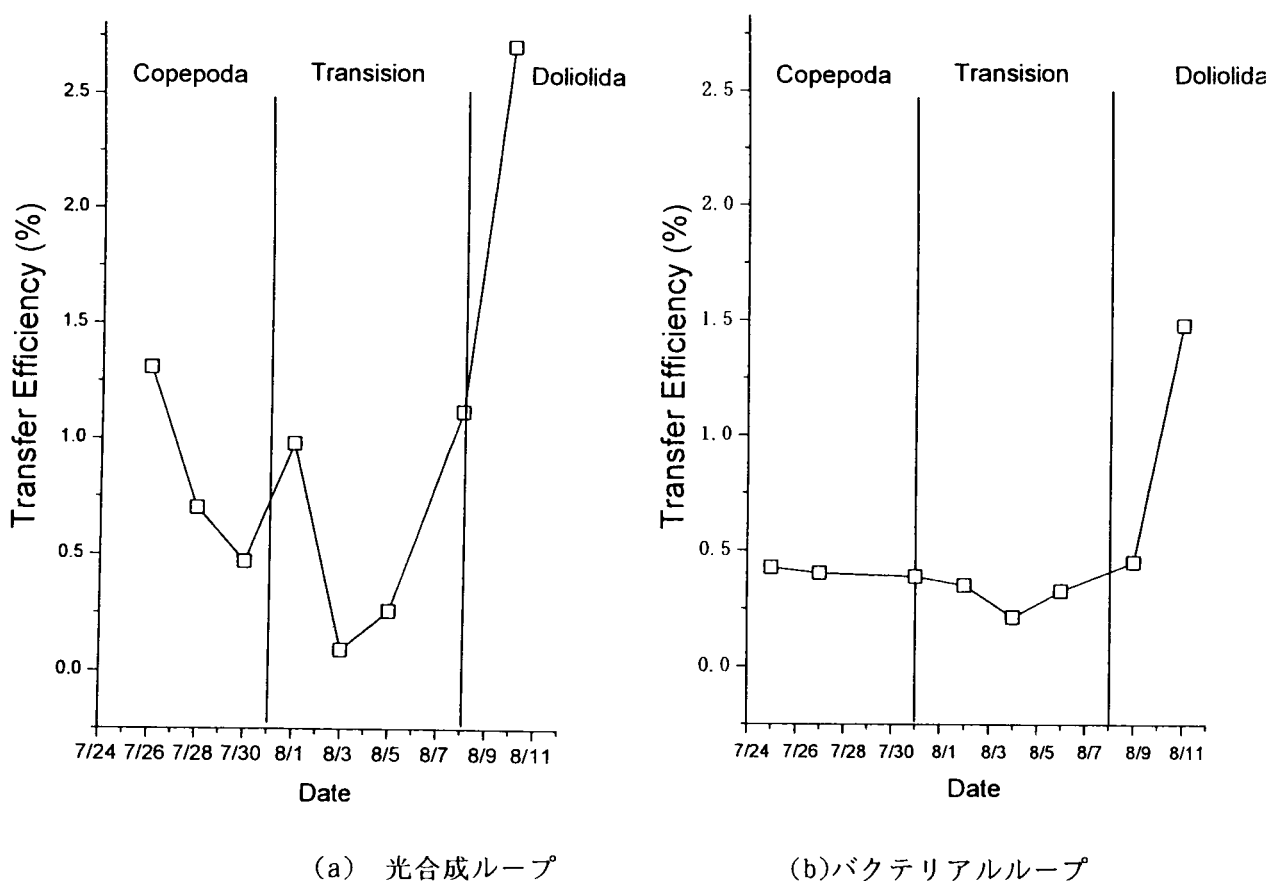


図11 光合成ループ及びバクテリアループにおける移送効率の変動 (1991年)

一方、被囊類と珪藻円心目の組み合わせの時 (1994年の終盤) には移送効率は低かった。これらの結果は、植物プランクトン種遷移に与える動物プランクトン優占種の影響に関する前項での考察を裏付ける物である。バクテリアループにおいては、被囊類の優占期に高い値が得られている (1991年及び1994年とも終盤)。このことは、被囊類がバクテリアサイズの微小粒子を効率

的に捕食できる<sup>11)</sup>ためと考えられる。両経路において、生態系の優占種が移送効率に大きな影響を与える事が明らかとなった。

## ② 光合成速度及び細菌生産速度の比較

図12に、メゾコズム中の光合成速度及び細菌生産速度の鉛直分布を示す。両経路とも、鉛直4点(0.5m, 2.5m, 5m, 10m)におけるボトル実験の結果をもとに求めた物である。この図より、表層では光合成速度の方が大きく上回るが、深さが増すと共に大小関係が逆転し、下方では細菌生産が上回ることがわかる。この結果より、広域海洋における炭素循環を考察する場合、バクテリアループの役割がより重要であることが示唆される。なお、積分値の比較によれば、0-10m間で細菌生産速度は光合成速度の約1/4であり、既報と近い値が得られた。

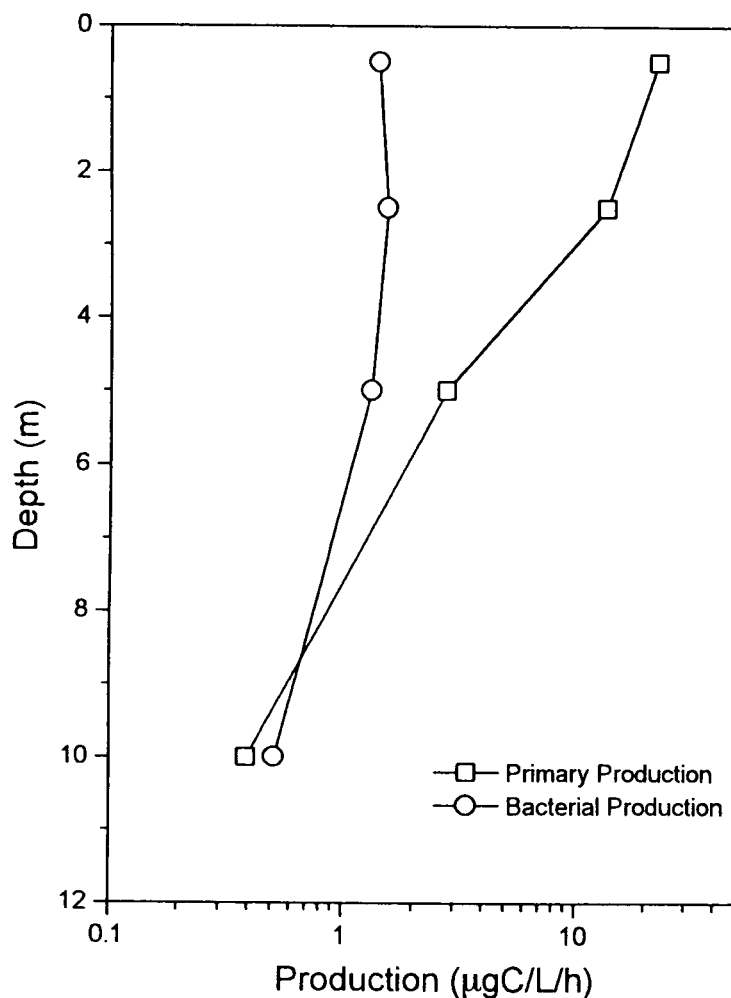


図12 光合成速度と細菌生産速度の鉛直プロファイル

## 4. 本研究のまとめと課題

隔離実験生態系である海洋メゾコズムの構築手法を確立し、化学・生物学的な環境条件と炭素を



中心とした親生物元素の循環について検討した。鉛直循環流装置により、遊泳力のない植物プランクトン種の維持が可能であると共に、人為的成層を構築できることが示された。また、観察された優占植物プランクトン種遷移において、栄養塩濃度の変化よりも動物プランクトンとの捕食関係が重要である可能性を示した。さらに、このような生態系優占種遷移は、光合成ループ及びバクテリアループの両者における炭素循環速度を変化させることが炭素安定同位体トレーサー実験によって明らかとなった。今後の課題として、両経路における炭素循環機構をより詳細に追跡し、原生動物等の役割を明らかにすると共に、その結果として起こる炭素現存量変化を説明し、生態系・物質循環モデルへと発展させることが挙げられる。

### 引用文献

- 1) Grice, G. D. and Reeve, M. R., 1982, Introduction and Description of Experimental Ecosystem. In Marine Mesocosms. [Eds.] Grice & Reeve, Springer-Verlag, New York
- 2) Riemann, B. O., Nielsen, T. G., Bjornsen, P. K. and Pock-Steen, J., 1988, Regulation of Phytoplankton Biomass in Estuarine Enclosures., Mar. Ecol. Prog. Ser., 48: 205-215
- 3) Cole, J. J., Findlay, S. and Pace, M. L., 1988, Bacterial Production in Fresh and Saltwater Ecosystems: A Cross-System Overview, Mar. Ecol. Prog. Ser. 43: 1-10
- 4) Sanders, R. W. and Wickham, S. A., 1993, Planktonic Protozoa and Metazoa: Predation, Food Quality and Population Control, Mar. Microb. Food Webs, 7: 197-223
- 5) Ducklow, H. W., Purdie, D. A., Williams, P. J. LeB. and Davies, J. M., 1986, Bacterioplankton: A Sink for Carbon in Coastal Marine Plankton Community, Science, 232: 860-867
- 6) Kohata, K., Watanabe, M. and Yamanaka, K., 1991, Highly Sensitive Determination of Photosynthetic Pigments in Marine in situ Samplers by High-performance Liquid Chromatography., J. Chromatogr., 558: 131-140
- 7) Hama, T., Miyazaki, T., Ogawa, Y., Iwakuma, T., Takahashi, T., Otsuki, A. and Ichimura, S., 1983, Measurement of Photosynthetic Production of a Marine Phytoplankton Population Using a Stable  $^{13}\text{C}$  Isotope, Mar. Biol., 73: 31-36
- 8) 渡辺正孝, 1992, 海に作った閉鎖生態実験系, 日経サイエンス, 22-5, 20-25
- 9) 例えば, Grice, G. D. and Reeve, M. R. [eds.], 1982, Marine Mesocosm, Springer-Verlag
- 10) 例えば, Watanabe, M., Kohata, K. and Kimura, T., 1991, Diel Vertical Migration and Nocturnal Uptake of Nutrients by *Chattonella antiqua* under stable stratification, Limnol. Oceanogr. 40: 1447-1460
- 11) Crocker, K. M., Alldredge, A. L. and Steinberg, D. K., 1991, Feeding Rates of the *Dolioletta gegenbauri*, on Diatom and Bacteria, J. Plankton. Res., 13: 77-82

## 研究発表の状況

### 論文発表

- 1) Watanabe, M., Kohata, K., Kimura, T., Yamaguchi, S. and Ioriya, T., 1995, Generation of *Chattonella antiqua* bloom by imposing a shallow nutricline in a mesocosm, *Limnol. Oceanogr.* 40: 1447-1460 L/O
- 2) Harada, S., Watanabe, M., Kohata, K., Ioriya, T., Kunugi, M., Kimura, T., Fujimori, S., Koshikawa, H., and Sato, K., 1996, Analyses of planktonic ecosystem structure in coastal seas using a large-scale stratified mesocosm, *Wat. Sci. Tech.* in press
- 3) Wang, X.L., Harada, S., Watanabe, M., and Koshikawa, H., 1996, Modelling the bioconcentration of hydrophobic organic chemicals in aquatic organisms, *Chemosphere*, in press
- 4) 功刀正行, 1993, 海洋起源のDMS-地球規模での気候を制御する物質-, 化学と工業, 46: 1131-1132
- 5) 渡辺正孝, 1994, 地球環境に果たす海洋の役割, 混相流, 8: 187-194
- 6) 渡辺正孝・木幡邦男, 1995, 赤潮の発生機構と青潮の生成環境, 環境科学会誌, 8: 449-460
- 7) 功刀正行, 1995, 海洋研究から見た地球温暖化, 千葉大学廃棄物処理施設報, 13: 1-9
- 8) Koshikawa, H., Harada, S., Watanabe, M. and Sato, K., 1996, Relative contribution of bacterial and photosynthetic production to metazooplankton as carbon sources, *J. Plankton Res.*, submitted
- 9) Harada, S., Koshikawa, H., Watanabe, M., Kohata, K., Ioriya, T., Hiromi, J., Kimura, T., Takubo, Y. and Sato, K., 1996, Effects of species succession on magnitudes and causes of DOC accumulation: a mesocosm study, *Limnol. Oceanogr.*, submitted
- 10) Wang, X.L., Harada, S., Watanabe, M., Koshikawa, H. and Sato, K., 1996, Determination of bioconcentration potential of tetrachloroethylene in marine algae by  $^{13}\text{C}$ , *Chemosphere*, submitted
- 11) Wang, X.L., Ma, J., Harada, S., Watanabe, M., Koshikawa, H. and Kimura, T., 1996, A model for describing the time course and variability in toxicity of hydrophobic chemicals to aquatic organisms, *Environ. Toxicol. Chem.*, submitted

### 学会発表

- 1) 原田茂樹・渡辺正孝・木幡邦男・庵谷晃・越川海, 1994, 海洋メゾコズム中の生態系遷移と炭素循環に関する研究: 1. 藻類種の変遷と諸形態炭素量の変遷, 第28回日本水環境学会年会講演集, 156-157
- 2) 越川海・原田茂樹・渡辺正孝・木幡邦男・佐藤一省, 1994, 海洋メゾコズム中の生態系遷移と炭素循環に関する研究: 2.  $^{13}\text{C}$ トレーサーを用いた炭素の形態変化, 第28回日本水環境

学会年会講演集, 158-159

- 3) 仁木拓志・功刀正行・渡辺正孝・東禎三, 1993, 微生物によるDMSPの分解とDMSの生成, 1993年度日本海洋学会講演要旨集, 365-366
- 4) 功刀正行・渡辺正孝・仁木拓志・東禎三, 1993, 海洋におけるDMSを中心とする有機硫黄化合物の存在状態, 日本分析化学会第42回年会講演要旨集, 437
- 5) 功刀正行・渡辺正孝・仁木拓志・東禎三, 1993, DMSおよびDMSPの生成機構と大気への放出, 第34回大気汚染学会講演要旨集
- 6) 原田茂樹・渡辺正孝・越川海・木幡邦男・功刀正行, 1994,  $^{13}\text{C}$ トレーサーを用いた海洋メゾコズム中のCarbon-Cycleに関する研究, 1994年度日本海洋学会春季大会
- 7) 越川海・原田茂樹・渡辺正孝・佐藤一省, 1994, 海洋メゾコズムへの $^{13}\text{C}$ 直接添加による炭素の移動・循環に関する研究, 1994年度日本海洋学会春季大会
- 8) 原田茂樹・越川海・渡辺正孝・佐藤一省, 1995, 海洋メゾコズム中の生態系遷移と炭素循環に関する研究: 表層・下層の炭素循環の比較, 第29回日本水環境学会年会講演集
- 9) 仁木拓志・東禎三・功刀正行・渡辺正孝, 1994, 微生物によるDMSPの分解とDMSの生成(II), 1994年度日本海洋学会春季大会
- 10) 功刀正行・渡辺正孝・仁木拓志・東禎三, 1994, 海水中の有機硫黄の存在状態(II) - DMSPの分解とDMSの動態 -, 日本分析化学会第43回年会
- 11) 功刀正行, 1994, 海洋研究からみた地球温暖化, 千葉大学環境研究機構講演会
- 12) 原田茂樹・越川海・渡辺正孝・佐藤一省, 1995, 海洋メゾコズムへの $^{13}\text{C}$ 直接添加による炭素の移動・循環に関する研究 その2, 日本海洋学会1995年度春季大会
- 13) 越川海・原田茂樹・渡辺正孝・木暮一啓, 1995, 沿岸域における海洋細菌の $^{13}\text{C}$ -Glucose Uptakeと生産速度の相互関係について 日本海洋学会1995年度春季大会, 東京
- 14) Harada, S., Koshikawa, H., Watanabe, M. and Sato, K., 1995, Variations in the transfer efficiency from photosynthetic and bacterial carbon production into zooplankton during a shift of zooplankton dominance from copepoda to doliolida, North Pacific Marine Science Meeting 4th Annual Meeting, Qingdao
- 15) Watanabe, M., Ishikawa, Y., Harada, S. and Amano, K., 1995, A strategy for assessing the effects of contaminants of marine ecosystem: case study of Tokyo Bay and possibility of model development in East China Sea, North Pacific Marine Science Meeting 4th Annual Meeting, Qingdao
- 16) Amano, K., Watanabe, M., Kohata, K. and Harada, S., 1996, Modelling of diel vertical migration and nocturnal nutrient uptake by *Chattonella antiqua*, American Society of Limnology and Oceanology, Ocean Science Meeting, San Diego
- 17) 原田茂樹・越川海・渡辺正孝・佐藤一省, 1996, 海洋生態系における光合成及び細菌同化を起点とする炭素循環について, 第30回日本水環境学会年会
- 18) Wang, X.L., Harada, S., Watanabe, M., and Koshikawa, H., 1996, Modelling the bioconcentration of hydrophobic organic chemicals in aquatic organisms, 第30回日本水環境学会年会