

運輸省港湾技術研究所

# 港湾技術研究所 報告

---

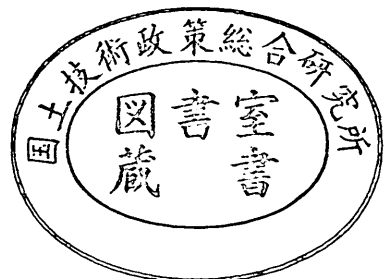
---

REPORT OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH  
INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT

---

VOL. 26      NO. 2(1)      JUNE 1987

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



# 港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第26巻 第2号 (Vol. 26, No. 1), 1987年6月 (June 1987)

## 目 次 (CONTENTS)

1. Bearing Capacity of a Foundation on Top of High Mound Subjected to Eccentric and Inclined Load  
..... Masaaki TERASHI and Masaki KITAZUME..... 3  
(偏心傾斜荷重を受ける高マウンド上の浅基礎の支持力 ..... 寺師昌明・北誥昌樹)
2. Fatigue Properties of Prestressed Concrete Beam-to-Column Joints for Waves  
..... Osamu KIYOMIYA, Hiroshi YOKOTA, Toshiyuki YOKOI, Muneto ABE, Osamu KOHRIYAMA, Koichi MINAMIKAWA and Kunihiro MUKAI..... 25  
(プレストレストコンクリート柱・はり接合部の波力に対する疲労特性 ..... 清宮 理・横田 弘・横井聰之・阿部宗人・郡山 修・南川光一・迎 邦博)
3. 汀線位置の短期変動特性とそのモデル化の試み  
..... 加藤一正・柳嶋慎一・村上裕幸・末次広児..... 63  
(Daily Changes of Shoreline Position and its Tentative Predictive Model ..... Kazumasa KATO, Shin-ichi YANAGISHIMA, Hiroyuki MURAKAMI and Kohji SUETSUGU)
4. ベイズ型モデルを用いた方向スペクトルの推定 ..... 橋本典明..... 97  
(Estimation of Directional Spectra from a Bayesian Approach ..... Noriaki HASHIMOTO)
5. 湧昇流を発生させるための水中設置構造物背後の流れと乱れ特性  
..... 鶴谷広一・松延嘉國・惟住智昭・柳嶋慎一.....127  
(Measurements of Turbulent Flow Downstream of a Submerged Structure ..... Hiroichi TSURUYA, Yoshikuni MATSUNOBU, Tomoaki KOREZUMI and Shin-ichi YANAGISHIMA)
6. 波と底泥の相互干渉による波高減衰と底泥の流動について  
..... 中野 晋・鶴谷広一・鷹濱 潤.....171  
(On Wave Attenuation and Flowing of Mud Layer due to an Interaction of Waves with a Mud Bottom ..... Susumu NAKANO, Hiroichi TSURUYA and Jun TAKAHAMA)
7. 水質自動観測データの解析と赤潮予測への応用 ..... 村上和男.....213  
(Analysis of Water Quality Data obtained by Automatic Measurement System and Its Application of Red-Tide Prediction ..... Kazuo MURAKAMI)

8. 海上工事に伴う濁り予測モデルと濁り監視への適用性について .....堀江 毅.....253  
 (Mathematical Modeling on the Fate of Suspended Particles Caused by Marine Works and Application of thd Models to Environmental Monitoring  
 ..... Takeshi HORIE)
9. マイクロコズムとセジメントトラップとを用いた沿岸域での浮遊粒子挙動の観測  
 ..... 細川恭史・三好英一・関根好幸・堀江 毅.....297  
 (Field Observation of Dynamics of Suspended Particles in Coastal Sea by Microcosm and Sediment Trap Experiments  
 ..... Yasushi HOSOKAWA, Eiichi MIYOSHI, Yoshiyuki SEKINE and Takeshi HORIE)
10. 捨石マウンドの支持力の新しい計算法  
 ..... 小林正樹・寺師昌明・高橋邦夫・中島謙二郎・小谷 拓.....371  
 (A New Method for Calculating the Bearing Capacity of Rubble Mounds  
 .....Masaki KOBAYASHI, Masaaki TERASHI, Kunio TAKAHASHI,  
 Kenjiro NAKASHIMA and Hiraku ODANI)
11. 砂地盤の支持力に及ぼす複数基礎の干渉効果 .....寺師昌明・北誥昌樹.....413  
 (Interference Effect on Bearing Capacity of Foundations on Sand  
 ..... Masaaki TERASHI and Masaki KITAZUME)
12. 砂地盤の横方向反力に対する杭幅の影響 .....高橋邦夫・春日井康夫.....437  
 (Influence of Pile Width on Lateral Reaction of Sandy Subgrade  
 ..... Kunio TAKAHASHI and Yasuo KASUGAI)
13. コンクリート舗装構造の非破壊評価法の開発 ——フォールリングウエイトデフレク  
 トメーターによる .....八谷好高・佐藤勝久・田中孝士.....465  
 (Development of Non-Destructive Evaluating Method of Concrete Pavement—  
 by Falling Weight Deflectometer  
 ..... Yoshitaka HACHIYA, Katsuhisa SATO and Takashi TANAKA)
14. 港湾構造物及び海洋構造物の安全性照査に関する検討  
 ——作用荷重の変動係数と荷重係数の算定—— .....白石 悟・上田 茂.....493  
 (Study on the Method of Verification of Structural Safety of Port and Offshore Structures —Computation of Coefficients of Variation of Loads and Load Factors— .....Satoru SHIRAISHI and Shigeru UEDA)
15. 防波堤ケーソンに用いる新形式フーチング構造の力学特性と構造解析  
 ..... 横田 弘・清宮 理.....577  
 (Mechanical Properties and Structural Analyses of New Types of Footing  
 Used in Breakwater Caissons ..... Hiroshi YOKOTA and Osamu KIYOMIYA)

## 9. マイクロコズムとセジメントトラップとを用いた 沿岸域での浮遊粒子挙動の観測

細川 恭史\*・三好 英一\*\*・関根 好幸\*\*・堀江 毅\*\*\*

### 要 旨

東京湾湾口部近くの久里浜湾沖に、透明塩化ビニルシート製容積約4 m<sup>3</sup>のマイクロコズムと3層に捕集筒を垂下させたセジメントトラップとを設置し、この海域の夏期における浮遊粒子の挙動を観測している。マイクロコズム内の水質や粒状物濃度などの変化から、プランクトンの動態を観察でき、セジメントトラップとマイクロコズム内沈降物との比較から、粒状物の沈降特性や組成を検討している。

観測の結果、当該海域では珪藻が実験期間卓越し、赤潮状態を呈していたこと、浮遊粒子の主体は藻もしくはこれの分解途上物であること、浮遊粒子濃度の変化には藻の分解や沈降の作用が大きく動物プランクトンによる捕食作用は比較的小さいことなどが判明した。また、植物プランクトン等の沈降速度は小さいが、浅い沿岸域ではより無機的な底泥粒子の大きな沈降フラックスがあることがわかった。

マイクロコズム実験やセジメントトラップ実験は、実験法や解析法について未確立な点が多い新しい手法であるが、同時にいくつかの付随実験や観測を組み合わせることにより、現場での粒子挙動の解析に有効であることがわかる。

---

\* 水工部 高潮津波研究室長

\*\* 海洋水理部 海水浄化研究室

\*\*\* 海洋水理部 海水浄化研究室長

## 9. Field Observation on Dynamics of Suspended Particles in Coastal Sea by Microcosm and Sediment Trap Experiments

**Yasushi HOSOKAWA\***

**Eiichi MIYOSHI\*\***

**Yoshiyuki SEKINE\*\***

**Takeshi HORIE\*\*\***

### Synopsis

The Microcosm enclosure device is a kind of large container made of transparent non-toxic vinyl sheet. It is set beneath the water surface in coastal area so that the enclosed sea water in the device is independent from the surrounding flow but is almost subjected to the natural environmental condition. This makes it possible to observe *in situ* the changes of the sea water quality due to the ecological interactions and chemical and biochemical reactions.

With the Sediment Trap, the newly developed Microcosm (5m in length, 1m in diameter and 4m<sup>3</sup> in volume) was sunk in the coastal sea at the mouth of the eutrophic Tokyo Bay. The changes of the water quality and the particulate concentration as well as the number of the phytoplankton and the zooplankton had been monitored for about 10 days during each summer season in 1983 and 1984. The ecological and nutrient dynamics were analyzed through the data of these field observations.

In the surface of the sea at the observation site, the main part of the suspended particles was diatom and organic detritus in summer. The particle concentration was governed primarily by the decomposition and settling processes, while grazing pressure by the zooplankton was estimated to be very little in the magnitude. The total settling flux observed by the Trap experiment was successfully separated into the sediment flux and the phytoplankton flux. It was found that the contribution of the phytoplankton was estimated to be very large for the vertical transport of the nutrients and organics, though the sediment flux at the bottom layer was observed to be dominant for the transport of the inorganic solid owing to its resuspension and settling.

With some accompanied experiments, the Microcosm and Sediment Trap experiments can be effectively applied to the analysis of the vertical transport processes of the nutrients.

---

\* Chief of Storm Surge and Tsunami Laboratory, Hydraulic Engineering Division

\*\* Member of Purification Hydraulics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

\*\*\* Chief of Purification Hydraulics Laboratory, Marine Hydrodynamics Division

## 目 次

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 要 旨                               | 297 |
| 1. ま え が き                        | 301 |
| 2. 対象地点の水質特性                      | 301 |
| 2.1 東京湾の水質特性                      | 301 |
| 2.2 久里浜湾沖の水質特性                    | 302 |
| 3. 浮遊粒子の挙動                        | 302 |
| 3.1 挙動の記述式                        | 302 |
| 3.2 非保存項の記述                       | 303 |
| 3.3 観測計画                          | 304 |
| 4. 観 測 方 法                        | 304 |
| 4.1 実験期間と設置位置                     | 304 |
| 4.2 マイクロゾム実験                      | 306 |
| 4.3 セジメントトラップの設置と回収               | 307 |
| 4.4 付随して実施する実験                    | 308 |
| 5. 観 測 結 果                        | 310 |
| 5.1 現場海域の気象・海象                    | 310 |
| 5.2 現場海域の水質特性                     | 311 |
| 5.3 現場海域のプランクトン組成                 | 314 |
| 5.4 マイクロゾム内の水質変化                  | 315 |
| 5.5 マイクロゾム底部に捕集された捕集物             | 320 |
| 5.6 セジメントトラップ実験の結果                | 322 |
| 5.7 付随実験の結果(その1) 小型バッグ法および室内培養実験  | 323 |
| 5.8 付随実験の結果(その2) 動物プランクトンによる捕食実験  | 328 |
| 6. 浮遊粒子挙動の解析                      | 336 |
| 6.1 マイクロゾム内の粒子の収支                 | 336 |
| 6.2 マイクロゾム内の水質変化の速度と、水質変化をもたらす各作用 | 337 |
| 6.3 粒状物の組成の比較                     | 338 |
| 6.4 沈降フラックスの鉛直分布                  | 339 |
| 6.5 粒状物濃度と沈降フラックスとの分画             | 342 |
| 6.6 分画結果の考察                       | 344 |
| 7. ま と め                          | 345 |
| 参 考 文 献                           | 346 |
| 使用記号一覧                            | 347 |
| 主要水質指標概説                          | 347 |
| 付録—A 水質測定データ                      | 348 |
| 付録—B プランクトン計数結果                   | 356 |

## 1. まえがき

閉鎖性の内湾域では富栄養化による水質の悪化が、特に春～夏期にしばしば問題となっている。富栄養化は、水域内の過剰な栄養塩に起因する植物プランクトンの増殖により、水域の COD 濃度が上昇するとともに、生成プランクトンやその遺がい(骸)の沈積により底質も腐敗が進行するものである。栄養塩やプランクトンの挙動が重要な役割を果たしており、流れ・拡散・沈降といった物理的な過程に加えて、増殖・死滅といった生理的な過程やプランクトン相互の生態学的な作用、栄養塩類の分解や酸化・還元反応などの諸過程が関与している。自然界における富栄養化現象を解析するためには、複雑な諸過程の1つ1つを切り離して、要素となる各過程について制御され単純化された系内で実験・検討する方法が主にとられている。しかし、要素過程相互の作用や、要素過程の時間的空間的なスケールの差異なども考慮した検討手段も必要となってきており、ある程度自然界の複雑さもその系内に取り込んでいる実験法としてマイクロコズム実験(またはミクロコズム実験)が目ざされている<sup>1),2)</sup>。ここでは、富栄養化した内湾域や港湾域での夏期における汚濁の機構をより総合的に解析し、プランクトンなどの浮遊粒子の挙動や水質上の役割を評価するために、マイクロコズム装置を利用した現地観測を試みている。

マイクロコズム実験は、各種の透明容器で海水もしくは海水と底泥との両者の一部を囲い込み、囲い込んだ水塊の中での栄養塩やプランクトンの挙動を追跡するという実験であり、水塊隔離実験などとも呼ばれている。沿岸域のプランクトン生態を調べるために使われはじめたが、底泥の役割の評価、鉛直混合の役割の評価、栄養流入時の水質変化予測など、水質上の検討にも利用できる。当研究所で開発・作成した装置と設置法およびプランクトン相の変動などは既に報告済である<sup>3)</sup>。隔離した水塊での水質の挙動が現実の海域の水質の挙動とどう結びつくのかについての動力学的な解析が試みられた例は少なく、解析手法についても未確立な点が多く観測例の積み重ねが望まれている。ここでは、いくつかの付随実験やセジメントトラップ実験と組み合わせて用いることにより、多少の荒さはあるものの、浮遊粒子濃度を変化させる多作用因子に対して速度や変化の大きさの評価を試みている。セジメントトラップ装置も、粒子の沈降フラックスを測定する新しい装置であるが、沿岸域での利用例は少ない。当所で開発・作成したセジメントトラップ装置について、その諸元や設置法は既に報告済<sup>4)</sup>である。この装置による測定フラックス値は特に底層で過大にな

ることが多い。ここでは、セジメントトラップデータの扱いについてもあわせて検討している。

顕微鏡的なスケールでの生物学的な研究と、現地スケールでの研究とを、マイクロコズム実験を仲立ちにして結びつけ、水質の変化機構を把握し水質の改善に土木技術が有効に利用できるための一助となる事が、この研究での試みのねらいである。

ここでは、まず2.において、東京湾の水質特性の概略と、対象地点の特性について紹介し、3.において浮遊粒子の挙動に対する理論的検討と観測計画について述べ、4.において観測方法、5.において結果をそれぞれまとめている。更に、6.において結果の解析を試み、7.でまとめおよび問題点を示している。

## 2. 対象地点の水質特性

### 2.1 東京湾の水質特性

閉鎖性内湾の典型である東京湾の水質については、すでにさまざまな議論がなされてきている。富栄養化の進んだこの湾では、1960年ごろから透明度が低下し、湾中央部の表層水中の COD も 2 mg/l を超えはじめている。1970年ごろから透明度の回復傾向もみられるが、リン・窒素などの栄養塩濃度は横ばいかやや上昇しているとも言われている<sup>5)</sup>。こうした長期的な変動は背後都市の産業活動や人口に起因する湾への流入負荷によって説明される。湾内の栄養塩や植物プランクトンの km オーダーの平面的な分布も、こうした負荷源からの運搬によって説明される。

一方、水質の変動の時間スケールとしては、湾内の平均的滞留時間の議論があり、次のような見積り例がある。宇野木らは、湾口で流速の測定や、湾内の水体積と流入水量などによって湾内水の滞留時間が0.13年などと算定している<sup>6)</sup>。湾内平均濃度、流出速度、堆積速度、堆積物中の含量などを用いて、リンと窒素について滞留時間を見積ると0.1年程度となり<sup>7)</sup>、流入負荷の大部分は湾口から湾外に出てゆくことになるとの解析もある。季節的な変動は、負荷・流出・堆積などと、水の湾内循環や栄養塩や有機物の湾内での生成・分解・沈降などの作用とで説明される。

こうした1か月前後の滞留時間で説明される変動よりも、もっと短い変動も観測される。成層の形成と破壊には、日照などとともに風の影射が強く、吹き寄せの効果により鉛直循環流も大きな影射を受ける<sup>8)</sup>。夏期の成層時には南からの風により早い応答時間で流入淡水が湾奥に寄せられ、北からの風により湾口への到達が早くなりやすい。また、風上側での湧昇流・風下側での沈降流の

発生なども生じるとされている<sup>9)</sup>。また、降雨後の淡水の流入が沿岸でのプランクトンの大発生を促進し、COD値を著しく高くするなどの、生物の増殖・移動といった現象も1日～数日の時間スケールの現象である。大阪湾神戸沖に定置された水質連続観測ブイのデータによれば、植物プランクトン濃度を示すクロロフィルa濃度は、半日周潮、日周潮の潮せき(汐)周期の他に1.3日程度の周期での変動が見出されている<sup>10)</sup>。

湾内域の平均的な水質については、さまざまな要因による時間・空間スケールの異なる変化が重層していることがわかる。

## 2.2 久里浜湾沖の水質特性

久里浜湾は東京湾の湾口近くに位置し、二級河川平作川を流入河川とし、東京湾に向かって西に開いている二次湾である。東京湾内の水質分布についてはおもに富津岬と観音崎を結ぶ線より内側について調べられており、これより外側の久里浜湾口付近ではあまり観測例はない。筆者らの湾口付近の水質観測<sup>11),12)</sup>によれば、久里浜湾口より沖側へ数km離れた地点から湾口中央部にかけて水深は深く、夏期においてもおおむね清澄である。底層から沖合の高塩水の侵入がみられ、沖合の海象に大きく影響されやすい。一方、久里浜湾内は、湾奥に砂浜を有し比較的浅い。流入河川は、上流で都市下水の処理水を受け入れており、降雨の翌日は流出土砂で茶色の濁りを見せることが多い。この湾内水を透明容器に入れて野外に放置すると、フロロフィルa濃度で200 $\mu\text{g}/\text{l}$ <sup>3)</sup>を超す高いプランクトンの発生を見ることがある。湾内水の栄養レベルは高く、富栄養化が進行しているようであるが、プランクトンに起因する悪臭などは感じられず、湾奥海浜では夏期に水浴やヨット、釣りなどが盛んである。

久里浜湾沖の対象とした海域は、湾内水の栄養が流出している海域であり、水質的には次のような特性がある。

① 夏期においては珪藻を中心にプランクトン濃度が上昇し、クロロフィルa濃度で20 $\mu\text{g}/\text{l}$ を超えることがある。

② 通常は、底層の栄養塩濃度が表層よりもやや高い。底質は、岸近くは砂もしくは礫であるが、少し沖では砂混シルトもしくはシルト混砂となる。降雨後には、河川水の影響と思われる低塩分水が表層をすべって拡散してゆくことがある。窒素;リンなどを排出する大きな工場は、久里浜湾口部から沿岸部には見当たらない。

③ 南に東京湾口を望み、西に東京湾を横切って対岸の千葉県を望むため、南西の風により波の来襲を受けるこ

とがある。

この海域の水を室内で培養すると、珪藻の発生を観察でき、藻の発生は1～2日でピーク濃度に達する。したがって、対象海域は、夏期水質としては富栄養化海域として特徴づけられ植物プランクトンが重要な役割を担っていると思われる。対象海域のプランクトンの増殖・発生は数日のオーダーの現象と思われる。対象海域の水深は10mを切る比較的浅い海域であるところから、プランクトンが1日1m程度のゆっくりした速度で沈降するとしても10日前後で底面に達すると思われる。実験実施時の状況や観測の対象となる現象の選定にもよるが、夏期水質のうち植物プランクトンなどの浮遊粒子の挙動については数日～10日程度の観察によっても変化の把握が可能であると思われる。

## 3. 浮遊粒子の挙動

### 3.1 挙動の記述式

対象海域の浮遊けん濁粒子は、表層では植物プランクトンが主体を占め、底層では底泥粒子や沈積粒子の占める割合が大きいと予想される。また、河口近くでは河川からの流下土砂の影響を受けることも想定される。こうした、海水中の浮遊粒子の濃度の変化はどのように記述されるのかまとめておく。

海水中の浮遊粒子濃度は、浮遊粒子の乾重量で表される他、含有している炭素濃度やクロロフィルの濃度もしくは光を散乱する割合などの浮遊粒子の属性をもって表示される。いずれの表示であっても浮遊粒子の濃度として取り扱える。流れの中の粒子は、水塊の動きとともに運ばれる他、水との比重差に起因した沈降の作用を受ける。この時、 $z$ 軸を底面より上向きにとれば、粒子濃度の変化は次のように表せる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} + (W-w) \frac{\partial C}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + M \quad \dots\dots(1) \end{aligned}$$

ここで、 $C$ は粒子濃度、 $U$ 、 $V$ 、 $W$ はそれぞれ $x$ 、 $y$ 、 $z$ 方向の流れ、 $D_x$ 、 $D_y$ は $x$ 、 $y$ 方向の水平拡散係数、 $D_z$ は鉛直拡散係数、 $t$ は時間、 $w$ は粒子の水中の沈降速度、 $M$ は粒子の増殖・死滅などによる濃度変化でいわゆる非保存項とよばれている作用の大きさ。

非保存項として作用するプロセスには種々のものがあり得る。植物プランクトンに対しては、①増殖、②死滅分解、③他のプランクトンや魚による捕食といったプロ



セスが重要である。非生物体の有機物粒子としては、植物プランクトン体の分解途上物や分泌排泄物などがあり、これらの粒子に対しては、①分解無機化、②溶解物の吸着・離脱などのプロセスがある。

当該海域が岸に近く浅いので、岸からの影響など移流・拡散による平面分布が重要ではあるが、観測の対象が沈降を含めたプランクトンの挙動であるので、簡単のため鉛直分布を考えることにする。鉛直次元の場では、式(1)は次のように簡略化される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -(W-w) \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + M \quad \dots\dots(2)$$

円筒型のマイクロゾム内では、水塊は囲い込まれ水の出入りはないので、水塊全体では鉛直流  $W$  も含め平均流による輸送はゼロとなる。マイクロゾム内の鉛直拡散係数の測定例はないが、鉛直拡散係数として分子拡散係数 ( $1 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ ) をあてはめ、水平拡散係数と鉛直拡散係数との比をマイクロゾム径との関係で論じている例<sup>13)</sup>がある。オーダー比較はむずかしいが、簡単のため更に  $D_z$  を省略して、次式でマイクロゾム内の粒子の挙動を考えることにする。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = w \frac{\partial C}{\partial z} + M \quad \dots\dots(3)$$

一方、セジメントトラップは、下向きの沈降フラックスを測定しているが、捕集容器開口部での沈降フラックスは、次のように表せる。

$$N = -(W-w)C + D_z \frac{\partial C}{\partial z} + m \quad \dots\dots(4)$$

ここで、 $N$ 、 $C$  はある水深での沈降フラックスと環境濃度、 $m$  は非保存項  $M$  の作用によるフラックスの増減の量。捕集筒が十分に細長ければ、 $D_z$  の効果は小さいと思われる。 $D_z$  の効果や捕集口の形状による二次流などの効果も含め、捕集筒の捕集効率が定められていれば、捕集効率を用いてフラックス値を補正できる。セジメントトラップについて現在までそのような知見がまとまっておらず、使用に際して個々に検討する他はない。今回使用する捕集筒については既に簡単な水路実験により、捕集効率の検討を実施しており、それによれば形状が十分細長い場合高い効率が予想される。 $D_z$  の効果は沈降フラックスを減少させるように作用するが、ここでは  $D_z$  を無視して良いと思われる。 $m$  の値については、現実の捕集物の分解のしやすさにも依存するため、一概にオーダーの比較ができない。誤差要因として後に評価することとする。結局、セジメントトラップによるフラックスは、次式で考えることにする。

$$N = -(W-w)C + m \quad \dots\dots(5)$$

### 3.2 非保存項の記述

式(1)中の非保存項は、いくつかの主要な素過程から成り立っており、各過程については室内実験や生物の生理生態学的検討からいくつかの定式化が試みられている。植物プランクトンの増殖は、植物プランクトン濃度に比例し、比例定数は栄養塩濃度、日照、水温などにより変わるとされている。増殖過程は次式で表される<sup>14)</sup>。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \mu C \quad \dots\dots(6)$$

ここで、 $\mu$  は増殖速度係数と呼ばれる。

また、植物プランクトンの死滅や、有機粒子の分解・無機化についても、その変化量が現存濃度に比例するとした反応式が立てられる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -DC \quad \dots\dots(7)$$

ここで、 $D$  は分解速度係数で、水温、有機物組成などの関数となる。

生物相互の作用の1つである被食-捕食の関係は、えさ(餌)となる生物種と、これを摂取する生物種との組み合わせによって種々の関係式が提案されている。えさとなる植物プランクトンと捕食する動物プランクトンとの組み合わせについても、その濃度によってさまざまな関係式があるが、自然界程度の植物プランクトンと動物プランクトンに対して、最も単純な次式で示せると考える。

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -G_z \cdot P \cdot Z \quad \dots\dots(8)$$

ここで、 $P$  は細胞数濃度で表した植物プランクトン濃度、 $Z$  は、個体数濃度で表した動物プランクトン濃度、 $G_z$  は比例定数である。 $Z$  を動物プランクトン個体数濃度にとると、 $G_z$  は単位時間・個体当たりの水容積という単位となる。口のまわりの細かい毛で流れを起し体中へ海水を流し込み、体内でえさとなるけん濁粒子をふるいわけて摂食する動物プランクトンをろ過食性の動物プランクトンと称している。ろ過食性の動物プランクトンに対しては、 $G_z$  が体中に流し込む海水の量を示すことから、ろ過速度などとも呼ばれている。動物プランクトンの摂食のしかたは、ろ過食性の他に、直接えさに食いつくものなどもあるが、えさの存在濃度に比例して摂食速度が大きくなる場合は、上式が適用できる。ある程度以下のえさ濃度では摂食が行われなく、それ以上の濃度ではじめて摂食がみられる限界濃度(しきい値)があるという式や、摂食速度は上限があり、えさ濃度が大き

くなると摂食速度の増加が頭うちになるという式なども提案されている。細胞数ではなく、POC や Chl-a などを指標にとり、式(8)の  $P$  を  $C$  と置きかえると、捕食の速度は少し複雑になる。えさの体内の POC や Chl-a などは動物プランクトンの体内に摂取されても、その一部は未消化のまま排泄されまた他の一部は動物プランクトン体として同化・利用され、残りが運動エネルギーに使われる。エネルギー消費効率、摂取量の0.4~0.9程度<sup>15)</sup>といわれ、 $G_2$ にこの値を乗じたものが捕食による減少速度を表すことになる。

富栄養化海域での浮遊粒子の挙動は、非保存項としてはおもに以上に見てきた過程に左右されていると考えられる。

### 3.3 観測計画

現地水質の観測やマイクロコズムの観測に際しては、粒子の挙動を明らかにできるような方法、期間、頻度を検討するとともに、必要に応じて付随実験や付加的観測を同時に実施することが望ましい。

式(3)、(5)などにより、挙動が解析されるが、いずれの式にも非保存項の効果が含まれている。この項の寄与は、海域や期間によっても変化するためあらかじめ判断することは困難である。そこで、この項のみを取り出して測定できれば、マイクロコズム内の挙動解析にとって都合が良い。そこで、沈降の作用を受けない小型の透明プラスチックバッグを用意し、マイクロコズム表層水を詰めたものを表層に、底層水を詰めたものを底層に、それぞれ同時に垂下させることにする。この小型バッグ内では、照度、水温等の条件はマイクロコズム各層と同一となる。小型バッグ法により、現地海中での植物プランクトン等の増殖と分解の速さを評価できる。

また、動物プランクトンによる捕食作用については、現地で採取される動物プランクトン種に、現地で卓越している植物プランクトンを与えてやり、室内で摂食のようすを観察することにする。室内での捕食実験により、現地海中での捕食の速度を評価できる。また、現場けん濁粒子の粒径分布や沈降速度分布の測定<sup>4)</sup>なども、重要な情報を与えてくれると思われるが、ここでは実施できなかった。

ある程度の自然の複雑さを組み込んだ中間サイズのマイクロコズム実験を、個別の室内実験結果を用いて解釈するということは、マイクロコズム実験の長所を消しかねない。室内実験や小型の実験の有する問題点として、例えば①実験のスケールと現象の再現される期間との関係や、②AとBとの混合培養結果と、A、BにCを加えての混合培養結果との相異③濃度の効果などがあり、室

内実験の限界をよく把握した上で適切に利用する必要がある。

また、マイクロコズムの設置期間は、自然海水の屋外培養の経験から3日間以上の連続観測が必要であり、優占種の交代は5~10日間程度かかることがわかっている。今回用いるマイクロコズム装置では、囲い込まれた水は、周囲の水のみならず、底泥や大気とも隔離されており、夏期での観測では特に炭酸ガスや酸素についての供給不足からpHや溶存酸素濃度の不自然な変化の可能性もある。あまり長期にわたる連続観測は、自然水中での変化とかけ離れた特殊な変化の観測となる恐れもあることになる。そこで、10日間連続して設置観測することとし、はじめの0~4日目を1つの区切りとし、4日目にやや採水量をふやし測定項目精度を向上させるとともに、この期間(0~4日目)にマイクロコズム内を沈降した沈降物サンプルを4日目に回収し分析することとした。同時に、0~4日目の期間中、マイクロコズム外にセジメントトラップを垂下し周辺海域での沈降粒子の特性を観測することとした。

マイクロコズム内の鉛直拡散係数が不明であり、その効果がよくわからないため、外からの操作による鉛直拡散の促進と、無操作の場合とを比較する事も試みることとした。すなわち同型の2基のマイクロコズムを同時に設置し、一方のマイクロコズムのみポンプによる混合攪拌を施してやることとした。また、1基のみのマイクロコズムを利用しマイクロコズム底部に栄養塩を添加し、栄養塩の拡がりや利用のされかたを観察する実験も別の期間に実施することとした。

期間中、マイクロコズム内とともに周辺の現場海水についても採水・分析を行うことは、人工的な隔離水塊実験というマイクロコズムの性格上、当然必要のことである。マイクロコズムからの採水は、採水によって水質挙動が大きな影響を受けないような量にとどめるべきである。マイクロコズムの総容積4m<sup>3</sup>に対し、1日あたりの採水量は1%以内とし、40l/日をめどとする。3層から採水すると各層13l程度の採水量となる。10日間続けて採水すると総採水量は10%に達する。長期にわたる実験では、測定項目をへらして1回あたりの採水量をへらすか、採水を毎日でなく荒い頻度にするなどのくふうが必要となる。

## 4. 観測方法

### 4.1 実験期間と設置位置

マイクロコズムは、昭和58年8月1日から10日までの10日間、および昭和59年7月23日から8月2日までの10

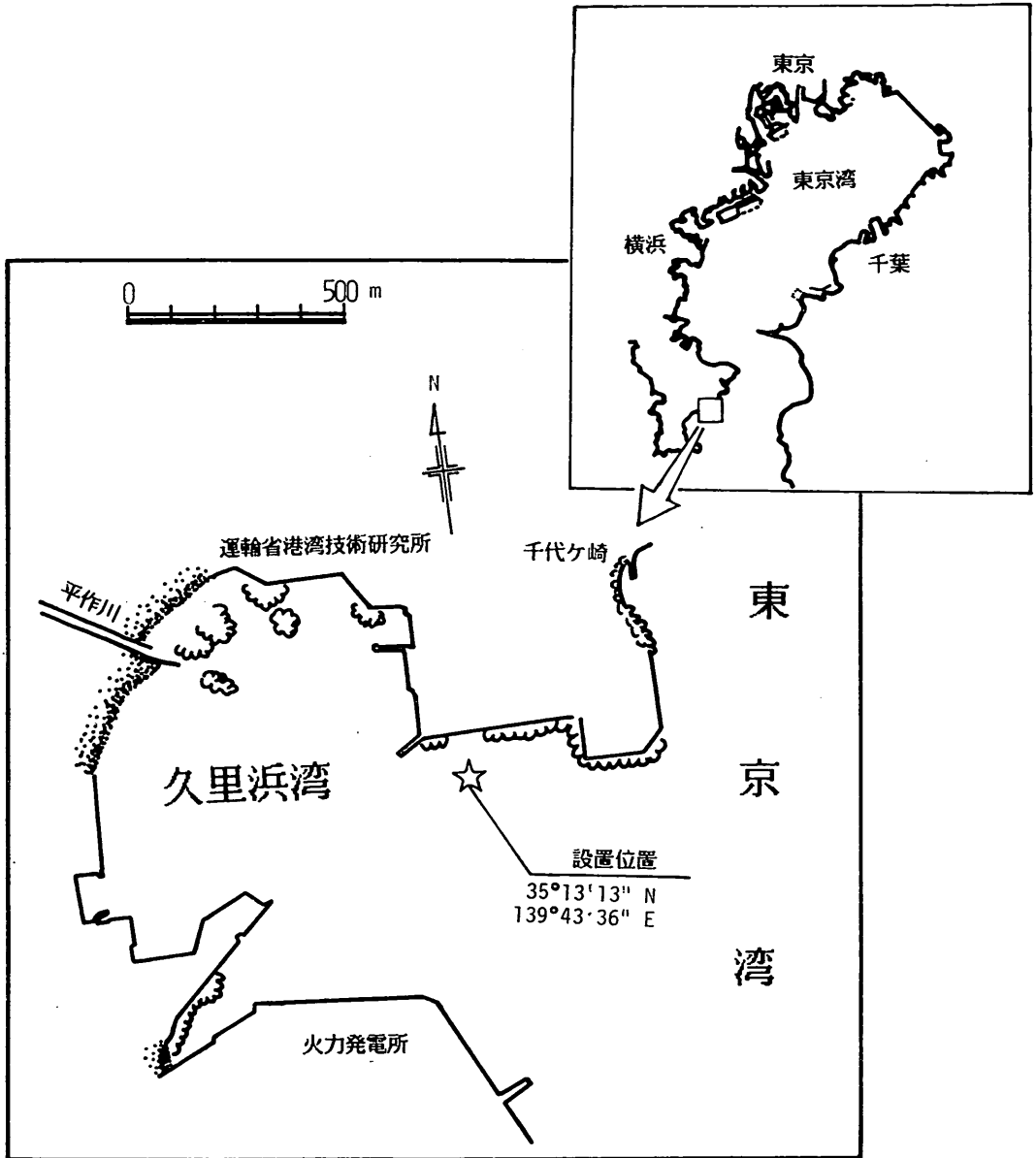


図-1 マイクロコズムとセジメントトラップの設置位置

日間の2期間にわたって設置されている。設置場所はいずれも、図-1に示す久里浜湾沖の同じ位置である。設置場所の水深は約8mであり、底泥は砂混シルトである。

昭和58年夏期には、マイクロコズム1基(長さ5m径1m)を設置している。他の装置の設置は実施していない。8月1日から8月5日までを第1回目の実験(RUN 1)とし、8月5日に隔壁をはずして海水を入れ換えた後再び水塊を囲い込み10日まで第2回目の実験(RUN

2)を実施している。一方、昭和59年夏期には、長さ5m径1mの同型のマイクロコズム2基(マイクロコズム(A)、マイクロコズム(B))を同時に設置している。小型バッグ法等の実験やセジメントトラップも同時に設置しているが、7月23日から27日までを実験の前半、それ以降8月2日までを後半としセジメントトラップ装置は前半のみ設置し回収している。また、前半のみマイクロコズム(A)の攪拌を行っている。昭和59年夏

表-1 現地実験スケジュール（昭和59年7月23日～8月2日）

| 項目                       | 月日 | 7/ |           |    |    |    |    |    |    |    |   | 8/ |  |
|--------------------------|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|---|----|--|
|                          |    | 23 | 24        | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | 2  |  |
| マイクロコズム実験<br>マイクロコズム (A) |    | 設置 | 1日1回攪拌    |    |    |    | ●  | 静置 |    |    |   | 回収 |  |
| マイクロコズム (B)              |    | 設置 | 静置        |    |    |    | ○  | 静置 |    |    |   | 回収 |  |
| マイクロコズム底部捕集筒             |    | 設置 |           |    |    |    | 回収 |    |    |    |   | 回収 |  |
| マイクロコズム各層採水              |    | ○  | ○         | ○  | ○  | ○  | ○  |    |    | ○  | ○ | ○  |  |
| 現地海水各層採水                 |    | ○  | ○         | ○  | ○  | ○  | ○  |    |    | ○  | ○ | ○  |  |
| セジメントトラップ実験              |    | 設置 |           |    |    |    | 回収 |    |    |    |   |    |  |
| 付随実験<br>小型バック法実験         |    | 設置 |           |    |    |    |    |    |    |    |   | 回収 |  |
| 小型バック法採水                 |    | ○  | ○         | ○  | ○  | ○  | ○  |    |    | ○  | ○ | ○  |  |
| 室内培養実験                   |    | 採水 | 培養開始      |    |    |    |    |    |    |    |   | 終了 |  |
| 捕食実験                     |    | 採水 | 実験準備後随時実施 |    |    |    |    |    |    |    |   |    |  |

期の実験スケジュールを表-1に示す。

#### 4.2 マイクロコズム実験

用いているマイクロコズム装置はいずれも同型である。現地設置状況図を図-2に示す。図では縦と横の縮尺が異なり、実際の装置は図よりももっと細長い。図には設置時の水深（-8.8m）と各部の高さが記入されて

いる。底部のシンカーと底泥に打込んだステーにより固定し、水中パイにより直立させてある。マイクロコズムの上ぶた面は、水深-1.2mとし、上ぶた面の他、上ぶた面より2.5m下がった点および5m下がった点の計3点から採水できるようにローブを側壁にはわせてある。円筒部5mが終了した後下部に向かってロート状にすぼ

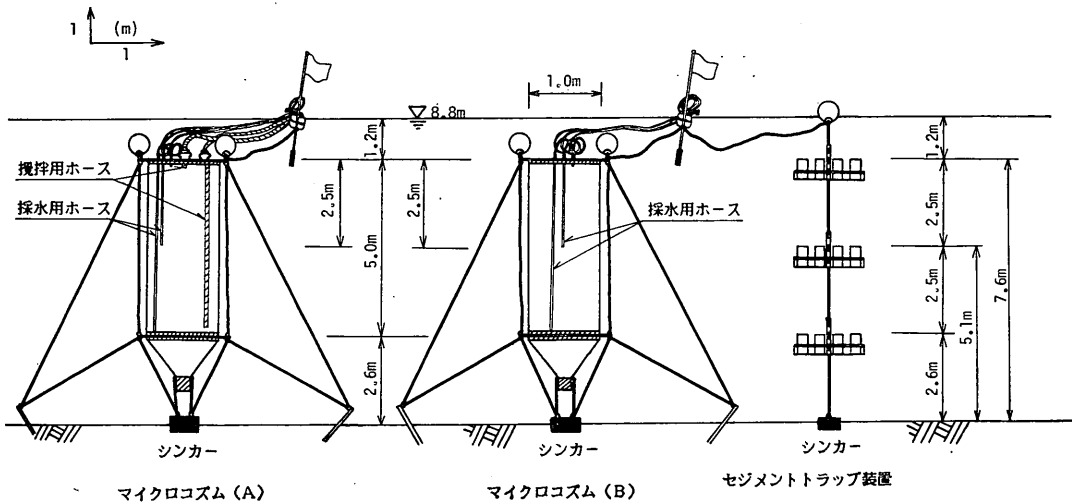


図-2 マイクロコズムとセジメントトラップの設置状況

まり、その先端に沈降物を捕集する捕集筒が取り付けられている。図中にハッチで示されている底部の捕集筒は取りはずしが可能であり、7月27日と最終日8月2日とに沈降物を回収している。また、2基のうち的一方には、攪拌用の循環ホースが設置されていて、船上からポンプで水塊の攪拌ができるようになっている。

設置は次の手順で行う。まず、装置の上蓋をはずした状態で側壁のビニルをじゃ（蛇）腹状に折りたたみ設置海域まで運搬する。設置海域の海中に静かにおろし、別途おろしたツンカーにより底部を固定する。底泥巻き上げ濁りが流れ去るまでしばらく放置し、次いで空ポリタンを利用した浮力ブイに空気を入れ、この浮力により上部をゆっくりと立ち上げる。水中での直立を確認し、まわりのビニル膜側壁の損傷が無い事を確認後上ぶたをする。これらの作業は数人のダイバーにより行われるが、浅い海域では作業による底泥の巻き上げを極力避けるように注意が必要である。

採水は、船上からポンプにより各層 10~15l 程度ずつ行っている。同時に現場海水も同じ深さの層ごとに採水を行っている。採水後直ちに実験室に持ち帰り分析に供している。測定している水質項目は、けん濁物 (SS) 粒状態有機炭素 (POC), 粒状態有機窒素 (PON), 粒状態有機リン (POP), クロロフィル a (Chl-a) 溶解性のアンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), 亜硝酸態窒素 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), 硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), リン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) などである。またプランクトンの種と細胞数・個体数を、植物プランクトンと動物プランクトンについてカウントしている。水質の分析は、POC, PON については当所の CHN コーダを用いている他、JIS 法および海洋観測指針に定める方法によっている。プランクトンは、顕微鏡による検鏡を行って数えあげている。

底部捕集筒から回収した沈降物についてはセジメントトラップ捕集物と同じ分析を行っている。

#### 4.3 セジメントトラップの設置と回収

マイクロゾム実験にともなって、現場海域では水深別に3層の水質の変化が毎日観測される。この3層の水深と同一の水深で、沈降フラックスを測定する。つまり、設置水深は、水面から1.2m, 3.7m, 6.2mの3層である。各層に口径10cm, 筒長50cmの塩化ビニル製の円筒型捕集筒を6本ずつ架台に並べてあり、捕集筒の上部開口位置が各設置水深となるように調整してある。設置はマイクロゾムの設置時と同じ昭和59年7月23日とし、回収は7月27日としている。設置期間は5日間であり、7月27日には、マイクロゾム底部の捕集容器も同時に回収しており、マイクロゾム内の沈降の様子と現地海中での沈降のようすを対比できるようにしている。

捕集筒を直立させている架台は、径 12 mm のロープに所定の深さごとに強固にとめてある。図-2にも示すように、垂下用のロープは、中に鉛を埋め込んだコンクリート製のアンカーにより底面に固定し、径 50 cm のポンテンブイを2個により浮力をつけ、鉛直に直立させてある。設置期間中の久里浜湾内での潮位の予想は、図-3のとおりであり、設置時に水深に対し+0.4m~-0.9m程度の水面の変化がある。また、夏期の静穏な日には、東京湾口アスカ島で有義波高 20~30 cm 程度の波が一般的である。浮力を与えるためのポンテンブイが、水面の低下により水表面に露出すると、鉛直直立させた垂下ロープがたるみ捕集筒が傾くおそれがある。回収前日の7月26日に3時間程度 10~20 cm のたるみが起きる可能性はあるが、全長 7 m 程度のロープでは傾き角はごく小さい。また、波や流れにより、ブイや架台があおられて揺動する恐れもあるが、強い浮力を与えており潮せき流もそれほど強くないことから揺動は小さいと思われる。また、期間中1.5 m の水面低下時に 1 m 程度の波高の波が来襲しロープが最大の傾きを起こしたとしても、最下面の架台が底泥に接触したり底泥を巻きあげたりしないように、底泥面とのクリアランスを十分にとっている。

設置は、ダイバーによってまずアンカーの据付から行

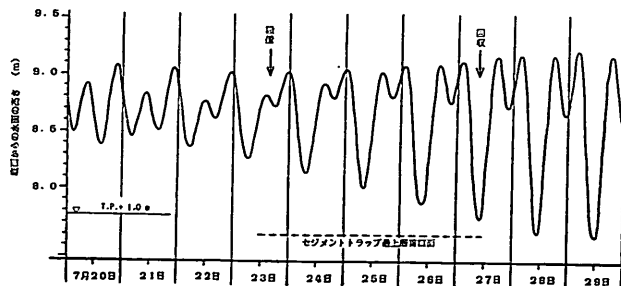


図-3 セジメントトラップ最上層面と水面との関係

ない、ロープを鉛直に直立させた後に架台に捕集筒をセットしている。回収時は、ダイバーにより、下部の捕集筒から順次ねじ込みぶたをし、次いで捕集筒を船上に回収している。いずれも、水中作業時に発生する濁りが観測に影響しないように配慮している。回収サンプルは3～4時間以内に実験室へ搬入している。搬入後沈降粒子の性状につき以下の分析を行っている。けん濁物 (SS), 粒状態有機炭素 (POC), 粒状態有機窒素 (PON), 粒状態有機リン (POP), クロロフィル a (Chl-a), フェオ色素, 強熱減量 (IL), 硫化物。これらの測定濃度と捕集量とから、各項目ごとに捕集総量を重量で求めている。

#### 4.4 付随して実施する実験

昭和59年夏期には、プランクトンの生理生態的作用を評価するために次の2つの実験を現地海水を用いて実施している。すなわち、

- ① 小型バッグ法による植物プランクトンの増殖実験、および室内培養装置による定温、定照度での培養実験、
- ② 植物プランクトンと動物プランクトンによる捕食実験

である。各付随実験の実験方法をまとめておく。

##### (1) 小型バッグ法および室内培養実験

小型バッグ法は、小型の透明ビニル袋に現場海水を封入し、現地の採水位置に垂下し、封入海水の水質挙動や変化を追跡するものである。明ビン-暗ビン法と同様に、現場照度、現場水温でのプランクトンの挙動を調べられる。この隔離水塊は、現地もしくはより大型の隔離水塊に比して、移流・拡散・沈降などの作用を受けず、主に植物プランクトンの増殖・分解などのようすが観察できる。ただし、明ビン-暗ビン法と同様に、水容積が小さいため、しばらく垂下すると、封入水の挙動は現地の水の挙動とは異なって来る。また、容積に比して内壁の面積が大きく、壁の効果が大きく作用する恐れもある。

ここでは、何度か久里浜湾に垂下した経験より、容積40 lの塩化ビニル製の薄手の袋を二重にして用い、これに試水を30 lずつ注水している。注水にはポリバケツを用い採水ごとに順次注入しているため、①各バッグ封入水相互の水質にややばらつきが生じている、②封入試水の量に約1割程度のばらつきが生じている、などの不ぞろいがある。各バッグには、採水用のビニルホースを差し込み、袋の口を細ヒモとビニルテープとを用いて閉じている。実験終了時に引き上げて損傷を調べたところ、二重袋の外袋の損傷や裂けはよく見られたが内袋にまで及んでいるものはほとんどなく、採水口や袋の口から水のもれは認められない。試水を封入した小型バッグは、マイクロコズムの側壁もしくは、展開用ロープに細ひも

でくりつけ、所定の水深に垂下している。したがって、この小型バッグは、ロープや細ひもの動揺につれてゆれ動いていることになる。

一方、室内培養実験に用いている培養容器は、高さ1 m 直径30 cm のアクリル製の透明円筒である。容積70 lのこの円筒に試水を30 lずつ注入している。円筒封入水の相互のばらつきを抑えるために、同一深さからの試水は、一度大型のポリ容器に入れてよく混合後30 lずつ分注している。分注は採水後4～5時間以内に実施している。この容器を採水時水温と同じ23℃に調節した恒温室内に静置し、蛍光灯を用いて容器壁面照度10000lxとなるように照光している。培養期間中は、日に2度、ガラス棒を用いて手で試水を攪拌し、混合と水面からのガス交換を促進させている。

現地に設置した小型バッグにも、室内での培養実験にも、供試水は、すべて現地の水深-1.2m(上層)と-6.2m(下層)の水を、そのまま用いている。また、栄養塩の制限因子を判定するため、現地水に窒素(N)を加えたもの、リン(P)を加えたもの、その両者(N, P)を加えたもの、それぞれ同じ条件で培養している。添加している量は、窒素では、窒素濃度が1.4mg/l上昇するように、硝酸ナトリウム(NaNO<sub>3</sub>)溶液を加えている。リンでは、リン濃度が1.55mg/l上昇するように、リン酸二水素カリ(KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)溶液を加えている。N, Pの両者添加水では、試水にNとPをそれぞれ上記の割合で同時に加えている。こうした培養実験は、AGP試験の1つの変法であり、東京湾での湾内数地点の海水につき単一種接種によるAGPと、現地水に現存する混合種をそのまま利用したAGPとの関係についても既に調べられている<sup>10)</sup>。培養条件や試水の成長阻害性などのチェックも兼ねて、*Skeletonema costatum*を用いた単一種の室内培養も同時に実施している。これは、現地上・下層水を等量ずつ混合し、オートクレーブによる加圧滅菌(120℃15分)後、.45μm目のメンブレンフィルターでろ過したる液に、あらかじめ培養しておいた単一種の*Skeletonema costatum*を150cells/mlの濃度となるように接種する。実験ケースを表-2にまとめて示す。

ほぼ、毎日2 l程度ずつ10日間にわたって採水し、SS, POC, PON, POP, クロロフィル a, DIN, DIPの他、植物プランクトン種と細胞数などを測定している。現地に垂下した小型バッグからは、採水ホース内の水を入れかえるだけの水量を余分に通水してから採水しているので、試水の減少は著しいものとなっている。壁の効果や試水の減少から考えて、小型バッグ法による実験は、時間とともにマイクロコズム内の現象とかけ離れてくると

表-2 現地小型バグ法および室内培養実験ケース (昭和59年  
7月23日~8月2日)

| 海水の採<br>水位置<br>の処理 | 上層水<br>(-1.2m) | 下層水<br>(-6.2m) | 混合水<br>(上層+下層) |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|
| 無 処 理              | 現地 ; 室内        | 現地 ; 室内        | —              |
| + N                | 現地 ; 室内        | 現地 ; 室内        | —              |
| + P                | 現地 ; 室内        | 現地 ; 室内        | —              |
| + N, P             | 現地 ; 室内        | 現地 ; 室内        | —              |
| 減菌後<br>単一種接種       | —              | —              | 室内             |

思われる。初期のデータを用いてマイクロコズム内の初期の解析に用いられる。

(2) 動物プランクトンによる捕食実験

動物プランクトンのうち、比較的大型であり出現植物プランクトンをよく捕食すると予想される節足動物門かいあし類の *Acartia clausi* と数種の植物プランクトンとの組み合わせにより、捕食実験を実施している。また、現場に卓越する小型のかいあし類 *Oithona aruensis* 等についても、その食性を培養実験により観察している。

これらの捕食培養実験は、バッチ式の培養でおおむね24時間の期間実施しており、実験開始から8, 16, 24時間後の植物プランクトン濃度の変化より捕食の速さを見積もっている。*Acartia clausi* は比較的大型で扱いやすいため、実験前に1日間の無投餌培養を行い飢餓処理

(生理条件を揃えるための条件づけ) をしている。従って、ここでの捕食の速さの測定は、捕食の最大速さに近いものとなっている。同時に実施する動物プランクトンを含まない対照実験も含め、算定方法については既報<sup>3)</sup>で概要を示してある。捕食培養液は100mlとし、定温の培養室内で暗状態で実施しているが、一部1100mlの大きな容量で実施したり、光をあてた状態で実施しているものもある。プランクトン濃度は検鏡によりカウントし、また動物プランクトンの生存数も培養終了時に確認している。実施実験ケースを表-3に示す。表-3中の実験番号 GZ01~GZ02 および GZ41 は、昭和59年7月23日の採水試料を用いて被捕食者の植物プランクトンを分離しているが、その他の実験は、昭和58年夏から冬にかけて実施している。捕食者 *Acartia clausi* は、久里浜

表-3 捕食実験ケース

| 実験番号   | 捕食者 被捕食者 組合せ                 |   | 培養期間 | 被捕食者<br>当初濃度<br>ケース | 濃度組合せ<br>総ケース<br>(対照ケー<br>スも含む) |
|--------|------------------------------|---|------|---------------------|---------------------------------|
|        | 捕食者                          | 被捕食者  |      |                     |                                 |
| G Z 01 | <i>Acartia clausi</i>        | <i>Cerataulina pelagica</i>   | 24時間 | 3                   | 7                               |
| G Z 02 |                              | <i>Skeletonema costatum</i>   | 24時間 | 3                   | 7                               |
| G Z 03 |                              | <i>Dunaliella tertiolecta</i>   | 24時間 | 3                   | 7                               |
| G Z 04 |                              | <i>Heterosigma inlandica</i>  | 24時間 | 3                   | 7                               |
| G Z 10 |                              | <i>Chaetoceros affine</i>   | 24時間 | 3                   | 14                              |
| G Z 11 |                              | <i>Skeletonema costatum</i>   | 24時間 | 3                   | 14                              |
| G Z 20 |                              | <i>Skeletonema costatum</i>   | 3日間  | 1                   | 3                               |
| G Z 21 |                              | <i>Dunaliella tertiolecta</i>   | 3日間  | 2                   | 7                               |
| G Z 30 |                              | <i>Skeletonema costatum</i>   | 2日間  | 2                   | 4                               |
| G Z 31 |                              | <i>Skeletonema costatum</i> と<br><i>Dunaliella tertiolecta</i> との<br>混合 | 2日間  | 1                   | 2                               |
| G Z 40 | <i>Oithona aruensis</i>      | <i>Skeletonema costatum</i>   | 3日間  | 1                   | 2                               |
| G Z 41 | <i>Oithona aruensis</i> 他    | <i>Cerataulina pelagica</i> 他   | 48時間 | 1                   | 2                               |
| G Z 50 | <i>Noctiluca scintillans</i> | <i>Skeletonema costatum</i>   | 3日間  | 1                   | 2                               |

周辺の海岸より採取しているが、各実験では体長や♂♀の比などは厳密には同一ではない。

### 5. 観測結果

#### 5.1 現場海域の気象・海象

昭和59年7月23日にマイクロゾムを設置したが、この3日前からの気象・海象を、表-4に示す。表には、港湾技術研究所構内で測定した天気、降雨量、最高・最低

気温を各日ごとに記してある。また、東京湾湾口のアシカ島で観測した風向・風速の値を6時間ごとに記してある。風向計の不調により、一部の風向記録は港研構内での測定結果を用いており、表中にカッコでくくって記してある。また、アシカ島での2時間ごとの有義波波高値を用い、毎日の平均有義波を示している。ここでは、波の概況を示すために、2時間ごと12個の測定有義波波高( $H_{1/3}$ )の算術平均を、平均有義波としている。

表-4 気象・海象の情況 (昭和59年7月の実験)

| 月 日                    | 7月20 | 21         | 22         | 23       | 24           | 25          | 26         | 27         | 28         | 29         | 30         | 31         | 8月1        |            |
|------------------------|------|------------|------------|----------|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 天気                     | ●→○  | ●/○        | ○          | ○/曇      | ○            | ○           | ○          | ○          | ●          | ○          | ○          | ○          | ○          |            |
| 降雨量(mm)                | 1.5  | 12.5       | —          | —        | —            | —           | —          | >0         | 27.5       | 0.5        | —          | —          | —          |            |
| 最高気温(℃)                | 29.2 | 28.1       | 30.3       | 28.9     | 29.2         | 29.1        | 29.9       | 31.4       | 25.5       | 32.2       | 32.2       | 28.7       | 28.3       |            |
| 最低気温(℃)                | 24.0 | 23.2       | 22.6       | 23.1     | 22.1         | 23.4        | 24.0       | 23.8       | 24.1       | 24.5       | 24.0       | 23.0       | 24.9       |            |
| 6時間毎の風向、風速(m/s)        | 3時   | NNE<br>6.8 | N<br>4.9   | N<br>4.0 | 5.0          | 2.1         | 2.0        | 2.0        | NNE<br>5.8 | NNE<br>6.6 | N<br>5.0   | NNE<br>3.1 | N<br>1.9   | SSE<br>4.9 |
|                        | 9時   | N<br>8.6   | NNW<br>4.2 | N<br>6.6 | (NNE)<br>3.2 | (NE)<br>3.8 | (S)<br>2.0 | (S)<br>2.1 | N<br>6.9   | N<br>6.3   | N<br>5.2   | N<br>5.9   | S<br>2.9   | S<br>6.0   |
|                        | 15時  | NE<br>8.0  | SSE<br>6.2 | N<br>4.5 | 3.1          | 7.9         | 8.1        | SSE<br>4.7 | SE<br>6.0  | NNW<br>4.2 | S<br>4.2   | S<br>2.7   | SSW<br>7.2 | S<br>7.9   |
|                        | 21時  | NNE<br>7.2 | NE<br>4.8  | 4.7      | 3.4          | 4.1         | 4.1        | NE<br>2.7  | E<br>4.0   | N<br>5.9   | ENE<br>3.2 | N<br>2.0   | S<br>6.0   | S<br>7.8   |
| 沖合での波高( $H_{1/3}$ )(m) | 0.31 | 0.25       | 0.27       | 0.25     | 0.27         | 0.34        | 0.30       | 0.31       | 0.35       | 0.71       | 0.39       | 0.36       | 0.39       |            |

\* 沖合での波高は、アシカ島での2時間毎の波高  $H_{1/3}$  測定値12ヶの算術平均をとった値

\*\* 風向のうち( )の値は港研構内での測定値、その他はアシカ島での測定値

表-5 気象・海象の情況 (昭和58年8月の実験)

| 月 日                    | 7月31 | 8月1        | 2           | 3           | 4         | 5          | 6          | 7           | 8           | 9           | 10         | 11         | 12              |            |
|------------------------|------|------------|-------------|-------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------------|------------|
| 天気                     | ○→曇  | 曇→●        | 曇→○         | ○           | ○         | ○          | ○          | ○           | ○           | ○           | 曇→○        | ○          | ○               |            |
| 降雨量(mm)                | >0   | >0         | —           | —           | —         | —          | —          | —           | —           | —           | —          | —          | —               |            |
| 最高気温(℃)                | 30.7 | 31.0       | 27.4        | 28.1        | 33.0      | 31.9       | 31.1       | 30.1        | 31.0        | 36.1        | 32.0       | 32.9       | 32.1            |            |
| 最低気温(℃)                | 26.7 | 23.9       | 22.2        | 21.5        | 26.7      | 27.1       | 27.0       | 27.2        | 27.1        | 26.3        | 25.0       | 25.0       | 25.4            |            |
| 6時間毎の風向、風速(m/s)        | 3時   | S<br>4.0   | 欠           | NNE<br>10.9 | NE<br>3.0 | S<br>4.5   | E<br>3.4   | S<br>4.7    | SSW<br>10.0 | SW<br>9.2   | 2.0        | NE<br>9.7  | NE<br>6.2       | S<br>3.0   |
|                        | 9時   | SSE<br>5.1 | NE<br>7.5   | N<br>10.3   | S<br>3.7  | NW<br>3.3  | NE<br>3.0  | S<br>5.3    | SSW<br>11.4 | SSW<br>7.9  | NNE<br>2.3 | NE<br>6.0  | NE (ESE)<br>4.0 | 3.2        |
|                        | 15時  | SSE<br>6.6 | (NE)<br>2.9 | N<br>8.3    | S<br>10.1 | SSW<br>6.2 | SSW<br>5.2 | S<br>8.8    | SSW<br>11.3 | SSW<br>10.0 | SSW<br>6.6 | N<br>6.0   | SSW<br>6.0      | SSW<br>6.0 |
|                        | 21時  | S<br>6.6   | N<br>10.1   | ENE<br>6.2  | S<br>5.9  | S<br>2.5   | S<br>3.9   | SSW<br>10.4 | SSW<br>10.1 | SW<br>7.1   | NE<br>3.8  | ENE<br>4.0 | SSW<br>2.2      | S<br>3.2   |
| 沖合での波高( $H_{1/3}$ )(m) | 0.43 | 0.36       | 0.35        | 0.35        | 0.31      | 0.29       | 0.39       | 0.74        | 0.61        | 0.32        | 0.28       | 0.39       | 0.61            |            |

\* 沖合での波高は、アシカ島での2時間毎の波高  $H_{1/3}$  測定値(100波以上)12ヶの算術平均をとった値

\*\* 風向のうち( )の値は港研構内での測定値、その他はアシカ島での測定値



マイクロゾムとセジメントトラップとを用いた沿岸域での浮遊粒子挙動の観測

設置日の3日前(昭和59年7月20日)から翌21日にかけて合計14mm程度の降雨を受け、気温もやや低かったが、22日以降晴天の暑い日が続いている。28日に28mm程度の降雨があるが、やはり翌日には天気は回復している。風は、おおむね北寄りの微風であり、10m/sを超える事はない。波もおだやかで、29日にやや大きな波となっている。

昭和58年8月1日からのマイクロゾム実験期間の気象状況を同様に、表-5に示す。昭和58年の実験時にはほとんど降雨がなく、最高気温30℃以上の日が続いている。8月6日夜より南から南西寄りの風が吹き、波ができてきている。

昭和59年の実験期間は、降雨後の天気回復期に実験が開始され、5日後に再降雨があり6日後にやや波ができてきている。その他の日は穏やかな日が続いており、気温は、昭和58年8月期に比して1~2℃低いものの暑い日

射であることがわかる。

5.2 現場海域の水質特性

マイクロゾム設置期間である昭和59年7月23日から8月2日までの水温と塩分のイソプロットを、図-4に示す。水温と塩分は、毎日船上より水温・塩分計センサーを垂下することにより、その鉛直分布を測定している。図は、水面からの深さごとに塩分(単位:%)と水温(単位:℃)とをプロットしてある。測定時刻ごとに潮位が変化しているため、水深が変わっている。この図によれば、設置時の7月23日以降、表層での低塩高温化が28日ごろまで進行し、成層が発展してきていることがわかる。特に7月25日は強い成層となり、コンター線が数多く横に走っている。29日~30日にかけて成層がくずれ、上下の塩分差が小さくなっているが再びゆっくりと成層化が進行している。水温・塩分の鉛直分布から読みとれる成層化の状況の変化は、5.1での気象・海象の観

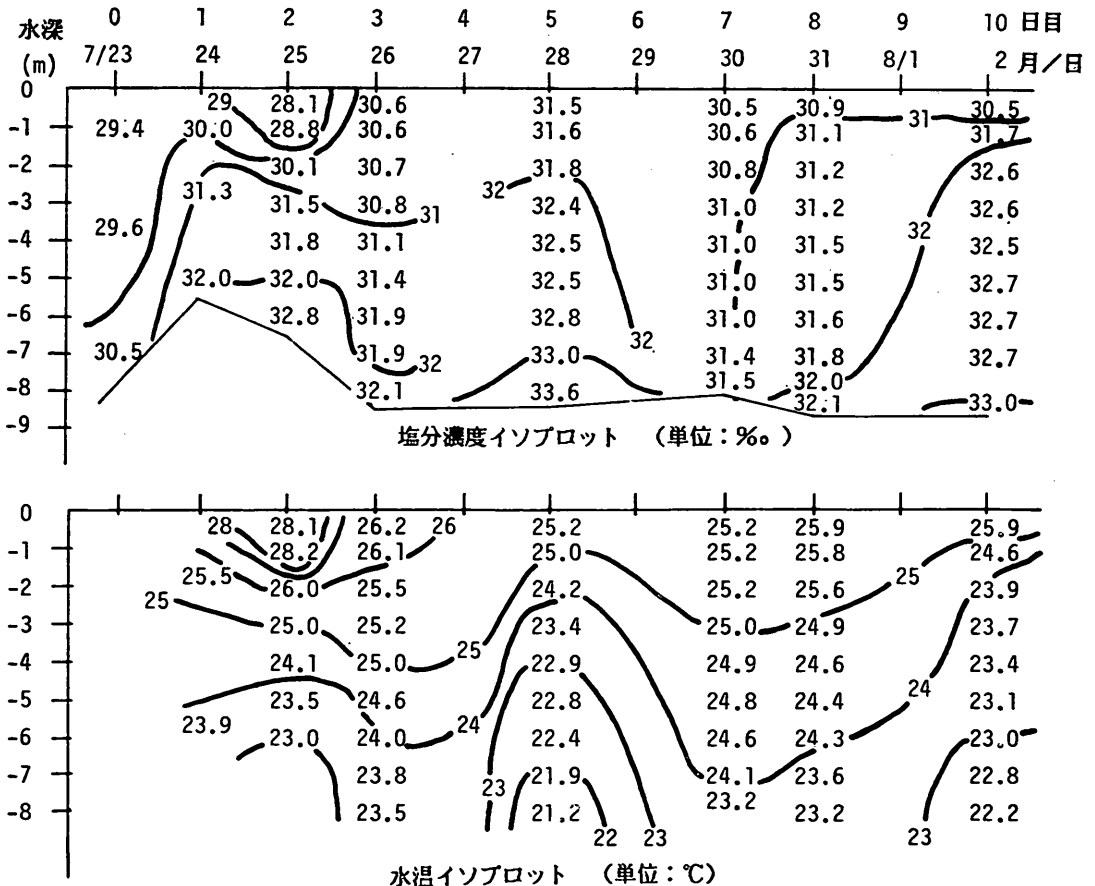


図-4 現場海域の塩分・水温イソプロット (昭和59年7月23日~8月2日) 塩分の単位は%, 水温の単位は℃

測値から予想される状況を裏付けている。期間中の鉛直混合は弱いと思われる。

この期間の他の水質指標のうち、クロロフィルa(Chl-a)濃度、溶解性無機態窒素(DIN:  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ の和)濃度、浮遊けん濁物(SS)濃度のイソプロットの一部を、図-5に示す。Chl-aは、植物プランクトンの濃度を示すものであるが、設置初期には、表層で  $80\mu\text{g/l}$  を超す高い濃度を示している。底層では濃度の減少が著しい。7月27日~28日にかけて、鉛直に一

様な濃度となり、その後、再び表層がやや高くなっているが、濃度値としては  $20\mu\text{g/l}$  程度である。設置初期のChl-aの著しい高濃度は、植物プランクトンの高濃度を示している。植物プランクトンの高い光合成作用の結果、DINなど無機栄養塩類の濃度は低下している。DIN濃度は底層で常に高いが、やはり7月28日に鉛直の濃度差が縮まり、表層にも底層からDINが供給されている。けん濁物の分布をSS濃度分布で見ると、Chl-aの分布とよく似ており、7月25日の表層でChl-aととも

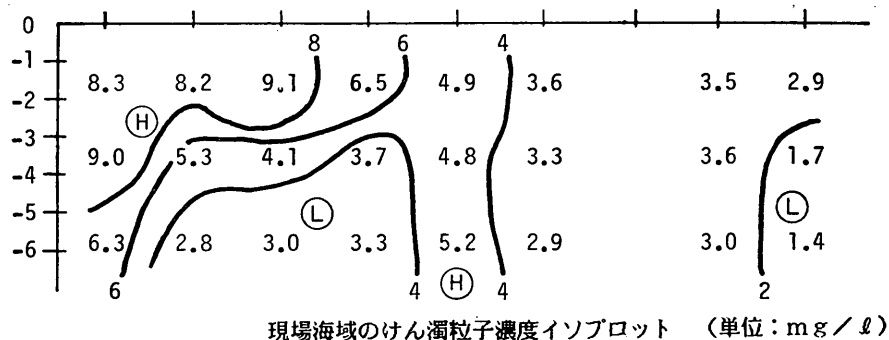
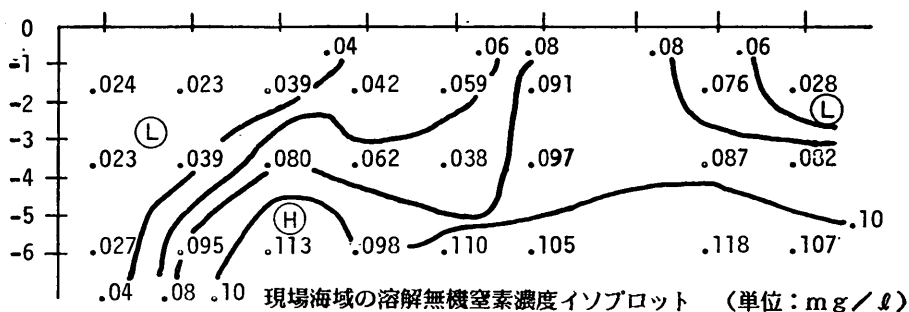
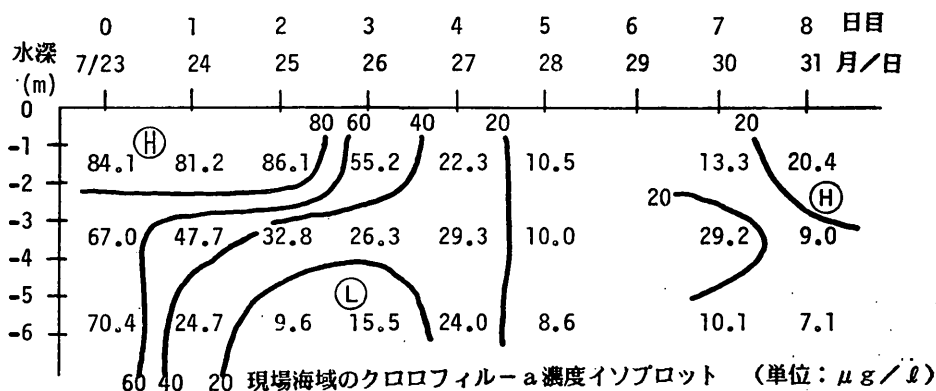


図-5 現場海域のクロロフィルa, 溶解性無機態窒素, 浮遊けん濁粒子のイソプロット (昭和59年7月23日~7月31日) クロロフィルaの単位は  $\mu\text{g/l}$ , 他の指標の単位は  $\text{mg/l}$

に最大値 (9.1mg/l) を示している。陸域に近い沿岸の海域でのけん濁物の主体は、①表層で増殖した植物プランクトン、または、②表層に流入した低塩高温水 (河川流出水) とともにこぼれて来た河川起因の濁り粒子と植物プランクトンとの混合、のいずれかの場合が多い。降雨量や当時の平作川的情況から、降雨日 (7月21日) 以降4日間にわたって濁りの流出があるとは考えにく

い。Chl-a 濃度と SS 濃度との挙動の類似性が高いため、この現場海域では、植物プランクトンによるけん濁であると思われる。開始時より7月25日にかけて、Chl-a や SS の鉛直濃度差が大きく、安定した成層の存在によるものと思われる。

昭和58年度の実験期間中の Chl-a, DIN, SS のインプロットを図-6に示す。これによれば、Chl-a 濃度は

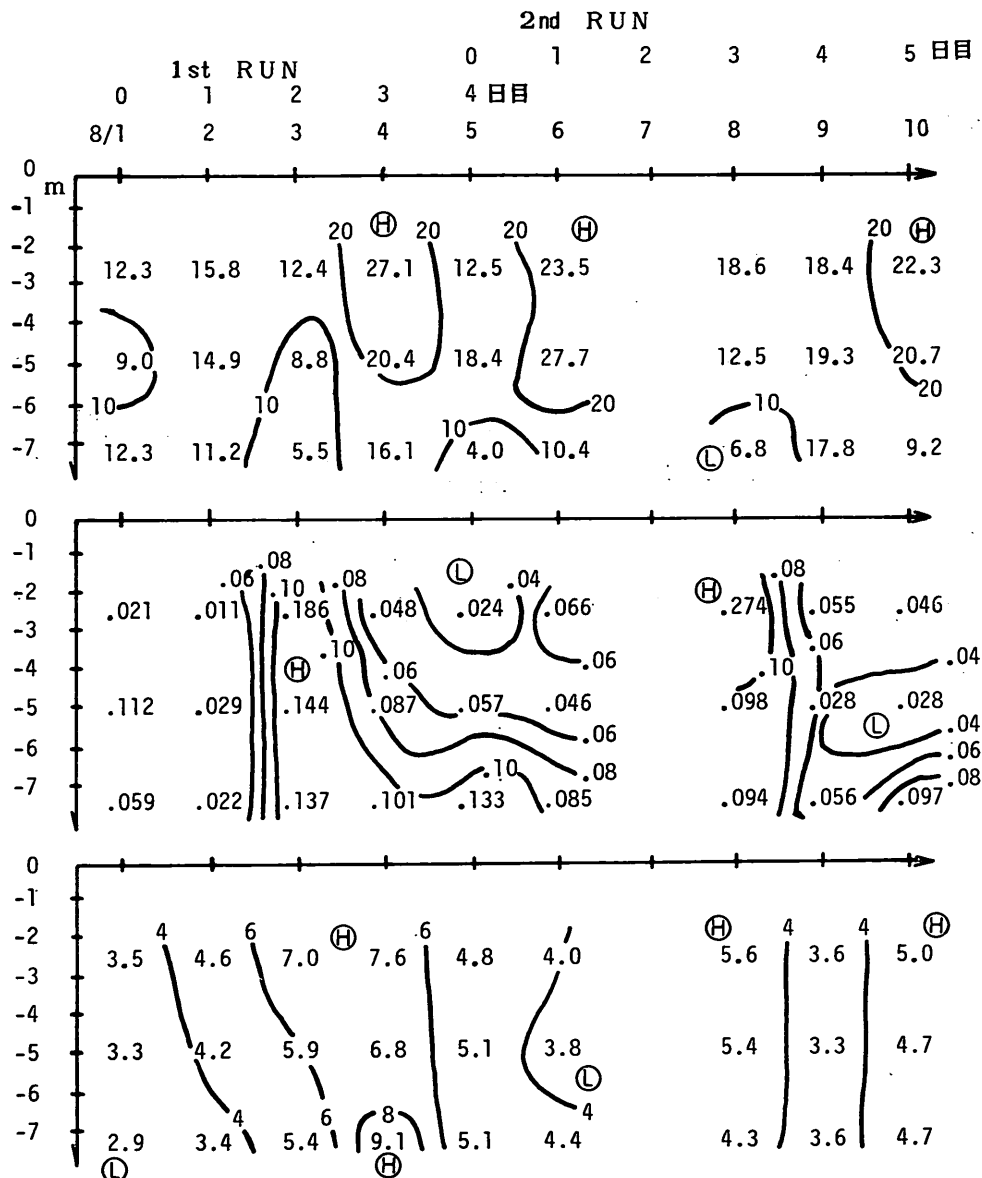


図-6 現場海域のクロロフィルa, 溶解性無機態窒素, 浮遊けん濁粒子のインプロット (昭和58年8月1日~8月10日) クロロフィルaの単位は  $\mu\text{g/l}$ , 他の指標の単位は  $\text{mg/l}$

表層で高々 30 $\mu\text{g/l}$  である。また、昭和58年8月7日～8日(実験開始後6～7日目)の風浪による鉛直の混合のようすも明りょうである。図-5, 6の値を比較すると、昭和59年度の実験の初期の Chl-a 濃度が当該海域にとって非常に高い値である事が確認できる。

### 5.3 現場海域のプランクトン組成

現場では、水深 -1.2m, -3.7m, -6.2m の3層よりほぼ毎日採水し、植物プランクトンおよび動物プランクトンの種の組成と細胞数・個体数を検鏡により測定している。昭和59年夏期における種別の濃度の測定結果は、本文末に付録としてまとめてある。昭和58年夏期の結果は既報<sup>3)</sup>を参照されたい。

昭和59年夏期における現場での卓越植物プランクトンは、珪藻の *Cerataulina pelagica* であり、最大の細胞数濃度は、7月24日(1日目)の表層で 16300cells/ml に達している。次いで優占種は、珪藻の *Thalassiosira*, 渦鞭毛藻の *Prorocentrum triestinum* などであるが細胞数濃度では、*C. pelagica* の 1/10～1/100 程度であり

少ない。また、種名不詳の微細な鞭毛藻類やミドリムシの *Euglenaceae* なども、*C. pelagica* の 1/10～1/100 程度の濃度で観察されている。細胞数としては、圧倒的に *C. pelagica* が卓越しており、 $10^4$ cells/ml を超える細胞数濃度や Chl-a の高濃度から *C. pelagica* 単一種の赤潮状態であったといえる。図-7に、*C. pelagica* および *Prorocentrum triestinum* の細胞数の経時変化図を示す。*C. pelagica* に比して、*P. triestinum* 濃度が小さいため、濃度のスケールを1ケタ小さくしてある。*C. pelagica* も、*P. triestinum* も実験開始時(7月23日)より徐々に濃度が減少している。図中には、2つのマイクロコズム(A), (B)内の細胞数変化も同時に示している。マイクロコズム内の表層では、*C. pelagica* の減少につれて、*P. triestinum* 濃度の上昇も見られるが、卓越種の交代にまでは至っていない。

卓越動物プランクトンは、かいあし類の比較的小型の種である *Oithona aruensis* であり、nauplius 期の個体および成長後の copepodite 期の個体いずれも  $10^3$ ind's/l

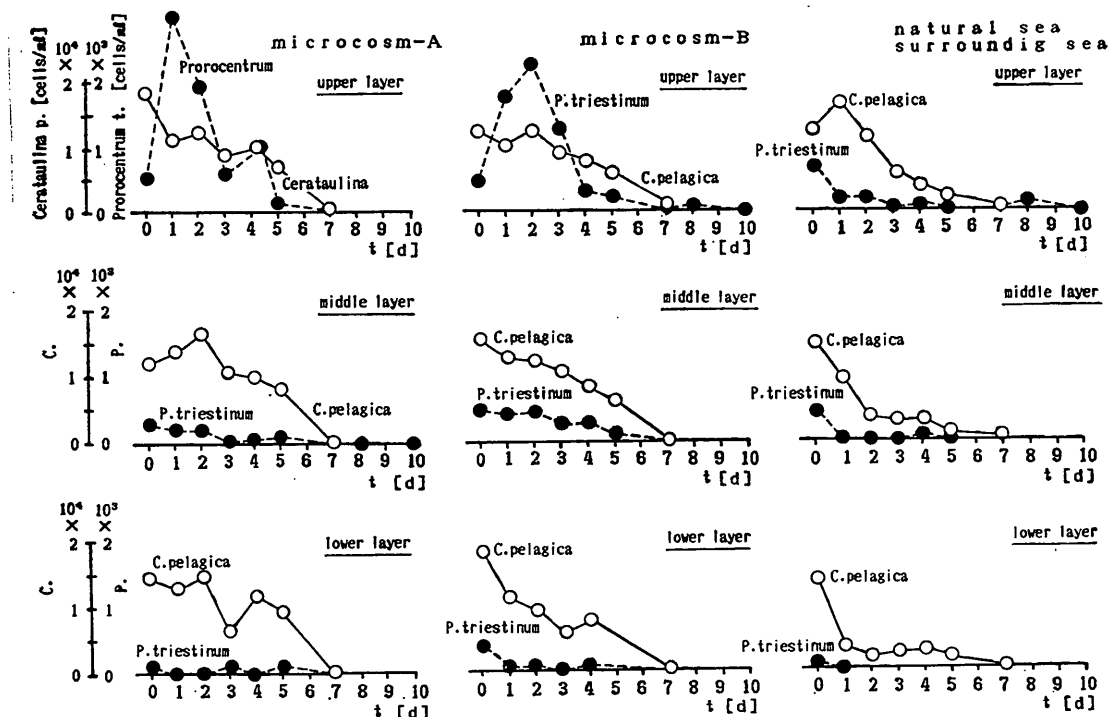


図-7 マイクロコズム (A), (B) および現場海域での卓越植物プランクトン細胞数の経日変化(昭和59年7月23日～8月2日)

第1優占種 *Cerataulina pelagica* (○) および優占種 *Prorocentrum triestinum* (●) —細胞数のスケールが両者で異なっているので注意—

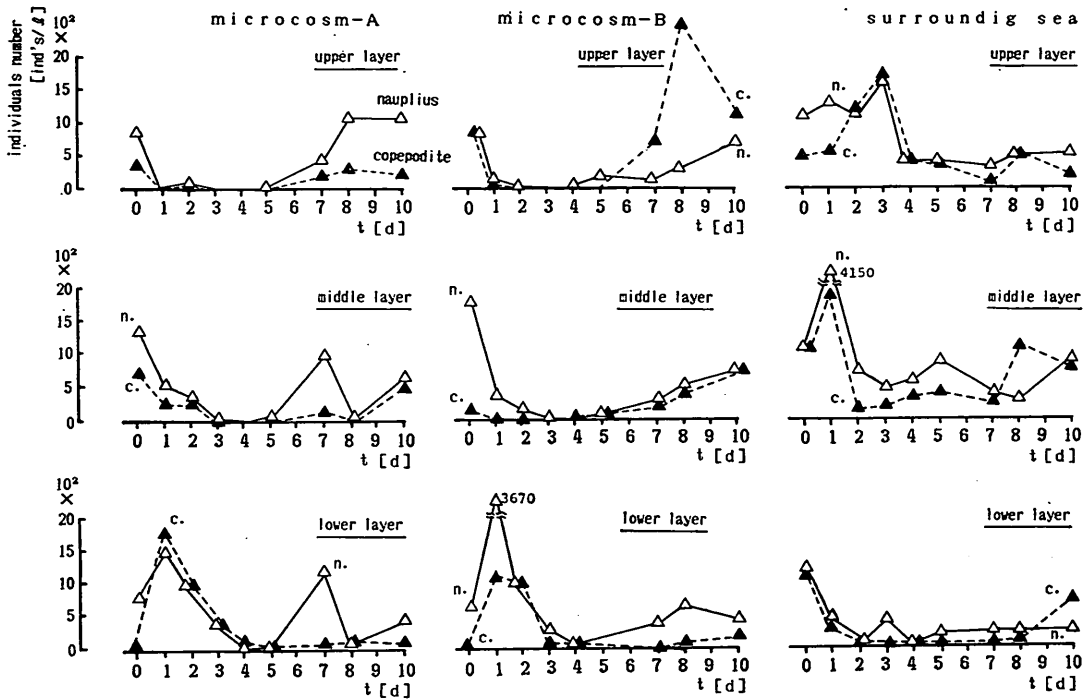


図-8 マイクロコズム (A), (B) および現場海域での卓越動物プランクトン個体数の経日変化 (昭和59年7月23日~8月2日)  
第1 優占種 *Oithona aruensis* の nauplius ( $\Delta$ ) および copepodite ( $\blacktriangle$ )

のオーダーの濃度である。*O. aruensis* の個体数の変化を図-8に示す。現場海域の表・中層では1~3日目にやや個体数濃度が上昇しているがすぐに減少している。動物プランクトンの life cycle にもよるが、植物プランクトンの大発生に続いて、動物プランクトンの個体数が数日~10日間のうちに急増するということはないようである。*Oithona aruensis* に次いで、微小な有錐繊毛虫の *Eutintinnus* や *Helicostomella* の類が個体数が多く、また、原索動物の *Oikopleura dioica* も、体長70~300 $\mu$ m 程度の小型のものが散見される。個体数としてはわずかであるが、*Acartia clausi* も見出されている。このように、動物プランクトンの組成としては、小型の *Oithona* および、更に小型の微小な繊毛虫が卓越していることがわかる。

赤潮の程度が低い昭和58年8月のプランクトン種の組成は既に報告済であるが、主要な植物プランクトン2種と動物プランクトン2種の変化を図示すると、図-9、10のようになる。8月1日からの5日間に、植物プランクトンでは大型の珪藻 *Eucampia zodiacus* が減少し、珪

藻の *Liptocylndrus danicus* が漸増している。動物プランクトンとしては、*Oithona aruensis* の他に、*Oithona* よりも1けたほど高い密度で微小な繊毛虫 *Eutintinnus* が目立っている。また、8月5日からは、植物プランクトンとしては沿岸域でよく見られる珪藻 (*Thalassiosira* および *Chaetoceros*) が卓越している。動物プランクトンとしては、*Oithona* と、繊毛虫の *Helicostomella* とが同程度の個体数で観察されている。

このように、当該対象海域では、夏期には沿岸性の珪藻が優占して見られること、微小な有錐繊毛虫や *Oithona* がよく見出されることなどがわかる。

#### 5.4 マイクロコズム内の水質変化

昭和59年7月には、マイクロコズム(A), (B)の2基を設置し、マイクロコズム(A)は、7月23日から27日まで(0日目から4日目まで)1日1回攪拌を行っている。攪拌は、船上のポンプによりマイクロコズム内に囲い込んでいる水量の約1/2の量を15~20分かけて上・下層入れ替えている。毎日の採水は、攪拌作業の前に実施しているので、攪拌後24時間静置した水質分布となっている。7

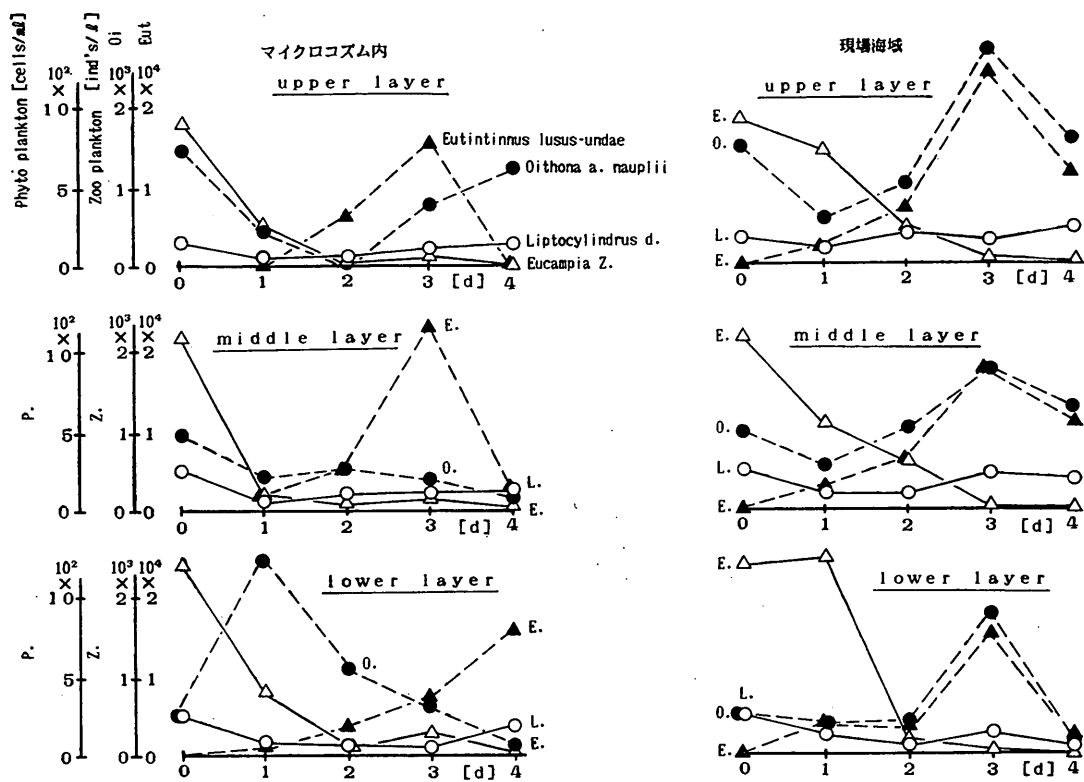


図-9 マイクロコズム内および現場海域での卓越植物プラクトンと卓越動物プラクトンの経日変化(昭和58年8月1日~8月5日)

植物プラクトン第1優占種 *Eucampia zoodiacus* (△), 優占種 *Liptocylindrus danicus* (○) および動物プラクトン第1優占種 *Eutintinnus lusus-undae* (▲), 優占種 *Oithona aruensis* (●) —細胞数と個体数スケールの相異に注意—

月27日以降は、(A), (B)の2基ともに攪拌を行わず、両者とも静置状態のままである。また、7月27日以降8月2日の回収時までの期間に、マイクロコズム(B)では、底部に長さ2~3m程度のき(亀)裂が生じている。この期間の測定値は、もし利用したとしても参考値として見るに留めるべきであろう。

マイクロコズム内のChl-a, DIN, SSのイソプロットを図-11, 12に示す。現場海水を囲い込み隔離した7月23日(0日目)には、表層で高いChl-aとなっている。マイクロコズム(B)では、更に中層で100 $\mu$ g/lを超える高濃度となっている。なぜ、マイクロコズム(B)で中層に高濃度Chl-aが囲い込まれたのかは不明である。その後、日が経つにつれChl-a濃度は減少し、コンター線は縦に立ってくる。マイクロコズム(A)では、底部で表層より高いChl-a濃度が3日目以降5日目まで見られ

る。7日目以降は低いChl-a濃度となっている。DIN濃度は、隔離され他からの供給が断たれているため、低濃度値のままである。現地の非隔離水塊では、底部の濃度が0.1mg-N/l程度まで上昇しているのに対し、マイクロコズム内では0.01mg-N/l程度と1オーダー低い。図-11, 12には8日目までの変化しか示していないが、DINの回復は、Chl-aの最小値が現れてから更に1~2日を経た10日目以降となる。SSの分布は、Chl-aの分布とよく似ており経時的に減少している。マイクロコズム(A)内では、4日目以降、底部のSS濃度が高くなっており、底部に粒状物が集まっていることがうかがえる。一方、マイクロコズム(B)では2日目以降7mg/lを切り、薄い濃度で推移している。どちらかというとな層でやや高めである点ではChl-aの分布とも似ている。両マイクロコズムとも、当初の高いChl-a, SS濃度が

マイクロコズムとセジメントトラップとを用いた沿岸域での浮遊粒子挙動の観測

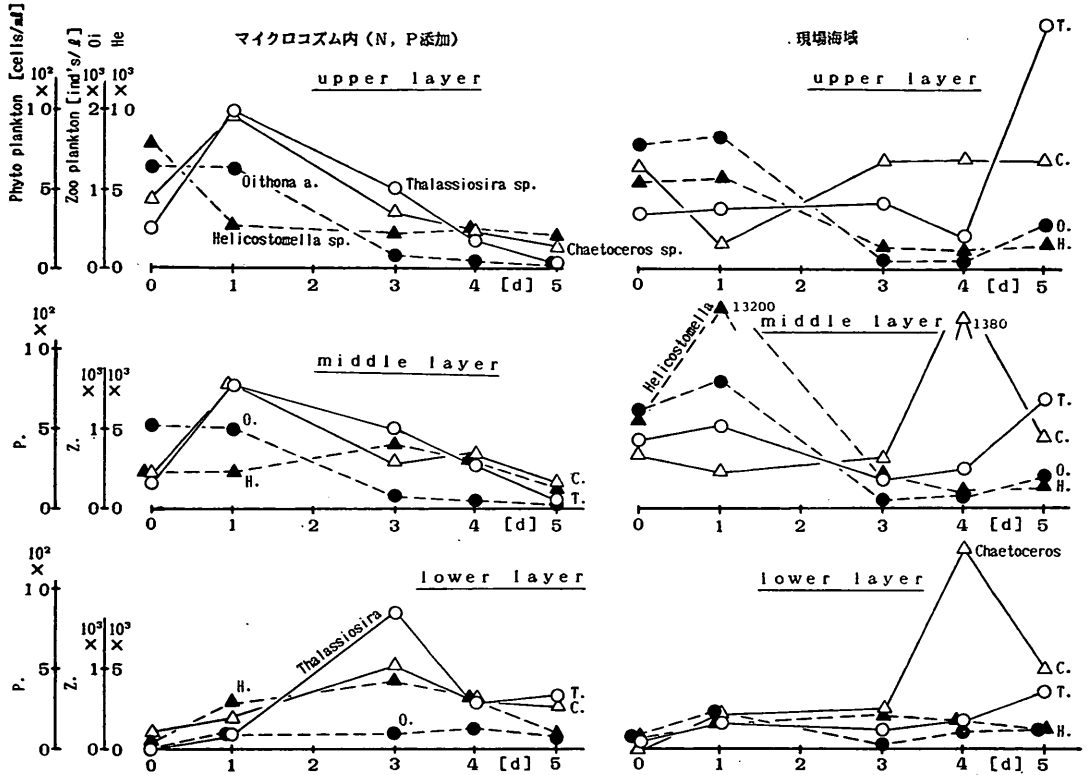


図-10 マイクロコズム内および現場海域での卓越植物プラクトンと卓越動物プラクトンの経日変化 (昭和58年8月5日~8月10日)  
 植物プラクトン優占種 *Chaetoceros sp.* (△), 優占種 *Thalassiosira sp.* (○) および動物プラクトン第1優占種 *Helicostomella sp.* (▲), 優占種 *Oithona aruensis* (●) —細胞数と個体数スケールの相異に注意—

時間とともに急減し、DINは徐々にしか回復しないというすがうかがえる。Chl-aの回復は、夏期の当該海域では、10日間以上必要であり、潮汐などによる移流などの効果を考えなければ、単一種の植物プラクトンに起因する水質変化の時間スケールも数日~半月程度のものであると思われる。

昭和58年8月には、同一海域でマイクロコズム1基を設置しており、8月1日から5日までの5日間(0日目から4日目)の実験終了後側壁ビニール膜を下げて水を入れ換え、その後再び囲い込み8月5日から10日までの6日間(0日目から5日目まで)の実験を繰り返している。後半の実験では、マイクロコズム内に無機の栄養塩を添加している。人工的に栄養を添加した場合の水質変化のようすは、図-13を見るとわかる。図-13には、Chl-a、DIN、SSの経時変化を示してある。前半の実験では、Chl-aは、囲い込み後1日目の表層で最高値(22

μg/l)に達し、その後減少し減少期には底部のChl-a濃度が高くなってくる。DINは、表・中層では囲い込み後直に低下し、Chl-aの減少によってもなかなか回復しない。一方、栄養を添加した後半の実験の場合、DINは添加した底層の高濃度が1~2日間で表層へ拡がり、表・中層に運ばれた栄養を利用してのChl-aの急増が見られる。有光層での植物プラクトンの急増が、底層からの栄養の補給に規定されていることがよくわかる。また、Chl-aの急増が必ずしもSSの増加には直接結びつかず、表層SSの濃度のピークは2~3日目に見られる。これは、植物プラクトンが、まず栄養をとり込みChl-aを作り出しながら活発に細胞分裂してゆき、次いで各小細胞が同化作用により自己の細胞を大きく重くしてゆくという増殖のようすを示唆している。室内での培養時に顕微鏡下でよく観察され、活発な分裂期(対数増殖期)と安定した細胞数を示す時期(定常期)とでの1

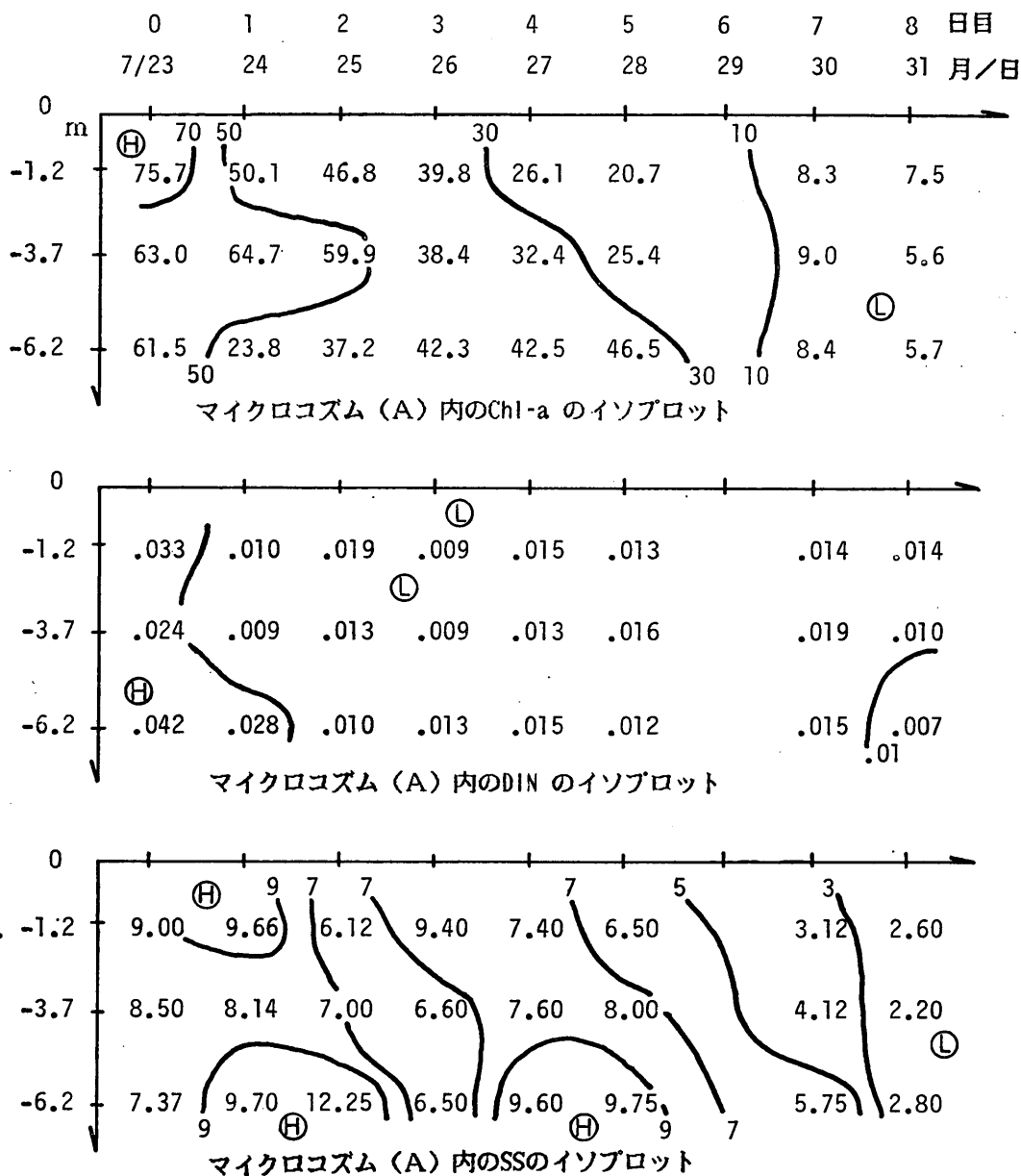


図-11 マイクロコズム (A) 内のクロロフィルa, 溶解性無機態窒素, 浮遊けん濁粒子のイソプロット (昭和59年7月23日~7月31日) クロロフィルaの単位は  $\mu\text{g/l}$ , 他の指標の単位は  $\text{mg/l}$

細胞あたりの大きさの差として表現されるこうした生理作用が、現地海水の中ではどのような時間遅れとして水質に反映されるのかについては、更に実験を積み重ねる必要がある。いずれにしろ、数日~十日間程度のマイクロコズム実験では、囲い込まれた水塊内の水質の変化が、植物プランクトンの作用を中心にして説明されるこ

とが、2回にわたる夏期の実験結果から確認できる。

昭和59年夏期のマイクロコズム内では、水塊囲い込み当初より、*C. pelagica* の赤潮状況であるため、マイクロコズム内の水質の変化は優占種 *C. pelagica* の変化に大きく左右されている。マイクロコズム(A), (B)2基内の、植物プランクトンの総細胞数の変化を片対数グラフ



マイクロコズムとセジメントトラップとを用いた沿岸域での浮遊粒子挙動の観測

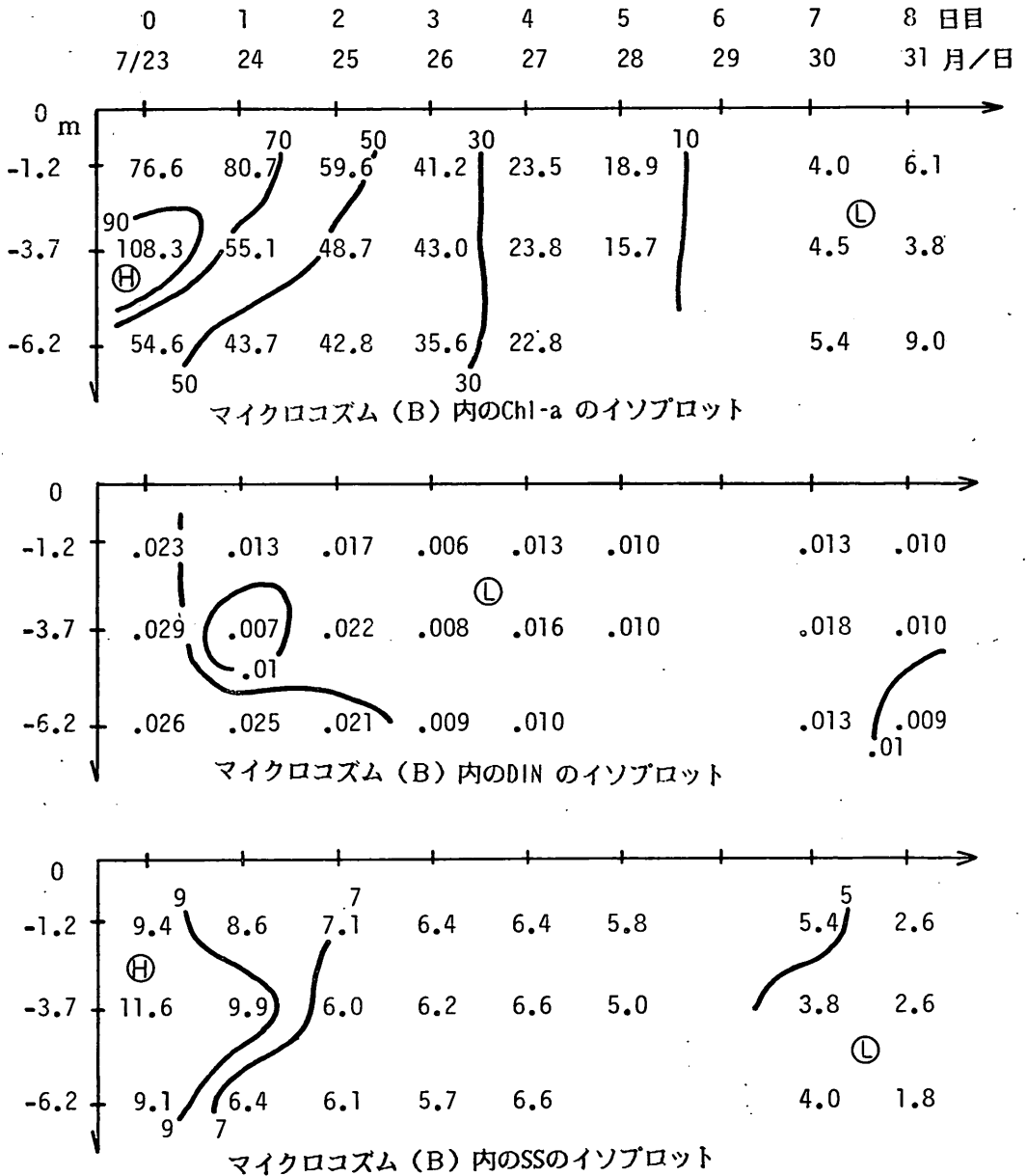


図-12 マイクロコズム (B) 内のクロロフィルa, 溶解性無機態窒素, 浮遊けん濁粒子のイソプロット (昭和59年7月23日~7月31日) クロロフィルaの単位は  $\mu\text{g/l}$ , 他の指標の単位は  $\text{mg/l}$

にプロットすると図-14のように減少のようすが示される。植物プランクトンの総細胞数のほとんどが、*C. pelagica* で占められている。左側のマイクロコズム(A)では開始後4日間は日に1度の攪拌を実施している。0日目から4ないし5日目にかけてゆっくりとした細胞数の減少を示し、その後の減少は急であることがわかる。上・

中・下層の3層の細胞数データに関し自然対数を取り、細胞数の対数値と経過日数との回帰式を求めたものを図中に示してある。回帰式は0~5日目の区間と5日目以降の区間とに別けて求め、回帰式の傾きを $k$ 値(単位:  $1/d$ )として示してある。 $k$ は、細胞数の見かけ上の減少の速度を表し、右さがりであることから、増殖などよ

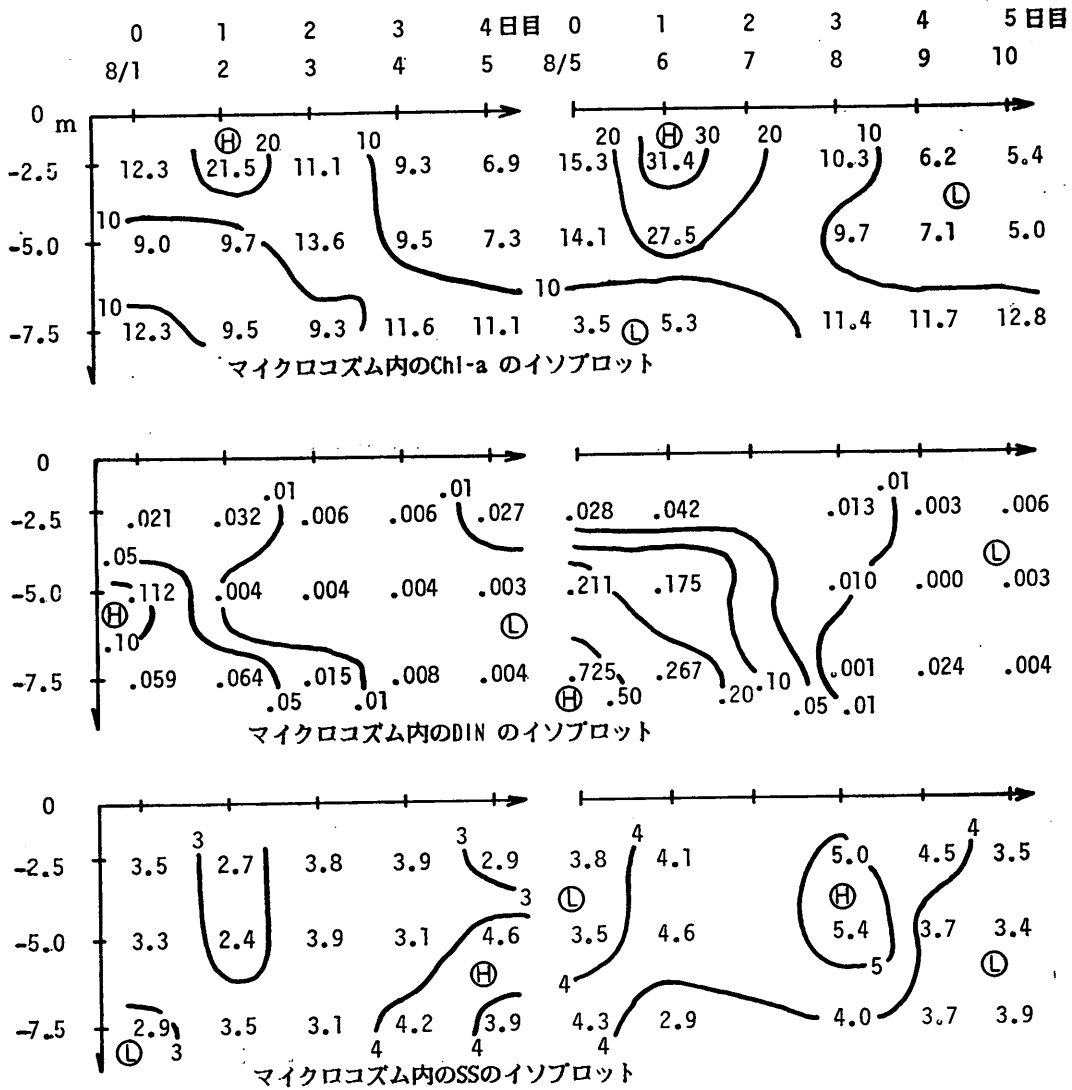


図-13 マイクロコズム内のクロロフィルa, 溶解性無機態窒素, 浮遊けん濁粒子のイソプロット (昭和58年8月1日～8月5日および8月5日～8月10日) クロロフィルaの単位は  $\mu\text{g/l}$ , 他の指標の単位は  $\text{mg/l}$

り分解や沈降などの速度が上まわっていることがわかる。最後の攪拌から24時間経過した5日目データまでで(A), (B)を比較すると,  $k$ の値で約2倍の差が生じている。この差が, 攪拌のみに起因するのならば, マイクロコズム内の攪拌やひいては粒子の沈降といった物理的な鉛直輸送の作用は, プランクトン細胞の増殖や分解といった生物的作用と, 少なくとも同程度のオーダーの速度で細胞数を変化させていると予想される。5日目以降のデータでは,  $k$ 値の差は2～3割程度である。

#### 5.5 マイクロコズム底部に捕集された捕集物

昭和59年夏の実験では, 2基のマイクロコズムにつき, 底部に設けられた捕集筒内の沈降物を2回回収している。第1回目は, 7月23日の設置時から7月27日までの4日間の捕集物を7月27日に回収し, 続いて7月27日から8月2日までの6日間の捕集物を8月2日に回収している。7月27日には, 水の入換えなどは実施しておらず, 最初の4日間に沈降しきれなかった粒子や, その後マイクロコズム内で生産された粒子などが次の6日間で捕集されている。

捕集された沈降物の量および組成を表-6に示す。表中

マイクロゾムとセジメントトラップとを用いた沿岸域での浮遊粒子挙動の観測

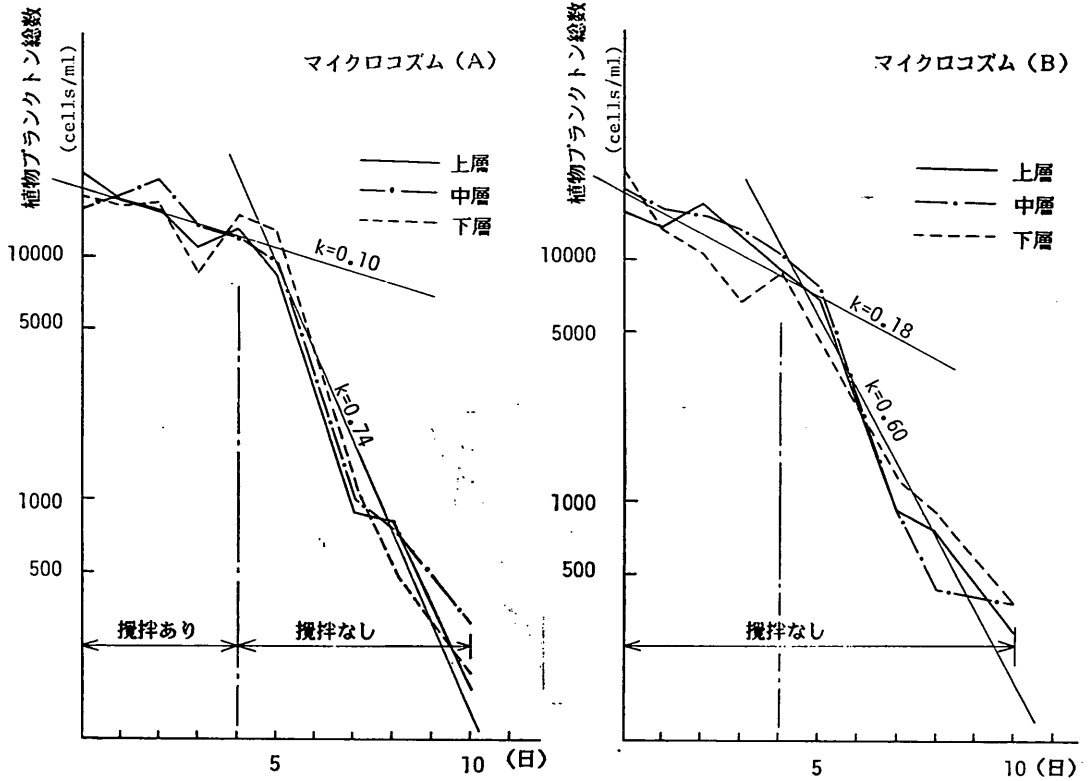


図-14 マイクロゾム (A), (B) 内の植物プランクトン総細胞数の経日変化  
図中の傾き  $k$  は見かけの減少速度で単位は 1/d

表-6 マイクロゾム底部の捕集筒に捕集された粒状沈降物の量および組成

| 装置の区別/<br>栄養添加の有無 | 無添加                     | N, P 添加後                 | マイクロゾム (A)                |                          | マイクロゾム (B)                |                          |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 期間<br>(日数)        | S 58.8.1<br>~8.5<br>4日間 | S 58.8.5<br>~8.10<br>5日間 | S 59.7.23<br>~7.27<br>4日間 | S 59.7.27<br>~8.2<br>6日間 | S 59.7.23<br>~7.27<br>4日間 | S 59.7.27<br>~8.2<br>6日間 |
| 粒状物重量 (SS) (g)    | 7.33                    | 7.98                     | 4.00                      | 11.17                    | 5.46                      | 1.05                     |
| COD (g)           | 1.06                    | 2.74                     | —                         | —                        | —                         | —                        |
| POC (g)           | 1.13                    | 1.56                     | 0.582                     | 1.17                     | 0.640                     | 0.169                    |
| PON (g)           | 0.180                   | 0.244                    | 0.102                     | 0.218                    | 0.108                     | 0.0334                   |
| POP (g)           | 0.016                   | 0.046                    | 0.0029                    | 0.0045                   | 0.0038                    | 0.0032                   |
| Chl-a (g)         | $5.58 \times 10^{-3}$   | $21.53 \times 10^{-3}$   | $5.73 \times 10^{-3}$     | $6.98 \times 10^{-3}$    | $6.84 \times 10^{-3}$     | $0.897 \times 10^{-3}$   |
| フェオ色素 (g)         | $35.96 \times 10^{-3}$  | $78.33 \times 10^{-3}$   | $35.02 \times 10^{-3}$    | $44.12 \times 10^{-3}$   | $50.26 \times 10^{-3}$    | $4.98 \times 10^{-3}$    |
| 強熱減量 (g)          | —                       | —                        | $0.33 \times 10^{-3}$     | $1.10 \times 10^{-3}$    | $0.40 \times 10^{-3}$     | $0.17 \times 10^{-3}$    |
| 硫化物 (g)           | —                       | —                        | $11.0 \times 10^{-3}$     | $274 \times 10^{-3}$     | $13.2 \times 10^{-3}$     | $2.9 \times 10^{-3}$     |
| POC/SS (mg/g)     | 154                     | 195                      | 145                       | 105                      | 117                       | (162)*                   |
| PON/SS (mg/g)     | 24.5                    | 30.6                     | 25.6                      | 19.5                     | 19.7                      | (31.9)*                  |
| POP/SS (mg/g)     | 2.2                     | 5.7                      | 0.73                      | 0.40                     | 0.70                      | (3.04)*                  |
| Chl-/SS (mg/g)    | 0.75                    | 2.69                     | 1.43                      | 0.63                     | 1.24                      | (0.86)*                  |
| C/N 比             | 6.3                     | 6.4                      | 5.7                       | 5.4                      | 5.9                       | 5.1                      |

\* SSの量が小さく、大きな誤差を含む値となっている。

表-7 マイクロコズム底部の捕集筒に捕集された沈降物のうちプラクトン組成の例  
(昭和58年8月5日回収物および8月10日回収物)

(単位:  $10^3$ cells/ml または  $10^3$ ind's/l)

| 期 間      |                                    | S 58. 8. 1~8. 5 |       | S 58. 8. 5~8. 10 |       |
|----------|------------------------------------|-----------------|-------|------------------|-------|
|          |                                    | 有               | 無     | 有                | 無     |
| 網        | 種 名                                | 色素の有無           |       | 色素の有無            |       |
| 植物プラクトン  |                                    |                 |       |                  |       |
| 珪藻       | <i>Skeletonema costatum</i>        | 3.2             | —     | 1,010            | —     |
|          | <i>Lyptocylindrus danicus</i>      | 14.4            | 6.4   | 16               | 26.7  |
|          | <i>Thalassiosira spp.</i>          | 3.2             | —     | 571              | 26.7  |
|          | <i>Chaetoceros debilis</i>         | 19.2            | 19.2  | 160              | 0.0   |
|          | <i>C. lorenzianus</i>              | 0.0             | 0.0   | 107.0            | 5.3   |
|          | <i>C. spp.</i>                     | —               | —     | 747.0            | 42.7  |
|          | <i>Ceratoulina pelagica</i>        | 1.6             | 11.2  | 21.3             | 16.0  |
|          | <i>Eucampia zoodiacus</i>          | 24.0            | 374.0 | 0.0              | 117.0 |
|          | <i>Navicula sp.</i>                | 8.0             | 27.2  | 101.0            | 21.3  |
|          | <i>Nitzschia sp. (cf. pungens)</i> | 9.6             | 4.8   | 283.0            | 53.3  |
| 動物プランクトン |                                    |                 |       |                  |       |
| 甲 殻      | <i>Oithona aruensis</i>            | 90.             |       | 0.               |       |
| 繊毛虫      | <i>Helicostomella sp.</i>          | 20              |       | 0.               |       |
|          | <i>Eutninnus lusus-undae</i>       | 0.              |       | 11               |       |

には、昭和58年夏に実施したマイクロコズム実験の結果もあわせて記してある。沈降物量としては、重量の他に、粒状態の有機炭素(POC)、有機窒素(PON)、有機リン(POP)などもグラムの単位で表示してある。組成は、粒子重量1グラムあたりの含有量としてmg/gの単位で表示してある。昭和58年夏の結果では、前半の実験期では後半の実験期に比して重量、有機物量ともにやや少ない。クロロフィルaやその分解物のフェオ色素の量では、栄養(N、P)を添加した後半の実験期の捕集が圧倒的に大きい。組成比を見ても、POCやPON、POPで表した有機物の含有量、Chl-aの含有量ともに後半の捕集物で大きい。マイクロコズム内を沈降してくる粒子の特徴が捕集物によく表れている。昭和59年夏の実験では、5.4で見たように、マイクロコズム(A)内で(B)よりも高い浮遊けん濁物濃度が見られ、3日目以降けん濁物が水塊底部に集積しているようすが観察されている。捕集物量は、当初の4日間では(B)の方がやや多いが、次の6日間では(A)での捕集物量が著しく大きい。しかし、組成を見ると(A)での捕集物では、当初の4日間の捕集物の方が、有機物含有量、Chl-a含有量ともに大きく、時間がたつにつれて沈降物も徐々に無機化していることがわかる。分解され無機化が進行するにつれけん濁態のN、Pなどは可溶化してゆき、マイクロコズム内のDIN、DIPなどの濃度の回復に寄与してゆくものと見られる。マイ

クロコズム(B)の7月27日以降の6日間の捕集物データは、5.4で述べたように、底部側壁のき裂の影響を受けている可能性があり、参考値として見るべきであろう。また、同期間の組成比の値は、ベースとなる捕集粒状物重量が1.05gと小さく、そのため組成比は大きな誤差を含む恐れがあり、カッコで括って表示してある。

捕集物とマイクロコズム内の浮遊粒子との関係を見るために、捕集物を顕微鏡で観察し、そこに見られる藻種をまとめたものが表-7である。この表は、昭和58年夏の実験時に実施した結果である。4~5日間の捕集物であるので、殻を持たない藻は分解もしくは破壊されてしまっており、観察される藻はほとんど珪藻である。前半(8月1日~5日)の捕集物中には、この期間マイクロコズム水塊中に卓越していた大型の*Eucampia zoodiacus*がよく見られている。色素のぬけた死滅した細胞の割合が非常に大きい。一方、後半(8月5日~10日)の捕集物中には、この期間水塊中に卓越していた*Thalassiosira*や*Chaetoceros*の他、*Skeletonema*なども多く含まれている。水塊底部での栄養塩の濃度が比較的高く、これらの藻の増殖の活性も高いことから、色素を含んだものが多いのであろう。活性の低下している*Eucampia zoodiacus*は、この時期の捕集物中には、色素のない細胞のみが見出されている。

#### 5.6 セジメントトラップ実験の結果

表-8 沈降フラックスの測定値

(単位: mg/m<sup>2</sup>/d)

| 測定期間  | S 58. 8. 1~8. 5      |                      | S 58. 8. 5~8. 10        |                         | S 59. 7. 23~7. 27                      |                      |                      |
|-------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|--|----------------------|----------------------|
|       | マイクロコズム<br>l=5 m     |                      | マイクロコズム<br>(A)<br>l=5 m | マイクロコズム<br>(B)<br>l=5 m | セディメント・トラップ<br>-1.2m    -3.7m    -6.2m |                      |                      |
| SS    | 2.33×10 <sup>3</sup> | 2.03×10 <sup>3</sup> | 1.27×10 <sup>3</sup>    | 1.74×10 <sup>3</sup>    | 12.3×10 <sup>3</sup>                   | 22.7×10 <sup>3</sup> | 24.4×10 <sup>3</sup> |
| POC   | 360.                 | 397.                 | 185.                    | 204.                    | 780.                                   | 1,310.               | 1,500.               |
| PON   | 57.1                 | 62.1                 | 32.6                    | 34.3                    | 135.                                   | 217.                 | 252.                 |
| POP   | 5.1                  | 11.6                 | 0.93                    | 1.21                    | 7.18                                   | 23.8                 | 30.0                 |
| Chl-a | 1.75                 | 5.47                 | 1.82                    | 2.18                    | 9.26                                   | 17.4                 | 17.2                 |

昭和59年夏には、マイクロコズム実験と併行して、現場海域中に7月23日より27日までの4日間セジメントトラップを3層に設置してある。囲い込まれていない海域での沈降物を捕集しその量を測定している。SS, POC, PON, POP, Chl-a について結果を表-8に示す。表では、捕集された重量を、捕集期間と捕集筒開口部面積とで除し、単位時間・単位面積あたりの量(フラックス量)として表示してある。また、表-6のマイクロコズム底部に沈降した沈降物データに対しても同様の処理を施して、マイクロコズム内の沈降フラックスを算定し、その値も同時に掲げてある。

SSの沈降フラックスで比較すると、マイクロコズム内の沈降は、1~2×10<sup>3</sup>mg/m<sup>2</sup>/dのオーダーであり、昭和58年夏では昭和59年夏に比して大きいことがうかがえる。水塊内濃度は、昭和59年夏の初期にかなり大きかった事を考えると、昭和59年夏のマイクロコズム実験では、沈降が遅かった可能性がある。

また、同じSSの沈降フラックスで、マイクロコズム内の沈降と現場海域中の沈降とを比較すると、現場でのセジメントトラップで捕集されている沈降量は10~20×10<sup>3</sup>mg/m<sup>2</sup>/dと、マイクロコズム内のフラックスの約10倍の大きな値となっている。セジメントトラップでのフラックス値はいずれの指標においても、マイクロコズム内の沈降フラックス値よりも4~10倍程度大きくなっている。沈降フラックスの観測値は大きく変動しがちであるが、富栄養化した沿岸域では、沈降物の乾重量として十ないし百数十g/m<sup>2</sup>/d程度のフラックス値がしばしば観測される<sup>17)</sup>。ここでのセジメントトラップでの測定値もこの範囲内にあり、特に非現実な値ではない。

### 5.7 付随実験の結果(その1) 小型バッグ法および室内培養実験

昭和59年夏期の実験では、マイクロコズムの設置とともに付随的な実験として小型ビニルバッグに水封した海水の現地垂下実験と、現地海水の室内定温定照度下での

培養実験とを実施している。

現地垂下の小型バッグは、封入試水の減少が著しく、比表面積も大きく、また室内に比して自然光の高い照度を受けているため、付着藻の発生が著しい。垂下後の日数を経ると、採水ホースの目詰まりが起こりやすく、はく離した付着藻の破片などもサンプリングされ、データにばらつきを生じはじめる。ここでは、マイクロコズム実験の解析期間も考慮し、垂下0日目から4日目までのデータのみを対象とすることとしている。室内培養実験では、非常に大きなデトリス片の底面付近への沈積などが観察された円筒も1~2本あったが、培養期間(0~10日目)には付着生物の影響は小さいと思われる。室内培養実験のデータは、10日目までの全データを対象とする。

#### (1) 小型バッグ法の結果

現場での小型バッグ内のSS, POC, PONの各濃度の自然対数の経時変化を図-15に示す。図には、上層水と下層水との変化をおのおの示してあり、また図中には、経時変化の回帰式を相関係数(r)とともに載せている。上層水を小型バッグ内に封入すると、SS, POC, PONともにゆっくり減少し、減少は1日当たり4~7%(-0.04~-0.07)の速度である。一方、下層水は、減少の傾向がはっきりせず濃度のばらつきが大きい。低い相関係数ではあるが、回帰式から減少の速度を求めると3%以下となる。一般に、上層の方が下層よりも照度・水温が高いため、栄養塩さえ十分に存在すれば増殖が大きく作用し、見かけの減少の速度は小さくなる事が予想される。ここでは、上層水、下層水ともに封入後のDIN, DIPがきわめて低く、増殖に用いる栄養塩の欠乏のため、いずれも減少していると思われる。濃度の自然対数を経過時間に対してプロットし、1次回帰式をあてはめて求めた変化度を、各ケースについて示すと、表-9のようになる。表-9には、1日あたりの値で示した速度のほか、SS, POC, PON, クロロフィルa濃度

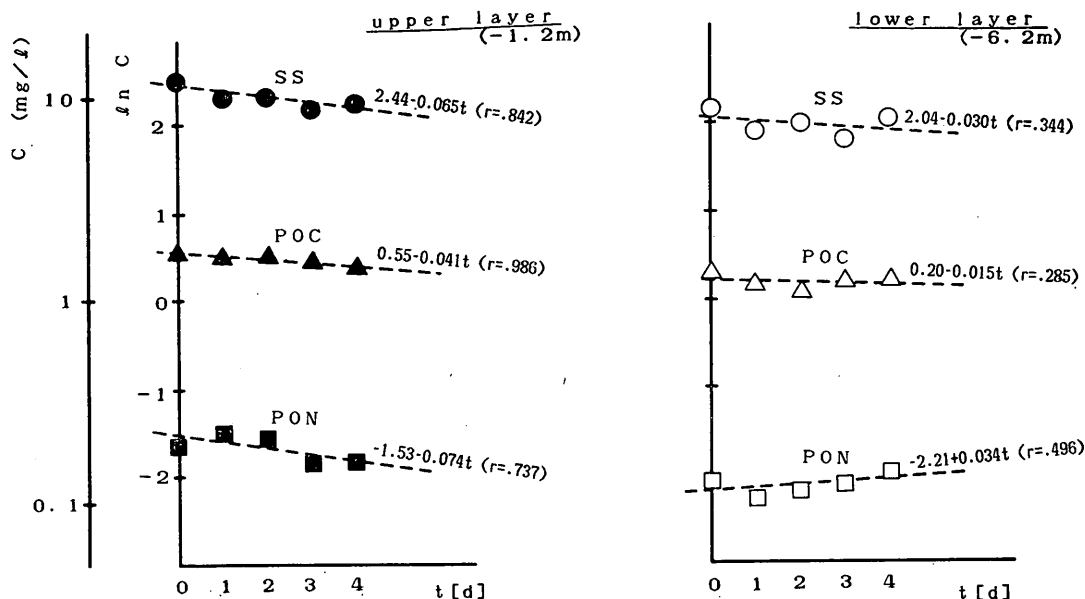


図-15 小型バッグ内の粒状物質濃度の経日変化（昭和59年7月23日～27日）——現場表層（-1.2m）垂下および底層（-6.2m）垂下時の SS（●，○），POC（▲，△），PON（■，□）——破線は回帰直線を示す

表-9 現地垂下小型バッグ内の粒状物質の変化速度と最大濃度（昭和59年7月23日～27日の期間）

| 指 標 | SS    |          | POC    |          | PON    |          | Chl-a   |          |        |
|-----|-------|----------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|--------|
|     | 変化速度  | 最大濃度     | 変化速度   | 最大濃度     | 変化速度   | 最大濃度     | 変化速度    | 最大濃度     |        |
| 試水  | 1/d   | mg/l     | 1/d    | mg/l     | 1/d    | mg/l     | 1/d     | μg/l     |        |
| 上層水 | 無添加   | (-0.065) | [12.3] | (-0.041) | [1.74] | (-0.074) | 0.222   | (-0.696) | [75.9] |
|     | +N    | (-0.028) | 13.0   | (-0.034) | 1.86   | (-0.093) | 0.232   | (-0.570) | [80.4] |
|     | +P    | (-0.065) | [12.3] | (-0.007) | [1.64] | (-0.006) | [0.235] | (-0.487) | [71.0] |
|     | +N, P | (+0.149) | 19.0   | (+0.208) | 3.72   | (+0.227) | 0.564   | (-0.356) | [73.4] |
| 下層水 | 無添加   | (-0.030) | [8.6]  | (-0.015) | [1.32] | (+0.034) | 0.134   | (-0.126) | [67.5] |
|     | +N    | (-0.028) | 9.0    | (-0.027) | [1.29] | (+0.015) | 0.168   | (-0.208) | [65.0] |
|     | +P    | (-0.033) | [8.6]  | (+0.013) | 1.27   | (+0.026) | 0.179   | (-0.090) | 70.3   |
|     | +N, P | (+0.009) | [8.6]  | (+0.078) | 1.44   | (+0.114) | 0.253   | (-0.152) | 71.7   |

[ ] は単調減少を示し最大濃度が0日目（初期）の値となったもの。

( ) は変化速度推定の回帰式の相関係数が0.7を切るもの。

+NはNとして1.4mg/l 増加するように NaNO<sub>3</sub> を添加

+PはPとして1.55mg/l 増加するように KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> を添加

+N, P はNとPとの両者を +N, +P ケースの濃度と同じ濃度だけ増加するように添加

で示した最大濃度（最大増殖量）も示している。速度の値のうち（ ）で括弧であるものは、回帰式をあてはめた時の相関係数（r）が0.7以下のものである。また、最大濃度の値のうち [ ] でかこんであるものは、0日目（封入時）の値が最大であり、以降減少している場合のものである。変化速度が負で示されるものは減少を表

している。

表-9を見ると、クロロフィルaについては、全ケースで明らかな減少が見られ、上層水で0.7(1/d)、下層水で0.1(1/d)程度の減少速度である。栄養塩を添加すると、上層水では減少はゆっくりするが、下層水では減少速度は変わらない。SSやPOC、PONなどの指標で

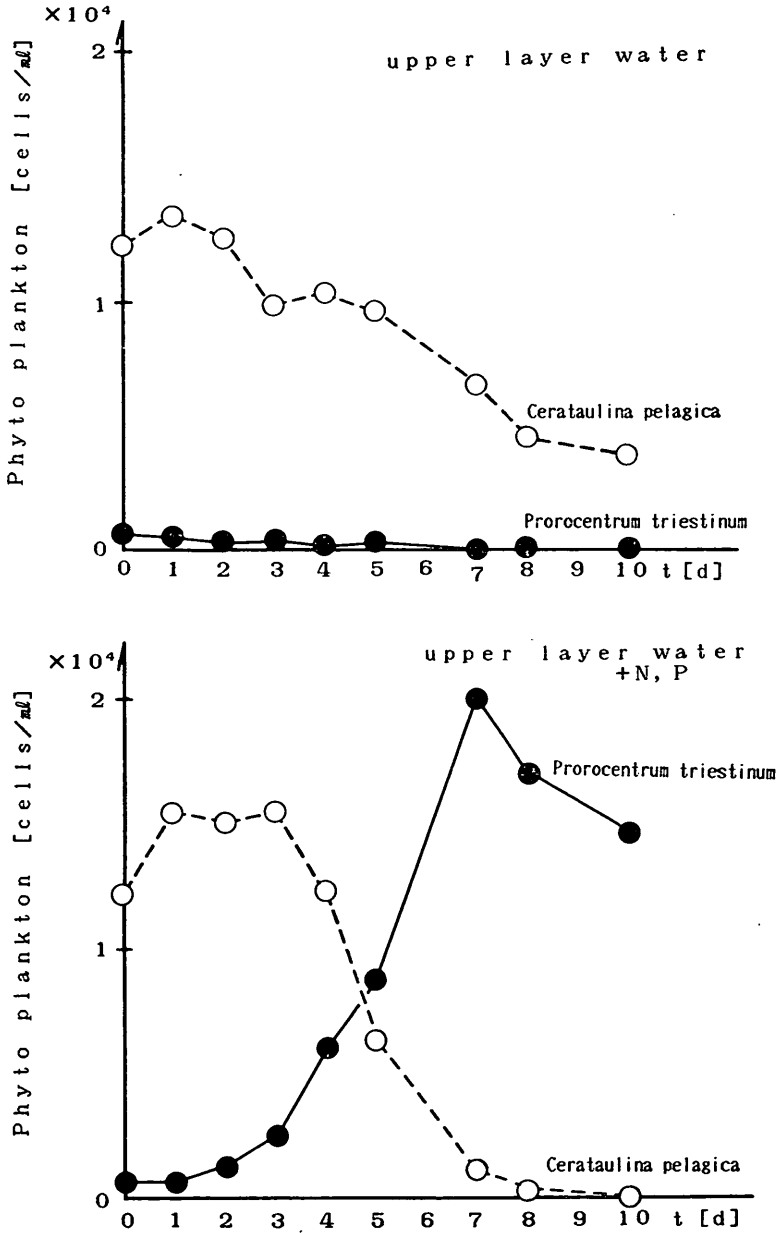


図-16 室内培養実験における優占種 *Cerataulina pelagica* (○) と *Prorocentrum triestinum* (●) の細胞数経日変化——採水した表層水をそのまま培養したケースと、N、Pを添加したケースの比較 (昭和59年7月23日採水、培養時水温23℃、照度10,000 lx)

は、上層水で .04~.07 (1/d) 程度のゆっくりした減少が見られ、下層水では、増加か減少かはっきりしていない。上・下層水とも、N、Pの両者を添加するとやや増加の傾向が見えてくるが、N、Pおのおのの単独の添加

では、無添加水との差ははっきりしない。

最大濃度についても同様の傾向が見られる。クロロフィルa濃度では、最大濃度は封入時の濃度となり、N、Pを添加しても横ばいか減少となる。POC、PONでは、

上層水へN, P両者を添加すると、無添加の場合に比べて2倍程度の収穫となるが、下層水では収穫量の増加があまり明らかではない。

いずれのケースでも、小型バッグ内では現地卓越種の *Cerataulina pelagica* の減少が観察され、卓越種の減少により各指標が減少している。動物プランクトンとしては有鍾織毛虫類や微少の原生動物が増加し、内壁への付着生物の発生などとも関係があるようである。

(2) 室内培養実験の結果

室内培養時の無添加上層水中の卓越植物プランクトン *Cerataulina pelagica* の経時変化を 図-16 に示す。単一種 *Skeletonema costatum* の増殖では、図には示さないがクロロフィルa濃度で2日目、細胞数で3日目に最大値に達し、その後ゆっくりと減少もしくは横ばいの傾向を示している。単一種培養実験で、NとPを添加すると、クロロフィルa濃度で3日目にピークに達し、細胞数では5~7日目にピークに達する。*C. pelagica* の増殖曲線や *S. costatum* の増殖のようすから培養は、水温・照度等の条件の変動や大きな障害もなく、自然条件に近い状態で順調に行われていたことがうかがえる。

0日目から培養の終了する10日目までの変化について、増殖速度と最大濃度とを表-10にまとめている。ここで、増殖速度は、培養開始後の2~3日間の減少を終

え、横ばいからやや上昇している時の増殖速度を示している。照度・水温の条件が同一であるので、おもに無機栄養塩濃度に左右されて増殖速度が変化すると思われる。POCは、クロロフィルaの増加が止まり、減少がはじまっても、ゆっくりと上昇することがある。POCの増加時期のみについて、増加速度を比べるとおおむね0.2 (1/d) 程度である。クロロフィルaは、増加時期が見当らず、0.3~0.5 (1/d) で減少しているが、N, Pを添加すると数日後から0.2 (1/d) 程度で増殖するようになる。

最大増殖量を比較すると、NとPとを添加した試水では、無添加試水に対して2~3倍の収量が見られる。現地に垂下した小型バッグ法では不明りょうであったクロロフィルaやSSにおける収量の差異もはっきり表れている。同一の条件下で、注意深く管理された室内培養実験では、試水の栄養状態に起因する最大増殖量の差異がより把握しやすいものと思われる。

上層水にNとPとを添加した実験ケースについて、増殖した卓越プランクトンの経時変化を 図-16 の下部にかかげてある。このケースでは、3日目以降それまでの卓越種 *Cerataulina pelagica* から *Prorocentrum triestinum* へと卓越種の交代 (*succession*) が見られる。N, Pが十分に含有されている場合、けい藻赤潮に次いでべ

表-10 室内培養実験における粒状物質の変化速度 (対数増殖速度) と最大濃度 (最大増殖量)  
(昭和59年7月23日~8月2日, 培養時水温23℃, 照度10,000 lx)

| 指 標       | 処 理               | SS            |                | POC         |              | PON         |               | Chl-a        |                |
|-----------|-------------------|---------------|----------------|-------------|--------------|-------------|---------------|--------------|----------------|
|           |                   | 対数期増殖速度       | 最大増殖量          | 対数期増殖速度     | 最大増殖量        | 対数期増殖速度     | 最大増殖量         | 対数期増殖速度      | 最大増殖量          |
| 上層水       | 無処理               | 1/d<br>(.023) | mg/l<br>[12.3] | 1/d<br>.109 | mg/l<br>2.31 | 1/d<br>.210 | mg/l<br>0.356 | 1/d<br>-.468 | μg/l<br>[78.7] |
|           | +N                | (.097)        | 14.0           | .187        | 2.45         | .203        | 0.429         | -.227        | [72.4]         |
|           | +P                | (-.034)       | [12.3]         | .187        | 2.48         | .133        | 0.452         | -.516        | [78.8]         |
|           | +N, P**           | .199          | 23.2           | .267        | 6.21         | (.091)      | 1.003         | .222         | 167.9          |
| 下層水       | 無処理               | (.037)        | 10.0           | .233        | 2.33         | .308        | 0.363         | -.434        | [74.8]         |
|           | +N                | .117          | 15.8           | .104        | 3.12         | .183        | 0.479         | -.318        | [72.2]         |
|           | +P                | (.133)        | 11.3           | .223        | 1.87         | .261        | 0.318         | -.411        | [59.9]         |
|           | +N, P             | .160          | 18.0           | .189        | 5.55         | .187        | 0.915         | .226         | 125.2          |
| 上下<br>混合水 | 減菌後<br>単一種接種*     |               | 7.2            |             | 1.33         |             | 0.179         |              | 13.1           |
|           | 〃 (3,000lx)       |               | 5.3            |             | 1.38         |             | 0.163         |              | 27.3           |
|           | 減菌後+N, P<br>単一種接種 |               | 7.8            |             | 1.99         |             | 0.310         |              | 9.6            |
|           | 〃 (3,000lx)       |               | 8.3            |             | 1.61         |             | 0.229         |              | 28.6           |

\* 単一種として *Skeletonema costatum* の接種

\*\* 上層水+N, Pの添加時の卓越藻種は当初の *Cerataulina pelagica* から5日目より *Prorocentrum triestinum* に交代



ん毛藻赤潮の発生が観測されることが多く、この培養実験でも類似の現象が生起しているものと思われる。図-7に示すマイクロゾム(A), (B)の表層水でもその傾向がうかがえるが、N, Pの不足により種の交代にまで至っていない。ただし、下層水にNとPとを添加し、同じ条件で培養しても、べん毛藻の発生は遅く、10日目に *Gyrodinium sp.* が  $2 \times 10^3$  cells/ml 程度出現し、減少した *Cerataulina pelagica* の濃度  $5 \times 10^2$  cells/ml をようやくしのいだにとどまっている。

(3) 増殖挙動の解析

小型バッグ法および室内培養実験から、マイクロゾム内に囲い込んだ水の藻増殖特性として、次のことがわかる。

- ① 囲い込んだ水には、植物プランクトンの更なる増殖には栄養塩が欠乏している。
- ② その栄養を添加してやれば、更に増殖が進行するという、増殖制限栄養塩としては、NとPとの両者であり、どちらか一方を添加しても顕著な増殖は見られない。
- ③ したがって、NとPとの両栄養塩がマイクロゾム内に増加すれば、マイクロゾム内の植物プランクト

ン粒子は増加する。このことは、昭和58年夏期のマイクロゾム実験でも確認されている。

また、囲い込んだ水に含まれている植物プランクトンを主とする粒子については、次のような特性が把握できる。

① 移流・拡散・沈降の項が作用せず、捕食作用が微小である系では、式(6), (7)に示される増殖と分解との作用によって濃度の増加・減少が表れる。増殖速度係数( $\mu$ )と分解速度係数( $D$ )との差で表した見かけの増殖速度( $\mu - D$ )は、上層水、下層水ともに負となり、減少傾向にあることが把握できる。

② 光をしゃへいしたバッグでの実験ケースがないので、明ビン-暗ビン法のように $\mu$ と $D$ とを分離して評価することはできない。ただし、 $\mu - D$ の値としては、SS, POC, PONなどで見れば、現地上層で $-0.04 \sim -0.07(1/d)$  下層で $-0.02(1/d)$ 程度であると見積もれる。

こうした検討により、マイクロゾム内での粒子の挙動の解析、特に短期的な変動に対しての解析に役立つ動力学的な値が見積もれる。小規模で短時間の実験結果が適用できる条件については十分注意を払う必要がある。

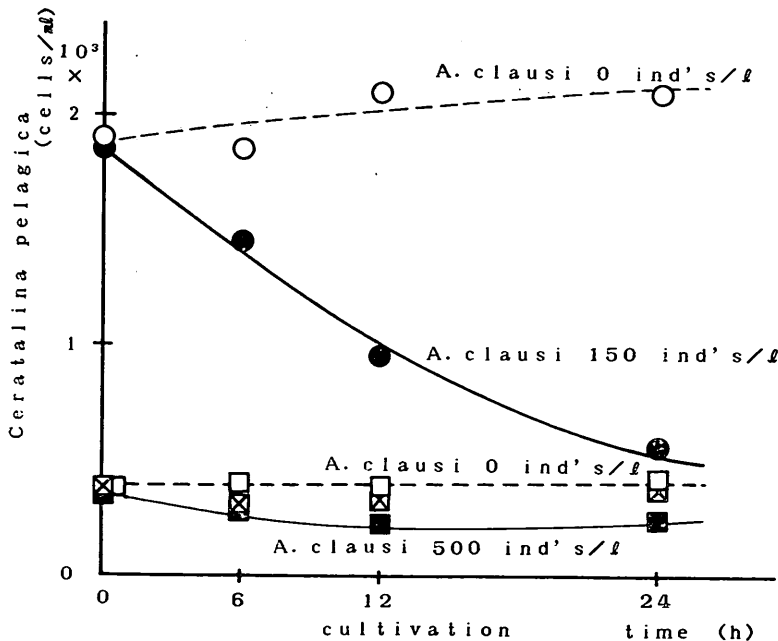


図-17 *Acartia clausi* の捕食作用による *Cerataulina pelagica* の細胞数の減少  
 —当初設定1,900cells/mlの *C. pelagica* に *A. clausi* を無添加(○)と150 ind's/l 添加(●)および当初設定380 cells/mlの *C. pelagica* に、*A. clausi* を無添加(□), 150 ind's/l 添加(⊗), 500 ind's/l 添加(■), 培養期間24時間, 培養時水温26.3℃, 暗状態, 培養液量100 ml—

要因をしばっての個々の実験を積み重ねても、マイクロコズム内の挙動や現地海域での挙動は説明できない点やマイクロコズム実験の意義・役割についての理解を深めた上で利用すべきであろう。

5.8 付随実験の結果 (その2) 動物プランクトンによる捕食実験

(1) *Acartia clausi* の捕食実験

現場海域で見出されるかいあし類の *Acartia clausi* を中心に、動物プランクトンの捕食作用の大きさを把握するために培養実験を実施している。図-17に *A. clausi* とともに、現場卓越植物プランクトン種 *Cerataulina Pelagica* を混在させて培養した時の、*C. pelagica* の細胞数の変化を示す。*C. pelagica* を当初  $2 \times 10^3$  cells/ml の密度で清澄な海水にけん垂させておいても、*A. clausi* を同じ海水中に添加すると (●のケース) 24時間後には *C. pelagica* の細胞数は1/4にまで減少している。一方、*A. clausi* を1個体も加えない対照実験 (○のケース) では、やや増加した細胞数濃度となっている。その差は、*A. clausi* の *C. pelagica* を摂取する作用のみに起因しており、*C. pelagica* の増減の速度差より、*A. cl-*

*ausi* 1個体が1日あたりに捕食のためにろ過する水量 (ろ過速度: ml/ind/d) が算定できる。表-11~19に算定結果を示す。実験番号 GZ01 の C30, C31 が図-17中の○, ●の実験ケースであり、対照実験(ケースC30)では *C. pelagica* の細胞数がやや増加しているため、変化速度 ( $\mu-D$ ) として .124(1/d) と正の値が求められている。一方、捕食者 (*Z*) を 130ind's/l の割合で添加すると、細胞数は  $-1.240(1/d)$  の速度 ( $\mu-D-G_z \cdot Z$ ) で減少している。この差  $-1.364(1/d)$  は130個体の捕食に起因しており、当初濃度 1850cells/ml の *C. pelagica* のけん濁液を、1個体あたり1日あたり 10.5ml ろ過し摂食していることになる。

実験番号 GZ01~04 では、*Aclausi* に異なる4種の植物プランクトンを摂食させている。4種の植物プランクトンでは *C. pelagica* が最も細胞が大きく、次いで *S. costatum* であり、*H. inlandica*, *D. tertiolecta* は比較的小さい。小さな細胞では、*D. tertiolecta* で 700cells/ml, *H. inlandica* で 50cells/ml 程度と低濃度液中での捕食の作用が認められないことがある。*A. clausi* は、えさの濃度が低くなると捕食活動が認められなくなる関

表-11 実験ケース GZ01 *Cerataulina pelagica*~*Acartia clausi* 混合培養によるろ過速度の算定

| 温度<br>°C | ケース | <i>C. pelagica</i><br>当初濃度<br>cells/ml | <i>A. clausi</i><br>個体濃度<br>ind's/l | 0~24時間培養<br>( $\mu-D$ )( $\mu-D-G_z \cdot Z$ ) |         | ろ過速度( $G_z$ )<br>ml/ind/d |
|----------|-----|--|-------------------------------------|--|---------|---------------------------|
|          |     |  |                                     | 1/d  | 1/d     |                           |
| 26.3     | C10 | 200                                    | 0                                   | + .086   |         |                           |
|          | C11 | 200                                    | 150                                 |  | - .501* | 3.9*                      |
|          | C20 | 380                                    | 0                                   | + .085   |         |                           |
|          | C21 | 380                                    | 150                                 |  | + .0614 | 0.2                       |
|          | C22 | 360                                    | 500                                 |  | - .387  | 0.9                       |
|          | C30 | 1900                                   | 0                                   | + .124   |         |                           |
|          | C31 | 1850                                   | 130                                 |  | -1.240  | 10.5                      |

\* *C. pelagica* 細胞数データに誤差大

表-12 実験ケース GZ02 *Skeletonema costatum*~*Acartia clausi* 混合培養によるろ過速度の算定

| 温度<br>°C | ケース | <i>S. costatum</i><br>当初濃度<br>cells/ml | <i>A. clausi</i><br>個体濃度<br>ind's/l | 0~24時間培養<br>( $\mu-D$ )( $\mu-D-G_z \cdot Z$ ) |        | ろ過速度( $G_z$ )<br>ml/ind/d |
|----------|-----|--|-------------------------------------|--|--------|---------------------------|
|          |     |  |                                     | 1/d  | 1/d    |                           |
| 26.3     | S10 | 310                                    | 0                                   | + .304   |        |                           |
|          | S11 | 380                                    | 150                                 |  | -1.197 | 10.0                      |
|          | S20 | 660                                    | 0                                   | + .036   |        |                           |
|          | S21 | 640                                    | 160                                 |  | -1.599 | 10.2                      |
|          | S22 | 600                                    | 540                                 |  | -3.638 | 6.8                       |
|          | S30 | 4000                                   | 0                                   | + .278   |        |                           |
|          | S31 | 3700                                   | 170                                 |  | -2.980 | 19.2                      |

マイクロゾムとセジメントトラップとを用いた沿岸域での浮遊粒子挙動の観測

表-13 実験ケース GZ03 *Dunaliella tertiolecta*~*Acartia clausi* 混合培養によるろ過速度の算定

| 温度         | ケース | <i>D. tertiolecta</i> | <i>A. clausi</i> | 0~24時間培養    |                         | ろ過速度( $G_z$ ) |
|------------|-----|-----------------------|------------------|-------------|-------------------------|---------------|
|            |     | 当初濃度                  | 個体濃度             | ( $\mu-D$ ) | ( $\mu-D-G_z \cdot Z$ ) |               |
| 26.3<br>°C |     | cells/ml              | ind's/l          | 1/d         | 1/d                     | ml/ind/d      |
|            | D10 | 740                   | 0                | -.216       |                         |               |
|            | D11 | 660                   | 180              |             | -.038                   | 0             |
|            | D20 | 1500                  | 0                | -.004       |                         |               |
|            | D21 | 1500                  | 160              |             | -.730                   | 4.5           |
|            | D22 | 1600                  | 570              |             | -1.083                  | 1.9           |
|            | D30 | 6800                  | 0                | +.046       |                         |               |
|            | D31 | 6700                  | 170              |             | -2.203                  | 13.2          |

表-14 実験ケース GZ04 *Heterosigma inlandica*~*Acartia clausi* 混合培養によるろ過速度の算定

| 温度         | ケース | <i>H. inlandica</i> | <i>A. clausi</i> | 0~24時間培養    |                         | ろ過速度( $G_z$ ) |
|------------|-----|---------------------|------------------|-------------|-------------------------|---------------|
|            |     | 当初濃度                | 個体濃度             | ( $\mu-D$ ) | ( $\mu-D-G_z \cdot Z$ ) |               |
| 26.3<br>°C |     | cells/ml            | ind's/l          | 1/d         | 1/d                     | ml/ind/d      |
|            | H10 | 45                  | 0                | +.072       |                         |               |
|            | H11 | 40                  | 140              |             | +.106                   | 0             |
|            | H20 | 150                 | 0                | -.047       |                         |               |
|            | H21 | 120                 | 150              |             | -.622                   | 3.8           |
|            | H22 | 120                 | 450              |             | -1.607                  | 3.5           |
|            | H30 | 760                 | 0                | +.157       |                         |               |
|            | H31 | 760                 | 120              |             | -1.706                  | 15.5          |

表-15 実験ケース GZ10 *Chaetoceros affine*~*Acartia clausi* 混合培養によるろ過速度の算定

| 温度       | ケース      | <i>C. affine</i> | <i>A. clausi</i> | ( $\mu-D$ ) | 0~24時間培養 |                         | ろ過速度( $G_z$ ) |
|----------|----------|------------------|------------------|-------------|----------|-------------------------|---------------|
|          |          | 当初濃度             | 個体濃度             |             | (平均)     | ( $\mu-D-G_z \cdot Z$ ) |               |
| 14<br>°C |          | cells/ml         | ind's/l          | 1/d         |          | 1/d                     | ml/ind/d      |
|          | Ch10     | 510              | 0                | -.140       | (-.114)  |                         |               |
|          | Ch10     | 450              | 0                | -.088       |          |                         |               |
|          | Ch11     | 570              | 100              |             |          | -2.245                  | 21.3          |
|          | Ch20     | 1000             | 0                | +.195       | (+.095)  |                         |               |
|          | Ch20     | 1000             | 0                | -.005       |          |                         |               |
|          | Ch21     | 1100             | 100              |             |          | -1.537                  | 16.3          |
|          | Ch30     | 6100             | 0                | +.021       |          |                         |               |
|          | Ch30     | 6700             | 0                | -.080       | (-.002)  |                         |               |
|          | Ch30     | 5500             | 0                | +.052       |          |                         |               |
|          | Ch31     | 6600             | 100              |             |          | -.238                   | 2.4           |
|          | Ch32     | 6000             | 500              |             |          | -1.528                  | 3.1           |
|          | 19<br>°C | Ch40             | 6200             | 0           | +.073    | (.053)                  |               |
| Ch40     |          | 6000             | 0                | +.033       |          |                         |               |
| Ch41     |          | 6700             | 100              |             |          | -.564                   | 6.2           |

表-16 実験ケース GZ11 *Skeletonema costatum*~*Acartia clausi*混合培養によるろ過速度の算定

| 温度       | ケース  | <i>S. costatum</i><br>当初濃度 | <i>A. clausi</i><br>個体濃度 | 0~24時間培養<br>(平均) |                         | ろ過速度( $G_2$ ) |
|----------|------|----------------------------|--------------------------|------------------|-------------------------|---------------|
|          |      |                            |                          | ( $\mu-D$ )      | ( $\mu-D-G_2 \cdot Z$ ) |               |
| 14<br>°C | S 10 | 1250                       | 0                        | -.116            | (-.272)                 | 19.1          |
|          | S 10 | 1250                       | 0                        | -.428            |                         |               |
|          | S 11 | 1300                       | 100                      |                  | -2.185                  |               |
|          | S 20 | 2200                       | 0                        | -.108            | (-.021)                 |               |
|          | S 20 | 2300                       | 0                        | +.066            |                         |               |
|          | S 21 | 2400                       | 100                      |                  | -1.477                  |               |
|          | S 30 | 10000                      | 0                        | -.458            |                         | 14.6          |
|          | S 30 | 9800                       | 0                        | +.045            | (-.123)                 |               |
|          | S 30 | 9500                       | 0                        | +.045            |                         |               |
|          | S 31 | 8700                       | 110                      |                  | -.816                   |               |
|          | S 32 | 9700                       | 500                      |                  | -2.602                  |               |
|          |      |                            |                          |                  |                         |               |
| 19<br>°C | S 40 | 11000                      | 0                        | -.249            | (-.168)                 | 6.2           |
|          | S 40 | 10000                      | 0                        | -.086            |                         |               |
|          | S 41 | 10000                      | 100                      |                  | -.788                   |               |

表-17 実験ケース GZ20 *Skeletonema costatum*~*Acartia clausi* 3日間混合培養によるろ過速度の算定

| 温度       | ケース         | <i>A. clausi</i><br>個体数 | <i>S. costatum</i> 細胞数 (ろ過速度) |        |         |       |
|----------|-------------|-------------------------|-------------------------------|--------|---------|-------|
|          |             |                         | 0日目                           | 1日目    | 2日目     | 3日目   |
| 24<br>°C | S 10        | 0                       | 18400                         | 27700  | 38800   | 37000 |
|          | ( $\mu-D$ ) | (1/d)                   | (.409)                        | (.337) | (-.048) |       |
|          | S 11        | 76                      | 19100                         | 26900  | 32700   | 29400 |
|          | ( $G_2$ )   | (ml/ind/d)              | (0.9)                         | (1.9)  | (0.8)   |       |
|          | S 12        | 237                     | 22300                         | 23700  | 23600   | 17500 |
|          | ( $G_2$ )   | (ml/ind/d)              | (1.5)                         | (1.4)  | (1.1)   |       |

値を有していることがわかる。一方、植物プランクトンの当初濃度をあげていくと、実験ケースの範囲内では  $G_2$  値が増加する傾向がいずれの4種にもうかがえる。同じ植物プランクトン濃度に対し、*A. clausi* の添加濃度をふやすと  $G_2$  値はやや低くなるようである。培養終了までの24時間では、*A. clausi* の個体数はほとんど変わらず、添加操作などで受傷し、死滅する個体は、多くとも1割程度であり、 $G_2$  は1割程度の誤差を有す。

そこで、更に高濃度の植物プランクトンで捕食実験を実施したのが、GZ10~11である。与えた植物プランクトンはいずれも珪藻の *S. costatum* と、*C. affine* である。このケースでは、*A. clausi* 無添加の対照ケースのばらつきも比較している。対照ケースのばらつきは、平均値のまわりに100%程度、 $-0.1 \sim -0.2$ (1/d)程度にまで達することがある。 $G_2$  の精度の良い評価にあたっ

ては、①捕食者の濃度を大きくして、対照ケースとの速度差を大きくする、②被捕食者の当初濃度を大きくして、細胞数の検鏡時の誤差を小さくする、③希薄な濃度で小さな速度を測定したい場合は、対照ケース、捕食ケースともに複数の培養ビンを用意し、ケース数をなるべく多くしばらつきに対処する、などの注意が必要であることがわかる。また、珪藻では、当初濃度が  $6 \sim 10 \times 10^3$  cells/ml に達すると、 $G_2$  値は再び減少してしまうことがわかる。水温が14°Cと19°Cとのケースを比較すると、水温が上昇すると  $G_2$  値が増加するようであるが、水温の影響よりも植物プランクトンの当初濃度の影響の方がより大きいこともわかる。

こうした捕食作用は、24時間後も続くか否かについて、マイクロゾム実験の期間も考慮し3日間にわたって観察してみたのが、実験 GZ20~21 である。*S. cost-*

表-18 実験ケース GZ21 *Dunaliella tertiolecta*~*Acartia clausi* 3日間混合培養によるろ過速度の算定

| 温度<br>℃   | ケース         | <i>A. clausi</i><br>個体数<br>ind's/l | <i>D. tertiolecta</i> 細胞数 (ろ過速度) |                 |                 |                 |
|-----------|-------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|           |             |                                    | 0日目<br>cells/ml                  | 1日目<br>cells/ml | 2日目<br>cells/ml | 3日目<br>cells/ml |
| 19        | D10         | 0                                  | 8600                             | 9300            | 8300            | 7650            |
|           | ( $\mu-D$ ) | (1/d)                              | (+.078)                          | (-.114)         | (-.082)         |                 |
|           | D11         | 87                                 | 8200                             | 5350            | 4450            | 3600            |
|           | ( $G_2$ )   | (ml/ind/d)                         | (5.8)                            | (0.8)           | (1.5)           |                 |
|           | D12         | 340                                | 8500                             | 1900            | 1100            | 1100            |
|           | ( $G_2$ )   | (ml/ind/d)                         | (4.6)                            | (1.3)           | (0)             |                 |
|           | D20         | 0                                  | 45600                            | 53800           | 48100           | 44600           |
|           | ( $\mu-D$ ) | (1/d)                              | (.165)                           | (-.112)         | (-.076)         |                 |
| 24        | D21         | 94                                 | 45000                            | 40400           | 26100           | 23900           |
|           | ( $G_2$ )   | (ml/ind/d)                         | (2.9)                            | (3.5)           | (0.9)           |                 |
|           | D30         | 0                                  | 8000                             | 12000           | 9500            | 9500            |
|           | ( $\mu-D$ ) | (1/d)                              | (.405)                           | (-.234)         | (0)             |                 |
|           | D31         | 77                                 | 7200                             | 6300            | 2900            | 1900            |
| ( $G_2$ ) | (ml/ind/d)  | (7.0)                              | (7.0)                            | (5.5)           |                 |                 |

表-19 実験ケース GZ30 *Skeletonema costatum* 単独投餌と, *Skeletonema costatum*, *Dunaliella tertiolecta* 混合投餌との *Acartia clausi* のろ過速度の差異

| 温度<br>℃ | ケース           | 投餌種                   | 餌種細胞数           |                 |                 | <i>A. clausi</i><br>個体数<br>ind's/l | 各餌種別ろ過速度 ( $G_2$ ) |                     |     |
|---------|---------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|--------------------|---------------------|-----|
|         |               |                       | 0日目<br>cells/ml | 1日目<br>cells/ml | 2日目<br>cells/ml |                                    | 0~1日目<br>ml/ind/d  | 1日目~2日目<br>ml/ind/d |     |
| 25      | S10           | <i>S. costatum</i>    | 1800            | 2000            | 2300            | 0                                  |                    |                     |     |
|         | S11           | <i>S. costatum</i>    | 1800            | 1500            | 1300            | 30                                 | 9.6                | 9.4                 |     |
| 20      | S20           | <i>S. costatum</i>    | 23300           | 25300           | 39100           | 0                                  |                    |                     |     |
|         | S21           | <i>S. costatum</i>    | 35800           | 24400           | 31800           | 100                                | 4.7                | 1.7                 |     |
|         | S D30<br>mix. | <i>S. costatum</i>    | 26000           | 22700           | 24800           | }                                  | 0                  |                     |     |
|         |               | <i>D. tertiolecta</i> | 15900           | 41600           | 35200           |                                    |                    |                     |     |
|         | S D31<br>mix. | <i>S. costatum</i>    | 25100           | 21400           | 20700           | }                                  | 100                | 0.2                 | 1.2 |
|         |               | <i>D. tertiolecta</i> | 17600           | 33300           | 23300           |                                    |                    | 3.2                 | 1.9 |

*atum* と *D. tertiolecta* とがえきとして与えられている。1日1回の細胞数計測値より  $G_2$  値を求めているのでばらつきが大きいが、2日目から3日目にかけての値は、それ以前の値よりも小さいことが多い。これは、2日目のえき濃度(植物プランクトン濃度)が低下していることよりも、*A. clausi* の活性や生理に起因していると思われる。十分なえき濃度中(*S. costatum* で常に  $10^4$  cells/ml 以上の高濃度)で実施したこの実験では、*A. clausi* の捕食作用は徐々に低下していると思われる。

また、現実の海域では異なる種の植物プランクトンが一緒に存在しているのが普通であるので、珪藻と他の藻種とが共存している場での捕食作用のようすを見てみたのが実験 GZ 30~31である。珪藻としては *S. costatum*,

共存藻種として緑藻の *Dunaliella tertiolecta* を与えている。*S. costatum* のみを与えると、 $G_2$  としては5~2 ml/ind/d の値となるが、*D. tertiolecta* を同時に与えると1 ml/ind/d 程度の値に低下する。対照ケースに光を与えて増殖を許しているので、 $G_2$  の値としては誤差も大きいだろうが、*A. clausi* は、殻を有しない他の藻種が共存していると珪藻をあまり好まない傾向がうかがえ、必ずしも珪藻1種に対する捕食実験結果を天然海水中の作用として適用できない可能性を示唆している。

*A. clausi* を用いた以上の実験結果を用いて、植物プランクトンの当初濃度に対する  $G_2$  の変化を図示すると図-18のようになる。*S. costatum* では  $5 \times 10^3$  cells/ml 以降  $G_2$  が低下し、高濃度域では  $G_2$  は1~2 ml/ind/d

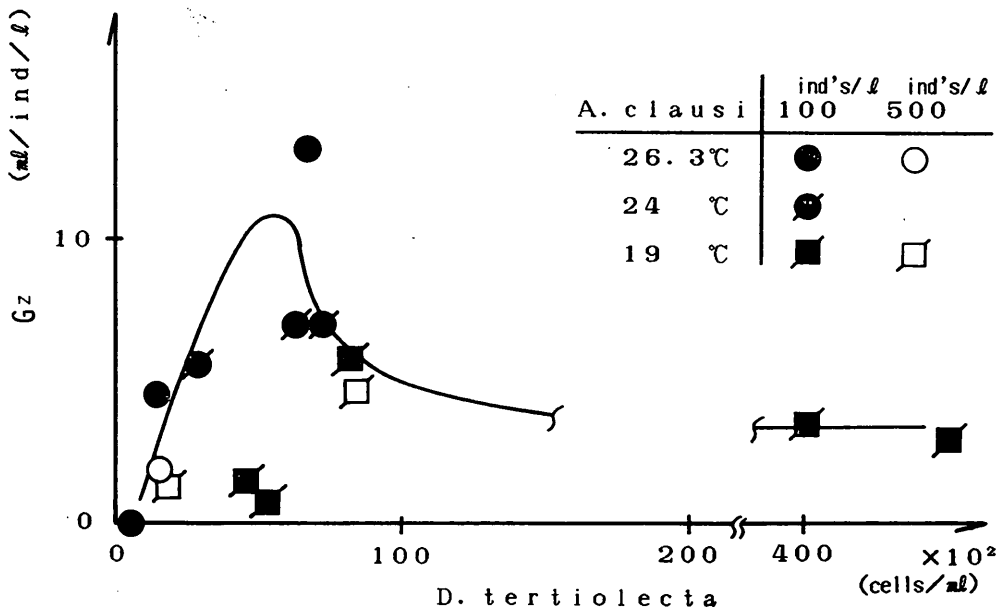
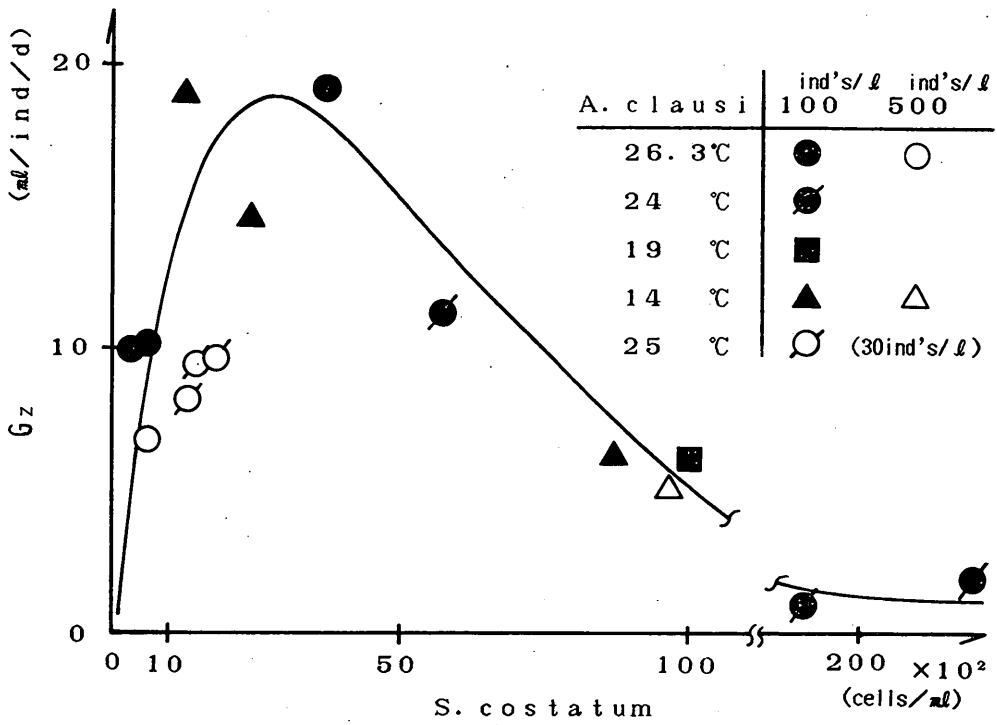


図-18 じ料濃度による *Acartia clausi* のろ過速度 ( $G_z$ ) の変化——珪藻 *Skeletonema costatum* と緑藻 *Dunaliella tertiolecta* とに対する *Acartia clausi* の捕食実験結果

表-20 実験ケース GZ 40~41 *Skeletonema costatum*, *Cerataulina pelagica* に対する *Oithona aruensis* の捕食実験

| 温度<br>°C | ケース | 投餌種                | 投餌種細胞数          |                 |                 | <i>O. aruensis</i><br>個体数 | ろ過速度<br>( $G_2$ )<br>ml/ind/d |
|----------|-----|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
|          |     |                    | 0日目<br>cells/ml | 1日目<br>cells/ml | 2日目<br>cells/ml |                           |                               |
| 25       | S10 | <i>S. costatum</i> | 2380            | 1600            | 3340            | 0                         | (0.03)                        |
|          | S11 | <i>S. costatum</i> | 2700            | 1980            | 3560            | 1245                      |                               |

| 温度<br>°C | ケース | 投餌種                  | 投餌種細胞数        |                 |                  |                  | <i>O. aruensis</i><br>個体数 | ろ過速度<br>( $G_2$ )<br>ml/ind/d |
|----------|-----|----------------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|
|          |     |                      | 0<br>cells/ml | 8時間<br>cells/ml | 24時間<br>cells/ml | 48時間<br>cells/ml |                           |                               |
| 23       | M10 | <i>C. pelagica</i> ら | 11400         | 13500           | 13400            | 13600            | 0                         | (<0.01)                       |
|          | M11 | <i>C. pelagica</i> ら | 11300         | 12900           | 12700            | 12800            | 3780                      |                               |

(実験番号 GZ 20) にまで小さくなる。*D. tertiolecta* では  $G_2$  値のピークがあまり明りょうではないが、やはり  $10 \times 10^3$  cells/ml 以降低下しているようである。

ここでのろ過速度は、*A. clausi* を飢餓処理 (スターベーション処理) 後に捕食実験に用いているため、天然海水中に比して、実験当初はやや高めのろ過速度となっていると思われる。

### (2) *A. clausi* 以外の動物プランクトンの摂餌実験

現場海域中には、*A. clausi* よりも小型の *Oithona aruensis* などの動物プランクトンが多数存在する。これらの捕食作用を検討してみる。

実験番号 GZ 40~41 に、*O. aruensis* の珪藻に対する捕食実験である。結果を表-20 に示す。2日間の培養により減少速度を求め、ろ過速度を算定しても、0.03~0.007 ml/ind/d と非常に小さな値となる。自然条件に近い  $1 \sim 4 \times 10^3$  ind's/l と高密度の個体を、高濃度珪藻液に加えてもほとんど捕食を行っていない。内間らの報告にもあるように、*O. aruensis* は珪藻、特に大型の *C. pelagica* は捕食しない<sup>20)</sup> と判断できる。

結果は示さないが、その他の動物プランクトンについても捕食の有無を検討している。節足動物門の *Nauplius larva* は *S. costatum* を与えるとこれを摂食しているようである。また、*Paracalanus parvus* も若干摂食しているようである。多毛類の *Nectochaeta larva* も *S. costatum* を摂食しているようである。しかし、*Noctiluca scintillans* は、2日間培養しても *S. costatum* を捕食していないようである。

### (3) 動物プランクトンによる捕食作用の評価

個々の動物プランクトン種の捕食の挙動を明らかにしてゆくことではなく、マイクロゾム内水塊を含めて現場海水の水質の変化に対して、動物プランクトンの捕食作用の果たしている役割を評価することが当実験の目的

である。夏期の実験海域では、けん濁物の主体が植物プランクトンであることがわかっている。また、実験期間は、1~数種の植物プランクトンが卓越した赤潮状態であることもすでに示されている。

そこで、ここではまず①見出されているプランクトンのうち、水質 (けん濁物濃度) に寄与の大きいものを選定と、その寄与の割合の評価を行い、次いで②植物プランクトンと動物プランクトンのさまざまな組み合わせによる捕食作用の中から、水質変化に寄与の大きい捕食作用を累加し、動物プランクトン群の捕食作用の総体的な大きさを見積もることとする。

#### a) 現場卓越植物プランクトンの比較

現場水質のうち、粒状物濃度を示す SS や粒状有機物濃度を示す POC, PON などは、植物プランクトン、デトライタス、動物プランクトン、底泥シルトなどから構成されている。これら水質指標のうち植物プランクトンに起因するものは、プランクトン体の組成がほぼ等しければ、各プランクトンの体積に比例していることになる。各植物プランクトンの種ごとに、SS, POC, PON の現場濃度を分けて測定することは不可能であるので、ここでは、各植物プランクトンの種ごとに現場での体積を求め、体積の割合で SS, POC, PON 等の濃度が分担されているとする。

マイクロゾム設置時の植物プランクトン組成は、動物プランクトン組成とともに検鏡により調べ、各プランクトン種ごとの細胞数濃度を求めてある。また、各プランクトンは、生物顕微鏡を用い20~40倍の倍率で写真撮影を行っており、体長、細胞径などは写真から読みとれる。そこで、各プランクトン種ごとに、写真から細胞の大きさを読みとり、細胞の容積を概算し、これに海域中の存在細胞数濃度を乗じて各プランクトン種の体積分率を求めてみる。なを、各プランクトンの細胞容積は、長

表-21 現場卓越植物プランクトンのサイズ比較および存在割合の比較

| 藻種                             | 期 日 | 細胞体積*<br>( $\mu\text{m}^3/\text{cell}$ ) | S 58. 8. 1        |  |       | S 59. 7. 23       |  |  |
|--------------------------------|-----|--|-------------------|--|-------|-------------------|--|--|
|                                |     |  | 細胞数<br>(cells/ml) | 総体積 (総体積比)<br>( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) |       | 細胞数<br>(cells/ml) | 総体積 (総体積比)<br>( $\text{mm}^3/\text{l}$ ) |  |
| 珪藻                             |     |  |                   |  |       |                   |  |  |
| <i>Skeletonema costatum</i>    |     | 1000                                     | 50                | 0.05 (0.01)                              | —     | —                 |  |  |
| <i>Chaetoceros sp.</i>         |     | 2100                                     | 300               | 0.63 (0.08)                              | —     | —                 |  |  |
| <i>Thalassiosira sp.</i>       |     | 2700                                     | 40                | 0.11 (0.02)                              | 640   | 1.7 (0.04)        |  |  |
| <i>Eucampia zoodiacus</i>      |     | 4500                                     | 1200              | 5.4 (0.77)                               | —     | —                 |  |  |
| <i>Cerataulina pelagica</i>    |     | 2000                                     | 140               | 0.28 (0.04)                              | 14900 | 29.8 (0.79)       |  |  |
| <i>Navicula sp.</i>            |     | 1000                                     | 20                | 0.02 (0.00)                              | 490   | 0.5 (0.01)        |  |  |
| 渦鞭毛藻                           |     |  |                   |  |       |                   |  |  |
| <i>Prorocentrum triestinum</i> |     | 1300                                     | —                 | —  | 680   | 0.9 (0.02)        |  |  |
| <i>Scrippsiella sp.</i>        |     | 13000                                    | —                 | —  | 40    | 0.5 (0.01)        |  |  |
| ミドリムシ                          |     |  |                   |  |       |                   |  |  |
| <i>Euglenaceae</i>             |     | 2200                                     | 190               | 0.42 (0.06)                              | 1300  | 2.9 (0.08)        |  |  |
| 不明微細鞭毛藻類                       |     | ~600                                     | 230               | ~0.14 (0.02)                             | 2700  | ~1.6 (0.04)       |  |  |

\* 各藻の細胞体積は、実験期ごとに撮影した藻の顕微鏡写真より体長、体幅を読みとり、算定した値である。

径と短径とより、細胞を回転した円体もしくは円柱体と仮定して求めている。なるべく多くの細胞について大きさを読みとろうとしたが、各プランクトンの細胞写真には限りがあるため、種によってはわずか1~数個の細胞についての容積から算術平均して求めているものもある。活性や分裂時期などにより、同一種でも細胞の大きさが変わることや、容積の算定の荒さのために、1細胞あたりの容積値は概略の値である。

結果を表-21に示す。昭和58年8月および昭和59年7月について、それぞれ示してある。表を見ると、昭和58年8月時では、カウントされた細胞数は、珪藻の *Eucampia zoodiacus* が約5割を占めるが、容積では約8割を占めており、植物プランクトン態の有機物としては、圧倒的な優占種であることがわかる。ミドリムシ類や不明微細鞭毛藻類は、水質指標への寄与はその細胞数に比して小さくなっている。また、昭和59年7月時には、細胞数、容積ともに珪藻の *Cerataulina pelagica* の寄与が優勢であり、渦鞭毛藻類の寄与が小さいことがわかる。

したがって、いずれの時期も、水質指標のうち植物プランクトン起因分は、おもに比較的大型の珪藻の挙動によって左右されていると判断される。捕食作用による水質変化に対しても、容積  $2000\mu\text{m}^3$  以上的大型の珪藻に対する捕食作用が最も重要となっていることがわかる。

#### b) 現場卓越動物プランクトンによる捕食作用

現場海域では、原生動物門の有錐纖毛虫を含む纖毛虫

網の個体数が多く、次いで節足動物門の甲殻網に属する *Oithona aruensis* の個体数が多い。これらの微細な動物プランクトンは、微少な植物プランクトンやバクテリアなどを摂食することが多い<sup>18),19)</sup>ため、個体数が多くと、水質に影響を及ぼす割合は小さいと思われる。

そこで、マイクロゾム設置時に海域で見つけられた動物プランクトンにつき、食性を①微少な植物プランクトンなどをおもに捕食するもの、② *Cerataulina pelagica* 程度の直径約  $10\mu\text{m}$  以上の粒子や植物プランクトンなどをおもに摂食するものに分けてみる。直径  $10\mu\text{m}$  の細胞は、球状の形で  $500\mu\text{m}^3$ 、円柱形で  $800\mu\text{m}^3$  の体積に相当する。無論、同じ動物プランクトンでも、生長段階やまわりのえさの状況などで食性や摂食サイズが変わるものもあり、食性については一概に区分ができないのであるが、ここでは捕食匠の見積りのためにあえて分けている。

次いで、各動物プランクトン種について、ろ過速度の値を文献<sup>21-24)</sup>より捜している。文献値として既応調査例のあるプランクトン種は極めて限定されるが、現場海域で見出された種の大部分は何らかの知見が得られているものが多い。文献値は最大ろ過速度を示しているものが多い。摂じの履歴や水温、じ料濃度などでろ過速度は変化し、赤潮時などじ料濃度が高くなると、少量のろ過量でも所要の粒子を捕捉できるためろ過速度が小さくなる。この傾向は図-18でも確認できる。

分類結果を表-22にまとめて示す。表には、食性の分



表-22 卓越動物プラクトンによる卓越植物プラクトンに対するろ過速度と捕食による減少速度の概算

| 期 間   |                         | S 58. 8. 1                                  |  |         | S 59. 7. 23             |         |                         |
|---|-------------------------|---|--|---------|-------------------------|---------|-------------------------|
| 動物プラクトン種  | 食 性                     | 最大ろ過速度 (G <sub>0</sub> ) (ml/ind/d)         |  | 個体数 (Z) | G <sub>0</sub> ・Z (1/d) | 個体数 (Z) | G <sub>0</sub> ・Z (1/d) |
|   |                         | 文 献 値                                       | 捕 食 実 験 値  |         |                         |         |                         |
| 原生動物門<br>繊毛虫<br><i>Helicostomella</i> sp.           | ○ ×                     | 6 μm のプラクトンに<br>対し<br>0.004~0.01            | —  | 5600    | (.02~.04)               | 1800    | (.007~.02)              |
| <i>Eutiminius</i> sp.                               | ○ ×                     | 0.002~                                      | —  | 11000   | (.02~)                  | 1100    | (.002~)                 |
| 嵌体動物門<br>二枚貝<br><i>Veliger</i> larva                | ? ?                     | ?   | —  | 20      | —                       | 100     | —                       |
| 節足動物門<br>甲 殻<br><i>Paracalanus parvus</i>           | ○ △                     | 10 μm 以上の珪藻 0.6<br><i>Chaetoneilla</i> 11.0 | S. <i>costatum</i> 微少  | 4       | .002                    | 30      | .02                     |
| <i>Acartia clausi</i>                               | △ ○                     | 10 μm 以上の珪藻 3~10                            | <i>D. teriolecta</i> 1.0<br><i>C. pelagica</i> 1~9<br><i>S. costatum</i> 2~10~18 | 8       | .01~.02                 | 16      | ~.02~.03                |
| <i>Oithona aruensis</i><br>(体長 500 μm 程度)           | ○ 非珪藻のみ                 | 10 μm 以上の鞭毛藻 .02<br>10 μm 以上の珪藻 0           | <i>C. pelagica</i> 捕食せず<br><i>S. costatum</i>                                    | 2100    | (.04)                   | 2300    | (.05)                   |
| 原索動物門<br><i>Oikopleura dioica</i><br>(体長 70~300 μm) | ○ ×                     | ~2  | —  | 10      | (~.02)                  | 80      | (~.2)                   |
| その他<br><i>Noctiluca scintillans</i>                 | ? ?                     | ? ?   | S. <i>costatum</i> 捕食せず  | 8       | 0                       | 0       | 0                       |
| 捕食速度の合計 Σ G <sub>0</sub> ・Z                         | (10 μm 以下の微少プラクトンに対する値) |   |  |         |                         |         |                         |
|   | 10 μm 以上の珪藻に対する値        |   |  |         |                         |         |                         |
| 水質変化速度 (捕食速度 × エネルギー効率 0.4~0.95)                    | ~.01~.02                |   |  |         |                         |         |                         |
|   | ~.01~.02                |   |  |         |                         |         |                         |
|   | ~.01~.05                |   |  |         |                         |         |                         |
|   | ~.01~.05                |   |  |         |                         |         |                         |

類と最大ろ過速度 ( $G_2$ ) のほかに、最大ろ過速度と動物プランクトン個体数濃度 ( $Z$ ) との積も示してある。積  $G_2 \cdot Z$  は  $[T^{-1}]$  の次元を有し、藻細胞の減少速度を表している。これに、エネルギー消費効率として0.4~0.9を乗ずれば、水質のうち捕食による減少速度の概算値が求められる。各動物プランクトンごとの減少速度を加え合わせれば、動物プランクトン群として卓越藻種に作用する減少速度を概算できる。表の結果によれば、10 $\mu$ m以上の珪藻プランクトンに対しては、かいあし類の *Acartia clausi* の捕食作用が重要であり、その他の節足動物の捕食なども加味すると、減少速度としては ~0.01~0.05/d 程度となる。*Acartia clausi* の現存個体数濃度は比較的少なく、水深により日によりばらつき、1個体も見出せない試水もある。マイクロコズム設置期間中の最大個体数濃度は、昭和58年8月で10ind's/l、昭和59年7月で30ind's/lである。いずれも、生長段階の区分である *nauplii* と *copepodites* との合計で示している。*nauplii* では、どれもⅢ期以上のものであり、捕食作用を有するものである。

一方、じ料となる植物プランクトン濃度が高いと  $G_2$  は低目になるが、昭和58年8月では卓越珪藻 *E. zoodiacus* は  $1 \times 10^6$  cells/ml、昭和59年7月では卓越珪藻 *C. pelagica* は  $1.5 \times 10^4$  cells/ml の高い細胞数である。したがって、動物プランクトン群の総体としての捕食の速

さは、概算された速度の幅のうちでも小さい値であると思われ、特に昭和59年7月については ~.01(1/d) 程度の速度で水質変化に寄与しているものと思われる。

表-22には付随実験として今回実施した結果も同時に示してある。

## 6. 浮遊粒子挙動の解析

### 6.1 マイクロコズム内の粒子の収支

囲われた水塊内では、他の水塊との出入りがないので、一定期間の物質量的変化からその物質の水塊内での生産量や分解量が見積もれる。マイクロコズム内の粒状物質量は、マイクロコズム内各層の濃度とその濃度が代表する水塊体積とから求められる。マイクロコズム内の採水位置は、上ぶたの直下(水深-1.2m)、マイクロコズム筒の中間深(水深-3.7m)、および底部捕集筒へ向かってすりばち状にすばまっている底層部(水深-6.2m)の3点であり、それぞれ上ぶたから1.5m深まで、1.5m深から4.0m深まで、4m深以下の水塊を代表していると仮定した。代表体積は、径1mであると、各1.18、1.96、1.05m<sup>3</sup>となり、マイクロコズム内の水容積は合計4.19m<sup>3</sup>となる。

5.4に示したSS濃度分布などから、マイクロコズム内の粒状物質の増減を算定すると表-23のようになる。実験開始時に囲い込まれた粒状物の一部は、終了時に至

表-23 マイクロコズム内の粒状物質の増減と沈降物の占める割合

| 測定期間       | RUN-1<br>S 58. 8. 1~8. 5 |             |      | RUN-2<br>S 58. 8. 5~8. 10 |             |      | マイクロコズム(A)<br>S 59. 7. 23~7. 27 |             |      | マイクロコズム(B)<br>S 59. 7. 23~7. 27 |             |      |
|------------|--------------------------|-------------|------|---------------------------|-------------|------|---------------------------------|-------------|------|---------------------------------|-------------|------|
|            | 在存場所                     |             | 開始時  | 終了時                       | 開始時         | 終了時  | 開始時                             | 終了時         | 開始時  | 終了時                             | 開始時         | 終了時  |
| 指標         | 水中                       | けん濁         | 水中   | けん濁                       | 水中          | けん濁  | 水中                              | けん濁         | 水中   | けん濁                             | 水中          | けん濁  |
| SS 存在量(g)  | 13.6                     | 16.1        | 7.3  | 15.9                      | 14.5        | 8.0  | 35.0                            | 32.2        | 4.0  | 43.4                            | 26.2        | 5.5  |
| 増減量(g)     |                          | + 9.8       |      |                           | + 6.6       |      |                                 | + 1.2       |      |                                 | - 11.7      |      |
| 増加割合       | 1                        | : 1.72      |      | 1                         | : 1.42      |      | 1                               | : 1.03      |      | 1                               | : 0.73      |      |
| 沈降物割合      |                          | 0.69 : 0.31 |      |                           | 0.64 : 0.11 |      |                                 | 0.89 : 0.11 |      |                                 | 0.83 : 0.17 |      |
| POC 存在量(g) | 2.63                     | 2.98        | 1.13 | 2.71                      | 3.83        | 1.56 | 5.88                            | 5.99        | 0.58 | 6.52                            | 4.51        | 0.64 |
| 増減量(g)     |                          | + 1.48      |      |                           | + 2.68      |      |                                 | + 0.69      |      |                                 | - 1.37      |      |
| 増加割合       | 1                        | : 1.56      |      | 1                         | : 1.99      |      | 1                               | : 1.12      |      | 1                               | : 0.79      |      |
| 沈降物割合      |                          | 0.73 : 0.27 |      |                           | 0.73 : 0.27 |      |                                 | 0.91 : 0.09 |      |                                 | 0.88 : 0.12 |      |
| PON 存在量(g) | 0.43                     | 0.51        | 0.18 | 0.49                      | 0.64        | 0.24 | 0.77                            | 0.85        | 0.10 | 0.85                            | 0.61        | 0.11 |
| 増減量(g)     |                          | + 0.26      |      |                           | + 0.39      |      |                                 | + 0.18      |      |                                 | - 0.13      |      |
| 増加割合       | 1                        | : 1.60      |      | 1                         | : 1.80      |      | 1                               | : 1.23      |      | 1                               | : 0.85      |      |
| 沈降物割合      |                          | 0.74 : 0.26 |      |                           | 0.73 : 0.27 |      |                                 | 0.89 : 0.11 |      |                                 | 0.85 : 0.15 |      |

水中けん濁量は表層、中層、底層の各濃度に、各層が代表するマイクロコズム内水体積を乗じて加え合わせたもの。表層、中層、底層の水体積は、それぞれ1.18、1.96、1.05m<sup>3</sup>(合計4.19m<sup>3</sup>)である。

っても一部ははまだ浮遊しており残りは沈降物として捕集筒内にトラップされている。終了時の粒状物のうちで沈降物としてトラップされている割合は、昭和58年夏の実験では終了時の総粒状物量の3割程度を占めているが、昭和59年夏期では1割程度にしかすぎない。また、囲い込み時の粒状物質量と終了時の量とを比較すると、昭和58年夏では前半の実験で1.6倍、後半の実験で1.4~2.0倍と増加が見られる。一方、昭和59年に実施した実験では、4日間でマイクロコズム(A)で1.1倍、(B)で0.7~0.8倍となり、微少な増加もしくはやや減少の傾向が見られている。開始時と終了時の水塊中けん濁物量は、昭和59年実験の方が大きい、終了時には開始時の量よりも減少し、マイクロコズム内水塊が清澄していることを示している。一方、昭和58年実験では、水中けん濁物量は終了時の方が大きく、粒状物の水塊内での生産が減少をしいていることを示している。

6.2 マイクロコズム内の水質変化の速度と、水質変化をもたらす各作用

移流・拡散の作用を受けないので、マイクロコズム内に隔離された水塊の水質の変化は、①プランクトンの増殖や分解といった生理作用、②他の動物プランクトンによる捕食といったプランクトン相互の生態学的作用、③粒状物の比重と水塊の比重との差に起因する沈降作用、

などで生起する。5.4では以上の諸作用をすべて受けているマイクロコズム内の水質変化を、5.7では上記①の作用を、5.8では②の作用をそれぞれ付随実験によって算定している。表-24に昭和59年夏期におけるマイクロコズム内の水質の変化と、小型バッグ内での変化とについて速度を比較しておく。ここで、変化の速度とは、時間に対して水質の自然対数をプロットした時の回帰直線の傾きとして求めている。この表では、回帰直線の相関係数が0.9を下まわる時、速度値を( )で囲んでいる。昭和59年7月23日からの4日間では、人為的な攪拌を受けないマイクロコズム(B)で粒状物濃度各指標の減少が明らかである。マイクロコズム(A)では底層に粒状物の集積が生じているため減少の傾向を把握しにくい。マイクロコズム(B)の表層での速度と、小型バッグ法表層設置時での速度とを比較すると、植物プランクトン細胞数を除き、各指標ともマイクロコズム(B)での値が小さい。これは、マイクロコズム内では、小型バッグ内に比べて沈降などの作用による減少が加えられていることによる。

昭和59年7月23日~27日の期間の表層での諸作用の大きさを、速度値を比較することで把握しようとしたものが表-25である。プランクトンの増殖-分解の作用は、小型バッグ法での速度で表している。捕食の作用は、見つもりが最も荒いが、5.8での測定結果値を用いてい

表-24 マイクロコズム内の水質変化速度の比較 (昭和59年7月23日~27日の期間) (単位: 1/d)

| 水質指標        | マイクロコズム (A) |         |         | マイクロコズム (B) |         |         | 小型バッグ法  |         |
|-------------|-------------|---------|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|
|             | 3層平均        | 表層      | 底層      | 3層平均        | 表層      | 底層      | 表層      | 底層      |
| 植物プランクトン細胞数 | (-.108)     | (-.150) | (-.107) | -.164       | (-.107) | (-.247) | (-.246) | (-.181) |
| SS          | (-.023)     | (-.045) | (+.013) | (-.117)     | -.107   | (-.077) | (-.065) | (-.030) |
| POC         | (+.013)     | -.049   | (+.068) | -.082       | -.099   | -.059   | -.041   | (-.015) |
| PON         | (+.033)     | (-.028) | (+.094) | -.078       | (-.070) | (-.068) | (-.074) | (+.034) |
| T-N         | -.075       | -.111   | (-.007) | (-.065)     | -.056   | (-.091) | —       | —       |
| Chl-a       | -.151       | -.236   | (-.016) | -.286       | -.304   | -.195   | -.696   | -.126   |

( ) は回帰式の相関関数 (r) が 0.9 を下まわるもの。n=5。

表-25 マイクロコズム表層での水質変化をもたらす各作用の大きさ (昭和59年7月23日~27日の期間)

(単位: 1/d)

| 指標  | 作用   | マイクロコズム(B) 表層での値 | 各作用ごとの値                  |                             |   |
|-----|------|------------------|--------------------------|-----------------------------|---|
|     |      |                  | プランクトンの増殖-分解 ( $\mu-D$ ) | 動物プランクトンによる捕食 $G_2 \cdot Z$ | 沈降* $w \frac{\partial C}{\partial y} / C$ |
| SS  | 速度係数 | -.11             | -.07                     | -.01                        | -.03                                      |
| POC | 速度係数 | -.10             | -.04                     | -.01                        | -.05                                      |
| 細胞数 | 速度係数 | -.1~-.2          | ~-.2                     | -.02                        | -.0*                                      |

\* 沈降の速度係数は他の値からの推定値で、水塊の深さをLとすれば  $w/L$  に相当する値。

る。これら両者ではいまだ不足している速度部分が沈降によるものと思われる。マイクロゾム(B)での測定速度値から、増殖-分解の速度値および捕食の速度値を差し引いた残余を沈降の欄に記してある。このようにまとめてみると、昭和59年7月実施のマイクロゾム内の粒状物の記述にとって最も重要な作用はプランクトンの増殖-分解であり、次いで沈降作用、捕食作用の順となっていることがわかる。

表の速度値を用いると、粒状物の質の変化をもたらす2つの作用は、合わせて0.05~0.08(1/d)の速度を有し、粒状物の位置の変化をもたらす作用は0.03~0.05(1/d)程度の速度であることがわかる。この作用を4日間にわたって受けていると粒状物の質の変化——すなわちここでは無機化——はもともとの粒状物量を7~8割程度にまで低下させることになる。この値は、6.1で見積もった昭和59年夏の実験に対する粒状物総量の減少の割合とも一致する。セジメントトラップを長期間垂下した時には、捕集物の分解により大きな誤差をまねくとの指摘がセジメントトラップ実験法の注意点として言われることがある<sup>25)</sup>。当該海域に4日間垂下した場合、上記の見積もりにより分解や捕食などの作用で捕集物の2~3割が失われることになる。セジメントトラップ実験の結果として5.6にまとめられているフラックス値は、2~3割程度の誤差を有することになる。また、式(3)に示されるように沈降による水質変化は、粒子の沈降速度( $w$ )と濃度の鉛直勾配( $\partial C/\partial z$ )との積で表される。表中に示した(1/d)単位の速度は、深さ $L$ の完全混合する水柱を考え、この水柱を沈降速度 $w$ で沈下する粒状物質の濃度変化の速さ $w/L$ に相当する。表中の0.03~0.05(1/d)とは、マイクロゾム表層の代表深さを $L$ とし、 $L$ に1.5mを想定すれば $w$ は4~8cm/d程度、 $L$ にマイクロゾムの全長である5mを想定すれば $w$ は15~25cm/d程度の粒子の水質変化に相当する。

マイクロゾム内の水質変化に対し、鉛直拡散の作用を微小として無視し、式(3)によって考えてきた。図-13によると、昭和58年8月5日に底層に加えられたDINは、かなり急速に上方のプランクトン増殖に利用されている。一方、図-11, 12から攪拌の影響を比較すると、マイクロゾム(B)では、攪拌を実施したマイクロゾム(A)に比して、DINの濃度差が生じやすく不均一になりやすい。マイクロゾム内で、DINなどの溶解性物質が拡散によりどの程度上下に運搬・混合されているのかはいまだ不明である。鉛直拡散の作用が水質変化を与える他の作用に比して、どのような条件下で無視できるのかについては、今後更に検討を重ねる必要がある。

### 6.3 粒状物の組成の比較

マイクロゾム内の粒子は、おもに植物プランクトン起因の有機的な粒子であることは既に示している。前節に示した表-24中の小型バッグ法のデータより、粒子状の有機物量を示す各指標によって分解・無機化の速度が異なることがわかる。つまり、Chl-aや植物プランクトン細胞数などの生理活性と直接結びついた指標では、分解の速度が大きく特にChl-aでは表層で、-1.7(1/d)に近い値もかけられている。一方、SSやPOC、PONなどの化学的な構成と結びついた指標では比較的小さな速度値であり、特にPOCは変化がゆるやかであることがわかる。

分解が進むと同じ1gの粒子に含まれるChl-aなどの組成が低下してゆく。単位重量あたりの組成比を比べると、その場の粒子が未分解の有機的な粒子を主体としているのか、無機粒子が優占しているのかがわかる。対象海域中のけん濁粒子、セジメントトラップ捕集粒子、および現場底泥面粒子、卓越植物プランクトン体の組成比を表-26に示している。表に示した海域中の値は、各層から採水・測定した毎日の水質から算定した組成比を、0日目から4日目までの5個について算術平均した

表-26 捕集粒子、環境粒子、底泥粒子の組成の比較

| 月/日            | 昭和58年8月1日~8月5日<br>(0~4日目) |               |             | 昭和59年7月23日~7月27日(0~4日目) |                     |            |                  |               |               |               |               |               |
|----------------|---------------------------|---------------|-------------|-------------------------|---------------------|------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 場 所            | 卓越植物<br>プランク<br>トン種       | 現場海域          |             |                         | 卓越植物<br>プランク<br>トン種 | 現 場<br>底 泥 | セジメントトラッ<br>プ捕集筒 |               |               | 現場海域          |               |               |
|                |                           | 表層<br>(-2.5m) | 中層<br>(-5m) | 底層<br>(-7.5m)           |                     |            | 表層<br>(-1.2m)    | 中層<br>(-3.7m) | 底層<br>(-6.2m) | 表層<br>(-1.2m) | 中層<br>(-3.7m) | 底層<br>(-6.2m) |
| POC/SS (mg/g)  | 239                       | 160           | 145         | 132                     | 235 (171)           | 34.1       | 71.4             | 60.6          | 63.1          | 181           | 157           | 131           |
| PON/SS (mg/g)  | 41.                       | 27.4          | 23.5        | 21.2                    | 47.1(27.2)          | 4.87       | 11.9             | 10.0          | 10.5          | 24.8          | 22.1          | 16.4          |
| POP/SS (mg/g)  | (1.4)                     | 3.5           | 3.9         | 3.5                     | 11.0(4.0)           | 0.21       | 1.01             | 1.20          | 1.31          | 6.6           | 6.4           | 5.0           |
| Chl-a/SS(mg/g) | 3.8                       | 3.0           | 2.9         | 2.2                     | 15.4(7.4)           | 0.068      | 1.32             | 0.96          | 0.84          | 8.6           | 7.5           | 6.5           |
| C/N 比          | 5.8                       | 5.9           | 6.2         | 6.1                     | 5.0(6.3)            | 7.0        | 6.0              | 6.1           | 6.0           | 7.4           | 7.2           | 7.9           |

表-27 マイクロゾム内の粒状物の組成の比較

| 期 間      | 昭和58年 8月 1日～5日 |      |      |      | 昭和58年 8月 5日～10日 |      |      |      | 昭和59年 7月 23日～27日 |      |            |      |      |      |      |      |    |  |     |
|----------|----------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|------------------|------|------------|------|------|------|------|------|----|--|-----|
|          | 表層             |      | 中層   |      | 底層              |      | 沈降物  |      | マイクロゾム (A)       |      | マイクロゾム (B) |      | 表層   |      | 中層   |      | 底層 |  | 沈降物 |
| POC/SS   | 197            | 168  | 220  | 154  | 260             | 260  | 176  | 195  | 193              | 192  | 153        | 146  | 194  | 166  | 168  | 117  |    |  |     |
| PON/SS   | 36.0           | 28.8 | 38.8 | 24.5 | 47.8            | 47.3 | 31.9 | 30.6 | 26.5             | 28.5 | 22.2       | 25.6 | 25.4 | 22.8 | 23.1 | 19.7 |    |  |     |
| POP/SS   | 4.7            | 2.6  | 4.1  | 2.2  | 7.8             | 9.8  | 6.8  | 5.7  | 5.2              | 8.3  | 4.4        | 0.73 | 4.4  | 4.3  | 5.7  | 0.70 |    |  |     |
| Chl-a/SS | 3.8            | 3.0  | 3.1  | 0.76 | 3.3             | 3.0  | 2.4  | 2.7  | 5.4              | 6.8  | 4.6        | 1.4  | 6.5  | 6.1  | 5.9  | 1.3  |    |  |     |
| C/N 比    | 5.5            | 5.8  | 5.7  | 6.3  | 5.4             | 5.5  | 5.5  | 6.4  | 7.3              | 6.7  | 6.9        | 5.7  | 7.6  | 7.3  | 7.3  | 5.9  |    |  |     |

ものである。植物プランクトンの組成については、現場卓越種について増殖時の値を求めたものである。昭和58年夏期では現地より採水した海水を室内で24時間培養したけん濁液を用いている。藻種群としては卓越珪藻の *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros debilis*, *Eucampia zooeliacus*, *Nitzschia sp.* を中心としたものおよびデトライタスを含んでいる。なを、この試水の POP 値は、分析時の有機物分解が不十分で低い値となっているため参考値として ( ) で囲んでいる。昭和59年夏期については、現地卓越珪藻 *C. pelgica* を分離し単一種で培養したけん濁液を用いている。急速な増殖を示す対数増殖期後期の値のほか、定常期でやや分解がはじまっている時期の値も ( ) 内に示している。セジメントトラップ捕集粒子は、5.6に示した表から組成比を算定している。

表を見ると、現場海域のけん濁粒子は、植物プランクトンの組成と底泥の組成との中間の値を示している。この傾向は、2か年のいずれの年でも変らない。また、現場海域のけん濁粒子間では、下の層の粒子ほど組成値が小さく無機的であることがわかる。赤潮の末期であった昭和59年夏の表層では粒状物組成は、植物プランクトンの安定期の組成にも近く、粒子の大部分は植物プランクトンかその分解途上の新しいデトライタスだとの判断を支持している。一方、同じ時期のセジメントトラップ捕集物と比較すると、組成値は現場海域のけん濁物の1/2～1/6とかなり小さくなっている。トラップ内で4日間の分解を考慮してもなお、トラップされた粒子はけん濁している粒子よりもかなり無機的なことがわかる。必ずしもけん濁粒子がそのままトラップされているわけではないことがうかがえる。

マイクロゾム内およびマイクロゾム底部捕集物の組成を表-27に示す。マイクロゾム内でも、下層の粒状物ほど組成値が小さく無機的である傾向が見られるが、水塊内粒子が底部へと沈積すると中層で低くとも底

層で組成値が高くなるものもある。底部で捕集された沈降物中の組成は、底層けん濁粒子の組成に比べて同じかやや小さい値となっている。マイクロゾム内沈降物は、底層けん濁粒子と同程度の有機物含有かやや小さい有機物含有量であることがわかる。

マイクロゾム内のけん濁粒子の組成の日変化を、昭和59年夏期の2基について示すと図-19, 20のようになる。図には、各層の POC/SS, Chl-a/SS の2つの組成比がプロットされている。マイクロゾム(A)ではややばらつくものの、POC/SS は時間的に比較的安定している。一方、Chl-a/SS 比は時間とともに減少してゆく。両者の極大値を追ってゆくと、表層にあらわれたピークは1日後には中～底層に移行してゆくことがわかる。実験開始後1～2日目に表層に現れるピークは、マイクロゾム内でのプランクトン増殖によるものであり、増殖の結果 Chl-a/SS 比なども上昇しているものと思われる。プランクトン増殖ピークの鉛直の伝播はかなり早いようであるが、これが粒子の沈降速度とは必ずしも結びつかないだろう。POC/SS 比が比較的安定な理由は、6.2で見たように、POC, SS の分解の速度がよく似た値であるためであり、一方、Chl-a/SS 比は、Chl-a の速い分解速度のために明瞭な減少を示すものと思われる。

#### 6.4 沈降フラックスの鉛直分布

セジメントトラップによる捕集量から算定した沈降フラックスは、粒状物の分解作用などにより、実験実施海域・期間では2～3割の過小評価の可能性があることがわかり、また、捕集粒子は必ずしも海中のけん濁粒子がそのまま没縮捕集されたものではないことが示されてきている。ここでは、3層にわたって測定された沈降フラックスと、セジメントトラップ垂下期間の現場海水の粒状物濃度を、鉛直分布の面から比較してみる。

現場海水の粒状物濃度は、SS, POC などにつき毎日1回測定されている。セジメントトラップは昭和59年7.

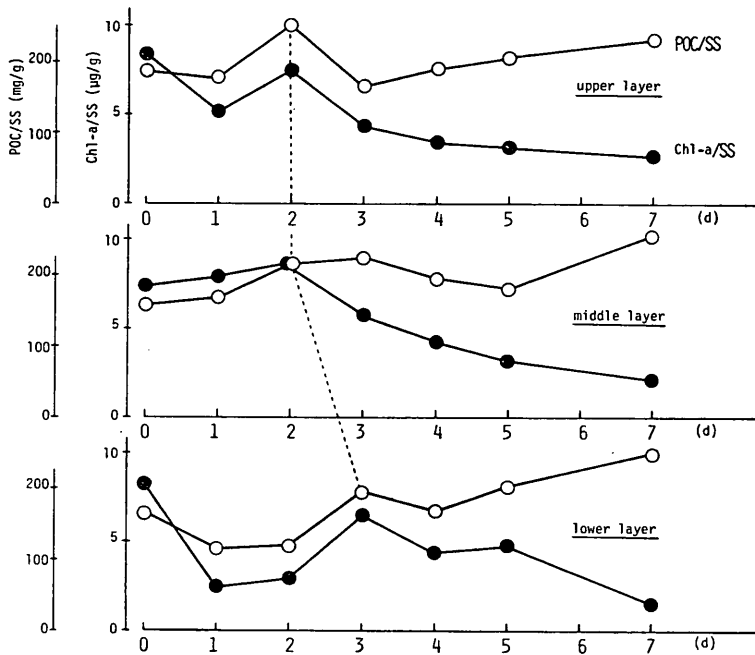


図-19 マイクロコズム (A) 内粒子の POC/SS 比 (○) および Chl-a/SS 比 (●) の経日変化 (昭和59年7月23日~7月30日)

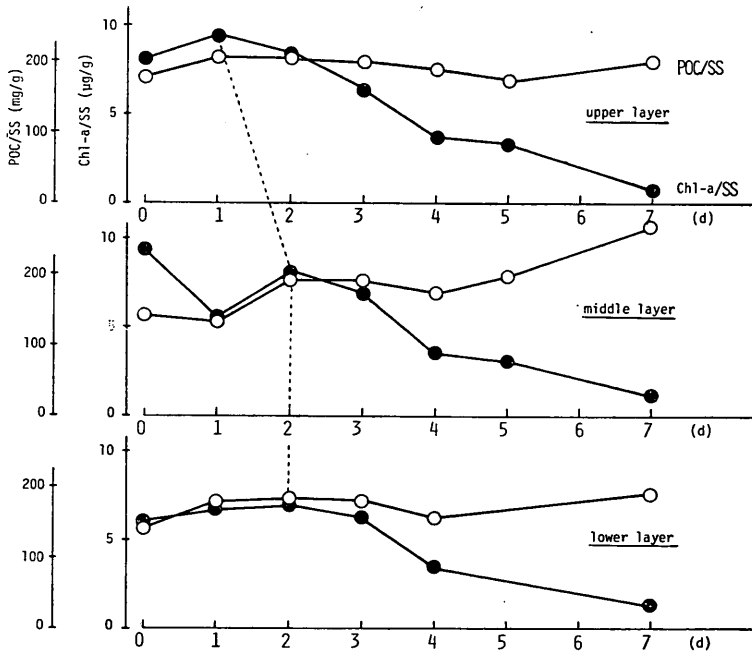


図-20 マイクロコズム (B) 内粒子の POC/SS 比 (○) および Chl-a/SS 比 (●) の経日変化 (昭和59年7月23日~7月30日)

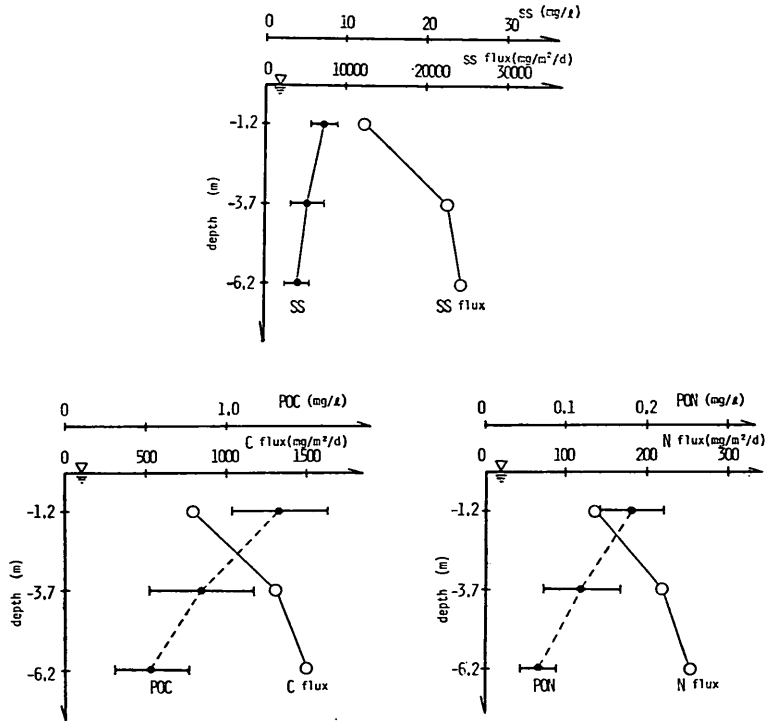


図-21 現場海域中での SS, POC および PON 濃度と沈降フラックスとの鉛直分布

月23日～27日の期間垂下されており、この期間の濃度測定値の平均と標準偏差とが求められる。平均濃度と標準偏差の幅とを、沈降フラックスとともにプロットすると図-21のようになる。図は、SS, POC, PON の3指標について描いてある。

図を見ると、平均濃度は底層ほど小さくなるのがわかる。つまり、けん濁濃度は表層で大きく底層で小さい。一方、沈降フラックスは、これと逆に底層で大きく表層で小さい。底層ではより多くの粒子が沈降していることになる。けん濁している粒状物質が、いずれの層でもほぼ同じ沈降速度で沈降すると仮定すると、高濃度域ほど沈降フラックスが大きくなることになる。測得された沈降フラックスの鉛直分布は、当該海域では、同一の沈降速度でけん濁粒子が沈降しているとの上記の仮定を否定している。

けん濁粒子にゆっくり沈降するものとすばやく沈降するものがあってはじめて沈降フラックスの分布が説明され得ることになる。沖合の海洋では栄養レベルが低く植物プランクトン濃度も沿岸に比して低いが、海洋深海への炭素(C)・窒素(N)などのかかなり大きな供給が粒状物の沈降により生起していると見られ、動物プラン

クトン等の捕食活動によって生産される糞粒が大きな役割を果していると考えられている<sup>26)</sup>。糞粒は植物プランクトン体が動物の消化管内で濃縮され排出されたものなので、植物プランクトン体の2オーダーほど大きな沈降速度になるとされている。希薄な植物プランクトン濃度下では、動物プランクトンの捕食作用が、増殖、分解の作用に比しても大きな速度を有し、植物プランクトン濃度を規制する主因子となる事も多い。しかし、対象としている海域では、富栄養化が進んだ浅い海域であり、捕食による減少は日に植物プランクトン濃度のわずか1～2%程度と見積もられている。捕食されたプランクトンが同化されず全て糞粒体として排泄されたとしても、糞粒体の約100倍(99～98倍)の植物プランクトン態のけん濁物があることになる。糞粒態粒子がプランクトン態粒子の100倍の沈降速度を有すると仮定すると、糞粒の沈降フラックスと植物プランクトンの沈降フラックスとは同じオーダーとなる。したがって、底層で表層の2倍程度の大きさの沈降フラックスが観測されたことを説明するためには、底層で表層の2倍程度の植物プランクトン濃度や動物プランクトン個体数濃度が存在していなければならない。現実には、植物プランクトンは表層で最も高い

濃度となっており、動物プランクトンの底層部への集積も見出されていない。糞粒が表層から底層に至るまでのすべて水深の沈降フラックスにとって同じように重要な役割を果たしているのかも知れないが、鉛直分布を規定する役割は小さいようである。粒状物の組成が、セジメントトラップ内沈降物では海域けん濁物やマイクロゾム内沈降物よりもかなり無機的である点も、有機物濃度の高い糞粒の挙動のみでは説明できない。

そこで、ここでは海域内けん濁物のうち無機的な性格の強い底泥粒子に着目し、底泥の巻き上げと沈降の作用がけん濁濃度にも寄与していると考えてみる。底泥の組成比は、前節の表-26に示してある。

6.5 粒状物濃度と沈降フラックスとの分画

現場海域にけん濁している粒状物を、①有機的な植物プランクトンおよびデトライタス、および②無機的な底泥粒子の二者より構成されていると考える。セジメントトラップ垂下期間中は、二者の性状が変化せず、組成比も時間に関して一定のままであるとする。以上の仮定に基づき、けん濁粒状物の観測値を構成要素に分画することを考える。観測値は、二者の和として次のように書ける。

$$C = C_p + C_d \quad \dots\dots(9)$$

$$S = S_p + S_d \quad \dots\dots(10)$$

ここで、Cは観測された POC, Chl-a などの濃度、Sは観測された SS の濃度、C<sub>p</sub>, S<sub>p</sub>は植物プランクトン・デトライタスの POC, Chl-a 濃度と SS 濃度、C<sub>d</sub>, S<sub>d</sub>は底泥の POC, Chl-a 濃度と SS 濃度を示す。

いま、表層で生成される植物プランクトン・デトライタスの組成比と、底泥の組成比とが調べられているならば、それぞれ次の関係が成立している。

$$C_p = \alpha \cdot S_p \quad \dots\dots(11)$$

$$C_d = \beta \cdot S_d \quad \dots\dots(12)$$

ここでαは植物プランクトン・デトライタスの組成比、βは底泥の組成比を示す。α、βは期間中一定の値である。

上記4式の中で、C, S, α, βが測定されているので C<sub>p</sub>, C<sub>d</sub>, S<sub>p</sub>, S<sub>d</sub>は一義的に次式で求まることになる。

$$S_p = \frac{C - \beta \cdot S}{\alpha - \beta} \quad \dots\dots(13)$$

$$S_d = \frac{\alpha \cdot S - C}{\alpha - \beta} \quad \dots\dots(14)$$

$$C_p = \alpha \cdot S_p \quad \dots\dots(15)$$

$$C_d = \beta \cdot S_d \quad \dots\dots(16)$$

こうして、2つの構成要素に分画することができる。

Cとして POC, Chl-a などの指標、Sとして SS を

用いて説明してきたが、C, Sにどのような水質指標を採用しようと、α, βが確定できれば分画は可能である。精度良く分画するためには、α, βの確定が必要であるが、α, βが誤差を含んでいる場合の分画結果の誤差を考えてみる。S<sub>p</sub>, S<sub>d</sub>のα, βに対する感度は次のように表せる。

$$\frac{\partial S_p}{\partial \alpha} = (C - \beta \cdot S) \cdot \ln(\alpha - \beta) \quad \dots\dots(17)$$

$$\frac{\partial S_p}{\partial \beta} = -\frac{S}{\alpha - \beta} - (C - \beta \cdot S) \cdot \ln(\alpha - \beta) \quad \dots\dots(18)$$

$$\frac{\partial S_d}{\partial \alpha} = \frac{S}{\alpha - \beta} + (\alpha \cdot S - C) \cdot \ln(\alpha - \beta) \quad \dots\dots(19)$$

$$\frac{\partial S_d}{\partial \beta} = -(\alpha \cdot S - C) \cdot \ln(\alpha - \beta) \quad \dots\dots(20)$$

つまり、直観的にも容易に把握できるが、精度良い安定した分画のためには、αとβとの差が大きいことが必要であり、S<sub>p</sub>とS<sub>d</sub>とが似た大きさに混合し一方だけが卓越していないことが望ましい。

そこで、α, βが期間中一定で変化しない点、αとβとの値の差が大きい点を考慮し、前節6.4での議論を参考にCとして POC, PON の濃度、Sとして SS 濃度を採用する。βとしては、底泥粒子の組成比を表-26より読みとり与える。αとしては、セジメントトラップデータに対しては、卓越藻種培養実験により得られた対数増殖期の組成比を同じ表より読みとり与える。また、マイクロゾムデータに対しては、囲い込み後1~2日目に表層で見られた組成比のピーク値を用いたαとする。こうして分画した結果を表-28に示す。この表には与えたα, βの値を C/SS 比もしくは N/SS 比の欄にかかげてある。表は、POC と SS とを用いた結果を上段に、下段には PON と SS とを用いて算定した結果を一併に示している。観測された POC フラックス、SS フラックスを上述のC, Sに代入して分画した値の他に、観測された POC, SS の平均濃度を上式の C, Sに代入して濃度値をも分画して示してある。マイクロゾム実験では捕集筒直上の底層での POC, SS 濃度の期間平均値を分画している。セジメントトラップ実験では、捕集筒けん垂水深での期間中の平均値を分画している。こうして、表層起因粒子と底泥起因粒子とにフラックスも濃度も分画された。次いで、フラックス値を濃度値で除して各粒子分画ごとに沈降速度を算定している。

表を見ると、POC フラックスでは表層起因粒子の割合が大きく、特にマイクロゾム内では沈降フラックスの9割が表層粒子により運ばれている。PON フラックスでも同様であり、炭素(C)、窒素(N)の鉛直輸送



表-28 分画された沈降フラックス、分画された環境濃度および分画各粒子の沈降速度

| 表 期 指 標                          | マイクロソズム $l = 5 \text{ m}$ |                |                |                | セジメントトラップ      |                |                |                |                |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|---------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|------|------|------|------|
|                                  | S 58.8.1~8.5              | S 58.8.5~8.10  | S 59.7.23~7.27 | S 59.7.23~7.27 | S 59.7.23~7.27 | S 59.7.23~7.27 | S 59.7.23~7.27 | S 59.7.23~7.27 | S 59.7.23~7.27 |      |      |      |      |      |
|                                  | 表層<br>底泥<br>粒子            | 表層<br>底泥<br>粒子 | 表層<br>底泥<br>粒子 | 表層<br>底泥<br>粒子 | 表層<br>底泥<br>粒子 | 表層<br>底泥<br>粒子 | 表層<br>底泥<br>粒子 | 表層<br>底泥<br>粒子 | 表層<br>底泥<br>粒子 |      |      |      |      |      |
| C/SS 比による                        |                           |                |                |                |                |                |                |                |                |      |      |      |      |      |
| C/SS (mg/g)                      | 264                       | 34.1           | 255            | 34.1           | 248            | 34.1           | 204            | 34.1           | 235            | 34.1 | 235  | 34.1 | 235  | 34.1 |
| POC フラックス (mg/m <sup>2</sup> /d) | 320                       | 38             | 380            | 19             | 160            | 21             | 170            | 30             | 420            | 360  | 630  | 680  | 780  | 720  |
| SS フラックス (g/m <sup>2</sup> /d)   | 1.22                      | 1.11           | 1.48           | 0.55           | 0.66           | 0.61           | 0.85           | 0.89           | 1.80           | 10.5 | 2.67 | 20.0 | 3.33 | 21.1 |
| POC の環境濃度 (mg/l)                 | .764                      | .022           | .599           | .048           | 1.192          | .146           | 1.071          | .053           | 1.261          | .069 | .774 | .071 | .460 | .037 |
| SS の環境濃度 (mg/l)                  | 2.89                      | 0.63           | 2.35           | 1.41           | 4.81           | 4.28           | 5.25           | 1.54           | 5.36           | 2.01 | 3.29 | 2.08 | 1.96 | 2.14 |
| 各粒子の沈降速度 (m/d)                   | 0.42                      | 1.75           | 0.63           | 0.39           | 0.14           | 0.14           | 0.16           | 0.57           | 0.34           | 5.2  | 0.81 | 9.6  | 1.70 | 9.8  |
| N/SS 比による                        |                           |                |                |                |                |                |                |                |                |      |      |      |      |      |
| N/SS (mg/g)                      | 49.6                      | 4.87           | 48.5           | 4.87           | 36.3           | 4.87           | 27.5           | 4.87           | 47.1           | 4.87 | 47.1 | 4.87 | 47.1 | 4.87 |
| PON フラックス (mg/m <sup>2</sup> /d) | 51                        | 6              | 58             | 4              | 31             | 2              | 31             | 3              | 84             | 51   | 119  | 98   | 149  | 104  |
| SS フラックス (g/m <sup>2</sup> /d)   | 1.02                      | 1.31           | 1.20           | 0.83           | 0.84           | 0.43           | 1.14           | 0.60           | 1.78           | 10.5 | 2.52 | 20.2 | 3.15 | 21.2 |
| PON 環境濃度 (mg/l)                  | .135                      | .004           | .110           | .007           | .174           | .021           | .148           | .007           | .162           | .019 | .103 | .016 | .051 | .015 |
| SS 環境濃度 (mg/l)                   | 2.72                      | .80            | 2.27           | 1.49           | 4.80           | 4.28           | 5.39           | 1.40           | 3.44           | 3.94 | 2.20 | 3.18 | 1.07 | 3.03 |
| 各粒子の沈降速度 (m/d)                   | 0.38                      | 1.6            | 0.53           | 0.56           | 0.18           | 0.10           | 0.21           | 0.43           | 0.52           | 2.7  | 1.2  | 6.4  | 2.9  | 7.0  |

には、高い有機物含有率を示す表層粒子の寄与が大きい。一方、SS フラックスでは、底泥起因粒子の役割が大きくなる。マイクロゾム内では、底泥粒子によるフラックスと、表層粒子によるフラックスとは同程度の値を示すものの、セジメントトラップデータでは底泥粒子によるSS フラックスの割合が圧倒的に大きい。粒子重量の鉛直輸送には、比較的無機的な底泥粒子の寄与が大きい。

ところで、SS の環境濃度を分画すると、セジメントトラップ周辺の現場海域中では表層から底層へ向かって表層粒子・底泥粒子ともに濃度減少の傾向が見られる。底層では、底泥起因粒子の割合が大きくなっている。同じ-6.2m 層の底泥起因粒子の濃度を、マイクロゾム内と現場海域とで比較すると、マイクロゾム(A)を除きマイクロゾム内でやや低い値となっている。底泥粒子は表層粒子より早く沈降するので、囲い込んだ水塊内では早い時期に沈降消失し環境水濃度としては小さい割合しか有していないためと思われる。マイクロゾム(A)では攪拌の影響が表れたと思われる。これより、現場海域では、底泥起因粒子が供給されていることが示唆され、供給源は底泥の巻き上げ再けん濁作用であると思われる。

SS の総沈降フラックスをマイクロゾム内と、現場海域-6.2m とで比較すると、 $1.7\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$  と  $24.4\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$  であり10倍以上のひらきがある。底面積  $0.79\text{m}^2$  のマイクロゾム(A), (B)に囲い込まれたSS の総量は、表-23によれば  $35\sim 40\text{g}$  であり総量がすべて4日間で沈下すると  $11\sim 13\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$  のフラックスになる。セジメントトラップによる沈降フラックス値はこの2倍もの値になっており、沈降粒子が他から直上水柱へ供給されていたことがわかる。現場海域のSS 濃度鉛直分布などから考えて、供給源はやはり底層付近に浮遊する再けん濁底泥起因粒子と考えられる。

POC と SS との組み合わせで算定したSS の沈降フラックス分画値と、PON と SS との組み合わせによる分画値とはよく似た値を示している。別々の濃度指標を用いても同様の結果を得られていることは、分画手法が比較的安定なものであったためと思われる。

海水中にけん濁している濃度の分画値を見ると、POC, PON 濃度に対しては当然ながら無機的な底泥起因粒子の分担割合は小さい。したがって、分画ごとにフラックス値を濃度値で除して求めた粒子別の沈降速度は、底泥起因粒子の方が大きい。特にセジメントトラップデータからは、底泥粒子に対し  $3\sim 10\text{m}/\text{d}$  と大きな沈降速度が算定されている。 $10\text{m}/\text{d}$  に相当する球状粒子の粒子径は、比重 2.5 とするとストークス式より  $10\mu\text{m}$  強となる。また、表層起因粒子の沈降速度は、マイクロ

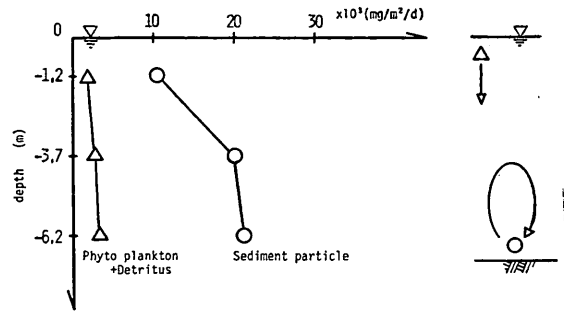


図-22 2つの起源粒子に分画した後の各粒子SS沈降フラックスの鉛直分布——表層にて生産される植物プランクトン+デトリタス(△)および底泥粒子(○)

ゾム内で  $0.1\sim 0.6\text{m}/\text{d}$  となり、この値は、6.1, 6.2で予想される値に近い。セジメントトラップ表層での表層粒子の沈降速度値 ( $0.3\sim 0.5\text{m}/\text{d}$ ) にも近い。しかし、セジメントトラップ表層のフラックスは表層起因粒子のみで構成されているわけではない。

### 6.6 分画結果の考察

分画されたSS沈降フラックスを水深に対してプロットすると図-22のようになる。図中に三角形(△)で示した点は、表層起因の植物プランクトン等の粒子フラックスであり、水深方向にその値はあまり変化していない。一方、丸(○)で示した点は底泥粒子のフラックスであり、表層ほど小さくなっている。底泥粒子は、波や流れなどの作用で巻き上げと沈降をくり返しているが、セジメントトラップでは沈降する粒子のみを捕捉していることになる。巻き上げは表層近くにまで達しているが、水深-4.0m 近くで深で大きいことがうかがえる。底泥面までの水深が8m以上あることから、この海域では巻き上げ底泥の影響は底泥面上4m以上にまで及んでいることになる。底泥からの巻き上げと沈降とが期間中平衡していたのならば、水深-4m まで巻き上げる底泥量は、 $20\text{g}/\text{m}^2/\text{d}$  程度と見積もられることになる。

分画粒子の沈降速度は、分画フラックスを分画濃度で除して求められる。したがって、前節の分画式から容易に予想されるように、分画式中に共通の  $(\alpha - \beta)$  は消され、データとして与えられるC, S等以外には、 $\alpha$  もしくは  $\beta$  のみに依存して沈降速度が決まってしまうこととなる。底泥起因粒子の沈降速度は、底泥の性状を表す  $\beta$  ではなく、 $\alpha$  のみに依存してしまう。したがって、 $\alpha$  としていかなる値を選ぶか、つまり表層起因粒子としていかなる性状を選ぶかが問題となってくる。もし現場表

層海域の平均的組成比 (C/SS) の値 181 を  $\alpha$  として用いると底泥粒子の沈降速度は約 30m/d と算定され、 $\alpha$  に 235 を用いた時の値 5.2m/d と大きくかけ離れた値となる。これは、けん濁粒子が異なる 2 種の粒子の混合物であってこの 2 種以外のものからは構成されていないとの分画の前提に因っている。植物プランクトンは生産時には高い組成比を有しているが、分解作用などにより徐々に組成比を下げゆく。この現象を、分画計算時には、生産直後のプランクトンと、無機質な底泥粒子とが少しずつ混合してゆく、と仮定しているのである。 $\alpha$  値を小さくすると底泥の混合は小さくなり、分画された底泥濃度は低下し、これにつれて沈降速度が上昇することになる。夏期の赤潮時などのように、表層起因の粒子の性状が確定しやすい場合を対象にするなどのくふうが必要であろうし、誤差の幅の検討も必要であろう。

こうした検討の後に、マイクロゾム実験より求められた沈降速度 ( $w$ ) とセジメントトラップ実験より求められた沈降速度と ( $W-w$ ) を比べれば、その差より現場海域中で粒状物の鉛直の移送に寄与している見かけの鉛直流の大きさ ( $W$ ) が把握できることとなる。図-23 は、試みに表-28 の底泥の沈降速度差をプロットしたものである。粒子自身の有する沈降速度と同程度かそれより 1 オーダ大きな見かけの鉛直流が予想されることとなる。フラックス値は、沈降する粒子濃度と沈降速度との積で示される。セジメントトラップ実験での大きな沈降

フラックス値は、マイクロゾム実験と比較すると、沈降速度の差で説明される。現場での大きな沈降速度は、おもに見かけの鉛直流によっていることとなる。風の吹き寄せ作用や湾口での水塊のフロントの存在や、フロント内での水の流動などとも関連させて検討する必要がある。また、底層付近では、凝集の進行により粒子径が大きくなった浮遊粒子が、水の乱れにより上向下向をくり返すぶらんこ運動を起こしていることが指摘<sup>27)</sup>されはじめている。ぶらんこ運動中に置かれたセジメントトラップにはぶらんこ運動の向下成分による沈降のみが捕捉され上向成分は捕捉に影響しない。このため、活発なぶらんこ運動中では、実際に上層から底面へと沈降している粒子の正味の移動フラックス以上の大きな沈降量を測定することになる。見かけの鉛直流として図-23 に示された値のうち、水塊の下向きの流れ (沈降流) を示す部分とぶらんこ運動の強さを示す部分との区別も検討する必要がある。

## 7. まとめ

本論文では、マイクロゾム実験とセジメントトラップ実験の実施について述べ、両実験により得られた沿岸での生態学的な変化や沈降による変化について、水質へ及ぼす影響を見積もり、変化の速度を比較している。さらに、けん濁粒子の挙動についてセジメントトラップ実験の結果を中心に、マイクロゾム実験の解析も援用しながら検討を行っている。粒状物の組成の相異を利用した分画法を導入し、表層で生産された植物プランクトン等の粒子と底泥粒子とに沈降フラックスや濃度を分画している。

得られた主要な結論は次のとおりである。

- 1) 久里浜湾沖にマイクロゾム装置を設置し、隔離水塊を作り、水質の変化を追跡した。当該海域では夏期には珪藻が卓越し、赤潮を呈することもある。当該海域での植物プランクトンの増殖制限栄養は N と P の両者である。
- 2) 藻の高密度な存在下では、動物プランクトンの捕食作用は小さく、藻の細胞数は、増殖や分解の作用、次いで沈降の作用に大きく影響される。
- 3) 動物プランクトン群としての捕食作用の中では、*Acartia clausi* の捕食作用が水質変化上重要である。
- 4) 有機物の分解作用によるセジメントトラップ実験の誤差は 4 日間程度の垂下では 2~3 割程度であり、測定フラックスにもこの程度の誤差がある。
- 5) セジメントトラップ内の捕集物は、まわりの海水中のけん濁粒子よりも無機質である。セジメントトラップ

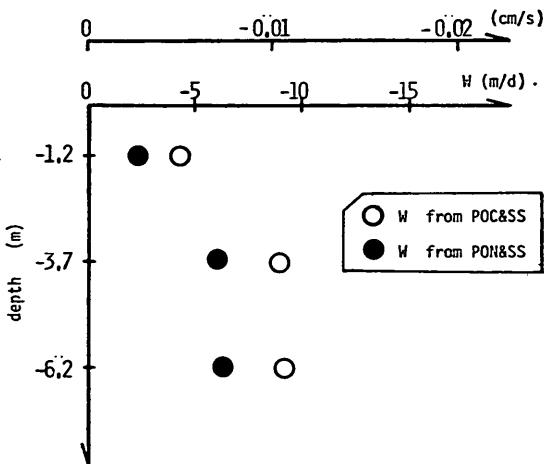


図-23 マイクロゾム (B) 内の底泥沈降速度 ( $w$ ) と、セジメントトラップによる底泥の見かけ沈降速度 ( $W-w$ ) との差より求めた水塊の鉛直流 ( $W$ ) の鉛直分布の算定例

による測定沈降フラックスは、けん濁粒子が一樣に沈降しているとの仮定では説明できない。

6) 底泥粒子と藻等の表層で生産される粒子とに分画する手法を示した。分画結果によれば、栄養塩の鉛直輸送には植物プランクトン等の有機的粒子の沈降が大きな役割を果たしているが、乾重量の鉛直輸送では底泥の割合が大きくなる。特に底層の粒状物の挙動には巻き上り底泥の寄与が増大する。

7) 表層で生産された有機的粒子の沈降速度は 10~40 cm/d 底泥粒子は 40~180 cm/d 程度と見積もられる。現場海域では、特に底層でより大きな沈降が観測されている。鉛直流の影響や底泥粒子の上下運動の影響が大きいと思われる。

8) 底泥の沈降フラックスと巻き上りフラックスとが釣り合うとすると、当該海域では、底泥面上 4 m の高さまで 20g/m<sup>2</sup>/d の巻き上りがあることになる。

マイクロゾム内の水質の動態把握についてある程度の定量的、速度的な検討ができた。隔離された水塊での検討結果を現実の沿岸海域に適用するについては、空間スケールや生起現象の主たる作用因子の検討などが更に必要であろう。海域の浄化に向けて、土木技術の活用方法についても今後とも検討してゆく必要がある。

本研究は、国立研究機関等公害防止試験研究費による「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」の一部として実施した実験を中心にとりまとめたものである。本研究の遂行にあたって尽力をいただいている関係各位に深く感謝します。実験に際しては、水工部海象観測研究室の調査ボートを利用して利用については水工部菅原一見主任研究官に御協力いただいた。また、海象・気象データは海象観測研究室の測定データを参照させてもらっている。小舟浩治海象観測研究室長はじめ室員の皆様に深く感謝いたします。

(昭和62年3月31日受付)

#### 参 考 文 献

- 1) 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)
- 2) Parsons, T. R.: The use of controlled experimental ecosystems: a review, Jour. Ocean. Soc. Japan, Vol. 37, pp. 294~298 (1981)
- 3) 堀江 毅ら：マイクロゾムによる海域生態系物質循環試験について，港湾技研資料 No. 494, (1984)
- 4) 細川恭史ら：沿岸域におけるけん濁粒子の沈降速度測定法について——数種の測定法の比較——，港湾技研資料 No. 433, (1982)
- 5) 環境庁：公害白書—1985年版—，大蔵省印刷局，(1986)

- 6) 宇野木早苗・岸野元彰：東京湾の平均的海況と海水交流，理化学研究所海洋物理学研究室 技術報告，No. 1, 89pp. (1977)
- 7) 松本英二：未発表 (1979)  
平野敏行編：沿岸域保全のための海の世界科学，恒星社厚生閣，(1983)，p. 167より重引
- 8) 森川雅行，村上和男：東京湾における長周期流れの変動特性——現地データ (1983年9月) による検討——，港湾技研資料 No. 550, (1986)
- 9) 蓮沼啓一，平野敏行，Antony, M. K.: 沿岸域保全のための海の世界科学 (平野敏行編)，恒星社厚生閣，(1983)，pp. 14~15.
- 10) 村上和男：水質自動観測データの解析と赤潮予測への応用，港湾技術研究所報告，第26巻，第2号，pp. 213~252, (1987)
- 11) 村上和男ら：東京湾口における水質汚染実態調査—その1—，港湾技研資料 No. 455, (1983)
- 12) 村上和男ら：東京湾口における水質汚染実態調査—その2—，港湾技研資料 No. 507, (1984)
- 13) Boyce, F. E.: Mixing within experimental enclosures; a cautionary note on the limnocorral, J. Fish. Res. Board Can., Vol. 31, No. 8, pp. 1400~1405, (1974)
- 14) 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，第17巻，第2号，pp. 49~80 (1978)
- 15) T. R. パーソンス・高橋正征，(市村俊英訳)：生物海洋学，三省堂，p. 155 (1974)
- 16) 堀江 毅，細川恭史，三好英一：東京湾春・夏期のAGP分布の測定，第14回日本水質汚濁研究会年次学術講演会講演集，pp. 79~80, (1980)
- 17) 堀江 毅ら：微細有機懸濁物の沈降特性について，第33回海岸工学講演会論文集，pp. 337~341, (1986)
- 18) 谷口 旭：有鍾織毛虫の生殖と生活史 (総説)，日本プランクトン学会報，Vol. 25, No. 2, pp. 123~134 (1978)
- 19) 上 真一：沿岸生態系における動物プランクトンの機能的役割，沿岸海洋研究ノート，Vol. 22, No. 2, pp. 176~189 (1985)
- 20) Uchima, M, R. Hirano: Food of *Oithona davisae* (*Copepoda: Cyclopoida*) and the effect of food concentration at first feeding on the larval growth, 日本プランクトン学会報，Vol. 33, No. 1, pp. 21~28, (1986)
- 21) Capriulo, G. M.: Feeding of field collected *Tintinus* micro-zooplankton on natural food, Marine Biology, Vol. 71, pp. 73~86 (1982)
- 22) 志賀直信：最近10年間の尾虫類の生態学的知見，日本プランクトン学会報創立30周年記念号，(1984)
- 23) 上 真一：沿岸性かいあし類による *Chattonella antiqua* の摂食，昭和59年海洋学会春季大会要旨集，pp. 22 (1984) より算定.
- 24) 元田 茂：海洋プランクトン，東海大学出版会，pp. 156~157 (1979)
- 25) 例えば畑 幸彦：水域の自浄作用と浄化，恒星社厚生閣，pp. 37 (1979)
- 26) Sasaki, H, S. Nishizawa: Vertical flux profiles of particulate material in the sea off Sanriku,

Mar. Ecol. Prog. Ser., Vol. 6, pp. 191~201(1981)  
 27) Tsunogai, S. et. al.: Sediment trap experiment in the northern North Pacific: Undulation of settling particles, *Geochem. J.*, Vol. 16, No. 3, pp. 129~147, (1982)

使用記号一覧

- $C$  : 粒状物質の濃度, 特に式(9)では SS 以外の指標で表した粒状物質の濃度 [ $ML^{-3}$ ] またはフラックス [ $ML^{-2}T^{-1}$ ]  
 $C_d$  : 底泥起因粒子の濃度フラクション [ $ML^{-3}$ ] またはフラックスフラクション [ $ML^{-2}T^{-1}$ ]  
 $C_p$  : 表層起因粒子の濃度フラクション [ $ML^{-3}$ ] またはフラックスフラクション [ $ML^{-2}T^{-1}$ ]  
 $D$  : 分解速度係数 [ $T^{-1}$ ]  
 $D_x, D_y$  :  $x$  方向,  $y$  方向の水平拡散係数 [ $L^2T^{-1}$ ]  
 $D_z$  :  $z$  方向の鉛直拡散係数 [ $L^2T^{-1}$ ]  
 $G_s$  : 動物プランクトンのろ過速度 [ $L^3T^{-1}$ ]  
 $k$  : 見かけの植物プランクトン細胞数減少速度係数 [ $T^{-1}$ ]  
 $L$  : 沈降物が浮遊している水塊のうち完全混合していると見なせる水塊部分の深さ [ $L$ ]  
 $M$  : 非保存項による水質濃度の時間変化 [ $ML^{-3}T^{-1}$ ]  
 $m$  : 非保存項の作用による沈降フラックスとしての増減 [ $ML^{-2}T^{-1}$ ]  
 $N$  : ある深さでの粒子の沈降フラックス [ $ML^{-2}T^{-1}$ ]  
 $P$  : 植物プランクトン細胞数濃度 [ $L^{-3}$ ]  
 $r$  : 相関係数  
 $S$  : SS で表した粒状物質濃度 [ $ML^{-3}$ ]  
 $S_d$  : 底泥起因粒子の SS 濃度フラクション [ $ML^{-3}$ ] またはフラックスフラクション [ $ML^{-2}$ ]  
 $S_p$  : 表層起因粒子の SS 濃度フラクション [ $ML^{-3}$ ] またはフラックスフラクション [ $ML^{-2}T^{-1}$ ]  
 $U$  :  $x$  方向の水平流流速 [ $LT^{-1}$ ]  
 $V$  :  $y$  方向の水平流流速 [ $LT^{-1}$ ]  
 $W$  :  $z$  方向の鉛直流流速 (湧昇流流速) [ $LT^{-1}$ ]  
 $w$  : 粒子の沈降速度 [ $LT^{-1}$ ]

- $\alpha$  : 表層起因粒子の組成比  
 $\beta$  : 底泥起因粒子の組成比  
 $\mu$  : 植物プランクトンの増殖速度係数 [ $T^{-1}$ ]

主要水質指標概説

Chl-a : (クロロフィル a) 植物体の光合成色素。植物プランクトンをろ紙にて分別捕集後, 海洋観測指針に準じアセトンにて色素を溶解抽出し分光光度法で測定。

DIN : (Dissolved Inorganic Nitrogen) 溶解している無機態の窒素。アンモニウム態・亜硝酸態・硝酸態の3態であり, この3態の合計で示す。

$$DIN = (NH_4-N) + (NO_2-N) + (NO_3-N).$$

DIP : (Dissolved inorganic Phosphorus) 溶解している無機リン。リン酸態リンがほとんどである。ろ紙を通過したろ液のリン酸態リンを海洋観測指針により測定。

フェオ色素 : クロロフィル類似色素で分解途上のもの。クロロフィル分析後のアセトン抽出液に塩酸を滴下し海洋観測指針に従い分光光度法にて測定。

$NH_4-N$  : (Ammonium Nitrogen) アンモニウム態窒素。海洋観測指針に従いインドフェノール法にて測定。

$NO_2-N$  : (Nitrite Nitrogen) 亜硝酸態窒素。海洋観測指針に従い分析。

$NO_3-N$  : (Nitrate Nitrogen) 硝酸態窒素。海洋観測指針に従い分析。

POC : (Particulate Organic Carbon) 非溶解態のけん濁有機炭素。ろ紙で捕集後 CHN コーダーにて分析。

PON : (Particulate Organic Nitrogen) けん濁有機窒素。ろ紙で捕集後 CHN コーダーにて分析。

POP : (Particulate Organic Phosphorus) けん濁有機リン。ろ紙で捕集後酸分解し海洋観測指針に従って発色させ分光光度計にて測定。

$PO_4-P$  : (Phosphate Phosphorus) リン酸態リン。海洋観測指針に従い分析。

SS : (Suspended Solids) 浮遊けん濁物。ろ紙上に捕集後乾燥させ乾重量を JIS K0102 に従って分析。

**付録－A 水質測定データ**

ここには、以下の3つの表をかかげている。

**付表－A.1** 水質分析結果（昭和58年8月1日～8月5日）

**付表－A.2** 水質分析結果（昭和58年8月5日～8月10日）

**付表－A.3** 水質分析結果（昭和59年7月23日～7月27日）

マイクロコズムとセジメントトラップとを用いた沿岸域での浮遊粒子挙動の観測

付表—A.1 水質分析結果（昭和58年8月1日～8月5日）

A.1.1 マイクロコズム表層

| 項目                        | 0日目     | 1日目    | 2日目     | 3日目     | 4日目    |
|---------------------------|---------|--------|---------|---------|--------|
| SS (mg/l)                 | 3.5     | 2.7    | 3.8     | 3.9     | 2.9    |
| POC (mg/l)                | 0.7457  | 0.7115 | 0.5177  | 0.6552  | 0.5889 |
| PON (mg/l)                | 0.1306  | 0.1339 | 0.0893  | 0.1309  | 0.1045 |
| POP (mg/l)                | 0.0155  | 0.0155 | <0.0031 | 0.0062  | 0.0310 |
| DIP (mg/l)                | <0.0031 | 0.0031 | 0.0031  | <0.0031 | 0.0093 |
| DIN (mg/l)                | 0.0210  | 0.0322 | 0.0056  | 0.0056  | 0.0266 |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | <0.0014 | 0.0112 | <0.0014 | <0.0014 | 0.0168 |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0028  | 0.0042 | 0.0014  | 0.0014  | 0.0014 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0168  | 0.0154 | 0.0042  | 0.0028  | 0.0070 |
| クロロフィルa (μg/l)            | 12.3    | 21.5   | 11.1    | 9.3     | 6.9    |
| フェオ色素 (μg/l)              | 93.3    | 257.8  | 93.6    | 57.8    | 29.8   |

A.1.2 マイクロコズム中層

| 項目                        | 0日目    | 1日目     | 2日目     | 3日目     | 4日目     |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| SS (mg/l)                 | 3.3    | 2.4     | 3.9     | 3.1     | 4.6     |
| POC (mg/l)                | 0.5374 | 0.5182  | 0.4893  | 0.5891  | 0.6593  |
| PON (mg/l)                | 0.0830 | 0.0871  | 0.0837  | 0.1129  | 0.1126  |
| POP (mg/l)                | 0.0155 | 0.0062  | <0.0031 | 0.0093  | 0.0093  |
| DIP (mg/l)                | 0.0124 | <0.0031 | 0.0062  | 0.0062  | 0.0031  |
| DIN (mg/l)                | 0.1120 | 0.0042  | 0.0042  | 0.0042  | 0.0028  |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0392 | 0.0070  | <0.0014 | <0.0014 | <0.0014 |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0070 | 0.0042  | <0.0014 | <0.0014 | <0.0014 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0644 | 0.0294  | 0.0042  | 0.0042  | 0.0028  |
| クロロフィルa (μg/l)            | 9.0    | 9.7     | 13.6    | 9.5     | 7.3     |
| フェオ色素 (μg/l)              | 74.2   | 41.5    | 35.8    | 55.1    | 36.1    |

A.1.3 マイクロコズム底層

| 項目                        | 0日目    | 1日目    | 2日目     | 3日目     | 4日目     |
|---------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| SS (mg/l)                 | 2.9    | 3.5    | 3.1     | 4.2     | 3.9     |
| POC (mg/l)                | 0.6671 | 0.7209 | 0.4759  | 1.0251  | 1.0369  |
| PON (mg/l)                | 0.1120 | 0.1338 | 0.0837  | 0.1920  | 0.1723  |
| POP (mg/l)                | 0.0124 | 0.0217 | <0.0031 | 0.0155  | 0.0217  |
| DIP (mg/l)                | 0.0031 | 0.0062 | 0.0031  | 0.0093  | 0.0031  |
| DIN (mg/l)                | 0.0588 | 0.0644 | 0.0154  | 0.0084  | 0.0042  |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0252 | 0.0322 | 0.0084  | 0.0028  | 0.0014  |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0042 | 0.0056 | <0.0014 | <0.0014 | <0.0014 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0266 | 0.0252 | 0.0056  | 0.0042  | 0.0028  |
| クロロフィルa (μg/l)            | 12.3   | 9.5    | 9.3     | 11.6    | 11.1    |
| フェオ色素 (μg/l)              | 86.8   | 31.4   | 32.9    | 43.0    | 47.8    |

## A.1.4 現場海域表層

| 項目                        | 0 日目    | 1 日目    | 2 日目   | 3 日目   | 4 日目   |
|---------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| SS (mg/l)                 | 3.5     | 4.6     | 7.0    | 7.6    | 4.8    |
| POC (mg/l)                | 0.7457  | 0.7855  | 0.7392 | 0.8942 | 0.9252 |
| PON (mg/l)                | 0.1306  | 0.1188  | 0.1161 | 0.1636 | 0.1714 |
| POP (mg/l)                | 0.0155  | 0.0155  | 0.0155 | 0.0217 | 0.0217 |
| DIP (mg/l)                | <0.0031 | <0.0031 | 0.0217 | 0.0062 | 0.0031 |
| DIN (mg/l)                | 0.0210  | 0.0112  | 0.1862 | 0.0476 | 0.0238 |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | <0.0014 | 0.0056  | 0.1022 | 0.0098 | 0.0098 |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0028  | 0.0014  | 0.0112 | 0.0070 | 0.0014 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0168  | 0.0028  | 0.0728 | 0.0294 | 0.0112 |
| クロロフィルa (μg/l)            | 12.3    | 15.8    | 12.4   | 27.1   | 12.5   |
| フェオ色素 (μg/l)              | 93.3    | 77.7    | 68.0   | 190.9  | 79.5   |

## A.1.5 現場海域中層

| 項目                        | 0 日目   | 1 日目   | 2 日目   | 3 日目   | 4 日目   |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS (mg/l)                 | 3.3    | 4.2    | 5.9    | 6.8    | 5.1    |
| POC (mg/l)                | 0.5374 | 0.8524 | 0.5221 | 0.7158 | 0.8384 |
| PON (mg/l)                | 0.0830 | 0.1199 | 0.0801 | 0.1347 | 0.1555 |
| POP (mg/l)                | 0.0155 | 0.0186 | 0.0155 | 0.0155 | 0.0062 |
| DIP (mg/l)                | 0.0124 | 0.0062 | 0.0186 | 0.0031 | 0.0031 |
| DIN (mg/l)                | 0.1120 | 0.0294 | 0.1442 | 0.0868 | 0.0574 |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0392 | 0.0070 | 0.0728 | 0.0168 | 0.0266 |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0070 | 0.0014 | 0.0112 | 0.0084 | 0.0028 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0644 | 0.0196 | 0.0602 | 0.0588 | 0.0266 |
| クロロフィルa (μg/l)            | 9.0    | 14.9   | 8.8    | 20.4   | 18.4   |
| フェオ色素 (μg/l)              | 74.2   | 91.9   | 45.2   | 111.9  | 91.5   |

## A.1.6 現場海域底層

| 項目                        | 0 日目   | 1 日目   | 2 日目   | 3 日目   | 4 日目    |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| SS (mg/l)                 | 2.9    | 3.4    | 5.4    | 9.1    | 5.1     |
| POC (mg/l)                | 0.6671 | 0.7023 | 0.4325 | 0.5737 | 0.4165  |
| PON (mg/l)                | 0.1120 | 0.1014 | 0.0683 | 0.1041 | 0.0701  |
| POP (mg/l)                | 0.0124 | 0.0031 | 0.0093 | 0.0155 | <0.0031 |
| DIP (mg/l)                | 0.0031 | 0.0031 | 0.0186 | 0.0093 | 0.0062  |
| DIN (mg/l)                | 0.0588 | 0.0224 | 0.1372 | 0.1008 | 0.1330  |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0252 | 0.0070 | 0.0532 | 0.0308 | 0.0644  |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0042 | 0.0014 | 0.0098 | 0.0084 | 0.0084  |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0266 | 0.0140 | 0.0728 | 0.0602 | 0.0588  |
| クロロフィルa (μg/l)            | 12.3   | 11.2   | 5.5    | 16.1   | 4.0     |
| フェオ色素 (μg/l)              | 86.8   | 55.6   | 25.4   | 90.1   | 20.2    |



マイクロゾムとセジメントトラップとを用いた沿岸域での浮遊粒子挙動の観測

付表一A.2 水質分析結果（昭和58年8月5日～8月10日）

A.2.1 マイクロゾム表層

| 項目                        | 0日目     | 1日目    | 3日目     | 4日目     | 5日目     |
|---------------------------|---------|--------|---------|---------|---------|
| SS (mg/l)                 | 3.8     | 4.1    | 5.0     | 4.5     | 3.5     |
| POC (mg/l)                | 0.9393  | 1.0452 | 1.2131  | 1.1260  | 1.0639  |
| PON (mg/l)                | 0.1692  | 0.1988 | 0.2587  | 0.2005  | 0.1744  |
| POP (mg/l)                | 0.0124  | 0.0310 | 0.0465  | 0.0403  | 0.0341  |
| DIP (mg/l)                | <0.0031 | 0.0217 | 0.0186  | 0.0124  | 0.0186  |
| DIN (mg/l)                | 0.0280  | 0.0420 | 0.0126  | 0.0028  | 0.0056  |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0014  | 0.0070 | 0.0042  | 0.0028  | 0.0056  |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | <0.0014 | 0.0014 | <0.0014 | 0.0014  | <0.0014 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0238  | 0.0322 | 0.0084  | <0.0014 | <0.0014 |
| クロロフィルa (μg/l)            | 15.3    | 31.4   | 10.3    | 6.2     | 5.4     |
| フェオ色素 (μg/l)              | 90.9    | 108.5  | 44.2    | 31.4    | 33.1    |

A.2.2 マイクロゾム中層

| 項目                        | 0日目    | 1日目    | 3日目     | 4日目     | 5日目     |
|---------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| SS (mg/l)                 | 3.5    | 4.6    | 5.4     | 3.7     | 3.4     |
| POC (mg/l)                | 0.6419 | 0.8731 | 1.3471  | 1.3746  | 1.0492  |
| PON (mg/l)                | 0.1199 | 0.1610 | 0.2762  | 0.2377  | 0.1766  |
| POP (mg/l)                | 0.0279 | 0.0403 | 0.0527  | 0.0434  | 0.0372  |
| DIP (mg/l)                | 0.0372 | 0.0372 | 0.0217  | 0.0155  | 0.0155  |
| DIN (mg/l)                | 0.2114 | 0.1750 | 0.0098  | <0.0014 | 0.0028  |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0168 | 0.0070 | <0.0014 | <0.0014 | <0.0014 |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0042 | 0.0014 | <0.0014 | 0.0014  | 0.0014  |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.1890 | 0.1652 | 0.0084  | <0.0014 | 0.0014  |
| クロロフィルa (μg/l)            | 14.1   | 27.5   | 9.7     | 7.1     | 5.0     |
| フェオ色素 (μg/l)              | 70.6   | 97.1   | 40.5    | 30.0    | 26.6    |

A.2.3 マイクロゾム底層

| 項目                        | 0日目    | 1日目    | 3日目     | 4日目     | 5日目     |
|---------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| SS (mg/l)                 | 4.3    | 2.9    | 4.0     | 3.7     | 3.9     |
| POC (mg/l)                | 0.3265 | 0.5960 | 0.8929  | 0.8245  | 0.5956  |
| PON (mg/l)                | 0.0518 | 0.1105 | 0.1695  | 0.1491  | 0.1048  |
| POP (mg/l)                | 0.0341 | 0.0310 | 0.0279  | 0.0186  | 0.0124  |
| DIP (mg/l)                | 0.1457 | 0.0620 | 0.0093  | <0.0031 | 0.0031  |
| DIN (mg/l)                | 0.7252 | 0.2674 | 0.0014  | 0.0238  | 0.0042  |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0434 | 0.0070 | <0.0014 | 0.0112  | 0.0014  |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0084 | 0.0140 | 0.0014  | <0.0014 | <0.0014 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.6720 | 0.2450 | <0.0014 | 0.0098  | 0.0014  |
| クロロフィルa (μg/l)            | 3.5    | 5.3    | 11.4    | 11.7    | 12.8    |
| フェオ色素 (μg/l)              | 20.1   | 18.3   | 39.1    | 54.7    | 51.8    |

A.2.4 現場海域表層

| 項目                        | 0 日目   | 1 日目   | 3 日目   | 4 日目   | 5 日目   |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS (mg/l)                 | 4.8    | 4.0    | 5.6    | 3.6    | 5.0    |
| POC (mg/l)                | 0.9252 | 1.1003 | 0.7427 | 0.7935 | 0.8566 |
| PON (mg/l)                | 0.1714 | 0.1981 | 0.1331 | 0.1304 | 0.1629 |
| POP (mg/l)                | 0.0124 | 0.0124 | 0.0062 | 0.0124 | 0.0155 |
| DIP (mg/l)                | 0.0031 | 0.0031 | 0.0403 | 0.0062 | 0.0031 |
| DIN (mg/l)                | 0.0238 | 0.0658 | 0.2744 | 0.0546 | 0.0462 |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0098 | 0.0238 | 0.1540 | 0.0196 | 0.0112 |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0014 | 0.0042 | 0.0196 | 0.0056 | 0.0042 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0112 | 0.0364 | 0.0994 | 0.0266 | 0.0294 |
| クロロフィルa (μg/l)            | 12.5   | 23.5   | 18.6   | 18.4   | 22.3   |
| フェオ色素 (μg/l)              | 79.5   | 116.4  | 79.9   | 75.5   | 86.9   |

A.2.5 現場海域中層

| 項目                        | 0 日目   | 1 日目    | 3 日目   | 4 日目    | 5 日目   |
|---------------------------|--------|---------|--------|---------|--------|
| SS (mg/l)                 | 5.1    | 3.8     | 5.4    | 3.3     | 4.7    |
| POC (mg/l)                | 0.8384 | 0.9552  | 0.5987 | 0.5708  | 0.6104 |
| PON (mg/l)                | 0.1555 | 0.1897  | 0.1086 | 0.1009  | 0.1107 |
| POP (mg/l)                | 0.0273 | 0.0093  | 0.0031 | 0.0031  | 0.0093 |
| DIP (mg/l)                | 0.0031 | <0.0031 | 0.0186 | <0.0031 | 0.0031 |
| DIN (mg/l)                | 0.0574 | 0.0462  | 0.0980 | 0.0280  | 0.0280 |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0266 | 0.0140  | 0.0364 | 0.0112  | 0.0042 |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0028 | 0.0042  | 0.0098 | 0.0056  | 0.0042 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0266 | 0.0266  | 0.0490 | 0.0098  | 0.0182 |
| クロロフィルa (μg/l)            | 18.4   | 27.7    | 12.5   | 19.3    | 20.7   |
| フェオ色素 (μg/l)              | 91.5   | 128.9   | 55.9   | 83.4    | 72.2   |

A.2.6 現場海域底層

| 項目                        | 0 日目   | 1 日目   | 3 日目   | 4 日目   | 5 日目   |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS (mg/l)                 | 5.1    | 4.4    | 4.3    | 3.6    | 4.7    |
| POC (mg/l)                | 0.4165 | 0.5715 | 0.4174 | 0.5248 | 0.4540 |
| PON (mg/l)                | 0.0701 | 0.0912 | 0.0666 | 0.0861 | 0.0799 |
| POP (mg/l)                | 0.0341 | 0.0217 | 0.0031 | 0.0093 | 0.0155 |
| DIP (mg/l)                | 0.0062 | 0.0093 | 0.0124 | 0.0062 | 0.0217 |
| DIN (mg/l)                | 0.1330 | 0.0854 | 0.0938 | 0.0560 | 0.0966 |
| NH <sub>4</sub> -N (mg/l) | 0.0644 | 0.0336 | 0.0280 | 0.0224 | 0.0252 |
| NO <sub>2</sub> -N (mg/l) | 0.0084 | 0.0070 | 0.0084 | 0.0070 | 0.0112 |
| NO <sub>3</sub> -N (mg/l) | 0.0588 | 0.0420 | 0.0560 | 0.0252 | 0.0588 |
| クロロフィルa (μg/l)            | 4.0    | 10.4   | 6.8    | 17.8   | 9.2    |
| フェオ色素 (μg/l)              | 20.2   | 48.2   | 32.4   | 73.7   | 37.2   |

付表—A.3 水質分析結果 (昭和59年7月23日～8月2日)

A.3.1 マイクロゾム(A)表層

| 項目                 | 日 目    | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 7      | 8      | 10     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS                 | (mg/l) | 9.00   | 9.66   | 6.12   | 9.14   | 7.40   | 6.50   | 3.12   | 2.60   | 2.40   |
| POC                | (mg/l) | 1.6770 | 1.7144 | 1.5179 | 1.5049 | 1.4040 | 1.3395 | 0.7210 | 1.3091 | 0.5282 |
| PON                | (mg/l) | 0.2036 | 0.2396 | 0.2219 | 0.2159 | 0.1862 | 0.1726 | 0.1167 | 0.1500 | 0.0795 |
| POP                | (mg/l) | 0.048  | 0.042  | 0.043  | 0.041  | 0.038  | 0.036  | 0.031  | 0.032  | 0.021  |
| DIP                | (mg/l) | 0      | 0.003  | 0.003  | 0      | 0      | 0      | 0.003  | 0.003  | 0.004  |
| DIN                | (mg/l) | 0.033  | 0.010  | 0.019  | 0.009  | 0.015  | 0.013  | 0.014  | 0.014  | 0.050  |
| NH <sub>4</sub> -N | (mg/l) | 0.024  | 0.009  | 0.015  | 0.008  | 0.013  | 0.013  | 0.011  | 0.013  | 0.018  |
| NO <sub>2</sub> -N | (mg/l) | 0.004  | 0.001  | 0.001  | 0.002  | 0.001  | 0      | <0.001 | <0.001 | 0.005  |
| NO <sub>3</sub> -N | (mg/l) | 0.005  | 0      | 0.002  | 0      | 0.001  | <0.001 | 0.001  | <0.001 | 0.027  |
| クロロフィルa            | (μg/l) | 75.7   | 50.1   | 46.8   | 39.8   | 26.1   | 20.7   | 8.3    | 7.5    | 8.7    |
| フェオ色素              | (μg/l) | 313.2  | 145.5  | 296.1  | 184.8  | 71.7   | 70.9   | 59.5   | 46.5   | 38.8   |
| K <sub>j</sub> -N  | (mg/l) | 0.684  | 0.684  | 0.643  | 0.552  | 0.504  | 0.547  | 0.578  | 0.596  | 0.523  |

A.3.2 マイクロゾム(A)中層

| 項目                 | 日 目    | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 7      | 8      | 10     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS                 | (mg/l) | 8.50   | 8.14   | 7.00   | 6.60   | 7.60   | 8.00   | 4.12   | 2.20   | 1.80   |
| POC                | (mg/l) | 1.3392 | 1.3685 | 1.5095 | 1.4634 | 1.4839 | 1.4426 | 1.0605 | 1.4511 | 0.5460 |
| PON                | (mg/l) | 0.1809 | 0.2121 | 0.2363 | 0.2223 | 0.2109 | 0.1857 | 0.1388 | 0.1582 | 0.0942 |
| POP                | (mg/l) | 0.043  | 0.139  | 0.051  | 0.043  | 0.041  | 0.042  | 0.035  | 0.028  | 0.023  |
| DIP                | (mg/l) | 0      | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0      | 0      | 0.001  | 0.009  |
| DIN                | (mg/l) | 0.024  | 0.009  | 0.013  | 0.009  | 0.013  | 0.016  | 0.019  | 0.010  | 0.059  |
| NH <sub>4</sub> -N | (mg/l) | 0.019  | 0.007  | 0.012  | 0.008  | 0.012  | 0.015  | 0.016  | 0.009  | 0.023  |
| NO <sub>2</sub> -N | (mg/l) | 0.004  | 0.001  | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0      | <0.001 | <0.001 | 0.007  |
| NO <sub>3</sub> -N | (mg/l) | 0.001  | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 | 0.001  | 0.001  | <0.001 | 0.028  |
| クロロフィルa            | (μg/l) | 63.0   | 64.7   | 59.9   | 38.4   | 32.4   | 25.4   | 9.0    | 5.6    | 9.9    |
| フェオ色素              | (μg/l) | 275.3  | 374.8  | 315.2  | 227.0  | 186.8  | 127.2  | 60.0   | 43.8   | 53.3   |
| K <sub>j</sub> -N  | (mg/l) | 0.847  | 0.687  | 0.583  | 0.569  | 0.553  | 0.549  | 0.535  | 0.584  | 0.401  |

A.3.3 マイクロゾム(A)底層

| 項目                 | 日 目    | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 7      | 8      | 10     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS                 | (mg/l) | 7.37   | 9.70   | 12.25  | 6.50   | 9.60   | 9.75   | 5.75   | 2.80   | 2.40   |
| POC                | (mg/l) | 1.2180 | 1.1237 | 1.4695 | 1.2615 | 1.6171 | 1.9780 | 1.4321 | 1.4180 | 0.4526 |
| PON                | (mg/l) | 0.1640 | 0.1595 | 0.2227 | 0.1866 | 0.2429 | 0.2784 | 0.1731 | 0.1591 | 0.0803 |
| POP                | (mg/l) | 0.033  | 0.037  | 0.046  | 0.035  | 0.043  | 0.051  | 0.033  | 0.028  | 0.018  |
| DIP                | (mg/l) | 0      | 0.003  | 0      | 0.001  | 0.003  | 0      | 0.003  | 0.007  | 0.004  |
| DIN                | (mg/l) | 0.042  | 0.028  | 0.010  | 0.013  | 0.015  | 0.012  | 0.015  | 0.007  | 0.022  |
| NH <sub>4</sub> -N | (mg/l) | 0.027  | 0.016  | 0.010  | 0.008  | 0.011  | 0.012  | 0.013  | 0.006  | 0.015  |
| NO <sub>2</sub> -N | (mg/l) | 0.005  | 0.004  | <0.004 | 0.001  | 0      | 0      | 0.001  | 0      | <0.001 |
| NO <sub>3</sub> -N | (mg/l) | 0.010  | 0.007  | 0      | 0.003  | 0.003  | <0.001 | 0      | <0.001 | 0.006  |
| クロロフィルa            | (μg/l) | 61.5   | 23.8   | 37.2   | 42.3   | 42.5   | 46.5   | 8.4    | 5.7    | 6.2    |
| フェオ色素              | (μg/l) | 168.2  | 99.6   | 182.2  | 339.0  | 302.1  | 306.1  | 61.6   | 42.9   | 34.0   |
| K <sub>j</sub> -N  | (mg/l) | 0.614  | 0.666  | 0.696  | 0.607  | 0.637  | 0.649  | 0.642  | 0.523  | 0.426  |

A.3.4 マイクロゾム(B)表層

| 項目                 | 日 目    | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 7      | 8      | 10     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS                 | (mg/l) | 9.42   | 8.57   | 7.14   | 6.40   | 6.40   | 5.80   | 5.40   | 2.60   | 3.00   |
| POP                | (mg/l) | 1.6717 | 1.7467 | 1.4576 | 1.2653 | 1.1985 | 0.9934 | 1.0796 | 1.2810 | 0.6659 |
| PON                | (mg/l) | 0.1994 | 0.2263 | 0.1962 | 0.1717 | 0.1617 | 0.1298 | 0.1483 | 0.1574 | 0.1050 |
| POP                | (mg/l) | 0.056  | 0.023  | 0.038  | 0.017  | 0.033  | 0.029  | 0.033  | 0.040  | 0.043  |
| DIP                | (mg/l) | 0      | 0.003  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0.007  |
| DIN                | (mg/l) | 0.023  | 0.013  | 0.017  | 0.006  | 0.013  | 0.010  | 0.013  | 0.010  | 0.285  |
| NH <sub>4</sub> -N | (mg/l) | 0.015  | 0.011  | 0.015  | 0.005  | 0.011  | 0.010  | 0.011  | 0.007  | 0.128  |
| NO <sub>2</sub> -N | (mg/l) | 0.005  | 0.001  | <0.001 | 0.002  | <0.001 | 0      | 0      | <0.001 | 0.023  |
| NO <sub>3</sub> -N | (mg/l) | 0.003  | <0.001 | 0.002  | 0      | <0.001 | 0      | 0.001  | 0.002  | 0.133  |
| クロロフィルa            | (μg/l) | 76.6   | 80.7   | 59.6   | 41.2   | 23.5   | 18.9   | 4.0    | 6.1    | 9.8    |
| フェオ色素              | (μg/l) | 268.0  | 316.7  | 231.6  | 159.8  | 74.1   | 35.0   | 26.6   | 24.9   | 36.1   |
| K <sub>J</sub> -N  | (mg/l) | 0.689  | 0.687  | 0.683  | 0.583  | 0.572  | 0.491  | 0.514  | 0.540  | 0.760  |

A.3.5 マイクロゾム(B)中層

| 項目                 | 日 目    | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 7      | 8      | 10     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS                 | (mg/l) | 11.57  | 9.85   | 6.00   | 6.20   | 6.60   | 5.00   | 3.80   | 2.60   | 2.80   |
| POP                | (mg/l) | 1.6264 | 1.3096 | 1.1431 | 1.1918 | 1.1324 | 0.9788 | 1.0482 | 0.9182 | 0.7081 |
| PON                | (mg/l) | 0.2183 | 0.2031 | 0.1517 | 0.1611 | 0.1518 | 0.1295 | 0.1224 | 0.1097 | 0.1050 |
| POP                | (mg/l) | 0.050  | 0.042  | 0.029  | 0.021  | 0.030  | 0.022  | 0.023  | 0.023  | 0.043  |
| DIP                | (mg/l) | 0      | 0.003  | 0      | 0.001  | 0.004  | 0      | 0      | 0      | 0.007  |
| DIN                | (mg/l) | 0.029  | 0.007  | 0.022  | 0.008  | 0.016  | 0.010  | 0.018  | 0.010  | 0.076  |
| NH <sub>4</sub> -N | (mg/l) | 0.019  | 0.006  | 0.019  | 0.007  | 0.013  | 0.009  | 0.016  | 0.009  | 0.022  |
| NO <sub>2</sub> -N | (mg/l) | 0.005  | <0.001 | <0.001 | 0.001  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0.011  |
| NO <sub>3</sub> -N | (mg/l) | 0.005  | <0.001 | 0.002  | 0      | 0.002  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.042  |
| クロロフィルa            | (μg/l) | 108.3  | 55.1   | 48.7   | 43.0   | 23.8   | 15.7   | 4.5    | 3.8    | 7.7    |
| フェオ色素              | (μg/l) | 358.0  | 229.7  | 225.8  | 198.0  | 69.8   | 90.7   | 30.7   | 27.5   | 37.8   |
| K <sub>J</sub> -N  | (mg/l) | 0.818  | 0.623  | 0.552  | 0.597  | 0.654  | 0.482  | 0.412  | 0.587  | 0.677  |

A.3.6 マイクロゾム(B)底層

(5日目は欠測)

| 項目                 | 日 目    | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5 | 7      | 9      | 10     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|--------|--------|--------|
| SS                 | (mg/l) | 9.14   | 6.40   | 6.14   | 5.69   | 6.60   |   | 4.00   | 1.80   | 2.20   |
| POC                | (mg/l) | 1.2967 | 1.1498 | 1.1262 | 1.0196 | 1.0275 |   | 0.7645 | 0.7122 | 0.5477 |
| PON                | (mg/l) | 0.1809 | 0.1619 | 0.1578 | 0.1328 | 0.1424 |   | 0.1021 | 0.1147 | 0.0823 |
| POP                | (mg/l) | 0.040  | 0.050  | 0.036  | 0.030  | 0.035  |   | 0.023  | 0.023  | 0.029  |
| DIP                | (mg/l) | 0      | 0.003  | 0      | 0      | 0.004  |   | 0      | 0      | 0.010  |
| DIN                | (mg/l) | 0.026  | 0.025  | 0.021  | 0.009  | 0.010  |   | 0.013  | 0.009  | 0.087  |
| NH <sub>4</sub> -N | (mg/l) | 0.018  | 0.006  | 0.012  | 0.007  | 0.010  |   | 0.012  | 0.008  | 0.045  |
| NO <sub>2</sub> -N | (mg/l) | 0.003  | 0.005  | 0.002  | 0.002  | 0      |   | 0      | 0      | 0.009  |
| NO <sub>3</sub> -N | (mg/l) | 0.004  | 0.013  | 0.006  | 0      | <0.001 |   | 0.001  | 0.001  | 0.031  |
| クロロフィルa            | (μg/l) | 54.6   | 43.7   | 42.8   | 35.6   | 22.8   |   | 5.4    | 9.0    | 7.1    |
| フェオ色素              | (μg/l) | 206.1  | 152.7  | 128.3  | 116.0  | 69.1   |   | 42.5   | 59.1   | 38.0   |
| K <sub>J</sub> -N  | (mg/l) | 0.703  | 0.644  | 0.601  | 0.456  | 0.542  |   | 0.375  | 0.328  | 0.459  |

マイクロソズムとセジメントトラップとを用いた沿岸域での浮遊粒子挙動の観測

A.3.7 現場海域表層

| 項目                 | 日 目          | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 7      | 8      | 10     |
|--------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS                 | (mg/l)       | 8.28   | 8.16   | 9.09   | 6.46   | 4.90   | 3.56   | 3.50   | 2.91   | 1.70   |
| POC                | (mg/l)       | 1.6355 | 1.3362 | 1.6121 | 1.0977 | 0.9650 | 0.4127 | 0.6859 | 0.6983 | 0.4365 |
| PON                | (mg/l)       | 0.1816 | 0.1760 | 0.2416 | 0.1710 | 0.1349 | 0.0559 | 0.1075 | 0.1095 | 0.0729 |
| POP                | (mg/l)       | 0.035  | 0.086  | 0.061  | 0.043  | 0.023  | 0.018  | 0.038  | 0.035  | 0.068  |
| DIP                | (mg/l)       | 0.003  | 0.001  | 0      | 0.001  | 0.001  | 0.007  | 0.004  | 0.001  | 0.009  |
| DIN                | (mg/l)       | 0.024  | 0.023  | 0.039  | 0.042  | 0.059  | 0.091  | 0.076  | 0.028  | 0.051  |
| NH <sub>4</sub> -N | (mg/l)       | 0.016  | 0.009  | 0.008  | 0.014  | 0.019  | 0.048  | 0.038  | 0.014  | 0.030  |
| NO <sub>2</sub> -N | (mg/l)       | 0.004  | 0.007  | 0.011  | 0.007  | 0.006  | 0.006  | 0.007  | 0.004  | 0.006  |
| NO <sub>3</sub> -N | (mg/l)       | 0.003  | 0.006  | 0.019  | 0.020  | 0.034  | 0.042  | 0.030  | 0.009  | 0.014  |
| クロロフィルa            | ( $\mu$ g/l) | 84.1   | 81.2   | 86.1   | 55.2   | 22.3   | 10.5   | 13.3   | 20.4   | 8.1    |
| フェオ色素              | ( $\mu$ g/l) | 334.0  | 557.5  | 325.1  | 148.5  | 88.5   | 37.9   | 109.2  | 102.1  | 45.8   |
| K <sub>j</sub> -N  | (mg/l)       | 0.768  | 0.715  | 1.421  | 0.575  | 0.748  | 0.304  | 0.520  | 0.688  | 0.648  |

A.3.8 現場海域中層

| 項目                 | 日 目          | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 7      | 8      | 10     |
|--------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS                 | (mg/l)       | 9.00   | 5.25   | 4.13   | 3.70   | 4.80   | 3.33   | 3.60   | 1.66   | 2.30   |
| POC                | (mg/l)       | 1.3847 | 0.8546 | 0.5790 | 0.5765 | 0.8297 | 0.3784 | 0.7454 | 0.4205 | 0.4872 |
| PON                | (mg/l)       | 0.1886 | 0.1194 | 0.0751 | 0.0770 | 0.1346 | 0.0585 | 0.1269 | 0.0706 | 0.0766 |
| POP                | (mg/l)       | 0.043  | 0.042  | 0.022  | 0.026  | 0.033  | 0.018  | 0.025  | 0.018  | 0.014  |
| DIP                | (mg/l)       | 0      | 0.001  | 0.003  | 0.007  | 0.003  | 0.007  | 0.006  | 0.015  | 0.039  |
| DIN                | (mg/l)       | 0.023  | 0.039  | 0.080  | 0.062  | 0.038  | 0.097  | 0.087  | 0.082  | 0.382  |
| NH <sub>4</sub> -N | (mg/l)       | 0.018  | 0.014  | 0.041  | 0.033  | 0.013  | 0.045  | 0.034  | 0.030  | 0.225  |
| NO <sub>2</sub> -N | (mg/l)       | 0.003  | 0.010  | 0.009  | 0.008  | 0.005  | 0.007  | 0.010  | 0.007  | 0.029  |
| NO <sub>3</sub> -N | (mg/l)       | 0.001  | 0.014  | 0.029  | 0.026  | 0.019  | 0.051  | 0.043  | 0.044  | 0.127  |
| クロロフィルa            | ( $\mu$ g/l) | 67.0   | 47.7   | 32.8   | 26.3   | 29.3   | 10.0   | 29.2   | 9.0    | 15.4   |
| フェオ色素              | ( $\mu$ g/l) | 262.1  | 78.6   | 119.9  | 49.5   | 99.5   | 41.0   | 60.6   | 49.6   | 70.1   |
| K <sub>j</sub> -N  | (mg/l)       | 0.866  | 0.565  | 0.490  | 0.522  | 0.576  | 0.348  | 0.496  | 0.555  | 0.436  |

A.3.9 現場海域底層

| 項目                 | 日 目          | 0      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 7      | 8      | 10     |
|--------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SS                 | (mg/l)       | 6.28   | 2.81   | 2.95   | 3.26   | 5.20   | 2.86   | 3.00   | 1.35   | 2.26   |
| POC                | (mg/l)       | 0.9025 | 0.4786 | 0.2554 | 0.4684 | 0.5622 | 0.6333 | 0.4964 | 0.2892 | 0.3252 |
| PON                | (mg/l)       | 0.1017 | 0.0593 | 0.0416 | 0.0567 | 0.0675 | 0.0736 | 0.0590 | 0.0314 | 0.0367 |
| POP                | (mg/l)       | 0.038  | 0.023  | 0.009  | 0.014  | 0.018  | 0.013  | 0.022  | 0.006  | 0.015  |
| DIP                | (mg/l)       | 0      | 0.007  | 0.007  | 0.004  | 0.006  | 0.011  | 0.008  | 0.018  | 0.015  |
| DIN                | (mg/l)       | 0.027  | 0.095  | 0.113  | 0.098  | 0.110  | 0.105  | 0.118  | 0.107  | 0.095  |
| NH <sub>4</sub> -N | (mg/l)       | 0.016  | 0.047  | 0.055  | 0.055  | 0.036  | 0.047  | 0.034  | 0.027  | 0.044  |
| NO <sub>2</sub> -N | (mg/l)       | 0.004  | 0.010  | 0.008  | 0.008  | 0.008  | 0.008  | 0.008  | 0.008  | 0.008  |
| NO <sub>3</sub> -N | (mg/l)       | 0.006  | 0.038  | 0.050  | 0.034  | 0.065  | 0.057  | 0.076  | 0.071  | 0.042  |
| クロロフィルa            | ( $\mu$ g/l) | 70.4   | 24.7   | 9.6    | 15.5   | 24.0   | 8.6    | 10.1   | 7.1    | 5.0    |
| フェオ色素              | ( $\mu$ g/l) | 158.7  | 28.3   | 18.3   | 32.0   | 46.4   | 27.4   | 77.9   | 51.5   | 33.4   |
| K <sub>j</sub> -N  | (mg/l)       | 0.661  | 0.403  | 0.371  | 0.417  | 0.323  | 0.305  | 0.371  | 0.443  | 0.275  |

**付録—B プランクトン計数結果**

ここには、以下の2つの表をかかげている。

**付表—B.1** 植物プランクトン計数結果（昭和59年7月23日～8月2日）

**付表—B.2** 動物プランクトン計数結果（昭和59年7月23日～8月2日）







B.1.3 マイクロコズム (B) (7月23日~7月27日)

(単位: cells/ml)

| 門                                    | 綱                        | 種名                           | 経過日数(日)     |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------|-------------------------|-----|------|-----|------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---|--|--|
|                                      |                          |                              | 0           |                         |     | 1    |     |      | 2    |     |     | 3    |     |     | 4   |     |   |  |  |
|                                      |                          |                              | 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>Ceratium furca</i>        |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | <i>Dinophysis acuminata</i>  |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | <i>Gyrodinium sp.</i>        |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | <i>Oxyphysis oxytoxoides</i> |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | <i>Prorocentrum minimum</i>  |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | <i>P. triestinum</i>         |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | <i>Prooperidinium spp.</i>   |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | <i>Scrippsiella sp.</i>      |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | <i>Dinoflagellata</i>        |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | 有色植物                         | 黄色鞭毛藻<br>珪藻 | <i>Dictyocha fibula</i> |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Ebria tripartita</i>              |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Skeletonema costatum</i>          |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Leptocylindrus danicus</i>        |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Coscinodiscus sp.</i>             |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Thalassiosira spp.</i>            |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Chaetoceros sp. (cf. sociale)</i> |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Chaetoceros spp.</i>              |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Cerataulina pelagica</i>          |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Eucampia zoodiacus</i>            |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Navicula sp.</i>                  |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Nitzschia closterium</i>          |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Nitzschia sp. (cf. pungens)</i>   |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| <i>Neodelphinis pelagica</i>         |                          |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
| ミドリムシ植物                              | ミドリムシ                    |                              |             |                         |     |      |     |      |      |     |     |      |     |     |     |     |   |  |  |
|                                      |                          | 750                          | 1350        | 1240                    | 960 | 1460 | 788 | 1310 | 1240 | 563 | 788 | 1040 | 360 | 325 | 390 | 300 |   |  |  |
| 不明微細鞭毛藻類                             | <i>Micro-flagellates</i> | 900                          | 600         | 1800                    | 300 | 400  | 290 | 210  | 300  | 100 | 230 | 290  | 150 | 250 | 225 | 165 |   |  |  |

B.1.4 マイクロロズム(B) (7月28日~8月2日)

(単位: cells/ml)

| 門                                    | 綱                 | 種名                                 | 経過日数(日)     |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------|-------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|--|--|--|--|--|--|--|
|                                      |                   |                                    | 5           |                         | 7  |     |     | 8   |     |     | 10  |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   |                                    | 上           | 中                       | 下  | 上   | 中   | 下   | 上   | 中   | 下   | 上   | 中   | 下   |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 渦鞭毛植物                                | 渦鞭毛藻              | <i>Ceratium furca</i>              |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Dinophysis acuminata</i>        |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Gyrodinium sp.</i>              |             |                         |    | 5   |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Oxyphysis oxytoxoides</i>       |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Prorocentrum minimum</i>        |             |                         | 欠  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>P. triestinum</i>               |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Protoperidinium spp.</i>        | 225         | 135                     |    | 30  | 15  | 15  | 63  | 9   | 9   | 27  | 23  | 15  |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Scrippsiella sp.</i>            | 5           | 15                      |    |     | 5   | 10  | 10  | 5   |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Dinoflagellata</i>              | 5           | 5                       |    | 5   | 10  | 10  |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | 有色植物                               | 黄色鞭毛藻<br>珪藻 | <i>Dictyocha fibula</i> | 15 | 15  |     | 10  | 20  | 20  | 70  | 25  | 10  | 5   | 5 |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Ebria triparitita</i>             |                   |                                    |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Skeletonema costatum</i>          |                   |                                    |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Leptocylindrus danicus</i>        |                   |                                    |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Coscinodiscus sp.</i>             | 330               |                                    |             | 375                     |    | 30  | 15  | 60  |     | 10  | 5   | 5   | 5   | 10  |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Thalassiosira spp.</i>            |                   |                                    |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Chaetoceros sp. (cf. sociale)</i> |                   |                                    |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Chaetoceros spp.</i>              |                   |                                    |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Cerataullina pelagica</i>         | 5810              |                                    |             | 6360                    |    | 450 | 375 | 300 | 21  | 72  | 63  | 8   | 8   |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| <i>Eucampia zoodiacus</i>            | 165               |                                    |             | 390                     |    | 60  | 60  | 105 | 42  | 27  | 9   | 9   | 15  |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| ミドリムシ植物                              | ミドリムシ             | <i>Navicula sp.</i>                | 15          |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Nitzschia closterium</i>        |             |                         |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Nitzschia sp. (cf. pungens)</i> |             | 10                      |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   | <i>Neodelphinis pelagica</i>       | 10          |                         |    |     | 30  | 42  |     | 180 | 5   |     |     |     |   |  |  |  |  |  |  |  |
| 不明微細鞭毛藻類                             | Micro-flagellates | <i>Englenaceae</i>                 | 60          | 225                     | 欠  | 60  | 135 | 180 | 137 | 144 | 198 | 90  | 75  | 60  |   |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |                   |                                    | 300         | 255                     | 欠  | 255 | 225 | 495 | 315 | 153 | 297 | 117 | 173 | 203 |   |  |  |  |  |  |  |  |

種川恭史・三好英一・関根好幸・堀江 毅

B.1.5 現場海域 (7月23日~7月27日)

(単位: cells/ml)

| 門  | 綱           | 種名   | 経過日数(日) |       |       |       |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|--|-------------|--|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|--|--|
|  |             |  | 0       |       |       | 1     |      |      | 2     |      |      | 3    |      |      | 4    |      |      |   |  |  |
|  |             |  | 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>Ceratium farca</i>                        | 5       |       |       |       |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>Dinophysis acuminata</i>                  | 10      |       |       | 5     |      | 10   | 5     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>Gyrodinium</i> sp.                        |         |       |       |       |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>Oxyphysis oxytoxoides</i>                 |         |       |       |       |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>Prorocentrum minimum</i>                  | 675     | 450   | 90    | 180   | 23   | 180  | 10    |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>P. triestirum</i>                         | 50      | 10    |       | 15    |      | 20   | 5     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>Protoperidinium</i> spp.                  | 38      | 20    | 10    | 25    |      | 20   |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>Scrippsella</i> sp.                       | 50      |       |       | 35    | 10   | 5    | 5     |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
| 有色植物                                       | 黄色鞭毛藻<br>珪藻 | <i>Dictyocha fibula</i>                      | 5       |       |       | 5     | 5    | 10   | 20    | 5    | 5    | 20   | 45   | 5    | 10   | 10   | 15   |   |  |  |
|  |             | <i>Ebria tripariita</i>                      |         |       |       | 25    |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>Skeletonema costatum</i>                  | 5       |       |       | 25    | 5    |      |       |      |      |      |      |      | 10   | 30   |      |   |  |  |
|  |             | <i>Leptocylindrus danicus</i>                |         |       |       | 5     | 10   | 10   | 20    | 15   | 5    | 10   | 10   | 10   | 10   | 5    | 20   | 5 |  |  |
|  |             | <i>Coscinodiscus</i> sp.                     |         |       |       |       |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>Thalassiosira</i> spp.                    | 636     | 338   | 510   | 1400  | 383  | 90   | 1600  | 158  | 45   | 180  | 150  | 60   | 195  | 270  | 180  |   |  |  |
|  |             | <i>Chaetoceros</i> sp. (cf. <i>sociata</i> ) |         |       |       | 30    |      |      |       |      |      |      |      |      |      | 15   | 60   |   |  |  |
|  |             | <i>Chaetoceros</i> spp.                      |         |       |       |       |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
|  |             | <i>Cerataulina pelagica</i>                  | 12200   | 14900 | 13500 | 16300 | 9650 | 3200 | 11200 | 3890 | 1600 | 5670 | 3300 | 2210 | 3680 | 3350 | 2780 |   |  |  |
|  |             | <i>Eucampia zoodiacus</i>                    |         |       |       | 60    | 15   | 25   | 15    | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   | 45   |   |  |  |
|  |             | <i>Navicula</i> sp.                          | 488     | 488   | 210   | 450   | 495  | 158  | 430   | 135  | 203  | 360  | 330  | 150  | 285  | 195  | 390  |   |  |  |
|  |             | <i>Nitzschia closterium</i>                  |         |       |       | 5     |      |      |       | 5    |      |      |      |      | 5    | 5    | 15   |   |  |  |
| <i>Nitzschia</i> sp. (cf. <i>pungens</i> ) |             |  |         |       |       |       |      | 10   |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
| <i>Neodelphinis pelagica</i>               |             |  |         |       | 5     | 30    |      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |      |   |  |  |
| ミドリムシ植物                                    | ミドリムシ       | <i>Euglenaceae</i>                           | 1010    | 1310  | 600   | 1800  | 225  | 30   | 855   | 45   | 473  | 30   |      | 315  | 360  | 60   |      |   |  |  |
| 不明微細鞭毛藻類                                   |             | <i>Micro-flagellates</i>                     | 2700    | 1800  | 500   | 315   | 200  | 70   | 340   | 100  | 110  | 250  | 120  | 240  | 405  | 165  |      |   |  |  |

B.1.6 現場海域 (7月28日~8月2日)

(単位: cells/ml)

| 門                             | 綱           | 種名                                   | 経過日数(日) |     |      | 7    |      |     | 8   |     |     | 10  |    |    |   |   |   |   |   |   |
|-------------------------------|-------------|--------------------------------------|---------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|---|---|---|---|---|---|
|                               |             |                                      | 上       | 中   | 下    | 上    | 中    | 下   | 上   | 中   | 下   | 上   | 中  | 下  |   |   |   |   |   |   |
| 渦鞭毛植物                         | 渦鞭毛藻        | <i>Ceratium furca</i>                |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Dinophysis acuminata</i>          |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Gyrodinium sp.</i>                |         |     | 5    |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Oxyphysis oxytoxoides</i>         |         |     |      |      | 15   | 15  | 15  | 5   |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Prorocentrum minimum</i>          |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>P. triestinum</i>                 |         |     | 15   | 60   | 15   | 15  | 153 | 9   |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Protoperidinium spp.</i>          |         |     | 10   | 45   | 20   | 10  | 10  | 5   |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Scrippsiella sp.</i>              |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Dinoflagellata</i>                |         |     | 5    |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             |                                      |         |     | 5    |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
| 有色植物                          | 黄色鞭毛藻<br>珪藻 | <i>Dictyocha fibula</i>              |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Ebria tripartita</i>              |         |     | 5    | 45   | 15   | 20  |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Skeletonema costatum</i>          |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Leptocylindrus danicus</i>        |         |     | 5    |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Coscinodiscus sp.</i>             |         |     | 10   | 10   | 15   | 30  | 5   | 25  | 5   | 5   | 20 |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Thalassiosira spp.</i>            |         |     | 30   | 165  | 45   | 45  | 15  |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Chaetoceros sp. (cf. sociale)</i> |         |     |      |      | 15   |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Chaetoceros spp.</i>              |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Cerataulina pelagica</i>          |         |     | 2150 | 1370 | 1650 | 30  | 30  | 75  | 9   |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Eucampia zodiacus</i>             |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Navicula sp.</i>                  |         |     | 285  | 450  | 360  | 15  | 75  | 15  | 9   | 54  | 4  | 4  | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 |
|                               |             | <i>Nitzschia closterium</i>          |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             | <i>Nitzschia sp. (cf. pungens)</i>   |         |     |      |      | 5    | 15  | 15  | 15  | 15  |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
| <i>Neodelphinois pelagica</i> |             |                                      |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |
|                               |             |                                      | 15      | 45  | 15   | 480  | 270  | 195 | 324 | 63  | 126 | 60  | 56 | 15 |   |   |   |   |   |   |
| ミドリムシ植物                       | ミドリムシ       | <i>Englenaceae</i>                   | 180     | 225 | 120  | 960  | 480  | 360 | 72  | 162 | 135 | 105 | 49 | 56 |   |   |   |   |   |   |
| 不明微細鞭毛藻類                      |             | <i>Micro-flagellates</i>             |         |     |      |      |      |     |     |     |     |     |    |    |   |   |   |   |   |   |

付表-B.2 動物プラクトン計数結果 (昭和59年7月23日～8月2日)  
 B.2.1 マイクロリズム(A) (7月23日～7月27日)

(単位: ind's/l)

| 門    | 綱(亜種)  | 種名   | 経過日数(日) |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|------|--------|--|---------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
|      |        |  | 0       |      |      | 1    |      |      | 2    |       |      | 3    |       |       | 4     |       |      |
|      |        |  | 上       | 中    | 下    | 上    | 中    | 下    | 上    | 中     | 下    | 上    | 中     | 下     | 上     | 中     | 下    |
| 原生動物 | 繊毛虫    | <i>Tiarira fusus</i>                             | 360     | 400  | 320  | 800  | 1120 | 2800 | 1600 | 1600  | 4320 | 3040 | 6080  | 21300 | 5760  | 2880  |      |
|      |        | <i>Mesodinium rubrum</i>                         | 2040    | 1520 | 1440 | 1600 | 1280 | 800  | 200  | 2600  | 800  | 480  | 1920  | 1440  | 480   | 960   |      |
|      |        | <i>Tintinnopsis</i> spp.                         |         |      | 16   |      |      |      |      |       |      |      |       | 24    |       | 8     |      |
|      |        | <i>Helicostomella</i> sp. (cf. <i>subulata</i> ) |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>Furella taratkaensis</i>                      | 120     | 80   | 160  | 100  | 160  | 400  | 200  | 1200  | 480  | 320  | 320   | 180   | 480   | 960   |      |
|      |        | <i>Tintinnidae</i> (cf. <i>Amphorellopsis</i> )  | 40      | 560  | 480  | 1440 | 960  | 800  | 9400 | 11600 | 3800 | 5440 | 18100 | 3360  | 78300 | 33100 | 6240 |
|      |        |  |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
| 腔腸動物 | ヒドロ虫   | <i>Hydroïda</i>                                  |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
| 袋形動物 | 輪虫     | <i>Rotatoria</i>                                 | 24      |      |      | 24   |      | 10   |      | 8     |      | 8    |       | 8     |       |       |      |
| 軟体動物 | 腹二枚    | <i>Veliger</i> larva                             | 16      | 32   | 112  | 16   | 160  | 10   |      | 30    | 24   | 8    | 48    | 16    | 24    |       |      |
|      |        | <i>Veliger</i> larva                             |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
| 環形動物 | 多毛     | <i>Nectochaeta</i> larva                         | 8       | 16   | 16   | 24   | 16   |      | 30   | 8     |      |      |       | 8     |       |       |      |
| 節足動物 | 甲殻(鰓脚) | <i>Podon polyphemoides</i>                       |         |      |      |      | 16   |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>Evadne tergestina</i>                         |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>Penilia avirostris</i>                        |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>Paracalanus parvus</i>                        | 8       |      |      |      | 16   | 24   | 8    |       |      |      | 8     | 24    | 24    |       |      |
|      |        | <i>Acartia clausi</i>                            | 8       |      |      |      | 16   | 24   | 10   | 30    |      |      | 56    | 8     | 8     |       |      |
|      |        | <i>nauplius</i>                                  |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>copepodite</i>                                |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>nauplius</i>                                  |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>nauplius</i>                                  |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>nauplius</i>                                  |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
| (蔓足) | (蔓足)   | <i>Oithona aruensis</i>                          | 864     | 1360 | 800  | 32   | 568  | 1490 | 80   | 370   | 990  | 8    | 64    | 424   | 8     | 64    |      |
|      |        | <i>O. nana</i>                                   | 352     | 720  | 80   |      | 264  | 1820 | 30   | 280   | 1020 |      | 16    | 376   |       | 136   |      |
|      |        | <i>O. similis</i>                                |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>Oncaea</i> sp.                                |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>Microsetella norvegica</i>                    |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>Harpacticoida</i>                             |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>Copepoda</i>                                  | 16      |      |      |      | 24   |      | 20   | 10    |      |      | 8     |       |       | 24    |      |
|      |        | <i>Cirripedia</i>                                |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
|      |        | <i>nauplii</i>                                   |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       | 8     |      |
|      |        | <i>nauplii</i>                                   |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
| 毛顎動物 | 矢虫     | <i>Sagitta crassa</i>                            |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
| 棘皮動物 | クモヒトデ  | <i>Ophiopluteus</i> larva                        |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
| 原索動物 | 尾索     | <i>Oikopleura dioica</i>                         | 88      | 104  | 56   |      | 16   | 40   |      |       |      |      |       |       | 8     |       |      |
|      |        | <i>Ascidian tadpole</i> larva                    |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |
| その他  | 他      | <i>Noctiluca scintillans</i>                     |         |      |      |      |      |      |      |       |      |      |       |       |       |       |      |



(単位: ind's/D)

B.2.3 マイクロロズム(B) (7月23日~7月27日)

| 門    | 綱(亜種) | 種名   | 経過日数(日) |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|------|-------|--|---------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|---|----|
|      |       |  | 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>Tiarira fusus</i>                             | 240     | 400  | 160 | 160  | 1120 | 400  | 200  | 3000 | 4320 | 1920 | 1760 | 6880 | 7200 | 1920 |    |   |    |
|      |       | <i>Mesodinium rubrum</i>                         | 2480    | 1680 | 880 | 1600 | 1440 | 600  | 1200 | 800  | 320  | 1760 | 1280 | 320  | 100  | 960  |    |   |    |
|      |       | <i>Heicostomella</i> spp. (cf. <i>subulata</i> ) | 4       | 24   | 16  | 8    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Favella tarakaensis</i>                       | 80      | 50   | 560 | 960  | 800  | 480  | 4000 | 3360 | 3040 | 4000 | 3600 | 3360 | 3360 | 1920 |    |   |    |
|      |       | <i>Eutimninus</i> spp.                           | 80      | 80   |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Naked ciliata</i>                             |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Hydroida</i>                                  |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Rotatoria</i>                                 |         | 8    | 8   |      | 8    | 10   | 10   |      |      |      | 8    |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Veliger larva</i>                             |         |      | 24  | 40   | 8    | 240  | 10   | 10   | 190  | 8    | 8    | 8    | 8    | 8    | 8  | 8 | 48 |
|      |       | <i>Veliger larva</i>                             |         |      | 8   | 8    |      | 64   | 30   | 20   |      | 48   | 24   | 40   |      | 16   |    |   |    |
| 腔腸動物 | ヒドロ虫  | <i>Nectochaeta larva</i>                         | 16      |      | 8   |      | 16   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Podon polyphemoides</i>                       |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Evadne tergestina</i>                         | 4       | 8    | 16  |      | 16   | 48   | 40   |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Penilia avirostris</i>                        |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Paracalanus parvus</i>                        |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Acartia clausi</i>                            |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Oithona aruensis</i>                          | 800     | 1760 | 640 | 152  | 384  | 3670 | 30   | 190  | 990  | 24   | 48   | 288  | 64   | 32   | 72 | 8 |    |
|      |       | <i>O. nana</i>                                   | 800     | 160  | 64  | 48   | 32   | 1060 | 20   | 70   | 1020 | 8    | 16   | 122  | 32   | 48   | 88 |   |    |
|      |       | <i>O. similis</i>                                |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Oncaea</i> sp.                                |         |      |     |      |      |      | 10   | 10   |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
| 節動物足 | (橈脚)  | <i>Microsetella norvegica</i>                    |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Haracticoida</i>                              |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Copepoda</i>                                  |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Cirripedia</i>                                |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>nauplius</i>                                  |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>copepodite</i>                                |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>nauplius</i>                                  |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>copepodite</i>                                |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>copepodite</i>                                |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>nauplius</i>                                  |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
| 毛顎動物 | 矢虫    | <i>Sagittia crassa</i>                           |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Ophiopluteus larva</i>                        |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       | <i>Oikopleura dioica</i>                         |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
| 棘皮動物 | クモヒトデ | <i>Ascidian tadpole larva</i>                    | 24      | 128  | 80  | 56   | 144  | 392  | 10   | 230  | 600  | 16   | 168  | 184  | 352  |      |    |   |    |
|      |       | <i>Noctiluca scintillans</i>                     |         |      |     |      | 8    | 10   |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
| 原索動物 | 尾索    |  |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       |  |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
| その他の | 他     |  |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |
|      |       |  |         |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |   |    |

(単位: ind's/l)

B.2.4 マイクロゾーム (B) (7月28日～8月2日)

| 門    | 綱(亜種)  | 種名   | 経過日数(日) |      |   | 5    |      |      | 7    |      |      | 8    |      |      | 10   |     |   |
|------|--------|--|---------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|---|
|      |        |  | 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>                             | 7520    | 3840 |   | 320  | 960  | 1440 | 50   | 50   | 320  | 320  | 160  | 160  | 100  | 960 |   |
|      |        | <i>Mesodinium rubrum</i>                         | 320     |      |   | 800  | 480  | 800  | 320  | 320  | 640  | 640  | 320  | 320  | 1120 | 160 |   |
|      |        | <i>Trintimopsis</i> spp.                         |         |      |   | 76   | 24   | 8    | 104  | 72   | 16   | 24   | 24   | 8    | 8    | 320 |   |
|      |        | <i>Helicostomella</i> sp. (cf. <i>subulata</i> ) |         | 欠    |   | 160  | 320  | 1120 | 960  | 800  | 1920 | 4480 | 6240 | 5280 |      |     |   |
|      |        | <i>Favella tarakaensis</i>                       | 4000    | 3360 |   | 3360 | 3520 | 4960 | 320  | 2560 | 3360 | 3360 | 2400 | 2080 |      |     |   |
| 腔腸動物 | ヒドロ虫   | <i>Hydroïda</i>                                  |         |      |   |      |      |      |      |      |      | 8    |      |      |      |     |   |
|      |        | <i>Rotatoria</i>                                 |         |      |   |      |      |      | 8    | 8    |      |      |      |      |      |     |   |
| 袋形動物 | 輪虫     | <i>Veliger larva</i>                             | 8       |      |   | 8    | 16   |      | 16   | 8    |      |      |      |      |      |     |   |
|      |        | <i>Veliger larva</i>                             | 48      |      |   | 156  | 32   |      | 320  | 64   |      |      | 168  | 48   | 8    |     |   |
| 軟体動物 | 腹二枚    | <i>Nectochaeta larva</i>                         | 96      | 16   |   | 288  | 32   | 8    | 448  | 56   | 8    | 144  | 24   |      |      |     |   |
|      |        | <i>Podom polyphemoides</i>                       |         |      |   | 8    |      |      | 8    |      |      |      | 48   | 8    |      |     |   |
| 環形動物 | 甲殻(鰓脚) | <i>Evadne tergestina</i>                         |         |      |   | 24   | 16   |      | 40   | 24   |      | 8    | 24   |      |      |     |   |
|      |        | <i>Penilia avirostris</i>                        |         |      |   | 40   | 16   |      | 16   | 24   |      | 8    | 16   | 16   |      |     |   |
|      |        | <i>Paracalanus parvus</i>                        | 8       | 16   |   | 16   | 8    |      | 320  | 544  | 656  | 712  | 760  | 440  |      |     |   |
|      |        | <i>Acartia clausi</i>                            | 168     | 96   |   | 140  | 320  | 384  | 320  | 544  | 656  | 712  | 760  | 440  |      |     |   |
|      |        | <i>Oithona aruensis</i>                          | 8       | 104  | 欠 | 708  | 216  | 16   | 2360 | 408  | 112  | 1110 | 752  | 208  |      |     |   |
|      |        | <i>O. nana</i>                                   |         |      |   | 8    | 8    |      | 8    | 8    |      | 16   |      |      |      |     |   |
|      |        | <i>O. similis</i>                                |         |      |   | 8    | 24   | 8    | 16   | 16   | 16   | 8    | 24   |      |      |     |   |
|      |        | <i>Oncaea</i> sp.                                |         |      |   | 56   | 16   |      | 16   | 8    |      | 88   |      |      |      |     |   |
|      |        | <i>Microsetella norvegica</i>                    |         |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
|      |        | <i>Harpacticotida</i>                            |         |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
| 毛顎動物 | 矢虫     | <i>Copepoda</i>                                  | 24      |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
|      |        | <i>Cirripedia</i>                                |         |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
| 棘皮動物 | クモヒトデ  | <i>Sagitta crassa</i>                            |         |      |   |      | 16   |      | 8    |      |      |      |      |      |      |     |   |
|      |        | <i>Ophioplateus larva</i>                        |         |      |   |      |      | 8    |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
| 原索動物 | 尾索     | <i>Oikopleura dioica</i>                         | 160     | 472  |   |      |      | 16   |      |      |      |      |      | 8    |      |     |   |
|      |        | <i>Ascidian tadpole larva</i>                    |         |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |
| その他の | 他      | <i>Noctiluca scintillans</i>                     |         |      |   | 16   | 16   | 8    | 8    | 16   | 8    | 8    | 8    |      |      |     |   |
|      |        |  |         |      |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |   |





B.2.6 現場海域 (7月28日～8月2日)

(単位: ind's/l)

| 門    | 綱(亜種)  | 種名   | 経過日数(日) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|------|--------|--|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|      |        |  | 5       |      |      | 7    |      |      | 8    |      |      | 10   |      |      |      |     |
|      |        |  | 上       | 中    | 下    | 上    | 中    | 下    | 上    | 中    | 下    | 上    | 中    | 下    |      |     |
| 原生動物 | 纖毛虫    | <i>Tiarra fusus</i>                              | 4000    | 5000 | 2000 | 100  | 400  | 200  | 300  | 100  | 100  | 100  | 100  |      |      |     |
|      |        | <i>Mesodinium rubrum</i>                         | 1400    | 200  | 400  | 800  | 1000 | 900  | 800  | 600  | 50   | 500  | 200  | 100  | 50   |     |
|      |        | <i>Tintinnopsis</i> spp.                         |         |      | 10   | 110  | 160  | 60   | 140  | 10   |      |      |      | 700  | 300  | 200 |
|      |        | <i>Helicostomella</i> sp. (cf. <i>subulata</i> ) | 200     | 1600 | 400  | 1800 | 2200 | 3500 | 2500 | 2300 | 2600 | 2600 | 5600 | 9700 | 3500 |     |
|      |        | <i>Favella taraiakaensis</i>                     | 2400    | 2200 | 1000 | 9400 | 7900 | 9600 | 2500 | 900  | 1600 | 1600 | 6500 | 2000 | 1800 |     |
|      |        | <i>Tintinnidae</i> (cf. <i>Amphorellopsis</i> )  |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Eutimnias</i> spp.                            |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Naked ciliata</i>                             |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| 腔腸動物 | ヒトコ虫   | <i>Hydrozoa</i>                                  |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| 袋形動物 | 輪虫     | <i>Rotatoria</i>                                 |         |      |      | 5    | 10   | 10   | 10   |      |      |      |      |      |      |     |
| 軟体動物 | 腹二枚    | <i>Veliger larva</i><br><i>Veliger larva</i>     | 60      | 90   | 10   | 5    | 10   |      |      | 10   |      |      | 20   | 30   |      |     |
| 環形動物 | 多毛     | <i>Nectochaeta larva</i>                         | 10      | 20   |      |      | 20   | 10   |      | 20   |      | 20   |      | 10   |      |     |
| 節足動物 | 甲殻(鰓脚) | <i>Podon polyphemoides</i>                       |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Evadne tergestina</i>                         |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Penilia avirostris</i>                        | 10      | 10   |      | 10   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Paracalanus parvus</i>                        | 10      | 20   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Acritia clausi</i>                            | 10      | 10   |      | 10   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Öithona aruensis</i>                          | 410     | 890  | 210  | 325  | 400  | 250  | 500  | 310  | 240  | 520  | 880  | 250  |      |     |
|      |        | <i>O. nana</i>                                   | 360     | 420  | 70   | 75   | 270  | 70   | 500  | 1090 | 120  | 180  | 810  | 710  |      |     |
|      |        | <i>O. similis</i>                                |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Oncaea</i> sp.                                |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Microsetella norvegica</i>                    |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Harbacticoidea</i>                            |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Copepoda</i>                                  |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Cirripedia</i>                                |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| 毛顎動物 | 矢虫     | <i>Sagitta crassa</i>                            |         |      |      |      |      |      |      |      |      | 10   |      |      |      |     |
| 棘皮動物 | クモヒトデ  | <i>Öphiopluteus larva</i>                        |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| 原索動物 | 尾索     | <i>Öikoplura dioica</i>                          |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|      |        | <i>Ascidian tadpole larva</i>                    |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
| その他  |        | <i>Noctiluca scintillans</i>                     |         |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 20   | 10   |      |     |