

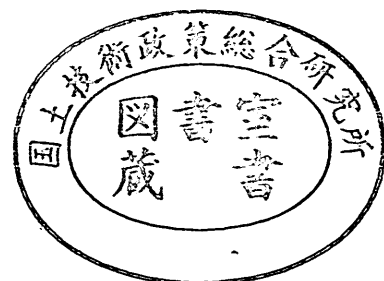
運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL.36 NO.3 SEPT.1997

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I)

第36巻 第3号 (Vol.36, No 3), 1997年9月 (Sept. 1997)

目 次 (CONTENTS)

1. 干潟実験施設における底生生物群集の動態

桑江朝比呂・細川恭史・古川恵太・三好英一・木部英治・江口菜穂子 ……………3

(Mesocosm Experiments on the Effects of Physical Disturbance and Water Exchange
on Benthic Communities

Tomohiro KUWAE, Yasushi HOSOKAWA, Keita FURUKAWA,
Eiichi MIYOSHI, Eiji KIBE, Naoko EGUCHI)

2. 再生骨材を使用したコンクリートの材料特性に関する研究

田中 順・福手 勤・濱田秀則・堂園昭人 ……………37

(A Study on the Properties of Concrete mixed with Crushed Concrete as Aggregate

……………Jun TANAKA, Tsutomu FUKUTE, Hidenori HAMAMADA and Akito DOUZONO)

港湾技術研究所報告 (REPORT OF P. H. R. I.)

第36巻 第3号 (Vol.36, No 3), 1997年9月 (Sept. 1997)

目 次 (CONTENTS)

1. 干潟実験施設における底生生物群集の動態

桑江朝比呂・細川恭史・古川恵太・三好英一・木部英治・江口菜穂子 ……………3

(Mesocosm Experiments on the Effects of Physical Disturbance and Water Exchange
on Benthic Communities

Tomohiro KUWAE, Yasushi HOSOKAWA, Keita FURUKAWA,
Eiichi MIYOSHI, Eiji KIBE, Naoko EGUCHI)

2. 再生骨材を使用したコンクリートの材料特性に関する研究

田中 順・福手 勤・濱田秀則・堂園昭人 ……………37

(A Study on the Properties of Concrete mixed with Crushed Concrete as Aggregate

……………Jun TANAKA, Tsutomu FUKUTE, Hidenori HAMAMADA and Akito DOUZONO)

干潟実験施設における底生生物群集の動態

桑江 朝比呂*・細川 恭史**・古川 恵太***・三好 英一*・木部 英治*・江口 菜穂子*

要 旨

干潟実験施設を用いて物理的攪乱および海水交換が底生生物群集に与える影響を検討した。また、再現された干潟実験生態系における底生生物群集の遷移を経時的に検討した。

底生バクテリアおよび底生藻類の現存量は、流れによる物理的攪乱(底面せん断力)を与えた水槽と比較して、波による強い物理的攪乱を与えた水槽の方が少ない値を示した。これは、底泥のごく表層に棲息する藻類が、再懸濁して流失したり移動する底泥によって被覆されることが原因と考えられた。そして藻類量が少ない環境では、藻類から有機物の供給を受けるバクテリアの現存量も小さい値を示すと推測された。バクテリア・藻類と比較し、より深い泥深に棲息可能な大型のメイオベントスおよびマクロベントスの総個体密度は、攪乱強度の異なる水槽間で差がみられなかった。また、メイオベントスおよびマクロベントスの出現種数についても、攪乱強度の異なる水槽間で差がみられなかった。

バクテリア・藻類の現存量およびメイオ・マクロベントスの総個体密度は、海水交換頻度の異なる水槽間で差がみられなかった。*Capitella* sp.の個体密度および構成比は、交換頻度の低い水槽においてより大きな値を示した。

バクテリア・藻類の現存量およびメイオ・マクロベントスの総個体密度は、明確な季節変動および経過時間に伴う一定の増加もしくは減少を示さなかった。生態系が創出されてから8ヶ月以内に、現存量が動的平衡に達していたと考えられた。新たに創出された干潟において一般に出現する*Capitella* sp.や*Muscu- lista senhousia*などのopportunistic speciesが本実験において優占した。これより、実験水槽内の生態系は初期の遷移状態にあると考えられた。

キーワード

干潟, メソコスム, ベントス, 物理的攪乱, 海水交換, 遷移

* 海洋環境部海水浄化研究室
** 海洋環境部海水浄化研究室長
*** 海洋環境部主任研究官

〒239 横須賀市長瀬3-1-1

TEL: 0468-44-5019; FAX: 0468-44-6243; E-mail: kuwae@cc.phri.go.jp

Mesocosm Experiments on the Effects of Physical Disturbance and Water Exchange on Benthic Communities

Tomohiro KUWAE*, Yasushi HOSOKAWA**, Keita FURUKAWA***,
Eiichi Miyoshi*, Eiji KIBE*, Naoko Eguchi*

Synopsis

Indoor intertidal flat mesocosm experiments were conducted to examine the effects of physical disturbance and seawater exchange on benthic communities over two years. Statistical differences in biomass and species composition were analyzed between wave- and current-generated pool, and in water exchange regulated pools, respectively.

There was no evidence for bacterial, algal, meiobenthic, and macrobenthic biomass had increase or decrease trend over time, nor clear seasonality. Standing stocks of these benthos came to dynamic equilibrium within eight months. Opportunistic species such as polychaete *Capitella* sp. or bivalve *Musculista senhousia* were dominated in the pools. This indicates that experimental ecosystem in the mesocosm was in a state of early succession.

In the wave pool, bacterial and algal biomass were retained their lower abundance compared to the current pool. This is presumably because more intensive shear stresses were acting on wave pool sediment, and the benthic algae were resuspended or covered with the sediment. Close relationship between bacterial number and chlorophyll *a* content revealed that bacterial biomass appear to be affected by dissolved organic carbon which is released by the algae. No significant differences in meiobenthic and macrobenthic biomass and their species richness were observed between the wave pool and current pool.

Bacterial, algal, meiobenthic, and macrobenthic biomass were not significantly different in water exchange regulated pools that have weekly exchange rate as once and three times. Densities and relative abundance of *Capitella* sp. were great in the less exchanged pool.

Key Words: Intertidal Flat, Shear Stress, Benthic Bacteria, Phytobenthos, Meiobenthos, Macrobenthos

* Researcher of Environment Purification Laboratory, Marine Environment Division

** Chief of Environment Purification Laboratory, Marine Environment Division

*** Senior Researcher, Marine Environment Division

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239

TEL: 0468-44-5019; FAX: 0468-44-6243; E-mail: kuwae@cc.phri.go.jp

目 次

要 旨	3
1. まえがき	7
2. 実験装置および実験方法	7
2.1 実験装置の概要	7
2.2 物理化学環境の測定	7
2.3 生物試料の採取および分析	9
2.4 統計解析	10
3. 実験結果	10
3.1 物理化学環境	10
3.2 底生バクテリア・底生藻類の現存量の水槽間および経過月間での比較	12
3.3 メイオセントスの総個体密度・出現種数・種構成の水槽間および経過月間での比較	16
3.4 マクロセントスの総個体密度・出現種数・種構成の水槽間および経過月間での比較	19
4. 考 察	23
4.1 物理的攪乱が与える底生生物への影響	23
4.2 海水交換が与える底生生物への影響	24
4.3 底生生物の遷移のパターン	25
5. あとがき	26
参考文献	27
記号表	28
付 録	29

1. まえがき

陸と海との境界にある干潟は、海洋環境の中でもっとも高い生物生産力を有する場である。そこにはバクテリア・藻類および粒子状有機物 (detritus) を起点として、貝類・多毛類・甲殻類、そして鳥類へ至る食物網が成立している。これらの底生生物群集はまた、波や流れ・水質・底質などの物理化学環境と相互に作用し合いながら干潟生態系を作り出している。栗原 (1980)²¹⁾ は、干潟の有する機能として、環境保護・環境浄化・景観・生物生産の4つを挙げている。ここで重要なのは、これら4つすべての機能が多かれ少なかれ干潟に棲息する生物の様々な活動によって維持されているということである。

「エコポート」という運輸省の港湾環境政策に象徴されるように、国内では自然環境保全と人間の開発行為との両立をコンセプトとする動きが活発になってきている (小笹 1997)²⁸⁾。米国においても、SuperfundやOil Pollution Actなどの法律によって、劣化したり失われた生物の生息場所 (habitat) をミチゲーションとして新しく復元したり創生する事例が増加しつつある (Levin et al. 1996)²³⁾。埋め立ての進展により減少を続けている干潟や浅場は、ことさら開発と環境とを調和させなければならない場といえる。その際に、干潟の機能を維持している生態系に関する知見の集積が必要不可欠である。

生物とhabitatとの関係を把握するために従来取られてきた手法には、野外調査と室内実験とがある。野外調査では、調査時における生物の群集構造や動態を把握できるが、外部環境との複雑な相互作用により作り出される生態系のメカニズムを取り出して解析することができない。一方、室内実験では個々のメカニズムを決定づける要因について、1対1の因果関係を見つけ出すことができるが、それが自然の系で実際どのように作用しているのかを確認することができない。近年、両手法を補うため、自然の一部を隔離した実験生態系 (メソコスム) が使用され始めている。メソコスムを利用する最大の長所は、自然に近い生態系を作り出すことが可能であり、なおかつ生物や環境を目的に応じてコントロールしつつ比較実験を行える点である (西条・坂本 1993)³¹⁾。しかしながら、海洋や湖沼の水界 (浮遊系) における研究がそのほとんどであり (例えば堀江ら 1984, 細川ら 1987, Sakamoto et al. 1989, Lyche et al. 1996)^{14, 15, 26, 32)}、干潟などの底生系を対象とした例はきわめて少ない (Short et al. 1995, 細川ら 1996)^{13, 35)}。

本研究で用いている干潟実験施設は、15-24m²のサイズを有する世界最大の底生系メソコスムである。そして、

自然生態系を囲い込むのではなく、新たな生態系を作り出している点に特徴がある。本研究の目的は、波・流れによる物理的攪乱および海水交換頻度がバクテリア・藻類・メイオベントス・マクロベントスに与える影響を検討することと、再現された干潟実験生態系におけるこれら底生生物群集の遷移を経時的に検討することの2点である。

2. 実験装置および実験方法

2.1 実験装置の概要

本研究では、港湾技術研究所内にある干潟実験施設を利用した。設備に関する詳細は細川ら (1996)¹³⁾ に述べられている。図-1に実験水槽の平面図および海水のフロー、図-2に実験水槽の断面図を示す。また、表-1に水槽の制御条件を示す。使用した3つの水槽では、物理的攪乱および海水交換頻度の2点において制御条件を変えた。水槽1では波、水槽2および3では流れによる底泥への物理的攪乱を与えた。また、水槽1および2では原則的に1週間に3回、水槽3では1週間に1回の頻度で水槽中の海水と久里浜湾からポンプで汲み上げた未処理海水とを交換した。千葉県木更津市盤洲干潟産の底泥を天日で20日間乾燥させ、実験水槽へ搬入した。1994年12月22日に実験水槽へ海水を導入し、潮汐を与え実験を開始した。

2.2 物理化学環境の測定

(1) 環境温度・塩分

水温および塩分を、水質チェッカー (Horiba製 U-10) を用いて1日3回 (原則として午前9時、午後1時、午後4時) 各水槽ごとに測定した。泥温の瞬間値を、泥深2cmにおいて熱電対型温度計 (ダバイ・エスペック製 RT-10) によって1時間ごとに計測した。

(2) 光

1997年5月に屋外の光量子および実験室内に入射する光量子量を、光量子計 (三洋測器製) によって測定した。

(3) 波・流れ

サーボ式水面計 (KENEK製 NS101) を用いて水面波形を計測した (サンプリング間隔: 10Hz, データ個数: 8192個)。そして得られた水面波形からゼロ・アップクロス法により個々の波を定義し、波高・周期・波長を算出した。

電磁流速計 (KENEK製 VM601) を水槽2および3に3台 (上流端から3mが水槽中央および中央より±1mの点) 設置し、泥面から1, 2, 3, 4, 5, 10, 15cmお

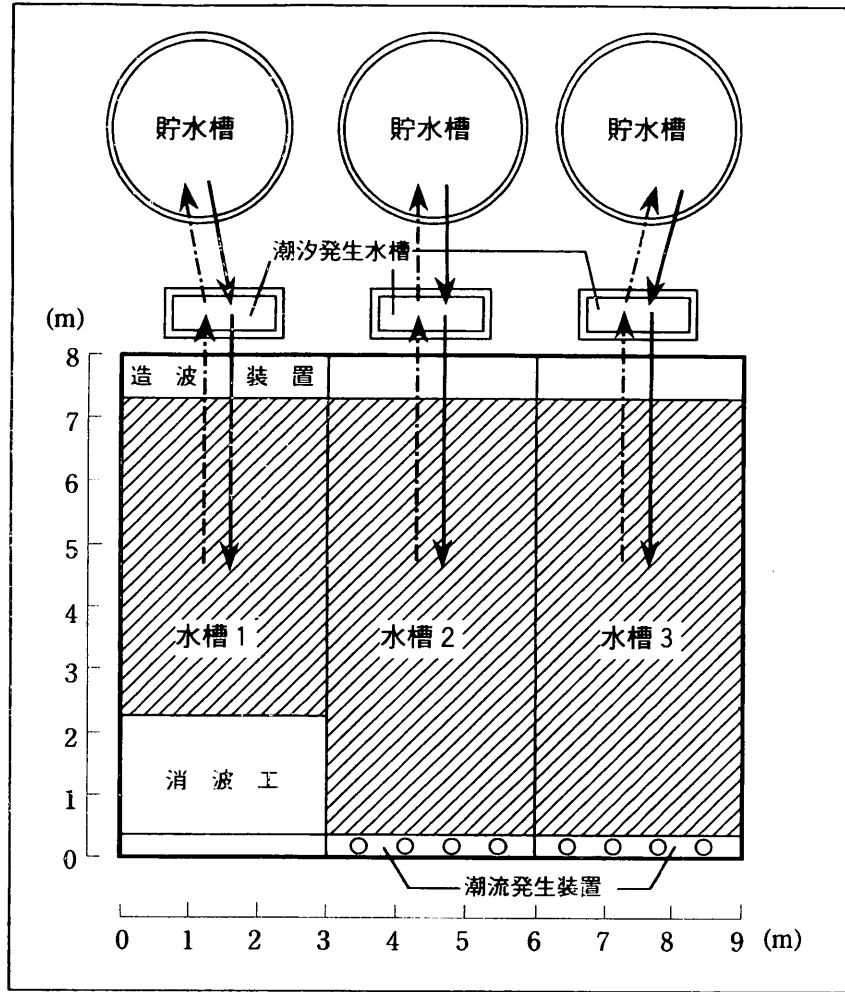


図-1 メソコスムの平面図および海水のフロー，実線は上げ潮，波線は下げ潮を示す。

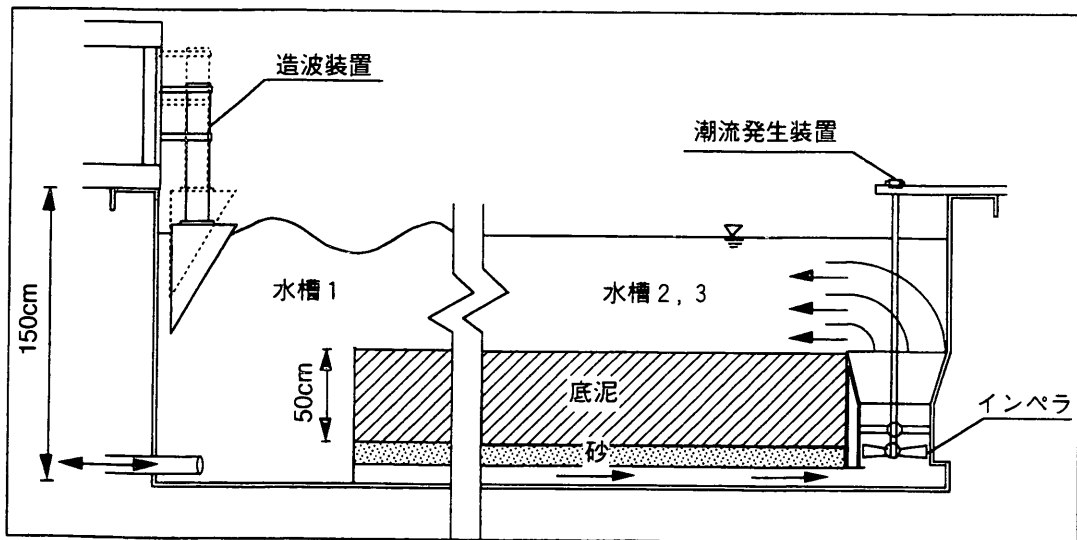


図-2 実験水槽の断面図

表-1 実験水槽の制御条件

温度	無制御
光	無制御 (赤外線カットフィルターガラスを通して太陽光が入射)
底泥の面積	水槽1: 15 m ² , 水槽2, 3: 24m ²
底泥	盤洲干潟より搬入
泥深	50cm
海水	久里浜湾の未処理海水
潮汐周期	10.3-11.0時間 (平均10.5時間)
満潮水位	水槽1: 泥面+20.5-23.9cm (平均22.0cm) 水槽2: 泥面+16.1-20.0cm (平均18.2cm) 水槽3: 泥面+23.4-28.8cm (平均26.9cm)
干潮水位	各水槽ともに泥面-30cm
冠水時間	1 潮汐当たり平均6時間
物理的擾乱	水槽1: 波, 水槽2, 3: 流れ
擾乱の時間	1 潮汐当たり平均2.8時間
海水交換頻度	水槽1, 2: 約3回/週, 水槽3: 約1回/週
生物の投入	なし (生海水より自然加入)

よび水面-1 cmの流速を計測した (サンプリング間隔: 10Hz, データ個数: 1024個)。

2.3 生物試料の採取および分析

(1) 底生バクテリア

各々の実験日 (表-2) に, 泥深1 cmまでの底泥を各実験水槽の3点において内径2.5cmのポリカーボネイトパイプによって採取した。各試料の約0.2gを5 mlの濾過滅菌海水中に懸濁させ, 分析するまで冷暗所に保存した。なお, 濾過滅菌海水とは, 久里浜湾から採取した海水にホルマリンを最終濃度が5%になるように加え (Epstein and Rossel 1995)⁸⁾, 孔径0.22 μ mのフィルターで2度吸引濾過した海水である。

底泥粒子に密着したバクテリアを分散させるため, 試料を超音波バスによって15-25分間処理し, 上記の濾過滅菌海水で100-1000倍に希釈した。この希釈試料にDAPI (最終濃度1 μ g ml⁻¹), およびカウンター染色としてAO (最終濃度100 μ g ml⁻¹) を用いて二重染色し, 30分以上冷暗所で静置した。染色試料2 mlを, 黒色に染色した孔径0.2 μ mのポリカーボネイト製フィルターを用いて, 低圧で吸引濾過した。フィルター上に残ったバクテリアを落射蛍光顕微鏡 (オリンパス製 BX-FLA-3) を用いて励起光で蛍光させ, 視野を20回変え合計200細胞以上計数した。同時に採取した底泥試料から算出された底泥1 cm³当たりの湿重量を用いて, 底泥1 cm³当たりの細胞数を求めた。

Epstein and Rossel (1995)⁸⁾ は, 底泥粒子からバクテリアを分散させる機材として超音波プローブを推奨してい

る。そこで, 盤洲干潟において採取した底泥を用いて超音波プローブ法と超音波バス法による細胞密度の差および分散処理時間による差を調べた (図-3)。その結果, 両方法の最適処理時間 (細胞密度が最大となる処理時間) における細胞密度に差はみられなかったが, 処理時間によって細胞密度が大きく変動した。したがって, 最適処理時間における細胞密度を真の細胞密度と仮定し, 実験で得られた細胞密度を修正した。

(2) 底生藻類

底生藻類の現存量をクロロフィルa量として評価した。各実験水槽の3点において, 泥深1 cmまで (1995年9月については泥深10cmまで) の底泥を内径2.5cmのポリカーボネイト製のパイプによって採取した。試料約1 gを直ちに90%アセトン5 ml中に入れ, 24時間以上冷暗所に静置しクロロフィルaを抽出した。試料を遠心分離し (3500rpm \times 15min), 上澄をLorenzen (1967)²⁵⁾ に従って吸光度計 (日立製 U-3200) を用いて測定した。

(3) メイオベントス

泥深10cmまでの底泥を内径5 cmのアクリルパイプによって採取した。試料を直ちにホルマリンの最終濃度が10%の濾過海水中に入れ, 同定および計数時まで保存した。ローズベンガルで生体を染色し, 1 mm目のふるいを通過するサイズのベントスを同定・計数した。ただし, 原生生物および同定不能の卵は同定・計数上除外した。

(4) マクロベントス

50cm四方 (0.25m²) の方形枠 (コドラート) 内の泥深20cmまでの底泥を採取し, 1 mm目のふるいでふるった。ふるい

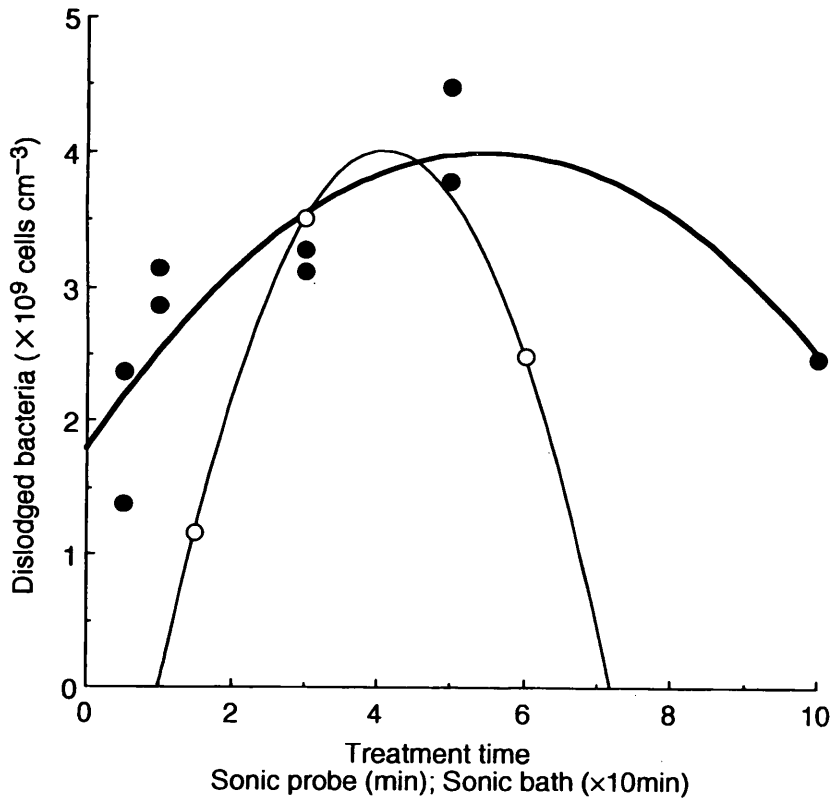


図-3 バクテリアの計数における2つの分散処理法の処理時間による比較,
●:超音波プローブ法;○:超音波バス法

上に残った試料を直ちにホルマリンの最終濃度が10%の濾過海水中に入れ、同定および計数時まで保存した。可能な限り下の階級（種レベル）まで同定した。

2.4 統計解析

バクテリアの細胞密度およびクロロフィル *a* 量（繰り返し数=3）の水槽間および経過月間による差を調べるために、一元配置の分散分析を用いた。Levene検定を用いて等分散性を検定し、母分散が等しいと仮定できなかった場合はデータを対数もしくは逆数で変換した。続いてStudent-Newman-Keuls (SNK) の多重比較を用いてデータの大小を検定した。繰り返し数が1であるその他のデータについては、無変換、対数変換、逆正弦変換（百分率で示されるデータ）などの処理によって等分散性が仮定できた場合は、Tukeyの加法性の検定を用いて交互作用の存在を調べた。交互作用がないと仮定できた場合は、SNKの多重比較を用いてデータの大小を検定した。等分散性が仮定できない場合および交互作用がないと仮定できなかった場合は、ノンパラメトリック分析（Wilcoxon検定またはFreidman検定）によって水槽およ

び経過時間による差の有意性のみを確認した。

3. 実験結果

3.1 物理化学環境

(1) 光条件

干潟実験施設内外の光量子量を図-4に示す。計測時には野外の63%の光量子が実験水槽に入射しているのがわかる。

(2) 水温・泥温・塩分

図-5に水温、泥温、塩分の測定結果（3つの水槽の平均値）を示す。また、表-2には生物試料を採取した日の水温、泥温、塩分を示す。30ヶ月間に測定された水温は、水槽1で6.4-31.5℃（平均18.4℃）、水槽2で6.9-31.7℃（平均18.8℃）、水槽3で4.9-32.0℃（平均18.8℃）の変動がみられる。泥温（瞬間値）については、水槽1で7.5-36.1℃、水槽2で6.5-35.1℃、水槽3で8.2-34.5℃の変動がみられる。13ヶ月間に測定された塩分は、水槽1で26.3-34.9psu（平均32.0psu）、水槽2で26.8-35.0psu（平均32.1psu）、水槽3で26.6-36.0psu（平均32.2psu）

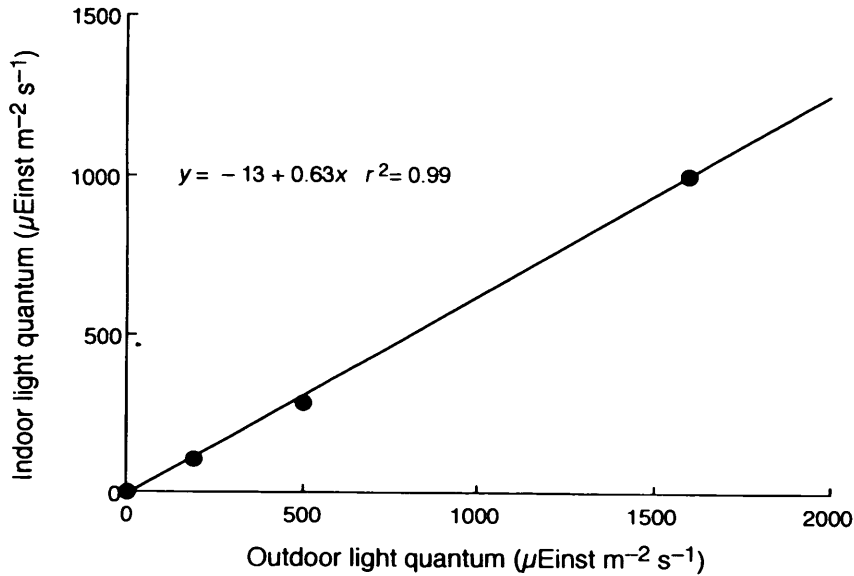


図-4 干潟実験施設内外における光量子量

の変動がみられる。冬季と比較して、夏季は塩分の低い海水が実験水槽に導入される傾向がみられる。水温、泥温、塩分における水槽間の差はみられない ($p > 0.05$)。また、生物試料を採取した日の水温、泥温、塩分における水槽間の差もみられない ($p > 0.05$)。夏季には海水の蒸発により、海水交換頻度の低い水槽3の塩分が特に増加するが、その増加速度は1週間で1 psu程度である。測定期間中の水温、泥温、塩分は、底生生物の生存限界を越えるような極端な値を示していないといえる。

(3) 物理的攪乱

表-3に、水槽1において計測された波高 H 、周期 T 、および波長 L を示す。波による底面の水粒子速度の振幅 \hat{U} は、微小振幅波の水粒子速度から、

$$\hat{U} = \frac{\pi H}{T \sinh(2\pi h/L)} \quad (1)$$

で計算できる。ここに、 h は水深 (20cm) である。 \hat{U} を用いて摩擦速度 U_* は、

$$U_*^2 = \frac{1}{2} f_w \hat{U}^2 \quad (2)$$

として推定される。粗面乱流を仮定した場合、摩擦係数 f_w は0.3である (Swart 1976)³⁷⁾。底面せん断力 τ_0 は、 U_* の定義式より、

$$\tau_0 = \rho U_*^2 \quad (3)$$

として求められる (表-4)。ただし、 ρ は海水の密度 (1.02 g cm^{-3}) である。水槽1の底泥は平均して $852 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ の底面せん断力を受けていると推定される。

水槽2および3における流速の鉛直分布を図-6に示す。図中の近似曲線は、以下の乱流の対数分布式である。

$$\frac{U}{U_*} = 8.5 + 5.75 \log_{10} \frac{y}{k} \quad (4)$$

ここに、 U は流速、 y は泥面からの距離、 k は粗さのパラメーターである。平均流速は、水槽2で $4.8-9.0 \text{ cm s}^{-1}$ (平均 6.8 cm s^{-1})、水槽3で $4.0-8.1 \text{ cm s}^{-1}$ (平均 6.3 cm s^{-1}) とばらついているが、水槽による平均流速の有意差はみられない ($p > 0.05$)。式(4)から得られた U_* を用いて、式(3)より τ_0 を計算した結果を表-4に示す。水槽1における τ_0 と比較すると、水槽1の底泥は水槽2より348倍、水槽3より131倍大きな底面せん断力を受けていることになる。

砂粒の比重が2.65、動粘性係数が $0.01 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ のとき、限界摩擦速度 U_{*c} は

$$U_{*c} = 8.41 d^{\frac{11}{32}} \quad (5)$$

である (岩垣 1956)¹⁷⁾。 d は一様粒径砂の粒径 (cm) である。水槽2および3における底泥が一様粒径砂であると仮定し、実験水槽の底泥の中央粒径 0.0185 cm を式(5)に代入すると、 U_{*c} は 2.18 cm s^{-1} となる。この値よ

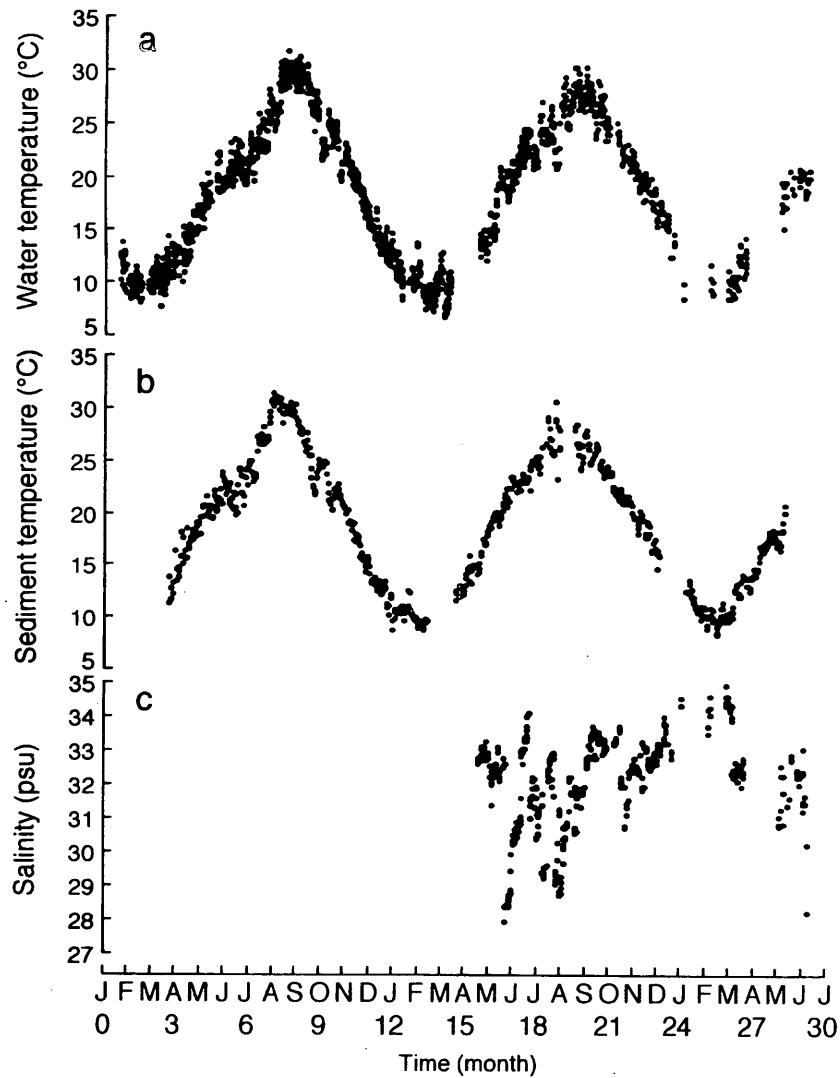


図-5 水温・泥温・塩分の経月変化. a:水温; b:泥温; c:塩分. 泥温は日平均をプロットしている.

り、底泥の移動が水槽1においては起こるが、水槽2および3では起こらないことがわかる。

干潟底面の粗度を Manning の粗度係数 n として評価する。水槽2および3の流れを等流と仮定すると、水面勾配 i は式(4)より求めた U を用いて式(6)から計算できる。

$$U = \sqrt{ghi} \quad (6)$$

ただし、 g は重力加速度である。得られた i を平均流速公式に代入し n を求める。

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \bar{h}^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

ただし、 \bar{U} は平均流速である。水槽2の n は平均値で

0.014、水槽3の n は平均値で0.021と計算される(表-4)。干潟の粗度は、底面が砂泥のライニングのある水路に近いことがわかる (Chow 1981) ⁴⁾。

3.2 底生バクテリア・底生藻類の現存量の水槽間および経過月間での比較

(1) 底生バクテリアの細胞密度

底生バクテリアの細胞密度は、水槽1で $0.17 - 8.66 \times 10^9 \text{ cells cm}^{-3}$ (平均 $2.24 \times 10^9 \text{ cells cm}^{-3}$)、水槽2で $0.45 - 13.70 \times 10^9 \text{ cells cm}^{-3}$ (平均 $5.36 \times 10^9 \text{ cells cm}^{-3}$)、水槽3で $0.47 - 28.40 \times 10^9 \text{ cells cm}^{-3}$ (平均 $5.87 \times 10^9 \text{ cells cm}^{-3}$) の変動がみられる(図-7)。6ヶ月後(1995年7月)以外のすべての月において、水槽1の細胞密度が水槽2より低い(表-5)。水槽2と水槽3とに密度差のある月はみられ

干潟実験施設における底生生物群集の動態

表-2 生物採取日および水温・泥温・塩分. ND: 欠測. 水温・泥温については3つの水槽全体の最小値・最大値, 塩分については3つの水槽の平均値を示している.

Time	Water temperature (°C)	Sediment temperature (°C)	Salinity (psu)
July 25, 1995	26.0-29.1	26.5-34.3	ND
September 20, 1995	21.3-23.7	20.6-24.4	ND
October 23, 1995	20.2-21.7	20.6-23.3	ND
November 7, 1995	17.3-18.9	16.7-19.8	ND
December 9, 1995	11.6-15.6	12.9-14.3	ND
January 18, 1996	11.3-12.2	9.4-11.1	ND
March 25, 1996	11.2-12.5	12.0-12.8	ND
July 29, 1996	24.7-28.4	27.7-34.2	31.2
September 10, 1996	24.8-25.4	22.8-26.7	33.3
November 12, 1996	18.0-19.1	18.4-19.1	32.7
February 12, 1997	10.0-11.5	8.1-14.5	34.5
March 24, 1997	11.5-12.7	12.4-13.0	33.3

表-3 水槽1における波高・周期・波長. ()内は平均値を示す.

Wave height (H) (cm)	Wave period (T) (s)	Wave length (L) (m)
7.12-8.36 (7.60)	1.49-1.50 (1.50)	1.95-1.96 (1.96)

表-4 各水槽の摩擦速度・底面せん断力・粗度係数. ()内は平均値を示す.

	Friction velocity (U_*) (cm s ⁻¹)	Shear stress (τ_0) (×10 ⁻⁵ Pa)	Roughness coefficient (n)
Pool 1	8.6-10.0 (9.1)	751-1028 (852)	-
Pool 2	0.26-0.65 (0.45)	0.69-4.86 (2.45)	0.010-0.020 (0.014)
Pool 3	0.26-0.82 (0.58)	2.55-9.80 (6.51)	0.016-0.025 (0.021)

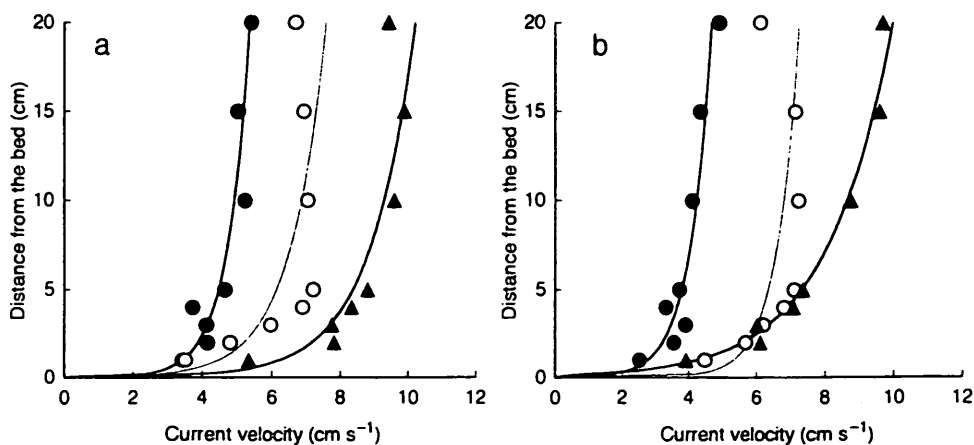


図-6 水槽2および3における流速の鉛直分布. a: 水槽2 : b: 水槽3

ない（表-5）

どの水槽においても、14ヶ月後（1996年3月）に細胞密度の最小値を示し、22ヶ月後（1996年11月）に最大値を示

している（表-6）。経過時間に伴う一定の増減および季節変動はみられない。

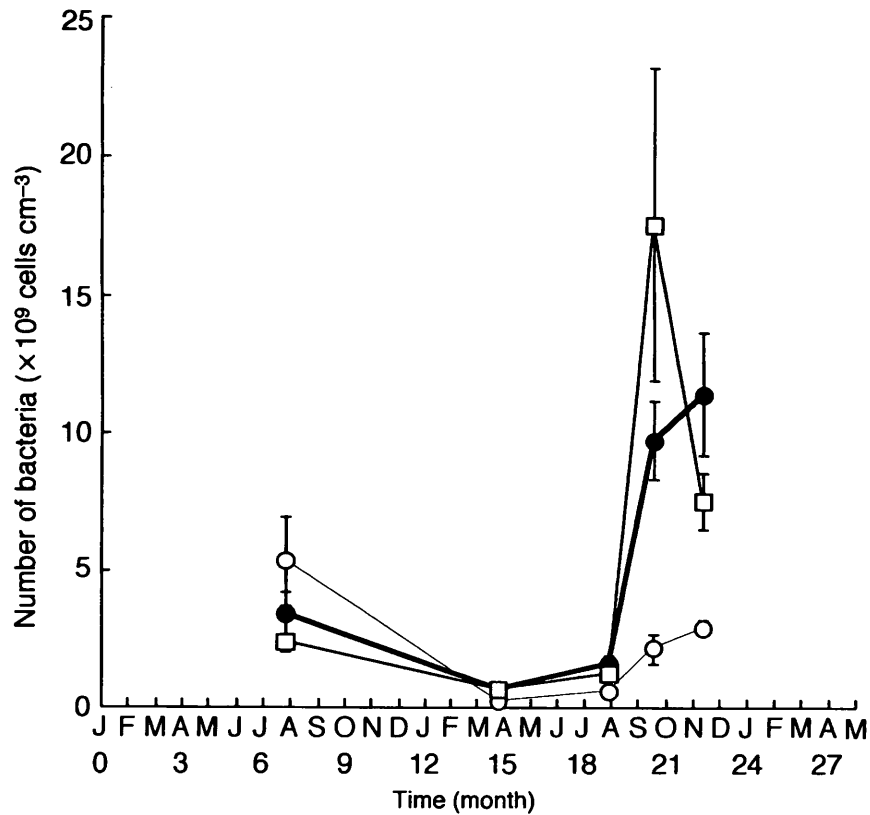


図-7 バクテリアの細胞密度の経月変化，○：水槽1；●：水槽2；□：水槽3。
Error barは標準誤差を示す。

表-5 バクテリアの細胞密度およびクロロフィル a 量の水槽間での比較結果。各々の採取月におけるバクテリアの細胞密度およびクロロフィル a 量の水槽間での比較結果が示されている。*= $p \leq 0.05$ ；**= $p \leq 0.01$ ；有意差なし ($p > 0.05$)；ND：欠測。1：水槽1；2：水槽2；3：水槽3。サンプリング期間全体で比較すると、水槽1におけるバクテリアの細胞密度およびクロロフィル a 量は水槽2より有意に小さい値を示している。 ($0.01 < p < 0.05$)，一方、水槽2と水槽3におけるバクテリアの細胞密度およびクロロフィル a 量はサンプリング期間全体で有意差が見られない ($p > 0.05$)

	Bacteria		Chlorophyll a	
	Pool 1 vs Pool 2 ($0.01 < p < 0.05$)	Pool 2 vs Pool 3 ($p > 0.05$)	Pool 1 vs Pool 2 ($0.01 < p < 0.05$)	Pool 2 vs Pool 3 ($p > 0.05$)
6mo (Jul95)	NS	NS	NS	2<3*
9mo (Oct95)	ND	ND	NS	NS
14mo (Mar96)	1<2*	NS	1<2**	NS
18mo (Jul96)	1<2*	NS	1<2**	NS
20mo (Sep96)	1<2**	NS	NS	NS
22mo (Nov96)	1<2*	NS	NS	NS
26mo (Mar97)	ND	ND	NS	NS

(2) クロロフィルa量

クロロフィルa量は、水槽1で1.92–47.97 $\mu\text{g cm}^{-3}$ 。(平均10.33 $\mu\text{g cm}^{-3}$)、水槽2で2.95–33.65 $\mu\text{g cm}^{-3}$ 。(平均15.01 $\mu\text{g cm}^{-3}$)、水槽3で4.23–51.47 $\mu\text{g cm}^{-3}$ 。(平均13.95 $\mu\text{g cm}^{-3}$)の変動がみられる(図-8)。サンプリング期間全体では、水槽1のクロロフィルa量は水槽2より少なく、14ヶ月後および18ヶ月後において水槽1と水槽2とに有意差がみられている(表-5)。6ヶ月後における水槽2のクロロフィルa量は水槽3より少ないが、サンプリング期間全体としては水槽2と水槽3とに有意差はみられない(表-5)。

クロロフィルa量は14ヶ月後(1996年3月)に少なく、22ヶ月後(1996年11月)に多い傾向にあり(表-6)、バクテリアの細胞密度とほぼ同じ変動パターンを示している(図-7, 図-8)。クロロフィルa量においても経過時間に伴う一定の増減および季節変動はみられない。サンプリング期間を通じて羽状目の珪藻類が優占している(細川ら1996)¹³⁾。18–22ヶ月後においてクロロフィルa量が特に多くなっているのは、糸状体の緑藻類(Cladophoraceae)を主体としたマットが形成されていたためである。

表-6 バクテリアの細胞密度およびクロロフィルa量の経過月間での多重比較結果。バクテリアの細胞密度およびクロロフィルa量は経過月間に有意差がみられる($p \leq 0.01$)。各経過月におけるバクテリアの細胞密度およびクロロフィルa量の平均値の大小関係を示すため、経過月を平均値の小さい順に並べている。不等号は大小関係が有意であることを示す($p \leq 0.05$)。同じ下線の付いた経過月群は大小関係が有意でないことを示す($p > 0.05$)。表の見方についての詳細は付録Aに示している。

Source of variation	Pool 1	Pool 2	Pool 3
Bacteria			
Time ($p < 0.01$)	14 < 18 < <u>20 22</u> 6	14 < 18 < 6 < <u>20 22</u>	<u>14 18</u> 6 < 22 < 20
Chlorophyll a			
Time ($p < 0.01$)	<u>14 10 20 26 18</u> 6 < 22	<u>26 6 10 14 20 18</u> 22	<u>26 14 6 10 18 22</u> 20

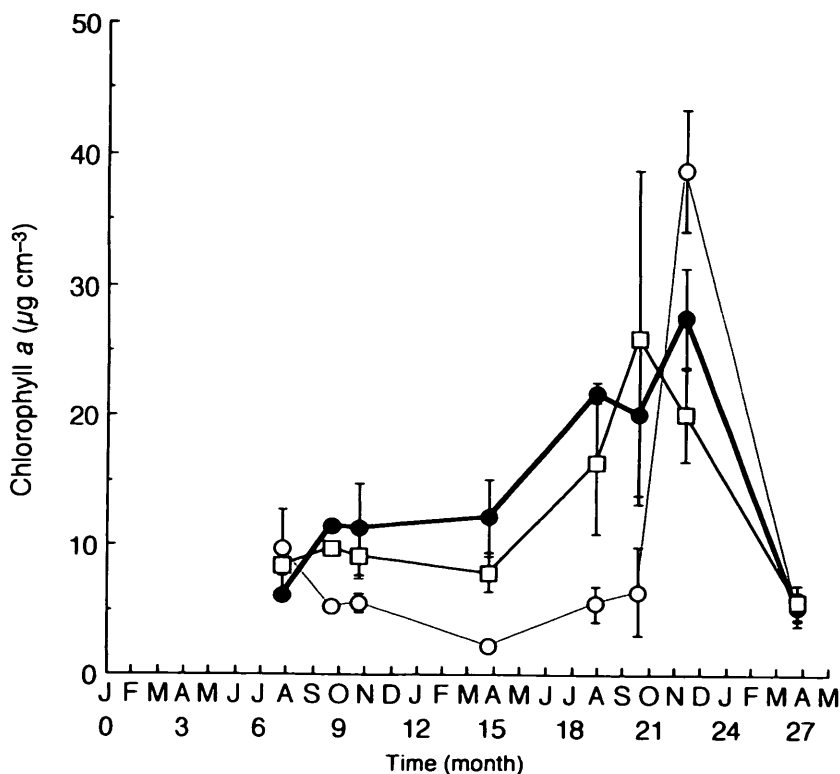


図-8 クロロフィルa量の経月変化。○：水槽1；●：水槽2；□：水槽3。
Error bar (8ヶ月後を除く)は標準誤差を示す。

3.3 メイオベントスの総個体密度・出現種数・種構成の水槽間および経過月間での比較

(1) 総個体密度

メイオベントスの総個体密度は、水槽1でコア(20cm²)当たり242-5376個体(12.32-273.69×10⁴個体 m⁻²、平均80.89×10⁴個体 m⁻²)、水槽2で65-12168個体(3.31

-619.35×10⁴個体 m⁻²、平均142.11×10⁴個体 m⁻²)、水槽3で140-8216個体(7.13-418.19×10⁴個体 m⁻²、平均98.59×10⁴個体 m⁻²)の変動がみられる(図-9)。しかしながら、水槽間の密度差はみられない(表-7)。また、経過月間の密度差もみられない(表-8)。

表-7 メイオベントスおよびマクロベントスにおける総個体密度・出現種数・優占種の構成比の水槽間での比較結果。NSは有意差なし(p>0.05)、不等号は有意差がある(p≤0.05)ことを示している。1:水槽1; 2:水槽2; 3:水槽3。

	Pool 1 vs Pool 2	Pool 2 vs Pool 3
Meiobenthos		
Total fauna	NS	NS
Species richness	NS	NS
Dominant Taxon		
Individual numbers	NS	NS
Percentage	NS	NS
Macrobenthos		
Individual numbers		
Total fauna	NS	NS
Species richness	NS	NS
Dominant species		
<i>Halosia japonica</i>	NS	NS
Percentage	NS	NS
<i>Capitella</i> sp.	NS	2<3
Percentage	NS	2<3
<i>Musculista senhousia</i>	NS	2>3
Percentage	NS	2>3
<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	1>2	2<3
Percentage	1>2	2<3
<i>Corophium</i> sp.	1<2	2>3
Percentage	1<2	2>3
Wet weight		
Total fauna	NS	NS
Dominant species		
<i>Musculista senhousia</i>	NS	2>3
Percentage	NS	NS
<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	NS	NS
Percentage	1>2	2<3
<i>Halosia japonica</i>	NS	NS
Percentage	NS	NS

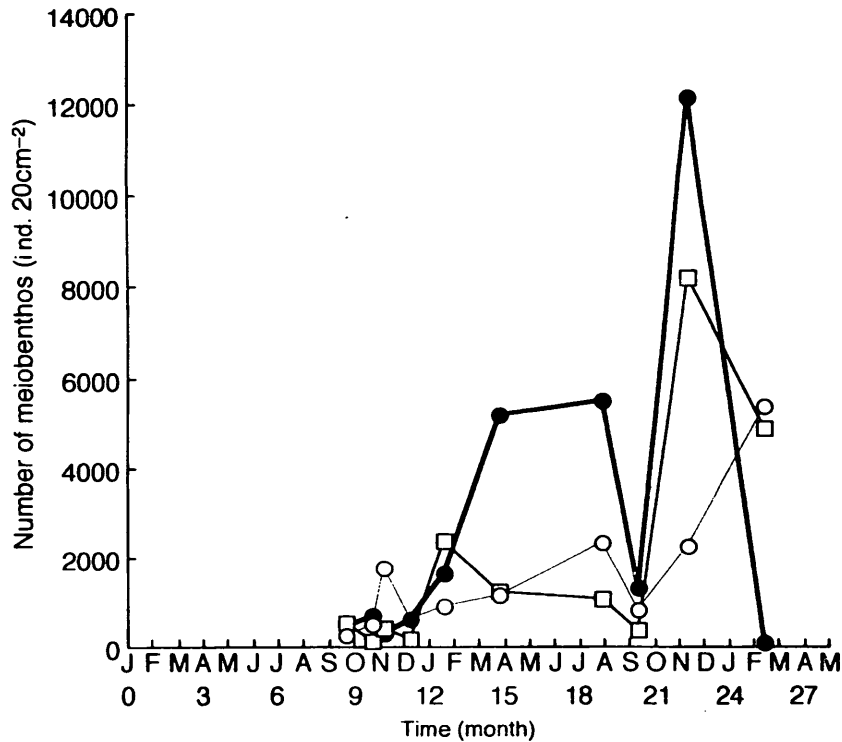


図-9 メイオベントスの個体密度の経月変化. ○:水槽1; ●:水槽2; □:水槽3.

表-8 メイオベントスにおける総個体密度・出現種数・優占種の個体密度・優占種の構成比の経過月間での多重比較結果. 表の見方については表-6に同じ. NSは経過月間に有意差がないことを示す ($p > 0.05$).

Meiobenthos	Significance
Total fauna	NS
Species richness	<u>25 20 22 8 10 11 18 9 12 14</u>
Dominant Taxon	
Nematoda	<u>11 9 8 20 10 12 14 25 18 22</u>
Percentage	<u>11 9 10 14 12 8 20 18 < 22 25</u>
Oligochaeta	NS
Percentage	<u>25 22 18 12 20 10 14 8 11 9</u>
Harpacticoida	NS
Percentage	NS

(2) 出現種数

メイオベントスの出現種数は、水槽1では3-6種(平均4.0種)、水槽2では1-7種(平均4.2種)、水槽3では2-6種(平均4.2種)の変動がみられる(図-10)。しかし、水槽間の有意差はみられない(表-7)。12-14ヶ月後から20-25ヶ月後にかけて、出現種数が減少傾向に

ある(表-8)。

(3) 種構成

メイオベントスの優占種は線虫類(Nematoda)、貧毛類(Oligochaeta)、ハルパクチクス類(Harpacticoida)である。各々の種の個体密度は、水槽間で有意差がみられない(表-7)。Nematodaの構成比は、水槽1で7.7-95.2%(平均51.6%)、水槽2で5.1-100.0%(平均58.0%)、水槽3で14.3-95.7%(平均57.2%)の変動がみられる(図-11)。Oligochaetaの構成比は、水槽1で0.0-70.0%(平均20.1%)、水槽2で0.0-51.8%(平均20.7%)、水槽3で3.9-80.0%(平均29.9%)の変動がみられる(図-11)。Harpacticoidaの構成比は、水槽1で0.0-84.6%(平均23.2%)、水槽2で0.0-61.3%(平均16.8%)、水槽3で0.0-19.0%(平均6.9%)の変動がみられる(図-11)。しかしながら、各々の構成比は水槽間で有意差がみられない(表-7)。

Nematodaの個体密度および構成比は、8-11ヶ月後から22-25ヶ月後にかけて増加傾向を示している(表-8)。Oligochaetaの個体密度は経過月間で有意差がみられないが、構成比は8-11ヶ月から22-25ヶ月後にかけて減少傾向を示している(表-8)。つまり、時間が経過するにつれて、メイオベントスの優占種がOligochaetaからNematodaへシフトしていることがわかる。Harpacticoidaの個体密度および構成比は、経過月間で有意差がみられない(表-8)。

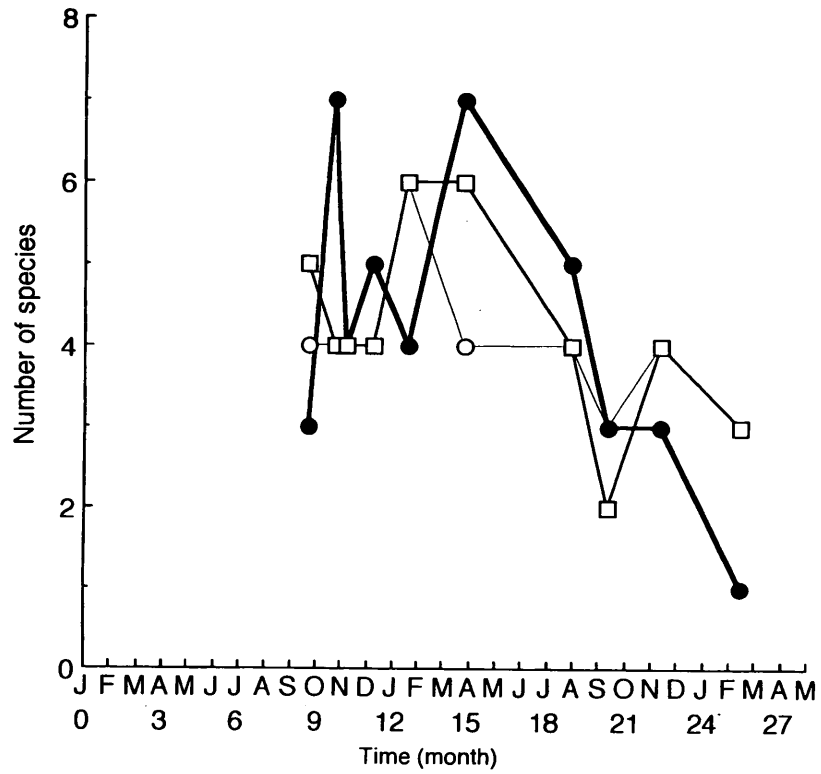


図-10 メイオベントスの出現種数の経月変化. ○ : 水槽1 ; ● : 水槽2 ; □ : 水槽3.

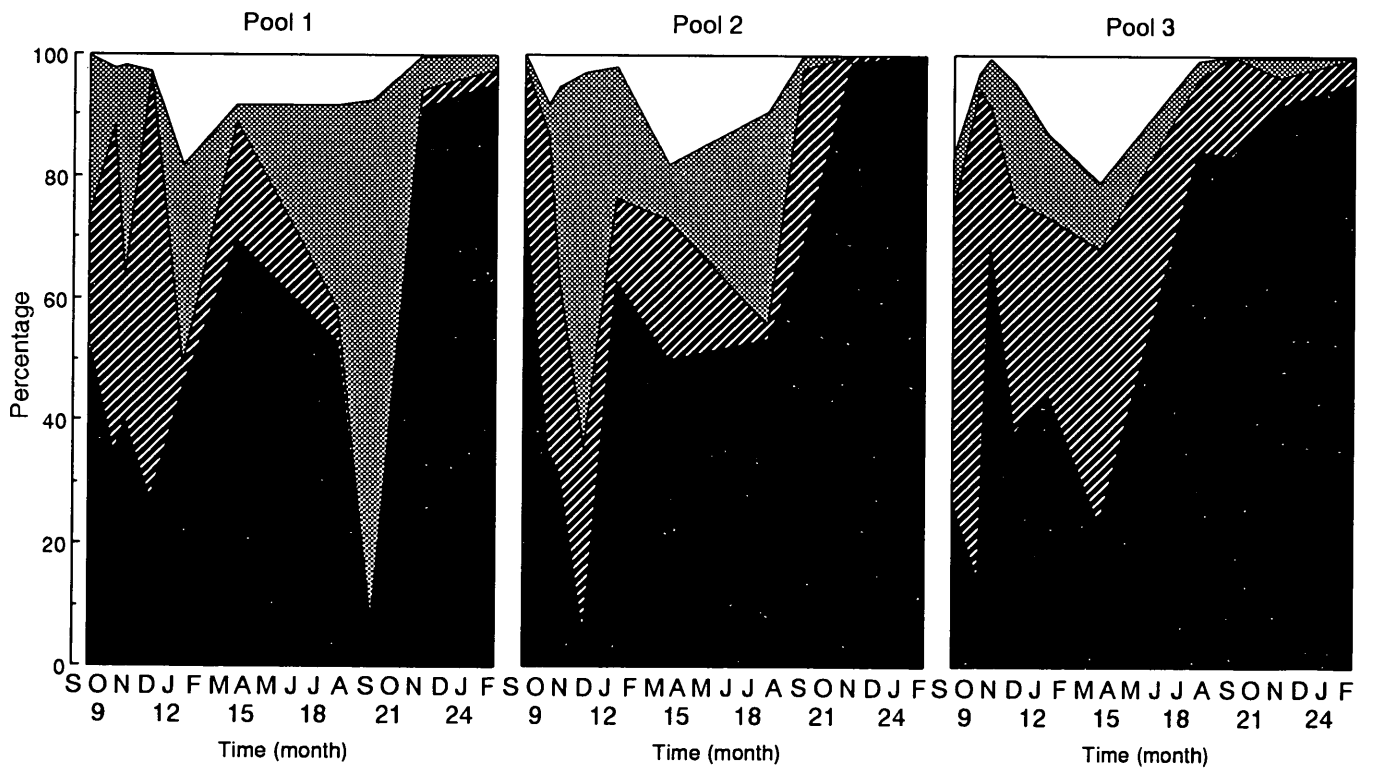


図-11 メイオベントスの種構成の経月変化.

■ : Nematoda; ▨ : Oligochaeta; ▩ : Harpacticoida; □ : Others.

3.4 マクロベントスの総個体密度・出現種数・種構成の水槽間および経過月間での比較

(1) 総個体密度

マクロベントスの総個体密度は、水槽1でコドラート(0.25m²)当たり26-450個体(104-1800個体 m⁻², 平均119.0 個体 m⁻²), 水槽2で13-975個体(52-3900個体 m⁻², 平均283.6個体 m⁻²), 水槽3で23-548個体(92-2192個体 m⁻², 平均238.3個体 m⁻²)の変動がみられる(図-12). しかしながら、水槽間の密度差はみられない(表-7). 総個体密度は18ヶ月後(1996年7月)に最小値(84個体 m⁻²), 25ヶ月後(1997年2月)に最大値(1800個体 m⁻²)を示しているが、経過時間に伴う一定の増減および季節変動はみられない(表-9).

(2) 湿重量

マクロベントスの湿重量は、水槽1ではコドラート当たり 2.76-12.97g (11.04-51.88g wet m⁻², 平均30.84g wet m⁻²), 水槽2では0.21-18.52g (0.84-74.08g wet m⁻², 平均31.44g wet m⁻²), 水槽3では0.86-10.22g (3.44-40.88g wet m⁻², 平均23.44g wet m⁻²)の変動がみられる(図-13). しかしながら、水槽間の有意差はみられない(表-7). また、経過月間の有意差もみられない(表-9).

(3) 出現種数

マクロベントスの出現種数は、水槽1では3-8種(平均5.9種), 水槽2では3-10種(平均6.8種), 水槽3では4-14種(平均7.0種)の変動がみられる(図-14). しかしながら、水槽間の有意差はみられない(表-7). また、経過月間の有意差もみられない(表-9).

(4) 種構成

a) 個体密度でみた種構成

個体密度でみたマクロベントスの優占種は、ブドウガイ(*Haloa japonica*), イトゴカイ(*Capitella* sp.), ホトトギスガイ(*Musculista senhousia*), コケゴカイ(*Ceratonereis erythraeensis*), ドロクダムシ(*Corophium* sp.)である.*Haloa japonica*の個体密度は、水槽間で有意差がみられない(表-7). 水槽3における*Capitella* sp.の個体密度は、水槽2よりも高い(表-7). 水槽2における*Musculista senhousia*の個体密度は、水槽3よりも高い(表-7). 水槽2における*Ceratonereis erythraeensis*の個体密度は、他の水槽よりも低い(表-7). 水槽2における*Corophium* sp.の個体密度は、他の水槽よりも高い(表-7).

*Haloa japonica*の構成比は、水槽1で0.0-76.0%(平均25.4%), 水槽2で0.0-80.0%(平均33.2%), 水槽3で2.1-64.4%(平均42.3%)の変動がみられるが(図-15), 水槽間の有意差はみられない(表-7). *Capitella* sp.の構成

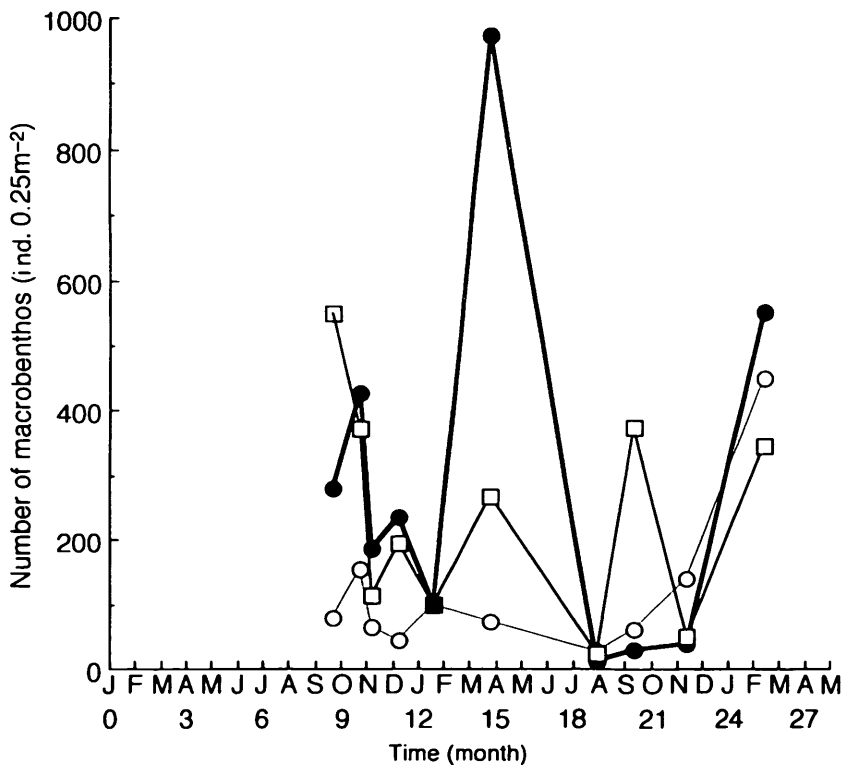


図-12 マクロベントスの個体密度のの経月変化. ○: 水槽1; ●: 水槽2; □: 水槽3.

表-9 マクロベントスにおける総個体密度・出現種数・優占種の個体密度・優占種の構成比の経過月間での多重比較結果. 表の見方については表-6に同じ. NSは経過月間に有意差がないことを示す ($p>0.05$). $0.01<p<0.05$ はFriedman検定による有意性の結果を示す. 経過月の平均値の大小関係は比較されていない.

Macrobenthos	Significance
Individual numbers	
Total fauna	<u>18 22 20 12 10 11 8 14 9 25</u>
Species richness	NS
Dominant species	
<i>Haloa japonica</i>	<u>22 18 12 20 11 10 14 25 8 9</u>
Percentage	<u>22 18 25 12 14 11 8 10 20 9</u>
<i>Capitella</i> sp.	NS
Percentage	NS
<i>Musculista senhousia</i>	NS
Percentage	$0.01<p<0.05$
<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	$0.01<p<0.05$
Percentage	$0.01<p<0.05$
<i>Corophium</i> sp.	NS
Percentage	NS
Wet weight	
Total fauna	NS
Dominant species	
<i>Musculista senhousia</i>	NS
Percentage	<u>25 9 8 22 14 10 11 12 20 < 18</u>
<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	$0.01<p<0.05$
Percentage	$0.01<p<0.05$
<i>Haloa japonica</i>	<u>18 22 12 10 11 20 14 8 25 9</u>
Percentage	<u>22 18 10 11 14 12 20 8 9 25</u>

比は, 水槽1で0.0-75.1% (平均16.5%), 水槽2で0.0-41.0% (平均13.2%), 水槽3で8.7-77.4% (平均40.6%) を変動し (図-15), 水槽3における構成比は水槽3よりも大きい (表-7). *Musculista senhousia*の構成比は, 水槽1で1.6-84.6% (平均21.8%), 水槽2で0.0-61.5% (平均20.4%), 水槽3で0.0-8.7% (平均2.1%) を変動し (図-15), 水槽2における構成比は水槽3よりも大きい (表

-7). *Ceratonereis erythraeensis*の構成比は, 水槽1で0.0-65.8% (平均27.7%), 水槽2で0.0-4.1% (平均1.1%), 水槽3で0.0-50.0% (平均10.3%) を変動し (図-15), 水槽2における構成比は他の水槽よりも小さい (表-7). *Corophium* sp. の構成比は, 水槽1で0.0-3.1% (平均0.3%), 水槽2で0.0-59.9% (平均25.3%) の変動がみられる (図-15). 水槽3においては*Corophium* sp.は出現し

干潟実験施設における底生生物群集の動態

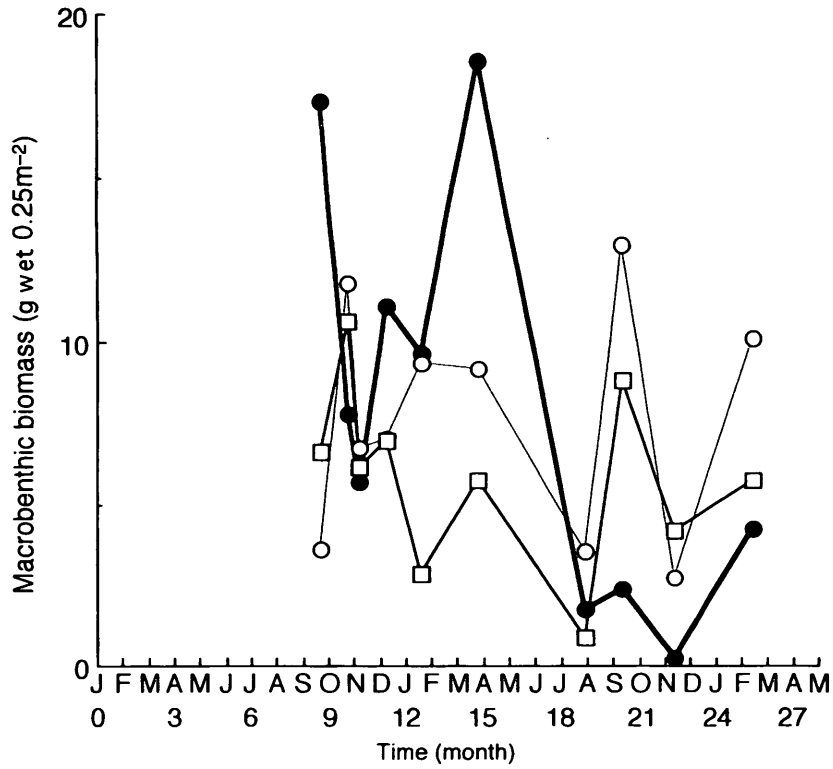


図-13 マクロベントスの湿重量の経月変化。○：水槽1；●：水槽2；□：水槽3。

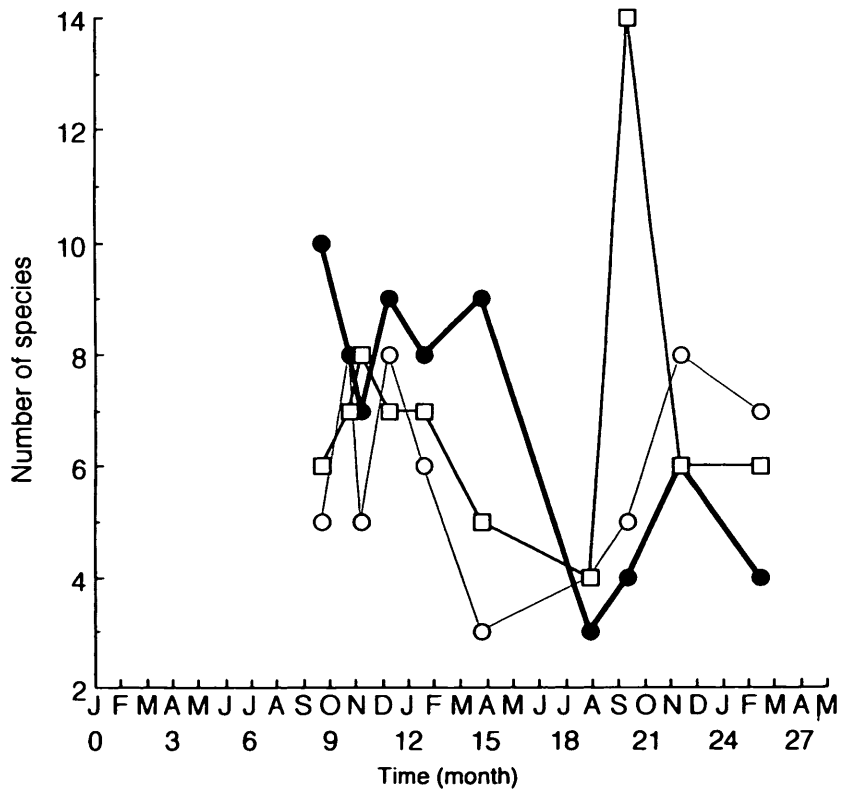


図-14 マクロベントスの出現種数の経月変化。○：水槽1；●：水槽2；□：水槽3。

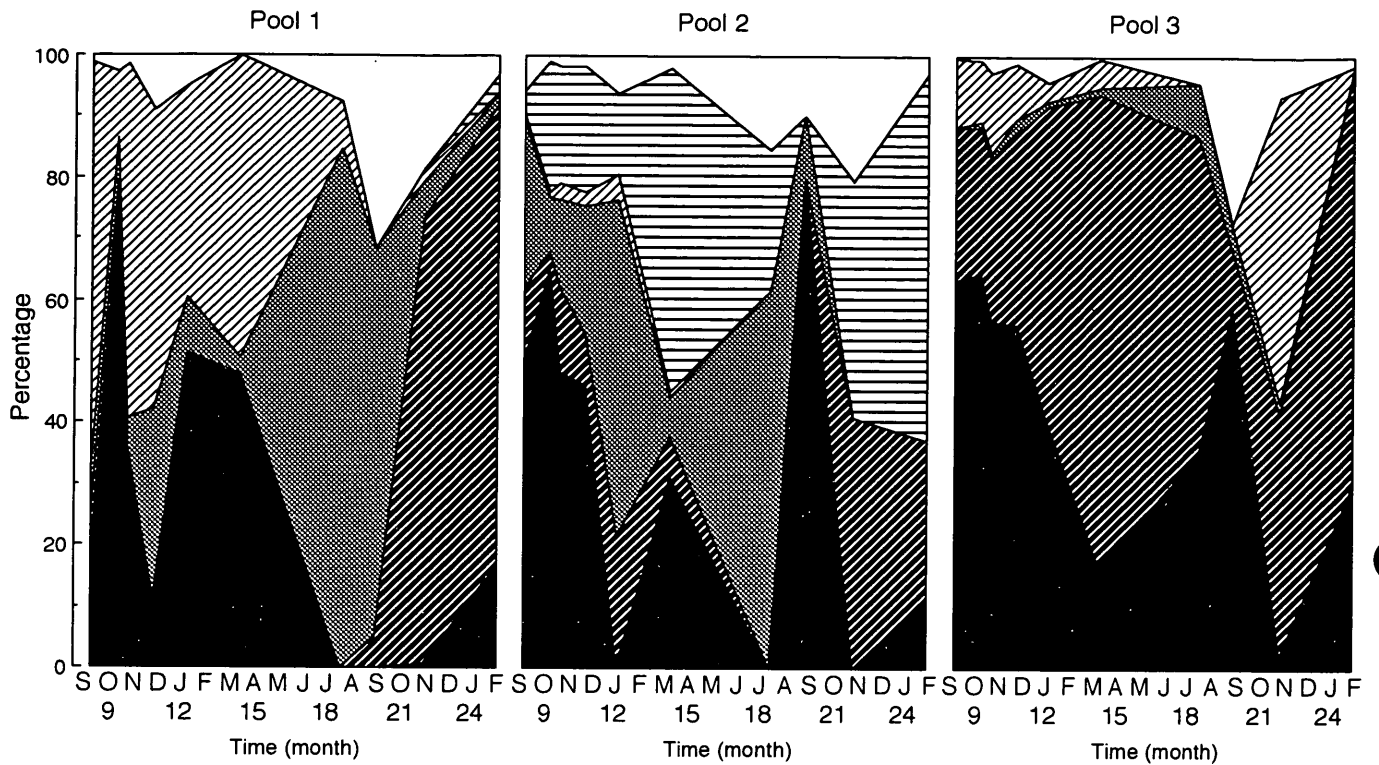


図-15 個体密度でみたマクロベントスの種構成の経月変化.

■: *Haloa japonica*; ▨: *Capitella* sp.; ▩: *Musculista senhousia*; ▧: *Ceratonereis erythraeensis*; ▦: *Corophium* sp.; □: Others.

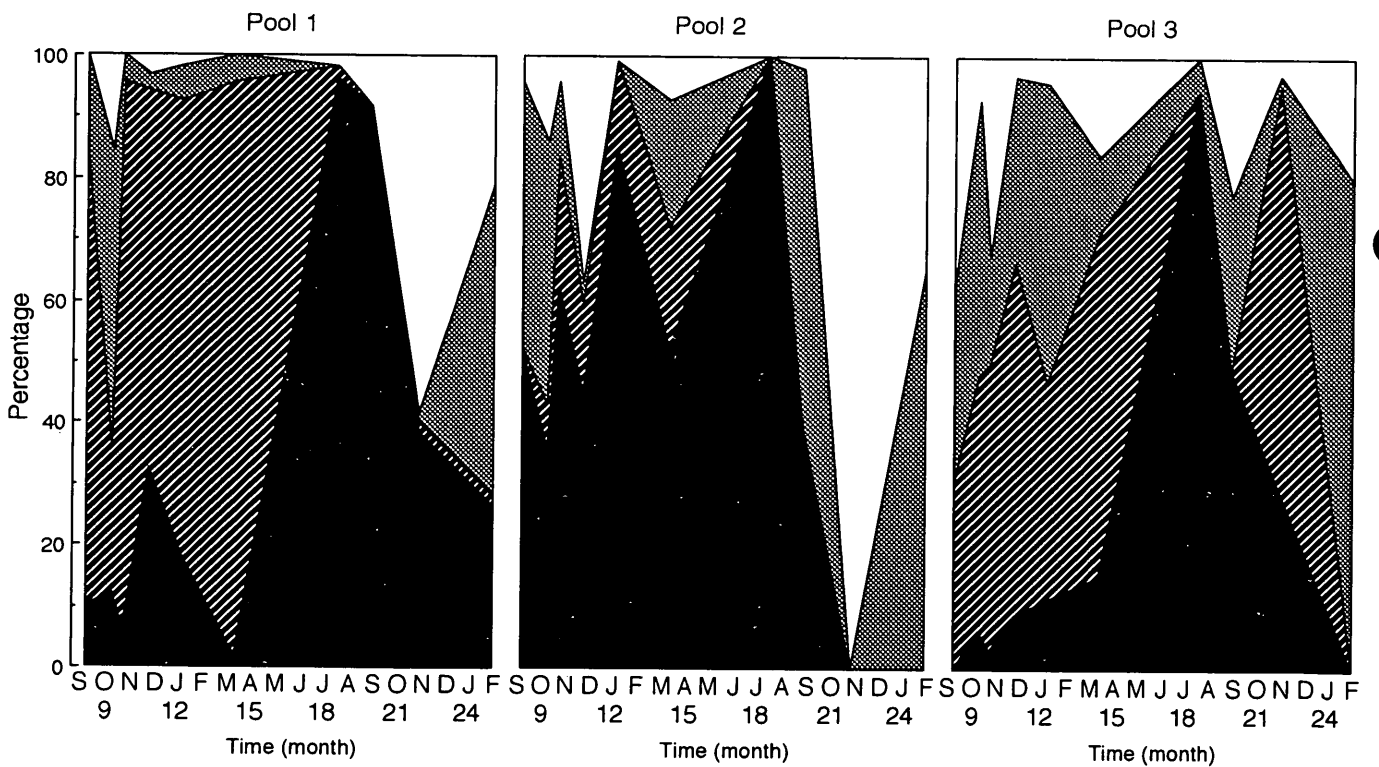


図-16 湿重量でみたマクロベントスの種構成の経月変化.

■: *Musculista senhousia*; ▨: *Ceratonereis erythraeensis*; ▩: *Haloa japonica*; □: Others.

ていない。水槽2における構成比は他の水槽よりも大きい(表-7)。以上のように、各々の種における構成比の水槽間の大小関係は、個体密度と同様である。

*Haloo japonica*の個体密度および構成比は、22ヶ月後(1996年11月)に最小値を示し、9ヶ月後(1995年10月)に最大値を示しているが(表-9)、経過時間に伴う一定の増減および季節変動はみられない。*Capitella* sp.および*Corophium* sp.の個体密度および構成比は、経過月間で有意差がみられない(表-9)。*Musculista senhousia*の個体密度は、経過月間で有意差がみられない。構成比においては交互作用が存在しているが、経過月間に有意差があることのみがいえる(表-9)。*Ceratonereis erythraeensis*の個体密度および構成比は、交互作用が存在するため経過月間に有意差があることのみがいえる(表-9)。この種は夏季に交尾を行い1世代が完結する。したがって*Ceratonereis erythraeensis*が7月から9月頃まではほとんど存在していないのは(図-15)、個体サイズが小さくふるい目を通過しカウントされないためと思われる。

b) 湿重量でみた種構成

湿重量でみたマクロベントスの優占種は、ホトトギスガイ(*Musculista senhousia*)、コケゴカイ(*Ceratonereis erythraeensis*)、ブドウガイ(*Haloo japonica*)である。水槽2における*Musculista senhousia*の湿重量は、水槽3よりも多い(表-7)。*Ceratonereis erythraeensis*および*Haloo japonica*の湿重量は、水槽間で有意差がみられない(表-7)。

*Musculista senhousia*の構成比は、水槽1で1.8-96.3%(平均33.3%)、水槽2で0.0-100.0%(平均47.1%)、水槽3で0.0-94.2%(平均21.6%)の変動がみられる(図-16)。*Haloo japonica*の構成比は、水槽1で0.0-50.6%(平均13.2%)、水槽2で0.0-65.2%(平均24.7%)、水槽3で1.7-79.2%(平均30.2%)の変動がみられる(図-16)。この両種の水槽間の有意差はみられない(表-7)。*Ceratonereis erythraeensis*の構成比は、水槽1で0.0-93.8%(平均42.4%)、水槽2で0.0-21.3%(平均7.8%)、水槽3で0.0-66.3%(平均33.5%)を変動し(図-16)、水槽2における構成比は他の水槽よりも小さい(表-7)。

*Musculista senhousia*の湿重量は、経過月間で有意差がみられない(表-9)。18ヶ月後(1996年7月)における構成比は他の月より大きくなっているが(表-9)、経過時間に伴う一定の増減および季節変動はみられない。

*Ceratonereis erythraeensis*の湿重量および構成比は、経過月間に有意差があることのみがいえる(表-9)。*Haloo japonica*の個体密度および構成比は、18ヶ月後(1996年7月)および22ヶ月後(1996年11月)に小さく、9ヶ月後(1995

年10月)および25ヶ月後(1997年3月)に大きくなっていて、個体密度における傾向とほぼ同様である(表-9)。したがって経過時間に伴う一定の増減および季節変動はみられない。

4. 考察

4.1 物理的攪乱が与える底生生物への影響

波による外力を受ける水槽1では、底面せん断力が大きく底泥は移動するが、水槽2では水槽1と比較し、底面せん断力が小さく底泥は移動しないと推定できる(表-4)。水槽1においては砂れんの形成が観察されるが、水槽2において底泥が移動している様子はみられない。これらの底泥の安定性の差が底生生物群集にどのような影響を与えるのかを検討する。

(1) 底生藻類

底生藻類は光合成によって自らの栄養を作り出すため、光の届く泥面のごく表層に棲息している(Joint 1982)¹⁸⁾。本実験においても泥深0.5cmにおけるクロロフィルa量は非常に高い値を示している(図-17)。また、底生藻類の中には泥中を鉛直移動する能力を有する種が存在するが、その速度はせいぜい0.1mm h⁻¹といわれている(Baretta and Ruardij 1988)³⁾。水槽2と比較して底面せん断力を大きく受ける水槽1のクロロフィルa量が少なかった本研究の結果は(表-5)、底泥が移動することにより、底泥粒子に密着している藻類が再懸濁して流失したり、藻類が底泥粒子に被覆されて光量不足になり死亡することを示唆している。底生藻類のバイオマスが底泥の安定性に関係していることは、培養実験および野外調査において観察されている(Vos et al. 1988, Delgado 1991, de Jonge et al 1995)^{6, 7, 40)}。de Jonge and Van Beusekom (1992)⁵⁾は、底生藻類の再懸濁を確認するため干潟の直上水中の植物プランクトンを調べ、底生藻類が最大で60%含まれていたことを示している。

一方、藻類から放出される粘質多糖類が底泥を安定化させるため、底泥の再懸濁が抑制されるという報告もある(Grant et al. 1986, Hamilton 1987, Paterson 1989)^{9, 10, 29)}。de Jongeら(1995)⁶⁾は、野外調査結果から、底生藻類量の減少や生物による底泥の攪拌(bioturbation)により底泥の粗度が増加すると、底泥が再懸濁しやすくなることと述べている。つまり、外力のみではなく、底生藻類あるいは他の底生生物の働きによっても底泥の安定性が変化することを示している。Cladophoraceaeを主体としたマットが形成されていた時期(18-22ヶ月後)は、藻類によって底泥が安定化していたと思われる。マットの存在下では、計算された

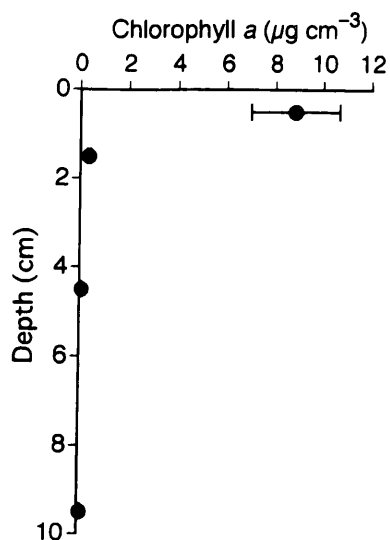


図-17 1995年9月におけるクロロフィルa量の鉛直分布。3つの水槽の平均値を示している。Error barは標準誤差を示す。

限界摩擦速度は過小評価となるであろう。このことは、マットが外力による底泥の侵食を防止する可能性があることも意味している。

(2) 底生バクテリア

底生バクテリアの動態は、その餌である有機物の供給の質および量と、物理的な攪乱および捕食圧とのバランスに影響されると考えられている (Howarth and Hobbie 1982, White 1983) ^{16, 41)}。しかし、物理的攪乱はあまり大きな影響を与えないという見解が多い (White 1983, Alongi 1985) ^{2, 41)}。本研究では、水槽2と比較して底面せん断力を大きく受ける水槽1の細胞密度が低い。この結果を底生藻類との関係から考えてみる。図-18に底生バクテリアの細胞密度とクロロフィルa量との関係を示す。6ヶ月後 (1995年7月) から20ヶ月後 (1996年9月) における両者は正の相関を示すことがわかる。このことから、藻類から放出される易分解性の粘質多糖類が、バクテリアにとってよい有機物の供給源になっていることが推定される。つまり、水槽内の実験生態系における底生バクテリアの現存量は、藻類から放出される有機物に強く依存しているが、藻類量が物理的攪乱の影響を受けるため、間接的に物理的攪乱に影響を受ける動態を示していると思われる。

原生動物、特に従属栄養性の微小鞭毛虫がバクテリアの主要な捕食者であることは、浮遊生態系ではよく知られている (例えば Kemp 1988, Sherr et al. 1989) ^{19, 34)}。そして、底生生態系においても、バクテリアと微小鞭毛虫には浮遊生態系と同様に捕食-被捕食の関係があることがわか

ってきている (Hondeveld et al. 1992) ¹²⁾。今回の実験では原生動物について調査されていないが、底生バクテリアの動態を検討する上で原生動物の捕食圧も重要な要因として扱うべきであろう。

(3) メイオベントスおよびマクロベントス

本研究で出現したメイオベントスおよびマクロベントスは移動能力を有するため、底生藻類よりもさらに深い場所に生息が可能である。このため、外力によって底泥粒子が移動してもメイオベントスおよびマクロベントスの総個体密度に影響がみられなかったと思われる (表-7)。メイオベントスが底泥の攪乱に対して弾力性があることは、野外調査においても観察されているが (Hogue 1982, Alongi et al. 1983) ^{1, 11)}、Alongi (1985) ²⁾ は室内実験から、活発な鉛直移動に加えて速い再生産速度をその理由として指摘している。

メイオベントスおよびマクロベントスの出現種数においても、水槽間に差はみられていない (表-7)。種の豊富さは、攪乱の頻度あるいは強度と、その場の潜在的な生物生産力のバランスによって決まるという仮説が議論されている (Solbrig 1992) ³⁶⁾。もしこの仮説に従うならば、水槽1と水槽2における外力の違いが、両水槽における多様性の違いを与えるほどではないのか、または、外力の違いとつり合うほどに潜在的な生産力の違いがあることが考えられるが、今回の実験結果からは不明である。

4.2 海水交換が与える底生生物への影響

実験水槽には、海水交換時に久里浜湾の海水が導入される。そして次の海水交換までの間、海水は閉じた系内で循環する (図-1)。水質は循環を繰り返すうちに、蒸発やプランクトンの活動などにより変化したり、底泥との相互作用により変化する (Lopez 1996) ²⁴⁾。したがって、実験水槽内では、導入時の久里浜湾海水の初期水質が時間の経過とともに変化していく。水槽3より海水交換の頻度が高い水槽2においては、導入時の初期水質による影響が水槽3よりも大きい。逆に水槽3においては、循環による水質変化の影響が水槽2よりも大きい。

本実験では塩分について水槽2と水槽3とに差がみられていない (図-5)。これは、両水槽における導入海水の塩分および導入後の蒸発による塩分変化量に差がみられないためである。その他栄養塩などについては、導入された久里浜湾海水の水質および導入後の水質の変化の様子がモニタリングされていないので検討できない。また、直上水質との相互作用により変化する底泥についても今回調査されていないのでここでは検討できない。

底生生物の定着に影響を及ぼす要因は実に様々であり、

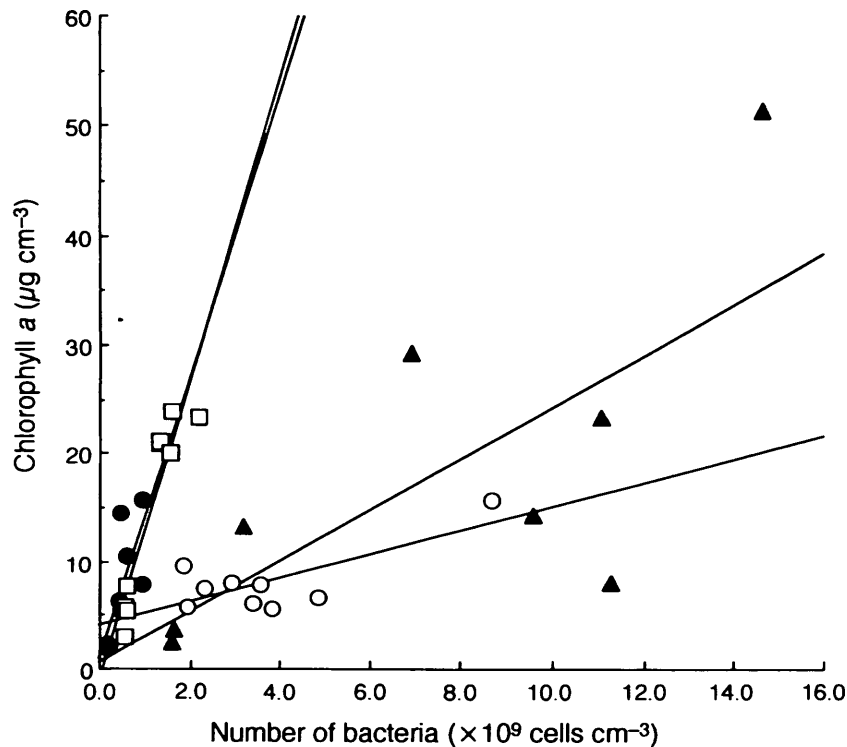


図-18 バクテリアの細胞密度とクロロフィルa量との関係。

○ : 1995年7月, $r^2=0.55$; ● : 1996年3月, $r^2=0.55$; □ : 1996年7月, $r^2=0.86$;
▲ : 1996年9月, $r^2=0.51$.

例えば塩分、酸化還元電位、粒度、有機物量、餌としてのデトリティス、着底基質のバクテリア相などが挙げられる(菊池 1979)²⁰⁾。そして定着する種により、これらの干潟環境の好適条件は異なる。しかし、いくら好適な環境条件が整っていても、生物がその干潟に接近することができなければ、永遠に底生生物は定着しない。つまり、底生生物が干潟にアクセスできることが、定着のための第一の必要条件である。Levinら(1996)²³⁾は人工salt marshで調査した結果から、定着したマクロベントス(*Capitella* sp.を含む)が、拡散しやすい幼生期の存在する生活史を持つ種であったと報告している。さらに、幼生の拡散する時期が非常に限定されることから、底泥に定着する底生生物の種類および現存量が、海水の導入頻度(時期)および使用される海水中の幼生量にも大きく左右されると考えられる。

本実験では、底生バクテリア・底生藻類の現存量およびメイオベントス・マクロベントスの総個体密度において、水槽2と水槽3とに差がみられていない(表-5, 表-7)。一方、定着した種については、*Capitella* sp.の個体密度および構成比が水槽2と比較し水槽3の方が大きい結果となっている(表-7)。幼生がアクセスする機会の多さという点からは水槽2の方が*Capitella* sp.にとって好適で

あったにもかかわらず、*Capitella* sp.が水槽3により多く定着したのは、水槽3の環境が着底した*Capitella* sp.にとって好適だったからと理解できる。*Capitella* sp.は汚染指標種として有名であり、汚染の進んだ内湾(有機物量の多い底泥)によく出現する種である(菊池 1979)²⁰⁾。水槽3の底泥中の有機物量が水槽2と比較して多いかどうかを調査する必要がある。

今後の実験において海水交換の頻度を高くしたり、久里浜湾以外の海水を用いたり、繁殖期の成体を持ち込むことにより幼生が水槽内の底泥にアクセスする機会を増やせば、本実験で出現した種以外の新たな種が水槽内に定着する可能性があると思われる。これらを検討するためには、使用する海水中の幼生量および種についても定量化する必要がある。

4.3 底生生物の遷移のパターン

(1) 現存量が動的平衡に達するまでの時間

本実験では、底生バクテリア・底生藻類の現存量およびメイオベントスおよびマクロベントスの総個体密度において、経過時間に伴う一定の増加もしくは減少傾向がみられていない(表-6, 表-8, 表-9)。実験にはあらかじめ

め天日で乾燥させた底泥を用いているので、実験開始時には少なくともメイオベントスおよびマクロベントスはほとんど存在していなかったと仮定できる。とすると、1回目に採取した8ヶ月後までに現存量が動的平衡に達していたと思われる。人工salt marshでマクロベントスの総個体密度を調査したLevinら(1996)²³⁾の結果では、周辺の自然salt marshの総個体密度と同等になるのに要した時間が3ヶ月となっている。底生藻類の現存量が動的平衡になるまでに要する時間が約6週間という報告がある(高田 1993)³⁸⁾。バクテリアは底生藻類よりもさらに早期に定着・増殖するため、おそらく数日というオーダーであろう。

(2) 人工干潟における種構成の遷移

新たに形成されたhabitatには、一般に日和見種(opportunistic species)が植民してくる。opportunistic speciesは不安定な場所に棲みつき、高い増殖率によって一時的な資源を独占的に利用するのに適した種と定義されている。この種はhabitatが不適になると、他の新しいhabitatを求めて分散する。したがって安定化した環境においては、長い生活史を持ち種間競争に強い種に置き換わっていく。つまり、opportunistic speciesが優占する場所は初期の遷移状態にあるといえる。さて、人工的に創られた干潟では、opportunistic speciesが優占したままの初期の遷移状態が永遠に続く場合があるといわれている(Levin 1984, Moy and Levin 1991, Trueblood et al. 1994)^{22, 27, 39)}。また、安定化した環境に棲息すると思われる大型で深い巣穴を形成する種は、人工干潟においてはまったく存在しないか極めてまれであるという報告もある(Rhoads and Boyer 1982)³⁰⁾。本実験で出現した*Capitella* sp.および*Musculista senhousia*は(図-15)、他の人工干潟の調査例でもopportunistic speciesとして出現している(Trueblood et al. 1994, Skatolini and Zedler 1996)^{33, 39)}。これより、実験水槽内の生態系は、初期の遷移状態にあるといえる。

本実験において、OligochaetaからNematodaへの優占種のシフトがみられている(図-11)。Oligochaetaはopportunistic speciesとみなすことができる。しかし、NematodaがOligochaetaよりも実験水槽の環境により適応した種とみなせるかを判断するためには、今後も実験水槽内でNematodaが優占するのかどうかをモニタリングする必要がある。

いずれにせよ、時間の経過とともに必ずしも遷移が徐々に進行するとは限らないことに注意する必要がある。種の交代が起こらないことは、多様性の低下を招くことを意味する。メイオベントスの出現種数が実験半ばより減少傾向にあることは(表-8)、その1つの兆候であろう。以前の自然干潟あるいは周辺の自然干潟と同等の生態系の復元を目標として干潟が創出されるケースは、今後

増加すると思われる。生態系の機能を考えた場合、底生生物の現存量だけではなく、種構成も同等に復元される必要がある。ミチゲーションの完成度を検討する上で底生生物をモニタリングするのであれば、種構成という観点は重要であると思われる。

5. あとがき

本研究では、干潟実験施設を用いて波・流れによる物理的攪乱および海水交換が底生生物群集に与える影響を検討した。また、再現された干潟実験生態系における底生生物群集の遷移を経時的に検討した。本研究により得られた主要な結論を以下に示す。

●物理的攪乱が底生生物に与える影響

①底生バクテリアおよび底生藻類の現存量は、流れによる物理的攪乱(底面せん断力)を与えた水槽と比較して、波による強い物理的攪乱を与えた水槽の方が少ない値を示す。これは、底泥のごく表層に棲息する藻類が再懸濁して流失したり、移動する底泥が藻類を被覆することが原因と考えられる。そして藻類量が少ない環境では、藻類から有機物の供給を受けるバクテリアの現存量も小さい値を示すと推測される。

②バクテリア・藻類と比較し、より深い泥深に棲息可能な大型のメイオベントスおよびマクロベントスの総個体密度は、攪乱強度の異なる水槽間で差がみられない。

③メイオベントスおよびマクロベントスの出現種数についても、攪乱強度の異なる水槽間で差がみられない。

●海水交換が底生生物に与える影響

①バクテリア・藻類の現存量およびメイオ・マクロベントスの総個体密度は、交換頻度の異なる水槽間で差がみられない。

②*Capitella* sp.の個体密度および構成比は、交換頻度の低い水槽においてより大きな値を示している。

●底生生物の遷移

①バクテリア・藻類の現存量およびメイオ・マクロベントスの総個体密度は、明確な季節変動および経過時間に伴う一定の増加もしくは減少を示さない。生態系が創出されてから8ヶ月後までには、現存量が動的平衡に達していたと思われる。

②新たに創出された干潟において一般に出現する*Capitella* sp.や*Musculista senhousia*などのopportunistic speciesが優占している。これより、実験水槽内の生態系は初期の遷移状態にあるといえる。

③メイオベントスの優占種は、実験期間中にOligochaetaからNematodaへシフトしている。

最後に、室 善一朗元海水浄化研究室研究員および海老名 正裕元海水浄化研究室研修生には、干潟実験施設の定時観測においてご協力をいただいた。新日本気象海洋(株)の南城 利勝氏には、メイオベントスおよびマクロベントスの同定をしていただいた。また、本研究をまとめるにあたり、小笹 博昭海洋環境部長、村上 和男特別研究官および鶴谷 廣一環境評価研究室長には丁寧なご指導を受けた。ここに記して、深く感謝いたします。

(1997年6月30日受付)

参考文献

- 1) Alongi, D. M., D. F. Boesch and R. J. Daiz (1983): Colonization of meiobenthos in oil-contaminated sands of the lower Chesapeake Bay. *Mar. Biol.*, **72**, 325-335.
- 2) Alongi, D. M. (1985): Effect of physical disturbance on population dynamics and trophic interactions among microbes and meiofauna. *J. Mar. Res.*, **43**, 351-364.
- 3) Baretta, J. and P. Ruardij (1988) : Tidal flat estuaries: Simulation and analysis of the Ems estuary, Springer-Verlag, 353p.
- 4) Chow, V. T. (1981): Open-channel hydraulics. McGraw-Hill, 680p.
- 5) de Jonge, V. N. and J.E.E.v. Beusekom (1992) : Contribution of resuspended microphytobenthos to total phytoplankton in the Ems estuary and its possible role for grazers. *Neth. J. Sea Res.*, **30**, 91-105.
- 6) de Jonge, V. N. and J. E. E. v. Beusekom (1995): Wind- and tide-induced resuspension of sediment and microphytobenthos from tidal flats in the Ems estuary. *Limnol. Oceanogr.*, **40**, 766-778.
- 7) Delgado, M., V. N. d. Jonge and H. Peletier (1991): Experiments on resuspension of natural microphytobenthos populations. *Mar. Biol.*, **108**, 321-328.
- 8) Epstein, S. S. and J. Rossel (1995): Enumeration of sandy sediment bacteria: search for optimal protocol. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **117**, 289-298.
- 9) Grant, J., U. V. Bathmann and E. L. Mills (1986): The interaction between benthic diatom films and sediment transport. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **23**, 225-238.
- 10) Hamilton, W. A. (1987). Biofilms: Microbial interactions and metabolic activities. In M. Fletcher, T. R. G. Gray and J. G. Jones (eds) *Ecology of Microbial Communities*, Cambridge University Press.
- 11) Hogue, E. W. (1982): Sediment disturbance and the spatial distributions of shallow-water nematodes on the open Oregon coast. *J. Mar. Res.*, **40**, 551-573.
- 12) Hondeveld, B. J. M., R. P. M. Bak and F. C. V. Duyl (1992): Bacterivory by heterotrophic nanoflagellates in marine sediments measured by uptake of fluorescently labeled bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **89**, 63-71.
- 13) 細川 恭史・桑江 朝比呂・三好 英一・室 善一朗・木部 英治 (1996): 干潟実験施設を用いた物質収支観測. 港湾技研資料, **832**, 21p.
- 14) 細川 恭史・三好 英一・関根 好幸・堀江 毅 (1987): 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. 港湾技術研究所報告, **26**, 297-368.
- 15) 堀江 毅・細川 恭史・三好 英一・加藤 道康 (1984): ミ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, **494**, 28p.
- 16) Howarth, R. W. and J. E. Hobbie (1982). The regulation of decomposition and heterotrophic activity in salt marsh soils: a review. In V. S. Kennedy (eds) *Estuarine Comparison.*, Academic Press.
- 17) 岩垣 雄一 (1956): 限界掃流力に関する基礎的研究. 土木学会論文集, **41**, 1-21.
- 18) Joint, I. R., J. M. Gee and R. M. Warwick (1982) : Determination of fine-scale vertical distribution of microbes and meiofauna in an intertidal sediment. *Mar. Biol.*, **72**, 157-164.
- 19) Kemp, P. F. (1988): Bacterivory by benthic ciliates: significance as a carbon source and impact on sediment bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **49**, 163-169.
- 20) 菊池 泰二 (1979): 多毛類 *Capitella capitata* の生態, 生活史: “汚染指標種” の生態的特性をめぐって. ベントス研連誌, **17/18**, 33-51.
- 21) 栗原 康 (1980): 干潟は生きている. 岩波書店, 219p.
- 22) Lewin, L. A. (1984): Life history and dispersal patterns in a dense infaunal polychaete assemblage: community structure and response to disturbance. *Ecology*, **65**, 1185-1200.
- 23) Lewin, L. A., D. Talley and G. Thayer (1996) : Succession of macrobenthos in a created salt marsh. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **141**, 67-82.
- 24) Lopez, P., X. Lluch, M. Vidal and J. A. Morgui (1996): Adsorption of phosphorus on sediments of the Balearic Islands (Spain) related to their composition. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **42**, 185-196.
- 25) Lorenzen, C. J. (1967): Determination of chlorophyll and

- phaeo-pigments: Spectrometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 343.
- 26) Lyche, A., T. Anderson, K. Christoffersen, D. O. Hansen, P. H. B. Hansen and A. Klysner (1996): Mesocosm traser studies. 1. Zooplankton as sources and sinks in the pelagic phosphorus cycle of a mesotrophic lake. *Limnol. Oceanogr.*, **41**, 460-474.
- 27) Moy, L. D. and L. A. Lewin (1991): Are *Spartina* marshes a replaceable resource? A functional approach to evaluation of marsh creation efforts. *Estuaries*, **14**, 1-16.
- 28) 小笹 博昭 (1997): 沿岸域における環境の創造・評価に関する最近の技術について. 港湾学術交流会年報, **34**, 207-255.
- 29) Paterson, D. M. (1989): Short-term changes in the erodibility of intertidal cohesive sediments related to the migratory behavior of epipelagic diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, **34**, 223-234.
- 30) Rhoads, D. C. and L. F. Boyer (1982). The effects of marine benthos on physical properties of sediments: a successtional perspective. In P. L. McCall and M. J. S. Tevesz (eds) *Animal-sediment relations.*, Plenum Press.
- 31) 西条 八束・坂本 充 (1993): メソコスム 湖沼生態系の解析. 名古屋大学出版会, 346p.
- 32) Sakamoto, M., H. Hayashi, A. Otsuki, K. Aoyama, Y. Watanebe, T. Hanazato, T. Iwakuma and M. Yasuno (1989): Role of bottom sediments in sustaining plankton production in a lake ecosystem. -Experimental demonstration using enclosed water bodies in a shallow eutrophic lake. *Ecol. Res.*, **4**, 1-16.
- 33) Scatolini, S. R. and J. B. Zedler (1996): Epibenthic invertebrates of natural and constructed marshes of San Diego Bay. *Wetlands*, **16**, 24-37.
- 34) Sherr, B. F., E. B. Sherr and C. Pedrós-Aliós (1989): Simultaneous measurement of bacterioplankton production and protozoan becterivory in estuarine water. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **54**, 209-219.
- 35) Short, F. T. and D. M. Burdick (1995): Mesocosm experiments quantify the effects of eutrophication on eelgrass, *Zostera marina*. *Limnol. Oceanogr.*, **40**, 740-749.
- 36) Solbrig, O. T. (1992): From genes to ecosystems a research agenda for biodiversity. In Report of a IUBS-SCOPE-UNESCO Workshop, International Union for Biological Science (IUBS), 123p.
- 37) Swart, D. H. (1976): Coastal sediment transport. Computation of longshore transport. *Delft Hydr. Lab. Rep.*, **R968** Part 1.
- 38) 高田 宣武 (1993): 陶石タイルを用いた潮間帯の微小付着藻類定量法の検討. *Benthos Res.*, **44**, 45-55.
- 39) Trueblood, D. D., E. D. Gallagher and D. M. Gould (1994): Three stages of seasonal succession on the Savin Hill Cove mudflat, Boston Harbor. *Limnol. Oceanogr.*, **39**, 1440-1454.
- 40) Vos, P. C., P. L. de. Boer and R. Misdorp (1988): Sediment stabilization by benthic diatoms in intertidal sandy shoals; qualitative and quantitative observations. In de. Boer et al. (eds) *Tide-influenced sedimentary environments and facies*, Reidel., pp 511-526.
- 41) White, D. C. (1983). Analysis of microorganisms in terms of quantity and activity in natural environments. In J. H. Slater, R. Whittenberg and J. W. T. Wimpenny (eds) *Microbes in Their Natural Environments.*, Cambridge University Press.

記号表

d	: 底泥粒子の粒径
f_w	: 摩擦係数
g	: 重力加速度
h	: 水深
H	: 波高
i	: 水面勾配
k	: 粗さのパラメーター
L	: 波長
n	: Manningの粗度係数
ρ	: 海水の密度
T	: 周期
τ_0	: 底面せん断力
U	: 流速
\hat{U}	: 底面の水粒子速度の振幅
U_*	: 摩擦速度
U_{*c}	: 限界摩擦速度
y	: 泥面からの距離

付録A 経過月間での多重比較結果の見方。下表を例にして説明する。表中の数字は経過月を示す。平均値の小さい順に各経過月を並べていて、1ヶ月後の平均値がもっとも小さく3ヶ月後の平均値がもっとも大きいことを示す。不等号で表されている経過月の大小関係は有意であることを示し ($p \leq 0.05$)、下線で表される経過月群の大小関係は有意でないことを示す ($p > 0.05$)。つまり、表中のAについては1ヶ月後における平均値が有意に2ヶ月後より小さく、同様に2ヶ月後における平均値が有意に3ヶ月後より小さいことを示す。Bについては1ヶ月後と2ヶ月後、2ヶ月後と3ヶ月後、そして1ヶ月後と3ヶ月後における大小関係に有意差がみられないことを示す。Cについては1ヶ月後と2ヶ月後および2ヶ月後と3ヶ月後における大小関係に有意差がみられないが、1ヶ月後における平均値が有意に3ヶ月後より小さいことを示す。したがって $1 < 3$ の関係がある。

A	B	C
$1 < 2 < 3$	<u>1 2 3</u>	<u>1 2 3</u>

付録B-1 メイオベントスの個体密度 (個体 20cm⁻²) の測定結果

	Pool 1										Pool 2									
	Sep95	Oct95	Nov95	Dec95	Jan96	Mar96	Jul96	Sep96	Nov96	Feb97	Sep95	Oct95	Nov95	Dec95	Jan96	Mar96	Jul96	Sep96	Nov96	Feb97
Nemertea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Platyhelminthes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbellaria	-	-	-	-	-	-	192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	384	-	-	-
Nematoda	128	176	704	160	400	800	1216	64	2048	5120	336	240	96	32	1024	2592	2944	896	12032	65
Mollusca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastropoda	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Annelida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polydora</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
Spionidae	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Capitella</i> sp.	-	12	32	16	16	-	-	-	4	-	-	16	-	-	-	-	-	-	-	-
Oligochaeta	49	272	416	416	32	224	128	-	64	128	104	352	96	192	224	1184	128	384	128	-
Arthropoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ostracoda	-	-	-	-	-	-	-	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Harpacticoida	64	48	608	-	288	32	768	704	128	128	8	32	96	384	352	480	1920	32	8	-
Copepoda	-	-	-	-	128	96	-	-	-	-	-	-	-	-	32	672	128	-	-	-
Cumacea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Granditerella japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corophium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	-	-	-	-	-	-	-	-
Corophiidae	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	16	16	-	-	-	-	-	-

	Pool 3										
	Sep95	Oct95	Nov95	Dec95	Jan96	Mar96	Jul96	Sep96	Nov96	Feb97	
Nemertea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Platyhelminthes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbellaria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nematoda	144	20	288	64	1056	288	896	320	7552	4672	
Mollusca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastropoda	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Annelida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polydora</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Spionidae	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-	-
<i>Capitella</i> sp.	-	4	2	-	32	64	-	-	24	20	
Oligochaeta	256	112	96	64	672	544	128	64	384	192	
Arthropoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ostracoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Harpacticoida	48	4	32	32	320	128	32	-	256	-	
Copepoda	8	-	-	-	256	160	-	-	-	-	
Cumacea	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-	
<i>Granditerella japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Corophium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Corophiidae	-	-	-	8	-	-	-	-	-	-	

付録B-2 マクロベントスの個体密度 (個体 0.25cm^{-2}) の測定結果

	Pool 1										Pool 2											
	Sep95	Oct95	Nov95	Dec95	Jan96	Mar96	Jul96	Sep96	Nov96	Feb97	Sep95	Oct95	Nov95	Dec95	Jan96	Mar96	Jul96	Sep96	Nov96	Feb97		
Cnidaria																						
Actiniaria					1																	
Nemertea																						
Mollusca																						
<i>Haloa japonica</i>	14	117	22	4	51	35	-	-	1	76	139	277	90	109	-	303	-	24	-	-	65	
<i>Philine argentata</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Decorifer insignis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	
<i>Musculista senhousia</i>	6	11	3	14	9	2	22	38	8	7	76	38	27	49	54	62	8	3	-	-	-	
<i>Ruditapes philippinarum</i>	-	1	-	1	2	-	1	15	14	-	1	-	2	1	-	1	-	-	-	-	-	
Annelida																						
Syllinae																						
<i>Eteone</i> sp.																						
<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	52	17	37	22	34	36	1	-	3	1	3	3	5	5	4	8	-	-	-	-	-	
<i>Neanthes succinea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nereis heterocirrata</i>	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-
<i>Perinereis cultrifera</i>	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Perinereis cultrifera</i> n. floridana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Neptyys polybranchia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paraprionospio</i> sp. (type A)	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prionospio aucklandica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polydora</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3	1	-	-	1	10	-	-	-	-	-
<i>Pseudopolydora</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	9	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	16
<i>Rhynchospio</i> sp.	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cirriformia tentaculata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Capitella</i> sp.	6	5	1	1	-	-	-	3	102	338	33	14	25	20	21	65	-	-	16	141	-	-
<i>Mediomastus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heteromastus</i> sp.	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	2	1	-	-	-	-
<i>Annotrypae</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thelepus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oligochaeta</i>	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arthropoda																						
<i>Balanus amphitrite</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grandidierella japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	8	-	-	-	-	-	-
<i>Corophium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	11	92	36	49	13	517	3	-	-	15	331	-

Pool 3

	Sep95	Oct95	Nov95	Dec95	Jan96	Mar96	Jul96	Sep96	Nov96	Feb97
Cnidaria										
Actiniaria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nemertea	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
Mollusca										
<i>Haloa japonica</i>	347	239	64	109	39	44	8	221	1	104
<i>Philine argenteata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Decorifer insignis</i>	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-
<i>Musculista senhousia</i>	3	1	4	1	3	2	14	14	1	1
<i>Ruditapes philippinarum</i>	-	-	-	-	-	-	-	5	-	2
Annelida										
Syllinae	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
<i>Eteone</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	61	38	15	18	3	12	-	2	24	2
<i>Neanthes succinea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nereis heterocirrata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pernereis cultrifera</i>	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-
<i>Pernereis cultrifera v. floridana</i>	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-
<i>Neptytus polybranchia</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paraprionospio</i> sp. (type A)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prionospio aucklandica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polydora</i> sp.	1	-	-	1	-	1	-	1	-	-
<i>Pseudopolydora</i> sp.	-	-	-	1	-	-	-	-	2	3
<i>Rhynchospio</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cirriiformia tentaculata</i>	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-
<i>Capitella</i> sp.	138	89	30	61	51	206	12	36	19	234
<i>Mediomastus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heteromastus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
<i>Ammatrypane</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thelepus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oligochaeta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arthropoda										
<i>Balanus amphitrite</i>	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grandidierella japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corophium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

付録B-3 マクロベントスの湿重量 (g wet 0.25m⁻²) の測定結果

	Pool 1										Pool 2									
	Sep95	Oct95	Nov95	Dec95	Jan96	Mar96	Jul96	Sep96	Nov96	Feb97	Sep95	Oct95	Nov95	Dec95	Jan96	Mar96	Jul96	Sep96	Nov96	Feb97
Cnidaria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Actiniaria	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nemertea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nemertinea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mollusca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Halaea japonica</i>	0.53	5.68	0.30	0.19	0.56	0.40	-	0.04	5.12	-	7.50	3.34	0.70	0.41	-	3.86	-	1.38	-	2.77
<i>Philine argentiata</i>	-	1.66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Decorifer insignis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Musculista senhousia</i>	0.36	1.44	0.41	2.29	1.67	0.17	3.40	11.86	1.06	2.67	8.94	2.79	3.52	4.98	8.20	9.62	1.75	0.93	-	-
<i>Ruditapes philippinarum</i>	-	0.08	-	0.19	0.15	-	0.06	1.11	1.44	-	0.06	-	0.13	4.00	-	0.08	-	-	-	-
Annelida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Syllinae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Eleone</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-	-	-	-	-
<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	2.72	2.82	6.03	4.34	6.96	8.62	0.07	-	0.05	0.19	0.13	0.55	1.21	1.62	1.38	3.71	-	-	-	-
<i>Neanthes succinea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nereis heteroctrata</i>	-	-	-	-	-	-	<0.01	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03
<i>Perinereis cultrifera</i>	-	0.12	-	0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37	-	-	-	-
<i>Perinereis cultrifera v. floridana</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nephtys polybranchia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paraprionospio</i> sp. (type A)	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prionospio aucklandica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polydora</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	<0.01	0.02	-	<0.01	0.02	-	-	-	-
<i>Pseudopolydora</i> sp.	-	-	<0.01	-	-	-	-	<0.01	0.02	0.07	2	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.11
<i>Rhynchospio</i> sp.	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cirriformia tentaculata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Capitella</i> sp.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-	<0.01	0.13	2.07	0.15	0.39	0.04	0.03	0.03	0.32	-	-	0.02	0.89
<i>Mediomastus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	-
<i>Heteromastus</i> sp.	-	-	-	<0.01	-	-	-	<0.01	-	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	<0.01	<0.01	-
<i>Annotrypae</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	-	-	-
<i>Thelepus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-
<i>Oligochaeta</i>	-	<0.01	-	<0.01	-	-	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arthropoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Balanus amphitrite</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grandidierella japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	0.06	-	-	-	-
<i>Corophium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	-	<0.01	0.02	0.16	0.05	0.05	<0.01	0.48	<0.01	-	<0.01	0.48

	Pool 3									
	Sep95	Oct95	Nov95	Dec95	Jan96	Mar96	Jul96	Sep96	Nov96	Feb97
Cnidaria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Actiniaria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nemertea	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	-	-
Nemertinea	-	-	-	-	<0.01	-	-	-	-	-
Mollusca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Haloa japonica</i>	2.12	4.77	1.09	2.13	1.39	0.72	0.05	2.53	0.07	4.58
<i>Philine argentata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Decorifer insignis</i>	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-
<i>Musculista senhousia</i>	0.66	0.18	0.18	0.60	0.32	0.86	0.81	4.28	1.22	<0.01
<i>Ruditapes philippinarum</i>	-	-	-	-	-	-	-	1.84	-	0.13
Annelida	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Syllinae	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	-	-
<i>Eteone</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ceratonereis erythraeensis</i>	2.02	4.43	2.88	4.03	1.01	3.22	-	0.02	2.77	0.04
<i>Neanthes succinea</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nereis heterocirrata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Perinereis cultrifera</i>	-	-	0.23	-	-	-	-	-	0.09	-
<i>Perinereis cultrifera v. floridana</i>	-	-	0.05	<0.01	-	-	-	-	-	-
<i>Nephtys polybranchia</i>	<0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Paraprionospio</i> sp. (type A)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Prionospio aucklandica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Polydora</i> sp.	<0.01	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
<i>Pseudopolydora</i> sp.	-	-	<0.01	<0.01	-	-	-	-	-	-
<i>Rhyncospio</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cirriiformia tentaculata</i>	-	0.03	0.24	-	<0.01	-	-	-	-	-
<i>Capitella</i> sp.	0.71	0.14	0.06	0.12	0.12	0.94	<0.01	0.05	0.03	1.03
<i>Mediomastus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heteromastus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	-	-
<i>Anmotrypane</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalopus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oligochaeta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arthropoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Balanus amphitrite</i>	-	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Grandidierella japonica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Corophium</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-