

は し が き

高知県のほぼ中央部に位置する浦ノ内湾は、長年にわたる魚類養殖が続けられた結果漁場の老化が進行し、水質及び底質の悪化をもたらしている。このため、浦ノ内湾環境改善調査事業のうちの一つとして、細菌を主成分とする底質改良剤（バイオコロニー）により主として養殖場周辺の底質改善を目的とした、バイオコロニー散布による底質改善試験を実施することとした。本報告書はこのうち、平成３年度に実施した下記の内容についてとりまとめたものである。

- 1 現場におけるバイオコロニー散布試験
- 2 底泥モデルを用いた室内実験

試験実施機関及び担当者

担当者

高知県水産試験場	場	長	石田 善久
	漁場環境科	科長	村田 宏
	技	師	土居 聡
	技	師	岩崎 健吾
高知県中央漁業指導所	技	監	谷口 道子
	改良普及員		西山 勝

バイオコロニー散布による底質改善試験

I 試験の目的

近年浦ノ内湾では、水質及び底質の悪化が進行し、赤潮の発生や貧酸素水塊の形成等によりしばしば漁業被害が生じている。これらの現象には、湾内に人為的に負荷され海底に堆積した有機物が深く関わっていると考えられ、底質環境の改善が必要とされている。この対策としてこれまでに覆砂や通気法等の試みがなされてきた。

また、近年は細菌を主成分とする底質改良剤もいくつか開発されているが、海面養殖漁場における使用例はわずかであり、その効果について十分な知見がない。BSE バイオコロニーは枯草菌と呼ばれる*Bacillus subtilis* を主成分とする底質改良剤の一つであるが、平成2年に浦ノ内湾で湾内の漁協が中心となって養殖場周辺に散布を行い、散布を行った場所では底土表面がゼリー状に固まり、浮泥が著しく減少する等の効果がみられ、養殖場における底質改善に有用である可能性が示された。しかし、その作用機構や効果の持続性、使用方法については十分解明されていない。

本試験では、現場への散布試験及び底泥モデルを用いた室内実験によりバイオコロニーの環境改善効果について明らかにしたい。

II 試験の概要

1 現場におけるバイオコロニー散布試験

1-1 事前調査

養殖場における底泥への汚染負荷は、小割生簀直下で最も顕著であることから、前年度の深浦漁協による散布試験をふまえて今年度も小割直下への散布を行うこととした。そこで、小割生簀直下の水質・底質の状態を把握し、散布試験区域の選定を行うための事前調査を行った。

(1) 調査時期

平成2年5月9日

(2) 調査区域及び定点

前年度に深浦漁協が散布を行った区域は大鹿、光松、小網代の3区域であるが、今年度はこのうち湾中央部に位置する光松を対象区域とした。そしてこのうち湾奥側から湾口側までの8小割を定点(St.1～St.8)として選んだ(図1)。

(3) 調査方法

上記定点において底層の水質及び底質について調査した。

水質については底土上1mの底層水の水温、塩分を測定し、またコア採泥によって得られる底

土直上水（底土上 10 cm）をサイフォンを用いて採水し、溶存酸素（DO）、pH、酸化還元電位（Eh）、全硫化物量（T-S）、栄養塩濃度を測定した。このうち水温、塩分は EIL 社製 MC-5 型サリノメーターを用いて、pH、Eh はそれぞれ東亜電波製 HM-10 P pH メーター、RM-10 P ORP メーターを用いて現場で測定した。また T-S は、底土直上水を 10 ml とり、ガステック検知管法によって現場で測定し、DO はウィンクラーアジ化ナトリウム変法によって現場で試水を固定して測定した。栄養塩測定用試水は 250 ml ポリビンに採水し、調査終了後直ちに実験室に持ち帰り 0.45 μ ミリポアフィルターで吸引ろ過した後、TECHNICON 社製オートアナライザー TRAACS 800 システムにより、それぞれ以下の方法で測定した。

アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) : インドフェノール法。

亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) : BR 法。

硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) : カドミウムカラム還元法。

リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) : アスכולビン酸法。

全窒素、全リン (T-N, T-P) : アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウムにより分解後、それぞれカドミウムカラム還元法及びアスכולビン酸法。

底質については小割側縁より橋本科学製 KK 式大型コアサンプラーによって柱状採泥し、水を押し出して底土表面の温度、pH、Eh を測定後、0~2 cm、2~4 cm、4~6 cm の 3 層に切りとり、そ

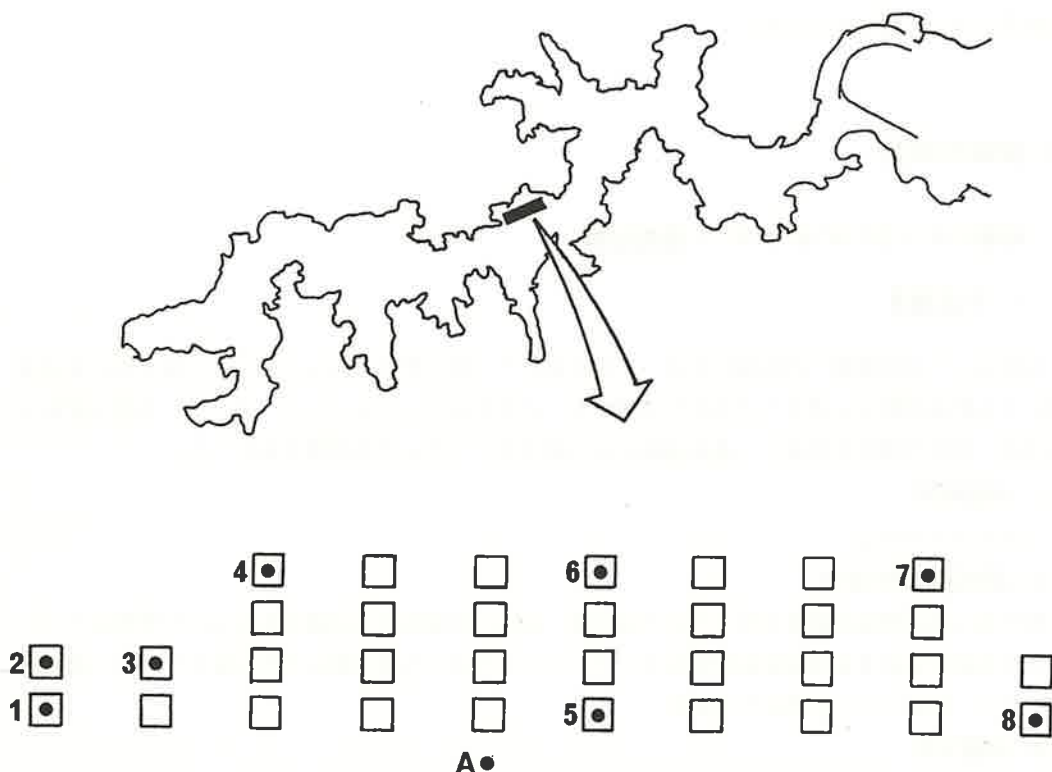


図1 事前調査における調査定点図

れぞれについて全硫化物 (T-S), 強熱減量 (IL), 化学的酸素要求量 (COD) を測定した. このうち, T-S は調査当日に分析し, IL と COD は泥を凍結保存して分析に供した. 測定方法を以下に示す.

T-S : ガステック検知管法.

IL : 乾燥泥を 0.5 mm (32 メッシュ) のふるいでろ過し, 通ったものについて 800 °C で強熱後, 恒量を求めた.

COD : アルカリ性過マンガン酸カリウム分解法.

(4) 結果

水質についての各項目の測定結果を図 2-1 から図 2-10 に示した. 底層水温は湾口側に向かうにつれてやや高くなっているものの概ね 19~20 °C の範囲にあり, 底層塩分は約 32 ‰ でほぼ均一な値となっていた (図 2-1, 図 2-2). 底層の DO は各定点で概ね 3~5 ppm の値を示し, この時期には底層の貧酸素化が進んでいないことを示した. また湾奥側から湾口側に向かうにつれてやや高くなる傾向がみられた (図 2-3). pH は概ね 8.2~8.4 の間で各定点ともほぼ均一であった (図 2-4). Eh は St. 2 と St. 5 で他の定点より高くなっているが, やはり湾奥から湾口に向かうにつれて高くなる傾向がみられ, DO の分布と良く対応していた (図 2-5). T-S は Eh の値が十分に高いことからわかるように, 底土直上水が十分に酸化状態にあり, 全定点で検出されなかった (図 2-6). 次に栄養塩濃度についてみると, まず無機態窒素及びリンの中では全定点で $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が高く, 底泥からの溶出が活発であることがうかがわれた. 最も値が高かったのは光松の中央部陸側の St. 6 であった. 他の $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ はいずれも低濃度で各定点間の差も小さかった (図 2-7). T-N, T-P の分布をみると, T-N は全定点で $10 \mu\text{g-at/l}$ 以上の濃度が検出された. 特に湾奥側の St. 1 と St. 2 で濃度が高かった (図 2-8). また, T-P は各定点とも概ね $1 \mu\text{g-at/l}$ で無機態の $\text{PO}_4\text{-P}$ の値と大きな差はなく, 有機態でのリンの溶出が低かったことを示している (図 2-9). T-N と, その中に占める $\text{NH}_4\text{-N}$, DIN のそれぞれの濃度を比較してみると, 底泥からの窒素の溶出は主として有機態窒素及び $\text{NH}_4\text{-N}$ の形で溶出してくることが示された. また, 湾奥側の St. 1 と St. 2 では T-N から DIN を差し引いた値, つまり有機態窒素の占める割合が特に高かった (図 2-10).

次に底質についての各項目の測定結果を図 3-1 から図 3-6 に示した. まず, 底土表面の泥温は St. 2 で他の定点より高くなっているものの, 水温と同じように湾口側に向かってやや高くなる結果となった (図 3-1). pH も St. 2 で他の定点より高い他は概ね 7.6~7.8 と横ばい状態であった (図 3-2). Eh は St. 1 で 0 以上の値を示した他はいずれもマイナスの値となり, St. 6 と St. 7 で特に低い値を示した (図 3-3). 次に底泥中の T-S についてみると (図 3-4), 最も値が高かったのは St. 6 で, 3 層のいずれにおいても 2 mgS/dry g 以上と他の定点に比べ非常に高い値を示し, 硫化物を多く含む泥がかなりの厚さにわたって堆積していることが示された. また, St. 4, St. 5, St. 8 の 3 定点は 3 層のいずれも約 1 mgS/dry g と今回調査した中では低い値を示し, しかも上下層間の差も少なかった. St. 7 は底泥表層付近の T-S が高い値を示した. 底泥中の IL をみると (図 3-5), St. 4 は 3 層のいずれにおいても低い値を示した. また, St. 5 と St. 8 は表層部分では値がやや高いものの, それ以下の層は St. 4 と同様に低かった. 湾奥側の St. 1, 2, 3 は表層部分の IL に他の定

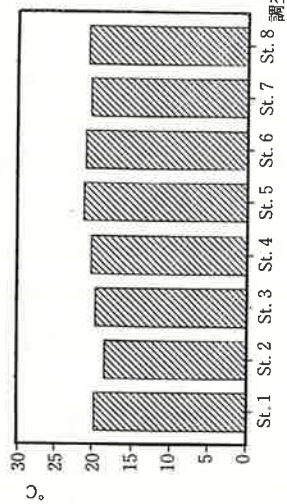


図 2-1 底層水の水温

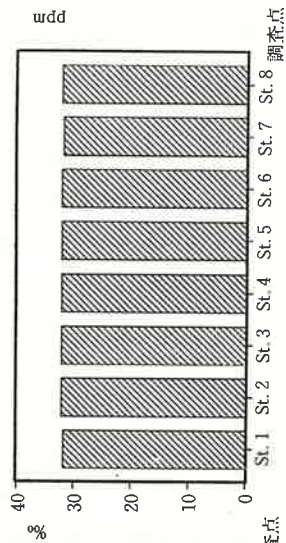


図 2-2 底層水の塩分

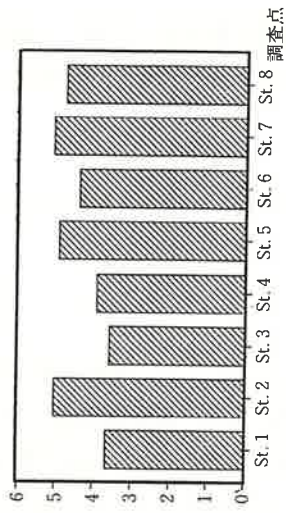


図 2-3 底土直上水の DO

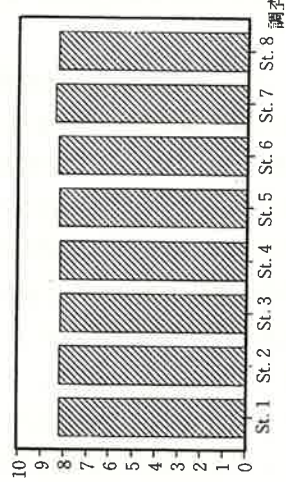


図 2-4 底土直上水の pH

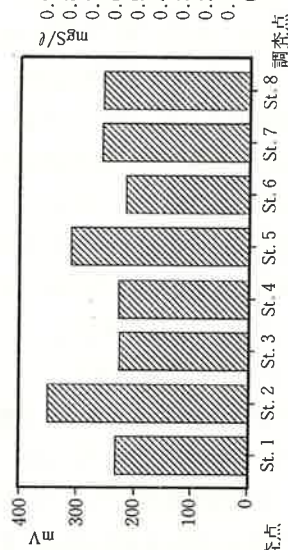


図 2-5 底土直上水の Eh

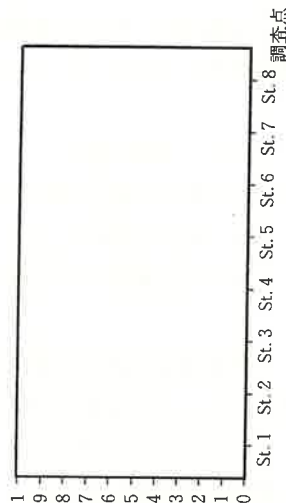


図 2-6 底土直上水の T-S

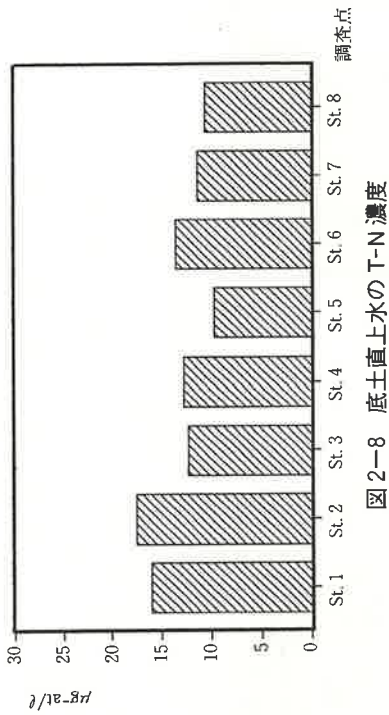


図 2-8 底土直上水の T-N 濃度

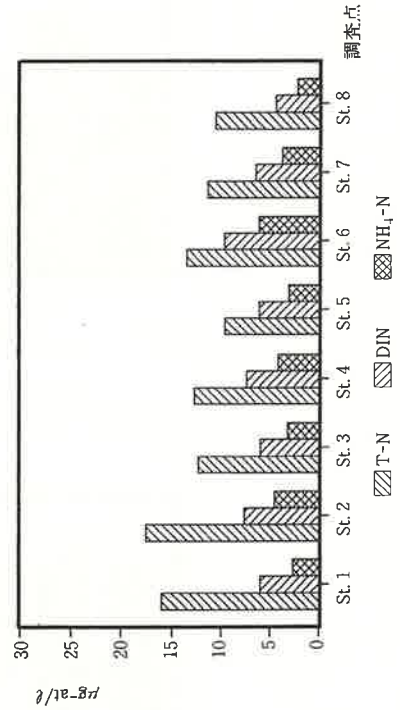


図 2-10 底土直上水の T-N, DIN, NH₄-N 濃度

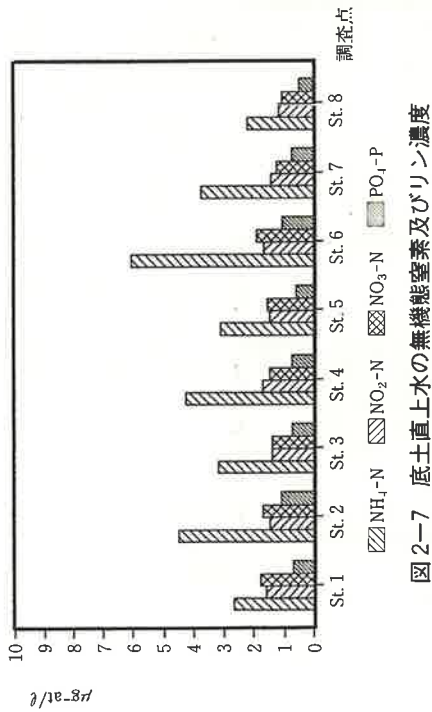


図 2-7 底土直上水の無機態窒素及びリン濃度

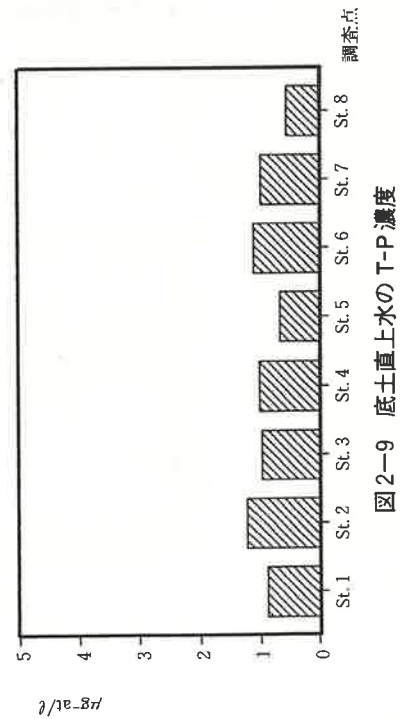


図 2-9 底土直上水の T-P 濃度

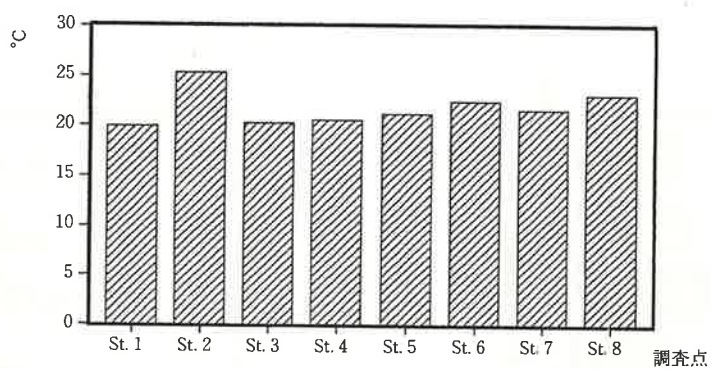


図 3-1 底泥表面の泥温

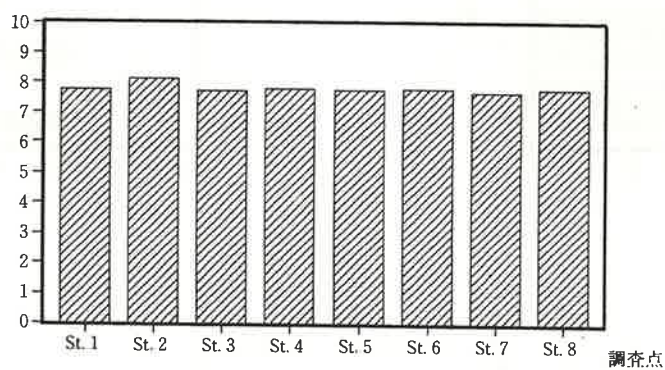


図 3-2 底泥表面の pH

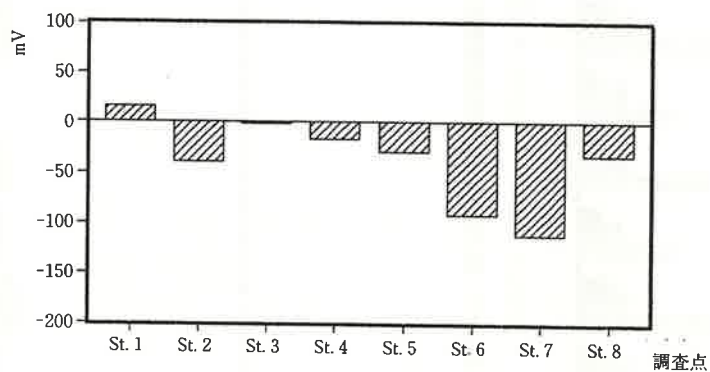


図 3-3 底泥表面の Eh

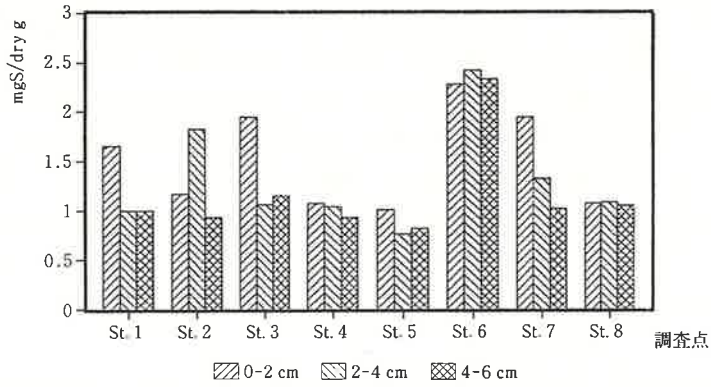


図 3-4 底泥中の T-S

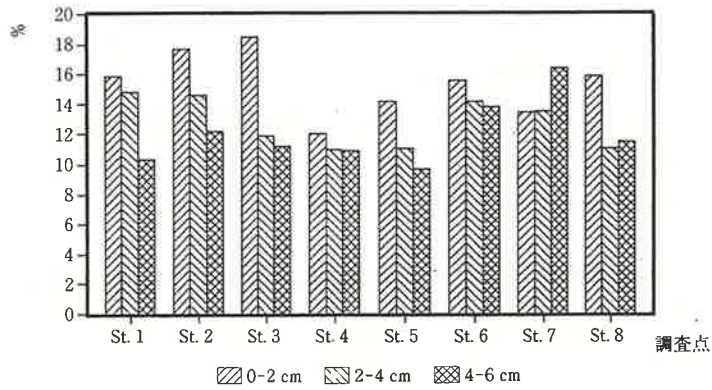


図 3-5 底泥中の IL

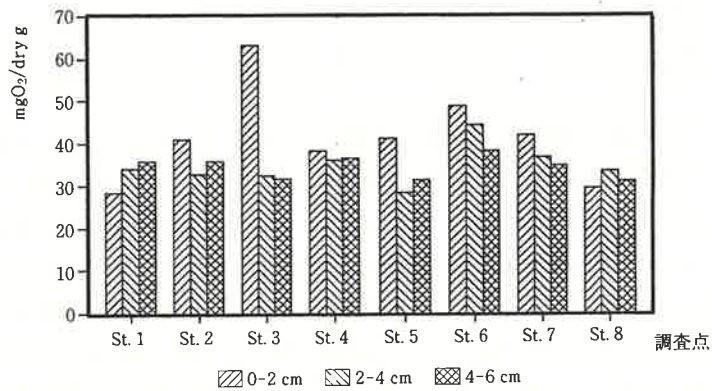


図 3-6 底泥中の COD

点と比べて高い値がみられた。St. 6 及び St. 7 はいずれの層においても比較的高い値を示し、上下層間の差も少なく、有機物を多く含む泥が他の定点に比べ多く堆積していることが示された。次に底泥中の COD についての結果を図 3-6 に示した。COD は全定点の各層においてほぼ 30 mgO₂/dry g を越える非常に高い値であった。St. 3 では底泥表層で 63.4 mgO₂/dry g の著しく高い値がみられたが、それ以下の層ではむしろ低く、全層において高かったのは St. 6 と St. 7 であった。St. 1 と St. 8 は 3 層のいずれにおいても低く、St. 2 と St. 5 は表層部がやや高いものの、それ以下の層では低かった。また、St. 4 は値そのものは他の定点と比べて低くはないが、上下層間の差は小さかった。

(5) 考察

今回は 1 回のみの断片的な調査しかできなかったが、養殖小割生簀直下の底層の水質及び底質を知る上で有用な結果が得られた。まず水質であるが、底層 (B-1 m) の水温、塩分を見る限りでは、当水域の底層はほぼ均一な水塊のようである。しかし底土直上水は底質からの影響を受けやすいためか、各定点によって多少の違いがみられた。DO と Eh は湾口側ほど高くなる傾向がありながら、各定点によって値がばらついていて、栄養塩については底泥からの溶出による有機態窒素、NH₄-N の濃度が高く、特に湾奥側ほど有機態窒素の濃度が高かった。表 1 は平成元年と 2 年に浦ノ内湾で行った赤潮調査事業で光松 (図 1 の St. A) における栄養塩と底質の分析結果を示したものである。今回の栄養塩の測定値と比較してみるとそれほど大きな差はみられず、栄養塩濃度についていえば小割直下の底層の水質は小割の設置されていない場所のそれとそれほど変わらないといえる。

表 1 浦ノ内湾光松 (St. A) における栄養塩 (B-1 m) と底質の測定結果

	NH ₄ -N	DIN	T-N	T-S	IL	COD
H 1. 4 月	4.68	5.89	7.97	0.46	11.6	21.22
5 月	6.22	7.15	16.74			
8 月	13.13	15.05	21.61	1.14	11.7	21.64
H 2. 4 月	2.58	2.62	9.33	0.22	10.5	18.20
5 月	6.54	7.39	9.46			
8 月	32.91	33.47	33.91	0.87	11.3	11.49

しかし、底質については小割直下では小割の設置されていない場所に比べて汚染が著しいことが明らかになった。小割直下の T-S, IL, COD の値と表 1 の St. A における値を比較してみると、汚染負荷の少ない 4 月はもちろん底質の悪化が最も顕著になる 8 月の値をも小割直下の値が上回っている。しかも St. A のそれぞれの数値は底泥表層の測定値であるのに、小割直下の 4~6 cm 層の値と同じかそれ以下であった。このことは小割直下では養殖による残餌や養魚の排泄物等が多く堆積し、有機物を非常に多く含むかなり汚染の進んだ底質となっていることを示している。しかもこの時期はモジャコの養殖が始まったばかりで、それ以前の冬から春にかけての混合期にある程度分解が進んだ状態での結果であるので、これから底層の DO が減少し、養殖活動が本格的になるに従ってこれらの数値はまだまだ上昇するものと思われる。

また底質の測定結果を定点別にみると、汚染のひどかったのは St. 6 と St. 7 で逆に St. 4, St. 5 及び St. 8 ではそれほど汚れていなかった。St. 6 は特に T-S が非常に高い値を示した。当定点は光松の中央部陸側にあり、海水交換が悪い上に養魚の餌料に冷凍切り身（他の定点は圧縮ペレット）を使用していることが、他の定点に比べ底質の悪化を強めている原因であると考えられた。また St. 7 は湾口側の海水交換がよい位置にあるものの、マダイの越冬魚を飼育していたために冬から春の間も養殖が行われていたことが、有機物を多く含む泥が多く堆積していた原因と考えられる。St. 4, 5, 8 の3定点はいずれも海水交換の良い位置にあり、養殖の行われない冬から春にかけて有機物の分解が進み、モジャコ養殖の始まったばかりのこの時期には汚染の負荷も少ないため、このような結果になったと考えられる。

このように小割の位置、養殖魚や餌の種類によって底質の状態が違ってくるので、バイオコロニーの散布を行いその効果の把握をするにはこれらの条件をできるだけ同一にする必要がある。今回の事前調査の結果をふまえて、散布試験区域に底質の状態や養魚、餌の種類がほぼ同じである湾奥側の St. 1～3 を含む4小割を選定した。

1-2 散布試験

1-1 で述べた事前調査の結果から選定した散布試験区域を対象に、現場におけるバイオコロニーの散布試験を行い、散布前と散布後の水質及び底質状態を調査した。

(1) 調査時期

散布試験を行う際に散布の時期について検討したが、BSE によるとバイオコロニーの主成分である *B. subtilis* は通性嫌気性細菌で、無酸素状態でも増殖が可能であるということ、浦ノ内湾では夏期に底層が貧酸素状態となりその後底質が著しく悪化すること等を考慮し、底質が最も悪化する直前の 7 月に散布を行いその効果を見ることとした。そこで、5 月 28 日、6 月 20 日、7 月 10 日に散布前の調査を行った後、7 月 16 日、7 月 29 日の 2 回に分けて散布を行った。その後 1 (8/6)、2 (8/13)、4 (8/27)、6 (9/10)、8 (9/24) 及び約 11 週間目 (10/17) に散布後の追跡調査を行った。

(2) 調査定点

事前調査の結果から、今年度の散布試験区域は光松の湾奥側の 4 小割とした (図 4 の St. A~D)。業者からの聞き取りでは St. B の小割ではカンパチを、他の小割では全てハマチでいずれも当才魚を養殖するということであった。そして沖側と陸側の小割での底層の水の動きに違いがある可能性も考慮し、陸側の St. B と沖側の St. C を散布区とし、St. A と St. D を対照区とした。

(3) 調査方法

まず散布方法であるが、散布濃度と効果の関係を把握するためには、小割直下に正確な濃度で散布しなければならない。又小割側縁から試料を採取するので、小割の大きさ (8 m×8 m) よりも少し広め (10 m×10 m) に、潜水によって底土上約 2 m の深さから散布を行った。図 5 に示すように小割直下の 10 m×10 m の散布面積のうち、試料を採取する側の 2 m×10 m には小割側縁両端からロープとおもりを垂直に降ろし、それに平行に張ったロープを目印に、ダイバーがそのロープが体の中央にくるようにしてその両側 1 m ずつに定められた量を均一に散布した。残りの 8 m×10 m の部分についても同様に、潜水によって上述の散布部分に重ならないよう散布した。1 回の散布量は St. B が 600 g/m²、St. C が 300 g/m² とし、2 回の合計の散布量は St. B が 120 kg、St. C が 60 kg となった。

そして上記調査時期にそれぞれ各定点で底層の水質及び底質について調査した。測定項目と方法は事前調査と同様に行ったが、新たに底泥中の全炭素量 (T-C) 及び全窒素量 (T-N) を測定した。またエクマンバージにより採泥した底泥を 1 mm 目のふるいでろ過して得られるマクロベントスを採取し、分類及び個体数、現存量の測定を行った。底土直上水の pH、Eh、T-S と底土表面の泥温、pH、Eh は 5 月 28 日から 9 月 24 日まで測定した。T-C、T-N の分析は乾燥泥を 0.5 mm (32 メッシュ) のふるいでろ過後、通ったものについて柳本製作所製 CN コーダー MT-500 により行った。

(4) 結果

現場試験での水質についての結果を図 6~13 に、底質についての結果を図 14~22 に、またベントスの結果を図 23、24 に示した。

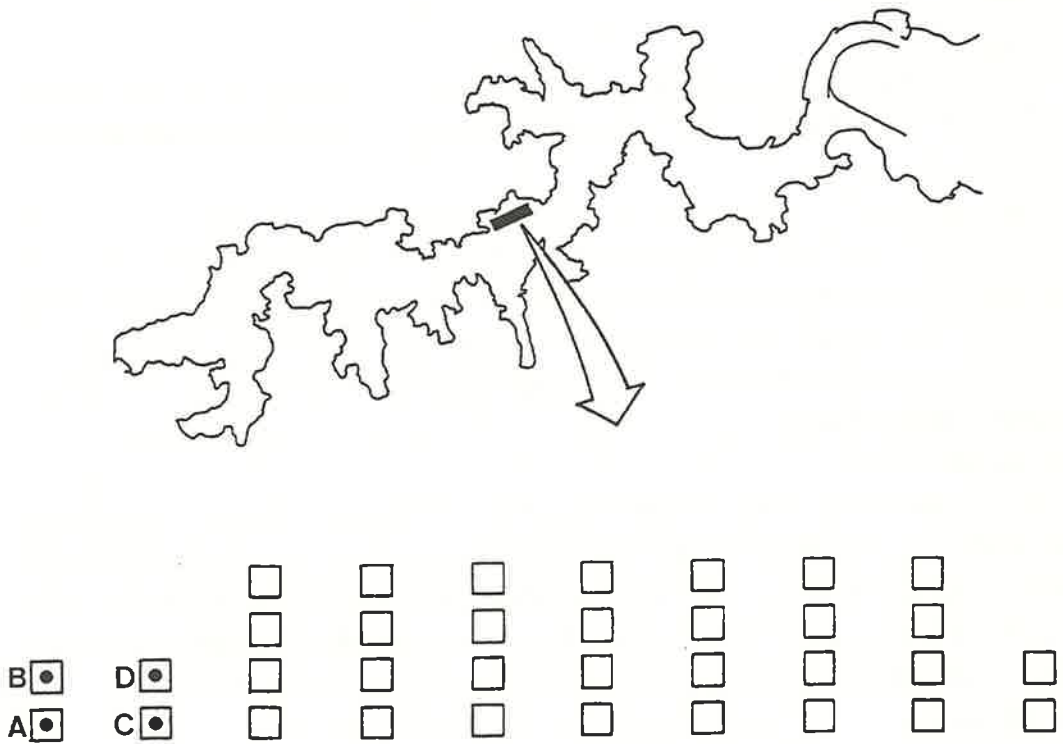


図4 現場試験における調査定点図

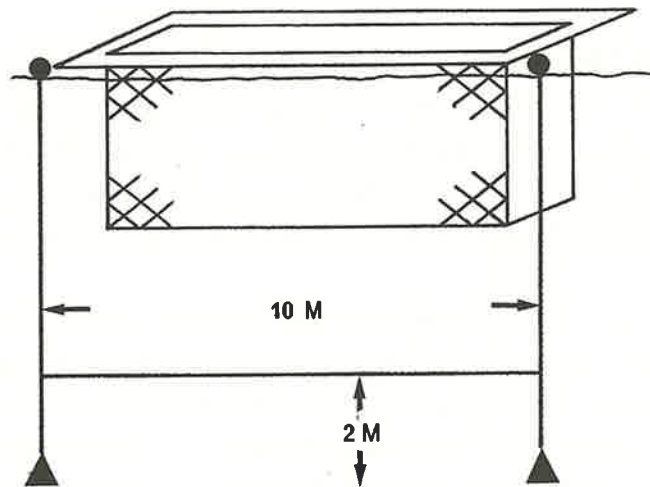


図5 潜水による散布方法

<水質>

① 水温 (図 6)

まず底層の水温については、5月28日には19℃台であったのが9月まで上昇して27～28℃台になり、その後は減少に転じて10月17日には23℃台となった。各定点間の差は調査期間を通じて小さかった。

② 塩分 (図 7)

底層の塩分についてみると、5月28日には31‰以上あったが徐々に低下し、6月、7月は30‰台で推移した。8月6日にはそれ以前に起こったと見られる湾外水の差し込みによって塩分は上昇して31～32‰台となり、その後は概ね31‰で推移した。差し込みによる塩分の上昇があった後の8月6日とその1週間後の8月13日には各定点間で多少の差がみられたが、それ以外は各定点間での差は小さかった。

③ DO (図 8)

底土直上水のDOは、全体的には調査を開始した5月28日から徐々に減少して2ppm以下の貧酸素状態となり、9月24日からは底層のDOの回復によって再び上昇したが、その推移は各定点によって大きく異なっていた。St. Aでは7月10日から8月13日の比較的長期にわたってDOが高い値で推移した。また9月10日にはSt. Dが他の3定点に比べ著しく高い値を示したように、接近して設けられた4定点の間でも底層のDOの変化は様でないことが示された。

④ pH (図 9)

底土直上水のpHは、調査を開始した5月から6月までは7.9～8.1であったのが、7月に入るとやや上昇して約8.2となり、散布後2週間目の8月13日には約8.3にまで上昇した。しかしその後8月27日の調査では急激に低下して約7.9となり、その後は再び上昇し始め9月24日には約8.2となった。各定点間の測定値を比較すると、5月28日と6月20日には多少の差がみられたものの、全体的には底土直上水のpHは各定点でほぼ等しかった。

⑤ Eh (図 10)

底土直上水のEhは調査を開始した5月28日から散布後1週間目の8月6日までは各定点とも低下する傾向を示した。その間St. BのEhが他の定点に比べやや高い値で推移していた。散布後2週間目の8月13日にはSt. Bを除き各定点とも上昇したが、その後8月27日には各定点とも急激に低下し、定点間の差も小さかった。その後9月に入ると再び上昇に転じた。散布後はSt. Cが8月27日を除いて他の定点よりも高めに推移したが、St. Bでは対照区よりもむしろ低めに推移した。

⑥ T-S (図 11)

底土直上水中のT-Sは、5月28日には全定点で検出されなかったが6月20日にはSt. Dで、さらに7月10日にはSt. Bを除く3定点で検出された。そして8月6日にはSt. Dで0.76 mgS/lの非常に高い値となった他、全定点で検出された。しかし8月13日にはSt. Bを除いて全て減少し、St. Cでは全く検出されなかった。8月27日には各定点とも0.4～0.5 mgS/lの高濃度で検出された。その後は減少し、St. Cでは9月にはいと全く検出されなかった。散布後のT-Sの減少はSt. Cの方がSt. Bよりも顕著に表れ、8月13日、9月10日及び24日にはSt. Cのみ全く検出されず、St. A、Dの両対照区と比較しても常に低く推移した。またSt. Bは8月13日にSt. Aよりもやや高い値が

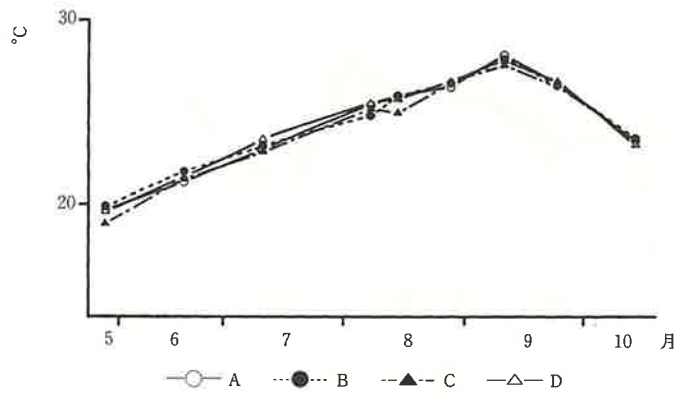


図6 底層水温の推移

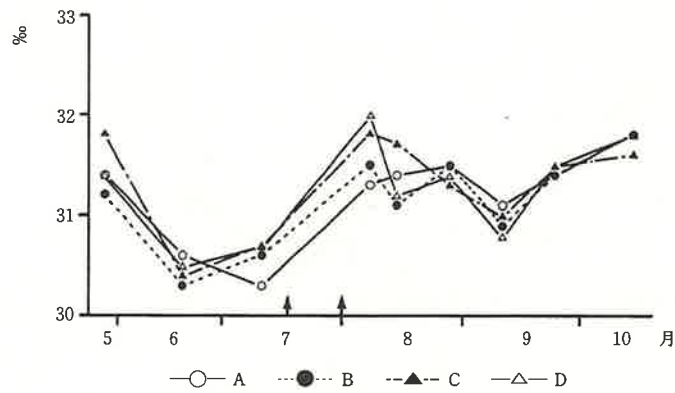


図7 底層塩分の推移

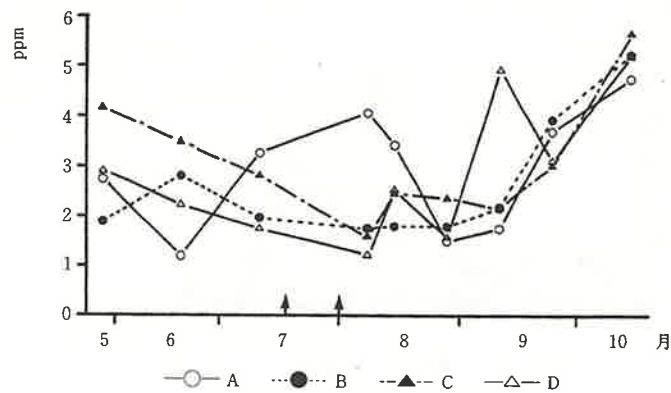


図8 底土直上水の DO の推移

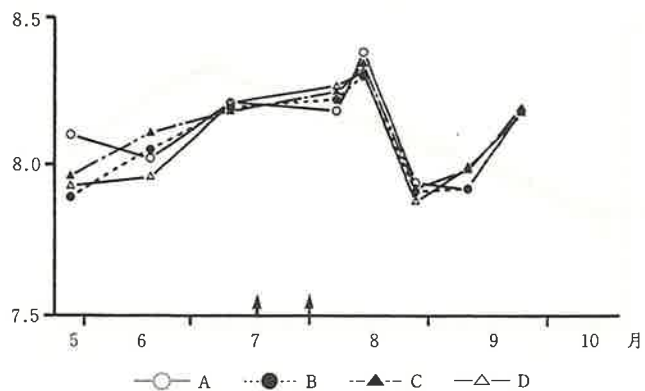


図9 底土直上水の pH の推移

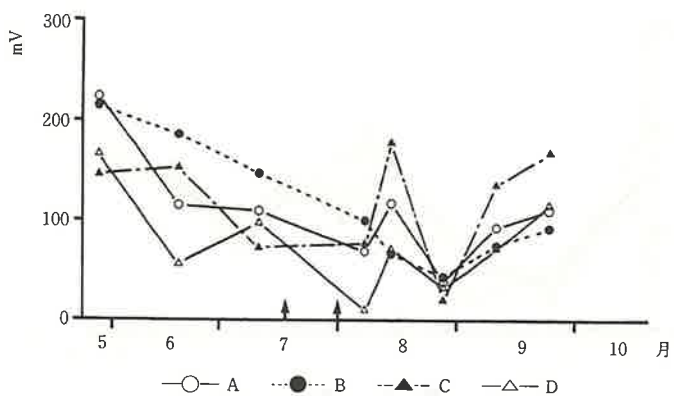


図10 底土直上水の Eh の推移

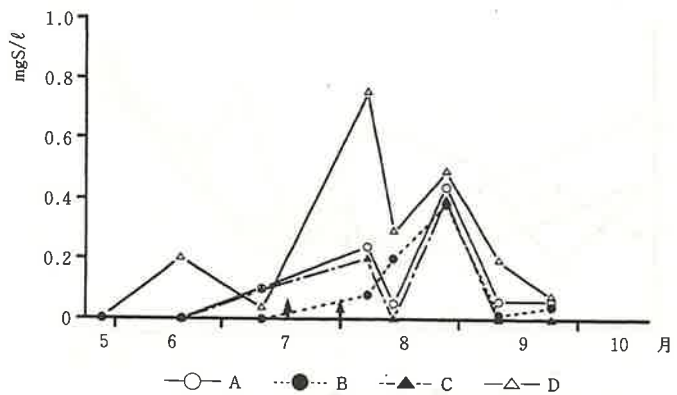


図11 底土直上水の T-S の推移

みられた他は St. C と同様、両対照区よりも低く推移した。また沖側に面する St. A と St. C は T-S の変動が非常に似かよっていることから、底層の水に連動した動きのあることがうかがえた。8 月 27 日には pH, Eh の動きから水質に急激な変化があったと考えられ、各定点の T-S が上昇した。それ以降は 4 定点とも同じような変動を示し、9 月 24 日には底層の DO の回復によって減少した。

⑦ 栄養塩 (図 12, 13)

図 12 に各定点における栄養塩のうち $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ の測定結果を示した。全体的にみるとやはり事前調査の結果と同様に $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が高く、また $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ もやや高い値を示し、浦ノ内湾湾央部から湾奥部での底層でみられる栄養塩の分布と同様の傾向がみられた。また $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ は調査期間を通じて大きな変化はみられなかったが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は調査期間中大きく変動した。5 月 28 日には 4 定点とも $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は低く、沖側の St. A と St. C では $\text{NH}_4\text{-N}$ よりむしろ $\text{NO}_2\text{-N}$ の方が高い状態であった。しかし陸側の St. B と St. D では $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ が沖側に比べて高くなっていた。6 月から 7 月にかけて各定点とも $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度が増加し、 $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ も $3\mu\text{g-at/l}$ 以上にまで増加した。散布後 1 週間目の 8 月 6 日には散布区の St. B と St. C で $\text{NH}_4\text{-N}$ の著しい減少がみられた。8 月 13 日には 4 定点全てで $\text{NH}_4\text{-N}$ が減少したが、この時期には Eh の上昇があったことから、直上水の還元状態が幾分弱まったことによって $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出が低くなったものと考えられた。8 月 27 日には St. B を除き再び増加し、9 月 10 日には 4 定点とも $\text{NH}_4\text{-N}$ が高濃度となり、それ以降はほぼ似たような推移を示した。

次に底土直上水中の T-N と、その中に占める $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び DIN の濃度の推移を図 13 に示した。T-N の推移は $\text{NH}_4\text{-N}$ とほぼ似たような増減を示した。5 月 28 日には 4 定点とも T-N の値は $10\mu\text{g-at/l}$ 台であったが、6 月、7 月と徐々に増加し、 $20\mu\text{g-at/l}$ を越えるようになった。散布後 1 週間目の 8 月 6 日には散布区の St. B と St. C で T-N の減少がみられた。しかし対照区の St. D でも T-N の減少がみられ、8 月 13 日には 4 定点とも減少した。St. B では 8 月 27 日まで T-N の減少がみられたが、St. C は対照区の St. A, St. D と同様に 8 月 27 日には増加した。

<底質>

① 泥温 (図 14)

底土表面の泥温は、5 月 28 日から 9 月 10 日までは底層の水温よりも $1\sim 2^\circ\text{C}$ 程高い値で、水温と同じ様な推移を示し、9 月 24 日には水温よりも約 1°C 低くなった。各定点間では水温に比べるとやや温度差があるものの、それでも 1°C 程であった。

② pH (図 15)

底土表面の pH は底土直上水のそれに比べると変動が大きく、また各定点間の差も大きかった。5 月 28 日から散布後 2 週間目の 8 月 13 日までは各定点とも $7.4\sim 7.8$ の範囲で推移したが、8 月 27 日には直上水の pH 同様急激に減少して約 7.2 となった。その後 9 月 24 日には St. A, B, C の 3 点はやや上昇したが、St. D はさらに低下して 7.0 を下回った。散布後の各定点の推移は、9 月 24 日の St. D を除いていずれも似たような変動を示し、散布区と対照区の相違はみられなかった。

③ Eh (図 16)

底土表面の Eh は、5 月 28 日には St. B で他より著しく高い値がみられたものの、それ以外は各定点とも似たような推移を示した。St. B は 8 月 6 日までは他の定点より高く推移していたが、8 月

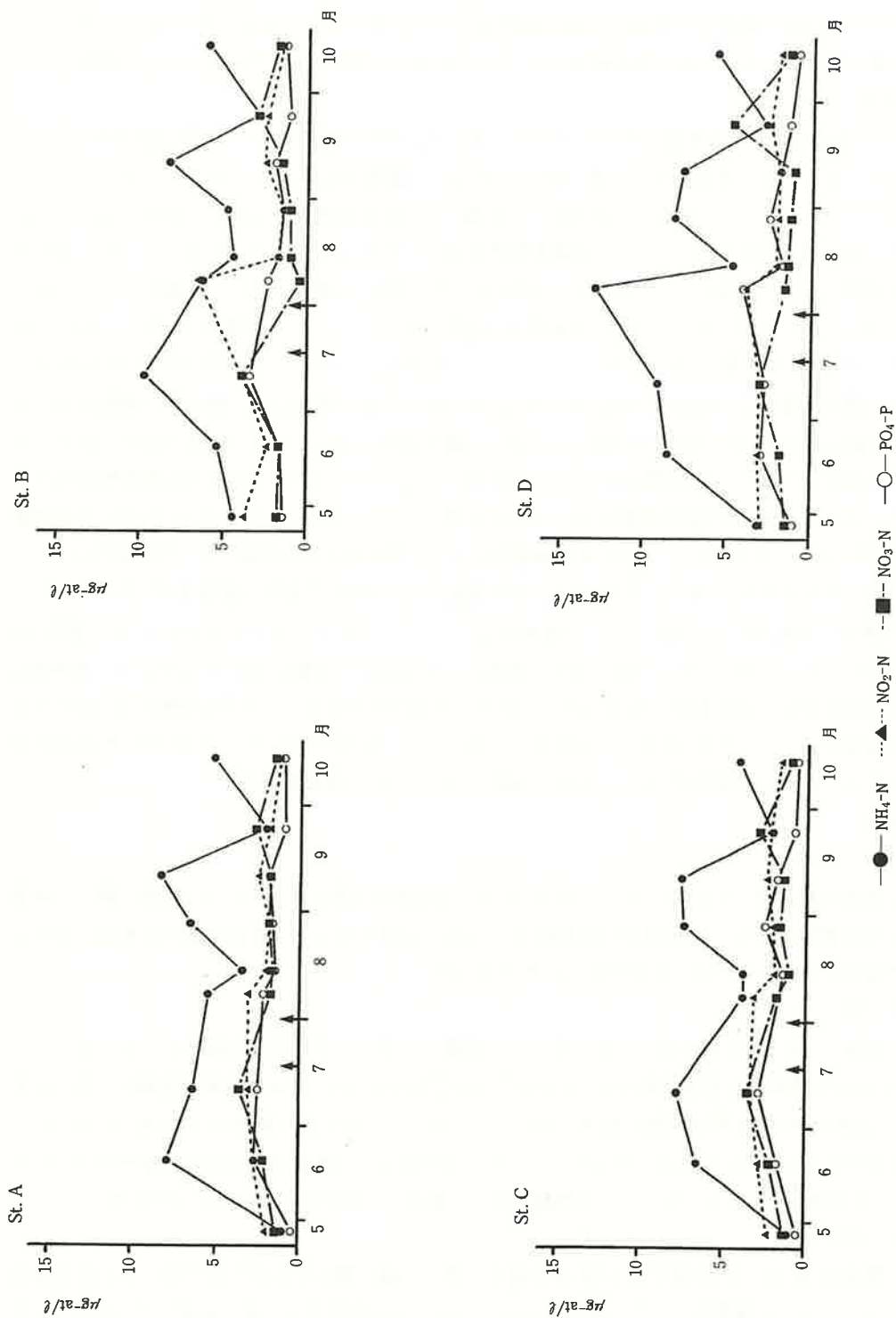


図 12 底土直上水の無機態窒素及びリン濃度の推移

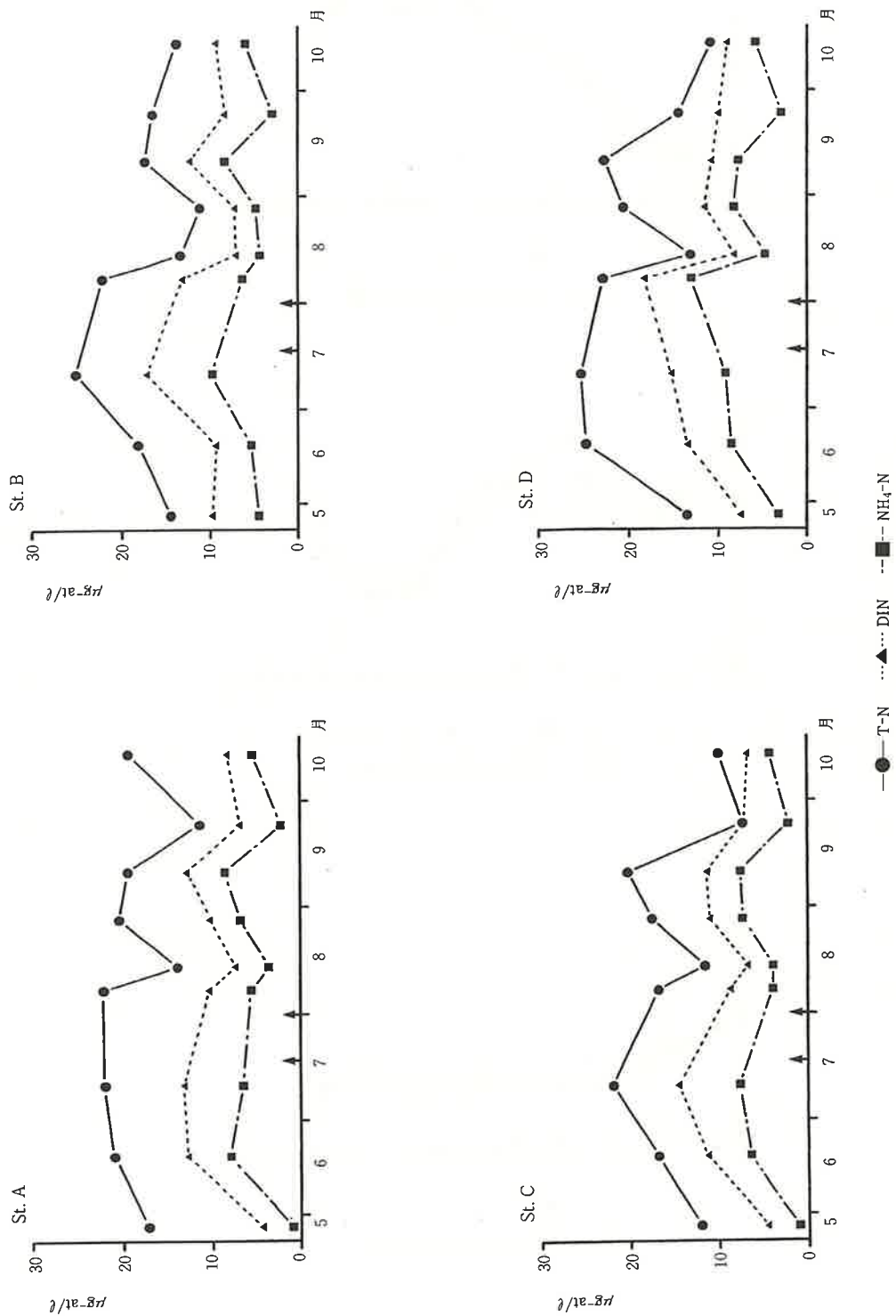


図 13 底土直上水の T-N, DIN, $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の推移

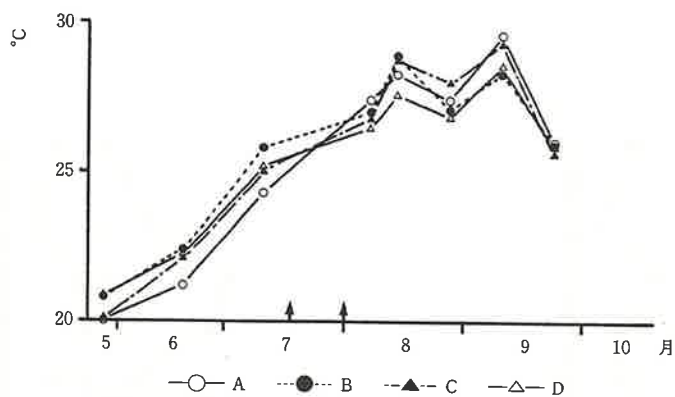


図14 底泥表面の泥温の推移

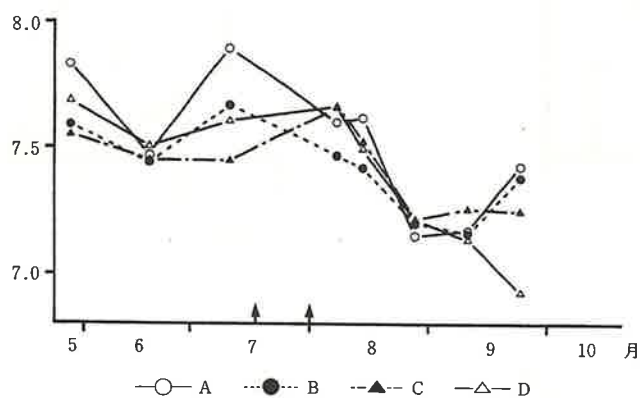


図15 底泥表面の pH の推移

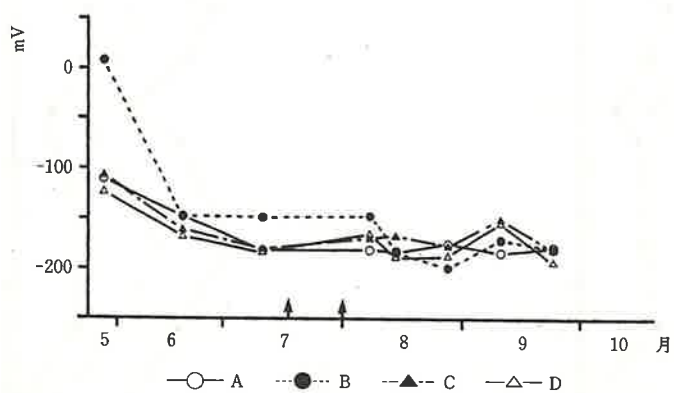


図16 底泥表面の Eh の推移

13日以降は他と同じかむしろ低めに推移した。また St. C は 8 月 13 日以降他と比べてわずかに高い値を示したが、明瞭な散布効果を示す程ではなかった。

④ T-S (図 17)

各定点における底泥中の T-S について図 17 に示した。5 月 28 日は St. A と St. B では 3 層とも全て低い値で、St. C と St. D では表層付近で 2 mgS/dry g 以上とやや高かったが、その後それぞれ表層部を中心に T-S が増加し、7 月 10 日には 4 定点間に大きな差はみられなくなった。St. C では散布後 2 週間目の 8 月 13 日に 3 層とも減少し、0~2 cm 層はその後増加したが 2~4、4~6 cm 層は 9 月 24 日まで低い値を維持した。St. B は散布後 2 週間目までは散布前と同じく増加したが、それ以降 9 月 10 日までは 3 層とも著しく減少し、9 月 10 日には表層を除けば 5 月の測定値とほとんど同じ程度にまで低下した。対照区のうち St. A では 0~2 cm 層は 7 月 10 日まで増加しそれ以降はほぼ横ばいを示したが、2~4、4~6 cm 層では 8 月 6 日から 13 日にかけて著しい減少がみられた。St. D は 3 層とも調査期間を通じてほぼ横ばい状態であったが、2~4 cm 層で 8 月 6 日以降わずかな減少がみられた。

⑤ IL (図 18)

各定点における底泥中の IL についての結果を図 18 に示した。散布前の 5、6、7 月の各定点での IL は St. A と St. C、St. B と St. D でそれぞれ似たような推移を示した。散布後、St. C では 3 層全てで減少がみられ、下層ほど大きく減少した。そして 9 月 24 日からは 2~4、4~6 cm 層で増加し始め、10 月 17 日には上下層間の差も小さくなった。St. B では T-S と同じように散布後 2 週間目までは散布前に引き続き増加したが、それ以降減少し、9 月 10 日には 2~4、4~6 cm 層で著しく減少した。対照区のうち St. A は 7 月 10 日から 8 月 6 日にかけて 3 層とも全て大きく減少した。その後 0~2 cm 層では 9 月 10 日まで横ばい状態で、それ以降は増加した。2~4、4~6 cm 層では 8 月 13 日にも続いて減少がみられ、それ以降は増加していった。St. D は 8 月 13 日から 27 日にかけて 3 層全てで減少がみられ、その後は増加した。このように両対照区においてバイオコロニー散布後に散布区にみられるような IL の減少があった。

⑥ COD (図 19)

各定点における底泥中の COD について図 19 に示した。St. C の COD は 5 月 28 日から散布後 1 週間目の 8 月 6 日までは少しずつ増加していったが、8 月 13 日には 3 層とも減少し、0~2 cm 層では 9 月 10 日まで減少した。散布前には 0~2 cm 層の COD は 40 mgO₂/dry g 以上の値を示していたが、散布後は 40 mg 以上となることはなかった。9 月 10 日から 10 月 17 日にかけては 3 層ともに増加した。St. B では散布前には 0~2 cm 層で上昇していたのが、散布後は減少傾向となり、また 4~6 cm 層でも散布後急激に減少して、9 月 10 日までそれが続いた。9 月 24 日には再び増加し、上下層間の差はほとんど無くなった。対照区のうち St. A では、8 月 6 日には 3 層とも減少するものの、0~2 cm 層ではその後再びわずかずつではあるが増加した。2~4、4~6 cm 層の COD は 8 月 6 日以降は概ね 25~35 mg の範囲で増減し、それぞれの層の差は小さく、同じような変動を示した。St. D の COD は 5、6、7 月には上下層間の差が小さく、ほぼ横ばい状態であった。0~2、2~4 cm 層共に 8 月 6 日には増加がみられ、8 月 13 日には逆に減少した。4~6 cm 層では 8 月 6 日以降それ以前の値よりも低く推移した。また 8 月 6 日以降はそれ以前に比べて上下層間の差が大きくなった。

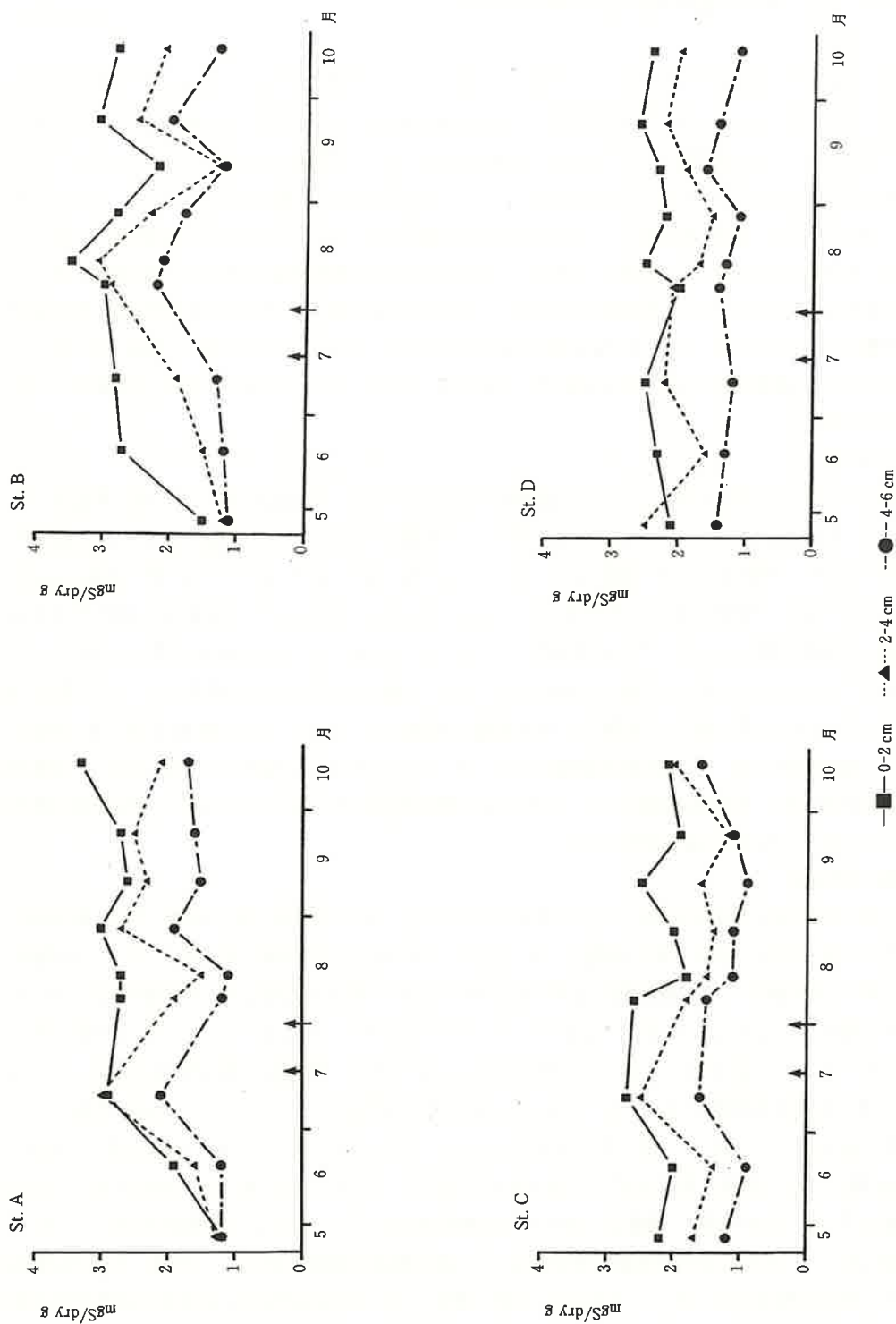


図 17 底泥中の T-S の推移

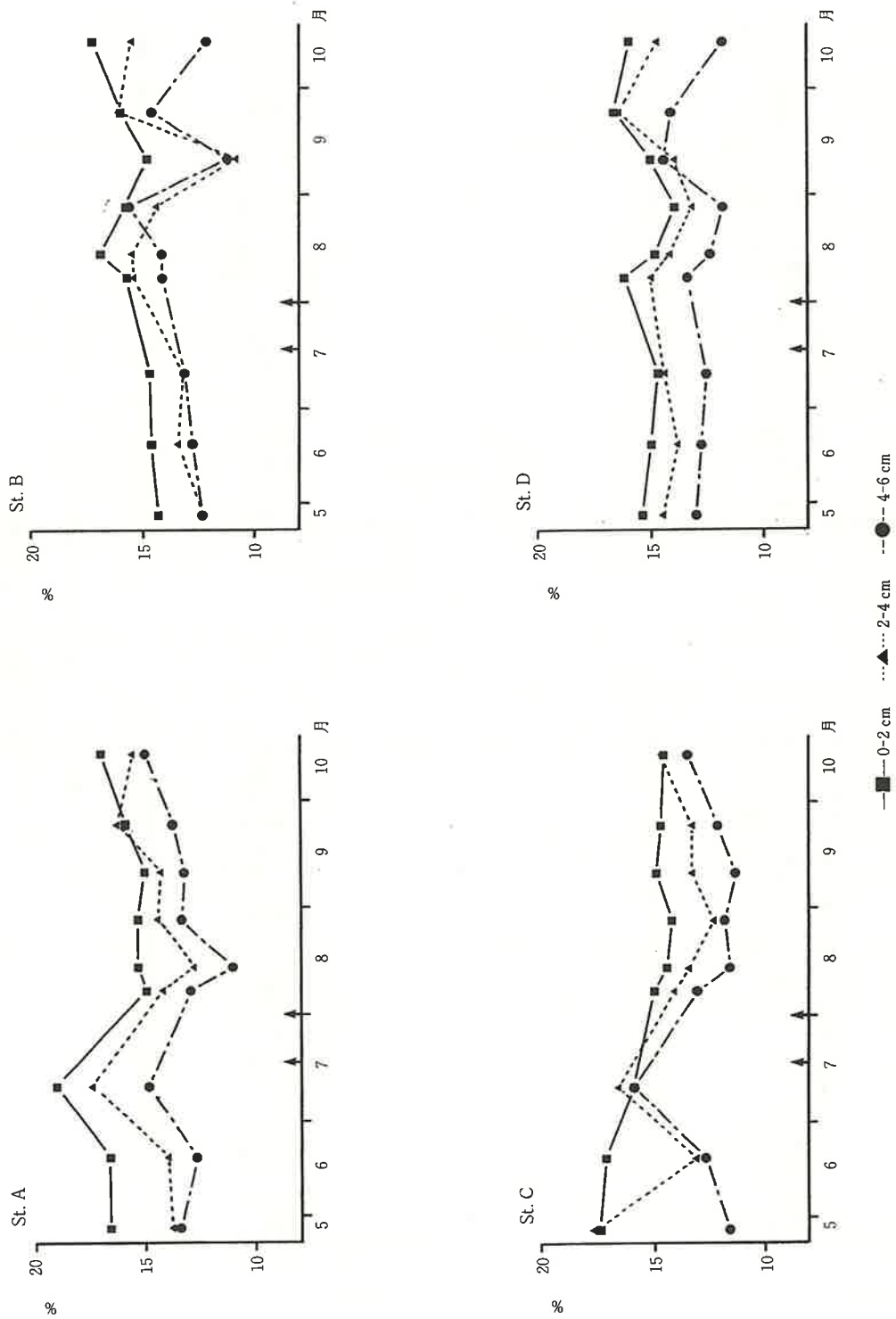


図 18 底泥中の IL の推移

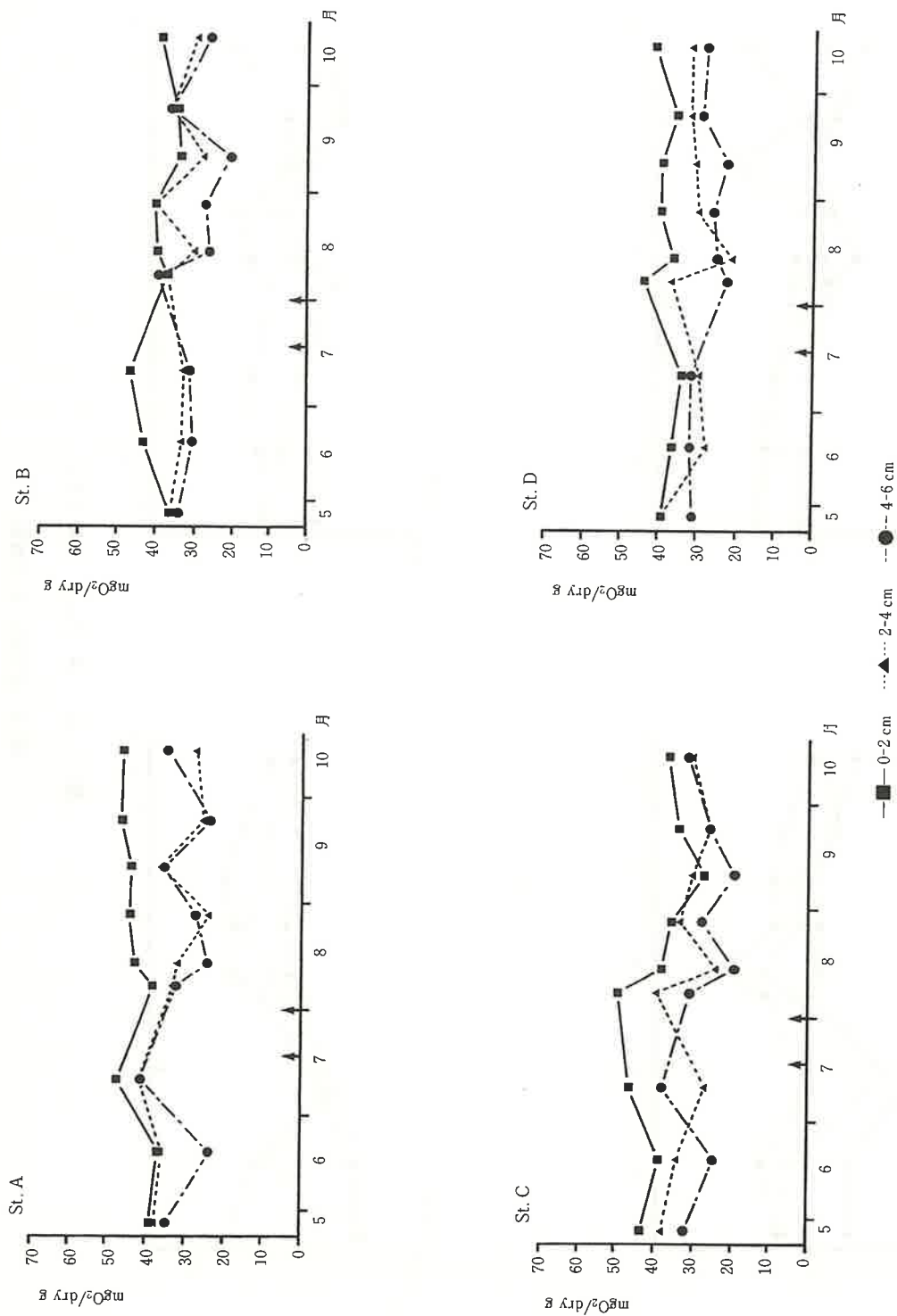


図 19 底泥中の COD の推移

⑦ T-C (図 20)

各定点における底泥中の T-C について図 20 に示した。散布前の 5 月から 7 月にかけては、St. B と St. D は同じ様な傾向を示し、3 層ともあまり増加せず上下層間の差も小さかった。St. A は 5 月 28 日には St. B や St. D とほぼ同じ値であったがその後増加し、7 月 10 日には 0~2, 2~4 cm 層で約 40 mg/dry g, 4~6 cm 層でも 30 mg/dry g 以上の高い値となった。St. C は 5 月 28 日には 0~2, 2~4 cm 層で高く、4~6 cm 層では低かったが、7 月 10 日にはそれぞれ増加した。散布後の変化を見ると、St. C では散布後 1 週間目の 8 月 6 日には 3 層ともに減少し、それ以降 0~2 cm 層は 10 月 17 日までほぼ横ばい状態となった。2~4, 4~6 cm 層は 8 月 13 日まで減少して上下層間の差も大きくなり、9 月 24 日までその状態が続いた。10 月 17 日には 3 層とも約 32 mg/dry g となった。St. B では 7 月 10 日から 8 月 6 日にかけて 3 層ともに増加し、その後も 8 月 27 日まで増加傾向を示した。5 月 28 日から 8 月 27 日までは上下層間の差も小さかった。しかし 9 月 10 日には 3 層ともに急激に減少し、4~6 cm 層では 20 mg/dry g を下回る値となった。9 月 24 日には再び 3 層ともに減少する以前の値と同じ程度にまで上昇した。St. A は 7 月 10 日から 8 月 6 日にかけて 3 層で減少がみられ、2~4, 4~6 cm 層では 8 月 13 日まで減少した。その後は再び 10 月 17 日まで増加した。St. D では調査期間を通じて大きな変化はなく、全体的に弱い増加傾向を示した。0~2, 2~4 cm 層はほぼ同じ様な値で推移し、4~6 cm はそれよりも少し低い値で推移した。

⑧ T-N (図 21)

各定点における底泥中の T-N について図 21 に示した。T-N は T-C とほぼ同じような推移を示した。散布後の変化を見ると、St. C では 0~2 cm 層は 10 月 17 日までわずかに増加しているが 2~4, 4~6 cm 層では 8 月 6 日から 13 日にかけて減少がみられ、9 月 24 日までこの状態が続き 10 月 17 日には 3 層とも約 4 mg/dry g となった。St. B では 7 月 10 日から 8 月 27 日まで増加傾向を示し、9 月 10 日に 3 層とも著しい減少がみられた。St. A では T-C の推移と同じく 7 月 10 日から 8 月 6 日にかけて 3 層で減少がみられ、8 月 13 日には 0~2 cm 層ではやや増加、2~4, 4~6 cm 層では減少し、それ以降は再び増加傾向となった。St. D は T-C と同様にわずかに増加する傾向を示したがやや変動が大きく、9 月 24 日には 2~4 cm 層で 5.24 mg と著しく高い値がみられた。また 0~2 cm 層と 2~4 cm 層はほぼ同じ値で推移し、4~6 cm 層はそれよりも少し低い値で推移した。

⑨ C/N (図 22)

各定点における底泥中の C/N について図 22 に示した。全体的にみると散布前の 5~7 月は各定点によって、また各層によって値がばらついているが、8 月以降は概ね 7~9 の間で変動し、上下層間の差も小さくなった。St. C では散布後 1 週間目の 8 月 6 日から 4~6 cm 層において C/N が上昇して、9 月 10 日には 11 以上となり、底泥中の窒素含量の割合が低下していることを示した。9 月 24 日以降 C/N は低下し、上下層間の差も小さくなった。St. B では散布後は 9 月 10 日に 2~4, 4~6 cm 層で著しく上昇した他は、わずかに低下する傾向を示し、上下層間の差も小さかった。St. A は散布後、8 月 6 日と 13 日に 4~6 cm 層で上昇している他はわずかに低下する傾向を示した。St. D は 8 月 6 日から 27 日までは上昇がみられ、その後は低下した。

<ベントス>

ベントスの個体数と現存量についての結果を図 23, 24 に示した。今回小割直下の底泥でみられ

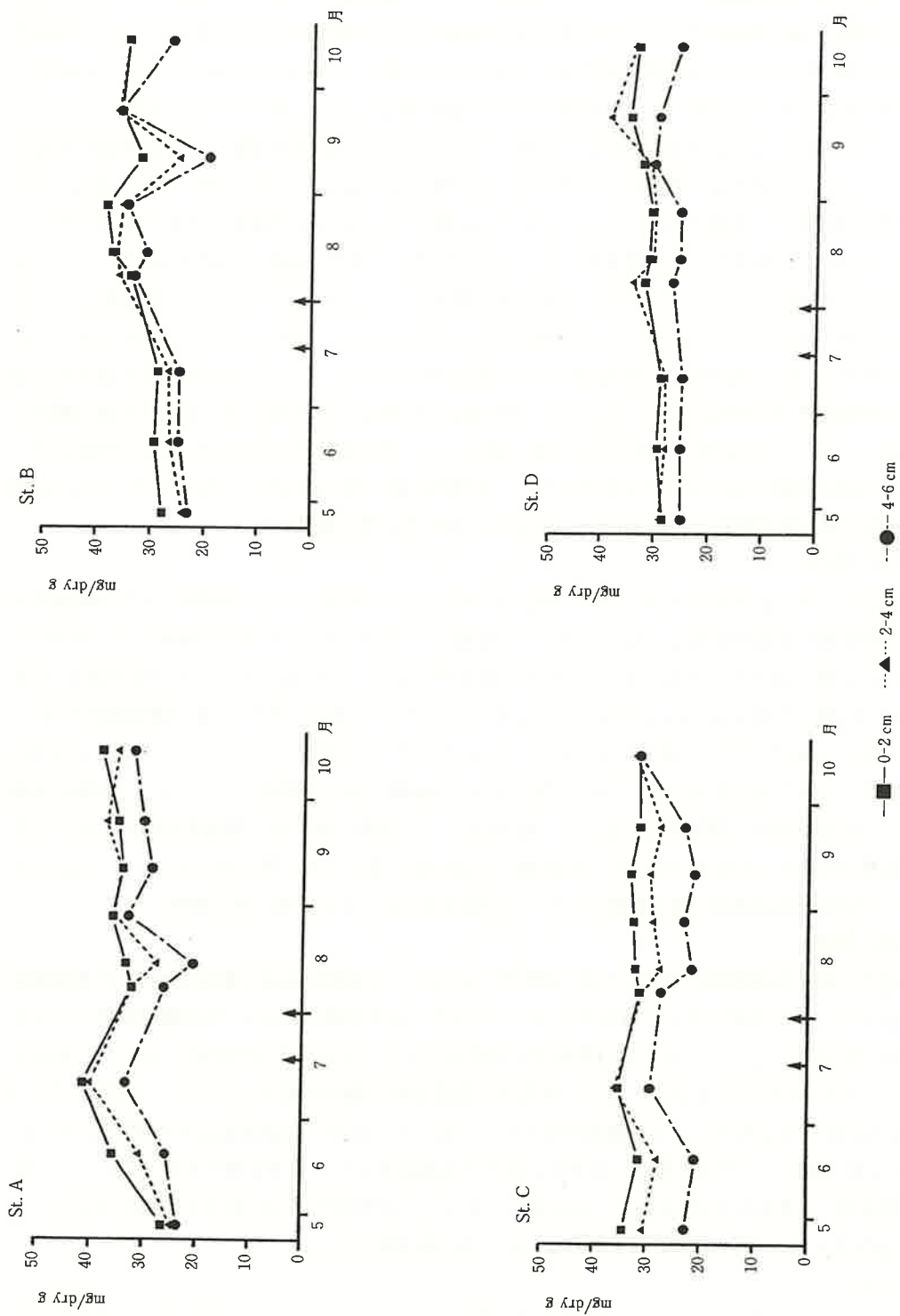


図 20 底泥中の T-C の推移

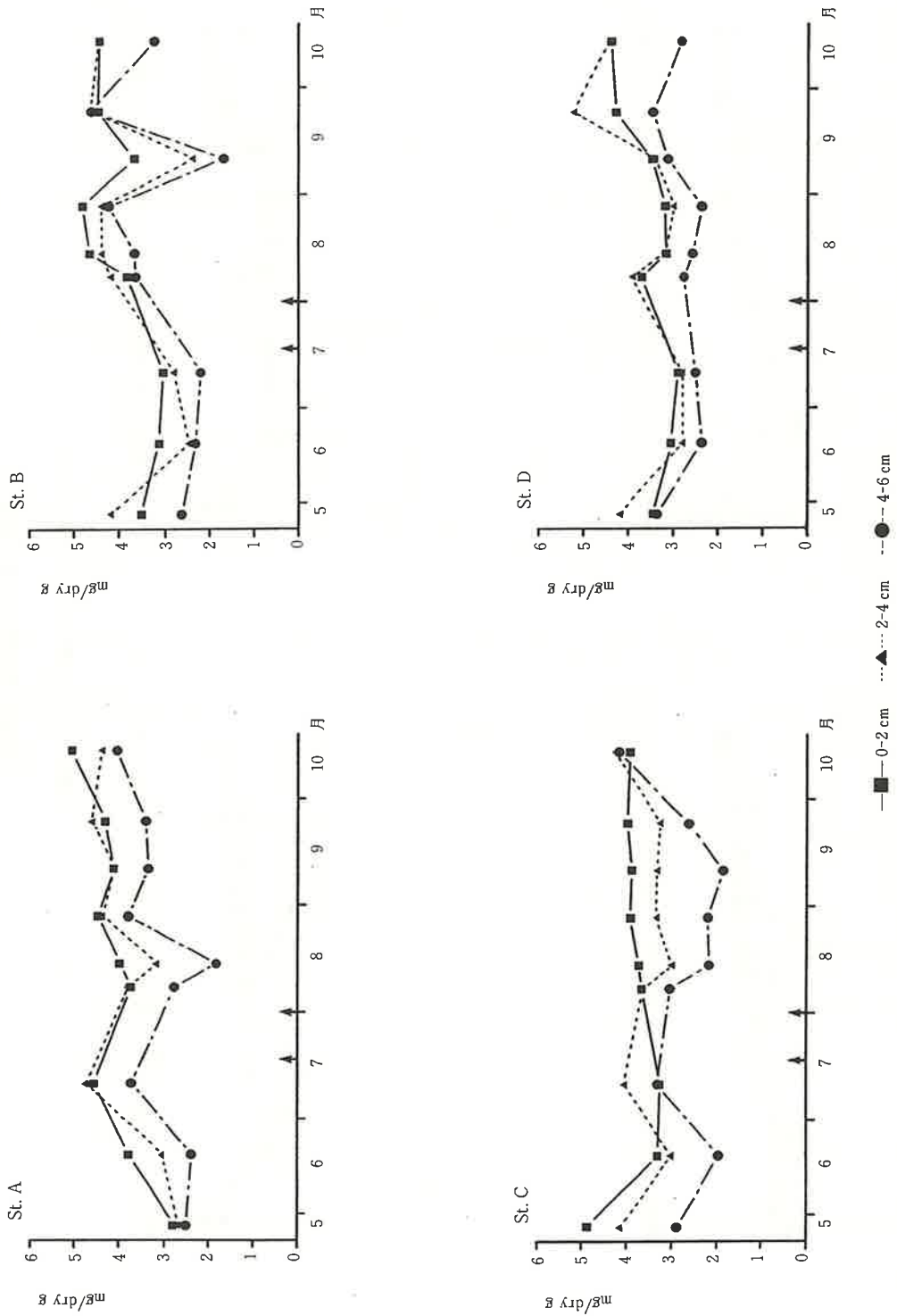


図 21 底泥中の T-N の推移

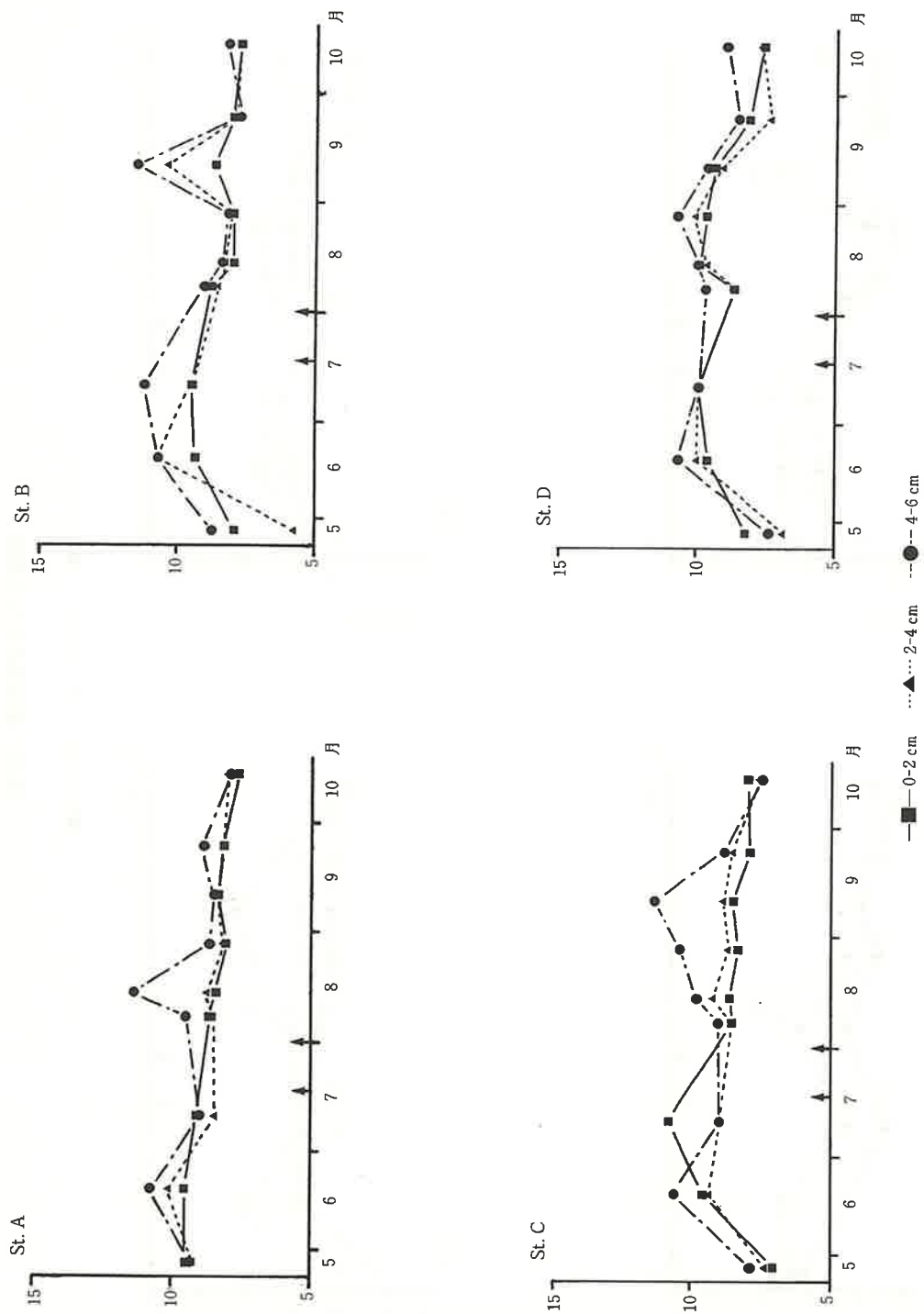


図 22 底泥中の C/N の推移

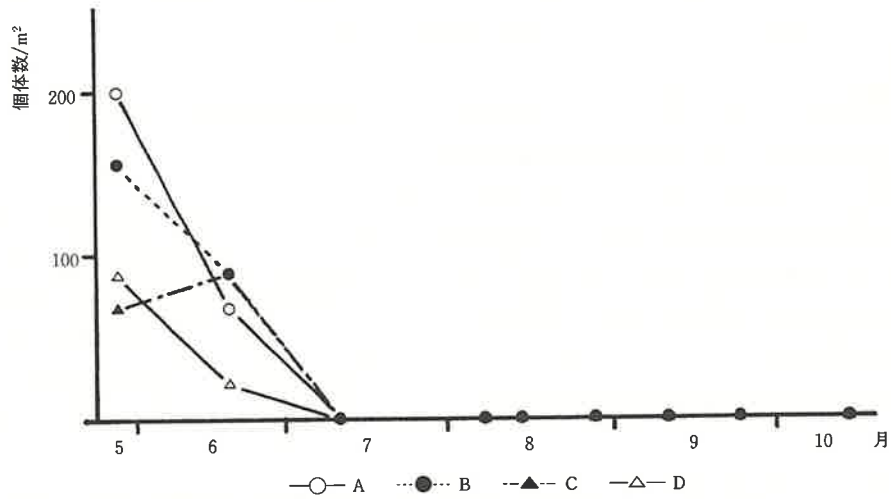


図 23 ベントス個体数

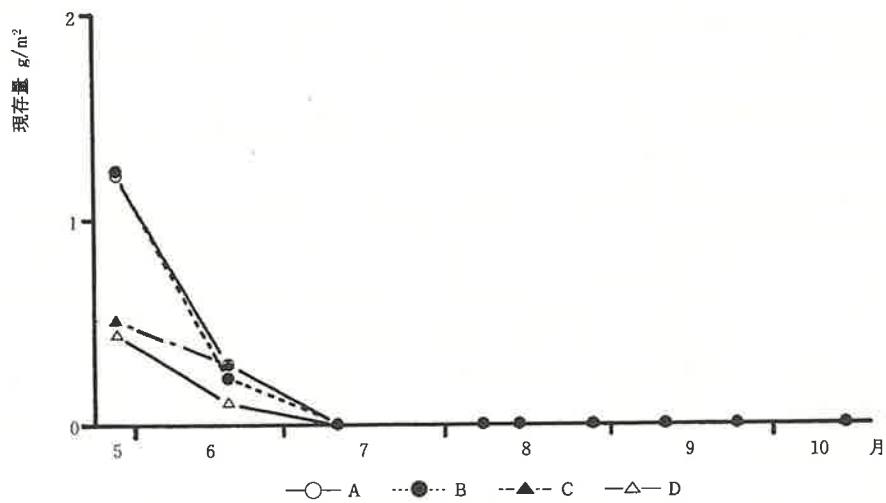


図 24 ベントス現存量

たベントスは多毛類と二枚貝類がほとんどであった。多毛類ではスピオ類、二枚貝類では5月28日にアサリがみられた他はシズクガイがほとんどであり、これらは共に底質の汚染指標種とされている。小割直下でベントスがみられたのは6月までで、直上水の還元状態が強まり底泥中のT-Sが増加した7月からは全定点でベントスがみられなくなり、底層のDOが回復して底泥の還元状態が弱くなった10月になってもベントスの生存は確認されなかった。

(5) 考察

今回養殖漁場においてバイオコロニーの散布を行い、その後追跡調査を行った結果、バイオコロニーによると思われる水質・底質の改善効果が認められた。

まず水質では、散布後St. BとSt. Cで底土直上水中のT-Sの減少が認められた。沖側に面するSt. AとCの2点では底層の水に連動した動きのあることが考えられ、底泥から発生する硫化物が水の動きによって水平方向に拡散した可能性がある。それに関わらず散布後にSt. CがSt. Aを常に下回ったことは、底泥からのT-Sの発生がバイオコロニーによって抑制された結果と思われる。また陸側に位置するSt. BとSt. Dの2点ではT-Sに明らかな違いがみられ、特に散布後1週間目の8月6日にSt. BがSt. Dに比べT-Sの増加が著しく低かったことは散布効果による可能性が高い。

バイオコロニーが底泥からのT-Sの発生を抑制することは1988年に野見湾においてBSEによる水槽実験で確認されており、また1990年に浦ノ内湾において深浦漁協が行った散布試験でも、散布後の追跡調査で確認されている。しかし今回のように底質の還元状態が強くなる7月から8月にかけてその効果がみられたことは大きな意味を持つといえよう。

また散布前よりも直上水の還元状態が進んでいる散布後1週間目の8月6日にはSt. BとSt. Cで $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度が著しく減少した。St. Aでもわずかに減少してはいるが散布区ほどではなく、St. Dは逆に大きく増加しており、散布区における $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少はバイオコロニーの効果であると考えられる。散布後6週間目以降は各定点間の差はほとんど見られなくなっているが、この時期は底層水温も上昇し湾内水の成層化が崩れかけた頃であり、底層水の水平、鉛直的な動きが大きくなって底層の水質が均一化されたためではないかと考えられた。

またバイオコロニー散布後、底質では底泥中の硫化物、有機物の減少が認められ、これらはバイオコロニーの効果によるものと考えられた。

まず 300 g/m^2 散布区のSt. Cでは散布後、底泥中の硫化物や有機物の減少が明瞭にみられ、散布後約2ヶ月の間その効果が持続した。そのうちCODとT-Sには0~2 cm層においても減少が認められたが、IL、T-C、T-Nは主に2~4、4~6 cm層でそれが顕著に認められた。今回の現場試験で泥を採取する際に、散布後は試料の上層部分にある還元層が減少しているのが観察され、このことは1990年の深浦漁協による散布試験でも認められている。従って今回底泥の2~4、4~6 cm層で有機物等の減少がみられたのは、還元層が分解され減少したことによってその下にある分解層をとらえたためと思われる。

600 g/m^2 散布区のSt. Bは、CODを除いて各項目とも散布後2週間目までは散布前よりもかえって増加していたが、その後は2~4、4~6 cm層を中心に大きく減少し、バイオコロニーの散布による硫化物、有機物の減少があったことが示された。しかし散布後8週間目の9月24日には各項目

とも値が増加し、St. C に比較すると散布効果の表れた期間が短かった。St. B は 4 定点の中で唯一カンパチを養殖していたが、餌料の種類、量はハマチのそれとほとんど変わらない。しかし、St. B の北側に 7 月からイシダイ小割が設置されたために St. B の底泥ではバイオコロニーによる有機物の分解を上回る汚染負荷があった可能性も考えられる。

またベントス調査は、バイオコロニーによる底質の改善が散布区と対照区との生物相によって把握できないかと思い行っていたが、思ったよりも底泥の状態が悪く、10 月 17 日の時点ではいずれの定点でもベントスを確認できなかった。10 月よりもさらに追跡を行っていればあるいはその違いが確認されたかもしれない。

これまで述べたように散布量と改善効果との関係は今回の試験からは把握できなかったが、バイオコロニーが底泥中の硫化物、有機物を減少させ、また水中への T-S や $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出を抑制するといった効果のあることが認められた。そしてこれらの効果は散布後 2 カ月程度は持続するものと考えられた。その後効果がみられなくなったのは、バイオコロニーによる分解を上回る汚染負荷があったのか、効果そのものがなくなったのか今回の試験からは判断できない。10 月以降は底層に DO が供給されることによって好気性微生物による自浄作用が働き始めるので、これ以上の追跡調査で効果を把握することは困難であろう。

2 底泥モデルを用いた室内実験

底泥にモデル基質として魚肉を加え、バイオコロニーの量を変えて添加し、なるべく現場に近い条件を設定して、添加量と改善効果との関係を見るためのモデル実験を行った。

(1) 材料及び方法

底泥は浦ノ内湾光松 (図1の St. A) においてエクマンバージ採泥器で採取したものを 0.5 mm (32 メッシュ) のふるいでろ過した後均一に攪拌して用いた。5 l の三角フラスコ 5 個に上記底泥を約 1 l 入れ、これに海水を 4 l 入れて 5 l とした。底泥にはイワシ魚肉をすりつぶしたものを 1 l 当たり 10 g 加えた。そしてそれぞれにバイオコロニーを 0 g (対照区)、10、20、30、40 g 加えてゴム栓をし、25℃で保持した。加えた魚肉は養殖の餌料として一般に用いられているもので、その量は 1 ヶ月分の残餌沈降量に相当する。バイオコロニー 10 g の添加量は 318 g/m² に当たり、現場試験での 300 g/m² 散布区とはほぼ等しい。これらについて週 1~2 回程度の間隔で海水 500 ml を交換し、また泥についてはシリンジとシリコンチューブによって表面付近の泥を採取して分析に供した。補充する海水は実験開始時に使用したものと同一のものを使用した。また 18 日目以降はゴム栓をはずし、通気栓に換えた。測定項目と方法を以下に示す。

＜水質＞	DO	ウィンクラーアジ化ナトリウム変法及び YSI-57 型 DO メーター
	pH	東亜電波製 HM-10 P pH メーター
	Eh	〃 RM-10 P ORP メーター
	T-S	ガステック検知管法
	栄養塩	適宜希釈し、TECHNICON TRAACS-800 システムにより自動分析
＜底質＞	COD	アルカリ性過マンガン酸カリウム分解法
	IL	乾燥泥を磁製乳鉢ですりつぶし、800℃で強熱後恒量を求めた。
	T-S	ガステック検知管法
	T-C	柳本製作所製 CN コーダー MT-500
	T-N	〃 〃

(2) 結果

室内実験での水質についての分析結果を図 25-1 から 25-11 に、底質についての結果を図 26-1 から 26-6 に示した。

＜水質＞

① DO (図 25-1)

実験開始当初の DO は 6.67 ppm であった。開始後 1 日目には 5 区全てで 1 ppm 以下となり、その後 10 日目まで減少した。その間対照区がやや高く推移したが、バイオコロニーを添加した 4 区の間には大きな差はみられなかった。また 10 日目以降は試水中の T-S の濃度が大きく増加したためウィンクラー変法での測定が困難となり、DO メーターでの測定に切り換えた。また 38 日目と 45 日目は DO メーターの故障のため計測できなかった。18 日目にゴム栓から通気栓に変えてからは DO は徐々に増加した。40 g 添加区と 30 g 添加区は対照区や他の添加区に比べて DO の回復が早く、海水中に酸素を消費する還元物質が少ないことがうかがわれた。

② pH (図 25-2)

pH は実験開始当初 8.08 であった。実験開始後泥からの溶出物の影響で 6 日目まで急激に低下し、7.0 を下回った。その後は徐々に上昇し、20 日目以降はそれぞれの区間で差がみられた。20 g 添加区は 20 日目以降他と比べて常に低く推移した。また 40 g 添加区は他よりも高めに推移した。

③ Eh (図 25-3)

Eh は実験開始当初 369 mV であったが、開始直後から急激に低下し、14 日目まで低下して -100 mV 近くにまで低下した。1 日目と 14 日目は各区间でやや差があり、対照区が最も低かった。通気栓に変えてからもしばらくは全区とも低い値のままほぼ同様に推移したが 38 日目以降差がみられるようになり、20 g 添加区以外のバイオコロニー添加区では 54 日目以降急激に増加し、200 mV 以上となった。対照区と 20 g 添加区は 0 mV 以下で推移し、Eh の上昇はみられなかった。

④ T-S (図 25-4, 5)

T-S は実験開始後 6 日目から急激に増加して 14 日目には全区で 100 mg/l を越えるまでになった。6 日目の各区での T-S 値をみると、対照区で最も高く添加区では添加量が多いほど T-S 値が低い結果となり、現場試験でみられた T-S の発生を抑制することが確認された。しかしその後 T-S が通常の好気性、嫌気性微生物の増殖が不可能なレベルにまで増加したため、対照区と添加区との差は無くなった。通気栓に換え、酸素がある程度供給されるようになってからは T-S は 21 日目には 20~30 mg/l にまで低下し、それ以降徐々に減少した。図 23-5 は 26 日目以降の T-S の推移を表したものであるが、38 日目以降は全ての添加区で対照区よりも低く推移し、10, 30, 40 g 添加区は 54 日目以降検出されず、バイオコロニーによって泥からの T-S の溶出が抑制されたことが示された。またここでも 20 g 添加区は T-S の減少が他の添加区ほどでなく、20 g 区ではバイオコロニーの細菌の生理活性に何らかの異常があった可能性がある。

⑤ $\text{NH}_4\text{-N}$ (図 25-6)

$\text{NH}_4\text{-N}$ は実験開始当初 1.2 $\mu\text{g-at/l}$ であったが、開始直後から全区とも急激に増加して 1 日目に 100~120, 6 日目には 1.5~1.8 mg-at/l にまで増加した。それ以降は 26 日目までゆるやかに増加し約 2 mg-at/l でほぼ横ばい状態となった。実験開始後から 45 日目までは概ね対照区よりも添加区で低い結果となった。添加区の中では 10 g 区と 30 g 区が比較的 low に推移したが、添加量と $\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出量との関係は今回の実験からは認められなかった。

⑥ $\text{NO}_2\text{-N}$ (図 25-7)

$\text{NO}_2\text{-N}$ は実験開始当初 0.5 $\mu\text{g-at/l}$ であったが、開始直後から増加し 21 日目までは概ね 40~60 $\mu\text{g-at/l}$ で推移した。26 日目からは通気栓を使用したために水中にある程度酸素が供給されるようになり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ もしくは有機態窒素の一部が $\text{NO}_2\text{-N}$ に酸化され、濃度が 100 $\mu\text{g-at/l}$ 以上に増加し、その後は概ね 110~130 $\mu\text{g-at/l}$ で推移した。 $\text{NO}_2\text{-N}$ が増加した 26 日目には対照区と添加区でかなりの差がみられ、また添加量と $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の関係も明瞭に表れた。これは *B. subtilis* の持つ硝化作用によってアンモニアが亜硝酸に転換された結果といえる。通気栓に変えてから $\text{NO}_2\text{-N}$ が増加するまでに時間差が生じているのは、水中の T-S がまだ十分に減少していなかったために還元状態が強かったからと思われる。38 日目以降は対照区と添加区との間に有意な差はみられなかった。

⑦ NO₃-N (図 25-8)

NO₃-N は実験開始当初 12.1 $\mu\text{g-at}/\ell$ であった。1 日目には全区ともやや減少し、その後は増加した。通気栓に交換した 26 日目以降は対照区に比べ添加区での NO₃-N 濃度が著しく高く、これも NO₂-N の場合と同様 *B. subtilis* の硝化作用によるものと思われる。

⑧ PO₄-P (図 25-9)

PO₄-P は開始当初 1.1 $\mu\text{g-at}/\ell$ であった。6 日目から全区とも還元状態が強まったことによって PO₄-P の溶出が増大し、40~60 $\mu\text{g-at}/\ell$ と高濃度になった。その後も徐々に増加し、概ね 70~90 $\mu\text{g-at}/\ell$ の間で推移した。

対照区は添加区に比べて高い値で推移し、PO₄-P の溶出もある程度抑制された可能性が示されたが、添加量と PO₄-P 濃度との関係は認められなかった。

⑨ T-N (図 25-10)

T-N は当初 21.2 $\mu\text{g-at}/\ell$ であった。1 日目にはすでに全区で 200~300 $\mu\text{g-at}/\ell$ に増加し、10 日目からは 2 mg-at/ ℓ にまで増加した。通気栓にした後の 21 日目にはいったん濃度が減少し各区の差も小さくなっているが、その後再び増加した。しかしその変動は各区によって一様でなく、対照区と添加区との有意な差も認められなかった。T-N はその濃度があまりにも高かったため、分析時に非常に高倍率で希釈せざるを得ず、分析値の精度も高いとはいえない。

⑩ T-P (図 25-11)

T-P は当初 1.1 $\mu\text{g-at}/\ell$ で、PO₄-P とほぼ同じであった。開始後 1 日目には 14~20 $\mu\text{g-at}/\ell$ にまで増加し、その後もかなり高濃度で推移し、窒素、リンともに有機態での溶出量が高かったことが示された。通気栓に変えた後の 38 日目までは対照区に比べ添加区が高い値を示したが、その後は対照区と添加区との有意な差は認められず、また添加量と T-P 濃度の関係も認められなかった。

<底質>

① T-S (図 26-1)

魚肉添加前の泥の T-S は 0.88 mgS/dry g、添加後は 0.87 mgS/dry g (平均値) であった。1 日目には DO が十分量ある海水にふれたことによってほぼ全区で減少した。その後 10 日目までは海水の還元状態が進んだことによって各区で増加し、その間是对照区よりも添加区の方が T-S の増加がやや高かった。14 日目には硫化物が水中に多量に溶出したため減少し始め、それ以降は通気栓に交換したためある程度の酸素が供給されるようになり、各区とも徐々に減少した。減少し始めてからは対照区に比べて添加区が概ね低く推移し、水中の T-S 濃度が低下したことによってバイオコロニーの効果が表れたように思われた。添加区の中では 30 g 区が対照区よりも常に低く推移したが、添加量と T-S 値の関係は認められなかった。

② IL (図 26-2)

魚肉添加前と添加後の IL はそれぞれ 11.0 %, 11.6 % であった。実験開始後 6 日目までは各区で増加し、その後 38 日目までは各区とも減少傾向を示し各区間の差も小さくなったものの、それ以降は各区によって異なった変動を示した。対照区と添加区を比較すると 45 日目以降は添加区での IL が低く推移したが、実験期間を通しての明瞭な差はみられず、添加量と IL 値との関係も認められなかった。

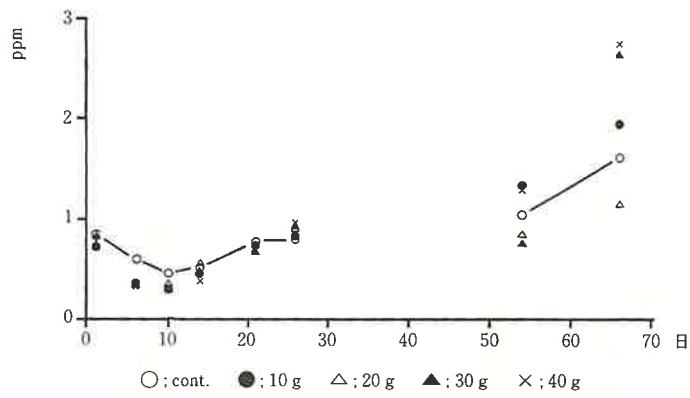


図 25-1 水中の DO の推移

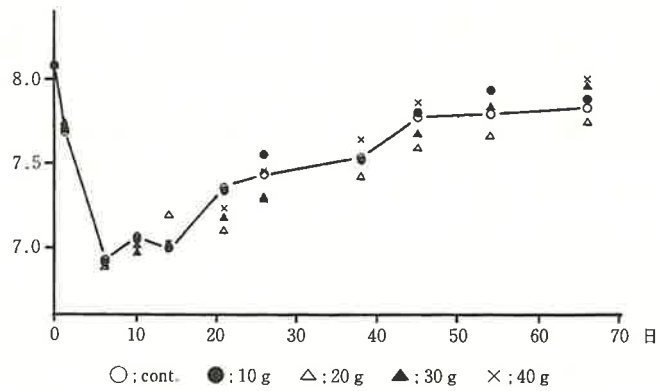


図 25-2 水中の pH の推移

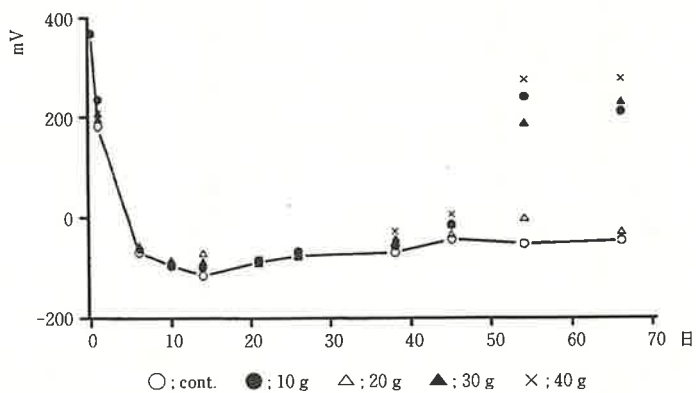


図 25-3 水中の Eh の推移

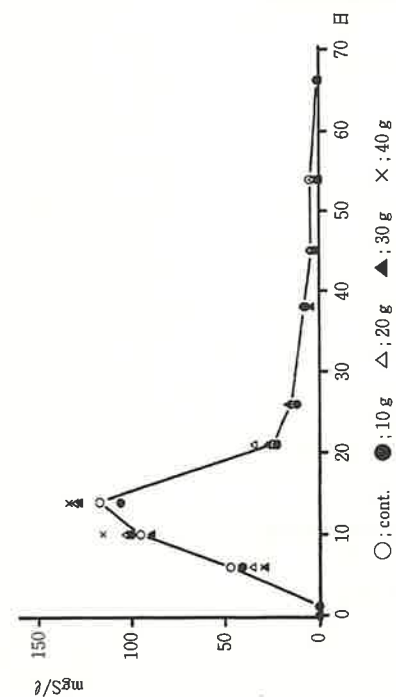


図 25-4 水中の T-S の推移

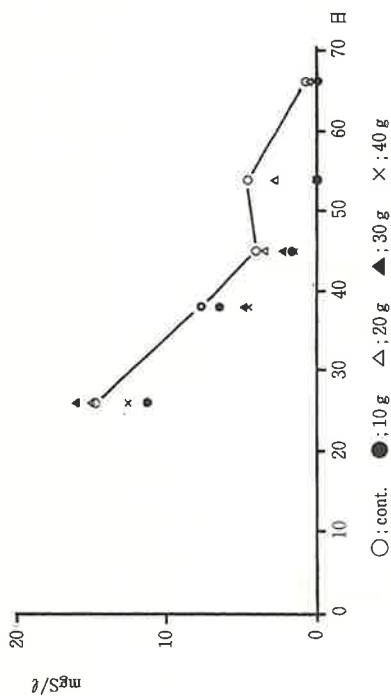


図 25-5 水中の T-S の推移 (26日目以降)

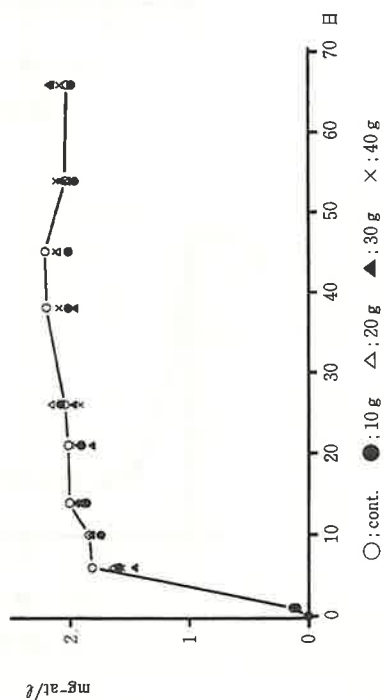


図 25-6 水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の推移

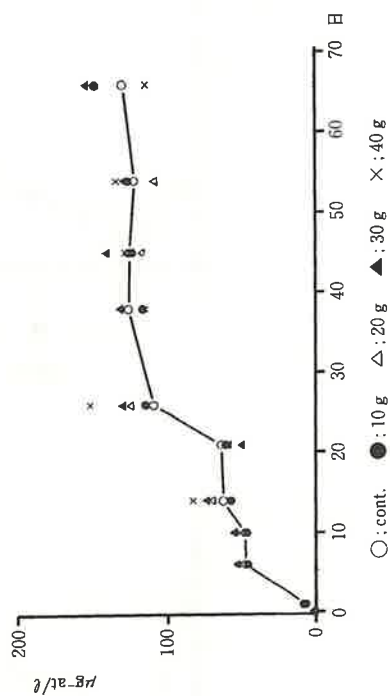


図 25-7 水中の $\text{NO}_2\text{-N}$ の推移

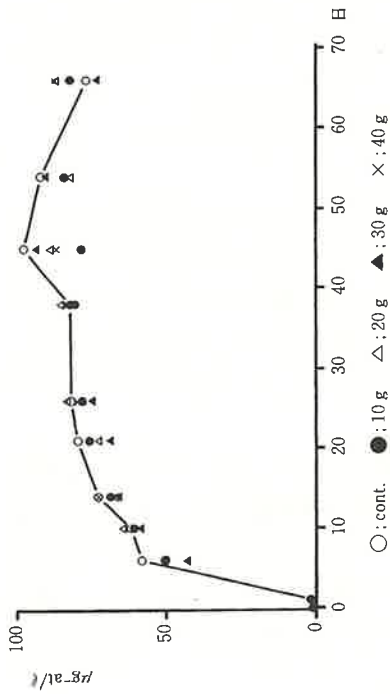


図 25-9 水中の $PO_4\text{-P}$ の推移

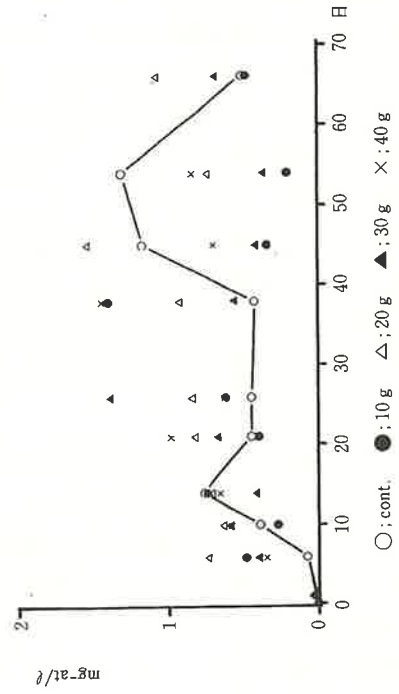


図 25-11 水中の T-P の推移

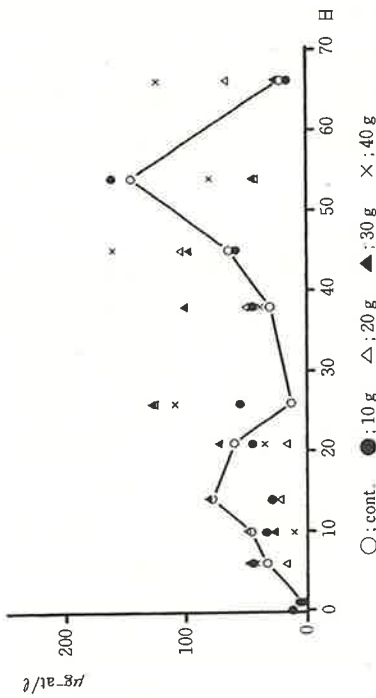


図 25-8 水中の $NO_3\text{-N}$ の推移

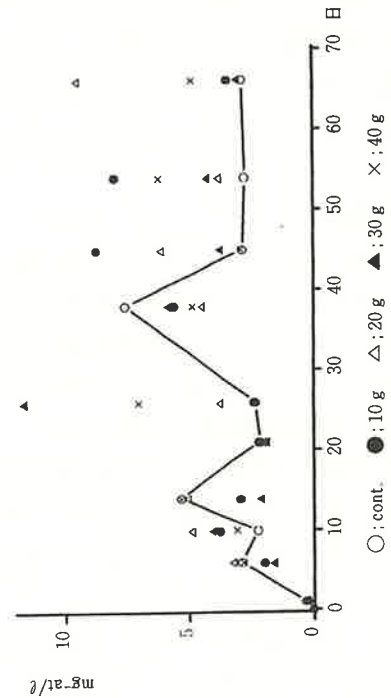


図 25-10 水中の T-N の推移

③ COD (図 26-3)

魚肉添加前と添加後の COD はそれぞれ 33.6 と 33.8 mgO₂/dry g であった。実験開始後 21 日目までは各区とも減少傾向を示していたが、その後はやや増加していった。21 日目までの推移をみると対照区よりも添加区で概ね高く、21 日目以降は各区によって異なった変動を示し、ここでも対照区と添加区との有意な差はみられず、添加量と COD 値との関係も不明瞭であった。

④ T-C (図 26-4)

魚肉添加前と添加後の T-C はそれぞれ 21.94 と 23.32 mg/dry g であった。T-C は各区とも概ね似たような変動を示し、14 日目までは減少し、通気栓に交換後 21 日目から 26 日目にかけては増加し、その後再び減少した。30 g 添加区ではほぼ対照区よりも低い値で推移したが、他の添加区では対照区との間に明瞭な差はみられなかった。Eh が添加区で上昇を示した 54 日目以降は、それに対応して T-C のわずかな減少がみられた。

⑤ T-N (図 26-5)

魚肉添加前と添加後の T-N はそれぞれ 1.46 と 1.96 mg/dry g であった。T-N は 1 日目に添加区において大きく増加し、バイオコロニーの添加量の多いほどその増加量が高かった。このことは加えたバイオコロニーが分析に供した試料の中に混在していたためと思われ、泥に含まれる窒素量そのものの増加とは考えにくい。6 日目には各区とも減少し、その後概ね 1.6~1.8 mg/dry g の範囲で推移した。T-N についても対照区と添加区との有意な差はみられず、添加量と T-N 値との関係も認められなかった。

⑥ C/N (図 26-6)

魚肉添加前と添加後の C/N はそれぞれ 15.03 と 11.89 となった。C/N は 1 日目には各区で低下し、添加区が対照区に比べ低い値となった。6 日目には T-N が減少したことによって C/N が上昇するがその後 14 日目まで減少し、21 日目からは再び徐々に上昇して 45 日目からは減少に転じた。容器内の還元状態が弱まり始める 21~38 日目までは添加区が対照区に比べてやや高いが、それ以外是对照区より高かったり低かったりと一様でなく、また添加量の多少による違いも認められなかった。

(3) 考察

今回の底泥モデルを用いた室内実験では、実験開始当初水中の T-S 濃度が著しく増加したために、バイオコロニーによる改善効果が十分に把握できなかったと考えられる。それでも水質では添加区において泥からの硫化物の溶出が抑制されたのが認められ、また NH₄-N も、当初著しい還元状態になり各区での NH₄-N の溶出量が極端に高くなったために大きな差はみられないが、対照区よりも添加区が概ね低く推移しており、これらはバイオコロニーを添加したことによる効果と考えられ、現場試験で認められた直上水中の T-S、NH₄-N が減少したことに一致した。

また 26 日目以降添加区で NO₂-N、NO₃-N の濃度が対照区に比べて増加したことは、バイオコロニー中の *B. subtilis* による硝化作用が原因であると考えられるが、特に NO₃-N は対照区に比べて著しく高くなっている。このことはバイオコロニーが、実験開始当初の T-S が非常に高濃度に溶存するような悪条件の下でもその活性を失わず、通気栓に換えた後徐々に還元状態が弱まったことによって再び分解作用が生じたことを示していると考えられる。バイオコロニーの主細菌である *B.*

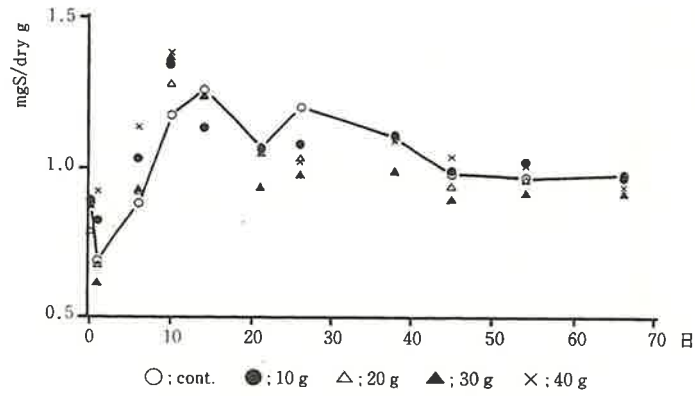


図 26-1 底泥中の T-S の推移

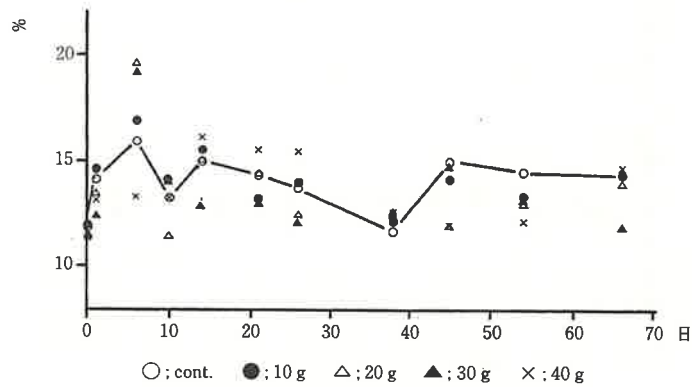


図 26-2 底泥中の IL の推移

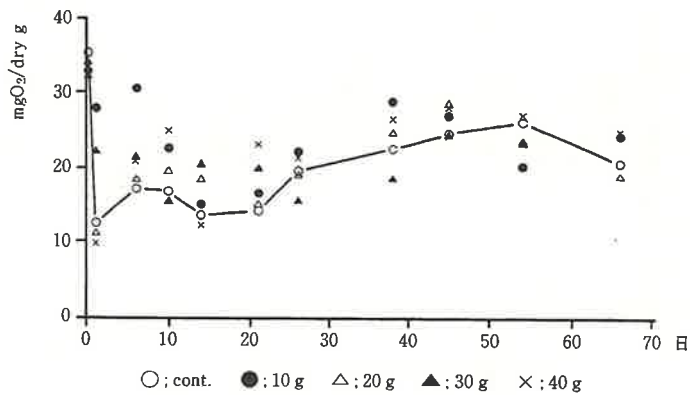


図 26-3 底泥中の COD の推移

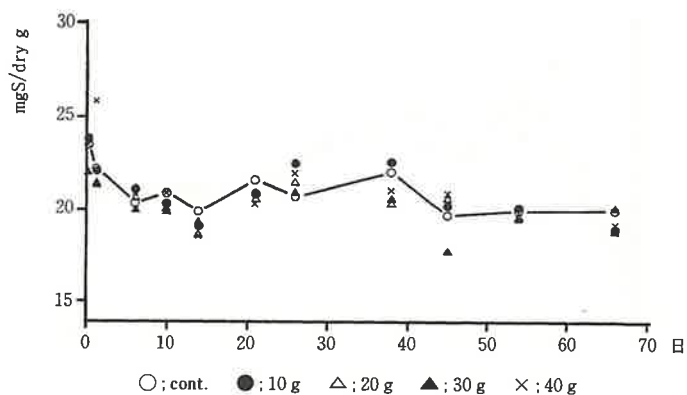


図 26-4 底泥中の T-C の推移

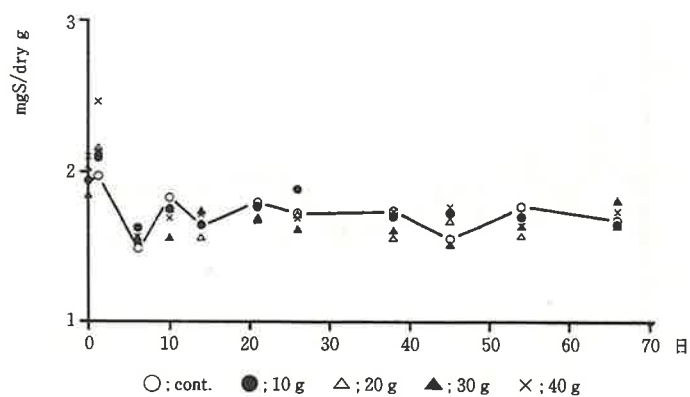


図 26-5 底泥中の T-N の推移

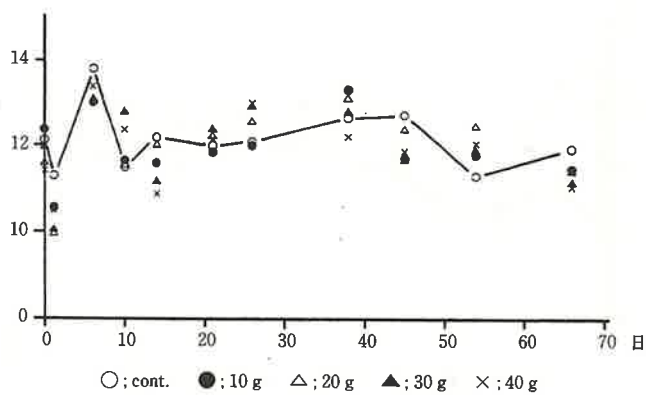


図 26-6 底泥中の C/N の推移

subtilis は芽胞を有する桿菌で、生存不適環境にも十分な抵抗力をもつので、したがってこのことは浦ノ内湾に限らず、夏期に底層が無酸素状態となり硫化水素の発生等が起こるような内湾養殖漁場において、底質の浄化に非常に有用である可能性を示したことになる。

今回の実験では底泥の硫化物、有機物についても測定を行った。硫化物ではバイオコロニー添加区で若干その効果がみられたものの、それ以外の項目ではいずれも明瞭な効果を示すには至らなかった。本実験では現場試験での条件になるべく近づけて、バイオコロニーを泥の表面に添加しその後の泥の試料もなるべく表面近くを採取するよう試みしたが、本実験の採取方法では表面付近の泥を十分量採取できず、有機物量の推移が正確に把握できなかったためと考えられる。今後このようなモデル実験を行う際には泥試料の採取方法を検討し、細菌の有機物分解活性や細菌数の経時変化を併せて測定すれば、より詳細な実験結果が得られるであろう。

Ⅲ 要約

1. 長年にわたる給餌養殖によって汚染の進行した浦ノ内湾において、主に養殖場周辺の底質環境を改善することを目的として、細菌を主成分とする底質改良剤（バイオコロニー）による底質改善試験を行った。
2. 浦ノ内湾湾央部光松において養殖小割直下の水質及び底質の事前調査を行った結果、小割直下では底泥中の硫化物量、有機物量が高く、汚染が著しいことが明らかになり、また小割直下の底泥の状態は、養殖時期や魚種、餌の種類等の養殖状況と密接に関連していた。
3. 事前調査の結果から現場試験のための散布区域と対照区域を2小割ずつ選定し、7月16日と29日にバイオコロニーの散布を行い、試験区域において5月から10月まで水質及び底質について調査した。散布濃度は300 g/m²と600 g/m²の2通り設定した。
4. バイオコロニー散布後は、散布区において直上水中のT-S及びNH₄-N濃度の減少が認められ、これらはバイオコロニーの散布効果による可能性が高いことが示された。
5. また、散布後は底質についても硫化物量、有機物量の減少が認められ、バイオコロニーの散布効果と考えられた。今回の試験ではその効果の持続期間は2カ月程度であった。
6. 300 g/m²散布区と600 g/m²散布区とを比較すると、硫化物、有機物量の相対的な減少量は600 g/m²散布区の方が多かったが、散布効果や持続期間の明瞭性は300 g/m²散布区の方が良く、散布量と改善効果との関係は現場試験からは把握できなかった。
7. 現場試験に併せて、底泥に魚肉をモデル基質として加えた底泥モデルを用いて、バイオコロニーの添加量と改善効果との関係をみるための室内実験を行った。
8. 室内実験では、バイオコロニー添加区において現場試験でもみられた底泥からのT-SとNH₄-Nの溶出が抑制されるのが認められ、また強還元状態でもその活性を失わず、閉鎖的な内湾養殖漁場での底質浄化に非常に有用である可能性が示された。
9. 室内実験では現場試験でみられたような底泥中の硫化物や有機物の明らかな減少は認められず、また添加量と改善効果との関係も十分に認められなかった。室内実験については今後実験方法と測定項目についての検討が必要である。

Ⅳ 参考文献

- 1) 三重県浜島水産試験場（1980-1981）：石灰による底質改良試験.
昭和 54-55 年度赤潮対策技術開発試験報告書
- 2) 高知県水産試験場（1980-1983）：覆砂による底質改良試験.
昭和 54-57 年度赤潮対策技術開発試験報告書

V 付表

水質底質調査結果（平成3年5月9日）

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8
B-1 m W. T. (°C)	19.7	18.4	19.6	20.2	21.1	20.9	20.3	20.6
Sal. (‰)	31.8	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0	31.8	32.1
Bottom DO (ppm)	3.65	5.03	3.56	3.90	4.92	4.38	5.08	4.76
pH	8.20	8.19	8.16	8.18	8.22	8.26	8.42	8.31
Eh (mV)	231	350	226	227	310	216	257	255
T-S (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₃ -N (μg-at/l)	1.76	1.68	1.40	1.47	1.55	1.87	1.26	1.07
NO ₂ -N (μg-at/l)	1.59	1.47	1.41	1.69	1.46	1.67	1.43	1.18
NH ₄ -N (μg-at/l)	2.65	4.50	3.17	4.24	3.09	6.04	3.72	2.16
DIN (μg-at/l)	6.00	7.65	5.98	7.40	6.10	9.58	6.41	4.41
PO ₄ -P (μg-at/l)	0.70	1.10	0.73	0.74	0.60	1.08	0.74	0.47
T-N (μg-at/l)	15.97	17.49	12.27	12.70	9.62	13.53	11.30	10.47
T-P (μg-at/l)	0.89	1.22	0.98	1.01	0.66	1.10	1.00	0.56
Mud Temp. (°C)	19.9	25.4	20.3	20.6	21.3	22.6	21.7	23.3
pH	7.76	8.11	7.71	7.80	7.75	7.78	7.66	7.77
Eh (mV)	16	-40	-2	-17	-29	-92	-113	-33
T-S (0-2)	1.65	1.17	1.95	1.07	1.01	2.28	1.95	1.07
(mgS/dry g) (2-4)	1.00	1.83	1.06	1.04	0.76	2.42	1.33	1.08
(4-6)	1.00	0.93	1.15	0.93	0.82	2.34	1.02	1.05
IL (0-2)	15.9	17.7	18.5	12.0	14.2	15.6	13.4	15.9
(%) (2-4)	14.8	14.6	11.9	11.0	11.1	14.2	13.5	11.1
(4-6)	10.3	12.2	11.2	10.9	9.7	13.8	16.4	11.5
COD (0-2)	28.4	41.0	63.4	38.3	41.3	48.9	42.1	29.4
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	33.8	32.6	32.3	35.8	28.5	44.3	36.8	33.3
(4-6)	35.7	35.6	31.4	36.4	31.3	38.1	34.7	31.1

水質底質調査結果（平成 3 年 5 月 28 日）

	St. A	St. B	St. C	St. D
B-1 m W. T. (°C)	19.7	19.9	19.0	19.8
Sal. (‰)	31.4	31.2	31.8	31.4
Bottom DO (ppm)	2.72	1.88	4.21	2.92
pH	8.10	7.89	7.96	7.93
Eh (mV)	224	215	146	167
T-S (mg/ℓ)	0	0	0	0
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	1.37	1.70	1.30	1.41
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	1.99	3.65	2.22	2.98
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	0.93	4.38	1.00	3.08
DIN (μg-at/ℓ)	4.29	9.73	4.52	7.47
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	0.45	1.43	0.54	1.09
T-N (μg-at/ℓ)	17.19	14.51	12.05	13.51
T-P (μg-at/ℓ)	0.54	1.51	0.70	1.16
Mud Temp. (°C)	20.0	20.8	20.1	20.9
pH	7.83	7.59	7.55	7.69
Eh (mV)	-111	8	-107	-123
T-S (0-2)	1.18	1.49	2.18	2.15
(mgS/dry g) (2-4)	1.25	1.18	1.73	2.48
(4-6)	1.21	1.13	1.18	1.44
IL (0-2)	16.6	14.3	17.4	15.4
(%) (2-4)	13.8	12.3	17.7	14.5
(4-6)	13.4	12.3	11.6	13.1
COD (0-2)	38.7	36.2	43.3	38.9
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	37.4	36.2	37.9	39.3
(4-6)	34.3	34.0	32.0	31.1
T-C of mud (0-2)	26.36	27.60	34.30	28.25
(2-4)	24.79	24.04	30.68	28.94
(4-6)	23.20	23.01	22.55	24.79
T-N of mud (0-2)	2.80	3.51	4.87	3.44
(2-4)	2.70	4.18	4.17	4.20
(4-6)	2.50	2.64	2.88	3.36
C/N of mud (0-2)	9.41	7.86	7.04	8.21
(2-4)	9.18	5.75	7.36	6.89
(4-6)	9.28	8.72	7.83	7.38

水質底質調査結果（平成 3 年 6 月 20 日）

	St. A	St. B	St. C	St. D
B-1 m W. T. (°C)	21.2	21.8	21.4	21.6
Sal. (‰)	30.6	30.3	30.4	30.5
Bottom DO (ppm)	1.20	2.80	3.53	2.25
pH	8.02	8.05	8.11	7.96
Eh (mV)	114	185	153	56
T-S (mg/l)	0	0	0	0.2
NO ₃ -N (μg-at/l)	2.12	1.60	2.11	1.76
NO ₂ -N (μg-at/l)	2.70	2.34	2.78	3.15
NH ₄ -N (μg-at/l)	7.86	5.35	6.41	8.50
DIN (μg-at/l)	12.68	9.29	11.30	13.41
PO ₄ -P (μg-at/l)	2.73	1.65	1.77	3.02
T-N (μg-at/l)	20.95	18.26	16.89	24.64
T-P (μg-at/l)	2.78	1.80	1.79	3.17
Mud Temp. (°C)	21.2	22.4	22.1	22.3
pH	7.47	7.44	7.45	7.51
Eh (mV)	-147	-148	-161	-167
T-S (0-2)	1.93	2.66	2.03	2.28
(mgS/dry g) (2-4)	1.60	1.50	1.37	1.65
(4-6)	1.19	1.23	0.86	1.32
IL (0-2)	16.6	14.6	17.1	15.0
(%) (2-4)	14.0	13.4	13.2	13.9
(4-6)	12.6	12.6	12.7	12.8
COD (0-2)	36.6	43.1	38.8	36.3
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	35.8	33.3	34.1	27.6
(4-6)	23.8	30.5	24.6	31.9
T-C of mud (0-2)	35.86	29.13	31.40	29.26
(2-4)	30.74	26.32	28.09	27.88
(4-6)	25.66	24.61	20.64	24.99
T-N of mud (0-2)	3.78	3.13	3.29	3.06
(2-4)	3.05	2.47	3.02	2.79
(4-6)	2.39	2.30	1.95	2.35
C/N of mud (0-2)	9.49	9.31	9.54	9.56
(2-4)	10.08	10.66	9.30	9.99
(4-6)	10.74	10.70	10.63	10.63

水質底質調査結果（平成3年7月10日）

	St. A	St. B	St. C	St. D
B-1 m W. T. (°C)	23.0	23.2	23.0	23.6
Sal. (‰)	30.3	30.6	30.7	30.7
Bottom DO (ppm)	3.28	1.96	2.81	1.77
pH	8.21	8.19	8.18	8.21
Eh (mV)	109	147	72	98
T-S (mg/ℓ)	0.10	0	0.10	0.04
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	3.61	3.83	3.46	3.03
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	3.14	3.82	3.36	3.09
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	6.44	9.70	7.65	9.18
DIN (μg-at/ℓ)	13.19	17.35	14.47	15.30
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	2.55	3.40	2.82	2.80
T-N (μg-at/ℓ)	21.95	25.11	21.95	25.23
T-P (μg-at/ℓ)	2.51	3.45	2.89	2.75
Mud Temp. (°C)	24.3	25.8	25.0	25.2
pH	7.90	7.67	7.45	7.61
Eh (mV)	-181	-148	-180	-181
T-S (0-2)	2.94	2.83	2.74	2.45
(mgS/dry g) (2-4)	2.95	1.90	2.51	2.18
(4-6)	2.13	1.32	1.63	1.23
IL (0-2)	19.0	14.7	15.9	14.7
(%) (2-4)	17.4	13.2	16.6	14.4
(4-6)	14.8	13.1	15.9	12.5
COD (0-2)	47.3	46.5	46.6	34.1
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	41.9	32.8	27.0	29.5
(4-6)	41.6	31.3	38.0	31.4
T-C of mud (0-2)	41.39	28.67	35.25	28.86
(2-4)	39.99	26.60	36.23	27.81
(4-6)	33.25	24.44	29.20	24.62
T-N of mud (0-2)	4.57	3.04	3.26	2.91
(2-4)	4.74	2.82	4.05	2.79
(4-6)	3.72	2.19	3.27	2.48
C/N of mud (0-2)	9.06	9.43	10.81	9.92
(2-4)	8.44	9.43	8.95	9.97
(4-6)	8.94	11.16	8.93	9.93

水質底質調査結果（平成3年8月6日）

	St. A	St. B	St. C	St. D
B-1 m W. T. (°C)	25.4	24.8	25.2	25.6
Sal. (‰)	31.3	31.5	31.8	32.0
Bottom DO (ppm)	4.08	1.76	1.60	1.24
pH	8.18	8.22	8.25	8.27
Eh (mV)	67	100	76	11
T-S (mg/l)	0.24	0.08	0.20	0.76
NO ₃ -N (μg-at/l)	1.71	0.43	1.75	1.55
NO ₂ -N (μg-at/l)	3.06	6.53	3.14	3.84
NH ₄ -N (μg-at/l)	5.54	6.26	3.76	12.93
DIN (μg-at/l)	10.31	13.22	8.65	18.32
PO ₄ -P (μg-at/l)	2.24	2.35	1.75	4.16
T-N (μg-at/l)	21.99	22.12	16.85	22.95
T-P (μg-at/l)	2.65	2.39	2.28	4.12
Mud Temp. (°C)	27.4	27.0	26.8	26.5
pH	7.60	7.47	7.66	7.67
Eh (mV)	-181	-147	-169	-165
T-S (0-2)	2.72	3.02	2.61	2.00
(mgS/dry g) (2-4)	1.93	2.93	1.76	2.05
(4-6)	1.22	2.17	1.48	1.37
IL (0-2)	14.9	15.7	15.0	16.2
(%) (2-4)	14.2	15.4	14.1	15.0
(4-6)	12.9	14.1	13.1	13.4
COD (0-2)	38.3	37.0	49.7	44.2
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	33.1	36.7	39.5	36.9
(4-6)	32.2	39.2	31.1	22.6
T-C of mud (0-2)	32.36	33.59	31.33	31.97
(2-4)	32.37	35.86	31.01	34.19
(4-6)	26.19	33.03	27.29	26.50
T-N of mud (0-2)	3.75	3.84	3.68	3.69
(2-4)	3.80	4.19	3.66	3.91
(4-6)	2.76	3.66	3.03	2.75
C/N of mud (0-2)	8.63	8.75	8.51	8.66
(2-4)	8.52	8.56	8.47	8.74
(4-6)	9.49	9.02	9.01	9.64

水質底質調査結果（平成3年8月13日）

	St. A	St. B	St. C	St. D
B-1 m W. T. (°C)	25.9	25.9	25.0	25.8
Sal. (‰)	31.4	31.1	31.7	31.2
Bottom DO (ppm)	3.43	1.80	2.45	2.54
pH	8.38	8.3	8.34	8.32
Eh (mV)	116	65	178	71
T-S (mg/ℓ)	0.05	0.20	0	0.30
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	1.65	0.95	1.04	1.38
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	2.09	1.79	1.96	2.11
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	3.50	4.34	3.78	4.65
DIN (μg-at/ℓ)	7.24	7.08	6.78	8.14
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	1.54	1.76	1.40	1.69
T-N (μg-at/ℓ)	13.86	13.36	11.55	13.08
T-P (μg-at/ℓ)	1.67	2.22	1.83	1.82
Mud Temp. (°C)	28.3	28.9	28.8	27.6
pH	7.62	7.42	7.52	7.50
Eh (mV)	-183	-184	-167	-187
T-S (0-2)	2.73	3.45	1.85	2.50
(mgS/dry g) (2-4)	1.50	3.12	1.49	1.72
(4-6)	1.07	2.05	1.15	1.26
IL (0-2)	15.3	16.9	14.4	14.8
(%) (2-4)	12.8	15.5	13.5	14.2
(4-6)	11.0	14.1	11.6	12.4
COD (0-2)	42.9	39.6	38.2	36.4
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	31.7	30.2	24.4	21.5
(4-6)	24.2	26.1	19.4	25.1
T-C of mud (0-2)	33.47	37.1	32.13	31.27
(2-4)	27.81	36.26	27.73	30.52
(4-6)	20.75	30.75	21.37	25.36
T-N of mud (0-2)	3.99	4.66	3.74	3.16
(2-4)	3.19	4.38	3.00	3.18
(4-6)	1.82	3.68	2.18	2.55
C/N of mud (0-2)	8.39	7.96	8.59	9.90
(2-4)	8.72	8.28	9.24	9.60
(4-6)	11.40	8.36	9.80	9.95

水質底質調査結果（平成3年8月27日）

	St. A	St. B	St. C	St. D
B-1 m W. T. (°C)	26.4	26.6	26.7	26.7
Sal. (‰)	31.5	31.5	31.3	31.4
Bottom DO (ppm)	1.48	1.79	2.37	1.60
pH	7.94	7.91	7.92	7.88
Eh (mV)	39	43	20	34
T-S (mg/l)	0.44	0.38	0.40	0.50
NO ₃ -N (μg-at/l)	1.82	0.94	1.59	1.25
NO ₂ -N (μg-at/l)	1.79	1.47	2.07	2.00
NH ₄ -N (μg-at/l)	6.62	4.81	7.31	8.22
DIN (μg-at/l)	10.23	7.22	10.97	11.47
PO ₄ -P (μg-at/l)	1.69	1.49	2.56	2.52
T-N (μg-at/l)	20.42	11.20	17.55	20.59
T-P (μg-at/l)	2.01	1.94	2.59	2.60
Mud Temp. (°C)	27.4	27.1	28.0	26.9
pH	7.15	7.20	7.21	7.22
Eh (mV)	-175	-199	-177	-187
T-S (0-2)	3.05	2.82	1.97	2.16
(mgS/dry g) (2-4)	2.69	2.26	1.42	1.54
(4-6)	1.88	1.79	1.10	1.07
IL (0-2)	15.3	15.8	14.2	14.0
(%) (2-4)	14.4	14.4	12.4	13.2
(4-6)	13.3	15.6	11.8	11.8
COD (0-2)	44.2	40.0	35.7	39.8
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	24.1	39.8	33.7	29.9
(4-6)	27.5	27.2	28.0	26.0
T-C of mud (0-2)	36.00	38.18	32.41	30.81
(2-4)	35.84	35.27	29.05	30.19
(4-6)	32.78	34.36	22.88	25.08
T-N of mud (0-2)	4.47	4.80	3.92	3.19
(2-4)	4.38	4.39	3.34	2.99
(4-6)	3.78	4.21	2.20	2.34
C/N of mud (0-2)	8.05	7.95	8.27	9.66
(2-4)	8.18	8.03	8.70	10.10
(4-6)	8.67	8.16	10.4	10.72

水質底質調査結果（平成 3 年 9 月 10 日）

	St. A	St. B	St. C	St. D
B-1 m W. T. (°C)	28.1	27.9	27.6	27.9
Sal. (‰)	31.1	30.9	31.0	30.8
Bottom DO (ppm)	1.74	2.18	2.17	4.96
pH	7.92	7.92	7.98	7.99
Eh (mV)	93	74	136	73
T-S (mg/ℓ)	0.06	0.01	0	0.20
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	1.78	1.50	1.38	1.09
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	2.53	2.54	2.42	1.94
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	8.38	8.33	7.50	7.67
DIN (μg-at/ℓ)	12.69	12.37	11.30	10.70
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	1.86	1.97	1.87	1.93
T-N (μg-at/ℓ)	19.36	17.50	20.16	22.68
T-P (μg-at/ℓ)	1.97	2.30	2.17	2.19
Mud Temp. (°C)	29.6	28.3	29.3	28.6
pH	7.15	7.16	7.26	7.14
Eh (mV)	-184	-171	-150	-154
T-S (0-2)	2.62	2.18	2.52	2.30
(mgS/dry g) (2-4)	2.28	1.29	1.56	1.86
(4-6)	1.43	1.22	0.94	1.59
IL (0-2)	15.1	14.8	14.9	15.0
(%) (2-4)	14.3	12.5	13.3	14.0
(4-6)	13.2	11.2	11.3	14.4
COD (0-2)	43.8	33.9	27.3	39.5
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	36.2	27.8	30.6	31.0
(4-6)	35.4	20.6	19.3	22.8
T-C of mud (0-2)	34.17	31.92	33.07	32.50
(2-4)	34.38	24.92	29.49	31.13
(4-6)	28.54	19.43	21.07	30.17
T-N of mud (0-2)	4.11	3.68	3.90	3.48
(2-4)	4.12	2.40	3.33	3.42
(4-6)	3.35	1.69	1.86	3.13
C/N of mud (0-2)	8.31	8.67	8.48	9.34
(2-4)	8.34	10.38	8.86	9.10
(4-6)	8.52	11.50	11.33	9.64

水質底質調査結果（平成3年9月24日）

	St. A	St. B	St. C	St. D
B-1 m W. T. (°C)	26.6	26.6	26.5	26.7
Sal. (‰)	31.4	31.4	31.5	31.5
Bottom DO (ppm)	3.70	3.95	3.04	3.17
pH	8.18	8.18	8.19	8.18
Eh (mV)	110	92	168	116
T-S (mg/ℓ)	0.06	0.04	0	0.08
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	2.74	2.98	2.85	4.71
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	1.82	2.45	2.24	2.53
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	2.09	2.87	2.13	2.76
DIN (μg-at/ℓ)	6.65	8.30	7.22	10.00
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	1.03	1.07	0.83	1.36
T-N (μg-at/ℓ)	11.28	16.57	7.21	14.39
T-P (μg-at/ℓ)	1.33	1.28	1.14	1.45
Mud Temp. (°C)	26.0	25.9	25.6	25.9
pH	7.43	7.38	7.25	6.93
Eh (mV)	-178	-180	-181	-192
T-S (0-2)	2.73	3.13	1.88	2.58
(mgS/dry g) (2-4)	2.51	2.47	1.23	2.17
(4-6)	1.58	2.01	1.09	1.42
IL (0-2)	15.9	16.0	14.7	16.6
(%) (2-4)	16.3	16.1	13.4	16.4
(4-6)	13.9	14.7	12.1	14.2
COD (0-2)	46.3	34.6	33.9	35.9
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	25.5	36.2	25.8	32.3
(4-6)	23.8	36.1	25.8	29.3
T-C of mud (0-2)	35.11	35.57	31.45	34.91
(2-4)	37.27	36.36	27.70	38.71
(4-6)	30.05	35.77	22.93	29.58
T-N of mud (0-2)	4.31	4.46	3.98	4.29
(2-4)	4.61	4.66	3.26	5.24
(4-6)	3.42	4.62	2.61	3.46
C/N of mud (0-2)	8.15	7.98	7.90	8.14
(2-4)	8.08	7.80	8.50	7.39
(4-6)	8.79	7.74	8.79	8.55

水質底質調査結果（平成3年10月17日）

	St. A	St. B	St. C	St. D
B-1 m W. T. (°C)	23.5	23.6	23.6	23.4
Sal. (‰)	31.8	31.8	31.6	31.8
Bottom DO (ppm)	4.75	5.25	5.68	5.27
pH				
Eh (mV)				
T-S (mg/ℓ)				
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	1.52	1.75	1.02	1.34
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	1.29	1.54	1.67	1.97
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	5.28	6.01	4.11	5.71
DIN (μg-at/ℓ)	8.09	9.30	6.80	9.02
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	1.15	1.41	0.73	0.94
T-N (μg-at/ℓ)	19.28	13.8	9.84	10.84
T-P (μg-at/ℓ)	1.22	1.55	1.01	1.21
Mud Temp. (°C)				
pH				
Eh (mV)				
T-S (0-2)	3.28	2.81	2.09	2.37
(mgS/dry g) (2-4)	2.05	2.13	1.96	1.91
(4-6)	1.68	1.23	1.56	1.10
IL (0-2)	16.9	17.2	14.5	16.0
(%) (2-4)	15.6	15.5	14.7	14.7
(4-6)	15.0	12.1	13.5	11.8
COD (0-2)	46.0	38.7	36.3	41.9
(mgO ₂ /dry g) (2-4)	27.3	29.6	30.6	32.3
(4-6)	34.7	26.0	31.4	28.1
T-C of mud (0-2)	38.23	34.28	31.50	33.57
(2-4)	35.18	34.33	32.31	34.33
(4-6)	31.95	26.35	31.46	25.41
T-N of mud (0-2)	5.05	4.43	3.94	4.41
(2-4)	4.38	4.46	4.24	4.42
(4-6)	4.03	3.23	4.18	2.83
C/N of mud (0-2)	7.57	7.74	7.99	7.61
(2-4)	8.03	7.70	7.62	7.77
(4-6)	7.93	8.16	7.53	8.98

室内実験結果（開始前及び開始直後）

	開始前	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	6.67	—	—	—	—	—
pH	8.08	—	—	—	—	—
Eh (mV)	369	—	—	—	—	—
T-S (mg/ℓ)	0	—	—	—	—	—
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	12.1	—	—	—	—	—
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	0.5	—	—	—	—	—
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	1.2	—	—	—	—	—
DIN (μg-at/ℓ)	13.8	—	—	—	—	—
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	1.1	—	—	—	—	—
T-N (μg-at/ℓ)	21.2	—	—	—	—	—
T-P (μg-at/ℓ)	1.1	—	—	—	—	—
Mud T-S (mg/dry g)	0.88	0.88	0.89	0.78	0.88	0.88
IL (%)	11.0	11.7	12.0	11.6	11.5	11.4
COD (mgO ₂ /dry g)	33.6	35.4	33.1	34.2	32.5	33.9
T-C (mg/dry g)	21.94	23.49	23.82	23.39	22.09	23.82
T-N (mg/dry g)	1.46	1.94	1.93	2.02	1.84	2.09
C/N	15.03	12.11	12.34	11.58	12.01	11.4

室内実験結果（1日目）

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	0.84	0.72	0.73	0.84	0.77
pH	7.68	7.70	7.73	7.74	7.68
Eh (mV)	184	237	207	204	207
T-S (mg/ℓ)	0	0	0	0	0
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	4.4	6.4	4.6	3.6	5.7
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	6.5	7.9	7.3	7.6	7.0
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	126.3	93.8	127.7	121.7	105.7
DIN (μg-at/ℓ)	137.2	108.1	139.6	132.9	118.4
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	2.0	0.7	1.4	1.2	1.3
T-N (μg-at/ℓ)	311.7	215.2	263.7	278.0	256.3
T-P (μg-at/ℓ)	14.8	20.5	28.8	21.7	18.6
Mud T-S (mg/dry g)	0.69	0.82	0.67	0.61	0.92
IL (%)	14.1	14.6	13.4	12.4	13.1
COD (mgO ₂ /dry g)	12.6	27.9	11.1	22.3	9.7
T-C (mg/dry g)	22.21	22.06	21.36	21.5	25.79
T-N (mg/dry g)	1.97	2.09	2.15	2.14	2.46
C/N	11.27	10.56	9.93	10.05	10.48

室内実験結果 (6 日目)

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	0.60	0.35	0.38	0.35	0.32
pH	6.92	6.91	6.88	6.90	6.89
Eh (mV)	-70	-68	-61	-57	-63
T-S (mg/ℓ)	47.2	41.0	35.0	29.0	39.0
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	32.1	43.0	16.9	47.3	40.7
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	46.3	45.3	48.7	52.9	51.3
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	1820.4	1591.2	1645.2	1467.0	1558.8
DIN (μg-at/ℓ)	1898.8	1679.5	1710.8	1567.2	1650.8
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	58.0	50.1	50.3	43.2	49.8
T-N (μg-at/ℓ)	2825.7	1959.1	3146.0	1598.7	2745.6
T-P (μg-at/ℓ)	76.1	478.2	730.4	401.8	337.2
Mud T-S (mg/dry g)	0.88	1.03	0.92	0.93	1.13
IL (%)	15.9	16.9	19.6	19.2	13.3
COD (mgO ₂ /dry g)	17.1	30.5	18.5	21.6	20.9
T-C (mg/dry g)	20.40	21.17	20.15	20.07	20.88
T-N (mg/dry g)	1.48	1.63	1.55	1.53	1.56
C/N	13.78	12.99	13.00	13.12	13.38

室内実験結果 (10 日目)

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	0.45	0.30	0.35	0.32	0.30
pH	7.06	7.05	7.01	6.97	7.01
Eh (mV)	-96	-89	-88	-88	-98
T-S (mg/ℓ)	95.2	100.0	102.7	89.6	115.2
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	45.2	32.2	48.1	26.4	10.1
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	47.6	45.5	54.0	55.1	48.5
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	1840.6	1739.6	1829.6	1757.8	1818.2
DIN (μg-at/ℓ)	1933.4	1817.3	1931.7	1839.3	1876.8
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	61.8	60.5	64.1	58.7	60.3
T-N (μg-at/ℓ)	2222.2	3740.9	4862.0	4029.7	3005.9
T-P (μg-at/ℓ)	387.2	263.4	624.9	594.0	576.9
Mud T-S (mg/dry g)	1.17	1.34	1.32	1.37	1.38
IL (%)	13.2	14.1	11.4	14.1	13.2
COD (mgO ₂ /dry g)	16.8	22.5	19.7	15.7	24.9
T-C (mg/dry g)	20.90	20.43	20.07	20.01	20.90
T-N (mg/dry g)	1.82	1.75	1.74	1.56	1.69
C/N	11.48	11.67	11.53	12.83	12.37

室内実験結果 (14 日目)

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	0.51	0.45	0.56	0.50	0.38
pH	6.99	7.01	7.19	7.02	7.02
Eh (mV)	-115	-100	-71	-90	-100
T-S (mg/ℓ)	116.8	105.6	130.0	128.0	133.3
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	77.2	28.0	21.0	81.5	24.1
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	62.1	56.8	68.9	73.0	82.0
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	2010.8	1865.8	1944.5	1923.5	1953.5
DIN (μg-at/ℓ)	2150.1	1950.6	2034.4	2078.0	2059.6
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	72.3	68.4	66.8	66.0	71.9
T-N (μg-at/ℓ)	5326.8	2877.9	5044.3	2127.1	5312.5
T-P (μg-at/ℓ)	766.5	744.0	712.1	411.5	652.4
Mud T-S (mg/dry g)	1.26	1.13	1.24	1.24	1.24
IL (%)	14.9	15.5	15.0	12.9	16.1
COD (mgO ₂ /dry g)	13.6	15.0	18.6	20.6	12.2
T-C (mg/dry g)	19.97	19.11	18.66	19.44	18.52
T-N (mg/dry g)	1.64	1.65	1.55	1.74	1.71
C/N	12.18	11.58	12.04	11.17	10.83

室内実験結果 (21 日目)

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	0.77	0.75	0.70	0.69	0.68
pH	7.35	7.34	7.10	7.18	7.23
Eh (mV)	-90	-87	-88	-85	-82
T-S (mg/ℓ)	24.0	21.7	34.0	27.0	26.0
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	59.3	43.8	15.3	71.7	33.0
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	63.4	59.7	58.2	50.3	59.8
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	2016.0	1908.3	1925.8	1827.8	1959.3
DIN (μg-at/ℓ)	2138.7	2011.8	1999.3	1949.8	2052.1
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	79.4	75.2	71.8	68.8	75.2
T-N (μg-at/ℓ)	2145.7	2148.6	2000.6	1966.2	2127.1
T-P (μg-at/ℓ)	446.2	391.5	827.3	672.5	978.1
Mud T-S (mg/dry g)	1.07	1.06	1.05	0.95	1.05
IL (%)	14.3	13.2	14.4	13	15.5
COD (mgO ₂ /dry g)	14.2	16.5	15.1	20.1	23.0
T-C (mg/dry g)	21.62	20.95	20.67	20.97	20.35
T-N (mg/dry g)	1.80	1.77	1.69	1.69	1.67
C/N	12.01	11.84	12.23	12.41	12.19

室内実験結果（26 日目）

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	0.80	0.84	0.91	0.94	0.96
pH	7.43	7.55	7.29	7.29	7.45
Eh (mV)	-75	-67	-78	-76	-72
T-S (mg/ℓ)	14.7	11.2	15.0	16.0	12.5
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	13.0	53.4	123.2	127.3	107.9
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	108.7	113.3	123.8	130.5	151.6
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	2047.5	2081.5	2162.0	1987.0	1916.0
DIN (μg-at/ℓ)	2169.2	2248.2	2409.0	2244.8	2175.5
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	81.6	78.0	82.7	74.7	79.4
T-N (μg-at/ℓ)	2290.7	2330.7	3696.6	11733.2	7057.1
T-P (μg-at/ℓ)	442.2	612.9	844.4	1395.0	620.8
Mud T-S (mg/dry g)	1.20	1.09	1.04	0.98	1.03
IL (%)	13.7	14.0	12.4	12.1	15.4
COD (mgO ₂ /dry g)	19.7	22.2	19.1	15.7	21.3
T-C (mg/dry g)	20.80	22.56	21.52	21.01	21.97
T-N (mg/dry g)	1.72	1.88	1.71	1.62	1.69
C/N	12.09	12.00	12.58	12.97	13.00

室内実験結果（38 日目）

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	—	—	—	—	—
pH	7.53	7.51	7.42	7.53	7.64
Eh (mV)	-70	-56	-50	-41	-27
T-S (mg/ℓ)	7.6	6.4	7.6	4.8	4.4
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	29.4	42.9	49.1	100.1	37.1
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	125.6	116.0	130.4	131.0	113.5
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	2202.5	2016.5	2047.0	1965.0	2090.5
DIN (μg-at/ℓ)	2357.5	2175.4	2226.5	2196.1	2241.1
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	82.1	80.4	85.0	83.2	82.4
T-N (μg-at/ℓ)	7579.0	5584.2	4409.6	5841.6	4809.0
T-P (μg-at/ℓ)	419.1	1402.8	921.6	560.2	1443.6
Mud T-S (mg/dry g)	1.10	1.11	0.99	1.00	1.09
IL (%)	11.6	12.1	12.5	12.5	12.5
COD (mgO ₂ /dry g)	22.5	28.8	24.6	18.7	26.6
T-C (mg/dry g)	22.01	22.64	20.35	20.67	21.10
T-N (mg/dry g)	1.74	1.70	1.55	1.61	1.73
C/N	12.65	13.32	13.13	12.84	12.20

室内実験結果 (45 日目)

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	—	—	—	—	—
pH	7.77	7.80	7.59	7.68	7.86
Eh (mV)	-42	-13	-34	-11	7
T-S (mg/ℓ)	4.0	1.6	3.4	2.2	1.4
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	63.8	57.0	102.1	97.1	159.7
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	125.8	123.3	115.8	140.8	127.6
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	2213.5	2019.0	2104.5	2029.0	2120.5
DIN (μg-at/ℓ)	2403.1	2199.3	2322.4	2266.9	2407.8
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	97.7	77.8	88.2	93.4	86.2
T-N (μg-at/ℓ)	2810.0	8744.5	6048.9	3710.9	2824.3
T-P (μg-at/ℓ)	1175.5	330.3	1544.4	423.1	691.4
Mud T-S (mg/dry g)	0.98	0.99	0.94	0.90	1.04
IL (%)	14.9	14.1	11.9	14.7	11.9
COD (mgO ₂ /dry g)	24.7	27.0	28.7	24.5	28.1
T-C (mg/dry g)	19.73	20.23	20.69	17.81	20.90
T-N (mg/dry g)	1.55	1.73	1.67	1.52	1.76
C/N	12.73	11.69	12.39	11.72	11.88

室内実験結果 (54 日目)

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	1.04	1.35	0.85	0.77	1.30
pH	7.79	7.94	7.67	7.84	7.94
Eh (mV)	-52	242	-4	192	279
T-S (mg/ℓ)	4.5	0	2.7	0	0
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	143.7	160.3	40.2	44.2	79.0
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	121.6	126.2	107.9	129.3	133.6
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	2051.5	1967.5	2021.0	2083.0	2115.0
DIN (μg-at/ℓ)	2316.8	2254.0	2169.1	2256.5	2327.6
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	91.9	83.8	81.4	90.5	83.3
T-N (μg-at/ℓ)	2709.9	7979.4	3737.5	4238.1	6163.3
T-P (μg-at/ℓ)	1312.0	197.5	739.3	362.1	840.1
Mud T-S (mg/dry g)	0.97	1.02	0.96	0.92	1.01
IL (%)	15.3	13.9	13.3	13.9	13.0
COD (mgO ₂ /dry g)	26.1	20.2	20.4	23.5	27.2
T-C (mg/dry g)	19.95	20.18	19.60	19.61	19.76
T-N (mg/dry g)	1.77	1.71	1.57	1.64	1.64
C/N	11.27	11.80	12.48	11.96	12.05

室内実験結果 (66 日目)

	cont.	10 g	20 g	30 g	40 g
Water DO (ppm)	1.60	1.95	1.15	2.65	2.75
pH	7.83	7.89	7.75	7.97	8.01
Eh (mV)	-44	212	-30	233	281
T-S (mg/ℓ)	0.6	0	0.4	0	0
NO ₃ -N (μg-at/ℓ)	21.5	15.9	65.1	26.6	123.1
NO ₂ -N (μg-at/ℓ)	129.7	148.6	149.2	155.2	113.4
NH ₄ -N (μg-at/ℓ)	2039.5	1993.5	2176.0	2172.0	2098.5
DIN (μg-at/ℓ)	2190.7	2158.0	2390.3	2353.8	2335.0
PO ₄ -P (μg-at/ℓ)	76.4	82.0	86.5	73.1	86.9
T-N (μg-at/ℓ)	2795.7	3346.2	9473.8	3002.0	4833.4
T-P (μg-at/ℓ)	500.7	469.6	1072.5	685.0	474.5
Mud T-S (mg/dry g)	0.98	0.97	0.98	0.92	0.94
IL (%)	16.7	16.4	15.2	12.1	15.9
COD (mgO ₂ /dry g)	20.6	24.3	18.9	24.8	24.8
T-C (mg/dry g)	20.03	19.00	18.93	20.17	19.17
T-N (mg/dry g)	1.68	1.66	1.66	1.81	1.74
C/N	11.92	11.45	11.40	11.14	11.02

