

# 飽和酸素水供給による底泥中の微生物活動に関する研究

増田純雄<sup>1)</sup>, 後藤洋規<sup>2)</sup>, 山内正仁<sup>3)</sup>, 関戸知雄<sup>4)</sup>, 佐伯雄一<sup>5)</sup>

## The microorganism activity in the Sediment by Supplying Saturated Dissolved Oxygen Water

Sumio MASUDA<sup>1)</sup>, Hiroki GOTO<sup>3)</sup>, Masahito YAMAUCHI<sup>2)</sup>, Tomoo SEKITO<sup>1)</sup> and Yuichi SAEKI<sup>4)</sup>

### Abstract

At present eutrophication is the big problem for lake area. To improve this problem, saturated dissolved oxygen water was supplied to the sediment and this has increased the microorganism activity thus improvement of the sediments' environment is estimated. In this study, by supplying saturated dissolved oxygen water to the sediment, the following results were obtained: 1) the numbers of microorganisms (bacteria, protozoa, *Tubifex hattai*) in the sediment increase, and the microorganism activity are increased. 2) *Tubifex hattai* appeared inside the sediment surface at day 7 resulting the oxygen penetration into the sediments to be about 16mm. 3) Volatile suspended solids increase, but the number of microorganisms with ability resolving organic matter in the sediment increases thus decrease of organic matter in the sediment is been estimated. 4) Nutrients released from the sediment was controlled

Key Words: Eutrophication, microorganism, sediment, saturated dissolved oxygen water, *Tubifex hattai*

### 1. はじめに

近年、我が国の水質汚濁状況は総体的には徐々に改善傾向にあり、特に重金属などの人体に有毒な物質については大幅な改善が見られる。しかし、湖沼（ダム貯水池も含む）、内湾などの閉鎖性水域、都市内河川では、ほとんど改善が進んでいないのが現状である。平成15年度全国公共用水域水質測定結果<sup>1)</sup>によると、環境基準類型が当てはめられた3270水域におけるBOD（又はCOD）の環境基準達成状況は全体では83.87%（河川87.41%、湖沼47.3%、海域76.2%）である。特に、後背地に大きな汚濁源を有するダム、湖沼、内湾、内海等の閉鎖性水域では、流入する汚濁負荷が大きい上に、汚濁物質が蓄積し易いという特性を有して

いるため、他の水域に比べて環境基準の達成率が著しく低い現状にある。

湖沼の富栄養化及び水質の悪化を誘発している汚濁負荷源は特定汚染源（生活系、産業系、畜産系などの排水）と非特定汚染源（農業排水、降雨などによる地表面排水）であり、いずれの発生源が環境に大きな影響を及ぼすかは、湖沼流域の土地利用や産業構造が異なるため難しいと考えられる。

湖沼における水質改善や維持は非常に困難であり、本来、富栄養化現象は湖沼、内湾等の栄養成分の遷移過程で生じるものであり、それ自体は自然現象である。しかし、1970年代からの高度経済成長に伴い、人的活動が大規模となり、ダム、湖沼、海域に流入蓄積する栄養塩類が過度状態となったため、水の華、赤潮や青潮が問題となっている。その結果、水道水の異臭味や浄水場での浄水処理プロセスに影響を及ぼす等の問題（凝集阻害、ろ過閉塞）が生じている。底泥改善の代表的な例として、浚渫法、被覆法、底質固化法、直接曝気法が挙げられるが、様々な問題を含んでおり、合理的かつ効率的な底泥改善

- 
- |                |     |
|----------------|-----|
| 1) 土木環境工学科     | 教授  |
| 2) 日本ヒューム株式会社  |     |
| 3) 鹿児島工業高等専門学校 | 助教授 |
| 4) 土木環境工学科     | 助手  |
| 5) 農学部         | 助手  |

方法が確立されていないのが現状である。

本研究では、富栄養化要因の1つである水中の貧酸素状態の解消と底泥中の微生物の活動を促進させ、自然浄化能力を高めることが、自然環境に負荷を与えない底泥改善方法であると考え、水路の底部に充填した底泥に酸素飽和水を接触させる実験装置を用いたベンチスケール実験を行い、若干の知見が得られたので報告する。

## 2. 実験装置と実験方法

### 2.1 循環式酸素飽和実験

循環式酸素飽和実験装置の概要を図-1に示す。実験装置の容積は $9750\text{cm}^3$  (長さ $65\text{cm}$ ×高さ $15\text{cm}$ ×幅 $10\text{cm}$ )で、底泥充填部分の容積は $3000\text{cm}^3$  ( $20\text{cm}$ × $15\text{cm}$ × $10\text{cm}$ )であ

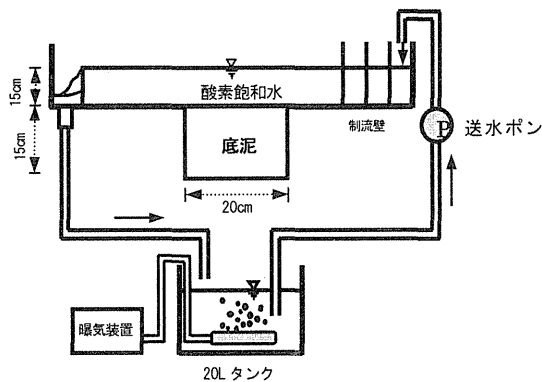


図-1 循環式酸素飽和実験装置

る。底泥充填部分に岩瀬ダム（宮崎県）から採取した底泥を充填し、曝気により飽和にした水道水をポンプによって連続的に循環させた。充填する底泥は目開き $3.35\text{mm}$ の篩にかけ、木屑や木葉などを取り除き、底泥の均一化を行った。実験条件は水温： $20\sim 22^\circ\text{C}$ 、DO濃度： $9.0\pm 0.3\text{mg/L}$ 、槽内の平均流速： $0.3\text{m/分}$ で行い、実験期間は30日間である。測定項目は、泥質は、0, 1, 3, 7, 10, 14, 21, 30日目の底泥深さ方向に存在する原生動物数と一般細菌、

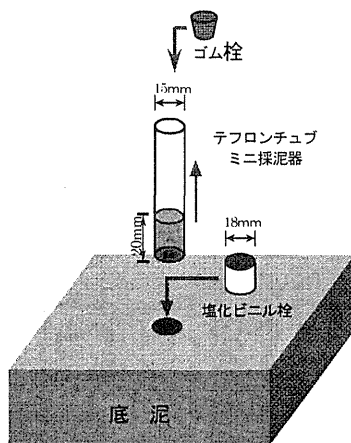


図-2 採泥装置

アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌、脱窒菌数の菌分布及び強熱減量を測定した。原生動物は倒立顕微鏡にて、

種類の同定を行った。底泥から溶出する栄養塩類は、0, 1, 3, 5, 8, 13, 19, 24, 30日目に返送タンクに送水される水質（T-P,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , T-P,  $\text{PO}_4\text{-P}$ , TOC濃度）を測定した。

実験装置からの底泥採取は図-2に示す採泥器具（テフロンチューブ；内径 $15\text{mm}$ ×肉厚 $0.1\text{mm}$ ）を用いた。採取方法は底泥を掻き乱さないようにテフロンチューブをねじ込んで行き、ゆっくりと引き抜くと同時に、採泥した後にはできる孔への飽和酸素水の浸入を防ぐため塩化ビニルパイプ製（内径 $18\text{mm}$ ×高さ $20\text{mm}$ ）の栓で瞬時に蓋をした。底泥深さ方向のカッティングは、テフロンチューブ内の泥を下部からゆっくりと押し出し、ノギスで底泥の厚さを計測し、カッターを用いて底泥上部から $1\text{mm}$ ずつスライスした。

### 2.2 貧酸素実験

貧酸素実験装置の概要を図-3に示す。水槽部分の容積は $2740\text{cm}^3$  (内径 $13.5\text{cm}$ , 高さ $15.5\text{cm}$ )、底泥充填部分の容積は $800\text{cm}^3$  ( $13.5\text{cm}$ ,  $4.5\text{cm}$ )である。貧酸素実験は、同様な実験装置4個にそれぞれ同量の底泥と水道水を充填し、水槽部分を貧酸素状態（DO濃度 $< 1.0\text{mg/L}$ ）とした。槽内の貧酸素状態を維持するために、窒素ガスで毎日同

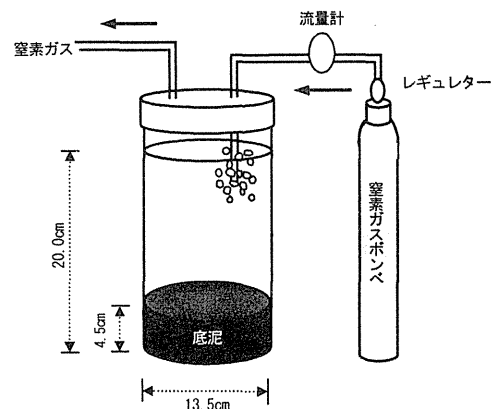


図-3 貧酸素実験装置

時刻に1~3時間程度曝気した。また、本実験では外部からの酸素浸入の影響をなるべく小さくするため、水質と泥質を測定後装置の容器を順次減らしていく方法で行なった。実験条件は、水温： $24^\circ\text{C}$ 、DO濃度： $0.5\pm 0.3\text{mg/L}$ 、実験期間：14日間とした。水質、泥質の採取は実験開始0日目、3日目、7日目、14日目にいき、酸素飽和と実験と同様の水質項目を測定した。底泥のサンプリング方法は酸素飽和と実験の場合と同様である。なお、水質項目と測定方法は以下の方法で行った。T-N：アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解-紫外線吸光度法、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ：ネスラー法（HACH社 DR2000）、 $\text{NO}_2\text{-N}$ ：ジアゾ化法（HACH社 DR2000）、 $\text{NO}_3\text{-N}$ ：カドミウム還元法（HACH社 DR2000）、T-P：ペルオキシ二硫酸カリウム分解法、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ：モリブデン青法、全有機炭素[TOC]：燃焼酸化赤外線分析法（島津製作所製

TOC-5000)、D0: ウィンクラー法—アジ化ナトリウム変法、SS: メンブランフィルター法 (0.45 μm)、濁度[TU]: 積分球式濁度計 (MITUBISI CEMICAL 社製 SEP-PT-706D)、強熱減量[V-SS]。さらに、底泥中の各種細菌の測定は、一般細菌: 平板希釈法、アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌及び脱窒菌: MPN 法、原生動物: 倒立顕微鏡 (ニコン社製, TMD300 型 ×400 倍) を用いて同定を行なった。測定項目は水の分析<sup>2)</sup>、土壌試験法<sup>3)</sup>、下水道試験法<sup>4)</sup>、原生動物図鑑<sup>5)</sup> に従って行なった。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 微生物の経日変化と底泥深さの関係

図-4 に一般細菌の経日変化と底泥深さの関係を示す。図から明らかなように、一般細菌はいずれの場合にも実験開始 1 日目から 3 日目までに底泥表層部分 (飽和酸素水に接触している部分) で急激に増加し、その細菌数は 0

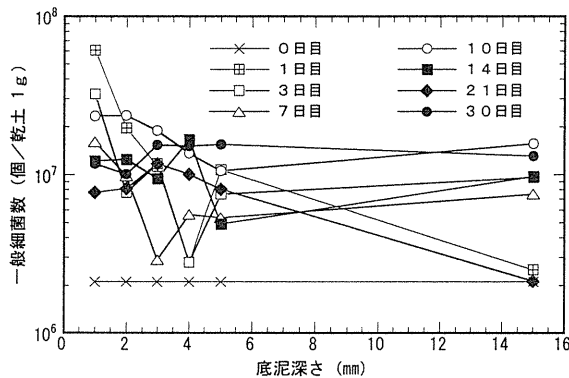


図-4 底泥深さ方向の一般細菌の経日変化

日目 (10<sup>6</sup>個/乾土 g) と比較して 1 オーダー高い値 (10<sup>7</sup>個/乾土 g) となった。これは、底泥への酸素供給によって底泥環境が好気性状態となり、一般細菌の活動が活発化になる環境条件 (酸素と基質) が整った為であると考えられる。しかし、実験開始 3 日目以降は経過日数と共に細菌数が減少し、実験終了時における細菌数はほぼ 10<sup>7</sup> (個/乾土 g) の値となった。これは原生動物と密接な関係があり、一般細菌が原生動物に捕食された為であると考えられる。最終的な一般細菌数はいずれの底泥深さにおいても 0 日目 (10<sup>6</sup>個/乾土 g) より 1 オーダー高い値 (10<sup>7</sup>個/乾土 g) を示し、底泥に酸素供給を行なうことで微生物が活発化し、好気性微生物が増加したことが分かる。また、底泥深さ 15mm においても、一般細菌数が経過日数と共に増加しており、時間の経過と共に酸素が底泥深くにまで浸入していることが確認できた。

図-5 に原生動物数の経日変化と底泥深さの関係を示す。原生動物数はいずれの場合にも実験開始 3 日目より底泥表層付近 (深さ 1~3mm) で急激に増加し、その後、底泥深さ方向においても経過日数と共に顕著な増加を示した。底泥深さ 4mm では、原生動物数が経過日数 0 日目と 1 日目では同じであるが、3, 7, 10 日目と経過する

に伴い増加している。しかし、経過日数 14, 21, 30 日目では 10 日目より、原生動物数が減少している。図-4 で明らかなように、これは細菌数の減少と同じ傾向を示して

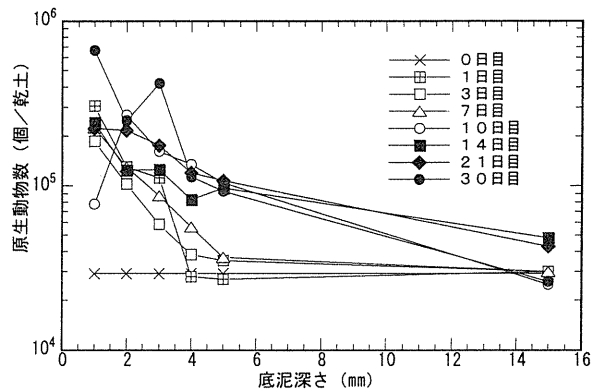


図-5 経過日数と原生動物出現数の関係

おり、原生動物の餌となる細菌数の減少により原生動物数が減少したためと考えられる。原生動物による細菌の捕食については、著者がエポキシ樹脂で生物膜を包埋した生物膜片の TEM 写真から、原生動物が細胞内に多数の球菌を捕食していることを報告した<sup>6)</sup>。したがって、底泥中においても一般細菌数の増減により、原生動物の活動が活発になる環境条件 (酸素と餌) が存在する。底泥深さ 15mm では、原生動物数が経過日数と共に若干増加しており、酸素が底泥深くにまで浸入していることを示している。また、実験開始 8 日目後から底泥表面にイトミミズが多数出現し、イトミミズが行なう様々な活動<sup>7)</sup> によって酸素が底泥深層部 (深さ; 15mm) まで浸入すると考えられる。本実験では、実験終了時の底泥表面における原生動物数は実験開始 0 日目 (10<sup>4</sup>個/乾土 g) と比較すると、約 1 オーダー高い値 (10<sup>5</sup>個/乾土 g) となった。このことから、底泥に飽和酸素水を供給することにより、原生動物についても一般細菌と同様に活発化することが明らかとなった。また、一般細菌と原生動物数の

表-1 同定した原生動物の分類

門	亜門	目	属
肉質鞭毛虫門	鞭毛虫亜門	渦鞭毛虫目	ウズオビムシ
		ユーグレナ目	ミドリムシ
			カラヒゲムシ
			ウチワヒゲムシ
	クリソモナス目	コガネイロヒゲムシ	
	肉質虫亜門	アルケラ目	ツボカムリ
			フセツボカムリ
			ナベカムリ
			アヤカムリ
		グロミア目	ウロコカムリ
フセウロコカムリ			
繊毛虫門	原口目	触虫亜目	ディディニウム
	側口目		ヘミオフリス
	コルポーダ目		コルポーダ
	膜口目	ペニクルス亜目	ゾウリムシ
	緑毛目	定着亜目	ツリガネムシ
	少毛目	チンチヌス亜目	ティンティニディウム
	異毛目	異毛亜目	ティンティノプシス
			ラッパムシ

増殖時期（一般細菌；0～3日目，原生動物；3日目～）が実験開始3日目を境にして明確に分かれている。このことは、一般細菌と原生動物の食物連鎖が密接な関係にあることが示唆された。

表-1に倒立顕微鏡（400倍）を用い、原生動物の同定を行なった結果を示す。その結果、20種類の原生動物が同定され、その中でも特にカラヒゲムシ属やツボカムリ属に分類される種類が優占種として多く確認<sup>8)</sup>された。これらの原生動物は全国の湖沼などで一般的に観測される種類<sup>9-11)</sup>であり、本実験期間中において優占種の変化は観られなかった。

図-6に底泥への酸素侵入深さとイトミミズの出現数の関係を示す。底泥への酸素侵入深さは、装置の側面から観察して底泥の色が変化（黒色→茶褐色）している深さとした。イトミミズ数は、底泥から底泥表面に尾端を水

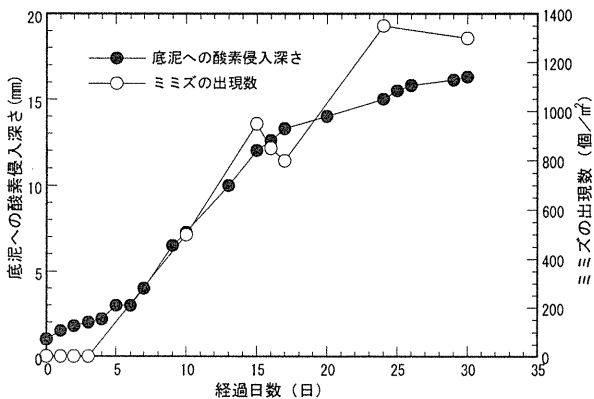


図-6 経過日数と底泥への酸素侵入深さ、ミミズ出現数の関係

中に出して活発に動揺させているイトミミズをカウントし、これを底泥表面の単位面積（m<sup>2</sup>）当たりには換算した値で示した。図から明らかなように、酸素侵入深さは実験開始5日目までは3mm程度であったが、10日目に7mm、実験終了時には16mmとなっている。特に、8～15日目にかけて酸素侵入深さが急激に増加している。これは実験開始8日目辺りから出現したイトミミズが個体数を急激に増やしている期間とほぼ同時期であることから、イトミミズが酸素の侵入深さに大きく関与しているが分かる。さらに、既往の研究<sup>7,9)</sup>では、イトミミズが底泥中を活発に動き回ることから、底泥の攪拌を行なっていることが報告されている。このことから、イトミミズが底泥への酸素侵入深さに寄与していることは明らかである。なお、鈴木・長友<sup>12)</sup>らは、底泥表面にイトミミズが出現しない場合の酸素侵入深さは5～6mm程度であることを報告しており、イトミミズの存在は飽和酸素水供給による底泥の改善を行なう上で重要な役割を担っている。

### 3.2 強熱減量の経日変化と底泥深さの関係

図-7に強熱減量の経日変化と底泥深さの関係を示す。強熱減量は底泥表層部分では実験開始10日目まで緩やかに増加したが、経過14日目には急激に増加した。その後

は経過日数と共にわずかな増加を示した。経過日数10日目までの緩やかな増加は、この期間（0日目～10日目）に一般細菌や原生動物、イトミミズ数が多数増加しており、その増加した分の個体量及びそれらが排出する排泄物が有機物量として含まれたことが考えられる。また、

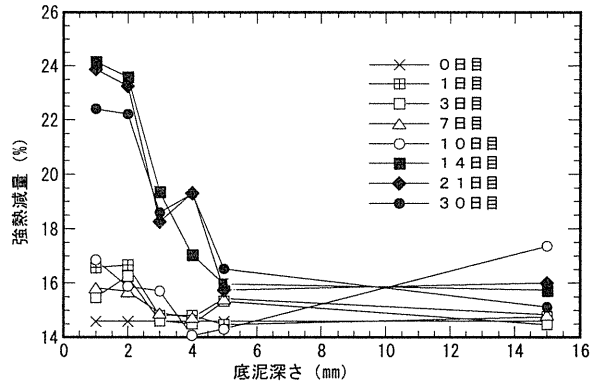


図-7 底泥深さ方向の強熱減量と経過日数の関係

経過日数14日目の強熱減量のピークは、イトミミズ数が急激に増加している時期と同時期であり、イトミミズの個体量とイトミミズの特異な行動の1つである“底泥下部から有機物を底泥表面に運び出す”という行動<sup>7)</sup>により、増加したものと考えられる。

図-8にイトミミズが未出現時の強熱減量の経日変化と底泥深さの関係を示す。強熱減量は全体的に見ると図-7とほぼ同じ傾向を示している。しかし、この実験では底

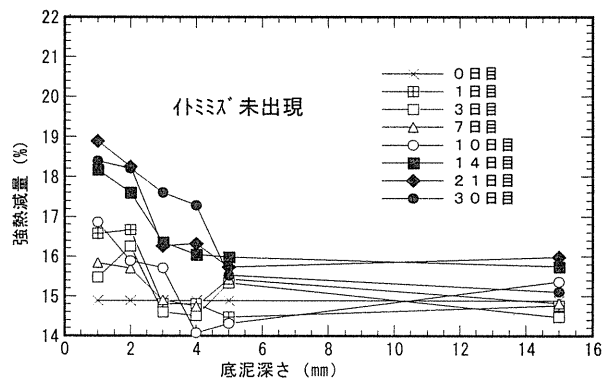


図-8 底泥深さ方向の強熱減量と経過日数の関係

泥表面にイトミミズが出現しなかったために、ピークとなる14日目の有機物増加量が図-7と比べて小さいことが分かる。このことから、イトミミズが強熱減量の変化に大きく寄与していることが判明した。このことから、底泥への飽和酸素水供給によって、強熱減量は全体的に増加することが示され、本研究の目的である底泥の改善という真意からは逸脱するものとなった。しかし、本実験は1ヶ月という短期間であり、また、有機物の分解者である一般細菌や原生動物、さらにそれらを捕食する大型の動物などは確実に増加していることなどを考慮すると、実験期間をさらに長く取ることで、強熱減量は減少するものと考えられる。

3.3 各種細菌の経日変化と底泥深さの関係

図-9、10 にアンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌の経日変化と底泥深さの関係を示す。図から、アンモニア酸化細菌（以下、硝酸菌）、亜硝酸酸化細菌（以下、亜硝酸菌と記す）はそれぞれ実験開始 5 日目までは底泥表層部分（深さ 1~3mm）で増加し、その後も底泥深さに関係なく経過日数と共に緩やかに増加した。これは、実験開始から 3 日目辺りで生じる一般細菌や原生動物などの増加に伴って、底泥中の有機物質が無機物質（栄養塩類；アンモニアなど）に分解される速度が大きくなり、亜硝酸菌や硝酸菌の活動が活発となる環境条件（酸素と栄養塩類）が整った為である。また、実験終了時におけるそれぞれの細菌数を実験開始 0 日目と比較すると、亜硝酸菌では、底泥深さ 1~2mm で約 1 オーダー高い値（ $10^7$  個/乾土 g）、3~5mm で 1 オーダー高い値（ $10^6$  個/乾土 g）

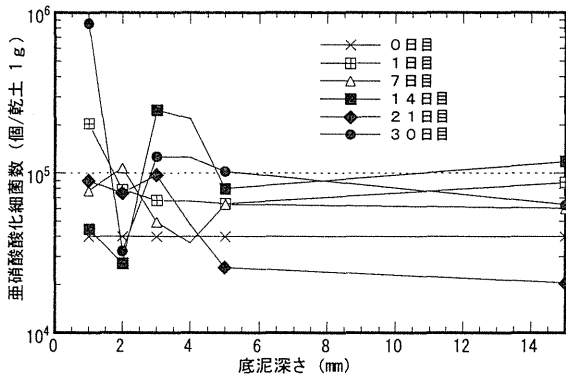


図-9 底泥深さ方向の亜硝酸酸化細菌の経日変化

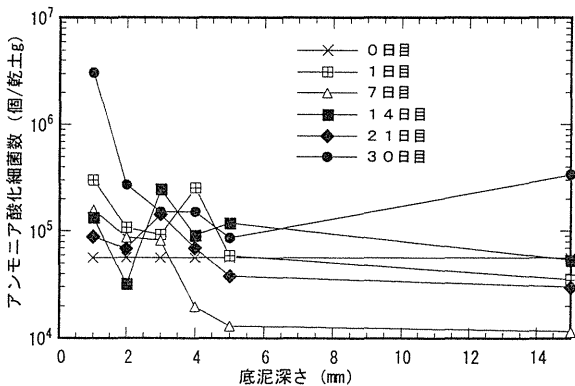


図-10 底泥深さ方向のアンモニア酸化細菌の経日変化

を示した。また、アンモニア酸化細菌も、底泥深さ 1~5mm ではほぼ 1 オーダー高い値（ $10^6$  個/乾土 g）となった。

底泥への飽和酸素水供給により、アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌の細菌数は増加することが明らかとなり、底泥表層部分が好気性状態になっていることが確認された。また、脱窒菌は実験開始 5 日目までに底泥深さ 1~5mm で増加し、実験終了時には菌体数が  $2.0 \times 10^7$  個/乾土 g となった。よって、脱窒菌の菌体数の増加を確認することができ、他栄養性細菌及び自栄養細菌のいずれの微生物活動も活発化させることが明らかとなった。

3.4 底泥から溶出する栄養塩類

図-11 に底泥から溶出した栄養塩類と全有機炭素の経日変化を示す。ここで、図中の濃度は実験開始 0 日目の各栄養塩類濃度を差し引いた換算値で示した。図から明らかなように、 $NH_4-N$  は実験開始 1 日目で急激に溶出しているが、その後は経過日数と共に減少

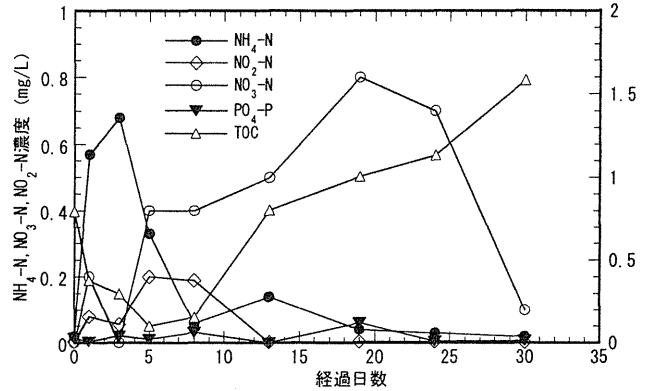


図-11 循環式実験装置槽内の水質変化

し、実験終了時にはほぼゼロとなった。実験開始 1 日目の急激な  $NH_4-N$  濃度の増加は、底泥中に含まれている  $NH_4-N$  が濃度差により水中に溶出した為である。また、この時期は前述で述べたように、底泥中の一般細菌が急激に増殖している期間であることから、一般細菌が有機物を分解し、その過程で生成された  $NH_4-N$  が溶出したことも考えられる。 $NO_2-N$  は実験開始直後に増加した  $NH_4-N$  が亜硝酸菌によって酸化されることで、経過 8 日目辺りまではわずかに検出されたが、実験全体ではほとんど溶出することはなかった。 $NO_3-N$  は水中に溶出する  $NH_4-N$  や  $NO_2-N$  が亜硝酸酸化菌、アンモニア酸化細菌によって酸化されるため、実験開始直後から増加し、経過日数と共に緩やかに増加している。しかし、実験 25 日目辺りから急激に減少し、実験終了時で、ほぼゼロに近い値を示した。この原因としては、①底泥中や装置壁面に存在する好気性微生物によって消費（同化）された。②脱窒菌により  $N_2$  ガスとなって大気中に排出された。③イトミミズが底泥上部の酸化層と底泥下部の還元層にまたがって生活していることから、底泥中の物質拡散が促進され、それで底泥中の脱窒反応が促進されたことなどが推察される。T-N は前に挙げた三態窒素の総和とほとんど同値であり、有機態窒素の溶出はほとんどないことが明らかとなった。T-P 及び  $PO_4-P$  は実験期間中ほとんど溶出されなかった。これは、底泥への酸素供給により、底泥中に存在する 2 価の鉄が 3 価の鉄へと酸化され、鉄とリンが化学反応をおこし底泥中に固定されたものと考えられる。TOC は実験開始直後に底泥と循環水の濃度差により溶出し始め、その後も経過日数と共に増加を辿り、最終的には実験終了時で実験開始時より 1.5mg/L 以上の増加となった。これは、実験期間中に増殖した一般細菌、原生動物及びイトミミズの排泄する糞尿中の有機物が、水中に溶出したことが原因と

考えられる。また、大槻らによると小型動物プランクトンの排泄が TOC の増加に大きく寄与することを報告<sup>13)</sup>しており、さらに、最近ではイトミミズが微生物の有機物分解活性を促進させ、底泥からの CO<sub>2</sub> 排出を増大させるとの見解もあり、本実験で多数出現したイトミミズが TOC 増加に関係していることが推察された。

#### 4. 貧酸素実験結果と考察

図-12 に一般細菌と底泥深さの関係を示す。一般細菌数は経過 3, 7 日目までは底泥表層付近 (深さ 1~2mm) では 1 オーダー高くなっているが、底泥深さ 3mm 以上では 10<sup>6</sup> 個/乾土 g とほとんど一定である。経過 14 日目では

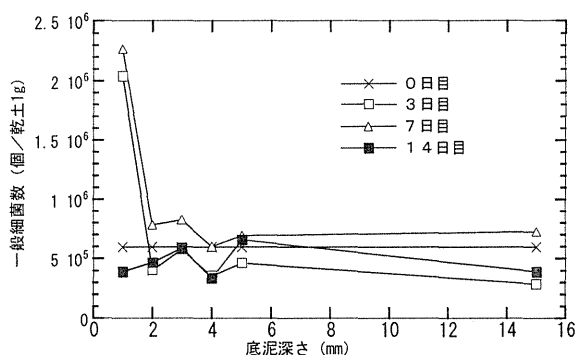


図-12 貧酸素実験における一般細菌数と底泥深さの関係

底泥表層から底泥深さ方向に  $5 \times 10^5$  個/乾土 g と一定となっている。これは微生物の活動に必要な酸素が無いために、好気性細菌の死滅が起こったものと考えられる。したがって、貧酸素条件下では酸素飽和条件時と比較して、細菌数の増加はほとんど無く、微生物の活性が著しく低いことが明らかとなった。

図-13 に底泥より溶出した栄養塩類と全有機炭素の経日変化を示す。図中の各栄養塩濃度は実験開始時 (0 日目) の各栄養塩濃度を差し引いた値で示した。三態

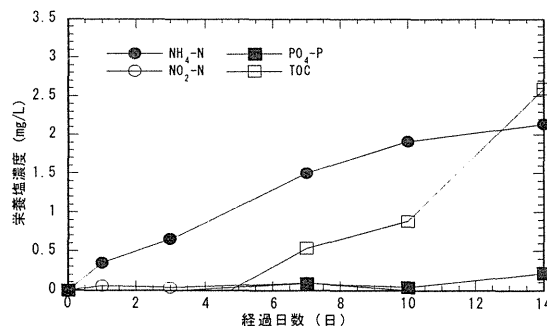


図-13 貧酸素実験における栄養塩類と経過日数の関係

窒素では、実験開始直後に NH<sub>4</sub>-N が溶出を始め、その後も経過日数と共に増加し、実験終了時には 2.2mg/L と増加した。これは底泥中の嫌気性細菌が有機物を分解する際に生じる NH<sub>4</sub>-N と底泥中の NH<sub>4</sub>-N のほとんどが水中に溶出したためである。また、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N は実験を通してわずかに溶出した。PO<sub>4</sub>-P は実験開始 7 日目辺りから溶出し始

め、実験終了時で実験開始時より約 0.2mg/L の増加を示した。これは底泥表面が還元状態になっているため、酸素飽和実験の場合と逆に、底泥中に固定されていたリン酸第 2 鉄などが還元されて溶出したものと考えられる。全有機炭素は実験開始 4 日目から溶出し、経過 14 日目では 3.8mg/L に増加した。これは一般細菌の増殖が無いため、底泥中の TOC が分解されずに水中に溶出したことが原因と考えられる。

#### 5. おわりに

本研究では、富栄養化要因の 1 つである水中の貧酸素状態の解消と底泥中の微生物の活動を促進させ、自然の浄化能力を高めることが、自然環境に負荷を与えない底泥改善方法であると考え、水路の底部に充填した底泥に酸素飽和水を接触させる酸素飽和実験と貧酸素実験を行い、以下のような結果が得られた。

1) 酸素飽和実験では、微生物数が実験期間を通して 1~2 オーダーの増加を示し、特に底泥表層部分 (深さ 1~3mm) において急激な増加が観られた。貧酸素実験では、底泥表層付近 (深さ 1mm) はほとんど変化が観られなかったが、それ以下の深さでは減少傾向にあることが示された。このことより、底泥への酸素供給は微生物活動を活性化することが分かった。2) 底泥表面にイトミミズが出現する場合の底泥への酸素浸入深さは 15mm 程度であり、イトミミズが出現しない場合 (酸素浸入深さ 5~6mm 程度) と比較すると約 2.5~3 倍であることが分かった。また、底泥への酸素供給を行なう上でイトミミズ等の底生生物の存在が底泥の浄化に重要な役割を担っていることが分かった。3) 酸素飽和、貧酸素実験のいずれの場合にも、強熱減量は実験期間を通して増加傾向にあった。4) 酸素飽和実験で溶出する栄養塩類の NH<sub>4</sub>-N 濃度は 0.8mg/L であったが、終了時にはほぼゼロとなり、その他の栄養塩類についてはほとんど溶出されなかった。5) 貧酸素実験では NH<sub>4</sub>-N が実験開始直後から溶出し、終了時には 2.1mg/L となった。また、PO<sub>4</sub>-P が若干溶出することが確認され、底泥への酸素供給は、底泥からの栄養塩の溶出を抑制する効果があることが明らかとなった。

今後、酸素飽和水供給による底泥中の原生動物の挙動を詳細に把握するとともに、実際の池や灌漑池で利用できる循環式酸素飽和装置の開発を進めていく予定である。なお、底泥採取に当たり、宮崎県都城土木事務所ダム係の方々にご多大なご協力を頂き衷心より感謝いたします。また、本研究の遂行において、実験、データ整理のご協力頂いた本学卒業生の田中崇 (現日本上下水道) 氏、黒田竜也 (大本組) 氏、出井美穂子 (現宮崎県庁) 嬢、鈴木喬 (現和歌山県庁) 氏、長友英明 (現国土交通省) 氏に心から謝意を表す。なお、本研究の一部は参考文献 14~17) おいて一部発表済みである。

## 参考文献

- 1) 環境省環境管理局水環境部企画課；「平成15年度公共用水域水質測定結果」(水環境部行政資料), 2004
- 2) 水の分析；日本分析化学会北海道支部, 1997
- 3) 微生物学実験法；講談社サイエンティフィック, 1878
- 4) 下水試験法；日本下水道協会, 1997
- 5) 原生動物図鑑；猪木正三監修、講談社、1993
- 6) 増田純雄、渡辺義公、石黒政儀；回転円板付着生物膜内の細菌に関する研究、下水道協会誌, Vol. 24, No. 278, pp19~31, 1987
- 7) ミミズのダンスが大地を潤す；渡辺弘之、研成社、1995年
- 8) 原生動物の観察と実験法；重中義信編、原生動物の観察と実験法 共立出版、1988
- 9) 生物の生態 10・微生物生態論の諸側面；微生物生態研究、1982
- 10) 河口・沿岸域の生態系学とエコテクノロジー；原康、東海出版社、1998
- 11) 藤井滋穂；富栄養化水域の自浄作用に関する研究、京都大学学位論文、1989
- 12) 鈴木喬、長友英明；底泥の改善に関する基礎的研究、卒業論文、1999
- 13) Akira O. Je-chul P. , Takehiko F. , Morihiko A, and Dog-sooK ; Effect of omnivorous fish on the production of labile and refractory dissolved organic carbon by zooplankton excretion in a simulated eutrophic lake , Wat. Res, Vol. 134, 2000
- 14) 黒田竜也, 出井美恵子；底泥の改善に関する基礎的研究, 土木学会西部支部講演概要集 VII-77, pp1090-1091, 1998
- 15) 後藤洋規, 本村誠, 増田純雄；底泥中の微生物の挙動に関する基礎的研究；土木学会西部支部研究発表会講演概要集, VII-49, pp 474-475, 2001
- 16) 後藤洋規, 増田純雄；酸素飽和水供給による底泥中の微生物活動に関する基礎的研究、第56回年次学術講演会講演概要集VII-038, 2001
- 17) 菅野志郎, 後藤洋規, 増田純雄；酸素自給型揚水ポンプによる水浄化システムに関する基礎的研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集VII, 2002