

微生物学的処理法による堀の水質浄化過程の観察

溝 口 勝

三重大学生物資源学部

Observation of Water Purification Process in a Moat by Microbiological Treatment Technique

Masaru MIZOGUCHI

Faculty of Bioresources, Mie University

Abstract

Sediment degradation and change in water quality have been measured during experiment of water purification in a moat by microbiological treatment technique. When soil bacteria and an enzyme were injected into the moat, organic matter and nutrient salts were liberated from the sediment into the water and transformed. In addition, a decrease of sediment by 13 cm was observed during the experiment for five months. These results mean that the total environment, including the sediment, was purified. The technique may be useful for purifying environment as well as water quality in a moat from the viewpoint that the artificial injection of the soil bacteria and enzyme degrade sediment in a natural ecological cycle.

Key words : Environment, Water quality, Sediment, Microbiological treatment, Eutrophication

はじめに

環境保全のための技術には防止技術と除去技術の2種類がある¹⁾。例えば、湖沼への窒素やリンの流入規制は防止技術に相当し、閉鎖系水域の富栄養化の根源を絶つ意味で重要な成果をあげている。一方、現在実施されている除去技術として浚渫がある。浚渫は水底の堆積物の即効的な除去技術であるが、浚渫後の堆積物の処理が問題となる。また、元々水底に棲息していた多様な生物種も除去するために水域の生態系を著しく破壊してしまうことになる。そのため最近では、こうした除去技術以外

に、生態系に本来備わっている自然浄化機能を積極的に利用するエコロジカルエンジニアリング(生態工学)が注目されてきている²⁾。ここでは環境保全のための第3の技術として、この生態工学的な技術を浄化技術と呼ぶことにする。

自然浄化処理法³⁾といわれる汚水処理法もそうした技術の一つと位置づけられる。この方法は、土と水と微生物の関係を土壤腐植化の条件(環境浄化の場)に保つことによって水質を浄化するもので、最近話題のEM菌⁴⁾をはじめとする微生物群を用いた水質浄化法もこの方法に属すると思われる。本研究では、この微生物群を人為的に水域に投与して水質を浄化する方法を取り上げ、特にこの方法を「微生物学的処理法」と定義する。

これまで微生物学的処理法による水質浄化の実験例は

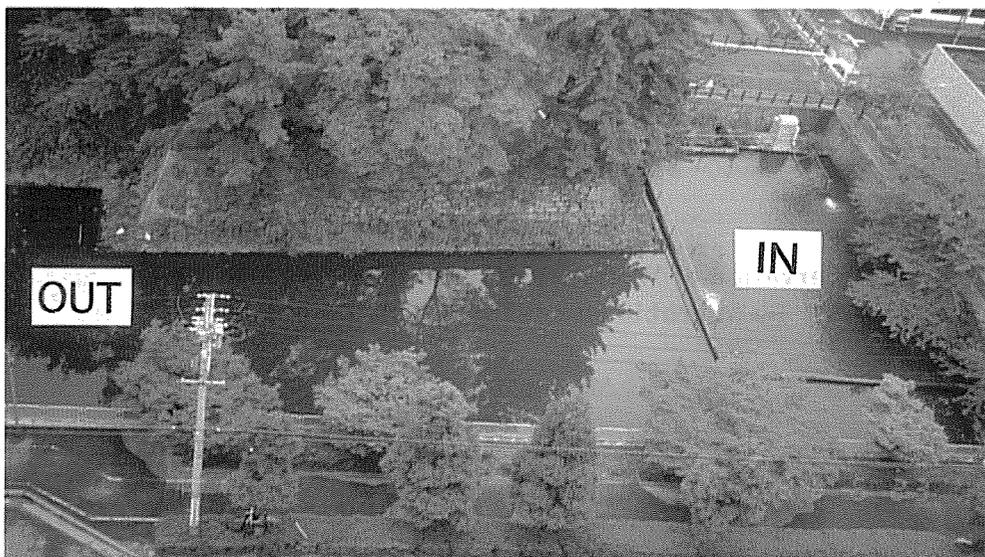


Photo.1 現場試験の位置

OUT : 対照区 IN : 試験区

Location of field experiment

OUT : No treatment IN : Bacteria treatment

いくつか報告されている^{4) 5) 6)}が、そのほとんどは実験の前後の水質の違いだけが示され、浄化過程の詳細は記述されていない。そのため実際には微生物群の働きについて不明な点が多く、この方法自体にも疑問を持たれているのが現状である。したがって、微生物群で本当に水質浄化ができるのかどうかを判断するために、また水質と微生物の相互関係を明らかにするためにも、浄化実験過程における一連の水質変化を追跡することが必要である。

そこで本論文では、微生物学的処理法が実施された堀の水質浄化過程において、ヘドロ厚さと水質の変化を観測した結果を報告し、微生物学的処理法について考察してみる。

方 法

1. 実験の実施場所

観測の対象にした堀は三重県 T 市内のお城公園のものである。この堀は古くから市民の憩いの場として親しまれてきたが、最近では水質が悪化し、ヘドロも 60 cm 程度堆積している。堀の水は、主に雨水と湧水によって

供給されているといわれる。排水口に設けられている堰によって水位がほぼ一定に保たれ、通常の水深は 40 cm 程度である。

この一角に微生物学的処理を行う試験区と、未処理の対照区を設けた。試験区の面積は 343.2 m² (22.0 m × 15.6 m) である。試験区と対照区の境界は 1 cm 厚さのベニヤ板で仕切られた。現地の全景を Photo.1 に示す。

2. 微生物学的処理

試験区における微生物学的処理は微生物的環境技術研究所^{*)}による。その処理過程と簡単な観察日誌を Table 1 に示す。この方法は試験区にバクテリア・酵素・ミネラル成分などを適宜投与するものである。当研究所によれば、バクテリアはカビの一種であるアスペルジルス、酵母菌のサッカロマイセス・セレビエなどが含まれた森林

*微生物的環境技術研究所 (主幹) 平井孝志
〒525 滋賀県草津市南山田町 928

当研究所は環境浄化を実践することを目的に、数名で活動している民間組織である。

土壌中の微生物群をマグネシウムや酵素などを使って増殖したもの、酵素は土壌中の腐植から抽出した加水分解性のプロテアーゼ、アミラーゼ、リパーゼなど、ミネラル成分は微粉末にした石英粗面岩と花崗斑岩から酢酸で

抽出された成分である。なお、このバクテリアは最近話題を呼んでいる EM 菌¹⁾とは異質のものである。

試験区には 2 台の曝気装置が設置され、空気が水中に送り込まれた。また試験区の水の一部がバクテリア培養

Table 1 微生物学的処理と観察日誌

Microbiological treatment and observation memorandum

(IN : 試験区, OUT : 対照区)

A : 直接投与したバクテリア B : タンク内に浸けられたバクテリア

C : 投与された酵素 D : 投与されたミネラル成分

	観察日 (1993)	日数	A (kg)	B (kg)	C (ℓ)	D (ℓ)	観 察 日 誌	
							IN : 試験区	OUT : 対照区
I 期	8/17	14	11	0	0	0	IN にバクテリアを投与	
	8/20	17	11	0	0	0		
	8/21	18					IN で曝気開始、IN でミジンコ大量発生 (OUT はミジンコなし)	
	8/24	21	10	10	0	0	タンクからバクテリアの供給を開始	
	8/26	23					IN の水が黄土色、まだミジンコを確認できた	
	8/30	27	0	10	100	0	タンクのバクテリア交換、IN の水は澄んでいるがミジンコ減少	
	9/ 2	30					IN の水が白っぽい	
II 期	9/ 6	34	10	10	0	0	9/3~4 の大雨により水位上昇 (台風 13 号)	
	9/10	38	2	10	0	0	9/9 の台風 15 号により水位上昇。9/3~10 の総雨量 268 mm	
	9/16	44	22	0	60	0	IN に酵素を投入	
	9/17	45					鯉が 2 匹へい死	
	9/20	48					IN の水は白っぽく卵の腐ったような臭いがした	
	9/24	52					9/22~23 の雨のため少々水位が高い。曝気装置が 1 台故障	
	9/27	55	2	0	0	0	バクテリアを投与。曝気装置修理により 2 台とも稼働	
	9/28	56	16	0	0	0		
	9/30	58					IN に油が浮いていた	
	10/ 1	59	20	0	0	0		
	10/ 7	65					IN の水が少し白っぽい。曝気装置 1 台が故障	
	10/12	70	20	40	40	0		
	10/14	72					IN の水面に泡が多く、水がねばねばした感じ	
	10/19	77	36	14	0	0		
	10/21	79	50	0	20	0	IN の水面に黄色い油が浮いていた。OUT はいつもより汚い	
	10/25	83					IN の水が白っぽい	
	10/27	85	42	2	0	0		
1/ 1	90					IN の水面に油が浮いていた		
1/ 9	98					IN の水面に油が浮いていた		
1/12	101					13 日の大雨 (総雨量 185.5 mm) により水位上昇 (推定 145 cm)		
1/15	104					IN と OUT が混合。曝気装置 2 台が故障。油が浮いていた。		
III 期	11/19	108					曝気装置再稼働。IN にミネラル投与。浮遊物凝集。pH 低下	
	12/ 7	126					IN にミネラル投与。浮遊物が凝集	
	12/ 9	128	0	0	0	100	IN の水が透明 (OUT は濁ったまま)	
	12/13	132	0	0	0	30	IN の水は透明。IN に近いところの OUT の水は透明	
	12/28	147					水質測定終了	

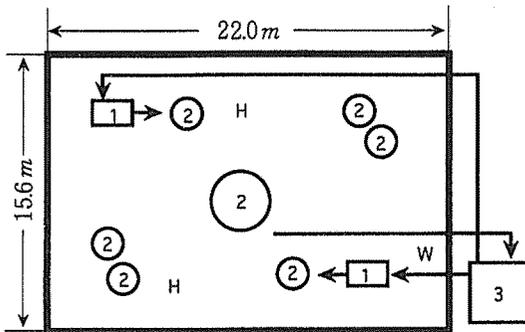


Fig. 1 堀の水質浄化施設図

1: 曝気装置 2: 微生物ろ床 3: 培養槽
H: ヘドロ厚さ観測点 W: 水質観測点

Water purification equipment in a moat

1: Aerator 2: Filter bed for microbe

3: Cultivation tank

H: An observation point for muddy sediment thickness

W: An observation point for water quality

槽に誘導され、試験区に戻された。さらに試験区の7カ所に多孔性の石をネットに詰めた微生物ろ床が設置された。(Fig. 1)

3. 観測項目と観測期間

観測項目を Table 2 に示す。週 2 回の頻度で試験区と対照区の水位、透視度、ヘドロ厚さ、濁度、pH、DO、水温、EC を現地で測定した。現地測定時刻は毎回午前 11 時から正午の間である。透視度は自作した簡易透視度計により測定した。ヘドロ厚さは試験開始前に予め標尺杭を打ち込み、ヘドロと水の境界の位置を読み取った。また週 1 回、試験区と対照区の水を実験室に持ち帰りその直後に、SS、濁度、オルトリン酸、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素を水質分析測定装置 (DR3000, HACK 社製) で、BOD₅ を酸素電極法で測定した。

水質の測定地点は培養槽の手前 (W)、またヘドロ厚さの測定地点は (H) は曝気装置の影響を受けにくい微生物ろ床の下流側である。対照区の測定地点は水質・ヘドロ厚さ共に試験区から約 30m 離れたところにある。

Table 2 観測項目 (期間: 93. 8. 3-93. 12. 28)

Matters of measurement

〈現場〉	天候・気温・水位・透視度・ヘドロ厚・濁度・
週 2 回	pH・DO・水温・EC・COD
〈室内〉	BOD (5)・SS・濁度・オルトリン酸・ア
週 1 回	ンモニア性窒素・硝酸性窒素・亜硝酸性窒素

Table 3 月別平均気温・日照時間・降水量 (平年)

Mean temperature, sunshine hour and precipitation in each month (Normal year)

1993 年	気温/°C	日照時間/hr	降水量/mm
8 月	25.0 (26.8)	126.0 (198.8)	180.0 (175.7)
9 月	22.4 (23.1)	115.6 (139.0)	351.5 (237.7)
10 月	17.4 (17.2)	165.1 (159.7)	102.0 (145.3)
11 月	13.7 (11.9)	137.0 (155.7)	228.5 (80.3)
12 月	7.8 (6.9)	170.6 (165.4)	37.0 (39.7)

津地方気象台⁷⁾

調査期間は 1993 年 8 月 3 日から 12 月 28 日までの約 5 ヶ月である。

結果と考察

1. 雨量と水温の変化

Fig. 2 は市内の気象台観測⁷⁾ による試験期間中の雨量と試験区の水温変化である。1993 年は異常な冷夏に見舞われ、Table 3 に示すように平年に比べて 8 月の日照時間が少なかった。また 9 月には雨台風 (9 月 3 日から 10 日までの総雨量 268 mm)、11 月には津市気象台観測史上初の記録的な大雨 (日雨量 185.5 mm) に見舞われた。これら 2 回の大雨のため現地では仕切板以上に水位が上昇し、試験区と対照区の水が混合してしまった。このことが試験区の結果を多少曖昧なものにしているが、それ以外の期間では試験区と対照区の水位がほぼ等しかったので、微生物学的処理法の効果を比較する上ではこの混合は問題ないと考えられる。以下では観測期間をこれらの大雨を境に 3 つの時期 (I, II, III 期) に分けて、試験区と対照区の水質変化について述べる。

2. 電気伝導度・水素イオン濃度・溶存酸素濃度の変化

試験区と対照区における電気伝導度 (EC)、水素イオン濃度 (pH)、溶存酸素量 (DO) の変化を Fig. 3 (a)

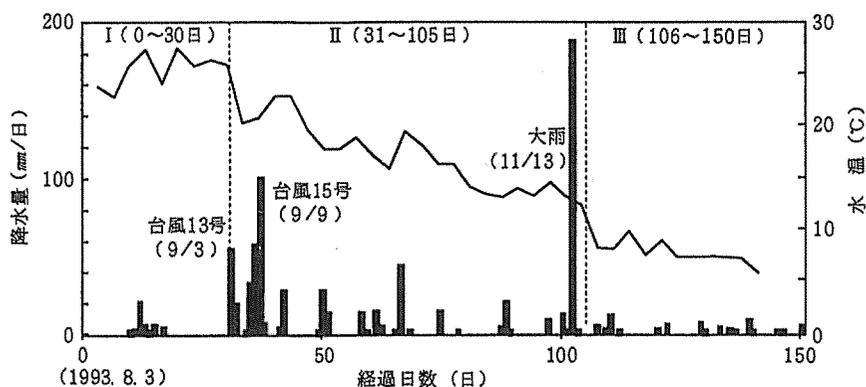


Fig. 2 雨量と水温の変化

Changes in precipitation and water temperature

(b) (c) に並べて示す。黒丸 (●) が試験区, 白三角 (△) が対照区の値を示す。図中の破線は I・II・III 期の境目を示す。

EC は全期間を通して試験区の方がわずかに高かった。これは微生物学的処理のために試験区に投与された成分の影響と考えられる。

pH は I・II 期では試験区と対照区の両方とも 8 ± 0.5 だった。III 期では対照区では 7.5 だったのに対し, 試験区では 8 程度だった。108 日目には EC と pH が急激に低下したが, これは酢酸抽出したミネラル成分の投与の影響によると思われる。

DO は II 期では試験区の方が低かった。これは試験区では曝気により酸素が水中に供給されていたにも拘らず, II 期ではそれ以上に微生物による消費が盛んだったためと思われる。特に 44 日目の酵素の投与によって浮遊微生物の酸素消費量が増大し, 45 日目には DO が 3 mg/L 程度に低下し, 試験区内で 2 匹の鯉がへい死した。この結果は, 微生物学的処理法では微生物活性を考慮しながら溶存酸素量の制御に注意する必要があることを示している。

III 期では, 試験区の DO が対照区よりも高くなった。これは, 108 日目のミネラル成分の投下により有機性の浮遊物が凝集沈降し浮遊微生物の酸素消費量が低下した分, 曝気効果が顕れたためと思われる。

3. 透視度・透視度比・SS・濁度の変化 (Fig. 4)

Fig. 4 (a) (b) (c) (d) はそれぞれ透視度, 透視度比, SS, 濁度の変化である。透視度は水の透明の程度

を, 逆に濁度は水の濁りの程度を表す感覚的指標⁸⁾である。また透視度比は試験区に対する対照区の透視度の比で, 対照区に対する試験区の濁りの指標となる⁹⁾。これらは水中の浮遊物量 (SS) と密接に関係している。

SS は I 期には試験区と対照区とも同程度であったが, 44 日目のバクテリアと酵素の投入直後から急激に増大した。この SS の増大は 31・32 日目の台風の時期とずれていることから, 攪はんによるヘドロの巻き上げではなく, バクテリアによってヘドロが分解され, 水中に遊離してきたためと推察される。同様の現象は 80 日頃にも認められた。

III 期では 108 日目に, 試験区の濁度と透視度比が低下し, 対照区と同程度の値になった。これは試験区にミネラル成分を投与したことによって浮遊物が沈降したためと考えられる。これらの結果は, バクテリアや酵素あるいはミネラル成分を投与することで水中の浮遊物を人為的に制御できることを示している。ただし, これらの投与は EC や pH などの化学的な成分に対しては即効性を持つが, SS や透視度などの生物的作用が関与する成分に対してはやや遅れる傾向があるようである。

4. 有機物量 (BOD とヘドロ厚さ) の変化

BOD の変化を Fig. 5 (a) に示す。試験区の BOD は 20 日目頃に上昇した。これは 14, 17, 21 日目のバクテリア投与によるものと思われる。特にこの投与により 18 日目には試験区内で大量のミジンコの繁殖が確認された。

曝気を開始すると, 23 日目には試験区の水の色が黄

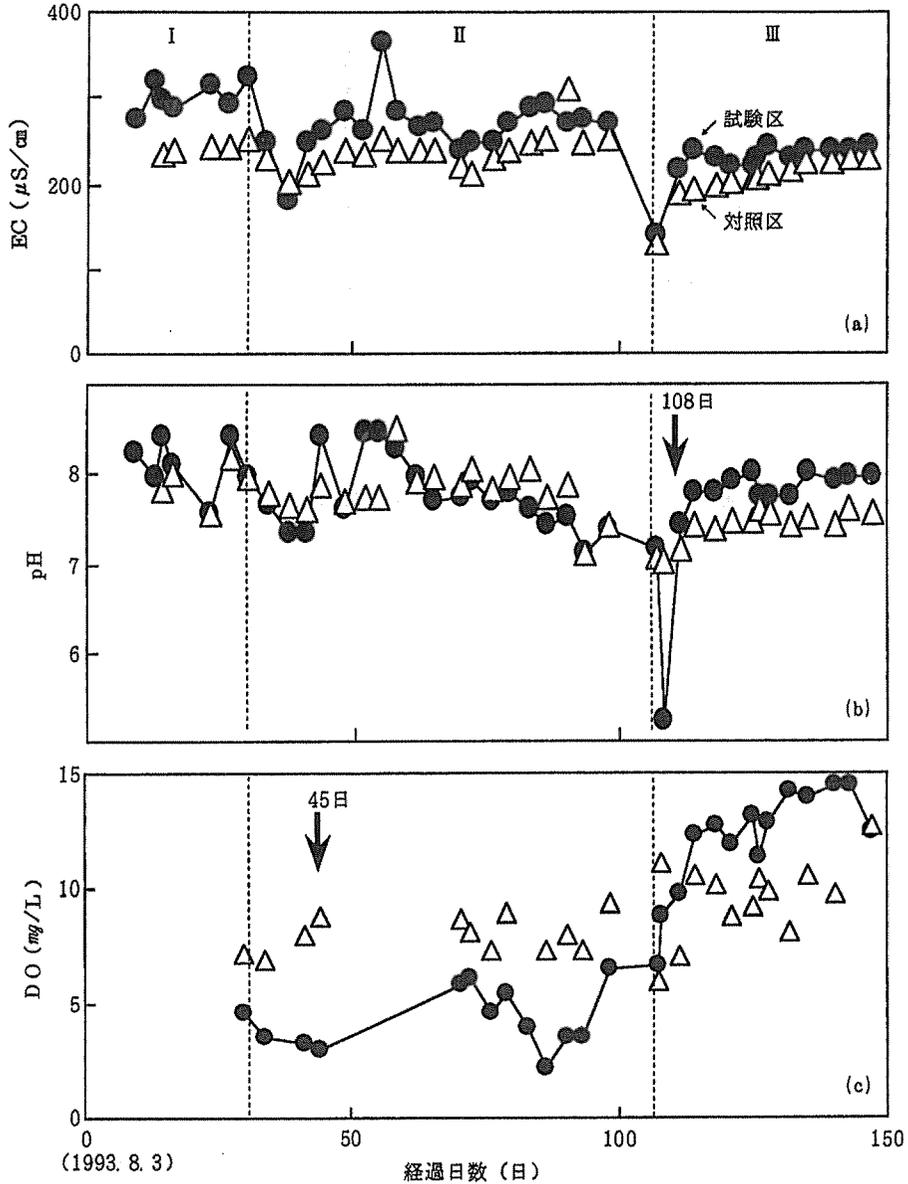


Fig. 3 EC・pH・DOの変化

●試験区 △対照区
 Changes in EC, pH and DO
 ●Treatment △No treatment

土色に変化し、さらに27日目の酵素投与によって30日目には白濁色へと変化した。この間、微生物学的処理は順調に進行しているように思われたが、31日目の台風による大雨で境界の仕切板以上に水位が上昇し、試験区

と対照区が混合してしまった。そのために試験区のBODは対照区とほぼ同程度にまで低下した。

Ⅱ期では、34日目から44日目までのバクテリアと酵素の投与により、再びBODが増加し始め、80日頃に

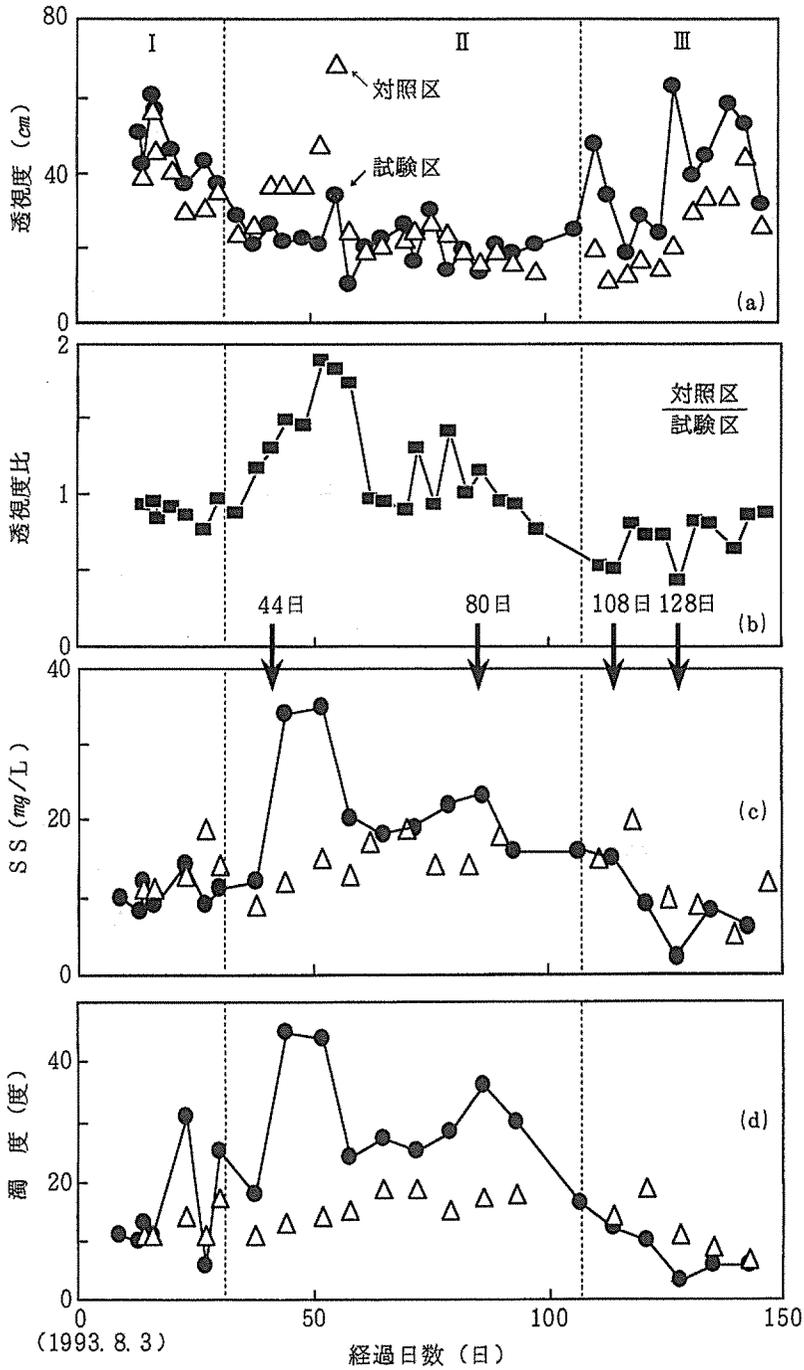


Fig. 4 透視度・透視度比・SS・濁度の変化

● 試験区 △ 対照区

Changes in transparency, transparency ratio, SS and turbidity

● Treatment △ No treatment

は最高値が16.5となった(対照区では最高値は8.0だった)。

Ⅲ期では、Ⅱ期に比べて試験区のBODが低下し、対照区と同程度になった。これは、濁度やSSの変化と同様に、108日目のミネラル成分の投与により水中の有機物成分が沈降したためと考えられる。

これらの結果は、Ⅱ期の試験区では水中の有機物量が多く、水質が悪化していたことを意味する。しかし、水中の有機物は主に水底のヘドロから供給されるので、水

中のBOD変化のみならずヘドロ量の変化も考慮に入れて、水質浄化の効果を判断することが必要である。Fig. 5 (b)は試験区と対照区におけるヘドロ厚さの変化である。試験区の値は2つの観測点の平均値である。試験期間中、対照区のヘドロ厚さが変化しなかったのに対し、試験区のヘドロ厚さは試験当初と比べてⅢ期までに約13 cm減少していた。なお、図では試験区のヘドロ厚さの観測値がⅢ期の128日で急激に変化しているが、これ

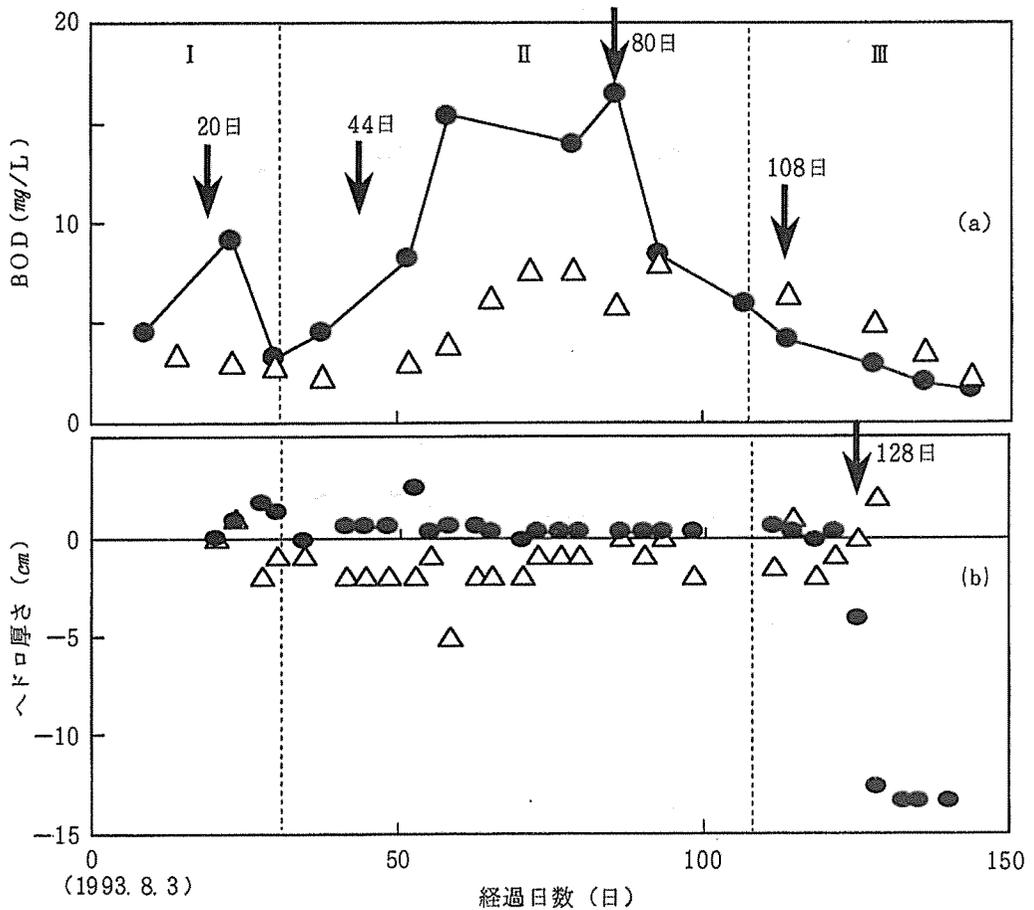


Fig. 5 BODとヘドロ厚さの変化

●試験区 △対照区

ヘドロ厚さが128日目に激減しているのは、このときまで標尺の目盛についた汚れに気づかなかったためである。ヘドロ厚さは試験開始後から徐々に減少したものと思われる。

Changes in BOD and muddy sediment thickness

●Treatment △No treatment

は周囲のヘドロが減少していく過程で埋設した標尺の目盛りに汚れがこびり着いていることに気付かずに試験当初の値を読んでいたためである。128日目に水が透明になったとき初めてこの事実気付いた。したがって、試験区のヘドロ厚さは急激に変化したのではなく、実際には試験開始当初から徐々に減少し、結果的に13cm減少したものと推察される。

Photo. 2は261日目(1994.4.21)に採取した試験区と対照区の水底のヘドロの光学顕微鏡写真である。この写真から試験区のヘドロの方が対照区のものよりも粒径が大きいもので構成されていることがわかる。また、それぞれのヘドロの定量分析および強熱減量結果をTable 4に示す。強熱減量は試験区の方が対照区よりも小さい。これらの写真と強熱減量の結果は、試験区のヘドロの方が有機物含有量が少なかったことを意味する。

試験区では、曝気装置による水の循環のためにヘドロが巻き上げられ移動することもあり得るが、ヘドロ厚さ

の観測点がその影響を受けにくい地点であったので、それらの効果は少ないと思われる。したがって、観測されたヘドロの減少は、微生物学的処理によってヘドロ中の有機物成分が分解されたためと考えられる。仮に、80日頃に見られたように、水深40cmの試験区のBODが対照区よりも 10 mg/L 増加し、13cmのヘドロ厚さの減少が有機物の分解によるとすれば、水中とヘドロを合わせた単位面積あたりのBOD変化は、 -6.1 mg/cm^2 と試算できる。ただし、ここでヘドロのBODは対照区で採取したものの観測値 500 mg/L を用いた。この試算によると、試験区で水中の有機物量が增大してもヘドロも含めた全有機物量は減少したことになる。このことは、微生物学的処理法によりヘドロも含めた水環境浄化が可能性を示唆する。

5. 栄養塩(窒素・リン)の変化

Fig. 6に窒素とリンの変化を示す。I期では20日頃

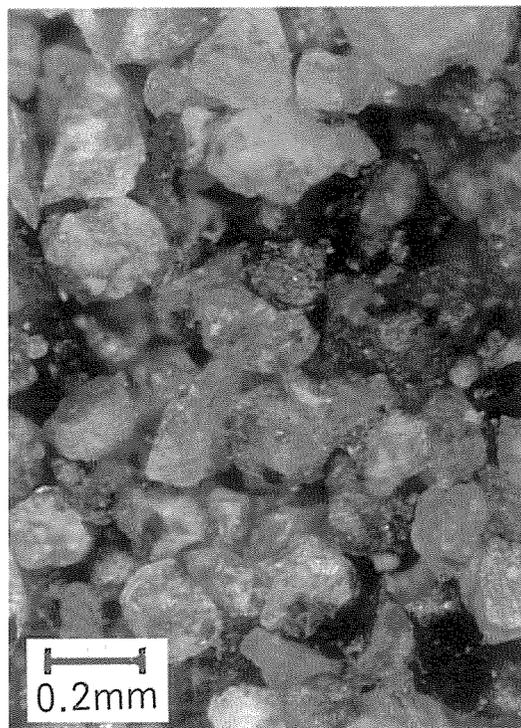
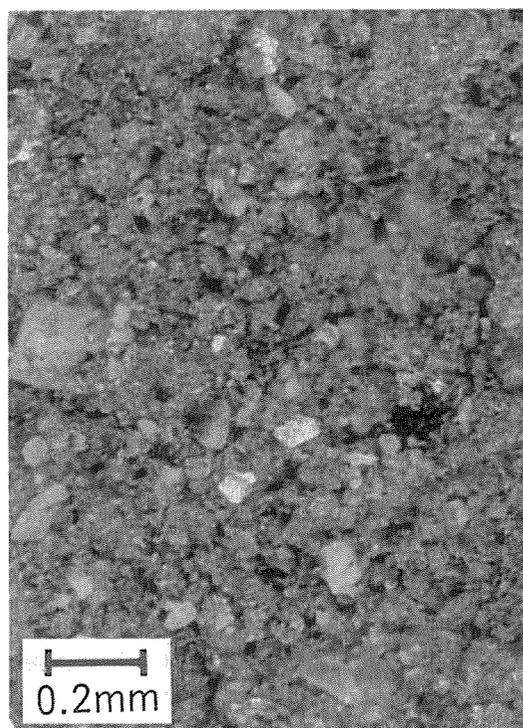


Photo. 2 ヘドロの光学顕微鏡写真(261日目)
対照区(左), 試験区(右)

Observation of muddy sediment by light microscope after 261 days

にアンモニア・亜硝酸・硝酸態窒素および無機態リン（リン）のピークが観察された。これらは14, 17, 21日に投与されたバクテリアによりヘドロからアンモニアやリンが水中に溶出し、曝気によって順調にアンモニアが亜硝酸・硝酸態窒素に酸化されたことを示す。

Ⅱ期では31日の台風によって一旦これらの反応が攪乱されたが、34日から44日目のバクテリアと酵素の投与によって、50日に再度アンモニアとリンの溶出が観察された。ところがⅠ期とは異なり、この時期に亜硝酸・硝酸態窒素に変化は見られなかった。これはDOの低下のために溶存しているアンモニアの酸化が進まなかったことを意味する。そして、この酸化されなかったアンモニアとリンが浮遊生物に取り込まれ有機化したために、50日から80日にアンモニアとリンが減少し、BODが増加したものと推察される。85日頃には再びアンモニアとリンのピークが観察されたが、これも77と79日のバクテリアと酵素の投与によるものと考えられる。微生物的環境技術研究所では詳細な処理方法を公表していないが、一般的にリンはヘドロが還元状態になったときに溶出しやすいこと¹⁰⁾から推察すれば、リンがピーク値を示した50日と85日の数日前に投与されたバクテリアは嫌気性のもので、酵素がそのバクテリアを活性化させる役割を果たしていたものと思われる。

Ⅲ期では硝酸や亜硝酸のピークが観察された。これは

Table 4 ヘドロの定量分析および強熱減量

Quantitative analysis and ignition loss for muddy sediment

項 目	試 験 区 (%)	対 照 区 (%)
SiO ₂	65.3	51.8
Al ₂ O ₃	13.6	14.6
Na ₂ O	6.8	0.0
Fe ₂ O ₃	5.6	9.8
CaO	2.2	1.5
K ₂ O	1.7	1.6
MgO	1.0	2.0
SO ₃	0.7	1.9
TiO ₂	0.4	1.2
強 熱 減 量	2.2	15.7
BOD	—	500 (mg/L)

108日目のミネラル成分の投与によりアンモニアを有機化する浮遊生物が凝集沈降し、アンモニアの酸化だけが進んだためと思われる。また、この時期にはⅡ期に増加していた試験区のリンが対照区と同程度になったが、これはミネラル成分の投与に伴ってDOが増加し、好気的条件下になったヘドロが水中のリンを摂取したためと推察される。

環境浄化のしくみ

自然界にはもともとヘドロを分解するバクテリアが存在するので、人為的にバクテリアを投与しなくても曝気操作だけでヘドロの分解が促進できると考えられる。しかし、Fig. 6に見られたように、リンの溶出がバクテリアや酵素を投与した直後に起きていることから、栄養塩の溶出は単なる曝気によるものではなく、投与されたバクテリアや酵素によって引き起こされ、曝気は溶存した栄養塩の形態変化に関与していたと考えるのが妥当である。このことから微生物学的処理法とは、投与するバクテリアを使い分け、その働きを酵素やミネラル成分の投与と曝気によって制御する技術であるといえそうである。そこでここでは微生物の働きに着目して、堀の中で生じた現象をモデルで考えてみる。Fig. 7は、微生物学的処理法による堀浄化の概念モデルである。

①まず、人為的にバクテリア・酵素・ミネラル成分が投与される。②バクテリアによって水底のヘドロが分解され、有機物や無機態栄養塩が水中に遊離する。③遊離した有機物や無機態栄養塩はさらに水中の微生物によって形態変化し、一部はCO₂やN₂などのガスとして空気中に放出される。④また有機物や無機態栄養塩の一部は動物プランクトンに吸収され、それをさらに小動物が消費する。⑤動物の枯死・排泄物が沈澱・堆積する。

このサイクルは、水底にヘドロが存在し、それが微生物により分解される限り繰り返されると思われる。したがって、ヘドロは②の分解量が⑤の堆積量を上回るような環境になったときに減少することが予想される。このことは逆に、水質のみを浄化しようとしても水底に過剰のヘドロが堆積している限り、水質の浄化は望めないことを意味する。

我々は水域の環境を考えると、とかく水質のみに注目することが多いが、ヘドロも含めた生態系全体を考慮することが肝要である。

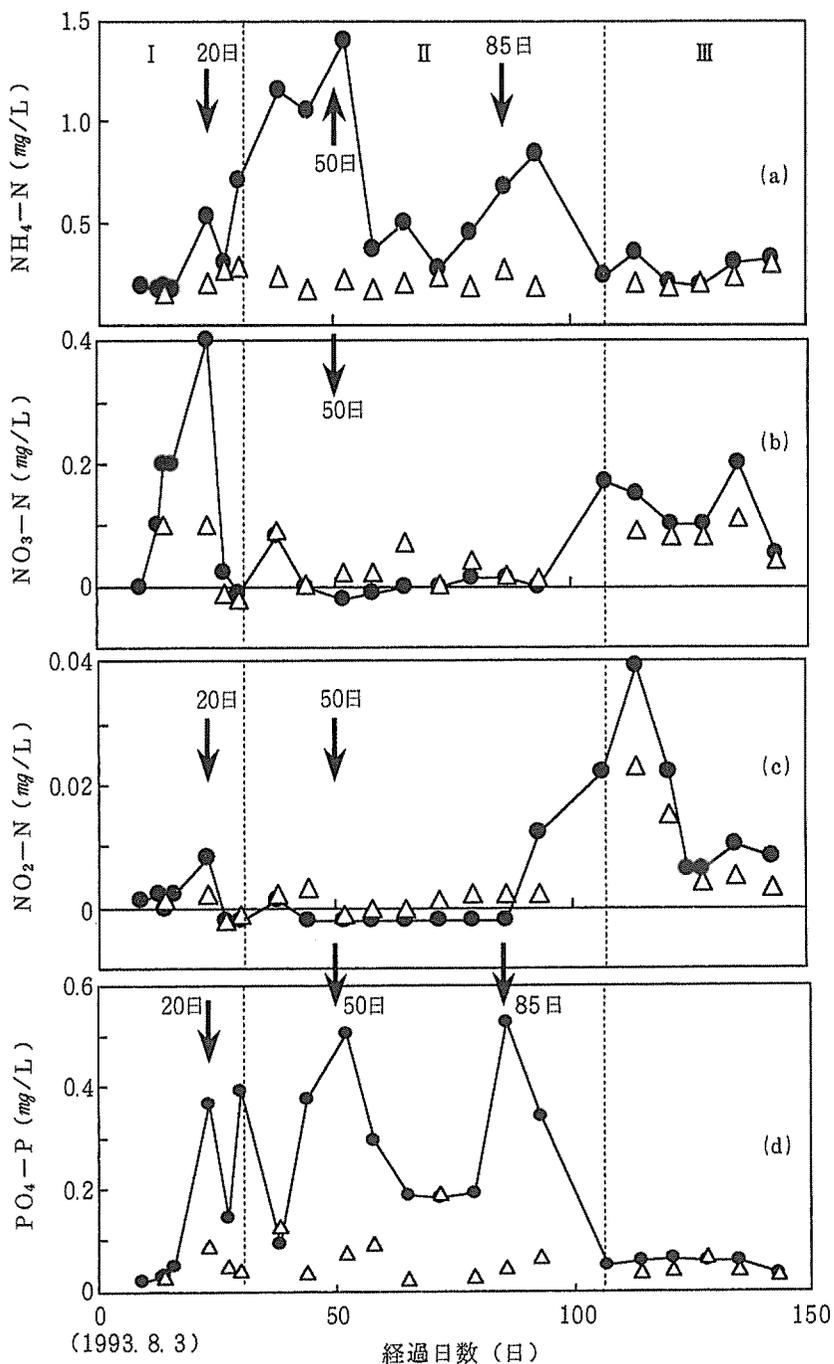


Fig. 6 栄養塩の変化

●試験区 △対照区
 Changes in nutrient salt
 ●Treatment △No treatment

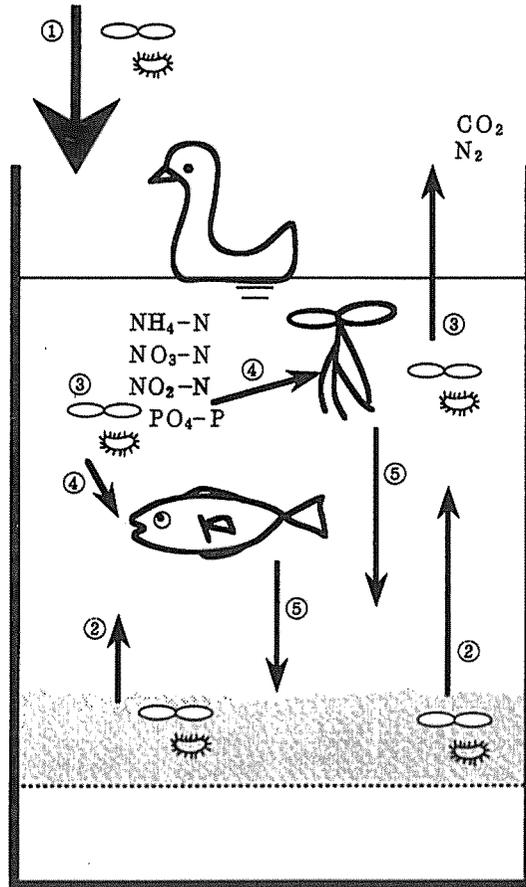


Fig. 7 微生物学処理法による堀浄化の概念モデル

- ① バクテリア・酵素・ミネラル成分の投与
- ② 有機物と栄養塩の遊離
- ③ 栄養塩の形態変化
- ④ 生物による有機物と栄養塩の摂取
- ⑤ 枯死・堆積 (②-⑤) へドロの減少量

A conceptual model of moat purification by microbiological treatment technique

- ① Injection of bacteria, enzyme and mineral
- ② Liberation of organic matter and nutrient salts
- ③ Transformation of nutrient salts
- ④ Ingestion of organic matter and nutrients by organism
- ⑤ Death and sedimentation

おわりに

微生物学的処理法による堀の水質浄化過程を観察した結果、バクテリア投与に伴うヘドロ厚さの減少と有機物および栄養塩の溶出が観測された。このことはこの方法によるヘドロを含めた水環境浄化の可能性を示唆する。しかしながら、処理方法の技術的詳細が不明だったため、測定結果だけから微生物と水質・ヘドロの相互関係を明らかにすることはできなかった。その意味では、微生物学的処理法は技術として学問的に認知できる段階にはないといえる。ただし、概念的にこの方法は自然界の生態系のサイクルを利用してヘドロを分解し、最終的にはCO₂やN₂として大気中へ放出させ得るという点で、将来有望な自然環境浄化法であると思われる。今後の研究が望まれるところである。

要 約

微生物学的処理法による堀の水質浄化の実験過程におけるヘドロの分解と一連の水質変化を測定した。堀に土壌細菌と酵素を投与すると底質から水中に有機物と栄養塩が遊離し、それらが形態変化した。また、この処理法により5ヵ月間で13 cmのヘドロ減少が観測された。これらの結果は底質も含めた堀全体の環境が浄化されたことを意味する。この方法は土壌細菌と酵素を人為的に投与することで自然界の生態系のサイクルの中でヘドロを分解できる点で、水質を含む環境浄化に有効であると考えられる。

謝 辞

本論文の観測値は1993年度の学部卒業生・田島慶子さん（現在、日本技研株式会社）と伊藤隆広君（現在、三重大学大学院）の尽力によって得られた。またT市役所および微生物的環境技術研究所の皆様はこの調査を快く許可して下さいました。バクテリアによる栄養塩の形態変化を考察する上で同学部の渡邊巖先生との討論は大変有意義だった。記してこれらの方々に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 近藤次郎, 環境科学読本, 東洋経済新報社, 160 (1984).
- 2) 松本順一郎編著, 水環境工学, 朝倉書店, 175-181 (1994).
- 3) 鶴飼信義, 依田亮, 自然浄化処理技術の実例, 地人書館, 59-92 (1994).
- 4) 比嘉照夫, 地球を救う大変革2, サンマーク出版, 150-180 (1994).
- 5) 鶴飼信義, 依田亮, 前出, 93-138
- 6) 田辺市民生部編, 全国に先がけるトライアルー小河川の直接的浄化のためのシステム (田辺市方式), 環境白書 (平成5年版), 31-49 (1994).
- 7) 日本気象協会津支部, 三重県気象月報 (8-12), (1993).
- 8) 松本順一郎編著, 前出, 92-99 (1994).
- 9) 伊藤隆広, 溝口勝, 透視度比による水質汚濁の評価法, 三重大学生物資源学部紀要, 14, 123-129 (1995).
- 10) 日本化学会編, 陸水の化学, 学会出版センター, 103-112 (1992).