

## 特集・環境用水の汚濁とその浄化

# 閉鎖性水域浄化システムの開発 —生物学的処理と物理学的処理との組み合わせによる栄養塩除去—

林 知得\*・酒井 能具\*

中村 宏\*\*・小川 尚樹\*\*・村上 定暉\*\*\*

### 1. はじめに

生活や産業からの排水に含まれる栄養塩類の流入により、閉鎖性水域の水質が悪化する。これらの水域の汚濁防止には発生源対策が基本となるが、下水道の未整備地区や農畜産・各種工業からの排水に含まれる栄養塩類により閉鎖性水域における水質汚濁の改善が達成されていないのが現状である。

最近、環境水の直接浄化が検討されるようになった。流入阻止<sup>1)</sup>、浚渫<sup>1)</sup>、底質改善<sup>2)</sup>、流動制御<sup>3)</sup>、曝気<sup>4)</sup>、微生物接触<sup>5)</sup>、紫外線<sup>6)</sup>、オゾン、吸着、水生植物<sup>7)</sup>、水生動物<sup>8)</sup>など様々な方法が試みられているが、小規模の池等を除いて技術的・経済的に確立されたものはない。

本研究では閉鎖性水域の浄化法の一つの要素技術として流入水に含まれる栄養塩類を除去する方法を検討した。この方法に連続ろ過による微細藻類の除去法および人工水流法を併用し水域の浄化効果につ

いて、モデル実験系により情報を収集した。実験はコンクリート池を用い、窒素・リンを含む人工汚濁水を調整し、これを処理して実験池に流入した。

### 2. 実験

#### 2.1 浄化実験システム

図-1に浄化実験装置系統図を示す。システムは流入汚濁水中の窒素除去系、池に発生した藻類のろ過分離系および池水流動系より構成される<sup>9)</sup>。池水流動系を除く浄化装置の全景を写真1に示す。

#### 2.2 実験池

長さ5m、幅4m、水深2m、水量40m<sup>3</sup>のコンクリート池を実験に用いた。実験池の一部を写真2に示す。アンモニア態窒素30mg/l、オルトリン酸態リン3mg/lを含む人工汚濁水の流入量を170l/dとし、これを次に述べる生物法で処理して実験池に流入させた。

#### 2.3 窒素除去

人工汚濁水中に含まれるアンモニア態窒素を生物

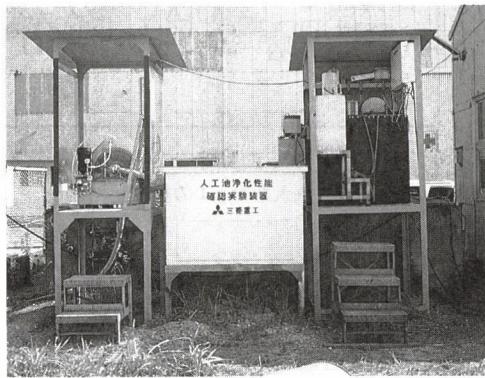


写真1 浄化装置の全景

(左—連続ろ過装置、中—人工汚濁水槽、右—硝化・脱窒槽)

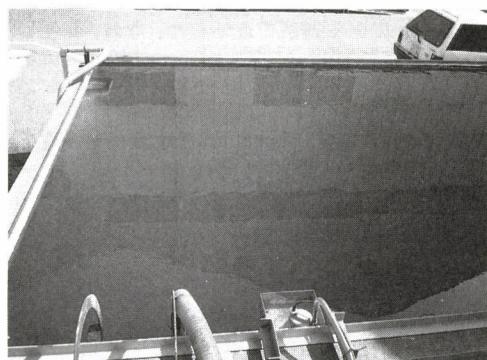


写真2 実験池

\* 三菱重工業㈱下関造船所 Tomoe HAYASHI, Yoshitomo SAKAI

\*\* 三菱重工業㈱高砂研究所 Hiroshi NAKAMURA, Naoki OGAWA

\*\*\* 宇部工業高等専門学校 Sadaaki MURAKAMI

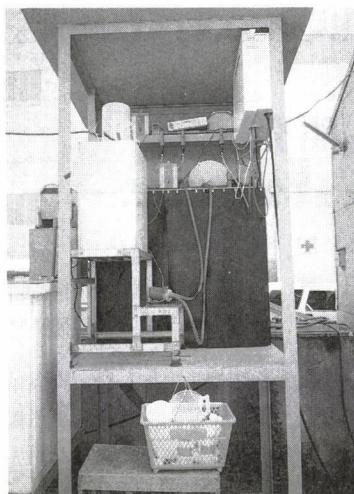


写真3 硝化・脱窒装置

学的に硝化・脱窒して除去した。硝化・脱窒装置の全景を写真3に示す。硝化槽および脱窒槽の有効容積をそれぞれ90ℓ, 60ℓとし、それぞれ適量のろ材を充填した。硝化槽へは圧縮空気を40Nℓ/minの割合で散気管により供給した。脱窒槽には水素源としてメタノール水溶液(79mℓ/ℓ)を375mℓ/dの割合で添加した。自然温度で運転した。

#### 2.4 藻類除去

実験池に発生した微細藻類を回転ドラム式連続ろ過装置(図-1の右側、写真1の左側)により除去し、ろ過水を実験池に戻した。タイマー制御により定期的に逆洗した。逆洗排水に凝集剤としてPACを加えて回収藻類を沈降濃縮して系外へ排出し、上澄水を池に戻した。回転ドラムのろ過面積は0.072m<sup>2</sup>で、9.6rpmの回転速度で運転した。なお、発生した藻類の同定は行わなかった。

#### 2.5 人工水流

実験池には、能力0.1m<sup>3</sup>/minの水流発生装置を水深1.8mに設置して池水を旋回流動させた。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 汚濁水流入系

##### 3.1.1 実験期間および水温

実験は7月中旬より開始し、12月上旬までの約150日間のデータをまとめた。流入系の同期間中の水温の経日変化を図-2に示す。汚濁水、処理水、池水いずれもほぼ同じ温度で変化している。夏季(約0

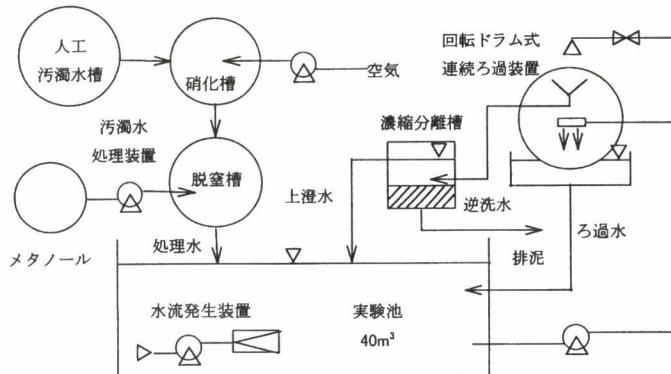


図-1 池浄化実験装置系統図

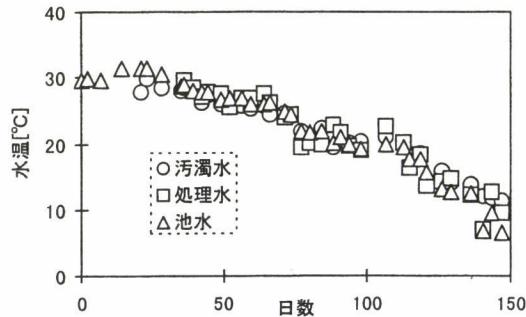


図-2 流入系の水温の経日変化

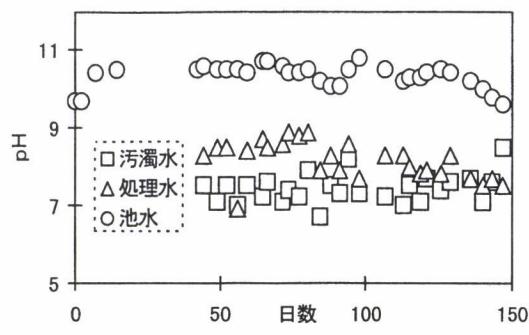


図-3 流入系のpHの経日変化

-50日)には水温は30℃前後であるが、秋季(約50-140日)に温度が低下して、冬季(140日以後)に入り10℃以下となっている。

##### 3.1.2 pH

汚濁水のpHは7付近で中性である(図-3)。硝化・脱窒処理水は流入水より1程度高い値を示している。池水のpHは夏季から秋季には10-11の値で推

移している。これは池内で藻類が増殖し、光合成が活発に行われていることを示す。しかし、冬季に入り pH が低下しているが、水温が低下し藻類の活動が不活発となっていることを示している。

### 3.1.3 アンモニア

処理水中の  $\text{NH}_4^+$  (図-4) は50日以後減少して池水と同レベルにまで低下しおり、生物処理における硝化反応が順調に進行している。しかし、140日以後増加しているのは温度の低下により生物反応が不活発となっていることを示している。

### 3.1.4 窒素

処理水中の TN の挙動 (図-5) は  $\text{NH}_4^+$  とほぼ同じ挙動を示している。ただし、70日前後に高い値を示しているのは、メタノール補給ポンプ不調のためである。

### 3.1.5 リン

リンについては処理をしていないので、処理水は汚濁水とほぼ同じレベルで推移している (図-6)。

## 3.2 ろ過分離系

### 3.2.1 ろ過水量および逆洗水量

回転ドラム式連続ろ過系の1日あたりのろ過水量および逆洗水量を図-7, 8 に示す。実験開始50日までは、ろ過水量を変化したが、それ以後は25~27m<sup>3</sup>/d の流量で一定とした。なお、130日に10m<sup>3</sup>/d の値があるが、これはトラブルによるものである。逆洗水量は50日までは1.3m<sup>3</sup>/d, 50~100日は0.8m<sup>3</sup>/d, 100日以後は1.1m<sup>3</sup>/d とした。

### 3.2.2 SS

図-9 に藻類のろ過分離による水質の変化を池水および逆洗水について示す。ろ過水については、データがほとんど欠けている。池水の SS には 5~10mg/l であるのに対し、逆洗水の SS はバラツキがあるが、15~35mg/l であり、約 3 倍に濃縮されて除去さ

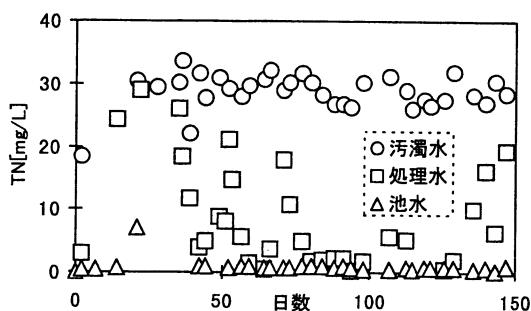


図-5 流入系の TN の経日変化

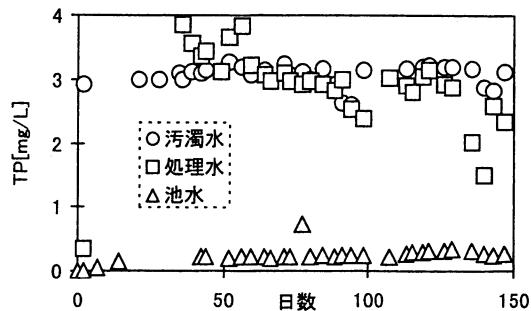


図-6 流入系の TP の経日変化

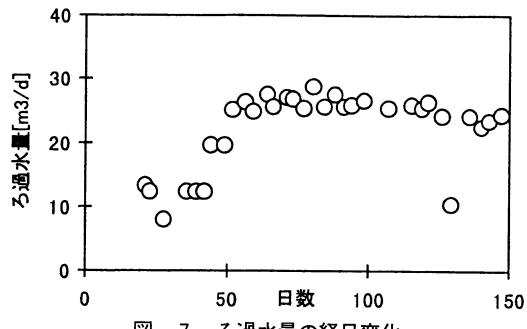


図-7 ろ過水量の経日変化

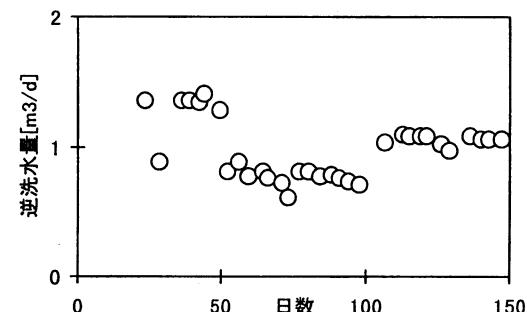


図-8 ろ過系逆洗水量の経日変化

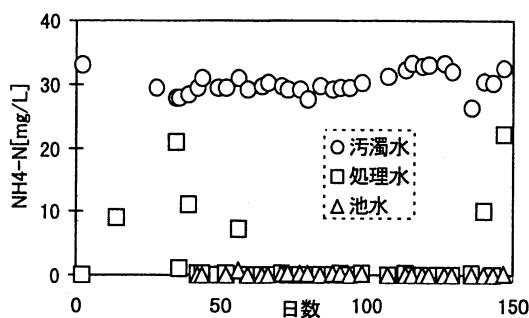


図-4 流入系の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の経日変化

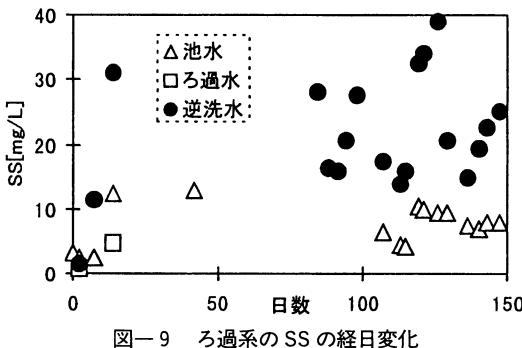


図-9 ろ過系のSSの経日変化

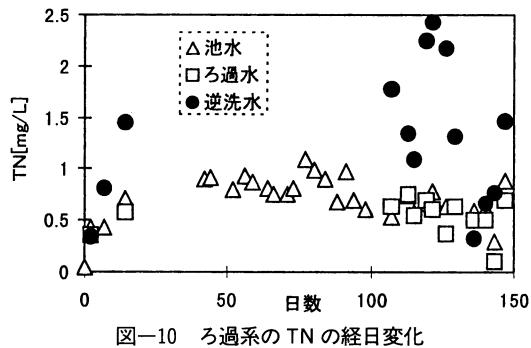


図-10 ろ過系のTNの経日変化

れている。

### 3.2.3 硝素およびリン

藻類のろ過分離系の、TN および TP についての濃度を図-10, 11に示す。池水およびろ過水中の濃度はほとんど同じである。しかし、逆洗水中の TN, TP の濃度は池水よりも 2~3 倍高く、藻類除去に伴い、その構成成分として池水より TN, TP が除去されている。

### 3.3 池水流動系

流動実験については現在のところ数値的な評価が困難であるが、次の 2 点が推察される。発生した藻類の底部への沈降およびそれに伴う嫌気分解を抑制し、底泥への栄養塩類の取り込みが削減される。また、流動により底層に滞留する栄養塩類が池全体に拡散され<sup>4)</sup>、表層での藻類による摂取が促進される。このような効果により、藻類ろ過回収による栄養塩類の除去効率に貢献したものと思われる。今後、流動効果の数値的評価を行う予定である。

### 3.4 実験池の水質

#### 3.4.1 透明度

実験池の透明度を図-12に示す。実験開始直後は透明度は2.6mであるが、汚濁水の流入により0.6m前後に悪化している。汚濁水の窒素除去が順調に稼働し始めた50日頃から(図-4, 5 参照)、透明度の改善が認められ、90日ごろは2 mを越えてほぼ汚濁水流入前にまで回復している。その後、透明度は低下しているものの、約1 mで推移し良好な状態を保っている。

#### 3.4.2 硝素およびリン

図-13に見られるように、TN は実験開始前は0.1 mg/l 以下であるが、汚濁水流入により増加しているが、50日以後は少しづつであるが減少している。処

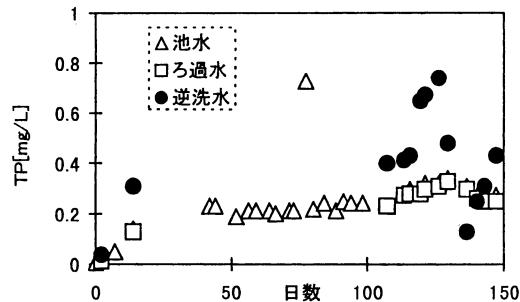


図-11 ろ過系のTPの経日変化

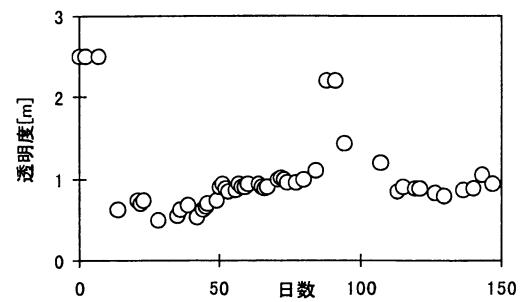


図-12 実験池水の透明度の経日変化

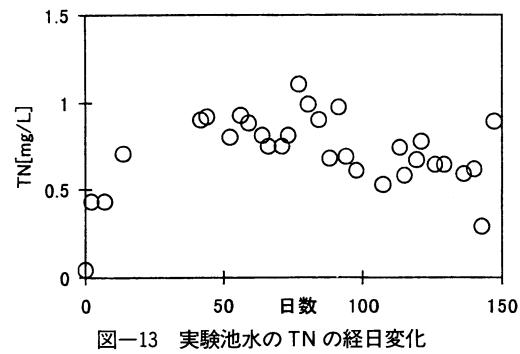


図-13 実験池水のTNの経日変化

理水中に残存して流入する窒素量と藻類除去による窒素の除去量の関係を図-14に示す。窒素除去が順調でない(図-4, 5参照)100-150日のデータであるが、流入量と除去量が拮抗しており、増減を示す◆はゼロの値を前後している。池水のTNがわずかに減少していることから、池内で脱窒素反応が進行していることが予想される。以上のことから、TNの除去は藻類除去と池内脱窒素によるものと思われる。

次にTPであるが、図-15に見られるように50日までは増加しているが、50-100日はほぼ一定の値で推移し、100日以後増加して減少している。流入量と除去量の関係(図-16)を見ると、TPについても流入と除去が拮抗して、増減の値はゼロ前後で推移している。以上のことから、池内のTP濃度は多少の変動はあっても一定のレベルで推移するものと予想される。さらにTP削減が要求される場合にはろ過分離だけでは不十分で、沈殿剤等の投入が必要と思われる。しかし、その投入量は少量でよいと思われる。

### 3.5 池浄化実験系物質収支

表1に11月5日の池浄化実験系の窒素、リンの物質収支を示す。図-5に見られるように、水温が低く窒素除去が若干悪い時期であるが、一例として取り上げた。TNについては人工汚濁水中の83%が除去されて、0.9g/dが池に流入している。しかし、1.46g/dが藻類ろ過に伴って除去されている。一方、リンについては汚濁水からほとんど除去されず、そのまま池に流入している。しかし、流入量と除去量はほぼ等しい値となっている。

### 3.6 今後の課題

今回の実験により、汚濁水中の生物学的窒素除去と藻類の連続除去により、池内に流入する窒素、リンの蓄積を防ぐことが可能であることが確認できた。窒素に対するリンの比率が10:1以下の場合は、本浄化システムで対応可能と思われる。しかし、リンの比率が高くなると沈殿剤や吸着剤等によるリンの積極的な除去法が必要になると思われる。

次に水温が低下する冬季には微生物活性が低下し、生物処理による窒素除去効率が低下する。冬季には藻類の増殖は抑制されるので、池の透明度は改善されることが予想されるが、窒素は池内に蓄積し、水温上昇により藻類の異常繁殖の原因となる可能性がある。春季にはろ過能力を増大し、藻類除去の強化により対応する必要がある。

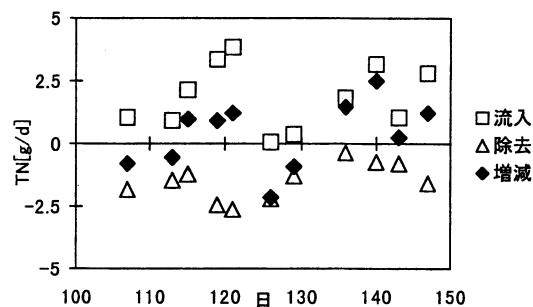


図-14 窒素の流入、除去および増減の経日変化

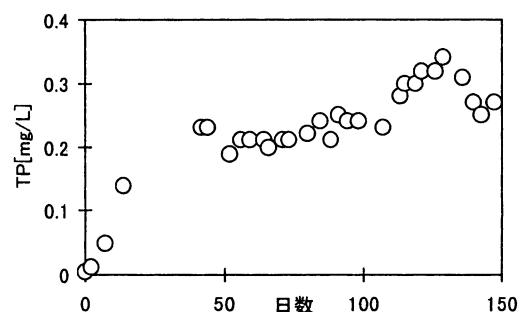


図-15 実験池水のリンの経日変化

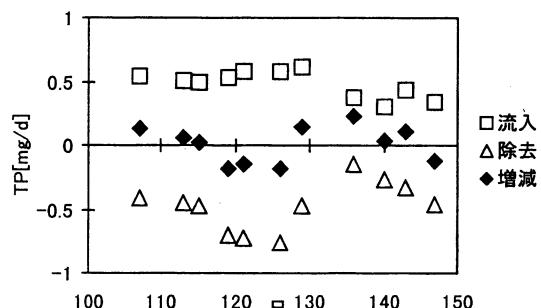


図-16 リンの流入、除去および増減の経日変化

表1 池浄化実験系の窒素・リンの物質収支  
(11月5日、実験開始後113日)

	流入汚濁水処理系			藻類ろ過分離系		
	汚濁水 [mg/l]	処理水 [mg/l]	除去率 [%]	流入量 [g/d]	除去量 [g/d]	増減量 [g/d]
TN	30.2	5.11	83.1	0.90	1.46	-0.56
TP	3.17	2.89	8.8	0.51	0.45	0.06

汚濁水流入量0.176m<sup>3</sup>/d, ろ過量25.6m<sup>3</sup>/d, 逆洗量1.09m<sup>3</sup>/d

#### 4. まとめ

汚濁水が流入する閉鎖系水域の浄化法として、流入汚濁水の生物学的処理、発生する藻類のろ過分離および人工水流の3つの要素技術を併用し、人工池を用いた実験系で検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1)生物学的硝化・脱窒により汚濁水中 TN の 80% 以上が除去された。
- (2)池に発生した藻類の連続ろ過分離により、池に流入する量とほぼ同量の窒素・リンが除去された。
- (3)池内の脱窒反応により、TN 削減が促進された。
- (4)流動により藻類の沈降抑制、底層滞留塩類の拡散等により、藻類のろ過回収による TN・リンの除去効率への寄与が推察された。
- (5)池の透明度は 1 m 以上で、良好に維持された。

#### 参考文献

- 1) 土山ふみ、安藤 良、他：名古屋市ため池の水質と浄化対策について、環境技術, 25(8), 448-452 (1996).
- 2) 根本隆司、西野伸明、松尾 裕：閉鎖性海域の底質改善剤による浄化、環境技術, 25(8), 458-461 (1996).
- 3) 生地正人、香川尚徳：浮上フェンスを用いた貯水池の水質改善手法、第4回シンポジウム「環境用水の汚濁とその浄化」論文集, 91-94 (1997).
- 4) 山上貴幸、松本享久他：ダム、貯水池の浄化装置、第3回シンポジウム「環境用水の汚濁とその浄化」論文集, 40-43 (1996).
- 5) 西田保一、村上光正他：ろ材を使った水路浄化とその問題点、環境技術, 25(8), 462-465 (1996).
- 6) 竹内正美、村上定暉他：紫外線、リン固定および接触酸化による憩いの場の池水浄化、環境技術, 25(8), 453-457 (1996).
- 7) 青井 透、大月伸浩、白田 寛：ウォーターレタスによる栄養塩除去と大規模生育実験、環境技術, 26(1), 714-719 (1997).
- 8) 山田真知子、徳永保範他：洞海湾における濾過食性二枚貝を用いた環境修復、第3回シンポジウム「環境用水の汚濁とその浄化」論文集, 119-121 (1996).
- 9) 特許出願中

## 自然環境の復元をめざして 地下水・土壤汚染の現状と対策

(社) 日本水環境学会関西支部 編 291頁 定価3,000円（本体2,913円）送料350円

### －主な内容－

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| 1.有機塩素化合物による地下水汚染対策の推移                               | 4.有機塩素化合物の浄化対策(微生物処理 /物理化学的処理) |
| 2.地下水・土壤汚染対策と保全に関する最近の行政の取り組み                        | 5.有機塩素化合物と浄化分解生成物の生体影響         |
| 3.有機塩素化合物による地下水・土壤汚染の実態(地下水汚染の現状/土壤汚染の調査/汚染物質の挙動の把握) | 参考資料－地下水汚染および土壤汚染に係わる環境基準など－   |

【申込先】環境技術研究協会 〒530-0043 大阪市北区天満2丁目1番20号(天満松茂ビル)

TEL 06-357-7611 FAX 06-357-7612