

ホテイアオイを用いる水質浄化に関する研究

——生活排水及び農業排水——

石井 猛*, 愛甲 博美**, 青山 勲***

*岡山理科大学応用化学科

**岡山理科大学教養部

***岡山大学農業生物研究所

(昭和59年9月27日 受理)

緒 言

河川，湖沼などにおいて水質汚濁と共に富栄養化が問題視されている。これらは現在，法律の規制対象外とされている生活排水を筆頭に工場，農業排水等が主な現因と考えられている。これらの諸問題に対して沖ら^{1,2)}及び青山ら^{3,4)}はホテイアオイを用いた水質改善及びその生育と窒素，リン等の関係について報告している。また，岡村⁵⁾及び角谷⁶⁾もホテイアオイを用いた水質浄化に関する研究を行っている。このように水質保全対策としては，自然生態系を利用した省資源及び省エネルギー型の水質浄化システムの研究開発が推進されている。

そこで，今回の研究は多くの水生植物の中でも特に旺盛な繁殖力を持ち，しかも窒素，リンの高吸収能を有するホテイアオイを用いて生活排水及び農業用排水の水質改善を試みた基礎的研究において若干の知見を得たので報告する。

実 験

1. 実験施設

実験施設は調整池，接触酸化槽，植物栽培池の3ブロックに分離されている。その概要を図1に示す。調整池は表面積 20 m²，深さ 50 cm，接触酸化槽は表面積 35.5 m²，深さ 15 cm，総延長 342 m，植物栽培池は表面積 53.6 m²，深さ 50 cm である。用水は隣接する農業用水路から水中ポンプによってポンプアップ(10トン/日)し，落下式の簡易な曝気装置により酸素を供給した。最初の調整池では滞留時間(24時間)があり，水質の変動を調整する。接触酸化槽は4—5時間の滞留時間があり，槽内に充填されている微生物により，有機物を分解除去する。植物栽培池にはホテイアオイを栽培し，窒素及びリンの除去を行っている。この装置は二連が並列されており，反復実験が出来る様に設計した。

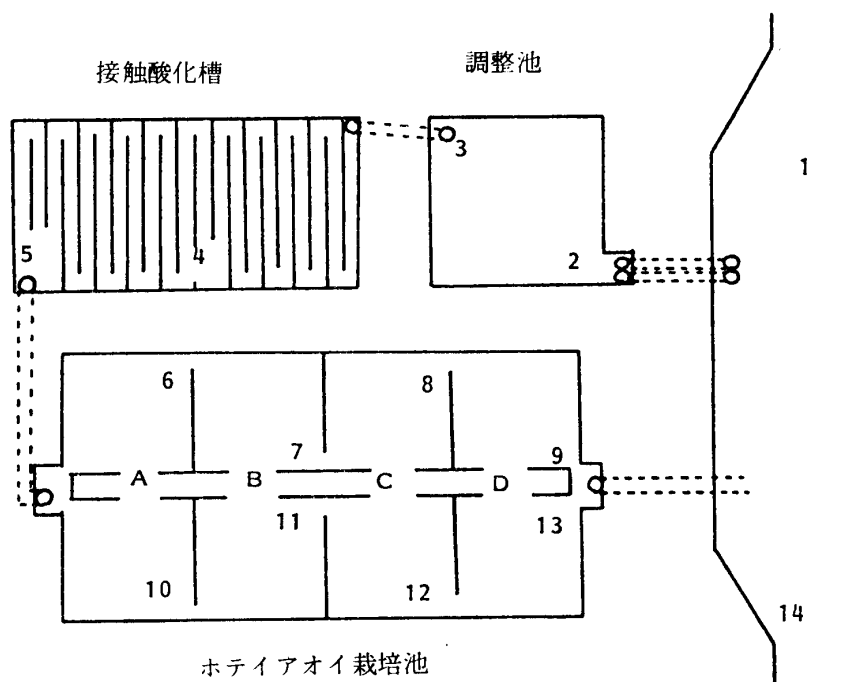


図1 実験施設の概略
数字は原水の流入径路を示す。

2. 水質分析

サンプルは2週間間隔で採水し, そのサンプル中の亜硝酸性窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$), 硝酸性窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 無機態性窒素 (Inorg.-N), 有機態性窒素 (org.-N), 全態窒素 (T-N), リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$), 有機態性リン (org.-P), 全態リン (T-P), BOD, COD, TOC, SS, 水温, 溶存酸素 (DO), pH, 電気伝導度 (EC), 塩素イオンなどについて測定した。

結果と考察

1. 水質の変化

今回, 原水として用いた農業用水路の主な汚濁源は生活雑排水の流入によるものであり, その汚濁負荷量としては年間を通じてほぼ一定であると考えられる。しかしながら, この原水の汚濁負荷量は生活活動による時間的変動及び雨などによる流水量の変化に伴うその水質変動が考えられる。

原水中の窒素とリンの濃度は通常の河川水と比較してリンの濃度が非常に高いが, その濃度を月別に細分化して見ると4月下旬と8月上旬に 9 mg/ml 以上高濃度を示したが, 5月から7月中旬にかけては低濃度を示した (図2-a, b)。しかしながら, 9月下旬から11月にかけて再び高濃度を示した。また, T-N に対する $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が大である事が特徴である。一方, リンに関しては窒素とほぼ同様な結果を示した (図2-c)。ただし, T-N と T-P の比は濃度的に T-N の方が 5-6 倍高い値を示した。

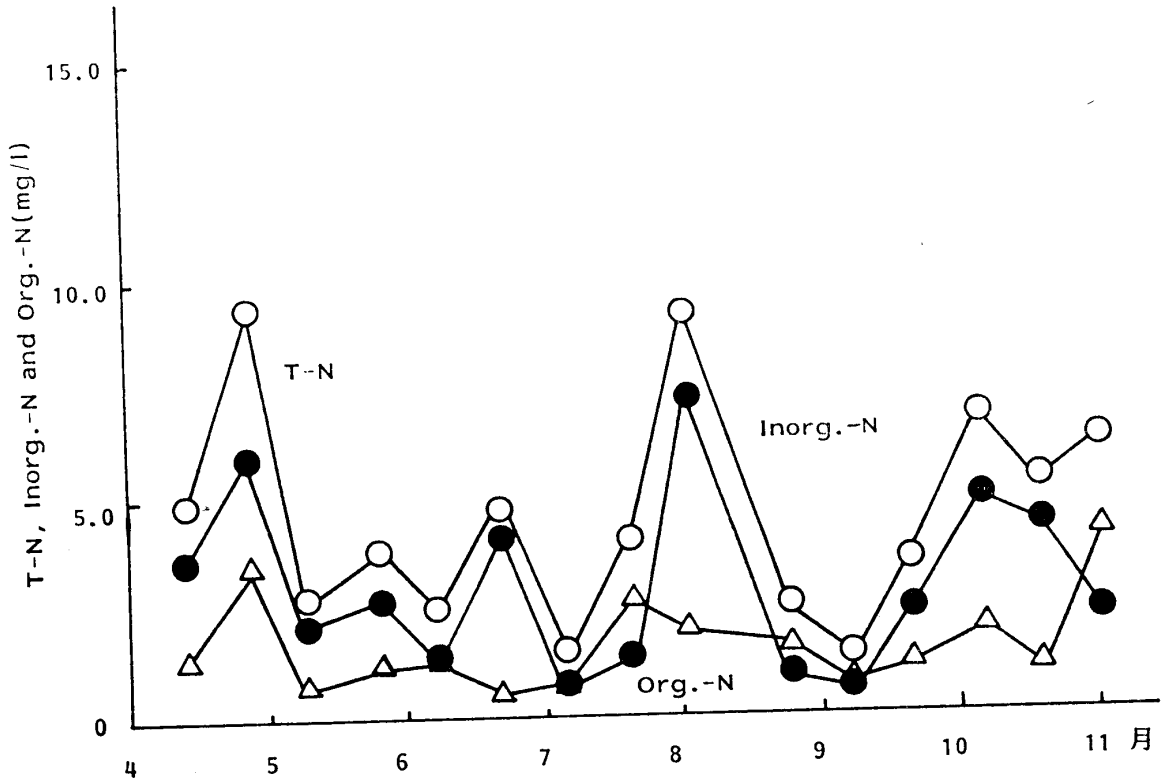


図2-a 原水の水質変化

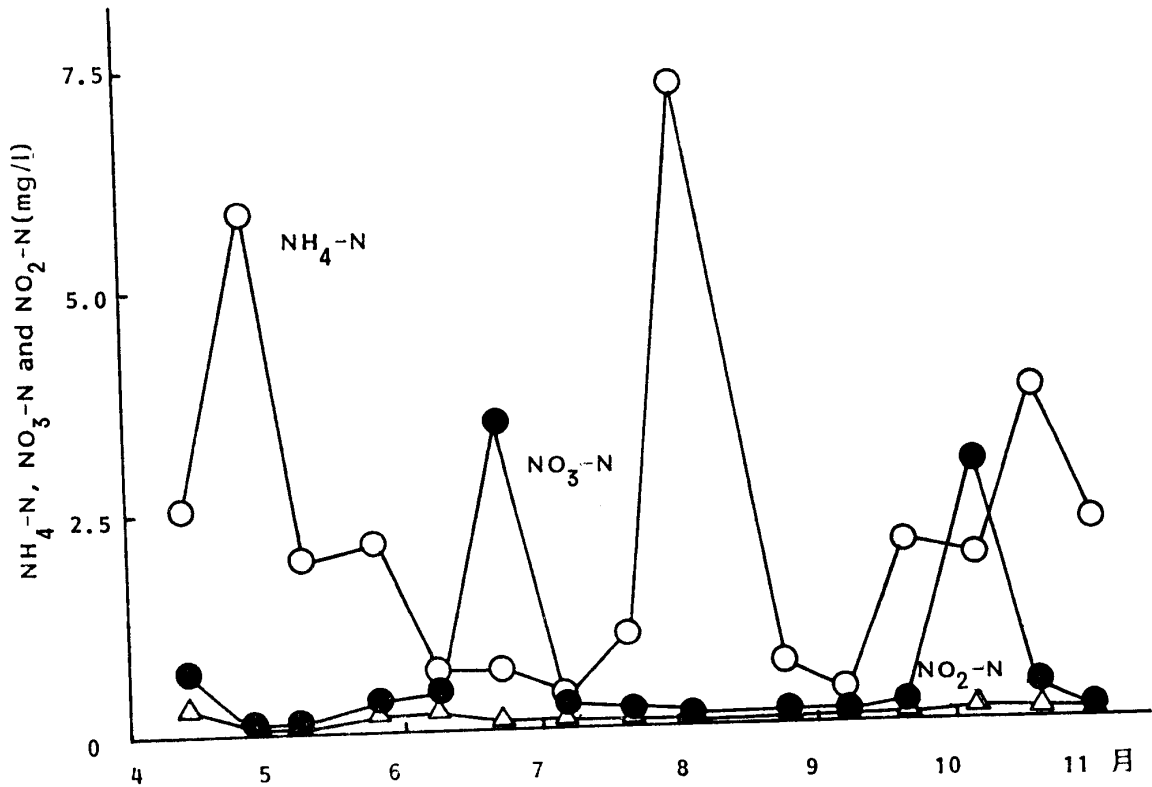


図2-b 原水の水質変化

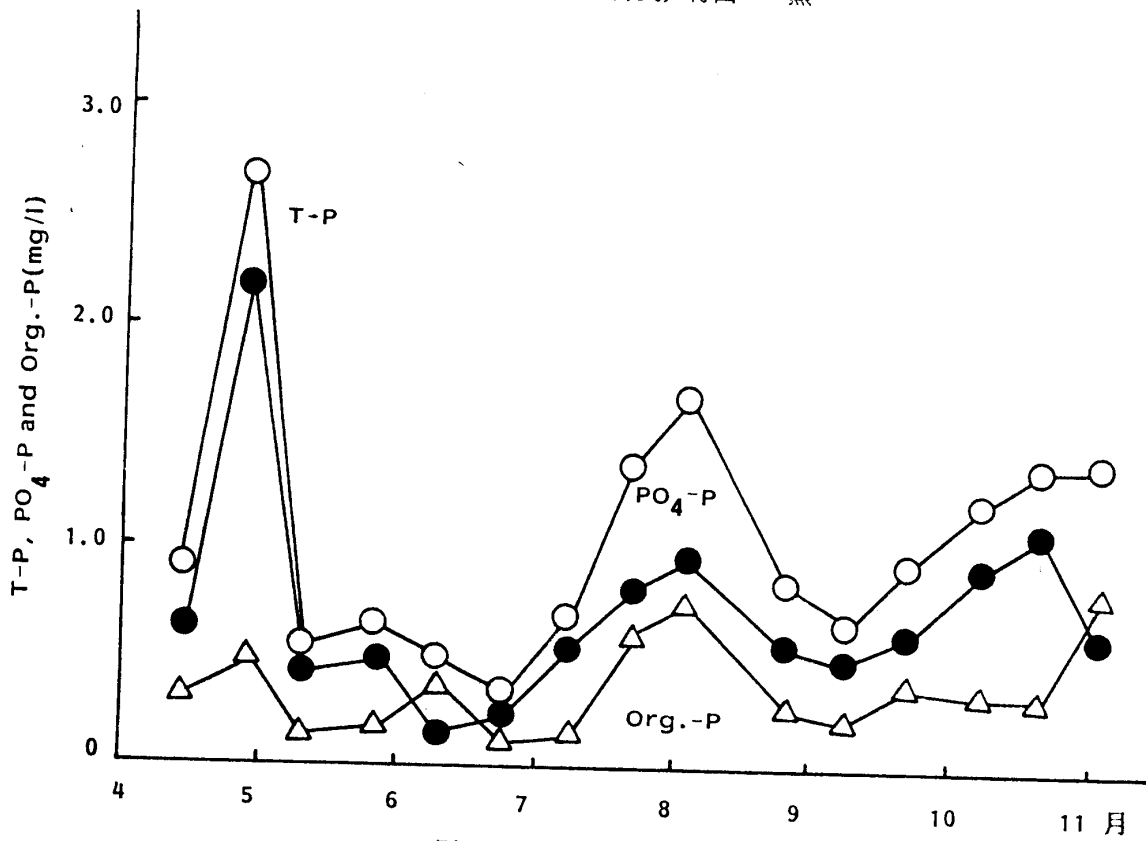


図2-c 原水の水質変化

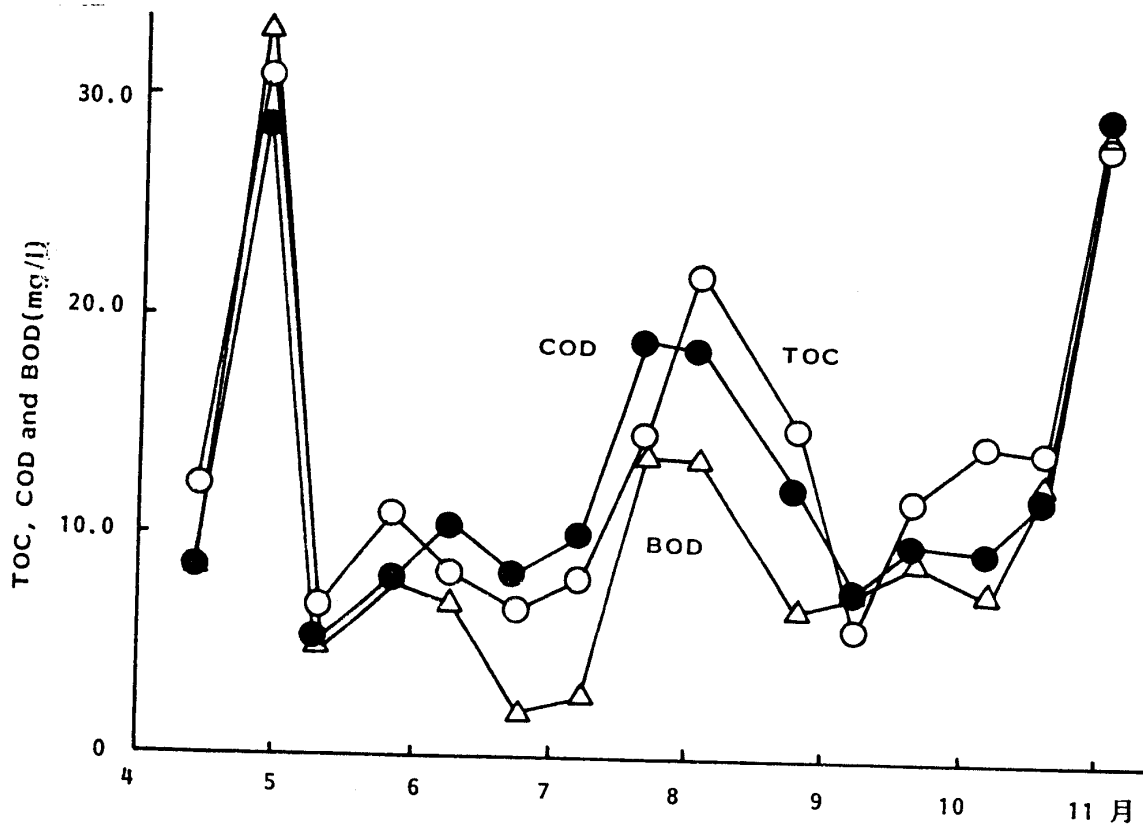


図2-d 原水の水質変化

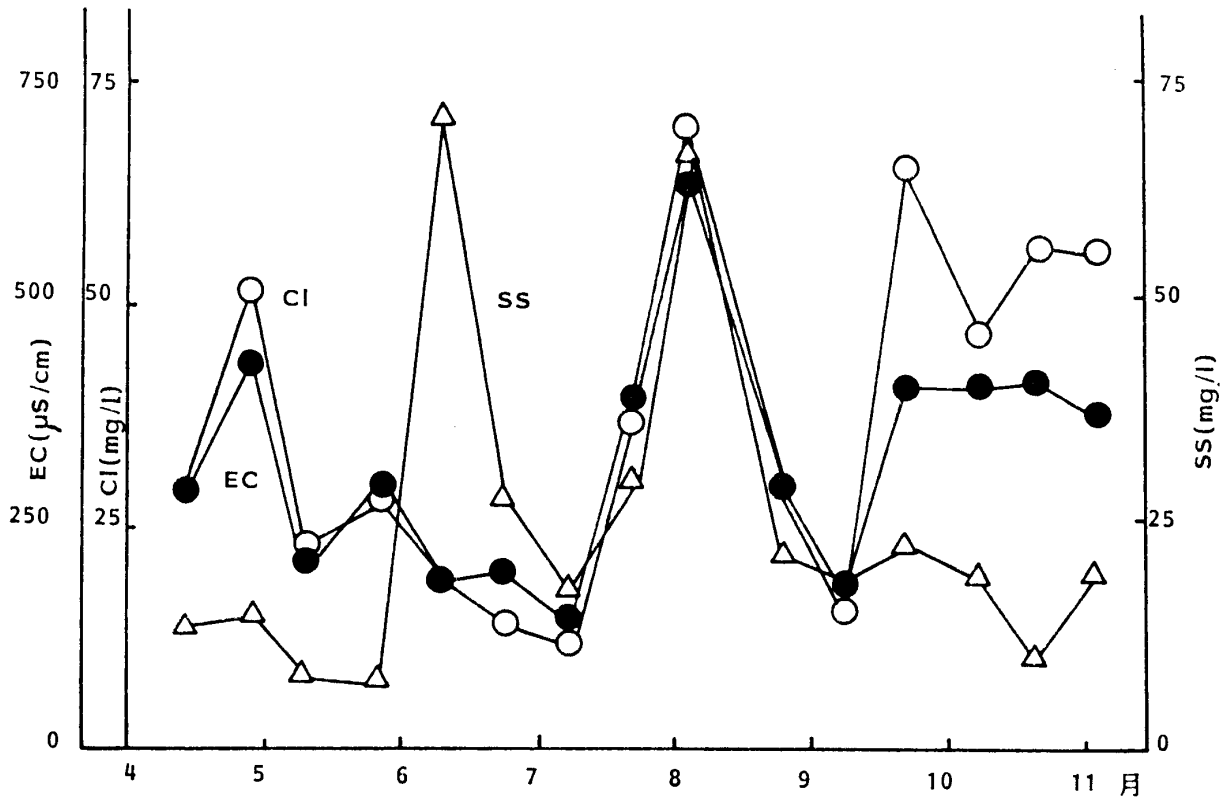


図2-e 原水の水質変化

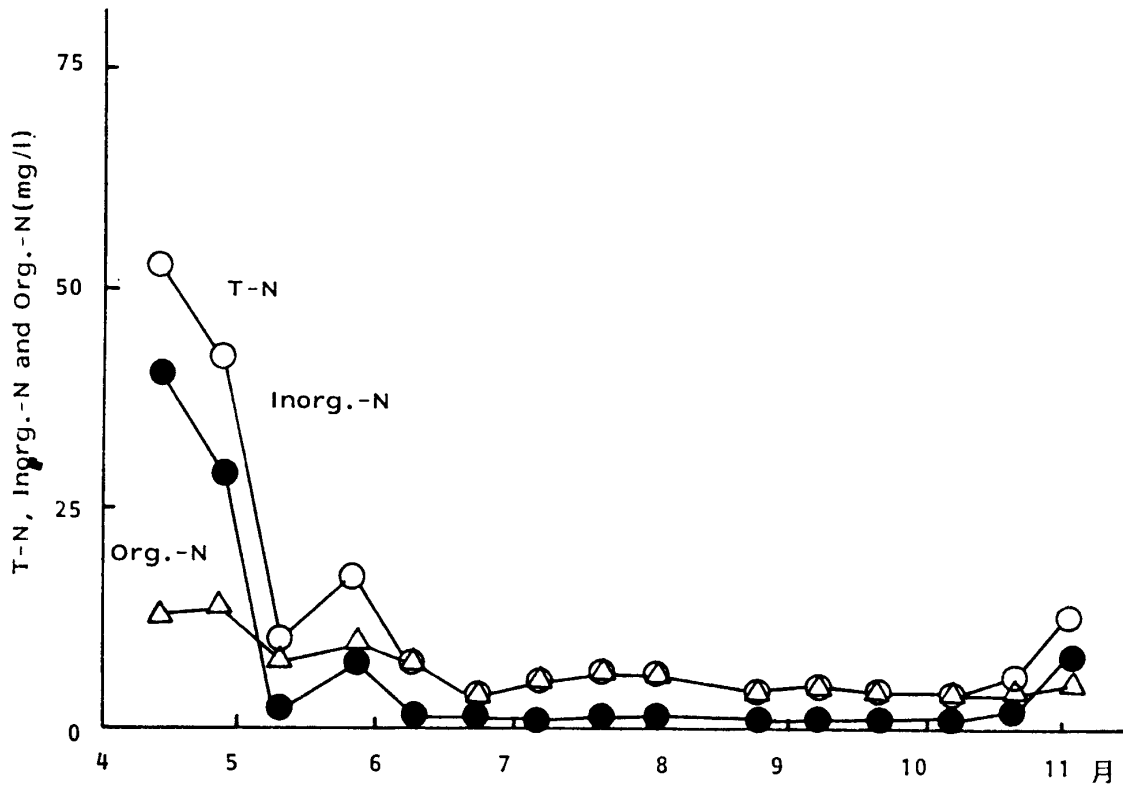


図3-a 処理水の水質変化

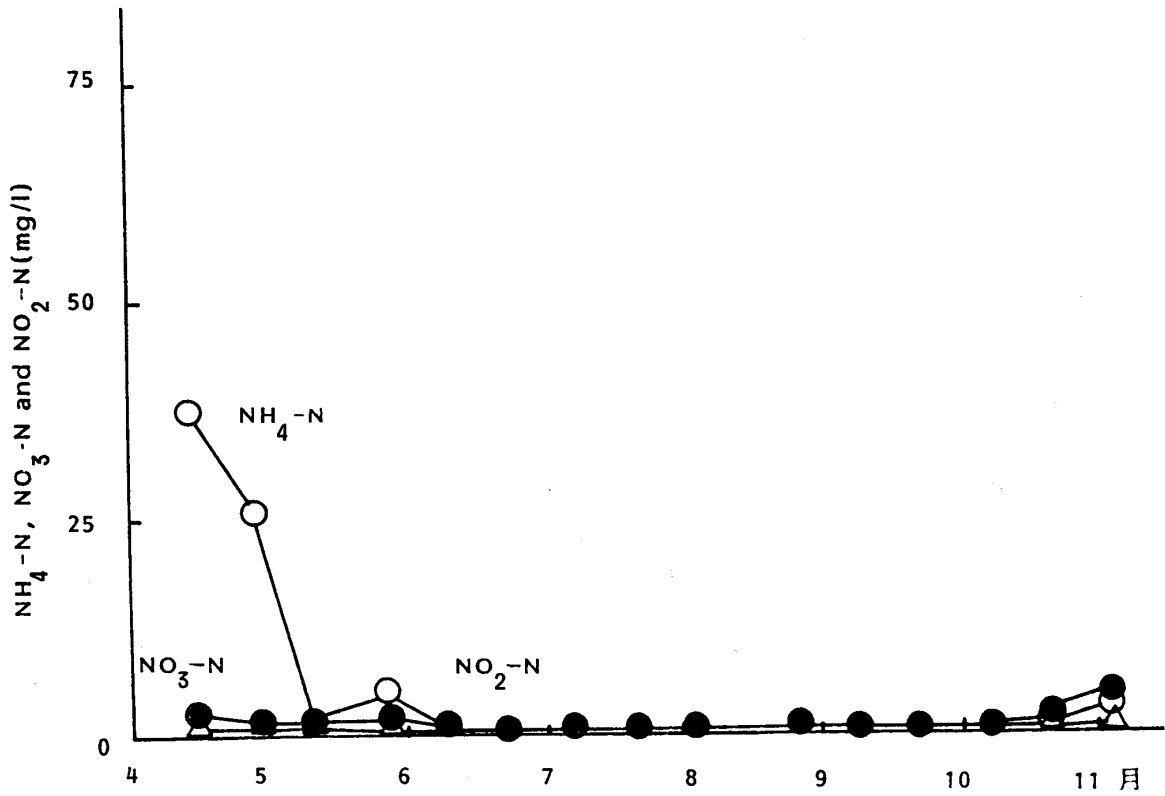


図3-b 処理水の水質変化

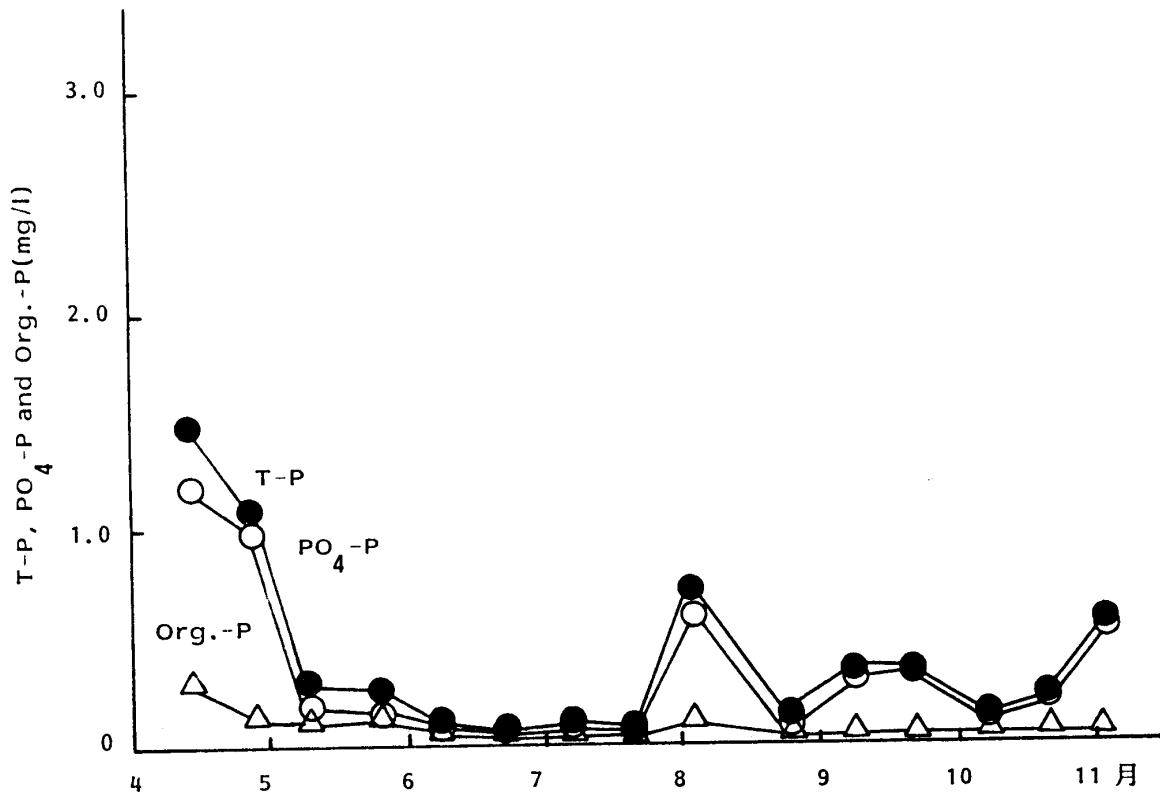


図3-c 処理水の水質変化

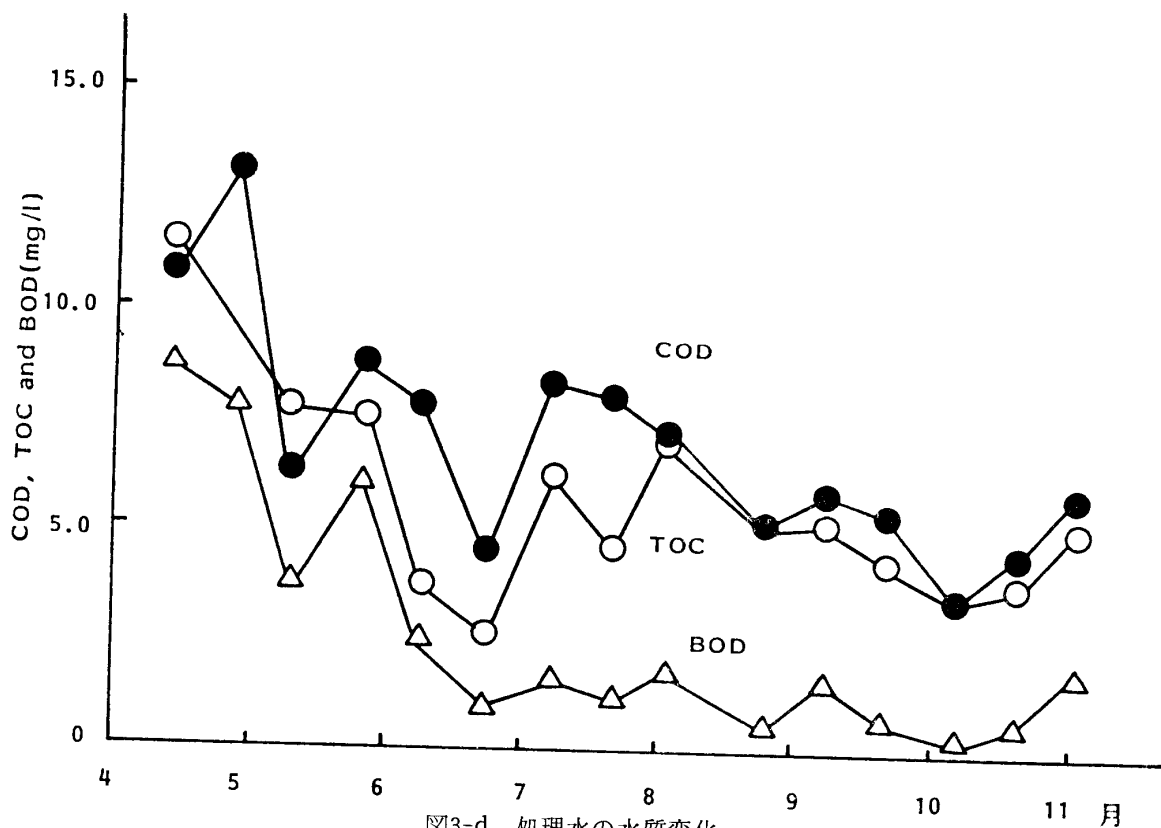


図3-d 処理水の水質変化

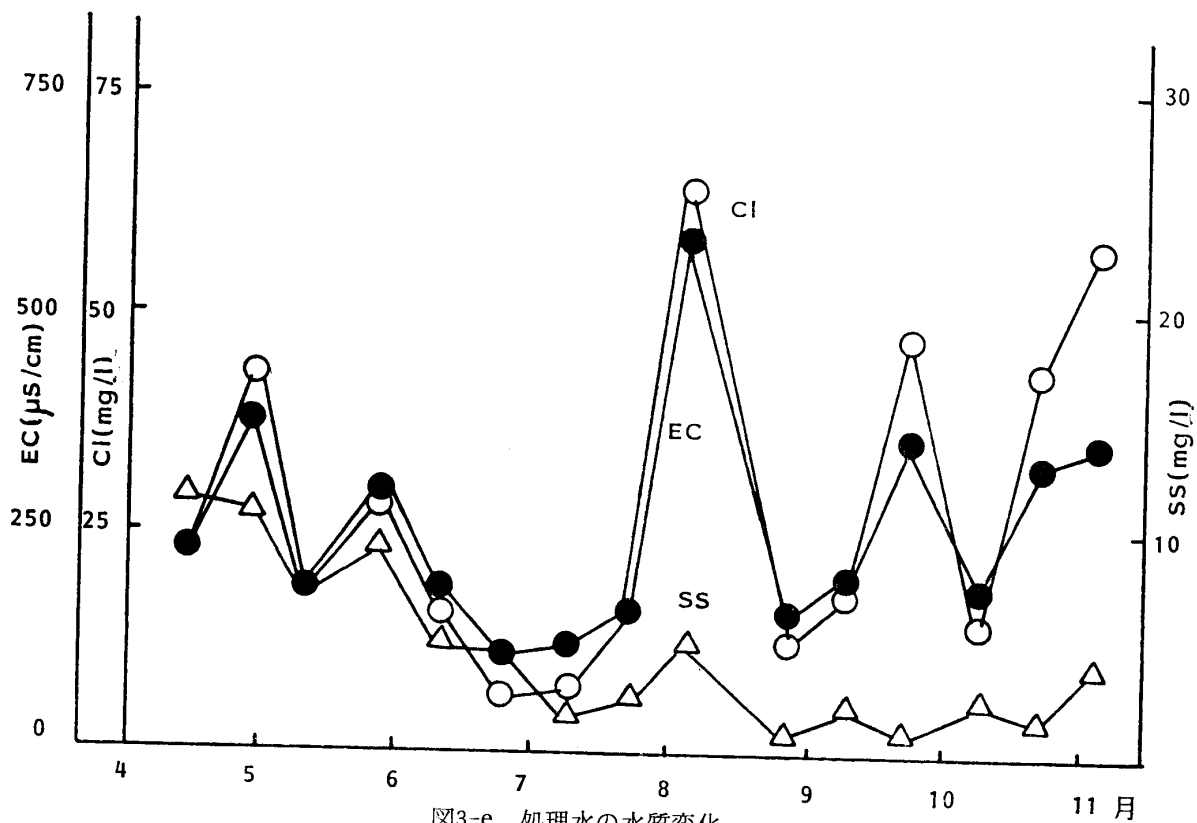


図3-e 処理水の水質変化

BOD, COD, TOC に関しては4月下旬と11月初旬にそれぞれ30mg/ml 前後の高濃度を示した(図2-d)。SSについては6月初旬と8月初旬にそれぞれ70.8と68.0 mg/ml の高濃度を示し, 塩素イオンと電気伝導度は上記の窒素, リンと同様の傾向を示した(図2-e)。しかしながら, 塩素イオンの最高値と最小値の比は約6.5倍であった。このことは, 塩素イオンが環境の変化を受けやすい事が考えられる。

処理水の水質変動は, 原水のそれと比較して大差はなく平均化している。その結果を図3-a, b, c に示す。その結果, ホテイアオイが十分成長した5月中旬以降, T-N と T-P の値は原水の水質が大きく変動したにもかかわらず低濃度を示した。特に, 6月以降は T-N と T-P はさらに減少した。また, 8月の処理水中の T-P 濃度の上昇はホテイアオイの吸収するリンの最大濃度以上のリンが流入したものと思われる。また, BOD, COD, TOC に関してはそれぞれ春から秋にかけて減少傾向を示した(図3-d)。SSについては6月初旬と8月初旬に高い値を示し, 塩素イオンと電気伝導度は4月下旬, 8月初旬, 9月下旬にそれぞれ高い値を示した(図3-e)。

2. 季節ごとの水質の処理工程

春期においてはホテイアオイの成育が不十分であり, それに伴う処理能力も不十分であると考えられる。しかしながら, BOD, COD, TOC の値は接触酸化槽で, また $\text{NH}_4\text{-N}$, Inorg.-N 及び T-P の値は植物栽培槽で若干の減少をみたまた。SS 値は調整池で著しい減少がみられた(図4-a, b, c, d)。

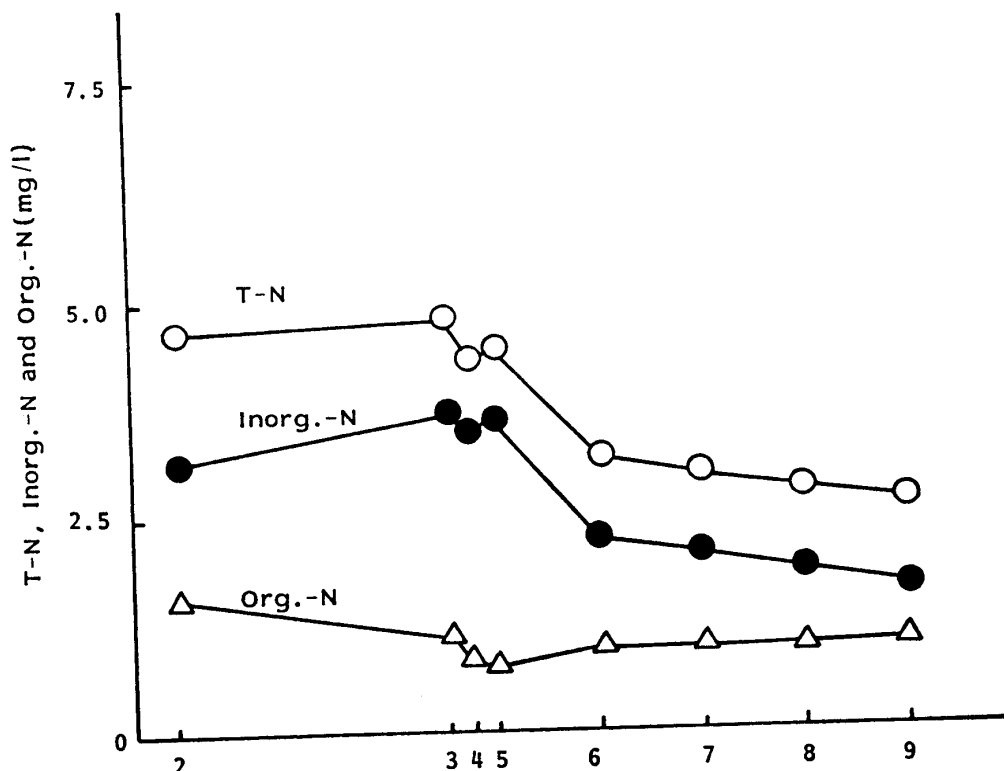


図4-a 春季における処理水の水質変化

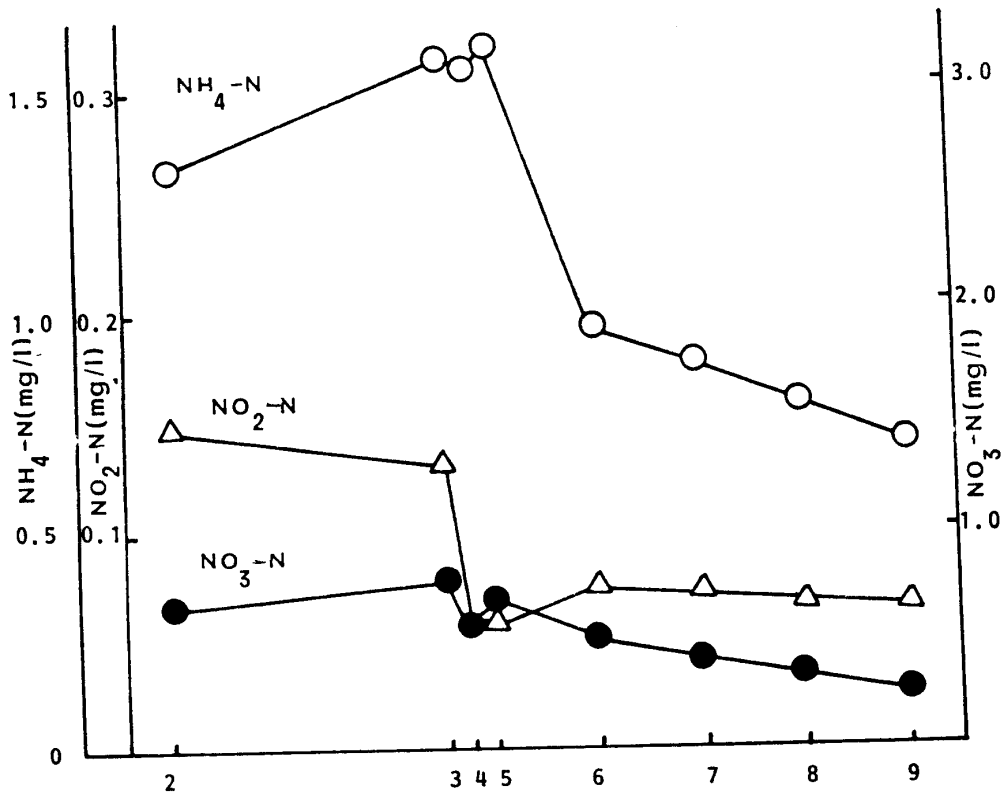


図4-b 春季における処理水の水質変化

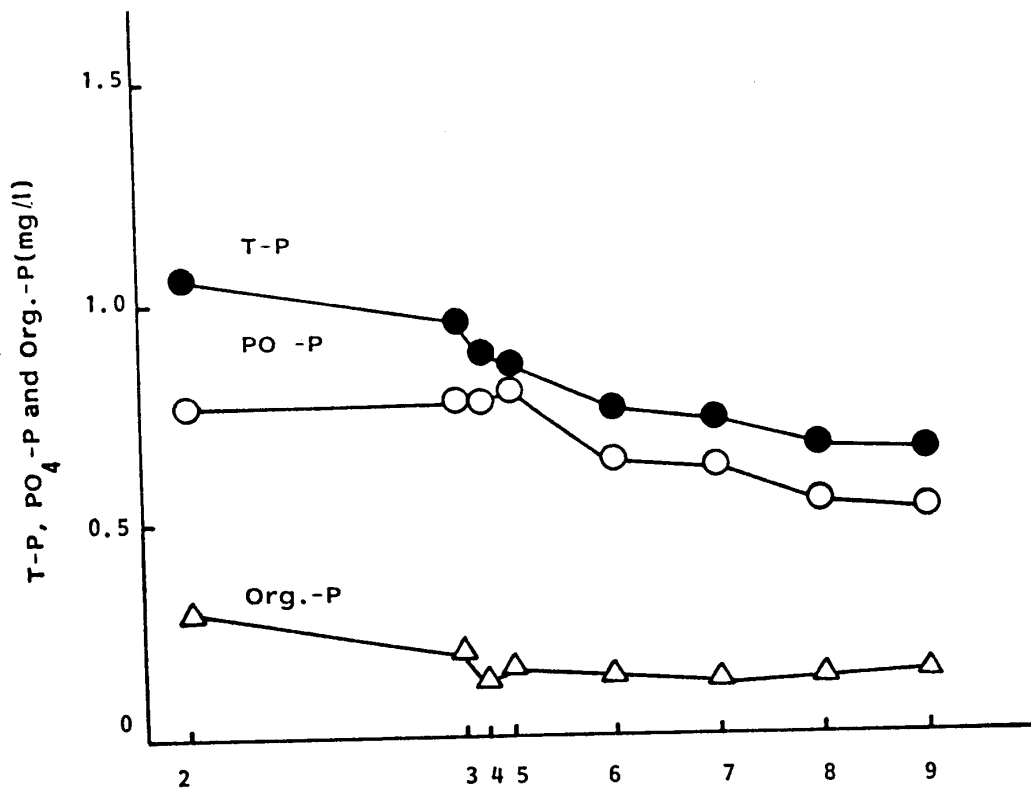


図4-c 春季における処理水の水質変化

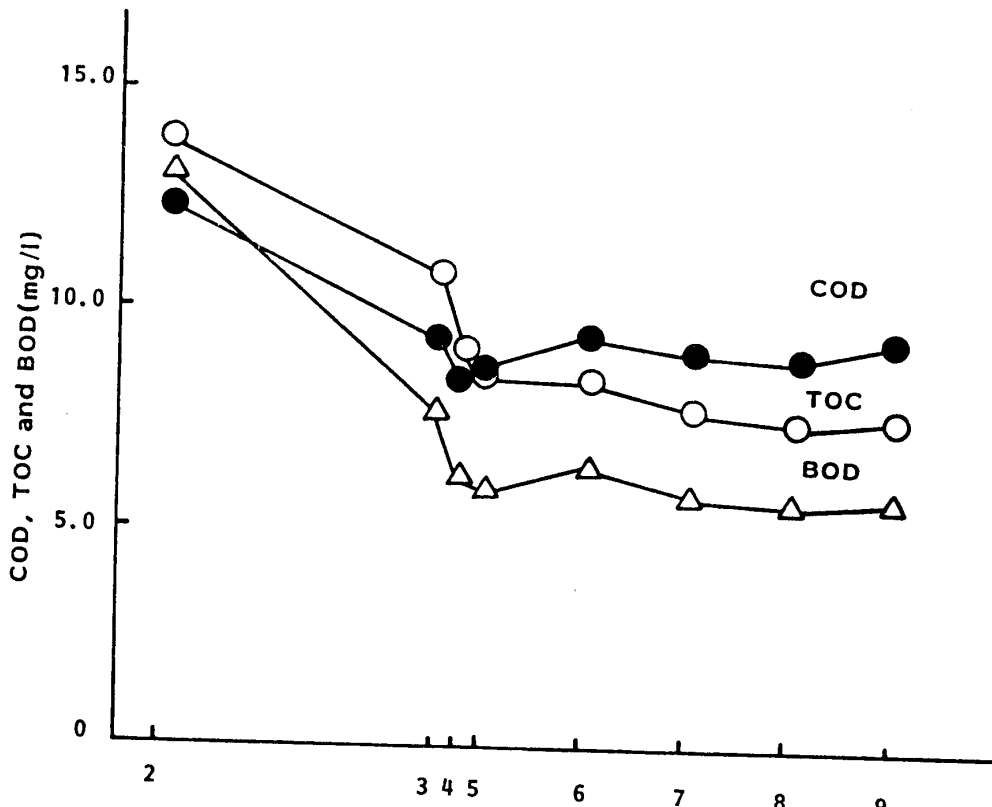


図4-d 春季における処理水の水質変化

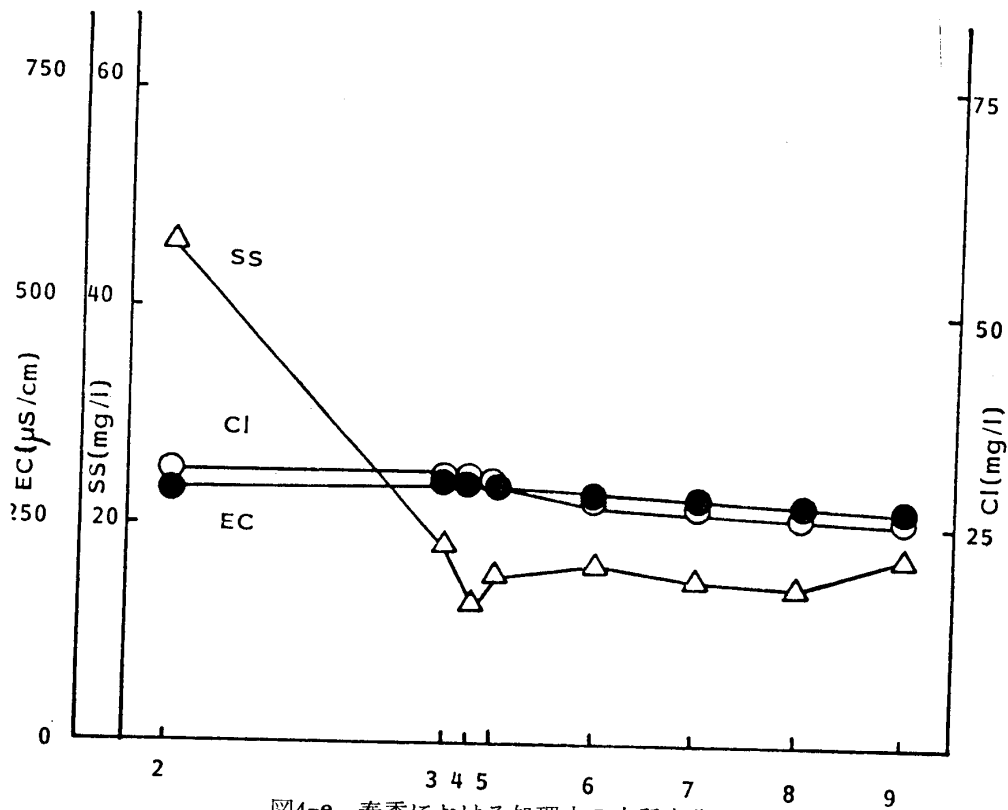


図4-e 春季における処理水の水質変化

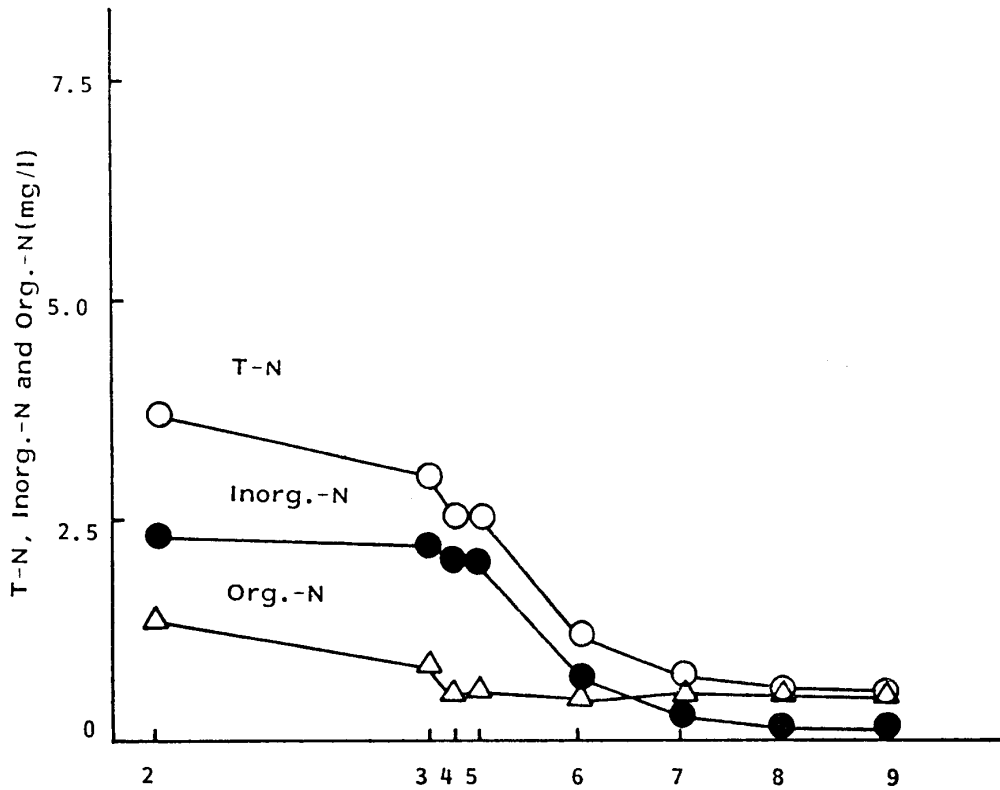


図5-a 夏季における処理水の水質変化

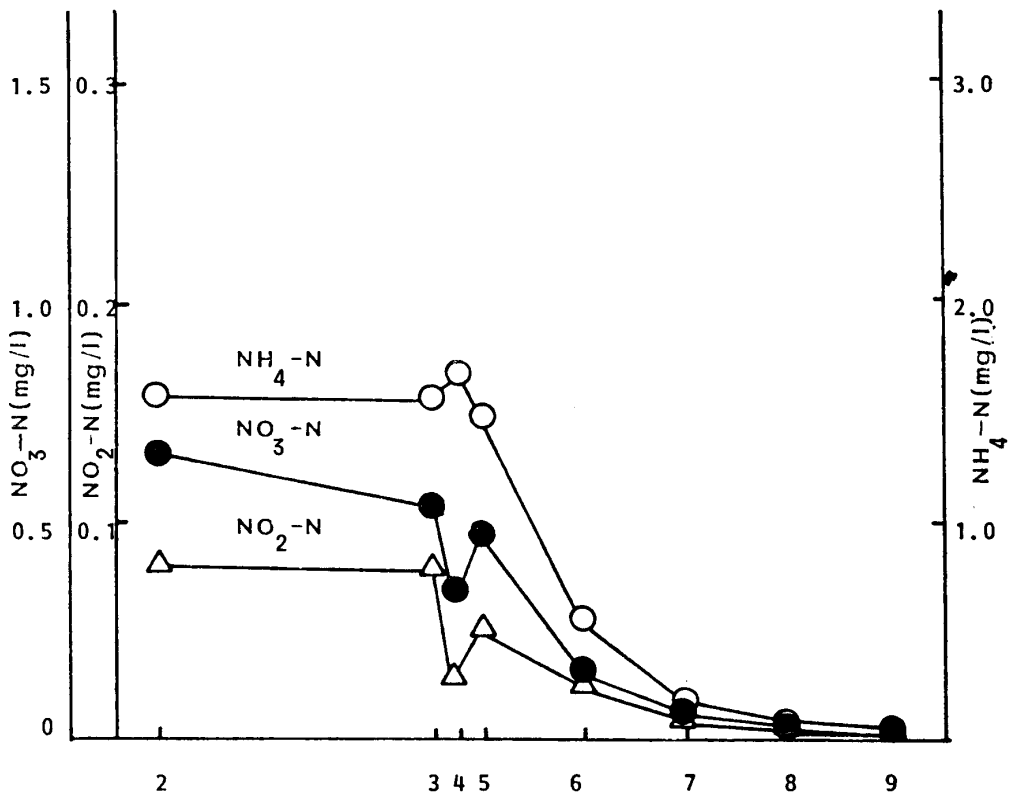


図5-b 夏季における処理水の水質変化

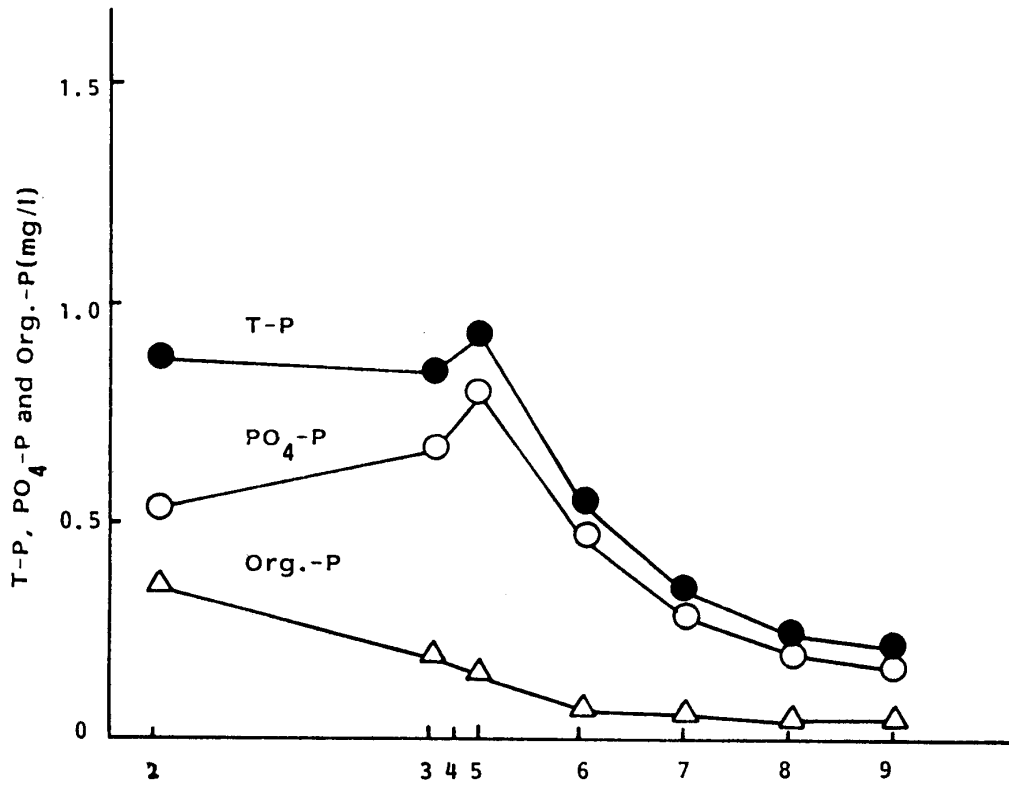


図5-c 夏季における処理水の水質変化

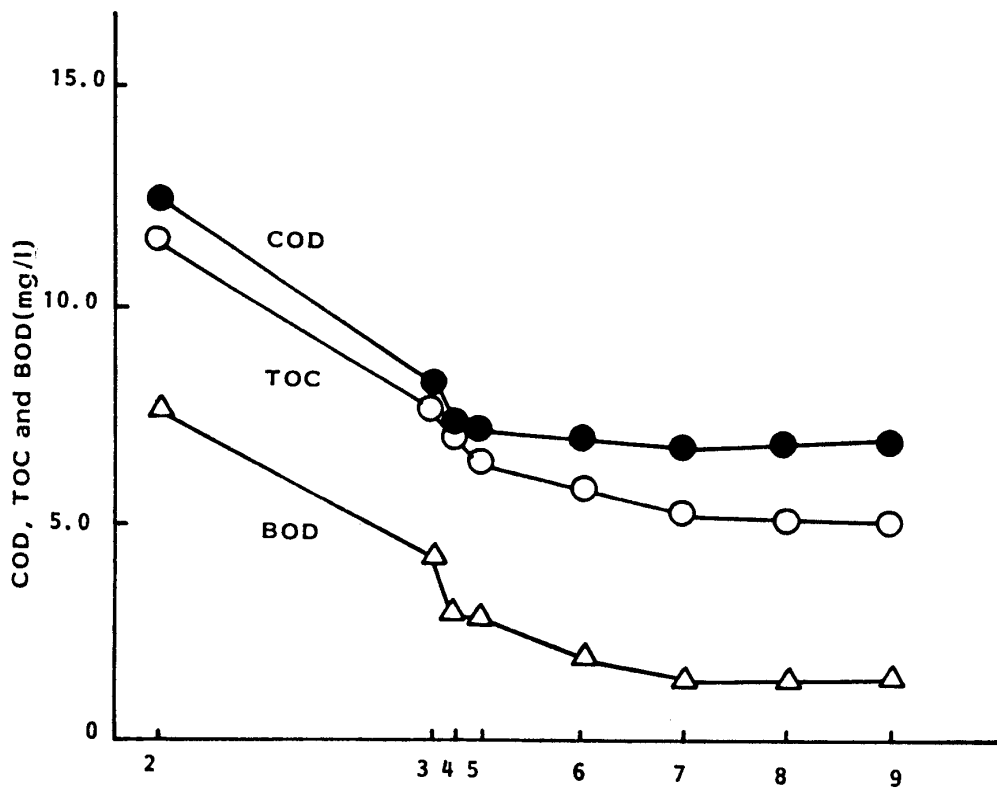


図5-d 夏季における処理水の水質変化

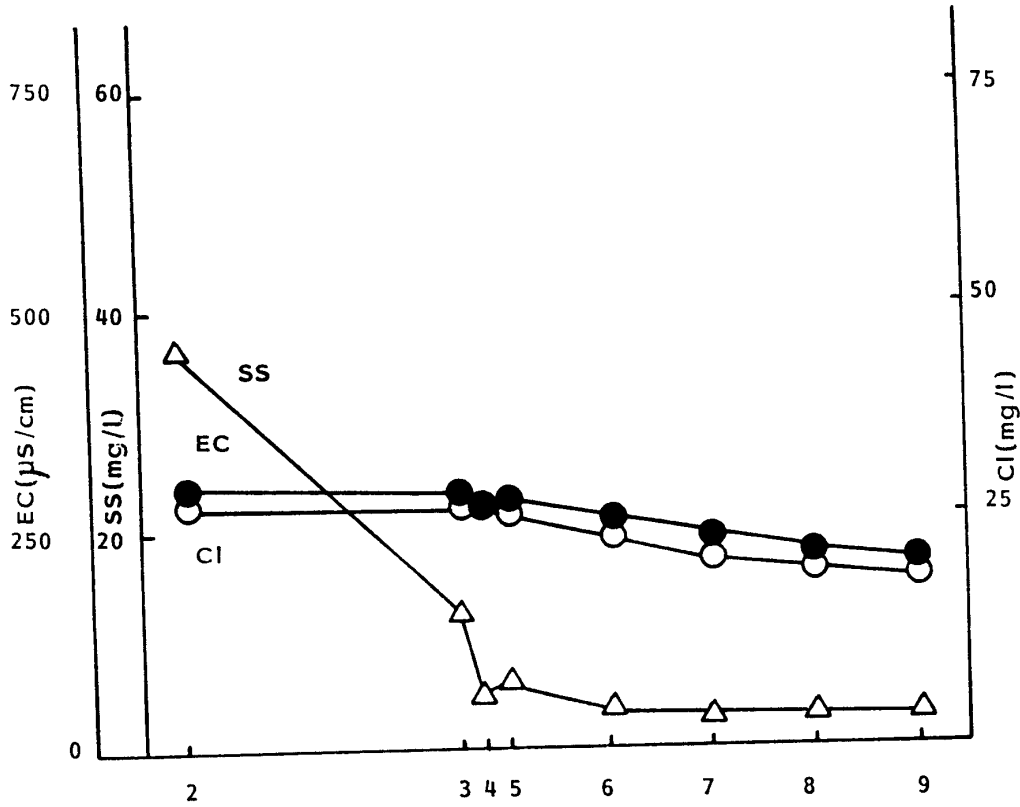


図5-e 夏季における処理水の水質変化

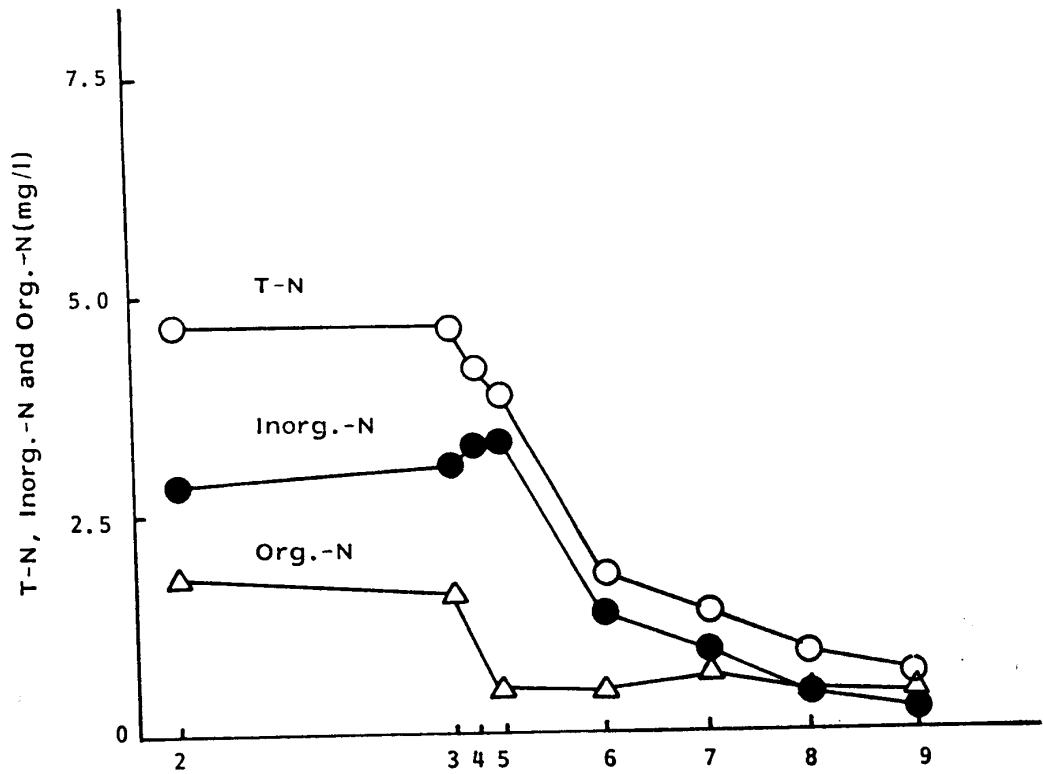


図6-a 秋季における水処理の水質変化

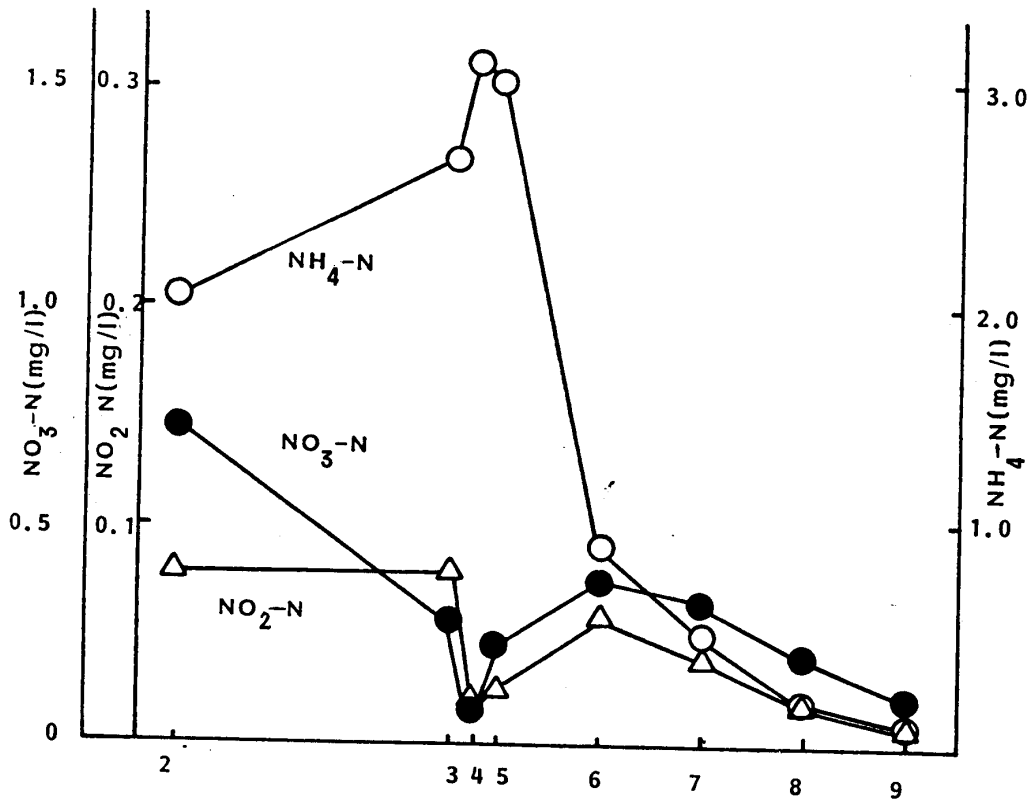


図6-b 秋季における処理水の水質変化

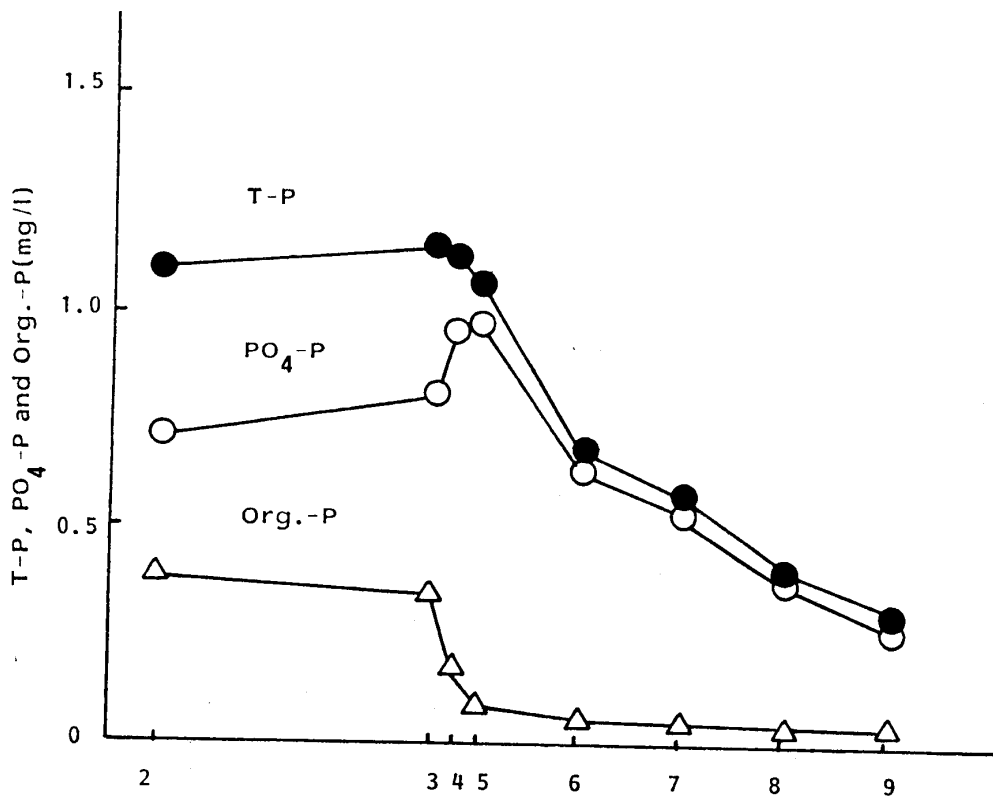


図6-c 秋季における処理水の水質変化

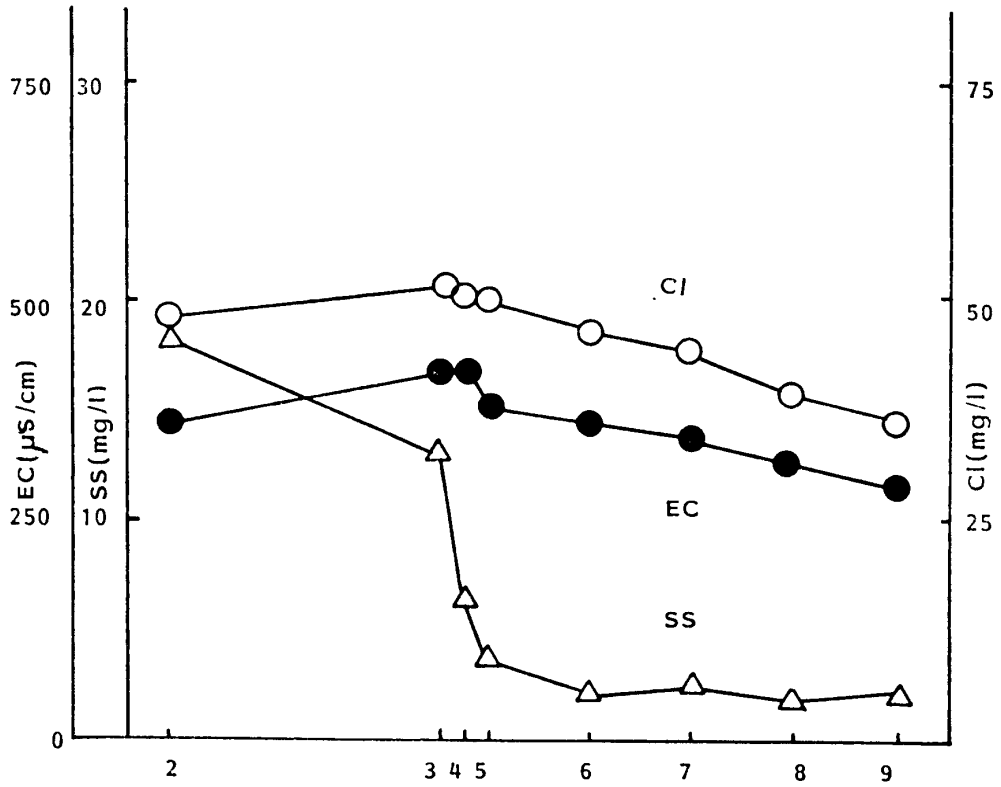


図6-d 秋季における処理水の水質変化

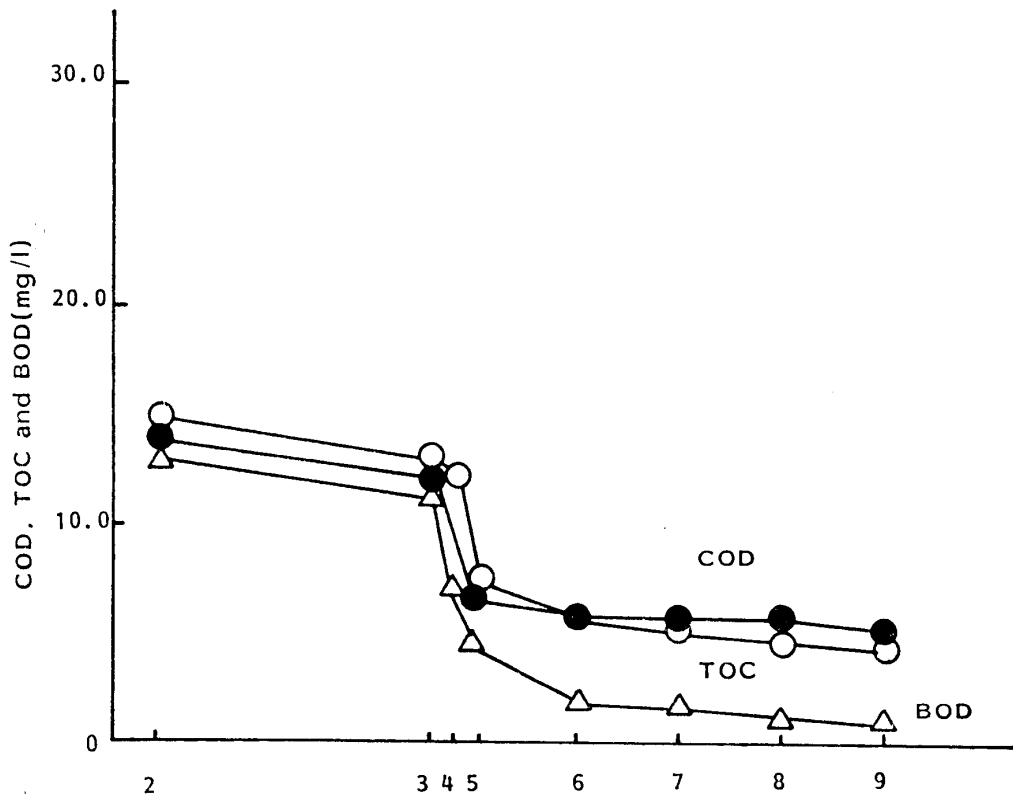


図6-e 秋季における処理水の水質変化

夏期においては水温, 気温, 日射量ともに十分でホテイアオイの成育が良く, 排水の処理能力が高いと思われる. T-N, $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び T-P はホテイアオイ槽, 特に図1のA区及びB区で著しい減少がみられた. また, 調整池及び接触酸化槽では BOD, COD, TOC, SS が減少傾向を示した (図5-a, b, c, d, e).

秋期においては水温, 気温, 日射量ともに低下するのでホテイアオイの成育条件も次第に悪化すると思われるが, T-N 及び T-P においては植物栽培槽で減少傾向を示した. しかしながら, $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度が調整池及び接触酸化槽で増加した. このことは有機態の窒素あるいはリンが分解したか底泥からの窒素, リンの溶出があったと思われる. 調整池及び接触酸化槽で処理されていない $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ はホテイアオイ槽で十分除去されている. COD, TOC, BOD 及び SS は接触酸化槽で減少した (図6-a, b, c, d, e).

4月から10月までの各処理工場における各成分の除去率を測定した結果, 表1のような値が得られた. 除去率は各施設の流入負荷量に対する除去量の割合で示してある. 調整池及び接触酸化槽では BOD, COD, TOC, SS の除去率が高く, BOD は全体の除去量のうち78%, COD は92%, TOC は52%, SS は91%であった. 窒素とリン, 特に Inorg.-N, $\text{PO}_4\text{-P}$ はホテイアオイ槽で約80%が除去されている.

表1 各処理過程における除去率
(4月-10月の平均, %)

	1	2	3	4
$\text{NO}_2\text{-N}$	10.1	39.6	25.2	74.9
$\text{NO}_3\text{-N}$	28.8	8.1	49.4	86.3
$\text{NH}_4\text{-N}$	-15.2	0.9	92.0	77.7
Inorg.-N	-3.3	2.0	81.1	79.8
Org.-N	29.0	34.6	-2.3	61.3
T-N	8.0	13.7	51.5	73.3
$\text{PO}_4\text{-P}$	-9.8	-14.7	80.4	55.9
Org.-P	28.6	31.4	20.0	80.0
T-P	2.8	1.9	59.7	64.4
BOD	32.1	28.1	17.2	77.4
COD	24.2	19.0	4.0	47.2
TOC	17.7	22.2	13.2	77.4
SS	51.7	23.0	7.8	82.5

1; 調整池 2; 接触酸化槽 3; 植物栽培池 4; 各処理過程の平均

3. ホテイアオイの年収穫量と乾物中の窒素及びリンの濃度

ホテイアオイ中の T-N 含有率は, 図1に示した概略中のA区で3.06%, B区で2.71%, C区で2.30%, D区で1.58%であった. 一方, T-P 含有率はA区で0.67%, B区で0.61%, C区で0.51%, D区で0.42%であった. T-N 含有率及び T-P 含有率は最初のA区と最後のD区とを比較するとそれぞれ1.94倍, 1.59倍A区が高い. また, 各区におけるホテイ

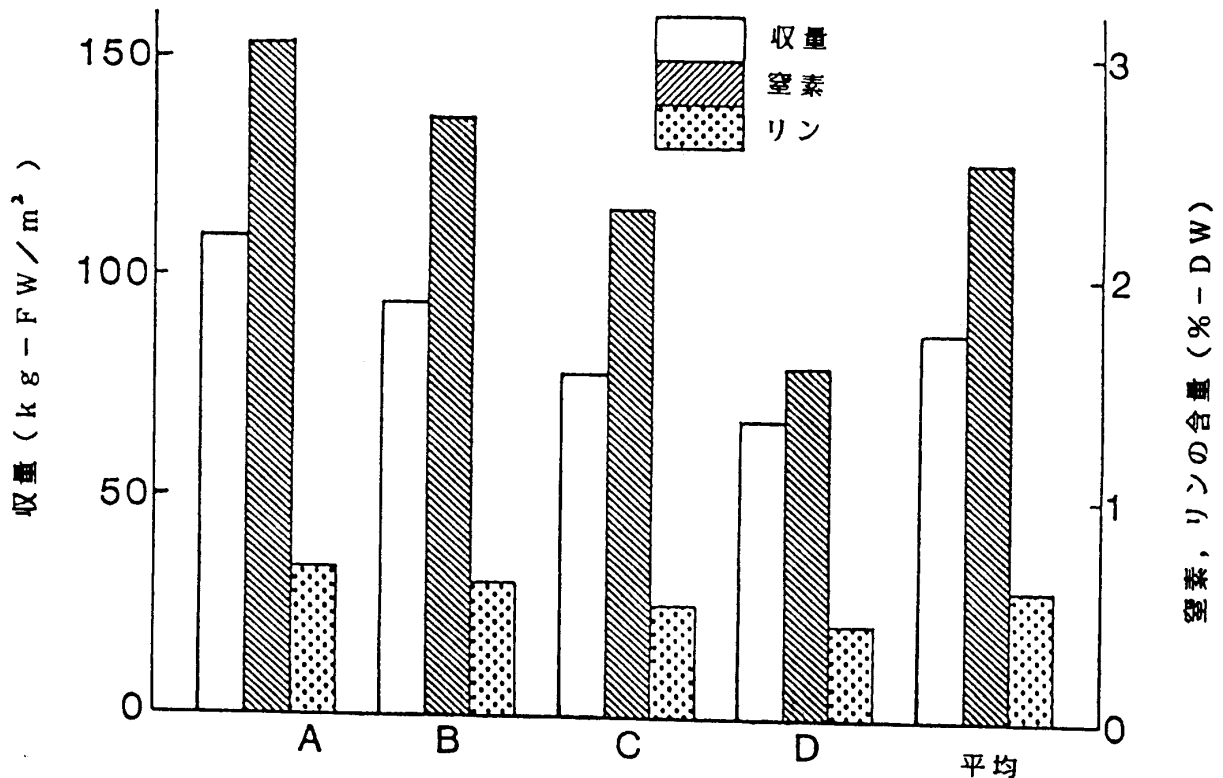


図7 植物栽培地におけるホテイアオイ中の窒素及びリン含量とホテイアオイの収量

アオイの年収穫量は T-N 及び T-P 含有率と同様な傾向を示し、その結果を図7に示す。

ホテイアオイの乾物中の窒素及びリンの量は A 区から D 区へいくに従って微少な減少がみられた。そこで、ホテイアオイの収穫量及び乾物中の窒素、リン含有率からホテイアオイによる T-N 及び T-P 除去量を算出した。

A 区でのホテイアオイの収穫量は 110 kg. FW/m^2 であるのに対して D 区では 67 kg. FW/m^2 であった。ホテイアオイによる窒素の除去量は A 区 156 g/m^2 、D 区で 52 g/m^2 であり、A 区が D 区に比べて約 3 倍高い。一方、リンの除去量は A 区が 34 g/m^2 、D 区が 14.5 g/m^2 で約 2.3 倍 A 区が高い。また、ホテイアオイの栽培期間中に施設内に流入した T-N (Inorg.-N) と T-P ($\text{PO}_4\text{-P}$) 量から、ホテイアオイによるそれぞれの除去率を測定した結果、T-N : 70.4% (Inorg.-N : 79.5%), T-P : 64.0% ($\text{PO}_4\text{-P}$: 55.8%) であった。

4. 施設の水質浄化能

曝気装置を取り付けた調整池における窒素とリンの除去率を測定した結果、 $\text{NO}_3\text{-N}$; 28.8%, $\text{NH}_4\text{-N}$; 15.2%, Org.-N ; 29%, Org.-P ; 28.6%, $\text{PO}_4\text{-P}$; 9.8% とそれぞれ低い値であった。この原因としては、調整池において有機物の分解や $\text{NO}_3\text{-N}$ の $\text{NH}_4\text{-N}$ への還元が起ったものと思われる。一方、不溶性成分に附随する BOD, COD, TOC, SS の除去率は高い値を示した。

波板の充填材の表面に付着する生物膜と水中有機物との接触による有機物質の生物化学

的分解を主たる目的としている接触酸化槽での T-N, T-P に対する除去率は, それぞれ 13.8%, 1.9% であるのに対して Org.-N, Org.-P の除去率はそれぞれ 24.6%, 31.4% と高い値であった, また, SS の除去率は 23.0% であり, 調整池と合計すると流入原水に対して 74.7% であった. しかしながら, COD, BOD, TOC の除去率は, それぞれ 28.1%, 19.0%, 22.2% と必ずしも十分な除去率ではなかった. ホテイアオイ栽培池における原水中の塩素イオンや BOD, COD, TOC などの値はほとんど変動ないが, 窒素, リンなどの栄養塩類はホテイアオイの成長に伴い著しく減少した. 特に, ホテイアオイ栽培池への流入点である A 区においては窒素, リンの吸収率が最大となり, 以下 B, C, D 区の順に減少した. 窒素及びリンの最大濃度が T-N; 9.23 mg/l 及び T-P; 1.69 mg/l の時, A 区では T-N; 3.35 mg/l, T-P; 1.69 mg/l; B 区では 1.49, 0.90 mg/l; C 区では 0.58, 0.75 mg/l と吸収量が減少し, D 区ではほとんど吸収されていない. 従って, 窒素, リンが通常濃度時は A 区のみ, 高濃度時には A, B, C 区が働き, D 区は予備池と考えられる.

総 括

調整池, 接触酸化槽, ホテイアオイ栽培池を組み合わせた水質管理システムは農村環境における広域水質管理の重要な一環を成すものである. このシステムは比較的安価で, 維持管理が容易である. このシステムに必要なエネルギーは排水の施設流入時のポンプアップのみで, 大部分は自然流下過程により処理される. 大量に収穫されたホテイアオイは主に肥料として利用されているが, ホテイアオイ中には粗蛋白質やビタミン類の含有率が高い. また, アミノ酸の組成などは一般的な作物とほとんど変わらない.

今回, このシステムを利用する事により以下のような結論を得た.

- (1) BOD, COD, TOC, SS などは調整池及び接触酸化槽で高除去率を示した.
- (2) T-N, Inorg.-N 及び T-P, PO₄-P などはホテイアオイ栽培池で約 80% が除去された.
- (3) ホテイアオイの乾物中の T-N 及び T-P 含有率は排水中の窒素及びリン濃度に影響する.

参 考 文 献

- 1) 沖 陽子, 伊藤操子, 植木邦和: ホテイアオイの生育および繁殖に関する研究; 第二報, 水中の窒素形態の差異が生育ならびに繁殖におよぼす影響, 雑草研究, Vol. 23, 20-25 (1978).
- 2) 沖 陽子: 水生雑草ホテイアオイをめぐる諸問題, 農業技術, Vol. 35, 15-21 (1980).
- 3) 青山 勲, 沖 陽子, 西崎日佐夫, 中川恭二郎: 自然水域における水質変動とホテイアオイの生長特性, 農学研究, Vol. 59, 125-139 (1981).
- 4) 青山 勲: 水生植物を利用した水質改善, 用水と廃水, Vol. 24, 87-94 (1982).
- 5) 岡村明美: 生態系を利用した水質浄化に関する研究—接触酸化槽とホテイアオイ池を利用した水処理システム—, 岡山理科大学理学部応用化学科卒業論文集 (1982).
- 6) 角谷康司: 生態系を利用した水質浄化に関する研究—ホテイアオイを用いた水質浄化に関する研究—, 岡山理科大学理学部応用化学科卒業論文集 (1983).

Studies on the purification of polluted water using *E. Crassipes*

—Living and agricultural polluted water—

Takeshi ISHII*, Hiromi AIKOH** and Isao AOYAMA***

**Department of Environmental Chemistry*

***Department of General Education*

*Okayama University of Science, 1-1 Ridai-cho,
Okayama City, Japan*

****Water Quality Division*

*Institute for Agricultural and Biological Sciences
Okayama University
Kurashiki, Japan*

(Received September 27, 1984)

The system of water-control combined stabilization pond, catalytic oxidation pond and plant cultivation pond are comparatively lower prices and easily maintenance control. *E. Crassipes* used this study are mainly utilized as manure. The composition of *E. Crassipes* are contained to various protein and vitamine.

The present report deals with the water purification by *E. Crassipes* of living and agricultural polluted water. The results were;

- (1) The values of BOD, COD, TOC, and SS showed high eliminaton in stabilization and catalytic oxidation ponds.
- (2) The values of T-N, Inorg.-N, T-P, and PO₄-P showed high elimination in plant cultivation pond.
- (3) The contents of T-N and T-P in dried products of *E. Crassipes* influences upon the concentration of nitrogen and phosphorus in polluted water.