

(16) 酸化池におけるリンの挙動

京都大学工学部 正会員 宗宮 功
 " 正会員 河村正純
 " 正会員 ○ 藤井滋穂

1. はじめに

3 次処理として酸化池を利用した場合、栄養塩であるリンが高除去されるときと、ほとんど除去されないときとがあり、その理由は明確にはわかっていない。一般に酸化池は、単に富栄養化がもっとも顕著化した例として把握されており、そのことが逆にリンの挙動を不明確なものにしている原因の 1 つとも思われる。

本研究は、パイロットプラント実験および室内実験の結果より、酸化池内でのリンの主要な反応機構を定量的に把握し、富栄養湖で考えられている機構との相違を考察し、さらに、どの過程の反応が処理特性に大きく影響するのかを検討した。

2. 実験概要

実験は、京都大学衛生工学教室水質汚濁制御シミュレーション施設（大津）の野外水路を改良した池で行なった。図-1 に示すように、池内を 4 等分し、滞留時間による水質挙動の違いが把握できるようにした。流入水には、同施設内の活性汚泥法パイロットプラントの 2 次処理水を用い、池全体の滞留時間が 16 日となるように、その流量を $1.31 \text{ m}^3/\text{日}$ に調整した。ただし、7 月 26 日から 9 月 1 日までの間は、2 次処理プラントの故障により、流入がストップした。流入開始は 54 年 1 月 10 日、実験終了は同年 11 月 12 日であり、採水は図-1 の S-0~4 の採水地点で 4 日ごとに行なった。その間の一連の実験を表-1 にまとめて示す。なお、浮遊性成分と溶解性成分との区別は、 $0.45 \mu\text{m}$ のメンブレン・フィルターで行なった。

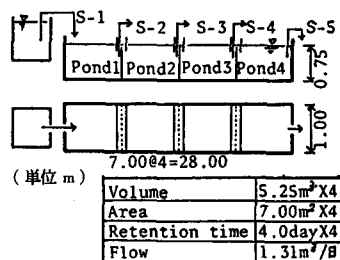


図-1 プラント概要

3. 水質変化の概要

表-2 に、主要な水質項目の全期間平均値を示す。藻類量を示す指標である chl. a は、流下方向に増大しており、藻類の酸化池内での繁茂の様子がうかがわれる。この藻類の繁茂により、池内の pH は 9 以上、平均 DO 濃度は、 10 mg/l 以上の過飽和状態となった。pH 9 以上の状態ではオルトリン酸性リン ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) と Ca^{2+} イオンとの化学反応が生じやすくなる。実際、酸化池内で Ca^{2+} 濃度は、微量ながら減少した。

藻類量の季節的な変化を示すため、1 池および 4

表-1 各種試験の方法と測定項目

池の chl. a の経時変化を、図-2 に図示する。chl. a 濃度は、2 月上旬から増加しはじめ、3 月に第 1 回めのピークを形成した。その後日々変動するが、6 月下旬までは大繁茂、それ以降は、数 $\mu\text{g/l}$ と

実験	期間	測定回数	方法	測定項目
水質分析	1979 1/10 11/12	75 回 4 日ごと	各サンプリングタップより採取	pH, DO, Ca^{2+} T-P*, COD_{Cr} * chl. a, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$
沈降成分分析	4/1 ~ 11/12	26 回	各池に広口ビンを設置し、一定期間後回収 その成分を分析	chl. a, COD_{Cr} T-P, In-P
底泥分析	11/12	1 回	実験終了時に底泥を採取 その全量および成分を分析	SS, chl. a, COD_{Cr} , T-P, In-P
明ビン・暗ビン・試験	6/16, 10/2	2 回	池水をフラスコに満し密封し、明暗両条件下で池内に静置。 24 時間後分析	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$
リンの化学凝集試験	4 月	1 回	流入水の pH を調整し (7~11) 室温で 24 時間静置後、分析。	pH, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ * Al, Ca^{2+} , Fe^{3+}

*ろ過サンプル、未ろ過サンプル両者を測定

表-2 主要水質項目の平均値

	流入水	1 池	2 池	3 池	4 池
pH	7.43	8.99	9.43	9.67	9.88
DO (mg/l)	4.4	11.7	14.3	15.5	16.6
chl. a ($\mu\text{g/l}$)	0	78	100	118	136
Ca^{2+} (mg/l)	28.1	26.2	25.7	25.4	25.1
T-P (mg/l)	0.751	0.554	0.482	0.462	0.430
S-P (mg/l)	0.538	0.377	0.292	0.253	0.223
$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (mg/l)	0.461	0.301	0.219	0.186	0.154
P-P (mg/l)	0.203	0.185	0.198	0.208	0.213

比較的低レベルとなった。

一方、Pでは全リン(T-P)、溶解性リン(S-P)そして溶解性オルトリン酸リン($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)とも、流下方向に減少した。とりわけその減少の著しいのは、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ であり、流入水の0.461mg P/ℓから、4池の0.154 mg P/ℓと67%の減少がみられた。浮遊性リン(P-P)は、流入水および各池とも0.2mg P/ℓ前後であり、量的には大きな変化がみられないが、chl.a濃度の変化

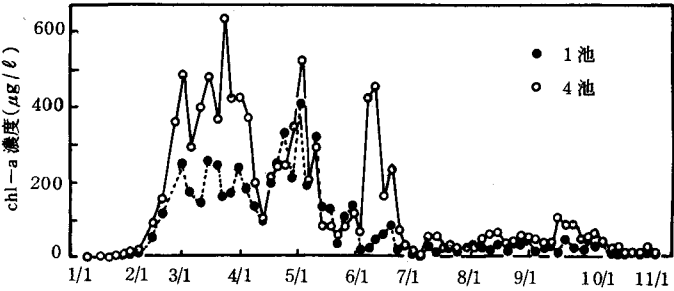


図-2 chl.aの経時変化

からみて、質的にはかなり大きな変化が生じていたと考えられる。組成比でみると、流入水では、T-P中61%が $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ であるが、第4池ではP-Pが約50%と、浮遊性部分の比率が増大する。なお、流入水のT-P濃度0.751mg P/ℓは、表面負荷率で35mg P/m²・日(=128kg P/ha・年)となり、琵琶湖南湖周辺の降雨負荷の約300倍である。

さて、酸化池の処理効果として水質の安定化は、重要な特徴である。この点を考察するため、図-3にT-P濃度の頻度分布を示した。T-Pの平均値では43%の除去率であったが、最大値では61%の減少がみられた。また、その分布形は流入水では明瞭ではないが、第4池の流出水では明らかに正規分布に近い形となり、酸化池処理により、T-P濃度が均質低減化(安定化)されたことがわかる。

以上要約すると、今回の実験ではT-P濃度で43%と、あまり高い除去率は得られなかったが、一定の安定化効果は得られた。

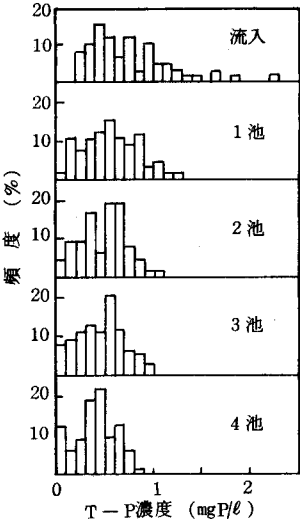


図-3 T-Pの頻度分布

4. リンの池内での挙動

4-1 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の固化

酸化池でのP除去は、表-2に示したように表面的には $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の減少という形で生じる。この $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の減少の要因を考察するため、明ビン・暗ビン試験を行ない、光条件すなわち藻類の光合成および呼吸の影響を調べた。表-3にその結果を示す。明条件下では暗条件下に比べ、明らかに $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度が低く、

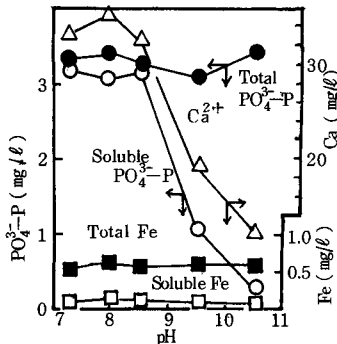


図-4 pHの変化と各金属濃度

藻類の光合成が $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ を減少させる方向に導くことがわかる。しかしDO濃度の増減(藻類の生産・呼吸)とは、明確には対応していない。これは $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の増減が、藻類の作用だけでなく、化学凝集等種々の反応に影響されるためと考えられる。

この $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の化学凝集について考察するため、流入水のpHを変化させたときの $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ および主要金属イオン(Ca^{2+} , Fe, Al)の濃度変化を調べた。結果を、図-4に示す。 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ は、pH9以上で減少し、それと対応して Ca^{2+} イオンも減少した。流入水のAlは0.15mg/ℓ、Feは全Feで0.5mg/ℓと低く、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ との化学凝集が、ほとんど無視できる濃度であった。このことよりpHが9以上となる酸化池では、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ と Ca^{2+} との反応が

表-3 明ビン・暗ビン法による $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の変化(単位mg/ℓ)

日時	池	初期値	明ビン	暗ビン
6/16	1池	0.513	0.353(6.3)	0.538(-1.9)
	2池	0.081	0.069(10.1)	0.484(-3.4)
	3池	0.041	0.054(8.6)	0.199(-2.8)
	4池	0.025	0.029(8.8)	0.049(-2.4)
10/2	1池	0.224	0.189(-1.7)	0.191(-3.0)
	2池	0.202	0.183(0.7)	0.202(-1.7)
	3池	0.189	0.174(1.2)	0.159(-1.5)
	4池	0.171	0.126(4.6)	0.158(-1.8)

()内はDOの増減量を示す(mg/ℓ)

主要な化学凝集反応であり、一般湖沼で見られる Fe^{3+} や Al^{3+} との化学凝集は、ほとんど生じないことが推察できる。なお、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度を種々変化させて (図-7) pH 9 以上での Ca^{2+} とのモル比 (P/Ca) を求め

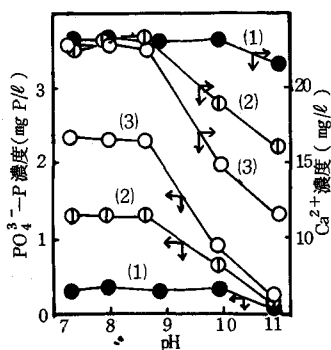


図-5 pHの変化と $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, Ca^{2+}

ると、0.44, 0.43, 0.48 とアパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) の値 0.6 より小さい。これは CaCO_3 の生成を始めとする種々の反応が、並行して生じるためと思われる。この pH 上昇に伴う $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の固化は、野外データからも検証できる。図-6 は各地の測定日間の pH の増減量 (ΔpH) と $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の増減量 ($\Delta\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) とをプロットした図である。図より、pH 9 以下の領域では、両者の間にほとんど相関がみられないが、pH 9 以上の領域では明らかな負の相関がみられる。すなわち pH 9 以上での pH の変動は、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度に大きく影響し、その上昇が $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の減少を導くことがわかる。ただし、この場合、単なる化学凝集だけでなく、藻類による摂取も $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の増減に影響を与えている。

4-2 浮遊物の組成と沈降

$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ は、有機態として (藻類の摂取)、あるいは無機態として (Ca^{2+} との化学凝集) 池内で固化される。この両者の割合を調べるため、図-7 に、1池および4池の浮遊性有機物 (P-COD_{cr}) と P-P との関係を示した。

本実験では流入水中の P-COD_{cr} 濃度は 4.6 mg/l と小さいため、池内の P-COD_{cr} は、ほぼ藻類量を示していると考えられる。図より、4池の方が1池よりも P-COD_{cr} に占める P-P の比率も、また両者の間のバラツキも小さいことがわかる。実際 $\text{P-P}/\text{P-COD}_{\text{cr}}$ 比は、1~4池でそれぞれ 0.0145, 0.0131, 0.0114, 0.0098 と後方の池ほど小さくなった。これは、池によって無機態、有機態の P の比率が異なり、後方の池ほど藻類細胞を中心とした有機態の P-P の割合が高くなるためと考えられる。

また、図で示されるように、前方の池でバラツキが大きいことは、流入水等の影響により、無機態の P-P の比率が高く、しかも、日々変動することを示す。

一方、沈降物中の P の含有率 ($\text{P}/\text{COD}_{\text{cr}}$) も、全測定期間平均で 1~4池それぞれ 0.014, 0.012, 0.008, 0.007 と、浮遊物同様、後方の池ほど小さくなる傾向が得られた。しかも、沈降物中の P の割合は、各地とも浮遊物での割合より下まわった。沈降物中にも当

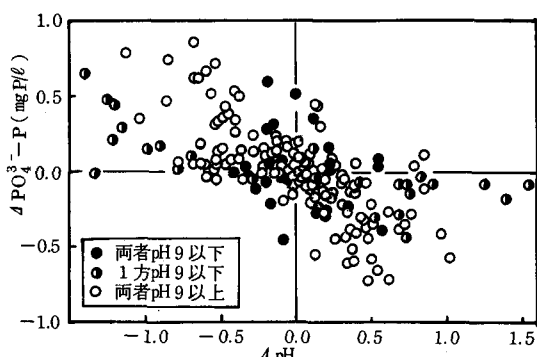


図-6 pHの変化と $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の変化

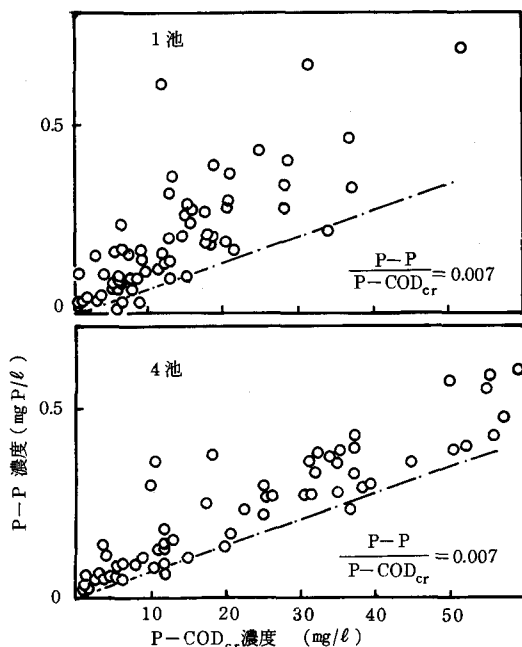


図-7 P-COD_{cr} と P-P

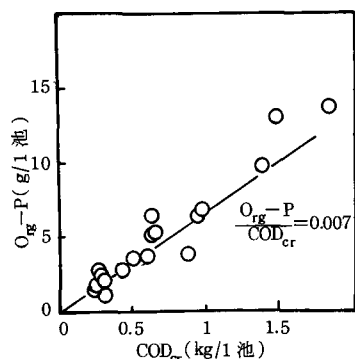


図-8 COD_{cr} と Org-P

然無機態リンと有機態リンとが混在するので、その比率の相違が原因の1つと考えられる。そこで、沈降物サンプルのいくつかについて、無機態リン(In-P)の濃度を測定し、有機態リン(Org-P≡T-P-In-P)の濃度を求めた。図-8は、このOrg-Pとをプロットした図である。図より、沈降物中のOrg-Pは、ほぼCOD_{cr}に比例し、その比率(Org-P/COD_{cr})は0.007となった。この値は、浮遊物でのP-COD_{cr}とP-Pとの関係(図-7)で、下限値に相当する値である。この数値を用いて、各池のP-Pに占める無機態部分の割合を求めると、1~4池で、それぞれ53, 47, 35, 26%と計算される。以上のことより、浮遊物・沈降物でのPの含有率の変化は、無機態の比率の変化によるものであり、有機物のPはどの池もほぼ一定の割合であることがわかった。

池内の浮遊物の何割が沈降するのかを調べるため、各池の水中の平均P-P存在量と、1日あたりの沈降量とを日ごとに求め、それを単位面積あたりの量に換算して、図-9に示した。図中両者はかなり分散しており、その沈降率(1日あたりの平均沈降量/平均P-P存在量)が10~60%/日と大きく変動することがわかる。しかし、多数のプロットは、20~35%/日の範囲内に存在し、平均的にはこの程度の沈降率度の沈降率であることが予想される。なお、池の水深は75cmであるので、この平均的沈降率20~35%/日は、約15~25cm/日の沈降速度に相当する。池による相違では、表-3に示すように、後方の池ほどその平均沈降率が高い傾向が得られた。この傾向は、chl. aやCOD_{cr}でも得られていることから、単に有機物の比率が増大するためだけではなく、浮遊性有機物自体後方の池ほど沈降しやすくなるためと推察される。

4-3 底泥の分解と溶出

前記の平均的な沈降率20~35%/日、平均P-P濃度0.2mg P/l および滞留時間16日の各数値を用いて沈降により除去されるP濃度を概算すると、0.64~1.12 mg P/l となり、平均流入P濃度0.751mg P/l とほぼ同レベルとなる。ところが、実際にはこのような顕著な除去は生じていない。このことは一度固形化し、沈降したPが再帰し新たな負荷源となったことを意味する。そこで、表-5に、沈降物総量と実験終了時の底泥全量とを単位面積あたりの数値で比較し、その回帰について考察した。ただし、1~3月までの沈降量は、表-4の平均沈降率と同時期の浮遊物濃度から推定し、沈降物中のOrg-PはCOD_{cr}の沈降量の0.007倍として算出した。なお、実験終了時の底泥は、含水率が92~94%と高く(2時間静置後の値)、一般の湖沼での浮泥に近いものであり、その色相は、緑灰色であった。表より、COD_{cr}、T-PおよびOrg-Pの溶出(分解)率は、1池の70%程度から4池の90%前後と後方の池ほど大きくなっており、滞留時間の長い池ほど底泥中での分解・溶出作用が活発であったことがわかる。PとCOD_{cr}と分解速度について比較すると、T-PではCOD_{cr}よりわずかに大きいだけだがOrg-Pでは明らかにCOD_{cr}より卓越しており、藻類の増殖により摂取されたPは、その分解の比較的早い時期に放出されることがわかる。一方In-Pでは、明確な滞留時間との関連が得られなかった。

さて、この底泥からの溶出がどのような因子に影響されるのかを調べることは重要である。その因子の1つが、底泥中での分解性の違いであることはわかった。一方、日々の溶出量に影響する因子については、たまたま流入の停止した8月のデータよりきわめて興味深い知見が得られた。同時期(7/26~9/1)、池内の藻類の活性が低下し、pHが徐々に低下した。

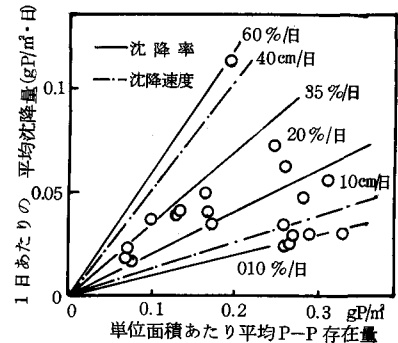


図-9 浮遊物質と沈降量

表-4 各項目の平均沈降率(%/日)

	1 池	2 池	3 池	4 池
T-P	19.6	18.6	20.1	27.1
COD _{cr}	21.1	21.4	26.8	37.7
chl. a	23.2	17.3	17.3	23.6

表-5 沈降量と底泥量

		1 池	2 池	3 池	4 池
COD _{cr}	沈降量	0.59	0.72	1.15	1.87
	底泥量	0.18	0.21	0.24	0.19
	溶出率%	70.2	70.3	79.2	90.1
T-P	沈降量	8.06	8.17	9.61	14.11
	底泥量	2.36	2.34	1.94	1.50
	溶出率%	70.7	71.3	79.8	89.4
Org-P	沈降量	4.16	5.04	8.07	13.07
	底泥量	1.43	1.43	1.24	0.89
	溶出率%	74.2	71.7	84.6	93.3
In-P	沈降量	3.90	3.12	1.54	1.04
	底泥量	1.29	0.91	0.70	0.63
	溶出率%	67.0	70.8	54.6	39.7

注 溶出(分解)率=(1-底泥量/沈降量)×100(%)

それとともに $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度は、図-10に示すように pH に依存して徐々に増加した。この $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ と pH との関係は、前述の図-4 とほぼ同一傾向をもつことから、同時期の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度は、 Ca^{2+} イオンとの化学平衡状態により決定されていたことがわかる。またこのとき、T-P 濃度も増加したことから、水中の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の増分は底泥より供給されたものであることは明らかである。これらのことより底泥からの日々の溶出量は Ca^{2+} イオンとの化学平衡により抑制されているが、pH が低下したとき化学平衡の変化に伴う $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の不足分を補うように回帰することが明らかとなった。一般の湖沼では嫌氣的となった場合に P が溶出しており、酸化池底泥がかなり湖沼とは異なった挙動をしていることがわかる。

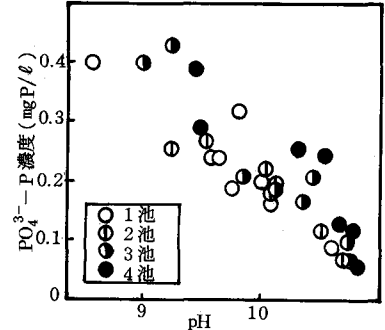


図-10 流入停止時の pH と $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$

以上まとめると、酸化池では藻類による摂取と Ca^{2+} イオンとに係る化学凝集により、流入水中の $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ は固化化する。固化化した P は沈降により底泥に移行するが、その 70~90% は水中に回帰する。この溶出量には、長期的には Org-P の分解が大きな比重を占めるが、日々の溶出量には上層水の pH が大きく影響する。

5. 物質収支

酸化池内での P 除去には、前節で示した種々の反応が複合して生じる。そこで各反応の大きさを表-6に示す式より求め、図-11の P の物質循環図を描き、各反応の量的関係を調べた。なおこの計算では、以下のような仮定を行なっている。

- ① 流入水中の浮遊物は、その P/COD_{cr} 比が 0.050 ときわめて高いので（池内では 0.010~0.015）、すべて無機態と考える。
 - ② 沈降物および浮遊物中の Org-P は、COD_{cr} の 0.007 倍とする。
 - ③ 水の収支では、流入と降雨のみ考慮し、蒸散を考えない。
- 図中、ヒザオリ (Mougeotia; 緑藻類) とは 9 月以降 1 池底層部で大繁殖した綿状の藻類である。また、S-P の藻類による摂取量は増殖により摂取された量と排出あるいは分解により放出

表-6 各フラックスの算出式

算 出 式	記 号
$I_1 = \frac{1}{A} \int_0^T C_T - P_0 \cdot Q_i dt$	I_1 : 運転日数 (306 日)
$I_2 = \frac{1}{A} \int_0^T C_S - P_0 \cdot Q_i dt$	Q_i : 流入流量 (7/26~9/1; 0 それ以外 1.31 m ³ /日)
$I_3 = I_1 - I_2$	Q_0 : 流出流量 (= Q_i + 雨量)
$O_1 = \frac{1}{A} \int_0^T C_T - P_4 \cdot Q_0 dt$	V : 各池の容量 (5.25 m ³)
$O_2 = \frac{1}{A} \int_0^T C_S - P_4 \cdot Q_0 dt$	A : 各池の表面積 (7 m ²)
$Q_3 = \frac{1}{A} \int_0^T d \cdot C_{COD4} dt$	W : 各池の壁面積 (16 m ²)
$Q_4 = O_1 - O_2 - O_3$	C : 水質濃度 (mg/l)
$S_{t1} = \sum_{j=1}^4 \frac{V}{A} (C_S - P_{Hj} - C_S - P_{ji})$	サフィクス: T-P; S-P, COD; 水質項目 0; 流入 1~4; 1~4 池 i : 初期値
$S_{t2} = \sum_{j=1}^4 \frac{V}{A} \alpha (C_{CODj} - C_{CODji})$	f : 実験終了時
$S_{t3} = \sum_{j=1}^4 \frac{V}{A} (C_T - P_{jf} - C_T - P_{ji}) - S_{t1} - S_{t2}$	S : 単位面積あたり日沈降量 (g/m ² ・日)
$S_{t4} = \sum_{j=1}^4 \frac{W}{A} B_j - W_{chl,j}$	サフィクス, 同上
$S_{t5} = r \cdot M_0 / A$	$W_{chl,j}$: j 池単位壁面積あたりの chl. a 量 (g/m ²)
$S_{t6} = \sum_{j=1}^4 \delta T - P_j \cdot S_{tj} / A$	S_{tj} : j 池の底泥乾重量 (g)
$S_{t7} = \sum_{j=1}^4 (\delta T - P_j - \delta T - P_j) S_{tj} / A$	M_0 : 池内ヒザオリ総乾重量 (g)
$S_{d1} = \sum_{j=1}^4 (f_0^T \alpha - S_{CODj}) dt$	α : 藻類の T-P/COD 比 (0.007)
$S_{d2} = \sum_{j=1}^4 (\int_0^T S_T - P_j dt) - S_{d1}$	B_j : 壁面中の T-P/chl. a 比 (j 池) 各池水中の平均 P-F/P-COD 比で代用。
$f_1 = S_{t1}$	r : ヒザオリ乾量中の T-P 含量 (0.0055)
$f_2 = S_{t5}$	δ_j : j 池底泥中の成分含量
$f_3 = Q_4 + S_{d1} + S_{t2}$	
$f_4 = O_3 + S_{d2} + S_{t5} - I_3$	
$f_5 = 0, -1, -\sum_{k=1}^7 S_{tk}$	
$f_6 = S_{d1} - S_{t7}$	
$Re = S_{d1} + S_{d2} - S_{t6} - S_{t7}$	

(注) — を施したものは実測値)

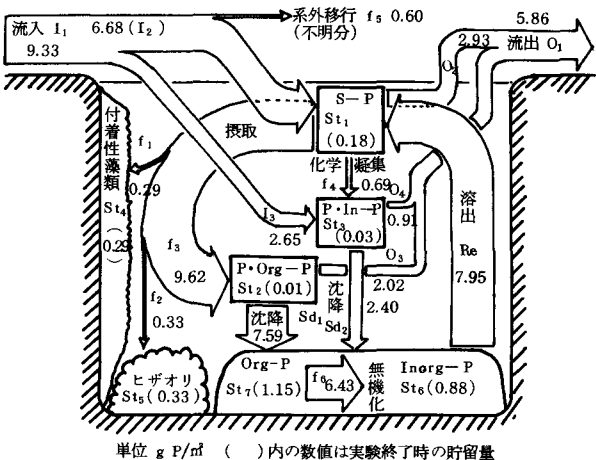


図-11 リンの池内循環図

された量との差であり、最終的な藻類の固定量を意味する。図より、酸化池内での P の循環に大きく影響する反応が藻類による固化、沈降、分解そして溶出であることがわかる。これら反応を、1 日あたりの量 (反応速度) で示すと、藻類の固化 ($f_1 + f_2 + f_3$)、沈降 ($S_{d1} + S_{d2}$)、分解 (f_6) および溶出 (Re) はそれぞれ 33.5, 32.6, 21.0, 26.0 mg P/m²・日

となる。このうち池内各部の藻類（植物プランクトン、附着性藻類およびヒザオリ）により固化されるPの総量は流入負荷量よりも大きく、この程度（ 0.751mg P/l ）ならば藻類によりすべて固化化しうることがわかる。しかし、底泥からの溶出がきわめて大きい（流入負荷量の0.85倍）ため、実際の除去には有効となっていない。従来、酸化池処理において栄養塩類の除去効果を上げるためには、ろ過酸化池（流出を地下浸透させる）などのプロセスのように浮遊物を除去することがもっとも効果的と考えられてきた。しかし、今回の実験で判断する限り、溶出量を制御する方が浮遊物を除去するよりも3倍も効果的となることがわかった。一方、化学凝集による無機的な固化は、前述の藻類による固化化に比べると 0.69gP/m^2 ときわめて小さく、Pの池内での挙動に対してあまり重要とならないようにみえる。しかし、底泥からの溶出を制御する因子が Ca^{2+} と $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ との化学凝集であることを考えると、その意義は大きいと考えられる。酸化池処理での除去量と考えられるのは、壁面、底泥およびヒザオリ中のPである。この除去量を池ごとに求め、図-12に示した。図より滞留時間の短い池ほど除去量が大きいことがわかる。たとえば、1池は4池の2.4倍の除去量であり、池全体の37%を占める。この理由としては、①流入水中のP-Pの沈殿、②分解溶出作用が短滞留時の方が

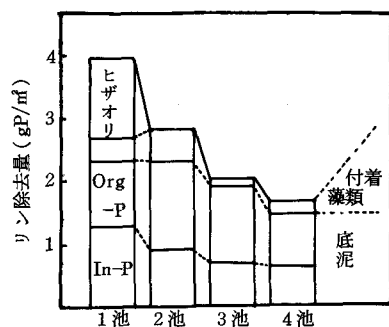


図-12 各池の除去量

小さいの2点が考えられる。以上のことより酸化池処理にとって重要な課題が底泥からの溶出であることが明らかとなった。この溶出が経時的なりこの処理特性にどのように影響するのかを検討するために、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ の除去（減少）量および除去率の経時変化を求め、図-13に示した。図より今回の実験で有効な $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 除去があったのは3、4月および6、7月であり、他の月ではほとんど除去されなかったことがわかる。その結果、最高の除去率は運転開始後3～4カ月経た4月付近で得られている。流入初期の1、2月で除去量・除去率が低いのは、藻類が十分生育していなかったためと考えられる。一方、5月および8月以降に除去率が低くなった原因には、底泥からの溶出が著しくなってきたことも考えられる。すなわち、藻類が一定繁茂した後、急減した場合、底泥からの溶出がPの処理効果をきわめて低下させると考えられる。

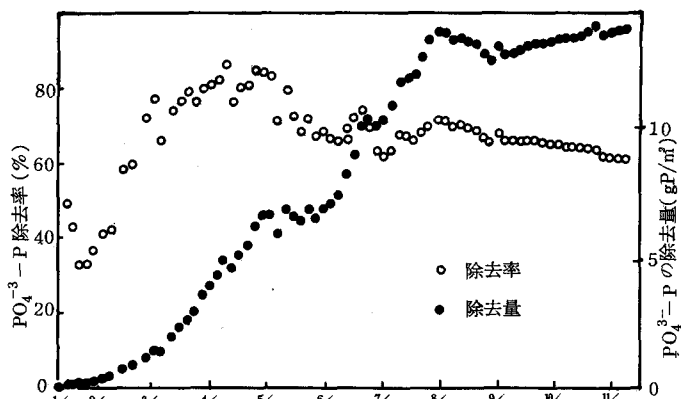


図-13 累積の除去率と除去量

6. おわりに
以上、酸化池内でのPの主要反応に注目し、その物質収支を明らかにした。以下その結果を要約する。

- ① 2次処理水中のPは、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ が主体だが、池内を経ることによりP-Pへと変換されてゆく。16日間の滞留による効果としてはT-P濃度で43%の除去率が得られるとともに、安定化効果が期待しうる。
- ② このP-Pへの変換は、 Ca^{2+} イオンとの化学凝集と藻類による摂取とにより生じる。P-Pは、20～35%/日（15～25cm/日）程度の速度で沈降するが、底泥形成過程での分解作用で約70～90%が溶出回帰する。
- ③ 池内のpHはPと Ca^{2+} との凝集反応だけでなく、底泥からの溶出にも大きく影響する。この点 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ が Fe^{3+} を中心とするイオンと化学凝集する一般の湖沼とは、大きくその機構が異なる。
- ④ 酸化池処理においてPの除去効果をもっとも低下させているのは、底泥からの溶出である。日々の溶出量には、pHの低下が大きく影響するが、長期的には、底泥中の有機物分解が大きな要因となっている。この分解は、後方の池ほど著しいので、Pの除去効果は前方の池ほど大きく、1池で全体の37%を占める。

最後に、本研究の遂行にあたり、久保裕志（現愛知県）および武田薫（現京都大学大学院生）の両氏に多大なる尽力を頂いたことを付記し、その感謝の意を表する。