

京都市下水道局 正会員 ○鈴木秀男
京都大学工学部 シ 岩井重久
シ シ 寺島 泰
シ シ 北尾高嶺

1. はじめに

本研究では、栄養塩類、その中でも富栄養化において重要な役割を果たし、底質からの二次汚染の寄与率も高いリンを対象とし、底質と上層水間での溶存物質の挙動の解明・定量化をこころみた。

2. リン・窒素の底質からの溶出現象について

実験方法はほぼ既報²⁾と同じであるが、底泥の性状の変化による影響を見るために琵琶湖底泥に活性汚泥・グルコース等を混合させたものについても同様の実験を行った。

実験結果と考察

i) 上層水が好気状態から嫌気状態へ移行したとき、各水質項目の中で濃度上昇がおこる順序は、 $COD, Mn \rightarrow Ca, T-P \rightarrow PO_4-P, N(NH_4-N, 硝化後-N), Fe$ であった。そして、 N, Mn については濃度上昇開始後、一度濃度が低下し再び上昇するという現象がみられた。

ii) 好気状態に保つ継続時間を変え、好気層の厚さを変化させた場合、 PO_4-P の溶出曲線の立ち上がり部分(溶出開始時)には影響を及ぼすが、最終到達濃度には影響を及ぼさなかった。〔図-1〕

iii) 底質中にグルコース等の有機物を混入させると Ca を除くすべての水質項目の濃度上昇がみられ、特に Fe, Mn の溶出が著しく促進せられた。〔表-1に最終分析結果を示す。〕

iv) 従来多くの報告がリンと $Fe(Ca)$ との溶出現象の正の相関関係の強さを述べている。本研究においても、溶出開始後30日間ではこの点が認められた。しかしながら、底泥と水とを嫌気状態で攪拌混合させた実験では Fe 濃度があまり高くないのに PO_4-P 濃度の上昇がおこった。また、静置させて行った実験においても、30日後以降嫌気状態から好気状態に移行させた時には、上層水中の Fe 濃度が減少しているのに PO_4-P が残存しているという結果が得られた。〔図-2〕 Ca についても同様であった。これらの実験結果は、必ずしもリンと Fe, Ca との結合、遊離だけではリンの溶出現象を説明できないことを示しているものと考えられる。

v) N の溶出については、底泥中間隙水と上層水との濃度差による拡散で溶出されるので上層水の水質にそれ程影響されないとした報告³⁾があるが、本実験では上層水が嫌気性になると N の溶出量・速度は明らかに増大した。また、溶出する N の形態は、嫌気性の時は NH_4-N が主体であった。そして、好気性の時は NO_3-N の占める割合が増大したが、これが NO_3-N として溶出してきたものが上層水中で NH_4-N が硝化されたものかは明らかでない^{3), 4)}。

3. 底質と上層水間の溶存物質の移行機構について

従来、底質などの多孔性媒質内での吸着を伴う拡散現象につ

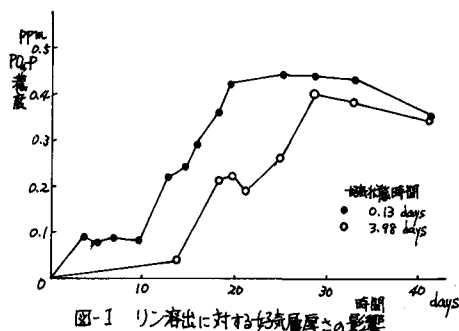


図-1 リン溶出に対する好気層厚さの影響

表-1 有機物添加による影響

添加物	PO_4-P	$T-P$	Fe	Mn	NH_4-N	Ca
無添加	0.61	0.68	3.72	2.59	3.47	10.80
グルコース 48%	1.14	1.25	170.0	48.98	2.95	5.97
〃 10.9%	0.85	1.36	200.7	64.45	5.98	5.06
サカロース 4.9%	1.06	1.19	168.9	47.64	3.31	6.20
〃 12.2%	1.10	1.20	358.2	68.12	12.31	5.08
デンプン 10.7%	1.11	1.24	227.1	51.05	3.82	5.10

単位: ppm 測定日: 昭和56年10月14日 地点: 琵琶湖

いては既報のように式(1)において $q=KdC$ の関係が成立するとし、上層水の濃度変化を解析解(2)で表わしている。しかしながら

$$dC/dt + \frac{f}{1-f} \rho d q/dt = D_e \partial^2 C/\partial z^2 \quad (1)$$

$$C_u(t) - C_0 / C_{u0} - C_0 = e^{-T} [1 - \text{erf} \sqrt{T}] \quad T = f D_e^2 / D_b h^2 \quad (2)$$

ら、既報にも示したように q と C の間には多くの場合フロインドリッヒ型の等温吸着式 $q=KC^{1/n}$ がよく適合する。そこで、実際現象により近似させるため、本研究では式(1)に $q=KC^{1/n}$ を代入し数値解析を行った。さらに、リンの溶出現象に適用するため底質内部でのリン遊離の反応を分配係数の変化式で仮定して数値解析をこころみた。

既報のように上層水の初期濃度を変えて底質内への移行過程を見ると各々の結果は式(2)によく適合するが、本来同じ値をとるべき Kd の値が初期濃度によって大きく違っており式(2)の問題点を示している。しかし、 $q=KC^{1/n}$ として K, n をパラメーターとして変動させて数値解析を行うと図-3に示すように、1つの K, n の値で各実験結果に適合させることができた。また、移流項を含む場合の数値実験の結果を図-4に示す。これによると n の値によって来出曲線の形状が異なり、通常よく見られる tailing 現象を $q=KC^{1/n}$ とすることにより説明できると考えられる。

次に、上層水が好気状態から嫌気状態に変化したときのリンの溶出現象への式(1)の適用にあたっては次の仮定にもとづきモデル化し数値解析を行った。
①上層水が好気状態のときには、底質は好気層、嫌気層の2層に分かれておりそれぞれの層についてのリンに関する分配係数は一定である。
②上層水が嫌気状態になると好気層が徐々に嫌気層に変化していく。それにともなって分配係数 Kd が小さくなっていく。
③好気層から嫌気層へ変化するときの Kd の変化式を式(3)と仮定する。

$$Kd = \{-a(2 - e^{-bx}) + e\} / C^{(1-n)} \quad (3)$$

以上の仮定にもとづき try and error によって数値解析し、実験結果と一致させた結果は図-5のようになった。しかし、式(3)で示した Kd の変化式はあくまで推定によるものである。今後これを実験的にも理論的にもより根拠のある形にしていける必要がある。また、酸化層の形成・消滅過程についても底質内での酸素の移動と消費を組み合わせた式から求め、リンの溶出モデルと結合させることが必要であろう。

q : 泥中濃度 C : 水中濃度 D_e : 底質内の有効拡散係数 D_b : 見かけの拡散係数 ($= D_e / (1 + \frac{f}{1-f} \rho K)$) Kd : 分配係数
 f : 空隙率 ρ : 底泥の密度 h : 上層水の水深 C_0 : 初期間隙水中濃度 C_{u0} : 初期上層水中濃度

参考文献 1) 丸尾、鈴木、他 「湖沼底泥からのリンの溶出について」 第31回年報 2) 渡原、八木、鈴木 「底泥の Cd 吸着能に関する研究」 第30回年報
 3) 長谷川 「河川および湖沼の底泥からの栄養塩類の溶出」 土木研究所資料1165号 4) 渡田ら 「底泥よりの N, P 溶出量推定における種々の問題点について」 昭和64年

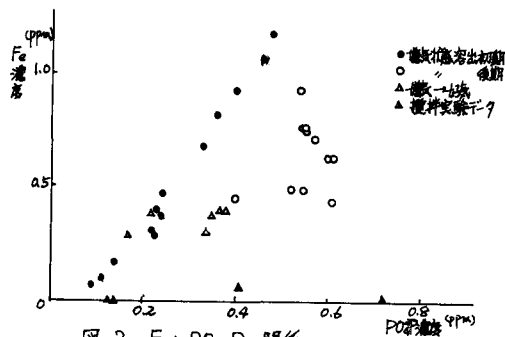


図-2 FeとPO₄-Pの関係

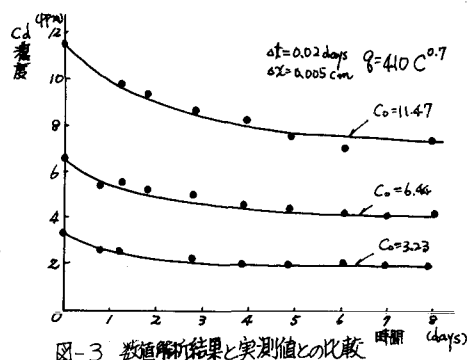


図-3 数値解析結果と実験値との比較

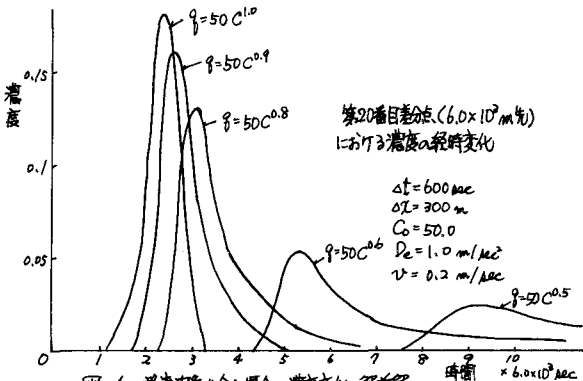


図-4 移流現象を含む場合の濃度変化の解析解

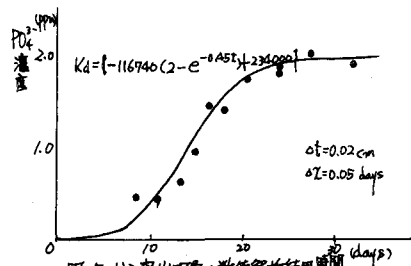


図-5 リン溶出現象の数値解析結果と実験値との比較