

VII-257 底泥からのリンの溶出に及ぼす流動・溶存酸素(DO)および硝酸濃度の影響

九州大学大学院 学生会員○井上徹教 足立義彦 正会員 中村由行 フェロー 小松利光

1. はじめに 水・底泥界面における物質交換速度は直上の流れによって影響を受け、流速が増加すると共にフラックスが増加することが言われている。これは、比較的遅い流速条件下において界面直上に濃度境界層が形成され、そこでの拡散輸送が律速段階となって全体のフラックスを規定するためである。他方で、リンの溶出量は様々な要因に依存するが、特にDO濃度の影響が顕著であり、底泥直上水が貧酸素化し底泥中の酸化還元電位が低下するとフラックスが急増することが知られている。これは、嫌気条件下では底泥中の水酸化鉄が二価の鉄イオンに還元され、その結果水酸化鉄に吸着していたリン酸態のリンが脱着するためであると考えられている。このことからリンの溶出量は流速およびDO濃度に依存することが考えられる。また、富栄養化した水域において、夏期には盛んにリンの溶出が見られるが、秋期以降たとえ貧酸素化してもリンの溶出が抑制されることが知られている。これはリンの溶出が硝酸により抑制されているためである。本研究では、底泥からのリン溶出の流速依存性およびDO濃度依存性、硝酸によるリンの溶出抑制効果について室内実験により検証した。

2. 連続培養系実験

2-1. 実験装置 実験装置の概略を図1に示す。この実験装置はコア上部に設置したプロペラによる攪拌により直上水の流動を制御でき、また、装置下流部に配置された定量ポンプによる負圧により一定濃度の溶存物質の水をコア内に供給し、コア内の水がDO計(東亜電波、DO-25A, 等)、または、栄養塩濃度測定のためのサンプリングに送られる連続培養系となっている。この実験装置を用いてと定常状態が達成できるため、各因子の影響度を個々に抽出できる利点がある。コア入口および出口で水をサンプリングすることによりその濃度差から溶存物質のフラックスを次式により算定できる。

$$V \frac{dC_{out}}{dt} = Q \cdot C_{in} - Q \cdot C_{out} + Flux \cdot A \quad (1)$$

ここで、Vはコア内の直上水体積、 C_{in} ・ C_{out} はそれぞれ供給水・流出水の栄養塩濃度、Qは供給水流量、Aはコア断面積、Fluxはフラックスを表す。

DO濃度の制御は窒素および空気による曝気により行った。実験中にサンプリングした供給水および流出水の分析は後日自動分析器(ブラン・ルーベ製、TRAACS800)を用いて行った。

2-2. 実験条件 実験条件を表1に示す。また、実験は恒温水槽の水温をRUN1~3は約30℃、RUN4は約25℃に設定し、暗条件で実施した。

2-3. 実験結果および考察

(1) リンの溶出フラックスの流速依存性 流速依存性に関する実験は三回

行い(RUN1~3)、回転数はそれぞれ表1のように設定した。実験より得られた結果を用いて式(1)によりリンの溶出フラックスを求めた。図2にリンの溶出フラックスと回転数の関係を示す。この図を見ると、高回転数側ではフラックスはほとんど差異が見られず、回転数に依存しない。他方、低回転数側ではRUN2の実験ではフラックスと回転数に

表1 実験条件

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
採泥地点	宍道湖	宍道湖	井牟田池	博多湾
供給水	海水 5 倍希釈	イオン交換水 塩分9g/l, pH8	イオン交換水	水道水
平均流量(ml/min.)	1.99	1.72	1.67	1.78
回転数(r.p.m.)	10, 38, 53	24, 35, 50	65, 96, 142	57, 82, 120

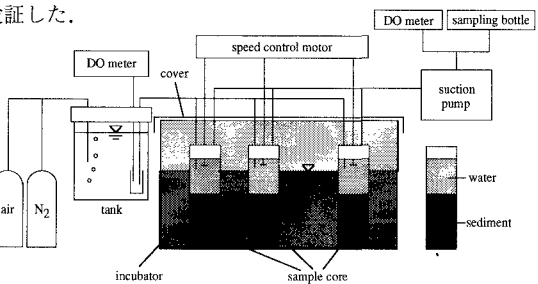


図1 実験装置概略図

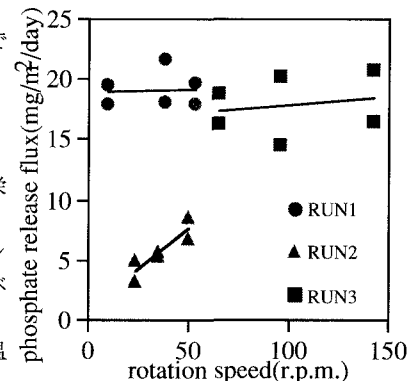


図2 リンの溶出フラックスと回転数(流速)との関係

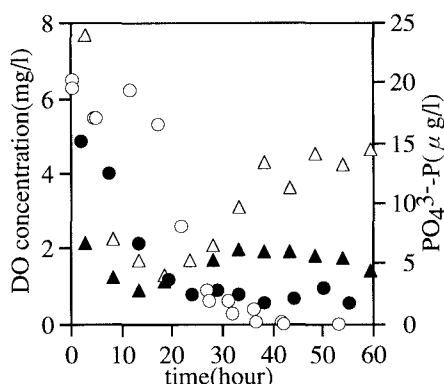


図3 DO濃度およびリン濃度の経時変化(RUN1)
○●はDO濃度を、△▲はリン濃度を示す。また、
白はCORE1を、黒はCORE2を示す。

正の相関が見られる。これは、低流速時には底泥表面に濃度境界層が形成され、流速が増加すると境界層の厚さは薄くなり濃度勾配が次第に急になるため、濃度勾配と分子拡散係数の積で表されるフラックスが増加したためであり、ある程度の流速以上になると底泥中のリンの吸・脱着反応が律速になるためであると考えられる。しかし、RUN1では低流速時の実験にもかかわらずほとんどフラックスに差が見られない。この原因としてはRUN1の実験では先に貧酸素条件下(供給水のDO濃度約3mg/l)での実験を行っておりそのことが影響を与えていること、等が考えられる。

(2) リンの溶出フラックスのDO濃度依存性 図3にRUN1における流出水のDO濃度とリン酸態リン濃度の経時変化を示す。この図を見ると初期のリン濃度が違うにもかかわらず約20時間後にはほぼ同濃度となった。しかし、約30時間後以降CORE1のリン濃度は増加したのに対し、CORE2では約5μg/lで安定していた。これは、CORE2のDO濃度は0.5~1mg/lで安定していたのに対し、CORE1ではさらに貧酸素化が進行したためであると考えられる。図4にリンの溶出フラックスとDO濃度との関係を示す。

この図を見ると、DO濃度が約0.5mg/l以上ではフラックスは約2mg/m²/dayで比較的安定しているものの、それ以下では急激にフラックスが増加していることが分かる。これは直上水のDO濃度が減少し貧酸素化すると底泥中が還元状態となり、その結果土粒子中の水酸化鉄が還元されこれに吸着していたリンが底泥間隙水中に溶出してきたためであると考えられる。

(3) 硝酸によるリン溶出抑制 RUN4の実験では無酸素条件下における硝酸とリンとの関係を調べた。図5に供給水および流出水のリン酸態リンおよび硝酸態窒素の経時変化を示す。この図を見ると、硝酸濃度が高いコアでは総じてリンの溶出が抑制されているものの、硝酸濃度が比較的早く減少したコアではリンの溶出量が增大していることが分かる。これは、酸素の代わりに硝酸が酸化剤として働いた結果、底泥中の酸化還元電位が下がらず、そのため水酸化鉄が安定的に存在しているためであると考えられる。また、回転数の差異よりも酸化還元状況の方がリンの溶出に関してより強く影響を与えることが分かる。

3. おわりに 連続培養系実験装置を用いて、底泥からのリンの溶出フラックスの流速およびDO濃度依存性、高濃度の硝酸が存在することによるリン溶出抑制効果に関して実験により検証を行った。その結果、流速依存性に関して、無酸素条件下では低流速時にはリンの溶出フラックスは回転数(流速)に対して単調に増加するものの、ある程度の流速以上になるとほとんど違いを示さなくなることが分かった。また、DO濃度依存性に関して、DO濃度が減少するとフラックスが急激に増加することが分かった。さらに、硝酸が高濃度で存在する場合、リンの溶出が抑制されることが分かった。

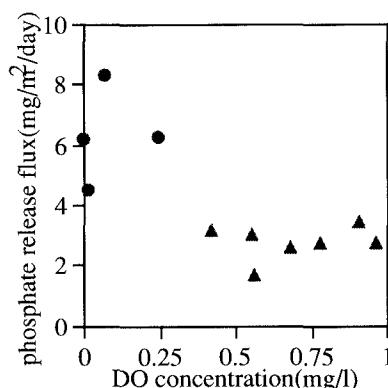


図4 リンの溶出フラックスと溶存酸素濃度との関係(RUN1)
●はCORE1を、▲はCORE2を示す。

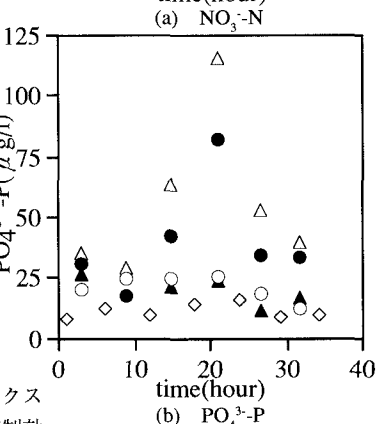
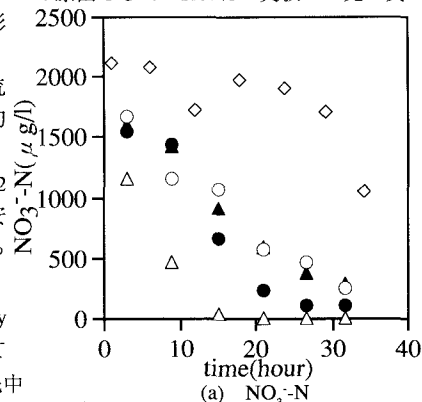


図5 硝酸態窒素およびリン酸態リンの経時変化(RUN4) ○●は57r.p.m.の、△▲は82r.p.m.の流出水の栄養塩濃度を、◇は供給水の栄養塩濃度を示す。