

B-41 水・堆積物界面における物質フラックスを評価するための3つの実験系の比較

九州大学工学部 中村由行、井上徹教、柳町武志、Fatos Kerciku

工技院地質調査所 山室真澄 島根県衛生公害研究所 神谷宏、石飛裕

1. 目的

水・堆積物界面における物質移動速度を評価することは、湖沼や沿岸海域における物質循環の把握、及び環境アセスメントの一環として重要である。これに関して様々な実験が行われてきたが、近年水・堆積物界面における物質移動速度には、直上水の流れや底面粗度等の水理条件が大きく影響することが指摘され始めている。しかし、水理条件が界面における物質移動速度に及ぼす影響を、定量的に評価するための実験を行った例はあまり見られない。そこで本研究では、上記の点を踏まえ、水・堆積物界面での物質移動速度を評価するための3種類の実験を行った。こうして得られた知見をもとに、水・堆積物界面での物質移動速度を評価する際の、それぞれの目的に応じた最適な実験方法を提案する。

2. 実験内容

2.1 連続培養系での実験 従来行われてきた実験系の多くはbatch実験によるものであり、溶存物質濃度等の実験条件が刻々と変化するために、物質移動速度に及ぼす各因子の影響を把握しづらいという欠点があった。本実験装置では図-1に示すように、ポンプによって供給水がサンプルコア、DOメーター(TOA製DO meter DO-25A)に送られる連続培養型となっており、定常状態を作り出すことができる。さらに本実験では未攪乱堆積物コアを用いるため、現場の状況

を再現する実験が可能である。また供給水流量を変化させることで、直上水の堆積物接触時間が変わり、最終的に定常状態となった時の直上水のDO濃度条件を変える実験も行うことができる。

サンプルコアはアクリルパイプ(内径8.5cm)を直接堆積物に差し込むことにより乱さないように採取し、暗条件で用いる。恒温水槽内は採泥時の現場水温にあわせ、現場の状況を再現できる。サンプルコア内の水の攪拌は水・堆積物界面より約10~15cm上方に設置したプラスチック製のプロペラによって行い、プロペラの回転速度を変化させることで直上水の流れの様子を容易に変化させることができる。別途行ったコア内の流速測定の結果から、プロペラの回転速度と直上水の流速との関係がわかっている。供給水は採泥現場付近の底層水を濾紙(Whatman GF/C)で濾過したものを、窒素・酸素混合ガスで曝気することによりDO濃度を調製し

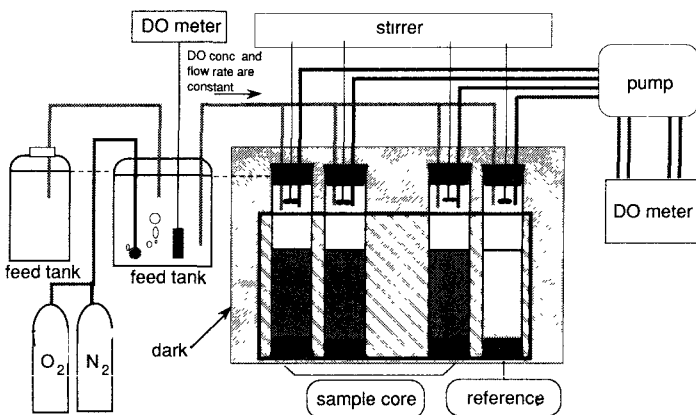


図-1 連続培養系での実験装置概略図

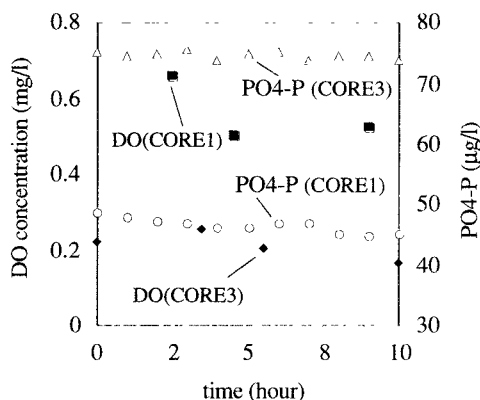


図-2 連続培養系におけるDO濃度の時系列変化

たものを用いる。またリファレンスコアとして堆積物の代りにガラスビーズを用いたものをサンプルコアと併せて設置し、フラックスの計算に用いた。

実験結果の一例として、DO濃度とリン濃度の経時変化を図-2に示す。ここでCORE1の滞留時間は約3時間、CORE3の滞留時間は約4時間であった。そのため直上水のDO濃度はCORE1で約0.6mg/l、CORE3で約0.2mg/lではほぼ定常状態となっている。また、その影響を受けてCORE3の方が $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が高くなっている。こうして得られた実験結果より次式を用いてフラックスの計算を行った。

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

ここで、Vはコア内直上水体積、Qは流量、 $C_{\text{in}} \cdot C_{\text{out}}$ はそれぞれ流入水・流出水の溶存物質濃度、Aは堆積物表面積を表す。

2.2 矩形循環水路を用いた実験

実験はDOの収支をとりやすくするため、図-3に示すような密閉型の矩形循環式管水路を用いた。本実験では管水路を用いているために流速分布は対数則分布となっており、水理条件が水・堆積物界面における物質移動速度に及ぼす一般的な影響を捉えることができる。水路中央部には堆積物を敷き詰めるための深さ10cm、長さ1mの窪みを設けている。水路下流部にはDOメー

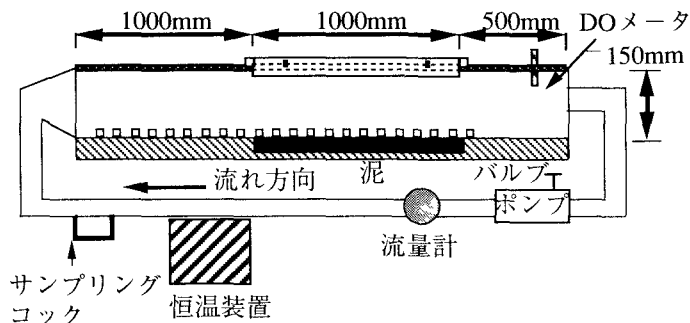


図-3 矩形循環式水路概略図

ターが取り付けられており、水路内のDO濃度の時間変化をモニターできるようになっている。さらに、循環用ポンプ・バルブ・流量計・サンプリングコック・恒温装置を設置することにより流量・水温の正確なコントロールと実験中のサンプリングを行うことが可能になっている。

実験は堆積物を敷き詰めた後、静かに水道水を注入した後ポンプを作動させ、水路内の水温が目的の温度に達した後、数時間経過してから実験を開始する。測定項目はDO濃度に加えて、適当な時間間隔で採水を行い、水中での酸素消費速度 r や栄養塩濃度等を測定する。実験中は光合成による酸素の供給をなくすために暗条件で行う。また、用いる堆積物及び流速条件によっては界面が水理学的に滑面である。そのため、底面粗度の効果を積極的に変える目的で、3mm角及び5mm角の亚克力製の棧粗度を一定間隔で水路床部に配置する。こうして得られた実験結果をもとに、以下の式により界面でのフラックスを求めた。

$$V \frac{dC}{dt} = \text{Flux} \cdot A \quad \dots (2)$$

ここで、Vはコア内直上水体積、Cは溶存物質濃度、Aは堆積物表面積を表す。

実験結果の例を図-4に示す。図-4は流速条件を一致させ粗度を変化させた場合の結果である。これを見ると滑面より粗さが増加するに従ってSODは増加するが、ある粗さで極大値をとった後、減少することがわかる。また、直上水のDO濃度の減少に伴いSODも減少している様子が見てとれる。別途行った実験から、堆積物単位体積あたりの酸素消費速度RのDO濃度への依存性は確認されなかった。そのため、SODのDO濃度への依存性は、濃度境界層内の拡散輸送が全体の反応速度を律速していることによる

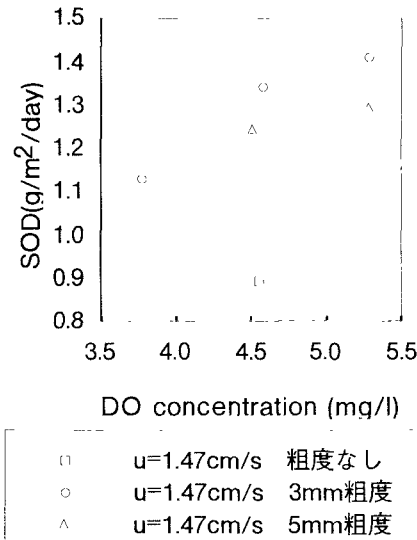


図-4 SODの底面粗度に対する依存性

ものと考えられる。

2.3微小酸素電極を用いた実験 実験装置を図-5に示す。ステンレス製の架台に取り付けられた長さ19cm、幅12cm、高さ5cmの矩形水路の下部に堆積物コアを直接取り付けられるようになっており、この系を堆積物プロファイラーと呼ぶ。水槽下部には堆積物押し上げ装置が設置され、堆積物の界面を水路床に合わせることができる。水路内の水はポンプによって循環され、別途設けたポンプコントローラーを用いて水路内の流速を変化させることが可能である。堆積物コアには内径8cmのアクリル性の円形パイプを用いて採取した未攪乱堆積物コアを用いた。水路上部には水平方向トラバース装置(XYステージ)と鉛直トラバースのための電動シリンダー(オリエンタルモータ：CPMS17B-05D)があり、測定箇所の3次元的な位置決めが可能である。電極からの出力値は、ピコアンメーター(Keithley485型)を介してペンレコーダーにより記録される。

実験には先端が約 $5\mu\text{m}$ の微小酸素電極と $1\mu\text{m}$ ピッチで自動的にトラバース可能な高性能の鉛直トラバース装置を用いるため、水・堆積物界面近傍の詳細なDO濃度分布を計測することが可能である。

実験結果の例を図-6に示す。これを見ると、直上水流速の増加に伴い濃度境界層厚は減少し、界面における濃度勾配は増加していく様子がわかる。この結果は流速の増加に伴いSODが増大することを表している。これを受けて、DOの浸透厚も増大している。

3. 実験系の比較

本研究では流速・粗度などの水理条件が水・堆積物界面における物質移動速度に及ぼす影響を、3種類の実験装置を用いて調べた。これらの実験装置にはそれぞれ特徴があり、研究の目的に応じて最適な装置を用いることができる(表-1参照)。例えばアセスメント業務等において、現場でのフラックスを正確に評価するためには連続培養系あるいは堆積物プロファイラーでの実験系が望ましい。また、流れや粗度など水理学的要素の影響をプロセスとして知るためには矩形循環式水路での実験系が最も優れていると言える。また、直上水の水質・水理条件を一定に保つ事がフラックスを正確に見積もるためには重要

であるが、連続培養系及び堆積物プロファイラー系では、共にその条件を満たすことが可能である。

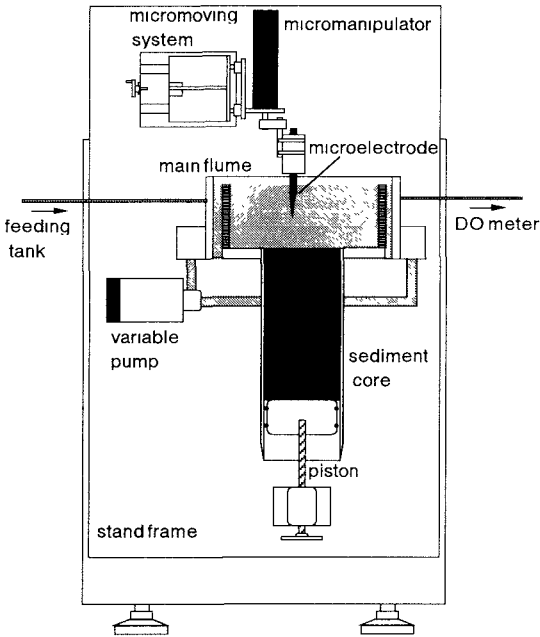


図-5 堆積物プロファイラー概略図

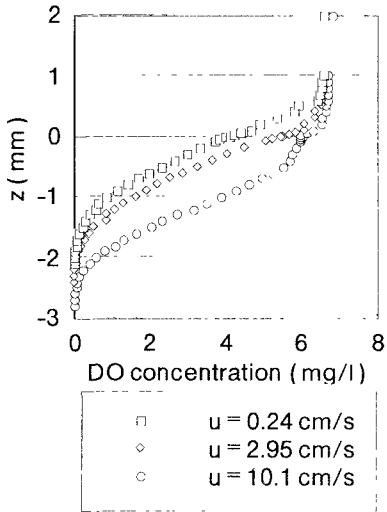


図-6 DO濃度分布の流速に対する依存性

表-1 各実験系の特徴

	連続培養系	矩形循環式管水路	堆積物プロファイラー
堆積物	未攪乱 ○	攪乱 ×	未攪乱 ○
流速分布	人工的 ×	対数分布則 ○	一部対数分布則 △
現場再現性	△	×	○