

VII-172

汽水湖沼における水・堆積物界面近傍の溶存酸素濃度分布

九州大学工学部 正会員 中村由行 学生員 井上徹教、Fatos Kerciku
 資源環境技術総合研究所 左山幹雄
 地質調査所 山室真澄
 鳥根県衛生公害研究所 神谷宏

1. はじめに 鳥根県東部に位置する宍道湖及び中海はそれぞれ面積約80km²及び約88km²・平均水深約4.5m及び約5.4mのわが国を代表する汽水湖である。しかし他の多くの湖沼と同様、西端の斐伊川からの都市排水の流入等の影響を受けて近年富栄養化が深刻な問題となっている。中海は境水道を介して日本海と連絡しているため、常時塩分成層が形成されている。一方、宍道湖は天文潮や低気圧の通過による日本海の海面上昇に伴い、高塩分水の侵入が不定期的に起こっている。両湖とも湖心部底層に明確な高塩水層が形成される場合には、しばしば貧酸素化が起こっている。底層水の貧酸素化あるいは無酸素化は魚類の斃死や青潮発生の原因となるため、そこでの溶存酸素(DO)濃度の変化を把握することは生態系や水質変動を考える上で非常に重要である。底層水中のDO濃度減少の要因としては、呼吸分解による水中の酸素消費とともに底質による酸素消費(SOD)が挙げられる。このSODに関して、Nakamura and Stefan (1994)は乱流境界層理論を用いてSODの流速への依存性を示している。従来よりSODを計測する様々な方法が提案されてきたが、近年空間分解能の非常に高い微小酸素電極を用いてDO濃度分布を測定し、界面における濃度勾配からフラックスを求める方法が行われはじめ注目を浴びている。水・堆積物界面近傍におけるDO濃度変化は高々数mmの範囲で起こっているため、通常のDO濃度測定法ではその分布を把握することは出来ない。しかし、微小酸素電極を用いてDO濃度分布を測定すれば、水理条件がどのようにDO濃度分布及び界面でのフラックスに影響を及ぼすかについて、直接知見を得る事ができる。

そこで本研究では微小酸素電極を用いて、宍道湖及び中海湖心部より採取した未攪乱底質コアをサンプルコアとし、水・堆積物界面近傍におけるDO濃度分布の流速に対する依存性を明らかにするための実験を行った。また、Nakamura and Stefan (1994) による理論と実験結果との比較を行い、理論の妥当性・有効性を検討した。

2. 実験内容 用いた微小酸素電極は図-1に示すように先端の径が約5μmの微細なものであり、約20μmという非常に高い分解能を持つ。実験には1995年11月において、宍道湖及び中海の湖心部より採取した未攪乱底泥をサンプルコアとして用いた。目視によると宍道湖のコアでは約6mm、中海のコアでは約3mmの酸化層が確認された。用いた実験装置は図-2に示す様に、高さ5cm、幅12cm、流下方向15cmの矩形水路内の水がポンプにより循環されるものであり、ポンプの回転数に応じて水路内の流速を

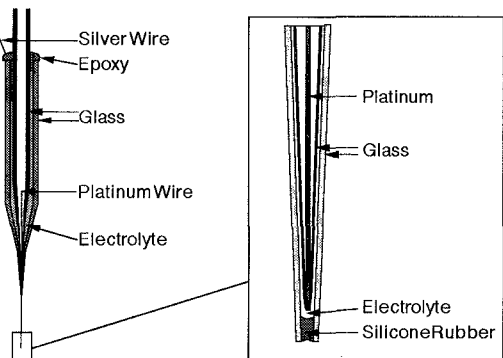


図-1 微小酸素電極概略図

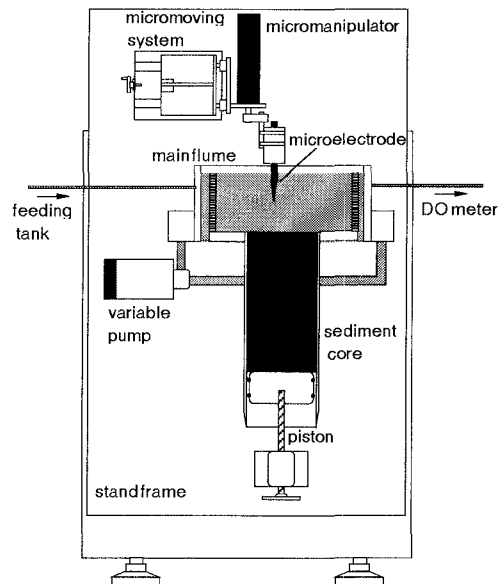


図-2 実験装置概略図

変化させることができる。水路の下面にはサンプルコアが取り付けられ、堆積物表面が水路下面に沿うように押し上げ装置がついている。微小酸素電極はコア上方に設置された電動シリンダーに固定され、シリンダーの操作により微小電極の精密な位置決めが可能となる。また、水路には一定DO濃度の供給水が常に供給されており、堆積物直上水のDO濃度を一定に保つことが可能となっている。

3. 実験結果及び考察 同一実験条件下での、中海と宍道湖のDO濃度分布の違いを図-3に示す。双方ともに目視による酸化層厚よりも小さな酸素の浸透厚をとっている。11月には硝酸態窒素の濃度が高く、無酸素層においては、まず硝酸が還元される層が存在するためであると考えられる。

密閉容器中の水に堆積物を懸濁させそこでのDO濃度の変化を計測することにより、堆積物単位体積あたりの酸素消費速度Rを求める実験を別途行った。その結果、中海のRは宍道湖の約3倍の値をとることがわかった。さらに間隙率は中海より宍道湖の方が若干大きな値をとっていた。これらの理由から、中海と比較して宍道湖の方がより大きな酸素の浸透厚を持つものと考えられる。

一方、異なった流速に対する実験結果の一例を図-4に示す。これを見ると流速の増加に伴い濃度境界層厚は減少・界面における濃度勾配は増大し、SODが増大することがわかる。その結果、流速の増加に伴い酸素の浸透厚も増大している。

4. 理論解との比較 Nakamura and Stefan (1994) によると水・底泥界面近傍のDO濃度分布は次式により与えられる。

$$\frac{C\alpha(z)-C\alpha(0)}{C_0-C\alpha(0)} = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left| \frac{z^2 + \sqrt{2}Sc^{-1/4}n^{-1}z + Sc^{-1/2}n^{-2}}{z_0^2 + \sqrt{2}Sc^{-1/4}n^{-1}z_0 + Sc^{-1/2}n^{-2}} \right| + 2\arctan \left(\frac{\sqrt{2}Sc^{-1/4}n^{-1}z}{Sc^{-1/2}n^{-2} - z^2} \right) \right] \quad (\text{in the water})$$

$$C\alpha(z) = \frac{1}{2} \frac{R}{D_s} z^2 + \left(\frac{1}{2} \frac{R}{D_s} + \frac{C\alpha(0)}{\delta_s} \right) z + C\alpha(0), \quad \delta_s = \sqrt{2D_s C\alpha(0)/R} \quad (\text{in the sediment})$$

ここで C_0 はDO濃度、 Sc はシュミット数、 $n(=0.124)$ は定数、 μ は摩擦速度及び動粘性係数を用いた無次元量、 $-$ は鉛直方向の平均値、 D_s は底質中の酸素の見かけの拡散係数、 δ_s は酸素の浸透厚さである。彼らにより得られた理論解と実験結果との比較を行った結果を図-5に示す。これを見ると、理論解は濃度境界層厚や界面におけるDO濃度等の実験値を良く再現していることがわかる。特に界面における濃度勾配は実験結果とほぼ変わらない値をとっており、このことから界面におけるDO濃度勾配に分子拡散係数を乗じてSODを求める方法が確立されたものと考えられる。

5. 結論 宍道湖・中海より採取した未攪乱底泥コアを用いて、水・底泥界面近傍におけるDO濃度の鉛直分布を測定した。その結果、DO濃度分布の流速に対する依存性が確認された。また、Nakamura and Stefan (1994)の示した理論との比較を行った結果理論の妥当性・有用性が示された。

参考文献

- Nakamura Y. and Stefan H.G. Effect of flow velocity on sediment oxygen demand: Theory. (1994). J. Envir. Eng., ASCE, 120.
Sayama M. A method to measure oxygen microprofiles in the surface sediment. (1990) Pro. Adv. Tech. Conf. vol.2.

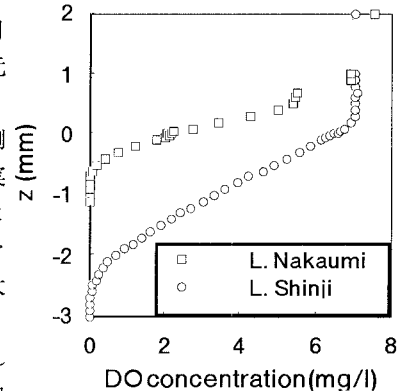


図-3 宍道湖と中海の比較

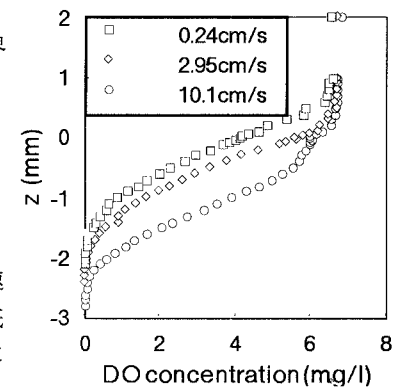


図-4 DO濃度分布の流速に対する依存性

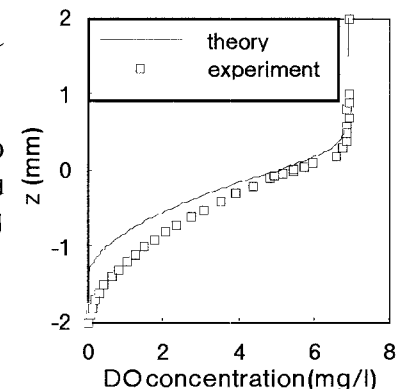


図-5 理論解と実験値との比較