

# 水・堆積物界面における物質移動に関する研究

港湾空港技術研究所 海洋・水工部 沿岸環境領域 主席研究官

井上 徹教

## はじめに

閉鎖性水域における富栄養化を論ずる上では、水域内の物質循環過程を把握すると共に、外部との物質のやり取りを定量的に把握することが重要である。外部との物質のやり取りとしては、上流域からの流入、下流域への流出、潮汐に伴う移流、水・大気界面及び水・堆積物界面における物質輸送等が挙げられる。それぞれの項目の相対的な重要性は水域の特性によって異なるが、閉鎖性の強い富栄養化水域においては水・堆積物界面における物質輸送が重要な項目となる。本稿では、閉鎖性水域における富栄養化を論ずる上で主たる考察対象となる酸素・リンの水・堆積物界面近傍における動態について述べる。

## 水・堆積物界面における現象の基本的理解

水・堆積物界面における物質輸送に関連する過程としては、水・堆積物間の濃度勾配に起因する拡散、地下水の流出等に伴う移流、底生生物の活動に伴う移流拡散、巻き上げ、沈降、等が挙げられる。特に拡散による物質輸送はバックグラウンドとして常に存在しており、富栄養化した湖沼や内湾においては重要である。ここでは、水・堆積物界面における拡散現象に関する基本過程について確認する。なお以下の議論においては、水平方向の諸量の変化は無視できるものとし、鉛直方向のみを考察するものとする。

水中と堆積物中ではその物理化学的な性状が大きく異なり、水中と堆積物内の間隙水中では溶質の濃度が異なる。水・堆積物界面近傍はその上下の濃度差を連続的に繋ぐ場であり、しばしば鉛直方向の急激な濃度変化が見られる。その濃度変化は、リンでは数 cm 以内、酸素では数 mm 以内でおこる事が知られている（図 1 参照）。界面直上の濃度分布は主に拡散係数の鉛直分布に支配され、堆積物中の濃度分布は主にそこでの生物化学的プロセスに影響を受ける。

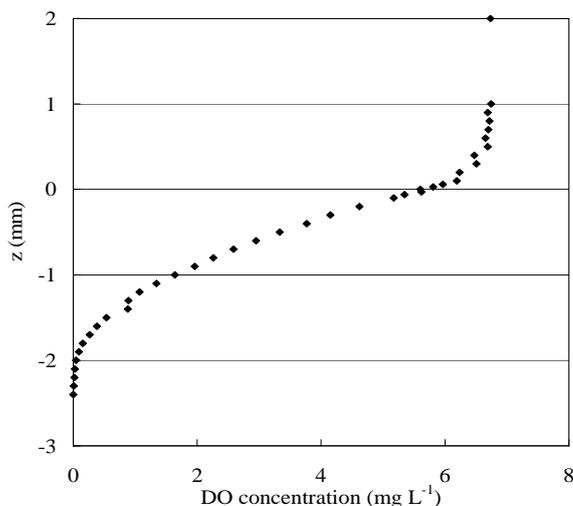


図 1 酸素濃度分布の一例

## 酸素

富栄養化した水域では、外部からの流入負荷や内部での一次生産により形成された有機物が堆積物に蓄積しており、一般に水中での酸素消費比べ堆積物中の酸素消費は著しく高い。

このため、堆積物による酸素要求（Sediment Oxygen Demand, SOD）は富栄養化水域での酸素循環を考える上で非常に重要なパラメーターである。

堆積物中の酸素消費過程としては、底生生物による呼吸、好氣的バクテリアによる呼吸、還元された金属の酸化、硝化、硫化物の酸化等、多岐に用いられる。これらの過程は全て温度の影響を強く受けるため、SOD は水温の関数として表されることが多い。また、SOD は上記の複数の消費過程の和として表されるべきであるが、実用上は 1 つのパラメーターでまとめて取り扱っても差し支えないことが多い。

## リン

リンは窒素とならび全ての生物に必須の元素であり、多くの水域においては制限栄養塩となっているため、富栄養化、特に一次生産を考える上で重要な項目である。一般にリンは底層の貧酸素化の進行と共に溶出量が増大することが知られている。これは、リンは堆積物中の酸化層内では水酸化第二鉄に吸着される性質を持つため、酸化層では吸着を免れたリンのみが拡散により移動し溶出するためである。

図 2 に未攪乱堆積物コアを用いて測定した、酸素濃度とリン溶出速度との関係を示す。無酸素条件下では  $20\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$  程度の溶出速度となっているが、酸素濃度の増加と共にリン溶出速度は減少し、酸素濃度が  $2\text{mg L}^{-1}$  程度以上では溶出していないことがわかる。酸化鉄の還元は酸素、硝酸、マンガンの還元が続いて起こるため、このような酸化条件下におけるリン溶出速度の抑制は、無酸素でも高濃度の硝酸または酸化マンガンが存在する条件下においても見られる。

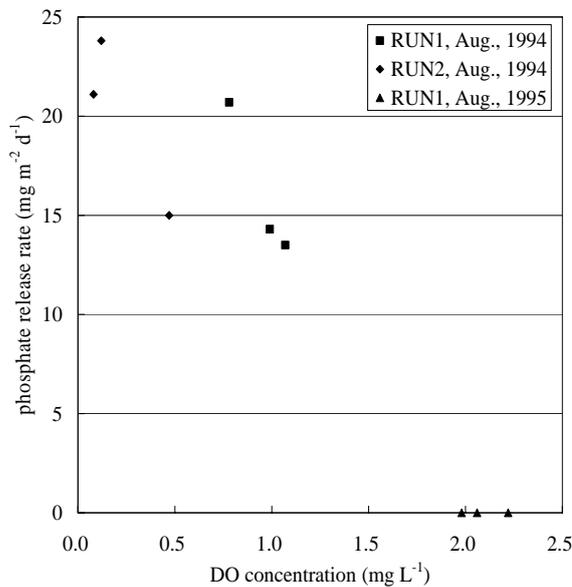


図 2 リン溶出速度に及ぼす酸素濃度の影響

## おわりに

本稿では、水・堆積物界面における物質移動に関連する基本過程、及び酸素・リンの動態について紹介した。富栄養水域における負荷に関する問題についてはこれまで多くの研究がなされ、覆砂や浚渫等の改善事業も行われてきている。しかしながら、現状ではその効果の定量的な把握が十分ではなく、今後は個々の改善事業に対する定量的評価が求められる。また、今後の循環型社会を目指す動きの中では、堆積物中に存在する多量の有機物や無機栄養塩類の有効利用についても検討されるべきであろう。