

VII-264

マイクロサイトを考慮した底泥表層部の窒素変換モデルに関する研究

九州大学 大学院 ○学生員 崎田 省吾
同 上 フェロー 楠田 哲也

1. はじめに

一般に底泥内における鉛直方向物質濃度分布をシミュレーションする場合、底泥を層状に分割し、その層内では基質濃度等の環境条件は均一であると仮定した鉛直一次元多層モデルによって表現される。しかし実際には、デトリタスや底生生物の糞粒等の粒子態有機物に起因した、周囲のマクロな環境とは非常に異なる微小部位（マイクロサイト；図-1）が多数存在しており、たとえ周囲が好氣的であってもその内部では脱窒や硫酸還元反応が生じている。

本研究ではまず、マイクロサイトの形成過程をシミュレーションすることによって、その存在が底泥内の生物化学的環境条件の空間的不均一性をつくり出していることを示す。さらにこのマイクロサイトを考慮して底泥内物質濃度分布をシミュレーションし、実測値と比較した。

2. モデルの概要

モデルの概念を図-2に、基礎式及び諸条件を表-1に示す。マイクロサイトは球型とし、その大きさは半径0.05-0.5mmの10種類が対数正規分布に従って存在するものとした。考慮した物質は、生分解性粒子態、溶存態有機炭素、窒素（POC, PON, DOC, DON）、DO、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ である。微生物として通性嫌気性従属栄養細菌、アンモニア酸化細菌、亜硝酸酸化細菌、硫酸還元菌の4種を考慮し、死滅菌体はすべて粒子態有機物に変換されるものとした。これらをもとに考慮した物質変換反応は、POC、PON加水分解、DOCの好氣的酸化、硝化（アンモニア酸化、亜硝酸酸化）、脱窒（硝酸還元、亜硝酸還元）、硫酸還元、アンモニア生成で、加水分解反応及びアンモニア生成はPOC、PONと菌体濃度の積の形で、その他はMonod式に

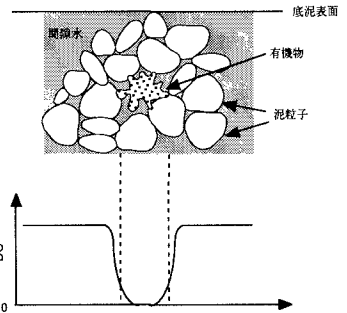


図-1, マイクロサイト概念図

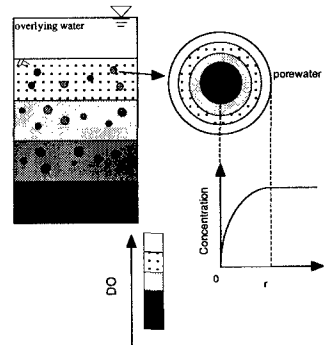


図-2, モデル概念図

表-1, 基礎式及び諸条件

・基礎式	
物質変換速度基礎式	$R_m = \frac{1}{Y} \mu_m \frac{C_m}{K_s + C_m} X$
溶存物質収支式	$\frac{\partial C_m}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 D \epsilon_m \frac{\partial C_m}{\partial r} \right) - R_m$
粒子態物質収支基礎式	$\frac{\partial C_m}{\partial t} = -R_m + \alpha \cdot k_d \cdot X$
菌体収支基礎式	$\frac{\partial X}{\partial t} = Y \cdot R_m - k_d \cdot X$
底泥内物質収支式	$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon \cdot 2 \cdot D \frac{\partial C}{\partial z} \right) - 4\pi N \epsilon_m \int_0^{r_m} R_m r^2 dr$
R_m: 物質変換速度 (mg/l/h), C_m: マイクロサイト内物質濃度 (mg/l), X: 菌体濃度 (mg/l), μ_m: 最大比増殖速度 (1/h), K_s: 飽和定数 (mg/l), Y: 増殖収率 (mg-cell/mg-sub.), ϵ_m: マイクロサイト内空隙率 (-), ϵ: 底泥内空隙率 (-), K_d: 死滅係数 (1/mg/h), α: 菌体の再質化率 (-), D: 分子拡散係数 (cm^2/h), C: 底泥内物質濃度 (mg/l), N: 単位体積当たりのマイクロサイトの個数 (個/cm^3) r: マイクロサイトの半径方向軸, z: 底泥深さ方向軸	
・モデルについて	
・マイクロサイト→10μm分割 ・堆積時間→1 mm/24h ・最表層の境界条件→直上水濃度（一定）に等しい ・最下層の境界条件→フラックス無し ・time step→0.1h ・差分法→Crank-Nicolson法	

キーワード：マイクロサイトモデル、底泥、窒素変換

連絡先：〒812-0053 福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL 092-642-3303 FAX 092-642-3322

従って生じるものとした。粒子態物質の物質輸送は堆積、溶存態物質のそれは分子拡散によって起こるものとし、バイオターベーションについては考慮していない。なお、pH、温度はモデル内では考慮しておらず、また、パラメータ値には文献値を使用した。

3. 計算結果及び考察

3.1 マイクロサイト内部の物質濃度分布シミュレーション

堆積後24時間経過時のマイクロサイト（半径0.5mm）内物質濃度分布計算結果を図-3に示す。この図より、マイクロサイトの中心から半径約0.3mmの範囲内で無酸素状態となっており、さらに中心から半径約0.25mm以内では硝酸も消費され尽くして硫酸還元反応が生じている。これより、底泥好気性層内においても無酸素、嫌気部位が形成され、そのような環境に応じた生物反応が生じていることが分かる。

3.2 底泥内鉛直方向物質濃度分布のシミュレーション

図-4に3態窒素鉛直方向濃度分布の実測値とシミュレーション値を示す。なお、実測値は1993年9月13日、佐賀県六角川感潮域でのものである。図より、シミュレーション結果が実測値をほぼ再現出来ていることがわかる。また、図-5に正味の NO_3^- -N還元速度について、実測値から計算したもの、マイクロサイトモデルより算出したもの及び鉛直1次元多層モデルより算出したものの、深さ方向分布の比較を示す。実測値からの計算は、 NO_3^- -Nについて以下の式で定常状態を仮定して算出した。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \epsilon^2 \frac{\partial C}{\partial z} \right) - R \quad \begin{array}{l} D: \text{硝酸の分子拡散係数、} \\ \epsilon: \text{空隙率、} R: \text{生物反応速度} \end{array}$$

これより、モデルにマイクロサイトを考慮することによって、底泥表層部の（正味の）硝酸還元活性をほぼ正確に評価することができることが分かる。また、鉛直1次元多層モデルでは、表層部での硝酸還元活性を再現できていないことも分かる。

4. まとめ

マイクロサイトをモデル化することによって、底泥表層部の窒素化合物濃度を正確に評価することができた。鉛直1次元多層モデルは底泥をマクロに扱っているため、生物パラメータを一般的な範囲内にはない値にしなければ実測値を再現できない場合が多い。一方、マイクロサイト内部で生じる生物反応を均一系として扱った本モデルの場合、生物パラメータを一般的な範囲内の値で使うことが可能であるのでより汎用性があり、かつ、その他の反応をモデル内に考慮しやすいという発展性も有している。その際、マイクロサイト内の菌体濃度やそれらの空間分布による相互作用等を解明することが今後の課題と言える。

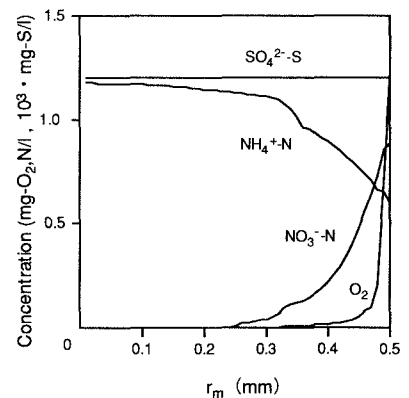


図-3、マイクロサイト内物質濃度分布（シミュレーション値）

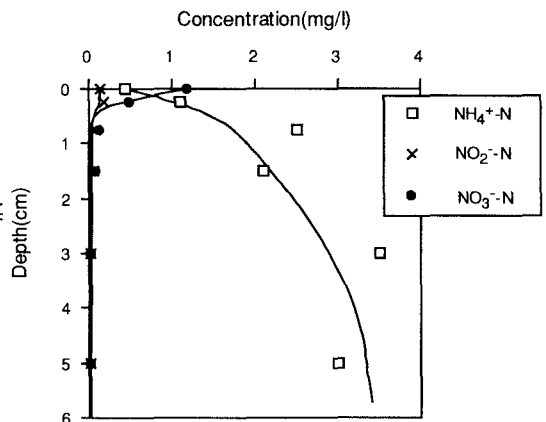


図-4、底泥内3態窒素の鉛直方向濃度分布（実測値（点）とシミュレーション値（実線））

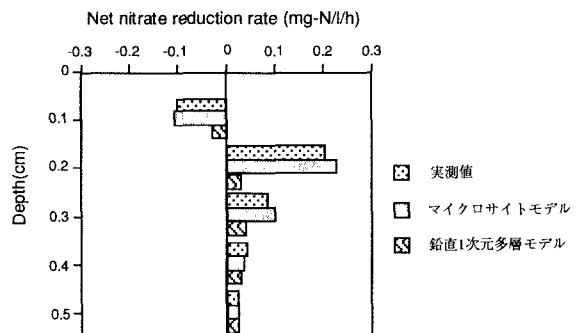


図-5、底泥深さ方向の正味の NO_3^- 還元速度の比較（正は NO_3^- 還元、負は NO_2^- 酸化が卓越している）