

マイクロサイトを考慮した底泥内の物質変換シミュレーション

九州大学 工学部 ○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)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、実測値との比較を行った。

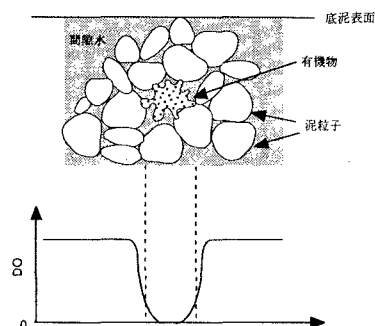


図-1, マイクロサイト概念図

2. モデルの概要

モデルの概念を図-1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1次元で表し、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)、溶存酸素(DO)、アンモニア態窒素($\text{NH}_4^+\text{-N}$)、亜硝酸態窒素($\text{NO}_2^-\text{-N}$)、硝酸態窒素($\text{NO}_3^-\text{-N}$)、硫酸態硫黄($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$)である。微生物については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物質濃度と菌体濃度の積の形で、その他はMonod式に従って生じるものとした。粒子態物質の輸送は堆

表-1, 基礎式及び諸条件

基礎式

$$\text{物質変換速度基礎式} \quad R_m = \frac{1}{Y} \mu_m \frac{C_m}{K_s + C_m} X$$

$$\text{溶存態物質収支基礎式} \quad \frac{\partial C_m}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 D \varepsilon_m^2 \frac{\partial C_m}{\partial r} \right) - R_m$$

$$\text{粒子態物質収支基礎式} \quad \frac{\partial C_m}{\partial t} = -R_m + \alpha \cdot k_d \cdot X$$

$$\text{菌体収支基礎式} \quad \frac{\partial X}{\partial t} = Y \cdot R_m - k_d \cdot X$$

$$\text{底泥内物質収支基礎式} \quad \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon^2 D \frac{\partial C}{\partial z} \right) + 4\pi N \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon} \int_0^{r_m} R_m r^2 dr$$

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/h), α : 菌体の再基質化率 (-),
 D : 分子拡散係数 (cm^2/h), C : 底泥内物質濃度 (mg/l), z : 底泥深さ方向軸,
 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, r_m : マイクロサイト半径.

モデルについて

- ・ マイクロサイト→0.01mm分割
- ・ 堆積時間→1 mm/d
- ・ 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→濃度勾配がゼロ
- ・ time step→0.1h
- ・ 差分近似→Crank-Nicolson法

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た。なお、pH、温度はモデル内では考慮しておらず、隣接するマイクロサイト同士の相互作用についても考慮していない。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-2に示す。この図より、マイクロサイトの中心から半径約0.25mm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0.1mm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。この濃度分布と半反応式から計算される酸化還元電位の範囲は約-400から800mVとなる。このことは好気性層内での高い酸化還元電位にもかかわらず硫酸還元反応が生じていたとする Jørgensen (1977) の実験結果と一致する。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-3に3態窒素及びDOC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。DOCを除いてほぼ実測値に近い値を再現することができた。DOC（特に底泥深部）値を再現できなかったのは、本モデルでは有機物の易分解性、難分解性を考慮しなかったためと思われる。また、モデルによって計算された底泥の深さ方向の硝酸還元速度分布を図-4に、 NO_3^- -NとDOの鉛直濃度分布（計算値）とともに示す。DOが存在する深さで最も活性が高くなっていることが分かる。好気性層内で脱窒活性のピークが生じるという結果はすべての底泥に普遍的な現象であるかどうかはさらに検討を加えなければならないが、河川感潮域のように粒子態有機物の集積しやすい場においては、底泥内の物理・化学・生物学的不均一性により、このような現象が生じることは十分考えられる。

今後は底泥表層部におけるC、Nの収支をとることによってさらに底泥内での物質変換を定量化していく予定である。

参考文献

・B.B.Jørgensen (1977):Bacterial Sulfate Reduction within Reduced Microniches of Oxidized Marine Sediments, Marine Biology, 41,pp7-17.

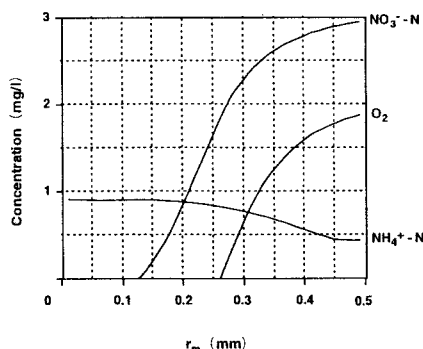


図-2、マイクロサイト内物質濃度分布（シミュレーション値）

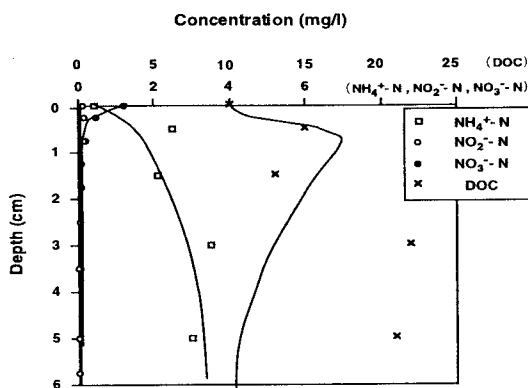


図-3、底泥内3態窒素とDOCの鉛直方向濃度分布（実測値（点）及びシミュレーション値（実線））

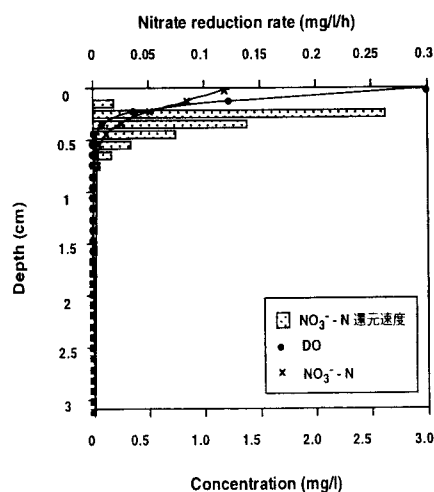


図-4、 NO_3^- -N還元速度とDO、 NO_3^- -N濃度の鉛直方向分布計算値