

マイクロサイトを考慮した底泥の物質変換モデリングの検討

九州大学工学部 ○学生員 福田 哲也

正 員 大石 京子

正 員 楠田 哲也

1. はじめに

底泥表層部にはエネルギー源となる有機物とそれを取り巻く微生物を核としたマイクロサイトと呼ばれる部位が存在している。底泥での物質変換機能を考える上で、この部位は脱窒や硫酸還元などの嫌氣的反応に大きな影響を与えている。通常、底泥の物質変換は底泥を層状に分割してその層内では各基質濃度が一定であるとした鉛直一次元層状モデルで表現される。しかし、鉛直一次元層状モデルでは好気層内で起こる嫌氣的反応を考慮する際に問題がある。本研究では、マイクロサイトを球状と仮定し、マイクロサイト内部での物質変換を球状一次元層状モデルで表現し、その結果マイクロサイトが底泥に与えた影響及び上層水からの拡散移動を鉛直一次元層状モデルで表現した物質変換モデルに組み込み、炭素、窒素の移動、物質変換をモデル化し、収支計算を行うことにより評価を行った。

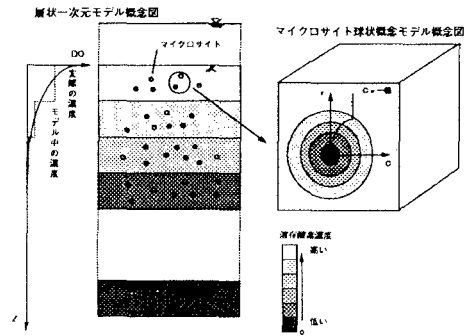


図-1 モデルの概念図

2. モデリング

モデルの概念図を図-1に示す。微生物、粒子態有機物はマイクロサイト内部にしか存在しないと仮定し、物質変換はマイクロサイト内部でのみ起こると仮定した。有機物は生分解性有機物のみを考慮し、粒子態と溶存態、さらに有機炭素・窒素(POC、PON、DOC、DON)の4種類に分類した。その他考慮している基質は溶存酸素(DO)、アンモニウム態窒素($\text{NH}_4^+\text{-N}$)、硝酸態窒素($\text{NO}_3^-\text{-N}$)、亜硝酸態窒素($\text{NO}_2^-\text{-N}$)、亜酸化窒素態窒素($\text{N}_2\text{O-N}$)、二酸化炭素態炭素($\text{CO}_2\text{-C}$)、硫酸態硫黄($\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$)である。微生物は通性嫌気性細菌、硫酸還元菌、アンモニア酸化菌、硫酸還元菌を考慮している。通性嫌気性細菌は溶存酸素が存在する層では酸素呼吸を、DOが存在しなくなると脱窒を行う。死滅菌体は全て粒子態有機物に変換されるものとした。モデル中で考慮した物質変換反応は酸素呼吸、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、亜酸化窒素還元)、アンモニア生成、硫酸還元である。物質変換の基礎式は表-1に示す。溶存態基質の物質変換速度はMonod式に従うとした。

マイクロサイト内部から周辺底泥へ流出、もしくは周辺底泥から流入する基質を表現する際に、マイクロサイト半径や密度の違いなどから外部拡散抵抗が生じる。そこで、マイクロサイト表面の外側に拡散境界層ができ、マイクロサイトの最表層部の基質濃度と底泥の基質濃度との間に差が生じる。モデルにおいては、簡略化のためにこの拡散境界層は考慮せずにマイクロサイトの最外部と層状モデルの一層の濃度が等しいと仮定して流入・流出を表現した(図-2参照)。

表-1 物質変換モデルの基礎式

(マイクロサイト：球状一次元モデル部分)	
物質変換速度基礎式	
$R_m = \frac{1}{Y} \mu \frac{C_m}{K_s + C_m} X_m$	R: 物質変換速度(mg/l/hr) X: 菌体濃度(mg/l) C: 基質の濃度(mg/l) ϵ : 空隙率、t: 時間(hr) μ : 最大比増殖速度(1/hr) K_s : 飽和定数(mg/l) Y: 菌体収率(mg Cell / mg Sub) D: 拡散係数(cm ² /hr)
溶存態物質収支基礎式	
$\frac{\partial \epsilon_m C_m}{\partial t} = \epsilon_m \frac{\partial}{\partial r} \left(D \epsilon_m^2 \frac{\partial C_m}{\partial r} \right) + R_m$	z: 深さ(cm) k_d : 死滅係数(1/hr) α : 死滅菌体の基質化率(添字) m: マイクロサイト
粒子態物質収支基礎式	
$\frac{\partial \epsilon_m C_m}{\partial t} = -R_m + \alpha \cdot k_d X_m$	
菌体収支基礎式	
$\frac{\partial X_m}{\partial t} = Y \cdot R_m - k_d X_m$	
(底泥層：鉛直一次元モデル部分)	
溶存態物質収支基礎式	
$\frac{\partial \epsilon C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon^2 D \frac{\partial C}{\partial z} \right)$	

モデルでは、マイクロサイトはその半径が0.05～0.5mmまでの0.05mm間隔で10種類の大きさが存在すると仮定し、それぞれ均等に5層に分割した。これはマイクロサイトは半径と周辺酸素濃度によって内部の酸素濃度が推定できるため、半径によって脱窒や硫酸還元的能力が異なるものと考えられるからである。ただし、マイクロサイトの分布についてはその半径が対数正規分布に従うものと仮定した。

鉛直一次元モデルの部分は分割層厚2.5mmの25層、深さ60mmまで計算を行った。ただし最上層は直上水とした。堆積は一定周期のもとマイクロサイトが内部の各基質濃度を保ったまま一つ下の層へ移動することで表現した。堆積周期は実測より60hrとした。差分近似はCrank-Nicholson法を用いた。

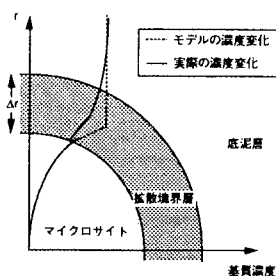


図-2 拡散境界層とモデルでのマイクロサイトからの基質濃度変化

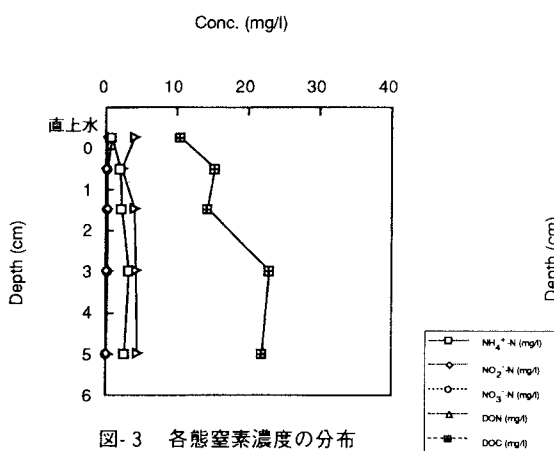


図-3 各態窒素濃度の分布 (実測値)

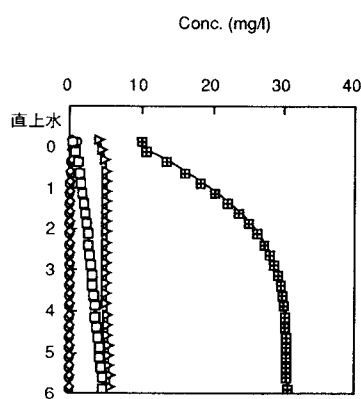


図-4 各態窒素濃度の分布 (シミュレーション値)

3. シミュレーション結果および考察

図-3に実測による各態窒素濃度の分布を、また図-4にシミュレーションによる各態窒素濃度の分布を示す。また、図-5に実験によって求めた生分解性の粒子態有機炭素・窒素とシミュレーションによる粒子態有機炭素・窒素の分布を示す。DOCが実測値に比べ高い値を示しているが、ほぼ実測値を再現していることが分かる。

4. おわりに

本モデルはマイクロサイトという微小部位を考慮しているため、仮定を持ち込んでいる部分があること、また球状一次元層状モデルと鉛直一次元層状モデルが複合しているためモデルが複雑になることに問題がある。今後は実測や実験により仮定の裏付けを行っていく予定である。

参考文献

- 永友功一：底泥層内における生分解性有機物の代謝とそのモデル化，土木学会西部支部，1994
井上憲：河川感潮部の底泥における窒素変換機能の評価に関する研究，九州大学修士論文，1992

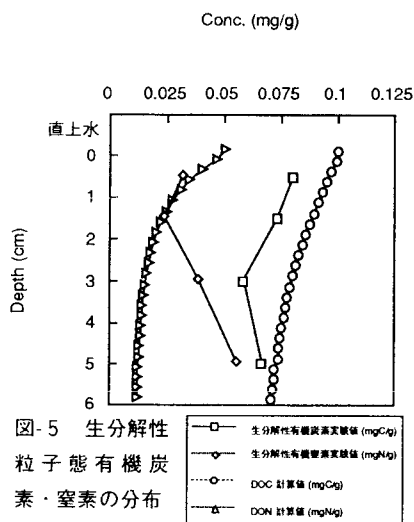


図-5 生分解性粒子態有機炭素・窒素の分布