

## マイクロサイトモデルを用いた底泥内物質濃度分布計算の高精度化

九州大学大学院工学研究科 ○学生員 崎田 省吾  
同 上 フェロー 楠田 哲也

## 1. はじめに

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、一般には底泥を層状に分割し、各層内では基質濃度等の環境条件は一様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。しかし実際の底泥内部は空間的に不均一であり、デトリタスや底生生物の糞粒等の粒子態有機物(POM)に起因した、周囲のマクロな環境とは非常に異なるマイクロサイトと呼ばれる微小部位が底泥内には多数存在している。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場合が多く、鉛直一次元多層モデルでシミュレーションする場合、このような好気性層内での脱窒や硫酸還元反応をどの程度評価すればよいかという問題が常につきまとう。そこで本研究では、マイクロサイトを考慮したモデル(マイクロサイトモデル)によって底泥内鉛直方向 $\text{NO}_3^-$ -N濃度分布を計算するためのシステムを構築するとともに、その妥当性を検討した。

2. マイクロサイトモデルの構造<sup>1)</sup>

モデルの概念を図-1に、また考慮した物質変換反応を図-2に示す。底泥に供給されたPOMに微生物が増殖することによって、マイクロサイトが形成される。従ってマイクロサイトの大きさはPOMのそれらにほぼ等しいと仮定できる。また一般に、底泥内に存在するPOMは、溶存態有機物(DOM)よりC濃度で3桁程度多いので\*、本モデルではマイクロサイト半径 $d_m$ は底泥表層部のTOC濃度に依存し、それらが底泥各層に均一に存在するとした。その際、マイクロサイトの大きさによってその内部の基質拡散量が異なってくるので、 $d_m$ にどの程度の値を与えればよいかが非常に重要となる。そこで文献<sup>2)~7)</sup>による鉛直方向 $\text{NO}_3^-$ -N濃度分布実測値を基に、本モデルを用いてTOCとマイクロサイト代表半径 $d_m$ の関係を計算し、TOCから $d_m$ を決定できるようにした。

## 3. 結果及び考察

図-3に、本モデルと文献による鉛直方向 $\text{NO}_3^-$ -N濃度分布実測値より算出された、TOCとマイクロサイト代表半径 $d_m$ の関係を、(ここでは水深100mを境にして)浅海域、深海域に分けて示す。図より底泥表層部のTOC濃度が大きくなるにつれてマイ

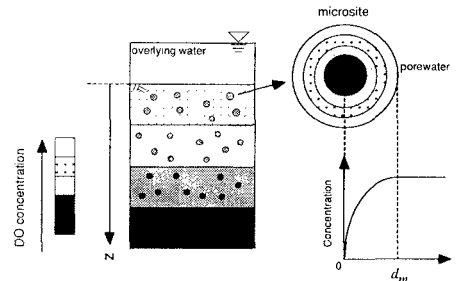


図-1 マイクロサイトモデル概念図。

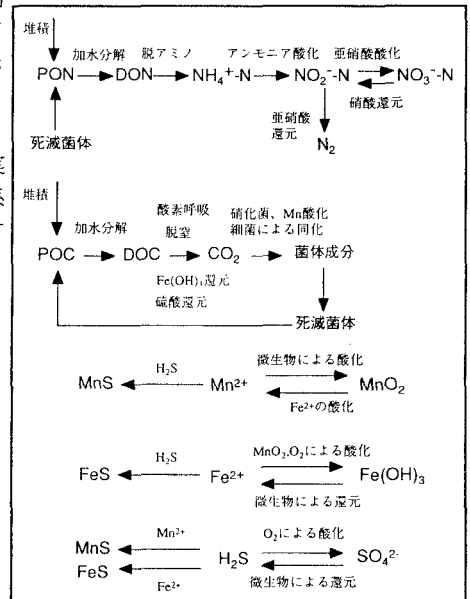


図-2 本モデルで考慮した物質変換反応。  
(POC, PON加水分解, Mn, Fe 反応は各濃度の積で、それ以外の生物反応は Monod 式に従うとした。)

\*

泥粒子、間隙水の密度をそれぞれ $\rho_s(\text{g/cm}^3)$ 、 $\rho_w(\text{g/cm}^3)$ 、空隙率を $\varepsilon$ 、底泥含水比を $w(\%)$ 、底泥のTOCを $a(\text{mgC/g-dry sed.})$ 、間隙水中のDOC濃度を $b(\text{mgC/l})$ とすると、湿泥 $1(\text{cm}^3)$ 中のPOC( $\text{mgC/cm}^3\text{-wet sed.})$ は、

$$\text{POC} = \text{TOC} - \text{DOC}$$

$$= \frac{a}{1+w/100} \{ \varepsilon \rho_w + (1-\varepsilon) \rho_s \} - \frac{\varepsilon b}{1000}$$

これらより、

$$\frac{\text{POC}}{\text{DOC}} = \frac{a \{ \varepsilon \rho_w + (1-\varepsilon) \rho_s \} / (1+w/100) - \varepsilon b / 1000}{\varepsilon b / 1000}$$

$\rho_s = 2.6(\text{g/cm}^3)$ 、 $\rho_w = 1.0(\text{g/cm}^3)$ 、 $\varepsilon = 0.7$ 、 $w = 250(\%)$ 、 $a = 30(\text{mgC/g-dry sed.})$ 、 $b = 10(\text{mgC/l})$ とすると、

$$\therefore \frac{\text{POC}}{\text{DOC}} = 1881.2$$

よって  $\text{POC} = \text{TOC}$  とした。

クロサイト代表半径  $d_m$  も大きくなり、また全体として、浅海域の方が深海域よりも  $d_m$  は大きくなる事が分かる。同じ TOC 濃度に対して  $d_m$  が1つに決定されない(浅海域、深海域で異なってくる)のは、図-4に示すように、(マイクロサイトの母体となる)底泥に供給される POM 粒径分布が異なれば、たとえ底泥への POM 供給 flux が同じであっても脱窒活性分布が異なってくるからである。浅海域と深海域で供給 POM 粒径分布が異なってくるのは、水深の違いによって POM の分解の程度が異なるからである。従って POM の総量のみを扱ったモデルでは  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度分布を議論することができないので、本モデルではマイクロサイト代表半径  $d_m$  を導入し、 $d_m$  を好気性層内での脱窒を規定するパラメータと位置づけた。また同様の議論が浅海域、深海域の両グループ内でも考えられる。つまり底泥への供給 POM の粒径分布が異なれば、それ以外の条件がすべて同じであっても、 $\text{NO}_3^-$ -N 濃度分布は必ずしも等しくはならない。この場合、供給 POM 粒径分布が異なってくる理由は、POM の分解程度が異なるからというよりはむしろ、元々の POM の大きさが異なるからである。従って底泥に供給される POM について、水深の違いによって分解程度が異なること、元々の大きさが異なること、以上の2つの理由によって1つの TOC に対して  $d_m$  は1つに決まらず、ある幅をもっていると考えられるが、後者についてはここでは考慮しない。

次に佐賀県六角川鉛直方向  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度分布実測値(1993年9月13日)と本モデルの計算結果とを比較した。底泥表層部 TOC 実測値が約 30 mgC/g-dry sediment、また感潮域であることから、図-2より  $d_m=130\mu\text{m}$  を採用する。この値を本モデルに用いた際の結果が図-5である。これより、ほぼ実測値を再現できており、モデルの妥当性が示された。

#### 4. まとめ

鉛直一次元多層モデルにおいて経験的にしか評価されていなかった好気性層内の脱窒反応を、マイクロサイトを考慮した本モデルによって、より論理的に表現することができた。また鉛直一次元多層モデルでは、対象域毎の物理条件の差異によって、Monod 式の最大比増殖速度、飽和定数等の生物パラメータを変化させなければならないが、マイクロサイト内部では有機物とバクテリアのみの反応であるとした本モデルでは、生物パラメータを変化させる必要はない。このことから生じる汎用性もまた、本モデルの利点である。また先に述べたように、元々の POM の大きさが異なる場合、TOC の値のみからでは  $d_m$  を1つに決めることは出来ず、ある幅をもっていると考えられるが、この場合に示される  $d_m$  の範囲幅が現実的に考えて脱窒活性分布に有意であるかを今後検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 崎田, 楠田(1998): 環境工学研究論文集, 35, pp.235-241.
- 2) Nils, R.-H.(1997): *Limnol. Oceanogr.*, 42(3), pp.529-537.
- 3) Jensen, K.(1993): *Appl. Environ. Microbiol.*, 59(10), pp.3287-3296.
- 4) S.P.Dhakar(1996): *Amer. J. Sci.*, 296, pp.296-330.
- 5) M. Gehlen(1997): *Limnol. Oceanogr.*, 42(5), pp.980-986.
- 6) R.L.Marinelli(1998): *Limnol. Oceanogr.*, 43(6), pp.1305-1320.
- 7) R.A.Jahnke(1997): *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61(17), pp.3587-3604.

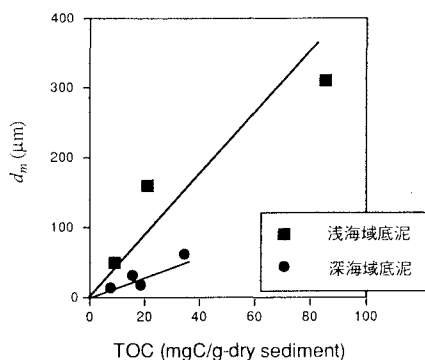


図-3 底泥表層部 TOC とマイクロサイト代表半径  $d_m$  の関係。(ここでは水深 100m を境として浅海域、深海域に分けた。)

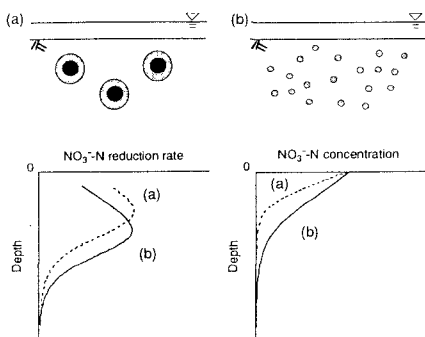


図-4 マイクロサイト半径  $d_m$  の違いによる底泥内  $\text{NO}_3^-$ -N の還元速度及び濃度分布の概念図。(a)  $d_m$  が大きい場合、(b)  $d_m$  が小さい場合。上図の黒色の部分で  $\text{NO}_3^-$ -N 還元が起こっていると考えられる。

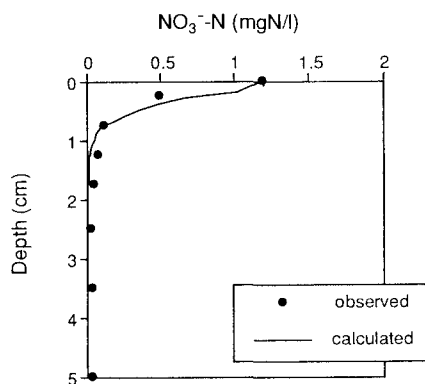


図-5 鉛直方向  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度分布。(実測値と計算値)