

II-436

底泥表層部でのマイクロサイト形成過程における酸素濃度分布

九州大学 正 大石京子
竹中工務店 正 井上 憲
九州大学 正 楠田哲也

1. はじめに

土壌学の分野では、土壌は好氣的であってもすべての部分で酸素呼吸が行われているわけではなく、嫌氣的マイクロサイトが存在することが指摘されている。これは、球形の団粒や菌塊と想定されている。これまでに団粒を形成しにくい底泥においても、表層部の酸化層の中にマイクロサイトが存在し、これを球形と仮定するとその直径は数百ミクロン程度であることを酸化還元電位から実験的に求めてきた¹⁾。さらに、マイクロサイトが形成される要因は、菌体の集積による局所的酸素の消失と考え、粒子態の有機物近傍における菌体の集積過程をシミュレーションにより示した²⁾。底泥表面に供給された粒子態有機物は、微生物の増殖を促しマイクロサイトが形成される。それに伴って、まず酸素濃度の分布ができ、次第に酸化還元電位の分布を形成すると考えられる。

本研究では、脱窒が可能なマイクロサイトの形成過程について簡略化した基礎式とメッシュモデルを用いたシミュレーションにより検討した。

2. マイクロサイトのモデル化

好気層内における無酸素及び嫌氣的なマイクロサイトの形成過程を検討するため、有機物を基質とした好気性従属栄養細菌の酸素呼吸についてのみ考え、以下の仮定に基づいてモデル化を行った。

- ①酸素は表層からのみ供給される。
- ②基質は生分解性の有機炭素のみである。
- ③生分解可能な有機炭素は溶存態有機炭素と粒子態有機炭素からなる。
- ④死滅菌体の炭素は粒子態有機炭素に属する。
- ⑤好気性従属栄養細菌を単一種とし、その濃度を X_h とする。
- ⑥粒子態有機炭素は加水分解を受けて好気性従属栄養細菌に速度 k_H で取り込まれる。
- ⑦菌体の移動はない。

菌体及び基質に関する収支式を表-1に、パラメーター値を表-2に示す。底泥の鉛直断面を0.02cm四方の格子に分割した二次元のメッシュモデルとしてその概念図を図-1に示す。

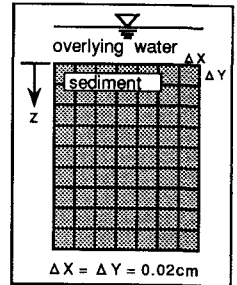


図-1 底泥鉛直断面の概念図

表-1 モデル式

溶存酸素
$\frac{\partial C_{DO}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{DO}}{\partial z} = -a \left(\frac{1}{Y} \mu_H \frac{C_{DOC}}{K_S^{DOC} + C_{DOC}} \frac{C_{DO}}{K_S^{DO} + C_{DO}} + \frac{1}{Y} k_H C_{POC} \frac{C_{DO}}{K_S^{DO} + C_{DO}} \right) X_h + \nabla \cdot D_{DO} \nabla^2 C_{DO}$
好気性従属栄養細菌
$\frac{\partial X_h}{\partial t} + u \frac{\partial X_h}{\partial z} = (\mu_H \frac{C_{DOC}}{K_S^{DOC} + C_{DOC}} \frac{C_{DO}}{K_S^{DO} + C_{DO}} + k_H C_{POC} \frac{C_{DO}}{K_S^{DO} + C_{DO}}) X_h - b X_h$
溶存態有機炭素
$\frac{\partial C_{DOC}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{DOC}}{\partial z} = -\frac{1}{Y} \mu_H \frac{C_{DOC}}{K_S^{DOC} + C_{DOC}} \frac{C_{DO}}{K_S^{DO} + C_{DO}} X_h + \nabla \cdot D_{DOC} \nabla^2 C_{DOC}$
粒子態有機炭素
$\frac{\partial C_{POC}}{\partial t} + u \frac{\partial C_{POC}}{\partial z} = -\frac{1}{Y} k_H C_{POC} \frac{C_{DO}}{K_S^{DO} + C_{DO}} X_h + \alpha b X_h$
ここに、 X_h : 菌体濃度(mg/l)、 C : 物質濃度(mg/l)、 μ_H : 最大比増殖速度(1/d)、 k_H : 粒子態有機炭素を加水分解して取り込む速度(1/mg・d)、 K_S : 飽和定数(mg/l)、 Y : 収率、 b : 死滅係数(1/d)、 a : 有機物酸化に使われる酸素量(mg-O ₂ /mg-C)、 D : 拡散係数(cm ² /d)、 ϕ : 空隙率、 α : 菌体中の炭素含有率、 u : 堆積速度(cm/d)ただし、添え字のDOは溶存酸素を、DOCとPOCはそれぞれ溶存態、粒子態の有機炭素を表わす。

表-2 パラメーター値

μ_H : 3.0 [1/d]	b : 0.05 [1/d]
k_H : 0.002 [1/mg・d]	α : 0.5
K_S^{DOC} : 15.0 [mg/l]	D_{DO} : 0.734 [cm ² /d]
K_S^{DO} : 0.10 [mg/l]	D_{DOC} : 0.440 [cm ² /d]
Y : 0.6	ϕ : 0.80
a : 0.7 [mgO ₂ /mgC]	u : 1.0 [mm/d]

表-3 初期値

C_{DO}^0 : 4.0 [mg/l]
C_{DOC}^0 : 10.0 [mg/l]
C_{POC}^0 : 5.0 [mg/l]
X_h^0 : 10.0 [mg/l]

各格子内で物質濃度は均一で、溶存態物質は各格子間で分子拡散し、粒子態物質は堆積作用により供給されるとした。まず表-3に示した初期値で計算を行い、定常状態に達した後、非常に高濃度の粒子態有機炭素をひとつの格子に入れて堆積させた。以後、1mm/dayの速度で0.02cmづつ初期値の条件で堆積させた。

3. 結果及び考察

初期値で計算を行い定常状態に達した時点での溶存酸素(DO)濃度の鉛直分布を図-2に示す。次に、高濃度の粒子態有機炭素を堆積させた後、

0.75日及び1.5日後のDO濃度分布をそれぞれ図-3、4に示す。以下、高濃度の粒子態有機炭素が存在する格子をAとする。図-3a)、4a)において、0.5mmの深さにAが存在する時点でのAとその層の平均DO濃度はそれぞれ0.65mg/l、1.54mg/lであり、1.3mmの深さにAが存在する時点ではそれぞれ0.13mg/l、0.67mg/lである。Aがその周囲に比べてDO濃度が非常に低いマイクロサイトになっている。これはAにおける菌体の増殖速度がその周囲に比べて非常に高いためである。また、Aの粒子態有機炭素濃度を2g/lとして堆積させた場合、0.5mmの深さにAが存在する時点でのAとその層のDO濃度はそれぞれ2.61mg/l、2.78mg/l、1.3mmの深さにAが存在する時点ではそれぞれ0.39mg/l、0.82mg/lであった。従って、粒子態有機炭素の量により、マイクロサイトの位置や大きさが決まると考えられる。粒子態有機炭素はほとんど分解されても、そこで増殖した微生物の死滅菌体からの供給によって比較的高濃度の粒子態有機炭素を維持することができた。

脱窒反応が生じるDO濃度を0.2mg/l以下とすると、Aの初期の粒子態有機炭素濃度が5g/lの場合には1mm程度の深さで脱窒が生じるマイクロサイトが形成されている。有機物が易分解性であってもその量が非常に少ない場合、酸素濃度が高い表面近くで消費され尽くしてマイクロサイトの形成は難しい。分解速度が非常に遅い有機物の場合、菌体の集積は起こりにくいため、表層部においてはマイクロサイトとして存在しにくい。しかし、難分解性有機物が硝酸塩の存在しない下層部まで維持されることにより硫酸還元やメタン生成のマイクロサイトになると考えられる。

以上の結果から底泥内に分布する粒子態有機炭素量に応じてマイクロサイトレベルでDOの濃度分布が形成されることが示された。層平均としてDO濃度が高い表層から1mm前後の層内のマイクロサイトで脱窒が可能である。硝酸塩が消失した下層部まで輸送されてきた粒子態有機炭素は、さらに低い酸化還元レベルの物質変換のマイクロサイトを形成し、それは酸化還元電位の分布として示される。

<参考文献>

- 1)大石ら：底泥表層部におけるマイクロサイトの形成とその分布に関する実験的研究、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、1128～1129,1991.
- 2)井上ら：底泥表層部におけるマイクロサイトのモデル化に関する基礎的研究、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、1130～1131,1991.

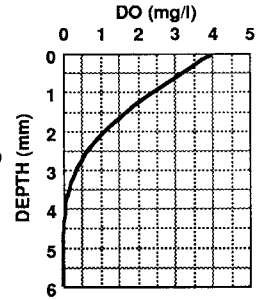


図-2 底泥中のDO濃度の鉛直分布

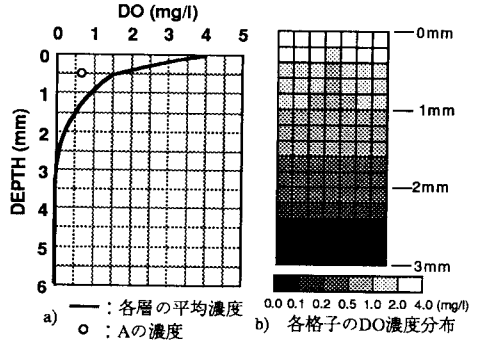


図-3 シミュレーション結果：堆積後0.75日
(A：高濃度の粒子態有機炭素が存在する格子)

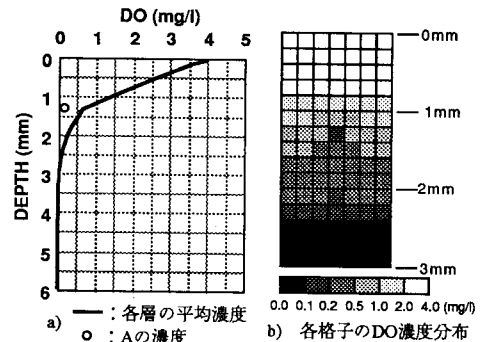


図-4 シミュレーション結果：堆積後1.50日
(A：高濃度の粒子態有機炭素が存在する格子)