

九州大学大学院 学生員○井上 憲
九州大学工学部 正 員 大石京子
同 上 正 員 楠田哲也

1. はじめに

底泥や生物膜において、好気条件下における生物学的脱窒、有機物酸化と硝化の競合、嫌気条件下における酸生成菌とメタン生成菌の共生等、微生物の空間的な分布や棲み分けが微小な領域で形成されていると考えることにより説明できる現象が数多く報告されている。この微小な領域での微生物の分布や棲み分けはマイクロサイトと呼ばれ、土壌学の分野ではすでにその概念が導入されているが、底泥に関しては僅かにJørgensen¹⁾の人工的に作ったマイクロサイトに関する研究等がある程度である。そのサイズについてはテトラゾリウム塩を用いたマイクロサイトの検出²⁾によると、それを球形と考えた場合直径が数百 μm であると考えられる。

マイクロサイトの発生条件や分布、存在時間などその挙動が明らかにされると、この存在を積極的に用いることにより、自然浄化機能の強化と制御や廃水の生物処理を効率よく行える可能性がある。そこで本研究では、マイクロサイトを微生物の集積場所と考え、好気条件下において制限物質となる基質が有機炭素源である場合のマイクロサイトの存在の可能性および時間的変化について、本質を失わない程度に簡略化した微生物反応式と条件を用いてその検討を行った。

表-1 基礎式

2. 仮定および基礎式

底泥表層部は好気条件下であるとして、有機炭素源および菌体について次のように仮定した。

- ・生物分解可能な有機炭素源は、易分解性のもの（濃度 C_B ）と難分解性のもの（濃度 C_{NB} ）とからなるものとする。
- ・難分解性のものは初期に存在するものに加えて、死滅菌体がこれに属するものとする。
- ・易分解性のものは初期に存在するものに加えて、難分解性のものが溶解したものがこれに属するものとする。
- ・好気性従属栄養細菌全体を一つにまとめて考え、その菌体濃度を X_h とする。
- ・菌体の移動はないものとする。

以上の仮定のもとで表-1に示す基礎式（1）、（2）、（3）を構築した。

3. 計算方法

図-1に示すように底泥の鉛直断面を0.02cm四方の格子に分割し、易分解性有機物は溶存態で存在するとして格子間での拡散を考えた。

底泥において菌体の集積が起こるためには、基質となる有機炭素源が周囲と比較して非常に高濃度な点が存在する必要があると考えられる。そこで、まず底泥中の有機炭素源は難分解性のものに比べて易分解性のものが非常に多いとして、底泥の空間中に菌体が一様に分布する中に、図-1のAの格子に高濃度の易分解性有機炭

$$\begin{aligned} \frac{\partial X_h}{\partial t} &= (\mu_B \frac{C_B}{K_{SB} + C_B} + \mu_{NB} \frac{C_{NB}}{K_{SNB} + C_{NB}}) X_h - k_d X_h \quad \dots(1) \\ \frac{\partial C_B}{\partial t} &= -\frac{1}{Y} \mu_B \frac{C_B}{K_{SB} + C_B} X_h + \nabla \cdot D \phi \nabla C_B + v_{mc} \frac{C_{NB}}{K_{SC} + C_{NB}} \quad \dots(2) \\ \frac{\partial C_{NB}}{\partial t} &= -\frac{1}{Y} \mu_{NB} \frac{C_{NB}}{K_{SNB} + C_{NB}} X_h + \alpha k_d X_h - v_{mc} \frac{C_{NB}}{K_{SC} + C_{NB}} \quad \dots(3) \\ \frac{\partial X_h}{\partial t} &= (\frac{\mu_B}{K_{SB}} C_B + \frac{\mu_{NB}}{K_{SNB}} C_{NB}) X_h - k_d X_h \quad \dots(1') \\ \frac{\partial C_B}{\partial t} &= -\frac{1}{Y} \frac{\mu_B}{K_{SB}} C_B X_h + \nabla \cdot D \phi \nabla C_B + \frac{v_{mc}}{K_{SC}} C_{NB} \quad \dots(2') \\ \frac{\partial C_{NB}}{\partial t} &= -\frac{1}{Y} \frac{\mu_{NB}}{K_{SNB}} C_{NB} X_h + \alpha k_d X_h - \frac{v_{mc}}{K_{SC}} C_{NB} \quad \dots(3') \end{aligned}$$

X_h : 菌体濃度($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)、 C : 有機物濃度($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)、 μ : 最大比増殖速度(d^{-1})
 K_s : 飽和定数($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)、 Y : 収率、 k_d : 死滅係数(d^{-1})、 α : 細菌中の炭素含有率、 D : 拡散係数($\text{cm}^2 \cdot \text{d}^{-1}$)、 ϕ : 空隙率、 v_{mc} : 物質変換速度($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)、 t : 時間(d)
 ただし、添え字のBとNBは易分解性、難分解性の有機炭素源を、Cは難分解性から易分解性への物質変換を表す。

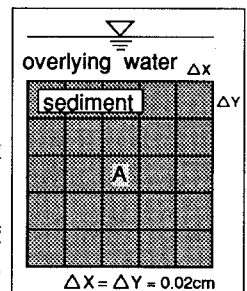


図-1 計算に用いた底泥鉛直断面の概念図

素源が存在する場合を初期値として計算を行った（計算1）。次に、易分解性の有機炭素は底泥中にはほとんど存在せず、高濃度の難分解性有機炭素源がAに存在する場合を初期値として計算を行った（計算2）。また、計算には単純化のために $K_{SB} \gg C_B$, $K_{SNB} \gg C_{NB}$, $K_{SC} \gg C_{NB}$ とした式（1'）,（2'）,（3'）を用いた。計算に用いたパラメーターを表-2に、初期値を表-3に示す。有機炭素量については、研究対象としている佐賀県六角川底泥の炭素含有率が底泥の乾燥重量の約3%であることから、この量を越えない程度の値を初期値とした。

4. 結果および考察

計算1の結果を図-2に示す。この場合、Aの菌体濃度とその周囲の菌体濃度との顕著な差が見られないことがわかる。これはAに初期に存在した高濃度の易分解性有機炭素は、その消費速度よりも拡散の方が速いため菌体の集積が起こる前に周囲との基質濃度の差が小さくなり、その結果菌体の集積が起こりにくいためである。

次に、計算2の結果を図-3に示す。Aでは菌体の集積が起こっており、Aにおいて初期に存在した基質により増殖した菌体は、2日目あたりをピークにしてその後自己分解による炭素源を基質としてゆっくりと減少していくことがわかる。この2つの計算結果から、底泥における初期の菌体濃度が一樣であるとする、難分解性の粒子状で存在する有機炭素源の分布状態により菌体の集積場所すなわちマイクロサイトが形成され、その状態は比較的長く維持できると考えられる。

5. おわりに

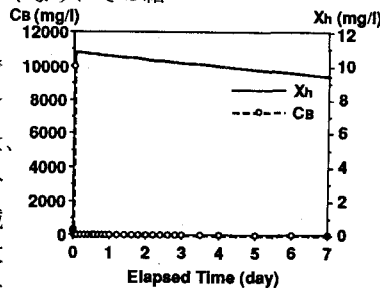
以上の結果を裏付けるためには底泥中の有機炭素源の分布状態を把握することが必要であるが、微小な有機炭素源の分布を測定することは技術的に非常に困難である。今後はこの点についての検討を行い、マイクロサイトについてさらに理論的および実験的に追求し、感潮河川の底泥表層部における窒素変換機能のモデル化に結び付けて行く予定である。

表-2 パラメーター値

μ_B/K_{SB} : 0.01 [$l \cdot mg^{-1} \cdot d^{-1}$]
μ_{NB}/K_{SNB} : 0.001 [$l \cdot mg^{-1} \cdot d^{-1}$]
v_{mc}/K_{SC} : 2.4 [d^{-1}]
Y : 0.6
k_d : 0.05 [d^{-1}]
α : 0.5
D : 0.518 [$cm^2 \cdot d^{-1}$]
ϕ : 0.87

表-3 初期値

計算1（底泥中）	計算2（底泥中）
$C_B = 100$ [$mg \cdot l^{-1}$]	$C_B = 0$ [$mg \cdot l^{-1}$]
$C_{NB} = 0$ [$mg \cdot l^{-1}$]	$C_{NB} = 100$ [$mg \cdot l^{-1}$]
$X_h = 10$ [$mg \cdot l^{-1}$]	$X_h = 10$ [$mg \cdot l^{-1}$]
Aのみ $C_B = 10000$ [$mg \cdot l^{-1}$]	Aのみ $C_{NB} = 10000$ [$mg \cdot l^{-1}$]
直上水: $C_B = 3$ [$mg \cdot l^{-1}$]	

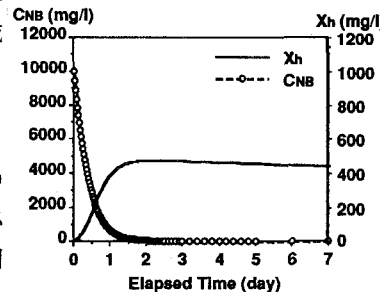


a)格子Aの X_h 及び C_B の経時変化

10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
10.4	10.4	10.5	10.4	10.4
10.5	10.6	10.8	10.6	10.5
10.6	10.6	10.7	10.6	10.6
10.6	10.6	10.7	10.6	10.6

b)Aの X_h が最大になる時の各格子における X_h $T=0.1$ (day)

図-2 計算結果（計算1）



a)格子Aの X_h 及び C_{NB} の経時変化

10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
10.4	10.4	10.5	10.4	10.4
10.5	10.6	10.8	10.6	10.5
10.6	10.6	10.7	10.6	10.6
10.6	10.6	10.6	10.6	10.6

b)Aの X_h が最大になる時の各格子における X_h $T=2.0$ (day)

図-3 計算結果（計算2）

参考文献

- 1) B.B.Jørgensen : Bacterial sulfate reduction within reduced microniches of oxidized marine sediments; Marine Biology 41, pp.7-17, 1977.
- 2) 日野ら : 底泥表層部におけるマイクロサイトの形成とその分布、平成2年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.394~395、1991.