

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

1. はじめに

感潮河川の底泥における硝化・脱窒といった窒素変換機能を評価するには、底泥中の物理化学的な環境を考慮する必要がある。そこで、本研究では六角川(佐賀県)の六角橋付近(河口より約11km地点)の底泥を対象に、底泥中の酸化還元状態の定性的な検討を行い、その結果に基づいて底泥中の窒素変換のモデル化を試みた。

2. 実験方法

供試底泥：六角橋付近で大潮の干潮時に乱さないようにコア状で底泥を採取し、間隙水中の各態窒素濃度を測定した。

チトクロム酸化酵素による好気性微生物分布の検討：p-7ミリゾフェニルアミン20mgと1-ハイドロキシ-2-ナフト酸20mgを、1mlのメタノールで溶かし蒸留水10mlを加えた。これに0.2Mリン酸緩衝液(pH=7.4)10mlを加えよく混合した後ろ過した。別に寒天2gを蒸留水60ml、0.2Mリン酸緩衝液20mlで煮溶かし、ろ液を加えシャーレに流し固めてゲル化した後、コア状の底泥を鉛直方向にスライスした切片を置き25℃で15分間培養した。対照を得るために、この酵素活性を特異的に阻害する物質 Na_2S を最終濃度で5mMの割合で反応液に加えたものについても行った。

ニトロブルー-テトラゾリウム(NBT)法による底泥中の還元部位の検討：0.2Mリン酸緩衝液(pH=7.4)100mlで寒天2gを煮溶かし、NBT50mgを5mlの水で溶かして加えシャーレに流し固めた。コア状の底泥を鉛直方向にスライスし、その上にホルマリンを数滴落として空気が入らないように、ゲル化した反応液上に置き25℃で12時間培養した。

3. 結果及び考察

3-1. 底泥中の酸化還元状態の検討

底泥中の硝化・脱窒反応を考えるには、酸素濃度や酸化還元電位の分布を把握する必要がある。そこで、底泥中の酸化還元状態を好気性微生物の存在を示すチトクロム酸化酵素活性と、標準酸化還元電位が約-70mV(pH=7.0)であるNBTの還元を指標に検討した。その結果、六角橋付近の底泥は底泥表面から2.5cm程度まで酵素の活性が認められ、このことから好気状態にあるのは底泥表面から2.5cm程度までで、硝化反応はこの領域で起こっているものと考えられる。また、NBTの還元部位はチトクロム酸化酵素活性が認められた好気層においても部分的に存在しており、酸化層と考えられるところにおいても還元性を示す部位が点在していることが示された。

3-2. 底泥中の窒素変換機能のモデル化

六角橋付近の底泥における各態窒素濃度の実測値の鉛直分布を図-1に示す。底泥中の酸化還元状態の検討から底泥表層部においては酸化・還元部位が混在していることが示され、そこには硝化・脱窒の基質となる $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が存在するため、好気層と考えられるところにおいても脱窒を考慮しなければならない。また、NBTの還元部位の占める比率は下層にいくほど大きく2.5cmの深さでほぼ100%となった。そこで、脱窒に関する物質変換式は溶存酸素の関数としてMonod型を用いて、表層部の分

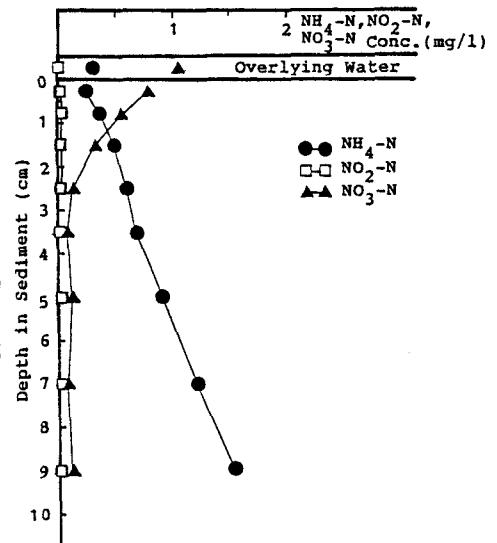


図-1 底泥の間隙水中の
各態窒素濃度の実測値

子状酸素が存在する層においても脱窒が生じるようなモデル式によりシミュレーションを行った。

まず、次の物質変換式から底泥各層での酸素消費速度及び各態窒素変換速度を求め、次に物質収支式から各層における溶存酸素濃度及び各態窒素濃度を推定した。

物質変換式

$$R_1 = \frac{V_{maxR1} \cdot C_{NH4}}{K_{S1} + C_{NH4}} \cdot \frac{C_{DO}}{K_{DO,R1} + C_{DO}} \cdot SS : \text{アンモニア酸化}$$
$$R_2 = \frac{V_{maxR2} \cdot C_{NO2}}{K_{S2} + C_{NO2}} \cdot \frac{C_{DO}}{K_{DO,R2} + C_{DO}} \cdot SS : \text{亜硝酸酸化}$$
$$R_3 = \frac{V_{maxR3} \cdot C_{NO3}}{K_{S3} + C_{NO3}} \cdot (1 - \frac{C_{DO}}{K_{DO,R3} + C_{DO}}) \cdot SS : \text{硝酸還元}$$
$$R_4 = \frac{V_{maxR4} \cdot C_{NO2}}{K_{S4} + C_{NO2}} \cdot (1 - \frac{C_{DO}}{K_{DO,R4} + C_{DO}}) \cdot SS : \text{亜硝酸還元}$$
$$R_5 = V_{maxR5} \cdot (1 - \frac{C_{DO}}{K_{DO,R5} + C_{DO}}) \cdot SS : \text{アンモニア化成}$$
$$R_6 = \frac{V_{maxR6} \cdot C_{DO}}{K_{S6} + C_{DO}} \cdot SS : \text{酸素消費(アンモニア酸化及び亜硝酸酸化による酸素消費を除く)}$$
$$R_7 = 3.22 \cdot R_1 : \text{アンモニア酸化による酸素消費}$$
$$R_8 = 1.11 \cdot R_2 : \text{亜硝酸酸化による酸素消費}$$

物質収支式

$$\frac{\partial C_{DO}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \cdot (\phi \cdot D_{DO} \cdot \frac{\partial C_{DO}}{\partial Z}) - (R_6 + R_7 + R_8)$$
$$\frac{\partial C_{NH4}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \cdot (\phi \cdot D_{NH4} \cdot \frac{\partial C_{NH4}}{\partial Z}) - R_1 + R_5$$
$$\frac{\partial C_{NO2}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \cdot (\phi \cdot D_{NO2} \cdot \frac{\partial C_{NO2}}{\partial Z}) + R_1 - R_2 + R_3 - R_4$$
$$\frac{\partial C_{NO3}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \cdot (\phi \cdot D_{NO3} \cdot \frac{\partial C_{NO3}}{\partial Z}) + R_2 - R_3$$

ここに、Vmax:最大基質消費速度(μgN/cm³・hr),Ks:飽和定数(μgN/l),C_{DO}:溶存酸素濃度(μg/l),C_{NH4},C_{NO2},C_{NO3}:各態窒素濃度(μgN/l),D:拡散係数(cm²/hr),φ:空隙率,ΔZ:0.5cm,Δt:0.4hr

また、式中のパラメーターは20℃において物質変換速度を実験的¹⁾に求め、各底泥層における各態窒素濃度の初期値は実測値に基づいて定めた。拡散係数を表-1に示す。

上記モデル式を用いたシミュレーション結果を図-2に示す。シミュレーションによる各態窒素濃度は比較的図-1の実測値に近い分布が得られた。底泥中での溶存酸素濃度は実測していないが有機物酸化、硝化による酸素消費からシミュレーションすると底泥表面から2.5cmあたりまで酸素が存在していて、これはチトクロム酸化酵素活性による検討結果とほぼ一致することから、図-2のような分布をとるのではないかと考えられる。以上のことから、Monod型の上記モデル式で底泥中の窒素変換を表現することができると考えられる。

4. おわりに

本研究においては、底泥表層部に部分的に存在する還元部位をモデル化の際にどのように表現するかということで検討し、Monod型の式を用いて比較の実測値に近い鉛直分布を得ることができた。今後は、表層部に点在する還元部位の評価についてさらに検討を進めるとともに、底泥中の酸化還元電位に重要な役割を果たしている鉄イオン分布を検討して酸化還元状態の定量的な評価も行う予定である。

<参考文献> 1)成富ら:感潮河川河口部底泥における窒素変換過程に関する基礎的研究、昭和63年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp284~285、1989

表-1 拡散係数 [cm²/hr]

D _{DO}	D _{NH4-N}	D _{NO2-N}	D _{NO3-N}
0.036	0.072	0.069	0.056

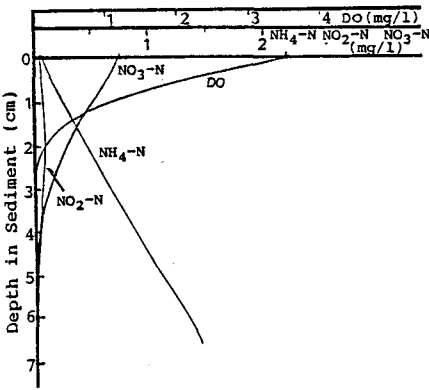


図-2 底泥中のDO及び各態窒素濃度のシミュレーション結果