

PSII-12 感潮河川における硝化速度と硝化菌存在量について

九州大学 工学部 正員 ○古米 弘明 正員 二渡 了
同 上 正員 楠田 哲也 大石 京子
神鋼ファウドラ 正員 工藤 幸雄

1. はじめに 河川における窒素の挙動は溶存酸素の減少、微生物の増殖に深く関わっておりその把握は水質汚濁防止のうえで重要である。対象感潮河川の水質調査データを用いて各無機態窒素と塩分濃度との関係を求めた結果¹⁾が図-1である。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の順に濃度ピークがより高い塩分濃度領域へ移行しており硝化作用の存在が確認されている。本研究では潮汐作用により周期的に塩分の影響を受ける底泥による硝化速度と従来検討が不足している底泥内に存在する硝化菌量についても実験的に検討した。

2. 実験方法 実験に使用した底泥は、図-2に示す強混合河川、六角川より採取した。干潮時に露出する河床表層から1cmの底泥を河口より27.2, 20.6, 4.0kmの地点より採取した。図-3に実験装置を示す。反応容積4Lのポリビンを用いて空気による曝気搅拌を行うものと容積50mLのガラスバイアルを搅拌振とうして行うものの二種類である。実験は暗条件で20°C恒温室で行った。

実験条件を表-1に示す。まず、塩分濃度の影響を調べるために上流、中流、下流の3地点の底泥に対し海水百分率を1~80%まで5段階に変化させ、窒素源として $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ を10mg/L添加する実験を行った。第二に中流底泥を用いて硝化菌量の推定のために海水百分率1, 5, 25%の条件で一旦アンモニアの硝化をさせたのち再度 $\text{NH}_4\text{-N}$ を添加する実験と25%で初期濃度を3段階に変化させた実験を行った。各実験とも底泥をSSとして一定になるように調整し、経時的に窒素濃度変化を調べた。使用した海水は、福岡県津屋崎沖200m地点の砂濾過海水である。

3. 実験結果および考察 a) 塩分濃度の影響 図-4に例として、上流底泥を用いた各塩分濃度での窒素濃度経時変化を示した。図-4aに示されるようにアンモニア酸化は、1, 5%より25%で速い反応を示し、50, 80%と塩分濃度が増加するにつれて反応は遅くなることが伺える。Akaiら²⁾は淡水性硝化菌を用いた塩分濃度の影響の実験より海水百分率25%では、淡水状態と比べ最大比増殖速度が半分以下になることを示している。このことから本底泥中の硝化菌は海水耐性あるいは馴養された菌であることが考えられる。また、亜硝酸酸化については、アンモニア酸化に比べ塩分濃度の影響は著しく、5%で最大の硝化速度を示すものの80%ではかなり反応が抑えられていることがわかる。ここで、硝化速度を定量的に整理するために以下の式を導入した。

$$\frac{dX}{dt} = \mu_m \frac{S}{K_s + S} X = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \{ Y (S_0 - S) + X_0 \} \quad (1)$$

ここで、 μ_m : 最大比増殖速度 S : 基質濃度 Y : 収率 K_s : 飽和定数
 X : 菌体濃度 S_0 : 初期濃度を示す。

(1)式より以下の解(2)式が求まり、さらに無次元化すると(3)式となる。

$$\mu_m t = \frac{1}{P} \{ (K_s + 1) \ln \left(\frac{S_0}{S} \right) + (P + K_s) \ln \left(\frac{P - S}{P - S_0} \right) \} \quad (2)$$

$$P = S_0 + X_0 / Y$$

$$\mu_m t = \frac{1}{1 + \bar{X}_0} \cdot \{ -\bar{K}_s \ln \bar{S} + (1 + \bar{X}_0 + \bar{K}_s) \ln \left(\frac{1 + \bar{X}_0 - \bar{S}}{\bar{X}_0} \right) \} \quad (3)$$

ここで、 $\bar{K}_s = K_s / S_0$, $\bar{S} = S / S_0$, $\bar{X}_0 = X_0 / (S_0 + Y)$

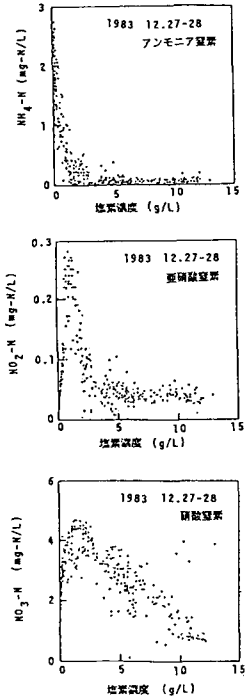


図-1 無機態窒素と塩分濃度の関係

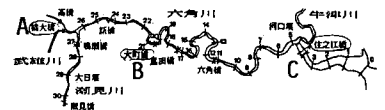


図-2 採泥地点

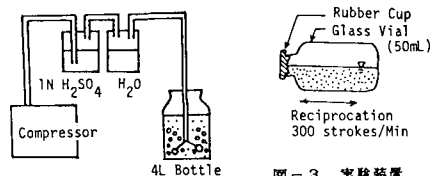


図-3 実験装置

表-1 実験条件

実験名	実験1	実験2	実験3
海水百分率	1, 5, 25, 50, 80%	1, 5, 25%	25%
基質	$\text{NH}_4\text{-N}$ 10mg/L	$\text{NH}_4\text{-N}$ 10mg/L	$\text{NH}_4\text{-N}$
添加濃度	$\text{NO}_2\text{-N}$ 10mg/L	硝化終了後再度添加	10, 5, 2.5mg/L
採泥日	1986年11月9日	1987年1月9日	
地点	A, B, C点	B点	
無塩類	BOD希釈液用	A, B, C, D液	1mL/L

* $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ はそれぞれ NH_4Cl , NaNO_2 により添加

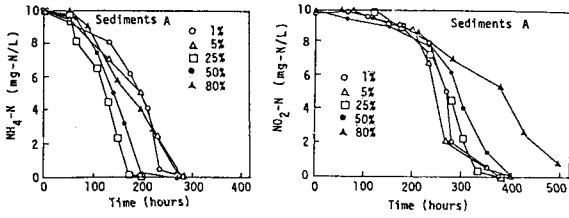


図-4(a) $\text{NH}_4\text{-N}$ 経時変化(上流底泥) 図-4(b) $\text{NO}_2\text{-N}$ 経時変化(上流底泥)

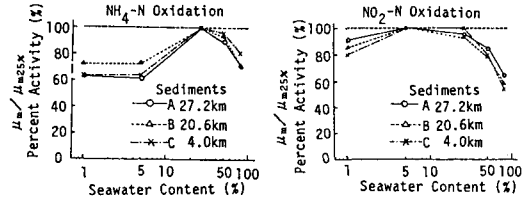


図-5 最大比増殖速度におよぼす塩分濃度の影響

さらに、本実験条件から判断して導入可能な以下の仮定を行うと、 $\bar{S}$ が 0 に近い濃度領域で(4)式が成立する。 $\bar{K}_s \ll 1$ $\bar{X}_0 \ll 1$

$$\mu_m t = \ln \left(\frac{1 + \bar{X}_0 + \bar{S}}{\bar{X}_0} \right) \quad \mu_m = \frac{\text{Const.}}{t(\bar{S} - \text{定値})} \quad (4)$$

したがって同地点の底泥を用いた実験において、ある一定の窒素濃度に到達する反応時間の比をとることにより、容易に各塩分濃度における最大比増殖速度の比較を行うことができる。この結果を図-5に整理した。アンモニア、亜硝酸の酸化においてそれぞれ最大速度を示した海水百分率25%,5%の条件下での値を1として比較すると、上流から下流まですべての底泥においておおよそ似かよった塩分濃度の影響を示している。しかし、アンモニアと亜硝酸酸化の両者を比較すると、傾向が異なっておりアンモニア酸化については5%と25%の間に急激な変化がみられる。この傾向をさらに検討するために、各海水百分率での地点別の $\bar{S} = 0.5$ 到達反応時間の関係を図-6にまとめた。図からわかるように1,5%と25%以上の間には地点間の傾向に違いがあり、25%以上では、高い塩分濃度に随時さらされている下流底泥で中流底泥よりも到達反応時間が短く、下流において海水への耐性の強い異なる菌種が共存している可能性を示しているものと考えられる。

b) 硝化菌量の推定 硝化菌量推定のために行った実験2と3は同一底泥で行っており、 μ_m と K_s は一定であると考えられる。したがって、続けて基質の添加することや初期濃度を段階的に設定することによって添加1回目と2回目との間や一段目の初期濃度から二段目の濃度への移行の間に菌体が増殖し菌体濃度に差が生じ、その結果両者の間に前述の到達反応時間や硝化速度に違いが観察される。この違いから以下の(5)式と(6)式を用いることによって菌体量を推定した。

同一塩分濃度条件下で同じ基質濃度時点

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\ln \left(\frac{1 + \bar{X}_1 - \bar{S}}{\bar{X}_1} \right)}{\ln \left(\frac{1 + \bar{X}_2 - \bar{S}}{\bar{X}_2} \right)} \quad (5) \quad \frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{\frac{1}{Y} \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S} X_1}{\frac{1}{Y} \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S} X_2} = \frac{X_1}{X_2} \quad (6)$$

($X_2 = X_1 + \Delta X$)

その結果を表-2に示す。両推定値に若干の差があるものの底泥には約19~55 $\mu\text{g/g}$ (乾泥)の $\text{NH}_4\text{-N}$ 酸化菌が存在していることが推定できた。

c) カーブフィッティング 上記の推定菌体量の平均を用いて各実験の水質経時変化データへのカーブフィッティングを行い、アンモニア酸化菌の μ_m と K_s を推定した。その代表例を図-7に示した。塩分濃度の影響を受けた硝化作用の傾向をよく表現できることがわかる。以上のことより中流底泥でのアンモニア酸化の μ_m と K_s は各塩分濃度に対し表-3に示される値になることが明らかとなった。今後、菌種の多様性の可能性や馴養について検討し、硝化菌の増殖特性を再整理する予定である。

参考文献 1)二渡ら 第14回環境問題シンポジウム講演論文集 1986 p40-45

2) Akai et.al Ecological Modelling (19) 1983 pp189-198

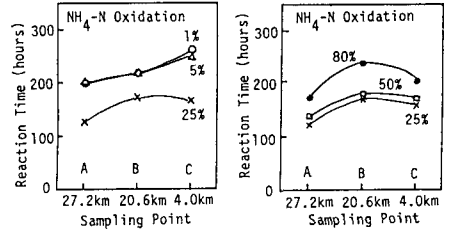


図-6 採泥地点による硝化反応の違い

表-2 推定硝化菌量

実験名	推定菌体量 $\mu\text{g/g}$ ・乾泥
実験2 1%	3.7
5%	1.9
25%	3.0
実験3 10 & 5mg/L	4.4
10 & 2.5mg/L	5.3

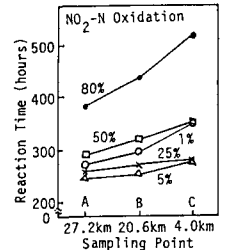


表-3 硝化菌増殖パラメーター推定値

海水百分率	μ_m (1/hour)	K_s (mg-N/L)
1%	0.011	0.2
5%	0.012	0.1
25%	0.014	0.4
50%	0.013	0.2
80%	0.011	1.0

* 計算に使用した硝化菌量 = 37 $\mu\text{g/g}$

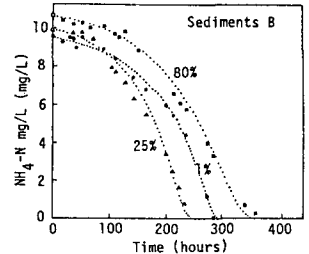


図-7 カーブフィッティングによるパラメーターの推定