

東京大学大学院 学 〇赤井 大郎
新日本製鉄 三木 理
東京大学工学部 正 大垣 真一郎

1. はじめに

感潮域に放流された2次処理水水質の挙動は、淡水域に放流された場合と異なる。硝化作用は、Monod型の硝化菌増殖速度式で表現され、塩分による阻害を受けることがわがっている。(1) 本報告は、生物量を直接考慮した硝化モデルを立て、数値計算により、その挙動を調べたものである。また、塩分による硝化作用の阻害の影響を、このモデルを用いて調べた。

2. Monod型硝化菌増殖モデルの定式化と計算結果

硝化菌量を直接考慮した硝化作用モデルを、(表-1)に示す。パラメーターの値を変化させ、その影響を調べた結果を以下に述べる。

(i) 初期亜硝酸酸化菌濃度($X_{2,0}$)を、変化させた結果を(図-1)に示す。この初期菌体量を大きくすると、亜硝酸性窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)の最大蓄積濃度は著しく減少する。アンモニア性窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)には、全く影響がない。

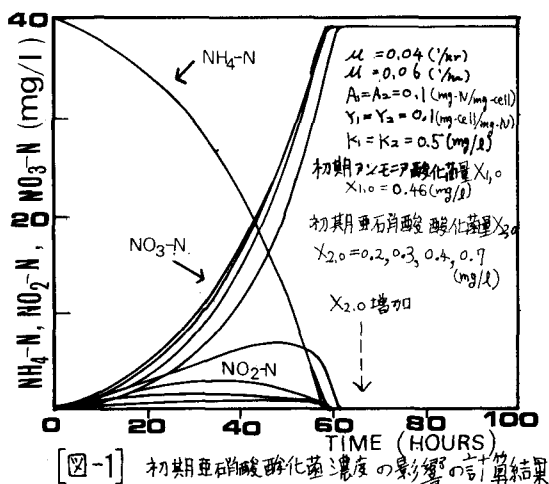
(ii) アンモニア酸化菌の収率(Y_1)と亜硝酸酸化菌の収率(Y_2)を、 $Y_1=Y_2$ と仮定し、この収率を変化させた結果を(図-2)に示す。収率が大きくなると、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の蓄積期間が、著しく増加する。最大蓄積濃度は、わずかに増加する。

(iii) アンモニア酸化菌のMonod型増殖反応式の飽和定数 K_1 を、変化させた結果を(図-3)に示す。飽和定数 K_1 を大きくすると、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の酸化が、かなり遅れる。 $\text{NO}_2\text{-N}$ の最大蓄積濃度には、ほとんど影響がない。

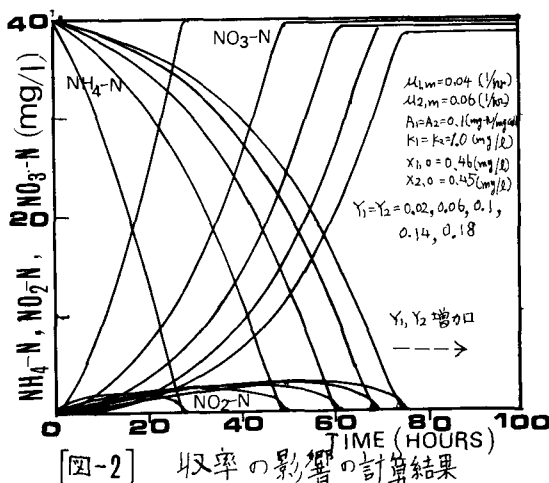
(iv) 亜硝酸酸化菌のMonod型の飽和定数 K_2 を、変化させた結果を(図-4)に示す。飽和定数 K_2 を、大きくすると、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が著しく蓄積する。なぜならば、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の濃度($\text{NO}_2\text{-N} < 5 \text{ mg/l}$)と K_2 の値(0.05, 1.5 mg/l)が、大きく異ならないためである。 $\text{NH}_4\text{-N}$ には、ほとんど影響がない。

[表-1] 硝化作用モデルの定式化

(1) $\frac{dX_1}{dt} = \mu_{1m} \frac{S_1}{K_1 + S_1} X_1$	増殖式	X_1 : アンモニア酸化菌濃度
(2) $\frac{dX_2}{dt} = \mu_{2m} \frac{S_2}{K_2 + S_2} X_2$		X_2 : 亜硝酸酸化菌濃度
(3) $\frac{dS_2}{dt} = -\frac{dS_1}{dt} - A_1 \frac{dX_1}{dt} - \frac{1}{Y_2} \frac{dX_2}{dt}$		μ_{1m} : X_1 の最大比増殖速度 μ_{2m} : X_2 の最大比増殖速度 K_1, K_2 : X_1, X_2 に対するMonod式の飽和定数
(4) $\frac{dX_1}{dt} = -Y_1 \frac{dS_1}{dt}$	窒素収率式	S_1 : アンモニア性窒素濃度 S_2 : 亜硝酸性窒素濃度 A_1 : X_1 の窒素係数 A_2 : X_2 の窒素含有率 Y_1 : X_1 の窒素収率 Y_2 : X_2 の窒素収率
(5) $\frac{dX_2}{dt} = Y_2 \left(\frac{dS_3}{dt} + A_2 \frac{dX_2}{dt} \right)$		



[図-1] 初期亜硝酸酸化菌濃度の影響の計算結果



[図-2] 収率の影響の計算結果

3. 塩分の硝化作用に対する非拮抗阻害的影響

非拮抗阻害とは、基質と構造上の類似性のない阻害剤(I)が、酵素または酵素-基質複合体と反応し、生産物の生成を阻害する反応である。

生産物の生成速度をVとすると、次のように表わされる。(2)

$$V = \frac{V_m \cdot S}{(K_m + S)(1 + I/K_i)} \quad \text{--- (6)式}$$

阻害のない場合の生成速度 V_0 は、次のように表わされる。

$$V_0 = \frac{V_m \cdot S}{K_m + S} \quad \text{--- (7)式}$$

ここで、 K_m : Michaelis 定数, K_i : 阻害剤-酵素平衡定数, V : 生産物生成速度, V_0 : 阻害のない場合の生成速度, V_m : 最大反応速度, S : 基質濃度, I : 阻害剤濃度である。

阻害率Dを、 $D = 1 - V/V_0$ とすると、阻害率の逆数は次のようになる。

$$1/D = 1 + K_i/I \quad \text{--- (8)式}$$

塩分の硝化作用に対する阻害に関して、 V と V_m を、それぞれ、アンモニア酸化菌の比増殖速度 μ と最大比増殖速度 $\mu_{1,m}$; K_m を、Monod 型増殖式の飽和定数 K_i ; S を $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度; I を人工海水濃度と考える。

(図-5)に示す回分硝化実験結果を、(8)式で整理した結果を(図-6)に示す。これから、アンモニア酸化作用に対する塩分の影響を、非拮抗阻害型反応として説明できることがわかった。

阻害の影響の大きさ、(表-1)のモデルを用い計算した結果を、(図-7)に示す。

計算にあたり、亜硝酸酸化菌に対する阻害作用は、アンモニア酸化菌と同じく、(3)式で表わされると考えた。 μ_1 には、(図-5)中の実験値を用い、 μ_2 には、その1.5 倍の値を用いた。

塩分濃度が高くなると、硝化反応が著しく遅れることがわかる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化が終わるまでの期間が、海水濃度50%では、淡水に比べ約5倍長くなる。最大蓄積 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は、[図-7]

参考文献 (1) 三本 泰典 (1982): 第16回水質汚濁学会論文発表会
変化しない。(2) 合衆S: 生物化学工学 (1975); (3) Downing et al. 38: 263, (1965)

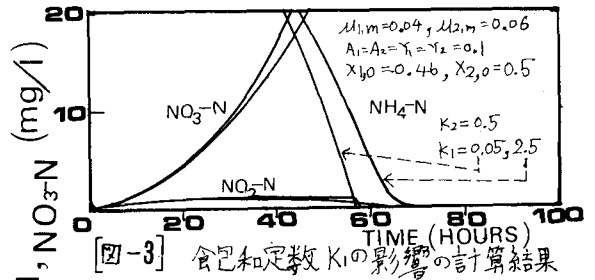


図-3 inhibition 定数 K_i の影響の計算結果

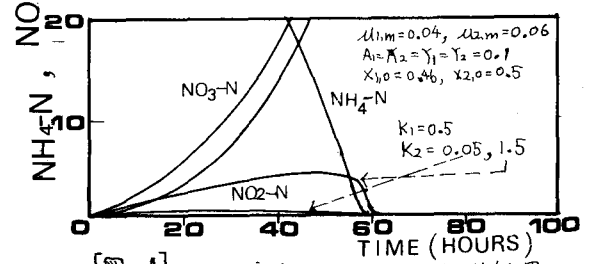


図-4 飽和定数 K_2 の影響の計算結果

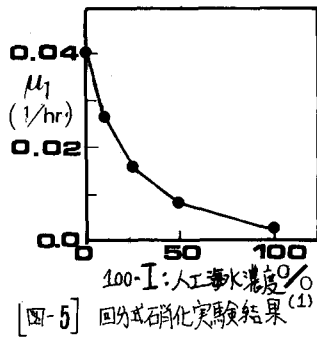


図-5 回分式硝化実験結果

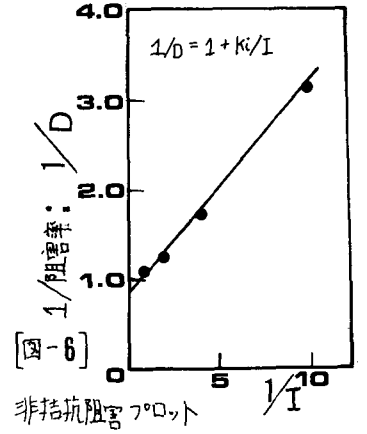


図-6 非拮抗阻害プロット

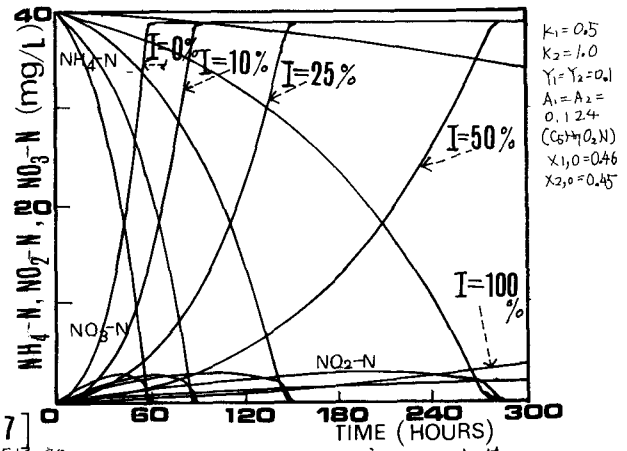


図-7 塩分(海水に濃度I)による阻害作用の計算結果