

山口大学工学部 学生員 平城 高志
山口大学工学部 正 員 浮田 正夫
九州理工専門学校 正 員 河合 泰治
山口大学工学部 正 員 中西 弘

1. はじめに

富栄養化水域の成因や特性を明らかにし、さらに制御、管理していくうえで重要な役割を果たす水質予測は、近年、計算技術の発達にともなってめざましい発展を遂げている。しかし、現状では内部変化項は定数もしくは係数一定として扱わざるをえず、このようながたちで再現され予測された結果は、短期的あるいは平均的な意味をもつにとどまっているようだ。従って望ましいがたちの水質予測に近づくという意味で、水質と密接に関連している底質の予測手法を確立し、内部変化項の欠点を一つでも改善することは重要な課題であろう。本研究は、簡単なモデルをもとにして、海域、水・底泥間におけるNの挙動シミュレーションを行なったもので、底質環境および溶出速度の季節変化が再現できたので報告する。

2. 間ゲキ水濃度および溶出速度の季節変化

底泥間ゲキ水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 垂直分布および底泥からの溶出速度の季節変化の一例を図-1, 2に示す。夏場における間ゲキ水濃度が、底泥表層部において最大となるのは、温度の上昇に伴い、夏から秋にかけて底泥表層部に沈降、蓄積されてきた有機物の分解が、活発化することによるもので、一般にこの時期に溶出速度は最大となる。このように底質環境の季節変化は、有機物の分解作用に支配されている。

3. 有機態Nの分解速度定数

これまでの知見から、底泥の有機物の分解は一次反応に倣うものと考えられる。宇都郡周辺の漁港で採取した表層泥について以下の実験、分析を行ない、分解速度定数 K を次式から求めた。

$$\frac{dS}{dt} = K(S_d - S_0), K = \frac{1}{t} \ln \left(\frac{S_d - S_0}{S_d - S_t} \right) \quad K: \text{day}^{-1}$$

ここに、 S は採取した湿泥 $5g$ 前後を $100cc$ D_2O 瓶につめ、 N_2 バック海水で満たして密栓し、一定温度で T 日間貯蔵した後に、振とうし、上澄水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を測定して得られる可-N ($\mu g/g$ wet) である。 S_0 は0日め、 S_d は分解が終了した時の S であるが、便宜的に分解を速めるために 35°C で30日間貯蔵した泥の S を用いた。 S_t は3.5日間、現場温度で貯蔵した泥の S である。 K は S_0, S_5 を用いて計算した K の平均値とした。求めた K および分解可能な有機態N ($S_d - S_0$) の季節変化を図-3に示す。 K は夏に高く、秋から冬に向かって低下している。また $(S_d - S_0)$ は K の高い夏に低く、 K の低下する秋から冬にかけて沈降、蓄積によって供給され増加している。春から夏にかけてのデータが不足しているが、 K の季節変化を図中の曲線で与え、以下の計算で用いた。

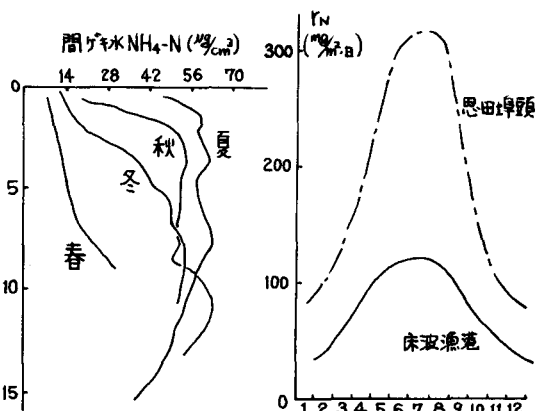


図-1 琵琶湖、赤野井湾の間ゲキ水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 垂直分布の季節変化

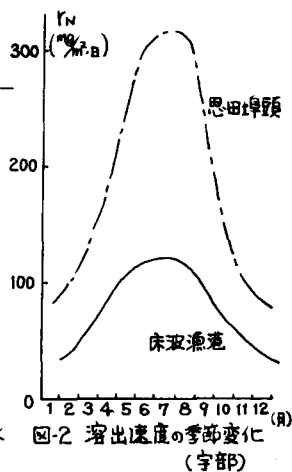


図-2 溶出速度の季節変化 (宇都)

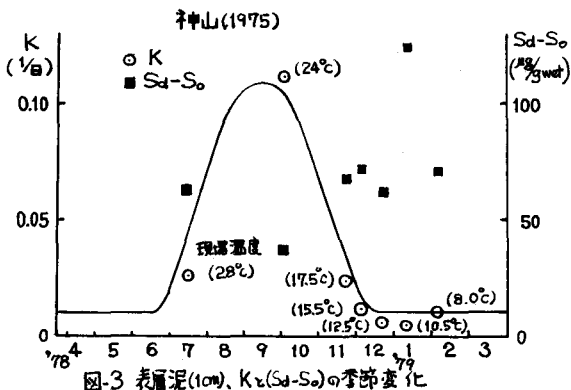


図-3 表層泥(10cm) $K, (S_d - S_0)$ の季節変化

4. 泥・水柱状モデルのN挙動シミュレーション

モデルは図-4に示すようである。水深5mの海水層と泥深20cmの底泥がなり、海水層は2層、底泥は深さ方向に1cm間隔で20コのボックスに分けた。海水層への水平方向の移流および海水層から空気中への脱窒は考えていない。また、泥について鉛直方向のみ拡散するとした閉じたモデルであり、各ボックス内では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は完全混合で均一とする。有機物の分解は底泥オ1層のみに設けた。基礎式は以下のようである。

$$\begin{aligned} \text{上層水} \quad \frac{dC_{u2}}{dt} &= -b_2 C_{u2} + \frac{D_u}{0.5H_2 - H_1} (C_{u1} - C_{u2}) \\ \text{下層水} \quad \frac{dC_{u1}}{dt} &= \frac{H_2}{H_1} b_2 C_{u2} - b_1 C_{u1} + \frac{\lambda D}{0.5\Delta x \cdot H_1} (C_i - C_{u1}) \\ \text{オ1層} \quad \begin{cases} \frac{dF}{dt} = -KF + \frac{Hb_1}{\lambda\Delta x} C_{u1} \\ \frac{dC_i}{dt} = \frac{D}{\Delta x} \left(\frac{C_{i+1} - C_i}{\Delta x} - \frac{C_i - C_{i-1}}{0.5\Delta x} \right) + KF \end{cases} \\ \text{オ2層} \quad \frac{dC_{i1}}{dt} &= \frac{D}{\Delta x} \left(\frac{C_{i+1} - C_i}{\Delta x} - \frac{C_i - C_{i-1}}{\Delta x} \right) \\ \text{オ20層} \quad \frac{dC_{20}}{dt} &= -\frac{D}{\Delta x} \left(\frac{C_{20} - C_{19}}{\Delta x} \right) \end{aligned}$$

ここに、 C_{u1}, C_{u2} : 各海水層の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)、 b_1, b_2 : 沈降速度定数(1/day) $b_i = \frac{w_p}{H_i} \left(\frac{SS-N}{N} \right)$ 、 H_1, H_2 : 各海水層の水深(cm) $H_1=100, H_2=400, H=$ 図-5 D_u の季節変化
 H_1+H_2, D_u : 海水層間の鉛直混合係数(cm^2/sec)、 λ : 底泥間ゲキ率(0.78)、 Δx : 底泥各層の深さ(1cm)
 C_i : 底泥オ1層の間ゲキ水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)、 D : 分子拡散係数(cm^2/sec)、 F : 底泥オ1層の未分解Org-N($\mu\text{g}/\text{cm}^3$) 間ゲキ水あたりに換算してある。K: Fの分解速度定数(1/day)

D_u の季節変化は、2,3の文献を参考にして図-5のよう
に与えた。冬の混合期で $1.0 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、夏の成層期で $0.05 \text{ cm}^2/\text{sec}$ である。基礎式を半陰形式で表現した連立方程にし、 $\Delta T=1$ 日の時間ステップで長期シミュレーションを行なうと、3年めから1年を固期とした定常解が得られる。この計算で得られた各季節の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度分布と各月の $\text{NH}_4\text{-N}$ 溶出速度を、それぞれ図6, 7に示した。これらの結果は、ほぼ図-1, 2に示した実測値と同様の傾向を示しており、このようなモデルによって、底質環境を再現しさらに予測することが原理的に可能であると考えられる。

5. まとめ

Nの底質環境において重要な役割を果たす有機態Nの分解速度定数Kと鉛直混合係数 D_u の季節変化を与えることによって、Nの底質環境および溶出速度の季節変化が再現できた。今後、補給機構の導入等をはかり、さらにP, DOに関する同様の研究を進めていく予定である。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、熱心に協力していただいた本学卒業生中村享司氏(現浅野工事)に深く感謝いたします。

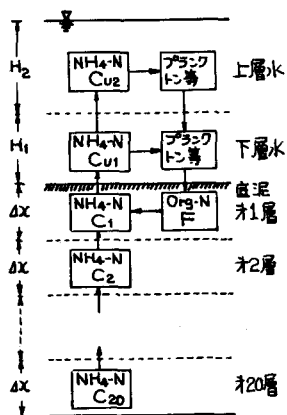


図-4 モデルの概要

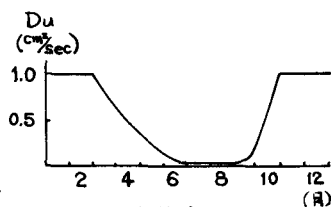


図-5 D_u の季節変化

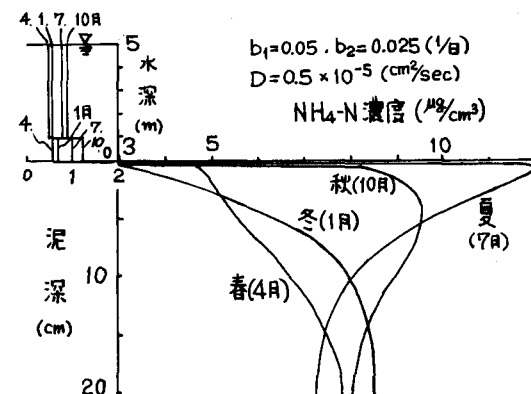


図-6 $\text{NH}_4\text{-N}$ 垂直分布の季節変化

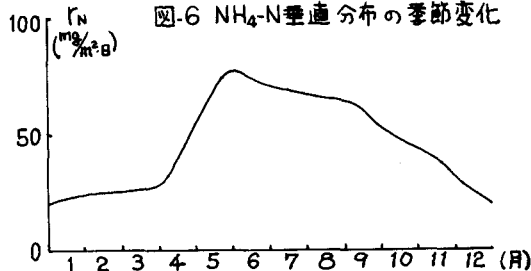


図-7 溶出速度の季節変化