

山口大学工学部 正員 浅田正夫, 正員 中西 弘

日産建設(株) 宮家嘉久男, 九州理工専 正員 河合泰治

1 研究目的 富栄養水域の水質予測を行う上で、水・底泥間の栄養塩とくにリンの移動現象をモデル化し再現することが不可欠な課題である。著者らはこれまで、底泥からのリンの溶出に関し、できる限り現象に忠実な形でのモデル化を追求してきたが、今回は社会的要請の大きさも考慮して、実用性のある簡易モデルを確立することを目的として研究を行った。すなわち、あまり重要でない要素は切り捨て、好酸度とリンの不溶化、可溶化の特徴的な関係をどのようなモデルによって表現すればよいかという点に重点を置いて検討を行った。

2 研究方法 (1)モデルの概要 水・底泥よりなる図1のようなコアシステムを考え、水平方向の物質移動は考えず、負荷の流入も考えない。大気と水との酸素の出入りは両方とも気により考慮する。底泥中で分解再生された栄養塩が上層水に溶

表1 モデルの基礎式

$$\begin{aligned} \frac{dC_1}{dt} &= DU \frac{C_2 - C_1}{0.5 \cdot H_1 \cdot H_1} - A_1 \frac{C_1}{KM + C_1} \cdot F_1 + A_2 \cdot F_1 \quad \dots (1) \\ \frac{dF_1}{dt} &= A_1 \frac{C_1}{KM + C_1} \cdot F_1 - A_2 \cdot F_1 - \frac{WP}{F_1} \cdot F_1 + S \cdot DU \frac{F_2 - F_1}{0.5 \cdot H_1 \cdot H_1} \quad \dots (2) \\ \frac{dO_1}{dt} &= DU \frac{O_2 - O_1}{0.5 \cdot H_1 \cdot H_1} + U_1 \cdot A_1 \frac{C_1}{KM + C_1} \cdot F_1 - U_1 \cdot A_2 \cdot F_1 - \frac{A_4}{H_1} (O_1 - O_2) \quad \dots (3) \\ \frac{dC_2}{dt} &= -DU \frac{C_2 - C_1}{0.5 \cdot H_2 \cdot H_2} - Y \cdot D \frac{C_3 - C_2}{0.5 \cdot X_1 \cdot H_2} + A_2 \cdot F_2 \quad \dots (4) \\ \frac{dF_2}{dt} &= -A_2 \cdot F_2 - \frac{WP}{H_2} \cdot F_2 + \frac{WP}{H_2} \cdot F_1 - S \cdot DU \frac{F_2 - F_1}{0.5 \cdot H_2 \cdot H_2} \quad \dots (5) \\ \frac{dO_2}{dt} &= -DU \frac{O_2 - O_1}{0.5 \cdot H_2 \cdot H_2} - U_1 \cdot A_2 \cdot F_2 + Y \cdot D \frac{O_1 - O_2}{0.5 \cdot X_1 \cdot H_2} - A_6^* \cdot M \cdot O_2 \quad \dots (6) \\ \frac{dC_3}{dt} &= D \frac{C_4 - C_3}{0.5 \cdot X_1 \cdot X_1} - D \frac{C_1 - C_3}{0.5 \cdot (X_1)^2} + K \cdot F_3 + \frac{A_3}{\omega} (E_{11} - \frac{C_3}{\alpha}) + \frac{B_3}{\omega} (E_{12} - 1.3 \cdot \beta \cdot \omega \cdot M \cdot O) \quad \dots (7) \\ \frac{dF_3}{dt} &= -K \cdot F_3 + \frac{WP}{F_3} \cdot F_2 \quad \dots (8) \\ \frac{dE_{11}}{dt} &= -A_3 (E_{11} - \frac{C_3}{\alpha}) \quad \dots (9) \quad \frac{dE_{12}}{dt} = -B_3 (E_{12} - 1.3 \cdot \beta \cdot \omega \cdot M \cdot O) \quad \dots (10) \\ \frac{dO_3}{dt} &= \sigma \cdot D \frac{O_4 - O_3}{0.5 \cdot X_1 \cdot X_1} - \sigma \cdot D \frac{O_1 - O_3}{0.5 \cdot (X_1)^2} - U_2 \cdot K \cdot F_3 - A_5^* \cdot M \cdot O_3 \quad \dots (11) \\ \frac{dC_4}{dt} &= -D \frac{C_4 - C_3}{0.5 \cdot X_2 \cdot X_2} + \frac{A_3}{\omega} (E_2 - \frac{C_4}{\alpha}) \quad \dots (12) \\ \frac{dE_2}{dt} &= -A_3 (E_2 - \frac{C_4}{\alpha}) \quad \dots (13) \quad \text{註} * \quad 0.3 > 0 : A_5 = 0 \\ \frac{dO_4}{dt} &= -\sigma \cdot D \frac{O_4 - O_3}{0.5 \cdot X_2 \cdot X_2} \quad \dots (14) \quad 0.2 < 0 : A_6 = 0 \\ \frac{dM \cdot O}{dt} &= A_6^* \cdot M \cdot O_2 - A_5^* \cdot M \cdot O_3 \quad \dots (15) \quad \text{** } \beta : p \text{ の不溶化に} \\ \frac{dM}{dt} &= -A_6^* \cdot M \cdot O_2 - A_5^* \cdot M \cdot O_3 \quad \dots (16) \quad \text{関与する酸化的割合: 0.5} \end{aligned}$$

表2 モデルの諸元・諸係数

C1	上層水の InorgP 濃度	0.01	mg/L
C2	下層水の "	0.03	"
C3	底泥第一層の InorgP 濃度	0.2	"
C4	底泥第二層の "	2.0	"
F1	上層水の OrgP 濃度	0.03	"
F2	下層水の "	0.02	"
F3	底泥第一層の OrgP 濃度	10.0	"
E1	底泥第一層の補給 P 濃度	10.0	ug/g
E11	" (吸着型)	0.8	乾泥
E12	" (反応型)	9.2	"
E2	底泥第二層の補給 P 濃度 (吸着型のみ)	10.0	"
O1	上層水の DO 濃度	9.0	mg/L
O2	下層水の "	8.0	"
O3	底泥第一層の DO 濃度	0.0	"
O4	底泥第二層の DO 濃度	-10.0	"
MO	底泥第一層の酸化層濃度	50.0	"
M	底泥第一層の鉄濃度	50.0	"

C1~M	は濃度初期値を示す	
A1	最大生産速度定数	別図 1/日
A2	水層における分解速度定数	0.5 1/日
A3	吸着速度定数	1×10^{-4} 1/s
B3	反応型補給速度定数	1×10^{-5} 1/s
A4	再び気係数	$1 \sim 3 \times 10^{-3}$ cm/s
A5	酸化層消滅速度定数	5×10^{-7} L/(mg·s)
A6	酸化層生成速度定数	5×10^{-7} "
K	底泥における分解速度定数	別図 1/日
DU	鉛直混合係数	別図 cm ² /s
D	底泥中の拡散係数	$0.5 \sim 1 \times 10^{-10}$ "
WP	OrgP の沈降速度	15 cm/日
Y	開けき率	0.78
ω	開けき率比	1.6 cm ³ /g
KM	ミハイリス定数	0.05 mg/L
Q0	飽和 DO 濃度	別図 "
α	吸着平衡定数	0.25 g/cm ³
U1	O/P 換算係数	143
U2	OP と IP の DU の補正	0.5
σ	0 と IP の D の補正	1~3

(2)基礎式 基礎式は

表1に示すとおりであ

る。これを差分表示し

て陽形式にて、Δt 30

分で5年間の計算を行

う。硫化物の生成はDO

が負となることで表現

し

酸化層は底泥第一層の鉄と

下層水の DO との反応で生

成し、底泥第一層の鉄のDO

との反応により消滅する。

補給機構として、吸着型と

反応型両者をくみこんでい

る。リンの場合は後者が重要

である。

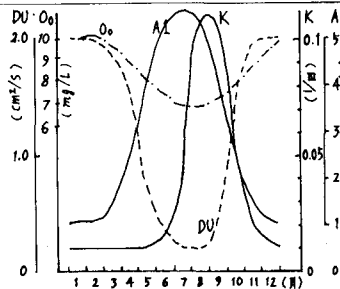


図2 諸係数の季節変化設定値

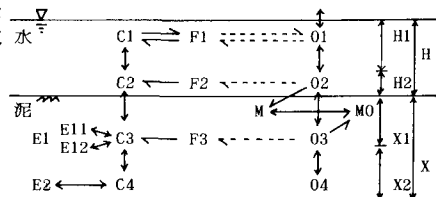


図1 モデルの概要図 (H=5m, H1/H2=4, X=5cm, X2/X1=4.)

(3) 諸係数および諸元 式中の諸元、諸係数の説明と設定値等を表1に集約している。季節変化を与えた係数は図2に示すように泥中の分解、一次生産、鉛直混合、および記号D0濃度である。係数と濃度初期値の設定は著者らのこれまでの実験により得られた値や文献値によったが、酸化層の生成、消滅、Pの可溶化、不溶化等の係数は測定困難で、未知なものであるため、トライアルにより、係数値の組み合わせを変えながら数多くの数値実験を行った。

3 研究結果 (1) 季節変化 計算結果の中から比較的良好に季節変化特性を表現していると考えられる例を図3～図6に示した。計算条件は表2および $A4 = 1 \times 10^{-3}$, $D = 0.5 \times 10^{-5}$, $\sigma = 1.5$ を用いている。5月前後の水中P濃度の動き、6月以前の底泥第一層中のIPが0になることなど気になる点も若干みられるが、全体としては特徴的なリン溶出速度(r_p)のパターンが再現されている。本モデルにおいては(10),(15),(16)式を採用することで計算の安定性は非常に改善された。

(2) 各係数の影響 ① D0に対する底泥中拡散係数の補正の 図7下図に示すごとく、 σ の影響は大きく、これが大きくなると r_p のピークが遅れ、中が狭くなる。生物学的影響を考慮してPとD0に対するDに差をもたせる必要がある可能性を示唆している。② DU DU全体を小さくしても停滞期の溶出をやや促進する以外、 r_p のパターンにはあまり大きな影響を与えない。③ 再び係数A4 図7上図に示すごとく、A4を大きくすることはある程度 σ の場合と同様の効果がある。④ A6/A5 この比が1の場合と10の場合では、 σ を2から3にするのと同じような効果があるが、20にしてもあまり変化がない。⑤ その他 M+M0の初期値や(7)式の β は影響が大きい、これらが適当な範囲を越えると計算の安定性がわるくなる。

4 今後の課題 一応、水・底泥間のリンの挙動を描けるモデルの骨格が得られたので、今後は諸係数値の実験による確認や系統立った数値実験を行い、本モデルを一般化して、水質予測に組み込むことを検討していく必要がある。

本研究は文部省科学振興会A56350038(代表中西弘)の後援を受けた。記して謝意を表す。

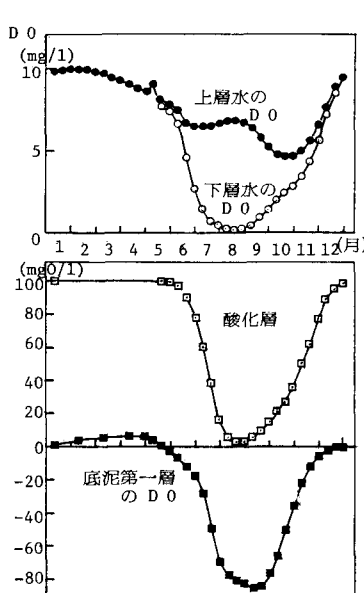


図3 各層の酸素濃度の季節変化計算値

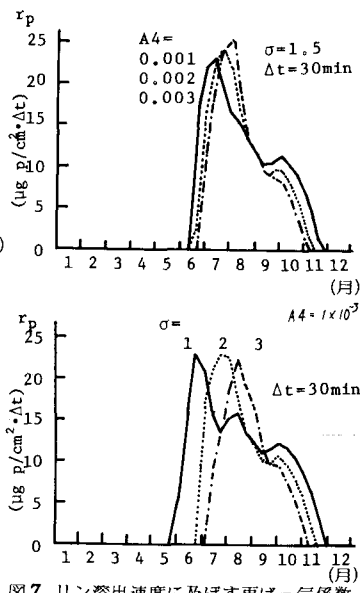


図7 リン溶出速度に及ぼす再び係数ならびに酸素に対するDの補正係数の影響

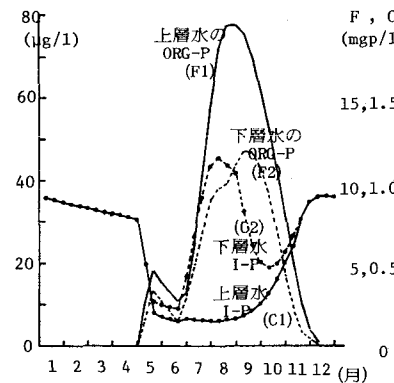


図4 上層水、下層水のリン濃度計算値

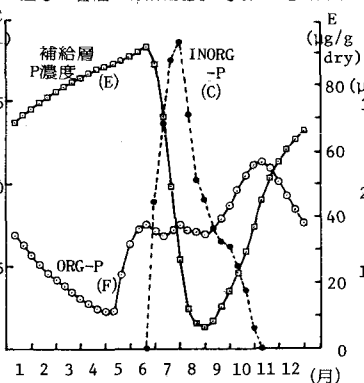


図5 底泥第一層のリン濃度計算値

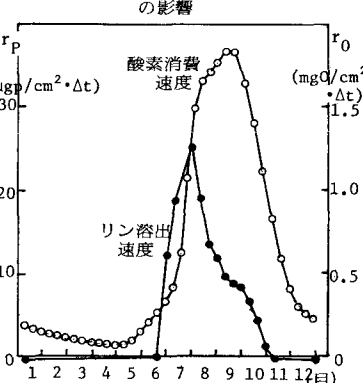


図6 リン溶出速度、酸素消費速度計算値