

(2) 富栄養水域における底質評価に関する研究 (その3)

山口大学工学部 ○平城 高志
 " 中西 弘
 " 浮田 正夫
 九州理工専門学校 河合 泰治

〔1〕 はじめに 富栄養水域における水質シミュレーションを行う場合、NP 溶出速度など底質の水質に対する影響は場所的な定数として与えられることが多い。しかしながら、このような方法では真に将来水質を予測したことにはならない。いいかえるならば、底質予測なくしては水質予測はありえないということである。本研究はこのような立場から、その第一歩として、底泥と水との間の N, P 挙動の季節変化パターンを再現することを試みたものである。

〔2〕 モデル設定および検証のための水質・底質調査

2・1 N, P 溶出速度 (r_N, r_P) および DO 消費性

(r_0) 表1に参考までに著者らが求めた r_N, r_P, r_0 測定値および報告値を示しておく。図1に宇部海域の数地点の r_N, r_P, r_0 の平均値の季節変化を、図2に丸尾漁港の r_N, r_P の季節変化を示した。いずれも著しい季節変化がみられるが6月くらいから急速に溶出が活発となり、8~9月にピークを示すのが一般的ようである。 r_N と r_P はややパターンが異なり、i) Nの方がPよりも変化が緩やかである。ii) Pは冬季には溶出がほとんど抑えられ、8~9月に

表1 NP 溶出速度等報告例 (mg/m²/a)

	r_N^*	r_P	n	
東京湾				ref 1)
S51.9	1800	150	24	11
大阪湾				
S51.10	800	38	23	5
S52.7	54	5.8	tr	3
徳山湾				
S52.8,11	470	38	4.0	2
宇部湾				
S52.7,10				4
S53.3,6	510	8.5	6.9	7
宇部周辺漁港				
sum.		194	36	6
aut.		86	10	6
win.		75	7.4	9
国府灘				
S54.7,8	310	23	3.3	40
S54.3	170	7.8	tr	34

宇部地先泥 (1977~'78)

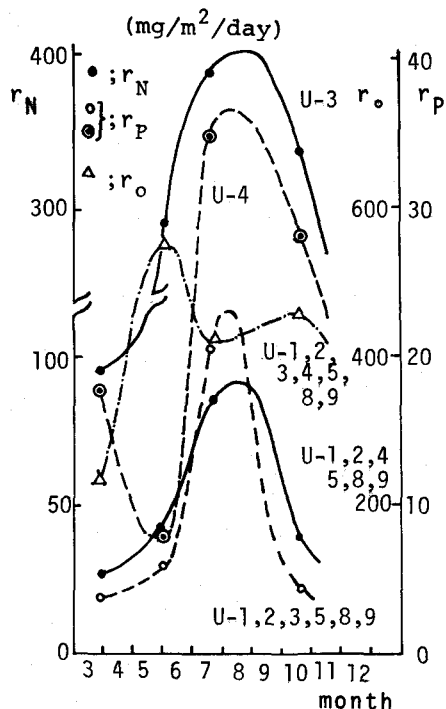


図1 宇部海域底泥の
N, P 溶出速度季節変化

顕著なピークを示す。

iii) ピークの位置は r_N の方がやや9月の方にずれている。iv) r_0 はあまり明確な季節変化を示さないが、冬季は低めとなっている。

2・2 間引き水中の $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ (N_*, P_*) と可溶性の $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ (可N, 可P) の垂直分布季節変化

図3 a, bに宇部周辺漁港泥の N_*, P_* , 可N, 可Pの

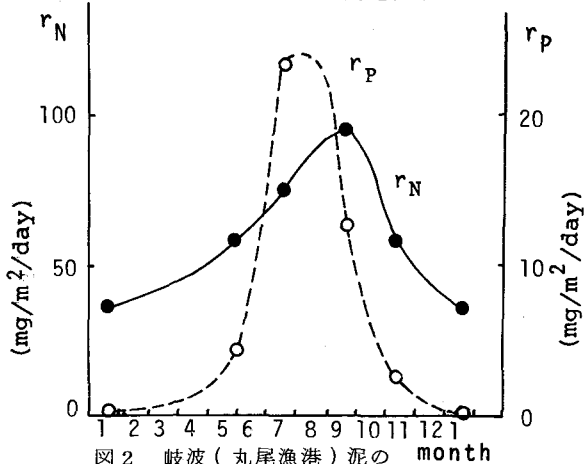


図2 岐波 (丸尾漁港) 泥の
N, P 溶出速度季節変化

垂直分布を冬と夏について示した。漁港は人為的な乱れが大きいので、補正の意味で、最下層の濃度を1とした相対濃度で表現している。一般的な傾向としては、i) N_* と可N, P_* と可Pはほぼ同じような傾向を示しているが、ただ夏季の表層付近での可Nの蓄積は N_* に比べるとより顕著である傾向がみられる。ii) 夏季にはN, Pとも活発な有機物の分解によって表層部分で、 N_* , P_* の濃度が高まり、それらが濃度勾配により上層水や下層間けき水に拡散していくことが伺える。iii) Nは濃度の高まりがみられるのはせいぜい5~7 cmくらいまでで、ピークは2~4 cmの辺りにある。Pの場合はやや表層によって、2~4 cmくらいまで、ピークは1~2 cm辺りにみられる。

2・3 BDN, BDPと分解速度定数(k)について

① BDN, BDPの測定法と意義 102 ml 容DOビンに湿泥5 g程度秤とり、 N_2 ばつき海水を満杯密栓後、夏期の現場温度で60日間暗

処にインキュベートした後の可N, 可PをBDN, Pとした。この貯蔵期間中の可N, Pの増加量($S_d - S_0$)は底泥中の未分解の分解可能有機物の量(F)を近似的に表わすものとして意義がある。また図4 a, bに一例を示すような現場各調査時の温度でのBDN, Pの経時変化より、分解速度定数(k)を求めることができる。② kの算出 kは分解を一次反応として、次式より算出する。 $k = (1/t) \ln \{ (S_d - S_0) / (S_d - S) \}$ …… (1) ことに、 S_d : 最終BDN, P, S_0 ; S: 0日目およびt日後の可N, Pである。本来は S_d として現場夏季温度での最終BDN, Pをあててべきであるが、ここでは便宜的に35℃ 30日間の値で代用している。

③ kおよびFの季節変化 宇部周辺漁港泥のkおよびFの測定結果を表2にまとめた。BDPの中には有機物の分解にともなう嫌気状態の進行によって化学的に可溶化してくるものもかなりの部分を占めておりkの値もNのそれよりも大きいものがえられている。泥中の有機物の分解速度定数としては、Pの場合でもNについて求められたkを用いるべきであろう。

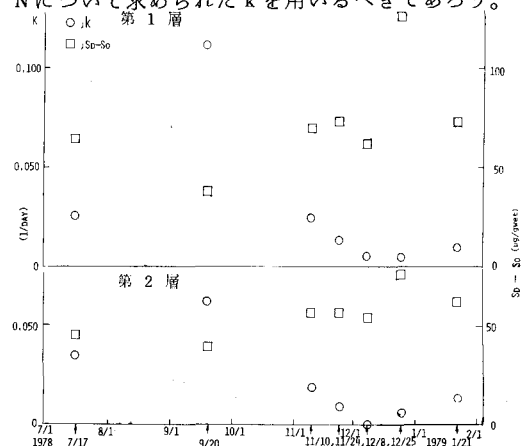


図5 kおよびFの季節変化測定例

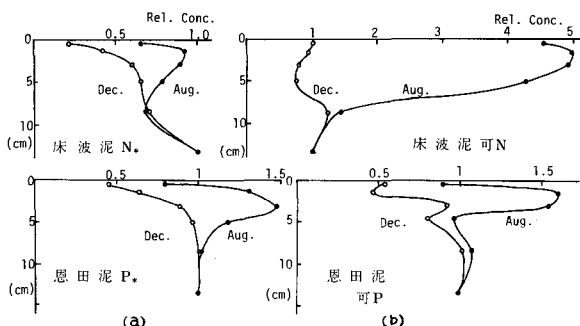


図3 a. N_* , P_* の垂直分布 b. 可N, 可Pの垂直分布

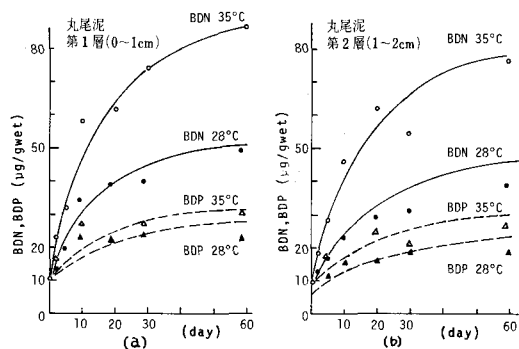


図4 a, b BDN, BDPの経時変化

と近似的に表わすものとして意義がある。また図4 a, bに一例を示すような現場各調査時の温度でのBDN, Pの経時変化より、分解速度定数(k)を求めることができる。② kの算出 kは分解を一次反応として、次式より算出する。 $k = (1/t) \ln \{ (S_d - S_0) / (S_d - S) \}$ …… (1) ことに、 S_d : 最終BDN, P, S_0 ; S: 0日目およびt日後の可N, Pである。本来は S_d として現場夏季温度での最終BDN, Pをあててべきであるが、ここでは便宜的に35℃ 30日間の値で代用している。

③ kおよびFの季節変化 宇部周辺漁港泥のkおよびFの測定結果を表2にまとめた。BDPの中には有機物の分解にともなう嫌気状態の進行によって化学的に可溶化してくるものもかなりの部分を占めておりkの値もNのそれよりも大きいものがえられている。泥中の有機物の分解速度定数としては、Pの場合でもNについて求められたkを用いるべきであろう。

表2 宇部周辺漁港泥のkおよびFの測定値

採泥日 (採泥場所)	層位 (1: 0~1cm 2: 1~2cm)	現場温度 °C	N			P			化学的 可溶化 P
			k 1/day	可N (So) μg/gwet	Sd-So μg/gwet	k 1/day	可P (So) μg/gwet	Sd-So μg/gwet	
78.7.17 (丸尾)	2	28	0.026	19.5	63.7	0.162	7.4	20.5	11.7
9.20 ()	2	24	0.112	11.2	37.0	0.112	4.7	12.5	7.4
11.10 ()	2	17.5	0.062	22.6	39.0	0.062	6.8	18.6	13.2
11.10 ()	2	17.5	0.025	6.4	70.0	0.049	1.6	33.7	24.1
11.24 (庄瀬)	2	15.5	0.019	14.6	56.8	0.090	4.7	30.4	22.6
11.24 (庄瀬)	2	15.5	0.014	7.4	73.5	0.049	2.7	55.7	45.6
12.8 ()	2	12.5	0.009	11.6	56.6	0.067	5.3	43.4	35.6
12.8 ()	2	12.5	0.006	6.2	61.8	0.030	1.4	58.4	49.9
12.25 (山甲)	2	10.5	0.000	9.7	53.6	0.050	2.1	53.3	45.9
12.25 (山甲)	2	10.5	0.005	18.9	126	0.069	1.3	20.4	3.0
79.1.22 (丸尾)	2	8.0	0.006	27.7	75	0.068	3.6	13.6	3.3
5.30 ()	2	17.0	0.010	5.4	73.6	0.020	1.9	73.6	63.5
5.30 ()	2	17.0	0.013	8.6	61.7	0.064	2.9	61.7	53.2
5.30 (庄瀬)	2	17.0	0.028	1.3	97.7	0.039	1.1	73.5	60.0
5.30 (庄瀬)	2	17.0	0.038	0.2	53.8	0.057	1.6	31.4	24.0
5.30 (山甲)	2	17.0	0.023	1.9	98.3	0.027	2.9	75.7	62.2
5.30 (山甲)	2	17.0	0.025	2.7	70.6	0.023	3.4	71.4	61.7
5.30 (山甲)	2	17.0	0.023	8.8	139.3	0.124	4.4	44.1	24.9
5.30 (山甲)	2	17.0	0.021	13.8	95.8	0.109	1.9	36.7	23.5

ちなみに泥中の有機物の分解により生成するN、Pの比をプランクトンのそれ(143/19.7)に等しいとして、化学的可溶性Pを推定した結果も同表最右欄に示しておいた。この季節変化の傾向としては、泥温の上昇が始まる直前の春にもっとも高く、7~9月にかけては低めの値を示すようである。図5は底泥の第1層と第2層について、Nに関して求められたkおよびF(=Sd-S₀)の季節変化を示したものである。kは夏季に高く、冬季に低く、逆にFは夏季に低く、冬季に高くなる傾向にある。第1層に比較して、第2層のk、Fはともにやや低めの値を示している。

2・4 IODとP吸着平衡定数 α 底泥におけるP挙動は、底泥環境の好嫌気度で左右される。底泥が好気的な場合は、間引き水のPO₄-Pは泥粒子に吸着しないし化学的に不溶化され、このため溶出速度は低いが、嫌氣的になると泥粒子からPの間引き水中への脱着(可溶化)がおこり、溶出速度の急激な増加がみられる。Pの挙動を明らかにするにはDOの挙動を並行して考える必要がある。本節では底泥の好嫌気度を表わす指標としてIODをとりあげ、これと吸着平衡定数 α との関係を検討した。

① IOD' (IOD変法) IOD(瞬間酸素消費量)は主として硫化物の量を酸素消費量として間接的に示すものであり、従来の測定方法は、湿泥10g前後を300mlポリビンに秤量し、空気ばっ気海水を満杯密栓し、数分間手で振とうし、1時間静置後上澄海水をサイホンにて50ml容DOビンに移し、DOを測定する。²⁾しかしこの方法で得られたIODはi) サンプルの泥量によって値が変化する。ii) 底泥におけるIODの垂直分布が顕著でなく、底泥の好嫌気度を表現するのに適切でない、などの問題点がある。IOD'はこのような問題点を改善すべく、湿泥0.5gを102ml DOビンに秤りとり、以下同様の操作を行うが、DOの測定は、泥の入ったままのDOビンに固定液を直接入れて行う。この操作は、酸化層に生じている、MnO₂や、Fe₂O₃等を負のIODとして評価されるため、酸化の進んだ泥については負の値が得られることもある。IOD'の値はIODの値の数倍になるが、前述の問題点はほぼ解決されている。床波漁港、真締川、有帆川の干出部で得た泥について測定したIOD'の実測値を表3に示す。

表3 IOD'および α の実測例

採泥場所	層位	γ	ω ml gdry	IOD' μg g wet	$\alpha \times 10^3$ gdry ml
床波	上	0.44	1.24	378	5.91
	中	0.40	1.44	345	2.24
	下	0.55	0.81	1273	29.70
真締川	上	0.37	1.70	115	3.03
	中	0.47	1.11	409	10.73
	下	0.56	0.75	1217	14.77
有帆川	上	0.59	0.68	79	14.02
	中	0.61	0.62	421	13.58
	下	0.71	0.39	549	31.98

② 吸着平衡定数 α 補給による間引き水PO₄-P濃度の時間変化は次式で表わされる。²⁾

$$\frac{dc}{dt} = \frac{k_4}{\omega} \left(E - \frac{c}{\alpha} \right) \quad \text{ここに } E; \text{ 補給層濃度, } k_4; \text{ 吸脱着速度定数, } \omega; \text{ 乾泥 } g \text{ あたりの間引き水量} \quad \dots (2)$$

IOD'を求めた泥について、 α を次のような方法で求める。湿泥10gを100ml容ポリビンに秤量し、PO₄-P濃度を0~2mg/lの範囲で変えたN₂ばっ気海水を満杯密栓して、攪拌と静置を10分間でくりかえし、3回目の静置後、上澄をGFCろ過して、PO₄-P濃度Cを得る。 α は次式より求める。³⁾

$$C = \left\{ (B/A)/S \right\} C_0 + X/S, \quad S = \frac{r}{\alpha} + \frac{1-r}{1.026} + \frac{B}{A} \quad \dots (3)$$

ここに C₀; 添加海水のPO₄-P濃度, B; 添加海水量, A; 湿泥量, r; 乾泥率, X; 可P(μg P/g wet)

③ IOD'と α の関係 IOD'と α の関係は、 $R = IOD'/r\omega$, $\alpha' = \alpha\omega$; $E' = E/\omega$ に変換して、図6に示す。図の直線より、 $\alpha' = 1.6 \times 10^{-5} (R + 100)$ $\dots (4)$ ここで、

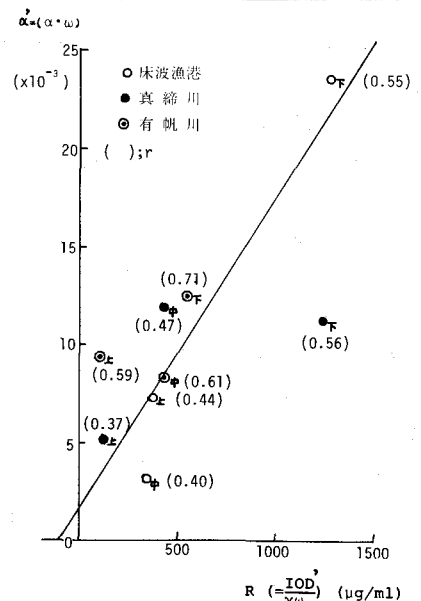


図6 泥の好嫌気度と α の関係

α' の次元は無次元, Rは $\text{mg O}_2/\ell$, すなわち間引き水 1 ml あたりの酸素の負荷量 (μg)である。

2・5 植物プランクトンの生産および分解速度

富栄養化水域の水質管理指標としては是非とりあげたい

ものとして, 明暗ビンによる酸素の生産速度および消費速度の測定があるが, 底泥から溶出した N, P が上層水中で植物プランクトンに吸収されて懸濁体となり, 底泥に沈降する。このような水・底質間の N, P の循環をシミュレートするためには, 植物プランクトンの生産と分解のモデル化が必要であり, とくに P の場合は DO の影響が大きい関係で, 季節変化の再現には不可欠である。

①生産 図7は宇部港奥部の表層海水を週2, 3回の頻度で採水して明暗ビンを調製し, 実験室屋上に設けた擬似現場水槽 ($1/2$ 透明度水深の光条件) に, 24時間インキュベートし, DOの増減量を測定し, $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度, Chl a 量との関係をみたものである。総生産速度 r_{prod} ($\text{mg O}_2/\ell/\text{日}$) は24時間後の明ビン, 暗ビンの DO 差, 酸素消費速度 r_{resp} ($\text{mg O}_2/\ell/\text{日}$) は24時間後の暗ビンの DO 減少量を対応させた。実際的水域における現象はもともと非常に複雑なものであり, インキュベート中の気象条件の差も考慮していないので, 結果はかなりばらついてはいるが, いささか強引に Michaelis-Menten 式をあてはめ, $\text{PO}_4\text{-P}$ に関する K_m 値 $0.05\text{ mg}/\ell$, 最大比生産速度 k_1 は, 冬 0.1 , 春 0.5 , 夏 $1.0\text{ mg O}_2/\mu\text{g Chl a}/\text{日}$ と設定した。

②分解 図8は同様な方法で, S54年3月と8月に30~40点の透明度水深から採取した水を用いて明暗ビンを調製し, 酸素の生産および消

費速度を調べた実験より Chl a と r_{resp} の間の関係をみたものである。これもまた非常にばらつきが大きく, 季節変化についても顕著な傾向がみられないが, 両者が比例的な関係にあるとして,

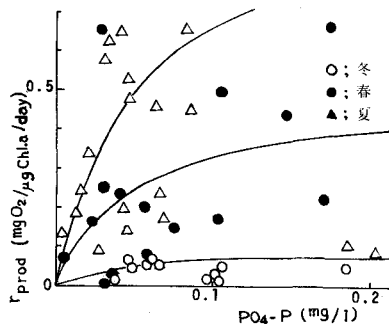


図7 $\text{PO}_4\text{-P}$ と比生産速度

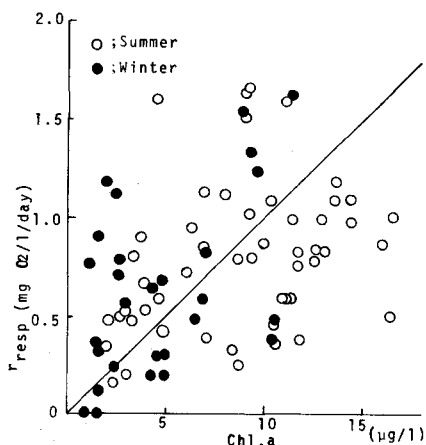


図8 Chl a と酸素消費速度

て, オーダー的に

$r_{\text{resp}} = 0.1 \times \text{Chl a}$ (5) 程度の関係を考えておく。

[3] N, P 挙動シミュレーションモデルの設定 — 泥・水柱状モデル —

3・1 モデルの概要

図9 a, b に N, P モデルの概要を示す。水深 H の海水層 (2 層に分割) と泥深

20 cm あるいは 10 cm の底泥層 (20 層に分割) からなり, 各ボックス内では濃度は均一とする。両モデルともに海水層での水平方向の移流は考えず, 底泥 20 層の下は容器の壁と考える, N, P については閉じたモデルである。海水の 2 層間には鉛直混合係数を与え, 後図に示すような季節変化を与えた。

N については, 底質の季節変化のパターンの再現を第一義として, 機構はできるだけ単純化した。すなわち, 底泥においては, 未分解 org N

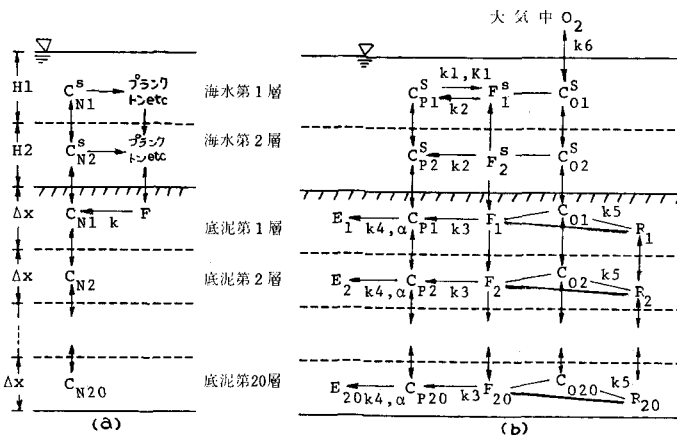


図9 NモデルおよびPモデルの概要図

すなわち F は底泥第 1 層にのみ与えた。また底泥中 org N の分解によって生成した $\text{NH}_4\text{-N}$ は全て間げき水中に存在するとした。上層水中においては、溶解性の N を $\text{NH}_4\text{-N}$ で代表させ、SS 性の N は常に一定の比率で存在するとし、大気との交換も考えなかった。

一方 P については、N に比べて機構が複雑で、季節変化パターンの再現のためにはあまり単純化したモデルは適用することはできない。すなわち、底泥においては、P の挙動が微妙な酸化層の消長に左右されるので、 Δx は N の場合の $1/2$ とし、吸着平衡も考慮して各層に、間げき水中 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度 C_P 、E と、両者の関係 α をコントロールする R、DO 濃度 C_O および F を設けた。上層水においては、植物プランクトンの生産 ($\text{PO}_4\text{-P}$ の吸収) と分解ないし呼吸 ($\text{PO}_4\text{-P}$ の放出)、 O_2 の再ばっ気も考慮した。

3・2 基礎式 N、P モデルの基礎式は表 4 に示すごとくである。記号の説明は表 5 に示した。

3・3 諸係数の設定 ①植物プランクトンの生産速度定数 k_1 2・5 節で述べた最大比生産速度を次のようにして速度定数 (P_{ss} が 1 日に吸収する $\text{PO}_4\text{-P}$ 量) に換算した。すなわち、 $\text{Chl } a / P_{ss} = 0.8$ 、また $P \text{ 1 mg}$ が $\text{O}_2 \text{ 1.43 mg}$ と当量であるとして、夏季 5.6、春季 2.8、冬季 0.56 程度 (いずれも $\text{PO}_4\text{-P}$ 飽和時の最大値 1/日) 程度と考える。

表 4 N、P モデルの基礎式

$$\frac{dC_{N1}}{dt} = D_u \frac{C_{N2} - C_{N1}}{H_1 \cdot 0.5H} - b_1 C_{N1}$$

$$\frac{dC_{N2}}{dt} = -D_u \frac{C_{N2} - C_{N1}}{H_2 \cdot 0.5H} + \lambda D \frac{C_{N1} - C_{N2}}{H_2 \cdot 0.5\Delta x} + \frac{H_1}{H_2} b_1 C_{N1} - b_2 C_{N2}$$

$$\frac{dF}{dt} = \frac{H_2 b_2}{\lambda \Delta x} C_{N2} - kF$$

$$\frac{dC_{N1}}{dt} = D \frac{C_{N2} - C_{N1}}{\Delta x^2} - \frac{C_{N1} - C_{N2}}{0.5\Delta x^2} + kF$$

$$\frac{dC_{N1}}{dt} = D \frac{C_{N1+1} - C_{N1}}{\Delta x^2} - D \frac{C_{N1} - C_{N1-1}}{\Delta x^2}$$

$$\frac{dC_{P1}}{dt} = D_u \frac{C_{P2} - C_{P1}}{H_1 \cdot 0.5H} + k_1 \frac{C_{P1}}{K_1 + C_{P1}} - F_1^s + k_2 F_1^s$$

$$\frac{dF_1^s}{dt} = D_u \frac{F_2^s - F_1^s}{H_1 \cdot 0.5H} + k_1 \frac{C_{P1}}{K_1 + C_{P1}} F_1^s - k_2 F_1^s - \frac{\omega P}{H_1} F_1^s$$

$$\frac{dC_{O1}}{dt} = D_u \frac{C_{O2} - C_{O1}}{H_1 \cdot 0.5H} + \beta_1 k_1 \frac{C_{P1}}{K_1 + C_{P1}} F_1^s - \beta_1 k_2 F_1^s + \frac{k_6 (C_{sat} - C_{O1})}{H_1}$$

$$\frac{dC_{P2}}{dt} = -D_u \frac{C_{P2} - C_{P1}}{H_2 \cdot 0.5H} + k_2 F_2^s + \lambda D \frac{C_{P1} - C_{P2}}{H_2 \cdot 0.5H}$$

$$\frac{dF_2^s}{dt} = -D_u \frac{F_2^s - F_1^s}{H_2 \cdot 0.5H} - k_2 F_2^s + \frac{\omega P}{H_2} F_1^s - \frac{\omega P}{H_2} F_2^s$$

$$\frac{dC_{O2}}{dt} = -D_u \frac{C_{O2} - C_{O1}}{H_2 \cdot 0.5H} - \beta_1 k_2 F_2^s + \lambda D \frac{C_{O1} - C_{O2}}{H_2 \cdot 0.5H}$$

$$\frac{dE_1}{dt} = -k_4 (E_1 - \frac{C_{P1}}{\alpha})$$

$$\frac{dC_{P1}}{dt} = D \frac{C_{P2} - C_{P1}}{\Delta x^2} - D \frac{C_{P1} - C_{P2}}{0.5\Delta x^2} + k_3 F_1 + k_4 (E_1 - \frac{C_{P1}}{\alpha})$$

$$\frac{dF_1}{dt} = \frac{\omega P}{\lambda \cdot \Delta x} F_2^s - k_3 F_1 - \frac{\omega_{sed}}{\Delta x} F_1$$

$$\frac{dC_{O1}}{dt} = D \frac{C_{O2} - C_{O1}}{\Delta x^2} - D \frac{C_{O1} - C_{O2}}{0.5\Delta x^2} - k_5 (R_1 - R_0) C_{O1} - \beta_3 k_3 F_1$$

$$\frac{dR_1}{dt} = D \frac{R_2 - R_1}{\mu \cdot \Delta x^2} - k_5 (R_1 - R_0) C_{O1} + \beta_2 k_3 F_1$$

$$\frac{dE_i}{dt} = -k_4 (E_i - \frac{C_{Pi}}{\alpha})$$

$$\frac{dC_{Pi}}{dt} = D \frac{C_{Pi+1} - C_{Pi}}{\Delta x^2} - D \frac{C_{Pi} - C_{Pi-1}}{\Delta x^2} + k_3 F_i + k_4 (E_i - \frac{C_{Pi}}{\alpha})$$

$$\frac{dF_i}{dt} = \frac{\omega_{sed}}{\Delta x} F_{i-1} - k_3 F_i - \frac{\omega_{sed}}{\Delta x} F_i$$

$$\frac{dC_{O1}}{dt} = D \frac{C_{O1+1} - C_{O1}}{\Delta x^2} - D \frac{C_{O1} - C_{O1-1}}{\Delta x^2} - k_5 (R_1 - R_0) C_{O1} - \beta_3 k_3 F_1$$

$$\frac{dR}{dt} = D \frac{R_{i+1} - R_i}{\mu \Delta x^2} - D \frac{R_i - R_{i-1}}{\mu \Delta x^2} + \beta_2 k_3 F_i - k_5 (R_1 - R_0) C_{O1}$$

表 5 N、P モデルの諸係数・諸元

記号	記号の説明	単位	諸係数と初期値の設定
C_{Ni}, C_{Ni}	海水第 1 層および底泥第 1 層の間げき水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度	mg/l	初期値 $C_{N1}=0.05, C_{N2}=2.00, C_{Ni}=5.0 \sim 10.0$
F	底泥第 1 層の未分解 Org-N	mg/l	初期値 $F=150.0$
k	未分解 Org-N の分解速度定数 (2.3 節より)	1/day	冬 10 ⁻⁶ 図 10 に示すように時間の関数と仮定する
D_u	海水層間の分子拡散係数	cm ² /sec	冬 10 ⁻⁶ (2.3 節より) 冬 10 ⁻⁶ (2.3 節より) 冬 10 ⁻⁶ (2.3 節より)
D	間げき水中の分子拡散係数	cm ² /sec	0.5×10^{-6}
b_1	海水第 1 層にける沈降速度定数 ($b_1 = \frac{\omega P}{H_1} \frac{SS-N}{N}$)	1/day	$b_1=0.05, b_2=0.025$
H_1	の水深, $H=H_1+H_2$	m	$N_1, P_{10}, H_1=4.0, H_2=1.0$
λ	底泥間げき率	—	0.78
Δx	底泥各層の厚さ	cm	$N_0 \Delta x=1.0, P_0 \Delta x=0.5$
ωP	P_{ss} の沈降速度	cm/day	15
ω_{sed}	底泥の沈降速度	cm/day	0.001
C_{Pi}, C_{Pi}	海水第 1 層および底泥第 1 層の間げき水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度	mg/l	初期値 $C_{P1}=0.005, C_{P2}=0.01, C_{Pi}=0.01 \sim 3.0$
F_1^s, F_1^s	の未分解 Org-P	mg/l	初期値 $F_1^s=0.015, F_2^s=0.01, F_i=100 \sim 3$
C_{O1}, C_{O1}	の間げき水の DO 濃度	mg/l	初期値 $C_{O1}=9.0, C_{O2}=8.0, C_{O1}=0$
E_i	底泥第 1 層の微生物 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度	mg/l	30 ~ 171
R_i	の IOD 濃度	mg/l	50 ~ 1000
μ	全 R_i / 可溶性 R_i	—	10 (R ₁ /10 の R ₀ の仮定可能である)
β_1	海水層の生産および分解に関する $\Delta C_{O1} / \Delta C_{O2}$	—	143
β_2	底泥の好気分解に関する $\Delta C_{O1} / \Delta C_{O2}$	—	109
β_3	の好気分解に関する $\Delta C_{O1} / \Delta C_{O2}$	—	109
k_1	海水第 1 層の植物プランクトンの最大生産速度定数	1/day	冬 10 ⁻⁶
K_1	ミハリス定数	mg/l	0.05
k_2	海水第 1 層にける植物プランクトンの分解速度定数	1/day	0.56
k_3	底泥第 1 層の Org-P 分解速度定数	1/day	k と同じ
k_4	補給速度定数	1/sec	1.0×10^{-4}
α	補給平衡定数 (2.4 節より $\alpha=1.6 \times 10^{-5} (R_i - R_0)$)	—	—
$k_5 (R_0)$	R_i による化学的酸素消費速度定数 (R_0 は R_i の最小値)	mg/g sec	1.0×10^{-4}
$k_6 (C_{sat})$	西バッキ係数, C_{sat} : 飽和 DO 濃度	cm/sec	0.001 $C_{sat}=0.0 \text{ mg/l}$

* 底泥第 1 層の未分解 Org-N の濃度は、冬 10⁻⁶ から計算する値

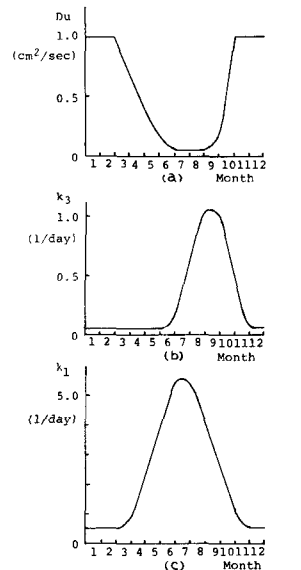


図 10 D_u, k_3, k_1 季節変化

②海水中における植物プランクトンの分解（呼吸）速度定数 2・5節で述べた $Chl\ a$ あたりの呼吸速度を、 P_{ss} あたりの分解速度定数に換算すると、前項の関係から $k_2 = 0.56$ （1/日）となる。

③底泥中における有機物の分解について 有機物の分解速度定数は、2・4節で述べたように NH_4-N の生成速度より求めるが、便宜的に好気、嫌気で共通のものを用いる。また P の O_2 あるいは R への換算は次式 $C_{106} H_{263} O_{110} N_{16} P + 53 SO_4^{2-} + 53 H^+ \rightarrow 106 CO_2 + 16 NH_3 + H_3 PO_4 + 53 HS^- + 53 H_2 O$, $2 O_2 + HS^- \rightleftharpoons SO_4^{2-} + H^+$ (6) より $P\ 1\ mg$ が底泥中の有機物の分解によって生成すれば、 $109\ mg$ の R を生成するとした。また DO が存在する場合も汚れた底泥中では NO_3-N までは酸化が進行しないところから、底泥中での P の O_2 当量も 109 とした。

④その他 F は間引き水中の落下、底生動物による運搬あるいは広い意味で底泥の堆積速度によって下層へ移動する。 R はその一部は可溶性で拡散により底泥中を移動するが、水中への拡散は無視した。その他諸係数の設定値、初期値等を前表5にまとめておく。また鉛直混合係数 Du 、底泥中の有機物分解速度定数 k_3 および植物プランクトンの生産速度定数飽和値 k_1 の季節変化パターンは図10 a, b, cのように設定した。

〔4〕 計算結果 4・1 N モデル 基礎式を半陰形式で表現した連立方程式にし、 $\Delta T = 1$ 日の時間ステップで長期シミュレーションを行うと、3年めから1年を周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間引き水 NH_4-N の濃度分布と、各月の NH_4-N 溶出速度をそれぞれ、図11および12に示した。これらの結果は図3 aに示した間引き水の夏季、冬季の濃度分布、および図1, 2に示した N 溶出速度の季節変化とほぼ同様の傾向を示しており、 F の変化も図5に示した変化パターンとほぼ同様である。

したがって、このようなモデルによって、 N については底質環境を再現し予測することが原理的に可能であると思われる。

4・2 P モデル N モデルと同様に数値計算を行い、ほぼ満足な結果も得られているが、長期計算時の値の安定など、計算上なお若干の問題点を残しており、結果の詳細は講演時に報告する。

〔5〕 まとめ 1) N については、簡単なモデルではあるが、底泥表層における有機態 N の分解速度定数 k_3 と、上、下層水間の鉛直混合係数 Du の季節変化を与えたモデルによって、底質の季節変化が再現できた。2) P については、底泥の好嫌気度を表わす IOD' と吸着平衡定数 α' を関係づけ、 N と同様、 k_1 、 Du および上層水中での植物プランクトンの生産速度定数 k_1 の季節変化を与えたモデルを示した。

参考文献) 1)運輸省第二港湾建設局 東京湾底質浄化調査報告書 (S5 2.3) 2)浮田ほか、用水と廃水 21 (7) 73 (1979) 3)同左、21 (2) 18 (1979)

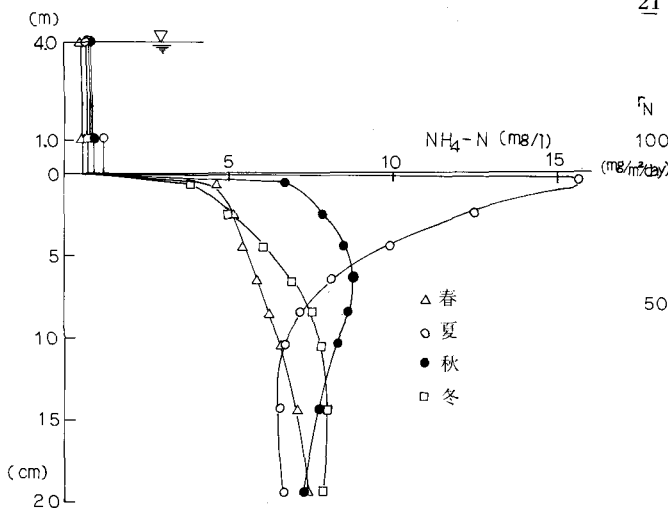


図11 NH_4-N 垂直分布季節変化（計算値）

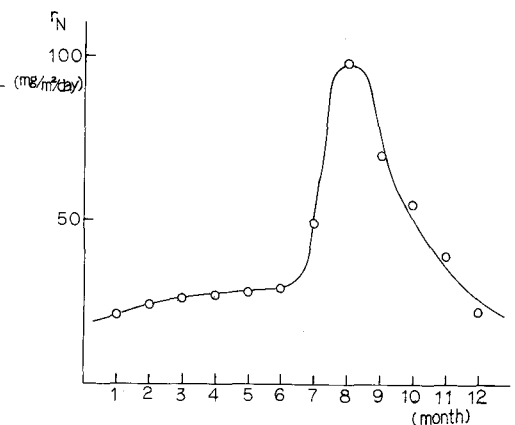


図12 N 溶出速度の季節変化（計算値）