

内海汚濁のモデルとシミュレーション
(第2報)

渡辺一郎・大倉 博・尾崎睿子

国立防災科学技術センター第3研究部

**Inland Sea Pollution Model and Its Simulation
(Report II)**

By

I. Watanabe, H. Ohkura and E. Ozaki

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

An improved inland sea pollution model was proposed. The main modified points are as follows:

- (1) In place of total phosphorus and total nitrogen, inorganic phosphorus and inorganic nitrogen are used.
- (2) Phosphorus-nitrogen combination does not occur in the dark zone.
- (3) The greater chemical oxygen demand (COD) is, the greater is the reducing ratio of COD.
- (4) The correlation coefficient between COD and BOD (Biochemical oxygen demand) is 1.

A better result was gained in comparison with the previous report by applying this model to the Inland Sea of Japan.

1. はしがき

われわれは、先般、速報的に簡単な内海汚濁モデルを提唱し、第一次近似としては比較的に良い結果を得たことを報告した。⁽⁶⁾その後、さらにより良い結果を得るべく種々検討し、モデルを改良して、前報よりも良い結果を得たので、ここに第2報として報告するものである。

モデルを改良したといっても、その大筋の考え方は変わっていない。詳細については後述するが、第1報のモデルと異なる主な点は次のとおりである。

- (1) 全窒素、全リンを用いず、無機態の窒素、リンを用いる。
- (2) 無機態の窒素、リンが、光合成によりプランクトンに変わるという考え方をするので

あるから、表面に近く光がとどく層(有光層)内でのみ、この反応が起こるものとする。

- (3) COD濃度が大きくなると、COD濃度の減少率が大きくなるとする。
- (4) 栄養塩、プランクトンなどは、非常に深い所までひろがることはないとする。
- (5) CODとBODの相関を1とする。

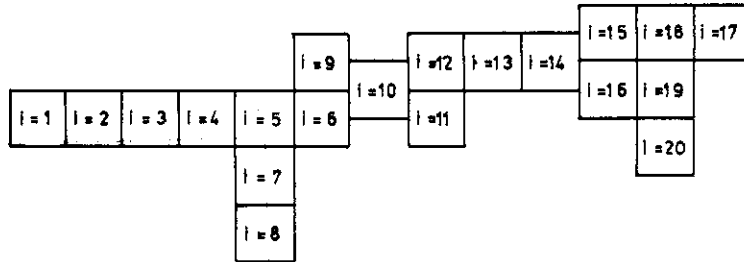


図1 内海の区分(瀬戸内海の例)

2. モデルの記述

前報において述べたものを含め、現在用いられているモデルの内容は次のとおりである。

2.1 内海の区分

内海を、たとえば島の状況、汚濁の程度などを参考にして、図1のようにいくつかの海域に分ける。各海域内では、各パラメータや濃度などの値は一定であると仮定する。

2.2 各海域のデータ

各海域のデータとその記号を次のように定める。

(1) COD濃度: COD, (2) 無機態リン濃度: P, (3) 無機態窒素濃度: N, (4) 海水量: V, (5) 深さ: D, (6) 単位時間当りのCOD負荷量: CODI, (7) 単位時間当りの無機態リン負荷量: PI, (8) 単位時間当りの無機態窒素負荷量: NI。

なお、各負荷量CODI, PI, NIは、原則として単位時間ごと(たとえば一か月、季節ごと)に異なる。また、最大有効水深はDS mとし、深さがDS mを超える海域では、上記のDをDSとし、これに伴ってVも修正する。

2.3 単位時間当りのCOD, P, Nの変化

各海域のCOD濃度、無機態リン濃度、無機態窒素濃度は、以下の各項において述べる仕組みで変化する。

(1) 汚濁負荷量による増加

汚濁負荷量は通常、単位時間当りの重量であらわされているので、各海域のCOD, P, Nの単位時間当りの増加は、それぞれ

$$\text{CODI}/V, \text{PI}/V, \text{NI}/V \quad \text{である。}$$

(2) PとNの結合

無機態リン1単位と無機態窒素 n 単位が結合する。ただし

(i) 単位時間内に、現存する無機態のリン、窒素のすべてが結合してしまわずに、

$$P \cdot b \text{ と } N \cdot n \cdot b \text{ が結合する } (n > 1, b < 1)。$$

(ii) P, Nは結合した分だけ減少する。

(iii) CODは、無機態リンの結合量1単位に対して q 単位だけ増加する($q > 1$)。

(iv) このような結合は、有光層のみにおいて行なわれる。有光層の厚さ h はCOD濃度が大きいほど小さい。

かくて、無機態のリン、窒素の単位時間当りの結合量(したがって、減少量)は、それぞれ

$$P \cdot b \cdot h / D, N \cdot n \cdot b \cdot h / D$$

であり、COD濃度の増加は

$$P \cdot b \cdot h \cdot q / D$$

である。PN結合係数 b は、原則として単位時間ごと(特に季節ごと)に異なる。

(3) 自然浄化

CODは、単位時間にCOD $\cdot d$ だけ自然浄化により減少する($d < 1$)。自然浄化係数 d は、原則として単位時間ごとに異なる。

また、この自然浄化により、その一部 g がCODから無機態のリン、窒素にもどる($g < 1$)。すなわち、このときの無機態のリン、窒素の増加は、それぞれ

$$COD \cdot d \cdot g / q, COD \cdot d \cdot g \cdot n / q$$

である。無機交換係数 g はCOD濃度と時間の関数である。

(4) プランクトンの死亡

プランクトンの死亡により、CODは単位時間ごとにCOD $\cdot s$ だけ減少する($s < 1$)。この場合、プランクトンは海底に堆積物として残る。しかし、リンのみはその一部 p が無機態リンとして海中にもどる($p < 1$)。すなわち、このときの無機態リンの増加は

$$COD \cdot s \cdot p / q$$

である。死亡係数 s はCOD濃度と時間の関数であり、リン帰還係数 p も、原則として単位時間ごとに異なる。

(5) 海水交換

海域 i と海域 k との間において、単位時間に $a(i, k)$ だけ海水が交換される。したがって

(i) (原則として) $a(i, k) = a(k, i),$

(ii) $a(i, i) = 0,$

(iii) 接していない海域間の $a(i, k) = 0$

である。

海域 i の COD 濃度, 無機態リン濃度, 無機態窒素濃度, 海水量を, それぞれ
 $COD(i), P(i), N(i), V(i)$

とすれば, 海水交換による, ある海域 i における汚濁量の変化は,

$$\sum_{k=1}^M COD(k) \cdot a(k, i) - \sum_{k=1}^M COD(i) \cdot a(i, k)$$

であり (ただし, M は海域の数), COD 濃度の変化は

$$\sum_{k=1}^M (COD(k) \cdot a(k, i) - COD(i) \cdot a(i, k)) / V(i)$$

である。同じように, 無機態のリン, 窒素の濃度の変化は, それぞれ

$$\sum_{k=1}^M (P(k) \cdot a(k, i) - P(i) \cdot a(i, k)) / V(i)$$

$$\sum_{k=1}^M (N(k) \cdot a(k, i) - N(i) \cdot a(i, k)) / V(i)$$

2. 4 外海の扱い

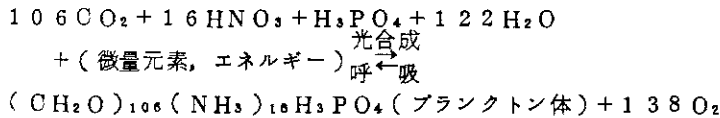
外海における COD 濃度, 無機態リン濃度, 無機態窒素濃度は常に一定とする。外海に隣接する海域に対して, 海水交換によって影響をおよぼすことを除いて, 外海に対して何の計算も行なわない。

3. モデルの考え方の基礎

3. 1 P と N の結合

このモデルにおいて, もっとも大きな要因は, P と N の結合である。無機態リンと無機態窒素が存在すると, プラクトンなどの生物が発生し, これらの生物の呼吸のために酸素が要求されるので COD が増加するという考え方である。

この結合は, 通常, 次のような平衡式で表現される。



リンや窒素が多いと, この式はプラクトン量が多い状態で平衡する結果, 多量の酸素が要求されるとする。

この式から見れば, リン 1 原子と窒素 16 原子が結合すると考えることができる。すなわち, PN 結合倍数 n は, 原子数を単位とすれば 16 である。重量を単位とすれば, リンの原子量が 31, 窒素の原子量が 14 であるから, $(16 \cdot 14) / 31 = 7.2$ となる。

また, この式から, リン 1 原子と窒素 16 原子の結合によって, 酸素 276 原子が要求されるとみることもできる。ただし, この数は, いわゆる生化学的酸素要求量 (BOD) に対応するものである。COD と BOD の相関はあまり良くないのであるが, 建設省関東地方建設局企画部⁵⁾の調査結果を参照して, 今回は前報と異なり, $COD = BOD$ とした。かくて,

COD増加倍数 q は、原子数を単位として276、酸素の原子量は16であるから、重量を単位とすれば、 $(276 \cdot 16) / 31 = 142.4$ である。

光合成によってPN結合が起こるのであるから、当然、有光層のみにおいて結合が行なわれる。有光層の厚さ h の決め方としては種々の考え方があるが、COD濃度が大きければプランクトンが多く、したがって光が深くまでとどかない、という簡単なモデルとした。

3. 2 自然浄化とプランクトンの死亡

プランクトンは、溶存有機物を排出し、また死亡、分解によって懸濁有機物や溶存有機物となる。これらの有機物の一部は、さらに分解して無機態となる。また、死亡によって海底に堆積するものもあるが、堆積物などからの無機態リンの離脱は、前報において述べたように非常に早く行なわれると考えられる。さらに、プランクトンが多ければ、死亡率も高くなるとするのは自然であろう。

以上の考え方を、できるだけ簡単なモデルとして表現したものが、2.3項の(2)、(3)において述べたものである。したがって、2.3項の(2)、(3)における、‘自然浄化’、‘プランクトンの死亡’という標題は、死亡とか浄化という物理的な現象に対応したのではなく、単なる便宜的な名称である。

3. 3 海水交換

海水交換量 $a(i, k)$ は、潮流による移動量ではない。潮流によって海域 i と海域 k の間の両方向に海水が移動し、そこで混合が行なわれると考える。したがって、 $a(i, k)$ は潮流による移動量の $1/S$ であり、 S は原則として海域により異なり、しかも相当に大きな数であると考えられる。

3. 4 モデルの簡単さ

このモデルの最大の特徴は、前報においても述べたように、その簡単さにあると言ってもよい。

区分された各海域内において各パラメータや濃度などが一定であるとしたこと、細かい物理的な現象にあまりこだわらず、これらを総合して、おおまかにとらえたことなどにより、このような簡単なモデルが得られたのである。

2項のように文章にすると長いようであるが、これをコンピュータのFORTRAN言語を用いて表現すると、30ステートメント弱であり、計算時間も、プログラムを改良したため前報の場合より少なくなり、単位時間を1日とした場合、1年分の所要計算時間は、わずかに約1分であった。

4. 瀬戸内海への適用

4. 1 内海の区分

図1は、今回用いた内海区分である。実状に合わせて、海域の接続関係を修正した。

4.2 使用データ

今回は、環境庁水質保全局の調査結果³⁾の原本である資料²⁾を参照することができたので、この両者を参考として使用データの値を定めた。

表1 COD濃度実測値 (ppm)

i	布 域 名	昭 和 4 7 年			昭 和 4 8 年	
		5 月 22日	8 月 1 日	10月 17日	1 月 10日	5 月 25日
1	外 海	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	豊 灘	1.7	1.9	1.4	1.4	1.2
3	周 防 灘 西 部	1.5	1.8	1.8	1.9	2.5
4	周 防 灘 東 部	1.5	1.6	1.3	1.3	2.0
5	伊 予 灘 西 部	1.5	1.7	1.4	1.4	2.0
6	伊 予 灘 東 部	1.0	1.7	0.9	1.2	1.1
7	豊 後 水 道	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0
8	外 海	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
9	広 島 湾	1.4	2.0	1.3	1.0	1.3
10	安 芸 灘	0.8	0.9	1.2	0.8	0.6
11	壇 灘	2.1	1.8	2.3	1.7	1.8
12	備 後 灘	1.6	1.8	1.3	1.2	1.0
13	備 讃 瀬 戸 西 部	1.7	2.4	2.2	1.5	1.7
14	備 讃 瀬 戸 東 部	1.9	2.3	2.6	1.5	2.1
15	播 磨 灘 北 部	2.7	2.0	2.0	1.8	2.2
16	播 磨 灘 南 部	1.9	1.8	1.6	1.4	1.6
17	大 阪 湾 北 部	4.1	2.3	2.2	1.9	2.7
18	大 阪 湾 南 部	3.6	1.3	0.5	1.1	3.0
19	紀 伊 水 道	1.3	1.5	1.0	0.8	1.2
20	外 海	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

表1はCOD濃度、表2は無機態リン(リン酸態リン)濃度および無機態窒素(アンモニア態窒素と硝酸態窒素の和)濃度の各実測値である。昭和47年5月における、COD濃度、無機態リン濃度、無機態窒素濃度の計算初期値は、それぞれ、表1、表2の昭和47年5月の実測値を用いた。

COD負荷量(CODI)、無機態リン負荷量(PI)、無機態窒素負荷量(NI)を表3に示す。今回はPI、NIを季節変化させることは行なわなかった。しかし、CODIについては、春(ただし昭和48年1月10日から昭和48年5月25日まで)の負荷量を図2のように変化させた。昭和48年5月25日におけるCODIも表3に示してある。

表2 無機態リン濃度(P), 無機態窒素濃度(N)実測値
($\mu\text{g-at/l}$)

	P					N				
	昭和47年			昭和48年		昭和47年			昭和48年	
	5月	8月	10月	1月	5月	5月	8月	10月	1月	5月
1	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
2	0.66	0.46	0.27	0.48	0.13	17.1	9.9	13.1	19.2	12.0
3	0.10	0.15	0.18	0.24	0.14	8.2	4.1	9.7	8.1	3.6
4	0.14	0.12	0.14	0.15	0.15	5.0	4.9	3.6	5.3	3.1
5	0.22	0.17	0.26	0.40	0.18	2.0	3.3	3.0	3.6	2.1
6	0.30	0.13	0.21	0.30	0.17	3.6	3.4	4.2	4.1	4.8
7	0.15	0.15	0.33	0.26	0.22	1.8	2.3	6.0	6.1	2.3
8	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
9	0.22	0.24	0.42	0.48	0.20	2.7	2.3	2.7	7.8	2.3
10	0.23	0.16	0.38	0.55	0.17	2.6	2.0	3.3	6.2	1.1
11	0.07	0.38	0.37	0.77	0.16	0.8	2.9	1.7	5.6	1.9
12	0.15	0.30	0.42	0.57	0.31	0.8	3.9	6.6	8.1	3.1
13	0.35	0.65	0.58	0.86	0.48	1.5	1.7	1.5	10.4	3.1
14	0.62	0.91	0.79	0.97	0.25	1.6	3.0	2.7	11.0	1.8
15	0.21	0.40	0.75	0.84	0.24	4.2	8.6	13.5	11.8	7.3
16	0.24	0.62	0.84	1.02	0.13	2.9	3.7	6.1	8.6	2.9
17	0.77	0.75	1.52	0.95	0.75	42.6	19.1	30.8	42.9	38.7
18	0.43	0.29	0.60	0.64	0.35	6.6	8.6	3.8	17.4	20.0
19	0.60	0.12	0.32	0.67	0.20	3.7	5.5	9.8	10.0	3.7
20	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

以上のデータは環境庁水質保全局の調査結果^{2), 3)}からとり、多少の修正を加えたものである。特に無機態のリン、窒素の負荷量は、全リン、全窒素負荷量の半分とした。

表3には、海水量Vと平均深さDも示してある。これらは運輸省第3港湾建設局・神戸調査設計事務所の調査結果¹⁾からとり、やはり多少の修正を加えたものである。有効水深DSを30mとした。

表3 負荷量, 海水量, 深さ

1	海 域 名	海水量 V 10 ¹⁰ m ³	有効 水深 Dm	汚 濁 負 荷 量 (トン/日)			
				CODI	CODI 昭和48年 5月22日	PI	NI
2	警 瀬	2.00	30	110	110	1.0	20.0
3	周 防 瀬 西 部	2.56	15	63	90	1.2	35.0
4	周 防 瀬 東 部	5.07	30	27	30	0.3	10.0
5	伊 予 瀬 西 部	5.79	30	58	130	0.5	3.5
6	伊 予 瀬 東 部	5.87	30	22	35	0.5	3.5
7	豊 後 水 道	16.00	30	110	110	0.6	1.2
9	広 島 湾	2.64	27	260	260	1.0	20.0
10	安 芸 湾	3.09	27	20	20	0.1	1.0
11	徳 島 湾	2.68	21	110	110	0.6	15.0
12	備 後 湾	1.36	15	20	20	1.0	6.0
13	備 前 瀬 戸 西 部	1.26	18	65	65	2.0	13.0
14	備 前 瀬 戸 東 部	1.10	18	65	65	0.5	7.0
15	播 磨 瀬 北 部	5.10	29	50	50	1.2	15.0
16	播 磨 瀬 南 部	3.00	29	20	20	0.3	5.0
17	大 阪 湾 北 部	1.57	27	455	455	4.0	74.0
18	大 阪 湾 南 部	2.11	27	5	5	0.5	1.0
19	紀 伊 水 道	9.80	30	130	130	1.5	25.0

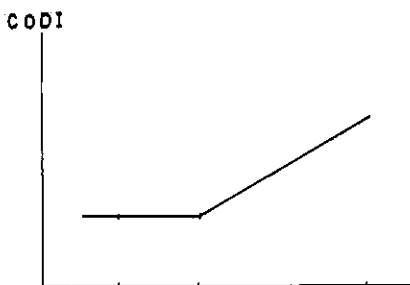


図2 COD負荷量の変化

表4は海水交換量である。前報と同じく運輸省第3港湾局・神戸調査設計事務所の調査報告書¹⁾所載の潮流量をもととしたが、若干の修正を行ない、また、前報では潮流量の100分の1を用いたのに対し、潮流量の20分の1とした。

表4 海水交換量(10⁷ m³/日)

i	k	a(i, k)	i	k	a(i, k)	i	k	a(i, k)	i	k	a(i, k)
1	2	60.0	6	9	17.8	11	12	10.4	15	18	36.7
2	3	4.0	6	10	50.5	12	13	20.2	16	19	7.2
3	4	100.0	7	8	150.0	13	14	20.0	17	18	50.0
4	5	64.4	9	10	5.0	14	15	15.9	18	19	36.7
5	6	80.8	10	11	14.0	14	16	15.9	19	20	70.0
5	7	181.3	10	12	5.0	15	16	7.00			

4.3 有光層厚さ, プラクトン死亡係数と自然浄化係数

有光層厚さ h は次の式を用いて求めることとした。

$$h = [\text{COD}(i) - 4]^2$$

透明度とCOD濃度との関係を調べると、大体、上記の式であらわされる(h を透明度とみたとき)。透明度がほぼ有光層厚さをあらわすとして、上記の式を用いることとした。もちろん、 $\text{COD}(i) > 4$ のときは $h = 0$ 、 h が平均深さより大きくなったときには、 h を平均深さに等しいとした。

プラクトン死亡係数 s 、自然浄化係数 d についても、簡単に

$$s = t \cdot 2(\text{COD}(i) - 2), \quad d = r \cdot 2(\text{COD}(i) - 2)$$

と考え、修正プラクトン死亡係数 t 、修正自然浄化係数 r が単位時間ごとに変化することとした。 s と d に対するCOD濃度の影響は、厳密に言えば異なるであろうが、ここでは簡単のため同じとした。また、 s 、 d に対するCOD濃度の影響を、このように極端に大きくしたのは、建設省関東地方建設局企画部の調査⁵⁾によるCOD減少係数を参考にしたためである。

表5 パラメータの値

パラメータ	夏	秋	冬	春
P N 結合係数 b	0.035	0.040	0.004	0.100
修正自然浄化係数 r	0.009	0.008	0.006	0.007
修正死亡係数 t	0.006	0.005	0.003	0.004
無機変換係数 g	0.5	0.5	0.5	0.5
リン帰還係数 p	0.5	0.5	0.5	0.5
P N 結合係数 n				
原子数単位	16	16	16	16
重量単位	7.2	7.2	7.2	7.2
COD 増加倍数 q				
原子数単位	276	276	276	276
重量単位	1424	1424	1424	1424

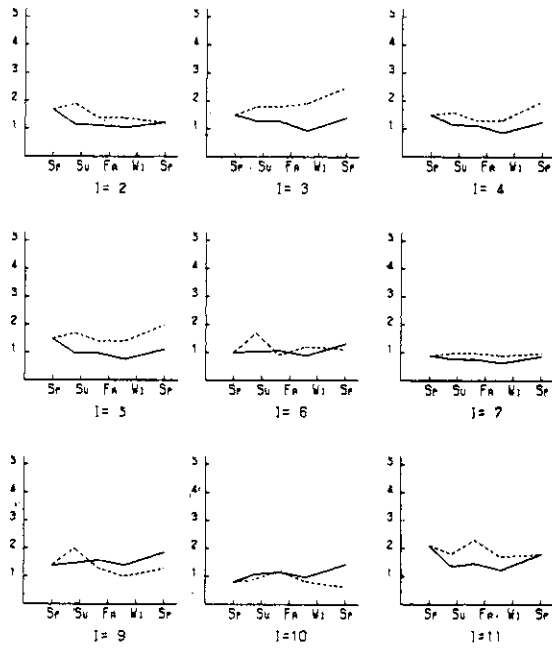


図3 (1) 計算結果。COD濃度(1)

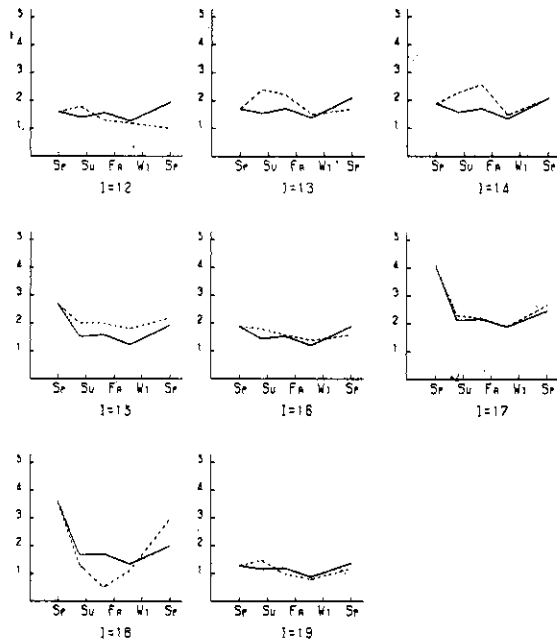


図3 (2) 計算結果。COD濃度(2)

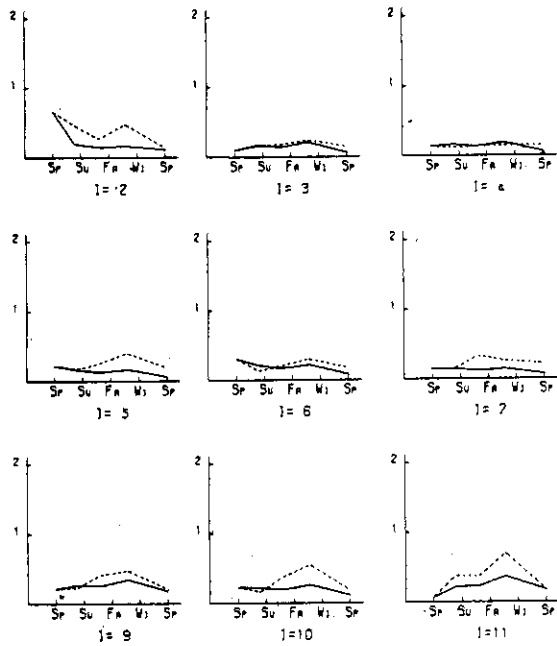


図3 (3) 計算結果。無機態リン濃度(1)

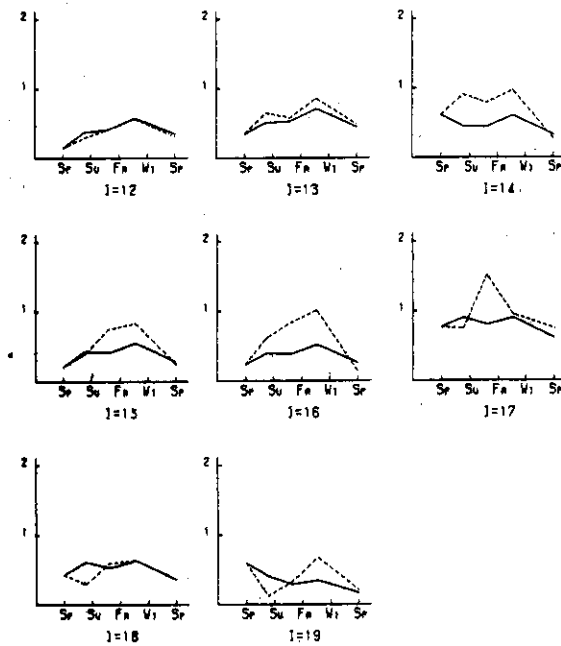


図3 (4) 計算結果。無機態リン濃度(2)

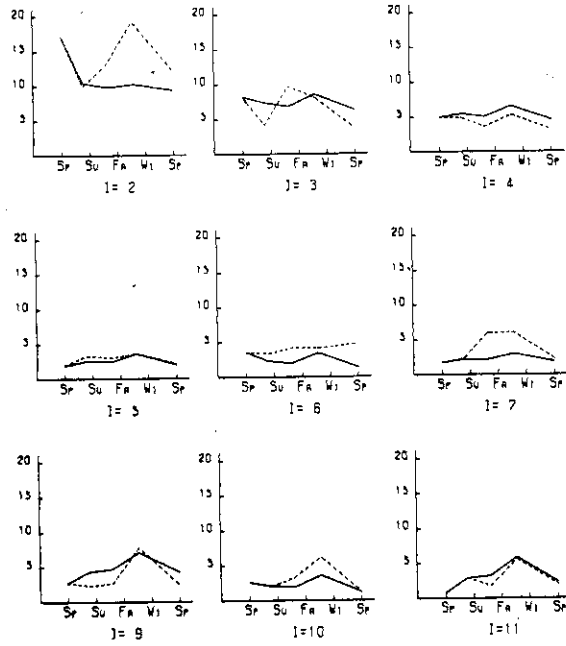


図3 (5) 計算結果。無機態窒素濃度(1)

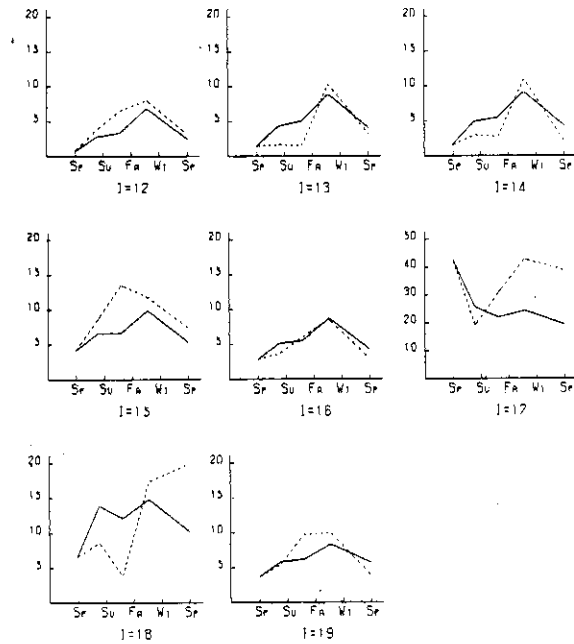


図3 (6) 計算結果。無機態窒素濃度(2)

4. 4 パラメータの値

今回の試算において到達したパラメータの値は表5のとおりである。

なお、津田ほか(1974)⁸⁾によれば、周防灘、伊予灘、豊後水道には、リンや窒素以外の、プランクトン発生に必要な元素が少ないためか、リンや窒素が存在してもCOD濃度の増加が少ないということであるが、後述する理由でこの説を採用しないこととした。

4. 5 シミュレーションの結果と検討

以上のようなモデル、データ、パラメータを用いて計算した結果と実測値を比較したものが図3である。破線が実測値、実線が計算値である。前報とは異なり、実測月日に合わせて表示した。

非常に簡単なモデルでありながら、比較的良く一致しているといえよう。前報とくらべて格段と良くなったとは言えないが、一致度はたしかに増加している。PN結合係数 β を変化させることによって、多少のバラツキはあるにしても、季節変動の傾向も良く合っているといてよい。しかも、 β の変化は、プランクトンが秋に小発生し、春に大発生するという事実とも対応している。また、 t 、 τ の季節変化は、温度が酸化分解におよぼす影響を示している。

しかしながら、周防灘および伊予灘西部のCOD計算値が小さく、これを合わせようとして表5のパラメータの値を変化させると、大阪湾の計算値が大きくなり実測値と合わなくなるということは、前報とまったく同じである。この問題について次のような検討がなされる。

- (1) 周防灘、伊予灘では無機態リン濃度が小さく、しかも無機態リン負荷量も、その海水量に比較して少ないので、たとえ無機態窒素濃度が大きくても、PN結合によるCOD濃度の増加が非常に少ない。

これらの海域の無機態リン濃度Pの、実測と計算の一致度が比較的良いから、この海域でのPN結合の様子を他の海域と異なったものとしても、問題は解決しないであろう。

もちろん、4.4項において述べたような、周防灘などにおいてPN結合の割合が少ないという説を採用すると、結果はより一層悪くなってしまふ。

- (2) 広島湾、備讃瀬戸西部から伊予灘をへて豊後水道へ抜ける恒流があり、この恒流により広島湾や備讃瀬戸の汚れが運ばれるという説がある。

しかし、この恒流を考えにいれると、伊予灘東部の方が伊予灘西部より汚れることになり、実測では東部より西部の方が汚れていることと合わなくなる。

しかも、もっと悪いことには、この恒流を考えにいれるならば、周防灘から伊予灘をへて豊後水道へ抜ける恒流も考慮しなければ片手落ちであり、周防灘の計算値はさらに小さくなってしまふ。

実は、周防灘の汚れがまったく伊予灘に流れないとして試算してみても、周防灘のCOD濃度はそれほど大きくならないのである。

- (8) 陸水を考慮しても、陸水による海水量の増加に対応して、海水が(2)の恒流と同じ動きをすると考えられるので、問題の解決にはならない。

しかも、海水量は表3に示すように 10^{10} m³のオーダー、海水交換量は表4に示すように $10^8 \sim 10^9$ m³のオーダーであるのに対し、陸水は最大で 10^7 m³のオーダーであって、大きな影響をおよぼさない。

- (4) この海域の海水量の大きさに比較して各負荷量が少ないから、計算値が小さくなるのは当然であるとさえ言える。少しぐらい負荷量を増加させても海水量が大きいため影響は少ない。この海域のすべての負荷量を3倍にしても、COD濃度は実測値より小さい。5倍以上にする必要があると考えられる。ということは、実際には、汚濁物質が、この海域に多量に不法投棄されているのかもしれない。

したがって、このことから有効水深を30 mとしたことは、ほとんど結果に影響をおよぼしていないことがわかる。有効水深がもっと浅いという考え方もあるが、そうすると大阪湾の平均水深が27 mであるから、大阪湾の汚れも大きくなってしまい。

- (5) リンと窒素の供給源として底質がある。しかし、環境庁水質保全局の調査結果²⁾を見るかぎり、この海域の底質のリン、窒素の含有量が特に多いとはいえない。

かくて、周防灘の計算値を大きくするためには、この海域の負荷量を大幅に大きくするか、モデルを根本的に変更するか、また、表5のパラメータを場所ごとに変更するか、いずれかの処置を行わなければならないが、良い変更案を見いだすことはまことに困難であると言わざるを得ない。また、拡散方程式などの精密なモデルを使用すれば、この問題が解決できるというものではないことに注意すべきである。現在、各種の案を検討中である。

5. 負荷量を半分にした場合

昭和48年成立した瀬戸内海環境保全臨時措置法により、COD負荷量を昭和47年度当時の半分程度に減少させることを目途にして、関連府県に対するCOD負荷量割り当て量が定められた。これによる各府県のCOD負荷量の減少率は一率ではないが、ほぼ半分とみてよいので、われわれのモデルにおいて、すべての負荷量(リンも、窒素も)を半分とした場合について計算を行ってみた。

表6はその結果である(COD濃度のみ)。昭和48年5月における、各海域の実測値、現負荷量に対する計算値、すべての負荷量を半分とした場合の計算値、COD負荷量だけを半分とした場合の計算値が示してある。

もちろん、負荷量を半分とすればCOD濃度は減少する。しかし、その減少量は比較的少ない。このことは、われわれのモデルにおいてPN結合が重要な役割を演じていることから当然であるともいえよう。もし、リンや窒素の負荷量の減少量が少なければ、表6の最右欄

のようにCOD濃度はわずかしか減少しない。さらに長期の問題としては底質からのリン、窒素の離脱も考慮しなければならない。

表6 負荷量を半分にしたとき(昭和48年5月COD濃度)

i	海 名	実測値	現負荷量	全負荷量 半 分	COD負 荷量半分
2	香 灘	1.2	1.24	1.13	1.17
3	周 防 灘 西 部	2.5	1.39	1.14	1.30
4	周 防 灘 東 部	2.0	1.25	1.05	1.18
5	伊 予 灘 西 部	2.0	1.12	0.96	1.04
6	伊 予 灘 東 部	1.1	1.32	1.05	1.22
7	豊 後 水 道	1.0	0.89	0.80	0.84
9	広 島 湾	1.3	1.86	1.46	1.63
10	安 芸 灘	0.6	1.43	1.10	1.36
11	経 灘	1.8	1.81	1.35	1.72
12	備 後 灘	1.0	1.95	1.48	1.88
13	備 讃 瀬 戸 西 部	1.7	2.11	1.63	2.03
14	備 讃 瀬 戸 東 部	2.1	2.10	1.65	2.02
15	播 磨 灘 北 部	2.2	1.94	1.59	1.86
16	播 磨 灘 南 部	1.6	1.90	1.54	1.82
17	大 阪 湾 北 部	2.7	2.48	2.02	2.25
18	大 阪 湾 南 部	3.0	2.02	1.68	1.91
19	紀 伊 水 道	1.2	1.40	1.20	1.32

上記の臨時措置法においては、COD負荷量だけが対象となっているが、リン、窒素の負荷量の規制も行なうべきであるとする。

6. あとがき

前報において将来の方向として挙げた諸点につき、ここで少し考察しよう(瀬戸内海を対象として)。

- (1) 海水交換量、降水、蒸発については、陸水(河川水)と同じく、周防灘の問題を解決することにならないので、細かく検討することはむだである。
- (2) 海域を細分しても周防灘の問題を解決することはできない。
- (3) すでに述べたように負荷量の時間的変動も小さな問題である。
- (4) PN結合係数 n が、原子数単位で16、重量単位では7.2近辺であるのはほとんど確実であろう。また、COD増加係数 q は原子数単位で276、重量単位では142.4とい

うことも、ほぼ承認してよいと思われる。

- (5) 有効海水量の問題は、有光層および有効水深という考え方により処理された。ただし、環境庁水質保全局の調査結果²⁾を見るかぎり、陸地に非常に近い所を除いて、表面だけが汚濁していることはない。
- (6) b , d , g , s , d などの意味は、3項において述べたものと考えてよいであろう。もちろん、これらが表5のような値をとることの物理的意味はまだ不明である。しかし、この物理的意味を追求することに、あまり多くの労力を費やすことは、このようなモデルにおいてはむだであるとさえいえよう。
- (7) 上, 下層に分けることを再検討する価値はあるが、周防灘の問題を解決することにはならないと思われる。

なお、以上の考察は瀬戸内海を対象としたものであり、一般の内海汚濁モデルとしては、より深い考察が必要となろう。

最後に、参考資料²⁾を提供していただいたばかりでなく、有光層などについて貴重なコメントをいただいた、環境庁水質保全局、矢野氏および中島氏、また、COD農度とその減少係数の関係などの重要なコメントをいただき、参考文献⁵⁾を見せていただいた、下水道事業センター試験所の杉木所長および東氏、さらに、終始指導いただいた当センター菅原所長に深く感謝の意をあらわしたい。

参 考 文 献

- 1) 運輸省第3港湾建設局・神戸調査設計事務所(1973): 昭和47年度瀬戸内海水質保全対策調査報告書
- 2) 環境庁水質保全局(1973): 昭和47年度瀬戸内海水質汚濁総合調査, データ表(その1, その2)
- 3) 環境庁水質保全局(1973): 瀬戸内海水質汚濁総合調査結果について(第1回~第5回)
- 4) 近畿地方建設局(1966): びわ湖生物資源調査団中間報告(一般調査の部)
- 5) 建設省関東地方建設局企画部(1973): 東京湾環境保全対策調査 東京湾汚濁防止総合委員会報告書
- 6) 菅原正己・渡辺一郎・大倉 博(1974): 内海汚濁のモデルとシミュレーション, 国立防災科学技術センター研究速報, 第12号
- 7) 杉木昭典(1974): 水質汚濁 — 現象と防止対策, 技報堂
- 8) 津田 覚・横畑 明・向井徹雄(1974): 瀬戸内海の有機汚濁の特性, 青と緑, 昭和49年9月号, pp. 34-45. (1974年11月18日原稿受理)