内海汚濁のモデルとシミュレーション

著者	菅原 正巳, 渡辺 一郎, 大倉 博
雑誌名	国立防災科学技術センター研究速報
号	12
ページ	1-22
発行年	1974-09-10
URL	http://id.nii.ac.jp/1625/00002727/

551.464:681.3

内海汚濁のモデルとシミュレーション

菅原正巳・渡辺一郎・大倉　博
国立防災科学技術センター

Inland Sea Pollution Model and Its Simulation

By

M. Sugawara, I. Watanabe and H. Ohkura

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

A simple but effective inland sea pollution model was proposed. The essential points of this model are as follows:

(1) An inland sea is divided into several zones and it is assumed that all parameters are constant in every zone.

(2) The pollution level, for example chemical oxygen demand (COD), in each of the zones is altered by some factors as follows: polluted materials input, self-purification, phosphorus-nitrogen combination, and sea water exchange.

(3) Although the quantities of nitrogen and phosphorus are reduced by the phosphorus-nitrogen combination, some parts of the reduced phosphorus are returned afterwards.

A relatively good result was gained by applying this model to an inland sea Setonaikai.

目　　次

1．はしがき……3
2．モデルの概要……4
2．1　内海の区分……4
2．2　各海域のデータ……4
2．3　単位時間当りのＣＯＤ、Ｐ、Ｎの変化……4
2．4　外海の扱い……6
3．瀬戸内海への適用とモデル修正の経過……6
3．1　使用データ……6
3．2　パラメータの値……12
3．3　データの修正……13
3．4　モデル修正の経過……13
4．モデルの特徴と将来の方向……22

1．はしがき

水質汚濁（特に内海）の問題がクローズアップされてから久しい。現在の汚濁状況を改善する、あるいは汚濁を進ませないためには、「汚濁負荷が水質汚濁にどのように影響するか」という仕組みが解明されねばならない。しかしながら、拡散方程式を用いる方法を始めとして、従来のモデル（たとえば参照文献4、第7章　p233～324）は、たとえ比較的良い結果が得られたとしても非常に複雑で計算に時間がかかり、特に広い地域（海域）に適用するには不適当であると言わざるを得ない。

そこで、われわれは、広い海域を大づかみにした簡単なモデルを提唱したい。われわれの目的は、海域内の汚濁物がどのような動きをするかというおおよその仕組み（すなわちモデル）を見いだすことであるので、われわれの考えるモデルに実際の汚濁負荷量を入力データとしていれたとき、計算された各海域の汚濁状況が実際のものと（略）一致するように、モデルを修正するというやり方をする。

したがって、どのようにモデルが変更されたかという筋道を記述することは、このような報告において重要なのである。ここでは時間の制約もあったので、その全部について述べることはできなかったが、モデル修正の経過も含めて、到達した第一次モデルの概要と、このモデルを瀬戸内海に適用したシミュレーションの結果について報告する。

なお、この報告は速報的なものである。われわれのモデルが広く使われることを願い、また、より正確な、くわしいデータを測定しようという刺激となることを願って、あえて以下のような不完全な結果のまま、報告するものである。

2．モデルの概要

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の値は一定であると仮定する。

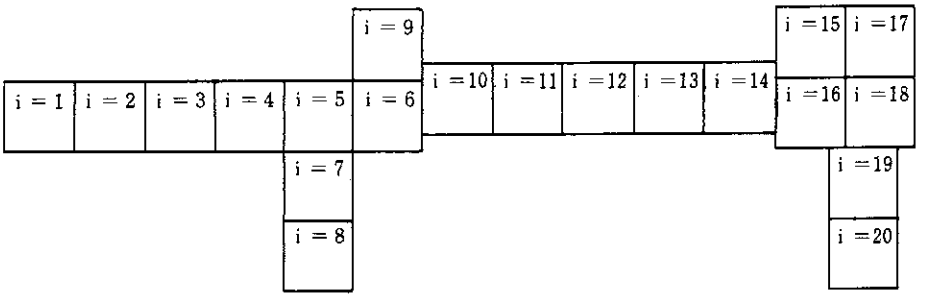


図1　内海の区分（瀬戸内海の例）

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) リン濃度　：Ｐ

(3) 窒素濃度　：Ｎ

(4) 海水量　　：Ｖ

(5) 単位時間当りのＣＯＤ負荷量：ＣＯＤＩ

(6) 単位時間当りのリン負荷量　：ＰＩ

(7) 単位時間当りの窒素負荷量　：ＮＩ

なお、ＣＯＤＩ、ＰＩ、ＮＩは原則として単位時間ごと（たとえば一月、季節ごと）に異なるものとする。

2.3 単位時間当りのＣＯＤ、Ｐ、Ｎの変化

各海域のＣＯＤ濃度、リン濃度、窒素濃度は、以下の各項に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

ＣＯＤＩ／Ｖ、ＰＩ／Ｖ、ＮＩ／Ｖ

となる。

(2) 自然浄化

ＣＯＤは、単位時間にＣＯＤ・ｄだけ自然浄化により減少するものとする。自然浄化係数

dは、単位時間ごと（特に季節ごと）に異なるものとする。

(3)　PとNの結合

Pの1単位とNのn単位が結合するものとする。

ただし、

（i）単位時間内に、現存するPとNのすべてが結合してしまうのではなく、P・bとN・n・b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）過去において減少したPの一部（P・p）は、ふたたびPとしてもどり、Pが増加する。（$p<1$）

（iv）CODは結合量のq倍だけ増加する。（$q>1$）

PN結合係数bおよびP帰還係数pは、原則として単位時間ごと（特に季節ごと）に異なるであろう。

さて、このPとNの結合の基礎となる考え方は、次のことである。

(a)　リンと窒素が存在することによってプランクトンなどの生物が発生し、これらの生物が酸素を要求するためにCODが増加する。したがって、CODの増加は結合量より通常大きい。

(b)　プランクトンなどの生物が死亡すると、窒素はほとんど生物体内に残るが、リンは非常に早く、水に溶出する（参照文献3、P 442）。

また、PN結合倍数nとCOD増加倍数qについては、次のように考えることとした。生物を用いる汚水処理において、BOD負荷150 gを処理するのに、リン1 g、窒素5 gを必要とする（参照文献4、P212）。すなわち、リンと窒素を注入して生物を発生させ、これを沈殿させて浄化しようというわけである。逆に考えれば、リン1 gと窒素5 gが結合してBOD負荷が150 g増加するとしてよいことになる。CODとBODの相関はあまり良くないのであるが、CODの値はBODの値の半分とみて（参照文献4、P 126の表5－2）、リン1 gと窒素5 gが結合してCOD負荷が75 g増加するとした。すなわち、$n=5$、$q=75$である。

また、プランクトン内の化学成分は、生体乾燥重量100 gあたり、リン0.6 g、窒素5 gというデータもある（参照文献4、P 488）。これにしたがえば、$n=8$である。以下において、$n=5$の場合と$n=8$の場合の両方について計算を行なった。

(4)　海水交換

海域i と海域 j の間において、単位時間にa_{ij} だけ海水が交換されるとする。したがって、

（i）（原則として）　$a_{ij}=a_{ji}$

（ii）$a_{ii}=0$

（iii）接していない海域間の$a_{ij}=0$

である。このとき、ある海域iにおける汚濁量の変化は、

$$\sum_{j=1}^{M} COD_j \cdot a_{ji} - \sum_{i=1}^{M} COD_i \cdot a_{ij}$$

であり（ただし、Mは海域の数）、COD濃度の変化は、

$$\left(\sum_{j=1}^{M} COD_j \cdot a_{ji} - \sum_{i=1}^{M} COD_i \cdot a_{ij} \right) / V_i$$

となる。同じように、P、Nの変化はそれぞれ、

$$\left(\sum_{j=1}^{M} P_j \cdot a_{ji} - \sum_{i=1}^{M} P_i \cdot a_{ij} \right) / V_i$$

$$\left(\sum_{j=1}^{M} N_j \cdot a_{ji} - \sum_{i=1}^{M} P_i \cdot a_{ij} \right) / V_i$$

である。

なお、この a_{ij} は潮流による移動量ではない。潮流によってiからj、jからiの両方向に移動する。したがって a_{ij} は潮流による移動量の1/Sである。Sは海域により、異なるかもしれない。また、相当大きな数であろう。

2.4 外海の扱い

海域の一つとして外海も考慮しなければならない。外海はこのモデルの一つの重要な境界条件であり、特別な扱いをする必要がある。

このモデルでは簡単のため、外海におけるCOD、P、Nは常に一定とする。すなわち、隣接する海域に対して海水交換によって影響を及ぼすことを除いて、外海に対して何の計算も行なわない。

3．瀬戸内海への適用とモデル修正の経過

上記のモデルを瀬戸内海へ適用した結果について述べよう。実は、瀬戸内海の汚濁の仕組みを知るために、上記のモデルを考えたのであって、図1は、われわれが用いた瀬戸内海の区分を示すのである。

3.1 使用データ

使用したデータを表1、表2に示す。Viと a_{ij} は参照文献1から、CODIi、PIi、NIiとCODi、Pi、Niの初期値は参照文献2からとった。一部、補足修正したもの、海域を分割したものもある。なお、表1の＊印、＊＊印、＊＊＊印については後述する。また、表2の a_{ij} については、参照文献1の半潮時潮流移動量から、S＝100として求めたものである。

参照文献2よりとった、COD、P、Nおよび参考となる NH_4—N、PO_4—P の実測値を表3～表5に示す。これも多少、補足修正を加えた。

なお、表1のCODの初期値は、表3の47年5月の値を用い、PとNの初期値は、全リン、

全窒素の値を用いた。表1ないし、表5の対応する数値の単位が異なるので、実際の計算プログラムでは単位変換のための係数が必要となる。

汚濁負荷量の季節変化を示すデータがないので、季節係数kをCODI、PI、NIに乗ずることとした。

			汚濁負荷量(ﾄﾝ／日)			初期値		
i	海域名	V. $_{10}{}^{10}m^3$	CODI	PI	NI	COD ppm	P μg-at/ℓ	N μg-at/ℓ
1	外海					1.0	0.2	20.0
2	響灘、関門海峡	3.00	(110.)* 40.	1.0	(40.)* 10.	1.7	0.4	23.7
3	周防灘西部	5.92	55.	2.0	55.	1.5	0.6	24.8
4	周防灘東部	2.56	35.	1.0	35.	1.5	0.5	10.7
5	伊予灘西部	11.20	50.	1.2	6.	1.5	0.5	9.5
6	伊予灘東部	8.22	30.	0.8	4.	1.0	0.6	11.4
7	豊後水道	8.00	110.	1.0	0.	0.9	0.5	6.3
8	外海					0.5	0.3	5.0
9	広島湾	2.64	(110.)** 340.	2.0	40.	1.4	0.6	14.0
10	安芸灘	3.09	20.	0.0	0.	0.8	0.7	10.2
11	燧灘	2.68	110.	1.0	30.	2.1	0.5	20.0
12	備後灘	1.36	20.	2.0	10.	1.6	1.2	16.0
13	備讃瀬戸西部	0.70	(40.)*** 65.	(1.5)*** 2.5	20.	1.7	1.2	25.7
14	備讃瀬戸東部	0.75	(40.)*** 65.	(1.5)*** 2.5	20.	1.9	0.8	34.6
15	播磨灘北部	4.03	40.	2.0	25.	2.7	0.6	40.6
16	播磨灘南部	4.03	30.	1.0	15.	1.9	0.5	44.2
17	大阪湾北部	1.83	280.	5.5	90.	4.1	1.9	48.8
18	大阪湾南部	1.83	180.	3.5	60.	3.6	1.0	33.8
19	紀伊水道	8.00	130.	3.0	50.	1.3	0.6	40.0
20	外海					0.5	0.4	30.0

表1　入力データ

i	j	a_{ij}	i	j	a_{ij}	i	j	a_{ij}
1	2	20.0	7	8	300.0	15	16	140.0
2	3	8.0	9	10	10.0	15	17	73.4
3	4	200.0	10	11	28.0	16	19	14.4
4	5	128.8	11	12	20.8	17	18	100.0
5	6	161.6	12	13	40.4	18	19	73.4
5	7	362.6	13	14	40.0	19	20	140.0
6	9	35.6	14	15	31.8			
6	10	101.0	14	16	31.8			

表2　海 水 交 換 量（・10^6 m³／日）

i	47年5月	47年8月	47年10月	48年1月	48年5月
1					
2	1.7	1.9	1.4	1.4	1.2
3	1.5	1.8	1.8	1.9	2.5
4	1.5	1.6	1.3	1.3	2.0
5	1.5	1.7	1.4	1.4	2.0
6	1.0	1.7	0.9	1.2	1.1
7	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0
8					
9	1.4	2.0	1.3	1.0	1.3
10	0.8	0.9	1.2	0.8	0.6
11	2.1	1.8	2.3	1.7	1.8
12	1.6	1.8	1.3	1.2	1.0
13	1.7	2.4	2.2	1.5	1.7
14	1.9	2.3	2.6	1.5	2.1
15	2.7	2.0	2.0	1.8	2.2
16	1.9	1.8	1.6	1.4	1.6
17	4.1	2.3	2.2	1.9	2.7
18	3.6	1.3	0.5	1.1	3.0
19	1.3	1.5	1.0	0.8	1.2
20					

表3　COD実測値（ppm）

i	47年5月	47年8月	47年10月	48年1月	48年5月	全窒素 48年5月
1						
2	10.6	5.4	7.3	9.9	5.0	23.7
3	3.1	1.5	6.5	5.2	4.0	24.8
4	1.7	2.1	1.9	2.1	1.7	10.7
5	0.9	2.2	1.3	0.8	1.1	9.5
6	0.7	1.9	1.4	1.0	2.9	11.4
7	0.8	1.9	1.5	2.6	0.6	6.3
8						
9	1.0	1.4	1.2	3.3	1.3	14.0
10	1.0	1.9	0.7	1.5	0.8	10.2
11	0.4	2.7	0.9	2.9	1.5	20.0
12	0.4	3.6	5.0	2.4	2.5	16.0
13	0.7	1.0	1.2	3.6	2.3	25.7
14	1.1	1.8	0.9	3.8	1.2	34.6
15	3.1	5.4	8.5	3.4	6.0	40.6
16	2.4	2.2	2.7	2.0	2.5	44.2
17	31.3	14.1	24.5	26.9	20.0	48.8
18	2.0	3.0	2.0	4.6	13.7	33.8
19	0.8	1.9	3.0	2.4	1.5	40.0
20						

表4　NH_4―N（アンモニア態窒素）全窒素実測値（$\mu g-at/\ell$）

i	45年5月	47年8月	47年10月	48年1月	48年5月	全リン 48年5月
1						
2	0.24	0.62	0.84	1.02	0.13	0.4
3	0.10	0.15	0.18	0.24	0.14	0.6
4	0.14	0.12	0.14	0.15	0.15	0.5
5	0.22	0.17	0.26	0.40	0.18	0.5
6	0.30	0.13	0.21	0.30	0.17	0.6
7	0.15	0.15	0.33	0.26	0.22	0.5
8						
9	0.22	0.24	0.42	0.48	0.20	0.6
10	0.23	0.16	0.38	0.55	0.17	0.7
11	0.07	0.38	0.37	0.70	0.16	0.5
12	0.15	0.30	0.42	0.81	0.31	1.2
13	0.35	0.65	0.58	0.86	0.48	1.2
14	0.62	0.91	0.79	1.59	0.25	0.8
15	0.21	0.40	0.75	0.84	0.24	0.6
16	0.24	0.62	0.84	1.02	0.13	0.5
17	0.77	2.30	3.05	0.95	0.75	1.9
18	0.43	0.29	0.60	0.64	0.35	1.0
19	0.60	0.12	0.32	0.67	0.20	0.6
20						

表5　PO_4－P（リン酸態リン），全リン実測値（μg－at/ℓ）

3.2 パラメータの値

このモデルの一つのキーポイントは、d（自然浄化係数）、b（PN結合係数）、p（P帰還係数）、さらにk（季節係数）をいかにして定めるかということである。ただしkについては、汚濁負荷量の詳しい実測値がわかれば推定する必要のないものである。

瀬戸内海に対する第一次試算において到達した、これらのパラメータの値を表6に示す。

パラメータ	夏	秋	冬	春
d（自然浄化係数）	0.022	0.016	0.011	0.014
b（PN結合係数）	0.0250	0.0125	0.00415	0.0105
p（P帰還係数）	0.65	0.65	0.65	0.65
g（COD増加倍数）	75	75	75	75
n（PN結合倍数）	5	5	5	5
k（季節係数）	1.1	0.95	0.9	1.05

（1）

パラメータ	夏	秋	冬	春
d（自然浄化係数）	0.015	0.012	0.007	0.01
b（PN結合係数）	0.012	0.006	0.002	0.01
p（P帰還係数）	0.5	0.5	0.5	0.5
g（COD増加倍数）	75	75	75	75
n（PN結合倍数）	8	8	8	8
k（季節係数）	1.1	0.95	0.9	1.05

（2）

表6　各パラメータの値（／日）

3.3　データの修正

表1のデータをよく見ると、どうも納得のゆかないものがある。

（i）　響灘、関門海峡にそって大工業地帯があり、＊印のように負荷量が小さいとは考えられない。

（ii）　たしかに広島湾のＣＯＤ負荷量は大きいであろうが、＊＊印のように大きいとは考えにくい。

（iii）　備後瀬戸の負荷量（＊＊＊印）も納得できない値である。特にリン負荷量が問題である。

そこで、以下の計算では、これらのデータを括弧内のように修正したものを用いた。

実は、モデルの変更、パラメータの変更を行ないながら計算を繰返しているとき、結果が異常な値になることから、上記のことに気付いたのである。逆にいえば、上記のような物理的な面と、計算上の面との、二つの理由があるとき始めて、データの修正がゆるされるのである。

3.4　モデル修正の経過

実際には、以下に述べるよりもっと複雑な経過をたどったのであるが、それをすべて記述すると非常に混乱するので、その一部、ＰとＮの結合の仕方の修正について述べる。

(1)　ｎ＝１、ｐ＝０、ｑ＝１としたモデル。

ＰとＮの結合の仕方について、最初は簡単に考えて、リン、窒素それぞれ１ｇが結合してＣＯＤ負荷１ｇが増え、しかも、リンがふたたび海水中にもどることはないとした。すなわち、ｎ（ＰＮ結合倍数）＝１、ｐ（Ｐ帰還係数）＝０、ｑ（ＣＯＤ増加係数）＝１である。

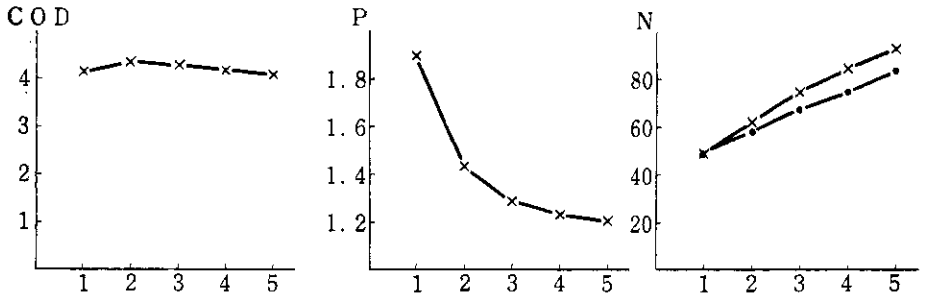
この場合には、ｂ（ＰＮ結合係数）、ｄ（自然浄化係数）を手ごろな値にすると、Ｐが小さくなりＮが大きくなってゆく、Ｎが多少大きくなるのは致し方ないとして、Ｐがあまり小さくならないようにｂの値を定めようとすると、ｂの値は非常に小さくなってしまう。そして、自然浄化係数ｄを非常に小さくしないかぎり、ＣＯＤ濃度がどんどん小さくなってゆく。

このことから、ｎもｑも１より大きいのではないかと考えてモデルを変更し、参照文献4を見ることにより、ｎ＝５あるいは８、ｑ＝75と推定したのである。

ただし、この参照文献4には、「リンと窒素が１：５の割合で結合して、その結果ＣＯＤが75増加する」という記述はない。「ｎとｑが１より大きいのではないか」という考えを持ってこの参照文献を見ていたので、リンと窒素を用いる生物処理による水質浄化の話に気がついたのである。

(2)　ｎ＝５あるいは８、ｐ＝０、ｑ＝75としたモデル

この場合も、(1)ほどではないが、同じ傾向となる。たとえば、ＰＮ結合係数ｂを0.005/日とし、自然浄化係数ｄを0.005/日とすれば、ＣＯＤは大略実測値と似てくるけれども、Ｐは小さくなり、Ｎは大きくなる。図２にその結果の一部を示す。（季節係数ｋはすべて1.0とした。）



PN結合係数　n＝8(·)　（大阪港北部（i＝17））
n＝5(×)
季節変化なし（d＝0.005，b＝0.005）
図2　P帰還係数　p＝0.5 の場合

モデルを変更せずにこの事態を回避するには、PN結合倍数nの値をもっと大きくしなければならないが、安易にnの値を大きくすることは避けるべきである。モデルを変更しなければならない、なにか手がかりがないかと捜しているとき、参照文献3の中から、「…湖水中で生産された植物プランクトンなどの生物中の燐は、その生物が死ぬと、きわめて速かに水中に溶出してしまい、新生沈殿物として捕促されるものは、ごく一部にすぎないと考えられる（p442）」という記述を見つけたのである。この場合も、1116ページにものぼる、この参照文献を目的もなく見ていたのであれば、たぶん上記の記述を読み過ごしてしまったであろう。

リンが水に溶出する仕組みについても、いろいろな方法があるが、できるだけモデルを簡単にすべきであるという考え方から、次のようにした。

自然浄化のうちの一部がプランクトンなどの死亡によるものであるとし、CODの自然浄化量をYとしたとき

$$Y \cdot p / q$$

だけリンがもとにもどる。

このような経過をへて得られたモデルが2．において述べたものであり、表6が瀬戸内海における各パラメータの値である。そして、この表6の値と3.1 のデータを用いて計算した結果が図3（n＝5）および図4（n＝8）である。破線が実測値、実線が計算値である。リンの実測値は全リン量ではなくリン酸態リンの量、窒素の実測値はアンモニア態と硝酸態窒素の和（ともに単位はμg—at／ℓ）であり、参照文献2からとったものである。

図3、図4ともに、まだ実測と計算の間に不一致がある。特に次の二つが目立つ。

（i）　周防灘、伊予灘のCOD濃度の計算値が小さい。

（ii）　大阪湾のCOD濃度の計算値が大きい。

しかし、大阪湾のCOD負荷量、周防灘、伊予灘の大きさと負荷量から考えれば、このよ

うな結果となるのは当然と思われる。より詳細な濃度実測値、負荷量が得られないかぎり、パラメータを細かく変更して計算を続けることは無意味であろう。

なお、参考までにp＝0.5のときの図2に対応するグラフを図5に示す。リンがもどることの効果がよくあらわれている。

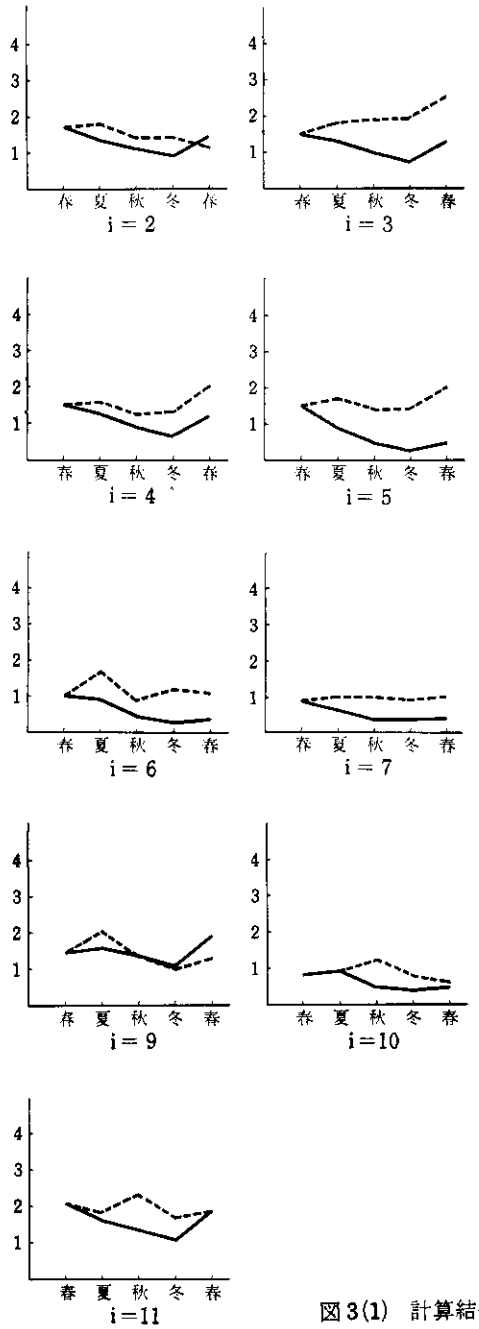


図3(1)　計算結果　COD(1)（n＝5）

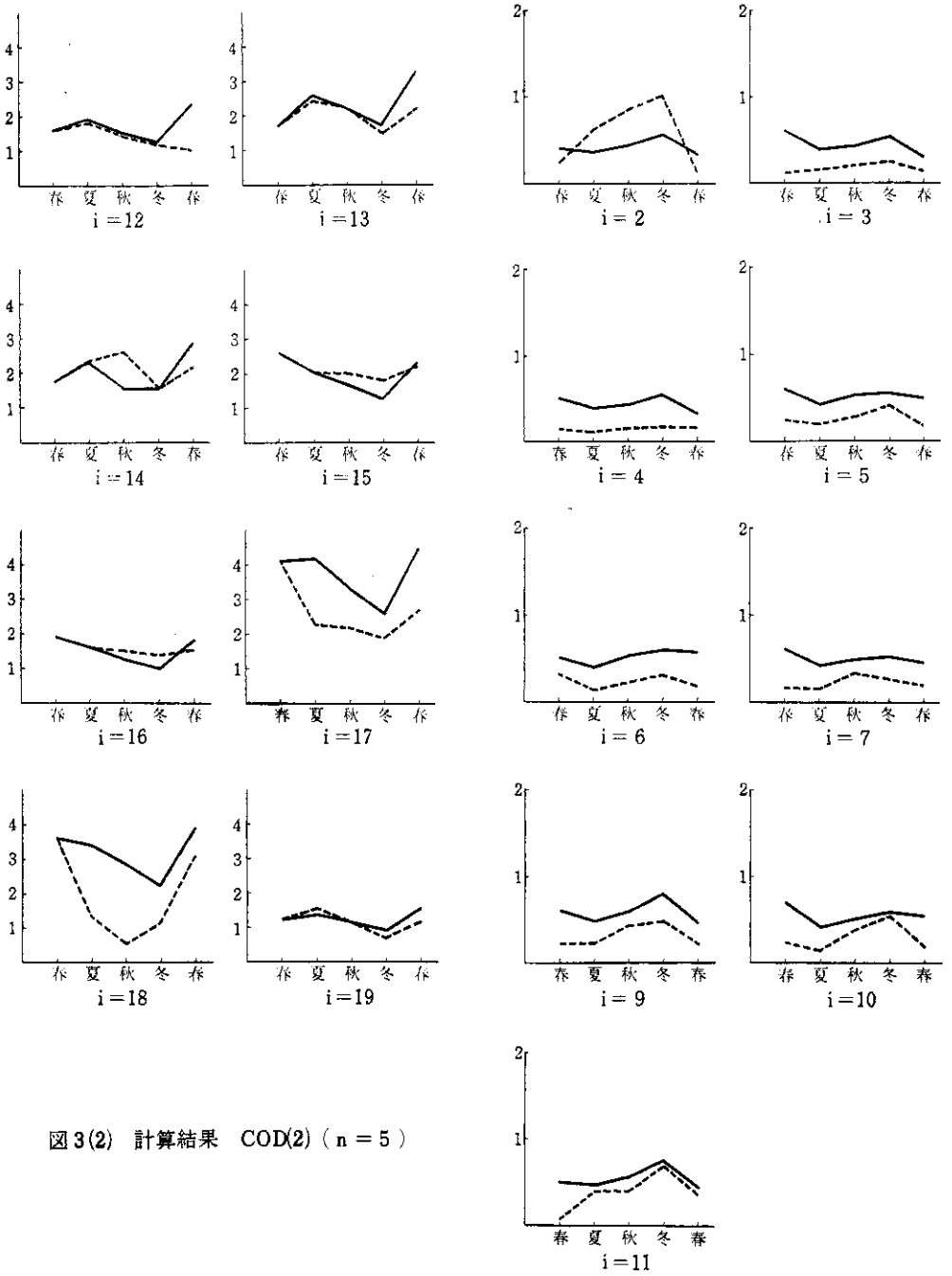
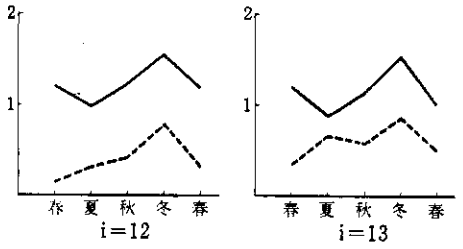
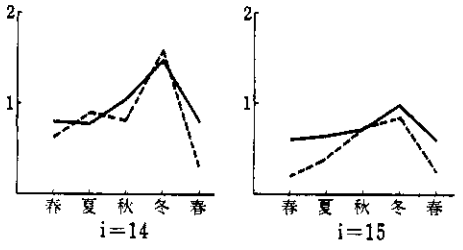
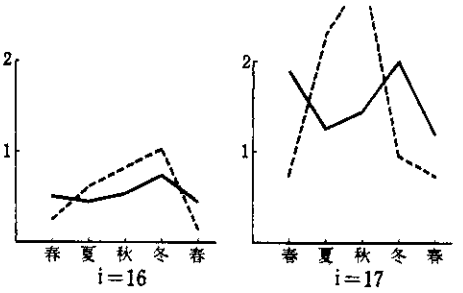


図3(2)　計算結果　COD(2)（n＝5）

図3(3)　計算結果　P(1)（n＝5）







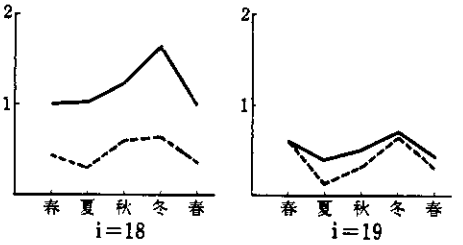
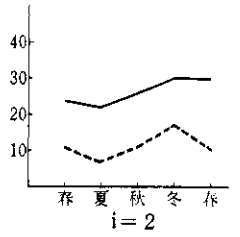
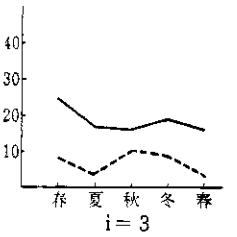
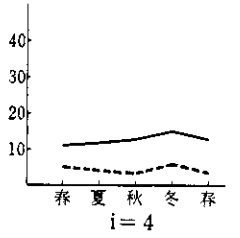
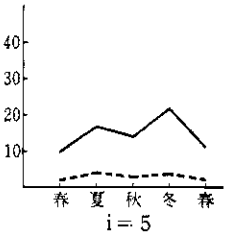


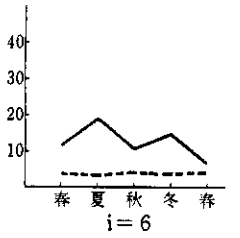
図3(4)　計算結果　P(2)（n＝5）

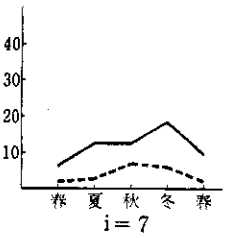


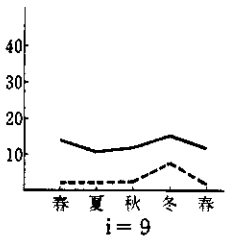


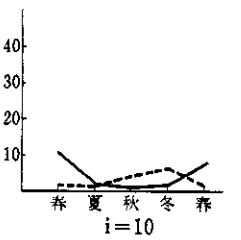












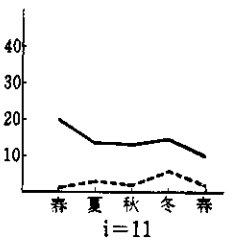


図3(5)　計算結果　N(1)（n＝5）

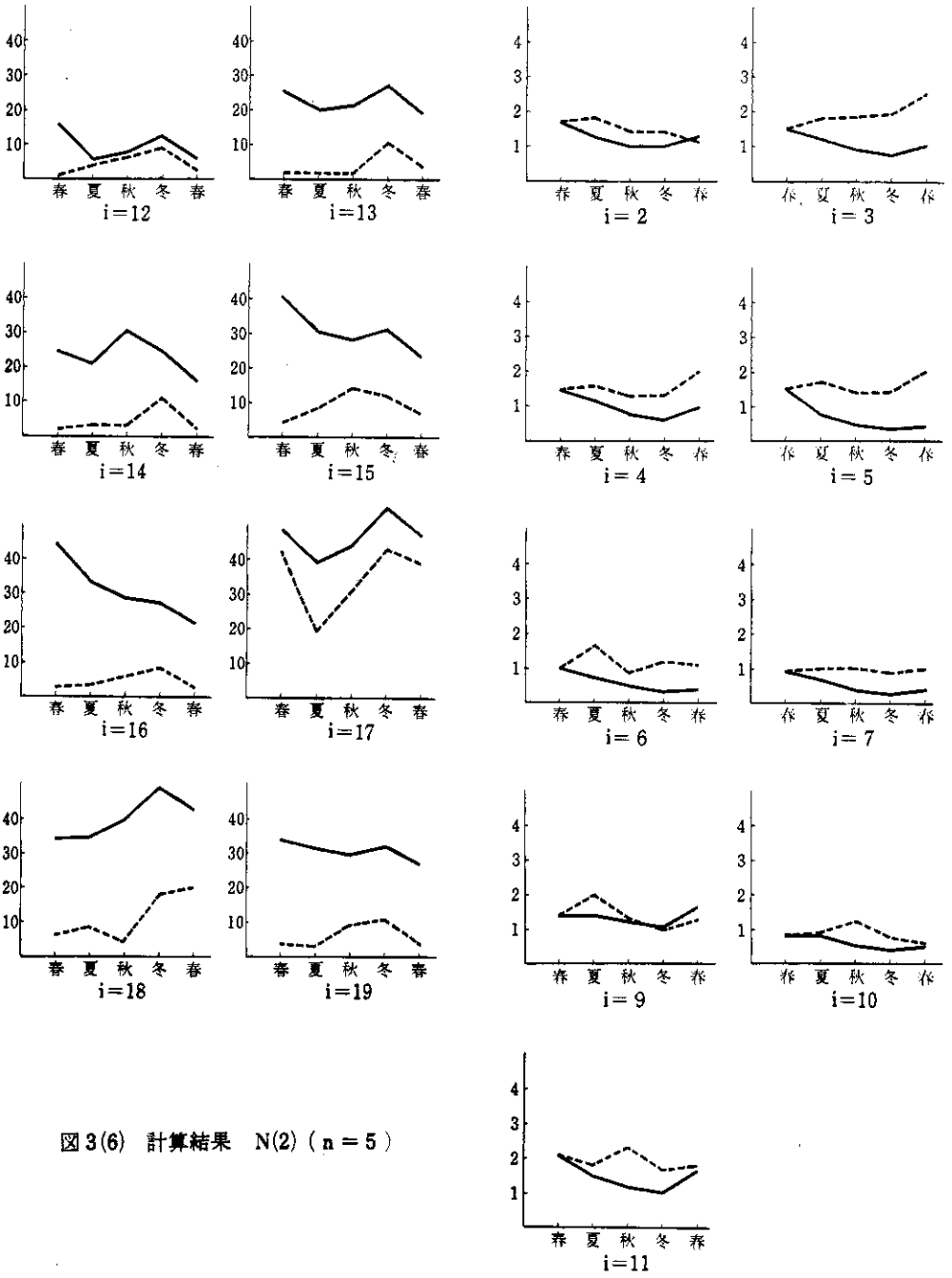


図3(6) 計算結果 N(2)（n＝5）

図4(1) 計算結果 COD(1)（n＝8）

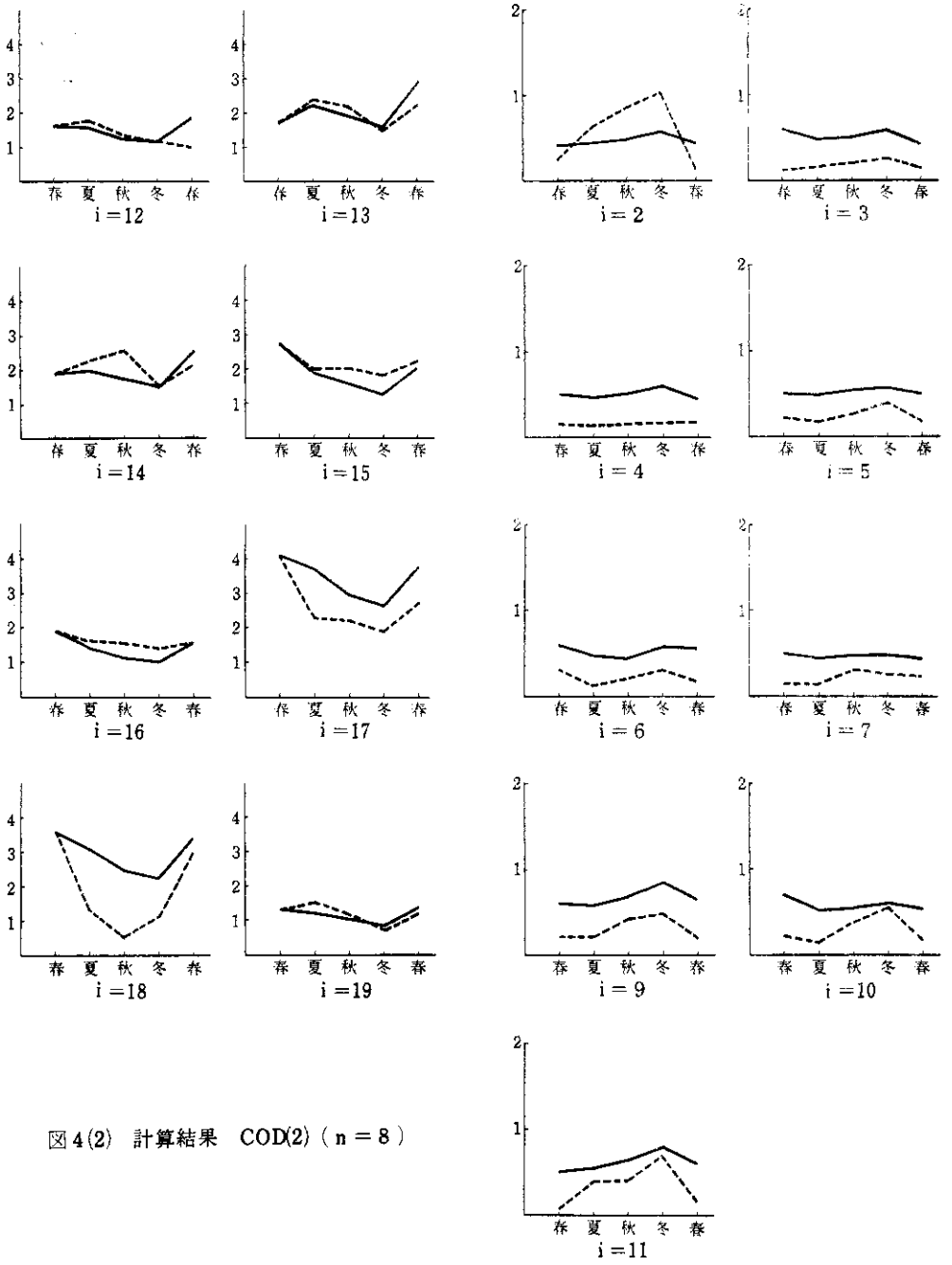
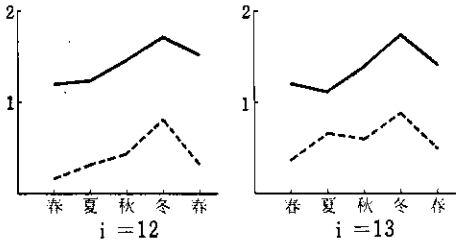
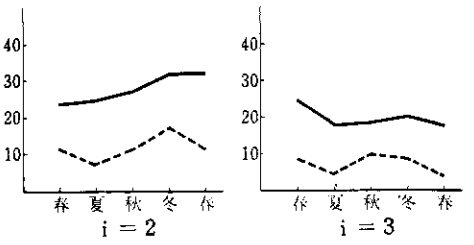
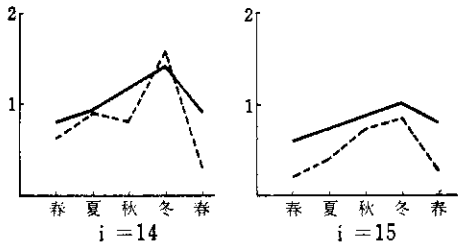


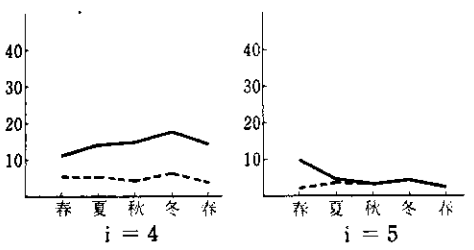
図4(2)　計算結果　COD(2)（n＝8）

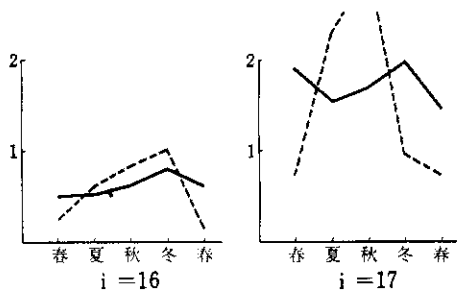
図4(3)　計算結果　P(1)（n＝8）

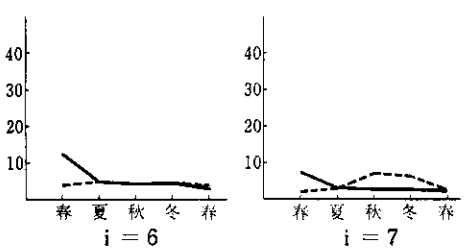


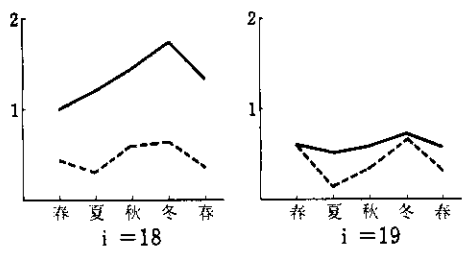


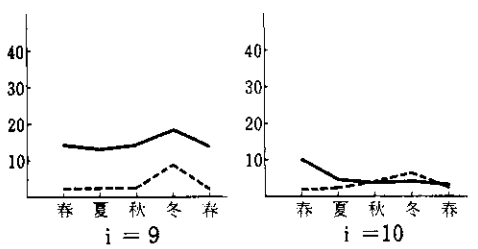












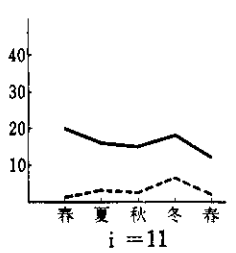


図4(4) 計算結果 P(2)（n＝8）

図4(5) 計算結果 N(1)（n＝8）

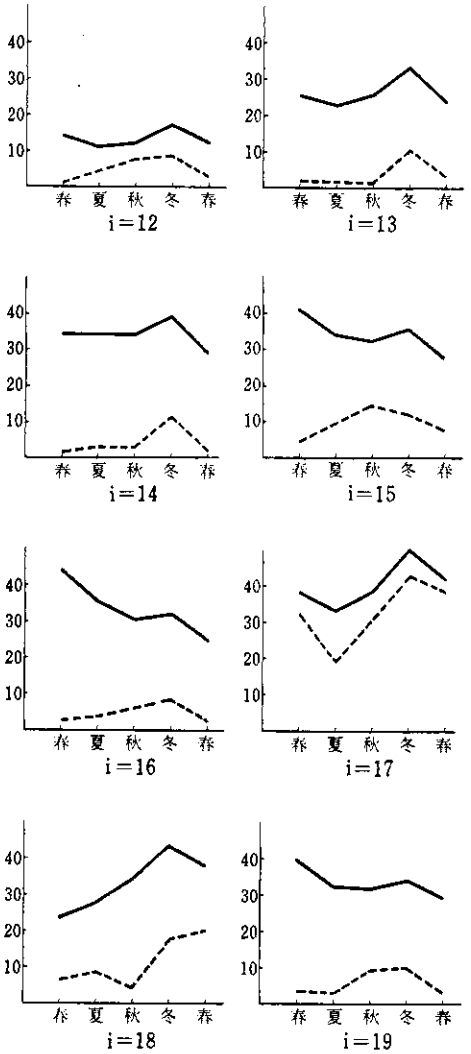
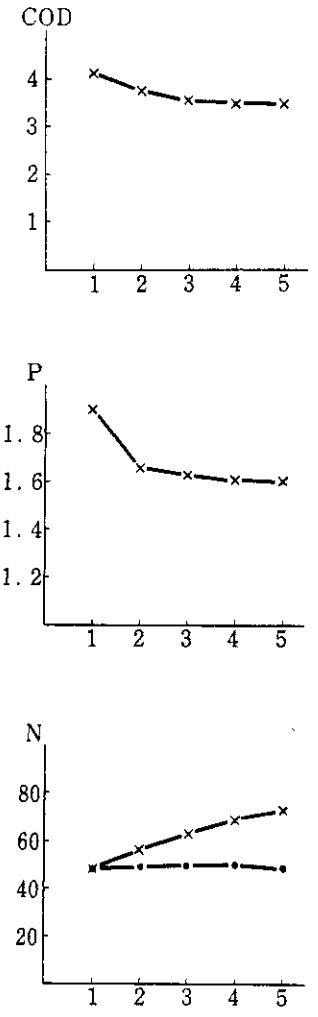


図4(6)　計算結果　N(2)（n＝8）



PN結合係数　n＝8(・)　（大阪港北部（i＝17））
n＝5(×)
季節変化なし（d＝0.011，b＝0.008）

図5　P帰還係数　p＝0.5 の場合

4．モデルの特徴と将来の方向

われわれのモデルは、非常に簡単でありながら予想以上に良い結果を得ることができた。しかも、このモデルは、次のような特徴を持っている。

(i) 拡散方程式などを用いる方式と異なり、計算が非常に簡単で早く行なえる。われわれのコンピュータ、ＴＯＳＢＡＣ－3400モデル31を用いて、一年分の計算所要時間は約4分であった。

(ii) 負荷量、海水交換量および汚濁状況を細かく測定すれば、それだけくわしいモデルを作ることができる。

(iii) 3.3において述べたように、データの誤まりが多少あっても、それを明らかにするような構造を持っている。(もちろん、なんらかの他の裏付けが必要であり、誤まりを見抜く洞察力を、人間が持たなければならないが。)

(iV) モデルが簡単であるため、「負荷量の汚濁の状況から考えれば、この海域の海水交換量は、この程度であるはずだ」とか、「Ｎ、Ｐの負荷量と現状の濃度から考えれば、ＣＯＤ負荷量はもっと大きいはずだ」などということを、見つけやすい、すなわち、洞察力を発揮しやすい。

将来の方向として、次のことが考えられる。

(i) a_{ij}と潮流の早さ、海峡の広さとの関係の解明

(ii) 有効海水量の推定、表面だけが汚濁している可能性がある。

(iii) d,b,pなどの値の物理的意味を調べること。

(iV) ｎ＝５であるか８であるか、さらにq ＝75が正しいかどうかの検討

(V) 季節あるいは月別の負荷量を用いての計算。

(Vi) 海域をさらに細分しての計算、特に陸地に沿った海域と内海に分けること。ただし、この場合には、負荷量や汚濁状況の測定も細かい海域ごとに行なわなければならない。

(Vii) 局地的なモデルが要求される場合には、海水を上下の層に分けること、降水、河川水、蒸発の影響を考えること。

最後に、参照文献などの資料を提供していただいた、(株)日本ビジネス・オートメーション、富永氏に感謝の意をあらわしたい。

参照文献

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）：瀬戸内海水質汚濁総合調査結果について(第1回～第5回)

3．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）

4．杉木昭典（1974）：水質汚濁―現象と防止対策―技報堂

(1974年7月15日　原稿受理)