

東京湾の富栄養化に関する研究

そのⅢ

安藤晴夫 菊地幹夫 津久井公昭
曾田京三 川原 浩

1 はじめに

近年、東京湾の富栄養化と水質汚濁は、依然として高いレベルにあり、東京都内湾の化学的酸素消費量(COD)の環境基準の達成率は、昭和59年度においても、沿岸(C類型)で77%、沖合(B類型)で15%、全体でも46%に止まっている。¹⁾

我々は、昭和57年度より東京湾の富栄養化の状況を適切に把握し、評価することを目的として、藻類培養試験による海水の富栄養化の生物学的評価、及び藻類増殖に伴う有機汚濁指標値の増加程度について検討してきた^{2),3)}。また、東京湾の富栄養化機構の定量的な解明、及び、内部生産のある海域の水質予測手法を確立することを目的として、前年度に基本構造を定めた生態系モデルの定式化とこれを実行するためのプログラム開発を行ったので併せて報告する。

2 藻類培養実験による東京湾水質の測定

現在、公共用水域の水質は主に理化学的手法で測定されている。これらの方法による測定は、再現性が良くまた自動化しやすいという利点があるが、その水域における生物の挙動特に赤潮などの現象を把握するためには十分ではない。

そこで、我国の沿岸域に広く出現し、東京湾でもしばしば赤潮を形成する代表的なプランクトンである *Skeletonema costatum* を用いて、藻類培養実験により東京湾水質の把握を試みた。^{2),3)}

藻類培養実験による方法の特徴は、藻類の現存量ではなく、藻類生産の潜在能力(AGP)を測ること、およびその水域で栄養塩類のうち何が最も不足しやすいかを把

握できることである。したがって、通常測定されるクロロフィル濃度や栄養塩類濃度によって変わるものではなく、これらの項目を補完して水域の富栄養化の状況を示す試験であるといえよう。

藻類培養試験を行う上で、注意すべきことは、無菌操作である。原則として使用器具はオートクレーブなどを用いて滅菌し、また、試験水はろ過により除菌した。藻類濃度の測定には、通常は顕微鏡を用いるが、この方法は多数の検水を扱う場合には不向きである。そこで、粒子測定装置(市販の自動血球計測装置を一部改造したもの)を用いることにより、多数の検水中のプランクトン量を迅速かつ正確に測定することができた。

東京都内湾 st 5, st 25, st 35 の AGP の値は高く、これらの地点の海水は藻類の増殖しやすい水質であることが判った。また、st 間を比べると、より沿岸に近くなる程藻類が増殖しやすい水質であり、海水の水質におよぼす陸水の影響の大きいことが判った。

また、東京湾では、栄養塩類のうち、りんが不足しがちであることが判った。

しかし、無機態窒素や無機態りんが十分にあっても、AGP が著しく低い例も見受けられた。これは藻類の成長を阻害する何等かの物質が共存していたためかもしれないが、詳細には明らかではない。

3 浮遊藻類の COD

前年度に、東京湾の海水から分離した珪藻3種(*Skeletonema costatum*, *Thalassiosira rotula* および *T. weissflogii*) を用いて培養実験を行い、比増殖速度の測定および藻類増殖量と COD 値の関連の検討を行った。³⁾

59年度は、東京湾産の鞭毛藻類4種 (*Heterosigma sp.* (ラフィド藻類, 細胞長12 μ m), *Prorocentrum triestinum* (渦鞭毛藻類, 細胞長24 μ m), *P. minimum* (細胞長20 μ m)および*P. micance* (細胞長40 μ m))を用いて同じ実験を行った。

(1) 実験方法

培養方法は前報³⁾に準じて、培地には塩分25%の改変松平培地を用い、温度20℃、照度6,000~8,000ルクス、12時間明暗サイクルで静置培養した。但し、培地中の窒素、リンの濃度は、それぞれ4mgN/l, 0.4mgP/lとした。

測定方法も前報と同じく、藻類濃度は、粒子測定装置で全細胞容量 (TCV; total cell volume) として、クロロフィルはLorenzen法で、CODはJIS K0102.17の方法で測定した。

(2) 結果と考察

それぞれの藻類の増殖曲線を図1に示し、また、この曲線から求めた対数増殖期の比増殖速度(μ)を表1に示した。

鞭毛藻類4種の比増殖速度は0.27~1.14で、前年度の珪藻類3種のそれが1.5~1.8であったのに比較して小さかった。種の間では*Heterosigma sp.*の比増殖速度は他の3種のそれに比較してかなり大きかったが、より複雑な環境条件の下にある沿岸海洋現場でもこの差が維持されているものかどうかは明らかではない。

海水中のプランクトンが定量的にどの程度のCOD値を示すかについて行った実験の結果を表2に示した。培養期間は、*Heterosigma sp.*は9日間、*P. triestinum*は8日間、*P. minimum*は9日間、*P. micance*は15日間であった。

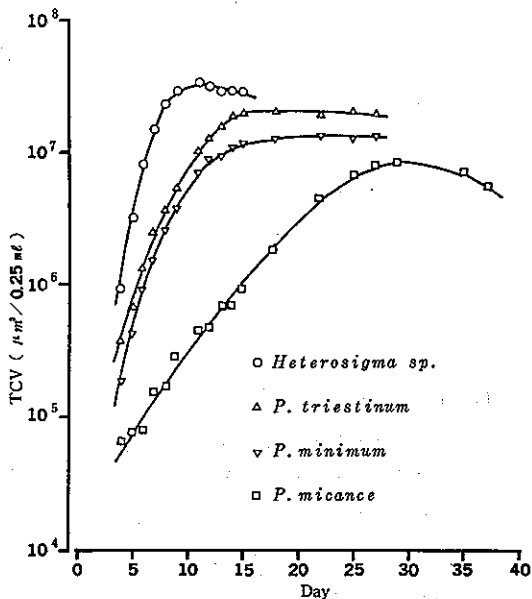


図1 藻類の増殖曲線

表1 比増殖速度 (μ)

藻類	比増殖速度 (μ) day ⁻¹
<i>Heterosigma sp.</i>	1.14
<i>P. triestinum</i>	0.62
<i>P. minimum</i>	0.76
<i>P. micance</i>	0.27

表2 培養藻類の分析結果

藻類	項目	TCV $\mu\text{m}^3/0.25\text{ml}$	細胞数 cell/ml	COD mg/l	クロロフィル mg/m^3			COD/chl a + フェオ色素 mg/mg
					chl a	フェオ色素	chl a + フェオ色素	
<i>Heterosigma sp.</i>		2.40×10^7	6.8×10^4	11.2	428	81.0	509	22
<i>P. triestinum</i>		1.38×10^7	2.7×10^4	6.61	63.7	15.7	79.4	83
<i>P. minimum</i>		1.09×10^7	1.8×10^4	5.85	64.7	5.2	69.9	84
<i>P. micance</i>		4.67×10^6	1.6×10^3	4.97	23.6	8.7	32.3	154

それぞれの藻類についてchl a +フエオ色素に対するCODの比(mg/mg)を求めると*Heterosigma sp.*は22, *P. triestinum*は83, *P. minimum*は84, *P. micance*は154であった。このことと、前年度の珪藻類3種ではこの比が27~42であったこと³⁾から、プランクトンの種類によりクロロフィルに対するCODの比は、かなり相違することが判った。

4 東京湾富栄養化モデルの定式化とプログラム

昭和58年度には、既存の水質予測モデルについて調査検討を行い、東京湾の富栄養化モデルとして図2に示す生態系2層ボックス・モデルを作成し、その概要について報告した。本報では、プログラム化したモデルの詳細と、それによる数値実験例について報告する。

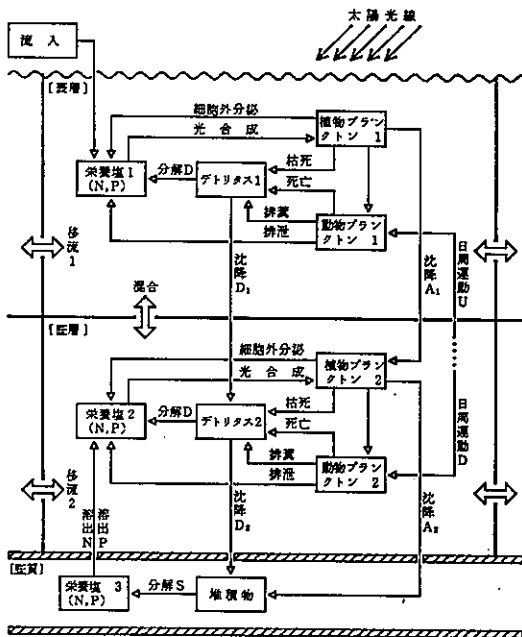


図2 生態系モデルの構造

なお生態系水質予測モデルの定式化に関して、各種の関数形の諸係数値が提起されているが、^{4),5)}予測対象海域のモデル化に適したものを決定するには、現場観測・実験のほか、多くの数値実験・検証の試行錯誤的な繰返しが必要となる。そのためプログラム作成に当っては、状態変数の増減や関数型の入れ替え、係数値の設定などが容易に出来るように考慮した。また以下で述べる定式化したモデルは今後改良を加えていくための基本モデルとして位置づけられる。

(1) モデルの定式化

ア 状態変数の構成と濃度変化

予測項目としての状態変数の一覧を表3に、その濃度変化式を表4に示す。

ア) 変数の組成と変換について

植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタスの濃度はmgC/lを単位として計算されるため、例えば19Cの植物プランクトンは枯死により、そのまま19Cのデトリタスに変化する。

これに対してN, Pは、それぞれmgN/l, mgP/lを単位としているため、光合成・細胞外分泌により植物プランクトンと、排泄により動物プランクトンと、分解によりデトリタスとの間で値の換算が必要となる。その際の変換係数を図3の記号で表すこととする。

表3 状態変数(予測項目)一覧

項目番号	項目名	単位	記号
1	植物プランクトン	mg C/l	A _j
2	動物プランクトン	mg C/l	Z _j
3	デトリタス	mg C/l	D _j
4	溶性無機態窒素	mg N/l	N _j
5	溶性無機態りん	mg P/l	P _j
6	総COD	mg COD/l	T-COD _j
7	負荷COD	mg COD/l	L-COD _j

(* 添字 j = 1 : 表層 / j = 2 : 底層)

表 4 物質循環諸過程の定式化-1 (状態変数)

1. 【植物プランクトン】

$$\text{表層: } \frac{d[A_1]}{dt} = [\text{光合成}] - [\text{細胞外分泌}] - [\text{枯死}] - [\text{捕食}] - [\text{沈降}A_1]$$

$$\text{底層: } \frac{d[A_2]}{dt} = [\text{光合成}] - [\text{細胞外分泌}] - [\text{枯死}] - [\text{捕食}] + [\text{沈降}A_1] - [\text{沈降}A_2]$$

2. 【動物プランクトン】

$$\text{表層: } \frac{d[Z_1]}{dt} = [\text{捕食}] - [\text{排糞}] - [\text{排泄}] - [\text{死亡}] + [\text{日周移動}U] - [\text{日周移動}D]$$

$$\text{底層: } \frac{d[Z_2]}{dt} = [\text{捕食}] - [\text{排糞}] - [\text{排泄}] - [\text{死亡}] - [\text{日周移動}U] + [\text{日周移動}D]$$

3. 【デトリタス】

$$\text{表層: } \frac{d[D_1]}{dt} = [\text{枯死}] + [\text{死亡}] + [\text{排糞}] - [\text{分解}D] - [\text{沈降}D_1]$$

$$\text{底層: } \frac{d[D_2]}{dt} = [\text{枯死}] + [\text{死亡}] + [\text{排糞}] - [\text{分解}D] + [\text{沈降}D_1] - [\text{沈降}D_2]$$

4. 【溶性性無機態窒素】

$$\text{表層: } \frac{d[N_1]}{dt} = r_{NA} \cdot [\text{細胞外分泌}] + r_{NZ} \cdot [\text{排泄}] + r_{ND} \cdot [\text{分解}D] - r_{NA} \cdot [\text{光合成}] + [\text{流入}]$$

$$\text{底層: } \frac{d[N_2]}{dt} = r_{NA} \cdot [\text{細胞外分泌}] + r_{NZ} \cdot [\text{排泄}] + r_{ND} \cdot [\text{分解}D] - r_{NA} \cdot [\text{光合成}] + [\text{溶出}N]$$

5. 【溶性性無機態りん】

$$\text{表層: } \frac{d[P_1]}{dt} = r_{PA} \cdot [\text{細胞外分泌}] + r_{PZ} \cdot [\text{排泄}] + r_{PD} \cdot [\text{分解}D] - r_{PA} \cdot [\text{光合成}] + [\text{流入}]$$

$$\text{底層: } \frac{d[P_2]}{dt} = r_{PA} \cdot [\text{細胞外分泌}] + r_{PZ} \cdot [\text{排泄}] + r_{PD} \cdot [\text{分解}D] - r_{PA} \cdot [\text{光合成}] + [\text{溶出}P]$$

6. 【総COD】

$$\text{表層: } \frac{d[T-COD_1]}{dt} = \phi_{CA} \cdot \frac{d[A_1]}{dt} + \phi_{CZ} \cdot \frac{d[Z_1]}{dt} + \phi_{CD} \cdot \frac{d[D_1]}{dt} + \frac{d[L-COD_1]}{dt}$$

$$\text{底層: } \frac{d[T-COD_2]}{dt} = \phi_{CA} \cdot \frac{d[A_2]}{dt} + \phi_{CZ} \cdot \frac{d[Z_2]}{dt} + \phi_{CD} \cdot \frac{d[D_2]}{dt} + \frac{d[L-COD_2]}{dt}$$

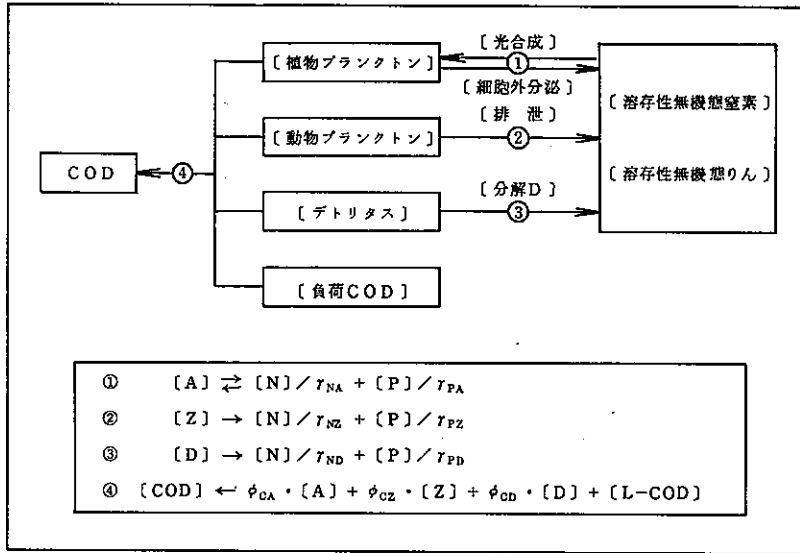


図3 状態変数相互間の変換係数

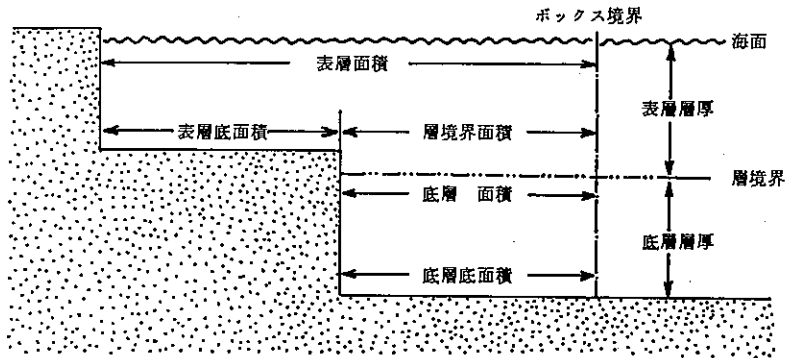


図4 ボックスの構造と名称

(イ) CODの算出

海域のCODは陸域由来のCOD（以下、負荷CODとする）と植物プランクトンによる内部生産CODに分けられる。このモデルでは負荷CODは流入及び移流・拡散のみから計算され、生態系物質循環過程の系外で扱い、また分解等による、いわゆる減衰項は設定されていない。一方、内部生産CODは図3の変換係数を用いて植物プランクトン、動物プランクトン、デトリタスをそれぞれCODに換算しその合計値として算出する。そして内部生産CODと負荷CODの合計値を総CODとして海域のCODを表す。

イ ボックスの構造

海域を一定の水深で2層に分割する場合、水深がそれ

より浅い部分では、表層でも溶出等に関する海底と直接に接することになる。このため以下の記述では、ボックス断面の構造の各部を図4の名称で表す。

ウ 制御変数の定式化

状態変数の濃度変化を支配している制御変数の構成を表5に示す。

この中で、光合成の温度条件、植物プランクトンの枯死率、動物プランクトンの死亡率などは同様な温度関数型で記述し、係数値を変化させることにより、結果として様々な温度関数に対応出来るようにした。

エ ボックス分割及び海水の移流・交換量

このプログラムでは、対象海域を図5に示すように1 km × 1 kmのメッシュ単位に分割し、各ボックスは複数の

表5 物質循環過程の定式化 - II (制御変数)

1. [光合成]

$$\frac{[\text{光合成}]}{\text{GRA}} = \frac{(\text{温度条件})}{t(I)} \times \frac{(\text{照度条件})}{p(I)} \times \frac{(\text{栄養条件})}{n(N,P)} \times [A]$$

$t(I) = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3 \exp(a_4T + a_5)$: 最大増殖速度の温度関数

- * T : 水温
- * a_i : 係数 ($i = 0 \sim 5$)

$$p(I) = I_j / (I_j + I_0)$$

- * I_0 : 半飽和照度
- * I_j : 各層の平均水中照度 ($j = 1 \sim 2$)

表層: $I_1 = I_s (-\exp(-k_1h_1) + 1) / k_1h_1$
 底層: $I_2 = I_s \exp(-k_1h_1) (-\exp(-k_2h_2) + 1) / k_2h_2$

- * h_j : 層厚 ($j = 1 \sim 2$)
- * I_s : 表面照度
- * k_j : 光消散係数 ($j = 1 \sim 2$)

$$k_j = I_k + m_k[A_j] + n_k[Z_j]$$

* I_k (定数項), m_k (植物項), n_k (動物項) : 係数

$$n(N,P) = \min \left[\frac{[N]}{[N] + N_s}, \frac{[P]}{[P] + P_s} \right]$$

- * N_s : N半飽和濃度
- * P_s : P半飽和濃度

2. [細胞外分泌]

$$\frac{[\text{細胞外分泌}]}{\text{SCA}} = \frac{\text{細胞外分泌率}}{s} \times \frac{[\text{光合成}]}{\text{GRA}}$$

3. [枯死]

$$\frac{[\text{枯死}]}{\text{MRA}} = \frac{(\text{枯死率})}{m(T)} \times [A]$$

$$m(T) = b_0 + b_1T + b_2T^2 + b_3 \exp(b_4T + b_5)$$

- * T : 水温
- * b_i : 係数 ($i = 0 \sim 5$)

4. [沈降]

(1) 植物プランクトン

表層: $\frac{[\text{沈降}A_1]}{\text{SK}_{A_1}} = \left(\frac{\text{沈降速度}}{s_a} / \frac{\text{表層層厚}}{h_1} \right) \times [A_1]$

底層: $\frac{[\text{沈降}A_1]}{\text{SK}_{A_1}} = \left(\frac{\text{沈降速度}}{s_a} / \frac{\text{底層層厚}}{h_2} \right) \times [A_1]$

$\frac{[\text{沈降}A_2]}{\text{SK}_{A_2}} = \left(\frac{\text{沈降速度}}{s_a} / \frac{\text{底層層厚}}{h_2} \right) \times [A_2]$

(2) デトリタス

表層: $\frac{[\text{沈降}D_1]}{\text{SK}_{D_1}} = \left(\frac{\text{沈降速度}}{s_d} / \frac{\text{表層層厚}}{h_1} \right) \times [D_1]$

底層: $\frac{[\text{沈降}D_1]}{\text{SK}_{D_1}} = \left(\frac{\text{沈降速度}}{s_d} / \frac{\text{底層層厚}}{h_2} \right) \times [D_1]$

$\frac{[\text{沈降}D_2]}{\text{SK}_{D_2}} = \left(\frac{\text{沈降速度}}{s_d} / \frac{\text{底層層厚}}{h_2} \right) \times [D_2]$

5. [捕食]

$$\left[\frac{\text{捕食}}{\text{FDz}} \right] = \frac{\text{最大捕食率}}{\text{fm}} \times \frac{\text{捕食効率}}{\text{fe(A)}} \times \text{【Z】}$$

$$\text{fe(A)} = 1 - \exp(\lambda(A^* - [A]))$$

* λ : IVLEVの定数
* A* : 捕食効率の閾値

6. [排糞]

$$\left[\frac{\text{排糞}}{\text{EGz}} \right] = (1 - \frac{\text{同化効率}}{\text{as}}) \times \left[\frac{\text{捕食}}{\text{FDz}} \right]$$

7. [排泄]

$$\begin{aligned} \left[\frac{\text{排泄}}{\text{EXz}} \right] &= (1 - \frac{\text{総成長効率}}{\text{ge}}) \times \left[\frac{\text{捕食}}{\text{FDz}} \right] - \left[\frac{\text{排糞}}{\text{EGz}} \right] \\ &= (\frac{\text{同化効率}}{\text{as}} - \frac{\text{総成長効率}}{\text{ge}}) \times \left[\frac{\text{捕食}}{\text{FDz}} \right] \end{aligned}$$

8. [死亡]

$$\left[\frac{\text{死亡}}{\text{DTz}} \right] = \left(\frac{\text{死亡率}}{\text{dr(T)}} \right) \times \text{【Z】}$$

$$\text{dr(T)} = c_0 + c_1T + c_2T^2 + c_3 \exp(c_4T + c_5)$$

* T : 水温
* c_i : 係数 (i=0~5)

9. [日周移動]

1) 上昇

$$\text{表層: } \left[\frac{\text{日周移動U}}{\text{MUz}_1} \right] = \left(\frac{\text{上昇速度}}{\text{vu}} \times \frac{\text{層境界面積}}{\text{ar}_2} / \frac{\text{表層容積}}{\text{V}_1} \right) \times \text{【Z}_2\text{】}$$

$$\text{底層: } \left[\frac{\text{日周移動U}}{\text{MUz}_2} \right] = \left(\frac{\text{上昇速度}}{\text{vu}} \times \frac{\text{層境界面積}}{\text{ar}_2} / \frac{\text{底層容積}}{\text{V}_2} \right) \times \text{【Z}_2\text{】}$$

2) 下降

$$\text{表層: } \left[\frac{\text{日周移動D}}{\text{MDz}_1} \right] = \left(\frac{\text{下降速度}}{\text{vd}} \times \frac{\text{層境界面積}}{\text{ar}_2} / \frac{\text{表層容積}}{\text{V}_1} \right) \times \text{【Z}_1\text{】}$$

$$\text{底層: } \left[\frac{\text{日周移動D}}{\text{MDz}_2} \right] = \left(\frac{\text{下降速度}}{\text{vd}} \times \frac{\text{層境界面積}}{\text{ar}_2} / \frac{\text{底層容積}}{\text{V}_2} \right) \times \text{【Z}_1\text{】}$$

10. [分解D]

$$\left[\frac{\text{分解D}}{\text{DC}_D} \right] = \left(\frac{\text{温度分解率}}{\text{dd(T)}} \right) \times \text{【D】}$$

$$\text{dd(T)} = d_0 + d_1T + d_2T^2 + d_3 \exp(d_4T + d_5)$$

* T : 水温
* d_i : 係数 (i=0~5)

11. [溶出]

1) 溶性無機態窒素

$$\text{表層: } \left[\frac{\text{溶出N}}{\text{RS}_{N_1}} \right] = \frac{\text{溶出速度N}}{\text{rn(T)}} \times \frac{\text{表層底面積}}{\text{bm}_1} / \frac{\text{表層容積}}{\text{V}_1}$$

$$\text{下層: } \left[\frac{\text{溶出N}}{\text{RS}_{N_2}} \right] = \frac{\text{溶出速度N}}{\text{rn(T)}} \times \frac{\text{底層底面積}}{\text{bm}_2} / \frac{\text{底層容積}}{\text{V}_2}$$

2) 溶性無機態りん

$$\text{表層: } \left[\frac{\text{溶出P}}{\text{RS}_{P_1}} \right] = \frac{\text{溶出速度P}}{\text{rp(T)}} \times \frac{\text{表層底面積}}{\text{bm}_1} / \frac{\text{表層容積}}{\text{V}_1}$$

$$\text{下層: } \left[\frac{\text{溶出P}}{\text{RS}_{P_2}} \right] = \frac{\text{溶出速度P}}{\text{rp(T)}} \times \frac{\text{底層底面積}}{\text{bm}_2} / \frac{\text{底層容積}}{\text{V}_2}$$

$$\text{rn(T)} = e_0 + e_1T + e_2T^2 + e_3 \exp(e_4T + e_5)$$

$$\text{rp(T)} = f_0 + f_1T + f_2T^2 + f_3 \exp(f_4T + f_5)$$

* T : 水温
* e_i, f_i : 係数 (i=0~5)

表6 移流・拡散過程の定式化

$$\begin{aligned}
 \frac{dC_i}{dt} &= [\text{移流}] + [\text{拡散}] + [\text{負荷流入}] + [\text{水量変化}] \\
 &= -\frac{1}{V_i} \sum_{j=1}^m (-a_{ij} C_i Q_{ij} + a_{ji} C_j Q_{ji}) \\
 &\quad + \frac{1}{V_i} \sum_{j=1}^m (-K_{ij}(C_i - C_j) - D_{ij}(C_i - C_j)) \\
 &\quad + \frac{1}{V_i} \cdot F_i \\
 &\quad + \frac{C_i}{V_i} \cdot \frac{dV_i}{dt}
 \end{aligned}$$

- * C_i : i ボックスの水質(濃度) ($g/m^3 = mg/l$)
- * Q_{ij} : i ボックスから j ボックスへの流量 (m^3/day)
- * a_{ij} : 流向スイッチ $\begin{cases} Q_{ij} > 0 \rightarrow a_{ij} = 1 \\ Q_{ij} \leq 0 \rightarrow a_{ij} = 0 \end{cases}$
- * K_{ij} : i, j ボックス間の交換量 (m^3/day)
- * D_{ij} : i, j ボックス間の拡散量 (m^3/day)
- * F_i : i ボックスへの外部負荷流入量 (g/day)
- * V_i : i ボックスの容量 (m^3)
- * m : i ボックスの接続ボックス数

(2) 数値実験例

ア ボックス分割

東京湾を水質の均一性、流況、行政区画等を考慮して図5に示す11のボックスに分割した。なお、表層の層厚は5mとした。

イ 諸係数値、変換係数値の設定

表7に係数、表8に変換係数の設定値を示す。

ウ 流入負荷量

既存の資料をもとに、表9のような流入負荷量を与えた。ただし流入量の季節的な変動はないものと仮定し、年間を通じて一定値を与えた。

エ 水温及び日射量

水温、日射量は月別に日平均値でボックスごとにと与えた。

オ 計算のタイム・ステップ

水質計算のタイム・ステップは8時間に設定した。

カ 計算結果の出力例

図6に、上記の条件で水質予測計算を行った結果を示す。この例では、植物プランクトンは、動物プランクトンの捕食圧が過大になったためか、あまり増加していない。また夏期のCODもあまり悪化していない。

表7 諸係数の設定値

番号	記号	名称	単位	設定値	備考
1 2 3 4 5 6	a ₀ a ₁ a ₂ a ₃ a ₄ a ₅	最大増殖速度温度係数	day ⁻¹	0 0 0 0.59 0.063 0	t(T) = a ₀ + a ₁ T + a ₂ T ² + a ₃ exp(a ₄ T + a ₅)
7	I ₀	半飽和照度	cal·cm ⁻² ·day ⁻¹	17.2	
8 9 10	I _k m _k n _k	光消散係数 定数 植物項 動物項	m ⁻¹ m ⁻¹ m ⁻¹	1.1 0 0	k = I _k + m _k [A] + n _k [Z]
11	N _s	窒素半飽和濃度	g·m ⁻³	0.025	n(N,P) = min[N/(N+N _s), P/(P+P _s)]
12	P _s	りん半飽和濃度	g·m ⁻³	0.016	
13	s	細胞外分泌率	day ⁻¹	0.1	
14 15 16 17 18 19	b ₀ b ₁ b ₂ b ₃ b ₄ b ₅	植物枯死率温度係数	day ⁻¹	0.1 0 0 0 0 0	m(T) = b ₀ + b ₁ T + b ₂ T ² + b ₃ exp(b ₄ T + b ₅)
20	sa	植物沈降速度	m·day ⁻¹	0.1	
21	fm	最大捕食率	day ⁻¹	1.6	
22	λ	IVLEVの定数		5.0	fe(A) = 1 - exp(λ(A* - [A]))
23	A*	捕食の閾値	g·m ⁻³	0.016	
24	as	同化効率		0.7	
25	gc	総成長効率		0.3	
26 27 28 29 30 31	c ₀ c ₁ c ₂ c ₃ c ₄ c ₅	動物死亡率温度係数	day ⁻¹	0.4 0 0 0 0 0	dr(T) = c ₀ + c ₁ T + c ₂ T ² + c ₃ exp(c ₄ T + c ₅)
32	vu	動物上昇速度	m·day ⁻¹	0.2	
33	vd	動物下降速度	m·day ⁻¹	0.2	
34 35 36 37 38 39	d ₀ d ₁ d ₂ d ₃ d ₄ d ₅	デトリタス分解率温度係数	day ⁻¹	0.1 0 0 0 0 0	dd(T) = d ₀ + d ₁ T + d ₂ T ² + d ₃ exp(d ₄ T + d ₅)
40	sd	デトリタス沈降速度	m·day ⁻¹	0.2	
41 42 43 44 45 46	e ₀ e ₁ e ₂ e ₃ e ₄ e ₅	窒素溶出速度温度係数	g·m ⁻² ·day ⁻¹	0.01 0 0 0 0 0	rn(T) = e ₀ + e ₁ T + e ₂ T ² + e ₃ exp(e ₄ T + e ₅)
47 48 49 50 51 52	f ₀ f ₁ f ₂ f ₃ f ₄ f ₅	りん溶出速度温度係数	g·m ⁻² ·day ⁻¹	0.0004 0.00005 0 0 0 0	rp(T) = f ₀ + f ₁ T + f ₂ T ² + f ₃ exp(f ₄ T + f ₅)

表8 変換係数の単位とその設定値

変換係数	単位	設定値	備考
r_{NA}, r_{NZ}, r_{ND}	mg N/mg C	0.11	溶存性無機態窒素
r_{PA}, r_{PZ}, r_{PD}	mg P/mg C	0.016	溶存性無機態りん
ϕ_{CA}	mg COD/mg A	1.5	植物プランクトン
ϕ_{CZ}	mg COD/mg Z	1.5	動物プランクトン
ϕ_{CD}	mg COD/mg D	1.5	デトリタス

表9 ボックス別流入汚濁負荷量

ボックス番号	流量 万 m^3 /日	COD t/日	窒素 t/日	りん t/日
1	162.3	14.16	8.89	0.78
2	2,235.3	243.77	219.26	21.19
3	0.0	0.0	0.0	0.0
4	113.9	9.94	6.24	0.55
5	185.4	45.92	17.97	2.39
6	0.0	0.0	0.0	0.0
7	15.0	1.32	0.82	0.07
8	133.8	11.67	7.33	0.65
9	35.2	8.73	2.36	0.39
10	7.3	1.81	0.40	0.08
11	78.0	10.78	4.23	0.52

はじめの部分でも述べたように、本報告のモデルの定式化、数値実験結果はモデル改良の出発点であり、モデルを完成させるために、以下の課題に取り組んでいる。

- ① 感度解析により係数値の変動の予測結果に対する寄与を評価し、寄与の大きい係数について現場実験等で精度の向上を図る。
- ② 流入負荷量を適確に推定するための手法を確立する。
- ③ 水質予測結果を検証するための観測データ・ファイルを集集・整備し、また検証手法を改良する。
- ④ 従来の点データによる予測結果の検証を補完する手段として人工衛星のリモート・センシング・データの利用を検討する。
- ⑤ 現在のプログラムでは固定的な流況ファイルから与えられている移流・交換量を、種々な流況について計算できるようにするため、流況予測プログラムを作成し生態系モデルと組み合わせることにより、予測精度を向上させる。
- ⑥ 水質予測システムとして、予測条件の設定や結果の表示などを対話型の使いやすいものとする。

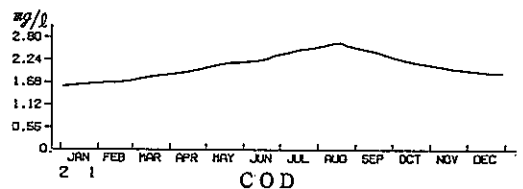
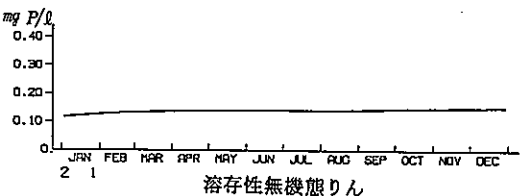
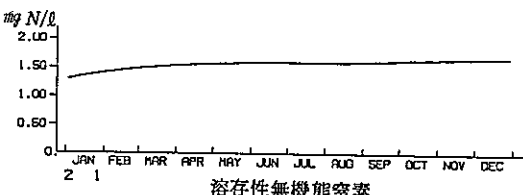
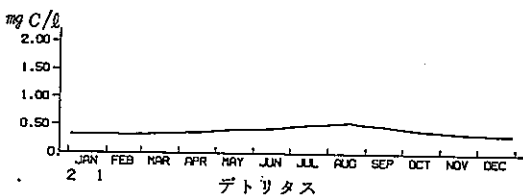
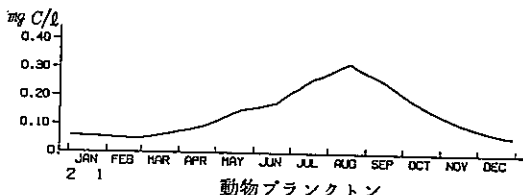
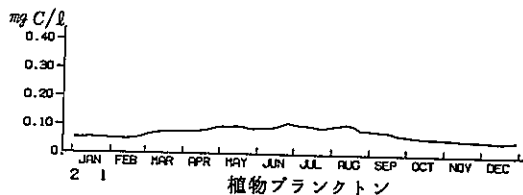


図6 水質予測結果出力例

5 おわりに

海水の栄養塩類濃度やクロロフィル濃度の測定に併せて、藻類培養実験により藻類生産の潜在能力や制限因子を把握することにより、その海域の富栄養化の状況をより適切に知ることができる。

また、藻類生産に伴う藻類増殖量や栄養塩類の吸収量とCODのような有機汚濁指標の増加量との定量的関係を明らかにすることは、富栄養化海域の二次汚濁水質の効率的な監視・測定方法を検討するうえで、及び水質予測モデルの係数値や変換係数値を設定するうえで有力な情報を与えるものと考えられる。

昭和61年度以降は、これらの結果を取り入れ富栄養化モデルの改良、実用化を図り、そのモデルにより東京湾の富栄養化機構の解明に努めていきたい。

なお、富栄養化モデルのプログラムは、富士通エフ・アイ・ビー(株)に委託して作成された。

参考文献

- 1) 東京都環境保全局：昭和59年度公共用水域水質測定結果の概要，(1985)
- 2) 曾田京三他：東京湾の富栄養化に関する研究(そのⅠ)，東京都公害研究所年報，89～94，(1984)
- 3) 安藤晴夫他：東京湾の富栄養化に関する研究(そのⅡ)，東京都公害研究所年報，109～124，(1985)
- 4) (社)日本水質汚濁研究協会：水質総量規制推進検討調査—海域富栄養化シュミレーション等調査—，(1985)
- 5) T. R. パーソンズ，高橋正征：生物海洋学，三省堂，(1974)