

九州産業大学 正員 ○ 加納正道
九州産業大学 正員 赤坂順三
九州産業大学 池田 武
九州産業大学 新宅美知

1. まえがき 海域の富栄養化現象と取扱う場合に、この富栄養化と動植物プランクトンの異常増殖を示すと理解すれば、これの評価にはその原因となる窒素とリンの塩類らびに結果生成物質であるCODとを考慮する必要がある。現在、海域の窒素、リンおよびCODを把握する手段として、拡散方程式の数値解法やボックスモデルシミュレーションが行なわれている。本報は、ボックスモデルの問題点や拡散シミュレーションと比較した場合の長所短所および徳山湾や周防灘への筆者らの適用例よりえた若干の知見をのべたものである。

2. ボックスモデルシミュレーション手法

2-1. ボックスモデル収支式 ボックスモデルの基礎式としては簡単な式から複雑なものまで多数提案されている。ここでは、視覚的にとらえ易く図式化された数式モデルとして最も一般的であり、DI TOROらのエリー湖シミュレーション¹⁾でよく知られた、コンパートメントモデルを単純化して使用する。また、富栄養化現象を示すCOD生産量の数式化についても多くの方法があるが、ここでは Δ COD法²⁾に従ってプランクトンがN、Pの塩類をCODへ変換するという考え方による。そこで、本報で使用する物質収支式を図-1のiボックスにおいて隣接ボックス間に作れば

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = L_i + Q_{i,j} C_j + Q_{i,l} C_l - Q_{i,k} C_i + D_{i,j} H_{i,j} (C_j - C_i) + D_{i,l} H_{i,l} (C_l - C_i) + D_{i,k} H_{i,k} (C_k - C_i) + R_i V_i \quad \dots (1)$$

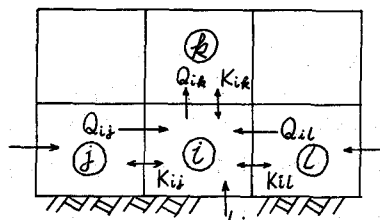


図-1 ボックス分割模型 ①: ボックス番号

となる。ここに、 C : Cl^- , N, P, CODの濃度; V : ボックス容積 (m^3); $Q_{i,j}$: ボックスiからjへの移流量 (m^3/hr); $D_{i,j}$: ボックスiとj間の拡散係数 (m^2/hr); $H_{i,j}$: ボックスiとj境界面の平均水深; $R_i V_i$: 物質変化量 Cl^- については $R_{Cl^-} = 0$, CODについては $R_{COD} = -K_{COD} C_{COD} + r_{COD}/H \dots (2)$, Nについては $R_N = -(w/H)(SSN/N)N + r_N/H - K_N \dots (3)$, Pについては $R_P = -(w/H)(SSP/P)P + r_P/H \dots (4)$ 但し, K_{COD} : CODの減少係数 ($1/hr$), w : SSの沈降速度 (m/hr), r_N , r_P , r_{COD} : N, P, CODの底泥からの溶出速度 ($mg/m^2 \cdot hr$), K_N : Nの減少係数 ($1/hr$) である。

2-2. ボックスモデルの諸元の決定 移流量 Q には潮流残流を当てはめ、拡散係数 D は完全な保存物質である Cl^- の物質収支式(1)において立てることにより求まる。この場合、式(1)をボックス数だけ連立させて解くことになる。また、 Q 算定のもとになる潮流残流は実測潮流あるいは流況シミュレーション結果より求めるが、両者とも流量収支がとれているとは限らないので移流量の流量収支には十分注意を要する。そして、 Cl^- 濃度には実測値を当てはめ、降雨量の影響や測定者の相違による差を考慮して多数の実測値より平均濃度を求めなければ妥当な拡散係数をえることができない。つぎに、 R_{COD} , w , SSN/N , r_N , K_N , SSP/P および r_P については、現地採取試料よりのそれぞれの実測値や国内外の水質調査報告^{3,4)}および拡散シミュレーションを使用した数値実験⁵⁾などから推定する。

2-3. ボックスモデルシミュレーションの特徴 海域の水質シミュレーションを行なう手段としてボックスモデルをとりあげると、基礎式(1)は拡散シミュレーションの基礎となる拡散方程式のような距離微分項を含んでいないので、区分距離を大きくとることができる。そこで、広範囲な海域を対象とする場合に計算量を拡散シミュレーションより削減できる。

レーションよりかなり小さくすることができる。また、現状濃度変化の少ない海域では基礎式(1)は定常とみはした計算ができるので、式(4)に含む諸元のうちの一つが未知がまたは不正確である場合にボックスモデル計算上で検証することができる。ただし、ボックス間には完全混合と仮定しているのと同じボックス内は等しい濃度となり、局所的な濃度分布は求めることはできないし、ボックス区分距離を大きくすると必然的に時間区分も大きくはなり細かな濃度時間変化も求められないという欠点も持っている。

3. 拡散係数の検討 拡散係数Dを式(1)の連立化より求める場合に、外海との境界の数とボックス数によっては未知量の数が方程式の数より多くなつて解析できないことがある。これの解決には次の方法が考えられよう。

(1) 外海数が1つの場合に水平ボックス数を2個とする。(2) 方程式の不足する数だけ拡散係数を同値と仮定する、あるいは全海域の拡散係数を等しくする。(3) ボックス境界面の流速の平均値 $\bar{v}$ と境界断面面積Aと拡散係数とを関連づけて不足方程式数を補う。すなわち、 $DH = \text{定数} \times (\bar{v} \times A)^m$ とする。(4) $D = \text{定数} \times H^{1/2} \times \bar{v}$ という筆者らの定義により不足する方程式数を補う。そこで、これらの方法による結果を検討してみよう。(1)や(2)による東京湾の計算例と徳山湾の筆者らの計算例はどちらも拡散係数のオーダーで $10^7 \text{ cm}^2/\text{s}$ となり通説である拡散係数 $10^{4-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ より $10^2 \sim 10^3$ 倍大きい。(3)による徳山湾の計算例は $10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ のオーダーを示し、周防灘における筆者らの計算例は $10^{6-7} \text{ cm}^2/\text{s}$ のオーダーとなっている。

4. 必ず 本ボックスシミュレーションは式(1)~(4)までの諸元を検討しながら徳山湾および周防灘について進行中である。現時点までの計算結果の一例であるT-Nをあげ、東京湾のボックスシミュレーション結果と比較したものが表-1である。

これによれば、徳山湾と東京湾は、平面積や平均水深などの流域概況ならびに恒流パターンは違ふけれども、T-Nの流入負荷量と溶出量は湾外へほとんど流出せず湾内へ沈殿するという同じ傾向を両湾とも示している。

表-1 T-Nのシミュレーション結果

項目	東京湾	徳山湾
平面積 (K m^2)	1,000	64
平均水深 (m)	20	10
淡水流入量 (3 m^3)	34,300	3,397
T-N流入負荷 (%)	136	6
T-N溶出量 (%)	178	18
T-N流出量 (%)	-26	0.02
T-N流入量 (%)	—	0.02
T-N沈殿量 (%)	340	24

参考文献

- 1) DI TORO et al.: Phytoplankton-Zooplankton-Nutrient Interaction Model for Western Lake Erie, Vol. III Academic Pr. 1975
- 2) 中西、浮田: 海域におけるCOD生産量について、用水と廃水 Vol.17 No.6 1975
- 3) 文献 1) に同じ
- 4) たとえば環境庁: 瀬戸内海水質汚濁総合調査デ-7表 S47, S48年
- 5) 加納、浮田: 徳山湾におけるCOD濃度シミュレーションについて、土木学会西支年講 S52年
- 6) 運輸省第二港湾建設局: 東京湾底質調査報告書 (要約版) S52年
- 7) 環境庁水質保全局: 海域富栄養化にともなう基礎生産変化予測 S52年
- 8) 河合、浮田、中西: 底泥からの栄養塩の溶出、第15回環境工学研究討論会 1979
- 9) 加納、山崎: 湾域における汚濁物質の拡散解析について、第4回 環境問題シンポジウム講演集 1976
- 10) 文献 7) に同じ
- 11) 文献 8) に同じ
- 12) 文献 6) に同じ

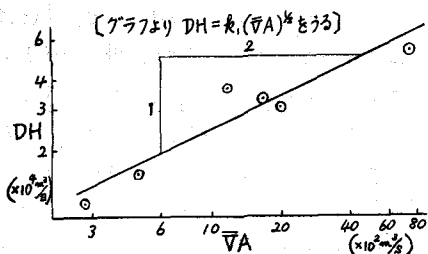


図-2 徳山湾におけるDHとA

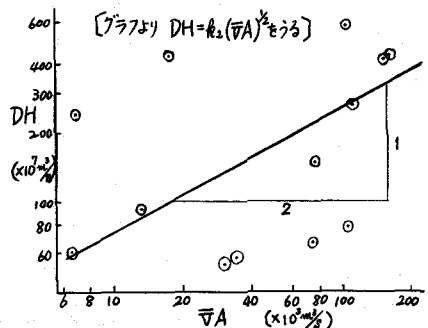


図-3 周防灘におけるDHとA

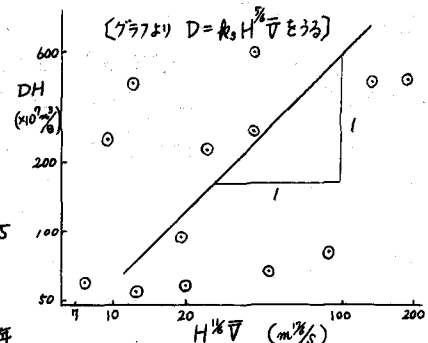


図-4 周防灘におけるDHとH $\bar{v}$