

(社) システム科学研究所 正 小幡 範雄
 大阪大学工学部 正 末石 富太郎
 大阪大学工学部 正 盛岡 通

1. はじめに 本報告は、《エネルギーは一方向的に流れるが物質は循環する》という生態学的基本原理に基づき、陸上活動系から流入する栄養塩が、生物活動というフィルターで質的変換を受け、底泥層と相互作用しながら生物系固有の速度によって循環するという生態的構造(図-1)から富栄養化現象を、時空軸で動的に把握しようとしたものである。さらに沿岸域環境を安定した(恒常性が高い)状態へ回復するために、同化プールを中心とした管理計画・評価方法のあり方を模索する。

対象域は大阪湾で、栄養塩物質としては窒素を取りあげる。

2. 大阪湾窒素循環モデルの設計

窒素の循環構造は、図-1のように表現できる。この循環構造を定性的定量的に把握するために、各メカニズムを数量・数式化した次のような非線型連立常微分方程式系を設計した。

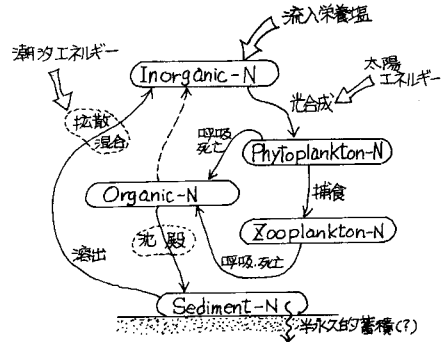


図-1 簡単化された窒素循環モデル

$$\frac{dN_i^i}{dt} = -\mu(I, T) \cdot \frac{N_i^i}{K_N + N_i^i} \cdot P_N^i + \gamma_i \cdot k(T) \cdot S_N^i + \left(\sum_{j=1}^n \frac{R_{ji}}{V_i} \cdot N_j^i - \sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{V_i} \cdot N_i^i \right) + \frac{QN_i^i}{V_i} \quad (1)$$

$$\frac{dN_o^i}{dt} = (D_p + C_g Z_N^i) \cdot P_N^i + (D_x - \beta \frac{P_N^i}{K_{mp} + P_N^i}) \cdot Z_N^i - \omega_i N_o^i + \left(\sum_{j=1}^n \frac{R_{ji}}{V_i} \cdot N_o^j - \sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{V_i} \cdot N_o^i \right) + \frac{QN_o^i}{V_i} \quad (2)$$

$$\frac{dP_N^i}{dt} = \left(\mu(I, T) \cdot \frac{N_i^i}{K_N + N_i^i} \cdot P_N^i - D_p - C_g Z_N^i \right) \cdot P_N^i + \left(\sum_{j=1}^n \frac{R_{ji}}{V_i} \cdot P_N^j - \sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{V_i} \cdot P_N^i \right) \quad (3)$$

$$\frac{dZ_N^i}{dt} = \left(\beta \frac{P_N^i}{K_{mp} + P_N^i} - D_x - f_s \right) \cdot Z_N^i + \left(\sum_{j=1}^n \frac{R_{ji}}{V_i} \cdot Z_N^j - \sum_{j=1}^n \frac{R_{ij}}{V_i} \cdot Z_N^i \right) \quad (4)$$

$$\frac{dS_N^i}{dt} = \omega_i N_o^i - \gamma_i \cdot k(T) \cdot S_N^i - l \cdot S_N^i \quad (5)$$

ここで、 $\mu(I, T) = \frac{k_I \cdot T \cdot e \cdot f}{k_e \cdot H} (e^{-\alpha_1} - e^{-\alpha_0})$, $\alpha_1 = \frac{I_a}{I_s} e^{-k_e \cdot H}$, $\alpha_0 = \frac{I_a}{I_s}$
 $\beta = a_{zn} \cdot C_g \cdot K_{mp}$, $k(T) = d_s \cdot e^{k_e \cdot T}$, $D_p = K_p \cdot T$, $D_x = K_x \cdot T$ である。

使用した記号の意味は次に示す。

- | | | |
|---------------------------------|---|-----------------------------|
| N_i ; 無機態窒素 (mg-N/l) | K_{ij} ; N_i に対する i 江以定数 (mg-N/l) | f_s ; 高次捕食率 |
| N_o ; 有機態窒素 (mg-N/l) | K_{mp} ; P_N に対するミカド定数 (mg-N/l) | d_s ; 無機化率 |
| P_N ; 植物プランクトン態窒素 (mg-N/l) | T ; 水温 (°C) | l ; 不活性化率 |
| Z_N ; 動物プランクトン態窒素 (mg-N/l) | I_a ; 表面照度 (Kcal/cm²·day) | V ; 容積 (10³ m³) |
| S_N ; 底泥層中の有機・無機態窒素 (mg-N/l) | I_s ; 基準照度 (Kcal/cm²·day) | QN_i ; 無機態窒素流入負荷量 (t/day) |
| D_p ; 植物プランクトン呼吸分解率 (1/day) | f ; 昼間率 | QN_o ; 有機態窒素流入負荷量 (t/day) |
| D_x ; 動物プランクトン呼吸分解率 (1/day) | k_e ; 消散係数 (1/m) | H ; 水深 (m) |
| C_g ; 動物プランクトン通過水量 (g/m³·day) | ω ; 沈降率 (1/day) | R_{ij} ; R_{ij} は定数 |
| a_{zn} ; 捕食効率 | γ ; 総括溶出影響度係数 | |

添字 i, j は図-2に示すブロックコード。 R_{ij} はブロック i から j への移動流量 (10³ m³/day)。

外部入力である表面照度、水温および沈降率、無機化率等は、ステップ関数として与えた。

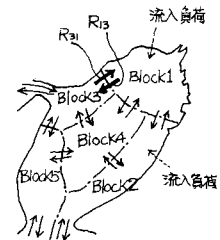


図-2 大阪湾分割図

3. シミュレーション結果と考察

解析的には解けないので、適当な初期条件のもとで、Runge-Kutta-Gill法を用いて数値解を得た。表-1に示すような場合について実施した。結果の一部を図-3~図-5に示す。結果の概要を以下に述べる。

- ① 水質の変動は、初期値によらず系内現存量素総量によって規定される。ところで底泥層窒素が80~90%としているので、実質的には、底泥堆積量増加が水質の変動を増幅する。
- ② 窒素供給速度(流入負荷強度)に対応して、植物プランクトン密度のピーク間隔に極めて規則的な周期が認められる。ケース4のピーク間隔はケース3の値の約1/3である。このことは、プランクトン群の栄養塩利用速度補償能力と栄養塩供給速度との平衡関係が破壊され、成長が主として太陽エネルギーによって規定されていた状態から栄養塩に規定される状態に移行していることを示す。ピーク間隔が縮まっても10年間のシミュレートでは、非線型モデルであるのにはば一定の周期で推移し、異常成長に対して負のフィードバックが作用している。つまり、底泥層への蓄積速度の増幅は、溶出速度の制限を受け、そのまゝは波及しない。
- ③ プランクトン異常発生は、多くの要因が相乗的に作用して起きると考えられるが、本モデルでは洪水、栄養塩の突発的流入、底泥層の一時的かく乱、一時的強日射などの条件下でRunすることは、可能であるが、現時点では確認できてない。

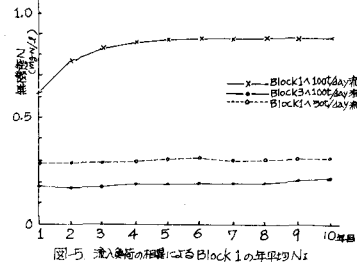
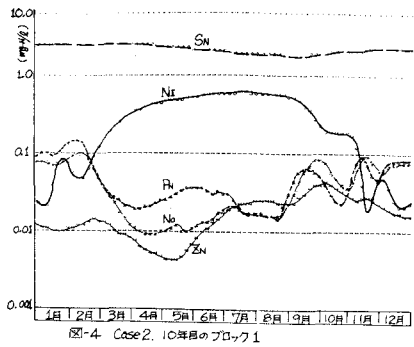
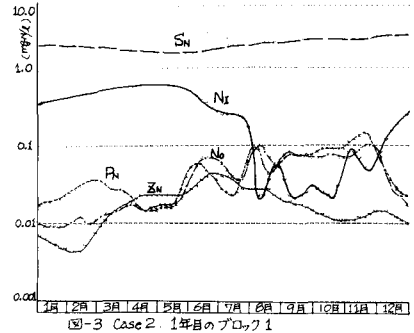
4. 水質汚濁制御のための水環境管理計画

非常に簡単なモデルであるが、生態系では補償限界内で、外乱に対する安定化機能を内包し、人為的に移動・循環速度が加速されると、一定の遅れを持って負のフィードバックが作動する構造がある程度明らかにされた。つまり生態系は各要素の振動現象が結合したものと認識されるが、通常、振動は一定範囲内にとどまる。環境の物理的測定は、この構造を把握するものでなければならぬ。この意味で、時空間のなかで測定値がどのような状況下で具現化されたものが再評価し、動的測定理論を構築する基礎として本報告のようなモデルは有効と考える。さらに環境を動的に把握することは、過去の履歴を無視した計画(現在の総量規制、環境アセスメント)を、時間連綿構造を考慮した動的計画へ変換することに通ずる。このことが、陸上生態系における開放構造を

生態的循環構造に変換する基礎を与え、根本的な水質汚濁制御になる。さらには海洋生態系回復へと連続する。次にその1つの手段として、同化プール計画を提案する。同化プールの機能は陸上におけるため池と同じで、流入負荷が直接海域にImpactを与えないようにすることにある。つまりプール内でプランクトン、底泥を回収し、水質制御をすることで、安定構造へ回復するための駆動力を与え、藪場、砂場を長期間かけて育成し、価値ある循環構造を再構築するための糸口とする。

表-1 シミュレート実施例

Case	流入負荷	流動パターン	備考
1	なし	なし	
2	ブロック1へ 50t/day	潮流残差流を平均流の1割, 2割とした場合について、それぞれケースで実施	流入負荷は無機態窒素のみとする。
3	ブロック1へ 100t/day		
4	ブロック1へ 150t/day		
5	ブロック1へ 100t/day ブロック3へ 50t/day	紀伊水道と交換量を2.4の2倍とする。	無機態と有機態の比を3:1とする。



参考文献: DI TORO, O'CONNOR et al. (1971) A Dynamic model of the Phytoplankton population in the Sacramento-San Joaquin Delta, Advance in chemistry Series No. 106