

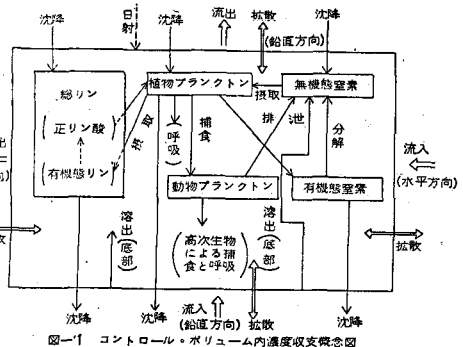
野水池における富栄養化のシミュレーション

京都大学工学部 正員 岩佐 義朗
 京都大学工学部 正員 松尾 直規
 京都大学大学院 学生員 ○森北 佳昭

1. はじめに 本研究は、富栄養化に関係する水質因子と環境因子との関連性を考察する中から、富栄養化シミュレーションモデルの作成を行ない、それを生息ダム湖に適用して、その計算結果と実測値を比較、検討することにより貯水池水の富栄養化過程を巨視的に捉え、その水理学的考察を進めようとするものである。

2. 水質指標の選定 貯水池における水質因子のうちで、富栄養化現象に関係する最も重要な因子は、水域における生産力の基礎となる一次生産を担う植物プランクトンの種類と量である。ついで、この植物プランクトンの増殖、捕食に最も関係の深い窒素、リン、動物プランクトンが、富栄養化問題に重要であると考えられる。したがって、本研究では、これらをモデルを構成する水質因子とし、指標として、クロロフィル a 、動物プランクトン量に相当する炭素量、総リン、無機態窒素、有機態窒素を採用することにする。

3. 基礎方程式 上述の水質指標、ならびに水温は、貯水池内において物理的には、連続性を有する濃度、水温として取り扱うことができるので、基礎原理として、水の連続式、運動量保存則、水温収支則、濃度収支則がコントロール・ボリューム法によって適用され、貯水池における富栄養化に関する基礎方程式として、次のように表示される。なお濃度収支則の生成項は、図-1に示す様な変換機構を考へ定式化した



$$|v|A_{y_n}^{y_{n+1}} + |u|B_{x_c}^{x_{c+1}} \Delta y + q_b = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -|A|u \cdot u \cdot B_{x_c}^{x_{c+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |u|v A_{y_n}^{y_{n+1}} - \frac{1}{B} |A|P|B| + \frac{1}{A} |D_{mx}|B \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x_c}^{x_{c+1}} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{ny}|A \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y_n}^{y_{n+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |u|b \cdot q_b$$

$$P = \int_0^{y-y} \rho g dy$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -|A|T \cdot u \cdot B_{x_c}^{x_{c+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |T|v A_{y_n}^{y_{n+1}} + \frac{1}{A} |D_{tx}|B \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x_c}^{x_{c+1}} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{ty}|A \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y_n}^{y_{n+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |T|b \cdot q_b + H$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = -|A|G \cdot u \cdot B_{x_c}^{x_{c+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |G|v A_{y_n}^{y_{n+1}} + \frac{1}{A} |D_{gx}|B \frac{\partial G}{\partial x} \Big|_{x_c}^{x_{c+1}} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{gy}|A \frac{\partial G}{\partial y} \Big|_{y_n}^{y_{n+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |G|b \cdot q_b + \frac{1}{A \Delta y} |G|q_{cp} A_{y_n}^{y_{n+1}} + G_{cp} - K_d T - G - G_Z$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -|A|Z \cdot u \cdot B_{x_c}^{x_{c+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |Z|v A_{y_n}^{y_{n+1}} + \frac{1}{A} |D_{zx}|B \frac{\partial Z}{\partial x} \Big|_{x_c}^{x_{c+1}} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{zy}|A \frac{\partial Z}{\partial y} \Big|_{y_n}^{y_{n+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |Z|b \cdot q_b + \alpha \cdot q_z \cdot G_Z - K_d T - Z - K_0 Z$$

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = -|A|N_i \cdot u \cdot B_{x_c}^{x_{c+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |N_i|v A_{y_n}^{y_{n+1}} + \frac{1}{A} |D_{ix}|B \frac{\partial N_i}{\partial x} \Big|_{x_c}^{x_{c+1}} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{iy}|A \frac{\partial N_i}{\partial y} \Big|_{y_n}^{y_{n+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |N_i|b \cdot q_b + K_L (N_0 - \beta G - rZ) + \frac{L N_i}{1000 \Delta y} + \beta (1 - \alpha_z) \cdot G_Z$$

$$\frac{\partial N_0}{\partial t} = -|A|N_0 \cdot u \cdot B_{x_c}^{x_{c+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |N_0|v A_{y_n}^{y_{n+1}} + \frac{1}{A} |D_{0x}|B \frac{\partial N_0}{\partial x} \Big|_{x_c}^{x_{c+1}} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{0y}|A \frac{\partial N_0}{\partial y} \Big|_{y_n}^{y_{n+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |N_0|b \cdot q_b + \frac{1}{A \Delta y} |N_0|q_{cp} A_{y_n}^{y_{n+1}} + \beta G_{cp} - K_L (N_0 - \beta G - rZ) - \beta (1 - \alpha_z) \cdot G_Z$$

$$\frac{\partial R}{\partial t} = -|A|R \cdot u \cdot B_{x_c}^{x_{c+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |R|v A_{y_n}^{y_{n+1}} + \frac{1}{A} |D_{rx}|B \frac{\partial R}{\partial x} \Big|_{x_c}^{x_{c+1}} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{ry}|A \frac{\partial R}{\partial y} \Big|_{y_n}^{y_{n+1}} - \frac{1}{A \Delta y} |R|b \cdot q_b + \frac{1}{A \Delta y} |R|q_{cp} A_{y_n}^{y_{n+1}} + \frac{L P_h}{1000 \Delta y}$$

$$\text{ただし、} g_b = \int \{ u_b \cos b(x, y) + v_b \cos b(y, y) + w_b \cos b(z, y) \} dA_b \quad (10)$$

$$G_p = \mu \cdot K_\mu \cdot T \cdot \frac{I_0}{I_s} \cdot \exp \left[1 - \frac{I_0}{I_s} \right] \cdot \frac{N_i}{K_i + N_i} \cdot \frac{P_h}{K_p + P_h} \cdot C_p \quad (11) \quad G_z = G_p \cdot \frac{K_{cp}}{K_p + C_p} \cdot Z \cdot C_p \quad (12)$$

ここに、 u, v : 流下方向、水深方向の流速成分 T : 水温 C_p : クロロフィル a 濃度
 z : 動物プランクトン濃度 N_i : 無機態窒素濃度 N_o : 有機態窒素濃度 P_h : 総リン濃度
 である。その他の記号については、紙面の都合から省略し、講演時に述べることとする。

4. 室生ダム湖への適用とその結果 上記(1)~(9)式を

岩佐、松尾らが、水温、濁度のシミュレーション解析に用いたものと同様の境界条件のもとで、階差式に変形して計算を進める。この時、(2)式の圧力項は、計算の簡単化のため省略する。また、生成項の各係数値は、文献等から最も適切と思われる値を採用した。

図-2、図-3は、こうして計算した室生ダム湖における結果の一例を実測値とともに図示したものである。この図から、シミュレーション結果は、水温の経年変化と空間的分布をよく説明している。また、各水質指標についても従来より指摘されているような、空間的・時間的変化の特性を十分に再現しているといえよう。しかしながら、その値については、十分とはいえない部分もあり、さらに検討が必要であらう。つぎに、

植物プランクトンの増加は、直接的には、主として、水温の上昇と窒素、リンの栄養塩濃度の増大ならびにそれらの循環過程に関係するようであるが、出水（同期間では、4月上旬と6月下旬）による貯水池への汚濁物質の流入は、栄養塩の増大の要因となり、富栄養化に及ぼす、その影響が注目される。

5. おわりに シミュレーションを行なうに

あたっては、植物、動物プランクトンの生物

学的変化に關係する各種係数の選択が、結果の有用性に重要な要素となってくるが、これらの係数値は、生物の種類によって大きく影響されることがわかっており、また、それらの生物学的挙動については、まだまだ不明な点が多いため、現段階では、適当な範囲内で試行錯誤的に決定せざるを得ないと思われる。また、水温、流速等の物理的因子を正確に把握することが、富栄養化のシミュレーションにおいても重要であり、今後、これらを含めて、富栄養化過程に及ぼす各因子の影響を定量的に評価する必要がある。

参考文献 1) 岩佐義朗、松尾直規、遠藤正昭；洪水時における貯水池の成層破壊について 京都大学防災研究所年報第20号-B, 1977

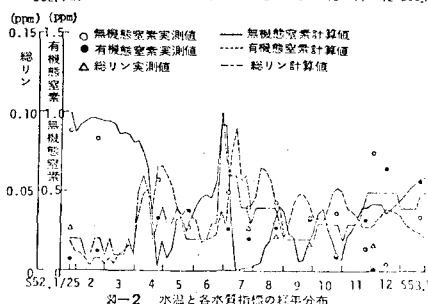
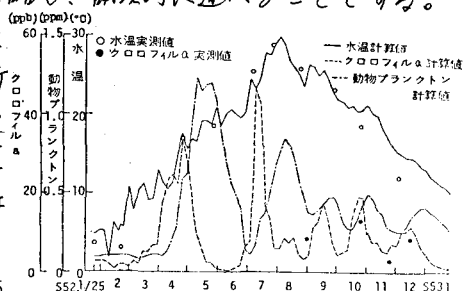


図-2 水温と各水質指標の経年分布

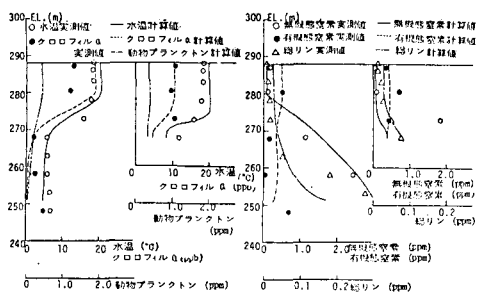


図-3 水温・各水質指標の経年分布計算結果