

流れの挙動からみた貯水池富栄養化現象の考察

京都大学工学部 正 員 岩佐 義朗
 中部工業大学 正 員 松尾 直規
 建設省 正 員 森北 佳昭
 熊谷組 正 員 荒川 信弘

1 はじめに 本研究は、既報で報告した貯水池水理解析法を応用した富栄養化現象の数値解析によって、現象に關係する各種水質要素の空間的变化、とくに流れ方向の変化と水理学的条件、すなわち流れの運動学的挙動や水温成層との関連を明らかにし、その結果をもとづいて、富栄養化過程における各種の水質挙動を水理学的に考察するものである。

2 数値解析モデル

表-1 基礎方程式

貯水池における富栄養化現象を、数学モデルで表現し、数値解析するにあたって、本研究では、クロロフィル a 濃度、動物プランクトンに相当する炭素濃度、総リン濃度、無機態及び有機態窒素濃度を水質指標として用いている。これらの各水質濃度は水と一体の連続体とみなすことができ、また貯水池内におけるその分布は、水深方向ばかりでなく、流下方向にも変化することが知られている。従ってこれらの濃度変化の解析にも水温、濁度と同様に、流体力学原理を基礎とする二次元貯水池水理モデルが適用される。表-1には、その富栄養化解析モデルを示している。なお、式中の記号、係数値、その他の各種条件については、紙面の都合により省略し、講演時に述べることにする。

1. 水の連続式

$$|u| \frac{\partial B}{\partial x} + |v| \frac{\partial B}{\partial y} + q_b = 0$$
2. 運動量保存則 (流下方向)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{A} |u| u \frac{\partial B}{\partial x} - \frac{1}{A \Delta y} |u| v \frac{\partial B}{\partial y} - \frac{1}{A \Delta y} |u| q_b - \frac{1}{A} |P| B \frac{\partial B}{\partial x} + \frac{1}{A} |P_{\text{max}}| \frac{\partial B}{\partial x} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{xy}| \frac{\partial^2 B}{\partial y^2} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{yz}| \frac{\partial^2 B}{\partial y^2} A \frac{\partial B}{\partial y}$$
3. 運動量保存則 (水浮方向)

$$P = \int_0^{z_0} \rho g dy$$
4. 水温収支則

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{1}{A} |T| u \frac{\partial B}{\partial x} - \frac{1}{A \Delta y} |T| v \frac{\partial B}{\partial y} - \frac{1}{A \Delta y} |T| q_b + \frac{1}{A} |D_{Tx}| \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial x} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{Ty}| \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial B}{\partial y} - \frac{1}{A C \Delta y} |D_{\Delta}| \frac{\partial B}{\partial y}$$
5. 濃度収支則
 - 5-1. 700704A濃度

$$\frac{\partial C}{\partial t} = F(C_p) - \frac{1}{A \Delta y} |C_p| v \frac{\partial B}{\partial y} + G_{cp} - R_{cp} \theta_{cp}^{T_{20}} C_p - G_z$$
 - 5-2. 動物プランクトンに相当する炭素濃度

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = F(Z) + \alpha Q_z G_z - R_{Z20} \theta_z^{T_{20}} Z$$
 - 5-3. 総リン濃度

$$\frac{\partial P}{\partial t} = F(P_h) - \frac{1}{A \Delta y} |P_h| v \frac{\partial B}{\partial y} + \frac{L_{ph}}{1000 \Delta y}$$
 - 5-4. 無機態窒素濃度

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = F(N_i) - \frac{1}{A \Delta y} |N_i| v \frac{\partial B}{\partial y} + B_N G_{cp} + R_{N20} \theta_N^{T_{20}} (N_0 - B_N (C_p - Z)) + B_N (1 - \alpha Z) G_z + \frac{L_{N20}}{1000 \Delta y}$$
 - 5-5. 有機態窒素濃度

$$\frac{\partial N_o}{\partial t} = F(N_o) + B_N G_{cp} - R_{N20} \theta_N^{T_{20}} (N_0 - B_N (C_p - Z)) - \beta_N (1 - \alpha Z) G_z$$

注(1)

$$F(C) = -\frac{1}{A} |C| u \frac{\partial B}{\partial x} - \frac{1}{A \Delta y} |C| v \frac{\partial B}{\partial y} - \frac{1}{A \Delta y} |C| q_b + \frac{1}{A} |D_{Tx}| \frac{\partial C}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial x} + \frac{1}{A \Delta y} |D_{Ty}| \frac{\partial C}{\partial y} \frac{\partial B}{\partial y} A \frac{\partial C}{\partial y}$$

$$\{ C = C_p, Z, P_h, N_i, N_o \}$$

$$G_{cp} = \beta_s M_{20} \theta_M^{T_{20}} \frac{I_2}{I_3} \exp(1 - \frac{I_2}{I_3}) \cdot \frac{N_i}{K_{M1} + N_i} \cdot \frac{P_h}{K_{P1} + P_h} \cdot C_p$$

$$G_z = C_g \cdot \frac{K_{cp}}{K_{cp} + C_p} \cdot C_p \cdot Z$$

$$\beta_s = \exp(-0.0385 C_p)$$

$$I_2 = I_0 \exp\{-\eta (y_s - y)\}$$

$$\eta = 0.2 + 0.001 C_p$$

3 数値解析結果とその考察 上述の富栄養化解析モデルを奈良県堂生貯水池に適用し、昭和52年1月25日から10月31日までの期間について数値解析を実施し、その結果を考察した。図-1、図-2は、その一例を示したものであり、図-3は、同じ日の実測データによる、等濃度線図を示したものである。図-1によると流入水は流入端から貯水池中央部に位置する取水口へ向かうように流れ、この間では、水深方向への流れの拡がり大きい傾向がみられる。こうした流れにより、流入する栄養塩が取水口より上流部にわたり広く供給され、また、貯水池底より溶出する栄養塩も流れに乗って表水層付近にまで運ばれるであろうことが予想される。従って、これらが各水質濃度に与える影響は、非常に大きいと考えられる。

次に、図-2、図-3を比較してみると、計算値は貯水池内におけるクロロフィルa濃度の分布を、十分に再現しているといえよう。具体的には、クロロフィルaが流入部から取水口地点付近にかけての表層部で高濃度になり、それより下流部においては、流速分布を反映するような分布形状を示しながら、比較的低濃度域を形成する様子が良く表現されている。このような分布が見られる原因として、流入部から取水口付近までの区間は、水深が浅く、上述のような流速分布があり、溶出、流入負荷として混合等により比較的栄養塩が豊富な状態に維持され、植物プランクトンの増殖にとって非常に都合の良い条件を備えていることが指摘できよう。

その他の結果については、講演時に詳述することにする。

4 おわりに 以上の二次元貯水池水理モデルを用いた解析により、富栄養化と関係する各種水質濃度の空間的分布を詳細に再現することが可能となるとともに、水質変化の場を与える水理条件と各水質濃度分布との関連が明らかとなった。最後に本研究は、文部省科学研究費、奨励研究(A)(575326)の補助を受けたものであることを明記し、ここに謝意を表す。

〈参考文献〉1)岩佐松尾森北;土木学会関西支部年講,II-56,1979 2)佐々木保原森北;土木学会関西支部年講,II-58,1980

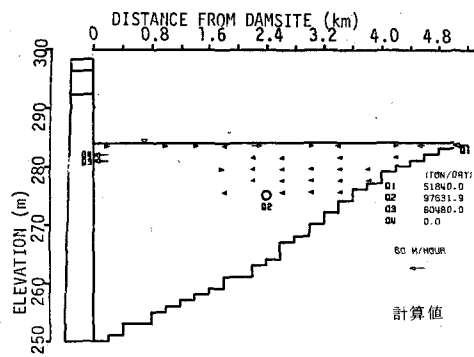


図-1 貯水池内流速ベクトル図 (8/31)

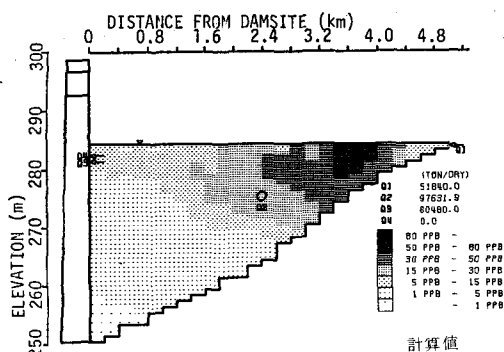


図-2 貯水池内クロロフィルa濃度分布図 (8/31)

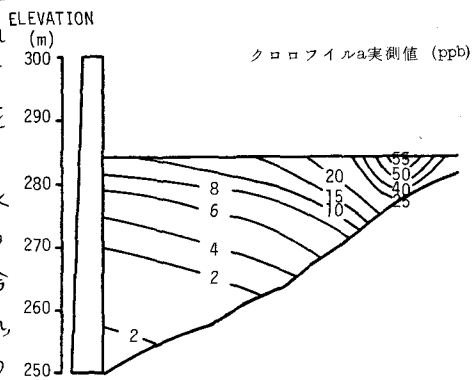


図-3 貯水池内クロロフィルa等濃度線図 (8/31)