

# 遮水カーテンによるダム湖内の富栄養化抑制技術に関する基礎的研究 -流れと水質シミュレーション-

佐賀大学理工学部都市工学科 学 ○熊英

佐賀大学低平地研究センター 正 荒木宏之 山西博幸 Nguyen Cao Don

佐賀大学大学院工学系研究科 学 三島悠一郎

## 1. 研究目的

近年、ダム貯水池において富栄養化が進行し、藻類の異常増殖などによる水質障害が問題となっている。藻類増殖の抑制策として浮上式遮水カーテンによる藻類のダム全体への拡散防止策<sup>1)</sup>が考案されている。そこで本研究では、ダム貯水池内の流動と水質に関する数値計算を用いて、遮水カーテンによる藻類増殖の抑制効果を検討した。

## 2. 数値計算モデル

### 2.1 流動モデル

流動モデルは連続の式、運動方程式及び水温の保存式を差分化することで解く三次元モデルとした。図-1 に計算領域を示す。領域は佐賀県内のYダム全域を含む水域として、全域を5m格子で一様に格子分割した。層厚は鉛直方向に2m間隔で19層分割として、標高171mを限界条件とした。河川流入量は、Yダムに直接流入するS川の流量とした。

### 2.2 水質モデル

水質モデルは、植物プランクトン(緑藻)、動物プランクトン、デトリタス、懸濁態無機物、溶存態有機物、有機酸、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リン、溶存態BOD、DO、堆積有機物を取り扱う生態系モデルとした。水質モデルの基礎式を式(1)に示す。また、植物プランクトンに関する基礎式を式(2)に示す。陸域からの藻類流入は無いものとし、増殖はMonod型に水温と日射の補正を加えた。また遮水カーテンを図-1の位置に深さ10~12mで設置する。なお、水質再現期間は2005年1月1日から2005年12月31日までの一年間である。

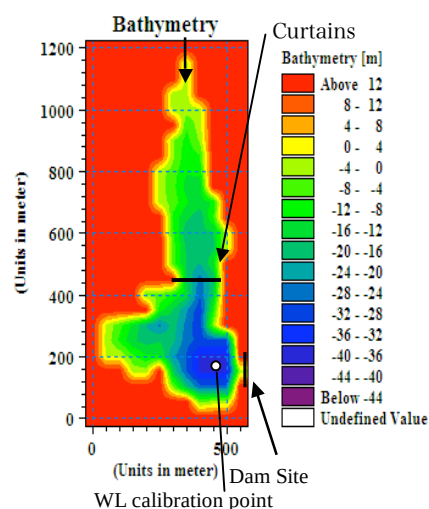


図-1 計算領域

$$\frac{dC}{dt} = \text{移流項} + \text{分散項} + \text{反応項} \quad (1)$$

$$\text{移流項} = -\vec{v} \cdot \nabla C - (w - w_s) \frac{\partial C}{\partial z}, \vec{v} = (u, v), \nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$$

$$\text{分散項} = \frac{\partial}{\partial x} \left( A_H \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A_H \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

C: 水質項目  $A_H$ : 水平渦分散係数  $K_H$ : 鉛直渦分散係数

$u, v, w$ : 流速成分  $w_s$ : 沈降速度

$$\frac{dP}{dt} = \text{増殖} - \text{死滅} - \text{捕食} - \text{沈降} + \text{巻き上げ} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &= \mu_{\max} \left( \frac{T}{T_P} \right) \exp \left( 1 - \frac{T}{T_P} \right) \left( \left( \frac{I}{I_{opt}} \right) \exp \left( 1 - \frac{I}{I_{opt}} \right) \right) \exp(-k_I \cdot SS \cdot H) \frac{DIN}{K_N + DIN} \frac{PO_4}{K_P + PO_4} \cdot P \\ &- K_D \cdot \theta_D^{(T-T_D)} \cdot P - K_G \cdot \theta_G^{(T-T_G)} \cdot \gamma_Z \cdot Z - \frac{K_s}{dH} (1 - f(vel)) P + K_R \cdot f(vel) \cdot PB \\ f(vel) &= \begin{cases} 1 & (vel > vel_{cr}) \\ 0 & (vel < vel_{cr}) \end{cases} \end{aligned}$$

P: 植物プランクトン濃度 ( $\mu\text{g/l}$ )  $\mu_{\max}$ : 最大比増殖速度 (1/day) T: 水温 ( $^{\circ}\text{C}$ )  $T_P$ : 増殖最適水温 ( $^{\circ}\text{C}$ ) I: 日射量 ( $\text{cal/cm}^2/\text{day}$ )  $I_{opt}$ : 最適日射量 ( $\text{cal/cm}^2/\text{day}$ )  $K_I$ : 光減衰係数 ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) SS: SS( $\text{mg/l}$ )

H: 水深 (m) DIN:  $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$  ( $\text{mg/l}$ )  $K_N$ : 無機態窒素の半飽和定数 ( $\text{mg/l}$ )  $PO_4$ :  $\text{PO}_4\text{-P}$  ( $\text{mg/l}$ )  $K_P$ : リン酸態リンの半飽和定数 ( $\text{mg/l}$ )  $K_D$ : 死滅速度係数 (1/day)  $\theta_D$ : 死滅に関する温度補正係数

$T_D$ : 死滅最適温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )  $K_G$ : 捕食速度係数 (1/day)  $\theta_G$ : 捕食に関する温度補正係数  $T_G$ : 捕食最適温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )  $\gamma_z$ : 植物プランクトンと動物プランクトン換算係数 ( $\mu\text{g/g}$ ) Z: 動物プランクトン

( $\text{mg/l}$ )  $K_s$ : 沈降速度 (m/day) dH: 水深メッシュ幅 (m)  $K_R$ : 巻き上げ速度 (m/day) PB: 付着藻類濃度 ( $\mu\text{g/l}$ ) vel: 流速 (m/s)  $vel_{cr}$ : 限界巻き上げ速度 (m/s)

### 3. 流動及び水質の計算結果と考察

図-2にダム湖内(図-1 参照)水位の実測値及び計算結果を示す。春期は農業用水供給のための放流から、水位は限界水位に近づくが、梅雨の影響で水位が上昇した。水位の実測値と計算値との乖離は小さく、概ね良好な再現結果が得られた。

図-3に水温の経時変化を示す。図より9月までの実測値と計算値との相関は良好であり、9月以降において計算値が実測値より高くなる傾向が認められる。これは実測値が表層一点での値であるに対して、計算値は表層全体の平均値としているためである。

図-4に鉛直方向の水温分布を示す。流入水は下流側へ流下することで、深層部とのエネルギー交換による水温の低下が見られた。またダム全体の温度分布は成層型であり、特にダムの中心部の表層に温度躍層が形成されているため、そこで植物プランクトンが最も発生しやすいと考えられる。

図-5にDOの計算結果を示す。DOの実測値と計算値との乖離は小さく、概ね良好な再現結果が得られた。DOは夏場で低下し、冬場で高くなるというサイクルである。後述する図-6のChl-a分布図からも分かるように、この時期は藻類が増殖しダム全体に広く分布している。

Chl-a は実測データが乏しく、計算結果との比較が困難であるため計算結果を描いていないが、図-6に遮水カーテンを適用しない場合のChl-a 分布図、図-7に適用した場合の結果を示す。遮水カーテンを適用しない場合は水深の浅い上流域で増殖したChl-a が下流域へ拡散したが、遮水カーテンを適用することで拡散を防止することができるという結果を得た。また、ダムサイト付近で水質が向上しているため、放流水の水質は改善されたといえる。

### 4. まとめ

開発した数値モデルを用いてダム湖の流れと水質のシミュレーションを行った結果、概ね良好な再現性を得た。今後は、パラメータの詳細な設定と、計算結果と実測値の十分な比較検討を行う予定である。

**参考文献** 1)荒川ら、寺内ダムの貯水池におけるフェンスのプランクトン制御効果、九州技法、No.17、1-6、1995。

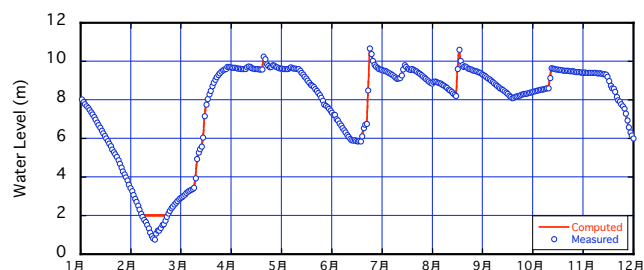


図-2 水位の経時変化

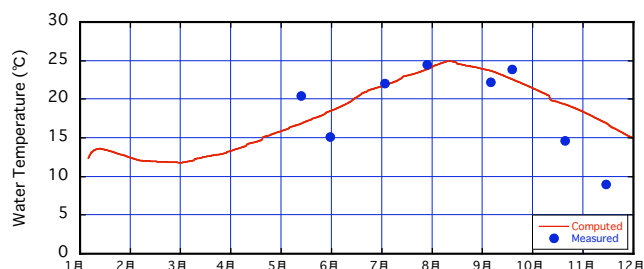


図-3 水温の経時変化

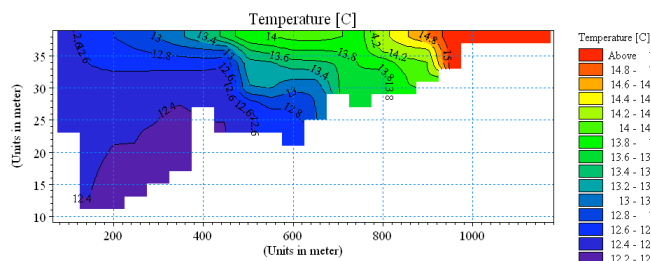


図-4 鉛直方向の水温分布

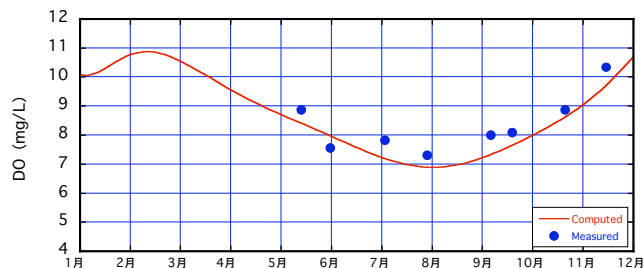


図-5 DO の経時変化

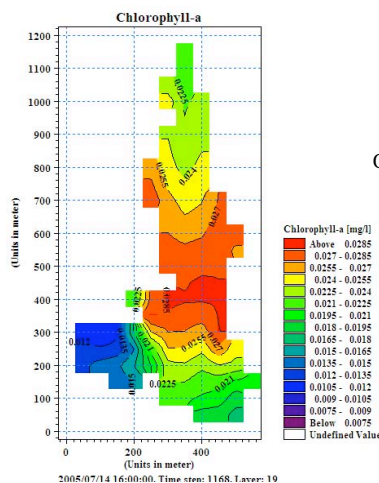


図-6 Chl-a の分布  
(カーテン非適用時)

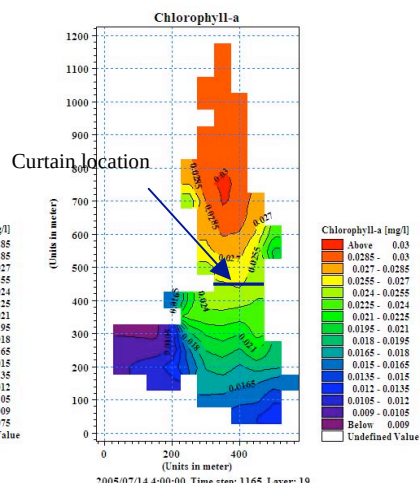


図-7 Chl-a の分布  
(カーテン適用時)