

II-396

ダム湖における水温予測モデル

山口大学工学部 正員 浮田 正夫、中西 弘
学生会員 ○川上 実

1. はじめに

貯水池における主要な水質問題に対する適切な水質保全対策実施のために水質変化を定量的に予測し、その環境要素への影響を評価する手法の確立が求められている。富栄養化に代表される水質変化は物理的過程と生物化学的過程が複合した複雑な現象であり、その基礎資料となるのが流況及び水温予測である。貯水池の水温予測を行う場合の流動条件や成層状態の再現が重要である。ここではダム湖における水質予測モデル開発の前段階として水温成層の形成、消滅を表現できる1BOX多層モデルの作成を試みた。

2. モデルの概要

山口県厚東川ダム(小野湖)を対象に1987年1月～12月を対象期間とし、山口気象台のデータ(気温、蒸気圧、雲量、風速)を用いて水温予測を行った。モデルの概要は図1に示す。またモデルの設定値は表1に、基礎式は以下に示す。分割層厚は $\Delta y=1\text{m}$ 、15層で表層厚は水位に応じて変動するものとする。各層の水温決定には、流入出水の熱量、鉛直移流による熱移動、気象変化による水面熱収支、鉛直拡散による熱移動を考える。流入水は等密度の層を選んで流れ込むと仮定するが、本研究では温度のみの関数としてとらえることで濁質に関しては考慮していない。鉛直移流量に関しては底層より順次計算する。

①水温収支基礎式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{K_T}{A} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - \frac{1}{\rho C A} \frac{\partial}{\partial z} (A I) - \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial z} (W A \theta) - \frac{1}{A} (U_i B \theta_i - U_o B \theta_o)$$

$U_i(z), U_o(z)$: 標高 z の流入出水の水平方向流速 $W(z)$: 標高 z の鉛直方向流速 $\theta(z)$: 標高 z の流入 水温
 $I(z)$: 日射による輻射熱 K_T : 熱に対する拡散係数 ρ : 水の密度 C : 水の比熱 A : 湛水面積
右辺第1項は鉛直拡散、第2項は日射による輻射熱(短波放射)、第3項は鉛直方向の移流、第4項は水平方向の移流を表し、 ∂z をモデルの1層当たりの厚さとして計算する。

②水面熱収支式

水中の貯熱量変化が水面熱収支の総計に等しいと置いて以下の水面熱収支方程式を得る。

$$\Delta I = (1 - \alpha) I_s - R - H - LE \quad (\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1})$$

I_s : 短波放射 R : 長波放射 H : 顕熱交換 LE : 潜熱交換 α : 水面反射率

③流入水温予測式 流入水温は晴天時に水面と大気の熱の授受により最終的につり合った状態に達する平衡水温に依存し、降雨時の河川水温に影響を及ぼす中間流出として地下水温を考え、両者の比流量の関数とした。以下にその関係式を示す。

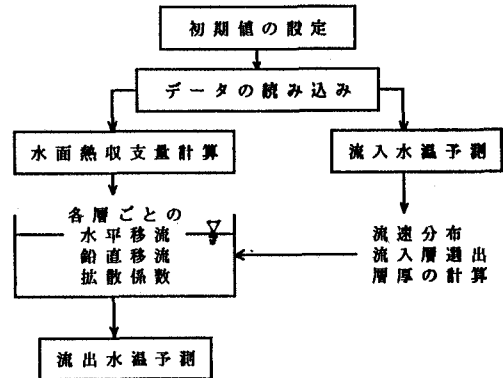


図1 モデルの概略図

表1 初期設定値

項目	設定値
水温初期値	表層 6.0℃ 底層 8.9℃
湛水面積	1791800m ²
容量	19877000m ³
水深	15m
幅	170m
流域面積	厚東川1167.8km ² 太田川112.3km ²
取水口高	4.5m

$T = a(T_g - T_s) + T_s$ $a = (a_0 \cdot q) / (q_m + q)$ T : 予測水温(°C) T_s : 平衡水温(°C) T_g : 地下水温(°C) a : 地下水混入率 a_0 : 最大混入率 q : 比流量($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$) q_m : 比流量半飽和値($m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$)

④流入出の流れ 各層の流入出部の流速分布は正規分布を当てはめ、流入水は基本的に同一温度の層を中心に流れ込むものとし、表層、底層付近ではそのままの形状を保ち各層に比例配分する。

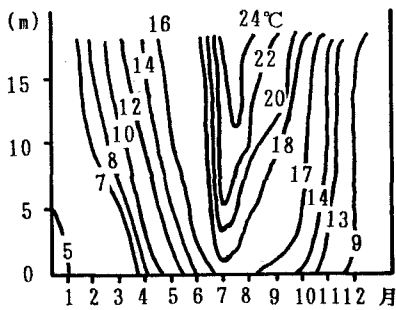
⑤鉛直方向の流れ 鉛直移流は水平方向の流れの流入出量差を底層から任意の層まで積分して求める。

⑥拡散による熱移動 熱輸送を決定する拡散係数はリチャードソン数を用いて表す。中立状態($R_i = 0$ の場合)の拡散係数を K_0 として、拡散係数を次式のように表す。

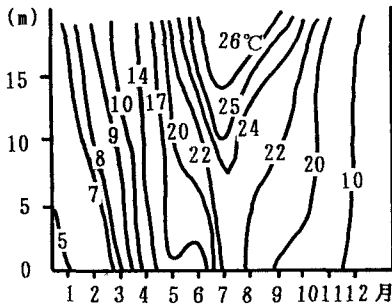
$$K_T = K_0 (1 + 3.33 R_i)^{-3/2} \quad K_T: \text{拡散係数}(m^2 \cdot s^{-1}) \quad R_i: \text{リチャードソン数(無次元量)}$$

3. 結果及び考察

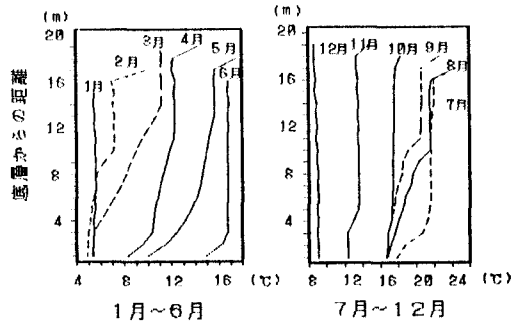
鉛直水温分布の季節変化は図2より予測水温と実測水温を比較してみると夏期における温度成層形成、冬季に至って消滅していく様子が表現できている。しかし図3の鉛直水温分布（計算値）の季節変化をみると表層水温が、水位の変動に伴う体積変化に大きく影響し高い値を示す傾向にある。また、全体的に貯水池内の予測水温は低い値を示しており、特に夏期においてその傾向が強い。流入水温予測式にかかわる各係数が減水期のデータをもとにしているため夏期出水時の流入水温の予測値が低めであったこと、BOXの形状を直方体と考えているため相対的に受熱量が小さめになったこと等が原因しているものと思われる。



計算値

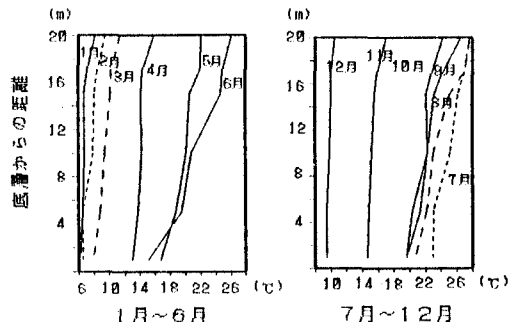


実測値



1月～6月

計算値



1月～6月

実測値

図2 水温のイソプレット（昭和62年1月～12月）

図3 鉛直方向水温分布の季節変化（同期間）

4. まとめ

貯水池の水温予測における基本的モデルを構築することはできたが、拡散係数、流入水温予測等をはじめとする細部の検討が必要である。おわりに、三井不動産建設 寺川秀人氏に深謝いたします。

（参考文献） 新体系土木工学22 密度流の水理：玉井 信行、水温論：荒井 正・西沢 利栄