

ため池の水温分布推定に関する研究

三重大学大学院生物資源研究科 非会員 ○伊藤広高
三重大学大学院生物資源研究科 正会員 葛葉泰久

1. 目的

ため池には生態系保全や農業用水・都市河川のための水源などの機能を持っている。しかし近年ため池の維持管理がされなくなってきたり、水質悪化が進んでいる。その水質の変化に直結する事項に水温があり、その水温変化は池内や下流河川の水の物理的、化学的变化を与えるため水温の予測は重要である。

そこで本研究では鈴鹿市にあるため池の山上池で周辺の気象資料を基に山上池の水温分布を推定するモデルの構築を目的とする。

2. 対象地の概要

解析対象地は三重県鈴鹿市にあるため池の山上池である。山上池は満水位で面積 5.2ha、貯水量 8.39 万 m³、灌漑面積 28.4ha である。観測期間中に山上池では堤体の工事が行われるために水位が通常よりも低く、水温測定地点での水深は 0.35m しかなかった。また、池の異なる地点で水温分布を測定して差異がないことを確認してある。

3. 対象データ

山上池の気象データは観測されていないため、山上池周辺で観測されている気象データを利用する。山上池周辺の気象観測所として、山上池から北へ約 9km 離れた四日市市の四日市特別地域観測所、南南西に約 15km 離れた津市の津地方気象台、西に約 12km 離れた亀山市のアメダス観測所がある。

また、山上池の気象条件と周辺の観測所における気象条件との関係を調べるために 10/31～11/4 まで気温、風速、気圧、湿度を集中観測を行った。

水温に関しては、水深 0m、0.1m、0.2m で 10/28～12/9 に観測し、透明度は 10/27 に観測した。

4. 研究手法

水面における熱収支式は次式で表せる。

$$(1 - \text{ref})S \downarrow - \varepsilon(\sigma T_s^4 - L \downarrow) - H - IE - G = 0 \quad (1)$$

ここに、 ref : アルベド、 $S \downarrow$: 短波放射量、 ε : 射出率、 σ : ステファン・ボルツマン定数、 T_s : 水面温度、 $L \downarrow$: 大気からの長波放射量、 H : 顕熱量、 IE : 潜熱量、 G : 貯熱量である。 H と IE は次のバルク式で表される²⁾。

$$\begin{aligned} H &= c\rho C_H u(T_s - T) \\ IE &= l\rho C_E u(q_s - q) \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 c : 空気の比熱、 ρ : 空気の密度、 u : 風速、 T : 気温、 l : 水の気化熱、 q_s : 水面の飽和比湿、 q : 比湿、 C_H, C_E : 顕熱と潜熱のバルク係数である。湖沼などでは $C_H = C_E$ とし、 $1.1 \sim 1.3 \times 10^{-3}$ の値が用いられているが、バルク係数を一定値で用いると大気の安定・不安定が与える影響を考慮できないので、1) の大気安定度パラメータ λ を用いて、バルク輸送係数を次式で示す安定度 λ の関数で表す方法を準用した。

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{T_a - T_s}{U^2} \\ C_E &= -c_1 \lambda + c_2 \end{aligned} \quad (3)$$

ここに、 c_1, c_2 : 定数である。

池水の鉛直水温分布の基礎式は、

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (K_m + K) \frac{\partial T_w}{\partial z} \right\} - \frac{1}{c_w \rho_w} \frac{\partial I}{\partial z} \quad (4)$$

である³⁾。ここに、 $K = K(z, t)$: 渦動拡散係数、 K_m : 分子拡散係数、 T_w : 水温、 c_w : 水の比熱、 ρ_w : 水の密度、 $I = I(z, t)$: 水中での日射量である。

境界条件は、次式である。

$$G = -c_w \rho_w (K_m + K) \frac{\partial T_w}{\partial z} + I \quad (z : \text{湖面}) \quad (5)$$

$$c_w \rho_w \Delta z \frac{\partial T}{\partial t} - (Q_G + I + Q_{N,N-1}) = 0 \quad (z : \text{底層})$$

$$Q_G = c_w \rho_w (K_m + K) \frac{T_G - T_N}{\Delta z} \quad (6)$$

$$Q_{N,N-1} = c_w \rho_w (K_m + K) \frac{T_{N-1} - T_N}{\Delta z}$$

ここに, Q_G : 池の水底面と池水との熱交換量, $Q_{N,N-1}$: 底層 N とその上の層 $N-1$ との熱交換量, T_G : 底層が接する池底面の温度, T_N, T_{N-1} : それぞれ底層 N , その上の層 $N-1$ の水温である. T_G は不明であるため 1 ステップ前の時間の T_N と等しいと仮定する.

(4)式の渦動拡散係数を次式で求めた⁵⁾.

$$K = K_0(1 + 0.00176Ri)^{-0.5}$$

$$K_0 = \frac{u^{*2}}{v_s k^*} \exp(-k^* z) \quad (7)$$

ここに, K_0 : 密度成層がない中立状態の渦動拡散係数, Ri : リチャードソン数, u^* : 水中での摩擦速度, v_s : 表面流速, k^* : u^* の減衰係数である.

池の水温の推定法は (1)式を満足する T_s を求めることに帰着できる.

まず, 気象条件から $S \downarrow, L \downarrow$ を算定する. 次に T_s を仮定して (1)式から G を求める. G を湖面の境界条件に反映させて (4)式の差分計算より, 池の鉛直水温分布を求める. 新しく算定した T_s が (1)式を満足するか判定する. 満足した T_s を用いて水温を算定する.

5. 結果・考察

気圧, 気温, 湿度, 風速の山上池と周辺の気象観測所の観測地を比較した. その結果, 津の気象観測所との相関がどれもよく, 決定係数 R^2 は 0.70~0.99 であった. 一番遠い津の気象観測所が一番山上池と相関がよかった理由は, 標高, 海までの距離, 周辺の土地利用などの周辺環境が一番山上池と似ていたからだと思われる. この回帰直線を用いて津の気象観測所の値を補正した値を山上池の気象データとして用いた.

大気が不安定な場合の式(3)の c_1 を求めるため, $c_2 = 1.2 \times 10^{-3}$ に固定し, c_1 の値を変化させて 10/28 ~ 11/9 の水温の実測値と計算値の絶対誤差の和が最小になる値に決定した. その結果が図 1 であり, $c_1 = 0.002$ とした.

以上の結果の妥当性を検証するために, 11/10~12/9 の計算値と実測値を比較する. 図 2 は期間内の表面水温の比較, 図 3 は 11/12 と 12/4 の水温分布の比較である. 実測値 T_{mea} と計算値 T_{cal} を用いて式(8)で表される絶対誤差 ER は期間内の平均で 1.2 ~ 1.3 であった.

$$ER = \sum |T_{mea} - T_{cal}| \quad (8)$$

6. 参考文献

1) 初井和郎 (2003): 池田湖の蒸発量の推定, 水文・

水資源学会誌, Vol.16, No.2, pp.142-151

2) 近藤純正 (1994): 水環境の気象学, 朝倉書店

3) 倉島栄一ら (2003): 水温推定のための水柱モデルと貯水池への適用, 水文・水資源学会誌, Vol.16, No.2, pp.162-169

4) Newbold, J. D. and J. A. Liggett (1974): Oxygen depletion model for Cayuga Lake, Proc. ASCE, J. Environ. Eng. Div., Vol. 100, pp.41-59

5) Henderson-Sellers, B. (1984): Engineering Limnology. Pitman Advanced Publishing Program, Boston, MA, pp.356

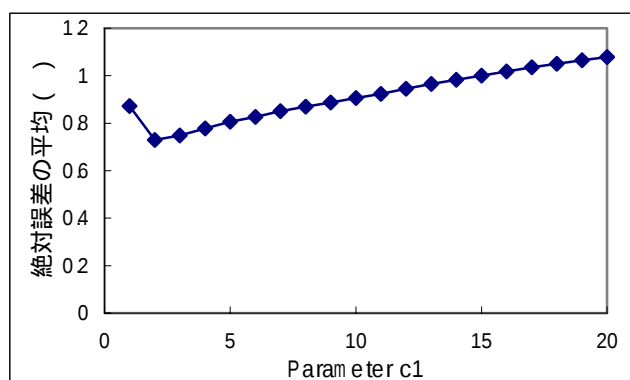


図 1 計算値と実測値の絶対誤差の平均

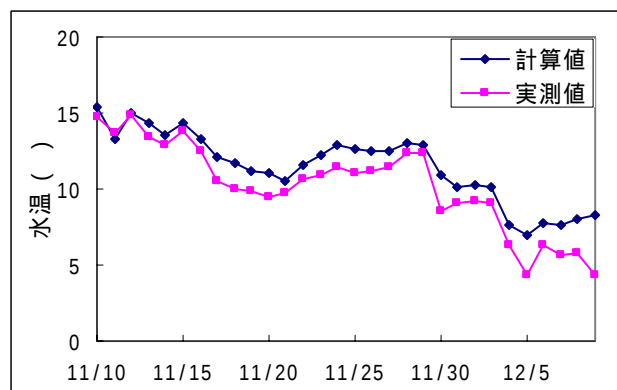


図 2 表面水温の計算値と実測値の変化

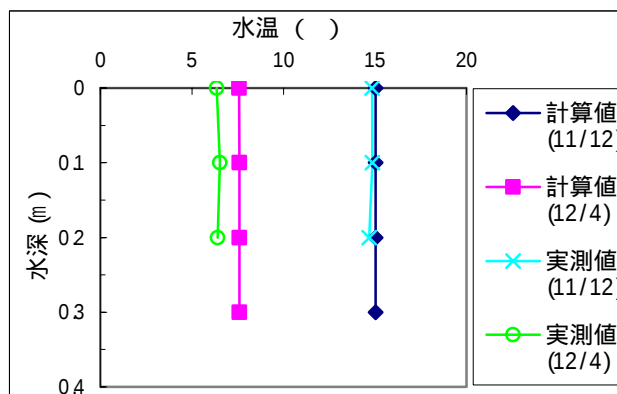


図 3 鉛直水温分布の計算値と実測値の比較