

II-95 熱収支からみた小野川湖の水温構造

日本大学大学院 学生員 ○小川 裕正

日本大学工学部 正会員 長林 久夫

1. はじめに

夏期に水温成層が発達すると、鉛直方向の混合は抑制され、深水層において酸素供給不足のため、貧酸素水塊が形成される。そのため湖底からの栄養塩が溶出し深水層の水質は低下する。したがって水温成層が湖内物質輸送を支配する効果は大きいものであり、湖沼の水質保全の上でも、水温の鉛直構造を捉えることは重要である。本研究では、小野川湖を対象とし水温の鉛直構造の経時変化を数値計算により再現し、実測値との比較・検討により考察した。

2. 小野川湖概要

小野川湖は福島県裏磐梯地区に位置する中栄養のリン制限下にある山間地湖沼であり上流に松原湖、下流域に秋元湖が位置している。湖水の交換率は 20 回/年程度というものの、夏期には明瞭な水温成層が形成される。主な流入河川として自然流域河川である小野川・中ノ沢川、上流の松原湖により流量調整されて流下する松原川・新川の 4 河川である。主な出口は下流の秋元湖との落差を利用した小野川発電所に通じる導水路である。

3. 数値計算

3.1 支配方程式

計算には、鉛直一次元の拡散方程式を用いる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \frac{1}{\rho_0 C_p} \frac{\partial q}{\partial z} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 T : 水温($^{\circ}\text{C}$)、 z : 水深(m)、 K_z : 拡散係数(m^2/day)、 ρ_0 : 水の基準密度(kg/m^3)、 C_p : 水の比熱($\text{J}/\text{kg}/\text{K}$)、 q : 短波放射による水中の熱フラックス $q = (1 - \beta) Q_0 \exp(-\eta z)$ 但し、 Q_0 : 短波放射量($\text{J}/\text{m}^2/\text{day}$)、 η : 消散係数($1/\text{m}$)、 β : 水面吸収率である。

拡散係数 K_z は、成層構造を表現するため以下の式を用いた。

$$K_z = \kappa u_* z P_r^{-1} \exp(-k_* z) f(R_i) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 κ : カルマン定数、 u_* : 水面摩擦速度(m/sec)、 P_r : 乱流プラントル数、 k_* : 摩擦速度の減衰係数、 $f(R_i)$: 成層関数である。

3.2 境界条件

水面では大気からの熱フラックスの収支を、また湖底においては断熱条件を境界条件とした。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{水面} : -K_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{Q_T}{\rho_0 C_p} \quad \dots\dots\dots (3) \\ \text{湖底} : K_z \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots (4) \end{array} \right.$$

ここで、 Q_T ($\text{J}/\text{m}^2/\text{day}$) は水面における熱収支量であり、小野川湖の受熱量を考慮して、1 年間で積分すると熱交換量が 0 になるような正弦関数の形で与えた。計算は 1998 年 1 月 1 日をスタートとして 1998 年 12 月 31 日までの 1 年間を対象とした。初期条件は水温が一樣になる 1 月に 4°C を与え、計算方法は差分法を用いて行った。計算の時間及び水深間隔 ∂t 、 ∂z は、それぞれ 0.1day 及び 2m とし、数値安定性の基準を考慮し、拡散係数 K_z は、 $20\text{m}^2/\text{day}$ を越えないものとした。また水面が冷却され密度の逆転が生じた場合は瞬時に混合するものと考えた。

4. 計算結果及び検討

図-1 に計算結果の水温等値線分布図を示す。これより4月から水温成層が形成され始め、8月にはほぼ安定化する。2月及び3月には3℃未満の逆整列の水温成層がみられること、また11月において深水層まで水温が一樣となる循環期をとることなど、計算結果は水温の季節変化をよく再現している。また図-2 に水面と湖底における実測値と計算値を示す。計算結果より季節的な水温の増減傾向は、実測値とほぼ良好に対応しており湖底で断熱条件としたが夏期において水温の上昇が見られる。これは水面からの熱供給によるものであると分かる。しかし水面での実測に対応した計算値は実測値よりも低い値を示し約2℃の差を生じる結果となった。これは、水面における熱収支量を正弦関数によって与えたことや、湖水の流動による水平方向の熱の移流・拡散を考慮しなかったことなどによる。図-3 は実測値と計算値の水温鉛直分布図である。実測値と比較すると計算値は良好な結果が得られたと言える。しかし、詳細に比較すると必ずしも一致していない時期がある。特に7月26日の実測値は計算値に比べて表層で大きく、水深10m付近で小さい。この時期の河川水温は新川が高く小野川・中ノ沢川の方が低いことが実測されている。したがって水温の差異は移流による効果によるものと推察される。また9月、10月の水温成層の崩壊時期は計算値の方が早めに低下している。これは、桧原湖の貯熱量が大きく、この移流を考慮する必要がある。図-4

に計算に用いた拡散係数に含まれる風による水面摩擦速度の経時変化特性を示す。これより夏期においては水面摩擦速度が小さく湖水の混合作用が小さくなり湖内の熱量は蓄積されやすく、また冬期においては逆となり上下層がよく混合される結果となる。

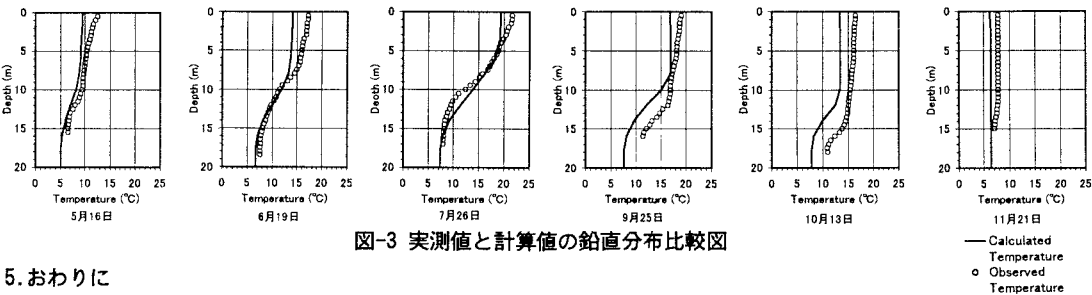


図-3 実測値と計算値の鉛直分布比較図

5. おわりに

水温鉛直一次元数値計算を行い、水温変化の再現を試みた。結果は比較的実測の季節的水温分布を良く再現できたと思われる。計算上では鉛直方向の熱移動だけ考えているため、実際は湖内における流入・流出による移流熱の影響が無視できず、このような原因が実測値との誤差が生じたものだと考えられる。

【参考文献】

1) 中村由行・高津 治：閉鎖性水域における温度成層の形成のモデル化、海岸工学論文集第37巻 pp796-798、1990
2) 高津 治・中村由行・早川典生：湖沼の水温予測モデル、水工学論文集第35巻 pp179-184、1991
3) 渡辺健二・田中 仁・首藤伸夫：志津川湾の鉛直水温構造の変化、土木学会東北支部技術研究発表会 pp242-243、1994
4) 藤木 武：小野川湖における水温構造と水質特性に関する研究、日本大学工学研究科 修士論文 平成9年度

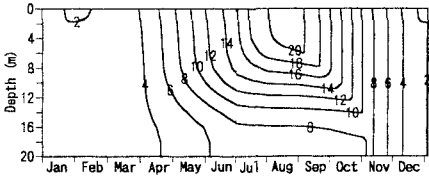


図-1 水温等値線分布図(計算結果)

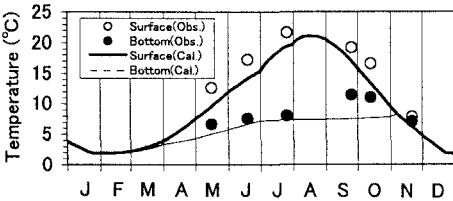


図-2 水面と湖底の水温比較図

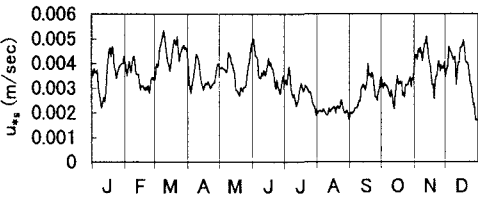


図-4 計算時の水面摩擦速度