

## II-63

## 湖沼回転率が大きく異なる湖における水温予測モデルの検討

日本大学大学院 学生員 ○山本 洋一  
日本大学工学部 正 員 長林 久夫

## 1. はじめに

湖沼の水温構造は、湖内流動をはじめ、湖の生物、化学的な特性に大きな影響を及ぼしている。水温成層が形成されると、鉛直方向の混合は妨げられ、下層において酸素の供給不足による貧酸素水塊を形成し、湖底からの栄養塩溶出が行われ、水質を悪化させる要因となる。

本研究では、湖の回転率と深度が大きく異なる小野川湖、猪苗代湖に着目し、水温の再現計算を行い計算の妥当性の検討と、各湖の水温構造を比較するものである。

## 2. 対象流域概要

図-1 に猪苗代湖流域の概要を示す。表-1 に猪苗代湖と小野川湖の諸元を示す。小野川湖は長瀬川流域の松原湖と秋元湖の中間に位置し、主な流入河川は小野川、中ノ沢川、松原川、新川である。小野川湖は流入、流出量が非常に多く、湖の回転率は 21.9 回/年と一般には水温成層の形成がされにくい流れダム湖に分類される。しかし、最深部においては例年夏期において 8m から 12m 付近にかけて明瞭な水温成層が形成される。

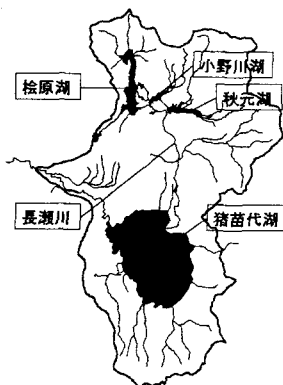


図-1 猪苗代湖流域図

表-1 猪苗代湖・小野川湖諸元

|      | 小野川湖                                | 猪苗代湖                                |
|------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 標高   | 797m                                | 514m                                |
| 面積   | 1.4km <sup>2</sup>                  | 103.9km <sup>2</sup>                |
| 流域面積 | 40.5km <sup>2</sup>                 | 820.2km <sup>2</sup>                |
| 容積   | 11.8×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3859×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> |
| 回転率  | 21.9回/年                             | 0.27回/年                             |
| 流入量  | 10.07m <sup>3</sup> /s              | 38.01m <sup>3</sup> /s              |
| 最大水深 | 22m                                 | 93.5m                               |

ら 12m 付近にかけて明瞭な水温成層が形成される。

猪苗代湖は、長瀬川最下流に位置しており、主な流入河川の長瀬川は、猪苗代湖の総流入量の 50% を占めている。湖の回転率は 0.27 回/年と非常に小さい。

## 3. 数値計算

## (1) 支配方程式

水温成層の形成や崩壊の過程を検討するために、種々のモデルが提案されているが、本研究では最も基本的な鉛直一次元熱輸送方程式を用いる。<sup>1)2)3)</sup>

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

ここで、 $T$  : 水温(°C)、 $t$  : 時間(day)、 $Z$  : 水深(鉛直下向き)(m)、 $K_z$  : 拡散係数(m<sup>2</sup>/day)、 $\rho_0$  : 基準密度(kg/m<sup>3</sup>)、 $C_p$  : 水の比熱(4.185×10<sup>3</sup>J/kg/K)である。短波放射の深さ方向への分布である熱源関数は色々な方法でパラメーター化されているが、一般的に次式で表される。

$$q(Z) = (1 - \beta) Q_s \exp(-\eta z) \dots (2)$$

ここで、 $q(Z)$  : 短波放射量のうち水中に入射する量(J/m<sup>2</sup>/day)、 $\eta$  : 消散係数、 $\beta$  : 短波放射のうち水表面近傍で吸収される割合、 $Q_s$  : 太陽からの短波放射量(J/m<sup>2</sup>/day)、ここで拡散係数  $K_z$  は以下の式を用いた。

$$K_z = \kappa u_* Z P_r^{-1} \exp(-k_* Z) f(R_i) \dots (3)$$

ここで、 $\kappa$  : カルマン定数、 $u_*$  : 水面摩擦速度、 $P_r$  : 中立状態の乱流プラントル数、 $k_*$  : 摩擦速度の減衰係数、 $f(R_i)$  : 成層関数である。

また、数値安定性の基準である  $K_z$  の上限を以下の式を用いた。

$$K_z \leq (\Delta Z)^2 / 2 \Delta t \dots (4)$$

ここで、 $\Delta Z$  : 水深間隔、 $\Delta t$  : 時間ステップである。

## 4. 対象湖の水温特性

図-2 に小野川湖と猪苗代湖の水温鉛直分布図を示す。この図は 2002 年の 8 月～11 月の各月の水温実測値である。両湖とも水温成層が見られるが、小野川湖は猪苗代湖に比べて変温層の温度勾配が小さい。11 月において小野川湖では水温成層が崩壊し、上層と下層の水温が一定であるが、猪苗代湖では上層の水温は 13℃程度とまだ成層の崩壊途中である。これは、猪苗代湖の気

温が小野川湖の気温より高いため、崩壊期の時期が小野川湖より遅くなっている。小野川湖は猪苗代湖に比べ、上層と下層の温度差が小さく、温度変温層の割合が大きい。これは猪苗代湖の湖沼回転率に比べ、小野川湖の湖沼回転率は非常に大きく、熱が拡散されるためである。

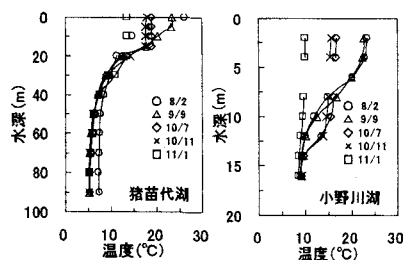


図-2 猪苗代湖・小野川湖水温鉛直分布図

## 5. 計算結果及び検討

計算に用いた気象データは、2002 年の気象月報値を用いた。猪苗代湖は猪苗代観測所、小野川湖は松原観測所のデータを用いた。風速において、実測値を再現できるような値を試行錯誤によって求め、本研究では気象月報値の月平均を 1.7 倍して用いた。また、計算の数値安定性の基準である  $Kz$  をなるべく実測値に近い値をとれるよう、 $Kz$  の上限を決める因子である計算の時間ステップを猪苗代湖で 0.1day とし、小野川湖で 0.01day として計算した。

図-3 に猪苗代湖水温鉛直分布図を図-4 に小野川湖水温鉛直分布図を示す。猪苗代湖では、計算値は実測値と良好な結果を示した。湖底では計算値と実測値は、ほぼ同値を示している。11 月の計算値は実測値と比べ、表面では 3℃程度高い値を示し、変温層の温度勾配は急勾配である。これは、風速を月平均で与えたため、風による拡散が低いことが考えられる。小野川湖において、8, 9 月は表面で、計算値は実測値よりも 3℃程度高い値を示した。これは、猪苗代湖と同様に風を月平均で与えたため、風による影響が小さい可能性が考えられる。湖底では、1, 2℃低い値を示した。また、10 月は表面ではよく合っているが、変温層の温度勾配は急勾配である。これは、流入河川の移流熱の影響が大きく、移流熱を考慮していない計算の結果であると考えられる。11 月は温度の一様化をよく再現できている。これは  $Kz$  が実測値に近い値で計算していることが言える。

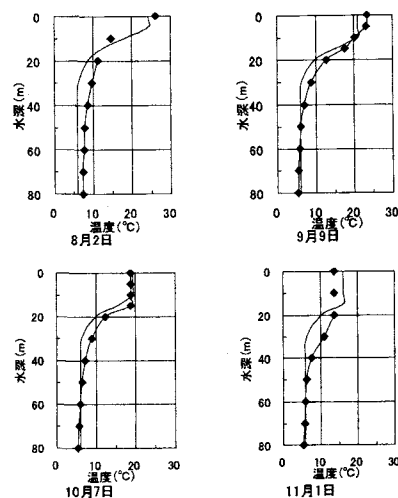


図-3 猪苗代湖水温鉛直分布図

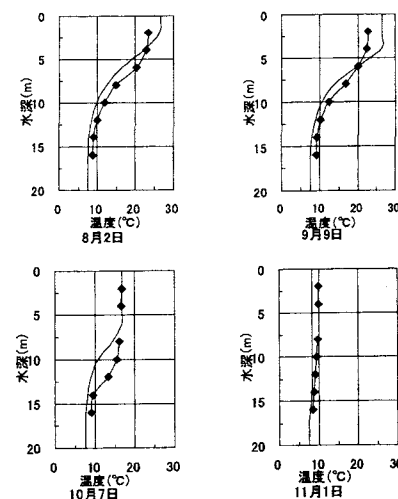


図-4 小野川湖水温鉛直分布図

## 6. 終わりに

数値計算を行った結果、湖沼回転率が小さな猪苗代湖においてほぼ良好に示された。湖沼回転率が大きい小野川湖においては、実測値と計算値に多少の違いがあり、移流熱を考慮した水温予測モデルの検討により解決できると考える。

### 〈参考文献〉

- 1) 水理公式集、土木学会 昭和 60 年度版
- 2) 新井正・西沢利栄著：水温論、共立出版
- 3) 小川裕正：日本大学工学研究科、平成 11 年度修士学位論文