

水温分布の相似関数表示を用いた対流混合過程の評価

大阪大学工学部 正 員 室田 明
 大阪大学工学部 正 員 道奥 康治
 大阪大学大学院 学生員 〇山辺 建二

1. まえがき

水温成層場での対流混合過程を予測することは水工学上重要である。Kitaygorodskiy等¹⁾は、対流時の大気温度成層の分布形が、相似関数で近似的に表現できることを示唆している。本研究では、この相似関数形を用いて簡易的に水温成層場の対流混合過程を推定する方法を示し、室内実験および Mendota湖の実測結果との比較検討を行なう。

2. 水温分布の相似関数表示

Kitaygorodskiy等は、大気混合層の温度分布を次のように無次元表示すれば、分布形を普遍的にあらわせることを示した。

$$\theta(\zeta) = \begin{cases} 0 & (-h_m/(h_t-h_m) \leq \zeta \leq 0; \text{混合層内}) \\ \zeta^4/3 - 2\zeta^2 + 8/3\zeta & (0 \leq \zeta \leq 1; \text{成層部}) \end{cases} \quad (1)$$

$\theta = \{T_s - T(z)\} / (T_s - T_h)$, $\zeta = (z - h_m) / (h_t - h_m)$
 ここで、 T_s : 混合層水温、 h_m : 混合層厚、 h_t : 全水深、 T_h : 底部水温、 $T(z)$: 深さ z における水温である。図-1, 2 は、著者らが行った鉛直一次元水温成層場の熱対流の実験値および Mendota湖の水温観測値を(1)式の無次元表示によって表したものである。図から、大気成層ばかりでなく、水温成層場においても時間の経過に関わらず、ほぼ相似関数形を保つことがわかる。

3. 水温分布形の予測手法

熱対流時の水温分布が上式のごとく相似形を保つことから、熱保存と躍層低下速度を考慮すれば水温分布の変遷を推定することが可能となる。

a) 躍層低下速度 ; Denton等²⁾の躍層低下速度の式を一般湖盆形状を有する水域に対して適用できるように変形する。さらに、(1)式を用いて温度勾配や曲率等を評価すると躍層の低下速度が次式のように得られる。

$$\frac{dh_m}{dt} = \frac{H_s A_o (h_t - h_m)}{a_1 V_m (T_h - T_s)} + (\kappa_t + \gamma_i) \left\{ \frac{A(h_m)}{V_m} - \frac{(dA/dz)_i}{A(h_m)} \right\} - \frac{a_2 (\kappa_t + \gamma_i)}{a_1 (h_t - h_m)} + \frac{\gamma_i}{0.1 h_m} \quad (2)$$

ここで、添字 i は躍層面 $z = h_m(t)$ での値を示す。 κ_t : 分子拡散係数、 γ : 渦動拡散係数 H_s : 水表面熱フラックス、 V_m : 混合層体積、 A_o : 水表面積、 $A(h_m)$: $z = h_m(t)$ における

Akira MUROTA, Kohji MICHIOKU and Kenji YAMABE

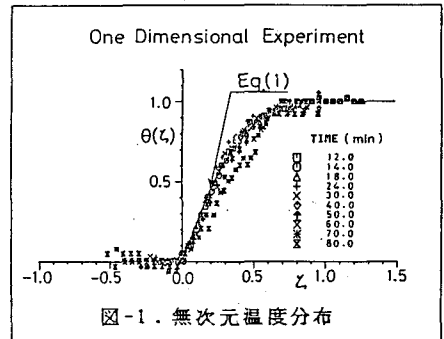


図-1. 無次元温度分布

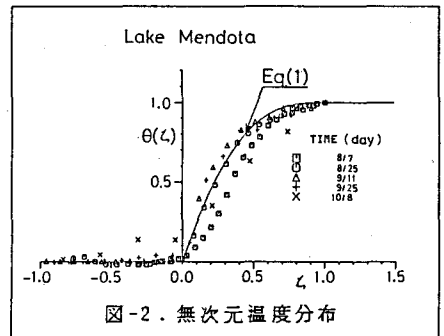


図-2. 無次元温度分布

水平面積である。Mendota湖のヒプソメトリック曲線を図-3に示す。本文では、近似的に、 $A(z) = A_0(1 - kz/h_t)$ とおく。Mendota湖の解析に対しては、 $k = 1$ 、鉛直一次元熱対流の実験に対しては、 $k = 0$ とする。 a_1, a_2 は定数である。

b) 熱保存則 ; (1) 式を用いて場の熱保存を考えると混合層水温 T_s が得られる。 $k = 1$ の場合、(3) 式のようになる。

$$T_s = \frac{2h_t \Pi(t) - 2h_t C - 2a_3 T_h (h_t - h_m)^2}{h_t^2 - 2a_3 (h_t - h_m)^2} \quad (3)$$

$$\Pi(t) = \int_{t_0}^t H_s(t) dt, C = a_3 (T_{so} - T_h) (h_t - h_{mo})^2 / h_t - T_{so} h_t / 2$$

ここで、 a_3 ; 定数、添字 o は初期値であることを示す。

(3) 式を (2) 式に代入すれば、混合層厚 h_m の常微分方程式となり、与えられた熱フラックスのもとにこれを解けば h_m, T_s さらに温度分布の時間変化が算定される。

4. 結果と考察

図-4, 5 は、各々実験および Mendota湖における混合層厚と混合層水温の経時変化を示したものである。実験値について混合層水温はよく一致しているが、混合層厚は若干大きな値を示している。Mendota湖の混合層水温はほぼ一致しているが、混合層厚は小さめの値を示す結果となる。図-6 は、Mendota湖の水温分布を示している。図-5, 6 で混合層厚が小さめに評価されているのは風の影響や境界混合、水収支等を考慮していないためと思われる。

5. 結論

相似関数を用いた簡便な方法で水温予測を行ない、ほぼ満足する結果が得られた。水温構造がほとんど水表面熱収支によってのみで支配されている水域では、

(1) 式で温度分布が表現されうと考える。そのような場合に、本解析は対流混合過程を評価する有用な方法であると考えられる。

参考文献

- 1) Kitaygorodskiy, S.A & Y.Z. Miropolskiy; Izv. Atmos. Phys., 6, pp.97-102, 1970. 2) Denton, R.A & I.R. Wood; J. Fluid Mech., vol. 113, pp.1-21, 1981.
- 3) Dutton, J.A & R. Bryson; Limnol Oceanog., vol. 9, pp.576-588, 1964.
- 4) 室田・道奥・石村; 第38回年講, pp.425-426, 1983.

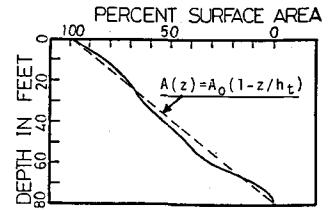


図-3. Mendota 湖の
Hypsometric Curve

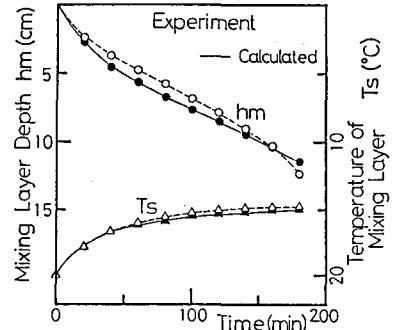


図-4. 混合層厚と水温の時間変化

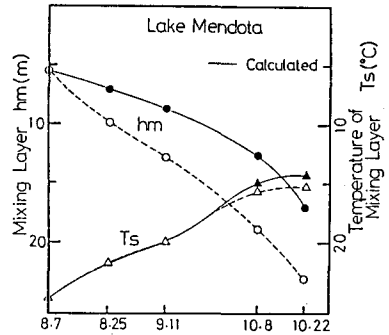


図-5. 混合層厚と水温の時間変化

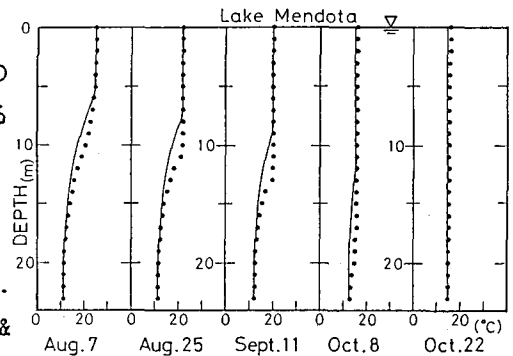


図-6. 水温分布の時間変化 (Mendota 湖)