

有限水深水域における熱収支・水温構造の解析

神戸大学工学部 正 員 道奥康治
神戸大学大学院 学生員 〇角湯克典

1. まえがき

湖沼の規模に応じて水面熱収支量は異なり、また水温成層が形成される場合とそうでない場合がある。本研究は池内の水温構造や水面熱収支量におよぼす水深の影響を検討することを目的として、各種気象量を平衡水温によって表現した水温解析モデルを開発し、流出入がなく鉛直一次的な有限水深水域の熱収支量と水温成層の年周変化過程を解析したものである。

2. 解析手法

(1) 水面熱収支量の評価方法

水面熱フラックス $F(t)$ は平衡水温 T_e を用いて次式のように表現される。

$$F(t)=k(T_e-T_m) \tag{1}$$

ここで、 T_m は表面水温、 k は顕熱・潜熱交換係数などの物理定数であらわされる熱交換係数であり、ほぼ定数とみなすことができる¹⁾。

(2) 水温構造の解析手法²⁾

表-1 躍層の低下速度の一覧

鉛直混合量（躍層低下速度）	$\frac{dh_a}{dt}$ の評価式
受熱時 :	$\frac{dh_a}{dt} = c_u \frac{u_*^3}{\varepsilon gh_a} - c_b \frac{u_b^3}{\varepsilon gh_a} \tag{a}$
放熱時 :	$\frac{dh_a}{dt} = c_u \frac{u_*^3}{\varepsilon gh_a} + c_r \frac{u_r^3}{\varepsilon gh_a} \tag{b}$
c_u, c_b, c_r : 定数, u_* : 風応力の摩擦速度 u_b : 受熱フラックスの特性速度, u_r : 放熱フラックスの特性速度 εg : 躍層界面での浮力差	

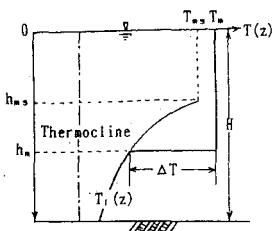
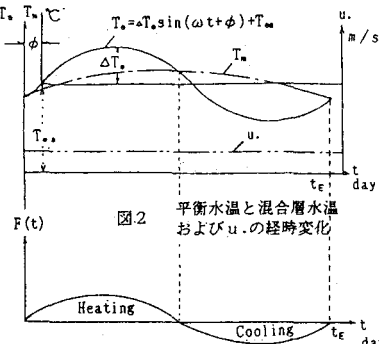


図-1のように水温 T_m 、厚さ h_m を有する表層混合層と連続的に成層化した $T_1(z)$ なる水温分布の深水層から成るとする。躍層面での鉛直混合量（表-1参照）および受熱時の成層形成過程の評価方法は先の解析²⁾と同様であり、水域内の熱保存を考慮して解析される。ただし、ここでは有限水深水域を対象としており、以下の二点を考慮する。①水面熱フラックスの安定効果が風応力の擾乱効果より小さい受熱期初期には、表-1中式(a)の右辺が正となり成層は形成されない。このとき図-1中の一点鎖線のように一様に混合しているとして水温変化を計算する。②放熱期後期に躍層が底面に達した後も全水深にわたり一様に混合するとする。



(3) 計算手順

図-2のように平衡水温が正弦変化し一様な風応力摩擦速度 u_* が作用する場合を考えて水温構造の年周変化形態を解析する。平衡水温の位相角 ϕ は一年周期の全熱収支量が0となるように水温・熱収支の年周変化を反復計算し、決定される。このようにして得られた熱収支量 $F(t)$ の収束解は図-3のように $t=0$ と $t=t_e$ において $F(t)=0$ なる条件を満足している。

(4) 支配パラメーターの導出

外的条件として風の応力と水面熱収支量、水域の条件として水深を考え、基準となる代表量として次の諸量が導出された。

・長さの代表量: $h_0 = c_w u_*^3 / c_b \alpha g k \Delta T_e$ 、・温度の代表量: $T_0 = \omega c_w u_*^3 / c_b \alpha g k^2$ 、時間の代表量: $t_0 = 1/\omega$

これらを用いて関連諸量は以下のように無次元化される。

$$(\tilde{h}_m, \tilde{H}, \tilde{z}) = (h_m, H, z)/h_c, \quad \tilde{t} = t/t_c = \omega t, \quad (\Delta \tilde{T}_e, \tilde{T}_e, \tilde{T}_m, \tilde{T}_i(\tilde{z})) = (\Delta T_e, T_e, T_m, T_i(z))/T_e$$

ここで、 $\sim$ を冠した量は無次元量を表す。このような規準化のもとでは、水温構造の解が $\Delta \tilde{T}_e = \Delta T_e/T_e$ と $\tilde{H} = H/h_c$ のみの関数となる。前者は熱収支量と風の擾乱強度の比を表し、後者は外的擾乱の大きさ（風の擾乱強度と熱収支量で決まる一種の安定度長）に対する水深の相対的な大きさを表している。

3. 解析結果と考察

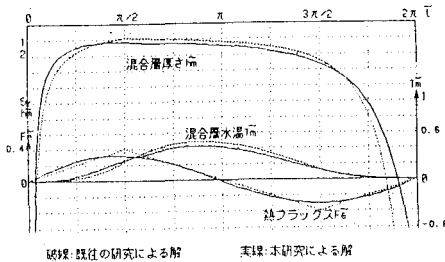


図-4 先の解析と本解析との比較

図-4に水深が無限大の水域を対象にして行った先の水温構造解析結果と本解析による結果との比較を行う。先の解析では三角形分布の熱収支量変化を与えて深い湖での水温観測結果と良好な一致を得ているが、本解析値はこれとほぼ一致する結果を得ている。しかし、同一の気象条件でも水深の小さい水域ほど熱収支量が減少するため、熱収支量を事前に与えなければならない先の解析方法によって有限水深水域の水温構造を解析する場合には、水域毎に熱収支量のデータを与えなければならない。

これに対し、本解析ではほぼ緯度・標高など地理的条件のみに依存する平衡水温を用いているため、水温構造のみならず熱収支量そのものも水域規模に応じた解として得られる。図-5に様々な水深規模の湖沼における水温観測値と本解析結果との比較を示す。水深の大きさによる躍層形成の有無、熱収支量の差異などが本解析結果によってよく再現されている。

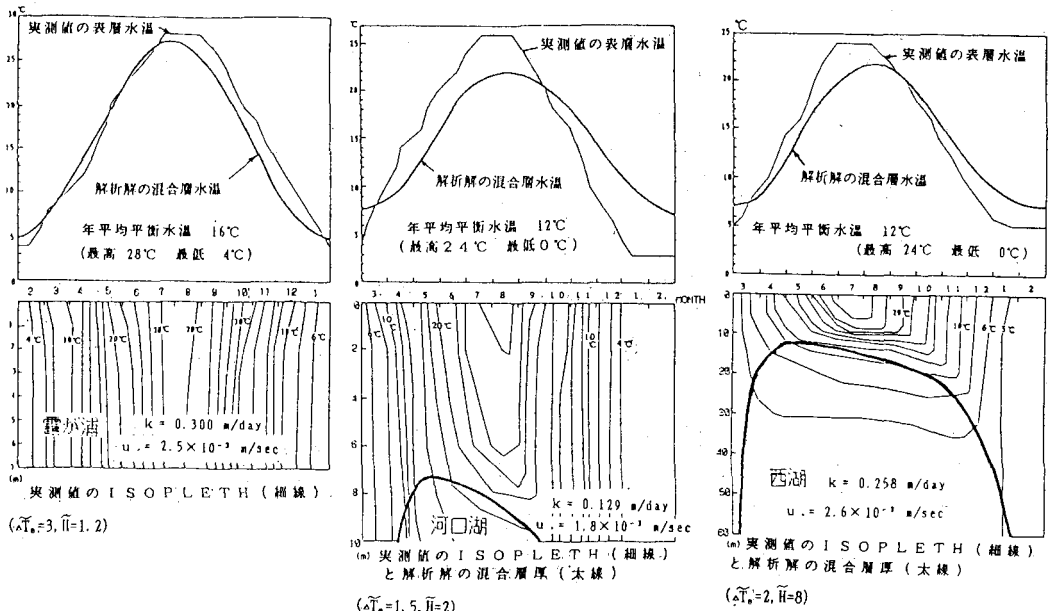


図-5 水温観測値と本解析結果との比較

参考文献

- 1) Tetzlaff, G.: The daily cycle of the water temperature of a shallow lake, "Hydrodynamics of Lakes", pp.325-330, 1979.
- 2) 室田明・道奥康治：停滞成層水域の水温構造年周変化に関する考察，第32回水理講演会論文集，pp.263-268, 1988.