

神戸大学大学院 学生員 角湯克典
 神戸大学工学部 正員 道奥康治

1. まえがき: 交換率が小さい停滞水域においては, 熱収支・風応力などの外的擾乱に加えて水域の規模, 特に水深が水温成層強度を支配する重要な因子となる. 本研究では熱収支量に關与する気象条件を平衡水温によって表現し, 有限水深水域の熱収支量と水温構造の年周変化を同時に評価し得る解析手法を示す. これによって水温成層強度を支配する無次元パラメーターが導出され, 成層型水域, 混合型水域の分類図が提示される.

2. 解析方法の概要

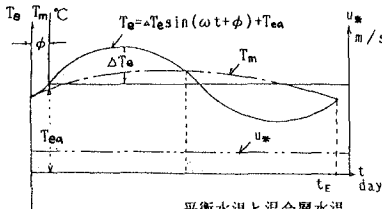


図1 平衡水温と混合層水温およびu_*の経時変化

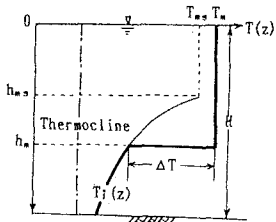


図2 モデル化された水温構造

表-1 諸量の無次元化と支配パラメーター

(1) 代表特性量	
・長さ	: $h_c = c_w u_*^3 / c_b \alpha g k \Delta T_e$
・時間	: $t_c = 1/\omega$
・温度	: $T_c = \omega c_w u_*^3 / c_b \alpha g k^2$
ここで, c_w, c_b, c_r : 定数, α : 熱膨張係数, g : 重力加速度	
ΔT_e : 平衡水温変化の振幅, k : 熱交換係数,	
ω : 角振動数 ($= 2\pi/365(\text{day})$),	
(2) 無次元諸量 (~ を冠したものが無次元量)	
・長さ	: $(\tilde{h}_e, \tilde{h}, \tilde{z}) = (h_e, H, z)/h_c$
・時間	: $\tilde{t} = t/t_c = \omega t, (0 \leq \tilde{t} \leq 2\pi)$
・温度	: $(\tilde{T}_e, \tilde{T}_m, \tilde{T}_i(z)) = (T_e, T_m, T_i(z))/T_c$
・熱収支量	: $\tilde{F}(t) = F(t)/(\omega h_c T_c)$
(3) 支配パラメーター	
$\Delta \tilde{T}_e = \Delta T_e/T_c$: [(熱収支量)] / [(風の擾乱強度)]
$\tilde{H} = H/h_c$: [水深] / [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)]

図-1に示すように平衡水温 T_e が一年周期で正弦的に変化し一定の風応力摩擦速度 u_* が作用する場合を対象として, 平均流のない水域における水温構造年周変化を解析する. 水温成層は図-2のように一様水温 T_m , 厚さ h_m の混合層と $T_i(z)$ なる水温分布をもつ連続成層部からなることを考える. 無限水深水域を対象とした先の解析¹⁾と同様にして, 系内の熱保存と躍層部での鉛直混合量を評価すれば, 水温分布の変化が算定される. ただし, 水面熱フラックスの

安定効果が風の擾乱効果より小さい受熱初期ならびに躍層が底面に達する放熱期後期においては全水深にわたり一様に混合しているものとする. 水面熱収支量は平衡水温 T_e と表層水温 T_m を用いて次式のように表すことができる.

$$F(t) = k(T_e - T_m) \quad (1)$$

式(1)において k は水面熱収支過程に関する熱交換係数であり, 近似的には物理定数と見なせる²⁾. 式(1)では気象条件を平衡水温によって集約的に表現し, 熱収支量は表層水温 T_m にも依存して自己回帰的に評価されているので, 水域規模

に応じた熱収支量が水温分布とともに解として得られる. この点, 熱収支量が計算条件として与えられる一般の水温予測解析と異なり, 水温成層特性・熱収支量におよぼす水深(すなわち水域の熱容量)の影響を分析することできる.

3. 支配パラメーターの導出

外的条件として平衡水温 T_e と風応力の摩擦速度 u_* , 水域の条件として水深 H を考えている. 本解析モデルの基礎式群から表-1の様に代表特性量が導出され関連諸量の無次元化が行われた. その結果同表(3)項のように水温構造, 熱収支量を支配する無次元パラメーターとして $\Delta \tilde{T}_e$ と \tilde{H} の二つが得られた. \tilde{H} が大きいほど「力学的に深い湖沼」であり, $\Delta \tilde{T}_e$ が大きいほど「力学的擾乱よりも熱的収支過程の貢献度が相対的に大きい湖」であることを示している.

4. 成層特性におよぼす支配パラメーターの影響

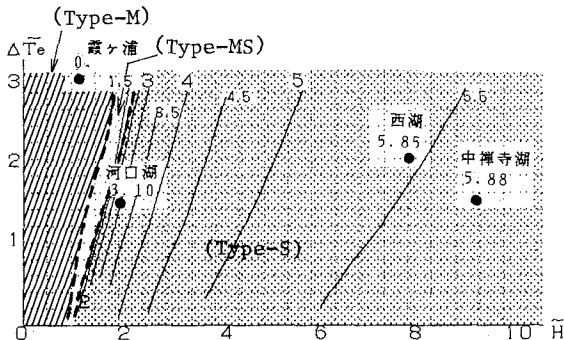


図-4 躍層維持時間 (\bar{t}_s) と \bar{H} , $\Delta \bar{T}_e$ との関係

支配パラメーター \bar{H} と $\Delta \bar{T}_e$ の変化にともなう水温構造・熱収支量の年周変化パターンの違いを図-3に示す。各図の上段は等水温線の年周変化を、下図は熱収支量 \bar{F}_e (太線), 混合層水温 \bar{T}_m (細線)の経時変化曲線を各々表している。同図より水温構造, 熱収支量におよぼす \bar{H} と $\Delta \bar{T}_e$ の影響が理解される。図-4に躍層の維持時間(成層期間) \bar{t}_s ($0 \leq \bar{t}_s \leq 2\pi$) と \bar{H} , $\Delta \bar{T}_e$ との関係を示す。また, 同図中には成層変化パターンの領域区分もあわせて示している。

ここで, [M-型]: 一年を通して成層が形成されない混合型の水域, [MS-型]: 成層が形成され受熱期の中に循環し一様に混合するタイプ, [S-型]: 受熱期に成層が発達し放熱期に一様に混合する水域, であり, これら以外の成層変化形態は見いだされなかった。同図中に大きさの異なる数例の湖沼について \bar{t}_s の観測値を併記しているが, 解析結果との適合度はよい。従来水深や湖面積(あるいは吹送距離)などの幾何学的条件のみによって成層が形成されるか否かの議論がなされてきたが, 熱的・力学的因子を考慮して湖の成層特性を論ずるべきであることが理解される。

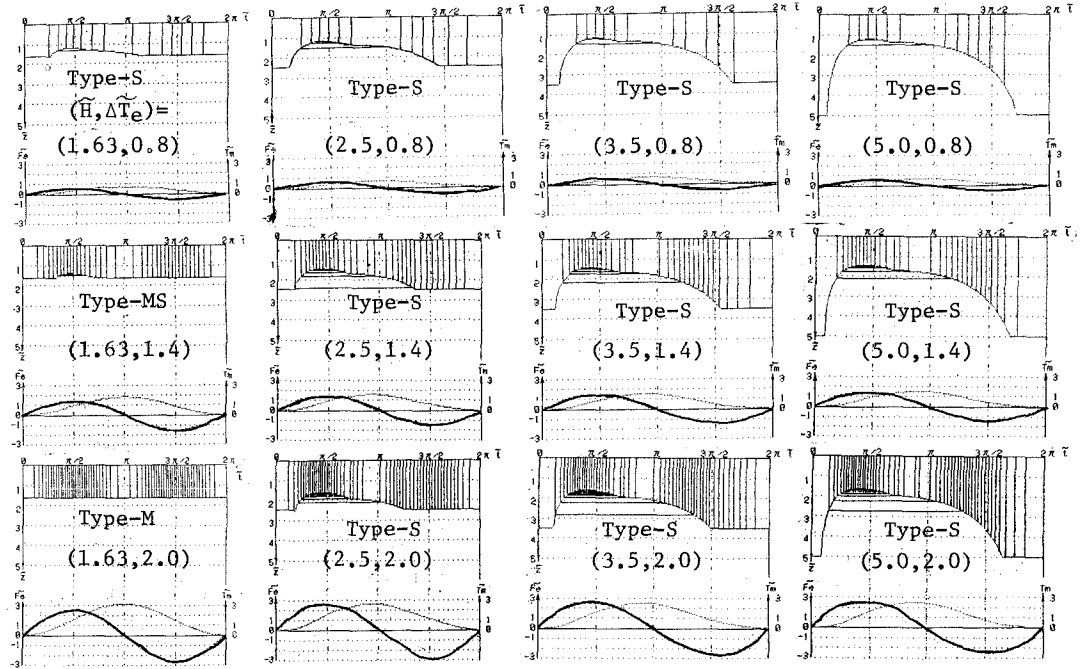


図-3 支配パラメーターの変化にともなう水温構造・熱収支量の年周変化

参考文献

- 1) 室田明・道奥康治 : 停滞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.
- 2) Tetzlaff, G.: The daily cycle of the water temperature of a shallow lake, Hydrodynamics of Lake, pp.325-330, 1979.