

大阪大学工学部 正員 道與 廉治

大阪大学工学部 正員 室田 明

電源開発(株) 正員 石村 豊

1. 序論

水表面での受熱・放熱過程は水温成層場の形成と鉛直方向の熱・水質輸送を決定づける主因である。一方、潮流効果の小さな貯水池における水平方向の熱・水質輸送に対しては湖盆形状が大きな影響を与えと考えられる。そこで本研究では水温成層場内の水平・鉛直方向熱輸送過程を理解するため図-1に示されるような鉛直一次元水槽(図中斜線部)と階段状底面を有する二次元水槽(破線部)を用いて加熱・冷却実験を行ない水温成層の変遷過程を明らかにした。

2. 実験方法

加熱はハロゲンランプの照射、冷却は自然放熱による。水を染料で着色し光の透過率を減じている。水温はサーミスタにより多点同時計測を行なっている。表-1に実験条件を示す。 H_m は加熱時間 T_h (60分)内での平均熱フラックスである。

3. 鉛直一次元水槽における対流混合過程

図-2は水温分布の、図-3は等水温線の経時変化の一例である。加熱期において Dake らの理論を、冷却期においては Denton らによる混合速度の評価式(1)式を用いた場合の計算値を図中実線で併記する。

$$dh_m/dt = H_s/h_m (\partial T/\partial z)_i + (\kappa_T + \gamma_i)/d_m - (\kappa_T + \gamma_i) \cdot [\partial^2 T/\partial z^2]/(\partial T/\partial z)_i - (\partial \gamma_i/\partial z)_i \quad (1)$$

ここで H_s は水表面熱フラックス、 κ_T ; 熱拡散係数、 γ_i , $\partial T/\partial z$; 混合層下端での渦動拡散係数およびその鉛直勾配、 h_m ; 混合層厚、 $(\partial T/\partial z)_i$, $(\partial^2 T/\partial z^2)_i$; 混合層下端での温度勾配とその曲率である。大気成層の対流現象を対象とした水温二成層の底面加熱実験によって(1)式の妥当性が確認されているが本実験のような自由水表面での冷却に対しても適用できることがわかる。

4. 逆層低下量の評価

一般に密度成層場の鉛直混合量は連行速度と Richardson 数を用いて評価される。熱対流に起因する成層侵食に対してはさらに拡散性が重要なパラメータになると考えられるがこれを定量的に評価した例は数少ない。そこで

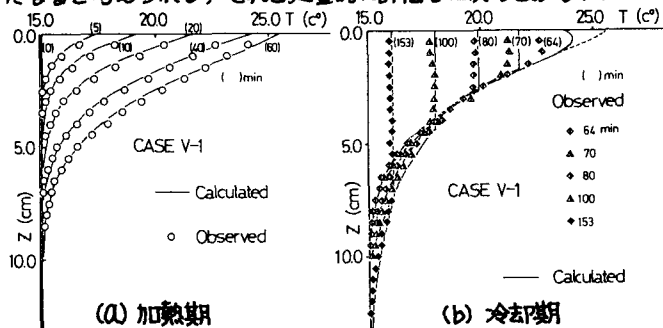
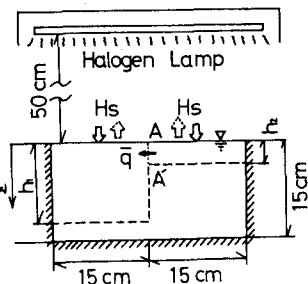


図-2 水温分布の経時変化



H_s : 水表面熱フラックス
 q : 断面平均水平方向熱フラックス
 h_1, h_2 : 深部 浅部の水深
 図-1 実験水槽と諸元

表-1 実験条件

One dimensional			
CASE	H_m [cm ² /sec]	h (cm)	
V-1	8.424×10^{-3}	15.0	
V-2	6.417		
V-3	5.000		
V-4	2.472		

Two dimensional			
CASE	H_m [cm ² /sec]	h_1 (cm)	h_2 (cm)
A-1	9.357×10^{-3}	15.0	2.5
A-2	4.869		
A-3	3.231		
BD-1	7.948	14.0	3.5
BD-2	4.746		
B-1	9.942	13.0	4.5
B-2	5.519		
C-1	9.511	11.0	6.5
C-2	4.614		

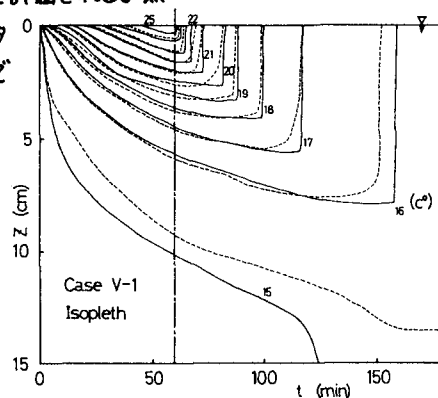


図-3 等水温線

(1)式各項が躍層低下におよぼす影響を吟味するため水面熱フラックス H_s によって定義される対流速度スケール $U_f = (\alpha H_s g h_m)^{1/3}$ (α : 膨張係数, g : 重力加速度)を用いた無次元化を行ない無次元混合速度 $E = (dh_m/dt)/U_f$ に対する普遍的な評価を試みる。Richardson 数と Péclet 数を各々 $Ri = \alpha g (\partial T/\partial z) h_m^3 / U_f^2$, $Pe = U_f h_m / K_T$ と定義すれば(1)式は次のような関数形に整理される。

$$E = (dh_m/dt)/U_f = Ri^{-1} + C_1 Pe + \text{func.}(Ri) = (Ri, Pe) \tag{2}$$

(I)
(II)
(III)

ここで C_1 は定数、右辺第三項は対流乱れによる躍層面での達行量である。本実験の範囲内ではこれは他の項に比

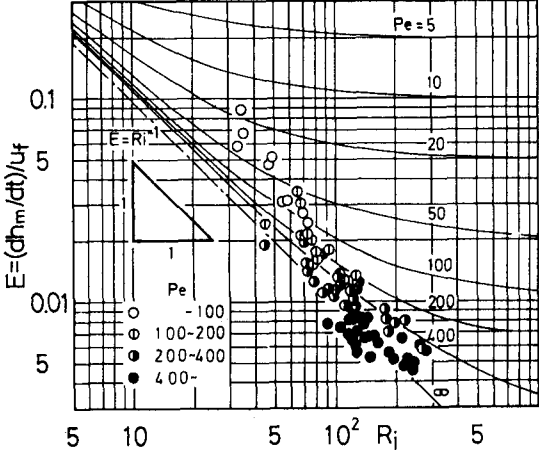


図-4(a) 無次元界面低下速度とRichardson数

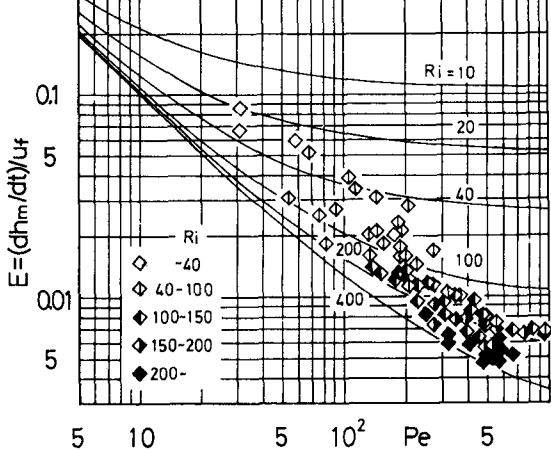


図-4(b) 無次元界面低下速度とPéclet数

べ小さかった。図-4に(2)式と実験値との比較を示す。図-4(a) から高Péclet数になるほど $E = Ri^{-1}$ に近づくことがわかり実験値もこれを裏づけている。図-4(b)はPéclet数との関係をより明確にするために E と Pe の関係として整理しなおしたものであり本実験のような小スケールの現象においては躍層低下におよぼす拡散の影響が重要であることが認識される。

5. 底面地形と水平方向熱輸送量との関係

図-1に示すような階段状底面を有する場において加熱・冷却にともなう水平方向交換流の存在が大西らの興味ある実験によって確認された。ここでは図-1中のA-A'断面を通過する断面平均水平熱フラックス $\bar{q}_m$ を浅水部・深水部での熱保存から算定し水深比 h_2/h_1 との関係を明らかにする。図-5は各水深比に対する水平方向熱フラックスの経時変化である。縦軸・横軸は各々 H_m, T_m で無次元化されている。各水深比ごとにほぼ相似な形で時間変化している。 $0 \leq t/T_h \leq 2$ の間では $\bar{q}_m/H_m$ が正であり(浅水部)→(深水部)の熱輸送が、 $t/T_h \geq 2$ では逆向きの熱輸送が生じている。また無次元熱フラックスはほぼ水深比 (h_2/h_1) のみによって規定されている。図-6は加熱期での $\bar{q}_m/H_m$ の時間平均値 $\bar{\bar{q}}_m/H_m$ と h_2/h_1 の関係を示す。これよりいずれのケースも $\bar{\bar{q}}_m/H_m \propto (h_2/h_1)^2$ なる同一曲線上にのり上述のことが裏づけられる。

【参考文献】

- 1) Dake, J. M. K. and D. R. F. Harleman; Water Resources, Res., 5, 1969.
- 2) Denton, R. A. and I. R. Wood; J. Fluid Mech., 113, 1981.
- 3) 大西外明他; 第27回水理講演会論文集, 1983.

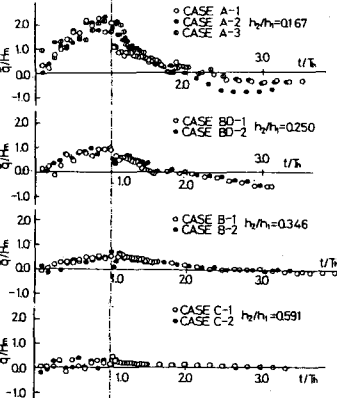


図-5 水平方向熱フラックスの時間変化

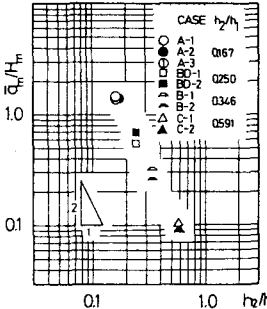


図-6 加熱期の平均水平方向熱フラックスと水深比