

大阪大学大学院	学生員	黒川純一良
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

1 はじめに

一定の底面勾配を有する二次元熱塩成層場における対流混合過程の定性的側面を前回報告¹⁾した。今回は実験を追加し成層浸食量ならびに水平方向輸送量を定量的に評価して対流に伴う二次元熱塩成層場での水質輸送について興味ある結果を得たので報告する。

2 実験方法と条件

実験は図-1に示すような一定勾配を有する二次元水槽において熱塩二成層を作成して行った。熱対流強度と密度安定度による現象の相違を調べるため実験条件を表-1のように設定した。ここで T_1 は初期上層水温、 T_2 は初期下層水温、 T_a は基準水温、 ΔS は下層塩分濃度である。

3 実験結果と考察

3.1 成層浸食過程 ; 図-2に示すように水面での冷却によって対流が発生し下層水は上層に巻きあげられる。下層水が上層に連行されるため境界面位置はしだいに低下していく。図-3に下層体積の経時変化を示す。現象の進展に伴い下層体積が大きく減少する不安定型の実験ケースとほとんど一定値をとる安定型の実験ケースに大別される。安定型の現象においては成層安定度： $Ri = \epsilon gh / U_f^2$ (ここに、 ϵ は上・下層の有効密度差、 h は上層平均層厚、 U_f は境界面の浮力フラックスから得られる対流速度)が時間とともに増加する。よって $d Ri / dt = 0$ を安定型になるか不安定型になるかの臨界条件とすると安定であるための初期実験条件が次式のようになる。

$$Ri = \frac{\epsilon gh}{U_{f0}^2} = \frac{0.02 \cdot L \cdot \eta}{V_{10} \cdot U_{f0}} \quad \text{①}$$

ここで、 L は初期界面長、 V_{10} は上層の初期設定体積、 U_{f0} は初期対流代表速度、 η は水表面熱フラックスが時間とともに減衰するとした時の減衰係数である。①式の関係を実験値とともに示すと図-4のようになり初期実験条件より①式を用いて安定型、不安定型の判別が可能となる。

3.2 水平・鉛直方向輸送量 ; 図-5に示すような二層系を考え、 X を含む区間 (x_n, x_{n+1}) の上・下層における熱塩保存則より水平方向・鉛直方向の輸送量を評価する。ここで、 V_n は体積、 T_n は層内平均温度、 F_{Tn} は水平方向熱フラックス、 U_{en} は界面連行速度、 H_s は水表面からの逸散熱フラックス、 x_n は水平方向座標、 h_n は上・下層厚である。鉛直方向輸送量は密度境界面における界面連行によってもたらされる。界面連行速度： U_e は

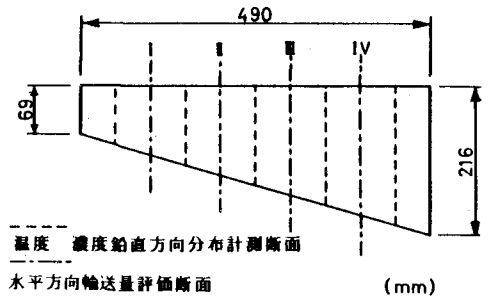


図-1 実験水槽

CASE	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$T_a(^{\circ}\text{C})$	$\Delta S(\%)$
D-1	35.1	30.1	12.0	0.200
D-2	40.1	35.1	12.0	0.200
D-3	41.8	36.8	14.2	0.100
D-4	35.0	30.0	12.2	0.050
D-5	40.0	35.0	12.2	0.050
D-6	49.0	44.0	15.2	0.100
D-7	52.1	47.1	14.0	0.100

表-1 実験条件

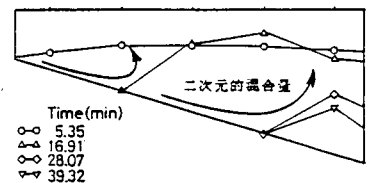


図-2 現象の概観

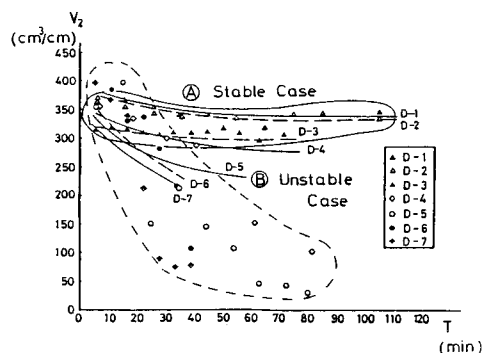


図-3 下層体積の経時変化

鉛直一次元混合実験より得られた②式の関係²⁾を用いる。

$$\frac{U_e}{U_f} = 0.02 R_i^{-1} \quad \text{—————} \quad (2)$$

②式を用いて下層体積の変化を推算すると図-3の各曲線のようになる。安定型の実験ケースでは推算値と計測値はよく一致しているが不安定型では②式より算定される浸食量は計測値よりも過小評価されていることがわかる。この原因の第一としては R_i の非常に小さな範囲（不安定型）にまで②式を適用することの不正確さが考えられる。加えて安定型では準鉛直一次元の混合のみであるのに対し不安定型では界面低下に伴い界面と傾斜底面の交差点付近で局所的な巻き上げによる混合が加わってくるが②式ではそのような二次元的混合量が考慮されていないことも原因であると考えられる。そこで安定型のケースに対してのみ②式より得られる U_e を用いて鉛直混合量を評価し各断面間で以下のような熱・濃度の保存式から水平方向輸送量、 F_T 、 F_S を算定する。区間Xの上層の熱保存式は③式のように表わされる。

$$V_n \frac{dT_n}{dt} = F_{T,n} h_n - F_{T,n+1} h_{n+1} + U_{e,n} (T_n^2 - T_n^1) L_n H_s L_n \quad (3)$$

下層内および濃度の保存式は③式中の $Hs = 0$ として同様に評価される。図-6 はこのようにして求めた各計測断面における水平方向塩分濃度輸送量を示したものである。I 断面が浅水深側、IV 断面が深水深側である。輸送量の符号は深水深側への輸送を正とする。U.L は上層、L.L は下層であることを示す。図-7 は水平方向濃度勾配と水平方向濃度輸送量の関係を示したものである。熱対流の影響の大きい上層内では水平方向塩分輸送量は大きいが下層内ではほとんど 0 に近い値である。また、塩分輸送は水平方向濃度勾配によって生じしそれを解消する方向へ移送を進める。よって図-6 に示すように時間経過に従い水平方向濃度勾配が減少し輸送量の絶対値は減少していく。ここで、水平方向輸送量が移流と拡散より成るとしてこれを近似的に④式のように表わす。

$$F_s = U_n \cdot \Delta S_n + K_s \frac{\Delta S}{\Delta x} n \quad \text{--- (4)}$$

ここで、 ΔS_n は各断面における濃度差、 Δx はその水平距離、 U_n は代表移流速度、 K_s は塩分濃度の分子拡散係数である。式中の拡散項の寄与分はきわめて微小であり大部分は移流項によるものとなる。また、 U_n の値を適当に与えて算定した④式の関係を同図中に示している。 $D-3$ 、 $D-2$ 、 $D-1$ の順に初期密度安定度を小さく設定している。概ね、安定度の小さいケースほど速度スケール U_n の大きさが大きくなることが図-7よりわかる。

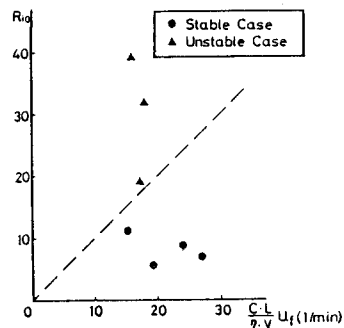


图-4 临界条件

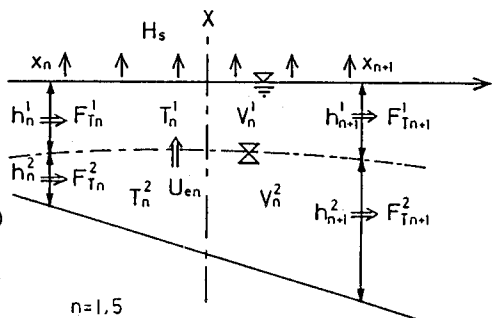


図-5 二層系のモデル

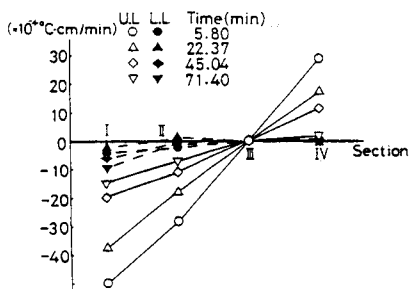


图-6 水平方向盐分浓度输送量

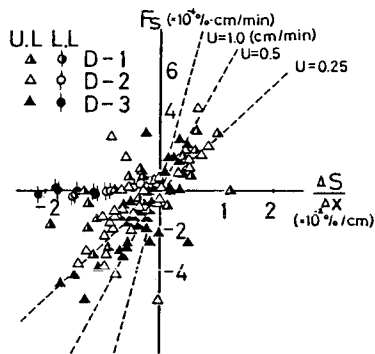


図-7 水平方向フラックスと濃度勾配との関係

- (参考文献) 1) 山辺、室田、道奥;第38回年次学術講演会概要集,1983.
2) 室田、道奥;第27回水理講演会論文集,1983.