

熱塩密度境界面における連行現象について

大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学工学部 〇正員 道奥 康治
 電源開発(株) 正員 向井 伸幸

1. 序説; 熱対流による密度成層の混合を明らかにする目的で塩淡水二成層界面を底面から加熱する実験を行ない密度界面での界面変動・熱輸送量を定量的に評価した。また実験で得られたフラックス則を用いて熱塩二成層の時間的変遷を推定し実験値と比較した。

2. 実験方法・条件; 図1に示すような鉛直一次元水槽の中に塩淡水二成層を作成し底面に設置したヒーターによって一様に加熱した。温度・塩分濃度は各々サーミスタ温度計・電導度計を用いて測定した。界面変位はシャドウグラフ法を用いて可視観測しビデオカメラに収録した。実験条件を表1に示す。

3. 熱塩密度境界面での混合形態; 加熱を開始すれば初期の間ほやけていた密度界面はしだいに明瞭となる。この時点で上・下層内は一様に対流していると考えられる。しかし密度勾配の大きな界面では熱および物質は分子拡散的にしか輸送されずいわゆる二重拡散過程が存在している。さらに加熱にともない有効密度差が減少すれば微弱で不規則な界面変動が発生する。その振幅は時間とともに増大し間歇的な水塊混入が始まる。このような界面連行は擾乱格子による成層侵食と同様であり大部分のケースは熱源に近い下層側の体積増加が生じた。最終的には変動が水深スケールに到り全層一様に混合する。図2は約1分間の観測時間内における界面最大変位 H をビデオ解析により求めて下層水深 h_2 で無次元化し界面安定度 $R_p = \Delta\rho_s / \Delta\rho_T$ ($\Delta\rho_s$:塩分密度差, $\Delta\rho_T$:温度密度差)との関係を示したものである。本実験の範囲内では H/h_2 は R_p のみの関数であり $R_p=2.8$ 付近から R_p の減少とともに急増していることがわかる。図3は同じく縦軸に H/h_2 をとり無次元熱フラックス F_T/F_p (F_T :界面を通過する熱フラックス, F_p :界面と同じ温度差を有する平板上の熱フラックス)との関係を示す。同図から界面変動の増大と熱フラックスとの明確な相関が認められる。

4. 界面を通過する熱輸送量; 次に密度界面を通過する熱フラックス F_T を求め界面安定度 R_p との関係を考察する。図4は無次元熱フラックス F_T/F_p と R_p との関係である。図中点線

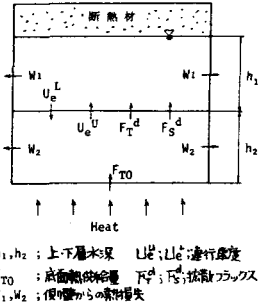


図1 実験装置と諸量

CASE	h_2 (cm)	h_1 (cm)	S_2 (%)	F_{T0} ($cm^2 C/s$)
TL1	5.1	14.9	0.453	0.0567
TL2	7.5	12.5	0.473	0.0528
TL3	9.9	10.1	0.461	0.0564
TL4	12.6	7.4	0.500	0.0525
TL5	15.1	4.9	0.427	0.0567
TL6	5.0	15.0	0.217	0.0508
TL7	7.5	12.5	0.307	0.0513
TL8	10.0	10.0	0.227	0.0575
TL9	15.1	4.9	0.246	0.0568

表1 実験条件

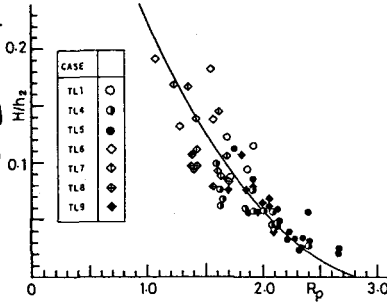


図2 無次元界面変位と安定度

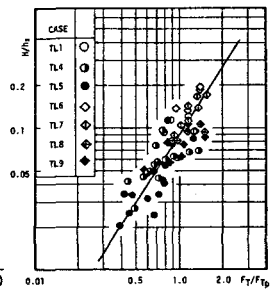


図3 無次元界面変位と温度フラックス

図4は無次元熱フラックス F_T/F_p と R_p との関係である。図中点線

図4は無次元熱フラックス F_T/F_p と R_p との関係である。図中点線

Akira MUROTA, Koji MICHIOKU, Nobuyuki MUKAI

はTurnerの実験曲線である。これは連行による上下層の体積変化を無視し $F_T = h_1(dT_1/dt) = F_{T0} - h_2(dT_2/dt)$ として求めた熱フラックスである。一方、一点鎖線は体積変化を考慮し $F_T = d(hT_1)/dt = F_{T0} - d(hT_2)/dt$ として求めたCrapperの実験曲線である。本実験での F_T は後者で定義しておりCrapperの値に近い値を示している。これより熱塩対流においても成層侵食効果 dh/dt (or dh_2/dt)を評価する必要のあることがわかる。次に輸送量が連行フラックス $LeaT$ と二重拡散フラックス F_d^A からなると考え F_T/F_p をこれら二成分に分けて Rp との関係を示す。図5は無次元連行フラックス $LeaT/F_p$ と Rp 、図6は無次元拡散フラックス F_d^A/F_p と Rp との関係である。連行フラックスは水塊の直接混入に起因する混合量であり $Rp \leq 28$ で連行量が急増大することは図2の結果と対応している。これより可視観測で認められる移流的物質輸送が定量的な評価においてもあらわれることが示された。

5. 二成層の時間的変遷

図4~図6中の輸送量に関する実験曲線(実線)を用いて熱塩二成層の時間的変遷を推定する。推定値は上下層の塩分濃度・温度・体積に関する各保存式を初期条件のもとに積分することにより得られる。一例として図7に温度 T_1, T_2 、塩分濃度 S_1, S_2 、図8に温度・塩分密度差 $\Delta\rho, \Delta\rho_s$ 、界面安定度 Rp の時間変化を示す。これらより上記フラックス則による推定がほぼ妥当であることがわかる。

最後に実験・解析の面で御協力頂いた本学院生石村豊君に謝意を表す。
 <参考文献> 1) Turner, J.S.; Int. J. Heat Mass Trans., 1965 2) Crapper, P.F.; Deep-Sea Res., 1975 3) 室田道興; 氷講論文集, 1982

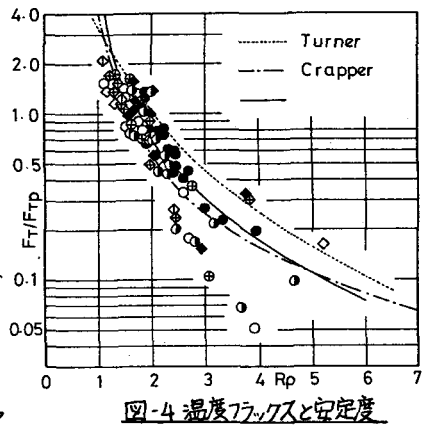


図-4 温度フラックスと安定度

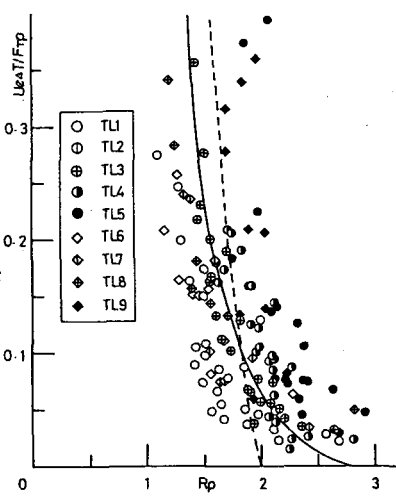


図-5 連行フラックスと安定度

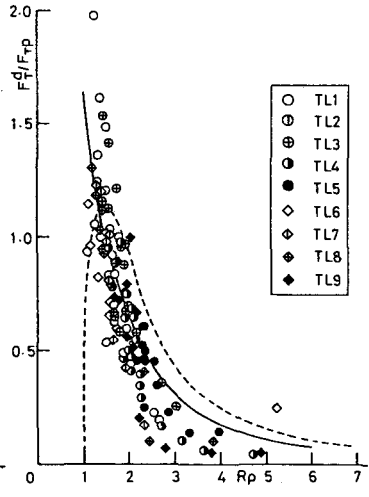


図-6 拡散フラックスと安定度

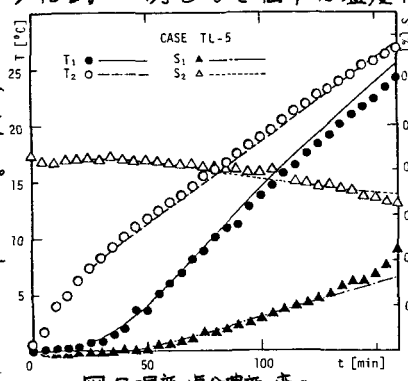


図-7 温度・塩分濃度の変化

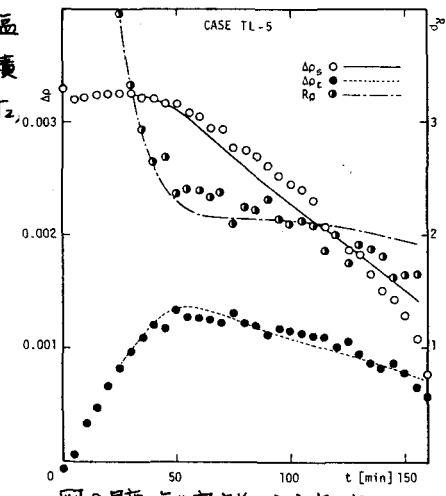


図-8 温度・塩分密度差と安定度の変化