

II-209 熱塩密度界面における塩分、熱の輸送現象に及ぼすせん断流の効果について

芝浦工業大学 正員 菅 和利
 東京大学工学部 正員 玉井 信行
 芝浦工業大学大学院 川面 博

1. はじめに

熱塩成層を利用して、下層流体に熱エネルギーの貯留を行なう際の放熱期の界面現象を対象として、界面で生じる熱、塩分の混合現象の解明を行なった。本研究では上層に流れが生じている場合を考え、水面からの放熱が生じる冬期の現象を、逆に下層から熱を加えることで実験的に再現し、界面の低下速度、塩分、熱の輸送現象の定量評価を試みた。実験では、底面から熱を加える場合の熱的擾乱に比べてせん断流の相対的な効果を検討する為に、上層のレイノルズ数を600—1500の範囲で変化させた。本報告ではこれら実験ケースの内レイノルズ数の比較的大きなデータについて考察を加えたものである。

2. 実験方法の概要

外壁には断熱材を付設して外界への熱損失を防止した水槽の底面にシリコンラバーヒーターを張り、一定の熱量を加えるようにし、上層の界面上に一方方向の流れを生じさせるように流入及び配水用のノズルを取りつけた装置を用いた。下層全体に生じる対流を防止する為に金網を配置した。初めに着色した塩水を水槽の所定の高さまで満たし、流入ノズルより一定淡水量を流入して定常状態になった後に底板より下層に一定熱フラックスを与えた。上層、下層で水温、塩分濃度、流速をサーミスターニアライザー、伝導度計、水素気泡法により5分間隔でそれぞれ測定し、上層に輸送される熱、塩分を算定した。

3. 界面を通過する塩分及び熱の輸送量について

せん断流の存在する場では、対流（熱的擾乱）、分子拡散に加えてせん断連行によって界面では熱と共に塩分が輸送される。塩分による密度差、温度による密度差を用いてそれぞれ記述したレイリー数の比 $R_\rho = \beta \Delta S / \alpha \Delta T$ は対流に対する界面の安定性を表すパラメーターとしてTurnerによって導入されている。せん断流のない場合には $R_\rho > 2$ では界面は安定で、 $R_\rho < 2$ では不安定となり $R_\rho = 2$ を境にして輸送形態が変化することが知られている。図-1、図-2は界面を通して輸送される塩分 βF_s と熱 αF_t 及びその比 $F_\rho = \beta F_s / \alpha F_t$ を示したものである。なお実線はTurnerの結果であり、黒丸は熱を、白丸は塩分を示す。図-1はレイノルズ数が880の場合で、図-2はレイノルズ数が1450の場合である。 R_ρ の全域にわたってせん断流の存在による連行によって塩分の輸送量が大きくなっており、又熱対流による界面が不安定となる $R_\rho < 3$ —

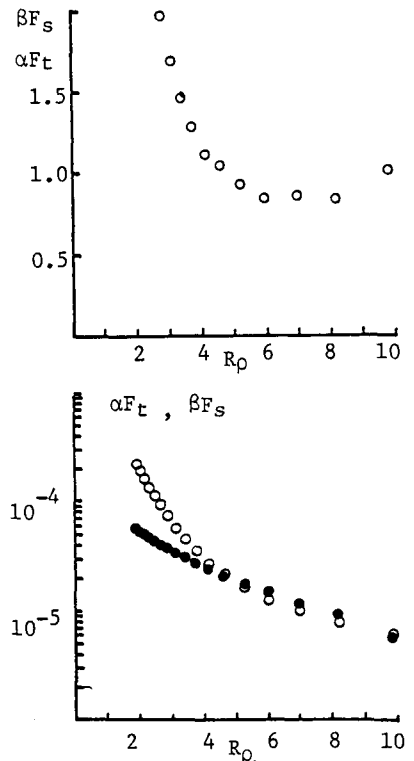


図-1 塩分、熱の輸送量

4を境として塩分の輸送量が急激に増加することが知られる。レイノルズ数が大となると(図-2)熱の輸送量は現象し、他方塩分の輸送量が大きくなり F_p の値は下に凸な形となる。 R が3-4以上では塩分の輸送量はほぼ一定値であり、これは連行と分子拡散による輸送によるものと思われる。しかし連行による輸送が卓越している。又 R_p が3-4以下では熱対流による界面不安定の為にせん断流がない場合でも塩分の輸送の増加は急激となるが、この成分に加えてせん断流による連行の作用が重なって塩分の輸送が急激に大きくなるとと思われる。他方熱は、せん断連行による混合によって界面での温度勾配がゆるやかになる為に、分子拡散による輸送が R_p の全域にわたって減少する。このようにせん断流が存在する場合には、塩分の輸送量は増加し、他方熱の輸送量は減少することがこのように知られた。

3. 連行速度

せん断連行による界面の低下速度

$$We = dh/dt \quad (1)$$

を連行速度と定義する。図-3は上層厚さ h の時間変化を示したものであり、 $R_p = 3$ 付近で連行による混合が盛んになり層厚の増加率が大きくなることが見られる。従来の整理の仕方から従って層平均リチャードソン数に対して連行係数 $E = We/U$ をプロットしたのが図-4である。

$$R_1 = \frac{\Delta \rho gh}{\rho U^2} \quad (2)$$

ここに h は上層厚さ、 $\Delta \rho$ は上下層の密度差、 U は上層の平均流速である。

図中実線はせん断流での経験式 $E = 0.002 \times R_1^{-2/3}$ を示したものである。実験データはリチャードソン数の狭い領域に分布しているが、直線関係の存在することが知られる。又この図には示されていないが、レイノルズ数が大きくなるに従って連行係数の値が実験の間では余り変化しない。これは、せん断流による界面変動の効果が熱による擾乱の効果より卓越する為と考えられる。このようにせん断流に熱フラックスによる熱的擾乱が加わった場合にはせん断流のみに比べて連行係数が大きくなることが知られる。熱成層では連行係数に分子拡散の効果が無視出来ないが、本実験のようにさらに熱フラックスが作用すると減少は複雑である。

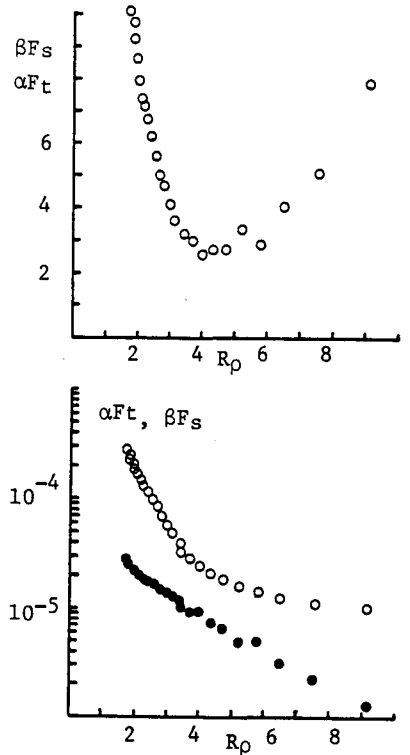


図-2 塩分、熱の輸送量

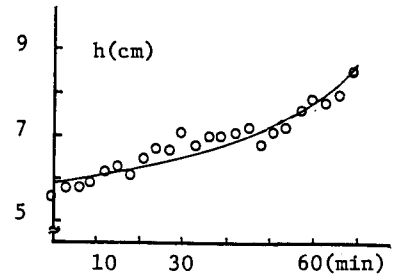


図-3 層厚の時間変化

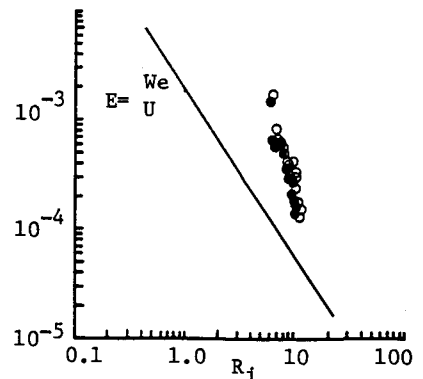


図-4 連行速度