

芝浦工業大学 正員 菅 和利  
 東京大学工学部 正員 玉井 信行  
 東日コンサルタント 久保 豊

### 1. はじめに

上層にはせん断流が存在し、下層から熱フラックスが与えられる熱塩界面では、

- 1) 熱的擾乱による混合      2) 分子拡散による混合      3) せん断連行による混合

の三成分が複雑に関連し合っ、塩分、熱の輸送現象を複雑なものにしている。本研究では、これら三成分を分離して評価することを試みた。

### 2. 連行速度

せん断流において底板から熱フラックスが加わらない場合の界面を通して上層に輸送される熱と塩分の単位幅、単位長さ当たりの輸送量は次式で記述されると仮定する。

$$\frac{Uh\beta F_s}{L} = We\beta\Delta S \quad (1) \quad \frac{Uh\alpha F_t}{L} = We\alpha\Delta T \quad (2)$$

ここに  $h$ 、 $U$  は上層の層厚さ及び平均流速、 $L$  は測定区間の長さである。上層厚さの時間変化から求めた連行速度  $We = dh/dt$  を式 (1)、(2) に代入して  $Uh\beta F_s/L \sim We\beta\Delta S$ 、

$Uh\alpha F_t/L \sim We\alpha\Delta T$  を図示したのが図-1 である。この図はレイノルズ数が 1270 でせん断流

の効果の比較的大きな場合である。図中黒丸は熱、白丸は塩分についてである。なお図中の実線は式 (1)、(2) を示したものである。

単位幅、単位長さ当たりの塩分、熱の輸送量は式 (1)、(2) よりずれており、この差が分子拡散、対流による輸送分と思われる。

### 3. 熱的擾乱による混合量

底板からの流入熱フラックスが存在する場合の対流による塩分、熱の輸送量をそれぞれ  $\beta F_{st}$ 、 $\alpha F_{tt}$  とすると式 (1)、(2) は次のように書き直すことが出来る。

$$\frac{Uh\beta F_s}{L} = We\beta\Delta S + \beta F_{st} \quad (3)$$

$$\frac{Uh\alpha F_t}{L} = We\alpha\Delta T + \alpha F_{tt} \quad (4)$$

すなわち図-1 の直線からのずれを対流による輸送量として評価を行なったものである。式 (3) (4) より求めた  $\beta F_{st}$  と  $\alpha F_{tt}$  の

比をTurnerに倣って整理したのが図-2、図-3 である。図-2 はレイノルズ数が 880 とせん断流の効果の比較的小きな場合で、図-3 はレイノルズ数が 1550 でせん断流の効果の大きな場合である。

図-2 によると  $R_\rho$  が 3-4 より大きくなると  $F_\rho = \beta F_{st} / \alpha F_{tt}$  の値は 0.15 に近くなることが見られる。このことは、対流に対して安定な領域では、レイノルズ数が小さな場合にはせん断連行

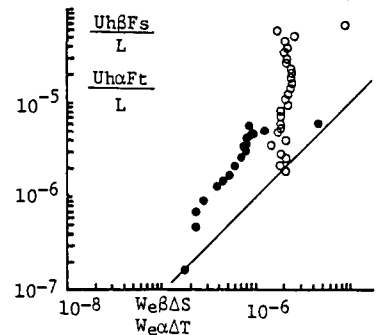


図-1 連行量

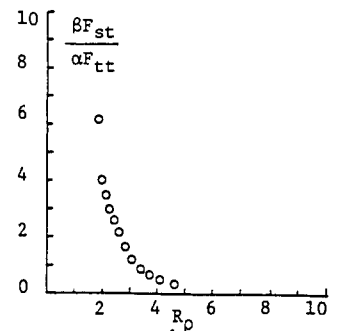


図-2 熱的擾乱による混合量

による混合を差し引いたものは、せん断流の存在しない場合での輸送現象と同等と考えることが出来る。従ってレイノルズ数の小さな場合、 $R_p > 3-4$  の領域ではせん断連行による輸送形態が、せん断流が存在しない場合での輸送形態に付加されると見ることが出来る。又  $R_p < 3-4$  の領域では、対流による塩分の輸送量が熱の輸送量に比べて急激に増加していることがこの図からも見られる。図-3はせん断流の効果の大きな場合で、下に凸な形をしている。これは、 $R_p < 3-4$  の領域では塩分の輸送量が急増し、他方  $R_p > 3-4$  の領域では熱の輸送量が減少するためである。せん断連行による混合の結果塩分、温度分布の界面近くでの勾配が小さくなる為、拡散係数の大きな熱の輸送量が著しく減少するものと考えられる。

#### 4. 分子拡散による輸送

分子拡散による塩分、熱の輸送量  $\beta F_{sd}$ ,  $\alpha F_{td}$  を次式で表示する。

$$\alpha F_{td} = K_t \frac{d\alpha \Delta T}{dz_t} \quad (5)$$

$$\beta F_{sd} = K_s \frac{d\beta \Delta S}{dz_s} \quad (6)$$

$K_t$ ,  $K_s$  は熱、塩分の拡散係数である。温度分布、塩分分布から式(5)、(6)を用いて求めた  $\beta F_{sd}$ ,  $\alpha F_{td}$  を示したのが図-4、5である。図-4によると分子拡散による塩分の輸送量は、

$R_p > 3-4$  ではほぼ一定で、 $R_p < 3-4$  で急減している。この領域では連行による混合が強く、塩分分布の勾配がさらに小さくなる為である。しかし熱の場合には、下層から常に熱フラックスを与えているために  $R_p$  が小さくなるに従って温度差が大きくなり、分子拡散による輸送量が漸増している。又図-5はレイノルズ数が図-4より大きな場合であり、熱、塩分の輸送量が共に減少していることを示している。前述した、温度分布、塩分分布勾配が小さくなる為である。

#### 5. 熱フラックスの分子拡散への影響について

底板からの熱フラックスの効果が拡散のみに影響すると考えると、次のように書き直すことが出来る。

$$(U_h \beta F_s / L - \beta F_{sd}) / U \beta \Delta S = W_e / U \quad (7)$$

$$(U_h \alpha F_t / L - \alpha F_{td}) / U \alpha \Delta T = W_e / U \quad (8)$$

式(7)、(8)の左辺は連行係数を示すので、リチャードソン数に対してプロットしたのが図-6である。上層厚さの時間変化より求めた連行係数とリチャードソン数の図とは一致しておらず、流入熱フラックスは拡散のみに影響を与えるものではなく、他の要因にも影響を与えていることが知られる。

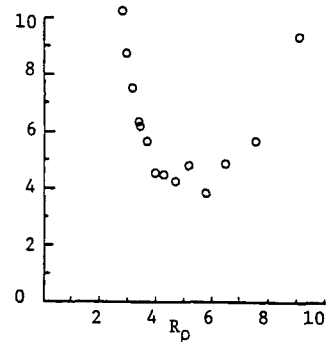


図-3 熱的擾乱による混合量

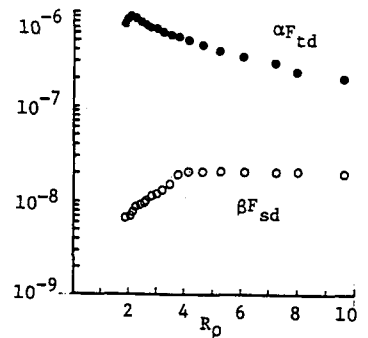


図-4 分子拡散による混合量

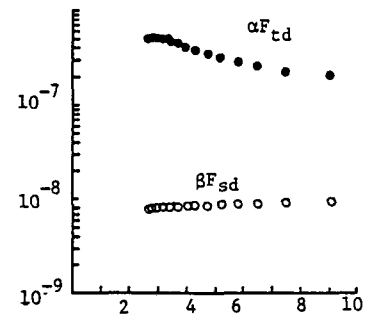


図-5 分子拡散による混合量

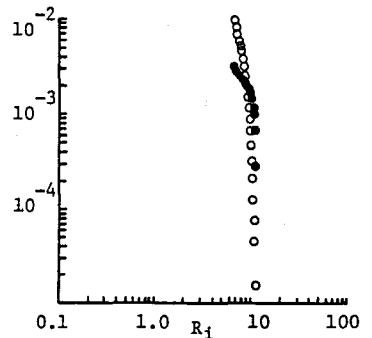


図-6 連行係数