

II-336

熱塩対流の数値シミュレーション

神戸大学工学部 正員 道奥 康治
Univ. Karlsruhe, BRD Erich PLATE

1. まえがき 熱塩成層場で生ずる二重拡散現象を乱流モデルによって再現する。図-1に示すような線型成層場の底面から熱フラックス H_s を供給した場合に発生する熱塩対流現象の数値シミュレーションを行う。温度は重力的に不安定勾配、濃度は安定勾配を成す。乱流モデルはMellor & Yamadaの"Level-2.5 Closure Model"¹⁾である。

2. 関連物理量と基礎方程式 現象を支配する関連物理量は、① $(dS/dz)_i$: 初期濃度勾配；② H_s : 底面からの熱フラックス ($^{\circ}\text{Ccm/sec}$)；③ α : 熱膨張係数；④ β : 塩分濃度の密度への換算係数、⑤ g : 重力加速度；⑥ κ_T 、⑦ κ_S : 熱と物質の分子拡散係数、である。一方、基礎方程式は、熱および物質の保存式、乱流二次相関項各成分の保存式とそれらから誘導される乱れエネルギー保存式、である。以下に示す解析結果はすべてこれらによって無次元化されており、各水理量に「 $\sim$ 」を冠する。

3. 支配パラメーター 基礎方程式を上記関連物理量によって基準化し、支配パラメーターとして次の二つを得る。

(a) 熱塩Peclet数: $Pe_T = W_* L_* / \kappa_T = (\alpha g H_s) / [\kappa_T \{-\beta g (dS/dz)_i\}] \cdots$ [熱フラックスの対流起動力] / [(濃度場の浮力安定効果) $\times$ (熱拡散の不安定温度勾配解消作用)]、の比をあらわす。 Pe_T が大きいほど対流強度が大きく鉛直混合が活発である。

(b) Louis数: $\tau = \kappa_S / \kappa_T \cdots$ 二重成層を構成する二つの物質の分子拡散係数比。ここで対象とする熱塩成層の場合、 $\tau = 0.01$ である (cf. 「 T : 塩分濃度— S : 砂糖」の組合せの場合、 $\tau = 0.143$)。

4. 数値計算法 四点陰形式差分法によって基礎方程式を差分化する。Newton-Raphson法によって非線型差分方程式を逐次近似し数値積分を行う。

5. 解析結果

(1) 熱塩密度場の時間発展 図-2に水温 $\tilde{T}$ と乱流強度 $\tilde{q}^2 (= \tilde{u}^2 + \tilde{v}^2 + \tilde{w}^2)$ の時間発展に関する解析例

($Pe_T = 19.02, \tau = 0.01$)を示す。横軸は時間 $\tilde{t}$ 、縦軸は鉛直座標 $\tilde{z}$ である。水温 $\tilde{T}$ の等値線を実線で、乱流強度の等値線 $\tilde{q}^2$ を点線で示している。また、これに対応する塩分濃度場 $\tilde{S}$ の時間変化を図-3に示す。二重拡散効果によって特徴的な多重成層構造が形成されていく過程が良好に再現されている。これらの拡大図を図-4に示す。隣接対流層の融合過程や上端での新しい対流層の発生過程の詳細が観察される。その際、乱れエネルギーが急変していることがわかる。

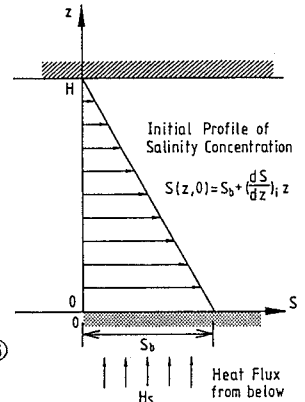
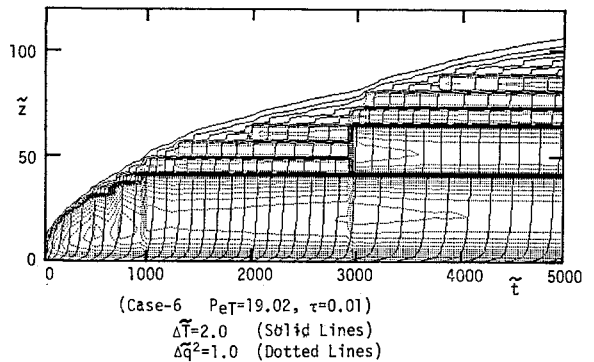
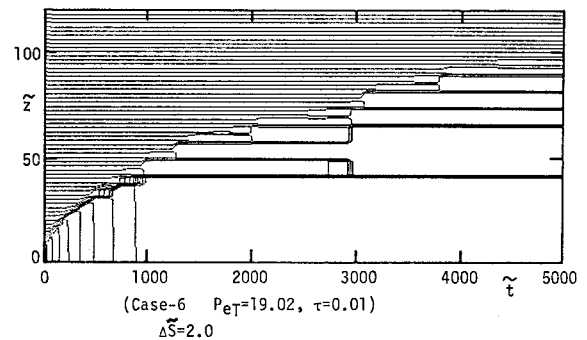


図-1 対象とする密度場

図-2 温度場 $\tilde{T}$ と乱流強度 $\tilde{q}^2$ の時間発展図-3 塩分濃度場 $\tilde{S}$ の時間発展

(2) 実験結果との比較 図-5は、平均温度 $\bar{T}$ 、平均濃度 $\bar{S}$ ならびに有効浮力 $(\bar{T}-\bar{S})$ の鉛直分布に関する「実験-解析」間の比較の例である。本解析は実験結果を良好に再現している。

(3) 乱流構造 熱密度流の乱流計測はほぼ不可能であり、乱流構造の情報を得ることが困難である。乱流モデルは熱密度流の混合機構に関する有力な解析手段といえよう。本解析で得られた乱流諸量の鉛直分布を図-6~10に例示する。これらの詳細は講演時に報告する。

参考文献

1) Mellor, J. & T. Yamada : J. Atmos. Sci., 31, pp.1791-1806, 1973.

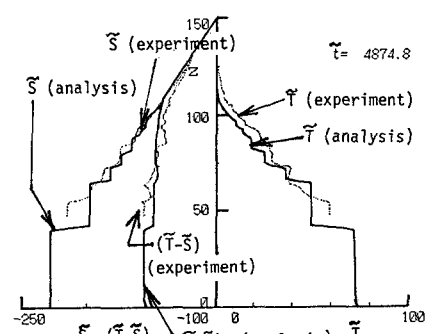


図-5 温度 $\bar{T}$ 、濃度 $\bar{S}$ 、有効浮力 $(\bar{T}-\bar{S})$

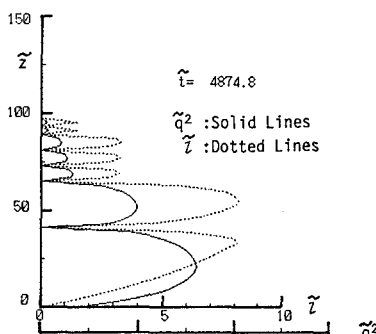
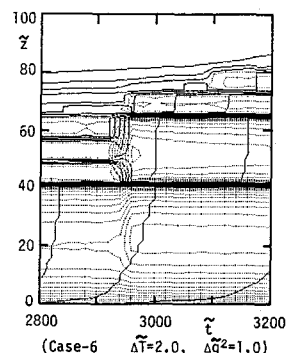
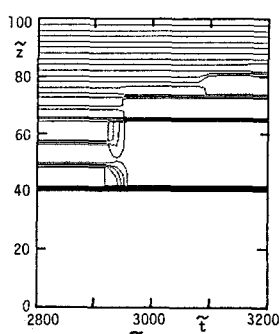


図-6 乱れ強度 q^2 と渦スケール l



(Case-6 $\Delta\bar{T}=2.0$, $\Delta\bar{S}=1.0$)



(Case-6 $\Delta\bar{T}=2.0$)

図-4 (図-2,3)の拡大図

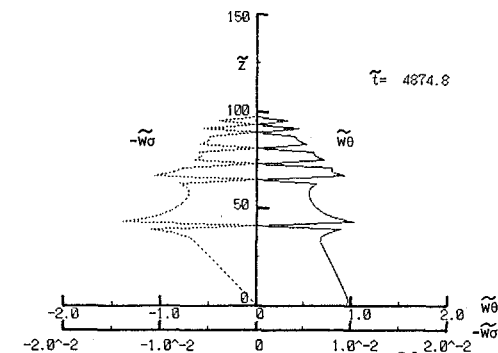


図-7 乱流熱フラックス $\bar{w}\bar{\theta}$ と
乱流濃度フラックス $\bar{w}\bar{\sigma}$

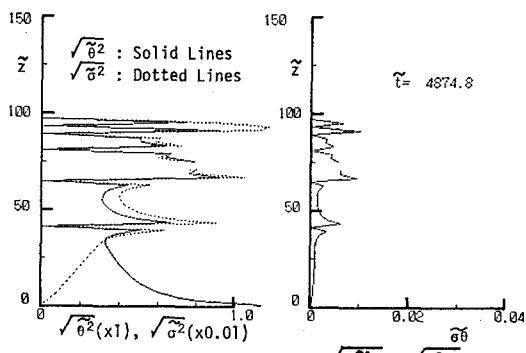


図-8 温度・濃度の変動強度 $\sqrt{\bar{\theta}^2}$, $\sqrt{\bar{\sigma}^2}$ と
それらの相関 $\bar{\theta}\bar{\sigma}$

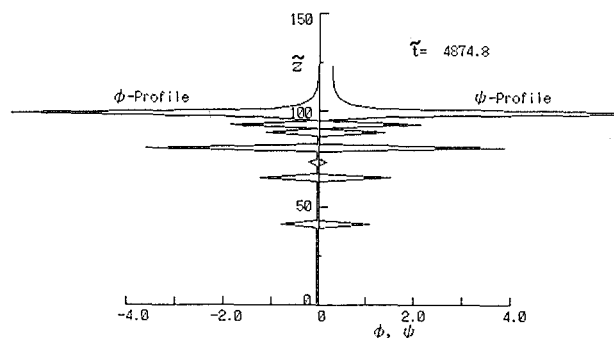


図-9 温度成層と、濃度成層に関する
局所Richardson数 ϕ , ψ

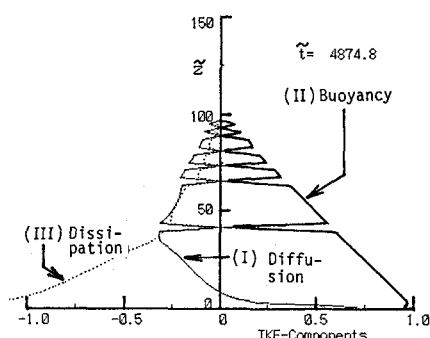


図-10 乱れエネルギー方程式の各成分
(I) 乱流拡散項, (II) 浮力項, (III) 逸散項