

# 多層の二重拡散対流系の発達

## Evolution of multi-layered diffusive convection

# 野口 尚史[1]; 新野 宏[2]

# Takashi Noguchi[1]; Hiroshi Niino[2]

[1] 東大・海洋研; [2] 東大・海洋研

[1] Ocean Research Inst., Univ. of Tokyo; [2] Div. of Marine Meteor., Ocean Res. Inst., Univ. of Tokyo

<http://dpo.ori.u-tokyo.ac.jp/dmmg>

### 1. 緒論

拡散速度が異なる 2 つの成分によって密度成層が作られているとき、遅く拡散する成分だけ見ると安定成層、速く拡散する成分だけ見ると不安定成層をしていて、かつ全体としては安定な密度成層になっている状況では拡散型対流という対流が発生することがある(Turner, 1973)。野口・新野(2001)は一様に成層した流体が拡散型対流に対して線型的に不安定な場合には、自発的に対流運動が生じ、海洋中でしばしば観測されるような階段状の成層が形成されることを示した。

階段状成層は活発な対流混合層とそれをはさむ密度境界面とが積み重なった構造をしている。いったん階段状の成層が形成されると、上下に隣合う層どうしで合併が起こる(Linden, 1976)。しかし、合併のメカニズムやその条件については十分に理解されていない。

そこで、本研究では、まず数値モデルで再現された階段状成層について、層の合併の形態と層内の対流運動との定性的な関係について解析する。次に、この解析結果にもとづき、単純化したメカニスティックなモデルを提案し、このモデルが合併の形態と時間変化をよく再現することを示す。

### 2. 数値実験

#### 2-1 設定

使用した数値モデルは 2 成分 Boussinesq 流体の 2 次元運動を扱う。本研究では 2 つの成分を熱と塩分(拡散係数の比 0.01)とし、温度と塩分の密度成層への寄与の比を 0.89 と設定した。この成層は線型的に不安定であり、自発的に運動が生じる(野口・新野, 2001)。

#### 2-2 結果

初期に与えたホワイトノイズから生じた対流運動は、多数の層を形成した。これらの層は一旦生じると互いに合併を繰り返し、厚みを増した(図 a)。層の合併には 2 つの形態が見られた。1 つは密度境界面をはさんで上下で密度が次第に等しくなり、ついには密度境界面が消滅する場合である(図 a での A-D)。もう 1 つは対流層そのものがしだいに薄くなって消滅する場合(同 a-b)である。

### 3. 解析

層の消長にかかわる要因を探るため、層内の運動の特徴を調べた。まず層内の乱流強度の指標である運動エネルギーの鉛直分布の時間発展を見ると、境界面は運動の激しい側から穏やかな側へと移動する傾向があることが分かった。つぎに、層内の運動の上下対称性の指標である、鉛直速度の歪度を見ると、境界面は層内の運動が上下非対称になると消滅する傾向にあることが分かった。

隣合う 2 層で乱流強度が大きく異なっていれば、境界面を通して一方的なエントレインメントが起こることが予想される。また、鉛直速度の歪度はプリュームのような局所的な上昇流の活発さを反映していると思われる。

### 4. 非対称エントレインメントモデル

前節での解析に基づいて、対流運動で良く混合され一様になった多数の層が互いに薄い境界面を隔てて接しているという層モデルを考え、以下のプロセスを仮定する。

\* 境界面での温度差  $\Delta T$  に比例する浮力を得たプリュームが境界面から上昇(下降)を始める。

\* プリュームは層内を混合や摩擦を受けずに自由上昇(下降)し、もう一方の境界面に衝突して隣の層から流体をエントレインする。

以上のプロセスを数学的に表わす。ある層(厚さ  $L$ )について、衝突の際にプリュームが持つ速度  $U$  はエネルギー的考察から、 $U = (\Delta T L)^{1/2}$  と表わすことができる(比例定数は省略した)。同様にエネルギー的考察から、エントレインメント速度  $u$  は  $u = U^3 / \Delta T L$  と書ける。

これから、この層についての質量保存の式および熱の保存式の 2 つが得られる。この 2 つの保存式は各層の厚さと温度を変数とする連立常微分方程式系をなすので、適当な初期条件と境界条件を与えれば解くことができる。

### 5. 結果と考察

#### 5-1 周期的な 2 層モデル

最も単純な場合として、2 層からなる基本構造が無限に上下に繰り返している状況を考えよう。図 a の A-D の状況はこの設定に近い。それぞれの境界面をはさんでの密度差  $\Delta \rho$  の時間発展と、初期に同じ厚さの層から始めた周期的 2 層モデルの解析解とを比較したものが 図 b である。

## 5-2 周期的な3層モデル

一方、図 a の a, b の状況は、ある1つの層が上下から似たような層によってはさまれた3層構造になっている。簡単のため周期的な3層(ただし中央以外の2つの層は常に同じ厚さであると仮定する)を考え、2層の場合と同様に図 a の a, b における中央の層の厚さ  $L$  の時間発展と、周期的3層モデルの解析解を比較したものが図 c である。

## 6. 結論

拡散型対流によって生ずる多層対流系の時間発展について調べた。数値実験の解析から、層境界面の移動と消長は対流プルームが境界面に衝突するときの乱流エンタインメントに支配されることが示唆された。このメカニズムにもとづいたメカニスティックなモデルを作成したところ、層構造の合併過程をよく再現することが分った。

