

Diffusive 型二重拡散対流による層構造の発生と成長

Formation and Growth of Layer Structures due to Diffusive Convection

野口 尚史[1], 新野 宏[1]

Takashi Noguchi[1], Hiroshi Niino[2]

[1] 東大・海洋研

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

一様に連続成層した静止流体中の内部から発生する diffusive 型の二重拡散対流の振舞いを 2 次元の数値実験により調べた。初期の密度成層は安定であるが、成分毎にみると拡散が遅い成分(S)については安定成層、拡散が速い成分(T)については不安定成層をしている。計算領域には水平方向・鉛直方向ともに擾乱に対して周期境界条件を課した。S と T の鉛直密度勾配の絶対値の比がある値より大きい時には、初期に与えた微小擾乱から自動的に対流が生じ、diffusive 境界に挟まれた明瞭な層構造が発生した。これらの層構造は時間が経つにつれて隣り合う層同士で合体を繰り返し、平均的な層厚を増大した。

1. はじめに

海洋中の塩分や温度の鉛直分布は数 m という小さなスケールで見ても決して滑らかではなく、海域によってはむしろ階段状になっていることが観測されている。このような階段状の成層構造を作り出すメカニズムの一つとして、本研究で取り上げる diffusive 型二重拡散対流がある。これは静的には安定な密度成層をしている 2 成分系において、成分毎に見ると拡散が遅い成分については安定成層、速い成分については不安定成層をしている状況で生ずる自発的な対流運動である。

Diffusive 型二重拡散対流による層構造の形成に関する研究は

これまで室内実験を中心としていくつか行なわれてきているが、それらのほとんどは塩分で安定成層をした流体を底面から加熱することにより多層構造を作り出すものであり(Turner, 1968; Huppert and Linden, 1979; Fernando, 1987)、連続成層流体の内部から生ずる二重拡散対流については、Linden(1976)を除いてこれまでほとんど調べられていない。

本研究では、連続成層した流体内部から境界の影響を受けずに発生する diffusive 型の二重拡散対流の振舞いを 2 次元の数値実験、および室内実験により調べた。

2. 数値実験

2次元の 2 成分 Boussinesq 流体の運動を有限差分法で解く数値モデルを作成し、熱-塩系と塩-砂糖系における diffusive 型対流とこれにもなう層構造の発達に関する数値実験を行なった。計算領域は正方形とし、この領域に水平・鉛直境界とも擾乱に対して周期境界条件を課す。変数は長さは浮力境界層の幅(= δ)、時間は距離 δ に対する熱の拡散時間、温度と濃度は基本場の勾配 $\times \delta$ でそれぞれ無次元化してある。

標準的な設定は以下の通りである。300 \times 300 の計算領域内の渦度・流線関数・温度・塩分の分布を 128 \times 128 の等間隔格子点で表現した。

初期には流体は静止しており、塩分・温度は基本場の一様な成層があるだけである。初期に微小なホワイトノイズの温度擾乱を全格子点に与えることで運動を起こす。与える温度擾乱の絶対値の平均は上端と下端での基本場の値の差の 1/10000 程度とした。

基本場の勾配比が線形論的に不安定(a)と安定(b)との 2 つの場合について調べた。

3. 結果

(a)線形的に不安定な勾配比に対しては初期に与えた擾乱によってはじめは定在波動的な振動運動が起こった。しばらくして対流運動が発生したが、鉛直方向にほぼ同じスケールを持った多層構造が形成された。層どうしは合体して厚くなり、最終的には計算領域いっぱいの一つの層にまで成長した。

初期に現われる層構造の鉛直スケールは δ のオーダーだったが、いったん形成されると隣り合う層どうしで合体を繰り返し、平均的な層厚は時間とともに増大した。

(b)勾配比が臨界値より小さい、線形的に安定な領域では外的に与える層状の擾乱なしに自発的な構造の発達はみられなかった。しかし、初期に階段状の濃度分布を与えると層境界とそれに挟まれた対流層を再現することができ、(a)と同様な層構造の成長を観察することができた。

4. 室内実験

塩-砂糖の連続成層溶液(線形論的に安定な領域)で行なった室内実験では、自発的には対流は発達しないが、人

為的に初期に階段状の成層構造を与た場合には流体の内部から活発な対流が発生することが示された。鋭い層境界面にはさまれた層の内部には、高 Rayleigh 数の Rayleigh-Benard 対流で見られるようなセル状の対流が観察され、隣合う層どうしの合体も観察された。

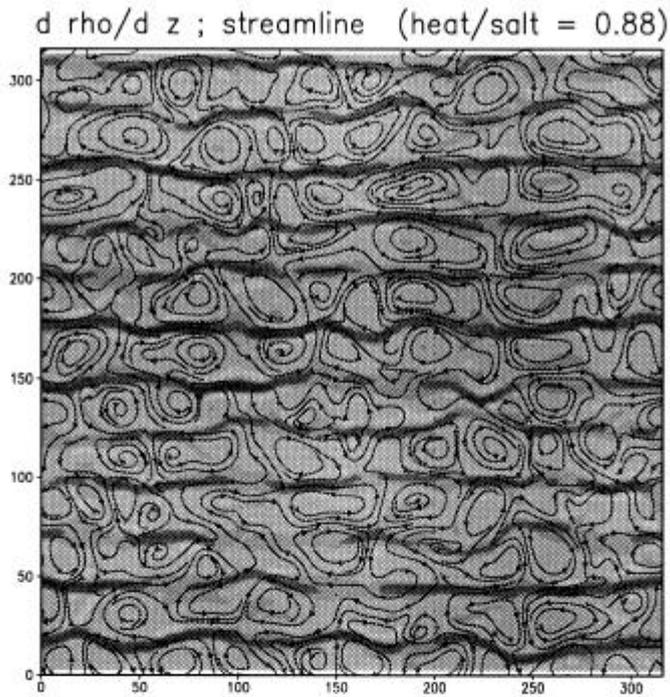


図 1: 線形的に不安定な勾配比を持つ一様な連続成層から自発的に発生した層構造 (熱-塩系). 鉛直面内の鉛直密度勾配 (濃淡) と流線を示す.

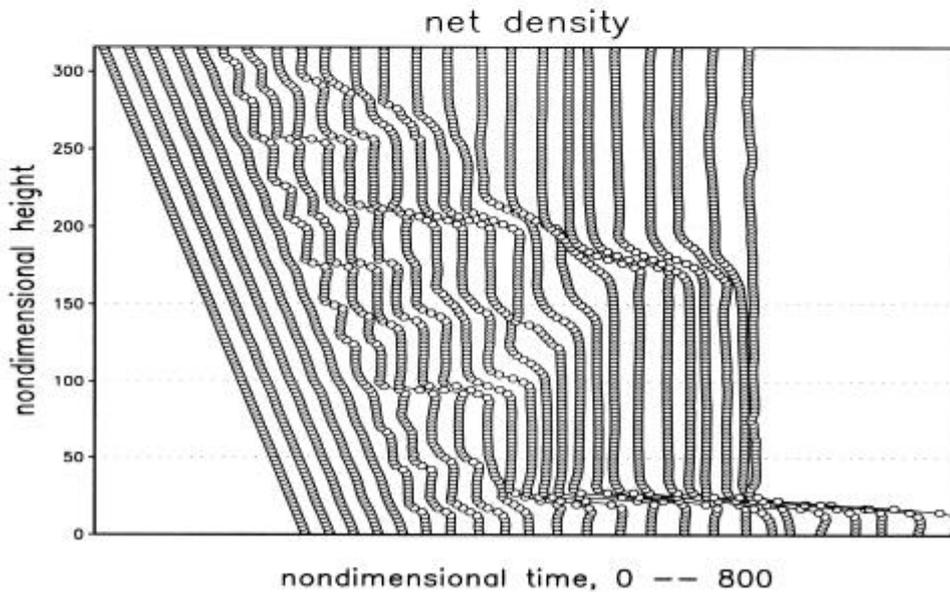


図 2: 層構造の時間発展 (熱-塩系). 水平平均した密度場を左から右へ一定時間間隔毎に示す.