

底面の局所的な冷却による水平対流の相似解

Self-Similar Solution of Horizontal Convection due to Local Cooling From Below

森 厚[1], 新野 宏[2]

Atsushi Mori[1], Hiroshi Niino[2]

[1] 学芸大・地学, [2] 東大・海洋研

[1] Astronomy and Earth Sci., Tokyo Gakugei Univ., [2] Div. of Marine Meteor., Ocean Res. Inst., Univ. of Tokyo

<http://buran.u-gakugei.ac.jp/~mori/>

本研究では底面の熱的条件のコントラストによって生じる水平対流の形成過程について理論的な考察と数値計算を行った。非回転・2次元・一様成層のブシネスク流体で、底面の半分が温度一定で冷却され、他方が断熱であるような状況を考える。このような状況下では、一般には、移流や成層の効果よりも熱伝導が卓越するレジーム・成層の効果よりも移流が卓越するレジーム・成層の効果(線形応答)が卓越するレジームの三段階を経て発達することがわかった。そして、それぞれの段階に対応して時間依存性が陽に現れないような自己相似な解が存在することがわかった。このような結果をふまえ、水平対流形成過程の物理を明らかにすることができた。

[はじめに]

底面の熱的条件のコントラストによって生じる水平対流は、地球惑星物理学の基本問題である。大気中の例では、ヒートアイランド・クールアイランドに伴う循環や海陸風循環がそれに該当する。しかし、これまでの議論の中心は定常状態についてであり、その形成過程については十分調べられているとは言えない。本研究では初期値問題として理論的な考察と数値計算を行った。

[問題設定]

非回転・2次元のブシネスク流体で基本場の温度傾度が一定であるような成層状態の下で考える。また、底面の境界条件は、その半無限領域が温度一定で冷却され、他方が断熱であるとする。適当なスケールを行うことにより、系の独立な無次元量は2つに整理される。一つはプラントル数(Pr)であり、もう一つは無次元化された成層の強さ(β)である。

[結果]

このような状況下での時間発展は、一般には次のような三段階のレジームを経ることがわかった。

- 1) 拡散レジーム: 移流や成層の効果よりも熱伝導が卓越するレジーム。
- 2) 重力流レジーム: 成層の効果よりも移流が卓越するレジーム。
- 3) 重力波レジーム: 成層の効果(線形応答)が卓越するレジーム。

鉛直スケールはどのレジームについても熱伝導距離で特徴づけられる。また、水平スケールは、各レジームそれぞれ、熱伝導距離・重力流の到達距離・重力波の到達距離で特徴づけられる。なお、成層が十分に強い(β が十分大きい)場合には、拡散レジームから重力波レジームへ直接移行する。

この問題では定常状態は実現しえず、常に温度場や流れ場のスケールは増大し続ける。しかし、これら三つのレジームについて、それぞれ自己相似な解が存在することが理論的に示された。すなわち、それぞれのレジームで主要な項だけを残した方程式系について、水平スケール・鉛直スケール・流線関数の大きさ(これらは時間の関数である)を用いてスケールを行うと、時間に陽に依存しないような方程式系が得られるのである。また、このような操作をすると、成層のパラメータも現れず、独立な無次元量はプラントル数 Pr のみになることも同時にわかった。これらの予想は、非線形項を含めた方程式系の数値積分によって確かめることができた。

プラントル数 Pr 依存性については、 Pr が十分大きい場合に、 Pr 依存性も無いような相似解の存在が示された。

[考察]

例えば、これらの結果を、ヒートアイランド(あるいはクールアイランド)の形成過程に適応してみる。これらの場合には、加熱(あるいは冷却)領域が有限であるが、水平スケールが相対的に小さい場合には境界端付近で相似解が実現すると考えられる。定常状態が形成されるには、少くとも相似解の水平スケールが加熱領域と同程度になる時間が必要であると見積もられる。また、定常なヒートアイランド循環の鉛直スケールは、その時刻の鉛直スケールに対応していると考えられる。この様な考え方に基づいて見積もられた定常状態の鉛直スケールは、過去の研究(Rossby(1965), Kimura(1975) など)と整合性がある。