

成層乱流における乱流パラメタリゼーションの影響

* 北村 祐二・松田 佳久 (東大・理・地球惑星科学)

1. 序

飛行機観測により、対流圏での 10km から数百 km のエネルギースペクトルが $-5/3$ 乗の水平波数依存性を持つことが知られている (Nastrom *et al.*; 1984, Cho *et al.*; 1999). この観測事実を密度成層下での乱流によって理解する試みがなされているが、GCM など再現されている (Koshyk and Hamilton; 1999) のみでその力学的な過程を理解するには至っていないのが現状である。講演者は 2002 年気象学会秋季大会において、波数空間におけるエネルギー輸送が、成層が強くなるほど時間的にゆっくりとしたものになることを報告した。そのため、密度成層の強さに依存して渦粘性が小さくなるようにしないと適切な定常状態が得られないと考えられる。また、ここでは特に示さないが、強制の強さに応じて適切な渦粘性を与える必要があること、強制が弱い場合の成層乱流では、定数としての渦粘性では適切な渦粘性係数を与えることすら困難であることが分かっている。本研究では、LES に基づくパラメタリゼーションによって、密度成層下においてもサブグリッドスケールからの寄与を適切に表現できるかを検討している。現在広く用いられている Smagorinsky スキーム (Smagorinsky; 1963, Lilly; 1962), Deardorff(1980) に基づくスキームの両者を用いて結果の比較を行ったのでそれを報告する。

2. パラメタリゼーションの概要

Smagorinsky-Lilly スキーム, Deardorff スキームのいずれも渦粘性モデルを仮定した上で、渦粘性係数をグリッドスケールの運動から決定する方法である。以下、本研究で用いた渦粘性係数を診断する方法について簡単に紹介する。

2.1 Smagorinsky スキーム

Smagorinsky スキームではグリッドスケールのひずみテンソル $\langle e_{ij} \rangle$ の大きさから渦粘性係数を診断する。密度成層の効果の採り入れ方は各種提案されており、Richardson 数の関数で重みをつけたものがよく用いられているが、本研究では ARPS で用いられている方法にしたがって、

$$K_{mh} = (C_s \Delta_h)^2 \left[\max \left(\frac{1}{2} \langle e_{ij} \rangle^2 - \frac{N^2}{Pr}, 0 \right) \right]^{1/2},$$

$$K_{mv} = (C_s \Delta_v)^2 \left[\max \left(\frac{1}{2} \langle e_{ij} \rangle^2 - \frac{N^2}{Pr}, 0 \right) \right]^{1/2},$$

を採用した。 N はブラントバイサラ振動数でここで成層の効果を含める。 Δ_h, Δ_v はそれぞれ水平、鉛直方向のグリッド間隔、 C_s は Smagorinsky 定数、 Pr は乱流プラントル数である。今回は、 $C_s = 0.21$, $Pr = 1$ として数値実験を行った。

2.2 Deardorff スキーム

Deardorff(1980) では、グリッド平均した乱流運動エネルギー (以下 TKE) についてのモデル化した予報方程式を陽に解き、それに基づいて渦粘性係数を診断する。この場合、成層の効果は TKE の予報方程式、サブグリッドスケールの混合距離に反映される。本研究では基本的に Deardorff(1980) の定式化に沿ったものだが、TKE の予報方程式における shear production の項のみ、 $K_m \langle e_{ij} \rangle^2$ の形を仮定した。また、通常は壁付近では TKE が大きくなりすぎないように TKE の散逸を大きくすることが多いが、今回はそのような補正をせずに数値実験を行った。

3. 結果

下図は、左から渦粘性を固定した場合、Smagorinsky スキームを用いた場合、Deardorff スキームを用いた場合に定常に達したときのエネルギースペクトルである。渦粘性係数以外の要素は全て同一にしてあり、強制は波数 1 でピークになるものを与えている。渦粘性を固定した場合にはスペクトルの傾きが観測よりも急で、高波数側でそれが顕著になる。一方、LES を用いた場合には、10–100km 程度のスケールでは傾き、振幅ともに概ね Cho *et al.*(1999) による解析結果に近いものが得られている。また、波数空間でのエネルギーフラックスも LES を用いた場合の方が高波数側まで振幅を持ち、陽に表現されるべきグリッドスケールの非線形相互作用がより表現されていることが推察される。しかし、グリッドスケールに近いスケールでは人工的なエネルギーの溜りが見られ、Deardorff スキームで特に顕著である。この傾向は、強制の振幅を弱くする程強く現れる結果となった。講演では、各スキームでのエネルギー収支、特に散逸の働き方の違いなどについて議論を行う予定である。

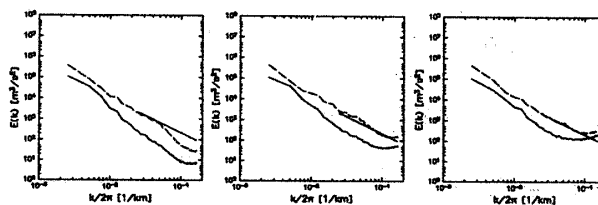


図: 左から、渦粘性係数を固定した場合、Smagorinsky スキームを用いた場合、Deardorff スキームを用いた場合の定常状態でのエネルギースペクトル。実線は渦モード(鉛直渦度)成分、破線は重力波成分を表す。いずれの場合も基本場のプラントバイサラ周期は20分としている。