

対流混合層における水平乱流拡散係数について

*伊藤純至(東京大学大気海洋研究所・気象研究所物理気象)、
新野 宏(東京大学大気海洋研究所)、中西幹郎(防衛大学校)

1. はじめに

大気の数値モデルにおいては、サブグリッドスケールの運動による運動量や熱・物質のフラックスをパラメタライズする必要があるが、様々なサブグリッド乱流モデルが考案されている。このうち、鉛直方向のフラックスは、大気境界層における運動量や熱・物質のフラックスを通して、地表面近くの風速や気温などの環境を決めるだけでなく、放射収支に大きな影響を持つ境界層雲の生成、自由大気中への熱・水蒸気輸送などに重要な影響を持つため、精力的に研究されており、近年では、Large Eddy Simulation (LES)の計算結果を良く再現する1次元乱流モデルも提案されている(例えば Nakanishi and Niino 2009)。しかしながら、水平方向の乱流フラックスについては、その物理的メカニズムも含めて十分に研究されていない。領域気象モデルの精緻化に伴い、水平方向のサブグリッドフラックスに関する物理的理解と精度良いモデル化は不可欠となると思われる。そこで本研究では、その第一歩として、一般風の無い日中の対流混合層におけるパッシブスカラーの水平乱流拡散係数をLESを用いて見積もることにした。

2. LES の設定とパッシブスカラー勾配の導入

用いたLESモデル(Nakanishi 2000; Ito et al. 2010)の格子間隔は3方向に一律で50m、計算領域は水平(x -, y -)方向に36km、鉛直(z -)方向に5kmとした。側面境界条件は2重周期とした。大気は初期には静止し、安定成層(4.0K/km)している。ある時刻 $t=0$ から、一定の顕熱フラックス $Q=0.2\text{ K}\cdot\text{m/s}$ を水平一様に地表面で与え続けることにより、対流混合層を成長させた。パッシブスカラー c の水平乱流拡散係数 K_h を見積もるため、ある時刻 $t=t_0$ に x -方向に一律な水平勾配 $\partial c/\partial x (=1)$ をもつパッシブスカラーの分布を導入し、この分布からのずれ c' の予報方程式をLESに導入して解く。このとき、水平乱流拡散係数 K_h は $\langle c'u' \rangle = K_h \partial c/\partial x$ として求めることができる。ここで、 u' は x -方向の流速、 $\langle \rangle$ は水平平均、 c' は c の基本場 $\bar{c}$ からのずれを表す。

3. 結果

図1は $t=5\text{hr}$ にパッシブスカラーを導入した場合の K_h の時間発展である。導入直後は u' の自己相関によって、 $K_h \propto t$ で大きくなるが、渦のturnover時間程度で次第に一定値に近付き、対流運動による渦拡散が実現することを示している。 K_h は $O(100\text{m}^2/\text{s})$ であり、鉛直の乱流拡散係数とは異なり、水平運動が卓越する対流混合層の最下層と上端付近で大きくなっている。

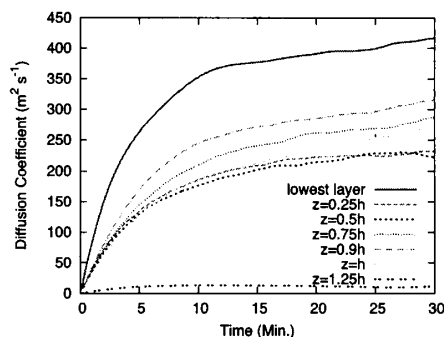


図1 $t=5\text{hr}$ にパッシブスカラーを導入した場合の各高度 z (混合層深さ h は約1.5km)における水平乱流拡散係数の時間発展

図2は様々な時刻にパッシブスカラーの勾配を導入したときの K_h の時間発展を対流速度 w_m と h の積で規格化して示したものである。 K_h は混合層の発達とともに大きくなり、ほぼ $w_m \times h$ でスケールされるようだが、若干時間と共に増加傾向が見られる。

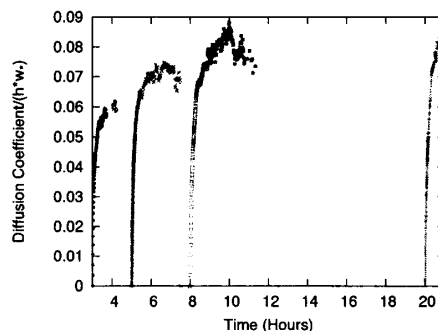


図2 様々な経過時間でパッシブスカラーを導入した場合の $K_h/(h \times w_m)$ 。

4. まとめ

対流混合層における水平乱流拡散係数 K_h をLESを用いて求めた。 K_h が $h \times w_m$ によるスケールから少しずれる理由については更に考察が必要である。鉛直シアがある事例などについても調べていきたい。