

対流混合層内に生成される鉛直渦度のスケーリング

*伊藤純至・新野 宏（東大・海洋研）・中西幹郎(防衛大学校)

1. はじめに

日中、地表面が強く熱せられた裸地では地表面付近に塵旋風(dust devil)と呼ばれる、小スケールの強い鉛直渦度をもつ鉛直渦がしばしば発生する。田中ほか(2005 春)、伊藤ほか(2008 秋)では、日変化を導入したラージ・エディ・シミュレーション (LES)を用いて、水平一様な初期条件、境界条件で再現した対流混合層であっても、一般風が弱く、地表面熱フラックスが強い場合の日中に、dust devil に対応すると考えられる強い鉛直渦度が地表面付近で生成することを示した。個々の渦の発生は間欠的であったが、対流混合層の速度スケール $w_* = (ghQ/\theta_0)^{1/3}$ (g は重力加速度、 θ_0 は基準温位、 h は混合層の深さ、 Q は地表面熱フラックス)と、最下層の鉛直渦度の最大値 $\zeta_{\max}$ は、対流の発達している段階では高い相関が見られた(図1)。 w_* は一般風がない場合は混合層の唯一の速度スケールであり、例えば鉛直渦度の代表的な値は、 w_* と何らかの長さスケールの組み合わせでスケールリングできる可能性を示唆している。ただし長さスケールとして最も考えやすい h を用いると、鉛直渦度は $h^{-2/3}$ に依存することになり、図1の結果を説明できない。本研究では混合層内で生成される鉛直渦度の様々な変数への依存性をより詳細に調べ、それらによる鉛直渦度のスケーリングが可能かどうかを検討する。

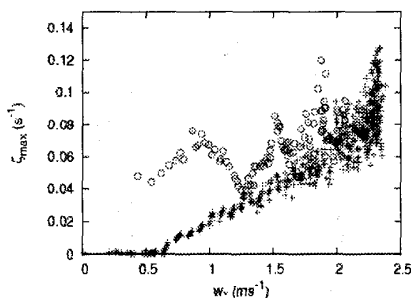


図1 日変化する対流混合層での w_* と $\zeta_{\max}$ の関係(高度 75m)。1 分ごとの瞬時値をプロットしたもので、+印は対流の発達期から全盛期(7時から16 時)、○印は減衰期(16 時から17 時)を示す。

2. 数値モデルの概要

田中ほか(2005 春)と同様の LES を用い、境界条件は、上端は free-slip、側面は周期条件とした。計算領域は $4.5\text{km} \times 4.5\text{km} \times 3.0\text{km}$ 、格子間隔 Δ は 50m 又は 25m とした。初期条件としては一定の温位勾配 Γ をもつ安定成層を与え、一般風はなく、地表面の熱フラックスは一定値 Q を与えた。時間積分は 12 時間行った。

3. 初期の温度成層に対する依存性

$\Delta=50\text{m}$ 、 $Q=0.2\text{K}\cdot\text{m/s}$ として、 Γ を 0.004K/m と 0.008K/m と変えた実験を行った。初期の安定度が高い方が、混合層の成長速度が遅く、 w_* の小さい方でプロットが多いが、 w_* と $\zeta_{\max}$ の関係はほとんど差が無かった(図2)。

4. 地表面熱フラックスに対する依存性

$\Delta=50\text{m}$ 、 $\Gamma=0.004\text{K/m}$ として Q を $0.2, 0.3, 0.4\text{K}\cdot\text{m/s}$ と変えた実験を行った。混合層の発達初期にはばらつきがあるが、ある程度発達した後のプロットは概ね $2\cdot w_*/\Delta$ に沿っているように見える(図3)。

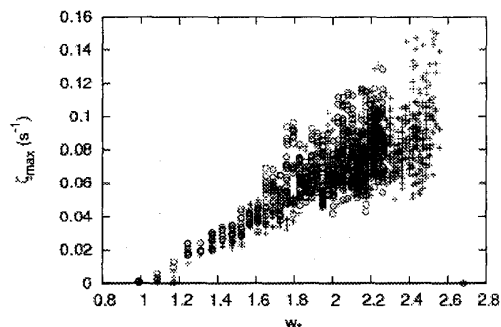


図2 初期成層を変えた場合の w_* と $\zeta_{\max}$ の関係(高度 75m)。+印は $\Gamma=0.004\text{K/m}$ 、○印は $\Gamma=0.008\text{K/m}$ の場合。12 時間の計算の 1 分ごとのプロット。

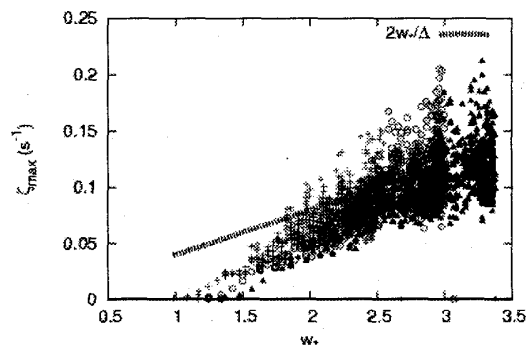


図3 地表面熱フラックスを変えた場合の w_* と $\zeta_{\max}$ の関係(高度 75m)。+、○、Δ印はそれぞれ $Q=0.2, 0.3, 0.4\text{K}\cdot\text{m/s}$ の場合を示す。12 時間の計算の 1 分ごとのプロット。点線は $\zeta_{\max}=2\cdot w_*/\Delta$ を示す。

5. 格子間隔への依存性

$Q=0.2\text{K}\cdot\text{m/s}$ 、 $\Gamma=0.004\text{K/m}$ として Δ を 50m と 25m の 2 通りの実験を行った。 $\zeta_{\max}$ は格子間隔を半分とすることで 2 倍近く大きくなるが、正確に 2 倍にはならない(図4)。

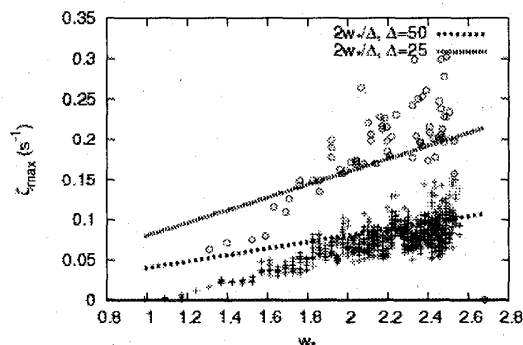


図4 Δ を変えた場合の w_* と $\zeta_{\max}$ の関係(高度 75m)。+印は $\Delta=50\text{m}$ 、○印は $\Delta=25\text{m}$ 。+印は 12 時間の計算の 1 分ごとのプロット。○印は 12 時間の計算の 10 分ごとのプロット。

6. まとめと今後の課題

代表的な鉛直渦度は(速度スケール)/(長さスケール)で決まるが、このうち速度スケールとしては w_* が有望である。一方、長さスケールについては、現状では Δ への依存性が強い。今後更に解像度を上げ、 Δ への依存性がなくなるような数値実験を行い、より物理的な鉛直渦度のスケーリングを検討することが必要である。また Δ への依存性が水平・鉛直どちらの方向によっているかも明らかにする必要がある。