

環境場の回転の Dust Devil への影響

*伊藤純至・新野 宏 (東大・大気海洋研)・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 Dust Devil (塵旋風) と呼ばれる、小スケールで、強い鉛直渦度をもつ鉛直渦がしばしば発生する。観測によると、時計回り、反時計回りの回転をもつ Dust Devil が、約同数観測され (Sinclair, 1969)、中高緯度であっても地球の回転は渦の回転方向には影響しないと考えられている (Holton, 2004)。一方、藤原ら (2009 春季大会) は、海風前線に伴い出現した、Dust Devil と類似した鉛直渦には卓越する回転方向が存在することを示しており、これは海風前線の水平シアに伴う鉛直渦度が Dust Devil の回転に影響しうることを示唆している。

本研究では環境場の回転が、どのように Dust Devil の強さや回転方向の偏りに影響するかを数値実験により調べることを目的とする。この際、Dust Devil のもつ強い回転がどのように生成していたかについても考察する。これまで、回転系の対流混合層に関する数値的研究は Mironov et al. (2000) などいくつかあるが、Dust Devil に注目したものはない。

2. 数値実験の設定

伊藤ら (2008 秋季大会) 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、一般風が無く、水平一様な初期条件・境界条件で再現した対流混合層において、Dust Devil に対応する強い鉛直渦が正負ほぼ等確率で生成されることを示した。今回は、この LES の基礎方程式に、環境場の回転によるコリオリ力を導入した。コリオリ係数 f は、北緯 30 度での値を $f_0 = 7.29 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ として、 f_0 (3 節)、 $10f_0$ 、 $100f_0$ (4 節) と変化させた。格子間隔は水平・鉛直とも 50m である。

3. 環境場の弱い回転の影響 ($f=f_0$ の場合)

高度 25m における鉛直渦度 ζ の水平面内での最大値を ζ_{max}^+ 、最小値の絶対値を ζ_{max}^- と書く。図 1 は 1 分毎に ± 5 分の間の ζ_{max}^+ と ζ_{max}^- の最大値と最小値を示したものである。観測 (Sinclair, 1969) から言われるように、強い鉛直渦度の生成において正負の渦の偏りはほとんどないが、 ζ_{max}^- の最小値を比較すると 14 時以降僅かな差がみられる。7 個のアンサンブル実験の平均では更に偏りが明らかになった。環境場の回転が無いと、強い鉛直渦度は対流により正負が同じ確率で生成されるが、地球の自転による弱い回転は、渦度の符号に微小ながら系統的な偏りをもたらすことがわかった。

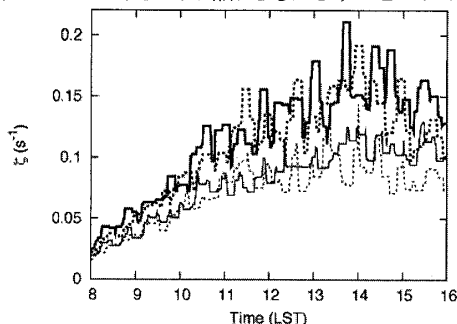


図 1 $f=f_0$ の場合の高度 25m での鉛直渦度の最大値 ζ_{max}^+ (実線) と最小値の絶対値 ζ_{max}^- (破線) の時間変化。太線、細線はそれぞれの 1 分毎の ± 5 分の間の最大値と最小値を表す。

4. 環境場の強い回転の影響 ($f=10f_0, 100f_0$ の場合)

$f=10f_0$ の場合、図 1 と比較して ζ_{max}^+ と ζ_{max}^- の違いは明確になり、正の鉛直渦度の最大値のみが大きくなる (図 2)。 $10f_0$ は海風前線など典型的なメソスケールの擾乱でもたらされる回転の大きさである。そのような環境場の回転が存在する場合は、藤原ら (2009) の観測で見られるような、Dust Devil の回転方向に明らかな偏りを持ち得ることが示された。

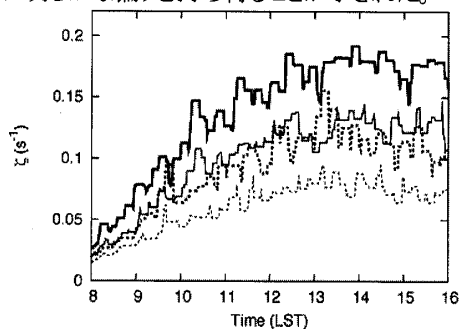


図 2 図 1 と同じ。ただし $f=10f_0$ の場合。

更に回転を $f=100f_0$ に強めると、正の鉛直渦度は依然優勢ではあるが、鉛直渦度の大きさは $f=10f_0$ の場合と比べると正負共に小さくなる (図 3)。対流構造をみると、対流セルの水平サイズが $f=10f_0$ の場合と比べて顕著に小さくなっていた。そのため地表面付近で水平収束する距離が短くなり、鉛直渦度のピークは小さくなったと考えられる。対流セルに伴う上昇気流も $f=10f_0$ の場合に比べて弱くなる一方、下降流速は大きくなっていた。

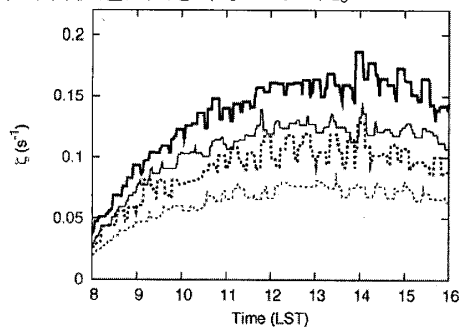


図 3 図 1 と同じ。ただし $f=100f_0$ の場合。

5. まとめ

環境場の回転が、Dust Devil にどのような影響を与えるかを調べた。地球自転の影響は弱い、十分なサンプル数をとれば検出可能である。回転がより強い場合、環境場の回転の影響は明確になるが、 $f=10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 程度のとき、環境場の回転と同じ回転方向の強い渦を生成するのに最適であることがわかった。さらに強い回転 ($\sim 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) にすると対流の水平スケールが小さくなると共に収束も弱まり、生成される鉛直渦度は弱くなる。この結果は Dust Devil が対流運動により地表面付近に広範囲にわたって分布した弱い鉛直渦度を対流の上昇域で引き伸ばすことで生成するという解析結果 (伊藤ら, 2009 秋季大会) と整合的に見える。