

ラージ・エディ・シミュレーションで再現された対流混合層の塵旋風

Dust Devils in a Convective Mixed Layer Reproduced by a Large Eddy Simulation

伊藤 純至 [1]; 新野 宏 [1]
Junshi Ito[1]; Hiroshi Niino[1]

[1] 東大・海洋研

[1] Dynamic Marine Meteor. Group, Ocean Res. Inst., Univ. of Tokyo

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、小スケールの鉛直渦がしばしば発生する。砂漠等では、塵旋風のもつ強い接線風速により地表面から砂粒子が巻き上げられ、鉛直な渦の柱が可視化される。強風時に砂漠等で自由大気中にダストが巻き上げられることはダストストームとして知られているが、一般風の弱い晴天時の大気境界層で塵旋風によりどの程度のダストが巻き上げられているのかは十分に理解されていない。また、塵旋風での鉛直渦度の成因については、いくつかメカニズムが提案されているが、現在も解明されていない。

本研究ではラージ・エディ・シミュレーション (LES) を用いて、水平数 km × 数 km、深さ 3 km 程度の計算領域内に、数 10 メートル間隔の等方格子を用いて対流混合層を再現し、地表面付近に形成される塵旋風の特性を調べた。サブグリッドスケールの乱流モデルとしては Smagorinsky モデルを用いている。境界条件は、水平境界は周期的とし、鉛直境界は上面で断熱、滑り無し、底面では運動量フラックスはバルク法で、熱フラックスは強制的に日変化する関数として与えた。一般風の強さを 3 通り、地表面の熱フラックスを 2 通り変えて数値実験を行った結果、強い鉛直渦度、接線風速をもつ塵旋風は、一般風が弱く、地表面熱フラックスが大きい実験において混合層が最も深くなる 14 時から 15 時にかけて最も多く見られるという観測と整合的な結果が得られた。

本数値実験は水平一様な状態から開始しているため、初期に環境場に鉛直渦度は存在しない。数値実験で得られた塵旋風内の空気塊の逆トラジェクトリー解析によれば、塵旋風が存在する領域では、セル状対流の収束による鉛直渦度の引き伸ばしの効果が支配的であることがわかった。鉛直渦度の引き伸ばしのもととなる鉛直渦度については、1) 対流セルの鉛直流の水平勾配に起因する水平渦度が対流セルの上昇流で立ち上げられる (Kanak et al., 2000 など)、2) 上昇域の両側の対流セルからの非対称な水平流に伴う水平シア (Kanak, 2005 など)、3) 以前に発生した塵旋風の残骸などが考えられる。対流が盛んになった時間帯で 1)、2)、3)、の区別は難しいが、より早い時間帯では逆トラジェクトリー解析から 1) による生成が見られることが確認された。

最後に、直径数 μm から数 10 μm オーダーのダスト粒子の対流混合層内での持ち上げのシミュレーションを試みた。地表面でのダスト粒子のフラックスは、観測による経験式を利用し、ダスト粒子の大きさによる重力落下フラックスの違いも考慮しながら、日変化を伴う混合層内でもダストの振る舞いを調べた。その結果、一般風がない平穏な大気混合層中でも 11 時 30 分以降、塵旋風に伴う 7m/s 以上の強い水平風速が生じ、ダスト粒子は塵旋風の上昇流に従って一気に混合層の境界まで持ち上げられ、その後対流の下降流域で拡散しながら降下している様子がみられた (図参照、14 時における混合層内のダスト濃度、単位は mg/m^3)。ダスト粒子は 15 時には、対流混合層全体に拡散し、16 時以降塵旋風が発生しなくなっても、サイズの小さい粒子は対流混合層にしばらく滞留し続ける様子がみられた。

