

偶然性の影響解明に向けた線状対流系の水平渦管構造の解析
 Horizontal vortex tube structure of line-shaped rain band
 contributing to elucidation of contingency effect

○河谷能幸・山口弘誠・中北英一・佐藤晋介・花土弘・川村誠治
 ○Yoshiyuki KAWATANI, Kosei YAMAGUCHI, Eiichi NAKAKITA,
 Shinsuke SATOH, Hiroshi HANADO, Seiji KAWAMURA

These days, line-shaped rain bands have occurred and brought some disasters. In order to clarify the airflow structure of them, reproductive experiment was conducted for actual case which occur in Kansai region. As a result of the simulation, there are (1) convergence line by topography, (2) convergence line by cold pool, and (3) stretching of horizontal vortex tube. (1) contribute to generation, (2) and (3) contribute to maintenance of line-shaped convective systems. In the future, ideal experiments will be conducted to generalize these results in Kansai region.

1. はじめに

近年、日本で線状対流系による土砂崩れや河川氾濫等の豪雨災害が頻発している。線状対流系はバックビルディング現象を伴う自己組織化により、強雨域が比較的長時間停滞する。

線状対流系の発生機構については詳細には解明されておらず、発生の予測は未だ困難なものとなっている。予測が難しい要因として、地形による強制上昇等の必然的要因に加えて、小さいスケールの乱流等の偶然的要因の存在があると想定している。本研究では、線状対流系という降雨現象に対する乱流の影響解明に向けて、線状対流系と同程度の時空間スケールの気流構造の解析を行う。

2. 研究手法

本研究では、線状対流系に現実的に見られる気流構造を明らかにするため、実際に発生した線状対流系事例を対象に解析を行う。対象とした事例は2012年8月に宇治市で大きな被害をもたらした線状対流系である。本事例は、石原・實(2018)により観測データを用いて詳しく解析されており、六甲山やコールドプールの影響が示唆された。本研究では詳細な3次元気流構造を明らかにするために数値シミュレーションを使用する。

数値モデルには理化学研究所が開発を進めているSCALE-RMを用いた(Nishizawa et al. 2015; Sato et al. 2015)。図-1に示す領域で、水平格子間隔10km, 5km, 1kmでネスティングを行った。最も内側の領域は本事例が発生した近畿地方に位

置する。初期・境界値条件として、気象庁MSMの初期値を使用した。また、乱流スキームはSmagorinsky-Lillyを使用した。

3. 結果

2.で述べた設定で数値シミュレーションを行った結果、線状対流系が発生した(図-2)。線状対流系の発生・維持について六甲山による水平収束、

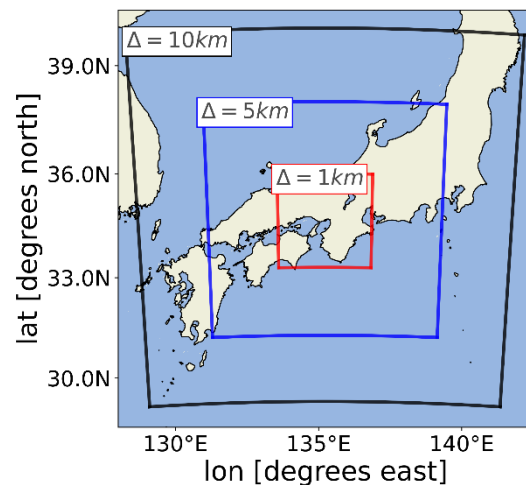


図-1 計算領域.

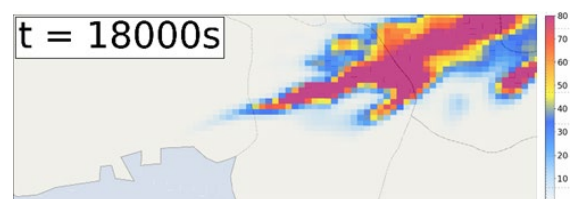


図-2 地上における降水強度[mm/h].

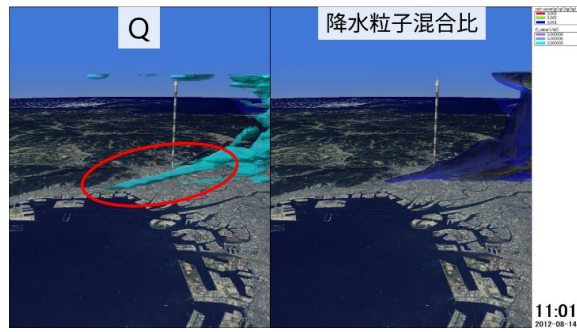


図-3 左：速度勾配テンソルの第2不変量により可視化された水平渦管，右：降水粒子混合比。

コールドプール，水平渦管の引き伸ばしに着目して解析を進めた。

(1) 六甲山による水平収束帯

線状対流系がなぜ線状に発生したのかを調べるために，上昇流(図は省略)と水平収束を調べた。その結果，線状対流系が発生する時刻には六甲山南側で上昇流，水平収束が線状に形成されていた。

(2) コールドプールによる水平収束帯

線状対流系となる雨域の発生からその強い組織化まで，約1時間程度の時間があつた要因としてコールドプールに着目し，温位偏差を調べた。その結果，強く組織化し始めた時間帯では先行する積乱雲からの冷氣外出流による強い温度傾度とそれに伴う線状対流系に直角な方向への水平収束帯が見られた。そして，この水平収束帯が(1)で述べた六甲山による水平収束帯と重なる点で次々に対流コアが発生する様子が見られた。

(3) 水平渦管の引き伸ばし

(1)，(2)から，六甲山とコールドプールによる水平収束帯が重要であることが分かった。しかしながら，最初に六甲山による水平収束帯の発生後，六甲山から離れた地点で水平収束帯が継続している。このことから，線状対流系からのフィードバックがあると考え，流体の3次元構造として水平渦管に着目した解析を進めた。

渦管の可視化には，速度勾配テンソルの第2不変量 $Q = 1/2(\Omega_{ij}\Omega_{ij} - S_{ij}S_{ij})$ を用いる。ここで， Ω_{ij} は渦度テンソルを， S_{ij} はひずみテンソルを示す。 $Q > 0$ であれば渦効果が勝ることを示す。図-3は実際に水平渦管を可視化したもので，線状対流系に沿うように存在していることが確認された。

さらに，渦度方程式内におけるStretching項を確認したものが図-4である。線状対流系に沿う水平渦管が引き伸ばされていることも確認された。

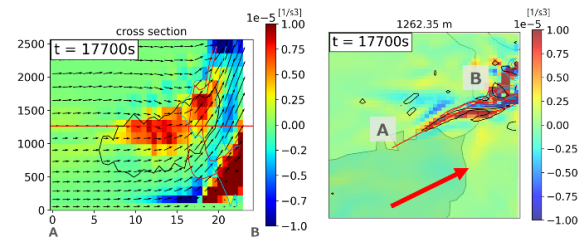


図-4 右図の線における渦度方程式における伸縮項の，左：断面方向への水平成分の鉛直断面を，右：高度1262mにおける水平断面を示す。等値線(黒)は速度勾配テンソルの第2不変量，等値線(赤)は上昇流，等値線(青)は降水粒子混合比。

4. まとめ

本研究では，豪雨災害をもたらす線状対流系の持つ気流構造を解明することを目的とし，数値シミュレーションを用いて実事例の再現実験を行った。その結果，線状対流系の持つ気流構造として，六甲山による水平収束帯，コールドプールによる水平収束帯，水平渦管の引き伸ばしが見られた。前の2要素は既往研究と矛盾しない結果である。水平渦管は渦度方程式に現れる引き伸ばし項が線状対流系の維持に寄与する可能性が示唆された。

今後は，本事例の再現実験により明らかになった気流構造が関西地方において一般性を持つものであるかを確認するため，より単純化した大気条件の下で理想実験を行う予定である。また，こうした気流構造が乱流のような偶然的要因によって受ける影響について，アンサンブル実験や空間解像度を変更した実験を行い解析する予定である。

参考文献

- 1) 石原正仁，寶馨: 2012年8月13, 14日に宇治市周辺に発生した大雨 第1部 大雨をもたらした線状降水帯群のメソ構造, 2018, 天気, 65, 5-23.
- 2) Nishizawa, S., H. Yashiro, Y. Sato, Y. Miyamoto, and H. Tomita, 2015: Influence of grid aspect ratio on planetary boundary layer turbulence in large-eddy simulations. *Geosci. Model Dev.*, 8, 3393-3419.
- 3) Sato, Y., S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Miyamoto, Y. Kajikawa, and H. Tomita, 2015: Impacts of cloud microphysics on trade wind cumulus: which cloud microphysics processes contribute to the diversity in a large eddy simulation?. *Prog. in Earth and Planet. Sci.*, 2, 23.