

都市気象 LES モデルを用いた豪雨の種となる熱的上昇流と渦管の組織化の解明
Investigation on Aggregation Process of Thermal and Vortex Tubes at Initial Convection
by Using Urban Meteorological Large Eddy Simulation

○山口弘誠・千賀幹太・中北英一

○Kosei YAMAGUCHI, Kanta SENGA, Eiichi NAKAKITA

It's studied how thermals, which cause guerrilla-heavy rainfall in future, are generated from urban area like Kobe City and break through atmospheric boundary layer (ABL). In particular, the phase that thermals and vortex tubes connect to genesis of cumulous and cumulonimbus. I think that aggregation may play an important role at the phase. But, by radar observation, this mechanism isn't clear yet (Fig. 1). Hence it is better to compute by using urban meteorological large eddy simulation. In this study, I conducted idealized experiments in order to investigate on how the behavior of thermals and vortex tubes is around or above ABL.

1. はじめに

局地的豪雨（ゲリラ豪雨）はその時間・空間スケールの小ささから予測が困難であり、その結果近年都市に重大な被害をもたらしている。2008年の都賀川豪雨では短時間で河川が急激に増水し、人命が失われる悲惨な事故となった。

ゲリラ豪雨を引き起こす積乱雲の起源となる豪雨の「種」に着目し研究が行われている。水蒸気が上昇流により持ち上げられ、凝結し雲が発生するが、そのプロセスは未だ未解明である。しかし、この豪雨の「種」に関し都市の影響が示唆されており、数値モデルによるそのメカニズムの解明が試みられている。

山口ら(2016)は都市を解像し、積雲の生成までシームレスに再現できる乱流モデルである都市気象 LES モデルを開発した。これを用いて土橋ら(2017)により、渦管と都市の関係について解析が行われている。建物のバックステップ流によって風速の鉛直シアが強化されできた水平渦管が立ち上がりの要因となる上昇流は、建物によるもぐりこみ流れや風の水平収束、また熱的な浮力が効いている。また同様に、小西ら(2019)は、大気境界層内からその上空の自由大気までを解析対象高度とし、都市における熱により発生した上昇流を熱的上昇流と呼び、それが大気境界層を通過し突き抜けるまでをモデル計算をし、解析を行った。熱的上昇流が大気境界層を突破する要因として、熱による浮力という熱的上昇流の気塊自体の内的要因と、高密度・高頻度に上昇流が発生し先行する

上昇流による安定層の解消と水蒸気の持ち上げによる豊富な水蒸気量という外的要因が考えられる。しかし、熱的上昇流とそれに伴う渦管が大気境界層を突破したのちに、積雲や積乱雲へとつながる部分は未だ不明瞭なことが多い。この部分について新保ら(2019)は、Ka バンドレーダーで上昇流と渦管が複雑に集まっているように見られることを示した。これを移動平均すると単一の大きな上昇流とそれに渦管が伴うという大きな構造が見られ、この構造は X バンドレーダーを用いた観測でも見られる。図 1 のように多数の上昇流と渦管が積雲や積乱雲を生成するとき、ただ集まるだけなのか、大きな単一のものに併合化するのか、レーダーによる観測でも不明瞭である。

本研究では、これを熱的上昇流と渦管の組織化と呼び、都市気象 LES モデルを用いて、理想実験を行い、そのメカニズムを解明していく。

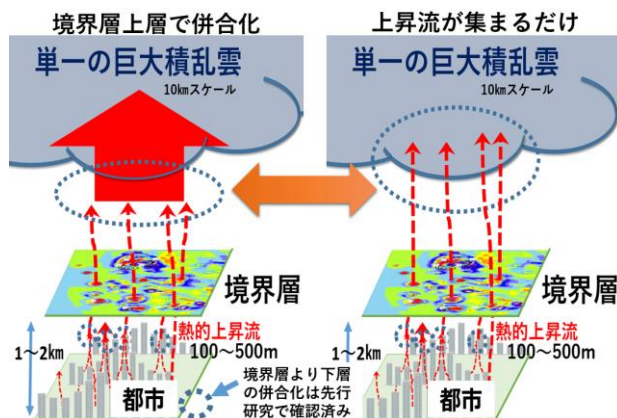


図 1 組織化の詳細なメカニズムは不明瞭である。

2. 理想実験による解析

都市気象 LES モデルを用いて理想実験を行う。境界層を突破するような大きさの同じ上昇流を等間隔に発生させて、境界層付近やその上層の挙動を解析する。組織化に関わる大気の状態として、

- (1) 流入風（環境風）の鉛直シア
- (2) 大気の安定度（温位勾配の大きさ）
- (3) 大気中の水蒸気量

が重要だと考える。そこでこれらが上昇流や渦管の挙動にどう影響していくか評価するため、表 1 に示すように 8 つの計算を行い、解析する。Control Run での大気の状態の平均は、2017 年から 2019 年の 8 月（3 か月間）、兵庫県で、午後 12 時にゲリラ豪雨が発生した日の 12 時の気象庁 MSM—GPV（メソ数値予報モデル）データの中で、南風が卓越していた 9 つのデータを参考にして決めた。

3. 上昇流と渦管の挙動解析

水蒸気量が多い条件の Run1, 3, 5, 7 で上昇流の併合化が見られた。その様子を図 2 に例示する。最初に発生した上昇流が境界層を突破し雲が生成する。この時、先行研究同様に地表面付近で上昇流の併合化が見られた。境界層を突破した上昇流はしばらく浮力を保ち、2 回目に発生した上昇流が下部から併合化していく。他の計算条件よりも雲が多く発生し、多量の潜熱が放出され浮力が大きくなり、最初の上昇流が他の Run より長い時間境界層上層に滞留していたため、併合化が起こったと考える。また、どの Run でも上昇流の周囲に補遺流としての強い下降流が生成するため、境界層より上層で隣り合った上昇流が併合化することはない。したがって大気の状態よりも、上昇流の不均一さが組織化に与える影響が大きいと考える。

同様に渦管の解析も行った。上昇流が併合化した際、渦管が融合すると予想していたが渦管は融合せず、併合化する前の上昇流に起因する渦管のペアが残っていた。なにか力学的メカニズムが働いていると考えられる。

4. おわりに

今後、上昇流の浮力や渦度の強さ、空気の水平発散・収束などを詳細に解析し、組織化による上昇流と渦管の変化や雲の発達具合の比較をする。また、大気のランダム性を検討する理想実験も行い、それについても発表する予定である。

参考文献

- 1) 山口弘誠・高見和弥・井上実・須崎純一・相馬一義・中北英一(2016): 豪雨の「種」を捉えるための都市気象 LES モデルの開発と積雲の生成に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第 59 号 B, pp .256-297.
- 2) 山口弘誠・土橋知紘・中北英一・高見和弥(2017): 都市気象 LES モデルを用いたゲリラ豪雨の種の解析, 京都大学防災研究所年報, 第 60 号 B, pp .584-598 .
- 3) 山口弘誠・小西大・土橋知紘・中北英一(2019): 都市気象 LES モデルを用いた大気境界層を突破する熱の上昇流の発見と渦管解析, 京都大学防災研究所年報, 第 62 号 B, pp .493-532 .
- 4) 中北英一・新保友啓・大東忠保・山口弘誠(2019): Ka バンドレーダー等のマルチセンサーで捉えた積乱雲の生成・発達過程, 京都大学防災研究所年報, 第 62 号 B, pp .399-431 .

謝辞：本研究は JSPS 科研費 15H05765（基盤研究 S「ストームジェネシスを捉えるための先端フィールド観測と豪雨災害軽減に向けた総合研究」、研究代表者：中北英一）の助成を受けたものです。

表 1 大気の状態が異なる 8 つの理想実験を行う。

RUN	Control-Run	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5	Run6	Run7
流入風鉛直シア	平均	平均	平均	平均	大きい	大きい	大きい	大きい
大気の安定度	平均	平均	不安定	不安定	平均	平均	不安定	不安定
流入水蒸気量	平均	多め	平均	多め	平均	多め	平均	多め

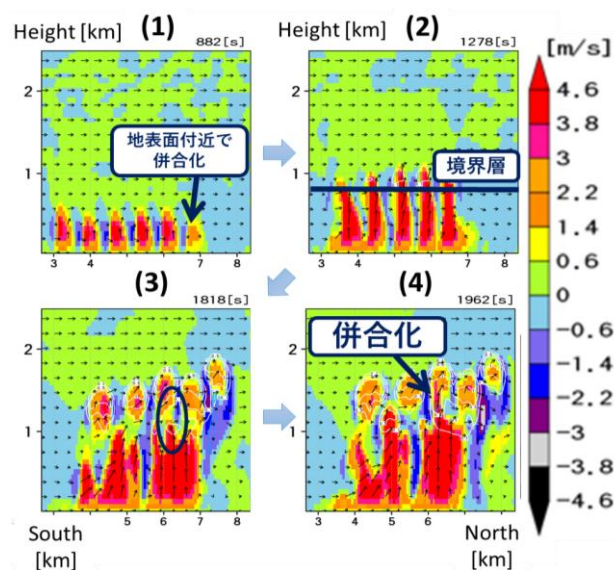


図 2 Run1 における鉛直風速の南北断面の時間系列図。白色のコンターは雲水混合比、ベクトルが風、赤色が強い上昇流を表す。