

都市気象 LES モデルを用いた渦管形成とその起源となる熱的上昇流の解析
 Analysis of the formation of vortex tube and updraft above urban area by urban meteorological
 model based on large eddy simulation

山口 弘誠・○土橋 知紘・中北 英一・相馬 一義

Kosei YAMAGUCHI, ○Tomohiro TSUCHIHASHI, Eiichi NAKAKITA, Kazuyoshi SOUMA

Convective genesis is subject of our research. Some researchs suggest that urban heat and shape affect the convective genesis. The aim of this reasearh is understanding which factor is the most strong on the generating process. 2 patterns of simulation by using urban meteorological model based on large eddy simulation is conducted. As a result of this sensitivity test, the effect of urban heat is greater than the effect of urban shape. In addition, Multi-sensor observations are being performed in Kobe City. And in this research by comparing the result of simulation with observation (wind profiler, doppler lidar, and radio sonde) validity of simulation result is verified.

1. 背景

近年局地的豪雨（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，その結果都市に重大な被害をもたらしている．特に数 10 分から 1 時間の間に発生，急激に発達し地上に被害をもたらす時間スケールの小ささは，避難，対策が間に合わず被害を発生させる大きな要因となっている．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．ゲリラ豪雨をもたらす孤立的に発達する積乱雲は，台風や前線による集中豪雨のものと異なり気象モデルによる予測が難しい．ゲリラ豪雨の予測に関して，これまで気象レーダやビデオゾンデなどを用いた積乱雲発生後に雲中の上空で降水粒子が生成される段階である豪雨のタマゴ，またタマゴからの成長時に焦点をあてた研究・観測が行われてきた．その研究の新たな段階として，積乱雲の発生する前の段階が新たな着眼点となっている．しかし，積乱雲の発達に影響していると考えられている渦の生成，発達の仕方やその影響の詳しいメカニズムについても依然未解明である．この観測，モデルのどちらにおいても知見の少ない豪雨のタマゴの起源に関して，豪雨の「種」と呼びその解明を将来的な大目標としている．またこの豪雨の「種」に関して都市の影響がしばしば指摘されており，観測からの情報を補完することのできるモデル計算からこの事象にアプローチを行うため山口ら(2016)は都市の建物群の形状をできるだけ陽に解像し，上昇流と渦の関係や建物群

から生じる乱れの効果を詳細に解ける乱流モデルを用い，また都市キャノピー内部から積雲が生成する境界層上空までシームレスに扱えることをコンセプトとしたモデル開発に着手した．(表 1)本研究では山口らが開発した都市気象 LES モデルを用い，降水の起源となる渦管生成メカニズムの解析を主とする．

表 1:LES モデルの概要

基礎方程式系	非静力準圧縮系
予報変数	u v w p θ qv qc qr
座標系	直角直交座標系
計算格子	スタaggerド格子
離散化法	有限差分法 (FAVOR法)
時間離散化法	2次精度Adams-Bashforth法
空間離散化法	2次精度中心差分 移流項:3次精度風上差分
音波の扱い	HE-VI法
SGSモデル	Smagorinsky-Lilly (Smagorinsky, 1963; Lilly, 1966)
境界条件	側方:周期, 勾配なし, free-slip, 放射 上空: free-slip
壁面の取り扱い	バルク(Louis, 1979)
雲物理モデル	暖かい雨のバルク(Kessler, 1969)

2. 実験設定

(1) 基本設定

格子間隔は水平方向に 60m，鉛直方向には 4~60m にストレッチさせた．格子数は東西(x 方向)，南北(y 方向)，鉛直方向(z 方向)の順 200×300×100 で最上端が 4871m である．時間間隔は $\Delta t = 0.3[s]$ ， $\Delta \tau = 0.06[s]$ とする．対象日の 2017 年 8 月 18 日午前 12 時を初期値として，3 時間の

計算を行う。初期条件は温位、水蒸気に気象庁 MSM-GPV の初期値を時間・空間平均した午前 10 時における水平一様の値を与え、南北風に計算領域の南側に位置する MSM-GPV の点の初期値を時間平均したものについて高度 1km の値を 1km 以上は一定、それより低い場所では 1/7 乗則に従うとして与えた。境界条件は東西が free-slip, 南側が流入境界, 北側が放射境界とした。南側の流入境界では南北風, 圧力を固定し, 湿潤な空気の侵入を表現するため南北風速の初期値で用いた MSM-GPV の点の水蒸気混合比の鉛直分布を流入値として用いる。また, 乱流を駆動させるために温位に ± 0.1 [K] の擾乱をあたえた。

(2) 感度実験における都市の設定

本研究では降水・渦管に対する都市の熱的影響と形状による影響を分離し、評価を行うため(1)の設定に加えて都市の形状と熱的效果の条件を変更し感度実験を行った。Control_Run は建物形状, 都市の熱的效果(人工排熱, 表面温度)を考慮した基本設定であり, それに対して No_Building では建物形状を, No_Heat では熱的效果を取り除いている。(表 2)

表 2 感度実験設定

Control_Run	建物形状考慮 人工排熱、都市表面温度分布あり
No_Buildings	建物形状なし 人工排熱、都市表面温度分布あり
No_Heat	建物形状考慮 人工排熱なし、都市表面温度分布なし

3. 結果と考察

都市上空において雲・降水の生成において明確な差が見られた。(図 1) 降水に対する都市の熱的な

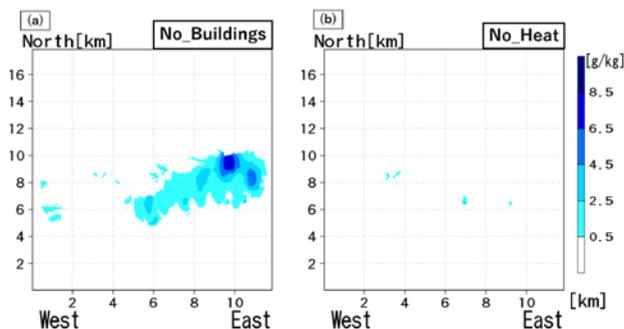


図 1 都市域上空における雲水・雨水混合比の鉛直積算を $T=3600s \sim 10800s$ まで時間平均

(a)No_Buildings (b)No_Heat

降水に対する熱的な効果が形状の効果に比べて非常に大きいことが見て取れる。また渦管に関しては地表面付近では建物の効果により No_Heat では小スケールの渦が存在しているが, 地表面からの熱的效果が小さいため No_Buildings で確認されるように渦管が上昇する様子が見られない。その結果図 1 のような差が生まれたと考えられる。

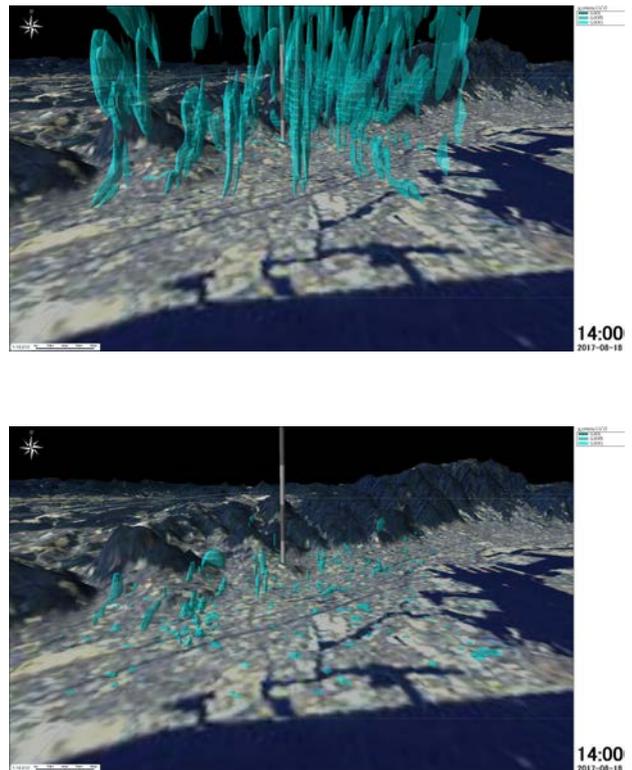


図 2 都市域における渦管指標, 水色の部分が渦がせん断に対して卓越している部分を表す。

(上)No_Buildings (下)No_Heat

5. まとめ

本実験では積雲生成に対して都市の熱的效果と形状による効果がそれぞれの程度影響を及ぼしているかを感度実験によって解析し, 積雲生成に至る渦管形成における上昇流とそれに対する都市の熱的效果の重要性を確認することができた。

参考文献

山口弘誠・高見和弥・井上 実・中北英一, 豪雨の「種」を捉えるための都市効果を考慮する LES 気象モデルの開発, 土木学会論文集, B1(水工学), 第 72 巻, pp. 205-210, 2016. 3.