

都市気象 LES モデルを用いたゲリラ豪雨の種の解析

Analysis of convection genesis by urban meteorological model based on large eddy simulation

○山口弘誠・中北英一・土橋知紘

○YAMAGUCHI Kosei, Eiichi NAKAKITA, Tsuchihashi TOMOHIRO

Convective genesis is subject of our research. The aim is understanding which factor is the most strong on the generating process and how strong urban areas have influence on convective genesis. Cumulus clouds above urban areas on summer were simulated by our model. The pair of vortex tubes that produce cloud droplet were analyzed. As a result, backward facing step flow and vertical wind shear came up behind buildings. They made horizontal vortex tubes. In addition, anthropogenic heat and sensible heat from surface made upward flow and then vertical vortex tubes rises up with moisture.

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する、その中で本研究では本研究は山口（2016）が開発した都市気象 LES モデルを用いたゲリラ豪雨の種の解析を主とする。

2.モデルの概要

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いる。しかし豪雨の「種」となる現象は観測においても依然未解明な部分が多い。都市では土地利用が多岐にわたり、熱、水蒸気の水平分布が一樣でなく、かつ建物群によって乱れの影響が高高度まで及ぶため定点観測では事象の解析が困難であり、都市の熱による上昇流が水蒸気を運ぶ過程やできたばかりの雲粒は気象レーダでは捉えられないからである。そのため観測では得られない情報を補完できるモデル計算からのアプローチが必要となる。豪雨の「種」となる現象をモデルで捉えるために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が必要となる。そのため山口は乱流を格子スケールで陽に解ける LES モデルの開発に着手した。開発したモデルの概要は以下のようにな

っている。(表 1)

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	$u v w p \theta qv qc qr$
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	パルク(Louis,1979)
雲物理モデル	暖かい雨のパルク(Kessler, 1969)

3.実験設定

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) の順に 398×398×100 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。対象日の午前 10 時を初期値として, 2 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 $\pm 0.1[K]$ の擾乱をあたえた。

4.解析

雲粒生成に至った渦管のペアに着目する。図 2 は計算領域内の一部分を高度 641m で切った xy 断面である。この図のようにある程度の高さまで (ここでは約 600m) 達した渦管のペアにおいて雲粒が生成する傾向が高い。しかし中にはこの高度まで達したにもかかわらず雲粒が生成しな

ったペアも存在する。本研究ではこのような異なる結果を示した渦管のペアを比較しその差異の要因を調べる。またそれに加え山岳付近と都市上空でできた雲粒のもととなった渦管のペアの相違点や水蒸気の動きなどに着目してゲリラ豪雨の種の生成メカニズム解明に取り組んでいく。今回の実験において建物によるバックステップ流れが風速の鉛直シアをつくり, 水平ロール渦が生成, さらに人工排熱や地面からの顕熱により上昇流が発生し渦管が立ち上がる様子が見られた。



図 1:計算領域

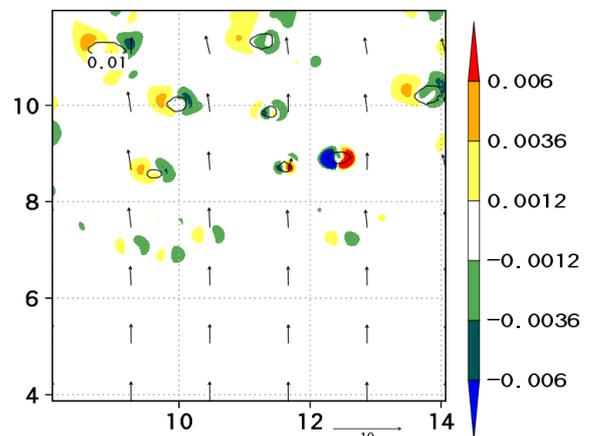


図 2 色付けしている部分が鉛直渦度、コンターが雲粒混合比 (g/kg)、ベクトルが風速 (m/s)

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.