

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 Basic Development of Urban Meteorological Model Based on Large-Eddy Simulation for Investigation on Convection Genesis

山口弘誠・○高見和弥・井上実・須崎純一・中北英一

Kosei YAMAGUCHI, ○Kazuya TAKAMI, Minoru INOUE, Junichi SUZAKI, Eiichi NAKAKITA

Localized torrential rainfall disasters in rainy season is called as “Guerrilla-heavy-rainfall disasters” in Japanese media. This kind of rainfall disaster is caused by single or multi isolated cumulonimbus clouds that grow rapidly within one hour since its generation. Nakakita et al. (2014) found that it is important to detect the clouds at its “baby-cell” stage earlier using X-band weather radar, and to predict the risk of disaster by vertical vorticity in a cumulonimbus cloud at its developing stage. However, the radar cannot detect the “convection genesis”, i.e. air motion of thermal without precipitation particles. This trigger of generating baby-cell is concerned to be much affected by urban area. So the purpose of this study is to develop an urban meteorological model based on large-eddy simulation (LES) intended to clarify the convection genesis.

1. 背景と目的

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による予測の困難さから都市に重大な被害をもたらしている。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。中北ら（2012）はこの積乱雲の発達過程のうち、気象レーダによって発見できる最早単位を豪雨のタマゴと呼び、平成 21 年度より国土交通省が導入した XRAIN（X バンド MP レーダネットワーク）によってその早期探知を試みてきた。この際タマゴと渦度の関係に着目することで早期に危険性の評価を行うことを試みている。しかし、このタマゴの起源となる、まだ雲粒を伴わない水蒸気から雲の発生に至るプロセス、またその水蒸気を持ち上げる上昇流はレーダではとらえることができない現象である。また、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、発達の仕事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。これらを解明するためには詳細な乱流構造まで計算する気象モデルが必要である。一方、タマゴの起源となるものの一つとして都市の影響が盛んに議論されている。上層に寒気、下層に湿潤な暖気がある場合、下層の空気が軽く上層の空気は重いという不安定な状況となる。このような状態の時、何らかのきっかけで上昇気流が生起すると強い浮力が働いて上昇気流の加速が引き起こされる。このきっかけとして都市のヒートアイラン

ド現象の寄与するところが大きいと言われている。ゲリラ豪雨をもたらす積乱雲の発生のきっかけとなる現象、豪雨の「種」を捉えるためには、都市の建物について出来るだけ陽に扱い、渦との関係を調べるために乱流構造を詳しく表現し、また降水につながるまで計算できることが必要であると考えられる。そのため、本研究では降水の起源となる現象の解明を目的とするため、都市内部から境界層上部までを一気通貫に扱える、雲物理を取り扱う準圧縮の LES モデルの開発を目指す。モデル概要を表 1 に示す。

表 1 モデル概要

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-VE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. 神戸市，六甲山を対象とした数値実験

開発したモデルを用いて，積雲の生成と都市の効果に関する数値実験を行う．計算対象は図1に示した2014年8月23日午前11時頃に六甲山上空で積雲が発生した事例である．赤枠で囲われた六甲山付近において西から流れてきた雲が急激に発達している．標高データと10m格子での建物容積率を図2に，また，気象庁MSM-GPVの初期値を空間・時間内挿した，計算領域における午前10時半の950hpaでの相対比湿と水平風速を図3に示した．下層において，海側から湿潤な空気が神戸市街を通過して六甲山にぶつかるように流れている．六甲山上空では山地による上昇で強い降水をもたらす積雲がしばしば発生するが，この積雲の発生に関して，海側から六甲山の南側から吹き込む風が神戸市を通過する際にもたらされる熱や乱れの影響があると予想される．

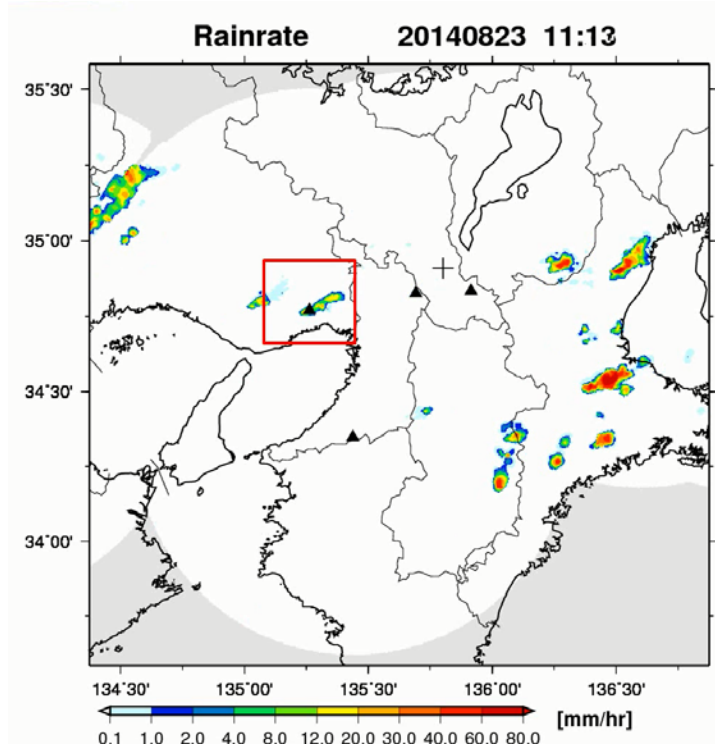


図1：対象事例のレーダによる観測降雨

本研究では計算領域の南側からの一様な流入風を仮定し，六甲山の南側の神戸の都市部を対象として，10km×20kmの領域を数10mの解像度で計算する．この計算において神戸市街地の建物分布や熱分布等を変えることで，市街地を過ぎた風が六甲山によって上昇する場所での水蒸気フラックスや乱れがどう変化するか比較する．

・参考文献

一ノ瀬俊明・花木啓祐・松尾友矩：細密地理情報にもとづく都市人工排熱の時空間分布の構造解析，環境工学研究論文集，31，263-273，1994．

中北英一，西脇隆太，山邊洋之，山口弘誠：ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究，土木学会論文集，B1（水工学），Vol.68巻，pp.427-432，2012．

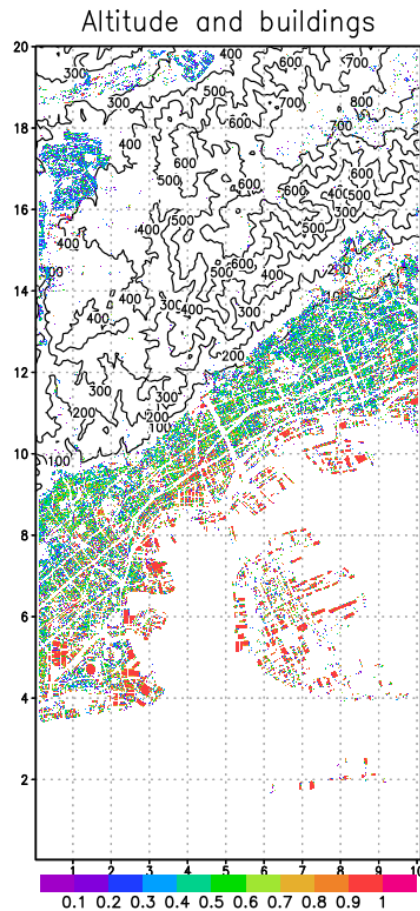


図2：計算領域の標高と建物の容積率

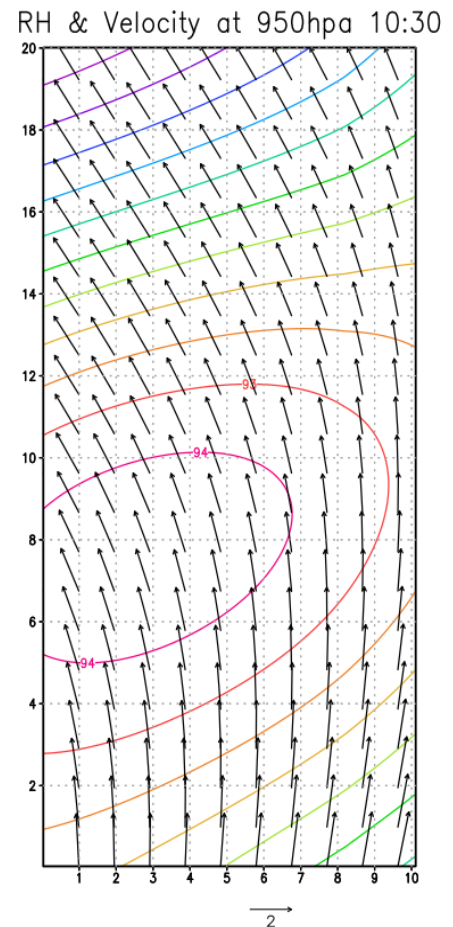


図3：降雨発生前の下層風と相対比湿