

## 都市気象 LES モデルと境界層レーダーを用いた大気境界層を突破する熱的上昇流の発見 Discovery of Thermals Breaking through Atmospheric Boundary Layer by Urban Meteorological Based on Large Eddy Simulation and Boundary Layer Radar

○山口弘誠・小西大・土橋知紘・中北英一・山本真之・

川村誠治・雨谷純・杉谷茂夫・大東忠保・小川まり子

○Kosei YAMAGUCHI, Dai KONISHI, Tomohiro TSUCHIHASHI, Eiichi NAKAKITA,

Seiji KAWAMURA, Jun AMAGAI, Shigeo SUGITANI, Tadayasu OHIGASHI, Mariko OGAWA

Our target is a process generating cumulus by thermals in urban city. We discover the thermals breaking through atmospheric boundary layer by urban meteorological based on Large Eddy Simulation. First, we estimate the level of atmospheric boundary layer by turbulent kinetic energy and potential temperature and so on. Then, we analyze what features the thermals have and how factors generate the thermals.

### 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。ゲリラ豪雨の予測に関して、降水粒子が生成される段階である豪雨のタマゴ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。そこで雲粒ができる前の上昇流がどのような条件で境界層を突破し積雲を生成するのかを見ていくことによりゲリラ豪雨の解明に繋がっていく。その中で本研究は山口 (2016) が開発した都市気象 LES モデルを用いた境界層を突破する熱的な上昇流の解析と新たに神戸市長田区に設置された境界層レーダーによる検証を目的とする。

### 2. モデルの概要

上昇流の発生に関して都市の影響がしばしば指摘されている。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様でなく、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。上昇流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の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。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	バルク (Louis, 1979)
雲物理モデル	暖かい雨のバルク (Kessler, 1969)

### 3. 境界層レーダーの概要

今年度神戸市長田区に設置した LQ-7 という小型のウィンドプロファイラーレーダー (WPR) を使用する。中心周波数が 1357.5MHz でアンテナはアクティブフェーズドアレイを使用する。ビーム方位は 5 方位で天頂・北・東・南・西である。上空に発射されたパルス状の電波は大気乱流に伴う屈折

率の揺らぎにより、極めて微弱ではあるが散乱される。乱流は大気の流れに乗って移動するためエコーはドップラー効果により風速 $V$ に比例した周波数変位を受ける。よって視線方向風速が求まり、ビーム方向を変えることで水平風速成分も求まる。以上の原理からこの小型の WPR により対流圏下層の風速・風向をリアルタイムで3次元的に捉えることができる。大気境界層からその上空までを包括的に扱えることにより境界層を突破する上昇流の可視化が実現した。

#### 4. 解析

##### 4.1 計算条件

今回の解析対象は夏季晴天日且つ境界層レーダー周辺に積雲が生成していた日とし、2017年8月18日12時を初期値として計算を開始した。格子数は東西(x方向),南北(y方向),鉛直方向(z方向)の順に $198 \times 298 \times 100$ で最上端が4871mである。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。初期値については気象庁 MSM-GPV のデータを空間平均し, 南北風, 温位, 水蒸気混合比を水平一様に与える。都市における熱的効果の表現は人工土地被覆の効果と人工排熱の効果が考慮されており, オフラインで計算したものを入れている。

##### 4.2 境界層高度の推定

始めに境界層の高度推定を行う。境界層の特徴として, 地表面の摩擦による乱れや建物による粗度の影響, 上昇流等により乱流が発生する。日の出とともに日射による影響から上昇流が生まれ, 境界層内は乱流で卓越し, 境界層の高度は変化する。また乱流により境界層内は乱され, 温位や水蒸気混合比は一定に近くなる。そのことや乱流のエネルギーの指標(図1)から境界層の高度推定が可能となる。

##### 4.3 境界層を突破する上昇流

次に境界層レーダー周辺の都市域に着目し, 境界層を突破する熱的上昇流の特徴を捉える。上昇流は下降流とペアで存在することは1つの特徴だが, 他にも上昇流の発生頻度, 上昇流の大きさ等の時間的・空間的スケールからアプローチす

る。LES モデルは水平 60m 解像度という高解像度により, 下層でどのような特徴を持つかについても議論する。また境界層レーダーについても境界層を突破している上昇流における特徴を捉え, LES モデルとの比較を行っていく。(図2, 3)

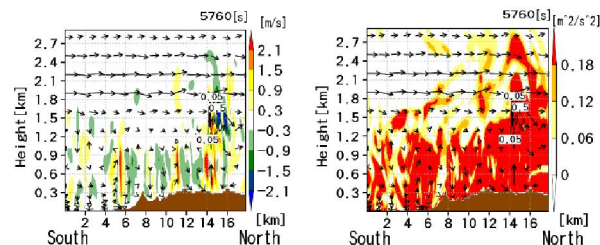


図1:境界層レーダー上空の南北断面における上昇流(左図)と乱流エネルギー(右図)

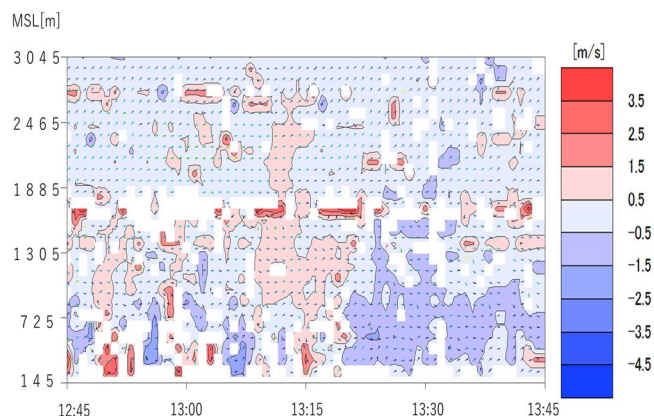


図2:境界層レーダー上空の上昇流  
横軸は時刻

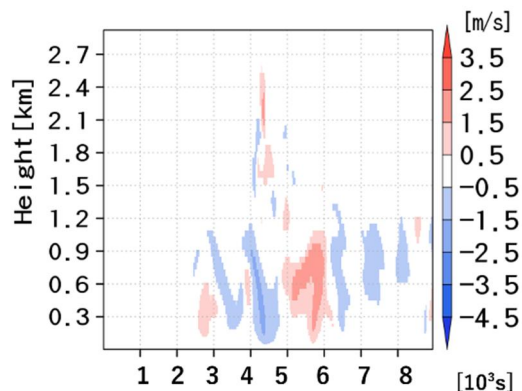


図3:LESモデルによる境界層レーダー上空の上昇流(横軸は計算開始からの時間)

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.