

# 都市街区を対象にした並列 LES 気象モデルの開発

\*池田 亮作（筑波大院生命環境）、日下 博幸（筑波大計算科学研究センター）  
飯塚 悟（名古屋大環境学研究科）、朴 泰祐（筑波大システム情報工学研究科）

## 1. はじめに

気象観測点のうち歴史的に長期間観測が行われている観測点の多くが都市部に位置している。その気温変化は都市化の影響を大きく受けていると考えられており、建物や樹木による観測データに与える影響が、定性的な問題提起の段階ではあるが指摘されている(例えば Runnalls and Oke 2006)。すなわち、観測点周りの局所的な環境の変化(樹木の成長や、土地利用の変化)が原因で、気温の観測データに影響を与えていると言われている。本研究では、都市街区の計算が可能な LES モデルを開発し、開発したモデルを用いて建物や公園、樹木が局所的な気温分布にどの程度影響を与えるかを評価する。また、LES での大規模計算、計算の高速化を図るためにコードの並列化を進める。

## 2. モデル概要

基礎方程式は、主に大気境界層を対象とすることからブジネスク近似方程式を採用する。座標系は直角座標系、格子系はArakawa-Cグリッドを採用した。数値計算アルゴリズムはFractional Step法、時間スキームは移流項に3段階Runge-Kutta法、拡散項はオイラー陽解法、空間スキームは2次精度中央差分である。サブグリッドの乱流モデルは、標準的なスマゴリンスキーモデルと、SGS乱流エネルギーからサブグリッドの乱流拡散係数を求めるDeardorff(1980)のモデルを導入している。圧力に関するPoisson方程式はBi-CGSTab法で解く。側方境界条件は、周期境界、ゼロ勾配条件、放射境界条件のいずれか。上部境界での重力波の反射を防ぐために、領域上層にRayleigh damping層を設ける。摩擦係数はKlemp and Lilly(1978)に従う。建物は0-1マスキングで表現する。すなわち、流体部は1、建物部は0とする方法である。

## 3. モデルの検証

構築したLESモデルの検証として、中立大気境界層における流れ場、大気成層を導入し地表面顕熱フラックスを与えた混合層発達の数値シミュレーションを行った。開発した LES モデルにおいて、流れ場や乱流エネルギー収支の特徴がよく再現された。

次にサーマルの数値実験を行った。初期風速は  $0\text{ms}^{-1}$ 、温位勾配  $0.004\text{Km}^{-1}$ 、基準温位  $300\text{K}$ 、地表面フラックス  $0.24\text{Kms}^{-1}$  と設定しサーマルの数値計算を行った。格子間隔は  $20\text{m}$ 、格子数は  $102 \times 102 \times 102$  点で  $4000$  秒の数値積分を行った。図(左)は  $4000$  秒後の鉛直速度である。地表面近くでは、六角形の網目状構造が見られ、その網目の結節点で最も上昇流が強くなっている。この地点から混合層上端にまで達する強い上昇流（サーマル）が形成さ

れている様子が示された。この結果は既存研究でも指摘されているものである(例えば、Kanak et al. 2000)。

また、建物を解像したテスト計算として、正方形のブロックを計算領域に9個おき流れの計算を行った。格子間隔は  $0.1\text{m}$ 、ブロックは16格子で解像（ブロックサイズは  $1.6\text{m}$ ）、大気は中立、風速  $5\text{ms}^{-1}$  で1時間の数値積分を行った。図(右)は建物高さの1.2倍高度の風速偏差である。風速が周辺よりも遅い領域が筋状に連なる低速ストリークが見られる。この特徴は既存研究(例えば、Kanda et al. 2004)でも指摘されているものである。他、乱流統計量の鉛直分布も既存研究と比べて良好な結果が得られた(図省略)。

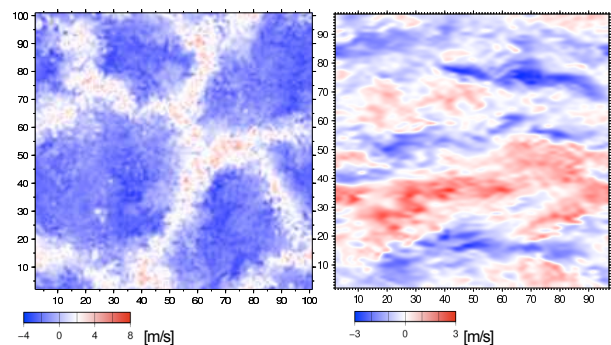


Fig. The left figure is X-Y cross-sections of the vertical velocity at  $z=0.2z_i$ (Left).  $T=4000\text{s}$ . The right figure is -Y horizontal cross-section ( $z=1.2h$ ) of spanwise velocity component ( $u''=U-\langle U \rangle$ ). The blue area marks low-speed streaks

## 5. 今後

公園や街路樹の樹木を表現する必要があるが、木を直接解像することは困難なため、植生キャノピーモデルが必要であり、現在導入中である。また、構築中の LES モデルに雲微物理モデルには Kessler(1969)の改良版を、放射モデルには灰色大気を仮定したモデル (Mahrer, and Pielke (1977)の改良版)を導入中である。

大規模演算によるメモリの確保、計算時間の短縮のために、LES コードの並列化、GPU による計算加速化も平行して行う。

## 謝辞

本研究は特別研究員奨励費(23・477)の助成を受けたものである。本研究開発の一部は、文部科学省の委託事業「気候変動適応研究推進プログラム」において実施したものである。本研究で実施した数値シミュレーションは、筑波大学計算科学研究センター学際共同利用プログラムで実施された。