

都市街区を対象にした並列都市 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も進める。

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SMAC法、時間スキームは3次精度Runge-Kutta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乱流拡散係数を求めるDeardorff(1980)のモデルを導入している。地表面はSlabモデルで土壌・建物壁面内温度は熱伝導方程式を解く。側方境界条件は、周期境界。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。

短波放射、長波放射については、まず都市キャノピー層より上空では近藤(1994)で求める。次にその結果を都市キャノピー層高度の入力値として与え、建物間の短波放射、長波放射はモンテカルロ法を用いて計算を行った。ここでは、建物各面・地表面は灰色体とし、ランバート面を仮定した。各分割面から各面を見た形態係数は、放射束を各分割面から射出し求めたのち、村上他(1992)の方法で対称化の処理を施した。直達光は各分割面から放射束を太陽方向に射出し直達日射が照射される割合を計算することで求める。反射光は1回反射まで考慮している。

3. モデル検証

建物を導入した検証として、一辺 50m の建物を整形配置し、 1 ms^{-1} の風を吹かせた数値実験を行った。その結果、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た(図1)。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。ほか、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)。

放射モデルにおいて、モンテカルロ法で計算した形態係数の検証には、錐面積分法で計算したものを真値として比較することで行った。その結果、放射束を 10 万本程度射出すれば十分真値に近い値になることを確認した。また、放射モデルと地表面モデルを結合して表面温度を計算し影の部分で表面温度が低くなる点、壁面からの長波放射を考慮することで表面温度が高くなることを確認した。

4. モデルの並列化

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 コードの並列化を行った。並列化はMessage Passing Interface(MPI)を用い、並列計算はT2K-Tsukubaを利用した。128 コアまで Strong Scaling で並列化効率を測定した。その結果、128 コアで並列化効率 0.73 得られた。Weak Scaling で計測を行った結果、16 コア以上ではコアの正味の計算時間はコア数の逆数となっていた。このことから並列化効率が落ちるのは粒度が細かくなることが要因であると考えられる(図省略)。

5. 今後の展望

公園や街路樹の樹木を表現するための植生キャノピーモデルを現在導入中である。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並行して行う。

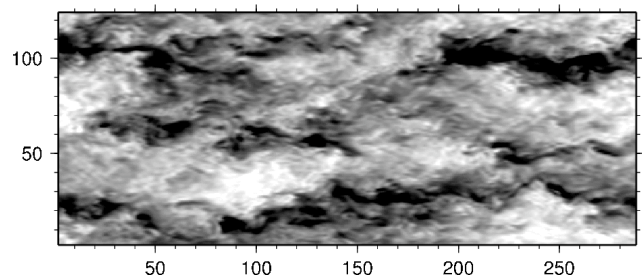


図 1 $z=1.2h$ での主流方向の風速偏差($u''=U-\langle U \rangle$)の水平断面図。筋状の低速ストリークが見られる。

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。