Meteorological Society of Japan

B403

一般曲線座標系による並列LESモデルの開発

池田　亮作（筑波大生命環境），日下 博幸（筑波大 CCS）
飯塚　悟（名古屋大環境学研究科），　朴　泰祐（筑波大 CCS）

1. はじめに

近年，都市のヒートアイランド研究など気象モデルの高解像度計算の一手段として LES が注目されている．気象分野におけるLES計算は，主に理想計算を対象としてきたので，地形の導入はなく地面は平坦であるものが多い．地形を表現できるLESとして，直交座標系を採用した Raasch and Schroter(2001)のモデルや，地形に沿った座標系を用いた Chow et al.(2006)のモデルなどがある．後者の座標系の場合，急峻な地形に対しては座標変換誤差が大きくなることが指摘されている．そこで，この研究では一般曲線座標系を導入し地形の効果を取り入れた．また，大規模計算を想定した計算コードの並列化を行う．

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．座標系は一般曲線座標系を採用した．格子系はデカルト座標での物理量を格子中心，反変速度を格子境界に定義するコロケーション格子を採用する．数値計算アルゴリズムはSMAC法，時間スキームは移流項に2次精度Adams- Bashforth法，拡散項にCrank-Nicolson法，空間スキームは2次精度中央差分を採用する．圧力に関するPoisson方程式はBi-CGStab法で解く．これらの数値計算アルゴリズム，スキームについては，名古屋大・飯塚准教授のLESモデルをベースにしている．サブグリットの乱流モデルは，標準的なスマゴリンスキーモデルと，サブグリット乱流エネルギーからサブグリットの乱流拡散係数を求めるDeardorff(1980)のモデルを導入している．側方境界条件は，周期境界，勾配0の条件，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．

3. モデルの検証と急峻な地形に対する数値実験

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，乱流エネルギー収支の特徴がよく再現された．これらの結果，力学，乱流モデルが正しく計算されていることが示された．次に LES としての検証ではないが，座標変換，大気成層，境界条件の検証のために，山岳波の再現実験を行った．その結果，山岳波の周期，パターン，波面の方向など線形解とよく一致することが示された．

さらに，山の傾斜角を急にして計算が安定に実行できるかを検証した．傾斜角を 45°，51.3°，59.7° と上げていった結果，一般曲線座標で格子を切った場合はノイズを発生させることなく計算できた．z*座標系の場合，傾斜がきつくなるほどノイズが目立つようになるが，山の半値幅に対して 10 格子以上と高密度に格子を切ればノイズは目立たなくなった．

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．1024 万格子点で，1024 コアまでストロングスケーリングで並列化効率を測定した．その結果，1024 コアで並列化効率 0.5 程度得られることが分かった．

5. 今後の展望

都市街区スケールの気温分布の計算ができるようにするため，建物・放射過程などの物理モデルを組み込む予定である．

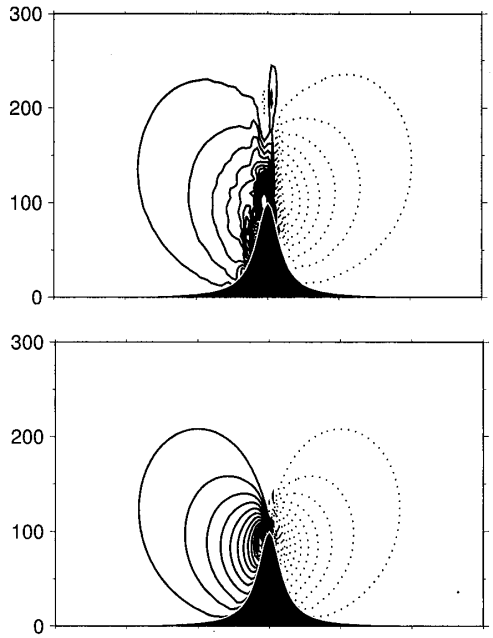

図 1　急斜面に対する数値実験（平均斜度 59° の場合）の結果．鉛直速度を示す．上図は z*座標系（従来の手法）．下図は一般曲線座標系．

謝辞

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．

NII-Electronic Library Service