

複雑地形・都市を対象とした並列 LES モデルの開発

*池田 亮作¹, 日下 博幸², 飯塚 悟³, 朴 泰祐²

¹筑波大学生命環境科学研究科, ²筑波大学計算科学研究センター, ³名古屋大学大学院環境学研究科

1. はじめに

近年、気象モデルの高解像度計算の一手段としても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。工学分野で開発されたLESの中には複雑地形や都市街区に対応したものもあるが、雲物理や大気放射などの大気物理のモデルが導入されていないため、気象分野で直接利用することはできない。

そこで本研究では、複雑地形や都市街区を対象とし、大気成層と大気物理のモデルを導入した並列版 LES を開発する。複雑地形を対象とするため、座標系は一般曲線座標系を採用する。LES のような大規模計算をする場合、モデルの並列化は不可欠である。本研究でも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。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。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。

3. モデルの検証

構築したLESモデルの検証として、平行平板間流れ、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

(図1)。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。さらには、乱流モデルの検証ではないが、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。

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。非圧縮性流体をSMAC法で解く場合、数値計算の大部分をポアソン方程式の計算に費やされる。LESのポアソン方程式の解法としてモデルで採用しているBi-CGStab法とその他の複数の数値計算法を比較し、大規模並列計算時の高速化に向けた取り組みを開始している。

今後は放射などの物理過程を導入し、また建物を表現できるようにする予定である。構築されたモデルは、都市街区スケールの熱環境、スカイスポーツパイロット支援のための筑波山系で発生する熱対流、空間スケールの小さな盆地霧などの研究に利用する予定である。

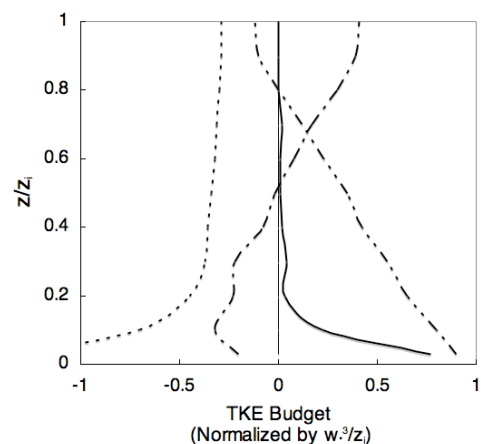


図1: 乱流エネルギー各項の鉛直プロファイル(混合層発達計算)。実線はシアー生成項、点線は消散項、一点鎖線は輸送項、二点鎖線は浮力生成項。

謝辞

本研究の一部は、環境省の地球環境研究総合推進費(S-5-3)の支援により実施された。