

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 21 日現在

機関番号：82109

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26800244

研究課題名(和文) LESのための接地境界条件の提案

研究課題名(英文) Surface Layer Parameterization for Large Eddy Simulation

研究代表者

伊藤 純至 (Ito, Junshi)

気象庁気象研究所・予報研究部・研究官

研究者番号：00726193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：気象モデルが高解像度化し、乱流渦の一部が解像されるラージ・エディ・シミュレーションとみなされる場合、従来の接地境界層過程のパラメタリゼーションの適用は不適切になる。そのような場合におけるパラメタリゼーションの在り方を、ラージ・エディ・シミュレーションによる感度実験、乱流の直接計算、および風洞実験結果をもとに検討した。また関連して、高解像度化した気象モデルの接地境界層過程(特に強安定成層または強不安定成層)に顕在化する課題にも取り組んだ。

研究成果の概要(英文)：When turbulent eddies are partially resolved in a numerical weather prediction model (i.e. large eddy simulation), the conventional parametrization of the surface layers are inadequate. How a surface layer parametrization should be in such a model is investigated by sensitivity experiments with a large eddy simulation, direct numerical simulation of turbulence, and wind tunnel experiments. We have also studies surface layer processes specific to the strong stable and unstable conditions.

研究分野：気象学

キーワード：接地境界層 ラージ・エディ・シミュレーション LES DNS 大気境界層 風洞実験 運動量フラックス パルク法

1. 研究開始当初の背景

従来の数値気象モデルは、乱流を時空間平均により丸ごとパラメタライズし、乱流変動を除いた平均流に関する基礎方程式を解く。一方ラージ・エディ・シミュレーション (Large Eddy Simulation: LES) は、乱流にとって重要なサイズの大きい渦を計算格子上で解像しながら、サイズの小さい渦の寄与を空間フィルターによりパラメタライズし、乱流変動をより信頼できる形で捉えた計算を行う。LES は計算負荷が大きく、気象分野での利用に関しては用途が限られていたが、大型計算機の利用により LES が普及し、様々な微細気象の再現に用いられるようになった。

大気が地表面に接する状況を想定する LES では、地表面近傍の乱流を通した運動量・熱・物質輸送を適切に表現する接地境界条件を課す必要がある。従来の数値気象モデルで導入された、モデル最下層の風速や気温分布によって接地境界での乱流フラックスを経験式により決定するバルク法 (例えば Stull 1988) を、LES に流用する例が多い。しかしバルク法は、乱流変動を除去後の平均流に対して用いるべきで、乱流変動を伴った LES の瞬間値に対するバルク法の利用は適切でない。

一方、滑りなし条件は粘性底層を解像可能な後述の乱流の直接計算 (DNS) のみで合理化され、やはり不適切である。両者とは異なる、LES に相応しい接地境界条件は未解決であり、現状では十分な根拠がないままバルク法や滑りなし条件の利用を余儀なくされている。そのため、適切な接地境界条件の開発が望まれている。

2. 研究の目的

(1) 前述のように、従来の接地境界条件を LES で用いる概念的な不整合は明白だが、正しい接地境界層での乱流フラックスと比較して、どのような誤差を生むかさえ未解明である。乱流フラックスが陽に求まる DNS 結果により、定性的な傾向を明らかにするとともに、粗い手段ではあるが DNS 結果の高レイノルズ数極限への外挿により、大気の接地境界層の場合についての定量化を行う。

(2) 上記の誤差を低減するように、LES で利用する接地境界条件に対し、何らかの改良を提案する。接地境界条件の変更を実装し、実際の大気の接地境界層を想定した LES の実証計算も行う。風洞実験や屋外観測で得られた実測データの援用も行う。

(3) モデルの提案だけではなく、壁面付近に含まれる乱流渦全ての情報を有する DNS 結果を活用し、瞬時の風速に対し接地境界条件の乱流フラックスが決定づけられるダイナミクスに対する理解も伴うように

する。大気の場合、成層安定度は接地境界条件に大きく影響し得る。安定・不安定成層時も研究対象とし、浮力がダイナミクスに与える影響をみる。

3. 研究の方法

並列計算機用 LES コードを DNS 用に変更し、DNS において時系列データを採取し、現状の接地境界条件の問題点を定性的に明らかにする。LES の接地境界条件に伴う誤差の定量化や、成層による影響も理解した上で、接地境界条件の改良を提案する。接地境界条件に変更を施した LES に対し、影響を評価する。その際に風洞実験における実測データも有効利用し、検証のために利用する。

4. 研究成果

(1) 中立エクマン層の LES において、接地境界条件についての感度実験を行った。バルク法を適用時に、各格子点の瞬時値の風速を引数とする従来の方法と、空間平均した風速を引数とした場合を比較した。地表面付近での速度の分散に大きな差が生じる (図 1)。平均風速に対しては (分散) / (平均風速の 2 乗) 程度の差が生じる。中立成層のエクマン層では高々 1% 程度のため、平均流に対する影響はあまり大きくない。

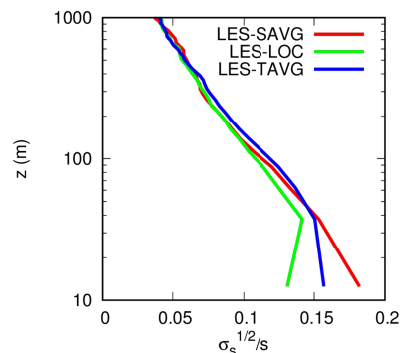


図 1 中立エクマン層の LES でみられた水平風速の標準偏差の鉛直分布。緑線が従来モデル、赤線が領域全体で空間平均した風速を接地境界層モデルに与える手法、青線が時間平均した水平風速を接地境界層モデルに与える手法による結果。

(2) 接地境界層のパラメタライゼーションの検討を行うリファレンスとするため、中立エクマン層の DNS を行った。様々な大きさの空間フィルターをかけながら、接地層 (対数境界層) の運動量フラックスを陽に求めた。空間フィルターのサイズが小さくすると、風速に対する運動量フラックスの比例係数 (図 2 の傾きに対応し、バルク係数とよばれる) を小さくする必要がある。

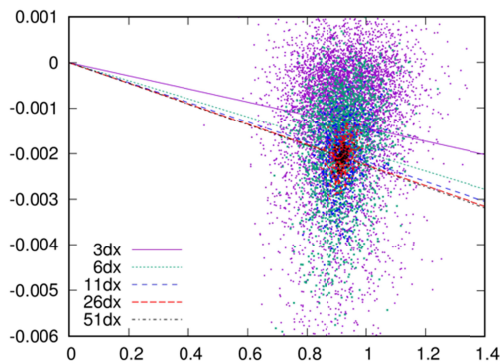


図2 中立エクマン層のDNSにおいて、平均風速の2乗（横軸）に対する鉛直運動量フラックス（縦軸）。様々な空間フィルターサイズに対する結果。

(3) 気象研究所の大型風洞において取得された(図3)長時間の時系列データも解析に利用した。この際は、凍結乱流仮説により、空間フィルターを時間フィルターに対応させる。乱流の相関長によって規格化したフィルターサイズに対する普遍的な曲線が見出された(図4)。この曲線に従い、1)高解像度の場合、バルク係数を小さくする、2)十分長い時間平均をした風速を用いる、といったモデル化の方針が得られた。

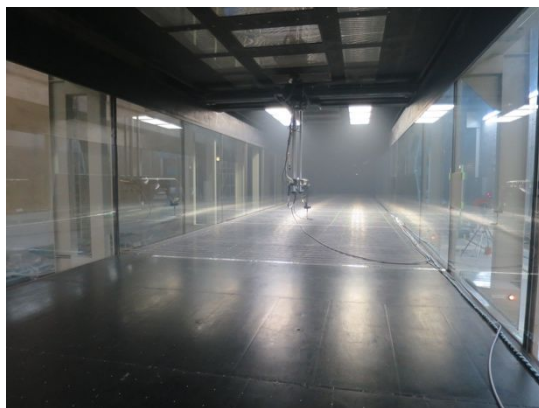


図3 鉛直フラックスを取得した気象研究所の大型風洞。

(1) - (3) の成果は国内学会や国際学会で発表し、国際誌へ投稿を行い、査読結果をもとに改訂中である。

(4) 十分長い時間平均をした風速を用いる接地境界層のパラメタリゼーションを気象庁非静力学モデルに導入した。2012年つくば竜巻事例についてパラメタリゼーション導入のインパクトを調べた。最大風速が1割程度増加し、渦の構造も変化していた。前述のLESにも採用し、実際に計算を行うと、最

下層付近で速度分散が大きくなる結果が得られている。

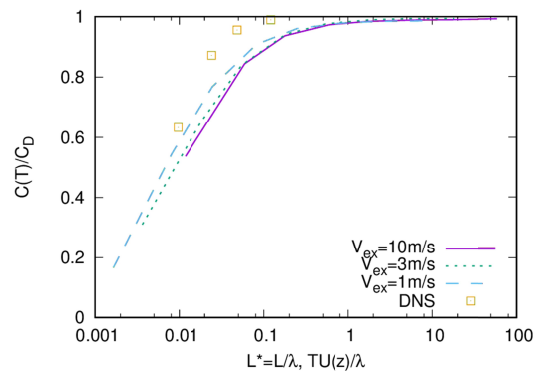


図4 相関長で規格化した長さスケールに対するバルク係数。風洞実験(風速は3種類)とDNSの結果を重ねてプロットしている。

(5) 数値モデルで安定成層や不安定成層を扱った場合に、接地境界層モデルの振る舞いが大きい影響する場合があることがわかった。不安定成層時は、運動量フラックスの風速に対する依存性により、地表面付近にできる渦が強化されるフィードバックがみられた。(論文)、安定成層時は地表面温度と大気最下層の結合が、最下層の高度の大きく影響を受けることがわかった。

<引用文献>

Stull, R. B., 1988, An Introduction to Boundary Layer Meteorology.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

ITO, Junshi and Hiroshi Niino, Particle Image Velocimetry of a Dust Devil Observed in a Desert, 2014, SOLA (査読有), 10, 108-111.

<http://dx.doi.org/10.2151/sola.2014-022>

ITO, Junshi and Hiroshi Niino, Wind-Speed-Surface-Heat-Flux Feedback in Dust Devils, 2016, Boundary-Layer Meteorology (査読有), 161, 229-235

[主な学会発表](計 5 件)

伊藤純至、砂漠に生じたダストデビル(塵旋風)のPIV、日本気象学会秋季大会、2014年10月23日、福岡、口頭

伊藤純至, 大泉伝, 新野宏, 台風全域ラ
ージ・エディ・シミュレーション、台風
研究会、2015年10月31日、京都、口頭

Junshi Ito, Tsutao Oizumi, and Hiroshi
Niino, Large Eddy Simulation on Entire
Tropical Cyclone, 32nd Conference on
Hurricane an Tropical Meteorology,
2016/4/20, プエルトリコ、口頭

Junshi Ito, Hiroshi Niino, and Hideaki
Mouri, On a surface flux model for
atmospheric large eddy simulations,
22nd Symposium on Boundary Layers and
Turbulence, 2016/6/21, ソルトレーク
シティ (米国), 口頭

伊藤純至, 新野宏, 毛利英明, LES のた
めの接地境界条件の検討、2016年9月
28日、名古屋、口頭

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤純至 (Ito, Junshi)

気象研究所・予報研究部・研究官

研究者番号 : 00726193