



ラージ・エディ・シミュレーションが魅せる 微細スケール構造

伊藤 純 至*

1. ラージ・エディ・シミュレーション (LES) の特徴

気象予測や学術研究の様々な用途のため、気象モデルを用いたシミュレーションが行われています。このうち、注目したい限られた領域の詳細な天気予報などに用いられる雲解像モデルは、数 km 程度の水平解像度で用いられることが一般的になってきました。同じ雲解像モデルを利用しながら、乱流とされる微細スケールの渦を解像できるように、さらに 1 桁程度解像度を細かくした場合に、ラージ・エディ・シミュレーション (Large Eddy Simulation, 以下 LES) が実現します。流体が本来もつ高い自由度を、膨大な数の計算グリッド上の数値計算に反映させる LES は、従来の解像度の雲解像モデルの計算結果とは、質的に大きく異なるものになります。

LES の計算結果には、高い解像度でしか表現しえないような微細スケール構造が自発的に出現します (第 1 図)。一見、単なる数値計算上のノイズに見えてしまうかもしれません。しかし、実際に詳細な観測により存在が確かめられたり、力学的なメカニズムが明らかにされたり、統計量として定量的に検証されるなど (Schmidt and Schumann 1989 など)、LES にあらわれる微細スケール構造はある程度信頼できるものと考えられます。単純な設定の LES では、第 1 図のような微細スケール構造は似通ったものになります。このように数値モデル毎の差異が小さいことも LES が信頼性を示します。一方、地面近くや安定成層など、乱流渦のサイズが小さくなる箇所では、LES としての解像度が不十分になってしまう解決し難い問題点もあります

が、そのような欠点を差し引いたとしても、上述のような観測に整合する計算結果になっています。

2. LES による微細スケール構造の探求

従来は「パラメリゼーション」として定式化され、気象モデルに導入されている過程を、高い自由度をもつ計算グリッド上の数値計算に委ねます。そのため、LES がどのように計算結果になるかは、基本的に計算機任せになります。前述のように、単純な設定の LES において出現する微細スケール構造はよく知られていますが、これまでに無いような設定の場合、微細スケール構造については、LES をやってみないと何ができるかわかりません。

筆者は最近、台風 (Ito *et al.* 2017, 第 2 図) や線状降水帯 (Ito *et al.* 2021, 第 3 図) を対象として、極端気象の LES を実施してきました。その結果、極端気象に関わる微細スケール構造の全体像をはじめて明らかにできる計算結果が得られています。第 2 図、第 3 図には微細スケール構造の存在が示されています。その検証やメカニズムなど詳細な解析を行うべき興味深い点が多数あります。しかし、コンピューターの高性能化とともに、LES の実施が高速化しており、詳細な解析に至っていない計算結果が山積しています。

第 2 図、第 3 図のような LES は、従来の LES の計算例 (第 1 図など) からみれば特殊な設定であり、LES の計算結果は、当初の想定と違うことばかりでした。その解釈に悩むような場合も多いですが、期待以上に観測と一致し驚くような場合もあります。後者のように驚くような計算結果が得られることが度々あるため、私自身も LES の能力は計り知れません。LES が様々な微細スケールの構造を的確に捉えた研究成果が今後も多数産出されるように期待されますが、その一方 LES を活用したパラメリゼーションの設計や、LES

* 東北大学理学研究科。
junshi@tohoku.ac.jp
© 2023 日本気象学会

自体の改善も併せて取り組む必要がある研究課題です。

参考文献

- Ito, J. T., Oizumi and H. Niino, 2017: Near-surface coherent structures explored by large eddy simulation of entire tropical cyclones. *Sci. Rep.*, 7, 3798.
- Ito, J., H. Tsuguchi, S. Hayashi and H. Niino, 2021: Idealized high-resolution simulations of a back-building convective system that causes torrential rain. *J. Atmos. Sci.*, 78, 117-132.
- Schmidt, H. and U. Schumann, 1989: Coherent structure of the convective boundary layer derived from large-eddy simulations. *J. Fluid Mech.*, 200, 511-562.

伊藤純至

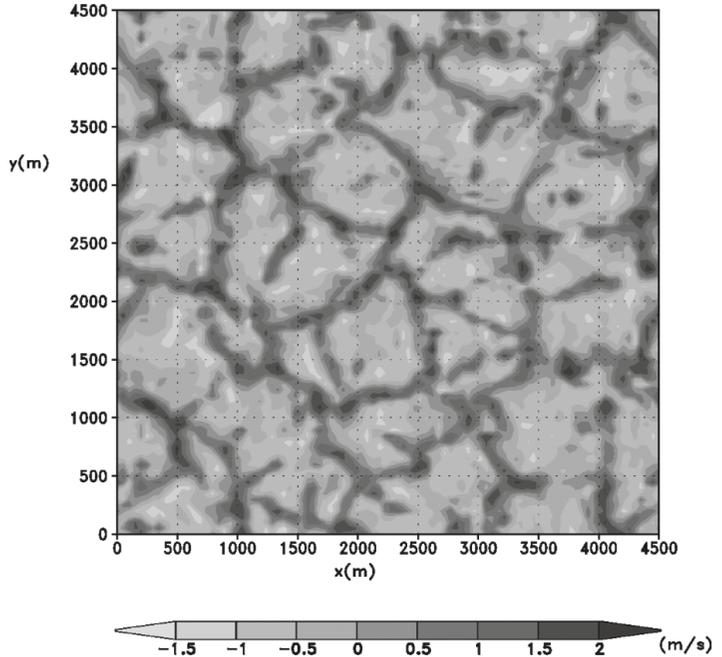
東北大学理学研究科地球物理学専攻気象学・大気力学分野 准教授
東京大学理学系研究科(海洋研究所) 修士(理学)

元々は気象というよりは、一般的な流体のシミュレーションや大規模計算に興味がありましたが、現在は高解像度の気象シミュレーションを主として、AI・フィールド観測なども含めた色々な研究を行っています。

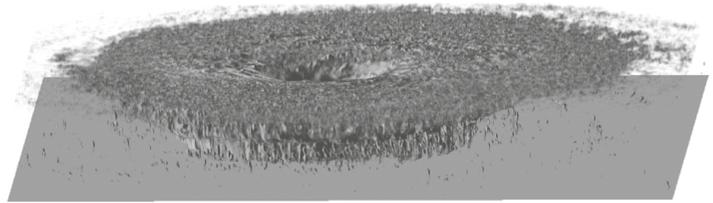
2020年4月に東北大学に赴任しました。それまでは関東以外に住んだ経験がありませんでした。東北地方は気象や季節の変化に、東西・南北・標高・峰/峠のコントラストが鮮明に表れる魅力的な環境です。その中には、気象学的に未解明な微細スケール構造もあり、理解に向けた取り組みも進めています。

参考：個人ページ

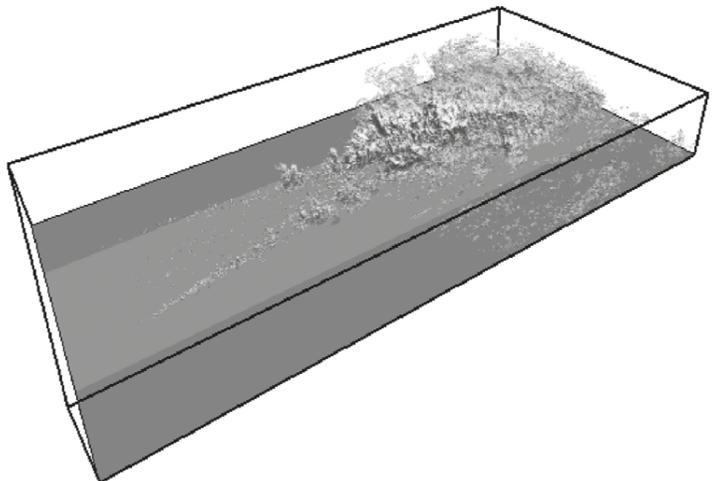
https://wind.gp.tohoku.ac.jp/personal/junshi/public_html/index.html



第1図 LESにおいてみられる対流混合層の地表面付近の水平断面。シェードは鉛直風速。



第2図 台風のLES(Ito *et al.* 2017)により再現された雲の3次元分布。



第3図 線状降水帯のLES(Ito *et al.* 2021)により再現された雲の3次元分布。