

2021 年度正野賞の受賞者決まる

受賞者：伊藤 純至（東北大学理学研究科）

研究業績：高解像度数値モデルを用いた大気境界層およびメソスケール現象の研究

選定理由：

大気境界層の乱流や組織構造は、熱や水蒸気・運動量・エアロゾルなどの鉛直輸送を通して、自由大気のような大気運動を駆動し、地球や惑星の気候に大きな影響を与え、人々の生活にも影響を与える。大気境界層内の多様な大気現象を理解し、予測することは、気象学的にも社会的にも重要である。

多くの気象モデルでは、乱流の効果をパラメタリゼーションにより表現している。近い将来、気象モデルの標準的な空間解像度は 1 km 以下になると予想されるが、1 km から約 100 m までの解像度では、従来の鉛直 1 次元的なパラメタリゼーションも、Large Eddy Simulation (LES) で使われる等方乱流理論にもとづくパラメタリゼーションも適用し難い。この問題は、グレイゾーンあるいは Terra Incognita (未開拓の領域)と呼ばれており、その克服は気象学モデル研究において重要な課題と位置づけられている。

伊藤氏は、LES の結果を活用し、代表的な乱流パラメタリゼーションの一つである Mellor-Yamada-Nakanishi-Niino のモデルをグレイスケールの領域に適用可能にした [業績 7]。この研究では、格子スケールとサブグリッドスケールを合わせた乱流のエネルギー散逸率を一定に保つようにしながら、最適な長さスケールを決めるという汎用性の高い方法を採用している。また、これまで物理的な実態を十分に考慮されてこなかった水平拡散についても、LES により長さスケールを調べて定式化を行った [業績 6]。さらに、LES モデルの下部境界条件である地表面フラックスの計算には、通常用いられるバルク法を修正する必要があることを、シミュレーション結果をもとに指摘した [業績 9, 14]。

伊藤氏は、大気境界層の多様な現象を数値シミュレーションで再現し、その構造やメカニズムを明らかにする研究も行ってきた。その一つに、身近ではあるが理解が不十分であった塵旋風の研究がある [業績 1-5]。LES モデルを用いた研究では、熱対流の揺らぎで作られた Kelvin 循環が、セル状対流の下降流で地表面近くに下降し、上昇流域に収束することで、塵旋風が発生することを示した [業績 4]。アリゾナ州の砂漠で撮影したビデオ映像に粒子画像流速測定法 (PIV) を適用し、塵旋風の風速分布を推定することにも成功した [業績

5]。この他にも、寒気の吹き出し時の済州島下流に生ずるカルマン渦に似た渦列 [業績 8] や、愛媛県の大洲盆地から瀬戸内海に向けて霧が吹き出す冷気流型地峡風「肱川あらし」[業績 11] などの興味深い現象の構造やメカニズムも明らかにしている。

伊藤氏は、大気境界層と同様のアプローチを、降水を伴う対流システムについても適用してきている。2017年7月の九州北部豪雨を対象にした理想化実験を行い、バックビルディング型の線状降水帯が、2つの海岸から侵入した海風の収束線をトリガーとして形成されるという線状降水帯に関する新しい形成機構を提案した [業績 13]。この線状降水帯の形成・維持には、降水系内の潜熱の解放によって形成された低圧偏差が重要であり、高度と共に時計回りに回転する環境風や冷気プールの存在は必ずしも重要でないことを示した。

伊藤氏は、フラッグシップのスーパーコンピュータを利活用した研究にも尽力してきた。その一つに、世界で初めてのLESによる台風全体の再現実験がある。研究の結果、台風下の大気境界層内に従来知られていた1種類に加えて、新たに2種類の異なる水平ロール状組織構造が存在することを示した [業績 10]。また、成田空港で航空機の損傷を生ずる事故時の気象の再現実験を行い、事故の原因が鉛直シアと不安定成層によって生ずるロール状対流の鉛直流や乱流構造、およびそれらに伴う運動量輸送によることを示した [業績 12]。強風が卓越する晴天時のロール状対流が航空機の離発着に危険であり、数値モデルで予測可能であることを示した研究は世界で初めてである。

伊藤氏はLESを用いて、乱流のパラメタリゼーションを独自に改良してきた。これらの一連の成果は、将来の気象モデルの発展に資するものであり、高く評価できる。また、従来信頼できる形で再現できなかった大気境界層やメソスケールの多様な現象を再現しており、これまで十分な理解が得られていなかった現象の基礎過程や構造・メカニズムの理解・解明に大きく貢献してきた。以上の理由により、日本気象学会は伊藤純至氏に2021年度正野賞を贈呈するものである。

主な論文リスト：

1. Ito, J., R. Tanaka, H. Niino, and M. Nakanishi: Large eddy simulation of dust devils in a diurnally-evolving convective mixed layer, *J. Meteor. Soc. Japan*, 88, 63-77, 2010.
<https://doi.org/10.2151/jmsj.2010-105>
2. Ito, J., H. Niino, and M. Nakanishi, 2010: Large eddy

simulation on dust suspension in a convective mixed layer, *SOLA*, 6, 133-136.

<https://doi.org/10.2151/sola.2010-034>

3. Ito, J., H. Niino, and M. Nakanishi: Effects of ambient rotation on dust devils, *SOLA*, 7, 165-168, 2011. <https://doi.org/10.2151/sola.2011-042>
4. Ito, J., H. Niino, and M. Nakanishi, 2013: Formation mechanism of dust devil-like vortices in idealized convective mixed layers, *J. Atmos. Sci.*, 70, 1173-1186. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-12-085.1>
5. Ito, J. and H. Niino: Particle Image Velocimetry of a Dust Devil Observed in a Desert, *SOLA*, 10,108-111, 2014. <https://doi.org/10.2151/sola.2014-022>
6. Ito, J., H. Niino, and M. Nakanishi, 2014: Horizontal turbulent diffusivity in convective mixed layer, *J. Fluid Mech.*, 758, 553-564. <https://doi.org/10.1017/jfm.2014.545>
7. Ito, J., H. Niino, M. Nakanishi, and C.-H. Moeng, 2015: An extension of the Mellor-Yamada model to the Terra Incognita zone for dry convective mixed layers in the free convection regime, *Boundary-Layer Meteorol.*, 157, 23-43. <https://doi.org/10.1007/s10546-015-0045-5>
8. Ito, J. and H. Niino, 2016: Atmospheric Kármán vortex shedding from Jeju Island, East China Sea: A numerical study, *Mon. Wea. Rev.*, 144, 139-148. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00406.1>
9. Ito, J. and H. Niino, 2016: Wind-speed—Surface-heat-flux feedback in dust devils, *Boundary-Layer Meteorol.*, 161, 229-235. <https://doi.org/10.1007/s10546-016-0167-4>
10. Ito, J., T. Oizumi, and H. Niino, 2017: Near-surface coherent structures explored by large eddy simulation of entire tropical cyclones, *Scientific Reports*, 7, 3798. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03848-w>
11. Ito, J., T. Nagoshi, and H. Niino, 2019: A numerical study of "Hijikawa-Arashi": a thermally-driven gap wind visualized by nocturnal fog, *J. Appl. Meteorol. Climate*, 58, 1293-1307. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0189.1>
12. Ito, J., H. Niino, and K. Yoshino, 2020: Large eddy simulation on horizontal convective rolls that caused an aircraft accident during its landing at Narita Airport, *Geophys. Res. Lett.*, 47, e2020GL086999. <https://doi.org/10.1029/2020GL086999>
13. 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.

<https://doi.org/10.1175/JAS-D-19-0150.1>

14. Kitamura, Y. and J. Ito: Revisiting the bulk relation for heat flux in the free convection limit, *Boundary-Layer Meteorol.*, 158, 99-103, 2016.
<https://doi.org/10.1007/s10546-015-0075-z>