

2022年度日本気象学会賞の受賞者決まる

受賞者：松井仁志（名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻）

業績：粒子の微物理特性を表現した全球エアロゾルモデルの開発と気候影響評価

選定理由：

大気中のエアロゾルは、太陽放射の散乱・吸収（エアロゾル-放射相互作用）や雲・降水過程への影響（エアロゾル-雲相互作用）を通して、地球の放射収支を変化させる。しかし、エアロゾルの微物理過程が関わるこれらの現象には未解明な点が多く、産業革命前から現在までの気候変化の定量化や将来の温暖化予測における最大の不確定要因の1つとなっている。エアロゾル-放射・雲相互作用の理解には、エアロゾルの光学特性（光散乱・吸収量）や雲核特性（雲凝結核数、氷晶核数）を高精度で定量化することが必要である。特に、エアロゾルの数濃度・粒径分布、および個々の粒子に含まれる光吸収性成分である黒色炭素（Black Carbon, BC）などの含有量で定義される混合状態を、高精度で計算することが不可欠である。

松井仁志氏は、エアロゾルの微物理特性（数濃度・粒径分布・混合状態）を詳細に表現し、それらの変動要因となる大気プロセス（生成、変質、除去過程）を物理化学法則に基づいて計算するエアロゾルモデル ATRAS を開発し、領域大気モデルへ実装して行った研究により、2014年に正野賞を受賞している。松井氏はその後、同モデルをさらに発展させるとともに、米国の全球気候モデル CAM に組み込んだ CAM-ATRAS を開発した（Matsui 2017; Matsui and Mahowald 2017）。CAM-ATRAS は、エアロゾルの粒径と混合状態の両方を表現可能な 2次元ピンモデルにより、BC の変質過程や新粒子生成（前駆気体からの核生成による直径約 1 nm の粒子生成と凝縮による成長）などを介して、エアロゾルの質量濃度・数濃度・粒径分布・混合状態が同時に時間発展する過程を陽に計算することを可能にした従来の全球モデルにはない独創的な全球気候-エアロゾルモデルであり、計算効率と精度を両立した数値計算法を確立することで、一般的な全球モデルと比べて数十倍のエアロゾルの情報を表現できる。その結果、従来の研究で行われてきたエアロゾル全量（質量濃度）に基づいた気候影響評価は、エアロゾルの数濃度・粒径分布・混合状態と

いった微物理特性に基づく評価へと刷新され、質的に新しいエアロゾル研究手法が開拓された。

松井氏は上記の CAM-ATRAS を活用した数値実験を数多く実施し、エアロゾル-放射相互作用の推定において重要課題の1つである BC の全球分布・長距離輸送過程（中緯度の放出源から北極域への輸送など）とその放射強制力の推定精度を大きく向上させてきた（Matsui *et al.* 2018a; Matsui and Moteki 2020; Matsui 2020; Matsui and Liu 2021; Liu and Matsui 2021）。多くの全球モデルでは、熱帯域の上部対流圏で観測された BC 質量濃度を 1 桁以上過大推定する一方で、北極域の下部対流圏では 1 桁以上過小推定することが課題となっていた。松井氏は、積雲や混合相雲でのエアロゾルの降水除去過程について従来よりも物理的に妥当な表現方法を採用することにより、これら 2つの領域での BC 濃度の観測再現性を大きく向上させることに成功した（Liu and Matsui 2021）。また、エアロゾルが大気中に放出される際の粒径分布を正確に扱い、かつ粒径・混合状態をモデルで詳細に表現することが、BC の放射強制力と有効放射強制力を精度良く推定するために不可欠な要素となることを明らかにした（Matsui *et al.* 2018a）。

松井氏は、さらに雲凝結核数と氷晶核数の推定手法・精度の高度化を通して、エアロゾル-雲相互作用の精緻化に関する研究を実施してきた。エアロゾルの数濃度・粒径分布・化学組成から決まる雲凝結核数と、その雲微物理過程への影響推定において、新粒子生成や有機エアロゾルの生成過程が重要であることを明らかにした（Matsui and Mahowald 2017）。また、主要な氷晶核である鉱物性ダストの数濃度・粒径分布に基づいた氷晶核数の計算を可能にすることで、エアロゾルが氷晶核を通して混合相雲の微物理特性（雲水量、雲氷量、雲の有効半径など）や雲放射強制力に与える影響の定量的な評価を実現した（Kawai *et al.* 2021）。

松井氏の研究は、エアロゾルが雪氷圏や生態系に及ぼす影響を評価する研究領域へと発展しつつある。人為起源の黒色酸化鉄に関する最新の観測的知見をモデルに導入した研究では、人為起源の鉄粒子の大気中濃度が従来の見積もりと比べて約 8 倍も多いことを明らかにした（Matsui *et al.* 2018b）。そして人為起源の鉄粒子が、大気や雪面における放射効果と、海洋への鉄

供給による生態系や炭素循環への影響という、複合的な気候影響を持ち得ることを示した。

以上のように、松井氏は、数値モデルによるエアロゾルの気候影響評価において、従来のエアロゾル全量(質量濃度)に基づいた評価に代わり、エアロゾルの微物理特性を陽に表現した全球モデルを用いるという新しい評価手法を効率的な計算手法と併せて開発し、全球的なエアロゾルの気候影響に関する科学的に確かである重要な知見を生み出してきた。これらの研究は気象学の発展に大きく貢献するものであり、上記の理由により松井仁志氏に2022年度日本気象学会賞を贈呈するものである。

主な関連論文

- Matsui, H. and M. Liu, 2021: Importance of supersaturation in Arctic black carbon simulations. *J. Climate*, **34**, 7843–7856.
- Liu, M. and H. Matsui, 2021: Improved simulations of global black carbon distributions by modifying wet scavenging processes in convective and mixed-phase clouds. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **126**, e2020JD033890, doi:10.1029/2020JD033890.
- Kawai, K., H. Matsui, and Y. Tobo, 2021: High potential of Asian dust to act as ice nucleating particles in mixed-phase clouds simulated with a global aerosol-climate model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **126**, e2020JD034263, doi:10.1029/2020JD034263.
- Matsui, H., 2020: Black carbon absorption efficiency under preindustrial and present-day conditions simulated by a size- and mixing-state-resolved global aerosol model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **125**, e2019JD032316, doi:10.1029/2019JD032316.
- Matsui, H. and N. Moteki, 2020: High sensitivity of Arctic black carbon radiative effects to subgrid vertical velocity in aerosol activation. *Geophys. Res. Lett.*, **47**, e2020GL088978, doi:10.1029/2020GL088978.
- Matsui, H., D. S. Hamilton, and N. M. Mahowald, 2018a: Black carbon radiative effects highly sensitive to emitted particle size when resolving mixing-state diversity. *Nature Comm.*, **9**, 3446.
- Matsui, H., N. M. Mahowald, N. Moteki, D. S. Hamilton, S. Ohata, A. Yoshida, M. Koike, R. A. Scanza, and M. G. Flanner, 2018b, Anthropogenic combustion iron as a complex climate forcer. *Nature Comm.*, **9**, 1593.
- Matsui, H., 2017: Development of a global aerosol model using a two-dimensional sectional method: 1. Model design. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **9**, 1921–1947.
- Matsui, H. and N. Mahowald, 2017: Development of a global aerosol model using a two-dimensional sectional method: 2. Evaluation and sensitivity simulations. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **9**, 1887–1920.