

2019 年度正野賞の受賞者

受賞者: 今田由紀子 (気象研究所)

研究業績: 気候モデルを用いた短期気候変動予測研究および極端気象に対する温暖化寄与推定の研究

選定理由: 気候システム内部で発達する季節内から年々規模の短期気候変動は、異常気象の直接的な引き金となる。その代表例であるエルニーニョ・南方振動(ENSO)は大気循環の変化を介して世界中の極端気象の発現に影響する。一方、世界各地で起こる異常気象や極端気象事例に対し、ENSOなどの自然気候変動に加えて人為起源の地球温暖化が影響するが、それらの寄与を定量化するイベント・アトリビューション(EA)は、様々な変動現象とそれらの相互作用の理解が試される高度な試みである。今田由紀子氏は、大気海洋結合モデル(CGCM)および大気大循環モデル(AGCM)を用いた多様な数値シミュレーションを主な手段として、短期気候変動の予測可能性、さらに猛暑や豪雨などの極端気象のEA研究において多くの業績を上げてきた。

大気海洋結合モデルにおける ENSO の再現と予測は未だに重要な課題である。今田氏は、東部太平洋赤道域で発達する熱帯海洋不安定波と ENSO の相互作用メカニズムを明らかにし、さらにその成果に基づいて、CGCM における海洋の鉛直混合スキームの高度化や、非解像の海洋渦による熱輸送を表現する新たな物理スキームの導入による、ENSO シミュレーションの改善に取り組んできた[業績 1]。さらに太平洋数十年規模変動(IPO)のメカニズムにも取り組み、IPO の起源が南太平洋にあるというメカニズムを共同研究者とともに提唱し、またこの南太平洋からの影響が ENSO の発達に影響することを示した[業績 2]。

これらの研究の過程で今田氏は、自身が改良した CGCM を活用して実験的延長季節予測システムを構築した[業績 3]。その予測プロダクトは、気候と海洋：変動・予測可能性・変化研究計画(CLIVAR)における季節から年々規模の気候予測作業部会(WGSIP)の活動である気候システム予測プロジェクト(CHFP)にも提出され、季節予測モデル相互比較研究に広く利用されている。

極端気象の発現には、ENSO などの短期気候変動に加えて、より長期の地球温暖化も影響している。近年では、過去の極端気象事例に対し、人間活動がその発生確率をどう変えたかを定量化する EA 研究が世界的に行われるようになってきた。今田氏は我が国における EA 研究の旗手として、多くの重要な成果を上げてきた。

EA 研究では大規模アンサンブル数値シミュレーションデータを用いて、確率的に温暖化の寄与推定を行う必要がある。世界初の高解像度・長期かつ全球・領域モデルを組み合わせた大規模アンサンブルデータである「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)」の作成に今田氏は主要メンバーとして貢献し、これを用いて日本やアジアにおける極端高温事例の EA 研究を行った。その中で今田氏は、長期的な温暖化が短期気候変動の影響を底上げし、極端高温の発

現確率を劇的に上昇させたことを定量的に示した[業績 4, 5, 6]. また近年の日本における気温の季節幅の拡大に対する EA 研究では, IPO が主要な寄与を果たしたことも明らかにした[業績 7]. さらに AGCM では表現困難な局地的豪雨についても, AGCM と領域モデルの 2 つのアンサンブルを組み合わせた巧妙な解析を行い, 温暖化が広域大気場の変調と地形影響を介して, その出現確率の地域分布に影響してきたことを共同研究者とともに示した[業績 8].

このように, 今田氏は気候システムの大規模な変動の理解と予測に重要な貢献をするとともに, そこで培ったモデリング研究の経験を生かし, 極端気象の要因分析という新しい研究分野に果敢に挑み, 研究コミュニティを牽引してきた. その成果は国内外の気象・気候研究の発展に大きく寄与している. とりわけ EA 研究の成果は, 気候システムの理解に貢献するだけでなく, 「温暖化で異常気象はどう変わるか?」という, 社会で関心の高い疑問に対する説明を可能にした点で大きな波及効果をもつ. さらに今田氏は, 自らの研究を水文学分野など工学にも応用し, 季節予測や EA 研究を洪水や干ばつのリスク研究と結び付ける融合的研究を展開し[業績 9], 学際研究の進展にも貢献している.

以上の理由により, 日本気象学会は今田由紀子氏に 2019 年度正野賞を贈呈するものである.

主な論文リスト

1. Imada, Y. and M. Kimoto, 2012: Parameterization of tropical instability waves and examination of their impact on ENSO characteristics. *J. Climate*, **25**, 4568–4581.
2. Imada, Y., H. Tatebe, M. Watanabe, M. Ishii and M. Kimoto, 2016: South Pacific influence on the termination of El Niño in 2014. *Sci. Rep.*, **6**, 30341.
3. Imada, Y., H. Tatebe, M. Ishii, Y. Chikamoto, M. Mori, M. Arai, M. Watanabe and M. Kimoto, 2015: Predictability of two types of El Niño assessed using an extended seasonal prediction system by MIROC. *Mon. Wea. Rev.*, **143**, 4597–4617.
4. Imada, Y., M. Watanabe, H. Kawase, H. Shiogama and M. Arai, 2019: The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming. *SOLA*, **15A**, 8–12. doi:10.2151/sola.15A-002.
5. Imada, Y., H. Shiogama, C. Takahashi, M. Watanabe, S. Maeda, M. Mori and Y. Kamae, 2018: Climate change increased the likelihood of the 2016 heat extremes in Asia. [in “Explaining Extreme Events of 2016 from a Climate Perspective”]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **99**, S97–S101.
6. Imada, Y., H. Shiogama, M. Watanabe, M. Mori, M. Kimoto and M. Ishii, 2014: The contribution of anthropogenic forcing to the Japanese heat waves of 2013 [in “Explaining Extreme Events of 2013 from a Climate Perspective”]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **95**, S52–S54.

7. Imada, Y., S. Maeda, M. Watanabe, H. Shiogama, R. Mizuta, M. Ishii and M. Kimoto, 2017: Recent enhanced seasonal temperature contrast in Japan from large ensemble high-resolution climate simulations. *Atmosphere*, **8**, 57.
8. Kawase, H., Y. Imada, H. Sasaki, T. Nakaegawa, A. Murata, M. Nosaka and I. Takayabu, 2019: Contribution of historical global warming to local-scale heavy precipitation in western Japan estimated by large ensemble high-resolution simulations. *J. Geophys. Res.*, **124**, doi:10.1029/2018JD030155.
9. Imada, Y., S. Kanae, M. Kimoto, M. Watanabe and M. Ishii, 2015: Predictability of persistent Thailand rainfall during the mature monsoon season in 2011 using statistical downscaling of CGCM seasonal prediction. *Mon. Wea. Rev.*, **143**, 1166–1178.

2019 年度正野賞の受賞者

受賞者：佐藤陽祐（北海道大学大学院理学研究院・地球惑星科学部門）

研究業績：全球雲解像モデルを用いたエアロゾル・雲相互作用に関する先端的研究

推薦理由：エアロゾルが雲核となり、雲の微物理特性を変化させるエアロゾル・雲相互作用は、冷却効果として働くことで、人為起源 CO₂ 等の温室効果ガスによる地球温暖化をかなり相殺する効果があるとされ、近年、大きな注目を浴びている。1980 年後半頃からは、衛星観測によって全球規模でエアロゾルが雲に与える影響が示唆され、並行して、気候モデル（大気大循環モデル）によるエアロゾル・雲相互作用が気候に与える影響の見積もりが試みられてきた。しかし、IPCC の第 5 次報告書でも報告されている通り、その不確実性は依然として大きい。この大きな不確実性の主原因は、エアロゾルが雲に影響を与える効果であるのにも関わらず、気候モデル自体がその水平解像度の粗さから雲を解像できないことであり、雲を直接解像し、かつエアロゾルを考慮した全球スケールの数値実験が求められてきた。

エアロゾル数密度の変化に対する雲水総量（鉛直積算雲水量 Liquid Water Path: LWP）の感度（Susceptibility と呼ばれる）を、従来の低解像度の全球気候モデルで解析した結果は概ね正の値を示していた。これに対し、佐藤氏は、スーパーコンピュータ「京」を用いて、全球雲解像大気モデル NICAM にエアロゾル輸送モデル SPRINTARS を結合させた実験（以下単にエアロゾル・雲結合実験と呼ぶ）によって、エアロゾルと雲、さらにはその相互作用を直接解像した世界的にも先駆的な数値実験を行うことで、エアロゾル・雲相互作用の不確実性評価の低減を試みた。エアロゾル・雲結合実験を全球 14 km の解像度で 1 年間行なった結果、エアロゾルが増加した際に、雲水総量は必ずしも増加せず、大気の状態（安定度）に応じて雲水総量は増加（正の Susceptibility）あるいは減少（負の Susceptibility）の両方が起こること、および、その全球平均は負であることを初めて示した。さらに、この負の Susceptibility の主原因は、エアロゾル増加によって雲粒径が減少する結果、雲粒子の蒸発が促進されて、雲水総量が減少することに起因することを示唆した [業績 1]。この負の Susceptibility は、近年の衛星観測や理論的な考察、さらにはラージエエディシミュレーション（LES）モデルのような超高解像モデルの結果と矛盾しない。佐藤氏の業績は、Susceptibility の従来の見方に再検討を迫るものであり、この分野の今後の研究の展開をリードすることが期待される。

また佐藤氏は同じく NICAM と SPRINTARS を結合させた全球 3.5 km の高解像度でのエアロゾル・雲結合実験を 2 週間行い、中緯度から北極域に輸送される黒色炭素 (BC) の量を見積もった。気候モデルによる低解像度実験では、中緯度域での雲の表現（雲のある領域とない領域の詳細な構造）が不十分であるために、エアロゾルと雲の相互作用の一種である湿性沈着が大きく働きすぎ、北極域での BC 濃度の過小評価に繋がるこ

とも全球スケールで数値実験から示唆している[業績 2]。

佐藤氏は、以上のような先駆的な数値実験を実現するためのモデリング基盤の開発に貢献し、雲モデリングの研究コミュニティの中で着実に実績を積み上げている。すなわち、全球雲解像モデル・気候モデルの高度化や結果の解釈に必須な高解像度 LES モデルに様々な雲物理過程スキームを導入し、気候予測の最大の不確実性要素である低層雲モデリングの精緻化に取り組んできた。[業績 3]では低層雲に対する 1 モーメント・2 モーメントバルク法、ビン法の雲物理過程スキームに対する依存性を調べ、さらに[業績 4、5]では粒子法モデリングである超水滴法を用いた LES 実験を行い、雲物理過程スキーム間の差異を示した。また、土地利用が大都市の気候に及ぼす研究[業績 6]や、放射性物質の輸送に関わる国際モデル間比較プロジェクトを通して化学輸送モデルの不確実性の幅を提示し、新たな国際モデル間比較プロジェクトの取りまとめを行う[業績 7]など、モデリングに関する幅広い対象の研究で成果を挙げている。

以上の理由により、日本気象学会は佐藤陽祐氏に 2019 年度正野賞を贈呈するものである。

主な論文リスト

1. Sato, Y., D. Goto, T. Michibata, K. Suzuki, T. Takemura, H. Tomita and T. Nakajima, 2018: Aerosol effects on cloud water amounts were successfully simulated by a global cloud-system resolving model. *Nature Communications*, **9**, 985, doi:10.1038/s41467-018-03379-6.
2. Sato, Y., H. Miura, H. Yashiro, D. Goto, T. Takemura, H. Tomita and T. Nakajima, 2016: Unrealistically pristine air in the Arctic produced by current global scale models. *Scientific Reports*, **6**, 26561, doi:10.1038/srep26561.
3. Sato, Y., S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Miyamoto, Y. Kajikawa and H. Tomita, 2015: Impacts of cloud microphysics on trade wind cumulus: which cloud microphysics processes contribute to the diversity in a large eddy simulation? *Prog. Earth Planet. Sci.*, **2**, 23, doi:10.1186/s40645-015-0053-6.
4. Sato, Y., S. Shima and H. Tomita, 2017: A grid refinement study of trade wind cumuli simulated by a Lagrangian cloud microphysical model: the super-droplet method. *Atmos. Sci. Lett.*, **18**, 350-365, doi:10.1002/asl.764.
5. Sato, Y., S. Shima and H. Tomita, 2018: Numerical convergence of shallow convection cloud field simulations: Comparison between double-moment Eulerian and particle-based Lagrangian microphysics coupled to the same dynamical core. *J. Adv. Model. Earth Sys.*, **10**, 1495-1512, doi:10.1029/2018MS001285.
6. Sato, Y., A. Higuchi, A. Takami, A. Murakami, Y. Masutomi, K. Tsuchiya, D. Goto and T. Nakajima, 2016: Regional variability in the impacts of future land use on summertime temperatures in Kanto region, the Japanese

megacity. *Urban For. Urban Green.*, 20, 43-55,
doi:10.1016/j.ufug.2016.07.012.

7. Sato, Y., M. Takigawa, T. T. Sekiyama, M. Kajino, H. Terada, H. Nagai, H. Kondo, J. Uchida, D. Goto, D. Quélo, A. Mathieu, A. Q., F. Sheng, Y. Morino, P. von Schoenberg, H. Grahn, N. Brännström, S. Hirao, H. Tsuruta, H. Yamazawa and T. Nakajima, 2018: Model intercomparison of atmospheric ^{137}Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: Simulations based on identical input data. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 123, 11748-11765, doi:10.1029/2018JD029144.