

2023年度正野賞の受賞者決まる

受賞者：釜江陽一（筑波大学生命環境系）

研究業績：気候システムの速い変化のメカニズム理解
にもとづく大気大循環変動および大気の水の研究

選定理由：世界各地に甚大な被害をもたらす極端現象の発現機構、およびその発生頻度の地球温暖化に伴う変化傾向を明らかにすることは、気候科学における喫緊の課題である。そのためには、極端現象の発生に関わる大気大循環および熱力学的要因を明らかにすることに加え、地球温暖化の進行速度を左右する気候感度の不確実性低減、自然変動と人為的気候変化の寄与度の定量的評価、といった幅広い課題に取り組む必要がある。釜江陽一氏は、これらの側面から、大気大循環変動および極端現象発現頻度の変動に関する研究に精力的に取り組んできた。

2000年代以降の十数年間は、世界平均地上気温の上昇が減速し、「地球温暖化の停滞（ハイエイクス）」と呼ばれて話題になったが、一方で北半球陸上では猛暑の発生頻度が増え続けており、その原因の究明が求められていた。釜江氏は、大気大循環モデル（AGCM）による多様な感度実験を実施し、2000年代以降の北半球陸上における猛暑の発生頻度の増加は、自然変動に加えて、二酸化炭素濃度の上昇等を通じた陸面の直接的な昇温が本質的な役割を果たしていたことを明らかにした〔業績1〕。また、気候の速い応答において極めて重要な亜熱帯海上の下層雲の応答を、気候モデルによる感度実験から調査し、大気下層の放射加熱率と気温逆転の強度の変化に制御されることで、下層雲の速い応答には季節性が存在することを明らかにした〔業績2〕。釜江氏はさらに、気候の変化を速い応答と気温に依存した応答とに分離することで、気候感度を推定する上で重要な未解決問題である雲のフィードバックの不確実性についても調査した。雲のフィードバックを、地域や雲頂高度、光学的厚さといった雲の特性ごとに切り分ける〔業績3〕ことで、熱帯域における雲フィードバックには地域性が存在し、大気大循環の変調による下降流が卓越することで、熱帯域の陸上で選択的に気温上昇が増幅される物理的根拠を明瞭に示した〔業績4〕。これらの気候感度および気候の速い応答に関する研究成果は、総説〔業績5、6〕にまとめられている。

近年、熱帯から中高緯度へと水蒸気が細長く輸送される「大気の水」と呼ばれる現象に注目が集まっているが、日本で発生する極端降水との関係はあまり知られていなかった。釜江氏は、全球大気再解析データおよび降水量データをもとに、大気の水が東アジアの水循環に果たす気候学的な役割を明らかにした〔業績7〕。加えて、大規模アンサンブル実験データを活用することで、東アジアを通過する大気の水の頻度が、冬季にエルニーニョが発達した半年後に増加し、極端降水の発生頻度が増えることや〔業績8〕、地球温暖化の進行に伴って、大気の水が東アジアにより強い水蒸気輸送とより強い降水をもたらすことを明らかにした〔業績9、10〕。このような取り組みに加え、北太平洋および北大西洋における大気の水に関する国際共同研究を推進するなど、釜江氏は国際的にも主導力を発揮している。

上記の研究以外にも、釜江氏は、観測データと数値実験を組み合わせることで、世界的な猛暑の発生頻度やモンスーン循環、熱帯対流圏気温の数十年規模の変化傾向が、太平洋・インド洋・大西洋における海面水温変動と密接に関わっていることを明らかにした〔業績11、12、13〕。これらの研究は、実際に観測されている大気大循環や極端現象の変化傾向と長期的な気候変化との関係を整理する上で極めて重要な成果であり、国際的に高く評価されている。一連の成果は、気候変動に関する政府間パネルの第1作業部会第6次評価報告書で引用されるなど〔業績1、3、4、8、9、12、13他多数〕、気候変動に関する学術的知見の蓄積に大きく貢献している。

以上の理由により、日本気象学会は釜江陽一氏に2023年度正野賞を贈呈するものである。

主な論文リスト：

1. Kamae, Y., H. Shiogama, M. Watanabe and M. Kimoto, 2014: Attributing the increase in Northern Hemisphere hot summers since the late 20th century. *Geophys. Res. Lett.*, **41**, 5192–5199.
2. Kamae, Y., R. Chadwick, D. Ackerley, M. Ringer and T. Ogura, 2019: Seasonally variant low cloud adjustment over cool oceans. *Clim. Dyn.*, **52**, 5801–5817.
3. Kamae, Y., H. Shiogama, M. Watanabe, T. Ogura, T. Yokohata and M. Kimoto, 2016: Lower tropospheric

- mixing as a constraint on cloud feedback in a multiparameter multiphysics ensemble. *J. Climate*, **29**, 6259–6275.
4. Kamae, Y., T. Ogura, M. Watanabe, S.-P. Xie and H. Ueda, 2016: Robust cloud feedback over tropical land in a warming climate. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **121**, 2593–2609.
 5. Kamae, Y., M. Watanabe, T. Ogura, M. Yoshimori and H. Shiogama, 2015: Rapid adjustments of cloud and hydrological cycle to increasing CO₂: a review. *Curr. Clim. Change Rep.*, **1**, 103–113.
 6. Kamae, Y., T. Ogura, H. Shiogama and M. Watanabe, 2016: Recent progress toward reducing the uncertainty in tropical low cloud feedback and climate sensitivity: a review. *Geosci. Lett.*, **3**, 17, doi: 10.1186/s40562-016-0053-4.
 7. Kamae, Y., W. Mei and S.-P. Xie, 2017: Climatological relationship between warm season atmospheric rivers and heavy rainfall over East Asia. *J. Meteor. Soc. Japan*, **95**, 411–431.
 8. Kamae, Y., W. Mei, S.-P. Xie, M. Naoi and H. Ueda, 2017: Atmospheric rivers over the Northwestern Pacific: Climatology and interannual variability. *J. Climate*, **30**, 5605–5619.
 9. Kamae, Y., W. Mei and S.-P. Xie, 2019: Ocean warming pattern effects on future changes in East Asian atmospheric rivers. *Env. Res. Lett.*, **14**, 054019, doi: 10.1088/1748-9326/ab128a.
 10. Kamae, Y., Y. Imada, H. Kawase and W. Mei, 2021: Atmospheric rivers bring more frequent and intense extreme rainfall events over East Asia under global warming. *Geophys. Res. Lett.*, **48**, e2021GL096030, doi: 10.1029/2021GL096030.
 11. Kamae, Y., H. Shiogama, M. Watanabe, M. Ishii, H. Ueda and M. Kimoto, 2015: Recent slowdown of tropical upper tropospheric warming associated with Pacific climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 2995–3003.
 12. Kamae, Y., H. Shiogama, Y. Imada, M. Mori, O. Arakawa, R. Mizuta, K. Yoshida, C. Takahashi, M. Arai, M. Ishii, M. Watanabe, M. Kimoto, S.-P. Xie and H. Ueda, 2017: Forced response and internal variability of summer climate over western North America. *Clim. Dyn.*, **49**, 403–417.
 13. Kamae, Y., X. Li, S.-P. Xie and H. Ueda, 2017: Atlantic effects on recent decadal trends in global monsoon. *Clim. Dyn.*, **49**, 3443–3455.

受賞者：坂崎貴俊（京都大学理学研究科）

研究業績：大気潮汐と自由振動に関する先端的研究 選定理由：

大気中には様々な周期・スケールの変動が存在するが、坂崎氏はその中でも対流圏・成層圏における大規模かつ高周波な大気潮汐と自由振動に焦点を当てた研究を行ってきた。これらについての基本的な理論は1970年代にほぼ完成し1990年ぐらいまでに観測的な研究も進んだが、その後の発展的な研究は停滞気味であった。このような背景において坂崎氏は、最新の観測データや数値モデリングを駆使し、斬新で独創的な研究を行った。

大気潮汐のうち太陽（熱）潮汐は、対流圏・成層圏の加熱の日変化により励起され、地上気圧の変動に明瞭に表れる一方で、上層にも伝播し中層大気で卓越する現象である。坂崎氏はこれについて、観測およびモデリングにより研究を行い〔業績1, 2等〕, 2015年度日本気象学会山本賞を受賞した。また同時期に、衛星観測よりオゾンの日周変化を明らかにした〔業績3〕。その後、坂崎氏は、半日周期の大気潮汐（太陽熱潮汐・太陽重力潮汐）を中心に潮汐に関する研究を展開し〔業績4–8他共著論文にて〕, 自由振動に着目した〔業績9, 10〕。

熱帯の地上気圧の日周期変動において、半日周期成分が一日周期成分より大きな振幅を持つことは良く知られている。1970年代の「古典潮汐論」の完成により、その原因は一日・半日周期成分の鉛直伝播特性の違いによっておよそ説明できることが明らかになった。一方で、その考察が、複雑な非線形過程を含む現実大気にどこまで適用できるのかは自明ではない。そこで坂崎氏は、現実的な地形・物理過程を含む数値モデルを用いた感度実験を実施し、一日・半日潮汐の励起メカニズムを網羅的に考察した。その結果、一日潮汐では地表面加熱や対流圏加熱が重要であるのに対し、半日潮汐では成層圏加熱が対流圏加熱と同等に重要であることを示した。また、半日潮汐における潜熱加熱と地上摩擦の重要性も見出した〔業績5〕。

熱帯域では、地上降水にも半日周期変動が存在する。この降水変動を生み出す要因として、ローカルな熱的要因に加え、グローバルな半日潮汐に伴う力学的要因も指摘されてきた。しかし両者の分離は難しく、長年未決着であった。そこで坂崎氏は、半日潮汐が成層圏内で強く励起されることに着目し、数値モデルを用いて両者を分離した理想化実験を行う

ことで、成層圏起源の半日潮汐が、力学強制として熱帯降水システムに作用して降水変動を生み出すことを明瞭に示した [業績 6]。

さらに半日太陰潮汐という現象に関して、熱帯の数十地点の海洋ブイの長期間観測データより、地上気温データに太陰潮汐信号を明瞭に見出すことに成功した [業績 7]。これは、およそ 1 世紀前の 1 地点での地上観測データの解析例 (Chapman 1932) に次ぐ 2 例目の検出である。以上の研究のほか、中層大気における熱潮汐について総合的な報告を出版した [業績 8]。

大気潮汐は強制振動であるが、坂崎氏は最近、自由振動であるノーマルモードにも研究の幅を拡げている。その存在は古典潮汐論により理論的に示されているが、観測的な同定は、5 日波や 10 日波といった比較的周期の長いモード数例にとどまっていた。そこで最新の大気再解析データ ERA5 の 1 時間出力地上気圧データを解析し、短周期成分を中心に、これまで知られていたものよりも遥かに多くの自由振動モードを見出した。それがデータ同化に使ったモデルの中だけでなく現実存在すること、またその定量的な評価から大気の減衰過程に関する知見が得られることを提唱した [業績 9]。さらに、自由振動モードが降水の変動を伴うことを見出した [業績 10]。以上のような潮汐と自由振動の研究に加え、最近の研究では、赤道域準二年周期振動の西風・東風ジェット内に停滞性波動が存在することを見出した [業績 11]。

以上のように、坂崎氏は、独自の視点と丹念な解析により次々に新しい知見をもたらしている。国際的にも高く評価されており、関連分野の再活性化も期待させる。以上の理由により、日本気象学会は坂崎貴俊氏に 2023 年度正野賞を贈呈するものである。

主な論文リスト：

1. Sakazaki, T., M. Fujiwara, X. Zhang, M. E. Hagan and J. M. Forbes, 2012: Diurnal tides from the troposphere to the lower mesosphere as deduced from TIMED/SABER satellite data and six global reanalysis data sets, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **117**, D13108, doi:10.1029/2011JD017117.
2. Sakazaki, T., K. Sato, Y. Kawatani and S. Watanabe, 2015: Three-dimensional structures of tropical nonmigrating tides in a high-vertical-resolution general circulation model, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **120**, 1759–1775, doi:10.1002/2014JD022464.
3. Sakazaki, T., M. Fujiwara, C. Mitsuda, K. Imai, N. Manago, Y. Naito, T. Nakamura, H. Akiyoshi, D. Kinnison, T. Sano, M. Suzuki and M. Shiotani, 2013: Diurnal ozone variations in the stratosphere revealed in observations from the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES) on board the International Space Station (ISS), *J. Geophys. Res. Atmos.*, **118**, 2991–3006, doi:10.1002/jgrd.50220.
4. Sakazaki, T., T. Sasaki, M. Shiotani, Y. Tomikawa and D. Kinnison, 2015: Zonally uniform tidal oscillations in the tropical stratosphere, *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 9553–9560, doi:10.1002/2015GL066054.
5. Sakazaki, T. and K. Hamilton, 2017: Physical processes controlling the tide in the tropical lower atmosphere investigated using a comprehensive numerical model, *J. Atmos. Sci.*, **74**, 2467–2487, doi:10.1175/JAS-D-17-0080.1.
6. Sakazaki, T., K. Hamilton, C. Zhang and Y. Wang, 2017: Is there a stratospheric pacemaker controlling the daily cycle of tropical rainfall?, *Geophys. Res. Lett.*, **44**, 1998–2006, <https://doi.org/10.1002/2017GL072549>
7. Sakazaki, T. and K. Hamilton, 2018: Discovery of a lunar air temperature tide over the ocean: A diagnostic of air-sea coupling, *npj Clim. Atmos. Sci.*, **1**, <https://doi.org/10.1038/s41612-018-0033-9>.
8. Sakazaki, T., M. Fujiwara and M. Shiotani, 2018: Representation of solar tides in the stratosphere and lower mesosphere in state-of-the-art reanalyses and in satellite observations, *Atmos. Chem. Phys.*, **18**, 1437–1456, doi:10.5194/acp-18-1437-2018.
9. Sakazaki, T. and K. Hamilton, 2020: An array of ringing global free modes discovered in tropical surface pressure data, *J. Atmos. Sci.*, **77**, 2519–2539, doi:10.1175/jas-d-20-0053.1.
10. Sakazaki, T., 2021: Tropical rainfall variability accompanying global normal mode oscillations, *J. Atmos. Sci.*, **78**, 1295–1316, doi:10.1175/JAS-D-20-0288.1.
11. Sakazaki, T. and K. Hamilton, 2022: Discovery of quasi-stationary equatorial waves trapped in stratospheric QBO westerly and easterly jets, *J. Geophys. Res. Atmos.*, **127**, e2021JD035670, doi:10.1029/2021JD035670.