

## 2018年度正野賞の受賞者決まる

**受賞者：**近本喜光（ユタ州立大学）

**研究業績：**10年規模気候変動の予測技術開発と地球環境システム変動の予測可能性に関する研究

**選定理由：**

10年規模気候変動に関する研究は、大気海洋結合系の変動メカニズムの解明に貢献するだけでなく、世界気候研究計画（WCRP）が掲げる重点課題の1つである「近未来気候予測」にとっても重要である。特に、10年規模気候変動の予測可能性に寄与するメモリがどのような現象や物理・力学過程に起因するかの探求が急務となっている。こうした中、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書作成に貢献した近本喜光氏は、その後、10年規模気候変動における予測可能性の理解の進展、その変動予測システムの開発と地球環境システム過程への適用という点において重要な研究業績を挙げた。

まず近本氏は、10年規模気候変動における予測可能性の理解を熱帯域全体の枠組みの中で捉え直すことを通じ、太平洋と大西洋の両海盆間の変動の関係性について新たな知見を提示した。従来、大西洋における大気海洋変動はエルニーニョ・南方振動（ENSO）など熱帯太平洋の変動に影響されることはあっても、大西洋域の変動が逆に太平洋に影響を及ぼすとは考えられてこなかった。近本氏は熱帯全域の大気海洋変動の予測精度の評価からこの定説を覆し、太平洋と大西洋域の大気海洋系がウォーカー循環を介して相互に影響し合いながら10年規模で変動することを発見した〔業績1〕。そして、この海盆間変動（Trans Basin Variability）がENSOよりもはるかに長い数年前からの予測可能性を有することも明らかにした〔業績1, 2, 3〕。さらに、2000年代前半に起きた地球温暖化の停滞に先駆けて、1990年代後半に大西洋域で海面水温が顕著に上昇し、それが熱帯太平洋の大気海洋系のみならず、世界各地の気候に持続的な影響を与えたことも突き止めた〔業績1, 4〕。

このような10年規模の気候変動の全貌解明と予測可能性評価の研究において、全球気候モデルを活用した数値実験の重要性はますます高まっている。近本氏はこうした予測可能性研究の進展を見据え、全

球気候モデルに基づく環境予測システムの開発とその有用性の実証研究においても重要な貢献をした。全球モデルを用いる従来の気候予測システムでは、時間積分が進むにつれてモデルの気候状態が観測される平均値から大きく外れていく「気候ドリフト」が大きな問題となっている。このドリフトは数年程度かけて徐々に顕在化するため、日々の天気予報や季節予測においてはその影響が無視できても、10年規模の気候変動においては予測シグナルとの区別が難しくなる。近本氏は、気候モデルの気候平均場は変えずに観測された偏差場のみをモデルに同化する「アノマリー同化」という斬新な手法を用いて、予測時のモデルドリフトを抑えることに成功した〔業績5〕。さらに、外部強制に対する気候系の応答に伴うモデルバイアスも調整することで、降水や土壌水分の変動のような非正規分布する変数についても予測時のモデルドリフトをさらに抑制することに成功し、気候予測システムの有効性を大きく拡張できることを示した〔業績6〕。この新システムの開発段階では計算資源の制約から比較的低解像度の気候モデルが用いられたものの、開発された新手法がより高解像度のモデルに適用可能なことは共同研究から実証されている〔業績4〕。さらに近本氏は、自身の開発した海洋データ同化スキームを日本で開発された気候モデルMIROCと米国の地球システムモデルCESMにそれぞれ導入し、近未来予測実験の実用性を検証したのに加え〔業績1, 5, 6〕、特定の海域のみ観測値を気候モデルに同化する「部分同化実験」を考案し、予測可能性に寄与する気候系のメモリの起源を突き止めるための新手法として注目されている〔業績1, 2〕。これらの研究は、気候モデルの改善やそれを用いた気候系予測の初期値化技術の向上に大きく寄与するものであり、信頼できる気候変動予測システムの構築に向けた重要な成果である。近本氏の貢献は気候力学の枠組みを越え、米国南西部における干ばつや森林火災の頻度に見られる10年規模変動に及ぼす物理過程〔業績7, 8〕の理解にも及んでいる。

このように近本氏は、10年規模気候変動を対象とした予測システムの開発とその活用を通じて、変動の予測可能性の起源に関する理解を大きく進展さ

せ、国際的に高く評価される重要な成果を多数挙げてきた。それを可能にしたのは近本氏の気候力学に関する深い理論的洞察力と、それに基づき気候変動予測システムを開発できる類稀なる能力である。卓越した研究成果を導いた斬新な数値実験の発想力は、自身が予測システムの開発に携わるからこそ培われたものであり、この分野を国際的に牽引する新リーダーたる資質を十分に備えている。

以上の理由により、日本気象学会は近本喜光氏に2018年度正野賞を贈呈するものである。

#### 主な論文リスト

1. Chikamoto, Y., A. Timmermann, J. J. Luo, T. Mochizuki, M. Kimoto, M. Watanabe, M. Ishii, S.-P. Xie and F.-F. Jin, 2015: Skilful multi-year predictions of tropical trans-basin climate variability. *Nature Commun.*, 6, doi:10.1038/ncomms7869.
2. Chikamoto, Y., T. Mochizuki, A. Timmermann, M. Kimoto and M. Watanabe, 2016: Potential tropical Atlantic impacts on Pacific decadal climate trends. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 7143-7151.
3. Chikamoto, Y., M. Kimoto, M. Watanabe, M. Ishii and T. Mochizuki, 2012: Relationship between the Pacific and Atlantic stepwise climate change during the 1990s. *Geophys. Res. Lett.*, 39, L21710, doi: 10.1029/2012GL053901.
4. Chikamoto, Y., M. Kimoto, M. Ishii, M. Watanabe, T. Nozawa, T. Mochizuki, H. Tatebe, T. T. Sakamoto, Y. Komuro, H. Shioyama, M. Mori, S. Yasunaka, Y. Imada, H. Koyama, M. Nozu and F. F. Jin, 2012: Predictability of a stepwise shift in Pacific climate during the late 1990s in hindcast experiments using MIROC. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 1-21.
5. Chikamoto, Y., M. Kimoto, M. Ishii, T. Mochizuki, T. T. Sakamoto, H. Tatebe, Y. Komuro, M. Watanabe, T. Nozawa, H. Shioyama, M. Mori, S. Yasunaka and Y. Imada, 2013: An overview of decadal climate predictability in a multi-model ensemble by climate model MIROC. *Clim. Dyn.*, 40, 1201-1222.
6. Chikamoto, Y., A. Timmermann, M. J. Widlansky, M. A. Balmaseda and L. Stott, 2017: Multi-year predictability of climate, drought, and wildfire in southwestern North America. *Sci. Rep.*, 7, doi: 10.1038/s41598-017-06869-7.
7. Chikamoto, Y., A. Timmermann, S. Stevenson, P. DiNezio and S. Langford, 2015: Decadal predictability of soil water, vegetation, and wildfire frequency over North America. *Clim. Dyn.*, 45, 2213-2235.
8. Stevenson, S., A. Timmermann, Y. Chikamoto, S. Langford and P. DiNezio, 2015: Stochastically generated North American megadroughts. *J. Climate*, 28, 1865-1880.

**受賞者：中山智喜**（長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科）

**研究業績：**ブラックおよびブラウンカーボン粒子の光学特性の実験および観測研究

#### 選定理由：

エアロゾル粒子の種類やサイズ分布・個数密度・粒子形状等の物理特性は大きく変動し、それらに応じて光を散乱する量と吸収する量が決まる。光を吸収するエアロゾルとしては、ブラックカーボン（BC）が知られているが、近年は、短波長可視から紫外波長領域に吸収特性を有する有機炭素であるブラウンカーボン（BrC）が注目を浴びている。これら炭素性エアロゾルはその生成過程に応じた多様な化学組成を持ち、輸送過程でも変容を受けるが、それらの光学特性はあまり把握されていない。このためエアロゾルの放射収支や気候変動への影響評価には大きな不確実性がある。また BrC は紫外光の関与する大気化学反応に重要な寄与を及ぼしていると指摘されているが、理解は不十分である。これらの状況を克服するためには光学測定技術の開発、実験室における粒子生成とその複雑屈折率の波長依存性測定といった基礎的な研究やそれらを実大気の観測に応用した研究を進展させる事が重要である。

中山智喜氏は、レーザー分光技術を用いて、粒子が浮遊した状態で無機塩や有機物に被覆された BC や BrC の光学特性を計測する手法を、室内実験および観測研究に広く応用することで、これらの粒子の光学特性に対して多くの新たな知見を得ることに成功した。

まず測定機器の性能評価や開発研究としては、大気中の粒子をフィルター上に捕捉し、その透過率を測定することで炭素性エアロゾルの光吸収特性を求める手法である、フィルター光吸収法の性能評価を行った [業績 1]。次にエアロゾル粒子が浮遊した状態で、その光吸収を直接計測できる光音響分光法（Photoacoustic spectroscopy, PAS）による吸収係

数や散乱係数の測定における性能評価や校正手法を確立した [業績 2]。さらにキャビティリングダウン分光法 (Cavity ring-down spectroscopy, CRDS) を用いたエアロゾル消散係数およびその湿度依存性の計測装置を新たに開発し、従来のその場計測装置との比較観測を行うことにより、従来型測器の性能評価を行った [業績 3]。

室内実験的研究としては、光化学チャンバー内で大気化学反応を再現して二次有機エアロゾル (Secondary organic aerosol, SOA) を生成し、CRDS 法や PAS 法を用いてこれまで研究例がほとんどなかった SOA の複素屈折率の波長依存性を決定した研究成果がある。その結果、代表的な植物起源の揮発性有機化合物 (Volatile organic compound, VOC) であるアルファピネンから生成する SOA は光吸収性を持たないのに対し [業績 4, 5], 代表的な人為起源 VOC であるトルエンの窒素酸化物存在下での光酸化から生成する SOA は、波長 405 nm 以下に光吸収性を持ち、共存する窒素酸化物濃度が高い程、光吸収が大きくなることを明らかにした [業績 4, 6]。光吸収性 SOA の複素屈折率を世界で初めて決定した事は、高く評価できる。排出量が最大の VOC であるイソプレン起源の SOA の光学特性が、イソプレンの酸化過程や共存気体により大きく変化し、二酸化硫黄の存在下での OH 酸化反応で生成する SOA は、短波長可視領域に光吸収性を持つことを明らかにした [業績 7]。これらの SOA に関する先駆的研究は、国際的に評価が高まっている。

実大気 of BC と BrC の観測的研究による成果を最後に挙げる。BC は、無機塩や有機物に覆われると、被覆物質が光を収束させる“レンズ効果”を果たし、光吸収性が BC 単体と比べて増加する可能性が先行研究で示唆されていた。しかし混合状態や粒子形状がよくわかっていないこともあり、実際の大気中でこの効果を定量的に評価した例は極めて少なかった。名古屋市内で観測を実施し、室温条件での測定時と、加熱管を通して BC の被覆物や有機成分を除去した場合での、光吸収およびその波長依存性の変化を解析した。その結果、レンズ効果による BC の光吸収の増加は 10% 以下と小さいこと、BrC の光吸収が冬季には全光吸収の 15% 程度の寄与を持つことを明らかにした [業績 8]。一方、アジア大陸から長距離輸送された気塊の影響が大きい能登半

島での春季の観測では、被覆による BC の光吸収の増加は平均 23% 程度と比較的大きいことを見出した [業績 9]。

中山氏の研究成果は、炭素性エアロゾルの生成過程や混合状態の違いが光学特性に及ぼす影響の系統的な理解に貢献するものである。複素屈折率の波長依存性の測定結果は放射効果の推定やライダー等のリモートセンシングへの応用も可能であり、これらの基礎的な知見は全球や領域モデルに適用されることで、炭素性エアロゾルが気候や気象、大気環境に及ぼす影響評価への貢献も大いに期待される。

以上の理由により、日本気象学会は中山智喜氏に 2018 年度正野賞を贈呈するものである。

#### 主な論文リスト

1. Nakayama, T., Y. Kondo, N. Moteki, L. K. Sahu, T. Kinase, K. Kita and Y. Matsumi, 2010: Size-dependent correction factors for absorption measurements using filter-based photometers: PSAP and COSMOS. *J. Aerosol Sci.*, **41**, 333-343.
2. Nakayama, T., H. Suzuki, S. Kagamitani, Y. Ikeda, A. Uchiyama and Y. Matsumi, 2015: Characterization of a three wavelength photoacoustic soot spectrometer (PASS-3) and a photoacoustic extinctionmeter (PAX). *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 285-308.
3. Nakayama, T., R. Hagino, Y. Matsumi, Y. Sakamoto, M. Kawasaki, A. Yamazaki, A. Uchiyama, R. Kudo, N. Moteki, Y. Kondo and K. Tonokura, 2010: Measurements of aerosol optical properties in central Tokyo during summertime using cavity ring-down spectroscopy: Comparison with conventional techniques. *Atmos. Environ.*, **44**, 3034-3042.
4. Nakayama, T., Y. Matsumi, K. Sato, T. Imamura, A. Yamazaki and A. Uchiyama, 2010: Laboratory studies on optical properties of secondary organic aerosols generated during the photooxidation of toluene and the ozonolysis of  $\alpha$ -pinene. *J. Geophys. Res.*, **115**, D24204, doi:10.1029/2010JD014387.
5. Nakayama, T., K. Sato, Y. Matsumi, T. Imamura, A. Yamazaki and A. Uchiyama, 2012: Wavelength dependence of refractive index of secondary organic aerosols generated during the ozonolysis and photooxidation of  $\alpha$ -pinene. *SOLA*, **8**, 119-123.
6. Nakayama, T., K. Sato, Y. Matsumi, T. Imamura, A. Yamazaki and A. Uchiyama, 2013: Wavelength and NO<sub>x</sub> dependent complex refractive index of SOAs generated from the photooxidation of toluene.

- Atmos. Chem. Phys., **13**, 531–545.
7. Nakayama, T., K. Sato, M. Tsuge, T. Imamura and Y. Matsumi, 2015: Complex refractive index of secondary organic aerosol generated from isoprene/NO<sub>x</sub> photooxidation in the presence and absence of SO<sub>2</sub>. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **120**, 7777–7787.
  8. Nakayama, T., Y. Ikeda, Y. Sawada, Y. Setoguchi, S. Ogawa, K. Kawana, M. Mochida, F. Ikemori, K. Matsumoto and Y. Matsumi, 2014: Properties of light-absorbing aerosols in the Nagoya urban area, Japan, in August 2011 and January 2012: Contributions of brown carbon and lensing effect. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **119**, 12721–12739.
  9. Ueda, S., T. Nakayama, F. Taketani, K. Adachi, A. Matsuki, Y. Iwamoto, Y. Sadanaga and Y. Matsumi, 2016: Light absorption and morphological properties of soot-containing aerosols observed at an East Asian outflow site, Noto Peninsula, Japan. *Atmos. Chem. Phys.*, **16**, 2525–2541.
-