

2019年度日本気象学会賞の受賞者決まる

受賞者：原 圭一郎（福岡大学理学部地球圏科学科）
業績：極域エアロゾルシステムの動態に関する観測的研究

選定理由：

大気中の微量成分の動態や循環過程の解明は、大気科学の諸過程や気候システムとの関係性を評価する上で非常に重要な課題である。極域では観測作業は過酷で、観測点が少なく、低・中緯度域と比べると、現場観測に基づいた研究には大きな制約がある。しかし、人間活動域から遠い極域での観測は、地球のバックグラウンドの状態の把握が容易なため、大気中のエアロゾルシステムと関連する過程との関係を理解する上で大きな利点を持つ。原 圭一郎氏は、早くから極域の持つこのような利点に着目し、大気中から採取したエアロゾル試料の電子顕微鏡分析を中心に、関連する観測データも組み合わせることで、エアロゾルの組成や混合状態、また、これにかかわる物理量を高い信頼性で導出し、極域エアロゾルシステムの生き生きとした動態を明らかにしてきた。

原氏の研究業績の基礎は2003～2004年に発表された2編の論文にある。1つは「北極対流圏エアロゾル・放射総合研究（ASTAR2000）」で行われたこの分野初の本格的な航空機観測研究において、北極域のエアロゾル濃度が高まる現象「北極ヘイズ」が、ヨーロッパやシベリア地域からの汚染された空気の移流によって生じ、ブラックカーボン（BC）粒子も外部混合状態で高濃度になることを明らかにしたものである（Hara *et al.* 2003）。もう1つは、「南極大気・物質循環観測計画」において、1997年の南極内陸ドームふじ基地と沿岸の昭和基地での観測結果を用い、インド洋から南大洋、そして南極氷床までの海塩起源エアロゾルの輸送・分布・組成変化を示したものである（Hara *et al.* 2004）。

その後、原氏は自らも第46次南極地域観測隊に参加し、清浄と考えられていた南極域でもエアロゾル高濃度状態「南極ヘイズ」が起きることを世界で初めて報告した（Hara *et al.* 2010）。そして、エアロゾル試料の分析から、荒天によっておこる海水表面からの海塩粒子の大気への大量分散やバイオマス燃焼由来成分の南米やアフリカ南部から昭和基地への長距離輸送がその起源であることを明らかにした。また、通年の係留

気球観測（27回）に成功し、地上から自由対流圏下部におけるエアロゾル数濃度・粒径分布の鉛直分布とその季節変化を示した（Hara *et al.* 2011a）。特に、春～夏季の昭和基地近傍では、新粒子生成が主に自由対流圏で起きていることを明らかにした。この成果は国内外の研究者の強い関心呼び、関連研究も急速に増加した。また、エアロゾル試料の個別粒子分析を進め、エアロゾル空間分布と輸送過程の関係、海塩粒子の組成、分布、変質状況も示している（Hara *et al.* 2013）。

また、超微小粒子域（直径<100nm）のエアロゾル連続観測に基づき、南極沿岸部の昭和基地では、夏季には硫酸や有機物が主要成分であるのに対し、冬～春季にかけては、海塩粒子が卓越し、その起源は海水であることを明らかにした（Hara *et al.* 2011b, 2012）。これらの成果は、極域大気中の海塩・ハロゲンサイクルを議論する際の基本的な知見として国際的に広く受け入れられているだけでなく、アイスコア中の海塩組成比変化の解釈に必要な指標となるため、雪氷学的にも貢献が大きい。最近では、冬季グリーンランドでエアロゾルと雪・氷の観測を行い、大気中の海塩エアロゾルの有力な放出源は海水上に形成されるフロストフラワーとそれを覆う積雪であるとの仮説も提案している（Hara *et al.* 2017）。さらに、原氏は、飛雪試料の化学分析結果と、人工衛星（SCIAMACHY）によるBrOの観測結果とを比較し（Hara *et al.* 2018）、春季極域大気中で進むハロゲンサイクルで重要となる高反応性臭素成分の主要な起源が、これまで指摘されていたような飛雪、海水上の積雪やフロストフラワー上ではなく、大気中に存在する海塩粒子上の不均一反応であることを示した。そして、大量分散した海塩粒子が、光化学反応を通して、春季に見られる南極沿岸部の対流圏O₃消失現象をもたらす可能性も指摘している（Hara *et al.* 2010, 2018）。

さらに、地上観測やエアロゾルゾンデ、マイクロバルスライダーなどの観測データから、昭和基地上空では、海塩粒子分散に伴う南極ヘイズは地上近傍だけではなく、自由対流圏中層付近まで到達しうること示した（Hara *et al.* 2014a）。この結果は、海塩粒子の鉛直輸送・混合が、エアロゾル濃度の低い南極自由対流圏への雲核や氷晶核、反応性ハロゲン源の供給過程

としての役割を担う観測的証拠として注目されている。また、昭和基地の位置する大陸沿岸部だけでなく、日本-スウェーデン共同南極トラバースに参加してエアロゾル観測を行い、海塩粒子上の不均一反応にかかわる主要物質を解明するなど、大陸内陸部におけるエアロゾルシステムに関する研究も展開している (Hara *et al.* 2014b)。

以上のように、原氏は現場観測に基づき、極域大気中の空間的なエアロゾルの動態と大気化学過程との関連という観点から、エアロゾル新粒子生成、海塩粒子の大気への放出、分散・輸送、粒子上の化学反応等に関する総合的な評価を行い、理解を進めた。これらの知見は気象学的な意義があるだけでなく、広く極域科学に貢献するものである。

以上の理由により、原 圭一郎氏に2019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

- Hara, K., K. Osada, M. Yabuki, H. Takashima, N. Theys and T. Yamanouchi, 2018: Important contributions of sea-salt aerosols to atmospheric bromine cycle in the Antarctic coasts. *Sci. Rep.*, **8**, 13852, doi: 10.1038/s41598-018-32287-4.
- Hara, K., S. Matoba, M. Hirabayashi and T. Yamasaki, 2017: Frost flowers and sea-salt aerosols over seasonal sea-ice areas in northwestern Greenland during winter-spring. *Atmos. Chem. Phys.*, **17**, 8577-8598.
- Hara, K., M. Hayashi, M. Yabuki, M. Shiobara and C. Nishita-Hara, 2014a: Simultaneous aerosol measurements of unusual aerosol enhancement in troposphere over Syowa Station, Antarctica. *Atmos. Chem. Phys.*, **14**, 4169-4183.
- Hara, K., F. Nakazawa, S. Fujita, K. Fukui, H. Enomoto and S. Sugiyama, 2014b: Horizontal distributions of aerosol constituents and their mixing states in Antarctica during the JASE traverse. *Atmos. Chem. Phys.*, **14**, 10211-10230.
- Hara, K., K. Osada and T. Yamanouchi, 2013: Tethered balloon-borne aerosol measurements: Seasonal and vertical variations of aerosol constituents over Syowa Station, Antarctica. *Atmos. Chem. Phys.* **13**, 9119-9139.
- Hara, K., K. Osada, M. Yabuki and T. Yamanouchi, 2012: Seasonal variation of fractionated sea-salt particles on the Antarctic coast. *Geophys. Res. Lett.*, **39**, L18801, doi:10.1029/2012GL052761.
- Hara, K., K. Osada, C. Nishita-Hara and T. Yamanou-

chi, 2011a: Seasonal variations and vertical features of aerosol particles in the Antarctic troposphere. *Atmos. Chem. Phys.*, **11**, 5471-5484.

Hara, K., K. Osada, C. Nishita-Hara, M. Yabuki, M. Hayashi, T. Yamanouchi, M. Wada and M. Shiobara, 2011b: Seasonal features of ultrafine particle volatility in the coastal Antarctic troposphere. *Atmos. Chem. Phys.*, **11**, 9803-9812.

Hara, K., K. Osada, M. Yabuki, G. Hashida, T. Yamanouchi, M. Hayashi, M. Shiobara, C. Nishita-Hara and M. Wada, 2010: Haze episodes at Syowa Station, coastal Antarctica: Where did they come from? *J. Geophys. Res.*, **115**, D14205, doi:10.1029/2009JD012582.

Hara, K., K. Osada, M. Kido, M. Hayashi, K. Matsunaga, Y. Iwasaka, T. Yamanouchi, G. Hashida and T. Fukatsu, 2004: Chemistry of sea-salt particles and inorganic halogen species in Antarctic regions: Compositional differences between coastal and inland stations. *J. Geophys. Res.*, **109**, D20208, doi:10.1029/2004JD004713.

Hara, K., S. Yamagata, T. Yamanouchi, K. Sato, A. Herber, Y. Iwasaka, M. Nagatani and H. Nakata, 2003: Mixing states of individual aerosol particles in spring Arctic troposphere during ASTAR 2000 campaign. *J. Geophys. Res.*, **108**, 4209, doi:10.1029/2002JD002513.

受賞者: 増永浩彦 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

業績: 複合的な衛星観測データの解析による熱帯対流力学の研究

選定理由:

増永浩彦氏は、天文学分野での学位取得後に大気科学分野の研究を開始して以降、雲・降水に関する衛星観測研究を一貫して行ってきた。その中で、観測時刻の異なる複数の衛星センサを組み合わせる新しい解析手法を開発することを通じて、特に熱帯対流力学に本質的に関わる雲・降水システムの理解を大きく進展させる研究成果を挙げてきた。

まず、2000年頃に開始した熱帯降雨観測衛星 (TRMM) を用いた研究では、TRMM に搭載された主要センサであるマイクロ波放射計 (TMI) ・可視赤外線観測装置 (VIRS) ・降水レーダ (PR) を複合的に組み合わせ、下層雲の鉛直微物理構造に関する研究や熱帯対流雲の統計特性に関する研究など、雲・降水物理特性の理解を進めるとともに、複合センサを活用し

た降水導出アルゴリズムの開発を行った。また、これらの衛星解析手法の一部を熱帯気象学の基本問題にも応用し、マッデン・ジュリアン振動の駆動機構をケルビン波や赤道ロスビー波に関係づけて解釈した観測的研究や、海洋混合層熱収支の理論的解析と組み合わせて熱帯東部太平洋の熱帯収束帯 (ITCZ) の維持機構を考察した研究 (Masunaga and L'Ecuyer 2010, 2011) を行った。これらの観測的知見の一部は全球雲解像モデルの熱帯対流の評価にも用いられ、その過程で開発された衛星データシミュレータ SDSU (Masunaga *et al.* 2010) は数値モデルと衛星観測とを繋ぐ基本ツールとして多方面で用いられている。

このような熱帯大気的气候的平均場や大規模場の現象の理解を本質的に進めるためには、熱帯大気の特徴づけている最も基本的な要素である個々の対流システムの変動と大規模環境場との関係を明らかにする必要がある。しかし、個々の雲・対流システムの変動は1時間から数日程度の短い時間スケールで起こるため、先進的なセンサを搭載してはいるものの低軌道を周回する TRMM や CloudSat などの現存の地球観測衛星では原理的に捉えられないと考えられてきた。これに対して増永氏は、複数の衛星センサを新しい発想で組み合わせることで、この技術的限界を打破する道筋を示した。すなわち、地球上の任意の地点を様々な異なる時間差で通過する二つの衛星があるとき、その各々から得られる大気物理特性を両衛星の観測時間差の関数としてコンポジットすることで、着目する物理特性に関する“統計的時系列”が得られる。増永氏はまず、この新しい解析手法を TRMM 衛星搭載降水レーダ (PR) と Aqua 衛星搭載大気赤外サウンダ (AIRS) に適用し、降水発達前後の数日にわたる大気熱力学場 (気温・湿度) の短期変動を観測的に描き出すことに成功した (Masunaga 2012a, b)。この手法はさらに CloudSat 衛星搭載雲レーダや QuikSCAT 衛星搭載マイクロ波散乱計 (SeaWinds) にも適用され、質量・熱・水の収支に関する理論的解析と組み合わせることで、大気収束場 (Masunaga 2013) や大規模場の平均上昇流 (Masunaga and L'Ecuyer 2014; Masunaga 2015) さらに積雲質量フラックス (Masunaga and Luo 2016) など、現存する衛星観測からは一般に導出不可能と考えられてきた大気力学的な情報を求めることを可能とした。衛星観測情報のみに由来する上昇流や積雲質量フラックスの推定は、コンポジット解析という制約下ではあるものの、モデル

に強く依存する再解析データとは一線を画するものである。最近の研究では、熱帯対流力学を記述する簡単な概念モデル (Masunaga and Sumi 2017) を構築するなど、上述のコンポジット解析に物理的解釈を与える理論的枠組みを追求している。そのひとつの応用として、Masunaga and Bony (2018) は対流システムに先立って発達する高層雲が、その温室効果によって対流強化に寄与し得ることを示した。

このように増永氏は、斬新な発想にもとづく複合的な衛星観測データの解析手法の開発と、それを大気力学の基本法則と結びつける理論的な深い洞察によって、熱帯対流力学の理解を進展させる成果を次々に発表している。特に、観測時刻の異なる衛星観測データを巧みに複合することで大気場の“動的な”情報を抽出する手法は、それ自体は“静的な”衛星観測に時間軸の文脈を付与する独創性の高いものである。増永氏はこの手法を様々な衛星データに適用することで、熱帯対流力学の時間進化に関わる本質的な知見を得てきた。これらの研究は日米共同の TRMM/GPM ミッションに大きく貢献するとともに国際的にも広く認知され、米国地球物理学連合をはじめとする様々な国際学会における招待講演のほか、全球エネルギー・水循環観測計画 (GEWEX) Data and Assessments Panel (GDAP) の運営委員も務めている。増永氏が行ってきた一連の研究は、近年急速な発達を遂げている衛星地球観測の可能性を大きく開くものであるとともに、将来の衛星計画も含めた雲・降水システムに関する今後の衛星観測研究を方向づけるものであると高く評価できる。

以上の理由により、増永浩彦氏に2019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

- Masunaga, H. and S. Bony, 2018: Radiative invigoration of tropical convection by preceding cirrus clouds. *J. Atmos. Sci.*, **75**, 1327-1342.
- Masunaga, H. and Y. Sumi, 2017: A toy model of tropical convection with a moisture storage closure. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, **9**, 647-667.
- Masunaga, H. and Z. J. Luo, 2016: Convective and large-scale mass flux profiles over tropical oceans determined from synergistic analysis of a suite of satellite observations. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **121**, 7958-7974.
- Masunaga, H., 2015: Assessment of a satellite-based atmospheric budget analysis method using

- CINDY2011/DYNAMO/AMIE and TOGA COARE sounding array data. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93A**, 21-40.
- Masunaga, H. and T. S. L'Ecuyer, 2014: A mechanism of tropical convection inferred from observed variability in the moist static energy budget. *J. Atmos. Sci.*, **71**, 3747-3766.
- Masunaga, H., 2013: A satellite study of tropical moist convection and environmental variability: A moisture and thermal budget analysis. *J. Atmos. Sci.*, **70**, 2443-2466.
- Masunaga, H., 2012a: A satellite study of the atmospheric forcing and response to moist convection over tropical and subtropical oceans. *J. Atmos. Sci.*, **69**, 150-167.
- Masunaga, H., 2012b: Short-term versus climatological relationship between precipitation and tropospheric humidity. *J. Climate*, **25**, 7983-7990.
- Masunaga, H. and T. S. L'Ecuyer, 2011: Equatorial asymmetry of the east Pacific ITCZ: Observational constraints on the underlying processes. *J. Climate*, **24**, 1784-1800.
- Masunaga, H., T. Matsui, W.-K. Tao, A. Y. Hou, C. D. Kummerow, T. Nakajima, P. Bauer, W. S. Olson, M. Sekiguchi and T. Y. Nakajima, 2010: Satellite Data Simulator Unit (SDSU): A multisensor, multispectral satellite simulator package. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **91**, 1625-1632.
- Masunaga, H. and T. S. L'Ecuyer, 2010: The southeast Pacific warm band and double ITCZ. *J. Climate*, **23**, 1189-1208.
-