

## 2016年度日本気象学会賞

受賞者：竹川暢之（首都大学東京）

業績：先端計測に基づくエアロゾル生成過程に関する研究

選定理由：

エアロゾルは、太陽光を効率的に散乱・吸収するとともに、雲凝結核として作用することで、大気の放射収支に大きな影響を及ぼす。エアロゾルの放射効果推定の不確実性は、気候変動予測の不確実性を生む主要因となっている。気候モデルや化学輸送モデルで考慮されているエアロゾル化学成分やその生成・消失過程の理解は不十分であり、実時間型分析に基づく直接観測により明らかにすべき課題が多く残されている。特に、東アジアはエアロゾルの発生源が高密度に存在し、全球的に見ても重要な領域であるが、観測データが不足している。

現在、エアロゾル化学組成の実時間型分析法として、米国エアロダイン社のエアロゾル質量分析計（Aerosol Mass Spectrometer：AMS）をはじめとするオンライン質量分析法の開発が急速に広がっている。しかしながら、2000年代初めは世界でも研究例が少ない黎明期であり、その性能は未知数であった。竹川氏は、アジアではほとんど認知度のなかった2001年から、初期型AMSの性能評価ならびに解析法の開発で先駆的な研究を行った。特に、エアロゾル質量分析の比較検証および誤差評価を系統的に行った研究（Takegawa et al. 2005, 2007, 2009a）は、当該コミュニティに広く認知されている。さらに近年では、定量性で鍵となる粒子捕集・分析部分に独自の改良を施した新しいエアロゾル質量分析装置の開発にも取り組んでいる（Takegawa et al. 2012）。

竹川氏は、AMSを中心とした先端的なエアロゾル分析技術を統合し、東アジア大都市域のエアロゾル生成過程に関する研究を展開した。2002-2004年の東京における地上観測では、サブミクロン粒子中の硫酸塩や有機物の日変化・季節変化を明らかにするとともに、夏季の光化学活性が高い条件において、半日程度の時間スケールで有機物の濃度が大幅に増加しうることを示した（Takegawa et al. 2006a, b; Miyakawa et al. 2008）。一方、2006年夏季の北京郊外における地上観測では、東京とは時間・空間スケールが著しく異なる現象が見出された。低気圧通過と弱風条件が数日サイクルで繰り返される過程で、500km程度にも及ぶ水平スケールのエアロゾル生成が起り、時間経過とともに硫酸塩の粒径および濃度が大きく増加していたことを明らかにした（Takegawa et al. 2009b 他）。

これらの研究の着眼点についても竹川氏の特長が伺える。従来のエアロゾル研究では粒子そのものの動態に力点が置かれる傾向が強かったが、竹川氏は気象場や前駆気体・トレーサー気体との関係を重視した。光化学経過時間を考慮しエアロゾルの生成速度を観測データから初めて推定するなど、化学反応と輸送過程の解析を統合することでエアロゾルの時間・空間変動を明らかにしてきた。

東京や北京等で観測した高精度の化学組成データによって、粒子の光学特性、吸湿特性、雲凝結核特性に関する数多くの成果が得られている。これらの知見は、エアロゾル濃度の再現性を飛躍的に改善できる次世代モデルの開発・検証にも大きく貢献している。

このように、竹川氏は過去 10 年間で東アジアを中心としたエアロゾル生成過程に関して多くの研究業績を挙げている。先端計測技術の開発・精度検証と大気現象の解明を常に両輪として捉え、それらを相互発展させてゆくという研究姿勢は、データの信頼性を追究することが新しい発見を生み出す原動力になる、という信念に基づいている。このような研究の蓄積が気象学の発展に果たす役割は大きい。

以上の理由により、竹川暢之氏に日本気象学会賞を贈呈するものである。

#### 主な関連論文

- Takegawa, N., Y. Miyazaki, Y. Kondo, Y. Komazaki, T. Miyakawa, J. L. Jimenez, J. T. Jayne, D. R. Worsnop, J. Allan and R. J. Weber, 2005: Characterization of an Aerodyne Aerosol Mass Spectrometer (AMS): Intercomparison with other aerosol instruments. *Aerosol Sci. Technol.*, 39, 760-770.
- Takegawa, N., T. Miyakawa, Y. Kondo, D. R. Blake, Y. Kanaya, M. Koike, M. Fukuda, Y. Komazaki, Y. Miyazaki, A. Shimono and T. Takeuchi, 2006a: Evolution of submicron organic aerosol in polluted air exported from Tokyo. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L15814, doi:10.1029/2006GL025815.
- Takegawa, N., T. Miyakawa, Y. Kondo, J. L. Jimenez, Q. Zhang, D. R. Worsnop and M. Fukuda, 2006b: Seasonal and diurnal variations of submicron organic aerosol in Tokyo observed using the Aerodyne aerosol mass spectrometer. *J. Geophys. Res.*, 111, D11206, doi:10.1029/2005JD006515.
- Takegawa, N., T. Miyakawa, K. Kawamura and Y. Kondo, 2007: Contribution of selected dicarboxylic and  $\omega$ -oxocarboxylic acids in ambient aerosol to the m/z 44 signal of an Aerodyne aerosol mass spectrometer. *Aerosol Sci. Technol.*, 41, 418-437.
- Miyakawa, T., N. Takegawa and Y. Kondo, 2008: Photochemical evolution of submicron aerosol chemical composition in the Tokyo megacity region in summer. *J. Geophys. Res.*, 113, D14304, doi:10.1029/2007JD009493.
- Takegawa, N., T. Miyakawa, M. Watanabe, Y. Kondo, Y. Miyazaki, S. Han, Y. Zhao, D. van Pinxteren, E. Brüggemann, T. Gnauk, H. Herrmann, R. Xiao, Z. Deng, M. Hu, T. Zhu and Y. Zhang, 2009a: Performance of an Aerodyne aerosol mass spectrometer (AMS)

- during intensive campaigns in China in the summer of 2006. *Aerosol Sci. Technol.*, 43, 189-204.
- Takegawa, N., T. Miyakawa, M. Kuwata, Y. Kondo, Y. Zhao, S. Han, K. Kita, Y. Miyazaki, Z. Deng, R. Xiao, M. Hu, D. van Pinxteren, H. Herrmann, A. Hofzumahaus, F. Holland, A. Wahner, D. R. Blake, N. Sugimoto and T. Zhu, 2009b: Variability of submicron aerosol observed at a rural site in Beijing in the summer of 2006. *J. Geophys. Res.*, 114, D00G05, doi:10.1029/2008JD010857.
- Takegawa, N., T. Miyakawa, T. Nakamura, Y. Sameshima, M. Takei, Y. Kondo and N. Hirayama, 2012: Evaluation of a new particle trap in a laser desorption mass spectrometer for online measurement of aerosol composition. *Aerosol Sci. Technol.*, 46, 428-443.

受賞者：三好建正（理化学研究所 計算科学研究機構）

業績：アンサンブルカルマンフィルタによるデータ同化の高度化に関する研究

選定理由：

データ同化は、数値シミュレーションと現実世界の観測・実験データを結びつける数理科学的方法である。特に数値天気予報の分野から発展してきたが、近年では地球科学や工学をはじめとするシミュレーション研究に幅広く応用され、シミュレーションの精度を高めて現象のメカニズムに迫る研究が行われるなど、現在では計算科学における主要な研究分野の一つになっている。わが国のデータ同化研究はこれまで主に現業機関で行われてきたが、1990年代から登場したアンサンブルカルマンフィルタ（EnKF）は4次元変分法と比べて実装が簡便であることから、これによりデータ同化研究の新たな展開がもたらされた。

三好氏は、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）を地球シミュレータで動作する大気大循環モデル AFES (Atmospheric general circulation model for the Earth Simulator) に適用し、当時の現業システムに相当する高い解像度で実用可能性を確かめ、並列計算効率が非常に優れていることを示した (Miyoshi and Yamane 2007)。この研究により、2008年度山本・正野論文賞が授与された。また、このシステムを使って世界に先駆けてアンサンブル再解析 ALERA (AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis) を実施し、そのプロダクトを広く公開した (Miyoshi et al. 2007)。さらに、気象庁の全球及びメソの現業モデルに LETKF を適用し、4次元変分法と同程度の精度を示すことなどを明らかにした (Miyoshi and Aranami 2006; Miyoshi and Sato 2007; Miyoshi et al. 2010)。当時の欧米における EnKF の研究では比較的 low resolution のモデルが使われていたことから、これらの研究は国際的にも注目された。

その後、三好氏は EnKF の精度向上のために独自の Adaptive Inflation 法を提案し (Miyoshi 2011)、それを大気モデルや海洋モデルに応用して良好な結果を得た。領域大気モデル WRF (Weather Research and Forecasting) に LETKF を適用し (Miyoshi and Kunii 2012)、実際の観測データを用いたアンサンブル手法による観測のインパクト推定に世界で初めて成功した。また、複数のスケールを同時に考慮する新しい局所化手法を独自に考案し、良好に動作することを確認した (Miyoshi and Kondo 2013)。さらに、通常より2桁も大きい10,240個のアンサンブルメンバーによる同化実験をスーパーコンピュータ「京」を用いて行い、通常局所化では失われてしまうシグナルの存在を明らかにした (Miyoshi et al. 2014)。それだけでなく、幅広い分野の研究者と協力関係を築き、全球非静力学モデル NICAM (Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model)、大気海洋結合モデル CFES (Coupled global climate model for the Earth Simulator)、全球大気エアロゾル

モデル、陸面モデル、河川流出モデル、同位体モデルなどのデータ同化研究に大きく貢献してきた。

以上のように三好氏は、LETKFによるアンサンブルデータ同化システムを自ら構築し、EnKFに関する多くの独創的な研究成果を上げてきた。また、三好氏が構築したLETKFシステムをベースとして、気象庁やアメリカ環境予測センターなどの現業機関でEnKFの研究開発が進められているほか、日本をはじめ、米国、ブラジル、韓国、台湾の大学・研究機関等でも幅広く利用され、多くの関連論文が出版されている。特に日本の気象学界にとって、現業機関だけでなく大学・研究機関でも最先端のデータ同化研究が可能であることを示して啓発した功績は大きい。

以上の理由により、三好建正氏に日本気象学会賞を贈呈するものである。

#### 主な関連論文

- Miyoshi, T. and K. Aranami, 2006: Applying a four-dimensional local ensemble transform Kalman filter (4D-LETKF) to the JMA nonhydrostatic model (NHM). SOLA, 2, 128-131.
- Miyoshi, T. and Y. Sato, 2007: Assimilating satellite radiances with a local ensemble transform Kalman filter (LETKF) applied to the JMA global model (GSM). SOLA, 3, 37-40.
- Miyoshi, T., S. Yamane and T. Enomoto, 2007: The AFES-LETKF experimental ensemble reanalysis: ALERA. SOLA, 3, 45-48.
- Miyoshi, T. and S. Yamane, 2007: Local ensemble transform Kalman filtering with an AGCM at a T159/L48 resolution. Mon. Wea. Rev., 135, 3841-3861.
- Miyoshi, T., Y. Sato and T. Kadowaki, 2010: Ensemble Kalman filter and 4D-Var intercomparison with the Japanese operational global analysis and prediction system. Mon. Wea. Rev., 138, 2846-2866.
- Miyoshi, T., 2011: The Gaussian approach to adaptive covariance inflation and its implementation with the local ensemble transform Kalman filter. Mon. Wea. Rev., 139, 1519-1535.
- Miyoshi, T. and M. Kunii, 2012: The local ensemble transform Kalman filter with the Weather Research and Forecasting model: Experiments with real observations. Pure Appl. Geophys., 169, 321-333.
- Miyoshi, T. and K. Kondo, 2013: A multi-scale localization approach to an ensemble Kalman filter. SOLA, 9, 170-173.
- Miyoshi, T., K. Kondo and T. Imamura, 2014: The 10,240-member ensemble Kalman filtering with an intermediate AGCM. Geophys. Res. Lett., 41, 5264-5271, doi: 10.1002/2014GL060863.