

大気環境中のエアロゾルの化学組成や物理特性をオンライン計測する複合分析装置

チームリーダー 竹川暢之（首都大学東京 都市教養学部理工学研究科・教授）

サブリーダー 平山紀友（富士電機（株）技術開発本部 製品技術研究所計測技術開発センター計測機器開発部・部長）

Keyword

環境分析、エアロゾル、気候変動、大気汚染、PM_{2.5}

タイプ 機器開発タイプ

開発課題名 実時間型エアロゾル多成分複合分析計の開発

■参画機関：富士電機（株）、（独）海洋研究開発機構

■開発期間：平成20～24年度

課題概要

大気エアロゾルは気候変動や大気汚染に重大な影響を与えます。これらの環境問題の解明に本質的に重要なパラメータ（粒径別化学組成、混合状態、光学特性など）を多角的・定量的に高速分析するために、レーザー・真空技術を駆使した複合分析計を開発する。本技術は、クリーンルーム・製造環境の粒子分析などにも応用可能であると期待される。

得られた開発成果の概要

■開発の背景／経緯

エアロゾル（大気中に浮遊する微粒子）は、気候変動や大気汚染へ重大な影響を及ぼす。エアロゾルの直接効果（太陽光を散乱・吸収する効果）、間接効果（雲凝結核としての効果）ともに、全球平均で見ればCO₂に匹敵するほどの放射強制力を持つ（図1）。さらに、都市のディーゼル排ガスや光化学スモッグ、あるいは大陸から輸送される黄砂など、エアロゾルは我々の社会生活に直接的な悪影響を与える。このように、エアロゾルはローカルからグローバルに至る

まで極めて重要な成分である。

図1右は典型的なエアロゾル粒径分布を表したものである。粒径2.5 μm以下が微小粒子PM_{2.5}である。エアロゾルを構成する成分は多種多様であり、人為起源のブラックカーボンや硫酸塩などに加えて、自然起源の生物粒子なども重要である。また、それらの濃度や寄与率は短時間で大きく変化しうる。したがって、PM_{2.5}エアロゾルの動態解明には、粒径や化学組成など重要なパラメータを実時間計測する必要がある。本課題の目的は、そのようなニーズに応えるエアロゾル計測装置を開発することである。

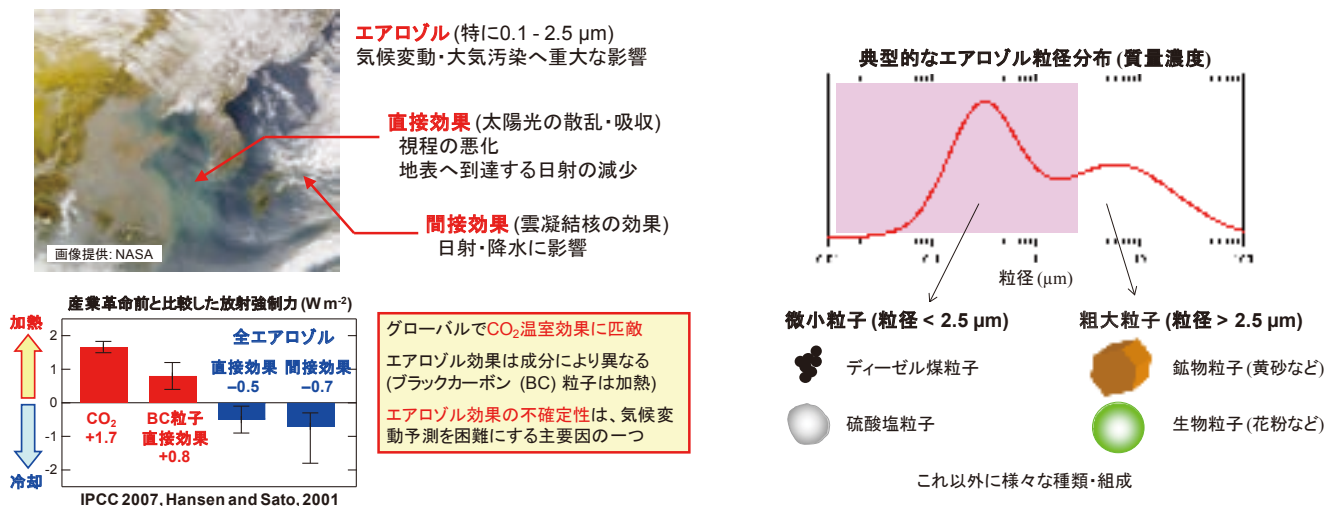


図1 (左) 大気環境問題におけるエアロゾルの重要性。(右) 典型的なエアロゾル粒径分布。

■開発の成果

エアロゾル複合分析計は、同一の試料空気に対して複数の分析法を適用することにより、粒子の重要な物理化学特性を多角的に実時間計測することを特徴とした新しい概念の装置である（図2）。装置を構成する主要要素技術は、レーザー散乱・蛍光検出部分（LIF）、レーザー散乱・白熱光検出部分（LII）、質量分析部分（MS）である。これらの要素技術単体もしくは組み合わせにより、粒径、主要成分濃度、混合状態、有機物種別など様々な情報を導出できる。

図3は質量分析部分により得られた硫酸塩の質量濃度の一例である。硫酸塩は二酸化硫黄（SO₂）などの化学反応により生成され、多くの場合PM_{2.5}を構成する主要成分となっている。リアルタイム分析により、フィルター捕集・オフライン分析では得られない短時間の変化を的確に把握することが可能となる。



図2 エアロゾル複合分析計の試作機。

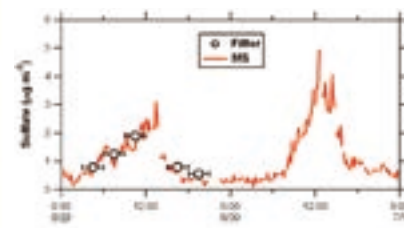


図3 フィルター捕集・オフライン分析（Filter）と質量分析部（MS）で得られた硫酸塩の質量濃度の相互比較（2012年6月末に実施）。

エアロゾルの多角的・定量的計測により、数値モデルの精度が向上し地球温暖化予測に貢献

■地球環境問題のメカニズム解明への貢献

複合分析装置を用いて広域で大気観測が行われることにより、エアロゾルの放射・雲生成への影響を解明するための重要なデータが得られる。これらのデータは気候モデルの精度向上に直接的に役に立つため、IPCC報告書等を通じて将来の地球温暖化予測に貢献することが期待される。また、多種多様なエアロゾルの発生および生成過程の解明にも役立つため、PM_{2.5}大気汚染問題への対策にも貢献することが期待される。

■ものづくり現場への貢献

複合分析装置は、ものづくり現場においても効力を発揮すると期待される。クリーンルーム・製造環境においては、半導体製造プロセスにおける物理汚染や化

学汚染がデバイスの歩留まり、品質、信頼性に大きな影響を及ぼしている。従来は粒子の数濃度のみをモニターするか、あるいは製造環境で捕集した試料をオフライン分析する方法が用いられていた。これらの方法では、汚染源を迅速に特定することはできない。複合分析装置を用いることで、粒子の化学組成や物理特性をリアルタイムにモニターできるため、汚染源をその場ですばやく特定し、有効な対策を施すことが可能となる。

■実用化・事業化を目指す分野

- ・気候変動の研究に資するエアロゾル高精度分析
- ・PM_{2.5}組成の連続モニタリング
- クリーンルーム・製造環境の粒子分析

上記成果の科学技術的根拠

【出願特許、意匠（出願準備中）】

1. 特願2010-060467、「微粒子組成分析方法及び微粒子組成分析装置」、出願人：東京大学、富士電機システムズ株式会社
 2. 特開2012-088178、「微粒子形状分析装置」、東京大学
 3. 特開2012-189483、「粒子測定装置」、富士電機株式会社
 4. PCT/JP2010/071818、「微粒子組成分析方法及び微粒子組成分析装置」、出願人：東京大学、富士電機株式会社
 5. 特願2012-264287、「粒子線成形手法及び評価装置」、富士電機株式会社、東京大学
- 特願2013-053681、「粒子分析方法及び粒子分析装置」、東京大学、富士電機株式会社、海洋研究開発機構

【発表論文等】

1. Moteki, N., N. Takegawa, K. Koizumi, T. Nakamura, and Y. Kondo, Multiangle Polarimetry of Thermal Emission and Light Scattering by Individual Particles in Airflow, *Aerosol Science and Technology*, 45, 1184-1198, 2011.
2. Takegawa, N., T. Miyakawa, T. Nakamura, Y. Sameshima, M. Takei, Y. Kondo, and N. Hirayama, Evaluation of a New Particle Trap in a Laser Desorption Mass Spectrometer for Online Measurement of Aerosol Composition, *Aerosol Sci. Technol.*, 46, 428-443, 2012.
3. Taketani F., Y. Kanaya, T. Nakamura, K. Koizumi, N. Moteki, N. Takegawa, Measurement of Fluorescence Spectra from Atmospheric Single Submicron Particle Using Laser-induced Fluorescence Technique, *J. Aerosol. Sci.*, 58, 1-8, 2013.