

2 波長偏光ライダーネットワークによる東アジアの

エアロゾルの動態の観測

Observation of distribution and movement of aerosols in east Asia using a network of two-wavelength polarization lidars

杉本伸夫、松井一郎、清水 厚

Nobuo Sugimoto, Ichiro Matsui and Atsushi Shimizu

国立環境研究所

National Institute for Environmental Studies

Abstract

We conduct network observations of aerosols using automated two-wavelength (1064nm, 532nm) polarization (532nm) lidars in cooperation with various research organizations and universities. Currently, twelve lidars are continuously operated in Japan, China, Korea and Thailand. Primary purposes of the network observations are for studying generation and transport of Asian dust and anthropogenic aerosols, to determine climatology of aerosol distribution, and for validation/assimilation of chemical transport models. Asian dust phenomena during 4 years since 2001 were observed quantitatively. The frequency of the occurrence of dust events and the vertical distribution characteristics were analyzed. Also, transport of dust and air-pollution aerosols were studied by comparing with the chemical transport model.

1. はじめに

エアロゾルの環境影響、気候影響は最近の大気科学における大きな話題のひとつである。アジア地域は、黄砂のような顕著な鉱物性エアロゾルの発生源を持つと同時に、人間活動の集中する場でもあり、従って、人為起源のエアロゾルの大きな発生地域でもある。そのため、東アジアにおけるエアロゾルの性状と動態の把握は大気科学の観点からも環境問題の観点からも極めて重要である。

国立環境研究所(NIES)では、ライダーによるエアロゾルの鉛直分布の継続的な観測を古くから行ってきたが(Sasano 1996)、1996年には小型の無人連続運転ミー散乱ライダーを開発し、自動連続観測を開始した。また、1997年からは大学や他の研究機関との協力による黄砂の観測ネットワーク(現 AD-Net)のなかで観測を行ってきた(Murayama et al. 2001)。一方、環境省の研究費による黄砂研究の開始に伴い、2001年に日中友好環境保全センターとの協力により北京に自動運転ミー散乱ライダーを設置した。また、長崎大学との協力で長崎にもライダーを設置した。これによって、2001年3月から、北京、長崎、つくばの3地点の自動連続ライダー観測を開始した。その後、多くの大学および研究機関等との協力により、現在、日本、中国、韓国、タイの合計12カ所で自動連続観測を行っている。

NIES ライダーネットワークでは、連続したデータを長期間継続的に得ることを第一に考え、自動運転が可能で維持管理の容易なミー散乱ライダーを用いている。また、黄砂の検知のために偏光解消度を測定するとともに、エアロゾルのタイプをある程度推定するために2波長で測定を行っている。このような連続的なライダーデータは黄砂イベントや大気汚染プルームを捉えるためには不可欠であり、化学輸送モデルを用いた現象把握のためのモデル検証データとして、さらにはモデルの改良やモデル同化のためのデータとして非常に有用である。このようなアプローチは、AD-Net等の研究観測ネットワークにおいては、ラマンライダー等によるエアロゾル光学パラメータの精密測定と相補的な意義を持つものであると言える。

2. 2波長偏光ミー散乱ライダーネットワーク

ネットワーク観測に用いているライダーは、Nd:YAG レーザーを光源とする2波長(532nm,1064nm)のミー散乱ライダーで、532nmでは偏光解消度の測定機能を持つ。維持の容易さとコストを考慮して、市販の小型のフラッシュランプ励起 Q スイッチ Nd:YAG レーザーを用いている。ライダーの主な仕様を Table 1 に示す。ライダ

一の制御とデータ収集には Linux OS の PC を用い、基本的には自動運転であるが、インターネットまたは電話回線による遠隔制御が可能である。観測データもインターネットあるいは電話回線で転送される。ライダーは天井にガラス窓を持つ建物またはコンテナに設置され、天候によらず昼夜運転される。通常の連続観測ではライダーは 15 分毎に5分間の測定を行っている。現在の NIES ライダーネットワークの 12 カ所の観測地点を Fig. 1 と Table2 に示す。

Table 1 NIES lidar specification

Laser	Flashlamp pumped Nd:YAG laser	
Output power	1064 nm	20 mJ/pulse
	532 nm	20 mJ/pulse
Repetition rate	10 pps	
Telescope	Schmidt Cassegrain	
Diameter	25 cm	
Field of view	1 mrad	
Receiver	3 channels	
	(1064 nm, 532 nm dual polarization)	
Detector	Photomultiplier tubes (532 nm)	
	Avalanche photodiode (1064 nm)	
Data acquisition	Digital oscilloscope	

Table 2 NIES lidar network locations

	Tsukuba (36.05N, 140.12E)	1996--
	Nagasaki (32.78N, 129.86E)	Mar. 2001--
	Beijing, China (39.9N, 116.3E)	Mar. 2001--
	Sri Samrong, Thailand (17.15N, 99.95E)	Oct. 2001--
	Suwon, Korea (37.14N, 127.04E)	Mar. 2002--
	Amami-Oshima (28.44N, 129.70E)	2002--
	Miyakojima (24.7N, 125.3E)	2002--
	Fukuoka (32.63N, 128.83E)	Oct. 2002--
	Hefei, China (31.90N, 117.16E)	Oct. 2002--
	Sapporo (43.1N, 141.3E)	2003--
	Huhehaote (40.94N, 111.37E)	Nov. 2003--
	Toyama (36.7N, 137.1E)	Feb. 2004--

Fig. 1 Map showing lidar locations

3. ライダーネットワークデータの解析

ネットワーク観測データは個々の黄砂イベントや大気汚染プルーム毎の解析と統計的な解析の両方の方法で行っている。いずれの場合も、黄砂と大気汚染エアロゾルの動態を分離して解析することが必要である。そのため、散乱強度と偏光解消度の値から散乱体を黄砂、球形エアロゾル、水雲、氷雲に分類する簡単な手法と、偏光解消度を利用して黄砂の混合比を推定する方法を開発した(Shimizu et al. 2004)。

Fig.2 にエアロゾルと雲の分類の高度毎のヒストグラムの例を示す(Sugimoto et al. 2004)。これは、北京、長崎、つくばにおける 2002 年、2003 年の 3-5 月の例で、それぞれのパネルの縦軸は高度 (0-6km)、横軸はそれぞれの分類 (球形エアロゾル、黄砂、水雲、氷雲) の出現の割合を示す。図の黒い部分は雨の割合を示す。なお、ここでは、信号偏光解消度が 10 パーセント以上のエアロゾルはを黄砂、信号偏光解消度が 20 パーセント以上の雲は氷雲と判定している。

より定量的な解析やモデルとの比較のためには、偏光解消度から黄砂の混合比を推定する方法が非常に有効である。この手法は、ある大きなエアロゾル偏光解消度 (ADR) を持つ黄砂と、小さな ADR を持つ球形エアロゾルの 2 種類のエアロゾルが単に外部混合しているという状況を仮定する。観測された ADR の値から黄砂と球形エアロゾルの混合比が得られる(Sugimoto et al. 2003, Shimizu et al. 2004)。

ここでは、例として 2003 年 5 月の球形エアロゾルの 7 地点における時間高度表示を Fig.3 に示す。

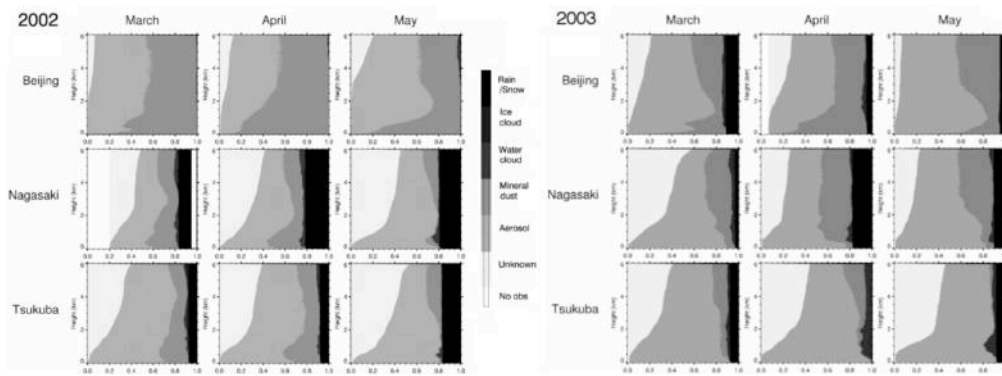


Fig. 2 Frequency of Asian dust events in 2002 and 2003 observed in Beijing, Nagasaki and Tsukuba.

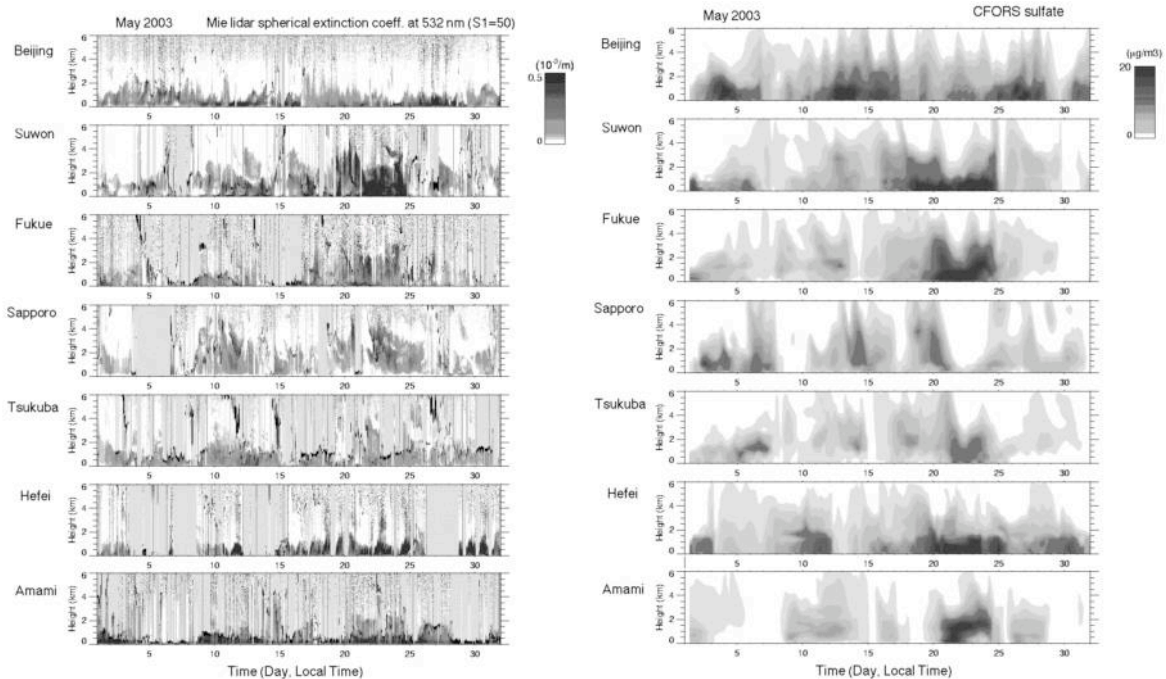


Fig. 3 (left) Time-height indications of Mie-lidar extinction coefficient of spherical aerosols observed at seven locations in May 2003. (right) Time-height indication of sulfate calculated by the chemical transport model CFORS.

この例では、2003年5月20-25日に Suwon、福江、札幌などでシベリアの森林火災の煙が観測されている。なお、Fig.3 右には化学輸送モデル CFORS により予測された硫酸エアロゾルの各地点の時間高度表示を示す。CFORS では森林火災は考慮されていない。従って、例えば札幌の例で顕著であるが CFORS に出ていなくて観測で見えている部分が森林火災であると思われる。また、CFORS では5月20-25日頃に下層に高濃度の硫酸エアロゾルが見られ、実際に層毎にエアロゾルの組成が異なっていたものと推定される。

黄砂についても同様な手法を用いて、イベント毎にモデルを検証し、発生源や輸送経路の解析を行っている (Sugimoto et al. 2003)。また、黄砂と大気汚染エアロゾルのそれぞれについて各地点の高度分布の季節変化や年々変化の解析を行っている。

黄砂に関しては、日中韓環境大臣会議などにおいて砂塵嵐のモニタリングの重要性が指摘されている。また、既に各国の気象官庁が黄砂の予報モデルの運用を開始している。ライダーネットワークの応用として、黄砂予報モデルのリアルタイムの検証と同化のための数値データを提供することを計画している。提供するデータプロダクトは、黄砂の消散係数のプロファイルの時系列データで、雲の判定と、雲の下の黄砂の消散係数の推定値も含む。Fig. 4 に想定しているモデル検証用データプロダクトを、ここでは4地点についてプロットしたものを示す。

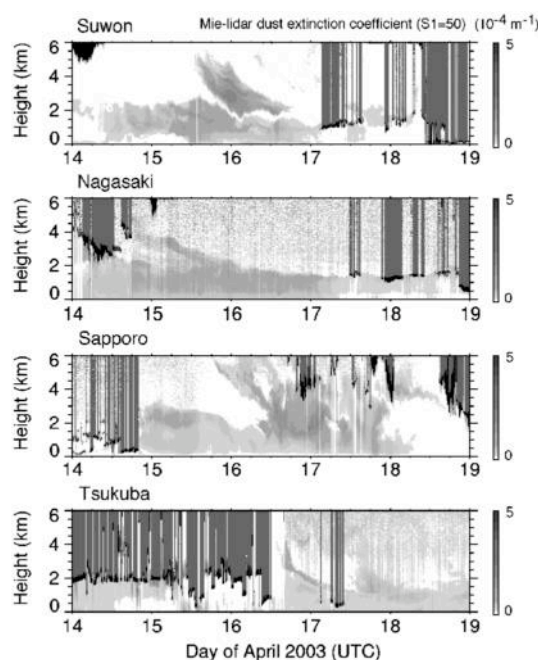


Fig.4 Lidar network data product for real-time model validation.

謝辞

各地点のライダー観測はそれぞれ以下の機関の協力による。富山（富山県環境科学センター、環境省）札幌（北海道大学）、長崎（長崎大学）、福江島（総合地球環境学研究所）、奄美大島（千葉大学、東京大学気候システム研究センター）、宮古島（宇宙航空研究開発機構、気象研究所）、北京（日中友好環境保全センター）、合肥（安徽光学精密機械研究所）、呼和浩特（日中友好環境保全センター、フフホト市環境監測局、JICA）、Suwon（Kyung Hee 大学）、タイ Sri Samrong（Chulalongkorn 大学、東京大学気候システム研究センター、千葉大学）。また、モデル計算については九州大学鶴野伊津志教授の協力をいただいた。黄砂研究については環境省地球環境研究総合推進費により、また観測およびライダー手法の研究の一部は科学研究費特定領域研究「微粒子の環境影響」の中で実施されている。放射に関する観測サイトの観測および機器開発の一部は日本科学技術振興事業団の戦略基礎研究費「アジア域の広域大気汚染による大気粒子環境の変調について」の中で行われた。

引用文献

- Murayama, T., Sugimoto, N., Uno, I., Kinoshita, K., Aoki, K., Hagiwara, N., Liu, Z., Matsui, I., Sakai, T., Shibata, T., Arai, K., Shon, B-J., Won, J-G., Yoon, S-C., Li, T., Zhou, J., Hu, H., Abo, M., Iokibe, K., Koga, R., and Iwasaka, Y.: Ground-Based Network Observation of Asian Dust Events of April 1998 in East Asia, *J. Geophys. Res.* Vol. 106, No. D16, 18,346-18,359, 2001.
- Sasano, Y.: Tropospheric aerosol extinction coefficient profiles derived from scanning lidar measurements over Tsukuba, Japan, from 1990 to 1993, *Appl. Opt.* 35 (24) 4941-4952, 1996.
- Shimizu, A., Sugimoto, N., Matsui, I., Arai, K., Uno, I., Murayama, T., Kagawa, N., Aoki, K., Uchiyama, A., and Yamazaki, A. Continuous observations of Asian dust and other aerosols by polarization lidars in China and Japan during ACE-Asia. *J. Geophys. Res.*, 2004 in press.
- Sugimoto, N., Uno, I., Nishikawa, M., Shimizu, A., Matsui, I., Dong, X., Chen, Y., Quan, H. Record Heavy Asian Dust in Beijing in 2002: Observations and Model Analysis of Recent Events, *Geophys. Res. Lett.* 30, 12, 1640, doi:10.1029/2002GL016349, 2003.
- Sugimoto, N., Shimizu, A., Matsui, I., Uno, I., Arai, K., Chen, Y., Zhao, S., Zhou, J., and Lee, C-H: Study of Dust Phenomena in 2001-2003 Using a Network of Continuously Operated Polarization Lidars, *J. Water, Air and soil Pollution*, 2004 submitted.