

### Observations of aerosols and clouds using a two-wavelength dual-polarization lidar on board the research vessel Mirai

杉本伸夫<sup>1</sup>、松井一郎<sup>1</sup>、清水 厚<sup>1</sup>、浅井和弘<sup>2</sup>

N. Sugimoto<sup>1</sup>, I. Matsui<sup>1</sup>, A. Shimizu<sup>1</sup>, and K. Asai<sup>2</sup>

1 国立環境研究所、2 東北工業大学

1. National Institute for Environmental Studies, 2. Tohoku Institute of Technology

**Abstract** We conducted observations of tropospheric aerosols and clouds using a two-wavelength dual-polarization Mie-scattering lidar on board R/V Mirai. We analyzed latitudinal features of aerosol distribution and optical characteristics in the western Pacific. According to the measured backscattering coefficient, aerosol density was generally high at latitudes above 25 deg N where the westerly from the Asian continent prevailed. The wavelength dependence of the retrieved aerosol backscattering showed that the characteristics of aerosols in the continental air mass were clearly different from those at lower latitudes. In MR01-K02 cruise of R/V Mirai (May 14-28, 2001), we observed plumes of dust and anthropogenic aerosols in the northwestern Pacific (32-38 N, 146.5 E). In MR01-K02 and K05 cruises, we performed experiments on the bistatic lidar method for measuring water droplet size. We also performed simultaneous observations with the cloud profiling radar (CPR) of the Communications Research Laboratory (CRL) to study cloud microphysics.

#### 1. はじめに

エアロゾルの効果、特に雲の生成を通じた間接的効果は大気放射過程の中で最も理解されていないもののひとつである。エアロゾルと雲の立体的な分布の気候学的な特徴、エアロゾルと雲の相互作用などに関する情報を得ることを目的として、海洋地球研究船「みらい」を用いたライダー観測を行ってきた。

「みらい」搭載ライダーは、2波長(1064nm, 532nm)のミー散乱ライダーで、それぞれの波長における後方散乱係数のプロファイルの他、532nmでは偏光解消度の測定機能を持つ。偏光解消度は散乱体の非球形性の指標で、雲の相(液相, 氷晶)の判別やダストエアロゾルの識別に有効である。また、2波長の後方散乱係数の比から粒径に関する情報が得られる。

これまでに、MR99-K01, 03, 06, 07, MR00-K02, 04, 07, MR01-K01, 02, 05に参加し、西部太平洋を中心に観測を行った。ここでは、雲とエアロゾル分布の緯度変化の解析結果と、エアロゾルプルームの観測、バイスタティック方式による海洋上の積雲の雲底付近の雲粒の粒径測定について報告する。

#### 2. エアロゾルの緯度分布

Fig. 1に、MR99-K03の緯度毎の雲底高度のヒストグラムとエアロゾルの後方散乱係数の例を示す(Sugimoto 2001a)。

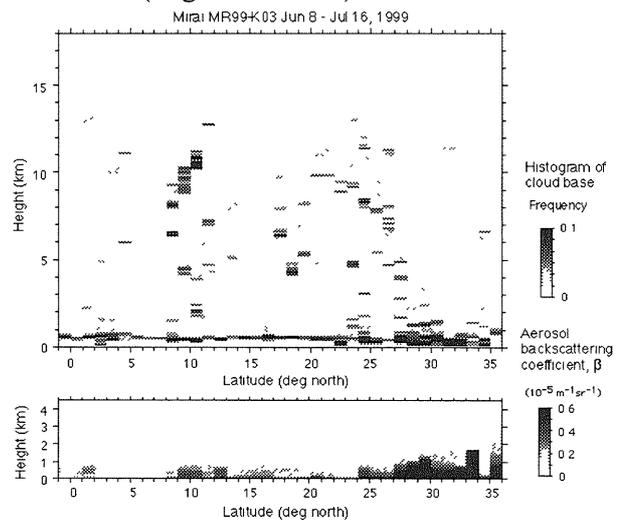


Fig. 1. Latitudinal dependence of vertical profile of clouds, aerosol backscattering coefficient at 532 nm, and the ratio of aerosol backscattering at 1064 nm to 532 nm observed in MR99-K03.

データ解析では、プロファイル毎のライダーデータにおいて、まず信号強度から雲を識

別し、雲底と見かけの雲頂高度と雲の相を求め、次に雲の無いデータを選別してエアロゾルの後方散乱係数のプロファイルを求めた。ここでは、全データを緯度のみで分類し、雲分布のヒストグラムと平均的なエアロゾル分布を求めた。

海洋上の境界層高度はおよそ 600~1000m で、境界層上端に高い頻度で積雲の生成が見られる。高層の雲は高度 15km くらいまで見られ、中層の 5km 付近にも高い頻度で雲が見られる。

Fig. 1 において、エアロゾル濃度は、大陸からの気塊が観測される緯度約 25 度以北で高い。この傾向はこの例のみでなく他の航海でも見られる。Fig. 2, Fig. 3 に MR99-K03, MR00-K04 と MR99-K01, 06 について、エアロゾルの積分後方散乱係数(IBC), 2 波長の後方散乱係数の比 (高度 500m), 0-3km に雲底を持つ雲の量, 船上で測定された海上風速をそれぞれ示す。

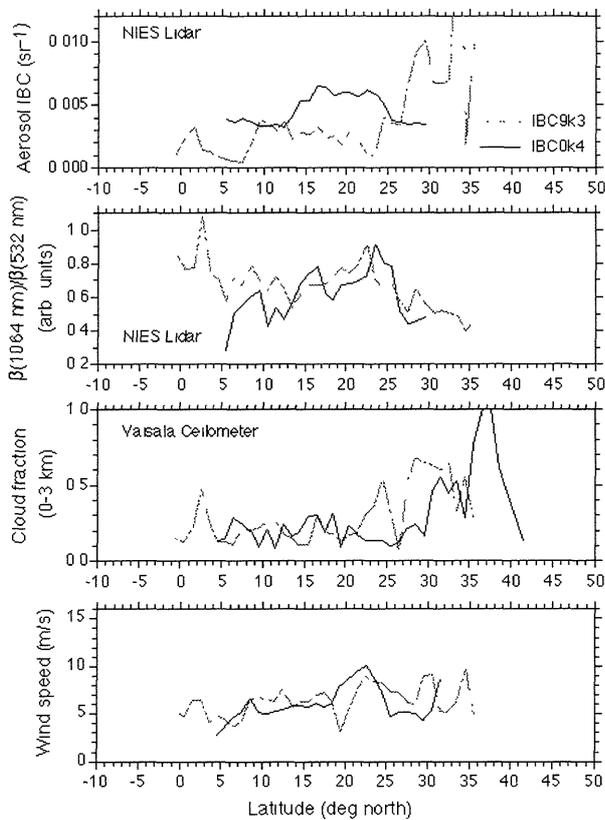


Fig. 2. Integrated backscattering coefficient at 532 nm, the ratio of the backscattering coefficient at 1064 nm to that at 532 nm, cloud fraction, cloud base height, and surface wind speed observed in MR99-K03 and MR00-K04.

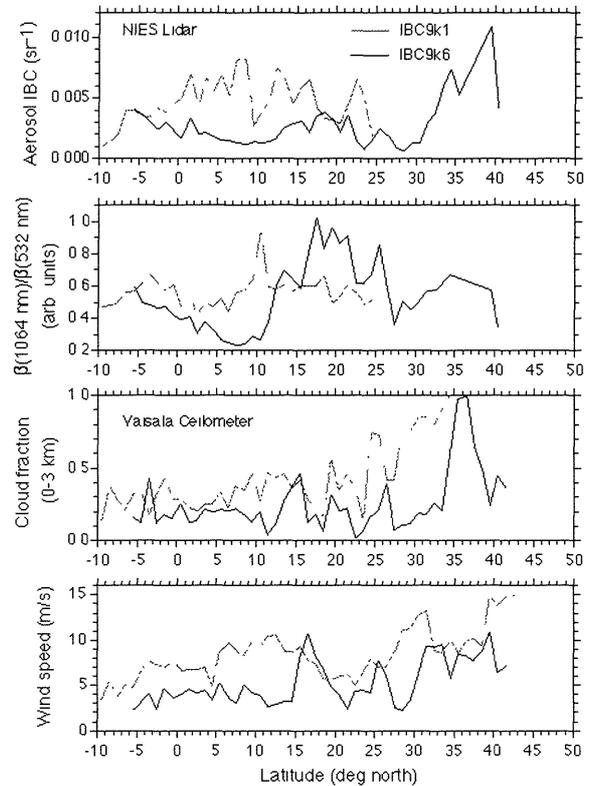


Fig. 3. Same as Fig. 3 for MR99-K01 and MR00-K06.

後方散乱係数の 2 波長の比の値は、緯度約 25 度以南ではエアロゾルの濃度の高い領域で高い。すなわち、エアロゾルの多いところでは粒径も大きいことが推定される。一方、緯度約 25 度以北では 2 波長の比の値が小さく、粒径の小さいエアロゾルが高濃度で分布することがみられる。

低緯度のエアロゾルについては、海上風速と濃度の間に正の相関が見られ、大部分は海塩粒子であると考えられる。Fig.4 に IBC と風速の関係を示す。Fig. 4 に示すように積分後方散乱係数は海面風速の指数関数で表される。これは、MR99-K03 において、ナウル島近くの赤道太平洋上で行われた定点観測 (Nauru99) の結果(Sugimoto et al. 2000a)やサンプリング測定による過去の文献と概ね一致する。

以上の解析結果から、低緯度の貿易風帯のエアロゾルは、濃度の高い場合はほとんど海塩粒子であると考えられること、エアロゾルの濃度および粒径は海面風速と相関を持つことが示された。一方、北緯約 25 度以北の大陸性のエアロゾルの観測される海域ではエアロ

ゾル濃度が高く、波長依存性が大きい傾向が見られた。この傾向は衛星データ NOAA/AVHRR などの解析結果と一致する。

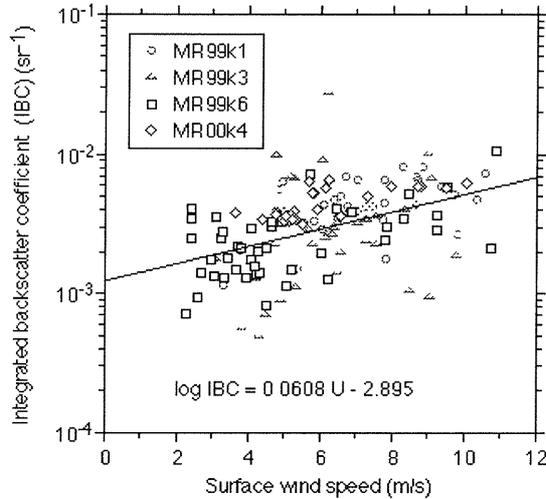


Fig.4. Integrated backscattering coefficient at 532 nm as a function of surface wind speed.

### 3. エアロゾルプルームの観測

2001年5月のMR01-K02では、日本の東の海上(32-38 N, 146.5 E)で大陸からの黄砂と人為起源エアロゾルのプルームを捉えた。Fig. 6 にライダーデータから得られた後方散乱係数、エアロゾル偏光解消度(ADR)、1064nm と532nm の後方散乱係数の比の高度時間表示を示す。

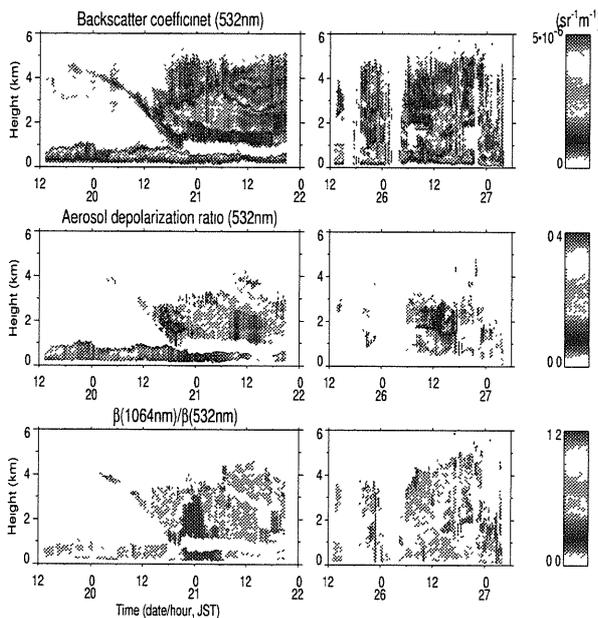


Fig. 5. Time-height indication of the backscattering coefficient, aerosol depolarization ratio, and the ratio of backscattering coefficients at 1064 nm to 532 nm.

化学輸送モデル CFORS (Chemical Weather Forecast System) (Uno et al. 2001)の結果と比較すると、5月26日のプルームは上から黄砂、硫酸エアロゾルの層状構造であると推定される。ライダーで観測されたエアロゾル偏光解消度、2波長の散乱係数の比はこれらのエアロゾルの特徴を示している(Fig.6)。

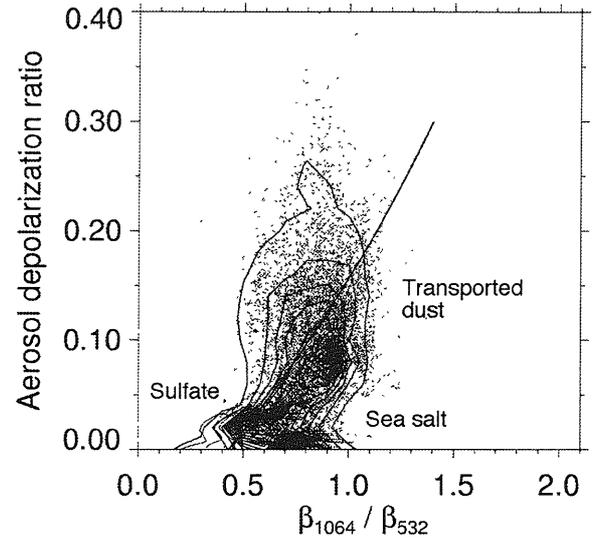


Fig. 6. Observed ADR as a function of the observed ratio of the backscattering coefficients at 1064 nm and 532 nm.

### 4. バイスタティックライダーによる水雲の雲底の粒径の測定

今後の研究の重要な課題のひとつはエアロゾルと雲の相互作用である。これまでの観測でも、風速の大きい領域では雲量も多い傾向がみられる。しかし、積雲生成におけるエアロゾルの効果を明確にするためには積雲の粒径などをより直接的に測定する必要がある。そこで、バイスタティック方式の新しいライダー手法(Sugimoto 2000b)を用いた雲の粒径測定を行った。この手法は、雲粒のミー散乱の散乱角依存性が粒径に依存することを利用する手法で、散乱光の2つの偏光成分の比から粒径(粒径分布を仮定したモード径)を求める。パルスレーザーを用い、高度分布は時間遅れから求める。測定実験は「みらい」搭載ライダーにバイスタティック受信系を追加することによって行なった。

海洋上の対流性の積雲と雨の降りそうな層

雲の2つの例について、測定結果を Fig. 7 (a), (b) に示す。積雲では雲底で粒径が小さく、上にいくと粒子が成長する様子が見られた。層雲の場合は雲底付近にも大きな粒子のある場合が観測された。(Sugimoto et al. 2001b)

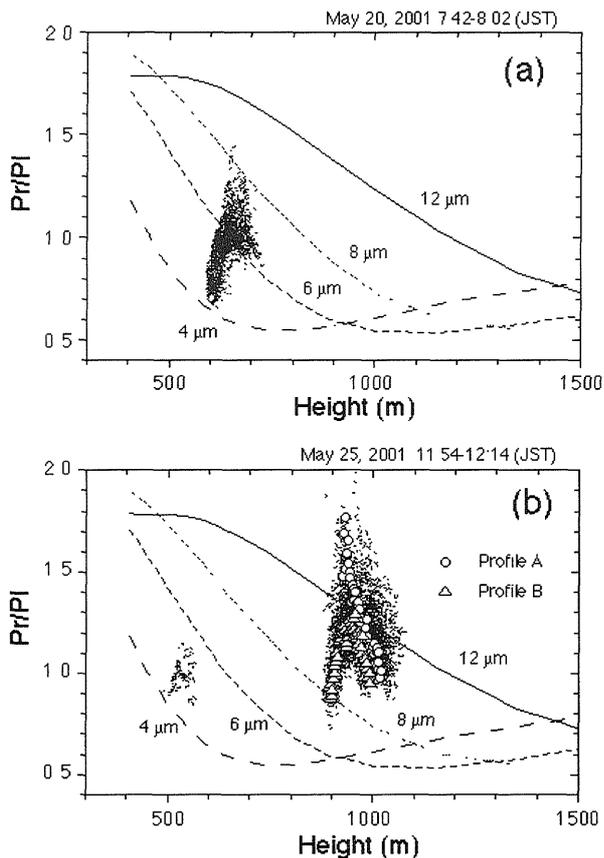


Fig. 7. Measured Pr/PI as a function of height in (a) cumulus and (b) stratus. 120 profiles are shown in each case. Theoretical Pr/PI corresponding to the C1 cloud with a mode radius of 4, 6, 8 and 12  $\mu\text{m}$  is also shown.

この手法はミー散乱（単散乱）を利用するので、雲の中では多重散乱の影響を受ける。この例では、雲の中の貫通距離が約 50m 以下では測定に対する多重散乱効果の影響は大きくないと考えられる。

## 5. おわりに

今後、種々のエアロゾルの分布特性と雲との相互作用を観測対象として、「みらい」を用いた、2波長偏光ライダーおよびバイスタティックライダーによる観測を継続する計画である。また、MR01-K02, K05 では、通信総合研究所の雲レーダーとの同時観測による雲の

パラメータの測定 (Okamoto et al. 2000) を実施しており、これらを組み合わせて、エアロゾル、雲の相互作用の定量化につながる観測データを得ることを目指す。

## 謝辞

本研究は海洋科学技術センターの研究船「みらい」を用いて行われている。海洋科学技術センターの関係各位に感謝の意を表す。

## 参考文献

- Okamoto, H., M. Yasui, H. Horie, H. Kuroiwa, and H. Kumagai, 2000: Observation of clouds by 95 GHz radar and lidar systems: radius versus fall velocity, In W.L.Smith and Y.M.Timofeyev (Eds.) IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation (A. Deepak Publishing).
- Sugimoto, N., I. Matsui, Z. Liu, A. Shimizu, I. Tamamushi and K. Asai, 2000a: Observation of aerosols and clouds using a two-wavelength polarization lidar during the Nauru99 experiment, *Sea and Sky* 76, 90-95.
- Sugimoto, N., 2000b: Two-color dual-polarization pulsed bistatic lidar for measuring water cloud droplet size, *Optical Review* 7 (3), 235-240.
- Sugimoto, N., I. Matsui, Z. Liu, A. Shimizu, K. Asai, K. Yoneyama and M. Katsumata, 2001a: Latitudinal distribution of aerosols and clouds in the western Pacific observed with a lidar on board the research vessel Mirai, accepted for publication in *Geophys. Res. Lett.*
- Sugimoto, N., I. Matsui, and A. Shimizu, 2001b: Measurement of Water Cloud Particle Size with a Dual-Polarization Pulsed Bistatic Lidar, submitted to *Optical Review*.
- Uno, I. et al., 2001: Development and Application of Chemical Weather Forecasting System over East Asia, 25th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and its Application. Oct., 2001. (submitted)