

熱帯域でのみらい搭載2波長偏光ライダー観測から
推定されたエアロゾル分布

Aerosol distribution retrieved from dual-wavelength polarization
lidar installed on the research vessel Mirai over the Tropical region

西澤智明、杉本伸夫、松井一郎、清水厚、岡本創*、竹村俊彦**

T. Nishizawa, N. Sugimoto, I. Matsui, A. Shimizu, H. Okamoto, and T. Takemura

国立環境研究所、東北大学*、九州大学**

National Institute for Environmental Studies, Tohoku university*, Kyusyu university**

Abstract

Spatial distributions of water-soluble, sea-salt and dust aerosols over tropical Pacific Ocean and Indian ocean were analyzed from ship-borne dual-wavelength polarization Mie-scattering lidar measurements. The ship-borne measurements by the R/V Mirai were conducted over the tropical Pacific Ocean in 2001, 2004, and 2006 and over Indian Ocean in 2006. In the analysis, we applied dual wavelength lidar algorithms to the three channel lidar data, i.e., signal strengths at $\lambda = 532$ and 1064 nm and total depolarization ratio at $\lambda = 532$ nm. The algorithm allows us to retrieve aerosol types and extinction coefficients for each aerosol component. The results showed the water-soluble and sea-salt particles existed in the planetary boundary layer formed below about 1.5 km for all the observation periods. Dust particles were scarcely present for all the observation periods. The optical thicknesses of water-soluble aerosols were relatively large over the Pacific Ocean between Japan and New Guinea island and in the eastern Indian ocean, indicating the transport of pollutants from the lands. We further validated the global aerosol transport model SPRINTARS using retrieved aerosol properties over the tropical Pacific Ocean in 2001. We could find rough agreement in the general pattern of sea-salt and dust particles, however, there was distinct difference for the distribution patterns of water-soluble particles.

I. はじめに

観測船「みらい」(海洋研究開発機構)による船舶観測の目的として、洋上でのエアロゾル・雲の時空間分布の把握や数値モデルの検証データの提供が挙げられる。1999年以來、「みらい」には国立環境研究所(NIES)で開発された2波長偏光 Mie 散乱ライダーが搭載され、エアロゾル・雲の鉛直分布の測定が行われてきた。NIES ライダーは波長 532nm と 1064nm での受光強度(β_{obs})と波長 532nm での偏光解消度(δ)の3チャンネルの測定要素を持つ。我々はこのライダーデータから、水溶性・海塩・ダストの3種類のエアロゾルの消散係数の鉛直分布を導出するアルゴリズムの開発を行い、そのアルゴリズムを用いて2001年に実施された日本近海太平洋上での測定データへ適用・解析を行ってきた¹⁾。「みらい」による観測航海は日本近海のみならず太平洋広域、北極海、そしてインド洋にわたり、それら洋上での NIES ライダーによる測定も実施されてきた。

本研究では、2001年(MR01K05期間)、2004年(MR04K07及びMR04K08期間)そして2006年(MR06K05期間)に実施された熱帯域太平洋上およびインド洋上での2波長偏光ライダーの測定データに上記アルゴリズムを適用しデータ解析を実施した。そこで本発表では、導出された熱帯域洋上におけるエアロゾル種毎の時空間分布の特徴について論じる。また、同観測期間・同観測海域に対して、全球エアロゾル輸送モデルSPRINTARS²⁾によるエアロゾル・雲のシミュレーションも実施された。そこで、ライダーから導出されたエアロゾル光学特性を用いたSPRINTARSとの比較結果についても報告する。

II. アルゴリズム

本アルゴリズムでは、主に以下の3つの仮定を行う。1) 全エアロゾルの粒径分布は2つのモード半径(小粒子と大粒子)を持ったbimodal, lognormal分布で規定する2) 水溶性粒子、海塩、ダストの粒径分布・複素屈折率を他の研究結果^{3,4)}を用いて仮定する(表1)。3) 水溶性粒子と海塩(モデル1)、水溶性粒子とダスト(モデル2)の組み合わせからなる2つのモデルを作成する。各層での推定では、まず、 δ を用いてモデルを決定する、すなわち、10%以下の場合モデル1を採用し、10%以上の場合モデル2を採用する。その後、2波長での β_{obs} を用いて、決定されたモデルの2種類のエアロゾルの消散係数を求める。この処理を、 β_{obs} の減衰補正を行いながら全層に対し実施し、3種類のエアロゾルの消散係数の鉛直分布を推定する。水溶性粒子は硫酸塩、硝酸塩および有機性炭素エアロゾルの外部混合したものとして定義される。

Table 1. Optical properties of water-soluble, sea-salt and dust prescribed in the algorithm^a

Property	Water-soluble	Sea-salt	Dust
R_m, S_d	0.13, 1.6	3.0, 2.1	3.0, 2.2
m_r, m_i, m_r, m_i	1.41, 1.40	1.36, 1.35	1.53, 1.53
m_i, m_i, m_i, m_i	$2.3 \times 10^{-3}, 6.8 \times 10^{-3}$	$3.4 \times 10^{-9}, 3.7 \times 10^{-5}$	$6.3 \times 10^{-3}, 4.3 \times 10^{-3}$
S_{532}, S_{1064}	55, 26	20, 32	22, 14

^aMode radius (R_m), standard deviation (S_d), complex refractive index ($m_r - i m_i$), and lidar ratio (S) are shown. S is computed by the Mie theory using the prescribed size distribution and complex refractive index. The units of R_m and S are μm and sr, respectively.

III. 熱帯域洋上でのエアロゾルの空間分布

アルゴリズムを適用する前に、雲・雨域の除去を行った¹⁾。MR01K05観測期間ではライダーデータと共に95GHz雲レーダデータ(情報通信機構)を用い、その他の期間に対してはライダーデータのみを用いた。その後、SNを考慮し、MR01K05, MR04K07, MR04K08, MR06K05期間に対し各々高度2.5 km, 3 km, 6 km, 5km以下のデータにアルゴリズムを適用した。図1にMR04K07観測期間での全エアロゾルの消散係数の時間・鉛直分布を示す。高度1.5 km以下の低層域(大気境界層に相当)にエアロゾルが多く存在しており、これは他の観測期間に対しても同様であった。全観測期間(MR01K05,

MR04K07, MR04K08, MR06K05)内で、ダストは殆ど推定されず、エアロゾル分布の濃淡は水溶性粒子と海塩粒子の濃度分布に依存していた。図2に全観測期間内での、航路に沿った全エアロゾルの光学的厚さの水平分布を示す。日本列島～ニューギニア島にわたる南北間海域における光学的厚さはニューギニア島-スマトラ島にわたる東西間海域に比べ高い。特にニューギニア島の北から北東部海域で光学的厚さが高い。また、インド洋東部域（スマトラ島西海域）においても比較的高い光学的厚さが推定された。これらは主に水溶性粒子によって引き起こされていたことから、陸域からの大気汚染粒子の輸送が示唆される。

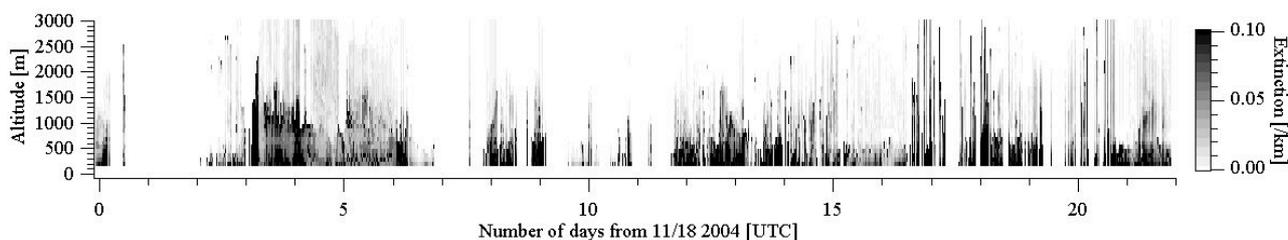


Fig. 1 Time-height cross-section of extinction coefficient for total aerosols in the MR04K07 period.

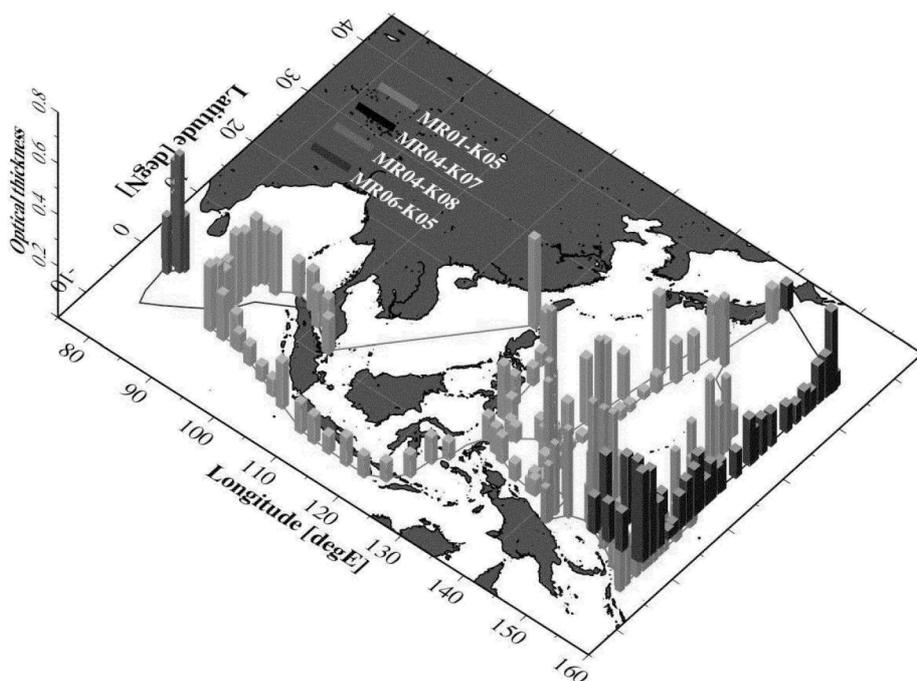


Fig. 2 Horizontal distribution of optical thickness at $\lambda = 532$ nm for total aerosols for all the observation periods.

IV. 全球エアロゾル輸送モデル SPRINTARS との比較

SPRINTARS は NIES-CCSR-FRCGC の AGCM をベースにした全球エアロゾル輸送モデルであり、水雲・氷雲と共に4種エアロゾル（硫酸塩、海塩、ダスト、炭素系粒子（BC+OC））の動態をシミュレーションすることができる。図3にMR01K05観測期間に対するSPRINTARSの硫酸塩粒子のシミュレーション結果とライダーからの推定結果を示す。ライダーから推定された水溶性粒子（硫酸塩粒子に相当）との濃淡パターンの一致

が見られない（例えば、ライダーでは 30 日目ないしは 60 日目頃に消散係数が高いが、SPRINTARS はそれを再現できていない）。濃度に関しては、SPRINTARS の幾分の過小評価が見られる。海塩粒子、ダストについては、分布パターン／濃度共に比較的良い一致が見られた。

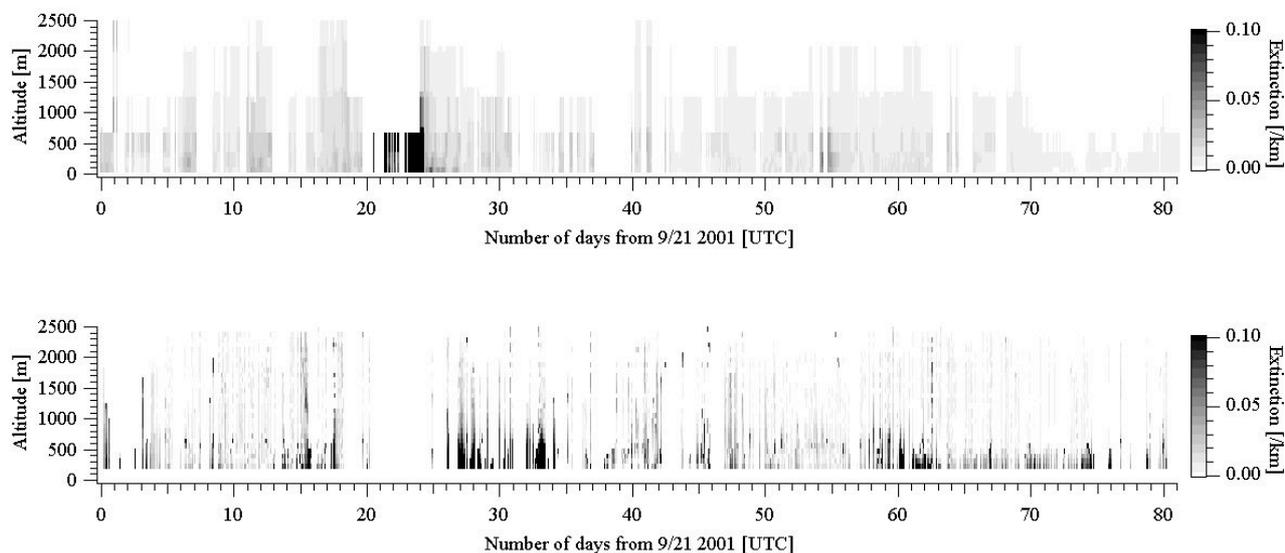


Fig. 3 Time-height cross-section of extinction coefficient at $\lambda = 532$ nm for water-soluble aerosols simulated by SPRINTARS (Upper figure) and retrieved from the lidar (Lower figure) in the MR01K05 period.

謝辞

本研究で用いたライダーデータは、海洋研究開発機構(JAMSTEC)により実施された観測船「みらい」による熱帯域太平洋およびインド洋での観測航海期間中に取得されました (MR01K05, MR04K07, MR04K08, MR06K05)。関係者各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Nishizawa *et al.*, *J. Geophys. Res.*, 112, D06212, doi:10.1029/2006JD007435, (2007).
- 2) Takemura *et al.*, *J. Geophys. Res.*, 110, D02202, doi:10.1029/2004JD005029, (2005).
- 3) Hess *et al.*, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 831-844, (1998).
- 4) Smirnov *et al.*, *J. Atmos. Sci.* 59, 501-523, (2002).