

2 波長偏光ライダーデータからのエアロゾル導出アルゴリズムの開発と解析  
Development of aerosol retrieval algorithm from dual-wavelength polarization lidar data  
and the data analysis

西澤智明、岡本創

Tomoaki Nishizawa, Hajime Okamoto

東北大学大学院理学研究科大気海洋変動観測研究センター

Center for Atmospheric and Oceanic Studies, Graduate School of Science, Tohoku University

竹村俊彦

Toshihiko Takemura

九州大学応用力学研究所

Research Institute for Applied Mechanics, Kyusyu University

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 have developed a sequential algorithm to retrieve vertical profiles of extinction coefficient at the wavelength ( $\lambda$ ) of 532 nm of water-soluble aerosols ( $\sigma_{WS}$ ), sea-salt aerosols ( $\sigma_{SS}$ ) and dust aerosols ( $\sigma_{DS}$ ) from dual-wavelength polarization lidar data. The lidar has three channels that are attenuated backscattering coefficient at  $\lambda = 532$  and 1064 nm, and depolarization ratio at  $\lambda = 532$  nm. In the algorithm, we use the three-channel data and derive type of aerosols and  $\sigma_{WS}$ ,  $\sigma_{SS}$  and  $\sigma_{DS}$ . We applied the algorithm to the data measured with a dual-wavelength polarization lidar of NIES installed on the research vessel MIRAI of JAMSTEC. The cruise was performed in the Pacific Ocean near Japan from May 14 to 28, 2001. The vertical-profiles of  $\sigma_{WS}$  and  $\sigma_{SS}$  retrieved in the whole observation period show that most of water-soluble and sea-salt aerosols were generally distributed in the boundary layer below the altitude of about 1 km ( $Z < 1$  km). Dust and water-soluble layers were sometimes found in the range of  $1 \text{ km} < Z < 4 \text{ km}$ . We compared aerosol distributions reproduced by the global three dimensional aerosol transportation model with that retrieved in this study. It turns out that the temporal and vertical distributions of the three aerosol components are in rough agreement, however, the model generally tends to overestimate aerosol concentrations.

### 1. はじめに

海洋科学技術センターの海洋地球研究船「みらい」による船舶観測が日本近海太平洋上で 2001 年 5 月 14 日～27 日の 2 週間にわたって行われた。「みらい」には、2 波長偏光ライダー（国立環境研究所）と 95-GHz 雲レーダー（情報通信機構）の 2 種類の能動型測器が搭載され、エアロゾル・雲の日本近海での空間・時間分布の把握、雲・エアロゾルの相互作用（エアロゾルの間接効果）の実態把握、各種モデルや衛星データの解析結果の検証に有用な観測データとして多くの研究者に注目されている。

我々は「みらい」に搭載された 2 波長偏光ライダーによる観測データからエアロゾル物理量の鉛直分布を推定するアルゴリズムの開発を行った。測定値は波長( $\lambda$ ) 532nm と 1064nm での *Attenuated backscattering coefficient* ( $\beta_{obs}$ ) そして波長 532nm での偏光解消度

( $\delta_{obs}$ )の3チャンネルである。そこで、この3つの測定値を利用し、水溶性・海塩・ダストの3種類のエアロゾルのタイプを識別し、それらの波長 532nm での消散係数を下層から上層へ順次推定していく逐次型アルゴリズムを考案した。本大会では、アルゴリズムの紹介とともに、データ解析の結果について述べる。

## 2. アルゴリズム

本アルゴリズムの特徴として、推定された3種類のエアロゾル消散係数からライダ比や数密度といった他のエアロゾル物理量の鉛直分布も推定できることが挙げられる(図2)。ライダーデータからエアロゾル消散係数の鉛直分布を導出する際に広く利用されている Fernald 法 [Fernald et al., 1972] ではライダ比の鉛直一定の仮定が必要とされ、本研究のアルゴリズムでは、その仮定を必要としないことも特徴である。また、下層から上層への推定方式が雲層下のエアロゾルの鉛直分布の推定を可能としたことが挙げられる。

図1に、本アルゴリズムによるエアロゾル種毎の鉛直分布を推定するための流れが示されている。まず、ある層でのエアロゾル種毎の消散係数( $\sigma_a$ )を推定することを考える。本アルゴリズムでは、水溶性・海塩・ダスト粒子の粒径分布・複素屈折率を他の研究結果を利用し仮定した[Hess et al., 1998; Smirnov et al., 2002]。2波長での $\beta_{obs}$ からは、最大で2種類のエアロゾルの濃度(消散係数)しか推定できない。そこで、対流圏エアロゾルの粒径分布が概して bimodal 分布を示すという知見を利用し、小粒子(水溶性粒子)と大粒子(海塩ないしはダスト)のエアロゾル種を組み合わせ、水溶性粒子と海塩粒子(海塩モデル)、水溶性粒子とダスト粒子(ダストモデル)の2つのモデルを考案した。モデルの決定のために、偏光解消度を利用した。測定された波長 532nm での偏光解消度から、空気分子による効果を取り除き、エアロゾルの偏光解消度( $\delta_a$ )を求めることができる。この $\delta_a$ からその層でのダスト粒子の有無を判別することができる。そこで、本アルゴリズムでは、10%以上の場合ダストモデルを採用し、10%以下の場合海塩モデルを採用する。具体的には、ある層に対してまず2波長での $\beta_{obs}$ を再現する最適な2種類のエアロゾルの消散係数を2つのモデルに対して求める。次に $\delta_{obs}$ から空気分子による効果を取り除き、2つのモデルに対して $\delta_a$ を求め、モデルを決定する。これを下層から上層へ、減衰補正を加えながら行い、3種類のエアロゾルの消散係数の鉛直分布を推定していく。

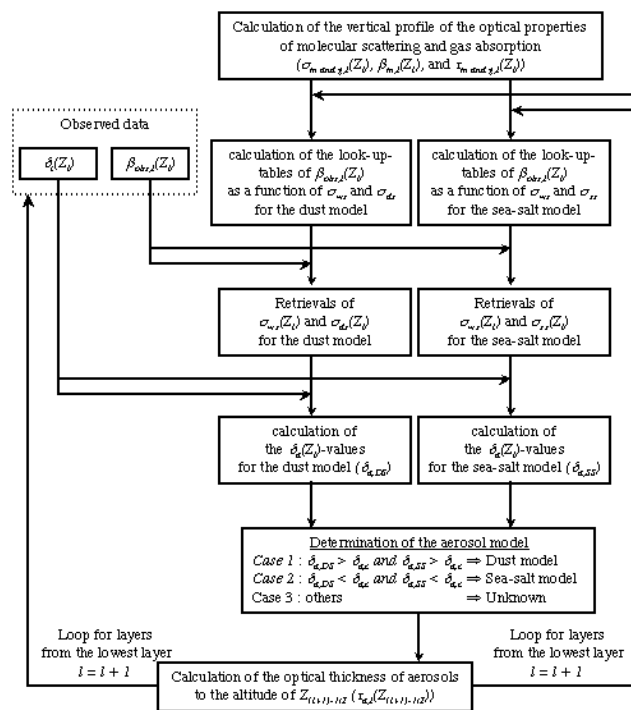


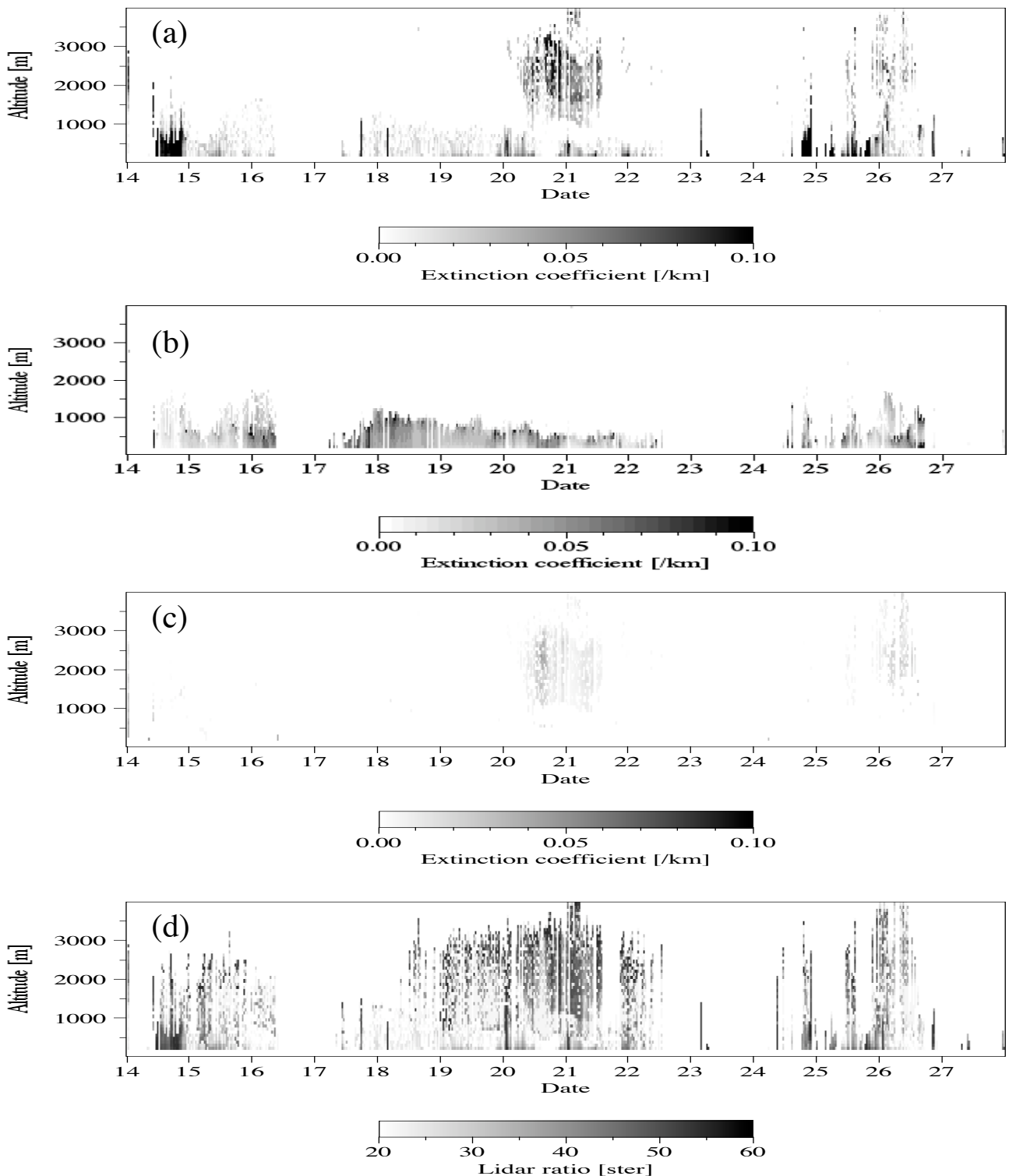
Fig.1. Flowchart of the algorithm

この層でのダスト粒子の有無を判別することができる。そこで、本アルゴリズムでは、10%以上の場合ダストモデルを採用し、10%以下の場合海塩モデルを採用する。具体的には、ある層に対してまず2波長での $\beta_{obs}$ を再現する最適な2種類のエアロゾルの消散係数を2つのモデルに対して求める。次に $\delta_{obs}$ から空気分子による効果を取り除き、2つのモデルに対して $\delta_a$ を求め、モデルを決定する。これを下層から上層へ、減衰補正を加えながら行い、3種類のエアロゾルの消散係数の鉛直分布を推定していく。

## 3. 観測データへの適用

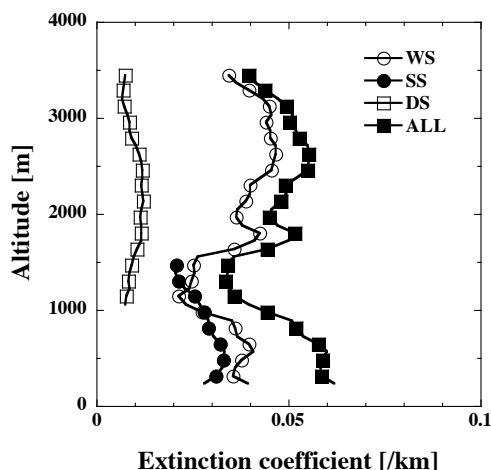
本研究では「みらい」搭載の2波長偏光ライダーで測定された2週間分のライダーデータを解析対象とし、まず波長 1064nm での $\beta_{obs}$ と 95GHz レーダー測定値にしきい値を設定

することにより雲・雨域の除去を行った。次にアルゴリズムを適用した。その結果を図2に示す。また、全観測期間で平均された各エアロゾル種毎の鉛直分布を図3に示す。



**Fig.2.** Temporal and vertical distributions of  $\sigma_a$  of water-soluble aerosols (a), sea-salt aerosols (b), dust (c) and lidar ratio at  $\lambda = 532$  nm (d) retrieved in the whole observation period.

水溶性エアロゾルと海塩エアロゾルは高度 1km 以下の境界層内に多く存在していた。高度 1 km 以上において水溶性エアロゾルの層とダスト層が時折見られ、これに伴い高度 1 km 以上において両エアロゾル種の消散係数が高くなっている。全観測期間で平均された

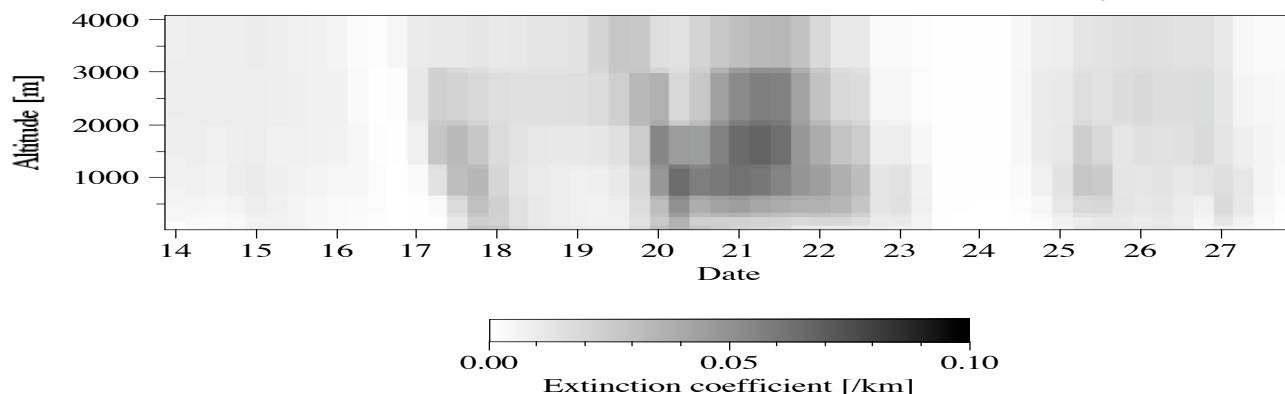


**Fig.3.** Vertical distributions of  $\sigma_a$  of water-soluble aerosols (WS), sea-salt aerosols (SS), dust (DS) and all aerosols (ALL). The values are averaged in the whole observation period.

全エアロゾルの消散係数は全高度で  $0.03 \sim 0.07 \text{ [km}^{-1}\text{]}$  の値を示している。これは、これまでに海洋上で観測されたエアロゾルの消散係数の値と概ね一致する [e.g., Sugimoto et al., 2001]。

推定された3種類のエアロゾルの消散係数を、全球3次元エアロゾル輸送モデル SPRINTARS (Spectral Transport Model for Aerosol Species) [Takemura et al., 2000] により再現されたエアロゾル消散係数と比較した (図4)。図2(c)と図4から、ダストの時空間分布のパターンは概ね一致することが示さ

れている。また、他の2種類のエアロゾルについてもその分布のパターンは一致していた。SPRINTARS によると、高度1 km 以上に出現した水溶性エアロゾルの層は主に中国沿岸域から、そしてダスト層はゴビ砂漠 (モンゴル国) から輸送されてきたことが示された。ただし、SPRINTARS で再現された硫酸塩エアロゾルとダストの消散係数は本研究の推定値に比べ過大評価となっており、海塩エアロゾルについては過小評価となった。



**Fig.4.** Temporal and vertical distribution of  $\sigma_a$  of dust in the whole observation period simulated by SPRINTARS.

#### 引用文献

- Fernald et al., Determination of aerosol height distributions by lidar, *J. Appl. Meteor.*, 11, 482-489, 1972.
- Hess et al., Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 831-844, 1998.
- Smirnov et al., Optical properties of atmospheric aerosol in maritime environments, *J. Atmos. Sci.* 59, 501-523, 2002.
- Sugimoto et al., Latitudinal distribution of aerosols and clouds in the western Pacific observed with a lidar on board the research vessel Mirai, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 4187-4190, 2001.
- Takemura et al., Global three-dimensional simulation of aerosol optical thickness distribution of various origins, *J. Geophys. Res.*, 105(D14), 17,853-17,873, 2000.