

# CALIOP と MODIS の複合解析による

## エアロゾル組成の全球三次元分布プロダクトの開発

工藤 玲<sup>1</sup>, 西澤 智明<sup>2</sup>, 日暮 明子<sup>2</sup>, 及川 栄治<sup>3</sup>, 藤川 雅大<sup>4</sup>

<sup>1</sup>気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

<sup>2</sup>国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

<sup>3</sup>情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

<sup>4</sup>九州大学大学院総合理工学府 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

### Global 3-D distribution of aerosol components from the synergy of CALIOP and MODIS

Rei KUDO<sup>1</sup>, Tomoaki NISHIZAWA<sup>2</sup>, Akiko HIGURASHI<sup>2</sup>, Eiji OIKAWA<sup>3</sup>, and Masahiro FUJIKAWA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305-0052

<sup>2</sup> National Institute of Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506

<sup>3</sup> National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukui-kitamachi, Koganei, Tokyo 184-8795

<sup>4</sup> Interdisciplinary Graduate School of Engineering, Kyushu University, 6-1 Kasuga Park, Kasuga, Fukuoka 816-8580

**Abstract:** For the observation of the global 3-D distribution of aerosol components, we developed the method to retrieve the vertical profiles of water-soluble, light absorbing carbonaceous, dust, and sea salt particles by the synergy of CALIOP and MODIS data. The aerosol product from the synergistic method is expected to be better than the individual products of CALIOP and MODIS. We applied the method to the biomass-burning event in Africa and the dust event in West Asia. The results showed the characteristics of each event; the much amount of the water-soluble and light absorbing carbonaceous particles were estimated in the biomass-burning event, and the dust particles were estimated in the dust event.

**Key Words:** CALIOP, MODIS, Aerosol

#### 1. はじめに

エアロゾルは、地球大気放射収支に大きな影響を与える。その影響は組成によって大きく異なる。このため、リモートセンシングによってエアロゾル組成の情報を得ることが出来れば、影響評価の向上、物質輸送モデルの検証などに有効である。本研究では、衛星搭載ライダー (CALIOP) とイメージャ (MODIS) を複合解析することでエアロゾル組成の全球三次元分布を観測することを目的とし、その解析手法の開発を行った。

#### 2. データと解析方法

##### 2.1 データ

本研究で使用する CALIOP のデータは、532 と 1064nm の減衰付き後方散乱係数 (CALIPSO Level 1B Version 3) と、雲・エアロゾルマスク (Level 2 Version 3) を使用した。MODIS のデータは、バンド 1 (620~670nm) とバンド 2 (841~876nm) の散乱輝度 (Level 1B Calibrated Radiances)。また、CALIPSO プロダクトの気圧、気温、オゾンの大気データ、MODIS プロダクトの地表面アルベドデータを使用した。

##### 2.2 解析方法

エアロゾル組成として、粒子の大きさと光吸収性の違いによって分類した水溶性 (WSA, 有機物, 硫酸塩等の混合物), 光吸収性 (LAC, 水溶性と黒色炭素の内部混合), ダスト (DS), 海塩 (SS) の 4 種類を仮定する。これらの乾燥状態における体積濃度の鉛直分布と、鉛直平均としての乾燥状態のモード半径を CALIOP と MODIS の観測デー

タに同時に最適化する。そして、4 要素の消散係数の鉛直分布をプロダクトとして出力する。

最適化は、MAP 法 (最大事後確率推定法) に基づいて行う。CALIOP と MODIS の観測値と、乾燥時体積濃度とモード半径からフォーワードモデルによって計算した値との差、そして、体積濃度とモード半径に対する拘束条件から構成される評価関数を定義し、それを最小化すること解が得られる<sup>1)</sup>。

フォーワードモデルは、エアロゾル光学特性の計算、ライダー方程式による CALIOP 観測物理量の計算、放射伝達モデルによる MODIS 観測物理量の計算の 3 つによって構成される。

エアロゾル 4 組成の粒子形状は、WS, LAC, SS が球形, DS は回転楕円体とする。LAC は Core-Gray shell Model<sup>2)</sup>を採用し、黒色炭素をコアにし、WS をシェルとして与えた。それぞれの組成の体積粒径分布は、対数正規分布で表現する。WS と LAC の乾燥時モード半径は、同じ値とする。SS の乾燥時モード半径は、海上風の風速からパラメタリゼーション<sup>3)</sup>によって与える。WS と SS の複素屈折率は、データベース<sup>4)</sup>の値を採用した。DS の複素屈折率は、ADEC の黄砂観測で得られた値<sup>5)</sup>を採用した。LAC の黒色炭素のコアの複素屈折率は、バーナーの火の観測値<sup>6)</sup>を採用した。WS, LAC, SS に関しては、各高度の湿度に合わせて、水を混ぜることでモード半径と体積を吸湿成長させる。また、複素屈折率の値も湿度に合わせて水との混合した値にする。湿度に応じた水との混合割合は、データベース<sup>4)</sup>の値を用いた。以上の吸湿成長を経た後で、粒子形状、粒径分布、

複素屈折率からそれぞれの光学特性（消散係数，一次散乱アルベド，位相行列）を計算する．そして，CALIOP と MODIS の観測物理量を計算する．MODIS の輝度計算には，偏光を考慮したベクトル放射伝達モデル PSTAR<sup>7)</sup> を使用した．

拘束条件としては，CALIOP データのノイズ対策として，体積濃度の鉛直分布にスムージングの強制を与えた．LAC に関しては，観測データに含まれる情報量が少ないため，LAC と WS の鉛直分布の形状は似ているという条件と，LAC の光学的厚さは，WS の光学的厚さよりも小さいという不等号条件を与えることで，推定を可能とした．WS (LAC) と DS のモード半径には，先見分布を与えて推定範囲を絞った．

### 3. 結果

Figure 1 は，アフリカで発生した森林火災のイベントの解析された組成毎の消散係数の結果．Figure 2 は，西アジアのダストイベントの解析結果である．森林火災のイベントでは，多量の WS と LAC が解析された (Figure 1)．また，ダストイベントでは，DS が多く推定された (Figure 2)．これらの結果は，それぞれのイベントの特徴と整合的なものであった．

### 4. まとめ

CALIOP と MODIS のデータを複合解析し，エアロゾル組成を導出する手法を開発した．アフリカの森林火災と西アジアのダストイベントを解析したところ，それぞれのイベントで整合的な結果を得ることが出来た．今後は，地上観測や，CALIPSO，MODIS の標準プロダクトとの比較，そして，約 10 年の観測データから長期変動に着目した解析を行っていく．

本研究で開発している解析手法は，日欧共同プロジェクト EarthCARE 衛星に搭載されるライダーとイメージャのエアロゾルプロダクトに応用される予定である．

### 謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP15H02808 の助成を受けたものです．

### 参考文献

- 1) R. Kudo, et al. 2016: Vertical profiles of aerosol optical properties and the solar heating rate estimated by combining sky radiometer and lidar measurements, *Atmos. Meas. Tech.* 9, 3223-3243.
- 2) Kahnert, M., et al., 2013: Models for integrated and differential scattering optical properties of encapsulated light absorbing carbon aggregates, *Opt. Express* 21, 7, 7974-7993.
- 3) Erickson, D. J., and Duce, R. A., 1988: On the global flux of atmosphere sea salt, *J. Geophys. Res.* 93, 14079-14088.
- 4) Hess, M., et al., 1999: Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 79, 831-844.

5) Aoki, T., et al., 2005: Sensitivity experiments of direct radiative forcing caused by mineral dust simulated with a chemical transport model, *J. Meteor. Soc. Jpn.* 83A, 315-331.

6) Chang, H., and Charalampopoulos, T. T., 1990: Determination of the wavelength dependence of refractive indices of flame soot, *Proc. R. Soc. Lond. A* 430, 577-591.

7) Ota, Y., et al., 2010: Matrix formulations of radiative transfer including the polarization effect in a coupled atmosphere-ocean system, *J. Quant. Spect. Rad. Trans.* 111, 6, 878-894.

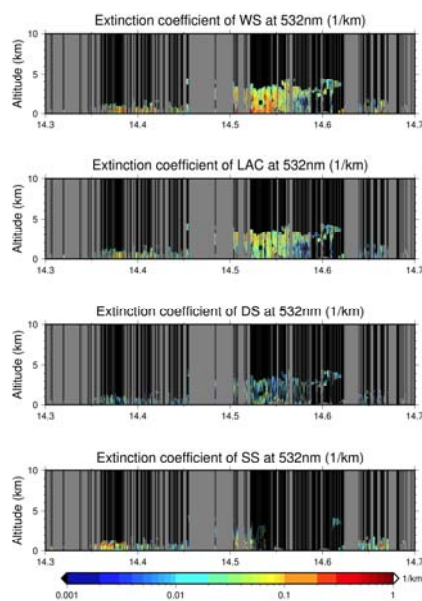


Figure 1. Retrieved extinction coefficients of WS, LAC, DS, and SS in the biomass-burning event. The gray region indicates the cases that includes clouds. Our method cannot be applied to such cases.

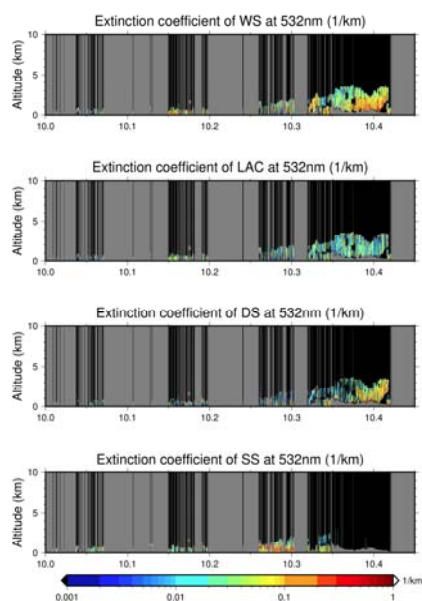


Figure 2. Same as those of Figure 1, but the results for the dust event