

# EarthCARE 衛星搭載ライダー及び分光放射計データを用いた エアロゾル・雲導出アルゴリズムの開発

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

<sup>1</sup>国立環境研究所 (〒305-0053 茨城県つくば市小野川 16-2)

<sup>2</sup>気象庁気象研究所 (〒305-0052 茨城県つくば市長峰 1-1)

<sup>3</sup>九州大学応用力学研究所 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園 6-1)

## Development of aerosol and cloud retrieval algorithms using lidar and multi spectral imager installed on EarthCARE satellite.

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

<sup>1</sup> National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki-ken, 305-0053

Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki-ken, 305-0052

<sup>2</sup> Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, 6-1 Kasugakoen, Kasuga, Fukuoka-ken, 816-8580

**Abstract:** We develop algorithms to derive aerosol and cloud optical properties using data of Mie copol, crosspol, and Rayleigh attenuated backscatter coefficients at 355nm measured by space HSRL ATLID installed on EarthCARE satellite (ATLID algorithm). The developed algorithms provide particle optical properties and extinctions of aerosol components (dust, black carbon, sea-salt, and water-soluble particles) as well as information on particle types, layer identifier, and planetary boundary layer height. We also develop a synergy algorithm using radiative intensities at 670 and 865nm of Multi-Spectral Imager (MSI) installed on EarthCARE satellite and ATLID data. This algorithm provides extinctions of the four aerosol components as well as column-mean mode radii of fine-mode particles (i.e., water-soluble and black carbon) and dust. In the symposium, we report the latest status of these algorithm developments and key performances and issues of the algorithms.

**Key Words:** EarthCARE, Aerosol, Algorithm, Lidar, Multi-spectral-imager

### 1. はじめに

雲、エアロゾル、そして大気放射の包括的な全球観測を目的として、日欧共同による衛星観測ミッション EarthCARE (Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer) が JAXA と ESA の主導で進められている<sup>1)</sup>。2021 年に打ち上げ予定の EarthCARE 衛星には、95GHz の雲レーダー (CPR)、可視から赤外波長域に7バンドのチャンネルを持つ多波長分光放射計 (イメージャー) (MSI)、短波および長波放射を測定する広帯域放射計 (BBR)、そして波長 355nm での偏光高スペクトル分解ライダー (ATLID) の4つのセンサーが搭載される。CPR と ATLID による鉛直分布測定と MSI による水平分布測定を複合利用することで雲およびエアロゾルの立体的な全球観測を実現し、BBR による大気放射観測も加えることで、雲、エアロゾル、放射の包括的な観測を可能としている点が EarthCARE 衛星観測の特徴である。

我々は、ATLID データを用いたエアロゾルと雲の光学特性を抽出するアルゴリズム (ATLID 単体手法) の開発と共に、ATLID と MSI の両データを用いたエアロゾル推定アルゴリズム (ATLID-MSI 複合手法) の開発を進めている。ATLID 単体手法からは、(1) 大気分子、エアロゾル、雲の識別子 (Feature mask)、(2) 波長 355nm での粒子の消散係数、後方散乱係数、偏光解消度、ライダー比 (粒子光学特性) (3) エアロゾルタイプおよび雲タイプの識別子

(Target mask)、(4) 大気境界層高度、(5) エアロゾル種毎の波長 355nm での消散係数が推定される (Aerosol component)。ATLID-MSI 複合手法からは、エアロゾル種毎の波長 355nm での消散係数と共に、fine-mode 粒子と鉱物ダストのモード半径が推定される (Aerosol component)。これらのアルゴリズム開発は、JAXA 助成のもと実施されており、EarthCARE 衛星打ち上げ後、JAXA 標準プロダクトとして配信される予定である (但し、Aerosol component プロダクトは研究プロダクトとして配信される)。

本発表では、ATLID 単体および ATLID-MSI 複合手法の概要を述べると共に、その適用例や応用例を示すことで手法のパフォーマンスを示す。また、手法の課題やその対応策についても報告する。

### 2. ATLID 単体解析手法

EarthCARE の L1b 標準プロダクトとして、Mie 散乱の copol 成分 ( $\beta_{mie,co}$ )、Rayleigh 散乱の全成分 ( $\beta_{ray}$ )、全 crosspol 成分 ( $\beta_{cr}$ ) の減衰付き後方散乱係数が公開される。各 L1b データは大気パラメータを用いて以下式で表現される。

$$\beta_{mie,co} = \beta_{p,co} T^2 \quad (1)$$

$$\beta_{ray} = \beta_m T^2 \quad (2)$$

$$\beta_{cr} = (\beta_{p,cr} + \beta_{m,cr}) T^2 \quad (3)$$

$\beta$  は後方散乱係数、 $T$  は ATLID から散乱体までの透過率、 $p$  は粒子、 $m$  は大気分子、 $co$  は copol 成

分、cr は crosspol 成分を示している。本研究で開発される手法では、この L1B データを測定値として用いる。以下、プロダクト毎に記載する。

### (A) Feature mask

各層毎に主要な散乱体の成分を識別する。ここでは主に、大気分子、エアロゾル、雲を識別する。NASA の衛星搭載ライダー CALIOP とは異なり、ATLID 解析では粒子の後方散乱係数  $\beta_p$  が以下の式から直接抽出できる。

$$\beta_p = \{(\beta_{mie,co} + \beta_{cr})/\beta_{ray} - \delta_m/1 + \delta_m\}\beta_m \quad (4)$$

よって、本研究では  $\beta_p$  に閾値を設定することにより、大気分子、エアロゾル、雲を識別する(閾値法)<sup>2)</sup>。

### (B) 粒子光学特性

一般に HSRL 解析では、式(1)(2)(3)を解くことで粒子の消散係数 ( $\alpha_p$ )、後方散乱係数 ( $\beta_p$ )、偏光解消度 ( $\delta_p$ )、そしてライダー比 ( $S_p$ ) が導出されるが(直接法)、この手法は信号ノイズの影響を受け易い<sup>2)</sup>。そこで、ノイズの影響の低減と共に推定値に先見的な強制をかけることで無意味な解の生成を抑制することを企図し、MAP(Maximum a posteriori)法の導入を進めている<sup>3)</sup>。

### (C) Target mask

Feature mask により識別されたエアロゾル層ないし雲層の主要な粒子タイプを識別する。 $S_p$  と  $\delta_p$  は粒子のタイプに依存して特徴的な値を示す<sup>1)</sup>。そこで、地上データ(ラマンライダー、HSRL、受動型センサー)を用いてエアロゾルタイプ(ダスト、海洋性エアロゾル、スモーク、汚染大気、など)<sup>4)</sup>や雲タイプ(水雲、氷晶雲など)<sup>5)</sup>のキャラクターゼーションを行い、粒子タイプ毎に  $S_p$  と  $\delta_p$  に対して閾値を設定することで、タイプ識別を行う。

### (D) 大気境界層高度

エアロゾル濃度が、自由大気内に比べ境界層内で高いことを利用する。Feature mask プロダクトを用いる。地表面(海面)から連続するエアロゾル層の最高高度を探索することで、大気境界層高度を推定する。

### (E) Aerosol component

大気中の主要なエアロゾル種である、ブラックカーボン(BC)、海塩粒子(SS)、鉱物ダスト(DS)、水溶性粒子(WS:BC を含まない硫酸塩、硝酸塩等の混合物)の波長 355nm での消散係数を推定する<sup>6)</sup>。ここでは推定された  $\alpha_p$ 、 $\beta_p$ 、 $\delta_p$  が用いられる。ライダー比が粒子の光吸収性に感度を持つこと、そして偏光解消度が粒子の形状に強い感度を持つことを利用して、エアロゾル種の分離推定を行う。数値解法としては MAP 法が用いられる<sup>3)</sup>。

3つの入力値から4つの未知数を決定するため、エアロゾル種毎に粒系分布、屈折率、形状等がモデル化される。BC に対しては、内部混合を考慮するために Core-Gray-shell モデル(水溶性成分により皮膜された BC 粒子)が導入されている。この内部

混合型 BC と共に SS と WS は湿度依存性が考慮される(実際の推定では湿度データ(客観解析データ等を利用)に応じて光学モデルが変更される)。SS 粒子の推定に対しては、海面風速データが用いられる(客観解析データ等を利用)。本手法は、地上ライダー(ラマンライダー、HSRL)や CALIOP 用に開発された手法を応用することで開発が進められている<sup>7)</sup>。

## 3. ATLID-MSI 複合解析手法

ATLID で推定された  $\alpha_p$ 、 $\beta_p$ 、 $\delta_p$  と MSI の波長 670nm と 865nm の放射輝度データを用いる。ATLID 単体のエアロゾル種推定手法(E)と同様な仮定や数値解法を用いる。MSI 輝度データの波長依存性を用いることで、気柱平均での fine-mode 粒子(BC, WS)と DS のモード半径がエアロゾル種毎の消散係数と共に推定される。本手法の改良・発展を企図して CALIOP と MODIS データを用いた複合解析手法も開発され、実測データへの適用や手法改良が進められている(図1)。

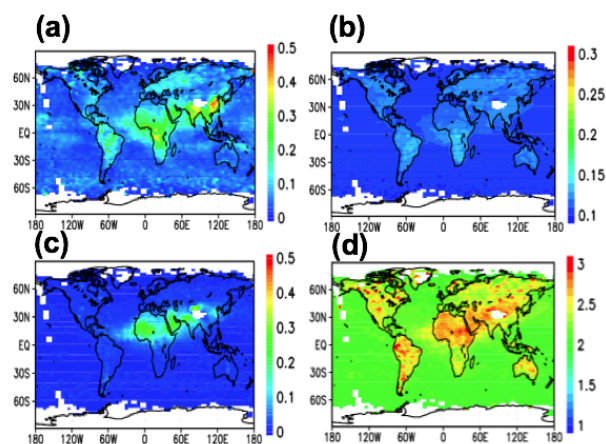


Fig.1 Global distributions of annual mean AOTs at 532nm (a and c) and mode radii (b and d) in 2010, derived by CALIOP-MODIS synergy method. Figs (a) and (c) depict AOTs; Figs (b) and (d) depict mode radii (unit is  $\mu\text{m}$ ).

### 謝辞

本研究は科研費基盤研究(課題番号 17H06139, 15H02808, 15H01728, 25247078, 25220101)および JAXA/EarthCARE 受託研究の助成の下で実施されている(された)。

### 参考文献

- (1) Illingworth et al., BAMS, 96, 1311-1322, 2015.
- (2) Nishizawa et al., GRSS/IEEE, proc., <https://ieeep2014.sciencesconf.org/>, 2014
- (3) Kudo et al., AMT, 9, 3223-3243, 2016.
- (4) Oikawa et al., LSS36, proc., 2018 (in press)
- (5) Kitahara et al. LSS36 proc., 2018 (in press)
- (6) Nishizawa et al., JRSSJ, 33, 367-376, 2013
- (7) Nishizawa et al., JQSRT, 188, 79-93, 2017