

# EarthCARE 衛星搭載ライダー・イメージャーを用いた 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>, 日暮 明子<sup>1</sup>, 高倉 理<sup>1</sup>, 及川 栄治<sup>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 imager onboard EarthCARE satellite.

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

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

<sup>2</sup>Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki-ken, 305-0052

<sup>3</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 measured by depolarization HSRL and imager installed on EarthCARE satellite. 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. To evaluate the performance of the algorithms and prepare for the actual operation after the launch, we proceed with the analysis using the ATLID and MSI signals reproduced by the J-simulator developed in the EarthCARE mission. In the symposium, we will report on the current status of these algorithm developments, as well as the research results related to this development.

**Key Words:** EarthCARE, Aerosol, Cloud, HSRL, Image

## 1. はじめに

大気粒子(エアロゾルおよび雲)の光学特性の高度分布の全球測定は、大気放射過程を介した大気粒子の気候影響を評価する上で重要となる<sup>1)</sup>。CALIPSO(Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation)衛星には2波長(532nm, 1064nm)偏光ミー散乱ライダーCALIOP<sup>2)</sup>が搭載され、打ち上げの2006年以降今日に至るまでエアロゾルおよび雲の高度分布を計測し続けてきた。そしてその役割は2022年打ち上げ予定のEarthCARE衛星(Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer)搭載ライダーATLIDへと引き継がれる。EarthCAREは、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た、日欧共同地球衛星観測ミッションである<sup>3)</sup>。EarthCARE衛星には、95GHz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。MSIによる水平分布計測と共に、CPRとATLIDによる高度分布計測を複合することで立体的な雲およびエアロゾルの全球把握を目指す。また、BBRにより大気放射フラックスも同時に把握する。

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)の開発を進めてきた<sup>4)</sup>。ATLID単体手法からは、以下の5種のプロダクトが推定される。(1) Feature mask: 大気分子、エアロゾル、雲の識別子、(2) Particle optical property: 波長355nmでのエアロゾル・雲の消散係数、後方散乱係数、偏光解消度、ライダー比、(3) Target mask: エアロゾルタイプおよび雲タイプの識別子、(4) Boundary layer height: 境界層高度、(5) Aerosol component: エアロゾル種毎の波長355nmでの消散係数。ATLID-MSI複合手法からは、Aerosol componentプロダクトとして、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coarse-mode粒子のモード半径が推定される(ここでは、粒径分布としてログノーマル分布が仮定される)。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(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、これらアルゴリズム開発の現況について報告すると共に、本開発に関連した研究成果についても合わせて報告する。

## 2. ATLID 単体・複合アルゴリズム

アルゴリズムの入力データとして、ATLID からは Mie 散乱 ( $\beta_{\text{atn,mie}}$ )、Rayleigh 散乱 ( $\beta_{\text{atn,ray}}$ )、そして crosspol 成分 ( $\beta_{\text{atn,cr}}$ ) の減衰付き後方散乱係数が用いられる。MSI からは波長 670nm と 865nm の放射輝度データ ( $R_{670}, R_{865}$ ) が用いられる。大気要素 (気圧、気温、風速など) は ECMWF の客観解析データが測定高度・グリッドに沿って JAXA から提供される。以下、個々プロダクト毎に推定手法の概要を記述する。

### 2.1 Feature mask

CALIOP の波長 532nm での減衰付き後方散乱係数を用いた識別手法が九州大学にて開発されてきた<sup>5)</sup>。この手法では、減衰付き後方散乱係数に対して閾値を設定し、雲・エアロゾル・大気分子を識別している。本研究ではこれを応用する。Mie 散乱信号が有意な場合、その層には大気粒子 (雲ないしエアロゾル) が存在することになる。よって、Mie 散乱信号に閾値を設定することで、その閾値以上の場合は雲層、それ以下であればエアロゾル層と識別する (閾値は航空機 HSRL 等の観測結果の統計解析結果を用いる)。Mie 散乱信号が有意ではなく、Rayleigh 散乱信号が有意な場合は、その層は大気分子層と識別する。また、雲・エアロゾル・大気分子層の識別に加え、地表面 (海面) と fully attenuated (信号が完全減衰してしまっている層) についても識別する予定であり、アルゴリズムの改良を進めている。

### 2.2 Particle optical property

$\beta_{\text{atn,ray}}$  の鉛直勾配から消散係数 ( $\alpha$ ) を、 $\beta_{\text{atn,mie}}$  と  $\beta_{\text{atn,ray}}$  の比から後方散乱係数 ( $\beta$ ) を、3つの測定値の差し引き等から偏光解消度 ( $\delta$ ) を直接的に推定できる (直接法)。一方で、この手法は信号ノイズの影響を受け易い<sup>6)</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ため、MAP(Maximum a posteriori)法により  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  を推定する<sup>7)</sup>。当該層がエアロゾル層であるか雲層であるかは、Feature mask の結果を用いる。

### 2.3 Target mask

推定したライダー比 ( $S=\alpha/\beta$ ) と  $\delta$  を用いて、エアロゾルタイプ (鉱物ダスト、海洋性粒子、スモーク、汚染大気) と雲タイプ (水滴粒子、氷晶粒子) を識別する。エアロゾルタイプに関しては、地上・航空機等のライダーデータと共に分光放射計データ (AERONET) から推定されたエアロゾル光学特性データも利用して、エアロゾルタイプ毎のキャラクタリゼーションを進めている。雲タイプ識別については、九州大学で開発された雲タイプ識別法<sup>8)</sup>を採用する

### 2.4 Planetary boundary layer

Feature mask の結果を利用し、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、大気境界層高度を決定する。

### 2.5 Aerosol component

ATLID 単体手法では、推定された  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  を入力値として、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>4)</sup>。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。数値解法としては前述の MAP 法を用いる<sup>7)</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、内部混合を考慮し Core-Gray-shell モデル (水溶性成分により皮膜された BC 粒子) を導入した。混合型 BC と共に SS と WS は湿度依存性が考慮される。SS 粒子の推定に対しては、海面風速データが用いられる。

ATLID 複合手法では、 $\beta_{\text{atn,ray}}$ ,  $\beta_{\text{atn,mie}}$ ,  $\beta_{\text{atn,ray}}$ ,  $R_{670}$ ,  $R_{865}$  を入力値として用いる。ATLID 単体手法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 coarse-mode 粒子 (DS, SS) 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。

上記手法は、地上ライダー (ラマンライダー、HSRL) や CALIOP 解析用に開発された手法を応用することで継続的に改良を進めている<sup>9)</sup>。

### 3. シミュレーションデータへの適用

アルゴリズムの性能評価や打ち上げ後の実運用に備え、EarthCARE ミッションで開発が進められている J-simulator (Joint simulator for Satellite Sensors)<sup>10)</sup>で再現された ATLID 信号を用いた解析を進めている(図1)。J-simulator では全球モデル NICAM-SPRINTARS の雲・エアロゾル出力を基に ATLID 信号が再現される。ATLID のスペックに沿って算出された信号ノイズが付与されている。この ATLID の疑似信号から推定された Feature mask、雲とエアロゾルの消散係数、Target mask が図に示されており、真値と整合した結果が得られている。ノイズの影響による値のバラツキの低減等が課題としてあり、今後改良していく。

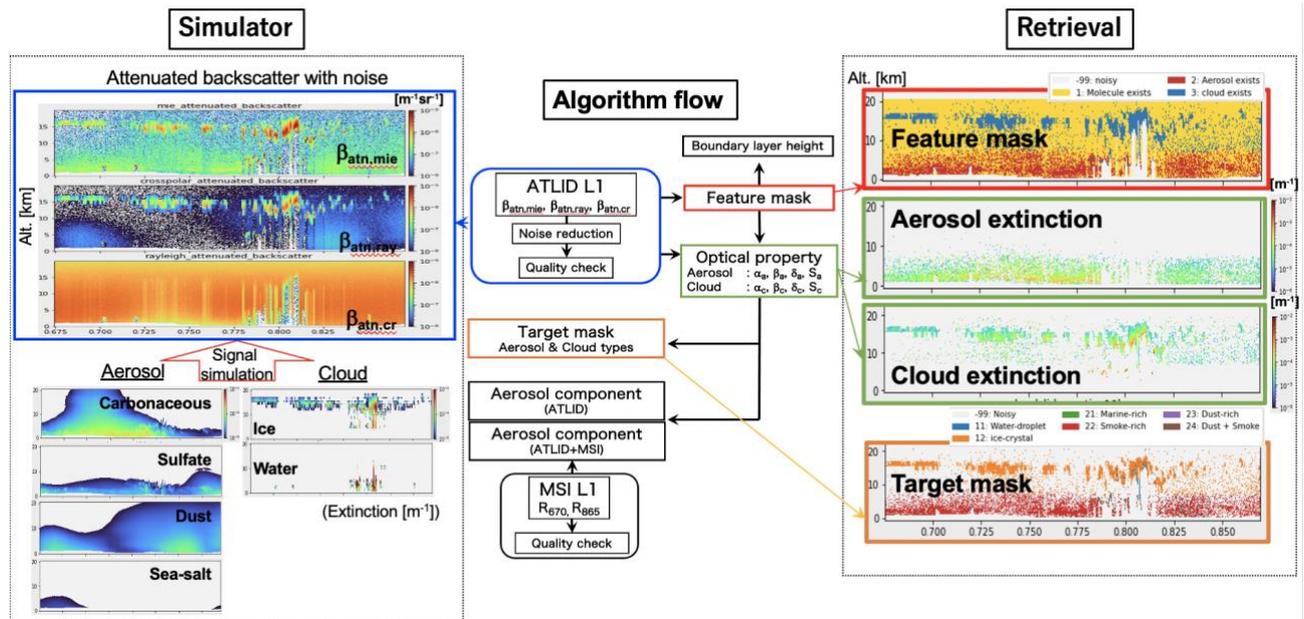


Fig. 1 Example of application of the developing ATLID algorithm to simulation data. The simulation data were evaluated by J-simulator.

### 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た。

### 参考文献

- 1) T. Takemura et al.: J. Geophys. Res., **108**(2003) 8659, doi:10.1029/2002JD003210.
- 2) M. D. Winker et al.: J. Atmos. Ocean. Tech., **26** (2009) 2310-2323.
- 3) A. J. Illingworth et al.: Bull. Amer. Meteor. Soc., **96** (2015), 1311-1332.
- 4) T. Nishizawa et al.: J. Rem. Sens. Soc. Jap., **39** (2019) 215-224 (in Japanese)
- 5) Y. Hagihara et al.: J. Geophys. Res., **115** (2010) D00H33, doi: 10.1029/2009JD012344.
- 6) T. Nishizawa et al.: GRSS/IEEE, proc. (2014), <https://ieeep-2014.sciencesconf.org/>.
- 7) R. Kudo et al.: Atmos. Meas. Tech., **9** (2016) 3223-3243.
- 8) H. Okamoto et al.: Opt. Express, **27** (2019) 36587-36600.
- 9) T. Nishizawa et al.: J. Quant. Spectr. Rad. Tran., **188** (2017) 79-93.
- 10) T. Hashino et al.: J. Geophys. Res. Atmos., **118** (2013), doi:10.1002/jgrd. 50564.