

# イメージングライダーによるエアロゾルの観測と解析法

## Observation and analysis of aerosol distribution by using a bistatic imaging lidar

千葉大学環境リモートセンシング研究センター ○甲賀 郁絵、深川 俊介、山口 陽平、  
久世 宏明、竹内 延夫

東京大学宇宙線研究所 佐々木 真人、浅岡 陽一、青木 利文、東邦大学理学部 小川 了  
Ikue Kouga, Shunsuke Fukagawa, Youhei Yamaguchi, Hiroaki Kuze, Nobuo Takeuchi

Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University

Makoto Sasaki, Yoichi Asaoka, Toshifumi Aoki

Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo

Satoru Ogawa Faculty of Science, Toho University

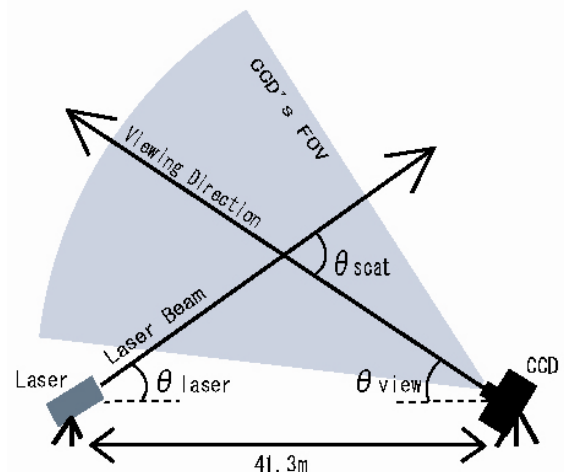
**Abstract** All-sky Survey High Resolution Air-shower (Ashra) telescope has been developed to detect cosmic-ray particles with extremely high energy, larger than  $10^{16}$  eV. At CERESe, we are developing an imaging lidar system by applying the Ashra telescope technique to atmospheric monitoring. In this study, we report the capability of aerosol distribution measurement and related retrieval algorithm.

### 1. はじめに

All-sky Survey High Resolution Air-shower(Ashra)望遠鏡計画は、宇宙線の起源と伝播の解明を目指して超高エネルギー宇宙線の全天監視を行うプロジェクトであり、東京大学宇宙線研究所が中心となって進められている<sup>1)</sup>。同プロジェクトで開発中の望遠鏡は、広視野角( $50^\circ$ )、高角度分解能(1分角= $0.29\text{mrad}$ )、高速高感度撮像系など、従来の検出器にない特徴を有している。大気蛍光やチェレンコフ光を観測するため、観測波長は  $300\text{-}420\text{nm}$  の紫外域を対象として設計されている。千葉大学環境リモートセンシング研究センター(CERESe)では、Ashra 望遠鏡とライダー技術を組み合わせることによりエアロゾルの二次元・三次元分布のリアルタイム観測を目指し、望遠鏡の波長感度とアイセーフの点から、波長  $351\text{nm}$  および  $355\text{nm}$  のレーザー光を用いた可搬型イメージングライダーの開発を進めている<sup>2)</sup>。可搬型イメージングライダーでは、Ashra 望遠鏡の広角特性を活かし、エアロゾルの後方散乱光を観測する従来型のモノスタティック配置に加えて、光散乱強度の強い前方散乱を利用するバイスタティック配置での観測を想定している。本報告では、バイスタティック配置による予備的実験およびエアロゾルの二次元分布導出アルゴリズムについて紹介する。

### 2. エアロゾルのバイスタティック観測

可搬型(1/3 スケール)装置は主鏡直径が  $60\text{cm}$  であり、球面の焦点面位置に静電収束型のイメージングインテンスファイア(口径 6 インチ)を置いて画像を取得する。実際のバイスタティック計測を想定して千葉大学で行った可視レーザーと CCD カメラを用いたエアロゾル計測におけるシステムの配置図を Fig.1 に、装置緒元を Table 1 に示す。装置は建物屋上に設置し、CCD カメラの視野方向を固定してレーザー光の射出角を仰角  $1\sim 90$  度の範囲で掃引した。レーザー光の偏光方向は散乱面に対して s 偏光とし、



**Fig.1** Schematic diagram of a bistatic imaging lidar measurement

<b>Laser</b>	Nd:YAG 532 nm
Repetition rate	10 Hz
Power	30 mJ
<b>Cooled CCD</b>	SBIG ST-7XMEi
Number of pixels	765 × 510 pixels
FOV	46 deg for 765 pixels
Q.E.	0.65 @ 532 nm
A/D converter	16 bit

**Table.1 System parameters**

レイリー散乱光強度の角度依存性を最小とした。この観測より得られた受信光強度の二次元分布を Fig. 2(a)に示す。図からわかるように、散乱角が小さい前方散乱になるにつれて受信光強度が大きくなっている。

### 3. 解析アルゴリズム

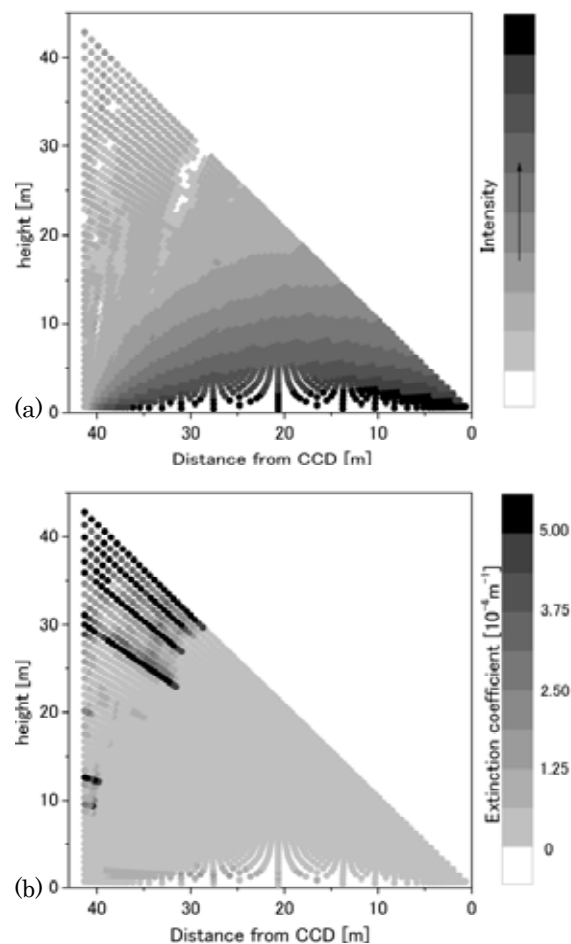
観測された受信光強度分布から、次のようにしてエアロゾル消散係数  $\alpha_1$  の空間分布を求めることができる。地表面付近の一点での  $\alpha_1$  が既知であるとし、標準的なエアロゾル鉛直分布に基づいて透過率  $T$  を仮定する。レーザー光を地表面付近から上空へ掃引するとき、最初の点と次の点との間で、観測された受信光強度  $P_{\text{obs}}$  の比を計算する。一方、次の点での  $\alpha_1$  を仮定すれば、ライダー方程式から信号強度比を理論的に導出できる。観測と理論の差

$$\text{err} = \frac{P_{\text{obs } i,j+1}}{P_{\text{obs } i,j}} - \frac{P_{i,j+1}}{P_{i,j}} \quad (3)$$

が最小になる条件から、次の点での  $\alpha_1$  が求められる。この操作を繰り返すことによって  $\alpha_1$  の二次元分布が求められる。この分布に基づいて透過率  $T$  を計算しなおし、全体のプロセスを繰り返す。この反復計算アルゴリズムによって、観測各点での消散係数が一定の値に収束する。

### 4. エアロゾル消散係数の二次元分布

上述の解析アルゴリズムを用いて、2004年11月25日の受信光強度からエアロゾル消散係数の二次元分布を求めた(Fig. 2(b))。このとき消散係数の初期値を  $1 \times 10^{-4} \text{m}^{-1}$  とし、位相関数は同期観測した光学式粒子計数器(OPC)のデータより得られたものを用いた。上空においてエアロゾル消散係数の大きい領域があることが観測された。この



**Fig.2** Two-dimensional distribution of (a) the received signal intensity, and (b) extinction coefficient

実験では受信部とレーザーを結ぶ線上の鉛直二次元分布を観測した。今後、可視および紫外レーザーを用い、受信部の視線方向とレーザーの射出方向が直角となるような配置でのバイスタティック計測を計画している。

**謝辞** 文部科学省振興調整費「先導的研究等の推進」のうち、「(ア)複数の分野に係る境界的又は融合的な研究開発を行う必要がある領域」からの研究助成に感謝します。

### 参考文献

- 1) M. Sasaki, A. Kusaka, Y. Asaoka, Design of UHECR telescope with 1 arcmin resolution and  $50^\circ$  field of view, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A492, 49-56 (2002).
- 2) S. Fukagawa, I. Kouga, H. Kuze, N. Takeuchi, M. Sasaki, Y. Asaoka, S. Ogawa, Simulation study for aerosol distribution retrieval from bistatic, imaging lidar data, IQEC/CLEO-PR2005 (July 11-15, 2005), CThK2-4.