イメージングライダーによるエアロゾル解析のシミュレーション

Simulation for aerosol distribution analysis by using a bistatic, imaging lidar

東邦大学理学部・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
千葉大学環境リモートセンシング研究センター 深川 俊介、久世 宏明、竹内 延夫
東邦大学理学部 小川 了、東京大学宇宙線研究所 佐々木 真人、浅岡 陽一
○ Ikue Kouga Faculty of Science, Toho University・
Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University
Shunsuke Fukagawa, Hiroaki Kuze, Nobuo Takeuchi
Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University
Satoru Ogawa Faculty of Science, Toho University
Makoto Sasaki, Yoichi Asaoka
Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo

Abstract All-sky Survey High Resolution Air-shower (Ashra) telescope has been developed to detect cosmic-ray neutrinos with extremely high energy, larger than 10¹⁶ eV. At CEReS we are developing an imaging lidar by applying the Ashra telescope technique to atmospheric monitoring. In this paper, we describe the method of analyzing aerosol scattering data from a bistatic, imaging lidar system.

1. はじめに

All-sky Survey High Resolution Air-shower (Ashra)望遠鏡計画は、超高エネルギー宇宙線の観測を 目的とし、東京大学宇宙線研究所が中心となって進めてい るプロジェクトである。Ashra 望遠鏡は、広視野角(50°)、 高角度分解能(1分角=0.29mrad)、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¹⁾。大気蛍光やチェ レンコフ光を観測するため、設計波長は300-420nmの紫 外域を対象としている。この Ashra 望遠鏡とライダー技 術を組み合わせることにより、従来では困難であったエア ロゾルの三次元広域リアルタイム監視の実現が期待され る。千葉大学では、望遠鏡の波長感度とアイセーフの点か ら、波長 351nm および 355nm のレーザー光を用いた可 搬型のイメージングライダーの開発に取り組んでいる²⁾。

よく知られているように、エアロゾルによる光の散乱で は、後方散乱に比べて前方散乱が卓越している。Ashra 望遠鏡の広角特性を活かし、本研究ではバイスタティック 配置での観測を想定してエアロゾル解析のシミュレーシ ョンを行った。

2. エアロゾルのバイスタティック計測

Fig.1 に、今回のシミュレーションで用いた望遠鏡とレ ーザーの配置図を示す。バイスタティック計測でのライダ ー方程式は次のようになる:

$$P = P_0 \ K \ \frac{A}{r^2} \ ds \ \beta(\theta_{scat}) \ T \tag{1}$$

 $\beta(\theta_{\text{scat}}) = \alpha_1 p_1(\theta_{\text{scat}}) + \alpha_2 p_2(\theta_{\text{scat}})$ ここで、 $ds = \frac{r \theta_{\text{FOV}}}{\sin(\theta_{\text{scat}})}$ 、Pは受信光強度、Poは射出

光強度、Kは受信光学系効率、Aは望遠鏡の受光面積、



Fig.1 Bistatic measurement

rはターゲットまでの距離、θrovは1ピクセル当たりの視 野角、dsは1ピクセル当たりのレーザーのパス長、βは 散乱角θscatでの散乱係数、αiは消散係数、piは位相関数 (*i*=1,2はエアロゾル、分子に対応)である。また、Tはレ ーザーからターゲット、ターゲットから望遠鏡までの透過 率で、

$T = \exp\left[-\left(\tau_t + \tau_r\right)\right]$		(2)
$\tau_{t} = \frac{\int (\alpha_{1} + \alpha_{2}) dz}{\cos \theta_{\text{laser}}},$	$\tau_r = \frac{\int (\alpha_1 + \alpha_2) dz}{\cos \theta_{\rm obs}}$	

と表される。

3. 解析アルゴリズム

イメージングライダーでは、観測されたライダー信号か らエアロゾル消散係数 α₁の空間分布を求める。Fig.1 の ように地表面付近の点のα₁が既知であるとする。望遠鏡 からの視線方向を固定し、レーザー光を地表付近から上空 へ掃引する。現在のポイントと次のポイントの間で、観測 された受信光強度 *P*obs の比を計算する。一方、次のポイ ントでのα₁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。観測と理論の誤差

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

が最小になる条件から、次のポイントでの α₁が求められ る。この操作を繰り返すことによって α₁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、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、各ポイントでの消散係数が一定の値に収束する。

3. シミュレーション

二次元空間に α₁の分布を仮定する。Fig.2(a)は Sasano モデル ³⁾における春季エアロゾルモデルに基づく二次元 分布である。粒径分布として都市型モデル⁴⁾を仮定し、複 素屈折率を 1.50⁻ 0.001*i*として位相関数を計算した。仮定 した分布と解析より得られた分布を比べることによって 解析誤差の分布が得られる。Fig.2 (b)に示すように、解析 誤差は±1%以下と大変小さくなった。実際のエアロゾル 観測では、位相関数が既知であることは少ないが、様々な エアロゾルモデルについてシミュレーションを行って位 相関数の補正を行い、α₁の二次元分布を得ることは可能 である。詳細は講演で発表する。



Fig.2 Distribution of (a) extinction coefficient, and (b) error.

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° field of view, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A492, 49-56 (2002).

久世宏明、深川俊介、竹内延夫、浅岡陽一、佐々木真人、広域大気観測用イメージングライダーの開発、第29回 SICE リモートセンシングシンポジウム, 61-64 (2003).
 Y. Sasano, Tropospheric aerosol extinction coefficient profiles derived from scanning lidar measurement over Tsukuba, Japan, from 1990 to 1993, Appl.Opt., 35(24), 4941-4952 (1996).

 R. Jaenicke, Tropospheric Aerosols, in "Aerosol-Cloud-Climate Interactions" (P.V. Hobbs, ed.), Academic, 1-31 (1993).