

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 10^{16} 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 = 0.29 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 $300\text{-}420\text{nm}$ 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：

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

$$\beta(\theta_{\text{scat}}) = \alpha_1 p_1(\theta_{\text{scat}}) + \alpha_2 p_2(\theta_{\text{scat}})$$

ここで、 $ds = \frac{r \theta_{\text{FOV}}}{\sin(\theta_{\text{scat}})}$ 、 P は受信光強度、 P_0 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、

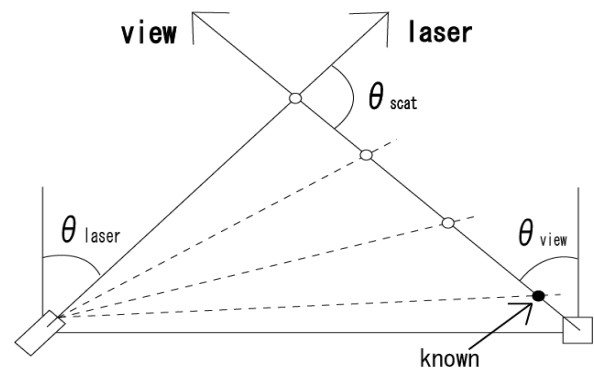


Fig.1 Bistatic measurement

r はターゲットまでの距離、 θ_{fov} 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 θ_{scat} での散乱係数、 α_i は消散係数、 p_i 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、

$$T = \exp[-(\tau_t + \tau_r)] \quad (2)$$

$$\tau_t = \frac{\int (\alpha_1 + \alpha_2) dz}{\cos \theta_{laser}}, \quad \tau_r = \frac{\int (\alpha_1 + \alpha_2) dz}{\cos \theta_{obs}}$$

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 α_1 の空間分布を求める。Fig.1のように地表面付近の点の α_1 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 α_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。観測と理論の誤差

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

が最小になる条件から、次のポイントでの α_1 が求められる。この操作を繰り返すことによって α_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、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 α_1 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 $1.50 - 0.001i$ 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、 α_1 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。

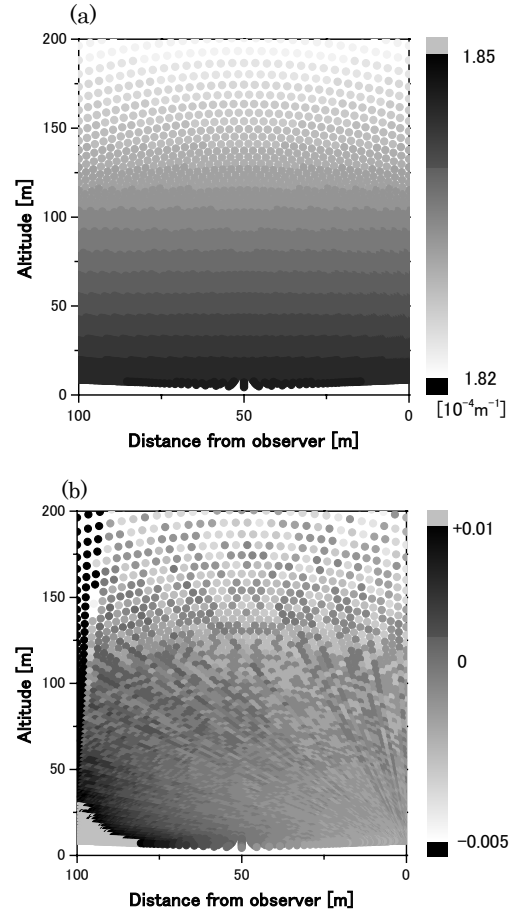


Fig.2 Distribution of (a) extinction coefficient, and (b) error.

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).
- 2) 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).
- 3) 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).
- 4) R. Jaenicke, Tropospheric Aerosols, in "Aerosol-Cloud-Climate Interactions" (P.V. Hobbs, ed.), Academic, 1-31 (1993).