

バイスタティックライダーを用いたユタ砂漠地帯の夜間大気透明度の観測

富田 孝幸¹, 中村 智行², 上濱 孝文², 山崎 勝也³,

¹信州大学学術研究院 工学系 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

²信州大学大学院 理工学系研究科 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

³中部大学 工学部 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

Observation of atmospheric transparency in night at the Utah desert area using a bistatic LIDAR

Takayuki TOMIDA¹, Tomoyuki NAKAMURA¹, Takafumi UEHAMA² and Katuya YAMAZAKI³

¹ Faculty of Engineering Department of Computer Science & Engineering, Shinshu University, Nagano 380-8553

² Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, Nagano 565-8553

³ Engineering Science Laboratory, College of Engineering, Chubu University, Aichi 487-8501

Abstract: must place the abstract here. Abstract and keywords are necessary. The abstract should not exceed 150 words and keywords (in noun forms) should not exceed 5 words.

Key Words: Laser, bistatic LIDAR, atmospheric transparency

1. はじめに

宇宙線望遠鏡実験 (Telescope Array: TA) では 10^{18} eV 以上の超高エネルギー宇宙線 (Ultra High Energy Cosmic Ray: UHECR) の観測を目的としている。TA 実験では大気蛍光望遠鏡 (Fig.1) を用いて宇宙線によって生じる大気蛍光を捉えて、発光量から UHECR のエネルギー、観測された軌跡から到来方向を決定している。さらに、大気蛍光望遠鏡の観測では、軌跡上の最大発光点の情報から粒子種の推定も可能である。大気蛍光望遠鏡による UHECR の観測は大気蛍光が微弱であるため月のない暗夜に行われ、観測環境も人工光が少ない人里離れた郊外が選択される。TA 実験も例に漏れず米国ユタ州の郊外に設置されており 30 km 離れた最寄りの最大集落も人口 3000 名程度の荒野に建設されている。また、UHECR は閾値エネルギー E 以上の UHECR の到来頻度は E が大きくなるとともに E^{-2} で減少する。頻度の減少に対して観測有効面積の増加で対応するため、TA 実験は 700 km² もの広大な観測地を有しており、TA 実験の 3 箇所の望遠鏡拠点は観測地を取り囲むように建設されており、それぞれ 30 km 以上も離れている。発生した大気蛍光は望遠鏡までの伝播過程において大気分子やエアロゾルにより減光する。特にエアロゾルは観測環境や季節で存在量が大きく異なることが確認されており観測地ごとに減光量を測定し校正する必要がある。TA 実験では望遠鏡 3 拠点の中心にレーザーを垂直する施設 (CLF)²⁾ を建設し、レーザーの側方散乱を標準光源として大気透明度を測定している。CLF の外観と観測コンセプトを Fig.2 に示す。本稿では、このレーザー施設及び得られた大気透明度に関して報告する。



Fig.1 Photograph of the fluorescence telescope in TA experiment

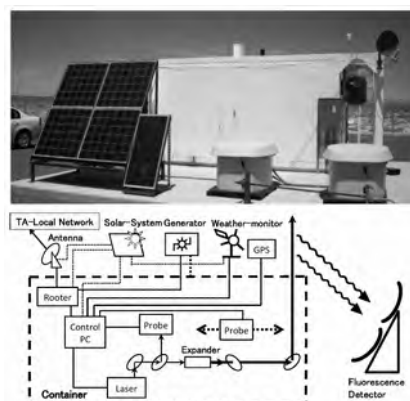


Fig.2 Photograph of the CLF and observation concept

2. Central Laser Facility

CLFのレーザーには水冷式のNd:YAGの三倍高調波(355 nm)を採用した。これは、望遠鏡で捉える大気窒素の蛍光波長が300~400 nmであるためである。CLFによる大気透明度は、任意の高度における側方散乱の受光量の年間推移から相対的に大気透明度を算出される。CLFから鉛直に射出されたレーザーは散乱し宇宙線観測用の望遠鏡で受光される。CLFによる大気観測は望遠鏡による宇宙線観測の合間に30分間隔で行われる。1回の観測では、300発のレーザーが射出されており、これらの時間的なレーザーの制御は全てGPSに準拠している。望遠鏡の信号保存頻度は約20 Hzであり、宇宙線と夜光による平時よりの信号取得頻度は約3 Hzであるため、CLFの信号取得率は90%程度となる。また、望遠鏡のサンプリングレートは25 MHzであり、時間分解能は100 nsecである。30分毎の観測による信号は平均をとり、これを元に大気透明度が算出される。Fig.3に平均された受光信号の高度分布と望遠鏡視野上での信号強度マップを示す。

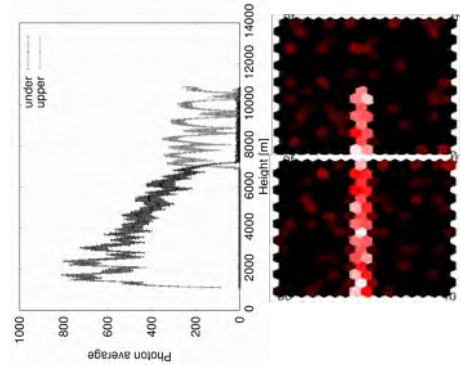


Fig.3 Signals of CLF. The height distribution of received intensity and intensity map in the view of telescope

3. 大気透明度解析

大気透明度は、解析期間において大気透明度が高い好条件の観測信号を特定し、個別の観測信号と比較することで算出する。好条件の観測の選出と透明度解析には以下の二条件を仮定する必要がある。条件①は同サイトにおいてMie-LIDARによる観測によって確認されている²⁾。

- ① 地表高度5 km以上では雲を除いてエアロゾルの存在量は極めて少ない。
- ② 観測領域内においてエアロゾルの高度分布は同一である。

条件に従うと高度5 km以上の散乱角度依存性はレイリー散乱に従うため、エアロゾルが少ない場合には受光強度は大きくなる。低エアロゾルの環境として選出された観測の射出レーザーの光子数を Np'_0 、高度H kmからの受光光子数を $Np'(H)$ とする。さらに、望遠鏡から見て高度Hの仰角を θ とする。ここで、個別の観測値は Np_0 、 $Np(H)$ とすると、高度Hまでの光学的厚さ $\tau(H)$ は以下の式にて得られる。

$$\tau_{AS}(H) = -\frac{\sin \theta + 1}{\sin \theta} \ln \left[\frac{Np'_0 Np(H)}{Np_0 Np'(H)} \right]. \quad (1)$$

本講演での解析対象期間は2012~2016年とし、解析高度Hは5 kmとした。同期間における低エアロゾルの観測としては2015年11月9日が選出された。また、期間内の観測数は2472であり、高度5 km以下でレーザー光軸上に雲が存在する場合には解析対象から除外したため、解析対象となるデータ数は1881であった。TAサイトにおけるエアロゾルの光学的厚さの分布をFig.4に示す。光学的厚さの中央値と分布の 1σ は $0.037 + 0.016 / -0.011$ であった。これは2009-2011年に同観測地で行われたMie-LIDARにより得られた高度5 kmまでの光学的厚さ $0.035 + 0.019 / -0.013$ と同等である²⁾。

今後は光学的厚さの季節依存性などに着目し解析を進め、最終的にはTA実験における宇宙線解析の補正値の更新を目指す。

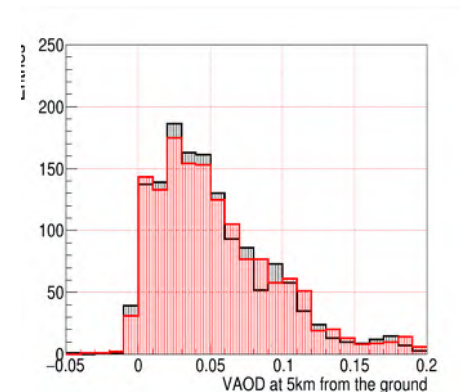


Fig.4 Distribution of Vertical Aerosols Optical Depth

参考文献

- 1) T. Tomida, Y. Tsuyuguchi, et al. Proc. Of 32nd ICRC (2011), 3, 325-328
- 2) T. Tomida, Y. Tsuyuguchi, T. Arai, T. Benno, M. Chikawa, K. Doura, M. Fukushima, K. Hiyama, K. Honda, D. Ikeda, J. N. Matthews, et al., Nucl. Instrum. Method. A, 654 (2011) 653-660