

宇宙線観測のための新型望遠鏡の開発, および

飛行標準光源による大気蛍光望遠鏡の較正

山本 真周², 齋藤 保典¹, 関 皓月², 多米田 裕一郎³,
常定 芳基⁴, 富田 孝幸¹, 林 幹樹²

¹信州大学学術研究院工学系 (〒380-0928 長野県長野市若里 4-17-1)

²信州大学工学部 (〒380-0928 長野県長野市若里 4-17-1)

³神奈川大学工学部 (〒221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1)

⁴大阪市立大学 大学院理学研究科 (〒558-8585 大阪府大阪市 住吉区杉本 3-3-138)

The development of a new telescope for cosmic ray observations, and Calibration of a fluorescence detector using a flying standard light source

Mashu YAMAMOTO¹, Yasunori SAITO¹, Terutugu SEKI¹, Yuichiro TAMEDA²,
Yoshiki TUNESADA³, Takayuki TOMIDA¹, and Motoki HAYASHI¹

¹Shinshu Univ., 4-17-1 Wakasato, Nagano, Nagano 380-0928

²Kanagawa Univ., 3-27-1Rokkakubashi, Kanagawa, Yokohama, Kanagawa 221-8686

³Osaka City Univ., 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi, Osaka, Osaka 558-8585

Abstract

Telescope Array observatory observes ultra-high-energy cosmic rays in Utah. In the future, it is necessary to extend the detection area to observe higher energy cosmic rays. Therefore, we have developed a new telescope that will take the place of the current fluorescence detector. We also have developed a standard light source for more accurate calibration of TA fluorescence detectors. We will report the current status of the new telescope and new calibration device.

Key Words: Cosmic Ray, Fluorescence, Standard light source, Fresnel lens, Telescope

1. はじめに

地球には、無数の宇宙線が降り注いでいる。その中でも特にエネルギーの高い宇宙線を観測するため、テレスコープアレイ (TA) 実験がアメリカのユタ州で行われている。TA 実験では、地上での観測を目的とする surface detector (SD) と空気中での観測を目的とする fluorescence detector (FD) を用いる。

FD は、宇宙線と大気が衝突して出来る高エネルギー粒子によって励起された窒素が出す蛍光を複数の光電子増倍管で観測しており、宇宙線と大気における相互作用の連鎖の様子を見ることが出来る。1 箇所の FD 建屋には 12 基または 14 基の FD があり、各々の FD は 16×16 アレイ状に並んだ 256 本の光電子増倍管を撮像部とし、口径 3 メートルの球面鏡から成る反射望遠鏡である。1 つの FD は 15° の視野角を持つ。

最近では、エネルギーが 57EeV を超える超高エ

ネルギー宇宙線の到来方向に異方性があるのではないかとされており、確認のため統計量を増やす必要がある。しかし、FD は一台あたりの建設費が非常に高価であり、大量に設置するのは現実的ではない。そこで、私たちはより安価な望遠鏡の開発設計を行っている。

また、現在 3 箇所に FD 建屋があり、各 FD 建屋から等距離の地点に相対較正のためのレーザー施設があるが、レーザー施設から各 FD 建屋までの距離が長いので較正に空気の透過率が影響する。そこで、簡単に運搬できる標準光源が必要である。また、光源をマルチコプターに搭載することで複数の FD の光電子増倍管も相対較正できる。以下は、2 つの装置について報告する。

2. 新型望遠鏡

2.1 望遠鏡の構成

新型望遠鏡の構成は、フレネルレンズ、紫外線

バンドパスフィルタ,光電子増倍管,アルミフレーム,という非常に単純なものになっている. この構成は P. Privitera氏が未来の宇宙線観測用望遠鏡として提唱したものである¹⁾. 私たちが現在試験に用いている,望遠鏡のプロトタイプを Fig.1 に示す. 現在の構成であれば,一台当たり 100 万円以下で望遠鏡を作成できる.



Fig.1 Prototype of the new telescope

2.2 テスト機設計

現在は, Fig.1 のプロトタイプ機を用いて, フィルタ・レンズの透過率や光電子増倍管のゲインなど, 望遠鏡を構成する要素の様々なパラメータを測定する試験を行っている. ここで測定したパラメータを用いてシミュレーションを作成し, シミュレーション結果をもとに設計を改め, テスト機を作成する.

2.3 ユタ州でのレーザーイベント観測試験

上記のパラメータ測定と並行して, 2016 年 9 月にユタ州でのレーザーイベント観測試験を行う. これはレーザーの散乱を宇宙線の相互作用に見立てた擬似宇宙線観測試験であり, 望遠鏡の有効性を示す. 同時に, 夜光によるノイズの測定も行い, シミュレーションに活用する.

2.4 新型望遠鏡の将来

この望遠鏡は超高エネルギー宇宙線実験の大規模化実現を目標に開発を行っている. そのため, テスト機の設計が完了次第, 4 機のテスト機を作成し, 複数望遠鏡による観測試験を行う. この 4 機の試験によって新型望遠鏡が宇宙線観測に必要なスペックを満たしていると証明し, 大規模展開の際に利用されることが最終目標と考えている.

3. 飛行標準光源

3.1 標準光源

FD を較正するための標準光源には, 光量が分かっていること, 一様であることが求められる. そこで私たちは, 光量が最大で 8×10^{10} photon/ 4π sr, 光量安定性が 10μ sec 間に地球上で $\pm 2\%$, 一様性が 30° で $\pm 1\%$ 以内に収まる球形の光源を開発している. この光源は, 10μ sec のパルスを用いて global positioning system (GPS) からの PPS 信号に同期した 10Hz で出力する回路によって駆動する. これにより発光タイミングを正確に記録出来る. 光源は正十二面体のマウントに設置された 12 個の紫外光 LED と球形のデ

ィフューザーで構成される. 現在はピーク波長が 375nm である紫外光の LED を使用しているが, 将来的には LED を交換することで様々な装置の較正に使用することを考えている.

3.2 マルチコプター

標準光源は 8 翼のマルチコプターに搭載して運用する. マルチコプターはバッテリーで駆動し, 1 つのバッテリーで約 15 分間のフライトが可能である. 使用しているマルチコプターを Fig.2 に示す. また, マルチコプターには高精度の GPS が搭載されており, 基準となる地点とマルチコプターの位置関係が誤差 ± 10 cm 以内で測定できる.



Fig.2 Multicopter for mounting the light source

3.3 現在の状況

現在は光源と駆動回路を開発中で, 30° の一様性は最悪の場所でも $\pm 3\%$ である. 光量は目標より大きくなっているが, タイバックシート等の減光シートを用いて光量を減らす予定である. また, シートによる減光が足りない場合, 違う LED に交換することも検討している. 2016 年 8 月には実際にユタ州で FD を相対較正する試験を予定している.

4. 終わりに

私たちは現行の FD に代わる新型望遠鏡を開発している. 新型望遠鏡はフレネルレンズを利用した屈折望遠鏡であり, 完成すれば現行の FD に比べて大幅に低いコストで宇宙線の観測が出来る.

また, 望遠鏡を較正するための飛行標準光源も開発している. この飛行標準光源が完成すれば, 空気の透過率の影響をほとんど受けずに望遠鏡を較正できる.

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 25610051, 16K17710 の助成を受けたものです.

様々な試験を東京大学宇宙線観測所の明野観測所で行わせていただきました.

参考文献

1) P. Privitera, International Symposium on Future Directions in UHECR Physics (2012)