

次世代型極高エネルギー宇宙線観測用望遠鏡 CRAFTT に用いる光電子増倍管の感度較正

柴田 規迪¹, 多米田 裕一郎¹, 富田 孝幸², 池田 大輔³, 山崎 勝也⁴, 窪田悠人²

¹大阪電気通信大学 (〒572-8530 大阪府寝屋川市初町 18-8)

²信州大学 (〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1)

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

⁴中部大学 (〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200)

Sensitivity calibration of photomultiplier tubes for a next-generation telescope CRAFTT for observing ultra-high-energy cosmic rays

Norimichi SHIBATA, Yuichiro TAMEDA,

Takayuki TOMIDA, Daisuke Ikeda, Katsuya YAMAZAKI, Yuto KUBOTA,

Osaka Electro-Communication University., 18-8 Hatsucho, Neyagawa, Osaka 572-8530

Shinshu University., 3-1-1 Asahi, Matsumoto, Nagano 390-8621

Kanagawa University., 3-27-1 rokkakubashi, kanagawa-ku, yokohama, kanagawa 221-8686

Chubu University., 1200 matsumotocho, kashugai, aichi 487-8501

Abstract: The purpose of this study is to calibrate the photomultiplier tubes used in the CRAFTT telescope. We have measured the two-dimensional nonuniformity of the photomultiplier tubes by irradiating an LED at an arbitrary point on the sensitive surface of the photomultiplier tube. Nine photomultiplier tubes have been measured for the two-dimensional nonuniformity of the sensitive surface. We found but the problem remains that the signal intensity increases with time. We are currently working on two methods to deal with the increase in signal intensity: identifying and eliminating the factors that cause the increase in signal intensity, and determining the two-dimensional nonuniformity of the sensing surface by measuring the sensitivity of the center when measuring any point on the sensing surface during calibration.

Key Words: Ultra-high-energy cosmic ray, Photomultiplier, Calibration

1. 背景

宇宙空間には宇宙線という高エネルギーの放射線が飛び交っており地球にも常に飛来している。宇宙線観測の目的はこの宇宙線の起源天体の同定を行うことにある。宇宙線の到来方向を知ることによって起源天体の同定を行いたい、宇宙線は電荷を持ち宇宙空間の持つ磁場によってその方向を曲げられてしまい、そのままでは到来方向がわからない。一方で超高エネルギーの宇宙線は宇宙の磁場に影響されず宇宙空間を直進するため起源天体の同定が期待されている。しかし宇宙線はエネルギーが高くなる程到来頻度が低下するので実験の大規模化が必要となる。現行の実験^{1,2}では一台当たりの望遠鏡のコストが非常に高く実験の大規模化が難しい。そこで CRAFTT 実験³ではより低コストで作成可能な望遠鏡を開発している。

2. 目的

宇宙線と大気が相互作用を起こし粒子が大量生成される現象を空気シャワーと言う。CRAFTT 実験³で用いる望遠鏡は、この空気シャワーが放つ蛍光をフレネルレンズで集光し、焦点に設置した光電子増倍管(PMT)で電気信号に変換し宇宙線を観測する。低コストで作成するために従来の望遠鏡と比べ、光センサーである PMT の本数を 256 本から 1~12 本に減らしているが、これにより空間分解能が荒く、既存の宇宙線空気シャワー再構成手法を用いることができない。そこで CRAFTT 実験では検出器シミュレーションを用いて測定が期待される観測波形を擬似的に再現し、観測波形と比較することで宇宙線空気シャワーを構成する。実際の宇宙線観測では観測波形が PMT 感度の感面二次元不均一性によって変化するため、シミュレーションに感面二次元不均一性の較正結果を反映させる必要がある。本研究は PMT 感度の感面二次元不均一性の較正が目的である。

3. 手法

PMT の感面の任意の点に LED を照射し感面の二次元不均一性データを測定する。ファンクションジェネレーターを用いて LED にかかる電流の電圧を 3.7 V、発光時間幅を 10 μ s で制御する。XY ステージに PMT を取り付け、前後左右に精密に動作させることで、LED の照射位置を感面の任意の点に移動する。また PMT と LED と XY ステージは遮光シートで覆われた暗幕内に置かれる。Figure 1 は PMT 感面を真上から俯瞰した時の LED 照射位置の軌跡である。橙色が LED の軌跡であり、図に振られている番号の順で LED を移動させている。2 と 4 は LED を感面から見て左上から下の感面端まで 5 mm ごとに移動し、その後右に 5 mm 移動し、その後上の感面端まで 5 mm ごとに移動し、その後右に 5 mm 移動する。これを感面右端まで繰り返し、その 5 mm ごとの移動のたびに測定をする。PMT の感面直径は 136 mm なので、横

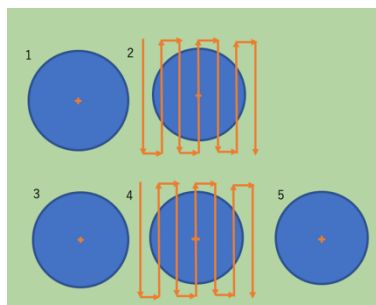


Figure 3. LED calibration track. This figure shows the trajectory of the LED irradiation position when the PMT-sensitive surface is viewed from above. The orange color is the trajectory of the LEDs, and the LEDs are moved every 5 mm in the order of the numbers shown in the figure.

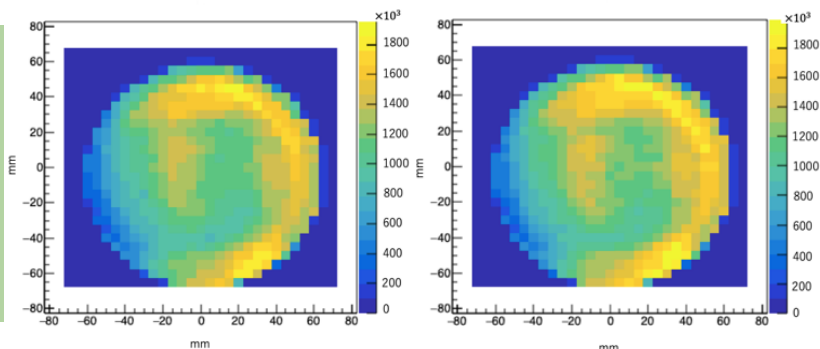


Figure 3. The left figure shows the result of the first measurement, and the right figure shows the result of the second measurement. This shows the two-dimensional nonuniformity of sensitivity when the PMT photosensitive surface is viewed from above, subdivided into 5 mm x 5 mm squares. The definition of the signal intensity, which is the frequency, is converted to a voltage value.

軸 27, 縦軸 29 の計 1569 点を測定する。また 2 回の同様の測定の比較で測定の再現性を確かめている。さらに 1~5 を通した計 5 回の PMT 感面中心での感度の測定によって、信号強度の時間に対する増加を測定する。PMT には高圧電源を印加し、出力される信号は Cosmo-Z(特殊電子回路)という計測ボードを用いて測定する。そしてこれらの各装置をコンピューターで自動制御し、自動測定をする。

4. 結果

9 本の 877(Hamamatsu, R877)の PMT の感度の感面二次元不均一性を測定し、その感度の値を決定した。Figure 2 は PMT 感面を真上から俯瞰した時の感面を 5mm x 5mm の升目で細分化した各マス毎の感度の二次元不均一性のヒストグラムであり、左図は Fig. 1 を参照した時の順番 2 にあたる 1 回目の測定、右図は順番 4 の 2 回目の測定である。度数である信号強度の定義は電圧に比例した count 値に変換された電圧を LED の発光時間幅で積分したものである。また Fig. 3 は感面中心での計 5 回の測定による、時間に対する信号強度の遷移のグラフであり、このグラフから信号強度が時間と共に増加していることがわかる。

5. 考察と発展

信号強度が増加しては正確に感面二次元不均一性を較正できない。そのため、信号強度の増加を解消する方法を模索している。現在は PMT をフォトダイオードに代替した測定などで信号強度の増加の要因が対象の装置にあるかどうかの検証を行なっている。また今後 2 つの方法で、より正確な PMT の感面二次元不均一性の測定が行えないか試みる。1 つ目の方法は上記でも述べたような各装置に信号強度の増加の要因がないかを特定し取り除くことである。2 つ目の方法は較正での測定の際、各点の測定をするたびに中心を測定し直すというものである。これにより、各点の感度をその度に測定した中心の感度との差で取り、その感度の差で感面二次元不均一性を決定するというものである。

今回の研究によって CRAFFT 研究で用いる PMT の感面二次元不均一性の感度を測定した。今後の発展として、信号強度の増加を解消したより正確な感度の感面二次元不均一性の測定を行い、検出器シミュレーションに反映する。

6. 参考文献

- 1) Telescope Array collaboration, “テレスコープアレイ実験”, 2021-5-13, http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/ta_public/index.html, (参照 2021-08-02)
- 2) Pierre Auger collaboration, “Pierre Auger Observatory”, 2021-7-26, <https://www.auger.org>, (参照 2021-08-02)
- 3) Y. Tameda, T. Tomida, M. Yamamoto, H. Iwakura, D. Ikeda, and K. Yamazaki: *Air Shower Observation by a Simple Structured Fresnel lens Telescope with Single Pixel for the Next Generation of Ultra-High Energy Cosmic Ray Observatory* (Progress of Theoretical and Experimental Physics, Issue4, The Physical Society of Japan, 2019) .

謝辞

本研究は、エレクトロニクス基礎研究所の 2019~2020 年度の特典共同研究、東京大学宇宙線研究所の共同利用研究プロジェクトの援助を得ました。

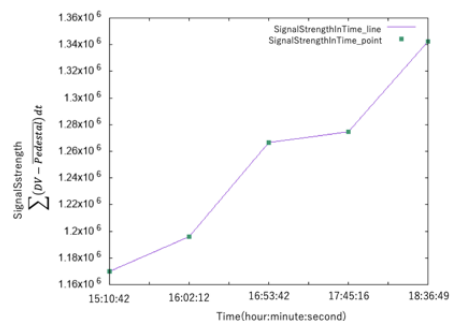


Figure 1. This figure shows the transition of the signal intensity of the LED measured five times at the center of the PMT versus time. The horizontal axis shows the measurement time in hours, minutes, and seconds, and the vertical axis shows the signal intensity as a digital value integrated over time.