

レーザーによるレイリー散乱を用いた PMT の較正

曽根 直宙¹, 富田 孝幸¹, 山崎 勝也², 山本 真周¹, 藤井 俊博³, 齋藤 保典¹

¹信州大学 (〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)

²神奈川大学 (〒221-8686 神奈川県横浜市神奈川区六角橋 3-27-1)

³京都大学 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

Calibration of PMT using Rayleigh scattering by laser

Naohiro SONE¹, Takayuki TOMIDA¹, Katsuya YAMAZAKI², Mashu YAMAMOTO¹,
,Toshihiro FUJII³, and Yasunori SAITO¹

¹Shinshu Univ., 4-17-1 Wakasato, Nagano, Nagano 380-8553

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

³Kyoto Univ., Yoshidahonmami, Sakyo, Kyoto, Kyoto 606-8501

Abstract: TA (Telescope Array) is international joint experiment observing ultra-high energy cosmic rays. TA experiment is changing to the TAx4 experiment which extended the observation area to 4 times. This plan is main due to production and expansion of surface detector and expansion of Fluorescence Detector (FD). Since TAx4 attempts to expand the observation area by combining the detector in the conventional TA and the expanded detector together, calibration is indispensable for the new detector. Because FD is responsible for calorimetric measurement, absolute calibration of PMT is desirable. We will try absolute calibration of several PMT used for FD of TAx4 using CRAYS which was also used for TA experiment.

Key Words: Calibration technology, Laser scattering

1.はじめに

TA(Telescope Array)実験は、超高エネルギー宇宙線の謎の解明に迫るために立ち上がったプロジェクトである。TA 実験では、宇宙線が大気中に入射した際に発生する空気シャワーに含まれる荷電粒子を直接地表で捉える SD(Surface Detector)と、空気シャワーが大気中を通過したときに発生する微弱な蛍光を捉える FD(Fluorescence Detector)の2つを使用して超高エネルギー宇宙線の観測を行っている。700km²の範囲を507台のSDを並べ、その周りに3つのFDステーションがあり、合計38台のFDで観測をしている。また、TA 実験は観測範囲を4倍に拡大したTAx4実験に移行しつつある。TAx4実験はTA 実験で使用している検出器と拡張された検出器を組み合わせることで観測領域を拡大するため、検出器、特にPMTの較正が不可欠である。TA 実験では3つの光源を用いてPMTの較正とモニタリングを行っている。本講演では、その中で2つの光源、YAP(Yttrium Aluminium Perovskite)を使用したPMTの感度の評価と、CRAYS(Calibration using RAYleigh Scattering)で絶対較正されたPMTのゲイン値の評価を行う。

2.較正機器

2.1 CRAYS

TA 実験では CRAYS を使用して PMT の絶対較正を行っている。CRAYS とはレイリー散乱の

横方向散乱を使用した PMT の較正機器である。TAx4実験も TA 実験と同様に CRAYS を使用して PMT の絶対較正を行う。CRAYS のセットアップ図を Fig.1 に示す。光源は波長337.1nm の窒素レーザーを用いる。この波長は大気蛍光の最も明るい波長と一致しており、出力はパルスあたり300μJ である。チャンバー内は99.99%窒素で充填している。チャンバー内の窒素分子はレーザーの波長よりも十分に小さいのでレイリー散乱を起こす。レイリー散乱で散乱された光子は、1%の精度で実験的に検証された散乱断面積の式から計算される。CRAYS の較正誤差は統計誤差0.3%、系統誤差2.7%、実験室から観測サイトへの輸送で3.7%である¹⁾。

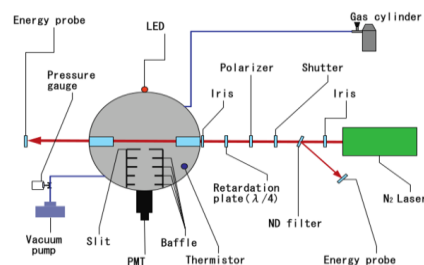


Fig. 1: Measurement setup of CRAYS

2.1 YAP

YAPはCRAYSで較正されたPMTの光電面に取り付けられている光源であり (Fig.2), 観測中の光量モニターを行うために用いられている. YAPはすべてのPMTに取り付けているのではなく, CRAYSで絶対較正されたPMTに取り付けられ, 256本のPMTから構成されたPMTカメラに2本ずつ付けられる. CRAYSで較正され, YAPの取り付けられたPMTは基準PMTと呼ばれる. YAPは $\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ シンチレータを窓とする直径4mm, 高さ1mmのアルミニウムの円筒容器内にアメリシウム-241 (^{241}Am) α 線源を入射粒子として封入したものである. 幅40nsの波長350nmのパルスを約50Hzで繰り返す²⁾.

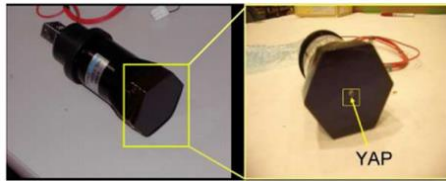


Fig.2: PMT with a YAP

3.実験方法

3.1 CRAYS 試験

チャンバー内を窒素99.99%充填させる. PMTに治具を取り付け, レーザーの光路に垂直になるように治具を取り付ける. PMTにHVを800V, 900V, 1000V, 1050V, 1100V印加する. レーザーを照射し, PMTの信号を保存する. レーザーの出力はエネルギープローブによって保存される. 得られたPMTの信号からPMTの電荷量, レーザーの出力からPMTの感面での光子数を導くことができる. 電荷量を光子数で割ることでPMTのCEとQEを含めたゲイン値が求められる.

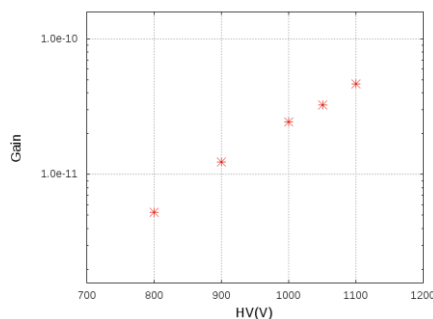


Fig.3:PMT gain multiplication factor

3.2 YAP 試験

信州大学の研究室と, アメリカのユタ州でPMTの感度を測定し, 輸送間でのPMTの変化を評価した. YAPを取りつけたカバーを作成し, PMTにカバーを装着し, HVを印加した (Fig.4). 研究室ではPMTにHVを700V,900V,1000V,1050V印加をして感度を計測した. ユタでは800V,900V,1000V, 1050V,1100V,1200V,1300V,1400V印加をした (Fig.5). また, 1000V印加したときにカバーを回転させて感度を測定した.

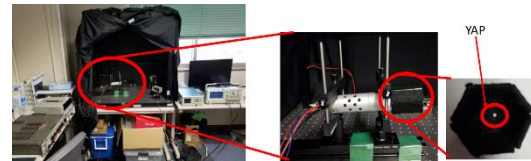


Fig.4.PMT with a YAP cover

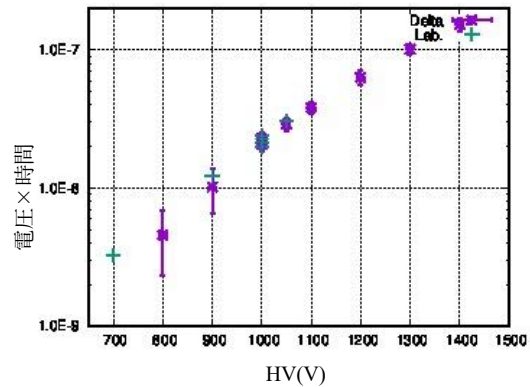


Fig.5. Voltage*time multiplication factor

4.結果

Tax4実験に向けてPMTの絶対較正とPMTの輸送前後の電圧値の比較をした. PMTのゲイン値の増倍率はニアにのっており, PMTの特性である入射光量と出力の比例関係が確認された. また, 輸送の前後でPMTの大きな変化はみられなかった.

5.参考文献

- 1)S. Kawana, "Calibration of photomultiplier for the fluorescence detector of telescope array experiment using a Rayleigh scattered laser beam", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 681 (2012) 68 - 77
- 2)B.K. Shin, "Gainmonitoring of telescope array photomultiplier cameras for the first 4 years of operation", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 768 (2014) 96

