

## 論文題目

Ashra-1 実験におけるトリガー観測装置開発

## 論文要旨

現代の宇宙線観測実験では、可視光やガンマ線、赤外線を利用した多波長天文学が一般的であるが、近年では超高エネルギーニュートリノをプローブとした宇宙線観測や新天体の発見を狙う研究が盛んになってきた。全天監視高精度宇宙望遠鏡(All-Sky Survey High Resolution Air-shower detector)Ashra-1 もその実験の1つであり、広視野高分解能で全天の 77%を常時監視し、超高エネルギー宇宙線や高エネルギーニュートリノの観測を目指している。高エネルギー宇宙線が地球大気と相互作用することにより生じる空気シャワー現象に伴う大気蛍光、並びに大気チェレンコフ光を独自に開発した望遠鏡を複数台使用したステレオ観測により、宇宙線スペクトルの観測や超高エネルギー宇宙線の起源、高エネルギーニュートリノの生成メカニズム、新天体の発見などを Ashra-1 では狙っている。Ashra-1 の検出器は、広視野高分解能を実現するための修正 Baker-Nunn 光学系、画像圧縮と位置情報伝達のための 20inch 光電レンズ撮像管(PLI)と 64×64pix の光ファイバー束から成る伝送系、PMT アレイとトリガーLSI並びにトリガーFPGA ボードから成る露光制御を行うためのトリガー系によって主に構成される。Ashra-1 では天頂角 30°の方向を向いた 1 台の検出器を用いてこれまで 3 期に渡って(観測第 1 期:2008 年 6 月 28 日～2009 年 6 月 5 日、観測第 2 期:2009 年 10 月 7 日～2011 年 1 月 4 日、観測第 3 期:2012 年 1 月 11 日～2013 年 3 月 25 日)光学閃光観測を行うと共に、天頂角 75°の方向を向いたマウナケア山向きの検出器を用いて山かすりタウニュートリノを観測対象としたトリガー試験観測を行ってきた。これまでの観測の中で、PLI に入射してからトリガー系、撮像センサーに到達する間(撮像パイプライン)において、数%のゲイン時間変動を持つことがわかってきた。トリガー観測におけるトリガーレベルはパイプラインゲインにより決定されるため、この揺らぎを定量的に把握しゲイン変動を較正することは、トリガーレベルを安定させ定常的なトリガー観測を行う上で非常に重要な意味を持つ。

本研究では、Ashra-1 トリガー読み出しにおける撮像パイプラインゲインの較正を目的とした光源装置の開発と性能評価、並びに明野観測所でのトリガーシステム統合テストに向けたトリガーセンサーの試験を行った。本装置の光源には、大気チェレンコフ光の典型的な波長に近い 405ns の波長の LED を使用した。LED は半導体素子であるため周囲温度の変化や、経年劣化等により光量の変動が懸念される。そこで、ハーフミラーを導入し他方を半導体光検出素子に入射させ、光源自体の光量変動を測定できるような構造にすることで、光源の光量変動の絶対較正も可能にした。また、センサー1 ピクセル毎の位置較正も可能にするため、PLI の全面にできるだけ一様な光を照射できるようレンズを取り付け、放射非一様性を 1%未満に抑えることに成功した。PLI の代わりに PMT を使用したゲイン時間較正のデモンストレーションでは、時間変動は 9%未満の統計誤差で PMT 自体の持つゲイン変動と一致し、ゲイン時間較正を実現できる装置の開発に成功した。

トリガーシステム統合試験に向けたトリガーセンサーの試験では、トリガーセンサーが観測サイトにおける夜光ノイズに対して+3 $\sigma$ でトリガーをかけられるかどうかを、チェレンコフ光と大気蛍光を想定した場合について検証している。現状では、夜光ノイズ下においてセンサーの最大定格値を超えてしまうことから、ゲインは 10<sup>4</sup>以上上げることが出来ないことがわかった。そのため、トリガーLSIでトリガー可能にするにはセンサーの後段で信号増幅回路が必要ということになり、現在はその回の開発を行っている。これにより、トリガーシステムの大気蛍光撮像試験の本格的な始動となり、較正用 LED 光源装置の実用化と共にさらなる Ashra-1 実験のトリガー観測精度の向上が期待できる。