

平成 22 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：大気蛍光望遠鏡実験におけるハイブリッドトリガの開発
英文：A study of the hybrid trigger for the Telescope Array experiment

研究代表者 常定 芳基（東京工業大学 大学院理工学研究科）

参加研究者

東京工業大学 大学院理工学研究科

特任助教 得能 久生

修士 2 年 石森 理愛

修士 2 年 小林 友作

東京大学 宇宙線研究所

准教授 佐川 宏行

特任助教 野中 敏幸

研究員 多米田 裕一郎、池田 大輔

研究成果概要

宇宙線望遠鏡実験（Telescope Array, TA）では、地表検出器アレイ（SD）と大気蛍光望遠鏡（FD）による超高エネルギー宇宙線の同時観測を行っている。SD はほぼ 100% の稼働率を持ち、宇宙線の到来方向を 1° の精度で決定することができる。FD による観測ではエネルギー決定精度が SD よりもよく、反面到来方向の決定精度は 5° 程度と SD に比較すると劣る。したがって、SD と FD のデータを両方使い、SD で到来方向を決定し、FD でエネルギーを決定できる場合に TA の性能が最高度に発揮される。TA における観測ではこれまで SD, FD のデータ収集は独立に行われ、両方のデータを用いての解析は「オフライン」で時刻情報を参照することによって行われてきた。しかし SD と FD では宇宙線の検出効率（トリガーされる確率）に違いがあり、SD ではエネルギーが 10^{19}eV を下回るとトリガー効率が急激に下がり（SD のトリガー条件は「隣り合う 3 台以上の検出器に粒子数 3 個以上」）、したがって FD のデータしか得られないイベントが多くなっていった。一方、空気シャワーシミュレーションによると、FD 単独単眼での到来方向決定精度は 5° 程度であるが、もし FD のデータに加え、地表に空気シャワー粒子が到達した時刻のデータが検出器 1 台分以上あれば、到来方向決定精度は 1° 以下にできることが示された。また低エネルギーの空気シャワーイベントにおいて、SD のトリガー条件（検出器 3 台以上）が満たされずに SD ではデータ取得できない場合でも、1 台以上の検出器に粒子が入射する確率はほぼ 100% であることもわかった。したがって、FD でしかトリガーされない低エネルギーのイベントにおいても、SD の検出器 1 台以上には必ず粒子データが存在しているので、FD からのトリガー信号を SD に送り、これを外部トリガー命令として SD のデータ収集を行うという「ハイブリッドトリガー」が考案された。このシステムを開発することが本研究の目的である。

まず、FD でトリガーされたイベントについて、それが実際に空気シャワーによるものであるかどうかを判定するためのオンラインフィルタリングプログラムが開発された。SD のデータ収集レートは $\sim 0.17\text{Hz}$ が限界であり（実際の空気シャワーイベントレートはこれよりも1桁以上小さい）、FD からの SD データ収集要求はこれを超えない頻度で出される必要がある。ハイブリッドトリガー導入以前の FD データを用いてプログラム開発を行い、シャワーの可能性のあるイベントのみを選別して結果的に SD トリガー要求は 0.01Hz 程度にできることを確認した。また SD 側では FD からの外部トリガー命令を受け取り、また保存すべきデータをバッファから探索・収集するためのウインドウ幅を可変にするためのファームウェア変更が行われた。これらの開発は2010年前半に完了し、2010年9月に実際に TA サイトにおいてインストールとテスト観測を行った。その結果、完全に仕様通りの動作が確認され、2010年10月8日より定常観測が開始された。現在、従来の FD、SD 独立のトリガーに加え、ハイブリッドトリガーによるデータも同時に収集されている。なお SD セルフトリガーと FD からのトリガー命令が両方発生した場合は、SD はこれを検知して SD セルフトリガーのイベントとして処理し、FD からのトリガー命令が来たことはログに残すことで、同じイベントの2重解析などを回避するようになっている。現在のトリガーレートは $\sim 0.005\text{Hz}$ であり、これは宇宙線のエネルギースペクトラムから期待される値にほぼ等しい。またハイブリッドトリガーイベントのデータ解析も進められており、解析されたイベントの到来方向分布、エネルギー分布はモンテカルロシミュレーションから期待されるものとよく一致しており、これを用いてエネルギースペクトルを算出する準備を進められている。

本研究の成果は、2010年12月に名古屋で行われた国際シンポジウム“International Symposium on the Recent Progress in the Ultra-High Energy Cosmic-Ray Observation” (UHECR2010) で報告され、American Institute of Physics より出版されるプロシーディングスに投稿した。また2011年8月に北京で開かれる第32回宇宙線国際会議においても講演する予定である。

整理番号 D03