

## 令和 4 年度 (2022) 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：宇宙線研究のためのコンプトンカメラの検討 英文：Design study of a Compton camera for study of cosmic rays
研究代表者	茨城大学・准教授・片桐 秀明
参加研究者	榎本 良治（東京大学宇宙線研究所 准教授）、村石 浩（北里大学医療衛生学部 教授）、加賀谷 美佳（仙台高等専門学校総合工学科 助教）、吉田 龍生（茨城大学理学部 教授）、渡辺 宝（国立がん研究センター東病院放射線技術部 診療放射線技師）、吉田 和生（茨城大学大学院理工学研究科 M2）、塚本 ひかり（北里大学大学院医療系研究科 M1）
研究成果概要	<p>宇宙線起源の問題は、未だ完全には解決していない宇宙物理学上の重要な問題である。フェルミ衛星によって有力な銀河内宇宙線の加速候補天体である超新星残骸（SNR）からのガンマ線（主に<math>&gt;100\text{MeV}</math>）を高感度で測定できるようになり、多数の SNR からガンマ線が発見され、SNR における粒子加速は揺るぎない事実となった。しかし、SNR で加速される粒子が、地球で測定される宇宙線の主要な成分である陽子であるか、それとも電子であるか、という根本的な問題が残されている。この問題を解決するための有力な方法の 1 つとして、宇宙線陽子が星間物質中の原子核を励起した後生ずる脱励起ラインガンマ線（<math>10\text{MeV}</math> 以下）の観測がある。これを捉えてやれば、加速粒子の種類を確実に検証することが可能となる。<math>2\text{MeV}</math> 以下では元素合成で生成される不安定同位体からの核ガンマ線などの寄与があるため、<math>2\text{MeV}</math> 以上の脱励起ガンマ線の観測が特に重要である。感度を飛躍的に向上させるには、コンプトン散乱の反跳電子の飛跡を検出する反跳電子検出型コンプトンカメラが有力である。いくつかのカメラの開発が進んでいるが、<math>2\text{MeV}\sim 10\text{MeV}</math> の領域では脱励起ガンマ線を検出できる程の感度を得るのは簡単ではない。研究代表者は、安価でかつ数 m の長さまで光信号を伝送でき、容易に大面積で高検出効率の検出器を作れるシンチレーションファイバーを用いる方法を考案した。ファイバーは小さい原子番号の物質から成るためクーロン多重散乱による電子飛跡の歪みが小さく、数 MeV 以上のガンマ線になると反跳電子の飛跡が数 mm 以上となる。よって、ファイバーによって 1mm 以下程度の位置分解能が実現できれば、反跳電子検出型コンプトンカメラとして動作する可能性がある。本課題では GEANT4 シミュレーターを用いて、宇宙線が星間物質を励起させた際に生じるガンマ線を高感度で測定可能なシンチレーションファイバーを用いたアドバンスドコンプトンカメラの実現可能性の検討を行っている。さらに、科研費などを用いて試作機を制作し、シミュレーションと比較した実証を進めている。</p>

2022年度は具体的には以下のようなことを行った。

- イメージンテンシファイアを撮像する CMOS カメラに入力するトリガー信号を生成するための MPPC アレイ実装基板を設計・製作した。
- 信号読み出しモジュール EASIROC の TDC 機能を有効にする専用のファームウェアを導入し、MPPC アレイのチャンネル毎に 1ns の精度で信号到来時間を測定できることを実証した。
- これまで開発してきたコンポーネントを組み合わせ、X 方向および Y 方向の MPPC アレイから

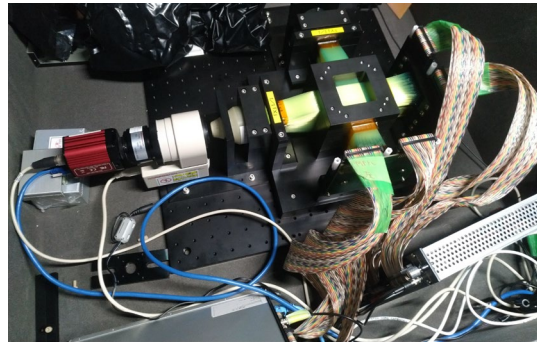


図1 ファイバー検出器、開発した MPPC アレイ実装基板、EASIROC モジュール、イメージンテンシファイア、CMOS カメラを組み上げた同期システム。

の信号を同時計数して CMOS カメラのトリガーを生成し、実際に環境放射線のイメージンテンシファイアの像を取得した (図 2)。まだ、イメージンテンシファイアの露光時間の最適化などができていないため、バックグラウンドイベントにより発生する光が重なっているが、環境ミュオン事象と思われる飛跡が見えてきた。現在、Geant 4 ライブラリを用いた検出器シミュレーターおよびオフライン解析プログラムを開発している。

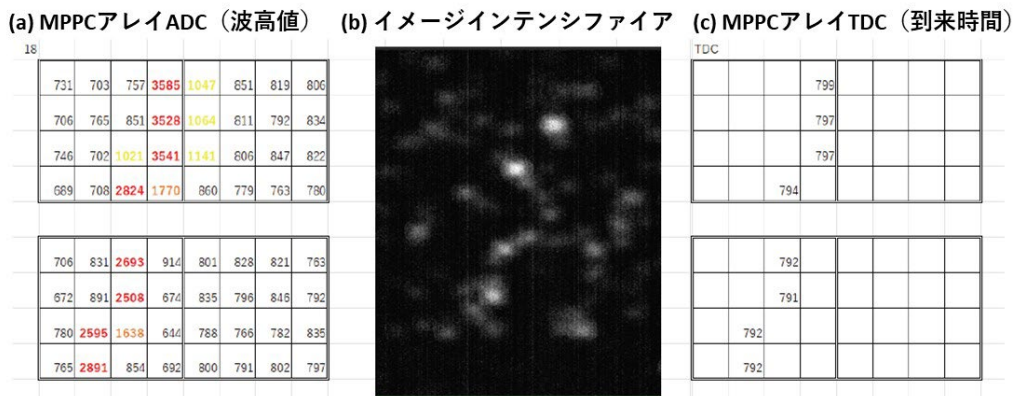


図2 環境放射線の測定により得られたイメージ (a) MPPC アレイによる光の波高値 (b) イメージンテンシファイアの光を CMOS カメラで撮像したもの (c) MPPC アレイによる光信号のうち、しきい値電圧を超えた信号の到来時間のピクセル分布。