

2019(令和元)年度 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 准教授）、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）、柳田 昭平（茨城大学 名誉教授）、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）、成田 尚史（茨城大学大学院理工学研究科 M2）、君島 凌（茨城大学大学院理工学研究科 M2）、加藤 凌（茨城大学大学院理工学研究科 M2）

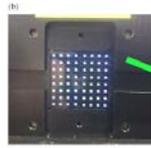
研究成果概要

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 $>100\text{MeV}$ ）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に生ずる脱励起ラインガンマ線（ 10MeV 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。 2MeV 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、 2MeV 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アドバンスド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、 $2\text{MeV}\sim 10\text{MeV}$ 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サブ mm 程度の位置分解能が実現できれば、アドバンスドコンプトンカメラとして動作する可能性がある。さらに、大型化できる利点を生かして 3 回以上コンプトン散乱をさせれば、重い吸収体がなくても入射エネルギーと到来方向の推定ができる。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。

2019 年度は、まず（1）昨年度制作した X, Y に交差する 1mm 角 のファイバー 8×8

• 検出器1号機

- 1年前、学内予算で科研費以前に作ったもの。



MPPC読み出し
1mm角ファイバー
8x8

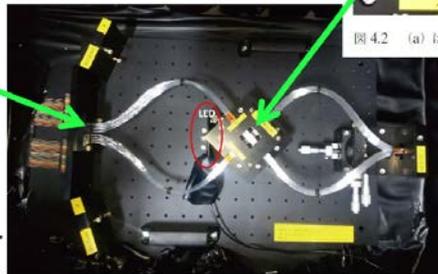


図 4.2 (a) は検出部の拡大図、

FOPを挟めば、I.I.読み出しも可能

図 1 ファイバー検出器の試作 1 号機。

本でできた 64 チャンネル MPPC 読み出しの小型プロトタイプ 1 号機 (図 1) の動作試験を行った。LED を用いた MPPC の 1 光電子測定による ADC・光電子変換係数の導出および field-flattening を行い、さらに EASIROC のトリガーロジックを X, Y の同時計数に修正したうえで、宇宙線ミュオンのデータを取得し、ミュオン候補事象の飛跡を検出できた (図 2)。今後、詳細解析を進めるとともに、CsI(Tl)シンチレータと組み合わせたコンプトンカメラシステムの制作を行う予定である。(2) 科研費でプロトタイプ 2 号機の開発を行っている。2 号機は 3 回以上コンプトン散乱した場合のエネルギー・到来方向の再構成の検証を主目的とするため、1 号機より大きなサイズとなる。サイズは予算による制限があるため、宇宙線研究所の大型計算機システムを用いたシミュレーションによって実験室における現実的な測定での検証が可能かどうか評価しつつ設計を進めている。また、以下のような 2 号機制作に向けた開発も進めている。(2-1) 電子飛跡イメージングの主検出器であるファイバー、イメージンシファイア、イメージンシファイアの像を撮像する CMOS カメラおよび両者を接合するファイバーオプティクスプレートを選定・設計し購入した。(2-2) EASIROC 信号読み出しモジュールの ASIC は正の信号入力に対応するため、MAPMT を読み出すには信号反転が必要だが、ロスや歪みが少ないチップトランスを選定し、多チャンネル信号反転基板を実際に作成した。(2-3) 昨年度設計したトリガーに用いる MAPMT やプリアンプに使える低ノイズ電源を制作した。レギュレーターの発熱によって高温になることが懸念されたが、試験により規格温度範囲内に収まっており、電源として安定に使用できることが確認できた。

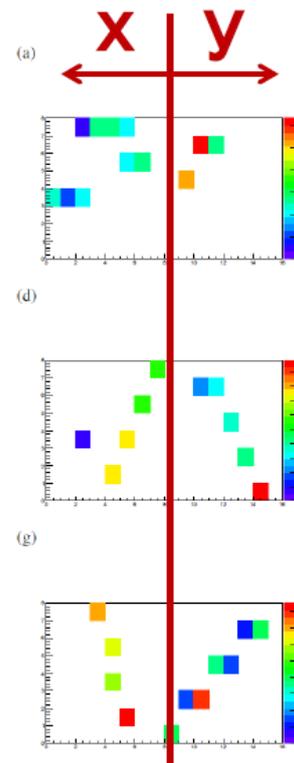


図 2 試作 1 号機によるミュオン候補事象のイメージ。左が X 方向、右が Y 方向の読み出し。X, Y を交互に重ねているため、各方向では 1 層毎に空白があることに注意。