

平成 30 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）近藤 亮太郎（北里大学大学院医療系研究科 M2）成田 尚史（茨城大学大学院理工学研究科 M1）、君島 凌（茨城大学大学院理工学研究科 M1）、加藤 凌（茨城大学大学院理工学研究科 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。2008年から観測運用を続けてい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ト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固体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、アドバンストコンプトンカメラとして動作する。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トコンプトンカメラの実現可能性の検討を行っている。</p> <p>平成 30 年度は、引き続き宇宙線研究所の大型計算機システムを使わせて頂き、ガンマ</p>

線ファイバーを構成する材質であるポリスチレン中に入射するシミュレーションを行った。特に本年度は、エネルギーおよび到来方向の再構成が可能な3回以上コンプトン散乱を起こすガンマ線事象に対する検出効率の物質厚、エネルギー依存性(2-10MeV)を評価した。図1は1イベント中のコンプトン散乱回数の分布、図2は検出効率の一例である。数10cmあれば十分な検出効率を得られ、10cm厚でも10%程度の効率があり、実験室レベルでの検証も可能であることが分かった。さらに、3回以上のコンプトン散乱事象を実際を選び出してエネルギー、到来方向の再構成を行った。入射エネルギー、到来方向を良く再現できており、再構成の基本的な原理を実証することができた。

また、宇宙線研究所の資源は用いていないが実験的には以下のR&Dを継続中である。

(1) X, Yに交差する1mmφのファイバー8×8本でできた小型プロトタイプを設計、製作した。(2) プロトタイプの信号読み出しのために64ch MPPCアレイ、MAPMT、およびASICの増幅および読み出しを行うEASIROCモジュールを入手。MPPCアレイとモジュール間の接続基板、コネクタの準備も進めている。(3) EASIROC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、チップトランスを用いて信号反転しEASIROCモジュールでスペクトルを読み出せることを確認した。(4) 将来的な多チャンネル化に向けて、浜松ホトニクスからイメージンテンシファイアを借用して読み出しのテストを準備している。(5) イメージンテンシファイアの画像を読み出すカメラに対するトリガー回路を開発中。トリガーに用いるPMTやプリアンプに使える低ノイズ電源の設計、チップICによるNIM-LVCMOS変換基盤の試作などを行っている。

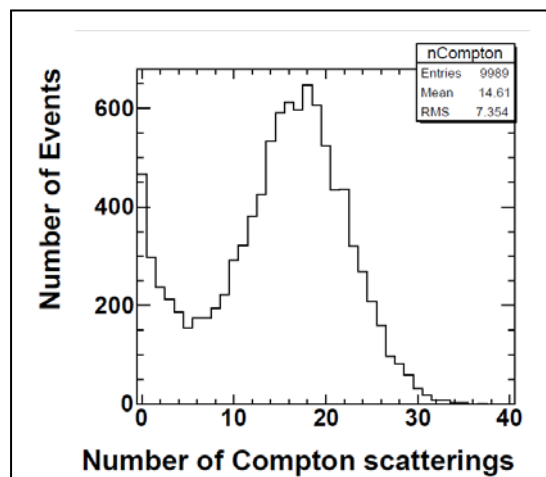


図1 4MeVのガンマ線を上方から1mのポリスチレン中に入射したときの、入射粒子のコンプトン散乱回数の分布。

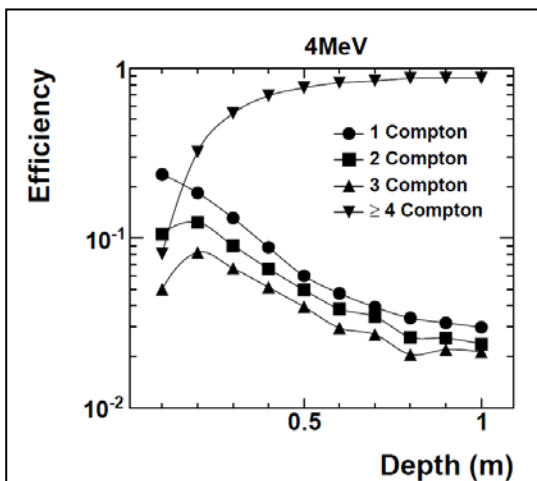


図2 4MeVのガンマ線に対するポリスチレン中の反応確率。横軸はポリスチレンの厚み。コンプトン散乱回数による依存性を異なるプロットで示した。