

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：3次元シリコン半導体検出器を用いた電子飛跡コンプトンカメラの開発

英文：Development of an advanced Compton camera using SOI pixel semiconductor

研究代表者 仙台高専 総合工学科・助教・加賀谷 美佳

参加研究者 片桐 秀明（茨城大学理学部・准教授）、東城 直美（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・M1）、新井 康夫（高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・教授）、鶴 剛（京都大学大学院理工学研究科・教授）、武田 彩希（宮崎大学工学部・助教）

研究成果概要

Sub-MeV ラインガンマ線の観測は、超新星残骸における元素合成プロセスの解明や、宇宙線の起源の解明、暗黒物質探査など様々な高エネルギー天体現象を明らかにするためのプローブとなる。しかし、sub-MeV ガンマ線領域における観測や観測技術は、他の波長に比べて遅れている。このエネルギー帯の観測にはコンプトンカメラが適しているが、バックグラウンドガンマ線の多さが問題であった。それを解決するために、電子の反跳方向を利用する手法がある。コンプトン散乱を起こす際にはじき出される電子の飛跡を捉えることで、ガンマ線の到来方向を一意に決めることができるため、円環を重ね合わせて到来方向を決定する従来のコンプトンカメラと比べてバックグラウンドを減らすことが可能である。これまで、ガス検出器を用いたコンプトンカメラが開発されてきたが、ラインガンマ線観測のためには、エネルギー分解能や感度を改善する必要がある。そこで本研究では、シリコンピクセル半導体（SOIPIX）に着目し、散乱部に固体の半導体を用いることにより、ラインガンマ線検出に最適な電子飛跡コンプトンカメラの開発を行っている。先行研究では、662 keV や 1MeV 以上のガンマ線による電子飛跡の検出は行われていたが、宇宙観測で重要な 511 keV のガンマ線については、測定が行われていなかった。そのため、平成 30 年度では、511 keV ガンマ線のコンプトン散乱による電子飛跡を捉えられるかというところに焦点をあて、プロトタイプの開発および原理実証の測定試験を行い、シミュレーションの結果と比較した。

まず、プロトタイプ検出器の開発について、コンプトンカメラは一般に散乱部と吸収部の 2 つの検出部から構成される。散乱部には、SOIPIX の中でも、京都大学で開発された 30 μm ピッチの X 線観測用のシリコンピクセル半導体検出器（XRPIX2b）を採用し、吸収部には 1 cm 角の CsI(Tl) 結晶シンチレータを採用して散乱部と吸収部の同期システムを開発した。511 keV ガンマ線が散乱層でコンプトン散乱し、ほぼ同時に吸収層で吸収された同時計数イベントを取得し、その際に散乱層ではじき出された電子飛跡を捉える。今回の測定試験では、ガンマ線の散乱方向が 90 度となるように検出器と線

源を配置し、長い電子飛跡が得られる条件で測定を行った（511 keV のガンマ線が 90 度散乱した場合に予想される電子飛跡の飛程は数百 μm 程度）。図 1 に開発したプロトタイプ検出器および測定試験でのセットアップを示す。オフライン解析プログラムでは、反応したピクセルの数やエネルギーによる選別などによって偶発事象を除き、反応したピクセルのデータを用いて電子の飛び出した方向を推定するプログラムを開発した。また、宇宙線研究所の大型計算機システムを利用し、シミュレータ（Geant4）を用いて、シミュレーションと実証試験の結果を比較した。図 2 に実測とシミュレーションで得た電子飛跡のイメージと、飛跡から推測した電子の反跳方向を示す。その結果、電子飛跡のイメージおよび電子の反跳方向が実測とシミュレーションと一致していることを確認できた。このことから、今回開発したプロトタイプ検出器によって、511 keV ガンマ線がコンプトン散乱を起こした際の電子飛跡の検出に成功し、基本的な原理実証試験を達成できたと言える。

今後も引き続き、様々な散乱角での飛跡の検出について、実測とシミュレーションで検証する。また今後、電子の反跳方向を利用してガンマ線の到来方向を再構成する手法を確立し、従来の再構成手法と比較して、電子飛跡コンプトンカメラとしての性能評価（角度分解能、感度、バックグラウンドガンマ線の分布の比較）を行う。さらに、宇宙線研究所の資源は用いないが、吸収部を CdTe などの半導体検出器に置き換え、エネルギー分解能および角度分解能の向上を目指し、吸収部の開発や性能評価試験を継続している。最終的には、実用化に向けて、散乱部の素子についても独自に設計を行い、ラインガンマ線検出器に特化したコンプトンカメラの開発を行う。

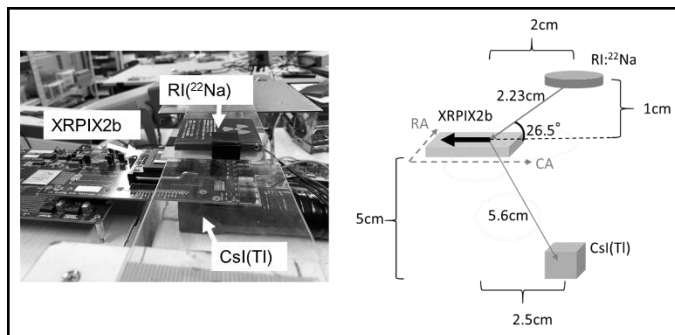


図 1: プロトタイプおよび測定試験のセットアップ

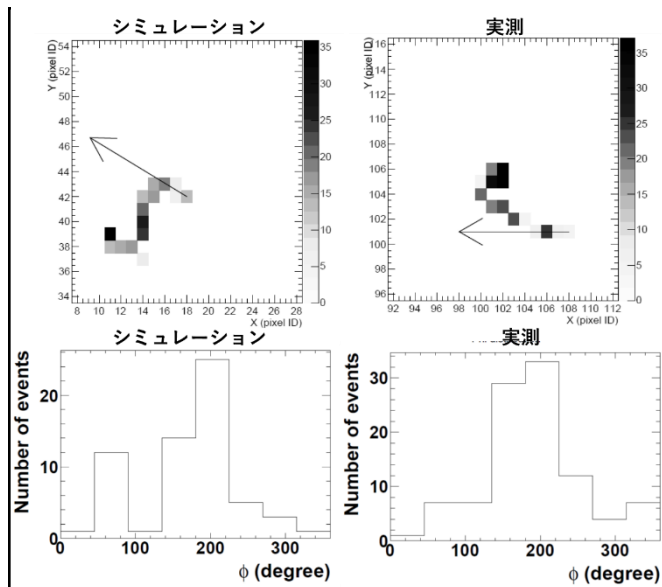


図 2: シミュレーションおよび実測で得られた電子飛跡のイメージとで推測される反跳方向の分布