

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：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

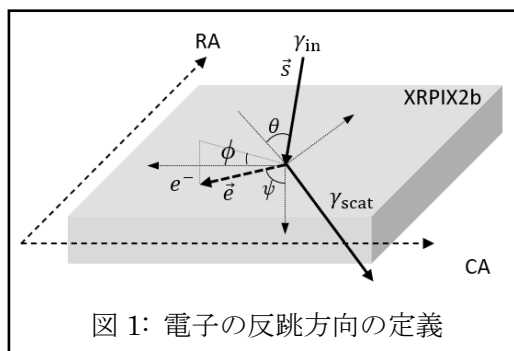
研究代表者 仙台高等専門学校 総合工学科・助教・加賀谷 美佳

参加研究者 片桐 秀明 (茨城大学理学部・准教授)、加藤 凌(茨城大学大学院理工学研究科・M2)、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・特別教授)、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 および MeV 領域の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。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から他のエネルギー帯と比較して観測や観測技術の開発が遅れているというのが現状である。この問題を解決するために、入射ガンマ線が検出器で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、従来のコンプトンカメラよりバックグラウンドを低減させることが可能である。本研究では、シリコンピクセル半導体検出器 (SOIPIX) に着目し、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。ピクセル半導体検出器の電子飛跡の検出能力を評価するために、京都大学で X 線観測用に開発された XRPIX2b のピクセル半導体検出器および 3.5 cm 角の CsI (TI) 結晶シンチレータを組み合わせたプロトタイプコンプトンカメラを開発し、511 keV のガンマ線の線源を用いて実測試験を行った。

2019 年度では、様々な方向に電子飛跡が反跳するように条件を変え、コンプトン散乱を起こした際の電子飛跡の検出性能を評価した。シミュレーションは宇宙線研究所の大型計算機システムを利用させていただき、Geant4 シミュレータを利用した。図 1 に示すように、散乱角度 (θ)、素子表面の反跳角度(ϕ)、深さ方向の反跳角度(ψ)を変え、様々な方向に電子飛跡が反跳した場合を想定し、電子飛跡の反跳方向の推定結果をシミュレーションと実測試験と比較した。反跳方向の推定は、まず、最もエネルギーデポジションの大きいピクセルの位置をブラッグピークとし、そこから最も離れたピクセルを反応点 (電子飛跡の始点) とする。次に、反応点と隣り合った 8 つの各ピクセルのエネルギー



の大きさの割合を重みづけして、反跳方向のベクトルを決定する。

さらに 2019 年度では、解析プログラムを改良し、ガンマ線によって発生した電子が半導体検出器の電極に到達するまでに生じる電子雲の拡散の影響を考慮して電子飛跡のイメージを作成した。具体的には、シミュレーションで得られた反応点の深さから拡散量を計算し、それに基づいて電子飛跡のイメージを平滑化している。平滑化導入前はシミュレーションの方が実測よりもピークの幅が狭く、実測と差があったが (図 2 上)、電子の拡散を考慮して平滑化を導入することで、実測との差が改善された (図 2 下)。

次に、この解析プログラムを用いて、様々な条件での反跳方向の分布について比較した。例として、散乱角を変更した際の結果を図 3 に示す。この結果では、シミュレーションと実測反跳方向の推定結果が一致しており、実測でも電子飛跡の散乱角の違いが捉えられていることが確認できた。散乱角 90° の場合、ガンマ線が電子に与えるエネルギーが最も大きく、飛跡の長さも長くなり、反跳方向を推定しやすいため、分布の広がりにその様子が現れている。本研究で用いた XRPIX2b では散乱角 45° 程度までは反跳方向を推定可能であることを明らかにした。この他に、素子表面での反跳角度 (ϕ)、深さ方向の角度 (ψ) による違いについても調査を行った。 ϕ 方向については約 30° の違いは識別できることを明らかにした。 ψ 方向については、現状では素子が単層であるため、飛跡のイメージから深さ方向の角度を推定することは難しいという結論に至った。

今後は、これらの評価をもとに、ピクセルサイズの検討や、深さ方向の分解能を向上させるための素子設計について検討し、コンプトンカメラに適したピクセル半導体検出器およびそれを用いたコンプトンカメラの開発を行う。

