

令和 3 年度 (2021) 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），鶴剛（京都大学大学院理学研究科・教授），田中孝明（甲南大学理工学部・准教授），武田彩希（宮崎大学工学部・准教授），島添健次（東京大学大学院工学研究科・特任准教授），張瀾（東京大学大学院工学研究科・大学院生），上ノ町水紀（理化学研究所・研究員）
研究成果概要	<p>Sub-MeV および MeV 領域のラインガンマ線の観測は、超新星爆発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では、バックグラウンドガンマ線の多さが問題となっており、バックグラウンドを低減させ、高い感度を実現することが観測装置開発の大きな目標となっている。本研究では、エネルギー分解能に優れたピクセル半導体検出器(SOIPPIX)を利用し、電子飛跡を検出するタイプのコンプトンカメラを用いてバックグラウンドの低減を図る。</p> <p>装置開発および評価試験と並行し、Geant4 シミュレーションを用いて解析の開発も行ってきた。2021 年度では、これまで評価してきた電子飛跡の検出性能に加え、バックプロジェクション法を用いた画像再構成により、ガンマ線の到来方向を推定し、現状のコンプトンカメラの性能について評価を行った。図 1 は同じデータを古典コンプトンカメラの方法で再構成した場合(a)と電子の反跳方向の情報を用いて電子飛跡コンプトンカメラとして再構成した場合(b)の再構成画像である。古典コンプトンカメラはコンプトン運動学で得られた散乱角 θ のコンプトンコーン（リング形状）を重ねることでガンマ線の到来方向が得られる。現在のプロトタイプ検出器では 1 つの散乱層と 1 つの吸収層の組合せであるため、古典コンプトンカメラで再構成した画像はほぼリングの形状のままであり線源位置を確定するのが難しい。一方で、電子の反跳方向を利用した場合、コンプトン運動学からガンマ線の到来方向をイベント毎に 1 点に決めることができるため、散乱層と吸収層が 1 つずつの場合でも線源の位置を 1 箇所に特定することができる。(c)は(b)を拡大したもので、線源位置は(57.1° , -0.5°)の位置であった。これは測定セットアップの線源の位置 (63.5° , 0°) とほぼ一致しており、正しい位置に再構成できていることができた。</p> <p>再構成したガンマ線画像から角度分解能を評価した。電子飛跡検出型コンプトンカメ</p>

ラでは、Angular Resolution Measure (ARM) と Scatter Plane Deviation (SPD) の 2 つの成分で評価することができる。例えば、511 keV のガンマ線が散乱角 90° で散乱し、電子が素子の検出面に沿って走る場合のデータでの ARM と SPD はそれぞれ 15° と 60° であった。散乱角やガンマ線のエネルギー、電子の反跳方向によって変化するため、最終的なプロトタイプが完成した段階で、ARM および SPD を評価する必要がある。

図 2 は線源の位置を変え、格子状のピクセルに対して様々な方向に電子が反跳することを想定したセットアップでの測定を行い、測定データを解析して得たガンマ線の再構成画像である。ピクセルに対して斜め方向に電子が反跳する場合、線源の位置は特定できているものの、両端に虚像が生じていることがわかる。これを解消するためには、電子飛跡の反跳方向の推定精度が向上する必要がある。例えば、機械学習を用いた反跳方向の推定など、解析手法を変更することが可能であるため、今後の共同利用を活用してこれらの手法も試してみたいと考えている。また、現在電子飛跡検出型コンプトンカメラに最適なピクセル半導体検出器の開発を行っているため、飛跡検出の精度を向上可能な素子の形状やサイズ等も Geant4 シミュレーションを用いて評価したいと考えており、今後の共同利用も効果的に利用し、素子の構想やコンプトンカメラの評価を行っていく予定である。

2021 年度では国際会議 (IEEE NSS MIC RTSD 2021) および日本物理学会の年次大会での発表を行い、現在これらの成果について論文投稿の準備を進めている。また、2022 年度では科研費の基盤 B に採択されたため、電子飛跡検出型コンプトンカメラに特化した SOI ピクセル半導体検出器の開発を進めていく。

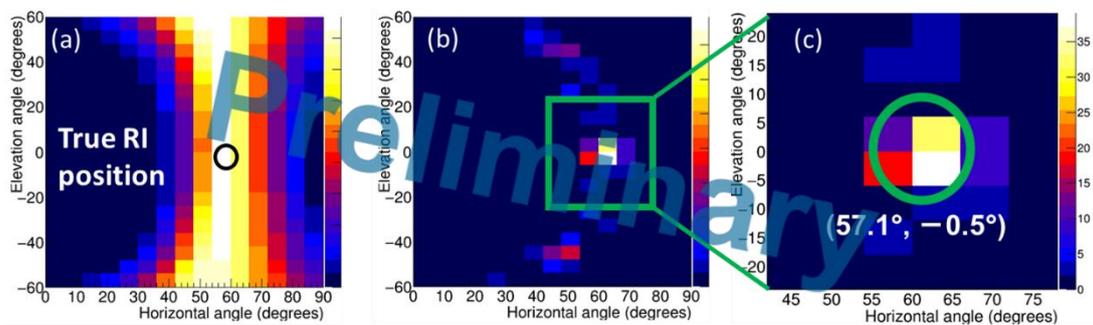


図 1 : 古典コンプトンカメラと電子飛跡コンプトンカメラの比較

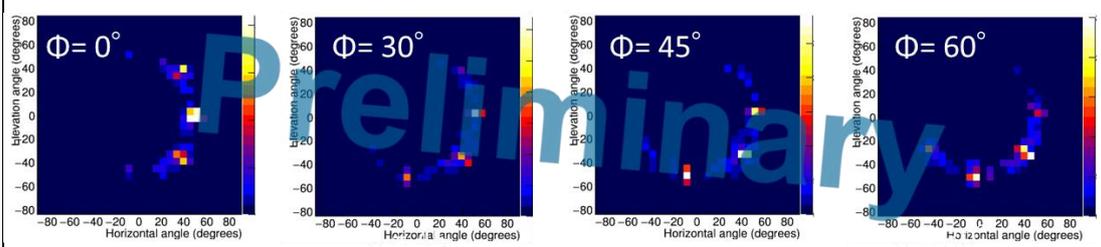


図 2 : 線源位置を変化させた場合の再構成画像