

学位申請論文公開講演会

日時：2026年8月4日(火) 14:30~

申請者：大熊 佳吾 (Uxg 研)

場所：物理会議室 (C207) およびハイブリッド

接続先の問い合わせ先：中澤知洋 nakazawa@u.phys.nagoya-u.ac.jp

題目：Arcminute-Scale Imaging for MeV Astronomy using a Narrow Field-of-View Compton Telescope with a High Aspect Ratio Coded Mask

(狭視野コンプトン望遠鏡と高アスペクト比符号化マスクを用いた MeV ガンマ線天文学に向けた分角イメージングの実証)

主論文の要旨

MeV ガンマ線宇宙観測は、元素合成や粒子加速といった高エネルギー天体現象の理解に不可欠である。しかし、その観測感度は他の波長帯に比べて著しく劣っており、いわゆる「MeV 感度ギャップ」が存在する。2027年打ち上げ予定の MeV 観測衛星 COSI は従来より 1 桁高い感度で全天観測を実施するが、その角分解能は従来と同程度にとどまる。将来の MeV ミッションによる感度向上により観測対象が増加するにつれ、複数天体の重なりが観測感度を制限する要因となる。

この感度制限の主要な要因は、MeV 帯域で有効な観測手段であるコンプトン望遠鏡の角分解能が量子論的な不定性に $\sim 1\text{--}4$ 度に制限される点にある。一方で、符号化マスクは幾何学的原理により高い角分解能を実現できるが、MeV 領域では遮蔽率確保のためにマスクが厚くなり、広視野観測では開口サイズが制約される。これに対し本研究は、狭視野コンプトン望遠鏡と厚くて小開口の高アスペクト比符号化マスクを組み合わせた新しい検出器概念 Soft Gamma-ray Imager (SGI) を提案し、その実現に向けた技術的課題の検証を目的とする。

SGI の検証のため、概念実証機 miniSGD を開発した。miniSGD は、Si および CdTe 半導体両面ストリップ検出器からなるコンプトン望遠鏡に加え、BGO シンチレータを用いたアクティブシールドとタングステン製高アスペクト比符号化マスクを備える。本研究では、(1) アクティブシールドを用いた狭視野構成、(2) 厚い CdTe 検出器の性能劣化を防ぐ相互作用深さ測定、(3) MeV ガンマ線の符号化マスク撮像、(4) 電子飛跡追跡による高エネルギーガンマ線イベントの利用率向上、の 4 つの要素技術について検討および実証を行った。

CdTe 両面ストリップ検出器に対してデータ駆動型の相互作用深さ推定手法を構築し、約 $250\text{ }\mu\text{m}$ の深さ分解能を実現した。これにより、コンプトン再構成において 356 keV で角分解能 3.2 度が得られ、量子論的広がりによる制限に近い性能に到達するとともに、イベント選別の精度向上が確認された。コンプトン再構成されたイベントに対して符号化マスク撮像を適用し、 511 keV において線源サイズの影響を考慮した内因的な角分解能 17.3 分角が得られた。 1275 keV では有意な撮像ができる精度には達しなかったが、線源位置を既知とした統計解析では信号を有意に検出した。このとき通常のコンプトン再構成に比べ、電子飛跡情報を用いた再構成では背景起源と区別される事象分布が得られ、マスク撮像精度が、再構成イベントの純度に強く依存することが示された。

以上の結果から、MeV 帯域において分角スケール撮像が可能である条件と、その制限要因としてマスク変調効率およびイベント純度が重要な要因であることが示された。本研究は、符号化マスクと高精度コンプトン再構成を組み合わせた観測手法により高角分解能 MeV ガンマ線観測に向けた設計指針を与えるものである。