

修士論文概要書

Master's Thesis Summary

Date of submission: 01 / 07 / 2026

専攻名(専門分野) Department	物理学及応用物理学 専攻	氏名 Name	高橋 慎太郎	指導 教員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用 物理学研究	学籍番号 Student ID number	5323A037 - 1		
研究題目 Title	広帯域 X 線ガンマ線イメージングに向けたアクティブコード化マスクの提案と基礎評価				

【研究背景・目的】

数十 keV から数 MeV にわたる X 線・ガンマ線帯域は、さまざまな核ガンマ線が含まれる帯域であり、天体物理学においては重元素合成などの解明に重要な役割を果たすことが期待されている。また、同帯域の放射線は、医療分野では核医学診断などに用いられており、幅広い領域においてその役割が期待されている。

このエネルギー帯域では集光光学系の適用が困難であるため、放射線と物質との相互作用を利用した可視化手法が用いられてきた。用途や要求性能に応じて複数の撮像手法が使い分けられてきたが、感度やエネルギー帯域の制約から、単一の撮像装置で広帯域を高感度に撮像することは容易ではない。

近年、マスク自体を検出器として用いるアクティブコード化マスク(以下 ACM)が提案されているが、その撮像性能やアーチファクト挙動については、広帯域にわたる体系的な評価が十分ではない。本研究では、ACM の基礎的性能を定量的に評価することを目的とする。

【アクティブコード化マスクの概要】

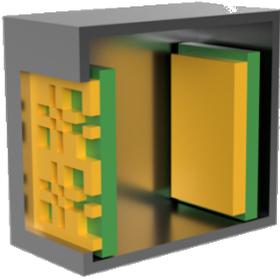


図 1. ACM の構成

本研究で用いた ACM は、前段に配置したアクティブ検出器をコード化マスクとして用い、後段の主検出器と組み合わせた構造を持つ(図 1)。前段および後段は、GAGG シンチレータアレイと MPPC を組み合わせたシンチレーション検出器を用いており、後述する Geant4 シミュレーションにおいても MPPC を物体として配置し、散乱などの影響を考慮している。本研究で作成した装置は、低エネルギー領域(<300keV)ではコード化マスク(CA)モードとして、中・高エネルギー領域(>300keV)ではコンプトン(CC)モードとして動作する。また、CA モードにおける視野の拡大と MURA マスクに起因する周期的アーチファクトの抑制を目的として、Geant4 シミュレーション上でサイド検出器を導入し、その効果を検証した。

【ACM 画像再構成】

CA モードではマスクパターンとの畳み込み演算および MLEM を用いて画像再構成を行い、CC モードでは MLEM

を用いた再構成を行った。サイド検出器を含む構成に対しては、後段検出器とサイド検出器を連続した 1 つの検出器として扱い、MLEM により再構成を行う手法を新たに導入した。

【Geant4 シミュレーションによる性能評価】

シミュレーションによる性能評価では、50keV から 2MeV のエネルギー範囲における固有効率と角度分解能のエネルギー応答評価や、各エネルギー帯における CA/CC モードの角度応答を評価した。また、連続スペクトルを持つ天体を想定し、かに星雲と同様のスペクトルを持つ点源についてイメージングシミュレーションを実施した(図 2)。

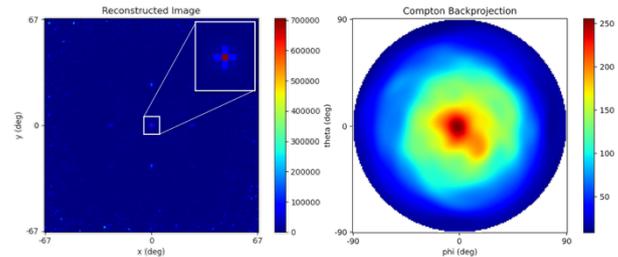


図 2. かに星雲を模した点源のシミュレーション (左: CA モード、右: CC モード)

【実機によるイメージング実証実験】

実機での実証実験では、Am-241 と Cs-137 の 2 線源同時撮影(図 3)をはじめとした原理実証を行なった。2 線源同時撮影においては、Am-241 は 60keV、Cs-137 は 662keV を用いて再構成を実施した。

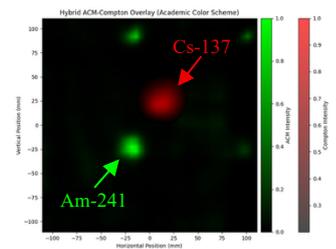


図 3. 二線源同時撮影の再構成画像

【結論と今後の展望】

本研究により、ACM を用いた広帯域 X 線・ガンマ線イメージングにおける撮像特性とアーチファクト挙動が定量的に整理され、側面検出器の併用によるアーチファクト抑制の可能性が示された。

これらの結果は、広帯域 X 線・ガンマ線撮像において要求性能や観測条件に応じた撮像手法を選択する際、ACM の特性評価の基盤となり、今後の撮像系設計における技術選択の議論に寄与することが期待される。

【研究業績リスト】

- (1) S. Takahashi et al. “符号化開口を用いたガンマ線カメラの距離推定手法の開発”, 第 72 回応用物理学会(春季), 2025 年 3 月