

卒業論文概要書

Graduation Thesis Summary

Date of submission: 01 / 26 /2026 (MM/DD/YYYY)

所属学科 Department	応用物理学科	氏名 Name	児島 蒼一郎	学籍番号 Student ID number	1Y22B037
研究題目 Title	小型衛星搭載 X 線ガンマ線カメラ INSPIRE の軌道観測シミュレーション			指導教員 Advisor	片岡 淳

【研究背景・目的】

早稲田大学と東京科学大学では、2027 年の打ち上げを目標に、65 kg 級小型衛星「GRAPHIUM」とその主搭載機器であるコンプトンカメラ「INSPIRE」の開発を進めている。INSPIRE は、ピンホールカメラと BOX 型コンプトンカメラを組み合わせ、30 keV から 3 MeV の広いエネルギー帯域を、一度に全天の 4 分の 1 まで観測できる広視野を有する。現在はフライトモデル (FM) の前段階であるプロトフライトモデル (pFM) の製作と性能評価に加え、振動試験や熱真空試験などの環境耐性試験を進めており、軌道上運用に向けた検証を行っている。これまで、地上試験では放射線源を用いたイメージング性能の評価を行ってきたが、衛星軌道における視野の変化や観測時間分布を考慮したイメージング性能は評価されていなかった。そこで本研究では、GRAPHIUM の軌道条件を考慮したシミュレーションを行い、銀河面サーベイ時に得られる再構成画像を推定した。

【露光マップ】

太陽同期軌道で面内観測を行う場合、観測時間の分布は図 1 のようになる。異なる観測モードによる視野の変化によって、INSPIRE は 2 つの露光マップを有する。ほとんどの銀経において一年間で 10^6 秒以上の観測が見込める結果となった。

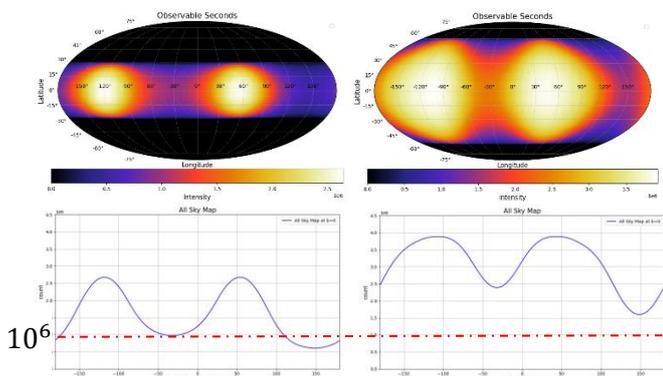


図 1. 露光マップ

左：ピンホールモード 右：コンプトンモード

【軌道上観測シミュレーション】

コンプトンモード (図 1 右) での観測時間分布をとり、観測時間の方向依存性と到来方向ごとの検出器応答を考慮した軌道上観測シミュレーションを実

施した。模擬した天体は Crab Nebula, Cygnus X-1, Vela と 511 keV の電子陽電子対消滅線である。バックグラウンドに CXB (宇宙背景 X 線放射) と Albedo ガンマ線 (地球大気散乱ガンマ線) を用いて再構成画像を推定した。シミュレーションには Geant4 シミュレーションを用い、コンプトンコーン塗り重ねる単純な再構成法で全天マップを作成した。

その結果、バックグラウンド成分が支配的となる状況下でも Crab は単純な再構成法を用いだけで明瞭に検出されることが確認された (図 2)。また、イベントの全エネルギーを 511keV 周辺に限定し、全体をバックグラウンドで除算することで、銀河中心方向に集中する電子・陽電子対消滅線成分や Cygnus X-1 が明瞭に再構成された。これはエネルギー選別による構成成分の分離が可能であることを示す結果である (図 3)。以上より、単純な画像再構成であっても、主な観測対象が検出可能であることが示され、INSPIRE の全天イメージング性能が確認された。

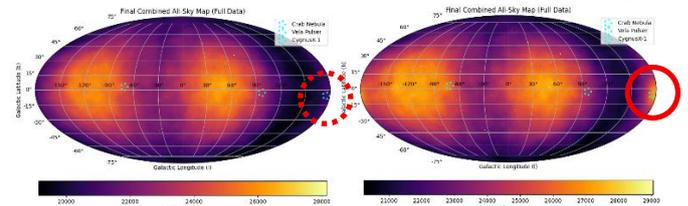


図 2. 観測シミュレーション結果

左：バックグラウンドのみの場合 右：全て考慮した場合

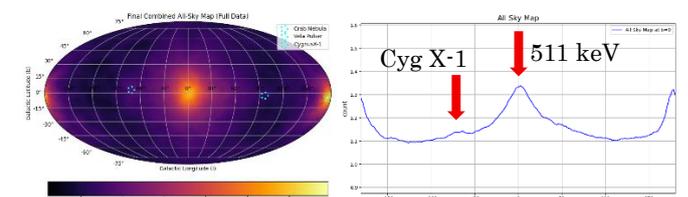


図 3. エネルギーカット及び BKG 除算後

【まとめと今後の展望】

本研究で示されたように、INSPIRE は生データに相当する単純な再構成のみで天体や電子陽電子対消滅線を検出可能であり、本衛星の観測性能には十分な余裕がある。今後、応答関数に基づく尤度推定など、高度な再構成法を導入することで、MeV 帯における微細な宇宙構造のイメージングが実現可能であると考えられる。