

(別紙様式16-2)

太陽観測ロケット FOXSI-4 搭載 X線望遠鏡の  
詳細地上較正試験のためのNASA/GSFC 滞在  
Visit to NASA/GSFC for ground calibration tests  
of X-ray telescopes onboard a solar sounding rocket FOXSI-4

作田 皓基, 名古屋大学大学院・理学研究科

本出張は, ISEE 若手国際派遣支援プログラムの支援を受け, Focusing Optics X-ray Solar Imager: FOXSI の4回目の打ち上げであるFOXSI-4ロケットに搭載されたX線望遠鏡の地上較正試験を米国 NASA Goddard Space Flight Center にて実施した.

**[背景]**

FOXSI-4 では, 2024 年 4 月に打ち上げと世界初の太陽フレアの軟・硬X線による撮像分光観測に成功した. 本プロジェクトは太陽フレアで解放されたエネルギーの分配を定量化することを目的としている. 太陽フレアは, 宇宙における普遍的な物理を内包する他, 宇宙天気の主役でもあり, 広い分野において, その機構の解明が求められている. その解明には太陽フレアの詳細な空間構造の理解が必須であったため, 我々は高角度分解能宇宙 X 線望遠鏡を開発し, 太陽フレアの詳細観測に大きく貢献した. 一方, その角度分解能の高さから, 非常に高い観測データ較正の精度を求められる. 我々は, 高精度の観測データ較正を実現するために, 打ち上げ後のサンプルに対し, 再度地上較正試験を実施することで, 特に低エネルギー側の X 線に対する応答を調査した. また, 後継機となる FOXSI-5 も採択され, 2025 年 11 月頃の打ち上げを予定している. 本サンプルのリフライトの可否の判断材料としての試験も, 本出張に含められている. また, NASA/GSFC は軟 X 線による大面積照射が可能な数少ない実験施設を所有していることから, 本出張でのNASA/GSFCとの関係の確立は, 我々の開発にとって非常に得るもの大きい. さらに, 我々の開発する望遠鏡は, 現在 NASA へ提案中のオーロラ観測ロケット実験 LAMP2 への搭載を予定していることから, 本試験は太陽観測のみならず, 太陽地球系物理分野への貢献も期待できるものである.

**[試験内容]**

本出張では, NASA 側のアクシデントにより, 実験が4日遅れで始まってしまったものの, 計画していた FOXSI-4 に搭載された軟 X 線観測用望遠鏡 (SXR) と硬 X 線観測用望遠鏡 (HXR) の2 台に加え, FOXSI-5 搭載候補品の性能評価は完遂することができた. 具体的には, アライメントを行った後, 望遠鏡光軸に平行な on-axis 光と望遠鏡光軸に非平行な off-axis 光におけるPSF (Point Spread Function) の調査を1.4 keV (Al-K $\alpha$ ), 4.5 keV (Ti-K $\alpha$ ), 6.4 keV (Fe-K $\alpha$ ), 8.1 keV (Cu-k $\alpha$ )のエネルギーで実施した. 加えて, HXR 入射部に取り付けられた太陽光による加熱を防ぐためのサーマルブランケットの X 線透過率も評価した. 特に, FOXSI-5 搭載候補品については, 5 mm x 5 mm のペンシルビームを用いて望遠鏡開口面積に対して 5 % 程度の局所領域ごとの性能も評価した.

その結果, SXR と HXR について, 打ち上げ後の性能の劣化は確認されず, 後続機のリフライトが性能の観点からは可能であることを確認した. また, それぞれについて, 軟 X 線帯域の応答関数作成が可能となり, 観測データの較正の準備が整った. 検出器側の観測データ較正が完了次第, 科学成果の創出に向けた観測データ解析に取り組む. また, 新たなサンプルについて, その結像性能は 1.5 keV の HPD (Half Power Diameter) で  $\sim 10$  秒角と過去のサンプルを上回る性能であることを確認した. サーマルブランケットの透過率測定の結果は, FOXSIチームで作成された透過率モデルとよく一致することが確認でき, この結果を元に望遠鏡の較正データを作成した. この較正データは, FOXSIの検出器チームに提供しており, 検出器チームの博士論文にも用いられた. さらに, 今回初めて評価項目として露光

時間を大幅に上げることで、中心は検出器がサチュレーションを起こし評価不能になるものの、散乱成分をより高精度に見積もる試験を実施したところ、結像点から <math>1\text{mm}</math> の範囲内で干渉縞が見られた。これは結像性能の劣化の主要因と考えている表面粗さのパターンが見積もることができることを意味する。照射試験の結果から、反射鏡へのフィードバックが得られる新たな試験の確立ができた上、新たなサンプルがこれまでの実績より良い結像性能であることを確認できたため、非常に有意義な出張になったと実感している。

#### [今後の展望]

本出張で、NASA/GSFC のスタッフと議論し、我々の望遠鏡開発に今後も多大なご協力が得られる良好な関係を構築できた。実際に、我々の開発チームは FOXSI-5 搭載候補品の試験を 2025 年 6 月に NASA/GSFC にて試験することを予定している。自身のキャリアを考える上でも、非常に良い経験であった。今後、超小型衛星に向けた開発も進めていきたいと考えており、引き続き NASA/GSFC のスタッフと議論を重ねていきたいと考えている。

#### [最後に]

本出張は、新たに制作したサンプルの用意の遅れにより、FOXSI-4 打上サンプルの発送手続きも間に合わなかったため、サンプルが保管してあった University of California, Berkeley へ直接取りに行かなければならなかったなど、出発前にいくつか問題があり、出張期間の大幅な遅れと渡航内容の変更を申請した。これらの手続きを全て滞りなく進めていただいた高橋早苗氏に感謝申し上げます。また、本出張は開発にとっても私のキャリアにとっても非常に良いものであり、そのような機会を実現してくださった名古屋大学宇宙地球環境研究所国際連携研究センターの若手国際派遣支援プログラム関係者の皆様、受け入れていただいた三好由純教授に感謝申し上げます。

指導教員：三石 郁之 先生

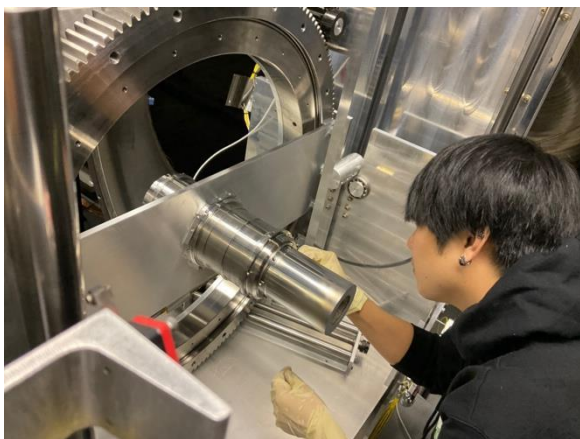


図 1. SXR 取り付けの様子。

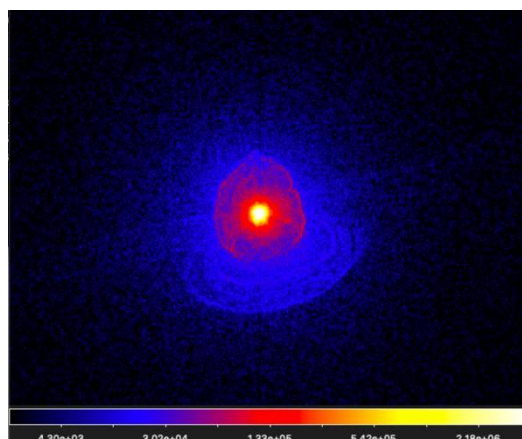


図 2. 新たなサンプルにより得られた結像イメージ