

(別紙様式16-2)

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

作田 皓基、名古屋大学・理学研究科

【目的】

太陽観測ロケット FOXSI-4 搭載 X 線望遠鏡の性能評価試験の実施。

【背景】

太陽は最も身近な天体であるが故に、最も時間的、空間的に詳細な観測をすることが可能である。さらに、磁力線のつながりかえ現象である磁気リコネクションや磁場駆動による粒子加速といった、宇宙空間において普遍的に起こる現象が太陽でも起こっていることが知られている。このことから太陽物理の理解は宇宙物理現象の解明の鍵となる。また、太陽活動は地球磁気圏等と相互作用することで、地球環境やインフラにも影響を及ぼしている。これらのことから、宇宙天気として近年注目されており、地球惑星分野とも密接な関わりを持つ。太陽物理の研究者のみならず、広い分野にわたって多くの研究者の研究対象となっている太陽であるが、未解決問題も多く残している。その中の一つに、太陽コロナ加熱問題がある。これは、太陽の熱源は中心核の核融合反応であるために外層であるほど温度は低下するはずであるにもかかわらず、外層大気で温度が高くなっているという温度の逆転現象を指す。実際に、光球面で 6000 度であるにもかかわらず、外層大気であるコロナは 100 万度として観測されている。この現象を引き起こす一つの説として、ナノフレア説がある。これは、太陽での爆発現象として観測されるフレア現象の中でも、典型的な規模の 10^{-9} 倍程度の小さなフレアが多数生じることにより、太陽コロナが定常的に加熱されている、という説である。その検証を目指したミッションの一つに、太陽観測ロケット実験 FOXSI-4 がある。このミッションでは、太陽フレアのエネルギー解放量の定量化やエネルギーの変換過程を解明することを目標に、世界初の太陽フレアの集光撮像分光観測を 2024 年 4 月に実施する。このフレア観測には、そのフレアが起きている活動領域の空間分解が必須となり、その要求性能は HPD で 10 秒角程度である。HPD (Half Power Diameter) は集光した全光量の 50% が入る円領域の直径を表す。この要求値は現行の X 線天文衛星の角度分解能の性能に迫る値であり、太陽表面において典型的なフレアの大きさに相当する。我々はこの性能を実現するために、地上開発で培われた超高精度電鍍技術に着目し、独自の世界最高感度 X 線光学系製作に着手し、加えて、その支持機構製作や振動耐性評価等を行なっている。今回は評価試験の中でも最も重要な試験である X 線性能評価試験を NASA マーシャルスペースフライトセンター (MSFC) にて行なった。

【共同研究の内容】

本研究では、FOXSI-4 ロケット実験に搭載する X 線望遠鏡の地上較正試験を主目的としている。試験を実施した NASA/MSFC は、100 m のビームラインを保有しており、X 線発生器のターゲットを変えることで、数 keV 程度のエネルギー帯域の X 線を放射できる。X 線宇宙望遠鏡に入射する X 線は遠方からの光源から放射されているために、ほとんど光軸に対し平行な光として入射する。そのため、性能評価では平行光を実現するために長いビームラインが求められる。さらに、数 keV 程度の軟 X 線は散乱の影響が大きいために真空中での試験を必要とする。このような試験セットアップは日本国内には用意されておらず、

本研究でフライトサンプルに対して初めて軟 X 線帯域の性能評価を実施できた。今回評価したフライトサンプルは軟 X 線用望遠鏡と硬 X 線用望遠鏡の 2 台である。外観を図 1 に示す。軟 X 線用望遠鏡には迷光除去機構としてプリコーリメーターと可視光除去機構として OBF (Optical Blocking Filter) が取り付けられている。性能評価項目として、点源に対する感度の指標である FWHM と広がった放射源の構造分解に対する感度の指標である HPD、集光能力の指標である有効面積、またそれらの角度依存の調査を行なった。

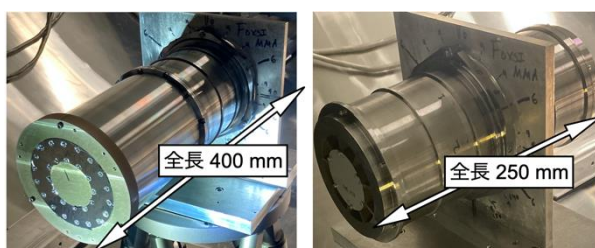


図 1. 軟 X 線用望遠鏡 (左) と硬 X 線用望遠鏡 (右) の外観写真. [1]

【共同研究の結果】

軟 X 線用望遠鏡と硬 X 線用望遠鏡はそれぞれ 4.5 keV (Ti-K) と 8.1 keV (Cu-K) の X 線を用いて性能を評価した。結像性能の結果として、FWHM は両望遠鏡ともに検出器の検出限界で < 5 秒角、HPD は軟 X 線用望遠鏡で 14 秒角、硬 X 線用望遠鏡で 15 秒角が得られた。例として図 2 に、硬 X 線用望遠鏡で得られた結像イメージとそのイメージから作成した PSF (Point Spread Function) と EEF (Encircled Energy Function) を示す。PSF は輝度ピークを中心とした動径カウントプロファイルを、EEF は輝度ピークを中心とした累積動径カウントプロファイルを表している。FWHM では世界最高精度を、HPD では現行の X 線天文衛星の結像性能に迫る結果が得られた。有効面積測定では、軟 X 線望遠鏡では 17.6 mm^2 (@4.51 keV (Ti-K α)), 硬 X 線望遠鏡では 56.2 mm^2 (@8.05 keV (Cu-K α)) が得られた。硬 X 線望遠鏡の結果は光線追跡シミュレーションと整合性がよく取れている。一方で、軟 X 線望遠鏡は計算値より 50 % 程度高くなっており、これはプリコーリメーターの開口部の大きさ (~0.6 mm) と望遠鏡開口部の動径方向厚さ (~0.4 mm) が同程度であることから、開口率の場所依存が大きく影響するためと考えられる。

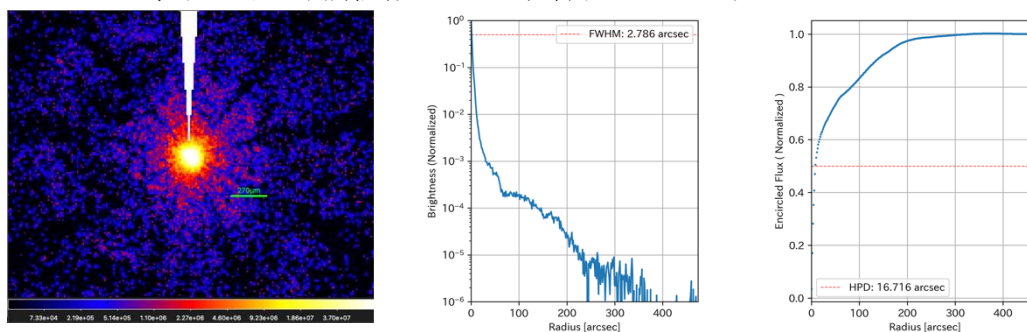


図 2. 硬 X 線用望遠鏡により得られた結像イメージ (左) とそのイメージから取得した PSF (中) と EEF (右). [1]

【今後の展望】

本研究では太陽観測ロケット FOXSI-4 搭載用 X 線望遠鏡の試験を実施したが、我々が開発を進める望遠鏡は本ミッション以外にもオーロラ観測ロケットへの搭載や超小型衛星搭載に向けた開発を進めている最中である。今回得られた結果から、本望遠鏡の性能をモデル化することで応答関数を構築し、本ミッションでの観測データ解析を行う。さらにこの結果を用いて構築したモデルをもとに、他ミッションへのさらなる展開をしていく。

【参考】

[1] 安福千貴 2023 年度 修士論文 “太陽フレア観測ロケット FOXSI-4 搭載電鍍法を用いた高結像性能 X 線望遠鏡の開発” (名古屋大学大学院理学研究科理学専攻)