

多重薄板型 X 線望遠鏡の特性測定と高性能化への展望

名古屋大学大学院 理学研究科
素粒子宇宙物理学専攻 博士課程前期
宇宙物理学研究室 (Ux 研)

内藤 聖貴

Abstract

2005 年打ち上げ予定の X 線天文衛星 Astro-E2 は、2000 年に打ち上げに失敗した Astro-E の再挑戦となる X 線天文衛星で、口径 40cm、焦点距離 4.75m/4.5m の 5 台の X 線望遠鏡 (X-Ray Telescope, XRT) が搭載される。Wolter I 型斜入射光学系を円錐近似した、母線長さ 100mm の極めて薄い ($180\mu\text{m}$) 反射鏡を同心円上に多数並べた多重薄板型で、軽量で開口効率が良く (52%)、大有効面積を実現できる。基本設計は Astro-E と同じであるが、(1) 視野 ($18' @ 4.5\text{keV}$) の外から漏れこんでくる光 (迷光) を低減させるための Pre-Collimator の搭載と、(2) 鏡面基板形状の向上 の二点で大きな改良を施している。

2003 年末までに宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部の 30m X 線ビームラインにおいて、2 台のフライトモデルの地上較正試験を行ったところ、視野外からの迷光成分は約一桁低減していることが確認された。また、結像性能は HPD (Half Power Diameter) で $1.9'$ となり、Astro-E XRT の $2.1'$ より向上していることもわかった。しかし、光学系の設計値である 19 秒角の約 6 倍大きい。200 組にも及ぶ反射鏡の位置決め誤差と、極めて薄くした反射鏡の形状誤差 (反射面の法線ゆらぎ) により結像性能が低下してしまったためである。有効面積に関しても同様で、計算値の 80% 程度でしかない。

この劣化要因を定量的に抑えるために今回、X 線ビームサイズを $50\mu\text{m}$ まで絞り、反射鏡の各部分にくまなく入射させることで、望遠鏡の微細な部分の特性を測定した。その結果、反射鏡の母線方向の形状誤差による結像性能の劣化分を直接測定することができ、Astro-E XRT では 100 秒角程度 (HPD) であった反射鏡単体の結像性能が、Astro-E2 XRT では 50 秒角程度 (HPD) にまで改善されていることがわかった。望遠鏡は円を 4 分割 (Quadrant) した構造をとっているが、Quadrant の両端 (反射鏡の端) の結像性能が特に悪いこともわかった。反射鏡の中央部 (65 度以内) の領域だけに注目すると、反射鏡単体の結像性能は 35 秒角 (HPD) 程度にまで向上する。一方で、反射鏡の位置決め誤差に関してはあまり改善されていないため、望遠鏡全体としての結像性能は $0.2'$ の向上にとどまっている。また、有効面積に関しても、結像性能同様に反射鏡の端で大きく理想値から低下しており、その傾向は反射鏡の間隔が密になる曲率半径の小さいところで大きい。

多重薄板型 X 線望遠鏡は、Astro-E2 の次の計画である NeXT 衛星に搭載される硬 X 線望遠鏡でも採用される予定である。本論文では、Astro-E2 XRT の地上較正試験の測定結果より、現在の多重薄板型 X 線望遠鏡の特性を決める要素を報告し、将来の X 線望遠鏡に向けて高性能化には何が必要か議論する。