

将来の X 線観測に向けた X 線望遠鏡開発

松本浩典、小高裕和、川室太希、住 貴宏、増田 賢人、鈴木 大介
分野横断プロジェクト研究部門 宇宙多波長精密観測プロジェクト

ブラックホールや中性子星などの極限天体の物理学の理解、太陽系外惑星や宇宙生命現象の探索のためには、様々な波長で宇宙を観測する必要がある。宇宙先端観測プロジェクトでは、特に X 線と赤外線での観測を推進するために、観測装置の開発を行っている。本年度は、赤外線観測では、重力マイクロレンズ現象により太陽系外惑星系を発見するための PRIME 計画の望遠鏡開発などを行った。X 線観測では、2023 年 9 月に X 線天文衛星 XRISM が無事に打ち上がった。我々は XRISM 用 X 線 CCD の主たる開発機関であった。現在 XRISM は Performance Verification 期を経て、Announcement of Opportunity 1 期の観測を行っている。

また、我々は偏光観測気球実験 XL-Calibur のための X 線望遠鏡の開発を行った。XL-Calibur 計画とは、15–80 keV の硬 X 線域で高感度な偏光観測を目標とする日米スウェーデンの国際協力気球実験である。この実験では、硬 X 線帯域での高い集光能力を実現するために、焦点距離 12m、口径 45cm、角度分解能 2.0 分角程度の硬 X 線望遠鏡を搭載する。我々はこの硬 X 線望遠鏡の開発を担当している。1 度目のフライト観測が 2022 年 6 月に行われ、約 1 か月のスウェーデンからカナダへのフライト観測ののち、着陸地点のカナダで X 線望遠鏡は無事に回収された。その後、我々は 2023 年 1 月、2023 年 4 月の 2 度にわたり、放射光施設 SPring-8 にて X 線望遠鏡の詳細な性能評価を行った。その結果、望遠鏡の性能には大きな変化がないことを確かめることができた。そして XL-Calibur は 2024 年 5 月に 2 度目のフライト観測が予定されている。そこで我々は、フライト前の Gondola への X 線望遠鏡の取付作業や調整を、NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) で行った。望遠鏡に取り付けた CCD でカメラで検出器位置をみながら、重力による Gondola の歪みも考慮して、望遠鏡の取付を行った。その後、XL-Calibur は 2024 年 7 月 9 日から 7 月 14 日にかけて、スウェーデンからカナダにかけて観測飛行を行い、その間かに星雲、白鳥座 X-1 の観測に成功した。どちらの天体に対しても X 線偏光の観測に成功し、かに星雲に対しては平均として偏光度 $25.1 \pm 2.9\%$ 、偏光角度 129.8 ± 3.2 度を得た。かに星雲は、中心の明滅する X 線パルサーと、その周辺の空間的に広がったパルサー星雲からできている。パルサーが明るいフェーズと暗いフェーズに分けて偏光を測定することにも成功し、その偏光度はかに星雲全体を平均した偏光度と同程度、あるいはそれよりも小さいことがわかった。このところは、パルサー自身の X 線放射の起源が、パルサー磁気圏内部ではないことを示唆している。以上の成果は、Awaki et al. MNRAS, 540, 34 (2025) として出版された。白鳥座 X-1 の偏光観測に関しては、まもなく論文が出版されるであろう。

また我々は、将来の高角度分解能、大面積の X 線望遠鏡を実現するべく、炭素繊維強化

プラスチック（CFRP）を用いたX線反射鏡開発を行っている。CFRPは、炭素繊維を樹脂で固めた複合材料であり、軽量かつ高剛性をほこる。軽量高形状精度のX線反射鏡を開発するためには、理想的な材料と言える。ただし、炭素繊維に起因する凹凸（プリントスルー）のため、表面粗度が大きく、そのままでは鏡面にはならない。そこで我々は、愛媛大学、東京電機大学、理化学研究所と協力し、ニッケルリン（NiP）をCFRPにコーティングし、超精密加工技術によって、形状・表面粗度を出すという手法に取り組んでいる。今年度は、半径10 cm、焦点距離2 mのWolter-I型の試作を行った。できあがったサンプルに対して、宇宙科学研究所のX線ビームラインでX線照射実験を行い、X線を集光できることの実証に成功した。ただし、Half Power Diameter（HPD）は10分角程度であり、将来の高角度分解能の実現にむけて、今後も改良が必要である。

研究業績リスト

I 査読論文

Multi-image X-ray interferometer module: II. Demonstration of high-resolution X-ray imaging with regular-interval coded apertures

Asakura, Kazunori, Hayashida, Kiyoshi, Yoneyama, Tomokage, Noda, Hirofumi, Yoshimoto, Marina, Hakamata, Tomohiro, Matsumoto, Hironori, Tsunemi, Hiroshi
Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems, Volume 10, id. 045002 (2024).

DOI: 10.1117/1.JATIS.10.4.045002

Possible Supercritical Accretion on the Ultraluminous X-Ray Source in the Metal-poor Galaxy I Zw 18

Yoshimoto, Marina, Yoneyama, Tomokage, Noda, Hirofumi, Odaka, Hirokazu, Matsumoto, Hironori

The Astrophysical Journal, Volume 970, Issue 1, id.8, 9 pp. (2024)

DOI: 10.3847/1538-4357/ad4e34

Systematic effects on a Compton polarimeter at the focus of an X-ray mirror

Aoyagi, M., Bose, R. G., Chun, S., Gau, E., Hu, K., Ishiwata, K., Iyer, N. K., Kislak, F., Kiss, M., Klepper, K., Krawczynski, H., Lisalda, L., Maeda, Y., Malmborg, F., Matsumoto, H., Miyamoto, A., Miyazawa, T., Pearce, M., Rauch, B. F., Rodriguez Cervero, N., Spooner, S., Takahashi, H., Uchida, Y., West, A. T., Wimalasena, K., Yoshimoto, M.

Astroparticle Physics, Volume 158, article id. 102944. (2024)

DOI: 10.1016/j.astropartphys.2024.102944

II 国際会議等における発表

Development of lightweight X-ray mirrors using carbon fiber reinforced plastic and ultra-precision machining technology

Hironori Matsumoto, Kairu Tsuchiya, Takuya Hosobata, Kaito Murakami, Haruki Kuramoto, Mio Aoyagi, Hisamitsu Awaki, Shinya Morita, Masahiro Takeda, and Yutaka Yamagata

SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation

2024年6月16日 - 22日

Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan

Ⅲ 国内会議等における発表

NiP 超精密加工を用いた CFRP 製 X 線望遠鏡の開発

村上海都, 松本浩典, 青柳美緒, 倉本春希 (大阪大), 森田晋也, 土屋魁琉 (東京電機大),
山形豊, 細島拓也, 竹田真宏 (理研), 粟木久光 (愛媛大)

日本天文学会 2024 年秋季年会

2024 年 9 月 11 日-13 日

関西学院大学

Ⅳ 著書

なし

Ⅴ 受賞と知的財産

なし

Ⅵ その他研究業績、発表文献

なし