

研究種目： 基盤研究(S)
研究期間： 2007 ~ 2011
課題番号： 19104003
研究課題名(和文) 硬 X 線撮像気球実験による活動銀河・銀河団の研究
研究課題名(英文) Balloon borne hard X-ray imaging observations of active galactic nuclei and cluster of galaxies
研究代表者
國枝 秀世 (Kunieda, Hideyo)
名古屋大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号： 00126856

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 天文学 ・ 天文学

キーワード： X 線、銀河・銀河団、望遠鏡、気球実験、加速

1. 研究計画の概要

(1) 研究の目的

①硬 X 線望遠鏡の開発： InF0CuS 気球実験で実証された、多層膜硬 X 線撮像システムの技術的完成度を高め、高効率、高空間分解能を目指す。これは、将来の X 線衛星 Astro-H や IXO に応用される可能性を高める。

②硬 X 線天文学の開拓：宇宙における加速が注目されている。高エネルギー粒子による硬 X 線の撮像観測から、加速場所と機構を解明する。活動的銀河の硬 X 線探査も行う。

(2) 研究の内容

①硬 X 線望遠鏡の開発：高い反射率と広い波長域を持つ多層膜の最適設計を目指す。反射鏡形状誤差を減らし、結像性能を高める。1000 枚に及ぶ反射鏡の量産を進める。

②気球観測の実施：X 線望遠鏡と共に、姿勢検出用星カメラを製作する。NASA 側と共に全系を組上げ、制御等の総合試験を行う。2011 年にオーストラリアで予定される気球飛翔実験を行う。その観測計画の策定も行う。

2. 研究の進捗状況

(1) 気球搭載機器の開発

①ゴンドラ等機構系：3 軸姿勢制御系を導入し、新しい構造系、駆動系を構成した。

②星カメラ：望遠鏡の光軸方向に 1 台、これと 45° 方向に 2 台のカメラを組み合わせたシステムを名古屋で製作した。これを NASA へ持ち込み、構造系に取り付け、I/F を確認できた。

(2) 硬 X 線望遠鏡の開発

①望遠鏡の製作：20-60 keV を集光するため、気球望遠鏡用に多層膜を最適設計した。これをガラス母型表面に成膜し、アルミ薄板基板に写し取るレプリカ法で 1000 枚近い反射鏡を製作した。これを口径 40 cm、2 段の鏡筒に組み込み、望遠鏡を完成させた。

②放射光による硬 X 線特性試験：望遠鏡の特性をシンクロトロン放射光(SPring-8)で測定した。このビームを使うことで、反射鏡一枚一枚の反射特性を数十 keV まで測定できた。この評価法は今後の世界の硬 X 線望遠鏡評価法の標準となる。

(3) 硬 X 線望遠鏡開発の新しい知見

①結像性能の向上：レプリカによる反射鏡の形状精度を上げるため、形状精度の良いガラス母型の選別を行った。これにより、すざく望遠鏡より高い、1 分角近い空間分解能が実現できる可能性が確認出来た。

②散乱強度測定：波長の短い硬 X 線の反射では、表面粗さによる散乱が顕著になる。しかし、我々の反射鏡では表面が滑らかで(0.3nm rms) あるため、30keV と 50 keV の散乱プロファイルの差は小さく、問題はないことが分かった。

③内部応力の影響：薄板基板を用いる X 線望遠鏡では、鏡面物質の内部応力による変形が懸念されていた。本研究では各種単層膜、多層膜による変形から内部応力を測定した。周期長 5nm 程度、数十層の多層膜の内部応力は、100nm 程度の単層膜の 1/3 にしか満たないことを明らかにした。

(4) すざく衛星による観測的宇宙物理学

①活動的銀河核の観測：すざく衛星を用いて大質量ブラックホールを持つ、活動的銀河核の観測を行った。軟 X 線と硬 X 線の強度変動から、10 keV 以上の硬 X 線領域には、吸収を受けた変動するベキ成分と共に、周辺物質で反射された定常成分が存在し、その分離に成功した。気球観測では、20-60 keV で行う、吸収を受けた活動銀河核の探査に指針を与える。

②超新星残骸の観測：すざく衛星の軟 X 線 CCD カメラで、超新星残骸の膨張速度が直接検出できた。元素により異なる速度は、爆発した星の構造進化の決定的な証拠を与える。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

これまでの3年間で、気球実験に必要な、X 線望遠鏡は完成させることができた。昼間星カメラも組み上がり、搭載試験を通じて、機械的、電気的接続が確認できた。気球打ち上げ時期は遅れているが、その時間を利用して、X 線望遠鏡の詳細な特性測定、昼間星カメラの光軸合わせなどを十分に行うことにしている。

この科研費の硬 X 線望遠鏡の開発を通じ、技術的成熟度が高まり、次期 X 線天文衛星の主検出システムとして採用されるとともに、ミッションとしても打ち上げが決まった。更に、望遠鏡開発の中で、いくつかの重要な発見もあり、IXO など将来の X 線望遠鏡に向けて有用な知見が得られている。

4. 今後の研究の推進方策

(1) 気球観測実験の実施

X 線望遠鏡は SPring-8 で特性試験を進める。3 台の星カメラは、光軸の詳細測定を行う。これらを NASA で組上げ、総合試験を行う。2011 年春、オーストラリアに出かけて、現地での最終試験を経て、気球飛翔実験を行う。南半球の飛翔であるので、仰角の高い、我が銀河中心方向の、硬 X 線天体の分離撮像を中心に実施する。

(2) 硬 X 線望遠鏡の開発：多層膜の硬 X 線反射特性向上、鏡面基板の形状改良による、結像性能の向上を常に目指す。これは将来の硬 X 線望遠鏡の基礎技術となる

(3) すざく衛星他の観測による宇宙物理学：すざく、Fermi、あかり衛星のデータを解析し、総合的に銀河・銀河団研究を進める。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[査読付き雑誌論文] (計6件)

(1) “Broad-Band Temporal and Spectral Variation of 36 Active Galactic Nuclei Observed with Suzaku”

Miyazawa, Takuya; Haba, Yoshito; and Kunieda, Hideyo

PASJ Vol.61, No.6, pp.1331--1354(2009)

(2) “Doppler-Broadened Iron X-ray Lines from Tycho's Supernova Remnant” Furuzawa, A., H. Kunieda et al. Ap. Journal Letter, 693, L61-L65 (2009)

(3) “Characterization of a hard x-ray telescope at synchrotron facility SPring-8” Y. Ogasaka, , H. Kunieda et al. J.J.A.P. Vol.47, p.5743-5754(2008)

(4) “XMM-Newton Observations of NGC 4051: Temporal Flux and Spectral Variability during Transition to the Faintest Phase in NGC 4051”

Haba, Y., Kunieda, H., et al..

PASJ, Vol.60, No.6, pp.1257--1266(2008)

(5) “Implication for Super-Critical Accretion Flow in the Narrow-Line Seyfert 1 Galaxy PKS 0558-504”

Haba, Y.; Kunieda, H.

PASJ, Vol.60, No.3, pp.487--491(2008)

(6) Wide-Band Spectroscopy of the Compton Thick Seyfert2 Galaxy Markarian 3 with Suzaku”

Awaki, H; Kunieda, H.; Okajima, T. et al.

PASJ Vol. 60, S293-306(2008).

<国際会議招待講演>

(1) Two challenges of the international mission NeXT --High resolution spectroscopy and broad band X-ray imaging

Hideyo Kunieda

Putting Gravity to Work” Symposium.

July 21-25, 2008 Cambridge UK

(2) Multilayers for X-ray astronomy

Hideyo Kunieda

Frontiers of Optical Coatings

11-16 October 2009, Xi'an, P. R. China

<国内口頭発表> 16件

<解説記事>

「すざく」衛星で見たブラックホールと X 線望遠鏡開発」國枝秀世、小賀坂康志

放射光学会誌 Vol. 20, No. 4, 233-241(2007)

<新聞記事>

2010年2月15日版 日刊工業新聞 科学技術・大学欄「硬X線望遠鏡の製作開始名大、4月から2基」

(気球用硬X線望遠鏡の写真掲載)

[その他] ホームページ等

<http://www.u.phys.nagoya-u.ac.jp/uxgj.html>