

## 硬X線撮像気球実験による活動銀河・銀河団の研究

Balloon borne hard X-ray imaging observations of active galactic nuclei and cluster of galaxies

国枝 秀世 (KUNIEDA HIDEYO)

名古屋大学・大学院理学研究科・教授



### 研究の概要

気球搭載硬X線望遠鏡による硬X線撮像観測をオーストラリアで実施し、銀河・銀河団の硬X線像から、宇宙の加速現象を明らかにする。このため、多層膜を用いた硬X線反射鏡と姿勢検出のための星カメラを名古屋で製作し、NASAゴダード研究所と共同で気球機器全体を組上げる。これは将来の硬X線天文学のための、科学的、技術的なきがけになるものである。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：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. 研究開始当初の背景

- (1) X線天文学から新しい波長硬X線へ  
すざく衛星では、軟X線に加え、硬X線検出器(集光結像系なし)による観測が進んだ。
- (2) 硬X線の撮像観測：硬X線を反射するため、望遠鏡に多層膜を用いることを世界で最初に応用し、最初の気球観測を実施した。
- (3) 銀河・銀河団の硬X線成分：硬X線領域では非熱的放射が主役となる。銀河団で硬X線成分が見つかり始めた。吸収の強い活動的銀河がX線背景放射の起源と考えられる。

### 2. 研究の目的

- (1) 硬X線望遠鏡の開発：InFOCuS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。

### 3. 研究の方法

- (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行実験を行う。その観測計画の策定も行う。

### 4. これまでの成果

- (1) 気球搭載機器の開発  
◎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。重心をつり下げる機構が新規開発であり、これを取付けた試験を行う。  
◎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。昼間観測の際の迷光除けのため、長尺のバフフルも製作した。
- (2) 硬X線望遠鏡の開発  
◎望遠鏡の製作：20-60 keVを集光するため、焦点距離8mの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40cm、2段の鏡筒に組み込み、望遠鏡を完成させた。これにより、多層膜硬X線望遠鏡製作法が確立された。  
◎放射光による硬X線特性試験：望遠鏡の硬X線集光特性を測定するため、強度、平行度、単色度の高い、シンクロトン放射光(SPring-8)を用いた(Power Userとして年間20日近いマシンタイムを確保)。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。これを総合し、これまでより効率の良い集光性能が確認された。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

◎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。測定は可視の平行光で粗く選別し、非接触形状測定器で精密に評価した。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。

◎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（一次回折）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。これは将来の高空間分解能硬 X 線望遠鏡の到達限界を押し上げる知見である。

◎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。これも今後の望遠鏡の構造に示唆を与える。

◎Astro-H 望遠鏡への展開：本研究で、気球搭載用硬 X 線望遠鏡の性能が確実になり、また、その量産の手法に目処がたった。これを受けて、次期 X 線天文衛星 Astro-H では、この硬 X 線望遠鏡が、主観測装置として採用されることになった。そして、ミッションとしても十分な技術的実証が気球望遠鏡開発で行われていることを根拠に、2009 年 8 月に採択され、2014 年の打ち上げを正式に目指すことになった。更に、2020 年代の打ち上げを目指し、日米欧が協力して検討している、国際 X 線天文台 IXO にもこの硬 X 線望遠鏡が取り上げられている。

### (4) すざく衛星による観測的宇宙物理学

◎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。

◎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。超新星残骸は、本研究の粒子加速の現場の一つであり、観測を計画している銀河中心方向の天体の一つとして深く関わる結果である。

### 5. 今後の計画

#### (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、気球飛行実験を行う。南半球の飛行であるので、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。

### 6. これまでの発表論文等

(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).

ホームページ等

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