

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18340052
 研究課題名(和文) 広がった天体の加速メカニズム解明に向けた X 線画像復元法と偏光測定法の開発
 研究課題名(英文) X-ray Image Reconstruction for Study on Astronomical Cosmic Ray Acceleration Sites and Development of X-ray Polarimeter
 研究代表者
 釜江 常好 (KAMAE TUNEYOSHI)
 東京大学・大学院理学系研究科・名誉教授
 研究者番号：90011618

研究成果の概要(和文)：

「すざく」X 線反射鏡の画像歪み修復するプログラムを開発するとともに、日本の次期 X 線観測衛星で使われる予定の X 線ミラーが生む人工的偏光の上限を実測した。また気球を使って「かに」星雲やブラックホール天体白鳥座 X-1 から観測される硬 X 線の偏光を測定する装置、PoGOLite を開発した。画像修復のプログラムの成果は、Sugizaki, Kamae, Okajima, PASJ 61S (2009) 55、PoGOLite の偏光観測装置は、Kamae et al. Astroparticle Phys. 30 (2008) 72、ミラーが生む人工的変更については、Katsuta et al., Nuclear Instr. Meth. A, 603 (2009) 393 で発表した。

研究成果の概要(英文)：

Images obtained by the Suzaku X-ray mirrors have been deconvolved by a program; an upper limit to artifact polarization possibly introduced by the hard X-ray mirror has been obtained; and a new highly sensitive X-ray polarimeter (PoGOLite) has been developed in this Grant-in-Aid in collaboration. The results obtained with the deconvolution program has been published in Sugizaki, Kamae, Okajima, PASJ 61S (2009) 55; research and development on PoGOLite in Kamae et al. Astroparticle Phys. 30 (2008) 72; upper limit to the artifact polarization in Katsuta et al., Nuclear Instr. Meth. A, 603 (2009) 393.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2007 年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2008 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：X 線天文学

科研費の分科・天文学

キーワード：素粒子物理、画像復元法、X 線偏光測定、ガンマ線偏光測定

1. 研究開始当初の背景

日本のX線観測衛星は、欧米のX線観測衛星と比べエネルギー範囲で優れた宇宙線が誕生するとされる非熱的な加速天体の研究などで大きな成果を挙げた。その反面、角分解能が大きく劣り、長所を發揮できない場合もあった。日本が目指す非熱的な加速天体の研究で、実効的に角分解能を改善する方法を確立することは重要課題となっている。また天体X線観測で未開拓の分野に偏光観測がある。各地で気球を使った観測が計画されてきたが、検出感度が低い上、長期観測に耐えられないデザインになっている。「すざく」衛星に搭載された硬X線検出器の成果を基礎に、高感度の硬X線偏光検出器を開発する意義は大きい。

2. 研究の目的

2005年7月に打ち上げられた日本のX線観測衛星「すざく」と、2007年秋に打ち上げられた米日欧ガンマ線観測衛星GLASTは、広がった天体(超新星残骸、パルサー星雲、銀河団など)の加速メカニズム研究に、歴史的な機会を提供してくれている。この2つの観測衛星が共に稼働する2008年からの数年間は、加速メカニズム研究の頂点になる。加速機構の選別に必修と思われてきたX線の偏光測定でも、PoGO気球実験の技術開発が進み、かにパルサーやパルサー星雲の偏光観測が実現しようとしている。研究代表者及び連携研究者は、2つの衛星の製作・運用と、気球搭載硬X線偏光測定装置(PoGO)の開発・製作に関わってきた。この意味で、宇宙の加速機構研究に最適な環境にいる。これを背景に、加速メカニズムの研究をさらに増進できる、極めてユニークな小規模開発研究を、本科研費の研究目的である。

(1)「すざく」の弱点である解像度を大幅に改善する像復元法

「すざく」は、米欧のX線観測衛星(ChandraとXMM)と比較すると、0.5keVから600keVまでの幅広いエネルギー範囲をカバーできる点で優れているものの、角度分解能(PSF)では、大幅に劣っている。PSFの悪さが問題とならない研究対象が多くあるが、広がった加速天体などのように、高い角度分解能が優れた成果を生む研究対象も多い。

(2)加速機構の選別に欠かせない、30秒角程度の角度分解能をもつX線偏光観測法。

パルサーの周りに存在する星雲(かに星雲など)も、TeVガンマ線を出していることが知られている。HESSグループが発見した超新星残骸の中には、かに星雲のように、TeVガンマ線放出領域がぼんやりと広がったパルサー星雲がある。逆コンプトン説によると、高

エネルギー電子がパルサーから出て、パルサーの周りの磁場でX線を放射し、逆コンプトンでTeVガンマ線を出していることになる。パルサー周りの硬X線の偏光の位置依存性を測定すれば、TeV電子流れと大局的磁場を知り、かに型(プレリオン型)超新星残骸の構造を解明できる(K.Makishima et al., Space Science Rev. 30,259-262(1981)参照)。この際、パルサー星雲全体を積分しないで、局所的な(30秒角程度)偏光の測定をすることが重要となる。すなわち、優れた角度分解能をもつ、硬X線ミラーが必修となる。

3. 研究の方法

(1)「すざく」の弱点である解像度を大幅に改善する像復元法

「すざく」の4つのミラーの地上でのキャリブレーションデータを手に入れ、大雑把な逆マトリックスを作成した。同時に、既存の点光源観測データと、オフセット観測(CygX-1等)のデータを解析し、逆マトリックスの改良を行った。各ミラー毎、各エネルギー毎(5バンドを想定)に、合計20の、64x64ピクセル像を、光子統計を均しながら、手で作成した。

得られた20の逆マトリックスは、XMMとChandraと「すざく」で観測された「広がった天体像」(超新星残骸や銀河団)に適用し、それらの復元像のクオリティを評価した。四本のミラー用に逆マトリックスが、ともに忠実度の高い復元像を出すようになり、XMMとChandraが共に長期の観測をしている銀河中心に「すざく」を向けて、興味ある領域の研究を進めた。そして「すざく」像復元プログラムを、一般ユーザーが簡単に使える状態にした。

(2)加速機構の選別に欠かせない、30秒角程度の角度分解能をもつX線偏光観測法。

まず、焦点面装置の製作を行った。コンプトン散乱体とその周りに配置する18本のシンチレーター(共にプラスチック・シンチレーター)と光電吸収光電子増倍管(合計19本)を作り、スタンフォード線形加速器センターにある、強力な二重散乱偏光ガンマ線源を使いモジュレーション・ファクターを測定した。得られた信号が、1数個のフォトエレクトロンに過ぎないので、荷電敏感型プリアンプと、整形型アンプが必要となった。オンライン・データ取得には、LabViewを使用した。

またアンチカウンターの製作、アイリス部分の製作、HEFT気球実験の硬X線ミラーと焦点面偏光測定装置と組み合わせ作業及びビームテストも行った。

4. 研究成果

(1)「すざく」の弱点である解像度を大幅に改善する像復元法

2005年末に、高エネルギー加速器機構の放射光施設の偏光硬X線ビームで取得していた実験データを解析した。測定した25keV、50keV、70keVでの方位角モデレーションは、シミュレーションプログラム(Geant4)で期待される値と測定誤差内で一致するした。この結果を学術雑誌に投稿した。

天体硬X線偏光測定法の Phoswich Detector Cell (PDC) のフライトモデルの製作手順を確立し、ビームテスト用に7本のPDCを製作した。

同上のPDCを読み出すためのASICを開発し、テスト後、本制作を行った。

上記とのPDCとASICを組み合わせて、高エネルギー加速器機構の放射光施設の偏光硬X線ビームで、将来の気球実験を視野にテスト実験を行った。結果は学術雑誌に投稿し、印刷中である。

(3)同上のPDCを読み出すためのASICを開発し、テストした。開発されたASICはテストを完了し、現在本製作されている。

(2)加速機構の選別に欠かせない、30秒角程度の角度分解能をもつX線偏光観測法。

SuzakuとChandraの双方が観測している天体で、明るい点源と広がった天体が共存している領域画像(PSR1509-58とRCW89)のDeconvolutionを試みた。その過程でSuzaku衛星の姿勢のブレを補正する必要があることが判明した。姿勢データで補正した結果、Chandraの画像と比較することで、約5秒角の分解能が得られることが判明した。しかし大きなダイナミックレンジが必要な場合には、4箇所あるX線ミラーのつなぎ目の構造のモデル化を一層改善する必要があることが判明した。この結果を学術雑誌に投稿した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

“A Monte Carlo method for calculating the energy response of plastic scintillators to polarized photons below 100 keV”,
T. Mizuno (1番目), J. Kataoka (3番目), T. Kamae (21番目) et al. (計33名), Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, 査読有, 600, 2009, 609-617

“Deconvolution of Images Taken with the Suzaku X-Ray Imaging Spectrometer”,

M. Sugizaki, T. Kamae and Y. Maeda, Publ. Astron. Soc. Japan, 査読有, 61, 2009, S55-S67

“PoGOLite A high sensitivity balloon borne soft gamma-ray polarimeter”, T. Kamae (1番目), J. Kataoka (17番目), T. Mizuno (24番目) et al. (計39名), Astroparticle Physics, 査読有, 60, 2008, 72-84

“Beam test of a prototype phoswich detector assembly for the PoGOLite astronomical soft gamma-ray polarimeter”, Y. Kanai, J. Kataoka (3番目), T. Mizuno (7番目) et al. (計30名), Nuclear Instruments and Methods, 査読有, A750, 2007, 61-71

[学会発表](計4件)

“Polarization Characteristics of Multi-layer Mirror For Hard X-ray Observations of Astrophysical Objects”, T. Mizuno, HEAD 2008, 2008/04/02, The Omni Los Angeles Hotel(USA)

“気球搭載用硬X線・軟ガンマ線偏光系PoGOLiteの開発現状”, 金井義和, 片岡淳 (5番目), 水野恒史 (11番目), 釜江常好 (14番目) 他(計19名), 第8回宇宙科学シンポジウム, 2008/01/08-09, 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

“High Sensitivity Balloon-Borne Hard X-Ray/Soft Gamma-Ray Polarimeter PoGOLite”, T. Mizuno (1番目), T. Kamae (11番目), J. Kataoka (13番目) et al. (計31名), IEEE Nuclear Science Symposium 2007, 2007/10/28-11/03, The Hilton Hawaiian Village(USA)

“Data Acquisition System for the PoGOLite Astronomical Hard X-Ray Polarimeter”, T. Tanaka, T. Kamae (12番目), T. Kataoka (14番目), T. Mizuno (23番目) et al. (計37名), IEEE Nuclear Science Symposium 2007, 2007/10/28-11/03, The Hilton Hawaiian Village(USA)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

釜江 常好 (KAMAE TUNEYOSHI)
東京大学・大学院理学系研究科・名誉教授
研究者番号：90016168

(2)研究分担者

該当無し

(3)連携研究者

牧島 一夫 (MAKISHIMA KAZUO)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：20126163

片岡 淳 (KATAOKA JUN)
早稲田大学・理工学術院・准教授
研究者番号：90334507

水野 恒史 (MIZUNO TSUNEFUMI)
広島大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：20403579