

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25400239

研究課題名(和文) 全天X線サーベイによる銀河系ハローの新種のX線星の探査と大規模バブル構造の解明

研究課題名(英文) Studies of X-ray binary distributions in our Galactic halo and unresolved X-ray emission

研究代表者

杉崎 睦 (Sugizaki, Mutsumi)

国立研究開発法人理化学研究所・MAXIチーム・研究員

研究者番号：00469933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：2009年より国際宇宙ステーションで行われている全天X線監視装置(MAXI)の観測運用、及びデータ解析を最適化し、無バイアスな全天X線データを用いて銀河系内のX線連星系の活動性と大規模構造の研究を行った。主要な観測装置であるガス比例計数管とX線CCD素子の軌道上の放射線損傷を考慮した応答関数を構築し、解析プログラムに組み込んだ。X線連星系の研究では、増光を起こした全12個のBe星連星パルサーの光度時間変化を解析し、Fermi/GBMの全天監視データから得られたパルス周期変化率との相関から、降着円盤とパルサー磁気圏の相互作用モデルの妥当性、及び中性子星パラメータへの制限を導いた。

研究成果の概要(英文)：Using unbiased X-ray data taken by the MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) mission on the ISS since 2009 August, we performed systematic studies of X-ray binaries in terms of their outburst activities and the population in our Galaxy. Passing through the in-orbit operation over 7 years, two main X-ray instruments, Xe-gas proportional counters and CCD imagers, began to expose performance degradation according to the charged-particle irradiation. We revised the instrument response functions implementing all the in-orbit calibration information. In these 7 years, MAXI detected outbursts from 12 Be X-ray binary pulsars. We analyzed all their light curves, and investigated the correlations with the pulse period changes observed by the Fermi/GBM pulsar project. The results reveal that the observed relation largely agree with those of the Ghosh & Lamb 1979 model assuming the canonical neutron star parameters.

研究分野：X線天文学

キーワード：X線連星系 ガス比例計数管 宇宙実験

1. 研究開始当初の背景

我々は2009年8月より国際宇宙ステーション(International Space Station; ISS)で全天X線監視装置MAXIを観測運用し、過去最高の感度で全天サーベイを行ってきた。ここまで3年間の新星探査で、我々銀河系ハローの最外縁にある中性子星X線連星系(Sugizaki+2013)や小マゼラン星雲の外縁にあるBe型星と白色矮星の連星系(Morii+2013)など、銀河系の最外縁に存在するX線連星系を発見した。このような天体は銀河系の星生成活動から大きく離れた領域にあるため、一般的なX線連星の進化のシナリオに当てはめることができず、形成過程が分かっていない。これまでに見つかった同種の天体は極めて少ない上に、出現頻度も小さいことから、情報は限られていた。MAXIの無バイアスな全天サーベイによって、ようやく系統的な観測研究が可能になってきた状態と考えられる。

近年、Fermiガンマ線衛星、WMAPマイクロ波衛星によって得られた最新の全天マップデータから、我々の銀河系の中心付近に銀緯 ± 40 度までに及ぶ巨大なバブル状の構造が存在することが示唆され、その起源が大きな問題になっている(片岡+2012)。これまでに電波や軟X線で銀河面から垂直に銀緯方向へ広がった放射があることは知られていたが(祖父江2006)、多波長で非常に良く相関した強度分布を持つことが分かってきて、一元的な物理現象という説が有力になってきた。

参考文献

- Sugizaki, M. et al. 2013, PASJ, 65, 58
- Morii, M. et al. 2013, ApJ, 779, 113
- 片岡淳、他 2012 天文月報9月号
- 祖父江義明 2006 天文月報10月号

2. 研究の目的

MAXIによる全天サーベイ観測、データ解析を最適化し

- 我々銀河系ハロー(外縁)にある形成過程が分かっていない希少なX線星系を系統的に探査する
- 銀河中心からハローに伸びるX線放射の全体像を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

- MAXIの観測装置、GSC (Gas Slit Camera) とSSC (Solid-state Slit Camera)の軌道上の校正、データ解析ソフトウェアの開発改良を行い、新天体、変動天体を系統的に探査するための最適化を行う。
- MAXIの全天サーベイで、新X線源を発見した場合、他のX線ミッションや多波長の観測と連携して放射源を同定する。最終的に検出したX線源の種族、空間分布、活動性の統計解析を行う。

- 点源探査の結果、残った分解できないX線放射成分に関して、全天の空間分布を導き出し、銀河系ハローの大規模構造の起源を議論する。

4. 研究成果

(1) MAXI GSCの軌道上運用と応答関数の校正

GSCは、12台のガス比例計数管を組み合わせて、90分のISSの軌道周期毎にほぼ全天をスキャンする。2009年に観測運用を始めた後、2年のうちに3台のガスカウンターで、炭素繊維のアノード芯線が放電で損傷する問題が発生した。その後、これらの検出器は、破損した芯線の影響範囲を無効化し、稼働する約半分の部位だけを使って運用を続けている。検出器のガス増幅率をバックグラウンドに含まれる蛍光輝線を利用して見積もったところ、正常な状態の約1.4倍になっていることがわかった。また、隣接する芯線部位の反同時計数法による荷電粒子イベント除去が効かなくなったため、バックグラウンドレートを一桁上がった。

他の1台の検出器では、2013年6月からガス増幅ゲインが急に上昇を始め、診断解析の結果、ガス漏れが生じていることがわかった。検出器に備え付けられた校正X線源 ^{55}Fe の5.9 keV輝線とカニ星雲を標準X線源として応答関数の校正を行い、ガス圧の時間変化を推定した。その結果、ガス圧は約1.5年を半減期として緩やかに減衰していることがわかった(図1)。現在、この検出器は、ガス増幅率がほぼ一定になるように芯線電圧を制御しながら、運用を続けている。

2009年から2016年まで7年間に渡る軌道上のGSCガスカウンターの運用と校正の結果を国内外の学会発表②③⑤⑨⑩で報告した。現在は恒久的データアーカイブのための校正データ、及び解析ソフトウェアの改良を行っている。

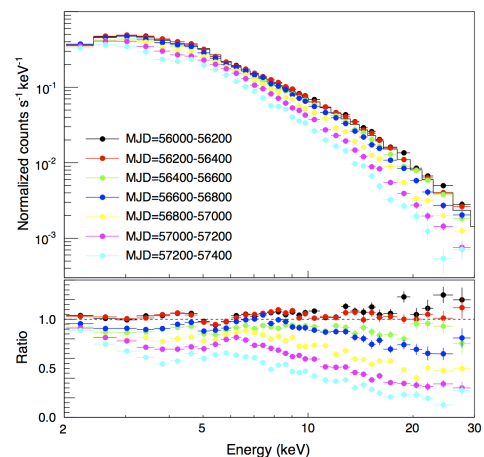


図1: GSCの2013年6月以降ガス漏れが生じた検出器(GSC_0)による200日毎のカニ星雲のX線スペクトルと正常ガス圧(1.4気圧)時のレスポンスに対する比。

(2) SSCの解析ソフトウェアの開発改良

SSCに関しては、ISSが地球の昼側にある時に光漏れの問題があり、また軌道上の荷電粒子放射線によるCCD素子の劣化が急速に進んだため、校正データ、及びデータ処理ソフトウェアの大幅な改良が必要になった。これまでにGSC用に開発した解析ソフトウェアの移植、改良を行い、科学データ解析を可能にした。現在、校正データの改良の目処が立ち、銀河系ハロー成分のデータ解析を行っている。

(3) MAXI GSCの無バイアス全天サーベイデータを用いたX線連星パルサーの研究

MAXIのデータを用いたX線連星系の系統的研究では、Be星と強磁場の中性子星からなるX線連星パルサーに関して重要な成果が得られた。7年間に渡るMAXI GSCの全天サーベイで、12個のBe星連星パルサーからアウトバーストを捉えた。観測された全アウトバースト中のX線光度変化とFermi/GBMで計測されているパルス周期の変化の相関を調べたところ、光度と中性子星の自転周期変化率に比例に近い正の相関があり、Ghosh & Lamb 1979の降着トルクモデルで予想される比例係数と3倍程度の範囲で良く合うことがわかった(図2)。このことから、中性子星の物理パラメータの許容範囲を推定した。一部先行して得られた結果を学会発表①④⑥で報告しており、現在は全結果をまとめた論文を学術誌に投稿し、審査中にある。

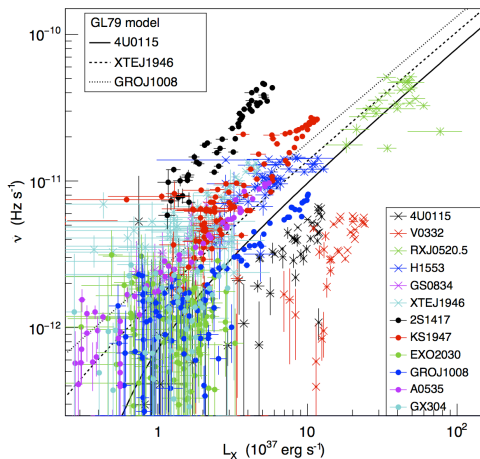


図2: 2009年以降にアウトバーストを起こした12個のBe星X線連星パルサーで、増光期にMAXI/GSCによって観測されたX線光度 L_x とFermi/GBMによって計測された自転周期の変化率 $\dot{\nu}$ の関係。実線、破線、点線は、それぞれ個々の天体4U 0115+63, XTE J1946+274, GRO J1008-57に対してGhosh & Lamb 1979の降着トルクモデルで予想される関係。(学会発表①より)

(4) 他のミッションとの共同観測研究

MAXIの全天サーベイによるスキャン観測では、個々の天体の十分な情報を得ることは難しく、他の観測ミッションとの連携が重要になる。これまでX線の追観測に関しては、RXTE、Suzaku、Swift衛星との連携を行い、成果を上げてきた(発表論文⑤⑥)。現在はRXTE、Suzaku衛星が運用を終え、予定していたHitomi衛星が2016年5月にトラブルが生じ、十分な連携観測が実現できない状態になった。

一方、2015年9月にインドのASTROSAT衛星が打ち上がり、観測運用を始めている。ASTROSAT衛星はRXTE衛星と同様の大面積ガス比例計数管を搭載しており、MAXIのGSCガス検出器と共通した技術が多い。相補的な連携観測が非常に効果的であると考えられる。2016年12月に理研で行ったMAXI運用7周年の国際会議でASTROSATチームとの共同研究の協議を始め、観測装置の相互校正から実務を始めることになった。今後更なる研究の発展が期待できる。

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7件)

- ① Asai, K., Mihara, T., Matsuoka, M., Sugizaki, M., “Hard-tail emission in the soft state of low-mass X-ray binaries and their relation to the neutron star magnetic field”, PASJ, 査読あり, Vol. 68, 50 (2016)
DOI: 10.1093/pasj/psw048
- ② Takagi, T., Mihara, T., Sugizaki, M., Makishima, K., Morii, M., “Application of the Ghosh & Lamb relation to the spin-up/down behavior in the X-ray binary pulsar 4U 1626-67”, PASJ, 査読あり, Vol. 68, 13 (2016)
DOI: 10.1093/pasj/psw010
- ③ Malacaria, C.; Mihara, T.; Santangelo, A.; Makishima, K.; Matsuoka, M.; Morii, M.; Sugizaki, M., “Probing the stellar wind environment of Vela X-1 with MAXI”, Astronomy and Astrophysics, 査読あり, Vol. 588, A100 (2016)
DOI: 10.1051/0004-6361/201527009
- ④ Asai, K., Mihara, T., Matsuoka, M., Sugizaki, M., “X-ray variability with spectral state transitions in NS-LMXBs observed with MAXI/GSC and Swift/BAT”, PASJ, 査読あり, Vol. 67, 92 (2015)
DOI: 10.1093/pasj/psv060

- ⑤ Sugizaki, M., Yamamoto, T., Mihara, T., Nakajima, M., Makishima, K., “Luminosity and spin-period evolution of GX 304-1 during outbursts from 2009 to 2013 observed with the MAXI/GSC, RXTE/PCA, and Fermi/GBM”, PASJ, 査読あり, Vol.67, 73 (2015)
DOI: 10.1093/pasj/psv039
- ⑥ Yamamoto, T., Mihara, T., Sugizaki, M., Nakajima, M., et al., 他 3 名、3 番目, “Firm Detection of a Cyclotron Resonance Feature with Suzaku in the X-ray Spectrum of GRO J1008-57 during a Giant Outburst in 2012”, PASJ, 査読あり, Vol. 66, 59 (2014)
DOI: 10.1093/pasj/psu028
- ⑦ Nakajima, M., Mihara, T., Sugizaki, M., et al., 他 4 名、3 番目, “Precursors and Outbursts of A 0535+26 in 2009-2011 observed by the MAXI/GSC and the Swift/BAT”, PASJ, 査読あり, Vol.66, 9 (2014)
DOI: 10.1093/pasj/pst002

[学会発表] (計 11 件)

- ① Sugizaki, M., “Luminosity and spin-up relation in X-ray binary pulsars with MAXI/GSC and Fermi/GBM”, 7 years of MAXI: monitoring X-ray transients, 5-7 December 2016, Riken, Wako, Saitama (Japan)
- ② Sugizaki, M., “Operation and Calibration of MAXI/GSC Xe Gas Counters on the International Space Station for over 6 Years since 2009”, IEEE 2016 Nuclear Science Symposium, 29 October - 5 November 2016, Strasbourg (France)
- ③ 杉崎睦、他 MAXI GSC チーム「国際宇宙ステーション全天 X 線監視装置 (MAXI) ガスカウンターの軌道上運用 7 年間の運用と校正」日本物理学会秋季大会、2016 年 9 月 21~24 日、宮崎大学、宮崎県宮崎市
- ④ 杉崎睦、三原建弘、中島基樹、牧島一夫「MAXI/GSC と Fermi/GBM による Be/X 線連星パルサーの連続監視データを用いた降着トルクによる中性子星スピンの定量的検証」日本天文学会秋季大会、2016 年 9 月 14~16 日、愛媛大、愛媛県松山市
- ⑤ 杉崎睦、他 MAXI GSC チーム「国際宇宙ステーション全天 X 線監視装置 (MAXI) 搭載ガスカウンターのガス増幅率の変化と応答関数」日本物理学会秋季大会、2015 年 9 月 25~28 日、大阪市立大学、大阪府大阪市

- ⑥ 杉崎睦、三原建弘、中島基樹、牧島一夫「MAXI/GSC と Fermi/GBM の X 線モニター観測から探る X 線連星パルサーの光度とパルス周期変化の関係」日本物理学会春季大会、2015 年 3 月 21~24 日、早稲田大学、東京都新宿区
- ⑦ Sugizaki, M., “Study of luminosity and spin-up relation in binary X-ray pulsars with long-term monitoring by MAXI/GSC and Fermi/GBM”, 5th International Fermi Symposium, 20-24 October 2014, Nagoya University, Nagoya (Japan)
- ⑧ 杉崎睦、三原建弘、中島基樹、山岡一貴、牧島一夫「MAXI/GSC と Fermi/GBM の X 線モニター観測から探る X 線連星パルサーの光度とスピン周期変化の関係」日本天文学会秋季大会、2014 年 9 月 11~13 日、山形大学、山形県山形市
- ⑨ 杉崎睦、他 MAXI GSC チーム「国際宇宙ステーション全天 X 線監視装置 MAXI 搭載 GSC ガスカウンターの観測運用状況」日本物理学会春季大会、2014 年 3 月 27~30 日、東海大学、神奈川県平塚市
- ⑩ Sugizaki, M., “MAXI Overview”, Suzaku-MAXI 2014, Expanding the Frontiers of the X-ray Universe, 19-22 February 2014, Ehime University, Matsuyama (Japan)
- ⑪ Sugizaki, M., “In-Orbit Performance and Background of MAXI/GSC Gas Counters Operated on the International Space Station since 2009”, IEEE 2013 Nuclear Science Symposium, 27 October - 3 November 2013, Seoul (Korea)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://maxi.riken.jp/top/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉崎 睦 (SUGIZAKI, Mutsumi)

理化学研究所・MAXI チーム・研究員

研究者番号: 00469933

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

富田 洋 (TOMIDA, Hiroshi)

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・
研究員

研究者番号：30399547

中平 聡志 (NAKAHIRA, Satoshi)

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部・
研究員

研究者番号：00611493

(4)研究協力者

なし