

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 13 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400234

研究課題名(和文) MAXI-Swift の連携による突発/時間変動天体の研究

研究課題名(英文) Study of time-domain astronomical sources using the MAXI and the Swift data

## 研究代表者

坂本 貴紀 (Sakamoto, Takanori)

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号：00645161

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は様々な発見が続くと注目されている "Time-domain Astronomy" (突発/時間変動天文学) を我が国でリードしていくために、X線 (2 keV) からガンマ線 (200 keV) という 2桁にわたる広帯域で高エネルギー天体現象を監視する突発天体モニターの構築が目的である。国際宇宙ステーションに搭載されている MAXI と NASA のガンマ線バースト探査衛星 Swift のデータを自動解析し、106個の高エネルギー天体について、光度曲線を作成した。その光度曲線は、世界中の研究者が閲覧可能なウェブサーバーで公開している。

研究成果の概要(英文)：Our research goal is to construct a broad-band transient monitor from 2 keV up to 200 keV to lead an exciting field of time-domain astronomy here in Japan. We newly developed the automatic pipeline to analyze the MAX (International Space Station's mission) and the Swift (NASA gamma-ray burst explorer mission) data to construct broad-band light curves of 106 bright hard X-ray sources. The light curves are publicly available from the web server.

研究分野：高エネルギー突発天体現象

キーワード：高エネルギー天体 時間変動天体 X線 ガンマ線

### 1. 研究開始当初の背景

突発/時間変動天体の天文学は 2010 年に発表されたアメリカが今後 10 年間、天文学および宇宙物理学の分野で焦点を当てるべき研究分野についての提言をまとめたレポートにおいて、様々な新発見が期待できるため、重点的に研究すべきであると明記された項目のひとつである。アメリカだけでなく、ヨーロッパや日本を含むアジアにおいても、突発/時間変動天体の研究を主目的とした衛星が現在稼働、そして計画されており、この分野が今後も宇宙物理学の最先端となっていく事は間違いない。

時間変動天体をモニターする事は、それぞれの観測装置レベルでは、行われていた。しかし、いくつかの観測装置のデータを合わせて解析する事で、ひとつの検出器で得ることの難しい広エネルギー帯域でのモニターというものは存在していなかった。

### 2. 研究の目的

世界的に今後も予想のつかない発見が続くであろうと注目されている突発/時間変動天文学を我が国でリードしていくために、X線 (2 keV) からガンマ線 (200 keV) という 2 桁にもわたる広帯域で高エネルギー天体現象を監視する枠組みを構築する (図 1)。国際宇宙ステーション「きぼう」に搭載されている MAXI/GSC と NASA のガンマ線バースト探査衛星 Swift/BAT のデータを連携させる事でこの事を達成できる。また、本研究の結果は、世界中の研究者がアクセスできるようにウェブページより即座に公開する。

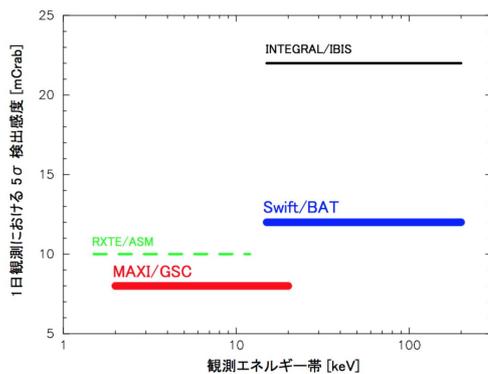


図 1 観測エネルギー帯と全天探査の 1 日観測における 5 検出感度を X 線領域においては RXTE/ASM と MAXI、ガンマ線領域においては INTEGRAL と Swift/BAT を比較した。

### 3. 研究の方法

時間変動天体のモニターを広いエネルギー帯域で行うため、Swift/BAT のサーベイデータをリアルタイムでダウンロードし、自動

的に解析するパイプラインソフトウェアを構築する。次に、MAXI/GSC については解析済みのライトカーブデータをダウンロードし、解析した Swift/BAT のライトカーブデータとを合わせて、天体別に 2 keV から 200 keV までのライトカーブを 7 つの異なるエネルギーバンドで提供する。そして、プロットを含めたライトカーブデータを世界中の研究者が誰でもアクセスできるウェブサーバーにて公開する。

### 4. 研究成果

#### (1) Swift/BAT データのアーカイブ:

Swift/BAT データの解析パイプラインを進めていく上での最初の大きな課題となったのが、データのアーカイブが国外(アメリカやイギリス)にしかない事であった。そこで、過去 10 年間の Swift/BAT のデータを青学のサーバーにコピーした。また、一日に数回、アメリカのデータサーバーの最新のデータを自動的に青学のサーバーにコピーする事で、最新のデータを含めた Swift/BAT のデータを全て青学、つまり国内にアーカイブした。また、青学でアーカイブしている Swift/BAT のデータを青学のウェブサーバーから公開する事で、国内の研究者が Swift/BAT のデータを国外のデータアーカイブサーバーから、長い時間をかけてダウンロードしなくても、入手できる環境を提供している。青学での Swift/BAT データのアーカイブは [http://yoshidalab.mydns.jp/swift\\_bat\\_heasarc/](http://yoshidalab.mydns.jp/swift_bat_heasarc/) からアクセスできる。

#### (2) Swift/BAT-MAXI/GSC 広エネルギー帯域モニター:

Swift/BAT と MAXI/GSC の運用がオーバーラップしている 2009 年 8 月以降のデータにおいて、106 個の天体について 2 keV から 200 keV までの 2 桁にも及ぶエネルギー帯域での天体モニターを構築した。構築したパイプラインは 1 時間に一度、新しいデータがダウンロードされた場合にデータを自動解析し、ライトカーブを作成する。この Swift/BAT-MAXI/GSC 広エネルギー帯域モニターは青学のウェブサーバー ([http://yoshidalab.mydns.jp/bat\\_gsc\\_tras\\_mon/](http://yoshidalab.mydns.jp/bat_gsc_tras_mon/)) から、世界中の研究者がだれでもアクセス可能である。また、プロットだけでなく、解析済みのライトカーブデータもテキストファイルとして公開した。

公開しているライトカーブは 90 分平均と 1 日平均したカウント数の 2 種類を用意した。また、ライトカーブの拡大や縦、横方向へインタラクティブにウェブ上で操作できるライトカーブも公開している。

強度とともにスペクトルの状態が変わるブラックホール候補天体の時間変動

Cyg X-1 (さそり座 X-1) に代表されるブラックホール候補天体は、X線では暗く、スペクトルが硬い "low-hard" 状態とX線で明るく、スペクトルが軟かい "high-soft" 状態への遷移を頻繁に繰り返している事がわかる。図2に我々が作成し、公開しているCyg X-1の広帯域ライトカーブを示す。この図からわかるように、幅広いエネルギー帯で放射し、スペクトルの変化を含む、活発な時間変動をするブラックホール候補天体において、我々が開発した広エネルギー帯域モニターは非常にパワフルなものである事がわかる。

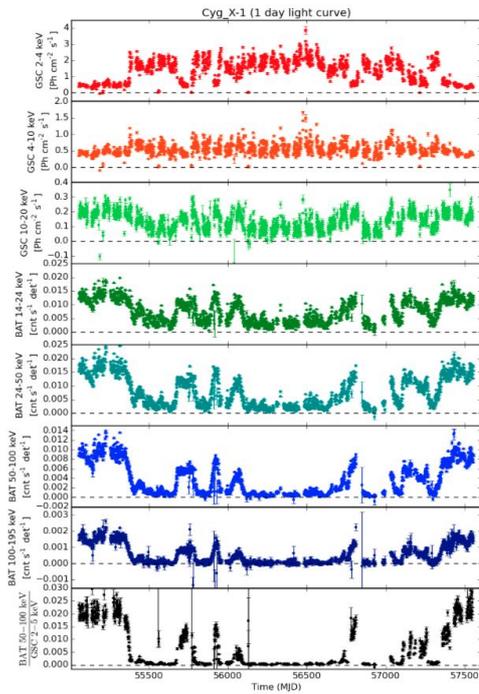


図2 Cyg X-1の1日平均でのライトカーブ。スペクトルが硬い状態から軟かい状態へ遷移した様子が55300日頃(横軸は修正ユリウス日)に、また、スペクトルが軟かい状態から硬い状態へ57300日頃に遷移している事が見て取れる。

低質量連星ブラックホールの時間変動  
太陽と同じ程度の主系列星と連星を組んでいるブラックホール(低質量連星ブラックホール)で突発的に増光する天体がある。図3に示したのが我々の銀河系内に存在する低質量連星ブラックホールGX 339-4のライトカーブである。過去7年間に巨大なフレアを2度起こしている事がわかる。また、そのフレアの形からフレアの立ち上がり部分はSwift/BATで検出できているため、硬いスペクトルを持っているのに対し、フレアの後半では、MAXI/GSCでしか検出できていない事から明らかなように、スペクトルが軟かく変化している事が見てとれる。

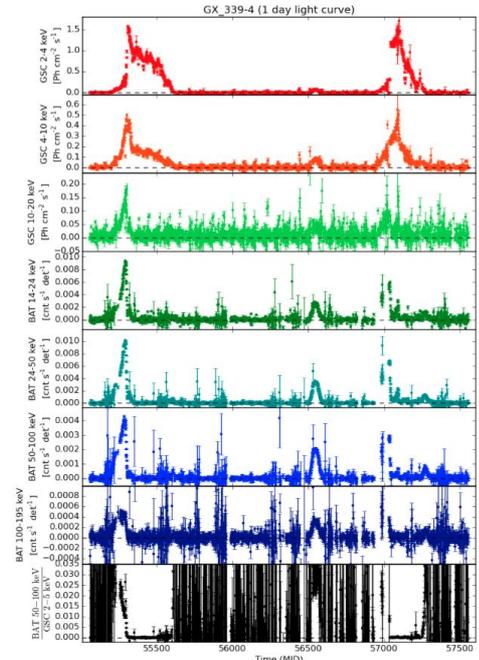


図3 GX 339-4の1日平均でのライトカーブ。巨大なフレアが修正ユリウス日で、55450日頃と57000日頃に検出されている。

#### ジェット天体の時間変動

図4に示すのが4億光年の距離にあるジェット天体Mrk 421のライトカーブである。数ヶ月から年の単位での緩やかな時間変動に加え、数日間しか続かないフレアを伴っている事がわかる。このフレア中はSwift/BATでも検出している事から比較的硬いスペクトルを持っている事がわかる。

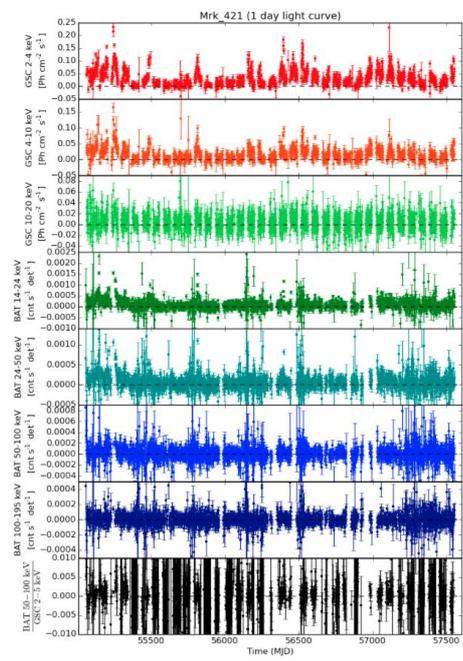


図4 ジェット天体 Mrk 421 のライトカーブ。緩やかな時間変動に加え、明るく短い変動もある事がわかる。

大質量 X 線パルサーの時間変動  
伴星が Be 型星で、主星が中性子星というシステムを大質量 X 線パルサーと呼ぶが、中性子星が伴星の作る円盤を通過する際に、短い時間に物質の降着が起こり、明るい放射、アウトバーストが良く観測される。図5に A0535+262 という大質量 X 線パルサーのライトカーブを示す。MAXI/GSC だけでなく、Swift/BAT のエネルギー帯域まできれいにアウトバーストが観測されている事がわかる。

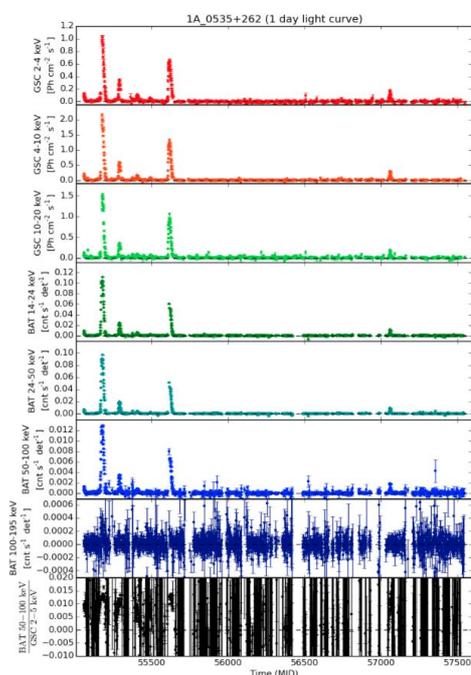


図5 A0535+262 のライトカーブ。過去に複数回のアウトバーストが観測されている事がわかる。

### (3) 今後の展望

我々の広エネルギー帯域モニターは時間変動だけでなく、スペクトルの変化の様子も同時に見ることができるため、高エネルギー天体の時間変動をモニターする上で、非常に有効である。今後も、安定してこのモニターを運用させ、多くの世界中の研究者に使ってもらえるようなものに発展させていきたい。現状のモニターで足りない事は、やはりモニターしている天体数だと思われる。今後、モニターする天体数を徐々に増やしていきたいと考えている。

## 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 2 件)

Sakamoto, T., Oda, R., Mihara, T., Yoshida, A., Arimoto, M. Barthelmy, S.D., Kawai, N., Krimm, H.A., Nakahira, S., Serino, M., "Swift/BAT and MAXI/GSC Broadband Transient Monitor," Publication of the Astronomical Society of Japan, 査読有, Vol. 68, 2016、Issue SP1, id.S2, pp.1-11

DOI:10.1093/pasj/psv130

Sakamoto, T., Oda, R., Yoshida, A., "Broadband Transient Monitor using the Swift/BAT and the MAXI/GSC data," Proceedings of Science (Swift 10), 査読無, 160, 2014, 1-6

〔学会発表〕(計 3 件)

Sakamoto, T. et al., "Swift/BAT and MAXI/GSC Broadband Transient Monitor," American Astronomical Society, HEAD Meeting, 2016年4月3日-4月7日, フロリダ (米国)

坂本 貴紀他, "Swift/BAT と MAXI/GSC を用いた広帯域トランジェントモニター", 2015年3月18日-3月21日, 日本天文学会春季年会, 大阪大学

Sakamoto, T. et al., "Broadband Transient Monitor using the Swift/BAT and MAXI/GSC data," Swift 10 Years of Discovery, 2014年12月2日-12月5日, ローマ (イタリア)

〔その他〕

ホームページ等

[http://yoshidalab.mydns.jp/bat\\_gsc\\_transient\\_mon/](http://yoshidalab.mydns.jp/bat_gsc_transient_mon/)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

坂本 貴紀 (SAKAMOTO, Takanori)

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号: 00645161

(2)研究協力者

小田 悠馬 (ODA, Yuma)

青山学院大学・理工学部・学生