

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2015

課題番号：24740186

研究課題名(和文)全天X線監視装置の早期速報によるX線閃光天体の正体解明

研究課題名(英文)Finding out the sources of X-ray flashes with rapid alert by MAXI

研究代表者

芹野 素子 (Serino, Motoko)

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：70415199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：MAXIの速報の精密化と迅速化を行い、Swiftによる追跡観測を可能にした。これによってX線残光および可視光残光を発見し、通常のガンマ線バーストと同様の天体現象であることがわかった。一方で、銀河系内の天体現象が起源であった場合もあり、X線閃光とひとくくりにできない、様々な現象が含まれていることがわかった。MAXIにより観測されたX線閃光を含むガンマ線バーストについて、まとめの論文を発表した。

研究成果の概要(英文)：We developed the system to send accurate and rapid alerts of transients observed by MAXI. It enables us to follow-up the transients by Swift satellite. Some of the MAXI transients were accompanied by afterglows like normal gamma-ray bursts. However, there are phenomenon of various kinds including transients in our galaxy. We published the paper of MAXI gamma-ray bursts including X-ray flashes.

研究分野：宇宙物理

キーワード：X線観測

1. 研究開始当初の背景

大質量星はその一生を終える時に重力崩壊を起こし、超新星爆発を起こす。その一部にガンマ線バーストを起こすものがある。更にガンマ線バーストの中には、X線閃光と呼ばれる非常にソフトなスペクトルを持つものがあり、HETE-2 衛星をはじめとするここ 10 年ほどの研究により、ガンマ線バーストのスペクトルの硬さの分布の調査、スペクトルの多様性の原因の検討などが進められてきた。

ところが、2007 年に HETE-2 の運用が終了すると、10keV 以下の帯域でモニタ観測のできる装置がなくなり、X線閃光の研究は停滞した。とくに、ほとんど 10keV 以下でしか放射がないものは、HETE-2 が観測した XRF 020903、XRF 040916 等、2-3 例しかない。このような状況の中、2009 年に観測を開始した MAXI は、2keV から 30keV に感度を持ち、2 年ぶりに X線閃光の研究に活気が戻ると期待された。打ち上げ前には、過去の観測からの類推により、年間 4 イベント程度のガンマ線バーストが捕えられると見積った。ただし X線閃光の割合が多ければ、より多くのイベントが観測されるとも考えていた [研究業績の 17]。ところが、観測が始まると年間 4 イベントどころか、ほぼ毎月 MAXI はガンマ線バースト(X線閃光を含む)を検出している。

2. 研究の目的

本研究の目的は、全天 X線監視装置 MAXI がとらえている X線閃光の発生源を特定し、ガンマ線バーストと同様な、超新星爆発に伴う現象であるかどうかを明らかにすることである。

MAXI はこれまでの 2 年間で X線閃光を約 10 例観測している。この数は当初の予測の 2-3 倍にのぼる。これらは、他の衛星では観測されていないものばかりであり、これまでは追跡観測もほとんどされていない。

本研究では、MAXI の速報を限界まで早め、迅速な追跡観測を促すことで、これらが本当にガンマ線バーストの一種であるかどうかを明らかにする。

そのためには、(1) X線や可視光でバーストの後輝く残光をとらえ、その振る舞いがガンマ線バーストの残光の特徴である巾乗の減光に一致することを確認すれば良い。

また、(2) 距離が決定され、宇宙論的遠方であることがわかればより確実な証拠となる。更に、(3) GRB 030329 で見られたような、超新星の特徴が見られれば申し分ないが、これは距離が近いところで X線閃光が発生する、望遠鏡で観測しやすい位置で発生する、などの好条件がそわない限り実現は難しい。従って、本研究では(1)および(2)の達成を目標とする。

3. 研究の方法

発生源を特定するためには、X線をはじめ、可視光、赤外などでの追跡観測が不可欠である。そのために、まず、速報の位置精度と早さを

あげることを行う。速報システムを用いて全世界に追跡観測を呼びかけることで、MAXI が観測した X線閃光に対応する天体を共同で詳しく追跡観測する。対応天体探しは、既に確立している MAXI-Swift 連携の枠組みを利用して、まずは X線で行う。Swift で精密に位置が決められれば、ガンマ線バースト研究者のネットワークを通して、全世界に多波長の追跡観測を呼びかける。すばるなど可視光や近赤外線での大型の望遠鏡を用いて、対応天体を深く観測すれば、測光・分光を通して起源天体の距離、組成などを詳しく調べることが可能になる。とくに距離の決定は、本研究の重要な柱となる。

4. 研究成果

(1) 速報性能の向上

H24 年度～25 年度にかけては、上記の計画に沿って速報を精密化するために自動解析システムの開発に取り組んだ。具体的には、速報のためのデータ処理を行う計算機を導入し、その上で動作する「自動位置決定ソフトウェア」の開発を行った。H25 年度には、これを学生の協力を得て完成させ、運用を開始することができた。これによって以前より早く確実に速報を行うことができるようになった。また同時に、追跡観測を行う Swift 衛星への観測提案もこれまでより早く行うことが可能になった。実際 GRB 131225A、GRB 140221A などで Swift 衛星による追跡観測も行われた。

(2) 追跡観測の連携強化

X線残光を観測できる Swift 衛星との連携は本研究計画の 2 つ目の柱であったが、これに関しては、Swift で MAXI の X線閃光の追跡観測を確実に行えるように、Swift チームのメンバーと協力して、Swift 衛星の Guest Investigator プログラムに MAXI の X線閃光の追跡観測を提案し、採択されている。

更に、MAXI の X線閃光の残光を地上や衛星による追跡観測でとらえ、その振る舞いを調べること、起源天体までの距離を決定するために、国内外の協力者の存在は欠かせない。H24 年度は国内の学会で 2 回、研究会で 1 回、海外の研究会で 1 回の口頭講演を行ったほか、国内の研究会で 1 回ポスター発表を行い、これまでの研究成果を発表するとともに、MAXI の X線閃光の追跡観測のよびかけを行った。さらに H27 年度には、可視光望遠鏡による追跡観測の協力体制作りも進めることができた。

(3) 追跡観測の成果

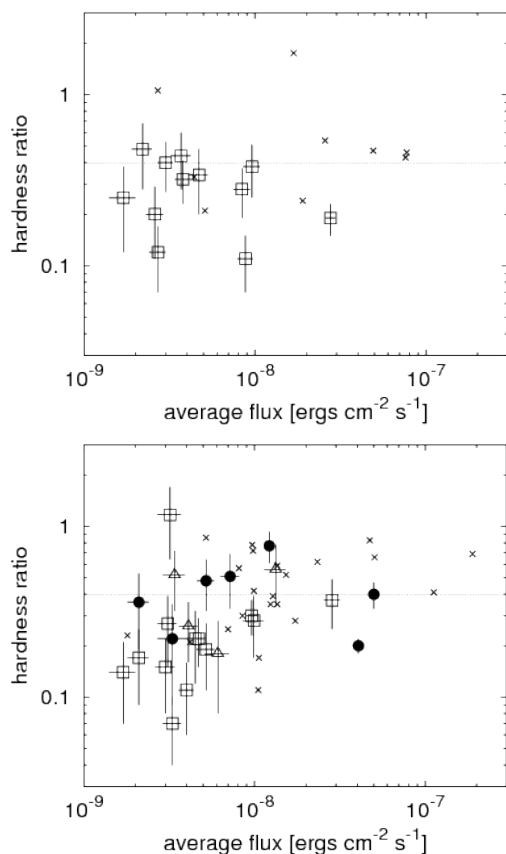
H26 年度は他の衛星でも検出された GRB を含めると 15 件の速報を行うことができた。また、そのうちスペクトルがソフトで MAXI だけが観測したものは 7 件あった。さらに、発生から短時間で位置をきめられたものは、Swift 衛星で追跡観測も積極的に行った。とくに 2014 年 10 月 29 日に観測された現象では、追跡観測によって既知の暗い X線源が像高していた

ことがわかった。この天体は銀河系内にあり、X線閃光の一部はこのような近傍の星を起源とする短時間の変動によるものであることがわかった。

H27年度はGRB等の短時間の突発天体を19イベントとらえ、速報を行った。このうち、本研究の対象であるMAXIでしか検出されないスペクトルのソフトなものは5イベントあった。追跡観測は5イベント中3イベントで行うことができ、いずれも残光もしくはその候補を検出することができた。とくに2015年12月12日のイベントでは、可視光の残光も発見でき、このスペクトルが一般的なGRBと似ていることもわかった。この観測は、可視光が検出されたことから、赤方偏移が3を超えるような遠方で発生している可能性は否定される。また、まだ距離が決定されていないそのほかの対応天体についても、X線残光の位置をもとに可視光で追跡観測を行い、母銀河を発見できれば、距離を決定できる。

H27年度の可視光望遠鏡との協力開始後、観測可能な位置に現れた8回のうち5回で観測を行った。これまでのところ有意な検出はないが、MAXIの広い誤差領域をカバーできる貴重な観測であるので、上限値の報告を行っている。

下の図は、本研究の始まる前(H21-23年度;上)と本研究が始まってから(H24年度以降;下)での、MAXIにより観測されたX線閃光を含むGRBの明るさ(横軸)とスペクトルの硬さ(縦軸)の散布図である。MAXI以外の装置でも観測されたものをx印で示した。MAXIのみで観測され



たもののうち追跡観測を行なわなかったものは□印、観測を行ったが候補となる天体が見つからなかったものを△印、候補天体が見つかったものを●印で示した。本研究を始める前はMAXIでしか観測されなかった天体の追跡観測は行われていなかったが、本研究を始めたことで、追跡観測が行われ、残光を発見することができている。なお、縦軸の0.4の点線は、我々が「X線閃光」の指標にしている値を示しており、これよりも下にある天体はスペクトルがソフトである、と考えられる。

(4) 予想外の結果

追跡観測によって、X線閃光にも残光が存在し、GRBと同様の振る舞いをする事が明らかになった一方で、追跡観測を行ったにもかかわらず依然として対応天体が発見できない場合も多い。また、別の可能性として、上記のような銀河系内の天体の突発的な像高である可能性も考えていたが、そのような場合には、既知の天体の増光が観測されるはずであり、これとも異なるようである。したがって、予想していたのとは異なる種類の天体が混在している可能性が徐々に高まってきたと言える。これらについては今後さらに調査を進める必要があると考えている。

(5) 成果の発信

速報システムの運用と並行して、これまでにMAXIがとらえたX線閃光を含む、バースト現象のカタログを作成し、論文として投稿した。論文には2009年の観測開始から2013年4月までの35のバーストについて強度やエネルギースペクトルの硬さを調べた結果を載せた。また、それらをMAXIだけがとらえたバーストと他の衛星でも同時に観測されたバーストのふたつのグループに分けて比較することでMAXIだけが捉えたX線閃光の特徴を明らかにした。

MAXIの観測によるこれらの結果をまとめたwebページも2014年から公開を開始しており、随時更新している。

(6) 波及効果

なお、本研究からの波及効果として、継続時間の長いX線バーストの追跡観測や重力波対応天体のMAXIでの探査があげられる。また、本研究の中で開発した速報システムを応用することで、これらの成果を得ることができた。

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)

- ① M. Serino, M. Shidatsu, Y. Ueda, et al.,
“Low-mass X-ray binary MAXI J1421-613 observed by MAXI GSC and Swift

XRT” ,
Publ. Astron. Soc. Japan, 査読有, 67,
2015, 30-1-30-7
DOI: 10.1093/pasj/psv003

- ② M. Serino, T. Sakamoto, N. Kawai, et al.,
“MAXI observations of gamma-ray bursts” ,
Publ. Astron. Soc. Japan, 査読有, 66,
2014, 87-1-87-14
DOI: 10.1093/pasj/psu063
- ③ M. Serino, T. Sakamoto, A. Yoshida, et al.,
“GRBs Observed by MAXI” ,
the European Astronomical Society Publications Series, 査読有, 61, 2013,
59-63
DOI: 10.1051/eas/1361007
- ④ M. Serino, T. Mihara, M. Matsuoka, et al.,
“Superburst with Outburst from EXO 1745-248 in Terzan 5 with MAXI” ,
Publ. Astron. Soc. Japan, 査読有, 64,
2012, 91-1-91-5
DOI: 10.1093/pasj/64.5.91,

[学会発表] (計 6 件)

- ① 芹野素子ほか、
全天 X 線監視装置 MAXI による長い X 線バーストの観測、
日本天文学会 2016 年春季年会、
2016 年 3 月 14 日-17 日、
首都大学東京(東京都八王子市)
- ② 芹野素子ほか、
全天 X 線監視装置 MAXI が観測した superburst、
日本物理学会 2015 年秋季大会、
2015 年 9 月 18 日-21 日、
大阪市立大学(大阪府大阪市)
- ③ 芹野素子ほか、
低質量 X 線連星 MAXI J1421-613 の発見、
日本天文学会 2014 年秋季年会、
2014 年 9 月 11 日-13 日、
山形大学(山形県山形市)
- ④ 芹野素子ほか、
全天 X 線監視装置 MAXI によるガンマ線バースト、X 線バーストの観測、
宇宙科学シンポジウム、
2014 年 1 月 9 日-10 日、
宇宙科学研究所(神奈川県相模原市)
- ⑤ 芹野素子ほか、
全天 X 線監視装置 MAXI と Swift 衛星によ

る GRB 121027A の観測、
日本天文学会 2013 年春季年会、
2013 年 3 月 20 日-23 日、
埼玉大学(埼玉県、さいたま市)

- ⑥ 芹野素子ほか、
全天 X 線監視装置 MAXI によるガンマ線バースト・X 線閃光の観測、
日本天文学会 2012 年秋季年会、
2012 年 9 月 19 日-21 日、
大分大学(大分県、大分市)

[その他]
ホームページ
<http://maxi.riken.jp/grbs/>

6. 研究組織
(1) 研究代表者
芹野 素子 (SERINO, Motoko)
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 : 70415199