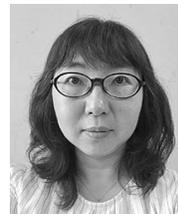


MAXIとガンマ線バーストのこの10年

芹野 素子

〈青山学院大学理工学部 物理・数理学科 〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1〉

e-mail: serino@phys.aoyama.ac.jp



ガンマ線バースト (GRB) は宇宙で最も明るく最も激しく輝く天体であり、最近では重力波との関連も話題となって、その魅力でますます人々を惹きつけている。本稿では、このGRBを地味ながら10年間観測し続けているMAXIの結果から、どのようなことがわかったか、更に今後何を期待するかをまとめる。

1. ガンマ線バーストの10年前と今

ここ10年間で、ガンマ線バースト (GRB) に関する大きな観測的成果といえば、重力波GW170817/GRB170817Aでの重力波とGRBとの同時観測が記憶に新しい¹⁾。MAXIが打ち上がった2009年当時では、10年以内にGRBを“重力波の電磁波対応天体”という文脈で語ることが“普通になる”時代が来るとは思っていなかった。まして、GRBアラートではなく、重力波アラートに日夜追われ、睡眠時間を削られる生活が待っているとは想像もできなかった*1。

10年前といえば、Swift衛星の活躍²⁾に加えてFermi GBM (Gamma-ray Burst Monitor) がそれを上回る頻度でガンマ線バーストを観測し始めた³⁾頃である。2003年にはHETE-2衛星によるGRB 030329の観測で継続時間の長いGRB (の一部) が超新星爆発に伴う現象であることが明らかになっており、2005年にはGRB 050509BやGRB 050709で継続時間の短いGRBは中性子星同士または中性子星とブラックホールの合体が起源となっている可能性が指摘されていた^{4),5)}。Swift衛星のX線望遠鏡 (XRT) による早期の残光の観測

は強力で、それまで知られていなかった残光フレアなどの複雑な変動を発見しただけでなく、可視光などの詳細な観測を可能にする早く正確な位置速報も供給した。また、MAXI打ち上げの前年に打ち上がったFermi衛星は広い視野で数多くのGRBを捉えられただけでなく、LAT (Large Area Telescope) 検出器の観測でMeVからGeV領域での放射の様子もわかってきていた⁶⁾。

ここにMAXIが割って入るのは容易ではないように思われた。というのも、次に述べるようにMAXIの視野は狭く、この視野でガンマ線バーストのイベント数を稼ぐことは無理だったからである。

2. 『全天』を常に見ているわけではない

最近“MAXIは『全天』X線監視装置なのに、重力波イベントが観測できなかったのはなぜですか?”と訊かれることがある。MAXIはひとつの装置でありながら、92分毎のスナップショットでは全天をモニタでき、かつ、データをためれば特定の星の詳細観測器としても使える一挙両得のスリットカメラである⁷⁾が、短所もある。ある一瞬における視野 (瞬間視野) が小さいことだ。MAXI/GSC (Gas Slit Camera) の場合、視野は

*1 MAXIの重力波に関する取り組みは今後、杉田の記事で紹介予定である

3度×160度が2つで全天の2%でしかない。また、軌道上に荷電粒子が多数存在する放射線帯では観測できないため、時間稼働率も40%である。実は視野に関しては、南大西洋放射線異常帯(SAA)で観測できない影響は設計時に考慮しており、前方と上方の2つの視野を持たせた。それにより“92分間輝く天体”に対しては今でも検出確率90%以上を維持できている。しかし“一瞬だけ輝く天体”に対しては検出確率1%⁸⁾で不利なのである。

冒頭の質問への答えは、“重力波イベントはX線では92分間も光り続けていないようです”と“Fermi/GBMが受けたような継続時間の短いGRBは、瞬間視野が小さいMAXIでは受ける確率が小さいです”となるだろう。しかし検出確率1%でも相手が多数起きていれば観測にかかる。MAXIで検出したGRBの数は、10年間こつこつ観測し続けた結果累計103個にもなった(2019.5.1.現在)^{9),10)}。ただし、このような結果を打ち上げ前に想像していたかといえば、実はそうでもない。

3. 10年前の予測と現実, 意外な活躍

打ち上げ1年前の2008年のMAXI国際会議では、MAXIでのGRBの検出は年間3.5イベント(実績は年間約10イベント)とする予測を発表していた。なぜこれほど少ない予想だったかといえば、BATSEやUlyssesといったMAXIよりも観測エネルギー帯域の高い検出器の頻度をもとに算出したものだったからである。当時“X線フラッシュ”のようなスペクトルのソフトなガンマ線バーストについては、ぎんが、BeppoSAX, HETE-2などによって徐々に明らかになってきている段階で¹¹⁾、その数についても、従来のいわゆるガンマ線バーストの2-3倍はありそうだ、という推定がされていた。この補正を入れると、ほとんど実際観測された数に一致する。

もうひとつ、積極的に宣伝してこなかった予測として、“どうやら2秒以下の短いGRBは検出できそうにない”というのがあった。MAXIの点源に対する有効面積は典型的には5 cm²で、短い

観測時間では検出される光子数が少なすぎて有意な検出とならない。しかしこの予測は意外な形で外れることとなった。それが“視野外”GRBの存在である。GRB 120816B, GRB 140219Aなどの短いハードで明るいGRBは、光子の入射方向を制限するためのスリットやコリメータといった光学系を透過して検出された。光学系を取り去れば総面積5350 cm²にもなる巨大な検出器である。そのため、これらの視野外GRBに対しても大変に統計の良い光度曲線を描くことができた¹⁰⁾。

4. MAXIが明らかにしたこと

はじめに述べたMAXI打ち上げ前のGRBの起源に関する理解は、現在でも大きな変更なく支持されている。GRBの理解を覆すような観測事実はなかったということだ。その中でMAXIが10年間の積み重ねによって明らかにしたことは、弱くスペクトルのソフトなGRBが多く存在し、それらはMAXIでしか観測できないということである。これを端的に示したのが図1である。他の衛星と同時に観測されたGRB(丸印)は図の上の方(スペクトルがハード)や右の方(フラックスが大きい)に多く、左下の領域はほとんどがMAXI

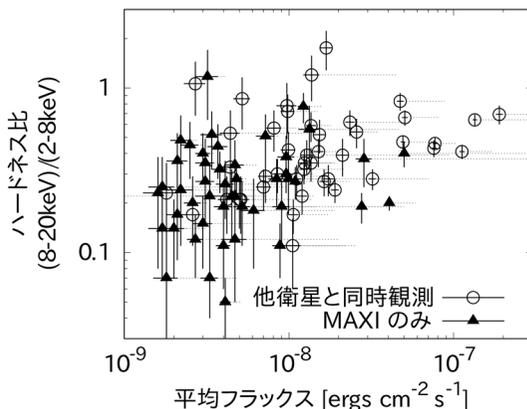


図1 MAXIが観測したGRBの平均フラックスとハードネス比の散布図。他の衛星と同時に観測したものの(丸印)に比べて、MAXIだけが観測したものの(三角)は縦軸、横軸ともに低い方にまで分布が伸びていることがわかる。

のみで観測された GRB である。2–20 keV という低いエネルギーに感度があることで、ソフトなイベントを効率よく捉えていることがまずわかる。

また、ここで強調しておきたいのは、意外と感度は良かったということである。数 cm² という小さな有効面積しかもたない GSC だが、ピンホールカメラの特性上、バックグラウンドが非常に低く抑えられ、その結果少ない光子数でも有意に検出できるのである。一方でこの光子統計ではスペクトルに関する議論がほとんどできず、論文化には常に苦しみを伴った⁹⁾。

GRB の統計的な性質とは別に、個別のイベントに関してもいくつかの特筆すべき成果が得られた。例えば、GRB 130427A¹²⁾ や GRB 130925A¹³⁾ は、非常に長時間にわたって X 線での活動が観測されたイベントで、Swift XRT と MAXI とが観測できない時間帯を相互にカバーしあう結果となった。90 分続くイベントは MAXI の本領発揮である。また、標準的な冪型の関数ではないスペクトルを示す例として、GRB 090926B¹⁴⁾ や GRB 160107A¹⁵⁾ が観測されている。このような GRB は少数の特殊な例ではあるが、GRB の多様性を示すイベントになっている。

5. 未だできていないこと、新たな課題

10 年前に確実にできるだろうと (密かに) 思い描いていたものの、未だに実現していないことがある。それは、低エネルギー側での感度を活かして $z > 5$ というような遠方のガンマ線バーストをとらえることである。打ち上げ前の試算では、明るい $z \sim 10$ のガンマ線バーストを検出できる、という予測だったのだが運にめぐまれず未だそのような例はない。これからの観測でぜひ実現したいものである。

一方で、この 10 年の観測で新たに生まれた謎もある。それが、MAXI Unidentified Short Soft Transient (MUSST) と名付けた存在である。10 年間で 9 例を数えるこの天体の特徴は、MAXI の観測データでは X 線フラッシュに似た振る舞いを示

すが、追跡観測を行っても対応天体が見つからない点で X 線フラッシュとは異なっている。MUSST の正体を明らかにするためには、MAXI での観測もさることながら、素早い速報で追跡観測を実現することが欠かせない。本号の岩切の記事にもあるように、NICER との即時連携も計画検討されている。これからも MAXI の成果を最大化するために、速報に力を注いでゆく。そして、MAXI だからこそ得られる成果を積み上げてゆきたい。

謝 辞

このような機会をくださった月報編集委員の方に大変感謝している。MAXI チームのメンバーには原稿について有益なコメントを数多く頂いた。

参考文献

- 1) 坂本貴紀, 2018, 天文月報, 111, 82
- 2) 坂本貴紀, 田代信, 佐藤悟朗, 2015, 天文月報, 108, 642
- 3) Nava, L., et al. 2011, A&A, 530, A21
- 4) Gehrels, N., et al., 2005, Nature, 437, 851
- 5) Villasenor, J.S., et al., 2005, Nature, 437, 855
- 6) 大野雅功ほか, 2010, 天文月報, 103, 315
- 7) 三原建弘, 2019, 天文月報, 112, 622
- 8) 芹野素子, 2017, 天文月報, 110, 25
- 9) Serino, M., et al., 2014, PASJ, 66, 87
- 10) MAXI GRBs <http://maxi.riken.jp/grbs/>
- 11) 山崎了, 2010, 天文月報, 103, 744
- 12) Maselli, A., et al., 2014, Science, 343, 48
- 13) Evans, P.A., et al., 2014, MNRAS, 444, 250
- 14) Serino, M., et al., 2011, PASJ, 63, S1035
- 15) Kawakubo, Y., et al., 2018, PASJ, 70, 6

MAXI and Ten Years of Observations of Gamma-ray Bursts

Motoko SERINO

Department of Physics and Mathematics, Aoyama Gakuin University, 5-10-1 Fuchinobe, Chuo-ku, Sagamihara, Kanagawa 252-5258, Japan

Abstract: Gamma-ray bursts are the brightest and most violent objects in the universe. Recently they have attracted a great interest because of the association with gravitational wave events. We summarize the results of observations of GRBs by MAXI for the last 10 years, and mention what we expect in the near future.