

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 2日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21540302

研究課題名（和文） ガンマ線バーストにおける閃光放射と残光放射の観測的研究

研究課題名（英文） Observational Study on the flash and afterglow of Gamma-Ray Bursts

研究代表者

山内 誠（YAMAUCHI MAKOTO）

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：80264365

研究成果の概要（和文）：宇宙最大規模の爆発であるガンマ線バーストを、人工衛星搭載観測装置や地上の可視光望遠鏡によって観測し、サンプルを増やすことで爆発時の閃光放射、およびそれに付随する残光放射の統計的な性質の精度を高めた。また、これらの精度をより高めること、および、新たに提唱された理論を確認することを目的として、データの自動解析システムや可視光観測装置の開発を行い、これらが所期の性能を満たすことを確認した。

研究成果の概要（英文）：By our observations using the satellites and/or ground-based optical telescopes, we confirmed the statistical nature of their prompt emission and afterglow of Gamma-ray bursts which are the most energetic explosions in the universe. In addition, to make these results more reliable and to test the newly advocated theory, we have developed the automated data analysis system and the equipment for the optical observation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：宇宙物理学

科研費の分科・細目：物理学：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ガンマ線バースト：X線観測：トランジェント天体：宇宙物理

1. 研究開始当初の背景

ガンマ線バーストは突然ガンマ線を放出する天体現象で、その継続時間は典型的には数秒間から数十秒間しかない。しかも、いつ、どこで発生するのかわかりにくいため、この現象の発見から約30年間にわたりその正体は謎に包まれたままであった。ところが1997年にヨーロッパのBeppoSAX衛星がガンマ線バーストのX線残光を発見したことをきっかけとして、世界中の望遠鏡がガン

マ線バースト発生直後にその方向に向けられるようになり、X線残光だけでなく、可視光残光や電波残光も発見され、ガンマ線バーストが数十億光年より遠方で起こる現象であることが明らかになった。しかし残光は急激に減光するため、その観測は容易ではない。そんな中2000年に打ち上げられたHETE2衛星ではガンマ線バースト発生後、世界中へ通報するまでに要する時間が飛躍的に短縮されたため、残光強度が検出限界以下に減光す

る前に観測することが可能となり、多波長同時観測によりガンマ線バーストと超新星爆発との関係を確実なものとなった。さらに2004年末に打ち上げられたアメリカのSwift衛星は年間100個近くのガンマ線バーストを検出しており、残光の観測例も飛躍的に多くなった。その結果、特にX線残光については、Swift衛星に搭載されたX線検出器によりいち早く観測を開始することができ、その光度変化に対する標準的な振る舞いが明らかとなった。しかしX線残光と可視光残光の光度変化には相違点が多く、異なる波長域間の残光光度変化の関係について新たな疑問が生まれた。さらに、上記のように早期の追観測が可能になったにも関わらず、ダークバーストと呼ばれる可視光残光が観測されないバーストも依然として存在し、可視光残光の有無とバースト時におけるガンマ線閃光放射の特徴との関係も明らかにはなっていない。

2. 研究の目的

ガンマ線バーストの研究を進めるために、多様な性質を示すバースト間の関連やガンマ線閃光放射と残光との関連を調べ、データの精度を随時高めることが本研究の目的であり、特に以下のものが主だった目的となる。

(1) 可視光天体との同定

可視光対応天体を同定することにより、ガンマ線バーストの起源を探るとともに多波長域での観測へと導く。

(2) 閃光放射の広帯域スペクトル

ガンマ線閃光放射を特徴付けるパラメータを求める際に、ピークエネルギーを含むことが大きな意味を持つ。そこでこれを実現するために、複数の衛星データを用いて広帯域のエネルギースペクトルを用いて必要なパラメータを導出しお互いの関連性を見出す。

(3) X線残光と可視光残光の関連性

これまで個々に観測されたX線残光と可視光残光の光度変化には相違点が多く見つかっている。これらの観測を継続しサンプルを増やすことで、X線と可視光の統計的な違いを見出すことを目的とし、そのための観測だけでなく装置開発も行う。

(4) ダークバーストの特徴

早期の追観測が可能になったにも関わらず、ダークバーストと呼ばれる可視光残光が観測されないバーストも依然として存在するので、可視光残光の有無とバースト時におけるガンマ線閃光放射の特徴との関係について継続的観測により明らかにする。

3. 研究の方法

現在稼働中の複数の人工衛星はガンマ線バースト発見の情報を提供している。中でもSwift衛星やFermi衛星はガンマ線バースト発見の速報数が圧倒的に多く、ガンマ線、X線、紫外・可視光での観測データの公開も行なっている。

我々は共同研究者として日本の「すざく」衛星や国際宇宙ステーション日本実験棟搭載全天X線監視装置MAXIの観測データを解析できる立場にあるので、Swift衛星などからの情報を得て「すざく」衛星のXIS検出器とHXD検出器、およびMAXIによるX線残光の詳細な追観測を行う。また、「すざく」衛星搭載WAM検出器は広い波長域でのモニター観測を行っており、多くのガンマ線バースト閃光放射を捉えている。その観測波長域はガンマ線閃光放射スペクトルにおけるピークエネルギーを決定するのに適しているので、これとMAXIをはじめ他の衛星データと組み合わせることで広帯域スペクトルを求める。以上のような人工衛星を利用した観測により、X線残光の特徴、ガンマ線バーストを特徴付けるパラメータの導出とパラメータ間の関連性を調査する。

可視光残光については、人工衛星からの速報をもとに、宮崎大学工学部屋上に設置した口径30センチメートルの望遠鏡による自動追観測を継続するだけでなく、学内の口径50センチメートルの望遠鏡をガンマ線バースト残光観測に対応できるよう整備するとともに、人工光によるバックグラウンドを避け、より検出効率を上げることでできる g' バンドと、CCDカメラの感度特性に合った標準的なRバンドでフィルターを用いた残光観測が可能となるよう観測装置を開発・製作し、新たな観測を開始する。このような可視光観測により、人工衛星によって発見されたガンマ線バーストと可視光天体との同定、可視光残光の光度変化やスペクトルの特徴を見出す。

4. 研究成果

(1) ガンマ線バーストの発見・同定と残光観測

「すざく」衛星搭載WAM検出器で発見し、他衛星と同期のとれたガンマ線バーストは4年間で106個であり、2009年8月に観測を開始した国際宇宙ステーション搭載MAXIは、これまでに22個のガンマ線バースト閃光放射を捕えた。これらの情報はガンマ線バーストの世界的なネットワーク(GCN)に速報として報告し、他波長追観測に寄与した。一方、他衛星からの情報を得てWAM検出器でX線追観測を行ったガンマ線バーストは1個であり、可視光残光追観測を行ったガンマ線バーストは17個であった。我々はこれらの解析結果をGCNにサーキュラーとして報告した。

(2) 閃光放射の継続時間と広帯域スペクトル

我々は「すざく」衛星打ち上げから2010年2月までに衛星搭載WAM検出器によって観測されたガンマ線バーストの閃光放射に関し、放射の継続時間を統計的に解析することでガンマ線バーストが2種類に分類できることをより明確にするのと同時に、全ガンマ線バーストのうち、ショートガンマ線バーストが23%、ロングガンマ線バーストが77%を占めること、および250 keV 以下のエネルギー帯域でショートガンマ線バーストの放射スペクトルがロングガンマ線バーストに比べ顕著に硬いことを明らかにした。この結果はこれまでに提案されてきた性質をより確実にしただけでなく、その性質の有効な範囲を限定したもので、ガンマ線バーストの分類を考えるうえで重要なものである。

また、我々は「すざく」衛星とSwift衛星で同時に観測された91個のロングガンマ線バーストに対し、CGRO衛星搭載BATSE検出器による観測結果からAmatiらが指摘したピークエネルギーと等方放射エネルギーの間の正相関を確認し、サンプル数の増加や観測機器の違いによって影響を受けない本来の性質であることを明確にした。しかし、同じく「すざく」衛星とSwift衛星で同時に観測されたショートガンマ線バーストでは、これら二つのパラメータ間に有意な相関を見出すことはできなかった。このような性質の違いはロングガンマ線バーストとショートガンマ線バーストの起源が異なるものであるとする提案を裏付けるものである。

一方、GhirlandaらはFermi衛星搭載GBM検出器で観測したショートガンマ線バーストに対して時間分解スペクトル解析を行い、ピークエネルギーと放射エネルギー強度との間の相関を見出している。そこで我々はGhirlandaらの発表以降にGBM検出器で観測された10個のショートガンマ線バーストのアーカイブデータを用いて時間分解スペクトルを解析したところ、図1に示すような結果となった。図では個々のガンマ線バーストが色分けして示されている。このように別のデータを用いてもやはりGhirlandaの相関が成り立つことがわかった。このことによりショートガンマ線バーストの物理を考えるうえで重要な性質を明確にしたといえる。

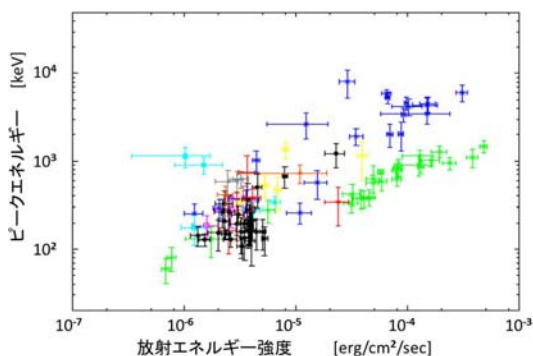


図1 ショートガンマ線バーストにおけるスペクトルパラメータ間の相関

(3) X線残光の解析

ガンマ線バーストのX線残光に関しては、標準的な残光モデルでは説明できないほど緩やかに減光するものが多いことがわかっている。そこで、Swift衛星で早期観測されたGRB050525Aの閃光X線放射について調べたところ、バースト発生15時間後まで硬X線を放射し続けており、X線残光の緩やかな減光だと考えられていたものが、実はX線閃光とX線残光との合成である可能性の高いことを見出した。これはガンマ線バーストがバースト発生後も活発な状態が続くことを示しており、バーストのメカニズムを考えるうえで重要な結果である。

(4) 観測及び解析システムの開発

典型的なX線残光は一定時間経過後に減光が急激になっており、このようなX線残光の光度変化を再現するモデルとして閃光放射より前にX線前兆放射が始まっていると考えるモデルが提案されている。そこで我々は、国際宇宙ステーション搭載全天X線監視装置MAXIの観測データから前兆放射を自動探索することを目的とした解析システムを構築し、その性能評価を行った。この結果、開発した解析システムは前兆放射や閃光放射の探索に有効であることがわかり、システムを常時稼働することでX線残光光度変化の謎の一つを解決できるものと考えられる。

可視光残光観測については、観測可能な残光数を増やすと共に、フィルターによる分光を行なうために、口径50cm望遠鏡の主鏡を改修し反射率を向上させた。また、g'バンド、Rバンド、Iバンドの3バンドフィルター観測装置を設計、製作し、撮像用のCCDカメラが準備できた2バンドについては較正観測を開始した。残りの1バンドについてはカメラが準備でき次第、観測を開始する予定である。

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14件)

- ① K.Yamaoka, 他33名16番, Current Status of the Suzaku Wide-band All-sky Monitor (WAM), AIP Conference Proceedings, 査読無、Vol.1133, 2009, 91-93
DOI: 10.1063/1.3155980
- ② M. Ohno, 他33名28番, New probes of GRB prompt emission properties using wide-band spectroscopy by Suzaku Wide-band All-sky Monitor, AIP Conference Proceedings, 査読無、Vol.1133, 2009, 338-343
DOI: 10.1063/1.3155914
- ③ H. A. Krimm, 他11名11番, Reviewing Epeak relations with Swift and Suzaku

- data, AIP Conference Proceedings, 査読無、Vol.1133, 2009, 344-349
DOI: 10.1063/1.3155915
- ④ H. A. Krimm, 他 14 名 15 番, Testing the $E_{\text{peak}}-E_{\text{iso}}$ Relation for GRBs Detected by Swift and Suzaku-WAM, The Astrophysical Journal, 査読有、Vol.704, 2009, 1405-1432
DOI: 10.1088/0004-637X/704/2/1405
- ⑤ K. Onda, 他 14 名 14 番, Time-Resolved Spectral Variability of the Prompt Emission from GRB 070125 Observed with Suzaku/WAM, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有、Vol.62, 2010, 547-556
<http://pasj.asj.or.jp/v62/n3/620305/620305.pdf>
- ⑥ M. Matsuoka, 他 35 名 35 番, The First Light from MAXI onboard JEM (Kibo)-EF on ISS, AIP Conference Proceedings, 査読無、Vol.1248, 2010, 531-536
DOI: 10.1063/1.3475334
- ⑦ M. Matsuoka, 他 38 名 35 番, Early results of MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) on ISS, Proceedings of the SPIE Conference, 査読有、Vol.7732, 2010, 77320Y-77320Y-9
DOI: 10.1117/12.857946
- ⑧ M. Ohno, 他 25 名 22 番, All-sky Observations with Suzaku Wide-band All-sky Monitor and MAXI, Proceedings of the 4th. International MAXI Workshop, 査読無、2011, 345-350
http://maxi.riken.jp/FirstYear/proceedings/pdf/Ohno_Masanori-bin-20110131180013.pdf
- ⑨ A. Daikyuj, 他 6 名 2 番, In Orbit Performance of the MAXI/SSC 1, Proceedings of the 4th. International MAXI Workshop, 査読無、2011, 29-32
http://maxi.riken.jp/FirstYear/proceedings/pdf/Yamauchi_Makoto-bin-20110523221808.pdf
- ⑩ T. Mihara, 他 18 名 18 番, Gas Slit Camera (GSC) onboard MAXI on ISS, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有、Vol.63, 2011, 623-634
<http://pasj.asj.or.jp/v63/sp3/63s301/63s301.pdf>
- ⑪ M. Serino, 他 33 名 33 番, Peculiarly Narrow SED of GRB 090926B with MAXI and Fermi/GBM, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有、Vol.63, 2011, 1035-1040
<http://pasj.asj.or.jp/v63/sp3/63s352/63s352.pdf>
- ⑫ M. Ohno, 他 27 名 11 番, The six year results of Suzaku Wide-band All-Sky monitor, AIP Conference Proceedings, 査読無、Vol.1427, 2012, 115-122
DOI:10.1063/1.3696160
- ⑬ N. Ohmori, T. Sakamoto, M. Yamauchi, Searching for late-time hard X-ray emission of Swift GRBs, Proceedings of the Gamma-Ray Bursts 2012 Conference, 査読無、2012, id.76
http://pos.sissa.it/archive/conferences/152/076/GRB%202012_076.pdf
- ⑭ H. Negoro, 他 26 名 25 番, 3 years all-sky X-ray observations with MAXI, Proceedings of the Conference on "Half a Century of X-Ray Astronomy", 査読無、2012, id.66
<http://www.astro.noa.gr/xcosmo/TALK S/negoro.pdf>

[学会発表] (計 26 件)

- ① K. Onda, Suzaku/WAM Observations of GRB Prompt High Energy MeV Emission, International Symposium on "The Shocking Universe: Gamma Ray Bursts and High Energy Shock phenomena in the Universe", 2009年9月14日, Venice (Italy)
- ② 林 秀憲、「すざく」衛星搭載の広帯域全天モニタ WAM による GRB090530B の観測、日本天文学会、2009年9月14日、山口大学(山口県)
- ③ 田代 信、「すざく」衛星搭載硬 X 線検出器広帯域全天モニタ部 (HXD-WAM) の現状 (VIII)、日本天文学会、2009年9月14日、山口大学(山口県)
- ④ 田代 信、「すざく」によるガンマ線バースト GRB 090709A の X 線残光観測、第10回宇宙科学シンポジウム、2010年1月7日、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部(神奈川県)
- ⑤ 山岡 和貴、「すざく」広帯域全天監視モニタ (WAM) による軟ガンマ線突発現象の観測、第10回宇宙科学シンポジウム、2010年1月7日、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部(神奈川県)
- ⑥ 山岡 和貴、すざく衛星搭載硬 X 線検出器広帯域全天モニタ部 (HXD-WAM) の現状 (VI)、日本物理学会、2010年3月20日、岡山大学(岡山県)
- ⑦ 中平 聡志、全天 X 線監視装置 MAXI によるガンマ線バースト/X 線フラッシュの観測結果、日本天文学会、2010年3月24日、広島大学(広島県)
- ⑧ 恩田 香織、X 線天文衛星「すざく」搭載 WAM 検出器による FRED 型光度変動のエネルギー依存性の観測、日本天文学会、2010年3月24日、広島大学(広島県)
- ⑨ 岩切 渉、「すざく」衛星搭載 WAM 検出器による GRB090709A の周期解析、日本天文学会、2010年3月24日、広島大学(広島県)
- ⑩ 山岡 和貴、「すざく」衛星搭載硬 X 線検出器広帯域全天モニタ部 (HXD-WAM) の現状 (IX)、日本天文学会、2010年3月24日、

- 広島大学(広島県)
- ⑪ 富田 洋、全天X線監視装置:観測開始からの1年、日本物理学会、2010年9月11日、九州工業大学(福岡県)
 - ⑫ 大森 法輔、すざく衛星搭載 WAM 検出器による short GRB の物理パラメータの相関関係と分布、日本天文学会、2010年9月22日-24日、金沢大学(石川県)
 - ⑬ 鈴木 素子、全天 X 線監視装置 MAXI による 1 年間のガンマ線バーストの観測と解析、日本天文学会、2010年9月22日-24日、金沢大学(石川県)
 - ⑭ 西岡 祐介、「すざく」衛星搭載の広帯域全天モニタ WAM による GRB カタログの構築、日本天文学会、2011年3月16日、予稿集 J53b
 - ⑮ 三原 建弘、全天X線監視装置MAXI:運用開始1年7ヶ月の現状、日本物理学会、2011年3月25日、概要集 25pGS-8
 - ⑯ 杉田 聡司、すざく衛星搭載硬X線検出器広帯域全天モニタ部(HXD-WAM)の現状(VII)、日本物理学会、2011年3月25日、概要集 25pGS-11
 - ⑰ M. Ohno, The Six Year Results of Suzaku Wide-band All-sky Monitor, The Suzaku 2011 science conference, 2011年7月20日-22日, SLAC National Accelerator Laboratory (アメリカ)
 - ⑱ 大森 法輔、「すざく」衛星搭載広帯域全天モニタWAM によるGRB カタログ構築、日本天文学会、2011年9月19日-22日、鹿児島大学(鹿児島市)
 - ⑲ 杉田 聡司、すざく衛星搭載硬X線検出器広帯域全天モニタ部(HXD-WAM)の現状IIX、日本天文学会、2011年9月19日-22日、鹿児島大学(鹿児島市)
 - ⑳ 大野 雅功、すざく衛星広帯域全天モニタ(WAM)による全天観測、宇宙科学シンポジウム、2012年1月5日-6日、宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所(神奈川県)
 - 大森 法輔、「すざく」衛星搭載広帯域全天モニタWAM によるGRB カタログ構築I、日本天文学会、2012年3月19日-22日、龍谷大学(京都府)
 - 大森 法輔、GRB050525A におけるバースト発生後に放射された硬X線の探査、日本天文学会、2012年9月11日-14日、大分大学(大分県)
 - 秋山 満、「すざく」衛星搭載広帯域全天モニタWAM のGRB カタログの構築II、日本天文学会、2012年9月11日-14日、大分大学(大分県)
 - 花山 喬則、SSCデータを用いたカタログの作成、日本天文学会、2012年9月11日-14日、大分大学(大分県)
 - 三原 建弘、MAXIによる変動X線天体の観測、日本天文学会、2012年9月11日-14日、大分大学(大分県)
 - 根来 均、2012年における MAXI による新天体の発見と突発現象の発見、宇宙科学シンポジウム、2013年1月8日-9日、宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所(神奈川県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山内 誠 (YAMAUCHI MAKOTO)
 宮崎大学・工学部・教授
 研究者番号: 80264365

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

廿日出 勇 (HATSUKADE ISAMU)
 宮崎大学・工学部・教授
 研究者番号: 30221500
 松澤 英之 (MATSUZAWA HIDEYUKI)
 宮崎大学・情報戦略室・助教
 研究者番号: 30301443

研究協力者

大森 法輔 (OHMORI NORISUKE)
 宮崎大学大学院・農学工学総合研究科
 博士課程
 河野 健太 (KOHNO KENTA)
 宮崎大学大学院・工学研究科・修士課程
 林 秀憲 (HAYASHI HIDENORI)
 宮崎大学大学院・工学研究科・修士課程
 大休寺 新 (DAIKYUJI ARATA)
 宮崎大学大学院・工学研究科・修士課程
 野田 和宏 (NODA KAZUHIRO)
 宮崎大学大学院・工学研究科・修士課程
 西岡 祐介 (NISHIOKA YUSUKE)
 宮崎大学大学院・工学研究科・修士課程
 蔵丸 泰正 (KURAMARU TAISEI)
 宮崎大学大学院・工学研究科・修士課程
 秋山 満 (AKIYAMA MITSURU)
 宮崎大学大学院・工学研究科・修士課程
 西村 泰徳 (NISHIMURA YASUNORI)
 宮崎大学大学院・工学研究科・修士課程