

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18340051
 研究課題名(和文) スウィフト衛星との同期観測によるガンマ線バーストにともなう閃光の系統的探査
 研究課題名(英文) Simultaneous systematic survey of the GRB associated optical flash with Swift satellite
 研究代表者
 田代 信 (TASHIRO MAKOTO)
 埼玉大学・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号：00251398

研究成果の概要：

ガンマ線バーストは、宇宙でもっとも明るい爆発的天体現象である。遠方銀河中の超新星爆発にともなうジェットを起源とすると考えられているが、超新星爆発では説明がむずかしい例も多数あり、一筋縄ではいかない。本研究では、広視野硬 X 線望遠鏡でガンマ線バーストを探知するスウィフト衛星と同じ視野を自動的に観測する可視光望遠鏡を開発設置し、所定の性能を確認した。直接の検出例はまだないが、得られた走査観測データの公開をすすめている。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,800,000	2,040,000	8,840,000
2007年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：宇宙物理、観測天文学、可視光天文学、ガンマ線バースト

1. 研究開始当初の背景

ガンマ線バースト(GRB)は、 10^{44} J ものエネルギーを1秒～数分のうちに放出する、ビッグバンを除くと宇宙で最も大規模な爆発的な現象として知られる。GRBの大きな光度とミリ秒にいたる短時間変動とを同時に説明するためには、超相対論的運動をしている放射体が不可欠とされる。しかしながら、ローレンツ因子にして数百におよぶプラズマ流を射出する天体などというものは、他にまったく知られておらず、全貌の理解にはほど遠い。

大きなヒントは、2003年に報告された残光から得られた超新星爆発の証拠と2004年に我々を含む複数のグループから報告された、間接的ながら中性子星合体説を支持する証拠(Gehrels et al. 2005 など)、そして後述する、複雑だが統一性のある光度変動などである。しかし、例数、観測時間のカバー率、観測帯域の完全性、いずれの点においても系統的なものではない状況がつづいている。

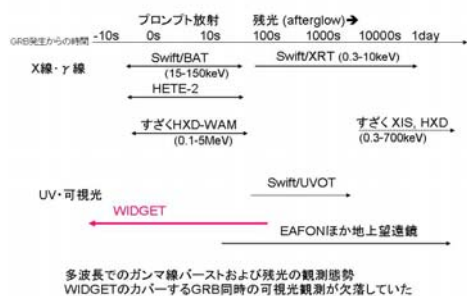
解くべき謎であり、大きな手がかりと考えられているものが、スウィフト(Swift)衛星の早期X線残光の観測であきらかになった、単

一のベキ型ではあらかわせない複雑な X 線残光の振る舞いである (e.g. Nousek et al. 2005)。これは、単純な断熱膨張や放射冷却では説明できず、実際に数時間におよぶエネルギー注入(すなわち中心天体への質量降着)などを必要とする。すなわち、GRB 起源天体の幾何学的特長、あるいは動的な様子が直に反映されている可能性が極めて高い。

このような新展開をもたらした鍵は何か。それは、Swift 衛星が初めて実現した、GRB 本体(プロンプト放射)から残光にいたる連続的な観測である。従来の「GRB 検知」をうけて「追観測」を行っていた時代の時間的なギャップで見見過ごされてきた姿が、単独の衛星で時間的なギャップなしに観測できる Swift によって、顕わにされているのである。

しかし X 線観測だけでは不十分である。崩壊の規模や物質分布、磁場、さらには崩壊の時間スケール、星周物質の状態など起源天体の状態を観測的に明らかにするためには、X 線ガンマ線だけでなく、むしろ、より星周物質の影響を反映しやすい可視光での「光学閃光」の同時観測が重要である(図 1)。

図 1 多波長でのガンマ線バースト観測



可能時間帯

我々の取り組んでいる日中台韓の残光観測ネットワーク EAFON を含むロボティクス望遠鏡によって GRB 発生後数分から行われるようになってきた可視光観測からも、すでに複雑な減光の様子が見え始めている。しかしそれが従来からの言われている星間物質との相互作用による「残光」なのか、あるいは可視光でも GRB プロンプト放射そのものが見え始めているのか、結論するには、GRB 発生時からの X 線との連続的な光度曲線の比較が不可欠である。しかし本研究開始時点では、GRB とほぼ同時の光学観測例は、8.9 等級にまで増光した光学閃光 (GRB990123: Akelrof et al. 1999) のたった一例にすぎなかった。

2. 研究の目的

当然のことながら、GRB にもなって発生

する「光学閃光」観測は、X 線・ γ 線観測からのアラートを待たない。言い換えれば、これまで盛んに行われてきた「残光観測」---星間物質とジェットとの衝突によってつくられ数日かけてゆっくりと減衰する残光の観測では、(Swift 以前の X 線観測と同じで) 起源天体の動的な状況を知るには十分とは言えず、図 1 に示したように早期の可視光観測こそが重要である。

本研究課題は、広視野の光学望遠鏡をもちいて、ガンマ線バースト (GRB) と同時に発生する光学閃光を系統的に探査、GRB の発生領域に観測から直に迫ることを目的とする。

3. 研究の方法

この状況を打開すべく我々は、活躍中のガンマ線バースト探知衛星 HETE-2 の視野を、自動的に追尾する広視野光学望遠鏡「WIDGET」を考案し、設置した。類似の試みは世界中をみても他に 3 箇所で行われているにすぎない。そのうちでも WIDGET は視野の広さで他を圧倒しており、ユニークかつ最も有望な試みであると自負している。1 台の広視野カメラのみであるが、すでに 1 年間にわたって運用効率 95% の稼働実績を達成している。本研究課題では、すでに順調に運用されている WIDGET を本格的に拡張することで、Swift に対応した視野と明るい光学閃光のみならず GRB の可視光プロンプト放射を検出できる感度にまで増強し、世界に先駆けて真の系統的な探査を実行することにある。

これは単に時流に乗ろうというのではない。我々は、長年にわたり HETE-2 衛星 (玉川) と Swift 衛星の開発・運用 (田代) および「すざく」衛星搭載の硬 X 線検出器 (GRB 検知機能をもつ) の開発運用を行っている (田代・玉川) コアメンバーであり、同時に、残光観測でも国際的な協力体制を築いてきた (浦田・玉川・田代)。その結果、我々は、衛星と地上の同時観測において両方にかかわるといふ世界的にも希有な位置にいるのである。

4. 研究成果

初年度である 2006 年度には、東京大学宇宙線研究所明野観測所で構築し運用してきたシステムを、さらに高感度・高効率の観測をめざし、より夜光の少ない東京大学天文教育センター木曾観測所へ移設した。さらに、レンズの焦点距離を 35mm から 50mm に交換することによる、SN 比の改善をすすめた。レンズの交換によって観測視野が狭くなることを補償するために、カメラを 1 台新たに購入し、3 台から 4 台への増強した (図 2)。あわせて十分な仰角を確保し観測時間を伸ばすために、改良型の観測小屋を新設した

(図3)。観測小屋の改良に十分な検討を加えたため、改良型観測小屋での実際のシステム構築は2年目に持ち越されることになったが、カメラおよび赤道儀、制御システムは、すでに移設した旧型の観測小屋で運用をつづけた。



図2 4台体制になった WIDGET



図3 新たに設計した観測小屋

同時に、Swift 衛星や「すざく」衛星を用いた GRB 観測、また東アジアの可視光残光ネットワークをもちいた GRB 研究も進展させ、その成果を国内外の学会、研究会で公表した。とくに、Swift 衛星と「すざく」衛星の連携による GRB 初期残光観測を行い、その成果を論文として公表した。特にこれは、GRB 発生から 5.3 時間で汎用 X 線天文台による観測を成功させるという快挙であり、これまででもっとも早期のジェットブレイクを検出するという成果を上げた(Tashiro et al. 2007)。

2007 年度には、木曾に新設した観測装置システムの本格稼働をおこなった。観測運用用の計算機を追加すると共に、暗電流特性などの基本特性試験を並行してすすめた。また、設置後の木曾の観測データをもとに較正をすすめ、レンズと採用している CCD を含めた光学系が、とくに R バンドに高い感度をもっており、R バンド等級をもちいたカタログ天体との相対測光でよい線形性が確認できた。この結果、木曾への移転により、約 1 等級強の感度の向上を確認できた。また、これまで蓄積してきたデータを系統的に処理するための解析システムの整備をすすめ、デー

タの副次的利用として変光星を利用した相対測光感度の確認もおこない、0.5 等級相当の変光を有意に検出できる性能を確認した。これらの成果を学会で発表した。さらに年度の後半から、翌年度にかけては、別プロジェクトとして、同じ敷地に設置された即時追観測望遠鏡との連携を計った。例年にない積雪により冬場の較正観測ができなかったため、同時に追観測望遠鏡の設置も遅れたため、翌 20 年度にまたがって、両者の較正および連携の整備を進め、共同運用システムを立ち上げた。広い視野をもちいて次々におきる GRB を追って移動する Swift 衛星の視野をおうことは、自動的に全天探査をすすめることに相当する。自動的に全天を広く掃く可視光での画像を継続的に撮影しているので、蓄積されたデータを利用して、全天での変光天体の長期モニターおよび公開の準備も並行してすすめた。

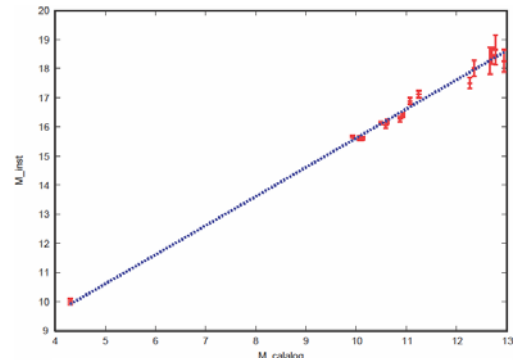


図4 R バンドでの機械等級とカタログ等級の対応。線形性とともにも 1 2 等級を上回る感度を確認できる。

2008 年度は、木曾に新設したサイトによる観測を継続するとともに、特にデータの副次的利用として全天の突発天体のモニター、そしてデータベースの公開のためのデータ処理を進めた。これまでの改良によって WIDGET は 12 等級に達する限界等級感度を達成した。また 0.5 等級の変光に対する感度も確認された。さらに、広い視野をもちいて次々におきる GRB を追って移動する Swift 衛星の視野をおうことは、自動的に全天探査をすすめることに相当する。自動的に全天を広く掃く可視光での画像を継続的に撮影できることになるので、蓄積されたデータを利用して、全天での変光天体の長期モニターになるので、これを広く公開することの意義は大きい。今年度は、撮影画像から自動的に星を検出・計数し、2000 以上の星が検出されれば晴れており利用可能なデータとし、2000 以下であれば公開データから外すというアルゴリズムを開発し、20TB に及ぶデータを半分以下に圧縮した。さらに、広視野光学系による収差を測定し、光軸と収差の半径依存性をもとめ、画像の線形補正方法を確立し、こ

れを FITS ヘッダに書き込む方法を確立した。これと赤道儀の制御ログから視野中心と方位角がわかるので、これらの情報と標準星を用いてのアstrometry がユーザーによって可能になる。これによって、データを公開する手法が確立したので、データ処理をすすめながら順次公開をすすめているところである。

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 10 件)

- ① Tashiro, M. S.; Murakami, T.; Yoshida, A.; Kawai, N.; Nousek, J.; Angelini, L.; Kaluzienski, J. L.; Kelley, L. R.; Kinugasa, K.; Nakazawa, K.; Reeves, N. J.; Ricker, G.; Suzuki, M.; Takahashi, T.; Tamagawa, T.; Torii, K.; Ueda, Y.; Urata, Y.; Yamaoka, K.; Yamauchi, M.; Yonetoku, D.; The Suzaku Team, “Capability and strategy of the X-ray afterglow observation with Suzaku”, *Il Nuovo Cimento B*, 121, 1597-1598 (2006) 査読有
- ② Butler, N. R.; Li, W.; Perley, D.; Huang, K. Y.; Urata, Y.; Prochaska, J. X.; Bloom, J. S.; Filippenko, A. V.; Foley, R. J.; Kocevski, D.; Chen, H.-W.; Qiu, Y.; Kuo, P. H.; Huang, F. Y.; Ip, W. H.; Tamagawa, T.; Onda, K.; Tashiro, M.; Makishima, K.; Nishihara, S.; Sarugaku, Y., “When Do Internal Shocks End and External Shocks Begin? Early-Time Broadband Modeling of GRB 05111”, *The Astrophysical Journal*, 652, 1390-1399 (2006) 査読有
- ③ Huang, K. Y.; Urata, Y.; Kuo, P. H.; Ip, W. H.; Ioka, K.; Aoki, T.; Chen, C. W.; Chen, W. P.; Isogai, M.; Lin, H. C.; Makishima, K.; Mito, H.; Miyata, T.; Nakada, Y.; Nishiura, S.; Onda, K.; Qiu, Y.; Soyano, T.; Tamagawa, T.; Tarusawa, K.; Tashiro, M.; Yoshioka, “Multicolor Shallow Decay and Chromatic Breaks in the GRB 050319 Optical Afterglow”, *The Astrophysical Journal*, 654, L25-L28 (2006) 査読有
- ④ Tashiro, Makoto S.; Abe, Keiichi; Angelini, Lorella; Barthelmy, Scott; Gehrels, Neil; Ishikawa, Nobuyuki; Kaluzienski, Louis J.; Kawai, Nobuyuki; Kelley, Richard L.; Kinugasa, Kenzo; Kodaira, Hironobu; Kohmura, Takayoshi; Kubota, Kaori; Maeda, Yoshitomo; Maeno, Shouta; Murakami, Hiroshi; Murakami, Toshio; Nakagawa, Yujin E.; Nakazawa, Kazuhiro; Nousek, John; Okuno, Shin'ya; Onda, Kaori; Reeves, James N.; Ricker, George; Sato, Goro; Sonoda, Eri; Suzuki, Motoko; Takahashi, Tadayuki; Tamagawa, Toru; Torii, Ken'ichi; Ueda, Yoshihiro; Urata, Yuji; Yamaoka, Kazutaka; Yamauchi, Makoto; Yonetoku, Daisuke; Yoshida, Atsumasa; Yoshinari, Satoru, “Swift and Suzaku Observations of the X-Ray Afterglow from the GRB 060105”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, S361-S367 (2007) 査読有
- ⑤ de Ugarte Postigo, A.; Fatkhullin, T. A.; Jóhannesson, G.; Gorosabel, J.; Sokolov, V. V.; Castro-Tirado, A. J.; Balega, Yu. Yu.; Spiridonova, O. I.; Jelínek, M.; Guziy, S.; Pérez-Ramírez, D.; Hjorth, J.; Laursen, P.; Bersier, D.; Pandey, S. B.; Bremer, M.; Monfardini, A.; Huang, K. Y.; Urata, Y.; Ip, W. H.; Tamagawa, T.; Kinoshita, D.; Mizuno, T.; Arai, Y.; Yamagishi, H.; Soyano, T.; Usui, F.; Tashiro, M.; Abe, K.; Onda, K.; Aslan, Z.; Khamitov, I.; Ozisik, T.; Kiziloglu, U.; Bikmaev, I.; Sakhbullin, N.; Burenin, R.; Pavlinsky, M.; Sunyaev, R.; Bhattacharya, D.; Kamble, A. P.; Ishwara Chandra, C. H.; Trushkin, S. A., “Extensive multiband study of the X-ray rich GRB 050408. A likely off-axis event with an intense energy injection”, *Astronomy and Astrophysics*, 462, L57-L60 (2007) 査読有
- ⑥ Sato, G.; Yamazaki, R.; Ioka, K.; Sakamoto, T.; Takahashi, T.; Nakazawa, K.; Nakamura, T.; Toma, K.; Hullinger, D.; Tashiro, M.; Parsons, A. M.; Krimm, H. A.; Barthelmy, S. D.; Gehrels, N.; Burrows, D. N.; O'Brien, P. T.; Osborne, J. P.; Chincarini, G.; Lamb, D. Q., “Swift Discovery of Gamma-Ray Bursts without a Jet Break Feature in Their X-Ray Afterglows”, *The Astrophysical Journal*, 657, 359-366 (2007) 査読有
- ⑦ Urata, Yuji; Yamazaki, Ryo; Sakamoto, Takanori; Huang, Kuiyun; Zheng, Weikang; Sato, Goro; Aoki, Tsutomu; Deng, Jinsong; Ioka, Kunihito; Ip, WingHuen; Kawabata, Koji S.; Lee, YiHsi; Liping, Xin; Mito, Hiroyuki; Miyata, Takashi; Nakada, Yoshikazu; Ohsugi, Takashi; Qiu, Yulei; Soyano, Takao; Tarusawa, Kenichi; Tashiro, Makoto; Uemura, Makoto; Wei, Jianyan; Yamashita, Takuya, “Testing the External-Shock Model of Gamma-Ray Bursts Using the Late-Time Simultaneous Optical and X-Ray Afterglows”, *The Astrophysical Journal*, 668, L95-L98 (2007) 査読有
- ⑧ Urata, Yuji; Huang, Kui-Yun; Kuo,

Ping-Hung; Ip, Wing-Huen; Qiu, Yulei; Masuno, Keisuke; Tashiro, Makoto; Abe, Keiichi; Onda, Kaori; Kodaka, Natsuki; Kuwahara, Makoto; Tamagawa, Toru; Usui, Fumihiko; Ioka, Kunihito; Lee, Yi-Hsi; Wei, Jianyan; Deng, Jinsong; Zheng, Weikang; Makishima, Kazuo, “A Multiband Study of the Optically Dark GRB 051028”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 59, L29-L33 (2007) 査読有

- ⑨ Ohno, Masanori; Fukazawa, Yasushi; Takahashi, Takuya; Yamaoka, Kazutaka; Sugita, Satoshi; Pal'Shin, Valentin; Frederiks, Dmitry; Oleynik, Philipp; Ulanov, Mikhail; Sakamoto, Takanori; Sato, Goro; Hurley, Kevin; Tashiro, Makoto S.; Urata, Yuji; Onda, Kaori; Tamagawa, Toru; Terada, Yukikatsu; Suzuki, Motoko; Soojing, Hong., “Spectral Properties of Prompt Emission of Four Short Gamma-Ray Bursts Observed by the Suzaku-WAM and the Konus-Wind”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 60, S361-S374 (2008) 査読有
- ⑩ Bellm, Eric C.; Hurley, Kevin; Pal'shin, Valentin; Yamaoka, Kazutaka; Bandstra, Mark S.; Boggs, Steven E.; Hong, Soojing; Kodaka, Natsuki; Kozyrev, A. S.; Litvak, M. L.; Mitrofanov, I. G.; Nakagawa, Yujin E.; Ohno, Masanori; Onda, Kaori; Sanin, A. B.; Sugita, Satoshi; Tashiro, Makoto; Tretyakov, V. I.; Urata, Yuji; Wigger, Claudia, “Observations of the Prompt Gamma-Ray Emission of GRB 070125”, The Astrophysical Journal, 688, 491-498 (2008) 査読有

[学会発表] (計 4 件)

- ① 葉原允ほか「超広視野可視光カメラ WIDGET の移設・改良と現在の運用状況」日本天文学会秋季年会、東海大学 (2007/3/29)
- ② 小高夏来ほか「ガンマ線バースト可視光閃光観測カメラ WIDGET のデータ解析自動化の現状報告」日本天文学会春季年会、岐阜大学(2007/9/28)
- ③ N. Kodaka et al., “Improvement of WIDGET and the Quick Analysis Software”, Gamma Ray Bursts 2007, Santa Fe, NM, USA (2007/11/5)
- ④ 菅佐原たか子ほか「ガンマ線バースト可視光観測カメラ WIDGET の現状と追跡望遠鏡 WIDGET-L の開発」日本天文学会 春季年会、岡山理科大学 (2008/9/28)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田代 信 (TASHIRO MAKOTO)
埼玉大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号：00251398

(2) 研究分担者

玉川 徹 (TAMAGAWA TORU)
理化学研究所・専任研究員
研究者番号：20333312 (2007 年度まで)

浦田裕次 (URATA YUJI)

理化学研究所→埼玉大学・PD 研究員

研究者番号：30425615

(申請時、その後学振特別研究員に採用)

(3) 連携研究者

玉川 徹 (TAMAGAWA TORU)

理化学研究所・専任研究員

研究者番号：20333312 (2008 年度のみ)