

平成14年度採択分

平成20年 3月31日現在

研究課題名（和文）ガンマ線バーストの迅速な発見、観測による
宇宙形成・進化の研究

研究課題名（英文）Study of Formation and Evolution of the Universe
by the Prompt Detections/Observations of Gamma-Ray Bursts

研究代表者

河合 誠之 (KAWAI NOBUYUKI)

東京工業大学・理工学研究科・教授



研究の概要：星や銀河が生まれ始めたころの幼年期の宇宙を、人類の知る最も明るい光源であるガンマ線バーストを用いて研究する。そのために、ガンマ線バーストの可視・近赤外残光を専用の望遠鏡で機動的に観測し、大望遠鏡による分光観測につなげる。また、小型専用衛星搭載用ガンマ線バースト監視装置を開発する。

研究分野／科研費の分科・細目／キーワード：宇宙物理学／天文学／ガンマ線バースト、X線天文学、ガンマ線天文学、ブラックホール、銀河形成、観測的宇宙論

1. 研究開始当初の背景

(1) 宇宙初期の銀河と星の形成史は観測技術の進歩とともに、天文学における中心的な重要課題となってきた

(2) 一方、20世紀末に、ガンマ線バーストが大質量星の最期に関連した宇宙遠方の大爆発であることが明らかになり、銀河形成以前の原初の宇宙の手がかりとなることが期待されるようになった。

2. 研究の目的

(1) ガンマ線バーストの残光を可視・近赤外を地上望遠鏡で観測して赤方偏移を測り、ガンマ線バーストの発生頻度から宇宙初期における星形成の歴史を明らかにする。

(2) 宇宙初期に発生したガンマ線バーストの残光を詳細に分光観測し、元素組成や電離度など、初期の宇宙の様子を明らかにする。

(3) ガンマ線バーストの観測を観測的宇宙論へ応用するための基盤として、ガンマ線バーストの起源・放射機構を解明する。

3. 研究の方法

(1) 専用の可視・赤外望遠鏡を設置し、衛星からの位置通報に基づいて機動的にガンマ線バースト残光の多色観測を実施する。また、その情報に基づき大望遠鏡を用いて分光観測を行う。

(2) ガンマ線バーストを検出するための専用小型衛星と、それに搭載する検出器を開発する。

4. 研究の主な成果

(1) ガンマ線バースト専用可視・近赤外望遠鏡『三つ目』を開発して岡山と明野に設置し、ガンマ線バースト残光の観測を行なった。この望遠鏡は、30分角の広い視野と、その視野全体で高い光学性能をもち、全天どの天体でも30秒以内に導入可能という機動性をもつ。また、降雨・停電時の自動スリット閉鎖などの安全対策を施し、無人自動運転を行っている。この望遠鏡のために3色同時撮像カメラを開発した。都市光輝線の影響を最小にしつつ、CCDの感度を十分に活かし、高い測光精度をもつ。また、GRB観測衛星からネット経由で伝達されるガンマ線バースト位置速報に基づき、無人自動観測、観測データの自動処理（整約・転送・登録）を行なうシステムも作り上げ、岡山は平成16年度より、明野は平成17年度よりGRBの定常観測を開始し、これまで合わせて12件の検出を含む34の観測報告をGCN Circularに投稿した。



図1. GRB専用50cm『三つ目』望遠鏡(岡山)。新規開発3色同時撮像カメラが装着されている。

〔4. 研究の主な成果 (続き)〕

(2) 「すばる」望遠鏡によって赤方偏移 6 を超える GRB の光学分光観測を世界で初めて行った。2005 年 9 月 4 日に Swift 衛星によって検出された GRB050904 の残光をすばるの微光分光撮像装置 (FOCAS) を用いて分光観測し、水素の Lyman 吸収端および重元素 (S, Si, C, O) の吸収線からその赤方偏移を 6.295 と決定した。また、その Lyman 吸収端の解析から、 $z=6.3$ (Big Bang の 9 億年後) の宇宙がすでにほとんど電離していたこと、重元素吸収線の解析から重元素組成比が太陽組成の 5% 程度であることを明らかにした。

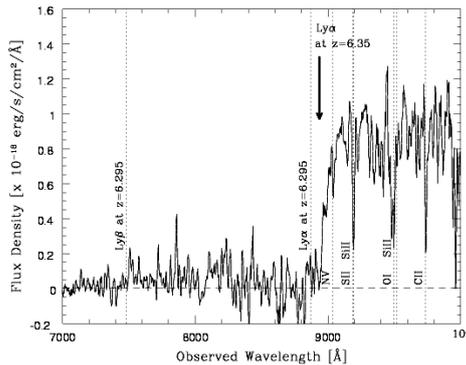


図 2. GRB 050904 の残光のスペクトル。

(3) ガンマ線専用観測小型衛星のために、ガンマ線検出器の小型化を目指してアバランシェ・フォトダイオード (APD) の放射線検出器としての開発を進め、光電子増倍管を凌駕する高いエネルギー分解能の達成、多素子 APD や 19mm 角を越える大面積 APD の開発に成功した。また、全くの未知数であった APD の宇宙環境下の放射線耐性を陽子ビームや γ 線照射実験によって検証した。また、APD の初めて宇宙実証実験を行うために APD を放射線検出器として搭載した 10cm×10cm×20cm の大きさの超小型衛星 “Cute 1.7+APD” を製作した。1 号機は平成 18 年 2 月に M-V ロケット (あかり衛星) のサブペイロードとして打上げたが通信系の故障のため APD のデータは得られなかったため、同設計の 2 号機を再製作した。インドの PSLV-C9 ロケットによる打上げは予定から 16 ヶ月遅れて平成 20 年 4 月となった。今後、軌道上で性能の詳しい検証を行なう。



図 3. 超小型衛星 Cute-1.7+APD

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

(1) 本研究によって設置したガンマ線バースト専用望遠鏡は世界的な通報ネットワークの一員として重要な役割を果たしている。また、「すばる」による赤方偏移 6.3 の GRB050904 の観測は、世界の天文学全体に大きなインパクトを与え、ガンマ線バーストを観測的宇宙論の重要な手段として確立した。

(2) APD の放射線検出器としての開発は、宇宙科学応用の枠を超え、医療応用なども含め広い用途が期待されている。

(3) 大学での超小型衛星の開発とその成功は理工学の最高の教育課題として、また、短い開発期間と低いコストで宇宙利用を実現する手段として、学会とメディアの注目を集めている。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

Kosugi, G., Aoki, K., Yamada, T., Totani, T., Ohta, K., Iye, M., Hattori, T., Aoki, W., Furusawa, Watanabe, J., Yatsu, Y., Yoshida, A., et al. “An optical spectrum of the afterglow of a γ -ray burst at a redshift of $z = 6.295$ ”, *Nature*, 440, 184-186 (2006)

Totani, T., Kosugi, G., Aoki, K., Yamada, T., Iye, M., Ohta, K., and Hattori, T., “Implications for Cosmic Reionization from the Optical Afterglow Spectrum of the Gamma-Ray Burst 050904 at $z = 6.3$ ”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 58, 485-498 (2006)

Kotoku, J., Kataoka, J., Kuramoto, Y., Tsubuku, Y., Yatsu, Y., Sato, R., Ikagawa, T., Saito, T., Konoue, K., Miyashita, N., Iai, M., Omagari, K., Kashiwa, M., Yabe, H., Imai, K., Matsunaga, S., Shima, T., Kishimoto, S., et al. “Pre-flight performance and radiation hardness of the Tokyo Tech pico-satellite Cute-1.7”, *Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A*, 565, 677-685 (2006)

Kataoka, J., Saito, T., Kuramoto, Y., Ikagawa, T., Yatsu, Y., Kotoku, J., Arimoto, M., Ishikawa, Y., and Kawabata, N., “Recent progress of avalanche photodiodes in high-resolution X-rays and γ -rays detection”, *Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A*, 541, 398-404 (2005)

Sato, R., Suzuki, M., Yatsu, Y., Kataoka, J., Takagi, R., Yanagisawa, K., and Yamaoka, H., “Earliest Detection of the Optical Afterglow of GRB 030329 and Its Variability”, *Astrophys. J.*, 599, L9-L12 (2003)

ホームページ等

<http://www.hp.phys.titech.ac.jp/mitsume/>

<http://lss.mes.titech.ac.jp/ssp/cute1.7/>