

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19047001

研究課題名（和文） 爆発的X線・ $\gamma$ 線から探るガンマ線バーストの起源と環境

研究課題名（英文） Probing the Origins and Environments of Gamma-Ray Bursts with the explosive X-ray and gamma-ray emission

研究代表者 河合 誠之 (Kawai Nobuyuki)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：80195031

研究代表者の専門分野：X線天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：ガンマ線バースト、天体形成史、X線天文学、X線検出器、 $\gamma$ 線天文学

### 1. 研究計画の概要

数十億光年以上の遠方で発生する宇宙最大の爆発、ガンマ線バースト(GRB)を光源として、星や銀河が生まれつつある太古の宇宙を読み解くという本特定領域の目標を達成するために、本計画研究では、GRBの放射エネルギーの大部分を占め、最初に検出されるX線・ $\gamma$ 線の爆発的放射(prompt emission)を人工衛星を用い観測し、以下の3点を求める。

(1) ガンマ線バーストの検出と位置座標：空の広い領域(全天の1/10以上)を監視し、一旦GRBを検出したら望遠鏡を向けるに足る精度(最低10分角、1分角以下が目標)で位置を決定し、可能な限り短時間地上に通報しなくてはならない。

(2) 広帯域のスペクトルと輻射強度、時間変動の計測に基づく距離指標：X/ $\gamma$ 線爆発的放射エネルギー $E_\gamma$ とスペクトルのピーク光子エネルギー $E_{peak}$ との相関及び、強度変動の激しさと放射エネルギーとの相関が、経験的に知られている。これらの関係を、広い範囲の $E_{peak}$ に対して検証してその物理的理由を理解できれば、X/ $\gamma$ 線爆発的放射の性質と強度だけから真の光度と距離(即ち赤方偏移)を推定し、宇宙年代に対するGRBの発生率を求めることが可能になる。

(3) 高分散X線スペクトルの観測による赤方偏移と発生源環境の計測：GRB源を取り囲む物質によって、X線スペクトルに元素固有の吸収構造や蛍光輝線が検出され、赤方偏移と元素の存在量が推定される。光学近赤外残光と異なり、ほとんど全てのGRBはX線放射を伴うので、この手法による赤方偏移の決定と、GRB源周辺環境の観測の重要性は

高い。

領域期間中に運用される衛星を用いた観測研究を行ないつつ、太古のGRBでは重要になるX線領域の観測に重心をおいて、次世代の広帯域・高分解能GRB検出器を開発する。そのため、運用を停止した衛星(HETE-2, CGRO)、現在運用中の衛星(Swift, 「すざく」、Chandra, Fermi)、および本研究期間中に運用開始する宇宙ステーション搭載装置(MAXI)によるX/ $\gamma$ 線爆発的放射の観測データを解析し、また、近い将来の小型衛星や宇宙プラットフォーム搭載を目指して、小型軽量のGRB位置決定装置と特にX線領域に重点をおいた広帯域分光器、ASTRO-Hなど将来の衛星によるX線残光の観測をめざした高分解能X線分光器を開発する。

### 2. 研究の進捗状況

(1) 検出・位置速報のために、宇宙ステーション搭載全天X線監視装置MAXIの開発を進めた。予定より半年遅れてH21年7月にISSに設置され、8月から観測を開始し、現在までに4個のGRBを検出し、ネットワークを通じて国際コミュニティに通報した。将来のGRBミッションのX線位置検出器用に多素子透過型APDを開発し、CsIシンチレータと組み合わせることでその特性評価を行い、APDが直接検出するX線とCsIシンチレータによって検出される $\gamma$ 線を分離して読み出せることを確かめた。さらに専用の信号読出用VLSIを開発し、特性の評価を行っている。またCCDと符号化マスクを組み合わせたGRB位置検出器の開発も進めている。

(2) GRB 発生源を解明するための X 線 γ 線放射そのものの研究として、観測面では、HETE-2 衛星の観測データ解析を行い、光子エネルギーによる波形の時間差が少数例を除き相対論的ジェットからの放射の幾何学的効果で説明できることを明らかにした。また「すざく」衛星による GRB 追跡観測を実施しその結果を発表した。Fermi 衛星(旧称 GLAST)は半年遅れて H20 年 6 月に打上げられ、強い GeV 放射を示す GRB を年 10 個弱の割合で検出し、GRB の放射機構や光源であ相対論的ジェットの運動学に関して新たな知見を得ている。並行して機器開発面では、広帯域 GRB 分光器を構成する LaBr シンチレータと軟 X 線 CCD の特性評価を行い、検出性能と放射線耐性を試験した。

(3) GRB の X 線残光の詳細分光観測のため、X 線マイクロカロリメータを動作させる 2 段式断熱消磁冷凍機(ADR)の研究開発を進めた。1 段目の ADR とそれを格納して動作させるためのヘリウム冷却容器を製作し、ADR の 0.1K までの冷却性能を確認した。さらに X 線マイクロカロリメータ動作の準備として、製作した ADR を用いて、超伝導遷移端(TES)温度計の抵抗温度特性の測定を実施した。

### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

MAXI と Fermi 衛星は、どちらも打上と観測開始は当初予定の次の年度に遅れたが、それぞれ成果を上げている。特に Fermi は予想を超える新発見を続々と続けており、その成果は次々に論文として発表されている。MAXI も結果も平成 22 年度に続々と論文として発表される予定である。将来ミッションのための装置開発は、製造上の問題によって一部の半導体検出器やシンチレータの納入が遅れが生じたが、研究期間中に遅れを取り戻せる範囲である。

### 4. 今後の研究の推進方策

(1) MAXI については、ソフトウェアの改良と軌道上データ較正を進めて GRB 速報の迅速化と位置決定精度向上を図るとともに、観測結果を論文として発表する位置検出器に関しては今までの開発成果を投稿論文としてまとめる。

(2)。すざく、Fermi 衛星による観測は、機会をとらえて実施して解析を進め、その結果を投稿論文にまとめる。また、広帯域 GRB 分光器に関してはハウジングや信号処理回路の製作を進め、宇宙実験用搭載品としての試作を進める。

(3) 二段式断熱消磁冷凍機を完成させ、X 線マイクロカロリメータの中でも特に優れたエネルギー分解能の期待できる超伝導遷

移端型カロリメータを動作させて性能評価を行なう。

### 5. 代表的な研究成果

(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 15 件)

① "Spectral-Lag Relations in GRB Pulses Detected with HETE-2", M. Arimoto, M., N. Kawai, A. Yoshida, T. 他 36 名, PASJ, 62, 487 (2010) 査読有

② "The MAXI Mission on the ISS: Science and Instruments for Monitoring All-Sky X-Ray Images", M. Matsuoka, M., H. Tomida, N. Kawai, J. Kataoka, A. Yoshida, K. Yamaoka 他 25 名, PASJ, 61, 999 (2009) 査読有

③ "Fermi Observations of High-Energy Gamma-Ray Emission from GRB 080916C", A. A. Abdo, M. Ackermann, M. Arimoto, K. Asano, N. Kawai, T. Nakamori, R. Yamazaki, 他 239 名 (The Fermi LAT Collaboration, and The Fermi GBM Collaboration), Science 323, 1688- (2009) 査読有

④ "EDGE: Explorer of diffuse emission and gamma-ray burst explosions", Piro, L., J. W. den Herder, T. Ohashi, R. Fujimoto, N. Kawai, 他 104 名, Experimental Astronomy 23, 67-89 (2009) 査読有

[学会発表] (計 24 件)

① "Development of Adiabatic Demagnetization Refrigerator for X-ray microcalorimeter experiments", K. Sato, R. Fujimoto, T. Murakami et al., 13th International Workshop on Low Temperature Detectors, 2009 年 7 月 20-24, Stanford, California, USA

② "Development of the Gamma-ray Burst Monitor for the CALET Experiment", A. Yoshida, K. Yamaoka, H. Tomida 他, The 31st International Cosmic Ray Conference, 2009 年 7 月 7 日-15 日, Lodz, Poland