

機関番号：14301

研究種目：特定領域研究（計画研究）

研究期間：2007 ～ 2010

課題番号：19047003

研究課題名（和文） ガンマ線バーストの光学・近赤外残光から読み解く太古の宇宙

研究課題名（英文） Deciphering the Ancient Universe with Optical and Near Infrared Afterglow of Gamma-Ray Bursts

研究代表者 太田 耕司 (OHTA KOUJI)
京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：50221825

研究成果の概要（和文）：

ガンマ線バーストをプローブとして、宇宙誕生後 2-10 億年の宇宙を探ることを目標に、可視・近赤外線での即時残光撮像観測が可能な中小口径望遠鏡群を整備した。また、遠方ガンマ線バースト候補の詳細な追跡観測を行えるようにすばる望遠鏡の観測装置の性能向上も行った。2009 年には、宇宙誕生後 6 億年の時代に爆発したガンマ線バーストの残光を検出することに成功し、最遠方記録を更新すると共にこのような研究の可能性を実証することもできた。これらに加えて、ガンマ線バーストの母銀河、超新星爆発現象、宇宙初期の銀河進化等関連する研究も行った。

研究成果の概要（英文）：

We developed optical and near infrared small/intermediate telescopes to make a rapid imaging observations of gamma-ray burst afterglows, aiming at exploring the Universe at cosmic age of 0.2-1 billion years by using gamma-ray bursts as a probe. We also improved the instruments for Subaru telescope to achieve efficient follow-up observations of candidates of distant gamma-ray bursts. In 2009, we detected the gamma-ray burst afterglow exploded at cosmic age of 0.6 billion years. This broke the distance record, and proved the feasibility of this study. In addition, we studied related subjects such as gamma-ray burst host galaxies, nature of supernova explosions, and evolution of galaxies at the early Universe.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-------------|------|-------------|
| 2007 年度 | 72,400,000 | 0 | 72,400,000 |
| 2008 年度 | 111,500,000 | 0 | 111,500,000 |
| 2009 年度 | 32,200,000 | 0 | 32,200,000 |
| 2010 年度 | 30,900,000 | 0 | 30,900,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 247,000,000 | 0 | 247,000,000 |

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：ガンマ線バースト・天体形成史・銀河形成進化・宇宙再電離・初代星・重元素進化・光赤外線天文学

1. 研究開始当初の背景

本科研費の始まる前の 2005 年（平成 17 年）に、赤方偏移 6.3（宇宙年齢 9 億年）のガン

マ線バーストが発見され、その最遠方記録を更新した。本特定領域研究メンバーの一部は、すばる望遠鏡を用いてその残光を検出し、ス

ペクトルから初期宇宙の情報を得る事に成功した。これにより、ガンマ線バーストをプローブとして宇宙の暗黒時代と呼ばれる宇宙が始まって2-10億年(赤方偏移で言えば5-17程度まで)の未知なる時代を探ることができる可能性が拓けてきた。また、このような観測的研究を行うためには、中小口径望遠鏡による、可視及び近赤外での早期残光検出と、これに続く大型望遠鏡のすばる望遠鏡によるフォローアップ分光観測が欠かせないことが認識された。特に、早期に残光を検出するという点では、日本という地理的重要性一つまり、日本が夜の時間帯にガンマ線バーストが出現してもその残光を早期に探索することは欧米の望遠鏡ではできない - ことも強く意識されてきた。

2. 研究の目的

そこで、本計画研究では、既存の中小口径望遠鏡群及びそのドームを改修ないしは機能強化することによって、まず早期残光発見の体制を整備することとした。また、すばる望遠鏡による主にフォローアップ分光観測をもっと効率よく行えるように、同望遠鏡の観測装置のうち、可視撮像分光装置と近赤外線分光撮像装置の機能強化を行うこととした。これらの装置等でターゲットとなる高赤方偏移のガンマ線バーストを検出し、初期宇宙での天体形成・進化や銀河間空間の物理を探ることを目的とした。また、関連の深い研究課題として、宇宙における星形成の歴史、重元素量進化、銀河間空間の物理状態(宇宙の再電離)、超新星爆発の特徴、ガンマ線バーストの母銀河の性質等の研究も行うことも目的とした。

3. 研究の方法

中小口径望遠鏡群の整備としては、遠方のガンマ線バーストの残光を検出するために、国立天文台岡山天体物理観測所の91cm望遠鏡に近赤外線カメラを装着し、またドームや望遠鏡を素早く駆動できるように改修を行うこととした。また、宇宙科学研究所(神奈川県)の1.3m望遠鏡で可視・近赤外線同時観測が可能のようにし、合わせてドーム・望遠鏡の駆動速度も大きく改善することとした。更に石垣島1.0m望遠鏡に可視3バンド同時観測が可能なカメラを設置。岡山及び明野の50cm望遠鏡については継続して観測を行う体制とした。

すばる望遠鏡の可視撮像分光装置(FOCAS)については、検出器であるCCDをリプレースして、波長が $0.9\mu\text{m}$ 以上の帯域での格段の感度向上を目指した。これによって赤方偏移5-7付近でのガンマ線バーストのスペクトルの質を非常に高めることができる。また、近赤外線撮像分光装置

(MOIRCS)に高効率で波長カバレッジの広い分散素子を開発して、フォローアップ観測に資するものとする事とした。

また、これらの観測装置等を用いて、宇宙の星形成史や超新星爆発現象等の観測的研究も推進する。

4. 研究成果

2009年4月に発生したガンマ線バーストGRB090423の近赤外線残光を岡山天体物理観測所188cm望遠鏡で検出した。このガンマ線バーストは当時の最遠方ガンマ線バーストの記録を大きく破って赤方偏移が8.2-8.3(宇宙年齢6億年、つまり131億光年)というものであった。日本での観測によって、このガンマ線バーストの光度曲線の空白期間が埋められ、初期フェーズでの光度一定の期間が少なくとも爆発後1000秒までは続いていたことも分かった。また、日本国内での中口径望遠鏡でもこのような高赤方偏移GRBを検出可能であることを実証できた。中小口径望遠鏡群の整備も整い、すばる望遠鏡の観測装置の機能強化もできたので(但し、FOCASについてはすばる望遠鏡での事故によって現在は使用できないが、半年後には復帰予定である)、今後もこのような高赤方偏移ガンマ線バーストの出現を待ち、出現すれば追跡観測を行う予定である。

中小口径望遠鏡によって、多数のガンマ線バーストの残光の観測を行った。その観測数は、年間30-40にのぼり、日本で観測可能なものはほぼすべて観測した位の頻度になる。(南天や日本の昼間の観測はできないため。)上限値の観測結果も含めて、GRB Coordinate Network Circular (GCN)という世界のネットワークに年間10-30の報告を行ってきた。世界的にも非常に活発な活動ができたと考えられる。これらのデータの一部を用いて国際共同研究も進んでいる。

すばる望遠鏡による観測で発見されたダークガンマ線バーストGRB080325の追跡観測を行った結果、このガンマ線バーストが発生した銀河(母銀河)が赤方偏移2付近に存在するかなり重い銀河であることが分かった。これは従来の通常のガンマ線バースト母銀河の性質と非常に異なっており、特に金属量の高い銀河での発生だった可能性が高まった。このことから、ガンマ線バーストの起源が、最近言われるような金属量の低い環境での発生とは異なる可能性を示唆し、ガンマ線バーストの起源に一石を投げると共にダークガンマ線バーストの起源に迫ることの重要性を示した。

その他、ガンマ線バーストに深く関わる、宇宙初期での銀河形成・進化、超新星爆発の構造、ガンマ線バースト母銀河の性質等の研究も他の計画研究班とも協力して推進した。

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 239 件)

1. B. Hatsukade, T. Hashimoto, K. Ohta, 他 3 名

Constraints on Obscured Star Formation in Host Galaxies of Gamma Ray Bursts

Astrophys. J. 有, 748, 108(4pp), 2012
[10.1088/0004-637X/748/2/108](https://doi.org/10.1088/0004-637X/748/2/108)

2. N. Ebizuka, K. Ichiyama, T. Yamada, C. Tokoku, 他 11 名

Cryogenic Volume-Phase Holographic Grisms for MOIRCS

Publ. Astron. Soc. Japan 有, 63, 605-612, 2011

3. T. Uehara, M. Uemura, A. Arai, R. Yamazaki, K. S. Kawabata, M. Ohno, Y. Fukazawa, T. Ohsugi, M. Yoshida, 他 2 名
Optical behavior of GRB 061121 around its X-Ray shallow decay phase
Astron. Astrophys. 有, 526, A92(7pp), 2011
[10.1051/0004-6361/201015911](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201015911)

4. T. Niino, J. Choi, M. A. R. Kobayashi, K. Nagamine, T. Totani, 他 1 名

Luminosity Distribution of Gamma-ray Burst Host Galaxies at Redshift $z = 1$ in Cosmological Smoothed Particle Hydrodynamic Simulations: Implications for the Metallicity Dependence of GRBs

Astrophys. J. 有, 726, 88(12pp), 2011
[10.1088/0004-637X/726/2/88](https://doi.org/10.1088/0004-637X/726/2/88)

5. B. Hatsukade, K. Kohno, A. Endo, K. Nakanishi, K. Ohta

CO Observations of Host Galaxy of GRB 000418 at $z = 1.1$

Astrophys. J. 有, 738, 33(4pp), 2011
[10.1088/0004-637X/738/1/33](https://doi.org/10.1088/0004-637X/738/1/33)

6. D. Yonetoku, T. Murakami, 他 11 名

Detection of Gamma-Ray Polarization in Prompt Emission of GRB 100826A

Astrophys. J. 有, 743, L30(5pp), 2011

[10.1088/2041-8205/743/2/L30](https://doi.org/10.1088/2041-8205/743/2/L30)

7. T. Hashimoto, K. Ohta, K. Aoki, 他 30 名

"Dark" GRB 080325 in a Dusty Massive Galaxy at $z \sim 2$

Astrophys. J. 有, 719, 378-384, 2010
[10.1088/0004-637X/719/1/378](https://doi.org/10.1088/0004-637X/719/1/378)

8. D. Yonetoku, T. Murakami, R. Tsutsui, T. Nakamura, 他 2 名

Possible Origins of Dispersion of the Peak Energy-Brightness Correlations of Gamma-Ray Bursts

Publ. Astron. Soc. Japan 有, 62, 1495-1507, 2010

9. K. S. Kawabata, K. Maeda, K. Nomoto, S. Taubenberger, M. Tanaka, J. Deng, E. Pian, T. Hattori, K. Itagaki

A massive star origin for an unusual helium-rich supernova in an elliptical galaxy

Nature 有, 465, 326-328, 2010

[10.1038/nature09055](https://doi.org/10.1038/nature09055)

10. M. Yoshida, K. Yanagisawa, D. Kuroda, K. Ohta, N. Kawai

Near-Infrared Photometry of the afterglow of GRB 090423

AIP Conf Ser. "DECIPHERING THE ANCIENT UNIVERSE WITH GAMMA-RAY BURSTS" 無, 1279, 469-471, 2010
[10.1063/1.2943541](https://doi.org/10.1063/1.2943541)

11. Y. Niino, T. Totani, M. A. R. Kobayashi
Probing the Long Gamma-Ray Burst Progenitor by Ly α Emission of Host Galaxies

Astrophys. J. 有, 707, 1634-1641, 2009

[10.1088/0004-637X/707/2/1634](https://doi.org/10.1088/0004-637X/707/2/1634)

12. M. A. R., Kobayashi, T. Totani, M. Nagashima

Ly α Emitters in Hierarchical Galaxy Formation. II. Ultraviolet Continuum Luminosity Function and Equivalent Width Distribution

Astrophys. J. 有, 708, 1119–1134, 2009

[10.1088/0004-637X/708/2/1119](https://doi.org/10.1088/0004-637X/708/2/1119)

13. R. Tsutsui, T. Nakamura, D. Yonetoku, T. Murakami, 他 3 名

Constraints on w_0 and w_a of dark energy from high-redshift gamma-ray bursts

Mon. Not. Royal Astron. Soc. 有, 394, L31–L35, 2009

[10.1111/j.1745-3933.2008.00604.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2008.00604.x)

14. M. Tanaka, K. S. Kawabata, K. Maeda, M. Iye, T. Hattori, 他 4 名

Spectropolarimetry of the Unique Type Ib Supernova 2005bf: Larger Asymmetry Revealed by Later-Phase Data

Astrophys. J. 有, 699, 1119–1124, 2009

[10.1088/0004-637X/699/2/1119](https://doi.org/10.1088/0004-637X/699/2/1119)

15. M. Tanaka, M. Yamanaka, K. Maeda, K. S. Kawabata, T. Hattori, 他 9 名

Nebular Phase Observations of the Type Ib Supernova 2008D/X-ray Transient 080109: Side-viewed Bipolar Explosion

Astrophys. J. 有, 700, 1680–1685, 2009

[10.1088/0004-637X/700/2/1680](https://doi.org/10.1088/0004-637X/700/2/1680)

16. H. Kajino, K. Ohta, I. Iwata, K. Yabe, S. Yuma, M. Akiyama, N. Tamura, K. Aoki, M. Sawicki

Lyman Break Galaxies at $z \sim 5$: Rest-Frame UV Spectra. III

Astrophys. J. 有, 704, 117–125, 2009

[10.1088/0004-637X/704/1/117](https://doi.org/10.1088/0004-637X/704/1/117)

17. K. Aoki, T. Totani, T. Hattori, K. Ohta, 他 5 名

No Evidence for Variability of Intervening Absorption Lines toward GRB 060206: Implications for the MgII Incidence Problem

Publ. Astron. Soc. Japan 有, 61, 387–394, 2009

18. K. Yabe, K. Ohta, 他 5 名

The Stellar Populations of Lyman Break Galaxies at $z \sim 5$

Astrophys. J. 有, 693, 507–533, 2009

[10.1088/0004-637X/693/1/507](https://doi.org/10.1088/0004-637X/693/1/507)

19. Y. Niino, T. Totani

Intracluster Short Gamma-Ray Bursts by Compact Binary Mergers

Astrophys. J. 有, 677, L23–L26, 2008

[10.1086/587460](https://doi.org/10.1086/587460)

20. J. Greiner, T. Totani (10 番目), K. Aoki (31 番目), 他 16 名

GRB 080913 at Redshift 6.7

Astrophys. J. 有, 693, 1610–1620, 2009

[10.1088/0004-637X/693/2/1610](https://doi.org/10.1088/0004-637X/693/2/1610)

21. D. Yonetoku, 他 41 名

Spectral evolution of GRB 060904A observed with Swift and Suzaku -- Possibility of Inefficient Electron Acceleration

Publ. Astron. Soc. Japan 有, 60, S352–S360, 2008

22. R. Tsutsui, T. Nakamura, D. Yonetoku, T. Murakami, 他 2 名
Redshift Dependent Lag-Luminosity Relation in 565 BASTE Gamma Ray Bursts
Mon. Not. Royal Astron. Soc. 有, 386, L33-L37, 2008

[10.1111/j.1745-3933.2008.00455.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2008.00455.x)

23. Y. Kodama, D. Yonetoku, T. Murakami, 他 3 名
Gamma-ray bursts in $1.8 < z < 5.6$ suggest that the time variation of the dark energy is small
Mon. Not. Royal Astron. Soc. 有, 391, L1-L4, 2008

[10.1111/j.1745-3933.2008.00508.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-3933.2008.00508.x)

24. M. Tanaka, K. Kawabata, K. Maeda, T. Hattori, K. Nomoto
Optical Spectropolarimetry and Asphericity of the Type Ic SN 2007gr
Astrophys. J. 有, 689, 1191-1198, 2008

[10.1086/592325](https://doi.org/10.1086/592325)

25. K. Maeda, K. Kawabata, P.A. Mazzali, M. Tanaka, S. Valenti, K. Nomoto, T. Hattori, 他 11 名
Asphericity in Supernova Explosions from Late-Time Spectroscopy
Science 有, 319, 1220-1223, 2008

[10.1126/science.1149437](https://doi.org/10.1126/science.1149437)

26. A. Endo, K. Kohno, B. Hatsukade, K. Ohta, N. Kawai, 他 7 名
A Revised Estimate of the CO J=1-0 Emission from the Host Galaxy of GRB 030329 Using the Nobeyama Millimeter Array
Astrophys. J. 有, 659, 1431-1437, 2007

[10.1086/512764](https://doi.org/10.1086/512764)

27. I. Iwata, K. Ohta, N. Tamura, M. Akiyama, K. Aoki, 他 3 名
Differential Evolution of the UV Luminosity Function of Lyman Break Galaxies from $z \sim 5$ to 3
Mon. Not. Royal Astron. Soc. 有, 376, 1557-1576, 2007

[10.1111/j.1365-2966.2007.11557.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2007.11557.x)

28. M. Ando, K. Ohta, I. Iwata, M. Akiyama, K. Aoki, N. Tamura
Lyman Break Galaxies at $z=5$: Rest-Frame Ultraviolet Spectra II
Publ. Astron. Soc. Japan 有, 59, 717-726, 2007

[学会発表] (計 43 件)

1. 米徳大輔、他 ガンマ線バースト偏光検出器 GAP による GRB1000826A からの偏光検出
日本天文学会、2011 年 9 月 22 日、鹿児島市

2. 柳沢顕史、他 岡山天体物理観測所・近赤外広視野カメラの試験観測
日本天文学会、2011 年 9 月 19 日、鹿児島市

3. 青木賢太郎、服部堯、他 GRB 100418A に付随した超新星成分の探査
日本天文学会、2010 年 9 月 24 日、金沢市

4. 柳沢顕史、他 ガンマ線バースト可視残光観測施設 MITSuME 岡山望遠鏡の 6 年
日本天文学会、2010 年 9 月 22 日、金沢市

5. 黒田大介、柳沢顕史、他 MITSuME 岡山望遠鏡：ガンマ線バーストの残光自動解析システムの構築
日本天文学会、2010 年 9 月 22 日、金沢市

6. Hashimoto Tetusya Kouji Ohta “Dark” GRB 080325 in a Dusty Massive Galaxy at $z \sim 2$
Deciphering the Ancient Universe with Gamma-Ray Bursts、2010 年 4 月 22 日、京都市

7. Yonetoku Daisuke The Spectral Epeak-Luminosity and Epeak-Eiso Relation: the Origin of Dispersion and its Improvement
Deciphering the Ancient Universe with

Gamma-Ray Bursts、2010年4月19日、京都市

8. 橋本哲也、太田耕司、他 A LARGE EXTINCTION FOR A “DARK” GRB 080325 IN A DUSTY MASSIVE GALAXY
日本天文学会、2010年3月25日、東広島市

9. Totani Tomonori GRBs and High Redshift Universe: High Redshift Galaxies, Pop III stars, and Reionization
The Shocking Universe: Gamma Ray Burst and High Energy Shock Phenomena in the Universe、2009年9月17日、イタリア・ベニス

10. 青木賢太郎、他 $z=4.05$ で起こった GRB060206 母銀河の元素組成について
日本天文学会、2009年3月27日、堺市

11. 太田耕司 中小口径望遠鏡によるガンマ線バーストの可視・近赤外線残光の観測：宇宙の一番星をみつけよう
日本天文学会、2008年9月12日、岡山市

12. 黒田大介、柳澤顕史、他 岡山および石垣望遠鏡によるガンマ線バーストの残光観測の取り組み
日本天文学会、2008年9月12日、岡山市

13. 青木賢太郎、他 GRB060206 における吸収線系の時間変化について、
日本天文学会、2008年3月26日、東京・代々木

14. 太田耕司 Very Large Star Formation in LBGs at $z \sim 5$?
日本天文学会、2008年3月26日、東京・代々木

15. 新納悠、戸谷友則、他 母銀河の性質から探る short hard gamma-ray bursts の起源
日本天文学会、2008年3月26日、東京・代々木

〔図書〕(計3件)

1. 太田耕司、山田亨、他、日本評論社、シリーズ現代の天文学 4 銀河 I - 銀河と宇宙の階層構造、2007、 1-331

2. 吉田道利、他 日本評論社、シリーズ現代の天文学 15 宇宙の観測 I - 光・赤外天文学、2007、 1-302

〔その他〕

ホームページ等

1. http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2010/100721_1.htm

2. <http://www.oao.nao.ac.jp/public/research/grb090423/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 耕司 (OHTA KOUJI)
京都大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：50221825

(2) 研究分担者

山田 亨 (YAMADA TORU)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：90271519

吉田 道利 (YOSHIDA MICHITOSHI)
広島大学・宇宙科学センター・教授
研究者番号：90270446

柳沢 顕史 (YANAGISAWA KENSHI)
国立天文台・岡山天体物理観測所・助教
研究者番号：90311183

米徳 大輔 (YONETOKU DAISUKE)
金沢大学・数物科学系・助教
研究者番号：40345608

服部 堯 (HATTORI TAKASHI)
国立天文台・ハワイ観測所・RCUH 職員
研究者番号：90270445

松原 英雄 (MATSUHARA HIDEO)
宇宙科学研究所・教授
研究者番号：30219464

(3) 連携研究者

戸谷 友則 (TOTANI TOMONORI)
京都大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：90321588

青木 賢太郎 (AOKI KENTARO)
国立天文台・ハワイ観測所・RCUH 職員
研究者番号：70413953

渡部 潤一 (WATANABE JUNICHI)
国立天文台・教授
研究者番号：50201190