

令和元年5月29日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K17616

研究課題名(和文) 分子ガスおよびダストの観測によるガンマ線バースト発生環境の解明

研究課題名(英文) Revealing the environments of long-duration gamma-ray bursts with molecular gas and dust observations

研究代表者

廿日出 文洋(Hatsukade, Bunyo)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・助教

研究者番号：70719484

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：ロング・ガンマ線バースト(GRB)は、短時間にガンマ線が宇宙から観測される現象で、巨大な星が一生を終える際の大爆発であると考えられている。GRBがどのような環境で発生するのかを探るため、星形成の材料である分子ガスに着目し、アルマ望遠鏡を用いて母銀河の観測を行った。計16の母銀河において分子ガスの検出に成功し、既存の研究の中で最大のサンプルを構築した。これにより統計的な議論が初めて可能となった。母銀河における星形成効率や分子ガスの消費時間は、一般的な星形成銀河と同じスケールで説明できることが分かった。これはGRBが一般的な環境で発生することを示唆し、発生環境についての新たな制限が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロング・ガンマ線バースト(GRB)は、短時間にガンマ線が宇宙から観測される現象で、巨大な星が一生を終える際の大爆発であると考えられている。宇宙最大規模の爆発現象であるが、そのメカニズムは発生環境についてはまだ解明されていない点が多い。本研究では、GRBがどのような環境で発生するのかを探るため、これまで観測が進んでいなかった分子ガス(星形成の材料)に着目した。アルマ望遠鏡を用いてGRBが発生した銀河(母銀河)の観測を行い、既存の研究の中で最大のサンプルを構築した。これにより初めて統計的な研究に基づいてGRBが一般的な環境で発生することを示唆する結果を得た。

研究成果の概要(英文)：Long-duration gamma-ray bursts (GRBs) are thought to be due to the explosion of massive stars. We observed molecular gas, the fuel for star formation, in host galaxies of GRBs by using ALMA to examine the environment of GRB birthplace. We successfully detected molecular gas in 16 hosts. This is the largest sample among existing studies, allowing us to study statistically the hosts in terms of molecular gas for the first time. We found that star-formation efficiency and gas consumption timescale in the hosts can be explained by the same scaling law as normal star-forming galaxies. This suggests that GRBs occur in normal star-forming environments.

研究分野：銀河形成

キーワード：銀河 ガンマ線バースト 分子ガス 星形成 電波 銀河形成 銀河進化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

宇宙に存在する星が、宇宙の歴史の中でいづれくらい誕生して、現在我々が住む宇宙が構成されてきたのか。この「宇宙星形成史」を明らかにすることは、天文学における最も大きな課題の一つである。これまで、主に可視光や近赤外線を用いて研究が進められてきた。その結果、宇宙の初期(およそ120億年前)から現在に至る星形成史が明らかになりつつある。しかし、可視光や近赤外線は、宇宙空間の塵(ダスト)によって大きく吸収を受けるため、遠方宇宙の観測は非常に困難であるという問題がある。

そこで注目されているのが、ガンマ線バーストを用いた宇宙星形成史の探査である。ガンマ線バーストは、通常0.01秒から数分にわたって宇宙からガンマ線が観測される現象で、1日におよそ1回の割合で観測されている。ガンマ線バーストの発生直後に観測される光(残光)や発生した銀河(母銀河)の追観測から、多くが数十億光年という非常に遠方で発生していることがわかってきた。ガンマ線バーストのうち、ガンマ線放射が2秒以上続くロング・ガンマ線バーストは、巨大な星が一生を終える際の大爆発であると考えられている。そのため、ロング・ガンマ線バーストは、星形成活動と密接に関係していると考えられている。ロング・ガンマ線バーストは、近傍宇宙のものから初期宇宙(およそ130億年前)のものまで検出されている。また、ロング・ガンマ線バーストは宇宙空間のダストの影響を受けずに検出できることから、遠方宇宙における星形成活動を探る新たな手段として期待されている。ロング・ガンマ線バーストを星形成活動の指標として用いるためには、その発生環境を十分に明らかにする必要がある。しかし、ロング・ガンマ線バーストがどのような銀河で発生するのかは、まだ未解明な部分が多い。

2. 研究の目的

ガンマ線バースト母銀河の性質を理解するためには、星形成の材料である分子ガスの研究が不可欠である。しかしながら、これまで分子ガスの観測はほとんど行われてこなかった。申請者らは、世界最高性能のミリ波・サブミリ波望遠鏡であるアルマ望遠鏡を用い、2つのロング・ガンマ線バースト母銀河の観測を行った結果、分子ガスからの放射を検出することに世界で初めて成功した。得られた分子ガスの量と星形成率・ダスト量との比は、一般的な星形成銀河の値と比較して有意に低いことが分かった。これがガンマ線バースト母銀河一般に当てはまるのかはまだ分かっていない。分子ガスが検出されたガンマ線バースト母銀河の数は非常に限られるため、一般的な性質を探るためには、サンプル数を拡張することが必須である。

本研究では、ミリ波・サブミリ波を用いてロング・ガンマ線バースト母銀河を観測し、分子ガスの観点でその性質を理解する。母銀河の分子ガス観測サンプルを構築することによって、ロング・ガンマ線バーストが発生する環境の一般的な描像を明らかにする。

3. 研究の方法

ロング・ガンマ線バーストが発生する一般的な環境を探るには、母銀河のサンプル数を増やすことが不可欠である。本研究では、世界最高性能のミリ波・サブミリ波望遠鏡であるアルマ望遠鏡、およびアメリカのVLA電波干渉計を用いて、母銀河における分子ガスの観測を行う。観測には、分子ガスの指標である一酸化炭素分子(CO)輝線を用いる。解析されたデータを用いて、ロング・ガンマ線バースト母銀河における分子ガス量を求める。得られた結果から、母銀河における星形成効率や分子ガスを消費するタイムスケールを導出し、一般的な星形成銀河と比較する。これにより、ロング・ガンマ線バースト母銀河の一般的な性質を明らかにする。

4. 研究成果

アルマ望遠鏡を用いて合計16のロング・ガンマ線バースト母銀河における一酸化炭素輝線情報の取得に成功した。サンプル数は過去に観測された母銀河の総数を上回り、既存の研究の中で最大となった。これによって、分子ガスについて統計的な議論が初めて可能となった。これまでに求められている星形成率と比較した結果、母銀河の星形成効率や分子ガスを消費するタイムスケールは、一般的な星形成銀河の観測と同じスケールで説明できることが分かった。これは、ロング・ガンマ線バーストが一般的な星形成環境で発生することを示唆し、発生環境についての新たな制限が得られた(図1)。

赤方偏移 $z = 2.0858$ のガンマ線バーストGRB 080207母銀河では、VLA電波干渉計を用いて基底励起状態の一酸化炭素分子輝線CO(1-0)の観測を行い、分子ガスの総質量を見積もることに成功した。星形成率や星質量と比較した結果、今からおよそ100億年前に発生したGRB 080207の母銀河は、同時代の一般的な星形成銀河と同様の性質を示すことが確認された。この結果は、アストロフィジカルジャーナル誌に査読付き論文として掲載された(図2)。

また、ロング・ガンマ線バーストと同様に大質量星の最期に起因すると考えられている「超高光度超新星」の母銀河において、電波干渉計VLAを用いて電波連続波観測を行った。8天体の観測を行い、4つから有意な検出を得た。2つの母銀河では、これまで知られている母銀河の中で最も高い値を持つことが分かった。電波観測と可視光観測から求めた星形成率を比較すると、3つの母銀河では電波での値が高く、塵に隠された星形成活動を示唆する結果となった。さらに今回の観測では、準定常な電波放射を予言するpulsar-driven超新星モデルへの制限も得られた。この結果は、アストロフィジカルジャーナル誌に査読付き論文として掲載された。

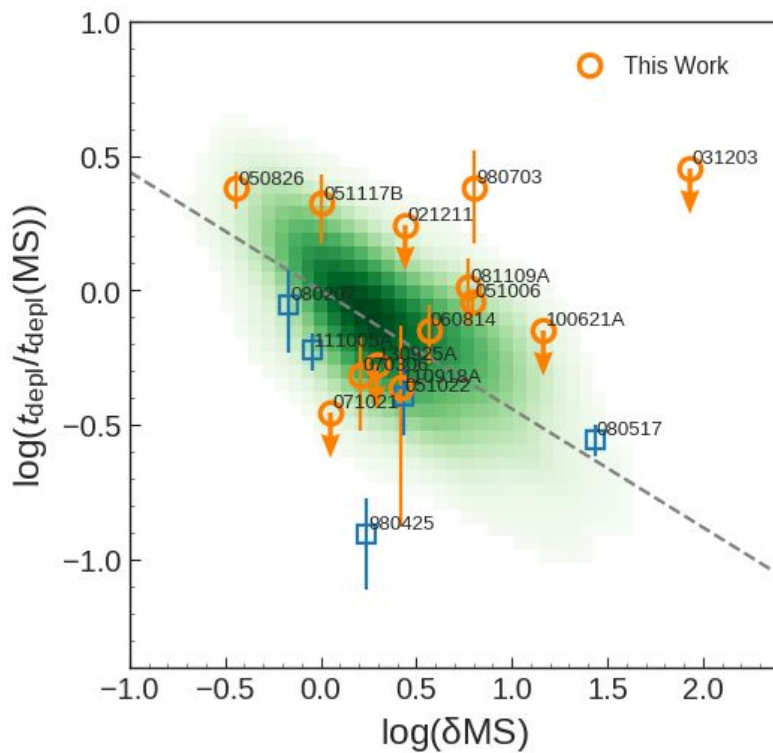


図 1：ロング・ガンマ線バースト母銀河における分子ガス消費タイムスケール（縦軸、一般的な星形成銀河の値で規格化）。横軸は一般的な星形成銀河の関係（main sequence of star-forming galaxies）からの差分。オレンジ色の点が本研究で得られたデータ。青は先行研究。緑色の分布および点線は、一般的な星形成銀河の分布とそのフィッティング結果。

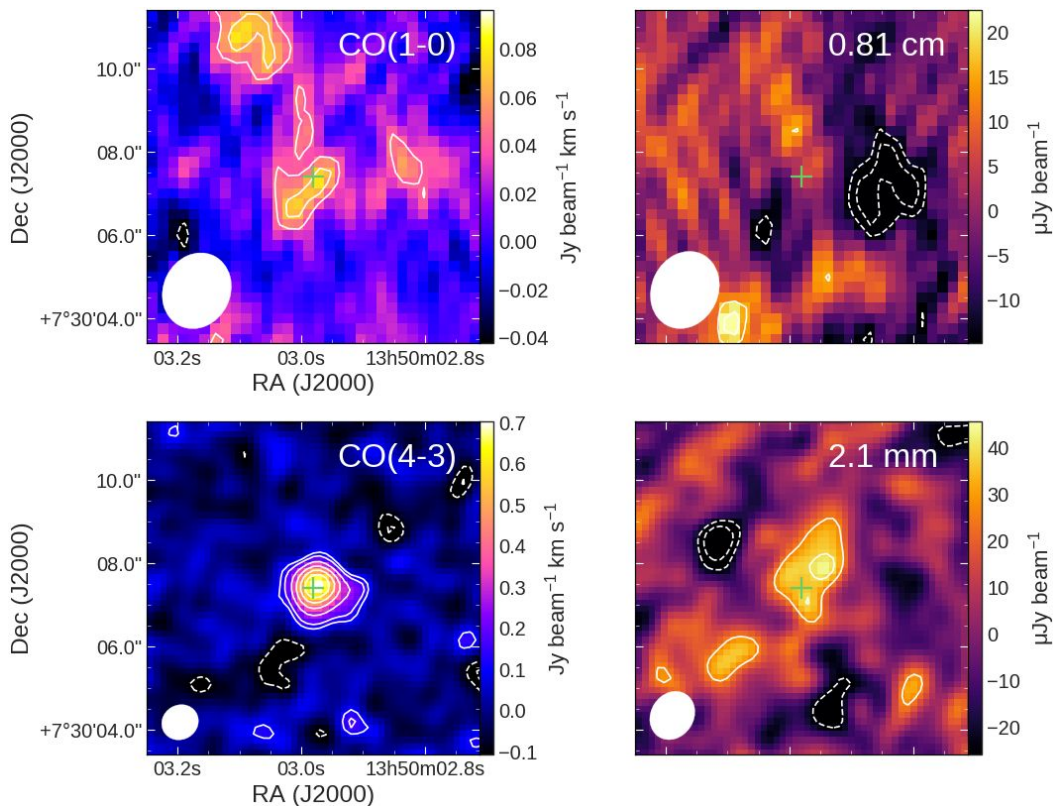


図 2：アルマ望遠鏡および VLA 電波干渉計で得られた GRB 080207 母銀河における一酸化炭素分子 CO(1-0)輝線の分布（左上）、0.8 cm 連続波（右上、非検出）、CO(4-3)輝線の分布（左下）および 2.1 mm 連続波（右下）。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 11 件)

Hatsukade, B., Hashimoto, T., Kohno, K., Nakanishi, K., Ohta, K., Niino, Y., Tamura, Y., Tóth, L. V., "Molecular Gas Properties in the Host Galaxy of GRB 080207", *The Astrophysical Journal*, 査読有, Vol. 876, 2019, pp. 91, DOI: 10.3847/1538-4357/ab1649

Hatsukade, B., Kohno, K., Yamaguchi, Y., Umehata, H., Ao, Y., Aretxaga, I., Caputi, K. I., Dunlop, J. S., Egami, E., Espada, D., Fujimoto, S., Hayatsu, N. H., Hughes, D. H., Ikarashi, S., Iono, D., Ivison, R. J., Kawabe, R., Kodama, T., Lee, M., Matsuda, Y., Nakanishi, K., Ohta, K., Ouchi, M., Rujopakarn, W., Suzuki, T., Tamura, Y., Ueda, Y., Wang, T., Wang, W.-H., Wilson, G. W., Yoshimura, Y., Yun, M. S., "ALMA twenty-six arcmin² survey of GOODS-S at one millimeter (ASAGA0): Source catalog and number counts", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 査読有, Vol. 70, 2018, pp. 105, DOI: 10.1093/pasj/psy104

Hatsukade, B., Tominaga, N., Hayashi, M., Konishi, M., Matsuda, Y., Morokuma, T., Morokuma-Matsui, K., Motogi, K., Niinuma, K., Tamura, Y., "Obscured Star Formation in the Host Galaxies of Superluminous Supernovae", *The Astrophysical Journal*, 査読有, Vol. 857, 2018, pp. 72, DOI: 10.3847/1538-4357/aab616

Hatsukade, B., Ohta, K., Kohno, K., Nakanishi, K., Tamura, Y., Endo, A., Hashimoto, T., "Molecular Gas in the Host Galaxies of Long-Duration Gamma-Ray Bursts", *Eighth Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium*, 査読無, Vol. 1962, 2016, pp. 4026

Hatsukade, B., Kohno, K., Umehata, H., Aretxaga, I., Caputi, K. I., Dunlop, J. S., Ikarashi, S., Iono, D., Ivison, R. J., Lee, M., Makiya, R., Matsuda, Y., Motohara, K., Nakanishi, K., Ohta, K., Tadaki, K.-. ich ., Tamura, Y., Wang, W.-H., Wilson, G. W., Yamaguchi, Y., Yun, M. S., "SXDF-ALMA 2-arcmin² deep survey: 1.1-mm number counts", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 査読有, Vol. 68, 2016, pp. 36, DOI: 10.1093/pasj/psw026

Hatsukade, B., Ohta, K., Endo, A., Nakanishi, K., Tamura, Y., Hashimoto, T., Kohno, K., "Gamma-ray bursts from dusty regions with little molecular gas", *IAU Focus Meeting*, 査読無, Vol. 29B, 2016, pp. 274-275, DOI: 10.1017/S1743921316005329

Hatsukade, B., Ohta, K., Endo, A., Nakanishi, K., Tamura, Y., Hashimoto, T., Kohno, K., "Gamma-ray Bursts from Dusty Regions with Little Molecular Gas", *Revolution in Astronomy with ALMA: The Third Year*, 査読無, Vol. 499, 2015, pp. 47

Hatsukade, B., Tamura, Y., Iono, D., Matsuda, Y., Hayashi, M., Oguri, M., "High-resolution ALMA observations of SDP.81. II. Molecular clump properties of a lensed submillimeter galaxy at $z = 3.042$ ", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 査読有, Vol. 67, 2015, pp. 93, DOI: 10.1093/pasj/psv061

Hatsukade, B., Ohta, K., Yabe, K., Seko, A., Makiya, R., Akiyama, M., "Optical-Infrared Properties of Faint 1.3 mm Sources Detected with ALMA", *The Astrophysical Journal*, 査読有, Vol. 810, 2015, pp. 91, DOI: 10.1088/0004-637X/810/2/91

Hatsukade, B., "Gamma-ray bursts from dusty regions with little molecular gas", *IAU General Assembly*, 査読無, Vol. 29, 2015, pp. 2251875

[学会発表](計 7 件)

廿日出文洋, 富永望, 林将央, 松田有一, 小西真広, 諸隈智貴, 諸隈佳菜, 元木業人, 新沼浩太郎, 田村陽一, "超高輝度超新星母銀河における隠された星形成", 日本天文学会, 2018年9月, 兵庫県立大学

B. Hatsukade, K. Kohno, Y. Yoshimura, Y. Tamura, "Science Cases for High-z Objects", Power of wideband receiver: Exploring sciences at 7mm wavelength with large single dish telescopes, NAOJ-ASIAA Joint Workshop (招待講演)(国際学会), 2019年3月, 国立天文台, 東京都

Bunyo Hatsukade, Kouji Ohta, Kotaro Kohno, Kouichiro Nakanishi, Yoichi Tamura, Tetsuya Hashimoto, Akira Endo, "Molecular Gas in the Host Galaxies of Long-duration Gamma-ray Bursts", International Astronomical Union, Asian-Pacific Regional Meeting (国際学会), 2017年

廿日出文洋, 太田耕司, 河野孝太郎, 田村陽一, 中西康一郎, 橋本哲也, 遠藤光, "ガンマ線バースト母銀河における分子ガス探査", 日本天文学会, 2017年03月, 九州大学伊都キャンパス, 福岡県

B. Hatsukade, K. Ohta, K. Kohno, K. Nakanishi, Y. Tamura, A. Endo, T. Hashimoto, "Molecular Gas in the Host Galaxies of Long-duration Gamma-ray Bursts", *The Eighth*

Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium (国際学会), 2016年10月24日~2016年10月28日, THE WESTIN HUNTSVILLE, Alabama, United States
Bunyo Hatsukade, “Gamma-ray bursts from dusty regions with little molecular gas”,
The 29th International Astronomical Union General Assembly (国際学会), 2015年08月03日~2015年08月14日, Honolulu, Hawaii, the United States of America
Hatsukade, B., Ohta, K., Endo, A., Nakanishi, K., Tamura, Y., Hashimoto, T., Kohno, K., “Gamma-ray bursts from dusty regions with little molecular gas”, Gas, Dust, and Star-Formation in Galaxies from the Local to Far Universe (国際学会), 2015年05月25日~2015年05月29日, Chania, Crete, Greece

6 . 研究組織

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。