

令和 3 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K14255

研究課題名（和文）ガンマ線バーストが照らし出す宇宙の進化

研究課題名（英文）The evolution of the universe illuminated by gamma-ray bursts

研究代表者

新納 悠 (Niino, Yuu)

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・特任助教

研究者番号：50632163

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：継続時間の長いガンマ線バースト（long GRB、以下では単にGRBと表す）は高エネルギー物理の実験場や高赤方偏移探査の指標として非常に有用な天体であるが、その発生や光度分布等の性質にはいまだ分かっていない部分が多い。本研究では GRB の起源天体の性質に母銀河観測と銀河モデルの比較によって迫り、さらには幅広い赤方偏移に分布するGRB種族の観測的性質とその背景にある宇宙の星生成史を関連付けるためGRB残光光度進化モデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

GRBには、その特異な明るさから、直接観測の難しい宇宙初期の星・銀河生成を探る手がかりとなる期待がかかっている。しかし、GRB を星・銀河形成研究の指標として信頼性の高いものにするためには、GRBそのものの性質について解明すべき未解決問題が残されている。本研究はそれらの問題を解決し、GRBによる遠方宇宙研究の道を切り開くものである。

研究成果の概要（英文）：Long gamma-ray bursts (GRBs) are unprecedented laboratory of high-energy physics and probe toward the high-redshift universe. However, there are still many mysteries remain unsolved in the properties of GRBs. This study uncovers the connection between star-formation and occurrence of GRBs and the luminosity function of GRB optical afterglows in order to make GRBs a reliable probe toward the high-redshift universe.

研究分野：天文学

キーワード：ガンマ線バースト 突発天体

1. 研究開始当初の背景

ガンマ線バースト (GRB) は宇宙最大の爆発現象と言われ、 ≥ 100 keV のプロンプト放射とそれに続く様々な波長の残光によって観測される。GRB はガンマ線放射の継続時間に応じて大まかに 2 秒を境に short GRB と long GRB の二種に大別され、short GRB は高密度星同士の連星合体によるとする説が有力視されている一方、long GRB は大質量星の重力崩壊を起源とすると考えられている。本研究では特に long GRB について議論する。以下では、特に断りのないかぎり GRB は long GRB を指す。

GRB は、その特異な明るさから、直接観測の難しい宇宙初期の星・銀河生成を探る手がかりとなる期待がかかっている。HiZ-GUNDAM、THESEUS といった将来の GRB 観測衛星計画は高赤方偏移の GRB を発見しやすいようにデザインされており、これらの衛星によって発見される GRB を次世代観測装置によって多波長追観測する事が赤方偏移 $z > 10$ の星・銀河形成を探る重要な手段になっていくことは間違いない。一方、GRB の性質の理解はまだ十分とは言えず、GRB を星・銀河形成研究の指標として信頼性の高いものにするためには、それらの不定性を解明していく事が必要不可欠である。

2. 研究の目的

GRB の未だ理解されていない性質の中でも、特に GRB の発生条件および GRB 残光の光度分布は GRB 頻度やその星生成率との関係の議論に与える影響が大きく、GRB を遠方宇宙研究に活用する際の主要な不定性となる。

GRB は重力崩壊型超新星 (CC SN) に伴って発生することが低赤方偏移の数例において確認され、大質量星の重力崩壊が起源と考えられている。しかし、GRB の発生頻度は一般の CC SN の 0.1% 程度で、どのような条件のもとで重力崩壊が GRB を引き起こすのかははっきりしていない。GRB 発生に影響する条件の候補として有力視されているのが金属量である。恒星進化の理論モデルや複数の GRB 母銀河の観測から GRB は $Z \leq 0.3Z_{\odot}$ (Z_{\odot} は太陽の金属量) 程度の低金属な大質量星によって引き起こされると考えられてきた。しかし、2010 年以降に高金属な GRB 母銀河が複数発見されたことにより、低金属星を GRB の起源とするモデルと母銀河観測の整合性が問い直されており、GRB 発生効率と金属量との関係を定量的に解明することはできていない。遠方宇宙の星生成を探る指標として GRB を活用するには GRB 発生効率と金属量との関係を明らかにすることは必要不可欠である。

GRB の発生条件と並んで、GRB 残光の光度分布も遠方 GRB 発生頻度の議論に大きな不定性を与える。GRB の赤方偏移の決定や母銀河の同定には残光観測が必要だが、GRB のガンマ線プロンプト放射については光度分布が盛んに研究されているのに対して、残光の光度分布はほとんど解明されていない。将来計画における GRB 観測頻度の見積もりや、得られた GRB 赤方偏移分布から宇宙の星生成史を得る際には残光の光度分布を知る事が必須である。

本研究は GRB の性質にまつわるこれらの未解決問題の解決を目的とする。

3. 研究の方法

GRB の発生条件を議論とする土台となる母銀河観測データサンプルを確保するため、 $z \leq 0.5$ 程度の低赤方偏移で性質の十分調べられていない母銀河の系統的観測を行って、低赤方偏移における GRB 母銀河種族の全体像を調べる。低赤方偏移宇宙は宇宙全体の平均的な金属量が高いために低金属環境で発生しやすいという GRB の特徴が顕著に現れやすく、GRB 母銀河種族との比較対象にできる一般銀河の観測も豊富なため、GRB 起源星の性質を探る重要な手掛かりになると考えられる。また、低赤方偏移では GRB の赤方偏移決定も比較的容易なため、赤方偏移の判明した GRB だけを集めてもサンプルに深刻な偏りが生じにくいと考えられる。観測される母銀河の性質とその背後にある GRB 起源星の正体を結びつけるには各銀河内の不均質さを考慮することが重要である。この効果を取り入れるため、母銀河の観測と並んで銀河内の構造を考慮した母銀河モデルを作成し観測データの議論に活用する。

各赤方偏移で発生した GRB のうち赤方偏移決定可能なものの割合を調べるため、過去の GRB の観測データと放射理論に基づいて GRB 残光の光度分布モデルを作る、可視光での残光光度分布に関してはいくつかの研究例があるが、これらの研究は残光が可視残光が特に明るい少数の GRB サンプルに基づいており、一般の残光の検出頻度の議論には適用できない。より観測サンプルの多い他波長のデータや理論モデルを取り入れることでより一般の可視光光度分布を議論する。

4. 研究成果

母銀河内部の金属量非一様性の効果を取り入れた GRB の母銀河モデルを作成し、低赤方偏移 ($z \leq 0.4$) の GRB 母銀河について観測データから導き出される金属量分布との比較から GRB 発生と金属量の関係を定量的に制限する研究の成果をまとめ論文として出版した。これによって、GRB 頻度と星生成率との関連付けが可能になり、遠方宇宙の星生成を GRB を用いて探査することを可能とする土台を築けた。

幅広い赤方偏移に分布する GRB 種族合成モデルの土台となる GRB 残光光度進化モデルを開発した。このモデルは残光放射を説明する標準理論に基づいて残光の光度曲線とスペクトルを関連付けて、星間減光等の影響を受ける前の GRB 残光本来のスペクトルを推定することを可能にするものである。これによって観測データの少ない波長帯での GRB 残光高度分布とその時間変化の推定や、残光視線上の減光量の測定が可能になる。また、様々な望遠鏡で取得された GRB 母銀河の観測データを収集・整理し、理論モデルとの比較に適したサンプル選択則を検討するとともに、モデルを高赤方偏移 GRB に適用して将来の観測計画での検出頻度向上のための観測戦略を検討した。

また、近年発見された新種の突発天体である高速電波バースト (FRB) が GRB と同じく大質量星に関連した爆発現象であることをしめす状況証拠を FRB のカタログデータから発見した。FRB の正体は現時点では全くの謎であるが、GRB と同じく新しい高密度星の形成に関連するされるとされる説もあり、今回の発見は状況証拠ながらこれを支持するものである。

これによって、今後あらたな観測手段から GRB 研究を発展させる足がかりが得られた。この成果を論文にまとめて出版するとともに、すばる望遠鏡および Gemini 望遠鏡の観測データを用いて過去に発生した FRB の発生現場を調べる解析を行い、この結果も前述のものとは別個に論文として出版した。今回の解析では FRB の発生現場の特定には至らなかったが、よりよい観測条件下で得られたデータがあればより実効的な制限を得られることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Niino, Yuu	4. 巻 858
2. 論文標題 Fast Radio Bursts' Recipes for the Distributions of Dispersion Measures, Flux Densities, and Fluences	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id. 4, 10 pp.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aab9a9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Niino, Yuu; Tominaga, Nozomu; Totani, Tomonori; Morokuma, Tomoki; Keane, Evan; Possenti, Andrea; Sugai, Hajime; Yamasaki, Shotaro	4. 巻 70
2. 論文標題 A search for optical transients associated with fast radio burst 150418	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id.L7 (1-5)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy102	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuu Niino et al.	4. 巻 69
2. 論文標題 The redshift-selected sample of long gamma-ray burst host galaxies: The overall metallicity distribution at $z < 0.4$	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id 27 (1-24)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psw133	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yuu Niino
2. 発表標題 A connection between Fast Radio Bursts and massive stars suggested by the statistical properties of FRB observables
3. 学会等名 MASSIVE STARS AND SUPERNOVAE (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuu Niino
2. 発表標題 Fast radio bursts' recipes for the distributions of dispersion measures, flux densities, and fluences
3. 学会等名 Fast radio bursts and their possible neutron star origins (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新納 悠
2. 発表標題 高速電波バースト分散度分布の作り方
3. 学会等名 日本天文学会2017年秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新納 悠
2. 発表標題 ガンマ線バーストの起源天体とその母銀河
3. 学会等名 ガンマ線バースト研究の新機軸 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新納 悠
2. 発表標題 Recipes for the statistical properties of Fast Radio Bursts
3. 学会等名 マルチメッセンジャー天文学研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------