

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：62616

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07413

研究課題名(和文) 超高輝度超新星の正体の解明と応用

研究課題名(英文) Revealing the origin of superluminous supernovae and their application

研究代表者

守屋 堯 (Moriya, Takashi)

国立天文台・理論研究部・特任助教

研究者番号：90779547

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：超新星は大質量星が最期に起こす大爆発である。近年、超高輝度超新星と呼ばれる、これまで知られていた超新星よりも約10倍以上明るい超新星の存在が明らかになったが、どのような星がなぜそれほど明るい超新星となるのか分かっていなかった。本研究により、爆発時に高磁場高速回転中性子星を形成する超新星が超高輝度超新星となる可能性が高いことが分かった。また、超高輝度超新星はこれまで知られた超新星より遠くまで観測できる。すばる望遠鏡ハイパーシュプリームカムを用いてこれまでで最も遠い超新星を発見し、初期宇宙では大質量星が多く形成されている可能性があることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Supernovae are the terminal explosions of massive stars. Recently, supernovae that are more than about 10 times brighter than ordinary supernovae have been discovered and they are called superluminous supernovae. Their progenitors are unknown. This research has revealed that the supernovae that form strongly magnetized rapidly rotating neutron stars during the explosions are likely to be superluminous supernovae. Superluminous supernovae can be observed further than other supernovae. Using Subaru/Hyper Suprime-Cam, this study has led to the discovery of the most distant supernova ever observed. It implies that massive stars are preferentially formed in the early Universe.

研究分野：理論天体物理学

キーワード：超新星爆発 大質量星 恒星進化

1. 研究開始当初の背景

星がどのような進化を遂げ、どのような最期を迎えるのかは天文学の基本的な問いの1つである。しかし、恒星進化理論が予言する大質量星の最期と、超新星爆発から示唆される大質量星の最期にはまだ多くの隔りがある。

特に近年の突発天体サーベイによって新しく発見された「超高輝度超新星」と呼ばれるこれまで知られている超新星よりも10倍以上明るい超新星の存在は、従来の恒星進化と超新星理論ではほぼ考えられていなかった。どのような星が、どのような条件下で爆発すれば超高輝度超新星となるのかはよく分かっていない。

また、従来の超新星よりも明るいということは、従来の超新星より遠くに現れても観測が可能であることを意味する。従来の超新星よりも遠方に現れる超高輝度超新星を観測することで、初期宇宙での大質量星形成に何らかの示唆が与えられることが期待される。

2. 研究の目的

現在の恒星進化論では説明の難しい超高輝度超新星の正体を解明することで現在の恒星進化論に欠けた要素を明らかにするとともに、赤方偏移2を超える従来の超新星では観測できない初期宇宙に現れる超高輝度超新星を捉え、超高輝度超新星を初期宇宙での大質量星形成を探る道具として応用する。

3. 研究の方法

超高輝度超新星の正体の解明：

現在超高輝度超新星を明るくしていると主張されているメカニズムを総合的に評価し、どの説が尤もらしいかを明らかにする。

赤方偏移2を超える超高輝度超新星を捉える：

すばる望遠鏡ハイパーシュプリームカムを用いた遠方突発天体サーベイを行い、初期宇宙に現れる超高輝度超新星を見つけ出す。

4. 研究成果

超高輝度超新星の正体の解明：

超高輝度超新星を明るくするメカニズムとして主に、大量の放射性崩壊元素ニッケル56が生成される可能性と、超新星爆発時に高磁場高速回転中性子星が形成される可能性が主張されていた。ニッケル56モデルでは超高輝度超新星の光度曲線をごく自然に説明できるものの、スペクトルの性質を十分に説明できないことが分かっていた。また、高磁場高速回転中性子星形成モデルでは、スペクトルがよく再現されるものの、光度曲線の減衰率をニッケル56モデルよりも自然

には説明できないと思われていた。しかし、私の研究により、ニッケル56の減衰率と、高磁場高速回転中性子星からの減衰率が爆発後数百日間は非常に似る可能性があることが判明した(Moriya et al. 2016, ApJ, 835, 177)。この結果、高磁場高速回転中性子星モデルは光度曲線の減衰率も再現可能であり、超高輝度超新星のモデルとして尤もらしいことが明らかになった。

超高輝度超新星モデルとしてもう1つ主張されていた、超新星爆発時に中心にできたブラックホールに超新星の際に飛び散らなかった物質が降着して超高輝度超新星になる可能性も検証した。この結果、必要なブラックホールへの降着量が大量星では実現がほぼ不可能な量必要であることが判明し、ブラックホール降着モデルを否定することができた。この成果は現在論文としてまとめている。

超高輝度超新星を明るくする高磁場高速回転中性子星がどのような星が爆発するときに来るかを示唆した。超高輝度超新星に必要な組成と回転エネルギーを持つような大量星は、現在の恒星進化論で標準的に使われている恒星内部での角運動輸送率を10倍にすると自然に現れることが判明した。これにより、現在考えられているよりも恒星内部での角運動輸送を効率化する物理メカニズムが存在することが示唆された(Aguilera-Dena, Langer, Moriya et al. 2018, ApJ, 858, 115)。

赤方偏移2を超える超高輝度超新星を捉える：

すばる望遠鏡ハイパーシュプリームカムを用いた高赤方偏移突発天体サーベイを2016年11月から2017年5月に実行した。この結果、赤方偏移2.4の超高輝度超新星を捉えることに成功した(図1、Moriya et al. 2018, arXiv:1801.08240)。この結果、初期宇宙での大質量星形成が現在の宇宙よりも効率的に行われている可能性があることが判明した。

HSC16adga (SLSN, $z=2.40$)

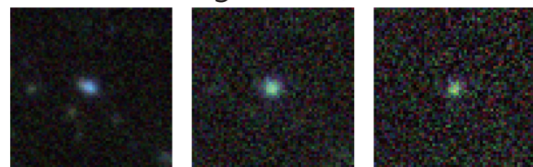


図1：すばる望遠鏡ハイパーシュプリームカムによって発見された赤方偏移2.4の超高輝度超新星。左は爆発前、真ん中は爆発時、右は爆発前後の差分の画像である。

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 22 件)

主著論文のみ記載 (他、共著論文 12 件)

- ① “Superluminous supernovae” Moriya, T.J., Sorokina, E. I., Chevalier, R. A. 2018, Space Science Reviews, 214, 59 査読有
10.1007/s11214-018-0493-6
- ② “Type IIP supernova light curves affected by the acceleration of red supergiant winds” Moriya, T.J., Forster, F., Yoon, S.-C., Grafener, G., Blinnikov, S. I. 2018, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 476, 2840-2851 査読有
10.1093/mnras/sty475
- ③ “Explosions of Thorne-Zytkow objects” Moriya, T.J. 2018, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters, 475, L49-L51 査読有
10.1093/mnrasl/sly005
- ④ “OGLE-2014-SN-073 as a fallback accretion powered supernova” Moriya, T.J., Terreran, G., Blinnikov, S. I. 2018, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters, 475, pp. L11-L14 査読有
10.1093/mnrasl/slx200
- ⑤ “Superluminous transients at AGN centers from interaction between black-hole disk winds and broad-line region clouds” Moriya, T.J., Tanaka, M., Morokuma, T., Ohsuga, K. 2017, The Astrophysical Journal Letters, 843, L19 査読有
10.3847/2041-8213/aa7af3
- ⑥ “Properties of magnetars mimicking ^{56}Ni -powered light curves in Type Ic superluminous supernovae” Moriya, T.J., Chen, T.-W., Langer, N. 2017, The Astrophysical Journal, 835, 177 査読有
10.3847/1538-4357/835/2/177
- ⑦ “Immediate dense circumstellar environment of supernova progenitors caused by wind acceleration: its effect on supernova light curves” Moriya, T.J., Yoon, S.-C., Grafener, G., Blinnikov, S. I. 2017, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters, 469, pp. L108-L112 査読有
10.1093/mnrasl/slx056

⑧ “Light-curve and spectral properties of ultrastripped core-collapse supernovae leading to binary neutron stars” Moriya, T.J., Mazzali, P. A., Tominaga, N., et al. 2017, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 466, pp. 2085-2098 査読有
10.1093/mnras/stw3225

⑨ “Supernovae powered by magnetars that transform into black holes” Moriya, T.J., Metzger, B. D., Blinnikov, S. I. 2016, The Astrophysical Journal, 833, 64 査読有
10.3847/1538-4357/833/1/64

⑩ “Radio transients from accretion-induced collapse of white dwarfs” Moriya, T.J. 2016, The Astrophysical Journal Letters, 830, L38 査読有
10.3847/2041-8205/830/L38

[学会発表] (計 22 件)

招待講演のみ記載 (他、一般講演 15 件)

- ① “超新星とガンマ線バースト”
守屋 堯
ガンマ線バースト研究の新機軸、東京大学 (千葉県・柏市)、2017/11/21-23
- ② “超新星とその多様性”
守屋 堯
第 47 回天文・天体物理若手夏の学校、ホテル圓山荘 (長野県・千曲市)、2017/7/25-28
- ③ “The interaction of ejecta with the CSM/ISM”
Takashi Moriya
Eta Carinae, LBVs, and Supernova Imposters, University of Pittsburgh (Pittsburgh, USA), 19-23 June 2017
- ④ “Theories of superluminous supernovae”
Takashi Moriya
Fifty-One Erg 2017, Oregon State University (Corvallis, USA), 5-8 June 2017
- ⑤ “Connecting supernovae with their progenitors: progress and open questions”
Takashi Moriya
Evolution and Explosion of Massive Stars, Dublin Institute for Advanced Studies (Dublin, Ireland), 25-26 May 2017
- ⑥ “Predicted but unobserved supernovae”
Takashi Moriya

South American Supernovae 2017,
University of La Serena (La Serena, Chile),
24-26 Apr. 2017

⑦ “Type Ic superluminous supernovae and
possible signatures of their progenitor
binary companions”

Takashi Moriya

ISSI Workshop on Supernovae,
International Space Science Institute
(Bern, Switzerland), 3-7 Oct. 2016

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)
該当無し

○取得状況 (計 0 件)
該当無し

[その他]

ホームページ等

<http://th.nao.ac.jp/MEMBER/moriya/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

守屋 堯 (MORIYA, Takashi)

国立天文台・理論研究部・特任助教

研究者番号：90779547

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究者

該当無し

(4) 研究協力者

該当無し