

平成 30 年 5 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26287029

研究課題名(和文)狭帯域多色撮像による超新星出現環境の研究

研究課題名(英文) Studying the environment of supernova explosion sites with narrow-band multi-color imaging

研究代表者

土居 守 (Doi, Mamoru)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号：00242090

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：超新星の出現環境を、様々な観測的方法で調べた。Ia型超新星については、明るさと色の相関関係などから母銀河の星生成活動度(色)に応じて少なくとも2種類の細分類が必要だということを示した。またS0銀河に出現したIa型超新星について、ヘリウム外層が爆発する珍しい例を発見した。重力崩壊型超新星については面分光観測により、型ごとに出現場所付近でのH α 線の等価幅や金属量を調べたが、有意な違いは見つからなかった。Kyoto3DII面分光器の高感度化を行い、Fast Radio Burstの母銀河について観測を行った。また、可視15バンド同時撮像装置DMCのCCD高感度化をおこなった。

研究成果の概要(英文)：We have studied explosion sites of supernovae observationally. We found that there are two groups of Type Ia supernovae (SNIa) based on luminosity-color distributions, depending on their host properties (color). We also found a SNIa on a S0 galaxy, whose explosion was ignited with He detonation. We have studied equivalent widths of H α and metallicity of explosion sites of Core Collapse SNe statistically. But we could not find significant differences among different types of SNe. We updated a CCD of Kyoto3DII IFU spectrograph, and carried out spectroscopy of a host galaxy of a Fast Radio Burst. We also updated CCDs of a 15-band optical simultaneous imager DMC.

研究分野：光赤外線天文学・銀河天文学・観測的宇宙論

キーワード：超新星 出現環境 可視同時撮像 ダイクロイックミラー 面分光

1. 研究開始当初の背景

超新星はスペクトルに水素を含む II 型と、含まない I 型にわけられ、I 型はさらに Si が含まれる Ia 型、He が含まれる Ib 型、どれも含まれない Ic 型に分類される。Ia 型は、白色矮星の熱核暴走によって生じると考えられているが、残りの型はすべて大質量星が終末に中心部で核融合反応がとまってつぶれて爆発をする、重力崩壊型であると考えられている (Filippenko 1997, Nomoto et al. 2013)。超新星は宇宙における重元素合成の大半を担っている重要な天体であり、また Ia 型超新星は宇宙論で重要な標準光源であるが、実は起源すなわち親星がまだわかっていない。

Ia 型の起源については、連星系にある白色矮星が Chandrasekar 質量 (1.4 太陽質量) に近づいて爆発をする、ということまでは一致した見解であるが、伴星も白色矮星なのか、あるいは主系列星や巨星などなのかについては、様々な観測によっても一致した見解には至っていない (Hilbrant et al. 2013)。

また、重力崩壊型超新星については、単独な星が爆発をする場合には、II 型、Ib 型、Ic 型の順に親星の質量が大きいと考えられているが、爆発前の親星が近傍銀河で撮像されていた数少ない例では、必ずしも HR 図における理論モデルの予想の位置にはきていない (Eldridge et al. 2013)。

また II 型超新星の中には、ヘリウムのラインが見られる IIb 型や、水素の狭輝線が見られる IIc 型も頻度は低いものの存在する。

<引用文献>

- ・Filippenko, ARA&A, 35, 309 (1997)
- ・Nomoto et al. ARA&A, 51, 457 (2013)
- ・Hilbrant et al., Front. of Phys., 8, p. 116 (2013)
- ・Eldridge et al., MNRAS, 436, 774 (2013)

2. 研究の目的

本研究では、これら、様々な型の超新星の起源の謎に迫るため、近傍の超新星母銀河を系統的に数種類の観測で調べ、近傍超新星母銀河の性質を調べる上での基本データを作成する。その上で、Ia 型超新星については出現環境と明るさ・光度曲線と色などの超新星の性質の関係を、重力崩壊型超新星については出現環境と型との関係を統計的に調べてまとめる。

3. 研究の方法

申請当初の観測手法は、15 バンド同時撮像装置 DMC による狭帯域撮像、低分散分光撮像装置 LISS (当時の仮名 FPC) を国内の 1m 級望遠鏡に搭載して可視狭帯域撮像と、すばる望遠鏡 MOIRCS をもちいた近赤外線波長域の CO 吸収の狭帯域撮像の予定であった。しかしながら、予算の制限から DMC の製作が遅れ、また LISS のファブリペローエタロンが経年変化によって劣化し、効率が下がってしまった。

このため、稼働中の面分光装置 (UH2. 2m SNIFS, GEMINI-N GMS, VLT SINFONI, VIMOS, MUSE) および本研究費も一部用いて再立ち上げをおこなった Kyoto3DII 面分光装置を用いた観測手法を主体として研究を推進した。またスローンデジタルスカイサーベイの可視広帯域撮像データを用いた Ia 型超新星母銀河の観測研究も実施し、その延長として、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による観測も行った。

4. 研究成果

(1) Ia 型超新星の出現環境

Ia 型超新星については、スローンデジタルスカイサーベイの超新星サーベイの結果を用い、明るさと色について、いわゆる Philips 関係からのずれを調べ、Ia 型超新星には母銀河の星生成活動度 (色) に応じて少なくとも 2 種類の細分類が必要だということを示した (図1)。同時に塵の性質のばらつきも 2 種類ある可能性を示した (論文④)。

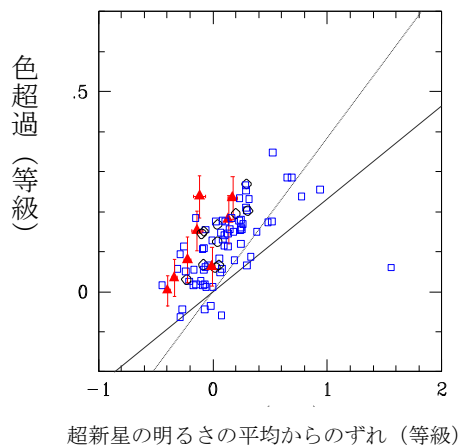


図1 Ia型超新星の明るさの平均からのずれと色の平均からのずれの相関。赤で記した点は超新星の母銀河の星生成活動度が低い (赤い) 場合。(論文④より)

また、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いて爆発後約 0.5 日の Ia 型超新星爆発を発見、初期の光度変化・色と最大光度付近でのスペクトルの特徴から、ヘリウムの外層がまず爆轟し、そのショックで白色矮星の炭素の爆燃が始まるという爆発メカニズムに制限を与えることができた (論文②)。母銀河は S0 銀河であるが、2 種類以上あると考えられる Ia 型超新星親星との関係は今後の課題である。

なお、MOIRCS による CO 吸収の観測は、近傍銀河での観測を実施したが、十分な観測精度を達成できなかった。

(2) 重力崩壊型超新星の出現環境

重力崩壊型超新星の出現環境については、面分光装置を用いて、近傍に出現した 83 個の出現環境を調べた。H α 線の等価幅や金属量の分布を型ごとによって比べたところ、Ic 型

が最も星生成が活発な場所に出現する傾向があるものの、金属量依存性は有意な違いが認められなかった(図2論文①)。またどの型の重力崩壊型超新星も、親星の一部は連星である可能性が高いことを示した(論文①⑥)。

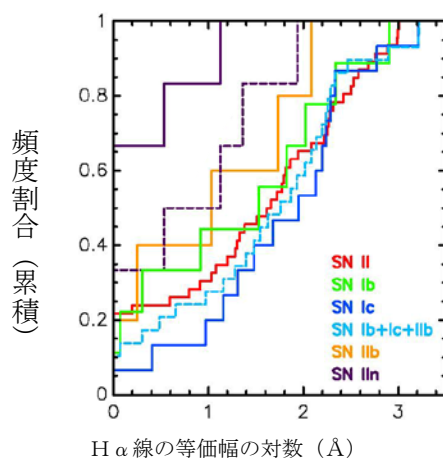


図2 重力崩壊型超新星の出現環境の型別の累積での頻度割合の分布(論文①)。

(3) その他の観測・開発

Kyoto3DII面分光器による超新星の観測研究はまだ十分行えていないが、Fast Radio Burstの母銀河についてすばる望遠鏡にKyoto3DII面分光器のCCDを高感度化(論文⑤)して搭載しての観測を実施、H α 線の解析から、星生成が活発な環境であることを示した(論文③)。

DMCについては浜松ホトニクス社製完全空乏層型CCDを購入、高感度化を進めた。LISSのエタロンについては修理も新規購入も大変高価であることから断念した。なゆた望遠鏡搭載のためのカセグレンインターフェースを製作、近傍銀河の[SIII]輝線の分光も行った。また国内で過去もっとも暗いgバンドで20等の超新星の分光分類に成功した。

(4)国際スクール 東京大学伊藤国際学術センターで2015年6月29日~7月3日に開催されたサマースクール「宇宙距離尺度の新時代」を共催、カリフォルニア工科大よりKurkarni教授を超新星部分の講師として招聘した。参加者は71名(海外から42名)であった。

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6件)

① Kuncarayakti, H., Aldering, G., Anderson, J. P., Arimoto, N., Doi, M., Galbany, L., Hamuy, M., Hashiba, Y., Kruehler, T., Maeda, K., Morokuma, T., Usuda, T., “Constraints on core-collapse

supernova progenitors from explosion site integral field spectroscopy”, Accepted to Astronomy and Astrophysics (2018) 査読有

② Jiang, J., Doi, M., Maeda, K. et al. (25 authors), “A hybrid type Ia supernova with an early flash triggered by helium-shell detonation”, Nature, Volume 550, Issue 7674, pp. 80-83 (2017) 査読有

③ Kokubo, M., Mitsuda, K., Sugai, H., Ozaki, S., Minowa, Y., Hattori, T., Hayano, Y., Matsubayashi, K., Shimono, A., Sako, S., Doi, M., “H α Intensity Map of the Repeating Fast Radio Burst FRB 121102 Host Galaxy from Subaru/Kyoto 3DII A0-assisted Optical Integral-field Spectroscopy”, The Astrophysical Journal, Volume 844, Issue 2, article id. 95, 9 pp. (2017) 査読有

④ Takanashi, N., Doi, M., Yasuda, N., Kuncarayakti, H., Konishi, K., Schneider, D. P., Cinabro, D., and Marriner, J., “Photometric properties of intermediate-redshift Type Ia supernovae observed by the Sloan Digital Sky Survey-II Supernova Survey”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 465, Issue 2, p. 1274-1288 (2017) 査読有

⑤ Mitsuda, K., Hashiba, Y., Minowa, Y., Hayano, Y., Sugai, H., Shimono, A., Matsubayashi, K., Hattori, T., Kamata, Y., Ozaki, S., Doi, M., and Sako, S., “CCD system upgrading of the Kyoto3DII and integral field spectroscopic observation with the new system”, Proceedings of the SPIE, Volume 9908, id. 99082M 13 pp. (2016) 査読無

⑥ Kuncarayakti, H., Aldering, G., Anderson, J. P., Arimoto, N., Doi, M., Galbany, L., Hamuy, M., Hashiba, Y., Kruehler, T., Maeda, K., Morokuma, T., Usuda, T., “Constraining Supernova Progenitors: AN Integral Field Spectroscopic Survey of the Explosion Sites”, Publications of The Korean Astronomical Society, vol. 30, issue 2, pp. 139-143 (2015) 査読有

[学会発表](計9件)

① 姜継安・土居守他
“HSC Transient Survey (III): The diversity of early-phase Type Ia supernovae”

日本天文学会 2017 年度春季年会
2018 年 1 月 17 日～19 日

② 姜継安・土居守他

“Investigating Peculiar Early-Phase Signals of Type Ia Supernovae with The Subaru Deep Imaging Survey”
新学術領域「なぜ宇宙は加速するのか? - 徹底的究明と将来への挑戦-」
2018 年 1 月 17 日～19 日

③ 小久保充・菅井肇他 (土居守を含む)

“H α intensity map of the repeating fast radio burst FRB121102 host galaxy from Subaru/Kyoto3DII A0-assisted optical integral-field spectroscopy”
すばるユーザーズミーティング
2018 年 1 月 17 日～19 日

④ 姜継安・土居守他

“Properties of An Early-Phase Type Ia Supernova Found by The MUSSES Project”
日本天文学会 2017 年度秋季年会
2017 年 9 月 11 日～13 日

⑤ 小久保充・満田和真.. 土居守 (11 著者)

「Subaru/Kyoto 3DII + A0188 による高速電波バースト FRB 121102 母銀河の可視光面分光観測」
日本天文学会 2017 年度秋季年会
2017 年 9 月 11 日～13 日

⑥ Kuncarayakti, H., Aldering, G., Anderson, J. P., Arimoto, N., Doi, M. Galbany, L., Hamuy, M., Hashiba, Y., Kruehler, T., Maeda, K., Morokuma, T., Usuda, T.

“Mass and metallicity constraints on supernova progenitors”
Fincospar meeting
2017 年 8 月 23 日～25 日

⑦ Doi, M., Mitsuda, K., Sako, S., Morokuma, T., Soyano, T. and DMC Team

“Upgrades of Dichroic-Mirror Camera (DMC) for optical identification of GW sources”
“New development in astrophysics through multimessenger observations of gravitational wave sources”
2016 年 12 月 26 日～28 日

⑧ 満田和真・橋場康人・美濃和陽典・早野裕・菅井肇・下農淳司・松林和也・服部堯・鎌田有紀子・尾崎忍夫・土居守・酒向重行
「可視面分光装置 Kyoto3DII における新 CCD システムの性能評価と試験観測」
日本天文学会 2016 年度春季年会
2016 年 3 月 14 日～17 日

⑨ Doi, M. and DMC group
“Studying Optical Spectral Energy Distribution of Gravitational Wave Sources and their Environments with 15-band Simultaneous Imaging”
the 4th annual symposium on “New Developments in Astrophysics Through Multi-Messenger Observations of Gravitational Wave Sources”
2016 年 2 月 18 日～20 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土居 守 (Doi Mamoru)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：00242090

(3) 連携研究者

酒向 重行 (Sako Shigeyuki)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：90533563

諸隈 智貴 (Morokuma Tomoki)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：10594674

(4) 研究協力者

高梨 直紘 (Takanashi Naohiro)
クンチョロヤクティ ハニンデョ
(Kuncarayakti Hanindyoo)
橋場 康人 (Hashiba Yasuhito)

小久保 充 (Kokubo Mitsuru)

満田 和真 (Mitsuda Kazuma)

姜繼安 (Jiang Ji-an)

菅井 肇 (Sugai Hajime)

他各論文共著者