

令和 2 年 9 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14253

研究課題名（和文）星周ダスト放射をプローブとしたIa型超新星の起源解明

研究課題名（英文）Exploring the origin of Type Ia supernova based on the emission from the circumstellar dust

研究代表者

山中 雅之（Yamanaka, Masayuki）

京都大学・理学研究科・特定准教授

研究者番号：50645512

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：Ia型超新星においては、爆発する元の星の正体が明らかになっていない。本研究においては通常の恒星、あるいは赤色巨星からの降着によって白色矮星が限界質量付近に到達したときに爆発に至る「降着説」の検証を行った。星周ダストからの赤外放射を捉えるべく、広島大学がなした望遠鏡および可視近赤外線観測装置HONIRを用いて近傍Ia型超新星の観測を実施した。Ia型超新星をサブクラスに寄らず3年間で10天体程度の追観測を実施した。また、2018年度からは京都大学せいめい望遠鏡を用いて観測を実施し、あるIa型超新星について親星システムに制限を与えることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Ia型超新星の親星は、連星系をなす白色矮星が有力な候補であるが、どのような過程を経て爆発に至るかわかっていない。恒星かあるいは赤色巨星の伴星から質量降着によって限界質量に至る「降着説」か、2つの白色矮星が衝突合体し一気に限界質量を越える「合体説」が明らかではない。近年、我々は親星シナリオに制限を与える強力な手法を提示した。「降着説」に基づけば爆発に至るまでの間、伴星由来の降着ガスが一部連星系から放出されダストが形成されることが期待される。星周ダストは超新星からの放射を受け、赤外放射を起こす。これを観測によって捉えることで放出ガスの物理量に制限を与えることができると期待される。

研究成果の概要（英文）：On the Type Ia supernovae (SNe Ia), the nature of the pre-explosion star is still ambiguous. Through this research, we demonstrated the 'accretion scenario', in which the white dwarf reach the Chandrasekhar-limiting mass by accretion from the companion stars, e.g., normal or red supergiant stars. In order to catch the emission from the circumstellar dust around the supernovae, we performed the follow-up observations using the 1.5-m Kanata telescope with the optical-infrared camera, HONIR in Hiroshima University. We obtained the optical and near-infrared data of around 10 SNe Ia for this three years. We also performed the observations using Kyoto Seimei telescope in Okayama Observatory since 2019. We gave a constraints on the system of the pre-explosion star of a SN Ia from the early-phase data.

研究分野：光赤外線天文学

キーワード：Ia型超新星 光近赤外線天文学 中小口径望遠鏡 超新星

## 1. 研究開始当初の背景

Ia 型超新星は極大絶対光度に一様性が認められ、宇宙における標準光源として、未知の銀河までの距離を測定することのできるツールである。このような性質を用いてダークエネルギーと呼ばれる存在が示唆されるなど天文学上重要な発見があった。それにもかかわらず、爆発する元の星（親星）の正体や爆発メカニズムは明らかになっていない。連星系をなす白色矮星が有力な親星候補であるが、どのような過程を経て爆発に至るかわかっていない。恒星かあるいは赤色巨星の伴星から質量降着によって限界質量に至る「降着説」か、2つの白色矮星が衝突合体し一気に限界質量を越える「合体説」が明らかではない。

また、爆発メカニズムについても白色矮星中心で点火した後に、燃焼波が亜音速で伝搬し元素合成を進める「爆燃波」モデルか、爆燃波による燃焼波伝搬後に臨界密度に到達した地点で超音速の衝撃波によってさらに大きなエネルギーで燃焼が進む「遅延爆轟波」モデルかも決着がつかない。「遅延爆轟波」では大きな膨張速度・極大絶対光度・鉄系元素が期待される。一方で、観測的には極大光度付近において膨張速度は 5000km/s もの大きな多様性を示すことが知られており、ある速度より大きいものは「遅延爆轟波」モデルで説明が可能であると指摘されている。

## 2. 研究の目的

本研究においては、「降着説」の検証に焦点を当て研究を遂行した。近年、我々は親星シナリオに制限を与える強力な手法を提示した。「降着説」に基づけば爆発に至るまでの間、伴星由来の降着ガスが一部連星系から放出され温度が低下しダストが形成されることが期待される。このような星周ダストは超新星爆発後に放射を受け、赤外放射を起こすことが予言される。赤外放射を観測によって捉えることで放出ガスの物理量に制限を与えることができると考えられる。

また、測光観測から得られる光度曲線・分光観測から得られるスペクトルを用いて、放射源物質質量（ニッケル 56）、噴出物質質量、運動エネルギーなど超新星の基本的な性質を求め、未だ自明となっていない星周物質との関係性を求める。

また、近傍 Ia 型超新星の超早期の分光観測を実行し、噴出物質の速度進化を求め、「遅延爆轟波」モデルに基づく爆発構造の検証を行う。

## 3. 研究の方法

広島大学かなた望遠鏡および可視近赤外線カメラ HONIR およ可視光波長域が観測可能なカメラ HOWPoI を用いて爆発後間もない時期からの超新星のフォローアップ観測を実施した。爆発後間もない時期から 100 日程度に亘る超新星の可視・近赤外線データを取得した。これらのうち、極大光度に到達するより 10 日程度前から 50-100 日程度の長期のフォローアップ観測を実行できた Ia 型超新星は 12 天体であった。

また、2018 年度よりは口径 3.8 メートルの京都大学新技術光赤外線望遠鏡「せいめい」が本格運用を開始し、爆発直後からの分光観測を実施した。4 天体については爆発直後と見られる分光データを取得することができた。得られたデータは全て議論ができるように一元的に解析を行った。

得られたライトカーブを用いて、色変化を求める。色から母銀河に分布する吸収による赤化量を求めた。本研究において補正係数は典型的な銀河と同程度と仮定した。また、光度変化からタイムスケールを求め、Ia 型超新星に認められる光度-光度変化関係から絶対光度を求めた。これらのライトカーブを用いて超新星の放射源物質であるニッケル 56 の質量を求めた。さらに得られたライトカーブからタイムスケールを求めた。また、スペクトルに見られるケイ素の吸収線速度を測定し、速度の時間進化を求めた。ライトカーブタイムスケールと極大付近の速度から膨張とエネルギーの関係性（アーネット・ルール）を用いて、爆発エネルギー・噴出物質の質量を求めた。これらの基本的諸量と星周物質との関係性を調査する。

## 4. 研究成果

かなた望遠鏡 HONIR によって得られた 10 天体の Ia 型超新星の近赤外線の光度曲線・色変化に有意な超過は認められなかった。最も大きな場合で、年  $10^{-6}$  太陽質量程度の質量放出率の制限を与えることができた。これは「単独星」シナリオで期待される値に比べ桁大きい。

SN 2019ein という Ia 型超新星については爆発直後からせいめい望遠鏡を用いて分光観測を実施することができた。分光データから線速度進化を調査したところ、従来よく知られている Ia 型超新星には見られないような進化を示したことがわかった。極大光度付近においては、膨張速度の大きい Ia 型超新星の特徴を示した。これらのことから、膨張速度の大きい Ia 型超新

星に新たな多様性を示唆する。初期スペクトルは膨張大気の最外側の組成を反映している。この初期スペクトルを理論的に再現したところ、1成分のエジェクタモデルで説明可能であることが明らかになった。

また、本研究と関係する研究成果として、光度-幅関係に従わない Iax 型超新星の研究も行った。SN 2019muj という Iax 型超新星に対して、せいめい・かなた望遠、さらに光赤外線大学間連携の枠組みで光学・赤外フォローアップ観測を実施した。その結果、Iax 型では最も速く減衰するものの1つであるにも関わらず、中程度の絶対光度を持つことを突き止めた。Iax 型超新星には従来より明るいサブクラスと暗いものの2種が存在するという指摘があったが、それらの架け橋となる天体であり、Iax 型超新星の爆発・親星シナリオにインパクトを与える結果となった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Singh Avinash, Sahu D. K., Anupama G. C., Kumar Brajesh, Kumar Harsh, Yamanaka Masayuki, et al.	4. 巻 882
2. 論文標題 SN 2018hna: 1987A-like Supernova with a Signature of Shock Breakout	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L15 ~ L22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab3d44	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 該当する

1. 著者名 Kumar, Brajesh; Eswaraiah, Chakali; Singh, Avinash et al.	4. 巻 488,
2. 論文標題 On the observational behaviour of the highly polarized Type IIIn supernova SN 2017hcc	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3089-3099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1914	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 該当する

1. 著者名 Kawabata Miho, Maeda Keiichi, Yamanaka Masayuki et al.	4. 巻 893
2. 論文標題 SN 2019ein: New Insights into the Similarities and Diversity among High-velocity Type Ia Supernovae	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 143 ~ 154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab8236	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 該当する

1. 著者名 Nakaoka, Tatsuya; Moriya, Takashi J.; Tanaka, Masaomi; Yamanaka, Masayuki; Kawabata, Koji S.; Maeda, Keiichi; Kawabata, Miho; Kawahara, Naoki; Itagaki, Koichi; Ouchi, Ryoma; Blinnikov, Sergei I.; Tominaga, Nozomu; Uemura, Makoto	4. 巻 875
2. 論文標題 SN 2017czd: A Rapidly Evolving Supernova from a Weak Explosion of a Type IIb Supernova Progenitor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 76-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab0dfe">https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab0dfe</a>	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 該当する

1. 著者名 Kawabata, Miho; Kawabata, Koji S.; Maeda, Keiich; Yamanaka, Masayuki; Nakaoka, Tatsuya; Takaki, Katsutoshi; Fukushima, Daiki; Kojiguchi, Naoto; Masumoto, Kazunari; Matsumoto, Katsura; Akitaya, Hiroshi; Itoh, Ryosuke, et al.	4. 巻 70
2. 論文標題 Extended optical/NIR observations of Type Ia supernova 2014dt: Possible signatures of a bound remnant	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 111-132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1093/pasj/psy116">https://doi.org/10.1093/pasj/psy116</a>	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 該当する

1. 著者名 Nagao, Takashi; Maeda, Keiichi; Yamanaka, Masayuki	4. 巻 476
2. 論文標題 Polarization as a probe of dusty environments around Type Ia supernovae: radiative transfer models for SN 2012dn	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4806-4813
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://adsabs.harvard.edu/abs/2018MNRAS.476.4806N">http://adsabs.harvard.edu/abs/2018MNRAS.476.4806N</a>	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 該当する

1. 著者名 山中雅之	4. 巻 111
2. 論文標題 光赤外線大学間連携による超新星の追観測： 極超新星におけるヘリウムの発見	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 天文月報	6. 最初と最後の頁 172-179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 山中雅之, 中岡竜也, 川端美穂, 長木舞子, 河原直貴, 大坪一輝, 木村浩輝, 安部太晴, 山崎優衣奈, 川端 弘治 (広島大学), 諸隈智貴 (東京大学), 伊藤亮介, 村田勝寛 (東京工業大学), 今井正堯, 高木聖子 (北海道大学), 他
2. 発表標題 光赤外線大学間連携による爆発後450日間のIIP型超新星SN 2017eawの観測
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山中雅之, 中岡竜也, 川端美穂, 河原直貴, 長木舞子, 安部太晴, 川端弘治 (広島大学), 諸隈智貴 (東京大学), 伊藤亮介, 村田勝寛 (東京工業大学), 今井正堯, 高木聖子 (北海道大学), 高橋隼, 本田敏志, 大島 誠人, Stefan Baar, 高山正輝, 斎藤智樹 (兵庫県立大学), 森鼻久美子 (名古屋大学), 斉藤嘉彦 (情報通信研究機構), 他
2. 発表標題 光赤外線大学間連携による IIP 型超新星 SN 2017eaw の追観測
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中岡竜也, 川端弘治, 山中雅之, 川端美穂, 河原直貴 (広島大), 前田啓一 (京都大), 田中雅臣, 守屋堯 (国立天文台), 富永望 (甲南大), かなた観測チーム
2. 発表標題 極めて短いプラトーを持つ特異な超新星 SN 2017czd の測光分光観測
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ca-rich トランジェント iPTF15eqv の可視近赤外測光分光観測
2. 発表標題 河原直貴, 山中雅之, 川端弘治, 中岡竜也, 川端美穂 (広島大), 前田啓一 (京都大), かなた望遠鏡チーム
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大坪一輝, 山中雅之, 川端弘治, 高木勝俊, 中岡竜也, 川端美穂, 河原直貴 (広島大学), 前田啓一 (京都大学)
2. 発表標題 減光速度の大きな極超新星 SN 2014as の測光分光観測
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamanaka, Masayuki; Nakaoka, Tatsuya; Kawabata, Miho; Kawahara, Naoki; Chogi, Maiko; Abe, Taisei; Kawabata, Koji; Morokuma, Tomoki; et al.
2. 発表標題 OISTER Follow-up Observations of the bright Type IIP supernova SN 2017eaw
3. 学会等名 American Astronomical Society, AAS Meeting #231 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawahara, Naoki; Yamanaka, Masayuki; Kawabata, Koji; Nakaoka, Tatsuya; Kawabata, Miho; Maeda, Keiichi; Takaki, Katsutoshi; Akitaya, Hiroshi; Itoh, Ryosuke; Moritani, Yuki; Uemura, Makoto; Yoshida, Michitoshi
2. 発表標題 Optical and near-infrared study of the Ca-rich transient iPTF15eqv in the early phase
3. 学会等名 American Astronomical Society, AAS Meeting #231 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>重力波天体が放つ光を初観測 - 日本の望遠鏡群が捉えた重元素の誕生の現場 -  <a href="https://www.hiroshima-u.ac.jp/hasc/news/42167">https://www.hiroshima-u.ac.jp/hasc/news/42167</a>          直径100mの気球で天体からの硬X線の偏光情報を世界初検出  <a href="https://www.hiroshima-u.ac.jp/hasc/news/41171">https://www.hiroshima-u.ac.jp/hasc/news/41171</a></p>
--

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
研究協力者	前田 敬一  (Maeda Keiichi)	京都大学・理学研究科・准教授  (14301)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	田中 雅臣 (Tanaka Masaomi)	東北大学・理学研究科・准教授  (11301)	
研究協力者	中岡 竜也 (Nakaoka Tatsuya)	広島大学・宇宙科学センター・研究員  (15401)	
研究協力者	川端 美穂 (Kawabata Miho)	京都大学・理学研究科・研究員  (14301)	
研究協力者	川端 弘治 (Kawabata Koji)	広島大学・宇宙科学センター・教授  (14301)	