

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	川 端 美 穂
学位授与の要件	学位規則第 4 条第①・2 項該当		
論文題目			
<p>Multi-band Observational Study on Two Nearby Type Ia Supernovae (多バンド観測による 2 つの近傍の Ia 型超新星に関する研究)</p>			
論文審査担当者			
主 査	教 授	川端 弘治	(宇宙科学センター)
審査委員	教 授	小嶋 康史	
審査委員	教 授	杉立 徹	
審査委員	教 授	深澤 泰司	
〔論文審査の要旨〕			
<p>Ia 型超新星は、恒星において最も明るく輝く爆発現象であり、年間に$\sim 10^3$個が発見される超新星のうち約 7 割が Ia 型に分類される、主要な天体現象のひとつである。その親星は、白色矮星と考えられている。白色矮星は、太陽が質量はそのまま直径が 100 分の 1 程度（地球サイズ）にコンパクト化した場合に相当する高い密度を持ち、電子の縮退圧で支えられた特殊な星である。このような白色矮星が連星を形成し、伴星のガスが降り積もって限界質量（チャンドラセカール限界質量、太陽質量の約 1.4 倍）に達すると、中心付近で核燃焼が発生、その燃焼が爆発的に進行し、白色矮星の大部分を燃やすことで発生すると考えられている。通常の Ia 型超新星が示す極大光度はよく似通っており、いくつかの経験則を用いて補正した光度は、遠方銀河の距離指標として用いられ、宇宙の加速膨張の発見にも貢献した。そのような一様性があるにも拘わらず、Ia 型超新星の爆発の機構については未だ不明な点が多い。例えば、爆発に至る白色矮星の相手の伴星が、通常の恒星なのか、それとも別の白色矮星であるのかについての論争は、ハッブル宇宙望遠鏡や口径 8-10m 級の望遠鏡が活躍し出してから四半世紀を経、計算機が発達した現在になっても収束していない。また、2000 年代以降、Ia 型超新星の観測が精力的に行われるようになってから、初期や後期のスペクトル線の特徴に多様性が見られることや、光度と光度曲線の幅の経験則から大きく外れた一群も見いだされている。さらに、ごく初期の光度曲線に、親星やその活動性の痕跡が含まれ得ることも近年指摘されており、爆発機構や親星が構成する連星系やその進化段階をさらに研究する観測的手法として期待されている。本論文は、このような Ia 型超新星の、近紫外線・近赤外線を含む可視光領域における重点的観測に基づいた考察を扱い、その爆発機構や親星の環境について新たな知見を与えている。</p> <p>論文提出者は、Iax 型とも呼ばれる爆発速度が小さく暗いサブタイプに属する SN 2014dt と、典型的な Ia 型である SN 2017erp の 2 つの Ia 型超新星に対して、可視光領域の多バンド観測に基づいた観測的研究を実施し、本論文にまとめた。本論文は 5 章と付録で構成されている。第 1 章は序章であり、前述のような Ia 型超新星に関する研究の背景や本論文に至る研究動機がまとめられている。</p> <p>第 2 章では、観測とデータ整約について記述されている。観測には主として広島大学の口径 1.5m かなた望遠鏡とその観測装置が用いられているが、国立天文台ハワイ観測所の 8.2m すばる望遠鏡や、大阪教育大学の 51cm 望遠鏡、NASA の Swift 衛星に搭載された紫</p>			

外線可視望遠鏡により得られたデータも含まれる。可視光と近赤外線データの整約法や、背景銀河成分の除去や測光法、波長・フラックス較正について解説されている。

第3章では、Iax型超新星 SN 2014dt に対する長期観測に基づいた研究について記述されている。近年になり見出された Iax 型超新星は、暗く、爆発速度が小さめながら、初期のスペクトルは明るいサブタイプの超新星に似ているといった特徴を示すが、観測例はまだ少なく、爆発機構はよく分かっていない。論文提出者は、SN 2014dt に対し、発見直後から約 400 日間に亘って、可視光・近赤外域で継続的に測光・分光観測を実施した。Iax 型超新星において、これだけ長期に亘って密に観測が行われたのは初めてであり、過去に比類ない良質の観測データを提供できたことは高く評価される。SN 2014dt は爆発から 100 日後以降の減光率が小さくなり、このフェーズでの主たるエネルギー源である ^{56}Co の崩壊レートとほぼ等しいことから、論文提出者は、崩壊によるガンマ線を吸収するために光学的に厚い領域が存在し続ける必要性があることを示した。約 200 日から 400 日にかけて、許容線が支配的なスペクトル線の特徴にあまり変化が見られなかったことも、放出速度が極端に小さく、密度が高く保たれた領域の存在を示唆している。さらに、観測結果から爆発エネルギーや放出物質の質量、爆発時の ^{56}Ni 生成量を推定し、それらが、弱い爆燃波モデルに基づいた、爆発エネルギーが小さく白色矮星がすべて吹き飛ばずに残骸が残される計算結果と矛盾が無いことを示した。これは、Iax 型超新星が、Ia 型超新星爆発が不完全な燃焼で終わった事例として理解できることを示した、重要な成果である。

第4章では、SN 2017erp に対して爆発後 4 日以内から観測を開始した観測的研究について記述されている。後の極大光度付近のスペクトルや光度から、この超新星が典型的な Ia 型であることが示されているが、典型的な Ia 型においても、これだけ早期から可視光領域において多バンド観測が行われた例は稀少であり、新たなデータを提供できたことは評価できる。論文提出者は、爆発から極大光度に達するまでの時間が長めであることから、通常の超新星本体からの放射とは別に、付加的な放射成分が存在する可能性を見出して、光度や色指数の変化を精査し、それらの観測的な特徴が、伴星や星周物質との相互作用によるもので説明し得ることを示した。これは、SN 2017erp の親星である白色矮星に質量を供給する伴星が、白色矮星ではなく、通常の恒星であることを示唆する。

第5章は本論文のまとめであり、付録では観測や考察に関する一部の専門的事項について仔細な説明が加えられている。

本論文で扱われた Ia 型超新星の爆発メカニズムや親星の環境に関する問題は、現代天文学上においても重要なものであり、新たな観測に基づいて得られた結論の学術的価値は高い。公表論文は 22 名の共著であるが、観測やデータ整約、その解析の殆どを論文提出者によって行われており、寄与は充分である。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

“Extended optical/NIR observations of Type Ia supernova 2014dt: Possible signatures of a bound remnant”

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, Kanda Yuka, Moritani Yuki, Takata Koji, Uemura Makoto, Ui Takahiro, Yoshida Michitoshi, Hattori Takashi, Lee Chien-Hsiu, Tominaga Nozomu, Nomoto Ken'ichi, Publications of the Astronomical Society of Japan, 70, 111 (20 pages) (2018)

参考論文

“Early-phase photometry and spectroscopy of transitional Type Ia SN 2012ht: Direct constraint on the rise time”

Masayuki Yamanaka, Keiichi Maeda, Miho Kawabata, Masaomi Tanaka, Katsutoshi Takaki, Issei Ueno, Kazunari Masumoto, Koji S. Kawabata, Ryosuke Itoh, Yuki Moritani, Hiroshi Akitaya, Akira Arai, Satoshi Honda, Koichi Nishiyama, Fujio Kabashima, Katsura Matsumoto, Daisaku Nogami, Michitoshi Yoshida
The Astrophysical Journal Letters, 782, L35, (6 pages) (2014)

“Optical and Near-infrared Polarimetry of Highly Reddened Type Ia Supernova 2014J: Peculiar Properties of Dust in M82”

K. S. Kawabata, H. Akitaya, M. Yamanaka, R. Itoh, K. Maeda, Y. Moritani, T. Ui, M. Kawabata, K. Mori, D. Nogami, K. Nomoto, N. Suzuki, K. Takaki, M. Tanaka, I. Ueno, S. Chiyonobu, T. Harao, R. Matsui, H. Miyamoto, O. Nagae, A. Nakashima, H. Nakaya, Y. Ohashi, T. Ohsugi, T. Komatsu, K. Sakimoto, M. Sasada, H. Sato, H. Tanaka, T. Urano, T. Yamashita, M. Yoshida, A. Arai, N. Ebisuda, Y. Fukazawa, A. Fukui, O. Hashimoto, S. Honda, H. Izumiura, Y. Kanda, K. Kawaguchi, N. Kawai, D. Kuroda, K. Masumoto, K. Matsumoto, T. Nakaoka, K. Takata, M. Uemura, K. Yanagisawa, The Astrophysical Journal Letters, 795L(4)(2014)1-8.

“OISTER optical and near-infrared observations of the super-Chandrasekhar supernova candidate SN 2012dn: Dust emission from the circumstellar shell”

Masayuki Yamanaka, Keiichi Maeda, Masaomi Tanaka, Nozomu Tominaga, Koji S. Kawabata, Katsutoshi Takaki, Miho Kawabata, Tatsuya Nakaoka, Issei Ueno, Hiroshi Akitaya, Takahiro Nagayama, Jun Takahashi, Satoshi Honda, Toshihiro Omodaka, Ryo Miyanoshita, Takashi Nagao, Makoto Watanabe, Mizuki Isogai, Akira Arai, Ryosuke Itoh, Takahiro Ui, Makoto Uemura, Michitoshi Yoshida, Hidekazu Hanayama, Daisuke Kuroda, Nobuharu Ukita, Kenshi Yanagisawa, Hideyuki Izumiura, Yoshihiko Saito, Kazunari Masumoto, Rikako Ono, Ryo Noguchi, Katsura Matsumoto, Daisaku Nogami, Tomoki Morokuma, Yumiko Oasa, Kazuhiro Sekiguchi, Publications of the Astronomical Society of Japan, 68, 68 (24 pages) (2016)