

爆発直後からの観測による Ia 型超新星の起源解明

Identifying the origin of the type-Ia supernova by observations just after the explosion

課題番号：18H05223

土居 守 (DOI, MAMORU)

東京大学・大学院理学系研究科・教授



研究の概要

Ia 型超新星は宇宙の加速膨張の発見に使われた標準光源で大変重要な天体であるが未だどのような親星が爆発しているかわかっていない。本研究では、新たに整備する観測装置も用いて、爆発直後の Ia 型超新星に対してデータを取得、理論モデルの比較を行うことによって Ia 型超新星の親星と爆発メカニズムを調べ、色と明るさのばらつきの原因を解明する。同時に近赤外線のスペクトルデータベースを作り、Ia 型超新星を静止系近赤外線における標準光源とする。

研究分野：天文学

キーワード：Ia 型超新星 親星 爆発メカニズム 標準光源 ダークエネルギー

1. 研究開始当初の背景

Ia 型超新星は鉄などの重い元素の主な供給源であると共に、宇宙の加速膨張の発見に使われた標準光源として大変重要な天体であるが、未だどのような親星が爆発しているかわかっていない。Ia 型超新星の点火のしくみまたは親星は複数の種類がある可能性がこの他にも示唆されてきており、非常に初期の色やスペクトルを十分な数観測することにより、点火のしくみを分類、親星や爆発の仕組みを解明できる可能性が開けた。

2. 研究の目的

そこで本研究では、新たに整備する観測装置を用いて、爆発直後の Ia 型超新星に対して、これまでと質的に異なる観測データを取得、理論モデルの比較を行うことによって Ia 型超新星の親星と爆発メカニズムを調べ、色と明るさのばらつきの原因を解明する。同時に近赤外線のスペクトルデータベースを作り、Ia 型超新星を静止系近赤外線における標準光源とすることも目指す。

3. 研究の方法

本研究提案では、東京大学の口径 1m 広視野木曾シュミット望遠鏡に CMOS カメラ Tomo-e を完成させ、近傍の Ia 型超新星の初期発見に中心的に用いる。Tomo-e は 84 個の CMOS センサーを搭載、明るい超新星の探査においては世界最高の能力を有し、赤緯・20 度以北の天を 2 時間に一回撮像、星の混んだ領域を除けば、V バンドで 19 等級までの超新星は漏らさず発見できる。

発見された Ia 型超新星を迅速に詳細観測するため、京都大学のせいめい望遠鏡に多色カメラを製作、面分光装置 KOOLS-IFU の観測性能向上を行う。これらによって爆発直後から Ia 型超新星 30 個以上多色・分光観測を行い、理論モデルと比較し、親星と爆発メカニズムを系統的に調べる。

さらに東京大学がチリ・アタカマに建設中の口径 6.5m TAO 望遠鏡に近赤外線シェル分光器 NICE を移設、世界最高地点にあって広く開いた大気の窓を活用して、約 30 個の Ia 型超新星の近赤外線波長域のスペクトルを数日おきに取得、近赤外線波長域でのテンプレートスペクトルを作成する。

4. これまでの成果

提案段階では製作中であった、木曾観測所シュミット望遠鏡用に 84 個の CMOS センサーを搭載した Tomo-e は、2019 年 9 月に完成した（図 1）。感度も想定通りであり、晴天時は、全天を夜の最初と最後に約 7000 平方度を掃天観測、中間に約 2500 平方度を 30 分おきに、いずれも積分時間 6 秒で観測を実施している。超新星を発見するための解析パイプラインも一通り完成し、カメラ完成前の 2019 年 4 月に、すでに超新星 (SN2019cxx) の発見に成功している。

多色・面分光観測：提案段階では建設中であった口径 3.8m せいめい望遠鏡は、2018 年 8 月に完成、望遠鏡の性能を向上させた上で KOOLS-IFU による面分光観測を開始した。また本計画で製作する可視 3 バンド同時撮像カメラについては、光学系を含めて 2020 年 3 月に

完成、最初の試験観測を6月に予定している。

TAO望遠鏡に搭載する近赤外線中分散分光器NICEの改修を行っている。高地での使用に耐えるための計算機の交換を完了、老朽化した冷凍機と温度制御装置の交換およびヒビが発見されたフィルターの再製作を実施した。

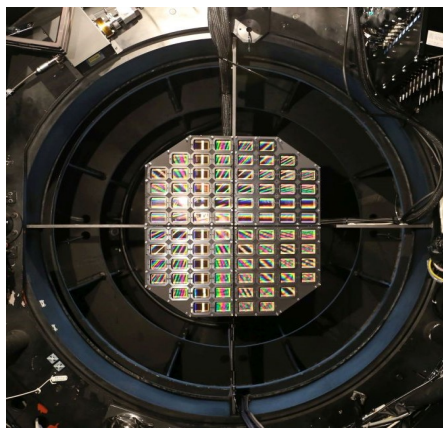


図1 完成したトモエゴゼンカメラ

また初期増光の輻射シミュレーションコードの改良および初期光度曲線観測データへの適用、Ia型超新星の種々のモデルに基づく恒星進化・流体・爆発シミュレーション、および個々の超新星の光度曲線やスペクトル観測データの理論解析を行っている。例えば、白色矮星+白色矮星合体の詳細な三次元流体シミュレーションを行い(論文5)、現在その結果に対して輻射シミュレーションを遂行中である。

さらにIa型超新星について過去の初期観測データの統計的研究を実施、明るめと暗めのIa型超新星では高い頻度で初期増光が観測される一方で、普通の明るさのIa型超新星では初期の増光がほとんどみられない、という大変興味深い結果を得た(論文6)。さらに、すばる望遠鏡によりIa型超新星の初期の測光観測に成功、うち一個に初期増光観測に成功し、本課題において構築している初期放射モデルとの比較を通しその起源として爆発時における物質混合による可能性が大きいことを突き止めた(論文2)。放射理論モデルを通した解析により、Broad line超新星においては、爆発における元素合成が最外層まで広がっていることを発見した。論文3においては、起源が未解明の非常に明るい「超高輝度超新星」の理論解析から、これが従来考えられていたような大質量星の爆発でなく、Ia型超新星の一種であることを示した。また本課題で、ヘリウム白色矮星の潮汐破壊現象の流体シミュレーションおよび輻射シミュレーションを世界で初めて行い、起源が未解明の「高速突発現象」の一部を説明し得ることを示した(論文4)。これらを総合すると、Ia型超新星にはいくつか違った種類がある可能性が強く示唆されて

きており、Tomo-eによる初期からの観測と、せいめい望遠鏡やTAO望遠鏡による分光観測を行ったIa型超新星の統計的研究の重要性が一層明確になってきた。

5. 今後の計画

2020年度後半には可視光での追加観測体制が整い、2021年途中からはTAO望遠鏡による近赤外線分光観測体制が整う。これらによって、合計約30個の初期から観測されたIa型超新星のデータベースを作成、統計的および理論的研究によりIa型超新星の起源と爆発メカニズムの解明を目指す。また近い赤外線波長域の観測を多数回行うことにより、Ia型超新星の標準光源の精度をさらに向上させていく。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- (1) Kawabata, M., Maeda, K. et al (41 authors), (2020), "TYPE IA SN 2019EIN: NEW INSIGHTS INTO THE SIMILARITIES AND DIVERSITIES AMONG HIGH-VELOCITY SNE IA", The Astrophysical Journal, in press (arXiv: 1908.03001)
- (2) Jiang, J., Yasuda, N., Maeda, K., Doi, M., et al. (12 authors), (2020), "The HSC-SSP Transient Survey: Implications from Early Photometry and Rise Time of Normal Type Ia Supernovae", The Astrophysical Journal, in press (arXiv:2002.10737)
- (3) Jerkstrand, A., Maeda, K., Kawabata, K.S. (2020), "A type Ia supernova at the heart of superluminous transient SN 2006gy", Science, Volume 367, Issue 6476, pp. 415-418
- (4) Kawana, K., Maeda, K., Yoshida, N., Tanikawa, A. (2020), "Rapid Transients Originating from Thermonuclear Explosions in Helium White Dwarf Tidal Disruption Events", The Astrophysical Journal Letters, 890, L26, 7 pp
- (5) Tanikawa, A., Nomoto, K., Nakasato, N., Maeda, K. (2019), "Double-detonation Models for Type Ia Supernovae: Trigger of Detonation in Companion White Dwarfs and Signatures of Companions' Stripped-off Materials", The Astrophysical Journal, Volume 885, Issue 2, article id. 103, 19 pp
- (6) Jiang, J., Doi, M., Maeda, K., Shigeyama, T. (2018), "Surface Radioactivity or Interactions? Multiple Origins of Early-excess Type Ia Supernovae and Associated Subclasses", The Astrophysical Journal, Volume 865, Issue 2, article id. 149, 13 pp.

7. ホームページ等

http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/~doi/doi's_project.htm