

Ia 型超新星の起源に関する数値的研究

Study of the origin of type Ia supernovae

谷川 衝

東京大学大学院総合文化研究科

1. 研究目的

Ia 型超新星爆発は宇宙で最も明るい天体の 1 つであり、その明るさの均質性から宇宙の距離指標となっている。また鉄族元素の主要な起源であると考えられている。Ia 型超新星はこれほどの重要性を持っているにも関わらず、その正体が不明である。広く受け入れられていることは、白色矮星の爆発ということのみであり、その白色矮星の質量がどの程度のものなのか、また白色矮星の爆発のきっかけはなにであるのかについて、長い論争が続いている。近年、1000km/s 程度の超高速度で運動している白色矮星が発見された。これは Ia 型超新星の起源として **Dynamically-Driven Double-Degenerate Double-Detonation (D6)** モデルを強く支持するものである。この理由は以下の通りである。D6 モデルでは、連星白色矮星のうちの重い白色矮星(主星)が軽い白色矮星(伴星)からのヘリウムの降着によって爆発する。この爆発は主星と伴星が合体する前であるため、主星が爆発しても伴星は生き残る。この伴星は 1000km/s の連星運動を持っており、突然主星の重力から解放されるため、超高速度で運動することになる。我々はこの D6 モデルが Ia 型超新星の観測と矛盾しないかどうかを確かめるために、D6 モデルをシミュレーションによって再現し、その特徴を調べた。これを行うため、我々は SPH コードを用いて、連星白色矮星における主星の爆発を追跡した。白色矮星の質量には多様性があるため、広いパラメータサーベイを行った。

2. 研究成果の内容

広いパラメータサーベイを行ったところ、D6 モデルには 3 つの爆発のモードがあることを発見した。1 つ目の爆発モードは、主星のみ爆発するもので、D6 モデルの予想通りに超高速度白色矮星を形成するものである。これは 2018 年度にも報告したように、ほとんど Ia 型超新星のように観測されるだろうことが予想される。ただし、伴星からはぎ取った炭素や酸素が観測に受かってしまわないか、また伴星が障害物となることで超新星残骸の形状が球対称にならないのではないかという懸念が残り、今後の研究が必要となる(Tanikawa et al. 2018, ApJ, 868, 90)。2 つ目と 3 つ目の爆発モードは主星の爆発によって伴星が誘爆されるものである。2 つ目と 3 つ目の違いは、伴星の爆発の仕方の違いである。2 つ目の場合、伴星はヘリウム白色矮星である。主星の爆発の衝撃によって、伴星でヘリウム爆轟波が起こり伴星が爆発するというものである。3 つ目の場合、伴星はヘリウム外層を持った炭素酸素白色矮星である。主星の

爆発の衝撃によって、伴星のヘリウム外層でヘリウム爆轟波が起こる。そのヘリウム爆轟波が伴星の内部で炭素爆轟波を起こし、伴星が爆発する。2つ目と3つ目の爆発モードの特徴を精査した結果、これまで発見された突発天体の特徴と一致するものはなかった。ただし、今後発見される可能性はある。この研究は Tanikawa et al. (2019, *ApJ*, 885, 103)として発表した。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

上の研究を行うのには、正しい熱核融合反応を追跡する必要がある。そのためには、1億個以上の粒子を用いる SPH シミュレーションが必要であった。これほど大規模な計算を実行するには、Oakforest-PACS のようなスーパーコンピュータが必要であった。

4. 今後の展望

3つの爆発モードの観測的特徴を明らかにするために、輻射輸送計算を行う。それぞれ Ia 型超新星の特徴と異なる点はあるが、その特徴が実際に観測に反映されるかは定量的な評価を行う必要がある。また、それぞれの爆発モードがどのような超新星残骸を形成するのかについても明らかにする。どの爆発モードに関しても、爆発後 100 秒程度は Ia 型超新星残骸でみられるような球対称の形とはかけはなれたものである。これが超新星残骸となる数百年後にどのような形になるのかを調べる。

5. 成果発表

(1) 学術論文

- "Gravitational-Wave Emission from Binary Black Holes Formed in Open Clusters", Kumamoto J., Fujii M. S., & Tanikawa A. 2019, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 486, 3942
- "Effect of interstellar objects on metallicity of low-mass first stars formed in a cosmological model", Kirihara T., Tanikawa A., Ishiyama T., 2019, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 486, 5917
- "Double-detonation models for type Ia supernovae: Trigger of Detonation in Companion White Dwarfs and Signatures of Companions' Stripped-off Materials", Tanikawa A., Nomoto K., Nakasato N., Maeda K. 2019, *the Astrophysical Journal*, 885, 103
- "Rapid Transients Originating from Thermonuclear Explosions in Helium White Dwarf Tidal Disruption Events", Kawana K., Maeda K., Yoshida N., Tanikawa A. 2020, *The Astrophysical Journal Letters*, 890, 26

(2) 学会発表

- "Three-dimensional simulaitons of double detonations in the double-degenerate models for type Ia supernovae", *The Beginning and Ends of Double White Dwarfs*, Jul. 4 2019, Copenhagen, Denmark

- "Three-dimensional simulaitons of double detonations in the double-degenerate models for SNe Ia", Progenitors of Type Ia Supernovae, Aug. 8 2019, Lijiang, China
- "Progenitor and explosion models of type Ia supernovae", The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects V, Sep. 6 2019, Palermo, Italy
- "種族合成計算 と星団進化計算用の超低金属量星の進化経路モデルの開発", 日本 天文学会秋季年会, Sep. 13 2019, 熊本
- "Effects of companion white dwarfs in D6 explosions for modeling type Ia supernovae", Collaborative Meeting on Supernova Remnants between Japan and USA, Nov. 7 2019, Wako, Japan
- "High-resolution numerical studies for tidal detonation of a white dwarf", Tidal Disruptions in Kyoto: Confronting Theory with Observations, Jan. 16 2020, Kyoto, Japan
- "Formation rate of LB-1 like systems through dynamical interactions", Innovative Area Gravitational Wave Physics and Astronomy: Genesis The Third Annual Area Symposium, Feb. 11 2020, Kobe, Japan
- "多次元計算で 探る潮汐破壊された白色矮星の熱核爆発の開始と伝搬と元素合成 ", 日本天文学会春季年会, Mar. 19 2020, つくば

(3) その他

- “Ia 型超新星と二重白色矮星の数値的研究”, 谷川衝 2020, 天文月報, 113, 22

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	225000	0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			