

Ia型超新星の多様性に関する数値的研究

Numerical study for varieties 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くかつ頻繁に起こる爆発現象の1つである。Ia型超新星には最大光度と光度変化の速さに相関のある「普通のIa型超新星」と、その相関には乗らない「特異なIa型超新星」があり、Ia型超新星を単一の起源として考えるのは不可能な状況となっている。全くの単一の起源とは考えられていないものの、そのスペクトルが水素やヘリウムが存在をほぼ示さないことや、光度曲線が大量のニッケルの生成を示唆しているため、爆発の本体は白色矮星の爆発であると広く考えられている。また、その多様性を生み出すのは、爆発する白色矮星の質量の違いや、白色矮星の爆発を引き起こすきっかけの違いであると考えられている。しかし、どのようなきっかけで爆発したどのような質量の白色矮星が、「普通のIa型超新星」や「特異なIa型超新星」に対応するのかは明らかになっていない。本プロジェクトでは、「特異なIa型超新星」の候補として、中間質量ブラックホールによる白色矮星の潮汐破壊現象について研究した。この現象は、光学的に明るだけでなく、重力波源、ニュートリノ源、宇宙線源としても期待でき、マルチメッセンジャー天文学として有望な天体である。また、中間質量ブラックホール探査のプロブともなりうる。本研究では、特に球状星団において、このような現象が起こる確率、また白色矮星の組成分布、質量分布を明らかにした。

2. 研究成果の内容

球状星団における白色矮星の潮汐破壊現象の発生率を求めたところ、およそ $500\text{yr}^{-1}\text{Gpc}^{-3}$ であった。これは従来の見積もりよりも1000倍大きなものであった。この原因は従来の計算よりも中間質量ブラックホール周りの恒星の数が多いことによる。さらに全体の10%が1太陽質量より重い酸素ネオンからなる白色矮星であった。また全体の20%が1太陽質量より重い白色矮星であった。この白色矮星は酸素ネオンからなる白色矮星と炭素酸素からなる白色矮星の両方を含む。このように重い白色矮星が多いのは、球状星団内での力学的効果により、重い白色矮星が優先的に中心に沈み、中間質量ブラックホールに潮汐破壊されやすいからである。これは無視できない数の白色矮星の潮汐破壊現象がIa型超新星と同等の明るさを持ち、同等の寿命を持つことを示している。このような現象は次世代の光学望遠鏡により年に500回程度観測できると予想したが、Ia型超新星と区別するには、測光観測だけでなく分光観測も必要であることが明らかとなった。この結果はTanikawa, Giersz, Arca Sedda (2021, arXiv:2103.14185)としてarXiv上で閲覧可能であり、MNRASにて査読中である。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

上記のような白色矮星の潮汐破壊現象の観測的特徴に関する知見を得るために、Oakforest-PACS上での数値シミュレーションが必要であった。このようなシミュレーションには多数の粒子を用いるSPHシミュレーションを実行する必要があるからである。

4. 今後の展望

上記の白色矮星の潮汐破壊現象は、球状星団内で起こるもののみ考慮している。しかし、このような現象は銀河中心核でも起こりうる。銀河中心核で起こる白色矮星の潮汐破壊現象の発生率、白色矮星の組成分布と質量分布を求めることで、宇宙全体で起こるこの現象を理解することができる。これに関する課題を2021年度の筑波大学計算科学研究センターの学際共同利用にて行う予定である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

- “Formation rate of LB-1-like systems through dynamical interactions”, Tanikawa A., Kinugawa T., Kumamoto J., Fujii M. S. 2020, Publications of the Astronomical Society of Japan, 72, 39
- “Gaia’s detectability of black hole-main sequence star binaries formed in open clusters”, Shikauchi M., Kumamoto J., Tanikawa A., Fujii M. S. 2020, Publications of the Astronomical Society of Japan, 72, 45
- “Fitting formulae for evolution tracks of massive stars under extreme metal-poor environments for population synthesis calculations and star cluster simulations”, Tanikawa A., Yoshida T., Kinugawa T., Takahashi K., Umeda H., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 495, 4170
- “Merger rate density of binary black holes formed in open clusters”, Kumamoto J., Fujii M. S., Tanikawa A. 2020, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 495, 4268
- “Merger Rate Density of Population III Binary Black Holes Below, Above, and in the Pair-instability Mass Gap”, Tanikawa A., Susa H., Yoshida T., Trani A. A., Kinugawa T., The Astrophysical Journal, 910, 30

(2) 学会発表

- “70Msunのブラックホールを持つとされる連星系LB-1の形成過程について”, 日本天文学会秋季年会, Sep. 10 2020, 弘前 (オンライン)
- “連星ブラックホールGW190521は初代星起源か? 恒星進化, 特に対流のオーバーシュートへの依存性について”, 研究会「星の錬金術から銀河考古学へ」, Oct. 27 2020, 三鷹 (オンライン)
- “連星ブラックホール形成: 孤立連星と球状星団”, 初代星初代銀河研究会2020, Nov. 17 2020, 仙台
- “連星ブラックホールGW190521は初代星起源か?”, 連星系・変光星研究会2020, Jan. 30 2021, 京都 (オンライン)
- “Pop. III binary evolution to form GW190521: effects of single star evolution”, Genesis: Group A Winter Camp 2021, Feb. 7 2021, オンライン
- “Merging binary black holes in dense star clusters and in Pop. III environments”, Genesis:

The Fourth Annual Area Symposium, Feb. 24 2021, Kashiwa (online)

- “Binary Black Holes from First Stars: Dependence on Initial Conditions and Stellar Models”, 日本天文学会春季年会, Mar. 17 2021, オンライン

(3) その他

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	○	240,000	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。			