

平成30年6月20日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26800113

研究課題名(和文) X線観測による標準モデルの質量限界(1.4太陽質量)を超える白色矮星の探査

研究課題名(英文) Search for supermassive white dwarfs

研究代表者

林 多佳由 (Hayashi, Takayuki)

名古屋大学・理学研究科・学振特別研究員(SPD)

研究者番号：20637748

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)：本研究の目的は、X線観測から白色矮星の質量と半径を測定することで、白色矮星の標準理論から予想される質量限界を検証することである。この質量限界は白色矮星によらず一定であると考えられているため、これを越えた白色矮星の爆発であるIa型超新星の絶対光度も一定とされ、遠方銀河の距離を測定するのに用いられている。

上記の目的を達成するため、私は白色矮星からのX線スペクトルをモデル化した。特に、白色矮星近傍の熱的プラズマからのX線に加え、これが白色矮星表面で反射された成分のモデル化にも、詳細な計算機実験によって成功した。このモデルを観測データに適用することで、目的達成できる見込みである。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to verify the mass limit of white dwarfs by measuring masses and radii of white dwarfs. The absolute luminosity of any type Ia supernova is thought to be almost constant because the mass limit is believed to be constant for any white dwarfs. Therefore, type Ia supernovae are used to measure distance to distant galaxies. To accomplish the purpose, I created an X-ray spectral model of white dwarfs. Especially, I note that I modeled spectrum of X-ray reflection from white dwarf surface by a detailed computer simulation in addition to thermal X-ray spectrum from plasma near the white dwarf surface. The purpose will be accomplished by application of my X-ray spectral model to observed data.

研究分野：X線天文学

キーワード：白色矮星 激変星 強磁場 連星系 プラズマ

1. 研究開始当初の背景

白色矮星の爆発である Ia 型超新星は、遠方銀河の距離を測定するのに使用される(標準光源)。Ia 型超新星が標準光源になり得る理由は、白色矮星には達し得る質量の限界(1.4 太陽質量)があり、その値が全ての白色矮星で不変であるため、Ia 型超新星の絶対光度もほぼ一定であるとする理論予測である。また、観測的にも、距離が他の方法で明らかになっている近傍銀河で発生した Ia 型超新星の光度を、その減光率で補正すると良い標準光源になることが確かめられている。Ia 型超新星の観測から、宇宙は加速膨張しており、これを引き起こす、ダークエネルギーの存在が言われるようになった。

しかし、遠方宇宙では、上記の減光率による補正を用いても、Ia 型超新星が良い標準光源になる保証はない。さらに、近年の理論的研究から、白色矮星内部の磁場や歳差的な自転によって、白色矮星は 2 太陽質量以上になり得ると報告されている。遠方銀河では重元素量などにおいて、近傍銀河とは環境が異なる。これらが白色矮星の構造に影響を与えるとすると、宇宙の加速膨張の証拠とされる、距離による Ia 型超新星の見かけの明るさの変化は、実は、白色矮星の構造の変化を見ているに過ぎない可能性がある。

白色矮星と恒星が重力的に結び付き、恒星から白色矮星へとガスが流入するものうち、白色矮星の磁場が十分大きい系では、X 線分光観測から白色矮星の質量と半径を白色矮星の理論と独立に測定できることが原理的に可能であると分かってきた。白色矮星の質量と半径を測定することは、白色矮星の内部構造を知る上で本質的に重要である。また、実際にこれらを達成できるほどの観測性能を持つ ASTRO-H 衛星が 2015 年に打ち上げられる予定であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、X 線分光観測から白色矮星の理論によらない形で、その質量と半径を測定することである。さらに、多くの白色矮星で質量と半径を測定し、磁場などが白色矮星の構造に影響するのかどうか、影響するならばどのように影響するのかを明らかにする。これらによって、白色矮星の標準理論が正しいか否か、さらには質量限界が不変であるか否かを検証することで、加速膨張宇宙やダークエネルギーの検証も行う。

3. 研究の方法

白色矮星の質量と半径を独立したパラメータとして持つ X 線スペクトルモデルを作成し、これを観測スペクトルにフィットすることで、白色矮星の質量と半径を測定する。具体的には、まず、白色矮星の磁場に捕まった降着ガスが、強い衝撃波によって電離することで生成されるプラズマ流を流体力学によってモデル化する。これにより、プラズマ流

の温度、密度、速度分布などを理論的に求める。得られた分布を十分細かく分割し、それぞれの小片の X 線スペクトルと強度を既存のプラズマ放射モデルにより再現し、個々の小片のスペクトルを足し合わせることで、プラズマ流全体からの X 線スペクトルを得る。これらを白色矮星の質量や半径を変えながら繰り返し、質量と半径をパラメータに持つ、X 線スペクトルモデルを構築する。このモデルを白色矮星連星の観測データにフィットすることで、その系が持つ白色矮星の質量と半径を測定する。

4. 研究成果

上記の手法を用いて、白色矮星の質量と半径をパラメータに持つ X 線スペクトルモデルを完成させた(図 1)。さらに、当初の予定では想定していなかった、白色矮星からの反射 X 線のスペクトルのモデル化も行った。

反射 X 線とは、プラズマ流からの X 線が白色矮星表面を照らし、その一部の X 線が光電吸収や再放射、散乱を繰り返すうちに、再び白色矮星の外へ放射された成分をさす。この成分のスペクトルもモデル化するため、計算機実験を行った。上記の手法で求めたプラズマ流からの放射を、白色矮星を想定した球体の反射体に照射し、反射体表面で光電吸収や再放射、散乱を計算機上で再現する。この時、それぞれの反応が起こる確率や X 線の出射方向に、実際の実験データを使用することで、出力される結果が現実を再現することになる。これらの反応の結果、反射体の外部へ放射された X 線をエネルギー毎、反射角度毎に計数することで、反射成分の強度やスペクトルを再現する。これによって得られた反射スペクトルを上記のプラズマ流からの直接成分と合わせて観測データにフィットすることで、白色矮星の質量と半径を測定できる段階まで到達した。

また、反射 X 線の詳細なモデル化はこれまでほとんどされたことがなく、これ自体が大きな進展である。反射 X 線の強度やスペクトルは白色矮星とプラズマ流の幾何学的情報を与え、白色矮星の質量、半径測定の精度を大きく向上させる。さらには、反射成分はプラズマ流と視線方向の角度によって変化するため、白色矮星の自転軸と、プラズマが集中する白色矮星の磁極の間の角度など、これまで難しかった測定も可能になった。

一方で、2015 年 2 月に打ち上げられた ASTRO-H 衛星は、打ち上げの 1 ヶ月後に不具合を起こした。その後、本研究に必要であった、白色矮星のデータを全く取得しないまま、運用を終了してしまった。その後、ASTRO-H 衛星の代替機の開発が進められている。

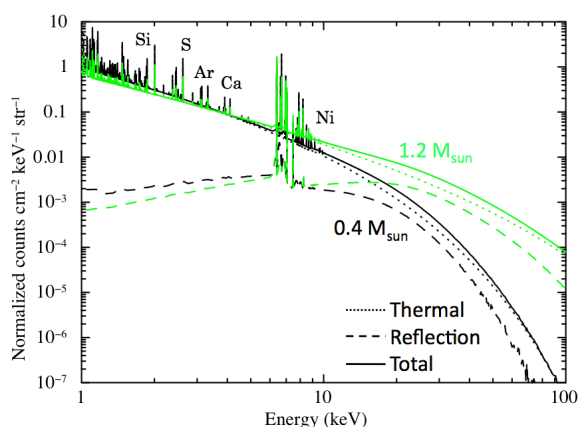


図 1 白色矮星の X 線スペクトルモデル。黒線、緑線はそれぞれ、白色矮星の質量が 0.4 と 1.2 太陽質量の場合。破線はプラズマから直接届く熱的放射成分。点線は熱的成分が白色矮星表面で反射された反射成分。実線は熱的成分と反射成分の和。熱的成分では様々な元素のプラズマからの輝線、反射成分では中性の鉄、ニッ

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

① Hayashi, Takayuki; Kitaguchi, Takao; Ishida, Manabu, X-ray reflection from cold white dwarfs in magnetic cataclysmic variables, 2018, MNRAS, Refereed, Volume 474, Issue 2, p. 1810-1825
DOI: 10.1093/mnras/stx2766

② Wada, Yuuki; Yuasa, Takayuki; Nakazawa, Kazuhiro; Makishima, Kazuo; Hayashi, Takayuki; Ishida, Manabu, An estimation of the white dwarf mass in the Dwarf Nova GK Persei with NuSTAR observations of two states, 2018, MNRAS, Refereed, Volume 474, Issue 2, p. 1564-1571
DOI: 10.1093/mnras/stx2880

③ Wada, Qazuya; Tsujimoto, Masahiro; Ebisawa, Ken; Hayashi, Takayuki, A systematic X-ray study of the dwarf novae observed with Suzaku, 2017, PASJ, Refereed,

Volume 69, Issue 1, id.10 16 pp.

DOI: 10.1093/pasj/psw114

④ Yuasa, Takayuki; Hayashi, Takayuki; Ishida, Manabu, Suzaku X-ray observation of the GK Persei dwarf nova outburst in 2015, 2016, MNRAS, Refereed, Volume 459, Issue 1, p. 779-788
DOI: 10.1093/mnras/stw734

⑤ Kitaguchi, Takao; An, Hongjun; Beloborodov, Andrei M.; Gotthelf, Eric V.; Hayashi, Takayuki; Kaspi, Victoria M.; Rana, Vikram R.; Boggs, Steven E.; Christensen, Finn E.; Craig, William W.; Hailey, Charles J.; Harrison, Fiona A.; Stern, Daniel; Zhang, Will W., NuSTAR and Swift Observations of the Fast Rotating Magnetized White Dwarf AE Aquarii, 2014, ApJ, Refereed, Volume 782, Issue 1, article id. 3, 7 pp.
DOI: 10.1088/0004-637X/782/1/3

⑥ Hayashi, Takayuki; Ishida, Manabu, Application of the new comprehensive X-ray spectral model to the two brightest intermediate polars EX Hydrae and V1223 Sagittarii, 2014, MNRAS, Refereed, Volume 441, Issue 4, p. 3718-3723
DOI: 10.1093/mnras/stu766

⑦ 林多佳由、X 線で白色矮星の重さを測る、2014、ISAS news

[学会発表] (計 9 件)

① Hayashi, Takayuki, White dwarf mass estimation by plasma emission spectroscopy, Collaborative Conference on Plasma Physics 2017, 2017, invited

② Hayashi, Takayuki, The impact of SUZAKU on the knowledge of the physics of CVs, The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects - IV, 2017, invited

③ 林多佳由, 強磁場激変星の X 線スペクトルモデルの構築, 第 16 回高宇連研究会, 2017

④ Hayashi, Takayuki, White dwarf mass estimation with X-ray spectroscopy, 20th European White Dwarf Work shop, 2016

⑤ Hayashi, Takayuki, The impact on the knowledge of CVs and expectation to ASTRO-H, The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects - III, 2015, invited

⑥ Hayashi, Takayuki, White Dwarf mass estimation with X-ray observation, The 14th Marcel Grossmann Meeting, 2015, invited

⑦ Hayashi, Takayuki, New Comprehensive X-ray Spectral Model from the Post-shock Accretion Column in Intermediate Polars, Analytix, 2014, invited

⑧ Hayashi, Takayuki, White dwarf mass estimation with a new comprehensive X-ray spectral model of intermediate polars, 40th COSPER scientific assembly, 2014

⑨ 林多佳由, 石田学、Monte-Carlo シミュレーションによる強磁場激変星の反射 X 線のモデル化、2015 年天文学会春季年会、2015

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 多佳由 (Hayashi, Takayuki)
名古屋大学・理学研究科・特別研究員 (SPD)
研究者番号: 20637748