

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 1日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20540227

研究課題名（和文） Ia型超新星の進化経路の新展開

研究課題名（英文） A New Evolutionary Path to Type Ia Supernovae

研究代表者

蜂巢 泉 (HACHISU IZUMI)

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：90135533

研究成果の概要（和文）：非常に明るいIa型超新星が出現し、これまでの超新星の起源に関する理論では説明できない事態が発生した。本研究では、高速に回転する白色矮星の連星進化モデルを構築し、この非常に明るい超新星の起源を明らかにすることができた。

研究成果の概要（英文）：Recent observations of Type Ia supernovae suggest that some of the progenitor white dwarfs had masses up to 2.4--2.8 solar masses highly exceeding the Chandrasekhar mass limit. We have constructed a new single degenerate model for Type Ia supernova progenitors, in which the white dwarf mass reaches 2.3--2.7 solar masses.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	80000	240000	1040000
2009年度	60000	180000	780000
2010年度	60000	180000	780000
2011年度	70000	210000	910000
年度			
総計	2700000	810000	3510000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：

キーワード：超新星、連星系、白色矮星、恒星風、チャンドラセカール限界質量、回転

## 1. 研究開始当初の背景

Ia型超新星は、唯一、遠方まで達する標準光源として宇宙膨張則の決定に使われているだけでなく、銀河の化学進化においても鉄などの元素の重要な供給源としての役割を果たしている。Ia型超新星が、炭素酸素白色矮星の炭素核融合反応による星全体の爆発であることは理論と観測の一致から、ほぼたしかなことであろうと考えられている。しかし、どのような星がどのような進化経路をたどって、Ia型超新星として爆発するのかに関しては、まだ不明な点が多くあった。

## 2. 研究の目的

本研究においては、どのような星がIa型超新星として爆発するのか、その進化経路を確定させることを目的とした。さらにこれに付け加えて、最近注目されるようになった、(1) Ia型超新星の星周物質の起源、および、(2) 一億年ほどの年齢の若い超新星、さらに(3) 非常に明るい（爆発する前の白色矮星の質量がチャンドラセカール限界質量を超えているような）Ia型超新星の起源などをすべて統一的に説明する理論モデルを構築す

ることを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) 連星系中において、相手の星からの質量降着率がある値を超えると、白色矮星から恒星風が吹く。これは私たちが発見した新しい現象である。これを質量降着新星風と呼ぶ。この新星風が相手の星（伴星）に衝突して、伴星表面からガスが剥ぎ取られる。この効果を新たに連星進化に適用すると、伴星から白色矮星への質量移動率が大きく抑制される。この効果を連星進化の計算に取り入れることにより、今まで考えられてきたものより重い(5-6 倍太陽質量の)伴星が安定にガスを白色矮星に降り積もらせることができることを示した。

(2) 質量が剥ぎ取られる方の伴星を、東北大学の齋尾英之氏の恒星進化のコードを使い計算し、より正確な質量移動率を求めることができるようにし、Ia 型超新星の進化経路をすべて再計算した。

(3) 最近、チャンドラセカール限界質量を超えて、爆発する非常に明るい Ia 型超新星が発見されたことを受け、新しく計算コードを改良し、チャンドラセカール限界質量 (1.4 倍太陽質量) を超えても、白色矮星が回転のため、成長できるとして計算を行った。

### 4. 研究成果

(1) 実際の連星系に新しい計算方法を適用し、連星系の進化を迫りかけた結果、Ia 型超新星の星周物質問題、および 1 億年ほどの若い年齢の Ia 型超新星の存在などを統一的に説明するモデルを構築することができた。

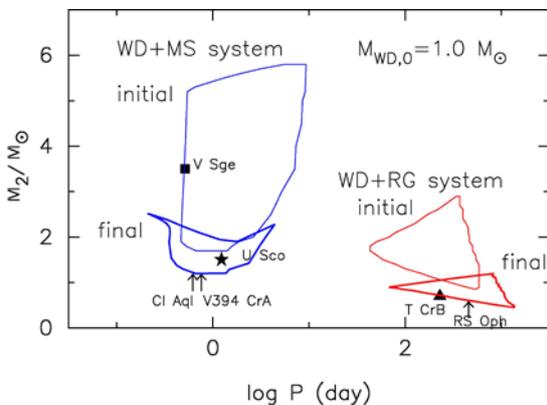


図1—上図は、白色矮星と連星系をなす星の質量（白色矮星は1、伴星は2と番号付けさ

れている）と軌道周期を表している。細い線で囲まれた初期条件から出発し、太い線で囲まれた場所でIa型超新星として爆発する。この図においては、左側の領域に対応する伴星は主に主系列星に対応しているが、その質量が4倍～6倍太陽質量と重いことが、1億年ほどの若い年齢のIa型超新星に対応している。なぜなら、質量の重い星ほど、その主系列寿命が短いからである。また、この図より、初期に5～6倍の太陽質量の伴星が、Ia型超新星爆発時には、2倍太陽質量まで、その質量が減少しているのが分かる。これは、白色矮星から吹く、恒星風のために伴星表面のガスが吹き飛ばれるからである。このガスが連星系の周りにたまるので、Ia型超新星爆発時の星周物質の問題も同時に解決することができた。

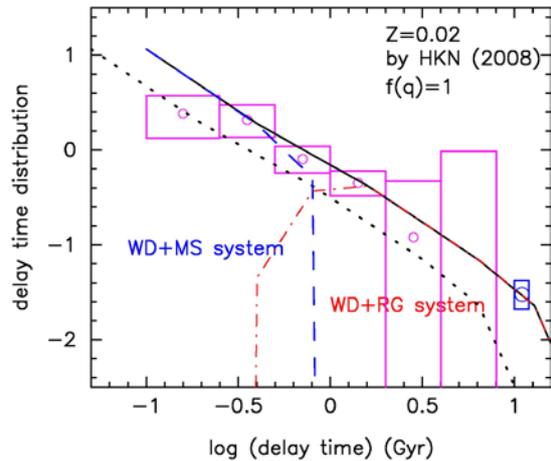


図2—上図は、連星系が誕生してから、Ia型超新星として爆発するまでの寿命を横軸に、縦軸に単位時間あたりの爆発頻度が表示してある。生まれてから1億年程度から爆発が始まり、次第にその頻度が減少していく様子が求まっている。私たちのモデルの値が実線で表示され、戸谷らの観測値がヒストグラムと○印（その中心値）で示されている。私たちのモデルは、観測値をうまく再現していることが分かる。

(2) チャンドラセカール限界質量を超えて、爆発するIa型超新星が発見されたことを受け、新しく計算コードを改良し、連星進化の計算を行った結果、白色矮星が回転のためチャンドラセカール限界質量を大きく超えても成長できることを示し、最大で、2.4倍太陽質量までの白色矮星が形成されることを示した。これにより、チャンドラセカール限界質量を超える明るさをもったIa型超新星の進化経路を説明することができるよう

になった。

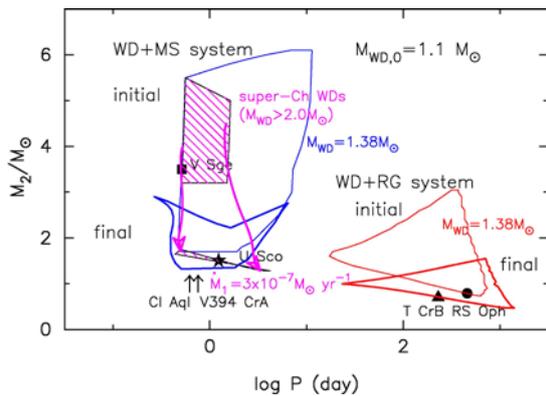


図3—上図は、図1と同じものであるが、チャンドラセカール限界質量(1.4倍太陽質量)を大きく超える白色矮星の爆発の場合の様子が示されている。白色矮星と主系列星の連星系で、その初期条件が、赤い斜線で示された部分の中にあるものは、連星進化の途中で、白色矮星の質量が次第に大きくなり、ついにはチャンドラセカール限界質量を大きく超えて、2.0倍太陽質量程度まで成長してから、I a型超新星として爆発することができる。

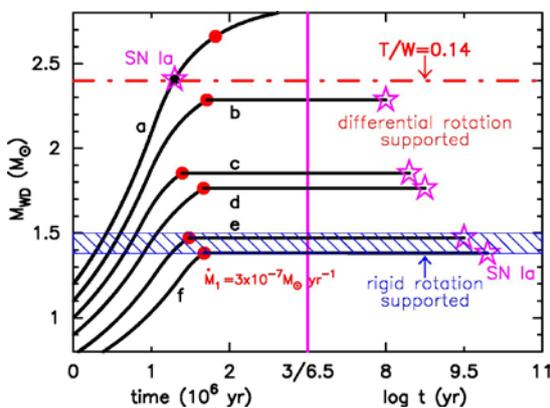


図4—白色矮星質量の増加を時間軸を横軸にとり、白色矮星質量を縦軸にとって示したものである。この場合白色矮星質量の増加がとまるのは相手の星からのガスの降着率が次第に減少し、ある値を下回ると新星爆発を起こすようになるからである。新星爆発が起こると、それまで白色矮星の表面に積もったガスがすべて爆発によって飛ばされてしまうので、白色矮星質量は成長しなくなる。

以上をまとめると、最初に予定した、(1) 1億年程度の若い年齢のI a型超新星の頻度分布、(2) I a型超新星爆発時に観測される星周物質がどこからくるのか、(3) 非常に明るいI a型超新星の起源は何か、という3つの問題に同時に答えることのできる、統一的な連星進化モデルを構築することができた。

#### 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13件)

① Mariko Kato, Joanna Mikolajewska, Izumi Hachisu. Evolution of the Symbiotic Nova PU Vul — Outbursting White Dwarf, Nebulae, and Pulsating Red Giant Companion. *The Astrophysical Journal*, 750, 5 (10pp), 2012. 査読有

② Izumi Hachisu, Mariko Kato, Hideyuki Saio, Ken'ichi Nomoto. A Single Degenerate Progenitor Model for Type Ia Supernovae Highly Exceeding the Chandrasekhar Mass Limit. *The Astrophysical Journal*, 744, 69 (15pp), 2012. 査読有

③ Mariko Kato, Izumi Hachisu. Effects of a Companion Star on Slow Nova Outbursts—Transition from Static to Wind Evolutions. *The Astrophysical Journal*, 743, 157 (11pp), 2011. 査読有

④ Mariko Kato, Izumi Hachisu, Angelo Cassatella, Rosario Gonzalez-Riestra. A Light-curve Model of the Symbiotic Nova PU Vul (1979): A Very Quiet Explosion with Long-lasting Flat Peak. *The Astrophysical Journal*, 727, 72 (9pp), 2011. 査読有

⑤ Izumi Hachisu, Mariko Kato, Ken'ichi Nomoto. Supersoft X-ray Phase of Single Degenerate Type Ia Supernova Progenitors in Early-type Galaxies. *The Astrophysical Journal Letters*, 724, L212-L216, 2010. 査読有

⑥ Izumi Hachisu, Mariko Kato. A Prediction Formula of Supersoft X-ray Phase of Classical Novae. *The Astrophysical Journal*, 790, 680-714,

2010. 査読有

⑦ Mariko Kato, Izumi Hachisu, Angelo Cassatella. A Universal Decline Law of Classical Novae. IV. V838 Her (1991): A Very Massive White Dwarf. The Astrophysical Journal, 704, 1676-1688, 2009. 査読有

⑧ Mariko Kato, Izumi Hachisu. Multiplicity of Nova Envelope Solutions and Occurrence of Optically Thick Winds. The Astrophysical Journal, 699, 1293-1299, 2009. 査読有

⑨ Izumi Hachisu, Mariko Kato. Optical and Supersoft X-Ray Light-Curve Models of Classical Nova V2491 Cygni: A New Clue to the Secondary Maximum. The Astrophysical Journal Letters, 694, L103-L106, 2009. 査読有

⑩ Izumi Hachisu, Mariko Kato, Angelo Cassatella. A Universal Decline Law of Classical Novae. III. GQ Muscae 1983. The Astrophysical Journal, 687, 1236-1252, 2008. 査読有

⑪ Mariko Kato, Izumi Hachisu, Seiichiro Kiyota, Hideyuki Saio. Helium Nova on a Very Massive White Dwarf: A Revised Light-Curve Model of V445 Puppis (2000). The Astrophysical Journal, 684, 1366-1373, 2008. 査読有

⑫ Izumi Hachisu, Mariko Kato, Ken'ichi Nomoto. The Delay-Time Distribution of Type Ia Supernovae and the Single-Degenerate Model. The Astrophysical Journal, 683, L127-L130, 2008. 査読有

⑬ Izumi Hachisu, Mariko Kato, Ken'ichi Nomoto. Young and Massive Binary Progenitors of Type Ia Supernovae and Their Circumstellar Matter. The Astrophysical Journal, 679, 1390-1404, 2008. 査読有

〔学会発表〕 (計 3 件)

① 蜂巢 泉、古典新星の光度曲線における極大等級-減光率関係の理論的導出、日本天文学会秋季年会、2010年9月22日、金沢大学

② 蜂巢 泉、古典新星 V2491 Cyg の光度曲線解析と2次極大のメカニズム、日本天文学会秋季年会、2009年9月14日、山口大学

③ 蜂巢 泉、Ia型超新星の観測された年齢分布を説明できる連星進化モデル、日本天文学会秋季年会、2008年9月13日、岡山理科大学

〔図書〕 (計 2 件)

① 蜂巢 泉、進化する宇宙 3-6章 (海部宣男, 吉岡一男 編集), 53-107. 放送大学教育振興会 (東京). 2011.

② 蜂巢 泉, 加藤 万里子. 6章 連星系の進化. シリーズ現代の天文学: 恒星. (野本憲一, 定金晃三, 佐藤勝彦 編集). 221-279. 日本評論社 (東京). 2009.

〔その他〕

ホームページ等

<http://lyman.c.u-tokyo.ac.jp/~hachisu/index.shtml>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蜂巢 泉 (IZUMI HACHISU)

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授  
研究者番号: 90135533