

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2014

課題番号：22540254

研究課題名(和文) 新星の理論的全天サーベイ

研究課題名(英文) A theoretical systematic study of nova light curves

研究代表者

加藤 万里子 (KATO, Mariko)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：50185873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の主な成果は次の通りである。まず白色矮星の質量が小さい場合には新星風が起こらないか、遅れて起こる機構を解明した。次に新星の色色図上の進化の一般法則を発見し、この性質を利用して星間吸収や距離を決められることを多数の新星について示した。また新星の光度曲線は、遅い新星では自由自由遷移放射に加えて光球面からの輻射も寄与することを解明した。新星風の加速は鉄の組成量に依るため、古い種族の新星では加速が弱く、その結果、球状星団に出現した新星は白色矮星の質量が大きいものに限られることを示した。またIa型超新星との関連では、爆発直前の連星系の進化を計算し、非常に重い白色矮星の質量分布等を求めた。

研究成果の概要(英文)：We found that, for less massive white dwarfs (WDs), the optically thick wind does not occur throughout the outburst or if it does it begins after a delay time for a transition. We also found the general evolution course in the color-color diagram (nova-giant sequence) that is common for various types of nova. This property is useful to estimate the interstellar extinction and distance. In the light curve analysis of slow novae, the contribution of photospheric emission cannot be neglected, whereas in the fast novae the free-free emission dominates. Novae in globular clusters may contain only massive WDs because of weak acceleration of the winds. We also calculated binary evolution including super-Chandrasekhar WD mass.

研究分野：天体物理学

キーワード：新星 白色矮星 連星系

1. 研究開始当初の背景

新星は白色矮星を含む連星系で起こる爆発現象である。新星の光度曲線は個々の新星ごとに大きく違い、減光の遅いものや早いもの、ピークが非常に明るいものとそうでないもの、減光が単調ではなくガタガタしているもの、第二の明るいピークがあるもの、ダスト形成による減光のあるもの、などタイムスケールや形がさまざまである。

このような現象ではあるが、共通点もある。新星の減光の早さは、白色矮星の質量と化学組成に依存する。私はこれまでに新星の光度曲線を計算する新星風理論を開発し、新星の定量的な研究を行ってきた。新星風は光球よりずっと内部にある鉄などの部分電離領域で加速され、質量放出率が新星の明るさを決めることがわかった。新星の理論光度曲線を観測データと精度良く比較することにより、白色矮星の質量を決めることができる。また、新星の光度曲線は基本的には、1つの曲線で表せる(新星の光度曲線の普遍的法則)。この原理を利用して、我々のグループは新星までの距離を求める方法を開発した。ただしおそい新星と非常に早い新星(回帰新星など)の光度曲線はこの理論的な予測からずれることが知られていた。

爆発の初期には新星は可視光で明るく輝くが、その後は紫外線で明るくなり、最後は超軟X線で明るくなる。この時間変化は白色矮星の質量などに依存するため、地上、衛星観測を含めた多波長観測データがあると精度の良い研究ができる。最近X線望遠鏡による即時観測や地上望遠鏡の全天サーベイなどが行われ、新星の多波長観測が容易になった。私はこれまでもγバンドの同一フィルターでの新星観測を推進してきており、均質なデータを取ることも可能になった。これらのデータを用いて

精度良く多数の新星について、光度曲線解析を行うことが可能になっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、できるだけ多数の新星の光度曲線解析を行い、白色矮星の質量と距離を決定することある。距離がわかれば、銀河系内の新星の3次元分布や、白色矮星の質量ごとの分布が明らかになる。また重元素量の観測があれば、種族と銀河系内の位置分布との関連も検討できる。新星の中でも、回帰新星は白色矮星が非常に重く、その質量はしだいに増えていると考えられている。白色矮星の質量が増加してチャンドラセカール質量に達するとIa型超新星爆発を起こすと考えられるため、回帰新星をはじめ、重い白色矮星を含む天体を系統的に研究することも重要課題である。

3. 研究の方法

新星の光度曲線を計算するための数値計算コードはすでに開発済みである。新たに出現する新星を観測し、良質で均質なデータを取得するために、同じ感度曲線のフィルター(Streamgren y)を用いた国内観測の体制を新たに6グループ増やす。X線のデータ解析については内外の研究グループと協力して研究をすすめる。これまであらわれた新星で観測データがそろっているものはすべて解析して数を増やすことにより、個々の新星についてはもちろん、統計的な研究成果も期待できる。

4. 研究成果

(1) 新星爆発の基本的解明 -- おそい新星
これまでの研究で、早い新星は新星風理論でよく記述できることがわかっている。しかし白色矮星の質量が小さいと、加速が不十分で新星風が起こらない場合がある。そこでおそい新星 PU Vul について伴星の寄与も含めた詳細な光度曲線解析を行い、予想通り、加速が起こらないモデルで記述

できることがわかった。さらに白色矮星の質量がある狭い範囲にある時には、質量放出解と質量放出のない解がともに存在することがあり、その2つの解の遷移現象として、初期の光度曲線が激しく変動するタイプの新星を説明できることがわかった。

(2) 新星の光度曲線における光球面輻射の寄与早い新星が可視光や赤外線で明るく輝くとき、そのエネルギー源は光球面のすぐ外のガスから出る自由自由散乱放射である。この放射は質量放出率が大きいほど強く、その率は新星風理論で計算できる。ただし、質量放出が弱い時は、光球面の黒体輻射の寄与が無視できない。そこで代表的な新星の輻射の連続成分を多成分解析することにより、おそい新星では黒体輻射の寄与が多少寄与することを示した。これで早い新星から遅い新星まで統一的に理解できることがわかった。

(3) 新星の色色図上の進化の一般則
多数の新星の色変化を吟味することにより、新星の色色図(横軸を(B-V)₀、縦軸を(U-B)₀で表した図)上の進化には、一般法則があることを発見した。新星は爆発のごく初期にはこの図の中で特定の道筋をたどる。これを nova-giant sequence と名付けた。この色色関係は星間吸収のない場合に成り立つものなので、観測と比較することにより、星間吸収を距離と独立に求められる。これは星間吸収を求める新しい方法である。またこれを新星の普遍的減光則と組み合わせることにより、距離も求められる。

(4) 古い種族に属する新星
球状星団は種族 II の星で構成される。これまでに球状星団に現れた新星の光度曲線解析を行い、鉄が少ないわりには減光が

早い、つまり白色矮星がどれも非常に重いことを示した。また新星風理論からは、鉄が加速に影響するため、この特徴は予想されるものであることも示した。

(5) 回帰新星の研究

アンドロメダ銀河にあらわれた周期1年の回帰新星は、白色矮星の質量が非常に重く、Ia型超新星の親天体候補である可能性がある。そこでこの新星の性質をしらべ、回帰新星の周期には短い方の極限がある理由を理論的に明らかにした。白色矮星は次第に重くなるので、Ia型超新星の親天体候補である。

(6) Ia型超新星と回帰新星との関係

質量降着する重い白色矮星はIa型超新星親天体候補である。Ia型超新星に至る連星系進化の道筋は2つ知られており、伴星が主系列星の場合と、赤色巨星の場合とがある。この道筋の中には新星風理論が組み込まれており、白色矮星の質量増加率を左右している。白色矮星が回転していると、質量がチャンドラセカール質量を超えてもすぐには爆発しないことがある。いつ爆発するか、どのくらいの重さの時に爆発するかは回転則による。これらの進化を調べ、超チャンドラセカール質量の白色矮星の進化や質量分布を調べた。また、回帰新星とIa型超新星の関係を整理するレビュー論文を書いた。さらにこのような連星系は一時期超軟X線源となるため、楕円銀河に散逸成分X線源として多数存在するはずである。このX線の強度が、観測される超軟X線の強さと同程度であることを示した。これはIa型親天体候補として、連星系の白色矮星が成長するモデルが妥当であることを示したことになる。

(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 17 件)

A light curve analysis of classical novae: Free-free emission vs. photospheric emission, 査読あり, Izumi Hachisu and Mariko Kato 2015.Jan.10, *Astrophysical Journal* 798: 76 (29 ページ) DOI:10.1088/0004-637X/798/2/76

Shortest recurrence periods of novae 査読あり, Mariko Kato, Hideyuki Saio, Izumi Hachisu & Ken'ichi Nomoto 2014.Oct.1, *Astrophysical Journal* 793:136 (8 ページ) DOI:10.1088/0004-637X/793/2/136

The UVB Color Evolution of Classical Novae I. Nova-Giant Sequence in the Color-Color Diagram, 査読あり, Izumi Hachisu and Mariko Kato 2014.Apr.20, *Astrophysical Journal* 785: 97 (44 ページ) DOI:10.1088/0004-637X/785/2/97

A remarkable recurrent nova in M 31 - The X-ray observations, 査読あり, M.Henze, J.-U. Ness, M.J. Darnley, M.F. Bode, S.C.Williams, A.W. Shafter, M. Kato, & I. Hachisu 2014.Mar.1, *Astronomy and Astrophys.*, 563L: 8. (5 ページ) DOI:10.1051/0004-6361/201423410

Novae in Globular Clusters, 査読あり, Mariko Kato, Izumi Hachisu, & Martin Henze, 2013.Dec.10, *Astrophysical Journal* 779:19 (14 ページ) DOI:10.1088/0004-637X/779/1/19

An X-ray and Optical Light Curve Model of the Eclipsing Symbiotic Binary SMC3, 査読あり, Mariko Kato, Izumi Hachisu, & Joanna Mikolajewska, 2013,Jan.20, *Astrophys.J.*, 763;5 (13 ページ) DOI:10.1088/0004-637X/763/1/5

Recurrent novae as a progenitor of Type Ia supernovae, 査読あり, M. Kato, & I. Hachisu *Bulletin of the Astronomical Society of India*, (2012) 40, 393-417

Final Fates of Rotating White Dwarfs and Their Companions in the Single Degenerate Model of Type Ia Supernovae, 査読あり, Izumi Hachisu, Mariko Kato, and Ken'ichi Nomoto 2012.Sep.1, *Astrophysical Journal*, 756, L4 (5 ページ)

DOI:10.1088/2041-8205/756/1/L4

Evolution of the Symbiotic Nova PU Vul -- Outbursting White Dwarf, Nebulae, and Pulsating Red Giant Companion, 査読あり, Mariko Kato, Joanna Mikolajewska, & Izumi Hachisu, 2012. May.1, *Astrophysical Journal*, 750:5 (16 ページ) DOI:10.1088/0004-637X/750/1/5

A Single Degenerate Progenitor Model for Type Ia Supernovae Highly Exceeding the Chandrasekhar Mass Limit, 査読あり, Hachisu, Izumi; Kato, Mariko; Saio, Hideyuki; Nomoto, Ken'ichi, 2012.Jan.1, *Astrophysical Journal* 744:69 (15 ページ) DOI:10.1088/0004-637X/744/1/69

Effects of a Companion Star on Slow Nova Outbursts -- Transition from Static to Wind Evolutions, 査読あり, Mariko Kato and Izumi Hachisu 2011.Dec.20, *Astrophysical Journal* 743:157 (11 ページ) DOI:10.1088/0004-637X/743/2/157

A Light-Curve Model of the Symbiotic Nova PU Vul (1979) -- A Very Quiet Explosion with Long-Lasted Flat Peak, 査読あり, Mariko Kato, Izumi Hachisu, Angelo Cassatella, and Rosario Gonzalez-Riestra, *Astrophysical Journal* 2011.Feb.1 727: 72(9 ページ) DOI:10.1088/0004-637X/727/2/72

Supersoft X-ray Phase of Single Degenerate Type Ia Supernova Progenitors in Early Type Galaxies, 査読あり, Izumi Hachisu, Mariko Kato and Ken'ichi Nomoto, *Astrophysical Journal letter*, 2010,Dec.1, 724, L212-L216 DOI:10.1088/2041-8205/724/2/L212

[学会発表](計 11 件)

M. Kato, Nova theory (review), *The Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects - II*, 2013.9.9-14, Palermo (Italy)

[その他]

ホームページ等

<http://user.keio.ac.jp/~mariko/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

加藤 万里子 (KATO, Mariko)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号: 50185873