

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	反保 雄介
論文題目	Weird WZ Sge-type Dwarf Novae and Their Implications for the Evolution of Cataclysmic Variables (特異なWZ Sge型矮新星の研究と激変星進化への示唆)		
(論文内容の要旨)			
<p>激変星は降着している白色矮星と質量輸送する伴星からなる近接連星系である。これらの連星は系からの角運動量損失によって短軌道周期・低質量比 (伴星質量/白色矮星質量) へと進化するとされ、従来の進化モデルでは重力波放射と磁気ブレーキが角運動量損失を担う。激変星のサブクラスの一つである矮新星では、準周期的な増光現象 (アウトバースト) が観測され、この機構は白色矮星周囲に形成される降着円盤における熱潮汐不安定モデルで理解される。矮新星の中で最も短い軌道周期 (<math>\sim 0.07</math> 日以下) を持つ矮新星はWZ Sge型矮新星と分類され、6-9等級の増光幅、1ヶ月程度の継続時間、10年に及ぶアウトバースト周期に特徴付けられるスーパーアウトバーストを見せる。これらのアウトバーストの挙動は、その連星の進化状態と強く結びついていることが知られている。WZ Sge型矮新星は以下の二点から興味をもたれている。即ち、(1) 最も単純な降着系での降着物理、(2) 低質量連星系の進化の最終地点、である。近年の時間軸天文観測や激変星進化モデルの発展によってそのアウトバーストや進化の統計的な理解は大幅に進んできた。しかし一方で、サンプル数の増加に伴って、矮新星の多様性の広さも確認されている。このような特異なWZ Sge型矮新星について、この博士論文では特に注目し研究を遂行した。</p> <p>WZ Sge型矮新星MASTER OT J030227.28+191754.5 (以下J0302)は、WZ Sge型矮新星として初めて重たい(1.15-1.34 <math>M_{\odot}</math>)白色矮星を持つ可能性が議論された天体である。本研究では、観測により見積もられた質量比(0.063(1))と合わせて考えると、白色矮星が最も重たい(<math>\geq 1.32 M_{\odot}</math>)場合には系の総質量がチャンドラセカール質量を超える。つまり、J0302は降着誘発崩壊の前駆天体候補であることを明らかにした。これらのことから、比較的重たい白色矮星を含む連星系がWZ Sge型矮新星まで進化できる経路が存在する可能性を初めて提案する。</p> <p>また、円盤風による角運動量損失の影響を評価するために、矮新星における円盤風について研究を実施した。紫外光スペクトルを基に矮新星アウトバースト中の円盤風の存在は確立されているものの、その可視スペクトルへの影響については十分な研究はなされていない。本研究では、WZ Sge型矮新星2天体 (V455 AndおよびJ0302) について、豊富な可視分光観測を実施した。アウトバースト最大光度付近の可視スペクトルは水素のバルマー線や一階電離したヘリウムで強く細い (<math>&lt; 400 \text{ km s}^{-1}</math>) ピークを持つ輝線を見せた。それぞれの系の軌道傾斜角を考慮すると、ケプラー回転する降着円盤ではこれらの輝線を作り出すことはできない。本研究では、これらの天体は円盤風での輝線生成によって可視輝線が説明されうる初めての矮新星であることを提唱する。このシナリオを定量的に検証するために、輻射輸送計算コードPYTHONを用い、円盤風が付随した矮新星系のスペクトル合成計算を実施した。この結果、質量損失率が <math>10^{-8} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}</math> 程度と非常に高い値を取る円盤風モデルであればV455 Andの可視スペクトルを説明可能であることがわかった。一方で、質量損失率の質量降着率に対する比率は他の激変星と比較して大きな差異は見られない。そのため、短軌道周期の激変星における円盤風による角運動量損失と連星進化への影響は長軌道周期のそれと同様の性質を持つことが期待される。</p> <p>低質量比の激変星の大多数はWZ Sge型の矮新星アウトバーストによって発見され、</p>			

熱潮汐不安定モデルに基づいて特徴付けられている。それゆえ、特異なWZ Sge型矮新星の詳細な観測的研究を行うことは、現状のモデルの限界などについて議論する上で非常に重要である。V627 Pegについて、詳細な観測がなされた過去3回のスーパーアウトバーストの比較解析により、アウトバーストを起こす前の静穏期の円盤の状態がアウトバースト毎に多様である可能性を示した。また、J0302は増光幅10.2等級、継続時間60日と既知のWZ Sge型矮新星と比較して非常に大規模なアウトバーストを見せたが、これらはJ0302の白色矮星が重たいことだけでは説明することができない。熱潮汐不安定モデルを元に考えると、これは他のWZ Sge型矮新星にもまして静穏期の降着円盤の粘性が低かったことで説明可能であると考えられる。熱潮汐不安定モデルのさらなる深い理解には、静穏期の円盤状態をよりよく理解することが今後必要となるだろう。

上記のように、本研究では特異なWZ Sge型矮新星について詳細な研究を行うことで、重たい酸素ネオン白色矮星を含んだ激変星の進化、降着誘発崩壊の前駆天体候補、激変星における高い質量損失率の円盤風の存在、静穏期の降着円盤構造の多様性など、特に激変星進化に関わる多くの知見を得た。特異なWZ Sge型矮新星は、標準的な多天体の統計的な研究とは異なった視点から、激変星進化のより幅広く統一的な理解を目指す上で重要な知見を提供する。

(続紙 2 )

(論文審査の結果の要旨)

宇宙の様々な天体を包括的に理解する上で、降着円盤と連星における物理は非常に重要な項目である。本学位論文の主題である激変星は、(1) 比較的単純な構造をもち多数の系が知られていること、(2) 可視光で明るく変動の時間スケールが短いため観測が容易であること、から、上記を研究する上で最適な天体である。激変星には様々なサブタイプが存在するが、申請者はWZ Sge型矮新星と呼ばれるグループに着目し博士課程での研究を実施してきた。これは激変星の中でも最も軌道周期が短く、質量比が小さい部類で、可視光で6-9等級程度の増光幅、1ヶ月程度の継続時間を持つ突発的増光現象(矮新星アウトバースト)が観測される。近年の時間軸観測の発展によって、WZ Sge型矮新星のなかでも特異な特徴を持つ天体の発見が相次いでおり、本学位論文ではこれらの天体の特異性の詳細な評価と、その特異性と連星進化の関係性について議論された。

短軌道周期の激変星に含まれる白色矮星の質量は平均的に0.8  $M_{\odot}$ であることが知られている。これに対し、申請者は白色矮星質量が1.15-1.34  $M_{\odot}$ と見積もられた矮新星J0302の詳細な観測を行った。この観測から得られた質量比を元に、J0302は将来的に降着誘発崩壊を起こしうる可能性があることと、このような天体が既知のWZ Sge型矮新星に含まれている可能性を明らかにした。

連星進化を議論する上で最も重要な要素は低質量連星系からの角運動量損失である。円盤風は系からの角運動量損失の一部を担う可能性があり、短い軌道周期を持つ激変星の円盤風の特徴を理解するため、申請者は観測と数値計算の両面から研究を実施した。その結果、円盤風が顕著に可視スペクトルに影響を与えているWZ Sge型矮新星(V455 AndとJ0302)を初めて発見し、また、長軌道周期な天体で確立された円盤風モデルと同一の描像で説明可能であることを明らかにした。

そして、短軌道周期の激変星のほとんどは矮新星として発見され、熱潮汐不安定性モデルに基づいて特徴づけられている。特異なWZ Sge型矮新星が熱潮汐不安定性モデルの枠組みでどのように理解されるのか、V627 PegとJ0302の2天体についてアウトバースト中の詳細な連続測光観測を元に議論した。これらから、静穏期の降着円盤構造が多様性のもととなっている可能性と、今後の静穏期の観測とモデル作成の重要性を指摘した。

これらの特異なWZ Sge型矮新星の研究は全て申請者が主導して行なったものであり、比較的重たい白色矮星候補をもつWZ Sge型矮新星の発見や短軌道周期激変星における円盤風の特徴づけなど、標準的な激変星の統計的な研究によって得られてきた激変星進化の描像とは異なった角度から新たな知見を与えるものであった。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、2024年1月12日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日：                      年                      月                      日以降