

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	木邑 真理子
論文題目	Observational and theoretical studies on dwarf-nova outbursts (矮新星アウトバーストについての観測的・理論的研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>矮新星は白色矮星 (主星) と低質量星 (伴星) から成る近接連星系で、伴星からの継続的なガス供給により白色矮星の周囲に降着円盤 (以下「円盤」) が形成されている。この種の天体では、アウトバーストと呼ばれる突発的増光現象が観測される。古典的な矮新星のアウトバーストは、水素の部分電離による熱不安定によって円盤がガスを貯める暗い状態とガスを主星に落とす明るい状態を交互に繰り返すために起こると考えられている。また、この熱不安定に潮汐不安定を組み合わせることで、通常より明るく継続時間の長いアウトバーストが説明される。このような矮新星アウトバーストを統一的に説明する円盤不安定モデル (熱不安定モデルと熱潮汐不安定モデルの総称) の枠組みは、21世紀に差しかかるまでに確立したかのように見えた。しかし、近年の観測技術の発達により、古典的な描像では理解し難い光度変動が次々と発見されている。この学位論文では、円盤不安定モデルがあらゆるタイプの矮新星アウトバーストを再現できるのかを検証するため、可視光観測と数値シミュレーションを駆使し、近年新たに発見された4つの異なるタイプの光度変動がどのような物理メカニズムで引き起こされるのかを調べた。また、矮新星アウトバーストの研究を通し、連星進化の標準モデルを議論した。</p> <p>まず、WZ Sge型矮新星の一つであるAL Comの可視光時系列データを解析した。WZ Sge型矮新星はメインのアウトバースト直後に原因不明の再増光を起こす。この天体の2015年のアウトバーストは、その前のアウトバーストと比較してメインのアウトバーストの振る舞いがかかなり異なるものの、再増光の仕方はほぼ同じであった。このことから、再増光は各天体に固有のものであることを示唆した。</p> <p>次に、アウトバースト中に原因不明の光度の落ち込みを示す、3つのWZ Sge型矮新星を可視光で観測し、データ解析を行った。その結果、これらの天体が極端に小さい伴星を持つことがわかった。このような天体では伴星の潮汐力が小さく、潮汐不安定が発達するのに時間がかかる。そのため、円盤外縁での潮汐力による角運動量の引き抜きがアウトバーストの途中で一時的に非効率になると考えられ、それが光度の落ち込みを示す原因ではないかと提唱した。このように伴星が極めて小さい矮新星はperiod bouncersと呼ばれる。その候補天体はまだ観測的に十数個程度しか発見されておらず、理論的に予測される天体数とのギャップが大きい。そのため、この研究はそのギャップを埋めることにも貢献した。</p> <p>さらに、古典的な矮新星のアウトバーストから外れた特徴を持つ、低振幅・低頻度のアウトバーストを示す天体について、その性質を調べた。その結果、このような特殊なアウトバーストを示す天体は、高い軌道傾斜角を持つか、軌道周期が極端に長く</p>			

明るい伴星を持つものであるとわかった。これらの性質を考慮したところ、従来の円盤不安定モデルの延長で特殊なアウトバーストを矛盾なく説明できることがわかった。また、後者の天体は標準的な連星進化モデルでは作るのが難しく、このような天体の白色矮星がいずれIa型超新星として一生を終える可能性が高いことも示唆した。

最後に、連星の公転軌道面から傾いた円盤で起こる熱不安定の時間進化を数値シミュレーションにより調べた。傾いた円盤では伴星から供給されるガスが円盤内側まで到達することがあるため、円盤へのガス供給のパターンが通常の傾いていない円盤とは異なる。この効果を取り入れてシミュレーションを行ったところ、IW And型矮新星で見受けられる特異な光度変動とよく似た特徴を持つ、サイクリックな円盤光度の変化を再現することに成功した。また、質量輸送率が変わらずとも円盤の幾何学構造や傾き角が変化することで、多様な光度変動が生まれうることも明らかにした。これらの結果から、傾いた円盤で働く熱不安定は、IW And型矮新星の光度変動の良いモデルとなりうることを示唆した。

一連の研究を通して、円盤不安定モデルを軸に、極めて小さい伴星による極端に遅い潮汐不安定の成長や傾いた円盤での多様なガス供給のパターンなどの新しい視点を取り入れることで、これまで物理メカニズムが明らかではなかった光度変動について可能な解釈を提示できた。円盤不安定モデルは汎用性が高く、非常に多様な矮新星のアウトバーストを統一的に説明できる可能性を秘めていると考えられる。また、矮新星アウトバーストの研究は、低質量星連星の進化に関する研究にもつながる。この研究を通じて分かったperiod bouncersのアウトバーストの性質は、period bouncers候補天体の発見に役立ち、連星進化の研究における未解決問題の一つである天体数のギャップの解明に貢献すると考えられる。また、標準的な連星進化の理論モデルでは説明し難い重い白色矮星と伴星を持つ矮新星を発見することは、理論モデルの観測的検証にもつながる。

(論文審査の結果の要旨)

宇宙には降着円盤を持つ様々な天体が存在するが、円盤では共通の物理メカニズムが働いていると考えられている。この種の天体、特に矮新星やX線連星では、アウトバーストと呼ばれる突発的増光現象が観測される。矮新星は円盤が小さいためアウトバーストの時間スケールが短く、また可視光で明るいため観測しやすく、純粋な円盤の物理を研究する上で最適の天体である。古典的な矮新星のアウトバーストは、水素の部分電離による熱不安定によって円盤がガスを貯める暗い状態(cool state)とガスを主星に落とす明るい状態(hot state)を交互に繰り返すために起こると考えられている。また、潮汐不安定と熱不安定の組み合わせにより、通常より明るく継続時間の長いアウトバーストが起こる。このような矮新星アウトバーストを統一的に説明する円盤不安定モデル(熱不安定モデルと熱潮汐不安定モデルの総称)の枠組みは確立したかのように見えたが、近年の観測技術の発達により古典的な描像では理解し難い光度変動が次々と発見されていることが問題である。このような変わった光度変動が円盤不安定モデルを使って説明できるのかを検証することが、矮新星アウトバーストの統一的理解、ひいては様々な天体に共通する円盤の物理の理解につながる。

ほとんどのWZ Sge型矮新星のアウトバーストのプラトーステージでは光度が連続的にゆっくり下がっていくが、稀に二つに分かれているものが存在する。この研究では、このアウトバースト途中で光度が落ち込むアウトバーストを起こすWZ Sge型矮新星ASASSN-15jdを、国際変光性観測ネットワーク(VSNET)を通じて観測した。その結果、この天体が極めて小さい連星質量比を持つ可能性が高いことが分かった。これは潮汐不安定による円盤の楕円変形の成長速度が遅いことを意味する。この場合、アウトバーストの途中で円盤外縁部での効率的な角運動量の引き抜きが一旦ストップしてしまい、円盤が暗い状態に落ち込むことが考えられ、その結果光度の落ち込みが生じるのではないかと推察した。その後、光度の落ち込みを示すアウトバーストを起こすWZ Sge型矮新星2天体を観測したところ、上記アイデアを裏付ける結果が得られた。本研究は熱潮汐不安定モデルの理解を深めたと評価できる。

また、IW And型矮新星は、光度の減衰振動を伴うスタンドスティルとアウトバーストを繰り返し、連星の公転軌道面から傾いた円盤を持つことが観測的に示唆されている。本研究は、このような現象が傾いた円盤で起こる熱不安定によって再現できるかどうかを確かめるため、円盤の傾きの影響が伴星からのガス供給のパターンだけに現れると考え、一次元の数値シミュレーションを行なった。その結果、シミュレーションのいくつかでは、円盤内側が明るい状態を保ち、ほとんどの時間暗い状態にある円盤外側が熱不安定の影響を受けて明るい状態になるのを繰り返すことで、IW And型矮新星に近い光度変動を再現できることが分かった。以上の結果から、観測の光度変動の細かい特徴は再現できていないものの、傾いた円盤で働く円盤不安定はIW And型矮新星光度変動の良いモデルとなりうるということが分かった。

さらに、矮新星アウトバーストの研究により標準的な連星進化モデルでは説明が難しい天体が見つかることもある。本研究での対象天体の一つであるV364 Libは、重い白色矮星と高温の伴星を持つにも関わらず、伴星からの質量輸送率が低いことが明らかになった。このような天体の進化経路はまだ特定されていないが、白色矮星が重いため、最終的にはIa型超新星として一生を終える可能性がある。

これらの研究内容は、これまで説明の難しかった矮新星のいくつかの光度変動に物理的解釈を与えるものであり、円盤不安定モデルに対する理解を深めることに貢献した。また、今まで低質量星の伴星を持つ天体に限られることがほとんどであった連星進化モデルの研究において、新しい扉を開いた。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、令和2年1月17日、主論文の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