

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	田口 健太
論文題目	Tackling the Nature of a White Dwarf Progenitor through Prompt Follow-up Observations of Novae: A Case for V1405 Cas (= Nova Cassiopeiae 2021) as a Low-mass ONeMg White Dwarf (新星の即時観測によって迫る白色矮星の性質: 低質量酸素ネオンマグネシウム白色矮星としてのカシオペヤ座 V1405星 (= 2021年カシオペヤ座新星))		
(論文内容の要旨)			
<p>白色矮星が伴星から質量供給を受ける系において、白色矮星表面に降り積もった水素層において爆発的な核反応が生じる天体現象が存在する。通常、肉眼では確認できない親星システムが急激に明るくなり、あたかも新しい星が出現したように見えるため、新星と呼ばれる。現在では爆発前の親星が確認されている例が多数あるが、新星現象により最大で数百万倍程度増光することが知られている。新星爆発においては、降着した伴星物質及びもともとの白色矮星の表面物質からなる混合イジェクタが放出されるが、これらの放出物質は新星爆発時の原子核反応の痕跡をその組成に残すと考えられている。新星は、連星進化や宇宙における化学進化といった、天文学における重要問題の解明に向けて鍵となる天体の一つである。新星の爆発メカニズム及び新星を起こす白色矮星の性質にはまだ多くの未解明問題があるが、本論文では特に、「爆発時に放出されるイジェクタのダイナミクス」「酸素-ネオン-マグネシウム白色矮星 (ONeMg白色矮星) の起源と進化」に焦点を当てる。</p> <p>新星の親星、爆発のメカニズムや爆発時の原子核反応を理解するうえで、爆発直後の観測が重要である。しかし、そのような観測は新星の早期発見、それを受けての迅速な追観測を必要とする困難なものであり、これまでごく少数の成功例しか存在しない。これが、本論文のメインテーマである。申請者は、京都大学せいめい望遠鏡を中心とした新星爆発直後の早期追観測を計画・組織・実行した (第二章)。その成果のハイライトとして、V1405 Cassiopeia (以降、V1405 Cas) の爆発直後の急激な増光期とそこから継続した分光観測に成功し、その解析から新たな知見を引き出した (第三章)。</p> <p>申請者の観測により、V1405 Casが初期増光期においてHe IIやN IIIといった、イオン化が進んだ元素からの輝線を示したこと、これらが急激に消失しイオン化状態の低いイオンからの輝線にとってかわられたことが発見された。これは、新星爆発により放出された高温のイジェクタが、膨張にともなう断熱冷却により急激に温度が低下するという描像を支持する結果である。水素やヘリウムのライン放射における吸収成分の青方偏移の程度が時間とともに急激に減少することも確認され、これも同様の描像を支持する。以上、新星イジェクタのダイナミクスを観測的に検証できた数少ない例として、特筆に値する。</p> <p>申請者はさらに、スペクトルに見られる輝線強度の詳細な解析を行った。この解析結果は、上述したイジェクタの急激な膨張冷却を支持するとともに、さらに得られた組成の情報から、親星白色矮星の性質について非常に興味深い知見に繋がった。V1405 Casのイジェクタが大量の窒素とアルミニウムを含んでいたことからの発見から、V1405 Casを引き起こした白色矮星はONeMg白色矮星であることが強く示唆された。一方で、V1405 Casは最大光度後の時間進化が遅いタイプの新星であり、これは太陽質量</p>			

を大きく下回る小質量な白色矮星であることを示唆する。つまり、V1405 Casの親星白色矮星は小質量ONeMg白色矮星であると考えられるが、これは、ONeMg白色矮星の質量は常に太陽質量以上になるという、現在の標準恒星進化モデルの枠組みでは説明できない。このことは、白色矮星形成後の進化において、連星進化過程で白色矮星質量が減少する段階があることを示唆し、現在まで詳細に検討されていない連星進化過程の再考を迫るものである。

以上、本論文は、新星爆発直後の迅速な追観測という新たなアプローチを用いることで「爆発時に放出されるイジェクタのダイナミクス」「酸素-ネオン-マグネシウム白色矮星 (ONeMg白色矮星) の起源と進化」に興味深い新知見をもたらしたものであり、新星の爆発メカニズム及び新星を起こす白色矮星の性質の理解に大きな前進をもたらしたものである。

(論文審査の結果の要旨)

宇宙における恒星の大部分をなす中小質量星（ $\lt$ 太陽質量の8倍程度）は、その進化の結果として白色矮星を形成する。さらに、白色矮星が連星をなす場合、伴星との相互作用により、新星や超新星を代表例とする様々な爆発的突発現象を示す。これらの爆発現象により生成・放出される元素は、宇宙における化学進化を駆動する。このように、白色矮星は恒星・連星進化の理解の鍵を握る天体であるとともに、宇宙の動的側面及び元素の起源における重要天体である。しかし、その理解にはいまだに多くの未解明問題が存在する。本論文は、特に「爆発時に放出されるイジェクタのダイナミクス」という新星爆発メカニズムにおける未解明問題、「酸素-ネオン-マグネシウム白色矮星（ONeMg白色矮星）の起源と進化」という白色矮星の形成と進化過程における重要な未解明問題に焦点を当て、これらに興味深い新知見をもたらしたものであると評価できる。

本研究では、上記の問題に対し、「新星爆発直後の迅速な分光追観測」という新たなアプローチで迫ったものである。近年の突発天体探査観測手法の進展・成熟にともない、新星の爆発直後の発見はルーティンとなりつつあり、場合によっては数時間以内の発見も可能である。一方で、より大口径の望遠鏡を用いた分光を中心とする追観測の整備は追いついておらず、発見後の迅速な観測は困難を伴ってきた。申請者は、このような迅速な観測を可能とする京都大学せいめい望遠鏡の機能及び運用形態をフルに活用し、新星の迅速な追観測プログラムを牽引している。これにより、V1405 Casに対してそのような観測に成功し、その観測と解析が本論文の主要部分を占める。新星爆発後一日以内の分光観測はこれまで一例の報告があるのみであり、申請者の報告が世界で二例目である。観測研究における未開拓領域に挑戦し、系統的にそのような観測を行う体制を整えたものとして、今後の新星観測・突発天体の観測研究の一つの礎を確立した研究として評価できる。今後の突発天体研究の発展に大きく貢献するものである。

V1405 Casに対して上記プログラムの枠組みで得られた観測データは驚くべき結果を与えた。太陽質量を大きく下回る小質量白色矮星の爆発であると考えられるV1405 Casの放出物質が、大量の窒素及びアルミニウムを含んでいたことの実見である。このことから、V1405 Casの親星は、小質量ONeMg白色矮星であることが示唆される。このような性質を持つ白色矮星の候補はこれまで数例報告されているのみであり、しかも今回の成果はこれまでで最もロバストな候補天体を見つけたものであると言える。小質量ONeMg白色矮星は、標準とされる恒星進化理論の枠組みでは形成できない天体である。このことは、既存の恒星進化、特に新星を起こすような連星相互作用を受ける白色矮星の進化においてまだ我々が考慮していない過程が存在することを示唆する。実際、新星において白色矮星質量が減少する可能性も考えられ、今回の結果は、連星進化および新星の種類によっては、新星を繰り返すうちに白色矮星の質量が大きく減少する可能性を提案するものである。これは、様々な不定性の残る連星進化理論を大きく前進させるものとして、天文学の基礎である恒星進化の理解に大きな一石を投じた成果と言える。

また、爆発時に放出されるイジェクタのダイナミクスに関しても重要な成果を得ている。新星の標準的なモデルでは、初期に放出された放出イジェクタは膨張及び断熱冷却を受け、急激に密度と温度が減少していくと考えられているが、その直接的な観測検証はほぼ皆無であった。申請者は、V1405 Casの観測データの解析から、この描像が正しいことを、観測的に検証している。

以上、本論文は、新星爆発直後の迅速な追観測という新たなアプローチを導入

し、新星の爆発メカニズム及び白色矮星の性質の理解に大きな前進をもたらしたものである。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