

氏 名	う え 植 村 まこと 誠
学 位 の 種 類	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2754 号
学 位 授 与 の 日 付	平 成 16 年 3 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Optical Observations of Three Black Hole X-ray Novae: V4641 Sgr, XTE J1859+226, and XTE J1118+480 (3つのブラックホールX線新星の可視光観測：いて座V4641, XTE J1859+226, XTE J1118+480)
論 文 調 査 委 員	(主 査) 平 田 龍 幸 教 授 柴 田 一 成 教 授 舞 原 俊 憲

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文では、3つのブラックホールX線新星の可視光観測に関する研究、特に降着円盤外縁付近での熱的放射とブラックホール近傍での非熱的放射に起因する変光現象の研究が報告されている。

恒星程度の質量をもつブラックホールは1972年以降、我々の銀河系内に存在するX線連星系内に発見されてきた。それらの多くは、静穏期と明るいアウトバースト期が観測されるトランジェント（突発的）X線源である。伴星の視線速度変化からケプラーの法則を用いて力学的にブラックホールであることが証明されたトランジェントX線源はブラックホールX線新星と呼ばれる。ブラックホールX線新星は変光のタイムスケールが短いためそれらの観測が容易で、ブラックホール近傍の物理とそこへ落ちるガスの降着過程の研究にとって理想的な天然の実験場を提供している。これらの天体からの強いX線は、降着円盤のブラックホールに近い、高温の領域で生成されている。一方で、これまでの研究から、可視光はブラックホールから離れた円盤外縁付近の低温領域が起源とされている。従って、可視光で円盤外縁を、X線でブラックホール近傍を観測することによって、アウトバーストの機構や降着円盤の構造を知る極めて重要な手がかりを得ることができる。さらに、申請者のグループが明らかにしたように最近の観測からはブラックホール近傍からの可視光成分が存在することが明らかになりつつあり、ブラックホールX線新星の研究のための新たなアプローチとして注目を集めている。

申請者は3つのブラックホールX線新星 いて座V4641（以下V4641 Sgr）、XTE J1118+480、XTE J1859+226の1999年から2003年までの可視光追跡観測の結果について報告する。申請者を含む研究グループが運営する国際変光星ネットワーク（VSNET）を通じて、国際共同観測を行った結果、アウトバースト中の群細な光度曲線を得ることに成功し、XTE J1118+480とXTE J1859+226においては周期的変動成分を検出した。申請者は国際共同観測の指揮や取りまとめに中核的役割を果たした。時間的に密なデータサンプルを取得したことによって、XTE J1118+480の変動周期がわずかに0.35%ながら、系の軌道周期より有意に長いことが明らかになった。この観測事実から、申請者はアウトバースト中に現れた変動成分がスーパーハンプ現象であると結論する。同様にXTE J1859+226の周期変動成分もスーパーハンプであることが、その非対称な変光光度曲線から示唆される。さらに、スーパーハンプ周期が時間と共に減少する現象を、ブラックホールX線新星では初めて検出することに成功している。特にXTE J1118+480では顕著な二峰性のアウトバーストが記録されたが、これらのスーパーハンプは再増光（2回目のアウトバースト）より早期に発生していることが明らかになった。再増光の機構は現在までよく理解されていないが、スーパーハンプの早期出現は、再増光を次第に成長する円盤の潮汐不安定性によって説明するモデルに対して否定的である。申請者の観測結果は、再増光が円盤外縁付近でのX線照射によって点火する説を支持する。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は申請者が指揮して実施した、ブラックホールX線新星の国際共同観測の成果について報告している。ブラックホ

ールX線新星はX線天文学の黎明期から熱心に研究されてきた天体であるが、その爆発機構や輻射の発生源には依然理解されていないことが多い。多くの系は新X線源として発見され、100日程度観測可能なことが多いが、その後は数十年間の長い静穏期に入るため、明るい時期にいかにも多くの観測を行うかが、その天体の研究上最も基本的かつ最重要事項となる。さらに、ブラックホールX線新星は軌道周期が数時間から数日の近接連星系であり、その時間スケールの変光現象が観測される。このような時間の変動を研究するには一ヶ所の観測では不十分であり、このため申請者はインターネットを介した国際的な変光星ネットワークを運用し、世界中の観測者に観測を呼びかけ、大量のデータを集めた。論文中では3つのブラックホールX線新星について報告されているが、いずれも可視光観測としては世界最大のデータが申請者の手元にあるといっよい。この利点を生かして、申請者は3つの系それぞれについて、その挙動と観測からの示唆について報告している。

3つの中で最も際立った成果が見られるのは、いて座V4641 (V4641 Sgr) の観測である。この天体は1999年にブラックホールX線新星として発見されて以来、現在までに3度アウトバーストを起こしている。わずか数年の間に3回ものアウトバーストを捕らえることに成功しただけでも驚愕に値するが、さらに驚くべきは、いずれのアウトバーストも30年の研究史上前例のない、わずか数日から一週間しか継続しなかった点にある。1999年のアウトバーストはわずか1日程度しか継続しなかったが、この短い間にX線光度と可視光度の間に反相関関係があることを報告している。この可視光とX線の同時観測データは、全く未知の天体現象である、このアウトバーストの理論モデルに強い制限を与えた。特にX線光度の上昇開始時に既に可視光度が減衰していたという観測事実は、可視光がX線の再放射ではないことを強く示唆している。これらの観測結果に対して、申請者が提案している超臨界降着とX線吸収ガス雲を用いた説は、現象を定性的に説明することに成功している。他の2度のアウトバーストで注目すべきは、ここ数年急激に注目を集めている、可視域での驚くべき短時間変動が発見されたことである。短時間変動が可視域でも観測されることは、ブラックホール近傍から可視光が放射されていることを示唆し、可視光は降着円盤外縁から放射されているとする旧来の描像を覆すものである。さらに申請者は海外のX線および電波天文学者と共同研究を行い、可視光・X線・電波の同時観測結果を報告している。この多波長観測から、V4641 Sgrの可視光には、円盤中心付近を起源にもつシンクロトン放射と、比較的外側からの熱的放射の両方の成分が混在し、複雑な形状の光度曲線の原因になっていることを明らかにした。

上記の研究成果はいずれも従来の常識を打ち破るもので、我々がブラックホールへの降着現象について、まだほんの一部分しか理解していなかったことを示した点でも根源的な発見といえる。しかもこの天体は世に知られるきっかけとなった1999年アウトバーストは申請者のグループの可視光での発見によるもので、申請者たちの観測がなければこの重要な現象の大部分が見逃されていた可能性が高く、この観点からも高く評価できる。

他の2つの系XTE J1118+480とXTE J1859+226については、古典的なブラックホールX線新星に類似した挙動も観測されている。論文では、特に、以前から議論されていたスーパーハンプ現象と再増光現象の関係について述べられており、新たな観測事実が報告されている。申請者の持つ巨大な可視光データサンプルによって、ブラックホールX線新星におけるスーパーハンプ現象を史上初めて疑いの余地のない形で明らかにすることに成功した。さらにブラックホールX線新星では初めてスーパーハンプ周期の時間進化を捕らえることに成功している。また、XTE J1859+226で観測された周期変動成分もスーパーハンプの可能性が高いことを報告している。再増光現象は典型的なブラックホールX線新星で頻繁に観測される現象だが、現在までその原因は理解されていない。

XTE J1118+480とXTE J1859+226のスーパーハンプはいずれも再増光より早い時期に現れており、申請者はX線照射による効果が再増光を引き起こすとする説を支持している。これらの成果は、密な可視光国際共同観測を長期にわたって実行する申請者特有の研究スタイルによって得られたもので、発表論文は多数の引用がなされるなどすでに高い評価を受けている。

以上、前例のない大規模な観測キャンペーンによって突発天体活動現象の貴重なデータを取得し、それによって従来知られていた熱的放射の他に、激しく変動する非熱的可視光成分が存在すること、さらには、以前から謎であった再増光とスーパーハンプの関係について重要な知見を含む新たな観測事実を提示した意義は大きく、当該分野における極めて重要な成果と位置づけられる。よって、本新星論文は学位論文として価値あるものと認めた。なお、本論文に報告されている研究業績と、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。