

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	吉武 知紘
論文題目	Multiwavelength Study of the Black Hole X-ray Binary MAXI J1820+070 in the Rebrightening Phase (多波長観測で探る再増光期におけるブラックホールX線連星 MAXI J1820+070の研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、初期アウトバースト後の「再増光期」におけるブラックホールX線連星 MAXI J1820+070の降着円盤構造の進化を、多波長観測データの系統的な解析により明らかにしたものである。</p> <p>MAXI J1820+070は、2018年に最初のアウトバーストを起こし、全天X線監視装置 (MAXI) により発見された。2019年から2020年にかけて、似た光度変動パターンを持つ3度の再増光 (ミニアウトバースト) を起こした。第2章では、最初の再増光期が始まってから約60日後に当たる2019年5月10日から13日に行われた多波長観測データの解析結果を報告した。ここでは、光赤外線大学間連携ネットワーク (OISTER) で取得された近赤外線・可視光測光データ、Swift衛星による紫外線・X線データ、および岡山天文台「せいめい」望遠鏡による可視分光データを用いている。この時期のX線強度は、同じ再増光期の極大時と比べて、3桁近く減衰していた。可視のX線に対する光度比は初期アウトバースト時の約8倍で、エネルギースペクトル分布 (Spectrum Energy Density; SED) は、可視バンドで鋭いピークを示した。考察の結果、可視光の主成分は、放射非効率降着流 (Radiatively Inefficient Accretion Flow; RIAF) からのサイクロ・シンクロトロン放射として解釈できることがわかった。X線放射は、RIAFから予測されるコンプトン散乱と制動放射成分と考えると矛盾しない。RIAFの理論計算と比較することで質量降着率を推定し、それが光度ピーク時と比べてひじょうに小さいことを確かめた。可視から紫外にかけて、ジェットからのシンクロトロン放射と解釈される「べき成分」が検出された。また、せいめい望遠鏡で取得された可視スペクトルに含まれるHα輝線の形状から、その放射領域に制限を付けた。その結果、円盤全体の構造は単一のRIAFモデルで説明されるものではなく、低温の円盤が外側の領域に存在することが示唆された。</p> <p>第3章では、MAXI J1820+070の再増光期における全体的な降着円盤構造の進化を理解するために、より広い期間に渡って観測された複数の同時多波長データセットに対して、包括的な解析を行った。ここでは、OISTER、ラスカンブレス天文台、Swift、NICER、NuSTARで取得されたデータ、および「せいめい」望遠鏡で観測した可視分光データを用いている。まず、可視光とX線の光度曲線とそれらの強度比を基にして、1つの再増光期を3つの期間 (増光期、減光期、暗期) に分けた。解析の結果、最初の2つの期間では、ソフト状態に遷移することなく、常にハード状態に留まっていたことがわかった。X線放射はブラックホール近傍にあるホットコロナからのコンプトン散乱成分由来と解釈できる。可視光から紫外線のSEDはべき関数で近似され、ジェットからのシンクロトロン放射が支配的であることが判明した。実際、このべき成分は電波の同時観測データとなめらかにつながり、ジェット起源であることが強く支持された。可視スペクトルに含まれるバルマー線の特徴は、照射された円盤の内半径が増光期から減光期にかけてわずかに減少したことを示しており、ホットコロナの幾何学的構造が変化したことを示唆する。3番目の期間 (暗期) では、第2章で得られた結果に基づいて、多波長SEDがジェット放射を伴うRIAFモデルによって再現できることが確かめられた。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

ブラックホールへの質量降着流の物理的理解は、現代天文学の重要な課題の一つである。ブラックホールX線連星 (Black Hole X-ray Binary; BHXB) は、恒星質量ブラックホールと伴星からなる連星系であり、このテーマを探る上で最適な天体である。BHXBの多くは突発天体であり、通常は静穏状態にあるが、アウトバーストが起こると、光度が数桁も増加する。主アウトバーストの後には、しばしば、より小さな極大光度を示す再増光 (ミニアウトバースト)を伴う。過去の研究の多くは、観測のし易さから、アウトバースト中の光度極大期の周辺の時期で行われてきた。しかし、アウトバースト終盤に質量降着率がひじょうに小さくなった時の振る舞いは未だよく分かっていない。さらに、再増光期の全体を通してブラックホール降着円盤の構造の進化を系統的に調査した例は極めて限られている。ブラックホール近傍の円盤からは強いX線が放射されるが、円盤外縁部になるにつれて紫外、可視、近赤外放射が支配的になっていくと予測される。相対論的ジェットは、電波からX線に渡る広い波長範囲で放射を出す。よって、多波長観測はジェットを含む円盤構造の理解に不可欠である。さらに、可視スペクトルに見られる輝線と吸収線は、円盤の構造を知る上で貴重な情報を与える。そこで申請者は、銀河系内BHXB MAXI J1820+070の再増光期に着目し、その多波長観測データと可視分光データを系統的に解析することで、これらの課題の解決に挑んだ。

第2章は、再増光期の終盤においてX線強度が微弱な状態にあったMAXI J1820+070の多波長観測 (近赤外線、可視、紫外、X線) の結果を報告している。その結果、申請者は、多波長SEDが可視光バンドで特徴的なピークを持つこと、それが放射非効率降着流 (RIAF) からの放射として説明できることを示した。RIAFからのスペクトルは理論的に予言されていたものの、観測の難しさから、その検証は十分に行われていなかった。特に、暗い状態にあるBHXBから明確にサイクロ・シンクロトロン放射成分を検出した前例はほとんどなく、申請者の発見は、低光度状態にある降着円盤の物理を理解する上で重要な意義を持つ。申請者は、この成分を別のモデル (光学的に厚い円盤からの熱放射) で解釈する可能性も吟味し、そのモデルから推定される質量降着率が高くなりすぎることから、物理的に不自然であると結論した。この議論は、RIAFモデルによる解釈の妥当性を支持するものである。

第3章では、再増光期における降着円盤構造の変化の全貌を解明するために、より明るい状態も含めた合計7つの時期について、MAXI J1820+070の多波長SEDを作成し、系統的な解析を行った。申請者は、光度曲線を詳細に分析することで、1つの再増光期が大まかに3つの期間に分類できることを見つけた。最初の2つの状態では、円盤がいわゆるハード状態にあり、可視光バンドにおいてジェットからのシンクロトロン放射成分が支配的であることを示した。一般に、BHXBからの可視光放射の起源はいくつかの可能性が議論されており、まだ確立していない。今回の結果は、その理解に重要な示唆を与えるものである。さらに、可視スペクトルに見られた水素バルマー輝線と吸収線の解析から、増光中と減光中で降着円盤の内部の構造が変化していることを突き止めた。このような結論は、X線の解析から導くことは難しく、同時に可視分光データを取得することの重要性を示している。

以上をまとめると、本論文は、近赤外、可視、紫外、X線と幅広い波長域での多波長観測データを用いることで、再増光期の初期から終盤に渡る円盤構造の進化について、観測の立場から統一的描像を示した。これは、今後の降着円盤の研究に少なからぬ影響を与える重要な成果である。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、令和6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