

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	志達 めぐみ
論文題目	Observational Studies of Accretion Disks in Black Hole X-ray Binaries		
(論文内容の要旨)			
<p>ブラックホール (BH) 連星は、地上では再現できない BH 周囲の強重力場の物理を理解するための貴重な観測対象である。本研究は、X 線強度が比較的大きいときに見られる「high/soft 状態」と、X 線強度が小さい時期に見られる「low/hard 状態」に着目し、BH 近傍の降着円盤の構造と、円盤外縁部から噴き出す円盤風の性質を明らかにすることを目的としたものである。このために、銀河系内の BH 連星 H 1743-322 と MAXI J1305-704 の X 線観測を実施した。</p> <p>2012 年の 10 月に、X 線衛星「すざく」を用いて low/hard 状態にある H 1743-322 の詳細観測を実施した。本天体は銀河系中心付近に位置しており、強い星間吸収とダスト散乱の影響を受けている。本研究では、これらを適切に考慮して解析を行った。その結果、時間平均の X 線スペクトルは、光学的に厚く幾何的に薄い「標準円盤」からの軟 X 線放射を種光子とする、高温の電子によるコンプトン散乱モデルで表すことができた。円盤からの放射成分を用いて標準円盤の内縁半径を推定した結果、high/soft 状態における内縁半径より大きいことがわかった。この事実は、low/hard 状態では標準円盤が最内縁安定円軌道まで伸びていないことを示唆する。また、X 線光度曲線の解析から、約 0.2 Hz の準周期的振動 (QPO) を検出し、その振動数が X 線光度の減少とともに小さくなることを発見した。この振舞いは、標準円盤の内縁が減光とともに後退し、その内側の高温降着流の歳差運動が QPO の起源であるとする理論モデルを用いると矛盾無く説明できることを示した。</p> <p>MAXI J1305-704 は、2012 年 4 月に全天 X 線監視装置 MAXI で発見された BH 連星である。同年 7 月に、low/hard 状態において「すざく」を用いた詳細観測を行った。その光度曲線を解析した結果、軟 X 線強度が周期的に急減する吸収ディップと呼ばれる現象が約 9.7 時間間隔で起こっていることを発見した。これは MAXI J1305-704 の軌道周期に対応すると考えられる。ディップを除いた時間平均のスペクトルは、円盤からの X 線放射を種光子とするコンプトン散乱モデルでよく表された。標準円盤の内縁半径は、Swift 衛星による high/soft 状態の観測から得られた値より大きいことがわかった。また、「すざく」と Swift の軟 X 線スペクトルから、電離したガスによる吸収構造が発見された。一般に、円盤風起源の電離吸収構造は、high/soft 状態ではよく見られるが、low/hard 状態ではほとんど検出されない。ところが今回の観測では、両方の状態で吸収構造が検出された。詳細解析の結果、この吸収体は、一様に広がった典型的な円盤風より低電離で、局所的な構造であることが示唆された。さらに、「すざく」及び Swift の観測と同時期に行われた近赤外線・可視光観測のデータを組み合わせることで、円盤の外縁半径と伴星のサイズ・温度を制限することに成功した。</p> <p>これら 2 天体のスペクトル解析の結果から、low/hard 状態では標準円盤が最内縁安定円軌道まで達しておらず、BH 近傍では放射冷却が非効率な高温の降着流に変化していることが示された。さらに、MAXI J1305-704 の観測から、電離吸収体が high/soft 状態だけでなく low/hard 状態でも存在することが明らかになった。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本申請論文は、X 線衛星「すざく」と Swift 衛星で得られた過去最高の質のブラックホール (BH) 連星 H 1743-322 と MAXI J1305-704 の X 線データを用いて、降着円盤内縁部の構造と円盤風の性質を詳細に調べたものである。一般に、BH 連星はトランジェントな天体であり、普段はほとんど検出できないほど暗いため、増光中に観測を行う必要がある。ところが、増光が起こる時期をあらかじめ予測することは難しい。志達氏は、世界最高感度の全天 X 線監視装置 MAXI のミッションチームに主要メンバーとして参加し、BH 連星の光度変動を自ら常時監視することで、この困難を解決した。MAXI の速報に基づいて、上記 2 天体を増光中に「すざく」で観測することによって、各天体について過去最高精度の X 線データを取得することに成功している。このデータから導き出された結果が本申請論文の中核をなしている。

low/hard 状態の降着円盤の構造には、「標準円盤が最内縁安定円軌道 (ISCO) まで達している」とする説と「標準円盤は ISCO より外側で途切れており、その内側では放射冷却が非効率な高温降着流に変化している」という説があり、10 年以上にわたって論争の的になっていた。本研究では、星間吸収やダスト散乱による影響を適切に考慮しながら、low/hard 状態の X 線スペクトルを詳細解析した。その結果、円盤の放射成分を正しく見積もり、標準円盤の内縁半径をかつてない精度で決定することに成功した。この内縁半径を high/soft 状態の結果と比較することで、後者の説が正しいことを突き止めた。この成果は、質量降着率が比較的低い時期において BH 近傍のガスの状態を明らかにしたという点で、大きな価値がある。low/hard 状態では定常的にジェットが出ていることがわかっており、その源である BH 近傍の降着流の状態の理解は、ジェット噴出機構を解明する上でもきわめて重要である。

過去の X 線分光観測から、high/soft 状態では一様に広がった円盤風を起源とする電離吸収線がよく見られるが、low/hard 状態ではほとんど検出されないことがわかってきた。ところが、今回の MAXI J1305-704 の観測から、両方の状態で電離吸収構造が見つかった。これは low/hard 状態においても電離ガスが存在していることを意味し、これまでの定説に一石を投じるものである。スペクトル解析の結果、この吸収体は典型的な円盤風とは性質が異なっており、より低電離で局所的な構造であることが示唆された。この吸収体が円盤風として噴き出しているのか、あるいは降着円盤に束縛されているのかを明らかにするために、今後更なる詳細観測が待たれる。

さらに、本申請論文では、X 線観測と同時期に近赤外線観測を実施することで、MAX I J1305-704 の円盤外縁部の構造や伴星のサイズと温度に制限を与えることにも成功している。これらは今後の連星系の研究で参照されるべき貴重な情報である。

上記の内容はいずれも世界最先端の研究結果であり、本研究分野に新たな知見をもたらした成果であると評価できる。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、平成 27 年 1 月 16 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