

論文審査の結果の要旨

氏名 櫻井 壮希

低質量X線連星(LMXB)は低質量星と弱磁場中性子星からなる連星系であり、恒星から中性子星へガスが降着する。ガスは中性子星の周りで円盤状に回転しつつ下降して中性子星表面に降着し、それらの過程でX線が放射される。LMXBは、光度がエディントン光度の10%以上ではソフト状態、それ以下ではハード状態のX線スペクトルを示すことが知られている。20keV以下の領域でスペクトルが卓越するソフト状態はこれまで詳しく調べられ物理的描像が確立されているが、100keV以上にまでスペクトルが延びるハード状態の研究は未解決の問題が残る。2005年に打ち上げられたX線観測衛星「すざく」により硬X線の広帯域・高感度観測が可能となり、ハード状態の解明が期待される。

そこで本研究では、LMXBのハード状態における質量降着流を解明するため、「すざく」のアーカイブデータから8天体を選定し、計17個のハード状態の広帯域スペクトルを解析した。特に観測数の多いわし座X-1を軸として $10^{32}\sim 10^{37}\text{erg/s}$ の広い光度範囲のデータを調べ、観測されたスペクトルがどのような放射成分で説明できるか、光度の違いで放射がどう変化するか、ハード状態とソフト状態はどう接続するかなどの考察を行った。

まず第1章で研究の動機と目的を述べ、第2章でLMXBの先行研究を紹介し、第3章で「すざく」搭載の検出器について説明した。そして第4章では「すざく」のアーカイブデータからハード状態を選定する方針を述べ、選んだ各観測の光度曲線を示し特徴を記した。特にわし座X-1ではハード状態だけでなく、ハード状態とソフト状態の間で遷移する貴重な観測データが得られた。

第5章ではわし座X-1のデータを軸に各観測データの解析を行った。まず、わし座X-1の光度の最も高いエディントン光度の10%のソフト状態のスペクトルを調べた。先行研究で示されたとおり、ソフト状態は円盤からの放射成分と、中性子星表面からの黒体放射がコンプトン化された成分で良く再現されることが確認された。次にエディントン光度の1%のハード状態について解析した。各モデルのフィットと円盤内縁半径や黒体放射半径などのパラメータの考察により、ソフト状態と同様に円盤放射成分とコンプトン化された黒体放射成分で再現できることがわかった。降着流が中性子星近くで、光学的に厚い標準降着円盤から光学的に薄く幾何学的に厚い形状へ変化し、これがコンプトン化を引き起こすコロナであると考えられる。さらに光度が低い二つの観測について、またわし座X-1以外の天体の観測についても同様に再現された。すなわち、さまざまなハード状態のスペクトルが、円盤放射、中性子星表面の黒体放射、そのコンプトン成分で包括的に説明できることが明らかとなった。さらに1日の観測時間中にハード状態からソフト状態に遷移した観測データを

詳しく解析し、各パラメータの変化を調べ、二つの状態の間で連続的に変化することがわかった。

第6章では得られた解析結果に関する議論を行った。円盤放射の内縁半径や内縁温度、および中性子星表面の黒体放射の半径と電子温度などのパラメータが光度にどう依存するか考察した。特に光度が非常に低くなると、黒体放射半径は中性子星の半径より小さくなることがわかった。すなわちガスが中性子星の表面全体に降着するのではなく、降着流が表面の一部に収束していることが示唆される。このふるまいは、低光度では重力より磁気圧が優勢となり、磁場によって降着流が磁極近くに絞られることが原因の可能性もある。また、ハード状態とソフト状態の間の遷移ではヒステリシスが見られるため、同じ光度でも二つの状態が混在し、光度だけでは状態を一意に区別できない。そこで最近提案されたコンプトン散乱のシード温度と電子温度の比に着目し、その値を用いるとハード状態とソフト状態を明確に分離し、一意的に定められることがわかった。

以上本論文では「すざく」のアーカイブデータを用いてLMXBの降着流によるX線スペクトルを解析し、5桁以上の広い光度範囲のハード状態を包括的に説明できる物理的描像を得た。特に状態遷移のデータから、ハード状態とソフト状態が連続的に接続されることを示した。LMXBのハード状態を詳細かつ統一的に解析し考察したこれらの成果は、X線宇宙物理学の研究の進展に貢献するものである。

なお、本論文の主要部分は牧島一夫、中澤知洋、他7名との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析と考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。