

論文審査の結果の要旨

氏名 小野 光

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクションであり、まず中性子星が特殊な高密度星であること、その周囲の物質からの降着流により X 線が生み出されることについて解説している。その中でも Low-Mass-Xray-Binary (LMXB) は低質量星から弱磁場の中性子星にガスが降着することで強い X 線を放射する近接連星系であり、強重力場における高温プラズマの挙動を調べるための絶好の実験場と紹介されている。これまでに、200 におよぶ LMXB が発見されていて、その観測データも蓄積されてきている。その解析により、LMXB には 10keV 程度の軟 X 線を放射するソフト状態と、100keV に達する硬 X 線を放射するハード状態があり、それが (I) 光学的に厚く幾何学的に薄い標準降着円盤からの多温度黒体放射と、(II) 中性子星表面の黒体放射が光学的に薄く幾何学的に厚い高温降着流 (コロナ) に逆コンプトン散乱された成分、の2つで説明されることもわかってきた。その背景の下で LMXB からの X 線放射について更に理解を進めることが本研究の目的であり、「すざく」衛星の観測データの解析により、Aql X-1 におけるハード状態からソフト状態への遷移が見事に捉えられたことが記されている。つづく第2章はレビューになっており、宇宙における X 線源、LMXB の X 線放射機構、降着流の物理および LMXB が放射する X 線スペクトルについて詳細に解説されている。また、第3章では、X 線天文衛星「すざく」に搭載された X 線望遠鏡および種々の観測機器について解説されている。

第4章では、「すざく」衛星が10年間のミッションで蓄積したアーカイブデータから LMXB の観測を総ざらいし、その中から5天体19観測をピックアップして詳細な解析をしたことが記述されている。その際の選択条件は、まず5–10keV と20–40keV の強度比 H (ハードネス) という値を導入し、(A) 2状態の遷移付近 ($H \sim 0.01 - 0.03$) にあると考えられるもの、(B) 両状態 ($H < 0.01$ と $H > 0.03$) で観測されている天体、というものであった。また、各観測データのスペクトルや時間変動に関しても詳細に解説されている。つづく第5章では、これらの観測データの解析とその結果が記されている。特に、Aql X-1 の解析においては、ソフト状態からハード状態へわずか6時間程度で遷移する過程が観測されていることを発見している。これにより、ソフト状態とハード状態が同一天体の2つの状態であることがわかったため、その他の天体についても、その観点で解析が行われている。その結果、どの天体のどの結果も最初に分類した (I) と (II) で説明され、この描像が物理的に妥当であることが確認された。また、2状態間のスペクトルの変化を統一的に定量化するために、距離などの不定性によらない無次元パラメータ Q を導入して、2状態間の遷移時のヒステリシス効果についても統一的に解き明かしている。さらに、ソフト状態では降着円盤の光度が強いのに対し、ハード状態ではコロナから散乱を

通して黒体光子に渡されたエネルギーが卓越し、しかも状態遷移の付近で両者が急激に入れ替わるという理論的に知られていた降着流の双安定性が、明確に捉えられている。

第6章では、以上の解析結果について議論されている。最終的に、ソフト状態とハード状態の遷移は以下のように起きることが結論されている。まず、降着円盤が中性子星から比較的離れたところで途切れてコロナが発達し、中性子星にはほぼ球対称に降着するため、中性子星表面全体からの黒体放射が起きる。次に、光度が増加して降着円盤が中性子星に近づき、黒体放射が中性子星の赤道面にやや偏る。その次には、光度が減少し始めて降着円盤は中性子星から離れ、降着は赤道面に局在化する。さらに光度が減少するにしたがって降着円盤は中性子星から離れ、黒体放射面は広がっていき、最初の状態に戻る。この遷移過程を、本論文では明確に示している。最終章となる第7章では、以上がまとめられており、付け加えて、どの天体でも黒体放射光度が予想より少ないので、降着エネルギーの約10%が中性子星のスピンアップに使われている可能性があることが示されている。

以上のように、本研究により弱磁場中性子星への高温降着流からの X 線放射についての知見が格段に深まり、宇宙物理学に寄与したと認められる。なお、本論文は牧島一夫・櫻井壮希・Zhang Zhongli・山岡和貴・中澤和洋との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析を行ったもので、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。