

# 論文審査の結果の要旨

氏名 久保田 あや

本論文は7章からなり、第1章：導入部、第2章：観測対象の背景概説、第3章：観測装置概説、第4章：観測とデータ整約、第5章：データ解析と結果、第6章：議論、第7章：結論、となっている。本論文では、伴星からの質量降着によってX線で明るく輝いている、ブラックホール (BH) 連星が扱われている。BH 連星は、ソフト状態とハード状態という二つの特徴的な状態を示す。ハード状態ではベキ型の硬いスペクトルを示すのに対し、ソフト状態のスペクトルは BH 周りに形成された光学的に厚い降着円盤 (標準降着円盤) からの多温度の黒体輻射の重ね合わせでよく再現される。そして、観測で得られた降着円盤の最内縁の半径  $R_{in}$  が、シュバルツシルト BH における最も内側の安定軌道 ( $6R_g$ ) によい一致をみせること、および明るさが一桁以上変化しても  $R_{in}$  が一定に保たれるということが示されてきた。しかし最近の観測によって、ある種の BH 連星では、一見  $R_{in}$  一定が破れることが示されはじめた。本論文の目的は、 $R_{in}$  一定がどこで破れるのか、また破れるとするとその原因は何かを、明らかにすることにある。この目的のために、ここでは「あすか」衛星、および、RXTE 衛星を用いて、銀河系およびマゼラン雲に存在する8つの BH 連星のスペクトル解析が行われている。

標準降着円盤からのスペクトルは、円盤の最内縁の半径  $R_{in}$  と温度  $T_{in}$  で完全に記述することができる。2つの量の関係が、主に、二つの代表的な BH 連星 (LMC X-3 と GRO J1655-40) に対して詳しく調べられた。LMC X-3 では  $T_{in}$  の変化に関わらず  $R_{in}$  が一定に、しかもほぼ  $6R_g$  に一致していることがわかった。このとき降着円盤からの X 線光度は最大でエディントン限界光度の約 0.7 から 0.8 倍にまで達している。

これに対し GRO J1655-40 は  $T_{in} < T_c \sim 1.2$  keV では  $R_{in}$  一定が保たれ、標準的な振舞いを見せるが、 $R_{in}$  の値は LMC X-3 の半分程度である。 $T_{in}$  が 1.2 keV に近付くと、X 線光度が飽和する現象が見られるが、そ

の値はこの天体のエディントン限界光度  $L_E$  の  $1/10$ - $1/7$  に過ぎない。このときスペクトルにはハードテイルの急激な増加が見られ、これに伴い  $T_{in}$  も  $R_{in}$  も大きく変動する。慎重なスペクトル解析の結果、このハードテイルの増大が、急激なコンプトン散乱成分の増加によるものであることが示された。そして、コンプトン散乱の効果を補正すると、円盤の二つのパラメータ  $T_{in}$  と  $R_{in}$  は実際は極めて一定に保たれていることもわかった。さらに質量降着率が上がり、 $L_{disk} > L_c$  ( $T_{in} > T_c$ ) の段階に達すると、上記の散乱成分は消え、再び光学的に厚い円盤からの放射が卓越してくる。しかし、このような状態に対して、温度の半径依存性が調べられ、標準降着円盤にくらべて、円盤の内側における温度の上昇率の低下すなわち内側での放射効率の低下が見られることが示された。これは理論で予想する移流冷却優勢降着流の描像にきわめてよく一致する。

これらを総合することで、論文提出者は以下のような統一的描像を得た。BH は各々に特有な臨界光度  $L_c$  をもち、それ以下では標準降着円盤が精度よく成り立つ。 $L_{disk}$  が  $L_c$  に近付くと、安定な標準降着円盤の解が破れはじめ、散乱成分に代表される、不安定性が見えはじめるが、光学的に厚い円盤自体は標準状態とほぼ同じ配置を保つ。さらに質量降着率が上昇すると、散乱成分は消え、別の安定解に移行する。その安定解は標準状態に比べると輻射効率が悪く、移流冷却が効いた状態と考えられる。

さらに論文提出者は、GRO J1655-40 における標準状態が破れ始める光度  $L_c$  が、LMC X-3 の光度の上限より数倍小さいことの考察を行っている。そして、GRO J1655-40 における標準状態が破れ始める温度  $T_c$  が LMC X-3 で観測された  $T_{in}$  の上限とほぼ等しいことから、 $L_c$  の値そのものよりも、 $T_c$  が標準円盤の安定性を決めると考え、GRO J1655-40 の標準状態の  $R_{in}$  が LMC X-3 の値より小さいという事実が、前者における低い  $L_c$  の原因であると考えている。そして、BH の回転 (カーBH) を考えれば、 $R_{in}$  が  $6 R_g$  より小さくなり得る可能性を論じている。

以上、論文提出者は、最近観測的に明らかになってきた BH 連星スペクトルの標準降着円盤モデルからのはずれに対し、説得力のある現象論

的解釈を加え、降着円盤理論の予想と見事な対応付けを行った。これらは、学位論文として十分に価値あるものである。なお、本論文の第5章の一部と第6章の一部は牧島一夫との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析および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。