

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな) 氏 名	キキ ビアダヤンティ Kiki Vierdayanti
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻
(学位論文題目) Emission Properties of Supercritical Accretion Flows in Galactic Microquasar GRS 1915+105 and the Implication on the Study of Ultraluminous X-ray Sources (系内マイクロクエーサーGRS 1915+105 における超臨界降着流の放射特性と超高光度 X 線源への示唆)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 嶺重 慎 教授 戸谷 友則 准教授 上田 佳宏 准教授

京都大学	博士（理学）	氏名	Kiki Vierdayanti
論文題目	Emission Properties of Supercritical Accretion Flows in Galactic Microquasar GRS 1915+105 and the Implication on the Study of Ultraluminous X-ray Sources		
(論文内容の要旨)			
降着円盤理論は、膨大なエネルギーを放射する天体（活動銀河核、X線連星系、超高光度X線源、そしておそらくガンマ線バーストなど）における物理過程を理解するための強力な手段である。その降着円盤のいわゆる「標準モデル」は、1973年にシャクラとスニアエフによって提唱された。ところが、このモデルはエディントン光度近傍で破綻するため、その光度を与える臨界降着率をはるかに超える降着流（超臨界降着流あるいは超エディントン降着流と呼ばれる）をもつ天体の特性を記述することはできない。超臨界降着流のダイナミクスと放射特性は、1970年代から長年に渡り理論面から議論されているが、未だ超臨界降着流理論は完成していない。放射と物質と磁場が、非常に複雑に相互作用していることがその原因である。本論文は、超臨界降着流に特有の放射特性を、超臨界降着流のX線観測データ解析および理論との照合により明らかにしようとするものである。 申請者はまず、常時エディントン光度近傍で光っているマイクロクェーサー GRS1915+105 の RXTE 衛星による観測データを、円盤黒体放射成分と熱的コンプトン散乱成分の二成分モデルによってスペクトルフィットし、以下のような新しい知見を得た：1) 円盤内縁の温度と、円盤成分の全光度に占める割合の間に強い相関がある、2) コンプトン成分の割合が 50%以上のときのスペクトルは、円盤内縁の温度～1 keV の円盤黒体放射成分と、電子温度>10 keV のコンプトン成分とからなり、通常のブラックホール連星の高光度状態に似ている、3) 円盤成分の割合が高い (>50%) ときのスペクトルは、2 keV 以上の比較的高い内縁温度の円盤黒体放射成分と、低温（～10 keV）で光学的に厚いコンプトン成分とからなり、光度－円盤内縁温度図上で 2 つの系列を形成する。そのうち下の系列は、他のブラックホール連星と同じく光度が温度の 4 乗に比例するという関係に従う。また、拡張された円盤黒体放射モデルを適用したところ、12 個のデータのうち 9 個は標準円盤よりフラットな温度プロファイルを持つことがわかった。これは、下の系列では、円盤の内縁が最内縁の安定円軌道半径まで延びていること、高光度でスリム円盤状態になっていることを示唆する。一方、上の系列では、円盤の内側がある半径で途切れて高温コロナの状態になった状態と解釈できる。この状態は GRS 1915+105 に特有のもので、エディントン光度近傍でのみ現れる状態であるらしい。 申請者は次に、ブラックホール質量がよくわかっていない超高光度X線源（ULX）について研究を進めた。そのX線スペクトルを拡張された円盤黒体放射モデルを用いてスペクトルフィットをし、ブラックホール質量を推定したところ、調べた ULX はすべて 40 太陽質量以下のブラックホールをもつことがわかった。この結果は、ULX の正体は、中間質量ブラックホールでなく、恒星質量ブラックホールへの超臨界降着流であるとする説をサポートする。次に ULX の性質を詳しく調べるためにスペクトル変動を調べた。スウィフト衛星およびニュートン衛星のデータを使って ULX Holmberg IX X-1 のスペクトルを、円盤黒体放射成分と熱的なコンプトン散乱成分の 2 成分モデルでフィットしたところ、すべてのデータは GRS1915+105 の高光度のケースと同様、低電子温度で光学的に厚いコンプトン成分で説明することができた。			

この事実もまた、ULX は超臨界降着流をもつことを示す。さらに、光度増加に伴って、コンプトン成分の電子温度は減少し、光学的厚みは増加することも判明した。

以上まとめると、超臨界降着流に共通の特徴があることがわかった。すなわち、通常の円盤からの放射に加えて、数 keV の低電子温度で光学的に厚い構造からの放射があることである。この放射は、多くの場合、逆コンプトン散乱で説明できる。数 keV という低電子温度は、超臨界降着流では円盤から放出される光子の量が通常よりもずっと多くなるため、逆コンプトン散乱による冷却がより有効にきいたためであるという理論的予想と一致する。

(論文審査の結果の要旨)

降着円盤はさまざまな天体活動、特に恒星や銀河などの天体形成過程において、また高エネルギー放射をする相対論的天体の活動において極めて重要な役割を演じている。降着円盤の「標準モデル」を構築しようという動きは 1970 年前後から始まり、何人もの研究者が試みた後、シャクラとスニアエフによるモデルで完成をみた。彼らのたてた標準モデルは極めてパワフルなモデルではある。しかし、適用できないケースも多々報告されている。その一例が、エディントン光度近傍で明るく輝くケースであり、超臨界降着流と呼ばれるものである。そのダイナミクスや放射特性を説明すべく、「スリム円盤モデル」が 1988 年にアブラモウィッツらにより提唱されたが、その観測的検証は未だなされておらず、また、放射圧駆動風の影響がとりいれられていないという理論的欠陥も指摘されている。本論文は、この未解決問題の解明に主に観測面からとりくんだもので、X 線観測スペクトルデータを丁寧に解析するという方法論のもと、スリム円盤モデルを超えた、いくつかの観測的特徴を見いだしたところにその意義が見いだされる。

申請者が採用したスペクトルモデルは、光学的に厚い円盤本体からの黒体放射成分(円盤成分)と、そこからの軟 X 線が円盤コロナ等の高温電子による逆コンプトン散乱でエネルギーを獲得して硬 X 線となった成分(コンプトン成分)とからなる、二成分モデルである。このモデルにより、円盤本体が、高光度になるにしたいが、どのように構造変化するかを調べることができる。申請者はまず、ブラックホール質量が定まり、銀河系内でほとんど唯一、常にエディントン光度近傍で光っていることが確実な天体、マイクロクェーサー GRS1915+105 をとりあげた。そのスペクトルを、上述の二成分モデルによってフィットしていくつか興味深い特徴をみいだした。特に、円盤内縁の温度と円盤成分の比率の間に強い相関があること、また、エディントン光度近傍で、低光度にみられた標準円盤のブランチの延長上にある状態とは別の、新しい状態が現れることを見いだした点は新しく、高く評価できる。今後、さらにデータを集めて、その信頼性を増すことが課題となろう。

次に申請者は、X 線で明るく光るブラックホール天体、超高光度 X 線源 (ULX) を調べた。これはブラックホール質量がよくわかっていない謎の天体である。その X 線スペクトルを上述の二成分モデルでフィットをし、円盤内縁の温度や光度をもとにブラックホール質量を推定したところ、調べた ULX のブラックホールの質量はすべて 40 太陽質量以下であることを見いだした。これは、ULX の中心エンジンは数百～数千太陽質量の質量をもつ中間質量ブラックホールであるという説を棄却し、恒星質量ブラックホールへの超臨界降着流であるとする説をサポートするもので、その天文学研究へのインパクトは大きい。もっとも、最大 40 太陽質量というブラックホールが通常の恒星進化でできるかどうか調べることは、今後の課題である。また申請者は、同じく ULX のスペクトル変動を二成分モデルでフィットし、すべてのデータは低電子温度で光学的に厚いコンプトン成分で説明することができた。これは上述のマイクロクェーサーと同様の結果であり、ULX の超臨界降着流説を別方面から支持する。

以上まとめると、申請者は超臨界降着流の主に観測的研究に従事し、スペクトル解析により、いくつかその特徴を見いだした。その天文学的意義は大きく、分野の関連研究動向に大きな影響を与えうると予想される。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 22 年 1 月 18 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。