

学位審査報告書

（ふりがな） 氏名	かわばた りょうじ 川畑 亮二
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） Accretion Flow and Wind around Compact Objects: Structure, Spectra, and Time Variations （コンパクト天体周りの降着流と円盤風：構造、スペクトルと時間変動）	
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	川畑 亮二
論文題目	Accretion Flow and Wind around Compact Objects: Structure, Spectra, and Time Variations		

(論文内容の要旨)

コンパクト天体のつくる超強重力場に落ち込む降着流は、X線を出す連星系 (X線連星系) や巨大ブラックホールを中心にかまえる活動銀河核など、様々な天体のエネルギー源となっている。申請者は、近年のX線観測で明らかにされた事実に基づき、その降着流構造や放射機構を理論的に明らかにする研究を行った。

本論文は以下の3つのサブテーマからなる。

1. 円盤への質量供給率の変動が生み出す円盤光度変動: 申請者は、円盤に流入するガス量が時間変化した際、降着流の構造がどう時間発展するかを調べた。降着流の時間発展については、リンデンベルとプリングルが1974年に基本的な研究を行っている。彼らは、無限に広がった円盤上のある点に置かれたパルスがどのように時間発展していくかといった理想化された状況を想定し、その解を解析的に求めた。申請者はより現実的な状況、すなわち、円盤が有限の半径をもち、円盤外縁に供給されるガス量が増減する場合の円盤構造の時間発展を、数値的および解析的に調べた。特に質量供給率の周期的な変動がどのように円盤内縁まで伝わっていくかを定量的に詳しく計算した。また得られた結果を解析解あるいはそのフーリエ変換とで比較した。その結果、変動の時間尺度が円盤外側の粘性時間にくらべて短い場合、変動の振幅は非常に強く、すなわち何桁も減衰されることが分かった。このような変動の減衰は低質量X線連星で実際に起こっていると期待される。

2. 高温降着流から噴き出す円盤風の構造: 申請者は、次に質量降着率が小さい場合に現れる放射非効率降着流 (RIAF) から流出する円盤風について調べた。RIAFは高温のためガス圧が高く、その表面からガスが、重力を振り切って遠方に流出することが期待されているが、その定量的な評価はほとんど為されていなかった。その理由として円盤風 (円盤面に垂直方向の流れ) の根元は降着流 (円盤の動径方向の流れ) であることから、円盤風と降着流の二次元構造を同時に解くことが必要となるが、それが解析的に困難であったからである。申請者は、動径方向に自己相似的な構造を仮定することで、円盤風と降着流を鉛直方向の1次元方程式として同時に解き、質量流出率を数値的に求めた。その結果、質量流出率と質量降着率の比は各半径でほぼ1で、質量降着率は半径にほぼ比例して内側ほど急激に減少することが分かった。一方で、銀河系中心ブラックホールのスペクトルフィットからは、そこまで強い質量損失はないことが示されている。この矛盾は、ブラックホールに流れ混むガスの角運動量が小さく、比較的コンパクトな円盤を形成するとすることで回避できることを示した。

3. ロー・ハード状態における円盤モデル: ブラックホールX線連星において比較的低位光度状態で現れる、硬X線成分が卓越した状態 (ロー・ハード状態) において円盤構造はどうなっているのか、諸説あり、長年、結論が出ていなかった。一方で、最近の観測により硬X線の連続成分は2つのベキ成分から成り立っていることが分かった。申請者は、光学的に厚い円盤が光学的に薄い高温のコロナ流に上下を覆われており、ブラックホールに落ちる途中で円盤が途切れ、その内側は移流優勢流となっているモデルを考えた。この降着流系の温度や密度を評価し、放射されるX線スペクトルを計算したところ、硬X線成分に2つのベキができる事が分かった。

またこの硬X線成分は円盤から放射される軟X線成分より強く、ロー・ハード状態のスペクトルを良く再現できることが分かった。さらに、円盤が途切れる半径が増減することで硬X線スペクトルの傾き (ベキ指数) が変化することを示し、それが、観測される反射強度とベキ指数の間の相関関係を再現することも確認した。

以上の3つの研究によって、降着円盤の様々な面からアプローチすることで降着流の理論に対する理解が一層進み、観測結果の再現や予測に活かされる。

(論文審査の結果の要旨)

宇宙をX線で観測すると、ブラックホールをはじめとするコンパクト天体が明るくみえてくる。特に銀河系内にあるX線を出す連星系、X線連星系は極めて明るく光る。コンパクト天体の超強重力場に引き寄せられて高温となったガスがX線放射をしているのである。こうして、X線観測を仔細に調べることにより、コンパクト天体そのものを研究する道が開かれた。この事実は、特にブラックホールにおいて重要である。ブラックホール自体は光を出さないからである。

本論文は申請者が、X線連星系のX線観測で近年明らかにされた事実から、三つの課題をとりあげ、その理論解釈を行った研究の成果が収められている。

1. 申請者はまず、連星が楕円軌道を運動している結果、円盤への質量供給が軌道運動に伴って10倍も変化しているX線連星系に注目した。そのX線光度はわずかだが(1%以下)変動しており、その変動は、降着円盤内での降着率の変化で説明できると言われていた。しかし申請者は、現実のパラメータでは、変動は円盤内で大きく減衰されて必ずしも観測を説明できないことを、解析的および数値的に明晰に示した。同様なことはそれまでも指摘されていたが、それを定量的に、しかもできる限り解析的に導きだした点は高く評価できる。一方で、ラム圧による影響を考えれば、観測を説明可能であることも示唆した点も注目に値する。

2. 申請者は次に、高温降着流からの質量損失を考えた。すなわち、どれだけの量のガスが円盤風として外部に放出可能であるかを、円盤の動径方向と円盤面に垂直方向の2次元モデルで調べた。同様の解析は過去にもあったが、フルに2次元の計算は本論文が始めてであり、その点が新しい。特に、遷音速点という特異点が現れるために解くのが困難な垂直方向の構造を、数値的にきちんと解いて求めたことは、技術的に優れている。もっとも、動径方向に自己相似を仮定しているところにやや不安が残るが、長年の降着流の理論研究でその妥当性がかなり普遍的に示されている。こうして申請者は、降着するガス量のうち、最大半分が外に飛び出し残りがさらに中心へと降着していること、外に飛び出す割合は、エネルギー保存から決して半分以上にはならないことを示した。この結果は、一見、最近の銀河系の中心にあるブラックホールの観測と矛盾するが、そこへのガス降着流のもつ状態を考えることで、矛盾は回避できることを示した点を示している。

3. 最後に申請者は、ブラックホールX線連星の比較的低光度に現れる状態、ロー・ハード状態における円盤構造を考えた。最近のすざく衛星による観測により、硬X線の連続成分は2つのベキ成分から成り立っていることが分かった。これは、二種類の異なる高温ガス成分があることを示唆する。申請者は、円盤コロナ+内側の高温降着流のハイブリッドモデルをたててスペクトル計算をし、みごとに観測スペクトルの基本的特徴を再現することに成功した。このモデルは、また、硬X線成分が軟X線成分に卓越するという観測結果も自然に説明する。同様なモデルの可能性は前から言われていたが、具体的に計算した例はなかった。今回、コンプトン散乱過程を丁寧に計算してスペクトルを計算し、観測結果をみごとに再現した点は新しく、関連分野へのインパクトは大きいと期待できる。

以上の3つの研究によって、X線連星系中の降着円盤にまつわる基本課題の解明に大きく寄与したことは高く評価できる。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。

