

氏 名	たけ うち みつる 竹 内 充
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2036 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 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	THE SHORT- AND LONG-TERM VARIATIONS OF BLACK HOLE ACCRETION DISKS (ブラックホール降着円盤の短・長時間変動) (主査) 論 文 調 査 委 員 助 教 授 嶺 重 慎 教 授 稲 垣 省 五 教 授 大 谷 浩

論 文 内 容 の 要 旨

連星系ブラックホールからの輻射は、秒以下の単位で激しくゆらいでいる（短時間変動）。また数カ月の時間スケールで、円盤のスペクトル状態が大きく変化することも観測されている（長時間変動）。申請者はこの2種類の時間変動を示す円盤モデルを提唱し、計算により観測を再現した。

短時間のゆらぎには、変動のパワースペクトルが $1/f$ 的 (f は振動数) であるという特徴がある。そこで申請者は、臨界特性を持ったセルオートマトンの系が成長していく過程で放出するエネルギーの時系列は、 $1/f$ ノイズ的になるというパークらによるモデルをヒントにして、セルオートマトンでできた降着円盤の時間変動をまず計算した。ただし、降着円盤の性質に鑑みて、不連続のなだれ成分に加えて、連続的な定常流成分を加えた。こうして観測に見られるようなゆらぎの光度曲線が実現され、そのパワースペクトルも $1/f$ 的になることを見いだした。さらに、ショット（光度曲線におけるピーク）の強度値の頻度分布と、大きいショットと小さいショットの発生の様子の違い（小さいショットはランダムに起き、大きいショットは非ランダムに発生すること）についても、モデルと観測の一致をみた。

ついで申請者は、流体の基礎方程式を用いて輻射ゆらぎを再現することを試みた。ゆらぎはローステートにある円盤が示す現象であるため、円盤モデルとして光学的に薄い移流優勢流モデルを用いた。結果円盤上の摂動が中心天体に落ちるとき放たれるX線の光度曲線が、観測に受かったX線ショットの形状と酷似していることを示した。さらに、セルオートマトンモデルのような臨界特性をもつ移流優勢円盤の時間変動を計算し、観測に受かったようなゆらぎの光度曲線、およびパワースペクトルを得ることに成功した。

最後に申請者は、異なる円盤状態間の遷移という問題に取り組んだ。ゆらぎが強いローステートの円盤は光学的に薄い移流優勢円盤で記述されることがわかっている。これに対し、明るく黒体輻射的なスペクトルを示すハイステートの円盤は、光学的に厚い輻射優勢円盤で記述されるものと考えられる。したがって円盤のスペクトル変化はこの2つの円盤のブランチ間を行き来することに相当する。しかし通常の状態では、2つのブランチの物理量があまりにも違い過ぎてしまい、2つのブランチ間遷移を実現することは不可能である。ところが申請者は、円盤の粘性パラメータが大きくなると、光学的に薄い円盤と厚い円盤の熱平衡曲線がつながることに注目し、粘性パラメータが1の円盤の時間発展を計算し、みごと予想通り光学的に厚い円盤が薄い円盤に遷移することを示した。さらに、粘性パラメータが0.3より大きいときのみこのような遷移が起り、0.3以下のときは、円盤は緩和振動をし、準周期的な時間変動を示すことも確認した。これは、最近見つかったジェットソースGRS1915+105の時間変動のモデルとして有効である。

論文審査の結果の要旨

ブラックホールはそれ自体輻射を出さない故、単独ブラックホールを観測することはほとんど不可能である。しかしながら、ブラックホールがガスの中に埋もれている場合、そのガスがブラックホールに落ち込む（降着する）際に高温となりX線などの高エネルギー輻射などを放射するので、観測することができる。こうしてブラックホールの観測は、X線天文学の発展とともに進んできた。このX線天文学始まって以来の大きな謎が、はくちょう座X1星などにみられる数十ミリ秒単位の激しい短時間変動と、ソフト（あるいはハイ）ステートおよびハード（あるいはロー）ステートと呼ばれるスペクトル状態の遷移である。本研究はこれらの大問題に、最新の時間依存性をもった降着円盤モデルの立場から切り込みをいれる、画期的な研究成果である。

激しい輻射ゆらぎのモデルをたてるため、申請者は変動のパワースペクトルが $1/f$ 的であることの意味を考えた。このような $1/f$ ゆらぎは、自然界至るところで見られる現象である。申請者は $1/f$ ゆらぎのモデルとして、最近非線形物理の分野で注目されている自己組織化臨界に注目し、これをブラックホール系に応用し、一連のセルオートマトンシミュレーションにより、みごと観測の光度曲線やパワースペクトルを実現することに成功した。

もしこのモデルが正しければ、光度曲線におけるピーク値はべき型分布を示し、またピークの発生時間分布はランダム分布からずれることが予想される。申請者はこの予想をシミュレーションで定量的に確認し、さらにX線データの中にまさに予想された分布が現れていることを発見し、予想の正しさを実証した。さらに申請者は、セルオートマトンではなく流体力学に立脚した円盤モデルにおいても、同様の結果を生み出すことに成功した。このように卓越した物理直感力をもって、従来の解析方法にとらわれずに新しい見方を確立していく手法は、本研究の大きな特徴である。

ハード・ソフト状態間の遷移という問題にも申請者は、新たな視点をもって取り組んだ。円盤はハードステートでは光学的に薄い移流優勢状態に、ハイステートでは黒体輻射的なスペクトルを示す光学的に厚い標準円盤状態に、それぞれ対応すると考えられる。しかしながら、両者の間の遷移の可能性については、未だかつて誰も考えたことがなかった。申請者は、実際に円盤の時間発展を計算し、光学的に厚い円盤が薄い円盤に遷移するようすを、世界で初めて再現した。このような世界を先取りするような新しい発想は、高く評価されるべきもので、また当該分野の研究に対する貢献は誠に大きいといえる。よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。なお、本論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について口頭試問を行った結果、合格と認めた。