

論文審査の結果の要旨

氏名 青木 成一郎

本論文は、活動銀河核 (AGN) やマイクロクェーサーという、その中心部から相対論的速度のジェットを放出している天体を対象とし、AGN のジェットの加速機構を論じた章と、マイクロクェーサーで観測されている振動現象の機構を論じた章とから構成されている。

AGN とマイクロクェーサーは、規模は大きく異なるものの、ともに、その中心部にブラックホールと降着円盤の系が存在し、そこから相対論的速度のジェットを放出していると想定されている。本論文は、AGN とマイクロクェーサーで観測されているいくつかの特徴的現象を再現するシミュレーションを行なうことにより、ブラックホールと降着円盤の系における重要な物理過程を解明することを試みている。

本論文の提出者は、まず第2章で、AGN でのジェットの加速機構の解明を行なった。AGN で観測されているジェットは、ローレンツ因子が10程度にまで達している。その加速とコリメーションの機構は、まだ明確になっていないが、磁場の効果が有力視されている。また、ブラックホール周辺での加速には、一般相対論的效果が重要となる。従って、論文提出者は、一般相対論的電磁流体力学を用いた数値シミュレーションにより、このようなジェットの加速機構の研究を行なった。従来の同様なシミュレーションは、ジェットは磁場の力により加速されるジェットとガス圧により加速されるジェットの2層構造となっていること、後者のジェットの方がより高速に加速され、そのローレンツ因子が3程度に到達することを示していた。しかしながら、AGN から放出されるジェットの典型的ローレンツ因子10と比べて小さいという問題があった。

そこで、論文提出者は、ジェットの加速のパラメータ依存性を調べることにより、AGN で観測されているような高速ジェットが実現する条件を調べた。申請者は、初期に、シュワルツシルド・ブラックホールの周りでケプラー回転する幾何学的に薄い円盤と、円盤を貫く一様な磁場、及びブラックホールの周りに存在する静水圧平衡のコロナを仮定して、2次元の一般相対論的電磁流体力学シミュレーションを行った。そして、ジェットの速度が、降着円盤の密度が高いほど大きく、ジェットのローレンツ因子は降着円盤とコロナの密度の比の簡単なスケーリング則で記述できることを見出した。

論文提出者は、上記のようなパラメータ依存性が、ガス圧によるジェットの加速機構によって次のように説明できることを示した。まず、磁場により降着円盤から角運動量が引き抜かれて、円盤のガスがブラックホールへ向かって落下し、落下速度が磁気音速を超える。一方、ケプラー運動に必要な角運動量はブラックホールに近いほど小さいため、円盤ガスは遠心力によりブラックホール近傍で急激に減速される。その結果、超音速で落下する流れの中で衝

撃波が生成する。この衝撃波によって増大したガス圧によりジェットが加速され、その加速の程度は降着円盤のガス圧が高いほど大きくなる。ジェットは磁場の力によりコリメートされる。このようにして論文提出者は、降着円盤とコロナの密度の比が 10,000 程度の場合であれば、AGN のジェットの典型的ローレンツ因子 10 が実現され得ることを示すことができた。

次に、論文提出者は、マイクロクェーサーから放射される X 線の準周期的振動に着目した。論文提出者は、回転しているカー・ブラックホールの周りの時空を用いた 1 次元一般相対論的流体力学による数値シミュレーションを行ない、円盤からブラックホールへ向かって伝播する準周期的衝撃波を発見した。ブラックホールの周りの降着円盤では、一般相対論的効果によりエピサイクリック振動数に上限が存在するため、円盤の外側で発生した音波のうち、この上限値以上の振動数を持つ音波のみがブラックホールへ到達可能となる。この音波が衝撃波に成長することにより、準周期的衝撃波が生成されるのである。このような降着円盤の準周期的振動モデルによって、論文提出者は、マイクロクェーサーの X 線の準周期的振動を説明することに成功した。

以上、本論文は、一般相対論的電磁流体力学を用いた数値シミュレーションにより、AGN とマイクロクェーサーにおけるジェットの加速機構と円盤の振動現象の新たな理論的モデルの構築に成功し、ブラックホールと降着円盤の系の物理過程の解明を飛躍的に前進させたものとして、高く評価できる。

なお、本論文は、柴田一成、小出真路、工藤哲洋、中山薫二との共同研究であるが、論文提出者が大部分のシミュレーションと解析を行っており、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。