

宇宙ジェットと準周期的振動の一般相対論的電磁流体力学シミュレーション (博士論文)

学位論文として以下の2つのテーマについて研究を行いました。

1. ブラックホール磁気圏で生成される一般相対論的電磁流体力学ジェット

本研究の目的は、活動銀河核から噴出する相対論的ジェットを再現するための条件を見つけることです。ブラックホール磁気圏から噴出するジェットの一般相対論的電磁流体力学 (GRMHD) 非定常シミュレーションには、小出ら (1998 年) が世界で最初に成功し、ローレンツ因子で 3 程度のジェットを再現しました。しかし、活動銀河核から噴出するジェットの典型的なローレンツ因子 (~ 10) には達しておらず、また、速いジェットを得る条件は調べられておりません。そこでこの条件を見つけるため、GRMHD シミュレーションを用いてジェットの性質を調べました。数値計算は、2 次元軸対称 GRMHD 非定常コードを用いて行い、初期条件として、回転していないブラックホールの周りに幾何学的に薄い降着円盤を置き、一様磁場を仮定し、ブラックホールの周りに静水圧平衡のコロナを置きました。その結果、ジェットの速度の最大ローレンツ因子 (Γ_{jet}) が、降着円盤とコロナの密度比 (ρ_d/ρ_c) 及びプラズマ β ($\equiv$ ガス圧/磁気圧) に対して、 $\Gamma_{\text{jet}}^2 - \Gamma_{\text{jet}} \propto (\rho_d/\rho_c)^{1.23} \beta^{-0.75}$ の依存性を示すことを発見しました。さらにこの依存性から、活動銀河核から噴出するジェットのローレンツ因子の再現には、 $\rho_d/\rho_c \sim 10^4$ の条件が必要であると見積もりました。

2. ブラックホール近傍での内向きの衝撃波により駆動される準周期的振動

本研究は、マイクロクエーサーの X 線強度の時間変動における準周期的振動のメカニズムを解明し、新しいモデルの構築することを目的としています。我々はマイクロクエーサーにおける準周期的振動、とりわけ高振動成分 (100 Hz のオーダー) に着目しました。マイクロクエーサーの中心天体はブラックホールと想定されており、この振動現象はその周りの降着円盤が起源である可能性が高いと考えられます。この考えに基づいて 1 次元軸対称一般相対論的流体力学を用いた非定常数値シミュレーションを行い、準周期的振動現象のメカニズムを調べました。数値計算における初期条件として、回転するブラックホールの周りに粘性を持たない降着円盤を置き、この円盤をケプラー速度より小さい速度で回転させました。その結果、降着円盤からブラックホールへ向かって準周期的に衝撃波が伝播し、その頻度は円盤におけるエピサイクリック振動数の最大値と同程度となることを発見しました。この衝撃波生成の周期性は、降着円盤でエピサイクリック振動数分布が有限で非一様であるために生じるのであり、一般相対論的扱い特有の現象です。また、この衝撃波生成の条件は、降着円盤が非定常であることのみであり、簡単に満たし得ることが大きな特徴です。この準周期的衝撃波をマイクロクエーサーにおける高振動数準周期的振動へと適用した結果、マイクロクエーサーである、GRS 1915+105 及び GRO J1655-40 の、中心のブラックホールのスピンパラメータをそれぞれ、 $a = 0.345 \pm 0.345$ 及び $a = 0.895 \pm 0.105$ と見積もりました (青木ら 2004 年)。

参考文献

- Aoki, S. I. 2003, Ph.D.thesis, Univ. of Tokyo
Aoki, S. I., Koide, S., Kudoh, T., Nakayama, K., & Shibata, K. 2004, ApJ, 610, 897
Koide, S., Kudoh, T., & Shibata, K. 1998, ApJ, 495, L63

(青木 成一郎 記)