

一般相対論的輻射磁気流体計算によるブラックホール降着円盤およびアウトフローの研究

General relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations of black hole accretion flows and outflows

朝比奈雄太

筑波大学 計算科学研究センター

1. 研究目的

X 線連星や活動銀河核など、コンパクトな高エネルギー天体のエネルギー源は、ブラックホールとそれを取り巻く降着円盤であると考えられている。本研究の目的は一般相対論的輻射磁気流体力学コード UWABAMI・INAZUMA を用いたシミュレーションを実施し、降着円盤の構造や、ジェットや円盤風の駆動メカニズム及び構造を明らかにすることである。今年度は特に、

- (1) 強磁場状態のブラックホール降着円盤のブラックホールスピン依存性の解明
- (2) 中性子星周囲の降着構造の解明とブラックホール降着流との比較
- (3) 歳差運動するブラックホール降着円盤、ジェット、円盤風、光度変動の解明
- (4) 計算コードの GPU 最適化

を目標とした。

2. 研究成果の内容

- (1) 強磁場状態のブラックホール降着円盤のブラックホールスピン依存性の解明

様々なスピンパラメータのブラックホールに対して、強磁場状態の降着円盤シミュレーションを実施した。スピンパラメータが大きいほど一般相対論的な効果により、磁場を介したブラックホールからの角運動量の引き抜きの効果が大きくなることを示した。

- (2) 中性子星周囲の降着構造の解明とブラックホール降着流との比較

中性子星への超臨界降着の二次元計算によって、実際に観測されている超高輝度 X 線源の観測されている熱放射を再現できることを示した。また、ガス噴出現象が中性子星への超臨界降着で説明可能であることを示した。

- (3) 歳差運動するブラックホール降着円盤、ジェット、円盤風、光度変動の解明

ブラックホールの自転軸から傾いたトーラスを初期条件として、歳差運動する降着円盤シミュレーションの計算を実施した。その結果、降着円盤の回転軸方向にジェットと輻射エネルギーが噴出することを示した。また、ジェットと輻射エネルギーの噴出方向が降着円盤と共に歳差運動することを明らかにした。

- (4) 計算コードの GPU 最適化

筑波大学計算科学研究センターの小林諒平助教とともに Pegasus を用いて UWABAMI の CUDA 化を実施した。概ね CUDA 化は終了しており、並列化効率の改善を実施中である。

3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

本プロジェクトで実施した一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションは、必要メモリにおいても計算時間においても小規模クラスタでは実行不可能であり、本プログラムによる大規模計算が不可欠であった。特に歳差運動する降着円盤の計算では 3 次元計算が前提であることに加え、歳差周期が長いため長時間計算も必要であるため、本プログラムによる計算が必須であった。

4. 今後の展望

超臨界中性子星降着の 3 次元一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションを実施し、結果を観測と比較することで超臨界中性子星降着モデルの妥当性を検証する。また、中性子星の自転軸と磁軸が一致しない計算を実施し、軸の不一致による影響を調べる。歳差運動する降着円盤のさらなる長時間計算を実施することで光度変動の周期性について詳細に調べる。また、傾き角によって歳差運動する降着円盤、ジェット、円盤風などがどのように変化するかを調べる。CUDA による計算コードの GPU 化は概ね終わったが、並列化効率が 44%と低いため、並列化効率の改善と GPU によるブラックホール降着円盤計算のパラメータサーベイを実施する。

5. 成果発表

学際共同利用成果リストとして別途提出の通り

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus				
Pegasus	○	1,500		0
Wisteria/BDEC-01	○	200,000		0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				