

ボルツマン方程式を解く超臨界降着流の GR-RMHD シミュレーション

ヨシ

GR-RMHD simulations of supercritical accretion flows based on solving Boltzmann equation

朝比奈雄太

筑波大学計算科学研究センター

1. 研究目的

本研究の目的はコンパクト天体から噴出するアウトフローである宇宙ジェット形成条件及びブラックホール近傍に形成される降着円盤の構造を一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションによって明らかにすることである。また、先行研究の多くは輻射輸送を近似解法を用いて解いているため、光学的に薄い領域で信頼性が低下してしまう。この問題を解決するために我々が開発してきた輻射のボルツマン方程式を解く一般相対論的輻射磁気流体コード INAZUMA と従来の近似解法との比較を行い、計算コードによる依存性を調べる。

2. 研究成果の内容

輻射輸送をより正確に解くことのできる、輻射のボルツマン方程式を解く解法を実装した一般相対論的磁気流体コード INAZUMA を用いてブラックホール降着流のシミュレーションを実施した。初期トーラスの密度を変えることで様々な質量降着率の計算を実施し、質量降着率依存性を調べた。また、ブラックホールのスピンパラメータを変えた計算に着手した。質量降着率の低いモデルでは磁場によってアウトフローが駆動され、質量降着率が高いモデルでは輻射がアウトフローを駆動していることを示すことができた。また、INAZUMA と近似解法である M1 法を比較した結果、流体の空間分布や質量降着率に対する輻射光度、運動エネルギー噴出率などに大きな違いは現れなかった。しかし、輻射場の分布は光学的に薄い領域である降着円盤の回転軸付近で異なる結果を得ることができた。この違いは INAZUMA では M1 法で起きてしまう輻射の非物理的な衝突を抑制することができたためであると考えられる。さらにブラックホールのスピンパラメータを変化させた計算にも着手した。

3. 学際共同利用が果たした役割と意義

本研究では輻射輸送方程式を解くことで輻射輸送を従来法よりも正確に求めている。輻射輸送方程式は振動数について積分しているので、光子の進行方向 2 次元分が従来

法より計算コストが高くなる。そのような状況で質量降着率についてパラメータサーベイを実施するためには、高い演算性能を持つ OFP の使用が必須であり、学際共同利用が果たした役割は大きい。

4. 今後の展望

本研究では主に質量降着率依存性について調べてきた。ブラックホールのスピンパラメータについては $a=0, 0.7$ のモデルのみであるので更にパラメータサーベイを実施し、スピンパラメータ依存性についても明らかにしていく。

5. 成果発表

(1) 学術論文

- ① Y. Asahina, H. R. Takahashi, and K. Ohsuga. “A Numerical Scheme for General Relativistic Radiation Magnetohydrodynamics Based on Solving a Grid-based Boltzmann Equation”. *ApJ* 901.2 (Sept. 2020), p. 96.

(2) 学会発表

- ① Y. Asahina, H. R. Takahashi, and K. Ohsuga. “GR-RMHD simulations of black hole accretion flows”. 12th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (virtual meeting, Oct. 6, 2020).
- ② Y. Asahina, H. R. Takahashi, and K. Ohsuga. “GRRMHD simulations of black hole accretion flows solving Boltzmann equation”. Black Hole Astrophysics with VLBI: Multi-Wavelength and Multi-Messenger Era (virtual meeting, Jan. 18–20, 2021)
- ③ 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. “輻射輸送方程式を解く一般相対論的輻射磁気流体コード INAZUMA によるブラックホール降着流計算”. 第 33 回 理論懇シンポジウム(オンライン開催).
- ④ 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. “一般相対論的輻射磁気流体コード INAZUMA を用いたブラックホール降着流シミュレーション”. CfCA ユーザーミーティング(オンライン開催).
- ⑤ 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. “GR-RMHD コード INAZUMA によるブラックホール降着流シミュレーション”. ブラックホール降着流ミニ研究報告会(オンライン開催).
- ⑥ 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. “一般相対論的輻射磁気流体コード INAZUMA によるブラックホール降着流シミュレーション”. 多波長・時間軸天文学の時代の FORCE~広帯域 X 線で迫るコンパクト天体の世界~(オンライン開催).

- ⑦ 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. “輻射輸送方程式を解く GR-RMHD コード INAZUMA によるブラックホール降着流シミュレーション”. 日本天文学会 2021 年春季年会(オンライン開催).
- ⑧ 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. “ブラックホール降着流の一般相対論的輻射磁気流体計算:質量降着率依存性”. 日本天文学会秋季年会(弘前大学, オンライン開催).

(3) その他

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	50,000	50,000
※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。			