

# ボルツマン方程式を解く超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体

## シミュレーション

### General relativistic radiation magnetohydrodynamic simulations of supercritical accretion flows solving Boltzmann equation

朝比奈雄太

筑波大学 計算科学研究センター

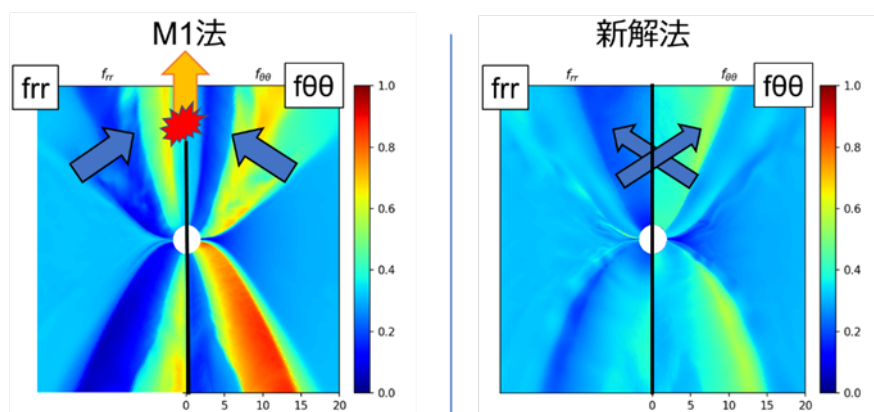
#### 1. 研究目的

宇宙ジェットの形成機構を明らかにするために、長年にわたりブラックホール降着流の計算が実施されてきた。ジェットの加速には輻射圧、収束には磁場が重要な役割を果たしていると考えられており、ブラックホール近傍の現象であるため一般相対論的な効果も無視できない。そこで、ジェットの形成機構の解明には一般相対論的輻射磁気流体(GR-RMHD)計算を実施する必要がある。現在は、計算コストを低く抑えるために、輻射輸送を近似的に解く Flux Limited Diffusion (FLD)法や1次モーメント(M1)法を用いた GR-RMHD 計算が主流となっているが、このような近似手法では光の交差や光学的に薄い領域での輻射場を正しく取り扱うことができない。

そこで我々は、より正確に輻射を扱うために、ボルツマン方程式を解くことで得られた輻射強度から Eddington tensor を求める、いわゆる Variable Eddington 法を用いた GR-RMHD コードを開発した。このコードを用いた GR-RMHD シミュレーションを実施することで、より正確なブラックホール降着流の構造や、アウトフローの形成過程を明らかにすることを目的としている。また、輻射輸送の計算法への依存性も明らかにする。

#### 2. 研究成果の内容

ボルツマン方程式を解く超臨界降着流の GR-RMHD シミュレーションを実施した。次ページの左図は M1 法の結果、右図は新解法の結果を表している。それぞれ、左に Eddington tensor の  $rr$  成分、右に  $\theta\theta$  成分を表している。光学的に厚い領域では両者の手法に大きな違いはないが、光学的に薄い回転軸周囲の領域で違いが現れている。M1 法では回転軸付近のエディントンテンソルの  $rr$  成分が高くなっており、これは降着流からの輻射が回転軸付近で非物理的な衝突を起こし、輻射の伝播方向が動径方向に曲げられたためだと考えられる。我々の手法ではこのような非物理的な衝突は起きていない。また、初期トーラスの密度を変えた計算も実施しており、輻射輸送の計算法によって質量降着率が最大で 10 倍程度変化することを示した。このように輻射輸送の計算法の違いによって、降着率などに影響を及ぼす可能性がある。



### 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

本研究ではボルツマン方程式を解くことで、ブラックホール近傍の輻射輸送をより正確に解くことができる。しかし、ボルツマン方程式を解く GR-RMHD シミュレーションは、M1 法を用いた GR-RMHD シミュレーションより計算コストが高くなってしまふ。このような計算は学際共同利用プログラムの利用なしでは実現できず、この意義は大きい。

### 4. 今後の展望

超臨界降着流のシミュレーションについて、さらにブラックホールのスピンパラメータ等を変化させた計算を実施することにより、降着率やアウトフローの性質の依存性を明らかにする。また、降着率が臨界降着率程度の降着率の低いモデルについても計算することで、超臨界降着流との違いについても調べていく予定である。

### 5. 成果発表

#### (1) 学術論文

#### (2) 学会発表

- 朝比奈雄太、高橋博之、大須賀健, ”ボルツマン方程式を解く GRRMHD コードの開発と降着円盤への適用”, 「超巨大ブラックホール研究推進連絡会」第6回ワークショップ, 京都大学
- 朝比奈雄太、高橋博之、大須賀健, ”ボルツマン方程式を解く GRRMHD コードの開発と降着円盤への適用”, 銀河系中心部研究会 2019, 名古屋大学
- 朝比奈雄太、高橋博之、大須賀健, ”General relativistic RMHD simulations of accretion flows”, 9th East-Asia School and Workshop on Laboratory, Space, and Astrophysical Plasmas (EASW9), 名古屋大学
- 朝比奈雄太、高橋博之、大須賀健, ”超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション”, 日本天文学会 2019 年秋季年会, 熊本大学
- 朝比奈雄太、高橋博之、大須賀健, ”General relativistic radiation MHD simulations of supercritical accretion flows”, 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary

Computational Sciences, つくば国際会議場エポカルつくば

- 朝比奈雄太、高橋博之、大須賀健, ” Development of a general relativistic radiation magnetohydrodynamical code based on solving the Boltzmann equation”, The cosmos at high energies: exploring extreme physics through novel instrumentation, 東京大学
- 朝比奈雄太、高橋博之、大須賀健, ” ボルツマン方程式を解く超臨界降着流の一般相対論的 MHD シミュレーション”, 日本天文学会 2020 年春季年会, 筑波大学

(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	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。			