

「順回転、逆回転ブラックホールをもつ超臨界降着円盤の
一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション」

内海碧人(筑波大学)

利用カテゴリ XC-Trial

ブラックホール(BH)の潮汐力によって破壊された星の残骸が超臨界降着円盤を形成する場合がある。このとき、急激な降着により突発的な輻射が発生するため、暗く見えなかった天体がASAS-SNなどの望遠鏡やSwift XRT等のX線観測衛星によって観測されている。この現象において、近年では一般相対論的磁気計算を用いた降着円盤の回転とBHスピンの向きが揃った場合(順回転BH)の研究が多く行われてきた。しかし、潮汐力破壊される天体がBHへ向かってくる向きは決まっておらず、BHの自転に対して星の残骸が逆回転に降着する可能性もある。BHスピンにより最内安定軌道半径や磁場のねじられ方が変わるため、降着円盤の回転とBHスピンの向きが反対の場合(逆回転BH)含めたBHスピン依存性の調査を行う必要がある。これまで、逆回転BHについて言及された論文はなく、順回転BHについても僅か数例の計算しか行われていない。本研究では、これらの問題解決するため一般相対論的輻射磁気流体(GRRMHD)計算(Takahashi et al. 2016で既開発済み)を用い、超臨界降着円盤の逆回転まで含めたBHスピン依存性を調査した。

■数値計算

将来的に空間3次元のGRRMHD計算を行うことを前提に、まずは2次元軸対称を仮定し計算を行った。BHスピンのパラメータ a は”順回転”, ”無回転”, ”逆回転”とし、12段階に変化させる。具体的には $a = -0.9, -0.7, -0.5, -0.3, -0.1, 0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8, 0.9$ であり、負の符号は逆回転を意味している。

降着円盤の再現はTakahashi et al. 2018 と同じ初期条件を採用する(図1)。空間分解能に関しても先行研究と同等とする。低分解能での計算を試験的に行ったが、低解像度では先行研究の結果をうまく再現できないことがわかったからである。

■BHスピン依存性

1. 質量降着率は、逆回転が最も大きく、基本的に順回転の方が小さい傾向が得られた(最大順回転の場合だけは例外)。これは最内安定軌道半径の違いによって理解できる。最内安定軌道半径より内側の領域ではガスの落下速度が上昇するが、逆回転BHほど最内安定軌道半径は大きいため加速される距離が長く、BHへの落下速度が大きくなる。これにより、質量降着率が上昇するのである。(図2)
2. エネルギーの変換効率(開放されるエネルギーと降着ガスの質量エネルギーの比)は順回転の場合が最大で無回転の場合が最小となることがわかった。また、主たるエネ

ルギー解放機構は、回転BHの場合がジェットの運動エネルギー、無回転BHの場合が放射であることがわかった。回転BHで運動エネルギーが卓越する理由としては Blandford Znajek 効果 (BH の回転エネルギーを抽出する機構) が考えられるため、現在詳細な調査を進めている。(図3)

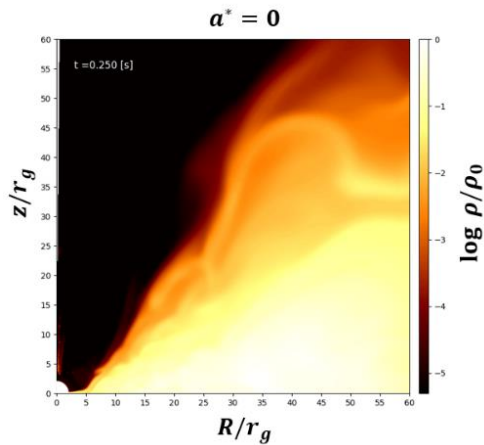


図 1. GRRMHD 計算によって再現された超臨界降着円盤。コントアは密度分布を表しており、 r_g は重力半径である。

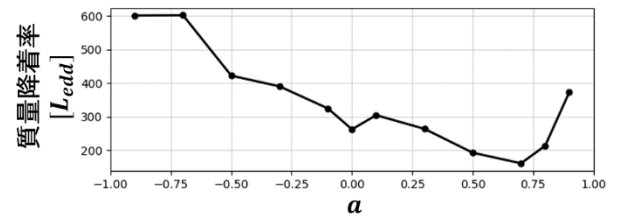


図2. 質量降着率の BH スピン依存性。横軸はスピンパラメータを表す。