

ブラックホールスピンの直接測定: VLBI 観測を想定した落下ガス雲の一般相対論的磁気流体シミュレーション

森山 小太郎 (マサチューセッツ工科大学 ヘイスタック天文台)

利用カテゴリ XC50-B

成果の概要を記入してください。必要に応じてページを加えても構いませんが、pdf のファイルサイズの上限は 2MB とします。

Write up your research report in this area. Total file size should be less than 2 MB in PDF format.

ブラックホール近傍という、強重力場内での時空構造の解明は、物理学・天文物理学における一般相対論の直接検証となる。アインシュタイン方程式のブラックホール解は、(電荷を除き) 質量 M_{BH} とスピンパラメーター a_* ($0 \leq a_* \leq 1$) のみでユニークに表される。

スピンはブラックホール近傍の時空幾何学に寄与し、スピンを観測するためにはブラックホール近傍の相対論的效果を厳密に評価する必要がある、容易ではない。

利用者は、Event horizon telescope (EHT) の超長基線干渉計 (VLBI) による超大質量ブラックホール候補天体 (Sgr A* と M87) のごく近傍の直接撮像映像にターゲットを絞り、数値シミュレーションを用いたスピン測定法を提唱している。ブラックホールに間欠的に落下するガス雲からの光度変動を用いたスピン測定法は、ブラックホール近傍の観測によってのみ可能であることから、EHT 計画によるブラックホール近傍の直接撮像を用いた高精度測定が期待されている。

提唱した新スピン測定法の原理的な部分は完成し、観測への適用の準備は整った。本研究目的は、これまで用いてきたガス雲モデルをより現実的なものに一般化することで、提唱したスピン測定法の妥当性を検証し、現実の観測データに適用させることである。本研究期間では、利用者独自のスピン測定法を、現実

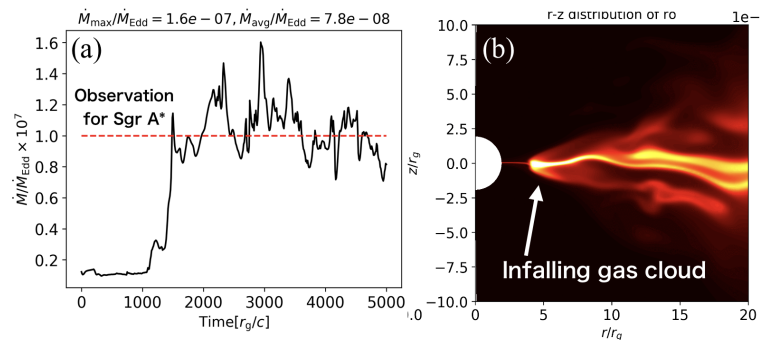


図1: 2次元一般相対論的磁気流体シミュレーションに基づいたブラックホールへの落下ガス雲の探求。ここで r_g は重力半径。

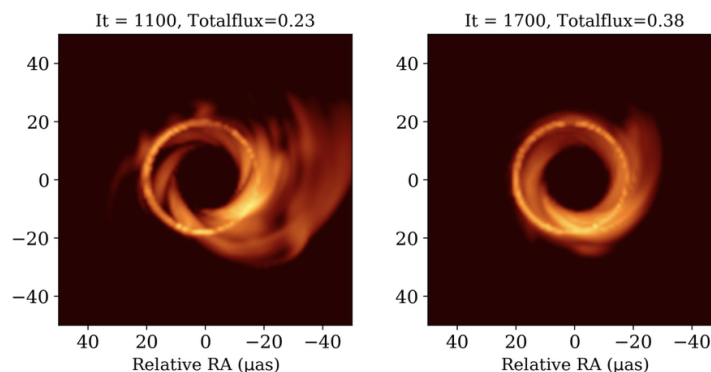


図2: M87を想定した相対論的磁気流体シミュレーションを用いた、ブラックホール近傍の直接撮像シミュレーション。EHTの観測結果と無矛盾の40マイクロ秒角の光子リングを再現している。

的な降着シミュレーションに基づいた VLBI 模擬観測によって検証するための降着流の一般相対論的磁気流体シミュレーションと光度変動の計算コードを作成した。

コードの開発は共同研究者の高橋博之氏によってすでに終了しており、これを用いて行ったブラックホールへの超臨界降着計算の論文や、中性子星に適用した論文も出版されている。具体的には XC50-trial を用いて、回転しないブラックホールにおける 2 次元一般相対論的磁気流体シミュレーションを実行し、超大質量ブラックホールへの降着流の振る舞いを検証した (図 1)。本研究期間では、利用者独自のスピン測定法を、現実的な降着シミュレーションに基づいた VLBI 模擬観測によって検証するための降着流の一般相対論的磁気流体シミュレーションと光度変動の計算コードを作成した。

降着流の質量密度、ガス温度、速度分布は EHT 候補天体を想定した先行文献の振る舞いと無矛盾であり、ブラックホールへのガス雲の降着を確認し、観測データに適合するパラメーターの調査を行なった。また、得られた EHT 観測で注目されている M87 の模擬観測データをもとに一般相対論的レイトレーシングコードを用いた光度変動のシミュレーションコードを開発した (図 2)。計算結果は EHT の観測と同様に光線の回転によって生まれるリング構造を再現していることを確認した。

次の課題として、有限なブラックホールスピンにおける降着流の性質を 2 次元一般相対論的磁気流体シミュレーションにより調査し、観測候補天体と無矛盾な初期パラメータ領域の調査を開始している。そして得られた初期パラメータをもとに、XC50-B を用いて、3 次元シミュレーションを実行し、間欠的に落下するガス雲の運動学的、光学的な性質を検証する。