



輻射輸送および輻射磁気流体計算で探るブラックホール降着・噴出流

天文学およびその関連分野

研究者所属・職名： 計算科学研究センター・教授

ふりがな おおすが けん

氏名：大須賀 健

主な採択課題：

- [基盤研究\(A\)「超大規模計算と超高精度観測で解き明かすブラックホールジェットの駆動機構と多様性」\(2021-2025\)](#)
- [基盤研究\(C\)「輻射磁気流体力学計算と輻射スペクトル計算で解明する超高光度X線源の起源」\(2018-2020\)](#)
- [基盤研究\(C\)「3次元輻射磁気流体力学計算による多種多様なブラックホール噴出流の統合理論の構築」\(2015-2017\)](#)

分野：理論天文学、宇宙物理学

キーワード：ブラックホール、中性子星、降着流、アウトフロー、数値シミュレーション

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？（研究の背景・目的）

ブラックホール天体が示す強力な輻射やガス噴出流（ジェットや円盤風）のエネルギー源は、ブラックホール周囲の降着流であると考えられているが、その構造もエネルギー変換メカニズムもまだよくわかっていない（図1）。これが解決できれば、高エネルギー天体現象はもちろんのこと、ブラックホールの進化過程や母銀河へのフィードバック機構も判明すると期待される。大規模数値シミュレーションを駆使し、ブラックホール降着・噴出流の構造とダイナミクスを解明することが本研究の目的である。

●研究するにあたっての苦労や工夫（研究の手法）

ブラックホール降着・噴出流を現実的に調べるには、輻射磁気流体力学シミュレーションしか手段がない。磁場が角運動量輸送とガス加熱の起源であり、輻射によるエネルギー輸送効率が降着流の形状を決め、ガス噴出流を加速するのは電磁気力および輻射圧だからである。大規模輻射磁気流体力学シミュレーションは未だ黎明期にあるが、独自の計算コードを世界に先駆けて構築し、計算を実行することでブラックホール周囲の構造を調べている。



図1 M87銀河のブラックホールジェット[NASA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)]



輻射輸送および輻射磁気流体計算で探るブラックホール降着・噴出流

天文学およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

世界最先端の大規模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、ブラックホール周囲の降着円盤とジェットとの再現に成功した(図2)。ブラックホールの周囲に構築される降着円盤は、内部で生じる大量の光の圧力によって幾何学的に厚くなる。同時に強力な光の圧力が円盤表面のガスを吹き飛ばし、円盤の鉛直方向に細く伸びるジェットを作り出す。ジェットの速度は光の速度の数十パーセントに達する。この結果は、超高輝度X線源が超臨界降着流で説明可能であることを示したものであり、また銀河中心の超巨大ブラックホールが、ガスの吸い込みによって成長可能であることを実証したものである。

また、ジェットとは別に、大きな開口角を持つ円盤風が発生することもわかった。この円盤風はラインフォースと呼ばれる輻射力やコンプトン加熱等に起因するガス圧で加速される。このモデルは、一部の活動銀河核やX線連星で観測される青方偏移した金属の吸収線の起源を説明することに成功した。

さらに、数値流体シミュレーションの結果をもとにした一般相対論的輻射輸送計算により、イベントホライズンテレスコープによって撮像されたM87銀河の超巨大ブラックホールのスピンパラメータが比較的大きいことを示した。加えて、将来的に円偏光の観測を行うことで、ブラックホール周囲の磁場構造を解明できることを示した。

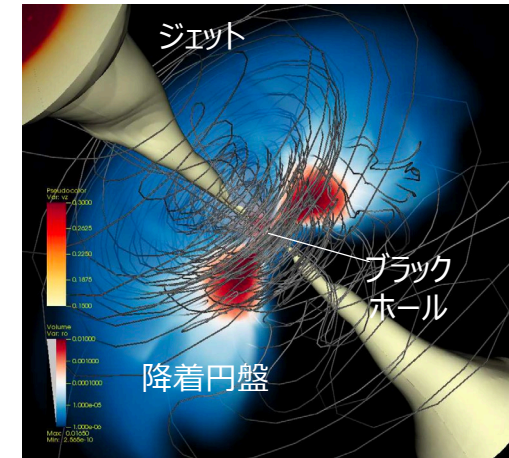


図2 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションで再現したブラックホール降着円盤とジェット(Takahashi, Ohsuga, et al. 2016)

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

ブラックホール天体の多様性、およびその起源を解明することが今後の計画である。ブラックホール天体の輻射スペクトル、ジェットの速度やパワーは天体によって大きく異なる。こうした多様性はブラックホール質量、ブラックホールスピン、そして降着率の違いによって生み出されている可能性が高い。そこで大規模数値シミュレーションで質量、スピン、降着率の依存性を徹底的に調べ、電波やX線等による最新の観測データと直接比較する。理論と観測の融合により、ブラックホール天体の多様性とその起源を解明するのである。