

国立天文台天文シミュレーションプロジェクト成果報告書

ブラックホール降着流における状態遷移の理論シミュレーション研究

小田 寛（宇宙航空研究開発機構）

利用カテゴリ XT4B・汎用PC

銀河系内ブラックホール候補天体、超光度X線源、活動銀河中心核などのブラックホールの周りには回転しながら落下するガス(降着円盤/降着流)が存在し、これらの系の様々な活動性の起源となる。またそこからの輻射や高速ガス噴出流(宇宙ジェット)は星間ガス、銀河、銀河団など周囲の系の進化にも影響を及ぼす。これらの系では規模や進化の時間スケールが異なるものの根底にある物理過程には共通する部分が多く、従ってブラックホール降着流の物理機構を解明する事は理論天文学最大の課題のひとつである。本研究では銀河系内ブラックホール降着流に焦点を当て理論および数値シミュレーション研究を行い、特に未解明の部分が多いガス降着率が高く光度が明るい状態の物理機構に関して詳しく調べた。

銀河系内ブラックホールの増光フェイズではX線スペクトルは、Cutoff Power-Law成分が支配的な暗いハード状態から黒体放射成分が支配的な明るいソフト状態へ遷移する(Hard-to-Soft遷移)。これは光学的に薄く高温な放射非効率降着流(RIAF; Narayan and Yi 1995)が質量降着率上昇に伴う輻射冷却率の増加により鉛直方向に収縮し、光学的に厚く低温な標準円盤(Shakura and Sunyaev 1973)に遷移することで説明される。ところが近年、暗いハード状態の後、明るいハード状態へ遷移し、高速ジェットを噴出した後、非常に明るい状態 (Very High/Steep Power-Law状態)を経て明るいソフト状態へ遷移するという事例が幾つか報告されている。この明るいハード状態は Machida et al. (2006)の三次元磁気流体シミュレーションで示された磁気圧優勢円盤である可能性が指摘されている。私はこの三次元シミュレーションの結果を基に一次 元定常モデルを構築し、磁気圧優勢円盤の構造や力学的性質、熱的安定性等を調べ、またシミュレーションでは困難な光学的に厚い降着流や二温度プラズマへの拡張を行い、さらに放射スペクトルを計算した。その結果磁気圧優勢円盤は明るいハード状態を説明可能である事が解った。これらの計算の一部には CfCAの計算サーバー(汎用PC)および解析サーバーを用いた。現在論文を執筆中である。

しかし降着流の収縮過程、それに伴う磁場増幅、磁気エネルギー蓄積・解放過程は充分には検証されておらず、またそこからの高速ジェット噴出過程はよく解っていない。

RIAFL内では周期的に方位角磁場が反転し、降着流内の正味の磁束量が大きく時間変動する現象が報告されている。降着流内の磁束量は収縮による磁場増幅・ 磁気エネルギー蓄積に大きく関与するため、高速ジェットのパワーにも影響すると考えられる。また降着流収縮後、外側の領域では磁気圧優勢円盤が形成される が、ブラックホール近傍の領域では RIAF が残存し、方位角磁

場の反転現象が続いている。この反転磁場と磁気圧優勢円盤の磁場が接触することで磁気リコネクションによる爆発現象が起こる事が、共同 研究を行っている千葉大学のグループ(松元亮治教授、小野、朝比奈ら)によって示された。この段階では蓄積された磁気エネルギーおよび爆発エネルギーが小さいため高速ジェット噴出に至っていない。一方、私の一次元定常解によると質量降着率増加に伴い磁気圧優勢円盤がよりブラックホール近傍まで進入し、蓄積される磁気エネルギーも増加する事が示唆されている。そこで降着流全体を計算領域に含めた大局的な三次元磁気流体シミュレーションにより、質量降着率の上 昇・放射冷却率の増加に伴う降着流の収縮、それによる磁気エネルギーの蓄積過程、磁気エネルギー解放による高速ジェット噴出過程を解明することを目的とし、そのコード開発・改良、予備的な計算を実施した。昨年度採用されていたカテゴリおよび新システムで採用されているカテゴリでは、開発中のコードを用いた三次元計算の場合予備的なテスト問題程度しか実施できないが、今後XC-Aに申請予定であり、採択後に本計算を実施するを期待している。