

天体ガス円盤における磁気流体现象の 3 次元数値実験

松元亮治 (千葉大学)

利用カテゴリ XT4B

大学院生の小川崇之との共同研究により、HLLD 法に基づく円筒座標系 3 次元の磁気流体コードを XT4 に実装してテスト計算を実施し、輻射流体・輻射磁気流体コードの実装作業も進めた。また、川島朋尚との共同研究により、シミュレーション結果から輻射スペクトルを求める解析ツールを作成した。

1. HLLD 法に基づく円筒座標系 3 次元磁気流体コードの実装

Miyoshi and Kusano (2005) によって提案された HLLD 法に基づく円筒座標系 3 次元磁気流体コードの実装とテスト計算を実施した。昨年度作成した $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ を保つ CT 法と HLLD 法を組み合わせた解法に加えて、 $\nabla \cdot \mathbf{B}$ の誤差を移流・拡散する方程式を解くことによって誤差を減少させる divergence cleaning 法に基づく円筒座標系の 3 次元散逸性磁気流体コードを新たに XT4 に実装し、初期に方位角方向または鉛直方向の磁場に貫かれた回転ガストラスの時間発展を追跡した。その結果、町田真美らによって実施されてきた降着円盤の大局的 3 次元磁気流体シミュレーション結果を再現することができた (小川崇之の成果報告参照)。このコードのスカラー・並列性能をさらに高め、1024 コア以上を用いた場合でもコア数に比例する性能が得られるようにチューニングを行っている。輻射や自己重力を含まない場合には陽的な差分法が適用できるため並列度を高める上での困難はない。チューニングを完了させた上で、従来よりも高い解像度の計算を実施し、磁場の強さ、角運動量輸送率等のメッシュサイズへの依存性等を明らかにしていく予定である。

2. 輻射磁気流体コードの実装

小川崇之、大須賀健らと共同で、HLLD 法に基づく磁気流体シミュレーションエンジンに輻射との相互作用項を加え、流束制限拡散 (Flux Limited Diffusion: FLD) 近似を適用して輻射エネルギー密度の時間発展を解く輻射磁気流体コードの実装を進めた。輻射輸送方程式の 1 次のモーメント式を用いて輻射流束の時間発展を計算する M1 スキームに基づく輻射磁気流体コードの作成にも着手した。また、廣瀬重信らとの共同研究により、輻射のタイムスケールが力学的タイムスケールより短く、陰的な差分法を適用する必要がある場合に輻射拡散と輻射・ガス相互作用を同時に解くモジュールの効率を高める作業を実施した。

3. 輻射流体シミュレーション結果の解析

輻射流体シミュレーション結果の密度、温度、速度分布のデータを用いて 3 次元空間内での光子輸送をモンテカルロ法を用いて計算し、輻射スペクトルを求めるモジュールを作成・実装した。この解析ツールを降着率がエディントン降着率を超える超臨界降着流の軸対称輻射流体シミュレーション結果に適用して輻射スペクトルを求めた結果、従来のスリム円盤モデルにくらべてスペクトルがハードになることが示され、系外銀河中で続々と発見されている超光度 X 線源 (ULX) のスペクトルを再現することができた (川島朋尚の成果報告参照)。