

論文内容の要旨

論文題目: MHD Simulations of Astrophysical Jets - Acceleration Mechanism, Stability, and New Code Development -
(宇宙ジェットの磁気流体力学シミュレーション - 加速機構、安定性、新しいコードの作成 -)

氏名 加藤 精一

宇宙ジェットは、原始星・近接連星系・活動銀河核等で観測される普遍的な天体現象の1つである。これらの天体におけるジェットはスケールこそ異なるが、共通な観測的特徴をまとめると次のようになる。

- ジェットの速度は中心天体の脱出速度程度
- 非常に遠方まで細く絞られた構造を保っている (コリメーション, 原始星ジェットでは数 pc, 活動銀河核ジェットでは数 kpc の長さになる)
- ジェットに沿ってこぶ状の構造 (knot 構造) が光学, 電波観測によって見つかっている。

これらのジェットの根本には降着円盤があると考えられているが, ジェットがどのように加速されるか, どうして遠方までコリメーションを保てるのかなど, 基本的な問題の答えはわかっていない。

このジェットの加速とコリメーションを同時に説明しうる有力なモデルとして「磁気流体加速モデル」がある。Kudoh, Matsumoto and Shibata (1998) ではこのモデルに基づき, 幾何学的に厚い降着円盤から噴出するジェットについて 2.5 次元軸対称非定常シミュレーションにより, 非定常の質量降着を含む場合においても定常解 (Blandford and Payne 1982) と同様にジェットの噴出点が磁力線に沿った重力と遠心力による有効ポテンシャルによって決定されることがわかった。また, ジェットの速度 (V_{jet}) の初期磁場 ($E_{mg} \propto B^2$) 依存性が

$$\dot{M}_w \propto E_{mg}^{1/2}, \quad V_{jet} \propto \left(\frac{\Omega_F^2 E_{mg}}{\dot{M}_w} \right)^{1/3}$$

ゆえに $V_{jet} \propto E_{mg}^{1/6}$

となることを見出された。ここで, \dot{M}_w は質量放出率, Ω_F は磁力線の角速度である。

2章において, 我々は幾何学的に薄い降着円盤から噴出するジェットについて, Kudoh, Matsumoto and Shibata (1998) と同様にジェットの噴出点を決めている物理が定常理論と同じであるかを調べ, ジェットの物理量の初期磁場依存性を調べ比較した。さらに今まではっきりしなかったジェットの加速力について詳しく調べた。その結果幾何学的に厚い降着円盤から噴出するジェットの場合同様に, 非定常シミュレーションにおいてもジェットの噴出点が定常理論で決定できることを突き止めた。加速機構に関しては, 磁場が弱い場合には中心天体付近でトロイダル磁場が卓越し, 磁気圧による加速が優勢であること, また磁場が強い場合には磁気遠心力による加速が優勢であることを見出した。さらにジェットの物理量の磁場依存性は, 幾何学的に厚い降着円盤の場合とほぼ一致した。

3章では, 我々のシミュレーションで得られた knot 構造の成因を調査し, それらの knot が磁場のピンチ効果によるソーセージ不安定性によって形成されていることを議論している。

以上は、軸対称を仮定した2次元のシミュレーションによる結果である。4章では3次元シミュレーションを行い、より現実的なジェット、磁場の構造について調べた。また3次元シミュレーションから得られるジェットの物理量と観測量とを比較し、速度、質量降着率、質量放出率をMHDモデルで説明できることを示した。