

国立天文台天文学データ解析計算センター

平成12年度大規模シミュレーションプロジェクト 成果報告書

プロジェクト 題目、ID:

「原始星ジェットの磁気流体力学数値シミュレーション」(ntk32)

研究代表者氏名・所属・連絡先:

工藤哲洋、国立天文台天文学データ解析計算センター、内線 580

研究成果:

原始星、活動銀河核、X線連星から噴出する宇宙ジェットのモデルとして「降着円盤から噴出する磁気流体アウトフロー」の研究が行われており、この分野での日本人の貢献は大きい (e.g., 工藤 2000 天文月 9 月号別冊)。多くの研究では定常軸対称の仮定のもとで研究が行われているが、しかし、定常の仮定のもとでは「降着流 $\Rightarrow$ アウトフローの噴出と加速 $\Rightarrow$ アウトフローのコリメーション」という物理過程をすべて含めて矛盾のない解を得ることが難しい。従って、それぞれの物理過程を切りだして近似的な方程式を作り、物理過程ごとにモデル計算を行う、「パッチワーク」的な手法によって研究が進行してきた。

それに対して、我々は非定常の数値シミュレーションを用いて磁気流体アウトフローの研究を行っている。非定常の数値シミュレーションの利点は、「非定常性」により「定常」よりもより一般的な現象を再現できることに加えて、磁気流体力学の基礎方程式を直接的に解くことによって、前節で述べた物理過程をすべて含め矛盾のない解を作ることが可能となることである。しかし、アウトフローのコリメーションを調べるためには大きな計算領域と膨大な計算時間が必要であるために難しかった。

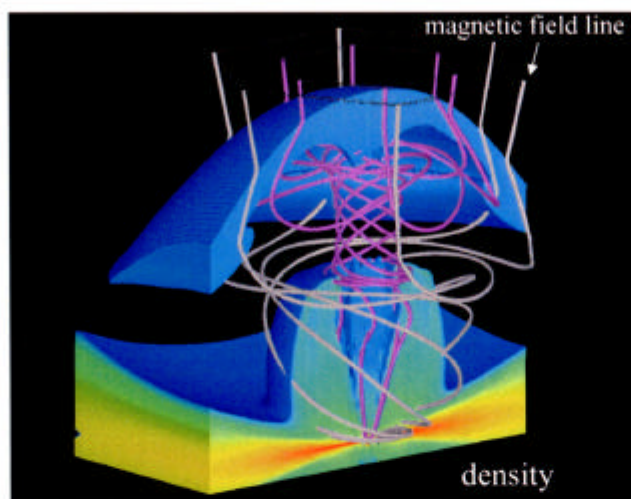
我々は国立天文台計算センターのスーパーコンピュータを用いて、できるだけ大きな計算領域を取り、アウトフローが遠方に伝播するまで長時間の計算を行った (2次元軸対称の磁気流体力学数値シミュレーション)。そして、非定常計算に現れたそれぞれの物理過程を、パッチワーク的に研究されていた定常モデルの結果と比較した。特に、最近「天文月報」で議論のあったコリメーションの問題に関して調べた結果、流れに垂直な力の釣り合いとして慣性力と磁気ローレンツ力が釣り合う状態に漸近しながら、回転軸方向にコリメーションしていくことが示された。これは Sakurai(1985 A&A 152, 121) などによって示された定常モデルと同様の結果であった。降着円盤から噴出したアウトフローは、回転によって生じたトロイダル磁場によってセルフコリメーションすることが、時間発展の数値シミュレーションによって初めて示された。

次ページの図の説明:

上図: 磁力線を3次元空間に描いたもの。色は密度分布。

下図: その断面図で円盤から直接噴出した部分を拡大したもの。線は電流線を表す。電流と紙面に垂直なトロイダル磁場との作るローレンツ力が流れを加速しコリメーションしている。

密度分布と磁力線(磁力線を3次的に描いたもの)



降着円盤内縁の
約100倍弱

原始星: 1 - 3AU

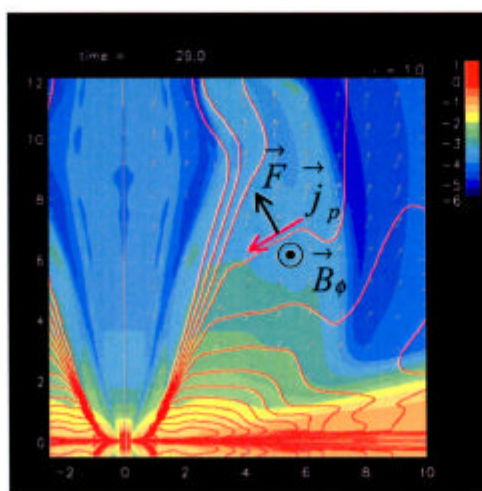
AGN: 10 - 100AU

Cf.
高分解能観測
原始星: 25AU
AGN: 1000AU

円盤の内縁が約10回転した時の様子

物理的スケール:
磁気音速面半径の2倍

密度分布の断面図とポロイダル電流線



ポロイダル電流 $\vec{j}_p$

電流線=赤線

$$\vec{F} \cong \vec{j}_p \times \vec{B}_\phi$$

ローレンツ力によって加速し
コリメーションしている。