

成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

(1) このプロジェクト (同様の過去のプロジェクトも含む) での成果

- 2006 年日本天文学会秋季年会
「 相対論的磁気アーケード膨張とプラズモイド噴出の数値実験 」
浅野栄治、高橋博之、松元亮治
- 2nd EAST-ASIA NUMERICAL ASTROPHYSICS MEETING (EANAM2006)
” Numerical Simulations of Relativistic Expansion of Magnetic Arcades in Magnetars ”
Eiji Asano, Hiroyuki Takahashi & Ryoji Matsumoto
- Proceedings of XXVIth IAU GA Joint Discussion 01
Cambridge University Press, ed. M. Karlicky and John C. Brown, in press (2006)
“ Particle Acceleration by Relativistic Expansion of Magnetic Arcades ”
Hiroyuki Takahashi, Eiji Asano, Ryoji Matsumoto
- The Extreme Universe in the Suzaku Era, Kyoto, Japan
“ Particle Acceleration by Relativistic Expansion of Magnetic Arcades ”
Hiroyuki Takahashi, Eiji Asano, Ryoji Matsumoto
- 2007 年度ブラックホール天文学研究会、『すざく時代』のブラックホール天文学
「 相対論的磁気タワージェット噴出の数値実験 」
浅野栄治、高橋博之、松元亮治

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

- ” Numerical Simulations of Relativistic Expansion of Magnetic Arcades in Magnetars ”
(邦題) 「 相対論的に膨張するマグネター磁気アーケードの数値実験 」
浅野栄治、2007 年 1 月、博士論文

成果の概要

中性子星磁気圏から噴出する相対論的アウトフローの 磁気流体数値実験 浅野 栄治 (千葉大自然)

1 研究目的

Sco X-1 のような連星中性子星からの相対論的ジェットが観測され、ブラックホール候補天体以外でも相対論的アウトフローを噴出する場合があることがわかってきた。我々は中性子星磁気圏における磁気ループの膨張と相対論的アウトフロー発生の過程を相対論的 Force-Free 方程式を数値的に解くことによって調べてきた (Asano et al., 2005)。その結果、磁場が強くプラズマ圧とプラズマの慣性が無視できる極限では、磁気ループは相対論的速度で膨張するものの、回転軸方向にはコリメートしないことがわかっている。本研究の目的は、相対論的 MHD シミュレーションによって、プラズマ圧の効果を調べることに主眼を置き、ジェットがどのように加速され、回転軸方向へコリメートされるかを調べることである。

2 研究手法

特殊相対論的 MHD 方程式を HLL 法に基づいて差分化した 2 次元球座標系のコードを用いた。MUSCL 法により空間方向を高次精度化し CT 法により $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$ の精度保持を行った。また、相対論的 MHD 方程式を保存形で扱う際の保存変数から基本変数を求める方法として Del Zanna の方法を用いた。中心天体として中性子星を仮定し、中性子星とそのまわりの幾何学的に薄い降着円盤を繋ぐ双極磁場を仮定した。円盤は球対称静水圧コロナ中にあるとした。

中心天体の表面で吸収境界をおいたモデルと、天体の表面で物理量を固定する条件をおいた二通りのモデルについて調べた。

3 結果

第一のモデルでは、円盤の回転により中心天体と円盤を繋ぐ磁力線が捻られ、磁気ループが膨張した、その後、磁気ループは回転軸に沿ってコリメートし磁気タワーを形成した。ジェットの速度はディスク内端のケプラー回転速度程度で $\sim 0.1c$ であった (図 1)。

第二のモデルでは、中心天体表面の回転軸付近から磁気流体波が発生し、衝撃波に成長して回転軸付近にできる空洞 (funnel) 中を相対論的速度で伝わった。衝撃波後面は、低密度、低ガス圧になる。その領域のプラズマの速度は $0.9c$ に達した (図 2)。ジェットは中心天体付近で形成された強い圧力勾配により $0.8c$ 程度まで一気に加速されていた (図 3)。また、初期のジェットのガス圧が小さいほどジェットはコリメートしにくくなり、ガス圧

が小さい場合の磁気ループの膨張は Force-Free の場合と同様に回転軸から 60° の方向に近くなることわかった (図 4)。

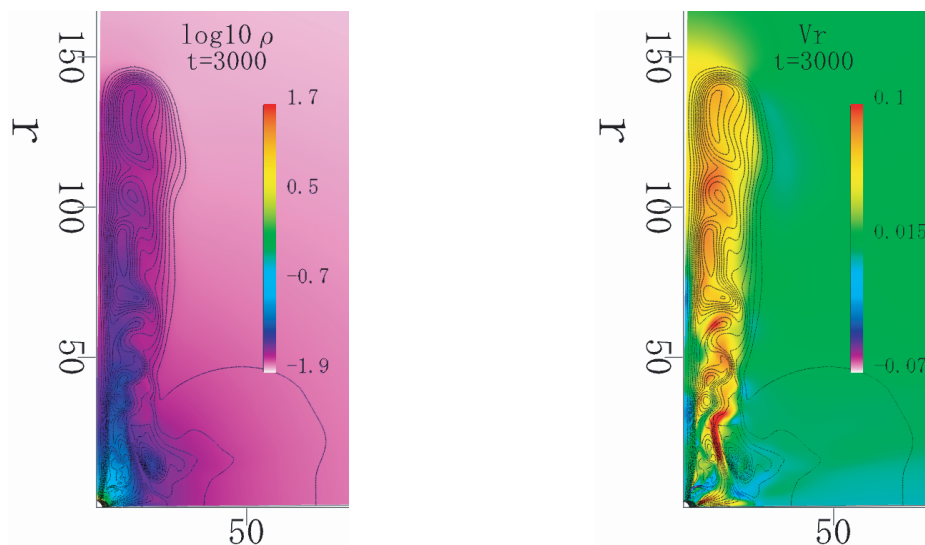


図 1: 中心天体の表面で吸収境界をおいたモデルの結果。(左図) 色は密度の対数、線は磁力線を表す。(右図) 色は速度の動径成分、線は磁力線を表す。

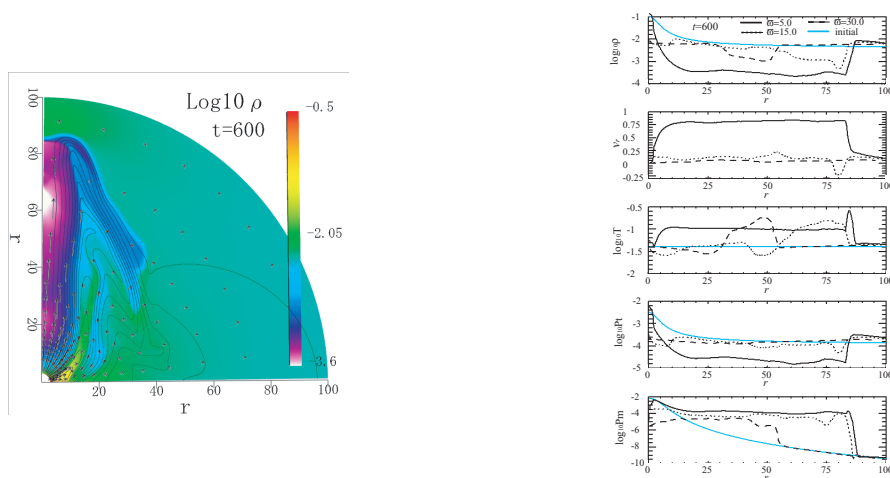


図 2: 天体の表面で物理量を固定したモデルの結果。(左図) 色は密度の対数、線は磁力線を表す。(右図) 円柱半径 $\varpi = 5$ (実線)、 $\varpi = 10$ (点線)、 $\varpi = 15$ (破線) での密度、速度の動径成分、温度、ガス圧、磁気圧のスナップショット。青線は初期分布を表す。

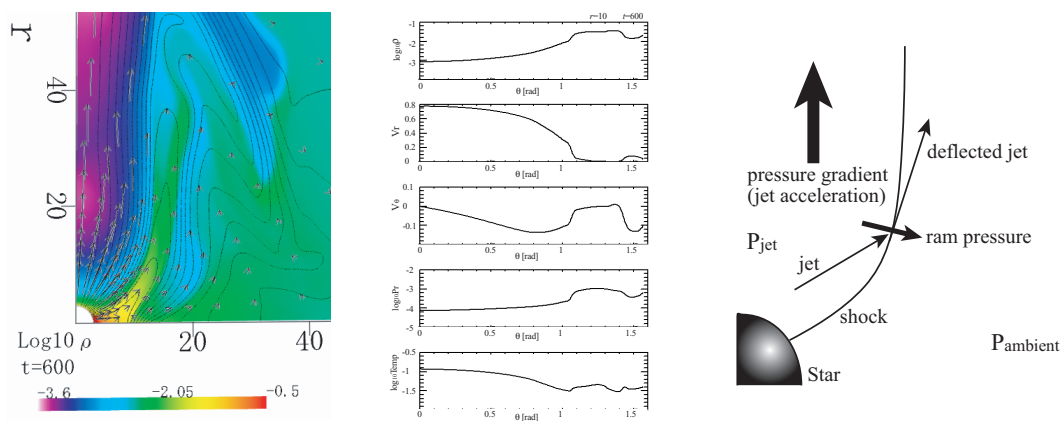


図 3: ジェットの加速。(左図) 中心天体付近の密度分布。線は磁力線を表す。(中図) $r = 10$ での密度、速度の動径成分、速度の θ 成分、ガス圧、温度分布のスナップショット。(右図) ジェット加速の模式図。

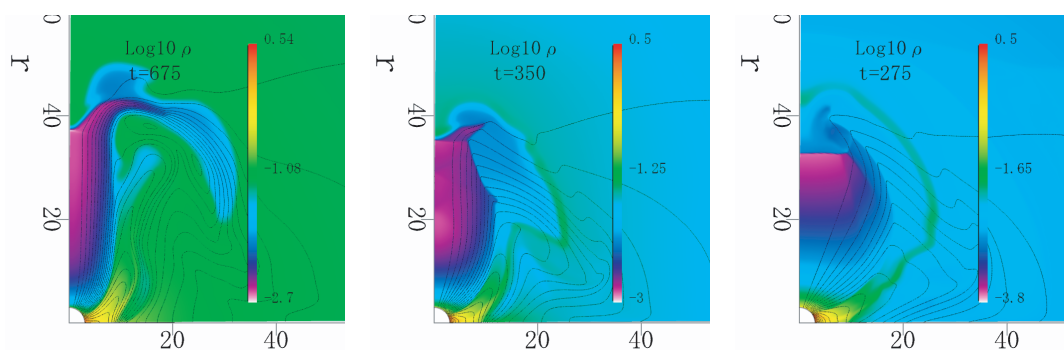


図 4: 初期のガス圧の違いによる磁場の発展の依存性。色は密度の対数、線は磁力線を表す。初期の音速はそれぞれ $0.23c$ (左)、 $0.2c$ (中)、 $0.17c$ (右)。