

相対論的 MHD (Force-Free 近似) による パルサーダイナミクス

浅野栄治 (カテゴリ C : yea77c)

千葉大学自然科学研究科数理物性科学専攻博士課程 1 年

ABSTRACT

我々は、ミリ秒パルサー形成に至る再生シナリオにおいて、伴星からの質量降着によって降着円盤が形成された段階に着目した。磁場を持った中性子星の磁気圏に、降着円盤が深く入り込むことを想定し、中性子星と円盤を貫く磁力線がどの様に振る舞うかを見ることによって、そこで起こっている現象を解明していく。そのための第一段階として、Force-Free 近似を行った相対論的 MHD 方程式を、風上差分法に基づく HLLE 法を用いた数値シミュレーションにより解く事で、ダイナミカルな系の発展を追い、self-consistent な磁気圏構造を追った。

1.Introduction

パルサー磁気圏の研究は、多く行なわれてきているが、例えば、電波パルサーで考えられているパルサー風の生成メカニズムや粒子加速、かにパルサーの X 線観測で見られるジェットやリング状の構造形成や、連星 (X 線) パルサーにおける降着や X 線パルス発生メカニズムなど、その現象は多岐にわたる。今回我々は、連星パルサーに焦点をあて、観測では見られない中心天体付近の物理を知りたいと考えた。そのために星と降着円盤を貫く磁力線の時間発展後の形状を、シミュレーションにより計算した。

2.Basic equations

パルサーは強磁場を持つと仮定し、相対論的 MHD 方程式から Mass と Thermal の項を落とす Force-Free 近似をした以下の方程式を、風上差分法 (Harten-Lax-vanLeer 法) により差分化し解いた。

$$\frac{\partial \mathbf{P}}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{M} = 0$$

$$\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} + \nabla \times \mathbf{E} = 0$$

$$\mathbf{P} = \frac{1}{4\pi c^2} \mathbf{E} \times \mathbf{B}$$

$$\mathbf{M}^ij = -\frac{1}{4\pi} \left\{ \mathbf{E}^i \mathbf{E}^j + \mathbf{B}^i \mathbf{B}^j - \frac{1}{2} \delta^{ij} (\mathbf{E} \cdot \mathbf{E} + \mathbf{B} \cdot \mathbf{B}) \right\}$$

$\mathbf{P}$ はモーメント、 $\mathbf{M}$ は電磁ストレステンソルである

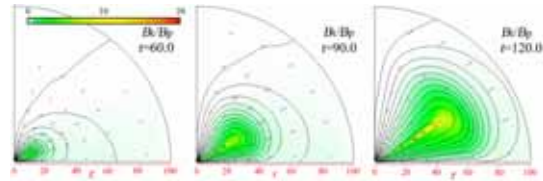
3.Initial & Boundary conditions

2 次元軸対称の球座標を用い、計算領域 (r, θ = 450, 180 グリッド) に静止した星と円盤 (完全導体を仮定) を置き、それらをつなぐ双極子磁場を仮定した。

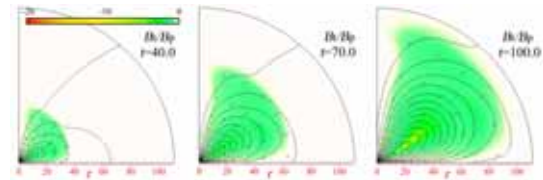
境界条件は星と円盤の表面で磁力線が滑らないように電場を与えた。行なった計算は、星は静止し円盤を回転させた Model1 と、円盤は静止し星を回転させる Model2 の二つを行なった。

4.Results

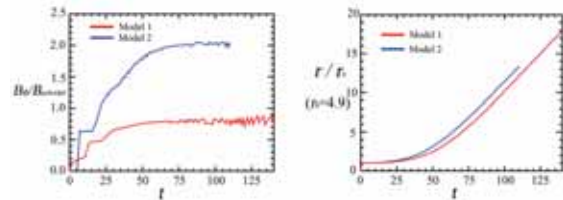
4-1.Model1



4-2.Model2



Model1,2 とともに、磁力線が円盤や星の回転とともに膨らみ続けていく様子が見られた。その膨らんでいく様子を一本の磁力線 (赤道面で $r=4.9$ を通る) に着目したのが次の図である。左図は磁場の



ポロイダル成分の大きさに対するトロイダル成分の大きさ。右図は星からの磁力線の動径方向の位置を示している。回転を始めて初期の頃は磁場のトロイダル成分が大きくなるに回転エネルギーが変換されていることが分かる。時間とともに磁力線が膨らむ、すなわちポロイダル成分が大きくなっていくことが分かる。

5.Discussion

今回の計算では無理であるが、実際には磁気リコネクションやプラズモイド形成などが起こると考えられる (e.g., full MHD での計算では Hayashi et al. 1996)。今後、それらを扱うため、特殊相対論的 MHD 方程式で計算を行なう予定である。