

磁気リコネクションの縦磁場の影響についての数値計算

熊本大学大学院 M2 瀬尾崇之

概要

回転するブラックホールの周りでは、磁気リコネクションを引き起こすほぼ反平行な磁場が自然と発生することが、数値計算により示されてきた。
従来までは完全反平行となる磁場を仮定した磁気リコネクションの数値計算が行われてきたが、現実的な磁気リコネクションの磁力線は、縦磁場(z方向の磁場)を含みねじれの位置となるはずである。
今回、非相対論的なMHDコードを用いて、縦磁場の有無によってそれが磁気リコネクションへどのような影響を与えるか調べる。

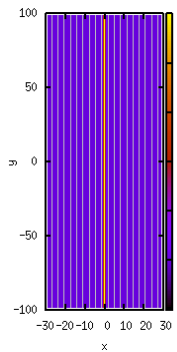
MHD方程式

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \\ \frac{\partial \rho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = -\nabla p - \nabla \left(\frac{B^2}{2} \right) + (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B} \\ \frac{\partial e}{\partial t} + \nabla \cdot \left[\left(\frac{\gamma}{\gamma-1} p + \frac{\rho v^2}{2} \right) \mathbf{v} + \mathbf{E} \times \mathbf{B} \right] = 0 \\ \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\nabla \times \mathbf{E} \\ e = \frac{p}{\gamma-1} + \frac{\rho v^2}{2} + \frac{B^2}{2}, \gamma = \frac{5}{3} \\ \mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B} + \eta \mathbf{J}, \mathbf{J} = \nabla \times \mathbf{B} \end{cases}$$

初期条件

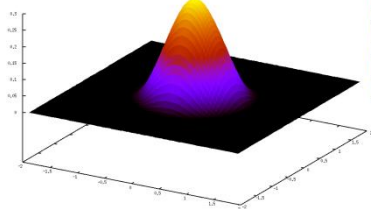
$$\begin{cases} \rho = 1 + \frac{1}{\beta \cosh^2(2x)} \\ v_x = v_y = v_z = 0 \\ p = p_0 \rho \\ B_x = 0 \\ B_y = B_0 \tanh(2x) \\ B_z = 0 \text{ or } B_0 \end{cases}$$

$$p_0 = 1.0, \beta = 0.2, B_0 = \sqrt{2p_0/\beta}$$



まず初期条件として、密度は左図のように、y軸に沿った電流シートの厚み分の領域が周辺より高くなるように設定し、圧力はこれに比例するようにとる。
速度と磁場のx成分は最初0とし、磁場のy成分は反平行磁場となるようにする。
そして磁場のz成分については0または一様磁場を与え、これらを比較する。
今回プラズマベータはいずれの場合でも0.2とした。

抵抗



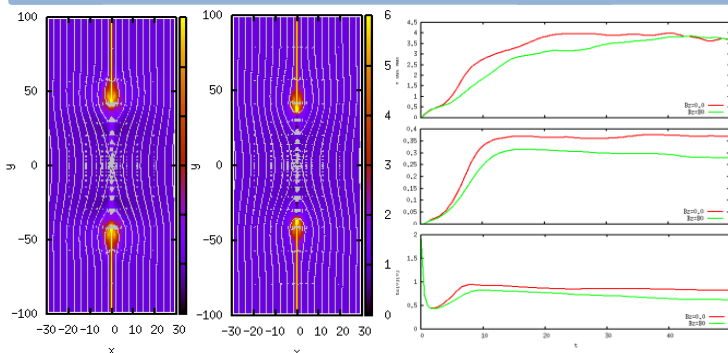
次に、磁場の摂動によってリコネクションを引き起こす原因である異常抵抗を原点中心に与える。
抵抗は原点からの半径が1以上では0となり、半径が1以下の領域では最大0.3の抵抗を与えた。

$$\eta = \begin{cases} \eta_{\max} [2(r/r_0)^3 - 3(r/r_0)^2 + 1], & r \leq r_0 \\ 0, & r > r_0 \end{cases}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, r_0 = 1.0, \eta_{\max} = 0.3$$

結果

t=30での密度分布の図によると、縦磁場を入れるとジェットが少し遅れるという結果になった。
またアウトフロー速度、(x,y)=(4,0)でのインフロー速度、原点でのEzなどはいずれも縦磁場を入れると弱くなった。
t=10の時点でアウトフロー速度は31.9%、インフロー速度は24.2%、Ezは9.8%の誤差になる。



考察

なぜ縦磁場を入れるとジェットの進行が弱まるのか？
左図はt=30での全圧(圧力と縦磁場による磁気圧の和)の図である。
左は縦磁場が無いいため圧力のみとなっているが、右のように縦磁場をいれるとその分系全体の磁気圧が増加し、その磁気圧による影響を受ける。
この縦磁場の磁気圧によってリコネクションが抑えられているのではないかと考えられる。

