

平成 12 年度計算機共同利用成果報告

カテゴリ:B プロジェクト名:ntk53 研究代表者:桑原匠史
Email(): takuhito@c.chiba-u.ac.jp

概要

平成 12 年度プロジェクトグループ名「ntk53」で採択された研究成果報告をする。
報告の要旨は以下の通りである。

- 形成されるジェットの性質を根本的に決定していると考えられるジェット噴出点付近でプラズマに作用している力の解析を行い、磁気拡散効果がある場合には磁力線とプラズマがスリップするために磁気遠心力が効きにくくなるのではという予想の元、定量的な解析を行った。
- Kaburaki 2000 により解析的に得られた降着円盤の動径方向の構造と本計算により得られた動径方向の構造との比較を試みた。

1 ジェット噴出点付近における加速機構について

我々は磁気的な拡散の効果を導入した拡散 MHD 数値実験を行い、その効果がジェット形成等に及ぼす影響を調べてきた。Kuwabara et al. 2000 において磁気拡散の効果の大きさの違いにより、間欠的な質量放出が起きる場合と、連続的な質量放出が起きしばらくすると準定常状態に落ち着く場合があること発見した。我々はこの質量放出の形態の違いがジェットの加速機構によるものではないかと考え、ジェットを加速させている力の定量的な解析を行った。

解析方法は数値計算領域にラグランジアン粒子を配置し、粒子の位置する所で働いている力の流線方向に沿った成分を表示させることで行った。Figure 1 がその結果を示したものである。

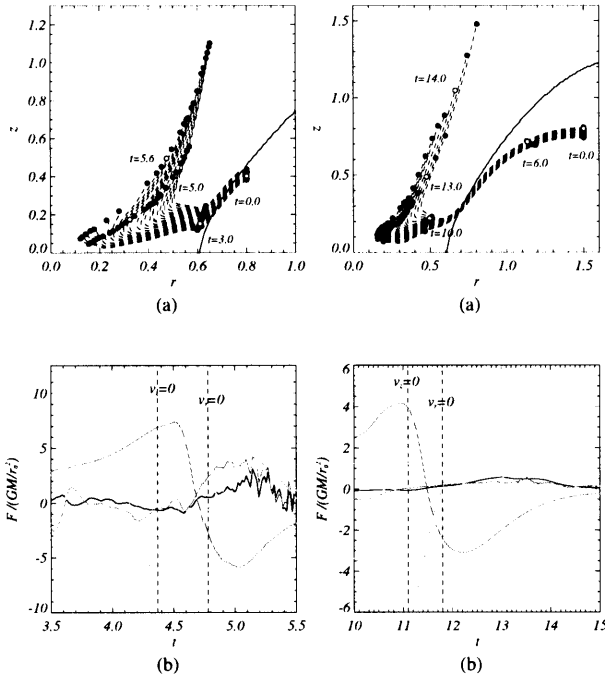


Figure 1: 左図: (a) は磁気拡散の効果が無く間欠的な質量放出が起きる場合の計算領域上に配置したラグランジアン粒子の位置の時間発展 (軌跡) を示したものである。(b) は (a) の白抜きの粒子に働いている流線方向の力成分の時間変化を示している。青線は重力、黄色線は圧力勾配、赤線はローレンツ力、緑線は遠心力、黒線は全てを合わせた力を表している。右図: (a), (b) は磁気拡散の効果が有り連続的な質量放出が起きる場合。

Figure 1 左図 (b) と右図 (b) に示した二つの縦線は左からそれぞれ粒子の速度の z 成分が正になる時刻、r 成分 (円柱座標系) が正になる時刻を示している。注目すべきは r 成分が正になる時刻で、そこで一番強い力がジェットを加速させていることになる。まず、左図から見てみると一番強いのがローレンツ力で $t = 5$ 位からは遠心力も強くなり磁気遠心力的な加速が起きていることが確認できる。一方、右図では一番強いのが圧力勾配力である事が確認できる。以上の結果より、間欠的な質量放出が起きる場合は磁気遠心力的な加速によりジェットが形成されていて連続的な質量放出が起きる場合は圧力勾配力によりジェットが形成されていることが判明した。

2 解析的に得られた解との比較について

今回比較の対象とした Kaburaki 2000 は降着円盤中を流れる電流による磁気エネルギーの拡散効果を含めた解を解析的に求めている。比較する我々の数値計算結果は拡散の効果により、準定常状態が実現していると思われるものを使用する。まず、Kaburaki 2000 のそれぞれの物理量の動径方向依存性の結果は以下の通りである。

● 磁場

$$b_r \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-3/2}, b_\theta \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-3/2}, b_\phi \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-1} \quad (1)$$

● 速度場

$$v_r \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-1}, v_\theta = 0, v_\phi \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-1/2} \quad (2)$$

● 密度、圧力、温度

$$\rho \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-1}, P \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-2}, T \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-1} \quad (3)$$

一方、我々の計算から得られた結果は以下になった。導出の方法は速度場以外の物理量に関しては

$$\bar{f} \equiv \frac{\iint f \sin\theta d\theta d\phi}{\iint \sin\theta d\theta d\phi}$$

を用い、速度場に関しては

$$\bar{\mathbf{v}} \equiv \frac{\iint \rho \mathbf{v} \sin\theta d\theta d\phi}{\iint \rho \sin\theta d\theta d\phi}$$

を用いた。

● 磁場

$$b_r \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-3/2}, b_\theta \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-3/2}, b_\phi \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-1} \quad (4)$$

● 速度場

$$v_r \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-1/2}, v_\theta \sim \text{const}, v_\phi \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-1/2} \quad (5)$$

● 密度、圧力、温度

$$\rho \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-1}, P \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-3}, T \propto \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-3/2} \quad (6)$$

磁力線の形状は Kaburaki 2000 と見事に一致している事が判明した。その一方で v_r, P, T が一致していない。まず v_r が一致しない理由として考えられるのは我々の計算ではジェットの形成まで計算に入っているの内で側へ質量が降着していくにつれて、磁気遠心力によって降着速度にブレーキがかかるため、ジェットを考慮していない Kaburaki 2000 と値が異なったのではないかとということである。また、圧力が一致していないのは Kaburaki 2000 では主に降着円盤の赤道面付近を扱っているのに対して我々は質量降着が起きている領域全体の平均を取っているためにずれたのではと考えられる。これは Kaburaki 2000 は赤道面付近では降着円盤によって捻られた磁場による圧力とガス圧がつりあっている仮定

$$\frac{b_\phi^2}{8\pi} + P = 0, (P \propto b_\phi^2)$$

が成り立つように解を導出しているのに対して、我々の結果ではこの関係が成立していない事から予想出来る。これを確かめるために我々も赤道面付近の動径方向分布を導出したところ、 $P \propto b_\phi^2$ が成立している事が判明した。しかしながら、赤道面付近のみの分布を取った場合には今度は磁場が解析解と一致しないという結果が得られた。このような結果から、現在は厚い降着円盤で計算を行っているが厚さの薄い降着円盤ではどのような結果が得られるのか興味深いところである。

3 References

Kaburaki 2000, ApJ, 531, 210
Kuwabara et al. 2000, PASJ, 52, 1109

カテゴリ: B, プロジェクト名: ntk53, 桑原匠史