

成果報告書

研究課題名:磁気圏への球対称降着の電磁流体シミュレーション研究

グループ mmh14b、代表者 林 満

分担者 桑原匠史

磁気圏-降着円盤相互作用によって円盤表面を伝搬する衝撃波

- 隕石の解析から、太陽が原始星の段階で、コンドリュール(急激に高温に加熱され液滴状になり、急激に冷却されたことで形成されたと考えられる粒状の構造)が形成されたことが示唆されている。一方、太陽程度の質量を持つ、低質量星が生まれた頃の(原始星)の顕著な現象として、原始星フレアと呼ばれる、強いX線の放出が挙げられる。上記現象は、原始星における爆発的な高温プラズマ形成プロセスを示唆し、原始星磁気圏と周囲の降着円盤の磁氣的相互作用によって、定量的・定性的に説明される。上記より、隕石形成には原始星フレアのもたらした原始星システムの環境への影響が深く関わっていることが示唆される。そこで、コンドリュール形成に関する衝撃波モデルの衝撃波が原始星フレアに伴ってもたらされた可能性を2.5次元MHDシミュレーションを用いて調べた。

中心星磁気圏と降着円盤の相互作用に伴う磁気バブルの伝搬が、円盤表面に与える影響を調べ、特に、中心星から1AU-3AUの場所における円盤表面の変化を調べた。上記コンドリュールの衝撃波モデルでは、中心星から1AU-3AUの円盤表面に衝撃波が形成されることが重要となる。磁気バブルの伝搬に伴う、円盤表面の変化は、中心星から1AU程度の場所にまで伝搬し、円盤表面の圧力が上昇することが確認できた。円盤表面に生じる衝撃波面の厚さは0.009AU程度で、ガス圧と同程度の動圧が生じていることが分かった。

より高解像の計算実行により、上記で形成される円盤表面の衝撃波面の円盤内部への伝搬の様子を調べることで、安定な液体ダストの存在の可能性を検討し、コンドリュールの衝撃波モデルとの関連を明らかにすることが今後の課題である。又、衝撃波モデル以外のコンドリュール形成モデル(X-ウィンドモデル等)に関しても、原始星フレアのMHDシミュレーションを用いて比較検討を行なうことも重要な課題と考える。

Cosmic-Rayの効果を取り入れた磁気浮力不安定性

- 現在我々が用いているMHDコードでCosmic-Rayの効果を取り入れた計算を可能にするために中村氏(松江高専)により作成されたBicgStab法を元にコード開発を行った。Cosmic-Rayの効果を計算する為には拡散方程式を解く必要があり、MHD現象と同時に解くにはその部分を陰的手法を用いなければならない。また、拡散方向は主に磁力線に沿っていて非等方な為、解くべき行列は非対称となりICCG法などは使えない。そこで、我々は非対称行列も扱えるBicgStab法に注目しこれを用いることにした。

Cosmic-Ray は Super nova 等の高エネルギー現象に付随して生成されと考えられ、銀河円盤中での磁気浮力不安定性にも大きな影響を与えと考えられているが、その効果を取り入れて非線形数値計算がなされている例は世界でもほんの数例しかない (Hanasz et al.)。今回、我々はテスト計算を兼ね、このコードを用いて Cosmic-Ray の効果を取り入れた銀河円盤とその大気中での磁気浮力不安定性の計算を行なった。Hanasz らの興味は Super nova が磁気浮力不安定性に及ぼす影響だが、我々はごく微小な速度の摂動を与えた場合にどのように不安定性が成長するのかに興味がある。この問題に関する線形解析は Kim et al. により行なわれており、結果を比較する事によりコードのチェックも可能である。

磁気浮力不安定性が成長するには歪められた磁力線に沿って重力により物質が落下し形成される磁気ループの頂上付近が軽くなる事が重要なポイントとなる。我々が設定した初期条件では Cosmic-Ray の圧力分布は銀河円盤の赤道面からの高さに反比例しており、この圧力勾配力の方向は重力とは逆で磁力線に沿った物質の落下を妨げる方向にある。Cosmic-Ray の diffusion 係数の値が大きい場合は磁力線に沿った Cosmic-Ray の圧力勾配が小さくなるまでのタイムスケールが短い為に Cosmic-Ray の圧力勾配力が不安定性に及ぼす影響は小さいが、diffusion 係数の値が小さい場合はそのタイムスケールが長くなることにより、Cosmic-Ray の圧力勾配力が磁力線に沿った物質の落下を妨げるために不安定性の成長が遅くなる結果を得た。我々の計算結果は Kim らによって得られた結果とよく一致する事が確認された。一方、Hanasz らによって得られている結果は Super nova によって励起される磁気浮力不安定性は、diffusion 係数の値が小さい程成長が早くなるというもので、我々の結果とは逆である。この結果の違いは容易に理解出来る。Hanasz らの計算は Super nova のシェル内に Cosmic-Ray の高圧力領域を設定する為、diffusion 係数の値が小さい場合はこの高圧力領域が長い時間保持され、Cosmic-Ray の圧力勾配力により不安定性が早く成長する。しかし、不安定性が成長し、ループが大きくなるにつれてループの頂上と根本での Cosmic-Ray の圧力勾配が大きくなり、diffusion 係数の値が小さければやはり成長率は下がるのではないかと考えられる。我々はこの事を確認する為に Super nova のケースについても diffusion 係数の値を変化させた計算をループが十分成長するまで行なった。結果は、初期には Hanasz らの結果と同様に diffusion 係数の値が小さい方が不安定性の成長は早い、最終的には diffusion 係数の値が大きい方が小さい方よりも成長が早い事が確認された。