

課題名(タイトル):

降着円盤とジェットの非軸対称不安定性の研究

利用者氏名:

○加藤成晃(1)

理研における所属研究室名:

戎崎計算宇宙物理研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

最近、アルマ望遠鏡のような最新の観測装置によって、次々と原始惑星系円盤の実際の姿が明らかになり、惑星の材料となる原始惑星系円盤中の塵が同心円状や歪んだリング状に分布していることがわかってきました。そのメカニズムとして、塵が集まって出来た微惑星や惑星同士の重力不安定性が有力です。一方で、原始惑星系円盤中にある塵の全質量よりも桁違いに大きな質量を持つ弱電離プラズマのダイナミクスは理解が進んでおらず、流体力学的な不安定性が要因である可能性もあります。

本研究では、原始惑星系円盤の弱電離プラズマの構造とダイナミクスを調べるために、高次精度の磁気流体シミュレーションを実施します。塵が集まっている静穏領域と乱流領域の境界では、音波が部分的に反射するため、一般に「共回転不安定性」と呼ばれる流体力学的な非軸対称不安定性が成長し、歪んだリング状の構造が生じる得ることが、幾つかの先行研究から指摘されています。しかし、こうした非軸対称不安定性は成長率が小さく、長時間安定して精度良く解くことが要求されるため、これまであまり調べられていませんでした。そこで長時間の数値シミュレーションを実施し、非軸対称構造がどのように成長し、どのくらい維持されるのかを本研究の目的としています。

2. 具体的な利用内容、計算方法

本研究では、HLLD 近似リーマン解法と MP5 高次精度補間法を実装した磁気流体コード(CANS+:Matsumoto, Y., Asahina, Y., Kudoh, Y., et al. 2019, PASJ, 71, 83, doi: 10.1093/pasj/psz064)に、M1 法による輻射輸送コード(Kobayashi, H., Ohsuga, K., Takahashi, H. R., et al. 2018, PASJ, 70, 22, doi: 10.1093/pasj/psx157)を組み合わせた輻射磁気流体コード(CANS+R:Igarashi, T., Kato, Y., Matsumoto,

R., et al. 2020, ApJ 902, 103)を用います。

本研究では、原始太陽の周囲にある降着円盤の一部分(半径 $r = 0.1 - 2.5$ AU)を計算領域にします。地球型惑星が誕生すると考えられている質量降着率が $10^{-7} M_{\text{sun}}/\text{year}$ の降着円盤の場合、乱流領域(内側)と静穏領域(外側)の境界(密度や圧力の不連続面)が中心から約 1AU 付近に現れます。これを計算の初期モデルとして、境界領域の時間発展をCANS+Rで計算します。予備的な計算を実施した結果、境界付近で非軸対称な不安定性が成長し、歪んだリング状の構造が現れることは確認しています(図1参照)。そこで本研究において、出来る限りの長時間シミュレーションを実施し、最終的に歪んだリング状の構造がどのくらい維持されるのかを検証することができると期待しています。

Comparison between gap and non-gap models radial velocity (with different scale)

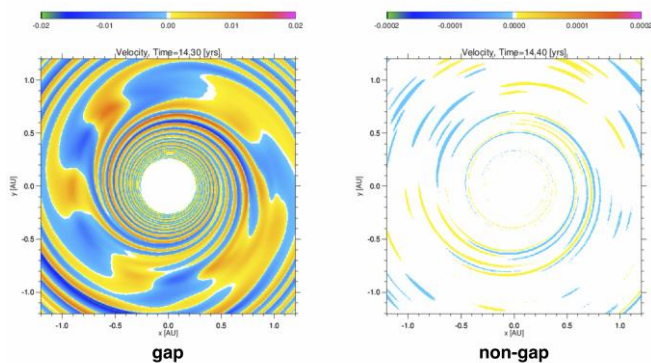


図 1 : 静穏領域と乱流領域の不連続面(gap)がある場合、非軸対称モードが約 14 年で成長する様子

3. 利用がなかった場合の理由

現在専任の補償光学コード開発を優先せざるを得なかったため、HOKUSAI における CANS+R コードのチューニング・デバッグ作業に着手する時間が取れませんでした。しかし補償光学コード開発の目処がたったため、来年度は改めて申請通りの利用をしたいと考えております。