

磁気回転不安定性による磁気乱流の時間発展

Study of the time evolution of magnetic turbulence induced by the magneto-rotational instability

齋 和人^{1*}, 加藤 雄人¹, 寺田 直樹¹

Kazuhiro Sai^{1*}, Yuto Katoh¹, Naoki Terada¹

¹ 東北大学・理・地球物理

¹Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.

磁気回転不安定性 (MRI) は降着円盤中における乱流生成機構であり、乱流中での物理過程の理解が必要とされている。MRI 乱流の時間変化は、背景磁場の鉛直成分の有無により乱流場が決定されることが指摘されている (Sai et al., 2013)。特に、このような場合、乱流応力の強度はスパイク状の時間変化を示し、この時間変動が、質量降着などに寄与する平均乱流応力の大部分を生じていることが指摘されている (e.g., Sano & Inutsuka, 2001)。そのため、円盤内乱流における乱流の強さの決定要因の解明の上で、乱流の時間発展の理解が必要とされている。しかしながら、この時間発展について、これまで本格的な解析は行われてこなかった。

私たちのグループでは、MRI 乱流中における物理過程を明らかにすることを目的に、3次元の磁気流体力学 (MHD) の数値シミュレーション研究を行った。それにより、MRI の非線形段階における物理過程の大部分を解明することができた。特に、非線形段階において最大振幅となる特徴的なモードが存在することが確認された。本講演では、この最大振幅モードの特徴、及び、乱流の飽和と緩和過程について報告する。

解析の結果、確認された最大振幅のモードは、Sano & Inutsuka (2001) らによって確認された、チャンネル流を形成したものと同一のものであると考えられる。これまで、非線形段階におけるチャンネル流の形成は、乱流中で増幅した磁場と MRI の最大成長モードとの関係によるものと考えられていた (Sano & Inutsuka, 2001)。しかし、私たちのグループにおける詳細な解析により、非線形段階における最大振幅モードは、MRI 分散関係によって説明可能であるが、その波形は、円盤の厚さと背景磁場の鉛直成分によって決定されており、これまで指摘されていたような、乱流中で増幅した磁場の影響によるものではないことが明らかとなった。また、乱流の飽和と緩和の過程においては、パラサイト不安定性 (Goodman & Xu, 1994) が励起していることを示唆する結果が得られた。さらに、MHD 方程式中の各項を評価することで、非線形段階における乱流の緩和が生じるための条件式を導くことができた。この式から、乱流中の磁場の鉛直成分の増幅が緩和に強く影響していることが示唆された。この磁場の鉛直成分の増幅はパラサイト不安定性によるものと示唆される。加えて、この緩和条件式を用いることにより、乱流応力最大振幅モードが決定される理由についても矛盾なく説明することが可能となった。

最大振幅モードの理解により、これまで確認はされていたがその理由が不明のままとされていた、磁場の方位角方向成分と動径方向成分の持つエネルギー比に関して、矛盾なく説明することが可能となった。これらの成果は、円盤の大局的磁場構造に関する情報が得られれば、局所的な乱流場において支配的な乱流場の構造を推測できることを意味している。乱流の性質に関する背景磁場依存性は、円盤内でのダストの合体成長の議論や、円盤内乱流における MRI の影響を評価する上でも強力なツールになるものと期待される。

キーワード: 降着円盤, 磁気流体力学, 乱流, 磁気回転不安定性

Keywords: accretion disk, magnetohydrodynamics, turbulence, magneto-rotational instability