

原始惑星系円盤の電離状態に対する磁気乱流駆動電場の効果 Effects of MHD-turbulence-generated electric fields on ionization states in protoplanetary disks

奥住 聡^{1*}, 犬塚 修一郎¹

Satoshi Okuzumi^{1*}, Shu-ichiro Inutsuka¹

¹ 名古屋大学大学院理学研究科

¹ Department of Physics, Nagoya Univ.

原始惑星系円盤における角運動量輸送機構の最有力候補は磁気回転不安定性 (MRI; Balbus & Hawley 1991) に起因する磁気乱流である。原始惑星系円盤は低電離環境であるため、電気伝導度が低く、オーム抵抗による磁場の拡散が無視できない。特に、微小なダストが豊富にある領域では、ダストの帯電によって電気伝導度が著しく下がり、MRIが安定化されうる (Sano et al. 2000)。このような領域はデッドゾーンと呼ばれる。乱流は円盤や固体天体の進化を決定づけるため、デッドゾーンがいつ・どこに形成されるかを正しく理解することは、惑星形成理論を構築する上で非常に重要である。

これまでの円盤の電気伝導度の研究では、乱流電場による荷電粒子の加速が無視されてきた。しかしながら、低電離度環境下で MRI の構成に必要な電流を維持することは、非常に強い電場の形成を伴う。この結果、電子やイオンの電場加熱が無視できない可能性がある (Inutsuka & Sano 2005)。しかしながら、電場加熱が従来の円盤電離度の理解をどのように変えるかはこれまで明らかでなかった。

本研究では、電場による荷電粒子の加熱を考慮した原始惑星系円盤の電気伝導度の解析を初めて行った。得られた結果は以下の2点に集約される。

(1) 電場がある程度強く、電子の電場加熱が中性粒子との衝突による加熱を上回るようになると、電子とダストとの衝突頻度が増幅し、電気伝導度が電場の上昇とともに減少する。乱流の種となる円盤鉛直磁場がある程度弱い場合には、この効果が磁気乱流の発展を妨げ、結果的にデッドゾーンが拡大する可能性がある。

(2) 電場がさらに強く、電子の平均エネルギーが 1eV を超えるような状況では、高エネルギー電子による中性ガスの絶縁破壊が起こり、電流が5桁以上も上昇する。しかも、絶縁破壊による電気伝導度の上昇は不連続であり、中間的な平衡電流が存在しえないことが明らかになった。円盤鉛直磁場がある程度強い場合、乱流が上記(1)の効果を乗り越えて発展し、このような絶縁破壊を引き起こして自律的に電気伝導度を高い値に保つ可能性がある。つまり、もしこの効果が有効に効くと、いわゆるデッドゾーン中でも MRI 乱流が維持される可能性がある。

キーワード: 原始惑星系円盤, 電離状態, ダスト, 磁気乱流, 電場加熱

Keywords: protoplanetary disk, ionization state, dust grains, MHD turbulence, electric heating