

原始惑星系円盤におけるダスト落下問題に対するダストプラズマと磁場の影響について

Dynamics of charged dust particles in the magnetic field related to the dust infall problem in protoplanetary disks

平井 研一郎^{1*}, 加藤 雄人¹, 寺田 直樹¹

Kenichiro Hirai^{1*}, Yuto Katoh¹, Naoki Terada¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻

¹ Department of Geophysics, Graduate School of Science, Tohoku University

原始惑星系円盤においては、円盤内に存在する微細なダスト粒子が合体成長する事により、その粒径が大きくなり、微惑星へと成長すると考えられている。円盤を構成するガス中でのダスト粒子の運動を考えると、円盤ガスの圧力勾配によってダストの回転速度とガスの回転速度の間に速度差が生じる。これにより、ダストはガスの向かい風を受けて角運動量を失い、微惑星へと成長する前に中心星に落下してしまう。この問題は「ダスト落下問題」と呼ばれ、円盤内の電離度が非常に低く、背景磁場も弱いと考えられているため、多くの研究では電気的中性が仮定され議論されている。しかしながら、中心天体が固有磁場を持つ事を仮定すると、中心天体の近傍では一定の磁場強度となりうる事と、中心天体からの輻射によりガスの電離度が高くなる事を考慮すると、帯電したダスト粒子に働くローレンツ力は無視できない値となることが考えられる。本研究では、このダスト落下問題に対して、ダスト自身が持つ電荷により背景磁場から受ける影響について議論する。

最小質量円盤モデルで、円盤中でプラズマベータが一定の磁場モデルを仮定して、円盤上の各領域でのダスト粒子のジャイロ周期を求めた。その結果、例えば粒径 1cm のダストが 1AU の位置において、向かい風による減速のタイムスケール (e.g., Weidenschilling, 1977) とジャイロ周期が同程度となるには、ダストは $\sim 10^{17}$ e (e:電気素量) 程度帯電している必要があることが示された。

ダスト粒子の帯電に関して、土星探査器カッシーニによる土星の E リング周辺での観測結果を参照すると、 $1 \mu\text{m}$ サイズで 1000 e 程度帯電していることが示されている (Horanyi, 2004)。原始惑星系円盤において、この程度の電荷を持ったダストが衝突合体を繰り返し、粒径 1cm 程度の大きさになったと考え、帯電量はダストの体積に比例すると仮定すると、 10^{15} e 程度まで帯電すると見積もられる。このことから、1cm 程度の粒径のダストの運動において電磁気的作用を無視することができないことが示唆される。より詳細な検討には、ダストの成長過程と帯電量の関係を明らかにすると共に、ガスとの衝突による減速のタイムスケールとダスト粒子のジャイロ周期とが、円盤内でどのように分布し得るかを定量的に明らかにする必要がある。本発表では、より詳細な計算結果を示すとともに、計算で仮定したモデルの妥当性について議論する。

キーワード: 原始惑星系円盤, ダストプラズマ

Keywords: protoplanetary disk, dusty plasma