

原始星降着円盤の構造と微惑星形成 (II) Structure of the accretion disk around a protostar and the planetesimal formation (II)

今枝 佑輔^{1*}; 戎崎 俊一¹
IMAEDA, Yusuke^{1*}; EBISUZAKI, Toshikazu¹

¹ 理化学研究所
¹RIKEN

固体粒子の濃集が局所的に生じうる原始惑星系円盤モデルを、定常粘性降着円盤の範囲で構築した。原始惑星系円盤において固体粒子が濃集することは、ダスト層の重力不安定を通じた微惑星形成にとって非常に重要な過程である (Youdin and Shu 2002)。小さなダストは原始惑星系円盤内で合体成長し、粒径が大きくなるとガスに対して相対的に移動するようになることが知られている。移動の方向はガスの圧力勾配の向きに依存し、典型的な原始惑星系円盤ではダストの移動方向は内向きである。またその移動のタイムスケールは非常に速く、典型的には 1000 年程度で中心星に落下してしまうことが示唆されていて、微惑星形成の一つの困難と考えられている。

今回我々は、粘性加熱を考慮した定常降着円盤において、電離源として系外宇宙線、円盤内の放射性物質の崩壊に加え、熱電離の効果も取り入れて原始惑星系円盤モデルを構築した。様々な先行研究が示すように、原始惑星系円盤の外縁部は宇宙線による電離が十分なため、磁気回転不安定 (MRI) による乱流領域となる一方、宇宙線が十分遮蔽される内側高密度領域は赤道面で MRI 乱流が生じない静穏領域となる。今回の場合、熱電離も電離源として考慮したことにより、そのさらに内側に熱速度による衝突電離を起源とする MRI 乱流領域が形成される。そしてこの内側の乱流領域と静穏領域の境界は圧力勾配が正になりうる。多くの先行研究では (Balbus and Hawley 2000 等) この境界層は 0.1AU 程度と中心星に近い位置に存在している。一方我々のモデルではガス円盤の粘性加熱を考慮したことにより、この遷移領域が質量降着率が 10^{-7} Ms/yr 程度の進化段階では 1AU 程度に位置しうる。そのため境界層の温度が 1300K 以下に抑えられる。この境界層温度が抑制される効果は重要で、圧力勾配逆転層において固体成分が固体成分のまま溶けずに運動することを示唆している。

これを受け、我々は次のような微惑星形成のシナリオを描いている。ガス運動からわずかにデカップルしたダストはガス円盤から向かい風を受け角運動量を失い中心星に向かって落下する。落下に従い周囲の温度は上昇するものの、ダストは固体の状態を保ったまま 1AU 付近の圧力勾配逆転層にまで達する。そこで今度はガス円盤から追い風を受けることになり、角運動量をもらって外側に移動する。従ってこの境界層近傍では固体成分の濃集が生じ、ダスト層の重力不安定による微惑星形成が促される。我々は今回、この固体成分のトラップに必要なダストサイズが 1cm 程度であることを明らかにした。これにより、mm サイズ以下の固体成分とそれ以上の大きさをもった固体成分が進化の過程で選別される。また、1000K を超える領域で微惑星形成が行われることで、揮発成分が乏しい微惑星が形成され、地球型惑星の構成要素が水に乏しいことが示唆される。この原始惑星系円盤モデルの詳細について発表する。

キーワード: 原始惑星系円盤, 微惑星形成, 磁気回転不安定

Keywords: protoplanetary disk, planetesimal formation, magnetorotational instability