

中心星加熱円盤における惑星のタイプI軌道移動の数値計算と解析的見積もり Numerical simulations and analytical evaluations of type I migration in disks heated by the stellar irradiation

前島 直彦^{1*}, 渡邊 誠一郎¹

Naohiko Maeshima^{1*}, Sei-ichiro WATANABE¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科地球惑星環境科学専攻

¹Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Nagoya University

惑星は原始惑星系円盤の中で形成され、円盤ガスとの重力的相互作用により動径方向に移動する。そのうち低質量惑星についておこる「タイプI軌道移動」は、等温的な円盤では移動速度が大きく惑星は短時間で中心星へ落下してしまうという問題があった。ところが最近の研究では、断熱過程を考慮した円盤ではエントロピーの勾配が負の場所で惑星は外向きにも移動できることが分かっている (Paardekooper & Mellema 2006; Baruteau & Masset 2008; Paardekooper & Papaloizou 2008)。非等温円盤におけるタイプI軌道移動の数値計算を行った研究があるが (Lyra et al. 2010)、彼らの研究では中心星放射による円盤の加熱を考慮していない。

本研究では、中心星放射によって加熱される非等温円盤において惑星はタイプI軌道移動によってどのように軌道を変化させるかを数値計算によって求めた。円盤加熱機構として粘性加熱と中心星放射の両方を考慮した。円盤内には惑星に働くトルクがゼロになる「平衡半径」ができ、それは円盤進化タイムスケールで中心星方向へ移動する。惑星は急速に平衡半径に移動した後、平衡半径とともに内側へ移動し、やがてガス密度が十分薄くなると移動を止める。数値計算により、円盤加熱の主体が粘性加熱から中心星放射に遷移する領域に平衡半径が1つでき、それに追従して移動する $10M_E$ 惑星の最終到達位置は約 1AU になるという結果が得られた。粘性の大きさや光蒸発の質量放出率、中心星質量などのパラメータに対する依存性はあまり強くない、いずれの場合でも最終惑星位置はほぼ 1 AU 程度となった。一方で、円盤の比較的内側の領域から移動を開始した惑星は中心星近傍 (円盤の内縁) まで到達する。このような惑星がガス捕獲していた場合、ホットジュピターになると思われる。また、平衡半径のできる位置や惑星到達位置に関する解析的に求め、それが数値計算結果と良く一致することを確認した。

観測されている系外惑星の分布と比較する。現在、0.1AU 以内と 1AU 以遠の領域で特に多くの巨大惑星 ($>100M_E$) が発見されており、両者の個数の比は約 3:5 となっている。0.1 AU から 1 AU の範囲には系外惑星は少ない。このようなバイモーダルな系外惑星の軌道長半径分布は本研究の結果と整合的である。本発表では、2つの領域における惑星の数の比が定量的にどう理解できるのかについても議論する。

引用文献

Baruteau, C., & Masset, F. 2008, ApJ, 672, 1054

Lyra, W., Paardekooper, S.-J., & Mac Low, M.-M. 2010, ApJ, 715, L68

Paardekooper, S.-J., & Mellema, G. 2006, A&A, 459, L17

Paardekooper, S.-J., & Papaloizou, J. C. B. 2008, A&A, 485, 877

キーワード: タイプI軌道移動, 原始惑星系円盤, 系外惑星

Keywords: type I migration, protoplanetary disk, exoplanet