

Hot-Jupiter の蒸発が系外惑星分布に与える影響 Effects of Evaporation of Hot-Jupiters on Exoplanets Population

黒川 宏之^{1*}, 中本 泰史¹
Hiroyuki Kurokawa^{1*}, Taishi Nakamoto¹

¹ 東京工業大学
¹Tokyo Institute of Technology

観測数の増加により、系外惑星の質量や半径の分布について、統計的な議論が可能となってきた。Hot-Jupiter の分布において、軌道長半径もしくは公転周期と、惑星質量や惑星表面重力、密度に相関があることが指摘されてきた (Mazeh et al., 2005; Southworth et al., 2007; Jackson et al., 2012)。そのような分布を説明するメカニズムとして提案されているのが、中心星 XUV(X-ray + EUV) の上層大気加熱が引き起こす大気散逸による、Hot-Jupiter のエンベロープの蒸発である (Lammer et al., 2003; Jackson et al., 2012 など)。

従来の Hot-Jupiter 蒸発に関する理論研究では、熱進化や質量損失に伴う惑星の半径や密度の変化を無視していたり、単純な energy-limited escape の見積もり (Erkaev et al., 2007) が用いられてきた。しかし、質量損失に伴う惑星の半径変化は暴走的な質量損失を引き起こす可能性が指摘されている (Baraffe et al., 2004)。その過程では Roche-lobe overflow が散逸に寄与することも考えられる。さらに、大気散逸にとって重要な、若い中心星の強力な XUV 放射のもとでは、上層大気は高電離状態にあり、Lyman-alpha 放射による冷却効果が大気散逸率を支配する (recombination-limited escape) と考えられている (Murray-Clay et al., 2009; Owen and Jackson et al., 2012)。本研究では、形成直後からの惑星の熱進化と質量損失進化を同時に解く数値計算を行った。さらに、質量損失進化については、半解析的な上層大気モデルをつくることにより、上述の高 XUV における recombination-limited escape と Roche-lobe overflow をモデルに取り入れた。

結果として、惑星のエンベロープが全て失われるような散逸は、中心星近傍 (1 木星質量の場合、0.015AU 以内) で起こり、主に energy-limited escape ではなく、recombination-limited escape のもとで起こることがわかった。さらに、質量損失は惑星半径の膨張につながり、暴走的な質量損失を引き起こして、最終的に Roche-lobe overflow での蒸発を起こすことがわかった。この暴走的な進化をとげるかは惑星の初期質量に依存するため、各軌道長半径において、数十億年でエンベロープが全て蒸発するクリティカルな質量を定義することができる。そのような軌道長半径-クリティカル質量の関係を本研究の進化計算から求め、観測されている系外惑星の質量分布との比較を行った。Hot-Jupiter のコアサイズや形成史 (migration の有無) などに応じてクリティカル質量を求め、観測と比較することで、惑星形成理論への示唆を与えることができる。本研究の結果からは、Hot-Jupiter が典型的に 10 地球質量程度の小さいコアを持っていた場合、観測されている質量分布と整合的である。

キーワード: 系外惑星, 大気散逸, ガス惑星, ホットジュピター

Keywords: exoplanet, atmospheric escape, gas planet, Hot-Jupiter, stellar XUV