

ホットネプチューンの質量と平均密度関係に対する系統的理解 A Systematic Study of the Mass-Density Relation for hot-Neptune

黒崎 健二^{1*}, 生駒 大洋¹, 堀 安範¹

Kenji Kurosaki^{1*}, Masahiro Ikoma¹, Yasunori Hori¹

¹ 東京工業大学・理・地球惑星

¹Earth and Planetary Sciences, TokyoTech

本研究では、系外惑星のトランジット観測における次のターゲットとして期待される H₂O 主体の惑星について、内部構造モデリングおよび質量散逸を考慮した熱進化計算によって、惑星の質量と平均密度、年齢等の関係を理論的に導いた。

系外惑星の検出法の中で、惑星の引力による中心星のゆれを（ドップラー遷移として）測定する視線速度法と、惑星が中心星を横切る時の食によって生じる中心星の見かけの減光を観測するトランジット法が主流である。とりわけ後者の発展がここ数年顕著である。これら 2 つの観測法の組み合わせによって、惑星の質量と半径が分かり、系外惑星の平均密度を求めることができるようになってきた。平均密度を求めることができれば、惑星の組成や内部構造を推定することができる。そうした情報は、惑星の起源と進化を知る上で有用である。

これまでに平均密度が測られた系外惑星の数は 100 を超えるが、そのほとんどがいわゆる「ホットジュピター」と呼ばれる惑星である。厳密な定義はないが、質量が地球質量の 100 倍程度あるいはそれ以上あり、軌道長半径が 0.1AU 以下の惑星を総称してそう呼ぶ。これまでに、平均密度の観測値に合致する内部構造を再現することで、ホットジュピターが木星や土星のような水素主体の惑星であることが確認されている。また、さらに詳細な議論によって、内部熱源の存在や質量散逸の可能性などが議論されている。

その一方、宇宙望遠鏡や大型地上望遠鏡の稼働に伴い、地球質量の数倍から数十倍程度という小質量の系外惑星が次のターゲットになりつつある。それらは「ホットネプチューン」あるいは「スーパー地球」と呼ばれる。質量の観点では太陽系に存在しない惑星であるので、それらが H₂O を主体とする海王星型であるのか、または岩石を主体とする地球型の惑星であるのか、その詳細は全く不明であると言ってよい。

H₂O 主体の惑星の質量と半径の関係については、天王星や海王星のような低温環境の惑星に関してはこれまでに議論されている。しかし、惑星表面温度が 1000K に達するような状況は考慮されていない。また、中心星近傍の惑星の進化にとって特に重要である質量散逸についても系統的な議論がなされていない。

そこで、本研究では、H₂O を主成分とする惑星の 1 次元内部構造モデリングと熱進化過程を数値計算した。その際、質量散逸の効果や中心星輻射による兼ねるの効果を取り入れた。質量散逸に関しては、中心星からの紫外線によって駆動される流体力学的散逸を想定した。また、中心星輻射による加熱は、適当な大気モデルを用いることで、内部構造モデリングに組み込んだ。そして、惑星の構造的な議論だけでなく、時間的な発展を含めて質量と平均密度の図上で H₂O 主体の惑星がどう分布すべきかを系統的に調べた。

重要な結果の一つとして中心星近傍に存在する H₂O 主体の惑星に質量の下限値があることが示唆された。このように質量 平均密度分布上での存在域を理論的に予言するとともに、観測との比較に向けて理論の精度を上げるための今後の課題について定量的に議論する。

キーワード: 系外惑星, 惑星進化, 氷惑星, 水

Keywords: extrasolar planets, planetary evolution, ice giant planets, water