

巨大氷惑星の熱進化における氷成分凝縮による熱進化への影響 The effect of the condensation of ice components on the theoretical estimate of the thermal evolution of ice giants

黒崎 健二^{1*}; 生駒 大洋¹

KUROSAKI, Kenji^{1*}; IKOMA, Masahiro¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹ Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

天王星と海王星はどちらも同じような質量・半径を持つが、それらの熱放射強度や大気組成は互いに異なっている。天王星と海王星はどちらも有効温度が 59K であるため、天王星の熱放射は海王星に比べて小さいことが知られている (Hubbard et al., 1995)。惑星内部が全対流すると仮定して、水素エンベロープ・氷マントル・岩石コアの 3 層からなる惑星の熱進化計算を行った結果、海王星の有効温度は 3 層構造の惑星モデルで説明可能だが、天王星の有効温度は熱進化計算で得られる値より低いことが示された (Fortney et al., 2011; Nettelmann et al., 2013)。これまでの研究では惑星大気の氷成分の凝縮の影響を考慮していなかった。

天王星と海王星の進化を分けた原因の一つとして、巨大衝突の有無が挙げられる。天王星は自転軸が大きく傾いていることから、過去に巨大衝突を受けたことが示唆されている (Slattery et al. 1992)。巨大衝突を受けた天王星は氷成分が水素エンベロープに巻き上げられ、均質に混ざる可能性がある、他方、海王星は固体コアの周りに円盤ガスが降着して形成し、巨大衝突は受けていないと考えられる。したがって、天王星と海王星では初期の内部組成分布が異なることが予想される。特に前者のような巨大衝突を受けた惑星は大気中に氷成分を多く保持することになるため、凝縮の影響が大きいと考えられる。これまでの惑星熱進化計算は、大気を境界条件とし、内部で全対流する惑星を扱ってきた。低温度環境下では惑星大気中の氷成分は熱進化に伴い、凝縮する可能性があるが、凝縮を考慮した大気を持つ惑星の熱進化の議論はまだされていない。天王星と海王星の熱進化の違いを議論することは天王星と海王星の起源を制約するだけでなく、今後系外惑星のキャラクタリゼーションを行い、それぞれの気組成やバルク組成、起源を理解する上でも重要である。

本研究では、氷成分凝縮を伴う大気を考慮した惑星の熱進化モデルを構築した。今回の発表では、水の凝縮を考慮した場合の結果を示す。惑星大気中において水が凝縮すると、凝縮による湿潤対流の発生と、水の沈降による湿潤対流の抑制が起こると考えられる。湿潤対流が維持されると、大気構造の変化に伴い惑星放射が変わり、射出限界 (Nakajima et al., 1992) に従う惑星放射で冷却が起こるようになる。その結果、凝縮の効果を無視した場合と比較して、惑星の熱進化が早くなることがわかった。これは、凝縮による潜熱解放を考慮しない場合だと、惑星大気の温度が低いいため、惑星放射が小さくなるが、凝縮を考慮すると、惑星大気の温度が高くなるため、惑星放射が大きくなり、惑星の冷却が効率良く働くためである。これらの結果は、今後天王星・海王星の熱進化の違いを議論する上で重要であると考えられる。

キーワード: 巨大氷惑星, 熱進化

Keywords: ice giants, thermal evolution