

# 論文審査の結果の要旨

氏名 小 玉 貴 則

本論文は、地球型惑星における海洋存在条件に関する理論研究である。特に、中心星光度の増大に対する水蒸気大気の構造変化および大気散逸に対する安定性について、数値モデルを用いて詳細に調べた結果をまとめた論文である。

本論文は5章からなる。第1章では、論文全体に対する導入として、海を有する地球型惑星の形成理論の概要および水の存在有無と循環過程の違いに基づいた地球型惑星の分類について先ず述べられている。そして、地球のように繋がった海洋を持つ惑星（海惑星という）と海が繋がっていない惑星（陸惑星という）の進化に関する先行研究のレビューがなされ、最後に本研究の目的が示されている。第2章では、中心星光度の増大によって生じる海惑星状態から陸惑星状態への遷移に関する研究結果がまとめられている。ここでは、放射対流平衡状態にある大気の鉛直1次元構造を数値シミュレーションし、大気散逸による水蒸気の時間的減少量を求め、陸惑星状態への遷移が起きる条件を主に初期海洋質量に着目して求めている。第3章では、陸惑星における海洋存在条件に関する研究結果がまとめられている。特に、惑星表面上での水分布の影響に着目し、3次元気候モデル（GCM）を用いて、中心星光度の増大に対する大気構造の応答について調べ、定常状態が破綻する中心星光度の限界を求めている。第4章では、第2章と第3章で得られた結果を総合し、海を有する地球型惑星の進化に対する新たな描像が示され、将来の太陽系外惑星観測への示唆が述べられている。最後に第5章で本論文の結論が述べられている。

先行研究によって、中心星光度の増大によって大気中に水蒸気が充満すると、中心星からのエネルギー入射量と大気から宇宙空間へのエネルギー射出量のバランスが崩れ、大気が高温化する（暴走温室状態という）ために海洋が蒸発し、最終的に水蒸気が宇宙空間へ散逸してしまうことが知られている。また、そのバランスが崩れる中心星光度の限界値（射出限界という）は、海惑星と陸惑星とは異なり、陸惑星の方が限界値が大きいことも先行研究で調べられている。先行研究が海惑星状態および極端に海水量の少ない陸惑星状態の安定性を調べてい

るのに対し、本論文は海惑星状態から陸惑星状態の遷移過程について調べており、明らかな新規性が認められる。しかも、それによって、海惑星になるか陸惑星になるかは惑星形成時における水の獲得量だけで決まるのではなく、海惑星が元々もっていた海洋の一部を散逸することで陸惑星状態に遷移するという新たな進化経路を発見し、その条件を定量化した。結果として、陸惑星状態への遷移を考慮しない場合に比べて、惑星上に海を保持する期間が長くなることが示された。また、本論文では、射出限界が陸惑星表面の水分布に依存することを定量的に示し、その物理的要因を解明した。これらの結果は、地球型惑星の海洋存在条件に関する画期的な知見を与えるだけでなく、将来の太陽系外での生命惑星探索に向けて、天文学・惑星科学に重要な貢献を与える成果であると評価できる。

なお、本論文第2章は阿部豊氏・玄田英典氏・Kevin Zahnle氏との共同研究であり、第3章は阿部豊氏・阿部彩子氏・玄田英典氏・高尾雄也氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって発案および数値計算、結果の解析をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上により、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。