

# 論文審査の結果の要旨

氏名 濱野 景子

太陽系外に多数の惑星が発見され、地球のような海を持つ「水惑星」の発見に向けた努力がなされている現在、地球型惑星における水の存在量がどのように決まっているのかを明らかにすることは、最重要検討課題のひとつである。本論文は、惑星形成の最終段階に注目して、水惑星の形成条件を定量的に明らかにしようとするものである。

本論文は7章から構成される。第1章は、イントロダクションであり、先行研究とそれらの問題点が述べられている。古典的な惑星形成論では微惑星の連続的な集積が想定されていたが、現在では、まず微惑星から火星サイズの原始惑星が形成され、それらが互いに巨大衝突(ジャイアントインパクト)して、惑星が形成されると考えられている。一方、惑星集積時には様々なプロセスによる水の供給・損失が生じる可能性も明らかになってきた。本研究では、こうした現代的な描像に基づき、ジャイアントインパクトによって大規模溶融した惑星が固化する過程で水の存在量が決定される可能性を理論的に検討することが述べられている。

第2章では、ジャイアントインパクトによって形成される水蒸気大気及びマグマオーシャンが相互作用しながら進化することが述べられている。水はシリケートメルトへの溶解度が高いためマグマオーシャン中に大量に溶け込んでいるが、マグマオーシャンの固化にともない水蒸気が脱ガスして大気形成されると、水蒸気の強い温室効果が惑星の冷却速度を律速する。さらに、大気の流れ力学的散逸(ハイドロダイナミックエスケープ)が生じると、大気量や惑星の冷却速度が影響を受ける。これらの諸過程をモデル化することが述べられている。

第3章では、そのような相互作用進化を定量的に評価するための物理モデルについて述べられている。水蒸気大気放射対流平衡、中心星光度及び極端紫外線強度の進化、シリケートメルトと水蒸気大気間の溶解平衡、上層大気からの水の散逸、マグマオーシャンの冷却などに基づいた大気とマグマオーシャンの結合進化モデルの構築について記述されている。

第4章では、水の散逸が生じない場合の水蒸気大気とマグマオーシャンの進化についての結果及び考察が述べられている。この場合、惑星が受け取る正味恒星放射と対流圏の射出限界の大小によって初期進化が大きく異なることが述べられている。マグマオーシャン固化に伴って形成される水蒸気大気の温室効果によって、惑星放射は減少する。正味恒星放射が射出限界より小さい場合、脱ガスによって厚い大気形成され、最終的に惑星放射と射出限界が等しくなる結果、正味恒星放射と射出限界の差が最小冷却速度を与える。一方、正味恒星放射が射出限界よりも大きい場合、マグマオーシャン固化の途中で惑星放射が正味恒星放射と釣り合い、マグマオーシャンはそれ以上固化しなくなることが述べられている。このような初期進化の描像は本研究によって初めて明らかにされたものである。

第5章では、中心星からの極端紫外線によって大気のハイドロダイナミックエスケープが生じ、惑星の水の量が減少する場合についての結果及び考察が述べられている。正味恒星放射が射出限界よりも小さい場合には、水の散逸はあまり影響しないが、逆の場合には大量の水が失われる。この結果、惑星放射は正味恒星放射と釣り合わず、水の散逸速度によってマグマオーシャンの固化が律速されることが述べられている。このようなプロセスによって惑星の水の量が必然的に決まることを明らかにした点は大変意義深い。

第6章では、本研究では十分に考慮されていないプロセスや、先行研究との結果の違いについて考察されている。また、太陽系外惑星観測でマグマオーシャンが最も観測されやすい条件や、地球と金星がマグマオーシャン固化時点ですでに異なった初期進化をしていた可能性について述べられている。

第7章では、全体の結論がまとめられている。

本委員会は、平成24年1月20日に学位論文の内容および関連事項について口頭試験を行った。本研究によって、ジャイアントインパクト直後に形成された水蒸気大気とマグマオーシャンの相互作用に水の散逸効果を加えた定量的検討がはじめて行われ、水の存在量が惑星形成の最終段階で決定づけられることが明らかとなり、惑星形成条件の違いで水惑星に進化するかどうかが決まることが定量的に示された。これは惑星形成のフレームワークを構成する画期的な成果というべきもので、きわめて高く評価できる。したがって、本研究は地球惑星システム科学における重要な進展をもたらす業績であると判断し、審査委員全員一致で合格と判定した。

なお、本論文は阿部豊氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって数値計算コードの開発、数値計算及び考察を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上より、本論文は地球惑星科学、とくに地球惑星システム科学の発展に寄与するものと判断し、博士(理学)の学位を授与できると認める。