

論文審査の結果の要旨

氏名 佐々木貴教

本論文の主要部分は2部構成となっている。第1部（第2章～第6章）は、地球型惑星の大気進化に関するイントロダクション及び本論文で開発したハイドロダイナミックエスケープの数値計算コードに関する手法の説明とその妥当性の検証である。第2部（第7章～第10章）は、開発した数値計算コードを過去の金星大気の問題に対して適用した結果とその考察である。

本論文の主要部分に入る前に、まず第1章では本論文の惑星科学全体における意義と将来性が述べられている。

第1部

第2章は、ハイドロダイナミックエスケープの重要性とその役割についてまとめられている。本論文で開発された新しい計算コードを用いることで、これまで定量的な議論を行えなかった問題にはじめて取り組むことができる可能性が示されている。

第3章は、ハイドロダイナミックエスケープに関する先行研究についてのイントロダクションであり、解析的及び数値的な手法による先行研究がまとめられている。

第4章は、本論文で開発したハイドロダイナミックエスケープの数値計算コードの説明である。数値計算に用いた基本方程式系、大気中のエネルギー分配の方法、太陽進化にともなう放射エネルギーの時間変化の与え方について述べられている。この章では単成分の惑星大気についての数値計算コードが示されている。なお、具体的な計算手法及び用いたデータに関しては、本論文の最後に付録A及びBとしてまとめられている。本論文では、計算コードの開発においてCIP法という新しい数値計算手法を用いることで、安定な数値解を得ることを可能とした。

第5章は、第4章で開発した計算コードの妥当性の検証について述べられている。解析解が存在する等温大気及びポリトロップ大気、断熱大気について大気構造を計算し、解析解と数値解が一致することを示した。これにより、本論文で開発された数値計算コードが十分に信頼できる結果を与えることが示される。なお、解析解の導出に関しては、本論文の最後に付録Cとしてまとめられている。

第6章は、第4章で作成した計算コードの多成分大気への拡張である。多成分大気におけるハイドロダイナミックエスケープの数値計算コードはこれまで存在しない。

本論文ではCIP法を用いることで、世界で初めて多成分大気についての安定な数値解を得ることに成功した。この点は、非常に高く評価できる。また、この計算コードは汎用性が高いことが特徴で、今後、惑星の大気散逸に関するさまざまな問題の解明につながることを期待できるという点において、大変意義深いものである。

第2部

第7章は、本論文で扱う金星の大気散逸問題に関するイントロダクションである。金星史初期の表層からの水の散逸問題及び金星大気中の希ガス分別の問題についてまとめられている。

第8章は、初期金星からの水の散逸に関する計算結果及び考察である。金星における水の散逸は古くから議論されている大問題であるが、数値計算によって水の散逸の可能性が定量的に議論されたのは本論文が初めてである。数値計算の結果、初期の金星表層に存在したと考えられている大量の水を、ハイドロダイナミックエスケープによって散逸するための条件が明らかにされた。ただしその制約条件は非常に厳しいことも明らかになったため、非熱的散逸など、別の散逸メカニズムの可能性についても議論がなされている。

第9章は、金星大気中の希ガス分別過程に関する計算結果及び考察である。これも古くから議論されている重要な問題であるが、数値計算によって定量的に議論されたのはやはり本論文が初めてである。ここでは、希ガスの散逸に影響を与える一酸化炭素による大気の冷却効果も考慮されている。数値計算の結果、現在の金星大気中の希ガス存在度を、ハイドロダイナミックエスケープによる大気進化によって説明することは困難であることが明らかにされた。水蒸気による大気の冷却効果まで考慮することで、金星の希ガス存在度を説明できる可能性についても議論されている。

以上の結果は、これまで長年にわたって定性的な議論にとどまっていた金星大気形成・進化過程に関する問題を初めて数値計算によって定量的に明らかにしたという点において、非常に大きな貢献であるといえる。

第10章は、金星大気散逸に関するまとめ及び将来の研究方針について述べられている。第8章及び第9章において提示された新たな問題について研究の指針が明確

に示されており、今後さらなる研究の進展が期待される。

なお、本論文は、阿部豊（第6・8・9章）及び玄田英典（第6章）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及び数値計算、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、博士（理学）の学位を授与できると認める。