

論文審査の結果の要旨

氏名 千秋博紀

本論文は2章からなり、第1章は集積中における火星の初期熱進化について、第2章は火星の金属コアの形成と、コア形成が火星のテクトニクスに与える影響について、それぞれ述べられている。

近年の数値的、解析的な研究によって、原始太陽形星雲からの惑星形成過程について、より明瞭な描像が得られてきた。一方で、火星探査機によって得られたデータが解析によって現在の火星像も詳細に明らかになってきた。しかし、1970年代から1980年代前半にかけて行われた火星進化の理論的研究は、既に現在の惑星集積やその後の進化の理解とは調和的ではない。1980年代後半以降、現代的な惑星形成論に基づく火星の進化研究は存在しない。現在の火星について得られたデータを解釈するうえでも、火星形成過程に何らかの制約を与えるためにも、現代的惑星形成論に基づくより現実的な進化モデルが求められている。本研究は現代的な惑星形成論に基づく、火星内部構造進化の理論的研究である。

火星は、微惑星の集積による火星形成時の衝撃加熱イベントと、中心に金属コアが形成される際に解放される重力エネルギーによる加熱イベント、の少なくともふたつの大きな熱的イベントを経験している。論文提出者は両者について数値モデルを構築し、その結果について吟味、検討を行った。

第1章では、火星の形成段階における内部熱構造の進化について検討している。微惑星が衝突すると、衝撃加熱によって微惑星の持っていた運動エネルギーの一部が熱として（原始）火星内部に蓄えられる。これによって、内部熱構造が進化してゆく。従来の研究と比較したときの本章の研究の最大の特徴は、微惑星の衝突による局所的な加熱の効果を考慮した点にある。衝突地点付近の局所的加熱によって熔融領域（マグマポンド）が形

成され、その内部で金属はシリケートから重力分離することが可能である。これまでの熱構造進化の研究においては、微惑星の衝突による熱的影響は時間的、空間的に平均化して考えていたため、このような局所的現象は考慮されていなかった。また、熔融に伴う金属鉄とシリケートの分離と、それによって解放される重力エネルギーの効果も考慮されている。

その結果、以下のことが示された。(1) 火星サイズの惑星では、集積中に大規模なマグマオーシャンは形成されない。(2) 局所的な加熱の効果によって、全球的な熔融が起こらなくても、金属とシリケートは重力分離することができる。(3) しかし分離した金属は火星中心まで到達せず、ある深さで止まってしまい、金属層を形成する。金属層は中心部のプロトコアより密度が大きく、重力的に不安定であり、やがて入れ替わりを生じるはずである。

第2章では、集積過程で形成された金属層から重力不安定によってコアが形成される過程を数値シミュレートしている。この過程では、プロトコアの粘性率が重要なパラメータである。重力不安定による火星内部の流動変形そのものに伴って、粘性散逸による熱が発生するが、その熱によって内部の温度が上がり粘性率が変化することが重要である。本章では、まず、コアの形成プロセスの全体的な特徴を掴むために粘性散逸による加熱の効果を検討しないモデルを構築し、次に粘性散逸の加熱の効果も考慮に入れたシミュレーションを行っている。

その結果、以下のようなことが示された。(1) プロトコアは長寿命放射性核種の崩壊熱によって温められるため、形成過程で中心部が著しく低温であった場合でも、金属コアは火星の形成後20億年以内に形成される。

(2) コアの形成過程は長波長成分が卓越する。(3) コアの形成に伴う内部加熱は非対称性に分布する。

特に(3)の内部加熱の非対称性は、現在、火星に南北非対称性が見られる理由を説明できる可能性がある。また、集積から数～十数億年経てからコア形成に伴って解放された重力エネルギーは火星表面の巨大な火山地形の熱源になりうる。これらの結果は、今後のより詳細な検討によって、観測されている現在の火星の状況と、形成・進化過程を結びつける糸口と

なる可能性がある。

なお、第1章は東京大学新領域創成科学研究科の松井教授及び北海道大学理学研究科の倉本助教授との、第2章は東京大学新領域創成科学研究科の松井教授との、それぞれ共同研究であるが、これらの研究においては論文提出者が主体となってモデル構築・実験・解析を行ったものである。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。