

# 論文審査の結果の要旨

氏名 鎌田 俊一

本論文は6章からなる。第1章は、イントロダクションであり、惑星の熱構造は進化のすべてを司るものであること、月は衛星とはいえ大きく、岩石のみからなるため単純であり、多くの観測データがあることから、惑星の熱進化を考える最適の対象であることが述べられている。それに引き続き、従来の研究のレビューがなされている。観測としては熱進化を論ずるに足る地球物理観測データがきわめて貧弱であったこと、モデル研究としては、密度・粘性が一定というきわめて単純な粘弾性モデルしか存在しなかったため、月の初期条件ならびに進化を定量的に論ずることが不可能であったことが示されている。その上で、本研究の目的は、最新の高解像度の地形・重力場観測を用い、高精度の粘弾性モデルによりそのデータを解析し、月の熱進化を定量的に論ずることであることが述べられている。

第2章は、粘弾性モデル構成方程式とその計算方法を述べており、その内容は *Jour. Geophys. Res.* 誌に投稿中である。杉田精司ほか10名との共同研究であるが、共著者たちからは口頭のコメントをうけているだけで、事実上論文提出者個人の研究といっても差し支えない。構成方程式は、高次球面調和関数で、従来の計算スキームにおいて **Initial method** がもつ計算の重さ、**Normal model** がもつ長期モードにおける誤差の大きさという問題を克服するべく、高精度である **Initial method** でありながら計算時間を大幅に短縮できることが特徴をもつことが示されている。モデルでは、高温状態から冷却する過程でモホ面に擾乱を与え、その緩和の時間発展を追う。膨大なパラメータ計算の結果、現在観測される重力場と地殻・地形を整合的に説明しうる初期条件および境界条件を推定するという手法が示されている。

第3章は最新の探査データを解析し、裏側高地の地形が維持されるための初期条件を推定したものである。モホ面の初期温度をパラメータとし、46億年後の地殻厚さを求め、現在の地殻が維持される条件を制約した。その結果、その温度を可能とする熱源としての放射性元素を推定することが可能となり、月裏側は地下深部まで放射性元素に枯渇していることが結論された。月表側は放射性元素に富むことを考え合わせると、月高知にはマグマオーシャン固結の残

液が乏しいということが示された。

第4章は、いくつかの衝突盆地にみられる重力異常を伴わずほとんど平らな地形、すなわち完全に緩和してしまった地形となる条件を推定したものである。月地殻の物性とかんらん岩を仮定したマントルの物性を用いると、地形と重力を完全に緩和させるためには、地殻厚さは60km以下である必要があり、さらに、固体状態だけでは緩和できないことが示された。このことは、緩和がおきたのはマントル最上部が部分融解している時期、すなわちマグマオーシャン固化の最終段階の部分融解状態でなくてはならないことが制約された。

第5章においては、最新の海にみられる等重力面（“セレノイド”）を説明しうる変形のモードを調べたものである。まず、多くの盆地において地形とセレノイドの関係を調べたところ、すべての盆地において地形は重力場に対して0.1度傾斜しているという結果が得られた。それを説明しうる球面調和次数、加重位置、粘性構造を推定した結果、次数6、加重は数10km程度の比較的浅所に存在しなくてはならないという結論が得られた。具体的には、盆地ごとの地殻厚さの不均質、あるいはマグマオーシャン固化直後に形成されたilmeniteに富む層の存在が挙げられた。これらの可能性は、最近にまで続く長期間の変形が起きていたことを意味しており、現在の地形や重力場が初期の温度・構造に強く制約されていることを示していることが明らかにされた。

本研究においては、申請者自身が開発した高精度モデル最新の観測事実に適用することで、月の熱・構造進化について、裏高地と表海の違いを含めた全体的描像を定量的に描くことにはじめて成功した。この結果は、固体地球物理および惑星科学の両面から、高いオリジナリティと高いレベルに至っている。

以上のことから、本論文に博士（理学）の学位を授与できるものと認める。