

観測されたアドミッタンスからみた月の長波長地形の成因に対する制限：月の熱史と地形の粘性緩和

Constraints on Origin of Large-scale Lunar Topographies from Observed Admittance: Viscous Relaxation with Lunar Thermal History

小島 勝行 [1], 阿部 豊 [2]

Katsuyuki Ojima [1], Yutaka Abe [2]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 東大・理・地球惑星物理

[1] Earth and Planetary Phys, Univ of Tokyo, [2] Earth Planetary Phys., Univ. Tokyo

月の長波長地形（質量中心 - 形状中心のずれや二分性を含む）の成因に関してはいくつかの候補が挙げられる。本研究では、観測された月のアドミッタンス（ジオイド高 / 地形高）から月の長波長地形の成因に対して制限を与えるを試みる。重力異常を表面起伏とMoho面の起伏の寄与に分解し、水平スケールや形成時期が異なる起伏が粘性緩和した結果、現在示すアドミッタンスを計算した。粘性緩和計算の際には、表面から冷却される粘弾性球として月を近似した。その結果を観測と比較し、長波長地形の成因としてはlarge impactとlamination + dynamic supportが観測と調和的であることが示された。

はじめに： 探査機による月の地形・重力の観測から、月には質量中心 - 形状中心のずれ（約2km）や二分性（海は表側に、高地は裏側に集中している。海 - 高地で地殻の厚さが異なる）といった特徴が見られることがわかった。これらの長波長地形の成因に関しては幾つか候補が挙げられている。外因説としてはlarge impact、内因説としてはlamination（地殻とマントルの中間の密度を持つ物質が浮上して地殻下面に付く）やcrustal thinning（マントル流によって地殻下面が削られる）、それらにdynamic supportを加えたものなどである。これらの成因によって形成される地形はそれぞれ、表面とMoho面の起伏の位相や割合が異なる（例えばlarge impactでは、表面が削られ、dynamic upliftによってMoho面が隆起すると考えられるため、表面とMoho面の起伏は逆位相になるはずである。さらに、impactは表面で起こるため、表面起伏の寄与が大きいはずである）。従って、それらの地形起伏が粘性緩和して出来たと思われる現在の地形起伏も成因ごとに異なるはずである。この研究では、観測されたアドミッタンス（ジオイド高 / 地形高）から、月の長波長地形の成因に対して制限を与えるを試みる。

現在の観測量から昔の地形を推定する手順は次のようである。まず、様々な成因によって出来る地形と地殻以下の密度異常の分布（Moho面の凹凸を含む）を、表面とMoho面の起伏の重ね合わせによって表す。これにより、2つの簡単な場合だけで様々な状況を考慮することが可能になる。次に、表面起伏とMoho面起伏の粘性緩和をモデル計算し、どの時期に形成された地形が現在どのような状態になるかを推定する。最後に、その結果を実際の観測データと比較することにより、元の地形（成因）を推定する。

表面起伏とMoho面起伏の重ね合わせ： 重力異常に関係する様々な地形や密度異常は、表面とMoho面の起伏の重ね合わせによって表すことが出来る。重ね合わせによって出来る地形のアドミッタンスに関しては、次のことが言える。観測からアドミッタンスがわかると、形成年代を仮定することにより、形成時の表面起伏とMoho面起伏の割合と位相が一意に決まる。ある地形のアドミッタンスが、表面起伏のみの場合とMoho面起伏のみの場合にそれぞれ示すアドミッタンスの間の値をとる場合、その地形は表面起伏とMoho面起伏の逆位相の重ね合わせによって出来たものである。そうでない場合、同位相の重ね合わせによって出来たものである。この2つのことから、モデル計算の結果と観測を比較する時に制約を与えることが出来る。

地形の粘性緩和： クレーター年代から、現在の月の地形は月の形成から数億年経過した後に出来たと思われる。月の熱史を考えると、月は形成初期に非常に熱く、その後表面から冷えていったと思われるから、弾性層の厚さは形成初期には非常に薄く、時間と共に増加していったはずである。それに伴い弾性支持力が時間と共に増加するため、粘性緩和による地形起伏の隆起や沈降はある時期に弾性力によって支えられ、止まることが期待される。また、後の時代に出来た地形ほどアイソスタシーに達しにくくなるはずである。地形の粘性緩和にはこれらの冷却の効果が重要である。

粘性緩和モデル： 様々な時代に形成された表面起伏とMoho面起伏の粘性緩和を計算し、それらが現在示すアドミッタンスを求めた。二層モデル（地殻 - マントル）の粘弾性体球として月を近似し、内部の温度は形成時に1500K（岩石の融点温度程度）で一様、表面から熱伝導で冷却されているとした。各層の粘性率は、実験に基づくオリビンのレオロジー（Karato and Wu, 1993）から温度の関数として与えた。

結果・結論： 粘性緩和計算の結果得られたアドミッタンスと月のアドミッタンスを比較すると、月の長波長地形のアドミッタンスは、月形成から100My経過した時に出来た表面とMoho面の起伏が現在示すアドミッタンスの間に入る。このことから、長波長の地形が月形成から100My以上経ってから出来たとすると、それらは表面・Moho面起伏の逆位相の重ね合わせであったことがわかる。さらに、現在観測されるアドミッタンスの値を説明する形成時の表面起伏とMoho面起伏の割合を求めたところ、最長波長（球面調和の次数2-3）の地形に関しては、表面起伏の割合がアイソスタシー成立時のときよりも大きいことがわかった。これら2つの条件を満たす成因は、large impactとlamination + dynamic supportである。以上のことから、月の長波長地形の成因としては、これら2つが観測と調和的であることが示された。