

「かぐや」の測月データで推定した月衝突盆地の構造と月進化

石原吉明（国立天文台）

天体衝突は月を含む固体天体一般について表層・内部構造（～マントル上部程度まで？）進化の最も大きな駆動力である。特に衝突盆地と呼ばれる直径 300km をこえる規模のクレータを形成する衝突現象は、大規模な地殻の削剥や、さらにはマントルを掘削する可能性を有するなど重要性が高い。また、衝突盆地の構造が、形成後にどの程度緩和されたかは、盆地形成後の温度状態に強く依存するため、衝突盆地の構造解析から熱進化に関する拘束条件を提供することも可能である。衝突盆地の地下構造を解析する為には、鉛直一次元ではなく 3 次元的な月・惑星の内部構造を推定する必要があるが、月や惑星においては、地球のような稠密な地震観測網のデータや構造探査データは存在しないため、内部密度異常に感度のある重力場データと、形状（地形）データを用い、内部の密度境界面の形状の推定を行うことが、ほぼ唯一のアプローチとなる。しかしながら、月の場合、自転周期と公転周期が同期しているため、追跡データによって拘束されていない月裏側の重力場モデルの精度が解析に用いるには不足していた。このため、月には衝突盆地スケールの巨大クレータが約 50 同定されているが、これまで月裏側に存在する衝突盆地を含めた解析は行われてこなかった。2007 年に打ち上げられた日本の月周回探査機「かぐや」では、レーザ高度計を用いた全球計測によって月形状データを高精度に更新するとともに、リレー衛星を用いて主衛星の月裏側での軌道運動を直接追跡することにより、主として月裏側の重力場モデルの精度を大幅に向上させることに成功し、月裏側を含めた解析にたえる重力場モデルが構築された。

本研究では、「かぐや」により得られた最新の重力・地形モデルに基づいて、地殻厚（モホ面形状）モデルをアップデートした。モデリングにあたっては、Ishihara et al. [2009]と同様に、単純な 1 層地殻モデルを採用し、地形による重力効果を取り除いた完全ブーゲ異常は、地殻とマントルの境界であるモホ面の形状（凹凸）に起因すると仮定した。また、地殻の密度は 2800 kg/m^3 、マントルの密度は 3360 kg/m^3 を仮定し、それぞれ層内で一定とした。また大規模な海についてのみ玄武岩の効果密度を 3200 kg/m^3 と仮定して考慮した。一般的に重力・地形から月地殻厚（モホ面形状）の推定を行う場合、拘束点は、月震解析により推定された Apollo12/14 号サイトでの地殻厚を用いるのが一般的であるが、近年の再解析により、Apollo ミッション直後の結果と比較して半分程度の地殻厚が推定され、さらに研究グループ毎に推定値が異なるという状況にある。このため、本研究では最薄地殻厚が 0 km 程度となるよう拘束し、最薄 1 層地殻モデルとしてモホ面のモデリングを行った。また、新たに構築したモホ形状モデルと地形データを用いて、Wieczorek and Phillips [1999]と類似の手法により、方位

角平均をとった平均構造断面作成と衝突掘削キャビティの復元を行い、各衝突盆地の現在の形状と緩和の程度の解析を行った。

既知のすべての衝突盆地[Wood, 2004]について解析を行った結果、Moscoviense 盆地に関して、他の衝突盆地と比較して、盆地の規模に対してマントルプラグの規模が大きすぎる事、多重リングが同心円にではなくずれている事が明らかとなった。また、反射分光データから Moscoviense 盆地のピークリングに「かんらん石」が大規模に露出していると考えられる事と合わせて解釈すると、Moscoviense 盆地は単一の衝突盆地ではなく、2回の衝突によって形成された複合盆地であるという可能性が見いだされた。二重衝突盆地である場合、2回の衝突が極近距離(80km)で起きる必要があるが、モンテカルロシミュレーションにより近接衝突の起こりうる可能性を見積もった所、月面に50回のランダム衝突を考えた場合、80km程度の近接衝突の起こりうる可能性は~50%程度と十分大きく、Moscoviense 盆地が二重衝突盆地である可能性を強く示唆する [Ishihara et al. 2011]。

掘削キャビティの直径深さ比に関しては、第一近似的には両者の比は0.1の関係にのるが、直径が大きくなるほど0.1よりも有為に大きな値をとり、地形・モホ面形状から再構成されるキャビティ-深さには、掘削キャビティだけではなく、溶融領域のサイズも影響している事が示唆された。さらに、再構成したキャビティの直径・深さ比からは、Namiki et al. [2009]の提唱した衝突盆地の分類のうち、Type1とType2盆地について、緩和がほぼ進んでいないこと、Principal Mascon 盆地については粘性緩和が進行している事が明らかとなった。しかしながら、Principal Mason 盆地のマントルプラグ肩の形状は単純な粘性緩和だけでは説明出来ないため、台地状のマントルプラグ形状を併せて説明出来るモデルを構築する必要がある。層序年代区分で先ネクターヌ紀第4年代グループ(PN4)以前に形成された衝突盆地は、衝突盆地としての地下構造の形跡が見られず、緩和が完了していると解釈出来ることから、月はPN4までは比較的暖かかったものの、その後急速に冷却されたと推定される。