

# 「かぐや」測地データを用いた月裏側の温度構造推定

○鎌田俊一<sup>1</sup>, 杉田精司<sup>2</sup>, 阿部豊<sup>1</sup>, 石原吉明<sup>3</sup>, 原田雄司<sup>3</sup>,  
並木則行<sup>4</sup>, 岩田隆浩<sup>5</sup>, 花田英夫<sup>3</sup>, 荒木博志<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東大・理, <sup>2</sup>東大・新領域, <sup>3</sup>国立天文台, <sup>4</sup>千葉工大, <sup>5</sup>ISAS/JAXA

月の熱史は、月の形成初期を理解するとともに、単純なテクトニクスをもつ水星などの惑星の内部活動や表層運動を理解するためにも重要な研究課題である。月の熱進化、つまり月内部の温度構造の時間発展に対する理解は、アポロのサンプルリターンや近年のリモートセンシングにより大きく進んだものの、表裏の二分性の成因などと絡めた統一的な説明は未だなされていない。

月面上を覆うクレーターの中でも直径 300km を超えるものは衝突盆地と呼ばれ、その表面・モホ面起伏の流動は地殻・マンツルの温度構造を反映していると考えられる (e.g., Solomon et al., 1982)。それは岩石の粘性が温度に強く依存するためである。しかしながらモホ面起伏の推定に必要な重力場データの直接計測は、これまで表側に限られていた。そのため、盆地の地形・重力場に着目した温度推定は、海の火成活動の影響を強く受けた表側に限られてきた。

「かぐや」の子衛星を用いた観測により、裏側重力場の短波長成分の精度は大きく向上し、裏側の盆地の重力的特徴は表側のそれと大きく異なることが明らかになった。すなわち、表側の盆地の多くは台地状の正のフリーエア重力異常を示すが、裏側の盆地はリング状の負のフリーエア重力異常 (Type I, Type II basin) を示す (Namiki et al., 2009)。これは、裏側の盆地はアイソスタシーの回復へ向かう鉛直流動がなかったことを意味している。また、月で最も古くて巨大な South-Pole Aitken 盆地 (SP-A) は、はっきりとした(楕)円形の窪みを持ちつつも顕著なフリーエア重力異常はないことから、アイソスタシーの回復が十分に進んだことが知られている (e.g., Zuber et al., 1994)。加えて、Keeler-Heaviside などはフリーエア重力異常のみならず地形もはっきりと残っておらず、水平方向の流動も起こったことが示唆されている (e.g., Mohit and Phillips, 2006)。本研究ではこういった盆地を” Degraded basin” と呼ぶ。

Namiki et al. (2009) は Type I, Type II の重力的特徴に着目し、一様・定常粘性流体の計算を行い、裏側のモホ面は従来考えられてきたよりも低温であることを示した。しかしながら、月ではリソスフェアの弾性の効果が非常に重要であることが指摘されており (Zhong and Zuber 2000)、粘弾性体モデルを用いた、より詳細な計算が求められている。本研究では粘弾性計算に際して、(1) 熱流量, (2) 地殻厚, そしてこれらから決まる (3) モホ面温度に着目したパラメータスタディを行い、Farside basin (Type I, Type II), SP-A, Degraded basin を作る条件を調べた。数値計算には、我々が開発した、台形公式による 2 次精度近似を適用した球面調和展開型の Maxwell 粘弾性体計算手法を用いた (Kamata et al., 2009)。

計算の結果、粘性と弾性を同時に考慮した場合であっても、低次、つまり大規模な構造は変形が起きやすいことが分かった。これは従来の粘弾性体計算や粘性流体計算の結果と調和的である。また、表面の地形とフリーエア重力異常は熱流量に最も強く依存する一方（図 1, 2），モホ面の起伏や地殻の水平流動はモホ面の温度に最も強く依存することが分かった。更に、水平方向の流動が顕著になる時間は、地殻が薄いほど遅いことが分かった。これらの結果は、以下のような仮説と調和的である。(1) SP-A や Degraded basins の形成期には、月は十分に高い熱流量があった。(2) しかし Farside basins の形成期には月は十分に冷えており、マンツルのアップリフトが起きづらくなった。(3) SP-A で地殻の水平流動が起これづらくなったのは、巨大な衝突ゆえに地殻の大部分がはぎ取られ、薄くなったためである。

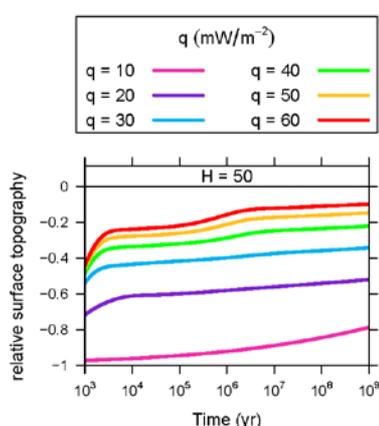


図 1. 表面鉛直変位の熱流量( $q$ ) 依存性. 地殻厚は 50km, 球面調和次数は 10 の場合. 線の色が熱流量を表す. 縦軸は盆地形成初期の深さで規格化した. 線が大きくばらついていことから、表面地形の時間発展は熱流量に大きく依存をすることが分かる.

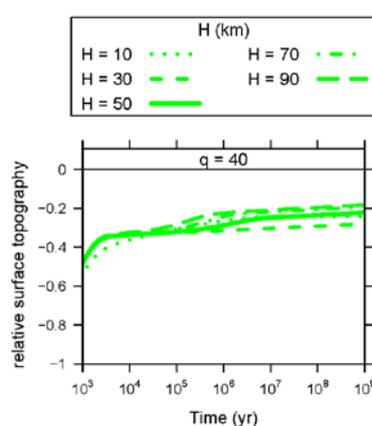


図 2. 表面鉛直変位の地殻厚( $H$ )依存性. 熱流量は  $40 \text{ mW/m}^2$ , 球面調和次数は 10 の場合. 線の種類が地殻厚を表す. 縦軸は盆地形成初期の深さで規格化した. 図 1 と比較すると、線がばらついておらず、地殻厚依存性は小さいことが分かる.

#### [参考文献]

- Kamata et al. (2009) Proceedings of the 42th ISAS Lunar and Planetary Symposium, in press.  
 Mohit and Phillips (2006) *JGR*, **111**, E12001, doi:10.1029/2005JE002654.  
 Namiki et al. (2009) *Science*, **323**, 900-905.  
 Solomon et al. (1982) *JGR*, **87**(B5), 3975-3992.  
 Zhong and Zuber (2000) *JGR*, **105**(E2), 4153-4164.  
 Zuber et al. (1994) *Science*, **266**, 1839-1843.