

衝突盆地の緩和から制約された月裏側地殻中の放射性元素濃度 Concentrations of radioactive elements in the lunar crust constrained from relaxation of impact basins

鎌田 俊一^{1*}, 杉田 精司², 阿部 豊¹, 石原 吉明³, 原田 雄司⁴, 並木 則行⁵, 岩田 隆浩⁶, 花田 英夫³, 荒木 博志³
Shunichi Kamata^{1*}, Seiji Sugita², Yutaka Abe¹, Yoshiaki Ishihara³, Yuji Harada⁴, Noriyuki Namiki⁵, Takahiro Iwata⁶, Hideo Hanada³, Hiroshi Araki³

¹ 東大・理・地惑, ² 東大・新領域・複雑理工, ³ 国立天文台 RISE 月探査プロジェクト, ⁴ 上海天文台, ⁵ 千葉工大惑星探査研究センター, ⁶ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

¹Earth & Planet. Sci., Univ. of Tokyo, ²Comp. Sci. & Eng., Univ. of Tokyo, ³RISE project, NAOJ, ⁴Shanghai Astronomical Observatory, ⁵PERC, Chitech, ⁶ISAS/JAXA

長寿命放射性核種 (^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U , ^{40}K) の壊変熱は、長期熱進化における最も重要な熱源である。そのため、月地殻における放射性元素濃度は、数十億年に渡る月の熱進化に対し、最も重要な影響を与える量の一つである。また、放射性元素は不適合元素であり、液相に濃集するため、月マグマオーシャンの固化過程を反映している可能性もある。このような月の初期熱進化を理解するためには、海の火山活動の影響が小さい月裏側の詳細な研究が必要がある。

月裏側は裏側高地地域 (FHT) と南極 - エイトケン盆地地域 (SPAT) に区分されており、SPAT と比較して、FHT は放射性元素に欠乏している [e.g., 1]。また、レーザー高度計データと重力場データの解析から、FHT における地殻厚は ~70 km、SPAT においては ~30 km と見積もられている [2]。これらの観測結果から、月の地殻に関して、(1) FHT 地殻は SPAT 地殻よりも放射性元素に欠乏しているモデルと、(2) SPAT 地殻は FHT の下部地殻を代表しているモデル [3] の、二つが考えられる。これらのモデルでは、FHT 地殻に含まれる放射性元素の量が大きく異なる。そのため、月裏側の熱進化を理解するためには、FHT 地殻深部の放射性元素の濃度を制約することが重要である。

月の地殻やマントルは、温度に強く依存した流動則に従う。そのため、月形成後、初期 10 億年以内に形成したと考えられる、月の衝突盆地と呼ばれる巨大クレーターの長期粘性変形は、月初期における上部の温度構造を反映すると考えられる [4]。月周回衛星「かぐや」による重力場計測の結果、裏側の衝突盆地の多くはアイソスタシーを回復していないことが分かった [5]。この観測結果は、衝突盆地形成時におけるモホ (地殻下端) の温度が、従来考えられていたよりも低かったことを示している [5]。本研究の目的は、測地学的観測の結果と調和的な放射性元素の濃度を、熱進化計算と粘弾性体計算によって制約することである。

本研究では、熱進化計算と粘弾性計算を独立に行った。熱進化計算においては、熱源として放射壊変熱のみを考えた一次元熱伝導方程式を解いた。初期条件 (4.5 Ga) として、ソリダスで与えられる温度構造を与えた。粘弾性変形において、熱進化計算で求めた温度構造を逐次反映させるため、我々が近年開発した時間発展型計算スキームを用いた [6]。本手法は球面調和展開を用いるスペクトル法である。パラメータは地殻中の放射性元素の濃度、地殻厚、球面調和次数、盆地形成時とし、表面荷重とモホ荷重のそれぞれの場合における、表面地形とモホ起伏の時間発展を求めた。

得られた結果と、「かぐや」地形データと地殻厚モデル [2] を比較し、月裏側衝突盆地の初期の表面とモホの地形を推定した。再現された初期地形において、地殻厚は負にならないという制約条件を課し、初期表面熱流量を制約した。その結果、FHT のほぼ中心にある Freundlich-Sharonov (周辺地殻厚 ~67 km) の初期熱流量 $< 33 \text{ mW/m}^2$ が必要であることが分かった。Freundlich-Sharonov よりも新しいとされる Nectaris の形成年代は 4.14-3.84 Ga と推定されている [7]。熱進化計算と比較したところ、3.84 Ga 以前に上記熱流量となるためには、 $\text{Th} < 0.5 \text{ ppm}$ が必要であることが分かった。これは、SPAT の表面で観測された Th 濃度よりもかなり小さい。したがって、SPAT 地殻は FHT 地殻の下部とは異なり、放射性元素の濃度は水平方向に不均一であることを示唆している。これは、水平不均一な月マグマオーシャンの固化過程を支持する結果である。

参考文献: [1] Jolliff et al. (2000) *JGR*, **105**, 4197. [2] Ishihara Y. et al. (2009) *GRL*, **36**, doi:10.1029/2009GL039708. [3] Wieczorek M. et al. (2006) *Rev. Min. Geochem.*, **60**, 221. [4] Solomon et al. (1982) *JGR*, **87**, 3975. [5] Namiki N. et al. (2009) *Science*, **323**, 900. [6] Kamata S. et al. (2009) *Proc. 42th ISAS Lunar Planet. Symp.*, 38. [7] Stoffler et al. (2006) *Rev. Min. Geochem.*, **60**, 519.

キーワード: かぐや, 粘弾性, 衝突盆地

Keywords: KAGUYA, Viscoelasticity, Impact basin