

# 月裏側衝突盆地の緩和：放射壊変熱の影響

○鎌田俊一，杉田精司，阿部豊（東大）

月面上を覆う衝突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、月形成後最初の 10 億年以内に形成したと考えられている [e.g., 1]。月の地殻・マントルを構成する岩石の粘性は温度に強く依存するため、衝突盆地の表面・モホ面起伏は、盆地形成期における地殻・マントルの温度構造を反映した変形をすると考えられている [e.g., 2]。したがって、衝突盆地の緩和は、月上層の初期熱史を制約する重要な鍵となる。

衝突盆地の緩和シミュレーションには、従来は主に粘性流体モデルが用いられてきた。しかしながら、月のように半径の小さな惑星・衛星では、表層の弾性リソスフェアによる地形維持が重要である [3]。加えて、衝突盆地の形成期にあたる初期 10 億年において、有効弾性厚は急激に増加したと考えられている [e.g., 4]。そのため、地殻とマントルともに粘弾性体モデルを用いるべきである。これまでも粘弾性体モデルを用いた月衝突盆地の緩和計算例はあるものの [e.g., 5]、いずれも定常粘性を仮定している。これは、彼らの用いた計算手法がラプラス変換を用いるものであり、粘性の時間発展を取り入れられないためである。そのため、粘性の時間発展が月衝突盆地の緩和へ与える影響は、これまで詳細に検証されていない。

トリウム、ウラン、カリウムは長寿命放射性核種をもち、長期熱進化において最も重要な熱源である。月裏側表層において、裏側高地地域(以下 FHT)と South Pole-Aitken 盆地地域(以下 SPAT) ではこれらの放射性元素濃度には差があり、後者がより富んでいることが知られている [e.g., 6]。また、マントル中の同元素量の見積もりには一桁近い不確定性がある。本研究の目的は、長寿命放射性核種の壊変熱量の差が月裏側の衝突盆地の緩和に与える影響を、熱進化計算と粘弾性計算を組み合わせることで調べることである。

熱進化の計算は、熱伝導と放射性核種の壊変による発熱のみを考慮した。初期条件は 4.5Ga、地殻は断熱温度勾配、マントルはソリダスで決まる温度構造を仮定した。その後の熱進化は、放射性元素濃度の違う以下の 5 パターンの熱進化を計算した。(1) 地殻、マントルともに発熱なし、(2) FHT 地殻+冷たいマントル、(3) FHT 地殻+熱いマントル、(4) SPAT 地殻+冷たいマントル、そして(5) SPAT 地殻+熱いマントル、である。

粘弾性体計算には、我々が開発した、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 [7]。本手法はラプラス変換を伴わないため、容易に粘性の時間発展を組み込むことができる。本研究では、厚さ 50 km の乾燥した斜長石地殻がオリビンマントルの上に乗っている 2 層モデルを仮定した。そして、4.3, 4.1, 3.9 Ga に形成した直径 360-2000 km (次数 5-30)の衝突盆地の緩和を考えた。

図1に、次数10、熱史モデルは高地地殻+冷たいマントルモデルでの計算結果(重力ポテンシャルのラブ数  $k'$ )を示す。同図より、盆地形成後1 Gyr以降では  $k'$  (重力場)は時間変化しないことが分かる。この結果はすべての計算条件に当てはまり、また表面の地形振幅も同様であることが確認された。

図2に、次数15での、盆地形成後1 Gyrにおける  $k'$  をまとめた。横軸は熱史モデルを示し、N, F, S, C, H はそれぞれ発熱なし、FHT 地殻、SPAT 地殻、冷たいマントル、熱いマントルモデルを示す。同図より、地殻内発熱の影響は極めて大きく、FHT 地殻と SPAT 地殻との間で  $k'$  の差はおよそ0.4にもなる。一方、マントル内の発熱による  $k'$  の差は0.1よりも小さく、ほぼ無視できることが分かった。また、地殻内発熱量の差は、同一地殻内における形成時期の差よりも大きい。換言すると、高地地殻上に形成した古い(4.3 Ga)衝突盆地は、SPA 地殻上に形成した新鮮な(3.9 Ga)衝突盆地よりも緩和が進まないことが分かった。

一般に、低次(=長波長)の荷重に対しては緩和が進行しやすく、高次(=短波長)では緩和が進行しにくい[e.g., 2]。そのため、極めて大きな衝突盆地、あるいは極めて小さな衝突盆地の緩和には、発熱量の差が現れにくいと考えられる。異なる次数での計算結果をコンパイルした結果、 $k'$  の差は、次数15-20(波長500-700 km)で最大となることが分かった。この結果は、直径500-700 kmの衝突盆地は熱進化に敏感であり、重点的に解析すべきであるということを示唆している。

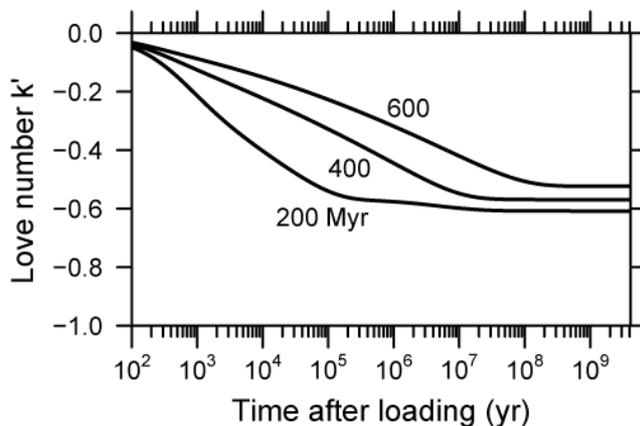


図1: 次数10、高地地殻+冷たいマントルモデルにおける  $k'$  の時間発展。衝突盆地が全く緩和しない場合は  $k' = 0$ 、逆に完全に緩和した場合は  $k' = -1$  となる。図中に、熱進化開始からの経過時間として、衝突盆地の形成時期を表した。

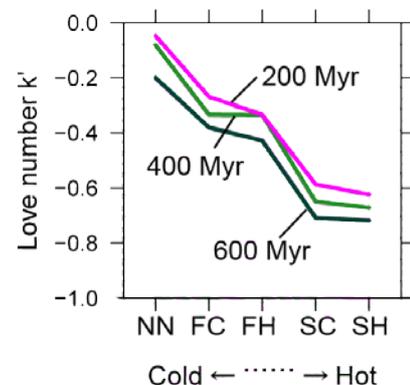


図2: 次数15における、盆地形成後1 Gyrでの  $k'$  のまとめ。横軸は熱進化モデルを示す。図1と同様に盆地形成時期を記した。

- [1] Stoffer & Ryder (2001), *Space Sci. Rev.*, **96**, 9–54. [2] Solomon et al. (1982), *JGR*, **87**, 3975–3992. [3] Turcotte et al. (1981), *JGR*, **86**, 3951–3959. [4] Konrad & Spohn (1997), *Adv. Space Res.*, **19**, 1511–1521. [5] Zhong & Zuber (2000), *JGR*, **105**, 4153–4164. [6] Jolliff et al. (2000), *JGR*, **105**, 4197–4216. [7] Kamata et al. (2009), *Proc. 42th ISAS Lunar and Planet. Symp.*, 38–42.