

## 衝突盆地の粘弾性変形から推定された月裏側の熱進化

### The thermal evolution of the lunar farside inferred from viscoelastic deformation of impact basins

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>

Shunichi Kamata<sup>1\*</sup>, Seiji Sugita<sup>2</sup>, Yutaka Abe<sup>1</sup>, Yoshiaki Ishihara<sup>3</sup>, Yuji Harada<sup>3</sup>,  
Noriyuki Namiki<sup>4</sup>, Takahiro Iwata<sup>5</sup>, Hideo Hanada<sup>3</sup>, Hiroshi Araki<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Earth & Planet. Sci., Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>Comp. Sci. & Eng., Univ. of Tokyo, <sup>3</sup>RISE project, NAOJ, <sup>4</sup>PERC, Chitech,  
<sup>5</sup>ISAS/JAXA

衝突盆地と呼ばれる巨大なクレーターは、内部の温度構造を反映した変形過程を辿ると考えられる。それは、地殻やマントルを構成する岩石の粘性が、温度に非常に強く依存するためである。従って、月の衝突盆地の粘弾性的状態は、それらの形成期にあたる月の太古の熱進化を探る上で大変重要な情報を保持しているはずである。本研究の目的は、新規開発した粘弾性シミュレーションコードと、月周回衛星「かぐや」により得られた重力場データを突き合わせ、月の裏側の熱進化に関する新たな知見を得ることである。

月の裏側の盆地に着目した研究は、次の二つの観点から重要である。まず第一に、「海」と呼ばれる、重たい玄武岩で覆われた領域が表側より圧倒的に少ないことである。そのため、重力場のデータ解析において、重たい「海」の溶岩による影響をあまり受けない。第二に、月の二分性と呼ばれるように、裏側と表側とは多くの点で異なった様相を呈していることである。しかし、月は自転と公転が同期しているため、地球に対して常に同じ面を向けている。そのため、月の裏側にいる探査機を直接追跡できず、裏側の重力場は精度が低かった。そして、裏側の盆地に着目した詳細な重力場解析は行われてこなかった。日本の月探査機「かぐや」は、子衛星を用いることで、世界で初めて月全球での追跡データを取得し、高精度の月全球の重力場モデルが構築された[1]。しかし、この他にも、衝突盆地の変形を読み解く上での問題があった。それは、従来の粘弾性体計算手法では、多層構造を取り入れた長い時間発展を計算する場合、計算時間が非現実的になることであった。また粘性の時間発展を取り扱うことも大変困難であった。そこで我々は、これらの問題を解決するため、マクスウェル粘弾性体の構成方程式の新たな定式化を提案している[2]。従来の時間空間型の計算法では、時間微分に一次精度の近似を行っているが、我々は、二次精度の近似を用いた手法を開発した。時間ステップ幅を変化させて計算の誤差と安定性を調べたところ、本手法は長い時間ステップでも高精度かつ安定に計算できることが確認された。従って、惑星の熱進化という長い時間発展を追う計算にかかるコストを、本手法を用いることで大幅に削減できることが分かった。

この計算コードを用いて、衝突盆地の緩和における、(1)盆地の大きさ、(2)熱流量、(3)地殻厚の依存性を調べた。具体的には、衝突盆地の最も大きな二つの変形過程である、アイソスタシーの回復と地殻水平流動の、それぞれの進行度合いとその時間スケールを定量的に調べた。その結果、直径500 km程度より大きな衝突盆地のモホ面が変形しないためには、 $10 \text{ mW/m}^2$ より小さな熱流量でなければならないことが分かった。「かぐや」データを元にしたSGM100h重力場モデル

とSTM-359\_grid03地形モデルを解析した結果、ローレンツやヘルツシュプルングといった、相對年代で前ネクタリアン(PN) 6以降とされ、かつ南極エイトケン盆地(SP-A)の外側にある盆地がこれに該当することが分かった。一方で、クーロン=サートン(PN5時代で、SP-Aの外)は正のブーゲー異常が見られ、マントルが盛り上がっていることが示唆された。このマントル隆起を説明するためには、 $>50 \text{ mW/m}^2$ の熱流量が必要であることが分かった。したがって、SP-Aの外側では、月の熱流量はPN5という時期に急速に低下したことが示唆される。過去の表側の研究[e.g., 3]と比較すると、月の裏側は表側よりも早い時期に冷却が進行したことになる。その一方、SP-Aの内部にあり、インブリアンと呼ばれる新しい時期に形成したと考えられるシュレーディングーも、盆地の直径に対応する波長のマントル隆起が示唆された。数値計算との比較の結果、 $\sim 30 \text{ mW/m}^2$ の熱流量が必要であることが分かった。SP-A形成に伴う非常に大きな衝突加熱により、SP-Aの内部は周囲と比較して暖かい時期が続いたと考えられる。

[1] Namiki et al., Science, 323, 900-905, 2009.

[2] Kamata et al., Proc. Lunar Planet. Symp., 41, 2009, in press.

[3] Arkani-Hamed, JGR, 103, 3709-3739, 1998.

キーワード:かぐや,粘弾性,衝突盆地

Keywords: Kaguya, Viscoelasticity, Impact basin