



Title	2.2.2 盆地年代と初期衝突史
Author(s)	鎌田, 俊一
Citation	月サイエンスブック 第一部. 2021, p. 34-38
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/83229
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

2.2.2 盆地年代と初期衝突史 [鎌田俊一]

「かぐや」での日本の貢献として、世界初の全球測地観測と、それに基づく衝突盆地に関する研究が挙げられる。衝突盆地とは、月面を覆うクレーターの中でも直径約 300 km を超える大きなものを指す(図 2-6)。衝突盆地の表面地形と地下構造は、後述するように、その衝突が起きた時の月内部の温度構造を反映する。そのため、衝突盆地の地形と地下構造は月の進化を探る鍵となる。また、個々の衝突盆地の形成年代は内側太陽系における初期衝突史(つまり惑星形成後の集積過程)を解き明かす上で不可欠な情報である。しかしながら、「かぐや」以前の限られた観測データから推定される地下構造の空間解像度は非常に低く、定量的な議論は困難であった。また、衝突盆地の形成年代についてもアポロ着陸点付近のごく限られたものを除き、ほとんど分かっていなかった。



図 2-6 「かぐや」に搭載されたハイビジョンカメラで撮影されたシュレーディンガー盆地. 円構造が明確に見られる「新鮮な盆地」の一つである. (c) JAXA/NHK.

測地学的な観測、つまり地形と重力場の観測からは、地下にある密度境界面での起伏の大きさを推定することができる。月においては、地殻とマントルの間の密度差が大きく、かつ比較的浅い場所にあるため、地殻-マントル境界面の起伏が推定できる。第 4 章 4.2 節で述べるように、「かぐや」による月全球の測地観測データを用いた月の重力場モデルは、球面調和次数にして 70 まで有意であることが分かった (e.g., Ishihara et al. 2009; Matsumoto et al. 2010)。これは、直径 300 km 以上である衝突盆地の地下構造について十分な解像ができたことを示している。

衝突盆地の多くはその名の通り円形に凹んだ表面地形を持つが、形成時期が非常に古いとされるものは、凹みが浅く非常に崩れた地形を持つと考えられる (e.g., Wilhelms 1987). 以下ではそれぞれの衝突盆地を「新鮮な衝突盆地」と「崩れた衝突盆地」とし、それぞれに着目して得られた「かぐや」の成果をまとめる.

新鮮な衝突盆地は、重力場にもまた明確な同心円構造が見て取れる(図 2-7). 衝突盆地の中は表面地形が凹んでいることから、地殻物質(場合によっては上部マントル物質も)がはぎ取られている. そのため、もし衝突盆地の地下に重たい物質や、地下密度境界面に起伏がなければ重力は周囲と比較して弱くなる. しかし実際には、月表側のいくつかの衝突盆地の中は重力が強いことが知られていた (Muller and Sjogren 1968). 「かぐや」の重力場データは、月表側とは対照的に、月裏側の多くの衝突盆地の中は重力が周囲より低いことを明らかにした (図 2-7; Namiki et al. 2009). これは、月の表側と裏側において、衝突盆地の地下構造が大きく異なっていることを示している. 月裏側に着目した初期解析の結果、衝突盆地の地下にある起伏の大きさと、衝突前の地殻の厚さに対する衝突の規模との間の相関が明らかとなった (Ishihara et al. 2009). このことは、月裏側にある衝突盆地の地下構造は、衝突直後にほぼ決まったことを示している.

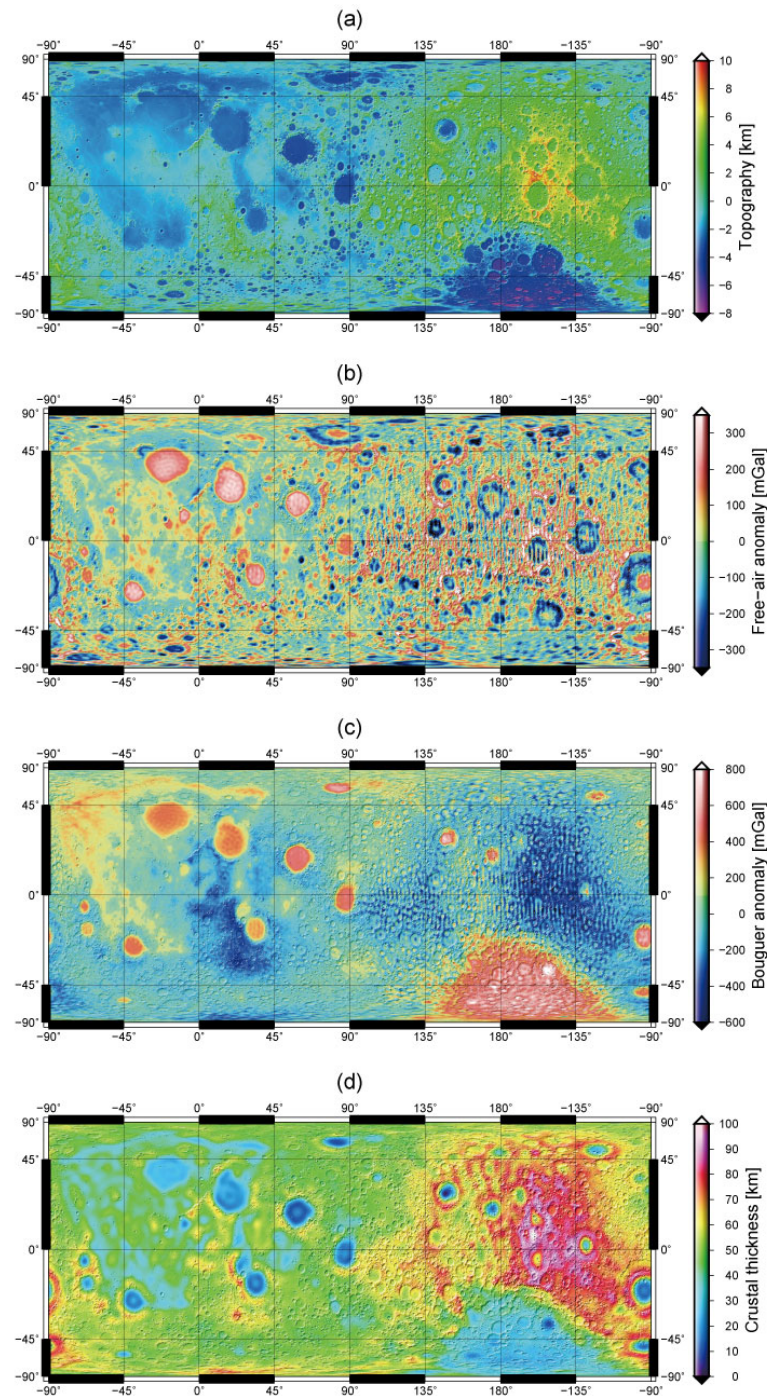


図 2-7 「かぐや」測地データと、それに基づく月地殻の厚さ. (a) 地形 (Araki et al. 2009). (b) フリーエア重力異常 (SGM150j モデル (Goossens et al. 2011)). (c) ブーゲー重力異常. (a), (b)を用いて地形による重力異常を取り除き (地殻密度 2820 kg m^{-3} を仮定), 地下構造由来の重力異常を抽出したもの. (d) 地殻厚 (Ishihara et al. 2009). 左(右)側が月の表(裏)側である. いずれもランベルト正積円筒図法による投影.

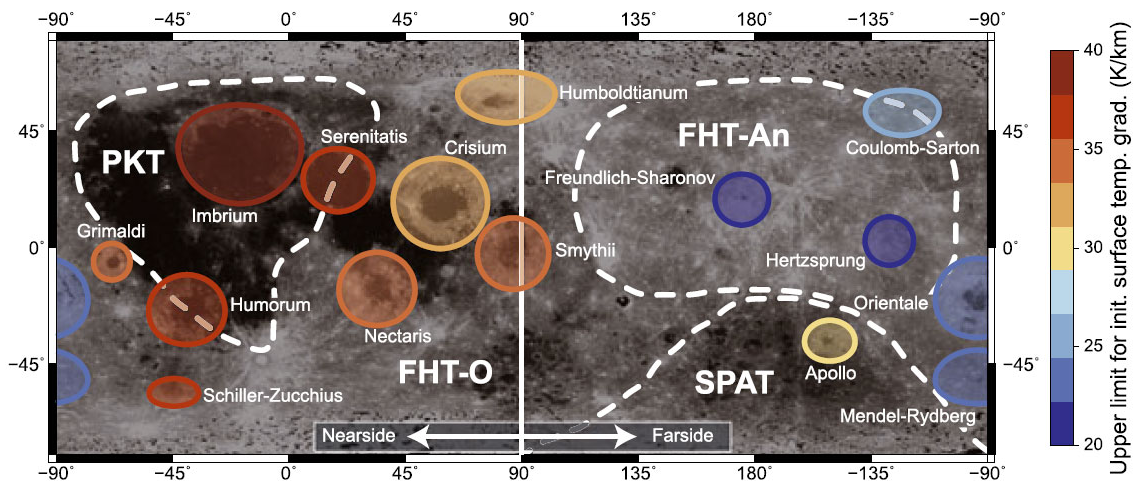


図 2-8 衝突盆地の形成時期における地温勾配の上限値 (Kamata et al. 2013). 左(右)側が月の表(裏)側である. 衝突盆地の名前と月の地質区分も示した. 月の裏側は表側よりも冷たくなければならない.

地殻やマントルは粘性を示すため、数百万年～数億年という長い時間の中で表面の地形と地下の起伏は緩和し平らになっていくが、この緩和は内部が熱いほど短時間で進行する。したがって、衝突盆地の地下構造があまり緩和せず衝突直後のままでいるためには、その形成期から現在に至るまで、月内部が低温である必要がある。この観点から衝突盆地形成期の月内部の温度構造を調べた結果、月の表側よりも裏側は有意に冷たかったことが分かった (図 2-8; Kamata et al. 2013). またこのことから、表側と比較し、裏側の地殻は熱源元素(ウラン、トリウム、カリウム)に枯渇していることも明らかとなった。放射性元素は不適合元素であるため、マグマオーシャンの固化段階においては固体ではなく液体に取り込まれる性質を持つ。したがって、放射性元素の分布は月のマグマオーシャンが固化していく段階で決まるものであり、また熱源元素の量は火山活動の激しさや継続期間を決める。したがって、マグマオーシャン固化という非常に早い段階から、月は表側と裏側で大きく異なっていた進化をしてきたことが明らかとなった (Yamamoto et al. 2016). これは、「かぐや」の画像解析に基づく斜長岩の鉄に対するマグネシウムの比から推定された表側と裏側の固化速度の違い (Ohtake et al. 2012) とも整合的である。

一方、崩れた衝突盆地は、地形だけでなく重力場でも明確な円構造は見られないことが分かった。このことは、これらの衝突盆地の地下起伏もまた非常に小さく、地下で起伏の緩和が十分に進行したことを示している。そのためには崩れた衝突盆地は月内部がまだ非常に熱かった時期に形成する必要がある。これは月マグマオーシャンの固化から 0.5 億年以内であることが示唆された (Kamata et al. 2015). これは、衝突盆地の形成年代に関する全く新しい知見である。従来、衝突盆地の形成年代は、アポロ試料の放射性同位体の分析結果をもとに議論されてきた。巨大な衝突でできたであろう衝突溶融物の

絶対年代は 41 億～39 億年前に集中していたことから、衝突盆地は月マグマオーシャンの固化から数億年後、「後期隕石重撃期」と呼ばれるこの時期に集中して形成したと考えられてきた (e.g., Tera et al. 1974). しかし月形成から数億年後には月内部はある程度冷えてしまっており、地下の起伏は緩和しきれない。崩れた衝突盆地が月全球に見られることは、月形成から間もない頃も多数の大規模衝突があったことを意味している。この新たな初期衝突史は、近年改訂が進んでいる惑星大移動仮説 (e.g., Bottke et al. 2012) とも整合的である。

このように、「かぐや」で行われた世界初の全球測地学的観測 (地形・重力場計測) は、月の地下構造の詳細な解析を可能にし、月の進化や初期衝突史、そして太陽系の進化に関しての科学的知見の創出へと繋がった。