



Title	3.2.2 マントル構造と組成
Author(s)	大竹, 真紀子
Citation	月サイエンスブック 第一部. 2021, p. 64-67
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/83235">https://doi.org/10.18910/83235</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

### 3.2.2 マントル構造と組成 [大竹真紀子]

(a) 「かぐや」の可視・近赤外分光観測データを用いて月全球のカンラン石スペクトルサーベイ(純粋なカンラン石の吸収特徴を持つ反射スペクトルの抽出)を行ったところ、大型の盆地のリング周辺に、多くの抽出されたカンラン石を主とする岩石の露出地点が分布することがわかった (Yamamoto et al. 2010; 図 3-6). この研究では、これまで地球望遠鏡による月面観測から同定されていた場所に比べ、飛躍的に多数のカンラン石物質の分布位置が同定されている。それらカンラン石の分布位置のほとんどが盆地周囲にあることや、抽出されたスペクトルの形状から、これらカンラン石を主とする物質はマントルを起源とする岩石であり、それが盆地の形成時に掘削・放出され、リング周辺に堆積したものである可能性が高いと考えられる。マントルは月の体積の 90 %以上を占めることから、マントルの組成を把握することがマグマオーシャンの組成を把握することにつながり(一部、マントル以外の地殻や液相濃集元素の濃集層に多く含まれる元素もあるため全ての元素ではない)、非常に重要な意義を持つ。これまでの月試料の中にはマントルからの直接試料がないことから、これらカンラン石の起源や組成を知ることが今後重要である。

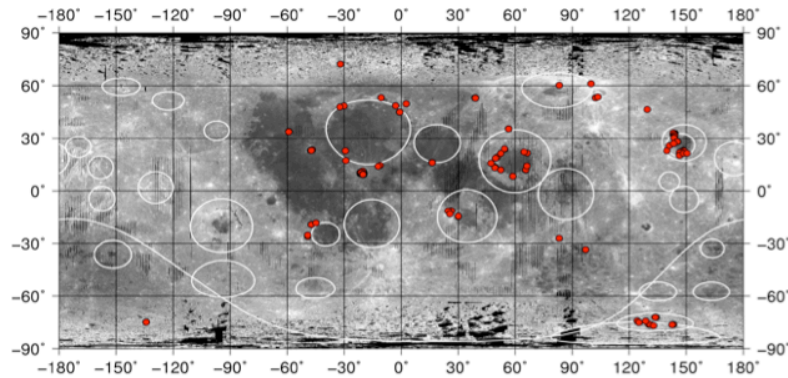


図 3-6 月面のカンラン石の分布 (Yamamoto et al. (2010)から改編).

(b) 月面上で地形的に確認できる最大の盆地が月裏側南半球にある SPA 盆地である。この盆地内部では、巨大な天体衝突により地殻が完全に掘削され、マントル物質も掘削・放出されていると考えられる (Lucey et al. 1998b)ため、「かぐや」の可視・近赤外分光観測データを用いて同盆地内の地質解析を行い、マントル物質の同定を行った。結果、SPA を形成した衝突が掘削した深さであるマントルの浅い部分(深度 100 km 程度)は低 Ca 輝石を主成分の 1 つとして含む岩石から成ることが推定された (Ohtake et al. 2014). (同研究では、反射スペクトルの吸収形状として低 Ca 輝石が支配的である岩石が確認されている。観測波長帯における反射スペクトルの吸収形状は、輝石とカンラン石で構成される岩石の場合、輝石が 30~40 %以上含まれる岩石では輝石の吸収が卓越することから、該当領域における低 Ca 輝石の含有量は 30 %以上であると推定される。)また同盆地の中心部には、表層が高 Ca 輝石を主成分の 1 つとして含む岩石が広く分布しており、表面地形など情報から、この領域は盆地形成時のインパクトメルトが大量に集積した領域であると考えられる。マントルの組成は従来、月のマグマオーシャンの組成を仮定し、そこからのマグマの分化過程を予測する手法や噴出した玄武岩組成を元に推定されてきたが、マグマオーシャンの分化過程の予測 (Elkins-Tanton et al. 2011) によると、マントルの深度 100 km 程度の領域には低 Ca 輝石が主成分の 1 つとして存在し(この深さにおいて、オーバーターン無しの場合は低 Ca 輝石が多くカンラン石はほとんど存在せず、オーバーターン有りの場合は低 Ca 輝石とカンラン石が存在すると推定される)。今回の成果と整合しているように思われる。一方で月の慣性モーメントから求めた月の全球密度や月震データなど物理観測データから、月のマントルの浅い部分を構成する苦鉄質ケイ酸塩鉱物の中で 60 %程度はカンラン石であるとの推定もあり (e.g., Khan et al. 2006b), 月のマントルは深さによらず、ほぼカンラン石のみで構成されると考えている研究者も多い (Melosh et al. (2017)の記述参考). マントルの少なくともある深さ領域は、カンラン石だけから成るのではなく、低 Ca 輝石を主成分の 1 つとして含む岩石からなるとした今回の成果は、マントルの組成・構造の把握の上で重要であり、これがマグマオーシャンの組成を把握することにつながり非常に重要な意義を持つ。この結果は、

Melosh et al. (2017)による巨大盆地の形成に関する計算シミュレーションの結果ともよく整合している。

(c) 月面で最も大きな盆地である SPA 盆地内の「かぐや」の可視・近赤外分光観測データを用いた詳細な地質解析から、SPA 盆地中央部のインパクトメルトの集積領域ではメルトが分化しており、少なくとも 2 層(高 Ca 輝石を主とする上層とその下に低 Ca 輝石を主とする下層)が存在することがわかった (Uemoto et al. 2017)。SPA では輝石を主成分とするマントル物質が、それよりも小さい盆地周辺でカンラン石を主成分とするマントル物質が観測されている事実から、マントルの最上部(浅い部分)はカンラン石、それよりも深い部分は輝石を主成分とする岩石から構成される可能性がある。これは、通常のシンプルなマグマオーシャンの固化モデルによるマントル構成とは異なり、マントルの深部と上部にある層が逆転していることを示唆する。また、本成果によるインパクトメルト組成の推定から、分化する前の SPA インパクトメルトの組成に戻すと、これもマントルオーバーターンが起こっていた場合と整合する。これら両方の情報ともに、少なくとも SPA 周辺ではマントルオーバーターンが起こっていたことを示唆している。マントルオーバーターンの有無はマグマオーシャンの固化過程やその後の月進化を知る上で非常に重要な情報であり、今後のより詳細な探査・情報が望まれる。

(d) 「かぐや」および「嫦娥 1 号」の重力場観測データによって求められた 2 次のポテンシャルラブ数から、コア・マントル境界に非常に粘性が低い領域が存在することが示された。粘性が低い理由として、該当領域の温度が高く部分熔融していることが考えられる。これは月内部の現在の温度構造を把握する上で重要な情報であるのみならず、月の過去の温度履歴に対しても大きな制約を与える重要な成果である (Harada et al. 2014)。マグマオーシャンを理解する観点では、マントル内で、該当領域での高温条件を長い期間にわたり作り出すような、何らかの加熱機構が働いたことを示唆しており、その要因としてはマグマオーシャンの固化や分化に伴って液相濃集元素(熱源元素を含む)が局所的に濃集した、もしくはマグマオーシャンの固化の結果としてのマントル構造に対して潮汐力による加熱が該当領域に働いた、などが考えられる。今後、この要因を明らかにする研究が望まれる。

(e) 「かぐや」の可視・近赤外分光観測データを用いて月全球のスピネルのスペクトルサーベイ(純粋なスピネルの吸収特徴を持つ反射スペクトルの抽出)を行ったところ、これまでに見つかっていなかった鉄に富む組成を持つスピネルが、限られた 1 領域(熱の入江；Sinus Aestuum 周辺)にのみ分布することがわかった (Yamamoto et al. 2013)。同領域は DMD (Dark Mantle Deposit)と呼ばれる周囲より反射率が低い領域に対応しており (Gaddis et al. 2003)、ここには揮発性成分に富んだ火成活動による噴出物が急冷・固化してガラス状に堆積している(火山砕屑物と呼ばれる)ことが従来から言われている。またこれら噴出物は、海を構成する溶岩流の場合よりも深いマントル領域が溶融・噴出したものであると推定されており (Elkins-Tanton et al. 2004)、今回観測されたスピネルはそ

の分布からそれら火山碎屑物と関係した起源である可能性が高く、それ以前に報告されているマグネシウムに富むスピネルはクレーター中央丘や盆地のリングに見つかっている。地殻内に貫入したマグネシウムに富むマグマと地殻との反応によって形成し、それが天体衝突により掘削・隆起して露出したとの説がある。Prissel et al. (2014) とは異なる成因を持つと考えられる。月面上でもここだけに観測される特殊なスピネル鉱物がマントルの深い領域の溶融・噴出によりもたらされたものであるならば、その組成や成因を知ることはマントルの組成や溶融条件の推定につながる重要な情報となる。

まとめ：

月のマントルの直接試料は得られておらず、そのため月のマントルについては組成や温度など、現在でもよくわかっていないことが多い。今回紹介した研究成果は、これまで不明点の多いマントルについて、組成や温度など幾つかの重要な情報をもたらしたと共に、今後より詳細な調査を行うためにどこでどのような探査が必要なのか、指針を与えている。