

月への大規模衝突によって形成された「マグマの海」の分化過程 Differentiation of impact-induced magma seas on the Moon

中村 良介^{1*}, 山本 聡², 松永 恒雄², 石原 吉明¹, 横田 康弘², 廣井孝弘³

Ryosuke Nakamura^{1*}, Satoru Yamamoto², Tsuneo Matsunaga², Yoshiaki Ishihara¹, Yasuhiro Yokota², Takahiro Hiroi³

¹ 産業技術総合研究所, ² 国立環境研究所, ³ ブラウン大学

¹AIST, ²NIES, ³Brown University

我々は月探査機「かぐや」に搭載された Spectral Profiler (SP) データの解析を行い、かんらん石・低カルシウム輝石の全球マッピングを行った。その結果、(1) かんらん石はモスクワの海・危難の海といった地殻の薄い比較的小さい衝突盆地周辺に(2) 低カルシウム輝石は月の三大衝突盆地、すなわち南極 = エイトケン盆地・雨の海・プロセルラム盆地の周囲に、それぞれ存在することが明らかとなった。通常のマグマオーシャンの固化モデルでは、最初にかんらん石が晶出して底に沈み、その後低カルシウム輝石が固化する。つまり SP による観測とは逆に、より深くまで掘削する大規模な衝突盆地の周辺にかんらん石が存在し、地殻の直下までしか掘れていない小規模な盆地では低カルシウム輝石が分布するはずである。この観測結果とモデルの不一致を説明するには、以下の3つの仮説が考えられる。

(i) マグマオーシャンが十分に深かったため、三大衝突盆地でも最初に晶出したマントル中のかんらん石層には到達しなかった。あるいは月のバルク組成は地球とは異なる ($[Mg+Fe]/Si$ が低い) ため、マントルの大部分が低カルシウム輝石で構成されている。

(ii) オーバーターンによってマントルの上下が逆転し、かんらん石が低カルシウム輝石の上に来た。このため、より小さい盆地で上のかんらん石マントルが放出され、深部まで到達した三大盆地だけが低カルシウム輝石を露出させた。

(iii) 巨大衝突によって生じた大規模なメルトによってマグマの海が形成され、その固化の時に、マグマオーシャンと同様の分化が起こった。

(i) の場合、小規模盆地周辺のかんらん石はマントルに由来するものではなく、下部地殻中の Mg-suite であると考えられる。両者の主な違いは斜長石の含有量であるが、SP の観測する可視赤外域では斜長石の吸収帯は低カルシウム輝石 / かんらん石によって隠されてしまうため、別の観測手段が必要となる。具体的には (a) X 線 / ガンマ線による元素分布観測 (b) SiO₂ の割合を制約できる熱赤外分光観測 (e.g., LRO/DIVINER) などがあるが、SP で検出された領域の空間的な広がりはいずれも数 km であるため、(b) がより有力な手法となる。なお三大盆地周辺の低カルシウム輝石はマントル起源であるため、斜長石の混合比は低いと予測される。

(ii) の場合は、マグマオーシャンの固化やマントルオーバーターンの規模や時期に重要な制約が与えられる。表側の Procellarum KREEP Terrain (PKT) が KREEP 成分に富むということは、マグマオーシャンの残液成分 (urKREEP) がオーバーターンで沈み込みよりも先に大規模衝突が起こり、その成分を表面に露出させたということである。一方、裏側の South-Pole Aitken Terrain (SPAT) で KREEP 濃度が低いのは、この衝突が起こった時には urKREEP がすでにオーバーターンにより深部へ (あるいは先に起こった Procellarum 衝突の影響で表側へ) 移動していたためと解釈するのが自然である。このモデルが正しいとすると、SP が同定した低カルシウム輝石およびかんらん石に富む岩体はいずれもマントルに起源を持つため、斜長石をほとんど含まないはずである。よって、(i) の場合と同様に、X・ガンマ線による元素組成分布および熱赤外分光による SiO₂ 量の観測が重要な役割を果たす。

衝突スケール則によれば、プロセルラム盆地や南極 = エイトケン盆地の内部には、数千 km の広がり数十 km の深さを持つマグマの海が形成されたと推測される。このメルトが再結晶化する際の分化によって、低カルシウム輝石およびかんらん石が形成されたとするのが (iii) の説である。メルトの主成分は上部マントルだが、一定量の地殻の混合によって Ca/Al 成分が増えていれば斜長石が再晶出することも可能である。現在も PKT / SPAT の地下に存在する薄い斜長岩地殻は、Feldspathic Highland Terrain (FHT) のようにマグマオーシャンから直接固化したものではなく、マグマの海から形成された2次地殻である可能性が高い。かぐや搭載マルチバンドイメージャー (MI) の観測により、PKT の中心に位置するアリストアルコスクレーターの中央丘に有色鉱物をほとんど含まない純粋な斜長岩が露出している。この岩体がマグマの海から形成されたとすると、その年代はマグマオーシャンから晶出した斜長岩よりも若いはずである。またこのモデルでは、SP によって同定された低カルシウム輝石およびかんらん石に富む岩体が (ア) 斜長石を含んでいる (イ) 斜長岩と隣接している、ことがありうる。SP による全球サーベイから複数の鉱物種が隣接する領域を同定し、その複雑な地質を MI 多色画像で調べた結果は、この (iii) 説を強く支持する。

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



PPS23-14

会場:201A

時間:5月23日 14:45-15:00

キーワード: 月, スペクトル, 赤外線, マントル, 衝突, 地殻

Keywords: Moon, Spectra, Infrared, Mantle, Impact, Crust