

2024年度岡山大学 惑星物質研究所 共同利用・共同研究 成果報告書

提出日： 2025 年 3 月 14 日

共同利用研究の種類： ☐国際共同研究 ☒一般共同研究 ☐設備共同利用 ☐ワークショップ

課題名： 高温高压実験による月の KREEP 層の化学組成の決定

共同研究員氏名： 鹿山 雅裕

所属・職名： 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻・助教

分担者氏名： 山下 茂

分担者所属・職名： 岡山大学惑星物質研究所・准教授

研究報告：

岡山大学惑星物質研究所の内熱式ガス圧（HIP）装置による高温高压実験により、月におけるマグマオーシャンの結晶分化作用末期に生じた KREEP 層の鉱物種ならびに化学組成を検討した。本研究成果により、KREEP 層を構成する鉱物の主成分である K の放射壊変熱や大量に内在する水の融解への効果、クレーター形成による脱圧作用を複合的に評価することが可能となり、KREEP 層がもたらした月における火山史、特に月の最大の火山活動であるプロセラルム盆地の形成との解明が期待される。HIP 実験では、様々な Bulk Silicate Moon (BSM) のマグマオーシャンを想定し（LPUM、TWM 及び ON モデル）、78-81% 固化した状態の残液組成を出発試料として（上記モデルに準ずる 3 種類の試料）、実験後の回収試料の固化率（PCS）が 10-40%になるように温度・圧力条件を設定した。目的の固化率を満たす試料の回収に成功し、その電子顕微鏡分析から鉱物の種類とガラスの化学組成を決定した。この共同研究では、同様の手順によりマグマオーシャンの PCS が最終的に >99%になるまで 5~7 回程度の実験を繰り返す。本年度は 2 回目までの繰り返し実験は完了し、来年度は 3~4 回目以降も同様の手順で実験を実施し、KREEP 層に相当する回収試料が得られるまで繰り返す。

出発試料：代表的な 3 種類の BSM が 78-81%固化した状態の残液組成に対応するように、酸化物及びケイ酸塩の試薬を混合し、これを常圧、1000℃、iron-wuestite (IW) バッファー相当の酸化還元状態で加熱して出発試料を調整した。

HIP 実験：Pt-G（グラファイト）カプセル法により試料の酸化還元状態を制御。カプセルには Pt を用い、試料をグラファイトジャケットで包んでカプセルに挿入した。実験の圧力は月の KREEP 層が位置する 34-43km に対応する 0.2 GPa、温度は繰り返し実験の回数に応じてリキダス直下の 1000-1200℃、実験時間は化学平衡達成のチェックのためのタイムスタディーに基づき 48h とした。

結果：回収試料から、MELTS の計算や先行研究で予想される鉱物種である Olivine や

Ca-rich pyroxene、Plagioclase の晶出が確認され、残液の化学組成を決定するに至った。1 回目と比べ、2 回目の回収試料のガラスの方がアルカリ元素の濃度が高く、KREEP 形成前のマグマオーシャンにおけるインコンパチブル元素の濃集を再現するに至った。また、PCS は 20~30% と目的の条件を満足し、これはマグマオーシャンの PCS = 86-90% に対応する。残液の化学組成は、主に Mg-rich な Olivine や Pyroxene が晶出したことから出発試料に比べて Mg や Si、Al がやや欠乏したものとなった。この化学組成を 3 回目の繰り返し実験の出発試料とする。また、回収試料の鉱物には組成ゾーニングなどは認められず、結晶面が発達し、各鉱物の Mg# も残液との平衡状態の値を満たすことから、平衡状態における結晶分化作用を再現することができたと考える。また、得られた成果を実際に月に産出する各種深成岩体の性質と比較することも重要であり、これに関連した成果として、将来の月面サンプルリターンに向けた科学的意義とサンプルサイトとして、PAN、Olivine-rich site あわせて KREEP 層に富む玄武岩盆地のサイト選定に関する議論の一部として本研究の検討を報告している（長岡ほか 2024）。