

高圧下における月の玄武岩マグマの密度および粘性係数の測定

Density and viscosity of the lunar basaltic magma at high pressure

前田 信[1], 大谷 栄治[1], 鈴木 昭夫[2], 舟越 賢一[3], 寺崎 英紀[4], 伊藤 昌賢[5]

Makoto Maeda[1], Eiji Ohtani[2], Akio Suzuki[3], Kenichi Funakoshi[4], Hidenori Terasaki[5], Masayoshi Ito[6]

[1] 東北大、理、地球物質科学, [2] 東北大・理・地球物質科学, [3] 高輝度光セ, [4] 筑波大・地球, [5] 東北大・理

[1] Institute of Mineralogy, Petrology, and Economic Geology, Tohoku Univ., [2] Institute of Mineralogy, Petrology, and Economic Geology, Tohoku University, [3] Faculty of Science, Tohoku Univ., [4] JASRI, [5] Geosci., Univ. of Tsukuba, [6] Sci., Tohoku Univ.

<http://rance.ganko.tohoku.ac.jp>

月で発見された玄武岩質な岩石のうち、最も始源的であると考えられる Apollo 15 green glass-C と最も Ti に富んでいる Apollo 14 black glass の組成マグマについて、高圧下における密度と粘性係数の測定を行った結果、green glass マグマの密度が 14.5 ± 0.5 GPa, 2500°C において 3.49g/cm^3 であり、粘性係数は green glass マグマについて 3.1GPa , 1640°C で 0.64Pa s 、black glass マグマについて 2.3GPa , 1460°C で 0.20Pa s 、 3.5GPa , 1530°C で 0.56Pa s であることがわかった。

高圧下におけるマグマの物性は、惑星内部におけるマグマの動きや、惑星表層でのマグマの噴出形態を議論する上で非常に重要である。今回我々は、月で発見された玄武岩質な岩石のうち、最も始源的であると考えられている Apollo 15 green glass-C と最もチタンに富んでいる Apollo 14 black glass の組成のマグマについて、高圧下における密度と粘性係数の測定を行った。月の玄武岩は月の海に存在し、それらは月内部の岩石が溶融しそのマグマが上昇することで形成されたと考えられている。これらのマグマの密度や粘性係数を測定することは、惑星内部におけるマグマの動きだけでなく、岩石起源についても重要な制約を与える。

実験で使用した出発物質はそれぞれの玄武岩質組成について、酸化物を調合し、雰囲気炉で合成した粉末試料を用いた。密度測定は、ダイヤモンドを密度標準物質に使用した浮沈法を用いて決定した。これは既に圧力 - 密度関係のわかっているダイヤモンドがメルト中において浮くか沈むかで、メルトの密度を決定する方法である。実験は東北大理学部設置の MA8 型高圧発生装置を用いて、 $10\text{-}15\text{GPa}$, $2100\text{-}2500^\circ\text{C}$ の条件で行った。圧力媒体には ZrO_2 、ヒーターには LaCrO_3 、カプセルにはグラファイトを用いた。ダイヤモンドが浮いているか沈んでいるかは、回収試料を研磨して実体顕微鏡下で観察して決定した。粘性係数の測定には、マルチアンビル型高圧発生装置を使用し、カプセル内で白金球を落下させる落球法を用いて行った。実験は SPring-8 の BL04B1 ビームラインに設置された SPEED1500 を用いて圧力を発生し、X線ラジオグラフィを用いたその場観察で行った。圧力は MgO スケールを用いて決定した。実験条件は $3\text{-}6\text{GPa}$, $1600\text{-}1800^\circ\text{C}$ である。圧力媒体には ZrO_2 と MgO 、ヒーターにはグラファイトを使用し、落下球には直径約 100mm の白金球を用いた。試料融解後の、球の落下の様子は X線 CCD カメラを用いて観察した。球はゆっくりと落下し始め、その後一定速度に達する。終端速度はこの一定になったところを使用し決定した。粘性係数は得られた終端速度からストークスの式により求めることができる。

浮沈実験においては、 2500°C の条件でのみダイヤモンドの浮き沈みを観察することができた。その結果、 14.0GPa , 2500°C でダイヤモンドはメルト中で沈み、 15.0GPa , 2500°C で浮くことが確認された。 2500°C におけるダイヤモンドの圧縮曲線から、 $14.5 \pm 0.5\text{GPa}$, 2500°C における、Apollo 15 green glass-C magma の密度が、 3.49g/cm^3 であることがわかった。得られた密度から、Birch-Murnaghan の状態方程式を用いて決定した Apollo 15 green glass-C magma の、体積弾性率とその圧力微分はそれぞれ、 $15.3 \pm 0.6\text{GPa}$, 9.1 ± 0.8 であった。玄武岩質マグマの粘性係数はこれまでに Kushiro et al. (1976) や Scarfe (1981) で報告されているが、いずれも 2GPa までの比較的低い圧力での測定であり、また試料を急冷凍させた後、球の落下距離を測定する急冷落球法である。今回の測定は落下距離をその場で観察することができるため、比較的低い粘性係数のものでもかなりの精度で粘性係数を決定することができる。今回行った実験の結果、Apollo 15 green glass-C magma について、 3.1GPa , 1640°C で 0.64Pa s 、また Apollo 14 black glass magma について、 2.3GPa , 1460°C で、 0.20Pa s 、 3.5GPa , 1530°C で、 0.56Pa s という値が得られた。Apollo 15 green glass-C magma についての今回の結果は、これまで報告されている玄武岩質マグマの粘度と比べて高い値である。また、Apollo 14 black glass magma の粘性係数は、これまでに報告されているかんらん石ソレイト玄武岩マグマのよりもかなり低く、またこれまで報告されている一般的な珪酸塩マグマとは異なり、高圧ほど粘性係数が上昇する結果が得られた。このことは、高圧下での black glass magma 内で、4面体ネットワークの重合度が下がっていることを予想させる。