

リン酸塩鉱物を用いた D'Orbigny 母天体の水濃度推定：惑星形成過程における水の挙動解明に向けて Water Content of the 4.56Ga D'Orbigny Parent Body Estimated from Phosphate

鈴木 博子^{1*}, 太田 祥宏², 佐野 有司², 飯塚 毅¹, 三河内 岳¹, 小澤 一仁¹, 永原 裕子¹

SUZUKI, Hiroko^{1*}, OTA, Yoshihiro², SANNO, Yuji², IIZUKA, Tsuyoshi¹, MIKOUCHI, Takashi¹, OZAWA, Kazuhito¹, NAGAHARA, Hiroko¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 東京大学大気海洋研究所海洋地球システム研究系

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo, ²Division of Ocean and Earth Systems, Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo

惑星の形成過程における水の挙動の理解は、太陽系や惑星の進化、地球の水の起源を考える上で、必要不可欠である。本研究では、太陽系初期(4.56Ga 前後)に形成された微惑星に由来する angrite 隕石 D'Orbigny を用いて、その母天体の水濃度を推定した。水濃度は、NanoSIMS によって隕石のリン酸塩鉱物中の水素濃度を測定し、その結果と鉱物学的観察から予想される D'Orbigny メルトの結晶化過程およびマンツルの融解を考慮することにより推定した。

D'Orbigny は主に plagioclase, clinopyroxene, olivine から構成され、ophitic な組織と空隙や晶洞が多く見られる特徴的な組織を持つ (Kurat et al., 2001; Mittlefehldt et al., 2002)。リン酸塩鉱物の結晶化のタイミングを明らかにするために、EPMA と FE-SEM を用いた微細構造観察と元素マッピングを行った。リン酸塩鉱物は粒間 (Mittlefehldt et al. (2002) が "mesostatis" と呼んだ領域) に出現し、そこに向かって olivine 中の Fe と Ca および clinopyroxene 中の Fe, Al, Ti は極端に濃集し、Mg がほぼ含まれなくなり、olivine と kirschsteinite が intergrowth を形成する。Intergrowth の内側には、骸晶状のリン酸塩鉱物に加え ulvospinel と troilite が存在し、さらに中心にしばしば troilite により囲まれ輪郭が丸みを帯びた空隙が存在する。このような鉱物配置順は、いずれの粒間でも同様である。この微細構造から、リン酸塩鉱物は、troilite と空隙 (丸みを帯びた形状から気泡の痕と考えられる) が形成される前に、結晶化最終ステージの残液から結晶化したことが分かった。

同定されたリン酸塩鉱物のうち、粗粒 (20 μm) な 3 粒について東京大学大気海洋研究所の NanoSIMS によって水素濃度および同位体組成を分析した。その結果、リン酸塩鉱物の水濃度は平均 0.03wt%, $D/H=2.9 \times 10^{-4}$, $D=840 \pm 10$ ‰であることがわかった。この D/H は彗星と火星隕石の D/H の下限と近いことから、火星を作った微惑星は D'Orbigny 母天体に類似したものであった可能性 (小惑星帯と火星に近いこととも調和的) や、D'Orbigny 母天体の水が彗星起源であった可能性が考えられる。

D'Orbigny の全岩希土類元素 (REE) パターン (CI で規格化したもの) はほぼ水平で、Eu も含めて REE に分別がないこと (Mittlefehldt et al., 2002)、真球に近い 1cm の巨大な空隙 (気泡) が存在すること、ophitic 組織、olivine と clinopyroxene が中心からリン酸塩鉱物を含む粒間に向かって連続的に Fe に濃集することから、D'Orbigny は結晶集積岩ではなく液体がほぼ閉じた系で固結したものと考えられる。リン酸塩鉱物晶出までの結晶化度を粒間部の troilite と空隙の体積から求めたところ、98 体積%と推定された。リン酸塩鉱物の水濃度とこの結晶化度、およびリン酸塩鉱物を apatite と仮定して apatite

メルト間の H₂O の分配係数 (McCubbin et al., 2011) を用いて、D'Orbigny メルト中での水濃度は 0.003~0.011wt% と計算される。真球状空隙と晶洞の存在は D'Orbigny メルトの結晶化開始時にも発泡していたことを示す。この結晶化初期の気泡を仮に 100% H₂O とし、apatite 晶出時までメルトと常に平衡 (飽和状態) にあると仮定し、気体の状態方程式と真球空隙と晶洞の分率を用いると、気泡となっていた水は、メルトの水濃度に換算して 0.0005~0.0034wt% と推定される。二つの水濃度推定値の合計が D'Orbigny メルト中の含水量となる。D'Orbigny の REE 間には分別が認められないことからマンツルの高い (30~40%) 融解度を仮定し、D'Orbigny 母天体のマンツルの水濃度は 0.001~0.006wt% と推定される。これは地球の水濃度 0.046wt% (地球内部の水量を海水と同量 (Hirschmann, 2006) とした場合) の 3~13% に相当する。本研究から、惑星の成長に寄与した可能性のある微惑星が惑星形成初期に少量ではあるが無視できないほどの水を保持していたことが明らかになった。今後この方法を様々な種類の隕石に適用することにより、惑星の形成過程における水の挙動が明らかにできると期待される。