

平衡コンドライト中のオリビンに含まれる負晶からのオリビン平衡形の推定 Estimation of the equilibrium form of olivine from negative crystals in an equilibrated chondrite

中村 隆太^{1*}; 土山 明¹; 三宅 亮¹; 松本 徹¹; 大井 修吾¹; 瀧川 晶¹; 上杉 健太郎²
NAKAMURA, Ryuta^{1*}; TSUCHIYAMA, Akira¹; MIYAKE, Akira¹; MATSUMOTO, Toru¹; OHI, Shugo¹; TAKIGAWA, Aki¹; UESUGI, Kentaro²

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, ² 財団高輝度光科学研究センター

¹Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, ²Japan Synchrotron Radiation Research Institute

オリビンは地球や太陽系だけでなく宇宙にも普遍的に存在する鉱物である。最近、第一原理計算によりオリビンの表面エネルギーを求めることにより、平衡形が議論され [1]、結晶表面での水素原子吸着による星間空間での水素分子生成や [2]、水分子吸着による地球の水の起源が議論されている [3]。分子吸着と反応には結晶表面の面指数による違いがあり、結晶形状を3次元的に理解することは重要である。天然に産出するオリビンの結晶形状について記載はあるが、表面自由エネルギーが最小となる平衡形の形状についてはよくわかっていない。はやぶさサンプルと平衡コンドライトの詳細分析により、平衡コンドライト中のオリビンには数 μm サイズのファセットをもつ空隙(負晶)が存在することが明らかとなった [4]。このような負晶は平衡コンドライトが受けた熱変成(最高温度 800°C 程度)により、平衡形であることが期待される。これまで微細な負晶の3次元形状を定量的に測定する手段はなかったが、集束イオンビーム(FIB)を用いたサンプリングとマイクロCTを用いて、その手法が開発された [5]。本研究の目的は、平衡コンドライト中のオリビンに含まれる負晶の3次元形状を定量的に明らかにし、その平衡形を求め、第1原理計算結果と比較することにある。

Tuxtuac 隕石(LL5)の薄片から、オリビン中に負晶に富む部分を光学顕微鏡により見出し、 $30 \times 30 \times 60 \mu\text{m}$ 程度の大きさをFIB(FEI Quanta 200 3DS)を用いて切り出した。サンプルのマイクロCT撮影(SPring-8BL47XU7 keV)を行い、 70.5 nm/voxel で3次元CT像を得、CT像の2値化により負晶の抽出をおこなった。一方、ホストのオリビン結晶について、SEM/EBSD(JEOL 7001F/HKL CHANNEL5)を用いて結晶方位を求め、CTにより求めた3次元形状と比較した。3Dデータから測角により、負晶の面指数を決定した。

今回のサンプルには、ほぼ同じ平面上に存在する2- $4 \mu\text{m}$ のサイズの負晶7個が認識できた。これらは、はやぶさサンプル [5] と同様に healed crack であると考えられる。すべての負晶は同一の結晶方位をもつファセットが発達しており、その形状も類似していた。このことは、これらの負晶の形状が平衡形に近いものであることを示唆している。(100), (001), (011) は明確に観察でき、最も発達している面は(100)である。CT像の空間分解能が十分ではないが(010), (120), (001), (011), (102), (343) がファセットとして出現しているように見える。また、少なくとも一部の稜は丸みを帯びている。

第一原理計算(真空中0 K)によると、フォルステライトの表面エネルギーは(010)が最も小さく次いで(120), (001), (101), (111), (021), (110)の順となっている [1]。今回得られた負晶には表面エネルギーの低い(010), (120), (001)も見られるが、最も発達した(100)はエネルギーが高く [6]、また(011), (102), (343)もエネルギーの高い面と考えられる。この理由としては、結晶表面への吸着分子による表面エネルギーの変化、表面自由エネルギーの温度依存性やカイネティックな効果の可能性が挙げられる。もし真空中で高い表面エネルギーを持つ面が、結晶表面への分子の吸着によりエネルギーが低くなるとすると、表面構造の違いによる分子吸着の異方性が表面の安定性に大きな役割を果たしていることになる。一方、フォルステライトの水素雰囲気中での蒸発実験では、約 1400°C 以下の温度ではa軸方向の蒸発速度はb, c軸方向の蒸発速度よりも小さく [7]、今回の観察結果と調和的である。

- [1] Bruno et al, 2014, J. Phys. Chem. C, 118, 2498.
- [2] Vattuone et al, 2013, Phil. Trans. R. Soc, A371, 20110585.
- [3] Navaro-Ruiz et al, 2014, PCCP, DOI:10, 1039/c4cp00819g.
- [4] Tsuchiyama et al, 2014, MAPS, 49, 172.
- [5] Tsuchiyama et al, 2014, MAPS, 49, 404.
- [6] Takahashi, Personal communication.
- [7] Takigawa et al, 2009, ApJ, 707, 97.

キーワード: 平衡形, 負晶, 平衡コンドライト, オリビン, 第一原理計算, 表面エネルギー

Keywords: equilibrium form, negative crystal, equilibrated chondrite, olivine, Ab initio, surface energy