

非晶質 MgSiO₃ の加熱における構造変化：水の役割Structural modification in amorphous MgSiO₃ with heat treatments: a role of water

松野 淳也^{1*}, 土山 明¹, 小池 千代枝², 茅原 弘毅³, 小原 真司⁴, 北島義典⁵, 吉朝 朗⁷, 瀬戸 雄介⁷, 高橋 竜平¹, 今井 悠太⁸, 村田 敬介⁸

Junya Matsuno^{1*}, Akira Tsuchiyama¹, Chiyoeko Koike², Hiroki Chihara³, Shinji Kohara⁴, Yoshinori Kitajima⁵, Akira Yoshiasa⁷, Yusuke Seto⁷, Ryohei Takahashi¹, Yuta Imai⁸, Keisuke Murata⁸

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 立命館大学, ³ 大阪産業大学, ⁴ 高輝度光科学研究センター, ⁵ 高エネルギー加速器研究機構, ⁶ 熊本大学大学院自然科学研究科, ⁷ 神戸大学大学院理学研究科, ⁸ 大阪大学大学院理学研究科

¹Dep. of Geology and Mineralogy, Kyoto Univ., ²Ritsumeikan Univ., ³Osaka Sangyo Univ., ⁴Japan Synchrotron Radiation Research Institute, ⁵Photon Factory, High Energy Accelerator Research Organization, ⁶Dep't Earth Sci., Kumamoto Univ., ⁷Dep. of Earth and Planetary Sci., Kobe Univ., ⁸Dep. of Earth and Space Sci., Osaka Univ.

若い星などの星周環境において enstatite (MgSiO₃) や forsterite (Mg₂SiO₄) の結晶質珪酸塩ダストが見ついている [1]。一方星間空間のダストは非晶質である [2]。そこで非晶質な星間塵は星周円盤に取り込まれた際に加熱を受け結晶化すると考えられており、非晶質の結晶化実験が行われおりダストの温度履歴や原始惑星系円盤の温度構造の議論が行われてきた (例えば [3-6])。Imai (2012) [3] は熱プラズマ法 (高温ガスの急冷により非晶質物質を得る方法) で合成した非晶質 MgSiO₃ の加熱実験を行い、enstatite の結晶化における活性化エネルギーなどを求め星周環境でのダストの結晶化を速度論的に取り扱った。X 線粉末回折法 (XRD) のスペクトルは出発物質では非晶質に特徴的なブロードなピークであったが、800 °C、3 時間加熱すると出発物質のブロードなピークに加えて弱いピークが現れ、6 時間加熱すると消滅し出発物質のものと同様に変わらないスペクトルになった。12 時間以上の加熱では enstatite の結晶のピークが見られた。赤外線 (IR) 吸収のスペクトルは出発物質では 18 μm に O-Si-O の変角振動が見られたが 3 時間加熱では 18 μm に加え 22 μm に肩をもち、6 時間では出発物質と同様のピークに戻った。enstatite の結晶化前に見られたこれらのスペクトル変化は非晶質の構造変化を反映している可能性がある。また IR の 18-22 μm のピーク位置の変化は星周円盤のダスト種の推定に影響を与える可能性がある。そこで高エネルギー X 線回折 (HEXRD) や X 線吸収端エネルギー分光 (XAFS) 法を用いて結合距離や配位数を調べた。また透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて高空間分解能の観察を行った。また 800 °C、3 時間加熱試料の XRD はゾルゲル法で合成した非晶質珪酸塩のものによく似ていた [4-6]。ゾルゲル法は合成時に水が必要であることからこのピークは水が関係している可能性がある。そこで水質変成を行い、水の影響を考察した。

HEXRD から得られた全相関関数により、800 °C、3 時間の加熱の Mg-O 結合距離 (2.05 Å) が出発物質と 6 時間加熱のもの (2.00 Å) よりも伸びていることがわかった。XAFS の結果もこれを指示していた。TEM による観察では稀に格子縞 (間隔 2.5 nm) が見られたが、電子線に弱く詳細な分析は行えなかった。一方、150 °C、3 週間、水/岩石比が 0.1 の水質変成実験試料の XRD は、800 °C、3 時間の加熱試料のものによく似ていた。このことから enstatite 結晶化前に見られた XRD や IR のピーク変化は水が関係していると考えられる。結晶相同定はできていないが XRD や TEM の観察結果と同様の水質変成実験 [7] を比較すると、例えば serpentine と stevensite といった 2 つの含水層状珪酸塩が不規則混合層を作ることが考えられる。熱プラズマ法の原材料には Mg(OH)₂ を用いており、非晶質物質が凝縮する際に周囲の H₂O もしくは OH 分子 (もしくは H, O 原子) を取り込んでいる可能性がある。この場合、XRD や IR のピーク変化は以下のように説明できる: (1) 含水珪酸塩が H₂O もしくは OH 分子 (もしくは H, O 原子) を含む非晶質珪酸塩から結晶化する (800 °C、3 時間加熱)、(2) 含水珪酸塩が脱水し非晶質に戻る (6 時間加熱)、(3) 無水鉱物 (enstatite) の結晶化が始まる (12 時間以上)。

非晶質ダストがガスから凝縮する際に H₂O もしくは OH 分子 (もしくは H, O 原子) を取り込みや、これらの分子 (あるいは原子) 種の高エネルギー粒子が非晶質珪酸塩に打ち込みなど、非晶質ダストが H₂O もしくは OH 分子 (もしくは H, O 原子) を含む可能性は高い。これらの分子 (あるいは原子) は非晶質珪酸塩からの無水鉱物の結晶化速度に影響を与える可能性が考えられるため、今後評価を行う必要がある。

参考文献: [1] Tielens et al. (1997) Ap&SS, 255, 415-426 [2] Kemper et al. (2004) ApJ, 609, 826-837 [3] Imai (2012) PhD thesis [4] Murata et al. (2009) ApJ, 697, 836-842 [5] Matsuno et al. (2012) ApJ, 753, 141-147 [6] Thompson et al. (2012) A&A, 545, A60 [7] Takahashi et al. (2013) JpGU Meeting, this volume

キーワード: ダスト, 非晶質珪酸塩, 室内実験

Keywords: dust, amorphous silicate, laboratory experiment