

GEMS粒子平均組成をもつ非晶質ケイ酸塩の加熱結晶化実験

Crystallization experiments on amorphous silicate with the mean composition of GEMS

松野 淳也^{1*}, 大井 修吾², 野口 遼¹, 今井 悠太¹, 土山 明¹

Junya Matsuno^{1*}, Shugo Ohi², Ryo Noguchi¹, Yuta Imai¹, Akira Tsuchiyama¹

¹大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻, ²京都大学大学院理学研究科

¹Department of Earth and Space Science, G, ²Earth and Planetary Sci., Kyoto Univ.

彗星起源と考えられている無水惑星間塵中には、GEMS (glass with embedded metal and sulfide) と呼ばれるSiO₂に富む非晶質ケイ酸塩中に50 nm程度のFe,Niのmetalやsulfideの微小粒子が埋め込まれた直径500 nm以下の粒子が特徴的に存在している。GEMS粒子は、太陽系形成時に取り込まれた星間塵、もしくは、太陽系形成時に高温ガスから凝縮したものと考えられているが、その起源はよく分かっていない。いずれにせよ、彗星塵に含まれることから考えて、太陽系形成時に存在した極めて始原的な物質であり、太陽系の固体物質の原材料の一つであったと考えられる。このような粒子が初期太陽系の内側へ移動して加熱されると、非晶質ケイ酸塩は結晶化することが予想される。

本研究では、GEMS粒子の結晶化作用を明らかにするために、GEMS粒子の模擬物質の作成をおこない、加熱による結晶化実験をおこなった。GEMS粒子のケイ酸塩部分に注目し、主成分であるMgO-FeO-SiO₂系について、GEMS粒子の平均組成からmetalとsulfideのFe量を差し引いた組成 (SiO₂=66.0 wt.%, MgO=29.3 wt.%, FeO=4.71 wt.%) をもつ非晶質ケイ酸塩を、加熱結晶化実験の出発物質としてゾルゲル法により作成した。この非晶質ケイ酸塩を、常圧ガス混合炉中で、一定温度 (700-840°C) において所定の時間 (1-24 hrs.) 加熱した。加熱中の試料中に含まれるFeO成分の酸化を防ぐために、炉にH₂-CO₂混合ガスを流すことにより、IWバッファーに対応する酸素分圧雰囲気とした。出発物質および実験生成物は、粉末X線回折を用いて分析した。その結果、760°C以上の温度では結晶化が見られ、olivine (forsterite)とpyroxene (clino-enstatite) が結晶化した。また、少量のolivineがpyroxeneよりも早く結晶化するが、最終的にはpyroxeneのほうがolivineよりも多く結晶化した。

1000 K程度で結晶化したという今回の結果は、GEMS粒子がおおよそ1000 K以上の温度を一般には経験していないということを示唆している。これは、惑星間塵中のGEMS粒子を加熱すると700°Cで結晶化が見られたことから、無水惑星間塵中のGEMS粒子は700°C以上を経験していないと結論付けた実験[1]とも調和的である。一方、GEMS中にはforsteriteの微細結晶が稀に認められる[2]。今回の実験で少量のforsteriteが先に結晶化したという結果は、一部のGEMSでは1000 K付近の温度まで加熱されて、forsteriteの微細結晶が非晶質ケイ酸塩から結晶化したことを示唆している。

また、赤外線天文観測によると、若い星の星周環境ではolivineやpyroxeneの結晶質ケイ酸塩が見つかっている。今までに行われた、CI組成 ((Mg+Fe)/Si=1.97) やCI組成からsulfideのFeを差し引いた組成 ((Mg+Fe)/Si=1.46) の非晶質ケイ酸塩を加熱した実験では、olivineが結晶化した[3,4]。さらに、CI組成からFeを総て差し引いた組成 (Mg/Si=1.06) や輝石組成 ((Mg+Fe)/Si=1) の実験では、主としてolivineが結晶化するものもあれば、pyroxeneが結晶化するものもある

[5,6]. 今回の実験でGEMS粒子のケイ酸塩部分の平均組成 ((Mg+Fe)/Si=0.72) はSiO₂に富み、主にpyroxeneが結晶化した。このことは、観測で見つかっているpyroxeneが今回の組成のようにSiO₂に富む非晶質ケイ酸塩から結晶化したものであることを示唆している。

[1] Brownlee et al., 2005, Lunar Planet Sci., 36, 2391, [2] Bradley et al., 1999, Science, 285, 1716, [3] Murata et al., 2007, ApJ., 668, 285, [4] Murata et al., 2009a, ApJ., 696, 1612, [5] S. Simon, private communication, [6] Murata et al., 2009b, ApJ., 697, 836,