

## 熱プラズマを用いた GEMS 模擬粒子の合成実験

### A synthesis experiment of GEMS analogue grains produced by thermal plasma

松野 淳也<sup>1\*</sup>, 土山 明<sup>1</sup>, 八木下将史<sup>2</sup>, 小山誠司<sup>2</sup>, 渡辺隆行<sup>2</sup>

MATSUNO, Junya<sup>1\*</sup>, TSUCHIYAMA, Akira<sup>1</sup>, YAGISHITA Masahito<sup>2</sup>, KOYAMA Seiji<sup>2</sup>, WATANABE Takayuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 東京工業大学大学院総合理工学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup> Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology Interdisciplinary

彗星起源と考えられる無水惑星間塵中には、GEMS (glass with embedded metal and sulfides) と呼ばれる非晶質物質が多量に含まれている。GEMS は直径数 100 nm の粒子であり、丸い 10-50 nm 程度の Fe-Ni の金属や硫化物を含む SiO<sub>2</sub> に富む非晶質珪酸塩である。GEMS の形成過程は、以下に挙げる二つのモデルが提唱されている：(1) Si に富むガスからの凝縮 [1], (2) 結晶質珪酸塩ダストの宇宙線による非晶質化 [2]。GEMS の形成過程を理解する上で、実験室で GEMS 模擬物質を合成することは極めて重要である。本研究では、Si に富むガスの凝縮によりナノサイズの金属鉄を含む非晶質珪酸塩微小粒子が生成されるかどうかを検証した。

Si に富むガスは誘導結合型熱プラズマ (ITP: induction thermal plasma) 装置 (TP12010, JEOL) を用いて作成した。ITP は高温 (~10,000 K) を用いて瞬時に出発物質を蒸発させることができ、10<sup>4</sup>-10<sup>5</sup> K/sec の冷却速度でガスを急冷し、ナノ粒子を合成することができる装置である。出発物質には、単純化のため、太陽系の固体物質の主要元素である Mg, Fe, Si, O を選び、原始太陽系の Si に富むガスを模擬するため GEMS 平均組成 (Mg/Si = 0.65, Fe/Si = 0.56) [1] を持った MgO-Fe-SiO<sub>2</sub> 混合粉末を用いた。GEMS は金属を含む非晶質物質が凝縮した後、表面近くの金属が硫化した物質であると示唆されていること [1] や、実験で S の扱いが困難であることから、S を含まない系で実験を行った。また、実験は大気圧の Ar-He の雰囲気下で行った。

実験チャンパー内壁に付着した生成物を回収した。粉末 X 線回折において、 $\alpha$ -iron のピークと、非晶質物質に特有なハローパターンが見られたが、結晶質珪酸塩は同定されなかった。透過型電子顕微鏡による観察から、実験生成物は多くの球状粒子 (典型的には 50 nm 程度) から成り、それぞれの粒子において非晶質珪酸塩が一つの金属鉄の核 (~20 nm) を取り囲んでいることが分かった。これらのことから、非晶質珪酸塩は凝縮によって高温ガスから直接形成したものであり、おそらく先に凝縮した金属鉄の上に不均一核形成したものであると考えられる。

Yamamoto & Hasegawa (1977) は、ダストがガスから均一核形成と成長によって生成される様子を、凝縮の無次元パラメーターを導入して理論的に取り扱い、様々な宇宙環境での  $\tau$  の値を推定した。 $\tau$  の値は、例えば 0.1 AU での原始太陽系円盤では  $3 \times 10^9$ 、AGB 星周りでは 0.9-90 である [3]。今回の実験系での  $\tau$  を推定したところ  $\sim 4 \times 10^3$  となった。この値はこれらの宇宙環境での値と同じではないが、大きくは異なっていない。

GEMS の組織は金属鉄が非晶質珪酸塩によって覆われているという点で実験生成物のそれとよく似ていた。しかし、GEMS においては一つの粒子中に複数の金属粒子が含まれており、その点で実験生成物と異なっていた。一つの金属を含む非晶質珪酸塩の球状粒子の集合体の焼結によって GEMS が形成されたとすると、これは説明が可能である。酸素同位体比異常のある GEMS が少ないことから GEMS は太陽系起源の物質であると提案されている [1]。しかし GEMS が数 10 nm 程度の微小な一次粒子の集合体であるとすると、低温でもそれら一次粒子が H<sub>2</sub>O や CO を含むガスと酸素同位体の交換を起こし同位体が均質化する可能性が考えられる。GEMS は必ずしも太陽系起源物質ではないかもしれない。この場合 GEMS の形成過程は、一次粒子が晩期星周りで凝縮し、星間空間を経て原始太陽系星雲に取り込まれ、周囲のガスと低温で同位体交換反応を起こした後、集合・合体し、非晶質珪酸塩が結晶化しない程度に加熱焼結され、最後に表面が硫化した、というプロセスが考えられる。

[1] Keller & Messenger, 2011 [2] Bradley & Dai, 2004 [3] Yamamoto & Hasegawa, 1977

キーワード: GEMS, 凝縮実験

Keywords: GEMS, condensation experiment