

マイクロ波加熱法による珪酸塩微粒子の生成

Experiment of the silicate dust formation through chemically heterogeneous nucleation in vapor phase by using microwave heating

平家 勉[1], 平原 靖大[1]

Tsutomu Heike[1], Yasuhiro Hirahara[2]

[1] 名大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Nagoya Univ, [2] Earth and Planetary Sci., Nagoya Univ

近年の赤外天文観測により、“Astronomical Silicate”の存在が明らかにされたが、その生成メカニズムには不明の点が多く、実験的アプローチが不可欠である。そこで本研究ではマイクロ波加熱装置によりMgO-SiO₂系の蒸発・凝縮実験を行ない、得られた凝縮物を電子顕微鏡観察、特性X線、電子線回折により分析した。その結果、気相化学反応により核生成・成長したEnstatiteに近い組成の径4.6μmの真球形粒子を得た。MgO-SiO₂系のForsterite超微粒子(径25nm)生成実験との比較から、鉱物の生成メカニズムに酸素分圧が決定的な役割をしている可能性が示唆される。

序：星間空間に存在する珪酸塩微粒子は高温、低圧下における気相からの非平衡な蒸発・凝縮過程を経て生成したと考えられる。近年の赤外天文衛星ISO/SWS, LWSを用いたO-rich AGB星周大気の間～遠赤外領域の分光観測(Molster et al., 1999)によると、その放射スペクトルはMgに富む珪酸塩の鉱物及びアモルファス微粒子による放射スペクトルの混合により説明されている。これらの観測に対応すべき珪酸塩微粒子のスペクトルは微粒子の組成・構造・粒径・形状等によって変化するが、その関係は正確には分かっていない。そのため、星周大気ガスからの珪酸塩微粒子の生成メカニズムを推定するためには高温ガスからの凝縮実験により生成した微粒子の特徴を調べると同時に、その赤外スペクトルの測定が重要である。

実験：本研究ではマイクロ波加熱装置(平家、平原 地球惑星科学関連学会1999年合同大会)を用い、buffer gasとしてArガス13Torrに加え、新たにO-rich AGB星周大気の酸素に富む環境に合わせるために系に酸素を0.6Torr導入し、2種類の異なる原料物質を用いた蒸発・凝縮実験を行った。実験1では試料をSiO₂(石英ガラス)及びMgO(Periclase)とした。実験2では試料をFe(ステンレス片)及びSiO₂(石英ガラス)とした。

結果：得られた凝縮物を走査型電子顕微鏡(SEM)による観察と特性X線分析装置(EDX)、及び透過型電子顕微鏡(TEM)による電子線回折により分析した。実験1の結果、数μmサイズの真球形微粒子が多数見出された。その微粒子表面はアモルファスであり、元素組成は粒径によらず[MgO]:[SiO₂]=8:10に近い割合であった。実験2においても実験1と同様の真球形の微粒子を得た。その微粒子は少数ながら2種類が存在し、一方は[FeO]:[SiO₂]=1:1の元素組成をもつ粒径5μm程度の微粒子、もう一方はFe₂O₃の組成で粒径20μm程度の微粒子であった。

考察：実験1の結果得られた[MgO]/[SiO₂]組成比はMgO-SiO₂系における融点の最も低い組成にほぼ相当する(Chen and Presnall, 1975)ため、凝縮過程において何らかの相分化のメカニズムが働いた可能性が示唆される。一方、実験2の結果得られた2種類の微粒子の組成は平衡凝縮論では説明のつかない組成であるが、最近の研究によりFe₂O₃-FeO-SiO₂系の微粒子の組成は非平衡凝縮過程に特有な2種類の組成に分化することが明らかにされている(Reitmeijer et al. 1999)。これらの組成から非平衡凝縮過程に特有な相分化のメカニズムが働いたことが考えられる。また、実験1の結果得られた計138個のMgO-SiO₂系の真球形微粒子について粒度分布をSEM像から求めたところ、粒径4.6μmに唯一つピークをもつガウス分布に近い分布を示した。これをYamamoto and Hasegawa(1977)による非平衡凝縮論から計算される粒径分布関数と比較したところ、良い一致が見られた。このことは気相中において物理的には均質な核生成が起こったこと強く示唆する。また、今回の蒸発・凝縮実験において、非平衡度を示す指標である凝縮環境因子 $\gamma = (\text{過飽和の時間スケール}) / (\text{分子の衝突時間スケール})$ を見積もると 2×10^5 であった。一方、AGB星周辺の珪酸塩微粒子に対する γ は $10^3 \sim 6$ と見積もられ、今回の実験結果はこの範囲に当てはまる。従来、珪酸塩星間塵の大きさは0.1μmとされてきたが、今回の実験で得られた数ミクロンサイズの微粒子は星間塵に存在する可能性が示唆される。

今回と同様の実験において、buffer gasにArガスのみを用いたMgO-SiO₂系の蒸発・凝縮実験の結果、粒径25nmのForsterite鉱物からなる超微粒子の生成が認められた(平家、平原 日本惑星科学会1999年秋季講演会)。酸素を加えた今回の真球形微粒子生成実験と比較すると、酸素が微粒子の成長過程に多大な影響を与えたと考えられる。このことは、宇宙における高温ガスからの鉱物の生成メカニズムにおいて酸素分圧が決定的な役割を担って

いる可能性を示唆する。