

珪酸塩メルト界面近傍での宇宙塵形成過程の微小重力環境下における“その場観察”

In-situ observation of the condensation process near the melt interface by real-time phase-shift interferometer under microgravity

小畠 秀和[1], 塚本 勝男[1], 坂本 尚義[2]

Hidekazu Kobatake[1], Katsuo Tsukamoto[2], Hisayoshi Yurimoto[3]

[1] 東北大・理・地球物質, [2] 東工大・院理工・地惑

[1] Inst. Min. Pet. Econ. Geol. Tohoku Univ., [2] Faculty of Science, Tohoku University, [3] Earth & Planet. Sci., TiTech

ガスからの凝縮過程に大きな影響を与える熱対流と容器壁での不均質核形成を抑制するために、航空機の放物飛行を行い、微小重力環境下でのコンドライト物質の蒸発・凝縮実験を行った。出発物質の加熱は炭酸ガスレーザー照射で行った。メルト近傍のガス温度、蒸発ガス濃度計測のためにマイケルソン型高速位相シフト干渉計を初めて用いた。メルト界面近傍では、平衡ガスより高屈折率の物質が形成されるのが確認された。これはTEMで微粒子として同定された。異なった重力環境において形成された粒子の間には、サイズ、結晶度、化学組成において違いが見られた。これはメルト近傍での温度・ガス濃度勾配の違いや核形成メカニズムの相違に起因する

コンドライト物質の蒸発・凝縮条件を実験的に研究することは、それらコンドライト物質が形成されたであろう原始太陽系星雲内における元素分別過程を理解する上で重要な意味を持つ。原始太陽系星雲内での元素分別過程を理解するために、これまで固相-気相(液相-気相)間の熱力学平衡に基づく議論がなされてきた。しかし、‘平衡状態’自体証明された仮定ではなく、近年ではコンドライト物質の蒸発に関して、カイネティックに基づいた議論がなされるようになってきた。一方、凝縮過程については、蒸発・凝縮実験の結果得られた凝縮物をTEMまたはSEMで分析することが主流であった。こういった凝縮実験において問題となってくるのが、熱対流が原因となって起こる容器壁面における不均質核形成である。このような不均質核形成は、容器壁面・熱対流の存在しない宇宙空間における凝縮過程を考える上で望ましい現象ではない。このような問題を解決するために、航空機を利用した微小重力環境下においてコンドライト物質の蒸発・凝縮実験を行った。微小重力環境を利用することにより、不均質核形成を引き起こす容器壁面の影響や、熱・濃度環境を乱す熱対流を抑制することができるため、非常に過飽和な状態におけるガスの温度・濃度場の広がりを作り出すことができる。

出発物質にはForsteriteそしてEnstatite, Diopside, Quartz glass, CAI (Ca-Al rich inclusion) glass ($\text{SiO}_2=31\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=27\%$, $\text{CaO}=29\%$, $\text{MgO}=11\%$)を用いた。これらの出発物質をPt-Rd ($\text{Rd}=10\%$, $\phi=0.1\text{mm}$)によって真空チャンバー内に固定し、100Wの炭酸ガスレーザーの照射により、加熱・蒸発させた。蒸発凝縮実験は、(1)一気圧、微小重力環境下そして(2)一気圧、重力環境下、(3)真空 (10^{-3}Pa) 微小重力環境下において行った。

さらに高温ケイ酸塩メルト ($\phi=3\text{mm}$) 近傍のガス温度および蒸発ガス濃度の計測のために、マッハ-ツェンダー干渉計および、マイケルソン型高速位相シフト干渉計を初めて用いた。ケイ酸塩メルト界面近傍におけるガス屈折率の時間変化を測定することで、メルト周辺のガスの温度・濃度場の広がりを観察することができた。

ケイ酸塩メルトの温度が上がるのに従って、メルト界面近傍のガスの屈折率は温度上昇のために低下する。しかし加熱開始から20秒経過すると、メルト界面近傍において屈折率の高い物質が形成されるのが観察された。この物質の屈折率は、ケイ酸塩メルトの平衡ガスよりも非常に大きいものであった。このようなメルト近傍における非常に大きい屈折率を持つ物質の存在は、界面近傍において蒸発ガスからの微粒子の核形成が起こっている可能性を示している。

この高屈折率の物質を詳細に調べるために、メルト近傍(界面からの距離が5-10mm)において形成された生成物をCuメッシュ上に回収し実験後に取り出し、TEMによる観察を行った。その結果この高屈折率の物質は数10nmの微粒子の形成によるものであるということが分かった。大気圧、重力環境下で形成された微粒子は球状であり、電子線回折の結果アモルファスであることが分かった。それに対して大気圧、微小重力環境下で形成された微粒子は不規則な形状を示す結晶相であることが分かった。また真空、微小重力環境下で形成された微粒子は、大気圧、微小重力環境下で形成された微粒子に比べアモルファス相が多いという結果が得られた。さらに、化学組成においても重力環境の違いによる凝縮粒子の違いが見られた。CAI glassの蒸発ガスから凝縮した微粒子の化学組成の分布は、重力環境及び全圧の違いによって異なった。大気圧、微小重力環境下で形成された凝縮粒子は Al_2O_3 成分に富むが、真空、微小重力環境下そして大気圧重力環境下の順に、凝縮粒子中の Al_2O_3 成分は乏しくなった。このような凝縮粒子の違いは、重力の違いによって生じるガスの温度および濃度場の違い及び、結晶・アモルファス間における表面エネルギーの違いによって生じたと考えられる。