

Enstatite メルトの超音波浮遊による高速凝固過程のその場観察

In-situ observation of rapid solidification of Enstatite melts by using aero-acoustic levitation

長嶋 剣[1], 塚本 勝男[1], 小畠 秀和[1], 野澤 純[1]

Ken Nagashima[1], Katsuo Tsukamoto[2], Hidekazu Kobatake[3], Jun Nozawa[1]

[1] 東北大・理・地球物質

[1] Geology, Sci., Tohoku Univ, [2] Faculty of Science, Tohoku University, [3] Inst. Min. Pet. Econ. Geol. Tohoku Univ.

Enstatite コンドリュール特有の放射状組織の生成条件を調べるために、地上実験、航空機による微小重力実験および無容器超音波浮遊実験を行った。地上実験では放射状組織の結晶が再現できたのに対し、微小重力実験では結晶とガラスが共存する組織が、超音波浮遊実験ではガラスが得られた。これらの違いは接触部の有無および重力の違いによるメルト内外の対流の影響によるものと考えられる。これらのことから天然で放射状結晶が生じるには、非常に大きな過冷却状態で(400 以上)、外部から取り込まれた異種核よりの不均質核形成の結果と結論づけられる。

太陽系生成期の情報を保存していると考えられている始原的隕石の中にはコンドリュールと呼ばれる特有の物質が含まれている。コンドリュールとは直径 0.1~数 mm 程度の珪酸塩の球であり、その形状や組織に関する研究から一度溶融した後に急冷されてきたと考えられている。コンドリュールについては初期太陽系での熱履歴や環境を知るために様々なアプローチが試みられてきており、中でも直接的なアプローチとしてコンドリュールの再現実験が 1980 年ごろより行われてきた。しかしながら宇宙環境では地上における結晶化とは違い接触部がないため壁面での不均質核形成がおこらない。このことが結晶化に大きな影響を及ぼすこととなる。そこで、より宇宙環境へ近づけた実験として航空機による微小重力実験および融液が空間に浮遊している状態での結晶化(超音波浮遊)による無容器実験を行い、対照実験として地上実験を行った。

実験試料は合成した Enstatite ($MgSiO_3$) を直径約 2mm の球にして用いた。加熱は炭酸ガスレーザー (100W) で行い、完全溶融したことを確認した後にレーザーの電源を切って冷却固化した。試料の冷却過程は秒間最大 10000 フレームの高速度 CCD カメラで撮影を行った。実験後にこの撮影した画像の輝度解析により温度の二次元画像を得ることで温度履歴を調べた。

地上実験では接触部の影響を調べるために白金台で試料を保持し接触部を 1 点のみとして実験を行った。全ての試料において白金台との接触部分から結晶化がはじまって全体が結晶化した。試料の薄片観察により放射状の組織が確認できた。航空機実験では熱伝導による熱の逃げを極力押さえるために 0.1 白金ワイヤーで試料を保持して実験を行った。試料を観察したところ、全体が結晶化する場合、半分ほど結晶化し残りはガラス化する場合、ほぼガラス化し白金ワイヤー周辺にのみ結晶がみられた場合の 3 種類の結果が得られた。超音波浮遊実験では試料全体がガラス化したが、内部に数十 μm 程度の結晶を確認することができた。それぞれの実験について温度履歴を確認したところ、結晶化する際とガラス化する際とで明確な違いがみられた。結晶化したとき冷却過程の途中で結晶化潜熱による温度上昇(復熱)が確認でき、このときの温度は 1100 程度であったので過冷却度は 400~450 程度となる。一方ガラス化したときは冷却過程での復熱は見られなかった。これは、結晶が核形成する前に温度が低下して粘性が急激に増加しガラス転移点に達したためであろう。

このような違いは接触部の有無、微小重力下と重力下におけるメルト内外の対流の違いによる核形成の時期と大きな関係がある。接触部がある場合はそこからの不均質核形成の効果がある。これに対し、接触部が全く無い超音波浮遊実験では均一核形成に近いために核形成頻度が低くなり核形成が遅れる。航空機実験で見られた結晶とガラスが共存する組織は、接触部からはじまった結晶成長が成長途中で温度が低下したことによる組織と考え、対流が無いために熱の逃げや物質の輸送が遅れて成長速度の低下を招いたことが原因と考えられる。

天然における Enstatite 組成メルト冷却過程は非接触なかつ無重力状態であることから、全体が結晶化することは難しくガラス化してしまうであろう。ところが天然の Enstatite 組成のコンドリュールでは斑晶質や放射状の結晶組織である。中でも、放射状組織は非常に大きな過冷却状態からの結晶化であると考えられるので不完全溶融からは生成しない。これらのことから天然で放射状結晶が生じるには、非常に大きな過冷却状態で(400 以上)、外部から取り込まれた異種核よりの不均質核形成の結果と結論づけられる。