

コンドリュール形成温度推定のための浮遊している超過冷却メルトからの結晶化 Estimation of crystallization temperature of chondrules from levitated hypercooled melt droplets

長嶋 剣[1], 塚本 勝男[1], 小畠 秀和[1], 佐藤 久夫[2], 野澤 純[1]

Ken Nagashima[1], Katsuo Tsukamoto[2], Hidekazu Kobatake[3], Hisao Satoh[4], Jun Nozawa[1]

[1] 東北大・理・地球物質, [2] 産総研、地調、微小領域同位体研

[1] Geology, Sci., Tohoku Univ, [2] Faculty of Science, Tohoku University, [3] Inst. Min. Pet. Econ. Geol. Tohoku Univ., [4] MIGG, GSJ, AIST

Radial pyroxene コンドリュールと Barred olivine コンドリュールの形成環境を調べるために、直径 2~3 mm 程度の Enstatite ($MgSiO_3$), Forsterite (Mg_2SiO_4)液滴が結晶化する際のその場観察を行った。実験環境は航空機の放物線飛行によって得られた微小重力環境下と超音波によって浮遊された全く接触部が無い状態である。

地上実験では全ての Enstatite 液滴は接触部から結晶化し、放射状組織を形成した。その時の温度はおおよそ 1050 ~ 1100 (過冷却度、450~500 K) で成長速度は 1.0~1.5 mm/sec. であった。微小重力環境下での実験では一部分のみが白金ワイヤーとの接触点から結晶化し、残りはガラスになった。ガス超音波浮遊実験では高い過冷却状態 (~500 K) においても結晶化はおこらなかった。これらの結果は Enstatite が結晶化するためには不均質核形成が必要であり、放射状組織が形成するためには非常に大きな過冷却度が必要であることを示している。

Barred olivine コンドリュールに見られる棒状組織は平らな面をもっているため低過冷却メルトからの結晶化でなければならない。しかしながらガス超音波浮遊法による実験において Barred olivine コンドリュールの二重構造が再現されたのは 700 K という非常に大きい過冷却度メルトからの結晶化であった (Tsukamoto et al., 1999)。このような矛盾が起こる理由として、Hypercooling limit を越えるような非常に大きな過冷却状態からの結晶化であったために平らな面を形成した可能性が考えられる。Hypercooling limit は H_f/C_p と定義される (H_f は結晶生成エンタルピー、 C_p は比熱)。実際に棒状組織の主成分である Forsterite の Hypercooling limit を計算してみると 347 K となり、実験値の 700 K より小さいことがわかる。一方、超音波浮遊実験によって 850 K の過冷却メルトからは放射状組織の Forsterite が晶出した。よって過冷却度が大きすぎると棒状組織は形成されないことを示す。これより、Barred olivine コンドリュールは 1100 ~ 1600 (過冷却度 300~800 K) ぐらいの温度で結晶化がはじまった組織と結論づけられる。

なお、実験的に放射状組織を持つ Forsterite が Hypercooled melt から形成されたことから、Radial pyroxene コンドリュールも Hypercooled melt から結晶化したことが考えられる。そこで Enstatite の Hypercooling limit を計算してみると 450~550 K となり、この温度は実験的に放射状組織を持つ Enstatite が形成した時の過冷却度である 450~500 K という値とほぼ一致する。ただし、Enstatite の場合は過冷却度が大きくなりすぎるとガラス化してしまうため、ガラス転移温度 (約 750) 以上の温度で結晶化する必要がある。すなわち、Radial pyroxene コンドリュールが形成するには 800 ~ 1100 (過冷却度 450~750 K) ぐらいの温度で不均質核形成が起こる必要がある。不均質核形成の最も有力な要因としては、周辺部にあったダストが候補としてあげられる。

これらのことより、Radial pyroxene, Barred olivine の両コンドリュールは非常に大きな過冷却状態からの結晶化でありおおよそ 1 秒間以内に全体が結晶化したことが結論づけられる。そして、このような条件を満たすためには従来考えられていたよりも非常に速い冷却速度が必要である。