

音波浮遊による新しいコンドリュール合成

A New Chondrule Synthesis by Acoustic Levitation

塚本 勝男 [1], 佐藤 久夫 [2], 高村 禪 [3], 栗林 一彦 [4]

Katsuo Tsukamoto [1], Hisao Satoh [2], Yuzuru Takamura [3], Kazuhiko Kuribayashi [4]

[1] 東北大・理・地球物質, [2] 地質調査所 (科技庁PD), [3] 東大・工・材料, [4] 宇宙研

[1] Faculty of Science, Tohoku University, [2] Geological Survey of Japan (JST PD), [3] Material, Technology, Tokyo University, [4] ISAS

最近の微小重力での結晶成長の研究によると、(1)結晶の核形成が4桁ほど遅くなること、その結果、(2)非常に過冷却状態の液体が宇宙空間で安定である、など、地上での実験結果と大幅に異なることが明らかになってきた。この研究では完全な無容器での核形成を目指すために音波浮遊法をコンドリュール合成に初めて利用した。1000°C近くの驚異的な高過冷却状態が無容器成長で初めて達成され、結晶化は1/1000秒ごとの球表面観察、温度測定をおこなった。その結果、隕石と同様なリムと内部の2重構造ができるのは数100°Cの極端な過冷却状態が必要で0.1秒から数秒の短時間で固化する現象であると結論できる。

Forsteriteを主成分とするコンドリュールの合成は、その特異な組織の再現などを目指して試みられてきた。しかし最近の微小重力での結晶成長の研究によると、(1)結晶の核形成が4桁ほど遅くなること、その結果、(2)非常に過冷却状態の液体が宇宙空間で安定である、など、地上での実験結果と大幅に異なることが明らかになってきた。本研究は、これらの微小重力実験を踏まえて、コンドリュールの新しい研究方法を確立するためのフィージビリティスタディである。

これまでの合成は白金ループに保持したメルトの急冷で行われていた。これでは白金が不均質核形成の原因になるだけでなく、結晶化で発生した潜熱も白金線に逃げてしまう。従って、完全な無容器での核形成を目指すために22KHzの音波浮遊法をコンドリュール合成に初めて利用し将来の無重力実験にそなえた。加熱は炭酸ガスレーザーを用いて浮遊状態のまま直径2~3 mmのフォルステライトやコンドリュール組成の溶融を行い、電源を切ることで結晶化を行った。結晶化の過程は1/1000秒毎に2色温度計で温度を測定し、デジタルオシロスコープで履歴を記録した。また、1/1000秒の分解能をもつ超高速TVカメラで凝固過程をマクロにモニターした。冷却後、合成コンドリュールはSEMやEPMAでマクロ観察や化学分析のあと、薄片での偏光顕微鏡観察を行い内部組織の詳細な検討を行った。

溶融したメルト球 (約2000°C) を冷却すると1秒内に1000°C近くまで冷却される。この状態を超高速カメラで観察すると未だメルト状態である。したがって1890°Cの融点をもつフォルステライトでは、驚異的な高過冷却状態が無容器成長で初めて達成されたことになる。その後、回転しているメルト球の赤道面にそって数個の四角板状の結晶が生じる。これらの結晶は数cm/sの速度で0.1秒の間に球表面を覆い尽くす。この結晶化は0.1秒間の復熱過程で完了し、球の温度は1890°Cの融点まで温度が上昇する。この復熱過程で生じるのがコンドリュールのリムである。この0.1秒間では表面で発生した熱は球直径の1/10程度しか内部に達せず内部のメルトは断熱冷却となる。その後、2秒程度の間に放射冷却でコンドリュールの温度が下がり内部の結晶の核形成が起きる。このような2段階の冷却を経てコンドリュールは初めてリムと内部組織の二重構造をとる。復熱が早くおこり過冷却度が浅いと内部には多面体の結晶の集合になり、過冷却度が深いと樹脂状やパー状になる。

これらの結果から二重構造ができるには次のようなファクターが必要である。(1) メルトや結晶の熱伝導度が悪く表面での結晶化の間に内部まで熱が伝わらないこと、(2) 復熱が顕著な1000°C近くの高過冷却度が必要なこと。パー状組織が出来るには、(3) 樹枝状結晶ができるより更に大きな過冷却が必要であるが、メルト側への熱伝導による潜熱の放出だけでは不十分で、より高速な放射冷却による結晶成長が必要なこと。これらの条件を連立的に解いてリムとパー状組織の2重構造ができる条件を求めることができる。同じ実験を熱伝導度の優れた金属メルトでおこなうと2重構造はできない。何れにせよ、隕石中のリムと内部の2重構造ができるのは数100°Cの極端な過冷却状態が必要で0.1秒から数秒の短時間で固化する現象であ。