

アモルファスシリケートの結晶化過程

Crystallization process of amorphous silicates

田中 今日子 [1]; 山本 哲生 [1]

Kyoko K. Tanaka[1]; Tetsuo Yamamoto[1]

[1] 北大低温研

[1] ILTS, Hokkaido Univ.

従来、宇宙のダストは、そのスペクトル観測によりアモルファスな構造であると考えられてきたが、近年の赤外観測により、原始惑星系円盤や彗星の一部で、フォーステライトなどの結晶質のシリケート粒子が見出された (Molster et al. 1999)。彗星が作られる領域は低温であることから、その成因として高温領域で結晶化した物質を取り込む説 (Gail 2001) がある。低温でも長い時間をかければ結晶化する可能性 (Fabian et al. 2000) や、ダスト表面のマントル部分に含まれるラジカル分子の反応熱により結晶化する説 (Yamamoto and Chigai 2005) 等が挙げられているが、結晶化条件は明らかでなく、十分には議論されていない。

一方、観測の発展に伴い、シリケートダストの結晶化実験が多数行われている。Fabian et al. (2000) 等は、非晶質のエンスタタイトとフォーステライトの結晶化実験を、また Murata et al. (2007) はコンドライト組成を持つアモルファスシリケートの結晶化実験を行い、そのスペクトル変化や結晶化時間等を求めている。また、立命館大学の堀内研究室では、アモルファスフォーステライトを用いて、さまざまな条件下での結晶化の様子を明らかにしている (Kamitsuji et al. 2005, Kaito et al. 2007)。Kamitsuji et al. (2005) では、アモルファスシリケート (~100nm) の結晶化実験を行い、800 °C で結晶化することを明らかにしている。また、このアモルファスシリケートをアモルファスカーボンで覆った状態で実験すると、カーボンマントルがない場合に比べて 200 °C も低い 600 °C で結晶化することを明らかにしている。また、メタンガス圧 (10^{-3} Torr) 下でカーボンマントルで覆った場合、驚くべきことに、室温で一部が結晶化することを明らかにしている (Kaito et al. 2007)。

原始惑星系円盤の熱的環境は、太陽からの距離や円盤の進化に応じて、低温から高温まであり、またダストの組成や構造もさまざまな場合が考えられる。多くの実験の成果を原始惑星系円盤に応用するために、各結晶化過程を明らかにし、どのプロセスが原始惑星系円盤で効果的に起こるのか、検証が必要である。本研究は、結晶化実験 (Kaito et al. 2007) と理論の比較を行い、実験でどのようなプロセスが起こっているのか、検討を行った。

理論的検討から、実験で起こった結晶化のプロセスとして、以下が考えられる。

1. マントル中で酸化反応が起り、反応熱が発生
2. マントル中の熱がコアに伝わり ($\sim 10^{-9}$ s)、コアとマントルは等温になる
3. カーボンマントルの結晶化により温度がさらに上昇し、2000K 付近に達した時点で、界面からシリケートが結晶化する
4. 空気との熱交換による冷却により、コアマントル粒子全体の温度が下がり ($\sim 10^{-6}$ s)、結晶化は終了する

以上で述べた結晶化の描像を踏まえて、結晶化過程の理論モデルを構築し計算を行った。実験結果と比較することにより、結晶化条件を得る。それらの結果を適用することにより、異なる条件下での結晶化過程を予測が可能である。

References

- D. Fabian, et al. 2000, A&A, 364, 282.
H. -P. Gail, et al. 2001, A&A, 378,192.
C. Kaito, et al. 2007b, ApJ. 666, L57.
K. Kamitsuji, et al. 2005, A&A, 436,165.
F. J. Molster, et al. 1999, Nature 401,563.
K. Murata, et al. 2007, Ap. J. 668, 285.
T. Yamamoto and T. Chigai, 2005, Highlights of Astronomy, 13, 522.