

実験からみた太陽系における物質進化：コンドリュール・CAIに見られる元素・同位体分別とその形成過程

Evolution of condensed matter in the solar system: chemical and isotopic fractionation in chondrules and CAIs

永原 裕子[1]

Hiroko Nagahara[1]

[1] 東大・院・理

[1] Dept. Earth Planet. Sci., Univ. Tokyo

コンドリュールと CAI は、コンドライトの主要構成物でありながら、物理的にも化学的にもその成因がいまだに解明されていない。物理的には、短時間の高温加熱という形成条件が太陽系進化のストーリーでうまく説明されない。化学的には、低圧の太陽系星雲での高温加熱で期待される元素・同位体質量分別が観察されない。後者の観察事実を説明するため、高温で岩石成分が加熱・冷却された場合、元素・同位体の分別がどのように進行するかをモデリングする試みがこの数年進められてきた。本講演ではこのモデリングと、それを可能とした固-気-液系熱力学と蒸発実験の結果をレビューし、天然のコンドリュールや CAI の組成を説明する形成過程を考察する。

モデル：低圧において固相が加熱をうけると蒸発が進行する。蒸発速度はその温度・圧力条件における着目する分子種の平衡蒸気圧と実際の圧力の差と蒸発係数に比例する。平衡蒸気圧と実際の圧力の差（不飽和度）は熱力学的駆動力であり、蒸発係数はカイネティックなパラメタである。ガスが冷却する場合は、同様に過飽和度が駆動力であり、このときのカイネティックパラメタは凝縮係数とよばれる。これらの値は元素ごと、分子種ごとに凝縮相の組成と温度、圧力に依存する。また、有限のサイズの凝縮相が蒸発や凝縮にともないサイズが変化する場合は、凝縮相内部の元素移動を含む元素・同位体の分別が Nagahara and Ozawa (2000), Ozawa and Nagahara (2001), Righter et al. (2002) などにより定式化された。

熱力学：反応の熱力学的駆動力を決定するのは平衡蒸気圧である。非理想性の大きい多成分系珪酸塩メルトの熱力学モデル (MLETS) は、地球の岩石学の分野において 1990 年代後半になってようやく実用的なものが完成した。限られた成分の系については Yoneda and Grossman (1996) が、より一般的な系へは Ebel and Grossman (2000) が気-固-液相系に拡張することに成功した。

蒸発実験：太陽系組成の固相の蒸発にともなう元素分別は Hashimoto (1983) の先駆的な実験がある。反応速度を実際に決定するのは蒸発係数と凝縮係数であり、これは実験により決定される。1990 年代になって日本とシカゴ大学を中心にこれらの決定が進み、蒸発係数が温度と星雲の主要成分である水素圧の関数として決定された (Hashimoto, 1990; Nagahara and Ozawa, 1996; Wang et al., 2000, Tachibana et al., 2002 など)。さらに、フォルステライトと金属鉄について蒸発係数と凝縮係数のガス組成依存性が決定され (Inaba et al., 2000; Tachibana et al., 2000)、広い条件でのアプリケーションが可能となった。

コンドリュール・CAI への適用：上記の熱力学および実験の結果をもちいることで、多成分系のコンドリュールや CAI の温度変化にともなう元素分別・同位体分別が、Alexander (2001)、Grossman et al. (2001)、Righter et al. (2002) などによりモデル化された。その結果、観察される鉱物種・鉱物の化学組成・同位体的特徴を説明する温度・周囲の圧力変化が推定されるようになってきた。講演ではこの具体的な結果もふくめて紹介する。