

火星隕石 ALH 84001 中のリン酸塩鉱物のシングルグレイン U-Pb 年代分析：隕石の熱史の解明に向けて

Ion microprobe U-Pb dating of individual phosphate minerals in Martian meteorite: ALH 84001.

小池 みずほ^{1*}, 太田祥宏¹, 高畑 直人¹, 佐野 有司¹, 杉浦 直治²
 Mizuho Koike^{1*}, OTA, Yoshihiro¹, Naoto Takahata¹, Yuji Sano¹, naoji sugiura²

¹ 東大大気海洋研, ² 東大院理

¹AORI, Univ. of Tokyo, ²School of Science, Univ. of Tokyo

はじめに

火星は、その地表物質を地球に居ながらにして隕石というかたちで直接調べることの出来る、唯一の惑星である。現在までに多数の隕石が火星起源であることが確かめられて来た。中でも ALH84001 は非常に古い結晶化年代を示し、惑星の太古の環境を知る上で重要な情報を持つと期待される。一方で、隕石中に含まれるリン酸塩鉱物は、U や Th などの微量元素を濃集し年代分析に用いられる。先行研究では ALH84001 のリン酸塩鉱物の U-Pb 年代が ~ 4 Ga と得られ、過去の衝撃イベントによる変成を示していると考えられた [1]。より微小な領域(グレイン内部の元素・同位体分布など)を解明することで、隕石の受けた化学的・物理的プロセスに新たな制約を与えることが可能である。本研究では、水平方向に高い空間分解能をもつ NanoSIMS を用いて、ALH84001 のリン酸塩のグレインごとの U-Pb 年代を分析し、さらにこの隕石の熱史について考察した。

分析手法

今回使用したサンプルは、ALH84001 の厚片試料 2 枚である。SEM-EDS にて観察し、各厚片から 50-100 ミクロンのリン酸塩グレインを発見した (Grain 1, Grain 2)。試料は再研磨後に金コーティングし、SIMS 分析の前に一晚以上ベイクしている。SIMS の一次イオンビームには 2-10nA の O^- イオンを用いた (スポットサイズ 10-20 ミクロン)。U-Pb 分析のスタンダードには、年代が既知 (1155 ± 20 Ma, [2]) カナダ産のアパタイト: PRAP が用いられた。

結果および考察

2 つのリン酸塩グレインについて、それぞれ ^{238}U - ^{206}Pb 年代および ^{207}Pb - ^{206}Pb 年代を調べた。得られた 4 つの年代は全て ~ 4 Ga で、グレイン内で U-Pb 系がコンコールドであることが示された。また、この結果は先行研究とも誤差の範囲で一致し、本手法では少ないサンプル消費量で正確な年代を得られることが示唆された。

更に、得られた年代が何を意味するのかについて考えるため、分析したグレインにおける U-Pb 系の閉鎖温度を計算した。冷却過程における閉鎖温度 (T_c) は、冷却速度を T' として以下の式で近似される [3]:

$$T_c = (E/R) / (\ln[ART_c^2(D_0/a^2)/ET'])$$

ここで、 R は気体定数、 E は活性化エネルギー、 D_0 は拡散定数でアパタイトの鉛の値でそれぞれ 55.3 kcal/mol、0.0002 cm^2/s [4]、 A は定数で 55、 a はグレインの半径 50 ミクロンとする。ALH84001 は ~ 4 Ga に衝撃イベントを経験し、その後炭酸塩鉱物を形成している [5]。炭酸塩の形成プロセスは未だにはっきりしていないが、炭酸塩中の Ca-Mg の 1 ミクロンの濃度パターンから、(i) < 200 °C の低温でゆっくり (10^{-1} to 10^3 °C/Ma) 形成したか、あるいは (ii) > 600 °C の高温から急冷されて (10^7 °C/Ma) 形成したと考えられる [6]。分析したグレインの T_c は (i) の場合に ~ 400 - 500 °C、(ii) の場合に > 800 °C となり、いずれの場合も周囲の温度が閉鎖温度を超えないことが示される。今回の結果では、炭酸塩生成より前のイベントでリン酸塩の U-Pb 系がリセットされた可能性は残される。適切な解釈のためには更なる分析が必要であるが、本研究により、リン酸塩鉱物が隕石形成時の情報を保持し得ることが示唆された。

参考文献

- [1] Terada et al. (2003) Meteorit. Planet. Sci. **38**, 1697-1703.
- [2] Sano et al. (2006) Geochim. J. **40**, 597-608.
- [3] Dodson (1973) Contrib. Mineral. Petrol. **40**, 259-274.
- [4] Cherniak et al. (1991) Geochim. Cosmochim. Acta **55**, 1663-1673.
- [5] Treiman (1998) Meteorit. Planet. Sci. **33**, 753-764.
- [6] Kent et al. (2001) Geochim. Cosmochim. Acta **65**, 311-321.

キーワード: ウラン-鉛年代その場分析, 火星隕石, リン酸塩鉱物, 熱史

Keywords: in-situ U-Pb dating, Martian meteorite, phosphates, thermal history