

NanoSIMS を用いた微小領域の U-Pb 同位体年代学

In-situ U-Pb isotope geochronology by a high lateral resolution ion microprobe (NanoSIMS)

北島 宏輝 [1]; 高畑 直人 [2]; 佐野 有司 [3]

Kouki Kitajima[1]; Naoto Takahata[2]; Yuji Sano[3]

[1] 東大・海洋研・先端センター; [2] 東大・海洋研; [3] 東大・海洋研

[1] ORI, Univ. Tokyo; [2] ORI, Univ. Tokyo; [3] Ocean Res. Inst. Univ. Tokyo

同位体年代測定による絶対年代の決定は、地球史を通じた固体地球変動や地質学的イベントの特定、古環境復元などに対し、重要な役割を果たしている。現在、冥王代から顕生代の幅広い時代において、モナザイト、ジルコン、アパタイトなどウランを濃縮する鉱物の U-Pb 同位体年代測定が行われている。これらの鉱物の U-Pb 同位体年代測定には、大きくわけて溶液分析と局所分析の 2 つのがあり、溶液分析は主に表面電離型質量分析計 (TIMS) によって、局所分析は二次イオン質量分析計 (SIMS/SHRIMP) やレーザーアブレーションを併用した誘導結合プラズマ質量分析計 (LA-ICP-MS) によって行われている。TIMS による同位体比分析は、非常に高い精度での測定が可能である反面、サンプルの全体、もしくは一部を溶解して測定するため空間分解能は乏しい。一方、SIMS/SHRIMP や LA-ICP-MS による局所分析では、分析精度に関して TIMS に及ばないが、数十 μm 程度の空間分解能での同位体比測定が可能である。そのため、分析試料である鉱物に不純物 (mineral inclusion) が含まれている場合や鉱物が累帯構造をしている場合などには非常に有用である。さらに SIMS の中でも、空間分解能を高めた二次元高分解能二次イオン質量分析計 (NanoSIMS) は数 μm での同位体比分析が可能である。

本研究では、NanoSIMS をもちいた局所同位体分析、特に U-Pb 同位体比による年代測定の手法と現状を報告する。東京大学海洋研究所に設置された Cameca NanoSIMS 50 は一次イオンと二次イオンが共通のイオン光学系を使用し、サンプルへ垂直に一次イオンを照射できるため、分析スポット径を数十 nm 程度にまで絞ることが可能である。二次イオン光学系はマトー・ヘルゾック型の二次収束イオン光学系が使用され、検出器には可動式のファラデーカップ (FD) 1 基と電子増倍管 (EM) 5 基、固定式の EM が 2 基用いられている。NanoSIMS での U-Pb 同位体年代測定は、 O^- の一次イオンを用い、 $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ ($^{204}\text{Pb}^+$, $^{206}\text{Pb}^+$, $^{238}\text{U}^{16}\text{O}^+$, $^{238}\text{U}^{16}\text{O}_2^+$) をマルチコレクタ、 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ($^{204}\text{Pb}^+$, $^{206}\text{Pb}^+$, $^{207}\text{Pb}^+$) をシングルコレクタのマグネットスキャンの 2 回のセッションにわけて行った。

本研究では、NanoSIMS での分析精度評価のため、モナザイト、ジルコン、アパタイトそれぞれについて既知試料を測定した。

モナザイトはウランをより多く濃縮するため、他の二つの鉱物よりも測定が容易でありビームを絞れるため最も高空間分解能で測定が可能である。Sano et al. (2006) では、4 nA の一次イオンビームにより、5-7 μm のスポット径で測定をおこなった。ピーク高 1% での質量分解能は 4100 であった。まず NIST SRM-610 や年代が既知のモナザイトを用いて分析法の評価を行った後、堆積岩中のモナザイトを分析して 230 Ma, 440 Ma, 1850 Ma の年代を得た。この結果は EPMA による U-Th-Pb 年代と調和的であった。

ジルコンは硬く、閉鎖温度が高いため、風化変質に強く初生的な情報を残していることが多いため、年代測定に多く用いられる。Takahata et al. (in press) では、7-9 nA の一次イオンビームにより 15 μm のスポット径を得られた。質量分解能はピーク高 10% で 4000 であった。U-Pb 同位体年代が求められているジルコン試料 (QGNG, 91500, SL13) について、U-Pb 同位体年代測定を行った。得られた U-Pb 年代、Pb-Pb 年代はともに文献値と誤差の範囲内で一致した。この手法で変成岩中のジルコンを分析したところ、その年代は SHRIMP による結果と非常に高い相関 ($R: 0.99$ 以上) を示した。

アパタイトは U 濃度が比較的低いため、他の二鉱物に較べ年代測定が困難であるが、リン酸塩鉱物は化石として産出されることが多く、化石そのものから絶対年代を求めることが可能となる。本研究では、15-20 nA の一次イオンビームにより 15-20 μm のスポット径が得られ、SHRIMP によって U-Pb 同位体年代が求められているアパタイト試料である PRAP, POAP, BNCF について NanoSIMS で U-Pb 年代測定を行った。得られた $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ アイソクロン年代は、それぞれ PRAP: 1256 ± 56 (1156 ± 45) Ma (括弧内は SHRIMP による値)、POAP: 2790 ± 550 (2701 ± 86) Ma, BNCF: 1224 ± 140 (918 ± 445) Ma (誤差は 2) であり、SHRIMP 年代と誤差の範囲内で一致した。

このように、NanoSIMS を用いれば、これまで困難であった 20 μm 以下のスポット径での U-Pb 年代測定が可能となり、さまざまな試料への応用が期待される。