

地質環境の長期安定性に関する研究
長期安定性研究に係わる年代測定技術開発の現状と展望
(その2)ウラン・トリウム・ヘリウム年代測定技術開発
- 日本で初めての年代測定技術の実用化に向けて -

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット 自然事象研究グループ
花室 孝広, 山田 国見, 梅田 浩司

1. はじめに

地質環境の長期安定性に関する研究では、地震・断層活動、火山・地熱活動、隆起・侵食、気候・海水準変動などの自然現象が、将来の地質環境に与える影響の範囲や程度を調査・評価するための技術開発を目指している。将来の地質環境の変化を類推するためには、過去から現在までの地質環境（熱、地下水理、力学、水質等）の変動の程度と時期を精度良く把握することが不可欠である。地下がある温度であった時期を推定するためには、一般的に熱年代学的手法（閉鎖温度の異なる鉱物を利用した絶対年代を組合わせて温度の履歴を解析する手法）が用いられる。これらはマグマの冷却や下部地殻の上昇に伴う高温（ > 300 ）の温度履歴の解析を目的としているが、地層処分の観点からは、人工バリアの性能の維持において重要となる 100 程度の比較的低温の温度履歴の解析が必要となる。(U-Th)/He 年代は、放射壊変系列に属する各 壊変核種とそれによって生じた ^4He を用いた放射年代測定法である。対象となる試料は、放射壊変系列に属する放射性核種（主にウラン・トリウム）を含み、ヘリウムを保持する、自形度が高く十分な大きさを持った鉱物であるアパタイト、ジルコン、スフェーン、モナザイトなどである。このうち、アパタイト、ジルコンについては、閉鎖温度も決定されて実用的に応用されている。また、アパタイトの(U-Th)/He 年代における閉鎖温度は約 70 であり、He の生産速度が比較的速いことと、少量の He の高精度測定が可能であることから、低温の熱履歴に関する研究への応用が期待されている¹⁾。さらに、(U-Th)/He 年代測定は、地質環境の長期安定性を評価する上で重要となる断層の活動時期の推定²⁾や、削剥量に基づく内陸部での隆起速度の推定³⁾などに応用可能な技術でもある。しかしながら、これまでにわが国には(U-Th)/He 年代を測定できる研究施設がなかったことから、京都大学および防災科学技術研究所との共同研究（先行基礎工学研究制度）により、2006 年度から東濃地科学センターにおいてシステムの導入及び実際の測定に向けた研究を開始し、わが国における初の(U-Th)/He 年代測定システムの実用化を目指している。

2. 測定の原理

(U-Th)/He 年代測定は、鉱物中の放射壊変起源の ^4He (= 粒子) の蓄積量と U, Th の定量により、時間 t を与えた際の放射壊変による関係式(1)から年代値を求める手法である。¹⁾

$$^4\text{He} = 8 \cdot ^{238}\text{U} \{ \exp(\lambda_{238} t) - 1 \} + 7 \cdot (^{238}\text{U} / 137.88) \{ \exp(\lambda_{235} t) - 1 \} + 6 \cdot ^{232}\text{Th} \{ \exp(\lambda_{232} t) - 1 \} \quad (1)$$

ここで、 ^4He 、U および Th は現在の量、 t は蓄積時間またはヘリウム年代、 λ は壊変定数 ($\lambda_{238} = 1.551 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$, $\lambda_{235} = 9.849 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$, $\lambda_{232} = 4.948 \times 10^{-11} \text{ yr}^{-1}$) を示す。現在の $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ 比から、 $^{235}\text{U} = ^{238}\text{U} / 137.88$ としている。また、U, Th 量の係数はそれぞれの壊変系列から放射される 粒子の数を示している。U, Th の壊変系列はそれぞれ放射平衡が成り立ち、 $t = 0$

で ${}^4\text{He} = 0$ であると仮定している。

3. システムの導入状況

(U-Th)/He 年代測定にあたっては、測定する鉱物の分離および鏡下での選別の後、ヘリウムおよび U, Th の定量を行う必要がある。ヘリウムの定量については、希ガス質量分析装置 (VG5400) にレーザー抽出系を接続し、鉱物粒子にレーザーを照射して加熱 (1200 ~ 1300 °C, 30 分程度) することにより、真空下でヘリウムガスを抽出し、ヘリウムの定量を行うこととした。ヘリウムの定量については、封入するサンプルの量およびレーザーの照射強度と照射時間を適切に設定するとともに、真空系および希ガス質量分析装置のブランクの低減に努めた。ブランクの低減にあたってはサンプルホルダーの材質などについても検討し、改良を行った。

また、照射後の鉱物粒子中の U, Th の定量については ICP-MS を利用して行うこととした。対象とする鉱物は、ジルコンおよびアパタイトであるが、ジルコンについて先行して処理方法を整備している。U, Th の定量については、微量の鉱物粒子中に含まれる対象元素の全量を知る必要があることから、ICP-MS を用いたマトリクスマッチングを行った内標準検量線法により分析を実施している。対象となる試料の量が鉱物粒子数粒と極微量であることから、ジルコンのアルカリ溶解を行うにあたり、XRF 分析用のガラスビードサンプラーで使用している白金るつぼの中に石英ガラス製の保持台とより小さな特注の白金るつぼをセットし、その中で作業を行っている。

以上によって分析されたヘリウムおよび U, Th の含有量と、ジルコン粒子の形状補正¹⁾により、年代が決定される。これまで、国際年代標準試料 Fish Canyon Tuff Zircon (FC3) の年代を測定した結果、精度について 10% 程度 (1 σ)、確度について 20% 程度を実現している^{4),5)}。

4. まとめ

本研究により、ジルコンの (U-Th)/He 年代測定および同法による熱履歴解析について実用化の見通しを得た。現在、分析精度や確度を検討するため、引き続き年代既知試料の分析を実施しているほか、いくつかの地質試料について年代測定を行っている²⁾。また、アパタイトについても前処理法の検討を進めており、今年度中には分析方法を確立する予定である。

参考文献

- 1) Farley, K.A. (2002): (U-Th)/He Dating: Techniques, Calibrations, and Applications. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 47, 819-843.
- 2) 山田国見, 高木秀雄, 田上高広, 岩野英樹, 檀原 徹 (2008): 三重県多気地域領家花崗岩中のシュードタキライトの (U-Th)/He 年代測定. 日本地質学会第 115 年学術大会要旨集, P-121.
- 3) Yamada, K., and Tagami, T. (2008): Postcollisional exhumation history of the Tanzawa Tonalite Complex, inferred from (U-Th)/He thermochronology and fission track analysis, *J. Geophys. Res.*, 113, B03402, doi:10.1029/2007JB005368.
- 4) 山田国見, 花室孝広, 田上高広, 山田隆二, 梅田浩司 (2008): JAEA 東濃地科学センターにおける (U-Th)/He 年代測定の現状と地質試料の測定データ. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, G123-P003.
- 5) Yamada, K., Hanamuro, T., Tagami, T., Yamada, R. and Umeda, K. (2008): New (U-Th)/He dating systems and ages in Japan Atomic Energy Agency. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 72, A1050.