

原子力機構におけるFTおよび(U-Th)/He分析施設の現状と展望

末岡 茂*・島田耕史*・菅野瑞穂*・横山立憲*

Current status and prospects of FT and (U-Th)/He dating laboratory
at Japan Atomic Energy Agency

Shigeru Sueoka*, Koji Shimada*, Mizuho Kanno*
and Tatsunori Yokoyama*

* 日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency

はじめに

日本原子力研究開発機構の土岐地球年代学研究所では、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発等の一環として、最先端の放射年代測定技術の開発、テフロクロノロジー等を含めた編年技術の高度化と年代測定手法の標準化を目指している。2019年現在、本研究所で測定可能な熱年代学的手法には、開発中の手法を含めると、FT法、ルミネッセンス法、ESR法、(U-Th)/He法、K-Ar法、U-Pb法（CHIME法含む）が挙げられる。本稿ではそのうち、50~300°C程度を対象とした熱履歴解析手法として広く用いられているFT法および(U-Th)/He法の測定施設の現状と展望を紹介する。

FTラボの現状と展望

FT分析については、同じ原子力機構の敦賀総合研究開発センターに、本邦初となるFT自動計測装置（AutoScan社製 TrakScan；図1a）を2019年7月に導入した。これにより、FT計測の迅速化に加え、従来は測定者の経験頼りだったFTの認定について、大幅な改善が可能となった。また、FT計測箇所はすべて擬似3次元画像として記録されるため、データが自動的にアーカイブされるのも大きな利点である。例えば、LA-ICP-MSを用いた破壊分析によるウラン濃度測定の後で、FT計測箇所を見直すことも可能である。装置の原理についてはGleadow et al. (2009, 2019)を、測定結果の例は島田・末岡（2020）をそれぞれ参照のこ

と。

加えて、これまではアパタイトのみを測定対象としていたが、昨年度よりジルコンの分析も視野に入れて、新たに実験環境の整備を開始した。ジルコンを埋め込むPFAテフロンは、従来はトヨフロンが供給元であったが（Danbara et al., 1993）、現在は生産を中止しているため、淀川ヒューテック社より購入した。マウントエッチング用の電気炉（Tagami et al., 1988）は、京都の栄光電機で30年以上前に製作されたものだが、現在では製造しておらず、代替りの製作会社を検討中である。

今後の検討課題としては、ジルコンを用いた場合のTrakScanの測定条件の最適化や、淀川ヒューテック社製PFAテフロンの性能の確認、LA-ICP-MSによるアパタイト/ジルコンのウラン濃度測定ノウハウの蓄積などが挙げられる。後者については、Hasebe et al. (2013)に従い、NIST SRM 610ガラス（Pearce et al., 1997）を用いた外部標準法を検討予定である。

(U-Th)/Heラボの現状と展望

(U-Th)/He法については、ASI社製のHe質量分析計Alphachron（図1b）を新たに導入し、He測定を大幅に効率化した。土岐地球年代学研究所が従来所有していたHe質量分析計（山田・山崎, 2010）は、一度に搭載できる試料数が16点までで、バルブ操作、レーザー照射、Qマス測定等は、基本的にマニュアル操作であった。Alphachronの場合、一度に25試料

の搭載が可能な上、一連の測定は自動化されている。試料を搭載し、各ラインの真空度が十分に下がった後は、既定のシーケンスを組み合わせることで実行すれば、ブランク、標準ガス、未知試料、re-extract (Heが完全に抽出されたか確認するための再加熱) を含めた一連の測定が自動で実行可能である。今回導入したAlphachronで測定した、年代標準ジルコンFish Canyon Tuff (28.5 ± 0.2 ; Gleadow et al., 2015), およびNisatai Dacite (22.8 ± 1.0 ; Tagami et al., 1995) の(U-Th)/He年代の予察結果は、表1の通りである。

今後の課題は親核種 (U, Th, Sm) 濃度の測定で、海外のラボでは同位体希釈法が一般に採用されている (Evans et al., 2005) 。しかし、日本国内ではUやThのスパイクの使用が困難なため、内標準を用いた検量線法の検討を継続する。またジルコンの融解については、アルカリ溶融法と脱塩処理による方法が従来検討されていたが (山田・國分, 2012) , UとThの回収率が安定しない問題があったため、Parr Bomb法等, 他の(U-Th)/Heラボで実績がある手法の導入を計画中である。

謝辞

本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「平成30年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業 (地質環境長期安定性評価技術高度化開発)」の成果の一部である。

引用文献

Danhara, T. et al. (1993) The PFA sheet: An improved mounting material for fission track analysis of zircon. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, 21, 283-285.

Evans, N.J. et al. (2005) Determination of uranium and thorium in zircon, apatite, and fluorite: Application to laser (U-Th)/He thermochronology. *Jour. Anal. Chem.*, 60, 1159-1165.

Farley, K.A. et al. (1996) The effects of long

alpha-stopping distances on (U-Th)/He ages. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 4223-4229.

Gleadow, A.J.W. et al. (2009) Coincidence mapping: A key strategy for the automatic counting of fission tracks in natural minerals. *Geol. Soc. Spec. Pub. London*, 324, 25-36.

Gleadow, A.J.W. et al. (2015) The Fish Canyon Tuff: A new look at an old low-temperature thermochronology standard. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 424, 95-108.

Gleadow, A.J.W. et al. (2019) The future of fission-track thermochronology. In Malusá, M.G. and Fitzgerald, P.G. (eds.) *Fission-track thermochronology and its application to geology*, 77-92.

Hasebe, N. et al. (2013) Zeta equivalent fission-track dating using LA-ICP-MS and examples with simultaneous U-Pb dating. *Isl. Arc*, 22, 280-291.

Pearce, N.J.G. et al. (1997) A compilation of new and published major and trace element data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 glass reference materials. *Geostd. News Lett.*, 21, 115-144.

島田耕史・末岡 茂 (2020) FT 自動計測装置を用いたアパタイトFT 密度測定作業時間と結果. *フィッション・トラックニュースレター*, 33, 印刷中.

Shuster, D.L. et al. (2006) The influence of natural radiation damage on helium diffusion kinetics in apatite. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 249, 148-161.

Tagami, T. et al. (1995) K-Ar biotite and Iwate Prefecture, fission-track zircon Japan: A candidate ages of the Nisatai Dacite, for Tertiary age standard. *Geochem. J.*, 29, 207-211.

Tagami, T. et al. (1988) Fission track dating

using external detector method: A laboratory procedure. Mem. Fac. Sci. Kyoto Univ., 53, 14-30.

山田国見・山崎誠子 (2010) JAEA東濃地科学センターにおける新しい(U-Th)/He年代用同位体希釈法⁴He定量システムの紹介.

フィッション・トラックニュースレター, 23, 34-35.

山田国見・國分陽子 (2012) ジルコン(U-Th)/He法におけるジルコン分解と脱塩処理. フィッション・トラックニュースレター, 25, 54-55.

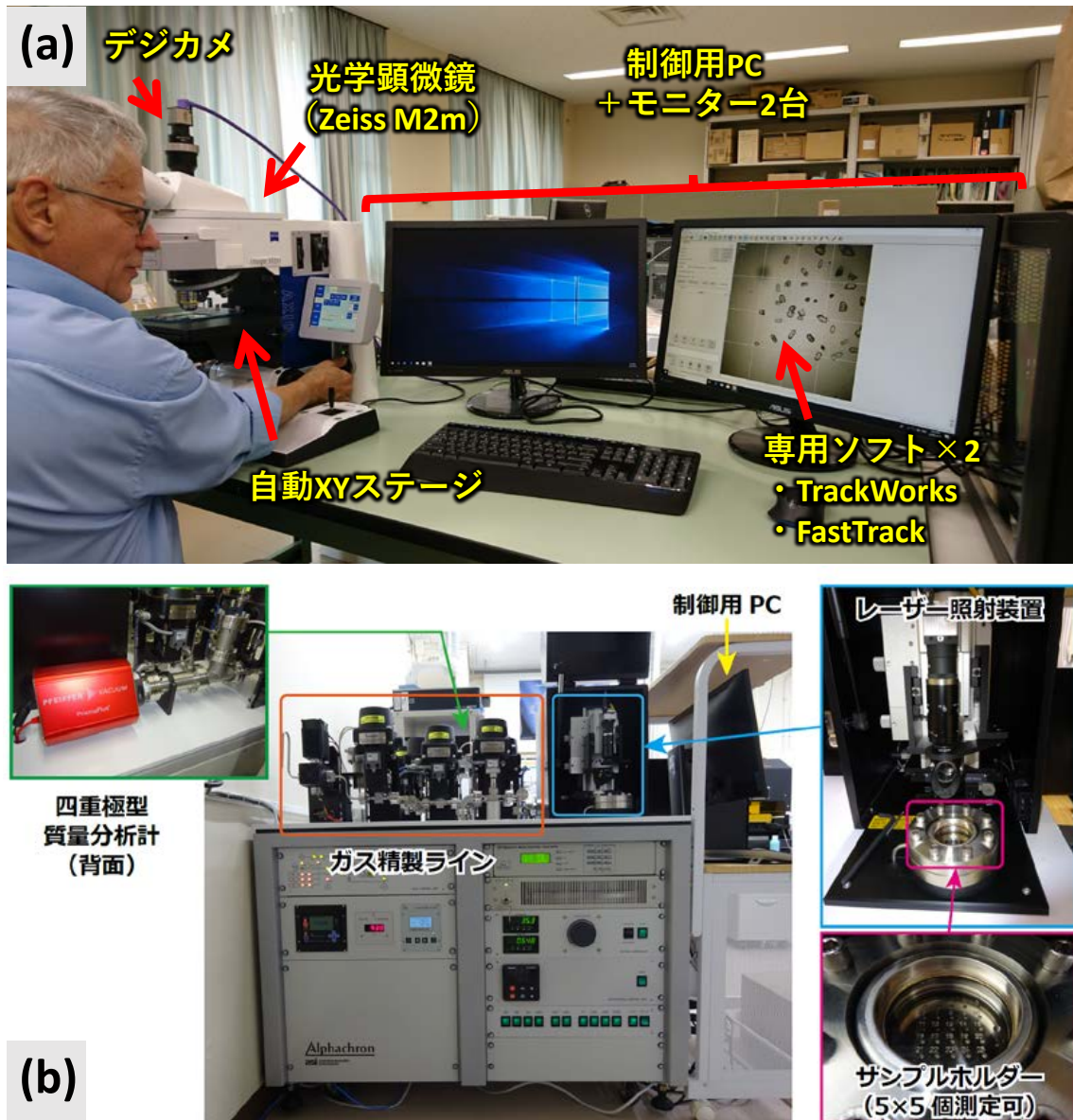


図1. (a) 敦賀総合研究開発センターのFT自動計測装置 (TrakScan) . (b) 土岐地球年代学研究所のHe質量分析計 (Alphachron) .

表1. 年代標準ジルコンの(U-Th)/He年代測定結果 (速報値) .

Grain code	Grain geometry				Mass [μg]	²³⁸ U [ppm]	²³² Th [ppm]	Th/U	⁴ He [ncc/mg]	F _T	eU [ppm]	Age [Ma]	
	Length 1 [μm]	Length 2 [μm]	Width 1 [μm]	Width 2 [μm]								Raw	Corr.
<i>Fish Canyon Tuff (ZHe: 28.5 ± 0.2 Ma; Gleadow et al., 2015)</i>													
FC3-013	204	124	100	78	5.1	356.9	213.0	0.6	978.0	0.80	406.9	19.7	24.5
FC3-015	291	175	105	96	10.2	202.4	100.9	0.5	870.4	0.80	226.1	31.6	39.5
FC3-103	273	144	119	90	9.8	356.9	213.0	0.6	1106.5	0.80	406.9	22.3	27.8
FC3-108	212	138	82	77	4.5	342.0	182.1	0.5	1066.0	0.74	384.8	22.7	30.7
<i>Nisatai Dacite (ZFT: 22.8 ± 1.0 Ma, BtK-Ar: 21.0 ± 0.3 Ma; Tagami et al., 1995)</i>													
NST02-011	317	169	133	115	16.1	202.9	139.0	0.7	545.5	0.84	235.5	19.0	22.7
NST02-012	269	182	74	77	5.7	218.2	180.7	0.8	507.7	0.74	260.7	16.0	21.7
NST02-018	251	131	106	103	8.9	104.2	81.3	0.8	366.9	0.80	123.3	24.4	30.7
NST02-107	194	120	101	86	5.1	141.8	122.1	0.9	592.4	0.77	170.5	28.5	36.9
NST02-108	199	125	68	79	3.6	236.3	186.5	0.8	605.8	0.73	280.2	17.8	24.5
NST02-109	275	193	69	71	5.1	111.0	105.3	0.9	415.9	0.71	135.7	25.1	35.2

U-Th濃度測定はメルボルン大学のBarry Kohn教授に依頼した。F_Tはα放出の較正因子 (Farley et al., 1996) , eUは放射線損傷の指標 (Shuster et al., 2006) 。Reference ageより古い粒子は、U-Th濃度の不均質やジルコンの融解が不完全だった等の影響が考えられる。