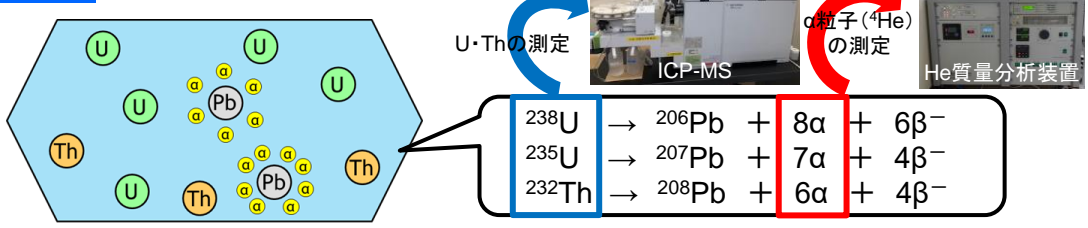


(U-Th)/He熱年代法における標準試料の探求： ジルコン8試料の評価

日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 年代測定技術開発グループ
福田 将真

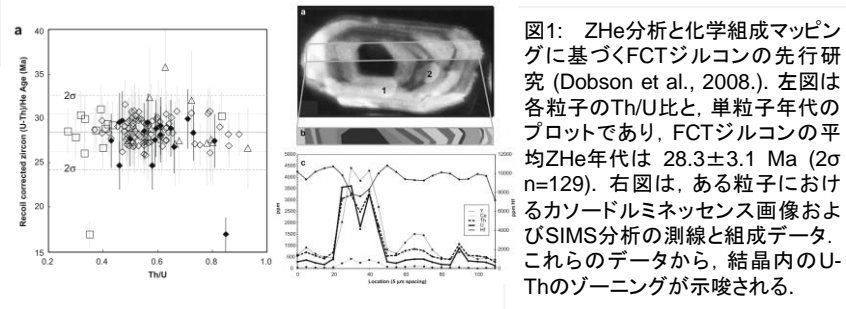
序論 (U-Th)/He法の概要



- ✓閉鎖温度が低い(例 ジルコン: 160~200°C)ため、地層処分事業で対象とする地球表層の隆起・侵食評価に応用可能
- ✓(U-Th)/He法はU・Th系列のα壊変を利用した年代測定法 → 親: U, Th (, Sm), 子孫: ⁴He = α粒子
- ✓大気中からのHe混入は無視でき、生成速度が大きいため、高精度に年代測定可能. 対象とする範囲は数十万年~数億年

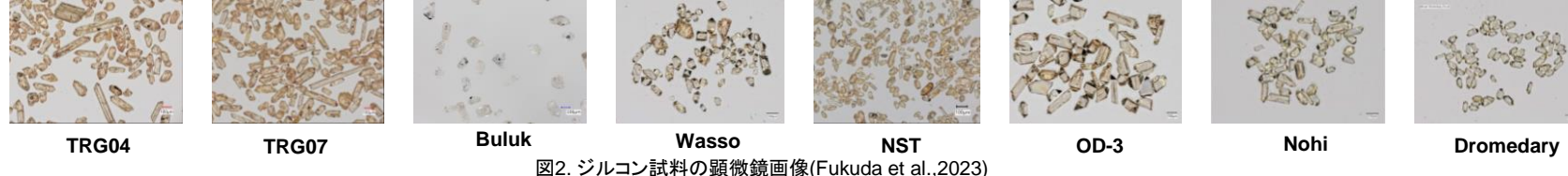
背景 ジルコン(U-Th)/He法の理想的な標準試料とは？

- ジルコン(U-Th)/He法(以降, ZHe法)の年代標準試料の条件:
- 地質学的な検討が豊富で、アクセスが容易な試料
 - 十分量のジルコンが産出、年代値が一つの母集団から成る(継承ジルコンを含まない)
 - 年代値や熱履歴の解釈が容易(例: 急冷, 二次的な加熱イベントを受けていない)
 - 適当な大きさ、末端を二つ有する自形結晶(特別な補正が不要), 均質なU-Th分布
 - 包有物や結晶転移, 放射線損傷などをできるだけ含まない 等



天然試料の標準ジルコンとして、ZHe法では慣例的に、ジルコンフィッション・トラック(ZFT)法の年代標準試料であり、詳細に検討されているFish Canyon Tuff (FCT) (例: Gleadow et al., 2015)を採用している. ただし、一部のFCTジルコンは結晶内の親核種の不均質によって年代がばらつくことが知られる(図1: Dobson et al., 2008). したがって、より適当なZHe法の年代標準試料が必要であり、近年では標準試料としての適性を有するジルコンについて複数の研究例が報告されている(例: Li et al., 2017; Yu et al., 2020; Kirkland et al., 2020). これらの論文では、均質なU-Th分布を持つ巨晶を粉砕した破片を測定しており、結果としてばらつきが小さいZHe年代が報告されている. しかしながら、実際の年代分析で用いる未知試料は、通常、小さい単結晶を複数粒子分析するため、上述のような巨晶の破片を用いる分析法は実際に即していない. そこで、著者らは年代標準試料として適性を有している可能性のある候補となるジルコンについて検討を試みた.

手法・試料

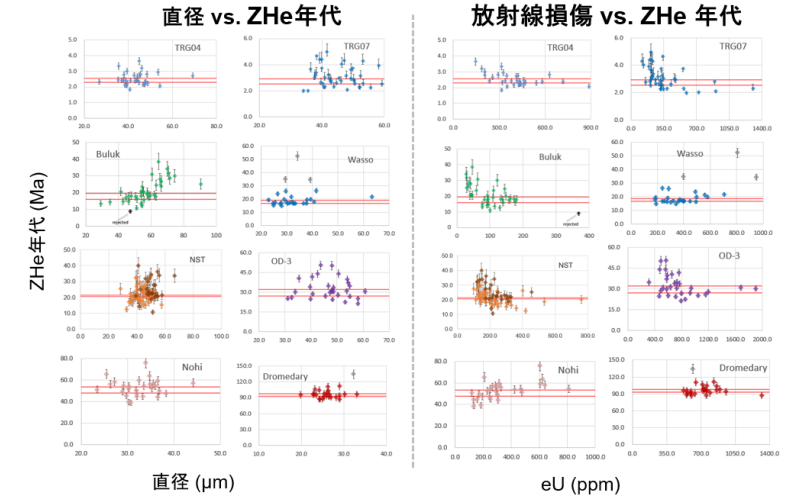


本研究で検討するジルコン試料として、比較的若い年代 (<100 Ma)であり、他手法(FT法, U-Pb法)における年代標準試料および国産の地質試料におけるその候補から選出した. これらは先行研究によって地質年代学および熱年代学的検討が行われており、単純な熱履歴で、ほとんど放射線損傷を持たないことが期待される. このような特徴を持つ試料は、熱年代学的な解釈が容易で、放射線損傷に起因する年代のばらつきの可能性が低いと考えられる. 加えて、これらの結晶は概ねZHe分析に適当な粒径および結晶形を有している. 本研究では、図2および表1に示す8試料について分析を実施した.

結果

表1: ZHe年代分析データのまとめ(Fukuda et al., 2023)

試料名	サンプルの情報	年代分析に用いた結晶数	MSWD	加重平均年代 ± 95%信頼区間 (Ma)	参照年代 ± 2σ	備考
TRG04	鮮新世 歌長流紋岩	29/30	5.9	2.43 ± 0.14	ZHe年代: 2.61 ± 0.36 Ma: Tagami et al. (2003)	大半の粒子は自形で長柱状の結晶であり、ガラス包有物や流体包有物を多量に含む
TRG07	鮮新世 歌長流紋岩	30/30	10.8	2.95 ± 0.22	直接的データはない。(参照:隣接するTRG05は黒雲母K-Ar年代: 2.42 ± 0.42 Ma, ZFT年代: 3.07 ± 0.36 Ma (宇都ほか, 1994))	大半の粒子は自形で長柱状の結晶であり、ガラス包有物や流体包有物を多量に含む、年代がばらつく
Buluk	中新世 Buluk Member 凝灰岩 (ZFT年代標準試料)	36/37	20.2	17.7 ± 1.74	ZHe年代: 16.1 ± 1.6 Ma: Tagami et al. (2003)	自形で長柱状の結晶であり、一部は薄く平たい結晶であり、表面が粗い
Wasso	中新世 鷲走ヶ岳流紋岩	25/28	5.4	17.8 ± 1.05	ZFT年代: 21.6 ± 1.6 Ma: 伊藤ほか. (2001) Rb-Srアイソクロン年代: 19.5 ± 0.6 Ma: 石田ほか (1998)	熱水による再加熱で参照年代より若返り?
NST	中新世 仁左平流紋岩 (国内のZFT年代標準試料)	83/86	10.9	21.0 ± 0.30	ZFT年代: 21.0 ± 0.30 Ma: Tagami et al. (1995)	外部粒子や結晶包有物により年代がばらつく?
OD-3	漸新世 川本花崗閃緑岩 (U-Pb年代標準試料)	30/30	12.1	29.8 ± 2.44	ZFT年代: 32.6 ± 0.6 Ma, U-Pb年代: 33.0 ± 0.1 Ma: Iwano et al. (2013)	理想的ではない結晶形(大きすぎ、結晶の末端が片方のみ)や遅い熱履歴で参照年代より若返り?
Nohi	白亜紀 濃飛流紋岩	28/28	5.7	50.6 ± 2.93	U-Pb年代: 約 72-70 Ma: 星ほか. (2016)	形成後の若い岩体の貫入により参照年代より若返り?
Dromedary	白亜紀 Mt. Dromedary 花崗閃緑岩 (ZFT年代標準試料)	24/26	1.2	95.3 ± 2.37	ZFT年代: 98.7 ± 1.1 Ma : Green (1985)	整合的だが、参照年代より微妙に若いのは細い結晶のため?



ほぼすべてのサンプルで、年代値と直径、年代値と放射線損傷に有意な相関関係は認められなかった ($R^2 < 0.4$). Bulukにのみ、年代値と直径に弱い正相関 ($R^2 = 0.45$)が認められるが、不適当な結晶を測定したことに起因する可能性がある. 結論として、TRG04およびMt. DromedaryジルコンにはZHe年代標準試料の潜在性が示唆された. 今後はラウンドロビンテストを実施予定である.

まとめ

ZHe法の年代標準試料の確立のため、8試料のジルコンについて年代値と結晶の特徴を比較・検討した. 結果として、主にデータの再現性からTRG04とMt. Dromedaryのジルコンに標準試料としての潜在性があることを確認しており、今後は、ラボ間比較のためにTRG21-04のラウンドロビンテストを検討する予定である.

謝辞: 本研究は、「平成31年度放射性廃棄物共通技術調査等事業(放射性廃棄物に係る重要な基礎的技術に関する研究調査の支援等に関する業務)」の成果の一部である.

参考文献: Dobson et al. (2008) Geochim. Cosmochim. Acta 72, 19, 4745-4755; Fukuda et al. (2023) Thermo2023, Italy; Gleadow et al. (2015) EPSL 424, 95-108; Green (1985) Chem. Geol. 313, 3, 145-198; 星ほか. (2016) 第125回日本地質学会学術大会要旨; Hurford and Watkins (1987) Chem. Geol. 66, 3-4, 209-216; 伊藤ほか (2001) 地質調査研究報告 52, 12/12, 281-295; 石田ほか (1998) 地質学雑誌 104, 5, 281-295; Iwano et al. (2013) Isl. Arc 22, 3, 382-394; Kirkland et al. (2020) Geochim. Cosmochim. Acta 271, 1-19; Li et al. (2017) Geostand. Geoanal. Res. 41, 3, 359-365; Tagami et al. (1995) Geochim. Jour. 29, 3, 207-211; Tagami et al. (2003) EPSL 207, 1-2, 57-67; 宇都ほか (1994) 地質学雑誌 100, 10, 787-798; Vermeesch (2018) Geosci. front. 9.5, 1479-1493; Yu et al. (2020) Geostand. Geoanal. Res. 44, 4, 763-783.