

一粒のジルコンのU-Pb年代からマグマ活動履歴を評価可能か？（その2）

伊藤久敏*・足立佳子*

Can we estimate magma history using a single zircon U-Pb ages? (Part 2)

Hisatoshi Ito* and Yoshiko Adachi*

* 電力中央研究所, Central Research Institute of Electric Power Industry

はじめに

ジルコンのU-Pb年代は、ジルコンがマグマから晶出した年代を示すことから、ジルコンの結晶成長に伴い、ジルコンの中心部（コア）から外縁部（リム）もしくは結晶表面に向かって、その年代は原理的には若くなる。直径数km以上のカルデラ形成を伴うような大規模噴火は、主に珪長質のマグマ活動により生じるため、ジルコンの晶出を伴うことが多い。このようなジルコンを対象にジルコン結晶のコアとリムで年代差が得られれば、大規模噴火を起こしたマグマの継続時間に関する知見を得ることができる。

伊藤（2015）では、地球史上最も噴出量が多かったとされる珪長質火山岩であるFish Canyon Tuff (FCT)を対象に、LA-ICP-MSにより、①未研磨ジルコンを用いた結晶のリム→コアの年代測定を行った後、ジルコンを研磨し、②研磨ジルコンのコア→リムの年代測定を行い、FCTのマグマ継続時間が従来の説（最大で0.4 m.y. : Wotzlaw et al., 2013）よりも長く、約1.5 m.y.である可能性を指摘した。伊藤（2015）では、LA-ICP-MSのスポット分析により、一回の分析でジルコンの表面から深さ20 μm以上の年代分布を連続的に取得できる特徴を利用したが、今回、LA-ICP-MSのライン分析により、未研磨ジルコンの表面付近の年代と研磨ジルコンの研磨面付近の年代を求め、FCTのマグマ継続時間の再評価を行った結果を報告する。

実験と結果

実験には、電力中央研究所の所有するLA-ICP-MS装置（LA: New Wave Research UP-213; ICP-MS: Thermo Fisher Scientific ELEMENT XR）を用いた。1回の分析で十分なシグナルが得られることと、最深部が10 μm以下になることを条件に検討した結果、ライン分析条件は、レーザー径40 μm、繰り返し周波数5 Hz、レーザー強度7 J/cm²、レーザー照射時間20秒、スキャン速度2 μm/秒、とした。この結果、長さ約80 μm、幅約40 μm、最深部約8.5 μmの楔状の範囲を分析した（Fig. 1）。なお、今回、FCTの年代計算では91500ジルコン（Wiedenbeck et al., 1995）を一次スタンダード、Plešoviceジルコン（Sláma et al., 2008）を二次スタンダードとして用いた。また、common Pbの寄与率はIto et al. (2017) で計算し、common Pbの補正を行ったU-Pb年代の計算はSakata (2018) に従った。

未研磨のFCTと研磨したFCTのライン分析によるU-Pb年代測定結果をFig. 2とTable 1に示す。

考察

Fig. 2に示すように、今回、FCTのジルコンの表面付近と内部で27.4 Maの一致する年代が得られた。従って、伊藤（2015）で示した大きな年代差を再現することは出来なかった。しかしながら、今回は、同じジルコン粒子を対象にした表面付近と内部の年代測定を行っておらず、また、個々のジルコン粒子の年

代差も大きい（従って、MSWDも1よりかなり大きい）。従って、FCTのマグマが長期間存在し（もしくはパルス的にマグマ状態になり）、異なる時期にジルコンが晶出した可能性は否定できない。今後、今回表面付近の年代測定に用いたジルコンを研磨し、ジルコンの内部の年代を求める等により、FCTのマグマの状態についての考察をさらに深める予定である。

文献

- 伊藤久敏, 2015. 一粒のジルコンのU-Pb年代からマグマ活動履歴を評価可能か？. フィッション・トラックニュースレター, 28, 11-12.
- Ito, H., Spencer, C.J., Danišik, M., Hoiland, C.W., 2017. Magmatic tempo of Earth's youngest exposed plutons as revealed by detrital zircon U-Pb geochronology. *Sci. Rep.*, 7: 12457.
- Sakata, S., 2018. A practical method for calculating the U-Pb age of Quaternary zircon: Correction for common Pb and initial disequilibria. *Geochem. J.* 52, 281-286.
- Schmitz, M.D. and Bowring, S.A., 2001. U-Pb zircon and titanite systematics of the Fish Canyon Tuff: an assessment of high-precision U-Pb geochronology and its application to young volcanic rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 65, 2571-2587.
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Horstwood, M.S.A., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N., and Whitehouse M.J., 2008. Plešovice zircon — A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chem. Geol.* 249, 1-35.
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J.C., Spiegel, W., 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostand. Newslett.* 19, 1-24.
- Wotzlaw, J.-F., Schaltegger, U., Frick, D.A., Dungan, M.A., Gerdes, A., and Gunther, D., 2013. Tracking the evolution of large-volume silicic magma reservoirs from assembly to supereruption. *Geology*, 41, 867-870.

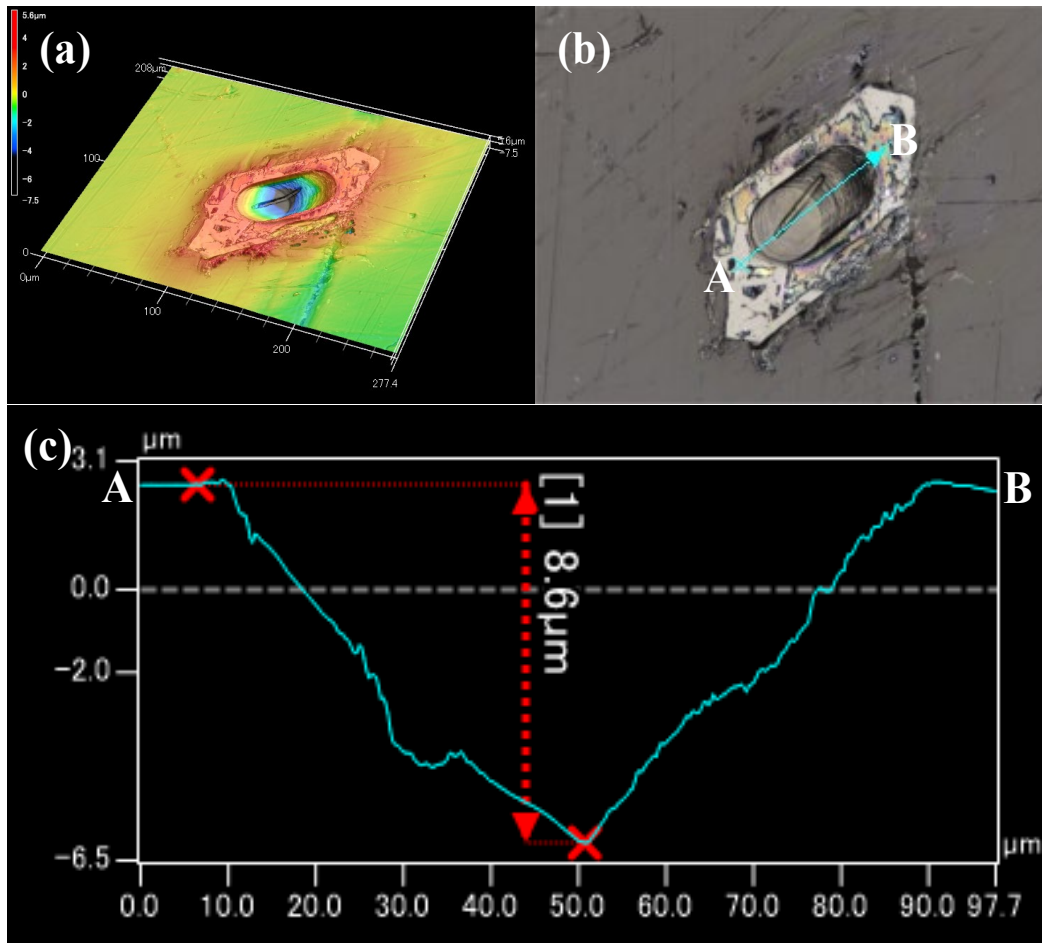


Fig. 1. Laser line scan on an unpolished Fish Canyon Tuff (FCT) zircon (sample name: FCT18-55L). (a) 3 D view. (b) 2 D view. A–B line is the cross-section line in (c). (c) Vertical profile. All images were taken by KEYENCE VK-X1000 laser microscope.

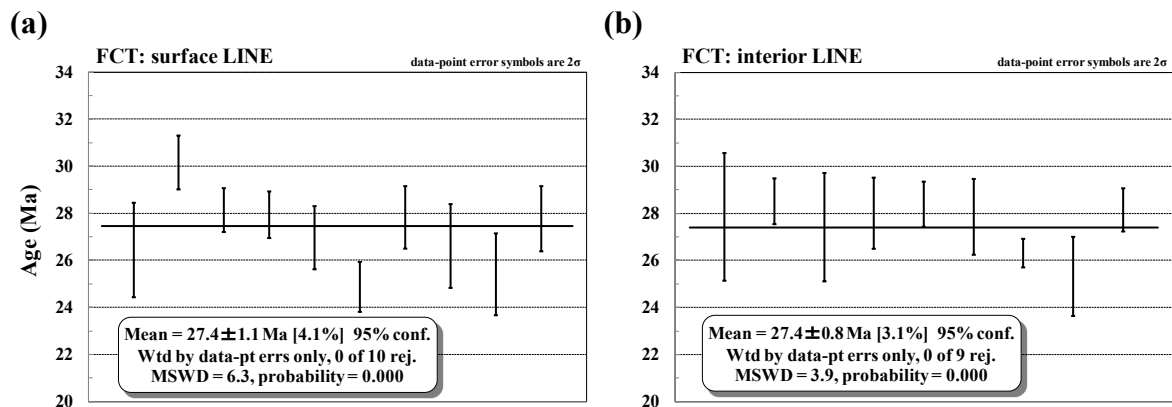


Fig. 2. LA-ICP-MS zircon U-Pb age of the Fish Canyon Tuff (FCT) by line scan on unpolished surface (a) and polished interior (b). MSWD: mean square weighted deviation.

Table 1. LA-ICP-MS zircon U-Pb analytical results. Data in italics was excluded for weighted mean age calculation.

Sample name	Th (ppm)	U (ppm)	Th/U	$f_{\text{Th/U}}^a$	$f_{206\text{Pb}}^{\%b}$	Total				Age [Ma] ^c		Age [Ma] ^c		Age [Ma] ^d		MSWD ^e	
						²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2 σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2 σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2 σ		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U
<i>Fish Canyon Tuff (reference age: 28.402 ± 0.023 Ma; Schmitz and Bowring, 2001) measured with 40µm laser beam (line scan on unpolished surface).</i>																	
FCT18-45L	280	489	0.57	0.26	29.8	0.28064	0.03152	0.2252	0.0322	0.00582	0.00031	37.42	2.00	206.22	32.21	26.44	2.00
FCT18-46L	474	582	0.82	0.37	12.8	0.14701	0.01664	0.1085	0.0119	0.00536	0.00016	34.43	1.05	104.61	12.01	30.14	1.14
FCT18-47L	403	580	0.70	0.32	9.0	0.11699	0.01610	0.0772	0.0111	0.00479	0.00012	30.79	0.78	75.49	11.19	28.13	0.94
FCT18-48L	619	674	0.92	0.42	12.3	0.14272	0.01425	0.0970	0.0102	0.00493	0.00015	31.72	0.96	94.02	10.28	27.93	1.00
FCT18-49L	403	558	0.72	0.33	11.1	0.13345	0.01964	0.0863	0.0126	0.00469	0.00020	30.19	1.30	84.08	12.67	26.96	1.34
FCT18-55L	569	700	0.81	0.37	10.3	0.12707	0.02429	0.0752	0.0147	0.00429	0.00011	27.62	0.73	73.60	14.85	24.88	1.06
FCT18-56L	1330	639	2.08	0.95	8.6	0.11389	0.00993	0.0742	0.0065	0.00473	0.00023	30.41	1.46	72.69	6.63	27.83	1.33
FCT18-58L	180	369	0.49	0.22	12.5	0.14453	0.03042	0.0937	0.0194	0.00471	0.00026	30.26	1.64	90.97	19.54	26.61	1.79
FCT18-61L	263	278	0.94	0.43	13.2	0.14994	0.03160	0.0936	0.0171	0.00453	0.00024	29.14	1.57	90.87	17.22	25.40	1.74
FCT18-64L	454	653	0.70	0.32	17.9	0.18711	0.01599	0.1350	0.0114	0.00524	0.00024	33.66	1.54	128.59	11.50	27.76	1.38
												<u>Weighted mean (n=10)</u>		<u>27.40</u>	<u>1.10</u>	<u>6.3</u>	
<i>Fish Canyon Tuff (reference age: 28.402 ± 0.023 Ma; Schmitz and Bowring, 2001) measured with 40µm laser beam (line scan on polished surface).</i>																	
FCT14-1-1PL	310	532	0.58	0.26	8.7	0.11425	0.00795	0.2179	0.0138	0.01384	0.00028	88.59	1.79	200.15	13.89	81.24	1.82
FCT14-1-2PL	168	173	0.97	0.44	10.9	0.13214	0.05073	0.0882	0.0452	0.00484	0.00034	31.16	2.21	85.85	44.89	27.86	2.71
FCT14-1-16PL	420	478	0.88	0.40	4.3	0.08004	0.01317	0.0509	0.0079	0.00462	0.00014	29.69	0.91	50.43	8.01	28.51	0.98
FCT14-1-17PL	3058	1885	1.62	0.74	12.5	0.14439	0.03814	0.0967	0.0348	0.00486	0.00033	31.24	2.11	93.69	34.77	27.41	2.29
FCT14-1-21PL1	350	457	0.77	0.35	2.3	0.06410	0.01302	0.0392	0.0066	0.00444	0.00024	28.56	1.55	39.07	6.73	28.01	1.51
FCT14-1-21PL2	268	537	0.50	0.23	0.7	0.05178	0.00679	0.0316	0.0044	0.00443	0.00015	28.48	0.98	31.59	4.43	28.39	0.97
FCT14-1-22PL	321	278	1.15	0.52	4.6	0.08199	0.01928	0.0511	0.0135	0.00452	0.00025	29.09	1.61	50.61	13.66	27.85	1.61
FCT14-1-24PL	713	1132	0.63	0.29	0.5	0.05029	0.00654	0.0284	0.0035	0.00410	0.00009	26.35	0.59	28.42	3.55	26.31	0.62
FCT14-1-29PL	170	152	1.12	0.51	18.1	0.18803	0.03185	0.1240	0.0188	0.00478	0.00023	30.77	1.45	118.68	18.91	25.32	1.68
FCT14-1-30PL	241	469	0.51	0.23	2.0	0.06220	0.01115	0.0381	0.0066	0.00445	0.00014	28.62	0.88	38.01	6.71	28.15	0.92
												<u>Weighted mean (n=9)</u>		<u>27.40</u>	<u>0.84</u>	<u>3.9</u>	
<i>Plesovice (reference age: 337.13 ± 0.37 Ma; Sláma et al., 2008) measured with 40µm laser beam (line scan on polished surface).</i>																	
P3-1-743L	213	1,641	0.13		0.4	0.04952	0.00315	0.3717	0.0260	0.05447	0.00115	341.88	7.44	320.94	26.04	341.99	7.09
P3-1-744L	230	1,539	0.15		0.7	0.05190	0.00592	0.3919	0.0434	0.05480	0.00061	343.90	3.93	335.79	43.14	344.01	3.78
P3-1-798L	135	1,280	0.11		0.5	0.04984	0.00094	0.3924	0.0082	0.05713	0.00088	358.15	5.68	336.11	8.31	358.25	5.42
P3-1-799L	210	1,774	0.12		0.3	0.04823	0.00115	0.3576	0.0083	0.05379	0.00091	337.76	5.86	310.41	8.40	337.87	5.60
												<u>Weighted mean (n=4)</u>		<u>346.00</u>	<u>13.00</u>	<u>10.4</u>	

^a $f_{\text{Th/U}} = (\text{Th/U})_{\text{zircon}} / (\text{Th/U})_{\text{magma}} - (\text{Th/U})_{\text{magma}}$ of 2.2 was used.

^b $f_{206\text{Pb}}^{\%}$ denotes the percentage of ²⁰⁶Pb that is common Pb (Ito et al., 2017).

^c Common Pb uncorrected.

^d Common Pb corrected by Sakata (2018).

^e MSWD: mean square weighted deviation.