

## フィッション・トラック法を用いた地殻の熱的安定性の検討

伊藤久敏\*・谷口友規\*\*

### Examination of thermal stability of crust using fission-track dating method

Hisatoshi Ito and Tomonori Taniguchi

長期にわたる地殻の安定性を評価することが重要になってきている。特に、高レベル放射性廃棄物は地中に処分されることになっており、その際には、数10万年程度の地殻の安定性を検討する必要があるとされている。地殻の安定性に影響を与える要因として、火山・地熱活動、断層運動、地殻の隆起運動などを検討すべきとされている。また、対象とする処分地域としては花崗岩や堆積岩地域が有望である。

そこで、岩体の熱史を解析するツールであるフィッション・トラック (FT) 法を用い、日本の花崗岩と堆積岩を対象に岩体の長期間 (ここでは百万年オーダー) の安定性を評価する。FT法では閉鎖温度の概念から、ジルコンで岩体が 300℃以下になった年代を、アパタイトで 100℃以下になった年代を推定できる。特に、アパタイト年代は、地殻浅部 (概ね 3km 以浅) での岩体の熱履歴を示すことから、得られる年代値の示す意味は大きいものと考えられる。

本報告では、いくつかの特徴的な地域で得られた予察的な結果を報告する。

#### 活断層地域

活断層周辺の熱的な安定性を FT 法で検討するために、北アルプス南部の境峠断層を対象として FT 年代測定を行った。境峠断層は約 4km の左横ずれ変位をもたらした活断層であり、地形的な特徴などから断層の東側が相対的に隆起しているとき

れているが、その垂直変位量は不明である (狩野・佐藤, 1988)。本断層を挟んで、東西に花崗岩 (奈川花崗岩) と堆積岩 (美濃帯) が分布しているため、これらを採取し、境峠断層を挟んだ東西の岩体の熱履歴・上昇史について検討した。

図 1 に試料の採取位置と得られた年代値を示す。また、付表 1, 2 に年代測定に用いたジルコンとアパタイトのゼータ値を示す。付表 3, 4 にはジルコンとアパタイトの年代測定結果を示す。ジルコン年代は、奈川花崗岩が約 70Ma、美濃帯が 100Ma 以上の年代を示した。アパタイト年代は花崗岩、堆積岩の違いにも関わらず、断層の西側が 45Ma、東側が 25Ma 程度の年代を示した。アパタイト年代が、岩体の上昇過程を反映したものと仮定し、現在の地表の温度を 10℃とし、地温勾配を 30℃/km で時間によらず一定と仮定すると、西側の岩体の平均上昇速度は 0.07mm/yr、東側のそれは 0.12mm/yr となる。得られたアパタイト年代は、断層の東側が相対的に隆起しているという地形的な推測と整合する。さらに、地殻の安定性に関しては、断層の両側でアパタイト年代が古い (25Ma 以上) ので、地下 3km 以浅が 2500 年以上の長期にわたり熱的に安定していた (100℃以下の状態が保たれてきた) と言える。

#### 堆積岩地域

顕著な活断層の分布しない地域での堆積岩の熱履歴を検討するために、奄美大島の堆積岩を対象

\*電力中央研究所地圏環境部, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)

\*\* (株) シー・アール・エス, Central Research Service Co (CRS)

として FT 年代測定を行った。奄美大島には、四万十帯と秩父帯の堆積岩が分布し、これらは白亜紀に堆積した後、広域変成作用を受けたと考えられている（竹内，1993）。本地域での広域変成作用のピーク時の温度、年代は不明であるが、他地域の秩父帯では白雲母の K-Ar 年代（閉鎖温度 350℃）で白亜紀を示しているの、白亜紀（65Ma 以前）には 300℃程度までは昇温したと考えられる。

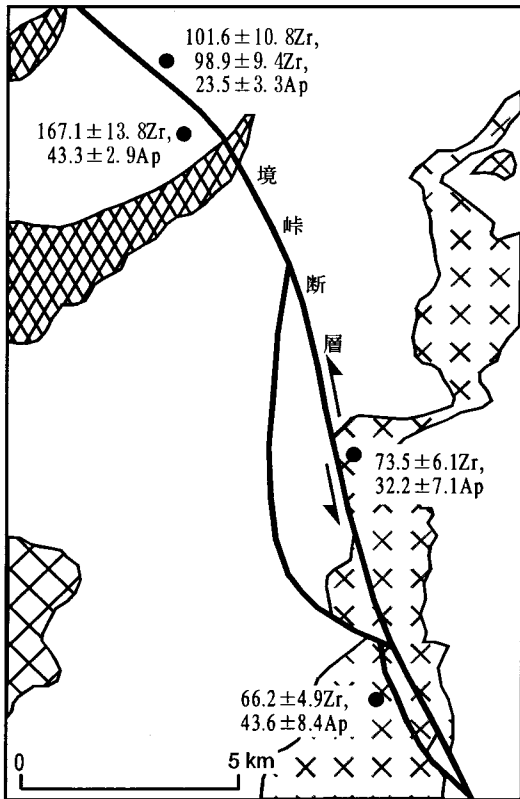
図 2 に試料の採取位置と年代測定結果を示す。ジルコンの年代は秩父帯、四万十帯ともに 50Ma よりも古い。アパタイト年代は 10Ma 程度であり、地下 3km 以浅が 1000 万年程度の長期に亘って熱

的に安定していた（100℃以下の状態が保たれてきた）と言える。なお、図 2 には奄美大島に分布する深成岩体（市岩体）の放射年代（Rb-Sr 法の全岩アイソクロン年代、K-Ar 法の黒雲母年代、本研究で得られた FT 法のジルコン年代）も示した。

### 文献

狩野謙一，佐藤博文，1988. 境峠断層（木曾山地北部－飛騨山地南部の活断層）の基盤岩変位量，地質雑，94，51-54.

竹内 誠，1993. 湯湾地域の地質. 地域地質研究報告（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，69p







-  中期更新世-完新世火山岩類 (乗鞍火山)
-  鮮新世火山岩類 (野麦峠火山岩類)
-  後期白亜紀-古第三紀初期深成岩類 (奈川花崗岩)
-  ジュラ紀堆積岩コンプレックス (美濃帯)

図1 境峠断層周辺のFT年代

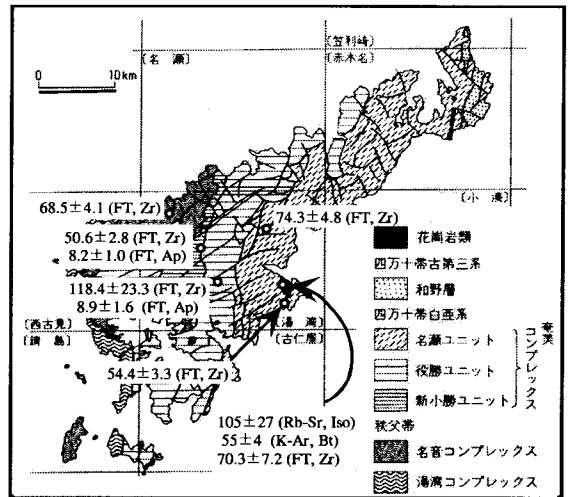


図2 奄美大島の放射年代 (FT年代は本研究)

付表 1 原研炉 (JRR-3) を用いたジルコンのゼータ値

Observer: T. Taniguchi

Age standard	Sample code	Irradiated date	Number of grains	Dosimeter		Spontaneous		Induced		P( $\chi^2$ ) %	$\zeta \pm 1\sigma$
				number	density $\times 10^5 \text{ cm}^{-2}$	number	density $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$	number	density $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$		
Fish Canyon Tuff	FCT93-9	97.02.03	15	2129	4.374	1219	4.855	1125	4.480	9	118.0 $\pm$ 5.9
Buluk Member 4 Tuff	BM-1	97.02.03	15	2129	4.374	288	1.164	445	1.798	38	116.1 $\pm$ 9.2
Tardree Rhyolite	TR-1	97.02.03	15	2129	4.374	1589	5.970	717	2.692	0	121.7 $\pm$ 6.5
Tardree Rhyolite	TR-4	97.02.03	15	2129	4.374	861	5.510	407	2.605	24	127.5 $\pm$ 8.5
Buluk Member 4 Tuff	BM-4	97.04.28	15	3945	4.053	306	1.056	464	1.600	5	122.9 $\pm$ 9.4
Fish Canyon Tuff	FCT98-1	99.12.01	15	1677	3.446	1616	4.239	1187	3.114	27	119.2 $\pm$ 5.8
Fish Canyon Tuff	FCT93-11	01.01.30	15	3269	3.358	2657	5.309	2014	4.025	9	126.3 $\pm$ 4.9
Fish Canyon Tuff	FCT01-1	01.05.29	15	1739	3.573	2424	4.269	2081	3.665	31	134.3 $\pm$ 5.7
Fish Canyon Tuff	FCT01-2	01.05.29	15	1739	3.573	3731	5.484	3075	4.520	13	129.0 $\pm$ 5.0
Weighted mean											124.8 $\pm$ 2.0

The ages of the age standard samples are 27.9 $\pm$ 0.5 Ma for Fish Canyon Tuff, 16.4 $\pm$ 0.2 Ma for Buluk Member 4 Tuff, 58.7 $\pm$ 1.1 Ma for Tardree Rhyolite (Hurford and Green, 1983; Hurford and Watkins, 1987). Dosimeter glass CN-1 used. P( $\chi^2$ ): Probability of obtaining  $\chi^2$  value for  $\nu$  degrees of freedom (where  $\nu$  = number of grains  $\cdot$  1) (Galbraith, 1981).

付表 2 原研炉 (JRR-3) を用いたアパタイトのゼータ値

Observer: T. Taniguchi

Age standard	Sample code	Irradiated date	Number of grains	Dosimeter		Spontaneous		Induced		P( $\chi^2$ ) %	$\zeta \pm 1\sigma$
				number	density $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$	number	density $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$	number	density $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$		
Fish Canyon Tuff	FCT98-A1	99.12.01	15	8305	1.706	78	0.216	524	1.449	90	220.1 $\pm$ 27.1
Durango	DURA4	01.01.30	15	15741	1.617	59	0.195	363	1.201	68	239.6 $\pm$ 33.9
Fish Canyon Tuff	FCTA8	01.01.30	15	15741	1.617	64	0.241	407	1.535	42	220.0 $\pm$ 29.9
Fish Canyon Tuff	FCT01-1A	01.05.29	15	3897	1.601	201	0.247	1435	1.765	44	249.3 $\pm$ 19.7
Durango	DURA5	01.05.29	15	3897	1.601	243	0.217	1394	1.245	2	225.6 $\pm$ 16.5
Weighted mean											231.8 $\pm$ 10.2

The ages of the age standard samples are 27.9 $\pm$ 0.5Ma for Fish Canyon Tuff, 98.7 $\pm$ 0.6 Ma for Mt. Dromedary and 31.4 $\pm$ 0.5 Ma for Durango (Hurford and Green, 1983; Green, 1985). Dosimeter glass IRMM-540 used. P( $\chi^2$ ): Probability of obtaining  $\chi^2$  value for  $\nu$  degrees of freedom (where  $\nu$  = number of grains  $\cdot$  1) (Galbraith, 1981).

付表3 原研炉 (JRR-3) を用いたジルコンのフィッション・トラック年代測定結果

Observer: T. Taniguchi

Sample description	Sample code	Irradiated date	Number of grains	Dosimeter		Spontaneous		Induced		P( $\chi^2$ ) %	T $\pm$ 1 $\sigma$
				number	density $\times 10^5 \text{ cm}^{-2}$	number	density $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$	number	density $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$		
Nagawa granite, west of fault	0007-1	01.01.30	15	3269	3.358	1641	6.583	512	2.054	3	66.2 $\pm$ 4.9
Nagawa granite, east of fault	0007-2	01.01.30	15	3269	3.358	1825	6.455	562	1.988	0.4	73.5 $\pm$ 6.1
Sawando complex, sandstone, east of fault	0007-3	01.01.30	14	3269	3.358	1636	7.732	355	1.678	1.3	101.6 $\pm$ 10.8
Sawando complex, sandstone, east of fault	0007-3'	01.01.30	15	3269	3.358	2032	10.820	453	2.411	0.5	98.9 $\pm$ 9.4
Sawando complex, sandstone, west of fault	0007-4	01.01.30	15	3269	3.358	1786	9.355	266	1.393	37	139.2 $\pm$ 9.7
Sawando complex, sandstone, west of fault	0007-4'	01.01.30	15	3269	3.358	2914	14.660	401	2.017	3	167.1 $\pm$ 13.8
Chichibu Belt, Naon Complex, sandstone	0009-3	01.01.30	15	3269	3.358	1442	7.435	439	2.263	78	68.5 $\pm$ 4.1
Ichi rock, quartz diorite	0009-5	01.01.30	15	3269	3.358	1439	7.107	453	2.237	0	70.3 $\pm$ 7.2
Shimanto Belt, Nase Unit, sandstone	0009-8	01.01.30	15	3269	3.358	1145	5.795	439	2.222	10	54.4 $\pm$ 3.3
Shimanto Belt, Nase Unit, sandstone	0009-9	01.01.30	15	3269	3.358	1274	6.803	357	1.906	40	74.3 $\pm$ 4.8
Shimanto Belt, Yakugachi Unit, sandstone	0009-11	01.01.30	15	3269	3.358	1486	7.884	344	1.825	0	118.4 $\pm$ 23.3
Shimanto Belt, Shinkogachi Unit, sandstone	0009-12	01.01.30	15	3269	3.358	1346	6.984	555	2.880	33	50.6 $\pm$ 2.8

Ages are calculated using  $\zeta=124.8\pm 2.0$  (1 $\sigma$  error). Dosimeter glass CN-1 used. P( $\chi^2$ ): Probability of obtaining  $\chi^2$  value for  $\nu$  degrees of freedom (where  $\nu$  = number of grains - 1) (Galbraith, 1981). Ages are pooled age for samples that pass the  $\chi^2$  test and mean age for samples that fail the  $\chi^2$  test (Green, 1981).

付表4 原研炉 (JRR-3) を用いたアパタイトのフィッション・トラック年代測定結果

Observer: T. Taniguchi

Sample description	Sample code	Irradiated date	Number of grains	Dosimeter		Spontaneous		Induced		P( $\chi^2$ ) %	T $\pm$ 1 $\sigma$
				number	density $\times 10^6 \text{ cm}^{-2}$	number	density $\times 10^5 \text{ cm}^{-2}$	number	density $\times 10^5 \text{ cm}^{-2}$		
Nagawa granite, west of fault	0007-1A	01.01.30	23	15741	1.617	35	0.853	150	3.655	79	43.6 $\pm$ 8.4
Nagawa granite, east of fault	0007-2A	01.01.30	21	15741	1.617	25	0.692	145	4.015	10	32.2 $\pm$ 7.1
Sawando complex, sandstone, east of fault	0007-3A	01.01.30	22	15741	1.617	62	1.851	494	14.75	16	23.5 $\pm$ 3.3
Sawando complex, sandstone, west of fault	0007-4A	01.01.30	25	15741	1.617	572	10.890	2465	46.92	16	43.3 $\pm$ 2.9
Shimanto Belt, Nase Unit, sandstone	0009-8A	01.01.30	2	15741	1.617	1	0.305	44	13.40	13	4.3 $\pm$ 4.3
Shimanto Belt, Yakugachi Unit, sandstone	0009-11A	01.01.30	12	15741	1.617	34	1.962	713	41.15	97	8.9 $\pm$ 1.6
Shimanto Belt, Shinkogachi Unit, sandstone	0009-12A	01.01.30	31	15741	1.617	75	1.386	1707	31.55	71	8.2 $\pm$ 1.0

Ages are calculated using  $\zeta=231.8\pm 10.2$  (1 $\sigma$  error). Dosimeter glass IRMM540 used. P( $\chi^2$ ): Probability of obtaining  $\chi^2$  value for  $\nu$  degrees of freedom (where  $\nu$  = number of grains - 1) (Galbraith, 1981). Ages are pooled age for samples that pass the  $\chi^2$  test and mean age for samples that fail the  $\chi^2$  test (Green, 1981).

## 付表の文献

Galbraith, R. F., 1981. On statistical models for fission track counts. *Math. Geol.*, 13, no.6, 471-438.

Green, P. F., 1981. A new look at statistics in fission track dating, *Nucl. Tracks*, 5, 77-86.

Green, P. F., 1985. Comparison of zeta calibration baselines for fission track dating of apatite, zircon and sphene, *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 58, 1-22.

Hurfurd, A. J. and Green, P. F., 1983. The zeta age calibration of fission-track dating. *Isotope Geosci.* 1, 285-317.

Hurfurd, A. J. and Watkins R. T., 1987, Fission-track age of the tuffs of the Buluk Member, Bakate formation, Northern Kenya: a suitable fission-track age standard. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 66, 209-216.