

平成23年 5月10日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20540449

研究課題名 (和文) 中央構造線および跡津川断層のシュードタキライトを用いた断層の活動履歴の決定

研究課題名 (英文) Determination of the history of fault activity using pseudotachylyte from the Median Tectonic Line and from the Atotsugawa Fault

研究代表者

高木 秀雄 (TAKAGI HIDEO)

早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授

研究者番号：60154754

研究成果の概要 (和文)：中央構造線 (以下MTL) と跡津川断層のシュードタキライト (以下PT) 中のジルコンのフィッショントラック (以下FT) 年代を測定した。MTLではPTのFT年代は約60Maを示し、MTLの脆性変形の最も古い年代として位置づけられる。跡津川断層については、ジュラ紀の花崗岩の冷却時の約60Maまでに若い伏在花崗岩の広域的貫入によって年代がリセットされ、引き続き冷却時 (およそ45Ma前後) にPTが形成したと考えられる。以上より、従来の他の断層の放射年代も踏まえ、西南日本内帯の花崗岩地殻において主要な断層が発生したのはおよそ45-60Maまで遡ることが裏付けられた。

研究成果の概要 (英文)：Fission-Track (FT) ages for zircon in granitic rocks along the MTL and Atotsugawa Fault were determined. The FT ages for the MTL yield about 60 Ma, suggesting the oldest brittle deformation along the MTL, whereas those for the Atotsugawa Fault yields two bimodal ages; 60+Ma and about 45Ma, even though the protolith age is Jurassic. The older age suggests the rejuvenation of concealed younger granitoid and younger age suggest the formation of the PT. On the basis of these data and previous ages of fault gouges, major faults in granitic crust of SW Japan were probably initiated from early Paleogene.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学 4404

キーワード：地質学, テクトニクス, 岩石・鉱物・鉱床

## 1. 研究開始当初の背景

シュードタキライト (以下PT) は、断層運動時の摩擦熱で融解・急冷した脈状の岩

石であり、摩擦熱の発生は1000℃を越える場合も少なくない。したがって、その年代が測定できれば、地震を発生させるような高速摩擦運動の瞬間的なパルスの年代を与

えることになる。フィッシュトラック(以下 FT) 年代測定は、風化に強く化学的に安定なジルコンを用い、ジルコンの  $^{238}\text{U}$  の自発核分裂により生じたトラックが熱のみに敏感に反応する。そのジルコンが  $900^\circ\text{C}$  以上で加熱された場合はほとんど瞬間的にトラックが消える(零セットする)、または不十分な加熱ではトラック長に影響を与えることが近年京都大学のグループで明らかにされている。そのような PT の FT 年代測定は海外では未だ例がなく、京都大学のグループが野島断層の FT 年代を明らかにしたのを皮切りに、申請者は京都大学と連携し、愛知県の領家花崗岩体に分布する足助剪断帯(酒巻ほか, 2006)の PT の年代を明らかにした(Murakami et al., 2006)。さらに、申請者はネパールヒマラヤのランタン地域で採取した大規模地滑りで生じたガラス質 PT の年代測定を実施し、86 個のジルコン粒子から約 5 万年という FT 年代測定法の可能な上限に近い値を決めた(Takagi et al., 2006)。これらを背景に、PT の FT 年代測定の有効性が明らかになってきている。近年申請者の研究室で中央構造線(MTL)と跡津川断層において次々に発見された PT についても、年代測定に可能な程度の量が存在することを確認していることから、ジルコンを分離し、京都 FT と共同で FT 年代を決定し、その断層の履歴を明らかにするとともに、同じ断層で申請者らが実施した断層ガウジ中の雲母粘土鉱物の K-Ar 年代測定結果と比較しながら、両断層の活動履歴を明らかにする。

## 2. 研究の目的

PT中のジルコンを用いたFT年代を測定し、中央構造線と跡津川断層の断層活動の履歴を明らかにすると同時に、活断層がいつから存在するかについての年代学的制約を与え、断層が発生させる地質学的背景を考察するための基礎データを与える。

## 3. 研究の方法

### (1) 地質調査とマッピング, PT の産状調査と試料サンプリング

対象断層と露頭は下の通り。

中央構造線

- 三重県勢和多気インター付近(多気露頭)
- 長野県大鹿村針の木露頭
- 愛媛県西条市湯谷口露頭

跡津川断層 真川露頭(国の天然記念物)

上記のうち、MTL湯谷口露頭については、シュードタキライトを確認したが、母岩の安山岩とともにジルコンが含まれないことから、年代測定は断念せざるを得なかった。従

って、現在露頭の詳細な調査結果(断層運動の履歴)と、PT の産状ならびにその岩石学的検討を進めつつあり、いずれ論文にまとめる予定である。

(2) シュードタキライト脈の岩石学的検討  
MTL 多気露頭の PT についての岩石学的検討は、すでに筆者らのグループにより論文化されていることから、跡津川断層の PT について顕微鏡下および SEM 観察で検討した。

(3) ジルコン・アパタイトの抽出とフィッシュトラック年代測定、トラック長解析

MTL 多気露頭、針の木露頭、跡津川断層真川露頭の 3 地点で採取した PT と周辺の母岩について、ジルコン、アパタイトを分離し、FT 年代測定およびトラック長解析を実施した。

## 4. 研究成果

MTL では 2 露頭において年代測定を行った。PT の FT 年代測定結果は、多気露頭が 60.0 Ma (母岩は 68-72 Ma)、針ノ木露頭が 62.3 Ma (母岩は 63.6 Ma) となった。

多気露頭のシュードタキライトにはマイクロライトやアミグデールなどの急冷組織が発達し、斜長石の分解組織が認められる(Fig. 1)ことから、瞬間的に  $1000^\circ\text{C}$  を越える温度に達したことは間違いなく、その場合は 1 秒以内で既存のトラックが消滅することから、PT 形成時のリセットが完全であったと考えられる。トラック長解析からも、完全なリセットの結果が得られている。

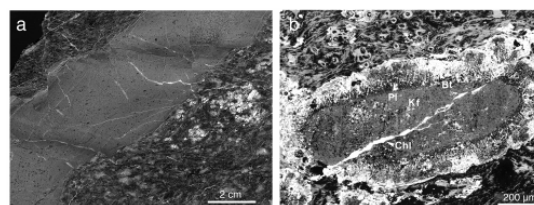


Fig. 1 多気露頭の PT と、斜長石の分解組織

Table 1 多気露頭の FT 年代測定結果

Sample name	Mineral	No. of grains	Spontaneous $\rho_s$ ( $\text{cm}^{-2}$ ) (N)	Induced $\rho_i$ ( $\text{cm}^{-2}$ ) (N)	Dosimeter $\rho_d$ ( $\text{cm}^{-2}$ ) (N)	$\text{P}(\chi^2)$ (%)	$r$	U (ppm)	Age ( $\pm 1\sigma$ ) (Ma)	Confined-track length mean $\pm 1\sigma$ (number) [range] ( $\mu\text{m}$ )
MPT-1 (PST)	zircon	27	$8.07 \times 10^4$ (1694)	$1.88 \times 10^5$ (394)	$7.280 \times 10^5$ (4368)	94	0.578	240	$60.0 \pm 3.5$	$10.7 \pm 0.1$ (30) [9.65 - 12.15]
MPT-2 (protolith)	zircon	30	$8.31 \times 10^4$ (5110)	$1.65 \times 10^5$ (1015)	$7.279 \times 10^5$ (4367)	62	0.676	210	$70.2 \pm 2.7$	$10.8 \pm 0.1$ (33) [9.66 - 12.31]
MPT-3 (protolith)	zircon	30	$8.17 \times 10^4$ (6255)	$3.48 \times 10^5$ (2665)	$1.492 \times 10^6$ (4475)	66	0.883	220	$72.1 \pm 2.1$	$10.8 \pm 0.1$ (35) [9.65 - 12.38]
D-15 m	zircon	30	$7.68 \times 10^4$ (6839)	$3.00 \times 10^5$ (2666)	$1.282 \times 10^6$ (4614)	39	0.774	220	$67.7 \pm 1.9$	
	apatite	30	$1.26 \times 10^4$ (1068)	$5.64 \times 10^4$ (4769)	$1.011 \times 10^5$ (4854)	46	0.740	60	$38.0 \pm 1.5$	$14.1 \pm 0.2$ (15) [13.10 - 15.82]

$\rho_s$  and  $N_s$  density and total number of counted tracks, respectively. Analyses were made by the external detector method that applies to internal surfaces (ED1; Danbara et al., 1991). A NIST-SRM612 standard glass was used as a dosimeter;  $\text{P}(\chi^2)$ , probability of obtaining the  $\chi^2$  value for  $\nu$  degrees of freedom ( $\nu =$  number of crystals - 1) (Gibson, 1983);  $r$ , correlation coefficient between  $\rho_s$  and  $\rho_i$ ; U, uranium content calculated from the induced track densities (Iwano et al., 2000). Zircon and apatite grains were irradiated using the pneumatic tube of JRR-4 or JRR-3 reactors at the Japan Atomic Energy Agency, Japan. Ages were calculated by using zircon calibration factors of  $C_{\text{zircon}} = 385 \pm 4$  (1 $\sigma$ ) for JRR-4 reactor, and  $C_{\text{zircon}} = 414 \pm 3$  (1 $\sigma$ ) and  $C_{\text{apatite}} = 337 \pm 4$  (1 $\sigma$ ) for JRR-3 reactor. D, Distance from the pseudotachyite (MPT-1) vein wall. All track counts and track length measurements were done by HE. A weighted average of three zircon ages for protolith samples (MPT-2 and MPT-3) is calculated to be  $69.8 \pm 1.2$  (1 $\sigma$ ) by the method of Taylor (1982).

これらの年代はMTL断層ガウジの最も古い年代とも一致し、MTLの脆性変形の最も古い年代として位置づけられる。多気露頭の成果

については, Takagi et al. (2010)として報告済みである.

一方, 針の木露頭についても, マイクロライトやアミグデールなどの急冷組織が認められるが, 脈の厚さが薄いため, 厳密にリセットされたか否かの評価が母岩の冷却年代とほとんど変わらないために難しい. したがって, シュードタキライトの産状や岩石学的検討を中心に据えて, 現在論文を準備中である.

跡津川断層真川露頭については, 露頭の2ヶ所 (Fig. 2) から採取したPTと, PTに接触する母岩, PTから離れた2ヶ所の母岩について, それぞれ60Ma前後のFT年代(pooled age), 母岩の白雲母K-Ar年代で149Maという不一致年代が得られた. そこで, ジルコンごとの確率密度分布を求めるとバイモーダルな年代ピークを示すものが多く, その古い年代は60-65Ma, 若い年代は45Ma前後の値を示す. トラック長解析では部分的なリセットが接触部の母岩で確認された. このようにすべてのジルコンで完全にリセットされなかったことが示された.

そのことは, 鏡下観察やSEM観察でも明瞭なマイクロライトやアミグデールが認められないことから, リセットが不十分であったことが示唆される. しかし, 一部の石英や斜長石フラグメントは明瞭に融解したリム組織を有しており (Fig. 3), シュードタキライトであることは間違いない.



Fig. 2 真川露頭のPT (中央暗褐色部分)

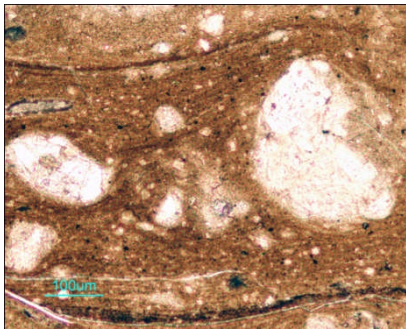


Fig. 3 真川露頭のPTの溶融組織

Table 2 跡津川断層真川露頭の母岩の白雲母 K-Ar 年代測定結果

Sample	Mineral (mesh)	K contents (wt%)	K-Ar 年代測定結果		
			Rad. <sup>40</sup> Ar (10 <sup>-8</sup> cc STP/g)	K-Ar age (Ma)	Non-rad. <sup>40</sup> Ar (%)
AT-7 granite (#120-250)		8,735 ± 0.175	5266 ± 51	149.0 ± 3.2	2.2
			5247 ± 51	148.5 ± 3.2	2.1
			<b>Av: 148.8 ± 2.3</b>		
			Decay constant: after Steiger and Jäger (1977)		
			$\lambda_{\alpha} = 0.581 \times 10^{-10}/\text{year}$ , $\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10}/\text{year}$ , $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4}$ .		

Table 3 跡津川断層真川露頭のFT年代測定結果

試料番号	試料名	(1) 測定方法	(2) 結晶数	自然放射能		誘発放射能		(3),(4) 中性子流量		(5) 検定値	(6) 年齢	(7),(8),(9),(10) 年代量	
				$\rho_{\alpha}$ (cm <sup>-2</sup> )	N <sub>c</sub>	$\rho_{\beta}$ (cm <sup>-2</sup> )	N <sub>c</sub>	$\phi_{\alpha}$ (x10 <sup>6</sup> cm <sup>-2</sup> )	N <sub>c</sub>				$\phi_{\beta}$ (x10 <sup>6</sup> cm <sup>-2</sup> )
AT-A	シュードタキライト	Zr ED1	30	6.3 x10 <sup>5</sup>	1471	3.24 x10 <sup>5</sup>	725	12.10	4355	0.705	57	250	48.5 ± 2.4
AT-A-2	シュードタキライト	Zr ED1	25	7.69 x10 <sup>5</sup>	1631	4.13 x10 <sup>5</sup>	875	13.06	4702	0.612	3	300	50.2 ± 2.3
AT-D-1	シュードタキライト	Zr ED1	29	7.31 x10 <sup>5</sup>	1879	3.19 x10 <sup>5</sup>	830	12.91	3874	0.472	3	230	60.9 ± 2.8
AT-A-1	シュードタキライト	Zr ED1	36	5.81 x10 <sup>5</sup>	1678	5.09 x10 <sup>5</sup>	1470	23.43	5622	0.817	43	200	55.1 ± 2.1
AT-D-2	母岩 (接触部)	Zr ED1	30	6.88 x10 <sup>5</sup>	2066	2.98 x10 <sup>5</sup>	1417	12.94	3887	0.665	70	220	61.4 ± 2.2
AT-A-2	母岩 (接触部)	Zr ED1	30	5.82 x10 <sup>5</sup>	1761	5.06 x10 <sup>5</sup>	1334	23.43	5622	0.793	0	200	55.5 ± 2.1
AT-3	母岩 (カタレーサイ)	Zr ED1	30	7.15 x10 <sup>5</sup>	5018	3.75 x10 <sup>5</sup>	2636	14.29	5745	0.811	0	250	56.1 ± 1.6
AT-3-2	母岩 (カタレーサイ)	Zr ED1	10	6.63 x10 <sup>5</sup>	1519	2.96 x10 <sup>5</sup>	678	12.95	3885	0.286	1	220	59.8 ± 3.0
AT-7	母岩 (接触部)	Zr ED1	30	6.45 x10 <sup>5</sup>	5240	2.85 x10 <sup>5</sup>	2314	12.89	3867	0.753	0	210	60.1 ± 1.8
AT-7-2	母岩 (接触部)	Zr ED1	19	6.46 x10 <sup>5</sup>	2691	5.06 x10 <sup>5</sup>	2086	23.43	5622	0.888	28	200	62.3 ± 2.0
AT-D-1	シュードタキライト	Ap ED1	16	7.08 x10 <sup>5</sup>	257	2.35 x10 <sup>5</sup>	854	91.78	4407	0.922	88	30	46.4 ± 3.4
AT-D-2	母岩 (接触部)	Ap ED1	4	9.34 x10 <sup>5</sup>	197	3.24 x10 <sup>5</sup>	683	91.86	4409	0.816	11	40	44.5 ± 3.7
AT-7	母岩 (接触部)	Ap ED1	42	3.05 x10 <sup>5</sup>	832	1.31 x10 <sup>5</sup>	3577	91.70	4402	0.892	29	20	38.8 ± 1.8

(1) 測定装置: Zr シンチレーター, Ag-アラスタル, Ag-アラスタル, Sp-スフーレン (2) 測定方法: 外部ガイガー管 (内検出: EDI, 外検出: ED2) (3) 中性子流量: NIST SRM612 (4) 誘発放射能: 日本原子力研究開発機構 90°C 気流管 (5)  $\phi_{\alpha}$ : 中性子流量 (6)  $\phi_{\beta}$ : 中性子流量 (7) 年代量:  $T = (1/\lambda) \ln [1 + (\lambda/\lambda_{\alpha}) \cdot (\phi_{\alpha} \cdot t) / (\phi_{\beta} \cdot t + 1)]$  (8) 検定値:  $\sigma = T \cdot (\lambda/\lambda_{\alpha}) \cdot (\phi_{\alpha} \cdot t) / (\phi_{\beta} \cdot t + 1)$  (9)  $^{40}\text{Ar}$  の全検定値:  $\lambda_{\alpha} = 1.51125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$  (10)  $^{40}\text{Ar}$  の全検定値:  $\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$  (Dunham and Brown, 2009) (11)  $^{40}\text{Ar}$  の全検定値:  $\lambda_{\alpha} = 0.581 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ ,  $\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$  (Dunham and Brown, 2009)

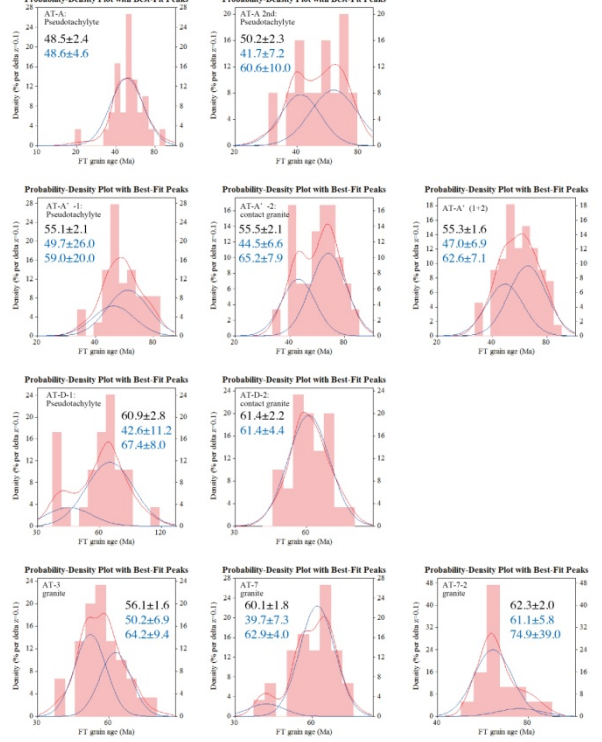


Fig. 4 跡津川断層沿いの各試料におけるジルコン FT年代の確率密度分布. バイモーダルのピークが数試料で分別可能である.

以上を総合すると, ジュラ紀の冷却年代を持つ花崗岩の冷却時 (350-250 Ma) に, シュードタキライトが形成される前 (直前) の60Ma

までに、花崗岩の広域的貫入によって年代がリセットされ、引き続き冷却時（およそ45Ma前後）にPTが形成したと考えられる。その冷却史をFig. 5にまとめる。この45Ma前後の年代におけるPTの形成は、ジルコンとアパタイトの年代と閉鎖温度を考慮すると、およそ150°Cに冷却した時に発生し、脈の少なくとも一部は瞬間的に1000°C以上にまで達したことが、石英や長石のフラグメントが示す部分的な融解に示されている。しかしながら、一部のジルコンは完全にリセットせず、60Ma前後の冷却年代を保持したままであったと考えられる。

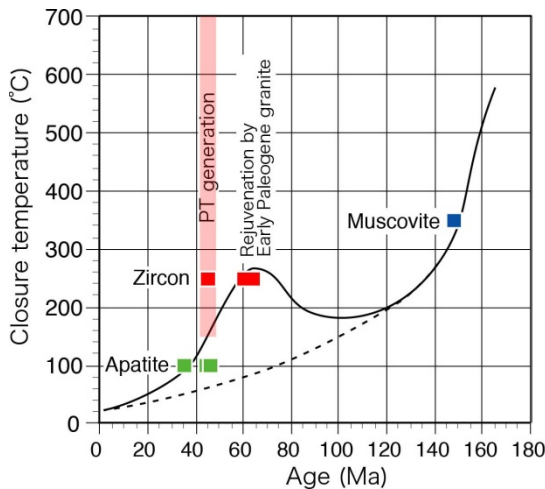


Fig. 5 跡津川断層真川露頭における花崗岩類の冷却曲線と、シュードタキライトの形成時期（赤い帯）

以上より、従来の他の断層の放射年代も踏まえ、西南日本内帯の花崗岩地殻において主要な断層が発生したのはおよそ45-60Maまで遡ることが、PTでも裏付けられた。このことから、白亜紀後期花崗岩地殻の不均一性を利用して従来年代測定を実施したMTL、跡津川断層、阿寺断層、野島断層、足助剪断帯などが発生したと考えられる。

その花崗岩質地殻の不均一性の原因となるものとしては、

- (1) ジュラ紀付加体と花崗岩体の境界面
- (2) 花崗岩体内部の冷却節理面

などが考えられ、今後さらに検討する必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

1. Takagi, H., Shimada, K., Iwano, H. and Danhara, T. Oldest record of brittle deformation along the Median Tectonic Line: fission-track age for pseudotachylyte in the Taki area, Mie Prefecture. Journal of the Geological Society of

Japan, 査読有, 116, 45-50, 2010.

2. 高木秀雄・岩野英樹・檀原 徹, シュードタキライトのフィッショントラック年代測定—最近の成果—. 月刊 地球, 査読なし, 32, 26-51, 2010.

[学会発表] (計4件)

1. 高木秀雄, 中央構造線の構造発達史 (招待講演), 日本地質学会近畿支部シンポジウム「中央構造線の発生と改変: 白亜紀から新第三紀にかけて」, 2010.11 神戸大

2. 高木 秀雄・岩野 英樹・檀原 徹, 跡津川断層沿いのシュードタキライトのフィッショントラック年代, 地球惑星科学連合大会, SSS017-04, 2010.5.

3. Takagi, H., Iwano, H. and Danhara, T., 2009, Fission-track dating of pseudotachylytes generated along major faults (Japan) and a landslide (Nepal). Abstract of the 2009 Meeting of the Geological Society of Korea, p.166.

4. 高木秀雄・島田耕史・安原健雄・河本和朗・岩野英樹・檀原 徹, シュードタキライトのフィッショントラック年代測定—最近の成果, 地球惑星科学連合大会 G210-007, 2009.5.

[その他]

ホームページ等

[http://www.dept.edu.waseda.ac.jp/htakagi/index\\_j.html](http://www.dept.edu.waseda.ac.jp/htakagi/index_j.html)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木秀雄 (TAKAGI HIDEO)

早稲田大学教育・総合科学学術院 教授

研究者番号: 60154754