

フィッション・トラック法を用いた活断層の活動開始時期と 削剥量の推定—境峠断層の例—

伊藤久敏*

Estimation of the timing of initiation and amount of exhumation of an active fault by fission-track dating method —A case study of the Sakaitoge Fault—

Hisatoshi Ito*

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

はじめに

前回のフィッション・トラック研究会では、高レベル放射性廃棄物の地層処分などで問題とされる地殻の長期安定性評価にフィッション・トラック (FT) 法を用いることの有用性について述べ、その例として北アルプス南部の境峠断層の年代測定結果を報告した (伊藤・谷口, 2002)。今回、前回の結果を使って、活断層の活動開始時期や活動開始後の削剥量が評価できることを報告する。試料採取位置や年代測定結果の詳細は伊藤・谷口 (2002) を参照されたい。

境峠断層のアパタイト FT 年代

境峠断層の東側の花崗岩 (奈川花崗岩) および堆積岩 (美濃帯の沢渡コンプレックス中の砂岩) のアパタイト年代の加重平均値は 25.0 ± 3.0 Ma, 西側岩体のそれは 43.3 ± 2.7 Ma であり、以下ではこれらの値を用いる。また、試料の採取地点の標高は平均値 \pm 標準偏差で表すと、東側が 1310 ± 85 m, 西側が 1458 ± 88 m であり、標高差は無視できるものとする。以上のように、境峠断層の相対的に隆起したとされる側がより若い年代値を示す。

活動開始時期と削剥量の推定

以下に、境峠断層を挟んでアパタイト年代に差が生じた理由を考察する。ここでは、境峠断層の活動前は東西の岩体が一体となって地殻変動を被り、断層活動により東側岩体が

西側岩体に対して差別的な隆起・削剥を被ったと仮定する。この場合、以下の計算式により、断層の活動開始時期と隆起・削剥量が得られる。

アパタイトの閉鎖温度を 100°C 、現在の地表面の温度を 10°C とし、断層の西側のアパタイト年代を A_w [Ma], 地温勾配を G_w [$^{\circ}\text{C}/\text{km}$], 東側のアパタイト年代を A_e [Ma], 地温勾配を G_e [$^{\circ}\text{C}/\text{km}$] とすると、西側の隆起速度 U_w [mm/yr] は、

$$U_w = \frac{90}{G_w * A_w} \dots\dots\dots (1)$$

東側の地温 100°C の深度 (A_e 年前の深度) D_e [km] は、断層活動前は $G_w = G_e$ と考えられるので、

$$D_e = \frac{90}{G_e} = \frac{90}{G_w} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、断層の東側が時間 t_0 [Ma] から断層活動による隆起を開始し、その隆起速度を k [mm/yr] とすると、

$$t_0 = \frac{D_e - A_e * U_w}{k - U_w} = \frac{90}{G_w} * \frac{1}{k - U_w} * (1 - \frac{A_e}{A_w}) \dots\dots\dots (3)$$

表 1. 断層の活動開始時期の推定 (アバタイト年代を西側岩体が 43.3Ma, 東側岩体が 25.0Ma とした場合).

ケース	地温勾配 (°C/km)		西側の 隆起速度 (mm/yr) U _w	東側の地温 100°Cの深度 (km) De	断層活動開始時期 (Ma) : t ₀					東側の 相対隆起量 (km) Ru
	西側 G _w	東側 G _e			断層の隆起速度 (mm/yr) : k					
					0.3	0.5	1	1.5	2	
1	20	20	0.10	4.50	10.00	5.00	2.22	1.43	1.05	2.00
2	30	30	0.07	3.00	5.71	3.08	1.43	0.93	0.69	1.33
3	40	40	0.05	2.25	4.00	2.22	1.05	0.69	0.51	1.00
4	50	50	0.04	1.80	3.08	1.74	0.83	0.55	0.41	0.80
5	30	60	0.07	3.00	5.71	3.08	1.43	0.93	0.69	1.33

ケース 5 は断層活動後に東側岩体の地温勾配が 60°C とした場合. その他のケースは東西両岩体の地温勾配が等しいとした場合.

断層活動開始後の東側の相対的な隆起量 R_u [km] は,

$$R_u = (k - U_w) * t_0 = \frac{90}{G_w} * (1 - \frac{A_e}{A_w}) \dots \dots \dots (4)$$

となる.

表 1 に東西の岩体の地温勾配と断層活動による隆起速度について, いくつかの値を仮定した場合に得られる, 断層活動開始時期とその後の東側の相対的な隆起量を示す. このうち, 地温勾配が 30°C /km で不変, 断層活動による隆起速度が 1mm/yr と仮定した場合の地殻変動史を図 1 に示す. 断層活動開始時期は図 1 における東側岩体の隆起速度の変化点が示す年代であり, その年代の東側岩体の深度から西側岩体の深度を引いた値の絶対値が断層活動開始後の東側の相対的な隆起量, もしくは削剥量となる. これらの値は表 1 よりそれぞれ 1.43Ma, 1.33km である.

ここで断層活動開始時期とその後の東側の

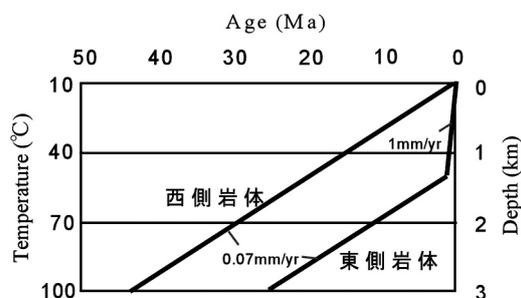


図 1. 境峠断層を挟んだ東西それぞれの岩体の地殻変動史. 地温勾配が 30°C /km で不変, 断層活動による隆起速度が 1mm/yr の場合.

相対的な隆起量についてより詳細に検討する. 断層活動開始時期は, 断層活動開始前の地温勾配 (G_w) と断層の隆起速度 (k) に依存するが, 断層活動開始後の東側の地温勾配 (G_e) に依存しない (ケース 2 とケース 5 を参照). すなわち, 一般に隆起の激しい岩体は地温勾配が周囲よりも高くなる (Mancktelow and Grasemann, 1997) が, その場合でも断層活動開始時期の推定に影響を及ぼさないとと言える. また, 断層活動開始後の東側岩体の相対的な隆起量は, 式 (4) より, 断層活動開始前の地温勾配 (G_w) と東西両岩体のアバタイト年代のみに依存する.

日本列島の現在の地温勾配は, 地熱地域を除くと, 20 ~ 30°C /km の範囲にある (田中ほか, 1999) ため, 断層活動開始前の地温勾配もこの範囲にあったと推定される. 従って東側の相対隆起量は表 6 より 1.33 ~ 2.00km と計算され, これは境峠断層の縦ずれ変位量に相当する. 境峠断層の横ずれ変位量は約 4km とされており (狩野・佐藤, 1988), 縦ずれ変位量は横ずれ変位量の 1/3 ~ 1/2 倍ということになる.

境峠断層の活動による隆起速度は以下のように見積る. 境峠断層の横ずれの平均変位速度は 1 ~ 3mm/yr (中野ほか, 1995) や数 mm/yr (狩野ほか, 2002) とされており, ここではそれを 1 ~ 3mm/yr とする. 縦ずれ変位量は横ずれ変位量の 1/3 ~ 1/2 倍と推定されたので, 縦ずれの平均変位速度, すなわち断層活動による平均隆起速度も, 横ずれの平均変位速度の 1/3 ~ 1/2 倍となる. 従って, 断層活動による隆起速度は 0.3 ~ 1.5mm/yr 程度と推定される. この場合,

断層活動開始時期は地温勾配が 20 ~ 30℃ /km として、表 1 より 0.9 ~ 10.0Ma の間と推定される。これとは別に、河成地形面の比高と年代から推定する方法によると、境峠断層の東側の河川である梓川で、14 ~ 15 万年前から 1 ~ 2.5 万年前までの 11.5 ~ 14 万年間の隆起量は 80m である (吉山・柳田, 1995) ことから、この間の平均隆起速度は 0.6 ~ 0.7mm/yr と求まる。この値を断層活動による隆起速度とすれば、地温勾配が 20 ~ 30℃ /km として、式 (3) より、断層活動開始時期は 2.1 ~ 4.0Ma となる。

以上から、今回の手法では、断層活動による隆起速度の値に応じて断層活動開始時期の見積もりは大きく異なってくると言える。これに対し、断層活動による隆起・削剥量は 1.3 ~ 2km との見積もりとなり、かなり限定した値が得られた。この値は境峠断層が横ずれ変位の卓越した断層であることと整合する。また、断層の東側は、奈川花崗岩では角閃石を含むこと (中野ほか, 1995)、沢渡コンプレックスではイライトの結晶度が西側より高いこと (大塚・渡辺, 1992)、のために西側より深部の岩石が露出しているという結果とも整合する。

以上より、アパタイト FT 法を用いることで、活断層の活動開始時期と削剥量を評価できることがわかった。前者については、断層の隆起速度が既知であれば限定した値が得られること、後者については、現状でもかなり限定した値が得られることが明らかになった。

文献

- 伊藤久敏, 谷口友規, 2002. 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. フィッション・トラック ニュースレター, 15, 31-34.
- 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.
- 狩野謙一, 丸山 正, 林 愛明, 2002. 飛騨山地南部, 境峠断層の後期更新世-完新世における活動. 地質学雑誌, 108, 291-305.
- Mancktelow, N. S. and Grasemann, B., 1997. Time-dependent effects of heat advection and topography on cooling histories during erosion., Tectonophysics, 270, 167-195.
- 中野 俊, 大塚 勉, 足立 守, 原山 智, 吉岡敏和, 1995. 乗鞍岳地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 139p.
- 大塚 勉, 渡辺晃二, 1992. イライトの結晶度からみた美濃帯泥質岩の弱変成作用. 地質学論集, 38, 135-145.
- 田中明子, 矢野雄策, 笹田政克, 大久保泰邦, 梅田浩司, 中司昇, 秋田藤夫, 1999. 坑井の温度データによる日本の地温勾配値のコンパイル, 地質調査所月報, 50, 457-487.
- 吉山 昭, 柳田 誠, 1995. 河成地形面の比高分布からみた地殻変動. 地学雑誌, 104, 809-826.