

黒雲母の塑性変形を伴う破砕帯の活動年代：FT熱年代解析による制約

末岡 茂*・島田耕史*・石丸恒存*・丹羽正和*・安江健一*

梅田浩司**・檀原 徹***・岩野英樹***

Dating of crush zones associated with plastic deformation of biotite: Constraints by fission-track thermochronometry

Shigeru Sueoka*, Koji Shimada*, Tsuneari Ishimaru*, Masakazu Niwa*,
Ken-ichi Yasue*, Koji Umeda**, Tohru Danhara*** and Hideki Iwano***

* 日本原子力研究開発機構, Japan Atomic Energy Agency

** 弘前大学, Hirosaki University

*** 京都フィッション・トラック, Kyoto Fission-Track Co., Ltd.

はじめに

断層の活動時期の推定には、断層上を覆う新しい堆積層が有力な指標となるが（例えば、McCalpin, 2009）、このような上載地層を伴わない基盤岩中の断層では、年代制約は非常に困難になる。断層活動に関連した放射年代のリセットの検出（例えば、Ikeya et al., 1982; Murakami & Tagami, 2004; 雁澤ほか, 2013）や、破砕帯中の鉱物脈や粘土鉱物の形成年代の測定（例えば、Zwingmann & Mancktelow, 2004; Watanabe et al., 2008）なども試みられているが、現在、確立された手法は存在しない。本研究では、黒雲母の塑性変形を伴う断層活動の時期について、FT熱年代解析によって制約を試みた事例を紹介する。

地質

対象としたのは、敦賀半島北端部の高速増殖原型炉もんじゅ敷地内の剥ぎ取り露頭に分布する断層で、主に約68Maに貫入した江若（こうじゃく）花崗岩からなる基盤岩中に分布しており、上載地層を伴わない。本露頭で見られる断層は、西北西走向左ずれの α 系と北北西走向右ずれの β 系に大きく分けられ、両者は互いに切ったり切られたりすることから共役関係だと考えられる

（原子力機構, 2014）。 β 系は最終的に α 系に切断されるが、 α 系の中でさらに切断関係を追跡すると、左ずれの後に数~10cm程度の右ずれが重複している箇所が最新活動面だと認定できる（原子力機構, 2014）。つまり、本露頭における断層の活動ステージは少なくとも2回と考えられる。また、最新活動面も含めて、これらの断層沿いには、塑性変形した黒雲母が普遍的に観察され、周辺の母岩自体が高温だった時期にずれ動いたと推測される（原子力機構, 2014）。江若花崗岩は、約68Maの貫入以降、広域的な再加熱は被っていないが（末岡ほか, 2016）、露頭内には約19Maの玄武岩岩脈の貫入が確認できるほか（末岡ほか, 2016）、熱水等による局所的な再加熱も否定できない。黒雲母の塑性変形温度は約200~300°C以上と高温で（小坂, 1986）、数10~100年以下の短期間でもアパタイトFT（AFT）年代のリセットが期待できるため、最新活動面沿いを中心にFT解析を実施した。

結果・解釈

二次的加熱を受けていない江若花崗岩のAFT年代は約50Maだが（末岡ほか, 2016）、最新活動面沿いの3地点では、こ

れより有意に若い年代が得られた。また、AFT年代は概して玄武岩岩脈からの距離に応じて若返る傾向が認められた(図1a)。特に、玄武岩岩脈直近の3試料ではFT長測定によりtotal annealingが確認できたが、これらのAFT年代は玄武岩の貫入時期と誤差範囲で重なった。したがって、これらの年代の若返りの原因としては、19Maの玄武岩岩脈貫入の熱影響が示唆される。このことは、1次元熱伝導モデルおよびFTアニーリングモデルに基づいたforward計算の結果からも確かめられた(図1b)。以上より、本露頭の断層周辺が黒雲母の塑性変形温度まで加熱されたのは、(1)約68Maの江若花崗岩貫入直後の高温期か、(2)約19Maの玄武岩岩脈貫入時、と推定される。熱影響が及んだ範囲も考慮すると、 α 系と β 系が共役断層として活動していた時期は(1)に対応していると考えられる。一方、 α 系の最新活動面の右ずれは、(1)と(2)のいずれでも説明可能である。

謝辞

Barry Kohn教授(メルボルン大)には、FT長測定用のアパタイト試料に ^{252}Cf 照射処理をしていただいた。柴田健二氏(原子力機構)には、EPMAによるアパタイトのCl濃度測定を実施していただいた。

引用文献

- 鷹澤好博ほか(2013) 光ルミネッセンスと熱ルミネッセンスを利用した活断層破碎帯の年代測定法. 地質雑, 119, 714-726.
- 原子力機構(2014) 高速増殖原型炉もんじゅ敷地内破碎帯の追加地質調査 全体とりまとめ報告, <http://www.jaea.go.jp/04/turuga/jturuga/press/2014/03/p140328-2.pdf>.
- Ikeya M. et al. (1982) Dating of a fault by

- electron spin resonance on intrafault materials. *Science*, 215, 1392-1393.
- Ketcham R.A. (2005) Forward and inverse modeling of low-temperature thermochronometry data. *Rev. Min. Geochem.*, 58, 275-314.
- 小坂和夫(1986) in 唐戸俊一郎・鳥海光弘編, 固体と地球のレオロジー, 5-4節, 287-298.
- McCalpin J.P. (2009) *Paleoseismology* 2nd ed. Elsevier.
- Murakami M. & Tagami T. (2004) Dating pseudotachylyte of the Nojima Fault using the zircon fission-track method. *Geophys. Res. Lett.*, 31, doi: 10.1029/2004GL020211.
- 末岡 茂ほか(2016) 複数の熱年代学的手法に基づいた江若花崗岩敦賀岩体の冷却・削剥史. 地学雑誌, 125, 201-219.
- Watanabe Y. et al. (2008) Attempt to determine U-Th ages of calcite veins in the Nojima fault zone, Japan. *Geochem. Jour.*, 42, 507-513.
- Zwingmann H. & Mancktelow N. (2004) Timing of Alpine fault gouges. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 223, 415-425.

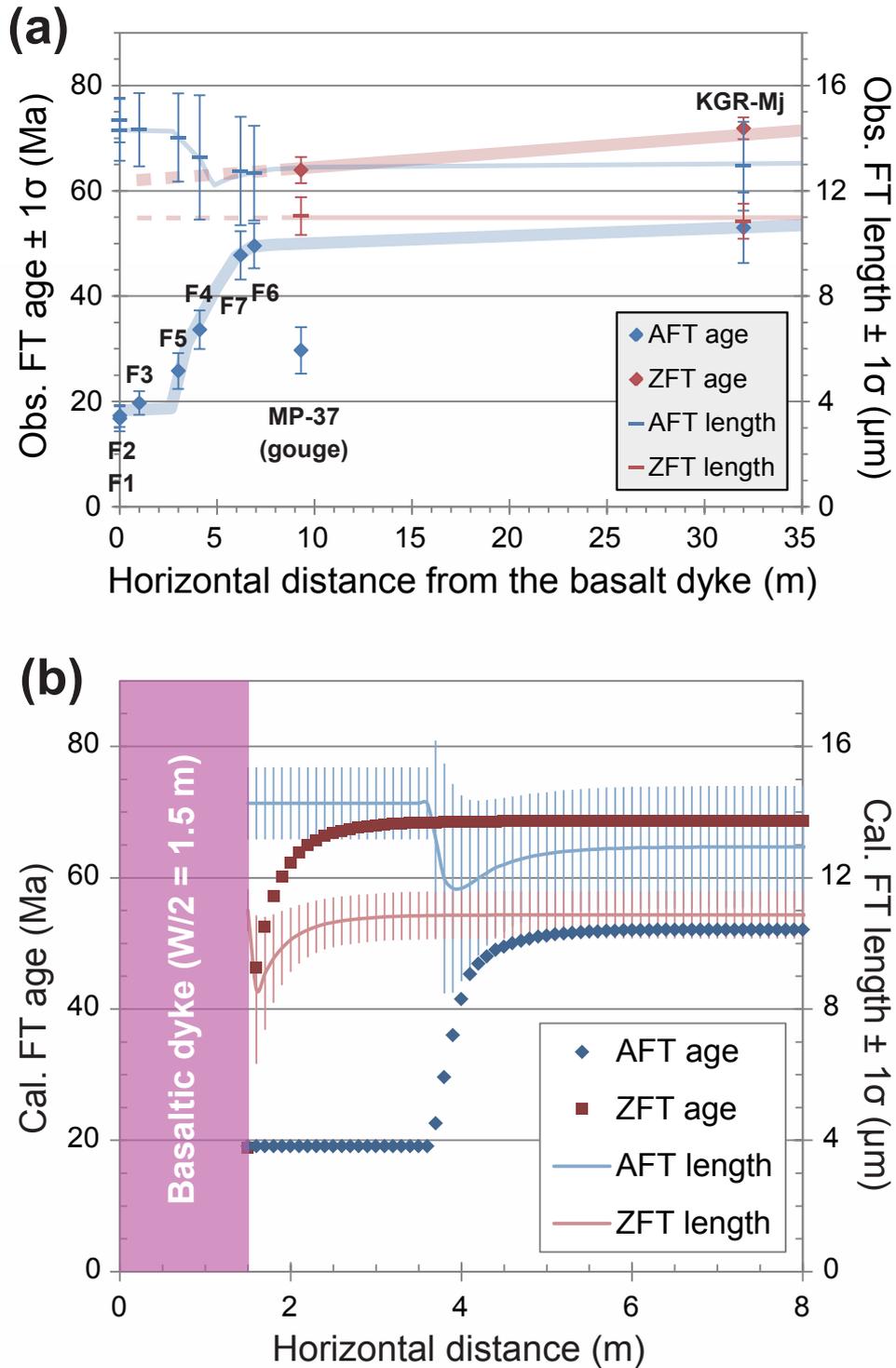


図1 玄武岩岩脈からの距離 vs. FT年代・FT長. (a) 観測値. (b) 理論値. 一次元熱伝導モデルで計算した玄武岩周辺の温度変化を用いて、HeFTy ver. 1.8.3 (Ketcham, 2005) で計算. 観測値と理論値は、絶対値・分布共におおむね調和的である.