

[15009]

南アルプス東縁に位置する糸魚川—静岡構造線の 放射線損傷ラジカル信号による年代測定

DATING OF THE ITOIGAWA-SHIZUOKA TECTONIC LINE LOCATED AT THE EAST EDGE OF JAPAN SOUTH ALPS USING RADIATION DEFECT RADICAL CENTERS

福地龍郎^{#A)}

Tatsuro Fukuchi ^{#A)}

^{A)} Graduate School of Education and Human Sciences, University of Yamanashi

Abstract

The seismic activity along the northern part of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL) located at the east edge of Japan South Alps has risen since the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. The northern part is recognized as an active fault system, while the fault activity of the central and southern parts have not been yet evaluated because no Quaternary sediment as an index for the assessment of fault activity exists along these parts. I carry out ESR dating of the black and gray fault gouges collected from the Dondoko-sawa outcrop located in the central and southern parts of the ISTL. As a result, the ESR age of 0.49 ± 0.09 Ma (Coefficient of determination $R=97.4\%$) is obtained from the black gouge using the hyperfine structure (hfs: $g=2.0187$) of the Al center in quartz, which is easiest reset by frictional heating at the time of fault movement. On the other hand, the ESR age of 0.50 ± 0.06 Ma ($R=99.3\%$) and 0.62 ± 0.10 Ma ($R=96.7\%$) are obtained from the gray gouge using the whole and hfs of the Al center, respectively. I conclude that the age (T_a) of the latest fault movement along the ISTL at the Dondoko-sawa outcrop is estimated as $T_a \leq 0.49 \sim 0.50 \pm 0.09$ Ma. This conclusion shows that the ISTL around the Dondoko-sawa outcrop is still active.

Keyword: ESR dating, radical center, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, Japan South Alps

1. はじめに

1.1 研究の目的

南アルプスは日本列島における最も活動的な変動地帯（隆起速度 $2 \sim 4$ mm/年）であり、南アルプス東縁に位置する糸魚川—静岡構造線（糸静線）は、第四紀後期に活動した活断層である北部区間と変動地形が不明瞭で活断層かどうか不明な中南部区間に分けることができる^[1,2]。北部区間では糸静線の活動履歴が詳しく調べられているのに対して、中南部区間では活断層であるかどうかの判定に必要な第四紀層が欠如しているため活動性評価がなされてこなかった。南アルプス東縁の糸静線全体が活動した場合、マグニチュード8クラスの巨大地震が発生することが想定され、特に中南部区間はリニア中央新幹線の想定ルートになっていることから社会に与える影響は甚大であり、糸静線の活動性評価は急務である。

そこで本研究（研究期間：平成 25～27 年度）では、南アルプス東縁の糸静線の内、過去の活動履歴が不明な中南部区間の断層露頭から断層破碎作用で生成される断層岩試料を採取し、断層岩から検出される放射線損傷起源のラジカル信号の人工ガンマ線照射による変化を ESR（電子スピン共鳴）装置を用いて調べると共に、ESR 年代測定を実施して糸静線の断層活動年代を求めることを研究目的とする。

1.2 断層の ESR 年代測定法の原理

断層の ESR 年代測定では、断層露頭から採取される断層岩試料に含まれる石英や粘土鉱物起源のラジカル信号が、断層活動時に発生する断層摩擦熱により一旦リセットされることを仮定している。断層摩

擦熱によりリセットされた各ラジカル信号は、その後、天然放射線による損傷を受けて再び生成・増大して行く。そこで、断層岩試料に人工ガンマ線を照射して各ラジカル信号の放射線損傷生成率を求めることにより、断層活動時から現在まで各ラジカル信が受けてきた放射線の総量である総被曝線量 (TD 値) を求めることができる。一方、各ラジカル信号が一年間に受ける放射線量である年間線量率 (D 値) は、断層岩の ICP 質量分析等により定量される放射性元素濃度を元に濃度—線量率換算表^[3]を使用して計算されるので、TD 値を D 値で割ることにより断層の ESR 年代値 (=TD/D) が決定される^[4]。上述したように、断層の ESR 年代測定では、断層摩擦熱で断層ガウジ中のラジカル信号がリセットされることを仮定しているが、地表付近では断層摩擦熱がそれ程上昇しない場合も起こり得るので、ラジカル信号が断層活動時に完全にリセットされる保証はない。従って、断層の ESR 年代値 (T_{ESR}) は、理論的には実際の最新活動年代 (T_a) の上限値を与えることになり、 $T_a \leq T_{\text{ESR}}$ という関係式が成り立つ^[5]。

1.3 これまでの進捗状況

平成 25～26 年度までに、糸静線中南部区間の糸静線の断層露頭（山梨県韮崎市戸沢及び石空川）から採取した断層岩試料の ESR 年代測定を実施した。その結果、活断層であることが既に判明している糸静線下田井断層の黒色脈状岩から石英起源の Al 及び Ti 中心の ESR 信号が検出され、それぞれ 1.3 ± 0.2 Ma 及び 2.0 ± 0.3 Ma という ESR 年代値が得られた。熱的安定性が異なる Al 及び Ti 中心の年代値は一致し

[15009]

ておらず、実際の最新活動年代 (T_a) は熱的に最も不安定な Al 中心から得られた年代値以降 ($T_a \leq 1.3 \pm 0.2$ Ma) であると判断され、推定されている活動年代 (2 万年前以降) と矛盾しない結果が得られた。

一方、活断層かどうか不明である糸静線鳳凰山断層の断層ガウジからはモンモリロナイトの四重信号が検出され、 $1.4 \sim 1.9 \pm 0.2$ Ma という第四紀を示す ESR 年代値が得られた。さらに、断層摩擦熱で最もリセットされ易い Al 中心の超微細構造 (hfs) を利用した年代測定の結果、 0.6 ± 0.1 Ma という若い年代値が得られた。以上の結果から鳳凰山断層の最新活動年代 (T_a) は、 $T_a \leq 0.6 \pm 0.1$ Ma であると評価され、これまで活動履歴が不明であった鳳凰山断層は中期更新世以降にも活動した活断層であることが新たに判明した^[5,6]。

2. 研究結果

2.1 断層岩試料

平成 27 年度は、糸静線中南部区間で鳳凰山断層石空川露頭の約 10 km 南方に位置する山梨県韮崎市ドンドコ沢の断層露頭から断層岩試料を採取した (Figure 1)。ドンドコ沢露頭の糸静線の活動性は全く不明である。本露頭では、糸静線の断層面沿いには最新の断層活動により形成された黒色及び灰色断層ガウジが分布している (Figure 2)。X 線回折分析によると、黒色及び灰色ガウジ (図中の Black gouge 及び Gray gouge) からは 110°C 以下で安定に存在できるスメクタイトが検出されており、断層露頭付近の隆起速度 ($2 \sim 3 \text{ mm/y}$) 及び地温勾配 ($3^\circ\text{C}/100 \text{ m}$) を仮定して黒色及び灰色ガウジの生成年代から糸静線の最新活動時期を見積もると、約 170~250 万年前以降となることから、ドンドコ沢露頭の糸静線は第四紀に活動した可能性が高いことが判明している。

2.2 ガンマ線照射実験

黒色及び灰色ガウジの ESR 測定を実施した結果、室温測定 (20°C) ではモンモリロナイトの四重信号が、低温測定 (77K) では石英の Al 中心の信号がそれぞれ検出され、ガンマ線照射により規則的に増大することが確認できた (Figure 3 及び 4)。ガンマ線照射は、日本原子力研究開発機構高崎量子応用研究所食品照射棟第 2 照射室のコバルト 60 線源を使用し、照射線量率 9.39 C/kg/h (吸収線量率 386.0 Gy/h) で実施した。また、ESR 測定には、山梨大学教育人間科学部福地研究室の日本電子製電子スピン共鳴装置 (JEOL RE3X) を使用した。測定条件は、マイクロ波周波数 $9.25 \sim 9.44 \text{ GHz}$ 、マイクロ波出力 1 mW 、変調磁場 100 kHz 0.05 mT 、応答時間 0.3 s 、磁場掃引速度 8 min./scan 、コンピュータ積算回数 3 回である。

2.3 ESR 年代測定

ガンマ線照射により規則的な増大が確認されたモンモリロナイト四重信号の B 信号 ($g = 2.011$) 及び C 信号 ($g = 1.997$)、石英 Al 中心及び Al 中心の超微細構造 ($g = 2.0187$) を用いて、黒色及び灰色ガウジ

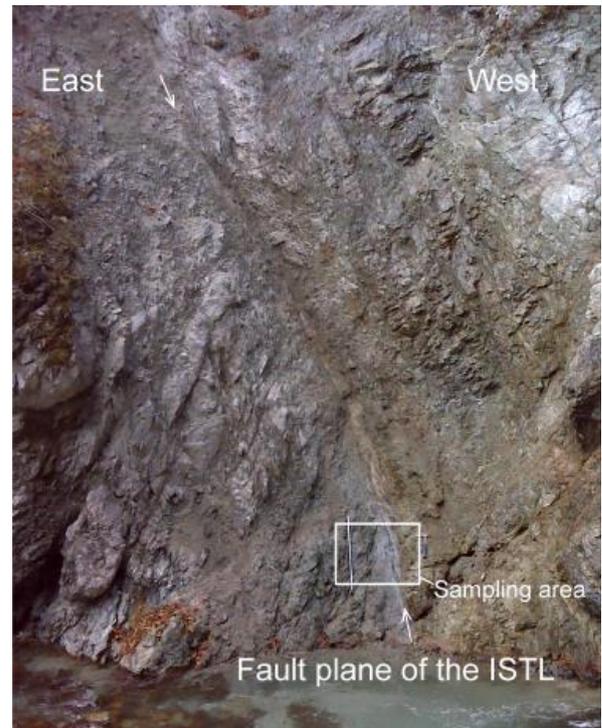


Figure 1. The Dondoko-sawa outcrop of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL).



Figure 2. An enlarged photograph of the sampling area in Figure 1.

の ESR 年代測定を実施した。ESR 年代値を求めるに当たり、含水比は 0.2 ± 0.1 、Rn 損失は $0 \sim 100\%$ 、 α 線損傷生成効率は 0.1 ± 0.05 とし、 α 線及び β 線の粒度に対する減衰因子は 1.00 とした。また、断層岩中の ^{238}U 、 ^{232}Th 及び K_2O 濃度は、エイキット株式会社において Agilent Technologies 社製 ICP-MS (7700x) を使用して決定し、Adamiec & Aitken (1998)^[3]の放射線量換算表及び Fukuchi & Imai (1998)^[7]の線量率補正式を使用して年間線量率を計算した。ESR 年代測定の結果、黒色ガウジの B 信号及び C 信号からは 1.19 ± 0.19 Ma (決定係数 $R = 97.3\%$) 及び 0.63 ± 0.13 Ma ($R = 93.9\%$)

[15009]

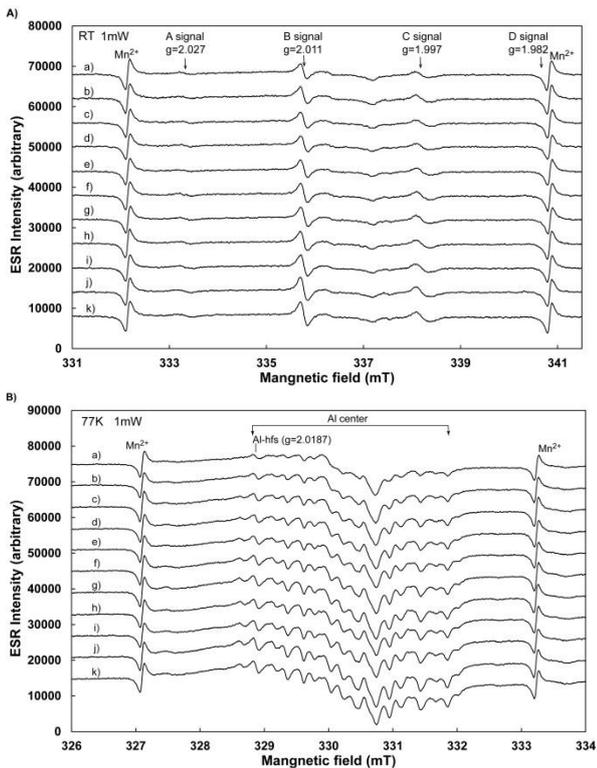


Figure 3. ESR spectra obtained from the black fault gouge of the ISTL. A) 20°C, B) 77K. a) 0 kGy, b) 0.39 kGy, c) 0.77 kGy, d) 1.16 kGy, e) 1.54 kGy, f) 1.93 kGy, g) 2.32 kGy, h) 2.70 kGy, i) 3.09 kGy, j) 3.47 kGy, k) 3.86 kGy.

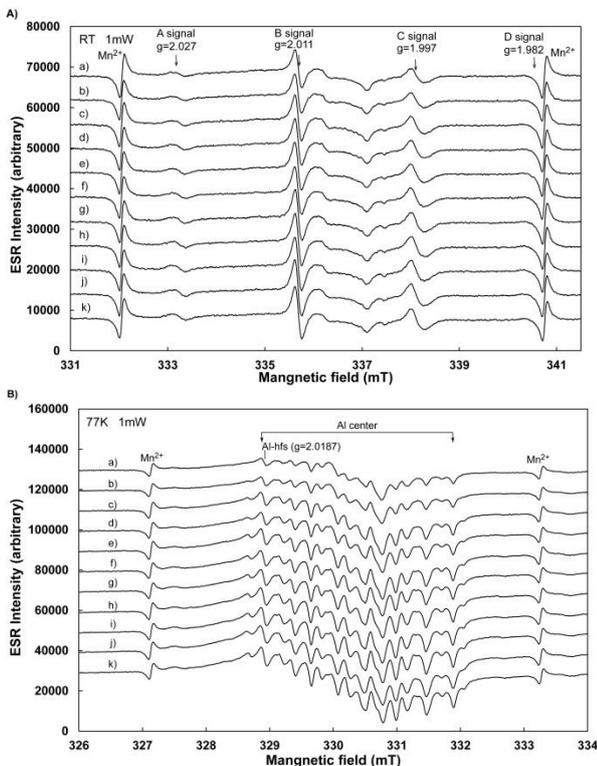


Figure 4. ESR spectra obtained from the gray fault gouge of the ISTL. A) 20°C, B) 77K. a) 0 kGy, b) 0.39 kGy, c) 0.77 kGy, d) 1.16 kGy, e) 1.54 kGy, f) 1.93 kGy, g) 2.32 kGy, h) 2.70 kGy, i) 3.09 kGy, j) 3.47 kGy, k) 3.86 kGy.

という年代値が得られたが、両者は同じ信号起源なので本来同じ年代値を示すはずであるが一致せず、C信号の決定係数も低いことから年代値の信頼性は低いと考えられる。また、Al 中心全体からは 1.02 ± 0.19 Ma ($R=94.8\%$) という信頼性の低い年代値が得られたのに対して、Al 中心 hfs からは 0.49 ± 0.09 Ma ($R=97.4\%$) という信頼性がやや高い年代値が得られた。一方、灰色ガウジの B 信号及び C 信号からは 0.69 ± 0.08 Ma ($R=99.2\%$) 及び 0.66 ± 0.09 Ma ($R=98.2\%$) という信頼性の高い一致した年代値が得られた。また、Al 中心の信号全体からは 0.50 ± 0.06 Ma ($R=99.3\%$) という信頼性の高い年代値が得られ、Al 中心 hfs からは 0.62 ± 0.10 Ma ($R=96.7\%$) という信頼性がやや低い年代値が得られた。

3. 結論

ドンドコ沢露頭の糸静線から採取した断層岩の ESR 年代測定の結果、黒色ガウジから見積もられる糸静線の最新活動年代は、 $T_a \leq 0.49 \pm 0.09$ Ma、灰色ガウジから見積もられる最新活動年代は、 $T_a \leq 0.50 \pm 0.06$ Ma となり、両者はほぼ一致している。従って、これまで断層活動性が不明であったドンドコ沢露頭の糸静線は $0.49 \sim 0.50 \pm 0.09$ Ma (更新世中期) 以降にも活動した活断層であると結論される。

4. 謝辞

本研究を実施するに当たり、断層露頭調査及び断層岩の X 線回折分析では、元山梨大学教育人間科学部卒論生の広瀬拓也氏に大変お世話になった。ガンマ線照射では、高崎量子応用研究所の八木紀彦氏並びに山縣諒平氏、大学開放研究室の大工原和子氏に大変お世話になった。また、ICP 質量分析では、エイキット(株)の高木英一氏にお世話になった。以上の方々に深く感謝する次第である。

参考文献

- [1] 国見利夫・他 (2001) 水準測量から求めた日本列島 100 年間の地殻上下変動. 国土地理院時報, No.96, p23-37.
- [2] 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2015) 糸魚川-静岡構造線断層帯の長期評価 (第二版). 地震に対する評価, 主要活断層帯の長期評価, 60pp.
- [3] G. Adamiec & M. Aitken (1998) *Ancient TL*, Vol.16, p.37-50.
- [4] 福地龍郎 (2004) ESR 法による断層活動年代測定—その原理と実践—. 深田研ライブラリー, No.63, 45pp.
- [5] 福地龍郎 (2015) ESR 年代測定法による断層活動性評価. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会講演要旨, SGL39-01.
- [6] T. Fukuchi & N. Imai (2016) Preliminary report on ESR dating using radical centers detected from the Hoozan fault gouge in the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault System. JAEA-Review 2015-022, 2-14, p.58.
- [7] T. Fukuchi & N. Imai (1998) In: Parnell, J. (ed.) Dating and Duration of Fluid Flow and Fluid-Rock Interaction. Geological Society, London Special Publications, Vol.144, p.261-277.