

[20008]

熱水生成鉱物起源 ESR 信号のガンマ線照射効果と断層年代測定への応用その 2

Gamma-irradiation Effect on ESR Signals Derived from Hydrothermal Minerals and Its Application to Fault Dating Part 2

福地龍郎^{#,A)}

Tatsuro Fukuchi ^{#,A)}

^{A)} Faculty of Education, Graduate Faculty of Interdisciplinary Research, University of Yamanashi

Abstract

I carried out ESR and X-ray diffraction (XRD) analyses of the samples extracted from the fractured Hoo-type granite distributed along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL) Active Fault System using sodium poly-tungstate (SPT) heavy solution (density: 2.59g/cm³). The ESR and XRD analyses reveal that the white minerals lighter than 2.59g/cm³ mainly consist of potash feldspar (orthoclase) and have Mo quartet signal which is intrinsic to montmorillonite. On the other hand, the white minerals heavier than 2.59g/cm³ mainly consist of quartz and/or plagioclase (albite) and have no Mo quartet signal. Moreover, fresh potash feldspar extracted from not fractured Hoo-type granite using the SPT heavy solution (density: 2.59g/cm³) has no Mo quartet signal. These results indicate that the Mo quartet signal detected from the fractured Hoo-type granite may have been formed by the hydrothermal alteration of potash feldspar (orthoclase) at the time of faulting. Therefore, the Mo quartet signal derived from the hydrothermally altered potash feldspar (orthoclase) may give the age of the hydrothermal alteration, that is, the absolute age of fault movement.

Keyword: ESR dating, Mo quartet signal, K-feldspar, hydrothermal alteration, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault System

1. はじめに

1.1 研究の目的

2018 年大阪府北部の地震 (M6.1) や 2018 年北海道胆振東部地震 (M6.7) など、未知の活断層を震源とする最大震度 6 弱~7 の地震が近年頻発しており、未認定活断層の活動性評価の重要性が益々高まっている。現在、断層活動性評価法として最も活用されている上載地層法は、放射性炭素 14 法による年代測定可能な有機物が断層母岩や上載地層に含まれていない場合や有機物の年代が 6 万年よりも古い場合には適用することはできず、上載地層法以外の断層活動性評価法の開発が期待されている。

ESR 年代測定法 (ESR 法) は、断層破砕物質 (断層ガウジ) 中に含まれる鉱物の ESR 信号が断層摩擦熱によりリセットされることを前提として断層活動の絶対年代を求める断層活動性評価法であるが、地表付近の断層活動では断層摩擦熱があまり上昇せず、ESR 信号のリセットが実現しないため、実際の活動年代よりも古い年代値が得られてしまうという問題点がある^[1-3]。そこで本研究 (研究期間: 令和元年度~3 年度) では、断層破砕作用に伴う熱水反応で生成される鉱物起源の ESR 信号のガンマ照射効果を調べ、断層活動年代測定への適用の可能性を検討することを目的とする。

1.2 前年度までの研究成果

令和元年度 (2019 年度) は、野島断層岩 (断層ガウジ) の源岩である野島花崗岩の粉末試料を用いた熱水反応実験 (240°C 1~2 週間) を実施した。その結

果、断層摩擦熱を受けた天然の断層ガウジから検出されるものと同様のフェリ磁性鉱物起源の FMR 信号が検出され、ガンマ線照射で増大することが確認された^[4]。また、熱水反応により FMR 信号が生成される場合には、石英 Al 中心や Ti 中心が大きく減衰あるいは消滅していることから、FMR 信号生成の有無が ESR 信号のリセット状態の判定に利用できる可能性があることが示された。一方、熱水生成鉱物であるスメクタイト (あるいはモンモリロナイト) や年代測定に利用可能なモンモリロナイト固有の Mo 四重信号^[5]は検出されなかった。

2. 研究結果

2.1 Mo 四重信号の起源

令和 2 年度 (2020 年度) は、前年度に引き続いて、熱水反応実験 (250°C 約 1 週間) を実施し、ガンマ線照射による変化を調べたが、年代測定に利用可能な Mo 四重信号は検出されなかった。また、スメクタイト (あるいはモンモリロナイト) が検出される試料から必ずしも Mo 四重信号が検出される訳ではないことが、これまでの研究から明らかになってきた。そこで今回、Mo 四重信号が検出される試料について詳しく調べて、Mo 四重信号の起源を明らかにし、熱水反応実験を実施するための基礎データとした。

Fig.1 には、糸魚川-静岡構造線 (糸静線) 活断層系を構成する白州断層の活動により破砕した鳳凰型花崗岩 (山梨県北杜市小淵沢町国界橋露頭) から検出される ESR スペクトルのガンマ線照射による変化を示す。ESR 測定及びガンマ線照射用として、破砕

[20008]

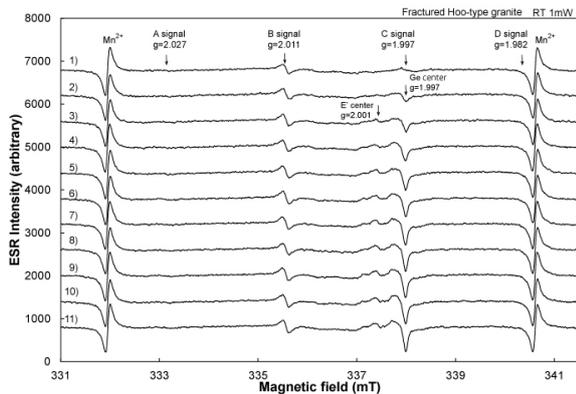


Figure 1. ESR spectra obtained from the white minerals in the fractured Hoo-type granite. 1) 0 kGy, 2) 0.381 kGy, 3) 0.761 kGy, 4) 1.142 kGy, 5) 1.523 kGy, 6) 1.903 kGy, 7) 2.284 kGy, 8) 2.665 kGy, 9) 3.045 kGy, 10) 3.426 kGy, 11) 3.807 kGy.

(鳳凰型) 花崗岩から篩で粒径 125~250 μm の粒子を抽出し、12N-HCl に 1 週間浸した後、20%NaOH で数時間浸した試料を使用した。ガンマ線照射は、高崎量子応用研究所食品照射棟 2 セルにおいて、線量率 9.26 C/kg/h で実施した。ESR 測定には、山梨大学大学院総合研究部教育学域科学教育講座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。測定条件は以下の通りである。測定温度: RT (室温), マイクロ波周波数: 9.44 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。

サンプル処理後の破碎花崗岩の ESR スペクトルからは、Mo 四重信号 (A 信号, B 信号, C 信号, D 信号) が検出され、B 信号がガンマ照射と共に徐々に増大して行くことが分かる (Fig.1)。また、ガンマ線照射後のスペクトルからは、石英を構成する Si イオンが Ge イオンと置換して電子を捕獲することにより出現する Ge 中心 ($g=1.997$) が検出されており、C 信号とオーバーラップしている。Ge 中心は天然では検出されないことが多いので、年代測定に用いる場合には注意が必要である。その他、石英の酸素空孔に電子が捕獲されることにより出現する E' 中心が、ガンマ線照射により検出されている。

検出された Mo 四重信号の起源を明らかにするために、重液 SPT (ポリタングステン酸ナトリウム) を用いて、密度を徐々に変化させながら試料の分離を試みた。その結果、密度 2.59g/cm³ を基準として、軽い白色鉱物と重い白色鉱物に分離できることが明らかになった。鳳凰型花崗岩に含まれる白色鉱物は、石英、斜長石及びカリ長石であり、密度 2.59g/cm³ は、石英の密度 2.65~2.7g/cm³ や斜長石の密度 2.62~2.76 g/cm³ よりも軽く、カリ長石 (正長石 orthoclase) の密度 2.56~2.6 g/cm³ に対応している。

重液分離した試料から検出される X 線回折 (XRD) パターンを Fig.2 に示す。XRD 分析は、山梨大学機器分析センターの Rigaku 製全自動多目的 X 線回折

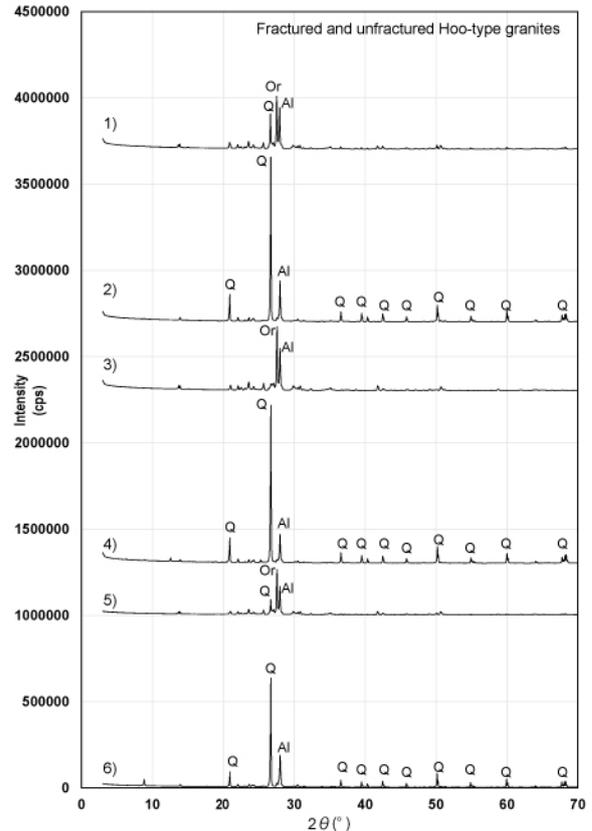


Figure 2. X-ray diffraction patterns obtained from the white minerals extracted from the fractured and unfractured Hoo-type granites using SPT heavy solution. 1) 125-250 μm grains lighter than 2.59 g/cm³ in the fractured granite, 2) 125-250 μm grains heavier than 2.59 g/cm³ in the fractured granite, 3) 250-500 μm grains lighter than 2.59 g/cm³ in the fractured granite, 4) 250-500 μm grains heavier than 2.59 g/cm³ in the fractured granite, 5) 125-250 μm grains lighter than 2.59 g/cm³ in the unfractured granite, 6) 125-250 μm grains heavier than 2.59 g/cm³ in the unfractured granite. Q: quartz, Al: albite, Or: orthoclase.

装置 SmartLab を使用して行った。測定条件は以下の通りである。ターゲット: Cu, 電圧及び電流: 40kV 30mA, ゴニオメータ: Rigaku SmartLab (Inplane), 検出器: D/teX Ultra, 掃引速度: 2°/min., 掃引幅: 0.02°。

Fig.2 には、破碎花崗岩から抽出した粒径 125~250 μm の粒子に加えて、粒径 250~500 μm の粒子と未破碎で新鮮な鳳凰型花崗岩を粉碎して抽出した粒径 125~250 μm の粒子を重液分離した時に得られる試料の XRD パターンも一緒に示してある。密度 2.59g/cm³ よりも軽い試料からは、いずれもカリ長石 (正長石) のピークが最も強く検出され、その他、斜長石 (曹長石) や石英のピークが検出された。これに対して、密度 2.59g/cm³ よりも重い試料からは、いずれも石英のピークが最も強く検出され、その他、斜長石 (曹長石) のピークが検出されたが、カリ長石 (正長石) のピークはほとんど検出されなかった。

重液分離した各試料から検出される ESR スペクトル

[20008]

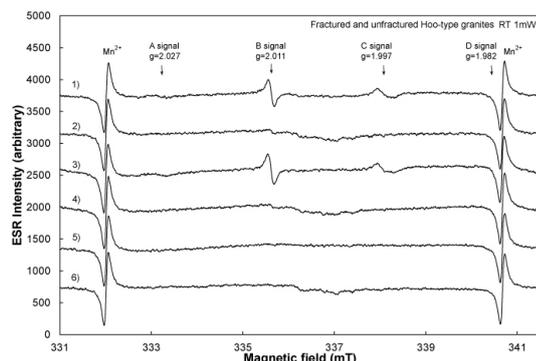


Figure 3. ESR spectra obtained from the white minerals extracted from the fractured and unfractured Hoo-type granites using SPT heavy solution. 1) 125-250 μm grains lighter than 2.59 g/cm in the fractured granite, 2) 125-250 μm grains heavier than 2.59 g/cm in the fractured granite, 3) 250-500 μm grains lighter than 2.59 g/cm in the fractured granite, 4) 250-500 μm grains heavier than 2.59 g/cm in the fractured granite, 5) 125-250 μm grains lighter than 2.59 g/cm in the unfractured granite, 4) 125-250 μm grains heavier than 2.59 g/cm in the unfractured granite.

ルを Fig.3 に示す。測定条件は、Fig.1 と同じである。破碎花崗岩の密度 2.59g/cm³ よりも軽い試料からは、いずれの粒度でも Mo 四重信号が検出されるのに対して、密度 2.59g/cm³ よりも重い試料からはいずれも検出されない。一方、新鮮な鳳凰花崗岩からは、密度 2.59g/cm³ よりも軽い試料及び重い試料共に Mo 四重信号が検出されることが明らかとなった。

3. 考察及び今後の課題

重液分離した試料の ESR 測定及び XRD 分析の結果、破碎花崗岩中の密度 2.59g/cm³ よりも軽い試料は、主にカリ長石（正長石）で構成されており、Mo 四重信号が検出されることが判明した。また、破碎花崗岩中の密度 2.59g/cm³ よりも重い試料は、主に石英および斜長石（曹長石）で構成されており、Mo 四重信号が検出されないことから、Mo 四重信号の起源はカリ長石（正長石）であると考えられる。さらに、新鮮な鳳凰花崗岩では、密度 2.59g/cm³ よりも軽い試料及び重い試料共に Mo 四重信号が検出されないことから、Mo 四重信号は、鳳凰型花崗岩中に含まれているカリ長石（正長石）が断層破碎作用による熱水変質を受けることにより、形成されるようになったと推定される。従って、Mo 四重信号を用いることにより、断層破碎作用による熱水変質（熱水反応）の年代、すなわち断層活動年代を求められる可能性がある。

今回、糸静線活断層系白州断層の活動により破碎した花崗岩を用いた実験によって、Mo 四重信号が熱水変質したカリ長石（正長石）起源であることが示す結果が得られたが、他の断層や花崗岩からも同様の結果が得られるかどうかについては、今後検証する必要がある。また、熱水変質カリ長石（正長石）起源の Mo 四重信号とモンモリロナイトから検出される Mo 四重信号との関係についても明らかにする必

要がある。さらに、Mo 四重信号が熱水反応によって形成されたことを実証するために、新鮮なカリ長石（正長石）試料を用いた熱水反応実験を実施する必要がある。

4. 謝辞

本研究で実施したガンマ線照射では、高崎量子応用研究所の八木紀彦氏及び山縣諒平氏、大学開放研究室の大工原和子氏に大変お世話になった。以上の方々に深く感謝する。

参考文献

- [1] 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.*
- [2] 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.
- [3] 福地龍郎 (2021) ESR 法による活断層の絶対年代測定と活動性評価—糸魚川—静岡構造線活断層系を例として—. *RADIOISOTOPES*, Vol.70, p.131-145. doi: 10.3769/radioisotopes.70.131
- [4] T. Fukuchi (2012) ESR techniques for the detection of seismic frictional heat. *In: D'Amico Sebastiano (ed.) Earthquake Research and Analysis: Seismology, Seismotectonics and Earthquake Geology. InTech-Open Access Publisher, Chapter 16, p.285-308.*
- [5] T. Fukuchi (1996) Quartet ESR signals detected from natural clay minerals and their applicability to radiation dosimetry and dating. *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.35, p.1977-1982.