

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K01326

研究課題名(和文)断層岩に含まれる粘土鉱物の生成年代を指標とした断層活動性評価法の開発

研究課題名(英文) Development of the technique for the assessment of fault activity using the formation age of clay minerals in fault rocks

研究代表者

福地 龍郎 (Fukuchi, Tatsuro)

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号：90212183

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、断層岩に含まれる粘土鉱物の生成年代を指標とする断層活動性評価法を開発することを目的として実施された。糸魚川-静岡構造線活断層系白州断層から採取した断層岩のESR及びXRD分析と熱水反応実験の結果、スメクタイトや熱水変質カリ長石から検出されるMo四重信号は・NH₃⁺ラジカルに起因し、NH₄⁺イオンを含む熱水反応によりスメクタイトやカリ長石中のK⁺やNa⁺イオンがNH₄⁺イオンと置換し、天然放射線によりNH₄⁺イオンのH原子が叩き出されて生成されると考えられる。Mo四重信号を用いることにより、断層破壊作用に伴う熱水反応の年代や粘土鉱物の生成年代を決定できることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原子力発電所直下に位置する断層の活動性評価は、日本のエネルギー政策を左右する重要な課題であるが、上載層が存在しない断層については活動性評価のための有効な手段が見当たらず、困難を極めている。断層活動性評価法の一つとして知られているESR年代測定法で最新活動年代を求めようとする場合、ESR信号のリセットが実現する地下深部から試料を採取しなければならないが、深部ボーリング掘削はコストが掛かり容易には実施できない。本研究手法では、地表の断層露頭から採取した断層岩試料をそのまま用いることができるので、コストを掛けずに活動性評価が実施できるのが利点である。

研究成果の概要(英文)：This study aims to develop a technique for the assessment of fault activity using the formation age of clay minerals in fault rocks. Experimental samples were collected from the Hakushu Fault, a part of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault system. ESR (electron spin resonance) and XRD (X-ray diffraction) analyses were carried out on the fault rocks, along with hydrothermal reaction experiments. The results show that the Mo quartet signals detected from smectite or thermally altered K-feldspar are attributed to the NH₃⁺ radical. Hydrothermal reactions involving NH₄⁺ ions may lead to the substitution of K⁺ and Na⁺ ions in smectite and K-feldspar with NH₄⁺ ions, and natural radiation results in the knock-on of H atoms in NH₄⁺ ions, leading to the generation of the NH₃⁺ radical, that is, the Mo quartet signals. The Mo quartet signals are applicable not only to the ages of hydrothermal reactions associated with faulting, but also to the formation ages of clay minerals.

研究分野：地球年代学，構造地質学

キーワード：活断層 糸魚川-静岡構造線 断層ガウジ モンモロナイト カリ長石 アンモニアラジカル 熱水反応 ESR年代測定

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 以後、東日本の地殻応力状態は激変し、いつ何処で活断層が活動しても可笑しくない状態が続いている (国土地理院, 2016) が、過去 100 年間の水準測量データで 2~4mm/年の非常に高い隆起速度を示す南アルプスの北縁に位置する糸魚川-静岡構造線 (糸静線) 活断層系では活動性の高まりが危惧されている (福地・他, 2016)。糸静線活断層系南部区間では、白州断層~下円井断層~市之瀬断層群へと繋がる活断層に認定されている部分と並行して、白州断層~鳳凰山断層~ドンドコ沢露頭~早川露頭へと繋がる地質構造線としての糸静線が分布しており、地質構造線としての糸静線では第四紀の上載層が存在しないために活動性評価が未だ実施されていない。これまでの予備的研究によると、下円井断層の断層ガウジからは地表付近で生成されるスメクタイトが検出されるのに対して、鳳凰山断層の断層ガウジからはスメクタイトは検出されず、より深部で生成される緑泥石/スメクタイト混合層やイライトが検出されることが判明している (福地・他, 2014ab)。

(2) 花崗岩などの火成岩が断層岩の母岩である場合、元々母岩中には粘土鉱物は含まれていないので、断層岩中に含まれる粘土鉱物は母岩生成後に発生した断層破砕作用により新たに生成されたと考えられる。断層破砕作用で破砕された長石類や雲母類は破砕帯内で水と反応することにより粘土鉱物化が進行するが、破砕鉱物と水が反応して粘土鉱物が生成するまでに要する時間は地質学的には一瞬であると考えられるので、断層破砕と粘土鉱物化は地質学的には同時期の現象であり、粘土鉱物の生成年代は断層活動年代を示すと考えられる (Fukuchi, 1996ab; 福地, 2004)。この場合、粘土鉱物は地表付近よりも温度の高い地下深部において生成され易いので、粘土鉱物の生成年代は最新活動年代ではなく、地下深部に位置していた時の過去の一活動年代を示すことになる。最新活動年代でなくても、更新世中期 (78~12.6 万年前) 以降の活動年代が得られれば、断層活動性評価に十分利用できると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、断層岩に含まれる粘土鉱物の生成年代を指標とする断層活動性評価法を開発することを目的とする。これまで実施された主に野島断層岩の ESR (電子スピン共鳴) 研究によると、モンモリロナイト (原論文中的表記: 以下、スメクタイトで用語統一) からは特徴的な強度比 (1:3:3:1) を持つ固有の四重信号 (Mo 四重信号) が検出され、スメクタイトの生成年代あるいは断層活動年代の決定に利用できると考えられている (Fukuchi, 1996ab)。Mo 四重信号はスメクタイトの層間中に存在するヒドロニウムイオン (H_3O^+) に起因すると考えられるが、純水での熱水反応では生成されず不明な点が多く存在する。そこで本研究では、Mo 四重信号を人工合成するために様々な pH 条件下で熱水反応実験を実施し、天然で得られる Mo 四重信号と同様の信号が生成されるかどうかの検証実験を行う。また、天然の断層露頭から採取される断層岩から検出される粘土鉱物を粉末 X 線回折 (XRD) 分析により同定し、検出された粘土鉱物の生成温度と断層露頭付近の地温勾配から生成深度を見積り、隆起速度を組み合わせ、粘土鉱物の生成年代を見積もる。Mo 四重信号が検出される断層岩試料については ESR 年代測定を実施し、ESR 年代値と生成深度から見積もられる粘土鉱物の生成年代の整合性について検討を行い、断層岩に含まれる粘土鉱物の生成年代を指標とする断層活動性評価法の有効性を総合的に判断する。

3. 研究の方法

(1) 本研究で行う各種分析及び熱水反応実験に使用する試料を採取するために、複数の活断層について断層露頭調査を実施する。調査対象とする活断層は花崗岩類を母岩とする活断層で、糸静線活断層系南部区間を構成する白州断層及び下葛木断層の他、地質断層としての糸静線 (ドンドコ沢露頭)、野島断層及び浅野断層、郷村断層及び山田断層である。これらの活断層から断層岩の採取を行い、XRD 分析により断層岩中に含まれている粘土鉱物の同定を行うと共に、ESR 測定により断層岩から Mo 四重信号が検出されるかどうかを調べ、本研究目的の達成に最適の活断層を選別する。

(2) 各断層露頭で採取した断層ガウジ試料から粘土鉱物を分離するために、水簸及びフィルターを用いて 2~8 μ m 以下の粒子を抽出し、不定方位試料を作成して XRD 分析を行う。XRD 分析の結果、XRD ピークの位置が重なるスメクタイトや緑泥石、緑泥石/スメクタイト混合層あるいはイライト/スメクタイト混合層が検出される場合には、エチレンジグリコール処理を行って粘土鉱物を同定する。また、XRD 分析を実施した断層ガウジ試料に対して ESR 測定を実施し、Mo 四重信号が検出される場合には ESR 年代測定を実施する。Mo 四重信号の同定は、四重信号の強度比 (1:3:3:1) の他、g 値及び超微細分裂定数 ($A=2.4mT$) によって行う (Fukuchi, 1996ab)。

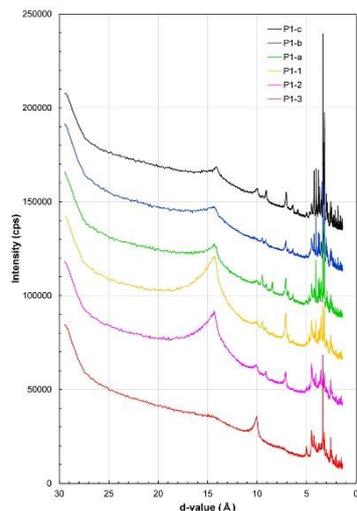
(3) 断層露頭から採取した断層岩の母岩試料や母岩から分離抽出した鉱物試料を用いて熱水反

応実験を行う。熱水反応に使用する純水に塩酸や水酸化ナトリウム等を加えて反応溶液の pH を調整し、加熱温度及び時間を変えて熱水反応実験を実施する。反応実験後、熱水反応試料に人工γ線照射を行い、Mo 四重信号が生成されているかどうかを ESR 測定により確認する。Mo 四重信号が検出される場合には、強度比 (1:3:3:1) を確認し、g 値及び超微細分裂定数を求めて同定を行い、天然の断層ガウジ試料から検出される ESR 信号との比較検討を行う。また、熱水反応前後の構成鉱物の変化については、XRD 分析により確認する。

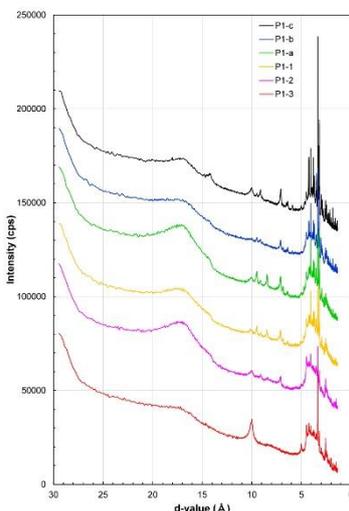
(4) 断層岩から検出された粘土鉱物の生成温度及び断層露頭付近の地温勾配から生成深度を見積り、隆起速度データから粘土鉱物の生成年代を見積もる。粘土鉱物の生成温度については、熱水反応実験結果からアレニウスの式を用いて見積もることを計画しているが、pH 条件等により生成温度が多岐に亘ることが予想されるので、生成温度の見積もりが困難な場合には、先行研究で見積もられている生成温度を用いる (吉村, 2001)。断層露頭付近の地温勾配については産業技術総合研究所が公表している地温勾配データを使用し (田中・他, 1999)、断層露頭付近の隆起速度については国土地理院が公表している測地学的データ及び地形学的・地質学的に見積もられているデータを使用する (国見・他, 2001; 国土地理院, 2002; 藤原・他, 2005)。

4. 研究成果

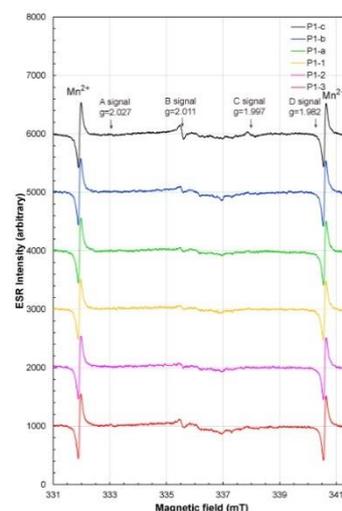
(1) 山梨県北杜市小淵沢町国界橋付近にある白州断層断層露頭 (国界橋露頭) では、白州断層を挟んで更新世中期の教来石礫層上に中新世中期の鳳凰型花崗岩が衝上している。XRD 分析の結果、本露頭の花崗岩質ガウジ (P1-a, P1-b) 及び破碎花崗岩 (P1-c), 教来石礫層 (P1-3) 及び同岩質ガウジと破碎岩 (P1-1, P1-2) からは、 $d=14.2\sim 14.5\text{ \AA}$ (スメクタイト又は緑泥石) 及び 10.0 \AA (イライト), 7.0 \AA (緑泥石) にピークが検出された (第 1 図)。 $14.2\sim 14.5\text{ \AA}$ のピークは、エチレングリコール (EG) 処理によって 17.0 \AA に変化することからスメクタイトに同定される (第 2 図, 白水, 2010)。また EG 処理後、 $14.2\sim 14.5\text{ \AA}$ には弱いピークが検出され、 7.0 \AA のピークは依然検出されることから、断層岩中には緑泥石も含まれていると考えられる。一方、これらの断層岩の ESR 測定結果では、いずれの試料からも Mo 四重信号が検出されている (第 3 図) が、野島断層岩の場合のように、Mo 四重信号の信号強度とスメクタイトの XRD 強度の間に相関関係は認められない。Mo 四重信号の信号強度とスメクタイトの XRD 強度の間に相関関係が認められない例は、下円井断層及び鳳凰山断層で確認された (福地・他, 2014a; 福地, 2021a) 他、郷村断層及び山田断層でも新たに確認された (Fukuchi, 2018; 2019; 2020)。なお、今回 XRD 分析を行った全ての活断層の断層岩からはスメクタイトが検出されており、スメクタイトの存在は活断層かどうかを判定する際に一つの指標になり得ると考えられる。



第 1 図 国界橋露頭白州断層岩から検出される XRD チャート (EG 処理前)



第 2 図 国界橋露頭白州断層岩から検出される XRD チャート (EG 処理後)



第 3 図 国界橋露頭白州断層岩から検出される ESR スペクトル

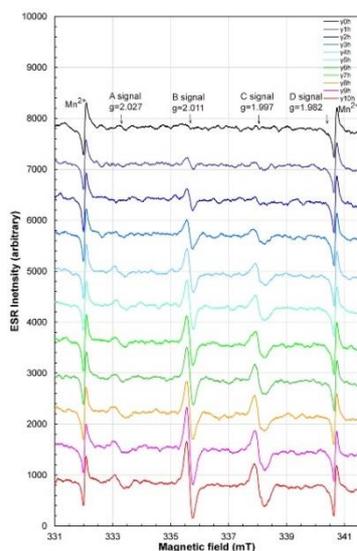
(2) 野島断層岩の研究では、Mo 四重信号の信号強度とスメクタイトの XRD 強度の間には相関関係が認められた (Fukuchi, 1996ab) が、日本各地に産出する活断層の断層岩を分析した結果、両者の間には必ずしも相関関係は認められず、Mo 四重信号はスメクタイト固有の信号ではない可能性が出てきた。そこで本研究では、Mo 四重信号の起源を明らかにするために、糸静線国界橋露頭の白州断層の断層岩を詳しく調べた。Mo 四重信号が検出される破碎花崗岩と全く検出されない新鮮な花崗岩 (鳳凰型花崗岩) を粉碎後、重液 SPT (ポリタングステン酸ナトリウム) を用いて密度 2.59 g/cm^3 以下の鉱物を分離・抽出し、XRD 分析及び ESR 測定を行った。その結果、本露頭の断層岩から検出される Mo 四重信号の起源は、熱水変質を被ったカリ長石 (正長石) であることが判明した (福地, 2021b; Fukuchi, 2022)。

(3) Mo 四重信号が、スメクタイトのみならず熱水変質カリ長石（正長石）から検出されることが判明したので、Mo 四重信号の形成メカニズムを解明するために、鳳凰型花崗岩から抽出した新鮮なカリ長石（正長石）を用いて、様々な pH 条件下で熱水反応実験を実施した。その結果、純水（H₂O）及び 10% HCl 水溶液での熱水反応後の試料からは熱水反応前の試料と同様の XRD パターンが検出され、 γ 線照射により Mo 四重信号は検出されず、熱水反応前と異なる ESR 信号は検出されなかった（福地，2022）。これに対して、6% NaOH 水溶液及び 10% NaOH 水溶液での熱水反応後の試料では、正長石や曹長石の XRD ピークが殆ど消滅して代わりに方沸石やカオリナイトのピークが検出され、 γ 線照射により Mo 四重信号とは別の線幅の広い単一のピークからなる未知の ESR 信号や複数のピークからなる未知の ESR 信号が検出された（福地，2022；Fukuchi, 2023）。これら未知の ESR 信号は方沸石やカオリナイトに起因すると考えられ、 γ 線照射で規則的に増大することから年代測定に適用可能であると考えられる。

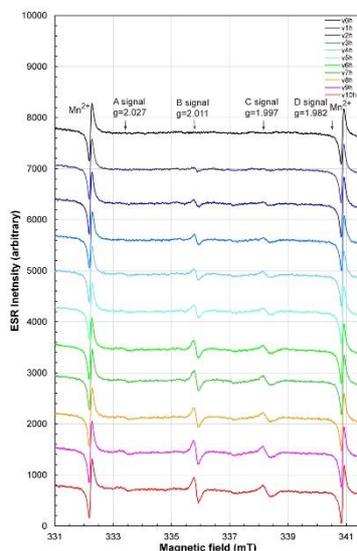
g 値及び超微細分裂定数に基づいて、Mo 四重信号はスメクタイトの層間中に存在するヒドロニウムイオン（H₃O⁺）に起因すると理論的に推定されている（Fukuchi, 1996ab）が、H₃O⁺イオンと同じ電子配置と同じ構造を持つ等電子的物質であれば、同様の四重信号が検出されても良い。H₃O⁺イオンと等電子的物質としては、アンモニアラジカル（ \cdot NH₃⁺）が知られており、実際に熱水変質したカリ長石から \cdot NH₃⁺ラジカルが検出される例が報告されている（Sasaoka et al., 1996）。そこで、 \cdot NH₃⁺ラジカルの前駆体と考えられるアンモニウムイオン（NH₄⁺）を純水に添加し、鳳凰型花崗岩の新鮮なカリ長石（正長石）を用いて熱水反応実験を実施した。NH₄⁺イオンとしては、10%塩化アンモニウム（NH₄Cl）水溶液を用いた。熱水反応後の試料に人工 γ 線を照射した時（照射時間 0~10h）の ESR スペクトルを第 4 図に示す。 γ 線照射により、天然の熱水変質カリ長石から検出される Mo 四重信号と同じ g 値及び超微細分裂定数を持ち、強度比 1:3:3:1 の四重信号が検出された。熱水変質カリ長石から Mo 四重信号が検出されるメカニズムとしては、NH₄⁺イオンを含む熱水反応によりカリ長石中の K⁺イオンが NH₄⁺イオンと置換し、 γ 線照射により NH₄⁺イオンの H 原子が叩き出されて、 \cdot NH₃⁺ラジカルが生成されると説明される。

鉱物中の陽イオンが NH₄⁺イオンと置換することで Mo 四重信号の前駆体が形成されるとすれば、スメクタイトの層間中に存在する K⁺や Na⁺などの陽イオンが NH₄⁺イオンと置換する可能性は十分高い。そこで、日本粘土学会標準試料である三川モンモリロナイト（JCSS-3102）を用いて、NH₄⁺イオンを添加した熱水反応実験を実施した。熱水反応試料に人工 γ 線を照射して ESR 測定を実施した結果、熱水変質カリ長石と同じ g 値と超微細分裂定数を持つ Mo 四重信号が生成されることが確認できた（第 5 図）。

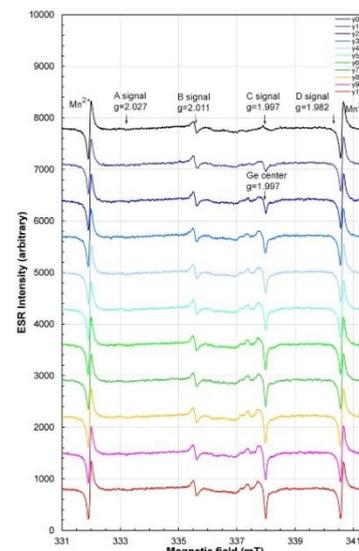
以上の結果より、Mo 四重信号は \cdot NH₃⁺ラジカルに起因すると結論される。 \cdot NH₃⁺ラジカルの前駆体である NH₄⁺イオンは、地下深部からのアンモニア（NH₃）ガスに由来すると考えられ、断層破碎時に NH₃ ガスが溶け込んだ地下水が断層破碎帯に浸透し、スメクタイトあるいはカリ長石中の陽イオンが NH₄⁺イオンと置換することにより形成されると考えられる。



第 4 図 NH₄⁺イオンを添加した水溶液中で熱水反応（250°C2 週間）後にカリ長石から検出される ESR スペクトルの γ 線照射（312.8Gy/h, 0~10h）による変化



第 5 図 NH₄⁺イオンを添加した水溶液中で熱水反応（250°C2 週間）後にスメクタイトから検出される ESR スペクトルの γ 線照射（295.5Gy/h, 0~10h）による変化



第 6 図 国界橋露頭白州断層の破碎花崗岩中の熱水変質カリ長石（P1-c）から検出される ESR スペクトルの γ 線照射（380.7Gy/h, 0~10h）による変化

(4) 白州断層国界橋露頭で採取された断層岩から検出される Mo 四重信号は、白州断層による断層破碎作用の際の熱水反応により生成されたと考えられる。Mo 四重信号を用いて ESR 年代測定を実施した結果、断層面直上の断層ガウジ（P1-a）の Mo 四重信号は飽和状態にあり年代値は求まらなかったが、破碎花崗岩中の熱水変質カリ長石（正長石）（P1-c）は γ 線照射により規則的に増大し（第 6 図）、 $1.38 \pm 0.32 \text{Ma}$ （ $R^2=0.75$ ）という ESR 年代値が得られた。なお、P1-c 試料

からは石英のGe中心 ($g=1.997$) も検出され、Mo四重信号のC信号とオーバーラップしている。断層面直上の断層ガウジは断層形成後に幾度となく破碎作用を被っているのに対して、断層面から離れた場所に位置する破碎花崗岩は一度断層破碎を受けた後はその後の断層活動の影響を殆ど被っていないと考えられる。従って、破碎花崗岩のMo四重信号から得られるESR年代値は、最新活動年代ではなく、過去の一つの断層活動年代を示すと考えられる。一方、本断層露頭の破碎花崗岩からはスメクタイトが検出されており、白州断層の断層破碎作用に伴う熱水反応によって生成されたと考えられる。本断層露頭(標高680m)付近における地温勾配は $40^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (深度501mにおける地温 83.9°C)と計測されており(田中・他, 1999), スメクタイトの形成温度は先行研究により $\leq 120^{\circ}\text{C}$ と見積もられている(吉村, 2001)ので、本露頭におけるスメクタイトの生成深度は深度1403.5m以浅と見積もられる。従って、本露頭を含む周辺地域の隆起速度を $0.9\sim 2.0\text{mm}/\text{y}$ とする(国見・他, 2001; 国土地理院, 2002; 藤原・他, 2005)と、スメクタイトの生成年代は $\leq 1.0\sim 2.3\text{Ma}$ と見積もられ、ESR年代値とほぼ一致していることが分かる。

以上のように、断層岩に含まれる粘土鉱物の生成年代を断層破碎作用に伴う熱水反応で生成されるMo四重信号で求めることで粘土鉱物の生成年代の精度を向上させることができ、粘土鉱物を指標とする断層活動性評価法の有効性を高めることができると考えられる。

<引用文献>

- 藤原治・柳田誠・三箇智二・守屋俊文(2005) 地層処分からみた日本列島の隆起・侵食に関する研究. 原子力バックエンド研究, 11, 2, 113-124.
- T. Fukuchi (1996a) Quartet ESR signals detected from natural clay minerals and their applicability to radiation dosimetry and dating. Japanese Journal of Applied Physics, 35, 3, 1977-1982.
- T. Fukuchi (1996b) Direct ESR dating of fault clay gouge using clay minerals and the assessment of fault activity. Engineering Geology, 43, 201-211.
- 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.
- T. Fukuchi (2018) ESR dating of the Gomura fault distributed on Tango Peninsula using radiation defect radical centers. QST Takasaki Annual Report 2016, 3-35, p.162.
- T. Fukuchi (2019) Dating of the Yamada fault distributed on Tango Peninsula using radiation defect radical centers. QST Takasaki Annual Report 2017, 3-22, p.142.
- T. Fukuchi (2020) Dating of the Yamada fault distributed on Tango Peninsula using radiation defect radical centers Part2. QST Takasaki Annual Report 2018, 3-10, p.112.
- 福地龍郎(2021a) 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, 78, 131-145.
- 福地龍郎(2021b) 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. 2020年度日本原子力研究開発機構・量子科学技術研究開発機構施設利用共同研究一般研究成果報告書, 20008.
- T. Fukuchi (2022) Gamma-irradiation effect on ESR signals derived from hydrothermally altered minerals and its application to fault dating. QST Takasaki Annual Report 2020, 1-41, p.66.
- 福地龍郎(2022) 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3. 2021年度日本原子力研究開発機構・量子科学技術研究開発機構施設利用共同研究一般研究成果報告書, 21006.
- T. Fukuchi (2023) Gamma-irradiation effect on radical centers derived from hydrothermally altered potassium feldspar and its application to fault dating. QST Takasaki Annual Report 2021, 1-40, p.67.
- 福地龍郎・田中真実・橘田拓人・今井 登(2014a) 糸魚川—静岡構造線活断層系下田井断層及び鳳凰山断層の ESR 年代測定. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会講演要旨, SSS34-P16.
- 福地龍郎・田中真実・橘田拓人・今井 登(2014b) 断層岩を用いた断層活動性評価: 糸魚川—静岡構造線活断層系を例として. 日本地質学会第121年学術大会講演要旨, R24-P-3.
- 福地龍郎・稲村勇人・田口大志・広瀬拓也(2016) 南アルプス及び周辺地域の活断層分布と地震活動変化. 山梨大学教育人間科学部紀要, 第17巻(通巻24号).
- 国土地理院(2002) 水準測量から求めた全国の上下変動. 地震予知連絡会誌, 67, 10-7, 555.
- 国土地理院(2016) GEONETによる観測結果, 地震時の地殻変動と地震後の余効変動. 特集・平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震から5年, 国土地理院ホームページ.
- 国見利夫・高野良仁・鈴木実・斎藤正・成田次範・岡村盛司(2001) 水準測量データ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, 23-37.
- H. Sasaoka, C. Yamanaka and M. Ikeya (1996) Is the quartet due to $/\text{CH}_3$ and $/\text{C}_2\text{H}_5$ or $/\text{NH}_3^+$ in alkali feldspars? Applied Radiation and Isotopes, 47, 11/12, 1415-1417.
- 白水晴雄(2010) 粘土鉱物学—粘土鉱物学の基礎, 新装版. 朝倉書店, 185pp.
- 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.
- 吉村尚久編著(2001) 粘土鉱物と変質作用, 地学双書 32, 地学団体研究会, 293pp.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Tatsuro Fukuchi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Gamma-irradiation effect on ESR signals derived from hydrothermally altered minerals and its application to fault dating	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 QST Takasaki Annual Report	6. 最初と最後の頁 66-66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 坂下 晋・岡田真介・今井幹浩・今泉俊文・岡田篤正・中村教博・福地龍郎・楳原京子・城森 明・戸田茂・松多信尚・山口 覚・松原由和・山本正人・外處 仁	4. 巻 75
2. 論文標題 横ずれ断層における各種物理探査の適用可能性の検討 (その2; S波極浅層反射法探査および比抵抗2次元探査) - 郷村断層帯および山田断層帯における事例 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 物理探査	6. 最初と最後の頁 1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 福地龍郎	4. 巻 21006
2. 論文標題 熱水生成鉱物起源ESR信号のガンマ線照射効果と断層活動年代測定への応用その3	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2021年度量子科学技術研究開発機構施設利用共同研究一般共同研究成果報告書	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 福地 龍郎	4. 巻 70
2. 論文標題 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	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RADIOISOTOPES	6. 最初と最後の頁 131-145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3769/radioisotopes.70.131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 福地 龍郎	4. 巻 31
2. 論文標題 糸魚川 - 静岡構造線活断層系沿いで発生する地震の特性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 山梨大学教育学部紀要	6. 最初と最後の頁 137-154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tatsuro Fukuchi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Gamma-irradiation effect on ESR signals derived from hydrothermal minerals and its application to fault dating	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 QST Takasaki Annual Report	6. 最初と最後の頁 77-77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 福地 龍郎	4. 巻 20008
2. 論文標題 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	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2020年度量子科学技術研究開発機構施設利用共同研究一般共同研究成果報告書	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 福地 龍郎	4. 巻 30
2. 論文標題 甲府盆地の形成過程に関する一考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 山梨大学教育学部紀要	6. 最初と最後の頁 103-119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tatsuro Fukuchi	4. 巻 2018
2. 論文標題 Dating of the Yamada fault distributed on Tango Peninsula using radiation defect radical centers Part 2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 QST Takasaki Annual Report	6. 最初と最後の頁 112-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 福地 龍郎	4. 巻 19009
2. 論文標題 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1	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2019年度日本原子力研究開発機構・量子科学技術研究開発機構施設利用共同研究一般共同研究成果報告書	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 岡田 真介・坂下 晋・今泉 俊文・岡田 篤正・中村 教博・福地 龍郎・松多 信尚・楳原 京子・戸田 茂・山口 覚・松原 由和・山本 正人・外處 仁・今井 幹浩・城森 明	4. 巻 71
2. 論文標題 横ずれ断層における各種物理探査の適用可能性の検討 (その1: 浅層反射法地震探査・屈折法地震探査・CSAMT探査・重力探査) 郷村断層帯および山田断層帯における事例ー	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 物理探査	6. 最初と最後の頁 103-125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3124/segj.71.103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tatsuro Fukuchi	4. 巻 2017
2. 論文標題 ESR dating of the Yamada fault distributed on Tango Peninsula using radiation defect radical centers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 QST Takasaki Annual Report	6. 最初と最後の頁 142-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 福地龍郎・早川綾子	4. 巻 第26号
2. 論文標題 日本アルプス及び周辺地域の活断層分布と地震活動変化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 山梨大学教育学部紀要	6. 最初と最後の頁 133-145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 福地龍郎・早川綾子	4. 巻 第27号
2. 論文標題 糸魚川 - 静岡構造線活断層系沿いに分布する地震空白域について	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 山梨大学教育学部紀要	6. 最初と最後の頁 75-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計2件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 福地 龍郎・早川 綾子
2. 発表標題 糸魚川 - 静岡構造線活断層系沿いに分布する地震空白域について
3. 学会等名 日本地質学会中部支部2018年支部年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Fukuchi, C. Miyakawa, A. Hayakawa, A. Tsutsumi, R. Nakano, Y. Namiki, H. Iida
2. 発表標題 ESR technique for the assessment of fault activity; an approach from frictional tests using the Asano fault gouge collected by a trenching survey
3. 学会等名 JpGu-AGU Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

糸魚川 - 静岡構造線の研究
<http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~tfukuchi/sub3.htm>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	宮川 千絵 (Miyakawa Chie)	山梨大学・大学院総合研究部・非常勤研究員	
研究協力者	早川 綾子 (Hayakawa Ayako)	山梨大学・大学院総合研究部・非常勤職員	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------