丹後半島に分布する郷村断層及び山田断層の 放射線損傷ラジカル信号による年代測定

DATING OF THE GOMURA AND YAMADA FAULTS DISTRIBUTED ON TANGO PENINSULA USING RADIATION DEFECT RADICAL CENTERS

福地龍郎#,A)

Tatsuro Fukuchi #,A)

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

Abstract

In order to evaluate the activity of faults in the region with unclear tectonic landform and without Quaternary overlying sediments, we have no choice but to estimate the age of the latest fault movement from the formation age of fault gouge or from the age of resetting induced by frictional heating using absolute dating techniques such as the ESR (electron spin resonance) dating method. I carry out ESR dating of the fault gouge collected from the Gomura fault located in Kyotango city on Tango Peninsula, which caused the 1927 Kita Tango earthquake. As a result, the ESR age of $0.36 \sim 0.56 \pm 0.11$ Ma is obtained from the fault gouge using some radical centers derived from montmorillonite and quartz. This result means that the age (T_a) of the latest fault movement along the Gomura fault is estimated as T_a $\leq 0.36 \sim 0.56 \pm 0.11$ Ma, and thus it supports that the principle of ESR dating of fault movement is effective. I conclude that the ESR dating technique is available for the assessment of fault activity of unrecognized active faults that have moved in the Middle Pleistocene.

Keyword: ESR dating, radical center, Gomura fault, Yamada fault, Tango Peninsula, 1927 Kita Tango earthquake

1. はじめに

1.1 研究の目的

原子力発電所(原発)周辺に分布する断層の活動 性は、原発の耐震設計における基準地震動(発生す る可能性がある最大の地震の揺れ)の策定に大きく 影響する。現在、断層活動性評価法として活用され ている上載地層法は,放射性炭素14(¹⁴C)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 まれている場合には有効であるが、断層母岩や上載 地層に有機物が存在しない場合も少なくなく、断層 の活動時期の特定が困難なことも多い。また、上載 地層法は断層の活動年代を直接見積もる絶対年代測 定法ではなく, 断層が変位している地層と断層を覆 っている地層の年代から断層の活動年代を推定する 相対年代測定法であるので、より古い活断層の場合 には推定年代幅が広すぎて活動性評価ができないこ ともあり, 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、断層すべりに伴う 断層破砕作用で生成する断層岩を試料として、断層 岩中に含まれる石英や粘土鉱物起源のラジカル信号

(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見積もる断層 活動性評価法である。本研究(研究期間:平成28年 度~30年度)では,原発銀座と呼ばれる若狭湾に面 する丹後半島に分布する活断層である郷村断層及び 山田断層を研究対象として,ESR 法による断層活動 性評価法の有効性と適用限界を明らかにすることを 目的とする。

1.2 断層の ESR 年代測定法の原理

上述したように,断層の ESR 年代測定法では,断 層露頭から採取される断層岩試料(断層ガウジ)に 含まれる石英や粘土鉱物起源の各ラジカル信号が, 断層すべりに伴い発生する断層摩擦熱で一旦リセッ 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、断層ガウジ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効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号が被曝して きた放射線の総量である総被曝線量(TD 値)を見積 もることができる。一方、各ラジカル信号が一年間 に被曝する放射線量である年間線量率(D値)は, ICP 質量分析法等により定量される断層ガウジ中の ²³⁸U, ²³²Th, K₂O 濃度から放射線量率換算表^[1]を使用 して計算され, 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^[2]。しかし. 断層摩擦熱で断層ガウジ中のラジカル信号が完全に リセットされる保証はなく、地表付近では封圧が小 さいこともあり、断層摩擦熱がほとんど上昇しない 場合もあり得る。活断層は繰り返し活動するので, 最新断層活動時にラジカル信号が完全にリセットさ れない場合,得られる TD 値は過剰見積もりとなる ので、ESR 年代値は実際の最新活動年代(T_a)より も古い値を示す。従って、断層の ESR 年代値(Tesr) は,理論的には最新活動年代の上限値を与えること になり、 $T_a \leq T_{esr}$ という関係式が成り立つ^[3]。

[16004]

2. 研究結果

2.1 断層岩試料

今回は、丹後半島に分布する活断層である郷村断 層の断層露頭(京丹後市郷地区)から採取した断層 岩試料のESR 年代測定を実施した。郷村断層の断層 岩試料の写真をFig.1 に示す。郷村断層の最新断層活 動は1927 年北丹後地震の時であり、その時に変位し たと考えられる断層面(図中の fault plane)沿いには 断層ガウジ(a~d)が数 mm~1cm 程度で発達して いる。

各断層ガウジ (a~d) から検出される ESR スペク トルを Fig.2 に示す。ESR 測定には、山梨大学教育学 部科学文化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:マイクロ波周波数 9.25~9.44 GHz,マイクロ波出力 1 mW 及び 0.01 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。

室温(RT)及び低温(77K)による ESR 測定の結 果,各断層ガウジ($a\sim d$)からは年代測定に利用で きるラジカル信号であるモンモリロナイト(Mo)四 重信号($A\sim D$ 信号)の他,石英 E'中心(surface E' 中心及び E_i '中心),石英 Al 中心及び Ti 中心が検出 された^[2]。また,1927年北丹後地震時に変位した最 新活動面上の断層ガウジ b と c では,各ラジカル信 号はリセットされておらず,1927年の地震時には断 層摩擦熱がそれ程上昇しなかったことが示唆される。

2.2 ガンマ線照射実験

最新活動面に接する断層ガウジ b にガンマ線照 射した時の ESR スペクトルの変化を Fig.3 に示す。 ガンマ線照射は、日本原子力研究開発機構高崎量子 応用研究所の食品照射棟第 2 照射室のコバルト 60 線源を使用し、照射線量率 9.49 C/kg/h (吸収線量率 390.2 Gy/h) で実施した。Mo 四重信号、石英の機械 的破断により形成される surface E'中心や石英中の 不純物起源の Al 中心及び Ti 中心は、ガンマ線照射 により規則的に増大することが確認できる。一方、 石英の結晶内部に形成される E₁'中心は、ガンマ線照 射によりそれ程増大せず、飽和傾向を示している。

2.3 ESR 年代測定結果

ガンマ線照射により規則的に増大する Mo 四重信 号の B 信号 (g=2.011) 及び C 信号 (g=1.997),石 英 surface E'中心,Al 中心及び Al 中心の超微細構造 hfs (g=2.0187),Ti 中心を用いて,断層ガウジ b 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 0.145±0.1,Rn 損失は 0~100%, 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 ²³⁸U,²³²Th 及び K₂O 濃度は,エイキット(㈱におい て Agilent Technologies 社製 ICP-MS (7700x)を使用 して決定し,Adamiec & Aitken (1998)^[1]の放射線量換 算表及び Fukuchi & Imai (1998)^[4]の線量率補正式を



Figure 1. The Gomura fault gouge used for ESR dating.



Figure 2. ESR spectra obtained from the Gomura fault gouge. A) RT, 1mW, B) RT, 0.01mW, C) 77K, 1mW.

[16004]

ESR 年代測定の結果,最新活動面に接する断層ガ ウジから検出される Mo 四重信号の B 信号から 0.51±0.09 Ma (決定定数 R=99.1%), C 信号から 0.36±0.06Ma (R=99.1%),石英 surface E'中心から 0.43±0.07 Ma (R=99.3%),石英 Al 中心 (全体)か ら 0.56±0.11 Ma (R=96.2%), Al 中心 hfs から 0.57± 0.24 Ma (R=77.7%)というほぼ一致した年代値が高 い信頼度(決定定数)で得られた。また,石英 Ti 中 心からは 0.90±0.18 Ma (95.7%)という少し古い年 代値が得られた。

3. 結論

地表付近の断層露頭から採取された郷村断層ガウ ジの ESR 年代測定の結果, 1927 北丹後地震時に活動 した郷村断層の最新活動年代は、T₂≤0.36~0.56±0.11 Maとなり、ESR 年代測定法の原理が成り立っている ことが検証された。それと同時に、上載地層法では 通常適用困難な中期更新世に活動した未認定活断層 の活動性評価にESR法が有効であることが示された。 一方, 郷村断層ガウジ中のラジカル信号は 1927 年北 丹後地震の時にはリセットされていないことから最 新活動年代そのものを示してはいない反面,熱的安 定性が異なる複数の信号から得られる ESR 年代値が 誤差範囲内でほぼ一致していたことから、断層が地 下深部に位置していた時に発生した過去の断層活動 により熱的に不安定な石英 AI 中心の信号がリセッ トし、Mo四重信号や surface E'中心が断層破砕作用 により新たに生成された可能性が指摘される。今回 の結果により、断層摩擦熱が上昇して ESR 信号のリ セットが実現する地下深部からボーリング掘削によ り断層岩試料を採取しなくても、地表付近の断層露 頭から採取した断層岩試料を用いて断層活動性評価 が可能であることが示された。

4. 謝辞

本研究で使用した断層岩試料は,平成26年度原子 力施設等防災対策等委託費(丹後地域における地質 構造等に係る調査)事業で発掘された断層露頭から 採取された。断層岩試料の採取では,東北大学大学 院今泉俊文教授及び岡田真介助教,応用地質㈱の阿 部恒平氏及び村上雅紀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 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。また,ICP 質量分析では,エ イキット㈱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

- G. Adamiec & M. Aitken (1998) Ancient TL, Vol.16, p.37-50.
- [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(2015) ESR 年代測定法による 断層活動性評



Figure 3. ESR spectra obtained from the Gomura fault gouge b. A) RT, 1mW, B) RT, 0.01mW, C) 77K, 1mW. 1) 0 kGy, 2) 0.39 kGy, 3) 0.78 kGy, 4) 1.17 kGy, 5) 1.56 kGy, 6) 1.95 kGy, 7) 2.34 kGy, 8) 2.73 kGy, 9) 3.12 kGy, 10) 3.51 kGy, 11) 3.90 kGy.

- 価. 日本地球惑星科学連合 2015 年大会講演要旨, SGL39-01.
- [4] 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.