

日本の山岳地域におけるESR熱年代学の適用 —試料の前処理によるESR信号への影響の評価—

梶田 侑弥*・末岡 茂**・谷 篤史*** ****・磯谷 舟佑***・田上 高広*

Application of ESR thermochronology for mountains in Japan:
an assessment of ESR signal variation caused by sample preparation

Yuya Kajita*, Shigeru Sueoka**, Atsushi Tani*** ****, Shusuke Isogai***
and Takahiro Tagami*

* 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, Graduate School of Science, Kyoto University

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

*** 神戸大学大学院人間発達環境学研究科人間環境学専攻, Department of Human Environmental Science, Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University

**** 神戸大学分子フォトサイエンス研究センターテラヘルツ化学研究部門, Division of Terahertz Molecular Chemistry Laboratory, Molecular Photoscience Research Center, Kobe University

はじめに

近年、低温熱年代学の手法を用いて、若い島弧である日本列島の山地の隆起・削剥史の推定が可能になってきた(末岡ほか, 2015; 福田ほか, 2021)。しかし、おおよそ現在のプレート配置となった第四紀以降の隆起・削剥史は、未だに制約が困難な場合も多い。これは、アパタイトフィッシュン・トラック法(閉鎖温度約90~120°C; Ketcham et al., 1999)をはじめとした従来の低温熱年代計では、第四紀の地殻変動を直接捉えるには閉鎖温度が高すぎるためである。そこで、より閉鎖温度の低い「超低温熱年代学」の開発が課題となっている。

電子スピン共鳴(ESR)法は、超低温熱年代計として期待される手法の1つである。ESR法は試料中の不対電子量を測定することで年代を算出する。対象となる物質と不対電子の環境は様々であるが、石英中のAl中心とTi中心を利用したESR法が断層ガウジ、火山灰、堆積物の年代決定に対して多く実施されてきた(Toyoda et al., 2015)。石英中のAl・Ti中心では、閉鎖温度はおおよそ24~64°C(ボーリングコア試料を用いたFang and Grün(2020)で求められたカイネティクスパラメータをもとに冷却速度

1~100 °C/Mryで算出)と超低温である。近年、年代測定手法の改良(Tsukamoto et al., 2015)と熱安定性に関する新たなモデリング(Lambert, 2018)によって、ESR法を応用した隆起・削剥史の推定が試されるようになった。ただし、応用研究は未だに少数である(King et al., 2020, 2022)。そのため、熱年代計としてのESR法の妥当性の検証を含め、研究事例の蓄積が求められる。

本研究では、ESR熱年代学の日本の山岳地域への適用の前段階として、試料の前処理が年代値に及ぼす影響について議論する。試料の露光や粉碎によって年代値が変化する可能性が指摘されている(e.g., Tissoux et al., 2007; Lee and Schwarcz, 1993)一方で、現状では適切な試料準備手法に関する議論が進んでいない。そこで、天然試料および人工石英を用いた露光・粉碎実験を実施した。なお、ESR測定は全て磁場 330±25 mT, マイクロ波出力 1 mW, 磁場変調幅 0.1 mT, 温度 77 K(液体窒素)の条件で行った。

光曝露実験

光曝露の影響検討を目的に、木曾山脈の花崗岩から抽出した石英粉末試料 200 mgを試験管

に封入して、実験室窓際に3日間放置する実験を実施した。その結果、放置前後でESRシグナル強度に変化は観察されず、天然試料の場合、室内での試料準備程度の光曝露なら問題は無いと思われる。

粉碎実験

試料の粉碎の効果を検討するために、人工石英の粉碎と γ 線照射を、順序を変えて行う実験を実施した。まず人工石英をステンレス乳鉢で粉碎し、そのままの状態ですべて測定したところ、Al・Ti中心ともに信号が観察されなかった。粉碎した試料に γ 線を約1500 Gy照射するとAl中心の信号が観察されるようになったが、Ti中心の信号強度はゼロのままであった。

次に同じ人工石英から水冷式のダイヤモンドカッターを用いて板状に試料を切り出した。この板状試料に、同じ線量(率)で約1500 Gyの γ 線を照射し、その後ステンレス乳鉢で粉碎を行った。この試料でも、粉碎後に γ 線照射した試料と同様にAl中心のみ観察された。しかし、粉碎前に照射した試料の信号強度は、ほとんどノイズレベルであり、粉碎後に照射した試料に比べ明確に小さかった。これは粉碎過程によってESR信号強度が減衰した可能性を示唆する。同様の実験を粉碎器具をめのう乳鉢、照射線量を約560 Gyに変えて行ったところ、同じようにAl中心の減衰が確認された。ただし、減衰率はステンレス乳鉢、1500 Gyの時と比べて小さかった。減衰率が小さかった原因としては、粉碎器具の違いによる試料に掛かる応力の変化や線量に応じたAl中心の安定性変化などの可能性が考えられる。

今後の検討手段として、プレヒートの実施、天然試料を用いた粉碎の影響評価、Selfragを利用した粒子破壊を伴わない岩石粉碎手法との比較などが挙げられる。

謝辞：本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和3年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（地質環境長期

安定性評価技術高度化開発）」の成果の一部である。 γ 線照射は大阪大学産業技術研究所の共同利用制度を利用して実施した。照射には福井宥平氏には最大限のご協力をいただいた。人工石英試料は京都大学堤昭人准教授から提供して頂いた。木曾山脈の試料採取には福田将真博士、岡本晃氏にご助力いただいた。関連する方々に深く感謝いたします。

引用文献

- Fang, F. and Grün, R. (2020) ESR thermochronometry of Al and Ti centres in quartz: A case study of the Fergusons Hill-1 borehole from the Otway Basin, Australia. *Radiation Measurements*, 139, 106447.
- 福田将真ほか (2021) フィッション・トラック法を利用した島弧山地の熱年代学. *Radioisotopes*, 70(3), 173-187.
- Ketcham, R. A. et al. (1999) Variability of apatite fission-track annealing kinetics: III. Extrapolation to geological time scales. *American Mineralogist*, 84(9), 1235-1255.
- King, G. E. et al. (2020) Electron spin resonance (ESR) thermochronometry of the Hida range of the Japanese Alps: validation and future potential. *Geochronology*, 2(1), 1-15.
- King, G. E. et al. (2022). Eustatic change modulates exhumation in the Japanese Alps. *Geology*, 51(2), 131-135.
- Lambert, R. (2018) Investigating thermal decay in K-feldspar for the application of IRSL thermochronometry on the Mont Blanc massif. PhD thesis in the Faculty of Geosciences and the Environment, University of Lausanne, 139.
- Lee, H. K. and Schwarcz, E. P. (1993) An experimental study of shear-induced

zeroing of ESR signals in quartz. Applied Radiation and Isotopes, 44(1-2), 191-195.

末岡 茂ほか (2015) 低温領域の熱年代学の発展と日本の山地の隆起・削剥史研究への応用 (< 特集> 内陸盆地の構造と形成プロセス). 地球科学, 69(1), 47-70.

Tissoux, H. et al. (2007) Potential use of Ti-center in ESR dating of fluvial sediment. Quaternary Geochronology, 2(1-4), 367-372.

Toyoda, S. (2015) Paramagnetic lattice defects in quartz for applications to ESR dating. Quaternary Geochronology, 30, 498-505.

Tsukamoto, S. et al. (2015) Single aliquot regenerative dose method for ESR dating using X-ray irradiation and preheat. Radiation Measurements, 81, 9-15.

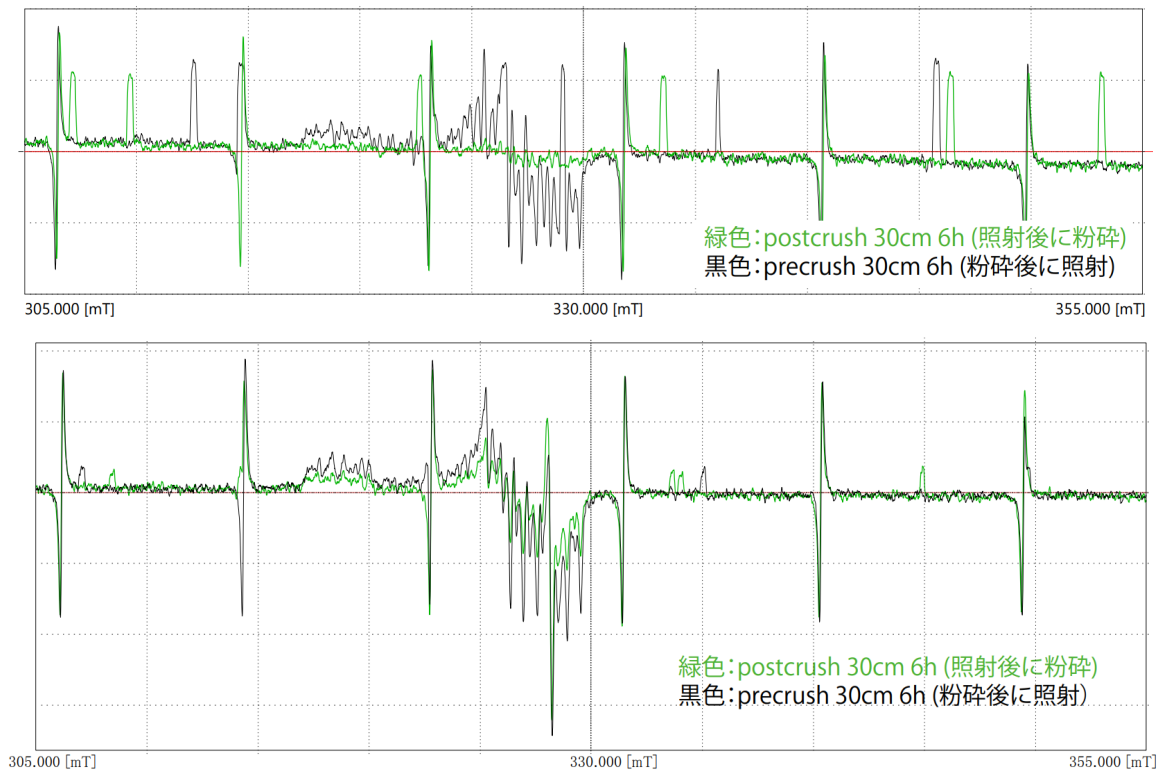


図1. γ 線照射線量の等しい試料間での信号強度の比較. 上図が約1500 Gyの照射でステンレス乳鉢での粉碎. 下図が約560 Gyの照射でめのう乳鉢での粉碎.