

ESR法を用いた断層年代測定法に係る基礎研究： 高速摩擦実験から読み解く断層すべりに伴う捕獲電子の挙動

日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部 ネオテクトニクス研究グループ
田中 桐葉

はじめに：地層処分事業における断層活動性評価の重要性と現在進行中の研究開発

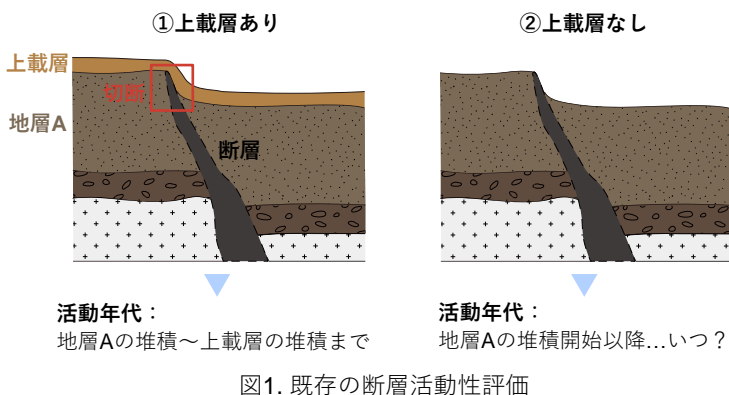


図1. 既存の断層活動性評価

地層処分場のサイト選定・設計において、様々な自然現象の1つである断層活動に対する地質環境の長期安定性を評価することは重要

断層活動性評価の課題：
上載層が欠如した断層や数万～数十万年前に活動した断層の活動性評価が困難

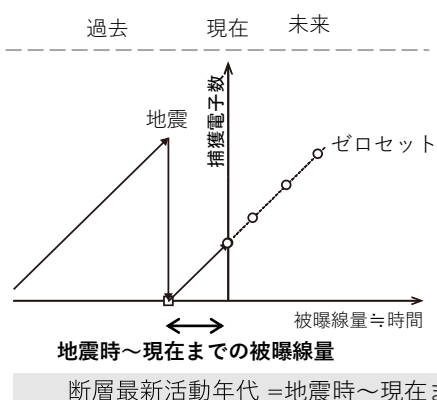
現在発展段階にある電子スピン共鳴 (electron spin resonance: ESR) 法を用いた断層年代測定法^[1]の高度化に向けた研究開発を実施

研究課題および実験方法：捕獲された電子を用いた断層年代測定法の原理に関する基礎研究

研究課題：断層すべりに伴う捕獲電子数変化の理解による適用性検討

実験概要：断層すべりを模擬した高速摩擦実験・回収試料の分析

原理



実状

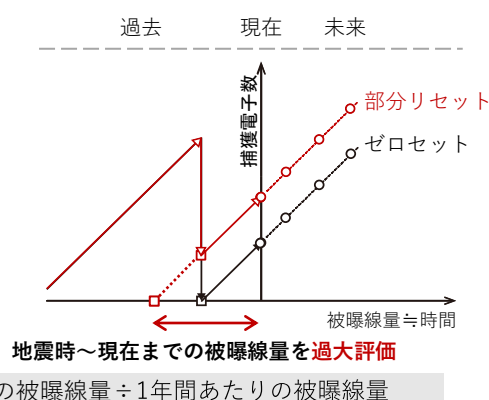


図2. ESR法を用いた断層年代測定法の原理と問題点



図3. 山口大学の回転式剪断摩擦試験機

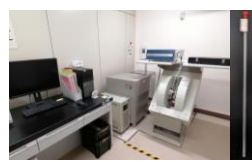


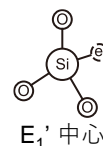
図4. 土岐地球年代学研究所のESR装置 (JES-X320, JEOL) とESR試料管

断層すべりを模擬した高速摩擦実験：

- ・出発物質 γ 線を照射した人工石英粉末45-300 μm
- ・室内温度・湿度、乾燥環境
- ・等価変位速度^[2] 1.0 m/s
- ・等価変位量 10 m
- ・垂直応力 0.41–3.3 MPa
- ・供試体 ムライト、イトリリア部分安定ジルコニア

E_1' 中心^[3]の捕獲電子を検出するためのESR測定：

- ・室内温度
- ・マイクロ波周波数 9.4 GHz
- ・マイクロ波出力 0.01 mW
- ・磁場掃引幅 ± 5 mT



E_1' 中心

上記のほか、 μX 線CTスキャン、粒度分析、熱分析、電子顕微鏡観察も併せて実施

実験結果および考察：断層すべりに起因する石英中 E_1' 中心の捕獲電子の挙動

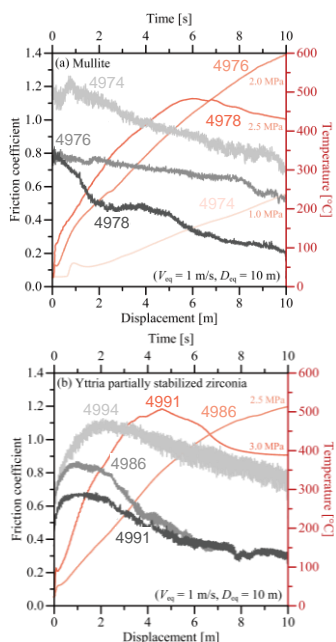


図5. 高速摩擦実験の力学データ

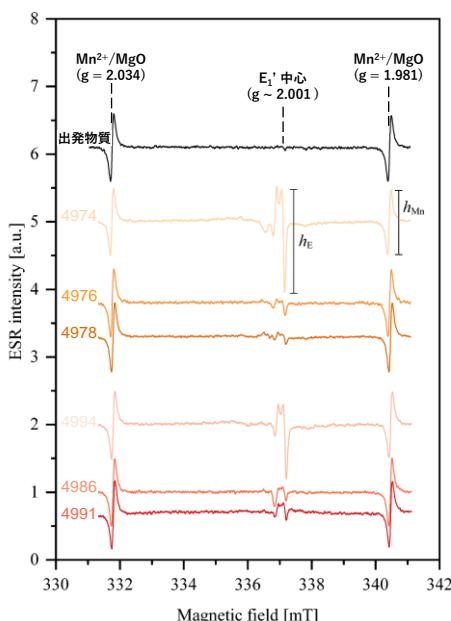


図6. 模擬断層ガウジのESRスペクトル

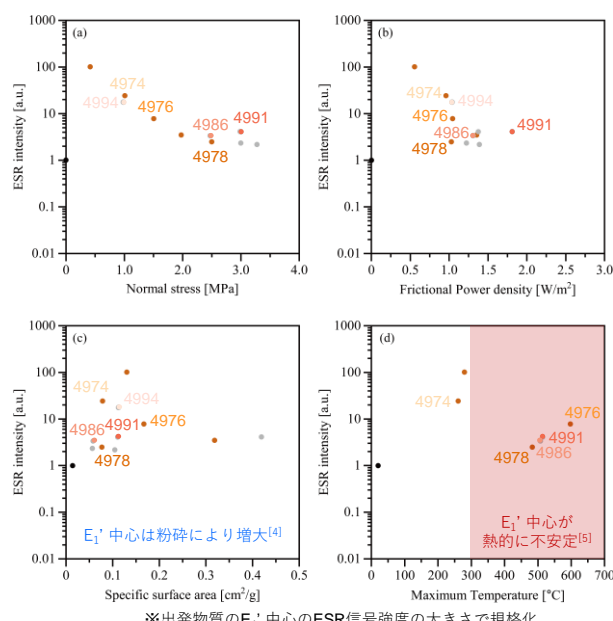


図7. E_1' 中心のESR信号強度 vs 摩擦に係る物理量

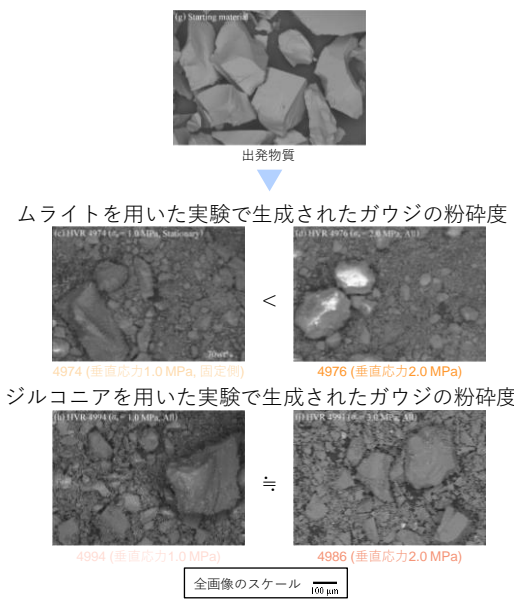


図8. 模擬断層ガウジのCOMPO画像

1. E_1' 中心の捕獲電子数は、断層すべりの垂直応力・摩擦仕事率と強い相関があることがされた。
2. E_1' 中心の捕獲電子数は粒子粉碎により増大、摩擦発熱により減少し、これらの程度の違いから上記相関が生じたと考えられる。
3. 年代試料抽出場所の摩擦仕事率や深さが、最新の断層すべりに伴う捕獲電子数の変化を定量評価するための指標となりうる。

まとめ 地震時の断層すべりを模した人工石英粉末の高速摩擦実験および回収試料のESR測定などを行い、 E_1' 中心の捕獲電子は、断層すべりに伴う粒子粉碎・摩擦発熱に起因した増大・減少作用を受け、それらの作用が競合した結果として、摩擦仕事率や垂直応力との相関関係が生じることが示唆された。今後は、断層すべりに対する他の格子欠陥の捕獲電子の挙動を明らかにする。

参考文献: [1] Ikeya et al. 1982. *Science* 215(4538), 1392–1393. [2] 嶋本・堤, 1994, 構造地質, 39, 65–78. [3] Rudra and Fowler, 1987. *Phys. Rev. B* 35(15), 8223–8230. [4] Tanaka et al., 2021. *Geochronometria* 48(1), 205–214. [5] Toyoda and Ikeya, 1991. *Geochem. J.* 25(6), 437–445.

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5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総合評価技術開発）」の成果の一部である。