

## ESR スペクトル解析による黒色断層岩の成因診断

## A diagnostic technique of the origin of dark fault rocks using ESR spectrum analysis

福地 龍郎<sup>1\*</sup>Tatsuro Fukuchi<sup>1\*</sup><sup>1</sup> 山梨大学大学院教育学研究科<sup>1</sup>Course of Science and Culture Education, Graduate School of Education, University of Yamanashi

断層帯には断層摩擦熱により固結・磁化した黒色の断層岩がしばしば観察される。黒色断層岩の磁気ソースとしては主に磁鉄鉱 (magnetite:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) とマグヘマイト (maghemite:  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) が考えられる (Fukuchi, 2012) が、両者は結晶構造が類似している上、酸化または還元反応により遷移するので区別は困難である。磁気ソースが磁鉄鉱の場合、断層岩は還元的環境下で形成されたことを意味するのに対し、マグヘマイトの場合には酸化的環境下で形成されたことになるので、磁気ソースの特定は地震時に断層帯で起こっている酸化還元反応を解明する上で重要である。一方、断層帯からしばしば検出されるシデライト (siderite:  $\text{FeCO}_3$ ) は、熱分解によりウスタイト (wustite:  $\text{FeO}$ ) を経由して磁鉄鉱やマグヘマイトを生成することが知られており、黒色断層岩の磁気ソースにシデライトが関係している可能性がある。シデライトの熱分解生成物は酸素の存在度や温度により様相を著しく変化させる (Darken & Gurry, 1946) ので、シデライトの熱分解生成物を調べるためには真空度を制御した詳細な加熱実験が必要となる。そこで本研究では、温度や圧力 (真空度) 条件を変化させたシデライトの加熱実験を実施し、XRD 分析により熱分解生成物の鉱物同定を行うと共に、温度や圧力条件の違いによる ESR (電子スピン共鳴) 信号の線形 (lineshape) の変化をスペクトル解析により明らかにした。また、野島断層やその他の断層帯から採取した黒色断層岩の ESR 信号の線形のタイプから断層岩の成因診断を試みた。

シデライトの加熱実験は次の3種類の条件で実施した。実験1) 温度 350 °C, 圧力 0.5Pa, 加熱時間 0 ~ 180 分, 実験2) 温度 350 °C, 圧力 0.5Pa ~ 0.1MPa, 加熱時間 60 分, 実験3) 温度 20 ~ 1520 °C, 圧力 0.5Pa, 加熱時間 5 分。実験1では、シデライトの熱分解生成物は主に低結晶質あるいは非晶質のウスタイト及び磁鉄鉱で、加熱時間と共にウスタイトは消滅し、磁鉄鉱の結晶度が高くなることが判明した。実験1で生成した磁鉄鉱はウスタイトの不均化 (disproportionation) によると考えられる。実験2で得られるシデライトの熱分解生成物はより高い結晶度を示すウスタイト及び磁鉄鉱で、圧力が上昇するとウスタイトは消滅して磁鉄鉱の結晶度がさらに高くなり、2.1kPa では磁鉄鉱が消滅することが判明した。実験2で生成した磁鉄鉱はウスタイトの酸化によると考えられる。実験3では、<600 °C の加熱温度では実験1と同様の結果が得られたが、ウスタイトが熱力学的に安定な温度 (570 °C) を超える 600 °C では非常に高い結晶度を示すウスタイトのみが検出された。ウスタイトの融点 (1370 °C) を超える 1400 °C でウスタイトは減少し、1520 °C で新たに磁鉄鉱が出現することが判明した。この溶融起源の磁鉄鉱はウスタイトのメルトから晶出したと考えられる。

XRD 及び ESR 測定の結果、シデライトの熱分解生成物には、不均化起源、酸化起源及び溶融起源の磁鉄鉱が存在し、起源の違いにより ESR 信号の線形が変化することが明らかになった。ESR スペクトル解析を行った結果、不均化起源の低結晶質磁鉄鉱は g 値が 2.1 ~ 2.3 及び半値幅/ピーク幅比 (比) は 1.45 ~ 1.62 でガウス型 (1.177) とローレンツ型 (1.732) の中間型を示すのに対し、酸化起源の磁鉄鉱は g 値が 2.2 ~ 2.4 及び比が 1.10 ~ 1.30 でガウス型に近い線形を示すことが判明した。また、溶融起源磁鉄鉱は g 値が 2.2 ~ 2.3 であるが、比が 0.90 程度でガウス型よりも更に低くなることが判明した。野島断層の黒色断層岩は、g 値が 2.13 ~ 2.24 及び比が 1.423 ~ 1.487 で不均化起源の低結晶質磁鉄鉱と同様の値を示した。従って、野島断層の黒色断層岩には溶融や酸化は起こっておらず、還元環境下で 350 °C 以上の温度で瞬間的に生成されたと推定される。

## 引用文献

L. S. Darken & R. W. Gurry (1946) The system iron-oxygen. II. Equilibrium and thermodynamics of liquid oxide and other phases. *J. Am. Chem. Soc.*, 68, 798-816.

T. Fukuchi (2012) ESR techniques for the detection of seismic frictional heat. In: *Earthquake Research and Analysis: Seismology, Seismotectonics and Earthquake Geology* (ed. D'Amico Sebastiano). InTech-Open Access Publisher, 285-308.

キーワード: 電子スピン共鳴, ESR スペクトル, 摩擦熱, シデライト, ウスタイト, 磁鉄鉱

Keywords: electron spin resonance, ESR spectrum, frictional heat, siderite, wustite, magnetite