

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月25日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20340139

研究課題名（和文） 走査型 ESR 顕微鏡による非破壊コア分析法の開発

研究課題名（英文） Scanning ESR microscopy for nondestructive analyses of drill cores

研究代表者

福地 龍郎 (FUKUCHI TATSURO)

山口大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：90212183

研究成果の概要（和文）：ボーリング掘削コア試料を非破壊計測できる走査型 ESR（電子スピン共鳴）顕微鏡を作成し、断層摩擦熱や磁化率強度を一次元的および二次元的に計測する手法を開発した。また、作成した走査型 ESR 顕微鏡を野島断層岩試料や台湾・チェルンブ断層掘削計画 (TCDP) 深部掘削コア試料に実際に適用し、断層摩擦熱により生成するフェリ磁性共鳴 (FMR) 信号や常磁性有機ラジカル信号 ( $g=2.004$ ) の二次元分布から過去の地震による摩擦発熱の状態を可視化することに成功した。

研究成果の概要（英文）：We developed a scanning ESR (electron spin resonance) microscopic technique for nondestructive analyses of drill cores and carried out one- and two-dimensional measurements of seismic frictional heat or magnetic susceptibility of the Nojima fault rocks or Taiwan Chelungpu Fault Drilling Project (TCDP) deep drill cores. As a result, we have succeeded in visualizing the state of frictional heat generated by past earthquakes from 2-D ESR images of ferrimagnetic resonance (FMR) signals or a paramagnetic organic radical ( $g=2.004$ ), which are produced by seismic frictional heat.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
総計	10,100,000	3,030,000	13,130,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：電子スピン共鳴，フェリ磁性共鳴，有機ラジカル，非破壊計測，摩擦熱，磁化率，ビトリナイト反射率，台湾チェルンブ断層

## 1. 研究開始当初の背景

野島断層解剖計画を始め、台湾チェルンブ断層深部掘削計画、米国サンアンドレアス断層深部掘削計画など、地震断層の地下深部から採取した掘削コアを詳細に解析して、地震

発生過程における様々な物理的・化学的現象を解明しようとする研究が実施されている。特に、地震発生時の断層すべりで起こる摩擦熱に関する議論は最近活発に行われており、サンアンドレアス断層沿いでは地殻熱流量に

異常が見られないという熱流量パラドックスにも見られるように、断層摩擦熱の上昇を否定する説や摩擦熱よりも粉碎で消費されるエネルギーの方が大きいとする説に対して、地震発生時におけるエネルギー消費は摩擦熱の割合が一番大きいとする説や摩擦熱による熱膨張の効果を重視する説などが提唱されており、未だ解決していない。断層摩擦熱現象の解明も視野に入れた南海トラフ地震発生帯掘削計画(NanTroSEIZE)ステージ1が2007年度から本格的に始動し、ノンライザーによる付加体前縁部や分岐断層の掘削が開始された。

研究代表者らは、これまで主に掘削コア試料のESR解析やビトリナイト反射率測定を行い、断層摩擦熱の検出及び摩擦発熱温度の推定、あるいは断層活動年代測定などを試みてきた。しかし、通常のESR装置では、コア試料をエポキシ樹脂等で固めた後に切り分け、直径5mm程度の試料管に入る大きさまで粉碎したものを測定試料に用いるが、物質中の格子欠陥に捕獲されたスピンの起因するESR信号は破壊による影響を受け易いので、粉碎やサンプル処理による影響が常に懸念されてきた。また粉碎した試料では、正確な位置情報が得られないので、コア試料におけるESR信号の二次元的な分布状態や側方変化を知ることが不可能であり、EPMAなど、他の分析手法との比較検討も困難である。さらに、断層摩擦熱温度を見積もるためには、断層面を中心に1mm単位で連続的にESR信号を計測する必要があるが、主に粘土からなる断層試料を1mm単位でカットすることは技術的に不可能である。こうした問題点を解決するために、研究代表者らは平板状試料の表面に分布するESR信号を二次元的に検出する二次元ESR計測装置の開発を進めてきた。しかし、これまで作成した二次元ESR装置では、ESR吸収を起こさせるためのキャビティ(空洞共振器)に通常内蔵されている100kHz変調磁場コイルを外付けにしているため、ESR信号の検出感度があまり良くなく、外部からのノイズを拾い易いという欠点がある。また厚みのある試料では外付けコイルからの変調磁場が届かないのでESR信号の検出ができず、さらに掘削コア試料のような重い連続試料ではキャビティの上に載せて移動させることができないなど、改善すべき点が数多く見られる。

## 2. 研究の目的

掘削コア試料のような厚みと重量がある連続試料の表面を遠隔計測できる走査型ESR(電子スピン共鳴)顕微鏡を作製し、地震発生帯掘削コアに適用して、熱履歴の検出や磁化率強度計測、断層活動年代測定などを非破壊で二次元的に行う手法を開発することを研究目的とする。また、台湾チェルンプ断層掘削計画やNanTroSEIZEなどで採取された深部掘削

コア試料に実際に適用し、断層摩擦熱により生成するフェリ磁性鉱物(マグネタイト、マグヘマイト等)起源のフェリ磁性共鳴(FMR)信号を検出し、磁化率強度分布図を作成すると共に、最新の地震発生時における最大活動変位面を特定する方法及び断層摩擦熱温度を推定する方法を確立する。磁化率強度分布図の作成では、市販の携帯用帯磁率計あるいはマルチセンサーコアロガーによる結果との比較検討を行う。最新の最大活動変位面の特定では、FMR信号以外にも摩擦熱により増大する常磁性有機ラジカル信号や石英E'中心などを組み合わせる。また断層面近傍の断層ガウジから検出される石英やモンモリロナイト固有の常磁性信号を利用した二次元ESR年代測定の可能性についても検討する。断層摩擦熱温度の推定では、有機ラジカル信号強度とビトリナイト反射率の相関関係について詳しく調べると共に、ビトリナイト反射率から見積もられた断層摩擦熱温度との比較検討を行う。さらに、付加体堆積物から検出されるFMR信号の起源については不明な点が多いので、通常のESR装置を用いて加熱によるFMR信号の変化を調べ、X線回折分析や磁気分析を実施して、磁性鉱物及びFMR信号の同定を行う。

## 3. 研究の方法

(1) 走査型ESR顕微鏡の作製: 走査型ESR顕微鏡は、主にESR分光計、電磁石、マイクロ波発振器、ESRキャビティ、信号のS/N比を向上させるための100kHz変調磁場コイル、X-Y軸ステージ、X-Z軸ステージ、制御用コンピュータで構成される。その内、ESR分光計とマイクロ波発振器、X-Y軸及びX-Z軸ステージは研究代表者の実験室に既に設置されているESR装置(日本電子製JEOL RE3X)とX-Y軸及びX-Z軸ステージ(中央精機製ALD-230-C5P, LM-212-2CL)を使用する。走査型ESR顕微鏡では、マイクロ波を放出するための小さな穴(ピンホール)をキャビティに明け、そのピンホールの上に表面研磨した試料チップを置き、X-Y軸ステージで試料を移動させながらESR信号を連続的に計測して行く。ESR吸収を起こすための外付け100kHz変調磁場コイルは試料の上方に置かれ、試料チップをピンホールキャビティと変調磁場コイルで挟む形になる。しかし、コア試料のような厚みがある試料の場合、変調磁場コイルが機能しないので、円筒形キャビティ(TE<sub>111</sub>モード: 34mmφ×31mm)に変調磁場コイルが内蔵されたものを作製する。マイクロ波照射用のスリット(10mm×3mm)はキャビティの円筒側面に明け、様々なピンホール径を持つ真鍮板を別に作製してスリットの上に張り付けることにより検出分解能を変更・調整する。変調磁場コイル内蔵型キャビティを使用して断層岩試料の計測を行い、問題点や修正点などを検

討する。検討結果を踏まえて、コア試料の様な連続試料の計測用にピンホールキャビティを改造する：円筒形キャビティの底面にスリットをあけたものを作製し、スリットの下にコア試料を置いた状態でX-Y軸ステージでコア試料を移動させながらマイクロ波を上から照射する形にする。試料の鉛直方向の微調整は、X-Z軸ステージによって行う。

(2) 断層岩のFMR信号の検出と磁化率分布図の作成：作成した走査型ESR顕微鏡の性能や検出限界を調べるために、野島断層帯に分布する野島シュードタキライトのESR計測を実施し、二次元FMR信号分布図を作成すると共に、磁化率が既知の標準試料との比較から二次元磁化率分布図を作成する。得られた二次元磁化率分布図については、市販されている高分解能磁化率計 (Bartington社製MS2及びMS2Eセンサー、感応範囲 3.8mm×10.5mm, 検出限界  $10^{-5}$  SI) で計測した結果との比較検討を行う。台湾チェルンプ断層掘削コア試料 (Hole B) についても同様の計測を行い、二次元FMR信号分布図から磁化率分布図を作成し、JAMSTEC高知コア研究所により既に実施されているマルチセンサーコアロガーによる磁化率の計測結果と比較検討する。

(3) 最新断層活動面の特定と ESR 年代測定：摩擦熱により増大する FMR 信号や有機ラジカル信号、石英空孔型信号の信号強度から最新の断層活動面を特定する方法を開発する。これらの信号はいずれも加熱により一旦増大した後に減衰する性質があり、減衰する温度や時間はそれぞれ異なっている。また石英空孔型信号は消滅後、天然放射線により時間と共に再び増大するので、これらの信号を組み合わせることにより、各断層面の新旧情報を得ることができる。また、断層ガウジ中の石英やモンモリロナイト固有の常磁性信号は ESR 年代測定に利用できるもので、台湾チェルンプ断層コア試料の粒状試料を使用して、通常の ESR 計測による年代測定を始めに実施する。次に、コアから切り離れた平板状試料に走査型 ESR 顕微鏡を適用し、二次元 ICP-MS 装置や EPMA による化学分析結果を組み合わせることで二次元 ESR 年代図を作成し、チェルンプ断層掘削コア中の最新断層活動面を特定する。また、通常の ESR 計測による結果と二次元 ESR 年代図との比較検討も行う。

(4) ビトリナイト反射率との対応関係：泥質岩から検出されるビトリナイト反射率と常磁性有機ラジカル信号の間には正の相関関係があることが判明している。そこで、台湾チェルンプ断層掘削コア (Hole B) 中の断層破碎帯のビトリナイト反射率の測定を行い、反射率の二次元分布マップを作成すると共に、有機ラジカル信号をターゲット信号にして走査型 ESR 顕微鏡による二次元計測を行い、両者を比較検討する。また、チェルンプ断層の

断層摩擦熱温度を見積もるために、様々な温度で加熱実験を行い、各温度における有機ラジカル信号の変化率をアレニウスプロットして加熱温度と時間に対する増大モデル式を作成する。作成した増大モデル式と一次元摩擦発熱モデル式を組み合わせ、チェルンプ断層の断層摩擦熱温度を見積り、ビトリナイト反射率から見積もられる摩擦熱温度との比較検討を行う。

#### 4. 研究成果

(1) 走査型ESR顕微鏡の作製：通常のESR装置では、電磁石の間に設置されたキャビティの中に粒状あるいは粉末状の試料を封入した石英試料管を挿入し、キャビティ内部でマイクロ波吸収を引き起こす (図1)。これに対し、走査型ESR顕微鏡では、ピンホールキャビティの穴から漏れ出るマイクロ波を平板状試料に直接当てることによりマイクロ波吸収を引き起こす。図2には、本研究で作製した変調磁場コイル内蔵型キャビティ (TE<sub>111</sub>モード) を示す。図2bはキャビティにあけた 10mm×3mmのスリットの上に 1.6mmφのピンホールをあけた真鍮板を張り付けた状態を、図2cは電磁石の間に設置され



図1 通常の ESR (電子スピン共鳴) 装置

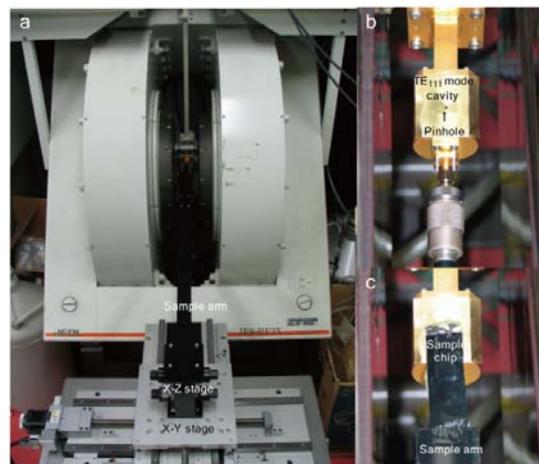


図2 走査型 ESR 顕微鏡の電磁石(a)内に取り付けられた変調磁場コイル内蔵型ピンホールキャビティ(b)とその上に置かれた断層試料片

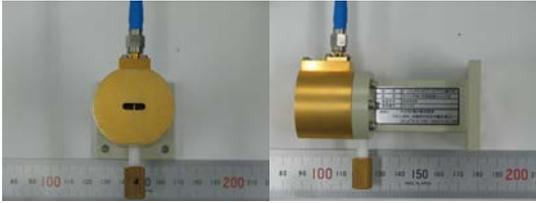


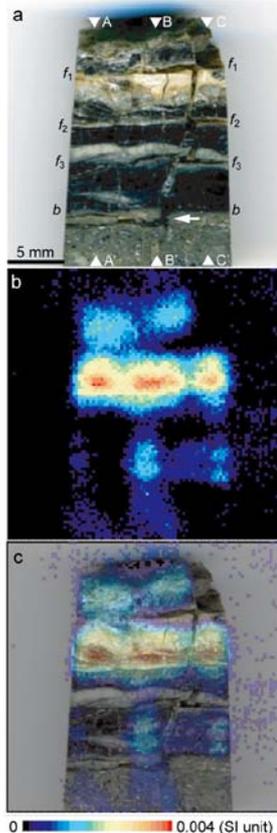
図3 コア解析用変調磁場コイル内蔵型キャビティ

たピンホールキャビティの上にサンプルアームに取り付けた試料片を載せた状態をそれぞれ示す。サンプルアームはX-Y軸ステージと連結しており、X-Y軸ステージをコンピュータ制御で移動させることにより二次元ESR計測を行う。垂直方向の微調整には、X-Y軸ステージの上に取り付けたX-Z軸ステージで行う。また、掘削コア試料のような重い連続試料の測定用に、円筒形キャビティの底面にスリットをあけたタイプのキャビティを別に作製した(図3)。キャビティ底面を下に向け、スリットの下に置いたコア試料をX-Y軸ステージで移動させることによりコア試料の連続計測が可能となる。

掘削コア試料も計測できる走査型ESR顕微鏡は現時点では国内外には皆無であり、今後、様々な掘削コア試料に適用され、他の分析手法では得られない物質のラジカル情報を得るために利用されると考えられる。

(2) 断層岩のFMR信号の検出と磁化率分布図の作成：野島断層帯に分布する野島シュートタキライトに今回作製した走査型ESR顕微鏡を適用し、FMR信号強度から二次元磁化率分布図を作成した(図4)。測定条件は、マイクロ波周波数9.359GHz、マイクロ波出力100mW、変調磁場幅100kHz、0.32mT、磁場400±400mT、掃引速度10s/sweep、ピンホール径2.6mmφ、ステップ幅0.25mmである。標準試料には野島断層ガウジを使用し、標準試料の磁化率は、振動試料型磁力計(VSM：理研電子製BHV-30)で $79 \pm 6 \times 10^{-5}$  SI、高分

図4 野島断層帯に分布するシュートタキライトの二次元磁化率分布図



分解能磁化率計(Bartington社製MS2)で $74 \pm 0.4 \times 10^{-5}$  SIであった。図4の $f_1$ と $f_2$ で囲まれた部分をPT1、 $f_2$ と $b$ で囲まれた部分をPT2、 $b$ より下部をPT3とすると、各部分の磁化率は、走査型ESR顕微鏡ではそれぞれ $4 \times 10^{-3}$  SI(PT1)、 $2 \times 10^{-3}$  SI(PT2)、 $1.5 \times 10^{-3}$  SI(PT3)であるのに対し、高分解能磁化率計(MS2)では $2.0 \times 10^{-3}$  SI(PT1)、 $1.2 \times 10^{-3}$  SI(PT2)、 $1.0 \times 10^{-3}$  SI(PT3)となった。走査型ESR顕微鏡の感応範囲は2.6mmφであるのに対し、MS2の感応範囲は3.8mm×10.5mmとずっと広いので、MS2の磁化率強度はより広い範囲の平均的な値を示していると考えられる。変調磁場コイル内蔵型キャビティの開発で検出感度が飛躍的に改善したので、現在、ピンホール径は1.6mmφまで絞ることが可能であり、分解能は0.1mmまで向上した。このような高分解能で磁化率を二次元的に計測できる装置は他に存在せず、今後、地質学の様々な分野での活用が予想される。

(3) 最新断層活動面の特定とESR年代測定：台湾チェルンブ断層コア試料における最新断層活動面を特定する目的で、走査型ESR顕微鏡によるFMR信号の二次元計測を実施した結果、当初の予想に反して、断層摩擦熱により黒色化したとされる部分(黒色ガウジ)からはFMR信号の異常は検出されなかった。JAMSTEC高知コア研究所のマルチセンサーコアロガーによる磁化率計測では磁化率異常が検出されたと報告されており、矛盾する結果が得られたが、VSMを使用した粒状試料による磁化曲線計測によっても磁化率の異常は検出されず、コアロガーで求めた磁化率は含水比による補正に問題があることが判明した。黒色ガウジからFMR信号の異常が検出されなかった原因は、熱水合成実験結果によると、断層帯における熱水反応によりマグネタイトやマグヘマイトなどのフェリ磁性鉱物が寄生強磁性であるヘマタイトに変態したためであると推定される。

次に、チェルンブ断層コア試料(粒状試料)を使用して、通常のESR装置による年代測定を実施した。1999年集集地震時に活動したと考えられている1136m断層ガウジ帯では、黒色ガウジの部分(試料113626)でモンモリロナイト固有の四重信号が完全に消滅していることが確認された(図5)。含水比を $0.2 \pm 0.1$ 、 $R_n$ 損失を0~100%、 $k$ 値を $0.1 \pm 0.05$ に設定し、全ての誤差要因を考慮して1136m断層ガウジ帯のESR年代値を求めた結果を表1に示す。最も若い年代値は、四重信号が消滅していた試料113626のB信号( $g=2.012$ )から $0.3 \pm 11.8$ ka ( $1\sigma$ )と求まり、1999年集集地震を示している可能性が高い。なお、四重信号から求められる年代値は約1万年が下限であり、四重信号は1万年前以降に活動した地震断層の年代測定に適用可能である。また、試

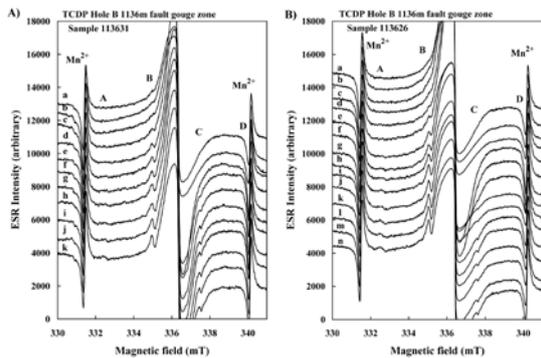


図5 台湾チェルンブ断層深部掘削 Hole B コア 1136m 黒色ガウジから検出される ESR スペクトルの  $\gamma$  線照射による変化。A) 試料 113631, 放射線量 (a~k) 0~4.0kGy, B) 試料 113626, 放射線量 (a~n) 0~4.5kGy。

料 113631 の年代値は  $42.3 \pm 17.0 \text{ka}$  ( $1\sigma$ ) となり、1999 年集集地震よりも前の地震を示していると考えられ、1136m 断層ガウジ帯 (幅約 20cm) は最近 5 万年間に少なくとも 3~4 回活動していた可能性がある。

一方、断層ガウジから検出される石英空孔起源の  $E_1'$  中心 ( $g=2.001$ ) は一般に加熱により増大するが、 $300\text{--}350^\circ\text{C}$  で飽和し、 $\geq 450^\circ\text{C}$  で消滅する。 $\gamma$  線照射後の加熱実験の結果、消滅後は  $\geq 5 \text{ Gy}$  の放射線照射で再び加熱により増大するようになることが判明した。コア試料の年間線量率  $D$  ( $4.0 \leq D \leq 7.3 \text{ mGy/y}$ ) を考慮すると、 $5 \text{ Gy}$  は約  $1 \text{ ka}$  (千年) に相当する。 $E_1'$  中心を用いて、過去に断層摩擦熱が  $\geq 450^\circ\text{C}$  まで上昇した年代  $T$  を見積った結果、試料 113631 では  $53 \leq T < 668 \text{ ka BP}$  という年代値が得られ、 $300^\circ\text{C}$  超で消滅するモンモリロナイト四重信号から得られる  $42.3 \pm 17.0 \text{ka}$  ( $1\sigma$ ) という年代値と誤差範囲で一致した。

以上の結果は、様々な熱的安定性を持つ ESR 信号を用いた熱解析により千年以上前に活動した断層活動面を特定できることを示しており、断層の活動性評価を行う上で非常に有効な手段となり、放射性廃棄物の地層処分や沈み込み帯地震発生帯などの研究分野でも注目されることが予想される。

一方、走査型 ESR 顕微鏡を用いた二次元年代測定に関しては、ESR 顕微鏡の信号検出感度が通常の ESR 装置に比べて著しく低いため、

表 1 台湾チェルンブ断層 1136 断層ガウジ帯から得られる年間線量率 ( $D$ )、総被曝線量 ( $TD$ ) 及び ESR 年代値とそれらの誤差。  $\sigma_D$ :  $D$  値の誤差 ( $1\sigma$ )、 $\sigma_{TD}$ :  $TD$  値の誤差 ( $1\sigma$ )、 $\sigma_{AGE}$ : ESR 年代値の誤差 ( $1\sigma$ )。

試料番号	ESR 信号強度	$^{232}\text{Th}$ (ppm)	$^{235}\text{U}$ (ppm)	$\text{K}_2\text{O}$ (%)	$D$ (Gy/ka)	$\pm \sigma_D$ (Gy/ka)	$TD$ (kGy)	$\pm \sigma_{TD}$ (kGy)	ESR 年代値 (ka)	$\pm \sigma_{AGE}$ (ka)	決定係数 (%)
113622	2.012	17.51	3.61	4.81	5.6841	0.8646	0.1719	0.0435	30.2	8.9	99.5
113626	2.012	14.67	2.91	4.67	5.1716	0.7299	0.0013	0.0612	0.3	11.8	99.6
113631	2.012	15.62	2.79	3.97	4.7380	0.7277	0.2903	0.0743	42.3	17.0	99.5
113635	2.012	13.99	2.75	4.19	4.7459	0.6873	0.0712	0.0388	15.0	8.5	99.8
113639	2.012	19.08	3.08	4.56	5.5004	0.8556	1.0246	0.1746	186.3	43.0	99.0

ピンホール径  $1.6\text{--}2.6 \text{mm}$   $\phi$  では四重信号や  $E_1'$  中心を検出できないことが判明した。今後、ピンホール径を順次拡大し、年代測定可能なピンホール径と分解能の関係を明らかにする必要がある。

#### (4) ビトリナイト反射率との対応関係:

図 6 は、台湾チェルンブ断層掘削コアの 1243m 付近に分布する黒色断層岩を走査型 ESR 顕微鏡で二次元計測した結果をビトリナイトの反射率マップと共に示す。ターゲット信号は有機ラジカル ( $g=2.004$ ) 及び FMR 信号である。測定条件は、マイクロ波周波数  $9.391 \text{GHz}$ 、マイクロ波出力  $100 \text{mW}$ 、変調磁場幅  $100 \text{kHz}$   $0.4 \text{mT}$ 、磁場  $334.5 \pm 1.5 \text{mT}$  (有機ラジカル) 及び  $400 \pm 400 \text{mT}$  (FMR 信号)、掃引速度  $10 \text{s/sweep}$ 、ピンホール径  $1.6 \text{mm}$   $\phi$ 、ステップ幅  $0.25 \text{mm}$  である。上述したように、黒色断層岩からは FMR 信号の異常は検出されず、これは熱水反応によるフェリ磁性鉱物のヘマタイト化が原因であると考えられる。一方、有機ラジカル信号 ( $g=2.004$ ) はビトリナイト反射率との相関が見られ、ターゲット信号として有効であることが示された。今後、南海トラフ掘削計画などで沈み込み帯における断層摩擦熱の検出で走査型 ESR 顕微鏡は威力を発揮するものと期待される。

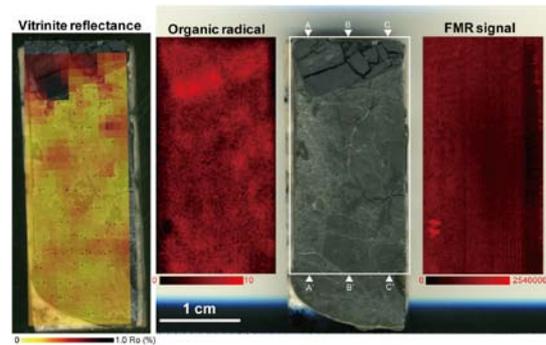


図 6 台湾チェルンブ断層 Hole B コア 1243m 黒色断層岩から得られる二次元 ESR 分布図とビトリナイト反射率マップ。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① A. Sakaguchi, F. Chester, D. Curewitz et al. (2011) Seismic slip propagation to the up-dip end of plate boundary subduction interface faults: Vitrinite reflectance geothermometry on Integrated Ocean Drilling Program NanTroSEIZE cores. *Geology*, Vol.39, p.395-399, doi:10.1130/G31642, 2011. 査読有
- ② A. Ohta, N. Imai, S. Terashima, and Y. Tachibana (2011) Regional geochemical mapping in eastern Japan including the nation's capital, Tokyo. *Geochemistry*:

Exploration, Environment, Analysis, Vol.11, p.211-223. 査読有

- ③ 福地龍郎(2011) 地震発生帯深部掘削コア試料から検出される常磁性ラジカル信号の $\gamma$ 線照射効果. 原研施設利用共同研究成果報告書(平成 21 年度)9106, p.1-6. 査読無
- ④ 福地龍郎(2010) ESR法による地震断層の絶対年代測定—その原理と適用限界—. 月刊地球, Vol.32, No.1, p.16-23. 査読無
- ⑤ 坂口有人(2009) 断層帯の摩擦発熱量を分析するための微小ビトリナイトの反射率測定法と分析機の開発, JAMSTEC-RIFREE, Vol.10, p.18-21. 査読無
- ⑥ Y. Hashimoto, O. Tadai, M. Tanimizu, W. Tanikawa, T. Hirono, W. Lin, T. Mishima, M. Sakaguchi, W. Soh, S. R. Song, K. Aoike, T. Ishikawa, M. Maruyama, K. Fujimoto, T. Fukuchi et al. (2008) Characteristics of chlorotes in seismogenic fault zones: the Taiwan Chelungpu Fault Drilling Project (TCDP) core sample. eEarth, Vol.3, p.1-6. 査読有

[学会発表] (計 10 件)

- ① 福地龍郎, 走査型ESR顕微法による断層摩擦熱の検出. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012 年 5 月 22 日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県.
- ② 福地龍郎, ESR熱年代学による断層活動性評価—台湾チェルンプ断層掘削計画 Hole B コアを例として. 日本地質学会大 118 年学術大会, 2011 年 9 月 10 日, 茨城大学, 茨城県.
- ③ 福地龍郎, 台湾チェルンプ断層Hole B掘削コアにおける断層摩擦熱のESR熱年代学的研究. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 22 日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県.
- ④ 福地龍郎, 野島断層帯のシュードタキライトから復元される摩擦熱エネルギー. 日本地震学会 2010 年秋季大会, 2010 年 10 月 29 日, 広島国際会議場, 広島県.
- ⑤ A. Sakaguchi, Frictional high heat at shallow portion of the mega-splay fault and frontal thrust: Core analysis of IODP NanTroSEIZE stage 1, Western Pacific Geophysical Meeting (WPGM) 2010, June/23/2010, Taipei, Taiwan.
- ⑥ A. Sakaguchi, Evidence for high frictional heat at a shallow portion of the faults, Tonankai earthquake rupture area, Japan. Geoscience Union Meeting 2010, May/24/2010, Makuhari, Chiba, Japan.
- ⑦ A. Sakaguchi, Paleo-thermal condition of the shallow mega-splay fault based on vitrinite reflectance: Core analysis of IODP NanTroSEIZE stage 1, American Geophysical

Union 2009 Fall Meeting, December/14/2009, San Francisco, USA.

- ⑧ 福地龍郎, 沈み込み帯地震発生帯のESR熱年代学: 台湾チェルンプ断層掘削計画Hole B コアを例として. 日本地質学会第 116 年学術大会, 2009 年 9 月 5 日, 岡山理科大学, 岡山県.
- ⑨ 福地龍郎, ESR及びVSM法による台湾チェルンプ断層掘削計画Hole B掘削コア黒色帯の熱分析. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 20 日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉県.
- ⑩ 福地龍郎, 台湾チェルンプ断層掘削計画Hole B掘削コア試料中の黒色断層ガウジ帯のESR分析. 日本地球化学会第 55 回年会, 2008 年 9 月 17 日, 東京大学, 東京都.

[図書] 計 2 件)

- ① T. Fukuchi, ESR Techniques for the detection of seismic frictional heat. Earthquake Research and Analysis: Seismology, Seismotectonic and Earthquake Geology (Edited by S. D'Amico), Chapter 16, p.285-308, 2012 年, InTech-Open Access Publisher.
- ② 今井登, 標準試料 岩石・鉱物, 環境標準試料. 地球化学講座 8, 地球化学実験法, p.108-120, 2010 年, 培風館.

[その他]

ホームページ等

[http://web.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~fukuchi/H20\\_23\\_KakenhiB\\_seika.pdf](http://web.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~fukuchi/H20_23_KakenhiB_seika.pdf)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

福地 龍郎 (FUKUCHI TATSURO)  
山口大学・大学院理工学研究科・准教授  
研究者番号: 90212183

### (2) 研究分担者

坂口 有人 (SAKAGUCHI ARITO)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・技術研究主任  
研究者番号: 80304666

今井 登 (IMAI NOBORU)  
独立行政法人産業技術総合研究所・地球科学情報研究部門・グループ長  
研究者番号: 20356512

### (3) 連携研究者

徐 垣 (Soh Wonn)  
独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・所長  
研究者番号: 90183847 (H20~H21)  
三木 俊克 (MIKI TOSHIKATSU)  
山口大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号: 70091212 (H20~H21)