

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：15201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K21177

研究課題名(和文)炭質物ラマン摩擦発熱温度計を用いた断層摩擦発熱温度分布の解明

研究課題名(英文)Distribution of frictional heating temperature of fault surface estimated by carbonaceous material Raman geothermometer

研究代表者

向吉 秀樹 (Mukoyoshi, Hidki)

島根大学・総合理工学研究科・助教

研究者番号：80744200

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：断層活動に伴う摩擦発熱温度を定量的に評価することを目的とし、陸上に露出する過去の沈み込みプレート境界断層の断層岩中に含まれる炭質物および100～1300℃まで加熱実験した炭質物のラマン分析を行った。加熱実験試料のラマン分析の結果、温度上昇と共にラマンスペクトルが大きく変化することが明らかとなった。特に600℃以上の加熱実験試料においてその変化が明瞭に表れた。断層試料のラマン分析の結果、断層の主要すべり面において700℃以上に加熱実験した試料のラマンスペクトルと同様のスペクトルが得られた。以上より、断層中に含まれる炭質物のラマン分析は、断層摩擦発熱温度を見積る上で有用であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We performed microstructural observation and Raman spectroscopic analyses of carbonaceous materials (CM) in the fault rock of 2.5-5.5 km depth of an ancient megasplay fault (an outof sequence thrust in the Shimant accretionary complex) and 14 km depth of a thrust in the Emi group, Hota accretionary complex, exposed on Japan. We also conducted heating experiment of CM in host rock of these fault with anaerobic condition (range:100-1300℃, intervals: 100℃, rate of temperature increase: 20 K/min) in order to investigate the effects of fast heating rate like frictional heating during earthquake. Raman spectrum of CM of both fault is similar to spectrum of 400-600℃ heating experiment of CM. This result shows that both fault had heating history of 400-600℃ by frictional heating. To evaluate the levels of friction, Raman spectrum of the short time matured experimented CM is useful as calibration tool.

研究分野：構造地質学

キーワード：ラマン分析 断層 摩擦発熱 付加体 炭質物

1. 研究開始当初の背景

地震時の断層における摩擦抵抗は、摩擦発熱による熱エネルギーとして消費される。また、断層の摩擦発熱温度の上昇に伴い、断層滑り時の摩擦挙動は大きく変化する。そのため、大地震時に発生する摩擦発熱温度の上昇量について知ることは、地震を引き起こす絶対応力を推定し、地震時の断層の破壊過程を理解する上で非常に重要である。以上のような観点から、大地震発生後に断層を貫くように掘られ掘削孔における孔内温度計測 [例えば 1999 年台湾集集地震 (Kano et al., 2006); 2011 年東北地方太平洋沖地震 (Fulton et al., 2013)] が行われている。また、過去に地震を発生させた断層における摩擦発熱検出を目的として、断層岩中に含まれる微量元素の濃度比分析 (例えば Honda et al., 2011, 共著) や、粘土鉱物の組成変化 (例えば Hirono et al., 2014, 共著; Kameda et al., 2013) を用いた摩擦発熱温度の見積もりもなされている。

近年、炭質物を含ませた模擬断層物質の高速摩擦実験により、堆積岩中に普遍的に含まれる炭質物が、断層の摩擦発熱のような瞬間的な発熱によっても熱熟成することが明らかとなった (Kitamura et al., 2012,)。炭質物の熱熟成度を見積もる手法として、石油業界などで広く利用されているビトリナイト反射率がある。ビトリナイト反射率は、反射顕微鏡下で炭質物の一種であるビトリナイトを識別し、そのビトリナイト粒子の反射率を測定することで熟成度を評価する手法である。この手法は、複雑な変形構造を示す断層岩中のビトリナイト粒子も顕微鏡下で識別し、測定対象とできるため、断層の変形構造と摩擦発熱温度の分布を対比させた評価が可能である。

しかし、ビトリナイト反射率を用いた断層岩中の炭質物の熱熟成評価では以下のような問題を内包している。

- ・一般的なビトリナイト反射率では、さまざまな種類の炭質物粒子からビトリナイト粒子を識別するために、直径が 20 μm 以上の炭質物粒子を測定対象としている。断層岩中の炭質物粒子は粉碎化し、20 μm 以下の粒子が多く存在する。20 μm 以下の粒子はビトリナイト粒子と他の炭質物粒子との識別が困難であるため、測定できない。
- ・炭質物粒子のうち、ビトリナイト粒子のみが測定対象となるため、測定できる粒子に限られる。

2. 研究の目的

ビトリナイト反射率における熱熟成評価の問題を解決する新たな手法として、本研究では顕微レーザーラマン分析による炭質物の熱熟成評価を行う。近年、ビトリナイト反射率と炭質物のラマンスペクトルによい相関があり、炭質物のラマンスペクトルが熱熟成

の指標として利用できることが明らかとなっている (例えば Kouketsu et al., 2014; Wilkins et al., 2014)。また、ビトリナイト以外の炭質物粒子でも測定対象となるため (Wilkins et al., 2014)、ビトリナイト以外の炭質物粒子や、識別が困難な炭質物粒子も測定できる。そのため、ビトリナイト反射率に比べ測定対象が格段に増え、より高密度の測定が可能となる。ただし、断層の摩擦発熱のような瞬間的な発熱に対して、炭質物のラマンスペクトルがどの程度変化するかについては十分に理解されていない。

そこで、本申請研究では、瞬間的な発熱に伴うラマンスペクトルの変化を定量的に評価し、天然の断層における高密度な摩擦発熱温度分布を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

地震時の断層摩擦発熱のような瞬間的な発熱による炭質物の熱熟成をラマン分析で評価するために、熱分析装置を用いた炭質物の加熱実験およびラマン分析を行う。また、変形 (粉碎化) に伴う炭質物のラマンスペクトルへの影響を考慮するために、粉碎化させた炭質物のラマン分析を行う。実験後の試料のラマンスペクトルの変化を化学的に解明するために、実験試料の有機元素分析もあわせて行う。上記のプロセスにより構築されるラマン摩擦発熱温度計を用いて、天然の断層における微細構造解析および炭質物のラマン分析を行い、詳細な摩擦発熱温度分布を明らかにする。

4. 研究成果

陸上付加体から採取した炭質物の 100 ~ 1300 までの 100 点ごとの加熱実験 (昇温速度 20 /min) を行い、実験後の試料のラマン分析を行った。その結果、被熱温度の上昇と共に炭質物のラマンスペクトルが大きく変化することが明らかとなった (図 1a)。得られたラマンスペクトルのピーク強度比および面積比の解析を行ったところ、特に 600 以上の加熱実験において、スペクトルの変化が明瞭に表れることが明らかとなった。

次に、陸上付加体に露出する 2 つの化石巨大分岐断層から採取した断層岩のうち、カタクレサイトのみを産する断層、カタクレサイトとシュードタキライトを伴う断層を対象に、断層岩に含まれる炭質物のラマン分析を行った。その結果、一部のカタクレサイトでは 700 程度、シュードタキライトでは 1300 まで加熱実験した試料のラマンスペクトルに類似したスペクトルが得られ、瞬間的な発熱によって断層岩中の炭質物の熱熟成が増加していることが明らかとなった (図 1b)。以上の結果より、断層中の断層岩の分布に関連し、摩擦発熱温度に変化が見られ、その変化を面的に見積もることが可能であることが明らかとなった。また、これまでシュードタキライトを産しない断層につい

ては摩擦発熱温度の見積りが困難であったが、ラマン分光法を用いることにより、600を超える摩擦発熱温度を経験したと考えられる断層については、シュードタキライトが認められなくても摩擦発熱温度の見積りが可能であることが明らかとなった。

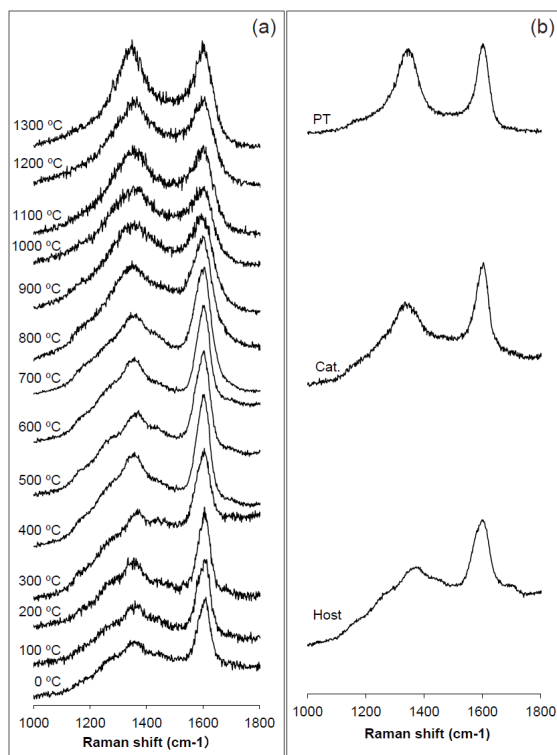


図1(a)加熱実験した炭質物のラマンスペクトル。(b)化石初代分岐断層の断層岩中に見られる炭質物のラマンスペクトル。PT:シュードタキライト, Cat:カタクレーサイト, Host:断層近傍の母岩。

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 2 件)

Kaneki, S., Hirono, T., Mukoyoshi, H., Sampei, Y., Ikehara, M., 2016, Organochemical characteristics of carbonaceous materials as indicators of heat recorded on an ancient plate-subduction fault. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17, 2855–2868. 査読あり。

向吉秀樹, 2016, 陸上付加体から明らかとなった沈み込みプレート境界断層の断層岩の特徴. *島根県地学会誌*, 31, 3-7. 査読なし。

〔学会発表〕(計 5 件)

大久雅貴, 向吉秀樹, 金木俊也, 廣野哲朗, 四国南西部白亜系四万十付加体中に発達する巨大分岐断層の摩擦発熱温度評価. 2017.5.20, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉県)。

Mukoyoshi, H., Hirono, T. Maturation during short-duration heating of carbonaceous material:

A new indicator for frictional heat during earthquake slip, 2016.12.13 AGU Fall Meeting, Sanfransisco.

金木俊也, 廣野哲朗, 向吉秀樹, 三瓶良和, 池原実, Determination of slip parameters of subduction earthquake by using multiple analyses of carbonaceous materials. 2016.5.24, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉県)。

向吉秀樹, 陸上付加体研究から明らかになった海溝型巨大地震時の断層すべり過程. 2015.7.4, 島根県地学会平成 27 年度(第 31 回)研究発表会, 島根大学(島根県)。

向吉秀樹, 廣野哲朗, 断層摩擦発熱に伴う炭質物熟成の特徴: 断層岩中の炭質物のラマン分析より. 2015.5.24, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 幕張メッセ国際会議場(千葉県)。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

向吉 秀樹 (Mukoyoshi Hideki)
島根大学・総合理工学研究科・助教
研究者番号: 80744200

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者
()

研究者番号：

(4)研究協力者
廣野 哲朗(Hirono Tetsuro)
池原 実(Ikehara Minoru)