

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：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17779

研究課題名(和文)地震同時性化学反応の実験的解明：急速加熱水熱試験機を用いた炭質物熱熟成の定量化

研究課題名(英文) Experimental investigation of co-seismic chemical reaction: Quantification of organic carbon maturation under rapid heating

研究代表者

濱田 洋平 (HAMADA, Yohei)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・研究員

研究者番号：80736091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：地震時に断層近傍で引き起こされる「地震同時性化学反応」を実験室的に再現・定量化することを目的とし、断層運動の場を模擬した急速加熱試験機を製作し石炭を含んだ岩石について実験を行った。

その結果、瞬間加熱時の石炭熟成反応の進行度は概ね過去に提案されている化学反応の速度論で説明できるものの、定常加熱試験に比べて、その反応進行度において大きなばらつきを示した。特に加熱時間が短いものほどこのばらつきは顕著であった。これは、反応時の脱ガス過程など、物質の移動速度が強く律速しているためと考えられる。物性の不均質をなくした標準物質での検証により、瞬間反応時の律速過程を明らかにすることが可能であると期待される。

研究成果の概要(英文)：Rapid heating experiments of natural rock were conducted in order to quantify the mechanism of "Co-seismic chemical reaction" induced by frictional heat generation during faulting. As a typical reactant, thermal maturation of coal was focused on in this research. Vitrinite reflectance values (%Ro) were measured for whole volume of the samples after the rapid heating experiments.

As the results, values of %Ro showed wide variation in each sample compared with that of isothermal experiments and numerical analyses based on chemical kinetic equation. This might not be caused only by heterogeneity of thermal properties of samples, but also by hydraulic characteristics such as permeability, which controls degassing speed.

研究分野：構造地質学

キーワード：地震同時性化学反応 炭質物熟成

1. 研究開始当初の背景

地震時、断層の運動に伴って非常に大きな摩擦発熱が生じ、断層内部や近傍の母岩の温度を急激に上昇させる。この温度上昇によって様々な地震同時性の化学反応や構造変化が引き起こされ、その痕跡が断層の詳細な化学分析、構造解析から明らかにされてきた。この化学反応の痕跡から、地震時の動的な断層運動パラメーターの推定も行われてきたものの、これらの推定は一定温度・長時間（数分以上の加熱時間）加熱によって提案された化学反応速度論に依っている。先行研究では高速せん断実験によって急加熱とメカノケミカル反応による断層での化学反応の進行の検証がなされているが、せん断の複雑なメカニズムのために、反応速度論的な詳細な定量化はなされていなかった。上記を踏まえ、断層沿いでの地震同時性反応の再現と定量的な評価のために、熱のみを急激に加える急速加熱試験を行う必要があった。

2. 研究の目的

地震同時性化学反応は地震時の動的な摩擦発熱によって生じるため、非常に短時間であつ反応領域が限られている。この反応が過去に提案された速度論によって説明可能か否かを、高速昇温加熱実験によって検証する。そのための急速加熱装置の整備、天然の断層模擬試料採取とそれを用いた加熱実験を通し、化学反応速度論的解析により瞬間加熱時の反応の描像を得ることを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、地震同時性化学反応の対象として、石炭の一種であるピトリナイトの熟成反応を対象とした。ピトリナイトは海成堆積物中に広く分布することから、古くから古地質温度計として用いられており、そのピトリナイト反射率(%Ro)の上昇過程は化学反応速度論的に記述されている。また、断層沿いにおけるピトリナイト反射率の上昇から、地震同時性の熱熟成についても論じられており、その痕跡を保持した断層が報告されている。この点に注目し、ピトリナイトを含有する岩石を整形し、急速加熱試験を行うことで、反応速度の定量を試る。また同時に、天然での実際の断層近傍での炭質物熟成様式を検討するため、房総半島や四万十帯に発達する断層沿いの炭質物の熟成についてもピトリナイトの熟成を定量化し、数値的な検討に使用した。

(1) 実験試料

実験に使用した炭質物含有岩は種子島に発達する茎永層群中の炭質物濃集層から採取した。ブロック試料を採取後、径2cmの円筒状に成形したものを加熱試験試料とした。試料内部には砂岩中に計50~200 μ mのピトリナイト粒子が不規則に分布しており、それ

らの加熱前の反射率は概ね0.19-0.22%Roであった。

(2) 瞬間加熱試験

加熱装置としてカーボンコンポジットヒーター及びマッフル炉を使用した。カーボンコンポジットヒーターは数秒で1000程度の高温を実現可能だが、ピトリナイトの反応温度を考慮し、600/10s 300/10sの範囲で実験を行った。加熱ヒーター形状はシート状であり、円筒試料の一底面をヒーターに載せるかたちで加熱した。これにより断層運動による加熱熱伝導過程を再現した。また、従来使用されているピトリナイトの化学反応速度論についても同試料での検証を行うため、同じく円柱試料を用いたマッフル炉を用いた定温長時間の加熱試験を行った。

(3) ピトリナイト反射率測定

加熱後の試料については、薄片を作成したのちに鏡下でピトリナイト反射率を面的に測定した。薄片は円筒試料の長軸に平行な方向に複数枚作成し、これによりピトリナイトの熟成量の試料内での分布を測定した。数値計算により、加熱温度から試料内温度の時空間分布を推定し、そこから計算される反射率の値を比較することで、急速加熱下における炭質物の熱熟成速度を見積もった。

4. 研究成果

まず、天然に分布する断層沿いのピトリナイト反射率を測定したところ、断層から数cmの範囲での反射率の上昇が確認された。特筆すべき点として、断層によってはその反射率の上昇の空間的な分布が薄い断層内部に限られており、母岩で一切の上昇を示していないものも確認された。これら分布から断層の加熱時間スケールを数値シミュレーションによって計算した結果、長いもので~1時間、~0.1/sの加熱速度、短いもので100/s程度の昇温速度が見積もられた。上記の測定により、天然の断層においては比較的短時間の加熱時間においても、十分に炭質物の熟成が起こっていることが示唆された(図1)。一方で、30-60/sの昇温速度で加熱した実験試料についてピトリナイト反射率の分析の結果、昇温速度が速く、最高到達温度が高い実験ほどピトリナイトの熱熟成がより進んでいることが確認された。ピトリナイトの熟成は最大で断層から約1cmの距離においても確認された。原理上、ヒーターにより近い個所は最高到達温度も被加熱時間も長いことにより反射率が高くなることが予想されたものの、試料内部での反応率のばらつきは非常に大きく、その傾向は明瞭には見られなかった。速度論パラメーターの推定はそのばらつきのために不可能であったが、従来提案されていた速度論を用いて、温度から反射率の増加を推定したところ、その反射率の絶対値は概ね説明できることが明らか

となった(図 2)。また、反射率の空間分布を観察したところ、円柱試料の中心部ほど計算される反応率に対して平均的な反応率の上昇量が小さく、反応が遅れていることが確認された。この結果に加え、一定温度にて 10 分程度加熱した場合では、反応率のばらつきも小さくその反応率も従来の速度論と一致したことから、この瞬間加熱でのばらつきは温度の不均質や試料中の石炭物質粒子径の不均質と同時に、反応によって生じる脱ガスの速度に依存していることが考えられる。以上の結果から、断層運動時の瞬間加熱によって、その近傍では炭質物の熟成が起ころうことが明らかとなった。特に、ゆっくり地震時に加熱を経験したような数十分～スケールの加熱時間の場合には、既に報告されている炭質物の化学反応速度論を用いて、その反射率の上昇が推定できることを示した。一方で、炭質物の熟成のような脱ガス反応が断層近傍で生じる際、その反応ガスの移動速度が反応を律速している可能性がある。以上の結果を精査しその速度パラメータの推定を行うためには、天然の炭質物濃集層から抽出した炭質物をふるったのちに石英砂やガラスビーズなどと混ぜたものを実験試料とするなど、炭質物粒度や熱物性分布の不均質を減ずるのみならず、透水係数を調整した試料を用いて実験を行い、反応ガスの移動速度についても定量的に扱う必要がある。

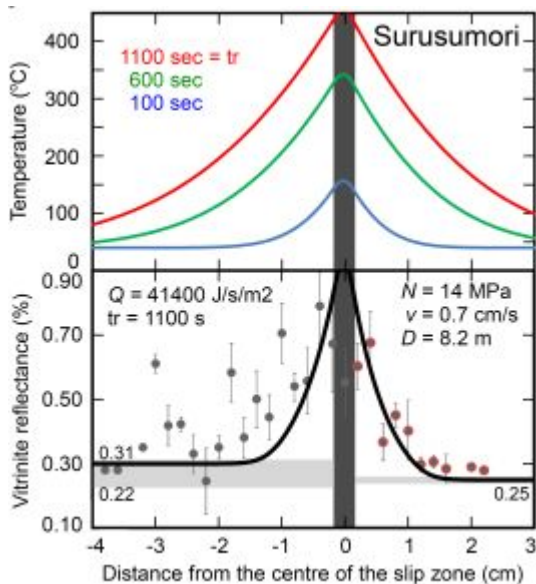


図 1. 天然での断層(房総半島付加体に発達する断層)近傍での炭質物熟成(下)と、数値計算による加熱時間計算の結果(上)。この断層では断層からの距離およそ 1cm までで有意な炭質物の上昇が確認された。この上昇を説明するためには、断層中心部が約 1100 秒でおよそ 450 まで到達するような摩擦発熱が生じたことが推定される。この数値計算結果は、断層の下盤側(下図右側)をフィットすることで得た。

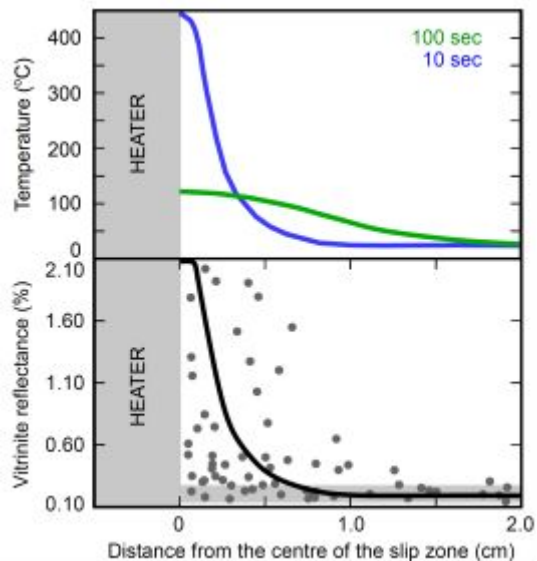


図 2. 急速加熱試験による試料内温度(上)と炭質物熟成の炭質物熟成(下)。試料内における一温度測線での例。黒線は温度から従来の速度論を使用して計算されるビトリナイト反射率。

5. 主な発表論文

[雑誌論文](計 3 件)

山本 由弦・千代延 俊・神谷 奈々・濱田 洋平・斎藤 実篤, 2017, 付加型沈み込み帯浅部の地質構造: 房総半島南部付加体-被覆層システム, 地質学雑誌, 123 / 1 / 41 - 55 27. (査読有り)

林 為人・廣瀬 丈洋・谷川 亘・濱田 洋平, 2017, 科学掘削による地震断層の応力状態・物性・すべりパラメータの評価, 地学雑誌, 126 / 2 / 223 - 246. (査読有り)

Hamada, Y., Sakaguchi, A., Tanikawa, W., Yamaguchi, A., Kameda, J. and Kimura, G., 2015, Estimation of slip rate and fault displacement during shallow earthquake rupture in the Nankai subduction zone. Earth Planet and Space, 67:39, doi: 10.1186/s40623-015-0208-0. (査読有り)

[学会発表](計 6 件)

川端 訓代, 坂口 有人, 濱田 洋平, 北村 有迅, 斎藤 実篤, 熊野前弧海盆堆積物のビトリナイト反射率測定から得られた断層に関連する高温流体循環の可能性, 2017, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 2017/05/24, 幕張メッセ(千葉県千葉市), ポスター

Hashimoto, Y., Okubo, S., Hamada, Y., Geological observations supporting a slip model that stress drop varies with characteristic rupture length, 2017, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 2017/05/23, 幕張メッセ(千葉県千葉市), 口頭

Hashimoto, Y., Morita, K., Okubo, M., Hamada, Y., Lin, W., Hirose, T. and Kitamura, M. Fossil rocks of slow earthquake detected by thermal diffusion length, European Geoscience Union general assembly 2016, 2016/04/19, ウィーン (オーストリア), 口頭

Hamada, Y., Saito, S., Sanada, Y., Masaki, Y., Moe, K., Kido, Y., Kumagai, H., Takai, K., Suzuki, K. Temperature and Volume estimation of under-seafloor fluid from the Logging-while-drilling data beneath an active hydrothermal field. AGU Fall Meeting 2015, 2015/12/16, サンフランシスコ (アメリカ合衆国), ポスター

濱田 洋平, 木村 学, 亀田 純, 山口 飛鳥, 浜橋 真理, 福地 里菜, 北村 有迅, 川崎 令詞, 岡本 伸也, 断層すべり時における二段階の動的弱化機構: シュードタキライトの構造解析と形成過程の考察. 日本地質学会第122年学術大会, 2015/09/13, 信州大学(長野県長野市), 口頭

橋本 善孝, 森田 清彦, 大久保 慎人, 濱田 洋平, 林 為人, 廣瀬 丈洋, 北村 真奈美, 小断層の発熱量・活動時間の推定とスロー地震のスケーリング則との関係: 四国四万十帯, 日本地質学会第122年学術大会, 2015/09/13, 信州大学(長野県長野市), 口頭

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱田 洋平 (HAMADA, Yohei)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・研究員

研究者番号: 80736091