

炭質物をもちいた新しい地震断層温度計の開発

A new fault-thermometer based on vitrinite maturation by frictional heat

北村 真奈美^{1*}, 向吉 秀樹², FULTON, Patrick M.³, 廣瀬 丈洋⁴Manami Kitamura^{1*}, Mukoyoshi Hideki², FULTON, Patrick M.³, Takehiro Hirose⁴

¹ 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻, ² (株) マリン・ワーク・ジャパン, ³ カリフォルニア大学, ⁴ 独立行政法人 海洋研究開発機構高知コア研究所

¹Depart. of Earth and Planetary Systems Science, Graduate School of Science, Hiroshima University, ²Marine Works Japan Ltd., ³Depart. of Earth and Planetary Science, University of California Santa Cruz, ⁴Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC

大地震の発生時には断層が高速・大変位運動するため、断層内部に顕著な摩擦熱が発生する。その摩擦熱に起因した断層内部での物理化学プロセスによって、地震時の断層の動的すべり挙動（すべりはじめた断層が大地震に発展するかどうかを決める要因の一つ）が支配されていることが、今世紀に入って明らかとなってきた。このような観点から、地震時の摩擦発熱を検出して地震のダイナミクスを探ろうとする試みが、1999年台湾の集集地震、2008年中国の四川大地震、2011年東北地方太平洋沖地震直後の断層掘削孔を使った摩擦発熱の余熱計測によってなされている。また、地震性の断層すべりを起こした断層帯からも、強磁性反射波（Fukuchi et al., 2005）、微量元素と元素同位体（例えば Ishikawa et al., 2008）、粘土鉱物の変化（例えば Hirono et al., 2008）、ビトリナイト反射率（例えば Sakaguchi et al., 2011）などの手法によって断層摩擦発熱に起因する熱異常が検出されはじめている。この中でもビトリナイト反射率（ R_o ）と被熱温度との相関関係（e.g., Sweeney and Burnham, 1990）は古くから地質温度計として用いられている。しかし、これらの関係式は地質学的代スケールの被熱時間を仮定している。地震断層すべりは被熱時間が数秒から数十秒と非常に短く、不可逆反応なので、従来の R_o と温度の関係式から断層の発熱温度を求めることは難しいと考えられる。そこで我々は、数秒間の摩擦発熱を伴う地震性断層すべりによって R_o がどのように変化するかを、石英（90 wt%）とビトリナイト（10 wt%）の混合ガウジを用いた高速摩擦実験によって調べた。その結果、断層すべりに伴う短い発熱時間によっても、 R_o が指数関数にしたがって著しく上昇し、この摩擦発熱温度と R_o の相関関係が断層温度計として使えることがわかった。

この新しい地震断層温度計もちいて、四万十帯メランジュ帯内部に発達する断層帯および南海トラフ先端部に発達する断層で確認された石炭の熱異常から、摩擦発熱の絶対温度を見積もって、そこから地震ダイナミクスを規定する地震時の断層の動的断層強度を推定することを試みた。調査した四万十帯内部に発達する断層帯は、母岩部分の R_o が約 1.2% であるのに比べて、厚さ約 8 mm の剪断集中帯を含む断層帯内部では R_o が 1.7-5.6% と非常に大きい値を示す。この R_o の熱異常を、1.3 m/s の石英-石炭実験から得られた断層温度計を使って、過去に起こった最大の地震の時の摩擦発熱温度を推定すると、630 となる。8 mm の剪断集中帯で地震時のすべり量を 15 m、断層岩の密度と熱容量を 2.3 kg/m³ と 1.0 kJ/kg K とすると、地震時の剪断強度は 0.79 MPa となる。母岩の R_o が 1.2% なので最大埋没深度は 6 km 程度であると考えられるので、その深度で地震が起こったとして断層にかかる垂直応力は 76 MPa なので、地震時の動的摩擦係数は 0.01 程度になることがわかった。同様の解析を、南海トラフの巨大分岐断層先端部で確認された石炭の熱異常（ $R_o = 0.6\%$: Sakaguchi et al., 2011）に適応して、地震時の剪断強度と摩擦係数を推定するとそれぞれ 0.53 MPa と 0.18 となった。これらの結果は、地震時の高速すべり運動を再現した摩擦実験の結果（Di Toro et al., 2011）や、1999年の台湾集集地震の断層掘削孔の温度測定から解析された地震時の摩擦係数（Kano et al., 2006）とよく一致する。開発した断層温度計はまだ改良が必要なものの、このように天然の断層から地震時の断層パラメータを推測するツールになりえることがわかった。

キーワード: 断層, 摩擦発熱, ビトリナイト反射率, 炭質物, 地震

Keywords: fault, frictional heating, vitrinite reflectance, carbonaceous matter, Earthquake