

ラマン分光法を用いた地質・地震断層温度計開発の試み

Development of geo- and fault-thermometer using a raman spectroscopy technique on carbonaceous material

向吉 秀樹^{1*}, 北村 真奈美², 廣瀬 丈洋³, 山本 由弦⁴, 坂口 有人⁴HIDEKI, Mukoyoshi^{1*}, KITAMURA, Manami², HIROSE, Takehiro³, YAMAMOTO, Yuzuru⁴, SAKAGUCHI, Arito⁴¹(株)マリン・ワーク・ジャパン, ²広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻, ³海洋研究開発機構 高知コア研究所, ⁴海洋研究開発機構¹Marine Works Japan Ltd., ²Hiroshima University, ³JAMSTEC Kochi, ⁴JAMSTEC

ビトリナイト反射率は他の地質温度計と比較して、より低温のイベントを検出できることから、付加体浅部域など低熱変成地域における古地温構造解析(例えば Laughland & Underwood 1993, Sakaguchi et al., 1996)や断層の摩擦発熱の検出(例えば O'Hara, 2004; Sakaguchi et al., 2011)などにおいて注目されている。ビトリナイト反射率同様、炭質物の熟成を把握する手法としてラマン分光装置を用いた分析手法があり、ラマンスペクトルの 1580cm⁻¹ 付近に現れる G ピーク、1350cm⁻¹ 付近に現れる D1 ピーク、1620cm⁻¹ 付近に現れる D2 のピークの面積比 R2 (=D1/[G+D1+D2]) を指標とした地質温度計が構築されている(Bayssac et al., 2002; Rahl et al., 2005; Aoya et al., 2010 など)。しかし、これまでに報告されているラマン地質温度計は、主に変成岩地域に産出するグラファイトを対象にしたものであり、その温度範囲は約 330°C-650°C に限られる。

そこで本研究では、1. ラマン温度計を低熱変成地域に応用可能か、2. 石炭組織の違いによるラマンスペクトルの変化はないか、3. 断層の摩擦発熱のような瞬間的な熱をラマンスペクトルから検出できるか、の3つについて明らかにすることを目的として、低熟成度の非晶質炭質物(石炭)のラマン分析を行った。手法としては、1については、ビトリナイト反射率から古地温が見積もられている房総半島中部中新統保田付加体(約 50°C)(Yamamoto et al., 2005)、四国南西部白亜系四万十帯(約 150°C、230°C)(Mukoyoshi et al., 2006)、ジュラ系足尾帯(約 300°C)の試料のラマン分析を行い、ラマンスペクトルとビトリナイト反射率との相関について検討した。2については同じ地層から採取したコリナイト、デグラディナイト、フージナイトのラマン分析を行い、それぞれのラマンスペクトルの比較を行った。3については、石英(90 wt%)とビトリナイト(10 wt%)の模擬混合ガウジを作成し、高知コアセンターに設置されている高速摩擦試験機を用いた高速摩擦実験を行い、実験前後の炭質物のラマンスペクトルの比較を行った。これまで報告されているグラファイト質炭質物のラマン分析では、ピークを上述の D1, G, D2 ピークおよび 1500cm⁻¹ 付近に現れる D3 ピークの4つに分離しているが、石炭においては、これらのピークの外に D1 ピークの肩として 1180cm⁻¹ 付近、1270cm⁻¹ 付近および 1450cm⁻¹ 付近に D ピーク群の一部と思われるピークが確認される。これらのピークの影響により、これまで報告されている D と G の2つのピーク分離や G、D1、D2、D3 の4つのピーク分離ではスペクトラムをうまくフィッティングすることができない。そこで、これまでのピーク分離法に加え、D1 ピークの肩として現れる3つのピークを含む合計7つのピークに分離した上でスペクトルフィッティングもおこなった。

解析の結果、ピークを4つに分離してフィッティングしたもので、これまでのラマン地質温度計で報告されている低熱変成地域の炭質物と同様に、R2の面積比と被熱温度との相関が見られなかった。一方ピークを7つに分離し、Aoya et al., 2010を参考に単一試料ごとの面積比の平均値を計算したうえで被熱温度との相関について調べたところ、R2面積比においては、 $T(^{\circ}\text{C}) = 8.6 \cdot \exp(7 \cdot R2)$ (決定係数 0.98) の指数相関関係が見られた。また、R2の面積比とは別に、D1/[分離した7つのピーク全て]の面積比(仮に R6 とする)と被熱温度との相関について検討したところ、 $T(^{\circ}\text{C}) = 10.9 \cdot \exp(11.9 \cdot R6)$ (決定係数 0.99) のような高い指数相関関係が見られた。R6を用いた石炭組織の違いによるラマンスペクトルの比較では、石炭組織ごとの R6 の違いは同一試料を 10 回測定した際の誤差の範囲に収まる程度のものであり、有意な違いは見られなかった。摩擦発熱の検出に関しては、R6に有意な違いが見られたが、剪断変形の影響の可能性が考えられるため、今後さらなる検討が必要である。

以上の結果より、非晶質炭質物(石炭)においても、ピークを7つに分離した上でフィッティングをおこない、R6の面積比の平均値を求めることにより地質温度計となりうるということがわかった。その温度範囲は約 50°C ~ 300°C であり、付加体浅部域の古地温構造解析などに応用できると考えられる。今後の検討次第では、摩擦発熱の検出も可能になるとと思われる。

キーワード: ラマン分光分析, ビトリナイト反射率, 炭質物, 地質温度計, 摩擦発熱, 断層岩

Keywords: raman spectroscopy, vitrinite reflectance, carbonaceous material, geothermometry, frictional heat, fault rock