

平成21年 6月30日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007 ～ 2008
 課題番号：19540489
 研究課題名（和文） 微小ビトリナイト粒子による断層付近温度マップ分析技術の開発
 研究課題名（英文） Development of micro vitrinite reflectance analysis for thermal mapping around fault zone.
 研究代表者
 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

研究成果の概要：

ビトリナイト反射率は $\sim 300^{\circ}\text{C}$ 程度までの優れた地質温度計であるが、従来は $100\mu\text{m}$ 程度の大きな試料しか分析できなかった。本研究により、産状観察に基づく新しい微小ビトリナイトの判別法を見出し、かつ特殊用途の照明装置を併設した新しい分析機を開発したことで約 $1.6\mu\text{m}$ の微粒子まで分析できるシステムの開発に成功した。これにより断層周辺の温度マッピングが可能となった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,400,000	102,000	4,420,000

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：ビトリナイト反射率、微小部反射率測定、温度マッピング、断層、摩擦熱

1. 研究開始当初の背景

ビトリナイト反射率は表層から約 300°C 程度までの優れた地質温度計として、JIS (JIS M 8816) や ISO (ISO 7404-5) などで工業指標としても標準化されている。石油石炭業界で広く利用されている。これは産業分野のみならず、地球科学分野でもプレートの沈み込み作用にともなう地質体の埋没深度や断層の摩擦加熱温度の推定にも応用可能な技術であり、広い分野で利用されるようになってきた。しかし従来の手法は、炭質物を多く含む油田・炭田地域をメインのターゲットとしてきたため、大きな炭質物が豊富に含まれる試料を対象として、その平均値を測るよう標準化されてきた。しかし海溝付加体や断層帯といった地質体では、細粒な炭質物が多く従来の油田・炭田地域の試料とは全く異なる。

従来の手法は炭層を破碎し、炭質物のみを重液分離して鏡下観察及び反射率測定が行われてきた。とりわけ埋没以前に炭化し続成作用に不活性なイナーティナイトと区分することが分析上重要であった。イナーティナイトは、木炭のように細胞壁や導管といった植物組織を保持し高反射率を有する。一方のビトリナイトは続成過程におけるゲル化に伴って均質な無組織に変化することで特徴づけられる。そのためこれまでは源植物の組織の有無によってこの両者を判別されてきた。しかしこの判別法では、細胞組織よりも小さな炭質物粒子（おおむね $75\mu\text{m}$ ）には適用できないため、これ以下の粒子は分析されなかった。

2. 研究の目的

より微小なビトリナイト粒子の反射率測定システムを開発することで、より多くの研究分野でビトリナイト反射率の手法が応用できるようにする。そうすることで、例えば細粒な炭質物しか含まないため、従来は過去の温度評価ができなかった油田炭田地域での応用や断層破碎帯の摩擦加熱温度のマッピングといった応用に道を開かれる。特に断層の温度は、地震断層の運動エネルギーのほとんどが、最終的に摩擦熱となって散逸することから、岩石試料が被った熱から、そこに蓄積された弾性歪エネルギーを見積もることができるので、地震発生メカニズムを理解する上でたいへん重要である。

3. 研究の方法

微小な炭質物試料のビトリナイト反射率測定を可能にするには、(1) 微小なビトリナイトの新しい認定方法の確立、(2) 微小部反射率測定装置の開発、の2点が重要である。そのために天然試料の詳細な観察に基づく、新しいクライテリアの提案と、他分野の顕微鏡技術も含めた幅広い技術的検討を行う。

4. 研究成果

炭質物の新しい識別方法の提案

石炭は、反射顕微鏡における産状からリプティナイト、ビトリナイト、イナートナイトの3つのグループに分けられている。そのうちビトリナイトグループが古地温分析に使用できる。従来は炭層を破碎し、炭質物のみを重液分離して鏡下観察及び反射率測定が行われてきた。とりわけ埋没以前に炭化し続成作用に不活性なイナートナイトと区分することが分析上重要であった。イナートナイトは、木炭のように細胞壁や導管といった植物組織を保持し高反射率を有する。一方のビトリナイトは続成過程におけるゲル化に伴って均質な無組織に変化することで特徴づけられる。そのためJIS (JIS M 8816) やISO (ISO 7404-5)、ASTM(D2798-5)では、源植物の組織の有無によってこの両者を判別してきた。しかしこの判別法では、細胞組織よりも小さな炭質物粒子(おおむね $75\mu\text{m}$)には適用できないため、これ以下の粒子は分析されなかった。

一方、厚い炭層ではなく碎屑性粒子中に散在する炭質物の場合、ビトリナイトは、ゲル化過程において周囲の碎屑粒子の隙間に注入する組織を有することが多い。石炭は、コークス製造時などの加熱過程において液化するが一般によく知られており、おそらく続成反応においても熱可塑性を持ち、その結果ビトリナイトの均質かつ無組織な特徴が獲得され、周囲の碎屑粒子の隙間に注入するのであろう。一方イナートナイトは、植物組織

を保持し周辺隙間への注入構造は観察されない。この点に着目することで、 $75\mu\text{m}$ (#200メッシュ) よりも小さな炭質物粒子であってもビトリナイトかイナートナイトかを識別することが可能になる(図1)。試料は炭質物の産状を保存するために、破碎せずに碎屑物と共に琢磨処理する。こうすることで注入構造の産状観察のみならず、微小なビトリナイト反射率マッピングが可能となる。

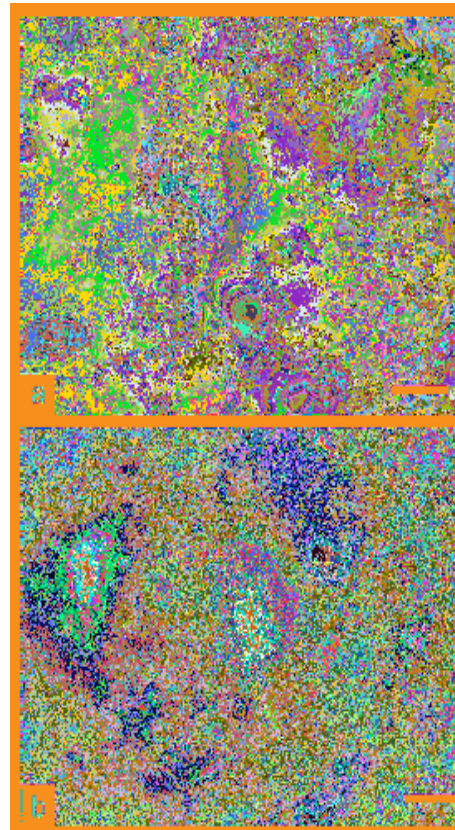


図1. (a)碎屑粒子の隙間に産するビトリナイト. 矢印の部分は周囲の粒子の隙間に注入組織を有している. (b)一方、イナートナイトにはこのような注入組織は見られない。

微小部反射率測定機

既存の落射顕微反射率測定機は、試料表面の一定エリアに光を投射し(機種によるが概ね直径 $50\sim 100\mu\text{m}$ 以上)、その中心の直径 $10\mu\text{m}$ 以下のポイントだけを測光する。もしも投射光が当たっている範囲内にビトリナイト以外の高輝度粒子があったならば、強い散乱ノイズ光が発生し大きな測定誤差が生じる。従来は石炭のみを単離して試料としていたし、 $75\mu\text{m}$ 以上の大きなビトリナイトのみを対象としていたのでこの点は問題とな

らなかった。しかし本手法は、岩石薄片をそのまま観察試料とするので、従来法ならば重液分離で除去される様々な鉱物の高輝度反射粒子が試料表面に残ってしまう。そこでビトリナイト以外の高輝度鉱物の反射を防ぐために照明エリアを小さく絞る必要がある。一般に落射顕微鏡に用いられているケラー式の照明装置は、広い視野を均質に照らすことを目的に作られており、光束を絞り過ぎると却って回折の悪影響が強くなりすぎる。そのため概ね $100\mu\text{m}$ よりも広いエリアを照明するように使用される。一方で、レーザ共焦点顕微鏡等に用いられているクリティカル照明装置は照明エリアを数 μm 以下まで絞ることができるが、広視野を均質に照明することはできないので、観察には不向きである。そこで通常の落射型システム顕微鏡に観察用のケラー照明と分析用のクリティカル照明の2台を併設して広視野観察とスポット照明($\phi=1.6\mu\text{m}$)とを両立した。その結果、広視野観察を行いつつ、直径 $1.6\mu\text{m}$ の微小部反射率測定が同時に可能となった(図2)。

まとめると、従来は石炭化過程におけるゲル化によって源植物の細胞組織が失われている点が基準だったため、細胞組織サイズより小さな破片の判別はできなかった。しかし産状が保存されている場合は、ゲル化したビトリナイトが周辺碎屑粒子の隙間に入り込むため、注入構造の有無で判別できることを見出した。

また、従来の顕微測定装置は、観察用のケラー式照明を分析にも兼用していた。そのため光束を $100\mu\text{m}$ 程度までしか絞れなかった。

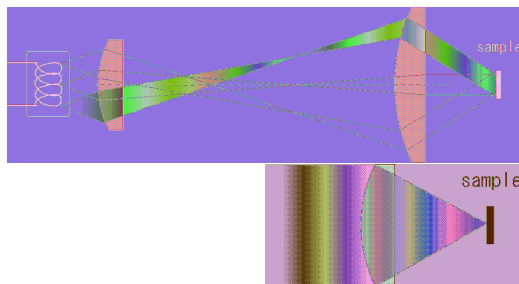


図2. 上のケラー式照明は、顕微鏡のコンデンサレンズとして広く用いられており、広く均質な照明を作ることに優れており、観察用光源に最適である。しかし平行光線を作ること基本としているので、光束を細くするとかえって回折の影響でかえって光束が大きくなる。一方、下のクリティカル照明は光束を細くすることはできるが、広く均質な照明を作ることは難しい。観察には向かない。

石炭のみを単離した試料ならこれでもいいが、石炭のみを単離していない試料の場合は、

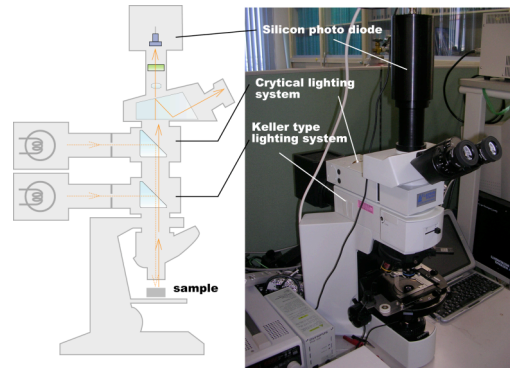


図3. 観察に基づいて微小なビトリナイト粒子の反射率を測定するので、観察用照明と(ケラー式)と分析用照明(クリティカル式)の2種を両方搭載した。

高輝度鉱物の散乱光ノイズが問題となる。そこで分析用にクリティカル照明装置を併設し、観察と分析の照明を独立させた(図3)。その結果、広域の観察と、約 $1.6\mu\text{m}$ まで微小部測定が両立可能となった(図4)。このクリティカル照明は、半導体検査顕微鏡や共焦点顕微鏡といった特殊用途に開発されたもので、これを一般的な落射顕微鏡に流用したことがポイントである。

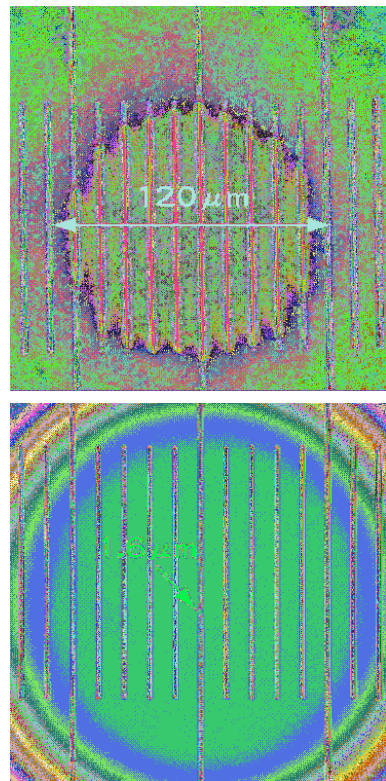


図4. 従来の測定機の照明エリア(上)と比較して、本開発機(下)は、はるかに微小領域の測定が可能になった。

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)

[学会発表] (計2件)

①坂口 有人, IODP Exp. 316 乗船研究者一同, ビトリナイト反射率による南海トラフ地震発生帯 掘削コア (Exp316) の古地温環境と分析手法, 日本地質学会第 115 年学術大会, 2008 年 9 月 20 日 (秋田市, 秋田大学).

②Arito Sakaguchi, Vitrinite reflectance analysis for thrust fault in subduction zone, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月 22 日 (千葉市, 幕張メッセ).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし