

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 21 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25800289

研究課題名(和文)第三紀泥岩の分類：分光測色による「色層序学」の構築

研究課題名(英文)Colour stratigraphy of Tertiary mudrocks based on spectrophotometry

研究代表者

辻野 匠 (TuZino, Taqumi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：80357516

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、第三紀泥岩の色を分光測色計を用いて客観的に定量し、色の層序(色層序)を構築することである。色が如何なる古環境的あるいは続成的差異を反映しているのかを構成物の多角的な分析を通して明らかにすることで「色層序学」が樹立される。

本研究の結果、背弧域は地域ごとに差異はあるものの色層序として区分できることがわかった。色相は陸源碎屑物、明度については石灰質微化石・碎屑物の量や有機物の量と関係している可能性がある。前弧域は泥岩の色はほぼ均質で、色層序として区分はできないが、呈色物質の分光スペクトル上の形態は明らかにできた。それにもとづけば針鉄鉱・赤鉄鉱ではなく鉄を含む粘土鉱物が示唆される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to establish colour stratigraphy of the Tertiary mudrocks in Japan, based on spectrophotometric analysis. Multidisciplinary analyses (XRD, XRF, CNS, point-counting) were carried in order to reveal the reason of mudrock colour. The mudrocks in the back-arc region can be classified as several colour stratigraphic divisions, accompanying with minor regional variations. The hue depends on siliciclastic/biogenic ratio and the brightness depends on amount of calcareous biogenic debris and organic matter. The mudrocks in the fore-arc region, however, show homogeneous colours. The spectroscopic analysis reveals the characteristics of the origin material of mudrock colour, suggesting Fe-including clay minerals and denying goethite nor haematite.

研究分野：層序学

キーワード：色層序学 分光測色 スペクトラム 泥岩 第三紀 珪藻 石灰質 陸源碎屑物

1. 研究開始当初の背景

地層は第一義的には岩相にもとづいて区分される(岩相層序区分)。個々の岩相の区別は単に層序の正確さの向上だけでなく、そこから読み解ける地史の理解を深くする上でたいへん重要である。たとえば砂岩は堆積学の進歩によって、堆積環境が推定できるようになり、同じ粒度の砂岩であっても堆積構造により、成因的に別の地層として区別して認識できるようになった。砂岩層を成因論的に区分できるようになったことで、隆起・沈降や海水準変動など、より正確に地域の地史を復元し、地球規模の変動との関係を追えるようになった。このように岩相の詳細な認定は地質学の理解の上で大きな意味をもつ。

一方で、泥岩は一見するとどれも同じように見えるため地層区分においては一括されることが多いが、実際には色や手触りなどの定性的な特徴で区分している。泥岩が決定的に重要な意味をもつ油田地帯では微化石層序に立脚した上で、定性的な特徴で層序対比が進められている。しかし、色調の目視による区分は、ややもすると主観的な特徴で再現性に乏しく、一般化されがたい。個々の岩相認定は、経験豊かな層序学者によるところが大きかったが、意見が収束しない場合に意見の妥当性を定量的に判断できない、言語化して第三者に伝える際に正確に伝わったのかわからない、といった問題がある。そもそも、人間は色を記憶することができないため、本人自身の中においても同一性が担保されない場合がある(記憶色)。照明や背景の影響を受けることも加味すると肉眼による色認定の客観性は確立しがたいといえる。

このように課題の大きい色であるが、泥岩の色には地質学的な意味がある。一例をあげると、黒色泥岩は一般に有機物に富んでおり、それによる黒色を呈するとされ、石油根源岩として重要である。この黒色泥岩と非常に酸化環境を示唆するとされる赤色泥岩については、解釈自体はほぼ確立されているが、「空色泥岩」「青灰色泥岩」「暗灰色泥岩」「暗褐色泥岩」「オリーブ色泥岩」「ムラサキ泥岩」などの泥岩は、いろいろな海洋環境が示唆されることがあるものの一定した見解がなく混乱した状況にある。たとえば、暗灰色泥岩は黒色泥岩と同様に、有機物が多い場合もあるが、続成が進んで緻密になり、反射が減少し、暗くなった場合がある。このように、泥岩の色とそこから読みとける地質学的な意味については構成物の組成や続成などと総合的に判断して、定式化する必要があるが、まだ十分なされていない。

ところで、海洋地質の分野では海洋コアの色の定量化のためにかねてより分光測色計が用いられてきた。陸上の踏査では、実験室に持ち帰るまでに温度変化や酸化などで変色(風化)するため、一部の先進的な事例を除いて実施例がなかった。また、分光測色の多くは、乾燥・粉末化したもので、現場で見る

泥岩の色を測っている、とは言い難かったが、ハンディな分光測色計を用いて現場で測色することは可能である。また、分光スペクトラムを分析することにより、ある程度、色の起源物質を推定することができる。たとえば、赤色の呈色は500—600 nm 付近から反射率が増える。これは一次差分で見ると500—600 nm 付近に正のピークをもつことに相当する。岩石でよく見られる赤色の鉱物として針鉄鉱と赤鉄鉱があるが、ピーク的位置で区別することができる。すなわち、針鉄鉱は530 nm、赤鉄鉱は580nm にピークがある。

翻って我が国を見ると第三系(古第三系と新第三系)ではほとんどが泥岩と火砕岩である。これらの泥岩は、日本海の形成による水深の変化、海流などの流入・遮断によって、一口に泥岩といっても様々な泥岩が知られている。単純化して言えば、前期中新世の後葉に日本海が形成されはじめるが、「ムラサキ泥岩」(新潟県加茂地域の七谷層)と称されることもある。紫がかった硬質頁岩が発達し、その上には、「空色泥岩」(加茂地域の七谷層)が累重する。この泥岩からは有孔虫などの石灰質微化石が比較的豊富に産する。その上には一転して黒色泥岩(加茂地域でいうと下部寺泊層)、その上には一部の層準で「空色泥岩」を挟みながら、オリーブ灰色の泥岩が累重している。

2. 研究の目的

本研究では、このような泥岩のもつ特質に着目して、分光分析を実施することにより、第三紀の泥岩を色によって層序学的に区分し、加えて、構成物の元素組成、鉱物組成、有機物組成結果にもとづいて泥岩の呈色の原因を考察することを目的とする。

3. 研究の方法

年代層序・岩相層序の確立している地域(新潟・房総など)において、分光測色計及びマンセル色票を用いて色調の定量的測定を行う。色の原因を明らかにするために、一部の試料を用いて、顕微鏡による泥岩の構成粒子組成(ポイントカウント法)、X線回折法による鉱物組成、蛍光X線分析による無機元素組成、炭素・窒素・硫黄分析を実施し、色調との関係を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 色票を伴わない肉眼による色の認定と色票・分光測色値との不一致

論文等でしばしば「青灰色」「空色」「水色」泥岩といった記載をされる泥岩は、マンセル色票ではしばしば、Y、GYの系統に対比される(たとえば加茂地域の七谷層は5Y6/1)。これらは通常の自然言語では黄色、黄緑色の色相になり、分光測色によるCIE(Commission Internationale de l'Éclairage)表色系でもhue(色調)は65-70度程度であって、黄色～

黄緑色である．このように肉眼の色票なしの記載と，色票や分光測色による記載とは一致しない場合があることがわかった．

一致しない背景には面積効果や学習効果(論文等でこういう色と事前に先入観をもって見るとそう見えてしまう)，風化面の色の影響などが想定される．今後も従来どおり，色票や分光測色によらない色調の記載はされつづけるため，記載された色調の解釈には注意が必要である．

(2) 野外における分光測色での注意点

従来の分光測色では乾燥・粉末化した測定が標準の方法となっていたが，野外では乾燥も粉末化もできない．そもそも乾燥は自然状態の泥岩の色調から大きく乖離している．安定した測定方法はわかっておらず，本研究初期の分光測色では測定値が安定しなかったが，原因は微小な測定面の凹凸と，外周からの光洩れであった．透明な平板を用意し，測定面が平面になるように加工して測定することにより安定した分光データを得ることができた．ただし自然な破断面と，平滑化した後の面とはラフネスが異なり，更にどの程度，表面を研磨するかによってもラフネスが異なるため，厳密に言えば自然状態の色とは異なることに注意する必要がある．

(3) 新潟油田地帯の加茂地域の色層序

新潟県の油田地帯の重要な地域として加茂地域がある．ここは中越地域の模式的な第三系層序が露出しており，一部の累層は新潟油田標準層序名にもなっている．下位から下部中新統の陸成層，大谷層(「ムラサキ泥岩」)，七谷層(「空色泥岩」)，南五百川層(黒色泥岩)，鹿熊層(「緑色泥岩」，青灰色泥岩)，皆川層(青灰色泥質砂岩)が累重している．南五百川層と鹿熊層との間には，新潟県全域で広く追跡できるハイエタスが挟在している．

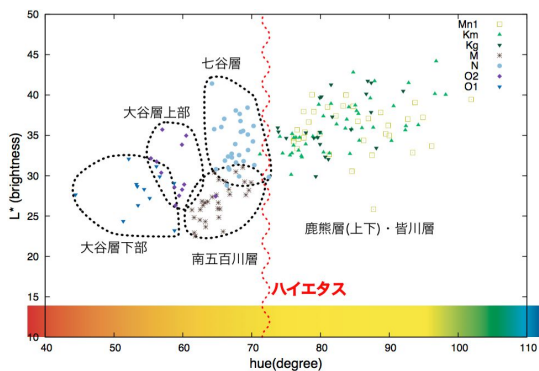


図 1 加茂地域の泥岩の分光測色結果(h*L 平面)

横軸は hue(h, 色相)で縦軸は brightness(L*, 明度)で，分光スペクトルから CIE-L*C*h 表色系の色指標として計算して求めたものである．この図から次のことがわかる；ハイエ

タスより上位の層準は，hue=70 以上の値を示し，各層準ごとにわかれることはなく，全体でまとまった分布を示しているのに対し，ハイエタスより下位の層準は，各地質單元ごとにクラスターをなしている．大谷層下部は分布のもっとも左側(hue が小さい)にクラスターがあり，大谷層上部はその右隣(hue が増加)に位置する．その上位の七谷層は更に右隣に位置し，かつ明度が大きい(明るい)．七谷層の上位の南五百川層は逆に明度が小さくなるが，hue は七谷層と同じである．

これらの泥岩を CIE の a*b* 平面で表示すると図 2 のようになる．なお，a*は赤さの指標(負は緑)，b*は黄色の指標(負は青)であり，情報量としては，h は a*と b*の関数であり，先程の L*-h 平面で表現されていた L*は a*b* 平面では表現されない．

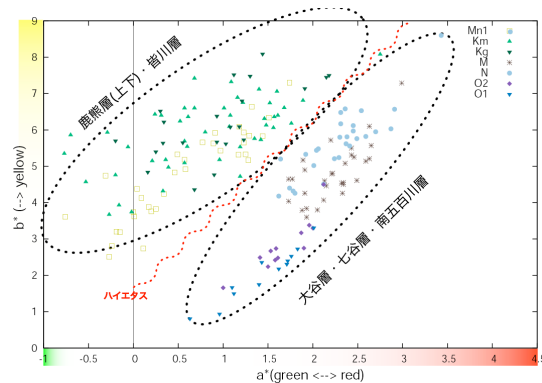


図 2 加茂地域の泥岩の分光測色結果(a*b* 平面)

ハイエタスの上下ではっきりとトレンドが異なり，両者の間で，呈色に寄与している物質が異なる可能性が示唆される．もっとも大きな違いは，ハイエタスの下位層のトレンドは a*b* 平面上で切片が 0 かやや負の値を取るのに対して，ハイエタスの上位層のトレンドでは切片が 4 程度と正の値をとることである．このことは上位層は下位層に対して，黄色味を強くするような成分をもっていることを示す．

X 線回折による鉱物分析，蛍光 X 線による無機元素分析，スメアスライドのポイントカウント検鏡による構成粒子組成からは，ハイエタスの上の層準で碎屑物石英粒子が増えており，ハイエタスの下位層ではそれらは少なく，基質が多いことが示唆される．下位層では特に七谷層が X 線回折で見ても元素組成で見てもスメアで見ても，石灰質の微化石が顕著に含まれることが示唆され，これが明度に寄与している可能性がある．なお，大谷層は X 線回折で見るとほぼ石英のみが検出されるが，これらは碎屑物起源ではなく，珪藻などのオパールが続成により石英に変化したものであることが薄片観察から示唆される．

(4) 新潟油田地帯の胎内地域の色層序

胎内地域は新潟県の下越に位置し、中越の加茂よりも北側になる。ここでは加茂地域と同様に中新統以上の地層が分布している。分光測色を実施したところ、大谷層及び南五百川層のそれぞれ同時代の地層(相当層)はCIE-L*a*b*表色系上、ほぼ同一の空間を共有していることがわかった(L*a*b*では区別できないことを意味する)。加茂地域では大谷層と南五百川層とは hue 値(色相)で区別できたことと対照的である。加茂地域では南五百川層と大谷層はSiO₂量が明確に異なり、大谷層が80-95%に対して南五百川層は70-80%である。一方で胎内地域では両層準ともSiO₂量は78-86%の範囲にある。胎内地域では加茂地域と違って両層準の古海洋条件(珪藻の生産性、陸源砕屑物の流入量)などが類似していたのかもしれない。

(5) 秋田県男鹿・能代地域及び福島県玉庭地域の色層序

秋田県でも新潟と同様に広く泥岩が分布しており油田地帯となっている。各層準で分光測色を実施したところ、大谷層及び南五百川層の相当層はa*b*平面上で切片が0を通る線上に集中し、ハイエタスの上位層は切片が4付近を通る線上に集中する。h*L平面上でも上位層はhue=70以上の値を示し、加茂地域と類似した分布を示した。一方で七谷層相当層は新鮮な露頭が僅少でデータが少ないが、特に明度が大きいということはない。

玉庭地域ではハイエタスより下位層が露出している。分光測色結果はh*L平面上ではhue=70以下の値を示し、加茂地域とはほぼ同様の色層序を示す。詳しく見ると、七谷層相当層の上部は南五百川層相当層と同じ色をしており、暗色化が加茂地域より早く起ったことを示唆する。

(5) 房総半島地域

房総半島地域には下部中新統の後葉から第四系にかけての前弧海盆堆積物が広く分布している。新潟や福島などの背弧域の泥岩に比べて、色や組成において定性的には均一と理解されてきた。本地域の泥岩は前弧域の泥岩の典型と捉えて分光測色的特性と組成との関係を考察することで泥岩の基調となる色についての知見を得ることができる。各層準ごとに分光測色、X線回折、CNS分析を実施した。分光測色データは、L*a*b*表色系で、図3のような配置となり、 $b^* = 2a^* + 4$ の直線上に集中していることがわかる。針鉄鉱(goethite)と赤鉄鉱(haematite)、およびManaka et al. (2012)が指摘する断層ガウジ中の鉄の酸化物のトレンドを点線で示した。これらの点線は、白色物質に、当該鉱物を加えていった時に、 a^* 、 b^* の値がどのような比率で増加していくかを示したものである。これらは単調に同じベクトルで増加する傾向を示しており、個々の鉱物によって特定の傾

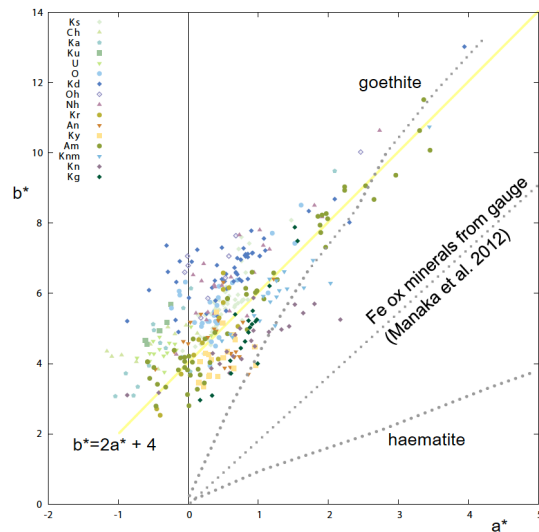


図3 房総半島の泥岩の分光測色結果(a*b*平面)

斜をもっていることが示されている。ふりかえって房総半島の泥岩と比較すると、傾斜は針鉄鉱でも赤鉄鉱でもなく、Manaka et al. (2012)の鉄酸化物に近いことがわかる。切片が異なるが、これは、もともとb*(黄色)を4だけシフトさせる基質があるところにManaka et al. (2012)の鉄酸化物に加わったという解釈を可能にする。また、あまり明確ではないが、三浦層群のほうでクラスタの下側に分布する傾向があり、単調・均一といっても細く見れば差異がある可能性も示唆される。

CNS分析からは、硫黄とb*が、やや正の相関があることが言え、X線回折データからはオパールAとカルサイトの合計の相対的割合とb*がやや正の相関があるように見える。オパールAは珪藻殻の成分なので、珪藻の生産性、カルサイトは石灰質微化石の骨格を構成するので、b*は硫黄または1次生産と関係していると考えられる。

分光特性をより詳細に調べるため、スペクトルを分析した。図4は、三浦層群、上総層群下部、上総層群上部で平均化した分光スペクトルの1次差分である。点線で示したものは、各鉱物1次差分スペクトルである。三浦層群、上総層群下部・上部の1次差分スペクトルの形態は近似している、一方でa*b*平面上のクラスタから示唆されるように、針鉄鉱・赤鉄鉱のスペクトラムとの異なる。このことから泥岩の基質の色としては針鉄鉱・赤鉄鉱は除外される。差分スペクトルの形態上、類似しているのはripidolite(緑泥石の一種)及びchrolite + muscovite(緑泥石+白雲母)など粘土鉱物であるが、これらの鉱物は負の差分値をもっている点で、正の差分値からなる泥岩とは異っている。しかし、泥岩の基質としては、粘土鉱物が色の起源物質として重要な役割と担っている可能性が高い。

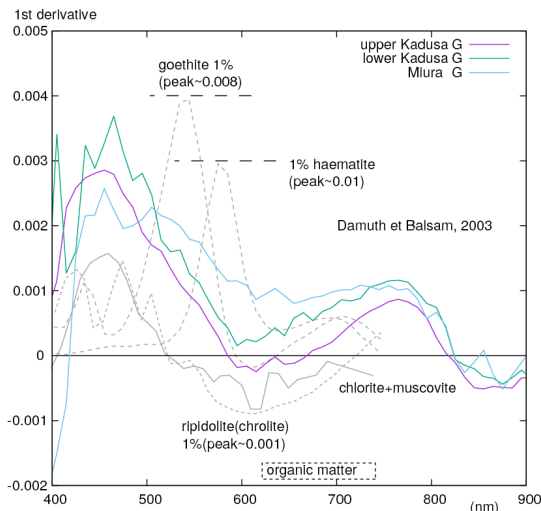


図4 房総半島の泥岩の分光スペクトルの1次差分

(6) 常盤地域・掛川地域での色層序

どちらも前弧域の堆積盆である。各層準ごとに測定したところ、全体としては、どちらの地域の泥岩も色空間上の配置は房総半島の泥岩と同じであった。すなわち、CIEのL*a*b*表色系では $b^*=2a^*+4$ 上に集中する。これらのことは前弧域の中新統以上の地層では色層序学的に顕著な違いがなく、一様な泥岩が堆積しつづけたことを示唆するかもしれない。

(7)九州東部古第三系赤崎層の分光測色

ほとんどすべての試料が 550–580 nm 付近に差分スペクトルのピークがあり、赤鉄鉱を中心とした顔料によって赤色を呈色していると判断される。

(8) まとめ

以上のことから、次のようなことがわかった。背弧域は地域ごとに差異はあるものの色層序として区分できる。また、色相は陸源碎屑物、明度については石灰質微化石・碎屑物の量や有機物の量と関係している可能性がある。前弧域は泥岩の色はほぼ均質で、色層序として区分はできないが、分光スペクトルから呈色物質としては針鉄鉱・赤鉄鉱ではなく、鉄を含んだ粘土鉱物が示唆される。

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)

辻野匠・柳沢幸夫・工藤崇, 第三紀泥岩の分光測色(予察), 日本地質学会第121年学術大会, 2014年09月13日, 鹿児島大学(鹿児島県)

辻野匠・柳沢幸夫, 第三紀泥岩の分光測色的特徴(予報), 日本地質学会第123年学術大会, 2016年09月12日, 日本大学(東京都)

6. 研究組織

(1)研究代表者

辻野 匠 (TUZINO TAQUMI)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号: 80357516

(4)研究協力者

柳沢 幸夫 (YANAGISAWA YUKIO)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・上級主任研究員

工藤 崇 (KUDO TAKASHI)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・上級主任研究員