

R・G・B フィルターを用いた顕微鏡カメラ撮影による 反射スペクトル簡易推定の試み

大下 浩司^{1,2}

デジタル顕微鏡モードを備えたコンパクトデジタルカメラ（顕微鏡カメラ）を用いて分析試料を撮影し、撮影した写真をもとに反射スペクトルを簡易に推定する方法を検討した。分析試料の顕微撮影は、特定波長域の光を透過しやすいR・G・B フィルター（赤色・緑色・青色のフィルター）をカメラのレンズ前面に順次取り付け行なった。そして、Windows 付属のペイントソフトで分析試料を撮影した写真（JPEG）を開き、その撮像部のR・G・Bと明るさの各値を読み取り、440nm・530nm・630nmにおける反射率を算出し反射スペクトルを描いた。この結果、反射スペクトルの形状は、本法により概ね推定できた。しかし、本法により求めた反射率の多くは、光ファイバー分光光度計で測定した反射率よりも高く、正の誤差を生じやすかった。本研究ではこの誤差の問題を解決するまでには至っておらず、今後の課題として残される。

1 はじめに

顔料や染料などの色材は、当該波長域の光を吸収し、吸収されなかった波長域の光を反射または透過する。このような光応答の性質は、色材に含まれる物質の化学構造や組成成分によって決まる。このため、文化財の科学調査では、紫外線・可視光線・近赤外線に対する色材の反射スペクトルを測定し分析して、光応答の性質を調べたり、色材の種類を同定したりすることがある^{1)~5)}。この他にも、可視光線の光に対する反射スペクトルから、色材の色相・明度・彩度の情報が得られる。色相は反射率が高い波長域の光の色であり、明度はこの波長域における反射率の高さから読み取れ、彩度は反射率の高い波長域と低い波長域の反射率の差からわかる。

このような反射スペクトルを測定するためには、光ファイバー分光光度計のような分析装置が必要となる。しかし、まだ十分に普及していないことから、デジタル一眼レフカメラと極大透過波長の異なる6種のバンドパスフィルターを用いて反射スペクトルを簡易に推定しようとした試みが報告されている⁶⁾。この研究を参考にして、著者の既報⁷⁾においては、デジタル一眼レフカメラとR・G・B フィルター（赤色・緑色・青色のフィルター）を用いて反射スペクトルを簡易推定する方法を検討した。しかし、この方法では、分析試料をイーゼルに立て掛け、分析試料から一定の距離の位置にカメラを三脚に取り付け設置し、分析試料に光が一樣に当たるようにライトスタンドを配置するなど、この撮影には機材を設置するための空間と手間を要した。

このような課題を解決するために、本研究では、デジタル顕微鏡モードを備えたコンパクトデジタルカメラ（顕微鏡カメラ）を用いて、反射スペクトルを簡易推定する方法を検討した。本検討に用いたコンパクトデジタルカメラには、デジタル顕微鏡モードの機能があり、分析試料の上にカメラを置き撮影できる。そして、レンズの周辺部には6灯の白色LEDが配置され、分析試料に対し一定の強さの光を照射できる。このようにして分析試料を顕微撮影することにより、既報における撮影時の空間

と手間の課題を解決しようとした。

2 実験

2.1 分析試料

不透明水彩絵具（ホルベイン製ガッシュ）は既報で調製したものを使用し⁸⁾、白色校正板は labsphere USRT-99-020 を用いた。ニューエコのりパネ（アルテ、A4、厚さ 5 mm）に貼り付けた黒色紙（キャンソン製ミ・タント、ステイジャンブラック、160g/m²、A4）に、白色のジンクホワイトとパーマネントホワイト、黒色のアイボリブラックとジェットブラック、青色のコバルトブルーとウルトラマリンブルー、緑色のターコイズグリーンとビリジャン、赤色のカドミウムレッドとカドミウムレッドパープル、黄色のカドミウムイエローとイエローオーカー、茶色のローアンバーとバーントアンバー、紫色のライラックとコバルトバイオレットの 16 種の不透明水彩絵具を 2cm 角にそれぞれ塗布し、自然乾燥させたものを分析試料として用いた。

2.2 撮影機材と撮影方法

分析試料の撮影には、デジタル顕微鏡モードを備えたコンパクトデジタルカメラ（リコー WG-5 GPS、CMOS 約 1600 万画素）を顕微鏡カメラとして用いた。カメラのレンズ部には付属のマクロスタンドを装着し、カメラの設定をデジタル顕微鏡モードに調整して分析試料を撮影した。デジタル顕微鏡モードに設定すると、レンズ周辺部の円周上に配置された 6 灯の白色 LED が点灯し、被写体に白色光を当て顕微撮影できる。このほか、画像仕上：ナチュラル、画質：最高画質、感度：ISO400、倍率：1.2 倍に調整し、ホワイトバランスは白色校正板を用いて設定した。これら以外は標準設定とした。絞り値と露出時間はマニュアル設定できず、これらはオート調整される。顕微撮影の手順は、分析試料を水平に置き、分析試料に対しレンズを向け、液晶モニターでその位置を確認しながら顕微鏡カメラを静置し、リモートコントロール（ペンタックス O-RC1）を用いてシャッターを切った。

分析試料の顕微撮影は、1)R・G・B フィルター（赤色・緑色・青色のフィルター）を用いない場合と 2)R・G・B フィルターを用いた場合の 2 通りの方法で行なった。1)R・G・B フィルターを用いない場合には、上述の手順に沿って白色校正板と不透明水彩絵具をそれぞれ顕微撮影した。2)R・G・B フィルターを用いる場合には、レンズ前面にフィルター径変換アダプター（ケンコー ステップアップリング 46 → 52mm）を介して各 R・G・B フィルター（ケンコートキナー SP カラーセット 52mm）を順次取り付け、上述の手順により白色校正板と不透明水彩絵具をそれぞれ顕微撮影した。

2.3 R・G・B と明るさの各値の取得方法と各波長における反射率の算出方法

反射率を算出するために、Windows 付属のペイントソフトを用いて撮影した写真（JPEG）を開き、ペイントのスポイトツールを使って分析試料の撮像部の任意の箇所を選び、色の編集から R・G・B と明るさの各値を読み取った。1)R・G・B フィルターを用いず顕微撮影した写真からは R・G・B の各値、2) R・G・B フィルターを用い顕微撮影した写真からは各フィルター色に相当する R（赤色）・G（緑色）・B（青色）と明るさの各値をそれぞれ読み取った。1) と 2) の B 値および 2) の明るさの値を 440nm、1) と

2) の G 値および 2) の明るさの値を 530nm、1) と 2) の R 値および 2) の明るさの値を 630nm の各波長における反射率の算出に用いた。そして、440nm・530nm・630nm の各波長における反射率 (%) は (不透明水彩絵具の R・G・B または明るさの各値) / (白色校正板の R・G・B または明るさの各値) × 100 の式で計算した。このとき、反射率 100% は白色校正板の R・G・B または明るさの各値とし、反射率 0% はこれらの値を 0 とした。このようにして得られた各波長の反射率をグラフ上にプロットして、不透明水彩絵具の反射スペクトルを描いた。

3 結果と考察

反射率を算出する波長は、ペイントソフトの R・G・B の各値に対応する光の波長が不明なため、便宜上、各 R・G・B フィルターの極大透過波長あるいはこれに相当する波長とした。既報では、380～1000nm の光に対する R・G・B フィルターの極大透過波長 (透過波長域) を検討しており、B フィルターは約 440nm (375～505nm)、G フィルターは約 530nm (440～655nm) であった⁷⁾。しかし、R フィルターでは極大透過波長は認められず、透過波長域は 580～1000nm であった。この波長域での透過率は長波長ほど高く、580nm から 630nm にかけて急激に高くなり、630nm から 1000nm にかけては緩やかに高くなる。R フィルターには極大透過波長がないため、透過率が急激に上昇しその後緩やかに上昇し始める 630nm を、反射率を算出する波長とした。極大透過波長を示す B フィルターと G フィルターでは、それぞれ 440nm と 530nm を反射率を算出する波長として本検討を行なった。

図 1 には、1)R・G・B フィルターを用いず顕微撮影し R・G・B の各値を読み取り算出した各波長の反射率 (○)、2)R・G・B フィルターを用い顕微撮影し R・G・B の各値を読み取り算出した反射率 (△) と明るさの各値を読み取り算出した反射率 (□) をもとに推定した不透明水彩絵具の反射スペクトルと、光ファイバー分光光度計で測定した反射スペクトル (実線) を示した⁸⁾。これらを比較すると、上述 2) の R・G・B および明るさの各値から推定した反射スペクトルの形状 (△・□) は、光ファイバー分光光度計で測定した反射スペクトルの形状 (実線) に概ね一致している。この反射スペクトルの形状は、各波長における反射率の相対的な高低差が関係している。例えば、光ファイバー分光光度計で測定した反射スペクトル (実線) から、白色の不透明水彩絵具では 440nm・530nm・630nm の反射率はいずれも高く、黒色ではこれらの波長の反射率はいずれも低いことがわかる。青色では 440nm、緑色では 530nm、赤色では 630nm の反射率が相対的に高く、黄色は 530nm と 630nm の反射率が高い。茶色では 530nm と 630nm の反射率が高いが、黄色に比べてこれらの波長の反射率は低い。紫色では 440nm と 630nm の反射率が高い。このような特徴が、本研究で簡易推定した反射スペクトルの形状 (△・□) にも認められた。

しかしながら、簡易推定した各波長の反射率は正の誤差を生じやすかった。1)R・G・B フィルターを用いず顕微撮影した場合 (○) では、青色のコバルトブルーとウルトラマリンブルーの 440nm の反射率はそれぞれ 134% と 136% であり、赤色のカドミウムレッドの 630nm の反射率は 163% であった。これらの反射率では大きな正の誤差を生じた。そして、2)R・G・B フィルターを用い顕微撮影し求めた R・G・B の各値から算出した反射率 (△)、明るさの各値から算出した反射率 (□) についても、白色のジンクホワイトとパーマネントホワイトを除き正の誤差を生じた。この原因の一つとしてカメラの絞

り値と露出時間の設定が考えられる。使用したカメラは、デジタル顕微鏡モードで使用する際、絞り値と露出時間がオート調整される。本検討で撮影した写真について、オート調整された撮影条件を確認したところ、1)R・G・B フィルターを用いず顕微撮影した場合(○)には、絞り値は 2.3 のまま一定であったが、露出時間は 1/80 ~ 1/5 秒の範囲で撮影ごとにオート調整されていた。そして、2)R・G・B フィルターを用い顕微撮影した場合(△・□)には、絞り値は 2.3 のまま変わらず、露出時間は 1/25 ~ 1/4 秒の範囲でオート調整されていた。このように絞り値と露出時間が撮影ごとに自動で設定されたため、このことが R・G・B と明るさの各値に影響を与え、各波長における反射率が正の誤差を生じたと考えられる。さらには、使用した各 R・G・B フィルターが特定の波長のみを透過せず広い波長域の光を透過することも、正の誤差を生じた原因の一つとして挙げられる。

4 おわりに

分析試料を顕微撮影し、撮影した写真 (JPEG) から R・G・B と明るさの各値を求め、これらの値から 440nm・530nm・630nm の各波長における反射率を算出して反射スペクトルを簡易推定しようとした。分析試料として不透明水彩絵具を使用し検討した結果、R・G・B フィルターを用いて顕微撮影した写真から R・G・B または明るさの各値を読み取り反射率を算出すれば、反射スペクトルの形状を概ね推定できることがわかった。しかしながら、各波長の反射率には正の誤差を生じやすかった。本研究では、この問題の解決には至っておらず、今後も検討を要する。

本研究の一部は JSPS 科研費 JP17K01201 の助成を受けたものです。関係の皆様に関心より感謝申し上げます。

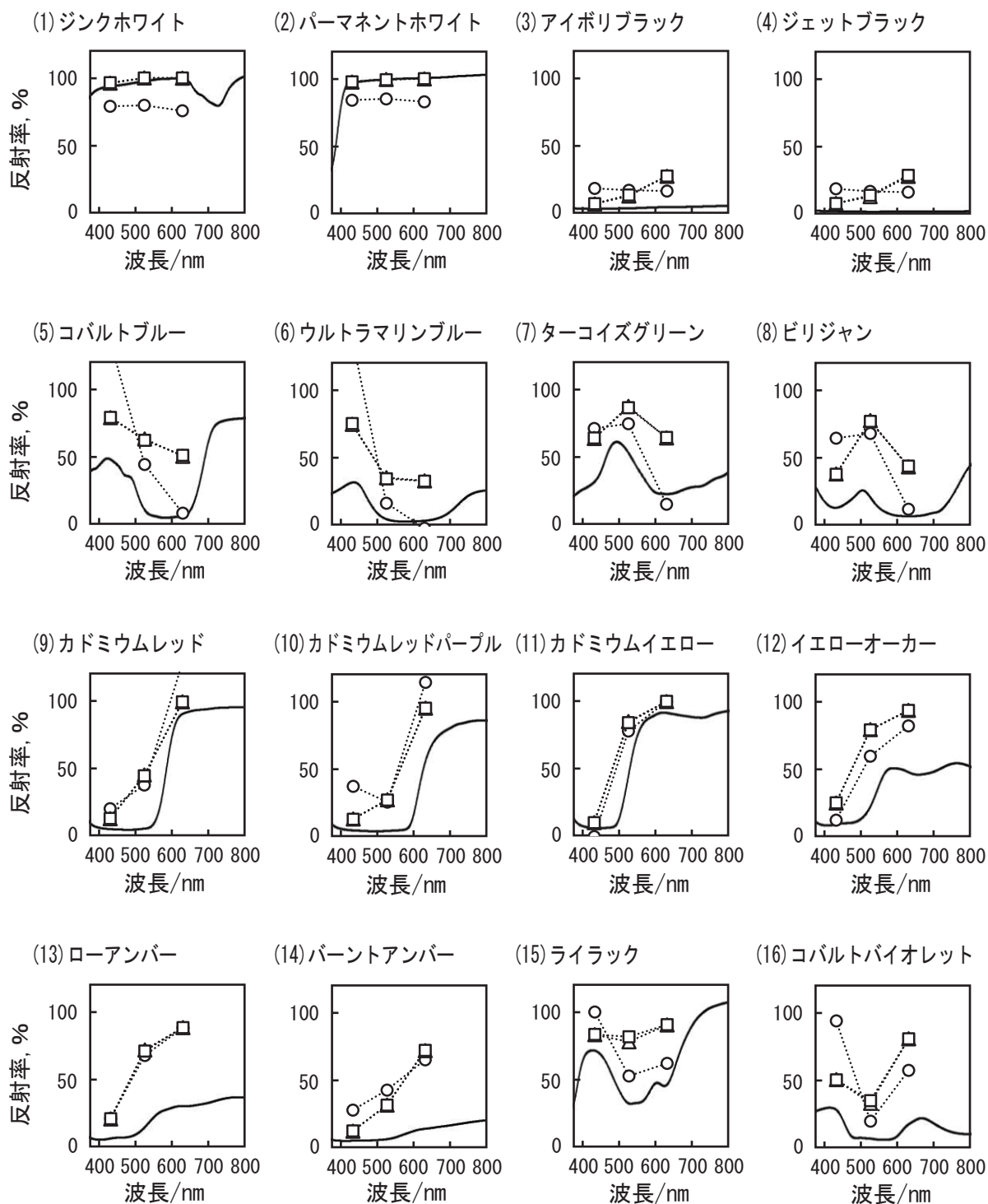


図1 R・G・B フィルターを用いた顕微鏡カメラ撮影により得た不透明水彩絵具の反射スペクトルと光ファイバー分光光度計で測定した反射スペクトル^a

^a 実線は光ファイバー分光光度計で測定した反射スペクトル。○は R・G・B フィルターを用いず顕微鏡撮影した写真 (JPEG) から R・G・B の各値を読み取り各波長の反射率を算出、△は R・G・B フィルターを用い顕微鏡撮影した写真から R・G・B の各値を読み取り反射率を算出、□は R・G・B フィルターを用い顕微鏡撮影した写真から明るさの各値を読み取り反射率を算出。

文献

- 1) 下山進, 松井英男, 下山裕子: 分析化学, 55, pp.121-126 (2006).
- 2) 吉田直人, 三浦定俊: 保存科学, 44, pp.17-24 (2005).
- 3) 吉田直人, 三浦定俊: 保存科学, 45, pp.141-148 (2006).
- 4) 吉田直人: 保存科学, 46, pp.75-84 (2007).
- 5) 吉田直人: 保存科学, 50, pp.207-215 (2011).
- 6) 吉田直人: 保存科学, 48, pp.51-59 (2009).
- 7) 大下浩司: 文化財情報学研究, 14, pp.27-33 (2017).
- 8) 大下浩司: 文化財情報学研究, 14, pp.17-25 (2017).

所属:

¹ 吉備国際大学 外国語学部 外国学科 (〒 700-0931 岡山県岡山市北区奥田西町 5-5)

² 吉備国際大学 文化財総合研究センター (〒 716-8508 岡山県高梁市伊賀町 8)