

R・G・B フィルターを用いた写真撮影による 反射スペクトルの簡易推定法

大下 浩司^{1,2}

高価な分析装置を用いることなく、R・G・B フィルター（赤色・緑色・青色の各フィルター）を用いて色材の写真を撮影することにより、反射スペクトルを簡易推定する方法を開発した。ペイント（Windows 付属ソフト）を用いて写真データ（JPEG ファイル）の RGB 値と明るさの値を読み取り、波長 440 nm (B)・530 nm (G)・630 nm (R) の光に対する反射率を算出して、反射スペクトルのグラフを描いた。概ね妥当な反射スペクトルのグラフが得られ、緑色と茶色を除く白色、黒色、青色、赤色、黄色、紫色の不透明水彩絵具の反射スペクトルを推定できた。

1 はじめに

可視光線の光は物質に吸収され、吸収されなかった光は反射される。この反射された光のスペクトル（反射スペクトル）から物質の色（色相、明度、彩度）がわかる。反射スペクトルは、反射率の高い波長域の光の色が色相、この波長域の反射率の高さが明度、反射率の高い波長域と反射率の低い波長域の反射率の差が彩度である。光の吸収と反射は、物質の化学構造や組成成分により決まる。このため、目視では同じ色に見えても、物質が異なれば反射スペクトルの形状も異なる。

文化財の分野では、反射スペクトル分析法による顔料や染料の同定に関する報告がある^{1)~5)}。反射スペクトルの測定には、光ファイバー分光光度計がしばしば用いられる。しかし、装置は高価なため、博物館や美術館などの現場にはあまり普及していない。このようなことから、光ファイバー分光光度計の代わりに汎用なデジタルカメラを用いて、反射スペクトルを簡易推定した試みも報告されている⁶⁾。デジタルカメラとバンドパスフィルター（極大透過波長 420 nm、450 nm、500 nm、530 nm、550 nm、600 nm の 6 種）を用いて色材の写真を撮影し、JPEG ファイルと RAW ファイルの写真データから、バンドパスフィルターの極大透過波長における光の反射率を算出して、反射スペクトルを推定している。

本研究は、既報⁶⁾を参考にして、デジタル一眼レフカメラと R・G・B フィルター（赤色・緑色・青色の各フィルター）を用いた反射スペクトルの簡易推定法を開発した。人の目は青色 (B) の光、緑色 (G) の光、赤色 (R) の光を感じ、物質の色を認識している。白色は青色・緑色・赤色の光、青色は青色の光のみ、緑色は緑色の光のみ、赤色は赤色の光のみ、黄色は緑色と赤色の光、紫色は青色と赤色の光を目に受けて、人は色を認識する。そして、茶色は黄色と同じように緑色と赤色の光を目に受けるが弱く、黒色ではどの色の光も目で感じていない。このことから、色材の写真を撮影して、写真データから人の目が認識している青色・緑色・赤色の波長の光の反射率を算出すれば、色材の反射スペクトルを推定できると考えた。

2 実験

2.1 撮影機材と撮影方法

デジタル一眼レフカメラ (ニコン D5100、CMOS 1620 万画素) に標準レンズ (ニコン AF-S DX NIKKOR 18-55 mm f/3.5-5.6 G VR) を取り付け、分析試料の写真を撮影した。撮影時に分析試料を照らす光源は東芝ライテック製の LED 電球 (LDA9N-D-G、昼白色、5000 K、平均演色評価数 Ra90、全方向タイプ、一般電球 40 W 形相当) を用いた。レンズ前面には R・G・B フィルター (ケンコートキナー製 SP カラーセット、52 mm) を付けて撮影した。撮影は、カメラをマニュアルモードに設定し、画質モード RAW+FINE、画像サイズ L、ホワイトバランス OFF (プリセットマニュアル)、自動ゆがみ補正 OFF、色空間 sRGB、アクティブ D-ライティング OFF、長秒時ノイズ低減 OFF、高感度ノイズ低減 OFF、ISO 感度 400 に調整し行なった。背景に黒色布を用いて分析試料 (不透明水彩絵具、白色校正板) をイーゼルに立て掛け、室内を暗くし LED 電球のみを点灯して、デジタル一眼レフカメラで分析試料を撮影した。分析試料からカメラレンズ前面と LED 電球前面までの間隔がそれぞれ 75 cm になるように、分析試料・カメラ・LED 電球の位置を調整し固定した。LED 電球の前面にはトレーシングペーパー (コクヨ、トレーシングペーパー、A4、薄口、40 g/m²) を被せ、強い光が分析試料の一部にのみ当たらないよう光を拡散させた。そしてカメラを三脚に固定し、ワイヤレスリモコン (ニコン ML-L3) を用いてシャッターを切った。

撮影は、1) R・G・B フィルター (赤色・緑色・青色の各フィルター) を用いない通常撮影と 2) R・G・B フィルターを用いたフィルター撮影を行なった。1) R・G・B フィルターを用いない通常撮影では、まず R・G・B フィルターを用いず白色校正板を撮影し、基準となる絞り値と露出時間を求めた。絞り値 6.3、露出時間 1/4 秒でハレーションすることなく白色校正板を撮影できた。このため、絞り値 6.3、露出時間 1/4 秒を撮影の基準条件とした。2) R・G・B フィルターを用いたフィルター撮影では、R・G・B フィルターはそれぞれ光の透過率が異なるため、フィルターごとに撮影条件 (絞り値と露出時間) も異なる。各フィルターをレンズ前面に取り付け、前述の基準条件 (絞り値 6.3、露出時間 1/4 秒) をもとに絞り値のみを順次変え、白色校正板を撮影して、ハレーションすることなく白色校正板を撮影できる絞り値を求めた。この結果、B フィルターは絞り値 5、G フィルターは絞り値 8、R フィルターは絞り値 9 であった。これらの条件で白色校正板ならびに不透明水彩絵具を撮影することにした。

2.2 RGB 値と明るさの値の取得方法

ペイント (Windows 付属ソフト) で写真データ (JPEG ファイル) を開き、“スポイトツール” で画像上の当該色を選択し、“色の編集” のウィンドウを開いて RGB 値と明るさの値を読み取った。この手順にそって、1) R・G・B フィルターを用いない通常撮影では、写真データから当該色の R 値、G 値、B 値を読み取り、2) R・G・B フィルターを用いたフィルター撮影では、R フィルターで撮影した写真データから R 値と明るさの値、G フィルターで撮影した写真データから G 値と明るさの値、B フィルターで撮影した写真データから B 値と明るさの値を読み取った。

各条件で撮影した写真データの数値は、次の波長のデータとして扱った。上述 1)2) の B 値と 2)

のBフィルター撮影の明るさの値を440 nm、同様にG値とGフィルター撮影の明るさの値を530 nm、R値とRフィルター撮影の明るさ値を630 nmのデータとして扱った。各RGB値(R値・G値・B値)と明るさの値から630 nm (R)、530 nm (G)、440 nm (B)の各波長の反射率(%)を(分析試料の各RGB値または明るさの値)/(白色校正板の各RGB値または明るさの値)×100の式で計算した。算出した各波長の反射率をプロットし、反射スペクトルのグラフを得た。

2.3 分析試料

分析試料は、既報と同じホルベイン製ガッシュ(不透明水彩絵具)を用いた⁷⁾。この中から、白色のジンクホワイトとパーマネントホワイト、黒色のアイボリー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種を任意に選び用いた。そして、黒色紙(キャンソン製ミ・タント、スティジャンブラック、160g/m²、A4)をニューエコのりパネ(アルテ、A4、厚さ5 mm)に貼り付け、この紙面に16種の不透明水彩絵具をそれぞれ2cm角に塗布した。自然乾燥したのち分析に供した。白色校正板は、ラプスフェア製のスペクトラロン標準反射板(白色、USRS-99-010、径1.25インチ、99%)を用いた。

2.4 分析機器と分析方法

R・G・Bフィルターの相対透過率の測定は、オーシャンオプティクス製の光ファイバー分光光度計を用いた。本装置は、タングステン・ハロゲン光源(HL-2000)、分光器(USB2000+VIS-NIR-ES)、光ファイバー(反射プローブR400-7-VIS-NIR、コア径400 μm、6照射&1取込)、光ファイバーホルダー(反射プローブホルダーRPH-1)からなる。USBケーブルを用いて分光器とコンピュータ(NEC製VersaPro)を接続し、OceanViewソフトウェアを用いて測定と解析を行なった。光源を安定させるため電源を入れ30分間経ってから、黒色校正と白色校正を行なったのち測定を始めた。白色校正板の上に各R・G・Bフィルターを順次置き、このフィルター面に光ファイバー先端部を垂直に当て相対透過率を測定した。分光器の測定条件は、黒色・白色の校正時にはIntegration Time 5 ms、平均回数100、Boxcar幅30に設定し、フィルターの相対透過率の測定時にはIntegration Time 1 ms、平均回数100、Boxcar幅30に調整し測定した。本法によるフィルターの相対透過率の測定では、フィルター表面で反射する光も同時に測定してしまうため、測定した相対透過率は参考値として扱う。

LED電球の発光スペクトルの測定にも、上述の光ファイバー分光光度計を用いた。光源の電源を切り、分光器の黒色・白色の校正を行わず、LED電球から30 cmの位置に光ファイバー先端部をLED電球に向け、光ファイバーホルダーで固定し測定した。分光器の測定条件をIntegration Time 1 ms、平均回数100、Boxcar幅30に設定し行なった。

不透明水彩絵具の反射スペクトルのデータは既報⁷⁾から引用した。既報の光ファイバー分光光度計は上述と同じ装置を使用している。分光器の測定条件をIntegration Time 5 ms、平均回数

100、Boxcar 幅 30 に設定し、光源を安定させるため電源を入れ 30 分経ってから、黒色校正と白色校正を行なった後、反射スペクトルを測定した。光ファイバー先端部を黒色ゴム板で閉じて黒色校正を行ない、白色校正板を用いて白色校正した。不透明水彩絵具の反射スペクトルは、光ファイバーホルダーを用いて試料面に対し光ファイバー先端部が垂直になるよう固定し測定した。

3 結果と考察

380~1000 nm の波長の光に対する R・G・B フィルターの相対透過率を調べた (図 1)。B フィルターは波長 375~505 nm の青色の光 (極大透過波長 440 nm)、G フィルターは波長 440~655 nm の緑色の光 (極大透過波長 532 nm)、R フィルターは波長 580~1000 nm の赤色~近赤外線 (相対透過率が高いのは概ね波長 625 nm 以上の光) を透過しやすいことがわかった。不透明水彩絵具の撮影に用いた LED 電球の発光スペクトルも測定したところ、波長 400~800 nm の可視光線の光 (極大発光波長: 452 nm の青色、528 nm の緑色、613 nm の赤色の光) を発光していた (図 2)。これらの R・G・B フィルターと LED 電球を用いて不透明水彩絵具の写真を撮影し、写真データ (JPEG ファイル) から RGB 値や明るさの値を読み取り反射スペクトルのグラフを描いた。

まず、R・G・B フィルターを用いず不透明水彩絵具の写真を撮影し、ペイントを使って写真データから RGB 値を読み取った。次に、各 R・G・B フィルターをカメラのレンズ前面に順次取り付け不透明水彩絵具を撮影し、写真データから RGB 値と明るさの値を読み取った。RGB 値と明るさの値から反射率を計算し、440 nm、530 nm、630 nm の各波長の反射率をプロットし反射スペクトルのグラフを描いた (図 3)。得られた反射スペクトルの正否を検証するため、光ファイバー分光光度計を用いて不透明水彩絵具の反射スペクトル曲線を測定し比較した (図 3)。R・G・B フィルターを用いて撮影した写真データの RGB 値 (図 3 の△) と明るさの値 (図 3 の□) から算出した各波長 (440 nm、530 nm、630 nm) の反射率と光ファイバー分光光度計から得た各波長の反射率 (実線) に比べて、R・G・B フィルターを用いず撮影した写真データの RGB 値をもとに算出した各波長の反射率 (図 3 の○) の方が高かった。これは、R・G・B フィルターで分光せず不透明水彩絵具が反射した LED 電球の光を撮影したため、当該波長域 (各 R・G・B フィルターが透過しやすい波長域) 以外の波長の光もカメラの撮像素子が受光し、反射率が高く算出されたと考えられる。

各 R・G・B フィルターを用いて撮影した写真データの RGB 値 (図 3 の△) と明るさの値 (図 3 の□) から得た反射スペクトルのグラフ (440 nm、530 nm、630 nm の各波長に対する反射率のグラフ) は、光ファイバー分光光度計で測定した反射スペクトル曲線と概ね一致していた。白色の絵具では全 3 波長の反射率は約 100%、黒色では全 3 波長の反射率は低く、青色は 440 nm のみ、赤色は 630 nm のみ、黄色は 530 nm と 630 nm、紫色は 440 nm と 630 nm の反射率が高かった。しかし、530 nm のみの反射率が高くなるはずの緑色は 440 nm の反射率も高く、530 nm と 630 nm の反射率が高くなるはずの茶色では、これら 3 波長の反射率に有意な差はなかった。光ファイバー分光光度計で測定した各波長の反射率 (実線) と比べると、R・G・B フィルターを用いて撮影した写真データの RGB 値 (図 3 の△) と明るさの値 (図 3 の□) から算出した波長 440 nm の反射率

の方が高かった。G フィルターや R フィルターに比べて B フィルターの透過率は低いため、B フィルターをカメラのレンズ前面に取り付けると、カメラの撮像素子に到達する光量は、他のフィルターに比べ少ない (図 1)。このため、波長 440 nm の反射率は誤差を生じたと考えられる。

4 おわりに

R・G・B フィルターをカメラのレンズ前面に取り付け撮影した写真データ (JPEG ファイル) から読み取った RGB 値と明るさの値から算出した反射スペクトルのグラフ (440 nm、530 nm、630 nm の各波長に対する反射率のグラフ) は、光ファイバー分光光度計で測定した反射スペクトルと概ね一致していた。ただし、波長 440 nm の反射率は、実際よりも高い値が得られた。このため、B フィルターを用いた撮影条件は再検討を要する。

本研究は公益財団法人ウエスコ学術振興財団 (平成 25~26 年度) の助成を受けたものです。関係の皆様にご心より御礼申し上げます。

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: 保存科学, 44, pp. 17-24 (2005).
- 3) 吉田直人: 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, 51, pp. 51-59 (2009).
- 7) 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)

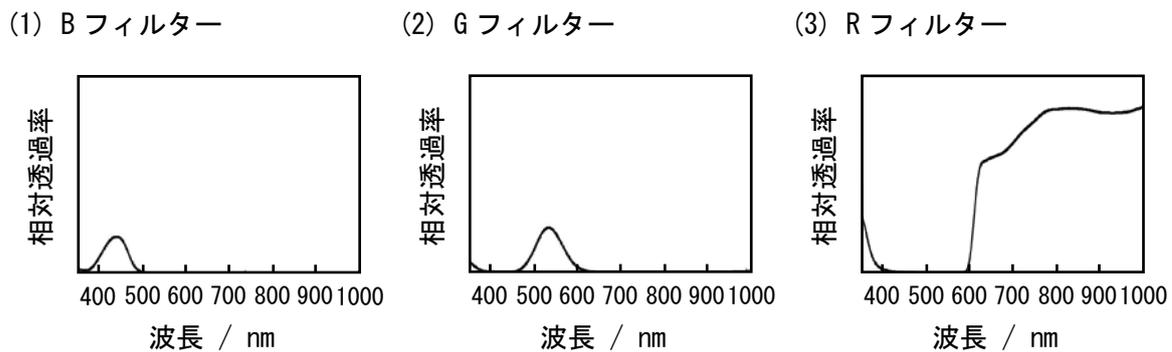


図1 R・G・B フィルターの相対透過率

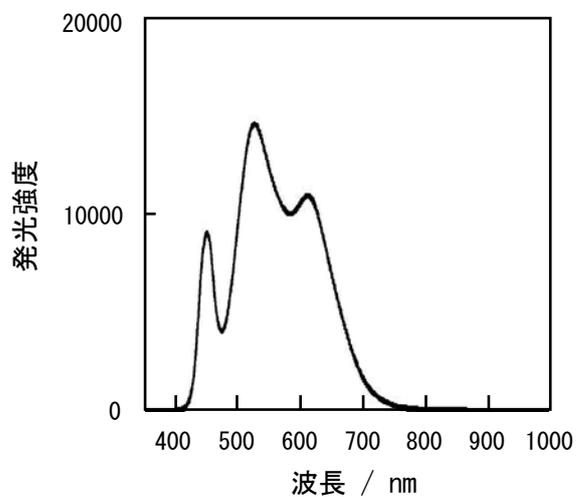


図2 LED 電球の発光スペクトル

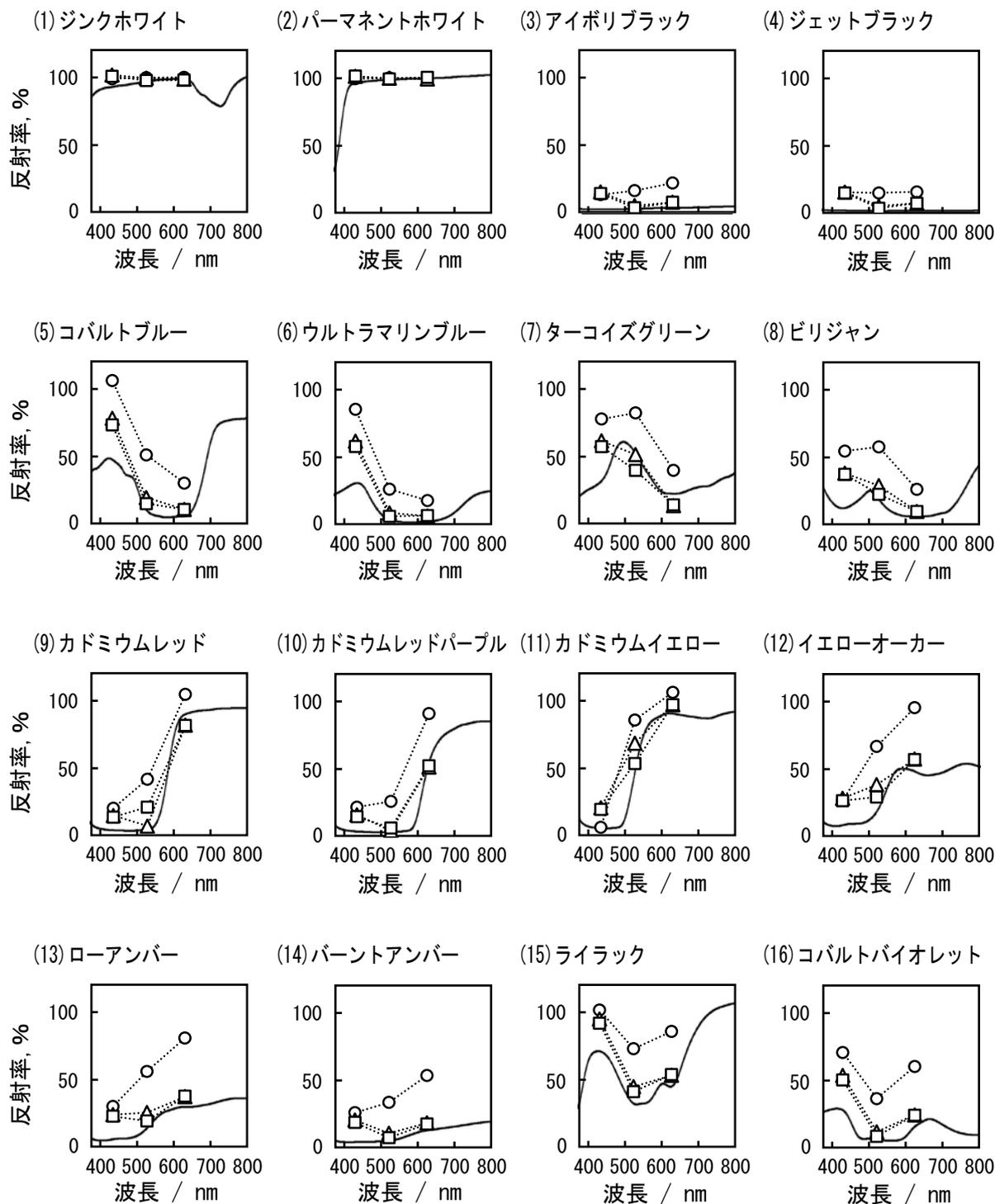


図 3 不透明水彩絵具の写真撮影により得た反射スペクトルグラフと光ファイバ分光光度計で測定した反射スペクトル曲線^a

^a 実線は光ファイバ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撮影した写真データ (JPEG ファイル) から RGB 値を読み取り各波長の反射率を算出、△は各 R・G・B フィルターを用いて撮影した写真データから RGB 値を読み取り反射率を算出、□は各 R・G・B フィルターを用いて撮影した写真データから明るさの値を読み取り反射率を算出。

