

# ハイパースペクトルスキャナを用いた 各種画像の分光計測とその比較

榎本翔悟<sup>1</sup> 坂井滋和<sup>2</sup> 馮琳<sup>3</sup>

**概要：**一般的にデジタル画像では RGB の 3 原色情報が用いられるが、色彩情報を用いた様々な解析ではより多くの波長が含まれるマルチスペクトル画像が用いられることが多い。本研究では波長 340nm~830nm を 1 nm 毎に計測することが可能なセンサーを用いてハイパースペクトルスキャナを試作し、これを用いて絵画のスキャンを行った。そして比較のために、油絵を通常の RGB カメラで撮影・印刷したもの、ディスプレイ上に表示したものを測定した。その結果、絵画本体のスペクトルデータと比較してその他の方法では特定の波長でデータが失われていることが確認された。

**キーワード：**デジタルアーカイブ、ハイパースペクトル、分光分析

## 1. はじめに

近年、文化財等のデジタルアーカイブの必要性が見直され、デジタルカメラ等によるデジタル画像の取得・保存が各所で行われている。一例としては、アメリカのメトロポリタン美術館が約 40 万点の作品を保存・公開している[1]。しかし、色彩情報に注目すると、RGB 三原色情報のみ取得となっており、それ以外の波長の情報は無視されていることが多い。アーカイブされた文化財の科学的な分析・解析を考えたとき、より広帯域の波長の取得が必要なのではないか。一方、安価で小型かつ高性能な分光センサーの登場で簡易な分光計測が可能となった。これを受け、先行研究においてスペクトルスキャナが試作された[2]。本研究では、波長域を広く、かつ詳細なデータが取得できるセンサー(ミニ分光器 C1355MA[3])を用いたスペクトルスキャナを開発し、これを用いて絵画とその RGB 画像と印刷物を対象に計測を行った。人の視覚で等しく認識される色彩に対する定量的な比較を試みた。

## 2. ハイパースペクトルスキャナの開発

本スキャナは先行研究[2]と物理的構造は同じである。計測は 1Pixel を 2mm×2mm とし、最大計測範囲は約 300mm×350mm とする。一方で、光源は D65 光源で発光効率の高い LED とし、分光器は 340nm~830nm を 512 バンドで取得・保存可能なものに変更した。計測対象への光源光の入射及び、計測光の分光器への入光は光ファイバを用いる。光源光用 2 本、計測光 1 本のファイバは専用のキャップ(図 1(a))により計測時に位置と角度を固定している。また、光源と光ファイバとの距離を調整する装置を作成し、計測点に照射する光源光のピントを調節可能とした。以上の機能により、計測点の分光情報をピンポイントに取得できるようにした。

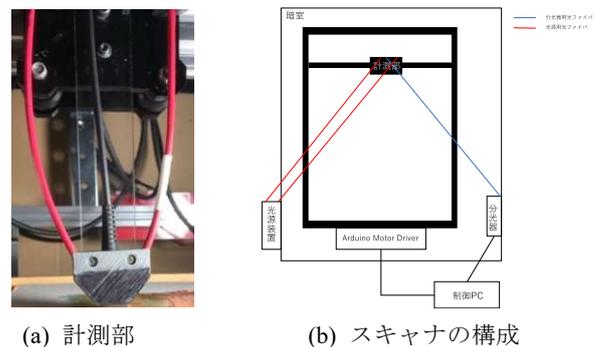


図 1 スペクトルスキャナの構成

## 3. 画像の計測

開発したスペクトルスキャナを用いて、油絵(図 2)、iPhone7 で撮影した油絵画像をコピー用紙に印刷したもの、画像を液晶ディスプレイ上に表示したものの 1 点を計測した。



図 2 計測絵画

写真の撮影は D65 光源で照射範囲の広い照明灯下で行った。分光器の露光時間は、取得するスペクトル強度が分光器の性能上限を越さない範囲で検証に十分な値が出力される時間を計測毎に指定した。

## 4. 結果と考察

得られたデータの解析結果を輝度分布で出力した。輝度分布は取得したスペクトル強度を輝度値と捉え、輝度値の大きさを白黒で表現する。輝度値を測定点の順に並べ、画像全体の輝度分布を視覚化している。610nm における各画

1 早稲田大学大学院基幹理工学研究所  
2 早稲田大学理工学術院  
3 早稲田大学大学院基幹理工学研究所

像の輝度分布を図3に示す。

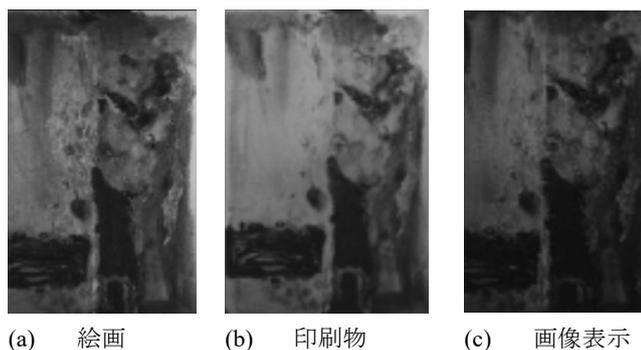


図3 各種画像の輝度分布

3つの計測データで共通して、絵画中の黄色から橙色の色彩箇所での他の箇所と相対的に見て高い輝度値を示している。610nmの波長は橙色光範囲であるため、これは妥当な結果と言える。各データを比較すると、絵画のデータ(図3(a))では輝度値に傾きがあり絵画の色味に応じて出力が変化している。対して、印刷物のデータ(図3(b))では満遍なく高い数値を出しており色味による出力の違いはあまり見られない。ディスプレイ上での画像表示のデータ(図3(c))では、印刷物での分布と比較して出力の傾きが見られるものの、元の絵画のデータ程変化は見られない。これは、本来画材に含まれているスペクトルの細かな変化が、RGB画像への変換・画像の印刷という工程を経る過程で徐々に省略されているためと考えられる。

また、元の絵画と印刷物、元の絵画とディスプレイの表示で同一のものが描かれている箇所のスペクトルデータを比較するため、各結果から抽出した計測点に正規化を行った。正規化は、抽出した各計測点のスペクトル強度に対し、その最低値で減算するダーク補正を行った後、スペクトル強度の総量で波長毎の強度を徐算する。光源光の出力がある波長400nm~780nmのデータを抽出しグラフとして描画した。抽出した点(図4(a))は絵画上の濃い橙色から赤茶色のような色味を持つ箇所であり、一定の短波長側の出力も見られる。

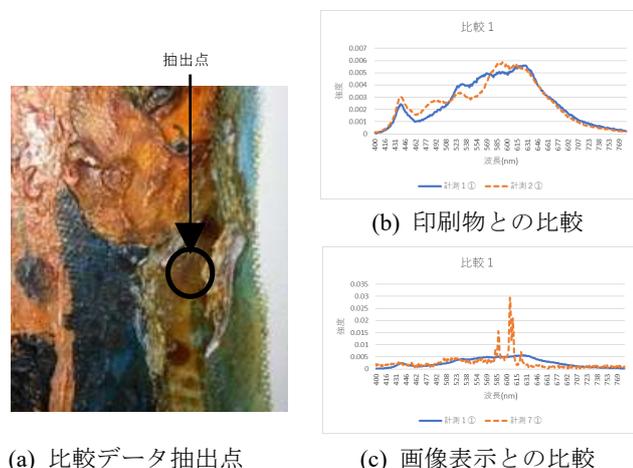


図4 同じ画像箇所におけるスペクトル比較

絵画、印刷物、ディスプレイ上の表示で共通して波長

580nm~630nmの範囲にスペクトル強度のピークを持つ。絵画と印刷物との比較データ(図4(b))を見ると、430nm~500nmの青色から緑色の波長範囲では印刷物の出力が高く、520nm~560nmの黄緑色から黄色の波長範囲では絵画の出力が高い傾向が見られる。スペクトル分布のピークがある波長は印刷物が絵画に比べて約50nm短い。インクのスペクトルにより、590nm付近に波形の山があり、540nm付近の波長は極端に出力が下がる結果になったと考えられる。

次に絵画とディスプレイ上の表示との比較データ(図4(c))を見ると、2つのスペクトル分布は大きく異なることが分かる。ディスプレイにおいては580nm~620nm付近に3つのメインとなるピークと2つの副次的なピークが見られ、主にメイン3つのピークにより色彩再現をしていることが確認できる。この液晶ディスプレイのカラーフィルタ特性により、抽出点の色を出力する3つのピークは絵画のスペクトルにおけるピーク波長より短くなっていると考えられる。

以上の結果から、RGBでのデータとその印刷により本来の色彩情報の一部がかけていること、また人の眼には同じに見えている色味であってもスペクトルデータでは大きな違いがあることが示された。

## 5. おわりに

今回開発したハイパースペクトルスキャナには課題も残されている。スキャナの移動による振動等で分光器に取り入れる計測光の光量が安定せず、スペクトル波形が等しい同色であってもスペクトル強度が異なる場合が見られる。データの二次利用への利便性を考えると、計測時に安定したデータの取得・保存が望ましい。また、現在は平面絵画の取得を前提にしているが、将来的には凹凸等の形状をもつ作品に対しても取得可能としたい。現状の計測部分は固定されているが、これを高さや角度方向に自由度を持たせた機構に改良したい。

一方で本研究の結果よりから、絵画の写真撮影によるデジタルアーカイブでは色彩情報の保存に不十分であることが定量的に示された。絵画のデジタルアーカイブの発展にはスペクトルデータを利用したアーカイブが必要であり、将来的なスペクトルデータベースの構築とこれを用いた解析や多分野での二次利用を期待したい。

## 参考文献

- [1] “The Met Collection”. <https://www.metmuseum.org/art/collection>, (参照 2022-1-25)
- [2] 岩崎遙, 馮琳, 坂井滋和. フラットベッド型ハイパースペクトルスキャナの試作と絵画の分光情報の計測. 映像情報メディア学会技術報告. 2020, vol. 44, No. 10, p. 311-312.
- [3] “ミニ分光器 TF シリーズ C13555MA”. <https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/type/C13555MA/index.html>, (参照 2022-1-26)