19

絵画画像における空間的色変化の波長分析
—Fourier変換とウェーブレット変換の比較—
A Wave-Length Analysis of Spatial Color Variation in Painting Arts - A Comparison of Fourier Transform and Wavelet Transform -

室屋 泰三 Muroya,Taizo 東京国立近代美術館/電気通信大学 The National Museum of Modern Art/UEC
小林 光夫 Kobayasi,Mituo 電気通信大学 The Univ. of Electro-Communications

キーワード: 色変化, 波長分析, Haar 基底, ウェーブレット変換, Fourier 変換
Keyword: color variation, wave-length analysis, Haar basis, wavelet transform, Fourier transform

1. はじめに

絵画を見るとき, 目は画面の上のさまざまな色変化をとらえる. そのような色変化の特徴を分析するために, 我々はウェーブレット変換を利用した分析方法を提案してきた [3]. その方法は色彩学的にも数学的に明確な意味づけをもち, 実際の絵画画像の分析において, 良好な結果を得てきた.

一方, 従来から画像の特徴を分析するための方法として, Fourier 変換が利用されている. 本稿では, Fourier 変換による従来の手法との比較を, 絵画作品の画像を対象として行い, 両者の違いを明確にし, 我々の手法の優位性を示す.

2. 波長分析 WLA と PSA

絵画画像は, 画面構成による粗い（大きな）色変化とタッチによる細かい色変化をもつが, このような色変化は

・変化の空間的な大きさ（粗い←→細かい）

・変化の強度（“明暗差が大きい” など）

の 2 つの軸から計量できる. 色彩画像の空間的な色変化の大きさを “波長” と呼び, 波長に対する色変化の強度を計量することを “波長分析” と呼ぶことにする. なお, 画面には縦と横の 2 つの方向があるので, それぞれに対する波長を “縦波長”, “横波長” と呼ぶことにする.

色彩画像は 2 次元画面から 3 次元色空間への区分的に連続かつ有界な写像（2 変数のベクトル値関数）と見なせる. この写像の成分のひとつを f と書く. f はたかだか第一種不連続性をもつ区分的連続で有界な関数と考えられる. f の定義域を $[0,1] \times [0,h] \quad (0 < h \le 1)$ とする.

(1)Haar ウェーブレット変換による波長分析 (WLA)

$m = 1, 2, \cdots$ に対し, 波長 $1/2^{m-1}$ の Haar 基底 φ_i^m $(i = 0, 1, \cdots, 2^{m-1})$[1] による f のウェーブレット変換 (HWT) を $< f, \varphi_i^m >$ と書くとき, 横波長 $1/2^{m-1}$, 縦波長 $1/2^{n-1}$ における色変化の強度 $\overline{\Delta f}^{m,n}$ をつぎのように定義する.

$$\overline{\Delta f}^{m,n} = \left\{ \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} << f, \varphi_i^m >, \varphi_j^n >^2 \right\}^{1/2}.$$

ここに, $M = 2^{m-1}$, $N = 2^{n-1}$ である. $\overline{\Delta f}^{m,n}$ は平均色差の意味を持つことが示される [4].

(2) Fourier 変換による波長分析 (PSA)

画像 f を偶周期関数に拡張することにより, f に離散 cos 変換 (DCT) を適用することができる. このとき, 横波長 $2/k$, 縦波長 $2/l$ に対するパワースペクトル

$$p_{kl} = \left| \frac{1}{h} \int_{-1}^{1} \int_{-h}^{h} f(x,y) \cos(k\pi x) \cos(\frac{l\pi y}{h}) dxdy \right|.$$

を強度とした波長分析を考える. p_{kl} に色彩学上の意味をもたせることは困難である.

3. WLA と PSA の定性的な比較

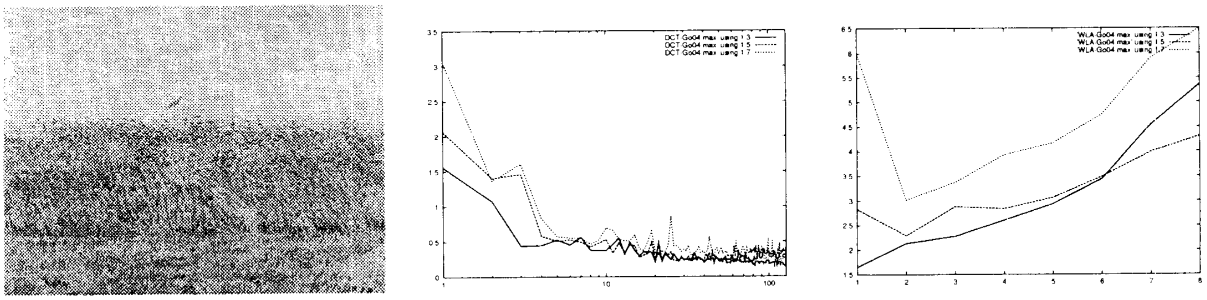
画像中の色変化が区分一次的であれば, HWT と DCT を用いた波長分析それぞれで同様の結果が得られたとしても, その意味は次のように異なることが, 理論的にいえる.

分析結果	HWT	DCT
波長が小さくなると強度が 0 に近づく	細かな色変化になるにつれ, 色差が小さくなっている	DCT の収束の影響が強く [2], 画像の特徴を表した結果とはいいきれない
ある波長で強度が 0（または非常に小さい）	その波長での色変化がない（または非常に小さい）	その波長の cos 関数と直交していることを示す. 色変化の強度を表しているとはいえない
波長が短くなるにつれて, 強度が増加	タッチなどによる細かな色変化が大きい	絵画画像においてはおこりえない

以上により, 絵画画像の分析には HWT を用いた方が, 色変化の特徴をよりよくとらえることができると期待される.

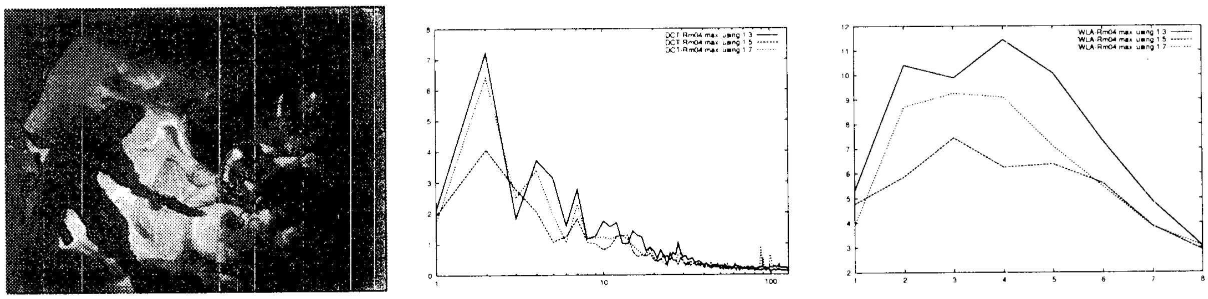
4. 絵画画像に対する分析事例

11 人の画家の合計, 約 200 作品の絵画画像について波長分析を行ない, WLA と PSA の比較を行った. 結果から, 前節の解釈の妥当性が認められた. 図 1 にその 2 例を示す. 色空間は CIELUV を用いた. 色変化の強度は



PSA　　　　WLA

(a) V.Gogh:“ひばりのいる麦畑”(1887)



PSA　　　　WLA

(b) Rembrandt:“眼を潰されるサムソン”(1636)

図 1: 波長分析結果（左から元画像, PSA の結果, WLA の結果）

L^*,u^*,v^* の各成分ごとに行列として得られる. 図 1 のグラフは, 横波長ごとに強度が最大の部分（すなわち, 画像の特徴をよく表している部分）を抜き出したものである. 横軸は WLA の場合は m, PSA の場合は $\log k$ とし, 同一波長に対し, 比較可能とした. 縦軸は各波長に対する強度である.

(1) V.Gogh:“ひばりのいる麦畑”(図 1 a)

画面全体からは大きな明暗変化がある印象は受けないが, 青い麦の穂の明暗, 麦の根元の陰などの描写には細かな変化がある. このことは, WLA の各色値の短い波長にかけての色変化強度の増大にあらわれている. 一方, PSA での強度の収束は, この作品の色彩的な特徴を捉えているとは言い難い.

(2) Rembrandt:“眼を潰されるサムソン”(図 1 b)

画面右半分の甲冑のハイライト部は画面の長辺のおよそ $1/2^4$ の大きさであるが, これは WLA の結果の L^* 値の $m=4$ にあらわれている. また, WLA の u^* 値の $m=3$ のピークは, 画面左側の人物の衣服の肩の部分の長さが長辺のほぼ $1/2^3$ であることによるものであろう. また, 画面中央部分の黄色の衣服の人物の腕は, 肩から二の腕の部分と肘から先の部分のそれぞれが長辺の $1/2^3$ の長さである. これらは, WLA の結果中の u^* 値の $m=2,3$ での大きな強度の一因であろう. さらに, WLA での波長が短くなるにつれて, 強度が減少しているのは, 細部での色変化のなめらかさを反映したものであろう.

PSA の結果において, $k=8$ の部分に小さなピークが見られ, 上に述べたような画面上の特徴があらわれているといえなくもないが, グラフ全体が振動しつつ減少しているため, グラフの形状から画面中に特徴的な変化が存在するということは連想されない.

5. まとめ

我々の提案する WLA と従来から利用されている PSA について, 理論的, および実験的な比較を行い, WLA の優位性を示した. 本稿では, 分析結果を単純化　するために, 分析結果の最大部分に着目したが, 他にもさまざま方法が考えられる. これは今後の課題とし, 絵画画像などさまざまな色彩画像への適用を試みたい.

参考文献

[1] G.G. ウォルター, 榊原進, 萬代武史, 芦野隆一訳, ウェーブレットと直交関数系, 東京電機大学出版局, 2001.

[2] 垣田高夫, フーリエ解析と超関数, 日本評論社, 1994.

[3] 小林光夫, 室屋泰三, 画面上の色差配置の粗密に関する計量とその応用, カラーフォーラム JAPAN2001 論文集, pp.25 - 28.

[4] Mituo Kobayasi, Taizo Muroya, “A Spatical Wavelength Analysis of Coarseness or Fineness of Color Variation in Painting Arts”, Pattern Recognition Letters (accepted and to be printed).