

## 後期印象派絵画の色彩情報について解析

車 妍 望月 茂徳 蔡 東生  
筑波大学システム情報工学研究科

要約：自然界に多くのものはゆらぎをもっている。特に  $1/f$  の周波数を持つゆらぎは生体に心地よいと感じる。本研究では現在まで多くの人々に愛され、支持され、人間が心地よいと感じる後期印象派絵画を中心に、色彩情報の解析を行う。手法として情報エントロピーを用いた、絵画の複雑性を解析し、冪乗法則の Zipf 法則を用いた絵画の規則性の解析を行う。

### Analysis of Colour Information on the Postimpressionism Painting

Yan Che Shigenori Mochizuki DongSheng Cai  
Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, Japan

Abstract : fluctuations can be found ubiquitously in the real world. Especially,  $1/f$  fluctuation considered to the comfortable to human beings. We analyze colour information of postimpressionism painting that are loved and supported by a lot of people for long time. We investigated the complexity of the paintings by using the information entropy and Zipf's law.

#### 1. はじめに

自然界に多くの自然物は「ゆらぎ」を持っている。ゆらぎとは、ある平均に従いながらも部分的にランダムな空間的、時間的変換すること。例えば、ある平均風速を保ちながらも常に一定ではなくランダムな強弱をもって吹き風、紅葉などの時間的に色の変化、海の波のリズムなど様々な自然現象の中に「 $1/f$ ゆらぎ」が発見された[1]。また、人の心拍の間隔、クラシック音楽なども「 $1/f$ ゆらぎ」になっていることが発見されている。そのなかでも特に  $1/f$  の周波数をもつゆらぎは生体に心地よいと感じるとき、そのゆらぎの周波数が  $1/f$  になっていることもよく知られている。

人の心拍のゆらぎにみられるように、人の体のリズムが「 $1/f$ ゆらぎ」になっている。そのことから「 $1/f$ ゆらぎ」が人に心地よいを与えると考えられる。人間が心地よいと感じる印象派絵画はどうなる。印象派絵画とは、光の印象や色彩の輝きを重視した画法、画風の総称であり、代表的な画家としてモネやゴッホたちによって書かれた絵画は明るく輝くような美しい色の調和である。

本研究では、19世紀後半より現在まで多くの人々に愛され、支持されている印象派絵画に対

象として、その特徴を数値的に解析する。印象派絵画の特徴は光の動き、変化の質感をいかに絵画で表現するかに重きを置いていることである時にはある瞬間の変化を強調して表現することもあった。それまでの絵画と比べて絵全体が明るく、色彩に富んでいる。また細かいタッチと異なり、荒々しい筆致が多く、絵画中に明確な線が見られないことも大きな特徴である。

本研究では情報エントロピー[4]と冪乗法則の Zipf 法則[6]二つの手法で後期印象派絵画の複雑性と法則性があることに解析を行う。

#### 2. 情報エントロピー

情報源のエントロピーは1940年代にシャノン (C. E. Shannon) によってはじめて定義された。[2]

シャノンの情報エントロピーは熱力学で使われていたエントロピーの概念から情報量の定義指標として導入された。情報科学の分野では、このエントロピーを「事象の不確かさ」として考え、ある情報による不確かさの減少分が、その情報の「情報量」であると考えられる。情報を受け取る前後の不確かさの相対値を「情報エントロピー」という。

例えば、サイコロを振ったとき、結果を見る前はどの目が出たかまったく分からないので、

不確かさ「情報エントロピー」は最大である。「奇数の目が出た」という「情報」を受け取ると、「情報エントロピー」は減少する。「1の目が出た」ことを知れば、結果は一意に確定し、「情報エントロピー」は最小となる。

本研究では情報エントロピーの「事象の不確かさ」（事象を定義するのに必要なビット数）を複雑さ（多様性）として、後期印象派絵画で使われた色の複雑性（多様性）を表す。

## 2. 1 絵画における情報エントロピー

情報エントロピーを絵画で使われた色の複雑性を表すと考えていく。以下のように定義されている。

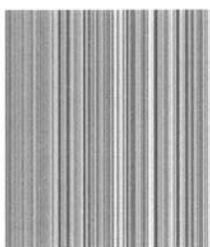
$$H = -\sum_{i=1}^n P(i) \log_2 P(i) \quad (1)$$

ここで、 $i$ は各構成色（画像が $n$ 色で構成されるとする）、 $P(i)$ は画面全体に色 $i$ が占める割合  $H$ は情報エントロピーである。

本研究では使われている画像はWebやデジタルカメラやスキャナーを用い、画像として取り込む。すべての画像は24ビット（約16万色）の画像が使われている。ここで、画像はLab空間に変更し、ベクトル量子化で減色を行い、式（1）を使って、画像の情報エントロピー値を計算することができる。結果として、単色する場合、エントロピー値は0になり一番低い、256色と同じ出現頻度で現れる場合、エントロピー値は8になり、一番高くなる。



赤一色（単色）  
エントロピー値：0



256色  
エントロピー値：8



古典派絵画  
情報エントロピー：  
5.8236



後期印象派絵画  
情報エントロピー：  
7.8824

図1：絵画のエントロピー計算例

## 2. 2 考察

例として用いた画像は256色で減色すると古典派絵画「snyders」の情報エントロピーは5.8236になる、ロマン主義「アルジェの女たち」のは6.83になる、印象派画家モネの作品「日傘を差す女」の情報エントロピーは7.8536になる。それから、後期印象派画家ゴッホ1889年の作品「星月夜」の情報エントロピーは7.8824となる。



図2：印象派、後期印象派作品  
情報エントロピー値：左図7.8536 右図7.8824

印象派、後期印象派絵画（モネ、ゴッホの作品）を256色で分色する時、情報エントロピー値は7以上があることが知られている。印象派絵画全体的に見ると、エントロピー値はやや高く、複雑性が高い。色の複雑さはエントロピー値に大きく関係があることが分かった。つまり、使われている色の出現確率の平均に影響がある。256色で分色した場合、情報エントロピー

値は0から8までになっている。同じ絵画では使われた色の数が多くほど、エントロピー値が高くなる。

### 3. 冪乗則

冪乗則はある事象の発生頻度は事象のあるパラメータの冪乗則に反比例する。

冪乗則には一般的に事情の性質により三種類に分類される。

<1>事象の周波数ごとのパワースペクトル密度分布 (1/f揺らぎ)

$$P(f) \propto \frac{1}{f^\alpha} \quad (2)$$

ここでPはパワー、fは周波数である。特に $\alpha \approx 1$ となるものが1/fゆらぎとして知られる。

<2>事象の継続時間、発生間隔ごとの度数分布 (冪乗則)

$$N(\tau) \propto \frac{1}{\tau^\beta} \quad (3)$$

ここでNは頻度、 $\tau$ は継続時間である。ある幅の階級に対する度数分布を表す。

<3>事象が起こる出現頻度 (サイズ)、出現順位がべき乗則(power law)に従う現象である。

$$N(s) \propto \frac{1}{s^\beta} \quad (4)$$

ここでN(S)は出現頻度、Sは出現順位、パラメータ $\beta$ は分布の傾きを示す。

式(4)は一般的にはZipfの法則と呼ばれる[6]。Zipfの法則とは、ある物の分布がべき分布、特に指数が-1のべき分布に従うことを示す則であり、本研究においては冪乗則<3>について考える。傾きが-1の時Zipfの法則とい、傾きが-1でない時変形的Zipfの法則という。

#### 3. 1 Zipfの法則

Zipfの法則はアメリカの言語学者ジョージ・キングズリー・ジップ (George Kingsley Zipf) によって定義された[6]。Zipfの法則は英語の単語の使用頻度と順位との関係を調べて導き出された。特に、文学作品 (ユリシーズ)、新聞 (NYタイムズ) において英単語の使われた“頻度”を“多い順”に両対数グラフに並べると図3[3]の

ように単語の使用頻度と順位は直線上にプロットされることになるが、下のように、みごとに傾き-1の直線上に乗っている。それ以来、冪分布については様々な分野で応用されている[8]。

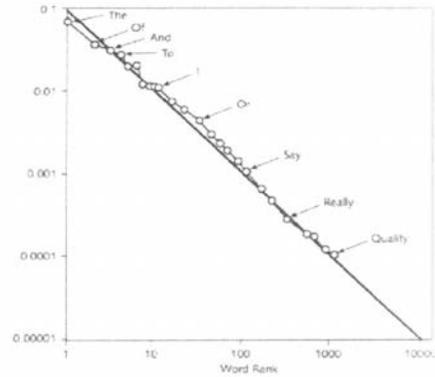


図3：両対数グラフでの冪分布

本研究ではZipf法則を用いた後期派絵画の色の出現頻度と出現順位がZipf法則で解析を行う。絵画に色彩の出現確率に規則性があることを示す。対象とする事象の各階級をsにする、分布関数をN(s)にすると、冪乗則に従う形として次の式で表すことができる。

$$N(s) = A \frac{1}{s^\beta} e^{-\frac{s}{T}} \quad (5)$$

ここでTはパラメータ、Sは出現順位、Nは出現頻度、 $\beta$ は直線の傾きを示す。色彩情報の出現分布が有限であるためsが大きくなるとN(s)の情報量の誤差が大きくなってしまいう現象である。有限サイズ効果(Finite Size Effect)を考え、以下の補助関数として使う。

$$M(s) = \frac{1}{s} \int_s^\infty N(t) dt \quad (6)$$

式(5)を式(6)によって積分すると以下を得る

$$\frac{1}{s} \int_s^\infty N(t) dt = A \frac{1}{s} \int_s^\infty t^{-\beta} e^{-\frac{t}{T}} dt \quad (7)$$

$$M(s) = A' \frac{1}{s} \Gamma(1 - \beta, \frac{s}{T}) \quad (8)$$

式(8)の第三項は、以下の式を一般解とする不完全ガンマ関数である。

$$\Gamma(a, z) = \int_z^{\infty} t^{a-1} e^{-t} dt \quad (9)$$

### 3. 3 考察

本研究では、図5，図7の絵画に対して分色を行い、Zipf法則のパラメータ $\beta$ の値に注目する。 $\beta$ は直線部分の傾きを表す。それぞれの絵画の分色ヒストグラムを図6、図7に示す。



図5：古典派画家Van Dyck「snyders」

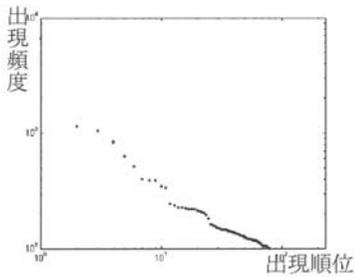


図6：256色で分色 傾き：-0.6



図7：後期印象派画家ゴッホの作品

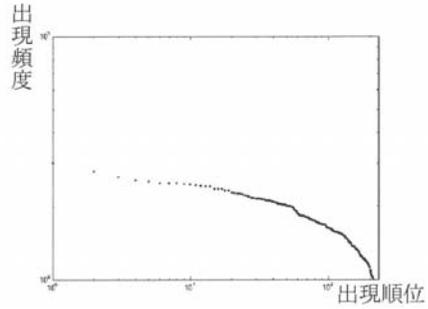


図8：256色で分色 傾き：-0.25

ここまで、Webやスキャナーを利用して、得られた絵画画像は8色、32色、128色、256色などに画像全体的に分色を行う。後期印象派絵画全体的に傾きが緩やかに流れていく。変形Zipfの法則に従い、印象派絵画の傾きは-0.2たら-0.3の間で、-1より5～3倍小さい。



図9：モネのパレット

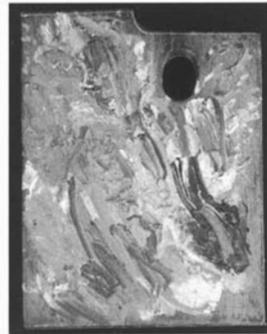


図10 ゴッホのパレット

本研究では、絵画の分色を行う際の最適な分色方法として、画家のパレットから抽出した色を基に分色を行う。ここでは、画家のパレット図9、図10を利用して、最適の分色数を割り

出す。抽出した色数を用いた分色した。分色ヒストグラムから、色分布の傾きを得ることができた。傾きは -0.3から -0.5程度である。

#### 4. まとめと今後の課題：

本研究は後期印象派の絵画として色彩情報について解析を行った。情報エントロピーを用いた後期印象派の絵画の複雑性が高いことを示した。また、用いた絵画の傾きは-0.2~-0.5程度である、変形zipfの法則に従っている。Von Gochの残された手紙から注文した絵の具の量[9]はZipfの法則に従うことがわかっており、必ず傾きは-1になることが知られている[10]。しかし、絵画にしたとき、傾きが1/2から1/5になる理由は不明である。変形Zipfの法則に従うことから、色の使い方にフラクタル性が存在することが分かる。

今後の課題として、印象派絵画を数多く解析し、ほかの流派の作品も実験し、後期印象派絵画の特徴を比較しながら、より詳しく解析を行う。また、後期印象派絵画の統計解析を行う、ほかの手法についても研究を行う。

本研究の応用については、もし画家使った色彩情報の特徴がわかると、画像検索に使えることになると考えている。

#### 参考文献：

- [1] 武者利光 「ゆらぎの科学1～5」 森北出版 1991～1995
- [2] C.Adami: "Intorduction to Artificiaial life", A Springer-verlag
- [3] Bak, P.: How nature works, Springer-Verlag, 1996.
- [4] C.Eshannon: "A mathematical theory of communication", Bell System Tech. J., Vol.27, pp.370-423, 1948.
- [5] Voss, R. F. and Clarke, J.: '1/f noise' in music and speech, Nature258, 317-318, 1975.
- [6] George. Kingsley. Zipf. "Human Behavior and the Principle of Least Effort." Addison-Wesley, Cambridge MA (1949).
- [7] Zipf, Power-laws, and Pareto - a ranking tutorial
- [8] <http://www.nslj-genetics.org/wli/zipf/>
- [9] 福田忠彦監修, 人間工学ガイド, サイエンティスト社, 2004 (絵の具)

- [10] 福本麻子, 安村通晃, 蔡東生: 印象派絵画の統計的解析、ヒューマンインターフェース学会 論文誌 vol.7 No.2, pp.89-97, 2005.