

自然界の画像が持つ 1/f 周波数成分の可視化*

寺西 正晃 , 丸山 和夫 , 早野 誠治 , 齋藤 兆古 (法政大学大学院)

堀井 清之(白百合女子大学)

Visualization of 1/f Frequency Component in Dynamic Image of Natural Phenomena

Masaaki TERANISHI, Kazuo MARUYAMA, Seiji HAYANO, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

Most of the natural phenomena include a time fluctuating component. Frequency analysis of this time fluctuation component leads to the famous "1/f fluctuation" characteristic that gives mental as well as psychological relaxation effects to human. Because of wide spreading electrical power supply, modern residence removes the combustion utilities and installs much electricity. Our target in this paper is to propose the method of frequency characteristic extraction from dynamic burning flame image of candle. As a result, one of the methods proposed in this paper enables us to extract major frequency characteristic of lighting sources. The other one makes it possible to visualize the precise frequency characteristic of lighting sources.

Keywords: Visualization of healing image, 1/f-fluctuation frequency, Artificial environment

1. 緒 論

我々人類の文明的な生活は、自然光下よりも、人工的照明下でなされていることを促している。歴史的には、古典的で最も原始的な口ウソクや暖炉などの燃焼炎が与える照明は人間に安らぎを与え、燃焼炎は古くから家庭や仲間の潤いや団欒の象徴として取り入れられてきた。また、近年では、燃焼炎や燃焼炎の与える照明効果は人間の心理的・精神的ストレスを低減させるといった癒し効果もあると考えられる。人間は外部から得る情報の中で80%以上を視覚から取り入れている¹⁾。その視覚情報の中で、人間の生理や心理に働きかけているものが照明光のゆらぎではないかと予想される。このため、照明光のゆらぎの特性の解析は人類の文明的な生活へ自然界の癒し効果の導入に繋がる基幹技術と考えられる。

自然界の動きは、天体の自転・公転や振り子の周期などに代表されるように、それぞれ固有の周波数特性を持っている。この周波数特性は口ウソク炎、人間の動き、風景（波や雲など）にも存在し、「1/f ゆらぎ」などと呼ばれている。

本論文では動光源画像の RGB(Red,Green,Blue)ヒストグラムを用いた「1/f ゆらぎ」周波数成分の抽出法を提案し、動光源画像より得られた RGB 固有パターンの

ゆらぎから「1/f ゆらぎ」周波数分布の可視化を試みる。

具体的には口ウソク等の燃焼炎を構成する光の赤(R)、緑(G)、さらに青(B)成分の時間的変化へフーリエ変換を適用し、自然界の酸化現象である燃焼現象や気象現象が「1/f ゆらぎ」を有することを報告し、「1/f ゆらぎ」周波数分布を可視化する。

2. 「1/f ゆらぎ」とは

「1/f ゆらぎ」は自然界に多く存在し、例えば小川のせせらぎ、小鳥の囀り、爽やかなそよ風などの心安らくリズムが相当する。同様に、心地良い音楽を聴いたり、快い感じを抱いたり、安静にしているときの脳波にも「1/f ゆらぎ」が存在する。「1/f ゆらぎ」解析法として、RGB成分強度値の1フレームに対する平均値を算出し、それを全フレームから求め時系列に並べることでゆらぎを1次元配列へ格納し、その数値配列に対してフーリエ解析を用いてゆらぎの特徴を求める。より具体的には、ある信号へ離散フーリエ変換(Discrete Fourier Transform)を適用し、各周波数に対するパワースペクトラムを計算する。周波数の低下とともにパワースペクトラムが増加するような信号の中で、パワースペクトラムの振幅が周波数に対して反比例する信号を「1/f ゆらぎ」と呼ぶ。

視覚的に判りやすくするために、よく行われる方法は、フーリエ・パワースペクトラム対周波数の両対数グラフを描き、描かれる線図の傾きによってゆらぎの種類を大別する方法である。Fig.1 にフーリエ・パワースペクトラムの一例を示す。

Fig.1において、直線の傾きが0の場合は主にホワイトノイズである。また、直線の傾きが急になる程単調な信号である。そしてホワイトノイズと単調な信号の中間的な信号で傾きが約-1の場合を「1/f ゆらぎ」と呼び、人間が心地よいと感じる信号と言われる。

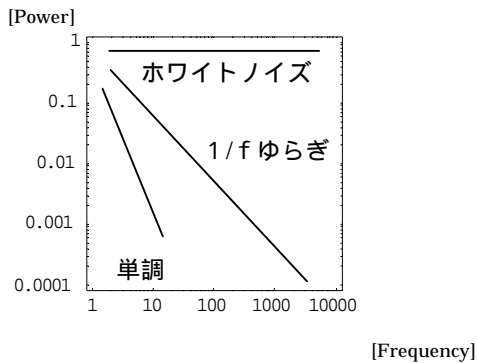


Fig.1 Typical Sample Power Spectra

3 . 光源のゆらぎ抽出

デジタルビデオカメラにより撮影した発光体を視覚情報として計算機に取り込み、ろうそく等における発光体から発生する RGB 成分のゆらぎを抽出する。計算機に取り込まれた動画は静止画像を時系列に並べた一連の画像であり、現在一般に使われているデジタルビデオカメラは1秒間に約30フレーム画像を撮影可能である。各フレーム画像は画素の集合であり、各画素は可視光の波長によってそれぞれ R (赤), G (緑), B (青) 成分の色情報を持つ²⁾⁻⁵⁾。通常、各波長の分解能は8ビットであるから、RGB 成分はそれぞれ0から255までの256階調の画素値を取る。本章ではこれらの視覚情報から光源のゆらぎを抽出する。



Fig.2 Original Image

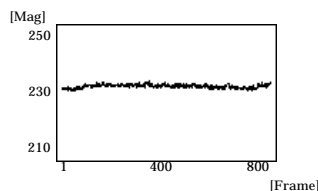


Fig.3 Fluctuation of Light Source (R Component)

3.1 平均化解析

3.1.1 ゆらぎ抽出

ここでは、動画の光源部分からゆらぎを抽出する方法を述べる。動画の光源抽出方法としては最初に動画から背景画像を削除した動光源画像に閾値法で抽出する。すなわち、Fig.2 に示したろうそくのフレーム画像から

ろうそくの動炎部分のみの2値化画像として抽出する。次に作成した2値化画像を元の画像のRGB成分に畳み込みすることにより光源部分のみを抽出することができる。光源部分の動画からRGB成分画素値の平均値を求め、時系列に並べる。その結果、Fig.3に示すよう時系列(フレーム系列)方向の「平均的なゆらぎ」を得ることができる。

3.1.2 炎の周波数特性

Fig.3に示した波形に対して「1/f ゆらぎ」の存在を周波数特性により吟味する。画像から得られたFig.3の信号にDFTを適用し、各周波数に対するパワースペクトラムを計算する。フーリエ・パワースペクトラムと周波数をそれぞれ、縦軸と横軸に対応させ、両対数図を描く。Fig.4に示すような両対数軸上に描かれる曲線へ累乗近似を適用し、回帰直線の傾きを求める。ただし、DFTスペクトラムは、全サンプル数に等しい実部と虚部を与えるから、独立なパワースペクトラムは全サンプル数の半分までで有り、さらにDFTの精度を勘案して、全サンプル数の1/4項までの低周波領域から傾きを求める。Fig.4は典型的なパワースペクトラム対周波数特性である。周波数が高いほどDFTの精度が悪く、振動的にパワースペクトラムが変化することが判る。

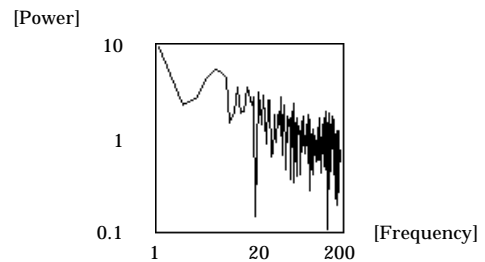


Fig.4 Power Spectrum of Fluctuation (R Component)

3.1.3 累乗近似

Fig.4に示したパワースペクトラムから傾きを求める方法を述べる。パワースペクトラムがn次の数値配列で構成されているとするとFig.4に示したグラフは式(1)で表される。

$$f = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_n] \tag{1}$$

この数値配列を両対数グラフで表したときの傾きを求める方法として本研究では累乗近似を採用し、直線に回帰させる。

Table 1 Fluctuation of Power Spectrum

測定対象	パワースペクトラムの傾き (R,G,B)
ろうそく	(- 0.5 , - 0.6 , - 0.7)
電球	(- 0.2 , - 0.1 , 0)
ガスバーナ	(- 0.6 , - 0.6 , - 0.6)
雲の動き	(- 0.9 , - 0.9 , - 0.9)

3.1.4 解析結果

平均化解析を用いて、動光源画像における「1/f ゆらぎ」の解析を行なった。その結果を Table 1 に示す。解析結果よりろうソクの炎、ガスバーナの炎、雲の動きに「1/f ゆらぎ」にかなり近い信号が存在することが判明した。他方、電球は他の測定対象に比べ傾きが緩く「1/f ゆらぎ」が殆ど平均的に存在しないと考えられる。

3.2 RGB 固有パターン解析

3.2.1 カラー画像の固有ベクトル

本章では光源の RGB 固有ベクトルを抽出し、「1/f ゆらぎ」解析を行う。まず、動画像の各フレーム画像から色成分を抽出する。色成分固有ベクトルは画像中の R 成分の量、G 成分の量そして B 成分の量によって与えられ、1 画像に対して 3 組の成分が得られる。具体的には式 (2) に示すように各色成分の 1 から 255 までの色成分がそれぞれ何画素存在するかを計算する。これにより R 成分が R 成分の強度値を階級としたヒストグラム化され、各階級の度数にあたる各 R 成分分布値の出現頻度が求められる。これによって求められる各 R 成分強度分布の出現頻度をベクトル形式の配列要素として R 成分の固有ベクトル E_R を生成する。 $Count[* , p]$ は括弧内の集合における数値 p の個数をカウントする演算を表す。

また、G、B 成分の固有ベクトルも式 (2) と同様にして算出する。

$$E_R = Count[R, p] \quad p=1, 2, 3, \dots, 255 \quad (2)$$

3.2.2 カラー画像の固有パターン

画像の特徴量である固有パターンを E とすると、固有パターン E は R 成分固有ベクトル、G 成分固有ベクトル、B 成分固有ベクトルで構成され、式 (3) で表される。

$$E = [E_R, E_G, E_B] \quad (3)$$

Fig.2 に示すろうソク炎の動画像の 1 フレームから固有パターンを抽出すると Fig.5 のようになる。

3.2.3 ゆらぎ抽出

動画像の各フレームから固有パターンを抽出し、式 (4) に示すように固有パターンを時系列に並べ、固有パターンのゆらぎを構成する。固有パターンのゆらぎを Fig.6 に示す。

$$F = [E_1, E_2, \dots, E_n] \quad n: \text{フレーム数} \quad (4)$$

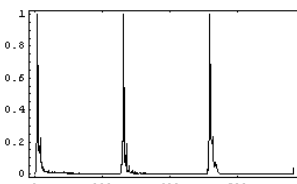


Fig.5 RGB Eigen Pattern of Candle Fire

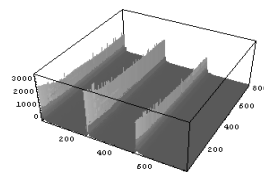


Fig.6 Fluctuation of RGB Eigen Pattern along with Time (Frame) Axis

3.2.4 ゆらぎ解析

本章では動光源画像より得られた固有パターンのゆらぎの解析を行う。動光源画像より得られた固有パターンのゆらぎを時系列 (フレーム) 方向に DFT 解析し、各周波数に対するパワースペクトラムを計算する。そして、累乗近似を用いて両対数グラフで表したときの傾きを求める。ただし、全サンプル数の 1/4 項までの低周波領域を計算に採用した。その結果、RGB 成分の 1 から 255 までの強度分布の「1/f ゆらぎ」の存在を表した数値配列を得ることができ、横軸に RGB 成分強度値、縦軸にパワースペクトラムの傾きをとりグラフ化した。本論文では、この傾き分布を時系列周波数特性と呼ぶ。グラフの縦軸の値が -1 に近いほど「1/f ゆらぎ」に近い信号が存在することを意味する。Fig.7 は、Fig.6 の RGB 固有パターンのパワースペクトラムに回帰直線を適用して得られた傾き分布を示す。

続いて、時系列周波数特性を用いてゆらぎ解析をおこなう。結果の一例を Fig.8 に示す。

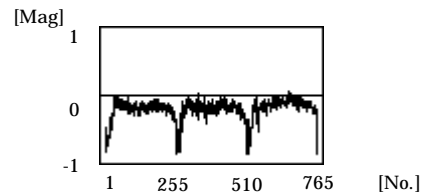
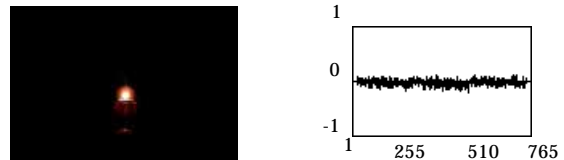
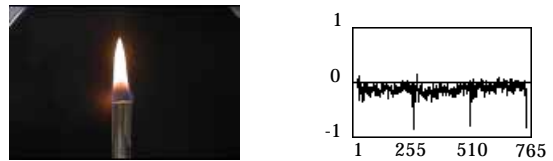


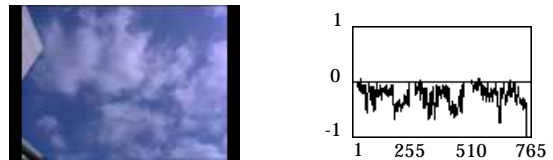
Fig.7 Fluctuation Distribution of RGB Eigen Pattern Power Spectrum



(a) Light Bulb



(b) Gas Burner



(c) Cloud

Fig.8 Fluctuation Analysis of Image

動光源画像から RGB 固有パターンの DFT 解析により「1/f ゆらぎ」存在に関して解析を行ない、得られた固有パターンのゆらぎを時系列方向に解析し、「1/f ゆらぎ」周波数分布を可視化した。Fig.7 から、ろうソクは RGB 成分の高い強度値で「1/f ゆらぎ」をもっている

ことが判る。Fig.8 からは、ガスバーナの炎と雲の動きは「1/f ゆらぎ」を持っており、電球はホワイトノイズから構成されることが判る。

平均化解析法はロウソク炎において「1/f ゆらぎ」を抽出可能としたが、RGB 成分が小さい画素から「1/f ゆらぎ」を抽出不可能であった。他方、RGB 固有パターン解析法は RGB 成分の 1 から 255 までの強度分布におけるゆらぎの解析を可能とし、光源の特徴を明瞭に表すことができた。

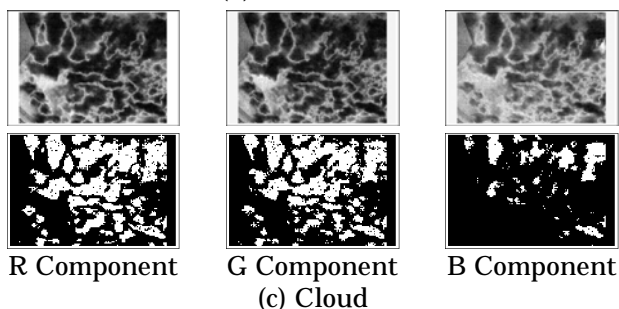
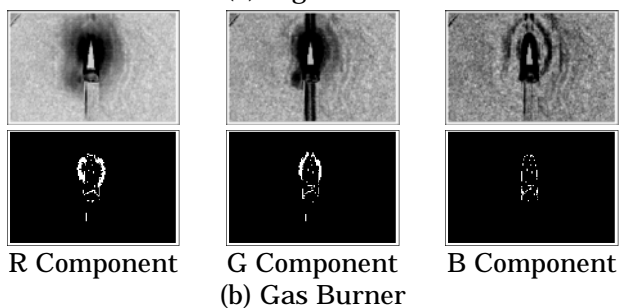
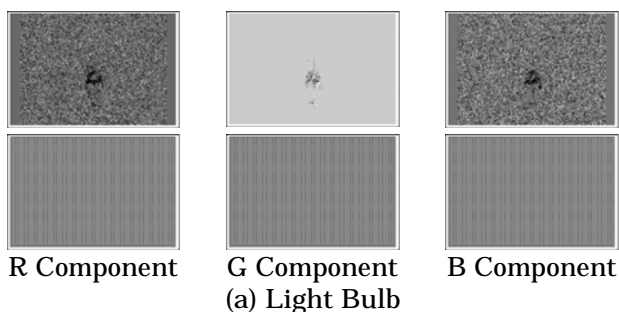
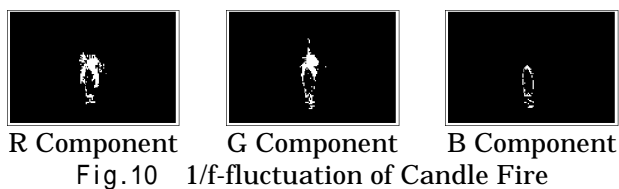
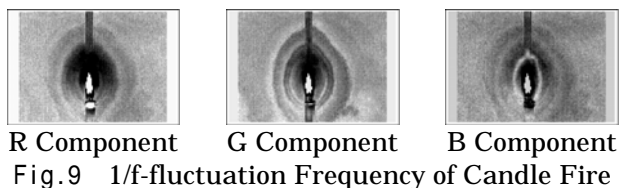


Fig.11 1/f-fluctuation Frequency Distribution

3.2.5 ゆらぎ周波数成分の可視化

次に Fig.2 に示したロウソク炎の動画像より得られた固有パターンのゆらぎを時系列方向に解析し、「1/f ゆらぎ」

周波数分布を可視化する。

Fig.9 はロウソク炎の動画像の各フレームの画素値を時系列（フレーム）方向に DFT 解析し、各周波数に対するフーリエ・パワースペクトラムを計算し、周波数振幅の傾きを求めて得られたモノクロ画像である。これが「1/f ゆらぎ」周波数分布の可視化画像である。

Fig.10 は Fig.9 で求めたフーリエ・パワースペクトラムの傾きが-1 から-0.8 の場合は画素値を 1 とし、その他の値は画素値をゼロとして得られる「1/f ゆらぎ」周波数の 2 値画像を作成する。Fig.10 はロウソク炎の動画像からロウソク炎の「1/f ゆらぎ」部分を抽出したフレーム画像の例である。

同様にして他の動画像中の「1/f ゆらぎ」周波数分布を求める。その一例を Fig.11 に示す。

Fig.9 と Fig.10 より「1/f ゆらぎ」周波数分布を可視化することによってロウソク炎の動画像における「1/f ゆらぎ」部分を抽出することができ、ロウソク炎の動画像における「1/f ゆらぎ」の分布が判る。Fig.11 はガスバーナの炎と雲の動きは「1/f ゆらぎ」部分を持つことが分かる。他方、電球においては「1/f ゆらぎ」部分が表れず、「1/f ゆらぎ」が存在しない。

4. まとめ

本論文ではロウソク炎などの化学反応現象、自然界の雲の動き等の動画像のゆらぎを RGB の色情報によって解析する方法を述べ、それぞれの動きにおける「1/f ゆらぎ」周波数成分分布の可視化を行なった。動画像の各フレーム画像の RGB 成分を時系列方向に解析し、「1/f ゆらぎ」周波数分布を可視化した。

その結果、自然界の動画像の多くは「1/f ゆらぎ」周波数成分を持ち、雲の動きなどスクリーンの大部分が「1/f ゆらぎ」周波数成分からなることが判明した。

参考文献

- 1) 中島 龍興, 近田 玲子, 面出 薫: 照明デザイン入門, 彰国社 (1995).
- 2) 若林 健一, 早野 誠治, 齋藤 兆古: ウェーブレット変換を用いた画像の固有パターン認識, 可視化情報学会誌, Vol.20, No.1 (2000) pp.133-136.
- 3) 佐藤 隆紀, 早野 誠治, 齋藤 兆古, 堀井 清之: 知的可視化情報処理による動画像認識, 可視化情報学会誌, Vol.22, No.1 (2002) pp.243-246.
- 4) 丸山 和夫, 早野 誠治, 齋藤 兆古, 堀井 清之: 色情報を利用した知的動画像認識, 可視化情報学会誌, vol.23, No.1 (2003) pp.95-98.
- 5) 丸山和夫, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之: 色情報による光源特徴の一解析, 可視化情報学会誌, Vol.24, No.1 (2004).