

時系列周波数特性による光源特徴の一解析法

丸山 和夫 早野 誠治 齋藤 兆古
法政大学 大学院

照明の一種として、自然界の酸化現象である燃焼は太古より利用されている。近年、ロウソクの炎には f 分の 1 ゆらぎによる癒し効果があるとして注目されていることを背景に、自然界の酸化現象である燃焼を利用した照明と電球、LED などの人工的な照明との識別、また個々の被燃焼物質による燃焼現象のもつ特性抽出、そして、人に快適感を与える照明の評価を行う。その結果、自然界の燃焼現象はそれぞれ固有の特徴をもつことをしめす。さらに、非線形現象で観察される「 f 分の 1 ゆらぎ」をパワースペクトラムに基づいて可視化し、「 f 分の 1 ゆらぎ」がロウソクなどの燃焼現象に存在することを報告する。

1. はじめに

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ることを促している。歴史的には、古典的で最も原始的なロ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るものが照明光のゆらぎではないかと予想されるため、照明光のゆらぎの特性を知ることが、人類の文明的な生活を向上させるために、重要であると考えられる。

燃焼炎を利用した照明の特徴は、人間が心地良いと感じることができる「 $1/f$ ゆらぎ」に深く関係しているのではないかと予想されるが、燃焼や燃焼に伴う照明効果が「 $1/f$ ゆらぎ」を持つ確固たる証明は未だなされていない。

本論文は燃焼および燃焼に伴う照明効果を動画像と考え、この動画像が「 $1/f$ ゆらぎ」を持つことを示す新しい動画像処理方法を提案するものである。

具体的にはロ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が「 $1/f$ ゆらぎ」を有することを報告する。

本論文の構成は以下の通りである。第 2 章は「 $1/f$ ゆらぎ」について述べる。第 3 章では集中定数解析系と分布定数解析系における「 $1/f$ ゆらぎ」について述べ、燃焼炎の動画像から「 $1/f$ ゆらぎ」を求める方法について述べる。第 4 章では本手法を用いて、自然界の燃焼現象に伴う光源は「 $1/f$ ゆらぎ」を有し、発光ダイオード等の完全な人工的光源は「 $1/f$ ゆらぎ」が極めて少ない解析結果を示したことを報告する。

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ぐリズムが相当する。同様に、心地よい音楽を聴いたり、快い感じを抱いたり安静にしているときの脳波にも「 $1/f$

f ゆらぎ」が存在する。具体的には、ある信号を離散的フーリエ変換により、各周波数に対するパワースペクトラムを計算し、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、グラフの傾きによってゆらぎの種類を大別する。Fig. 1 に一例を示す。

Fig. 1 で、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、傾きが急になる程単調な信号になる。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ことができる信号と言われる。

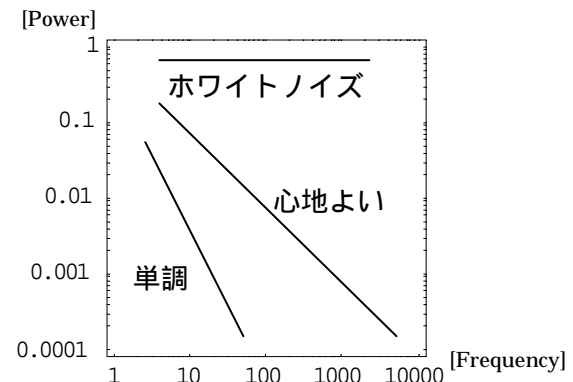


Fig.1 Typical Sample Power Spectra

3. 光源のゆらぎ抽出

論デジタルビデオカメラにより撮影した発光体の明かりを視覚情報として計算機に取り込み、ロウソクや照明器具など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像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や CCD カメラは 1 秒間に

29.97 枚の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

3.1 平均化解析

3.1.1 光源抽出

ここでは、二次元平面上に可視化された光源のゆらぎを平均的に抽出する方法を考える。最初に動画から背景画像を削除した動光源部分を閾値法で抽出する。すなわち、Fig.2 に示したロウソクのフレーム画像からロウソクの動炎部分のみを 2 値化画像として抽出する。まず、RGB の単純平均、式(1)を使ってカラー画像をモノクロ画像に変換する。次に、式(2)に示すモノクロ画像の画素値が 127 以下を背景画像の画素値とみなし、画素値を 0 とする。画素値が 128 以上を 1 とし、背景がゼロ、動炎部分を 1 とする 2 値画像を作成する。

$$I_{(x,y)} = \frac{R_{(x,y)} + G_{(x,y)} + B_{(x,y)}}{3} \quad (1)$$

$$I_{(x,y)} \leq 127 \rightarrow I_{(x,y)} = 0 \quad (2)$$

$$I_{(x,y)} \geq 128 \rightarrow I_{(x,y)} = 1$$

作成した 2 値画像をフィルターとし、式(3)に示すように元画像の 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。元画像と光源部分の画像をそれぞれ Fig.2 の左と右図に示す。

$$\begin{aligned} R^D_{(x,y)} &= I_{(x,y)} * R_{(x,y)} \\ G^D_{(x,y)} &= I_{(x,y)} * G_{(x,y)} \\ B^D_{(x,y)} &= I_{(x,y)} * B_{(x,y)} \end{aligned} \quad (3)$$



Fig.2 Original Image and Light Source Image

3.1.2 ゆらぎ抽出

光源部分の動画からゆらぎを抽出する方法を述べる。光源部分の動画から RGB 成分の平均値を求め、時系列に並べる。その結果、Fig.3 に示すように時系列(フレーム系列)方向の「平均的ゆらぎ」を得ることができる。

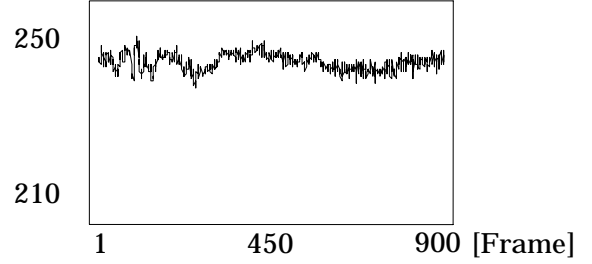


Fig.3 Fluctuation of Light Source (R Component)

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 の信号に離散的フーリエ変換(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。フーリエスペクトラム・パワー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。

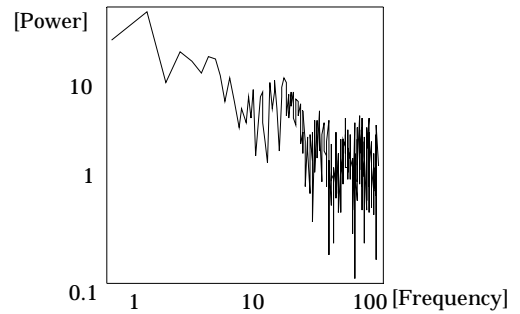


Fig.4 Power Spectrum of Fluctuation (R Component)

3.1.4 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(4)で表される。

$$f = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_n] \quad (4)$$

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。すなわち、式(5)により回帰直線の傾きを求める。

$$\begin{aligned} Y_i &= \log y_i & X_i &= \log i \\ a &= \frac{n \sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n Y_i \cdot Y_i - \sum_{i=1}^n Y_i \sum_{i=1}^n Y_i} \end{aligned} \quad (5)$$

3.1.5 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 Table.1 に示す結果になり、ろうソクの炎に「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、蛍光灯、電球、LED はろうソクに比べ傾きが緩く「1/f ゆらぎ」が殆ど平均的に存在しないと考えられる。

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)
ろうソク	(- 0.6、 - 0.6、 - 0.5)
蛍光灯	(- 0.3、 - 0.3、 - 0.4)
電球	(- 0.2、 - 0.1、 - 0.1)
LED	(- 0.1、 - 0.4、 - 0.2)

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、動画の各フレーム画像から色成分固有ベクトルを抽出する。色成分固有ベクトルは画像中の R 成分の量、G 成分の量、B 成分の量によって与えられ、1 画像に対して 3 組得られる。具体的には式(6)に示すように R 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計算する。これにより R 成分が R 成分強度値を階級として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 [2]-[5]。これによって求められた各 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。

$$E_R = \text{Count}[R, p] \quad p=1, 2, 3, \dots, 255 \quad (6)$$

G、B 成分の固有ベクトルも式(6)と同様にして算出する。

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(7)で表される。

$$E = [E_R, E_G, E_B] \quad (7)$$

Fig.2 に示す背景も含まれている元画像から固有パターンを抽出すると Fig.5 のようになる。

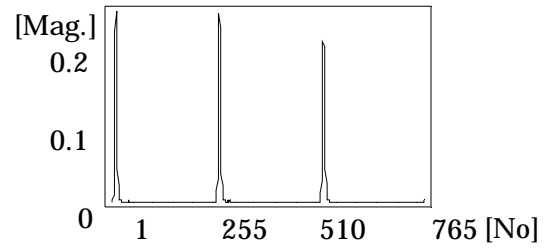


Fig.5 RGB Eigen Pattern of Candle Fire

3.2.3 ゆらぎ抽出

動画の各フレームから固有パターンを抽出し、式(8)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。

$$F = [E_1, E_2, \dots, E_n] \quad n: \text{フレーム数} \quad (8)$$

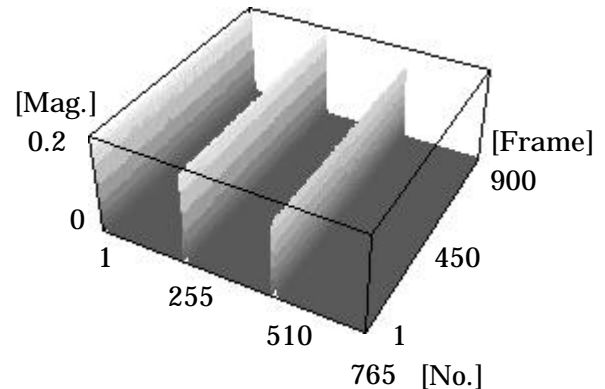


Fig.6 Fluctuation of RGB Eigen Pattern along with Time (Frame) Axis

3.2.4 ゆらぎの解析

本章では動炎画像より得られた固有パターンのゆらぎの解析を行なう。動炎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ルを計算する。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。-1 に近い程「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分析を適用して得られた傾き分布を示す。

3.2.4 解析結果

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った。その結果を

Fig.7 に示す。Fig.7 から、ロウソクは 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。また、蛍光灯、電球、LED はホワイトノイズから構成されることが判った。平均化解析法は画像の RGB 成分の平均値からゆらぎを求めた。そのため、背景が画像の大部分を占める場合、背景の影響により動光源のゆらぎが埋もれてしまう傾向があり、閾値を用いたフィルターにより動光源部分を抽出して解析せざるを得なかった。そのため RGB 成分が小さい画素のゆらぎの解析が不可能であった。

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、より正確な解析を可能にした。

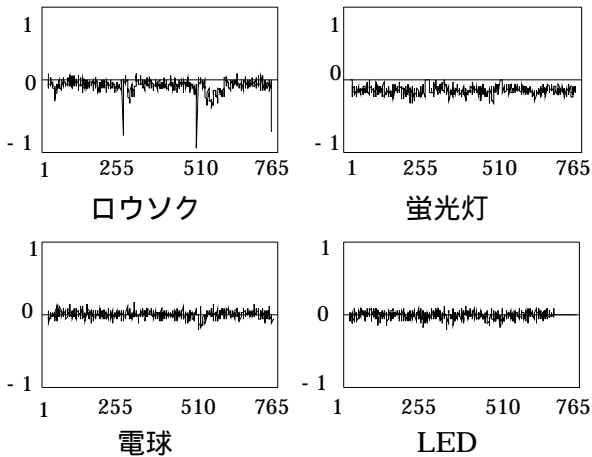


Fig.7 Fluctuation Distribution of RGB Eigen Pattern Power Spectrum

4. まとめ

本論文では光源のゆらぎを色情報によって解析する方法を提案し、RGB 成分の平均値による平均化法と RGB 成分の 1 から 255 の強度分布による RGB 固有パターン法を提案し、解析を行なった。その結果、平均化解析法はロウソクの炎において「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 までの強度分布の解析が可能であり光源の特徴を明瞭に表すことができた。

その結果、ロウソクの炎に「1/f ゆらぎ」が存在し、蛍光灯、電球、LED の光はホワイトノイズから構成されていることが明らかになった。

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 年.
- [2]若林 健一,早野 誠治,斎藤 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 pp.133-136. 2000 年
- [3]佐藤 隆紀,早野 誠治,斎藤 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 pp.243-246. 2002 年
- [4]佐藤 隆紀,早野 誠治,斎藤 兆古:動画像認識手法の提案と電子・電磁機器の非破壊検査への応用、電気学会マグネティクス研究会資料、MAG-01-222 2001 年.
- [5]丸山 和夫,早野 誠治,斎藤 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 pp.95-98. 2003 年

キーワード.

1/f ゆらぎ、燃焼現象、フーリエパワースペクトラム

Summary.

Light Source Image Analysis by Time Series Frequency Characteristic

Kazuo Maruyama Seiji Hayano Yoshifuru Saito
Graduate School of Engineering, Hosei University

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. In this paper, our target is to propose the method of frequency characteristic extraction from various lighting sources, e.g. candle, fluorescent light, electrical lump and liquid crystal diode. 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 analysis the precise frequency characteristic of lighting sources.

Keywords.

1/f-fluctuation, Combustion Phenomenon, Fourier Power Spectrum