



# 鼻部熱画像のフラクタル解析による生体の状態変化の評価

苗鉄軍<sup>\*1</sup> 清水俊行<sup>\*1</sup> 下山修<sup>\*2</sup>

## Fractal Characterization of Facial Skin Thermogram for Assessment of Mental Status

Tiejun Miao<sup>\*1</sup>, Toshiyuki Shimizu<sup>\*1</sup>, Osamu Shimoyama<sup>\*2</sup>

**Abstract** – The fractal characterization of FST (Facial Skin Thermogram) was proposed to assessment of mental and physical status. A series of experiments were conducted to study the effects of fear sound on FST. It was found a decrease in local fractal dimension, or equivalently complexity in FST distribution, due to the influence of fear sound. This agreed with the decrease in standard deviations on certain scales based on multiresolution wavelet analysis of FST. In addition, the usefulness of fractal characterization of FST in the evaluation of mental status was further confirmed by measures of finger plethysmograms.

**Keywords:** Fractal, Dimension, Facial skin thermogram, Mental and physical status

### 1. はじめに

鼻部皮膚はAVA (Arteriovenous anastomoses: 動静脈吻合) が集中しているため、鼻部周辺温度は感情やストレスやワークロードなどと関係が深い。顔面熱画像(以下FST: Facial Skin Thermogramと称す)の計測は自律神経系の活動モニタリングとして有効であり、非接触かつ無拘束、短時間測定という利点がある。特にドライバーの心身状態の評価において、簡単に無拘束、無侵襲によるリアルタイム計測が可能のため、メンタルワークロード評価への適用に大きな期待がある。

FSTにおける鼻部周辺の特徴量の抽出として、平均温度とその値の経時変化が提案されている<sup>[1]</sup>。又、平均温度より、顔面における温度の空間分布に基づいた複雑な情報の提供可能性はあるという実験も示された<sup>[2]</sup>。即ち、情動変化によって顔面における温度空間上で温度(或いは血流)を再分布し、空間分布パターンが変化している。そこで、このようなパターンの定量的評価ができれば、鼻部周辺の重要な特徴量を抽出可能になると考えられる。

Mandelbrotによって提唱されたフラクタルとは、狭い意味で無限の繰り返しパターンを持つ自己相似な形状、現象である<sup>[3]</sup>。自然界の諸形状、諸現象は厳密に自己相似ではないが統計的に自己相似と見られ、その構造の複雑さはフラクタル次元で表せる。顔面皮膚温度分布パターンを特徴付けるために、FST熱画像に対するフラクタル解析が可能であり<sup>[3]</sup>、パターン同定に有効な手法であると考えられる。本研究では、FST熱画像のフラクタル解析手法の確立を試み、踏切音による人の反応を観察する実験に適用し、生体状態変化の評価を行った。脈波測定による比較検証も行った。

### 2. 方法

#### 2.1 熱画像のフラクタル次元

画像濃度空間で濃度面の起伏の複雑さを表す画像のフラクタル次元を求める解析法は粗視化の度合いを変える方法とパラメータを持つモデルによるものがある。自己相似性によって特徴づけられる統計的フラクタルの代表的な記述モデルの中に、フラクタルブラウン関数 $f(x)$ を画像の濃度値で定義すると、任意の変位 $\Delta x$ について次式を得る<sup>[3]</sup>。

$$E[f(x+\Delta x) - f(x)] \cdot |\Delta x|^{-H} = C \quad (1)$$

但し、 $E[\ ]$ は変位 $\Delta x$  (pixel)を固定したときの期待値を表している。 $H$ と $C$ が定数であるので、式(1)は両対数表示をすると、直線部分の傾きが $H$ であることを意味している。 $H$ によって画像の濃度空間、地形等の3次元曲面のフラクタル次元は次式で与えられる。

$$D=3-H \quad (2)$$

FST熱画像によって鼻部周辺 $40 \times 40$  [pixel]領域を設定し、上記式による局所的フラクタル次元を解析した<sup>[4]</sup>。

#### 2.2 実験

踏切音を大音量で聞かせ、音の前後でFSTの変化を測定した。同時に指尖脈波の観測も行った。被験者は健康男性4人(31-43歳)であった。被験者は着座安静状態で測定音以外の外界の影響を排除し、目を閉じて実験を行った。音は前半1分が無音、後半1分が踏切音で、2分間連続でヘッドホンを通じて聞かせ、測定を行った。被験者は5分程度安静状態とし、その後計測を行う。

赤外放射温度計(NEC三栄)を用いて、被験者の顔面と1.0m位離れた位置にサーモレーサを設置する。常温保持の部屋において計測し、顔面皮膚放射率1.0とする。FST熱画像はサイズ $320 \times 240$  [pixel]、8bit(256階調)である。指尖脈波は光学式容積脈波計(CCI BC2000)を左

\*1: 株式会社コンピュータコンビニエンス

\*2: 日産自動車株式会社

\*1: Computer Convenience Inc.

\*2: Nissan Motors Co., Ltd.

手人差し指に取り付けた。

### 3. 結果

FST により、皮膚温度分布を推測できる。図 1 に踏切音を聞かせる前後、鼻部周りの温度分布を示し、分布パターンの変化を見られた。

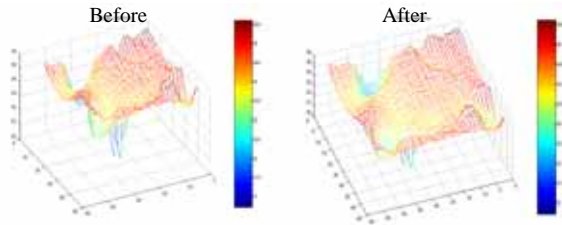


図 1 踏切音前後での温度分布の変化

Fig.1 Temperature distributions before and after the sound

踏切音の前後、FST 熱画像に画像空間スケール  $r$  による局所的フラクタル次元の解析を適用した。 $r=7, 9$  (pixel) の位置が、踏切音を聞かせることによって局所フラクタル次元が低下した(図 2)。これは、パターン構造の複雑さの低減、或いは単調化を意味している。

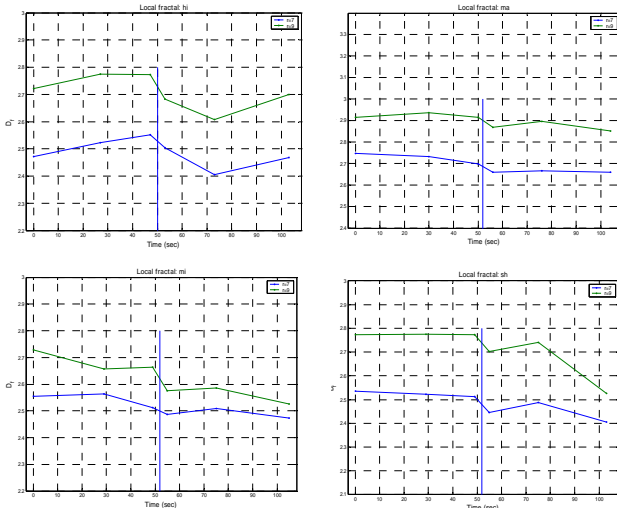


図 2 踏切音によるフラクタル次元の変化 (4 人)

Fig.2 Local fractal dimensions for four subjects

### 4. 考察とまとめ

画像濃度空間におけるフラクタル次元は濃度分布の相関長、或いは空間的分散と関連しているので、この分散を調べることによって局所フラクタル次元の低下の原因を理解することが可能である。Master関数のドベシイ10を用いたWavelet多重度分析によって、FST熱画像に対して諸分解レベルの分散値を求めた。特に、レベル3の時に分散の顕著な低下が得られた(図3)。レベル3は、スケールの $2^3=8$ に相当するため、局所 $r$ の7と9の平均位置になっている。従って、踏切音を聞かせることによって、スケール $r=8$ のあたりに相関長はフラクタル次元と同様な変化を見られている。

また、検証のため、指尖脈波の観測も行った。踏切音

による脈波の最大 Lyapunov 指数の低下を得られ、画像フラクタルの結果と一致するような傾向が見られた。

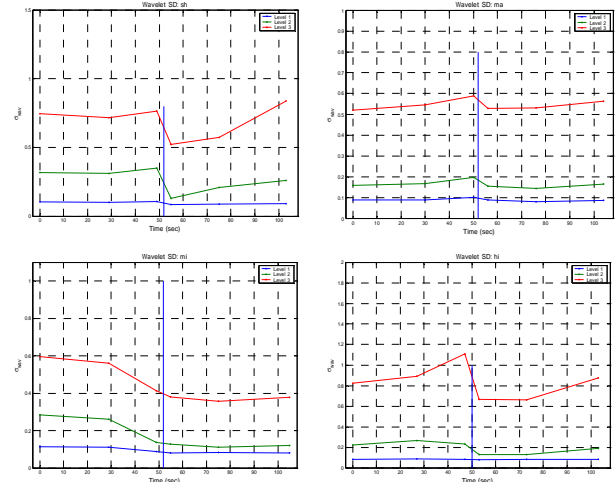


図 3 多重解像度分解

Fig.3 Multiresolution decompositions

まとめとして、本研究では FST 熱画像のフラクタル解析による生体反応、状態変化の評価方法を提案した。踏切音を聞かせる実験を行い、本手法の有効性を検討した。

顔面皮膚温は自律神経系の支配を受けており、精神的影響を受けて変化してしまうことも知られている。中でも解剖学的に AVA と呼ばれる部位は、動脈と静脈の吻合部が集中していることが知られている。従って、皮膚温度分布、或いは FST のフラクタル次元の変化は主要因である表層部毛細血管の血流量によって、変化が顕著に表われていると考えられる<sup>[4]</sup>。

実際の応用を想定すると十分な定量的評価結果を得たとは言えないが、従来の生体測定、自律神経活動の観測手法より、本手法を用いることで、非接触、無拘束、無侵襲、リアルタイム性という条件で、ロバスト方法となる一手法を示すことができた。また、フラクタル次元は、自然形状や自然現象など非常に複雑な変化の評価としての有効性が認められており、FST 或いは顔面皮膚温度パターン変化の解析にも活用できることを示した。今回は実験室の FST に限定したが、実用化を想定して、今後は様々な精神状態における FST に対して本手法を適応し、その有効性を検証することが必要である。

### 参考文献

- [1] 上野 et al.: 顔面温度を用いた運転者の状態推定法に関する研究; 自動車技術会学術講演会前刷集, No.56-03, pp.17-20 (2003).
- [2] Levine, J.A., Pavlidis, T. and Cooper, M.: The Face of Fear; The Lancet, Vol.357, June 2 (2001).
- [3] Pentland, A. P.: Fractal-based Description of Sciences; IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-6, pp.661-674 (1984).
- [4] 島田 et al.: 顔面皮膚温局所フラクタル次元解析による覚醒水準の評価法; 電学論 C, Vol.120, pp.1429-1432 (2000).