論文

鼻部皮膚温のカオス解析による感覚量の評価[†]

藤原 義久^{*1} 源野 広和^{*1} 松本 和夫^{*1}
鈴木 龍司^{*1} 福島 清司^{*2}

顔面皮膚温は、赤外線カメラを用いて非接触で計測可能で、しかも、感覚の発生による自律神経活動に伴い変化するため、人の感覚を推定する上で有効な生理量である。

本報告では、時系列データの軌道不安定性と予測不能性を評価するリアプノフスペクトラム解析と時系列データの自己相似性を評価する相関次元解析を、鼻部皮膚温に対して実施し、本解析手法が感覚を推定する上で評価尺度として有効であるかどうかについて検討した。

この目的のために、環境温度 25℃、湿度 50%、活動量 1.0 met、着衣量 0.7, 1.0 clo. という条件下においてリラックス時（安静閉眼）とストレス時（TV ゲーム）という状態において計測した鼻部皮膚温に対し、リアプノフ相関次元解析とスペクトラム解析を実施した。

結果として、すべての被験者において最大リアプノフ指数と KS エントロピーは、リラックス時に、統計的に有意に増加し ($P < 0.01$)、また、これらの値と、被験者実験時に連続尺度にて計測した緊張感、興奮度という感覚主観申告値との間には統計的に有意な相関 ($P < 0.05$) があった。一方、相関次元は収束しなかった。

このことより、鼻部皮膚温のリアプノフスペクトラム解析は人の感覚を評価する上で有効な手法であることが示唆された。

キーワード：皮膚温、ストレス、感覚、カオス、アトラクタ、リアプノフスペクトラム、相関次元

1. はじめに

我々は、客観的に計測可能な人の生理量から、ストレス感、疲労感、覚醒感等の各種感覚量を推定する技術の開発を目指している。

現在、我々が計測可能な生理量として、脳波、心電図、脈波、血流量等種々のものがあるが、これらは全て測定時に直接、人にセンサーを装着しなければならず、それだけで人に負荷をかけてしまうという欠点があり、実際に実用化する際の支障にもなっている。

そこで、我々は、サーマルカメラを用いることにより、簡便に、かつ、非接触で計測できる顔面の皮膚温に注目して、人の各種感覚を推定する技術の開発を目指している。(図1)本研究に関してこれまでに、鼻部皮膚温がストレス時において低下すること[1]、顔面皮膚温を用いて温冷感が推定可能なこと[2]などが報告されている。

今回、この顔面皮膚温からの感覚量推定の精度をさらに高めることを目的として、皮膚温の変動が基本的

図1 皮膚温計測による感覚量推定

に持つ非線形性に注目し、非線形解析の1種であるカオス解析を、ストレス負荷に応じて変化する鼻部皮膚温変動に対して実施した。そして、本解析結果が感覚を評価する上で、有効な尺度に成り得るかの検討を行ったので報告する。

2. 皮膚温による感覚量推定

以下、我々が注目している、顔面の皮膚温変化メカニズムの概要について説明する。

外界からの刺激は、受容器を通じて、中枢(大脳)に取り入れられ、中枢の各部位で感覚を発生する。また、各部位で発生した感覚は、視床下部にて統合され、自律神経系のインパルスの変化となって現れ、それに伴い皮膚血流、発汗、呼吸、産熱等を変化させる。そして、これらの変化に、温熱環境因子が加わり、最終的な皮膚温を決定する。この皮膚温変化メカニズムの模式図を図2に示す[3]。この様に、皮膚温は感覚に応じ

[†] Estimating Human Sensations Using Chaos Analysis of Nose Skin Temperature

Yoshihisa FUJIWARA, Hirokazu GENNO, Kazuo MATSUMOTO, Ryuji SUZUKI and Kiyoshi FUKUSHIMA

^{*1} 三洋電機㈱メカトロニクス研究所

Mechatronics Research Center, SANYO Electric Co., Ltd.

^{*2} 三洋電機㈱空調冷機商品開発研究所

Air Conditioning & Refrigeration Business Headquarters Research & Development Center, SANYO Electric Co., Ltd.

図2 皮膚温変化メカニズム

て変化する生理量であるため、感覚を推定する上で非常に有効なパラメータである。

3. カオス解析

生体信号が基本的に有する非線形性を評価する解析手法として、最近、カオス解析が注目を集めており、また、脳波や心電図等の多くの生体信号の解析への導入例も報告されている[4][5][6]。

今回、このカオス解析を、ストレスに応じて変化が見られる鼻部皮膚温変動に対して適用し、本解析結果が、ストレスの評価尺度に成り得るかどうかの検討を行った。ここでは、このカオス解析について説明する。

3.1 カオス解析概要

一般にカオスを生み出す非線形方程式の解の軌跡は複雑で、かつ、この軌跡は、少しでも初期値が異なれば全く異なったものになる[7]。このようにカオスは初期値に対する鋭敏な依存性、軌道不安定を特徴とし、かつ、その結果として、解の軌跡は、決定論的な式に従いながらも長期的には予測が不可能な状態となる。このカオスの性質である軌道不安定性と長期予測不能性は、それぞれ最大リアプノフ指数とKSエントロピーの値により評価することができる[8]。

一方、このような解の軌跡は、決定論的な式の繰り返しにより生成されるため、自己相似性を持つようになるが、この性質については相関次元にて評価することができる[9]。

3.2 アトラクタ解析

一般に、(1)式のような n 次元の方程式の解は n 次元空間内にアトラクタと呼ばれる解の軌跡を描く。

$$x_{t+1} = F(x_t), \quad x_t \in R^n \quad (1)$$

しかし、通常、我々がセンサーを用いて、計測可能なデータは、(2)式のような時系列データである。

$$\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_t \quad (2)$$

このような場合には、計測された時系列データから元の n 次元空間における力学系のアトラクタと等価なアトラクタを再構成する必要がある。以下、本方法を説明する[8]。

今、 ξ_t の時系列データからある時間遅れ τ を用いて、(3)式の様に $X_i (i=1, 2, \dots, t)$ を決定し、 X_i を m 次元空間内にプロットしていくことにより、アトラクタを再構成する。

$$X_1 = (\xi_1, \xi_{1+\tau}, \dots, \xi_{1+(m-1)\tau})$$

$$X_2 = (\xi_2, \xi_{2+\tau}, \dots, \xi_{2+(m-1)\tau})$$

⋮

$$X_t = (\xi_t, \xi_{t+\tau}, \dots, \xi_{t+(m-1)\tau}) \quad (3)$$

この時、 m の値が $2n+1$ 以上であれば、 m 次元空間に再構成したアトラクタの性質は、元の n 次元空間のアトラクタの特徴と等価であることが、証明されている[10]。但し、これは十分条件であって、データによっては $2n+1$ 未満でも埋め込みができる場合がある。

3.3 相関次元

計測された時系列データの自己相似性を評価する尺度として相関次元が定義されており、その算出手法は、Grassberger と Procaccia によって以下の様に提案されている[11]。今、時系列データから再構成されたアトラクタ上の1点を $X_i \in R^m$ とすると、相関積分 $C_m(r)$ は次式で算出される。

$$C_m(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1(i \neq j)}^N \theta(r - \|X_i - X_j\|) \quad (4)$$

ただし、 $\|\cdot\|$ はユークリッド距離、 $\theta(t)$ はヘビサイド関数である。

$$\theta(t) = \begin{cases} 1 & (t \geq 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases} \quad (5)$$

ここで、算出された $C_m(r)$ が、再構成した m 次元空間超球の半径 r との間に、次式のような比例関係が存在すると考えると、

$$C_m(r) \propto r^{\nu(m)} \quad (6)$$

$$\nu(m) = \log C_m(r) / \log r \quad (7)$$

この時、上式より算出された指数 $\nu(m)$ を相関指数、また m の値を増やしていくにつれて $\nu(m)$ が増加し最終的に飽和する値 D_c を相関次元という。

$$D_c = \lim_{m \rightarrow \infty} \nu(m) \quad (8)$$

一般に、この D_c の値が収束する場合、カオス性が存在する有力な証拠とされている。[8]

3.4 リアプノフスペクトラム解析

時系列データの軌道不安定性、長期予測不能性を評

価する尺度として、リアプノフスペクトラム解析が定義されている。

以下、実際のデータに対するリアプノフスペクトラムを算出する方法を示す[12][13]。

今、 m 次元の再構成されたアトラクタの軌道上のある時間 t における点を X_t 、また、この点を中心とした半径 ε の超球内のアトラクタ上の他の点を X_{ki} ($i=1,2,\dots,n$) とすると、 X_t から X_{ki} への変位ベクトル y_i と、時間 s だけ経過した後の変位ベクトル z_i は、

$$y_i = X_{ki} - X_t, \quad y_i \in R^m \quad (9)$$

$$z_i = X_{ki+s} - X_{t+s}, \quad z_i \in R^m \quad (10)$$

となる。

ここで、時間 s が十分に小さいとすると、 y_i と z_i の関係は次式のような線形近似が可能となる。

$$z_i = Gt \cdot y_i \quad (11)$$

また、この行列 Gt は、次式の誤差 2 乗和を最小にする方法により求めることができる。

$$S = \sum_{i=1}^n |z_i - Gt \cdot y_i|^2 \quad (12)$$

次に、この行列 Gt を用いて、 m 次元空間における正規直交ベクトルを変換し、各ベクトルの拡大縮小率を観察する。

$$e_i(t+1) = Gt \cdot U_i(t) \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (13)$$

この $e_i(t+1)$ を再度、グラムシュミットの直交化により直交化した $e_{ir}(t+1)$ を求め、また、この $e_{ir}(t+1)$ を正規化した新規の正規直交ベクトル $U_i(t+1)$ へ変換する。

$$e_{ir}(t+1) = e_i(t+1) - \sum_{j=1}^{i-1} \langle e_i(t+1), U_j(t+1) \rangle \cdot U_j(t+1) \quad (14)$$

$$U_i(t+1) = e_{ir}(t+1) / |e_{ir}(t+1)| \quad (15)$$

($i=1,2,\dots,m$)

そして、再び、行列 Gt を用いて正規直交ベクトルを変換する過程を繰り返していくとき、リアプノフスペクトラム λ_i ($i=1,2,\dots,m$) は、次式求められる。

$$\lambda_i = \lim_{N \rightarrow \infty} \lim_{t \rightarrow 0} 1/N \sum_{t=0}^{N-1} \log |e_{ir}(t)| \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (16)$$

この求められたリアプノフスペクトラムの中で最も大きな値を示すものを最大リアプノフ指数といい、この値が正であれば、軌道は拡大方向にあるため軌道不安定性を有することになる。また、 KS エントロピーの上限は正のリアプノフ指数の和にて算出でき、軌道の長期予測不能性の評価尺度となる。[14]

$$KS = \sum_{i=1}^k \lambda_i, \quad \lambda_i > 0 \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (17)$$

4. 実験

今回行った被験者実験概要を以下に示す[2]。

- (1) 被験者：被験者は、健康な男性研究員(22才~28才)6名であった。
- (2) 実験条件：外部環境から遮断された環境温度 25℃、湿度 50%の実験室内で、夏・冬服作業着着用(着衣量 0.7, 1.0 clo.)、座位(活動量 1.0 met.)という条件で実験を行った。
- (3) 作業負荷：リラック状態(安静閉眼 8 分)、ストレス状態(TV ゲーム 8 分)を作業負荷とした。尚、TV ゲームとしては、ストレス負荷度が高いと思われるエイリアン襲撃ゲームを選択した。また、作業負荷提示前には、イニシャル状態として安静開眼状態(10 分)を設けた。本実験スケジュールを図 3 に示す。
- (4) 計測生理量：鼻部皮膚温を、 $\phi 0.3$ mmの熱電対を用いてサンプリング周波数 1 KHz にて計測した。(尚、最終的には非接触による皮膚温計測を目指しているが、今回は精度良く皮膚温を計測するため接触式の熱電対による計測を行った。)
- (5) 計測感覚量：ストレス時に発生する各種感覚として、温冷感、興奮度、覚醒度、ストレス感、疲労感、集中感、緊張感、快不快感を、心理学分野で感覚計測手法としてよく用いられる連続尺度[15]を用いて計測した。本連続尺度を図 4 に示す。この尺

図3 被験者実験の流れ

図4 連続尺度

度は例えば温冷感であれば,最も寒い状態を, -100点,最も暑い状態を+100点として両端に配置した連続尺度上の任意の場所に被験者の温冷感をプロットしてもらい,その点数を温冷感主観申告値化するものである。

次に,本実験により実際に計測した被験者 A(着衣量 0.7 clo.時)の鼻部皮膚温をグラフ化したものを図 5, 6 に示す。

この結果,皮膚温の変動は,リラックス時において,ストレス時に比べて,若干,変動が複雑である傾向があることが分かった。尚,この傾向はいずれの被験者でも同じ結果であった。

今回,計測したリラックス時,ストレス時における鼻部皮膚温の変動の異なりを定性的に比較するためにアトラクタ解析を,また,変動の自己相似性,軌道不安定性,長期予測不能性を定量的に評価するために,相関次元解析,リアプノフスペクトラム解析[16]を実施した。

図 5 鼻部皮膚温(リラックス時)

図 6 鼻部皮膚温(ストレス時)

5. カオス解析結果

5.1 アトラクタ解析結果

計測したリラックス時,ストレス時における鼻部皮膚温の変動の異なりを定性的に比較するためにアトラクタ解析を行った。

計測した被験者 A(着衣量 0.7 clo.時)のリラックス時,ストレス時における鼻部皮膚温データを,埋め込み次元 3, 時間遅れ $\tau=3$ という条件にてアトラクタを再構成した結果を,それぞれ図 7, 8 に示す。

ここで,アトラクタを比較すると,リラックス時とストレス時の軌跡の異なり,すなわち,リラックス時に若干,その軌跡が複雑になるという傾向が観察された。尚,この結果はいずれの被験者においても同じであった。

そこで,計測したリラックス時,ストレス時における鼻部皮膚温の変動が持つ自己相似性,軌道不安定性,予測不能性をより定量的に評価するために,より高次の埋め込み次元も考慮して,相関次元解析,リアプノフスペクトラム解析を実施した。

図 7 アトラクタ(リラックス時)

図 8 アトラクタ(ストレス時)

5.2 相関次元解析結果

計測したリラックス時,ストレス時における鼻部皮膚温の変動が持つ自己相似性を定量的に評価するために相関次元解析を行った。

被験者 A(着衣量 0.7 clo.時)のリラックス時とストレス時における計測データについて,時間遅れ $\tau=3$,

埋め込み次元 1～10 において、解析を行った結果を図 9, 10 に示す。

本結果より、相関指数 $\nu(m)$ は埋め込み次元が大きくなるにつれて、その増加は鈍化傾向にあるものの、フラットな領域が狭くなり指数の推定が困難であった。尚、この結果はいずれの被験者においても同様であった。このことより、計測した鼻部皮膚温の相関次元解析結果からは、リラックス時、ストレス時の区別を行うことは困難であることが分かった。

図 9 相関次元解析結果(リラックス時)

図10 相関次元解析結果(ストレス時)

図11 最大リアプノフ指数(着衣量0.7clo.時)

5.3 リアプノフスペクトラム解析結果

次に、計測したリラックス時、ストレス時における鼻部皮膚温の変動が持つ軌道不安定性、長期予測不能性を定量的に評価するためにリアプノフスペクトラム解析を行った。

各被験者の鼻部皮膚温に対して、時間遅れ $\tau = 3$ 、埋め込み次元 5 にて、最大リアプノフ指数と KS エントロピーの値を算出した結果を図 11～14 に示す。(尚、

図12 最大リアプノフ指数(着衣量1.0clo.時)

図13 KSエントロピー(着衣量0.7clo.時)

図14 KSエントロピー(着衣量1.0clo.時)

ここで埋め込み次元を5としたが、これは本解析前に、アトラクタにて異なりが観察された埋め込み次元3から次元10まで埋め込み次元を変えて、計測データから最大リアプノフ指数を算出した結果、埋め込み次元3～4までは最大リアプノフ指数が単調増加傾向であったが、5次元以上では最大リアプノフ指数増加の飽和が観察されたためである。）

これらの図より、最大リアプノフ指数とKSエントロピーはリラックス時において増加する傾向が観察された。また、このリラックス時、ストレス時の最大リアプノフ指数に対しt検定を行った結果、両者の間には統計的な有意差($P<0.01$)が存在した。同様に、リラックス時、ストレス時のKSエントロピー間にも、統計的な有意差($P<0.01$)が存在した。

このことより、計測した鼻部皮膚温の変動のリアプ

ノフスペクトラム解析結果から、リラックス時、ストレス時の区別を行える可能性が示唆された。また、同時にこれらの解析結果の感覚評価尺度としての有効性をより定量的に検証するために各被験者が、連続尺度上で行った各種感覚主観申告値と最大リアプノフ指数、KSエントロピーとの間の相関解析を行った。その結果を表1に示す。この結果より、最大リアプノフ指数とKSエントロピーは、緊張感、興奮度という感覚の主観申告値と統計的有意($P<0.05$)な相関があることが分かった。また、これら緊張感、興奮度という感覚申告値と、最大リアプノフ指数、KSエントロピーとの関係をグラフ化したものを図15～18に示す。

尚、本解析に用いたデータ数 N は24であった。(被験者数6名×作業負荷2種×着衣量2種=24)

表1 各種感覚主観申告値と、最大リアプノフ指数、KSエントロピーとの相関係数

	緊張感	興奮度	温冷感	疲労感	集中感	覚醒感	ストレス感	快適感
最大リアプノフ指数	-0.487*	-0.541*	-0.340	-0.251	-0.264	-0.233	-0.163	0.047
KSエントロピー	-0.602*	-0.629*	-0.358	-0.224	-0.381	-0.322	-0.105	0.050

($P<0.05$)

図15 緊張感主観申告値と最大リアプノフ指数の関係

図17 興奮度主観申告値と最大リアプノフ指数の関係

図16 緊張感主観申告値とKSエントロピーの関係

図18 興奮度主観申告値とKSエントロピーの関係

5.4 カオス解析の感覚推定における有効性の検討

最大リアプノフ指数と KS エントロピーの感覚量推定における有効性を検討するため、鼻部皮膚温(リラックス, ストレス状態の終了時の温度), 皮膚温差(リラックス, ストレス状態の開始直後と終了時との温度差), 最大リアプノフ指数, KS エントロピーの各値と緊張感, 興奮度主観申告値との相関を比較した。この結果を表 2 に示す。

表 2 鼻部皮膚温、鼻部皮膚温差、最大リアプノフ指数、KS エントロピーの各値と緊張感、興奮度主観申告値との相関計数

パラメータ	緊張感	興奮度
皮膚温	0.327	0.321
皮膚温差	0.527*	0.573*
最大リアプノフ指数	0.487*	0.542*
KS エントロピー	0.601*	0.628*

* ($P < 0.05$)

この結果、緊張感、興奮度主観申告値と鼻部皮膚温差、最大リアプノフ指数、KS エントロピーの間に有意な相関関係($P < 0.05$)があり、また、これらの感覚は、鼻部皮膚温、最大リアプノフ指数、鼻部皮膚温差、KS エントロピーの順に相関が高くなることが分かった。

次に、最大リアプノフ指数と KS エントロピーを用いることにより、どの程度、感覚の推定精度を向上させるかを検討するために、鼻部皮膚温、鼻部皮膚温差、そして、最大リアプノフ指数、KS エントロピーという 4 つの説明変数を用いて、緊張感、興奮度を推定する重回帰式を作成した。

作成した重回帰式を式(18), (19)に、また、重回帰式による推定値と感覚量主観申告値との関係を図 19, 20 に示す。

$$\begin{aligned} \text{推定緊張感} = & 81.668 - 0.1000 * T - 14.680 * \Delta T \\ & + 81.668 * L_1 + 1001.855 * KS \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{推定興奮度} = & -60.141 - 4.5020 * T - 16.774 * \Delta T \\ & + 360.833 * L_1 + 474.892 * KS \end{aligned} \quad (19)$$

ただし T : 鼻部皮膚温
 ΔT : 鼻部皮膚温差
 L_1 : 最大リアプノフ指数
 KS : KS エントロピー

この結果、重回帰式による推定値と、緊張感主観申告値、興奮度主観申告値との重相関係数は、それぞれ $R = 0.698$, 0.713 を示し、推定精度が向上することが分かった。

上記より、最大リアプノフ指数と KS エントロピーは、緊張感、興奮度を推定する上で有効なパラメータ

図19 緊張感主観申告値と推定値との関係

図20 興奮度主観申告値と推定値との関係

であると考えられる。

6. まとめ及び考察

今回、リラックス時とストレス時における鼻部皮膚温に対してカオス解析を行った。

結果として、最大リアプノフ指数と KS エントロピーは、リラックス時において、統計的に有意に($P < 0.01$)増加し、また、これらの値を用いた重回帰式により、緊張感、興奮度主観申告値を統計的に有意に($P < 0.05$)に推定可能なことが分かった。これらの結果は、最大リアプノフ指数と KS エントロピーが各種感覚量を高精度に推定する上で有効なパラメータであることを示す結果であると言える。

ところで、皮膚温を変化させる主要因として、式(20)で示されるように、皮膚血流量の変化が挙げられる。一般に、図 21, 22 に示すように、ストレス時においては、交感神経の働きにより皮膚血管が硬く収縮するため血流量変化の減少が引き起こされ、反対にリラックス時においては皮膚血管が軟らかく拡張して血流量変化の増加が引き起こされる。今回得たリラックス時におけるカオス性の増加は、この血流量変化を反映した結果であると考えている。

$$\Delta T = f(\Delta BF) \quad (20)$$

ΔT : 皮膚温変化

ΔBF : 血流量変化

今後の課題は、今回得たカオス解析結果の生体メカニズム的な意味付けを、より明確にすることである。この件に関しては、今後、我々が予定している、図2で示した皮膚温変化メカニズムの解明実験、すなわち、脳機能解析装置による大脳内の感覚発生パターンの把握から、交感神経インパルス、および、血流量、皮膚温を同時計測する実験を通じて、明確にしていく予定である。

最後に、論文作成にあたりご指導賜った広島大学工学部長町三生教授に感謝の意を表します。また、本研究は通産省の産業科学技術開発プロジェクト「人間感覚計測応用技術の研究開発」の受託研究の一環として実施したものであり、関係各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- [1] 菊本, 源野, 河田, 吉田: 顔面皮膚温による作業負担の評価, 第17回人間-生活環境系シンポジウム講演論文集(1993)
- [2] 源野, 菊本, 藤原, 松本, 福島: 顔面皮膚温による温冷感の推定, 日本生理人類学会第32回大会講演論文集, B14(1994)
- [3] 源野, 菊本, 藤原, 河田: 顔面皮膚温による温冷感の推定, 第17回人間-生活環境系シンポジウム講演論文集(1993)
- [4] 池口, 合原, 伊東, 宇都宮: 脳波データのリアプノフスペクトラム解析, 信学技報 NPL89-52(1989)
- [5] 藤原, 源野, 河田: 心電図 R-R 間隔のカオス解析, 信学技報 MBE93-99(1993)
- [6] I.Tsuda, T.Tahara, H.Iwanaga: Chaotic Pulsation in Human Capillary Vessels and Its Dependence on Mental and Physical Conditions, International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol.2, No.2, 313-324(1992)
- [7] R.May: Simple mathematical models with very complicated dynamics, Nature, 261, 459-467(1976)
- [8] 池口, 合原: 脳波(EEG)のカオス, ニューラルシステムにおけるカオス(第3章), 92-124, 東京電機大学出版局(1993)
- [9] 佐野, 高安: カオスの構造とフラクタル, フラクタル科学(第3章), 88-94, 朝倉書店(1987)
- [10] F.Takens: Detecting Strange Attractors in Turbulence, Lecture Notes in Mathematics, 898, 366-381(1981)
- [11] P.Grassberger and I.Procaccia: Measuring strangeness of strange attractors, Physica 9D, 189-208(1983)
- [12] M.Sano, Y.Sawada: Measurement of the Lyapunov

図21 リラックス時の血流量

図22 ストレス時の血流量

spectrum from a chaotic time series, Phys. Rev. Lett., 55,10,1082-1085(1985)

- [13] T.Ikeguchi, K.Aihara, S.Itoh, T.Utsunomiya: An Analysis on Lyapunov Spectrum of Electroencephalographic(EEG) potentials, Trans. IEICE, Vol.E 73,6,842-847(1990)
- [14] J.P.Eckmann, D.Ruelle: Ergodic theory of chaos and strange attractors, Rev.Mod. Phys.,57,3,617-656(1985)
- [15] 吉田: 脳波のゆらぎ計測と快適評価, 日本音響学会誌 46, 11, 914-919(1990)
- [16] 鍛田, 梶谷, 片山, 西田: カオスシュミレータの開発, 情報処理学会第45回全国大会, 91-92(1992)

(1994年9月22日 受付)

(1995年4月26日 再受付)

[問い合わせ先]

〒573 大阪府枚方市走谷1丁目18-13
三洋電機(株)メカトロニクス研究所
ヒューマンサイエンス研究室
藤原 義久
TEL : 0720-41-1286
FAX : 0720-44-2985
E-mail : M32FUJIWARA@HR105.a1.sanyo.co.jp

著者紹介

藤原 義久 (ふじわら よしひさ)

三洋電機(株)メカトロニクス研究所

1986年 広島大学工学部第2類(電気系)システム工学過程卒業。同年4月三洋電機(株)に入社。中央研究所(現メカトロニクス研究所)において、画像処理装置の開発、カラー画像処理、生体信号処理の研究などに従事した後、1994年4月から、同社メカトロニクス研究所にて、通産省委託研究「人間感覚計測応用技術の研究開発」に従事。現在、ヒューマンサイエンス研究室主任研究員。電子情報通信学会、日本人間工学会の会員。

鈴木 龍司 (すずき りゅうじ)

三洋電機(株)メカトロニクス研究所

1968年 大阪大学工学部通信工学科卒業。同年4月三洋電機(株)に入社。中央研究所(現ハイパーメディア研究所)において、マイクロコンピュータの開発、デジタル信号処理技術の研究開発に従事。1991年から、同社制御システム研究所(現メカトロニクス研究所)にて、知的制御技術、電子制御技術の開発に従事。現在、制御システム研究部部長。電子情報通信学会、電気学会の会員。

源野 広和 (げんの ひろかず)

三洋電機(株)メカトロニクス研究所

1985年 福井大学大学院機械工学科修士過程修了。同年4月三洋電機(株)に入社。中央研究所(現メカトロニクス研究所)において、カラープリンタの開発、感性を取り入れたカラー画像処理の研究、画像圧縮の研究などに従事した後、1992年8月から、同社メカトロニクス研究所にて、通産省委託研究「人間感覚計測応用技術の研究開発」に従事。現在、ヒューマンサイエンス研究室主任研究員。日本機械学会、計測自動制御学会、日本人間工学会の会員。

福島 清司 (ふくしま きよし)

三洋電機(株)空調冷機商品開発研究所

1969年 京都大学工学部機械工学科卒業。同年4月三洋電機(株)に入社。中央研究所(現メカトロニクス研究所)において、カラー記録、液晶テレビ、知的制御技術、冷熱技術、人間感覚計測応用技術などの研究開発に従事した後、1995年から、同社空調冷機商品開発研究所において空調、冷凍分野の新商品開発に従事。現在、商品開発部部長、工博。日本ファジィ学会、日本機械学会、精密工学会、画像電子学会の会員。

松本 和夫 (まつもと かずお)

三洋電機(株)メカトロニクス研究所

1970年 大阪大学工学部精密工学科卒業。同年4月三洋電機(株)に入社。中央研究所(現メカトロニクス研究所)において、太陽熱利用技術の開発、福祉ロボットの研究開発、人間感覚計測応用技術の研究開発を経て、新冷凍技術開発に従事。現在、研究開発本部メカトロニクス研究所新冷凍技術開発担当部長。精密工学会、日本人間工学会の会員。

Estimating Human Sensations Using Chaos Analysis of Nose Skin Temperature

by

Yoshihisa FUJIWARA, Hirokazu GENNO, Kazuo MATSUMOTO,
Ryuji SUZUKI and Kiyoshi FUKUSHIMA

Abstract :

Facial skin temperature can be measured in a non-contact manner using an infrared camera regardless of various types of living conditions. Moreover it varies with the autonomic nerve activity that accompanies arousal of the sensations, it serves as an effective physiological quantity for evaluating human sensations.

In this report, a Lyapunov spectrum analysis evaluating orbital instability and unpredictability of time series data and a correlation dimension analysis evaluating a kind of fractal dimension of time series data were applied to

the nose skin temperature data in order to examine the effectiveness of estimating human sensations by these methods.

For this purpose, the nose skin temperatures of 6 subjects at a relaxed state(closed eye) and stressed state (playing TV game) were measured in an experiment under a condition of 25°C, 50%RH, 1.0met(amounts of activity), 0.7,1.0clo.(amounts of clothing).

Then the Lyapunov spectrum analysis and the correlation dimension analysis were applied.

As a result, all the largest Lyapunov exponents and KS entropies of the relaxed state indicated significantly higher than that of the stressed condition. ($P < 0.01$)

Moreover, a correlation coefficient between these values and a sense of tension and excitement were significantly high. ($P < 0.05$) On the contrary, the correlation dimension did not converge.

Accordingly, it can be inferred that Lyapunov spectrum analysis for nose skin temperature is an effective method of evaluating human sensations.

Keywords : Skin Temperature, Stress, Sensation, Chaos, Attractor, Lyapunov Spectrum, Correlation Dimension

Contact Address : **Yoshihisa FUJIWARA**

Mechatronics Research Center, SANYO Electric Co., Ltd.

1-18-13, Hashiridani, Hirakata City, Osaka 573, Japan

TEL : 0720-41-1286

FAX : 0720-44-2985

E-mail : M32FUJIWARA@HR105.a1.sanyo.co.jp