


 原著論文

インタラクティブサウンド生成システムのための 脳波特徴解析によるリラクゼーション効果の検証†

一井 亮介*・前田 陽一郎*・高橋 泰岳*

本研究では、リラクゼーションサウンド生成システム構築のためのリラクゼーション効果計測手法の提案を行う。まず意識集中(ストレス時)と音楽聴取(リラクセス時)の脳波計測を行い、人間の覚醒状態に関わりがあるとされる特定の周波数帯(θ 波、 α 波、 β 波)を抽出し、各含有率を解析することによりリラクゼーション傾向をつかむ。次に、提案手法の有用性を検証するため、本研究室で開発した同期性を制御できる大規模カオスを用いて音高、音長、音量を決定し、ユーザが自在にサウンドを生成することが可能なインタラクティブ・カオティック・アミューズメント・システム(ICAS)により人間にサウンドを提示することでリラクセス度の有効性検証実験を行った。実験を行った結果、被験者にICASのサウンドを提示したときのアンケート評価値と、本提案手法によるリラクセス度の数値がほぼ同じ傾向を示していることが確認できた。

キーワード：リラクゼーション、脳波、サウンド生成、カオス理論

1. はじめに

近年、現代人の多くがストレスを抱えていて、癒しを求める要求が高まっており、リラクゼーション効果を与えるシステムの研究開発が盛んに行われている。例えば、脈拍などの生体信号を用いて癒しの映像・音楽を生成するというバイオフィードバック効果を与えるようなシステム[1]や、生体信号を計測してよりユーザが心地良いと感じるようにCGアニメーションを変化させるシステム[2]、などが開発されている。これら以外にもユーザの精神状態を測定するために様々な指標が用いられており、主に生体信号である心拍[3、4]や呼吸[5]、発汗量[6]、脳波などを用いてユーザのリラクセス傾向を推定する研究が多数行なわれている。例えばJacobsら[7]はリラクセスの指標として脳波の θ 波と α 波のパワーの増減を用いている。しかし、この手法では大まかなリラクセスの傾向を掴むことは可能であるが定量化されていないため明確な判定は困難である。

このように多くの研究が行われているが、指標として用いている生体信号も異なっておりリラクゼーション効果を計測する手法もさまざまで、まだ確立されているとは言えない。これらのシステムにより提示され

た音楽や映像が、被験者に対して与えるリラクゼーション効果の評価指標は、生体信号の増減などの傾向を指標としているものが多い。そのため、あくまでも生体信号に基づく一つの傾向を示しており、実際被験者がどの程度リラクセス効果を得ているのかを明確に示す指標とは言えない。リラクゼーションシステムは常に被験者の状態を認識して被験者に対してリラクゼーション効果を高めるように働き続ける必要がある。リラクゼーションの指標として生体信号の傾向を用いた場合、被験者のリラクゼーション効果の有無は推定可能と考えられるが、効果の度合いまでは判定することは困難である。

そこで筆者らは被験者に対してサウンド生成システムを用いてリラクゼーション効果をリアルタイムに持続させるシステムの開発を目指している[8、9]。そのため本研究では、まず始めに脳波情報を3次元状態図で表現してリラクゼーション傾向を大まかに把握した後、その傾向を基に値が高まることで被験者が高いリラクゼーション効果を得ているということを判定できる手法の構築を行なう。ここでは漠然とした生体信号によるリラクセス傾向だけではなく、感性評価を加味した被験者のリラクゼーション効果を定量的に推定できるリラクセス度の構築を目標とする。また脳波計測によるリラクゼーションサウンド生成システムの構築に向けたリラクゼーション効果推定手法の有効性検証実験を行う。

† Verification of Relaxation Effect by Electroencephalogram Feature Analysis for Interactive Sound Generation System

Ryosuke ICHII, Yoichiro MAEDA and Yasutake TAKAHASHI

* 福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻
Dept. of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui

2. 大規模カオスを用いたインタラクティブサウンド生成システム

まず始めに本研究室で開発されたカオス理論を用いたサウンド生成システムについて簡単に説明する[10]. 筆者らはこのシステムと後述の脳波特徴解析を組み合わせ、人間にとってよりリラックスできる方向に自動でチューニングするサウンド生成システムの構築を目指している. 本研究では、本システムにより生成したサウンドを被験者に聴かせた状態で後ほど提案する解析手法によりリラックス度の推定を行う.

2.1 ICAS

ICAS(Interactive Chaotic Amusement System)は、音を生成するカオス要素を大規模カオスを用いてネットワーク状に複数結合し、人間がたった2つの大規模カオスのパラメータを調整することにより、様々な特徴の異なる音を生成することが可能なインタラクティブシステムである. ICASでは大規模カオスの中でも大域的に制御できる大域結合写像(GCM)を用いてサウンド生成に重要な音高、音長、音量の制御を行っている.

GCMは、カオス要素を多数並べ、全ての要素を相互作用させることによって状態を同期または非同期に遷移させることができるモデルである. ICASではGCMを構成するカオス要素にはロジスティック写像を用いている. また、ここで用いたGCMは式(1)のカオス要素(ロジスティック写像)を式(2)で結合している. ここではカオス要素が同期した後、非同期状態に戻れるように微小な雑音を加えている.

$$f(x_i(t)) = 1 - ax_i^2(t) \quad [i = 1, \dots, N] \quad (1)$$

$$x_i(t + 1) = [1 - e]f(x_i(t)) + \frac{e}{N} \sum_{j=1}^N f(x_j(t)) + \sigma \eta_n^i \quad (2)$$

ここで、 N は全カオス要素数、 $x_i(t)$ が状態、 $f(x_i(t))$ がロジスティック写像、範囲 $[-1, 1]$ からとった一様な乱数 η_n^i が雑音を示す. GCMの制御パラメータは、個々のカオス要素の非線形性を高める a と、全要素間の結合力を高める e の2つである. a の値が大きければ各要素の振動は無秩序の状態(非同期相)となり、 e の値が大きければ全ての要素は同じような軌道をとる(同期相). 非同期相と同期相の間には秩序相や部分秩序相などがあり、複雑な様相を示す.

2.2 GCMによるサウンドの同期制御

図1にICASにおけるGCMのサウンドの同期制御の概略図を示す. ICASでは図1のように音高、音長、音量に対して、それぞれ独立にGCMを割り当て、複数のカオス要素(図1の場合4つ)に相当するサウンドを同期・非同期に制御することが可能である. 生成されるサウンドは1から4までであり同時に出力される. 音高・音長・音量はそれぞれのカオス要素であるロジスティック写像Lh, Lt, Lvにより生成される. また、GCM1により音高はLh1からLh4まで結合されており、音高の同期制御が可能である. 同様にGCM2, GCM3により音長、音量についても同期制御がなされる. 本システムではGCMの大域的な相互作用により、同期・非同期が制御可能な複雑なサウンドを生成できる.

図2にICASシミュレータの概観を示す. ICASは人間にとってより心地よいサウンドを生成するために、音楽理論の一部を取り込んでいる. 音楽要素として、小節、調性、休符、テンポ、エコー、音色を自在に設定できるようになっている.



図1 ICASにおけるGCMによるサウンドの同期制御

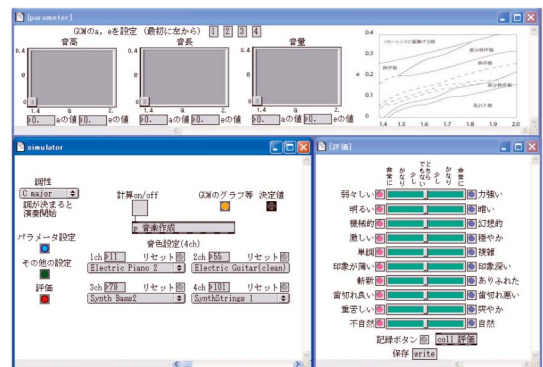


図2 ICASシミュレータ

3. リラクゼーション効果を推定するための脳波特徴解析手法

本章では本研究で提案する脳波特徴解析手法について説明する. ここでは主にリラクゼーションの度合いを検出するための解析手法について提案する.

3.1 脳波について

本研究では, 人間のリラックス度合いを測定するために脳波情報を用いる. 人間の脳は多数の神経細胞(ニューロン)から構成されており, それらの神経細胞が網目状のネットワークを作り上げている. 通常, 静止状態の神経細胞はマイナス数十mVの電位差に保たれている. 脳が刺激を受けると, 1000分の1秒以下の短い時間に電位が一瞬プラスに逆転する. この電位の逆転を活動電位と呼び, 個々の神経細胞に発生する電気的な変化である. 脳の電気的活動にはもう一つあり, 活動電位が神経を伝わって次の神経細胞に信号を受け渡すときに発生するシナプス電位がある. シナプス電位が複数集まり活動電位発生の基準値を超えると活動電位を発生させる[11].

脳波は, 多くの神経細胞で発生する活動電位やシナプス電位の総和を頭皮の上から観察したものである. 脳波の大きさは数十 μ V程度の非常に微弱なものである. 人間の精神活動や意識状態の変化に伴い, 脳波は異なるパターンを示す. 以下に本研究でも用いる様々な脳波を列挙する.

- 覚醒時脳波

覚醒状態である意識集中やストレスを感じているときに表れる脳波であり, β 波[13~20Hz付近]と呼ばれる.

- 安静時脳波

リラックス状態や安静閉眼状態で表れる脳波であり, α 波[8~13Hz付近]と呼ばれる.

- 睡眠時脳波

入眠期では, α 波の振幅, 周波数, 連続性が低下し, 次いで徐波である θ 波[5~8Hz付近]が表れる.

リラックス状態において θ 波が増加したという研究事例[7]があるため, 本研究では α 波, β 波に加えて θ 波も解析対象にすることでリラックス度の判定を行った.

3.2 脳波パワー含有率の定義

本研究では, まず計測した脳波に対し図3のように θ 波, α 波, β 波の各周波数帯(1Hz単位)のパワーを求

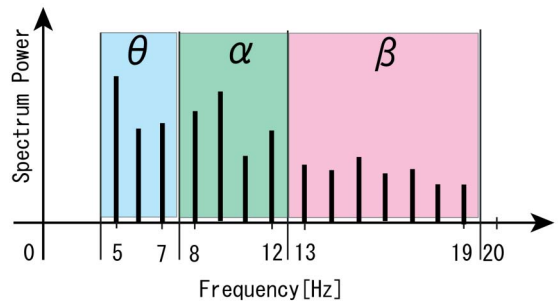


図3 脳波のパワースペクトル周波数帯域

める. さらに, これらの帯域の全帯域域に含まれる割合を求めることで, 特徴解析を行うことを考える.

脳波の原波形データは様々な周波数帯の波形を含んでおり, これを直接解析して脳波情報を得ることは困難である. そのため, 脳波の原波形にパワースペクトル解析を行い, θ 波($5\text{Hz} \leq f_{\theta} < 8\text{Hz}$), α 波($8\text{Hz} \leq f_{\alpha} < 13\text{Hz}$), β 波($13\text{Hz} \leq f_{\beta} < 20\text{Hz}$)の各帯域波形を取り出し, 各パワーの総和を求め, 全体のパワー合計に含まれる割合(ここではパワー含有率と呼ぶ)を相対的な数値として表す. 各周波数帯の幅はそれぞれ異なっているので, ある周波数帯のパワーの総計をとり, そのまま用いることは適切ではない.

そこで本手法では各周波数帯で θ 波, α 波, β 波ごとにパワーの平均値(ここではパワー平均と呼ぶ)をとることにより, この値をそれぞれの周波数帯での代表値とする. $V_f[\mu\text{V}]$ を周波数 $f[\text{Hz}]$ における脳波のパワー, P_{α} を α 波のパワー平均とすると, P_{α} は式(3)によって求められる.

$$P_i = \frac{\sum_{f=F_{min}^i}^{F_{max}^i} V_f}{(F_{max}^i - F_{min}^i + 1)} \quad (3)$$

$$P_{sum} = P_{\theta} + P_{\alpha} + P_{\beta} \quad (4)$$

$$G_{\alpha} = P_{\alpha} / P_{sum} \quad (5)$$

ここで, (F_{min}^i, F_{max}^i) は i 波の最小, 最大周波数を示し, 本実験では整数周波数のみを扱っているため, $i = \theta$ のとき(5, 7)[Hz], $i = \alpha$ のとき(8, 12)[Hz], $i = \beta$ のとき(13, 19)[Hz]となる. また各周波数帯でのパワー平均の総和 P_{sum} を式(4)により求める. パワー含有率 G_{α} は全体のパワー平均総和に対する α 波パワーの比率であり, 式(5)によって求められる. θ 波, β 波の場合も同様に求められる. 一般に脳波は常に θ , α , β 波が活性化しているとは限らないが, 本研究ではリラックス状態には θ , α , β 波の増減が関連しているという仮説に基づき3種類の周波数帯の脳波含

有率で解析を行った。

3.3 3次元状態図による脳波特徴解析

本研究における提案手法では脳波全体の挙動をマクロに解析するため、 X 軸に θ 波、 Y 軸に α 波、 Z 軸に β 波を対応させることにより、脳波のパワー含有率を3次元状態図(3次元パウル散布図)で表現する。脳波を3次元状態図でプロットすることにより、各脳波のパワー含有率や関連性を視覚的に確認できるようにする。これにより、被験者がリラクゼーション状態に近づいたときパワー含有率の分布が変化し、どのような特徴的な傾向が見られるかを検証する。

分布によるリラクゼーションの傾向については、身体的または精神的に安定している状態で多く観測される傾向にある θ 波、 α 波の割合が多く、反対にストレス傾向では、覚醒状態で多く観測される傾向にある β 波の割合が高くなると考えられる。これを図4のような3次元状態図で表現すると、脳波がより低い位置にあり、右手前中央付近に分布するほどリラクゼーション傾向が高くなり、逆により高い位置で左奥付近に分布するほどストレス傾向(非リラクゼーション状態)が高くなると考えられる。 $G_\theta, G_\alpha, G_\beta$ の座標軸先端を結ぶように描かれた三角形平面は $G_\theta + G_\alpha + G_\beta = 1$ を示しており、脳波分布はこの平面上に乗る。

これらの関係より、リラクゼーション度 R を式(6)により定義して、この R が増加するほどリラクゼーション傾向が強いと仮定する。式中の $k_i (i = \theta, \alpha, \beta)$ は各パワー含有率の重み係数であり、実験において定めた。リラクゼーション度 R は、 θ 波と α 波のパワー含有率の重み付き和を各周波数帯のパワー含有率合計で割ることにより、正規化している。

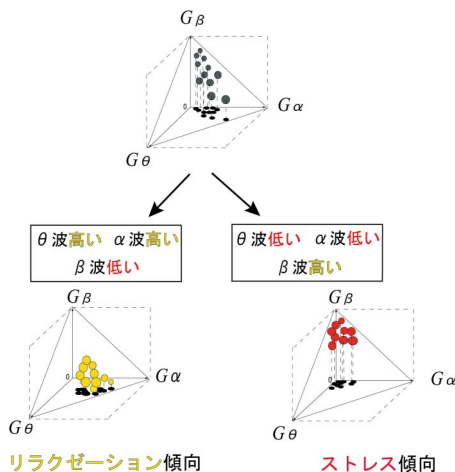


図4 パワー含有率分布による3次元状態図

$$R = \frac{k_\theta G_\theta + k_\alpha G_\alpha}{k_\theta G_\theta + k_\alpha G_\alpha + k_\beta G_\beta} \tag{6}$$

4. 脳波によるリラクゼーション効果計測実験(実験1)

本実験では人間がリラックスした場合に脳波に特徴的な変化を示すか、意識集中時との比較実験を行った。本実験は、主に式(6)のリラクゼーション度 R におけるパワー含有率の重み係数を決定するための事前実験として実施した。また本章では5章の実験でも共通に使用した計測機器などの実験環境についても説明する。

4.1 実験環境

本研究では、脳波計測装置(脳機能研究所製:感性スペクトラム解析装置 ESAM[12])を用いて脳波情報を取得した。本節では、ESAMの各部の名称や機能を図5および図6中に示す番号の順に説明する。

- (1) EEGヘッドボックス: この装置は頭部に装着した脳波計の電極から脳波(Electroencephalogram: EEG)の生データを取得してプロセッサでの信号処理が可能な数値データに変換を行い出力する。端子に以下の(3)の脳波計測用電極を接続して脳波計測を行う。
- (2) プロセッサボックス: EEGヘッドボックスから送信されてきた脳波情報を基に、情動出力に必要な波形に変換してコンピュータへ送信する。本研究では感性スペクトル解析を用いないので、この装置によって変換されたデータは使用せずに、EEGヘッドボックスから出力された脳波情報を直接PCで利用する。
- (3) 脳波電極: 脳波電極を取り付ける際は、頭部にネットを装着することにより髪の毛を固定する。脳波計測を行う際の電極接触位置は、国際10-20法電極位置に基づく前頭部4点、側頭部2点、後頭部4点の合計10点(Fp1, Fp2, F3, F4, T3, T4, P3, P4,

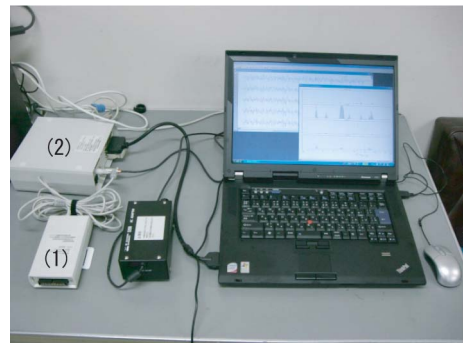


図5 実験に使用した脳波計測装置(脳機能研究所製ESAM)

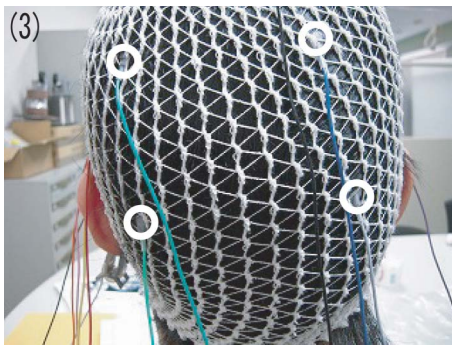


図6 脳波計測用電極装着の様子

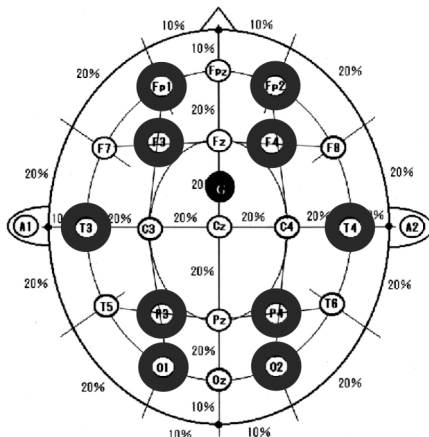


図7 国際10-20法電極位置における脳波測定点
(図中の太い丸印が今回用いた電極装着位置)

O1, O2)となる。実際の脳波電極を装着している状態を図6に、国際10-20法電極位置における本実験の計測点を図7に示す。

4.2 実験方法

実験1では、20代前半の男子大学生4名(本研究室学生)に協力してもらい、意識集中(ストレス時)、音楽聴取(リラックス時)の2種類の状態での脳波を計測した。計測データより提案した解析手法を用いて2つの状態間のリラックス度を調べ、被験者が音楽によりどの程度リラクゼーション効果を得ているか検証を行う。本実験は、以下の手順で行った。

1：事前準備

意識集中の実験は、実験者が2桁同士の足し算を読み上げ被験者には閉眼にて暗算で計算してもらう。また音楽聴取は、リラクゼーション効果を高めるため、事前に被験者には市販されている以下のヒーリングミュージックCDの中から自身が最もリラックスを感

じる曲を選んでもらった。また実験後、被験者に対して実験によりどれだけリラックスできたかを7段階で評価してもらうアンケートも行った。アンケート結果を用いて、各状態で実験の評価などに有意差があるかどうかをマン・ホイットニーのU検定を用いて確認を行った。

実験で使用したヒーリングミュージックCD

- 「～the most relaxing～ feel」(EMIミュージック・ジャパン)
- 「～the most relaxing～ feel2」(同上)
- 「image」(ソニーレコード)
- 「image2」(同上)

2：脳波電極装着

脳波情報を取得するために電極を頭部10箇所(図7の太丸部)に取り付ける。本実験では頭部10箇所の脳波データから全電極の平均パワーを求め解析対象とした。

3：脳波測定

被験者には椅子に座った状態で安静閉眼で意識集中時、音楽聴取時の計測を行った。意識集中、音楽聴取ともに計測時間は3分間と設定した。各計測は10分間の休憩を挟んで実施した。データ長は24であり、サンプリング周波数は100[Hz]と設定した。

4：実験データ解析

実験により得られた各状態の脳波データから、提案した解析手法を用いて脳波特徴解析を行い、どの程度リラクゼーションの傾向があるか検証を行った。リラックス度 R の重み係数 k_θ , k_α , k_β の設定方法については、まずリラックス度 R の式に被験者の音楽聴取(リラックス時)と意識集中(ストレス時)の脳波含有率の平均値を代入する。係数 k_θ , k_α , k_β のうち、本実験では k_θ を固定して k_α と k_β の2つを調整することで、各被験者のリラックスとストレス状態におけるリラックス度 R の値の差が明確に出力されるよう重み係数を設定した。(表1参照)。

表1 リラックス度 R の重み係数の決定

被験者	リラックス度 R		
	k_θ	k_α	k_β
A	0.01	0.05	4
B	0.01	0.04	2
C	0.01	0.02	1
D	0.01	0.03	9

5：被験者アンケート

実験後に被験者に対して、実際に想定した状態(リラックス/ストレス)と同じような精神状態になったかどうかを確認するため、実験によってどれだけリラックスできたかを7段階(1~7のうち7がもっともリラックス)で評価してもらうアンケートを行った。

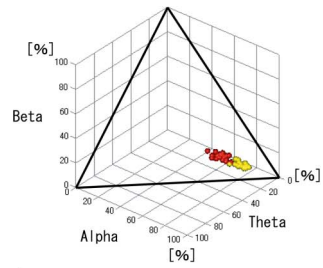
4.3 実験結果と考察

以下に被験者4名の実験結果を掲載する。パワー含有率の比較を図8に、各被験者の脳波情報の第1主成分軸の比較を図9に示す。式(6)のリラックス度 R の値(音楽聴取時の値を1に正規化)を表2に示す。図8の3次元状態図では x 軸は θ 波、 y 軸は α 波、 z 軸は β 波のパワー含有率を表しており、脳波データを音楽聴取時は黄(薄い丸)、意識集中時は赤(濃い丸)でそれぞれプロットしている。表3は被験者に快-不快を評価してもらった7段階アンケートの結果を示す。表4は各被験者において線形判別分析を用いたリラックスとストレス傾向の脳波分布判別結果を示す。

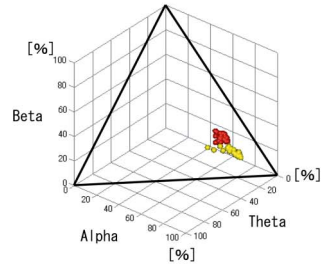
実験1の3次元状態図において、全被験者で意識集中と音楽聴取の分布集団の位置に有意な差があることが確認できた。図4において想定したリラクゼーション傾向も θ 波の値にあまり強い相関はなかったが、 α 波と β 波は強い相関が見られた。本研究では θ 波、 α 波、 β 波の3つの脳波の比率でリラックス度を定義したが、実際には θ 波の影響はかなり小さいことが実験結果よりわかった。

リラックス度 R は表1に示したように各被験者ごとに重みを調整することで、リラックスしている状態とそれ以外の状態を区別することも確認できた(表2)。被験者に対するアンケート(表3)においても有意水準5%で検定を行った結果、各状態での評価で有意な差が見られた。本実験は基礎実験としてリラックスとストレス状態という異なる状態をまず識別できるかが重要と考え、リラックスとストレス状態の脳波からリラックス度 R を算出して比較した。また表4の判別結果より、全被験者において高い確率でリラックスとストレスの脳波分布を明確に分離できていることがわかる。

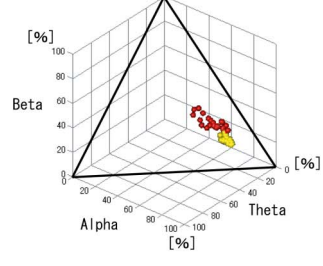
全被験者に共通して見られるのは、意識集中と音楽聴取の脳波分布の変化は α 波と β 波の変化が大きく、3次元状態図では左側奥から右手前に移動した形となり、これに対して θ 波の変化は小さく3次元状態図での勾配はあまり確認できない。これより意識集中(ストレス時)から音楽聴取(リラックス時)への脳波分布は個人差はあるが非常に酷似した傾向を持っていることが確認できた。



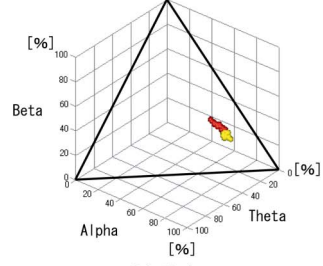
a) 被験者 A



b) 被験者 B



c) 被験者 C



d) 被験者 D

図8 脳波3次元状態図(実験1)

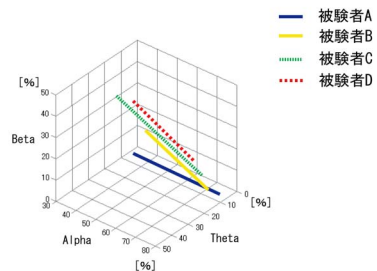


図9 脳波情報の第1主成分軸の比較(実験1)

表2 リラックス度の比較(実験1)

被験者	リラックス度 R	
	意識集中	音楽聴取
A	0.539	1
B	0.588	1
C	0.561	1
D	0.712	1

表3 アンケート評価結果(実験1)

被験者	音楽聴取時		意識集中時	
	1st	2nd	1st	2nd
A	5	6	1	1
B	6	7	1	1
C	7	7	1	2
D	4	5	1	1

表4 線形判別分析による脳波分布判別結果(実験1)

被験者	リラックス/ストレス判別結果 [%]
A	98
B	98
C	98
D	100

5. ICASを用いたリラクゼーション効果検証実験(実験2)

本実験では、ICASを用いたリラクゼーションサウンド生成システムの構築を目指しているが、ここではICASで生成したサウンドによって人間にどの程度のリラクゼーション効果が得られるかについての検証を行った。実験2ではICASによって生成されたサウンドを被験者に提示して、その状況下での脳波計測して得られた脳波データから脳波特徴解析を行い、前述のリラクセス度を用いることで被験者のリラクセスの度合いを評価する。また聴取中に行う被験者のサウンドによる癒し評価アンケート結果と照合して検証を行う。

5.1 実験方法

脳波計測装置は前述の実験と同様の機器を用いた。本実験は20代前半の男子学生1名(本研究室学生)を被験者とし、以下の手順で行なった。

1: 脳波電極装着

本実験では、国際10-20法電極位置に基づいた10点

(実験1と同様)で脳波計測を行なった。頭部10箇所の平均パワーを求め解析対象とした。

2: 脳波測定

被験者は椅子に座った状態で計測を行い、安静閉眼とする。それぞれの計測は10分間の休憩を挟んで実施した。データ長は60であり、サンプリング周波数は100[Hz]と設定した。

3: ICASサウンド提示

ICASはカオスパラメータだけではなく音色、テンポなどの音楽要素も設定が可能である。それらを調整すると膨大なパターンのサウンドが生成可能であるが、すべて被験者に聞かせるのは困難である。本実験ではカオスパラメータを部分秩序相(図10のB)に固定してサウンドの音色を表5のようにピアノ系、弦楽器系、笛系、それぞれの混成など、音色を変化させるパターン(パターン1)と、音色を笛に固定してカオスパラメータを図10のようにA:同期相($a=1.5$, $e=0.3$), B:部分秩序相($a=1.6$, $e=0.206$), C:秩序相($a=1.7$, $e=0.15$), D:非同期相($a=1.8$, $e=0.006$)と設定し変化させるパターン(パターン2)の2つを実施した。ここではサウンドは5分間提示した。また、図10よりカオスパラメータの挙動を、単調また

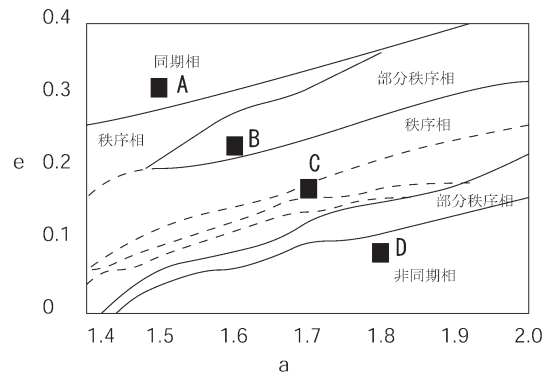


図10 実験2におけるICASのカオスパラメータ(黒印:今回使用したパラメータ)

表5 実験2で使用したICASの音色

ピアノ系	
Bright Acoustic Piano	Acoustic Grand Piano
Electric Grand Piano	Honky Tonk Piano
弦楽器系	
Violin	Viola
Cello	Contrabass
笛系	
Flute	Piccolo
Recorder	Ocarina
混成	
Bright Acoustic Piano	Violin
Flute	Cello

は複雑なサウンドに偏らないように考慮した。

4：被験者アンケート

被験者に対するアンケート方法として、実験後に評価や感想などを聞き取るという形式もあるが、実験中の細かな精神状態の変化などを思い出しながら回答するのは困難である。そこで本研究ではサウンド聴取中の被験者に、その時点でのリラックス評価を回答してもらうことにより、より細かな精神状態の変化を読み取ることを試みた。本実験では押しボタンスイッチを用いて、押した回数(1～5回の5段階：回数が多いほど評価が高い)により1分間隔で評価を行なってもらった。押しボタンによる運動関連電位の混入を防ぐため1分間ごとの評価区間の前後5秒間は解析範囲からはずしている。

5：実験データ解析

今回の実験では前章の実験のうち被験者Aに実験を依頼したので表1で得られた被験者Aの重み係数を用いて、リラックス度 R を算出した。

5.2 実験結果と考察

以下に実験結果を掲載する。図11はICASのカオスパラメータを部分秩序相に固定してサウンドの音色を変化させた場合の実験結果、図13は音色を笛に固定してカオスパラメータを変化させた場合の実験結果である。プロット点はその時の被験者の評価値をもとに5段階に大きさと色(評価に比例して大きく明るく表示)を変化させた。よりプロット点が大きく明るい色ほど、その脳波分布位置で被験者がリラクゼーション効果を感じたことを示す。図11、図13においては、脳波分布のバラつきが小さくまたプロット点の大きさも変化させているので、図8と同じスケールで $G_\theta + G_\alpha + G_\beta = 1$ 平面を表記すると脳波分布が確認しにくくなるため、各軸を0～60[%]のスケールで表示した。

図12、図14に、各実験での脳波情報の第1主成分軸を示す。表6、表7は被験者のアンケート結果によるICAS聴取実験におけるリラックス度 R の有効性検証結果である。押しボタンによるアンケート評価 R_h 、リラックス度 R は実験5分間の平均値を用いている。リラックス度 R との比較を容易にするため、アンケート評価 R_h は最高評価5を1として正規化を行った。

ICASで生成したサウンドを被験者に提示することにより、本研究で提案したリラックス度 R が有効であるか検証実験を行った。ICASのカオスパラメータや音色を調整して実験を行った結果、アンケート評価値 R_h またはリラックス度 R から被験者の印象が変化していることが確認できた。ICASの音色を変化させた実験では、被験者の好みが大きく影響していると考えら

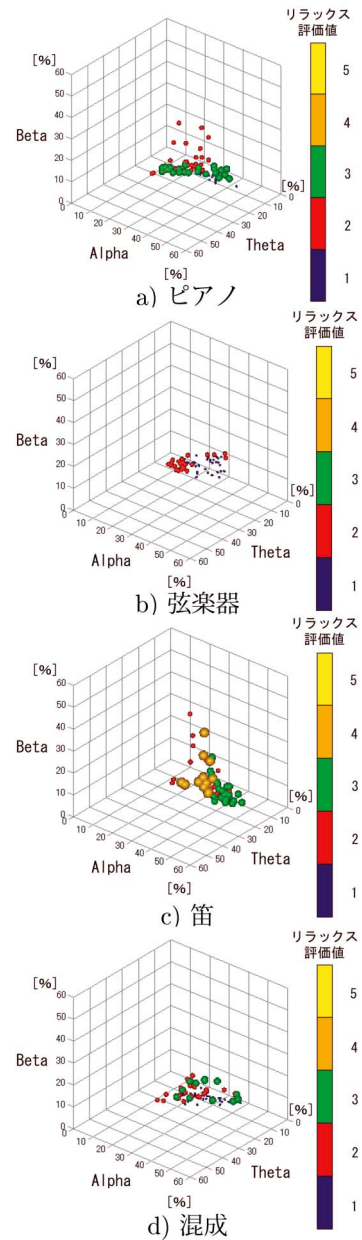


図11 脳波3次元状態図(実験2：パターン1)

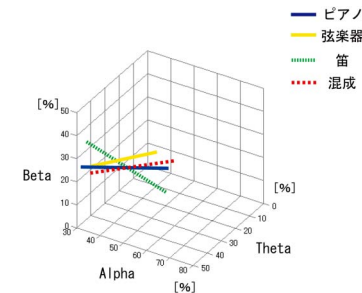


図12 脳波情報の第1主成分軸の比較(実験2：パターン1)

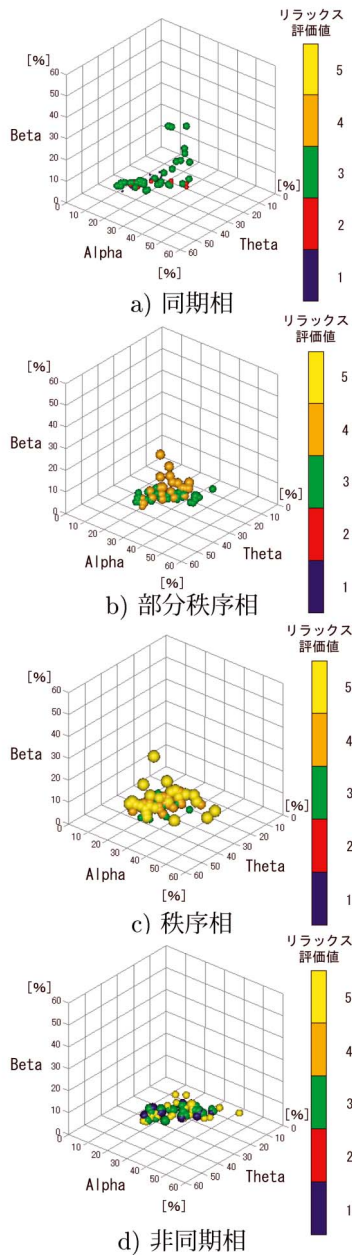


図13 脳波3次元状態図(実験2:パターン2)

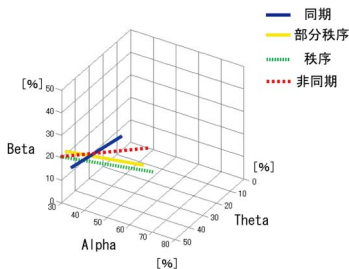


図14 脳波情報の第1主成分軸の比較 (実験2:パターン2)

表6 アンケート評価 R_h とリラックス度 R の比較 (実験2:パターン1)

音色	ピアノ	弦楽器	笛	混成
カオス性	部分秩序相			
R_h	0.440	0.360	0.560	0.480
R	0.537	0.479	0.574	0.562

表7 アンケート評価 R_h とリラックス度 R の比較 (実験2:パターン2)

音色	笛			
カオス性	同期	部分秩序	秩序	非同期
R_h	0.480	0.680	0.840	0.640
R	0.592	0.703	0.922	0.686

れ、笛楽器の音色では評価が高いが、それ以外の楽器は評価は高くない。これに対して音色を固定してカオスパラメータを変化させたときの実験では、同期相などの単調な音よりも同期性と非同期性が混在する秩序相で生成されるサウンドの評価が高い結果となった。

また実験においてのリラックス度 R は、全体的に被験者のアンケート評価 R_h に似た増減となっており、ほぼアンケート評価の傾向と一致することもわかった。但し、本手法のように脳波分布を用いてリラックス度 R を定義する場合、個人差の影響を大きく受けるので、被験者個人ごとに重み係数を調整することで適切なリラックス度 R が導出できると考えられる。

図12, 図14では一部を除き各条件で主成分軸に大きな差はなく比較的似た傾向を示しており、実験1と比較して実験2におけるICASのサウンド聴取では脳波は小さく変化していることがわかる。また本実験を同じ被験者に何度も実施したところ、3次元状態図で被験者の評価値にややバラつきが見られた。これはICASがカオス要素を用いてサウンド生成を行なうことに起因しており、同じパラメータでサウンド生成した場合でも刻々とサウンドが変化して被験者が受ける印象が変化するためであると考えられる。そのため、人間に対して継続的にリラクゼーション効果を持つサウンドを提供するためには、刻々と変化するサウンドに対する被験者の精神状態を読み取り、その都度パラメータ調整を行うことが必要である。

6. おわりに

本研究ではリラクゼーションサウンド生成システム構築のための事前研究として、人間のリラックス状況下における脳波特徴解析とICASにより生成したサウ

ンドにおけるリラクゼーション効果検証実験を行った。

音楽聴取と意識集中における脳波特徴解析では提案した脳波の θ 波、 α 波、 β 波による3次元状態図により各状況下において脳波分布にある傾向が見られた。これによりリラックス状態を計測する指標の一つとして脳波計測は有効であると考えられる。また、リラックス度を定式化し、被験者の感じるリラックス状態と相関があることも確認できた。

さらに、ICASを用いた検証実験では本手法で、生成されたサウンドにより被験者がリラクゼーション効果を感じたことがある程度確認できた。今回の実験では異なる状況下で比較した場合の脳波変化の傾向を掴むことはできたが、似た状況下では脳波の変化が僅かであり、明確にリラックス度合いを推定する手法を今後開発する必要がある。

今後の課題としては、リラクゼーションサウンド生成システム使用時においてユーザは安静状態でサウンドを聴取するので、僅かな環境の変化でもリラックス度合いが変化する。これを正確に推定するために、今後は心拍や血流、発汗などの複数の生体信号を用いることで推定精度が高い手法を確立することを目指す。

参 考 文 献

- [1] 伊藤英則, “個人身体信号からの癒しの映像・音楽を生成するシステム” 人工知能学会誌, Vol.23, pp.334-341 (2008)
- [2] 長谷川貴之, 横山清子, “コンピュータと心拍情報との対話機能によるリラクゼーションバイオフィードバックシステム,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103, No.470, pp.35-38 (2003)
- [3] 小池弘人, 松井弘樹, 吉田朋美, 柳奈津子, 馬庭芳郎, 横山知行, “加速度脈波カオス解析によるアロマセラピーの臨床効果判定の検討,” 群馬大学保健紀要,

Vol.24, pp.81-85 (2003)

- [4] 藤原義久, 源野広和, 河田宏, “心電図R-R間隔のカオス解析,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.93, No.375, pp.47-52 (1993)
- [5] 青山泰文, 井上裕美子, 橋本涉, 大須賀美恵子, “呼吸を介した癒しシステム“The Mind Wave”の開発と評価,” バイオフィードバック研究, Vol.31, pp.27-34 (2005)
- [6] 辻憲志, 横山清子, 丹羽伸二, “主観評価と発汗量によるCGのリラクゼーション効果の検討,” 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.101, No.406, pp.63-69 (2001)
- [7] G.D.Jacobs and R.Friedman, “EEG Spectral Analysis of Relaxation Techniques,” Applied Psychophysiology and Biofeedback, Vol.29, No.4, pp.245-254 (2004)
- [8] 一井亮介, 前田陽一郎, 高橋泰岳, “脳波特徴抽出を用いたリラクゼーション効果測定手法,” 第26回フェジシステムシンポジウム, pp.222-225 (2010)
- [9] R.Ichii, Y.Maeda and Y.Takahashi, “Relaxation Effect Measurement Method Used Brain Wave Feature Extraction,” SCIS&ISIS2010, pp.205-210 (2010)
- [10] 前田陽一郎, 丹羽俊明, 山本昌幸, “大域結合写像によるインタラクティブサウンドシステム及び音楽的要素の導入,” 日本知能情報フェジ学会誌, Vol.18, No.4, pp.507-518 (2006)
- [11] 市川忠彦, 脳波の旅への誘い 第2版, 星和書店 (2006)
- [12] 武者利光, “「こころ」を測る,” 日経サイエンス, Vol.26, No.4, pp.20-29 (1996)

(2011年6月7日 受付)

(2011年12月26日 採録)

[問い合わせ先]

〒910-8507 福井県福井市文京3-9-1

福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻

前田 陽一郎

TEL: 0776-27-8050

FAX: 0776-27-8050

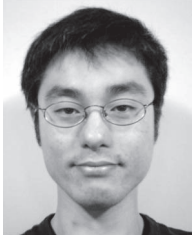
E-mail: maeda@ir.his.u-fukui.ac.jp

著者紹介



いちい りょうすけ
一井 亮介 [非会員]

2010年福井大学工学部知能システム工学科卒業。同年、同大学大学院工学研究科知能システム工学専攻博士前期課程入学。現在に至る。脳波情報を用いたリラクゼーションサウンド生成システムに関する研究に従事。



たかはし やすたけ
高橋 泰岳 [正会員]

1994年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学博士後期課程中退、同年同大学助手となり助教を経て、2009年から福井大学大学院講師となり現在に至る。博士(工学)。人工知能学会、日本ロボット学会など各会員。知能ロボットの行動獲得に関する研究に従事。



まえだ よういちろう
前田 陽一郎 [正会員]

1981年大阪大学基礎工学部機械工学科卒業。1983年同大学院基礎工学研究科修士課程修了。同年、三菱電機(株)中央研究所入社。1989年から1992年まで国際ファジィ工学研究所(LIFE)へ出向。1992年から三菱電機(株)産業システム研究所へ帰任。1995年より大阪電気通信大学工学部経営工学科を経て、総合情報学部情報工学科助教授。博士(工学)。1999年から1年間、カナダ・ブリティッシュコロンビア大学(UBC)客員研究員。2002年福井大学工学部知能システム工学科助教授、2007年同大学院工学研究科知能システム工学専攻教授、現在に至る。主として、ソフトコンピューティング手法による自律ロボットの知能化、および人とロボットの双方向インタラクションに関する人間共生システム研究に従事。計測自動制御学会、日本ロボット学会、人工知能学会、日本感性工学会、電子情報通信学会などの会員。

Verification of Relaxation Effect by Electroencephalogram Feature Analysis for Interactive Sound Generation System

by

Ryosuke ICHII, Yoichiro MAEDA and Yasutake TAKAHASHI

Abstract :

In this research, we propose a measurement method for the effect of human relaxation to construct the relaxation sound generation system. At first we perform the electroencephalogram measurement and extract a specific frequency band (θ , α , and β wave) concerning with the human awakening state and catch a tendency of the relaxation by analyzing each content ratio. In addition, we estimate the relaxation degree of the subject in the state hearing sound generated by Interactive Chaotic Amusement System (ICAS) developed in this laboratory to confirm the efficiency of the proposed method. ICAS is the sound generation system to decide the musical note, duration and volume using network of chaotic elements which is able to control synchronousness, and users can generate free sounds by ICAS. As for the result of experiment, we confirmed that the result of the questionnaire evaluation obtained when the sound of ICAS was presented to the subject and the result of the relaxation degree by the proposed method show the same tendency.

Keywords : Relaxation, Electroencephalogram, Sound Generation, Chaotic Theory

Contact Address : **Yoichiro MAEDA**

*Dept. of Human and Artificial Intelligent Systems, Graduate School of Engineering, University of Fukui
3-9-1 Bunkyo, Fukui-shi, Fukui, 910-8507, JAPAN*

TEL : 0776-27-8050

FAX : 0776-27-8050

E-mail : maeda@ir.his.u-fukui.ac.jp