

脳波を用いた感性スペクトル解析法に基づく 音楽曲調の感性評価

三谷 康夫* 筒本 和広** 中迫 昇***

Evaluation of Emotions for Music Sounds with Different Tones Based on
Emotional Spectrum Analysis Method Using Brain Waves

Yasuo MITANI* Kazuhiro TSUTSUMOTO** Noboru NAKASAKO***

ABSTRACT

In order to establish an objective approach for evaluating human emotions, Emotional Spectrum Analysis Method (ESAM) has been proposed by Dr. T. Musha et al. It is possible to estimate emotion spectrums with four basic emotional states (i.e., anger/stress, joy, sadness and relaxation) by using ESAM and the measured data of brain waves. Now, we pay attention to the emotional evaluation of music sounds. More specifically, this paper describes the influence of a change of music sounds with different tones (from a minor scale to a major scale) on human emotions. The brain waves for six subjects are measured by electroencephalogram (EEG). Each emotion spectrum can be estimated by using the emotion spectrum analysis system developed by Brain Functions Laboratory, Inc. based on ESAM. The effectiveness of ESAM is experimentally confirmed by applying it to the emotion evaluation problem of the above two kinds of music sounds. We find out the possibility of ESAM for the objective evaluation in the field of music.

キーワード：脳波、感性スペクトル解析法、曲調、音楽、感性情報処理、EEG 信号

Keywords: Brain wave, Emotional spectrum analysis method, Music tone, Music sound, Emotional information processing, Electroencephalogram signal

1. まえがき

例えば、人間の喜怒哀楽などの感情を評価するとき、目的とする対象が直接測定できない場合がほとんどである。このような問題を取り扱う場合、アンケートやインタビューなどを用いた評価方法がしばしば採用される。このようにして得られたデータに対して、各種の統計的手法がさまざまな評価問題に適用され、多く

の研究成果が発表されている[1]、[2]、[3]。このような評価方法では、被験者の記憶に依存し、評価を行う人物の主観や能力の影響を受ける可能性がある。そのため、物理量の計測に基づく感性評価法の開発が必要である。近年、脳内の信号をニューロンレベルで処理する研究が活発に行われるようになってきている。感性の状態に関しては、ニューロンレベルに比べて、マクロなアプローチが試みられている。例えば、精神的な活動

*電子・電気工学科

**人間文化学部環境情報学科

***近畿大学生物理工学部電子システム情報工学科

にもなって、脳のどの部位が活動しているかを調べる手段として PET (Positron Emission Tomography) がある[4]、[5]。しかし、この方法では被験者が被爆し、装置自体が高価で運転費用をかなり費やすことになる。このような状況から物理量として脳波を計測し、被験者が感じている感性スペクトルを解析する手法が提案されている。この手法が感性スペクトル解析法と呼ばれている[6]、[7]。さらに、この感性スペクトル解析法を用いた研究成果もすでに報告されている[8]、[9]。しかし、感性情報は、「主観性、多義性、あいまい性、状況依存性」といった属性をもつ情報である[10]。物理量の計測値より得られた評価結果が、主観的な感性を正確に把握できるかどうかについては心理学的アプローチとの比較検討が必要である。今後の研究課題が残されているものの、このような物理的なアプローチが、ロボティクスや人工知能などの実現化にむけて重要な役割を果たすものと思われる。

感性スペクトル解析法は、武者らによって開発された感性評価法である[6]。頭皮上に現れる電位(脳波)は脳活動に関する情報を多く含んでいる。すなわち、喜怒哀楽の感情は脳の中での現象であるため、当然脳波にも何らかの変化があるはずである。そこで、その特徴を手がかりにして、心の状態を要素的な感性状態に分解し、それぞれのレベルを時間的に追跡する手法を見出している。そのため、脳波の変動データの統計情報を抽出し、相関情報を合理的に利用した信号処理が開発されている。具体的には、チャンネル間の相互相関係数の線形演算によって感性要素のレベル(感性スペクトル)が得られる。この中から人間の4つの感性要素(「怒り/ストレス」「喜び」「悲しみ」「リラックス」)に関する特徴量を捉えている。この手法が感性スペクトル解析法と呼ばれる手法である。

本研究では、音楽の曲調に対する感性評価に着目する。このような評価問題では、従来からアンケートによる評価がほとんどであり、各種の統計的手法を用いて詳細に研究されている[11]、[12]。特に、曲調に関する感性評価については、中村が SD (Semantic Differential) 法と因子分析を用いて、短調、長調といった曲調のイメージを詳細に検討している[13]。武者の研究[14]によると、嫌いな曲や悲しい曲を聴いたときには、被験者はストレスやいらだちを感じるものと考えられる。すなわち、被験者の音楽に対する感じ方の違いが脳波上に現れるものと考えられる。本研究では、長調や短調の曲を被験者に聴かせたとき、感性スペクトル解析に基づき、脳波から怒り/ストレス・喜び・悲しみ・リラックスの4つの感性要素に分解して、被験者の感性の状態を定量的に把握する。具体的には、被験者6名を対象とし、長調のクラシック曲から短調のク

ラシック曲に切りかえたときに、曲調の変化が与える感性スペクトルへの影響を調べる。被験者のもつ特徴的な感性スペクトルに着目し、曲調の変化が感性スペクトルに及ぼす影響を考察する。

2. 脳波と感性スペクトル

脳波は、脳細胞の中でもニューロンと呼ばれている神経細胞の活動によって発生する。ニューロンは通常、60~90 mVのマイナスの電位に保たれているが、他のニューロンから刺激を与えられて興奮すると活動電位を発生させる。これが頭皮上に現れたものが脳波である[15]、[16]。脳波を計測する方法として、電位差を計測するもの(Electroencephalogram: EEG)と脳の神経細胞が電流を発生させることで生じる磁場を計測するもの(Magnetoencephalogram: MEG)がある。ここでは、前者の計測方法を使用する。この EEG 信号の周波数は0 Hz~数百 Hz にまで及んでいるが、高い周波数帯域では信号の振幅が小さくなるので、有効な信号成分が抽出しにくくなる。そこで、対象となる周波数帯域を5 Hz から20 Hz に絞り、 θ 波を5~8 Hz、 α 波を8~13 Hz、 β 波を13 Hz~20 Hz として計測する。サンプリング周波数は、上述の周波数帯域を考慮して、ここでは100 Hz に設定している。

以下に、武者らによって開発された感性スペクトル解析法の原理を簡単に説明する[6]、[17]。頭皮上に現れる電位(脳波)は脳活動に関する情報を多く含んでいる。数学的な処理方法を工夫すると、脳波から脳の状態、すなわち心の状態についてさまざまな情報が得られるはずである。脳波に対して適切な信号処理をすると、この情報を取り出すことが可能となる。喜怒哀楽の感情は脳の中での現象であるから、当然脳波にも何らかの変化が生じるはずである。そこで、その特徴を手がかりにして、心の状態を要素的な感性状態に分解し、それぞれのレベルを時間的に追跡することを考える。要素的な感性状態の特徴を加算性の仮定のもとに処理している。そのためにチャンネル間の相互相関係数の線形演算によって感性要素のレベル(感性スペクトル)が得られるようにしている。電極の数を10個とし、電極 j で測定される電位を時間 t の関数とし $x_j(t)$ とすると、電極 j と k で測定される電位の間の相互相関係数 a_{jk} は次式で定義される[18]。

$$a_{jk} = \frac{\langle x_j(t)x_k(t) \rangle}{\sqrt{\langle x_j^2(t) \rangle}\sqrt{\langle x_k^2(t) \rangle}} \quad (1)$$

(1) 式において、 $\langle \rangle$ は平均操作を示す。例えば、10個の電極からできる対の数は45である。これを α 波、 β 波、 θ 波それぞれについて求める。3つの周波数帯域が存在するので、全体で135個の相互相関係数が得られる。この中から人間の4つの感性要素（「怒り／ストレス」「喜び」「悲しみ」「リラックス」）に関する特徴量を捉える。次に、4つの感性要素のレベル（強さ）をそれぞれ y_1, y_2, y_3, y_4 とし、 a_1, a_2, \dots, a_{135} の係数を用いて次式の加算性が成立するものと仮定する。

$$y_1 = c_{1,1}a_1 + c_{1,2}a_2 + \dots + c_{1,135}a_{135} \quad (2)$$

$$y_2 = c_{2,1}a_1 + c_{2,2}a_2 + \dots + c_{2,135}a_{135} \quad (3)$$

$$y_3 = c_{3,1}a_1 + c_{3,2}a_2 + \dots + c_{3,135}a_{135} \quad (4)$$

$$y_4 = c_{4,1}a_1 + c_{4,2}a_2 + \dots + c_{4,135}a_{135} \quad (5)$$

従って、係数は全部で540個となる。これらの係数の値については、4つの感性要素のレベルがそれぞれ以下の式に該当するような感性要素を被験者が作成することで決定している。ここで、怒りとストレスは、相互に密接に関連しているため、明白に区別することが困難である。従って、これらは1つのカテゴリーとして取り扱われている。

$$\text{怒り／ストレス} : y_1 = 1, y_2 = 0, y_3 = 0, y_4 = 0 \quad (6)$$

$$\text{喜び} : y_1 = 0, y_2 = 1, y_3 = 0, y_4 = 0 \quad (7)$$

$$\text{悲しみ} : y_1 = 0, y_2 = 0, y_3 = 1, y_4 = 0 \quad (8)$$

$$\text{リラックス} : y_1 = 0, y_2 = 0, y_3 = 0, y_4 = 1 \quad (9)$$

例えば、(6)式は怒り／ストレスの感性要素しか存在していない状態を意味している。しかし、普通の人々が怒りの感情だけを出すことは容易なことではない。そこで、脳機能研究所では、感情のコントロールができるように、イメージングの訓練を受けた人々によって純粋な感性要素を作成している。こうして作成された4つの純粋な感性要素の値になるように、(2)式から(5)式までの係数を求めている。こうして算定された540個の係数 ($c_{1,1}, c_{1,2}, \dots, c_{1,135}, c_{2,1}, c_{2,2}, \dots, c_{2,135}, c_{3,1}, c_{3,2}, \dots, c_{3,135}, c_{4,1}, c_{4,2}, \dots, c_{4,135}$) が感性マトリクスと呼ばれ、被験者の脳波から計算された135個

の相互相関係数のベクトル (a_1, a_2, \dots, a_{135}) が入力ベクトルと呼ばれる。この感性要素のレベルの算出方法が感性スペクトル解析法と呼ばれている。

チャンネル間の相互相関係数を求める際に、例えば10.24秒の脳波データを2つに分けて5.12秒間にわたる相互相関係数を求めると、指定した感性の状態が一定のつもりでも必ずしもこれらの値は同じになるとは限らない。これは不要な信号の混入による統計的なばらつきによるものである。このばらつきは当然感性スペクトルにも反映される。このばらつきの処理のため、感性スペクトルの値を平滑化する手法として、移動平均が用いられている。

3. 実験的考察

以上の感性スペクトル解析法を用いれば、計測された脳波から人間の4つの感性要素（「怒り／ストレス」「喜び」「悲しみ」「リラックス」）を得ることができ。すなわち、心、意識、認識、感覚などを司っているのは脳の神経回路網による情報伝達であるから、感性も神経回路網からの脳波信号を計測することにより、定量的に計測できるものと考えられる。

ここでは、音楽に対する感性評価の問題を考察する。前述のように、被験者が音楽に対して感じる心地よさや不快感なども、音楽の曲想に応じて脳の状態が変化するためではないかと考えられる。例えば、いつも聴いている曲や癒し系の音楽を聴けば、心地よさを感じ、嫌いな曲や悲しい曲を聴けば、ストレスやいらだちを感じるのもその一例である。このとき、被験者の音楽に対する感じ方の違いが脳波に現れるはずである。

3.1 脳波電極の装着

頭皮に皮下組織の電解質成分に近い組織をもったペーストを使用して電極を12個装着し、そのうちの2個の電極をグランド (GND) 用と基準用として各1本ずつ用いた。

(1) 被験者にネットを被せる (頭部全体から首まで)。

ネットの両耳の部分と顔面 (眉の位置から顎の位置にかけて) に慎重にはさみを入れ、耳と顔面を露出させる。

(2) 電極は国際脳波学会で標準方式として推奨している10/20法 (テン・トゥエンティ法) に準じて配置する。

鼻根は鼻の根元の位置であり、後頭極は正中線上の後頭部から首につながる部分であり、耳介前点は耳の穴のあたりである。各電極を、図1に示した割合で頭皮上を分割した位置に12個の電極を配置する。電極位置を見つける手順としては以下のものである。まず、

両耳介前点を結ぶ線上に、ペーストを利用して分割点に目印をつける。次に鼻根と後頭極を結ぶ線と両耳介前点を結ぶ線についても同様のことを行う。最後に、先にペーストでつけた目印を参考にして残りの電極位置を見つける。基準用電極の位置は（片方の）耳たぶとする（図中のR）。またグランド（GND）用電極の位置は、額あるいは頭頂の少し前の位置とする（図中のG）。頭部への電極装着状況と脳波の計測状況を図2に示す。被験者に電極を装着した後、脳波が安定してから測定を開始した。脳波の測定値の一例を図3に示す。各電極と接地電極間の計10チャンネルの電位差が μV の単位で表示されている。

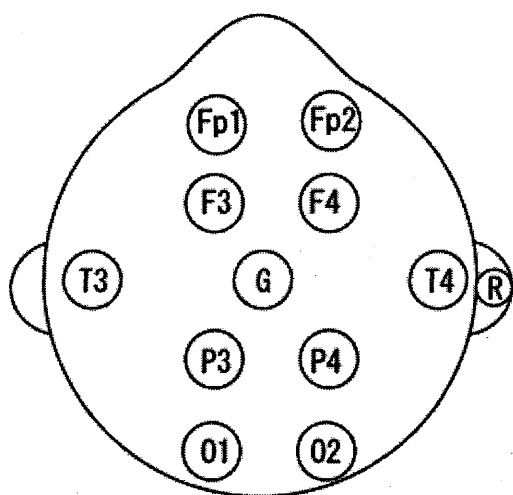
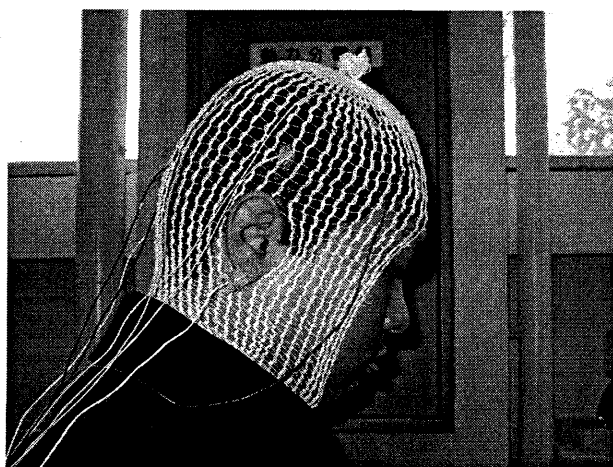


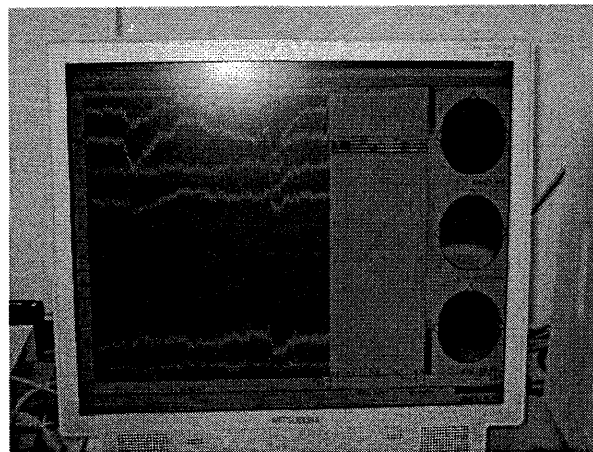
図1 脳波電極の配置図

Fig.1 Arrangement of the electrodes for brain waves.



(a) 頭部への電極装着状況

(a) Actual scene of electrodes putting on a head.



(b) 脳波計測の状況

(b) Monitor screen for measurement of brain waves.

図2 実験の状況

Fig.2 Actual scene for measuring brain waves.

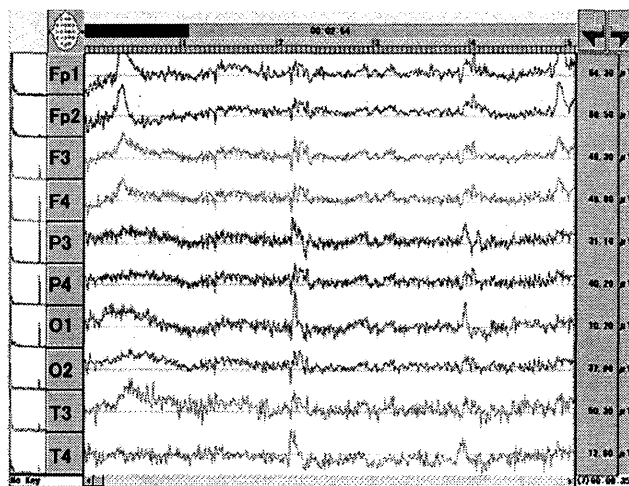


図3 脳波の側定例

Fig.3 Examples of measured brain waves.

3. 2 無音状態から長調の音楽を聴いた場合

まず、被験者が音楽を聴いたときに、感性スペクトルに変化を及ぼすかどうかを確認する。一例として長調の音楽に着目する。電極を装着して脳波が安定した後、無音状態から長調のクラシック音楽（バッハ作曲、ブランデンベルク協奏曲第5番ニ長調、2分間）を聴いた場合を考察する。感性スペクトル解析装置により得られた被験者の感性スペクトルを図4に、感性スペクトルの平均値を表1に示す。図中で感性スペクトルの波形は、上から、怒り/ストレス、喜び、悲しみ、リラックスの順に表され、縦軸は感性スペクトルの数値、横軸は時間を表している。また、図中の左側の線で示される時刻からデータを採取し、中央の線で示さ

れる時刻から音楽を流した。さらに、右側の線で示される時刻までデータを採取した。

図4及び表1から、この被験者の感性スペクトルは、喜びとリラックスの応答波形が大きいのが特徴である。この内、リラックスについては、無音状態から長調の音楽を聴いたときにその変化が有意といえるほど大きくない。この被験者にとって、長調の音楽を聴いたとき、喜びの感性スペクトル上に反応が表れていることが分かる。無音状態から長調の音楽を聴いたときに喜びの感性スペクトルの成分が増大しており、通常考えられる妥当な結果が得られた。以下、表の中で特徴的な感性スペクトルについては網掛けを入れることにする。他の被験者に対しても測定を繰り返して行った結果、4種の感性スペクトルの中で、有意な反応が出現するスペクトル成分は2種類である場合が多いことが分かった。この2種類のスペクトル成分は、被験者によりそれぞれ異なることが確認された。例えば、表1の測定結果の場合、主要なスペクトル成分は喜びとリラックスである。長調の音楽を聴いたとき、リラックスの成分には平均値としての変化がほとんどなく、喜びの成分の平均値がかなり高くなっていることが分かる。

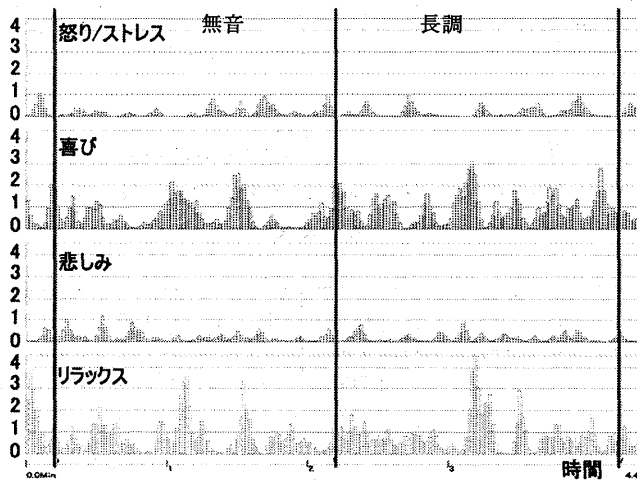


図4 感性スペクトル波形の一例

Fig.4 Example of wave forms of emotion spectrums.

表1 感性スペクトルの平均値

Table 1 Averaged values of each emotion spectrum.

	怒り/ ストレス	喜び	悲しみ	リラックス
全体	0.176	0.811	0.193	0.852
無音	0.187	0.667	0.214	0.800
長調	0.165	0.951	0.173	0.902

3. 3 曲調の変化が感性スペクトルに及ぼす影響

音楽の曲調が感性スペクトルに及ぼす影響を調べるために、以下の実験を行った。被験者は20歳代の6名の男性であり、ここで被験者A、被験者B、・・・、被験者Fと呼ぶことにする。被験者に、前述の長調の音楽（バッハ作曲、ブランデンベルク協奏曲第5番ニ長調、2分間）から短調の音楽（バッハ作曲、幻想曲とフーガト短調、2分間）に切りかえて、計4分間音楽を聴かせた。実験で得られた怒り/ストレス、喜び、悲しみ、リラックスの感性スペクトルの数値を、長調を聴いている部分、短調を聴いている部分、両者を含んだ全体に分けて平均値を算出した。被験者Aに対する測定結果を図5と表2に示す。図中の左側の線で示される時刻からデータを採取し、中央の線で示される時刻で曲を切りかえ、右側の線で示される時刻までデータを採取した。これらの図や表から、被験者Aは怒り/ストレスのスペクトル成分の変化に特徴が見出せる。曲調の変化が感性スペクトルに与える影響は、怒り/ストレスに有意な差となって表れている。長調から短調に変化したとき、怒り/ストレスのスペクトル成分が増大しており、これは通常考えられる感性の変化である。ページ数節約のため、被験者Bから被験者Dの3名の測定結果のみを以下に示す。

3. 4 結果の検討

大多数が共通に抱く感性は公共的主観性が高いものと考えられており、客観性が強いことを意味している[10]。従って、曲調の変化に対する大多数の感性の変化を次のように考えた。すなわち、長調の曲を聴くと怒り/ストレスと悲しみが低くなり、喜びとリラックスが高くなると考えられる。一方、短調の曲を聴くと怒り/ストレスと悲しみが高くなり、喜びとリラックスが低くなると考えられる。

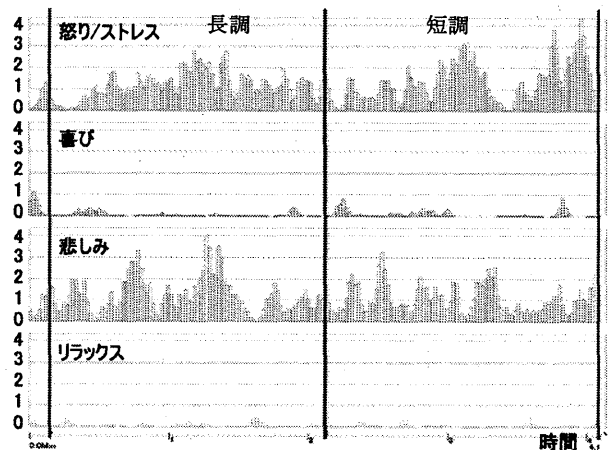


図5 感性スペクトルの波形（被験者A）

Fig.5 Wave forms of emotion spectrums (Subject A).

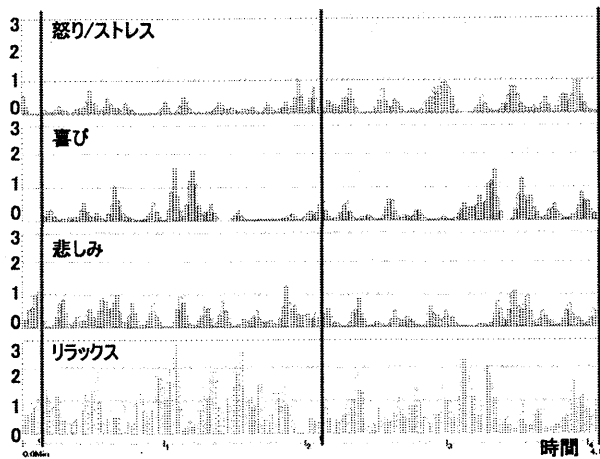


図6 感性スペクトルの波形 (被験者 B)
Fig.6 Wave forms of emotion spectrums (Subject B).

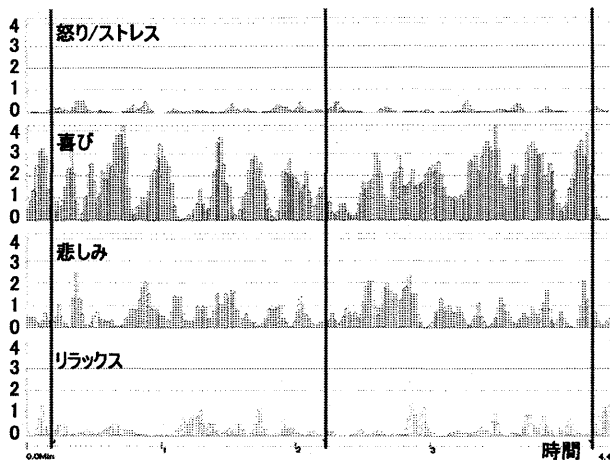


図7 感性スペクトルの波形 (被験者 C)
Fig.7 Wave forms of emotion spectrums (Subject C).

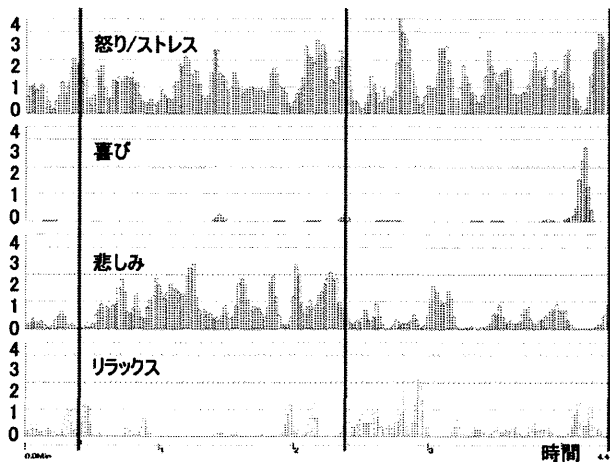


図8 感性スペクトルの波形 (被験者 D)
Fig.8 Wave forms of emotion spectrums (Subject D).

表2 感性スペクトルの平均値(被験者 A)
Table 2 Averaged values of each emotion spectrum (Subject A).

	怒り/ ストレス	喜び	悲しみ	リラックス
全体	1.313	0.078	1.189	0.054
長調	1.189	0.058	1.265	0.057
短調	1.436	0.097	1.114	0.052

表3 感性スペクトルの平均値(被験者 B)
Table 3 Averaged values of each emotion spectrum (Subject B).

	怒り/ ストレス	喜び	悲しみ	リラックス
全体	0.238	0.260	0.310	0.847
長調	0.193	0.249	0.373	0.945
短調	0.290	0.288	0.272	0.773

表4 感性スペクトルの平均値(被験者 C)
Table 4 Averaged values of each emotion spectrum (Subject C).

	怒り/ ストレス	喜び	悲しみ	リラックス
全体	0.095	1.706	0.723	0.292
長調	0.116	1.539	0.675	0.296
短調	0.073	1.877	0.772	0.288

表5 感性スペクトルの平均値(被験者 D)
Table 5 Averaged values of each emotion spectrum (Subject D).

	怒り/ ストレス	喜び	悲しみ	リラックス
全体	1.272	0.059	0.695	0.296
長調	1.233	0.012	1.004	0.189
短調	1.310	0.104	0.390	0.402

被験者6名に対する測定結果から、次のことが明らかになった。各被験者から得られた感性スペクトルの測定値の中から、もっとも大きな値が出現するスペクトル成分に着目する。長調から短調に曲調が変化したとき、各被験者から得られた感性スペクトルの特徴は、次のようである。被験者Aは怒り/ストレスが高くなり、被験者Bはリラックスが低くなり、被験者Cは喜びの値が高くなり、被験者Dは怒り/ストレスが高くなり、被験者Eはリラックスが低くなり、被験者Fは悲しみが高くなることが確認された。これらの結果から、被験者A、被験者B、被験者D、被験者E及び被験者Fに見られる感性スペクトルの変化は、通常考えられる上述の変化と一致する。被験者Cの反応は、特異な例であるといえよう。これは被験者本人が短調の音楽を好むためと考えられる。このように、感性スペクトルは被験者の嗜好性に影響されるものである。被験者の嗜好性をも考慮しながら、いかに合理的に調査項目を採用してゆくかが今後の課題となるものの、感性スペクトル解析によって、このような音楽の感性評価が可能であると思われる。

4. 結言

人間の感性を評価するとき、目的とする対象が直接測定できない場合が多い。従来、このような問題を取り扱う場合、アンケートやインタビューなどを用いた評価方法がしばしば採用されている。しかし、この評価方法では、被験者の記憶に依存し、評価を行う人物の主観や能力の影響を受ける可能性がある。このような状況から、物理量の計測を通して、感性を評価する手法を確立することが重要な課題となっている。これらの観点から、被験者の脳波を計測して感性スペクトルを解析する手法が提案されている。この提案手法が感性スペクトル解析法と呼ばれるものであり、さまざまな分野の感性評価に適用されるようになってきた。

本研究では、音楽の曲調に対する感性評価に着目する。具体的には、被験者6名を対象とし、長調のクラシック曲から短調のクラシック曲に切りかえたときに、曲調の変化が与える感性スペクトルへの影響を検討した。すなわち、感性スペクトル解析装置を用い、脳波から怒り/ストレス、喜び、悲しみ及びリラックスの4つの感性要素に分解した。被験者のもつ特徴的な感性スペクトルに着目し、曲調の変化が感性スペクトルに及ぼす影響を調べた。その結果、感性スペクトル解析によって、このような音楽の感性評価が可能であると思われる。

実験においては、クラシックの2曲のみを採用した。今後の課題として、作曲者別や演奏者別でさまざまな

ジャンルの音楽を採用し、感性スペクトルをさらに多くの被験者に対して測定を繰り返し、より確固たる結論を導く必要がある。脳波といった物理量の計測値より得られた評価結果が、主観的な感性を正確に把握できるかどうかについては心理学的アプローチとの比較検討が必要である。すなわち、感性スペクトル解析法によって得られた結果と従来型のアンケートによる評価とを比較検討する必要もある。もともと主観的な感性評価を、脳波による物理量の計測のみですべてを把握することができるものではないと思われる。感性スペクトル解析法により、どの程度感性が把握できるのか、その可能性について、今後のさらなる研究が必要不可欠である。

謝辞

本研究に多大の援助を頂いた前田真也氏、中浦正憲氏、田淵聡明氏に深謝の意を表す。さらに、被験者として協力して頂いたシステム制御工学研究室の関係各位に感謝する。

参考文献

- [1]S. Stevens, Handbook of experimental psychology, Wiley, New York, 1951.
- [2]岩下豊彦, SD法によるイメージの測定, 川島書店, 1992.
- [3]吉田正昭, 心理統計学, 丸善, 1976.
- [4]西村恒彦, 最新脳SPECT/PETの臨床 脳機能の検査法, メジカルビュー社, 2002.
- [5]西村恒彦, クリニカルPET 一望千里, メジカルビュー社, 2004.
- [6]T. Musha, H. Terasaki, H. Haque and G. Ivanitsk, Feature extraction from EEGs associated with emotions, Artificial Life and Robotics, 1997, pp.15-19.
- [7]武者利光, 「こころを」を測る, 日経サイエンス, 1996, pp.20-29.
- [8]田垣内博一, 感性によるソフトウェアのユーザビリティの評価, UNISYS TECHNOLOGY REVIEW, 第64号, FEB., 2000, pp.103-114.
- [9]T. Musha, S. Kimura, K. Kaneko, K. Nishida and K. Sekine, Emotion spectrum analysis method for monitoring the effects of art therapy applied demented patients, CyberPsychology & Behavior, 2000, pp.451-456.
- [10]井口征士, 猪田克美, 小林重順, 田辺新一, 長田典子, 中村敏江, 感性情報処理, オーム社, 1994.
- [11]柳井晴夫, 多変量解析, 心理学辞典, 平凡社, 1979.
- [12]中村敏江, 難波精一郎, 八木素子, 桑野園子, 加藤 徹, 石橋 博, 桜林 仁, ピアノ演奏技法の評価について

ーレベルレコーダによる分析と鑑賞態度との関係一、
大阪大学教養部研究集録、第 27 輯、1979、pp.21-37.

[13]中村敏江、調の性格に関する音楽心理学的研究、大阪
大学教養部研究集録、第 33 輯、1985、pp.3-16.

[14]武者利光、人が快・不快を感じる理由、河出書房新社、
1999.

[15]石川陽事、脳波と夢、コロナ社、1994.

[16]柴崎 浩、米倉義春、脳のイメージングー脳のはたら
きはどこまで画像化できるか、共立出版、1994.

[17]感性スペクトル解析装置 (ESA-16) 取扱説明書
Ver.1.0、株式会社脳機能研究所、株式会社エヌエフ回
路ブロック、1996.

[18]臼井支朗、インターユニバシティ信号解析、オーム
者、1998.