

## 研究報告

# 長調と短調を聴取時の脳波データを活用した音場コントロールおよび楽曲生成 Control of Sound Field and Music Generation using EEG while listening to music in major and minor keys

井上 英章

Hideaki INOUE

名古屋市立大学大学院芸術工学研究科

Graduate School of Design & Architecture, Nagoya City University

## 概要

本研究は、長調と短調における印象の違いを脳波測定によって考察し、さらにはその脳波データの可聴化を試みたものである。まず、長短の印象の違いを明確にするために、*C* を基準とした各音階音との二声と和音における印象度のアンケートを実施した。次に、長調から短調、短調から長調に転調する楽曲ドヴォルザーク《ユーモレスク》(op.101 No.7) を対象にし、これを聴いた時の脳波変動を計測した。この曲は、 $G^b$  音上のキーで、展開部分は主和音が ( $G^bm$ ) の短三度を中心とするモードに変化し、「絶望的」とも言える程寂しく変化する。計測した脳波データを可聴化する試みとして、MIDI データ化による 4 チャンネル・オーディオの音場コントロール、および、そのデータを長調・短調に変化させるアルゴリズムによって楽曲生成を行った。

The purpose of this study is to examine the difference in impressions between the major and minor keys generated by the EEG and also to generate an audible EEG response. Firstly, in order to clarify the difference between the major and minor keys, a survey on the degree of impression of the two-note chord, with each scale note based on *C* note, was conducted. Then, the EEG fluctuations were measured while listening to Dvořák "Humoresque" (op.101 No.7). In this music, the  $G^b$  key has been changed to the  $G^bm$  key. In an attempt to make the EEG data audible by MIDI data conversion, the sound field of the 4-channel audio was controlled and the music was generated by an algorithm that changes this data into major and minor keys.

## 1. はじめに

一般的には、「長調は楽しい短調は悲しい」と言われる。しかし、インドの伝統音楽では西洋音階の短調

によく似た音階から幸福の踊りを表現するものもあり、普遍的なものではない。西洋音階における長三和音と、短三和音の違いは、*C* をトニックとした場合、ドミソとドミ $^b$ ソで 3 度の音の半音の違いのみである。しかし、この「一部の」違いだけで、印象度は大きく異なる。5 度の音はドミナントで共通のため、これを省略し、*CE* と  $CE^b$  をピアノで鳴らした時のスペクトル波形を (図 1) に示す。 $CE^b$  の方が、塊感があり、また、オクターブ上の  $B^b$  が発生している。これが、音の分別を難しくし、不安・寂しいを感じさせる要因の一つと推測する。長調・短調の音楽を聴いた時の感情は数値データとしては計測できないので、脳波測定により、この傾向が捉えられないか考えた。長短和音の聴取時の印象度と脳波変動を紐付けすることができれば、脳波をトリガーとして感情をストレートに表現した音楽を生成することが可能となり得る。これが最終的な目標である。

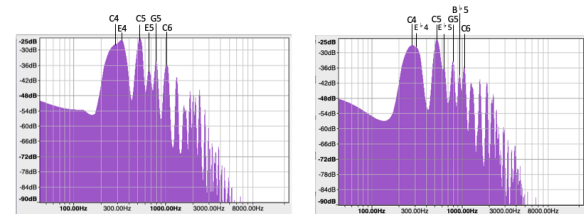


図 1: 左が *CE*, 右が  $CE^b$  のスペクトル波形  $CE^b$  では  $B^b$  の周波数が出現している。

## 2. 脳波計

脳波計は EEG(electro-encephalography) を簡易に測定できる EMOTIV INSIGHT(図 3) および、データ処理アプリ EMOTIV PRO を使用した。この装置は、ヘッドバンドのように簡易に装着することができ、データは、

ワイヤレス (Bluetooth 4.0LE) で PC に送られる。このため、EEG データ (脳波の変動電位) が簡易に計測でき、手軽に脳波の研究に活かすことができる。先行研究では、三和音に対する脳活動を fMRI(functional Magnetic Resonance:磁気共鳴画像装置) で調査したものもあるが、実験が大がかりであり、事後の画像データの加工利用が困難であるため、EEG 方式を採用した。INSIGHT は、5ch の脳波計測が可能で、測定箇所は標準電極配置法である拡張 10-20 法のうち、AF3,AF4,T7,T8,Pz である (図 4)。音楽との関係性があるとされる、前頭葉と側頭葉のデータで必要十分とした。装着にあたっては、(図 4) のように 6 箇所全ての電極のインジケータが緑色となり、確実に 頭部に付着していなければならず、安定装着するためには、試行錯誤を必要とする。



図 2: 脳波計 EMOTIV INSIGHT

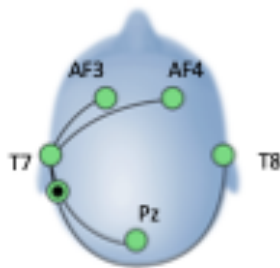


図 3: INSIGHT EEG 測定箇所

### 3. 長 3 度、短 3 度の違い

#### 3.1. 2 音声アンケート

C を基準として、 $D^b, D, E^b, E, F, G^b, G, A^b, A, B^b, B$ , オクターブ上の  $D^b, D$  との 2 声和音を聞いた時の印象についてアンケートを実施した。3 和音とすると、2 個目の音階を順にあげていった場合に、3 個目の音階を設定するのが難しいため、2 音声でのアンケートとした。実施対象は、20 歳前後の大学生 34 名 (男子 15 名、女子 19 名)、このうち音楽経験あり 23 名、なし 11 名であった。音源はあらかじめ録音しておいたピアノの音

を用いた。評価尺度として SD 法を用いて、「不安定な-安定した」「暗い-明るい」「バラついた-まとまった」「違和感あり-違和感なし」「悲しい-楽しい」「汚い-綺麗な」の 6 種の質問に対し、6 段階で評価してもらった。そのうち、 $CE$  と  $CE^b$  の「楽しさ」については (図 2) のような正規分布となり、 $CE$  に比べ  $CE^b$  の方が「悲しく」聞こえるということが明確となった。しかし、音楽経験者が 23 名いることから、音階を認知して回答していることも考えられ、今後も対象の幅を広げていくことが必要である。

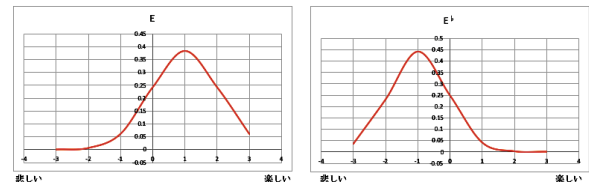


図 4: 学生 34 名の「悲しい-楽しい」の正規分布図。左が  $CE$ , 右が  $CE^b$ 。印象度は異なり、 $CE^b$  の方が悲しいと感じる人が多い。

#### 3.2. 2 音声 脳波測定

アンケートで違いが出た、 $CE$  と  $CE^b$  のピアノ音聴取時の脳波  $\alpha$  波を著者自身で計測したところ、band-power 値 (各 30 回平均) が  $CE$  は 2.4592、 $CE^b$  は 1.5223 と  $CE$  の方が  $\alpha$  波が多く検出された。 $\alpha$  波は、8-12Hz の帯域の脳波で、リラックスしている時に発生すると知られているが、活動的で集中している時や不安な思考がある時には、 $\alpha$  波が減衰することも観察されており、感覚への積極的な抑制に関わることも示唆されている。

### 4. 《ユーモレスク》を聴取

《ユーモレスク》は、音場コントロールする際に、広がり感が出るよう、ピアノ独奏ではないものを選択し、*violin: ANNE-SOPHIE MUTTER, piano: Ayami Ikeba* が演奏するものを用いた。聴取方法は、ヘッドホンでの聴取とし、筆者を含め 4 人の脳波を測定し加算平均を行った。

#### 4.1. データ処理

聴取した際のデータについては、当初、EEG の電位変動データ (図 5) そのものを利用しようと考えたが、データは 128 サンプル/秒 (約 8ms 毎) で取得されるため、3 分 30 秒の楽曲をエクセルデータにすると、約 45,000 行となる。データ量が膨大で信号処理

が複雑となる上、長調から短調に変化するという楽曲の和音進行による特異な変化を見出すのが困難なため、Hanning window の FFT を施した  $\alpha$  波データを取り扱うこととした。これも EMOTIV PRO により自動表示される (図 6)。CSV で書き出された  $\alpha$  波データは 128ms 毎のため、Excel にて 1 秒毎のデータに再構成し、これを Python で読み込み、MIDI データ化を行った。

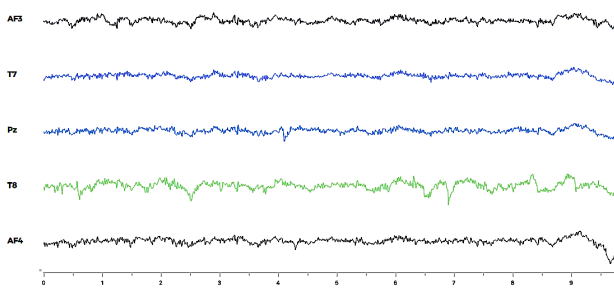


図 5: 測定された EEG データ画面

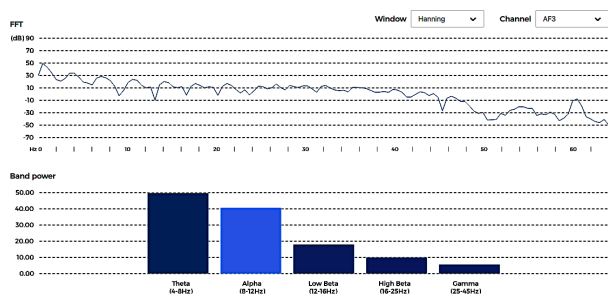


図 6: FFT と Theta, Alpha, LowBeta, HighBeta, Gamma の各脳波レベル

## 4.2. 音場コントロール

このデータにより、MIDIのパラメータのうち Velocity 値を変換させる。このため、データは整数化して最大値は 127 までとなるよう調整した。この MIDI データを音楽制作向きプログラミング言語 MAX にて、音場定位を行なった。脳波計測の 4 つの位置、AF3, AF4, T7, T8 を前後左右 4 個のスピーカのボリュームに割り当て、脳波データで得られた Velocity 値でコントロールしている (図 7)。背面スピーカーは、L-R, R-L とし、広がりを持たせることで、変動を緩やかにすることができた。また、データは 4 サンプルの加算平均のためデータの偏差が少なくなり、変動が緩和化した。

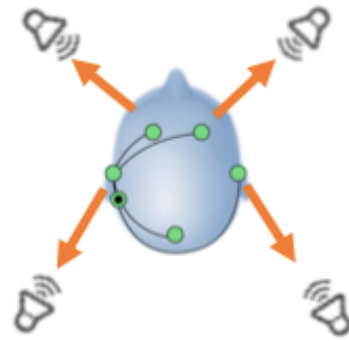


図 7: それぞれの脳波データで音量をコントロール

## 4.3. 楽曲生成

次に、再構成した Excel データを Python で MIDI データの pitch パラメータ (音階) に変化させた。まず、データ  $D_x$  を整数化し、それを 2 倍にして 34 を加える。これを  $M_x$  とする。

$$M_x = 2INT(D_x) + 34$$

2 倍をしたのは、データを音階として差を広げるためであり、最低の音階を  $C2(\text{Note Number:}36)$  としている。また、高域は  $B4(\text{Note Number:}71)$  までとし、それ以上のデータは全て 71 とした。得られた  $M_x$  を 12 で割り、ピッチクラス・ナンバー (pcn) (図 8) と整数の商 ( $P_x$ ) を出す。

$$M_x = 12P_x + pcn$$

データは、4 箇所あるため、4 声と音を奏でられるように組み立てを行った。和音は、 $C$  をトニックとする II-V-I の 4 声と音とし、 $CM7$  ( $Cm7$ )、 $Dm7$  ( $D\phi$ )、 $G7$  の構成音が出るようにプログラミングした。AF4 の  $M_x$  は、根音の 0, 2, 7 をベース音として  $C2, D2, G2$  で鳴るようにした ( $Ma_x$ )。また、T7 は第 3 音の 4(3), 5, 11、T8 は第 5 音の 7, 9(8), 14、AF4 は第 7 音の 11, 12, 17 とするようにした ( $Mb_x$ )。T7 の第 3 音と T8 の第 5 音は、 $\alpha$  波のレベルによって変化させる。一般的に  $\alpha$  波は、リラックスしているときに発生すると言われていることから、 $\alpha$  波が低レベルの時は ( $M_x$  が 37 以下の時は)  $CM7$  の構成音の  $E(\text{pcn:}4)$  が、 $Cm7$  の構成音である  $E^b(\text{pcn:}3)$  に、及び、 $Dm7$  の構成音の  $A(\text{pcn:}9)$  が、 $D\phi$  の構成音である  $A^b(\text{pcn:}8)$  となるようプログラミングを行なった (図 9)。この変化させた pcn を  $pcn'$  とし、これで音階を再構成した。 $Mb_x$  は、 $Ma_x$  のベース音に対し、1 オクターブ上とした。

$$Ma_x = 36 + pcn'$$

$$Mb_x = 12P_x + pcn' + 12$$

生成した楽曲のうち、《ユーモレスク》の冒頭部分を（図 10）上段、短調（ $G^b m$ ）に転調した部分を（図 10）下段に示す。これは MIDI データなので、多種多様に応用することができる。今回は、DTM ソフトによってテンポを 256 に設定してスピード感を出し、音色はベース音をエレクトリックベース、他はアタックが柔らかで聞き取りやすいマリンバの音とした。

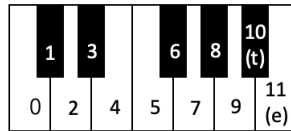


図 8: ピッチクラス・ナンバー 10,11 は t,e とも表記される

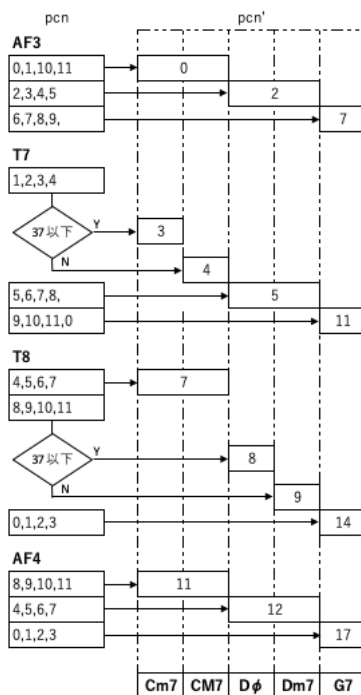


図 9: ピッチクラス・ナンバー (pcn) をコードを構成している右の数字 (pcn') に変換

## 5. まとめ

脳波データを音場コントロールとして可聴化することにより、普段は感じることもない、曲を聴いている時の脳の働きを簡易に示すことができた。サンプル数を増やせば、曲調の変化による一般的な脳の働きを示すことができる。データによる楽曲生成においては、各ポイントでの脳波データで和音を構成し、 $\alpha$  波のレベルで曲調を変化させる試みを行なったが、コード全



図 10: 生成した楽曲の一部 上段は冒頭部分、下段は転調時

体に変化するのではなく、構成音に変化してるだけなので、全体的に変化が乏しく単調な曲となった。また、レンジの広い脳波データを幅の狭い音域に変換しているため、表現に限界が出てしまう。このため、 $\alpha$  波に対応したアルゴリズムを更に工夫する必要がある。脳波データを MIDI データにすることにより、今後は、映像や環境の変化に伴う脳波の変動を音楽にして表現することができる。また、これをリアルタイムで処理すれば、脳波による生演奏も可能になる。2020 年 1 月にラスベガスで開催された CES（世界最大級の電子機器見本市）では、脳波を測定し、それに合わせてリラックスさせる音楽を鳴らして睡眠を促進する機器も出展されている。今後もますます脳波の一般的な利用と、音楽への応用は進むと考えられる。本稿では、音楽の和音進行による EEG や  $\alpha$  波の顕著な変化を定義づけることはできなかった。今後はサンプル数を増やし、 $\alpha$  波のみならず、事象によって脳波変動が発生するとされる事象関連電位（event related potential: ERP）も含め、脳波と音楽の関係性を掘んでいくことが課題である。

## 6. 参考文献

- 橋本梓, 2011 「音楽的文脈の認知を反映する事象関連電位に及ぼす注意の効果」, 広島大学大学院教育学研究科紀要第三部第 60 号, pp225-232
- 根本幾, 2013 「音楽における長調と短調から受ける明暗の感覚の神経生理学的基礎の研究」, 科学研究費助成事業研究結果報告書
- 高橋雅良ほか, 2012 「和音進行聴取における脳機能計測および印象評価」, 日本認知心理学会第 10 回大会
- 伊藤也太, 寺崎凌也, 漢那拓也, 2019 「モーションの取得と脳波の測定による意識と無意識とが相関した演奏表現システムの研究」, 先端芸術音楽創作学会会報 Vol11, No.1, pp.20-28
- 藤原隆史, Norman D.Cook, 長田典子, 片寄晴弘, 2006 「和音認知に関する心理物理モデル」, 情報処理学会報告, 音楽情報科学 66, pp.99-104

- 山本由紀子, 仁科エミ, 大西仁, 2015 「協和感研究の動向と課題」, 認知科学 22(2), pp.282-296
- 河西哲子, 2016 「脳波があらわす心の課程」, 脳科学と心理学 (2), 日本心理学会, 心理学ワールド (75), pp.5-8
- S. ケルシュ/佐藤正之 (訳), 2017 『音楽と脳科学』, 北大路書房.
- ジョン・パウエル/小野木明恵 (訳), 2017 『響きの科学』, 早川書房.
- 入戸野宏, 2017 『事象関連電位ハンドブック』, 北大路書房.

## 7. 参考作品

- ドヴォルザーク, «*Humoresque op 101 no.7*» Anne-Sophie Mutter(vl), Akemi Ikeba(pf), 00289 479 1060
- 井上英章, 2020, «*Brainmusic20200327*»  
<https://soundcloud.com/user-436692734/brainmusic20200327-20200308-1203>

## 8. 著者プロフィール

### 井上 英章 (Hideaki INOUE)

名古屋市立大学大学院芸術工学研究科博士前期課程に社会人大学院生として在学中。名古屋テレビ放送技術局在籍。かつては、音声技術者としての業務にあたり、駅伝・サッカーなどのスポーツ中継、ワイドショー、ドラマ、長野オリンピック、ソルトレークオリンピックなどを経験。現在、名古屋市立大学水野研究室にて、脳波と音楽について研究中。



この作品は、クリエイティブ・コモンズの表示 - 非営利 - 改変禁止 4.0 国際 ライセンスで提供されています。ライセンスの写しをご覧になるには、<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> をご覧頂るか、Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA までお手紙をお送りください。