

研究報告

機械学習を利用した脳波データによるリアルタイム楽曲生成

Music generation in real-time using SVM on EEG data

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、あらかじめ測定した音楽聴取時の脳波データを用い、機械学習の一種であるサポート・ベクター・マシン (SVM) を利用して楽曲生成プログラムを作成し、それにより、リアルタイムの脳波データによって楽曲生成を試みたものである。脳波計は、簡易脳波計である Emotiv Insight を使用した。脳波測定の音楽刺激には、Beethoven の交響曲第 6 番第 3 楽章と Barber の弦楽のためのアダージョを用い、印象評価には、arousal-valence を評価軸とした。その測定結果を参考に、脳波データをそのまま音符にする「直接可聴化」と、arousal-valence の plus-minus 評価を SVM で識別し、メジャーコード、マイナーコードの伴奏を選択する「音楽化」を組み合わせた作曲アルゴリズムを作成し、リアルタイムでの楽曲生成を試みた。今後は、生成された音楽を聞くことで更に変動する脳波のフィードバックについて研究を進める。

This study attempts to generate music with real-time EEG data. I used the EEG data collected from people who listened to music that was measured in advance and created a music generation program using a Support Vector Machine (SVM). The EEG meter was set to "Emotiv Insight." For music stimuli, I used the third movement of Beethoven's Symphony No. 6 and Barber's Adagio for Strings. Arousal-valence was adopted for the impression evaluation. Using the results, a composition algorithm was created, and real-time generation of songs was attempted. The algorithm combined two methods: "direct sonification" directly translates EEG data to sound, and "musification" identifies the plus-minus rating of arousal-valence using an SVM and selects a major or minor key accompaniment. Research will be continued on fluctuating EEG data captured while the study participants are listening to the generated music.

1. はじめに

音楽聴取時の脳波変動については、D.Sammler ら (2007) 及び L.Rogenmoser ら (2016) など、多くの研究報告がされており、音楽と脳波は密接な関係にあるといえる。そして、脳波 (EEG: electroencephalogram) の音楽への活用は、BCMI (Brain Computer Music Interface) と呼ばれ、古くから多くの研究がされている。そこで、本研究では脳波測定の結果をもとに、楽曲作成アルゴリズムを作成し、楽曲生成を行なった。

また、作成したアルゴリズムを利用し、画像刺激によってリアルタイムに楽曲を生成させた結果についても報告する。

2. BCMI の経緯

BCMI の最初の例として有名なのは、1965 年に作曲家の Alvin Lucier が "Music for Solo Performer" にて、自分の頭に電極をつけ、その信号を増幅して、EEG の特徴的な低周波振動によって打楽器の表面と膜を振動させるパフォーマンスを実施した。これは、科学的というより、むしろ芸術作品であった。

1970 年代初頭、David Rosenboom は、EEG で音楽を生成する可能性について体系的な調査をし、BCMI における大きなステップとなった。また、1980 年代には、EEG 信号と MIDI 信号のインターフェースを開発している。

21 世紀になると、Miranda and Soucayet (2008) が、EEG の α 波 (8-13Hz) と β 波 (この論文では 13Hz-40Hz) を利用して、音楽ミキシングの制御を行った。さらに、Miranda (2014) は EEG 信号を MIDI 信号に変換しピアノを演奏する、BCMI-Piano を作成している。これは、EEG のうち、 α 波を検出すると、シューマン風の音楽フレーズが生成され、 α 波以外を検出すると、ベートーベンのソナタ風の音楽フレーズが生成された。

感情の状態から音楽を生成する試みとして、Wallis ら (2008) は、Russel (1980) の感情モデルの 2 つの要素であ

る, arousal (覚醒度) と valence (感情価) の概念で設計された音楽生成器を作成した。さらに, Williams ら (2015) は, 特定の感情目標へ意図的に誘導する音楽を生成するため, コンピュータ作曲と感情の評価を組み合わせた AAC (Affectively-Driven Algorithmic Composition) というアルゴリズム・システムについて解説している。

Daly ら (2016) は, 感情への応用に一步踏み込み, arousal (覚醒度) と valence (感情価) の概念を使用し, 特定の感情ターゲットに従って生成された音楽を再生することで, ユーザーの感情をそのターゲットに近づける aBCMI (affective-BCMI) を開発している。ここでは, ユーザーの現在の情動状態を識別するために, 機械学習の SVM (サポートベクターマシン) を使用している。

Deuel ら (2017) は, 視覚皮質の後頭部優位律動 (PDR) または運動皮質のミュリズムのからの α 波 (8-12 Hz) で音楽スケールを制御するエンセファロフォン (Encephalophone) と呼ぶ合成ピアノを作成した。

また, Ehrlich ら (2019) は, 初めに音楽刺激で被験者ごとにキャリブレーションを行い, そこで記録された EEG データに基づいて, 被験者個々の感情分類モデルを自動構築した。そして, 音楽生成の制御パラメータを tempo, rhythm, loudness, pitch, mode の 5 つとして arousal と valence を数値で設定することで目標感情に誘導する音楽生成器を作成した。さらに, 宮本ら (2020) は, Ehrlich らの音楽生成器を応用し, 音楽生成器からの音楽を聴いてさらに新たな音楽を生成するフィードバックシステムの構築を試みた。

3. 音楽聴取時の脳波変動の先行研究

音楽聴取時の脳波変動に関する先行研究においては, Rogenmoser らが, 音楽と感情に関与する脳領域を特定し, 脳波における θ 波 (4-7Hz), α 波 (8-13Hz), β 波 (14-30Hz) の変動を報告している。実験では, 40 種類の楽曲を, arousal と valence の感情モデルを使用して特徴付けをし, arousal は右後部 α 波の抑制に関連し, valence は悲しみと比較して喜びを誘発する音楽刺激に反応して, 左前頭葉の θ 波の増加に関連している, と報告している。

4. 本研究の方針

本研究では, 初めに, 音楽聴取時の脳領域の脳波変動を測定する。脳波計には, BCMI で利用することを目的とするため, 高度な医療用機器ではなく, 可搬性や装着性に優れたヘッドバンド型の簡易な脳波計である Emotiv Insight を使用して, Rogenmoser らと同様な実験結果が得られるかを検証する。

次に, この簡易脳波計による検証結果をもとに, 脳波を利用した楽曲生成を行う。Miranda (2011) は, EEG を

使用して音楽を作成するための 3 のアプローチは, 直接可聴化 (direct sonification), 音楽化 (musification), および制御 (control) と述べている。例えば, Alvin Lucier の演奏は, 「直接可聴化」, Miranda の BCMI-Piano は「音楽化」と言える。そこで, 本論文では, EEG データをそのままメロディとする「直接可聴化」と, EEG データを機械学習の SVM によって, arousal-valence の状態を判断し伴奏コードを選択する「音楽化」のハイブリッドとし, 先行研究を参考に独自のアルゴリズムを作成する。

5. 脳波測定

本実験では, Emotiv Insight を用いて, 悲しい, 楽しいが惹起できる楽曲聴取時の脳波変動について, L.Rogenmoser らの研究を参考に, 音楽の聴取に影響されるとする θ 波, α 波を対象として検証する。

5.1. 被験者と音楽刺激

17 人の被験者 (男性 6 人, 女性 11 人, 18~60 歳, $M=30.53, SD=14.13$) が実験に参加した。被験者のうち右利き 16 名, 左利き 1 名であった。本実験は, 名古屋市立大学大学院芸術工学研究科の研究倫理委員会の承認を得て行った。音楽刺激は, 先行研究を参考に, 楽しい・悲しいの情動が惹起できる音楽として, オーケストラ演奏による長調・短調の下記のクラシック 2 曲を選択した。

(1) Beethoven, Symphony no.6 (3rd Mvt.) (F major, Allegro) (CD, S.Celibidache & Münchner Philharmoniker, 1993) (以下 Beethoven)

(2) Samuel Barber, Adagio for Strings (B minor, Adagio) (CD, M. Honeck & Pittsburgh Symphony Orchestra, 2013) (以下 Barber)

Beethoven は, 冒頭からの 3 分間を使用, Barber は, 開始後 3'45 からの 3 分間を使用し, 音量の変化により被験者が驚くことがないように, 音楽の開始と終了時には 2 秒間のフェードイン, フェードアウトを, また, 音量が大きくなる部分については, 聴感上平坦となるよう, DAW の GarageBand によりボリューム調整のみを施した。

5.2. 印象評価

本研究では, 脳波を活用した楽曲生成のために, arousal と valence の評価軸を採用する。評価測定には, M.M.Bradley ら (1994) が提唱する SAM (Self-Assessment Manikin)

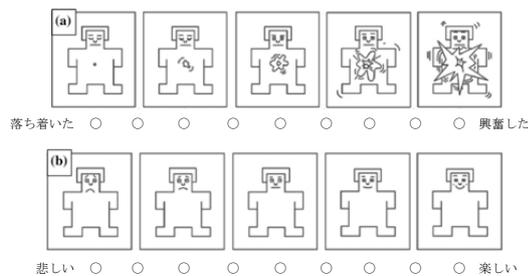


図 1: SAM：上段が arousal，下段が valence

(図 1) を利用した。評価は、Russell の円環モデルにおいて、arousal 軸では excited (興奮した) – calm (落ち着いた) を、valence 軸では、日本語的にわかり易い、happy (楽しい) – sad (悲しい) を使用し、被験者には音楽聴取直後に、-4 (落ち着いた) から +4(興奮した)、-4 (悲しい) から +4(楽しい)、の 9 段階評価として印象度をマークしてもらった。ここで、arousal ,valence それぞれ、plus の値で評価したものを plus 評価、minus の値で評価したものを minus 評価と呼ぶ。

5.3. 脳波計

脳波計は Emotiv Insight を使用した。Insight はヘッドバンド型の簡易な脳波計で、脳波計から PC へ Bluetooth でデータが送信されるため、結線に束縛されず自由度がある。PC からは Emotiv サーバと通信し、アプリによってそのデータが可視化される。また、正常に取得された脳波と判断されると、EEG-Quality のインジケータが緑色に点灯する。Insight は拡張型国際 10-20 方式の AF3,AF4,T7,T8,Pz の 5 ポイントが測定可能である。

5.4. Beethoven と Barber の印象度結果

参加者 17 名の Beethoven と Barber を聴取時の arousal と valence の評価結果を図 2 に示す。arousal の評価は、Beethoven(M=0.29,SD=1.77), Barber(M=1.12,SD=2.35) で、ともに加算平均が plus 評価となったものの、2 曲間で有意な差は見られなかった ($t(16)=-1.17,P=0.26$)。valence の評価は、Beethoven (M=2.76,SD=1.00), Barber (M= -2.06,SD=1.47) となり、Beethoven の加算平均は Plus, すなわち楽しく聞こえ、Barber の加算平均は minus, すなわち悲しく聞こえる結果が出た ($t(16)=9.76,P<0.0001$)。

5.5. arousal 評価別の後頭部 (Pz) の α 波の比較

Rogenmoser らによると、音楽聴取時の arousal は、後部 α 波の抑制に影響があると報告がある。そこで、被験

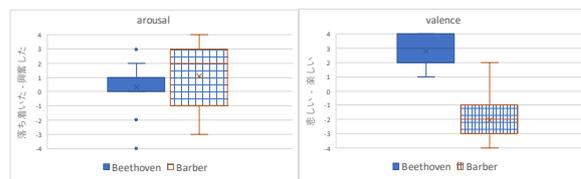


図 2: Beethoven と Barber を聴取時の評価値
左：arousal 右：valence

者 17 名のうち、後頭部 (Pz) ポイントにて EEG-Quality を満足し、脳波波形を正常に取得できた 10 名 (男性 3 名、女性 7 名、18 歳～60 歳、M=34.3,SD=18.67, 右利き 9 名、左利き 1 名、うち、プロの音楽家(作曲家)3 名) で評価を行った。被験者 10 名 (2 曲のため、のべ 20 名) の arousal が plus 評価の場合 (12 名) と minus 評価の場合 (7 名) で分け (0 評価が 1 名)、 α 波の Band Power を比較した。その結果、arousal を plus 評価した α 波は、他の周波数帯に比べ増加していないことがわかった (図 3)。すなわち、plus 評価時で α 波が抑制している、もしくは minus 評価時では α 波が増加している、と考えられる。

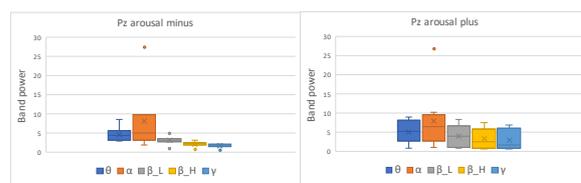


図 3: Pz での arousal の minus 評価 (左), plus 評価 (右) の各周波数帯の Band Power の比較

5.6. valence 評価別の左前頭葉 (AF3) の θ 波の比較

左前頭葉について、Rogenmoser ら及び D.Sammler ら (2007) によると、楽しい情動を誘発するなど積極的に評価された音楽に反応して、 θ 波が増大するとの報告がある。そこで、被験者 17 名のうち、AF3 を含む全ポイントで EEG-Quality を満足し、脳波波形を正常に取得できた 5 名 (男性 3 名、女性 2 名、18 歳～60 歳、M=39.2,SD=17.15, 全員右利き、うち、プロの音楽家 2 名) でデータを比較した。左前頭葉 (AF3) の波 θ の Band power 値を valence が plus 評価の 6 名と minus 評価の 4 名で比較したところ、plus 評価した Band power 値が minus 評価よりも大きかった ($t(3)=4.22,P=0.024$) (図 4)。

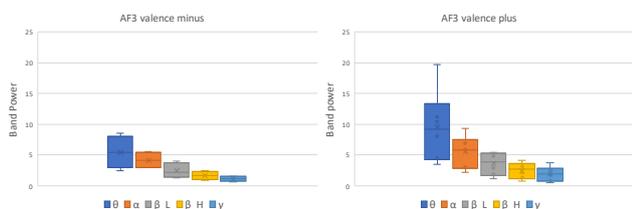


図 4: AF3 での valence の minus 評価 (左), plus 評価 (右) の周波数の Band power の比較

5.7. 実験結果のまとめ

脳波が正確に測定できた範囲内では, Rogenmoser らの報告と同様に, arousal が minus 評価の時, すなわち落ち着いている時は Pz の α 波の増加, valence が plus 評価の時, すなわち, 楽しく感じる時は AF3 の θ 波の増加を本実験でも同様の結果となった。

6. 楽曲生成

本研究の楽曲生成の目的は, Beethoven, Barber 聴取時に得られた脳波データによる「直接可聴化」と「音楽化」による情動再現である。まずは, arousal, valence の plus-minus における楽曲生成の違いを以下に示す。

生成する楽曲の音楽パラメータは, Ehrlich ら (2019) 及び宮本ら (2020) を参考にして, tempo, loudness, pitch, scale そして, 伴奏となる code の 5 つとした。

arousal の影響を受けるパラメータは, tempo, loudness とした。tempo は, 音符の長さであり, arousal が Plus の時は, 4 部音符, minus の時は 2 部音符を生成する。すなわち, arousal が Plus の時は興奮して速く, arousal が minus の時は落ち着いて遅くをイメージとした。loudness は, 音の大きさであり, arousal が Plus の時は, 音を大きく (velocity=70), minus の時は音を小さく (velocity=50) した。

valence の影響を受けるパラメータは, pitch, scale, code とした。pitch は, 音の高さであり, valence が plus の時は, 1 オクターブ 高くした。scale は, どのようなスケールにするかを定めるもので, code に合わせてモードの種類を解釈し, また, code は valence が plus の時は major コード, minus の時は minor コードとした。

6.1. SVM による分類

Daly ら (2016) は, SVM (サポートベクターマシン) による感情の分類を行った。これを参考に, 本研究でも arousal と valence の plus-minus の判別に SVM

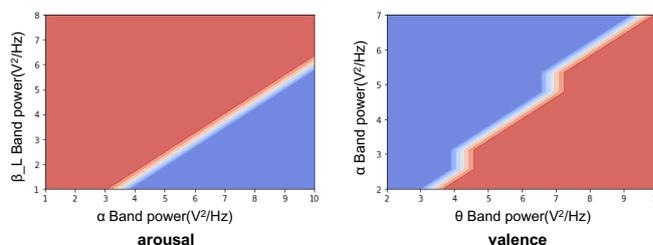


図 5: SVM の判定結果 arousal (左), valence (右) いずれも赤色が plus 判定, 青色が minus 判定を示す (arousal は上部が plus, valence は下部が plus)

を使用した。Rogenmoser らの報告, 及び, 本論文の実験結果を基に, 判別は以下のように行った。

arousal は, Pz の α 波と関係していることから, 聴取時全体の α 波と β_L 波の Bandpower 値の平均値と, その楽曲聴取時の arousal 評価結果を SVM による分類分けのデータとし, 1 秒毎に arousal の plus-minus を判別する。

valence は, AF3 の θ 波と関係していることから, 聴取時全体の θ 波と α 波の Bandpower 値の平均値と, その楽曲聴取時の valence 評価を SVM による分類分けのデータとし, 1 秒毎に valence の plus-minus を判別した。SVM による判定結果のグラフを図 5 に示す。

5.6 の実験結果 5 人の被験者による, Barber と Beethoven 聴取時の SAM 評価と, 1 秒ごとのデータを SVM で判別した結果, arousal-plus, valence-plus となった曲全体における割合を表 1 に示す。例えば, 被験者 1 (subject-1) の barber の valence では, 聴取時の SAM 評価が -1 で minus 評価であるが, 1 秒データごとの SVM の plus 判別の曲全体での割合が 63% と半数を超えている。これは, 1 秒毎の脳波の動きと, 全体での評価が一致していないためで, これは今後の課題である。

表 1: 被験者毎の Barber と Beethoven の聴取時の SAM 評価と 1 秒毎のデータにおいて SVM で plus と判別した割合

subject	Beethoven				Barber			
	arousal		valence		arousal		valence	
	SAM	SVM	SAM	SVM	SAM	SVM	SAM	SVM
1	-2	36%	2%	61%	2%	43%	-1	63%
2	0	67%	1	37%	2	82%	2	82%
3	-4	84%	3	55%	4	14%	-3	27%
4	1	96%	4	51%	4	95%	-2	49%
5	1	69%	4	46%	3	84%	-4	36%

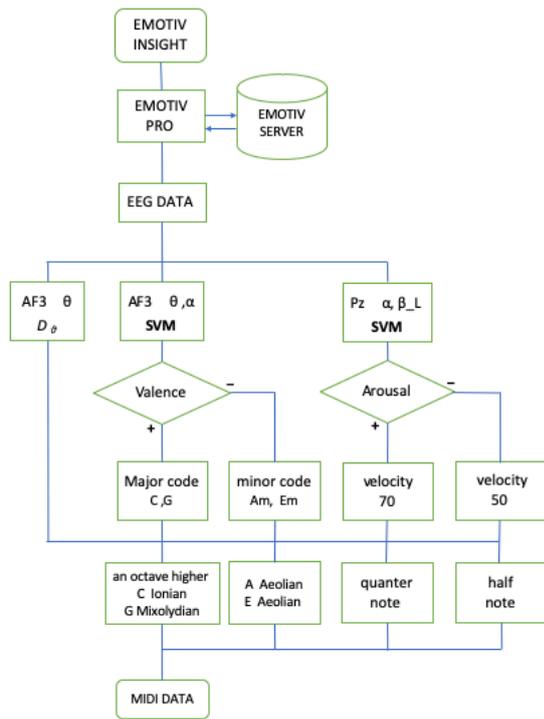


図 6: 楽曲生成のフローチャート
直接可聴化:AF3 の θ 波のデータでメロディを生成
音楽化:SVM で code, velocity を変化させる

6.2. アルゴリズム

楽曲生成のフローチャートを図 6 に示す。

「音楽化」として、楽曲のコードを 2 拍ごとに変化させ、valence が plus と判別された場合には、Major コードである C と G を交互に生成し、minus と判別された場合には、平行調の minor コードである Am と Em を交互に生成する。

また、「直接可聴化」として、メロディを、arousal が Plus の時は 4 部音符、minus の時は 2 部音符とし、構成する音階は valence に影響するとされる AF3 の θ 波を活用し、1 秒毎の Bandpower 値のデータ ($D\theta$) から生成した。まずは、 $D\theta$ の整数部分を 12 で割り、商であるオクターブ (Oct) を求める。次に、スケール上の音階を求めるため、7 で割った剰余 (Nscale) を求める。

スケールは、MIDI ノートの C イオニアン・スケールに変換し、Am のコード生成時には A エオリアン (ナチュラルマイナースケール) と解釈する。G のコードの際には、ミクソリディアン・スケールと解釈し、Em の時は、F 音をシャープにして E エオリアンとした (表 2)。

Strachley ら (2014) によると、イオニアン、ミクソリディアンは、他のスケールと比べ、喜び、落ち着いた感情応答数が多いという報告があり、valence の plus 評価のスケールに適している。また、エオリアンは他の

表 2: スケールと MIDI ノートナンバーの関係
Em の時のみ $F\#$ とした

		Nscale						
		0	1	2	3	4	5	6
C,G,Am	note	C	D	E	F	G	A	B
	MIDI note number	60	62	64	65	67	69	77
Em	note	C	D	E	$F\#$	G	A	B
	MIDI note number	60	62	64	66	67	69	77

モードに比べ、恐怖や不安の感情応答数が多いという報告があり、valence の minus 評価に適したスケールといえる。音階は、聴きやすいよう、最低の MIDI ノートナンバーを 60 (C4:261.626Hz) とし、これを基準とする。また、オクターブは、valence が plus の場合は、1 オクターブ上昇させた。また、楽曲としての違和感を緩和するため、上限を 3 オクターブまでとした。

6.3. 楽曲生成結果

生成された MIDI データは、音楽アプリ Garageband によって、ピアノの音色によって再生された。

ある被験者の Beethoven 聴取時の脳波データで作成された楽曲の冒頭部分の楽譜を図 7 に、Barber を聴取時の冒頭部分の楽譜を図 8 に示す。また、生成された楽曲を soundcloud にて公開している (参考文献末尾に url を記載)。



図 7: Beethoven を聴取時の脳波データで作成した楽曲の一部



図 8: Barber を聴取時の脳波データで作成した楽曲の一部

6.4. リアルタイム実験

次に、アルゴリズムは同様とし、python のライブラリ pygame を使用して、リアルタイムでの演奏を可能にした。pygame で生成された MIDI データは、MAX に送られ、MAX で duration などを調整した後、オー

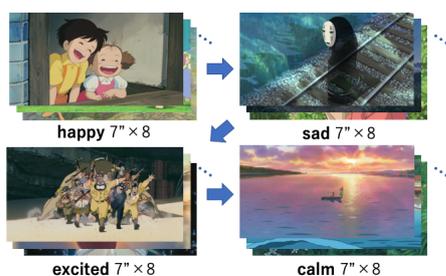


図 9: ジブリ映画の静止画面画像刺激

ディオインターフェースを通して自動演奏ピアノを駆動する。

リアルタイムにおける脳波変動を促すための刺激として、モニタに投影された画像を視認し、その時の脳波データによってピアノを演奏する。画像刺激は、著作権フリーであるジブリ映画の静止画面画像の中から、happy,sad,excited,calm として印象がある画像をそれぞれ 8 枚、計 32 枚を抽出し、それぞれ 7 秒づつ (1 カテゴリで約 1 分) を見て楽曲生成を行なった (図 9)。

結果、「悲しい」と思われる画像を視認したときに生成された音楽は、やや「寂しい」といった感じの楽曲になったが、全体的に大きな変化は見られなかった。また、画像への没入感が浅く、音楽聴取時と比べ著しい脳波変動はなかった。

7. まとめ

本研究は、まず、簡易脳波計の Emotiv Insight を用いて、幅広い年齢層及び Beethoven, Barber 聴取時の脳波測定を行なった。

Emotiv Insight については、被験者 17 人のうち、Pz が正確に測定できたのは 10 人、全ポイントが正確に測定できたのは 5 人で、3 割程度である。これは、頭のサイズの違いや毛髪の量によって、センサが頭皮にうまく接触できなかったことが原因と考えられる。この装置は、多数の配線を必要とした医療系の複雑な計測機器とは異なり、BCMI 用として簡便に利用できるものの、正確な脳波を得るための装着に工夫を要し、実験に用いるには注意が必要という難点があった。

また、楽曲生成については、AF3_θ 波のデータの「直接可聴化」と、SVM を用いて、arousal の plus-minus, valence の plus-minus を判別し code などを変化させる「音楽化」により楽曲生成を行った。生成された楽曲について、被験者 2 名に Beethoven, Barber どちらの聴取時のデータで生成した楽曲なのか明かさずに聞いてもらったところ、「マイナーコードが多い方が Barber 聴取時のデータから生成されたものとわかった。」「1 曲は何も感じなかった。もう 1 曲は Beethoven, Barber どちらも当てはまると思った。」という感想であり、2 者

の評価結果においては、再現性が必ずしもあるわけではなく厳しい結果となった。

今回、「直接可聴化」と「音楽化」のハイブリッドとした点は新たな試みとして、脳波データを使用した楽曲生成として活用できると考える。今後は、特に、arousal の影響を受けるパラメータ、tempo, loudness の変化を大きくするなど、アルゴリズムを改良する必要がある。

また、リアルタイムの脳波データを利用し、自動演奏ピアノで演奏することも可能となった。今後はこれを活用し、脳波によってピアノを演奏し、更にそれを聴取している時に起こる脳波変動によって生成された楽曲が変化してく、といったフィードバックについての研究を考えている。

8. 参考文献

- D.Sammler, M.Grigutsch, T.Fritz, S.Koelsch, 2007, "Music and emotion: electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music", *Psychophysiology*44:293—304.
- L.Rogenmoser, N.Zollinger, S.Elmer,L.Jäncke, 2016, "Independent component processes underlying emotions during natural music listening, Social Cognitive and Affective", *Neuroscience*11:1428-1439.
- V.Straebel, W.Thoben, 2014, "Alvin Lucier's Music for Solo Performer: Experimental music beyond sonification", *Organised Sound* 19:17-29.
- D.Rosenboom, 1990, "The performing brain", *Comp Music J*14(1):48-65.
- D.Rosenboom, 1999, "Extended Musical Interface with the Human Nervous System, Assessment and Prospectus (1997 Revision)", *International Society for the Arts*:111-113.
- E.R.Miranda, V.Soucuret,2008, "Mix-It-Yourself with a Brain-Computer Music Interface", *Proceedings of 7th International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies (ICDVRAT) & ArtAbilitation*.
- E.R.Miranda, 2014, "Brain-Computer Music Interfacing: Interdisciplinary Research at the Crossroads of Music, Science and Biomedical Engineering", *Guide to Brain-Computer Music Interfacing* Springer:ISBN:9781447165835,1—27.
- I.Wallis, T.Ingalls, E.Campana, 2008, "Computer-Generating Emotional Music: The Design of an

- Affective Music aAlgorithm", *Proceedings of the 11th International Conference on Digital Audio Effects*.
- J.A.Russell, 1980, "A circumplex model of affect", *Journal of Personality and Social Psychology* 39:1161-1178.
- D.Williams, A.Kirke, E.R.Miranda, E.Roesch, I.Daly S.Nasuto, 2015, "Investigating affect in algorithmic composition systems", *Psychology of Music* 43 (6):831-854.
- D.Williams, A.Kirke, E.R.Miranda, I.Daly, F.Hwang, J.Weaver, S.Nasuto, 2017, "Affective Calibration of Musical Feature Sets in an Emotionally Intelligent Music Composition System", *ACM Transactions on Applied Perception* 14(3), Article 17.
- D.Williams, N.Lee, 2018, "Emotion in Video Game Soundtracking", Springer, ISBN: 978-3-319-72271-9, 51-63.
- I.Daly, D.Williams, A.Kirke, J.Weaver, A.Malik, F.Hwang, E.Miranda, S.J. Nasuto, 2016 "Affective Brain-Computer Music Interfacing", *Journal of Neural Engineering* 13(4).
- T.A. Deuel, J.Pampin, J.Sundstrom, F.Darvas, 2017, "The Encephalophone: A Novel Musical Biofeedback Device using Conscious Control of Electroencephalogram (EEG)", *Frontiers in Human Neuroscience* 11.
- S.K.Ehrlich, K.R.Agres, C.Guan, G.Cheng, 2019, "A closed-loop, music-based brain-computer interface for emotion mediation", *Plos one* 14(3).
- 宮本 佳奈, 田中 宏季, 中村 哲, 2020 「感情誘導に向けた音楽生成及び脳波からの感情推定の検討」, 電子情報通信学会, 『信学技報』 120(17):41-45.
- L.Rogenmoser, N.Zollinger, S.Elmer, L.Jäncke, 2016, "Independent component processes underlying emotions during natural music listening", *Social Cognitive and Affective Neuroscience* 11:1428-1439.
- E.R.Miranda, W.L.Magee, J.Wilson, J.Eaton, R.Palaniappan, 2011, "Brain-Computer Music Interfacing: From Basic Research to the Real World of Special Needs", *Music & Medicine* 3 (3):134-140.
- Beethoven, L.V. *Recorded by S.Celibidache & Münchner Philharmoniker*. WPCS28170.
- Barber, S. *Recorded by M. Honeck & Pittsburgh Symphony Orchestra*. FR-724SACD.
- M.M.Bradley, P.J.Lang, 1994, "Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential", *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry* 25:49-59.
- D.Sammler, M.Grigutsch, T.Fritz, S.Koelsch, 2007, "Music and emotion: electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music", *Psychophysiology* 44: 293-304.
- I.C. Straehley, J.L. Loebach, 2014, "The Influence of Mode and Musical Experience on the Attribution of Emotions to Melodic Sequences", *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain* 24(1):21-34.
- 井上 英章, 2020, 「脳波のリアルタイムデータを活用した楽曲生成」, 先端芸術音楽創作学会, 『会報』 12(2):36-39.
- Beethoven を聴取時の脳波データで作成した楽曲 https://soundcloud.com/user-436692734/eeg_beethoven?utm_source=clipboard&utm_medium=text&utm_campaign=social_sharing
- Barber を聴取時の脳波データで作成した楽曲 https://soundcloud.com/user-436692734/eeg_barber?utm_source=clipboard&utm_medium=text&utm_campaign=social_sharing

9. 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後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/> をご覧頂くか、Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA までお手紙をお送りください。