

## 創作ノート

# 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

## Research of System for Performance Expression to Correlate Consciousness with Unconsciousness using Tracking Intentional Motion and EEG

伊藤 也太, 寺崎 凌也, 漢那 拓也

Narita ITO, Ryoya TERASAKI, Takuya KANNA

尚美学園大学芸術情報学部

Faculty of Informatics for Arts ,Shobi University

### 概要

本稿では、作品《心のしき》の制作動機とシステムの解説、及び、それらが作品の中でどのような表現を担っているのかを考察する。

《心のしき》は無形・不可視のものとされる「心」を可視化することを目的としたプロジェクトである。心の世界を空間に提示し、その中で心に内包される意識・無意識など普段表出されない概念を顕にする。また、我々の心がどのように形成され変容していくのか、自己と他者の相互作用という観点から、実際の脳波のデータを抽出し、音と映像に変換する。さらにその状況に対して Leap Motion によって干渉し、その行為によって空間的な音響と没入型映像が変容する。

感情表現や情景描写のツールとしてしばしば音や映像は用いられるが、それらを複合・相互的に演出するインスタレーションアートは如何程に複雑な心の世界を顕することができる表現手段であるのか、その可能性を探る。

### 1. はじめに

近年、生体信号をデジタル処理し音響・映像によって演出を行う作品が頻繁にみられるようになっていく。Rhizomatiks Architecture が手掛けた《CURTAIN WALL THEATRE》では、一人の脳波のよってカーテンの開閉を制御し、空間の大きさを変化させる体験型の大型インスタレーションが Tokyo Midtown DESIGN TOUCH 2016 のメイン企画として展開された。執筆者一同は予てより感情や精神の変容を映像や音響で演出された空間に表現したいと考えていたが、その方法として脳波に着目し、その受信デバイスである脳波計で取得した脳波で制御する演奏表現システムを開発することを試みた。

開発にあたり様々な条件下で脳波をサンプリングしていく中で、脳波は意識的に制御することが難しく、感情や思考の変化との相関関係が見出せない測定結果になる事例が多かった。この結果を踏まえ、脳波という意識の対象とならない生体信号をサンプリングすることで、無意識による演奏表現が可能になるのではないかと考えた。

しかし、個人の無意識を演奏表現として表出させたとしても、第三者にはそれが意識であるのか無意識であるのかを判別することは難しい。無意識の表出を明確にするために、その対照となる意識による演奏表現も表出させなければならぬと考えた。その方法として、手指のジェスチャを認識するデバイスである Leap Motion(LeapMotion) を用い直感的な演奏表現によって意識を表出することで、意識と無意識とを混在させながらも対照として際立たせる演奏表現システムを考案した。また、このシステムにおける表現領域を音楽の演奏のみならず、空間全体に投影する映像とマルチチャンネル音響再生システムにまで広げ没入型インスタレーションとして展開することで、空間の変容を通じて意識と無意識とが互いに影響を与え合う作品となるのではないかと考えた。

### 2. 研究背景

現在、脳波計を用いた制作・研究が容易に行えるようになった主な理由として、比較的安価になってきたこと、安全性が高いこと、実験の参加のしやすいことが挙げられる。かつては脳波を扱うとなると、磁気共鳴画像装置 (fMRI;functional Magnetic Resonance) や脳磁図 (MEG;Magnetoencephalography) といった「侵襲型」の脳波測定器が主であり、被験者への後遺症や脳活動への影響が危惧される他、価格の面でも容易に導入できないことは明らかであった。一方、Emotiv EPOC+

などの頭皮上脳波を記録する「非侵襲型」脳波計は、生理食塩水を導電体とし毛髪の有無に関わらず頭皮との接触によって脳波を計測できる簡便性と安全性をもち、価格面に関しても比較的導入しやすい価格帯に収まっている。

脳波計のほかにも、簡便にモーションセンサが利用可能となった現在では、手指をトラッキングする Leap Motion を活用した研究・制作も盛んにおこなわれている。手指の複雑な動作は認識デバイス側で繊細かつ正確な検出が必要になるものの、「人間の動作（ジェスチャ）というのはこの上なく直感的なものであり、ジェスチャを機械が認識できるようになれば、新しい入力手段になりえると考えられる」（武井, 中山, 赤澤 2014）ため、体を動かしながらの学習の研究などにも活かされている。こうした背景によって、意識の表出としての手指の動作と無意識の表出としての脳波、これら二つの情報を用いて空間演出（音響・映像）を制御する演奏表現システムの実現可能性が高まった。

### 3. 現在の問題点

#### 3.1. 脳波計や Leap Motion を使用した作品例

前述の脳波計や Leap Motion を用いた芸術作品・システム研究は諸所見られる。脳波計を用いた例として、古川聖氏らが手掛けた《it's almost a song... 'an audio-visual installation for using three EEG systems and Clarinet》（古川）では脳内に想起された音楽表象を即時に解析し、そのデータを用いることで演奏できる仮想楽器が開発されている。脳波を用いた作品においてはこのように脳内のデータを抽出し、デジタル処理を行い、なんらかのフォーマットに変換・出力することによって表現手法として大いに活用できることを示している。

また Leap Motion においては、そのインタラクティブティやロー・レイテンシーという特性を活かした作品が多くみられ、WhiteVOID によるバーチャル・オーケストラ《Mendelssohn Effektorium – Virtual orchestra for Mendelssohn》では楽曲の指揮を体験することができる。本機によって実時間（トラッキング速度は別述）に計算を行い、演奏速度に反映することでテンポを自由にコントロールできることや、残響特性などの音響演出に変化させられることなど、様々な演奏表現が可能である。また、フランスの「Lyon's light festival」に展示された《AXIAL》では、本機による照明コントロールと、音響演出による Light & Sound Installation の実現を行った。このようにそれぞれのデバイスを用いた演出表現によって成果を上げている例は枚挙にいとまがない。

#### 3.2. 意識と無意識が関する演出システムの開発

本作品で開発する演出システムは、意識、無意識を包摂する心というものの変容、形成という過程を表出させることを目的とするため、生体情報の取得から遅延することなくその情報に基づいた変化を空間演出に与えることが求められる。その点において、サンプリング周波数の高い脳波計およびトラッキング速度の速い Leap Motion は実用性が高く、能動的に表出された意識によって受動的に表出する無意識との相関をほぼ実時間に演出することが可能であると考え、脳波計を装着した被験者と Leap Motion を扱う被験者との二者間相互作用を図るシステムの研究および開発に至った。

### 4. 提案手法

以降の項目では、インсталレーション作品《心のしき》において用いた 3000mm×2500mm×3000mm (Width×Height×Depth) の空間での音響および没入型映像のシステムと、生体信号を検知するためのデバイスを用いた空間演出手法について詳述する。本作品ではまず、コミュニケーション時にみられる二者間相互作用の影響下にある脳波を取得し、アルゴリズムによって映像・音響空間表現として可視化するシステムの研究開発に着手した。

可視化のアルゴリズムを組むためのプログラミング言語および統合開発環境には Processing を使用した。その理由として、OS などのマシン側の環境を選ばず容易に統合開発環境を構築できることと、Processing 自体の開発がオープンソースプロジェクトであるため、システム開発において必要な MIDI の送受信やキャプチャデバイスの利用のためのライブラリが有志によって開発されていることが挙げられる。このことにより、限られた予算と機材環境下でも目標とするシステムの構築が可能となった。

#### 4.1. デバイスによる生体信号の取得

二者間相互作用の可視化を試みるにあたり、2名の被験者それぞれの生体信号を検知するためのデバイスとして用いた脳波計と Leap Motion の機能や本作品における役割について詳述する。

##### 4.1.1. 脳波計

脳波の測定には Emotiv System 社が開発・販売している Emotiv EPOC+(EMOTIV EPOC+ 2019) を使用した。Emotiv EPOC+は、図1に示すとおりヘッドセット型の脳波計であり、14個の電極により 0.2Hz~43Hz の周波数帯域を 256Hz のサンプリング周波数で計測する

ことができる。導電体には生理食塩水を染み込ませたフェルトを用い、頭皮と接触させて脳波を計測するタイプであるが、「洗浄液を十分に染み込ませたフェルトであれば、導電状態が良好になるまでの時間が比較的短く、装着作業を含めて 15 分から 20 分程度で利用できるようになることが多い。」(毛利 2016)



図 1: 今回使用した脳波計 Emotiv EPOC+

取得した脳波の情報処理については図 2 のとおり、Emotiv Brain Activity Map を用いて脳波の時系列信号をフーリエ変換し、 $\delta$  波、 $\theta$  波、 $\alpha$  波、 $\beta$  波の各周波数帯域に分けて表示させ、その状態の Emotiv Brain Activity Map のアプリケーションウィンドウを ManyCam を用いて映像としてキャプチャーし、Processing 上で指定したピクセルの色情報を取得する。その後、同じく Processing 上で組んだアルゴリズムによって、あらかじめ指定した調性、及びスケールに沿った MIDI ノートナンバーに変換する。この処理によって得られた MIDI のノート情報を MIDI インターフェース Miditech MIDIface 4x4 を通じて DAW に送信し、DAW 上で指定した VST インストゥルメントを演奏する。

また、同様に Processing 上で取得したピクセルの色情報を「32 (下限値) + (Red 信号  $\times$  2 + Green 信号)  $\div$  6 (調整値)」を Velocity に割り当て、演奏の強弱表現に反映させている。この計算式によって、下限の Velocity を 32 に固定しつつ、Emotiv Brain Activity Map 上で強

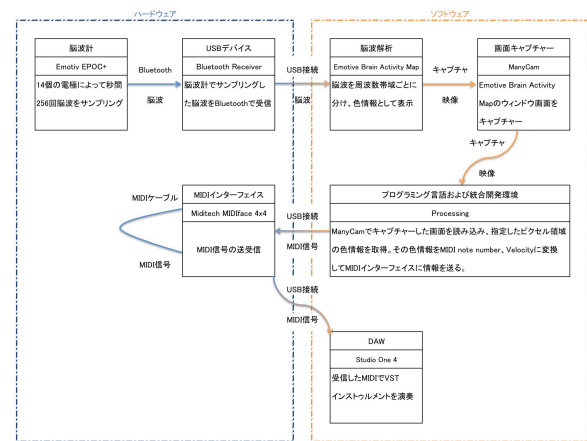


図 2: 脳波を音響や演奏表現に変換するシステム

い脳波反応を示す赤色を高い Velocity に、弱い脳波反応を示す青色を下限値に近い Velocity に、その中間の脳波反応を示す緑色を中間の Velocity に割り振っている。本作品に組み込んだ、四季を表現する木を描写するプログラムにおいては、脳波の活動状況により映像のバリエーションが変化することを設定している。取得した Velocity 値を累算し、映像が再生成される際に Velocity 値の累積和によって切り替えることで、脳波の活動状態と四季との相関関係を持たせた。

#### 4.1.2. Leap Motion

Leap Motion は、Leap Motion 上部にかざした手を赤外線 LED で照射しながら 2 基の赤外線カメラで撮影し、両手と 10 本の指を画像解析によって 3D 空間上での位置情報を取得するデバイスである。このことによって、手の傾きや上下左右の動き、手指の開閉などの動作を検知することができる。これらを入力情報として映像と音響に変化を加えるために、本作品では MIDI コントローラーアプリケーション GECO を使用して Leap Motion で取得した情報を MIDI に変換し、音響・映像を生成する各アプリケーションにその情報を送信している。

音響においては、両手の上下前後左右の動きや手の平の傾きをそれぞれエクスペリション表現や、フィルター、リバーブ、ディレイなどのエフェクト量に割り当てることで、リアルタイムにダイナミクス、定位や空間を変化させることができる。

映像においては、Processing にて生成したインスタレーション用映像を MIDI のコントロールチェンジによって変化させるプログラムを組んでおり、変化させる場所を指定する XY 軸を両手の上下左右の動作によって取得し、変化させる命令の実行トリガーをコントロールチェンジの MIDI 情報を受信することに割り当てて

いる。木を描写するプログラムにおいては、「木から葉を散らす」「落ちた葉を舞い上がらせる」などの変化を Leap Motion でコントロールし、木を再生成する条件として Leap Motion から受信した MIDI 信号の受信回数を設定している。

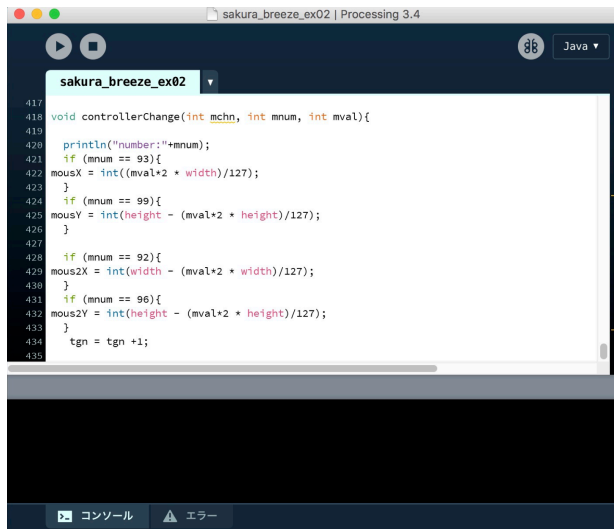


図 3: Leap Motion から受信した MIDI 信号を Processing 内で映像表現に変換するプログラムの一部

## 4.2. 没入型映像

本作品では、インスタレーション表現の要素としてヴィジュアル映像を Processing によって生成し、プロジェクターを用いて規定空間の壁面に映像を投射する。その際、多面投影を実現するため特殊曲面ミラーを用いた。空間の一部に映像を提示するのではなく、広範囲にわたる壁面を映像提示のキャンバスとして捉えインスタレーション作品に導入した。

### 4.2.1. 映像生成

映像は Jason Labbe 氏によるソースコードを参考にした樹形のオブジェクトであり、外部デバイスによって生成・変化させるプログラムを新たに加えた。樹木オブジェクト生成のプログラム詳細については Jason Labbe 氏の WEB サイトに公開されている Processing コードを参照されたい。(Labbe 2019)

### 4.2.2. 曲面ミラー

通常、空間への映像投影を行う場合、プロジェクターを用いる。また、投影できる範囲は一台のプロジェクターにつき一面が一般的である。本作品においては、空間への没入感を高め、映像空間そのものに参加者が

没入することで得られるインタラクティブ性に富んだ作品を提示する目的から、空間の多面投影は必須であると考えた。しかしながら上記の通り、空間の多面に投影する場合には複数のプロジェクターを用いる必要があり、映像投影システムだけで規定空間の大部分を占有してしまうことから現実的方案とは言えない。これらの問題を解消し、省スペースかつ空間の多面に映像を投影する方案として特殊曲面ミラーを用いたシステムを導入した。

曲面ミラーには四分球状の鏡を用い、プロジェクターからの映像投射を反射することで広範囲の空間に映像を投影する。ミラーはスタンドによって高さ約 1000mm 付近に固定し、それに合わせてプロジェクターはほぼ垂直になるように配置した。なお、ミラーとプロジェクターとの距離はプロジェクターの性能により左右される。これらによって映像はプロジェクターから直接投影されたものより拡大され、空間の多面に投影可能となり、映像の多面投影システムの省スペース化を実現できると推測する。

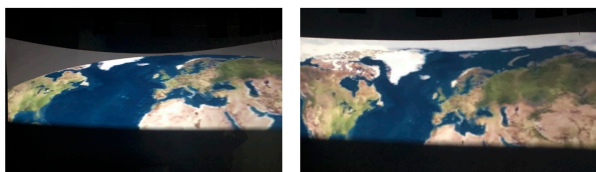
### 4.2.3. 映像補正

曲面ミラーを使用することで起こる問題に映像の反転と歪みが挙げられる。一般的な鏡と同様にミラーに映像を投射すると映像が反転して投影されてしまう。この問題はプロジェクターの機能として多く備わっている映像反転機能を使うか、もしくは映像コンテンツに反転処理を加えてレンダリングしたものを投射する方法で解決できる。一方で曲面ミラーへの投射や床や壁、天井などの多面に投影することによる映像の歪みに関しては、映像コンテンツを変形させるプログラムによって補正する必要がある。今回はヴィジュアル映像合成アプリケーションである vvvv を用いて、映像補正プログラムを組み込んだ。大まかな補正システムルーティングは以下の通りであり、順に解説する。

まず、ミラーそのものが球面形状をしているため発生する映像の歪みについて述べる。プロジェクターから曲面ミラーに投射すると、映像が引き伸ばされると同時に半円柱状の映像として反射投影されてしまうのである。この歪みは映像コンテンツをミラーに投射した際に引き伸ばされる方向に対して逆の歪みを加えることで解決できる。歪みを加えた映像をミラーに投射することで、反射した映像にミラーの歪みが逆方向へ加わり本来の形に近い状態で投影されるというものである。そのための処理を施す vvvv 上のプログラム概要は以下の通りである。

1. Quad ノードのテクスチャに映像コンテンツを貼り付け、それを Renderer ノードにより映像出力する。

2. 1 の出力映像を DX9Texture ノードによりテクスチャ化する。
3. Sphere ノードにより球体を提示し、Scale ノードにて球体の大きさを調節する。
4. 2 にてテクスチャ化した映像を Sphere ノードのテクスチャに貼り付ける。
5. Renderer ノードにより 4 を映像出力する。



補正前のミラー歪み

補正後のミラー歪み

図 4: ミラーによる歪みの補正

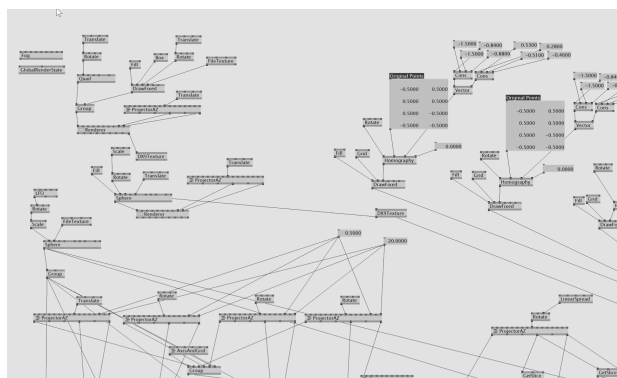


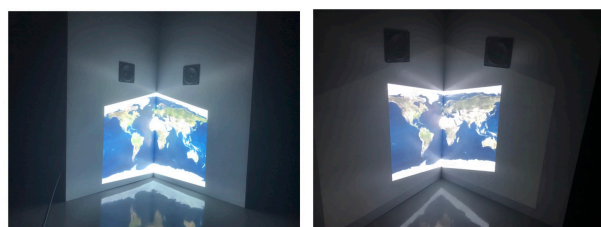
図 5: 曲面ミラーによる歪みの補正プログラムの例

続いて、多面投影を行う際の実空間の形状に由来する映像の歪みについて述べる。例えば、図 6 の補正前の投影では、空間の多面への投影は成功しているが壁面と壁面の境目で映像が歪んでいるのが確認できる。これは空間形状が立体であるにもかかわらず映像の方が平面投影であるため、出力された映像は空間の立体形状に沿って変形や歪みを生じてしまったことが原因である。この問題は投影する映像を空間形状の各面に割り当てるための分割と、空間形状に沿った変形を加えることで解決できる。そのための処理を施す vvvv 上のプログラム概要は以下の通りである。

1. 空間の形状（本作品においては立方体形状）に合わせて、Homography ノードを配置し、空間に合わせて調整する。
2. Quad ノードのテクスチャに映像コンテンツを貼り付け、それを Renderer ノードにより映像出力する。

3. Renderer ノードを壁面の数だけ用意し、2 にて出力した映像をそれぞれ空間の壁面に対応するように、展開図的に表示領域を分割して映像取得する。
4. 3 の Renderer ノードにて取得した映像を DX9Texture ノードによってテクスチャ化する。
5. 4 のテクスチャを 1 の Homography ノードのテクスチャに貼り付け、Renderer ノードにより映像出力する。

上記のプログラムを実行すると図 6 のようになる。なお、映像投影する空間の形状は会場により異なるため、事前に空間のサイズを把握しておくか会場で映像補正が行えるプログラムを導入する必要がある。本作品で使用したプログラムでは Homography ノードという図形を指定した形状に変形させるシステムを導入することにより、現場での細かい映像補正が可能となっている。



補正前の一面投射

補正後の一面投射

図 6: 多面への一面投射により生じる歪みの補正

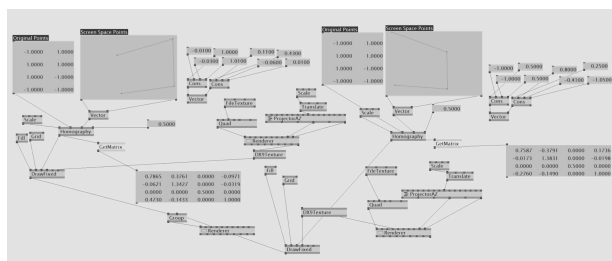


図 7: 多面投射への一面投射により生じる歪み補正プログラムの例

#### 4.3. 空間音響

本作品を制作するにあたり、より臨場感や没入感を高めた空間を演出するためには規定空間を包囲できる音響が効果的であると考え、空間の 4 隅にスピーカーを配置した 4.1 チャンネルサラウンドを導入した。また、空間を有効に活用できるスピーカー形態として「平面バッフル」を採用した。

### 4.3.1. 平面バッフル

平面バッフルは奥行きが浅いため、一般的なサウンド環境で用いられる密閉型と比較してスピーカー本体の空間占有率が低い。この利点を活かし、本作品ではMDF（中密度繊維板）を使用した寸法  $900 \times 450 \times 10(\text{mm})$  の平面バッフルスピーカーを制作した。

平面バッフルの問題点として、バッフル面積が有限であるために音の回折が起きることが挙げられる。前面と後面に同じ周波数で逆相の音波を放出するため、位相ずれが発生（Baffle diffraction）する。位相ずれの対策としてユニットをエンクロージャーの中心から少しずらした位置に配置する必要がある。ただし低域に関してはバッフル寸法が決まればユニットの位置に関係なく減衰特性はほぼ決定される。以下、回折による影響の調査について詳述する。

1. Baffle diffraction の検討 周波数特性の算出に The Edge を使用する。
2. バッフルの寸法の定義 Baffle size に平面スピーカーの寸法  $450 \times 900$  を定義。
3. スピーカー形状・寸法を定義 Speaker geometry は Circular. Size は作品《心のしき》で用いた Fostex P800K を適用し 80mm。
4. The Edge の計算条件設定 Edge sources と Speaker source density において計算点を制御する。計算密度に差が出ない程度まで値を上げる。
5. Mic distance 回折・干渉を計算するため短い距離ではなくある程度の距離が必要なため 1m に設定。
6. ユニット位置を設定する。

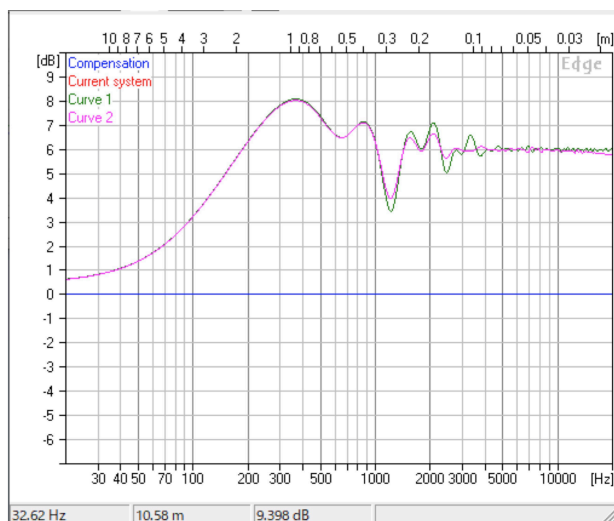


図 8: 「The Edge」 Curve1 正中, Curve2  $x = 0.195m$   $y = 0.470m$

図の結果より 200Hz 付近から低域の減衰が見られ、ユニット位置の違いによって 1000Hz 以上の高域にお

いて差が見られる。ユニットを正中に配置した Curve1 は、干渉による共鳴・干渉が顕著に表れている。比べてユニットをずらした Curve2 の場合、1000Hz から上の周波数にかけては比較的共鳴や減衰が少ないことがわかる。このような結果から、ユニット位置の調整と低音補正のためにサブウーハーを設置することが、空間における音響的な充実度を高めるために必要であることが分かる。

## 5. 実験結果

本作品に用いたシステムにより映像面においては、曲面ミラーによって複数台のプロジェクターを用いずとも空間の多面への映像投射が可能になった。音響面においては平面バッフルスピーカーとサブウーハーを用いることにより、本作品の空間音響演出においては十分な効果が得られた。これらのことにより、限られた空間においても一定の演出効果を期待できるシステムとしての実用性が認められた。

本作品にて脳波計は、脳波の無意識の領域での反応をデータ化し、それを音響や演奏表現に変換するシステムを構築することで、無意識を表現する演奏デバイスとして機能することが確認できた。また、Leap Motion は意識的な手指の動作を検出し、その情報が音響や映像に影響を及ぼすシステムを構築することで、意識によって空間そのものに変化を与える演奏デバイスとして機能することも確認できた。

これらの演奏デバイスは、本作品《心のしき》において、映像や音響によって「四季」を表現する空間全体を「指揮」しているかのような風景を生み出し、「意識」「四季」「指揮」などの様々な「しき」によって空間の変容を生むインスタレーション作品として成立させるための重要な役割を担っている。

## 6. 考察

本節ではここまで述べた各手法のメリット・デメリットを振り返り、総合的な比較考察を行う。脳波計や Leap Motion などの生体信号を取得するデバイスを演奏デバイスとして用いるメリットは、それぞれの取得データを音声や映像に定義さえしてしまえば、特別な演奏技術を持たずとも演奏が可能であるという点が挙げられる。楽器演奏の研究では、音楽の認知能力と言語の認知能力の間に相関があることが報告されている。言語、音楽、数学はブローカ野による併合操作の働きである可能性も認められており（山田 2017）、このようなことから言語や音楽は、制御・統制のしやすさに使い勝手が依存すると推察された（藤波 2012）ため、誰でも直感的に空間演出するという点においてこれらのデバイスが有用であることを 3.1. で述べたように、

既に多くの研究と作品の証明されてきた成果と同様の結果を、本研究においても確認することができた。しかし緻密で繊細な文法的構造に基づいた演奏を本システムで行うには不十分であるため、演出表現の度合いによってはより正確な生体信号を安定して取得するデバイス、そしてその情報を音楽的要素のどの部分に関連させるのかを見極め、より音楽性の高い演奏表現を生成するアルゴリズムを組んだプログラミングが要求されてくるだろう。

また、Leap Motion の問題点として手指の動作検知範囲の限界があり、その範囲を超えるとデータの検出が中断されるという現象が発生することが挙げられる。これは動作検知領域の範囲外に手指が位置してしまったために検出データの値が何も検出していない状態、つまり最小値に戻ってしまうのである。本作品での例を挙げると、一部のトラックでは演奏のダイナミクス表現として MIDI コントロールチェンジ 11 番のエクスプレッションを Leap Motion で動作に割り当てており、動作未検出時の値は 0 になっている。動作検出の最小値から最大値まで推移する間、演奏表現としては最小音量から最大音量までの滑らかに変化していくが、その検知範囲を超えると突然音量が最大値から最小値まで下がることになり、この現象は被験者からすれば意識に反した急激な変化として感じられる。この問題を回避するためには、Leap Motion の動作検知範囲を被験者が熟知し、検知範囲内での操作を行うことが求められるが、本作品を含む多くの体験型インスタレーション作品においてデバイスの操作方法を熟知した人間のみが参加する状況というのは稀であり現実的ではない。より広い範囲での動作を検知するためには別のデバイスを用いる必要があり、その一例として挙げられるのが赤外線センサによるモーションキャプチャデバイスである。今日、モーションキャプチャを用いた動作情報の取得・分析の研究は多く行われており、その多くが複数の赤外線センサによって検知したモーションキャプチャデバイスの位置情報をデータとして取得、3D 映像への変換が行われている。Leap Motion と比べて広い空間を検出可能な範囲としているため、上記の問題を解決できる可能性が高い。

音響システムに関しては、奥行きが浅い平面バッフルスピーカーを用いることで空間を確保し、素材に白色を用いる（あるいは塗装する）ことで、平面バッフルの面積の大きさを活かした映像投影可能なスクリーンの一部として活用している。しかし、本スピーカーは周波数特性の強さが顕著であり、ユニット位置の調整をすることで多少の改善を図ることができるとはいえ、市販されている箱型スピーカーを用いた 4.1ch サラウンド環境と比較すると音質面で大きな差が出ることが明らかである。これは実験の結果からもわかる通り、低音域はサブウーファーで補えるものの、中音域

付近においては減衰や共鳴が顕著である。加えて指向性に関しても環境構築の際に考慮する必要がある。本作品においてはユニットを 470mm の高さに取り付けているため、本スピーカーを使用して人の耳付近への指向性を目指す場合には被験者を椅子に座らせて耳の位置を下げることに加え、平面バッフルを足台で持ち上げる対策をとった。以上のように、指向性の問題について環境に応じた対策を講じる必要がある。

映像投影システムにおける問題としては、曲面ミラーを用いることによって投影される映像にぼやけやドットが荒く表示されるような劣化が確認された。これは、ミラーに一度投影したのちに壁面等に描写する過程をたどることによって光量の減衰・損失が起きることと、通常の映像投射に比べて焦点距離を長くすることでより大きなスクリーンサイズ広範囲に投影していることが原因である。より緻密な映像や再現性を求められる投影が必要な場合には、パネル画素数やルーメン数が高いプロジェクターが必要である。なお、本作品にて用いたプロジェクターは画素数が 1280 × 800、輝度は 3700 ルーメンだった。

また、4.2.2 曲面ミラーの項にて空間形状に合わせて vvvv 上の値を調整することで現場での細かい補正が行えると記したが、本作品において用いたのは立方体形状のみの補正であり、円柱形や幾つかの図形を組み合わせたような複雑な形状には対応できない。立方体形状の空間においても、面の境界がない滑らかな形状やガラス窓のような部分的に投影が困難な造りがある場合なども想定されることから、より多様な空間形状に対応できるプログラムを追加することが求められる。

## 7. おわりに

本稿では、脳波計によってデータ化した脳波情報を無意識の表出、Leap Motion によって取得した手指の動作情報を意識の表出として対照させ、それらを可視化するシステムの構築、およびそのシステムがインスタレーション作品の空間において二者間相互作用による演出を実現可能にするかどうかの考察を行った。意識と無意識をそれぞれ異なる人間から取得し映像や音響の変化として一つの空間に提示することは可能になったものの、空間の変容が無意識に対して作用する様子に因果関係を見出すことができなかった。特に脳波計については非侵襲型のものを使用したことで、例えば、感情等を想起することなく頭部を動かすだけで脳波が発生したり、たとえ感情を伴ったとしても表情筋による頭部周辺の肉体的変化が付随していたりと、検出された信号がどのような刺激から発生したものなのかを分析ことは困難であった。脳波は意識的に制御できるものではないことを無意識の表出として扱うことの裏付けとしたが、より詳細な分析に基づいて因果関係を

見出すことによって、無意識の領域のみの反応を抽出することも可能になるのではないだろうか。

また、今後の展開として脳波と感情との相関関係を高い精度で検出できるデバイスやシステムが開発されれば、二者間相互作用が働いた意識と意識による直感的な演奏表現を織りなす空間演出が可能になると推量する。本研究で得た成果と課題が糧となるよう更に研究を深めていきたい。

## 8. 参考文献

Leap Motion (2018 年) Leap Motion の WEB サイト  
<https://www.leapmotion.com> (取得日 2018 年/12 月 9 日)

武井優樹, 中山泰一, 赤澤紀子 電気通信大学 情報・通信工学専攻 (2014 年 3 月 11 日) 「非接触型モーションセンサによるジェスチャ認識の研究」『第 76 回全国大会公演論文集』2014(1) [https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=106212&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=8](https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=106212&item_no=1&page_id=13&block_id=8) (取得日 2019 年 2 月 15 日)

Furukawa Lab 東京藝術大学 先端芸術表現科 古川研究室 「Brain-dreams-Music プロジェクト」<http://furukawalab.org/project/brain-dreams-music/> (取得日 2019 年 2 月 15 日)

EMOTIV EPOC+ (2019 年) EMOTIV EPOC+ の WEB サイト <https://www.emotiv.com/epoc/> (取得日 2019 年 2 月 15 日)

毛利 元昭 愛知大学情報メディアセンター (2016 年 24 日) 「脳波計測実験のための簡易で安価な環境構築」『愛知大学情報メディアセンター紀要』26 (1) pp.49-62 [https://aichiu.repo.nii.ac.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=6334&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=17](https://aichiu.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=6334&item_no=1&page_id=13&block_id=17) (取得日 2019 年 2 月 15 日)

Jason Labbe (2019 年) Jason Labbe の WEB サイト <http://www.jasonlabbe3d.com/> (2019 年 2 月 15 日)

山田亜虎, 酒井邦嘉 (2017 年 4 月) 「ブローカ野における文法処理」『BRAIN and NERVE』69(4):479-487 <https://webview.isho.jp/journal/detail/>

[abs/10.11477/mf.1416200767](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsoft/24/1/24_8/_article/-char/ja/) (2019 年 2 月 15 日)

藤波努 北陸先端科学技術大学院大学 (2012 年 2 月 15 日) 「音楽する脳」『知能と情報 (日本知能情報フアジィ学会誌)』24(1)pp.8-13(2019 年 2 月 15 日) [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsoft/24/1/24\\_8/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsoft/24/1/24_8/_article/-char/ja/)

大内田 裕胤 京都大学大学院情報学研究科 修士課程知能情報学専攻 (2011 年 2 月 25 日) 「データグローブを用いた事例の補完による三次元手モデルの姿勢操作」<http://www.mm.media.kyoto-u.ac.jp/old/research/thesis/2009/m/ouchida/ouchida.pdf> (2019 年 2 月 15 日)

山崎 仁之 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報処理学専攻 (2016 年 2 月 2 日) 「把持対象に注目した動作計測に基づく手のアニメーション」NAIST-IS-MT0551128 [https://library.naist.jp/mylimedio/dllimedio/showpdf2.cgi/DLPDFR003795\\_P1-77](https://library.naist.jp/mylimedio/dllimedio/showpdf2.cgi/DLPDFR003795_P1-77) (2019 年 2 月 15 日)

高野 衛, 安藤 大地, 笠原 信一 「インタラクティブな可聴化システムの検討のための動作分析への可聴化の応用における現状の考察」『先端芸術音楽創作学会 会報』8(1) pp.1-6 <http://data.jssa.info/paper/2016v08n01/1.Takano.pdf> (2019 年 2 月 15 日)

山下圭介 愛知県立芸術大学 (2016 年 3 月 25 日) 「彫刻における空間表現「空間を彫刻する」—実験と実践」[https://ai-arts.repo.nii.ac.jp/?action=pages\\_view\\_main&active\\_action=repository\\_view\\_main\\_item\\_detail&item\\_id=558&item\\_no=1&page\\_id=13&block\\_id=21](https://ai-arts.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=558&item_no=1&page_id=13&block_id=21) (2019 年 2 月 15 日)

## 9. 参考作品

Rhizomatiks Architecture 《CURTAIN WALL THE-ATRE》 (2016 年) [https://architecture.rhizomatiks.com/s/works/cw\\_theatre/](https://architecture.rhizomatiks.com/s/works/cw_theatre/)

古川 聖 東京藝術大学 先端芸術表現科 (2014 年) 「It's almost a song...」an audio-visual installation for using three EEG systems and Clarinet

WhiteVOID 《Mendelssohn Effektorium – Virtual orchestra for Mendelssohn》 <https://www.whitevoid.jp/>

//www.whitevoid.com/2014/02/03/  
effektorium-conducting-a-virtual-orchestra/

Lyon's light festival 《AXIAL》 http:  
//playmodes.jp/home/axial/

## 10. 著者プロフィール

### 伊藤 也太 (Narita ITO)

音響演出, 音源制作, 総合演出考案を担当。コンテンツ  
ポラリーかつ多様性を持つ音楽作品における音響・映  
像効果の制作・研究を行う。

### 寺崎 凌也 (Ryoya TERASAKI)

映像・音源制作, システムプログラミングを担当。シ  
ンセサイザーによる音響表現の可能性に魅せられ積極  
的に取り入れると共に、音と映像を相互に組み合わせ  
た作品の制作・研究を行う。



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/](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。