

創作ノート

バイノーラル再生方式による電子音響音楽の空間音響デザイン — バーチャル・アコースモニウム・システムの開発とその応用 —

田代 啓希

Hiroki TASHIRO

大阪芸術大学大学院 芸術研究科

Osaka University of Arts Graduate School

概要

本研究は、電子音響音楽の創作におけるバイノーラル再生方式を用いた空間音響デザインの新しいスキームをトータルなソリューションとして提案するものである。特筆すべき技術的な手法として、普段通りのプロセスで通常のステレオ再生方式作品を制作した後に、バイノーラル再生方式による仮想音響空間内で立体的な空間音響デザインを行なったことがあげられる。そのために電子音響音楽の上演に用いられる多元立体音響装置「アコースモニウム」のコンセプトを参照し、コンピュータ上の仮想空間内にバーチャルな存在としてアコースモニウムを再現するオリジナルプログラム「Virtual Acousmonium」を Max と Spat5 を用いて開発した。プログラム上でステレオ音源を再生しながら、各フェーダーの演奏情報を MIDI データで記録することで、演奏後に一般的な DAW に取り込み、演奏情報を再編集できる。このスキームはフェーダー操作に慣れたアコースモニウムの演奏者にとって、伝統的なステレオ音源を起点としながらも、バイノーラル再生方式による空間音響デザインを可能とする有効な手段といえる。なお、本スキームを用いた作品として『月に導かれて — Led by the Moon —』と題したバイノーラル再生方式によるヘッドホンのための全4曲からなる電子音響音楽を作曲した。

1. はじめに

1.1. 研究の背景

本研究では提案するソリューションを実現させるために、人間の頭部の音響効果をヘッドホン上で再現する音響技術であるバイノーラル再生方式と電子音響音楽の上演に用いられる多元立体音響装置「アコースモニウム」のコンセプトを参照して活用している。

バイノーラル再生方式とは人間の頭部の音響効果を

ヘッドホン上で再現する音響技術である。再生環境がヘッドホンに限定されるものの、一般的なステレオ再生方式に比べて左右に加えて前後上下にもある程度音像を定位させることができるため、より臨場感のある立体音響を構築することが可能である。

アコースモニウムとは 1974 年にフランスの作曲家フランソワ・ベイル Francois Bayle (1932-) が考案した多数のスピーカーと音響調整卓によって構成される演奏装置である。音響調整卓のフェーダー操作によって、ステレオ作品をそれぞれのスピーカーヘリアルタイムに分配することで音響空間を作り上げる演奏装置である。(檜垣 2016)

1.2. 先行研究

本研究に関連する先行研究として、ノルウェーのオスロ大学の Natasha Barrett と Alexander Refsum Jensenius による研究で開発された「Virtualmonium」がある。両氏の研究は、アコースモニウムの特徴をコンピュータ上に仮想立体音響空間を構築できる特徴を持つアンビソニックスと呼ばれる音響技術を利用して、既存のマルチスピーカーシステムで再現するものである。現代の電子音響音楽を扱うコンサート会場ではアコースモニウムではなく、より汎用性の高いマルチスピーカーシステムを設置することが多いが、実際に作曲される作品や古典の電子音楽作品の多くは、ステレオ音源方式であることを指摘している。「Virtualmonium」によって、ステレオ方式音源とマルチチャンネル作品が混在したコンサートの実施が可能であるとしている。(Barrett 2016)

「Virtualmonium」と筆者が開発した「Virtual Acousmonium」は、Cycling '74 社の「Max」と IRCAM が提供している MAX 用エクスターナルオブジェクト「Spat5」を使用している。つまり同じプログラミング環境で開発されている。しかし、動作プロセスと主となる目的が

異なっている。筆者の開発した「Virtual Acousmonium」では、ステレオ音源のバイノーラル音源化におけるアコースモニウムを参照した演奏から記録までの一連のプロセスをトータルな空間化ソリューションを実現することが主たる目的であり、アコースモニウム自体をバーチャル化することではない。演奏データを標準的な MIDI データとして記録し、外部ソフトウェアで編集可能である仕様も本研究の特徴の一つである。また、最終的な出力方式をバイノーラル音源方式にすることで、一般的なヘッドホンで立体的な音響デザインを聞くことを可能としている。これまでは実現が難しかったアコースモニウムの演奏情報を付加した状態で作品を CD 等の一般的な音楽用メディアに定着させることが可能となった。

2. ステレオ作品のバイノーラル音源化

2.1. 手順

バイノーラル音源化は通常のステレオ作品を制作した後に図 1 のような流れで行われる。はじめに仮想空間とスピーカーの定義を行う。この項目では仮想空間の広さと反響に加えてスピーカーの選択とレイアウトデザインを行い、仮想空間内にアコースモニウムを構築する。次にフェーダー型コントローラーを用いて、音源を再生しながらリアルタイムに演奏情報を記録する。最後に演奏情報データを一般的な DAW に取り込んで可視化した後、編集を行う。本研究では、これらのスキームを構築するために「Virtual Acousmonium」というオリジナルプログラムを開発した。

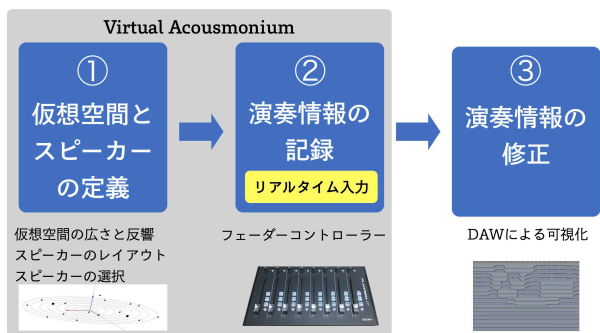


図 1: ステレオ方式作品のバイノーラル音源化の手順

2.2. オリジナルプログラム「Virtual Acousmonium」

本プログラムはアコースモニウムのコンセプトを参照して、同じプロセスを持った演奏情報記録・バイノーラル音源化を行うために、仮想空間内にアコースモニウムを構築するオリジナルプログラムである。(図 2) 仮想空間の定義を設定して、15 個の音源の配置を自

由にデザインできることに加えて、音源には実際のアコースモニウムで使用されている本物のスピーカーを測定して作成した 21 種類の IR データを適応できる。演奏情報の記録方法もアコースモニウムに倣い、フェーダー型フィジカルコントローラーを使用し、音源を再生しながらリアルタイムに行うことができる。記録された演奏情報は一般的な MIDI データとして記録されるため、演奏後に DAW 上で編集が可能である。なお、本プログラムは Cycling '74 社の「Max 8」と IRCAM が提供している MAX 用エクスターナルオブジェクト「Spat5」を使用して開発した。



図 2: 「Virtual Acousmonium」プログラム全体画面

まず 1)Control Section(図 3)では、音声信号の処理は行っておらず、アプリケーション全体のコントロールを統括して行なっている。各種設定のプリセットデータのインポートとエクスポートに加え、ステレオ方式音源データと演奏情報が記録された MIDI データの再生及び記録操作と各チャンネルのフェーダーへフェーダー型フィジカルコントローラーの MIDI 信号をアサインすることが可能である。視覚的に確認できるパラメーターとして、音源のタイムカウンターとバーチャル空間内のスピーカーレイアウトを表示している。

ステレオ方式音源データと演奏情報が記録された MIDI データの時間軸は同期しており、PLAY/STOP ボタンを押すことでタイミングがずれることなく再生と停止操作を行える。REC ボタンはプログラム全体を記録モードへの切り替えボタンで、ON にすると記録待機状態となり、PLAY/STOP ボタンを押すと音源の再生と同時に記録が開始される。グレーのフェーダーはフェーダー型フィジカルコントローラーの MIDI 信号をアサインするためのものである。中央部のメニューバーではチャンネルごとに割り当てる演奏情報が記録された MIDI データを選択することができる。下段のメニューバーが並ぶ箇所は後述する 6)IR Speaker Simulator section で各音源に適応させる IR データを選択することができる。操作を行うセクションと実際に音声処理を行うセクションを分けることによって、シンプルでわかりやすい操作性を実現している。

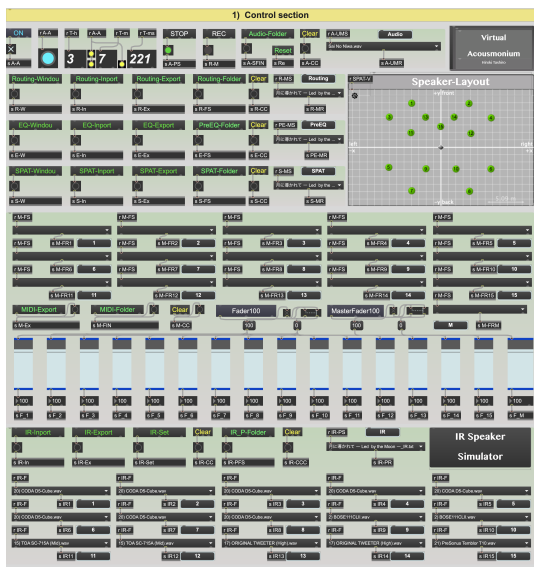


図 3: 「Virtual Acousmonium」 1)Control Section

2)の Audio Section(図 4)では、バイノーラル音源化を行うステレオ方式音源のインポート及び再生と記録に関する信号処理を行なっている。再生中のステレオ音源のタイムカウンターの計算もこのセクションで行われている。

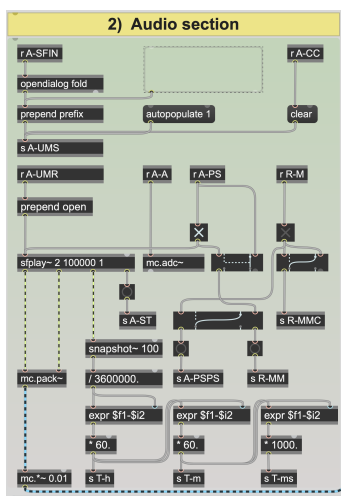


図 4: 「Virtual Acousmonium」 2)Audio Section

3)の Routing Section(図 5)では入力されたステレオ方式音源を各チャンネルへ分配するための設定を行う。基本的には音響スクリーンの概念(檜垣 2016)に基づいて、各チャンネルに音源の左側あるいは右側のいずれかを割り振り左右 2 チャンネルを 1 セットとして考えて設定する。また、1つのスピーカーとして独立しているソロスピーカーや低音用のサブウーファーでの使用を想定して、左右両方を同時に一つのチャンネルに割り振ることも可能である。基本的なルーティングに関してはテンプレートプリセットを制作しており、追

加で設定のインポートとエクスポートも可能。

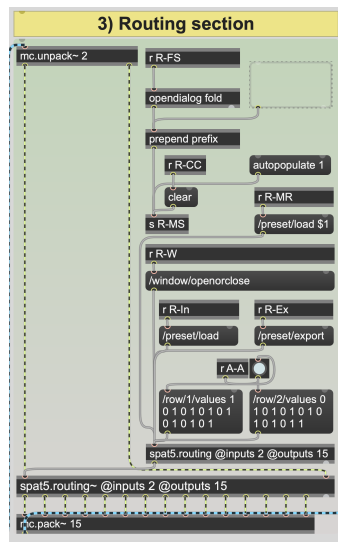


図 5: 「Virtual Acousmonium」 3)Routing Section

4)の PreEQ Section (図 6)では 3)Routing Section で分配された直後の段階でチャンネル毎に事前にイコライザーをかけることが可能である。イコライザー処理は後述するセクションでも可能だが、設定の複製や各音源の基準バランスを整える等さらに細かい設定を行うことができる。わざわざこのプロセスを加えている理由は、後述する 6)I IR Speaker Simulator section で音源毎に適応したスピーカー IR データの周波数特性を仮想立体音響空間内のスピーカーレイアウトでも最適化させるためである。基本的なイコライザーの設定に関してはテンプレートプリセットを制作しており、追加で設定のインポートとエクスポートも可能。

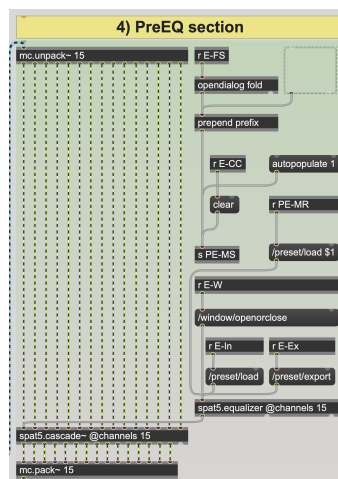


図 6: 「Virtual Acousmonium」 4)PreEQ Section

5)の Fader Section(図 7)は分配された各音源をどのスピーカーに割り当てるか音量調整を行う演奏に直結す

る重要なセクションとなっている。また、各音源の音量データはCC(コントロールチェンジ)11番エクスプレッションのMIDIデータとして一つのチャンネルに対して、一つのMIDIチャンネルでこのセクションで記録される。1)Control Sectionにあったグレーのフェーダーがフェーダー型フィジカルコントローラーのMIDI信号をアサインするためのものであるのに対して、このセクションの黄色いフェーダーは実際に音声処理が行われており、記録モードではグレーのフェーダーを通して、フェーダー型フィジカルコントローラーのMIDI信号を受信して動作している。再生モードではseqオブジェクトに読み込まれたMIDI信号を受信して動作する。フェーダーの音量カーブは実物の音響調整卓と同じように緩やかなカーブを描くように設定されており、本物のアコースモニウムに近い演奏性を実現している。情報の記録と再生を行うseqオブジェクトを再生時と録音時で分けることにより、Avid社Pro ToolsなどのDAW(デジタル・オーディオ・ワークステーション)での編集を行う上でのデータ運用がスムーズになるように設計されている。

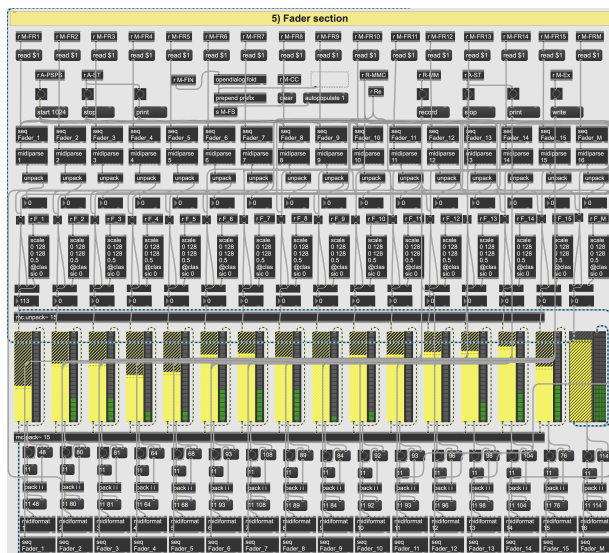


図 7: 「Virtual Acousmonium」 5) Fader Section

6)のIR Speaker Simulator section(図8)は実際のアコースモニウムで使用されている本物のスピーカーを測定して作成したIR(インパルスレスポンス)データを分配されたそれぞれの音源に適応させることができる。測定は防音室内に測定対象のスピーカーを設置してPreSonus社の測定用マイクで測定用信号を集音する方法で行なった。測定用信号生成と記録にはPreSonus社のDAWであるStudio One 5付属のIR Makerを使用した。収録の様子と周波数分布は図9、図10の通り。測定したスピーカーは一般的なPAスピーカーやスタジオ用のモニタースピーカーに加えて設備用のスピーカーや高音域のみを再生できるツイーター、低音用の

サブウーファーなど21種類の中から自由に選択できる。選択できるIRデータの一覧は、図11の通り。

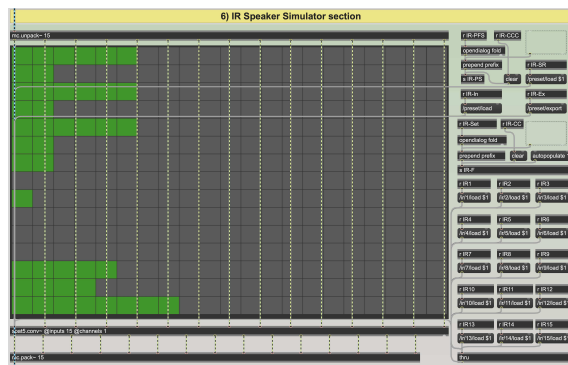


図 8: 「Virtual Acousmonium」 6) IR Speaker Simulator section

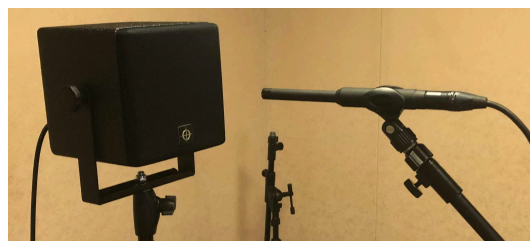


図 9: CODA 社 D5-Cube の計測の様子

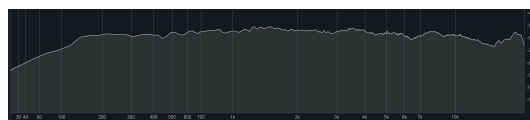


図 10: CODA 社 D5-Cube の IR データ周波数分布

メーカー名	機種名	備考
GENELEC	8020B	モニタースピーカー
BOSE	111 CLII	設備向けスピーカー
BOSE	111 PYW	設備向けスピーカー
BOSE	101MM	設備向けスピーカー
YAMAHA	MSP3	モニタースピーカー
YAMAHA	VS-E1	オーディオ向けスピーカー
YAMAHA	NS100M	モニタースピーカー
SONY	SS-V4	オーディオ向けスピーカー
SONY	SSMX1	コンピューター付属スピーカー
PIONEER	S-X4	オーディオ向けスピーカー
DENON	USC-C555	5.1 サラウンド再生システム向けスピーカー
DENON	USC-A555	5.1 サラウンド再生システム向けスピーカー
BEHRINGER	C5A	フルレンジスピーカー
Community	CSX35-S2	PA用スピーカー
TOA	SC-715A	音色スピーカー(Mid)
CLASSICPRO	CSP8P	音色スピーカー(Low)
ORIGINAL	TWEETER	音色スピーカー(High)
ORIGINAL	USHIYAMA ORIGINAL 50A	スピーカーユニット交換 (制作: 牛山泰良氏)
ORIGINAL	USHIYAMA 光るんです	双指向性スピーカー (制作: 牛山泰良氏)
CODA	D5-Cube	同軸スピーカー
PreSonus	Temblor T10	サブウーファー

図 11: 6)IR Speaker Simulator section 用に測定したスピーカー一覧

7)のSpat5 Binaural Section(図12)は、分配された音源を一つの仮想空間内に収めて、アコースモニウムの仕

様の設定を行うこのプログラムで最も重要なセクションである。仮想空間内の広さや反響、15個の音源の配置(スピーカーレイアウト)を自由にデザインできる。これらの処理を通過した後、バイノーラル音源として次のセクションへ信号が送られる。この仕様の設定はSpat5のオブジェクトSpat5.Operを用いて設定可能である。(図13)また、バイノーラル音源化するために頭部伝達関数(HRTF: Head Related Transfer Function)と呼ばれる、音源から耳に至るまでの音の伝達特性のデータ(SOFA)を読み込んである。基本的なスピーカーレイアウトと仮想空間の広さや響きの設定に関してはテンプレートプリセットを制作しており、追加で設定のインポートとエクスポートも可能。

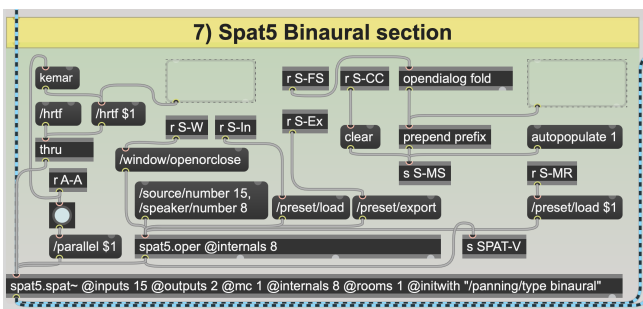


図 12: 「Virtual Acousmonium」7)Spat5 Binaural Section

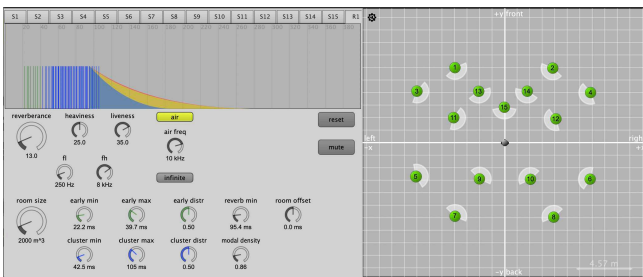


図 13: Spat5 「Spat5.Oper」 オブジェクト

8) の Output Section(図 14) では、2~7 までの処理を通過してバイノーラル音源化された音源を最終的にヘッドホンなどの再生機器に出力するセクションである。バイノーラル化処理を経た音源はこのセクションで非圧縮不動小数点のオーディオデータとして記録され、書き出し可能である。

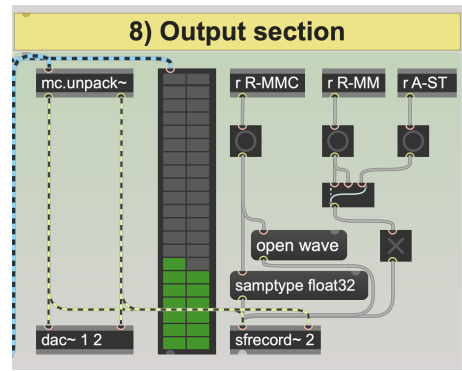


図 14: 「Virtual Acousmonium」8) Output Section

2.3. 演奏情報データの再編集

ステレオ方式音源をバイノーラル音源化するにあたり、前節で述べた「Virtual Acousmonium」に加えてDAW(デジタル・オーディオ・ワークステーション)を使用して、演奏記録後に演奏情報が記録されたMIDIデータの修正と編集が可能である。データの再編集ではAVID社Pro Toolsを使用しているが、演奏情報が記録されたMIDIデータは、どのようなMIDIコントローラを使用しても必ずCC(コントロールチェンジ)11番エクスプレッションのMIDIデータとして一つのチャンネル(分配された音源)に対して、一つのMIDIチャンネルで記録されているため、一般的なDAWであれば編集できるように設計されている。演奏情報が記録されたMIDIデータの編集にはDAW標準のオートメーション編集機能をそのまま使用可能で、ペンシルツール等を用いて直接データに書き込みを行える。(図15)修正と編集が完了した演奏情報が記録されたMIDIデータを再度「Virtual Acousmonium」に取り込み、自動演奏の結果を録音することによってステレオ方式音源のバイノーラル音源化が完了する。

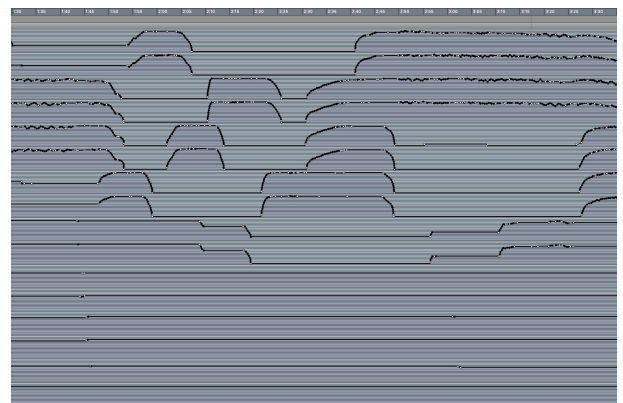


図 15: 演奏情報が記録されたMIDIデータをAVID社Pro Tools上に表示した画面

3. 考察と展望

3.1. 考察

本研究では、仮想空間内でアコースモニウムを演奏するオリジナルプログラム「Virtual Acousmonium」を用いて、ステレオ方式の作品をバイノーラル音源化する一連のプロセスをトータルなソリューションとして示すことができた。実際のアコースモニウムのコンセプトを下敷きとすることで、伝統的なステレオ音源を起点としながらもフェーダーを使ったりリアルタイム入力による空間音響デザインのスキームを確立できた。このスキームはフェーダー操作に慣れたアコースモニウムの演奏者にとって、バイノーラル再生方式による空間音響デザインを可能とする有効な手段といえる。

3.2. 展望

今後の展望として、3つの発展例をあげる。1つ目は構築できる規模の拡張である。本研究では15個のスピーカーを使用した比較的小規模でシンプルな構成のアコースモニウムを仮想空間内に構築したが、15個に設定した理由としてこれ以上の規模のアコースモニウムを構築しようとするとコンピューターの性能が足りず、リアルタイムでの演奏に耐えうる動作を維持することができなかつたことが挙げられる。今後テクノロジーの発展でコンピューターが高性能化された後に、さらに規模の大きなシステムを構築できるようにアプリケーションの改良を加えたい。

2つ目はアコースモニウムの演奏のアーカイブ化である。本研究で開発したプログラムで記録される演奏情報は音源ごとに別々の標準的なMIDIデータとして出力できるように設計している。この仕様はDAW等の外部ソフトウェアとの連携を容易にするのみならず、MIDIに対応したデジタルミキサーであれば実際のアコースモニウムでも自動的な演奏再現及び記録を行うことも可能としているため、演奏のアーカイブ化にも使用できる。

3つ目はアコースモニウムの演奏技法指導への活用である。大がかりな音響装置を必要とする本物のアコースモニウムを構築する必要無く、コンピューターとヘッドホン、フェーダー型フィジカルコントローラーのみを用いるだけで比較的手軽にアコースモニウムの演奏技法を擬似的に体験することが可能である。この特徴を活かして、アコースモニウムの演奏技法指導のツールとして教育領域での活用も考えられる。

参考文献

Natasha Barrett, Alexander Refsum Jensenius. 2016.
The Virtualmopniium : an instrument for classi-

cal sound diffusion over a virtual loudspeaker orchestra, University of Oslo

檜垣智也. 2016. アコースモニウムによる音の世界—再創造される電子音楽の可能性. engine books

4. 著者プロフィール

田代 啓希 (Hiroki TASHIRO)

1995年神戸市生まれ。大阪芸術大学大学院博士課程前期芸術研究科芸術制作専攻作曲研究領域在籍。電子音響音楽の作曲とモジュラーシンセサイザーを用いた即興演奏を主な活動フィールドとしている。これまでにCCMC(2016-2019 東京)、FESTIVAL FUTURA(2019,2020 フランス)、ボンクリ・フェス(2019,2020 東京)など国内外で作品を発表。CCMC2019にてFUTURA賞、CCMC2020にてMOTUS賞を受賞。2017年フランスにてFUTURA2017アコースモニウム夏期講習会参加。電子音響音楽・アコースモニウム演奏を檜垣智也、音響技術を宇都宮泰の各氏に師事。



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。