

アルゴリズムコンポジションによる人間とコンピュータとの
インタラクティブな関係性におけるシステムの構築に関する実践的研究

Practical Studies on System Construction for Interactive Relationship
between Human and Computer by Algorithm Composition

2019 年 3 月

新潟大学大学院

現代社会文化研究科

氏 名 大野 雅夫

Abstract

Through three stages of composition I succeeded in constructing a system for interactive relationship between humans and computers by algorithm composition.

《I》

"Etude" for piano and live electronics(2015) is my composition using Antescofo, which is a real-time score following and coordination language for computer music composition and performance, and is developed by Arshia Cont in collaboration with Marco Stroppa.

In this composition, Antescofo follows the performer, who controls the tempo. I tried to find a way to make the system work and clarified the problem through analysis.

《II》

In the previous stage, I mentioned several technical restrictions in the creation of my own work applying the real-time score following technology, and also described the effectiveness of the use of Antescofo, which works with Max as a solution to those. As a continuation of the previous paper, I studied how computers can participate more actively in this paper. I created a program that runs under the following two relationships:

- ① A relationship between Max as a performer and a human as a performer
- ② A relationship between Max as a performer and Max as a performer (A relationship between Max and Max)

Based on this relationship, three works were produced and analyzed. Finally, I mentioned the future possibility of the interactive relationship between a computer performer and a human performer.

《III》

In the previous stage, I studied how computers can participate with humans more actively, and created a program that runs under the following two main relationships between humans and computer. Based on this relationship, several works were produced and analyzed. Finally, I mentioned the future possibility of the interactive relationship between a computer performer and a human performer. In this paper, I constructed a system for musical expression in the interactive relationship between a human and a computer, focusing on three roles of computer:

- ①A computer as a musical instrument
- ②A computer as a tool for executing a program (thoughts by a computer)
- ③A computer as a performer

In order to use a computer as a musical instrument, I constructed a system that uses Max to output the MIDI note number of the harmonic overtone by the bang message. Furthermore, to recognize the motion of the human hand and send a bang message wirelessly to a computer, I used the R-IoT module developed by collaboration between IRCAM and PluX. In order to use the computer as a tool for executing the program, several systems were constructed. When displaying the score on Max, I used Max's external library “bach”. In order to make the computer play a role as a performer, I built a system, using Max's external library “Antescofo”. Through this research, I mention the possibility of musical expression by computer calculation, which is difficult for human beings.

目次

第1章 緒論

1 研究の背景とねらい.....	1
2 研究のアプローチ.....	1
3 先行研究.....	3
4 Antescofo について.....	5
5 Max について.....	6

第2章 人間の演奏に正確に追従する「伴奏者」としてのコンピュータの成立とその過程

1 序論.....	8
1-1 Antescofo を機能させる基本的手順.....	8
1-2 設営の手順.....	8
1-3 入力シグナルレベルとピッチの調節.....	10
1-4 NoteAbilityPro を用いたアクションランゲージの作成.....	12
1-5 演奏音源の用意と出力先の選択.....	14
2 自動伴奏者として用いる Antescofo の自作品への応用.....	14
2-1 自作品：“Etude” for piano and live electronics(2015)について.....	14
2-1-1 作曲経緯.....	14
2-1-2 作品概説.....	15
2-2 作品のアイディアと構成.....	16
2-2-1 作品のアイディア.....	16
2-2-2 構成.....	17
2-3 作品における技術的制約とその解決方法.....	18
3 第2章の総括.....	19

第3章 人間らしい反応を返す「共演者」としてのコンピュータの成立とその過程

1 序論.....	21
1-1 本章のねらい.....	21
1-2 共演者としてのコンピュータの演奏における人の思考と身体性の模倣について.....	21
2 コンピュータと演奏者との2つの関係性.....	22

3 2の関係性でのMaxのパッチ作成における3作品の使用例.....	23
3-1 コンピュータと人間による J. S. Bach : Johannes Passion(BWV245)	
No. 54 Chorus の演奏.....	23
3-1-1 コンピュータと演奏者との関係性とパッチの概要	23
3-1-2 NoteAbilityPro を用いた Antescofo のためのデータ作成.....	25
3-1-3 Antescofo のアトリビュートの設定について	26
3-1-4 コンピュータと人間による J. S. Bach : Johannes Passion(BWV245)	
No. 54 Chorus の演奏の総括	26
3-2 コンピュータと人間による 室内合奏のための「気配」(2017) の演奏	27
3-2-1 コンピュータと演奏者との関係性とパッチの概要	27
3-2-2 無線通信による音声入力のための NoteAbilityPro を用いた	
Antescofo のためのデータ作成.....	27
3-2-3 コンピュータと人間による 室内合奏のための「気配」(2017) の	
演奏の総括.....	29
3-3 “Etude II” for piano and live electronics(2017)	30
3-3-1 コンピュータと演奏者との関係性とパッチの概要	30
3-3-2 MIDI を用いた主旋律の演奏のためのプログラム	30
3-3-3 主旋律のスコアフォローイングのためのプログラム	32
3-3-4 Antescofo から出力されるメッセージによるMaxの演奏のための	
プログラムの概要.....	32
3-3-5 1. 主旋律の周波数を基音とした倍音列と黄金比を掛け合わせた	
周波数を生成するプログラム	34
3-3-6 6. itable オブジェクトを用いたMIDIのノートナンバーを出力する	
ためのプログラム.....	35
3-3-7 “Etude II” for piano and live electronics(2017)の総括.....	36
4 第3章の総括	37

第4章 ソリストとして振る舞う「演奏者」としてのコンピュータの成立とその過程

1 序論.....	39
1-1 本章のねらい.....	39
1-2 コンピュータによる人間の演奏の模倣と人間の思考との関係性	
について	39
2 コンピュータが担う3つの役割.....	40

3	3つの役割を果たすコンピュータと人間とが対話するシステムの概要と分析	43
3-1	“Response” のシステムの概要	43
3-2	センサーから送られてくる bang に対応して楽器としての Max が演奏するシステム	44
3-3	人間の演奏を MIDI のデータとしてリアルタイムに記録するシステム	48
3-4	記録した人間の演奏の bang の間隔の順番を入れ替え Antescofo を用いて再生するシステム：思考回路(a)	49
3-5	Antescofo の役割	51
3-6	保存された MIDI のデータを bach を用いて楽譜のデータに変換するシステム：思考回路(b)	51
3-7	楽譜に変換されたデータを bach のオブジェクトを用いたアルゴリズムを通して変換し演奏するシステム	52
3-8	“Response” のシステムの総括	54
4	第4章の総括	54

第5章 本研究の総括

<参考文献>	60
<資料>① “Etude” for piano and live electronics (2015)	62
<資料>②室内合奏のための「気配」(2017)	81
<資料>③ “Response” のパッチ	86

第1章 緒論

1 研究の背景とねらい

コンピュータを用いた作曲を行う際、コンピュータは主として、楽器と奏者、また演算装置としての役割を果たす(清水, 大野 2015)。著者は以前から、この「奏者」としてのコンピュータと生身の人間の演奏者が相互に影響を与え合い、リアルタイムに音楽を創造するインタラクティブなシステムを構築できないかと考えていたが、テクノロジーの制約によりそれは叶わなかった。その折、リアルタイム・スコアフォローイング¹のテクノロジーとしての Antescofo の存在を知り、この技術の応用によりこれまでには存在しなかったインタラクティブなシステムとして、コンピュータに「独立した演奏者としてソリストのように振る舞わせる」という著者の独自の概念が、Max を用いたシステムの構築により実現できるのではないかと考え、本研究の着想に至った。

2 研究のアプローチ

本研究では、人間の演奏による一方的なコントロールによって演奏に正確に追従するコンピュータを「伴奏者」、人間の演奏に追従して演奏する際の不自然な正確すぎる演奏にあえてズレの要素を取り込むことにより、人間らしい音声データを出力する段階のコンピュータを「共演者」、コンピュータと人間の演奏者が相互に影響を与え合いお互いがソリストとして掛け合いを行う、リアルタイムに音楽を創造するインタラクティブなシステムの構築のための図1に示される課題全てをクリアしたコンピュータを「演奏者としてのコンピュータ」として定義する。また、これらのコンピュータの3つの役割は、人間の演奏者が実際に担うであろう役割に準拠している。そして、コンピュータに入力される音の分析、出力する音の決定のそれぞれにおける過程を本論文においては「思考」、またその仕組みを「思考回路」として定義する。

リアルタイム・スコアフォローイングのテクノロジーが開発され、それが開発者レベルではなく一人の作曲者によって実際の作曲に応用されるレベルにおいて、これまでには不可能であった、コンピュータを操作者である人間から独立さ

¹ 実際の演奏に合わせて、スコア上のその演奏箇所をコンピュータ上で自動的に追従していく機能。

せた演奏者として機能させる，といった音楽的概念を，実際の時間軸を伴った音楽として如何にして具現化することができるのかということについて，その創作過程において生じる問題点とその解決法をあげつつ，独立した「演奏者」としてコンピュータを機能させるまでに「伴奏者」，「共演者」，「演奏者」のそれぞれの段階における自作品の制作を通して明らかにする。

また，これは通常のコンピュータ音楽における創作においても同様であるが，実際の音楽創作の段階においてはテクノロジーと作曲家との関係性は個々人において様々であるため，本論文では Antescofo の一般的な使用法についての方法論の確立を目指すのではなく，ケーススタディとして，リアルタイム・スコアフォローイングのテクノロジーを応用した，著者による実際の創作を通し，その実用性を検証することを目的とする。

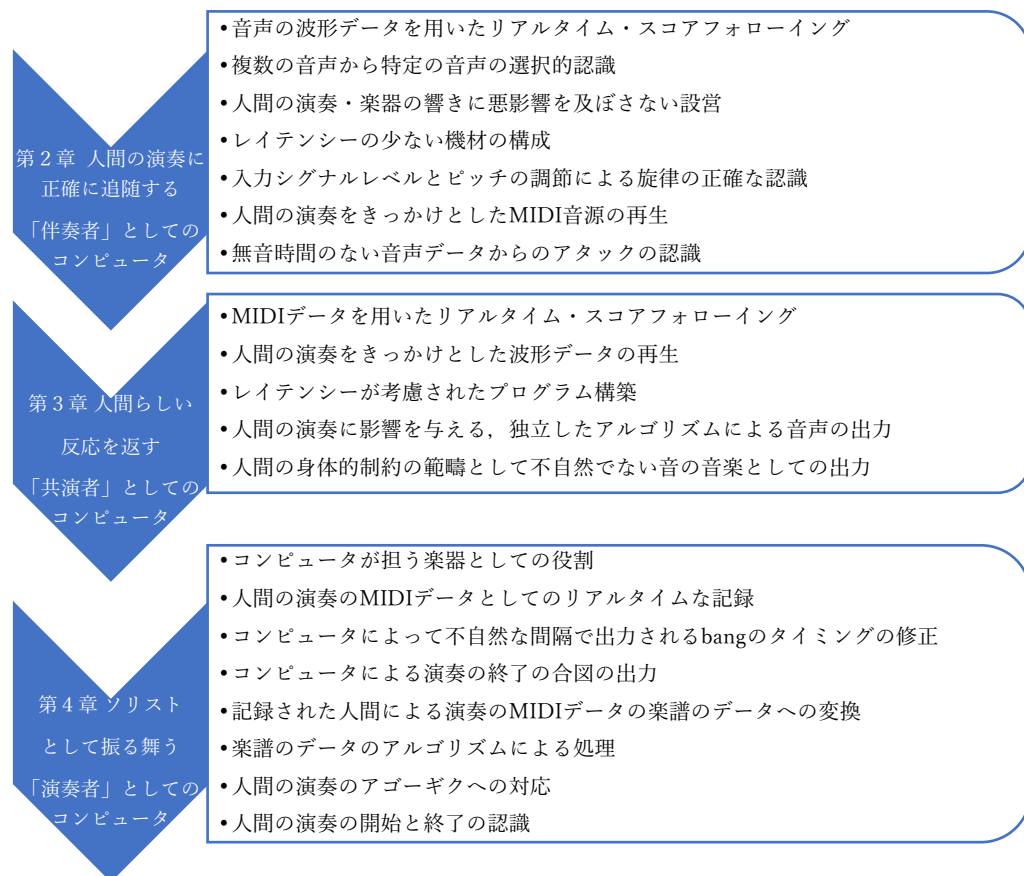


図1. 「伴奏者」「共演者」「演奏者」のそれぞれの段階における課題
(出所)著者による作成

3 先行研究

コンピュータ上でスコアフォローイングを行おうとする試みは、Antescofo が開発される以前からも一般的に行われていた。それは例えば、ビジュアルプログラミング言語である Max 上で、MIDI のデータを入力する際に用いる ctlin オブジェクトを用いたパッチにより MIDI フットコントローラーからテンポやリズムの信号を入力したり、デジタル信号処理において音のアタックを検出し音楽のリズムを検出しようとしたりする試みであったが、それらは「楽譜」という概念に対応したものではなく、あくまでも、プログラム上の値としてあらかじめデータを用意しておく必要があるものであった。その点において Antescofo は、ノーテーションソフト²である NoteAbilityPro のスコア上において、楽譜を参照しながらコンピュータとの関わりを構築できるので、そういった意味においては、ただコンピュータ上における操作が容易になるというだけではなく、作曲家にとってより合理的で、必要な場合によってはより複雑な、人間による演奏とコンピュータの演奏との関係性を構築できるテクノロジーの一つとなる可能性がある。また、中川(2010)の研究によると、日本の 60 年代後半当時における、過去に想像された未来としてのレトロ・フューチャーにおいて「演奏家不要論」が唱えられたとある。本研究を通して現代における演奏家の有用性について確認しつつ、人間の演奏者と、演奏者としてのコンピュータとの関係性におけるインタラクティブな音楽創作のシステムを構築することにより、コンピュータを用いた現代音楽における新しい未来の可能性について追求する。

「楽器としての」コンピュータを用いた作曲活動は 20 世紀後半に入ってから盛んに行われた³が、Pierre Boulez の “Répons⁴” (1981-1984)で行われたような、生の楽器の演奏とコンピュータ音楽とが組み合わせられた作品はあったにせよ、その 20 世紀のいずれの作品においても、コンピュータが自立して、人間によって演奏される音楽を認識し、生身の演奏者とインタラクティブに音楽を共有する技術が確立されることはなかった。21 世紀に入り、Marco Stroppa とのコラボレーションにより Arshia Cont によって開発された、リアルタイム・スコアフォローイングと作曲と演奏のためのコーディネーション言語としての Antescofo により、

² コンピュータ上で楽譜データを作成するソフトウェア

³ Iannis Xenakis(1978)“Mycenes alpha”, 湯浅譲二(1991)「UPIC のための『始原への眼差し 第一番』」等

⁴ 「レポン」フランス語。「応答」「答え」の意。6 人のソリスト、室内オーケストラとライブ・エレクトロニクスのために作られた曲である。コンピュータの操作は人間が行う。

これらの技術が確立されつつあり、現在もそういったテクノロジーの技術的開発は盛んに行われている(大塚他 2011)(北村他 2013)。また葉(2009)は「ヴァイオリンとコンピュータのための『Active Figuration』では、作曲家のコンピュータ・オペレーションなしに、演奏者が一人で演奏することが可能になるようにプログラミングすることに成功した。このことにより、元来、作曲家の立ち会い、もしくはコンピュータ・オペレータのアシスタント無しでは困難であったインタラクティブ・コンピュータ音楽演奏が、より一般化されていくものと期待している。」と述べており、著者はこの発展として、コンピュータを独立した一人の「演奏者」とみなし、人間とコンピュータとのインタラクティブな関係性におけるシステムの構築を目指した。

自作品において **Antescofo** のテクノロジーを用いるにあたり、**Antescofo** を実際に用いた作品創作についての先行研究や、公に発表された作品として、**Antescofo** の使用を謳っているものは現時点では多くは見かけられない⁵。これまでの著者の **Max** 及びライブ・エレクトロニクスに関しての研究に基づいた自作品においては、コンピュータを独立した演奏者として機能させる、ということは困難であったが、**Antescofo** を用いることによりそれが可能になった。**Marco Stroppa**, **Vassos Nicolaou** らによる作品も、自作品も、人間による演奏とコンピュータ上での処理における時間軸をスコアフォローイングによって同期させるという点においては同じだが、それによって **Arshia Cont**, **Vassos Nicolaou** らが、リアルタイムで人間による演奏にコンピュータ上の処理でエフェクトをかけたり、一度録音した音声データを時間軸をずらして再生したりしたのに対し、著者はここでは、人間による演奏にコンピュータによって手を加えることはせず、あくまでコンピュータを一人の「演奏者」として捉え、人間による演奏はコンピュータが演奏を行う「きっかけ」として用いることに終始し作品を制作した。この点においては、**Arshia Cont**, **Marco Stroppa** らによる作品とは異なっている。何故なら著者にとって本研究においては、コンピュータを独立した「演奏者」として機能させる、という音楽的概念が重要であったからである。

⁵ **Antescofo** 開発者らによる作品として、**Marco Stroppa**(2007)“… of silence”, **Vassos Nicolaou**(2009)“**Otomo**”等がある。

4 Antescofo について

Antescofo とはリアルタイム・スコアフォローイングと作曲と演奏のためのコーディネーション言語であり⁶、後に詳述する Max のエクスターナル・オブジェクトである。このオブジェクトを用いることによって、Max 上でのリアルタイム・スコアフォローイングが可能になる。Antescofo の動作には AI のテクノロジーが応用されている。

Antescofo は Max のパッチ上で基本的に antescofo~ という名のオブジェクトとして機能する。antescofo~ 単体ではスコアフォローイングの動きを視覚的に確認することはできないが、図 2 に示す Ascograph というアプリケーションを使用することで、antescofo~ の動作をインターフェイス上に表示することができる。antescofo~ に楽譜のデータを取り込む場合には、最も簡単な手段としては楽譜のデータを MusicXML の形式に変換し、それを antescofo~ で開くという方法があるが、その際の問題点は、MusicXML の形式だと antescofo~ から Max の receive オブジェクトに send オブジェクトの機能でその引数を送信したりする際に用いるアクションランゲージを MusicXML のファイル内に保存できない点である。そのため MusicXML で antescofo~ に楽譜のデータを取り込む場合には、アクションランゲージは Ascograph のエディタの機能を用い手動で入力するしかない。その問題点を解決できるのが、第 2 章 1-4 で詳述する NoteAbilityPro である。このアプリケーションはノーテーションソフトであるが、アクションランゲージも内包する antescofo~ 用の楽譜データのテキストを生成できるので大変効率的である。

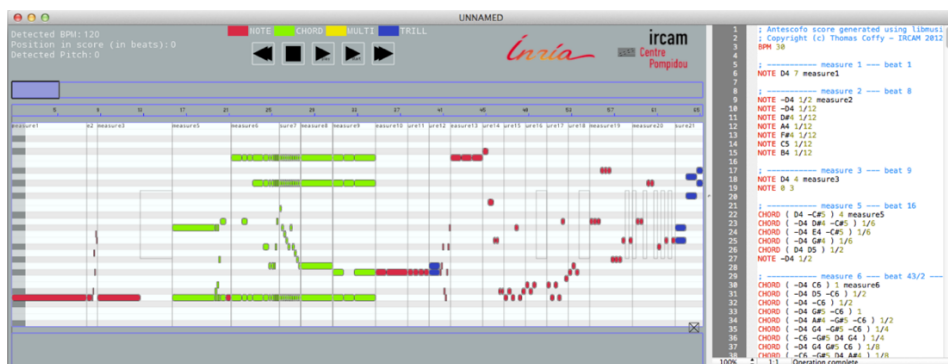


図 2. Antescofo のインターフェイス・エディタとしての Ascograph の画面
(出所)著者による作成

⁶ Ircam Forum“Products-Antescofo” <http://forumnet.ircam.fr/product/antescofo-en/> (2017 年 1 月 14 日アクセス)

5 Max について

Max とは、1988 年に IRCAM の Miller S. Puckette によって開発された、ビジュアルプログラミング言語である。Max を用いることにより、従来の、楽譜を用いた演奏者と楽器を通した演奏を前提とした音楽に限らず、MIDI⁸やデジタル信号処理のテクノロジーによって、音の波形そのものを内部処理し、リアルタイムでスピーカー等から出力することができる。音とは物理的には空気の振動であり、その音の波形と周波数を自由にコントロールできる Max を用いることによって、理論上は、如何なる音色をも作り出すことが可能である。その際の音色は実際に存在する既存の楽器の音色にとどまらず、加算合成・減算合成・AM 合成・FM 合成・RM 合成等が代表する様々な波形合成・音響処理を施すことによって、未聴の音色を作り出すことが可能なソフトウェアである。既存の楽器の音色を用いる場合にはもちろん、MIDI を用いることも可能である。音のダイナミクスやデュレーションも自由にコントロールすることができ、音域やピッチも自由に指定することができる。同時発音数・連続的なアタック・音の跳躍等も基本的には制限が無い。以上のような機能を持つ Max だが、エクスターナルのライブラリとしてオブジェクトを追加することにより、更に機能を拡張させることができる。その機能の一つが上述した「Antescofo」である。

一般的に知られているテキストベースのプログラミング言語とは違い、Max のようなビジュアルプログラミング言語は、あらかじめコンパイルされたオブジェクトと、オブジェクト同士をパッチコードと呼ばれる線で繋ぐことによってプログラミングを行う。このプログラミング方法だと、一からテキストを入力する必要がなく、作曲家にとって必要な機能がオブジェクトという形であらかじめ提供されているのに加え、パッチコードで繋いでいくという視覚的な方法によりプログラミングを行うので直感的なプログラミングが可能になり、実際の音のイメージとプログラミングの内容とをマッチさせやすいというメリットが考えられる。

デメリットとしては、視覚的なプログラミング方法であるが故に、パッチャー等を用いてプログラムを整理しないと、視覚的に煩雑になり、プログラム全体の構造が把握できない状態に陥ってしまう点が考えられる。

Antescofo は Max 上で機能するので、基本的に Max との連携が想定された仕様になっている。そのため、Max の noteout オブジェクトを用いて MIDI の音源を

⁸ Musical Instrument Digital Interface

再生したり，アクションランゲージを用い **Max** の持つ本来のプログラミングの機能と連携させたり，といったことが容易に可能になっている。

第2章 人間の演奏に正確に追従する「伴奏者」としてのコンピュータの成立とその過程

1 序論

Antescofo を用いて創作を行う際に必要な種々の前提条件として、以下の5つの項目について定義を行う。

- (a) Antescofo を機能させる基本的手順
- (b) 設営の手順
- (c) 入力シグナルレベルとピッチの調節
- (d) NoteAbilityPro を用いたアクションランゲージの作成
- (e) 演奏音源の用意と出力先の選択

1-1 Antescofo を機能させる基本的手順

antescofo~の操作は、antescofo~のインレットに様々なメッセージやシグナルを送ることによって行う。基本的には以下の順序で操作を行うことによりスコアフォローイングが可能になる。

- ① 演奏音源のシグナルのパッチコードを繋ぐ。
- ② 「read」のメッセージを送り、MusicXML か Antescofo 用のアクションランゲージを含んだテキストデータを選択し、追従するスコアのデータを読み込む。
- ③ 「suivi 1」(「suivi \$1」にし、toggle を用いてコントロールしても良い)のメッセージを送る。
- ④ 「start」のメッセージを送る。

この操作を行うことにより、演奏音源と antescofo~に読み込まれたデータによってスコアフォローイングを行う。但し、このためには様々な事前の準備と操作が必要になる。

1-2 設営の手順

antescofo~にシグナルデータを入力する際には、マイクを用い adc~のオブジェクトからシグナルのパッチコードを antescofo~のインレットに繋ぐのが通常のな

使用方法として考えられるが、この際のマイクの使用法についても、正確な結果を得るためには工夫が必要である。

まず、マイクは基本的には有線のものを用いた方が効果的である。Bluetooth等の無線の技術を用いることも可能だが、無線送信技術の仕様や、高負荷によるスペックの問題等により入力される音のデータにレイテンシーが生じ易いので、そういった面で有線の方が安定しているといえる。

前提として、antescofo~を用いないクラシックのコンサートでは、楽器のすぐ近くにマイクが設置されているということは録音が行われる場合以外あまり考えられない。今回の自作品ではピアノを用いたが、マイクの設置の仕方により人間の演奏者によるピアノの演奏に支障が出るようなことはあってはならない。楽器の響きに影響が出ないようマイクスタンドを用い、楽器であるピアノが直接触れることがないように図1のようにセッティングした。

また別の問題として、演奏中にマイクでピアノの音を拾う際には、どうしてもスコアフォローイングによる自動伴奏の音源の音もマイクに入ってしまうので、antescofo~のスコアフォローイングの処理にエラーが起こらないよう、マイクの指向性を考慮し、できるだけピアノの音だけがマイクに入力されるよう工夫する必要がある。

この問題に対する解決策として、通常のマイクを使用する際には、マイクを出来るだけ音源である楽器に近づける必要がある。今回のグランドピアノの場合は、ピアノの蓋の内側に見えるハンマーのすぐ上にマイクを配置した。またマイクの上・横から入ってくる自動伴奏の音源の音を少しでもカットするため、マイクの上に布を被せた。

設営の際には、以下の2点について考慮されることが望ましいが、超指向性マイクやレイテンシーのない無線技術を用いることが可能な場合、もしくは録音された音源によりスコアフォローイングを行う場合については勿論この限りではない。

- ① 演奏の妨げにならないマイクの設置と配線
- ② スコアフォローイングの対象となる音源への近距離のマイクの設置と対象の音源以外の音の遮断



図 1. セッティングされたマイク (出所)著者による撮影

1-3 入力シグナルレベルとピッチの調節

スコアフォローイングを行う楽器の音源は、マイクによって入力され、adc~からシグナルデータとして antescofo~に送られるが、このシグナルの音圧のレベルと、基本となるピッチが Antescofo 上で設定された正常な値にチューニングされていないと、スコアフォローイングの正確な結果を得ることができない。

シグナルレベルとピッチについては、Antescofo の *calibrate* の機能を用い視覚的に確認することができる。ここではシグナルレベルは時系列に沿って生成されるグラフによって表示され、ピッチはリアルタイムに変化するメーターによって表示される。シグナルレベルは音のアタックの検出にも関わるので、時系列上で確認できるのは便利な機能である。

シグナルレベルを適正な値に調節するためには、「どこかの段階で」何らかの調整を行うことが必要である。段階は以下の4つのように考えた。

1. マイクで音を拾う段階
2. オーディオインターフェイスでデジタルデータに変換する段階
3. Max 上で adc~からシグナルデータとして出力された段階
4. antescofo~に入力された段階

以上それぞれの段階だが、音源が動くこと¹、一定の音量で演奏されるとは限らないこと²また、それらに伴い自動的、連続的にシグナルレベルの調節を行う必要があることを考慮すると、今回は adc~から出力されたシグナルデータを Max 上の処理で自動的に適正なシグナルレベルに調節し、 antescofo~に入力するのが望ましいと考えられる。そのような処理を行う Max 上のパッチのプログラミングの方法としては様々な手段が考えられるが、自作品の演奏の上で、著者自身がプログラミングを行ったパッチが図 2 である。

このパッチは、現在のシグナルのレベルが適正レベルと比べて高いか低いかを判断し、高ければレベルを下げ、低ければレベルを上げるという処理を自動で、連続的に行うパッチである。チューニングについては演奏中ではなく、事前の準備段階で調整しておく必要がある。そもそも、チューニングを行うピッチを変更したい場合は、 antescofo~の tune の機能を用い、チューニングする周波数を指定することができる。

¹ ピアノの場合は、叩く鍵盤の場所が変わればそれに伴って必然的に音源も移動することとなる。

² p や f, フレー징ング, イントネーションなどの音楽的な演奏上の強弱変化。

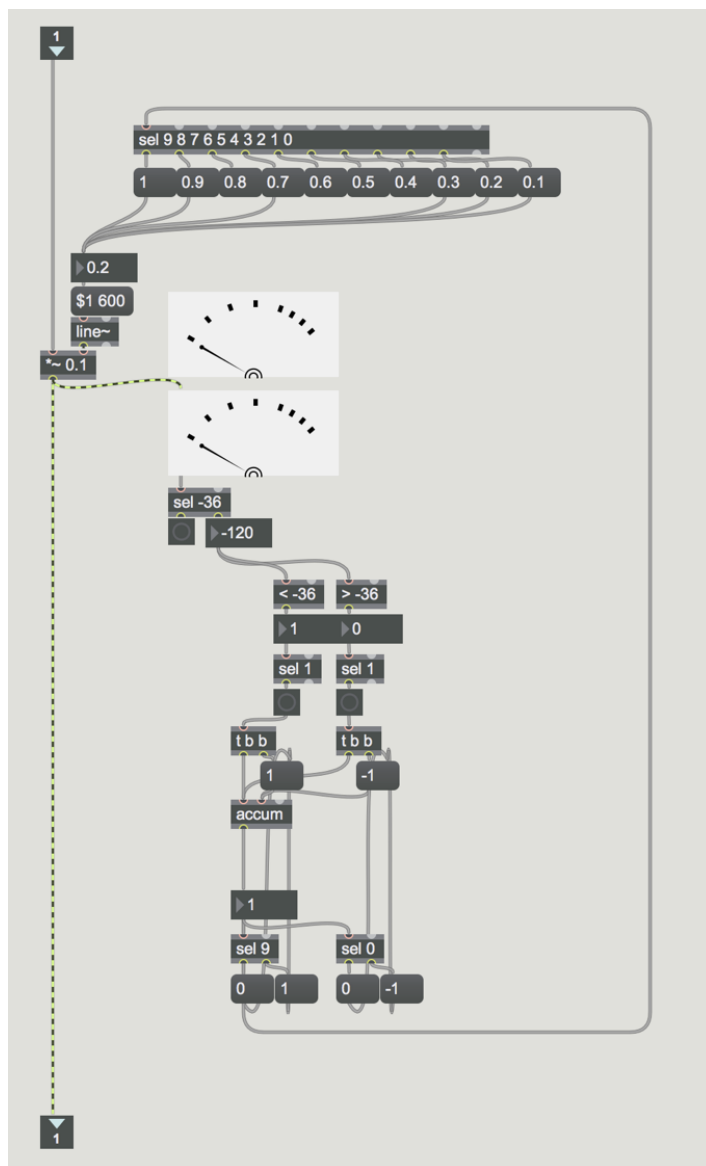


図 2. シグナルレベルを調節するパッチ (出所)著者による作成

1-4 NoteAbilityPro を用いたアクションランゲージの作成

図 3 に示す NoteAbilityPro は、Antescofo 用のアクションランゲージを含んだテキストデータを作成することができるノーテーションソフトである。また、アクションランゲージは、antescofo~がスコアフォローイングを行う際、Max の「send」「receive」の機能を用いて antescofo~から「メッセージ」を送る際に用いる。

既述した通りアクションランゲージは、NoteAbilityPro を用いなくとも Ascograph 上で手動により入力することも可能だが、図 4 に示す NoteAbilityPro の GFWD Note Editor の機能を用いることにより、アクションランゲージを書き込むことが可能になるので、こちらの手段の方が格段に効率的であるといえる。但し全自動ではないので、ある程度の手作業が必要となる。Antescofo の技術を用いたスコアフォローイングによる自動伴奏を実現するには、どの音を「きっかけ」とし、それに対しどのような「反応」をするかという指示は、全て事前に人手によって指示しておく必要がある。この点が、人間とコンピュータとの認識の境界線ともいえる。

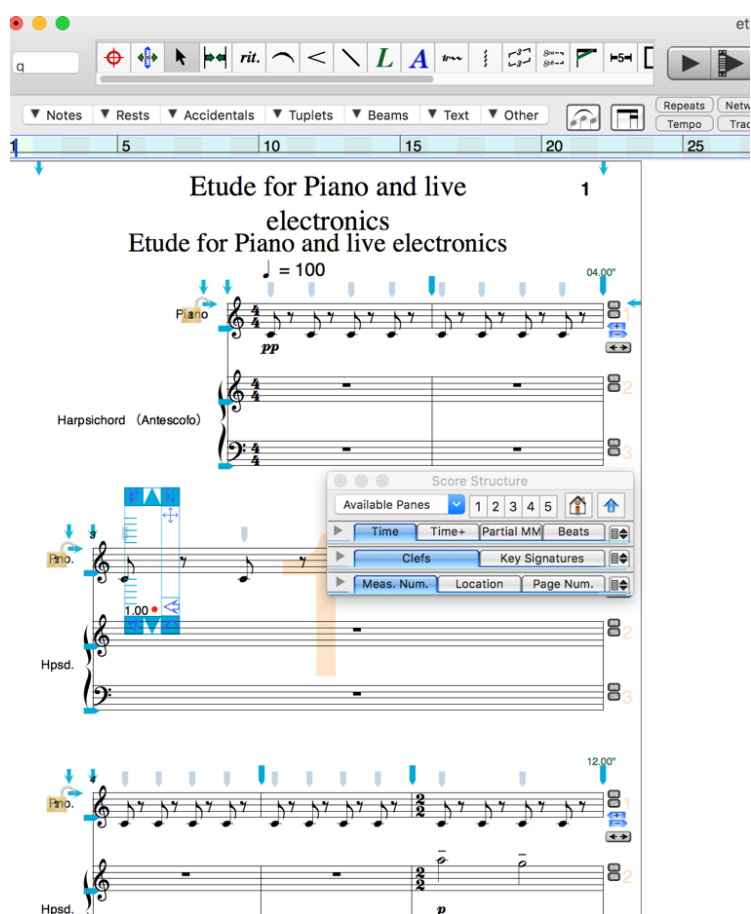


図 3. NoteAbilityPro のエディタ (出所)著者による作成

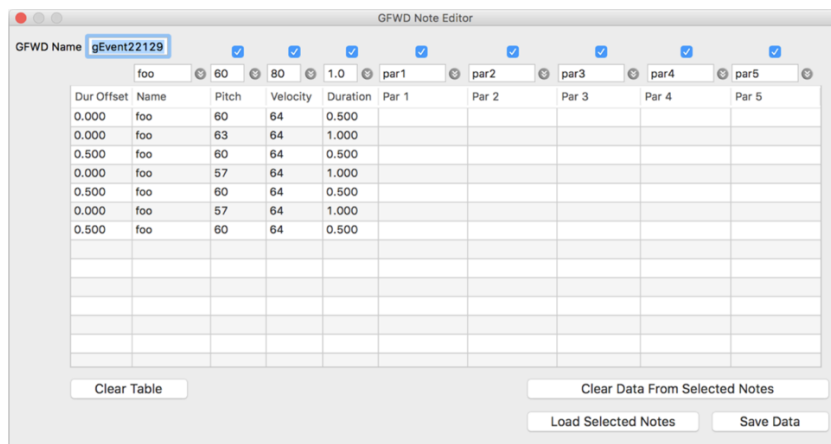


図 4. GFWD Note Editor (出所)著者による作成

1-5 演奏音源の用意と出力先の選択

今回の自作品では Antescofo を自動伴奏者として用いた。伴奏者として用いるためには音源を用意する必要があるが、Mac の内臓の MIDI 音源では、求めているリアリティのある音源とは言えなかったため、今回はノーテーションソフトの Sibelius に搭載されている音源を用いた。

再生する音源の MIDI のノートナンバーやベロシティー、デュレーション等は Max 上で antescofo から receive のオブジェクトを用いることにより受け取ることができるので、その値を noteout のオブジェクトに送り、出力先を仮想的「from Max 1」に指定し、Sibelius 上で「from Max 1」を入力装置として指定することにより、Sibelius の音源を使用することができる。Windows では noteout からの仮想的出力先が Max の機能としては用意されていないので、別途設定を行う必要がある。

2 自動伴奏者として用いる Antescofo の自作品への応用

2-1 自作品：“Etude” for piano and live electronics(2015)について

2-1-1 作曲経緯

この作品は、2015 年 8 月 6 日に行われた新潟大学教育学部音楽科における作曲セミナーでの発表のために作曲された。

2-1-2 作品概説

編成はピアノとハーブシコードになっており，人間がピアノのパートを演奏し，Antescofo がハーブシコードのパートを演奏する。この二つのパートの関係性としては，連続する一点ハ音を演奏する人間によるピアノパートに，伴奏者としての Antescofo によるハーブシコードパートが完全に合わせる，といった図 5 のような一方的な関係性となっている。また，ハーブシコードパートの伴奏の元になっているフレーズの作成には Max のパッチを用いた。ピアノとコンピュータとスピーカーは図 6 のように配置された。

エチュードという言葉には様々な解釈あるが，今回は主に 2 つの意味を込めている。1 つはリアルタイム・スコアフォローイングという自分にとって新しい技術への挑戦の意味，もう 1 つは生身の演奏者とコンピュータとのファーストコンタクトのための技術的な練習のための作品という意味である。

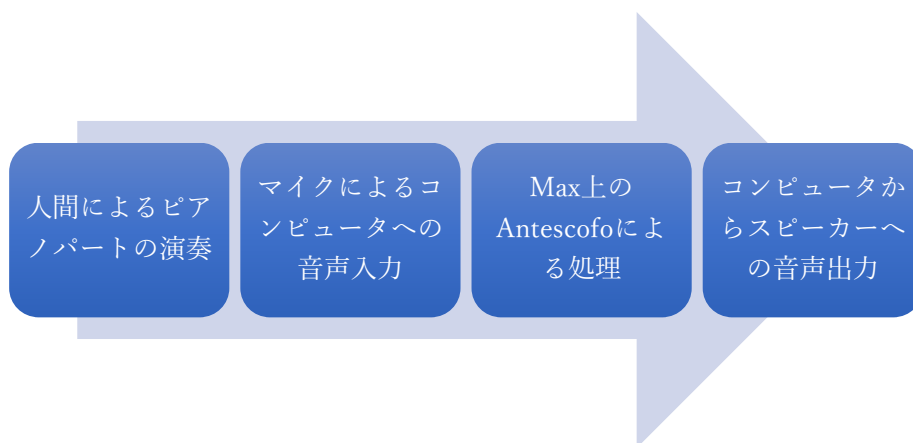


図 5. 人間と Antescofo との一方的な関係性 (出所)著者による作成

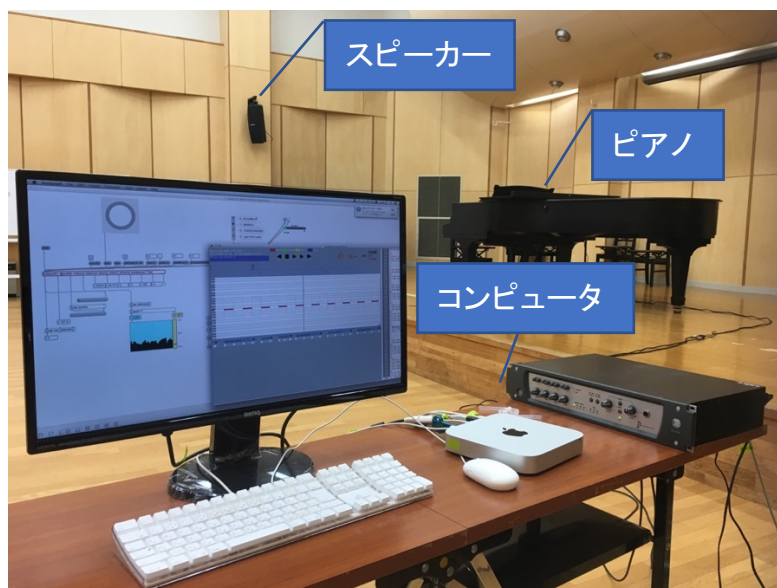


図 6. ピアノとコンピュータとスピーカーの配置 (出所)著者による撮影

2-2 作品のアイディアと構成

2-2-1 作品のアイディア

この作品の端緒は「曲のテンポを司る人間とそれに追従するコンピュータ」という構図を明確に打ち出そうとするアイディアからである。

演奏におけるテンポを明確にするため、人間の演奏するピアノパートは、曲の始めから終わりまで一点ハ音で均等なリズムを刻み続ける。テンポに関しては **Tempo rubato** として、演奏者による即興的なテンポの動きを認めている。そのテンポの動きに対してハーブシコードパートを追従させるために **Antescofo** のテクノロジーを用いている。ハーブシコードパートはピアノパートとは対照的に、比較的複雑な音型となっている。拍が意図的に半拍ずらされたり、裏拍から連符が始まったりしている箇所などは、ピアノパートが表拍で一定のリズムを刻んでいるということもあり人間が演奏する場合には正確に拍感を感じる事が非常に難しくなるが、**Antescofo** での処理においてはそのような点について考慮する必要はない。またその点が **Antescofo** による演奏の特徴であるともいえる。テンポの動きに対する追従に関しても同様である。

2-2-2 構成

全体の構成として、この作品は以下の6つの部分から成っている。

序奏 - A - B - A' - B' - 後奏

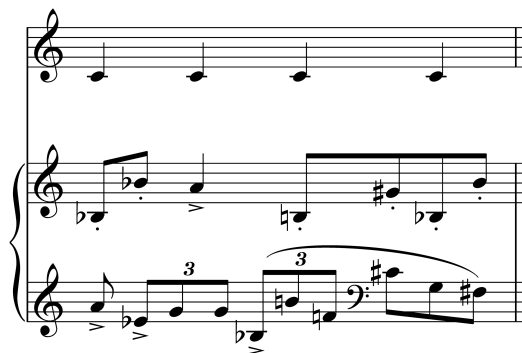
以下それぞれの部分の役割について簡単に述べる。尚、A'B'はA Bのヴァリエーションであるため本項での言及については省略する。

序奏

序奏の始めの部分においては、ハープシコードパートは演奏せず、ピアノパートのみが演奏し一定のリズムで一点ハ音を刻み続ける。これは、少ない音数からだんだんと音の数が増えていくという、音楽的な曲の仕組みとしての意味もあるが、Antescofoでの処理の上で「曲のテンポを確定させる」ために一点ハ音を刻み続けるという技術的な意味もある。ピアノパートはこの作品の全体にわたって一点ハ音を刻み続ける。テンポが確定した後にハープシコードパートが入り、最初はゆったりとした二分音符によるリズムを刻む。その後音価が八分音符に変わり、拍子のある部分に移行しAの部分に入る。

A

Aはハープシコードの左手と右手のパートがそれぞれ別のフレージングで演奏され、またピアノパートとも拍がずらされている箇所が多く、場合によっては譜例1のように比較的複雑なリズムになる箇所もあるが、上述したようにそのような複雑性はAntescofoの処理においては演奏の妨げになるものではないので、そのような箇所もコンピュータとして、あくまで正確なリズムで演奏される。



譜例 1. ピアノパートによる連続する一点ハ音とハープシコードパートによる伴奏付け (出所)著者による作成

B

B は A とは対照的に、譜例 2 に示す通り、ピアノパートとハープシコードパートで拍がずらされている箇所がありません。そのような場合では、ピアノパートのテンポの動きがハープシコードパートの演奏に如実に反映され聴こえることとなる。B ではそういった、ピアノパートがテンポの変化により、ハープシコードパートをコントロールする表現を行なっている。



譜例 2. ピアノパートと拍がずれていないハープシコードパート
(出所)著者による作成

後奏

後奏では、序奏と逆の行程を行なっている。音の数も多く、音量的にもピークを迎えた B' から、だんだんと音の数を減らし、長い音価の音符を用いたゆったりとした曲の終わりへと、序奏よりも時間をかけて移行させている。そうすることによって、曲の始めから一定のリズムでずっと鳴り続けていた一点ハ音が、曲の終わりに止まった際の感覚を強調させるよう工夫している。

2-3 作品における技術的制約とその解決方法

楽譜に記譜されたこの音楽を実際に演奏する際に必要な Antescofo での処理における技術的課題は、楽譜を Antescofo 用のデータに変換することと、ピアノパートの実際の演奏を元にして正しくスコアフォローイングを行うことである。

楽譜を Antescofo 用のデータに変換することは、1-4 で述べた NoteAbilityPro の GFWD Note Editor を用いることにより、比較的容易にクリアすることができた。しかしこの作品においては、ピアノパートの音声の認識が困難であった。

この作品においてピアノパートはテンポを司っているため、四分音符の連続で尚且つピッチが変化しない。人間がこのような演奏を聴けば、当たり前のように

一つ一つの音のアタックを認識し、たとえそれが連続していようと最初の音とその次の音とを認識する。テンポが♩=100 の場合で、四分音符が連続されて演奏される場合、ハンマーによって打弦された音は、次の四分音符までに完全には減衰しない。つまり音量的にはアタックの音量とさほど変わらないまま四分音符が連続していくのである。Antescofo はこの微妙な音量の減衰を認識しなかったため、四分音符の連続においてそれぞれの音のアタックを認識することができなかった。ピッチが変わっていないというのも一つの要因である。

この Antescofo の技術的制約の問題を解決するためには、NoteAbilityPro を用いて Antescofo 用のデータを作成する際、譜例 3 のように音符と音符の間に休符を挟んだ。このように休符を挟むことにより、Antescofo 上の処理としては、減衰を考慮することなくアタックを検出することができるので、結果として正しくスコアフォローイングを行うことが可能になった。



譜例 3. 八分音符と八分休符の連続 (出所)著者による作成

3 第 2 章の総括

本章においては Antescofo を用いることにより、コンピュータを自動「伴奏者」として機能させることに成功したが、次の段階としては、人間と、人間の「共演者」としてのコンピュータとの、よりインタラクティブな関係性の構築が考えられる。人間と「伴奏者」としてのコンピュータとの関係性は、本章で述べたように、人間の演奏をコンピュータが認識するという一方的な関係性であったが、コンピュータの演奏にも何らかの可変的な要素を加えることにより、コンピュータの演奏も、人間の演奏に何らかの影響を与え得るのではないか、ということが考えられる。

また、Antescofo はもちろんその性質上、Max の機能を用いることにより機能を果たすことが可能になっているので、Max の機能を用いる、という点に着目すると、また他の可能性も考えられる。本章における自作品においては、人間による楽器の演奏をきっかけに Max 上で、MIDI の値を外部のソフトウェアに出力したが、Max そのものの機能を用い、あらかじめ Max 上で用意しておいた波形データを音源として用い再生するということも可能である。その他にも、演奏に合

わせ，ある時点まで演奏が進むと，事前に録音しておいた音源が再生されたり，ある音をきっかけに **Max** で用意しておいたパッチャーを作動させ，**Max** 上の処理による音楽が始まったり，といったことが可能性としてあげられる。

以上のような「伴奏者」の発展としての，人間らしい音声データを出力する段階の「共演者」としてのコンピュータの在り方について，次章に述べる。

第3章 人間らしい反応を返す「共演者」としてのコンピュータの成立とその過程

1 序論

1-1 本章のねらい

著者は第2章において、リアルタイム・スコアフォローイングのテクノロジーを応用した自作品の創作におけるいくつかの技術的制約を挙げ、またその解決策として Max 上で機能する Antescofo の使用の有効性について述べた。その際の人とコンピュータとの関係は「演奏者」と「伴奏者」という関係性であったが、本章においてはコンピュータに、「伴奏者」よりも積極的に人間との音楽演奏に関わる「共演者」としての役割を果たさせるための方策について、特に作曲上の音楽的表現における人の思考と身体性のコンピュータを用いた模倣について考察する。

1-2 共演者としてのコンピュータの演奏における人の思考と身体性の模倣について

Antescofo を用いた著者の作品 “Etude” for piano and live electronics(2015) においては、Antescofo はリアルタイムにスコアフォローイングを行い、予め指示された楽譜上の音を正確に演奏するということに終始したが、ここに人の「思考」という概念を付け加えるとすると、コンピュータはマイクから入力された人間の演奏者の演奏の音源に対して何らかの判断を下し、その結果をスピーカーから出力される演奏によって、人間の演奏者に何らかの変化を反映させる必要がある。その手段として著者は Antescofo がそのエクスターナル・オブジェクトとして機能している Max 上で機能するアルゴリズムをいくつか構築した。

また第1章で述べたように、演奏者としてのコンピュータによる演奏は、人間の演奏の場合において考えられる身体的・技術的制約を受けない。これは共演者としてのコンピュータの存在を考えたとき、演奏の不自然さを招くだけでなく、人間の演奏者とのコミュニケーションを困難にする。これはコンピュータの正確な演奏が、非人間的な演奏であるともいえる。堀内、藤井、田中(1995)も言及しているように、人間では有り得ないような正確すぎる機械的な楽譜の再生は、再現芸術における再現性の演奏者の裁量の範囲を考慮しても不自然であり、コンピュータとの関係性を考察する上で、自作の Max のパッチ上でコンピュータの演奏に敢えて「ズレ」を生じさせるアイディアを取り入れた。

2 コンピュータと演奏者との2つの関係性

本章で取り上げるコンピュータと演奏者との関係性として、大きく以下の2つの関係性が挙げられる。

- ① 演奏者としての Max と、演奏者としての人間との関係性
- ② 演奏者としての Max と、演奏者としての Max との関係性

①の関係性において Max の果たす役割は、第2章においては MIDI を用いた楽器演奏の再現のみだったが、他にも、MIDI ではなく波形データの再生もしくは録音した演奏音源の再生タイミングの指示、元来の Max の機能によるリアルタイムなアルゴリズム・コンポジションとの連携等が考えられる。特にリアルタイムなアルゴリズム・コンポジションのテクノロジーを応用することは、人間の演奏へのレスポンスとしてのコンピュータの演奏に、何らかの可変的な要素を加えることが可能になるので、これにより人間の演奏にも何らかの影響を与え得るのではないかと考える。またその人間の演奏に与える影響こそ、コンピュータが「伴奏者」を超えた「共演者」としての役割を果たすきっかけになると考える。

②の関係性においても Max の果たす役割においては前者と違いはないが、Antescofo の処理においては、リアルタイム・スコアフォローイングの対象が人間の演奏ではなくコンピュータとなるので、その際に Antescofo が正しく機能し、また、演奏者としての Max が人間の演奏者のように振る舞うような挙動について研究することは、人間による演奏の特徴を Max 上で再現しようとするという意味で必要であると考え。Antescofo への演奏データの入力第1章ではシグナルデータを用いたが、MIDI データを用いてスコアフォローイングを行うことも可能である。特に、マイクによって外部の音をコンピュータに入力する事なく Max の内部で Antescofo のスコアフォローイングの処理を完結させる際に、コンピュータ上での処理が容易な MIDI の使用を検討することは、MIDI で扱うメッセージのデータの、波形のシグナルデータと比較した際の小ささについて Curtis Roads(1996)が述べているように、CPU の負荷や、レイテンシーの問題、ピッチ認識の正確性等について考慮しても、最適なスコアフォローイングの結果をもたらす上で有意義な選択肢であるといえる。

次項では、著者による、これらの関係性における具体的なシステムの構築例について、実際に作成した Max のパッチを提示し、仕組みと問題点、その解決策等について言及する。

3 2 の関係性での Max のパッチ作成における 3 作品の使用例

3-1 コンピュータと人間による J.S.Bach : Johannes Passion(BWV245) No.54

Chorus の演奏

3-1-1 コンピュータと演奏者との関係性とパッチの概要

この演奏におけるコンピュータと人間との関係性は、2 における①の関係性になっている。

J.S.Bach の Johannes Passion(BWV245) No.54 Chorus をこの作品に選んだ理由は、Antescofo によるスコアフォローイングの対象である最初の小節の音型が、同じ音価の音が連続しており音高も一定で、スコアフォローイングを行う際の技術的な問題が発生しにくいと考えたためである。このパッチにおいては、演奏音源が複雑な音形の場合の Antescofo によるスコアフォローイングの認識精度の向上は目的としていない。

このパッチでは譜例 1 の曲の始まりである、バスの声部の演奏を人間が最初に開始し、2 小節目の最初の八分音符まで演奏するとコンピュータの上 3 声のカノンとしてこれに加わる。上 3 声はアゴーギク無くインテンポで演奏されるので、人間はこれを聴き、ある程度コンピュータに合わせて演奏しなくてはならない。“Etude” for piano and live electronics(2015)においては演奏されるテンポのコントロールは人間が主体的に操作したが、このパッチにおいては、コンピュータが主体的に演奏のテンポを司ることができるということを試験的に示した。また、コンピュータの演奏によって出力される音は、MIDI による演奏としてリアルタイムに出力されるのではなく、図 1 のパッチにより、事前に MIDI の演奏として録音しておいた MIDI データを再生することにより、出力している。

人間の演奏音源のコンピュータへの入力、マイクと DAC を通してシグナルデータとして Max に入力するのではなく、このパッチでは MIDI キーボードを用いた。今回の場合は、コンピュータ上の処理の精度が優先されるからである。グランドピアノを用いることに比べ MIDI キーボードを用いることは、リアルな音としての音源の質は落ちるが、デジタル・シグナル・プロセッシングを行うよりも CPU の負荷が軽く、スコアフォローイングの結果も良く、レイテンシーも少なくコンピュータ上で処理を行うことができる。

54. Lasset uns den nicht zerteilen

$\text{♩} = 60$

譜例 1. J.S.Bach: “Lasset uns den nicht zerteilen”の楽譜の冒頭
(出所)著者による作成

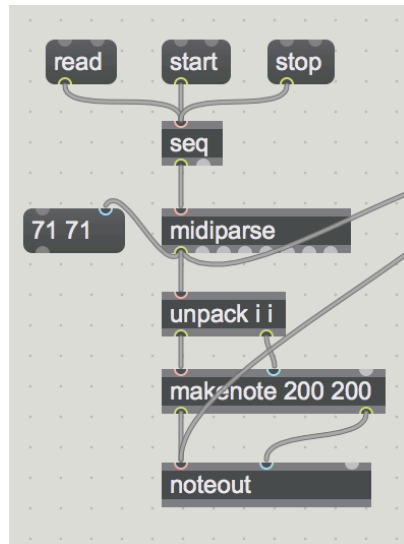
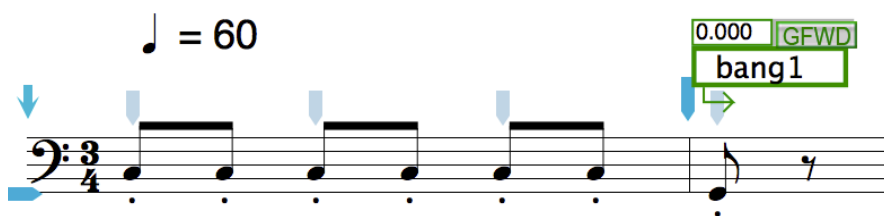


図 1. MIDI の録音データを再生するプログラム (出所)著者による作成

3-1-2 NoteAbilityPro を用いた Antescofo のためのデータ作成

Antescofo を動作させるためのデータはこのパッチでは NoteAbilityPro を用いて 譜例 2 のようにして作成した。テンポの設定とスタッカートのアーティキュレーションは, “Etude” for piano and live electronics(2015)での問題と同様, 同じピッチの音が休符を挟むことなく連続して演奏される場合の急激な認識精度の悪化を回避するためのものである。



譜例 2. Antescofo がフォローする楽譜 (出所)著者による作成

このパッチでは, MIDI の録音データを再生するタイミングの指示のための bang²を必要とするので, その出力の設定を図 2 に示す NoteAbilityPro の GFWD Editor を用いて行う。

GFWD Editor を用いることにより, Antescofo によるスコアフォローイングの際に楽譜上で事前に指定した任意のタイミングで, 任意のメッセージを任意の receive オブジェクトに送ることができる。今回の場合では, 2 小節目の 1 拍目から上 3 声の演奏が始まると考えるので, 2 小節目の 1 拍目丁度に bang1 の receive オブジェクトに“a bang”³のメッセージが送られるよう設定した。これをきっかけにして, 上 3 声の MIDI の録音データの再生が開始される。

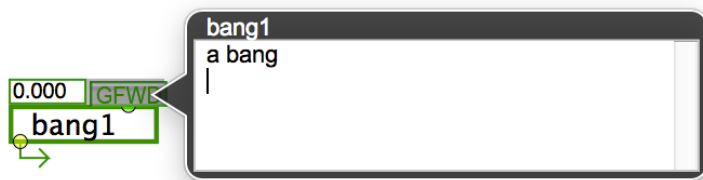


図 2. GFWD の設定 (出所)著者による作成

² Max 上でオブジェクトの動作のきっかけとなる信号

³ “a bang” はあくまでメッセージだが Max 上で trigger オブジェクトを用いる等の処理を行い bang として扱う。

3-1-3 Antescofo のアトリビュートの設定について

Antescofo に入力される演奏データは基本的には MSP によるシグナルデータだが、図 3 のようにアトリビュートを指定することにより MIDI のデータでのスコアフォローイングが可能になる。アトリビュートを指定する場合は、antescofo~ のアーギュメントに、アトリビュートの指示として @inlets MIDI を加える。この際 MIDI のデータは、ノートナンバーとベロシティの値を、pack オブジェクト等を用いてリストの形式にしたものを入力する。

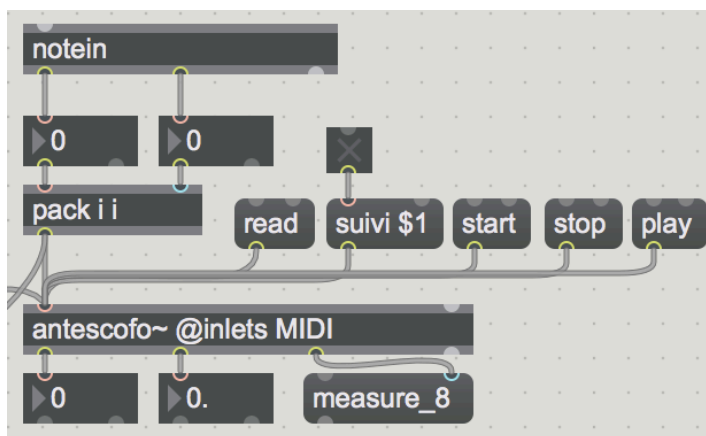


図 3. MIDI データの入力とアトリビュートの設定 (出所)著者による作成

3-1-4 コンピュータと人間による J.S.Bach : Johannes Passion(BWV245) No.54

Chorus の演奏の総括

コンピュータと人間による、J.S.Bach : Johannes Passion(BWV245) No.54 Chorus の演奏のためのパッチでは、“Etude” for piano and live electronics(2015)とは違いコンピュータが演奏のテンポを司り、コンピュータの演奏の際に出力される音は、MIDI による演奏としてリアルタイムに出力するのではなく、事前に MIDI による演奏として録音しておいた MIDI データを再生し出力した。また、MIDI による Antescofo を用いたスコアフォローイングのメリットとデメリットを挙げ、MIDI の録音データを再生するタイミングの指示のための bang の出力の設定を、Antescofo のためのデータを作成する NoteAbilityPro の GFWD Editor を用いて行う際の手順について確認した。また、MIDI によるスコアフォローイングのために、Antescofo のアトリビュートの設定について分析した。このパッチにより、Max の演奏に合わせて人間が演奏することにより、コンピュータを人間の「共演

者」として機能させる前提として、Max の演奏が人間の演奏のテンポを司ることができることを確認した。

3-2 コンピュータと人間による 室内合奏のための「気配」(2017) の演奏

3-2-1 コンピュータと演奏者との関係性とパッチの概要

譜例 3 に示す、室内合奏のための「気配」(2017)は、フルート・チューバ・ピアノ・ヴァイオリン・ヴィオラ・チェロの編成のために著者が作曲した作品だが、この内、ピアノパートのみを人間が演奏し、その他のパートをコンピュータが演奏させようと試みたのがこのパッチである。その場合の演奏におけるコンピュータと人間との関係性は、2 の①を想定した。

3-2-2 無線通信による音声入力のための NoteAbilityPro を用いた Antescofo のためのデータ作成

このパッチのシステムは基本的には 3-1 のものと共通するが、コンピュータの演奏データは MIDI データではなく、波形データを用いた。そうすると、人間による演奏も MIDI キーボードによる入力ではなく、グランドピアノの音源をマイクで拾い入力するので、MIDI での入力の場合よりも、より慎重なプログラミングが要求されることになるが、今回のこのパッチにおける Antescofo の役割は、人間による演奏の厳密なテンポの認識を行った“Etude” for piano and live electronics(2015)とは違い、波形データの再生のタイミングの指示であったため、波形データによるスコアフォローイングを行うことが十分に可能であった。

テンポが Largo♩=42ca.で、Max 上の波形データの再生まで 2 拍の余裕があるという作品の性質上、コンピュータが演奏に参加するタイミングの調整は NoteAbilityPro 上で図 4 のように拍をずらすことにより可能であり、この場合レイテンシーを気にする必要がないため、マイクは、無線で通信を行うことができる Bluetooth 対応のデバイスである図 5 に示す SONY 製の NW-M505 を用いることができた。Bluetooth はデジタルの無線通信の規格でありレイテンシーが発生しやすいが、上述の理由によりその問題は回避できる。またこのデバイスは通話用であり、演奏音源の通信に特化したものではないが、このデバイスから送られてくる音声データはあくまで Max 上のプログラムの動作のきっかけの認識として用いるものであり、高音質な音声データである必要はない。

室内合奏のための「気配」
 “Sense of Existence” for Chamber Ensemble

大野 雅夫

Largo $\text{♩} = 42 \text{ ca.}$

Flute

Tuba

Piano

pp *ppp*

sempre *Q.0.* *una corda* *tre corde*

Largo $\text{♩} = 42 \text{ ca.}$

Violin

Viola

Violoncello

ppp *pp*

7

Fl.

Tba.

Pno.

p *f* *p* *sf* *f* *mp* *ff* *sf*

pp *5* *5*

Vln.

Vla.

Vc.

pp *pizz.* *f* *mp* *pizz.* *f* *5*

arco

譜例 3. 室内合奏のための「気配」(2017)の冒頭部分(出所)著者による作成

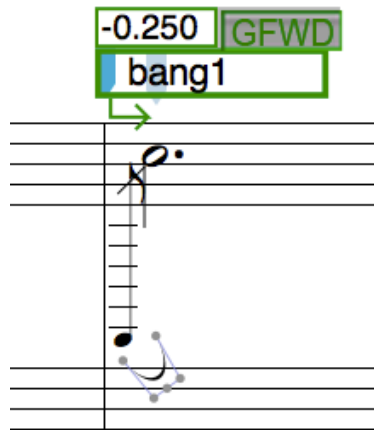


図 4. 0.25 拍分 bang のタイミングが前にずらされている GFWD
(出所)著者による作成



図 5. Bluetooth 対応デバイス(SONY : NW-M505) (出所)著者による撮影

3-2-3 コンピュータと人間による 室内合奏のための「気配」(2017) の演奏の 総括

コンピュータと人間による、室内合奏のための「気配」(2017)の演奏のためのパッチでは、無線通信の特性、無線通信による音声入力を行う際の Antescofo のデータの作成方法、無線による音声データの通信を行う際の問題点とその回避方法、スコアフォローイングを行う対象の楽譜と再生する音源との関係性等について分析、確認した。

3-3 “Etude II” for piano and live electronics(2017)

3-3-1 コンピュータと演奏者との関係性とパッチの概要

この作品は2で挙げた2つの関係性の内、②の関係性の構築例として創作した。この作品においてはまず、主旋律の演奏者が人間では無い。J.S.Bach 作曲，August Wilhelmj 編曲の“Air on the G String”の主旋律をコンピュータが演奏し，その演奏を Antescofo がスコアフォローイングし，主旋律に対応する伴奏の MIDI メッセージを出力する。また，ここで用いられている Antescofo は伴奏のための MIDI メッセージを出力するだけでなく，Max によるリアルタイムなアルゴリズム・コンポジションと演奏との同期のためのメッセージが出力される。

この作品のパッチは主に，図 6 の 3 つのプログラムから成っている。

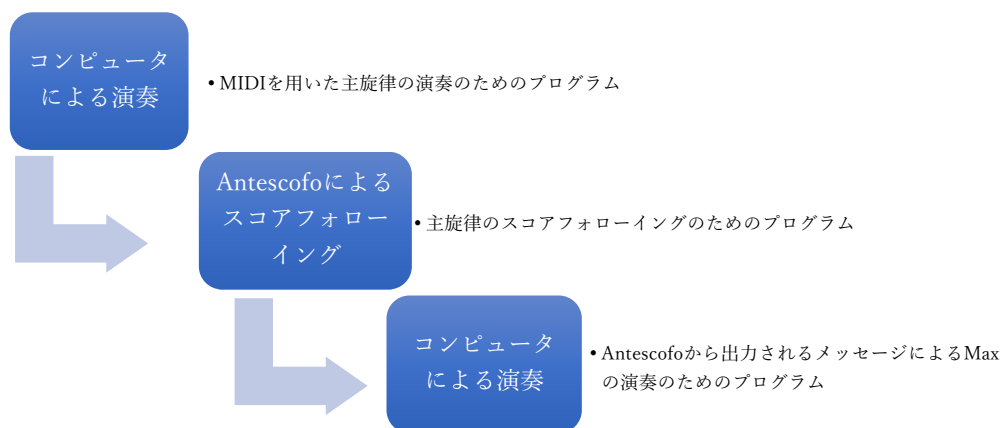


図 6. “Etude II” for piano and live electronics(2017)を構成する 3 つのプログラム
(出所)著者による作成

以降の項では，それぞれのプログラムの詳細について述べる。

3-3-2 MIDI を用いた主旋律の演奏のためのプログラム

Max 上で MIDI データを再生する際は，seq オブジェクトと midiflush オブジェクトや midiparse オブジェクトを組み合わせる用いる手段が一般的だが，今回はこのプログラムによる MIDI データの再生に「人間らしさ」を加えるためのプログラムを付け加えた。

Max による MIDI データの再生には，コンピュータの性能の限界による「処理落ち」と呼ばれる現象等による以外は，アゴークが付くことはなく，常にイン

テンポで演奏されることとなる。実際の人間による演奏においては、そのような演奏は不自然であるので、ここではそのインテンポによる演奏を回避するプログラミングを行なった。

midiparse オブジェクトの第1アウトレットからはMIDIのノートナンバーとベロシティがリストの形で出力されるが、このデータが **noteout** オブジェクトに入力されるタイミングを調整することで、演奏されるテンポの「ズレ」を再現する。この場合 **midiparse** オブジェクトから出力されるMIDIデータのタイミングは、仕組み上早くすることはできないので、遅らせる時間の長さをコントロールする。

noteout オブジェクトへのMIDIデータの入力を遅らせるためには、図7に示す通り **pipe** オブジェクトを用いた。この場合のMIDIデータはノートナンバーとベロシティのリストになっているので、**pipe** のアーギュメントには0を2つ指定する。また、遅らせる時間の長さが一定だとMIDIの演奏としてズレが生じることはないので、**random** オブジェクトを用いることにより遅らせる時間の長さをランダムに指定している。**random** オブジェクトのアーギュメントは、ランダムに選択する数値の範囲を指定しているが、ここでは0.2秒の遅れを意味する200を指定した。これは実際にパッチを動作させた際、MIDIによる演奏に与える効果として、著者が適当であると判断した値である。

実際に人間が演奏する際のアゴーギクはもちろんランダムに時間がずらされている訳ではないが、インテンポに演奏される演奏に変化を与える手段として考えられる初歩的なプログラムとして、今回この手段を講じた。

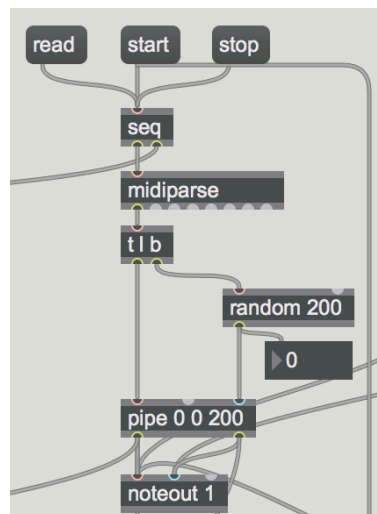


図7. MIDI を用いた主旋律の演奏のためのプログラム (出所)著者による作成

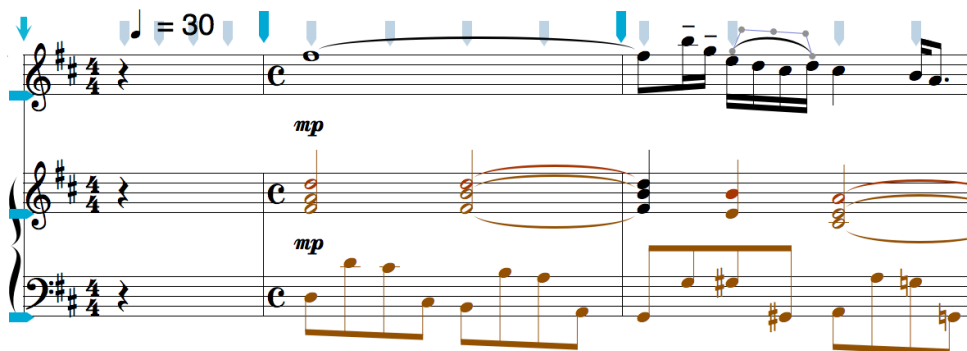
3-3-3 主旋律のスコアフォローイングのためのプログラム

今回の作品において、Antescofo がスコアフォローイングを行う対象の演奏者はコンピュータであり、その演奏は MIDI によって行われているので、Antescofo は MIDI のデータによってスコアフォローイングを行うようアトリビュートを指定する。Antescofo に入力される MIDI による演奏データは、ノートナンバーとベロシティがリストになった形になっている必要があるが、この点については `midiparse` オブジェクトを用いることにより解決している。`notein` オブジェクトを用いた人間の演奏によるスコアフォローイングの場合も、`seq` オブジェクトを用いたコンピュータの演奏によるスコアフォローイングの場合も、ノートナンバーとベロシティがリストになった形で入力されれば、Antescofo は人間による演奏とコンピュータの演奏を特別に区別することなくスコアフォローイングを行う。

3-3-4 Antescofo から出力されるメッセージによる Max の演奏のためのプログラムの概要

NoteAbilityPro の GFWD Editor を用いることにより、Antescofo から様々なメッセージを Max へ送ることができるようになるので、これを用い `seq` オブジェクトによる MIDI データの再生と Max のリアルタイムなアルゴリズム・コンポジションとの同期を図っている。

通常のスコープフォローイングを行う段階で、この作品の楽譜には Antescofo の処理上問題がある。この作品はこれまでと違い、スコアフォローイングの対象となる主旋律とその伴奏の演奏が同時に始まるので、特段対策を講じなかった場合、`antescofo~` に「start」のメッセージを入力しスコアフォローイングを始めると同時に、伴奏の MIDI データが出力され、演奏が開始されてしまう。作品の性質上問題がない場合も考えられるが、今回の作品ではスコアフォローイングの処理を開始した後、主旋律を演奏する MIDI の最初の音が検出されると同時に伴奏の MIDI データが出力されるようにする必要があったため、譜例 4 に示す通り NoteAbilityPro の楽譜上でアウフタクト小節を作ることにより、この問題を回避した。アウフタクト小節を作ることにより Antescofo は主旋律の最初の音が演奏されるまで、冒頭の伴奏の MIDI データを出力しなくなるからである。



譜例 4. アウフタクト小節が加えられた“Air on the G String”の冒頭
(出所)著者による作成

この作品においては主に以下の 6 つのリアルタイムなアルゴリズム・コンポジションを行うパッチをプログラミングした。

1. 主旋律の周波数を基音とした倍音列と黄金比を掛け合わせた周波数を生成するプログラム
2. オシレーターとしての 96 個の `cycle` オブジェクトを，`line` オブジェクトを用いてコントロールするプログラム
3. `metro` オブジェクトと `drunk` オブジェクトの組み合わせによりノートナンバーを出力し，`counter` オブジェクトによってこの `metro` オブジェクトの `bang` の出力周期をコントロールするプログラム
4. 「水の滴る音」の音源を再生し，またその再生スピードをコントロールするプログラム
5. 最大値と最小値が常に変動し，一定の範囲内の数値を高速で出力する `counter` オブジェクトから出力される値を基にした倍音列を生成するプログラム
6. `itable` オブジェクトを用いた MIDI のノートナンバーを出力するためのプログラム

これらのプログラムのうち，特に 1 と 6 について，その具体的なパッチャーの内容について以降に詳述する。

3-3-5 1.主旋律の周波数を基音とした倍音列と黄金比を掛け合わせた周波数を生成するプログラム

Max による主旋律の演奏のノートナンバーが図 8 のパッチャーの第 1 インレットに入力されると同時に、このパッチャーは演奏を始める。まず、主旋律の演奏のノートナンバーを基に倍音列を生成するため、`mtof` オブジェクトを用いノートナンバーを周波数に変換した後、`*`オブジェクトにより自然数を掛け合わせることで、第 10 倍音までの倍音を瞬時に計算する。またその際、それぞれの倍音に黄金比の値として「0.618」と「0.382」がそれぞれ掛け合わされた値も同時に計算される。

これらの、倍音列、倍音列に「0.618」が掛け合わされたもの、倍音列に「0.382」が掛け合わされたもの、の 3 つは最後に MIDI のノートナンバーに変換され演奏されるが、その演奏のタイミングは全て 1 つの `metro` オブジェクトによってコントロールされている。ここでの `metro` オブジェクトは周期的に `bang` を出力することではなく、`line` オブジェクトから 10 から 100 までの値が連続的に `metro` オブジェクトの第 2 インレットに入力され、`bang` が出力される周期が 10ms から 100ms まで連続的に変化するようになっている。また、`line` から出力される値が 10 から 100 に達するまでの時間は `random` オブジェクトによって指定される。`random` オブジェクトの引数として 10000 が指定されているので、ここでのランダムに指定される値の範囲は、0~9999 である。`metro` オブジェクトから出力される `bang` は `random` オブジェクトに入力され、`sel` オブジェクトとの組み合わせにより、演奏される倍音が高速でランダムに選択される。`line` オブジェクトから出力される値が最終的に 100 に達すると、`line` オブジェクトの第 2 アウトレットから `bang` が出力されるので、これをきっかけに `metro` オブジェクトの動作が終わる。

このパッチャーへのノートナンバーの入力の有無や、倍音列による演奏に加わる、倍音列に黄金比が掛け合わされた周波数による演奏の追加の有無の切り替えは、全て `Antescofo` によりコントロールされる。

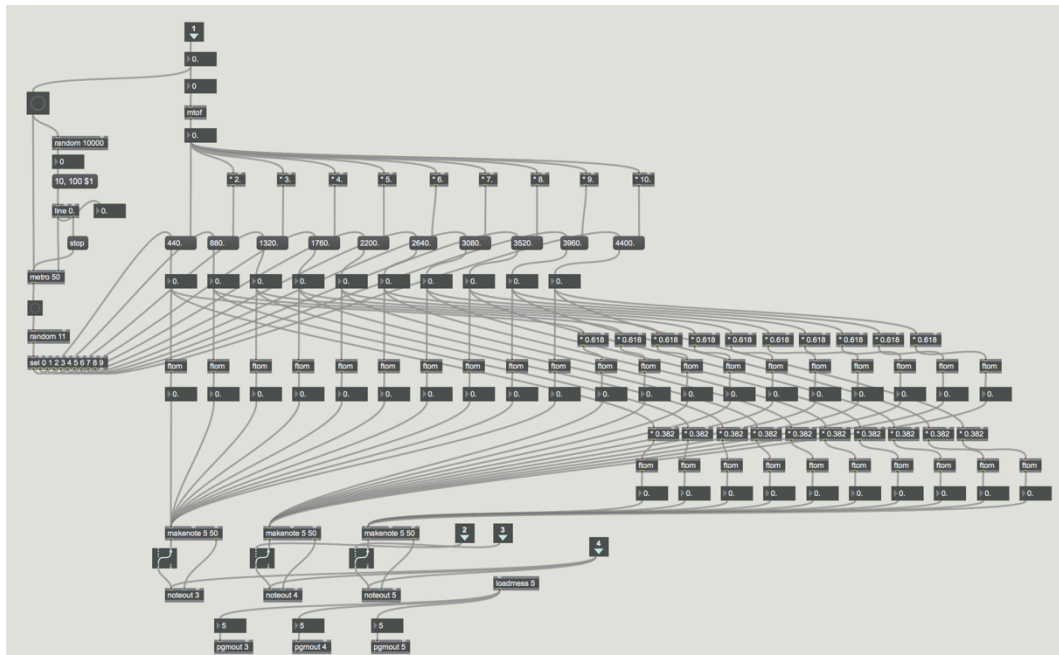


図 8.主旋律の周波数を基音とした倍音列と黄金比を掛け合わせた周波数を生成するプログラム (出所)著者による作成

3-3-6 6.itable オブジェクトを用いた MIDI のノートナンバーを出力するためのプログラム

図 9 のパッチャーでは itable オブジェクトを 4 つ使用し、Table Range と Table Size はそれぞれ「128」が設定されている。格納されている値は全て異なっている。

itable からノートナンバーとして用いる値を出力させるために metro オブジェクトと counter オブジェクトを用いているが、それぞれの itable オブジェクトへの出力のオンとオフの切り替えには ggate オブジェクトを用いている。metro オブジェクトとこの ggate オブジェクトのコントロールは全て Antescofo が行う。

metro の値は「50」に設定されており、itable からは 50ms に 1 回のペースで格納されている値が出力されることとなる。音としてはミニマルミュージック的に同じ音型が何度も繰り返されて聴こえてくるが、この演奏データを DAW の Pro Tools に MIDI として送り、リアルタイムに音の処理を行った。

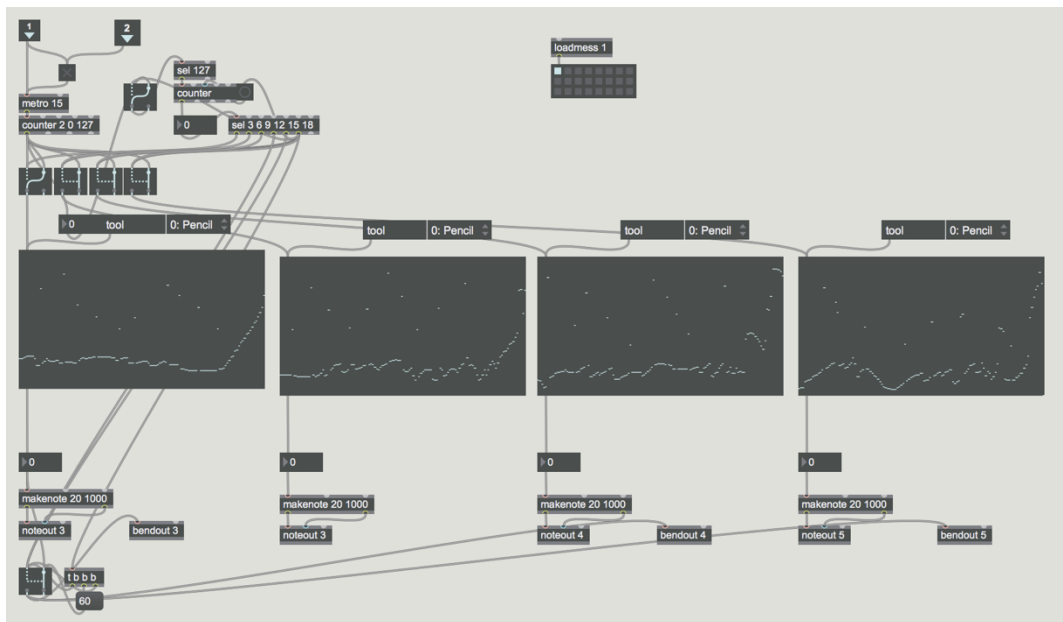


図 9. itable オブジェクトを用いた MIDI のノートナンバーを出力するためのプログラム (出所)著者による作成

3-3-7 “Etude II” for piano and live electronics(2017)の総括

“Etude II” for piano and live electronics(2017)のパッチでは、人間の思考の模倣としてパッチに「アルゴリズム・コンポジション」を取り入れた。パッチ全体を、担う役割別に3つの区分に分け、それぞれのプログラムについて分析した。MIDIを用いた主旋律の演奏のためのプログラムでは、インテンポに演奏される演奏に変化を与える手段として考えられる初歩的なプログラムを付け加えることにより、人間の身体性の模倣として、演奏されるテンポの「ズレ」を再現することを試みた。主旋律のスコアフォローイングのためのプログラムでは、Antescofoはノートナンバーとベロシティがリストになった形で入力されれば、人間による演奏とコンピュータの演奏を特別に区別することなくスコアフォローイングを行うことが可能であることを確認した。Antescofo から出力されるメッセージによるMaxの演奏のためのプログラムにおいては、この作品の楽譜の特徴によるAntescofoの処理場の問題について分析、確認し、リアルタイムなアルゴリズム・コンポジションを行う6つのパッチを挙げ、そのうち、1.主旋律の周波数を基音とした倍音列と黄金比を掛け合わせた周波数を生成するプログラム、6.itableオブジェクトを用いたMIDIのノートナンバーを出力するためのプログラムについて分析を行った。

4 第3章の総括

本章では、コンピュータに「伴奏者」よりも積極的に人間との音楽演奏に関わる「共演者」としての役割を果たさせるための具体的な方策について考察するため、考えられるコンピュータと演奏者との関係性の諸例を挙げつつ、3つの自作のパッチについて分析を行った。

コンピュータと人間による、J.S.Bach : Johannes Passion(BWV245) No.54 Chorusの演奏のためのパッチでは、“Etude” for piano and live electronics(2015)とは違いコンピュータが演奏のテンポを司り、コンピュータの演奏の際に出力される音は、MIDIによる演奏としてリアルタイムに出力するのではなく、事前にMIDIによる演奏として録音しておいたMIDIデータを再生し出力した。また、MIDIによるAntescofoを用いたスコアフォローイングのメリットとデメリットを挙げ、MIDIの録音データを再生するタイミングの指示のためのbangの出力の設定を、Antescofoのためのデータを作成するNoteAbilityProのGFWD Editorを用いて行う際の手順について確認した。また、MIDIによるスコアフォローイングのために、Antescofoのアトリビュートの設定について分析した。このパッチにより、Maxの演奏に合わせて人間が演奏することにより、コンピュータを人間の「共演者」として機能させる前提として、Maxの演奏が人間の演奏のテンポを司ることができることを確認した。

コンピュータと人間による、室内合奏のための「気配」(2017)の演奏のためのパッチでは、無線通信の特性、無線通信による音声入力を行う際のAntescofoのデータの作成方法、無線による音声データの通信を行う際の問題点とその回避方法、スコアフォローイングを行う対象の楽譜と再生する音源との関係性等について分析、確認した。

“Etude II” for piano and live electronics(2017)のパッチでは、人間の思考の模倣としてパッチに「アルゴリズム・コンポジション」を取り入れた。パッチ全体を、担う役割別に3つの区分に分け、それぞれのプログラムについて分析した。MIDIを用いた主旋律の演奏のためのプログラムでは、インテンポに演奏される演奏に変化を与える手段として考えられる初歩的なプログラムを付け加えることにより、人間の身体性の模倣として、演奏されるテンポの「ズレ」を再現することを試みた。主旋律のスコアフォローイングのためのプログラムでは、Antescofoはノートナンバーとベロシティがリストになった形で入力されれば、人間による演奏とコンピュータの演奏を特別に区別することなくスコアフォローイングを行うことが可能であることを確認した。Antescofoから出力されるメッセージによ

る Max の演奏のためのプログラムにおいては、この作品の楽譜の特徴による Antescofo の処理場の問題について分析、確認し、リアルタイムなアルゴリズム・コンポジションを行う 6 つのパッチを挙げ、そのうち、1.主旋律の周波数を基音とした倍音列と黄金比を掛け合わせた周波数を生成するプログラム、6.itable オブジェクトを用いた MIDI のノートナンバーを出力するためのプログラムについて分析を行った。

これらを踏まえ、コンピュータ同士によるアンサンブルによる演奏は、音楽の表現手段としても有効であり、また人間とコンピュータとの関係の構築を模索する上でも、コンピュータによる人間らしい演奏表現の研究は必要であるということを確認した。

3-3-2 における、コンピュータには無い人間の演奏のズレに着目した MIDI における身体性の再現は、seq オブジェクトと noteoute オブジェクトの間に pipe オブジェクトを挿入するといういたってシンプルなものであったが、このアイディアについて追求すると、演奏者と演奏者としてのコンピュータとの、インタラクティブな関係性における音楽創作に繋がると考える。以上をふまえ、次章においては、独立した「演奏者」としてのコンピュータの在り方について述べる。

第4章 ソリストとして振る舞う「演奏者」としてのコンピュータの成立とその過程

1 序論

1-1 本章のねらい

これまでの章において著者は、人と、Antescofo を用いたコンピュータとの関係性におけるコンピュータの果たす役割として、「伴奏者」よりも積極的に人間との音楽演奏に関わる「共演者」としての役割を果たさせるための方策について、作曲上の音楽的表現における人の思考と身体性のコンピュータを用いた模倣について研究を行い、実際の作品の創作を通してその表現の有用性について考察を行った。また、これまでの一連の考察の中で、コンピュータ同士によるアンサンブルの音楽の表現手段としての可能性、並びに、コンピュータには無い人間の演奏のズレに着目した MIDI における身体性の再現が、人間の演奏者と、演奏者としてのコンピュータとのインタラクティブな関係性における音楽作品制作に繋がる可能性について示した。

本章においては、第3章において課題として示された、人間と共演者としてのコンピュータとの、音楽におけるインタラクティブな関係性においてシステムを構築するという創作上のアイデアを基に、コンピュータに以下の3つの役割を担わせることにより、Max を用いたシステムとして“Response”を構築することに成功した。

- ① 楽器としてのコンピュータ
- ② 思考するプログラムを実行するツールとしてのコンピュータ
- ③ 演奏者としてのコンピュータ

人間と共演者としてのコンピュータとの、音楽におけるインタラクティブな関係性の成立について、実際の“Response”のシステムの制作を通して、コンピュータが担う3つの役割に主眼を置き、システムの分析、研究を行う。

1-2 コンピュータによる人間の演奏の模倣と人間の思考との関係性について

第3章でも述べたように、演奏者としてのコンピュータによる演奏は、人間の演奏の場合において考えられる身体的・技術的制約を受けず、人間では有り得ないような正確すぎる機械的な楽譜の再生は、再現芸術における再現性の演奏者の

裁量の範囲を考慮しても不自然である。これは、演奏者としてのコンピュータの存在を考えたとき演奏の不自然さを招くだけでなく、人間の演奏者とのコミュニケーションを困難にする。人間とコンピュータとがインタラクティブな関係性を構築する上で、コンピュータの演奏が人間らしい自然な演奏になるよう考慮することとは、人間の演奏者とのコミュニケーションの成立のために必要な要素であると考ええる。

しかし、本章におけるコンピュータによる人間の演奏の模倣は、あくまでも MIDI のノートナンバーが **makenote** オブジェクトに入力され、**noteout** オブジェクトから MIDI のデータが出力されることにより実際に演奏が行われる段階においてであり、それ以前のコンピュータによって「思考」される段階においては、人間の思考について模倣するといったことは一切行わない。なぜなら、本研究においては、コンピュータに、人間には瞬時に計算し得ない思考をあえてさせることにより、コンピュータにしか果たし得ない計算機としてのコンピュータの役割を担わせることが目的であるからである。

次に、本章においてコンピュータが果たす 3 つの役割について詳述する。

2 コンピュータが担う 3 つの役割

①楽器としてのコンピュータ

コンピュータは楽器としての役割も果たす(清水, 大野 2015)。本研究においてこの楽器としてのコンピュータを、演奏者としての人間と演奏者としてのコンピュータが共用する。

この楽器は **bang** の入力に反応して MIDI のメッセージを出力する。演奏者としてのコンピュータは同じ **Max** 上で機能しているので、**bang** の入力にももちろん問題はないが、人間が楽器としてのコンピュータに **bang** メッセージを送るためには何らかのインターフェイスが必要となるので、今回は人間の腕の動きを **bang** として送信するのに適したセンサーモジュールとして、図 1 に示されている **R-IoT** を用いた。**R-IoT** の開発者の一人である **IRCAM** の **Emmanuel Flety** は、**R-IoT** について、デジタル変換を行うワイヤレスのセンサーで、モーションセンシング、ジェスチャー認識、ライブパフォーマンスアートを行う際の重要なツールであると説明している(**Emmanuel Flety** 2017)。また **R-IoT** は、**IRCAM** と **PluX** によって共同開発されている。

著者のパッチにおいては、**R-IoT** のジェスチャー認識の機能を用い、以下の順序で **bang** メッセージを楽器としてのコンピュータに送信している。

1. 演奏者としての人間が R-IoT を持った手を指揮者のように振り下ろす。
2. OSC のテクノロジーを用い、無線 LAN を介してセンサーのデータをコンピュータに送信する。
3. Max がそのエクスターナルライブラリである MuBu を用いてデータを解析する。
4. 楽器としてのコンピュータのパッチに bang メッセージを送信する。



図 1. R-IoT モジュール (出所)著者による撮影

②思考するプログラムを実行するツールとしてのコンピュータ

今回コンピュータによる思考を司る主なプログラムとして、以下のパッチが挙げられる。

- (a)マイクを通して音を分析しピッチを検出するパッチ
- (b)Antescofo を用いてコンピュータによる演奏のスコアフォローイングを行うパッチ
- (c)人間の演奏の際の bang の間隔を順番に記録するパッチ
- (d)記録した人間の演奏の bang の間隔の順番を入れ替えるパッチ
- (e)人間の演奏を MIDI としてリアルタイムに記録するパッチ
- (f)記録された MIDI のデータを楽譜のデータに変換し、アルゴリズムによって処理を行うパッチ

これらの中で楽譜としてのデータを扱うパッチがあるが、Max には本来この処理を行う、楽譜のデータを扱う機能がない¹。そのため、楽譜を用いた Max 上での処理のため、エクスターナルライブラリである **bach** を用いた。Andrea Agostini らの論文において言及されているように、**bach** はリアルタイムに処理を行う Max 上において、高度な楽譜表記のための作曲家のヘルパーとして機能する (Andrea Agostini, Daniele Ghisi 2012)。本章における著者のパッチにおいては、以下の処理を通して、記録した人間の演奏者による演奏に、**bach** を用いたアルゴリズムによる処理を行っている。

1. MIDI として記録した人間による演奏のデータを **bach.roll** オブジェクトを用いて、プロポーショナル・ノーテーション²の表記の楽譜に変換する。
2. **bach** のライブラリを用いたアルゴリズムによる処理を行う。
3. **bach.quantize** オブジェクトを用いてクオンタイズを行い、**bach.score** オブジェクトを用いて、クラシカル・ノーテーションの表記の楽譜に変換する。
4. **bach.playkeys** オブジェクトを用いて、MIDI として **bach.score** の楽譜を再生する。

③演奏者としてのコンピュータ

1-2 において述べたように、演奏者としてのコンピュータが人間の演奏に対する返答として演奏を行う際、人間の演奏を模倣し、人間らしい自然な演奏になるよう考慮する。そのための方策として以下の 2 つのパッチを構築した。

- (a)演奏者としてのコンピュータによる、Antescofo を用いた楽器としてのコンピュータを演奏するパッチ
- (b)**bach.playkeys** オブジェクトを用いて、MIDI として **bach.score** の楽譜を再生する際に、演奏にズレを生じさせるパッチ

この 2 つのパッチは、人間による演奏を受け、コンピュータが思考した後コンピュータ側が演奏する際に機能する。このパッチによる演奏の後、これを受けた人間による演奏が開始するが、この対話のシステムについて次に詳述する。

¹ 簡易的にピッチのみ楽譜として表示する **nslider** オブジェクトというオブジェクトがあるが、音価の表記には対応していない。

² 音価が符頭から右側に伸びるバーの長さによって表記される。

3 3つの役割を果たすコンピュータと人間とが対話するシステムの概要と分析

3-1 “Response”のシステムの概要

著者は、人間と共演者としてのコンピュータとの音楽におけるインタラクティブな関係性の構築という創作におけるアイディアに基づき、Max を用いたシステムとして“Response”を制作した。“Response”は、人間による演奏とコンピュータによる演奏とが交互に繰り返され、その行程は図2に示すとおり閉じた円環になっており、その順序を幾度となく繰り返す仕組みとなっている。

このシステムは、人間が手に持ったセンサーによる信号の入力により、楽器としてのコンピュータのMIDIによる演奏が始まり、それに呼応するコンピュータが、人間の演奏の拍の数によって場合分けの計算を行い、その結果によって2つの思考回路から1つの思考回路を選び、人間の演奏に反応するための計算を行う。その後の演奏者としてのコンピュータによるMIDIの演奏をもって、円が一巡する。

以下の項において、図2の順序に則り、その細部の構成について分析を行う。なお今回MIDIの出力先としては、AbletonのLive10を使用しており、それが考慮されたパッチの構造となっている。

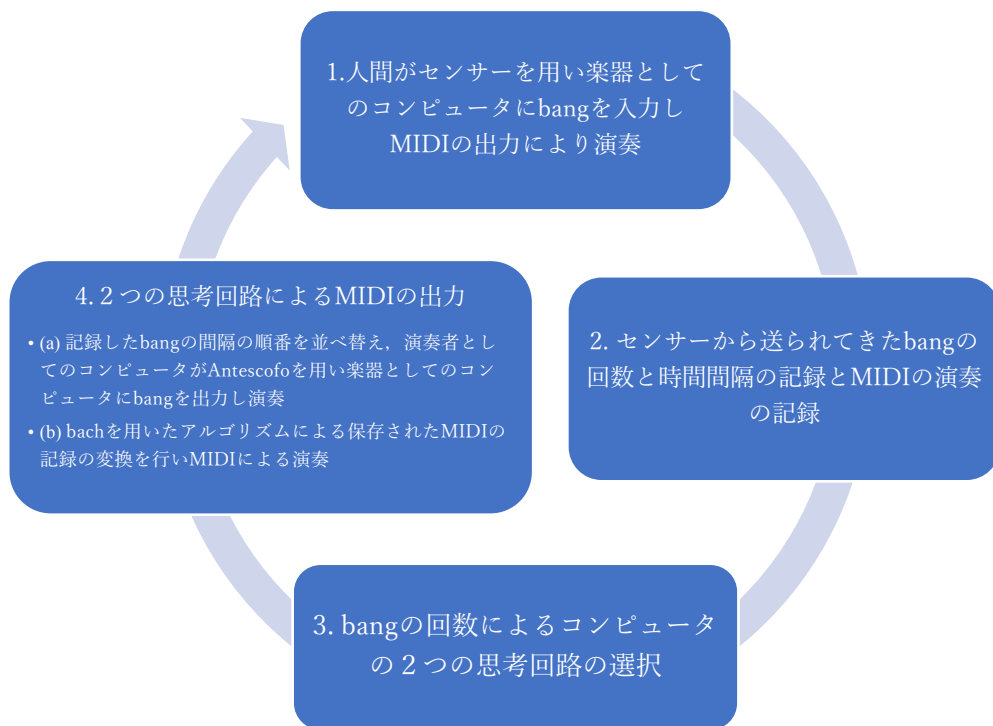


図 2. 人間とコンピュータによる呼応の過程が循環する“Response”のシステムの全体図 (出所)著者による作成

3-2 センサーから送られてくる bang に対応して楽器としての Max が演奏するシステム

図 3 に示されているように、この楽器によって演奏される MIDI のノートナンバーは倍音列の計算によって求められている。その基音となる周波数はマイクから入力される波形データの計算によって求められ、実際に検出されたピッチの 2 オクターブ下のノートナンバーを基に、第 4・6・8・10・14・16・18・20 倍音の 8 つの周波数が計算によって導き出され、楽器としてのコンピュータによって演奏されるピッチとして使用される。この処理はリアルタイムで常に行われており、倍音列による構造には影響を及ぼさないが、その基音は常に変化している。しかし一度ピッチが検出されると、その後 2 秒間は更新されない。

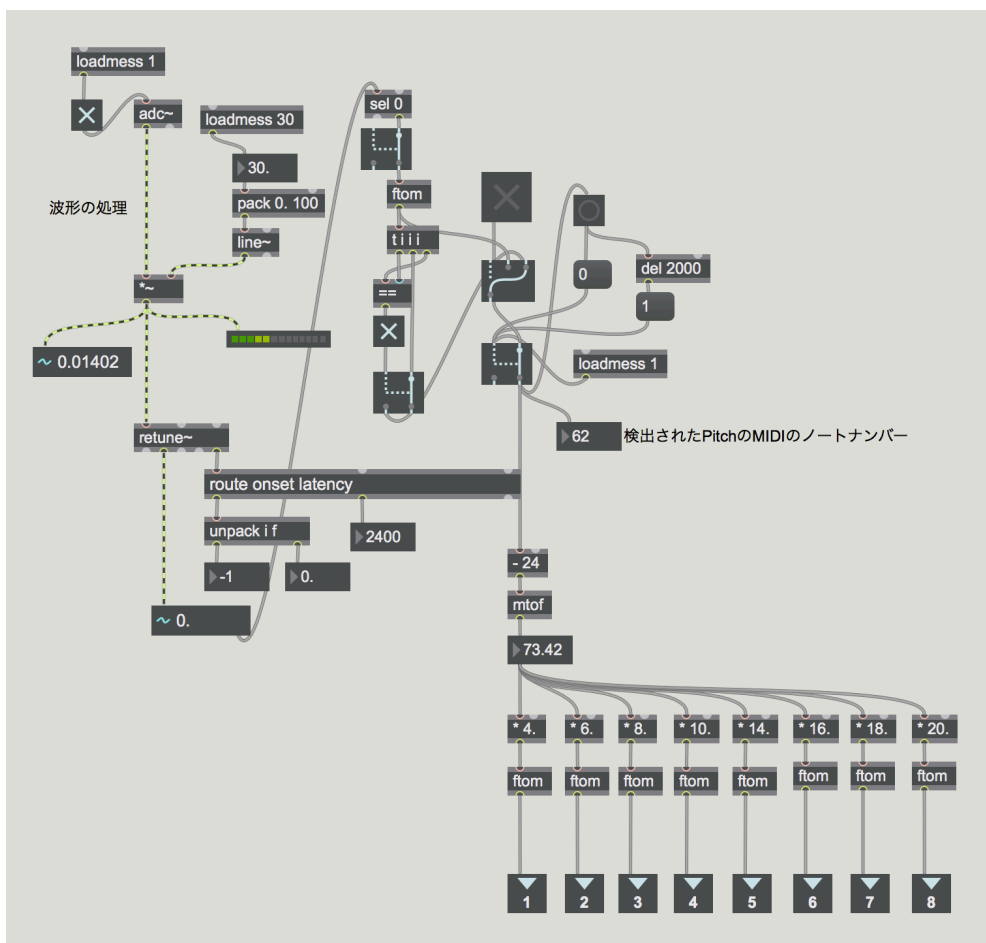


図 3. 楽器としてのコンピュータによって演奏されるピッチを計算するパッチ
(出所)著者による作成

人間が手の動きによって演奏を開始しようとする際、センサーから送られてくるデータは MuBu のオブジェクトを用いたパッチにより分析され bang が出力される。このシステムでは、その bang メッセージは“Response”とは別のパッチ上で出力され、send オブジェクトにより“Response”のパッチに送信されるようになっている。

図4にあるように **Receive** オブジェクトによって受け取った **bang** によって楽器としてのコンピュータが演奏されることとなるが、**trigger** オブジェクトによって以下の5つの順序で機能が作動することにより、演奏が行われる。

1. 1 度の **bang** の入力に対して鳴る 8 つの音の時間間隔をそれぞれ **deley** オブジェクトによって 0～200ms の範囲で指定する。
2. **bang** の時間間隔を **timer** オブジェクトと **coll** オブジェクトとの組み合わせにより計測し図 5 の形式で記録する。
3. **counter** オブジェクトを用い、入力される **bang** の回数を記録する。
4. 図 3 のパッチの処理によりあらかじめ用意されたピッチを、**loadbang** オブジェクトによる **bang** をきっかけにランダム化された順序で、**counter** オブジェクトに **bang** を入力することより MIDI として再生する。その際の **Velocity** の値は 2. で計測された **bang** の間隔が短ければ高く、長ければ低く設定される。
5. 4. の **bang** によって MIDI が再生された後、1. で間隔が指定された **deley** オブジェクトにより **bang** が遅れて **counter** オブジェクトに入力されることにより、いくつかの音が遅れて再生される。その数は 2. で計測された **bang** の間隔が短ければ多く、長ければ少ない。

3.における行程によって記録された **bang** の回数によって、図 2 の 4. の 2 つの思考回路の内どちらが選択されるかが場合分けの計算によって決定される。このシステムにおいては 1 小節 4 拍として計算され、4 小節以下つまり **bang** の回数が 19 回以下の場合(a)の思考回路、5 小節以上つまり **bang** の回数が 20 回以上の場合(b)の思考回路となる。

人間による楽器としてのコンピュータの演奏は、(a)の思考回路の場合でも、(b)の思考回路の場合でも MIDI として記録されるが、演奏者としてのコンピュータによる楽器としてのコンピュータの演奏の際には、演奏は保存されない。

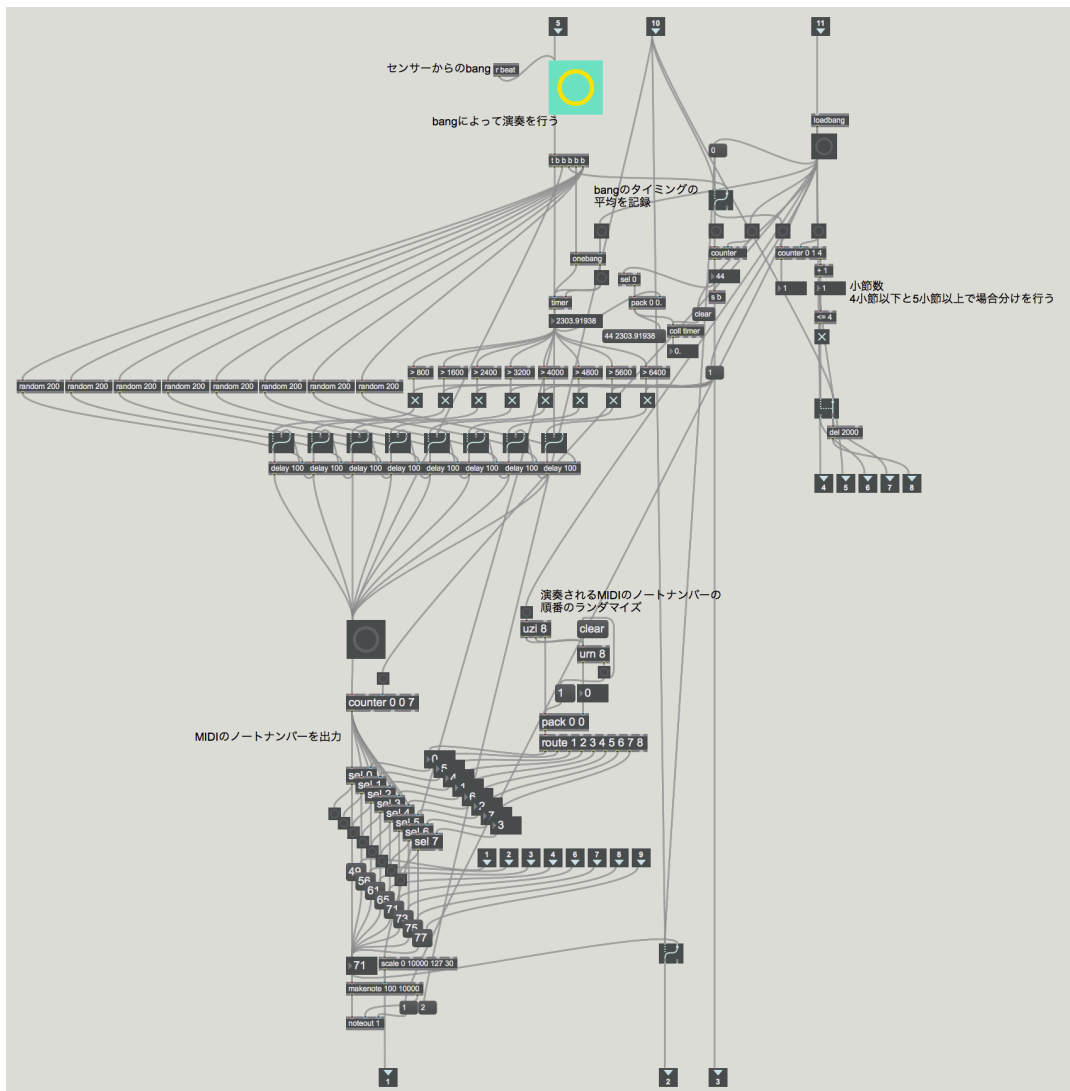


図 4. 楽器としてのコンピュータのパッチ (出所)著者による作成

3-4 記録した人間の演奏の bang の間隔の順番を入れ替え Antescofo を用い再生するシステム: 思考回路(a)

小節数が4以下だった場合この思考回路が動作する。図7のパッチでは、記録された人間の演奏の際の bang の時間間隔を urn オブジェクトによってランダムに並べ替え、その間隔に則り bang を出力する。urn オブジェクトによってランダムに並べ替えられた bang の間隔は、平均されれば人間による演奏の bang と同じだが、1-2 で述べたように、不自然な時間間隔で bang が出力されることとなる。そこで、この bang の拍をきっかけとして Antescofo を用いてスコアフォローイングを行い、ランダムに並べ替えられた bang の間隔を Antescofo が人間による bang の入力として認識することにより、人間の演奏として不自然な拍は除外される。これにより、人間の拍の間隔を元にしたコンピュータによる bang を、人間の演奏者による bang として認識した Antescofo により bang が出力されることによって、独特な間隔で拍が出力されることとなる。演奏者としてのコンピュータによる bang としてこれを出力することにより、楽器としてのコンピュータの演奏を行う。また、スコアフォローイングのためのテキストデータは、1小節の場合から4小節の場合まであらかじめ用意されており、①の思考回路が選択された際、自動的に Antescofo に読み込まれる。

3-5 Antescofo の役割

このシステムにおいて Antescofo が果たす役割として以下の3つが挙げられる。

- (a)人間による演奏の小節数による、演奏者としてのコンピュータが出力する bang の回数の指定
- (b)コンピュータによって不自然な間隔で出力される bang のタイミングの修正
- (c)演奏者としてのコンピュータによる演奏の終了の合図

演奏者としてのコンピュータが出力する bang の数は antescofo~から出力される bang の数であり、coll オブジェクトから出力される bang の間隔には拠らない。なぜなら、coll オブジェクトから出力される時間間隔によって delay オブジェクトから出力される bang は、不自然な間隔で出力された場合、スコアフォローイングの際に除外される可能性があるからである。スコアフォローイングが最後まで終了するとアトリビュートの指定により第4アウトレットから bang が出力されるので、これをきっかけに楽器としてのコンピュータがリセットされ、人間による演奏の待機状態となり、図2における(a)の思考回路の場合の円が一巡する。

3-6 保存された MIDI のデータを bach を用いて楽譜のデータに変換する

システム: 思考回路(b)

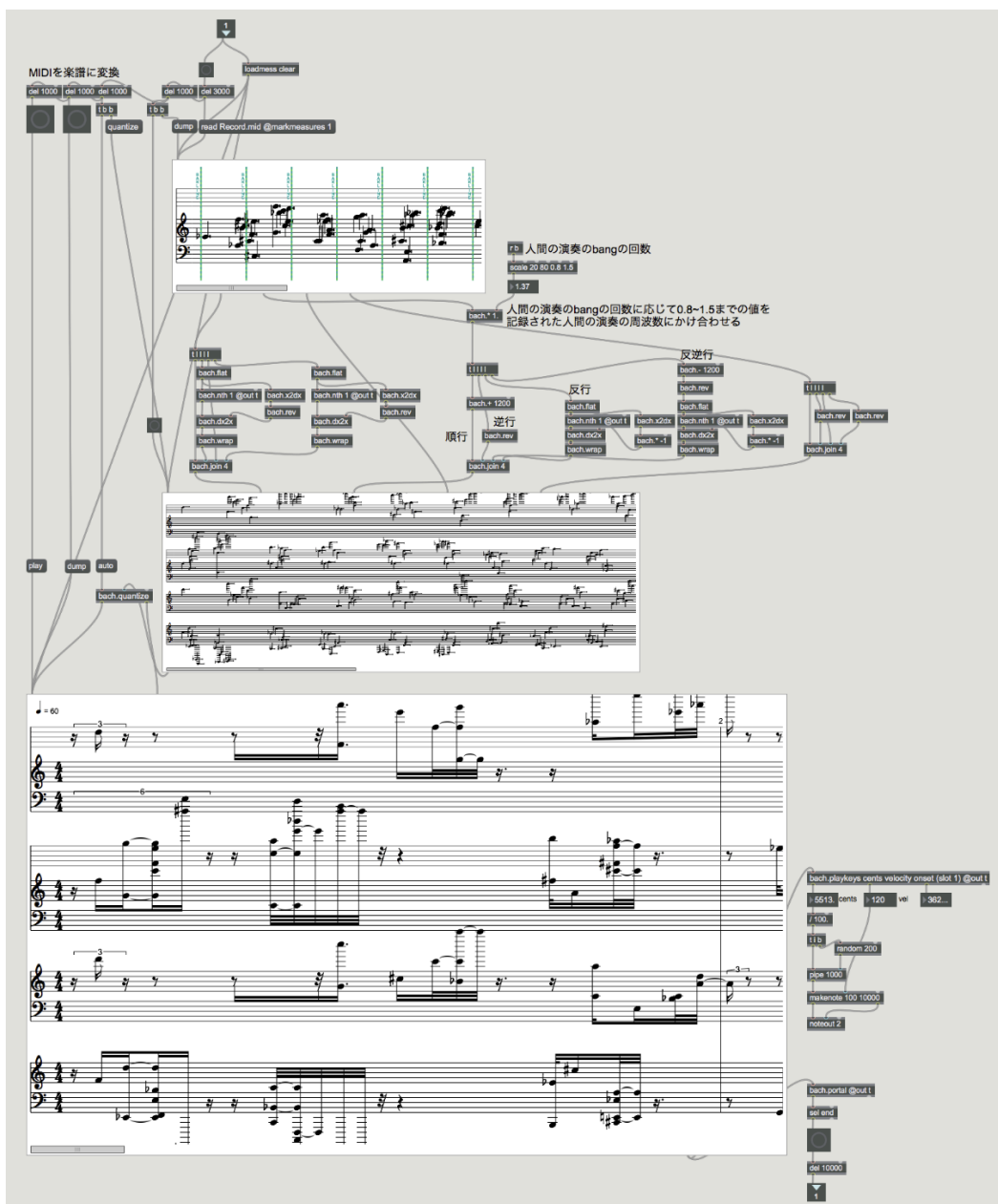
小節数が5以上だった場合この図8の思考回路が動作する。図6のパッチにより保存された MIDI のデータを bach.roll オブジェクトで読み込むことにより、プロポーショナル・ノーテーションの表記の楽譜に変換を行う。演奏が波形データとして記録されていた場合はこのような変換はできない。MIDI のデータを楽譜として bach.roll オブジェクトに読み込むことにより、MIDI として記録された演奏の音符単位での編集が可能になるが、これも演奏が波形データとして記録されていた場合には不可能である。

3-7 楽譜に変換されたデータを bach のオブジェクトを用いたアルゴリズムを通して変換し演奏するシステム

図 8 のパッチのアルゴリズムは人間による楽器としてのコンピュータの演奏と連動している。人間の演奏の際の bang の総数を scale オブジェクトを用いて 0.8~1.5 の範囲の値に変換し、MIDI からプロポーション・ノーテーションの表記の楽譜へと変換を行った音符の MIDI セント全てに掛け合わせている。この計算により、人間の演奏の際の bang の回数が少なければ、全体のピッチは低く音程間隔が狭くなり、bang の回数が多ければ、全体のピッチは高く音程間隔が広がる。

また、MIDI からプロポーション・ノーテーションの表記の楽譜へと変換を行った楽譜に、bach によるアルゴリズムにより、逆行・反行・反逆行の 3 声部を追加し、順行の声部は 1 オクターブ高く、反逆行の声部は 1 オクターブ低くなる計算を行った。そしてこの段階においては、演奏のタイミングは人間の演奏が元になっているので、クオンタイズを行いクラシカル・ノーテーションの表記に楽譜を変換することにより、人間の演奏らしい自然なアゴーギクを一旦排除する。

bach.score オブジェクトにクラシカル・ノーテーションの表記で楽譜を表記させ、bach.playkeys オブジェクトを用いて楽譜を再生する際には pipe オブジェクトと random オブジェクトを用い、MIDI のノートナンバーが makenote オブジェクトに入力されるタイミングにズレを生じさせることにより、1-2 で言及したような不自然な演奏になることを回避している。楽譜が最後まで再生されると bach.score オブジェクトから“end”が出力されるので、これをきっかけとした bang により、10 秒が経過した後、楽器としてのコンピュータがリセットされ、人間による演奏の待機状態となり、図 2 における(b)の思考回路の場合の円が一巡する。



3-8 “Response”のシステムの総括

人間の手の動きから始まるこのシステムの行程は、図2にあるように円になっており、演奏を始めた人間がコンピュータの演奏に対して呼応をやめない限り、その行程は幾度となく繰り返される。ただし、この繰り返しはただのループではなく、一度として同じ循環が行われることはない。コンピュータは人間による演奏の度に新たに思考を行い、人間もそれに呼応し演奏を行う。

また、このシステムで行われているコミュニケーションは全て **bang** の回数の値とその時間間隔の値を元に成り立っている。数の計算を行うコンピュータと、拍を認識する人間との共通言語としてこれらの値を用いることの有効性を“Response”のシステムの構築を通して確認した。

4 第4章の総括

本章では、第3章において課題として示された、人間と共演者としてのコンピュータとの、音楽におけるインタラクティブな関係性においてシステムを構築するという創作上のアイディアを基に、実際の“Response”のシステムの制作を通して、コンピュータが担う3つの役割に主眼を置き、システムの分析、研究を行った。

“Response”のシステムにおいてコンピュータは以下の3つの役割を果たした。

①楽器としてのコンピュータ

この楽器によって演奏される MIDI のノートナンバーは倍音列の計算によって求められた。その基音となる周波数はマイクから入力される波形データの計算によって求められ、実際に検出されたピッチの2オクターブ下のノートナンバーを基に、第4・6・8・10・14・16・18・20倍音の8つの周波数が計算によって導き出され、楽器としてのコンピュータによって演奏されるピッチとして使用された。人間が手の動きによって演奏を開始しようとする際、センサーから送られてくるデータは MuBu のオブジェクトを用いたパッチに分析にされ、動きが認識されると **bang** が出力される。その **bang** をきっかけとして5つの順序で機能が作動することにより、演奏が行われることを確認した。

②思考するプログラムを実行するツールとしてのコンピュータ

人間による演奏は **seq** オブジェクトによって常に保存される。センサーから送られてくる最初の **bang** をきっかけに記録を開始し、最後の **bang** が送られてから

10 秒経過すると、自動的に記録が停止し、その後 seq オブジェクトにメッセージとして“write Record”が送られることにより“Record.mid”として、パッチが置かれている場所と同じ場所に、MIDI のデータとして保存されることを確認した。

人間の演奏の際の bang の総数によって導き出される小節数が 4 以下だった場合: 思考回路(a), 記録された人間の演奏の bang の時間間隔を urn オブジェクトによってランダムに並べ替え, その間隔に則り bang を出力した。

人間の演奏の際の bang の総数によって導き出される小節数が 5 以上だった場合: 思考回路(b), 保存された人間の演奏の MIDI のデータを bach.roll オブジェクトで読み込むことにより, プロポーショナル・ノーテーションの表記の楽譜に変換を行い, bach のオブジェクトを用いたアルゴリズムによって変化を加え演奏を行った。このシステムにおけるアルゴリズムは人間による楽器としてのコンピュータの演奏と連動しており, 人間の演奏の際の bang の総数を scale オブジェクトを用いて 0.8~1.5 の範囲の値に変換し, MIDI からプロポーショナル・ノーテーションの表記の楽譜へと変換を行った音符の MIDI セント全てに掛け合わせた。また, MIDI からプロポーショナル・ノーテーションの表記の楽譜へと変換を行った楽譜に, bach によるアルゴリズムにより, 逆行・反行・反逆行の 3 声部を追加する計算を行った。

③演奏者としてのコンピュータ

思考回路(a)から出力された bang は, 演奏者としてのコンピュータに入力され, 楽器としてのコンピュータの演奏を行うことを確認した。この際, Antescofo は以下の 3 つの役割を果たした。

- (a)人間による演奏の小節数による演奏者としてのコンピュータが出力する bang の回数の指定
- (b)コンピュータによって不自然な間隔で出力される bang のタイミングの修正
- (c)演奏者としてのコンピュータによる演奏の終了の合図

スコアフォローイングが最後まで終了するとアトリビュートの指定により第 4 アウトレットから bang が出力されるので, これをきっかけに楽器としてのコンピュータがリセットされ, 人間による演奏の待機状態となり, (a)の思考回路の場合の円が一巡した。

思考回路(b)においては, bach.score オブジェクトにクラシカル・ノーテーションの表記で楽譜を表記させ, bach.playkeys オブジェクトを用いて楽譜を再生する

ことにより演奏を行うことを確認した。この際、`pipe` オブジェクトと `random` オブジェクトを用い MIDI のノートナンバーが `makenote` オブジェクトに入力されるタイミングにズレを生じさせることにより、1-2 で言及したような不自然な演奏になることを回避していることを確認した。楽譜が最後まで再生されると `bach.score` オブジェクトから“end”が出力されるので、これをきっかけとした `bang` により、10 秒が経過した後、楽器としてのコンピュータがリセットされ、人間による演奏の待機状態となり、(b)の思考回路の場合の円が一巡した。

第5章 本研究の総括

本研究を通して、緒論において提示された「伴奏者」、「共演者」、「演奏者」のそれぞれの段階における課題を解決し、アルゴリズムコンポジションによる人間とコンピュータとのインタラクティブな関係性におけるシステムの構築に成功した。

「伴奏者」としてコンピュータを機能させるために、自作品，“Etude” for piano and live electronics(2015)の制作を通して、以下の課題を解決した。

- (a)音声の波形データを用いたリアルタイム・スコアフォローイング
- (b)複数の音声から特定の音声の選択的認識
- (c)人間の演奏・楽器の響きに悪影響を及ぼさない設営
- (d)レイテンシーの少ない機材の構成
- (e)入力シグナルレベルとピッチの調節による旋律の正確な認識
- (f)人間の演奏をきっかけとした MIDI 音源の再生
- (g)無音時間のない音声データからのアタックの認識

人間であれば、ある程度の喧騒の中でも、例えばその中からピアノの音を選択的に聴取する、ということは可能である。また、大きい音であれ小さい音で聴取できればそれを旋律としても認識することが可能である。アタックの検出についても、四分音符が連続しており、たとえその間に休符がなくとも、それを周期的なリズムであると認識することは、人間にとっては容易に可能である。しかし、これらのことをコンピュータが認識できるようにすることは、それは容易ではない。その問題の解決手段としての、Antescofo の有用性について、本研究を通して確認することができた。

Antescofo を用いて自作品を制作するにあたっては、マイクへの音声の入力の問題、シグナルレベルとピッチの調整の問題、アタックの検出に関する問題等様々な課題があったが、本論文において提示した解決策を講じることにより、自作品の制作に成功した。

「共演者」としてコンピュータを機能させるために①演奏者としての Max と演奏者としての人間との関係性において作成したパッチ、②演奏者としての Max と演奏者としての Max との関係性において作成したパッチ、のそれぞれの制作を通し、その実用性について検証し、以下の課題を解決した。

- (a)MIDI データを用いたリアルタイム・スコアフォローイング
- (b)人間の演奏をきっかけとした波形データの再生
- (c)レイテンシーが考慮されたプログラム構築
- (d)人間の演奏に影響を与える、独立したアルゴリズムによる音声の出力
- (e)人間の身体的制約の範疇として不自然でない音を音楽として出力

①演奏者としての Max と、演奏者としての人間との関係性において作成したパッチは、コンピュータと人間による、J.S.Bach : Johannes Passion(BWV245) No.54 Chorus の演奏のためのパッチと、コンピュータと人間による、室内合奏のための「気配」(2017)の演奏のためのパッチである。これらのパッチの分析を通して、NoteAbilityPro と Antescofo を用いた、MIDI ではなく波形データの再生もしくは録音した演奏音源の再生タイミングの指示について確認した。

②演奏者としての Max と、演奏者としての Max との関係性において作成したパッチは、“Etude II” for piano and live electronics(2017)である。この作品の分析を通して、Antescofo の処理においては、リアルタイム・スコアフォローイングの対象が人間の演奏ではなくコンピュータとなるので、その際に Antescofo が正しく機能し、また、演奏者としての Max が人間の演奏者のように振る舞うような挙動について確認した。

「演奏者」としてコンピュータを機能させるために、自作品、“Responce”のシステムの制作を通して、以下の課題を解決した。

- (a)コンピュータが担う楽器としての役割
- (b)人間の演奏を MIDI データとしてリアルタイムに記録する
- (c)コンピュータによって不自然な間隔で出力される bang のタイミングの修正
- (d)コンピュータによる演奏の終了の合図の出力
- (e)記録された人間の演奏の MIDI データの楽譜のデータへの変換
- (f)楽譜のデータのアルゴリズムによる処理
- (g)人間の演奏のアゴーギクへの対応
- (h)人間の演奏の開始と終了の認識

コンピュータを「演奏者」として機能させ、人間とコンピュータによるインタラクティブな関係性によるシステムを構築する際、コンピュータに人間らしい自然な演奏をさせるようにすることは、人間の演奏者とのコミュニケーションの成立のために必要な要素である。しかし、コンピュータによる思考の段階において

は、コンピュータに、人間には瞬時に計算し得ない計算をあえてさせることにより、コンピュータにしか果たし得ない高度な「計算機」としてのコンピュータの役割を担わせることが可能であり、コンピュータを演奏者とする際の音楽の表現として有効な手段であることが示された。また、このシステムにおいては、②思考するプログラムを実行するツールとしてのコンピュータと③演奏者としてのコンピュータはシステム上一体となって機能していることが明らかとなった。

今後の展望としては、第4章において `bach.score` オブジェクトに表記された楽譜の再生には本研究では `bach.playkeys` オブジェクトが用いられたが、この楽譜の再生を人間が楽器を用いて、一人で、もしくは複数人によって行うことにより、コンピュータは②思考するプログラムを実行するツールとしてのコンピュータのみの役割を果たし、③演奏者としてのコンピュータの役割は人間が担うということが可能性として考えられる。また、“Response”のシステムにおいては人間の動きをセンサーを通して `bang` に変換し、①楽器としてのコンピュータを機能させたが、この `bang` は最初に③演奏者としてのコンピュータに出力させることも可能である。ただこれらの展望には現在のシステムと比較して、技術的な垣根は存在しないのであり、コンピュータと人間とが相互的な関係性によるコミュニケーションを行う際に `bang` を用いることによって、数の計算を行うコンピュータと拍を認識する人間との共通言語として有効に機能していることを示している。

本研究を通しての著者の `Antescofo` の使用方法は、音楽創作にリアルタイム・スコアフォローイングのテクノロジーを用いた際の可能性の内の一つであり、また、コンピュータを一人の演奏者として扱うという概念の実現過程の中で、音楽創作における様々な可能性を確認した。演奏者としてのコンピュータにプログラミングによってどのような個性を付加するのかというのは、音楽家のアイディア次第であり自由である。もしくは今後の研究によっては、コンピュータ自身が己の個性を自己設定するというプログラムも、考えられる。

<参考文献>

- 大塚琢馬, 中臺一博, 高橋徹, 尾形哲也, 奥乃博(2011)「累積頻度重みを適用したパーティクルフィルタによる実時間楽譜追従」『第73回全国大会講演論文集』第1号, 情報処理学会, pp.305-306
- 大野雅夫(2017)「音楽創作におけるコンピュータと演奏者との関係性についての考察—Antescofoを応用した自作品の分析を通して—」『現代社会文化研究』第64号, 新潟大学現代社会文化研究科, pp.37-52
- 大野雅夫(2018)「音楽創作における2つの関係性によるコンピュータと演奏者の役割についての考察—自作のMaxパッチの分析を通して—」『現代社会文化研究』第66号, 新潟大学現代社会文化研究科, pp.171-186
- 大野雅夫(2018)「インタラクティブな関係性における音楽表現のためのシステム構築についての考察—人間とコンピュータの多様な関係性において—」『現代社会文化研究』第67号, 新潟大学現代社会文化研究科, pp.55-70
- 清水研作, 大野雅夫(2015)「コンピュータ音楽とその作曲への応用」『新潟大学教育学部研究紀要 人文・社会科学編』第8巻第1号, pp.81-94
- 中川克史(2010)「雑誌『音楽芸術』における電子音楽をめぐる二つのレトロ・フューチャー - 電子音楽とコンピュータ音楽輸入時の進歩史観の変質? -」『文学・芸術・文化: 近畿大学文芸学部論集』第21巻第2号, pp.236-210
- 中村友彦, 中村栄太, 嵯峨山茂樹(2013)「誤り・任意の弾き直し・引き飛ばしを含む演奏音響信号への高速な楽譜追跡」『情報処理学会研究報告』Vol.2013-MUS-99, No.40, 情報処理学会, pp.1-5
- 堀内靖雄, 藤井敦, 田中穂積(1995)「複数の人間と協調する演奏システム」『コンピュータソフトウェア』第12巻第5号, 一般社団法人ソフトウェア科学会, pp.465-473
- 葉孝之(2009)「音楽創作とコンピュータ音楽」『オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学』第54巻第9号, pp.563-569
- Curtis Roads(1996)「コンピュータ音楽 -歴史・テクノロジー・アート-」(訳:青柳龍也, 小坂直敏, 後藤真考, 他)東京電機大学出版局, pp.805-844

Andrea Agostini, Daniele Ghisi, “bach: an environment for computer-aided composition in Max”, Proceedings of the International Computer Music Conference(ICMC 2012), Ljubljana, Slovenia. pp.373-378, 2012

Emmanuel Flety, “A comprehensice guide to using, programming & flashing the BITtalino R-IoT WiFi sensor module”, Prototypes & Engineering Team (PIP), IRCAM
Edition 1.0, pp.1-2, March 2017

<資料>①

Etude for Piano and Live Electronics (2015)

♩=100 *Tempo rubato ed cantabile*

Piano *pp*

Harpischord
(Antescofo)

5

7

10

14

19

23

27

Measures 27-30. The right hand plays a continuous eighth-note pattern. The left hand has a melodic line with a triplet in measure 29.

31

Measures 31-34. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand has a melodic line with a triplet in measure 32.

35

Measures 35-37. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand has a melodic line with a triplet in measure 36.

38

Measures 38-40. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand has a melodic line with triplets in measures 39 and 40.

41

Measures 41-43 of a musical score. The system consists of three staves: a single treble staff at the top and a grand staff (treble and bass) below. The top staff contains a continuous eighth-note melody. The grand staff features a complex accompaniment with chords and moving lines in both hands, including a triplet in the bass line of measure 42.

44

Measures 44-47 of a musical score. The system consists of three staves: a single treble staff at the top and a grand staff (treble and bass) below. The top staff contains a continuous eighth-note melody. The grand staff features a complex accompaniment with chords and moving lines in both hands, including a triplet in the bass line of measure 45.

48

Measures 48-50 of a musical score. The system consists of three staves: a single treble staff at the top and a grand staff (treble and bass) below. The top staff contains a continuous eighth-note melody. The grand staff features a complex accompaniment with chords and moving lines in both hands, including a triplet in the bass line of measure 49.

51

Measures 51-53 of a musical score. The system consists of three staves: a single treble staff at the top and a grand staff (treble and bass) below. The top staff contains a continuous eighth-note melody. The grand staff features a complex accompaniment with chords and moving lines in both hands, including a triplet in the bass line of measure 52.

54

Measures 54-57. The right hand plays a continuous eighth-note pattern. The left hand has rests in measures 54 and 55, then enters in measure 56 with a descending eighth-note scale, and measure 57 features a triplet of eighth notes.

58

Measures 58-61. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand has rests in measures 58 and 59, then enters in measure 60 with a descending eighth-note scale, and measure 61 features a triplet of eighth notes.

62

Measures 62-65. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand has rests in measures 62 and 63, then enters in measure 64 with a descending eighth-note scale, and measure 65 features a triplet of eighth notes.

66

Measures 66-69. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand has rests in measures 66 and 67, then enters in measure 68 with a descending eighth-note scale, and measure 69 features a triplet of eighth notes.

70

Measures 70-73 of a musical score. The system consists of three staves: a single treble staff and a grand staff (treble and bass). The melody in the single treble staff is composed of eighth notes with beams, mostly with upward stems. The grand staff accompaniment features a complex pattern of eighth and sixteenth notes, with many beamed sixteenth notes in the bass line. The key signature has one flat (B-flat), and the time signature is 4/4.

74

Measures 74-77 of a musical score. The system consists of three staves: a single treble staff and a grand staff. Measures 74 and 75 continue the melodic pattern from the previous system. In measure 76, the grand staff features a long, flowing line of beamed sixteenth notes in the bass, while the treble staff has a few chords. Measure 77 begins with a forte (*f*) dynamic marking and features a more active bass line with eighth notes. The key signature remains one flat.

78

Measures 78-81 of a musical score. The system consists of three staves: a single treble staff and a grand staff. Measures 78 and 79 continue the melodic pattern. In measure 80, the grand staff features a piano (*pp*) dynamic marking and a complex texture of beamed sixteenth notes in both the treble and bass staves. Measure 81 continues this complex texture. The key signature remains one flat.

82

Measures 82-85 of a musical score. The system consists of three staves: a single treble staff and a grand staff. Measures 82 and 83 continue the melodic pattern. Measures 84 and 85 feature a complex texture of beamed sixteenth notes in both the treble and bass staves of the grand staff, with some chords in the single treble staff. The key signature remains one flat.

86

90

94

98

101

105

109

113

117

Measures 117-120. The system consists of a vocal line and a piano accompaniment. The vocal line features a continuous eighth-note melody. The piano accompaniment includes chords and moving lines in both the right and left hands, with a triplet in the final measure.

121

Measures 121-124. The system consists of a vocal line and a piano accompaniment. The vocal line continues with eighth notes. The piano accompaniment has rests in the first two measures, followed by active accompaniment in the last two measures, including a triplet in the third measure.

125

Measures 125-128. The system consists of a vocal line and a piano accompaniment. The vocal line continues with eighth notes. The piano accompaniment features a more active role in the last two measures, with chords and moving lines in both hands.

129

Measures 129-132. The system consists of a vocal line and a piano accompaniment. The vocal line continues with eighth notes. The piano accompaniment includes chords and moving lines, with a triplet in the final measure.

133

Measures 133-135. The score consists of three staves. The top staff is a single melodic line with eighth notes and rests. The middle staff is a piano accompaniment with eighth notes and chords. The bottom staff features a bass line with triplets and a melodic line with eighth notes and rests.

136

Measures 136-139. The score consists of three staves. The top staff is a single melodic line with eighth notes and rests. The middle staff is a piano accompaniment with eighth notes and chords. The bottom staff features a bass line with eighth notes and a melodic line with eighth notes and rests.

140

Measures 140-142. The score consists of three staves. The top staff is a single melodic line with eighth notes and rests. The middle staff is a piano accompaniment with eighth notes and chords. The bottom staff features a bass line with eighth notes and a melodic line with eighth notes and rests.

143

Measures 143-145. The score consists of three staves. The top staff is a single melodic line with eighth notes and rests. The middle staff is a piano accompaniment with eighth notes and chords. The bottom staff features a bass line with eighth notes and a melodic line with eighth notes and rests.

147

Measures 147-150. The right hand plays a continuous eighth-note pattern. The left hand features a complex bass line with triplets and various accidentals.

151

Measures 151-154. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand has a more active bass line with triplets and various accidentals.

155

Measures 155-158. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand features a complex bass line with triplets and various accidentals.

159

Measures 159-162. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand features a complex bass line with triplets and various accidentals.

163

Musical score for measures 163-166. The right hand plays a continuous eighth-note melody. The left hand plays a complex accompaniment with many beamed sixteenth notes.

167

Musical score for measures 167-169. Measure 169 features a piano (*pp*) dynamic marking and a change in the left hand's accompaniment pattern.

170

Musical score for measures 170-172. The right hand continues its eighth-note melody, while the left hand plays a steady sixteenth-note accompaniment.

173

Musical score for measures 173-175. Measure 173 features a piano (*p*) dynamic marking. The left hand's accompaniment includes some notes with accents.

176

176

mp

179

179

182

182

185

185

188

Measures 188-189. The score consists of three staves. The top staff is a single melodic line with eighth notes and rests. The middle and bottom staves are a grand staff with complex chordal accompaniment, including many accidentals (sharps, flats, naturals) and some beamed sixteenth notes.

190

Measures 190-191. The score consists of three staves. The top staff continues the melodic line. The middle and bottom staves continue the complex chordal accompaniment with various accidentals and beamed notes.

192

Measures 192-193. The score consists of three staves. The top staff continues the melodic line. The middle and bottom staves continue the complex chordal accompaniment with various accidentals and beamed notes.

194

Measures 194-195. The score consists of three staves. The top staff continues the melodic line. The middle and bottom staves continue the complex chordal accompaniment with various accidentals and beamed notes.

196

Musical score for measures 196-197. The system consists of a vocal line and a piano accompaniment. The vocal line features a melodic line with eighth notes and rests. The piano accompaniment has a right hand with chords and a left hand with a descending eighth-note line. Dynamics include *f* and *mp subito*.

198

Musical score for measures 198-200. The system consists of a vocal line and a piano accompaniment. The vocal line continues with a melodic line. The piano accompaniment features more complex chordal textures in the right hand and eighth-note patterns in the left hand.

201

Musical score for measures 201-203. The system consists of a vocal line and a piano accompaniment. The vocal line continues with a melodic line. The piano accompaniment features complex chordal textures and eighth-note patterns.

204

Musical score for measures 204-206. The system consists of a vocal line and a piano accompaniment. The vocal line continues with a melodic line. The piano accompaniment features complex chordal textures and eighth-note patterns.

207

Measures 207-209 of a musical score. The system consists of a single treble clef staff and a grand staff (treble and bass clefs). The treble staff contains a melodic line of eighth notes with rests. The grand staff contains a complex accompaniment with many beamed sixteenth and thirty-second notes, including some triplets. The key signature has one sharp (F#).

210

Measures 210-212 of a musical score. The system consists of a single treble clef staff and a grand staff. The treble staff continues the melodic line. The grand staff accompaniment is highly rhythmic with many beamed notes. The key signature has one sharp (F#).

213

Measures 213-214 of a musical score. The system consists of a single treble clef staff and a grand staff. The treble staff continues the melodic line. The grand staff accompaniment continues with complex rhythmic patterns. The key signature has one sharp (F#).

215

Measures 215-217 of a musical score. The system consists of a single treble clef staff and a grand staff. The treble staff continues the melodic line. The grand staff accompaniment continues with complex rhythmic patterns. The key signature has one sharp (F#).

218

Measures 218-220 of a musical score. The score is written for a piano with a treble and bass staff. The melody in the treble staff consists of eighth notes with various accidentals. The bass staff features a complex accompaniment with many beamed sixteenth and thirty-second notes, and some chords.

221

Measures 221-223 of a musical score. The treble staff continues with eighth notes. The bass staff has a dense texture with many beamed sixteenth and thirty-second notes, and some chords.

224

Measures 224-226 of a musical score. The treble staff continues with eighth notes. The bass staff has a dense texture with many beamed sixteenth and thirty-second notes, and some chords.

227

Measures 227-229 of a musical score. The treble staff continues with eighth notes. The bass staff has a dense texture with many beamed sixteenth and thirty-second notes, and some chords. A forte (*f*) dynamic marking is present in measure 228.

230

230

p

233

233

237

237

241

241

p

245

Measures 245-248. The right hand plays a continuous eighth-note pattern: C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5, D5, E5, F5, G5, A5, B5, C6, D6, E6, F6, G6, A6, B6, C7, D7, E7, F7, G7, A7, B7, C8. The left hand plays a sequence of half notes: C3, D3, E3, F3, G3, A3, B3, C4, D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5.

249

Measures 249-252. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand plays a sequence of half notes: D4, E4, F4, G4, A4, B4, C5, D5, E5, F5, G5, A5, B5, C6.

253

Measures 253-255. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand plays a sequence of half notes: D5, E5, F5, G5, A5, B5, C6, D6, E6, F6, G6, A6, B6, C7.

256

Measures 256-259. The right hand continues the eighth-note pattern. The left hand plays a sequence of half notes: D6, E6, F6, G6, A6, B6, C7, D7, E7, F7, G7, A7, B7, C8. The piece concludes with a double bar line in both staves.

＜資料＞②
室内合奏のための「気配」(2017)
“Sense of Existence” for Chamber Ensemble (2017)

大野 雅夫
Masao Ohno

Largo ♩=42 ca.

Flute

Tuba

Piano

pp *ppp*

sempre Ped.

una corda *tre corde*

Largo ♩=42 ca.

Violin

Viola

Violoncello

ppp *pp*

7

Fl.

Tba.

Pno.

pp *mp* *ff* *sf*

Vln.

Vla.

Vc.

pp *pizz.* *arco* *f* *mp*

pp *pizz.* *f* *5*

11

Fl. *legato*

Tba. *legato*

Pno.

Vln. *legato*

Vla. *legato*

Vc. *arco*

14

Fl. *mp*

Tba. *p*

Pno. *f* *mf* *mp* *ff*

Vln. *p*

Vla. *p*

Vc. *p*

16

Fl.

Tba.

Pno.

Vln.

Vla.

Vc.

p

f

f

18

Larghetto ♩=50 ca.

SOLO

marcato

f

mp

f

ff

Fl.

Tba.

Pno.

Larghetto ♩=50 ca.

Vln.

Vla.

Vc.

23 (8)

Fl. 

Tba. 

Pno. 

Vln. 

Vla. 

Vc. 

25

Fl. 

Tba. 

Pno. 

Vln. 

Vla. 

Vc. 

27 rit. . . . Largo ♩=42 ca. dolce

Fl. *pp*

Tba.

Pno. *ppp*

una corda

Vln. rit. . . . Largo ♩=42 ca.

Vla.

Vc.

33 ca. 10s.

Fl. *ppp* Unpitched breath noise

Tba.

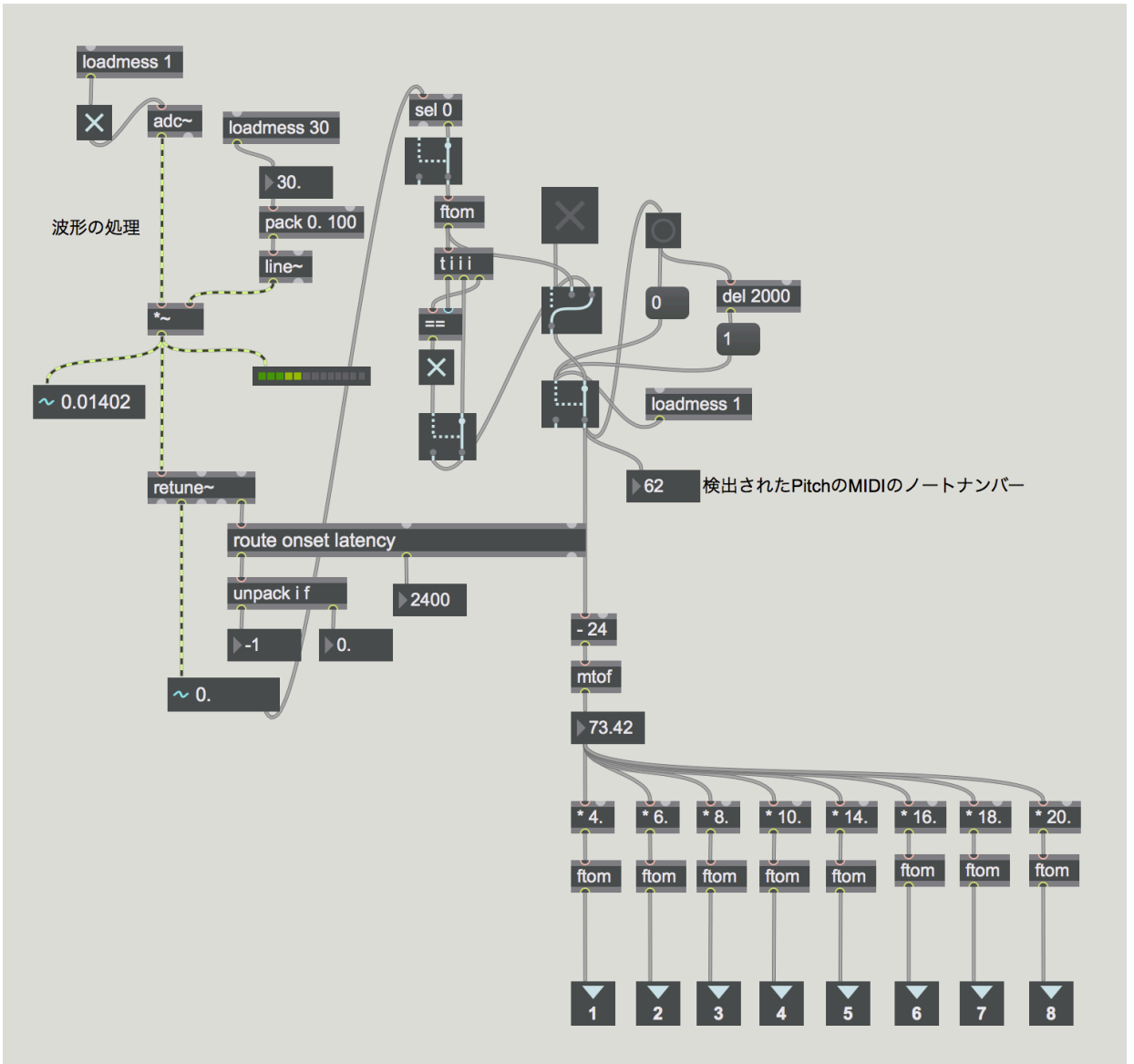
Pno.

Vln.

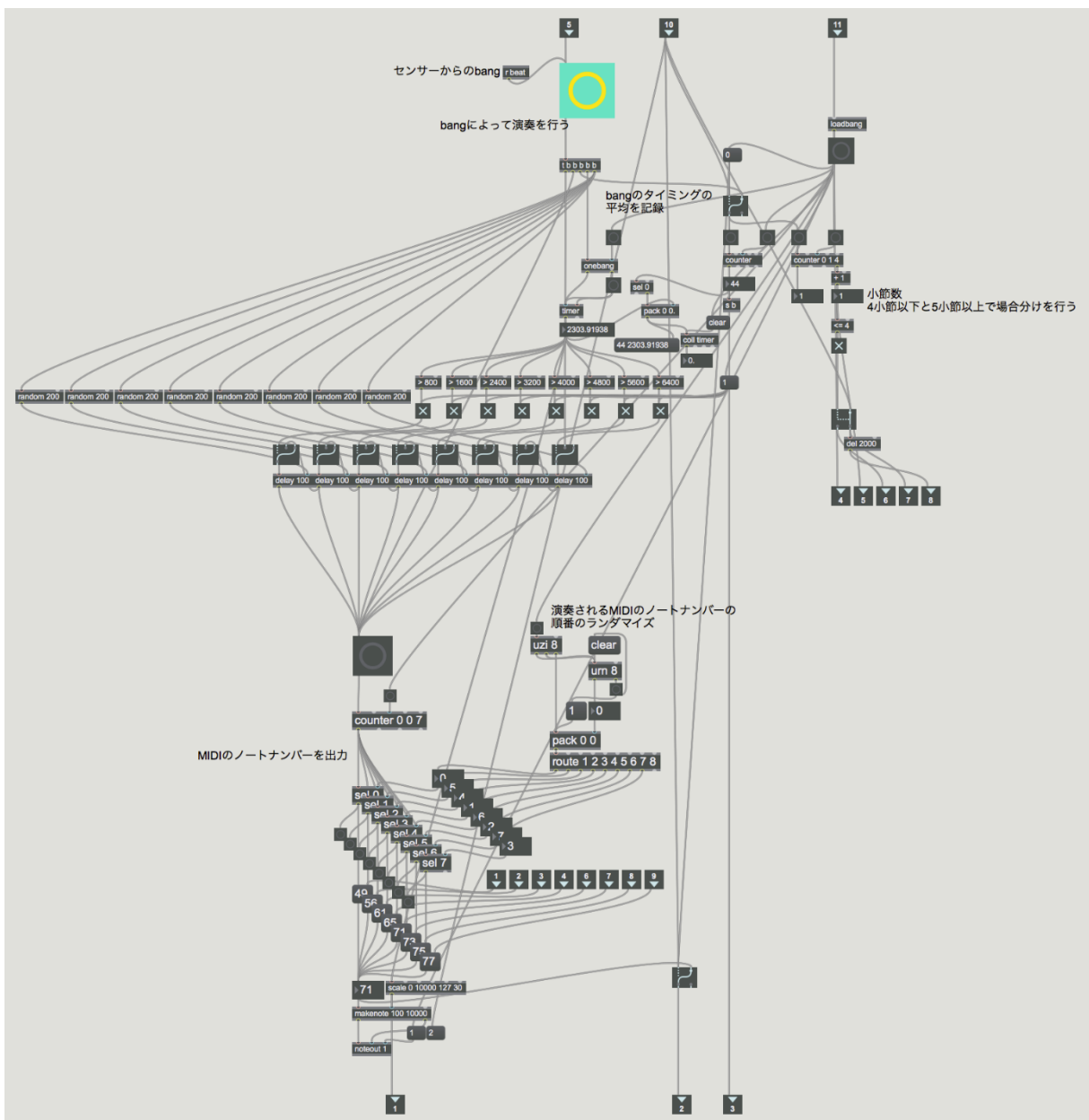
Vla.

Vc.

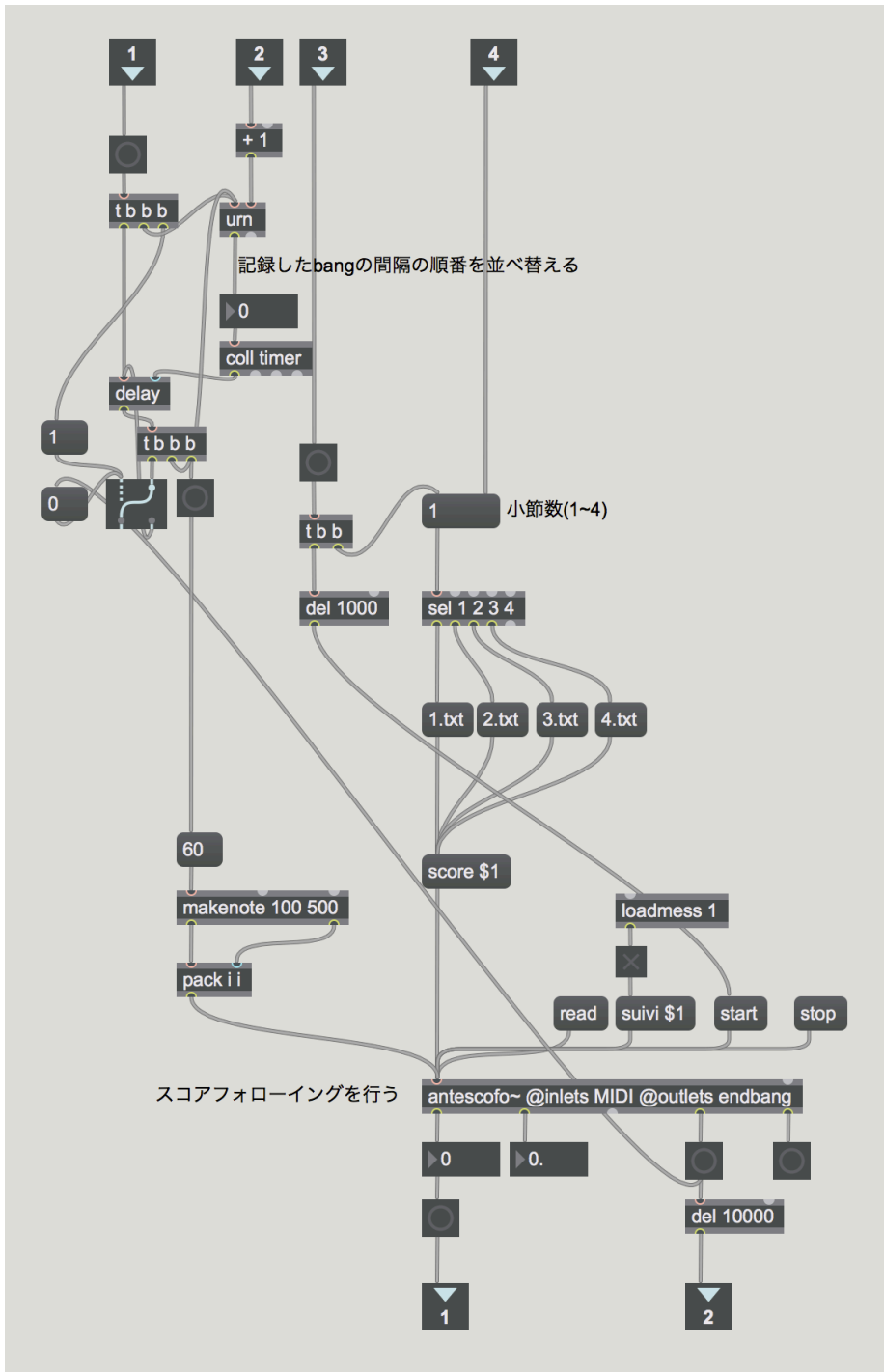
＜資料＞③“Response”のPATCH



楽器としてのコンピュータによって演奏されるピッチを計算するパッチ



楽器としてのコンピュータのパッチ



記録した人間の演奏の bang の間隔の順番を入れ替え Antescofo を用い再生するパッチ

