

## &lt;報告&gt;

## グラニューラーサンプリングを用いたコンピュータ演奏システム

Computer Music Performance System  
Based on Granular Sampling今井 慎太郎  
IMAI Shintaro

グラニューラーサンプリングを核とするコンピュータ演奏システムを開発した。リアルタイムで即興的あるいは即応的に演奏するという状況下で、自在に操作できるフィジカルなシステムの構築を試みた。電子楽器インターフェースの先行事例や認知心理学を参照しながら、操作パラメータとフィジカルインターフェースの選定および割り当てを行った。インターフェース値とパラメータ値のスケールリングについて、演奏に適した調整を行った。2台のコンピュータでビートを同期させる手段について検証した。コンピュータとは性質の異なるアナログシンセサイザを統合した。実演を通してシステムについて考察した。

キーワード：コンピュータ音楽、電子音響音楽、グラニューラーシンセシス、グラニューラーサンプリング、インターフェース

## 概要

コンピュータをライブ演奏で用いることについて、これまでの筆者の方法論は、シンクロナスプログラミングの概念を用いた適時のイベント切り替えと、各種アルゴリズムによる補完的な自動制御に専ら依ってきた。これは、楽器とコンピュータによる事前に作曲されたライブエレクトロニクス作品においては、実際の演奏に同期して大量のパラメータを計画通りに呼び出せるという点で、いま以て最適な方法だと言える。しかし即興性や即応性の高い演奏には、フィジカルインターフェースによるコンピュータ制御が必須であることも、これまでにたびたび実感してきた。

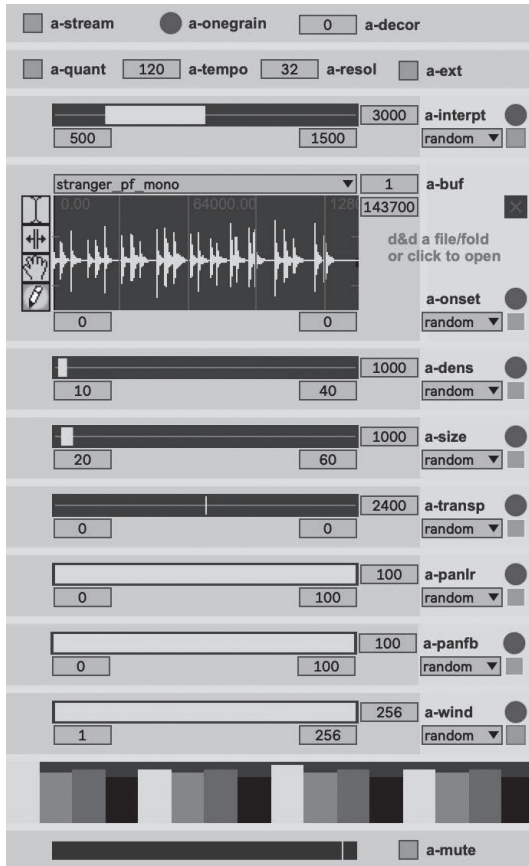
本稿では、2019年度国立音楽大学個人研究費（特別支給）の助成を受け、「TAMA MUSIC FESTIVAL 2020」で行う自身のパフォーマンスのために筆者が開発した、コンピュータ演奏システムについて報告する。開発にあたっては、筆者が頻繁に活用している音合成技術であるグラニューラーサンプリングを核とし、リアルタイムで即興的あるいは即応的に演奏するという状況下で、自在に操作できるフィジカルなシステムをいかに構築するかを焦点とした。また、当該のパフォーマンスは草間敬氏とのデュオであり、さらにリズムの明確な音楽スタイルであったため、双方のコンピュータを厳密に同期させることにも併せて取り組んだ。

## 操作パラメータの選定

筆者のグラニューラーサンプリング・プログラム（図1）には、40以上のパラメータがあり、それらのすべてを手動で操作するのは現実的ではない。特に即興的あるいは即応的な演奏という瞬時の判断が要求される状況下においては、一瞥して同時に認識したり区別できるパラメータの数は限られるであろう。心理学者のコーワンは、人間の短期記憶力は $4 \pm 1$ の塊が限界であることを明らかにした（Cowan 2001）。これを踏まえ、筆者の音響制作において重要かつ演奏で頻繁に使用するパラメータの吟味選定を行い、また複数をまとめられるものは簡略化し、1つの処理モジュールにつき4つのパラメータを目安に操作対象として残す方針をとった。

グラニューラーサンプリングで最も重要なパラメータは、サンプル（読み込んだサウンドファイル）のどの時間位置からグレイン（音の粒：数ミリ～数百ミリ秒長の音）を生成するかという、オンセット時間である。それが合成音のソースとなるからだ。また、グレインを生成する頻度（デンシティ）とグレインの長さ（サイズ）は、合成音のテクスチャに最も影響を及ぼすパラメータである。さらにピッチの移高（トランスポート）も、音を大きく変化させる。それらに比べると、パンニングやアンプリチュードエンヴェローブ、ゲイ

ンのイントネーション等は、リアルタイム操作が必要な優先順位としては低いと言える。プリセットの適宜切り替えて事足りるであろう。



【図1】筆者のグラニューラ・サンプリング・プログラム

各パラメータのマクロな制御には、範囲を指定したランダムである、テンデンシマスキング・アルゴリズムを採用している。範囲の最小値と最大値は、パラメータのミクロな数値の経時変化に直接作用するため、個別に操作できることが望ましい。ただ、インターフェースの数に限りがある場合は、1:3などの比率で、一度に操作することも可能かもしれない。さらに、アルゴリズム内部で使用するランダムの種類も重要である。通常ランダムは離散的な、ランダムウォークは線的な、互いに大きく異なる変化をつくるからである。

グラニューラ・サンプリングを音源としたとき、それだけでは演奏の多様性を担保するのが難しい。ループ、ディレイ、タイムストレッチ／コンプレッション、フランジャー、モジュレーション、ディストーション、

音の空間化といった、リアルタイムエフェクトも用意し、各々を強度という単一のパラメータ操作で音響的なバリエーションを得られるように準備した。

また、演奏においては音量調整が非常に重要であることは明白なので、グラニューラ・サンプリングおよび各エフェクトのゲインを個別に操作できることは必須であろう。

以上の操作パラメータおよびエフェクトを候補とし、利用可能なインターフェースに合わせて調整することとした。

## フィジカルインターフェースの選定

選定した操作パラメータに適するフィジカルインターフェースは何であろうか。

電子楽器のフィジカルインターフェースを大別すると、ノブ、フェーダー、ボタン、パッド、キー、ホイール、ジョイスティック、タッチストリップ、静電素子、XYパッド、センサー、(タッチ)ディスプレイがある (Bjørn 2018)。

認知科学の見地からプロダクトデザインを考察するノーマンは、ユーザーインターフェースについて次のように述べている。「操作部、行為、意図する結果の間の理解可能な対応づけがあれば、操作とその結果の関係を最も容易に」ユーザーは学べるのであり、そのために「空間的なアナロジーをうまく活かすという意味での自然な対応づけを利用する」ことを推奨する (ノーマン 2015, p. 30)。

一般的なオーディオミキサーでは、音量を調整するインターフェースとして、多くがフェーダーを採用している。音量の大小とフェーダーの上下は、空間的なアナロジーで対応していることがわかる。筆者のシステムにおいても、音量に関してはフェーダーを用いるのが最適であると考えた。

それでは、グラニューラ・サンプリングの操作対象パラメータである、オンセット、デンシティ、グレインサイズ、トランスポーズについてはどうだろうか。

オンセットは波形から捉えるのが通例であり、また波形は一般的に横軸に時間をとる。したがって、横方向の空間的なアナロジーを活かすことが適しているだろう。それを対応づけられるインターフェースは、まずタッチスクリーンやタッチストリップなど、指を横方向に滑らせるものが考えられる。そこで、ラップトップコンピュータのトラックパッドや、タッチパッド型インターフェースの ROLI Blocks を用いて、インターフェースを試作した。しかしながら、指を滑ら

せるという動作は、微細なコントロールが難しく、さらに連続的また持続的に行うと身体的な負荷の大きいことが分かった。筆者の音響制作においては、長い時間スケールでの漸次変化を特徴的に用いるため、これは致命的である。

横方向のアナロジーであれば、右回りと左回りで操作するノブも近いと言える。ノブは微細なコントロールが利き、また操作しつづけた際の疲労も少ないことが、指を滑らせるインターフェースとの比較で強く実感できた。さらにデンシティとグレインサイズについては、絞る／開くというアナロジーで、これらも直感的にノブと対応づけができることを確認した。

電子楽器のインターフェースについて大著を物したビョーンはノブについて、機能的であるだけでなく「DJ 風な動作の見た目が良い（筆者訳）」と述べている (Björn 2018, p. 62)。ライブパフォーマンスは視覚的な要素も重要であるため、その意味でもノブの採用は意義深いと言える。

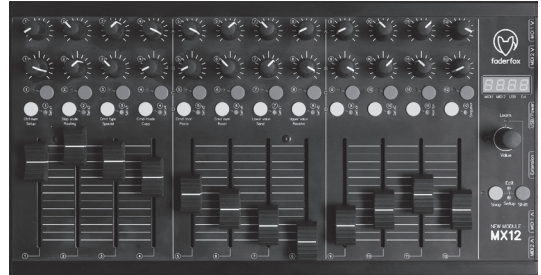
トランスポーズはピッチの上下であるから、フェーダーの上下アナロジーが最適であるように感じる。ただし、同じグラニューラーサンプリングのパラメータでありながら、一つだけ異なるインターフェースを用いるのは混乱の元になりうる。ピッチの上下は、鍵盤のアナロジーを用いれば左右としても捉えられるため、ノブでも自然に対応づけられるだろう。

最終的に、オンセット、デンシティ、グレインサイズ、トランスポーズの4つのパラメータをノブで、ダイレクトアウトやエフェクトセンド等の音量調整にフェーダーを、それぞれ用いるのが最適であると判断した。

以上から、フェーダーとノブを中心に、フィジカルインターフェースの選定を行った。

演奏において、機材スペースや移動に制限のあるなか、インターフェースは操作性を犠牲にしない範囲で小型軽量であることが望ましい。また剛性も重要であろう。十分な数のノブとフェーダーを備えたフィジカルインターフェースを、国内外のメーカーを含め広く調査した。選択肢は多くはなかったが、中でも例外的に多くのノブとフェーダーを備え、サイズも許容範囲である MIDI フィジカルインターフェースの、faderfox MX12を選定した (図2)。また当該機種は、ノブやボタン、フェーダーが、罫線で4つずつ視覚的に分けられている。これは前述のコーエンの説に合致しており、視認性の良さが期待できる。さらに MX12に搭載のノブとフェーダーは、非常に高品質なものであったこと

を特記しておく。これはカタログスペックには通常表記されないが、重要な要素と言えるだろう。



【図2】 faderfox MX12

MX12は、4つのノブが2列、4つのボタンが2列、4本のフェーダーを合わせて1群として、それが3群備わっている。そこで、選定したパラメータを以下のように割り当てた。グラニューラーサンプリングのために、1列目のノブをオンセット、デンシティ、グレインサイズ、トランスポーズの最小値に、2列目のノブを同じ各パラメータの幅（最小値と最大値の差）に、3列目のボタンを同じ各パラメータのランダムの種類に、4列目のボタンを4・3・2・1拍のルーパーに、4本のフェーダーを左からダイレクトアウト、ディレイ／タイムストレッチ・センド、フランジャー・センド、空間化センドの各ゲインとし、それを2群設けた。残りの1群は、縦の1列ごとに、ディレイ／タイムストレッチ、フランジャー、空間化、リズムクオンタイズ／メインアウト・ゲインに当てた。そのほかに準備していたエフェクト類は、マウスで操作することも考慮したが、最終的には不採用とした。

以上を踏まえ、コンピュータ演奏システムのソフトウェアを Cycling '74 Max で実装し、画面のデザインを行った。基本的にはフィジカルインターフェースで完結させることを目指すものの、波形表示や正確な数値は必要に応じて確認が必要となるだろう。前述のノーマンが推奨する「空間的なアナロジー」をここでも援用し、ノブとボタン、フェーダーの空間的な位置関係を、ソフトウェアの画面でも踏襲することで、視点が迷わないように企図した。(付録参照)

## インターフェース値とパラメータ値のスケーリング

MIDI フィジカルインターフェースから得られる数値を、プログラムのパラメータにリニアなスケーリングで適用すると、演奏上の不都合を生じることが分かった。すなわちフェーダー値0～127を、プログ

ラム内でゲイン値の -70dB（無音）から 0dB へリニアに適用した場合、ライブ会場のような暗騒音下においては、フェーダー値 36 である -50dB 以下はほとんど音が聞こえず、せつかくのフェーダー範囲を使い切れない。また、微細な調整が必要な基準レベル周辺に、より多くのフェーダー長を当てる方が理にかなっている。よって、スケーリングの際に指数を用いたカーブを適用した。フェーダー入力値を  $x$ 、ゲイン値を  $y$ 、フェーダー範囲を  $in\_low \sim in\_high$ 、ゲイン範囲を  $out\_low \sim out\_high$ 、 $exp$  を指数としたとき、 $y = out\_low + (out\_high - out\_low) * ((x - in\_low) / (in\_high - in\_low)) ^ exp$  の数式を用いる (Cycling '74 2020)。ここで  $exp$  を 0.33 とすることで、基準レベルに近づくにつれ微細な操作が可能になると共に、フェーダー範囲を 0dB ~ -50dB で使い切ることができた。

また、パラメータ変化に「遊び」を設けることも重要であることが分かった。突発的で瞬間的なパラメータ変化は、演奏の連続性に違和感を与えてしまうからである。その厳密な実装にはノブ角度の相対値を出力できるロータリーエンコーダが必要であるが、MX12 はそれを備えていない。ここでは次善の策として、パラメータによって値を指数関数的に変化させたり、一定時間をかけて値が変化するよう補間処理を加えて解決した。

## 2 台のコンピュータの同期

当該の演奏は、草間敬氏とのデュオであり、さらにリズムの明確な音楽スタイルであったため、双方のコンピュータを厳密に同期させる必要があった。草間氏は Ableton Live を、筆者は Cycling '74 Max を使用することから、UDP (User Datagram Protocol) を用いて同期用の OSC (Open Sound Control) メッセージを送受信するという選択肢があった。一方で、Ableton が開発した「Link」は、複数のマシンおよびアプリケーション間で、テンポとビート、位相の同一ネットワーク内での同期を、特別な設定なしに、また従来のマスター/スレーブとは異なりピア・トゥ・ピアで実現する (Goltz 2018)。さらに WIFI 接続下でも安定して動作し、レイテンシも解決されている。こうした利便性を重視して Link を採用し、検証を行った。

Ableton Link を用いての演奏中、筆者のシステムでリズムがやや甘くなる印象を受けた。Link に同期した Max の「link.beat」オブジェクトから出力されるコントロールデータを精査すると、ビートの時間間隔が

一定ではないことが分かった。検証の結果、Max のオーディオ設定から「Scheduler in Audio Interrupt」を無効にすることで、それを解決できた。「Scheduler in Audio Interrupt」は、時間に関わるコントロールデータ処理を、オーディオ処理と CPU の同スレッドで行い、双方を厳密に同期させるためのオプションである。グラニューラーサンプリングの実装においては、グレイ生成のタイミングを、時間に関わるコントロールオブジェクト（「metro」や「del」等）で制御するため、通常はそれを有効にする。しかしその状態では、「link.beat」から出力されるパルスの時間精度が安定しないのである。この程度は Max の I/O ベクタサイズにも関係し、サンプリングレート 48kHz、テンポ 120BPM、「link.beat」の「granularity」属性が 1 における 4 拍子 1 拍について、I/O ベクタサイズ 256 サンプルではプラス 2ms ~ マイナス 4ms、512 ではプラス 2ms ~ マイナス 10ms、1024 ではプラス 12ms ~ マイナス 10ms、2048 ではプラス 12ms ~ マイナス 31ms のばらつきが生じた。「Scheduler in Audio Interrupt」が無効の状態では、同様のばらつきは生じなかった。これは「link.beat」のヘルプやリファレンスでは説明されていないため、原因を突き止めるのに苦慮した。筆者のシステムは CPU 負荷が高く、I/O ベクタサイズを高め設定する必要があり、「Scheduler in Audio Interrupt」を有効にした際のビートのばらつきは無視できない大きさとなる。この度の演奏においては、グラニューラーサンプリング単体ではなく、ビートの時間精度が重要であったため、そちらを重視する設定とした。

## アナログシンセサイザの導入

コンピュータの演奏システムが確立した一方で、コンピュータのみならず、アナログのシンセサイザをシステムに統合するアイデアも得た。同時期に入手したアナログシンセサイザ SOMA laboratory LYRA-8 は、非線形な特性を持った操作系が非常に独特である。決まった同じ音を出すことが難しく、逆に言えば常に予想外の音を出すことができる。いわばコンピュータとは正反対のものを組み合わせるのは、音楽的な多様性を担保するという意味で有効であると考えた。

筆者の使用するオーディオインターフェース RME Fireface UFX II のヘッドフォン端子は DC カップリングされており、よってアナログシンセサイザを制御するための CV (Control Voltage) 信号を出力できる。LYRA-8 は、HOLD、ディレイタイム、ピッチを CV でコントロールするための入力を備えている。こ

ここでは演奏のテンポと同期したパルス CV をしてコンピュータから出力し、HOLD を制御して全体の時間的統合を図った。

また LYRA-8 の奏法として、8 つの「TUNE」パラメータを楽曲のキーに固定し、モジュレーションやフィードバックを中心に操作することで、ピッチクラスを保ったまま、一回性の強い複雑な音響を生成する手段を考案した。

## パフォーマンスと課題

完成したシステムを用い、2020年1月12日に明星大学にて開催の「TAMA MUSIC FESTIVAL 2020」においてパフォーマンスを行った。全10分強の2部構成とし、前半は LYRA-8 を中心に用いた即興、後半は制作済みの楽曲を骨格にしてリアルタイムの演奏を加える形態をとった。共演者の即興や自身の気分、また実空間での音の鳴り方とインタラクションしながらの即応的な演奏が実現できた。

ただし、手動で操作するパラメータは最小限に選定したものの、心身の緊張状態や照明の具合によって、認識に戸惑ってしまうこともあった。コンピュータ演奏システムにおいても通常の楽器のような「練習」が必要不可欠であることを痛感した。また、より長時間の演奏を行うためには、システムの汎用性と柔軟性をさらに高める必要があることも課題として残った。例えば、パラメータやエフェクトのセットを楽曲ごとに入れ替えることが、ひとつの解決策として考えられるだろう。

この度の演奏システムの開発と実践を通して、グラニューラーサンプリングの新たな「奏法」を見いだすことができたのは、思いがけぬ収穫であった。それは、グレインサイズの漸次的な操作による、ビートとテクスチャを行き来するような表現である。これはフィジカルインターフェースを用いてこそ得られた手法であると考えられる。同じ音合成システムやエフェクトであっても、異なるフィジカルインターフェースを与えることで、新たな音響制作の可能性を広げられることを実感した。

また、アナログシンセサイザについて、今回はコンピュータとはテンポを同期させるのみの関係であった。その場の演奏音をグラニューラーサンプリングのソースにしたり、共通のエフェクトを使用するなど、双方を密接に関わらせることで、より異なる演奏表現が可能になるのではないだろうか。引き続き実験と実践を行っていきたい。

## 参考文献

- Bjørn, Kim. "PUSH TURN MOVE." *Bjooks Media*. 2018.
- Cowan, Nelson. "The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity." *Behavioral and brain sciences* 24.1: 87-114. 2001
- Cycling '74. Max 8 Documentation: scale Reference. 2020.
- Goltz, Florian. "Ableton Link — A technology to synchronize music software." *Linux Audio Conference Proceedings*: 39-42. 2018.
- ノーマン, D. A. 「誰のためのデザイン? 増補・改訂版」. 新曜社. 2015年.

【付録：コンピュータ演奏システム・ソフトウェア】

