

# メディアアートにおけるサウンド素材の ライブ・サンプリング手法についての議論

長嶋 洋一†

†静岡文化芸術大学 〒430-8533 静岡県浜松市中区中央2-1-1

E-mail: †nagasm@suac.ac.jp

あらまし ライブComputer Musicパフォーマンスやインタラクティブ・インストールなどのメディアアートにおいて、事前に録音/準備されたサウンド素材を「再生」するのではなく、その場でライブ・サウンドをサンプリングしつつ、リアルタイム音響信号処理を施して「生成」出力する、という手法が一般的になって20年ほどになる。作曲者自身が演奏するのであれば、作品における音響断片サンプリングのタイミングは自分自身でコントロールできるので問題はない。しかし依頼した演奏家のライブ音響を、サウンド録音の頭が切れたり冒頭に余分な無音が記録されることを避けつつスマートにサンプリングするための手法は、アルゴリズム作曲において大きな課題となってきた。この問題点は学生制作のインストール作品においても常に浮上する課題であり、現在進行中の学生作品でも実験/試作/検討が続いている。本発表では、筆者の作品公演事例や過去の学生作品での事例を含めて複数のケーススタディを紹介し、インタラクティブ性/ライブ性にとって重要なこのポイントについて議論してみたい。

キーワード メディアアート, サンプリング音声, ライブ・サンプリング

## A discussion on live sampling techniques for sound materials in media art

Yoichi NAGASHIMA†

†Shizuoka University of Art and Culture 2-1-1 Chuo, Naka-ku, Hamamatsu Shizuoka, 40-8533 Japan

E-mail: †nagasm@suac.ac.jp

**Abstract** In media art, such as live computer music performances and interactive installations, it's been about 20 years becoming common practice to not "play back" pre-recorded/prepared sound material, but to "generate" and output live sound by sampling it on the spot and applying real-time acoustic signal processing. If the composer herself/himself is the performer, she/he can control the timing of the acoustic fragment sampling in the work, so there is no problem. However, a method for smartly sampling the live sound of a commissioned performer has been a major challenge in algorithmic composition, while avoiding cutting off the beginning of the sound recording or recording extra silence at the beginning. This issue has always come up in the installation works produced by students, and experiments, prototypes, and investigations are continuing in the ongoing student works. In this presentation, I would like to discuss this important point for interactivity and live performance by introducing several case studies, including examples of my own performances and those of past student works.

**Keywords** Media Arts, Sampling Sound, Live Sampling

### 1.はじめに

COVID-19のために、SUAC(静岡文化芸術大学)では2020年前期の講義は全てがリモートとなり、従来の3倍ほどの時間をかけ準備したオンデマンド体制で専門科目の指導を充実させるとともに、ゼミ生(来日できない北京の研究生を含む)とは毎週のZOOMミーティングによって一体感(絆)を保ってきた。大学の教授会/委員会や、日本時間学会の理事会、情報処理学会音楽情報科学研究会運営委員会などの会議も全て、オンライン(Teams/ZOOM)化された。そして2020年2月に沖縄で発表[1]したのを最後に2020年度(4月~2021年3月)は学会/研究会も全てオンライン開催となり、旅好きの筆者にとってはまさに絶望の日々、自宅と大学の市内往復(直線距離2km)のみ、一度もバスにも乗らずJR浜松駅にも近付かずにマル1年が経過した。放課後の研究室に週一で集まる学生有志とやっていたアカペラも中止、歌唱力維持のため自宅徒歩圏のカラオケに毎週欠かさず通って6時間60曲のヒトカラ熱唱が唯一の恒

常性保持策となった。旅費不要と開き直って多くの機会を求めて学会発表してきた[2-13]ものの、この2020年の寂しさと虚しさの記憶が消えることはない。そしてオンラインツールの中でZOOMが別格に良好と報告[4]したが、関連してある事に気付いたのが本稿の発端となった。

オンライン会議ツールでのマナーとして「通常は自分のPCのマイクはOFFにしておく」というものがあるが、イヤホンが窮屈なのでスピーカにした時にハウリングが起きたことがあり、「なんだZOOMってVOXも無いの?」と意外に思った。若い方々は知らないかもしれないが、かつて遠い昔「アマチュア無線」(ハム)というものがあつた。筆者は今から50年前、小6で電話級[14]、中1で電信級[15]のハムとなり、音楽活動に没頭して止めるまで約2年間ほど通信していた。そこで使っていた「VOXコントロール」[16]とは、今で言えば「ハンズフリー」のマイク制御システムである。電話からZOOMまで、リアルタイム双方向会話が当たり前の現代ではちょっと信じ

てもらえないが、トランシーバーと同じであるアマチュア無線では「自分が話して相手が聞く」・「相手が話して自分が聞く」というのを交互に繰り返した。システム的には送信回路と受信回路とは交互にスタンバイモードに入ることとなるが、これは省エネというだけでなく混信防止(相手からの送信電波を受信回路が検出する、その同じ周波数の電波で送信するので、受信時には自分の送信回路を止めておかないと受信回路が巨大な邪魔信号で潰れてしまう)の点から必須である。これを手動で行うのがPTT(Push to Talk)スイッチであり、自動でやってくれるのがVOX(Voice Operated Control)である。回路としてはマイク入力信号をモニタして、ある閾値を超えたら発声があったと判断してPTTをONにするのであるが、閾値の設定が高いと発話の冒頭が切れたり、閾値の設定が低いと周囲のノイズでも反応したり、と扱いはやや厄介なものだった。

今回、パターン認識・メディア理解研究会(PRMU)へ発表応募したきっかけは、筆者がSUACデザイン学部で担当する専門科目「メディア数理造形演習」の受講学生の中に、「体験者が歌うメロディーを取り込んで正しければ雪の3D結晶が舞って雪だるまが光る」という作品制作を目指すチームが現れた事である。この3人チームのインスタレーション作品では、ユーザと対話する部分のマルチメディア・インタラクティブシステム、さらに「雪の結晶」を精緻にOpen-GLレンダリングする3D-CGテクニック、そしてRGB-LEDリボンを仕込んで光らせる雪だるまの造形制作、と欲張ったデザインの結集を目指している。その実現のためのディスカッションを進める中で、上述のVOXコントロール、そして筆者がライブComputer Musicの世界で駆使してきた色々なテクニックが「ライブ・パターン認識」というテーマで問題意識が共通していると感じたのである。そこで本稿では、20世紀末から21世紀にかけてのコンピュータ・エレクトロニクスの技術的な進展とリンクしているメディアアートの状況についての詳細な解説とともに、温故知新のようなこのテーマについて検討してみた。

## 2.メディアアートの技術的背景と過去のライブComputer Musicの事例

筆者は1991年から知的生成物の全てを自分のドメイン[nagasm.org]で公開している[17-18]が、Computer Music作品に関するまとめとしては、2002年の発表[19]および2012/2015年の情報処理学会音楽情報科学研究会での発表[20-21]およびYouTube記録動画リンク集[22]などを参照されたい。1990年代前半まではパーソナルコンピュータの処理能力ではデジタル音響信号処理をライブに行うことは無理だったので、音響信号処理専用DSPを活用した楽器メーカーの提供する電子楽器やサンプラーを「MIDIで鳴らす」という手法しかなかったが、その詳細は絶版となった拙著[23-24]および発展系[25]に詳しい。この時期のライブ作品としては、「CIS(Chaotic Interaction Show)」、「Muromachi」、「Strange Attractor」、「Virtual Reduction」などがあるので、詳細は[20]および[22]を参照されたい。

1990年代半ばには、PC単体でようやく擬似音声や単純なサウンドをライブ再生できるようになってきたが、1995年から筆者はSGI(シリコングラフィクス社)のIndyワークステーションを活用し、PCで可能となる世界を数年ほど先取りして高度な音響信号処理やサウンドのライブ生成を行った。SGI IndyはOSであるIRIXのカーネルがリアルタイムにMIDIメッセージを扱う処理能力があり、Open-GLによるリアルタイム3D-CGの生成や同時に多数のリアルタイム・サウンドファイル再生プロセスを走らせることも出来たので、OSのバグを調べてOS改造パッチを当てつつ開発した。このスタイル/時期のライブ作品としては、「David」、「Asian Edge」、「Johnny」、「Perching Proteus」、「Flying Proteus」、「Ephemeral Shimmer」、「The Day is Done」、「Brikish Heart Rock」、「Atom Hard Mothers」、「天にも昇る寒さです」などがあるので、詳細は[20]および[22]を参照されたい。

上述の作品が基本的に「多数のサウンド要素とグラフィクス要素をセンサによってライブ生成(トリガ)する」というスタイルだったのに対して、1998年以降の数年間は、ギリシャ

のICMC1997で出会ったリアルタイム音響処理エンジンKyma[26]が、サウンドファイルの生成とライブ音響信号処理の主役となった。モトローラDSPチップを多数並べたボードを複数搭載し、オブジェクト指向のプログラミング環境から自在な信号処理アルゴリズムをロードし実行する当時のKymaシステムの処理能力は体感で当時のMax/MSP(Mac上の音楽信号処理アプリケーション)の10-50倍ほどだった。作品はステージ上の演奏者の生楽器や声をKymaがライブサンプリングした音響を素材として、センサ情報から全体を制御するMaxコントロールの下に、リアルタイムで即興的に変容するサウンドを実現した。このスタイルのライブ作品としては、「Scenary」(笙)、「Ogress」(ソプラノ歌声)、「Atom」、「Visional Legend」(笙)、「Mycoplasma」(朗読音声)、「Voices of Time」(フルート)、「Arrow of Time」(フルート)、「BioCosmicStorm」(筋音)、「Piano Prayer」(ピアノ)、「Eternal Traveller」(ソプラノ歌声)、「Beijing Power」、「Great Acoustics」(パイプオルガン)、「tegoto」(13弦箏+17弦箏)、「Berlin Power」(バスリコーダー)などがあるので(カッコ内はライブサンプリングした音響素材)、詳細は[20]および[22]を参照されたい。

## 3.ライブ「フレーズサンプリング」の手法

前節の最後に紹介したKymaを活用するライブ音響信号処理による作品の多くは、ライブサンプリングした自然楽器や歌手の音声などに対して、基本的に持続的なエフェクトを付与するタイプと言える。例えば電子楽器ではお馴染みの、エコー・リバーブ・コーラス・ハーモナイズ・フィルタリング(ワウワウ)・ディストーション・フランジャー・ビブラート・トレモロなどの効果であり、本来であれば絶対にビブラートなど有り得ない「ピアノ」の音響が「ひめゆり祈念館」で受けた鎮魂/追悼の涙イメージで揺られる(「Piano Prayer」とか、発音原理から本来は有り得ないトレモロ/コーラスの響きに加わった異様なパイプオルガンの音響(「Great Acoustics」)、といった音楽的コンセプトの実現に寄与した。これらのエフェクトは基本的に「ずっとかかっている」ものであり、音楽シーンの進行によってデプスを変化させてON/OFFできるものの、どこから入力音響が入ってきても構わない(連続的な音響効果)ものだった。

ところが作曲上の要請として、音楽演奏(生成)の途中で、ある一群のサウンドを「フレーズサンプリング」したい、というコンセプトが浮上してきた。筆者の担当科目の受講学生であった神戸<舞子>の住人の塩川(麻依子)が、インターネット上の「<マイコ>プラズマ」全ゲノム解析成功ニュースを朗読するライブ音声をKymaで刻々とサンプリングして多重生成変調することで「増殖する<マイコ>ウイルス」を表現した1998年(神戸)の作品「Mycoplasma」[27]は、ステージ上に動きが無いのにダイナミックな音楽表現を実現し、その後しばらく続いた「演奏のライブサンプリング→リアルタイム変調」(ICMCでも世界的に続いたブーム)という作品スタイルの先駆けとなり、客席のドイツ人音楽評論家からも絶賛された。この作品では、ステージ袖のデスクでMax経由のKymaを操作する筆者が演奏者の口元を注視してトラックボールをクリックし、さらにサンプリングされた音響がGranular Synthesisの手法で増殖して生成される音響を演奏者が耳で確認して、サンプリング失敗(音声の頭が切れるなど)の場合には筆者とアイコンタクトした上で再度トライする・・・というような構成により実現した。

1999年3月のコンサート(相愛大学)では院生・太田里子氏のフルートをフューチャーした新作2作品で異なったアプローチを試した。作品「Arrow of Time」では1990年代の手法と同様に、あらかじめ事前に録音した太田氏による各種現代奏法のフルート演奏断片をオフライン編集した電子音響音楽パートを背景として、図形楽譜からフルート独奏の即興を指示した。これに対して作品「Voices of Time」[28]では、繰り返して即興(ad lib.)を指示しつつ古典的な楽譜で細かいフレーズを示し、その生演奏をフレーズとして刻々とライブサンプリングし、Kymaでライブ変調再生して生演奏と絡む手法とするため、ここでも筆者はステージ袖のデスクでMax経由のKymaを操作しつつ演奏者の息遣いを注視してトラックボールをクリックした。

2001年には、笙(東野珠実氏)・箏(三好晃子氏)・尺八(三好晃山氏)の邦楽の専門家と欧州ツアー[29-31]を行い、このために新たに3作品、“Visional Legend ver. 2001”、“BioCosmicStorm- II”、“Japanesque Germanium”を作曲し、SUAC(メディアアートフェスティバル2001[32])とパリとカッセル(2会場)とハンブルクで合計12回の公演を行ったので、詳細は[20]および[22]を参照されたい。この中の作品“tegoto”[33-35]では、作曲に際して邦楽のスタイルを研究する中で「手事物」という様式を知ったが、これはいわば器楽セッションのような、独奏者と伴奏者が半ば即興的に「対話」するものであり、Computer Musicならではの手法で「自分の直前(過去)の独奏と現在の自分がセッションする」というコンセプト化を目指した。作品の冒頭で、演奏者はまず低音域までカバーする17弦箏での即興演奏(参考となるスケールを希望されて「この3段のどこでも適宜に自由に選んでOK」という楽譜[36]を提供)を複数、フレーズサンプリングしておき、後に13弦箏に移動して演奏する際に「伴奏」として適宜、変容させつつ再現した。欧州ツアーでは機材の関係で13弦箏のみのバージョンに改編したが、邦楽器の持つ可能性を大きく発展させた。筆者はステージ袖のデスクでMax経由のKymaを操作しつつ演奏者の演奏姿勢と息遣いを注視してトラックボールをクリックした。

2002年のメディアアートフェスティバル[37]のコンサートで筆者が初演した“Berlin Power”[38]では、グラフィクスにはRolandのライブビデオ演出装置DV-7を使用し、筆者自身が演奏するバスリコーダーのライブサンプリングとリアルタイム音響信号処理にはKymaを使用し全体をMIDI経由Maxで駆動した。全ての音響素材はその場でサンプリングして事前には一切用意しない、という3年ほど続くスタイルを踏襲したが、ここでのサンプリングのために専用のフットスイッチ(MIDI経由でMaxへ)を開発して、完全に自分のタイミングで即興演奏をフレーズとして切り出して音響信号処理によって拡張展開した。このタイプの作品公演はその後影を潜めたが、ここでの公演の成功(一体感が専門家に高く評価された)がその理由の一つとなった。

#### 4. 学生インスタレーション作品での事例

筆者は「SUACインスタレーション」というページ[39-43]において、2000年4月に開学して以来のSUAC学生を中心としたインスタレーション作品(筆者が関与して詳細を熟知しているものに限定)の記録を公開しているが、その中でも「サウンドのライブサンプリング」という要素が重要な位置を占める作品は存在していたので、ここでそれらについて紹介する。インターカレッジ2010と卒展2011で発表した4回生・山村モモの作品「花音(CANON)」[44-45]では、まずステージ上に音を出し音に反応して光る4つの花の造形を配置する。作家本人がそれぞれの花に水を注ぐようにサクスを即興演奏すると、そのフレーズがサンプリングされ、変調されてその花から繰り返し鳴らされて光る。次々に花にフレーズを録音して重ねることで4パートのカノン音楽が形成され、最後にこれをバックに作家本人がアドリブのサクス演奏を行う、というインスタレーションを伴ったパフォーマンス作品である。それぞれのフレーズのサンプリングは花の造形の近くに配置したフットスイッチで作曲/演奏を行う本人が行ったので、タイミングの齟齬などは一切、問題とならなかった。

「メディア造形総合演習II」作品として4回生・伊熊千晶が制作したインスタレーション作品「食音植物」[46]は、昔のPioneerのマーク(犬と蓄音機)のようなイメージで、ターンテーブルとラップ型の花からなる蓄音器のような造形作品である。まず、ターンテーブルを回して花の中央に声や歌を食べさせ(録音し)、あらためてターンテーブルをより高速に回すと(逆回転もあり)、録音されたサウンドが花の「ゲップ」としていろいろに変調されて花の中央から出てくる。この作品では音楽経験と関係ない一般の体験者が操作することもあり、サンプリングのきっかけは「ターンテーブルを回す」という操作のために、フレーズの頭が切れたり余計な空白から始まったりすることも多発した。しかし、回転をいったん停止して、再度「再生」モードとしてサウンド変調生成を開始する、というステップのお陰で、頭が切れるのも余白が入る

のも「一種のエフェクト」として許容される、という知見を得られた。

「メディア造形総合演習I」作品として3回生・土佐谷有里子のインスタレーション作品「あふれこっつ」[47-49]は、アニメーションmovieに複数トラックでアフレコを付けられ、結果をミックスしたmovieとして書き出せるというシステムである。普通のサウンドレコーディング・システムと違って、他の人のアフレコとの改編セッションなどのインタラクション/コミュニケーションを重視したコンセプトを基盤とした。他の音楽パフォーマンス学生作品と違って、体験者は自分のタイミングでそれぞれのトラックの「録音ボタン」を押す、という操作にしたために、サンプリングのタイミングの問題は起きなかった。同じ土佐谷有里子が4回生になって発表した作品「CUT SOUND ROOM」[[50-51]は、SUACにある井戸の底のような巨大空間「瞑想空間」を活用したインスタレーション作品で、真っ暗な空間の中央に置かれた台のハサミで空中を切ると、上空の「靄夜」(64個の発光体がランダムに光る)[52]が光を放ち、周囲に吊るした8系統の「直進スピーカ」[53]から、サンプリングされ変調されたハサミの音が降ってくる、というものである。こちらは手元のハサミに取り付けた小型高感度マイクからの音量によるVOXコントロールとしたが、ハサミの音は冒頭が多少切れても問題がなく、暗黒の中で耳元(首筋)に直進してくるサウンドの不気味さは際立っていた。

#### 5. 学生プロジェクトが直面した課題

本稿の冒頭に紹介したように、SUACデザイン学部「メディア数理造形演習」[54]の受講学生は3チームに分かれて、それぞれインスタレーション作品の共同制作を目指している。本稿執筆時点(2021年1月末)では、まだ各チームは作品制作の途中であり、3月のオンライン発表までには記録なども紹介できるものの、ここでは「企画案」と「実験の様子」しか紹介することが出来ない。チーム「小さい手の持ち主」(富田咲良・青木美優・松本菜未)は「声の結晶 -Crystal of Melody-」という作品の制作を目指している。そのテーマは「雪の結晶」であり、ごく簡単に言えば「声に反応して雪の結晶が現れる。4つ集めると雪だるまが歌う」というものである。

企画段階での構想としては、(1)体験者には指示した音程を声に出してもらってセンサがその声を録音&音量感知する、(2)出してもらった声の大きさによって異なるサイズの結晶(3D-CG)が画面に表示される、(3)これらを繰り返して結晶を4つ作ってもらう、(4)結晶が4つ完成すると雪だるま(造形物)が光って雪だるまから録音した音が和音になって再生される、というものだった。毎週の演習の中で進めてきた具体的な「進捗報告」(途中まで)は[55-82]にあるので興味のある方は参照されたい。

役割を分担してそれぞれのパートを制作しているが、ピアノノール(カラオケの採点グラフのようなもの)で「模範メロディー」を刻々とアニメーション表示して、シンセサイザーの「ボイス」音色で鳴らす部分、またサンプルされたサウンドをMax8の「ハーモナイザー」オブジェクトでピッチを設定してコード(和音)として鳴らす、という部分については試作が完了しているが、もっともポイントとなる「マイクからの体験者の声をタイミングよく切り出す」という部分については、本稿執筆時点では実験中ということで、ここが上手く実装できるかどうか作品の成功の鍵となっている状態であり、筆者も実験と試作の相談にのっている最中というところである。

#### 6. 「Risset Rhythm」温故知新

COVID-19のため全てがリモート講義となった2020年度前期の収穫として、北京から筆者のゼミにZOOMで参加した学部研究生(翌年に大学院デザイン研究科に進学予定)の発掘してきたテーマを発展させ掘り下げた「Risset Rhythm」というものがあつた。詳細は[3][5][83]に譲るが、「無限にピッチが上昇する/下降する」という有名なシェパード・トーンに類似した錯聴現象で、ある長さのリズムパターンが「無限に加速する/減速する」という興味深いテーマである。筆者はこ

の発見者である作曲家のJean-Claude Rissetの提示したサウンドサンプルから検討を開始して、任意のリズムを「Risset Rhythm」化する手法を樹立し、さらにピッチ構造を持つ音楽音響のフレーズを「Risset Rhythm」化することにも成功した。そして作曲家として興味ある「リアルタイム Risset Rhythm化」に向けて、刻々と加速し続ける、あるいは刻々と減速し続けるリズムパターンそのものをライブで変容させていく(再生でなく生成)、という手法までを追求した。しかし本命のターゲットとしては、Computer Musicのライブ演奏中に、その途中の任意のサウンドサンプルを切り出したフレーズをライブに「Risset Rhythm」化したいのだが、ここで直面したのは、本稿のテーマである「適切なライブサンプリングの切り出し」という問題であった。ページ[83]は今後によく形で棚上げとなっており、さらに研究を進めていきたいと考えている。

## 7.おわりに

「サウンドをサンプリングする」とは、時間的に常に変化している1次元信号をある区間にわたって切り出す作業であり、本稿で紹介したような多くの作品公演事例のように「作曲者と演奏家が阿吽の呼吸でタイミングを合わせる」・「演奏家がフットスイッチで指示する」などの恣意的な枠組みであれば問題ないものの、ソフトウェアの自動切り出しアルゴリズムに任せるとなれば、途端に高度な「音響信号パターン認識」というテーマに直面することが明らかになった。日常的な音響空間では、無響室と違って周辺環境のノイズが常に重畳しており、閾値の設定自体がVOXのように環境の変化に追従することが求められるが、音楽演奏空間においては他楽器/他パートの音響をより強力にミュートする必要もあり、音楽情報科学で言う「音源分離」が必要となる場合もあって、現時点で適切な解決策を持ち合わせていない事も判明した。今後、さらにこの視点で色々なケーススタディを実験・検討していきたいと考えている。

## 文献

- 長嶋洋一. ウェルネス・エンタテインメントのための錯覚体験システム～聴覚やマルチモーダル錯覚を中心として～. 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会資料(技術研究報告) HIP2019-87, 電子情報通信学会, 2020
- 長嶋洋一. SUACスタジオレポート2020と書評3件, 情報処理学会研究報告 2020-MUS-127, 情報処理学会, 2020
- 長嶋洋一. Jean-Claude Risset 温故知新. 情報処理学会研究報告 2020-MUS-128, 情報処理学会, 2020
- 長嶋洋一. オンライン会議ツールは楽しくないのか?. エンタテインメントコンピューティング2020論文集, EC2020実行委員会, 2020
- 長嶋洋一. Risset Rhythm 温故知新. 日本音楽知覚認知学会2020年秋季研究発表会資料, 日本音楽知覚認知学会, 2020
- 長嶋洋一. インタラクティブな錯覚体験システムの試作報告. 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会資料(技術研究報告) HCS2020-49, 電子情報通信学会, 2020
- 長嶋洋一. 脳波センサ" Muse 2 "・" Muse S "は新楽器として使えるか. 情報処理学会研究報告 2020-MUS-129, 情報処理学会, 2020
- 長嶋洋一. ライブComputer Musicパフォーマンスにおける身体運動とインタラクションについての考察, 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎研究会資料(技術研究報告) HCS2021-01, 電子情報通信学会, 2021
- 長嶋洋一. メディアデザインにおけるバイオフィードバック応用の事例報告, 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティクス研究会資料(技術研究報告) MBE2021-01, 電子情報通信学会, 2021
- 長嶋洋一. メディアアートにおけるサウンド素材のライブ・サンプリング手法についての議論, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会資料(技術研究報告) PRMU2021-01, 電子情報通信学会, 2021
- 長嶋洋一. メディアアートにおける『数』の効果とデザイン手法について, 映像表現・芸術科学フォーラム2021講演論文集, 芸術科学会, 2021
- 長嶋洋一. 音楽情報科学研究とリモート/オンラインとの相性について ～COVID-19が齎したもの～. 情報処理学会研究報告 2020-MUS-130, 情報処理学会, 2021
- 長嶋洋一. COVID-19対応リモート講義の構築 - 専門科目『サウンドデザイン』『音楽情報科学』での事例 -, 情報処理学会全国大会2021講演論文集, 情報処理学会, 2021
- <https://nagasm.org/ASL/Sketch08/fig2/01.jpg>
- <https://nagasm.org/ASL/Sketch08/fig2/02.jpg>
- [https://www.cqnet.co.jp/musen2/285\\_5006.html](https://www.cqnet.co.jp/musen2/285_5006.html)
- <https://nagasm.org/ASL/index.html>
- <https://nagasm.org/ASL/ASL.html>
- <https://nagasm.org/ASL/dspss2002/index.html>
- 長嶋洋一. Computer Musicパフォーマンスはこの20年間で進歩したのか, 情報処理学会研究報告 2012-MUS-96, 情報処理学会, 2012
- 長嶋洋一. 新楽器へのアプローチ, 情報処理学会研究報告 2015-MUS-108, 情報処理学会, 2015
- <https://nagasm.org/ASL/YouTube.html>
- 長嶋洋一. コンピュータサウンドの世界, CQ出版社, 1999
- [https://nagasm.org/ASL/books/C\\_sound.pdf](https://nagasm.org/ASL/books/C_sound.pdf)
- <https://nagasm.org/ASL/mse/index.html>
- <https://kyma.symbolicsound.com/>
- <http://www.youtube.com/watch?v=MHXH57bU10c>
- <http://www.youtube.com/watch?v=ARcWcrPZAKs>
- <https://nagasm.org/1106/europe/index.html>
- <https://nagasm.org/1106/europe/EUreport.html>
- <https://nagasm.org/1106/europe/report.html>
- <http://www.youtube.com/watch?v=aqprdlm-nrw>
- [http://www.youtube.com/watch?v=DmXhSn\\_IV1Y](http://www.youtube.com/watch?v=DmXhSn_IV1Y)
- <http://www.youtube.com/watch?v=7lkdas4I6Xs>
- <http://www.youtube.com/watch?v=7lkdas4I6Xs>
- <https://nagasm.org/ASL/dspss2002/tegoto3.GIF>
- <https://nagasm.org/1106/MAF2002/index.html>
- [http://www.youtube.com/watch?v=\\_5Emv7LXd9E](http://www.youtube.com/watch?v=_5Emv7LXd9E)
- <https://nagasm.org/1106/installation/index.html>
- <https://nagasm.org/1106/installation2/index.html>
- <https://nagasm.org/1106/installation3/index.html>
- <https://nagasm.org/1106/installation4/index.html>
- <https://nagasm.org/1106/installation5/index.html>
- <http://www.youtube.com/watch?v=wDXuxi0xtpU>
- <https://nagasm.org/1106/installation3/0722005-2.swf>
- <https://nagasm.org/1106/installation3/0722002-2.swf>
- <http://www.youtube.com/watch?v=Ld9IkbbOcfq>
- <https://nagasm.org/1106/installation4/tosaya.pdf>
- [https://nagasm.org/1106/installation4/Tosaya\\_panel.pdf](https://nagasm.org/1106/installation4/Tosaya_panel.pdf)
- <http://www.youtube.com/watch?v=hqqQreTj9-U>
- <https://nagasm.org/ASL/max05/fig/tosaya.pdf>
- <https://nagasm.org/1106/moya/index.html>
- <https://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-02617/>

54. <https://nagasm.org/1106/mediasurien/index2020.html>
55. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_01.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_01.txt)
56. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_02.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_02.txt)
57. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_03.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_03.txt)
58. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_04.jpg](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_04.jpg)
59. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_05.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_05.txt)
60. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_06.jpg](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_06.jpg)
61. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_07.pdf](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_07.pdf)
62. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_08.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_08.txt)
63. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_09.mp4](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_09.mp4)
64. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_10.jpg](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_10.jpg)
65. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_11.pdf](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_11.pdf)
66. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_12.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_12.txt)
67. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_13.jpg](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_13.jpg)
68. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_14.pdf](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_14.pdf)
69. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_15.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_15.txt)
70. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_16.jpg](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_16.jpg)
71. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_17.pdf](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_17.pdf)
72. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_18.mp4](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_18.mp4)
73. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_19.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_19.txt)
74. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_20.pdf](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_20.pdf)
75. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_21.mp4](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_21.mp4)
76. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_22.jpg](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_22.jpg)
77. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_23.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_23.txt)
78. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_24.pdf](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_24.pdf)
79. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_25.mp4](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_25.mp4)
80. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_26.txt](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_26.txt)
81. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_27.pdf](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_27.pdf)
82. [https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands\\_28.mp4](https://nagasm.org/1106/mediasurien/2020/hands_28.mp4)
83. <https://nagasm.org/ASL/RissetRhythm/index.html>