

創作ノート

人工生命システムと動的楽譜システムを用いたリアルタイムの音楽生成と演奏 Real-time music generation and performance using an artificial life simulation and dynamic musical notation systems

大久保 雅基

Motoki OHKUBO

名古屋芸術大学

Nagoya University of the Arts

概要

筆者は人工生命シミュレーションと、筆者が開発した動的楽譜システムを用いて、人間ならざる存在による音楽生成と器楽の融合を目指した作品『トリちゃん大好き倶楽部』を作曲した。本作では、人工生命による振る舞いをソニフィケーション（可聴化）し、それによって生成された音楽を、動的楽譜システムを用いてリアルタイムにアニメーションの記譜に変換することで、音楽生成から演奏までをリアルタイムに行うことを実現している。本稿では作曲するに至った背景と、アニメーション記譜の例、人工生命と器楽を組み合わせた例、本作で用いられている動的楽譜システムについて、及び本作におけるシステムや演奏方法について述べる。

The author composed the work "*Birdy Loving Club*", which is a fusion of instrumental music and music generation by nonhuman, using an artificial life simulation and a dynamic musical notation system developed by the author. In this work, the behavior of artificial life is sonified, and the music generated is converted into an animated notation in real time using a dynamic music notation system, thereby realizing the process from music generation to performance in real time. This paper describes the background of the composition, examples of animated notation, examples of combining artificial life and instrumental music, the dynamic notation system used in this work, and the system and performance methods used in this work.

1. はじめに

近年は深層学習を中心とした人工知能技術の開発が進められ社会に大きな影響をもたらしている。中でも

2022年に発表されたOpenAIによる大規模言語モデルを用いたチャットボットサービスChatGPTは研究者のみならず一般にも広く利用されている。ChatGPTは知識問題のような質問を投げかけると概ね正確な回答をすることができ、GPT-4のモデルを用いて英語に関する試験をテストするとスタンフォード大学受験生レベルであると言われ[1]、日本の医師国家試験に合格するほどの知識を持っていると検証されている(Kasai 2023)。質問を投げかけると専門知識を自然な文章によって出力するため、大学の講義の課題として出されていたレポートが、学生がそれに代筆させ自筆しなくなるなどが危惧され、日本では多くの大学が生成系人工知能の取り扱いに関する見解を表した(東京大学 2023)(東北大学 2023)(島根大学 2023)(関西大学 2023)(東洋大学情報連携学部 2023)。

現在の開発されている人工知能は1つの問題を解決することに特化した「特化型人工知能」と呼ばれる[8]。今後開発が進んでいくと、人間と同等の知能を持ち様々なタスクに対して柔軟に処理をこなせる「汎用人工知能」が登場するだろう。今後人類は汎用人工知能と共存することになり、音楽の創作においても制作ツールの処理が人工知能によって行われることが当たり前になったり、創作そのものが人工知能と協力して行われたり、人工知能と人類のための音楽を含む芸術が創られたりするかもしれない。そのような未来を想像し、筆者は人間ならざるものとの創作に取り組んでいる。

近年は人工知能による音楽生成モデルの開発も多く進められており、音楽のイメージなどを記述したプロンプトを入力するとその文章に則した音源を出力するものがある。しかしこのような特化型人工知能ではなく、汎用人工知能のような自律した存在が現れたら、人間と共同作曲する未来が訪れるのではないだろうか。そのような未来に向けて、自律した存在と音楽を結びつけるための手法を模索していく必要があると考えた。

コンピュータ支援作曲はコンピュータ・アルゴリズム等によって音楽データを生成する。それを器楽によって演奏する場合、一度紙の楽譜に記述し演奏家に渡す必要がある。そこで筆者が開発している動的楽譜システムを用いると、リアルタイムに生成された音楽をその場で楽譜化でき、作曲から演奏までをステージ上で同時に行うことが可能になる。この動的楽譜システムと人工生命シミュレーションを組み合わせることで、自律した存在によって生成される音楽をリアルタイムに器楽によって演奏する作品を作曲した。人工生命としては、鳥の群れの振る舞いをシミュレートした「ボイド」と呼ばれるシミュレーション・プログラムを自律した存在と見なし、その振る舞いを器楽によってソニフィケーションする。

2. ボイド

ボイド (Boids) はアメリカのコンピュータ・アニメーション、人工生命研究者の Craig W. Reynolds によって考案された人工生命シミュレーション・プログラムであり、名称は「鳥もどき (bird-oid)」から取られている。

シミュレーションは、エージェントと呼ばれる鳥を模したオブジェクトに3つの動作規則を与えることによって、鳥の群れの振る舞いをシミュレーションを行う。3つの動作規則は以下のようなものである。1つ目は分離。エージェントが他のエージェントとぶつからないように距離をとる。2つ目は整列。エージェントが他のエージェントと同じ方向に飛ぶように速度と向きを変更する。3つ目は結合。エージェントが他のエージェントの群れの中心へ向かうように方向を変更する (Reynolds 2010)。このような単純な規則によって、実際の鳥の群れのような複雑な動きを表すことができる。

本作においてはこのボイドを自律した生命体と見なし、その振る舞いをソニフィケーションすることによって音楽生成を行う。

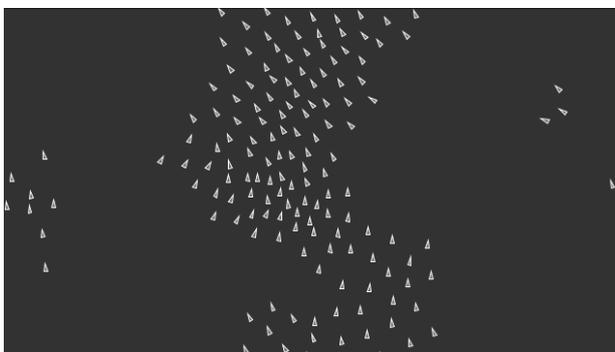


図 1: ボイド

3. 人工生命と器楽

人工生命と器楽を組み合わせた音楽作品として、筆者が2018年に発表した『【衝撃】食物連鎖の生態系を作ってみたら...』が挙げられる。この作品は映像と弦楽四重奏の作品で、映像内で食物連鎖のシミュレーションと楽譜生成が行われ、奏者が楽譜を見て演奏を行う。楽譜は正方形の四角のエリアに五線記譜法上でピッチが全音符で表記される。正方形の中心から外縁に向かってオレンジの正方形が大きくなり、外縁に到達したタイミングでピチカート奏法によって演奏を行う。4種類の動物が各楽器に割り当てられ、各動物の個体数の増減によって演奏するパルスのタイミングが伸び縮みする。この作品においては、人工生命システムと器楽演奏の音楽パラメータの連結が行われている (大久保 2018)。



図 2: 『【衝撃】食物連鎖の生態系を作ってみたら...』演奏風景

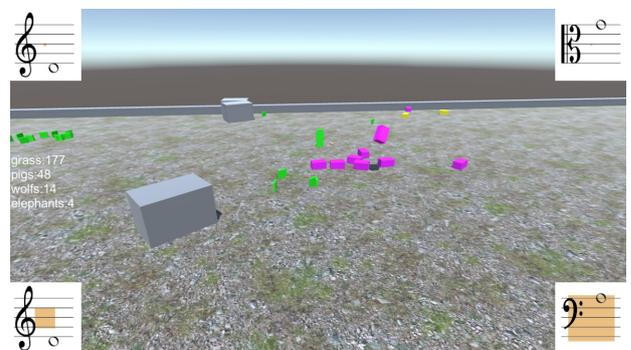


図 3: 『【衝撃】食物連鎖の生態系を作ってみたら...』画面

Jack Armitage の Agential Score は、楽器のリアルタイムパラメーターを人工生命やその他のシミュレーションと絡める可能性を探るプロジェクトである。オープンソース Python ライブラリである Tolvera を開発し、人工生命による視覚的なシミュレーションを行っている。現在はこのシステムと楽器との接続を目指し取り組まれているところである (Armitage 2023)。

4. アニメーション記譜法

西洋の伝統的な五線記譜法は音高と時間を分割して表記する、音楽の再現性が高い記譜法である。この記譜法における音楽パラメータは分割された音高と時間が構成の中心となり、揺れる演奏タイミングを詳細に記述すると複雑になってしまう問題がある。一部の現代音楽作曲家は、この制約から逃れるために、図形や文字、絵などを用いた図形楽譜による作曲を試みた。だが多くの場合指示が抽象的となるため、演奏家の解釈によって即興演奏的となり、二度と同じ音楽にならないという問題も生じた。

近年は音楽にコンピュータが導入されることが当たり前となり、紙の代わりにディスプレイ（もしくはスクリーン）による楽譜の表示ができるようになった。それによって表示が静止画である必要がなくなり、アニメーションによる新たな表記を試みる作家も登場し始めた。

Guðmundur Steinn Gunnarsson は彼自身のアニメーション記譜法を「アニメーション」と呼ぶ。彼の作品 *Sporgýla* は 36 の楽器のために書かれており、ピッチや特殊奏法などは五線記譜法を用いながら、横軸は記譜が右から左へアニメーションで動くようになっている (Gunnarsson 2014)。これによって指揮者が居なくとも、複数の楽器が正確なタイミングで演奏することができ、また五線記譜法のグリッドに収める必要がないため、自由な時間軸の表現が可能である。また彼の所属する実験作曲家集団 S.L.Á.T.U.R. でもアニメーション楽譜による実験的なパフォーマンスが見られる。

五線記譜法による記述を読解するためには素養が必要である。これに対し、アニメーション楽譜を用いることで、簡単に読むことができつつ複雑な演奏を可能にできる記譜を目指したのが Ryan Ross Smith である。彼のアニメーション記譜法は簡単な図形とアニメーションによって表現されることが多い。例えば 15 人の打楽器奏者のための *Study 8* は、メトロノームのようにカーソルが円弧上を動き、左右に配置された丸図形に辿り着いた時に演奏を行う (Smith 2012)。

5. 動的楽譜システム

5.1. 動的楽譜システムの特徴

動的楽譜システムは、筆者が 2019 年から開発しているアニメーション表示による楽譜表示システムである。従来の紙の楽譜は演奏情報が書かれれば情報は固定されるが、動的楽譜システムはタブレット端末を使用しリアルタイムに演奏情報を書き換えることができる。紙の楽譜では、アルゴリズム作曲によって生成した音楽情報を記述し、それを見て演奏するまで時間がかかったが、動的楽譜システムではステージの上で

プログラムを動かしてその場で生音による演奏を行うことが可能である。また、アニメーション表示を行うことによって演奏タイミングの指示ができるため、各演奏者がタブレット端末などで見ていれば、指揮者が居なくとも同期を取ることができる。それによって、奏者ごとに異なるテンポを設定する表現なども可能である。



図 4: 動的楽譜システムの例

このシステムに使われるプログラミング言語や、楽譜の表示方法は特定のものに限定していない。時代によって適したプログラムが変わる可能性もあり、楽器や作曲コンセプトによって適した表示方法が変わるからである。

5.2. 動的楽譜システムの使用例

筆者が 2019 年に作曲した『太陽と月のように照らし続けて』では、音楽生成部分に *Cycling '74 Max* を使用しており、Max 内で *Node.js* を利用できる *Node for Max* によってインターネットサーバを立ち上げ、各タブレット端末のブラウザからそのサーバにアクセスすることによって表示を行っている。Max とタブレット端末の通信は *socket.io* を用いており、楽譜の描画は DAW のピアノロールを参考にしたアニメーション楽譜を *p5.js* によってブラウザに描画を行っている。この作品では、弦楽四重奏とボイスパーフォーマーそれぞれに楽譜の情報を送り、ステージ後方のスクリーンには全てのパートのノート情報が表示される (大久保 2019)。

また、2021 年に作曲した『へえ...そっか。え？ うん、そう。』では、チェロとピアノにはピアノロール風の楽譜を、ステージ後方のスクリーンには物理演算で跳ね回るボールの映像を投影している。ボールが左の壁に当たったらピアノが演奏し、右の壁に当たったらチェロが演奏をする。通常ならばボールが壁に当たった時点で楽譜にノートが表示され、ノートが表示されてから演奏を行うまでに時間がかかるため、ボールが当たってから演奏するまでに時間差が生じる。そこで



図 5: 『太陽と月のように照らし続けて』演奏風景

スクリーンに投影する映像にディレイを加えることによって、ボールが当たった瞬間と演奏のタイミングを合わせている (大久保 2021)。



図 6: 『へえ...そっか。え？ うん、そう。』演奏風景

5.3. 本作での動的楽譜システム

本作では『へえ...そっか。え？ うん、そう。』と同じ仕組みを用いており、スクリーンに投影する映像と、タブレット端末に表示する楽譜は異なるものにした。アニメーション楽譜については従来のものより表示を変更した。ピアノロールを元にした表示は熟練した奏者でさえも、見慣れない楽譜のために音高を判断するまでに時間を要したからである。おそらく五線譜の読解に馴染みのない者であれば、ピアノロール式の楽譜の方が体感的に分かりやすいと思われるが、ピアノロール式の表示に慣れていなければ熟練した奏者も楽譜を読むことは初心者となる。そのため今回は五線記譜法に慣れた演奏家に合わせた表示にした。

6. 作品について

本作『トリちゃん大好き倶楽部』は2023年8月11日、めぐろパーシモンホール 小ホールにて開催された「JSSA 音楽祭 2023」にて初演された。



図 7: 『トリちゃん大好き倶楽部』演奏風景

6.1. システム

作品の内容は次のようなものである。ステージ後方のスクリーンにボイドが表示され、その上を赤線が動きスキャンを行う。スキャンされたエージェントの縦位置によって音高が定められており、それを弦楽四重奏が演奏する。

このシステムは Node for Max を用いて構築されており、スクリーンに投影するためのボイドと、タブレット端末に表示する動的楽譜は p5.js によってブラウザ上で描画される。Node for Max によってインターネットサーバを立ち上げ、各ブラウザからアクセスする。サーバとブラウザの情報のやりとりには socket.io が用いられている。

オペレートするための MacBook Pro に外部ディスプレイを接続し、それにブラウザをフルスクリーンで表示しボイドを描写する。その外部ディスプレイを OBS を用いて画面キャプチャを行い、ブラウザのメニューなどの UI を取り除くようにトリミングされ TouchDesigner に送る。エージェントが赤線によってスキャンされたタイミングで演奏情報が生成され、その時点で各タブレット端末に送られたノートはアニメーションによって表示されるので、表示されてから演奏するまで時間がかかる。スキャンされたタイミングと演奏のタイミングを合わせるために、スクリーンに送る映像には TouchDesigner で遅延を付加する。

ボイドでスキャンされた位置情報を元に Max 側でピッチに置き換える。画面の上が高い音で、下が低い音にマッピングされており、音域は弦楽四重奏の楽器に合わせている。音高はピアノの白鍵のみが出力されるようになっている。また、各奏者の演奏が重複しないよう分配する処理が組まれている。オペレーターは

Max 上で、ボイドのエージェントを増減したり、エージェントや赤線の動く速度を変更できる。これによって自律した存在とオペレーターによる共作が行われる。

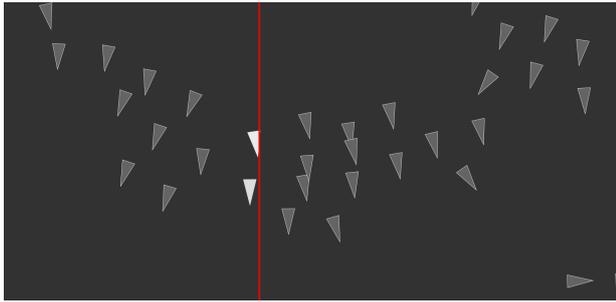


図 8: 本作のスクリーンに投影されるボイド

6.2. 演奏方法

初演は弦楽四重奏によって行われたが、本作品では同じシステムを用いることで自由な楽器の組み合わせ、奏者の数に対応できる。各奏者はタブレット端末に表示される情報を元に演奏を行う。初演では1曲を通じてピチカート奏法、メゾピアノの音量によって行われた。今回は弦楽四重奏だったためピチカート奏法を採用したが、他の楽器の場合はスタッカート奏法などで、短い単音を鳴らすことが望ましいと考えている。

タブレットに表示されるのは、五線記譜法を元にしたアニメーション楽譜であるが、音部記号は楽器が通常使用している楽譜に合わせて表示が異なる。つまりヴァイオリンにはト音記号による表記、ヴィオラにはト音記号とアルト記号が組み合わせられた表記、チェロにはト音記号とヘ音記号が組み合わせられた表記が表示される。

演奏情報を受信するとノートが画面の右から左へと流れる。音高は五線記譜法と同じ読み方であり、ノート上に音名を表記している。画面左側に赤線が縦に表示されており、そこにノートが触れた時に演奏を行う。音符の長さは音価を示すが、ピチカート奏法、スタッカート奏法のみなので音価は無視して良い。

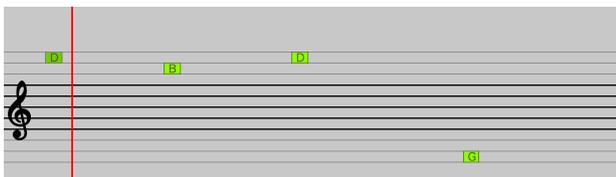


図 9: ヴァイオリンの記譜

演奏の開始時には「start」、終了時には「end」という文字が流れる。

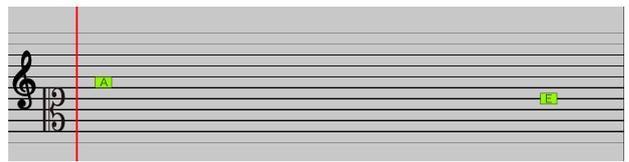


図 10: ヴィオラの記譜

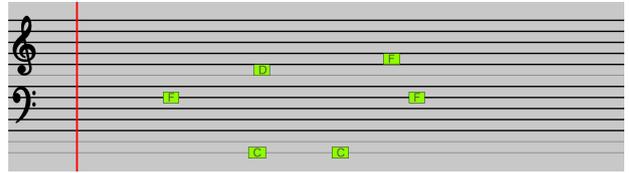


図 11: チェロの記譜

7. 考察

7.1. 動的楽譜システムの特徴

動的楽譜システムの特徴として、生成された音楽をその場で楽譜化しリアルタイムに器楽演奏が可能な点が挙げられる。これはアルゴリズム作曲した音楽をその場で電子音によって鳴らすという、コンピュータ音楽では当たり前に行われていることを器楽によって行えるということである。この特徴を利用することで、これまでの器楽作曲ではできなかった、リアルタイムに動的に変化する情報を用いた作曲が可能になっている。そして、コンピュータ音楽で培われてきた様々な技術を器楽に応用できる可能性を持っている。それぞれ分岐してきた器楽とコンピュータ音楽の技術・技法を融合させ、ハイブリッドな音楽表現をすることが可能になるだろう。

7.2. 動的楽譜システムの記譜について

動的楽譜システムの記譜は、図形などを自由に描けるライブラリを使用しており、五線記譜法に囚われない図形楽譜などをアニメーションで動的な表示が可能である。アニメーションを用いる場合、例えばヴァイオリンの弦4本を表示し、その上に抑える指板の位置を指定するなど、特定の楽器の奏法に特化した記譜が可能であろう。だが、それはフィクストメディアの動画再生でも可能である。本システムの特徴はリアルタイムの情報を処理できることであり、それによる表現を中心に置く方が活用できるだろう。

アニメーション記譜法による魅力の一つとして、抽象的な図形楽譜を演奏家がどのように音にするかということが挙げられる。その楽譜をスクリーンに映し観客に見せながら演奏することで、音楽の構造を理解しやすくすることもできる。スクリーンに表示するかどうかは作曲家の意図によって判断が分かれるだろうが、

複雑な記譜をするほど表示した方が作品の理解への一助になるだろう。

動的楽譜システムにおいては、スクリーンとタブレット端末にそれぞれ別な表示をすることができる。これによってスクリーンで起きているイベントが演奏のトリガーになる、本作のような仕組みを作ることが可能となる。このような仕組みで作曲する場合、アニメーション記譜法によるエクリチュールを複雑化させるよりも、スクリーンに表示される情報と演奏内容のリンクが分かるようシンプルな設計をする方が、作品の意図が伝わりやすいと考えられる。

7.3. 人間ならざるものとの共作

将来登場すると言われている汎用人工知能と人類がどのように共作を行うようになるかは予想がつかないが、人工知能が現在人類が行っている作曲技法を習得することは容易であることは想像できるだろう。このような将来、作曲家は独自のエクリチュールを生み出したり、その技法を鍛錬していくこと、つまりメロディやハーモニー、リズム、サウンド、音響テクスチャを恣意的に並べる作曲行為に価値は残るのだろうか。人間ならざるものとの共作をする上で必要なことは、従来の音楽的語法によるレトリックではなく、その関係性をどのように設計するかに重点が置かれるかもしれない。

本作において音楽生成のタイミングはほぼエージェントの振る舞いに委ねられる。それ以外の要素をどのように設計するかが作曲であった。そこで扱われるアルゴリズムやエクリチュールを複雑にすることは可能ではあるが、作品の全体像を想像した時にそれが効果を生むとは考えられなかった。本作は人工生命と器楽をテクノロジーを介して融合させた作品であり、その関係性によって生まれる音響的テクスチャがメインとなる。画面上の赤線やエージェントの動くスピードが時間軸の表現を支配していることから、さらに恣意的な時間的変化を加えすぎると構造が曖昧になると考えた。

このような人間ならざるものとの共作の上で、恣意的な音楽イベントを扱いつぎすぎることは、情報過多となり、作品の主題が不明瞭になってしまう恐れがあるかもしれない。エクリチュールよりも、人間ならざるものと音楽にどのような関係性を持たせるかを設計することが創作の中心となるように考えられる。

8. 参考文献

Jack Armitage. “Agential Scores”.
<https://iil.is/research/agential-scores> (参照: 2023年5月25日)

Jim Fan. 2023. Twitter.
<https://twitter.com/DrJimFan/status/1635694095460102145> (参照: 2023年5月25日)

Jungo Kasai, Yuhei Kasai, Keisuke Sakaguchi, Yutaro Yamada, Dragomir Radev. 2023. ‘Evaluating GPT-4 and ChatGPT on Japanese Medical Licensing Examinations’. arXiv.
<https://arxiv.org/abs/2303.18027> (参照: 2023年5月25日)

Craig W. Reynolds. 1987. “Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model” in *Computer Graphics, Volume 21, Number 4, July 1987*, Computer Graphics.

O. Strelkova, O. Pasichnyk. 2017. ‘THREE TYPES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE’. Khmelnytsky National University.
<http://eztur.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/6479/142.pdf?sequence=1&i> (参照: 2023年5月25日)

関西大学. 2023. 「教育・学習における ChatGPT 等の生成系 AI ツールへの対応について」.
https://www.kansai-u.ac.jp/ja/about/pr/news/2023/04/post_70904.html (参照: 2023年5月25日)

島根大学. 2023. 「島根大学における ChatGPT 等の生成系 AI の利用におけるリスク管理について —教職員及び学生のみなさんへの注意喚起—」.
<https://www.shimane-u.ac.jp/docs/2023041400026/> (参照: 2023年5月25日)

東京大学. 2023. utelecon 「生成系 AI(ChatGPT, BingAI, Bard, Midjourney, Stable Diffusion 等) について」.
<https://utelecon.adm.u-tokyo.ac.jp/docs/20230403-generative-ai> (参照: 2023年5月25日)

東北大学. 2023. Tohoku University Online Class Guide 「ChatGPT 等の生成系 AI 利用に関する留意事項(学生向け)」.
<https://olg.cds.tohoku.ac.jp/forstudents/ai-tools> (参照: 2023年5月25日)

東洋大学情報連携学部. 2023. 「生成系 AI に関する INIAD の見解」.
<https://www.iniad.org/blog/2023/04/14/generative-ai/> (参照: 2023年5月25日)

9. 参考作品

大久保雅基. 2018. 『【衝撃】食物連鎖の生態系を作ってみたら...』. 第一回 絶頂

大久保雅基. 2019. 『太陽と月のように照らし続けて』. 第二回 絶頂

大久保雅基. 2021. 『へえ... そっか。え? うん、そう。』. Ogen/blik vol.4

Guðmundur Steinn Gunnarsson. 2014. *Sporgýla*.

Ryan Ross Smith. 2012. *Study 8*.

10. 著者プロフィール

大久保雅基 (Motoki OHKUBO)

1988年宮城県仙台市出身。電子音響音楽、コンピュータ音楽、室内楽、インスタレーション、映像等、多岐に渡る表現手法で、テクノロジーによって音楽を拡張する。名古屋芸術大学、愛知淑徳大学、相愛大学非常勤講師。洗足学園音楽大学 音楽・音響デザインコースを卒業。情報科学芸術大学院大学 [IAMAS] メディア表現研究科 修士課程修了。先端芸術音楽創作学会、日本 AI 音楽学会、日本電子音楽協会会員。—————



この作品は、クリエイティブ・コモンズの表示 - 非営利 - 改変禁止 4.0 国際 ライセンスで提供されています。ライセンスの写しをご覧になるには、<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> をご覧頂るか、Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA までお手紙をお送りください。