

創作ノート

圧電ブザーのためのバガテル：
強化学習エージェントへの介入とマイクロサウンドの空間的集積を通じた、非
対称な共生関係の構築

**Bagatelles for Piezobuzzers:
Constructing an Asymmetrical Symbiotic Relationship Through Intervention
into Reinforcement Learning Agents and Spatial Agglomeration of
Microsound**

大久保 雅基
Motoki OHKUBO
相愛大学
Soai University

概要

本研究は、強化学習エージェントと空間的に分散配置された8基の圧電ブザーモジュールを用いたサウンド・インスタレーション作品《圧電ブザーのためのバガテル》の実践報告である。本作はUnity ML-Agentsによって餌場への到達行動を学習したエージェントの自律的な生態系をシステムの中核に据えている。鑑賞者はMIDIコントローラーを介して、個体数、速度、旋回力、反発力といった仮想空間のマクロな物理法則を操作する。この非線形な介入は、エージェントの持つ学習済みの方策との間に摩擦を生み出し、鳥の滑空や蝶の羽ばたきを想起させる特異な挙動を創発させる。エージェントが餌場に滞在する挙動は、システム内部で自律進行する『エリーゼのために』の旋律からピッチを取得し、30ミリ秒のパルス音として実空間へ出力するトリガーとなる。さらに、餌場の残量に応じてPWMのデューティ比を動的に変化させることで音響的なエンベロープを形成し、実空間に鳥のさえずりのようなマイクロサウンドの雲を立ち上げる。展示空間における観察から、直接的な支配の拒絶が鑑賞者に対して対象との動的均衡を模索する探求的遊戯をもたらすこと、そして有限なモバイルバッテリーに直結されたハードウェア配置が、計算機環境における不可視化された熱力学的な代償を現前させる批評性を獲得していることを示した。

This paper presents a practice report on the sound installation Bagatelles for Piezobuzzers, which utilizes reinforcement learning agents and a network of eight spatially

distributed piezoelectric buzzer modules. At the core of the system is an autonomous ecosystem of agents trained via Unity ML-Agents to navigate toward resource nodes. Rather than exerting direct cognitive control over individual agents, the audience interacts with the system by manipulating macro-environmental variables—such as population, speed, agility, and repulsion—via a physical MIDI controller. This non-linear intervention conflicts with the agents' pre-trained policies, giving rise to peculiar, organic behaviors resembling gliding birds or fluttering butterflies. When an agent resides at a resource node, it triggers a 30-ms pulse signal based on a pitch retrieved from an autonomously advancing sequence of Beethoven's Für Elise. As the resource depletes, the system dynamically modulates the PWM duty cycle of the microcontroller to form an acoustic envelope, accumulating these granular sonic particles into a multi-directional sound cloud reminiscent of chirping birds. Observations from the exhibition demonstrate that the refusal of linear control models successfully fosters a playful exploration of dynamic equilibrium between human and system. Furthermore, by visibly linking the hardware to finite mobile batteries, the work manifests the irreversible dissipation of energy, offering a critical metaphor for the hidden thermodynamic costs underlying contemporary computing environments.

1. はじめに

1.1. 実践の背景

本研究は、塩竈市杉村惇美術館にて開催された French Art Week in Miyagi 2026 共同展覧会で発表されたサウンド・インスタレーション作品である《圧電ブザーのためのバガテル》の開発、およびその展示空間における鑑賞者とのインタラクションの観察に基づく実践報告である。本作は、同展覧会において共同出展を行った美術家ジョフレ・ブヨの作品に対する応答として構想された。ブヨが展開する、無機質な物質の集積によって人物などを再構築する造形アプローチに対し、本研究では仮想空間における非物質的なアルゴリズムである強化学習エージェントと物理空間における極小の点音源である圧電ブザーモジュールの空間的配置を対比させ、動的な音響粒子の集積によって空間を再構築する手法を試みた。



図 1: Geoffrey Bouillot 《Le bain》(2025) (提供：ジョフレ・ブヨ)

1.2. 先行研究と理論的背景

1.2.1. 自律エージェントと自己組織化音楽

コンピュータ音楽およびインタラクティブ・アートの領域において、自律的なアルゴリズムを用いた音楽生成の研究は多角的に進められてきた。ティム・ブラック



図 2: 《圧電ブザーのためのバガテル》展示の様子

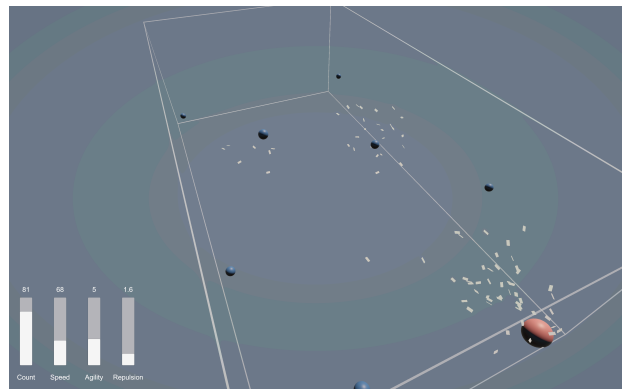


図 3: 《圧電ブザーのためのバガテル》映像

ウェルとマイケル・ヤング (Blackwell and Young 2004) は、社会性昆虫や群れ行動に見られる自己組織化ダイナミクスを即興音楽の相互作用モデルへ応用し、「自己組織化音楽 (self-organised music)」を論じている。両氏によれば、局所的な相互作用と環境を介した間接的な協調によって、中央集権的な統制なしに大域的な音楽構造が創発されうるといふ。

さらに、機械学習を導入したインタラクティブ・エコシステムにおけるエージェントの振る舞いについて、ジャン＝フィリップ・ジュリン (Jullin 2023) はドネラ・メドウズのシステム論を参照し、自律的かつ自己組織化されたシステムが高度な予測不可能性を持つことを指摘している。ジュリンによれば、このようなシステムと持続的な関係を構築するためには、静的な制御に終始するのではなく、その不確実性を受け入れる遊戯的なインタラクション (playful interaction) が重要であるとされる。本研究はこれらを基盤としつつ、一般的な群知能のルールではなく、強化学習によって目標座標への到達ルールを独自に獲得したエージェントをシステムの中核に据える。

1.2.2. マイクロサウンドと音響の空間的集積

伝統的な音符という硬直した単位を流動的な媒質へと溶解させ、時間領域における音響素粒子の連続として音を捉える視座は、カーティス・ローズが体系化した「マイクロサウンド」の概念に依拠している (Roads 2001)。同書においてローズは、微小な音響時間領域の変容がマクロな音響構造へと立ち上がるプロセスを論じた。

このマイクロサウンドの動的な記述に関して、ミョンイン・リーとジョンウ・イムは、グラニューラー音響を『時間および周波数領域を動き回る音の粒子の動的な集積 (音の雲)』とする概念を基盤とし、マルチモーダル・グラニューラー・シンセサイザーの実践を通じて、その動態を視覚と身体的ジェスチャーへと拡張している (Lee and Yim 2024)。本作では、このマイクロサウンドの空間的集積のアプローチを、日本社会において日常的な通知音や清掃車の運行メロディのような機能音として遍在し消費されている古典楽曲の解体に応用し、点音源の粗密によってマクロな記号性を再構築する手法をとる。

1.2.3. 認識的ツールと非線形なマッピング

デジタル・インタフェースを介した音楽的制御において、人間とシステムの因果関係の設計は表現の強度を大きく左右する。トール・マグヌソンは、アコースティック楽器が身体の物理的な拡張として体化された関係を構築しやすいのに対し、デジタル楽器はコード化された象徴的システムであるがゆえに、演奏者に対してシステムのルールや構造の解釈を強いる認識的ツールとしての側面を持つと論じている (Magnusson 2009)。そこでは、さながらテキストを読み解くような解釈学的な関係が要請されるのである。

この解釈学的な関係における思い通りにならなさという摩擦を意図的にシステムへ組み込むマッピング戦略について、ズラトコ・バラツカイは直接的な認知的コントロールをあえて超越した、困難さや努力を伴う音楽的インタラクションの設計モデルを提案している (Barackskai 2021)。そこでは、シンプルなインターフェースの背後に複雑な非線形マッピングを配置することで、習熟の度合いに応じた多層的な探索空間が生まれることが示されている。本作は、この直接的コントロールの拒絶をインタラクションの核として継承している。

1.2.4. 分散型音響システムと資源消費のメタファー

物理空間における音源の分散配置に関して、ニック・ホワンとアンソニー・マラスコは、インターネット技術を用いて観客のモバイル端末を多数の点音源スピー

カーのネットワークとして利用する多チャンネル音響拡散システムである「MoNoDeC」を開発し、観客が全体の環境変数へ介入を試みるインタラクションを示した (Hwang and Marasco 2024)。本作の、空間に複数配置された独立した物理モジュール群へ音響を拡散させるハードウェア構成は、こうした分散型点音源ネットワークの系譜に位置づけられる。

一方で、これら計算機環境がもたらす一瞬の利便性や遊戯空間の背後にある物質的代償について、ケイト・クロフォードとヴラダン・ヨレルは人工知能システムの構造分析を通じ、惑星規模の資源抽出、非再生可能なエネルギー消費、労働力の搾取が駆動している事実を地質学的視座から暴いている (Crawford and Joler 2018)。利便性という目的に対して不可視化される物理資源の消費構造は、本作においてモバイルバッテリーという有限のエネルギー源をハードウェアに直結させる批評的な構造の強い理論的足場となっている。

1.3. 本論文の目的

本研究の目的は、人間と強化学習エージェントが、互いに異なる目的論的行動、すなわち人間の音響統制の欲求とエージェントの目標座標への到達ルールに従いながら、同一の結節点で介入し合う非対称なネットワークを提示することである。これにより、対象を一方的に支配し管理する従来のインタラクションのパラダイムを脱し、互いに思い通りにならない摩擦のなかでバランスを維持する動的均衡の美学を提示する。同時に、その遊戯的な介入の活発化が、点音源の物理的な駆動を通じてモバイルバッテリーの電力を消費していく構造を可視化し、現代の計算機社会が内包する熱力学的な代償について批評的な考察を行う。

2. 美学的背景とコンセプト

2.1. 物質性と非物質性の対比

共同展覧会においてプロトタイプが提示した作品は、無機的な物質の集積によって人物などを再構築する造形アプローチを特徴とする。これに対する応答として、本作《圧電ブザーのためのバガテル》は物質性と非物質性の対比を空間構造の核に据えた。具体的には、現実の物理空間に分散配置された8基の圧電ブザーモジュールという極小の物理的実体と、計算機上の仮想空間で駆動する非物質的な強化学習エージェントというアルゴリズムの存在を対置させている。プロトタイプが物質そのものの配置によって独自の空間的構成を立ち上げるのに対し、本作は目に見えないエージェントの動的な計算プロセスを物理的な点音源の粗密な振動へと変換することで、音の粒子による非物質的な空間の再構築を試みている。

2.2. 日本社会における機能音の解体と再機能化

共同出展者であるブヨが古典絵画を参照した造形を行っていることに対する応答として、本作では西洋クラシック音楽の象徴とも言える『エリーゼのために』を引用している。この楽曲は、日本の初期ピアノ教育において広く普及した教則本である『バイエル』の巻末に収録されていた歴史的背景もあり、大衆的なクラシック音楽として広く認知されている。その結果、現在でも清掃車の運行メロディや機器の通知音など、特定の利便性を促す機能音として日本社会の日常に深く根付いている。

本作では、エージェントが仮想空間上の目標座標へ到達して餌を食べている状態の継続音としてこの楽曲を使用する。エージェントが目標座標に滞在する挙動をトリガーとし、自律進行するシーケンスから現在時刻のピッチを取得して、マイクロサウンドの集積として出力させる。これにより、日常に定着していた元の社会的機能から旋律を引き剥がすとともに、エージェントの活動の持続を明示する新たな機能音へと再定義する実践を行っている。

2.3. 支配的パラダイムから動的均衡へ

従来のインタラクティブな音響表現やデジタル楽器の多くは、人間の認知的コントロールによって対象を直接的かつ線形に支配し、意図通りの音響を出力することを是としてきた。しかし本作ではマグヌッソン (Magnusson 2009) が指摘した、演奏者に対して象徴的システムのルールの解釈を強いる認知的ツールとしてのデジタルインタフェースの性質を前景化させている。鑑賞者がパラメータを操作しても、エージェントは強化学習によって獲得した目標到達という独自の規則にのみ従って動くため、鑑賞者の意図が直接的に音響に反映されることはない。ジュリン (Jullin 2023) がドネラ・メドウズのシステム思考を引いて論じるように、このような予測不能な自己組織化システムと持続的な関係を築くためには、対象を単なる道具として支配するのではなく、遊戯的なインタラクション (playful interaction) が要求される。鑑賞者は、直接的な発音のトリガーを奪われながらも、思い通りにならないエージェントの生態環境へ介入し、その摩擦のなかで奇妙な調和を模索することになる。この操作のすれ違いそのものが、対象を支配する快楽に代わる、動的均衡を探求する遊戯性を構築している。

3. システムの実装

3.1. 強化学習に基づく自律的エージェントの設計

本作における仮想空間上のエージェント群は、あらかじめ定義された固定の行動規則に基づく一般的な群知能アルゴリズムではなく、Unity の機械学習フレームワークである ML-Agents を用いた強化学習によって独自の振る舞いを獲得させる設計をとった。学習環境の設計において、各エージェントは Ray Perception Sensor を用いて周囲の空間および他個体を観測する。報酬関数は複雑なジレンマを内包するように設計されており、エージェントは目標座標である餌場へ到達すること、および他のエージェントに接近することに対してプラスの報酬を得る一方で、他のエージェントと物理的に衝突することに対してはマイナスのペナルティを受ける。

この接近の報酬と衝突のペナルティの均衡状態として、エージェント群は学習プロセスの中で自律的な群れの振る舞いを獲得している。一般的な群知能が計算式通りに滑らかに群れを形成するのに対し、本作の強化学習エージェントは学習時の特定のパラメータに最適化された行動ロジックを持っている。そのため、鑑賞者が介入して旋回力や反発力などのパラメータを学習時の想定から動的に変化させると、エージェントの持つ行動ロジックと変化した物理環境の間にズレが生じ、鳥のような滑空や蝶のような非効率的で特異な動きが観察される。このシステム内部の最適化と外部からの介入の衝突が、ジュリン (Jullin 2023) の論じる予測不可能な生態系の振る舞いを生み出している。

3.2. マイクロサウンド生成のメカニズム

システム内部では、あらかじめ設定された『エリーゼのために』のメロディと伴奏のシーケンスデータが、鑑賞者の介入やエージェントの行動とは完全に独立したグローバルタイムライン上で自律して進行し続けている。仮想空間上のエージェントが目標座標へ到達した瞬間が発音のトリガーとなり、システムはその現在時刻におけるシーケンス上のピッチ情報をリアルタイムに取得する。

取得されたピッチには、意図的なオクターブのランダマイズ処理が加えられ、極めて短いデュレーションである 30 ミリ秒のパルス信号として物理空間へ送信される。圧電ブザーの特性上、このような極小の発音時間はクリック音のような広帯域のノイズ成分を多く含むが、この 30 ミリ秒という数値は、人間の聴覚が明確なピッチを知覚できる限界の長さとして実験的に設定されている。

さらに、本作の音響は単なるオンオフの矩形波の連続ではない。仮想空間においてエージェントが群がることで餌場のリソースが減少していくと、それに連動し

てブザーへ送信される PWM のデューティ比が動的に変化し、発音の輪郭がか細い質感へと変容していく。このデューティ比の連続的な変化が音響的なエンベロープとして機能し、カーティス・ローズ (Roads 2001) が提唱したマイクロサウンドの理論における流動的な音響テクスチャを生み出している。

目標座標に滞在するエージェントの数が少ない疎な状態では、音の密度が低く、断片的なクリック音のような無機質なノイズとして知覚される。しかし、複数の餌場にエージェントが密集する状態へと移行すると、空間に配置された 8 基のモジュールから高頻度でマイクロサウンドが放たれる。この時、様々な方向から発音される音の断片が空間上で重なり合い、原曲のメロディの輪郭を事後的に形成していく。その音響的なテクスチャは、あたかも木の上に群がる無数の鳥がさえずっているかのような、有機的で微小な音の群れとしての響きを生み出している。取得されたピッチにはオクターブのランダム化処理が施されているため、群れが密集した状態であっても原曲の旋律が明瞭な形で演奏されることはなく、あくまで予測不能な音の雲としての性質を保ちながら音楽的な構造へと変容するシステムを実装した。

3.3. ハードウェア構成と空間出力設計

現実の展示空間には、独立した 8 基の圧電ブザーモジュールが点音源スピーカーのネットワークとして分散配置されている。これらのモジュールは、床面、展示台、あるいは窓枠など、従来の 8 チャンネル立体音響システムのスピーカー配置を模倣しつつも、空間の物理的特徴に合わせて意図的にランダムなばらつきを持たせて設置された。仮想空間と物理空間を結ぶ通信アーキテクチャには、Wi-Fi 環境下での UDP 通信を採用した。Unity 上のエージェントの挙動と連動するホストアプリケーションである Max/MSP から、各モジュールの IP アドレスに向けて、ピン番号、周波数、デューティ比を含むデータが低遅延で送信される。

物理的な各モジュールは、4 素子の圧電ブザーを個別のピンに搭載しており、最大 4 ボイスのポリフォニーに対応する。各デバイスに搭載された制御マイコンは、受信したメッセージからピン番号を解析し、該当するピンが発音中でない場合のみ PWM 駆動を開始する。発音の開始後は、メインループ内でミリ秒単位の非ブロッキングタイマーを監視し、30 ミリ秒が経過した瞬間に対応するピンの出力を停止して自動消音を行う。

エージェントが多数群がることで特定のモジュールに対して高頻度な発音トリガーが同時に衝突した際、ハードウェア側の処理を破綻させず空間へ均等に出力するため、ボイス管理は送信側である Max/MSP システム内において一元的に制御されている。システムは

4 つのボイスを順番に回転させて各ピンへ信号を割り当てるラウンドロビン方式を実行し、さらに発音上限を超えてトリガーが到達した場合は、最も古い発音を停止して最新のトリガーを優先するボイススティール処理をホスト側で計算した上で各ピンへマッピングする。ホワンとマラスコ (Hwang and Marasco 2024) は、インターネット技術を介して複数の独立した点音源を制御し、観客の介入による音響拡散を実現した。本作のハードウェア構成は、このような空間的に分散した多数の小型音源を配置するアプローチと技術的な系譜を同じくしながら、ホスト側での統括的なボイスマネジメントとマイコン側での厳密な自動消音制御の組み合わせにより、高密度なマイクロサウンドの空間的集積を破綻なく実空間に出力する堅牢な制御を確立している。

4. インタラクションとマッピング



図 4: 鑑賞者が操作できる MIDI コントローラ

4.1. 環境変数への介入

本作において、鑑賞者は 4 つのフェーダーを備えた物理的な MIDI コントローラを使用して、システム全体を統制する 4 つの環境変数、すなわち個体数、速度、旋回力、反発力を操作することができる。ホワンとマラスコ (Hwang and Marasco 2024) は、観客が端末を通じてシステム全体の環境変数に介入する動的な参加手法を示した。本作においても、鑑賞者は直接的に個々のエージェントを操作するのではなく、コントローラを通じてこれらの環境変数を変化させることで、エージェント群の生態系全体に介入する。

それぞれの環境変数は、Unity の物理演算コンポーネントである Rigidbody の制御スクリプトヘリアルタイムにマッピングされており、エージェントの挙動に

対して明確な視覚的效果をもたらす。旋回力のフェーダー操作は、回転運動を司る相対トルクの係数と、ローカル座標系における速度減衰係数に対して線形補間を適用して制御される。フェーダーの値を低く設定した際は、トルクが小さく速度の減衰が緩やかになるため、慣性による大きな横滑りを伴う鳥のような滑らかな滑空運動を示す。これに対してフェーダーの値を最大値まで引き上げた際は、横滑りが強く抑制されることで、蝶のように細かく方向を変えてバタバタと動く特異な運動へと変容する。

また、本作において他個体との距離を保つ処理は、強化学習の報酬系による他個体への接近に対するペナルティと、物理演算による強制的な反発力という二重構造で設計されている。前者がエージェントの自律的な内的規範であるのに対し、後者の反発力フェーダーは、鑑賞者がシステムへ物理的に介入する余地を生み出すための外部環境変数として意図的に分離して実装されたものである。システムは非ブロッキングの空間サーチ関数を介して個体間の距離を常時検知し、近づくほど反比例して大きくなる反発力を Rigidbody へ直接加える。この値を極端に高く設定すると、エージェント同士が互いを激しく避け合う磁石のような斥力が発生し、結果として目標座標へ到達できる個体数が著しく制限される。鑑賞者の介入は、この仮想環境におけるマクロな物理法則を動的に書き換える行為として機能している。

4.2. 非線形なマッピングと努力を伴う制御

本作のマッピング戦略の核心は、鑑賞者の操作と音響出力の間の線形な因果関係を意図的に切断している点にある。鑑賞者が特定のフェーダーを操作しても、それが直接的に特定のピッチや音量をトリガーすることはない。出力される音響は、あくまで自律的なエージェントが目標座標へ到達した結果として事後的に発生する。

バラツカイ (Barackskai 2021) が論じたように、直接的な認知的コントロールを超えた、困難さを伴う音楽的インタラクションの設計は、習熟や探求の余地を生み出す。そこでは、シンプルなインターフェースの背後に複雑な非線形マッピングを配置することで、習熟の度合いに応じた多層的な探索空間が生まれることが示されている。本作では、鑑賞者が音響の密度を高めようと個体数や速度を上げても、反発力の設定によってはエージェント同士が散逸し、結果として目標座標への到達頻度が下がるという複雑な非線形性を持つ。鑑賞者は対象を直接的に支配するのではなく、自律的に動くエージェントの挙動を観察し、間接的な環境操作を通じてシステムの動態を推測するという、努力を伴う制御を要求される。

5. 考察

5.1. 鑑賞者の行動観察と探求的遊戯

ヤクラ・ヒロム (Yakura 2021) は、公共の場において一般の初心者がインタラクティブな生成・演奏支援システムとどのように関わるかを観察・評価し、自動生成ベースの手法が必ずしも最良の即興体験をもたらすわけではないことを示した。本作におけるインタラクションの評価としても、展示会場のレセプションにおいて筆者による目視観察を実施した。会場内は鑑賞者同士の対話が見られる場面もあったものの、基本的には静寂が保たれており、システムの微小な音響の変化を聴き取るのに十分な環境であった。

およそ 10 名の鑑賞者を対象とした観察の結果、鑑賞者のシステムに対する態度は大きく二極化する傾向が確認された。フェーダーを単にランダムに動かす続ける鑑賞者も一定数存在した。彼らは音響的な因果関係の探求よりも、パラメータ操作によって鳥や蝶のように変化するエージェントの視覚的な振る舞いそのものを遊戯として享受していたと考えられる。一方で、音響的变化の法則を理解しようとした層に対し、筆者が対話を通じたヒアリングを行ったところ、意図した通りの音響変化を作り出すことが極めて難しいという証言が複数の鑑賞者から得られた。これは、鑑賞者が介入によって環境を操作しても、エージェントの持つ自律的な行動ロジックがその環境変化に抗い、予測不能な挙動を示すことで直接的なコントロールが阻害されていたためである。この対話の事実、鑑賞者がシステムの非線形性を体感し、思い通りにならない対象との間で動的均衡を探求していたことの明確な証左である。

また、出力されるマイクロサウンドの集積が原曲である『エリーゼのために』と認知できるかについて対話と観察を行った結果、原曲の記号性を明確に聴き取る層と、単なる無秩序な音響の集積として捉える層に分かれることが確認された。この認知の分岐は、本作が意図したマクロな記号の解体が実際の展示空間において機能していたことを裏付けている。

5.2. 熱力学的な代償の提示

本作のシステムは、物理空間の各ブザーモジュールを駆動させるための電源として、モジュール本体と直接ケーブルで接続されたモバイルバッテリーを採用している。展示空間において、バッテリーの残量表示は設置面の関係で鑑賞者から直接視認することはできない。しかし、電力供給が無限のコンセントからではなく、明らかに有限の容量しか持たない物質に依存しているというハードウェアのむき出しの配置そのものが、極めて重要な批評的意味を持つ。

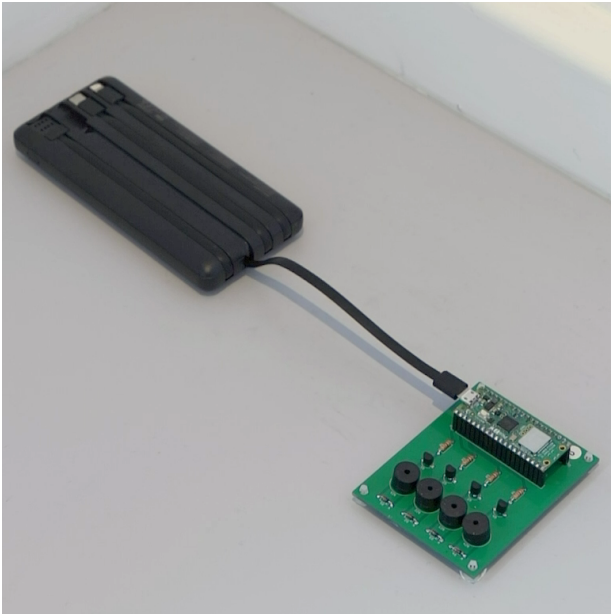


図 5: ブザーモジュールとモバイルバッテリー

クロフォードとヨレル (Crawford and Joler 2018) が指摘するように、人工知能システムの背後にはエネルギー消費という搾取構造が隠蔽されている。本作において、ブザーの物理的な駆動だけでなく、システム全体を成立させるための Wi-Fi 通信の維持やマイコンの常時稼働を含め、この遊戯的なエコシステムを維持すること自体が不可逆的にバッテリーの電力を消費していく。残量の減少がリアルタイムに視覚化されなくとも、システムが有限の物質的資源に依存して稼働し続けているという前提を鑑賞者に共有させることで、思い通りにならないシステムとの共生には常に物理的な限界とエネルギーの散逸が伴うという事実を概念として提示している。

5.3. 環境の破壊と修復を通じた共生関係

学習時と異なる物理パラメータを外部から強制的に与える本作のインタラクション設計に対し、人間が安全圏からエージェントを搾取しているに過ぎないという批判も生じ得る。確かに強化学習におけるエピソードの終了や個体の削除といった死は、物理的な身体リスクを伴うものではなく、単なる行動方策の最適化プロセスに過ぎない。しかし、もしエージェントに完全な物理的自由と影響力を与えれば、それは鑑賞者や展示環境そのものに害をなす危険性を孕む。

本作における非対称な共生関係とは、生物学的な対等さではなく、制御のあり方に基づく概念である。人間は安全圏から環境パラメータを操作する権力を持つが、従来の機械のように対象を直接的に操作することはできない。鑑賞者がパラメータを極端に変更した際、エー

ジェントはバグを孕んだような非効率的な挙動を示す。鑑賞者が音響的なフィードバックを再び得るためには、エージェントが目標へ到達できるように、フェーダーを操作して物理環境を譲歩し、調整せざるを得ない。鑑賞者は自律的に動くエージェントの予測不能なフィードバックを受け取り、それに合わせて自らの操作を適応させることで初めて目的の音響を空間に立ち上げることができる。この一方的な支配の放棄と、システムの応答を通じた協働の感覚こそが、本作が提示する計算機環境下における新たな動的均衡の本質である。

5.4. 共有空間における音響生態学

本作はブヨの作品が点在する共有の展示空間において発表された。極端に短いパルス音の集積は、設定によっては空間へのノイズとして他作品の鑑賞を妨げる懸念があるが、本作においては各ブザーの物理的な音量が環境に対して不快感を与えるほど過剰に突出しないよう入念に調整されている。分散配置された 8 基のモジュールから発せられる微小な音響は、展示空間が持つ特有の残響と混ざり合うことで、空間全体を包み込む環境音のような役割を果たした。これにより、他の視覚芸術の鑑賞体験を侵犯することなく、展示会全体の音響生態系に調和する形で機能音の空間配置を実現している。

6. おわりに

本研究では、強化学習エージェントへの介入とマイクロサウンドの空間的集積を用いた音響インスタレーション作品である《圧電ブザーのためのバガテル》の実装と展示を通じ、非対称な共生関係の構築について論じた。鑑賞者とエージェントという異なる目的を持つ存在が同一のシステム内で相互に介入し合う設計は、従来の直接的な支配のパラダイムを脱し、鑑賞者に探求の遊戯を通じた動的均衡の体験をもたらした。さらに、両者の活発な介入が物理的なエネルギーを不可逆的に消費する構造を提示することで、人工知能技術に潜む熱力学的な代償を可視化することに成功した。今後は、本システムを他の社会的機能音や異なるハードウェア環境へ応用し、計算機と人間の新たなインタラクションの可能性をさらに探求していきたい。

7. 参考文献

- Baracskaï, Zlatko. 2021. "Effortful Interaction in Sound Synthesis." In *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC 2021)*. 97-101.

- Blackwell, Tim M. and Young, Michael W., 2004. Self-Organised Music. *Organised sound*, 9 (2). pp. 123-136. ISSN 1355-7718 [Article]: Goldsmiths Research Online. Available at: <http://eprints.gold.ac.uk/106/>.
- Crawford, Kate, and Joler, Vladan . 2018. "Anatomy of an AI System: The Amazon Echo as an Anatomical Map of Human Labor, Data and Planetary Resources." AI Now Institute and Share Lab. <https://anatomyofof.ai>.
- Hwang, Nick, and Marasco, Anthony T. 2024. "MoN-oDeC: A Mobile Node Network for Distributed Audio Diffusion." In *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC 2024)*. 146-149.
- Jullin, Jean-Philippe. 2023. "Hypnagogia: Playful Interaction in Self-Organizing Interactive Eco-Systems." In *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC 2023)*. 225-228.
- Lee, Myungin, and Yim, Jungwoo. 2024. "Dynamic Agglomerations of Sonic Particles: Multimodal Granular Synthesis." In *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC 2024)*. 6-9.
- Magnusson, Thor. 2009. "An Epistemic Tool: The Digital Musical Instrument." *Organised Sound* 14, no. 2: 167-176.
- Roads, Curtis. 2001. *Microsound*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Yakura, Hiromu. 2021. "Evaluating Generative Systems in Public Spaces for Non-Expert Users." In *Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC 2021)*. 51-56.

8. 参考作品

Bouillot, Geoffrey 2025. *Le bain*

9. 著者プロフィール

大久保 雅基 (Motoki OHKUBO)

洗足学園音楽大学 音楽・音響デザインコースを卒業後、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。現在は愛知淑徳大学、相愛大学にて後進の指導にあたり、先端芸術音楽創作学会 (JSSA)、日本電子音楽協会 (JSEM)、日本 AI

音楽学会 (JAIMAS)、美学会に所属。ACSM116 運営委員として CCMC の運営に携わるなど、多角的にコンピュータ音楽の発展に寄与している。宮城県仙台市を拠点に、コンピュータ音楽とメディアアートの境界領域で活動を展開。テクノロジーが音楽的表現に変容をもたらすプロセスを、制作・演奏・文化の三層から再定義し、バーチャルな音響空間と物理的現実の融合を試みている。制作の核には、視聴覚機器が表象する「バーチャリティ」への問いがある。AI やゲームエンジンを用いたリアルタイムによる音響システムの構築を通じて、聴覚体験の新たな地平を探索。電子音楽と器楽の作曲プロセスを架橋すべく、リアルタイムに演奏情報を視覚化する「動的楽譜システム」の開発や、AI エージェントの振る舞いを用いた脱人間中心的な表現の探究に注力している。その活動は ICMC、ISEA、TENOR、CMMR、ADADA、Sound in Museum 等の国際会議や、MUSLAB、SONIC MATTER、Musica Viva 等のフェスティバルで高く評価されている。Contemporary Computer Music Concert 2010 にて ACSM116 賞、Wired Creative Hack Award 2019 にて Sony 特別賞を受賞。近年では、ARTE PUBBLICA E METAVERSO 2023 (現代音楽部門第 3 位) や The 2024 Living Music Summit に入賞するなど、国際的な評価を確立している。地元仙台では、弦楽四重奏による現代音楽コンサート「絶頂」や、アコースモニウム・ワークショップ、コンサートを実施する「AOBANE」を企画。塩竈市杉村惇美術館の若手支援プログラム「Voyage 2021」に採択されるなど、地域文化における先端芸術の普及と定着にも努めている。



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。