

Photographic Reverberation : スローシャッター写真の空間音残響化

チュ シャオ ユン^{†1} 久原泰雄^{†1}

概要 : 「Photographic Reverberation」は、自作カメラを用いて光の軌跡を撮影し、その画像データを空間音へと変換するインタラクティブアート作品である。鑑賞者は展示空間に設置された自作カメラデバイスを手に取り、空間内を自由に歩き回ることができる。円形に配置された6台の自作スピーカーはLEDによって多様な色に発光し、視覚と聴覚が連動した体験環境を形成する。鑑賞者は自身の身体を介して空間と相互作用し、長時間露光による写真によって時間の流れを「光の痕跡」として視覚的に捉えることが可能となる。本稿では、まず先行研究を踏まえつつ、本作品が提示する概念的特徴と独自性を明らかにする。続いて、作品制作における技術的背景および開発環境を紹介し、実際の展示プロセスと得られた成果について述べる。最後に、本研究のまとめと今後の展望を示す。

1. 背景

1.1 関連作品

まず、2022年の「Being With The Waves: An Ultrasonic Art Installation Enabling Rich Interaction Without Sensors」[1]を取り上げる。この作品は多数のツイーターによって構成され、鑑賞者は改造されたヘッドフォンを装着することで、空間内に実在する超音波音響を「聴取可能な音」として体験することができる。音素材は人の声、楽器音、海の音など多岐にわたり、いずれも超音波として空間に放射されている。特徴的なのは、センサーを一切用いることなく、鑑賞者の身体の動きに応じて音に変化する点である。超音波という媒質の特性を活かし、「不可聴の音」を聴覚的に顕在化させることで、音をあたかも物質のように扱う試みと言える。

一方、「Photographic Reverberation」では、自作カメラで撮影された光の軌跡という「平面的な画像情報」を入力とし、それを空間的な音響へと変換する点に特徴がある。撮影された画像データは6チャンネルのサラウンドサウンドシステムに送られ、空間的な広がりを持つ音として再構成される。すなわち、光の運動を視覚的痕跡として記録し、それを時間的・空間的な音の変化へと変換することで、無形の音を新たなかたちで具現化している。

さらに、2025年の作品「Entangling with Light and Shadow :

Layers of Interaction with the Pattern Organ」[2]では、平面映像を音へと変換する手法が追究されている。この作品は、カメラを用いたデジタル楽器の可能性を探求するものであり、従来の「音をコントロールする」ことを重視したデジタル楽器とは異なり、カメラに映り込む光・影・素材の動きそのものに音が即応するという特徴を持つ。光と影の形状が音波に変換されることで、視覚的な現象から音を生成する新たなアプローチが示されている。

本作品である「Photographic Reverberation」もまた、光を媒介として音を生成する点では共通している。しかし本作品では、長時間露光が描き出す光の軌跡を「相対的な変化」として扱い、6色の重ね合わせによって多層的な光の変化を空間音へと再構成する。これにより、光の連続性や時間性を強調した独自の音響表現が可能となっている。

1.2 著者らの作品との比較

2023年に著者らは自作スピーカーを用いた音響装置の制作および、サラウンドサウンドによる空間音響化の概念に関心を抱いてきた。卒業制作作品名「空__集合」[3] (図1参照)では、18種類の素材から構成された自作スピーカーを用いたサラウンドサウンドインスタレーションを制作した。この作品では、鑑賞者が立つエリアを中心に18基のスピーカーを円形に配置し、音をスピーカー間で移動させることで、サラウンド特有の音場体験を創出した。また、スピ

^{†1} 東京工芸大学大学院芸術学研究科

一カー自体の素材感や形状を活かした視覚効果を組み合わせることで、鑑賞者が音の動きに誘導されながら視覚的な反応も生じるように設計した。

この制作経験を通して、サウンドサウンドインスタレーションの基本的な形式を理解するとともに、鑑賞者と作品の関係性について考察を進めるようになった。インタラクティブな要素を取り入れることで、サウンドインスタレーションは双方向的な体験となる。音は鑑賞者を中心に配置されているものの、作品自体は視覚的には静止しており、鑑賞者が空間内を移動する際には偶発性が生じやすい。そのため、鑑賞者は作品の全体像を把握するまでに時間を要し、全体を聴取しなければ作品の構造や意図を十分に理解することが難しいという問題があった。



図 1 卒業制作 (空_集合)

2. 作品説明

以上の経験と、先行研究で見られた視覚現象や光を媒介とした音生成のアプローチを踏まえ、本研究ではインタラクティブアート concepts をサウンドサウンドインスタレーションに応用し、鑑賞者との相互作用を通じて新しい体験を創出することを目的とする。従来の静的な音場提示とは異なり、鑑賞者の身体動作や行為が直接音響変化に影響を与えるような仕組みを導入することで、より能動的で没入度の高いサウンドインスタレーションの可能性を探求する。

本作品では、卒業制作を基点として、サウンドサウンドシステムとインタラクションを組み合わせ、自作カメラを用いた撮影という行為をインタラクションの媒介として位置づけている。鑑賞者は身体を介して空間と相互作用し、長時間露光によって時間の流れを視覚的な痕跡として捉える。平面的な映像情報を空間的・立体的なサウンドスケープへと変換するという概念を取り上げ、サウンドの音場におけるイメージのインタラクションによる空間効果の実践を探求し、知覚可能でアクセス可能な音空間を形成する。

3. 開発技術と開発環境

3.1 自作カメラ

本デバイスは、Raspberry Pi 4B、HQ カメラレンズ、4.3 インチタッチスクリーン、そして無線給電対応の UPS HAT(E) の 4 つの電子部品から構成されている (図 2 参照)。Python による長時間露光撮影および画像送信のスクリプトを Raspberry Pi に実装し、UPS HAT(E) によって電源供給を行うことで、鑑賞者が自由に持ち運びながら撮影できるよう設計した。外装はアクリル板をレーザー加工して組み立てたものであり、その設計図は図 3 に示す。



図 2 自作カメラ

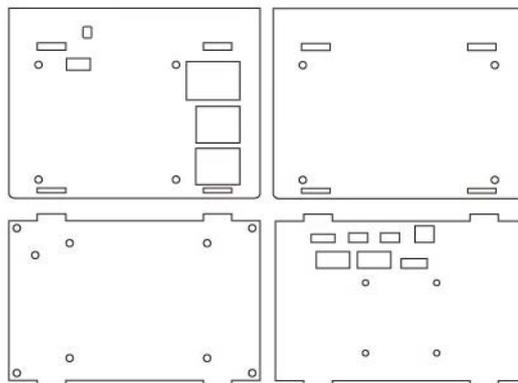


図 3 自作カメラ外装の設計図

3.2 自作スピーカー

自作スピーカーでは Fostex P650K のスピーカーユニットを使用した。アクリル板による自作エンクロージャを設計する際、ユニットを個別の密閉空間となるよう区切り、より良い音質が得られるよう工夫した。内部には単色 LED テープを貼り付け、各スピーカーにはそれぞれ異なる 1 色を配置している。合計 6 色のスピーカーを作成した (図 4、図 5 参照)。



図 4 自作スピーカー外観

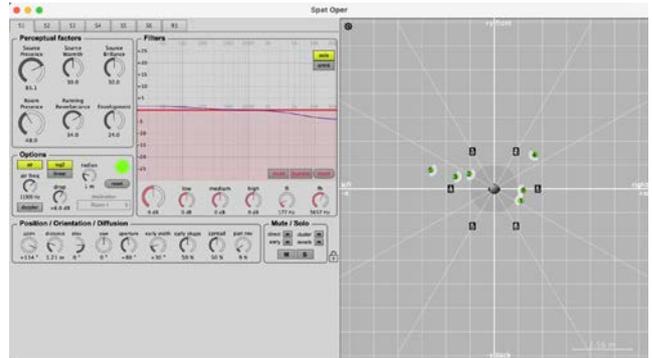


図 7 Ircam Spat5

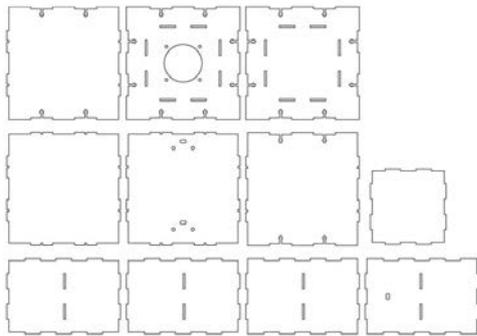


図 5 自作スピーカー外装の設計図

3.3 6チャンネル環境

ハードウェア構成としては、6個のスピーカーユニット(8Ω・15W)と3個のTPA3116D2オーディオアンプボード、24V6.5Aの電源供給装置を組み合わせ、6チャンネル(3L/3R)を構成した。これらを7.1ch対応サウンドカードに接続し、コンピュータと連動させている(図6参照)。一方、ソフトウェアはMax8を用い、サラウンド生成の外部プラグインIrcam Spat5[4](図7参照)を組み合わせることで、空間音響のレンダリングと制御を行っている。

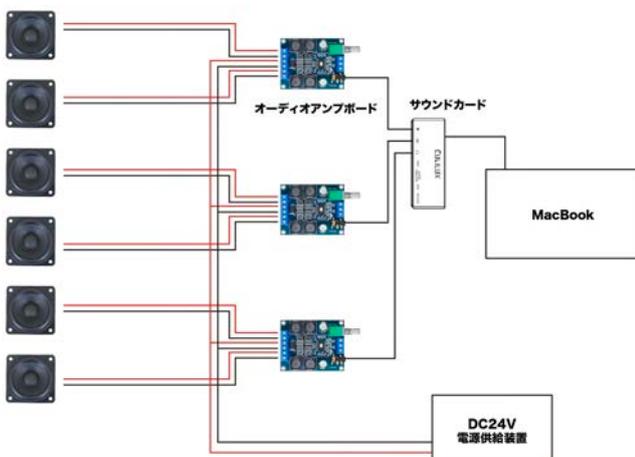


図 6 6チャンネル環境構成図

3.4 信号処理の流れ図

自作カメラで撮影した画像をコンピュータへ送信し、Max8では画像の色情報分布を解析し、その数値をサラウンドサウンドシステムSpat5に対応する音響パラメータへと変換している。色情報に基づいて生成されたサウンドエフェクトは、対応する6チャンネルに個別に割り当てられ、それぞれのスピーカーから出力される(図8参照)。

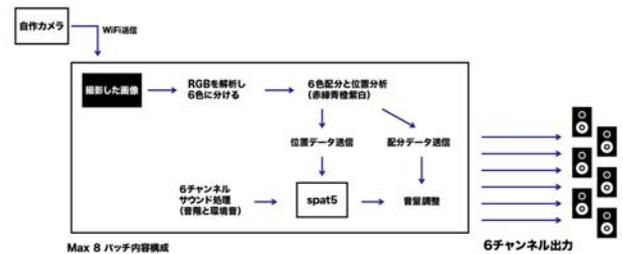


図 8 処理の流れ図

3.5 色と音の対応

自作スピーカーは赤・緑・青・橙・紫・白の6色で構成されており、各色には対応する音響的意味が付与されている。音の構成要素は大きく二つに分かれ、第一に純正律の完全五度を基盤とした音階パターン(の循環、第二に色ごとの環境音である。

- 赤 : C2、G2、C3 | 火・炎の音
- 緑 : C3、G3、C4 | 森・虫の鳴き声
- 青 : G3、D4、G4 | 海・波の音
- 橙 : G2、D3、G3 | 踏切・鉄道音
- 紫 : C4、G4、C5 | 雑踏・街の音
- 白 : G4、D5、G5 | オフィス・印刷機の音

これらの音素材は、撮影によって得られる光の軌跡と結びつき、サラウンドサウンド空間の中でインタラクションに応じて再構成される。

3.6 残響音の制御

6チャンネルの環境を構築するために、本研究では Ircam Spat5 を用い（図 7 参照）、単一空間モデルによるサラウンドシミュレーションを行っている。全てのパラメータは、撮影された画像データに基づいて変化するように設計されており、各色に対応するスピーカーから出力される音響に直接影響を与える。画像データにおける各色の占有率は、対応するスピーカーの音量および残響量に反映される。また、画像データ上の色の位置分布情報は、中心点からの距離によって解析され、その結果に基づいて空間配置に関わるパラメータを調整している。これらの処理によって、撮影された光の分布がサラウンド音場の性質へと反映され、鑑賞者の撮影行為に応じて変動する動的な音響空間が形成される。

4. 実践

4.1 展示の企画

本作品は 2025 年 11 月 12 日から 11 月 15 日までの期間、大学公開企画[5]として展示した。展示形態として、会場内には自作 LED スピーカーと自作カメラデバイスを設置し、視覚と聴覚が連動する体験空間を構成する（図 9 参照）。また、自作カメラの使い方と作品体験の方法を説明した動画を参照できるようにタブレットを展示会場に設置した。



図 9 展示の様子

鑑賞者はスローシャッター速度に設定された自作カメラデバイスを用いて、展示空間の任意のシーンを撮影する。撮影によって得られる画像は、長時間露光特有の「光の軌跡」や「時間的なぼやけ」を含んだ画像データとなる。コンピュータはこの画像を受信し、各ピクセルの色情報および位置情報を解析して音声データへと変換し、会場に設置された 6 チャンネルスピーカーに送信され、空間内で残響感を伴うサウンドスケープとして再生される。

4.2 鑑賞者が撮影した写真

以下に、鑑賞者が撮影した写真の例として 図 10 と図 12 を示す。また、それに対応して Spat5 内でのサウンドの動きの様子を図 11 と図 13 に示す。本作品では、写真に含ま

れる色の占有率および位置分布に基づき、Spat5 内のパラメータおよび音源移動の軌跡が動的に変化するように設計されている。



図 10 鑑賞者が撮影した写真 1

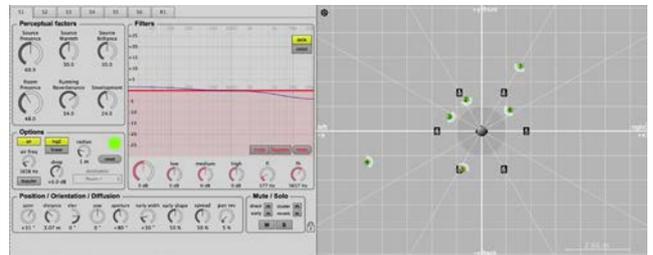


図 11 写真 1 に対する Spat5 内のパラメータ設定

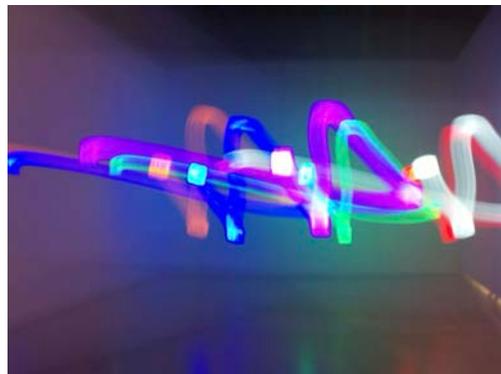


図 12 鑑賞者が撮影した写真 2

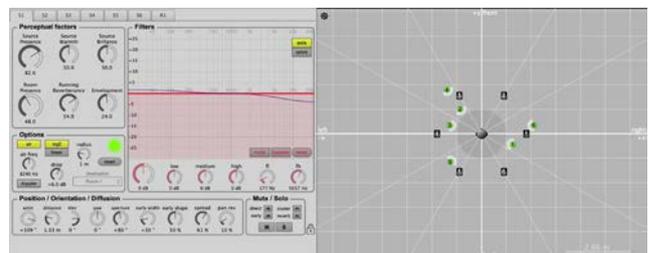


図 13 写真 2 に対する Spat5 内のパラメータ設定

5. 結果と展望

本作品の記録動画は動画サイトで視聴できる[6]。本展示

では、視覚的にも聴覚的にも幻想的な雰囲気が得られ、自作カメラも説明どおりに使用され、全体として順調に実施された。しかしながら、改善すべき点も明らかとなった。特にサウンドにおいては、空間音響としての効果はある程度得られたものの、各チャンネルのサウンド処理が十分に明瞭でなく、音像の判別性が低下した結果、インタラクティブ性が弱まりやすかった。今後はチャンネルごとのサウンド処理の最適化を進め、さらに直感的な操作性や体験性を強めることで、作品全体の没入感を高めていきたい。

謝辞 本作品の制作及び展示にあたりあたり、東京工芸大学芸術学部中野キャンパスの施設を使わせていただいたことに深く感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Nicole Robson, Andrew McPherson, Nick Bryan-Kinns : Being With The Waves: An Ultrasonic Art Installation Enabling Rich Interaction Without Sensors, Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression, doi:10.21428/92fbeb44.376bc758 (2022).
- [2] Jasmine Butt, Benedict Gaster, Nathan Renney, Maisie Palmer : Entangling with Light and Shadow : Layers of Interaction with the Pattern Organ, Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression, pp. 46–55 (2025).
- [3] New Media Art TNUA 108 届卒業制作 : 後知後覚後 Post-Perception (オンライン), 入手先
(<https://nma.tnua.edu.tw/achievement/graduation-production/1BxdTxa4Y9>) (参照 2025-11-28) .
- [4] Ircam Spat5 : 空間音響のレンダリングを制御する (オンライン), 入手先 (<https://forum.ircam.fr/topics/detail/45-Spat5/>) (参照 2025-07-10) .
- [5] 学内展示「Photographic Reverberation : Translating Slow-Shutter Images into Spatial Sound Echoes」東京工芸大学中野キャンパス 6号館 B1 ギャラリー, (オンライン), 入手先
(<https://blog.t-kougei.ac.jp/int/2025/11/12/6202/>) (参照 2025-12-10) .
- [6] 【Photographic Reverberation : スローシャッター写真の空間音残響化】作品記録, (オンライン), 入手先
(<https://www.youtube.com/watch?v=EIgJxhnqTSw>) (参照 2025-12-03) .