

身体的操作言語に基づく 空間音響デザインツール Somatax の設計と実装

春名海里^a 脇田玲^a

概要: サウンド・アートにおいて技術の発展は鑑賞者に多様な参加形態をもたらしてきた。しかし、近年その関与は単純なトリガー操作や、熟練を要する複雑な演奏の二項対立に陥りやすく、直感的かつ表現力豊かな参加の実現が課題となっている。そこで本研究では、この課題を解決するアプローチとして、特別な訓練を必要とせず鑑賞者が自身の身体運動によって音響空間を操作できるシステム **Somatax** を構築する。本システムはスマートフォンをコントローラーとし、旋回/傾きを音の方位や広がりに対応づけるものである。さらに本研究では、このシステムを通じた一連の身体動作を身体的操作言語として体系化した。それにより、即興的な身体操作だけでなく、譜面を起点とした構成的な身体操作の創作を可能にするため、時間軸と空間軌跡を併記する身体操作譜の提案を可能にした。

1. はじめに

1.1 研究の背景：身体的関与から技術的媒介へ

サウンド・アートにおける鑑賞者と作品の関係性は、受動的な聴取から能動的な参加へと、その役割を大きく変容させてきた。黎明期の実践者であるマックス・ニューハウス (Max Neuhaus, 1939-2009) やラ・モンテ・ヤング (La Monte Young, 1935-) らは、コンサートホールという制度的な時間拘束から鑑賞者を解放した [1] [2]。彼らの作品において、鑑賞者は自らの足で空間を移動し、身体的位置や微細な動きを通じて音響体験を能動的に探索する主体となった [2] [3] [4]。そこでは、物理的な移動と聴感的な変化の間に明瞭な因果関係が存在し、身体そのものが音響を変容させるための直感的なインターフェースとして機能していた。

しかし、1970年代以降のセンシング技術やコンピュータの導入は、この関係を一変させる。鑑賞者の行為と音響生成の間にシステムやアルゴリズムといったブラックボックスが介在することで、物理的な直接性は、プログラムされたマッピングへと置換された。この技術的転回は、表現の可能性を飛躍的に拡張させた一方で、鑑賞者の行為と結果の因果関係を不明瞭にするという新たな課題を生じさせた [5]。

1.2 研究の課題：「透明性」と「表現力」の葛藤

現代のサウンド・アートにおいて、鑑賞者の参加形態は大きく二つに分けて捉える。一つ目は、ピーター・ヴォーゲル (Peter Vogel, 1937-2017) の作品 [6] にみられるようなトリガー型のシステムである。これは、手をかざせば音が鳴るといった単純な因果関係を持ち、システムの透明性は高い。しかし、その関与はスイッチのオンオフのような離散的な操作に留まり、音楽的な表現力は著しく制限される。

二つ目は、リズ・フィリップス (Liz Phillips, 1951-) が試みたような連続型のシステムである [7]。ここでは鑑賞者の存在や微細な挙動が連続的にパラメータに変換され、高い表現力を有する。しかし、システムが複雑化多次元化するあまり、鑑賞者は自身のどの動作が音を変化させているのかを直感的に理解できず、透明性に欠ける傾向がある [5] [8]。

音楽インターフェース研究者である、シドニー・フェルズ (Sidney Fels) らや、トッド・ウィンクラー (Todd Winkler) が指摘するように、「透明性」と「表現力」の間にはトレードオフな関係が存在する可能性がある [9] [10]。現在の参加型作品の多くは、この葛藤を解消できず、結果として鑑賞者を再び受動的な鑑賞へと後退させてしまっているのではないか。高度なシステムを操作するために熟練したパフォーマーが必要となるならば、鑑賞者が獲得した作品への主体性は失われてしまう。したがって本研究の取り組む課題は、テクノロジーを用いた現代の環境において、黎明期の作品が持っていた、透明な鑑賞者の参加形態を取り戻しつつ、デジタルならではの表現力を両立させることにある。そこで筆者は、スマートフォンという身近なデバイスを用い、空間音響を制御できるツールを構築し、その実践を通して浮かび上がる鑑賞者の直感的な身体運動を身体的操作言語として設計した。

2. 先行研究

類似の先行研究として、ジェスチャーを通じた音に関する研究は複数存在する。

2.1 デバイスから楽器への拡張

アタウ・タナカ (Atau Tanaka) とアダム・パーキンソン (Adam Perkinson) によるスマートフォンを用いた音楽パフォーマンスである。

本作品の音響生成の基盤となっているのは、Pure data を用いて制作されたグラニューラー・シンセシスである。スマートフォンからの入力を「Stretching, Freezing, Scattering, Restitching」と分類し、各パラメータへとあてがわれている。[11]

本プロジェクト名にある 4 Hands は、クラシック音楽におけるピアノ連弾へのオマージュである。二人の演奏者がそれぞれ両手に iPhone を持ち、互いに対話し、干渉しあいながら演奏を構築する。モバイルデバイス特有の閉鎖的な空間を、コンサートホールという公共的な空間へと反転させた。また、動作の検出から音響出力までを、iPhone 端末内部で完結されており、スタンドアローンな設計が完成されている [12]。一方で、言語的なマッピングの抽象度が高く、探索的要素が強いと考えられる。

2.2 社会的接続としての音

古川聖による《空間楽器》プロジェクトは、スマートフォンを個人の表現ツールとしてではなく、社会的なつながりを創出するための媒介として位置づけている点が特徴的である [13]。日本科学未来館の未来をつくるラボにおける実証実験として展開されたこのプロジェクトは、芸術とテクノロジーの融合によって望まない孤独や社会的孤立といった現代的な課題を克服することを目的としている。本ツールは QR コードをスキャンすることで、各参加者に楽器が割り振られる仕組みを持つ。全員でスマートフォンを振ることで、各端末より音が出力され、まるでセッションを行うかのような体験を与えるものである。

インターフェースとして、キャリブレーション等複雑な構造の無い、振るだけという非常に透明性の高いツール設計がなされている。一方で、演奏的に操作することは難しく、トリガー的な操作になりがちであると考えられる。

筆者は、既存のサウンド・アートやインタラクション・ツールとは異なり、スマートフォンを「身体の延長としての楽器」として再定義する。具体的には、画面上の GUI 操作を排除し、手首の回転や腕の振りといった身体動作に基づく操作体系を構築する。さらに、単なる座標指定に留まらず、Swing によるモード切り替えや Hold による状態維持といった演奏的な文法（身体的操作言語）を導入することで、透明性の高い直感的な操作と、表現力豊かな音響生成の両立を目指す。

3. システム概要

本章では、筆者が制作したスマートフォンを用いた空間音響デザインツール Somatex の詳細について記述する。

3.1 目的

本システムの目的は翻訳者（熟練したパフォーマーやエンジニア）を介さずに、来場者自身が身体動作で空間音響

を演奏できる状態を以下二つの設計目標を定め、実現することである。

1. 身体操作としての目標

鑑賞者が、向き・近づき・ひねり・動かす速さといった身体動作を通じて、「向ける (Point)」「広げる (Spread)」「振りかぶる・決める (Swing, Hold)」といった意味を持った音像操作を目指す。具体的には、yaw を方位 (azimuth) に、roll を広がり (spread) に対応づけ、「向ける→動かす (→決める)」という単純な構文のもとで、操作をできるように設計する。

2. 音空間としての目標

5 チャンネルのスピーカー配置に対して、線形補間による連続的な音像移動と (Smooth)、最近傍選択による決定的な定位 (Gate) という、対照的な二つの空間表現を動的に切り替え可能なシステムを実現する。特に、聴感上の等しいラウドネスを保つため定電力則の適用と、モード遷移時の不連続性を吸収するクロスフェード処理により、操作者の意図を忠実に反映する堅牢な出力系を目指す。

3.2 構成

本システムは、一般的なスマートフォンをコントローラーとして採用することで、鑑賞者が直感的に音響空間を制御できる環境を提供する。スマートフォンからは ZIGSIM を用いて、“Quaternion, Accel, Gravity” の値を OSC で出力する。それらの値は Max/msp を用い、図 1 の示す処理を行い、身体動作を空間音響としてマッピングされる。

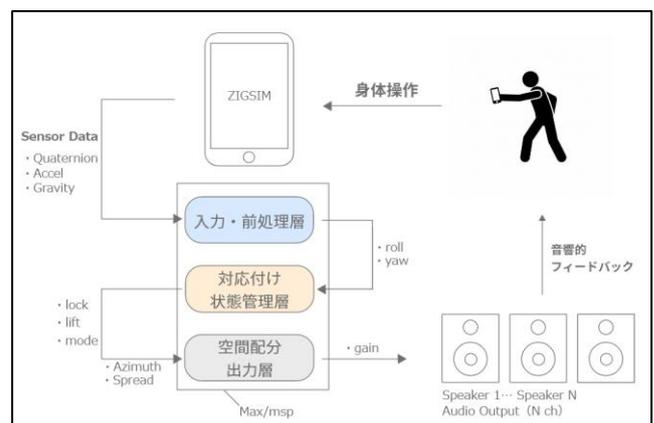


図 1

Max/msp にて制作したシステム内部は、「入力・前処理」「対応付け・状態管理」「空間配分・出力」の 3 レイヤーで構成されている。

また、スピーカーは、操作者を中心とした、円環状 5ch での配置とする。(図 2)

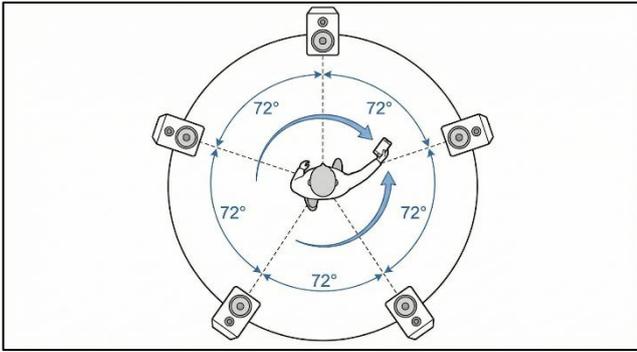


図 2

4. 身体操作言語

前節で構築したシステム上で、鑑賞者が直感的に空間音響を制御するためのインターフェースとして以下の身体的操作言語を定義した。

4.1 動作の定義

身体の動きを空間音響パラメータへ対応づけるため、以下の語彙を定めた (図 3)。

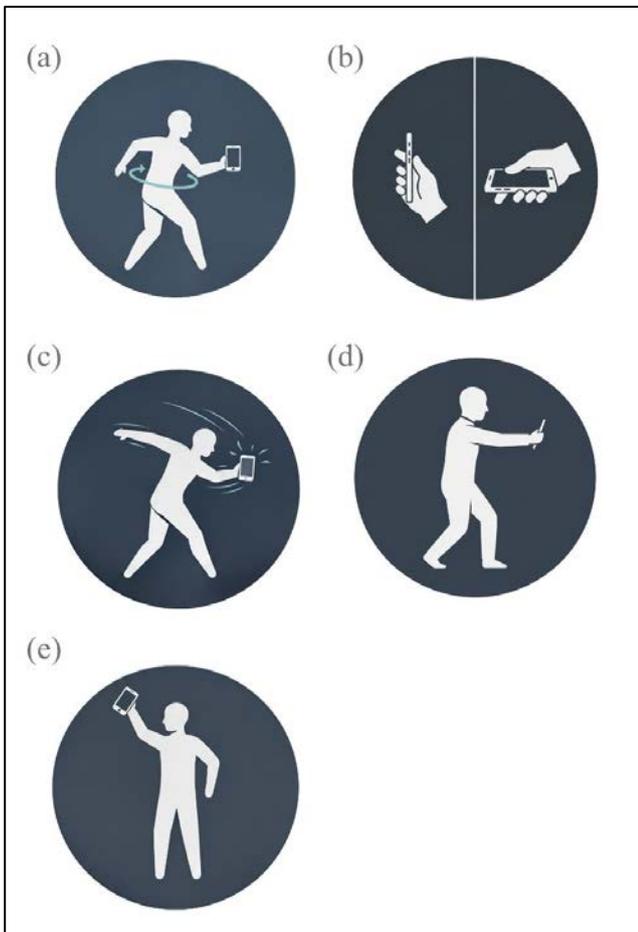


図 3

(a) Point (向ける)

スマートフォンの yaw 角を音像の方位に対応づける。端末を向けた方向に音が追従する。

(b) Spread (広げる)

スマートフォンの roll 角を音像の広がり幅に対応づける。手首をひねる動作で音の包囲感を制御する。

(c) Swing (振りかぶる)

水平方向への素早い振り動作により、出力様式 (Smooth/Gate) を切り替える。

(d) Hold (固定)

端末を一定時間静止させることで、現在のパラメータ値を固定する。

(e) Lift (レイヤー遷移)

縦方向のフリック動作により、捜査対象の音源レイヤーを切り替える。

以上の定義により、本操作言語は「連続量 (Point/Spread)」「様式 (Swing)」「状態遷移 (Hold/Lift)」の三層を明確に分離する。また、これら操作が同時に発生しても破綻しないように、Hold 状態を最上位とした、システム全体の結合則を定め、競合を回避する。

5. 実装

5.1 マッピングにおける設計原則

本研究のマッピングは、身体動作を空間音響の制御要素へ写像する際に、操作者が身体の延長として扱える直感性を実現することを目的とする。そのために設計原則を、「操作の直感性と応答性」「制御の正確性と独立性」「運用上の堅牢性」の三側面で定義する。

i. 操作の直感性と連続性

操作者の身体感覚と音響的变化が低遅延かつ予測可能に結びつくことを要件とする。連続的な動作は連続値とし、聴感上の段差は下流の空間配分段階で短尺ランプ/クロスフェードにより吸収する。

ii. 制御の正確性と独立性

意図した制御が他要素に干渉せず再現されることを要件とする。方位と広がりとは独立し、同時操作でも相互に影響しない。方位のような角度を円環として扱い、 359° から 0° への遷移で数値の飛び越しを生じさせない。この独立性は、方位を yaw 専用、広がり roll のみに割り当てる設計と整合する。

iii. 運用上の堅牢性

実運用において破綻せず安定動作することを要件とする。原点・スケール・反転を簡便に合わせ込めるキャリブレーション機構を備える。いかなる操作においても出力は定義域に収まり、例外は安全枠で吸収される。さらに、Smooth/Gate のような様式は空間配分の問題として扱い、マッピング規則そのものから独立させる。これにより、設計

の単純性と堅牢性を両立する。

5.2 方位のマッピング

3章で述べたように、本実装ではOSCを用いて、身体操作をPCへ送信している。その際4章で提示したPoint操作における方位角の取得においては、 0° と 359° の境界で数値が不連続に跳躍する課題がある。本実装では、以下の式を用いたアンラップ処理を実装することで、境界をまたぐ不自然な挙動を回避している。

$$\Delta\theta = ((\theta_{current} - \theta_{prev} + 540)(\text{mod}360)) - 180$$

この差分計算により、身体の回転運動を連続的なパラメータとして取得している。

5.3 音響生成アルゴリズム

取得された方位と広がりパラメータに基づき、5chスピーカーへの音響配分を行う。本システムでは、身体的な操作と低遅延を優先するため、計算コストの高いVBAP等の定位手法ではなく、隣接するスピーカー間での線形補間を採用した。また、音像がスピーカーの中間点に移動した際の音圧低下を防ぐため、各チャンネルのゲイン配分に対して平方根則を適用し、総出力を等電力化している。

これにより、音像がいかなる位置や広がりを持っていたとしても、聴感上のエネルギーは一定に保たれている。

6. 身体操作譜の提案

本システムの特徴である身体動作の操作言語化を進展させ、身体操作を記述するための記譜方法である、身体操作譜を提案する。これにより、即興的な操作だけでなく、記譜を起点とした身体操作の構想を可能にする。

6.1 記譜の構成

身体操作譜は以下の2つのビューで構成されている。

タイムラインビュー

時間軸に沿って、Point（中心線）とSpread（帯の幅）の推移を記述する（図4）。楽曲構成との同期を確認するために用いる。

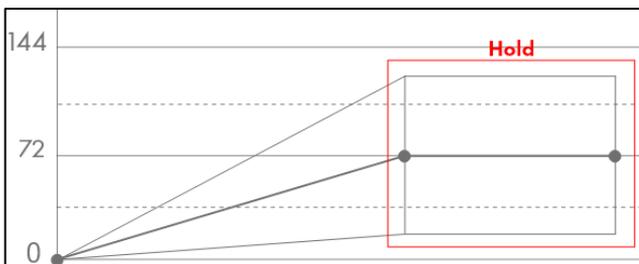


図4

前章で示した通り、HoldはPointとSpreadの値をサンプリング&ホールドする操作である。したがって、記譜においては図4が示すように値が一定に保たれている状態を記述する。

Swing動作によるモード変化（Smooth/Gate）は、線のス

タイルの変化によって記述する（図5）。これにより、Swingという動作そのものではなく、結果として現れる音響の振る舞いの変化を記述する。

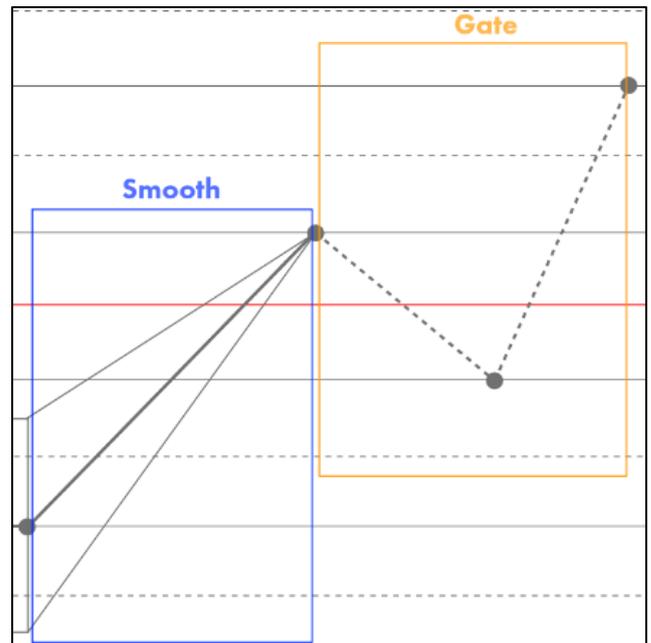


図5

トラジェクトリービュー

操作者を中心とした円形プロット上に、身体の巡回軌跡を描画する（図6）。空間的な動きの全体像を把握するために用いる。

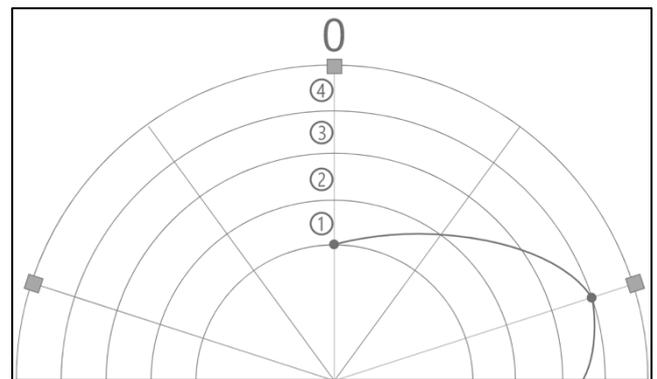


図6

Holdは静止を示す動作であり、トラジェクトリービューのみでの記述は困難である。そこで、本記述では時間情報を切り捨て、Hold動作が発生した地点のみをひし形の記号を用いて明示する。これにより、軌跡上のどの位置で音が固定されたかを示し、詳細な持続時間についてはタイムラインビューとの照合によって補完する設計とした。

Swingに関してタイムラインビューでは、線のスタイルで区別を行った。トラジェクトリービューでは、図7に示すように、Smoothモード時は円弧を描くように繋ぎ、Gate

モード時は離散的な音源の移動に倣って、直線を用いる。これにより Swing 操作による音響的な振る舞いの変化を形状として直感的に記述する。

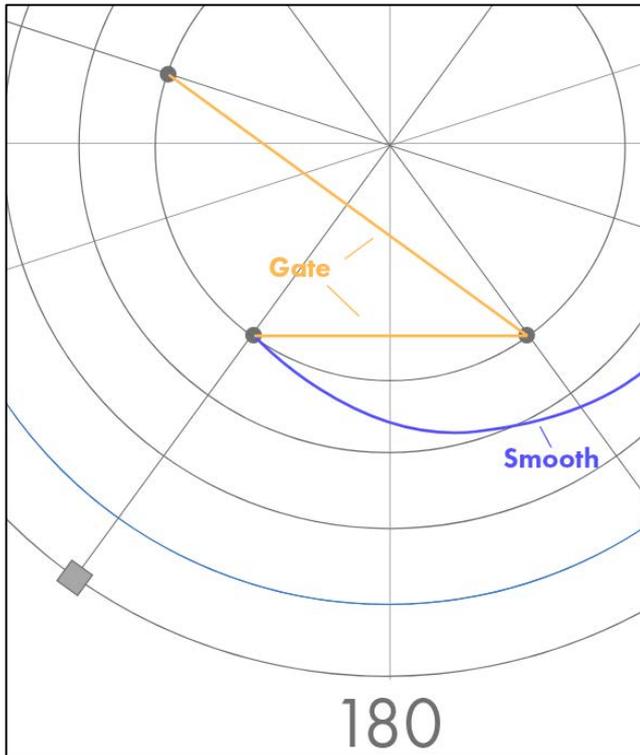


図 7

6.2 身体操作譜を用いた制作実践と考察

本節では、提案した操作譜が、実際に制作や体験においてどのように思考の基盤として機能するかを確認するため、20歳以上の男女数名（楽曲制作経験の有無は問わない）を対象としたワークショップを行った。実践の目的は、記譜の正確さを定量的に測定することではない。記譜という行為を通じて視覚化された譜面が、演奏者の思考や身体操作にどのようなフィードバックを与えるのかという創作プロセス内部における相互作用に着目し、実践を通じた定性的な評価を行う。

6.3 インタビュー結果

ワークショップ後のインタビューにより得られた回答を、以下の3つの観点「システムの操作性」「記譜プロセスと記譜法」「演奏・制作体験の質」に分類して整理する。

・システムの操作性について

身体操作に関しては、複数の参加者から「直感的である」「5分程度で習得できた」「複雑な操作の熟練は不要」といった肯定的な意見が得られた。特に身体の動きと音の移動が1対1で対応している点に納得感があると評価された。

一方で、手首をひねる操作である Spread については、課題が指摘された。角度という明確な基準がある Point と比

較し、傾きを利用する Spread は基準がつかみにくく、細分化や段階的な変化をつけることが困難であるとの意見が見られた。また、キャリブレーション位置の認識が、その後の包囲感の知覚に影響するという指摘もあった。

・記譜プロセスと記譜法について

本節の主眼である身体操作譜の記述に関しては、記述のアプローチが参加者によって、あるいは意識によって変化することが確認された。ある参加者からは、スピーカー配置や身体的位置関係を重視するトラジェクトリービューか、時間軸上の帯として音の広がりを記述するタイムラインビューのどちらを先に記述するのかによって、本システムを音楽的体験として捉えるか物理的な現象として捉えるかの違いが現れるとのコメントを得た。

また、記譜には楽曲への理解が不可欠であるという意見も共通していた。「8小節という短時間では絵を描くような自由な記譜は難しく、音楽的構成が前提となる」「楽曲のイメージ（音が広がっていく等）を事前に知っていたため動作を考案することが出来た」など、楽曲構造の理解が記譜の前提条件となっていることが示唆された。さらに、参加者の一人からは「一度操作を体験することで、その後の記述方法や、操作譜としての見栄えに対する意識が大きく変化した」との報告があり、実際の身体操作体験が記譜行為へフィードバックを与える様子が確認された。

・演奏、制作体験の質について

本システムを用いた体験の質的側面として、単なる再生装置ではなく「演奏装置に近い」「既存の制作に身体操作というトラックを新たに追加した感覚」という、能動的な関与を示唆するフィードバックが得られた。また、本ツールを作曲者の意図を表現するツールと捉えるか、インタラクションを行うためのツールと捉えるかで、記譜の意味合いが異なるとの指摘があった。

6.4 考察

本実践の目的である視覚化された譜面が、演奏者の思考や身体操作にどのようなフィードバックを与えるかという点について、得られた結果から以下の考察を行う。

第一に、身体操作と記譜の相互作用についてである。実践結果で述べたように、操作を経験することで記譜のイメージが具体化した。それによって、見栄えやトラジェクトリービューを活用した、音源移動に対する身体的/空間的な解釈が深まることが確認された。これは、提案手法が単に音を記録するだけでなく、空間的な音響設計を思考するための外部補助として機能していることを示している。

第二に、記譜における空間と時間の統合である。参加者の報告において、スピーカー配置という物理的空間と、楽曲進行という時間的構造を行き来しながら記譜を行っている様子が観察された。本システムは、不可視である音像移

動に対し、身体操作譜という視覚的な足がかりを与えることで、演奏者が空間と時間の両面から楽曲構造を再解釈する機会を提供していると考えられる。

第三に、ツールとしての位置づけである。実践結果にある、「演奏装置」「身体操作というトラック」という表現は、本システムが受動的な聴取体験を能動的な身体操作へと拡張する可能性を示唆している。ただし、Spread 操作の難易度や、記譜の面では楽曲理解度への依存といった課題もあきらかになった。より直感的なシステムを実現するには、操作の改善や、記譜を行う場合には体験のプラン（初めに操作する楽曲を聴いてもらう等）を設計する必要があると考えられる。

7. 結論と展望

本研究では、サウンド・アートにおける透明性と表現力のトレードオフを解消するため、スマートフォンを用いた新たな身体的空間音響操作システム「Somatax」を構築した。

本システムの貢献は以下の3点に集約される。第一に、Yaw と Roll を直交させたマッピングにより、鑑賞者が直感的に音響空間を操作できる身体的操作言語を体系化した点である。第二に、アンラップ処理や等電力化パンニングを用いた堅牢な実装により、遅延や違和感のない演奏体験を実現した点である。第三に、身体操作譜の提案により、一過性の身体運動を記述可能な形式として定着させ、空間的な作曲思考を支援するツールとしての有効性を示した点である。

今後の展望として、本システムを用いた多人数による同時演奏（アンサンブル）への拡張や、異なる音響環境（ドームや屋外）への適応が挙げられる。

8. 謝辞

本研究の遂行にあたって、実践に参加していただいた研究会の皆様から感謝いたします。ありがとうございました。

参考文献

- [1] B. Labelle, BACKGROUND NOISE PERSPECTIVES ON SOUND ART, Bloomsbury USA Academic, 2006.
- [2] D. Lander, L. Micah, Sound By Artists, Art Metropole and Walter Phillips Gallery, 1990.
- [3] L. Adang, “The Dream House: The World’s Longest Duration Fluxus Artwork?,” 6 5 2014. [オンライン]. Available: <https://www.bgc.bard.edu/research/articles/394/the-dream-house-the-worlds>. [アクセス日: 17 12 2025].
- [4] L. M. Young, "The Romantic Symmetry (over a 60 cycle

base) from The Symmetries in Prime Time from 144 to 112 with 119 (89 I 30 NYC)." Sound and Light: La Monte Young and Marian Zazeela, Bucknell University Press, 1996.

- [5] D. Rokeby, Critical Issues in Electronic Media, State University of New York Press, 1995.
- [6] E. John, “MUSIC. THE SOUND SCULPTURES OF PETER VOGEL,” [オンライン]. Available: <https://www.petervogel-heritage.de/en/sounds-of-shadows/>. [アクセス日: 17 12 2025].
- [7] A. Licht, Sound Art Revisited, Bloomsbury Academic, 2019.
- [8] R. Stuart, “Designing the Spectator Experience: Manipulation and Effect,” Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05), 2005.
- [9] S. Fels, A. Gadd, A. Mulder, “Mapping transparency through metaphor: towards more expressive,” *Organised Sound*, 第 7, pp. 109-126, 2002.
- [10] T. Winkler, Composing Interactive Music: Techniques and Ideas Using Max, Mit Press, 1998.
- [11] A. Tanaka, *4-hands iPhone*, Danish Arts Council, Nordic Culture Point, 2011.
- [12] A. Tanaka, “Creative Applications of Interactive MobileMusic,” *The Oxford Handbook of Mobile Music Studies*, 第 2, 2014.
- [13] “実証実験公募プログラム,” 日本科学未来館,. Available: <https://www.miraikan.jst.go.jp/en/lab/trial-project/koubo/>. [アクセス日: 20 12 2025].