

研究報告

ミニマル・ミュージックの生成と共感覚的オーディオビジュアル化 Generation of Minimal Music and Synesthetic Audiovisualization

濱岡 未侑

Miyu HAMAOKA

名古屋市立大学芸術工学部

School of Design and Architecture,

Nagoya City University

松宮 圭太

Keita MATSUMIYA

名古屋市立大学大学院芸術工学研究科

Graduate School of Design and Architecture,

Nagoya City University

概要

本稿では、ミニマルな音楽構造の生成とその変化を視覚へ変換する仕組みを統合したオーディオ・ビジュアル生成環境の設計手法について報告する。音楽構造の生成、演奏者による介入、映像への変換を時間的に連鎖するプロセスとして統合的に設計した。

音楽生成システムでは、調性に基づく音高の自動生成によって音楽的整合性を保持しつつ、演奏者が楽曲展開の決定に介入可能な構造を構築し、人間と自動生成の役割分担を明示する。さらに、先行研究に基づく音と色の対応傾向を参照してプログラム上のルールとして実装し、恣意性を抑制した音楽可視化手法を提示する。これにより、音楽生成・演奏・可視化を一つのプロセスとして統合的に扱う新たな表現および研究枠組みを示す。

1. はじめに

1.1. 背景

ミニマル・ミュージックとは、限られた構造の反復・変奏で構成される音楽様式である。筆者は日本の作曲家・吉松隆（1953-）の作品をきっかけにこの様式に関心を持ち、シンプルな音型の変化や反復によって豊かな展開が生まれる構造的な明快さに魅力を感じた。

筆者は作曲に憧れを抱きつつも、感性的な才能が不可欠だと考えていた。しかし、吉松の楽曲の分析を通して、反復・変奏といった構造上の特徴はプログラムによって再現できると感じた。

そこで、音や和声といった理論的処理に適した要素をプログラムによって生成しつつ、旋法の選択やフレーズのリズムなどを人間が操作できるようにすることで、感性を反映した構造的な音楽生成が可能になると考えた。作曲者を演奏者自身と位置づけ、音楽生成を完全

に自動化するのではなく、人間の判断が介入する余地を残す設計を採用する。

また、ミニマル・ミュージックの明確な反復構造は、視覚的なインタラクションの構築に適していると考えた。近年ではこの構造を可視化する作品の発表も盛んだが、音と映像の対応が制作者の感性に依存し、明確な基準が設定されていない場合が多い。

そこで本研究では、共感覚の一種である色聴に着目する。色聴とは、音を聴くと色を知覚する現象である。ただし、共感覚は保持者が少なく、個人差も大きいため、本研究において共感覚そのものの再現を目的とはしない。先行研究において示された音と色の対応傾向を参照し、音楽と映像を論理的に結びつける表現の方法を探る。

1.2. 目的

本研究の目的は、ミニマルな音楽構造を生成する仕組みと、その変化を視覚へ変換する仕組みを統合し、演奏者の操作を含むオーディオ・ビジュアル生成環境として提示することである。加えて、生成される音楽要素をリアルタイムに映像へ変換する。色聴研究など先行研究で示された傾向を設計指針として対応規則に落とし込むことで、制作者の恣意性を抑えた映像表現の生成を目指す。

2. 先行研究

音楽と映像をリアルタイムに接続する技術的枠組み、ミニマル・ミュージックの構造と可視化、音と色の対応原理、の三点から先行研究を整理し、本研究の立ち位置を明確にする。

2.1. 音楽と映像のリアルタイム生成

音楽と連動したビジュアル生成における先行研究として、春口巖によるものがある。音楽要素を立体的で抽象的なオブジェクトとして表し、音楽と適合するビジュアルを生成する手法を提案した(春口 1995)。

春口の研究では、音色と形状との対応関係が論じられている一方で、色彩に関する明確な対応規則は示されていない。また、楽曲の演奏は電子楽器の入力から MIDI を受け取る形式であり、演奏者の技術や感性に大きく依存している。以上を踏まえて本研究では、色と音楽との対応規則を設定して視覚表現の拡張を図る。さらに、演奏技術に依存せずとも音楽構造の一貫性を保ち、演奏者の表現意図が介在する作曲行為を可能にすることを示す。

2.2. ミニマル・ミュージックとビジュアル・アート

本節では、反復や位相のズレといった明確な構造を特徴とするミニマル・ミュージックと、その視覚化事例を取り上げる。ミニマル・ミュージックを代表する作曲家であるスティーブ・ライヒ(1936-)の《Music for Pieces of Wood》を柳本頭が視覚化した「Steve Reich - Music for Pieces of Wood - Visualization」がある(柳本 2013)。この作品では、各パートを5種類の色で塗り分けることで、複数のリズムパターンの重なりを可視化している(図1)。

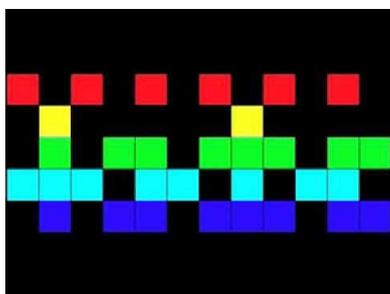


図1: 「Steve Reich - Music for Pieces of Wood - Visualization」の一部

筆者はこの事例について、ミニマル・ミュージックの構造を視覚的に提示する手法として有効であると考えた。一方、作曲・演奏と同時に音楽と映像が生成される環境にはなっておらず、両者が同時進行する生成環境として再構築する余地がある。

2.3. 色と音の対応関係

音楽を視覚へ変換する際、音楽的要素と視覚的属性の対応関係について設計上の問題が生じる。本研究で

は、音楽の視覚化における恣意性を抑えるため、色聴研究を参照する。

長田典子らの研究によれば、高い音ほど明度の高い色として知覚されやすい傾向がある(長田 2003)。長田らは、この傾向が色聴を持たない人々にも見られることを指摘している。また、山脇一宏らの研究によって、調性の明暗は色彩明度と結びつく可能性が示された(山脇 2005)。これらの知見は、楽曲の明暗が視覚的明度とも密接に結びついている可能性を示唆している。

さらに、赤井良行らの研究によって、周波数の分布と倍音の発生量が色彩の印象に関係していることが明らかになった(赤井 2014)。この知見は、生成する音色を意図的に設計することで対応する色彩の寒暖を制御し、音色の違いを視覚的にも識別可能にするという本研究の方針の理論的根拠となっている。

これらの先行研究は、音楽と映像を結びつけるための設計原理や参照の手法を与える一方で、音楽生成・演奏・可視化を一体的なプロセスとして扱うシステム構成については十分に検討されていない。それを踏まえ本研究では、自動生成と演奏者介入を両立する音楽生成システムを構築するとともに、音と色の対応規則を設計し、音楽と映像がリアルタイムに相互作用する可視化環境の提示を目指す。

3. ミニマル・ミュージックの生成プログラム

3.1. 楽曲分析から得た内容と活用方法

本研究では、ミニマル・ミュージックの構造的特徴を取り入れた作曲システムを、オーディオプログラミング環境である Max で制作した。吉松隆の《フローラル・ダンス》《ほぼ2声のインヴェンション》《ほぼ3声のインヴェンション》(1986)の三曲の分析結果を踏まえて実装した機能と、演奏での活用方法について説明する。

3.1.1. 旋法の変化

旋法とは、音階内の隣り合う音の間隔や配列順序に基づいて、調性の性格を規定する概念である。分析した3作品は、楽曲の終盤部で旋法の転換が現れることが共通している。

旋法転換を反映する演奏例として、以下のような操作が考えられる。まず、ベースとなる旋法をあらかじめ設定する。演奏の終盤に差し掛かった段階でエオリア旋法に切り替えることで、楽曲全体に陰影の変化を与えることができる。さらに、最後のコーダ部分では再びドリリア旋法に戻すことで、冒頭との連続性を保ちながら楽曲を終結させる効果が期待できる。

3.1.2. 旋律の変化

パッチでは音の追加・削除を繰り返すことでリズムの変化が生まれ、変奏を再現する仕組みとなっている。他にも、特定の旋律に対して演奏しているリズムを一拍分ずらす機能を実装した。これによって、統一された動きから徐々にフレーズがずれていく過程が生まれ、聴覚的に変化を認識しやすくなる。

3.1.3. 楽曲構造の変化

ホモフォニーは単一の旋律が和音などの伴奏によって支えられる音楽様式で、ポリフォニーは複数の独立した声部によって構成される音楽様式を指す。《ほぼ2声のインヴェンション》《ほぼ3声のインヴェンション》では、両者の入れ替わりが見られる。本研究ではこれらを反映し、和音によって主旋律を支えるホモフォニー機構と、三種の音色の旋律を異なるリズムで重ねるポリフォニー機構を実装した。演奏中に両者を切り替えることで響きの対比を生み、さらにホモフォニー移行時に旋法も変化させることで吉松作品の展開を反映させる。また、楽曲構造の変化の一つに全声部のリズムを統一する機能がある。初期モチーフに揃える方法と、演奏中の主旋律に揃える方法を実装し、回帰感や一体感を付与できる。

3.1.4. ポリリズム

ポリリズムとは、異なる拍節構造が同時に進行する音楽手法である。《フローラル・ダンス》では前半部に提示されたモチーフが再現される際、左手のリズム処理が四拍子の刻みを持続する構造へと転換する。その結果、三拍子の主旋律と四拍子の伴奏が重なり、周期的なずれを伴うポリリズムが生成される。これは終盤へと接続する部分に挿入されているため、楽曲の推進力と緊張感を高める機能を果たしている。本パッチにもこの機能を実装し、終盤へ向かう局面においてモチーフ変奏と組み合わせることで、拍節の多層化による緊張の形成を再現できる設計とした。

3.2. 音楽生成システムの操作

以上の分析を踏まえて、オーディオプログラミング環境である Max を用いて音楽生成パッチを制作した。このパッチは、演奏者の操作によってリアルタイムに音楽が生成・変化するインタラクティブなシステムである。構成要素として、あらかじめ設定したモチーフを反復する主旋律、演奏者が設定したリズムに基づき音高が変化する2種類の副旋律を用意した。これら三つの旋律に対してリズムや旋法の変更をすることで、反

復の中に多様な展開が生まれるよう意図している。図2は、このシステムの操作の流れを示したものである。

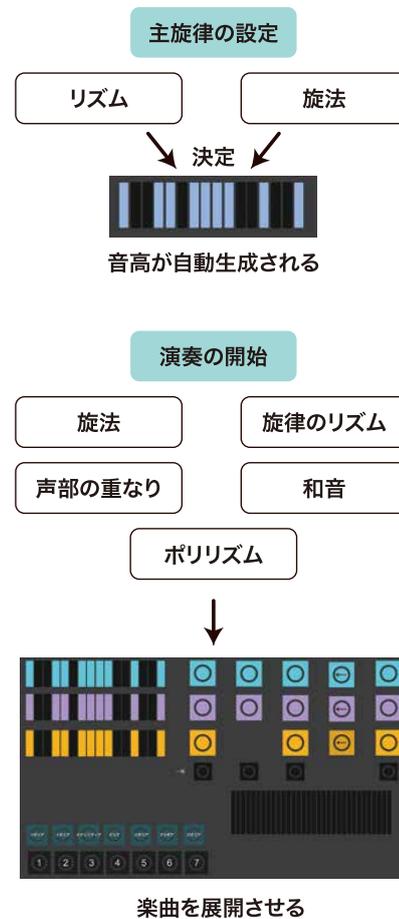


図2: Max パッチの操作の流れ

3.3. 音高生成アルゴリズム

本パッチでは、音高生成を音階内の相対音程と主音の MIDI ノートナンバーの加算によって実現している。まず、各旋法に含まれる音程幅を半音単位で数値化し、順序付けられた配列データとして保持する。次に、音階内の音の位置を示す整数値をランダムに選択し、その番号に対応する音程値を配列から取得する。取得された音程値に主音の MIDI ノートナンバーを加算することで、実際に発音される音高を決定する。本手法により、音階構造を保持したまま移調・旋法の切り替えが可能となり、音楽理論の整合性を保ちながら多様な音高変化を生成する仕組みを構築した。

3.4. 音色

本章では、パッチの音色の設定について説明する。音色の構造を意図的に設定することで、色彩の寒暖との結びつきを先行研究に基づき制御した。

3.4.1. 主旋律

主旋律は楽曲全体の基盤となるため、他旋律と調和し過度に主張しない音色が求められる。本研究では、減衰が緩やかな音色が暖色系の印象と結びつくという先行研究の知見を踏まえ、主旋律にその特性を取り入れた。これによって音量変化が滑らかになり、楽曲の基盤に適した音色の設計を実現した。

音色のベースには、倍音が穏やかな三角波を用い、立ち上がりを柔らかく、減衰を緩やかに設定した。さらにローパスフィルターを適用し、高域の過度な倍音を抑えることで、丸みと温かさを強調している。これらの調整によって、柔らかく持続感のある主旋律音色を実現している。

3.4.2. 副旋律

副旋律は主旋律とは異なる質感を持つ、寒色系の色彩と結びつく音色として設計した。副旋律①には倍音の豊富なノコギリ波、副旋律②には倍音を含まない正弦波を用い、両者とも立ち上がりが鋭く急速に減衰する波形とした。さらに、副旋律①にはリバースを付加して広がりを持たせ、副旋律②は残響を排することで硬い音色として設計した。これにより、副旋律①は主旋律と似た音色、副旋律②は主旋律と大きな差異がある音色として成立した。

4. 音楽のリアルタイムなビジュアル化

Max パッチから生成される音楽要素の変化を可視化するにあたって用いたのが、ビジュアルプログラミング環境である TouchDesigner である。本章では、音楽の時間的变化とビジュアルの生成の対応関係について述べる。

4.1. ビジュアルの選択背景

六角形のトンネル構造は、明確な奥行きを持たせ、画面へ引き込む視覚体験を実現するために採用した。視覚体験の持続的な関与には、画面内部へと引き込まれるような奥行きと、過度に均一化していない動きが重要な要素であると考えた。そこで、曲線状に配置した図形群とカメラ移動を組み合わせ、奥へ進行する感覚を伴う構造を導入した。多角形の検討の結果、六角

形は奥行き感、曲線配置による動きの表情が最もバランスよく成立する形状であると判断し、トンネルの構成要素として採用した。

4.2. 各音楽要素とビジュアルの関連

Max パッチから受け取った音楽的パラメータが TouchDesigner 上で及ぼす影響について説明する。

音楽における同時発音数は楽曲の華やかさや情報量に関与する要因である。本研究では音数に基づく楽曲印象の変化を、映像における視覚的な情報密度に対応づけた。主旋律の同時発音数を 16 拍単位で計測し、その値に応じてトンネルを構成する六角形の数を制御した。音数が増加すると六角形の数が増えて画面密度が高まり、減少すると簡素な印象となる。これにより、音楽の音数変化を映像の密度変化として可視化する構造を実現した (図 3)。

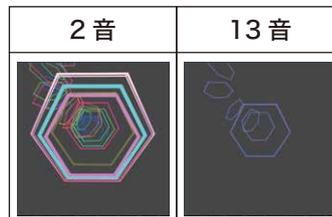


図 3: 主旋律の音数と六角形の密度の対応

また、六角形の色彩には複数の音楽要素との対応関係を設けた。色聴に関する先行研究により、高音ほど明るい色として知覚されやすい傾向があることが報告されている。本研究ではこの知見に基づき、主旋律の音高変化と六角形の明度変化に対応関係を設定した。主旋律において相対的に高い音が発音された際、六角形の明度が上昇する (図 4)。

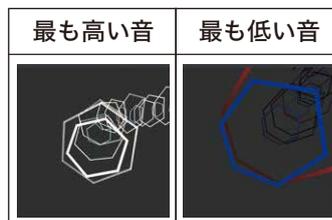


図 4: 音高と明度の対応

これにより、音高変化に伴う旋律の躍動感を視覚的に体験可能な環境を構築した。

さらに、音色と色彩の寒暖の対応関係を設定した。先行研究の知見に基づき、減衰が緩やかな主旋律を暖色系、鋭い立ち上がりと急速な減衰を持つ副旋律を寒色系の色相に対応づけた。これを踏まえて、声部の重

なりに応じて色相および彩度が変化する設計とした。主旋律のみの場合には暖色系を基調とする低彩度の色彩となり、副旋律①が加わると暖色と寒色が混在した紫系の色彩が現れる。副旋律②の追加時には寒色成分を強調し、三声同時発音時には寒暖双方を含む多色相の状態となる(図5)。

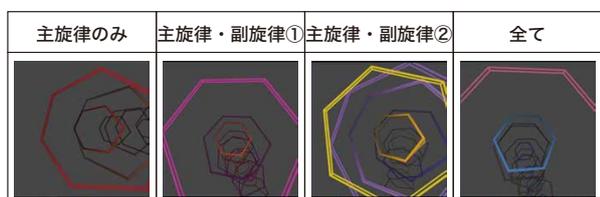


図5: 声部の重なりと色彩の対応

これにより、声部構造の重層化に伴う音楽的テクスチャの複雑性を色相および彩度の変化として視覚的に共有可能な表現を提示した。

最後に、旋法が有する明暗の性質に着目し、背景色の明度と対応づけた。先行研究の結果から、筆者は調性の明暗と明度の間に知覚的傾向が存在する可能性があることを整理した。本研究ではこれを踏まえ、明るい印象を有する旋法では高明度、暗い印象を有する旋法では低明度の背景色に変化させる仕組みとした(図6)。

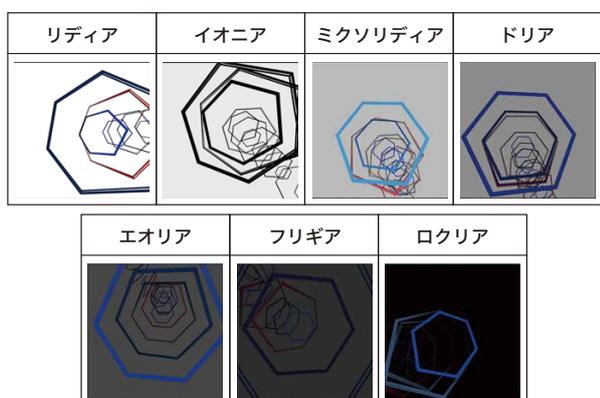


図6: 旋法の変化と背景の明度変化の関係

これは、音楽の明暗構造を背景の明度変化として可視化し、音楽と映像の対応関係を直感的に把握しやすくすることを目的としている。

5. 考察および今後の展望

5.1. 本研究における実験結果の整理

本研究で制作した Max パッチは、主音および旋法に基づいて音高が制御されており、演奏中に和声や音

階構造が破綻しないよう設計されている。主旋律と二種類の副旋律が実装されており、独立した音色とリズム操作を持つ。さらに、吉松隆の楽曲分析から抽出した音楽的特徴を基に、楽曲構造を変化させる要素を実装した。

これに加えて、Max から送信される音楽情報に基づき、TouchDesigner によるリアルタイムなビジュアル生成を行った。音高に応じた明度変化や音数に応じたトンネル密度の変化、音色特性に基づく色彩の寒暖、旋法転換に伴う背景明度の変化として可視化される。以上より、本研究で提案したシステムでは、音楽生成パッチの操作に対応して、音響と視覚の両面で時間的変化が生じるオーディオ・ビジュアル環境が構築された。

5.2. 音楽生成と可視化手法に関する考察

本パッチは音楽理論的な整合性をプログラム側で担保しつつ、楽曲展開の判断を演奏者に委ねる設計を採用している。主音および旋法に基づく制御により、和声的破綻を生じない構造が実装された。調性やリズム、楽曲構成の変遷は、簡潔な操作によって演奏者の判断が反映される設計とした。以上の点から、本研究で提案したシステムは、音楽構造の制御をプログラムと演奏者の判断に分離し、音楽理論の整合性と演奏者の選択を両立する演奏環境の一例を示した。

また、ビジュアル生成においては先行研究で示されている音楽要素と色彩特性の対応傾向を参照し、音高、音数、旋法といった音楽的要素を明度や密度、背景の明るさといった視覚パラメータに対応づけた。音楽要素と視覚要素の対応関係を感性的判断に依存せず明示的に設計した点に特徴があり、ミニマル・ミュージックの生成過程を視覚的に把握する体験を提示した。

5.3. 本研究の適応範囲と限界

本研究にはいくつかの限界が存在する。第一に、音楽知覚と視覚的印象の対応関係について、鑑賞者による主観評価や統計的検証を行っていないことが挙げられる。この対応関係は主に既存研究の知見および筆者自身の設計判断に基づいて設計したものであり、その妥当性は今後の検討課題とする。

第二に、音楽生成パッチの操作性について、第三者による評価を行っていない点である。ユーザーインターフェースの理解度や操作負荷については、実際の利用者を対象とした検証の必要がある。

5.4. 拡張可能性と今後の課題

まず、音楽と映像の対応関係について、鑑賞者を対象とした評価実験を行うことで、本研究で設定した視

覚表現の有効性を検証することが求められる。さらに、Max パッチの操作性に関するユーザビリティテストを実施し、情報提示や操作階層の改善を検討する必要がある。文字情報に依存しない操作説明の導入や、画面構成の整理による視認性向上も検討課題である。

6. まとめ

本研究は、ミニマル・ミュージックの構造的特徴を手がかりに演奏者の操作を含む音楽生成システムを構築し、その音楽の変化を音と色の対応関係に基づいてリアルタイムに可視化することを目的とした。先行研究を踏まえ、音楽と色彩の対応関係を明示的なルールとして実装し、演奏技術に依存せず作曲的判断が介入する環境を実現した点に特徴がある。また、作曲・演奏・可視化が同時進行することで、反復や位相のズレといったミニマル音楽の特性を視覚的に体験可能とした。一方で、音と色の対応関係の妥当性や操作性に関する第三者評価が今後の課題である。

7. 参考文献

- 春口 巖. 1995. 「音楽のリアルタイム・CG による可視化」『映像学』 54(0), 94-107,121.
- 長田 典子, 岩井 大輔, 津田 学, 和氣 早苗, 井口 征士. 2003. 「音と色のノンバーバルマッピング——色聴保持者のマッピング抽出とその応用——」『電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界 = The IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences (Japanese edition). A / 電子情報通信学会編』 86(11), 1219-1230.
- 山脇 一宏, 椎塚 久雄. 2005. 「音感と色聴感覚」『感性工学研究論文集』 5 巻 3 号, 31-37.
- 赤井 良行, 李昇姫. 2014. 「音色からイメージされる色彩の寒暖と音色構造の関係」『日本感性工学学会論文誌』 Vol.13 No.1 (特集号), 221-228.

8. 参考作品

- willow (Ken Yanagimoto / 柳本 颯). 2013. 「Steve Reich - Music for Pieces of Wood -Visualization」 YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=gy2kyRrXm2g> (最終閲覧：2026-02-13) .
- 吉松 隆. 2001. 「フローラル・ダンス」「ほぼ2声のインヴェンション」「ほぼ3声のインヴェンション」. 「プレイアデス舞曲集ⅡⅡa」音楽之友社.

- Simon Alexander-Adams. 2019. 「Looping Noise Part 2: Infinite Tunnel Zoom(TouchDesigner Tutorial)」 YouTube. https://youtu.be/gJ6xok9cP_s?si=kjJAjhe-wzOBEIDD (最終閲覧：2026-02-13) .

9. 著者プロフィール

濱岡未侑 (Miyu HAMAOKA)

幼少の頃よりピアノを学ぶ。2022年、名古屋市立大学芸術工学部情報環境デザイン学科入学。2025年、第19回ベータン音楽コンクール自由曲コースピアノ部門大学・院生Bの部4位入賞。学部四年生の現在、共感覚に基づく色彩と音楽の対応関係への関心をもとに、音楽と映像の連動表現をテーマに制作・研究を行っている。

松宮 圭太 (Keita MATSUMIYA)

名古屋市立大学芸術工学研究科准教授。サウンドデザイン/作曲。環境音・電子音響と器楽の統合、振動体を用いたハイブリッド楽器の研究制作に従事。主なテーマは「自然音の記録と再解釈」「演奏と機械処理の関係」「発音源認知の揺らぎ」。



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。