

音楽の立体的な色彩化とウェアラブル化の試み

天野憲樹（正会員）

武庫川女子大学生活環境学部情報メディア学科

An Attempt in Making Music 3D Colorization and Wearable

Noriki Amano (Member)

School of Human Environmental Sciences, Department of Informatics and Methodology,

Mukogawa Women's University

amnrk@mukogawa-u.ac.jp

アブストラクト

我々は音楽と色彩を研究対象とし、「着る」という音楽の新しい楽しみ方を創造するとともに、そのエンターテインメント化を探求している。具体的には、音楽からカラフルなコスチュームの映像をリアルタイムに形成し、人の周囲に生成したフォグにプロジェクターで投影することにより「着衣」とする。このため本研究では、音楽を立体的に色彩化する手法、音楽からコスチュームの映像を形成する手法、そして、音楽の映像を身に着ける手法を提案する。核となるアイデアは、音階の螺旋構造と共感覚に着目した音楽の立体的な色彩化、ジェネラティブ・アートの技法によるコスチュームの映像形成、投影媒体のフォグに対する3方向からの映像投影である。しかし、フォグの制御は難しく、フォグへの映像投影は結果的にうまくいかなかったため、フォグの代わりに白衣やマネキン本体に直接コスチュームの映像を投影するなどの実験も行った。本研究により、特殊な感覚の保持者だけではない誰もが音楽を「身に付ける」ことができるというこれまでにない音楽の楽しみ方が実現されるだけでなく、音楽とファッションが融合した新たなエンターテインメントの世界が創出される可能性も期待できる。

Abstract

We are studying music and color to create a new way of enjoying music namely "wearing", and we are exploring its entertainment. Concretely, images of colorful costumes are formed from music in real time, and projected on fog generated around a person by projectors to realize "wearing music". In this paper, we propose a method to color music in three dimensions, a method to generate costume images from music, and a method to wear music images. The core ideas are the three dimensional coloring of music focusing on the spiral structure of the musical scale and synesthesia, the image generation of the costume by the technique of generative art, and the image projection from three directions to the fog which is the media of projection. However, it was difficult to control the fog, and the images projection onto the fog did not work as a result. Therefore, instead of fog, we also conducted experiments such as projecting costume images directly onto a white coat or mannequin body. By this research, even ordinary people without special senses can experience a new way of enjoying music namely "wearing", and we can expect a possibility of creating a new entertainment world where music and fashion are fused.

1. はじめに

古来、音楽の楽しみ方は、奏でる、聴く、歌う、そして、音楽にあわせて踊るなどであった。しかし、近年では、「観る」ことも音楽の楽しみ方の一つとなっている。たとえば、楽曲の雰囲気を映像化したミュージックビデオなどは、聴くこと以上に観て楽しむ要素が大ききものであるし、スマホや携帯音楽プレーヤーに表示される音の視覚化映像なども人々の目を楽しませるものとなっている。

こうした音楽の楽しみ方に、本研究は「着る」ことを付け加えるものである。音楽の視覚化については、先行する研究[1]が多数あるものの、音楽を着るという発想はほとんど見られない。音は空気の振動による現象であり、服のように物理的な実体を持たないからであろう。

しかし、音階は円環の螺旋構造で表現されることがあり、また音も色を伴って認識されることがある。音階の螺旋表現は音階の上下に従い、同じ音が円を描いて垂直に並ぶものであるが、これは直感的かつ自然な表現と言える[2]。また、音と色については、科学的な裏付けはないものの、何らかの関係があると考えられる。実際、共感覚あるいは色聴と言われるような音から色を想起する感覚を持つ人もいる[3]。

本研究は、音階の螺旋表現と共感覚に着目した音楽の色彩化、ジェネラティブ・アート[4]の技法による音楽のコスチューム化（映像形成）、人の周囲に生成したフォグにコスチュームの映像を3方向から投影する音楽の着衣化、にもとづく（図1）。なお、本研究におけるコスチュームとは、ケープやマントのような袖なしのアウトウェアで、身に纏うものを想定している。また、フォグへの映像投影はうまくいかず、白衣やマネキン本体に直接コスチュームの映像を投影する実験も行った。さらに、本研究は特殊な感覚の保持者だけを対象としたものではない。

本論文の構成は以下の通りである。2節で本研究の背景と問題について述べる。それを踏まえて、3節で本研究の基本アプローチを述べる。そして、4節ではプロトタイプシステムの概要と実装について述べ、これを用いた実験について5節で述べる。さらに、6節で関連研究について述べ、7節で本論文をまとめる。

2. 研究の背景

2.1 音楽の視覚化

音楽を視覚化する試みはこれまでも多数行われている[1]。最近では、指揮者の振るタクトの動きを視覚化することによる音楽の間接的な視覚化なども行われている[5]。コンピュータを使った音楽の視覚化については、[6]に詳しく記載されている。また、音楽を視覚化するツールも今日まで多数実装されており、オンラインで利用できるものもある[7]。

音楽を視覚化した典型例は楽譜である。五線譜は五線の上下で音の高さを、左から右へと並ぶ音符の列で時系列的な順序を視覚化していると考えられる。五線譜以外にも、さまざまな視点から音楽を視覚化している記譜法がある[8]。

音楽では、音の基本周波数が2倍になると、1オクターブ高い

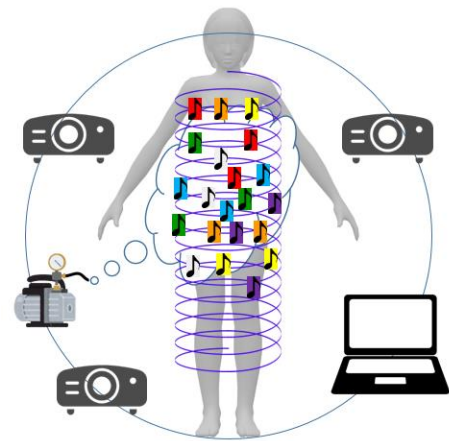


図1. 本研究の基本コンセプト

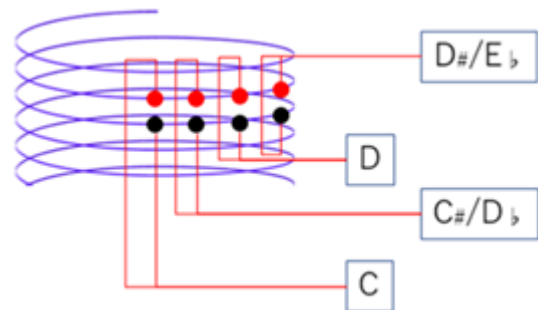


図2. 音階の螺旋表現

同じ音と見なされる。つまり、音はピアノの鍵盤のように低い音から高い音が直線的に並んでいるわけではなく、螺旋状に並んでいるとも考えられ（図2）、円環の螺旋構造で楽譜を表記する記譜法もある[8]。こうした音階の螺旋表現は音楽を立体的に視覚化したものと言える。

2.2 音と色の関係

音と色には、ともに波長や周波数を持つという類似性がある。それゆえ、両者に何らかの関係を見出すこともそれほど不自然なことではない。実際、音を聞くことで色を思い浮かべる共感覚あるいは色聴と呼ばれる感覚を持つ人も存在する。しかし、共感覚は科学的に解明されてはおらず、共感覚者によって音と色の対応関係にも差異が見られる。そのような共感覚について、Itohらの研究[9]では、共感覚者15名への調査から、ド〜シの音には虹色が対応すると述べている（表1）。

表1. 共感覚にもとづく音と色の対応[9]

ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ	シ
赤	橙	黄	緑	水色	青	紫

なお、#やbが付く同音異名の場合、音は1つであるものの、色は2つ存在するとしている[9]。たとえば、ドの#はドの赤に近い色、レのbはレの橙に近い色となり、両者は区別される。

このようなItohらの研究[9]は共感覚に関する研究の一例に過

ぎないが、音楽の基本となるド～シの7音を日本における虹の7色に対応付ける点で興味深い。

2.3 ジェネラティブ・アート

ジェネラティブ・アートとは、アート作品を作る過程において自律性やランダム性を取り入れ、人間の予測が不可能な作品を作り出す技法である。近年、この技法によるユニークな作品が多く注目を集めている。Processingを用いたジェネラティブ・アートについては、文献[4]が詳しい。

本研究とジェネラティブ・アートはあまり関係がないように見える。しかし、音楽を立体的に色彩化すれば即コスチュームが出来上がるというものではなく、何等かの工夫をする必要がある。ジェネラティブ・アートの技法は、そのためのよい手段になりうると考えられる。

2.4 バーチャル・フィッティング

近年、実際に服を着ることのないバーチャル・フィッティングと呼ばれる仮想的な試着方法が注目を集め、一部のアパレル企業ではすでに導入が始まっている[10]。このようなバーチャル・フィッティングには、カメラから取り込んだ人の画像に服の画像を重ねるシンプルな手法やAR（拡張現実感）とモーションセンサーを組み合わせた手法などがある。また、バーチャル・フィッティングではないが、結婚式場などで、花嫁のドレスにプロジェクション・マッピングでリアルタイムにカラフルな柄や模様を付けるサービスもすでに展開されている[11]。しかし、こうした商用のバーチャル・フィッティング等は多くが平面的であり、正面からしか見ることができない。

商用ではないものの、立体的なバーチャル・フィッティングの研究も存在する。Robertsonの研究[12]では、ドレスに対する全方位の立体的なプロジェクション・マッピングを実現しているが、ドレス自体は静的なもので、その形状に変化はない。また、Nakatuらの研究[13]では、動きまわる演者によってリアルタイムに変化する能の装束にプロジェクション・マッピングを行っているが、全方位の立体的なプロジェクション・マッピングを実現しているわけではない。

プロジェクション・マッピングによる「試着」の場合、立体的な服への対応はある程度可能であるが、着ている服の色や形に制約が生じる。純白のウェディングドレスなら良いが、柄のついた服では厳しく、服の形も事前に決めなければならない。

3. 本研究の基本アプローチ

3.1 音楽の立体的な色彩化に関する手法

本研究では、音楽の視覚化について、以下を前提とする。

- 音階の螺旋表現
音楽を着るには、その視覚化表現が立体的でなければならない。それゆえ、音階の螺旋表現を前提とすることは合理的である。その上で、各音の視覚化は以下のアプローチを採用する。
- 各音は図形で表現する
- 音色により図形の形を変える

- 音量により図形の大きさを変える

まず、1つ1つの音を図形として視覚化し、音色によって図形の形を変える。たとえば、ピアノによるドの音は円形、バイオリンによるドの音は四角形などとする。ただし、図形と音色の対応付けは可変とする。音色の図形表現については、クラドニ図形[14]が参考になるが、形状が複雑で境界が判別しにくいいため、今回はシンプルな図形の表現とする。そして、音量により図形の大きさを変える。先の例でピアノのドなら、音量が大きい場合は大きな円、音量が小さい場合は小さな円とする。

以上を前提とし、音楽の色彩化は以下のアプローチを採る。

- 基本の音階を虹色で表現する
- 音階の上下は同色のグラデーションで表現する

本研究では、虹色を赤、オレンジ、黄色、緑、水色、青、紫の7色とし、これを基本の音階に対応付ける(表1)。このような音と色の対応付けは前述した共感覚の研究[9]に触発されている。そして、基本の音階におけるドを通常の赤とし、これより1オクターブ上のドは彩度を変え、少し薄い赤とする。逆に、1オクターブ下のドであれば、少し濃い赤とする。つまり、音が高くなるほど色が薄く、音が低くなるほど色が濃くなるようにする。これについても上述の研究[9]を参考にしている。

共感覚にもとづく音と色の対応付けは他にも存在する。たとえば、カール・ジーツによる実験[15]では、ドが赤色である以外は上記の研究[9]とはまったく異なる対応付けになっている。しかし、カール・ジーツの実験結果では、ラが冷たい黄色など見た目にも分かりにくい色があり、全体的に鮮やかさに欠ける配色となっている。後述のプロトタイプシステムによる実験も行ったが、カラフルなコスチュームを目指す観点から、今回は基本の音階に虹色に対応付けることとした。

以上、本研究における音楽の立体的な色彩化は以下のようにまとめることができる。

- 色付きの図形を音階の立体的な螺旋上に配置する

このような音楽の立体的な色彩化の意図は、共感覚を持たない人々にも音楽は立体的かつカラフルなメディアとして身に纏うことができるものになりうることを直感的に理解してもらい、音楽を着てみたいという気持ちを喚起させることにある。

3.2 音楽からコスチュームの映像を生成する手法

以上のアプローチにもとづいて音楽を立体的に色彩化しても、それだけではコスチュームにならない可能性が極めて高い。以下のような問題が考えられるからである。

- 音が少ない
- 音色が少ない
- 特定の音に偏りがある

シンプルな曲の場合、音が少なくコスチュームを構成することができない可能性がある。音色についても同じことが言える。そもそも音楽は繰り返しが多い。上述の基本アプローチでは、同じフレーズの繰り返しは螺旋上の同じ位置に同じ図形を同じ大きさで配置することになり、コスチュームを構成する領域が広がらない。この問題に対処するため、本研究では以下のアプローチを採用する。



図3. 音階の螺旋表現と音の配置

- 音階の螺旋表現に縦横の幅をとる
- 音の配置にジェネラティブ・アートの技法を用いる

まず、音を配置する音階の螺旋表現を線ではなく、縦と横の幅がある帯とする。つまり、1つの音を配置する領域は点ではなく、縦と横の長さを持つ矩形とする。そして、ジェネラティブ・アートの技法を利用し、同じ音が同じ領域（矩形）の中で重ならないように配置する（図3）。

以上のアプローチに加え、コスチュームを形成する曲はある程度の長さや音色をもった曲であるという仮定を置く。具体的には、オーケストラの楽曲などを主な対象と仮定するが、音を多用する現代のポップスなどもこの仮定を満たすと考えられる。

3.3 着衣の手法

本研究では、物理的なコスチュームを作るわけではなく、音楽を立体的に色彩化した映像をプロジェクターで人に投影し、着衣とする。これに関し、以下のようなアプローチを採用する。

- 3方向からコスチュームの映像を投影する
- 投影媒体をフォグとしてコスチュームの映像を投影する

まず、3台のプロジェクターにより3方向からコスチュームの映像を人に投影する。具体的には、正面と左右の斜め後方から投影する。つまり、全方位を3分割し、それぞれの投影面を120度とする（図4）。投影面を細かく分割し過ぎると、映像が重なり干渉しあう可能性がある。この点について、参考文献[16]の研究では2方向からの投影を行っている。

そして、人に直接投影するのではなく、人の周囲に生成したフォグに投影する。この利点は服の上からでも音楽を着ることが可能になる点であるが、その反面フォグの制御が必要となる。

フォグのようなゆらぎのある媒体に映像をきれいに投影することは容易ではない。フォグスクリーンは高価であり、円筒形のフォグスクリーンも研究事例[17]はあるものの、ほとんどが小規模なもので、人を取り囲むことができる大きなものはない。本研究では、フォグの制御についてさまざまな試行錯誤を行ったが、それについては後述する。

なお、今回は本研究の基本コンセプトをシンプルに実現することを目指したため、映像の投影はプロジェクターによるシンプルな投影であり、プロジェクション・マッピングではない。そもそも通常のプロジェクション・マッピングのように映像を投影する造形物そのものが本研究では存在しない。本研究では、造形物（視覚化された音楽）自体をリアルタイムに形成するからである。しかし、映像の投影媒体であるフォグを造形物と考

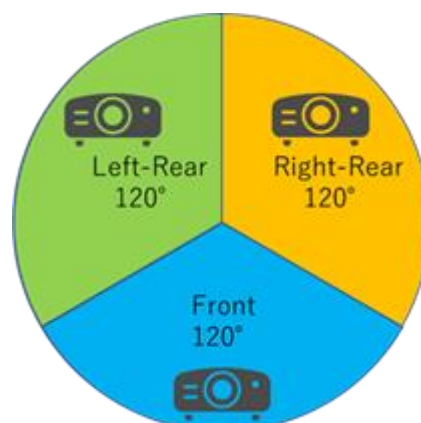


図4. 3方向からの映像投影

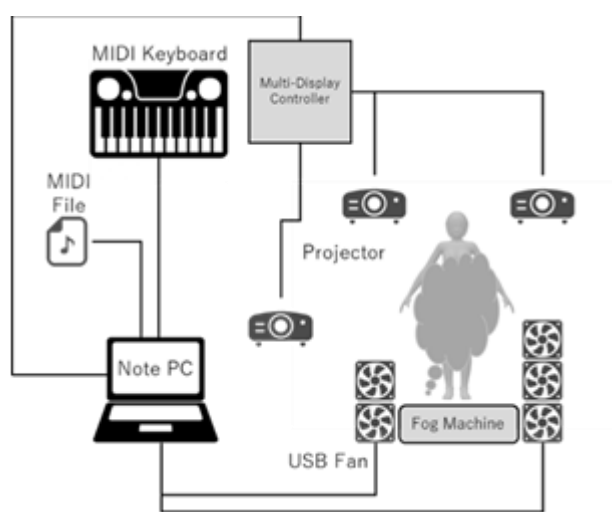


図5. プロトタイプシステムの構成

えれば、フォグへのプロジェクション・マッピングという見方もできる。音楽の立体的な視覚化を行う際、その情報をもとにフォグの制御も同時に行うことでフォグの状態を柔軟に変え、フォグに対してプロジェクション・マッピングを行うことも検討している。実際、プロトタイプシステムでは、手動による簡易なプロジェクション・マッピングの機能も実装している。

4. 実装

4.1 プロトタイプシステム

開発したプロトタイプシステムの構成は図5の通りである。

- ノートパソコン：1台
- プロジェクター：3台
- マルチディスプレイコントローラ：1台
- MIDIキーボード：1台
- フォグマシン：1台
- USBファン：数台

プロトタイプシステムはMIDIキーボードからの演奏もしくはMIDIファイルからノートパソコンに音楽を取り込み、コスチュームの映像を形成する。そして、マルチディスプレイコント

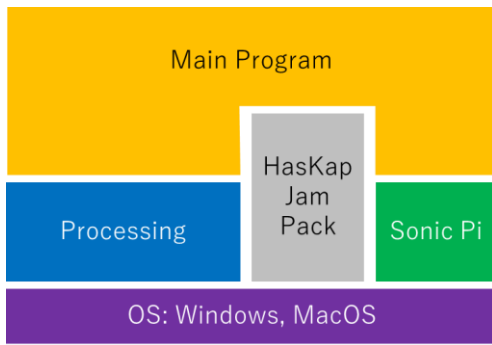


図6. プロトタイプのソフトウェア構成

ローラから3台のプロジェクターにコスチュームの映像を分割出力する。さらに、フォグマシンで人の周囲に生成したフォグに対し、コスチュームの映像を投影する。フォグの流れはUSBファンで制御しているが、プログラムによる制御は行っており、フォグマシンも独立に稼働させている。また、プロトタイプシステムのソフトウェア構成は図6の通りである。

- OS : Windows 10, MacOS High Sierra
- 開発言語 : Processing 3.3.6
- 音楽ソフト : Sonic Pi 3.1
- ユーティリティソフト : HasKap Jam Pack

プロトタイプシステムのメインプログラムはProcessing[18]を用いて実装している。メインプログラムはMIDIキーボードからの演奏もしくはMIDIファイルから音楽データを読み込み、まず、MIDI情報の解析を行う。そして、MIDI情報とジェネラティブ・アートの技法にもとづいて、カラフルなコスチュームの映像を形成する。この詳細については後述する。

メインプログラムはWindowsでもMacOSでも動作する。しかし、現時点の実装では、MIDIキーボードによるリアルタイムな演奏への対応はMacOSだけに限定される。MIDIキーボードからの入力音楽ソフトのSonic Pi[19]を介して受け取る実装となっており、Sonic PiとProcessingの通信を実現するユーティリティソフトのHasKap Jam Pack[20]がMacOSにしか対応していないためである。しかし、これは本質的な問題ではない。Sonic Piを選んだ理由はライブコーディング[21]のしやすさという観点以外にはなく、それは本研究に不可欠な要素ではない。プロジェクション・マッピングの専用ソフトMadMapper[22]とも連携できるように実装しているが、それについては本稿では割愛する。

本プロトタイプシステムの現時点における利用は以下のように行う。まず、被験者は直径1m程度の円形の台座に立ち、その周囲に導風板とUSBファンを設置する。導風板のすき間を通して台座にホースでフォグを送り込み、USBファンによりフォグの状態を維持する。その周囲の半径1.5~2mの円形に3台のプロジェクターを配置し、人の周囲に生成されたフォグに映像を投影する。この投影はシンプルなものであり、プロジェクション・マッピングではない。被験者のモーションなどもトラッキングしてはならず、被験者は円形の台座から動かないことを前提としている。しかし、被験者は直立不動である必要はなく、向きを変えることができ、自身に投影される音楽の映像を3方向から

	Gs	A	As	B	C	Cs	D	Ds	E	F	Fs	G
7	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
6	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
5	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
4	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
3	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
2	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

図7. 音階の螺旋表現の展開図

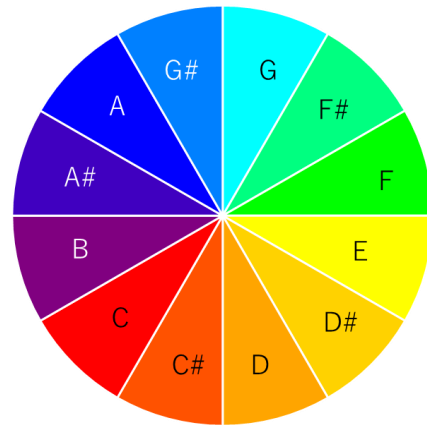


図8. 音階の螺旋表現と音の割当

楽しむことができる。本研究におけるコスチュームはケープやマントのような袖なしのアウトウェアを想定しており、前や後ろの区別がない。つまり、自由な「着こなし」ができることも本研究が目指す「音楽を着る」ことの醍醐味であると言える。

なお、本プロトタイプシステムの利用に際し、大きな制約などは特になく、4m四方の広さがある部屋は必要になるが、これは特別大きな部屋でもない。部屋の明るさについては、暗い方が望ましいが、これはプロジェクターの輝度にもよるため、一概には言えない。それよりもフォグの状態に影響を与える空調設備はオフにする必要がある点には注意を要する。

4.2 音楽の立体的な色彩化

音階の螺旋表現はもともと立体的な表現(円筒形)であるが、本研究では、これを平面化して3分割し、それを3方向から投影することで立体的に見せる。具体的には、円筒形の側面を展開した長方形として図7のように平面化している。この展開図では、行がオクターブ、列が音名をそれぞれ表す。各マス目(セル)の数字はMIDIのノート番号[23]であり、セルは実装上「矩形」として縦と横の長さを持つ。セルの横幅は円周を12で割った領域に相当するが(図8)、実際の展開図はディスプレイの最大画面サイズと等しくなるように実装している。

音楽を視覚化する基本アルゴリズムはこのセルに色付きの図形を描くことであり、色彩化の基本方針は前節のアプローチ(表1)に従う。たとえば、ノート番号60の音が鳴った場合、該当するセルの領域(矩形)に赤の図形を描く。図形の種類は音色、図形の大きさは音量によって決められる。現時点の実装では、音色として、MIDIのチャンネル番号を利用している。これは純粋

な音色情報ではないが、1つのチャンネルが演奏上の1パート（楽器）と解釈してもそれほど誤りではない。図形の種類は、円、四角、三角、楕円、半円、台形など16種類を実装している。

図形の大きさは、MIDIのペロシティ情報を利用している。具体的には、ペロシティの中央値63を基準とし、各音のペロシティ値を基準値の63で割った割合で大きさを操作している。最大値は127であり、その場合は基準値の大きさの約2倍とする。最小値は1であり、その場合は基準値の大きさの約半分とする。

また、音階の上下による色のグラデーションについては、彩度を用いる。具体的には、図7の4オクターブ目を基準値として50に設定し、1オクターブ上がるごとに10ずつ下げ、1オクターブ下がるごとに10ずつ上げるように実装している。

なお、図7中の赤線は展開図を3つの領域に分割する線であり、これは図4の3つの投影面に対応した以下の意味を持つ。

- Gs-B領域：左後方から投影する部分
- C-Ds領域：正面から投影する部分
- E-G領域：右後方から投影する部分

映像自体の3分割はマルチディスプレイコントローラによりピクセル単位で実現している。

4.3 コスチュームの映像の形成

コスチュームの映像の形成はジェネラティブ・アートの技法にもとづいている。具体的には、音（図形）の配置に以下のランダム性を導入することで実現している。

- noise関数によるランダム性
- random関数によるランダム性

Processingには、これらの関数がデフォルトで用意されており、それらを用いて音を視覚化した色付きの図形をランダムに配置している。このようなランダム性の導入意図は、同じ音の図形を描画する際、それらが重なることで生じる空白を排除することである。その効果は実際に確認することができた（図9, 10）。

図9, 10はチャイコフスキー作「くるみ割り人形」の「花のワルツ」で形成したコスチュームの展開図（最終形）である。図9はnoise関数を、図10はrandom関数をそれぞれ用いた例である。見やすさのため、セルを区切る線を敢えて描画している。

2の展開図を比較すると、random関数を用いた方が描画領域の空白が少ないことが分かる。しかし、このコスチュームの最終形が問題なのではなく、リアルタイムにコスチュームが形成される場所が重要である。その観点から言えば、noise関数を使ったコスチュームの形成はゆるやかな描画で味わい深さがある。

2つのランダム性を導入した理由はnoise関数による緩やかなランダム性とrandom関数によるダイナミックなランダム性のどちらが適切かを選択する根拠がなかったからであり、将来的に、この実装は変更する予定である。ランダム性による描画空間の空白排除には限界があるうえ、ランダム性を導入した描画も、それがコスチュームとして適切かどうかという問題が残るからである。なお、2つのランダム性は適宜切り替えることができるように実装している。

このようなシンプルなランダム性をもってジェネラティブ・アートの技法と呼ぶには問題があるかもしれないが、ランダム

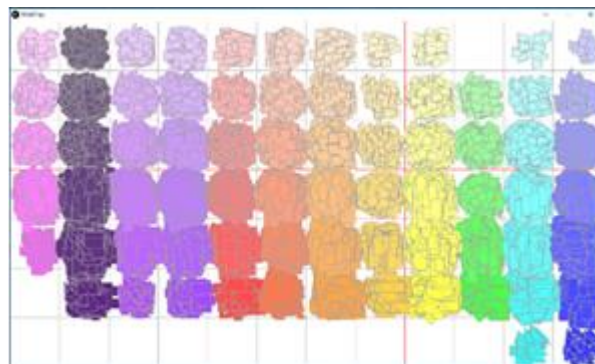


図9. noise関数によるコスチュームの展開図

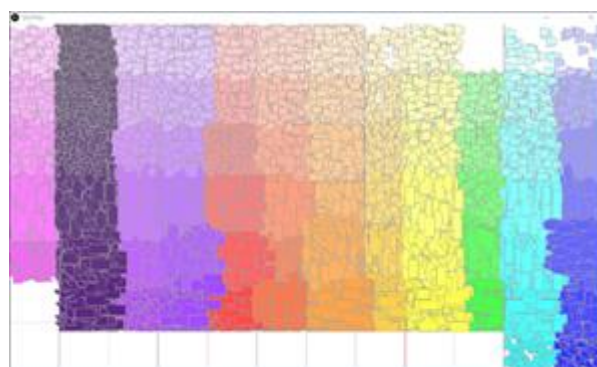


図10. random関数によるコスチュームの展開図

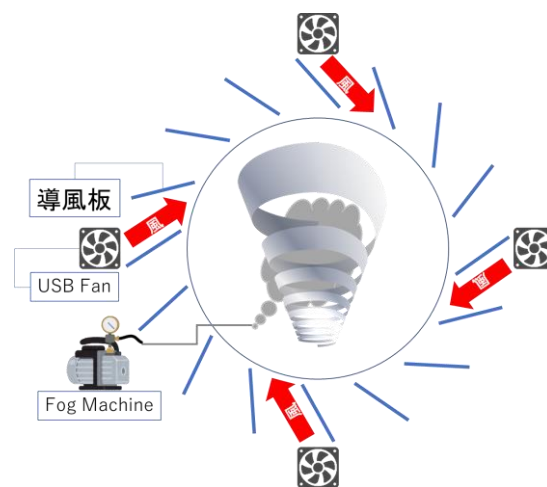


図11. 渦巻状のフォグの生成

性はジェネラティブ・アートの技法の基本要素である。今回の実装では簡潔さを優先したが、今後はジェネラティブ・アートの技法を駆使した実装を検討している。

4.4 フォグの制御

当初から予想したとおりフォグの制御は難しく、本研究ではさまざまな試行錯誤を繰り返した。当初は、円筒形フォグスクリーンの自作を試みたが、円形にフォグを流し、それを垂直に噴き上げることは非常に困難であり成功しなかった。

現時点では、導風板を用いて渦巻状のフォグを生成する方式を試行している（図11）。具体的には、円形の台座の周囲16方

表2. コスチューム化した音楽

作曲家	曲目
チャイコフスキー	くるみ割り人形 (花のワルツ)
モーツァルト	トルコ行進曲
ベートーベン	交響曲第九番
ヴィヴァルディ	四季 (春)
ドヴォルザーク	新世界より
ワーグナー	ワルキューレの騎行

向に導風板を16枚配置し、適当な角度を持たせ、4方向からUSBファンで風を送る。その中心にフォグマシンで生成したフォグを断続的に送り込み、フォグを渦巻状にする手法である。導風板の角度や風量を変えて実験しているが、フォグは渦巻状になるものの、導風板より上の位置では、フォグが激しく拡散する問題は解決できていない。フォグは少しの空気の揺れにも影響を受けるうえ、大学内の煙センサーにも反応するため、実験の場所にも配慮と工夫が必要となる。これに関連する研究[24]もあるが、投影物の大きさが異なるため、参考にするのは難しい。

なお、導風板・USBファン・フォグマシンは以下を用いた。

- 導風板：25cm×51cm×5mmの自作プラスチック段ボール
- USBファン：12cm×12cmサイズ (ELUTENG社製)
- フォグマシン：Z-1500II (ANTARI社製)

また、フォグマシンとマネキンの距離は1.5m程度であり、フォグをマネキンの台座に送り込むパイプも厚いビニールの耐熱素材を用いて自作した。

5. 実験：「くるみ割り人形」のコスチューム

本研究で作成したプロトタイプシステムを用いて実際に実験を行った。実験では、人間の代わりに白いマネキンを使った。図12は実験の様子を撮影したものである。前節で説明したように、円形の台座にマネキンを置き、その周りに16枚の導風板を設置して、パイプでフォグを送り込んでいる。図12から分かるように、上部においてフォグが拡散している。導風板よりも下部ではフォグが渦巻状になるものの、上部になるほど拡散の度合いが大きくなり、フォグの形状が極めて不安定となる。これには実験を行った部屋の空調設備の問題もある。

USBファンによるフォグの制御がうまく機能しなかったため、マネキンに白い服を着せ、その上から映像を投影することも試みた。図13はその時の様子である。これは最終形ではなく途中経過の状態であるため、空白領域が目立つが、最終的には図10のように、ほぼ全身がコスチュームに包まれる。マネキンの本体に直接映像を投影する実験も行った (図14)。

本研究でコスチュームの形成を試みた曲は表2の通りである。この6曲のコスチューム化により、曲によって音にかなりの偏りがあることが改めて分かった。分かりやすい例では、モーツァルトの「トルコ行進曲」はピアノ曲であるため、「くるみ割り人形」などと比べてコスチュームになりにくい。これは予想通りの結果ではあるが、「くるみ割り人形」のような曲でさえも最低音部 (図9, 10の最下部) はほとんど空白になっている。そ

れでもこの程度の空白であれば、コスチュームを形成することはできる。つまり、広い音域や音程が使われている楽曲であれば、衣服を構成するに十分な範囲 (面積) に映像が投影される。この6曲のうち同程度のコスチュームが形成できたのは、ドヴォルザークの「新世界より」だけであった。



図12. 実験の様子



図13. くるみ割り人形の着衣 (白衣)



図14. くるみ割り人形の着衣 (マネキン本体)

しかし、こうした状況はMIDIデータの完全性にも依存する。今回の実験では、インターネットから取得できるフリーのMIDI

音源(ファイル)を利用したため、MIDIデータが十分でない(原曲の楽譜に比べて音の欠落がある)ものもあった。今後は十分なMIDIデータによる実験を試みる。なお、現代的なポピュラー音楽などでの実験も行うことを予定している。

この実験に関し、武庫川女子大学において簡単なアンケート調査をWebで実施した。その対象は情報メディア学科に所属する1年生から4年生までの女子学生であり、本研究についての予備知識は一切持たない学生とした。アンケートの内容は本実験結果の画像(図12, 14)を見せ、その感想を聞いたほか、本研究の手法についても率直な感想を求めた。その結果、55名からの回答が得られた。その一部を以下に記載する。

表3. 本研究の音楽の色彩化について

良いと思う	33名
まあまあ良いと思う	17名
よく分からない	4名
あまり良いとは思わない	1名
まったく良いとは思わない	0名

表4. くるみ割り人形の着衣について

とてもきれい	20名
まあまあきれい	24名
よく分からない	8名
あまりきれいではない	3名
まったくきれいではない	0名

上記の結果を見ると、虹色を基調とする音楽の色彩化(表3)については、かなり高い共感を得ていることが分かった。くるみ割り人形の着衣(表4)についても80%の者がきれいと感じてはいるが、音楽の色彩化よりもその数値が低い理由として、画像のアングル等が影響している可能性も考えられる。

6. 関連研究

音楽の視覚化や色彩化に関する研究には、身に着けるという視点がなく(2.1節)、逆に服の試着に関する研究には、音楽という視点がない(2.4節)。そのため、それらの研究と本研究との単純な比較にはほとんど意味がない。逆に言えば、それらの研究成果を本研究に取り込むことも可能である。

「ウェアラブル」に焦点を当てると、いくつかの関連研究が挙げられる。まず、楽器を着用可能にした研究として竹川ら[25]や戸田ら[26]の「着るピアノ」がある。しかし、これらの研究と本研究にはかなりの距離がある。着るピアノは楽器を着る試みであり、音楽そのものを着る試みではない。音楽を間接的に着ていると解釈することはできるかもしれないが、本研究とは目標もアプローチも異なる。実際、本研究は物理的なデバイスの開発を目標としておらず、今後もその予定はない。

また、Hashizumiらによる研究[27]では、ジャケットに複数のスピーカーを装着し、その振動により音を体感させるシステムを提案しており、類似の研究をKaramらも行っている[28]。これらの研究とも本研究は、目標とアプローチの点で大きく異なる。

Hashizumiらの研究[27]は物理的な装置の開発を目指したものであり、音楽を視覚化したものではない。むしろ、視覚以外の感覚で音楽を楽しむための研究と位置づけられ、本研究とはまったく異なる。そのため、これらの研究成果が本研究に活きる可能性は少なく、その逆も同じことが言える。

また、音楽を着るという目的からははずれるが、深層学習を用いてファッションを形成する研究[29]も興味深い。本研究ではシンプルなジェネラティブ・アートの技法であるランダム性を導入することで、ユニークなコスチュームの映像をリアルタイムに形成しているが、これに代わる深層学習を用いた手法も検討している。たとえば、DC-GAN[30]などのアルゴリズムを使い、音楽に合った色鮮やかなコスチュームの映像を生成することも考えられる。これにより、袖や襟などがある複雑なコスチュームの彩色も含めた表現(生成)に取り組む。著名なデザイナーによるファッションを学習させることで、よりユニークなコスチュームの生成も期待できる。

7. まとめと今後の課題

本研究では、音楽からカラフルなコスチュームの映像をリアルタイムに形成し、フォグマシンを用いて人の周囲に生成したフォグに3方向からプロジェクターで投影することにより音楽を着る手法を提案した。本研究は以下の点において、関連する研究とは一線を画すものである。

- 音階の螺旋表現と共感覚に着目した音楽の色彩化
- ジェネラティブ・アートによる音楽のコスチューム化
- フォグにコスチュームの映像を投影する着衣化

本研究では音楽からコスチュームを形成する過程において、シンプルなジェネラティブ・アートの技法であるランダム性を導入することでユニークなコスチュームの映像をリアルタイムに形成し、それを服の上からでも着られるようにしている。

このように「音楽を着る」ことを目指す本研究は、奏でる、聴く、歌う、踊るといったこれまでの音楽の楽しみ方に「着る」というまったく新しい楽しみ方を盛り込むものである。それは従来とは異なる音楽の楽しみ方を創造することであり、本研究は音楽の在り方を変える可能性を示した研究である。

本研究における一番の課題はフォグの制御である。フォグを渦巻状にする手法の実験には課題が多く残されており、今後もさらなる試行錯誤を重ねる予定である。また、深層学習などを用いたコスチュームの形成なども今後の課題である。さらに、実験映像の撮影(記録)についても課題がある。本論文はNICOGRAPH2019で発表した論文[31]を大幅に加筆修正しており、フォグを用いた着衣の様子(図12)も新たに掲載しているが、実際の色合いを表現できていない。プロジェクター3台の光が撮影に影響するからである。このため、かなりの上方から撮影できる十分な天井高のある撮影場所を選ぶ必要がある。

難しい課題はあるが、本研究により、「今度のクリスマス・パーティーでは、チャイコフスキーの「くるみ割り人形」を着よう！」といった音楽とファッションの融合した夢にあふれるエンターテインメントの世界を切り拓きたい。

謝辞

本研究はIO-DATA財団の第1回研究開発助成を受けたものである。ここに謝意を表す。また、有益なコメントとアドバイスを頂いた査読者にも謝意を表す。

参考文献

- [1] J. Donaldson and P. Lamere.: Using Visualization for Music Discovery, Tutorial. 10th International Society for Music Information Retrieval Conference (2009).
- [2] R. N. Shepard.: Circularity in Judgments of Relative Pitch, *Journal of the Acoustical Society of America* Vol.36, No.2346 (1964).
- [3] R. E. Cytowic.: *Synesthesia: A Union of the Senses* (Springer Series in Neuropsychology), Springer-Verlag (1989).
- [4] M. Pearson.: *Generative Art: A Practical Guide Using Processing*, Manning Publications (2011). 久保田 晃弘 (監修), 沖 啓介 (訳): *ジェネラティブ・アート—Processingによる実践ガイド*, BNN 新社 (2014).
- [5] A. Jackson and M. Young.: *Tracing the Frenetic Movements of a London Symphony Conductor*, Atlas Obscura (2018).
- [6] S. Baumann.: Visualization for Music IR, Tutorial. 6th International Society for Music Information Retrieval Conference (2005).
- [7] Alternative Music Visualizer, available from <<https://www.renderforest.com/music-visualisations>> (accessed 2019-06-27).
- [8] T. Sauer.: *Notations 21*, Mark Batty Publisher (2009).
- [9] K. Itoh, H. Sakata, I. L. Kwee and T. Nakada.: Musical pitch classes have rainbow hues in pitch class-color synesthesia, *Scientific Reports* Volume 7, Article Number 17781 (2017).
- [10] Virtual Dressing Room, available from <<https://zugara.com/virtual-dressing-room-technology>> (accessed 2019-06-27).
- [11] JAPAN TIMES: Projection mapping a popular addition at weddings, other events, available from <<https://www.japantimes.co.jp/news/2014/09/22/national/projection-mapping-a-popular-addition-at-weddings-other-events/>> (accessed 2019-06-27).
- [12] E. A. Robertson.: *Three Hundred and Sixty Degrees: A Celebration of Costume Technology*, Master Thesis of Fine Arts, The University of Texas at Austin (2015).
- [13] R. Nakatu, N. Yang, H. Takata, T. Nakanishi, M. Kitaguchi and N. Tosa.: Dynamic Projection Mapping on Multiple Non-rigid Moving Objects for Stage Performance Applications, *Proc. of International Conference on Entertainment Computing*, pp.3-15 (2018).
- [14] A. Lauterwasser.: *Water Sound Images: The Creative Music of the Universe*, Macromedia (2007). 増川いづみ (訳): *ウォーター・サウンド・イメージ*, ヒカルランド (2014).
- [15] 趙彦, 濱里茜: 音と色の関係性による色聴情報の視覚化について, *ADADA Japan 2015オンライン論文集* (2015).
- [16] 八木明日華, 井村誠孝, 黒田嘉宏, 大城理: 多視点観察可能なフォグディスプレイ, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.17, No.4, pp.409-417 (2012).
- [17] 井村誠孝: 円筒形フォグスクリーンへのプロジェクションによる多視点表示, *日本応用物理学会誌「光学」*, Vol.43, No.10, pp.469-474 (2014).
- [18] C. Reas.: *Processing: A Programming Handbook for Visual Designers and Artists*, MIT Press (2012).
- [19] S. Aaron.: *Code Music with Sonic Pi*, Raspberry Pi (2016).
- [20] HasKap Jam Pack available from , <http://haskap-jp.cms-marimo.com/_m/haskap-jam-pack> (accessed 2019-06-27).
- [21] R. T. Dean and A. McLean.: *The Oxford Handbook of Algorithmic Music*, Oxford University Press (2018).
- [22] MadMapper, available from <<https://madmapper.com/madmapper>> (accessed 2019-06-27).
- [23] The Official MIDI Specifications, available from <<https://www.midi.org/specifications>> (accessed 2019-06-27).
- [24] M. Lam, Y. Huang and B. Chen.: Interactive Volumetric Fog Display, *Proc. SA '15 SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies Article No. 13* (2015).
- [25] 竹川佳成, 宮前雅一, 岸野泰恵, 塚本昌彦, 大江瑞子, 西尾章治郎: 着るピアノ: 鍵盤楽器と連携したウェアラブルファッション, *エンタテインメントコンピューティング論文集2005*, pp.59-63 (2005).
- [26] 戸田真志, 秋田純一, 大江瑞子: 導電性布素材を用いた「着るピアノ」の設計と実現, *芸術科学会論文誌*, 第8巻, 第2号, pp.51-56 (2009).
- [27] S. Hashizume, S. Sakamoto, K. Suzuki, and Y. Ochiai.: LIVEJACKET: Wearable Music Experience Device with Multiple Speakers, *Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS, volume 10921)* (2018).
- [28] M. Karam, F.A. Russo and D.I. Fels.: Designing the model human cochlea: An ambient crossmodal audio-tactile display, *IEEE Transactions on Haptics* 2(3), pp.160-168 (2009).
- [29] N. Rostamzadeh, S. Hosseini, T. Boquet, W. Stokowiec, Y. Zhang, C. Jauvin and C. Pal.: Fashion-Gen: The Generative Fashion Dataset and Challenge, *Proc. of International Conference on Machine Learning Workshop on Theoretical Foundations and Applications of Deep Generative Models* (2018).
- [30] T. Karras, T. Aila, S. Laine and J. Lehtinen.: Progressive Growing of GANs for Improved Quality, Stability, and Variation, *Proc. International Conference on Machine Learning* (2018).
- [31] 天野憲樹: 音楽の立体的な色彩化とウェアラブル化に向けて, *NICOGRAPH2019論文集*, pp.58-65 (2019).

天野 憲樹



1990年 日本大学文理学部哲学科卒業。システム開発会社2社を経て、1999年 北陸先端科学技術大学院大学博士課程修了。博士（情報科学）。同年同大学院情報科学研究科（助手）。2003～2004年 イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校計算機科学部客員研究員。2006年 岡山大学教育開発センター（助教授）。2014年 埼玉大学基盤教育研究センター（教授）。2015年 武庫川女子大学生活環境学部情報メディア学科（教授）。現在に至る。エンターテインメント・コンピューティング、メディア・アートに興味を持つ。ACM, 芸術科学会, 情報処理学会, 電子情報通信学会, 他会員。