

平成29年度 博士後期課程学位論文

ジェネラティブアートをベースとする芸術表現教育のための  
オーディオ・ビジュアル創作システムの開発と  
構成主義に基づく創作ワークショップデザイン

東京藝術大学大学院美術研究科 先端芸術表現研究領域

学籍番号：1314925

濱野 峻行



# 目次

概要 .....	1
序論 .....	3
研究の趣旨と背景 .....	3
研究の趣旨 .....	3
研究の背景 .....	4
論文の構成 .....	5
第1章 ジェネラティブアートの特徴及び表現の過程 .....	8
1.1 ジェネラティブアートの定義 .....	8
ジェネラティブアートとは .....	8
ジェネラティブアートの多様性と広がり .....	8
アルゴリズムックアートとの対比 .....	11
ジェネラティブアートの成立条件 .....	12
1.2 ジェネラティブアートの表現特性 .....	13
ジェネラティブアートの自律性 .....	13
情報理論的視点による手法の分類 .....	14
ジェネラティブアートの創作背景 .....	15
1.3 ジェネラティブシステムを用いた表現過程の認知的側面 .....	16
レフ・マノヴィッチによる「ニューメディアの言語」 .....	17
石川博久による「方法論の方法論」 .....	18
プログラムを通して表現するということ .....	19
創作行為としてのジェネラティブアートの認知的過程 .....	20
1.4 ジェネラティブアートの創作の特徴と教育への適用可能性 .....	23
第2章 構成主義に基づくジェネラティブアートの分析 .....	25
2.1 構成主義の成立と広がり .....	25
構成主義の変遷 .....	25
心理学的構成主義 .....	26
社会的構成主義 .....	28

教育における構成主義 .....	30
2.2 プログラミング教育における構築主義 .....	32
パートの構築主義とプログラミング言語「LOGO」 .....	32
プログラミング環境「Scratch」と社会的構成主義 .....	34
その他の教育向けプログラミング環境 .....	35
2.3 ジェネラティブアートをを用いた教育への適用可能性 .....	36
数学とコンピュータにおける記号操作と身体観 .....	36
ドメインモデルからジェネラティブアートへの展開 .....	37
2.4 ジェネラティブアートの構成主義的教育への展開 .....	38
第3章 オーディオ・ビジュアル創作システムの開発 .....	40
3.1 研究開発の方法 .....	40
3.2 教育系音楽創作ツールの先行事例 .....	41
図形描画による作曲システムの先駆け「UPIC」 .....	41
教育向け音楽生成システムの例 .....	41
マルチメディア作品「SmallFish」 .....	42
3.3 創作ツールの設計と実装 .....	43
開発思想と設計 .....	43
モバイルアプリ「MUCCA」 .....	46
3.4 ワorkshopシステムの設計と実装 .....	52
ワークショップ要件の検討 .....	52
ワークショップシステムの開発 .....	52
ローカルサーバとグローバルサーバ .....	53
ワークショップのための機能実装 .....	54
第4章 創作ワークショップのデザインと実施 .....	57
4.1 創作ワークショップ（第1フェーズ） .....	57
ワークショップの目標とデザイン .....	57
ワークショップの実施 .....	57
改善への課題 .....	61
4.2 創作ワークショップ（第2フェーズ） .....	62
ワークショップの目標とデザイン .....	62

ワークショップの実施 .....	67
第5章 考察と提言 .....	78
5.1 本研究の発展可能性 .....	78
創作システムの改善 .....	78
ワークショップの発展 .....	78
ワークショップシステムのパッケージ化による展開 .....	80
5.2 隣接する教育分野への広がり .....	80
プログラミング教育との関わり .....	80
音楽教育との関わり .....	81
結論 .....	83
付録 .....	86
A. モバイルアプリMUCCAで使用しているライブラリ .....	86
B. MUCCAプロジェクトのイベント履歴 .....	87
第1フェーズ .....	87
第2フェーズ .....	88
C. ワークショップの詳細スタッフ用ガイド .....	89
D. MUCCAワークショップの記録写真 .....	94
2015年7月 ぎふメディアコスモスでのワークショップ .....	94
2017年7月 ICTCOでのワークショップ .....	95
参考文献 .....	97
謝辞 .....	101

# 概要

本研究の目的は、デジタルメディア特有の芸術創作手法を児童期及び青年期の教育に活用し、創造的循環を体験させることで、創造的思考の養成とアートを通じたコミュニケーションの促進を図る教育の一方法を示すことである。その実践として、デジタルメディアの特徴的な表現方法の一つである「ジェネラティブアート」(Generative Art)を芸術表現教育に活かすべく、オーディオ・ビジュアル創作システムの開発やそれを用いたアート創作ワークショップのデザインと実施を通して、デジタルメディアによる新しい芸術表現教育のあり方を探求した。

芸術創作という行為を継続して円滑に行うには、個人が表現のための道具(ツール)についてより良く習熟しながら表現の試行と美的判断を繰り返すこと、そして他者との協同においては互いの関わりを通して知識や感性を繰り返し高めていく過程が要になると考えられる。これらの個人レベルと集団レベルの繰り返し、つまり「創造的循環」の様態について詳細に検討し実際の教育活動につなげることで、芸術表現教育の発展に寄与できると考える。

本研究ではこの創造的循環の検討を軸に据えて芸術表現教育の新しい学びのあり方を探るため、デジタルメディアの技術を活用した創作環境の独自開発と教育活動の実践を行った。そこではデジタルメディアの特徴を有効に活かすため、自律的な表現の生成及び表現のゆらぎを生むことを特徴とするジェネラティブアートを表現手法として採用した。ジェネラティブアートはアルゴリズムやルールに従い自律的に表現が生成されていく過程を含む創作の一手法であり、表現のゆらぎにより創造的循環により学習効果を高める働きを生むことが期待される。またジェネラティブアートにはアルゴリミックアートの性質を併せ持つものも多く、知識や概念のモデルとして抽象化して組み合わせることによって後述の構成主義的な学びによる新たな意味の獲得に結びつく性質があると考えられる。

ジェネラティブアートを用いた創作の学習については詳細な検討を行うため、心理学者のピアジェを代表とする「構成主義」(Constructivism、「人間の知識は既に持ち合わせている知識を元にして主観的に構成される」という立場、ロシア構成主義や国際関係学で言われるものとは文脈を異にすることに注意)の観点からジェネラティブアートの創作過程を分析した。構成主義はそれまでの行動主義や認知主義としばしば比較

され、学習者自身が自らの知識を基に新しい知識を主体的に構成し、更に学びの共同体の中の相互作用の中で学びを深めていくことを基本とする。この教育観は個人・集団を問わず作ることを通した学びという点で芸術教育で親しまれてきたものであり、プログラミング教育においても抽象的概念をコンピュータとのインタラクションによって具体的思考に転化させられるという点で支持されている。本研究では、構成主義的教育観が個人・集団両レベルの創造的循環とどのように関わりがあるかについて検討した。

次に上記から得られた知見を基に新しい創作環境作りを模索し、音楽に特化したジェネラティブアートの特徴を活かした教育のためのアート創作プラットフォーム(創作のためのアプリケーション及びワークショップ実施のためのシステム)「MUCCA (ミュッカ)」を開発した。このシステムは児童でも視聴覚の素材を組み合わせた直感的な創作が可能なアプリと、ワークショップ会場で協同制作や演奏(アンサンブル)を行うワークショップシステムから成る。

そしてこのシステムを活用した教育の実践として、小学生から大学生までを対象とし構成主義的教育観に基づいて設計したワークショップを複数回実施して効果を評価した。ワークショップではビデオ記録やワークシートなど様々な形でのドキュメンテーション(記録)を取り、個人および集団レベルでの創造的循環がどのように発生していたかについて観察を行い評価した。その結果、個人レベル及び複数人の間における創造的循環が観察され、ジェネラティブアートを活用した創作支援は構成主義的な学びのあり方に基づく芸術創作教育において効果的な手段であることが示唆された。

社会全体の教育に関する時局を鑑みると、2017年現在ICT教育やデジタルメディアを使った芸術創造教育に対する関心は高まりを見せている。しかしデジタルメディアの特質や学習者の認知過程まで深く考慮し、理想の学びを追求した教育モデルは必ずしも多いとは言えない。ここにも本研究の成果すなわち構成主義的教育観に沿って自発的に作ることを通した学びが発生するようなフィールド作りの活用可能性があると言え、プログラミング教育やデジタルメディアを用いた芸術教育への応用可能な方法論になり得ると考える。

# 序論

## 研究の趣旨と背景

---

### 研究の趣旨

芸術創作という行為は、個人の表現能力や社会的コミュニケーションなど多様な要因の上に成り立つものである。一般に創作過程において人は、外部から様々な情報を取り込みながらアイデアを道具（ツール）を用いて具現化し、それに対して美的判断を下してまた考えを新たに次の表現を生み出すことを繰り返すという「創造的循環」の過程があると言える。その循環を継続的かつ発展的に高めていこうとする場合、まず個人がツールの特性を考慮し自身の創作の思考とすりあわせて表現につなげていく過程が重要になると考えられる。そして他者と協同する場合には、他者と相互の関わりにおいて知識や感性を繰り返し高めていく過程があると考えられる。芸術表現教育において教育の質を高めるには、これら個人レベル及び集団レベルの創造的循環について検討を行い創作の環境を整えることが求められる。

本研究の大きな目的とするところは、デジタルメディア特有の芸術創作手法を児童期及び青年期の教育に活用し創造的循環を体験させることで、創造的思考の養成とアートを通じたコミュニケーションの促進を図る教育のあり方を構成論的に探求することである。特に本研究では創作手法にジェネラティブアートを取り上げ、その創作過程の特徴を教育における構成主義に照らし合わせて分析し、プログラミング教育やデジタルメディアを用いた芸術教育にも応用可能な方法論として提言することを掲げる。

この目的を実現するため、本研究では音楽に特化したジェネラティブアートの特徴を活かした教育のためのアート創作プラットフォーム（創作のためのアプリケーション及びワークショップ実施のためのシステム）を独自に開発し、構成主義的分析にもとづいて設計したワークショップを実施して効果を評価する。

創作プラットフォームの開発にあたっては、個人的レベル及び複数人レベルの「創造的循環」（第1章で詳述）を起こりやすくするを狙いとした。ワークショップにおける評価では、個人レベルでの創作システムとの循環と集団レベルでのワークショップシステムを通じた循環が起こることを評価の基準とした。

この研究の意義を挙げると、まず構成主義に立脚してジェネラティブアートの特性を分析し、芸術創作教育に活用して実践につなげた本研究は新しい試みに属するものである。そして学習理論に基づいて分析的に実践のかたちをデザインする方法論自体が、プログラミング教育と芸術教育両面にとって有効な例になり得る。また本研究のために開発したアート創作プラットフォームは一定の条件で誰でも使えるようになっているため、このプロジェクトから独立して展開することも可能である。このように本研究はアート、教育、エンジニアリングの交わる場所に新しい視点をもたらすことを意図している。最終的には子どもたちが自主的にシステムや他者との対話を通じて創造的思考を深めるような、アートのコミュニケーションの場を築けることを望んでいる。

## 研究の背景

本論文執筆時の2017年現在、ICT教育に対する関心は益々高まりを見せている。特に日本国内の教育課程では、2020年に小学校でのプログラミング教育を義務教育課程において必修化する方針が掲げられている。これは第一にICT関連人材の不足という事情があるが、教育的効果として論理的思考力、創造性、問題解決能力などの向上が掲げられ、各教科との連携による相乗効果も望まれている（文部科学省(1), 2016）。

しかし音楽や美術を含めた芸術教育から見た問題点として、デジタルメディアを用いた創作教育については方法論や実践例がまだ限定的である。作ることを通して学ぶことの重要性自体は認識が広まっているものと考えられるが、デジタルメディアならではの特徴を活かして創造教育につなげるかという点ではこれからである。実践にあたっては様々な現実的問題があると想定されるが、理想としてはデジタルメディアに特有の創作手法を最大限に活かし、芸術表現教育を前提とした教育の考え方にに基づき実践することが望まれる。そのためにはデジタルメディアの表現特性や芸術創造の認知過程についてよく検討し、創作のためのシステムや教育環境の整備などを含め、実践のための仕組みづくりを行っていくことが求められる。

一方で、筆者個人のコンピュータを用いたアートの表現過程に対する関心も研究の動機となっている。筆者は2000年代前半から作曲やコンピュータ音楽を学び作品制作を行ってきた。その創作方法の一つとして、音や映像が生成される過程をコンピュータのプログラムとしてコーディングする方法があった。これは生成対象を直接的に表現するのではなく間接的に生成過程を記号で表し、生成そのものはシステムが自律的に行うもので、ジェネラティブアートやアルゴリズムミックアートと呼ばれるものである。この方法は、時には思い通りの結果とならないこともあるし逆に予想以上の結果を生むこ

ともあるが、発想からモデルを構築しプログラムに投影して自律的に動かすことができるという点において魅力的なものに思えた。次第に筆者の関心は、自らが表現を生み出すことよりも、間接的にモデルの抽象化により表現する過程で生じる認知的事象やこのような表現を通じた他者との関係性の変化などへと転じた。例えば、機械の構成概念やプログラムのパラダイムが表現者の発想にどのような影響を及ぼすかや、表現されたものは表現者の何を表しているか、或いは間接的な生成による表現手法をメディアとして捉えた場合どのような特性があるのか、すなわちどのように他者へ伝達され受容されるのかといったことが具体的な疑問として挙がってきた。

本論文は、上記の社会的状況と個人的な希求を動機として進めてきた研究をまとめたものである。本研究がプログラミング教育、芸術教育、音楽教育の各分野への展開可能性を持った有益なものとなることを望んでいる。

## 論文の構成

---

本研究は、デジタルメディア特有の創作手法としてジェネラティブアートを取り上げ、創造教育への効果的な適用のために構成主義的教育観と交差する地点を探るものである。まずはそれぞれの性質について詳細に検討することから研究は始まり、その結果得た知見を創作システムの開発とワークショップの実践に活かしていく。以下に各章の構成を示す。

第1章では、ジェネラティブアート (Generative Art) について、その定義、表現の特性、表現者の認知過程、教育への適用可能性について述べる。ジェネラティブアートとは、何らかの自律的システムを用いて作られたアート作品またはその方法論の総称である。ジェネラティブアートは自律的であるがゆえに生まれる「予測不可能性」(=予測可能な生成の振る舞いを基本とする中で予測の難しい事象が含まれる性質のこと) という表現のゆらぎの性質を持つ。コンピュータを用いて表現する場合には記号的操作と認知を考慮しながら行うが、予測不可能性によるゆらぎにより生まれた意味を創作者が内在化させながら作っていく過程があると考えられる。またその表現のゆらぎは創作における創造的循環に対してポジティブな影響を与える可能性を持ち、ジェネラティブアートの創作を教育に適用することの有効性が導かれる。更にコンピュータを用いたジェネラティブアートにはアルゴリミックアートの性質を併せ持つ場合が多くあり、知識や概念を生成のモデルとして抽象化することによって概念を超える、つまり一般的思考では到達し得ない新たな意味を生む作用がある。

第2章では、ジェネラティブアートを教育に適用するための立脚点として構成主義（Constructivism）を取り上げ、具体的な教育の実践方法を検討する。（注：ここで言う構成主義は、ピアジェに代表される心理学や教育理論での文脈でのそれであり、芸術におけるロシア構成主義や国際政治学での社会構成主義などとは関係が無いので注意されたい。）まず構成主義の成り立ちと教育に対する影響についてまとめた。構成主義は心理学的構成主義と社会的構成主義とに大きく分けることができ、前者は個人を、後者は集団を観察対象の単位とした学習過程の理論である。構成主義的教育観は、それまでの行動主義や認知主義的教育観では成し得なかった新しい学びの形を提案する。プログラミング教育においては古くより構成主義的教育観が浸透している事情もあることから、コンピュータを用いたジェネラティブアートの創作を教育に適用する上で理論的に活用できる事柄を探っていく。

第3章では、ジェネラティブアートの特性を活かしたオーディオ・ビジュアル創作システム *MUCCA* の開発について述べる。システムは個人で作品制作ができるタブレット用アプリと、作品の共有や共同演奏を可能にするワークショップから成る。このシステムの開発にあたっては前章までに検討した事柄を踏まえ、構成主義の知見を活用するようにした。特にユーザが自身の持つ知識や文脈を自然なかたちでシステムに取り込むことができるようにし、ジェネラティブなシステムによりゆらぎを与え新たな意味の発見に繋がるような仕組みを作るよう心がけた。またシステムで創作可能な表現形態には音楽生成を中心に据え、コンピュータ音楽界隈の知見も取り入れた。ワークショップシステムの開発には、実際にワークショップで複数の参加者が協同して集団レベルでの創造的循環を生むことを目標に設計・開発した。

第4章では、第3章で開発した創作システムを用いて教育の実践を行うものとして複数回に渡り実施したワークショップのデザインと結果について述べる。ワークショップは前期と後期に分けることができ、前期は創作システムの開発と並行して検証と改善を重ねる期間であり、後期は構成主義的視点をもとにより詳細なワークショップデザインを行い教育効果について検証を行った。最終的なワークショップの形としては個人課題と協同課題とに分けて行い、ビデオ記録やワークシート、アンケートなどの評価材料からワークショップで生じた参加者の学習効果について検証した。

第5章では、本研究で行ってきたシステム開発やワークショップの実践を振り返り、本研究の更なる展開可能性について考察する。とりわけ本創作システムを普及させることで、様々な場所で独立してワークショップを実施できるような体制の構築を望んでいる。また本研究の成果は隣接する教育分野、特にプログラミング教育や音楽教育にとつ

でも有効であると考えられるため、その可能性についても述べる。

以上の実践を示すことにより、本論文はジェネラティブアートを軸とした新たな芸術創作教育の方法論を提唱する。

# 第1章 ジェネラティブアートの特徴及び表現の過程

## 1.1 ジェネラティブアートの定義

---

### ジェネラティブアートとは

ジェネラティブアート（Generative Art、ジェネレーティブアートとも）は「生成する芸術」と訳され、何らかの自律的システムを用いて作られたアート作品またはその方法論のことを指す。特に視覚芸術、音楽、建築などの分野で好まれて用いられてきた手法である。一般にはコンピュータアートの一種とみなされることが多いが、広義でのジェネラティブアートにはコンピュータの発明以前から存在する手法もあり歴史は古い。作品としての実態は多種多様であるため、ジェネラティブアートという言葉を必ずしも一意に定義できるわけではないが、本節では各芸術分野におけるジェネラティブアートの実例を挙げ、ジェネラティブアートの持つ多様性と広がりを見つめる。

### ジェネラティブアートの多様性と広がり

#### 視覚芸術におけるジェネラティブアート

絵画やアニメーションなどの視覚芸術は、ジェネラティブアートの実践が多く見られる代表的な分野である。元来シンメトリー（Symmetry）や平面充填（Tessellation, Tiling）といった規則に基づき図形を展開していく手法は古代より存在してきた。コンピュータ前史のビデオアートには、アナログの映像をフィードバックさせることにより映像を変化させていく手法もある。しかしジェネラティブアートの名を広めることになったのは、コンピュータプログラムによりグラフィックを自律的に生成・展開していく手法である。コンピュータグラフィックス（CG）での表現手法に関する研究開発の中で、例えばパーリンノイズ（Perlin noise）のような炎や煙、雲などの表現に使える技術や、フラクタルの手法を応用して地形を作るフラクタル地形（Fractal landscape）の技術、植物の成長プロセスを模倣するL-system（Lindenmayer system）などの生成的表現技法が開発された。現在においても、デモン

(Demoscene) と呼ばれるCGアニメーションの技術を競うコンペティションにより、新しい生成的表現の開発に寄与している側面がある。

視覚芸術における作品の一例を挙げると、現ロンドン大学ゴールドスミス・カレッジ教授のアーティストであるウィリアム・レイサム (William Latham, 1961-, <http://latham-mutator.com/>) は現在同大学教授のスティーブン・トッド (Stephen Todd) と共に1980年代からIBM研究所在籍時代からコンピュータグラフィックスの研究を行い、進化論的芸術 (Evolutionary Art) の作品を制作している。彼の作品は遺伝と人工生命を共通のテーマとし、インタラクティブなコンピュータのグラフィック技術により有機的な形状を生み出している。これらの技術はその後の作品に影響を与え、例えばデニス・ミラー (Dennis H. Miller, <http://dennishmiller.com/>) は同様の技術を応用した高度なオーディオ・ビジュアル作品を制作している者として知られる。

視覚芸術におけるもう一つ注目すべき流れとしては、教育への応用である。非常に早期のものとしては1970年前後より、後述する教育用プログラミング言語LOGOやBASIC言語を用いて生成手続きをプログラムとして記述することによってグラフィックを生成することができた。その後大きな転換点となったのは、MITのジョン・マエダ (John Maeda, 1966-) によるプログラミング教育に関する試み、*Design by Numbers*である。このプロジェクトは非プログラマにもコンピュータを創作の道具にするための方法論として考えられ、簡潔なコードにより多用なグラフィックのパターンを生成できる環境と実例を提供している (Maeda, 2001)。*Design by Numbers*は後のプログラミング環境に影響を与え、マエダの学生らにより現在インタラクティブメディアアートの制作環境として最も広く使われている *Processing*が開発された。今日では実際に *Processing* やそれと同様の環境を用いて制作されたジェネラティブアートも多く見られ、教育面での普及が分野の活性化に寄与していると見ることができる。*Processing* によるジェネラティブアートの制作技法についてはマット・ピアソン (Matt Pearson) の著書 (Pearson, 2011) やハルムート・ボーナッカー (Bohnacker Hartmut) の著書 (Bohnacker et al., 2012) に詳しく実例とともに紹介されている。

## 音楽におけるジェネラティブアート

音楽も早い時期からジェネラティブアートを受け入れた分野の一つである。古いものでは音楽のアルゴリズムコンポジションの一つでキルンベルガーやモーツァルトも楽曲制作手法として用いていた「音楽のサイコロゲーム」*Musikalisches Würfelspiel* (1792) が挙げられる。コンピュータ発明以降のもので最も知られている

のは、建築家であり作曲家であるヤニス・クセナキス (Iannis Xenakis, 1922-2001) による数学理論に基づく音楽作品である。彼は確率論的手法により楽譜を生成し、管弦楽曲や電子音楽などの数多くの作品を残した。またイギリスの作曲家ブライアン・イーノ (Brian Eno) は *Generative Music* という語を提唱し、自身の作品においても生成システムにより変化し続ける楽曲を多く制作している。

*Generative Music* に特化した制作ツールとしては、*Koan* (SSEYO Koan Pro 及び Intermorphic's Noatikl の前身) はイーノが作品制作に用いたことで知られる。またより汎用的な音楽向けプログラミング環境である *Max* や *Pure Data* もよく用いられる。

## その他の分野との関連

ジェネラティブアートは芸術の世界の内に完結するものではなく、「生成」をキーワードとしながら他の学問領域と多様な結びつきを持つ。

例えばジェネラティブアートで用いられる「進化論的計算手法」や「遺伝アルゴリズム」といったものは実際の遺伝学や分子生物学の知見を基礎として考案されてきたものである。また生命や自然現象の多様な振る舞いについて研究する複雑系科学では、決定論的力学に基づく数学的に予測不可能な現象である「カオス理論」を取り扱う。カオス理論はジェネラティブアートの表現手法として多用されるものの一つである。

また言語学におけるチョムスキーをルーツとする「生成文法」の考え方に基づき、芸術表現の分析や生成を行う研究もある。有名なものとしてはフレッド・レアダール (Fred Lerdahl) とレイ・ジャッケンドフ (Ray Jackendoff) による生成音楽理論 (A Generative Theory of Tonal Music, GTTM) は生成文法と同様の考え方を楽曲分析に適用したものである。(ただし GTTM は元々分析に主眼をおいたものであり、これに基づく生成の例はまだ少ない。) また建築分野においても建築の構造を形式文法に沿って扱い、形態生成を行うものがある。

## ジェネラティブアートのコミュニティ

ジェネラティブアートのコミュニティとしては、それぞれの芸術分野の下層領域として存在している状況である。例えばコンピュータグラフィックスであれば SIGGRAPH、コンピュータ音楽であれば国際コンピュータ音楽会議 (ICMC) などの世界的国際会議では毎回ジェネラティブな表現手法に関する発表が見られる。一方でジェネラティブアートに特化したものとして、ジェネラティブアート国際会議 (Generative Art

International Conference, <https://www.generativeart.com/>) も存在する。また近年はデジタル技術を用いたプログラミングを中心とする創作技法を「クリエイティブ・コーディング (Creative Coding) 」と呼ぶ動きもあり、こうした新しい潮流の中にもジェネラティブアートは常に受け入れられている。

## アルゴリズムミックアートとの対比

ジェネラティブアートの定義に先立ち、類似の概念である「アルゴリズムミックアート (Algorithmic art) 」との差異について触れておく。ジェネラティブアートとアルゴリズムミックアートはそれぞれ次のように視点の異なる概念である。

- ジェネラティブアート ... 作品の生成に自律性を採り入れていることが条件となる。生成の手続きにアルゴリズムを用いるかどうかは問わない。
- アルゴリズムミックアート ... 生成に何らかのモデル化された手続き、すなわちアルゴリズムを用いていることが条件となる。生成が自律的であるかどうかは問わない。

ジェネラティブアートは自律性が重要なものに対して、アルゴリズムミックアートは生成が自動か手動かには関わらず生成のロジックに焦点が当てられた語であることができる。従って両者は対立概念ではなく成立条件の違いであり、両立する場合もあり得る。

またアルゴリズムミックアートはしばしばジェネラティブアートと同義のものとして使われるが、一般的にはジェネラティブアートの下位概念として捉えられ、コンピュータによる自動生成が用いられることを特徴とする。分野によって音楽では「アルゴリズムミックコンポジション」、デザインや建築では「アルゴリズムミックデザイン」という言葉が一般的に用いられる。勿論そこで用いられるアルゴリズム自体はコンピュータ前史に生まれたものも含むのであるが、明確にアルゴリズムミックという語で認知されるようになったのは生成手法としてコンピュータを使うようになってからのことである。

ジェネラティブアートとアルゴリズムミックの違いをより明確にするために、具体例を幾つか挙げる。まずジェネラティブだがアルゴリズムミックではない例としては、フランスのアーティスト Jean-Max Albert は自然現象や生物学的活動を活かした作品が挙げられる。彼の作品 *Calmoduline Monument* (1991) では、植物の細胞に刺激を与えることで成長パターンを変化させている (Albert, 1993)。このような自然の自律的振る舞いを利用した一種のバイオアートは、生成過程が一の手によってモデル化されているわけ

ではないのでアルゴリズムックではないが、ジェネラティブアートの一つとして捉えることができる。従ってジェネラティブアートは必ずしもコンピュータを代表するデジタル技術を用いたものであるとは限らない。特に生体を利用するバイオアートの場合は、自律的に成長する対象物についてある程度生成過程をコントロールしようとするとはできるが、常に安定して変化するとは限らない。

一方でアルゴリズムックだがジェネラティブではない例としては、先に挙げた「音楽のサイコロゲーム」*Musikalisches Würfelspiel*が該当すると言える。*Musikalisches Würfelspiel*はアルゴリズムコンポジションの最初期のものの一つとして見られ、偶然性と一定の論理に基づいて生成を行うものである。しかしその操作は作曲家の手によって行われ、自律的に生成する仕組みは持たないためジェネラティブとは言えない。

このようにジェネラティブアートとアルゴリズムックアートの違いは、前者が生成に自律的な仕組みを持つことを条件としていることに対し、後者は生成に何らかの手続きに関する論理を持たせているかどうかを重要視するという視点の違いである。当然前述のような両者の性質を兼ね備えた作品形態も多くある。

近年は人工知能（AI）を用いた強い推論を伴う自律的システムによる創作も試みられている。ただしAIのような高度に自律的かつ複雑なシステムを用いた場合には、いわゆる中間層と言われるシステムの内部でどのような判断がなされて生成を行うのかについて、利用者が理解することは現状では困難である。また作られた結果として現れるものの性質が既存のジェネラティブアートによるものとは大きく異なるため、それを果たしてジェネラティブであると呼べるかどうかは議論が待たれる部分である。最新のAIによる芸術表現に関する表現の実例は、CreativeAI (<http://www.creativeai.net/>) というウェブサイトでも多数見ることができる。

## ジェネラティブアートの成立条件

前節のとおりアルゴリズムックアートとの違いを踏まえた上で、ここで改めてジェネラティブアートの定義について明確にしておく。ジェネラティブアートについては度々研究者により歴史、理論、実情について俯瞰と共に定義が試みられている。例えばPhilip Galanterの定義は頻繁に引用されるものの一つであるのでここに示すが、多様な実例からのボトムアップなアプローチと字義的な解釈によるトップダウンのアプローチを併せて下記のように述べている（Galanter, 2003）。

Generative art refers to any art practice where the artist uses a system, such

as a set of natural language rules, a computer program, a machine or other procedural invention, which is set into motion with some degree of autonomy contributing to or resulting in a completed work of art.

(ジェネラティブアートは、アーティストが自然言語のルールのセットやコンピュータプログラム、機械、またはその他の手続き的発明など、完成されたアート作品として結実するよう、またはその一助となるよう、ある程度自律的に動くように設定されているシステムを使うあらゆるアートの実践を指す。)

上記の定義にあたっては、過去の実例を過不足無く含むとともに、未だ現れ得ない型式のジェネラティブアートも含まれるよう配慮されている。従ってジェネラティブアートとは、アートに結びつけることを目的として自律的システムを使った上で何らかのルールを課すことがその成立条件となる。なお本論文においてもこれと同様の立場を踏襲する。一方その他の諸条件、例えば入力を取るのか、取る場合はどのように行われるか、或いは具体的な実装の方法をどのように行うかなどについては様々な実態がある。

## 1.2 ジェネラティブアートの表現特性

---

### ジェネラティブアートの自律性

ジェネラティブアートを生成するシステムは自律性を基礎とする。自律を字義通りに解釈すれば、個体が外からの影響や力を受けない場合にあっても自己の判断において適切に行動を律することと言える。これを生成システムに当てはめて考えると、外部からの入力無くとも内的な処理によって時間的に変化する振る舞いを生じさせる性質のことを指すと言える。ここで言う時間的な変化とは必ずしも実時間での変化を指すとは限らない。例えば遺伝的アルゴリズムによる自動作曲のような進化的アルゴリズムを用いた作品は、特定の時間軸に囚われない進化のシミュレーションによって生成を行うものである。従ってジェネラティブアートにおける時間的な変化とは、非実時間的なものも含めた変化の前後関係に焦点が置かれる。

またジェネラティブ=生成的という言葉から、マルチエージェントシステムのようなエージェント同士が自律的に相互に作用し、且つ条件によってエージェントそのものが新たに生成されて全体として規模を拡大させていくようなシステムを想起されるかもしれない。確かに個々のエージェントの条件によって様相の異なる全体が創発的に生まれ

る様は、一つの魅力的な手法と言える。しかしジェネラティブアートのシステムはこのような形態に限るものではなく、規模の増減は必須要件ではない。

このように自律性はジェネラティブアートの根幹を成す重要な核であるが、実際にはあくまでもひとつの要件であり、システムの外と呼応し合う所謂インタラクティブなものも多く存在する。また自律的システムによる生成のバリエーションがどの程度明白なものであるか、すなわち予測可能で透過性の高いものであるか、また判断が常に安定したものであるかどうかについては、生成の方法によって違いがある。

## 情報理論的視点による手法の分類

ジェネラティブアートで頻繁に用いられる生成手法にはシンメトリー、フラクタル、Lシステム、遺伝的アルゴリズム、確率的生成、ランダムマイゼーションなどが挙げられる。先のGalanterはこれらの手法を情報理論での秩序（Order）と無秩序（Disorder）の次元に照らし合わせて分類している。例えばシンメトリーは少ない情報量でありながら意味をもたらすものであるため秩序だったものであり情報の圧縮性（Compressibility）が高いと言えるが、一方ランダムマイゼーションは情報が多様であっても意味を見出すことは難しいため無秩序で圧縮性が低いと言える。図1-1にGalanterによる各種ジェネラティブアートの生成手法について秩序対複雑性に基づき分類した図を引用する。

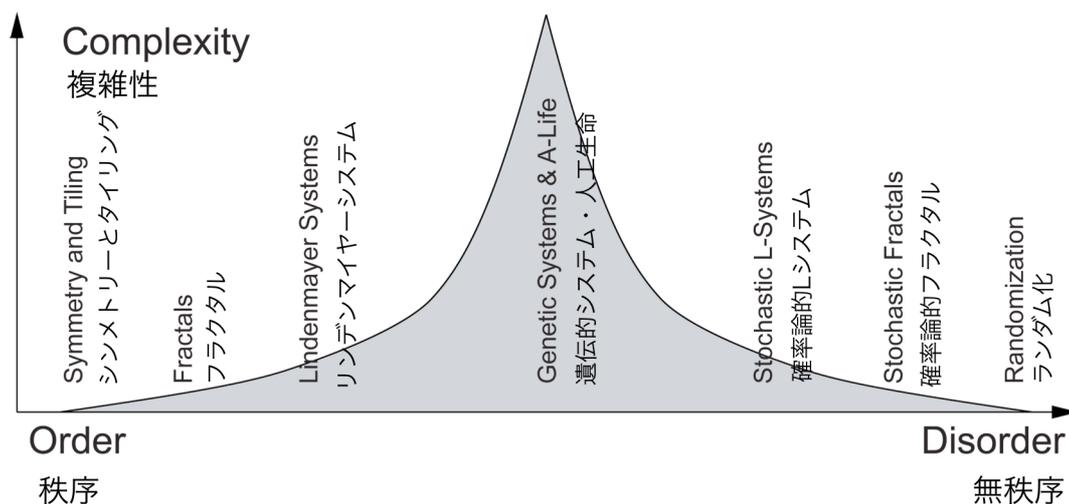


図1-1 Galanterによるジェネラティブアートの生成手法の秩序対複雑性に基づく分類  
(Galanter, 2003より引用、翻訳を追記)

ここで注目すべきは情報の複雑性の認知である。今挙げたシンメトリーとランダマイゼーションは秩序-無秩序の次元の両極に位置するものであり、人間の知覚としてはどちらも複雑性の低いものとして受け止められる。しかし遺伝的アルゴリズムやLシステムのような適度に秩序と無秩序が混在しているものは、複雑性が高いと感じられる。このことは心理学からの視点からも共通性を見出すことができる。Berlyneによる適応的精神生物学的反応のモデル (Berlyne, 1971) によれば、環境に適当な不確実性や複雑性があり且つ最適な覚醒水準がもたらされた場合に、人間の肯定感情が促されるとされる。つまり適度な無秩序さが保たれなければ単調に感じられてしまうということが考えられる。

但しこの分類方法は情報理論に基づくひとつの傾向に過ぎず、認知に先立つ知覚に近いレベルで適用し得る考え方である。実際の作品で認知される意味や感情、価値、面白さといったものにはこの視点に含まれない他の側面が多くあることに当然のことながら注意しなければならない。

## ジェネラティブアートの創作背景

ジェネラティブアートを使った創作背景には幾つかの異なる視点、すなわち作家が何を期待してジェネラティブアートを採用するかの違いがある。これはジェネラティブアートは数学、化学、生物学、計算機科学、統計学など様々な分野の視点を借りながら発展してきたことも一因ではあるが、ここでは特定の分野に依らず共通するものとして二つの対称的な創作の視点を取り上げ説明する。

一つ目の視点は、作家性を排して純粹に自律的規則の織り成す過程や結果に美的な価値を見出す作品の場合、生成過程と鑑賞の認知的過程との間に因果関係が有る無しに関わらず、多様に解釈可能な意味を持ったものとして鑑賞者の前に現れるようなものである。例えば複雑系科学を背景として作られたシステムのように、単純なルールを持った要素の集合から複雑な現象が創発される様を観察するようなものがこれに当たる。その観察過程では、現象を生み出すシステムの内的構造と認知との間に何らかのカップリング（相互に独立したものの間に見られる同期）が生じているという見方も一つの仮説としてあり得る。システムが行うことは、ある時は現実の模倣であり、またある時には模倣から拡張された虚構を作り出すことでもある。ジェネラティブアートの方法論について著作でまとめているマット・ピアソンによれば、機械的なものと有機的なもの、論理的な実践としてのプログラミングと感情的な対象としてのアートなどの対比を挙げ、ジェネラティブアートは機械を使って論理的プロセスから創発される有機体を

作るようなものであるとしている（ピアソン, 2014）。

もう一つの視点としては、作家が自らの意図を生成物に反映させるための手段としてルールやアルゴリズムを組み合わせて制作することもある。これには創作の過程を生成規則として抽象化し、それを用いて再構築や拡張を行うようなものが挙げられる。一例として、筆者が長年開発に携わってきた *Gestalt Editor* という音楽と空間デザイン生成のためのソフトウェアでは、作曲や建築設計の古典的な語法を組み合わせたものを入力として、コンピュータに結果を自動生成させることができる（Hamano, 2013）。このソフトウェアではコンピュータで操作可能な記号自体が人間の認知に沿ったものであり、アルゴリズムックアートの形態に近い。現状では完全な自律的生成を行うわけではないが、生成に時間性を持たせることで一種のジェネラティブアートに成る。ここでの生成規則には何らかの認知的構造を反映させたものが含まれることになり、生成操作をコンピュータに委ねながらもその背後には作家の意図が含まれていると言える。

上記のようにジェネラティブアートの表現特性について考えると、生成モデルから生じた生成物を認知する過程と逆に認知的事象から生成モデルを作る過程の2つの視点があると言える。しかし基礎的な性質を持ちつつも、成立要件が単純であるが故に実際の創作背景は様々な文脈を持つことができ、更に作者の意図に応じて異なった作品の鑑賞の方向性がありえる。またいずれの制作背景においても、アート作品として提示される前の過程で作家の美的判断による取捨選択や調整がなされることがある。

### 1.3 ジェネラティブシステムを用いた表現過程の認知的側面

---

前節ではジェネラティブアートがどのような見られるかについての性質について述べたが、本節ではそれを作る際に作者がどのように表現を行うのかについて述べる。すなわち、ジェネラティブなシステムを用いて表現を行う際にどのような思考を経るのかという認知的側面について考えていく。

ジェネラティブアートの作品の多くはコンピュータを生成システムとして使用する場合が多い。そのため本論文においてもこれ以降は、コンピュータの使用を前提のものとする。ここではコンピュータでの機械操作によって意図を表現すること自体について考えるため、メディア理論家のレフ・マノヴィッチの著書と石川博久の論考を取り上げる。その上でジェネラティブシステムとの関係性や特質について考える。

例えば本研究のようにデジタルメディアの自律的生成を含む新しい表現ツールを作ろうとするのであれば、ジェネラティブとアルゴリズムの両面から検討を行う必要がある。つまりシステムが自律的であることに起因する事象と、機械的操作によって自律性を記述していくことに関する事象のそれぞれについて考えなければならない。

## レフ・マノヴィッチによる「ニューメディアの言語」

メディア理論家のレフ・マノヴィッチは、コンピュータを中心とするニューメディアの特性について著書でまとめている（マノヴィッチ, 2013）。それによればニューメディアは5つの原則があるとし、「数字による表象」「モジュール性」「自動化」「可変性」「トランスコーディング」から成るとしている。いずれの原則も一般的なプログラミング行為に普遍的なものであると見ることができ、ジェネラティブアートの制作にも当てはまることである。この中から2つの原則、モジュール性とトランスコーディングに着目してみたい。

モジュール性は、ニューメディアを構成する内部がモジュール的構造でできていることを意味する。マノヴィッチの分類においては、モジュールが手続き又はデータ構造を区別せず扱っている。モジュール同士は様々な関係を持つことも多く、親子関係や参照関係などによりグルーピングや階層性を持つ場合もある。このモジュール性は人の認知的特性と密接な関係があると考えられる。コンピュータを用いて課題解決や表現を図るには、人の認知可能な抽象的思考のモデルとコンピュータのモデルとを対応させる必要があるからである。また人が一度に認知可能な事柄には一定の限度があり、注意の対象を適切に切り替えることができるようにするためにも認知的に適切なモジュール化がなされる必要がある。

またトランスコーディングは、もともと何かを他のフォーマットに変換することである。ある表現のためのデータがコンピュータに存在した場合、それを異なるフォーマットの表現に換えることができる。例えばいわゆるビジュアライゼーション（Visualization）のように、本来異なる形式のデータを視覚化することで、データに内在する特徴について気づきを得るといった類のものがある。マノヴィッチはこの考え方を拡張して、「文化的なトランスコーディング」について言及している。マノヴィッチはニューメディアに2つの異なったレイヤーすなわち「文化的レイヤー」と「コンピュータのレイヤー」があるとし、下記のように述べている。

コンピュータのレイヤーと文化のレイヤーは、互いに影響しあっている。別の

ニューメディアの概念を使って、両者は互いに合成されつつあると言ってもいいだろう。この合成の結果として、新しいコンピュータ文化が生じる。人間とコンピュータがそれぞれ持っている意味が混ざり合う、つまり人間の文化が世界をモデル化としていた伝統的なやり方と、世界を表象するコンピュータ独自の手段が混ざりあうのである（マノヴィッチ, 2013）。

またマノヴィッチは下記のように述べており、コンピュータの内包する性質が現実の考え方、ひいては文化にまで影響を及ぼしていることを指摘している。

文化のコンピュータ化は、あらゆる文化的カテゴリーおよび概念に関して、同様のトランスコーディングを徐々に達成している。つまり、文化的カテゴリーおよび概念は、意味そして／あるいは言語のレベルで、コンピュータの存在論、認識論、語用論から派生する新たなカテゴリーや概念に取って代わられているのだ。

以上のように、モジュール性に見られるような内的構造の工夫によってコンピュータを扱い表現を行う者の認知と繋がることができ、更にトランスコーディングのようにコンピュータと文化のレイヤーが互いに接近することで表象の繋がりが生まれる。勿論コンピュータを使った表現には色々な性質のものがあるにせよ、表現の背後にはこれらの作用が少なからず関わりを持っていると言える。

## 石川博久による「方法論の方法論」

先のマノヴィッチの言説にあったような表現者から社会や文化への繋がりがどのように実現されるかについて、ここでは石川博久の「方法論の方法論」と称する論考を取り上げる（石川, 1998）。

まず前提として、石川はコンピュータを用いて何らかの課題を解決しようとすることは、すなわち「問題を解くとは、外部情報をもとに自分を表現すること」であり自己表現に繋がるものであるとしている。そのためには他者のノウハウを借りるだけでは真の問題解決にはならず、自ら外に向かって表現する過程、すなわち自己表現が必要であるとしている。そして自己表現には記述、標準化／体系化、伝達、表現の4つの技法によって支えられるとしている。

その上で適切な方法を選択するためには「方法論の方法論」（メタ方法論=Meta-methodology）が必要としている。「方法論の方法論」とは、何かを達成するための方法を再利用可能にするために、メタレベルでモデル化することであると言える。こ

の「方法論の方法論」が必要である理由は、限られた時間と限られた認知的容量のために知識の再利用が求められることによる。石川自身は「方法論」及び「方法論の方法論」について以下のように定義している。

「方法論」とは、時間や能力などの制限の中で、最大限の効果を上げるための手立て（方法）を選択するための枠組み

「方法論の方法論」とは、さまざまな方法論を記述し、標準化／体系化し、伝達し、表現するための枠組みを与える、通常の「方法論」に対するより高次の「方法論」である。

これによりもたらされる事で興味深いことは、単に課題に対する効率の向上だけではない。過去に得た共通部分を抽象化し知識を再利用（応用）することにより、共通部分とは違う差異の部分に目を向けることができるとしている。つまり「方法論の方法論」を適用することで共通部分については保留し、差の部分への認知的シフトが生じる。石川は「ベテランの「経験」を構成している知識の構造（パターン）を把握していく」が重要であると述べている。これはすなわち暗黙知を形式的な知識に変換し、その次の段階の認識を可能にするものであると言える。

## プログラムを通して表現するという事

実はコンピュータのプログラムを作成するためのプログラミング言語は、このような視点を含みながら発展してきた歴史がある。勿論プログラミング言語にとって、処理の効率や正確性が重要視されることは言うまでも無いが、そもそもプログラムを作るということは現実世界の事象を切り取ってモデル化しコードとして記述するという性質の行為である。また共同開発の場合には、作ったプログラムのコードを他の開発者が見て意図を読み取れる表現力（ここで言う表現力とは、プログラミング言語自体の持つ表現力、記述力と開発者の技能の両方である）が求められる。

例えばプログラミングパラダイムの一つであるオブジェクト指向プログラミング（Object-oriented programming）は、人の認知に沿った表現力を持つ記法として頻繁に挙げられる。オブジェクト指向は、ある特定の処理を行うためのデータと手続きをひとまとまりのオブジェクト（モノのメタファー）をクラスという単位で抽象化し、カプセル化（Encapsulation）によって情報の隠蔽を行う。プログラミングにおいて隠蔽とは肯定的な意味で使われ、問題を適切に分割して認知的に整理することを指す。またあるクラスが別のクラスの性質を引き継ぐ継承（Inheritance）や異なるタイプの

データに対して共通の振る舞いを適用する多態性 (Polymorphism) など、再利用性を高めるための様々な仕組みが含まれている。但しオブジェクト指向はあくまでも再利用性を高めることを目的として設計されており、現実世界のあり方を反映したものではないという見方もある (福地, 2010)。

他にも認知的特性を考慮に入れたプログラミングパラダイムには多種多様なものがあるが、Federico Biancuzziらにより編纂された書籍「Masterminds of Programming」 (Biancuzzi, 2009) には、様々なプログラミング言語の開発者自身が現実の問題に対してどのようにモデル化し記述するかということについて豊富な議論がなされているので参照されたい。

このようにコンピュータを用いて表現するということは、現実世界に対する認識とコンピュータの持つ構造を操作する記号との対応を、時間や認知特性を常に考慮しながらすりあわせていく作業であり、抽象化することによって思考を次々と展開させていくものであると言える。

## 創作行為としてのジェネラティブアートの認知的過程

これまでの知見を参考にしながら、ジェネラティブアートの表現を生成する過程で起こる認知的事象について検討する。この過程は図1-2のようなモデルとして単純化して整理できると考えられる。これは単一の表現者を前提としたモデルであるが、複数人で共同で行う場合にも適用可能であると考えられる。

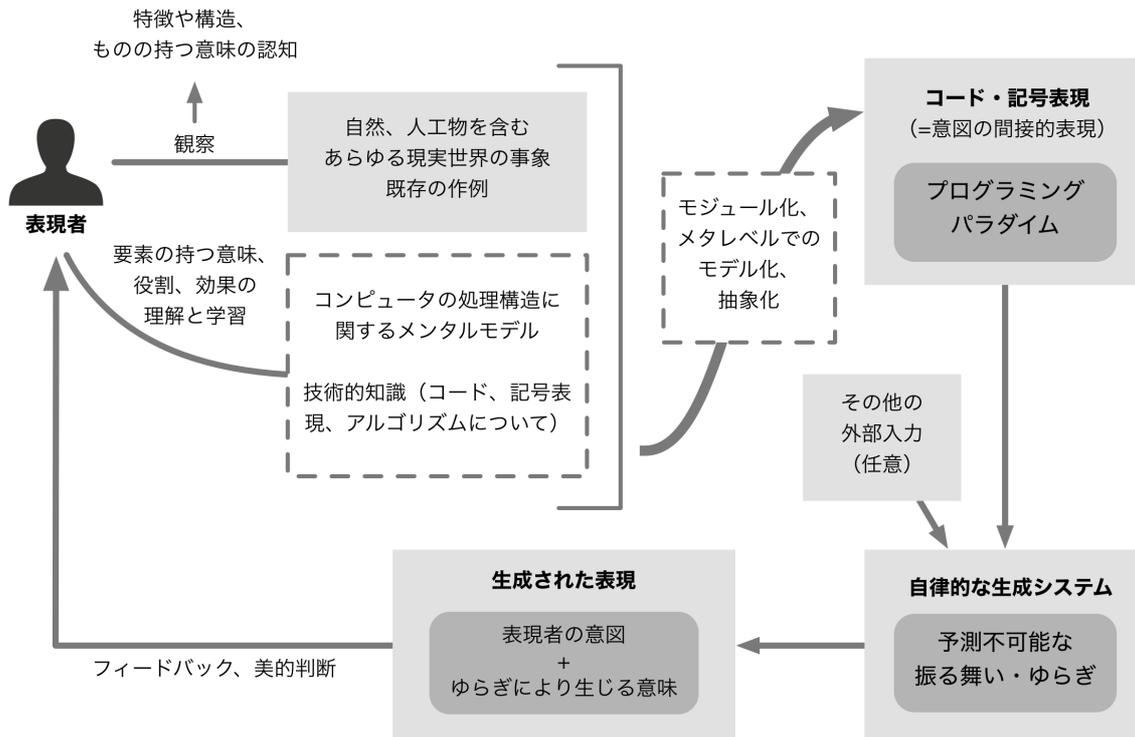


図1-2. ジェネラティブアートの表現過程に起こる認知的事象の関係

この図が表す通り、ジェネラティブアートの表現過程とはこれまで述べたコンピュータのプログラムを通して表現を行う過程に加え、生成プログラムにより生じた表現のゆらぎとそこから生まれる意味の加わったものであると捉えることができる。表現者は結果に対して美的判断を下し、認知的モデルと処理のモデルを同時に更新していく。この過程により生まれる表現の性質には、ベースにアルゴリズム的な表現方法に含まれる性質と、その上にあるジェネラティブアート特有の自律性に基づく性質に分けて考えられる。

### アルゴリズム的な表現方法に含まれる性質

まずアルゴリズム的な表現方法に含まれる性質として挙げられるのは、他者による経験を知識の構造モデルとして借り表現に反映させることができる点である。生成過程を生成手続きのための記号表現に落とし込むことは、観察を通して認知可能な事象をルールやアルゴリズムとして抽象化することであり、その過程で事象の細部が省かれることもある。しかし抽象化されたモデルを利用し階層的に組み立てることで、認知的負荷を抑えながら一般的思考では成し得ない複雑で規模の大きいものを作ることも可能になる。この過程は、構成論的に組み立てていく過程を認知的主体としての身体から切り離して外在化するものであると見なすことができる。

## 自律性に基づく性質

ジェネラティブアートのシステムは生成モデルにより程度は異なるが、「予測不可能性」(Unpredictability)を含む結果を生む。この予測不可能性というのは生成結果が全く予測できないということではなく、予測可能な振る舞いを基本とする中で認知的に予測の難しい事象が含まれるということである。その度合は手法や条件によって異なる。

この予測不可能性により、作品の構成要素が同士に規則的であれ不規則的であれ何らかの組み合わせが生じた場合、各構成要素が本来持つものとは別の意味を生じることがある。つまりジェネラティブなシステムは創作者にとって継続的な混乱を起こす仕組みとなり、創作者の固着的な学習を防ぐものになると考えられる。創作者は何らかの予測を持って生成システムに働きかけをし、予測と異なる結果が出た場合には作品における構成要素の意味やつながりを考え再び内在化する、という過程の繰り返し構造があると想定できる。このような効果は予測不可能性が適切な範囲内で無ければ生じにくいため、適切な予測不可能性の設計が重要であると言える。

またジェネラティブなシステムは生成をしている間、受け手に意味を与え続ける可能性を持つことと、アートとしての表現を目標とすると学習の課題設定は多種多様なものになるという二つの側面がある。これらから導かれることは、協同でジェネラティブアートの制作に取り組む場合、ジェネラティブなシステムは各人が異なる視点や段階に取り組むつつ繋がりを持てるプラットフォームになり得るということである。つまり例えば一つの作品を共同で制作する場合に、創作者同士が異なる視点で制作に取り組み意図を反映させていった場合にも、システムが生じ続ける新たな意味が互いの創作者に対して影響を与え続け、協創を可能にするプラットフォームとなる可能性があるということである。一例として音楽の場合には、生成のモデルに作家の意図を反映させることができれば、生成システムが作家の代わりとして演奏し続けるようなことが可能になる。かつそこに予測不可能性が含まれることによって複雑度が上がり、受け手の関心を喚起するものになり得る。このように作家の創造的思考を外在化したものとしてジェネラティブアートの生成システムを捉えることにより、既存の対人関係性とは異なるシステムを通じた協創のあり方が考えられる。

以上の事柄が、ジェネラティブシステムを用いた表現行為の過程と性質として捉えられる。

## 1.4 ジェネラティブアートの創作の特質と教育への適用可能性

本章ではジェネラティブアートについて定義にはじまり、その表現特性、表現過程における認知的事象について見てきた。これらを踏まえ、ジェネラティブアートを芸術表現教育に活用することを考えていく。

芸術表現教育においては、道具（ツール）や他者との関わりの中で継続的かつ発展的に表現を生み出していく「創造的循環」の過程を良い形で高めていくことが重要であると筆者は考える。創造的循環とは、学習者が外部の情報を自身に取り込みながらアイデアを道具を用いて具現化する過程、また具現化したものに対して美的判断を下し次の表現につなげる過程、また他者との相互の関わりの中で創造的思考を高めていく過程など、創造に関わるあらゆる過程の循環的な繰り返しのことを指す。この上で創造的循環を想定したジェネラティブアートの創作の特質について、下記の事柄が言える。

- ジェネラティブアートは手法によって程度の差はあるが、生成結果（作品となり得る創作表現）は予想不可能性を持つ。
- 予想不可能性の程度により生成結果に意味が発生する。生成結果の無秩序さが高すぎる場合はノイズと認識されることもあるが、その無秩序さがほど良く不安定である場合は新たな意味を持つ表現と認識されることもある。（完全な秩序は生成対象の理論的構造に対応する。）
- 創作者は生成結果に存在するゆらぎを観察し、システム或いはユーザーによるゆらぎの要因を推測する。システム操作と生成結果の観察の繰り返しから何が制御できるかを探り、創作者のメンタルモデルがシステムの生成モデルに合わせて調和の取れたかたちに発展する。
- その結果として創作者とシステムのインタラクションが成立し、両者にゆるやかな結びつきが生まれる。（その結びつき方は個人によって異なるだろう。）その結びつきが個人レベルの創造的循環（創作者とシステムとのインタラクションによる表現の試行錯誤）を促進させる。
- メンタルモデルが成熟していれば、他者の制作した作品を解釈し、さらにその作品に関与する可能性が生まれる。複数の創作者の間で作品を介した相互関与が起ると、それは複数人間レベルの創造的循環と言える。

従ってジェネラティブアートを作る際には勿論のこと、作品制作のためのジェネラティ

ブな生成システムを開発する際にも、これらの知見を意識して行うことが重要である  
と考える。それによりジェネラティブアートを軸とした、作家、システム、作品、鑑賞者  
間のより良い関係を築くことができると期待される。

## 第2章 構成主義に基づくジェネラティブアートの分析

本章では、前章で述べたジェネラティブアートの特徴を利用して教育のツールとして活かすために、特に「構成主義」を中心に提起し、ジェネラティブシステムを用いた表現行為について教育的観点からの検討を行う。構成主義はプログラミング教育や芸術教育においても受け入れられている考え方であり、デジタルメディアを用いた実践的芸術教育のためのシステムや環境のデザインを行う上で有益な視点を与えるものと考えられる。本研究で構成主義を提起することの意味は、アートの創作ワークショップを行うにあたって旧来の行動主義や認知主義的な教育観では捉えきれない部分があると考え、学習者が自ら主体的に創造的思考を拡げていくために必要な考え方であると信じるからである。そこで実践に先立つ考察として教育分野の学習理論として浸透している構成主義を提起し、教育現場でのジェネラティブアートの有効な活用の仕方を見出していく。

なお混乱を避けるために触れておくが、ここで言う構成主義はロシア構成主義や国際関係学で言われる社会構成主義とは文脈を異にする。また構成主義は哲学を背景とし社会学や政治学などへの広がりも持つが、本論文では教育的文脈での構成主義に限定する。

以降各節について、2.1では竹内、中村の著述をもとにピアジェを中心とする構成主義の成り立ちと教育における意義についてまとめ、2.2でシーモア・パパートによる構成主義から構築主義への展開について説明する。また2.3ではジェネラティブアートを用いた教育活動の実践に対して、構成主義をどのように適用しうるかについて述べる。

### 2.1 構成主義の成立と広がり

---

#### 構成主義の変遷

「構成主義 (Constructivism)」とは、心理学的な見方に限定すれば「人間の知識は既に持ち合わせている知識を元にして主観的に構成される」というものであり、教育分野で広く浸透している考え方である。ピアジェの発達理論がその代表的なものとしてよく挙げられる。思想としての構成主義は心理学に限らず社会学においても議論の的と

なってきた。本節では構成主義の成り立ちを中村により整理された資料に基づき見ていく（中村, 2007）。

そもそも構成主義は、人間の認識と知識の獲得の仕方を問う中で生まれてきたものである。その源流は西欧思想の2つの哲学、経験主義と合理主義にまで遡る。外界に事実性があるとする経験主義と内界に事実性があるとする合理主義との2つの哲学に対し、カント（Immanuel Kant, 1724-1804）はこれらを統合し、悟性のカテゴリーが主体的に経験を認識し構成することで知識を形成するとした。この意味で心理学的構成主義の起源はカントにあると言える。二十世紀にはウィットゲンシュタイン（Ludwig Josef Johann Wittgenstein, 1889-1951）が、カントの悟性のカテゴリーが持つ役割を言語に見出した。彼は意識が言語に先立つのではなく言語が意識を構成するという思想を展開した。そこでは個人が実践を通して前もって持っている経験によって推定されるのであり、語の意味は問主観的なものであると捉えた。この知識の問主観性はクーン（Thomas Samuel Kuhn, 1922-1996）により自然科学における「科学革命」や「パラダイム転換」における原則として採り入れられた。また社会科学においても認識論としての構成主義が広がることとなった。

次の項では構成主義の2つの立場、心理学的構成主義と社会的構成主義について見ていく。またそれぞれの観点からの教育への関わりについても述べる。

## 心理学的構成主義

心理学的構成主義は心理学者のピアジェ（Jean Piaget, 1896-1980）を先行者として起こった。ピアジェは彼自身の認識論を「発生的認識論」として学問的に体系づけている（竹内, 2015）。その定義について「知識がつくられていく過程と知識のもつ意味について研究する学問で、人間の心が知識のより低いレベルから、より高いレベルに変わってゆく方法論を研究する学問である」としている。すなわちある知識の構造が「発生」によって他の構造に達する過程について考えることが主たる論点であった。

ピアジェの発達理論では、スキーマ（scheme）と呼ばれる認知的枠組みを個人の中に想定し、新しい経験がスキーマに合わせて把握される過程を「同化」（assimilation）と呼ぶ。更に既存のスキーマによる同化で対応できない新たなパターンを構成する「調節」（accomodation）の過程があるとし、同化と調節を繰り返すことで互いに中和する働きを「均衡化」（equilibrium）と呼ぶ。

ピアジェの認識論で着目すべき点は、発達要因と発達段階の分類についてである。まず

発達要因について竹内によりまとめられたものを更に表2-1の通り整理する。

発達要因	
(1)成熟	神経系の内的成熟という生物的要因。
(2)経験	物理的環境が知能の発達に与える効果としての経験。
(2-1)物理的経験・知識	対象に働きかけることと、対象からの抽象作用によって、対象についての何らかの知識を引き出すこと。
(2-2)論理数学的経験・知識	対象から引き出されるのではなく、対象に働きかける活動から引き出される知識。
(3)社会的伝達	言語や教育による価値ある情報を、理解できる状態にある（＝同化することのできる構造を持っている）ときのみ受け取ることができる。
(4)均衡	活動的過程における同化と調節の自己調整の過程。

表2-1 ピアジェによる発達要因の分類（竹内, 2015 をもとに構成）

この上で学習のデザインを行う側が積極的に関与し得ることは、(2)の経験に関して経験を得るための環境をどのようにして作るか、またその経験は物理的・論理的のどちらに近いものとして与えるかについて検討することが重要と考えられる。特に(2-1)は学習対象からの反応を観察することによる学習であるが、(2-2)は対象に働きかけることを通して学習者が内的なフィードバック作用によって知識を引き出していく過程があるということは、より精細な学習デザインを行う上で示唆を与えるものとなる。また(3)に関しては社会的伝達が成立するための基礎となる構造を身に着けさせるかや、伝達が起こる環境を整備できるかが課題として考えられる。

また発達段階については表2-2のように整理されている。

ここからわかることは、ある程度の年齢の幅はあるものの、年齢が上がっていくにつれて獲得できる知識構造の種類が増えていくことである。学習デザインにおいては、対象とする年齢に合わせた学習目標の設定が必要となる。学習者にとって構成しにくい課題を与えても関心が継続しないと予想されるが、適切に獲得できる段階の課題設定であれば自己効力感を得ながら取り組むことができると考えられる。

以上のようにピアジェを代表とする心理的構成主義の見地から学習のデザインを行う際には、学習対象と発達要因の関係についての検討と適切な発達段階の内容設計が重要であると言え、教育における学習デザインにおいて基礎的な指針を示すものとして役立つとされる。

発達段階	
(1)感覚運動的知能段階 (出生から二歳頃まで)	対象への働きかけを感覚と身体運動によって行い、次第に意図的に働きかけるようになる段階。
(2)前操作的知能段階 (二～七・八歳頃)	言語や象徴機能があらわれる段階。行動の内面化が始まり、イメージや象徴（遊び）によって、思考や表象することができるようになる。
(3)具体的操作段階 (七・八歳～十一・十二歳頃)	具体的な事物により、関係、数、一対一対応、系列の操作が可能になる。自己中心的思考から脱中心化した思考へ移行する。
(4)形式的操作段階 (十一・十二歳～十五・十六歳で完成)	完全に形式的・抽象的レベルで操作が行われる。

表2-2 ピアジェによる発達段階の分類（竹内, 2015 をもとに構成）

## 社会的構成主義

上記は構成主義は個人の学習に着目したいわゆる心理学的構成主義であるが、そこから発展したもう一つの視点が社会的構成主義である。社会的構成主義は分析の単位を個人から社会へと移し、知識の構成には社会が本質的な役割を担うとする立場である。これは心理的構成主義が社会の役割を積極的には肯定しなかったことと対照的である。教育における心理学的構成主義と社会的構成主義のそれぞれの考え方と違いについては中村がまとめている（中村, 2007）。ここでは中村の立場を踏襲し、著述に基づき説明する。表2-3に中村による心理学的構成主義と社会的構成主義の比較を引用する。

	心理学的構成主義	社会的構成主義
主な研究者	カント ピアジェ グレーサーフェルド	ヴィゴツキー ガーゲン
意味構成	個人的、主観的に構成される。	社会的に間主観的に構成される。
「真実」の概念	実行可能性に置き換える。 外的な基準はない。	言語的な人工物とみなす。無意味である。
主体	個人的な主体 主体の絶対化	社会や共同体における主体
自己と他者	原則的に、自己と他者を区別しない。個人的な主体は、他者を本質的に自分のようにみなし、他者の考えを自己の考えと並行して構成する。	自己と他者の関係は、絶えず構成され再構成される。
学び	主体の環境における混乱に対する同化と調節の過程。	共同体への参加に基づく言語による意味構成。
教師の役割	児童生徒の心的構成の過程に混乱を与えるために適した学びの環境を確立すること。児童生徒の心の発達と構成における個人的な児童生徒の段階をみとること。	児童生徒が会話に参加し、修辭的な技術を獲得できるようにすること。コーディネーター、支援者、アドバイザー、チューター、コーチとしての役割。
分析の単位	個人	社会的な集団、あるいは文化

表2-3 中村による心理学的構成主義と社会的構成主義の比較（中村, 2007）

社会的構成主義では、知識の構成において本質的な役割を持つのは社会であるとの立場を取る。社会的構成主義はデューイやヴィゴツキーの思想にルーツが求められ、社会

心理学者ガーゲン (Kenneth J. Gergen, 1937-) によって明確化された。ガーゲンによれば「私達が一般的に実世界の事象についての観察であるとみなしている事柄は、私達が実際に言語を使用することによってもたらされた産物である」としている。つまり、知識や意味といったものは社会的な言語ゲームへの参加によって形成されるものであり、間主観的なものであるとする考え方を取る。これは心理的学構成主義において意味構成が主観的になされるとする立場とは異なる。従って社会の役割を想定していない心理的学構成主義とは異なり、社会的構成主義における意味とは動的に変化し再生産されるものであり、人々の相互作用により認識が共有される過程に学びの役割を見出す。

社会的構成主義に立脚した教育の実践を行う場合、観察の難しさが課題となる。これは上に述べたように、意味の構成過程における間主観的な現象を観察しなければならないことによる。これについてワークショップ研究を専門とする青山学院大学の苧宿俊文は「丁寧に見ること」という言葉で観察の方向性を示している (苧宿, 2012)。苧宿はまずワークショップの方法について「講義など一方的な知識伝達のスタイルではなく、参加者が自ら参加・体験して共同で何かを学び合ったり創り出したりする学びと創造のスタイル」であるとしている。その上で苧宿の言う「丁寧に見ること」とは、即興性や身体性、空間や環境のデザインなども含めながら、協同している場面、すなわち活動のプロセスの共有場面であり、交流する場面、探求する場面、さらに試行錯誤の場面を丁寧に見ていくことであるとしている。また会話の場面を重要視しており、共有していると思われる場面の会話を分析し、会話やその周辺に共有するしくみやルールが埋め込まれているかどうかを調べる必要があるとしている。

## 教育における構成主義

### 実証主義との対比

教育分野において構成主義はしばしば行動主義学習観や認知主義学習観、或いは実証主義と対比される。行動主義において学習は「「刺激と反応」のむすびつきを「強化」すること」と捉え、認知主義では「「理解 (わかること)」を通じた「知識の獲得」」であるとする (苧宿, 2012)。また実証主義では、経験可能な事実に基づいて検証され証明されたものは科学的に正しいとする。これらの見方が教育において大きな役割を果たしてきたことは疑いがない。

しかし実証主義の教授法の問題点として、教育工学を専門とする久保田は以下のように

指摘している。以下、久保田の著述に基づいて述べる（久保田, 2003）。

まず実証主義において「学習者は受け身な存在として、また効率的に知識を注ぎ込まれる対象として描かれる」としている。そして「学習が起こる以前に、教授方略、メディア、教材などが決められている」必要があり、「知識や技能の量として目標が観察可能、測定可能」であることが条件に求められるとする。しかしこれらの条件から外れた「脱文脈化された教育環境」の中では、学習者は一方的な教師の教えに追従することはできない。このように実証主義では学びのかたちに制約があると考えられ、それに当てはまらない自由度の高い学びのあり方を受け入れることができない。

### 構成主義に基づく学びのデザイン

これに対し構成主義の教育理論は「言語を媒介とする道具的な思考を基本とし、対人的なコミュニケーションとともに自己内コミュニケーション過程を通して、社会に参加していくことそのものが学習であるという見方」であるとしている。この見方の根底にはヴィゴツキーの「発達の最近接領域」理論がある。それは「子どもが一人でできるレベルと誰かの介助や何かの道具を媒介すればできるレベルとの間の領域」において適切な学習が生じるとする考え方である。実際の教育現場では、そのような状況が起こるような場を設計し、学習者のやりとりを促してコミュニケーションを通じた意味の生成が行われるよう考える必要がある。

以上の考え方を基に、学習理論としての構成主義について久保田は以下のようにまとめている。

1. 学習とは、学習者自身が知識を構成していく過程である。
2. 知識は状況に依存している。そして、おかれている状況のなかで知識を活用することに意味がある。
3. 学習は共同体のなかでの相互作用を通じておこなわれる。

構成主義を取り込むことにより、教育の評価や研究方法が変わると主張している。特に構成主義の学習評価については、実証主義で行われていたペーパーテストや試験のような測定方法、すなわち知識を取り出せるかどうかを数値化するような方法では測れない。そこで「学習者が実際の問題に取り組む状況を観察することで、できるようになったかどうかを判断」したり「学習者が制作したさまざまな成果物を評価する」といった評価方法などが挙げられる。

勿論、実証主義を避けて構成主義のみの学びに頼ることは困難である。これについて先の中村は「構成主義の教授技術だけでは、数百年の間に築かれた複雑な知識を私たちは学ぶことはできないだろう」とし、「構成主義の学習論と非構成主義をどのように適切に混ぜるかは、対象、主体の特性との関連において考えなければならない」としている（中村,2001）。しかしその上で構成主義的な学びに期待がかけられるのは、先に述べたような教育環境の脱文脈化を前提とした新しい学びのかたちを探ることが求められているからである。構成主義を軸とする教育の実践で期待されるのは、学習者が主体的に参加し、協同を通して相互に学び合う姿である。久保田はこのような学習の場を「学びの共同体」という言葉で形容している。

このような構成主義的な学びのあり方は、昨今の「アクティブ・ラーニング」への関心とも重なり注目を集めることが期待されている。平成28年8月に行われた中央教育審議会においても「主体的・対話的で深い学び」を実現するものとして、「アクティブ・ラーニングの視点から学習過程を質的に改善することを目指す」としている（文部科学省(2), 2016）。尚、アクティブ・ラーニングの実践にあたってはICTを親和性の高いものと捉え、積極的に活用しようとする実践例もある（永田, 2016）。

## 2.2 プログラミング教育における構築主義

---

### パパートの構築主義とプログラミング言語「LOGO」

前節のとおり教育分野にて支持を得られるようになった構成主義は、後にプログラミング教育にも普及することになる。これはアメリカの計算機科学者シーモア・パパート（Seymour Papert, 1928-2016）による功績が大きい。本節ではシーモア・パパートの著書「マインド・ストーム」より、彼がどのように構成主義的教育観をコンピュータ教育の実践に取り込んだかを見ていく（パパート, 1995）。

パパートはピアジェと交流があり、構成主義の研究を共に行っていた。パパートは構成主義の方法論を発展させ、「構築主義（Constructionism）」を提唱した（Martinez, 2015）。（ここで、パパートの構築主義はいわゆる社会構築主義とは異なるものであることに注意しなければならない。）パパートの構築主義は、構成主義的な意味での学習の過程を目に見える形で外在化し、共有可能なものにするということに主眼を置く。なおパパート自身はもともと数学研究者であったことから、学習について数学的概念の獲得をモデルとして説明していることが多い。ただし当然それに限った学習を想

定しているわけではなく、作文、作曲、技術を要するゲーム、複雑な作図などへの応用も想定している。

コンピュータを教育に持ち込む上でパパートが目指していたことは、それまで多く見られたような練習問題を課して子供をプログラムする類の使い方ではなく、子供がコンピュータをプログラムすることによって自らのものの考え方を探求する、すなわち子供を認識論者にするということである。このイメージはピアジェの影響によるものであり、子供は周囲の素材、文化が示唆する模範、比喩などから知識構造を建設していくものだという考えに基づく。これらの思考の構成要素には、前意識的、自然生的に学ばれるものと、もっとゆっくり発達するものや学校で教えられなければ発達しないものがある。またピアジェによる思考の分類には、6歳までに十分発達途上となる具体的思考と、12歳前後まで発達しない形式的思考とがある。パパートはここに着目し、コンピュータの教育的な道具としての効果について、「コンピューターには形式的なものを具体化し、私的なものにする力がある」と述べている。子供自身がプログラムを作って実行しフィードバックを得ながらバグを修正していく過程で、コンピュータのモデルを役立て心理学者、認識学者としての自己の力を強めていくのを見たとしている。このようにコンピュータの導入により、「自らの思考に関する思考を明るみに出し客観化することによって自分の考えを話したり、試したりすることを学ぶ機会」が与えられるとしている。

そもそもピアジェは「教課のない学習、故意に教えなくても自然に起こるような学習についての理論家である」として、このような学習方法を教課（カリキュラム）として定めることはピアジェの考えに反するとしている。ただしそれは子供を好き勝手にさせるということではなく、「子供が周囲の文化から取り出した素材で自分の知識構造を作り出していくのを手伝ってやる」ということであると述べている。

パパートはこのような考えに基づき、1967年にエンジニアらと共同で教育向けプログラミング言語「Logo（ロゴ）」を開発した。Logoでは「タートル（亀）」と呼ばれる画面上のカーソルに対して動きを命令することにより、幾何学的図形を描画できるようになっている。パパートはこれを「タートル幾何学」と呼ぶ。パパートはタートルについて「子供はタートルを自分と同一視することができる」とし、「自分の身体について、それがどう動くかについて持っている知識を、正式の幾何学を学ぶことの中に持ち込むことができる」としている。また「タートルを制御することを学ぶのは言葉を話すの覚えるようなものなので、子供の話すことへの知識や欲求が動かされる」と述べている。タートル幾何学は「同調的な学習」を例証するものであり、図形と子供の感覚

の知識とに強い結びつきがあることから「身体同調」と言え、更に意図や目的、欲求、好き嫌いを持った人間としての子供の自意識と一貫しているところから「自我同調」と言うこともできるとしている。

タートル幾何によるひとつの学習効果として「関連を持たせ感情を植え付ける」という点を挙げている。数学が文化に根ざした活動、例えば航海術のようなものに結びつく可能性に触れ、タートル幾何には「文化同調」が見られるとしている。具体的には概念のみを学習する「死んだ学校数学」を具体的なものと結びつけることで「生きた活動」に転換することができ、パパートはコンピュータがその役割を担うことができると考えていた。パパートは現在のようにコンピュータが一般に普及することを当時から予見しており、有機的な相互作用によってコンピュータが既存の文化や教育原則の形式的知識を具体的思考に移すための装置となるとの見方を示していた。別の論考において彼は「メタファー」の重要性について説いており、これもまた子供にとって既知の概念を身体的感覚として新たな文化的概念を獲得するのに有効であることが示されている (Kafai et al., 1996)。なおこのメタファーの既知の概念や感覚を表すことばによって新たな概念の獲得に結びつける機能は、あらゆるコンピュータ用語にも見られるものであり、認知言語学の研究の対象ともなっている (荒川, 2013)。

このように彼が実際のコンピュータ教育に適用したのはタートル幾何という数学を中心としたモデルであったが、あくまでも実践の一つの形であり、基礎にある考え方は多様な展開の可能性を持っていると考えられる。特に認識論者としての思考を促し形式的概念を具体的なものとして捉え、更に身体的感覚から文化に至るまでの「同調」を想定して教育の実践を行う姿勢は、現代の様々な教育の場面においても示唆を与えるものになると思われる。

## プログラミング環境「Scratch」と社会的構成主義

現在世界的に見てもメジャーな教育向けプログラミング環境はScratchであると言える。Scratchはミッチェル・レズニック (Mitchel Resnick, 1956-) らによりMITメディアラボで開発されたビジュアルプログラミング環境である。Scratchではスプライトと呼ばれる視覚素材を単位としてそれ自体の動きや関係性をプログラミングすることにより、インタラクティブなアニメーションやゲームを作成することができる。プログラミングはブロックと呼ばれるプログラムの構成要素をつなげていくことで、テキストコーディングと比べて視覚的に理解しやすくプログラムを作成できる。

Scratchの大きな功績のひとつは、オンラインでのユーザコミュニティを作ったことである。Scratchで作成したプログラムはオンラインで共有することができるだけでなく、他者の作成したプログラムを複製して改変することができる。この特徴は「リミックス」と呼ばれ、オリジナルの作者が許可しているものであれば自由に改変することが許される。これにより他者の創作物を自分の文脈に置き換え、そこからまた新たな発想を以って発展させることができる。つまり作品を通じて他者と繋がり、相互にやり取りをする中で知識構造を拡げていく仕組みが担保されている。この点において、Scratchの社会的構成主義に対する思想が反映されている。

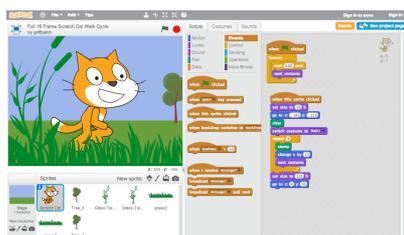


図2-1. Scratchの動作画面 ([http://news.mit.edu/sites/mit.edu.newsoffice/files/images/2013/20130514110054-1\\_0\\_0.jpg](http://news.mit.edu/sites/mit.edu.newsoffice/files/images/2013/20130514110054-1_0_0.jpg))

ちなみにScratchにもLogoにおけるタートルと同様のモデルが継承されている。

## その他の教育向けプログラミング環境

なおこの他、日本国内ではViscuitも教育向けプログラミング環境としてよく用いられている。ViscuitのインターフェースはScratchのようなテキストコードを視覚化したものではなく、独自のグラフィカルユーザインタフェースによりオブジェクトの振る舞いを決定していく。Viscuitはとりわけ構成主義を標榜して作られているわけではないが、Scratchと同じように共有する機能を持ち、協同的なワークショップも実践として積極的に行われている点において共通するところがある。

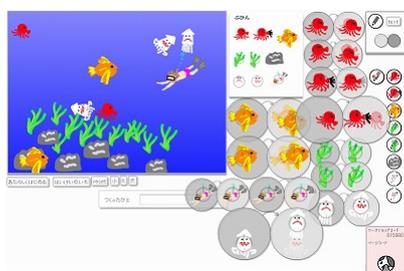


図2-2. Viscuitの動作画面 ([http://www.cdc.jp/cdcblog/images/img\\_viscuit.jpg](http://www.cdc.jp/cdcblog/images/img_viscuit.jpg))

上記のような教育向けプログラミング言語環境は児童でも直感的に使えるような工夫がなされており、教育現場で広く受け入れられている。特にプログラミング必修化の流れの中で、各教科の学習内容の連携を意識して活用することが望まれており、実践例も徐々に増えつつある。

しかしこれらの環境はプログラミングのロジックについての思考が学習の主要な対象となり、例えば音楽や視覚芸術的視点から見た場合に最終的に出来上がる表現の幅は必ずしも広いとは言えない。もし表現の幅を拡げようとするのであればプログラミングのロジックの部分で学習者が克服しなければならない課題が多く、表現の探求のレベルまで辿り着くことが難しい。この点で、学習の対象を芸術表現そのものに設定しようとするのであれば、以上のような構成主義的な設計思想の良い部分を活かしつつ、創作表現に特化した新たな方法が求められる。

## 2.3 ジェネラティブアートを用いた教育への適用可能性

---

デジタルメディアによるジェネラティブアートの制作過程は、インターフェイスがどのようなものであるにしろ、生成システムに対する記号的操作により生成のルールを決定していく必要がある。生成システムを使う際には、操作する記号表現が生成プロセスや対象とどのような関係にあり、更に身体にどのように接地するかが問題となる。ここでは、様々な分野における記号と身体の関係性、特に数学とプログラミングにおける見方について眺め、共通する事柄を探る。

### 数学とコンピュータにおける記号操作と身体観

数学では一般にその論理的側面が注目されるが、実際に数学を扱う主体は元々は人であり、人の認知に合致した記号操作が行える必要があった。（注：ここで言う「身体」とは物質的な肉体のみを指しているわけではなく、認知と思考の主体としての人そのものについて指している。）このことについて数学者の森田真生が以下のように説明している。

森田は「数」の概念を人間が持たなかった場合に生じる認知的制約の具体例を挙げ、「“数”は、人間の認知能力を補間し、延長するために生み出された道具である」としている。例えば人の瞬時に把握できる個数の限界を超えるための数の概念の必要性や、

数字表記が人の視覚的特性を考慮したものに由来することなど、概念が先立って存在したわけではなく人の認知特性に合わせて概念が発達した過程を説明している。(森田, 2015) これについて森田は「数学は身体的な営みであり、歴史を背負った営みである」としている。しかしここで更に興味深い事は、身体との接続を前提としつつも、例えば無限や虚数のような現実世界での具体的思考では考えにくい抽象概念を扱うことができるようになるのであり、森田は「「意味」を超える」ものとして捉えている。

そして人と数学との関係の転換点として挙げられるのが、アラン・チューリングによって現在のコンピュータの基礎となる仮想的な機械「チューリング機械」が考案されたことである。チューリングがこれを考えたこと背景には、「心」と「機械」を架橋する手がかりを、数理論理学の世界に見出した」ことがある。チューリング機械自体が、計算する人間の振る舞いをモデルとしていたとされる。森田はこれについて「数はどんなときにも、数学をする人間の身体とともにあった。チューリングはその数を人間の身体から解放したのだ。」と述べている。勿論、直感やひらめきなどの人間の知性の中にはチューリング機械で計算できないものがあるということも、チューリング自身は自覚していた。しかしチューリングは客観的に検証可能な問いに置き換えることを重要視し、いわゆる「チューリング・テスト」のように人間の身体性の問題については保留し捨象する態度を取った。

以上のように、まず数学においては人が抽象的な概念を扱うために認知特性を常に考慮して概念の整理が行われてきたという事実があり、更にコンピュータの発明によって概念の操作を人間の身体から切り離して行えるようになったという歴史的な流れがある。しかしコンピュータに操作を行わせるための別種の記号操作を行う必要が生まれ、それもまた人の認知に適したものである必要があると言える。

## ドメインモデルからジェネラティブアートへの展開

先の第1章でも石川博久の「方法論の方法論」を取り上げ、プログラミングにおける知識の抽象化のされ方について述べた。本節ではエリック・エヴァンスによるドメイン駆動設計に関する著述に触れる。更にそれを構成主義的な教育に適用する可能性、更にジェネラティブアート制作のためのツールの開発方法論へと広げる。

まずエリック・エヴァンスの著述に基づき、ソフトウェア開発の一手法であるドメイン駆動設計に関して説明する(エヴァンス, 2011)。ソフトウェアプログラムを開発する際には、現実の何らかの側面や興味の対象となる概念をモデルとして設計する必要がある

る。エヴァンスによればモデルとは「簡素化」であり、「当面の問題を解決する上で関連する側面を抽象化し、それ以外の詳細を無視することによって行われた、現実に対する1つの解釈」だとしている。その対象となる領域のことをソフトウェアの「ドメイン」と呼ぶ。ソフトウェアの開発にあたっては、開発者はドメインに関係する体系化された知識を身につけていかなければならない。さらにドメインモデルとは「知識が厳密に構成され、選び抜かれて抽象化されたもの」であるとしている。

ここから読み取れることは、ソフトウェアには対象についての開発者の認識や意図が表されているということである。しかしもし開発するソフトウェアが創作のためのツールのようなものである場合は、ユーザの認識を想定しながら設計を行わなければならない。特にアートのための創作ツールの場合には、ユーザが作る多種多様な結果を開発者が予想することは困難である。更にジェネラティブアートの場合には第1章で述べたように予測不可能性を持つことから、ユーザが適切に認識出来る形でロジックの抽象化がなされていなければ、混乱を引き起こす可能性がある。

従ってジェネラティブアートのための創作ツールを開発するにあたっては、アートやジェネラティブアートのどのような側面に着目しどのようなロジックで成り立っているかを明確にする必要がある。つまり生成モデル自体が人の認知にどのように接地するかについてはある程度考慮しなければならない。その一方で「入口」と「出口」は可能な限り間口を拡げておくことが望まれる。これは筆者独自の表現であるが、入口とはユーザがどのような知識を持って創作ツールと向き合うかであり、出口とは結果として作られるものがどのように多様な意味を持ったものであるかということである。この考え方は創作者の持つ多様な知識構成を受け入れるものとして、構成主義的教育とも合致すると考えられる。

## 2.4 ジェネラティブアートの構成主義的教育への展開

---

本節では第一章で述べたジェネラティブアートの特質と本章で挙げた構成主義的教育観の特徴を合わせて考え、ジェネラティブアートの構成主義的教育への展開の方法について考える。これにはジェネラティブアートに構成主義の視点を取り込むということと、ジェネラティブアートの創作を構成主義的手法で教育の場に取り込むという両側面がある。

本節で提起したいのは、それらの側面を合わせて実践することにより、教育効果を上げながら循環的に発展できる教育システムをデザインできるのではないかと、ということ

である。ここで言う「循環」とは第1章の結末で述べた個人レベル及び社会レベルでの創造的循環のことを指す。循環が発生している状態とは、個々の持っている知識から個人、他者、システムとのインタラクションによって新たな意味が継続的に発生する状態とすることができる。ジェネラティブアートを基礎とする自律性生成システムを循環の中心に据える場合、それぞれ下記のように言い換えることができる。

- **個人レベルでの循環** ... 自律的生成システムとの対話によってなされる。この場合、物理的経験としての生成対象からのフィードバック及び論理数学的経験に類似した内的なフィードバックがある。
- **社会レベルでの循環** ... 自律的生成システムが媒介となる場合と、直接人と人の関わりにおいてなされる場合とがある。

円滑な循環を得るためには個々人の知識構造に対して適切な構成主義的な意味での「構成」が起こる必要があり、構成主義的視点から検討を行うことでより良いものができることと期待される。ジェネラティブアートを教育に効果的に活用するにあたっては、その表現獲得過程を下記のような視点から考察することが可能性として挙げられる。

- ジェネラティブアートの制作に関わる者がどのような事象やカテゴリーについて検討を行い、創作の思考を深めていくかを検討すること。
- 個人制作と共同制作とでシステムとの関わり方の共通性と違いについて考察すること。
- 年齢によって創作に関する知識の構成にどのような差異があるかを観察すること。
- 教育の実践において、システムを効果的に活かせる教示やファシリテーションの方法を探ること。

次章以降ではこれらの中から適用可能な事柄を検討した上で、最適な創造的循環を生み出すことを目指したジェネラティブアートベースの創作システムの開発とワークショップの実施について述べる。

# 第3章 オーディオ・ビジュアル創作システム の開発

## 3.1 研究開発の方法

---

前章までの検討を踏まえ、本章では構成主義の知見を活かしたジェネラティブアートベースのオーディオ・ビジュアル創作システムを開発する。開発の動機は、ジェネラティブアートが第1章で述べたような興味深い特質を持っているにも関わらず、それを活用し且つ初等教育の学習者が使えるようなものが他に見られないためである。その意味で本研究で提唱する創作システムは、新たな創作手法をより幅広い層に自然な形で紹介することを一つの目標としている。

前章までに述べたように、ジェネラティブアートの創作は個人と社会の両レベルにおいて循環を生むことが期待される。本開発はそのような循環や自律的システムを通じた意味の発生、社会的インタラクションによる創発などを一つのシステムとして組み立てるものである。従って本開発は個人での創作環境と個人間をつなぐワークショップシステムから成り立ち、更にシステムを効果的に使うためのワークショップのマネジメントが要となる。

また本創作システムは創作物の内容として音楽を中心に据え、視覚情報と連動するものとする。ここで音楽にフォーカスする理由は、自動作曲やアルゴリズム作曲法を含むコンピュータを用いた作曲手法の研究はコンピュータの発明以来盛んに行われており知見も豊富であること、また初等教育での音楽の授業によって学習者にとってもある程度の知識が備わっていると考えられることなどが挙げられる。また後述するが音楽は時間芸術の一種であり、時間構成を組み立てることの面白さを学習者が体験できる意味も大きい。

まず次節3.2では開発の参考となる事例を挙げ、理想的なシステムの形を検討する。そして3.3では個人での創作システム、3.4ではワークショップシステムについて開発の実際とその過程での議論について述べる。

## 3.2 教育系音楽創作ツールの先行事例

---

初等教育でジェネラティブアートを活用することを目的としたツールは例が無い場合、音楽やプログラミングの隣接分野でのデジタルメディアを用いた創作のためのツールへと焦点を広げ、その中から開発の参考になるものを幾つか取り上げる。

### 図形描画による作曲システムの先駆け「UPIC」

視覚情報と音楽生成とを結びつけたシステムの先駆けとして、UPICが挙げられる。UPICは作曲家ヤニス・クセナキスの発案により制作された電子音響生成のためのコンピュータシステムである。UPICでは画面上に線形を描いて入力すると、規則に応じて音響が生成されるものである。横軸が時間、縦軸が音高、線種が音色に対応している。元々の発想としてはクセナキスがそれまで行ってきた図形楽譜による作曲をコンピュータで実現することにあつた。

UPICに関する研究によるとその意義について、多様な音響現象を表すのに十分一般的とは言えない既存の伝統的な音楽の記法から解放することや、（当時は障壁であった）所謂アバンギャルドな音楽を演奏する指揮者や演奏家を探す必要がなくなることを挙げている。UPICは入力を基にリアリゼーションし作曲者にフィードバックを戻すまでの過程が時間的に非常に短いため、繰り返し修正を重ねつつアイデアや作品の質を高めていくことができるとされる（Marino et al., 1993）。UPICは楽譜情報だけではなく音響情報も含めて視覚情報と対応させた点で、その後の音楽エディタの発展に影響を与えるものとなった。

### 教育向け音楽生成システムの例

現在教育向けに開発された音楽生成システムは実はあまり多くないが、一例としてKevin Jenningsの開発した音楽の概念を図形楽譜によりわかりやすく扱えるようにした作曲ツールのようなものが挙げられる（Finney et al., 2010）。但しこれは自動生成ではなく、一般的に教育される音楽の概念をできるだけ認知容易な形になるよう工夫されたツールであり、既存のノートーションソフトウェアに近いものである。

非ビジュアルプログラミング環境でテキストコーディングをベースとした音楽生成環境としては、近年Sonic Pi（<http://sonic-pi.net/>）が広がりを見せている。Sonic Piは音符情報の操作と音響処理の両面を考慮した言語設計で、ライブコーディングでも使わ

れる。教育向けとしても人気の高い安価なシングルボードコンピュータ *Raspberry Pi*でも動作する。柔軟性が高く高度な音楽生成に向く一方、テキストでプログラムを作成する必要があることから、対象は小学生高学年から中学生が目安となる。

また自動作曲という点で挙げるとすれば、パズルゲームを解くことによって副次的作用として音楽が生成される *Chime* ( <http://chimesharp.com/> ) というゲームがある。ユーザが目指すのはあくまでもパズルを解くことであり、その意図とは別に操作した結果の可聴化として音楽生成がなされるもので、創作とは異なる文脈のものであるが興味深いものである。子供が音楽生成に興味を持つ入り口としては、一つの方法たり得るかもしれない。

国内でも音楽科の学習要領に基づく認知主義的な教材ツールはあるものの、本格的な創作に耐えうる教育向け音楽生成ツールは多くない。一般的なノーテーション・ソフトウェアやデジタル・オーディオ・ワークステーションをそのまま教育現場で使う場合もあるようである (Savage, 2007) 。

## マルチメディア作品 「SmallFish」

本プロジェクトの開発にあたっては、古川聖・藤幡正樹によるマルチメディア作品 *SmallFish* (スモールフィッシュ) を生成モデルの参考にした。この作品は視覚的オブジェクトの動きと音生成とが対応してある種の音楽を生成するものである。作品は約10個のシーンから構成され、それぞれのシーンには予め用意されたオブジェクトが配置され、オブジェクトによっては自律的に動きつづけ、他のオブジェクトと生じた時に音を生成する。オブジェクトによっては手動で動かすこともでき、生成構造に変化を与えることができる。

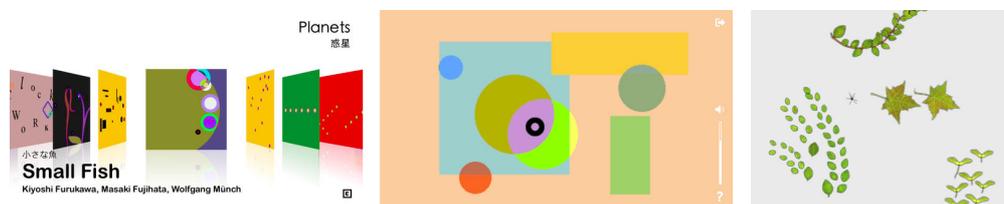


図3-1 SmallFish動作画面

制作のコンセプトについて、筆者は制作者の古川に直接インタビューを行った。古川によれば、例えば現実世界でボールが壁に強く当たった時と弱く当たった時とで、視覚と聴覚ともに対応した変化を知覚することができ、結果として現象の認知に影響を与え

る。このような現実の視聴覚認知の関係を仮想的にデジタルメディアで再現することで、音楽の構造を体感的に認知できる作品となっている。つまり前章の構成主義的観点からすれば、視聴覚認知の連合という誰もが既知の知識から構成可能であるということがコンセプトとして組み込まれていたと言える。

古川はこのシステムを用いて、2000年以来東京芸術大学古川研究室を主体として創作ワークショップを行っている。このワークショップのコンセプトについて、古川は以下のように述べている（茂木, 2014）。

ワークショップにおいては表現を行い作品を作るのですが、私たちの目はワークショップという形式を通し、表現やアートが生まれる場について考え、コミュニケーションに根ざした新しいアートのかたちを考え、実践していくことにも向けられていました。モノとしてのだけのアートを考えるのではなく、人間が人間との関わりの中モノを作り出し表現する行為、過程、活動そのものを問題とし、アートとして捉え直そうという試みです。

その上でワークショップにおいて使われるツールについては、「参加者の創意に対してできるだけ開かれている必要があり、参加者の真剣な取り組みに値するような、十分な可能性を備えているべき」だとしている。これらのことから古川が目指していたのは、ワークショップ参加者が自然なかたちでアートの場に関与できるようにするための装置としてツールを開発していた事であることが読み取れる。

### 3.3 創作ツールの設計と実装

先に述べた目標を実現するべく、教育向けアート創作プラットフォームのシステムの開発を行った。このシステムには、“Music and Communication Arts”の頭文字から“MUCCA”（日本語読み「ミュッカ」、中国語名称「喵咪」）と名付けた。

#### 開発思想と設計

まず前章までに行ってきた議論からどのようにコンセプトをデザインしたかについて説明し、その後開発したシステムについて仕様の概要を紹介する。

## 構成主義に基づくシステムのコンセプトデザイン

本研究の教育プラットフォームは、敢えてアルゴリズムを構築する部分は表層から隠蔽し、用意されたアルゴリズムの中から選択するというルールベースに近い形を採ることにより、より早い成長段階からアルゴリズムを通じた間接的な表現の経験を与えることを狙いとした。この理由としては、生成のためのアルゴリズムを自ら組み立てるには、対象に内在する概念や理論及び各種プログラミングのロジックやパラダイムについて理解した上、更にメタレベルでの抽象化を行うことを考えなければ成し得ないため、前述の学習段階では大変困難な課題となるためである。しかし予め用意されたアルゴリズムから選択する方式であっても、実際には多種多様な表現の幅を持たせることが可能となる。また選択が容易であるが故に試行錯誤の繰り返し（イテレーション）を短期間で多く行うことができ、それをきっかけとして対象の概念や生成ロジックについて徐々に学習が行われていくことが期待される。これを第1章の図「ジェネラティブアートの表現過程に起こる認知的事象の関係」（1.3、図1-2）に照らし合わせると、抽象化によりコンピュータの記号表現にする過程を固定化しつつ個人レベルでの創造的循環を円滑に行えることを目指したシステムであると言える。この固定化された部分がどのようなものであるかは、ユーザにとってできるだけ分かりやすく説明される必要がある。

また対象年齢は小学校低学年以上を想定している。プログラミング教育界では一般的な認識として、手続きを論理的に構成することについて自ら思考できるようになるのは小学校中学年～高学年以上と言われている。前章の2.1で示したピアジェによる発達段階の分類に照らし合わせると、具体的な事物に頼って概念的操作を行う「具体的操作段階」から完全に抽象的レベルでの操作を行う「形式的操作段階」への移行時期に対応している。更に前章の2.2でパートによって述べられたように、コンピュータにより形式的な概念を学習者自身のこととして具体化する働きを活かすことによって、この発達段階に対してより適した環境となることが期待される。その他、操作対象がこのような学習過程にとって把握しやすいものであるよう、様々な視覚的、音楽的な工夫を後述の節の通り行った。

更に前章2.1で述べた社会的構成主義の観点、及び「学びの共同体」という言葉で表されるような他者との関わりの中で学びを深めていくあり方についても一つの理想と捉え、テクノロジーが大いに寄与できる部分であると考え。そこで本システムでは創作対象を共有できるプラットフォームを用意し、そのプラットフォームを通じた対話と意味の構成、またそれを使う者同士の直接的な対話による学びが生じることを期待し

た。

上記のコンセプトデザインから適切な個人レベル・社会レベルでの創造的循環が生じることを目指し、創作プラットフォームのシステム開発を行った。

## システムの要件

これまで行ってきたジェネラティブアートの特徴についての議論から、以下をシステム開発の要件とすることにした。

- ルールベースのジェネラティブアートで、生成モデルの選択により変更できるようにすること。
- 音表現と視覚表現とが一体となったオーディオビジュアル作品を制作できること。
- 直感的でありながら十分に表現の幅を出せるようにすること。
- 聴覚情報と視覚情報との間に明確な関係性を持たせること。
- 複数人で協同して制作できるプラットフォームにすること。

そして前章までに議論した構成主義の視点から、可能な限り創作者にとって既知の知識に結びつくような概念モデルをシステムデザインに組み込みことを心がけ、下記を特に重要な要件とすることにした。

- *SmallFish*と同様、早期の発達段階においても既知である視覚現象と聴覚現象の関係を理由すること。
- 生成モデルは論理を記述する代わりに、複数の生成パラメータを選択的に設定することで、最小限の操作コストでバリエーションを生み出せるようにすること。
- 予め様々な音楽的概念をモデルとして含めて、自動生成により学習者が体感的に概念を理解できるようにすること。
- 音楽生成に関わるインタフェース部分の概念は、一般的な音楽教育課程で使われるものを踏襲すること。
- 創作者の身の回りにある現実世界を音や絵として取り込むことができるようにすること。

これらの工夫により理論的な部分は出来る限り意識せずに済むようにすることで、比較的少ない障壁で創作に取り掛かることができると考えられる。またそれによって表現の内容、つまり絵や音、動きに対する美的判断、作品へのナラティブの投影、その他の個々人の創作文脈などに意識を向けさせることが期待できる。

上記の要件を満たすために、個々が最低限の学習コストで創作に取り組めるタブレット端末用アプリと、作品の共有や合奏を可能にするワークショップからシステムを構成することとした。開発作業は筆者に加え、フリーエンジニアの川村剛氏と協同でフロントエンド及びバックエンドの開発を行い、ビジュアルデザインを中川隆、肥後沙結美の両氏に依頼し、プロジェクト全体のディレクションに関して古川聖氏の協力を得て進めた。

## モバイルアプリ「MUCCA」

まずオーディオビジュアル作品の個人制作環境として、モバイルアプリ *MUCCA* を開発した。これはiOSに対応したタブレット端末（Apple社製iPad）用のモバイルアプリである。

*MUCCA*では視覚的オブジェクトを組み合わせ、各オブジェクトに割り当てられた音色や音生成のルール、配置や動きのパターンを制御してインタラクティブなオーディオ・ビジュアル作品を制作することができる。

*MUCCA*は一種の視覚的なルールをベースとしたアルゴリズム作曲と言うこともできるが、ルールに従いながらも自律的に多様な変化を続け、かつユーザがインタラクティブに生成に関与することができる。また音生成のアルゴリズムはある程度抽象化されており、数種類の音楽のパラメータを選択することで生成パターンを切り替えることができる。音生成のタイミングや音律などについては予めある程度の制約を持たせつつも十分に多様な音楽生成に関する選択肢を持たせることで、作品の音楽的な質を担保することを狙っている。すなわち、創作の入り口としては音遊び的な側面を持ちつつも、本格的に音楽の内容を探求できる可能性も同時に持たせている。

*MUCCA*の開発デザインの基本原則として、可能な限り直感的に操作できるようにし、子供の既知の知識を極力活かすように設計した。先に紹介した *SmallFish* に見られるような視聴覚の連合を踏襲しているが、その上で子供が自分の持っている知識を自分の文脈として創作に活用できるよう、視覚オブジェクトや音のデザインについて高い自由度を持たせている。

### 開発の詳細

システムを開発する際にどのようなツールやライブラリを用いるかという問題は、性

能、動作安定性、保守性、継続性、汎用性など様々な要因のトレードオフ関係を意識しながら選定する必要がある。本開発の場合、音と映像をリアルタイムに扱う性質から性能や安定性がある程度求められるが、それ以上に将来的に様々な環境で展開していくことを考慮した場合の継続性や汎用性がより重要であると考えた。そのため本アプリでは、ユーザシェアが多く大規模な開発コミュニティにより規格化が進められているウェブテクノロジーを基礎として開発を行うことにした。

その上で提供形態について、ブラウザベースのウェブアプリにすべきか単体のアプリとして提供すべきかという議論が生じた。マネタイズを想定した経済的な問題や開発工数の問題は別としてユーザエクスペリエンスの観点から考えると、アプリ化した方が毎回の使用開始までの手間が少なく、インターネット接続が無い環境でも使用できデータ保存も可能なことから、個人に特化した環境を整備できると言える。そこで個人の創作環境の提供形態はアプリとすることにして、将来的な可能性としてブラウザベースのものも同時展開することを計画に組み込んだ。

本アプリは海外への展開も想定しているため、ユーザインタフェースについては日本語の他、英語と中国語の多言語ローカリゼーションにも対応している。付録Aには本アプリの開発で使用したツール、フレームワーク、ライブラリ等を掲載した。

## 制作インタフェースの実装

ユーザが実際に制作作業を行う部分について、以下のようなワークフローで生成できるようにインタフェースの実装を行った。図3-2は実際に開発したアプリの操作画面であり、右側はオブジェクトの属性の設定画面である。

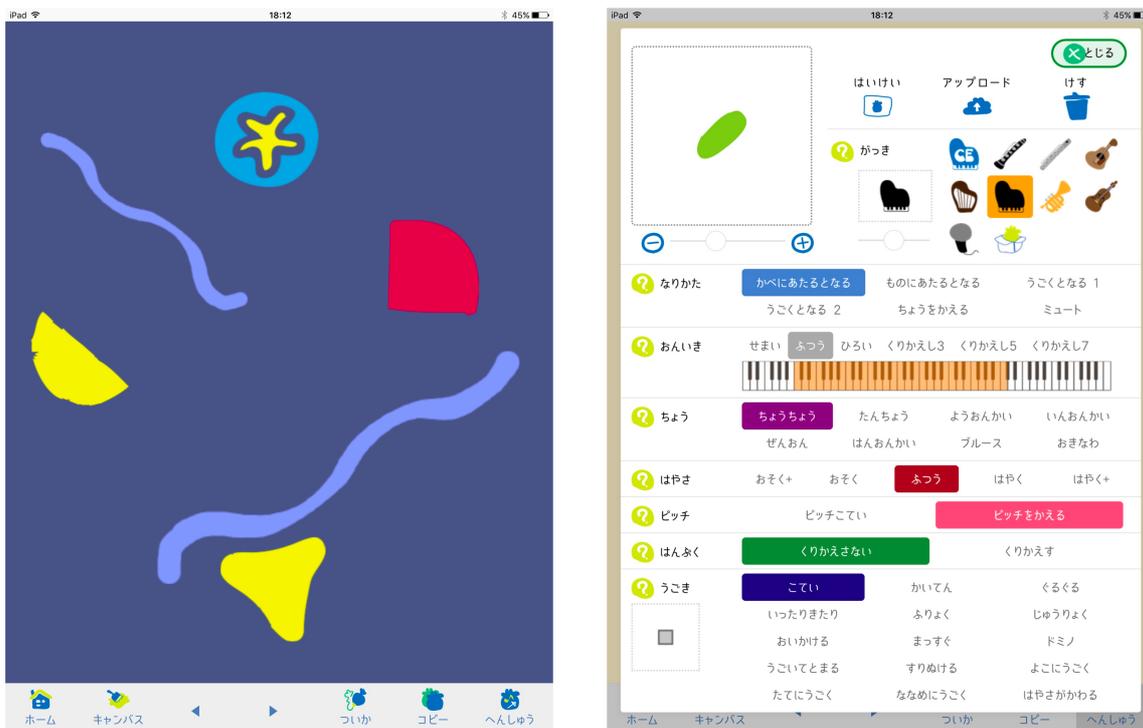


図3-2 MUCCAアプリのメインキャンバス画面及びオブジェクトのルールの設定画面

1. キャンバスの作成 ... ユーザはキャンバスと呼ばれる二次元領域を作成する。キャンバスはこの後作成するオブジェクトを配置するための空間である。
2. オブジェクトの作成 ... 視覚的オブジェクトを作成し、キャンバスの中に配置する。オブジェクトの作成は、内蔵のお絵かきエディタを使って指で描いたり、タブレット端末のカメラで撮影した写真を素材にしたり、或いは既存のイラストを外部から取り込んだりすることによってできる。キャンバスに置いたオブジェクトは、スワイプ操作によりキャンバス中で動かすことができる。動く速度はスワイプの強さによって決まるが、動き方の法則はこの後設定するルールにより変わる。オブジェクト同士がキャンバス内で接触した場合、デフォルトでは物理演算に従って跳ね返される。
3. ルールの設定 ... オブジェクトのルールを設定する。ルールは主に見た目に関するもの、動きに関するものと音生成に関するものに分けられる。例えば音が生成される条件の設定として、他のオブジェクトと衝突した際に音を発するものや、動いているあいだ一定間隔で鳴り続けるものなどがある。他に音関係のルールとしては、音色や音階、テンポ、音域などがある。ここで提示されている音に関するルールは、いずれも学校教育での音楽授業の中で学ぶものばかりとなっている。なお音色については組み込みの楽器音のほか、タブレット端末のマイクロフォンから録音してクリップしたり、パソコン等で作成した外部音声ファイルを読み込んで

素材として使うこともできる。実際にどのような音が生成されるかは、ここでの動きと音のルールの組み合わせ方によって大きく変わってくる。

オブジェクトに割り当て可能なルールの一覧を表3-1に示す。

その他幾つかのデフォルトで組み込まれているルールがある。例えばオブジェクトの縦方向の位置は生成音の音高（ピッチ）に対応し、横方向の位置は音像定位（パンニング）に対応させている。

上記の手順により、オブジェクトの形や動きの特性を利用しながら音楽生成のルールを割り当てていくことで、可変ルールベースのオーディオビジュアル作品を制作することができる。これにより作成した作品は自動的に変化し音を奏でていく様を鑑賞するだけでなく、オブジェクトを手動で動かすことで意図的に音を出すこともできる。音生成のルールがある程度把握できれば、意図を持って音をコントロールすること、すなわち演奏を行うことも可能である。作品はキャンバス単位でアプリ内に保存することができ、複数のキャンバスを連続再生する機能も実装した。

カテゴリ	ルール
音楽:生成	うごくとなる、かべにあたるとなる、ものにあたるとなる、ちょうをかえる、おとをけす
音楽:音階	ちょうちょう、たんちょう、ようおんかい、いんおんかい、ぜんおんおんかい、はんおんかい、ブルースおんかい
音楽:音域	せまい、ふつう、ひろい、 くりかえし3、くりかえし5、くりかえし7
音楽:スピード	おそく+、おそく、ふつう、はやく、はやく+
音楽:ピッチ	ピッチこてい、ピッチをかえる
音楽:反復	くりかえさない、くりかえす
音楽:楽器	チェレスタ、クラリネット、フルート、ギター、ハープ、 ピアノ、トランペット、ヴィオラ、ろくおん、DropBoxから
動き	こてい、かいてん、ぐるぐる、いったりきたり、まっすぐ、 ぐるぐる、ドミノ、じゅうりょく、ふりょく、おいかける、 うごいてとまる、すりぬける、よこにうごく、たてにうごく、 ななめにうごく、はやさがかわる

表3-1 MUCCAのオブジェクトに割り当て可能なルールの一覧

## MUCCAにおけるジェネラティブアートの性質

前節のように、MUCCAアプリは生成のルールをメニューから選択するルールベースの創作環境であるが、実際に制作される作品はそれ以上のジェネラティブアートの性質を持つ。その大きな要因は、視覚オブジェクトの配置と動きのルール設定によって多様な振る舞いが生じることにある。例えば作成したものが規則的な生成をしばらく続けているように見えても、ある時突如として規則性が崩壊して不規則な動きに転じることがある。また逆に一見不規則に動いているようであっても、最後には規則的な動きに収束する場合もある。特に複数のオブジェクトが動いて互いに衝突を繰り返すような場合に、そのような現象が見られやすい。結果として生成される音は、同一の生成ルールにあっても多用なスタイルや風合いの音楽として表れ、適度に予測不可能性を含んだ

*Generative music*となる。

このようにMUCCAで作られる作品は個々のオブジェクトのルールを設定するルールベースの環境でありながら、全体として見た時に個々が持つ役割とは質的に異なる意味を生じるものとなる。すなわち自律システムにより「創発」を生むという点においてジェネラティブアートとしての性質を持つものと言える。

## 技術的制約の解決とアプリの評価

アプリの開発にあたっては、技術的な制約による困難がいくつもあった。音生成ではメモリ負荷を軽減するため、一定間隔ごとのノートナンバーの音サンプルのみをバッファに保持し、再生速度の調整によるピッチシフトで全てのノートナンバーを補間するようにした。また物理シミュレーションでの衝突判定に必要な各オブジェクトの輪郭データは、1オブジェクトにつき12個の特徴的な点を抽出するアルゴリズムを独自に実装した。これらの問題は端末そのものの性能向上によって解決されるかもしれない。

アプリはリリース前にテストユーザによるテストを実施し、修正作業を行った。テストは、数百項目にわたるテスト項目の動作確認と、一定期間の自由操作により問題点や改善点を列挙してもらった。各ワークショップで取ったアンケートやフィードバックでも、アプリ自体の機能性や操作性に関して参加者から概ね高い評価を得ている。

## MUCCAによる作品集

本創作システムMUCCAを用いて創作された作品を作品集としてまとめた。作品集はオンライン上のギャラリー (<http://mucca.town/ja/gallery.html>) として映像を公開している (図3-3)。これらの作品により、MUCCAが幅広く音楽的な探求が可能であることや、音と絵の変化の組み合わせにより多様な質的面白さを持つことが示されている。

## ギャラリー

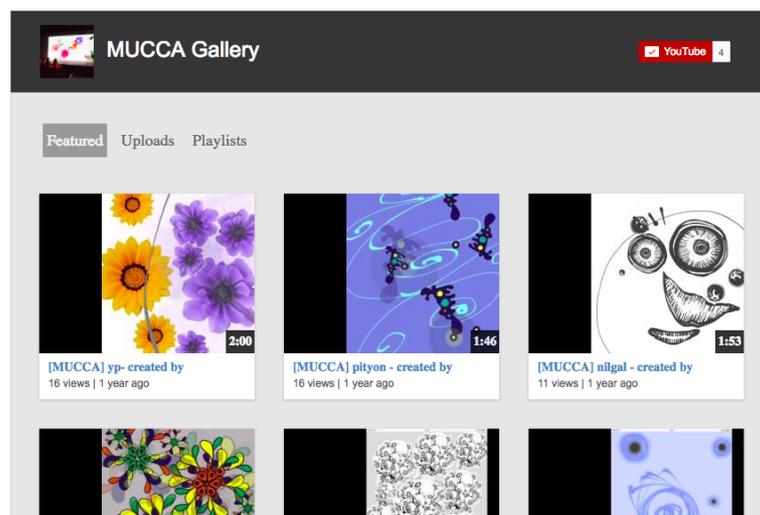


図3-3 MUCCAオンライン作品集

## 3.4 ワークショップシステムの設計と実装

### ワークショップ要件の検討

ワークショップシステムはワークショップ各参加者のアプリをつなぎ、作品の共同制作と共有の場を作るものである。初期段階では開発要件としては以下のアイデアが挙がった。

- 会場の設備で制作物を共有し、リアルタイムで演奏できるようにすること。
- 作品の投稿が会場の内外からできること。
- 展示とコンサートの両シーンで使えるようにすること。
- 事前の要素を集めてシーン組み立てることができるようにすること。
- 楽器奏者とのインタラクションを取れるようにすること。

これらの要件の中から、実現可能な方法の探求を行っていった。

### ワークショップシステムの開発

図3-4は実際に開発したワークショップシステムの構造を簡易的に表したダイアグラムである。技術的な詳細は図中の説明に任せ、ここでは実装した機能が実際のワーク

ショップの実施とどのように関係するかについて述べていく。

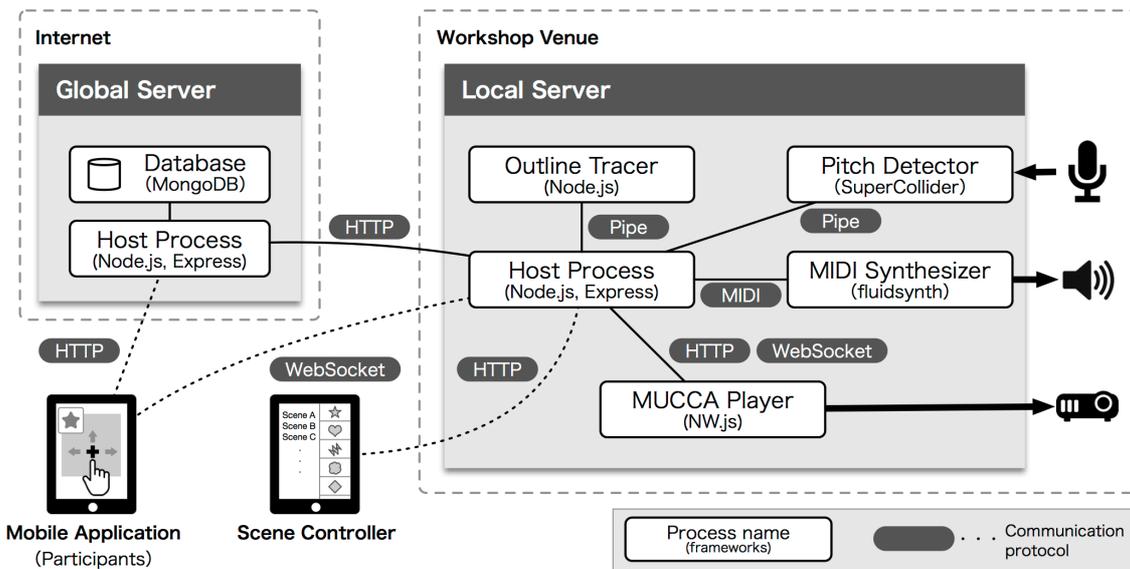


図3-4 ワークショップシステムの概念図

システムはワークショップ会場に設置されるローカルサーバと、外部インターネット上に設置されるグローバルサーバから成り、これらのサーバとユーザのタブレット端末はウェブベースの通信技術によって相互に通信を行う。ローカルサーバは会場内での実時間でのインタラクションを実現する機能を持ち、グローバルサーバは会場外部からの参加やワークショップ開催時以外の作品の共有機能などを受け持つ。ワークショップシステムに実装する機能はアプリと同様に、コンセプトのみならず機能面や実践からも実現可能なことを探っていくことで拡充してきた。これらのワークショップシステムの開発は筆者が担当した。

以下、それぞれのサーバについて説明する。

## ローカルサーバとグローバルサーバ

ローカルサーバは会場のスクリーンとスピーカから参加者の作成した作品を再生することを主目的として開発を行い、これにいくつかのワークショップをより豊かにするための機能を加えてきた。

ローカルサーバはモバイルアプリと同様にキャンバスの表示と再生の機能を持ち、ワークショップの参加者がモバイルアプリで作成したオブジェクトをその場でローカルサーバに送信・投稿することで、会場のスクリーンに自身の制作物を映し出して音を鳴らす

ことができる。またスクリーンに投影したオブジェクトはタブレット端末からの遠隔操作で動かすことができ、それに従って音も変化するため、リモートでの演奏が可能になっている。これを複数人で同時に行えば、同じ設備の上で制作物を共有しながら合奏（アンサンブル）を行うことができる。

一方グローバルサーバが担うのは、モバイルアプリから投稿されるオブジェクトや作品の管理と各会場のローカルサーバの認証管理である。

モバイルアプリからの投稿には二種類あり、キャンバス単位で作品を共有するために投稿する機能と、作成したオブジェクトをワークショップ会場に送信する機能とがある。いずれもモバイルアプリから投稿されたオブジェクトやキャンバスのデータは、グローバルサーバのデータベースに随時保管される。このデータには、各オブジェクトの画像、音声、ルール等の設定などすべての属性が含まれる。ワークショップに参加した際には投稿時に特定のローカルサーバを送信先として指定することで、即座に投稿先の会場のスクリーンに制作したオブジェクトを投影することができる。グローバルサーバはインターネット上に設置されているため、例えば家庭や医療施設等の会場外から参加するようなことも可能である。また、未だ実際に行ったことはないものの別の可能性として、複数の会場間で同時にワークショップを開催し、互いの会場の制作物を投稿し合うことで交流するような方法も、現在の実装で実現できる。

ローカルサーバの設置は、インターネットに接続しているある程度のマルチメディア性能を持つコンピュータを使用してMUCCAシステム管理者（現状は筆者ら）からの認証を受ければ、どこにでも設置することができる。これは、筆者や特別に教育を受けた運営スタッフが居ない環境であっても様々な教育機関やイベント会場などに展開できるよう配慮した設計によるものである。

## ワークショップのための機能実装

ワークショップシステムの基本的な機能は前述の通りであるが、実際のワークショップでの展開を計画する中で幾つか追加のニーズが生じた。それが（１）ワークショップイベントの多様なシチュエーションへの対応、（２）シーンコンポジションの作成、（３）楽器演奏者とのインタラクションの形成である。

まずワークショップ参加者イベントを行う場合に互いの成果を共有する発表の場を持つことが望まれるが、ここでは二つの発表形式を想定した。一つは任意のタイミングで参加や鑑賞ができる常設展示形式、もう一つは参加者が同じ時間・場所で成果共有す

るコンサート形式である。これに対応するため、(1)のシチュエーションに応じたモード切り替え機能を実装した。

展示のためのモードでは、会場内外の参加者からのオブジェクトの投稿を随時受け付け、次々と会場のスクリーンに自動展示するものである。キャンバスが複雑になりすぎることを回避するため、一定時間経過するとオブジェクトは消滅する。会場で投稿した場合には、端末からオブジェクトをコントロールして演奏することも可能である。このモードでは以前に投稿されたものも蓄積されてランダムに登場する。

一方コンサートのためのモードでは、事前に投稿されたオブジェクトを組み合わせることで発表作品に特徴を持たせることができると考え、(2)のシーンコンポジションの機能を実装した。これにより一回の発表の中でも複数のシーンに分けて時間構成を作り、それぞれのシーンの作り込みをすることができる。この機能のためにシーンコントローラと呼ぶタブレット端末上のインターフェースを作成し、参加者と話し合いながらオブジェクトを組み合わせることでシーンを構成していくことができるようになった(図3-5)。

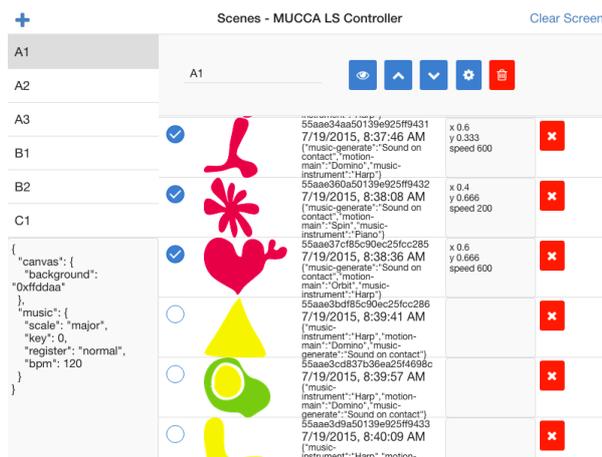


図3-5. シーンコントローラ

シーンコントローラには投稿されたオブジェクトのリストをリアルタイムで参照することができる。各オブジェクトにはシーンごとの特別な設定として、初期位置やコントロールの可否など属性を与えることができる。また高度な機能として各シーンにはカスタムスクリプトを設定することができ、各オブジェクトの作成時や描画時、後述する楽器音からのトリガー受信時にカスタムスクリプトを実行することができる。これにより例えばキャンバス中のオブジェクト間の関係性に応じて動きを変化させたり、特定のオブジェクトのみ楽器音に強く反応するようになしたりできる。すなわちシーンとオブジェクトに対して色々な状況に応じた例外的処理を設定することができ、作品に変化を

もたらすことができる。

またコンサートの実施においてはアコースティック楽器奏者の協力を受けることも計画しており、何らかの奏者とのインタラクションを形成する方法も探っていた。そこで楽器演奏音を随時音響解析し、(3)の演奏の内容によってスクリーン上のキャンバスに影響を与える方法を考えた。実際には、楽器演奏音のピッチを検出し、そのピッチクラスによってオブジェクトの位置を任意のルールに従って変化させるモードを組み込んだ。これにより、オブジェクトの位置は参加者の操作と楽器演奏者の音の双方により決定されることになり、参加者と演奏者間に関係を持たせることができるようになった。

以上が本研究で開発したジェネラティブアートベースのオーディオ・ビジュアル創作システムの詳細である。なお、この開発については国内外の学会においても研究発表を行った(濱野, 2015) (Hamano, 2016)。

## 第4章 創作ワークショップのデザインと実施

ここまで第2章では構成主義に基づくジェネラティブアートの教育的意義について考察し、第3章で創作と交流のためのシステム開発について述べた。本章ではこれらを活かして実施してきた一連のワークショップについて説明する。

ワークショップの全体目標は、ジェネラティブアートを用いた創作支援システムを活用することにより生じる構成主義的な学びの過程を観察すること、特に第2章で言及した個人レベル及び複数人間レベルの創造的循環の存在を確認することである。また参加者にとっては協同での作品制作を通じたコラボレーションの経験を得ることが狙いであり、学習目標は参加者にとっては必ずしも明示的には伝えていない部分もある。

数回に渡り実施してきたワークショップは、2つのフェーズと異なる趣旨を持つ。第1フェーズではシステム開発にフォーカスし技術面及びユーザエクスペリエンス面での改善を重ねた。第2フェーズは創造的循環の観察が主眼となる。現在までにMUCCAアプリとワークショップシステムを用いて行った創作ワークショップや展示イベントの一覧については、付録Bにリストを記載している。

以下、それぞれのフェーズのワークショップについて詳述する。

### 4.1 創作ワークショップ（第1フェーズ）

---

#### ワークショップの目標とデザイン

ワークショップの第1フェーズは、創作システムの検証と開発の可能性を探ることを目的として実施してきた。システムの開発は直線的に計画から実装と検証までを行ってきたわけではなく、実現可能なことを多角的に検討して試行錯誤を積み重ねて行うため、実際の使用対象者に使ってもらいフィードバックを得ることが必須であった。

#### ワークショップの実施

##### 実施1. ぎふメディアコスモスでのワークショップ

このイベントは、MUCCAを用いた初めてのワークショップイベントであり、岐阜県岐

阜市に建造されたぎふメディアコスモスの会館記念事業『音の宇宙 ～つくる、みせる、あわせる～』の一環として企画を依頼された。会場はぎふメディアコスモス内のホールみんなのホールにて2日間にわたり行った。

表4-1の一日のタイムテーブルが示すとおり、このイベントはワークショップだけでなくコンサート及び体験型展示を含む三つの形式の小イベントから構成することにした。

時間	イベント
10:00 - 11:45	体験型展示「不思議の音の森」
11:30 - 13:00	ワークショップ「音楽の森を作ろう」グループA
13:00 - 14:00	ワークショップ「音楽の森を作ろう」グループB
14:30 - 16:00	体験型展示「不思議の音の森」
16:00 - 17:00	コンサートのための公開リハーサル
17:00 - 18:00	コンサート「コスモス・メディアコンサート」
18:00 - 21:00	体験型展示「不思議の音の森」

表4-1 『音の宇宙 ～つくる、みせる、あわせる～』の一日のタイムテーブル

このように異なる形式でイベントを構成したのは、体験の多様化と各イベントの参加者の関係性を構築しようとする試みによるものである。以下、各イベントのねらいと内容について説明する。

### ワークショップ

ワークショップは小中学生を対象として、MUCCAを用いた作品制作の方法をファシリテータと学び体験してもらうことを目的としたものである。実施時間は1時間半であった。本イベントでは各回15名の小中学生が参加者として集まり、3グループに分かれて着席してもらった。参加者の中には一定の割合で軽度の学習障害を持つ児童も含まれていた。

ワークショップの時間構成は、前半と後半の二部に分けることができる。前半はまず参加者の自己紹介の後、モバイルアプリの操作方法について説明を行った。その後参加

者はスタッフのサポートを受けながらモバイルアプリの操作を学び、個人ごとに自由に制作を行った。後半はワークショップシステムを用い、参加者各自が制作したオブジェクトをグループごとに会場のスクリーンに投影して、リモートコントロールによる演奏発表を行った。またこの発表時には楽器演奏者による即興演奏も加わった。

ワークショップの最後には、後述のコンサートの参加者をその場で募った。

## コンサート

コンサートは、ワークショップ参加者の成果を取り込み音楽作品としたものを発表する場である。コンサート前のリハーサルではファシリテータらがある程度作品のコンポジションを構成し、参加者との演奏練習も併せて行った。

コンサート本番は二日とも約1時間行い、それぞれ来場者には参加者の保護者や地域の方々が150名程度が集まって鑑賞した。1作品につき長さは5分程度で、本番前に構成したコンポジションをもとに、モバイルアプリからその場でオブジェクトを投稿したりコントロールしたりするパターン、楽器伴奏付きのパターン、など数種類のパターンを組み合わせで発表した。複数の参加者が演奏者としてモバイルアプリの操作を行う場合には、ファシリテータが指揮を取って参加者に演奏の指示を出した。尚、このイベントで即興演奏に使われたアコースティック楽器は、ピアノ、アコーディオン、サクソなどである。楽器音は前述の通り、ピッチを検出して画面上のオブジェクトの位置を操作した。

## 体験型展示

体験型展示ではワークショップシステムを常時稼働させ、展示中であれば来場者は時間を問わず参加体験できるようにした。スクリーンには会期中に投稿されたオブジェクトを自動でランダムに登場させ、モバイルアプリからの投稿と演奏コントロールも常時受け付けるようにした。この展示では、来場者が所有しているタブレット端末を持参して参加することもできる。展示中は、小学生中学年から高学年の来場者が兄弟や友達と一緒に参加する場面が多くあり、複数人で協力して一つの画面上の風景を作ったり、逆にコントロール機能を駆使して他者のオブジェクトの動きに干渉したりするようなやり取りが見られた。

## ワークショップの評価と課題

コンサートでは同時に複数人が演奏を行えるようなもの、つまり形式的には合奏のか

たちを取っていたが、各参加者が他者との関係を考えながら協同して行っているとは言い難い状況であった。結果として文脈も意味も散逸なオブジェクト群が同居する状況となり、偶然に意味が生じることを楽しむ以上の価値を見出すことは難しかった。実際には、伴奏者や指揮者役のファシリテーターが誘導的に指示をして音楽的構成の取りまとめをしていたので、そこから参加者や観客にとって意義ある内容はあったかもしれない。しかし参加者をワークショップの主体として考えた場合、参加者自身が価値を構成していく過程の検討の必要性、またそれを行うためのドキュメンテーションの重要性が明らかとなった。

## 実施2. 埼玉県立近代美術館でのワークショップ

本ワークショップは、埼玉県立近代美術館にて12名の5歳～小学校高学年を対象に4時間に渡って行なった。この回からファシリテータのための小冊子を作成し、課題と運営方法の共有を図るようにした。

前回と同様、最初は自由な個人制作を行ってもらった。後半は共同でコンポジションを制作する課題に取り組んだが、前回とは異なりメンターのサポートを受けながらある程度自主的にアイデアを話し合っグループごとに一つの作品を作るようにした。最終的にコンサートとして各グループが制作した作品をアプリでの演奏も含めて上演した。

### 音楽作品の模倣課題

上記の他にこの回で実施した特徴的な課題として、作品の模倣課題に取り組んでもらった。これは、4種類のシンプルな楽曲の断片（音のみ）を聴いてもらい、その特徴を観察してMUCCAを使って模倣するという課題である。楽曲によって楽器、旋律やリズムのパターンなどが異なる。自由制作課題が言わば発散型課題であるのに対し、この課題は観察の対象を明確にした収束型課題と位置づけていた。この課題は、具体的な音楽の様々な語法をMUCCAアプリを使って実現するという表現技能を身につけさせることを期待して実施した。

しかしこの試みは必ずしも成功したとは言えなかった。小学校中学年～高学年の参加者の中には真剣に取り組んだ者も居たが、それ以外の参加者においては注意が散逸的になる様子が見られた。この原因についてはいくつかの事柄が考えられる。まず一つ目が年齢層の問題である。小学生2年生以下の参加者は、課題目標を理解すること自体が難しいようであった。今回参加者の年齢に開きが出たことは運営上の都合にもよるも

のでもあったが、ファシリテーションの方法も参加者同士のコミュニケーションの取り方も年齢層によって異なるため、ある程度事前に対象を限定するべきであった。次に参加者にとって何が学習課題としての障壁となっているかが明確ではなかったため、過重な負担がかかっていた可能性があることである。参加者にとっては、MUCCAアプリを使う事自体が初めてジェネラティブアートを作る体験である。参加者自身が音楽の概念的知識を十分持っていない場合には、音楽の概念とアプリ上の概念を具体的操作によって結びつけるための十分な材料が無かった状態だったと考えられる。

もしこのような試みを成立させようとするのであれば、より精細にワークショップデザインを行う必要がある。例えば学校教育で十分に音楽の基礎を学んだ課程の児童を対象とすれば既知の知識を材料として構成していけるだろう。或いは十分な時間をかけてアプリの概念を体得した後に、自然な形で音の様相に意識を向けるようなファシリテーションの仕方をすれば参加者の負担も少なく取り組めたかもしれない。学習者が持ち合わせていない学習対象が多重に起こった場合、理解度以前に意欲面において能動的に行わせることが難しいことが明らかになった。従ってこのワークショップの時点では、デザインに構成主義的視点から考慮すべき余地が残っていたと言える。

## 改善への課題

第1フェーズのワークショップにおいては、本研究で開発した創作システムがワークショップでの個人制作及び共同制作の両文脈において機能することを確認できた。参加者からの機能追加や修正の要望は随時システムに反映し、ユーザエクスペリエンスの向上を図った。

一方で下記の問題が明らかとなった。

- 参加者が創作過程でどのように意味を構成していくかを観察することが重要だと考えられる。また参加者の年齢の違いにもよるが、それによりどのような学習対象の視点として効果的であるかを明らかにし、ワークショップデザインの改善に活かせるようにする必要がある。
- 協同での課題がスムーズに行えるよう、ファシリテーションの工夫を行う必要がある。特に無理なく議論ができるよう、コミュニケーションの内容や方法について参加者が明確な意識を持てるようにすべきである。

次のフェーズでは構成主義的視点を取り入れ、これらの課題をワークショップデザインに反映させて実施することとした。

## 4.2 創作ワークショップ（第2フェーズ）

---

### ワークショップの目標とデザイン

ワークショップの第2フェーズは第1フェーズで明らかになった課題を踏まえながら、参加者が共に学びながら作り上げていく過程を構成主義的な視点を以って観察することを目的として行った。つまり参加者がシステムとのインタラクションを通じどのような視点や事柄をもとに意味を生み出し表現を作り上げていくか、また他者とのかかわり合いのなかで得られた気づきを最終的な表現へとつなげていくかといったことを丁寧に観察していく。どのような要因が個人レベル及び複数人レベルでの創造的循環に作用するかを探る。

一方で参加者にとっても、ジェネラティブなシステムを媒介とする協同での作業によって表現を拓げていく過程を共有することで、意義ある体験となることを狙いとした。限られた時間の中で参加者の負担が少なく作業に注力できるような工夫として、創作の内容や作業の方法、コミュニケーションの仕方などについては、枠組みとなる制約を予め設定した。

### 創作課題の設計

心理的構成主義と社会的構成主義の両面での観察が可能になるよう、個人課題と協同課題の2つの創作課題を与えて実施することにした。個人課題は、各自のタブレット端末を使って自由に作品創作を行う課題であり、基本的には他者とのインタラクションを含まない。一方で協同課題は、各自が制作したオブジェクトを集めて一つのアンサンブル作品を制作するものであり、制作過程では話し合いを通してイメージの共有から作品の実現までを行っていく。また協同課題はワークショップシステムを使い大きなキャンバスを共有して演奏するため、システムを通じたメンバー間のインタラクションが発生する。

表4-2はそれぞれの課題デザインの比較である。

比較項目	個人課題	協同課題
課題	個人作業で作品を制作する。	協同作業でアンサンブル作品を制作する。
課題目標	ジェネラティブアートの性質を理解しつつ、各自の持つアイデアをシステムに投影させていき、ひとつのオーディオ・ビジュアル作品としてまとめ、演奏発表を行う。	グループで作品のアイデアを話し合い、協同的作業の結果としてアンサンブルにまとめ、演奏発表を行う。
観察の焦点	心理的構成主義を中心とする。	社会的構成主義を中心とする。
ドキュメンテーション	各自自分で、またはファシリテーターの補助を受けてワークシートに記入する。	各自のアイデアを付箋に書き、グループごとで模造紙に貼り付けていって意見を共有する。
ファシリテーターの役割	操作方法についての不安を解消し、参加者の希望に応じた個人作業が円滑に行えるようにする。また対話を通じて目標、アイデア、感想などを言語化し記録する。	メンバー同士の対話を活性化させ、アイデアの発散と収束を促す。また創作過程のコミュニケーションを記録していく。
振り返り (リフレクション)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自分の作品について、上手く行ったところと行かなかったところはどこか</li> <li>・他の人の作品で面白いと思ったところ、自分ならこう変えてみたいと思ったことは何か。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作品を振り返ってみてどう思ったか？良かった部分、上手にできなかった部分など。</li> <li>・グループメンバーと話し合いながら作業して気づいたことがあるか。</li> <li>・他のチームの面白かったところ、他に作ってみたいものがあるか。</li> </ul>

表4-2：個人課題と協同課題の比較

MUCCAは生成の論理や音、ストーリーなど様々な視点を含むが、あえて視点は限定せず参加者の持つ発想の多様さをそのまま活かすことにした。複数回のシリーズであればそれぞれの創作の構成要素に着目させるやり方もできるが、毎回の数時間で一回きりのワークショップであり、参加者の多様な視点を自然な形で観察したかったためである。その代わりとして、協同課題作品の時間構成や演奏指示の方法についてはテンプレートを用意して作りやすくしている。これについての詳細は後述する。

ドキュメンテーションについては、参加者の持っている知識構造がどのような創造的循環を経て作品へと昇華するか、またその中でシステムはどのような役割を果たしたかを観察できるようにデザインした。

## ワークショップの評価方法

### 評価方法の検討

本ワークショップは下記の創造的循環を起こすことを狙って実施しているため、これらがどの程度、どのように達成されたかが評価の指針となる。

1. **個人レベルの創造的循環** ... 個人が創作システムとのインタラクションを通じて、自身の創作的思考を発展させていくことに寄与すること。
2. **集団レベルの創造的循環** ... 複数人がワークショップシステムを通じたインタラクションを取り、合意形成を図っていくことによって全体として創作的思考を発展させることに寄与すること。

以下のワークショップ実践では、それぞれの説明の最後に上記の評価が該当するかについて述べる。

なお構成主義を取り入れた学習の場合、その効果は必ずしも定量的に測れるものとは限らない。これは学習者がどのような知識に基づいて新しい知識を構成したか、或いはそもそもどのような知識を身につけるべきかということを事前に想定できないからである。従ってむしろ個々人の発想を尊重し、どのような発想の展開を行ったかについて観察を積み重ねること方針を採る。

### ドキュメンテーションの取り方の検討

ドキュメンテーションは下記とおり、課題実施中の創作アイデアを記録するものと、

実施後の創造的思考に関する振り返りを設定した。第2フェーズのワークショップには参加者の対象が大学生のものと小学生のものとがあり、同様の質問を年代によって異なる方式で行った。例えば振り返りについて、大学生は自ら振り返って文章として記述する能力があるのでアンケートを書いてもらうことができるが、小学生にはファシリテーターとの対話を通して意見を引き出すようにしその過程をビデオで記録した。（実際には運営効率上の問題もあったのでそのようにした。）

- **実施中の記録** ... 作業を通して思ったこと・感じたことを時系列に沿って模造紙に付箋を貼り付けて記録していく（図4-1）。小中学生にはファシリテーターが記述のサポートをした。記録のカテゴリーは「全体的なアイデアやストーリー」「音・音楽」「絵・動き」から成る。特に下記の視点についての考察を促した。

- 作品の構想、アイデア、やってみたくこと
- 作っていて面白いと感じたこと
- やろうと思ったがうまくできなかったことやその対処など

- **実施後の振り返り** ... 下記の5項目について質問を行った（図4-2）。

1. 自分のチームの作品を振り返ってみてどう思うか。良かった部分、上手にできなかった部分など。
2. チームメンバーと話し合いながら作業するなかで、気づいたことがあるか。
3. 他のチームの作品で面白かったところ、自分だったらこう変えてみたいと思ったところはあるか。
4. 今回のシステムを使って作ってみたい作品やアイデアがあるか。
5. その他、今回のワークで気づいたことがあるか。



図4-1 アイデアワークシート

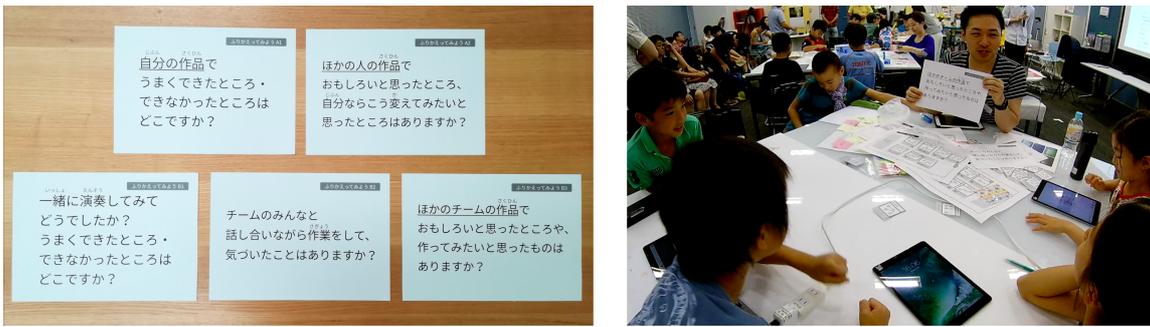


図4-2 質問フリップと実際の質問の様子

## ファシリテーターの役割

ワークショップのファシリテーション、司会者が全体への説明や指示を行い、グループごとに配置されたファシリテーター（グループメンター）が各参加者と密接にやり取りを行う形式を取った。実際に実施したワークショップでは不特定の参加者がその場で初めて顔を合わせるのであり、初めから自主的に協同できるとは限らない。そのためグループメンターはグループ内での基本的なコミュニケーションを円滑に行うために重要な役割を担い、参加者に積極的に語りかけて話しやすい雰囲気を作り出していく。

それに加え、ファシリテーターは参加者が課題に集中して取り組めるようにし、思考の客観視や外在化を促すため下記もその場に応じて行う。

- 創作作業のツールの問題（特にアプリの操作方法）があれば、障壁を汲み取って理解可能なかたちで対策を提示する。
- 様々な創作の視点を提供し、創作思考の幅を拓げる。（例えば、音楽要素の種類  
の提示、視覚要素で音をコントロールする基本的な方法など）
- 制作作業中に参加者のアイデアを引き出して言語化する。アイデアはワークシート  
に書き出して視覚的に把握できるようにする。
- 協同課題では、参加者の意見を比較して取りまとめる。
- 振り返りによって、創作過程で考えたことや感じたことを反芻し考えさせる。

これらの役割について場面にに応じて臨機応変に対応できるよう、各ファシリテーターとは数回にわたる事前打ち合わせで綿密に調整を行った。今回参加したグループメンターは年齢が22歳～31歳の大学生や社会人である。

## ワークショップの実施

第2フェーズのワークショップイベントは、主なものでこれまでに2回実施した。一つ目は筑波大学情報学群の大学生を対象に行ったものであり、もう一つはプログラミング教育団体のCoderDojoの企画で小学生中学年以上を対象に行ったものである。実施条件の違いからこの2回のワークショップの厳密な比較を行うことは難しいが、ほぼ同等のワークショッププログラム、ドキュメンテーションの方法を採って行った。以下それぞれのワークショップについて詳述する。

### 実施1. 大学生のためのワークショップ

#### 実施の詳細

実施は東京芸術大学及び筑波大学の大学生を対象として数回に分けて行い、ワークショップに参加した学生は6名であった。いずれも何らかの楽器演奏経験を持っており十分なコンピュータの操作リテラシーを持っていた。実施場所は筑波大学春日キャンパス内の教室で行い、合計3時間のプログラムを実施した。個々の実施課題の詳細については、本節で先に説明した通りである。但し本ワークショップはプレ実験のような位置付けとして、筆者一人のみでファシリテーションを担った。

#### 記録の分析

##### 個人課題

まずビデオ記録をもとに各参加者の創作過程を観察し、参加者が制作した作品の性質について分析した。これにより、どのような創作における要因を作品のマテリアルとして捉えながら自身の制作を行ったかということが見えてくる。下記の表4-3は各参加者を横の列とし、創作要因を縦の行に取り、着目した傾向が観察された場合に●印で示したものである。

年齢	20	21	22	22	22	24	
性別	男	男	男	男	女	女	合計
具象物をお絵描きで描いた		●		●	●	●	4
抽象物をお絵描きで描いた	●			●	●		3
カメラで具象物を取り入れた			●				1
音にこだわりを見せた	●	●	●	●	●	●	6
マイクで音を取り入れた				●	●		2
動きにこだわりを見せた	●	●	●	●	●	●	6
コンセプトに具体的なストーリーを持っていた		●	●			●	3

表4-3 個人制作で各参加者が制作した作品の性質（大学生）

参加者数は少ないが、音や動きに深く着目して作品の創作を行う傾向が全員に見られた。

個人制作の作品には、参加者独自の視点による興味深い発想が見られた。ビデオ記録をもとに、作者本人による作品の説明を幾つか紹介する。

- 作例1: 規則的な動きと不規則的な動き、動かない固定のものを組み合わせ、音楽的なリズムの面白さを追求した。オブジェクトの形を敢えてクシャクシャとした不規則な形にすることで、予想不可能な生成のバリエーションが出るようにした。偶然2つのオブジェクトがくっついてしまう現象が頻繁に発生するが、むしろ積極的に活用するようにした。
- 作例2: チョコレート菓子（キノコとタケノコ、大きいチョコ）の写真を取り込み素材とした。キノコは横方向、タケノコは縦方向のみに規則的に動き、大きいチョコはそれらを邪魔するように動く。音に関しては生成の制約をうまく利用して、現代音楽的でカオスに近い音響を作った。オブジェクトのサイズは、それぞれの菓子を愛好する者の性格を表現している。
- 作例3: 草むら、樹木、太陽、鳥を素材として、それぞれの動きのバランスを重視して構成した。結果として音の生成にゆらぎのある規則性が生まれ、長く鑑賞しても飽きないものとなった。

制作後の振り返りでは、以下のような意見があった。

【自分の制作を振り返って】

- コンセプトを優先して構造的にはあまり上手くできなかったのが、視覚的な配置

や音のタイミングを工夫できると良かった。

- 音を必要最小限にしたので、かえって曲としてまとまりが生まれた。
- 狙ったテンポでオブジェクトを移動させるのが難しかった。

#### 【他の人による作品を見て】

- オブジェクトに物語性や意味を持たせるのが上手で印象的だった。
- 規則性と不規則性の使い分けが面白かった。
- 壁の跳ね返りを使って一定のリズムで音を出す方法は、ベースラインとして鳴らしたい時に役立つと思った。

### 協同課題

協同課題においては、グループごとに参加者らは作業に取り掛かる前に作品の構成やイメージ、作業内容や分担などについて綿密な打ち合わせを行っていた。そして作業中も時々合意を形成しながら創作を進めていく様子が観察された。ワークショップシステムを使った演奏の合わせ練習においても、互いの成果について発言し合う様子が確認された。

作品内容については、2つのグループのいずれもが童話のストーリー（浦島太郎、桃太郎）を紙芝居的に再現する形式の作品を制作した。これは恐らく時間構成を持つ作品を制作した経験を持たない者にとって、且つ少ない制作時間のなかでメンバーの合意を形成しなければならない状況においては、既存のストーリーを拝借するという発想は作業コストを抑えるという点で当然一つの選択肢に選ばれ得ることかもしれない。結果として、参加者同士でアイデアの違いに向き合い発想を拡げていくということについての努力を回避する方向に働いたように見られた。

勿論模倣を通して得られる学習効果というものもあるため、決してこの方法が否定されるべきものというわけではない。例えば本ワークショップが数回にわたって行える十分に時間のあるようなものであれば、その中の一つの学習過程として模倣を導入することは有効だと考えられる。時間構成を借用しそれに対する思考を保留することで、他の創作における要素に目を向ける余裕ができるからである。

上記から浮上してきたことは、創作に含まれる様々な要素や視点に対して一度に考えさせることは実質的に難しいということである。その対策としては、ファシリテーターが要素や視点を整理して参加者に提示し創作の視野を拡げるようにすることがある。もう一つ考えられることは、課題自体に制約を課し、参加者が取り組むべきポイントを絞っ

て明確にすることである。次に実施するワークショップではこの2点について改めて検討を行い、課題のデザインに反映した。

制作後の振り返りでは、以下のような意見があった。

#### 【自分の制作を振り返って】

- ナレーションを付けて補うことで、シンプルな画面でも物語が成立するようになった。
- 作業量が多かったため、発表に向けたタイムマネジメントが重要だと感じた。
- 聴覚と視覚だけでなく、時に音の種類によっては触覚とも結びつくような体験が新鮮だった。

#### 【チームメンバーと話し合いながら作業する中で気づいた点】

- 一度役割分担を決めた後は細かい設定を話し合ったわけでもないのに、いざ全員のものを含めた時には親和性が生まれて面白かった。
- 最初のコンセプトを決めるのが大変だった。
- 表現形態の制約の中で、何をどう表現するかを考えながらアイデアを出すことの難しさに気づいた。
- ストーリーと音とでどちらをメインに展開させるのか、チーム内で視点の違いがあった。

後に行う小学生向けワークショップと比較すると、大学生の創作に特徴的な部分が観察された。個人制作では音楽的な面白さを重視しており、様々な創作視点を総合的に検討しながら全体のバランスを考えて創作を進める傾向にあった。協同課題における特徴としては、制作の初期段階からひとつの作品としてまとめ上げる目標意識を持ち、作業時間や分担について計画を重視したように見られた。また、自分の作品に対する各創作視点からの客観的な評価および言葉で説明する能力の高さが感じられた。

### ワークショップの評価結果

この大学生を対象としたワークショップでは評価事項の1.と2.、すなわち創作システムを通じた個人レベルの創造的循環とワークショップシステムを通じた集団レベルの創造的循環のいずれもが確認された。ただし創作のどの要因に着目させるかについては、ワークショップデザインの改善の余地が見られた。

## 実施2. CoderDojo中野での小学生のためのワークショップ

### 実施の詳細

本ワークショップは、子どものためのプログラミング教育団体CoderDojo中野の協力により、一般社団法人中野区産業振興推進機構ICTCO（イクトコ）を会場として実施した。会場は人数に対して十分広いコワーキングスペースであり、スクリーンを中央に設置してワークショップ兼コンサート（演奏発表）の場として設営した。参加者は一般募集した小学生中学年から高学年14名であり、男女比は11:3であった。ワークショップ全体の実施時間は3時間である。

個々の実施課題の詳細については先と同様であるが、実施1の結果を踏まえてデザインを改善し、課題目標をより明確にするようにした。特に前回より音楽的な内容について焦点を当てて参加者が検討ができるよう、協同課題について以下の改善を行った。またその成果はコンサートとしてグループごとに演奏発表を行った。

### 改善1. 参加者にとっての目標の明確化

コンサートで発表する協同課題では、「楽器を作ってセッションしよう！」というテーマを名付けた。これは制作する作品の目標とするところが音楽のイメージに近いものであることを、言葉で示そうとしたものである。これまでは制作物について広くオーディオ・ビジュアル作品と呼称していたが、今回はアンサンブル作品というような、参加者が既に何らかのイメージを持っていると考えられる言葉を選んで掲げるようにした。そして具体的な音楽に関連した思考に集中できるような工夫として、次の2と3の改善を行った。

### 改善2. 時間構成のワークシート

音楽の時間構成を議論して演奏の流れを視覚化するために、一種の楽譜のようなものを作成するためのワークシートを用意した（図4-3）。このワークシートには予め用意した演奏パターンの指示カードを貼り付け、その上にメンバーのシールを貼ることで、どのメンバーがいつどのような演奏を行うかを明確にすることができる。演奏時にはこれを楽譜として見ながら、演奏を行うようにした。

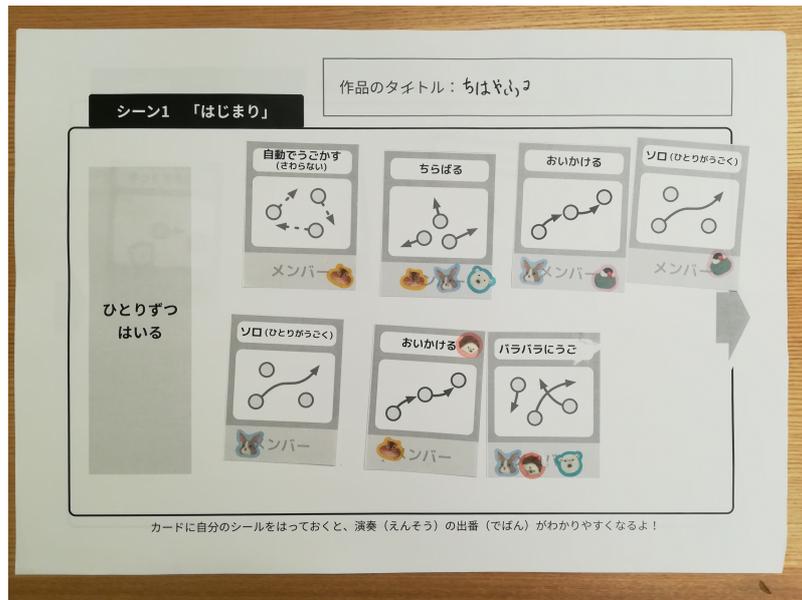


図4-3 楽譜に相当するワークシート

### 改善3. 視覚情報を遮断する場面の設定

演奏中には途中で視覚的なものを遮断する場面、すなわちオブジェクトが見えないようにして生成される音のみが聴こえるようにする場面を設定した。これはあえて音のみが聴こえるようにすることで、生成された音の内容に注意を向けることができるようにする狙いがある。

ファシリテーター用の詳細なプログラムを付録Cに掲載した。

### 記録の分析

ワークショップを通じて、各テーブルと全体のビデオ記録、作品のアイデアを書き溜めたワークシート、振り返りの質問の回答などが集まった。これらの各種資料について分析を行い、下記の点で評価を行った。

### 評価方法

評価は各種資料を分析し、ワークショップの目的に対応した結果が現れているか、すなわちジェネラティブアートをベースにした創作システムが個人レベル及び社会レベルの構成主義的な学びに作用したことが見られたかを中心に探ることとした。またその際、創作システム（アプリとワークショップシステムの両者を含む）はどのような役割を果たしたかについても考察を行った。一方、想定されていなかった学習が見られたケースや、逆に期待した結果が得られなかった部分などについても検討した。

## 個人課題

先の大学生対象の実施例と同様、ビデオ記録から制作された作品の傾向分析を行った（表4-4）。

	グループA					グループB				グループC					合計
	年齢	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	10	
性別	女	男	男	男	男	男	男	男	男	男	男	男	女	女	
具象物をお絵描きで描いた	●			●	●			●		●	●	●	●	●	9
抽象物をお絵描きで描いた	●	●	●			●	●		●			●			7
カメラで具象物を取り入れた					●							●		●	3
音にこだわりを見せた		●			●		●	●	●						5
マイクで音を取り入れた							●	●							2
動きにこだわりを見せた		●			●	●		●		●			●		6
コンセプトに具体的なストーリーを持っていた						●		●			●		●		4

表4-4 個人制作で各参加者が制作した作品の性質（小学生）

以上の分析から下記のことが傾向として見られた。

- 音より視覚への関心が優先される傾向があり、創作の入り口として絵の組み合わせや動きによる意味の探求から入っていくケースが多かった。しかし最終的に音づくりへの関心を示した者も一定数いたため、時間をかければ徐々に関心がシフトしていくことは十分考えられる。
- 具象物を視覚素材として描いた参加者は視覚素材の作成に時間をかける傾向があった。一方で抽象的な絵を描いたり予め用意した抽象的な図形イラストを使用した参加者は、視覚素材作成以外の部分、特に音や動きについて探求を進める傾向が見られた。また抽象的な図形の場合に、大量に複製して複雑な動きの生成を試みるケースも3件あった。
- 以前の大学生の場合と比べた印象として、コンセプトを事前に考えて作ったケースは多くなかったように見えた。むしろ全体の構成は初めはあまり考えず、自分が好きなモチーフを次々にキャンバスの中に取り入れて行くような感覚で作業を行っていた者が多かった。

なお上の分析については●印で二値分類しているが、例えば具象物とも抽象物とも言えないようなものがあつたりこだわりのレベルの幅が異なつたりなど、明確な判断がで

きるわけではなくあくまでも傾向として捉えなければならない部分があることは断っておかねばならない。また人数、年齢と性別の傾向にも偏りがあることは注意しなければならない。

また特定の作品について、以下の興味深い事例が見られた。

- アニメーションのキャラクターとカメラで撮影した写真を組み合わせた作品が、グループ内メンバーの注目を集めていた。具体的なキャラクターから生じる強い意味と現実の物との違和感が面白さを与えていたものと思われる。
- キャンバス内のオブジェクトを肉眼では見えにくいほど小さくして動かし、音を生成させる作品を作った者がいた。グループのメンバーからは視覚的に見えにくいことについて批判を集めつつも、むしろ皆それを面白がって楽しんでいる部分もあり、本人もそのことを自身の独自の表現として誇示していた。

今回の参加者全体の傾向としては、以下の傾向が見られた。

- 創作システム（MUCCAアプリ）の基本操作自体は平均10～15分程度で習得でき、すぐに各自の創作に取り掛かることができた。
- 今回はどの参加者も、作品のテーマやコンセプトを与えていないにも関わらず、ためらいなく視覚素材を作成することに夢中になった。小学校中学年程度の児童に対して、絵を描くことが創作の入り口として有効に働くのではと推測される。（ただし以前実施のワークショップでは、特に高学年になると作品の完成イメージを意識しすぎて、素材の作成が思うように進まないケースも見られた。）
- 用語の意味を積極的に問うケース（例えば音楽用語である「ピッチ」や「調」といった言葉）が少なからず見られた。質問を問うた後にはアプリで実践することで、現象の確認を行っていた。このようにファシリテーターが一方的に教えるのではなく、自発的な問いに基づいて学習が行われる様子が見られた。
- また作成途中のものを互いに見せ合ったり、互いの音を聞きあったりするケースも見られた。

ジェネラティブなシステムを使った創作という点で多くの参加者が関心を持ったのは、上のキャラクターのような例である。つまり本来強い意味や文脈を持っている素材ほど、システムによって半ば強制的に多様な動きを見せることにより別の意味が生じやすい、ということが言えるかと思われる。このようなケースはいずれも、自然と大きな笑いを誘っていた。

一方で今回の課題として残ったことは、絵、動き、音、作品全体の構成などのように創作の要因が多いため、限られた時間ではそれぞれの要因についての関心を深めることができなかつたということである。もしもっと時間をかけて探求することができ、創作システムが持っている様々な表現方法と効果や制約についてしっかりと吸収した上で創作を行うのであれば、また質の異なる作品が生まれることが期待される。

以上、今回のワークショップでは創作システムの有効性や今後の課題が見えた。なお今回最も驚いたことは、個人作業時間の途中で集中を切らす者が一人もおらず、皆一様に夢中になって創作に取り組んでいたことである。中には時間が終了しても作業を止めようとしなない者もいた。本研究で開発した創作システムが、極めて自然な形で子供の関心と結びつき心を捉えたものと言える。

## 協同課題

協同の作業中にグループ内の合意を作り上げていくために用意したワークシートには、以下のような種類のアイデアが見られた。

- 各自が描く予定のオブジェクトについてのキーワードとイラスト
- 演奏指示カードには無い独自の動き。（各自のオブジェクトを円状に配置し、円がぐるぐる回るような動き）
- 音に関するキーワード
  - 形容表現：「はでな音」「きれいな音」「へんな音」「あかるい音」「くらい音」
  - 擬音：「ドカン」「ヒュー」「トロトット」「バンバン」

各グループの発表は3～5分を目安の発表時間としていたが、いずれのグループも8分程度となった。作品のアイデアや時間構成の作り方については参加者にある程度の既定の形式を示していたため、各グループとも協同による演奏（アンサンブル）を問題なくやり遂げることができた。ワークショップシステムが機能することで、参加者各自の意図による表現を同じ作品空間に共存させることができたと言える。

作品発表後の振り返りでは以下のような意見が出た。

### 【うまくいったところ等】

- 自分のやりたかつたこと(出したかつた音、描きたかつた絵、させたかつた動き)をイメージ通りできた。具体的には、往復運動をさせて一定のリズムを刻み続ける

ようなドラムのような役割をもたせた、イカのキャラクターに上方向に向かって浮かせていくような動きをさせた、等。

- 発表では、途中で一旦退場させてサイズを大きくしてからまた帰ってくる(ストーリー的に展開をもたせる)ことを計画していて、それが成功した。
- 録音をうまく使えた。
- たのしかった。アプリが欲しくなった。

#### 【うまくいかなかったところ等】

- 動きをコントロールするのが難しかった。
- 細かい線を描けなかった。
- 発表中、みんなで同じ動きをすることや自分の位置や動きを把握するのが難しかった。

#### 【みんなと協力して作品を作ったことに関して】

- 友達の声を検音し合ったりできたのがよかった。(「プー」というおならのまねをずっとして、それぞれのメンバーのバージョンで録音してみたりしていた)
- 個人でやる方がやりやすかった。
- 個人でやる方がたのしかった。

#### 【他のグループの作品について】

- あまりよくわからなかった。
- よくわからない不思議なオブジェクトが動いていたのがおもしろかった。
- 写真を使っていたのがおもしろかった。

大学生の場合と比較すると、成果の評価については表現や作品の実現についての意見よりも、技術的に意図通り成功したかどうかという側面での意見が多い印象であった。

#### 参加者間の協同に関する観察

協同という点では、各グループ内で作業中に議論を通じた合意形成の過程が発生していたとは必ずしもそうとは言えない面がある。メンバーの協同が当初望んでいたように機能しなかった原因には、以下のような事柄があると考えられる。

- 参加者のほぼ全員が初めてその場で顔を合わせた関係なので、自発的に話し合いをする雰囲気は十分には醸成されていなかった。

- 協同の重要性が趣旨として参加者に伝わっておらず、個人の意見を優先して強く主張する参加者も少なからず居た。
- 前半の個人制作がとても楽しかったので個人制作に対する欲求が強く生じ、協同作業がむしろ自身の創作を制限するもののように感じられてしまった。
- 作業時間に対して考えるべきことの課題の量が多すぎた。
- 振り返りにおいてことばでうまく表現できていない例も見られ、今回の参加者の学年では、協同のディスカッションにおいても多面的かつ論理的に物事を捉えて言語で表現する力が限定的であった可能性もある。

しかし参加者間のコミュニケーションが発生していなかったわけではなく、実際には個人課題の時点から自発的な成果の見せ合いや競争などの個対個の直接的コミュニケーションは多く見られ、それにより個人の創作を変化させる様子も見られた。つまり仮説として想定していたシステムを通じたコミュニケーションとは違う形の創造的循環が発生していたと言える。

### ワークショップの評価結果

本ワークショップでは、評価項目の1. (個人レベルの創造的循環) については効果が確認された。しかし評価項目の2. (集団レベルの創造的循環) については、想定していた形で達成したとは必ずしも言えなかった。具体的には、「一つの作品を協同で作り上げるという意識を持ちながらワークショップシステムを通じた合意形成すること」は確認されなかった。むしろ実際に生じていたのは、個人対個人での直接的なコミュニケーションであり、個人の成果を見せ合ったり競争したりすることで学び合う姿であった。この原因にはワークショップデザインの改善によって変化すると考えられる部分と、年齢に応じた発達過程に本質的に起因する部分との両方があると考えられる。先の大学生の事例と比較すると、創作システムとの関わり方やコミュニケーションの取り方において違いが浮き彫りとなった。

次章では上記の評価について考察し、今後更に研究を発展させていく可能性について述べる。

## 第5章 考察と提言

### 5.1 本研究の発展可能性

---

本研究で開発した創作システムの活用については、前章までに一定の評価を行った。以下、今後更にシステム開発とワークショップ活動の双方を発展させていく想定で考えられ得る可能性について述べる。

#### 創作システムの改善

現バージョンのMUCCAアプリに関しては、予め用意された生成モデルを選択することがジェネラティブアートについての主な操作となっている。その上である程度はオブジェクトの形状や配置によって生成過程を制御することは可能である。しかしそれ以上の論理的な手続きの記述による生成方法の変化は許容していない。これは操作の容易性のために敢えてそのようにデザインしたものであり、論理的思考よりも直感的なシステムとの対話によって意図を形にしていくタイプのシステムであると言える。もしこれを論理的思考へ主眼を転換させていくのであれば、プログラミング教育で用いられているようなプログラミング環境との連携も発展の可能性としてあり得る。

一方現状のワークショップシステムによる共同演奏では、わずかな操作性の不自由さや柔軟性の低さに由来して、結果として現れる表現に偏った傾向が見られることがある。これに対しては例えば遠隔操作の操作性の向上やオブジェクトを消す機能を追加するだけで、表現のパターンの幅が広がると予想される。

#### ワークショップの発展

本研究で実施したワークショップからは、個人レベルと集団レベルの両者の創造的循環を確認することができた。しかしその様態は年齢層によって異なるものであった。本研究の結果から改めて整理した創造的循環のモデルを下記の図5-1で示す。

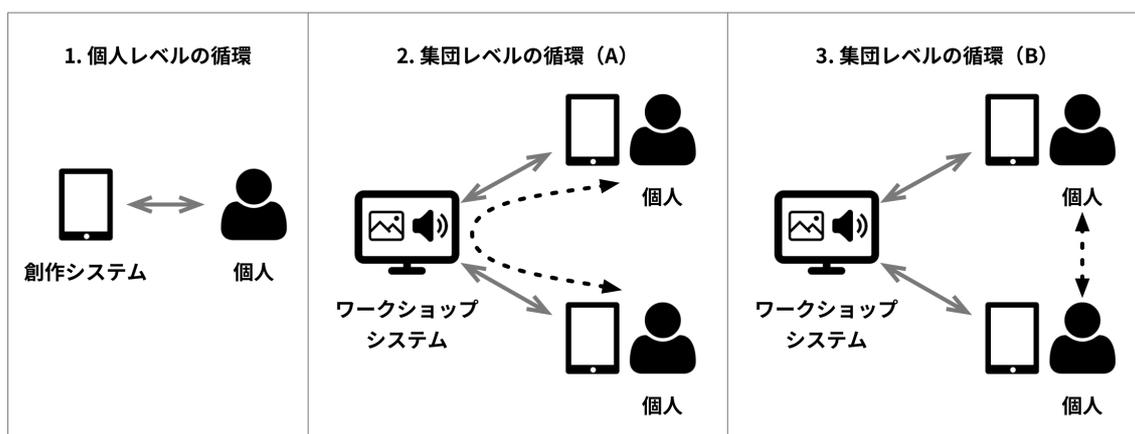


図5-1 ワークショップで観察された創造的循環のモデル概念図

研究開始当初に仮説として想定していた創造的循環のあり方は図の1.と2.に当たり、大学生の実践ではこれらは確認された。しかし小学生を対象とした集団レベルの実践では図の2.よりも3.の傾向が強く確認され、年齢層による協同のあり方の違いが見られた。実際には大学生においては2.だけでなく3.も発生していたと言える。今後の実施案として、例えば年齢差のある大学生と小学生が協同する場合においてもワークショップシステムが協同の場を生む媒体として機能するかという視点での実践も興味深い知見が得られると考えられる。既に今回実施のワークショップでも、グループメンターが協同の一端を担っていたと見ることもでき、2.と3.が同時に共存している状態だったとも言える。

また今回開発した創作システムMUCCAは視覚的なものや聴覚的なものも含め、創作の多様な側面を共存させながら扱うことができるものである。例えばシリーズとして長期にワークショップを行った場合にはそれぞれの側面に、例えばある音楽の要素を取り上げて探求するなど、個別に着目させる方法ができると考えられる。他にはワークショップのアイデアとして、現実の物体から音を作って取り込んでミュージック・コンクレートの手法で組み立てたり、アニメーション作品として捉えてストーリーを重視したものを作るなど、多様なワークショッププログラムを展開できる可能性がある。

なおワークショップに関して本研究での実施はいずれも単発のもので時間的に短期間であり、複数回や長期間実施するケースについては検討していない。そのため課題については様々な制約を課して焦点を限定した。ワークショップの実践で筆者が特に感じたことは、参加者のひとりひとは違った能力や個性を持っていること、そして環境や社会とのインタラクションによってゆっくりと時間をかけて広義での知識を積み重ね、成

長していくことである。これらはごく当たり前のことではあるが、今後のワークショップ展開の仕方についてひとつの指針となる。継続的に行うことで参加者同士の協同的な雰囲気も醸成されることが期待されるので、長期間の教育の実践の中でどのようなことができるかについても検討していきたい。

## ワークショップシステムのパッケージ化による展開

現状ではアプリは一般に公開されて入手可能な状態になっているものの、ワークショップシステムは一般公開しておらず筆者らの運営チームがその都度赴いて実施する必要がある。そこでワークショップを多様な場所で独立して行えるように、ワークショップシステムをパッケージ化して一般公開することを検討している。具体的には小型コンピュータにワークショップのためのソフトウェアを組み込み、簡単に頒布して各所に設置できる状態にすることを予定している。それによりワークショップ会場間でのインタラクティブ性を取ることも可能性としてあり得る。またワークショップシステムを各所に提供するにはワークショップ実践のバリエーションを提示することで、現場でより活用しやすくなるものと考えられる。またアプリは既に英語・日本語・中国語で使用することができるので、今後海外へ展開させていく可能性も視野に入れている。

## 5.2 隣接する教育分野への広がり

---

### プログラミング教育との関わり

#### プログラミングと芸術表現教育の発展的関係

2020年には国内でプログラミングを義務教育課程において必修化することが検討されていることから、プログラミング教育に対する関心は高まっている。本研究の創作システムはそれ自体にプログラミングの機能は持たせていないが、プログラミング教育に活用し得る可能性を持っていると考えられる。

プログラミング教育においては各教科との連携による学びの探求がなされている。一例を紹介すると、青山学院大学の阿部和広は、日本国内でプログラミング教育の普及を進めている代表的存在の一人である。阿部は東京都品川区立京陽小学校でのScratchを中心としたプログラミング教育を紹介している（阿部, 2015）。その授業例として挙げているのが各教科の中でプログラミングを活用するというもので、5年生の音楽科では

「音楽づくり」をテーマとした授業を紹介している。

プログラミングにより音楽を作ることについて、実践ではある程度の制約があると考えられる。プログラミングのロジックに学習者の意識が向いてしまうと、表現の幅を拡げることに意識が持てなくなってしまう場合がある。また音楽そのものの概念や知識の積み重ねが十分に無い状態で作っても、あまり表現の質的な発展は見られない。これは実際の作例を見ても、プリミティブなレベルを超えられないものが多いという印象がある。

そこで本研究で開発したMUCCAのように、生成過程をある程度予めモデルとして抽象化したシステムであれば、表現の内容の部分に注目して創作させることが可能だと考える。それにより創作の発想を上げた上で既存の教育用プログラミング環境を両輪で用いることで、作ることの喜びを感じさせることができるかもしれない。またプログラミングに対するモチベーションへ還元させることもできるとすれば、良い相乗効果の関係が生まれると考えられる。

## プログラミング教育の場の創造

現在のプログラミング教育の必修化の議論では、全国的に同じ教育プログラムを整備しようとする傾向がある。その根底には、教師が理解していないことは教えられないという現場の不安から来る考え方があるようである。特に本研究のような構成主義的教育は一定の教育内容の枠組みを示すものの、その学習方法は個人によって異なり制限できるものではなく、なおさら学校教育では実践しにくいと感じる教員も多いかもしれない。

本論文ではこのような教育の社会システムの問題まで踏み込んで議論することはできない。しかし自らの経験を基に積み重ねを築くという構成主義的教育は、今後益々の重要性を帯びていくと考えられる。それには既存の教育システムに単に内容を取り込むというだけではなく、学びの場をいかに作っていくかを柔軟に考えていく必要があると思われる。そして本論文で述べたような小さな試みの蓄積を丁寧に観察し、次の発展に活かせる知見として共有する方法論自体が重要であると考えられる。

## 音楽教育との関わり

日本国内においても音楽科教育のために作られたICT教材は増えつつある。しかしその

多くは既存の学習要領を前提とした認知主義に基づくものが多く、作って学ぶことに焦点を当てたものは少ない。それに対して本研究のようなシステムと実践は、新しい音楽の学び方という点でも有効なものだと思われる。特に西洋音楽の理論的基礎については学校教育の中でも授業で扱われるが、改めてワークショップで創作の実践を通じて知識を異なる角度から見返すような方法も考えられる。しかし、広く現場で活用してもらえようには容易ではない。

特にICTの活用に関しては、特に教員側のリテラシーの問題も大きい。文部科学省により公表された資料「学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果」においても、教員は自分が使う分には問題を感じないが、児童が活用できるようにすることに不安を覚えていることか数値から読み取れる（文部科学省(3), 2016）。筆者の音楽大学や音楽教育系法人での指導経験からしても、苦手意識を持つ者は多い。

これに対する解決策としては、教員のICT活用力の向上を図ること、教科や学校の枠を超えた開かれた教育のあり方を探求すること、教師が常に介在しなくても学習者らが自発的に学習を進めていけるようなシステム、特にウェブベースのコミュニティウェアを開発することなどが考えられる。本研究でも教育現場との多様な関わり方についてまだ追求の余地があるが、テクノロジーを有効に活用して人と人の学びを繋いでいくことを目指し、更なる発展を図るつもりである。

## 結論

本研究では、デジタルメディア特有の表現手法の一つである「ジェネラティブアート」(Generative Art) を児童期及び青年期のための芸術表現教育に活用することを目標とした。その実践として、オーディオ・ビジュアル創作システムの開発及び創作システムを用いたアート創作ワークショップのデザインと実施を行った。本研究はこれら創作環境の開発とワークショップの実践の両面について、「構成主義」(Constructivism) の教育観に立脚して知見を活かすことにより相乗効果が生まれることを期待し、理論と実践が一体となった総合的な芸術表現教育のあり方を探求した。

実践に先立って、本研究の核となるジェネラティブアートおよび構成主義的教育観について基礎的な理論や先行研究を踏まえ、多様な観点から活用の可能性を考察した。特に表現の過程においては道具(ツール)との関わり及び他者との協同のあり方について検討することが要であると考え、これらの要因が円滑に機能する状態、すなわち個人レベルと集団レベルでの「創造的循環」が適切に存在することを目標として掲げた。この点においてジェネラティブアートやデジタルメディアそのものが持つ特性が、創造的循環を生み出すことに有効に働くとの予測を立てた。つまり知識や概念のアルゴリズムによる抽象化や、表現にゆらぎを与える「予測不可能性」の性質による新たな意味の創発、そしてデジタル技術の活用により創作者同士をつなぐ協同可能な環境の実現が創造的循環にプラスに寄与することで、これまでに例を見ない新しいアートの体験を提供できるとの予測を立てた。また構成主義の知見からは、発達要因や発達段階を考慮した学習のデザインが求められることや、ジェネラティブアートの表現過程では抽象的な記号操作を行う際に身体との接点を持つ必要があることが見出された。また社会的構成主義の観点からは、協同による「学びの共同体」を狙いとする新しい学習デザインの重要性が示された。

以上の検討を踏まえ第一の実践として、ジェネラティブアートと身体性の関連性を利用したユーザーの芸術創作を支援するオーディオ・ビジュアル創作アプリ *MUCCA* を独自に開発した。システムデザインにおいては、ジェネラティブアートが持つ予測不可能性及びアルゴリミックアートが持つ抽象化されたモデルの組み合わせによる意味の創発の性質によって、個人レベルそして集団レベルでの構成論的な創造的循環が促進されることを狙った。具体的には視聴覚両面で学習者が持つ知識や文脈を取り込みやすくしたことや、ジェネラティブな振る舞いにより新たな意味の気づきが発生するようにしたことなどを主な狙いとし、直感的操作で十分に表現の奥行きを探求できる環境作りを

行った。制作される作品は、個々のルールから全体としての多様な振る舞いを創発するジェネラティブアートとしての性質を持たせることができた。この開発により、ルールベースのジェネラティブアートを基礎としながら高度に音楽的探求が可能で、容易な操作によりインタラクティブなオーディオ・ビジュアル作品を創作可能なものとなった。この創作環境の操作性については、ユーザからも高い評価を得ている。そしてこのシステムで制作された作品集により、音楽面での質の高さや音と絵の変化の組み合わせにより多様な質的面白さを持つことが示された。

また複数人での協同制作を実現するワークショップのためのシステムも開発した。ワークショップシステムは参加者同士や楽器演奏者などとの関係を媒介するものとなることを狙った。具体的な開発の内容としては、個々の制作物を共有したり同一のキャンバスで協奏（アンサンブル）を行えたりできるようにした。その他、共有された成果物からコンポジションを作成する機能や、楽器演奏者の演奏内容によってインタラクティブにシーンに影響を与える機能などを実装した。これら創作システムとワークショップシステムの開発の結果として、芸術表現教育の場において小学校中学年程度の児童でも創作システムを使って自らの知識から新たな意味を構成し、主体的かつ能動的に個人・協同の両面で創作に取り組める環境となった。

次に第二の実践として、本システムを用いた創作による教育の実践を行うワークショップをデザインした。ワークショップは構成主義的教育観に基づき、学習者自身の知識を基に主体的に学びを深めていくこと、また学びの共同体の中での相互作用により創作についての発想となる知識や概念を醸成していくことを理想とした。一連のワークショップには総勢100名近くが参加し、そしてシステムデザインとワークショップの実践を繰り返し、様々な側面からの観察と検討及びデザインの向上を繰り返し行った。ワークショップ実施の結果、創作活動の中で実際に個人レベル及び集団レベルの一定の創造的循環が観察された。創作システムとのインタラクションによる個人レベルの創造的循環については、各年代で観察された。一方集団レベルの創造的循環については、参加者の年齢層によって様態に違いが見られた。当初の仮説としては協同課題においてワークショップシステムを通じたコミュニケーションが発生すると予想していたが、低年齢層であるほど個人対個人の直接的コミュニケーションを重視する傾向にあった。ファシリテーターとの協同も含め、多様なコミュニケーションのかたちが共存するアートの場となった。

以上より、芸術表現教育においてジェネラティブアートを活用した創作支援は、構成主義に基づく創造的循環を促進するという意味で効果的な手段であることが示唆され

た。このようなジェネラティブアートを児童期及び青年期の教育に取り入れた例は世界的に見ても希少であり、創作環境と教育の実践を統合し新たな芸術表現教育のモデルを示すことができたという点において本研究が意義を持つものと言える。

本研究は今後も継続して発展させていく予定であり、創作システムの改良及び多様なスタイルのワークショップの実践を進めていくつもりである。システム面では、操作性の向上やワークショップシステムのパッケージ化により、様々な場所で広くワークショップを実践してもらえるものとする。ワークショップの実践については、長期のシリーズで実施や、創作の各視点について掘り下げるかたちでの実施を行うことで、よりバラエティに富んだ教育の実践を探求できると考える。また近年のプログラミング教育への関心の高まりに沿う形で、より様々な形態の教育に同様の実践を適用することが期待できる。特に創作表現のアイデアを深める体験を提供することで、組み立てのロジックに関する知識と結びついて相乗的な効果が得られると考えられる。ジェネラティブアートはこの点において、少ない負担で創作体験への導入を行うのに有効であると言える。今後も実践を通してより多くの人にジェネラティブアートを通じた創作体験を提供し、参加者や関係者同士をつなぐアートの場づくりを展開していけることを願う。

# 付録

## A. モバイルアプリMUCCAで使用しているライブラリ

名称	役割
Apache Cordova <a href="https://cordova.apache.org/">https://cordova.apache.org/</a>	ウェブアプリを各OSのWebViewによってラップし、ネイティブアプリを作成する。多数のプラグインによりネイティブな機能にアクセスすることもできる。本開発では、マイクロフォン、カメラ、ファイルシステムへのアクセス、DropBox共有などの機能のためにプラグインを使用した。
Onsen UI <a href="https://ja.onsen.io/">https://ja.onsen.io/</a>	UIフレームワーク。
Angular JS <a href="https://angularjs.org/">https://angularjs.org/</a>	Model-View-Controller(MVC)に基づくDOMコンポーネント操作フレームワーク。
Pixi.js <a href="http://www.pixijs.com/">http://www.pixijs.com/</a>	2Dアニメーションエンジン。高速なWebGLを基本としつつ、Canvasレンダリングへのフォールバックに対応しており、広範な環境で動作させることができる。
P2.js <a href="https://schteppe.github.io/p2.js/">https://schteppe.github.io/p2.js/</a>	物理シミュレーションエンジン。
WebAudio API <a href="https://www.w3.org/TR/webaudio/">https://www.w3.org/TR/webaudio/</a>	リアルタイム・オーディオ処理を行うためのAPI。
WebSocket <a href="https://www.w3.org/TR/websockets/">https://www.w3.org/TR/websockets/</a>	アプリとネットワーク間のリアルタイム通信プロトコル。

## B. MUCCAプロジェクトのイベント履歴

---

### 第1フェーズ

2015年

イベント名	日時	場所
【ワークショップイベント】音の宇宙 ～つくる、みせる、あわせる～	7月19日・20日	岐阜県岐阜市ぎふメディアコスモス
【研究会発表】先端芸術音楽創作学会 第25回 JSSA研究会	9月12日	岐阜県サラマンカホール
【アーカイブ展示・デモンストレーション】東京藝術大学大学院 美術研究科 先端芸術表現専攻 ATLAS展	10月13日～18日	東京芸術大学取手キャンパス
【古川聖氏による作品展示】北緯23° 北緯35°—東京藝術大学美術学部と広州美術学院 教員作品共同展—	10月29日～11月15日	東京芸術大学上野キャンパス

2016年

イベント名	日時	場所
【体験型インスタレーション】電子音響ピープルプロジェクト2015-2016	2月27日	六本木 SuperDeluxe
【体験型インスタレーション】THE SIXTH COGNITION	5月9日～5月14日	東京・京橋 art space kimura ASK?

イベント名	日時	場所
【ワークショップイベント】文化庁平成28年度地域の核となる美術館・歴史博物館支援事業 あなたとどこでもアートおかわりプロジェクト	10月16日	埼玉県立近代美術館

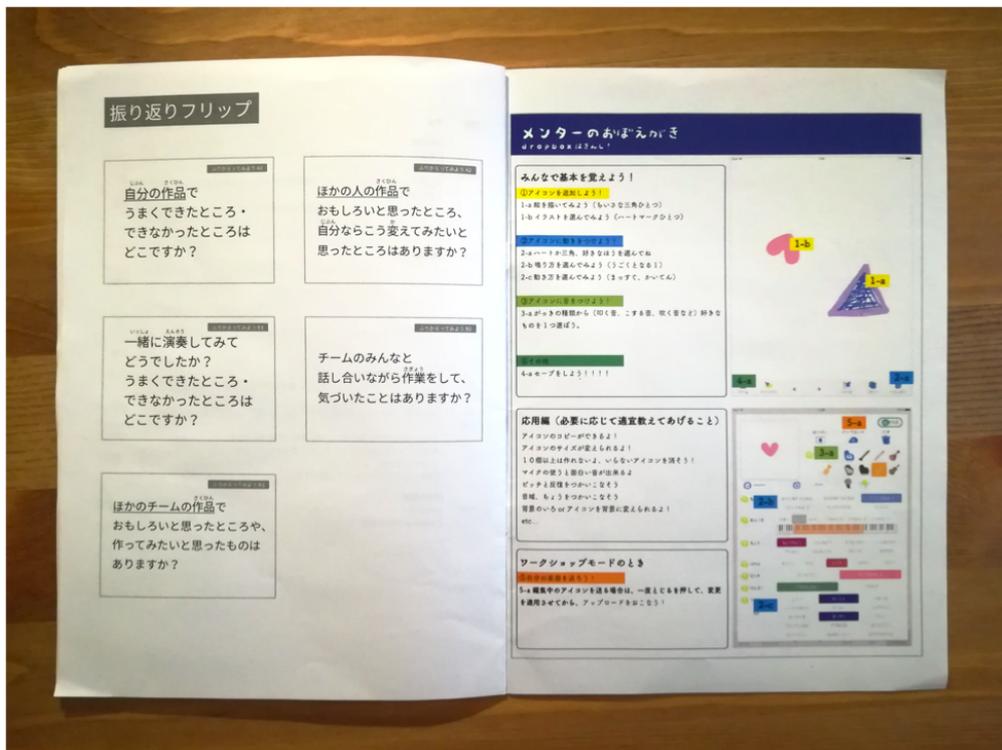
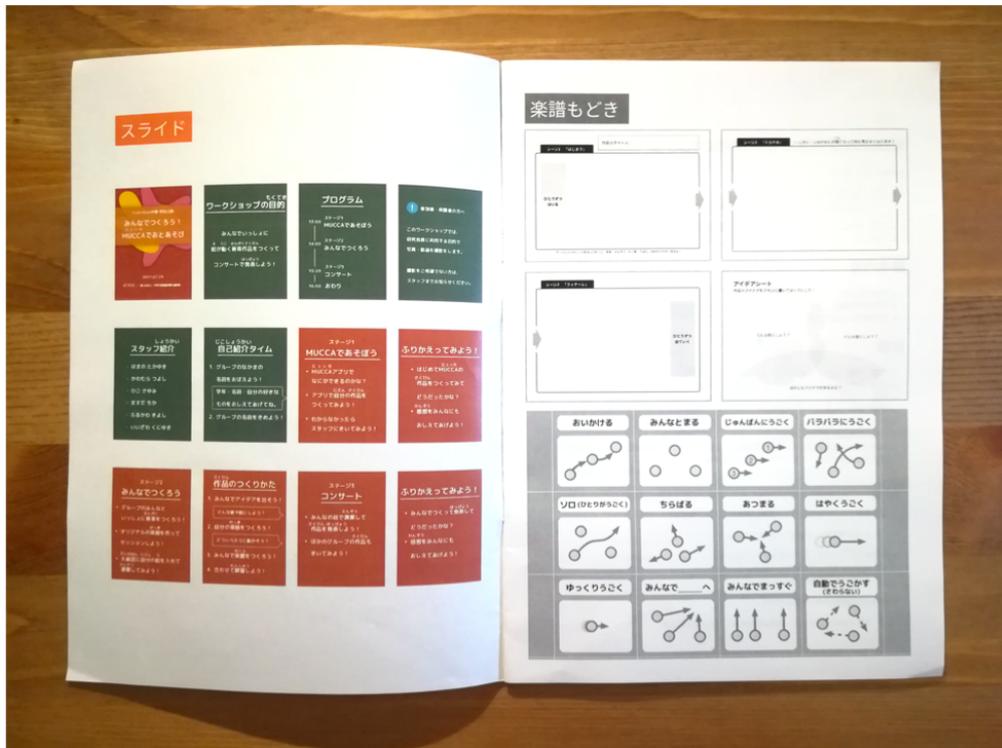
## 第2フェーズ

2017年

イベント名	日時	場所
【ワークショップイベント】 MUCCAワークショップ	5月24日、6月2日	筑波大学情報学群 情報メディア創成学類 人と音の情報学研究室
【ワークショップイベント】 CoderDojo中野 特別企画 - MUCCA ワークショップ	7月29日	一般社団法人中野区産業振興推進機構 ICTCO (イクトコ)

# C. ワークショップの詳細スタッフ用ガイド

## MUCCAワークショップ スタッフガイド (2017年7月29日)



## ワークショップ

### ステージ1 MUCCAであそぼう (13:00 - 14:00, 60分)

概要 MUCCAの基本動作を学び、個人制作を行う。成果はグループ内発表で共有する。

- スクリーン iPadからPDF、時計を表示。
- スライド
  - タイトル
  - 概要、目標、進行表
  - 記録に関して肖像権・プライバシー権の了解と使用許諾
  - スタッフ紹介、自己紹介
- **ドキュメンテーションと振り返り** 低学年のお子さんも居るかもしれないので、筆記ではなく口頭でインタビューする。インタビューは作業中全体と発表後の振り返りに行う。各テーブルのビデオカメラで記録する。

時間	内容	担当
13:00	<b>挨拶・スタッフ紹介</b> 芸大側スタッフはスライドに名前を出す。	司会、各メンター
13:05	<b>ワークショップの流れの説明</b> 時間割、目標の提示、記録使用許諾。	司会
13:10	<b>グループ内参加者自己紹介、アイスブレイク</b> 学年、名前、好きなものを言う。グループ内で互いの名前を言えるようにしておく。 アイスブレイク：グループ名決め。 今回は共同作業がしっかりあるのでここ重要。	グループメンター
13:15	<b>MUCCAの紹介</b> 実例、機能をさっと見せる ここでは詳しい使い方の説明はせず、ひとつおりの機能をデモンストレーションするに留める。MUCCAで何ができるのかを理解してもらうことに主眼を置く。ある程度完成したMUCCAプロジェクトを見せて、そこにオブジェクトを加えて実演する程度。	肥後
		グ

13:20	<b>MUCCA操作方法の学習</b> ここでiPadを配布する。 各メンターは自分のiPadで操作を実演する。教示内容は付録「メンターのおぼえがき」を参照のこと。	ルー プメ ン ター
13:25	<b>個人制作作業</b> 時々参加者に語りかけながら、創作の思考過程をインタビューで引き出し、ビデオカメラで記録する。 (要検討：視点)	グ ル ー プ メ ン ター
13:50	<b>グループ内発表と振り返り</b> 振り返りをしっかり行う。質問は2問、フリップで提示する。 - 自分の作品について、上手く行ったところと行かなかったところ - 他人の作品で面白いと思ったところ、自分ならこう変えてみたいと思ったこと	グ ル ー プ メ ン ター
14:00	<b>終了合図</b> 休憩とは明言せず、次の開始時刻のみ伝える。	司 会

## ステージ2 みんなでつくろう (14:05 - 15:10, 65分)

テーマ 「楽器を作ってセッションしよう！」

**概要** コンサートで発表するためのコンポジションをグループごとにひとつ制作する。コンポジションは各グループメンバーが作成したオブジェクトを合わせて、3つのシーン構成を考えて作品として3～5分の統合したものである。順次オブジェクトをローカルサーバに投稿してコントロールの練習も行う。

- **スクリーン** ローカルサーバの画面
- **ファシリテーション** メンバー間での協同が必要とされる状況なので、コミュニケーションが円滑に取れるよう促し、メンターは参加者から意見を引き出せるようにする。
- **ドキュメンテーションと振り返り** アイデアを共有するため、付箋に書いて項目別・時系列で並べていく。各テーブルのビデオカメラで記録する。
- **その他** メンターは今回グループの創作には参加しない。

時間	内容	担当
14:05	<b>課題・コンサートの説明</b> 背景画像を提示する。(プリントして配る。)	司会
14:10	<b>制作開始</b> <b>1. プランニング ...</b> 作品のタイトル、コンポジションの目標、アイデア、手順、分担を話し合う。 - 背景画像をひとつ選ぶ。 - アイデア(絵、音、その他のアイデア)は付箋に随時書き出していき、台紙に貼り付けていく。書くことが参加者にとって難しい場合は、ファシリテータが代わりに書くようにする。 <b>2. 楽器を作る ...</b> 「楽器」となるオブジェクトを各自で作成する。 <b>3. 楽譜のようなものを作る ...</b> 時間構成を相談し、楽譜として画用紙に書く。各シーンの楽譜用台紙に演奏指示カードを貼り付けていく。カードにメンバーのシール(各iPadに事前に付けておく)を貼り付けて、誰が演奏するかわかるようにする。カード以外にも付箋や直接記入で書き入れて良い。 3つのシーンから構成される。真ん中の2番目のシーンは音に注目させるため、「くらやみ」(画面が見えない状態)になる。 ※サーバは自由にオブジェクトの出し入れが試せる状態にしておく。	グループメンター
14:30	<b>各グループごとのリハーサル</b> 1グループあたり5分×3グループ×2巡 コンサートの予行演習を行う。シーンコンポジション(デフォルトで登場させるオブジェクト)もアップロードしておく。相談しながら楽譜をアップデートしていく。	グループメンター
15:10	終了の合図 コンサートの配置に素早く転換する	司会

### ステージ3 コンサート (15:20 - 16:00)

**概要** 共同制作の成果として、グループごとに演奏パフォーマンスを行う。

- **レイアウト** ステージとなる場所に十分なスペースを空けておく。(できるだけ配置転換しないで良いようにしたほうが時間節約になる。)
- **照明** 今回は自由に調整が効かないかもしれないが、できることがあれば工夫する。
- **ドキュメンテーションと振り返り** 発表後に各グループで参加者にインタビューし、ビデオで記録する。
- **その他** 発表の際の指揮は参加者にやってもらうようにする。

時間	内容	担当
15:20	<p><b>&lt;発表A&gt;</b>            2分 準備 ... メンバーはステージに集まりグループ名とタイトルを言う。            5分 発表 ... リハーサルで行ったとおり、サーバにオブジェクトをアップロードして登場させ、コントロールにより演奏を行う。メンターが指揮者役になり、楽譜を見せながら指示をする。            1分 ショートインタビュー ... 司会者が参加者に制作過程や感想を聞く。</p>	グループA、司会
15:28	<p><b>&lt;発表B&gt;</b> 同上</p>	グループB、司会
15:36	<p><b>&lt;発表C&gt;</b> 同上</p>	グループC、司会
15:45	<p><b>グループごとの振り返り</b>            アンケートの代わりに、グループごとに参加者に対して直接インタビューする。質問は3問、フリップで提示する。            - 作品を振り返ってみてどう思ったか？良かった部分、上手にできなかった部分など。            - グループメンバーと話し合いながら作業して気づいたこと            - 他のチームの面白かったところ、他に作ってみたいもの            - その他自由意見            保護者にはアンケート記入をお願いする。</p>	各グループ
16:00	<p><b>閉会の挨拶</b>            iPad回収            CoderDojo中野の紹介</p>	司会

## D. MUCCAワークショップの記録写真

---

2015年7月 ぎふメディアコスモスでのワークショップ



## 2017年7月 ICTCOでのワークショップ





## 参考文献

---

### 【序論】

文部科学省(1) (2016) 『小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について (議論の取りまとめ)』平成28年6月16日 小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議 [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm) (2017年12月1日アクセス) .

---

### 【第1章 ジェネラティブアートの特徴及び表現の過程】

Maeda, J. (2001) 『Design By Numbers - デジタル・メディアのデザイン技法』ソフトバンククリエイティブ.

Pearson, M. (2011) 『Generative Art: A Practical Guide Using Processing』Manning Pubns Co.

Bohnacker, H., Gross, B., Laub, J. (2012) 『Generative Design: Visualize, Program, and Create with Processing』Princeton Architectural Press.

Albert, J. (1993) 『L'espace de profil』Editions de la Villette.

Galanter, P. (2003) 『What is Generative Art? Complexity theory as a context for art theory』In GA2003-6th Generative Art Conference.

Berlyne, D. (1971) 『Aesthetics and psychobiology』New York : Appleton-Century-Crofts.

ピアソン, マット (2014) 『[普及版]ジェネラティブ・アート - Processingによる実践ガイド』ビー・エヌ・エヌ新社.

Hamano, T., Furukawa, K., Fujii, H., Okanoya, K. (2013) 『Bridging Design Thinking and Creation』International Congress of the International Association of Societies of Design Research 2013.

マノヴィッチ, レフ (2013) 『ニューメディアの言語 - デジタル時代のアート、デザイ

ン、映画』みすず書房.

石川博久 (1998) 『思考・表現・コンピュータ - あなたがあなたを救うには』現代書館.

福地健太郎 (2010) 『オブジェクト指向は「自然」じゃないよ』 [https://fukuchi.org/essay/2010/oop\\_is\\_not\\_natural.html](https://fukuchi.org/essay/2010/oop_is_not_natural.html) (2017年12月1日アクセス) .

Biancuzzi, F. (2009) 『Masterminds of Programming: Conversations with the Creators of Major Programming Languages (Theory in Practice (O'Reilly))』 O'Reilly Media.

---

### 【第2章 構成主義に基づくジェネラティブアートの分析】

中村恵子 (2007) 『構成主義における学びの理論：心理学的構成主義と社会的構成主義を比較して』新潟青陵大学紀要 第7号 2007年3月, 新潟青陵大学・新潟青陵大学短期大学部.

竹内通夫 (2015) 『ピアジェの構成主義と教育: ピアジェが私たちに投げかけたもの』あるむ.

荻宿俊文、高木光太郎、佐伯胖 (2012) 『ワークショップと学び1 まなびを学ぶ』東京大学出版会.

久保田賢一 (2003) 『構成主義が投げかける新しい教育』コンピュータ&エデュケーション VOL.15 2003.

中村恵子 (2001) 『教育における構成主義』現代社会文化研究 No.21 2001年8月, 新潟大学.

文部科学省(2) (2016) 『次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ (案) 平成28年8月19日 教育課程部会 教育課程企画特別部会』 [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/siryo/\\_icsFiles/afieldfile/2016/08/29/1376580\\_2\\_1\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/siryo/_icsFiles/afieldfile/2016/08/29/1376580_2_1_1.pdf) (2017年12月1日アクセス) .

永田敬、林一雅 (2016) 『アクティブラーニングのデザイン: 東京大学の新しい教養教育』東京大学出版会.

パパート, シーモア (1995) 『マインドストーム - 子供、コンピューター、そして強力なアイデア』 未来社.

Martinez, S., Stager, G. (2015) 『作ることで学ぶ - Makerを育てる新しい教育のメソッド (Make:Japan Books)』 オライリージャパン.

Kafai, Y., Resnick, M. (1996) 『Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in A Digital World』 Routledge.

荒川洋平 (2013) 『デジタル・メタファー ことばはコンピューターとどのように向きあってきたか』 東京外国語大学出版会.

森田真生 (2015) 『数学する身体』 新潮社.

エヴァンス, エリック (2011) 『エリック・エヴァンスのドメイン駆動設計 (IT Architects'Archive ソフトウェア開発の実践)』 翔泳社.

---

### 【第3章 オーディオ・ビジュアル創作システムの開発】

Marino, G., Serra, M., Raczinski, J. (1993) 『The UPIC System: Origins and Innovations』 Perspectives of New Music.

Finney, J., Burnard, P. (2010) 『Music Education With Digital Technology (Education and Digital Technology)』 Continuum.

Savage, J. (2007) 『Reconstructing Music Education through ICT』 Research in Education.

茂木一司 (2014) 『協同と表現のワークショップ - 学びのための環境のデザイン』 東信堂.

濱野峻行、川村剛、古川聖 (2015) 『音楽創作アプリMUCCAの開発と活用』 先端芸術音楽創作学会 第25回研究会.

Hamano, T., Kawamura, T., Nakagawa, R., Furukawa, K. (2016) 『“MUCCA”: an Integrated Educational Platform for Generative Artwork and Collaborative Workshops』 International Computer Music Conference 2016.

---

## 【第5章 オーディオ・ビジュアル創作システムの開発】

阿部和広 (2015) 『初等中等教育におけるICTの活用：9. 子どもの創造的活動とICT活用』 情報処理 Vol.56 No.4 (2015年4月号) .

文部科学省(3) (2016) 『平成27年度 学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果 (概要)』 平成28年10月 文部科学省 [http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2016/10/13/1376818\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2016/10/13/1376818_1.pdf) (2017年12月1日アクセス) .

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、指導教官である東京藝術大学先端芸術表現科の古川聖教授から丁寧かつ熱心な御指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。また東京藝術大学先端芸術表現科のたほりつこ教授、伊藤俊治教授、及び群馬大学教育学部の茂木一司教授には、本論文の作成にあたって多くの知識や示唆を御教授頂きました。厚く御礼申し上げます。

本研究の創作システムの開発には、エンジニアの川村剛さんに多大な御協力を頂きました。ワークショップの実施ではファシリテーターとして、東京藝術大学の肥後沙結美さん、増田チカさんに務めて頂きました。筑波大学の寺澤洋子さんには執筆作業で沢山の価値あるアドバイスを頂きました。名古屋市立大学の中川隆さんには創作システム開発のアイデアについて御意見頂きました。岐阜市役所の堤正男さん、東京電機大学の柴山拓郎さん、CoderDojo中野の飯沢邦之さんには、ワークショップ開催にあたって運営面で御尽力頂きました。これら皆様の御協力無くしては、この研究及び論文執筆は成しえませんでした。皆様に心より感謝申し上げます。

最後になりましたが、ワークショップに参加して頂いた100名以上の参加者の皆様、そしてこれまで温かい目で見守って御支援下さったこの場を書ききれない多くの御協力を頂いた皆様に、深い感謝の意を表して謝辞とさせていただきます。