

立体情報を活用したコンテンツ作成と 空間表現に関する基礎的検討

金 相賢

Study on Content Creation and Spatial Expression Using Monocular and Binocular Depth Cues

Sanghyun KIM

This study examines three content creation as new methods of spatial representation using monocular and binocular depth cues. Specifically, a workshop of contents in AR, large-scale projection mapping using anamorphose, and preservation using point clouds about historic architectures such as the Akanekan and the garden. Based on the findings obtained, the author aims to establish effective methods of spatial expression for improving visual characteristics and cognitive abilities, and to collect basic knowledge for application to content creation in metaverse space.

Keywords: Monocular and Binocular Depth Cues, Augmented Reality, Anamorphose, Projection Mapping, Point Cloud Data

1. はじめに

近年、プロジェクターやLEDディスプレイなど表示デバイスの技術開発により、現実空間にCGなどのデジタル情報を重ねて表現する方法が注目を集めている。プロジェクターはスクリーンまでの投射距離が必要になり、同じ画面サイズであってもレンズの種類によってその距離が変わる。プロジェクターを用いた映像表現としてプロジェクションマッピングがある。プロジェクションマッピングは、映像を投影するという意味のプロジェクション (Projection) と、形状に合わせて映像を貼り付けるという意味のマッピング (Mapping) が合わさった呼び方である。CGや映像を、物体や建築物などの形状に合わせてプロジェクターで投影し、立体情報を中心とした視覚特性を利用することで、投影面の立体感や形状が変形するような効果を生み出す。プロジェクターを用いるメリットとして、光を用いて演出することで対象物に接触せずに投映が終われば原状復帰できることが挙げられる。デメリットとして、プロジェクターの光学特性として反射光を用いて表現するため、環境光が明るい場面において視認しにくいことや観察者の影に遮蔽されやすいことがある。最新事例として東京都は2024年2月25日より第一庁舎壁面の幅約110 m×高さ約126mのエリアに対して、プロジェクター40台を

用いてプロジェクションマッピングを実施している^[1]（図1）。

日本ではプロジェクターによるメディア表現を幅広くプロジェクションマッピングに分類しているが、海外では建物を対象とする場合、情報を伝達する媒体としてのメディア（Media）と建物の正面や表面を意味するファサード（Facade）を合わせてメディアファサードと呼ぶ。ファサードのデザインは、建築家やデザイナーの創造性が最も表れる部分であり、材料、色、形状、配置など、さまざまな要素が組み合わさって外観を形成する。日本では、メディアファサードを建物の表面にLEDモジュールなどを物理的に取り付けて光を演出することとし、光を当てるだけで表現するプロジェクションマッピングとは一線を画する主張もある^[2]。しかし、ファサードの概念には、建物正面のデザインを表現するために日光の取り込みや照明器具による演出が含まれているので、建物を対象とするプロジェクションマッピングはメディアファサードに含まれる。一方、建物以外の対象である自然や人体などを投影対象とする場合、プロジェクションマッピングに変わる言葉はない。このようにデバイスの技術進歩によって既存の概念を超えて相互に影響を与える事例が増えている。さらにデジタルサイネージという電子的な表示機器を使って情報を発信するメディアとして分類することも考えられる。例えば、「新宿東口の猫」の場合、建物の外観に合わせてLED看板を取り付け、さらにコンテンツを工夫することで建物の正面を決めることでメディアファサードとして働き、デジタルサイネージという機能も果たしている^{[3][4]}（図2）。

このような新しい表現方法は現実空間に視覚効果を加えることで仮想的な情報を重ね合わせて表示することができ、拡張現実（Augmented Reality：AR）を与えるメディアとしても注目を集めている。ARとはユーザーが見ている現実空間を主体としCGなどデジタル情報を重畳表示し、現実空間がデジタル情報で拡張されることを意味する。美術館など展示施設における支援手法が急速に進歩して、AR技術の成熟を伴って空間表現に革新的な変化を与えている。こうした新しい表現方法を用いた展示には視点設定が重要な要素になり、映像をデザインする際に見る位置を計算した上に単眼立体情報を与えることで擬似的な立体感や遠近感を作り出すことができる。人間が外界の情報を認知する際、立体として知覚するための手がかりが必要となる。手がかりを視覚系の立体情報と呼び、単眼立体情報と両眼立体情報に分けることができる。単眼立体情報は片眼でも奥行きを知覚できる視覚情報である。本研究では、これらの先行事例を参考とし、奥行き知覚に関わる視覚系の立体情報を用いて空間表現の新たな手法として3つのコンテンツ制作について検討する。具体的にARコンテンツ表現に関するワークショップ、アナモルフォーズを用いた大型プロジェクションマッピング、ポイントクラウドによる文化財の保存である。得られた知見を元に視覚特性および認知能力の向上に効果的な空間表現方法を確認し、メタバース空間におけるコンテンツ制作に応用するための基礎的知見の収集を目指す。



図1 東京都プロジェクションマッピング
(24年1月著者撮影)



図2 クロス新宿ビル「新宿東口の猫」
(24年3月著者撮影)

2. ARコンテンツ表現のワークショップ

2023年度、青森県環境生活部県民生活文化課では、青森県文化芸術の振興を図るため、県民がデジタル技術を活用した最先端のアートに触れる機会として「デジタルアート展」を開催することを決めた^[5]。著者を招いて「最先端のデジタルアートが生み出す世界」を題材にアート展に展示する作品をAR作成ツールで制作するワークショップを実施した。会場は2カ所に分かれて設けられ、青森市では2023年11月5日と同月26日、八戸市では11月11日と12月2日に県内のクリエイターや大学生を対象に開かれた。ARで現実空間にデジタル情報を表示する方法にはトリガーと再生コンテンツが必要になる。トリガーの種類によって、Location-based ARとVision-based ARの2つに大別される。Location-based ARは、スマートフォンなどの端末の現在位置をGPSで取得し、その付近に設定されたデジタル情報を表示する技術である。Vision-based ARは、さらにマーカーの有無によってマーカー型と非マーカー型に分けられる。マーカー型は、QRコードのようなマーカー画像を認識するとサーバー上のデジタル情報が投影される仕組みで、単純な特徴点で表現されているためトリガーの認識速度が速く認識率も安定している。モバイルデバイスからスキャンしてウェブブラウザ上で体験できる方式（ウェブAR）の多くはコード型を採用している。一方、マーカーレス型は、実在する物体などの特徴点をマーカー型の特徴点の代わりに用いる。これらを認識すると関連するデジタル情報が表示される技術である。すなわち空間、物体、身体など実在する対象がマーカーの代わりになる。カード状のマーカーを常設する必要もなく、さらにアート作品をそのままトリガーとして使用可能である。今回のワークショップでは、ArtiviveというARシステムを使用し、作成および再生を行った。このシステムは画像をトリガーとする非マーカー型方式で、AR技術のアートへの応用を目指している。そのため、トリガーになる画像を唯一無二の対象で認識する必要があり、ARとして表示されるデジタル情報もそのトリガーのみに発動することが求められる。トリガーとして画像認識を最適化する方法として、トリガーの認識部（Bridge）は、アップロードした画像を分析して、指紋のようなユニークなパターンを見つける。トリガー画像のユニークさを星で示し、星の数が多いほどユニークなパターンであるため、トリガーとして適している。図3にトリガーとして作成された画像を、図4にトリガーによって表示されるコンテンツの編集画面を示す。トリガーは、コントラストが高くシャープやクリアな画像ほど認識しやすい。一方、ディテールがほとんどない単色や、または非常にぼやけている画像は適していない。トリガーとして画像認識を最適化するため、線を加えて認識しやすく加工することや、ブラーがかかると特徴点が見つかりにくいのでシャープかつコントラストを上げる方法がある。また、同じサイズのフォントもトリガーに適していないため、さまざまなフォントおよびサイズを変更し、パターンをより複雑かつランダムに構成する工夫が必要になる。こういう工夫を凝らした画像が遅延なくトリガーとして認識され、専用アプリのカメラで読み込むとコンテンツが重畳表示される。

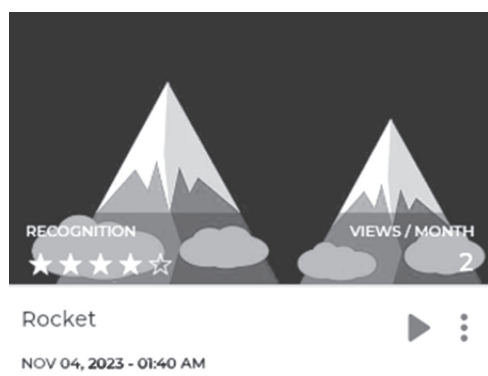


図3 ARのトリガー画像

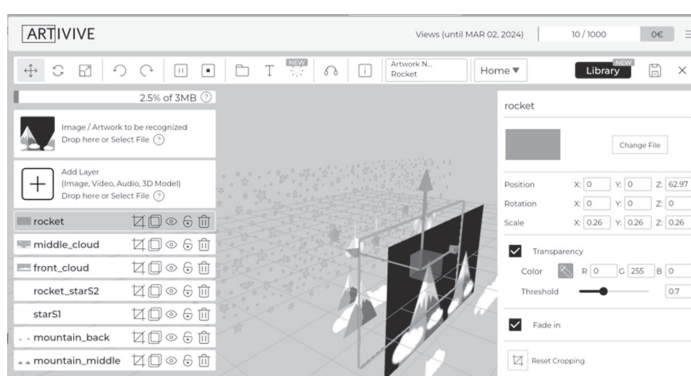


図4 ArtiviveにおけるAR編集画面



図5 AR作品を体験する参加者（左：小型作品、右：大型作品）

デジタル情報は無料プランの場合は2D情報のみ表示が可能であり、有料プランになるとProとなり3D情報の表示が可能になる。例えば2D情報をレイヤー上で並べて奥行き情報を提示できる。また、3Dモデリングソフトで作成した3DCGやアニメーションをそのまま配置することもできる。作品の演出として、トリガーは静止画であるが、アプリのカメラでスキャンするとトリガーを認識すると同時にアニメーションによる動きが加わったり、レイヤーに分かれて画像や映像が配置されて再生されたり、空間を活用するデザインが可能になる。今回の参加者には有料プランの一つである教育用パッケージを使用してワークショップを行い、約2カ月かけて「デジタルアート展」に展示する作品を作ってもらった。

「デジタル×アート展」は2024年2月3日から11日まで青森県立美術館のコミュニティギャラリーAで開催された。AR展示は大型アート作品（サイズ4,700×2,700mm）が1点とワークショップ参加者からの小型アート作品（420×297mm）が9点、県内クリエイターの小型アート作品7点が展示された。ARの再生にはArtivive社のカメラアプリを使用してもらった。参加者は、自分のスマートフォンにアプリをインストールする、または貸出用のiPadのアプリを起動して、印刷された作品をスキャンして観賞した。このアプリは毎月ビューアーの数に上限を置き、鑑賞者が増加して上限に達するとコンテンツの表示ができなくなる。今回は、制作期間6カ月に毎月1,000ビューアーの上限が設けられ、展示期間中には一人10,000ビューアーまで増やした。展示には合計2,106名が入場し、複数のマスコミに報道された^{[6][7]}。参加者が小型および大型AR作品を体験する様子を図5に示す。

3. アナモルフォーズを用いた大型プロジェクションマッピング

「デジタルアート展」において個人で楽しむAR作品とともに、多人数が鑑賞できる錯視を使ったプロジェクション展示が求められた。錯視とは観察している視覚情報が実際とは異なって知覚される現象である。錯視はそれ自体が良質なコンテンツでありながら、視覚系の機能や脳のメカニズムを解明する上で有用なツールでもある。今回は錯視の一種であるアナモルフォーズに着目し、プロジェクションマッピングによる投影を想定してコンテンツを作成した。アナモルフォーズとは幾何学的な計算の元に作成された平面像を特定の場所および角度から見たときに本来意図したイメージを知覚する仕組みである。アナモルフォーズの語源は、ギリシャ語の再びを意味する「Ana」と形を意味する「Morphé」から由来する。つまり、本来の形を取り戻すために現在の形を変形して再構成することを意味する。英語ではアナモルフォーズ（Anamorphosis）、フランス語ではアナモルフォーズ（Anamorphose）と呼ばれる。日本語では歪像と訳されるが、再び取り戻すという意味がなく形状的に歪曲された意味と読み取れるので正確に表現されていない。アナモルフォーズには主に2種類の投影方式があり、円筒状の鏡面に歪んだ像を映して正常な像に再生する方法（鏡面投影方式）と、対象

物である歪んだ像を特定の角度から見ることで、視野を特定して正常な像に再生する方法（斜面投影方式）がある。アナモルフォーズの斜面投影方式は、平面に擬似的立体を生じさせる遠近法と同じ原理を持つ。アナモルフォーズに立体情報を取り入れると、正面からは平面で歪んで見える映像が特定の位置や角度から見ると立体的に観察される。例えば、被写体をグリッドの座標に配置し、斜め上の角度から撮影した後に、グリッドの座標を基に遠近感を調整しながら引き伸ばす形で作成する。鑑賞者は錯視の作成時に想定した特定の場所で観察する場合、単眼立体情報が正しく表示される。錯視に重要な原画におけるアナモルフィックな歪みは、画像を鑑賞者の目の位置から出発した平面への3D物体の投影に例えることで理解できる。物体の根元は物体が立っている平面に接し、物体の先端は平面上のもっと遠い点に投影される。鑑賞者は平面の点の位置が実際の物体の位置と一致するため、錯視が生じる（図6）。

今回の「デジタルアート展」にはプロジェクター2台とスクリーンを2面用意し、縦を直角に合わせてL字の形で投影を行った。プロジェクターはEPSON社のEB-Z10000Uで明るさは10,000ルーメンであり、スクリーンの大きさは観察者から見て右側はW3,600×H2,025mmであり、左側がW1,800×H2,025mmであった。両スクリーンに適用されるアナモルフォーズは、その造形的特性を活用して空間を演出することになる。実際の物理的なスクリーン面と非物理的な立体情報で構成された映像は非常に密接な関係を持つ。既存のスクリーンの形を認知している観察者はスクリーンの上に投影される映像の重ね合わせで拡張された仮想空間を認知することになる。技術的な観点からは、映像はスクリーンに投影する役割を果たすだけだが、根本的には投影された媒体、つまり空間の中に存在するオブジェクトとしてのスクリーンの奥に入ったり飛び出たりする。投影された映像によって再構成された3次元空間は没入されるよりも相互に関連して連携することが特性である。仮想現実を「現実似た現実」でありながら「現実ではない現実」として理解することが多いが、メディア技術の発達は仮想現実と現実の境が不明確になりつつある。そのゆえに、現実の拡張として仮想現実を捉えることができ、仮想現実のなかで現実的な空間を創造することも可能になりつつある。例えばプロジェクションマッピングで現れる仮想性の特徴は、建築物のファサードや造形的なオブジェなど、さまざまな形で適用され、現実的な現実の空間を拡張させ、さらに鑑賞者の感覚を拡張することができた。仮想空間に投影されるコンテンツは、デジタル技術を活用し、現実と仮想が混在する混合現実（Mixed Reality、MR）にも影響を与えている。今回の作品にはこれらの概念を元に、美術館という現実の空間と仮想のイメージを混合することを試みた。

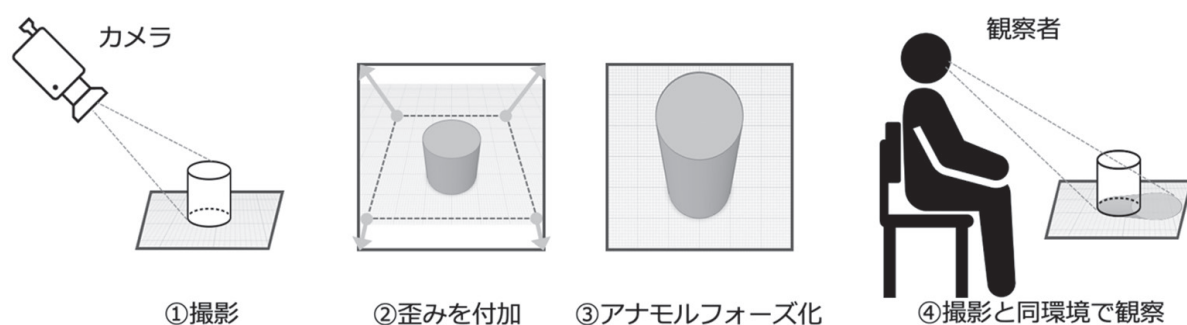
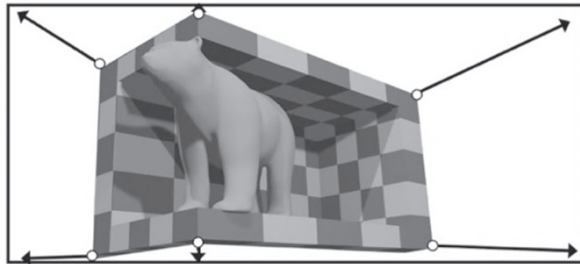


図6 立体情報を用いたアナモルフォーズ

動画作成については企画や構成をもとに絵コンテの作成から始めた。世界的にも絶滅危惧種とされる白熊を題材とし、気候変動、地球温暖化などのメッセージを与えた。白熊が生きていける地球環境を一人一人が、日々、SDGSを意識した毎日を過ごしてほしいというメッセージを含んでいる。演出としてはシロクマがまるで氷の箱の中にいるかのようにみえる錯視を与えて現実空間に仮想の空間を表現した。CGの作成にはblenderを使用し、鑑賞者と同じ視環境になるように、カメラの焦点距離

は45mm、位置はXを0mmとし、Yを6000mm、Zを1500mmに設定した。すなわち6m離れた場所では背の高さ150cmの人が20度の角度で見上げる設定になる。歪みの付加はAfter Effectsのコーナーピンエフェクトを使用し、図7のようにアナモルフォーズになるように歪みを与えた。展示時には説明パネルを配置し、スマートフォンでみるとより立体を感じることを記した。両眼立体で見るとそもそも両眼視差を持っていないので立体感が薄まってみえるためである。実際の展示様子を図8に示す。



CGレンダリング結果に歪み付加



アナモルフォーズ化

図7 3DCGにおけるアナモルフォーズ (左)



図8 展示の様子

4. ポイントクラウドデータによる文化財の保存

著者は2022年度より旧陸軍通信学校時代の遺跡として相模女子大学の茜館およびフランス式庭園に対して文化財としてメタバース空間に保存する研究を進めている。高密度ポイントクラウドデータの有効活用を検討し、生成された大容量のモデルデータを効果的に表示し、3Dモデルの構築時に参考になることに重点を置いている。最終的にメタバース空間に茜館や庭園を構築し、さまざまなプラットフォームに展開するため、3次元座標や色情報を持つポイントクラウドデータを取得した。使用機材はLeica社のBLK360 G1であり、LiDAR (light detection and range) センサーを搭載し、レーザー光を高速回転ミラーに反射させて毎秒360,000点をキャプチャーしてポイントクラウドデータを生成する。なお、スキャン時にカメラを搭載した本体も水平方向に360度回転するため、鉛直300度、水平360度のポイントクラウドおよび360度画像データが取得される。レーザー光を使って広い空間をスキャンする場合、レーザー光が届く可視線領域のみスキャンが可能であるため、計測中の場所を測定するには位置を変更して異なる角度から測定を繰り返す必要がある。特に機器の下面が回転雲台となり、鉛直方向に60度にレーザー光が届かずカメラも写らない。今回の撮影では、茜館については建物内部廊下の6カ所とフランス式庭園の14カ所に対してスキャンを実施した。測定時にはiPadの専用アプリを使用し、2つの異なる観測点で得られたポイントクラウドデータを照合して合わせるマッチング作業を行った。測定後にはLeica Cyclone REGISTER 360を使用してすべての複数地点でスキャンしたポイントクラウドをXYZ軸で比較しながら正確なマッチングを行った。これによって全体の空間情報が一つの高密度ポイントクラウドデータとして構築された。一方、Cyclone REGISTER 360では取得したポイントクラウドデータから3Dメッシュ化にできないため、E57形式に書き出してフォトグラメトリ用ソフトであるMetashape (Agisoft社、v.2.1)で作業を続けた。E57形式とは

ASTM（米国試験材料協会）E2807規格で定義され、コンパクトで特定のベンダーに依存しない高密度ポイントクラウド形式である。茜館と庭園の20カ所でスキャンして得られたポイントクラウドデータは281,633,556個になった。BLK360 G1の場合、測定範囲が0.6～60mに及ぶため、茜館の南と東に面する道路越しの建物までスキャンされている（図9）。そのため、Metashapeを用いて庭園周辺の不要なポイントクラウドを除去して273,134,977個まで減らした。



図9 Metashapeにて高密度ポイントクラウドデータの表示

その後、ポリゴン数を5,000,000に設定し、内挿補間を有効にしてメッシュを生成した。生成されたメッシュをobjファイルに書き出してblenderに読み込んだ（図10）。blenderに表示されることでメッシュを再編集することや、同一寸法の3DCGモデリング作成も可能となる。

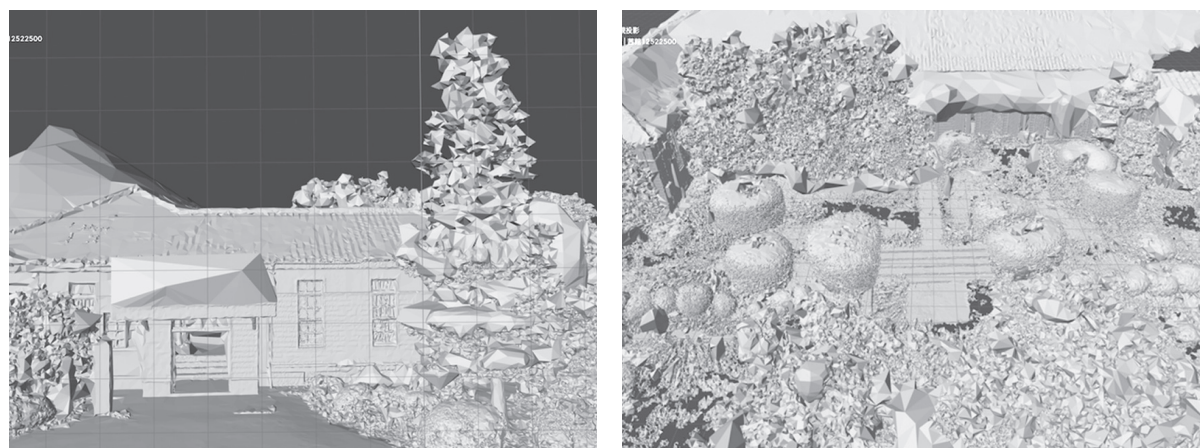


図10 blenderによるメッシュデータの表示（左：茜館の正面、右：フランス式庭園）

一方、木のような複雑な構造の対象物はデータ量が重くなり、コンテンツ作成時に高スペックのPCを要する。なお、時間差による複数地点からの計測は、風で枝葉が動くためポイントクラウドデータがマッチングされずメッシュ化を行う時に誤差が発生しやすい。またRGBカメラで撮影した画像の色をポイントクラウドデータに当てる方式なので、綺麗なテクスチャを作成するためにはフォトグラ

メトリーを兼用するか別途テクスチャ用の撮影が必要になる。そのため今回はポイントクラウドデータをそのまま使用して建物や庭園を表現することを試みた。

一般的にフォトグラメトリーのソフトには点群の密度調整機能が備えているが、Metashapeの場合には点群データの読み込みから作業すると点群の密度調整ができない。そのゆえ、ポイントクラウドのデータ量を減らすためにE57をLAS形式に変換し、フリーソフトであるCloudCompare (v.2.13)に読み込んでフィルターをかけることで密度を下げた。まず、SOR (Statistical Outlier Removal) フィルターを適用して点群各点の周辺分布と標準偏差を用いて、各点の周辺点群分布から外れた点を除去した。平均距離の推定に使用するポイント数を10に設定し、標準偏差乗数閾値 (Standard Deviation Multiplier Threshold) を1に設定した。この作業によってポイントクラウドは248,831,926個になった。さらにPCやアプリへの負荷を軽減するためにSub Samplingを指定した距離内に密集している点を1mm間隔でリダクションし、ポイントクラウドを36,682,185個に減らした。その後、ポイントサイズを4に設定した後にTXT形式に書き出した。次にMeshLabを使ってオブジェクトファイルフォーマットであるOFF形式に変換した。メタバース空間でコンテンツの作成時にはゲーム開発ツールであるUnityが多く使用されることで、Unity Asset Storeにてフリーで公開しているPoint Cloud Free Viewerを使用してポイントクラウド表示を行った。このアセットの特徴として、Windowsのみに対応することや、ポイントクラウドのOFFデータをインポートすること、1,000万以上のRGBポイントクラウドを視覚化できることが挙げられる。これによってポイントクラウドデータのVR表示や空間を動き回ることが可能となる。さらにUnityを元にして制作できるメタバース空間の建造物を作成する際にベースとして活用できる。Unityで建物が中心となる廊下部分を表示した結果を図11に、庭園側を中心として表示した結果を図12に示す。なおすべてポイントクラウドのデータは8ビットカラーで表示されている。



図11 Unityにて高密度ポイントクラウドデータ（茜館の庭に面する廊下側）



図12 Unityにて高密度ポイントクラウドデータ（フランス式庭園側）

5. まとめ

本研究では、人間の視覚特性として奥行き知覚に関わる立体情報を用いて空間表現の新たな手法として3つのコンテンツを制作した。最初のコンテンツは、AR技術を用いたワークショップの開催と展示である。ARコンテンツの場合、トリガーになる画像にデジタル情報が正確に重畳されることで、実環境と仮想環境の位置や陰影、質感を一致させることで臨場感ある表現が可能となる。整合性が取れた個別コンテンツをレイヤーに分けて提示することで、単眼立体情報のなかにオクルージョンと呼ばれる遮蔽が働き、立体のように見える錯視表現が可能となる。これらの表現手法をARグラスやMRグラスに適用することでより手軽にデジタル情報を現実世界に重ね合わせ、エンタテインメント分野など新たな市場を開拓することが期待される。2つ目のコンテンツはアナモルフォーズを用いた大型プロジェクションマッピングである。人間の視覚特性上、視距離が大きくなると両眼立体情報は得られにくくなるが、単眼立体情報からの奥行き手がかりは影響が少ない。それによって本来3DCGコンテンツが持つ立体情報がアナモルフォーズ表現によって歪められ、計算された視環境を前提に実物体としてL字スクリーンに投影されることで本来の3D表示が可能になる。今回のように事前に視点を制限できるコンテンツにはアナモルフォーズ表現は有効であるが、視距離が短くなるほど両眼視差が強く働くために平面を立体として感じられなくなる。その場合、両眼立体映像でアナモルフォーズを作るファントグラムという表現を用いると有効である^[11]。3つ目はポイントクラウドデータによる文化財コンテンツである。文化財をメタバース空間に記録保存するために3次元スキャナーを活用し、建物と庭園に対して正確な位置情報を持つポイントクラウドデータを取得した。このデータを用いてメタバース空間に保存管理する手法を検討することは、文化財を3Dモデルとして構築する際に有効な方法になり得る。また3D計測技術で得られた文化財モデルを新しく建築される建物の情報にリンクさせることで、歴史的背景を知らせることが可能となり、より効果的な保存活動が可能となる。今後の取り組みとして、立体情報など人間の視覚特性を考慮したコンテンツの作成や文化財のメタバース空間の構築および文化財の記録保存、観賞方法について有効性を検討して行きたい。

謝辞

本研究は、JSPS科研費 JP19K12071の助成および相模女子大学の2023年度特定研究助成（C）を受けたものです。

参考文献

- [1] 東京都プロジェクションマッピング事業HP（最終閲覧：2024年3月22日）
<https://tokyoprojectionmappingproject.jp/event/20240225/>
- [2] ウシオ電機株式会社（最終閲覧：2024年3月22日）
https://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/glossary_ma/media_facade.html
- [3] クロス新宿ビジョン（最終閲覧：2024年3月22日）
https://twitter.com/xspace_tokyo
- [4] 田谷修一郎、「新宿東口の猫」はなぜ立体的に見えるのか？、VISION、Vol. 34、No. 3、p. 84-87（2022）
https://www.jstage.jst.go.jp/article/vision/34/3/34_84/_pdf/-char/ja
- [5] 青森県デジタルアート作品づくりワークショップ（最終閲覧：2024年3月22日）
<https://www.pref.aomori.lg.jp/release/2023/74962.html>
- [6] ABA 青森朝日放送：最先端アート作品を楽しめる 県立美術館で「デジタル×アート展」（最終閲覧：2024年3月22日）
<https://www.aba-net.com/news/news-100741.html>
- [7] NHK 青森NEWS WEB：県立美術館でデジタル技術を活用したアート作品の展示会（最終閲覧：2024年3月22日）
<https://www3.nhk.or.jp/lnews/aomori/20240202/6080021764.html>
- [8] 久保村里正、視野の特定化によって形成される視覚像を利用した造形の教育的意義と効果：アナモルフォーシスの教材化、文教大学教育学部紀要、巻48、p. 31-45（2014）
<https://cir.nii.ac.jp/crid/1050282676662736512>
- [9] NHK 青森NEWS WEB：県立美術館でデジタル技術を活用したアート作品の展示会（最終閲覧：2024年3月22日）
<https://www3.nhk.or.jp/lnews/aomori/20240202/6080021764.html>
- [10] Point Cloud Free Viewer（最終閲覧：2024年3月22日）
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/utilities/point-cloud-free-viewer-19811?locale=ja-JP>
- [11] Eugene Mitofsky, How to Produce a Phantogram, PSA Journal, p24-25（2011）
https://www.mitofsky.com/helpfiles/How_to_Produce_a_Phantogram_2.pdf