

点群圧縮を活用したメタバース体験の低コスト化に関する取り組み A Study on Cost Reduction of Virtual Space Experience Using Point Cloud Compression

阿部 直人[†] 徳永 徹郎[†] 望月 崇由[†]
Naoto Abe Tetsuro Tokunaga Takayoshi Mochizuki

1. はじめに

男木島は瀬戸内海の中央、香川県の高松港から北に 8km の沖合にある周囲約 4.7km の小さな有人離島である。温暖な気候と美しい景観を持つ男木島だが、総人口は 2023 年 4 月時点で 96 世帯 147 名 [1] であり、約 6 割が高齢者である。男木島の人口は年々減少傾向にあり、地域活性化は島の存続に関わる重要な課題となっている。高齢化と人口減少は男木島だけでなく多くの有人離島に共通する課題である。離島振興法の対象地域である日本の全 254 の有人離島における高齢化率や人口減少率は、過疎地域の平均を上回る数値となっている [2]。

TEGUN Ogijima は上記の社会課題を背景として、NTT と NTT 西日本、そして男木島の島民の方が代表を務めている男木島生活研究所・有限会社ケノヒの 4 社で、リアルなメタバースを通じて離島の抱える課題の解決を目指すプロジェクトである。メタバースとしては cluster に代表されるポリゴン等で構成される仮想空間で実現されていることが多い。しかし、本プロジェクトでは 3D 点群を用いたリアルな仮想空間を実現している。その理由として、リアルな仮想空間を体験可能とすることで、男木島の特性を活かした関係住民の創出等につなげられる可能性がある点である。男木島は人口減少が進んでいるものの、近年では東京等の都心部やアメリカ・オーストラリア等の海外からの新規移住者がいるという特徴をもつ。移住者が増加した要因として、男木島も一つの会場となっている瀬戸内国際芸術祭を通じて島の魅力が広く知られたことが考えられる。この現地参加型の芸術祭に加えて、リアルなメタバースを通じて男木島のありのままを気軽にオンラインで体験可能にすることは、男木島に興味を持つ人の増加につながると考えている。それにより、移住などの直接的な人口増加だけでなく、地域づくりに間接的な影響を及ぼす関係人口 [3] の増加に寄与すると考えられる。関係人口により地域が活性化したと考えられる例があり、男木島に存在する唯一の図書館はクラウドファンディングを通じた寄付、ボランティアによるリノベーション、図書館の寄贈により完成している。また、コロナ禍を経て自宅や職場以外で働くワーケー

ションが普及しているが、男木島をワーケーションの場所として選択する人もおり、関係人口の一つと言える。

次章では上記の背景の下で本研究が取り組んだ点群データに基づく男木島のメタバース化の概要と社会実装に向けた課題について述べる。3 章ではより多くの端末でメタバースを体験可能とした提案方法について説明し、被験者にメタバースを体験頂き評価を行った実験や考察、今後の課題を 4 章、5 章、及び 6 章で述べる。

2. 男木島メタバース概要

2.1 点群計測

現実の構造物・史跡・景観をメタバースとして仮想空間にリアルに再現し自由に仮想空間内を移動可能とするためには、広い範囲を精密に計測し巨大な 3D 空間を作成する必要がある。そこで、我々は男木島の 3D 空間を色付き点群データとして計測し 3D 空間を構築することを試みた。点群計測方式は体験品質や計測コストに関わる重要な要素となるが、大別するとレーザーセンサを搭載した三脚を地面に設置して計測する固定型と、人や車にセンサを搭載し移動しながら計測する可搬型の二つに分けられる。固定型は 1 カ所当たり数分で計測できるものの、空間全体の欠損を抑えるためには計測位置を変更して繰り返し計測を行う必要がある。しかし、男木島は細い道が複雑に入り組み、かつ急斜面も多いため、固定型には不利な地形条件となっていた。可搬型についても Mobile Mapping System のような車を用いる方法は、同様の理由で計測が困難な場所が多数存在し、欠損を生じさせる。そこで、本研究では可搬型の中でも人が計測機器を担いで複数エリアに分けて計測する方法を選定した。用いた機器は NavVis 社の NavVis VLX であり、生成された魚眼画像・LiDAR データは PC 上での後処理により、最小 5mm 間隔の色付き点群データとして得ることができる。一方で、NavVis VLX は最大で数十メートル先まで計測できるものの、歩行が困難は山や崖周辺については計測を行うことが難しい。そのため、歩行が困難な場所の計測についてはドローンによる計測を行い、計測した点群や航空写真を用いて色付点群データを生成した。

2.2 メタバース化

歩行で計測した点群データとドローンにより計測した点群データを PC 上で一つの点群データとして結合するためレジストレーション処理を行う。具体的には隣り合う二つのエリアの計測において共通で計測する範囲を予め決定しておき、その範囲にある特徴的な構造物等をターゲットとして位置合わせを行った。更に、一つの点群データとした後、市販のソフトウェア等を活用してノイズとなっている点群を除去し、ゲームエンジン上に点群データを取り込み、仮想空間内を歩行可能とするためにコライダー設定等を行った。男木島周辺の海や空についてはゲームエンジン内で利用できる既存モデルを用いて表現し、周囲にある島につ

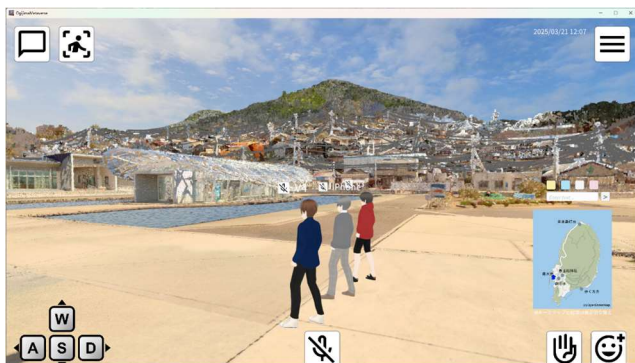


図 1 点群データによるメタバース

[†] 日本電信電話株式会社 NTT 人間情報研究所

いてはカメラ画像から周辺の島だけを切り出した画像を遠景の海の CG 上に並べる形で表現した。波の音などの環境音や歩行時の移動音についてもゲームエンジン内で利用できる既存データを利用して表現した。構築したメタバースの画面キャプチャを図 1 に示す。

一方で、点群データは大規模であることが多く、仮想空間を円滑に表示・操作するためにハイエンドクラスの PC が必要であった。様々な位置や視点で見られるようにするため点群データを物理メモリ上に蓄積しておく必要があること、及びリアルタイムな描画に高性能 GPU が必要であることが主な理由である。ハイエンドクラス PC は一般的には高価格であるため、男木島のリアルなメタバースを気軽に体験することへの大きな課題となっている。多くの端末で体験可能とするために高密度の点群を一定レベルで間引き描画負荷を下げる方法を考えられるが、メタバース内の自身がいる場所付近の点群が疎となり、実際と比べて風景の再現性が低下する課題がある。

3. 提案手法

3.1 概要

そこで、本研究では高密度な点群を用いて様々な端末で表示を可能とする手法を提案する。具体的には点群圧縮を利用して高密度な点群を維持したまま、描画に適した構造化と点群データの圧縮を行う。また、描画時は構造化情報に基づいて描画に必要な点群を位置や視線方向に応じて動的に読み出し描画を行う [4]。

3.2 点群圧縮の概要

点群圧縮 (Dawn Converter) の概要を図 2 に示す。点群圧縮では入力された点群データに対して八分木を構築する。これは点群描画の際に LOD (Level of Detail) として利用するためである。次に Draco 圧縮処理 [5] を行い圧縮後の点群データを出力する。本研究では文字が読める程度の高精細な点群を維持するため、Draco 圧縮での量子化精度は 1mm とした。

3.3 点群描画の概要

点群描画 (Dawn Renderer) の概要を図 3 に示す。点群描画ではメタバース空間内の自身がいる場所からの視野に応じて描画すべきノードを選択する。視野に応じた八分木ノード選択は BA_PointCloud [6] のアルゴリズムを利用した。そして選択したノードに対して圧縮点群を読み出し描画を行うが、複数フレームに分けて視線方向の点群を描画することで、1 フレーム当たりの描画点数を削減している。また、自身からの距離に応じて点群サイズを調整することで、点群が疎や密にならないように工夫した (図 4)。

4. 実験

提案手法の有効性を検証するため、メタバースの描画フレームレートや再現性、操作性等を評価する 3 つの実験を行った。

4.1 実験 1

4.1.1 概要

点群圧縮、及び点群描画の効果を確認するためにメタバース内で静止時、及び移動時の描画フレームレートを計測

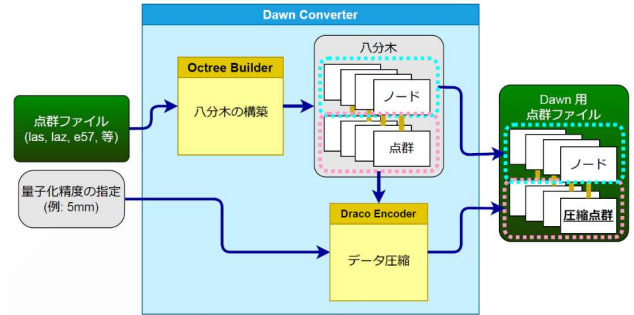


図 2 Dawn Converter の概要図

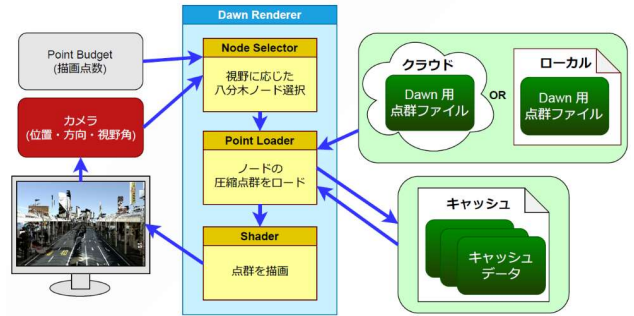


図 3 Dawn Renderer の概要図



図 4 点群サイズ調整 (左が一定サイズ、右が距離に応じた可変サイズ)

した。用いたアプリは表 1 の通りであり解像度は共に 1080p とした。圧縮点群はいずれもローカルファイルとする。表示確認に利用した端末を表 2 に示す。

表 1 実験で用意したアプリ

パターン	点群の圧縮	点群の描画
アプリ A	1/5 に間引き	Unity 標準
アプリ B	Dawn Converter	Dawn Renderer

表 2 検証用端末

PC	CPU	MEM	GPU
高スペック	Core i9	128GB	RTX4090
中スペック	Core i7	16GB	RTX4050 Laptop
低スペック	Core i5	16GB	内蔵(Intel Iris Xe)

表 3 フレームレート確認結果 (単位は fps)

PC スペック		高	中	低
静止時	アプリ A	60	15	5
	アプリ B	60	60	15
移動時	アプリ A	13~60	2~15	2~5
	アプリ B	60	60	5~15

4.1.2 実験結果

実験結果を表 3 に示す。人が見てスムーズと感じるフレームレートは 24fps 以上 [7] とされているため、静止時及び移動時に 24fps 以上である結果については太字としている。アプリ A については高スペック PC において静止

時は滑らかに表示されているが、移動時に表示が乱れることがあった。これはアプリ A がグリッド単位で表示する点群を読み込むため、フレームレートが低下したと考えられる。中スペック PC や低スペック PC では常時操作は困難な状態であった。一方で、アプリ B については高スペック PC だけでなく中スペック PC においても静止時も移動時も滑らかに表示されていることが確認できた。低スペック PC については操作が困難な状況が発生する状態であった。以上から、提案手法により GPU が搭載されている中スペックの PC があれば十分に体験が可能と考えられる。

4.2 実験 2

4.2.1 概要

実験 4.1.1 の 2 種類のアプリを被験者 14 名に体験頂き、アンケートを実施した。メタバースは「臨場感・再現性」「リアルタイムインタラクティブ」「自己投射性・没入感」「誰もが参加できる」の 4 つが特徴 [8] とされており、本実験では前者 3 項目（但し、リアルタイムインタラクティブは操作性とする）についてメタバース体験後に各アプリ体験の満足度について質問した。質問文については先行文献 [9] での質問内容を参考にした（表 4）。なお、アプリ A は高スペック PC、アプリ B は中スペック PC で体験し、メタバース内の移動操作については両アプリ共に USB 接続の市販のゲームコントローラーを利用して移動等を行った。

4.2.2 実験結果

アンケート集計結果を図 5 に示す。図 5 では棒グラフで平均、エラーバーで分散を示している。図 5 から、全体的にアプリ B の方が回答値に高い傾向が見られるが、操作性については回答値の差が他の項目と比べて少ないことが分かった。アプリ A は高スペック PC で十分な操作が可能となるレベルまで点群を間引いており、アプリ B での操作と大きく変わりがなかったことが要因と考えられる。しかし、点群を間引くことで近距離にある構造物等の表示が粗くなることが多い。その点においてアプリ B は点群を間引かず、かつ近距離にある構造物は優先的に詳細に描画することが可能であり（図 7）、再現性や没入感で回答値が高くなっ

たとえられる。なお、各項目について t-検定を行ったところ、p 値が再現性では 0.0000477、没入感で 0.0186、満足度で 0.00184 となり、操作性を除いた項目で統計的に有意な差があることが確認できた。

表 4 アンケート項目

項目	質問文	回答内容
再現性	画面の綺麗さはどう感じましたか？	1~7 の 7 段階で回答
操作性	どれくらい期待通りに操作ができましたか？	※数値が大きいほど「良い」とした
没入感	その世界に入り込んだような感覚がありましたか？	
満足度	アプリの満足度はいかがでしたか？	

4.3 実験 3

4.3.1 概要

近年、スマートフォン（以下、スマホ）の普及により PC だけでなくスマホを使う時間が増えている。メタバースの体験機会を拡大する観点ではスマホでのメタバース表示を可能とする必要がある。そこで、本実験ではクラウドゲーミングを利用してスマホでメタバース体験が可能か検証した。クラウドゲーミングはアプリをクラウド上に配置し、スマホ上での操作結果を映像としてユーザーのスマホ画面にストリーミングする方法である。本実験ではアプリ A を体験後、アプリ B をクラウドゲーミングによりスマホで体験頂き（アプリ C と表記する）、実験 2 と同様のアンケートに回答頂いた。なお、スマホへ配信する映像の解像度は 720p とした。

4.3.2 実験結果

実験結果を図 6 に示す。図 5 同様に棒グラフで平均、エラーバーで分散を示している。アプリ A に比べて操作性を除いて回答値がやや高い傾向にあることが分かった。特に再現性については他の項目に比べて差が大きく、t-検定を行った結果 p 値は 0.001085 となり統計的にも有意な差が

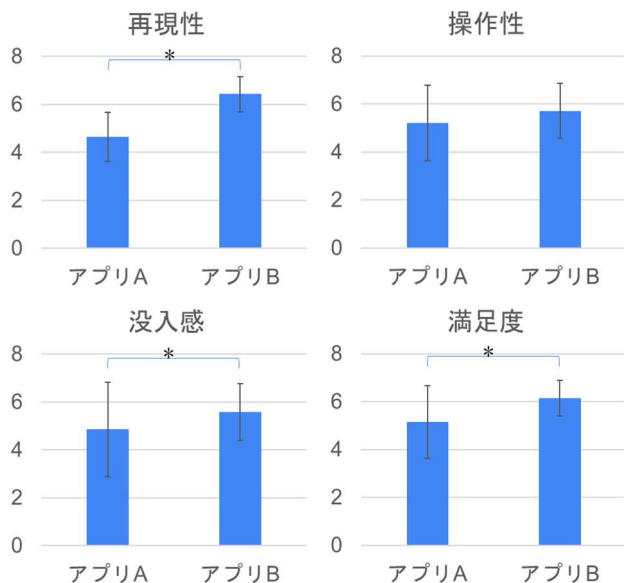


図 5 アンケート集計結果(アプリ A,B の比較)

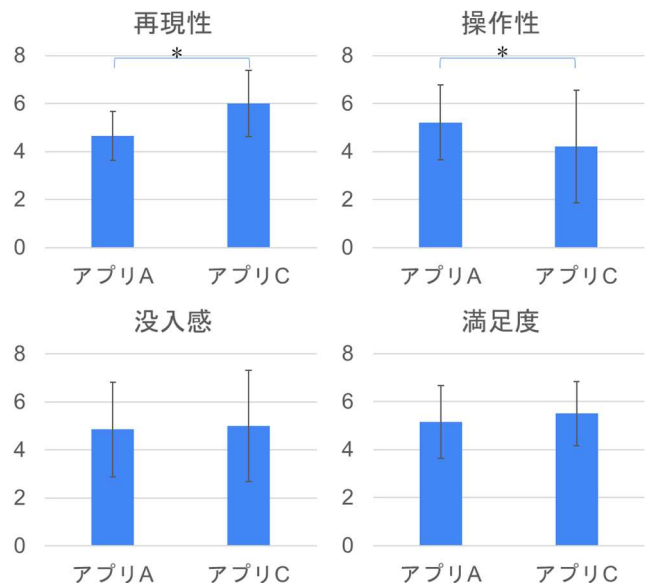


図 6 アンケート集計結果(アプリ A,C の比較)



図 7 近距離と遠距離の画面比較 (各図の右半分がアプリ A、左半分がアプリ B)

あった。スマホでの解像度は 720p であるものの画面が小さいことにより点群が密に見え高精細に感じたことが要因と考えられる。一方で、クラウドゲーミングでの操作性についてはアプリ A の方が回答値は高く、 t -検定の結果からも p 値は 0.042528 となり統計的にも有意差があった。体験者からもゲームコントローラに比べて操作が難しいという声が多く挙がっていた。

5. 考察

点群を間引かないことと様々な端末で体験可能とすることは相反する目標であるものの、体験者から写真や実際の景色を見ているような感覚であるという回答があったことから、提案法により実際の風景を再現したようなメタバース体験を提供できたと考えられる。また、点群圧縮により歩行やドローンで計測した点群を全てアプリ内に含むことが可能となり、アプリ A のようなグリッド単位で点群データを読み出す際のフレームレートの低下も見られなかったのも、提案手法を用いたアプリ B が操作性や満足度について回答値が高くなった要因と考えられる。一方で、アプリ B については描画負荷低減化のため近景に比べて遠景が粗く表現される傾向がある (図 7)。実際、システム開発等に携わっている関係者にアプリ画面を見てヒアリングを実施したところ、アプリ A の方が遠くの建物の壁が少し綺麗に感じる等の意見が挙がった。これは点群描画において様々な端末での動作を確保するため、遠景ほど描画対象として選択される点群が優先的に少なくなる設定が主な要因である。そのため、端末に応じて遠景の選択される点群の優先度を動的に変更する等の工夫が必要である。

また、スマホでのメタバース体験について検証を行い、再現性や没入感等についてアプリ A に比べて維持または向上していることが分かり、スマホでのメタバース体験もクラウドゲーミングのようなプラットフォームを活用することで一定の実現可能性が明らかになった。しかし、スマホでの操作性については回答値が低くなる傾向があった。クラウドゲーミングの場合、スマホ上に操作を行う仮想パッドがあり、仮想パッド上で指を動かすことで視線の向きや移動速度を調整する。しかし、ゲーミングコントローラのような物理的な操作に比べると微調整が難しい、指がホームポジションから次第にズレる等の課題があり、期待する通りに操作できなかったことが回答値の低下につながったと考えられる。

6. おわりに

本研究では、関係人口創出に向けた超高臨場メタバースの体験機会の拡大に向け、高スペック PC 以外でも体験可能とするために、点群圧縮方式、及び点群描画方式を検討した。また、クラウドゲーミングを用いてスマホでもメタバース体験が可能か検証した。被験者 14 名によるアンケートの結果、見た目や操作性について、高スペック PC で円滑かつ高精細に動くレベルまで点群を間引いたアプリに比べて再現性や満足度等が維持または向上し、中スペック PC やスマホでもメタバース体験が可能であることが分かった。今後は描画負荷を低減しつつ遠景を綺麗に描画する優先度設定などを検討する。

謝辞

本実験を進めるにあたり、実フィールド検証環境をご提供頂いたケノヒ、N 高等学校高松キャンパス、NTT 西日本香川支店、NTT コノキュー、及びホロラボの皆様には多大なるご協力を頂きました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 高松市, "町別・男女別人口", <https://www.city.takamatsu.kagawa.jp/smph/kurashi/shinotorikumi/tokei/jinko/toroku/r05/index.html>, 2023.
- [2] 国土交通省 国土政策局 離島振興課, "離島の現状と取組事例について", <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001478618.pdf>, 2022.
- [3] 作野広和, "人口減少社会における関係人口の意義と可能性", 経済地理学年報, No.65, Vol.1, pp. 10—28, 2019.
- [4] HoloLab Inc., "高速点群表示システム Dawn", <https://hololab.co.jp/packages/dawn/>, 2021.
- [5] Google, "Draco 3D Graphics Compression", <https://google.github.io/draco/>, 2014.
- [6] S. Fraiss, "Rendering Large Point Clouds in Unity", <https://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2017/FRAISS-2017-PCU>, 2017.
- [7] キヤノンマーケティングジャパングループ, "フレームレート (fps) とは? 動画別おすすめ設定を解説", <https://canon.jp/biz/trend/what-is-tramerate>.
- [8] 総務省, "令和 5 年度情報通信白書", <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r05/html/nd247520.html>, 2023.
- [9] 榎 優一、阿部直人、望月崇由, "3 次元点群データによる仮想空間表現のユーザ体験品質分析に関する検討", 第 23 回情報科学技術フォーラム, Vol.3, pp. 101—106, 2024.