# TENGUN Ogijima：計測データに基づく視覚・聴覚・触覚を通じた高臨場VRに関する研究

松元 崇裕[1,a)] 駒﨑 掲[2,b)] 槙 優一[1,c)] 千明 裕[1,d)] 望月 崇由[1,e)]

**概要**：バーチャルリアリティ（VR）観光は，観光・旅行業界で ICT の大きな革新が期待されると共に，地域創生にも寄与する重要な領域の１つである．一方で現状の VR 観光において，高い臨場感で広範囲を移動して風景・自然を楽しむ体験の実現は，精緻で巨大な 3D ポリゴン作成に高いコストが必要なこと，家庭に設置可能な簡易な装置で歩行感の再現が難しいことから課題となっていた．そこで本研究では，広範囲でも簡易に計測できる点群データを用いた視覚的な空間構築と，簡易な装置を通じた音声・振動による歩行感の提示により，課題を解決するアプローチを試みる．本報告では香川県の男木島を対象として同アプローチで構築したプロトタイプについて，データ収集方法，システム設計を述べ，少人数実験に基づく質的評価の結果について報告する．

## 1. はじめに

世界の GDP に対する旅行・観光産業の寄与は 2019 年において全体の 10.3%であり，日本でも GDP への寄与額は 3,590 億ドルにのぼるなど，旅行・観光が経済に与える影響は大きい [1]．また高齢化・人口減少の課題を抱える日本の地方地域では，多くの経済活動が大都市圏に集中していることから，観光の経済効果・雇用創出効果は，より重要となっている．

一方で近年の VR 利用者数は，一般消費者向け端末の普及に伴い急速に拡大している．VR はゲーム・360 度映像視聴・会議などでの利用が進んでいるが，現実の建造物・史跡・景観をサイバー上に再現して体験可能にする VR 観光は革新が期待される領域の１つである．VR の観光活用は 1990 年代後半から試みられており [4]，日本でも歴史的建造物の VR 観光 [10]，博物館・美術館の VR 観光 [9] などが提案されてきた．

多くの先行研究により VR 観光の体験はユーザの観光地への興味を高め，実際の訪問へと繋がることが報告されている [5][6][7]．特に VR 観光が成功する要因を分析した Myung らの研究では，VR 観光は『楽しさ』が重要な要素であり，楽しさは没頭状態を作り出し，利用継続意欲や幸福感に大きな影響を与え，実際の訪問行動にも影響することが示されている [8]．そのため VR 観光において楽しさ・没頭状態を生み出す技術・体験デザインを明らかにすることは観光産業・地域創生にとって重要である．

現在，VR 観光は研究から商用サービスまで，様々な実現方法が試みられている．しかしながら楽しさ・没頭状態を阻害する共通の課題として，リアルな観光と VR 観光との臨場感の乖離があげられる．特に広い範囲を移動しながら風景・自然を楽しむ形式の観光では，精緻で巨大な 3D モデル作成に高いコストが必要であること，家庭に設置可能な機材で歩行感を再現するのが難しいことから，高い臨場感を提供する VR 観光サービスの実現は困難であった．

そこで本研究では，広範囲でも簡易に計測できる点群データを用いた視覚的な空間構築と，簡易な装置を通じた音声・振動による歩行感の提示によって，上記の課題を解決するアプローチを試みる．本報告では，香川県の男木島を対象として上記のアプローチで構築した VR 観光プロトタイプについて，各データの収集方法，システム設計，および少人数調査を通じたプロトタイプの評価結果を述べる．

## 2. 関連研究

### 2.1 観光地を視覚的に再現する関連研究

現実を視覚的に表現して，利用者が移動して体験可能にする手法には，フォトグラメトリで 3D ポリゴンを作成する方法や，複数の場所の 360 度画像を遷移しながら視聴する方法などが提案されている．フォトグラメトリで 3D ポリゴンを作成する方法は，1990 年ごろより多くの研究が行

1 NTT 人間情報研究所
2 NTT コミュニケーション科学基礎研究所
a) takahiro.matsumoto.ab@hco.ntt.co.jp
b) kakagu.komazaki.sn@hco.ntt.co.jp
c) yuuichi.maki.cf@hco.ntt.co.jp
d) hiroshi.chigira.ve@hco.ntt.co.jp
e) takayoshi.mochiduki.nk@hco.ntt.co.jp

© 2023 Information Processing Society of Japan 

われ [11]，現在では多くの商用化ソフトウェアに実装され利用が進んでいる．フォトグラメトリは高解像度カメラを用いることで，高いテクスチャ解像度をもつ 3D ポリゴンを作成できる．しかしながらフォトグラメトリで現実のテクスチャ・形状を正確に再現するには膨大な数の撮影が必要となり，生成された 3D ポリゴンには歪みが発生しやすく，人手による修正は多くの時間が必要となる．そのため広域空間のフォトグラメトリ構築には多くの手間が必要となり，VR 観光構築における課題の１つになっている．

また複数の 360 度画像を遷移して視聴する方法は，代表的なサービスとして Google ストリートビューが知られている．本方法は各画像の撮影点でのみ風景を体験させる場合は，360 度の画像を表示することで簡単に実現できる．一方で空間内を連続的に移動するには，撮影点と撮影点のあいだの視点画像を補完をする必要がある．近年の研究では，視点補完の手法として機械学習ベースの画像生成モデルである NeRF が提案されている [12]．しかしながら NeRF を用いる手法も，広域な環境への適用や撮影点から大きく離れた地点の視点再現には課題が残る．

そこで本研究では，フォトグラメトリと比べて簡易に構築できる 3D 点群で広い空間を再現し，フォトグラメトリによる 3D ポリゴン化は空間の一部に留めることで，現実的な計測時間で広範囲な観光地の再現を試みる．

### 2.2　歩行感提示についての関連研究

VR 空間で歩行感を再現する研究には，利用者が足を動かして VR 空間を移動するトレッドミル型の手法が提案されている．トレッドミル型の代表研究には，足下のベルトを動かして 8 方向の水平歩行を実現する手法 [15]，回転する小型の球体を床に並べて実現する手法 [14] がある．しかし両手法とも大きな装置を必要とするため，一般家庭での利用には問題があった．また小さい装置で実現する提案には，小型のロボットの上を交互に歩行する手法 [13] も存在するが，安全性において実用上の課題が残っていた．また床の表面を滑るように歩く制約を置くことで実現する手法 [16] では，トレッドミル型の中では簡易な装置で安全に実現できるため商用化も多くされているものの，歩行方法の不自然さから歩行感が低下する問題があった．

またトレッドミル型以外の実現方式として，足首や足裏へのアクチュエータ刺激，電気刺激で歩行感を提示する方法も提案されている [18][19]．本方式はトレッドミル型よりも簡易な装置で実現可能であり，アクチュエータ刺激の変化させることで歩行面の柔らかさも表現できることが報告されている [19]．しかしながら従来手法では，雪面・砂浜・コンクリートなど，現実空間の場所の違いで生じる歩行感の差異をどのように捉えて，アクチュエータや電気刺激の制御を変えれば良いか明らかにされていなかった．

そこで本研究では，視覚に加えて聴覚・触覚を通じて空間を演出する Vibro-scape[2][17] の考え方を用い，歩行時の視覚情報に合わせて，現実空間で計測した足音および振動感覚を提示することで，ＶＲ空間における場所の違いに応じた歩行感の提示を試みる．

## 3.　データ計測

本研究では香川県高松市の男木島を，VR 観光構築の場所として選定した．男木島は高松港から北に 8 キロの瀬戸内海の中央に位置し，周囲が約 4.7 キロメートル，人口 160 名程の小さな島である．男木島では瀬戸内国際芸術祭が 3 年に１度開催され，島の中にはアート作品が多く点在している．また男木島はアート作品だけでなく，島の斜面に沿った複雑な細い路地や，現在も残る多くの古民家など，島を巡って独特の景観も楽しむことができる．そのため男木島の VR 観光では，本研究が対象とする，広域な範囲を移動して風景・自然を楽しむ体験の実現が重要となる．

### 3.1　点群データ計測

男木島の VR 観光システムの構築にあたり，まず我々は島の 3D 空間を色付きの点群データとして計測した．点群計測において方式の選定は，体験品質や計測時間に関わる重要な要素となるが，計測方法は大別すると，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の方法と，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方法の 2 つに分けられる．

固定型は 1 箇所あたり数分で計測できるものの，空間全体を欠損少なく計測するには，位置を何度も変更して繰り返し計測する必要がある．特に男木島は細い道が複雑に入り組んでいるため，見通しの悪い場所が多く，固定型には不利な地形条件となっていた．また固定型の方法は，計測中にセンサを動かすことができないため，細い路地では通行者の妨げとなる問題があった．

一方で可搬型においても Mobile Mapping System のような車を用いる方法は，路地の細さから適用が難しかった．そのため本研究では，可搬型の中でも人が計測装置を担いで計測する方法を選定した．計測装置には 4 台の魚眼カメラと 2 つの LiDAR が搭載されており，装置から数十メートル先まで空間計測が可能である．本手法はドローンによる空中測量とは異なり，屋根などの地上から直接観測できない場所は，点群データを計測できず欠損してしまうという課題がある．しかし本課題は，現実の人と同程度の視線の高さで VR 空間を体験する場合は，大きな障害にはならなかった．

計測した魚眼画像・LiDAR データは，PC 上の後処理により最小 5mm 間隔の色付き 3D 点群データとして生成した．生成された 3D 点群データ例を図 1 に示す．

図 1　計測された男木島の色付き 3D 点群データ例

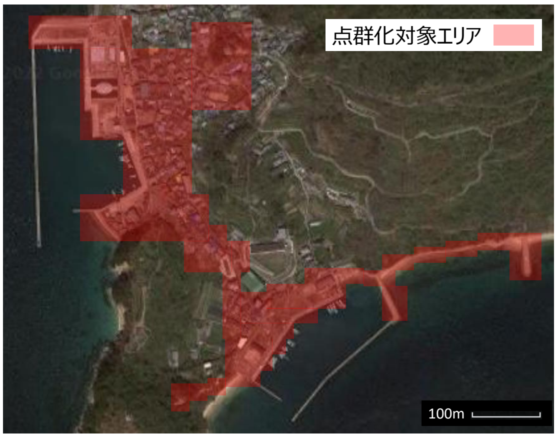


図 2　男木島における点群計測エリア

図 3　点群データ (左) とフォトグラメトリデータ (右) の比較

図 4　音声・歩行振動データ計測の様子 (左)，足元の拡大画像 (右)

点群データは男木島のアート作品を含むエリアを中心に図 2 に示す範囲を計測した．計測は全範囲を計 44 箇所に分割し，1 箇所あたり 20〜40 分をかけて，全行程をのべ 3 日半で実施した．全 44 か所の計測データの点総数は 42.4 億点，ファイルサイズは位置情報（XYZ）・色情報（RGB）・反射強度（I）をもつ ply フォーマットで 88.4GByte となった．

### 3.2　フォトグラメトリデータ計測

男木島の観光では点在するアート作品の鑑賞は重要体験の 1 つである．そこで点群計測エリアの中にある 6 つの野外アート作品は，高解像度カメラを用いたフォトグラメトリにより，点群空間より高精細なテクスチャをもつ外観の再現を試みた．フォトグラメトリには市販ソフトウェアである RealityCapture を用い，3D モデル化された各作品の平均ポリゴン数は 212 万，テクスチャ解像度は 5.59 億ピクセルとなった．

図 3 に点群・フォトグラメトリの両手法による美術作品の外観の差異を示す．両データを比較すると，図 3（右）のフォトグラメトリによる 3 D モデルの方が，点群データと比べて，自然な外観を表現できていることが分かる．

一方で，計測したアート作品は 1 辺が数m〜10 数mの立体物であるが，6 作品の計測にはのべ 3 日間を必要としている．点群とフォトグラメトリに費やした計測期間は同程度であるが，点群計測した図 2 のエリアにおいて，6 つのアート作品は極一部の領域であるため，点群の方がフォトグラメトリよりも，単位時間ではずっと多くの領域が計測できる結果となった．

### 3.3　音声データ・歩行振動データの計測

音声データは男木島の各場所の環境音を三脚に固定したマイクで計測した．環境音は Ambisonics の B フォーマット，サンプリング周波数 48kHz，量子化ビット数 24bit で計測され，図 2 のエリアを網羅するように，69 箇所で計測した音データをプロトタイプ構築に利用した．

次に歩行振動データは，歩行の動きによって生じる振動を計測して収集した．計測は図 4(左) に示すように，人が計測機材を装着した状態で歩行することで実施されており，図 4(右) のようにマイクを足元に装着することで歩行面に近づけ，歩行の振動を忠実に計測できるよう工夫した．また歩行振動データの計測では，足元のマイクとは別に，手で顔の正面に持ったマイクで歩行時の周辺音声の収録も行った．

計測はコンクリート・砂浜・浅い海面など，図 2 のエリアでも特徴的な歩行感覚が得られる場所を選定して行った．計測した歩行振動データのうち，プロトタイプでは計 9 箇所のデータが用いられている．また歩行振動データは 1ch のモノラル音声として，歩行時の周辺音声は 2ch のステレオ音声として収録され，サンプリング周波数は 48kHz，量子化ビット数は 24bit であった．

© 2023 Information Processing Society of Japan

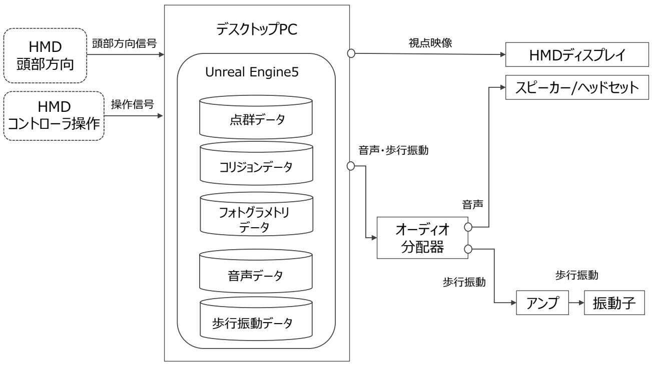


図 5　VR 観光システムの構成図

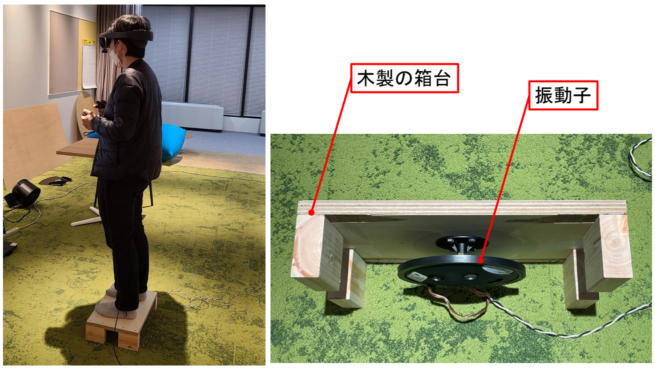


図 6　VR 体験の様子（左）と歩行振動提示装置（右）

## 4.　システム設計

男木島で計測した点群・フォトグラメトリ・音声・歩行振動データを組み合わせて，VR 観光システムのプロトタイプを作成した．本プロトタイプは Unreal Engine5（UE5）を用いて実装している．図 5 にシステムの全体構成を示す．

各点群データは LiDAR Point Cloud プラグインにより UE5 内にアセットとして読み込みを行った．そして全ての点群データと，フォトグラメトリで作成した 3D モデルの位置を UE5 上で合わせることで，１つの 3D 空間を作成した．ただし島の周囲にある海面は，点群やフォトグラメトリでの計測は困難であるため，既存の CG モデルにより表現した．また空の表現は UE5 のデフォルトのモデルを利用し，男木島の周辺にある島については，男木島で撮影した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 上に並べることで実現した．

次に音声データは収録した環境音声を，UE5 へサウンドアセットとして取り込み，VR 空間の計測場所と対応する位置に配置した．本プロトタイプでは，体験者の VR 空間での移動に合わせ，近い位置のサウンドアセットを再生することで，場所に応じた環境音の表現を実現している．

また本プロトタイプでは，点群空間を移動できるようにするため，点群中の歩行可能なエリアをコリジョン領域として設定した．さらにコリジョンはコンクリート・砂浜・浅い海辺など，再生する歩行振動データが異なる場所ごとに別の領域として設定され，体験者が移動しているコリジョンに応じて，再生する歩行振動データを変えることで，場所に応じた歩行感の提示を実現している．また歩行時の音声・振動の提示は，各エリアで計測した歩行振動データに周辺音声をミックスし，そこから短い音声データとして切り出して，移動に合わせて繰り返し再生することで実現した．振動子には Clark Synthesis 社の TST209，振動子用のアンプには S.M.S.L 社の SA-98E を用いている．

本プロトタイプの利用者は，図 6（左）に示すように，HMD を装着した状態で，振動子が取付られた木製の箱状の装置の上に立って体験を行う．振動子は図 6（左）にあるように，利用者が立つ面の裏側に取り付けられ，歩行振動データの再生に合わせて箱ごと揺れることで，足へ歩行感を提示する．本プロトタイプの歩行振動提示装置は，木製の箱台と振動子のみで実現されるシンプルな構成であり，従来研究の歩行感を提示する装置と比べ，非常に簡易な機材で実現できる．また本手法では VR 空間の移動は手に持ったコントローラで行うため，利用者は箱の上で静止して体験することができ，足を動かす歩行感提示システムより安全に利用できる．

最後にシステムの動作環境について，本プロトタイプは点群データをグラフィックボードのビデオメモリに読み込んで描画を実施するため，十分な領域のビデオメモリが必要となる．本プロトタイプは GeForce RTX 4090（メモリ：24GByte）を搭載したデスクトップ PC を用い，HMD として Meta Quest Pro を Link Cable で PC 接続した状態で動作させた．

## 5.　設計システムの簡易評価実験と考察

本報告では，VR 観光のプロトタイプに対する簡易評価実験の内容と結果を述べる．簡易評価実験は，多くの量的データを集めて有意差を導くための前調査として，少数参加者の質的評価を通じてプロトタイプの効果・課題について仮説を導くことを目的として実施した．実験は 3 名の参加者（ID1：36 歳 女性，ID2：36 歳 男性，ID3：45 歳 女性）を対象とし，プロトタイプを利用した感想を自由回答してもらった．また実験の参加者は男木島の訪問経験がない人を対象とした．

プロトタイプへの評価結果を収集するにあたり，楽しさ・臨場感は絶対値として回答することが難しいため，ベースラインとなる比較対象があることが望ましい．そこで最初に各参加者には，Google Map のストリートビューを HMD で体験できるアプリケーションを用いて，360 度画像遷移しながら男木島を観光する体験を 2 分間実施させた．ストリートビュー体験では，音声・歩行振動による刺激は含まれず，HMD を通じた視覚刺激のみが与えられる．

© 2023 Information Processing Society of Japan

次に，各参加者は本研究のプロトタイプを通じた VR 観光として，VR 空間を１人で自由に移動してもらい，島の風景およびアート作品を眺める体験を実施した．しかしながら構築した VR 空間は広域に及ぶため，場所による歩行感の違いまで体験できるように，空間を網羅的に移動するのは多くの時間が必要となる．そこで歩行感の異なる 3 箇所の観光開始ポイントを予め設定し，各ポイントを起点として自由な移動体験を繰り返す方法とした．また歩行振動の有無による歩行感の違いについても仮説を得るため，実験では歩行振動が無い状態で VR 空間の移動を体験する時間を設けた．

実験の結果，全参加者がストリートビュー体験と比較して，プロトタイプの VR 観光の方が楽しく，没入感があるという回答が得られた．視覚的な空間表現への回答では，ID1：「景色やアートを色々な角度で前後から体験できるので長い時間楽しむことができた」，ID2：「興味が湧いた場所に近づいたり，覗き込んだり，色々な角度から楽しめた．空間の中にいる，没入している，楽しさはストリートビューでは得られない感覚としてあった」という言及があり，点群の空間表現でも VR 観光の楽しさ・没入感を与えられる可能性が仮説として得られた．また普段 VR サービスを利用する参加者（ID2）からは「普段利用する VR と比べて，空間に色々なオブジェクトが配置されている．空間に色々な物があって情報量が多いことで，それらを眺めて楽しむことができた」という言及があり，空間を簡易な CG として作成するのではなく，点群計測で現実の細かな対象まで再現することが，VR 観光の楽しさに繋がる可能性が仮説として得られた．

一方，ID1：「木の葉などが欠けている場所があり気になった」，ID2：「静止した絵の中に入り込んだ感覚で，空間・物体が動かないので寂しさを感じた」といった点群による空間構築の課題も確認された．点群空間の表現は TOKYO GEIDAI DIGITAL TWIN において『点のサイズが小さくなり壁を透過する』・『各点が浮遊して動く』など，点群であることを生かしたアート表現が試みられており [3]，点群が絵のように見える違和感，空間が静止していることでの寂しさといった課題については，アート表現を用いることで緩和できる可能性が考えられる．

また振動による歩行感の提示についても，全ての参加者から振動があるほうが歩行感を感じるという回答が得られた．本結果より提案する簡易な装置でも，VR 観光時に歩行感を高められる可能性が仮説として得られた．さらに ID2：「足元のドンドンという振動で歩いている感覚が得られた．振動が無いとぬるっと床の上を滑っている，幽霊のように移動している感覚だった」，ID3：「音がある方が歩いている感じを実感できた，音が無くなると浮遊感があって不思議な感覚に陥った」という回答から，振動が有る状態から無い状態へ変わると，空中に浮かんで移動するような感覚に陥り，歩行感が消える可能性が仮説として得られた．

ID3 は「浮遊感を感じてから急に VR 酔いがきつくなった」とも報告しており，歩行感覚が消えた状態で移動する違和感は，VR 酔いを引き起こし易くする可能性についても確認された．VR 酔いと振動の関連性に関する先行研究では，VR 空間で自動車を運転するタスクにおいて，走行時の振動を与えることで VR 酔いが軽減されることを報告しており [20]，本回答で報告された事象が定量的に示されれば，VR 空間の歩行移動においても同様の事象が言及できることになる．

また本調査では全参加者より，歩行振動から場所の違いを明確に感じることができたという回答が得られた．特に，ID2：「砂利を移動する感覚や，水辺をジャボジャボと移動する感覚は，特に，その場所を歩いている感じがした」，ID3「コンクリートと，海では体感が明らかに違った．足元にくる空気感が変わった感じがして，視覚的な錯覚かもしれないが，水の感じが得られた」という回答からは，木製の箱台を通した振動刺激でも，視覚・聴覚・触覚を組み合わせて提示することで，砂浜・海水面など木とは全く異なる材質面上の歩行感を伝えられる可能性が確認できた．

一方で歩行感の課題となる回答には，ID1：「デコボコした形状の道は振動だけだとフラットに感じられてしまった」，ID2「足から来る振動が強すぎる場所があり，その場で強く踏み鳴らして歩いているように感じる場所があった」などがあり，歩行面にある大きな凹凸は振動では表現し辛いという問題や，振動刺激は適切な強さに調整されないと歩行感が減じてしまう課題が確認された．

最後に VR 観光を通じて，現地の興味が増したかという質問には，ID1：「景色が自然豊かそうで，綺麗そうだなと思って，体験前よりも興味は上がった」，ID2：「自分は（VR 空間にあった）海・神社には興味を惹かれないが, 港にあった浜焼き屋さんや，お土産屋さんなどは行って見たいと感じた」，ID3：「素朴な場所なんだなと感じて，どういう島なんだろうという興味は増えた」という回答が得られ，VR 観光が現地への興味増加に寄与する可能性を確認することができた．

## 6. まとめ

本研究では VR 観光の楽しさ・没頭状態を生み出すため，広い範囲を移動して風景・自然を楽しむ観光行動を対象に，高い臨場感を再現するシステムの検討を行った．特に本研究では，一般消費者が日常的に体験できる方法で高い臨場感を実現するため，フォトグラメトリと比べて簡易に取得可能な点群データによる視覚の表現と，音声・振動を用いた簡易な装置による歩行感の提示を試み，プロトタイプシステムの構築を行った．

© 2023 Information Processing Society of Japan

プロトタイプ構築にあたり，本研究では香川県の男木島を対象として，VR 化に必要なデータ収集を行なった．データ収集では，広域な空間を対象としたカラー 3D 点群データ，島内にある野外アート作品を対象とした 3D モデルデータ，複数の場所の音声・歩行振動データを計測した．各計測データは UE5 上に読み込むことで統合され，HMD と簡易な歩行感提示装置を通じて体験できるように設計・構築された．

また本報告では設計・構築した VR 観光プロトタイプの効果・課題について，仮説を導くための簡易評価実験について述べた．実験の結果，点群の空間表現でも VR 観光の楽しみ・臨場感を十分に感じられる可能性があること，点群の情報量の多さが VR 観光の楽しさに寄与する可能性のあること，歩行振動は歩行感を与えるだけでなく様々な歩行場所の違いを表現できる可能性があること，VR 観光により現実の場所へ興味が増す可能性があることが仮説として得られた．また点群が静止した絵のように見えることが違和感に繋がること，振動による歩行感提示は適切な強度で提示される必要があり大きな凹凸は表現が難しいことが課題として抽出された．本実験結果は少人数を対象とする質的評価であり，従来の VR 観光との比較による統計的に有意な差異は示すものではない．今後の研究では，定量的な評価により本システムの効果，さらに本システムが実際の場所へ訪問する意欲に与える効果を明らかにしていく．

本研究が，多くの『観光客候補』に，VR 観光を通じて，地方・離島の魅力を知ってもらう機会の創出に繋がり，旅行・観光業の活性化と，ひいては関係人口創出・地方活性化の一助となれば幸いである．

**謝辞** 本研究を進めるにあたり，NTT コミュニケーション科学基礎研究所の渡邊淳司様には，多くのアドバイスとシステム構築における協力をいただきました。心より感謝を申し上げます。

## 参考文献

[1] World Travel and Tourism Council, "Global Economic Impact Trends 2020", https://wttc.org/, 2020.

[2] 駒﨑 掲, 渡邊淳司, "バイブロスケープ", https://www.ntticc.or.jp/ja/archive/works/vibro-scape/, NTT インターコミュニケーション・センター, 2022.

[3] 東京藝術大学, "TOKYO GEIDAI DIGITAL TWIN", https://dt.geidai.ac.jp/, 2021.

[4] Perry Hobson J. S. and Williams A. P., "Virtual reality: A new horizon for the tourism industry.", Journal of vacation marketing, Vol. 1, No. 2, pp.124–135, 1995.

[5] Tussyadiah I. P., Wang D., Jung T. H., and Tom Dieck M. C., "Virtual Reality, Presence, and Attitude Change: Empirical Evidence from Tourism.", Tourism management, Vol. 66, pp.140–154.

[6] Huang Y.-C, S. J. Backman, K. F. Backman, and D. Moore, "Exploring user acceptance of 3D virtual worlds in travel and tourism marketing.", Tourism Management, Vol. 36, pp.490–501, 2013.

[7] Huang Y. C., Backman K. F., Backman S. J., and Chang, L. L., "Exploring the implications of virtual reality technology in tourism marketing: An integrated research framework.", International Journal of Tourism Research, Vol. 18, No. 2, pp.116–128, 2016.

[8] Myung Ja Kim and C. Michael Hall, "A edonic motivation model in virtual reality tourism: Comparing visitors and non-visitors", International Journal of Information Management, Vol. 46, pp.236–249, 2019.

[9] 鳴海拓志, "ディジタルミュージアムにおける VR/AR の利用.", 人工知能, Vol. 31, No. 6, pp.794–799, 2016.

[10] 角田哲也, 大石岳史, 小野晋太郎, 池内克史, "バーチャル飛鳥京: 複合現実感による遺跡の復元と観光案内システムへの展開.", 生産研究, Vol. 59, No. 3, pp.172–175, 2007.

[11] P. Grussenmeyer and O. Al. Khalil. "Solutions for Exterior Orientation in Photogrammetry: a Review.", The Photogrammetric Record, Vol. 17, No. 100, pp.615–634, 2002.

[12] Kai Zhang, Gernot Riegler, Noah Snavely, and Vladlen Koltun. "Nerf++: Analyzing and improving neural radiance fields", Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2020.

[13] Iwata H., Yano H., Fukushima H., and Noma H. "CirculaFloor", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 25, No. 1, pp.64–67, 2005.

[14] De Luca A., Mattone R., Giordano P. R., Ulbrich H. Schwaiger M., Van den Bergh M., Koller-Meier E., and Van Gool L., "Motion Control of the CyberCarpet Platform.", IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 21, No. 2, pp.410–427, 2012.

[15] Souman J. L., Giordano P. R., Schwaiger M., Frissen I., Thümmel T., Ulbrich H., De Luca A., Bulthoff H. H., and Ernst M. O., "CyberWalk: Enabling Unconstrained Omnidirectional Walking through Virtual Environments.", ACM Transactions on Applied Perception (TAP), Vol. 8, No. 4, pp.1–22, 2011.

[16] Cakmak T. and Hager H., "Cyberith Virtualizer: A locomotion device for Virtual Reality.", In ACM SIGGRAPH Emerging Technologies, pp.1–1, 2014.

[17] 渡邊淳司, 吉田知史, 安藤英由樹, 田畑哲稔, "マルチメディアパフォーマンスにおける Vibro-scape Design の実践的試み", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 (「アート&エンタテインメント」 特集)., Vol. 12, No. 3, pp.413–416, 2007.

[18] 金子拓史, ヤェム ヴィボル, 池井 寧, "バーチャル歩行感覚生成のための下肢運動感覚と腱電気刺激の併用提示手法", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 24, No. 2, pp.143–152, 2019.

[19] Otaran A. and Ildar F., "Haptic Ankle Platform for Interactive Walking in Virtual Reality.", IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 28, No. 12, pp.3974–3985, 2021.

[20] S. Jung, R. Li, R. McKee, M. C. Whitton and R. W. Lindeman, "Floor-vibration VR: Mitigating Cybersickness Using Whole-body Tactile Stimuli in Highly Realistic Vehicle Driving Experiences," in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 27, No. 5, pp. 2669–2680, 2021.

© 2023 Information Processing Society of Japan