

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11995

研究課題名(和文) XR技術による超高解像度都市環境シミュレーションのインタラクティブ可視化

研究課題名(英文) Interactive Visualization of Ultra-high Resolution Urban Environment Simulation using XR Technology

研究代表者

川原 慎太郎 (Kawahara, Shintaro)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門(情報エンジニアリングプログラム)・副主任研究員

研究者番号：60415982

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：高解像度都市暑熱シミュレーションの可視化結果を、XRデバイスで提示できるようにした。CAVE型VR装置用可視化ソフトウェアを、独自開発の特殊なC++用ライブラリを用いてPC接続型ヘッドマウントディスプレイ(HMD)で動作するようにした。また、ゲームエンジン用可視化フレームワークを新たに開発し、スタンドアロン型HMDやスマートフォンでも可視化結果の提示を可能とした。本開発により、HMDのビデオスルー機能による実映像と可視化結果の3-D CGの重畳表示が可能となった。また、本研究が目的とする都市スケールでのXR可視化における、屋外での機器使用の課題を解決した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究期間中に開発したゲームエンジン用可視化フレームワークVisAssetsは、XRデバイス用可視化アプリケーションの開発効率を大幅に向上させることができる。また、無償で公開したことにより、データ可視化を伴う多くの研究コミュニティへの貢献だけでなく、国内外の研究者・開発者による本フレームワークの機能拡張や、ユーザ間での相互利用が期待できる。特に、スタンドアロン型HMDでのインタラクティブ可視化コンテンツの開発が容易になったことにより、本研究の当初目的である都市域での屋外利用だけでなく、教育やアウトリーチ活動での利用も期待できる。

研究成果の概要(英文)：Visualization results of a high-resolution urban heat simulation have been represented on an XR device. Visualization software for CAVE-type VR devices was made to run on PC-connected head-mounted displays (HMDs) using a C++ library developed proprietary. In addition, a visualization framework for the game engine Unity has been newly developed to enable the representation of visualization results on Quest 2 which is a stand-alone HMD and smartphones. This development enabled the superimposed display of 3-D CG of the visualization results on the real video using the video-through function of the HMD. It also solved the problem of using the device outdoors for XR visualization on an urban scale, which is the objective of this research.

研究分野：データ可視化

キーワード：可視化 パーチャルリアリティ ヘッドマウントディスプレイ ゲームエンジン 可視化フレームワーク

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

バーチャルリアリティ (VR) 装置を用いたデータ可視化は、対話性を伴った立体映像を提示することで三次元データ内に含まれる様々な空間構造の直感的な把握を可能にすることから、データ解析のための有効な手段の一つとして知られている。CAVE 型 VR 装置 (CAVE) はその代表的なものの一つであり、大型スクリーンに投影される立体映像からは VR 空間に対する高い没入感が得られる一方、数千万円以上ともなる高額な導入費用および大規模な設置スペースが高いハードルであった。一方、ヘッドマウントディスプレイ型 VR 装置 (HMD) の性能向上とその低価格化は近年著しく、論文や学会発表においてデータ可視化への利用事例が取り上げられることも年々増えてきている。HMD でのデータ可視化にはアプリケーションの開発が必要になるが、HMD 用 CAVElib 互換ライブラリ「CLCL」を開発することにより、CAVE 用プログラムの HMD への移植工数の大幅な削減および、CAVE-HMD の開発基盤の共通化に成功した (基盤研究 (C) 16K00178 内にて実施)。多くの HMD には機器装着時に実空間の視覚的情報が得られないという問題があるが、これを解決する目的で HMD の前面に装着した二眼カメラによる MR 機能を CLCL に実装した。しかし、本機能は実空間映像への 3-D CG の投影時における装着者の手指等との前後関係の解決を主眼としたものであり、眼前の実空間映像と、3-D CG で表示される可視化結果の間に因果関係があることを前提としたものではなかった。

2. 研究の目的

本研究で可視化対象とする都市環境シミュレーションデータは、緯度経度高度の各軸からなる直行格子の各格子点または格子内の物理量 (温度、風のベクトル場等) として計算・出力される。建築物や樹木の存在する格子は欠損値で充填され、可視化時には通常非表示となるよう処理するが、精緻な 3-D 都市モデルデータと併せて表示することにより、リアルな描画結果が得られる。VR 的可視化表現としてはこのような描画法でよいが、MR 機能を用いた可視化を行う場合、実際の街区内で HMD を装着し、実空間内に可視化結果を重ね合わせ表示できればより効果的となる。そこで本研究では、実在の街区を対象に「ここで発生した / 今後発生しうる現象」として、3-D CG による可視化結果を、XR 技術を用いた種々のアプローチで実空間上へと投影することを目的とした。

3. 研究の方法

ビデオスルー HMD を用いて実際の街区に可視化結果の 3-D CG を投影する場合、建築物や樹木といった実空間内の遮蔽物が可視化結果の描画に与える影響 (陰線、陰面消去) を考慮する必要がある。しかし、本研究で使用したビデオスルー用ステレオカメラで計測可能な奥行き距離は 10 m 程度以内であり、街区のような広大な場所において、遠方にある建築物の奥行情報までを取得することはできない。そこで、遠方の奥行情報については実際の都市環境に則した 3-D 都市モデルデータをデプスマスクとして用いる。街区での検証を実施する前段階として、3-D プリンタを用いて作成した都市模型による疑似街区環境を構築し、これに対して可視化結果の 3-D CG を MR 表示する。更に、HMD 装着者の手指等、HMD 搭載カメラで取得した近方の実物体の奥行情報と併せたハイブリットな手法により、近遠方共に実映像と可視化結果の 3-D CG とを破綻なく MR 表示することを目指す。街区内での HMD の利用には、HMD を接続する PC が必要となるが、バックパック型 VR 対応 PC を用いることでこれを解決する。

4. 研究成果

みなとみらい地区および泥亀公園を対象とした高解像度都市暑熱シミュレーションの結果を可視化し、複数種の PC 接続型 HMD (Oculus Rift S, HTC VIVE, Windows Mixed Reality Headset) を使って提示できるようにした。提示には CAVE 型 VR 装置用可視化ソフトウェア VFIVE を用いたが、独自開発した C++ ライブラリ CLCL を適用することで、本来 CAVE 型 VR 装置でしか動作しない VFIVE を PC 接続型 HMD でも動作可能とした。6DoF の手持ちコントローラによるインタラクティブな操作により、対象となる都市領域中の気温分布のボリュームレンダリングによる表現や風のベクトル場データに基づく多数の流跡線を描画することで、特定の建築物屋上からの排熱の様子や、建築物間を結ぶ連絡通路下を吹き抜ける風の様子などを効果的に提示した (図 1)。

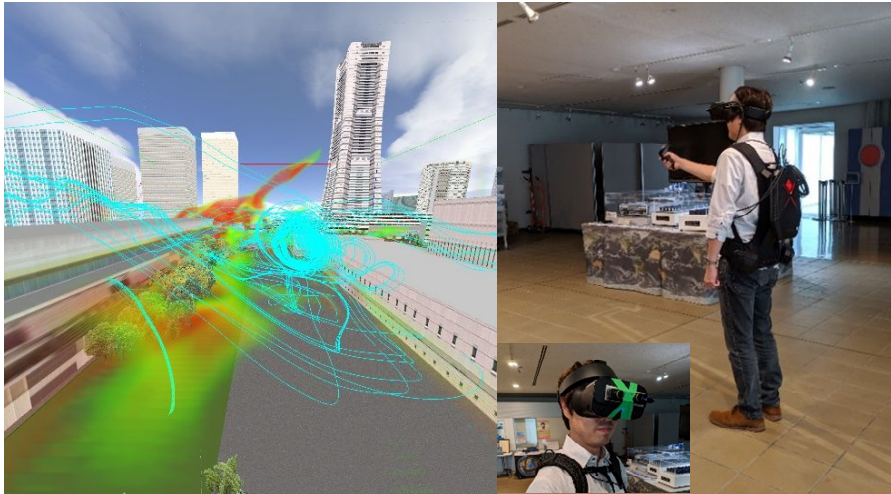


図1 HMDによる都市暑熱シミュレーションの可視化の様子

本システムが可搬であることを最大限に生かし、国内外の学術集会や展示会などの専門家の集まる場所だけでなく、非専門家を対象としたデモを多数実施し、広くニーズ調査を行った。この中で、特に都市計画策定に関わる行政および民間のステークホルダからは、「XR技術を用いることでシミュレーションや観測で明らかとなった種々の現象を立体的に捉えることができるため、専門家でない我々にも非常にわかりやすい」等、非常に好意的な評価を得ることができた。また、XR表現時における現実空間内の実物体との重畳表示を目指し、3-Dカラープリンタを用いて都市3-Dモデルデータの出力を試みた。この際、出力結果をXR可視化で利用することを念頭に置き、出力時の適切な縮尺を検討した。

一方、本システムは可搬であるとは言え、その動作には映像生成用の高性能PCや、使用するHMDの種類によっては位置トラッキング用センサの設置および設置のためのスペースおよび配線が必要であり、本研究が対象とする現実の都市環境下、特に屋外での機器使用には課題があった。そこで、映像生成用PCが不要なスタンドアロン型HMDでのインタラクティブなデータ可視化基盤の構築を目指し、ゲームエンジンUnity用可視化フレームワーク「VisAssets」の開発を開始した。ゲームエンジンは、XRデバイス用アプリケーションの開発に近年用いられている統合開発環境であり、PCの他、スタンドアロン型HMDやスマートフォンなど様々なプラットフォーム向けのアプリケーション開発ができる。VisAssetsでは、可視化におけるデータフローの各要素がモジュール化されており、それらを可視化のデータフローに従って適切にツリー接続することによるプログラミングレスでの可視化アプリケーション構築を実現した(図2)。



図2 VisAssetsにおける可視化モジュールと可視化ネットワーク構築

VisAssetsは、構造格子データ全般を対象とした汎用ツールとした設計であり、読み込んだ構造格子データからスカラー場およびベクトル場を抽出するフィルタモジュール、抽出したスカラー場およびベクトル場に可視化アルゴリズムを適用して描画するためのレンダリングモジュールを経て可視化結果が描画される。現在までに、レンダリングモジュールとしてスカラー場に対するカラーライスと等値面、ベクトル場に対する矢印表示と流跡線を描画するためのモジュールを実装している。ユーザインタフェース(UI)についても実装しており、HMD装着時におけるVR空間内での可視化パラメータの変更が可能である。本機能では、VR空間中に表示されるUIパネルから、スライダを使った等値面生成のための閾値の変更や、可視化対象とするスカラー場やベクトル場を構成する物理量のドロップダウンリストからの選択といった操作各種を、6DoFの手持ちコントローラを用いることでHMDを外すことなくインタラクティブに行うことができる。

本研究が対象とする暑熱シミュレーションに対応するため、そのデータ形式であるGrADS用データを読み込むためのモジュールについても開発した。表示デバイスとしてPC接続型の高性能

能 MR ヘッドマウントディスプレイ (Varjo XR-1) を用いて、VisAssets による可視化結果の 3-D CG と、実空間映像との MR 表示ができることを確認した。マルチプラットフォームに対応した Unity を用いることにより、スタンドアロン型 HMD (Oculus Quest 2) やスマートフォン上での可視化結果の立体視表示ができることも確認した (図 3)。

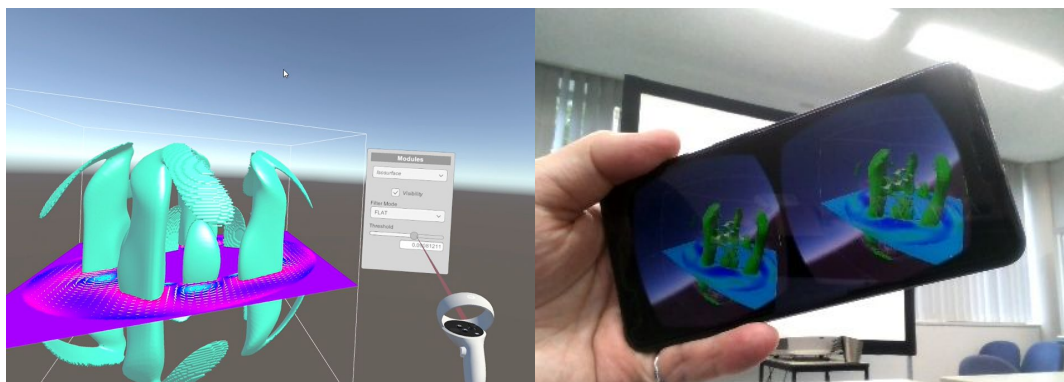


図 3 VisAssets で構築した可視化アプリケーションの動作の様子
(左: スタンドアロン型 HMD Oculus Quest 2、右: Android スマートフォン)

本開発により、ビデオスルー機能を有する機器を用いることで実映像と可視化結果の 3-D CG の重畳表示にも対応可能となった。また、スタンドアロン型 HMD やスマートフォンでの実行時であれば映像生成用 PC が不要となり、本研究で目標とする都市スケールでの XR 可視化における屋外での機器使用における課題を解決した。また、計画外の成果として VisAssets に情報可視化の機能を追加した (図 4)。本図では情報可視化ソフトウェア「平安京ビュー」のデータを読み込み、その可視化結果を表示している。

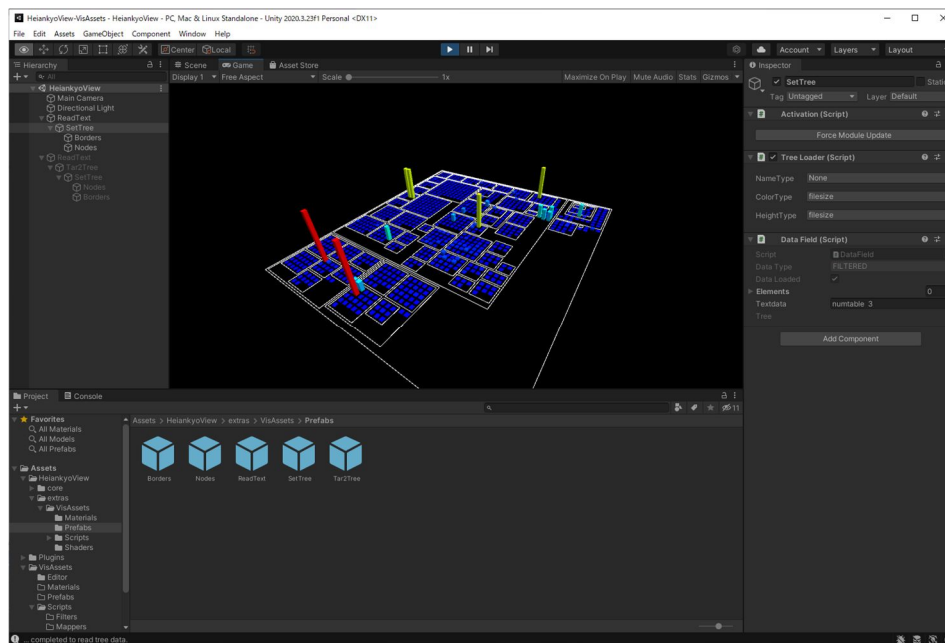


図 4 VisAssets への情報可視化モジュールの実装

本研究期間では、コロナ禍においてリモートワーク主体となった影響が大きく、3-D プリンタによる都市情景等の大型造形物の出力や、実際の都市域での可視化結果の重畳表示実験等、当初予定していた計画を大幅に変更せざるを得ない点があった。また、データ可視化に用いるソフトウェアを当初想定していた CAVE 型 VR 装置用のものから、ゲームエンジンをベースとした新たな可視化フレームワークの開発へと、その推進方法を当初計画から大きく転換した。しかしながら、今後の開発効率や研究期間終了後のソフトウェア資産の再利用を考えると、この方針転換は妥当であったと考えられるものであり、可視化フレームワークの開発や、MR ヘッドマウントディスプレイでの可視化結果の提示までが確認できたことは大きな成果であると考えられる。また、VisAssets への情報可視化手法の導入は、旧来の科学的可視化手法と組み合わせることにより、データに含まれる種々の事象を多角的に解析するための基盤となることが期待できる。VisAssets についてはソースコードを github にて公開するとともに、学会主催イベントにてその使用方法に関するハンズオンセミナーを実施するなどの啓蒙活動も実施した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 宮地英生、川原慎太郎	4. 巻 12
2. 論文標題 ゲームエンジンを用いたVR可視化フレームワークの開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本シミュレーション学会論文誌	6. 最初と最後の頁 59～67
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11308/tjsst.12.59	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 宮地英生、川原慎太郎	4. 巻 41
2. 論文標題 ゲームエンジンUnityをベースにした可視化システム みんなで21世紀の可視化技術を統合しませんか?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 可視化情報	6. 最初と最後の頁 13～17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3154/jvs.41.160_12	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kawahara Shintaro、Kageyama Akira	4. 巻 6
2. 論文標題 Development of CAVELib Compatible Library for HMD-type VR Devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 234～248
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15748/jasse.6.234	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 川原慎太郎、宮地英生
2. 発表標題 Unity用可視化フレームワークVisAssetsの開発
3. 学会等名 第92回CG・可視化研究会(CAVE研究会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮地英生、川原慎太郎
2. 発表標題 Unity上での情報可視化フレームワークの開発
3. 学会等名 第49回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮地英生、川原慎太郎
2. 発表標題 大規模データ可視化システムのUnity上への実装
3. 学会等名 第35回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮地英生、川原慎太郎
2. 発表標題 大規模データ向け等値面システムの開発
3. 学会等名 2021年度核融合科学研究所一般共同研究(研究会) 先進的可視化開発環境を用いた可視化表現法の研究会 (VR2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川原慎太郎、宮地英生
2. 発表標題 汎用可視化フレームワーク: Unity上で動作する可視化フレームワークVisAssets
3. 学会等名 第5回ビジュアルリゼーションワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川原慎太郎、宮地英生
2. 発表標題 Unity上で動作する可視化フレームワークの開発
3. 学会等名 第48回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川原慎太郎、宮地英生
2. 発表標題 ゲームエンジン用可視化フレームワークの開発
3. 学会等名 先進的描画技術を用いた可視化情報の研究会(VR2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮地英生、川原慎太郎
2. 発表標題 Unity用可視化フレームワークとサンプルアプリケーションの開発
3. 学会等名 第34回数値流体力学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川原慎太郎
2. 発表標題 Unity用可視化フレームワークVisAssetを用いた可視化アプリケーション開発
3. 学会等名 第4回ビジュアライゼーションワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shintaro Kawahara
2. 発表標題 CLCL: CAVELib Compatible Library for Head-mounted Displays
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川原慎太郎
2. 発表標題 バーチャルリアリティ技術を用いた地球環境データの可視化
3. 学会等名 第47回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川原慎太郎
2. 発表標題 ヘッドマウントディスプレイを用いた気象データ可視化
3. 学会等名 可視化講演会@日本原子力研究開発機構（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 繁樹博昭、半田知也、伊藤博隆、氏家弘裕、坂本雄児、柴田隆史、石場義久、奥寛雅、川原慎太郎、菊田勇人、橋本直己、岩根透、伊達宗和、山本洋太、下馬場朋禄、伊藤智義、池田篤俊、神田健介、野間春生、寒川雅之、他（執筆者計64名）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 576
3. 書名 VR/AR技術における感覚の提示、拡張技術と最新応用事例	

〔産業財産権〕

〔その他〕

githubでのVisAssets(可視化フレームワーク)の公開ページ
https://github.com/kawaharas/VisAssets
VisAssetsの共同開発者(東京都市大学 宮地英生教授)によるプロジェクトページ
http://www.comm.tcu.ac.jp/miyachilab/visassets/index.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------