(5) 三次元測量・三次元 CAD を用いたオープンデータの補正・統合化による景観再現に関する研究

小薮　剛史[1]・傳田　正利[2]

[1]正会員　筑波大学　大学院理工情報生命学術院　システム情報工学研究群（〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1）
E-mail: s2330198@u.tsukuba.ac.jp

[2]正会員　筑波大学　連携大学院構造エネルギー工学専攻（〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1）
（国立研究開発法人土木研究所　水災害研究グループ）
E-mail: denda.masatoshi.fm@u.tsukuba.ac.jp

気候変動に起因するとされている水災害の頻発の際の，避難遅れが問題となっている．VR 空間上に居住地域及び水災害シミュレーションを再現し，非日常的な水災害を仮想空間で擬似体験し，避難行動訓練を行うことができれば，避難遅れの問題解消への一助となる．本研究では，地方都市におけるオープンデータを VR 空間で利用する際の技術的課題とその解決策を検討した．その結果，三次元測量や三次元 CAD を適切に活用することで VR 空間の空間情報を効率的に構築できること，建物の再現のための新たな土木情報学分野の課題を明らかにした．

Key Words: *3D surveying, 3D CAD, opendata, data correction, virtual flood*

1．はじめに

気候変動に起因するとされる水災害の頻発は，深刻な社会問題となっている．これらの問題の一つである避難遅れは人命に深く関わるため，適切な対応が必要となる．避難遅れの問題は，地域住民が水災害時の危険な状況を適切に推定できないことにより生じる側面があると考えられる．

近年発展が著しいバーチャルリアリティ（Virtual Reality : VR）やメタバース技術は，水災害の啓発，防災教育・訓練の新たな展開につながることが期待される．

王ら[1]は，地域防災教育に VR を用いた新たな津波擬似体験システムを構築した．地域の空間情報を GIS/CAD およびドローンを用いて建物モデルを高精度かつ簡便に構築し，津波の CG を高品質に行う方法，津波および避難シミュレーション結果を交えた総合的な防災教育システムを構築した．

山内ら[2]は，VR とメタバース技術を活用したフィールドワーク教育システムを構築し，VR 空間での地形観察や観察行動の分析を通した体験者の興味の分析等を実現し，メタバース技術の有用性を示した．

これらの先進的な研究は，VR とメタバース技術の可能性を示す研究成果である．水災害に関する既往研究は，水災害状況の再現・視覚的体験に注力されることが多い（例えば，栗林ら[3]，諸岡ら[4]）．

先述した既往研究を参考に VR 空間上に地方都市の居住地域及び水災害シミュレーションを再現し，非日常的な水災害を仮想空間で擬似体験し，避難行動訓練を行うことができれば，避難遅れの問題解消への一助となると考えられる．

このような背景から，筆者ら[5][6]，仮想洪水体験システム（Virtual Flood Experience System : VFES）を開発し，その有効性を確認している．

仮想洪水体験システムの構築の中で，地方都市の居住地域の再現には，多くの課題がある．国土数値情報に代表されるオープンデータは，地方都市の概況の再現には十分な精度を有するが，浸水想定区域等に居住する地域住民が，水災害時の危険性を現実のものとして理解するためには，居住地域一定以上のリアリティを持って再現される必要があるが，十分な精度があるかの検証事例は少ない．また，オープンデータは，VR 空間で擬似体験するには，十分な精度とリアリティがない区域がある．例えば，地方都市の中心地域ではリアリティの高いオープンデータが提供されるが，地方都市の周縁部にはオープンデータが十分に整備されていない場合が多く，何らかの方法で補正を行う必要がある．三次元測量，三次元

CAD 等，土木情報学の進展がオープンデータ精度の向上を担保すること推定されるが，これらに関しての報告事例は少ない．

本論文では，筆者らが新潟県阿賀町において行った国土数値情報を用いた水災害被災区域における景観再現事例を報告し，オープンデータと土木情報学（測量技術・CAD 等）を融合することによる景観の向上の可能性を議論する．

２． 研究の方法

(1) 調査地の概要と調査地における洪水の概要

調査地は，新潟県東蒲原郡阿賀町実川島地区（以下，「実川島地区」）を選定した（図-1）．実川島地区は，阿賀野川沿いに位置し，阿賀野川とその支川である実川の合流部に位置する．阿賀野川の洪水により，度重なる洪水を受けてきた．近年では，2019 年台風第 19 号でも浸水被害が発生した区域である．

本研究では，実川島地区の居住地域である約 120,000m^2（400m×300m）の範囲の VR 空間を作成した．



図-1 新潟県阿賀町実川島地区の位置図（出典：地理院地図）

(2) 本研究におけるリアリティのある景観再現のポイントと対象データの選定

居住地域の景観を再現する場合，遠景と近景に分けて考える必要がある．

遠景に関しては，空と景観の境界線，山林等のテクスチャは，居住地の近景の背景的な役割となる．そのため，必ずしも高い精度は必要なく，コンピュータや VR 機器の描画機能に負担をかけない軽量さがポイントになる．

一方，近景，特に，建物・道路・土木構造物の景観は，VR 体験者の視点場に近く，高いリアリティが求められる．本研究では，高いリアリティを実現するための評価尺度として，正確な三次元形状，表面の色相，テクスチャの再現を選定した．これらの属性の観点から，オープンデータの問題点を検証した．調査地のような地方都市の周縁部において，共有されているデータとしては，基盤地図情報，OpenStreetMap プロジェクト [7]が考えられるが，建物については，基盤地図情報のみが整備されていたため，選定した評価尺度に基づいて，基盤地図情報に含まれる建築物，道路，及び，調査地におけるポイントとなる土木構造物である橋梁に関して検証した．

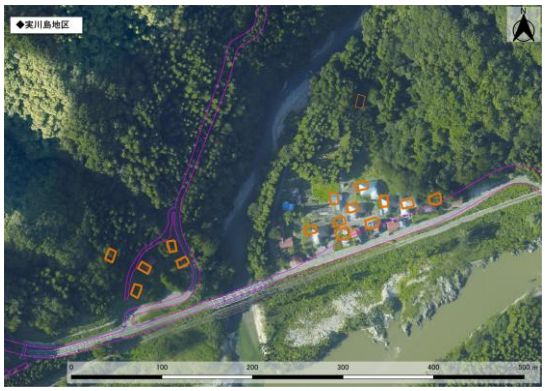
(3) オープンデータの精度検証と修正方法

オープンデータの精度検証のため，UAV による写真測量と多視点画像からの三次元復元（Stracure from Motion : SfM）を実川島地区で実施し，検証用のデータとした（以下，「検証データ」）．

基盤地図情報は，建築物の外郭線は，検証データ，VR の空間情報として活用するには，十分な精度がなかった（図-2）．

また，基盤地図情報の数値標高と検証データを比較すると，基盤地図情報は，水災害時の微妙な水位変化を詳細に再現するまでの十分な精度がなかった．そのため，地形再現のためには，検証データの標高データを活用し，実川島地区の詳細な地形を再現した．樹木や家屋のデータを削除するフィルタリング処理を行い，実川島地区における詳細な地形データを作成した（図-3）．

基盤地図情報の建物に関する情報は，平面に投影された建物の外周線だけであるため，建物の復元にも検証用データを活用した．検証データの点群データを活用し，外郭線内の最大高さと外郭線周囲（50cm バッファ）の最小高さの差分から算出した．ただし，樹木の樹冠等が誤って屋根高として算出され，屋根が高くなることがあったため，異常値は確認し，修正した．



オレンジ線が基盤地図情報の建築物外郭線

図-2 国土基盤情報の建物外郭線の精度確認

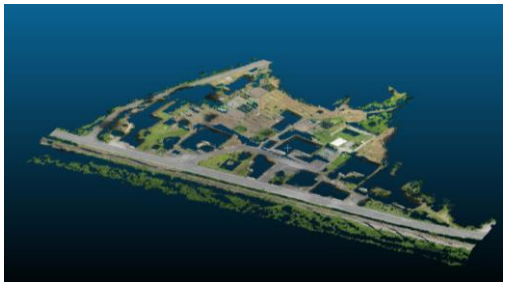


図-3 樹木・家屋等のデータを削除した地形点群データ

体験者は，空間認知の際に，ランドマークとなる建物や，建物と空の境界線となるスカイライン等を参考に，自分の存在位置を認知し，避難行動先までの経路・距離などを認識する．そのため，「屋根の形」や「建築物正面部の見え方」は重要な景観要素である．

検証用データの空中写真から，屋根形状を SketchUp でトレース・再現し，写真測量で検証した．建物の正面部の見え方については，現地写真を外壁テクスチャとして用いた．屋根テクスチャは，検証用データの空中写真から作成されたオルソ画像を基に，類似色のテクスチャを作成した（**図-4**）．



図-4　SketchUp によって構築した三次元化した建物

道路に関しては，基盤地図情報が，十分な精度でなかったため，OpenStreetMap のデータを確認したところ，道路中心線が大部分で活用できることがわかった．不足している道路中心線を加え，また不要な道路を削除した．作成した道路中心線に属性情報（車線数，幅員，路肩の有無）を与えた上で，InfraWorks（AutoDesk 社）のスタイルパレットを使用して，三次元化した（**図-5**）．

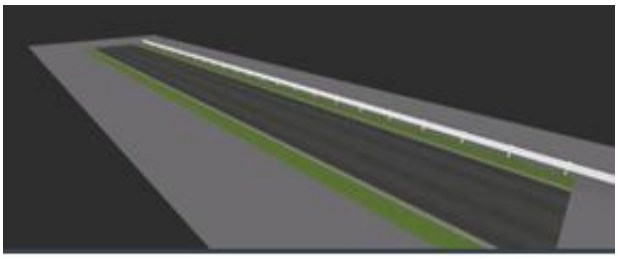


図-5　スタイルパレットで作成した三次元化した道路



図-6　橋梁諸元から自動生成した道路橋モデル

橋梁に関しては，新潟県より提供を受けた道路維持管理台帳の橋梁諸元を Dinamo（AutoDesk 社）用いて自動生成した（**図-6**）．

(4)　基盤地図情報と修正した実川島地区詳細地形，建物，道路及び橋梁の統合化による VR データの作成

上記において作成した実川島地区の詳細地形，建物，道路及び橋梁データを Unreal Engine（Epic 社）へインポートし，可視化を行った．また，必要に応じて，カーブミラー，電柱・電線等のアセットを VR 空間に設置し，居住地域における景観をリアリティ高く再現した．

3.　結果

(1)　実川島地区の建物・道路・景観の概要

VR ソフトによる可視化は，実川島地区の居住地域を良好に再現した（**図-7**）．

遠景の山並みは，現地での観察結果に極めて近く，山並みのテクスチャとして張り付けた低解像度の空中写真は違和感なく遠景の山肌を形成した．

近景は，建物の三次元形状，地上写真のテクスチャを仮想空間上の建物のテクスチャとして利用することで，よりリアリティの高い景観を実現している．体験者の視点場に近く，奥行き感を出す道路の正確な再現も VR 空間のリアリティ向上に貢献した．なお，電柱・カーブミラー等の配置若干の差異があるが，点群データ等を詳細に分析することにより，修正可能である．





図-7　建物の再現状況の概要（上：現実，下：仮想）



図-8　橋梁の再現状況の概要（上：現実，下：仮想）

(2)　橋梁の再現状況の概要

実川島橋と磐越西線の鉄道橋の再現状況を示す．両橋梁との三次元形状，欄干，色相，設置位置を正確に表現することで，現地の状況を忠実に再現した（図-8）．

4.　考察

(1)　オープンデータを補正する三次元測量等の有効性

本研究の検討により，三次元測量・三次元 CAD 等を用いて，オープンデータに適切な補正加えると，リアリティの高い VR の作成が可能であることを確認することができた．既存のオープンデータである基盤地図情報等は，遠景の作成には，十分な精度を有するが，近景に用いるにはデータの解像度，データの更新頻度等が十分ではなく，補正用のデータを取得することが望ましいことを確認できた．今回の検討で，特に有用であったのは，UAV データである．当初，検証用として得た UAV データは，基盤地図情報が提供しない実川島地区の詳細地形，建物の外周線トレースのための空中写真，高さデータ等の様々な補正に用いられた．また UAV は，地上物であれば，SfM を適用することにより比較的安価に点群データを生成できる．オープンデータの補正に際しては，極めて費用対効果の高い測量データと考えることができる．

(2)　効率的なデータ修正・作成が必要な建物データ

本研究の過程で最も労力を要したのは，建物のデータ補正である．オープンデータの建物データは，古い実川島地区の建物の外周線をトレースしていた可能性が高く，現況とは大きな乖離があった．この補正を行うために，外周線のトレース，建物の高さの設定を行った．また，体験者の視点に近い，建物のテクスチャの修正を行うために，現地の地上写真のテクスチャを用いる等，多くの労力を要した．

近年の AI やフォトグラメトリ等の技術進歩は著しく，UAV の空中写真から建物境界線等を自動的に検出し，内包される三次元点群データの統計特性から，建物の三次元形状の推定が可能となれば，大幅な効率化が期待される．また，現地写真の連続した撮影写真を，上記で抽出した建物に張り付けることができれば，本研究で試行した工程を半自動化するとが可能と考えられ，今後，これら課題に取り組むことを予定している．

5.　結論

地方都市におけるオープンデータを VR に利用する際の技術的課題を検討した．その結果，三次元測量や三次元 CAD を適切に活用することで，VR 空間の空間情報を効率的に構築できることを明らかにした．また，建物データの補正には，その効率化に課題が残り，AI やフォトグラメトリの適用による改良が期待された．

謝辞：新潟県・阿賀町には，水災害被害地における現地調査・地域住民との調整等，データ提供等で甚大なご協力をいただいた．ここに深甚なる謝意を表す．

参考文献

1) 王博，大川博史，藤山麗，樫山和男：地域防災教育のための VR 津波疑似体験システムの構築，土木学会論文集，Vol.79，No.22，22-22045，2023.
2) 山内啓之，飯塚浩太郎，小倉拓郎，小口高，鶴岡謙一，早川裕弐：VR とメタバース技術を活用したフィールドワーク教育の効果と課題，日本地理学会要旨集，2023.
3) 栗林大輔，大原美保，小藪剛史，澤野久弥：イメージ映像での洪水疑似体験による洪水意識および減災行動意欲向上に関する考察，日本災害情報学会論文集，18 巻 1 号，pp.35-45，2020.
4) 諸岡良優，土屋修一，銭潮潮，竹下哲也：VR 技術を用いた河川水位予測情報の 3 次元表示に関する技術開発，河川技術論文集，第 28 巻，pp. 37-42，2022.
5) 傳田正利：水災害時の早期避難の実現に向けて　VR を用いた仮想洪水体験システムの可能性，建設マネジメント技術，pp. 37-42，2022 年 3 月号.
6) 南雲直子，傳田正利，原田大輔，小池俊雄，江頭進治，新屋孝文：洪水被害軽減に向けた仮想避難体験プログラム提供の試み，日本地理学会要旨集，2022.
7) OpenStreetMap 財団：（2023 年 6 月 12 日確認）https://www.openstreetmap.org/#map=5/35.588/134.380