

(54) 360°パノラマ画像を用いた 地下空間浸水予測の携帯端末での可視化

廣瀬 詢¹・檀 寛成²・窪田 諭³・尾崎 平³・安室 喜弘³

¹ 非会員 関西大学大学院 理工学研究科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)

² 非会員 ³ 正会員 関西大学教授 環境都市工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号)
E-mail: {k466162,yasumuro}@kansai-u.ac.jp

近年、短時間集中豪雨の多発による都市部での浸水被害に伴い、都市部の地下街での内水氾濫のリスクも増加している。降雨状況から予測される地下浸水被害の解析は進んでいるものの、対象となる地下空間に一般市民に対して、予測される浸水リスクを分かり易く伝達する方法は未解決である。本研究では、写実的なCGで予測される浸水深を表示する方法を提案する。3次元データの配信やCGのレンダリングは、端末での計算や通信の負荷が高くなるため、サーバ側でユーザ位置に合わせた全周パノラマ画像を生成し、HTMLとして配信する。これにより、予測される浸水状況を理解しやすく1人称視点で表現できるだけでなく、周囲を見回して対話的に状況を確認することが可能となる。

Key Words: flood-control measure, panoramic image, laser scanner, SfM, hazard map

1. はじめに

近年、地球温暖化などの影響により、短時間の集中豪雨が頻発する傾向にある。このため、郊外や水辺での浸水被害だけでなく、都市部での内水氾濫による被害も増加している。平成25年8月25日には、大阪市周辺において局地的な短時間豪雨により内水氾濫が発生し、様々な被害を引き起こした。その翌週の平成25年9月4日には、名古屋市近郊において同様の被害が発生している。短時間の集中豪雨により、下水道等の雨水排除能力を時間雨量が上回ったため、溢れた雨水が地上や地下に流入したことによる。

現状の水害対策として、国土交通省は洪水時の浸水予測範囲を公表しており、各市町村では、洪水ハザードマップの普及促進が図られている。しかし、このハザードマップは、平面図上で予測浸水深が程度によって色分けされているのみである。実際に現場各地で起こり得る浸水深の状況は理解し難いことが多く、記載情報も複雑なものとなる傾向がある。したがって、地上からの流入に対する地下での洪水対策も十分とは言えない。実際に全国の一般人を対象に行われたハザードマップ利用に関するアンケートでは、ハザードマップで防災状況を確認したことがあると答えた人は全体に対して31.2%と半数を切る結果となっており¹⁾、ハザードマップが身近な水災害情報となっていないことがわかる。

そこで本研究では、地下水害の予測情報を対話的に可

視化し、一般ユーザ向けのハザードマップの表示インタフェースとなるシステムの開発を目指す。既往の水害シミュレーションと連携し、モバイル端末において、ユーザの立ち位置に合わせて水害リスクを可視化し、災害時の浸水対策・避難準備に役立つ技術の実現を目的とする。

2. 関連技術

(1) 地下空間の内水氾濫予測

尾崎らは短時間集中豪雨に伴う内水氾濫による地下街浸水について、3種類の豪雨の降雨モデルを用いて地上の内水氾濫解析と地下街への浸水解析を行い、地下街の構造を考慮した浸水状況の時系列情報を2次元の地図に表示している²⁾。精度の高い浸水解析により、豪雨規模ごとの地下街への内水氾濫水の流入特性を明らかにし、都市の浸水に対する危険エリアとして、地下空間における浸水対策の計画策定に寄与している。ただし、解析結果は浸水深を時間別に地図上に色分けした簡易表示であるため、施設管理者をはじめ、就労者や訪問者を含む地下空間の一般利用者にとって、発災時に適切な初期行動をとれるように、予測される浸水状況を分かり易く表示する手段が必要である。

(2) 浸水情報の可視化技術

浸水情報を可視化する方法の一つとして、AR

(Augmented Reality) がある。AR は人が外界から知覚する情報に対して、コンピュータ処理を介して追加あるいは削減、変化させる技術である。携帯端末や装着型のディスプレイ上で、見ている対象物に関連する文字や画像を重畳して情報提供するようなサービスに利用される。AR 表示の利点として、使用者が目に向けた対象や方向を検知して、選択的に情報を提供できることが挙げられる。

株式会社キャドセンターは、ハザードマップの内容を実写の映像に合成することができるアプリケーションを開発している³⁾。GPS を利用した位置推定により、ユーザの位置に合わせたハザード情報も表示する事ができる。ハザードマップでの想定津波の高さを視覚的に知ることができ、防災教育や日々の防災への備えとなることが期待される。実写に重ねて合成される浸水情報は、奥行き感が無く空間的な状況を理解し難いという側面がある。また、GPS で現在位置を特定するため、GPS 信号が届かない地下空間では利用できない。

我々は浸水情報を視覚的に分かり易く表現するため、水面と物体との隠蔽関係を考慮した AR による可視化手法を提案している⁴⁾。携帯端末で撮影した画像から抽出される自然特徴点を用いた位置推定により GPS が機能しない環境下に対応した。しかし実際に AR として使用する際には、端末での処理コストや端末移動に対する頑健性に課題が残っている。



図 1：地下空間での予測浸水の AR 表示⁴⁾

3. 提案手法

(1) 概要

本論文では、視覚的に分かりやすい浸水予測を行うだけでなく、モバイル端末の AR 表示のオーバーヘッドの削減にも注力している。既往の研究では、実際の計測に基づいて対象空間の 3 次元モデル上に水面を描き、予測される浸水状況を実際に想像しやすくする視覚表現を提案した。本研究では、この処理に加えて 360° パノラマ画像作成を携帯端末の代わりにサーバ側で行い、ユーザ端

末に送信する。このようなプロセスを採用することにより、ユーザは任意の視点から予測浸水リスクを対話的に見ることができるシステムを提案する。

(2) システム

既往の研究で予測された位置情報に合わせた浸水深を反映させて CG で仮想的な浸水面を描画し、対象空間の 360° パノラマ画像を作成する。図 2 に必要なプロセスを示す。事前準備として対象空間の 3D モデルを作成する。対象空間の画像を網羅的に複数枚撮影し、その画像をもとに SfM (Structure from Motion) を行うことで、対象空間の 3 次元点群を作成することができる。また、既往の浸水解析結果を 3D モデル上に反映させるため、対象空間をレーザスキャナで計測し、実寸の長さを取得する。3D モデル上で任意の点を選択し、GCP (Ground Control Point) として座標値を与えることで、現実空間に即したスケールを与える。得られた 3 次元点群から 3D モデルを生成する方法としては、手作業でポリゴンを編集する方法のほか、メッシュ構造を自動生成する方法が利用できる。この 3D モデルは、対象となる現地の空間において、水面が地物に回り込んだ様子を表現する役割を果たす。すなわち、水面と現地の物体との隠蔽関係を示すことで、浸水の深さが直感的に表現されることが期待できる。

パノラマ画像作成には以下のプロセスを行う。まず CG で浸水面を描画した 3D モデルで視点を決めて全方位レンダリング画像を生成する。CG 空間内でレンダリングを行うことで、対象空間内で実際に起こる浸水イメージを用意することができる。生成した画像をスティーチングソフトで、画像の欠損やゆがみなどがないようにパノラマ画像としてつなぎ合わせることで、任意の視点周りのパノラマ画像が生成できる。生成したパノラマ画像はオーサリングソフトにより、HTML 形式に変換する。HTML ファイルと各種データファイルをサーバにアップロードすることで PC 端末や携帯端末でも閲覧が可能となり、浸水状況の可視化が実現できる。

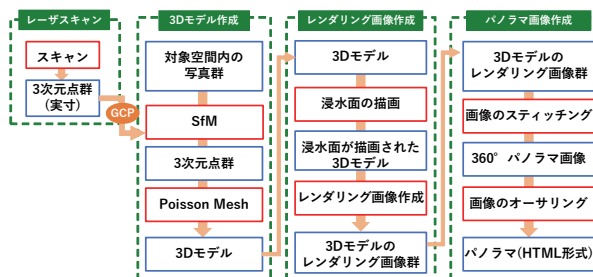


図 2：システム構成図

(3) パノラマ作成のためのレンダリング

優れた性能を有する技術的特徴が提案されて以来、画

像スティッチング技術が劇的に普及している．D. Gledhill⁵⁾やM. Brown ら⁶⁾により，パノラマ画像の作成法が確立された．今では限定された画角で撮影された写真であっても，オーバーラップとスティッチングを確実にして，360°の広角で画像を生成することが可能である．一方，ワンショットで360°の画像を撮影できる特定のカメラも開発が進んでおり，SNS などと写真やビデオを共有することで，画像や視点のインタラクティブな表示が可能な環境も市場に出現している．本研究では氾濫の恐れがある風景表示を増強するために，写実的なCGの360°画像を重ね合わせた氾濫情報とレンダリングし，ネットワーク共有メカニズムを介してユーザーに配布することで，ユーザーが視線方向に応じて浸水深を観察できるように端末上に表示する．

パノラマ画像を作成するには，3Dモデルをレンダリングして，任意の視点で描画する．レンダリング時に任意の画像を作成するには，カメラの周囲の極座標を考慮して視点の方向を指定する．図3に示すように，x軸方向からの傾きを θ ，x-y平面からの傾きを ϕ とすることで，視線方向が一意に定まる．この視線方向をレンダリング画像の中心として指定することにより，任意のレンダリング画像を作成することができる．画像の重なりは，視線方向のレンダリング画像とカメラの設定された画角との間の角度間隔に従って変更することができる．

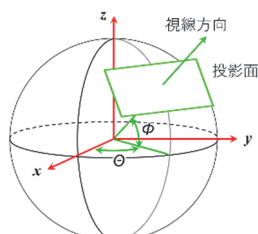


図3：レンダリングのための視線方向の配置

4. 実装実験

本研究では，地下構造となっている阪急電鉄関大前駅の南改札口を対象空間とし，GoPro HERO5を用いて現地の撮影を行った．撮影した画像394枚に対してSfMソフトウェアであるPix4Dで3次元復元を行った．今回は対象空間内にスキャナであるFocus3D (FARO 製)を3か所設置して計測した．計測したスキャンデータを統合することで実寸を持った対象空間内の3次元のデータを取得した．その後，SfMで得られた3Dモデル内で数点GCPを設定し，既往の浸水解析結果と対応付けるために3次元点群を実寸のスケールに合わせた．SfMによって得られた3次元点群をフリーの点群レンダリングソフトであるMeshLabに実装されているポアソンメッシュにより

ポリゴンモデル化し，テクスチャ付きの3Dモデルを生成した．開発環境にはMicrosoft VisualStudio2010を用い，浸水面描画とレンダリング画像作成にはOpenGLとOpenCVを利用して，浸水面を描画したモデル内で視点を設定し，任意の地点からの全方位レンダリング画像を作成した．指定した視線の方向と視野でレンダリングする際に，オーバーラップを確保するため，カメラの水平画角を80°，画像のアスペクト比を4:3に設定した．これにより水平方向，垂直方向で約30°ずつ，画像の約半分程度をオーバーラップさせることができる．最終的に任意の地点毎に35枚のレンダリング画像を使用した．得られたレンダリング画像群をスティッチングソフトウェアであるPTGui Pro (New House Internet Services BV)を用いて図5のようにつなぎ合わせた．作成されたパノラマ画像は図6のように正距円筒図法により表現されており，この画像をオーサリングソフトであるPanotour Pro 2.5 (Kolor)により，HTML形式に変換した．このファイルは，javascriptとFlashの機能により，Webサーバにアップロードすることで，端末のジャイロセンサにより端末の向きに反応したり，タッチ操作で拡大などをしながら閲覧可能なパノラマ画像として表示される．

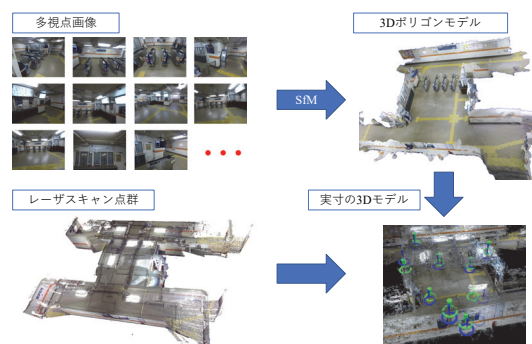


図4：災害現場イメージと3Dレーザースキャナ観測画像

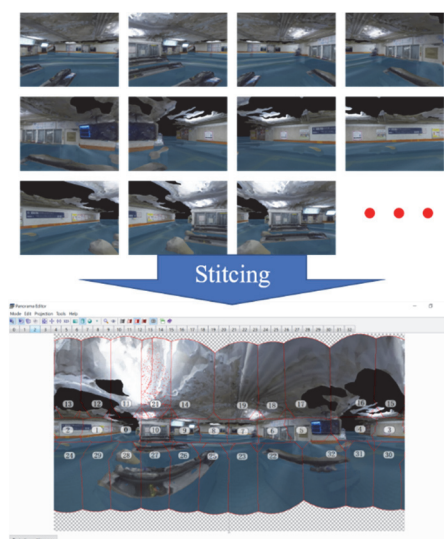


図5：レンダリング画像のスティッチング例

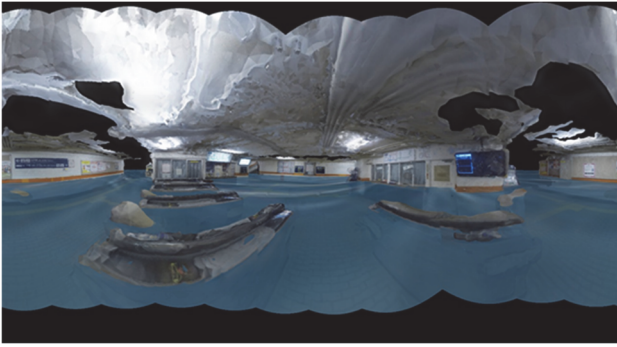


図6：作成されたパノラマ画像

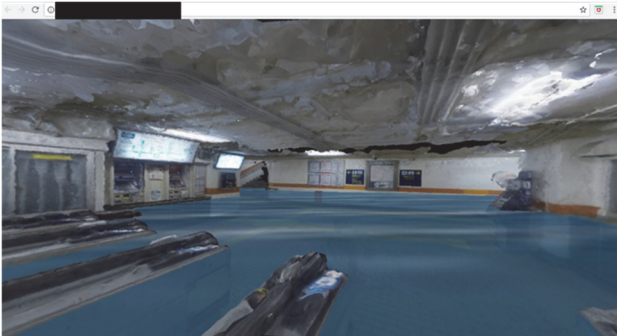


図7：パノラマ画像の表示例

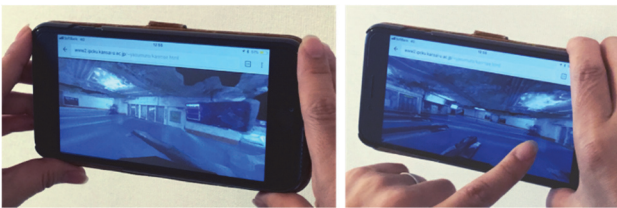


図8：端末上で表示した例

5. 考察

本研究では任意の視点についてパノラマ画像の作成と参照が可能となった。事前に対象空間の3次元情報が必要なものの、作成した3Dモデルに浸水面を描画することで、壁面や改札機などの地物に水が回り込んだ浸水状況が表現できている。また、浸水深もレンダリングする際に定量的に変更可能であり、雨量と場所によって変化する予測浸水深に合わせて表現することができる。本来パノラマ画像を作成する際には、雲台等にカメラを設置し、カメラ位置を固定するなど、特別な撮影方法が用いられるが、本研究ではCGに基づいてパノラマ画像を作成しているため、特別な撮影方法無しに、様々な視点を中心としたパノラマを作成することができた。今後は地下空間内での方角情報などをもとにしてどちらから水が流れてくるかなどの空間的表現や、仮想的な避難誘導表示の作成などが課題として挙げられる。またパノラマを静止画でしか作成していないが、シミュレーションなどに対応させるためにビデオパノラマなどの表現方法にも注目する必要があると考えている。

6. おわりに

本研究では対象空間の3次元形状復元を行った3Dデータをもとにして、予測される浸水状況をパノラマ画像により可視化する技術を提案した。これにより一般ユーザは、任意の視点を選択することで、その地点によるパノラマ画像を端末上で閲覧することができる。それにより既往の研究で解析された浸水情報の公開に寄与することができると考えられる。

今後は、先行研究で行ったARシステムとの融和により、ユーザ端末の撮影画像から任意の撮影視点・方向に合わせたパノラマ画像を表示する方法や、浸水解析で得られる流量の情報をもとに、実際に想定される被災情報に近い表現方法を検討する予定である。

謝辞：本研究の一部は、関西大学先端科学技術推進機構研究グループの助成およびJSPS 科研費(16H05000)の助成による。

参考文献

- 1) 内閣府大臣官房政府広報室：平成21年度防災に関する世論調査、調査結果の概要、防災に関する特別世論調査、<<https://survey.gov-online.go.jp/tokubetu/h21/h21-bosai.pdf>>,(2018/06/12 参照)
- 2) 尾崎平 ほか：短期間集中豪雨の伴う内水氾濫による地下街浸水特製の考察、土木学会論文集 B1(水工学), Vol.70, No.4, pp.1.1417-1.1422, 2014.
- 3) 廣瀬詢 ほか：レーザスキャンデータを用いたマーカレスARによる地下空間浸水予測の可視化、土木学会論文集 F3(土木情報学), 73 巻 (2017) 2 号, p.1_365-1_371, 2017
- 4) 株式会社キャドセンター：AR ハザードスコープ、<<http://www.gsi.go.jp/common/000096315.pdf>>,(2018/06/12 参照)
- 5) Duke Gledhill, Gui Yun Tian, Dave Taylar, David Clarke : Panoramic imaging—a review, Computers & Graphics, Vol. 27, Issue 3, pp.435-445, 2003.
- 6) Matthew Brown and David G. Lowe : Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features, International Journal of Computer Vision, Vol. 74, Issue 1, pp. 59-73.
- 7) 2006 PTGui Pro : <<https://www.ptgui.com>> (2018/06/12 参照)
- 8) Panotour: Kolor, <<http://www.kolor.com/panoyour>> (2018/06/12 参照)