

レーザスキャン点群の 360°パノラマ化による 大阪地下空間における浸水予測の AR 可視化

安室 喜弘¹・廣瀬 詢²・檀 寛成³・窪田 諭¹・尾崎 平⁴・石垣 泰輔¹

¹正会員 関西大学教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号)

²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)

³非会員 ⁴会員 関西大学准教授 環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号)

E-mail: {yasumuro, dan, skubota, ozaki_t, ishigaki}@kansai-u.ac.jp

頻発する短時間集中豪雨により、都市部の地下空間では局所的な内水氾濫のリスクが増加している。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、地下空間の滞在者に対する浸水リスクの伝達手段は未解決である。本研究では、予測浸水深の分布に基づいて、地下空間での局所的な浸水リスクを AR (拡張現実) 表示する技術を提案する。計測効率を最適化したレーザスキャンを実施し、得られる高密度スキャン点群から 3 次元浸水シーンの全周パノラマ画像を直接生成して Web 配信することにより、端末での計算や通信の負荷を必要とせず、予測される浸水状況を 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。本稿では、本手法を大阪梅田の地下街にて適用した事例についてその有効性を報告する。

Key Words: underground inundation, panoramic image, laser scanning, augmented reality

1. はじめに

近年、局地的豪雨の頻度の高まりに伴い、非都市部での河川の氾濫だけでなく、都市部での内水氾濫による浸水被害が増加している。平成 30 年は台風 7 号などの影響により、西日本を中心として全国的に広い範囲で集中豪雨が発生し、内水氾濫や土砂災害など様々な水害を引き起こし 200 人超の死者が出るなど、気象変動が顕著となっている現在においても、豪雨による危険性が再認識されることになった。また、集中豪雨における時間当たりの降雨量も増加傾向にあるため、都市部でも下水道等の雨水排除能力を時間降雨が上回り、溢れた雨水が地上や地下に流出し、冠水するケースが散見される。水害への対策として、国や自治体による河川整備や治水施設の整備などハード面で様々な取り組みがなされているが、ソフト面での自助努力や共助努力も必要となっている。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ため、実際に各地の現場で起こり得る浸水状況は容易に理解し難いことが多く、記載情報も複雑なものとならざるを得ない傾向がある。

地下空間での防災情報は、所有者や管理者による避難確保計画や浸水防止計画等の対策に委ねられるため、規模の大きな地下街であっても、地方自治体が作成するハザードマップとは区別して扱われている²⁾。地下空間では、ひとたび浸水が発生すれば、殊更迅速な対応が求められるため、浸水リスクの程度や進行の分布を伝達できる仕組みが必要である。

本研究では、地下空間内で予測される浸水の程度を、ユーザ視点で提示する手法の実現を目的とする。具体的には、既往の水害シミュレーションで予測される浸水深から、浸水面と物体との隠蔽関係を AR (Augmented Reality; 拡張現実) で速やかに表示し、モバイル端末で見回せるように提示することで、浸水対策や避難準備に資することを目指す。

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、総降雨量 180mm で時間雨量 (降雨強度) を 60, 120, 180mm/hr と仮定した 3 種類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

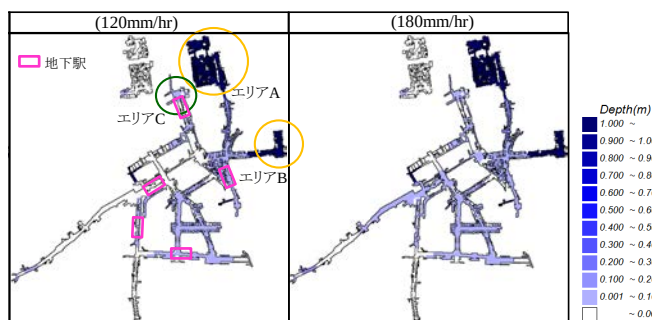


図-1 降雨終了後の地上時の浸水状況の例⁴⁾

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³⁾。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。また、地下鉄網を考慮した複合的な地下構造としての浸水解析も進められている⁴⁾。ただし、いずれも解析結果は、予測される浸水深を時間別で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) 地下空間における位置推定技術

閉塞的な地下空間において災害が発生すると、その進行の速さや、行動判断が空間内の場所によって異なることが多い。規範屋内や地下空間のようにGNSSの衛星信号が使えない場所でのロケーション技術については、各種方式が提案されている。ビーコンを用いた位置推定では、iBeaconのように複数のビーコンを用いたサービスがあり⁵⁾、その電波伝達によりビーコン端末と携帯端末の距離を識別し、ユーザの現在位置を推定する。iBeaconではBLE (Bluetooth Low Energy) の通信規格が確立されている。BLE搭載の機器でないと使えないほか、ビーコン等の機器を新たに整備する必要がある。無線LANを用いた位置推定手法では、基地局の情報があれば、屋内や地下を問わず様々な場所で利用が可能になる⁶⁾。無線LANを用いた既存の推定手法には近接性方式、三転測量方式、環境分析方式などがあるが、事前に対象領域でFinger pint と呼ばれる電波強度のマップを作成する必要がある。

端末カメラで撮影される画像の特徴点を利用する方法ではPnP (Perspective-n-Point) 問題⁷⁾を解くことでカメラの撮影位置の情報を推定できる。これは、画像の2次元座標と被写体の3次元座標との対応から、カメラの位置・姿勢を求めるものである。一般的に、この手法では、画像に含まれる自然特徴点が多いほど得られる位置情報は頑健であるが、計算コストが多くなる。また、被写体

の3次元座標を参照できる情報を用意する必要がある。

画像中の自然特徴点ではなく、文字情報を使った撮影位置の推定方法も提案されている⁸⁾。ユーザの端末で撮影された画像に含まれる複数の文字列情報を抽出し、それらの見える方向を再現する立ち位置を算出することで、ユーザの撮影視点を推定する。この方法では、ビーコンやWi-Fiなどの機器整備を必要とせず、ユーザはサーバ側に写真を送信するだけで利用できることから、地下空間のような既存空間への適応が期待できる。また、災害時の利用を考えた時、電気が止まり停電した際にも、携帯端末のフラッシュを使うことで文字情報さえ取得できれば対応できる。ただし、対象空間で観測される文字列情報に対して、その3次元位置を割り当てて登録しておくという事前準備が必要である。

(3) 浸水情報の可視化技術

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映像に合成表示できるアプリケーションを提供している⁹⁾。GNSSによりユーザの位置に合わせて各種ハザードマップの情報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。しかし、実写に重ねて表示浸水情報は、奥行き感が無く、空間的な状況を理解し難い表現である。また、GNSSが機能しない地下空間では同様には利用できない。

筆者ら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による可視化手法の開発を進めてきた¹⁰⁾。端末カメラ画像の自然特徴点を使って実像と仮想像の精緻な位置合わせを行う方法では、端末への計算負荷のため実時間動作が難しい。そこで、地下空間内でのフロアや区画を特定できる粒度での位置情報であれば、前節で述べた屋内定位方式による位置情報が利用可能であり、浸水リスクの理解や避難行動に繋がると考えた。代表的な地点で周囲を見渡した360°パノラマ画像として、浸水予測リスクをAR表現しWebサーバから、端末が閲覧できるようにすることにより、この画像情報をユーザは軽微なオーバーヘッドで閲覧できる手法を提案している¹¹⁾。ただし、360°パノラマ画像

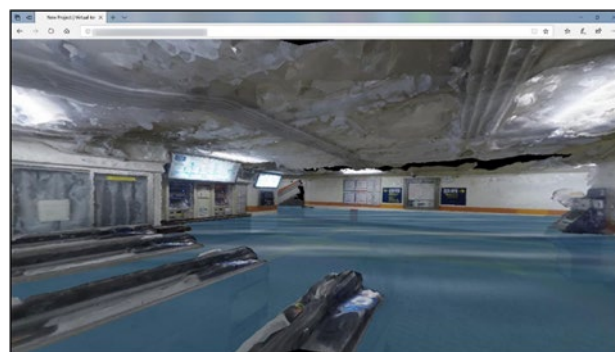


図-2 地下空間（駅構内）での予測浸水のAR表示⁷⁾

を生成するための現地での形状計測や写真撮影によるデータ収集にかかる労力や、3次元モデル作成の計算コストが課題として残されている。

3. 提案手法

(1) 概要

レーザスキャナの普及により、実物体を3次元計測した形状データは、デジタルツインとも呼ばれ、活用が広がっている。3次元データの取得操作は容易になったものの、網羅的かつ効率的なスキャンのノウハウや、点群データからCAD等の3Dモデル化の煩わしさがネックとなっている。

本研究では、3次元モデルを周到に用意する代わりに、レーザスキャンで得られるカラー3次元点群だけで環境をCG化することを考える。そのために、現地でのスキャンにおいて網羅的かつ点群密度を見積もった最適な計測計画を導入する。そして、既往の浸水解析の研究⁴⁾で予測された浸水深を反映させた仮想的な浸水CGで対象空間の360°パノラマを表示する。図-3に概略を示す。まず点群データ中に浸水面を設定し、ユーザ視点を決めて全方位レンダリング画像を生成する。この視点としては、地下空間の通路上で、歩行者の代表的な頭部位置を離散的に設定しておく。地下空間の現場で利用可能なロケーション技術により、最寄りの代表視点が選択されるものと想定する。同一の空間で地物を表現する点群と浸水面をレンダリングすることで、水面と地物との隠蔽関係が保たれ、浸水深が直感的に表現されることが期待できる。

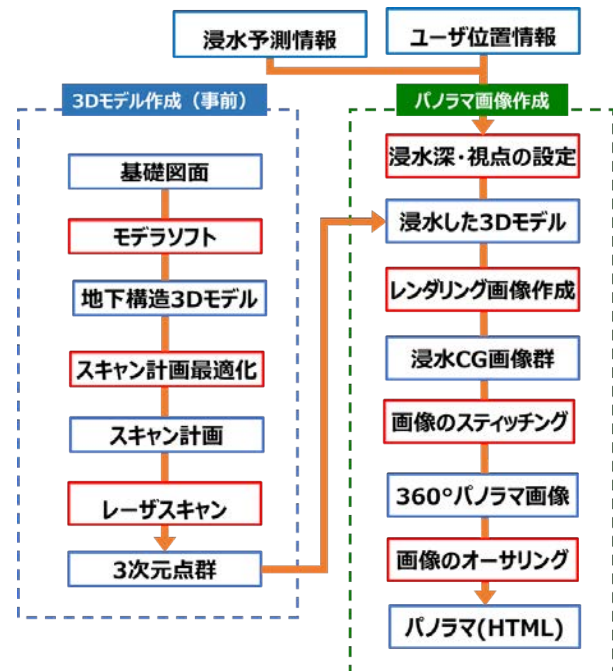


図-3 提案手法の手順構成

ここでは天球を分割してレンダリングした画像を繋ぎ合わせる処理により360°パノラマ化する。その後、生成したパノラマ画像を、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。

(2) 数理計画法によるスキャン計画の最適化

事前にスキャナの効率的な計測計画を行う方法として、筆者らは、現場を簡易的に3次元ポリゴンメッシュ化した形状モデルを用いる方法を提案している¹²⁾。具体的には、簡易的な現場の3次元モデルでスキャナの設置場所と被写体との可視性をチェックしながら、数理計画法により最も効率よく計測できるレーザスキャナの設置回数と配置を求める。以下ではこの手法における数理計画問題としての定式化について概説する。ここで用いる数理計画問題は2つの0-1整数最適化問題で構成される。以下の記号を用い、(1)、(2)のように定式化される。

【添字と集合】

$i \in I$: スキャナ設置候補点とその集合

$j \in J$: 計測する物体表面を構成する三角形メッシュとその集合

【変数】

$x_i := \begin{cases} 0, & \text{候補点}i \text{ を設置点として採り入れない} \\ 1, & \text{候補点}i \text{ を設置点として採り入れる} \end{cases}$

【パラメータ】

$d_{ij} := \begin{cases} 0, & \text{三角形}j \text{ は候補点}i \text{ から計測不可能} \\ 1, & \text{三角形}j \text{ は候補点}i \text{ から計測可能} \end{cases}$

$a_{ij} := \begin{cases} 0, & d_{ij} = 0 \\ i \text{ から計測できる}j \text{ 上の点の数}, & d_{ij} = 1 \end{cases}$

r : 測定回数の上限

【問題1】

$$\text{minimize } \sum_{i \in I} x_i \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{i \in I} d_{ij} x_i \geq 1 (\forall j \in J)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad (\forall i \in I)$$

【問題2】

$$\text{maximize } \sum_{i \in I, j \in J} a_{ij} x_i \quad (2)$$

$$\text{subject to } \sum_{i \in I} d_{ij} x_i \geq 1 (\forall j \in J)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \geq r,$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad (\forall i \in I)$$

ここで、問題1で対象を網羅するための最低計測回数を求め、問題2では与えられた計測回数で対象のスキャン

量を最大化する計測位置を求める．計測視点 i から対象表面 j について可視性の判定 d_{ij} とスキャン数 a_{ij} の値を計算するためには，計測対象および周辺の 3D 形状モデルを用意して，各計測候補地点から対象表面の可視性を調べる．先行文献では事前踏査により撮影した写真から写真測量ソフトなどにより 3D メッシュモデルを作成し，前述の可視性の判定 d_{ij} とスキャン数 a_{ij} の値を計算していたが，本稿の対象となる地下構造物では，図面が利用できるため，図面を基にモデリングソフトにて概形を起こして 3次元モデルを用意できる．

(3) パノラマ作成のための 3 次元 CG レンダリング

本研究では，予測される浸水シーンを 3次元空間で構成しているため，CG として任意の視点・画角でレンダリングが可能である．しかし，画角 360°の投影は特殊であるため，通常の CG 描画用 API が対応していないことから，本稿では，全地球を分割してレンダリングした複数の CG 画像を，画像の欠損や歪みなどがないように，パノラマ画像として繋げる方法を使う．

画像の照合が頑健に行える優れた自然特徴量が提案されて以来，画像を繋ぎ合わせるステッチング技術が急速に普及している．パノラマ画像の作成法は D. Gledhill¹³⁾ や M. Brown¹⁴⁾ により確立され，限定された画角で撮影された写真であっても，オーバーラップが確保されていれば，ステッチング処理により 360°の広角画像を生成することが可能である．

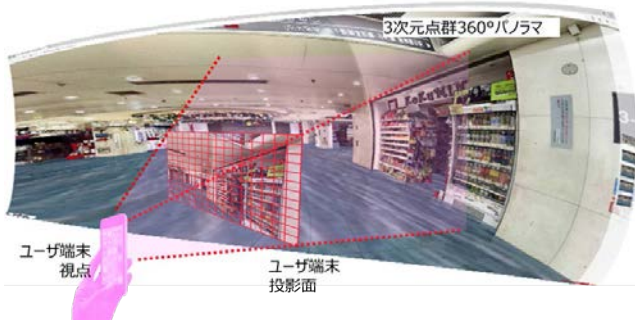


図-4 パノラマ画像とユーザー端末視野との関係

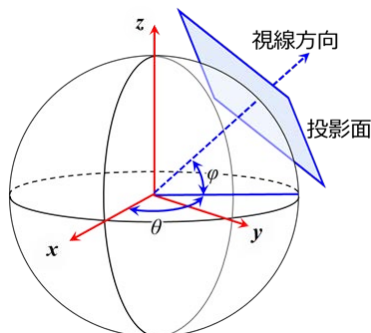


図-5 レンダリングのための視線方向

本研究では，図-4 に示すように，実環境を計測して得た 3次元点群と浸水情報と融合し，CG により 360°画像として写實的にレンダリングし，ネットワークを介して配布することで，ユーザ端末の視線方向に応じて浸水深を観察できるように表示する．任意の視点で 3次元点群を CG として描画するために，図-5 に示すように，カメラを原点とする極座標を使って視線の方向を指定する． x 軸方向からの傾きを θ ， xy 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レンダリング画像を作成する．パノラマ画像の作成に必要な画像の重なりは，視線方向の間隔と画角の設定によって決定できる．

4. 実測と実装

大規模地下街である大阪市北区の Whity 梅田内（図-6）にて，プチン通りに対して本手法の適用を図った．対象区域は約 170m あまりの長さで，既往の浸水解析では Whity 梅田内でも早く浸水が始まると予測されている．レーザスキャナ Focus3D (FARO 製)での計測に先立って，スキャナ配置を最適化した計測を計画した．事前に図-7（上）に示す対象空間の平面図面から取得したフロアの外形に，SketchUp (Trimble 社)を使って天井の高さを付与する形で 3D モデルを作成した（図-7（下））．このモデルを MeshLab¹⁵⁾を用いて，約 4000 程度のメッシュに細分化し，床面の頂点 333 箇所をスキャナ設置候補とした（図-8 参照）．各候補位置から各メッシュの可視性の判断と，目的関数であるスキャン密度の最大化計算をソルバソフト IBM ILOG CPLEX (IBM) を用いて，図-9 に示す 15 か所を最適解として得た．尚，この最適解は，1000 から 5000 前後のメッシュ数のモデルとその床面の頂点をスキャナ設置候補とした複数の条件を試した結果である．図-9 に示すように，約 1cm 平方当たり 1 点以上



図-6 対象エリア（赤枠内の Whity 梅田プチン通り）
(<https://whity.osaka-chikagai.jp> を一部改編して引用)

のデータ密度が予測され、これは数m離れた携帯電話画面（HD 解像度）上で数ドット間隔に相当することから、十分な計測密度と判断し、この計画を採用した。また、スキャナ設置が 20 箇所を超えるような解は、現場での時間の制約から、採用しなかった。スキャナによる実測では、分解能 1/5、品質 4x とした設定で行い、得られた点群データはスキャナ付属のソフトウェア SCENE (FARO 社) により 1 つのデータに統合し、対象区域全体の点群データを取得した（図-10）。この点群に対して、浸水面を描画し視点を設定し、任意の地点からの全方位レンダリング画像を作成した。開発環境として 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 を利用した。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、画像の約半分程度がオーバーラップする。図-11 に示すように、最終的に各地点毎に 25 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 PTGui Pro (New House Internet Services BV 社製)¹⁶を用いて図-12 のように繋ぎ合わせた。作成されたパノラマ画像は正距円筒図法で表現されており、この画像をオーサリングソフト Panotour Pro 2.5 (Kolor 社製)¹⁷により、HTML 形式に変換した。図-13 に示すように、このファイルを Web サーバにアップロードすることで、ウェブブラウザさえあれば 360°パノラマ画像の任意の方向を開

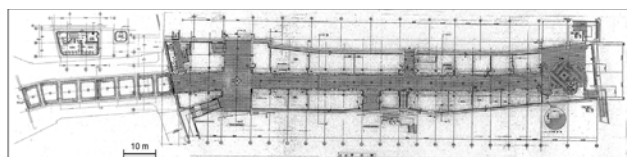


図-7 現地構造の図面（上）と作成した3次元モデル（下）

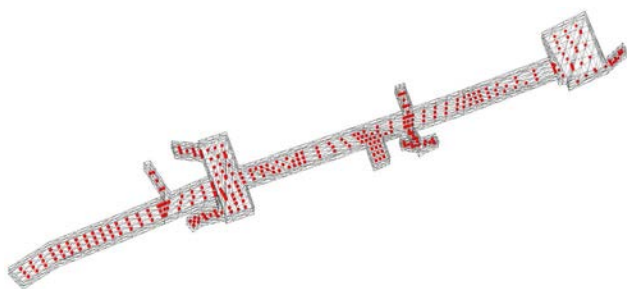


図-8 現地内壁形状メッシュとスキャン設置候補位置（赤点）

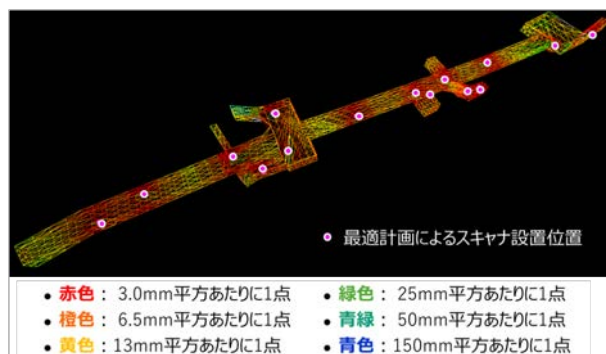


図-9 得られたスキャン計画と予測されるスキャン密度の分布



図-10 スキャン結果：全体（上）と矢印から見た内部（下）

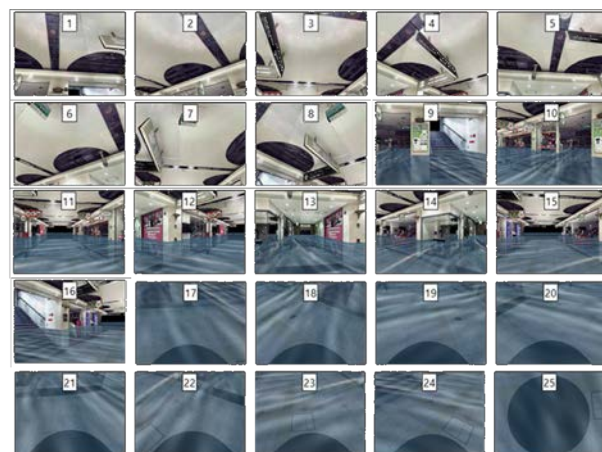


図-11 天球を 25 分割して点群をレンダリングした画像例

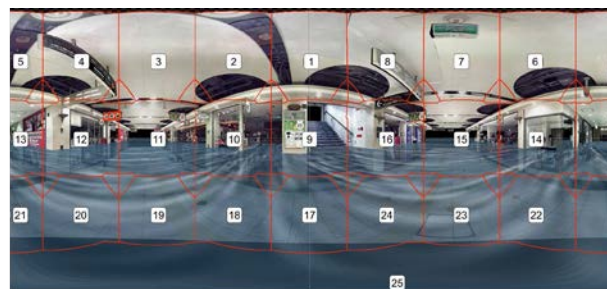


図-12 図-11 のレンダリング画像をスティッチングした例

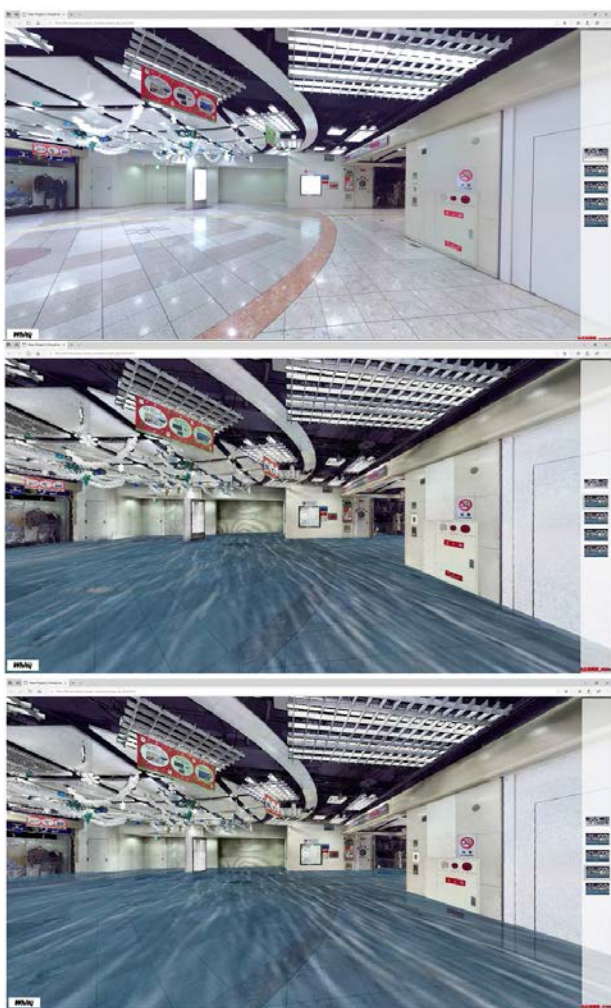


図-13 尾崎らの解析結果³⁾のパノラマ画像例（北の広場）：
降雨開始後0秒（上），4500秒（中），5100秒（下）



図-14 フロアマップと連動する画面：拡大図中のカメラアイコンをクリック（タップ）すると視点移動が可能である。

覧できる。この図では、平成20年8月末豪雨での岡崎市における降雨パターンを想定した結果を示している。携帯端末では、指先でのピンチ動作による拡大・縮小表

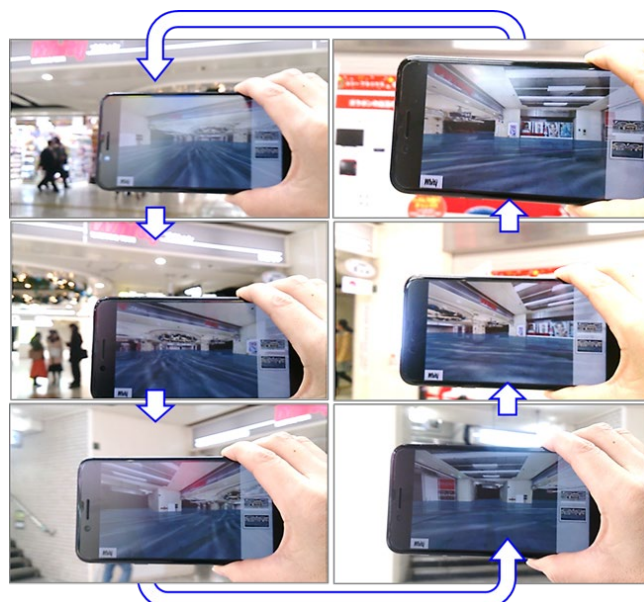


図-15 現地にて端末で向きを変えながら表示した例

示や、図-14のように、フロアマップ上の16か所の代表地点をタップして視点を選択することも可能である。また、JavaScript と Flash の機能により、携帯端末のジャイロセンサと同期させ、図-15のように、現地で端末をかざした方向に合わせて、遅延なくスムーズにパノラマを見渡すことができる。

5. 考察

本研究では、サーバ処理によって各視点について浸水リスクを示すパノラマ画像の作成し Web コンテンツとすることで、携帯端末クライアントからは軽微な処理で浸水予測情報を参照が可能であることを示した。事前に対象空間のレーザスキャン計画を最適化しておくことにより、均一に高密度のカラー3次元点群を取得することができるため、点群のままサンプリングしてCG化すればパノラマが生成でき、仮想的な水面との奥行関係も正確に表現されるため、浸水深による被害の程度が明確になることが分かった。実測時にスキャンデータが正確な実スケールを持っているため、画像測量のように対地評定の必要もない。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適切に表現することができる。

浸水の表現としては、水や漂流物の動きが重要となる動的なシーンの表現や、AR表示を有効に活用した避難誘導表示などが、今後の課題である。また、現場が賑やかな地下街であることから、店舗と来訪者とのコミュニケーションやストリートビューのようなナビゲーションのツールとしての普段の活用手段と、非常時の情報共有手段とを共存させる取り組みの検討も必要である。

6. おわりに

本研究では、3次元レーザスキャンにより得られるカラ点群データを直接利用することにより、予測される浸水状況をパノラマ画像により写實的に可視化する技術を提案し、スキャン作業の効率化と直結させた運用方法を示した。携帯端末クライアントからは、Webコンテンツとして画像にアクセスだけで、パノラマのAR表現で各場所での浸水状況を確認することが可能となった。既往研究で解析された浸水情報を一般に還元する方法の一助になるものと考えられる。

今後は、大規模地下街を対象として、既往の位置推定技術と本システムと連携させ、ユーザの現在位置に合わせた水害リスク情報を動的に表示するWebアプリケーションの実装を予定している。

謝辞

本研究の実施に際し、現場での計測に多大なご協力をいただいた大阪地下街株式会社に謝意を表する。

参考文献

- 1) 気象庁:大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html>, (2020/06/30 参照)
- 2) 朝日向猛ほか:地下街等における避難確保・浸水防止対策の取り組み,国土技術研究センター JICE report (33), pp. 2-9, 2018.
- 3) 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. I.1417-I.1422, 2014.
- 4) 寺田 光宏ほか:密集市街地における内水氾濫時の地下鉄浸水に関する検討,土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 72, No. 4, pp. I.1357-I.1362, 2016.
- 5) 岩見泰周ほか:複数 iBeacon を利用した位置精度向上の検討,情報科学技術フォーラム講演論文集 14(4), pp.309-310, 2015.
- 6) 藤田迪 ほか:地下鉄構内の制約条件を利用した無線 LAN 位置推定手法,情報報告(UBI)66, pp.153-157, 2008.
- 7) Richard Hartley and Andrew Zisserman : *Multiple View Geometry in Computer Vision (2 ed.)*, Cambridge University Press, New York, SA, 2003.
- 8) 安室喜弘 ほか:文字認識と SFM による携帯端末ユーザの自己位置推定,2017 年度土木情報学シンポジウム講演集, vol.42, pp.243-244, 2017.
- 9) 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>>, (2020/06/30 参照)
- 10) 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), Vol.73, No. 2, pp. I.365-I.371, 2017.
- 11) 廣瀬 詢ほか: 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,土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol. 74, No. 2, pp. I.153-I.158, 2018.
- 12) 北田 祐平 ほか: SFM と MVS に基づいた現場のモデル化によるレーザスキャン計画の最適化とその運用,土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.71, No. 2, pp. I.169-I.175, 2015.
- 13) Duke Gledhill, Gui Y. Tian, Dave Taylor, David Clarke: Panoramic Imaging a Review, *Computers & Graphics*, Vol. 27, Issue 3, pp.435-445, 2003.
- 14) 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.
- 15) Meshlab: <<http://www.meshlab.net/>>, (2020/06/30 参照)
- 16) 2006 PTGui Pro : <<https://www.ptgui.com/>> (2020/06/30 参照)
- 17) Panotour: Kolor, <<http://www.kolor.com/panoyour>> (2020/06/30 参照)

AR VISUALIZATION OF UNDERGROUND SPACE INUNDATION PREDICTION USING 360° PANORAMIC IMAGES WITH SCANNED POINT CLOUD

Yoshihiro YASUMURO, Hiroshige DAN, Satoshi KUBOTA, Taira OZAKI, and Taisuke ISHIGAKI

Recently, due to the inundation damages in urban areas caused by frequent torrential rainfalls in the short-time, the risk of flooding in the underground malls in urban areas is also increasing. Analysis of groundwater flooding damage predicted from the rainfall situation has been progressing. However, communicating the expected risk of inundation to the general public in the target underground space is unresolved. This paper proposes a method to display the predicted depth of flooding with graphical 3D CG (Computer Graphics). Distribution of 3D data and rendering of CG increase the load on calculation and communication at the terminal, so the server generates an all-around panoramic image matched with the user's position and distributes it as HTML (Hyper-Text Markup Language) for regular web access in the proposed method. This method makes it easier to understand the predicted inundation situation. It can be expressed from the first-person perspective, and it is possible to check the status interactively by looking around the surroundings. This paper shows our method's effectivity by experimental implementation at an actual railway station facility in underground and inundation simulation results based on assumed heavy rainfalls of past data in Osaka city.