

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：35302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04003

研究課題名(和文) 家屋浸水時の状況を3D表示できるインターネットサービスの開発

研究課題名(英文) Development of an internet service to display flooded scenes by 3DCG

研究代表者

島田 英之 (Shimada, Hideyuki)

岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号：70268598

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：平成30年7月豪雨では、岡山県倉敷市真備地区において、浸水ハザードマップによる危険性が十分に認知されず屋内にて多くの犠牲者が出た。本研究では、MMS (Mobile Mapping System, 移動計測車両) で真備地区を走行して得た点群から広域3Dシーンを構築してインターネットで配信し、現実の標高に基づく詳細な浸水状況を3D表示できるWebサイトを開発した。利用者は、容易な操作で3Dシーン中に車や人のモデルを配置し、浸水した道路の歩行や、冠水時のアンダーパスの通過にどの程度の危険が伴うかを視覚的に確認できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

広域をレーザスキャンして得た膨大な3D点群から面を生成して3Dモデルを構築するには、通常は人手による作業を要するため、新規の3Dモデル作成やその後の更新は容易ではない。本研究は、MMSで道路を走行して得た高密度の3D点群を様々な処理し、インターネットで配信可能な3Dシーンにまで自動変換する一連の技術を含み、3D点群データ処理技術としての学術的意義がある。また、多くの地域の3DモデルがWebブラウザで配信されることで、身近な地域で発生しうる浸水状況をリアルに確認でき、防災意識が高まるという社会意義がある。

研究成果の概要(英文)：During the heavy rains of July 2018, many people were killed indoors in the Mabi district of Kurashiki City, Okayama Prefecture, due to the lack of awareness of the dangers caused by flood hazard maps. In this study, we developed a website that can display detailed flood conditions in 3D based on the actual elevation by constructing a wide-area 3D scene from point clouds captured by driving through the Mabi district using a mobile mapping system (a mobile measurement vehicle) and distributing it on the Internet. Users can easily place a model of a car or a person in the 3D scene and visually check the degree of danger involved in walking on a flooded road or passing through an underpass when flooded.

研究分野：地理情報処理

キーワード：浸水 3D表示 インターネット Webブラウザ MMS Mobile Mapping System

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 平成30年7月豪雨では、岡山県倉敷市真備地区において多くの尊い人命が失われた。ほぼ正確な浸水状況を示すハザードマップが整備されていたにもかかわらず、十分に認識されていなかったことも一因といわれる。そこで、水害は自分ごとという認識を促すための取り組みとして、その場の浸水状況を疑似体験できるARアプリケーションが普及している[1]。一方で、広域の浸水シミュレーションについては、国交省主導のPLATEAU[2]にて精緻な3D都市モデルを活用した浸水シミュレーションが公開されているが、3D都市モデルが整備されているのは一部の都市に限られるため、3D都市モデルの未整備地域や、3D都市モデルの大幅な更新が必要な地域については何らかの手段でデジタルツインを実現することが期待される。

(2) 道路を通常走行できるMMS (Mobile Mapping System, 移動計測車両)を用いて計測した膨大な3D点群のデータ量を効率よく削減し、面張りして生成した広域3Dシーンをインターネットで配信するための枠組みが確立されていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、MMS (Mobile Mapping System) で道路を走行して計測した膨大な3D点群から手作業によらず3Dシーンを構築し、インターネットで配信して広域の浸水状況を表示するWebサイトを開発することを目的とする。岡山県倉敷市真備地区の広域3DシーンをWebブラウザにより操作し、仮想的な水面を設定し、シーン中に自動車や人のモデルを設置して浸水深による危険度を視覚的に表示できるようにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) MMSによる3D点群取得

国土地理院作成の倉敷市真備町周辺の浸水推定段彩図[3]を元に、浸水域を通過する主要な道路をMMSにより走行し、3D点群を取得した。計測は、2019年10月と2020年3月の2日間に分けて行われた。3D点群取得に使用した三菱電機社製のMMS type-Kは、レーザスキャナとしてSICK社製LM8511を2台搭載し、それぞれが走行方向の斜め上、斜め下方向を分担する。スキャン周波数100Hzにより0.667°刻みでスキャンする設定を用い、走行後の後処理により、レーザスキャナ、カメラ、GNSS、IMU等の情報を統合し、1秒間あたり最大57,200点の3D色付き点群が得られる。3D点群は、1点ごとに3次元座標、レーザ反射強度、RGB色情報、GNSS時刻を含み、これを合計100走行シーン分、約5億7千万点取得した。

浸水推定図にMMSの全走行軌跡を重畳したものを図1に示す。浸水域をほぼ網羅していることが分かる。なお、図1の実寸は、縦が約5.9km、横が約6.7kmである。

また、MMSでの走行に伴い、3D点群とは別にMMSの走行軌跡が10Hzで記録される。走行軌跡の各点には、3D点群と同じく時刻と3次元座標が含まれており、時間と空間を大まかに対応付ける指標になる。走行軌跡により3D点群の絞り込みが容易になり、前処理や描画での判定処理が軽減される。

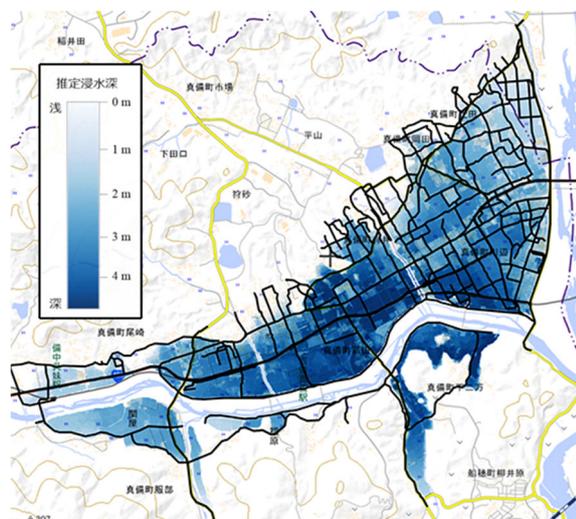


図1 浸水推定段彩図[3]とMMSの全走行軌跡(黒線)

#### (2) スキャンラインへの分割

MMSが連続的にレーザスキャンした点群を1スキャンごとに分割し、インデックスファイルを別途作成してスキャンライン単位のアクセスを容易にする。MMSで用いられるレーザスキャナは、扇状のエリアをスキャンするものや、1台で全周を連続スキャンするものなど機種によって方式が異なるので、方式に応じた手法で1スキャン単位に分割して3D点群をグループ化する。前者の場合は隣接する点群の時刻の間隔に基づきスキャンを分割する。後者の場合は走行軌跡を鉛直に下ろして螺旋状に連続したスキャンとの交点を計算することで、スキャンを分割する。以下では、スキャンラインの単位で各種処理を行ってデータ量を削減する。

#### (3) スキャンラインの間引き

MMSは信号待ちなどもしつつレーザスキャンするので、スキャンラインの密度に粗密が生じる。

そこで、単位距離あたりの密度が一定になるようにスキャンラインを間引く。そのためには、間引きたい距離間隔に走行軌跡を再標本化し、この走行軌跡が含む各点の時刻に直近のスキャンラインを残すことで、隣接するスキャンラインの距離がほぼ等間隔になるよう間引く。

#### (4) トリミング

MMS のレーザスキャナは通常、その性能に応じて数十～数百 m 先までのスキャンを行うので、MMS を中心とした道路周辺の主要な点群のみを残す。各スキャンラインを、その直近の走行軌跡に鉛直な平面に対して投影し、走行軌跡を原点とした上下左右の範囲の点のみを残すことで順次トリミングを行う。

#### (5) スキャンライン内の点間引き

スキャンライン内の 3D 点群は高密度なので、直線的な区間の点を間引く。折れ線の単純化手法には、折れ線形状の許容値を基準に点を間引く Douglas-Peucker 法[4]を用いる。ただし、直線的な部分の点を全て間引くと、平坦な路面上に描かれた線や文字等の色情報も同時に失われるため、スキャンライン内の隣接する 3 点について順次求めた色差が許容値を超える箇所は残す。スキャンライン上の第  $i$  点における色差  $C_i'$  は、式(1)により求める。 $C_{i-1}$ 、 $C_i$ 、 $C_{i+1}$  は、隣接する 3 点についての RGB 各 256 階調の 3 次元ベクトルである。

$$C_i' = |C_{i-1} - 2C_i + C_{i+1}| \quad (1)$$

形状と色差それぞれの許容値を定めるため、約 2 千万点の 3D 点群を含むシーンについて、各許容値の設定による間引きの程度を調査した結果を図 2 に示す。実験より、形状において 0.01m の誤差を許容してシーンを構成し、色差の許容値が 8 程度 (図中の X 点) で 60% 程度まで間引くこととした。

またレーザスキャンにおいては、天空、植え込みなどでレーザの反射光が得られず欠測となる。そこで、スキャンライン上の隣接点の時刻が一定以上離れている箇所を欠測と判定し、その区間の前後の点を間引かず残すとともに、欠測区間の境界であることを記録しておく。後の描画時には欠測区間にポリゴンを描画しないことで、本来は面が存在しない場所に面を張ることを防ぐ。

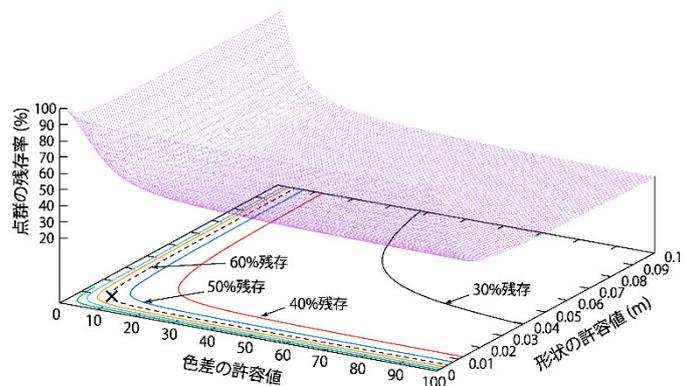


図 2 形状と色差の許容値と点群の残存率の関係

#### (6) ポリゴン分割

隣接する 2 本のスキャンライン間を順次三角形ポリゴンに分割する。動的計画法により、スキャンライン間に張った線の長さの総和が最小となるような分割を行い、分割情報をファイルに出力する。

#### (7) 区分ファイルへの分割

以上で生成した各種情報を、走行軌跡に従って 10m 単位に分割してまとめ、一意の区分 ID を付して区分ファイルに格納する。各区分ファイルは、その区分を描画するための全情報と、10m 区間の走行軌跡の両端 2 点を含む。これらの全区分ファイルが含む全走行軌跡点を kd-tree で組織化し、任意の中心座標と半径の円内に含まれる区分ファイル群の探索に用いる。

#### (8) Web サーバと Web ブラウザの機能実装

Web サーバ (以下サーバ) 側の機能は Node.js[5]により実装した。主な処理は Web ブラウザ (以下ブラウザ) が行い、サーバは必要最小限の処理のみ行う。ブラウザからの初回アクセス時に、サーバからスクリプト一式他ファイルを送信した後は、ブラウザからの非同期的区分 ID 要求を待ち受け、対応する ID の区分ファイルを圧縮して送信する。

ブラウザ側の機能は、Three.js[6]をベースに実装した。マウス等で 3D シーンの視野を変えるごとに kd-tree により区分 ID の探索が行われ、画面描画に必要な区分ファイルをサーバに要求する。受信した区分ファイルを展開し、シーンを描画する。また、区分ファイルのキャッシュを設けてブラウザのメモリ消費を管理しつつ、サーバへのアクセスを抑える。

ブラウザ上で 3D シーン内に物体を設置し、濁った水面を任意の標高に設定して浸水状況を表現する。物体は「自動車」「小学 1 年生」「成人男性」の 3 種類があり、物体の浸水深ごとに設定した危険度により、青、黄、赤、黒と色を変える。また物体直上のボードに、物体の場所の浸水深を表示する。

物体設置時には、マウスポインタと 3D シーンの交点に物体を設置する。区分ファイルが保持する走行軌跡のベクトルにより物体の姿勢を自動決定するので、ユーザがマウスポインタを移動させると、物体が位置と姿勢を変えながら路面上を追従する。

#### 4. 研究成果

当初の約 5 億 7 千万点の点群は、スキャンライン間引きで 34.0%へ、トリミングで 26.7%へ、点間引きで 17.3%へと段階的に減少した。計 24,772 個の区分ファイルが生成され、1 ファイルあたりの平均容量は 36KB となった。

図 3 に、浸水シーンの比較結果を示す。同図(右)では、水面の標高を真備町浸水時の 12.5m[7]に設定し、実際の状況写真とほぼ同様の状況が表示されることを確認した。図 4 は自動車や人の 3D モデルを 3D シーン中に設置した状態である。画面上のスライダーで水面の標高を変更すると、浸水深の表示や 3D モデルの色も変化して危険度を知らせる。3D シーンの実操作も含め、以上は一般の PC や携帯端末で大きな遅滞なく動作する。



図 3 浸水シーンの比較 (左：実際の状況写真[7]，右：3D シーンからの生成)

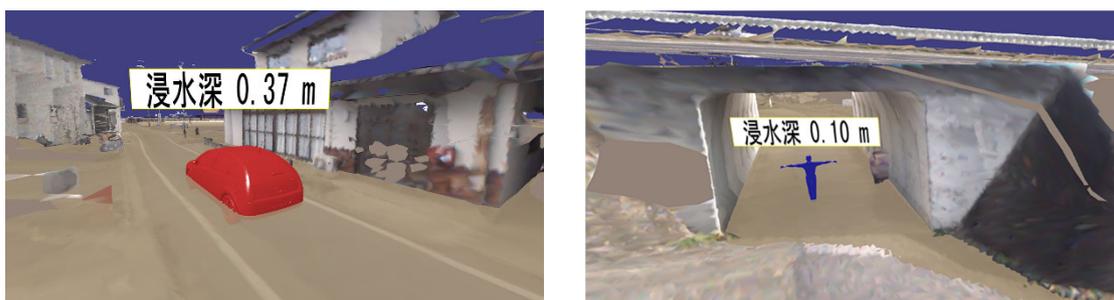


図 4 浸水シーンへの 3D モデルの設置例

本研究は、MMS で計測した 3D 点群を活用し、Web サイトで浸水被害の状況を「自分ごと」として認知することで災害に備えて欲しいという強い思いから発し、その目標に沿った研究開発をほぼ達成した。研究過程で得た情報や新たな着想により、想定よりも柔軟かつ軽快に動作し広い用途が見込める枠組みとなった。MMS 点群から広域 3D モデルを迅速に生成し、インターネットで配信して Web ブラウザ側で活用できる枠組みは、防災用途に限らず地理情報サービス全般のベースとして広く展開することが可能と考えている。

#### <引用文献>

- [1] 板宮朋基, 吉村達之: 複合現実による災害想定没入体験アプリ Disaster Scope の開発と避難訓練における活用, 災害情報, No. 16(2), 191-198 (2018).
- [2] PLATEAU, <https://www.mlit.go.jp/plateau/>
- [3] 国土地理院: 平成 30 年 7 月豪雨による倉敷市真備町周辺浸水推定段彩図, <https://www.gsi.go.jp/common/000208572.pdf>
- [4] D. Douglas and T. Peucker, “Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature,” Canadian Cartographer, vol.10, no.2, pp.112-122, 1973.
- [5] Node.js, <https://nodejs.org>
- [6] Three.js, <https://threejs.org>
- [7] 主要災害調査, 第 53 号, 防災科学技術研究所, March 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 島田英之, 吉川 慶
2. 発表標題 高密度色付きMMS点群のサーフェスモデル構築と表示
3. 学会等名 2021年度（第72回）電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島田 英之, 吉川 慶
2. 発表標題 サーフェスモデル構築のためのMMS点群の適応的間引き法
3. 学会等名 2020年度（第71回）電気・情報関連学会中国支部連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島田 英之
2. 発表標題 サーフェスモデル構築のためのMMS点群の適応的間引き法
3. 学会等名 第25回岡山リサーチパーク研究・展示発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島田 英之, 吉川 慶
2. 発表標題 MMSで計測した広域3Dシーンに基づく浸水状況表示Webサイトの開発
3. 学会等名 FIT2024 第23回情報科学技術フォーラム
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

試作システムを下記URLにて公開予定にしている。  
<http://next.ice.ous.ac.jp>

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
---------	---------