

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 Development of a Website that Displays Flood Conditions Based on Wide-area 3D Scenes Measured by MMS

島田 英之¹⁾ 吉川 慶²⁾
Hideyuki Shimada Kei Yoshikawa

1 はじめに

激甚化をたどる水害に対し、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おり、今後、3D 都市モデルの整備拡大や更新への対応が期待される。

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 サイトを開発した。平成 30 年 7 月豪雨にて浸水被害が発生した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する。

2 開発の概要

2.1 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、約 5 億 7 千万点の 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。使用した MMS はレーザスキャナを 2 台搭載し、毎秒最大 57,200 点の 3D 点群を取得する。各点は、3 次元座標、レーザ反射強度、RGB 色情報、時刻を含む。浸水推定図に MMS の全走行軌跡を重ねたものを図 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。

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。

2.2 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。

1) 岡山理科大学 Okayama University of Science

2) 株式会社ウエスコ WESCO Inc.

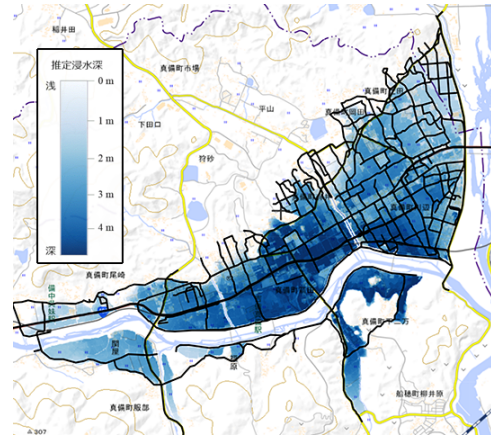


図 1 浸水推定段彩図 [3] と MMS の全走行軌跡 (黒線)

2.3 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の間引く。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。

2.4 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。

2.5 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 [6] 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。

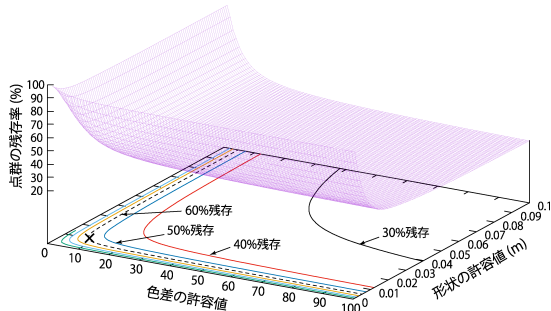


図2 形状と色差の許容値と点群の残存率の関係

2.6 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。

2.7 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。

2.8 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[4]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の区分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[5]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。

3 結果

当初の約5億7千万点の点群は、スキャンライン間引き、トリミング、点間引きを経て17.3%に減少した。生成された区分ファイルは計24,772個、1ファイルあたりの平均容量は36KBとなった。

図3に、ブラウザで表示した浸水シーン例を示す。同図(上)では、水面の標高を真備町浸水時の12.5mに設定し、実際の状況写真とほぼ同様であることを確認した。同図(下)は自動車を設置した状態であり、画面上のスライダーで水面の標高を変更すると、浸水深の表示や自動車の色も変化する。3Dシーンの操作も含め、以上は一般のPCや携帯端末で大きな遅滞なく動作する。

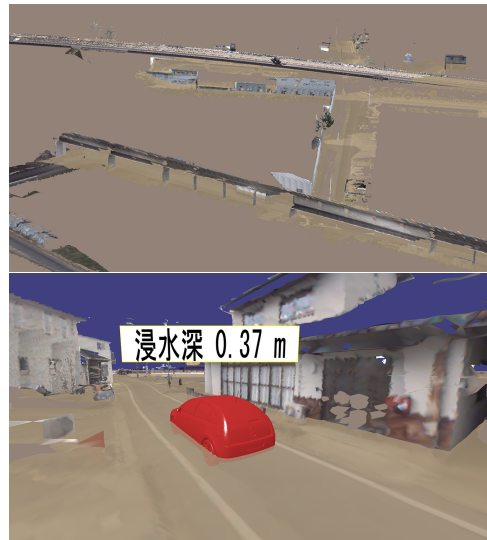


図3 浸水シーン(上:生成例,下:自動車あり)

4 おわりに

本研究を通じ、MMSで計測した3D点群を元に3Dシーンを構築して配信する枠組みを軸に、自動車や人を配して浸水被害の状況を分かりやすく表示するWebサイトを開発した。ごく一般のPCや携帯端末のWebブラウザで動作することから、ハザードマップと併用し、個々が「自分ごと」として通勤路、通学路、避難路等の確認に活用できよう。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費JP19K04003の助成を受けた。

参考文献

- [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] Node.js, <https://nodejs.org>
- [5] Three.js, <https://threejs.org>
- [6] 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.