

## 簡易 LiDAR による 3D デジタルマッピングと サイエンス・コミュニケーションでの利活用(2)

濱侃\*、中田高\*\*、杉田暁\*\*\*、福井弘道\*\*\*\*

\*千葉大学大学院園芸学研究院、\*\*広島大学大学院人間社会科学研究科、\*\*\*中部大学国際 GIS センター、  
\*\*\*\*中部大学中部高等学術研究所

### 1. はじめに

3D 情報の測量 (マッピング) や 3D データの価値は、年々高まっている。例えば、バーチャル空間での様々な数値シミュレーションで使われるだけでなく、環境や自然災害および文化遺産等に関連する事物をサイバースペースに再構築することによってデジタルで未来に残すなど、アーカイブとしての重要性もある。アーカイブしたデータは、サイエンス・コミュニケーションのツールとしても使えるなど、あらゆる場面で使用可能な基礎データとなる。したがって、詳細かつ正確な 3D マッピングを安く簡単に行う方法が確立できれば、その波及効果は測り知れない。例えば、Google Earth に代表されるような用意された 3D データを活用する形から、自ら 3D データをとる・作るといった、より主体的な活動も可能となる。そこで本研究では、低価格な LiDAR を用いた簡易型 3D マッピングシステムを紹介しその普及を図りたい。

本年度は、昨年までと同様に LiDAR を用いた計測システムの開発・改善を行うと同時に、後述の能登半島地震の被災地での 3D マッピングを行った。さらに、センチメートル級測位補強サービス (CLAS) を組み合わせた測量も行い、その有効性を検証した。

### 2. 方法

#### 2. 1. 計測システム

研究目的を達成するために、容易に 3D マッピングを行うことを可能とする簡便な低価格システムの構築を行った。計測システムに用いる LiDAR は、自動車などの自動運転のために開発・販売されている安価な LiDAR である Livox 社の Avia および Mid-360 を用いた。計測には、Linux 系のシステムである Ubuntu をインストールした PC を用いた。計測システムに使用した PC は、Raspberry Pi 4 Model B 8GB および One-Netbook 社 OneGx である。小型軽量化した計測システムを写真 1 に示す。調査地ではこの計測システムを携帯し、任意に移動しながら点群を取得した。取得した点群は、3D の点群マッピング用の SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)<sup>1)</sup>によって 3D マッピングを行った。取得した点群データの処理は、いずれもフリーソフトウェアである CloudCompare および QGIS を利用した。

図 1 には、CLAS を用いた地盤変化量測量の解析の流れをしめす。移動する車のルーフにアンテナを設置し、そのアンテナの位置を測位した。その測位結果から車の車高を差し引くことで、地表面の高さを求めた。最後に、被災前の標高データとの高さ方向の差分を計算することで地盤変化量とした。なお、この際に水平方向の変化量は考慮していない。



a) Livox Avia



b) Livox Mid-360

写真 1 簡易 LiDAR 計測システムの外観

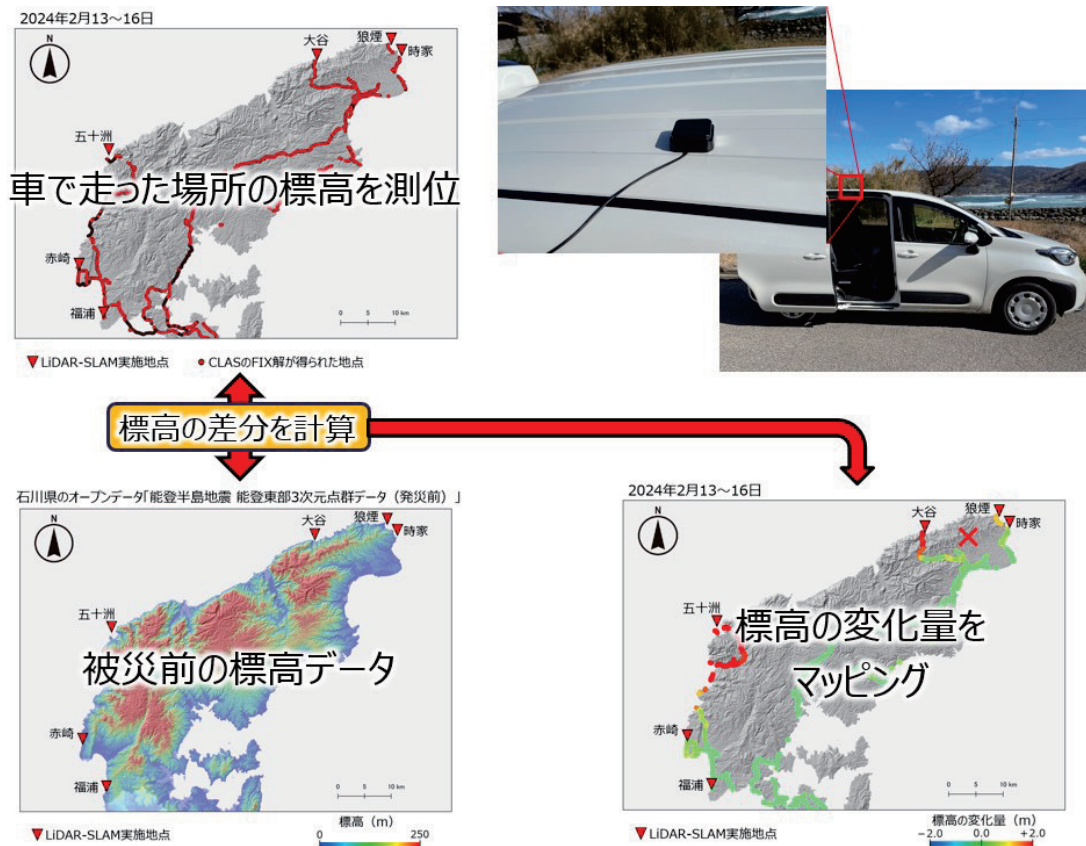


図1 CLAS を用いた地盤変化量測量

## 2. 2. 計測事例 能登半島地震

令和6年(2024年)1月1日16時10分に石川県能登地方を震源とするマグニチュード7.6、震源の深さ16kmの地震が発生し、最大震度は石川県輪島市と石川県志賀町で観測された震度7であった。気象庁機動調査班が実施した津波に関する現地調査では、新潟県上越市で5.8mの遡上高、能登半島では能登町白丸で4.7m、珠洲市飯田港で4.3mの痕跡高が確認されている(気象庁発表資料 2024年2月22日参照)。

日本地理学会の令和6年能登半島地震による津波浸水範囲の検討結果(第四報)で、津波浸水は半島の西側に集中していることが明らかにされている(令和6年能登半島地震変動地形調査グループ, 2024)<sup>2)</sup>。加えて、津波浸水のあった地域となかった地域など地域差があり、その要因として①沿岸部のももとの土地の標高の違い、②地震と同時に生じた地盤の隆起量の違い、③海底の地形や波源域との位置関係などの要因が影響している可能性があげられている。今回の地震の大きな特徴の1つは能登半島における地盤隆起であり、この地盤隆起と津波浸水の関係を地域ごとに検討していく必要がある。

現在、能登半島における地盤隆起量は、SAR(合成開口レーダ)画像を使った地盤変動解析のほか、防潮堤壁面に固着したカキやカンザシゴカイ類などが隆起によって離水した高さを現地で測る生物遺骸を使った測量、地震前後の電子基準点および可搬型GNSS(衛星測位システム)連続観測装置の観測データの解析が行われている。SAR画像を使った地盤変動解析では、能登半島の北側沿岸域が全体的に隆起し、北西部の猿山岬付近で最大4.9mの隆起が確認されている<sup>3)</sup>。生物遺骸を使った調査は、産業技術総合研究所地質調査総合センターのほか、令和6年能登半島地震金沢大学合同調査チームなどでも用いられている方法であり、地質調査総合センターの調査では輪島市鹿磯漁港で3.8~3.9mの高さで防潮堤が隆起していることが報告され、金沢大学合同調査チームの調査では、珠洲市狼煙漁港で約1.5m、珠洲市寺家漁港で約0.8mの隆起が報告されている<sup>4)5)</sup>。電子基準点および可搬型GNSS連続観測装置の観測データの解析による上下方向の地殻変動量は、「輪島2」で1.303m、「輪島」で1.050m、「M珠洲笹波」で0.898m、「珠洲」で0.248mの上方向への変化が報告されている<sup>6)</sup>。

本研究では、地盤隆起と津波浸水の間関係を検討するため、2024年2月13日~16日にかけて、LiDARおよびCLASを導入した現地での測量を図2に示す地点で行った。

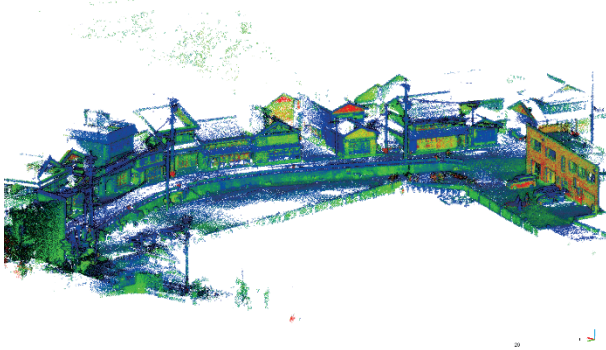


図2 2024年2月の能登半島調査地点

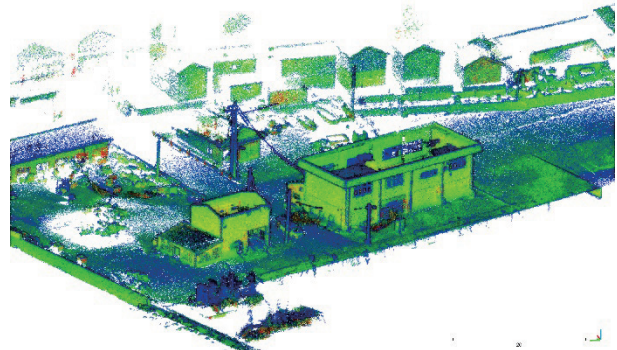
### 3. 結果・考察

#### 3. 1. 漁港での3Dマッピング

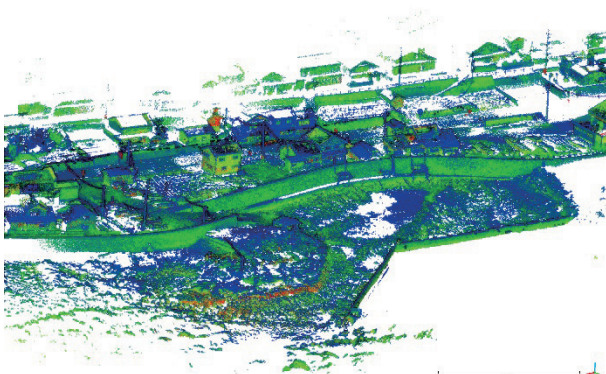
図3にはLiDAR-SLAMを用いた3Dマッピングの結果をしめす。図の色はLiDARが照射したレーザーの反射強度を示し、青ほど反射が小さく、赤ほど反射が大きいのを示す。大谷漁港および五十洲漁港は地盤の隆起量が大きかった地点で、港が干上がった場所である。LiDARを携帯し、干上がった港の中を歩くことで、干上がった港の中の詳細な地形をマッピングし、被災地の様子をデジタルデータとして記録・アーカイブすることができた。



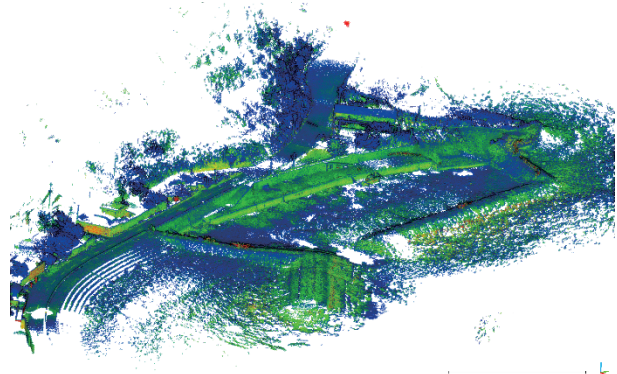
a) 福浦漁港



b) 赤崎漁港



c) 大谷漁港



d) 五十洲漁港

図3 2024年2月に計測を行った漁港の3Dマッピングの結果

### 3. 2. 隆起量調査

表1には、本研究で得られた隆起量のデータと既存のデータを比較した結果を示す。なお、本研究ではLiDARを用いた3Dマッピングに基づく隆起量の解析データとCLASを用いた解析データの2つがある。いずれの結果も、北西部および北部の港ほど隆起量が大きくなる傾向は一致した。ただし、狼煙漁港および寺家漁港の計測結果は、手法ごと計測結果の差が大きい。日本海に面する能登半島は潮位の変化は小さいが、計測時の潮位の違いが解析結果の違いの要因の1つと考えられる。図4には今回計測を行った漁港から最寄りの潮位データを示す。値の差が大きかった狼煙漁港と寺家漁港はいずれも干潮のタイミングで計測を行っていることがわかる。その結果、水面の変化から隆起量をみる手法を使った場合、隆起量を過大評価してしまっている可能性がある。

表1 本研究での隆起量の計測結果と既存データの比較

| 地点名   | 生物遺骸を使った測量<br>(金沢大+東大グループ) | LiDARを使った解析 | CLASを使った解析 |
|-------|----------------------------|-------------|------------|
| 狼煙漁港  | 約1.5m                      | 1.34m       | 1.20m      |
| 寺家漁港  | 約0.8m                      | 0.78m       | 0.57m      |
| 大谷漁港  | —                          | 2.01m       | 2.06m      |
| 五十洲漁港 | 約4.1m                      | 4.07m       | 4.08m      |
| 鹿磯漁港  | 約3.9m                      | —           | 3.85m      |
| 赤崎漁港  | 約0.3m                      | 0.36m       | 0.35m      |

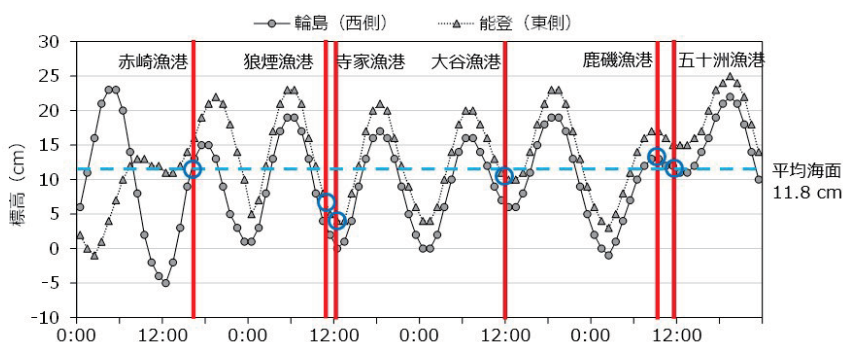


図4 隆起量の計測を行った際の海水面の高さ

### 4. まとめ

本研究では、簡易かつ廉価な計測システムについて紹介し、それを実際の地震被災地で活用した事例を紹介した。我々が提案する簡易モバイルLiDARによって、価格的な障壁は劇的に低くなった。さらに、計測で得られた被災地の測量データは、災害において重要な被災地の“記録”であり、被災地をデジタル空間にアーカイブしたという点で価値がある。一方で、取得する点群はレーザーの反射強度などで色付けするしかなく、一般に認識しやすいRGBカラーではない。今後、広い分野で活用できるように点群にRGBカラーを付けるなど本計測システム改善に努めていく予定である。

### 5. 謝辞

本研究の一部は、中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究IDEAS202307の助成を受けたものです。

### 参考文献

- Xu, W., Cai, Y., He, D., Lin, J., and Zhang, F. (2022). Fast-lio2: Fast direct lidar-inertial odometry. IEEE Transactions on Robotics, 38(4), 2053-2073.
- [http://disaster.ajg.or.jp/files/202401\\_Noto009.pdf](http://disaster.ajg.or.jp/files/202401_Noto009.pdf)
- [https://irides.tohoku.ac.jp/media/files/disaster/eq/Noto-eq\\_debrief0109\\_2-1-2\\_fukushima.pdf](https://irides.tohoku.ac.jp/media/files/disaster/eq/Noto-eq_debrief0109_2-1-2_fukushima.pdf)
- <https://www.kanazawa-u.ac.jp/research/centers/kud/hiramatsu-3>
- <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/news/20465/>
- [https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi\\_20240101noto\\_3\\_00001.html](https://www.gsi.go.jp/chibankansi/chikakukansi_20240101noto_3_00001.html)