

点群及び画像データに基づく中山間地域における 道路インフラ状態推定手法の検討

廣森 聡仁^{1,a)} 山口 弘純^{1,b)} 東野 輝夫^{1,c)}

概要: 日本の国土は平野の外縁部から山間地にかけての地域（中山間地域）が国土面積の約7割を占めている。中山間地域では人口流出や少子高齢化などにより集落は小規模化が進み、産業・生活インフラの維持に関して多くの課題が指摘されている。そういった環境における住民の生活を守り、地域産業や健康の振興を図っていくためには、地域の生活インフラ、特に道路や建物といった生活インフラを必要十分なレベルで維持していくことが不可欠である。しかし、このようなインフラの維持や活用に必要な情報は収集及び活用が困難であったり、あるいは十分に活用されていない場合が多い。本提案では、二次元 LiDAR センサ及び動画カメラにより取得される点群データと画像データを組み合わせることにより、道路インフラの状態を安価かつ効率よく把握する手法を提案する。

1. はじめに

日本の国土は平野の外縁部から山間地にかけての地域（中山間地域）が国土面積の約7割を占めている。一方、それらの地域における人口は日本全体の約7分の1に留まっている。中山間地域では、人口流出や少子高齢化などにより集落は小規模化が進み、産業・生活インフラの維持に関して多くの課題が指摘されている。例えば、そのほとんどの自治体が過疎山間地域を有する高知県全体の森林面積は83.1%と全国一位（全国平均65.6%）であり、平成19年度の県による集落調査では、中山間地域は92.1%、過疎地域は76.1%に達している[1]。そういった環境における住民の生活を守り、地域産業や健康の振興を図っていくためには、道路や建物といった新規の大型投資が財政的に容易でない場合においても、既存生活インフラを必要十分なレベルで維持していくことが不可欠である。しかし、このような生活インフラの維持や活用に必要な情報は収集・活用が困難であったり、あるいは十分に活用されていない場合が多い。例えば、豪雨や台風などの災害後には、隣接する町村を結ぶ山間部の道路ががけ崩れや崩落により、寸断あるいは通行規制がかかることもしばしばである（図1）。自治体合併等で各市町村の面積が拡大している現在では、交



図1 災害時における道路の被害

通インフラの状況把握には多数の森林管理車両や作業人員を要することになるが、人的・物的資源が限られる自治体においては、どの道路を優先して修復すべきかの判断も容易ではない。通行量が少ない道路であっても、高齢者が隣の病院に通ったり、物流のために不可欠な道路である可能性もあるが、そういった状況を考慮するためには、福祉関連と災害対策部門の連携と情報共有が不可欠である。また、被災後に仮修復した道路では、本格復旧までの期間中に異常がないかを継続的に監視する必要もあるが、公共車両の管理部門と災害対策部門が連携すれば、公共車両通過時に道路周辺の動画画像や路面センシングデータを共有することで、監視コストの削減も期待される。しかしながら、ダイナミックマップのような高精度な三次元地図を構築するためには、高価な三次元 LiDAR センサだけでなく、計測される大容量のデータを送信するネットワークインフラも必要とする。また、車両に搭載されたカメラやドライブ

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology,
Osaka University

a) hiromori@ist.osaka-u.ac.jp

b) h-yamagu@ist.osaka-u.ac.jp

c) higashino@ist.osaka-u.ac.jp

レコーダーにより、山間道路の被災状況を集約できたとしても、数時間・数日にわたるデータを人手で逐一検証することは望ましくない。落石や路肩の損傷などが見受けられる場所のみを効率的に取り出す、といったデータの価値判断をデータ取得時に行い、必要なデータのみをデータ生成時に選別しアーカイブすることで効率的なデータ連携を促進することが望まれる。

本取組では、中山間地域の住民が平常時に生活の足として利用する定路線交通やデマンド交通（バスやタクシー）をエッジコンピューティング資源として活用し、機械学習による自動価値判断機構（いわゆる AI）を用いて必要な交通インフラデータだけを効果的に収集できる機構を構築を目指す。中山間地域の道路を走行する路線バス・デマンドバスやコミュニティバス、福祉タクシーなどを「エッジコンピューティング資源」とするために、小型の計算機ならびに動画カメラおよび LIDAR センサを搭載するとともに、点群データを処理機能を実装する。この機能に基づき、中山間地域の路肩や路面をモニターし、落石や路肩損傷、小規模ながけ崩れなど、交通インフラの異常をそれらの車両上で検出する仕組みについて検討する。本取組では、幅員の変化及びガードレールの存在を把握する機能を実装し、既に協力体制を有する高知県の自治体において、道路インフラの状況を把握する実証実験を実施し、幅員の変化及びガードレールの存在を把握できることを示す。

2. 関連研究

災害時における交通インフラの状況を把握する取組として、東日本大震災や熊本地震における ITS Japan による取組が挙げられる [2]。この取組においては、プローブカーが通行した道路を収集及び集約することにより、通行可能な道路を可視化している。多数の車両の通行が見込まれる主要な道路においては、この取組により迅速に交通インフラの状況を把握できることが期待されるが、本取組が対象とする中山間地域のような交通量が少なく、通行する車が限られるような地域にはおいては、必ずしも交通インフラの状況を適切に把握できるとは限らない。一方、交通インフラの状況を通常時から継続して把握する取組も多数実施されている。文献 [3] の取組においては、橋の様々部分に設置された光ファイバ変位計および光ファイバ傾斜計を遠隔から常時監視することにより、橋梁構造の変動を様々な観点から迅速に把握するシステムを開発している。また、特別なセンサを利用するのではなく、一般的に普及している安価なスマートフォンを利用し、それに搭載されている各種センサから得られた情報に基づき、路面の状況を把握する取組も実施されている [6], [7]。Mohan らは、路面の状況は車に搭載されたスマートフォンの揺れとして反映されることを利用し、スマートフォンの加速度センサ及び角速度センサから、路面の状況を推定する手法を提案している

[6]。文献 [7] においても同様の取組が為されており、路面状況を推定するスマートフォンアプリケーションを一般に公開し、それらにより多数の人から計測データを収集することで、広範囲に渡る道路状況を可視化するシステムを開発している。また、交通インフラは、道路自身だけでなく、運転に際しての規制や危険な箇所を示す交通標識、通行の優先権を示す信号機など、多様な構造物から構成される。このような構造物の存在を把握する取組も実施されており、周辺の状況を点群データとして観測できる三次元 LiDAR センサにより、周辺の状況を点群データとして計測し、機械学習により構造物の三次元的な特徴を捉えることで、構造物の存在を把握している [8], [9]。これらの手法により高精度に構造物を把握できることが示されているが、高価な三次元 LiDAR を必要とすることに加え、構造物毎で学習データを必要とする。また、画像のみから周辺の状況を把握する取組としては、Google Street View において、様々な場所におけるパノラマ写真を提供するサービスであるが、人物の顔、車両のナンバープレートなど個人に関わる画像を検出し、ぼやかした画像処理を施し、個人情報に判別できないようにする取組が挙げられる [10]。この検出処理に際しても、人物の顔やナンバープレートのそれぞれについて大量の学習データと学習に関わる膨大な計算資源を必要とする点で、本取組で対象とするような計算資源が限られる環境には適していない。自動運転技術においては、三次元 LiDAR に加え、複数の動画カメラを車両に搭載し、画像データと点群データを組み合わせて収集及び解析することにより、周辺を通行する歩行者や車両の存在を適切に把握し、円滑かつ安全な運転を実現している [11], [12]。

本取組においても、中山間地域における交通インフラの状況を適切に把握するために、路線バス・デマンドバスやコミュニティバス、福祉タクシーなど、その地域を定期的に通行する車両に対し、二次元 LiDAR センサ及び車載カメラを搭載し、点群データ及び画像データの両方を計測及び組み合わせることにより、安価かつ効率的に交通インフラの状況を把握する取組を実施する。

3. 幅員及びガードレールの推定手法

災害時の交通インフラの状況は多岐に渡り、個々の被害状況を適切に把握するは困難であることから、通常時において継続して交通インフラの状態が正常であることを確認し、それから逸脱した状況を把握することにより、中山間地域における交通インフラの情報を継続的かつ効率的に把握する。本取組では、従来の手法で利用する三次元 LiDAR センサではなく、二次元 LiDAR センサと動画カメラを組み合わせて、二次元 LiDAR センサにより、交通インフラが正常でないことを把握し、その詳しい状況については、動画カメラにより撮影された動画画像を目視で確認することで、交通インフラの異常を確認する。二次元 LiDAR セ



図 2 各種 LiDAR センサと動画カメラを搭載した車両

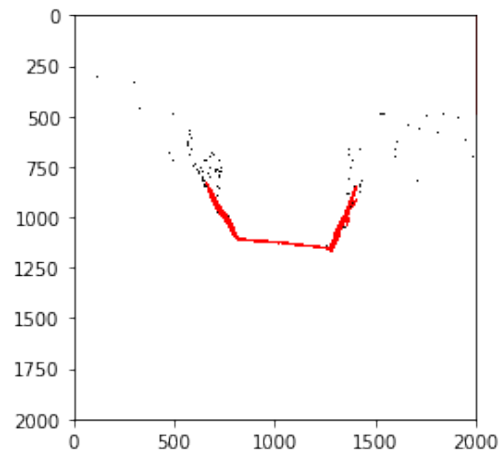
ンサと動画カメラは図 2 のように、車両のボンネット部に搭載し、車両の前方の様子を計測するものとする。図に示す車両には三次元 LiDAR センサも搭載されているが、本取組においては、三次元の点群データは利用していない。二次元 LiDAR センサで計測した点群データから、道路を円滑に通行可能であるかを把握するため、(1) 道路の幅員と、路肩の状況を把握するため、(2) ガードレールの存在を推定する。

まず、二次元 LiDAR センサから得られた点群データから幅員を把握する手法について説明する。図 2 のように、二次元 LiDAR センサは車両の前方を計測できるよう設置されており、図 3 (a) のような状況を、図 3 (b) に示すような点群データとして得られることができる。この図に示すように、点群データ上では、道路の路面は水平方向の線の集合として検出される。点群データに対し、画像内の直線を検出するハフ変換を利用することで、この線の集合を検出する。図 3 (b) の赤で示している部分は、ハフ変換により検出された線分であり、この線分のうち、水平に近い角度を有する直線をまとめ、その長さを幅員として推定する。この例では、約 480 cm の幅員であることが推定されている。

同様に、点群データに基づき、ガードレールの存在を把握する。ガードレールは、支柱と、支柱に支えられ車両が道路から外れることを防ぐ、波型の鋼板(ビーム)から構成されている。ガードレールの基準は、文献 [13] に示されているが、車両が路外、対向車線または歩道等に逸脱するのを防ぐことを目的とし、車の衝撃に耐えうる強度が定められており、大きさについては明確に定められていない。そのため、ガードレールを作成する各社によって、ガードレールの寸法は異なっている。本取組では、日鉄建材社製のガードレール [14] を参考に、地表面から 50 cm から 80 cm に位置する 30 cm 程度の構造物をガードレールのビーム部と仮定する。前述の手法と同様に、点群データに対しハフ変換を施し、垂直方向に検出された線分を検出することで、ガードレールの存在を把握する。図 4 (b) の赤で示



(a) 道路の状況



(b) 点群データ

図 3 両方が法面である道路の状況と点群データ

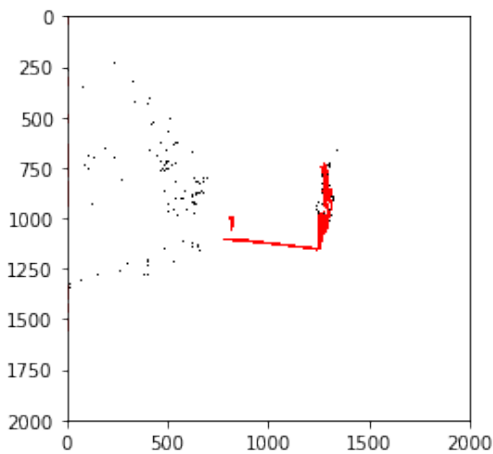
している部分は、ハフ変換により検出された線分を示している。この線分のうち、幅員として推定された線分の端点の上部に、垂直に近い角度を有し、30 cm 程度の直線が存在していれば、ガードレールが存在していると判定している。この例では、路面の左上部に 30 cm 程度の垂直の線分が検出されており、ガードレールの存在を把握していることがわかる。

4. 評価実験

提案手法により、道路の幅員及びガードレールの存在が推定できることを示すための評価実験を実施した。評価実験では、図 2 に示すように、車両に二次元 LiDAR センサと動画カメラを搭載し、高知県香南市の中山間地域を 30 分程度走行し、点群データと動画データを収集した。この地域においては、大きく幅員が変化する箇所として、一車線の道路と二車線の道路が切り替わる箇所と、図 5 に示すような、一車線の道路において、対向車両とのすれ違いのための退避スペースが挙げられる。このような幅員の変化がある箇所を適切に把握できることを評価基準とする。このような幅員の大きな変化は、計測対象とした地域において 20 箇所存在したが、提案手法により発見できた箇所は 17 箇所であった。中山間部における退避スペースは必



(a) 道路の状況



(b) 点群データ

図 4 左にガードレールが設置されている道路の状況と点群データ



図 5 退避スペース

ずしも広いものではなく、幅員の変化が少なかったため、提案手法によりこれらの退避スペースは発見できなかった。

また、提案方式により、ガードレールの存在を把握できるかを評価した。計測対象とした地域において、ガードレールは 26 箇所に設置されており、提案手法により、それらの 26 箇所は正しく検出されていたが、それ以外に、図 6 に示すような柵をガードレールとして検出していた。本手法では、構造物の寸法に基づいてガードレールを検出しているため、このように似たようなサイズであるような構造物をガードレールと取り違える事例も少なからず発生



図 6 ガードレールの誤検出の例

すると考えられる。また、対象地域では確認されなかったが、ガードレールと他の構造物が近い位置で配置されているような場合においても、ガードレールの寸法を正しく把握できないと考えられ、このような場合においても、ガードレールの存在を正しく把握できないと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本取組においては、二次元 LiDAR センサで計測した点群データから、道路を円滑に通行可能であるかを把握するために道路の幅員と、路肩の状況を把握するために、ガードレールの存在を推定する手法を考案した。また、評価実験を介して、膨大な計算資源を必要とする画像認識技術を施すことなく、シンプルな線検出技術のみから、交通インフラの変化を把握できることを示した。しかしながら、評価実験で示したように、いくつかの退避スペースを適切に把握できず、また、柵をガードレールと取り違えていた事例があった。今後は、点群データの解析に加え、エッジコンピューティング環境で機能するような画像認識技術を組み合わせることにより、上述の検出ミスや誤検出を防ぐとともに、交通インフラの異常を自動的に把握する手法の検討に取り組む。

謝辞

本研究開発は NICT「データ連携・利活用による地域課題解決のための実証型研究開発」の委託を受けたものです。

参考文献

- [1] 全国過疎地域自立促進連盟：過疎市町村 MAP (2019).
- [2] 国土交通省：官民ビッグデータによる災害通行実績データシステムの運用を開始～E T C 2. 0 と民間通行実績データを活用して災害対応を強化～.
- [3] 石川裕治, 宮崎早苗：橋の異常を瞬時にキャッチ!—橋梁モニタリングシステム BRIMOS の開発 (特集 NTT グループの ICT を活用した危機管理・事業継続ソリューション), NTT 技術ジャーナル, Vol. 21, No. 9, pp. 26–29 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/40016711921/>) (2009).
- [4] 飯田憲司, 磯村 猛：BI-5-6 構造物監視センサーネットワークによる橋梁モニタリングに関する検討 (BI-5. ソー

シャル・ビッグデータの利活用とそれを支える基盤技術の研究開発動向, 依頼シンポジウム, ソサイエティ企画), 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, Vol. 2014, No. 2 (2014).

- [5] 阿部慶太, 野末道子: 河川橋梁橋脚の健全度に関する状態監視手法 (特集防災技術), 鉄道総研報告 = RTRI report : 鉄道総合技術論文誌, Vol. 30, No. 3, pp. 29–34 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/40020753528/>) (2016).
- [6] Mohan, P., N. Padmanabhan, V. and Ramjee, R.: Ner-icell: Rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones, pp. 323–336 (online), DOI: 10.1145/1460412.1460444 (2008).
- [7] Alessandrini, G., Klopfenstein, L., Delpriori, S., Dromedari, M., Luchetti, G., Paolini, B., Seraghiti, A., Lattanzi, E., Freschi, V., Carini, A. and Bogliolo, A.: SmartRoadSense: Collaborative Road Surface Condition Monitoring, (online), DOI: 10.13140/RG.2.1.3124.2726 (2014).
- [8] 深野健太, 増田 宏: 移動計測データに基づく柱状物体の分類に適した幾何特徴量, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol. 70, No. 1, pp. 40–47 (2014).
- [9] 溝口知広: 深層学習による MMS 画像からの柱状物体の分類精度評価, 精密工学会学術講演会講演論文集, Vol. 2016A, pp. 469–470 (2016).
- [10] Frome, A., Cheung, G., Abdulkader, A., Zennaro, M., Wu, B., Bissacco, A., Adam, H., Neven, H. and Vincent, L.: Large-scale privacy protection in Google Street View, *2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision*, pp. 2373–2380 (online), DOI: 10.1109/ICCV.2009.5459413 (2009).
- [11] Waymo: Waymo Open Dataset: An autonomous driving dataset (2019).
- [12] Kesten, R., Usman, M., Houston, J., Pandya, T., Nadhamuni, K., Ferreira, A., Yuan, M., Low, B., Jain, A., Ondruska, P., Omari, S., Shah, S., Kulkarni, A., Kazakova, A., Tao, C., Platinsky, L., Jiang, W. and Shet, V.: Lyft Level 5 AV Dataset 2019, <https://level5.lyft.com/dataset/> (2019).
- [13] 国土交通省: 防護柵の設置基準 (2004).
- [14] 日鉄建材株式会社: 標準型ガードレール (2019).