

地域を支える山間道路の センシングデータ収集と解析に関する試み

廣森 聡仁^{2,a)} 塚本 幸宏^{1,b)} 山口 弘純^{1,c)} 高井 峰生^{3,d)} 梶田 宗吾^{4,e)} 東野 輝夫^{1,f)}
前野 誉^{4,g)}

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、そういった地域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。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をエッジコンピューティング資源として活用することで、交通インフラに関するデータを効果的に収集及び分析可能な基盤を構築する。小型の計算機ならびに動画カメラおよびLiDARセンサをこれらの交通機関に搭載し、中山間地域の路面や路肩を計測し、動画処理および点群データ処理をリアルタイムで分析することにより、落石や路肩損傷、小規模なけがれなど、交通インフラの異常を検出するエッジコンピューティング基盤と、収集したセンシングデータをDelay Tolerant Networkを介して、クラウドサーバに集約可能なマルチネットワークシステムを構築した。また、高知県香南市において、交通インフラを13日間計測する実証実験を行い、動画データとして775 GB、点群データとして90 GB相当のセンシングデータを収集した。

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。このような地域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。しかしながら、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、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、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、通行量が少ない道路であっても、高齢者が隣町の病院に通ったり、物流のために不可欠な道路である場合も少なくなく、交通インフラの状況把握やメンテナンスには、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・物的資源に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く、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けがれや崩落により、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)。このような状況に際し、様々なセンサを活用し、交通インフラの状況を計測し、それらのデータを解析することなどにより、計測や確認などの各手続きの効率化を図る取り組みがすすめられている。例えば、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、地域全域を巡回する公共車両が通過することにより、道路周辺の動画や路面センシングデータを計測し、これらを災害対策部門に提供することで、監視コストを削減することが期待される。しかしながら、

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

² 大阪大学 大学院情報科学研究科/JST さきがけ
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University/JST PRESTO

³ 大阪大学 大学院情報科学研究科/カリフォルニア大学ロサンゼルス校
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University/University of California, Los Angeles

⁴ 株式会社スペースタイムエンジニアリング
Space-Time Engineering

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

b) y-tukamt@ist.osaka-u.ac.jp

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

d) mineo@ieee.org

e) skajita@spacetime-eng.com

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

g) tmaeno@spacetime-eng.com



図 1 災害時における道路の被害

ダイナミックマップ [1] 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をエッジコンピューティング資源として活用することで、交通インフラに関するデータを効果的に収集できる基盤を構築する。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、福祉タクシーなどの交通機関に、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、HD 解像度相当の動画処理および数千点/秒以上の点群データ処理をリアルタイムで分析可能な機能を開発し、エッジコンピューティング基盤を構築し、中山間地域の路肩や路面を計測することで、落石や路肩損傷、小規模なけ崩れなど、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を構築した。また、複数の通信方式を適切に使い分けることにより、計測した数百 MB 程度のセンシングデータを同日内に Delay Tolerant network を介して、クラウドサーバーに配送可能なデータ収集システムを構築した。この取組に際し、すでに協力体制を有する高知県香南市において、交通インフラを 13 日間計測する実証実験を行い、動画データとして 775 GB、点群データとして 90 GB 相当のセンシングデータを収集した。

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、橋の様々な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

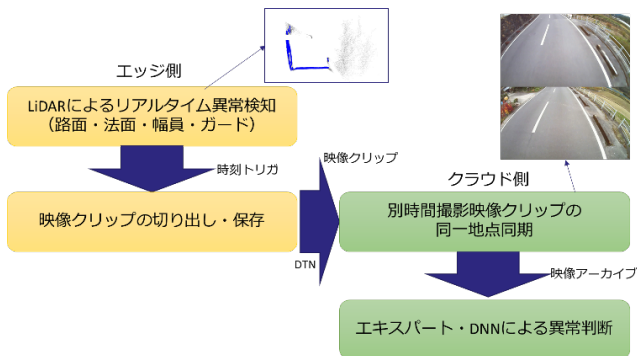


図2 点群データと動画データに対する処理フロー

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 センサ及び動画画像カメラを搭載し、点群データ及び動画データの両方を計測及び組み合わせることにより、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. 交通インフラに関するセンシングデータの収集と解析

小型の計算機ならびに動画画像カメラおよび LiDAR センサを搭載することにより、山間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して活用し、点群データ処理機能や画像認識機能により、交通インフラの状況を把握するとともに、マルチアクセスネットワーク及び Delay Tolerant Network を利用することにより、通信不感地帯においても、交通インフラの状況を迅速に集約可能なネットワーク基盤を構築する。

3.1 エッジコンピューティング基盤

山間部は特に樹木による日陰とそれらの隙間からの太陽光により明暗の変化が激しく、動画画像においては白飛びが多数発生する一方で、LiDAR センサは対象物までの距離のみを計測していることから、太陽光の影響に対し安定した計測が期待できるが、物体認識や状況認識といった機能を実現するには必ずしも十分な情報量を有しているわけではない。したがって、偽陽性を含む「問題の可能性のある状況」を LiDAR センサで検知し、それをトリガーとして用い、その箇所に該当する動画画像を保存し、道路管理者の判断を仰いだり、動画画像処理による自動判断を行う方針（図2）としている。また、自然災害の被害を被った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ことは必ずしも簡単なことではないことから、同一箇所の状況を継続して計測することにより、交通インフラが正常である状態を把握し、その状態から逸脱した場合には、なにかしら異常が発生したと推測される。LiDAR による点群データに基づき、異常検知、異常箇所した後、それに対応する動画画像データを切り出すとともに、および同

一箇所の動画画像を同期する技術を開発し、LiDAR センサと動画画像カメラを組み合わせ、様々な状況を効率よく認識する技術を実現した。また、LiDAR センサに基づき物体の形状を理解することに加え、視覚情報に基づき人間が状況を理解する上で役立つアーカイブデータとして動画画像データを蓄積する。まず、数十 m にもわたる広域空間をセンシングし、各方向への距離情報を誤差数 cm 程度で取得できる LiDAR センサを活用し、バスや福祉車両などに固定した LiDAR センサから得られる路面や路肩の点群情報から、それらの状況を判断する。具体的には、毎秒 40 フレームで距離データを出力する LiDAR センサを利用し、毎秒分点群データの集約を行い、集約後の点群データに対して ICP (Iterative Closest Point) アルゴリズムを適用する。LiDAR センサが仮に誤差のない直線を検知した場合の仮想点群と、上記で得られた点群との誤差を最小にするような線分を発見する方法として応用する。この ICP アルゴリズムにより高速なデータ処理が可能かを確かめるとともに、上記で発見された線分に対応する距離を用いた幅員計測、ガードレールの有無の状況把握が可能であることを文献 [13] にて確認している。同様に、集約された点群データを分析することで、路面の凹凸を判定する。この路面凹凸判定は、各時点において推定された路面を、水平方向に数十センチ単位で分割し、時系列でその変化を観測することによって為されている。最後に、路線バスなどは同じ路線を繰り返し通過するため、同一地点における時間変化を容易にまとめられる手法も重要となる。また、山間部においては、GPS からの電波を常に受信できるわけではないため、GPS によるピンポイントの地点特定は困難であり、運転者によってバスの走行速度は大きく異なることから、路線走行の動画画像データから同じ箇所のスナップショットだけを抽出することは容易でない。これに対し、本研究では二つの動画画像間の類似度を時間系列的に探索することで、それらの間で同じ地点を撮影したタイミングを同定する手法を開発している。

上記機能を有したエッジコンピューティング基盤の試作機を図3に示す。このシステムは、Raspberry Pi4 (ARM Cortex-A72: 4 コア) と NVIDIA Jetson Nano (ARM Cortex-A57: 4 コア+CUDA128 コア) から構成されており、自動車に備えられている 12V から 24V シガー電源で動作し、自動車からの不安定な電源供給に伴う突発的な電源断が発生しないよう、電源安定化装置と、電源が途絶えた際にも OS レベルでシャットダウン処理が正常に行われるよう、自動シャットダウン機構を備えている。GPS、LiDAR センサと動画画像カメラからのデータは SSD に記録されることに加え、自動車の位置、取得した一部のデータは、数分毎に LTE を介し、クラウドサーバに集約され、システムの状態を常に監視できるようになっており、システムになにかしらトラブルがあった際に、すぐにその

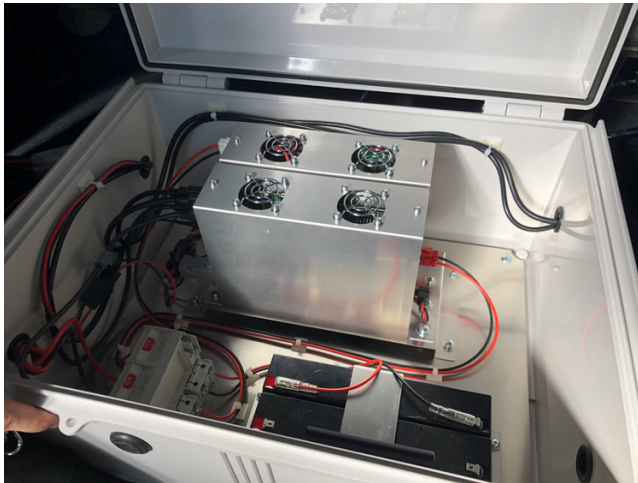


図 3 エッジコンピューティング基盤の試作機

位置や状況を確認できるような体制を整えている。

3.2 マルチアクセスネットワークシステム

通信不感地帯を多く含む中山間地域においても、交通インフラに関するセンシングデータを確実に送信できるよう、表 1 に示すような、複数の通信方式の中から、送信するデータと環境に即して最適な通信方式を選定するとともに、DTN により、低コストでデータを集約する技術を開発した。例えば、即時性が求められるデータは優先度の高いデータは LTE により送信し、動画データや点群データのような優先度の低い生データは、DTN を活用しながら、優先度の高いデータに影響を与えない範囲でデータを送信する仕組みを備えている。エッジコンピューティング基盤に加え、マルチネットワークアクセスの部分を加えた試作機を図 4 に示す。この図の左側がエッジコンピュータ基盤で、各種演算処理や制御・データの記録を担う部分であり、右側はマルチアクセスネットワーク部分である。本ハードウェアは複数の通信方式に対応できるインターフェイスを備え、かつ最適な通信方式を選択及び制御するためのボードを搭載しており、DTN を含む複数の無線通信方式の中から、データ収集目的に応じて最適な通信経路を選択し、効率的なデータ収集を行うためのマルチアクセスネットワークのプログラムが稼働している。システムの詳細については、文献 [14] にて紹介している。

4. 実証実験

高知県は、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 [15]。提案する取り組みでは、そのような状況にある自治体の一つである高知県香南市において、2020 年 11 月 30 日から 2020 年 12 月 12 日までの 13 日間実証実験を実施した。実



図 4 提案システムの試作機
(マルチアクセスネットワーク版)

2次元LiDAR Hokuyo UST-LX20 カメラ（市販 USBカメラ） GPS（天井マグネット）



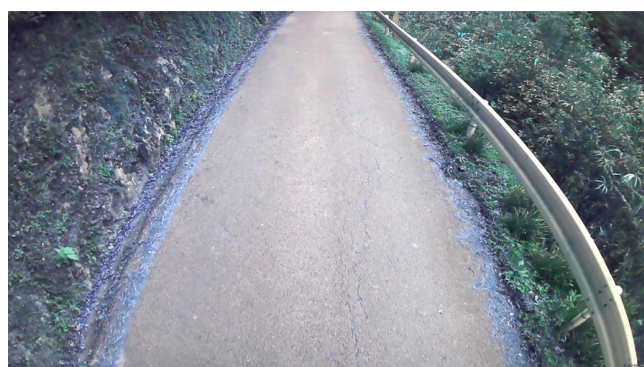
図 5 実証実験における各種センサの設置状況

証実験に際し、香南市役所との協議を繰り返した結果、香南市営バスが運営する路線の一つである羽尾・細川線を走行するコミュニティバスに、開発したエッジコンピューティング基盤を搭載することとした。この車両に LiDAR センサ、動画カメラ、GPS および開発したエッジ基盤を搭載した。バスの後部の扉に、二つの吸盤により固定されたアルミバーを添わせ、このアルミバーに、LiDAR センサ、動画カメラは、バスの後部の扉に設置し、点群データ、動画データを取得した。GPS アンテナには磁石が備わっており、車体に直接固定されている。落下防止用にゴムベルトを備えていたが、実証実験中にこれらのセンサが外れることはなかった。対象とする羽尾・細川線は一往復あたり最大 42km の道のりであり、平日 6 往復、土日 3 往復の運行となっており、実証実験においては、平日 10 日間、土日 3 日間で、計 69 往復の運行を通して、総距離約 2,800km 相当のデータ（映像容量 775GB、LiDAR 点群容量 90GB、GPS 容量 373MB）を収集することができた。実証実験において計測した道路の一例を図 6 に示す。図 6 (a) は、その道路においてある程度整地されている箇所を示す一方、図 6 (b) は、赤の四角で囲んでいるように、凹みがある箇所を示している。それぞれの箇所について、25cm 毎で水平面で分冊された区域毎で観測された点と、隣接する箇所とで推定された路面との高低差の距離を箱ひげ図として集計したまとめた結果を図 7 に示す。図 7 (a) に示されるように、凹みがない箇所においては、区域毎の高低差は大きくない一方、図 7 (b) に示されるように、凹みがある左の部

表 1 無線通信方式

名称	周波数帯・方式等	通信速度		通信コスト
無線 LAN	IEEE802.11a/b/g 等	数百 Mbps	数百 m 程度	不要
携帯電話	4G/LTE	数十 Mbps	数 km 山間部は不通	通信量に応じて発生
デジタル簡易無線	免許局 (154MHz) 登録局 (351MHz)	数十～数 Kbps	1～数 km	不要 (更新費は必要)
特定小電力無線 LPWA	LORA SIGFOX 等	数十から数 Kbps	1km (見通し良好なら数 km)	不要

分の高低差は他の部分を大きく異なっており、LiDAR センサから得られた点群データに基づき、交通インフラの異常を簡易的に判定することがわかる。また、実証実験において得られた動画像に対し、同一地点における時間変化をまとめられる例を図 8 に示す。実証実験において異なる日時に撮影した二つの動画を提案手法で実際に同期させた例である。図 8 の上図は、2020 年 11 月 30 日 15 時から撮影された画像で、下図は、2020 年 11 月 30 日 16 時頃撮影されたものである。これらの図を比較してわかるように、撮影された地点は幾分異なっているが、同じ箇所を似通った構図から撮影されたものを抽出しており、動画像のマッチングがうまく機能していることがわかる。



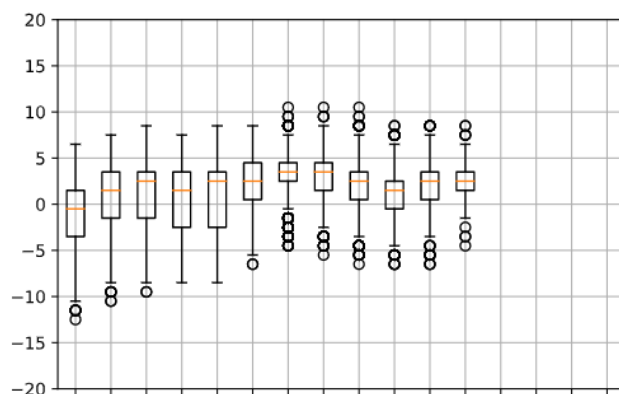
(a) 凹みがない箇所



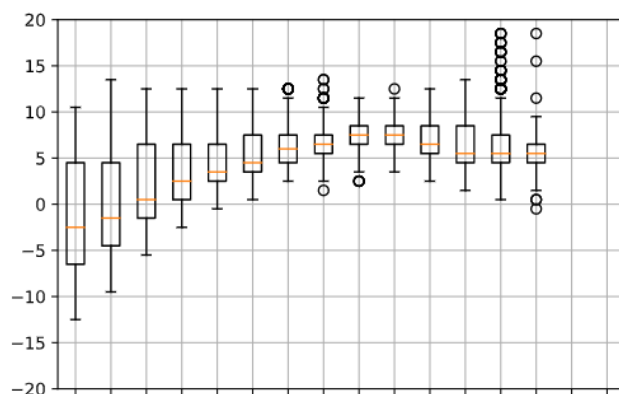
(b) 凹みがある箇所

図 6 実証実験にて計測した道路の例

また、高知県香南市全域において、送信データと環境に即して、デジタル簡易無線と LTE を使い分け、最適な通信方式を選定する伝送データ制御技術の評価実験を実施した。リアルタイムに交通インフラ情報を収集する通信方式として、デジタル簡易無線 351MHz を利用することを想定し、実証実験実施場所である高知県香南市において、電波



(a) 凹みがない箇所



(b) 凹みがある箇所

図 7 図 6 の道路における凹凸の変化

計測実験を実施した。その際、香南市と協議の結果、公共路線バスが走る道路だけでなく、市の全域を交通インフラ情報を把握したいとの要望があったことから、香南市全域に対してデジタル簡易無線の通信が可能か検証を行った。図 9 に示すように、香南市を三つのエリア (A. 野市・香我美エリア、B. 赤岡・夜須・細川・夜須エリア、C. 長者が森・舞川エリア) に分けて、電波計測実験を実施した。三つのエリアの計測を一つの計測拠点でカバーすることは事前の簡易調査にて困難であることが見込まれ、三つのエリアそれぞれに計測拠点を設置し、各拠点で計測されたデータを一箇所に集約することで、香南市全域を調査することとした。図 9 及び、表 2 に示すように、極一部の地域 (割合として 0.7%~1.4%) で受信感度が悪い地域があったのみで、香南市全域にわたって電波の送受信が概ね良好であることが確認でき、リアルタイムに情報を収集する通信手段としてデジタル簡易無線 351MHz 帯が機能することを



図 8 異なる日時に観測した動画像に対するマッチング処理の例

確認した。

表 2 電波計測結果 (拠点数)

計測	A	B	C
観測点数	146	426	229
内、通信「不可」拠点数・割合	2 (1.4%)	3 (0.7%)	3 (1.3%)

一方、動画像データや点群データのように伝送優先度の低い生データは、後述する蓄積運搬転送技術などを活用しながら、伝送優先度の高いデータに影響を与えない範囲でデータを送付する、マルチアクセスネットワークを用いた実証実験を高知県総合防災訓練で実施した。開発した DTN の概念図を図 10 に示す。高知県香南市で 2019 年 6 月に開催された総合防災訓練において、開発した DTN により、3.7 MB の画像データを転送した結果、赤岡保健センターから中央東福祉保健所に蓄積運搬型転送に掛かった時間は約 15 分間であった (図 11)。これは赤岡保健センターから中央東福祉保健所に車両が移動した時間に該当するものであり、赤岡保健センターで撮影した画像を車両に転送する時間、および中央東福祉保健所にて車両から中央東福祉保健所のストレージにデータをアップロードするのは 1 分以下となっており、開発したマルチネットワークが想定通りに機能することを確認した。

5. まとめと今後の課題

本取組では、小型の計算機ならびに動画像カメラおよび LiDAR センサを搭載することにより、中山間地域の住民が平常時に生活の足として利用する路線バス・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して活用し、点群データ処理機能や画像認識機能により、交通インフラの状況を把握するとともに、マルチアクセスネットワーク及び Delay Tolerant Network を利用することにより、通信不感地帯においても、迅速に交通インフラの状況を集約可能な基盤を構築した。また、これらの基盤を活用し、高知県香南市において、交通インフラを 13 日間計測する実証実験を行い、動画像データとして 775 GB、点群データとして 90 GB 相当のセンシングデータを収集した。この取組で収集及び解析したセンシングデータを、他の行政機関でも閲覧できるよう、これらのデータを可視化するシステム環境に取り組んでおり、今回構築したシステムに加え、収集したデータの有効性を検証する予定である。

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] 渡辺陽介：リアルタイムな交通情報の共有のためのダイナミックマップ技術 (特集コネクティッドカーおよび自動運転) - (コネクティッドカー実現に必要な技術、国際協調), 映像情報メディア学会誌 = The journal of the Institute of Image Information and Television Engineers, Vol. 74, No. 2, pp. 243-248 (オンライン), 入手先 (<https://ci.nii.ac.jp/naid/40022175886/>) (2020).
- [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., Seraghi, 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

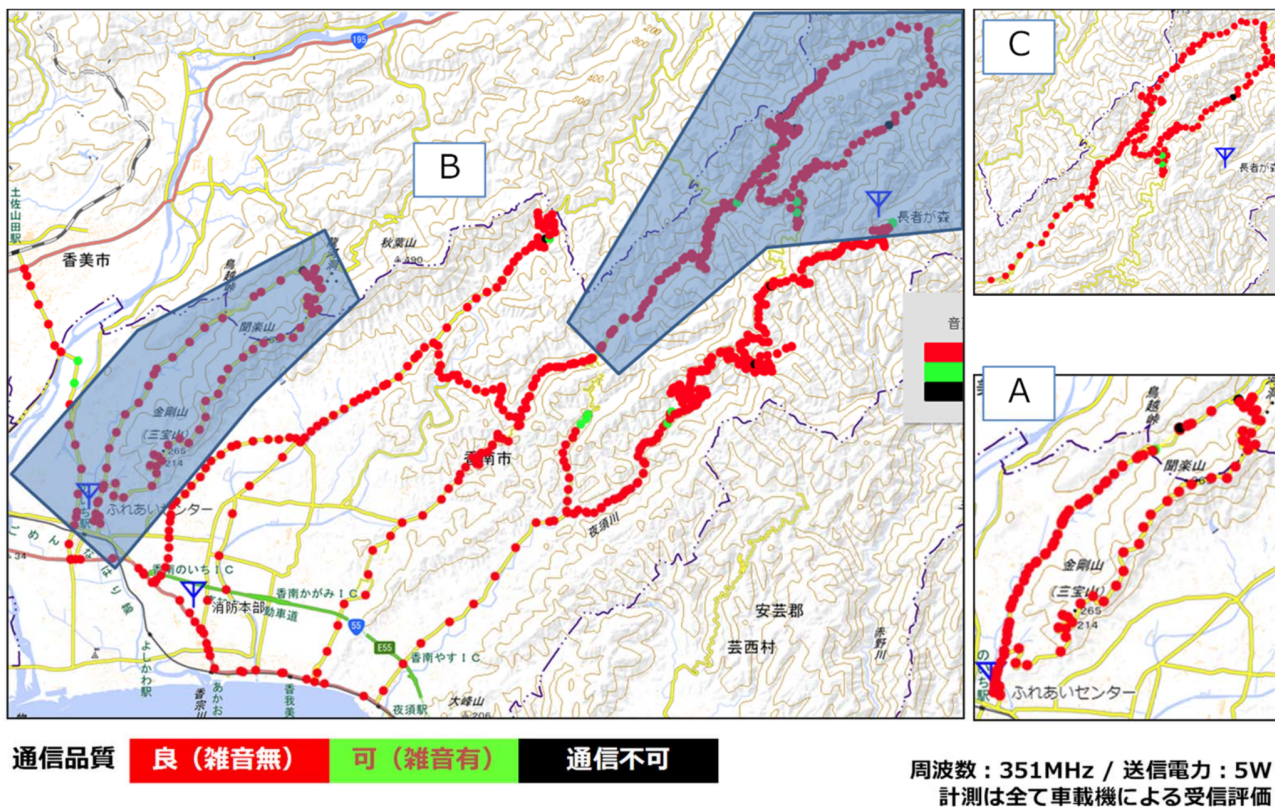


図 9 電波計測結果



図 10 Delay Tolerant Network の概念図



図 11 車両を用いた Delay Tolerant Network によるデータ送信

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] 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫: 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, 情報処理学会研究報告, Vol. DPS180, No. 7, pp. 1-25 (2019).
- [14] 梶田宗吾, 前野 誉, 高井理沙, 高井峰生, 加藤新良太, 石原 進: 災害救急医療活動を支える通信インフラ非依存の拠点間情報伝達システムの構築, ITヘルスケア学会第13回学術大会, Vol. 14, No. 1 (2019).
- [15] 全国過疎地域自立促進連盟: 過疎市町村 MAP (2019).