

衛星移動体を用いた災害時道路情報収集システム

Development of Collection system of the road damage information Using mobile vehicle earth station for the Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite “KIZUNA” (WINDS)

○鄭 炳表¹, 高橋 卓²

Byeong-pyo JEONG¹ and Takashi TAKAHASHI²

¹ 国立研究開発法人情報通信研究機構、耐災害ICT研究センター

Resilient ICT Research Center, National Institute of Information and Communications Technology

² 国立研究開発法人情報通信研究機構、鹿島宇宙技術センター

Kashima Space Technology Center, National Institute of Information and Communications Technology

Based on lessons learned from the Great East Japan Earthquake, the National Institute of Information and Communications Technology (NICT) developed a mobile earth station using . This station is designed to use not only fixed terminal but also mobile terminal to deal with the multiple communication situations. In order to take advantage more effectively, we have developed road bump detection and transmission system using by this mobile station.

This system can detect height of bump and location of the damaged road caused by a disaster. To confirm the accuracy of the detection, the detected road bumps were compared with the observed data. As the results were satisfying, it was judged that this system is valid for emergency response phase of the disaster.

Keywords : Disaster, Road damage information, Mobile vehicle earth station, Wideband InterNetworking engineering test and Demonstration Satellite (WINDS)

1. はじめに

大規模災害による被害を最小限に抑えるためには、災害の全体像（どの地域で、どのような被害が、どのくらい発生しているか）を把握することが重要である。特に緊急対応期（発災直後から約 1 週間）においてはいかに災害情報を収集し、いかに早く消防や警察などのような組織と共有するかが、その後の巨視的な活動方針（被害の拡大傾向の有無、重点的な活動場所、注力すべき災害パターン、必要とする救援組織と量など）に大きく影響するが、それを可能とするのが情報通信である。

2011 年 3 月 11 日発生した東日本大震災の場合、極めて大きな地震や津波のエネルギーが働いたことに加え、電話網をはじめとする情報通信系に甚大な被害が発生したため、災害情報の収集や共有に支障が生じた。NICT では、東日本大震災の教訓から、走行しながら衛星通信が可能な超高速インターネット衛星（以降、WINDS と呼ぶ）用の小型車載地球局（以降、小型車載局と呼ぶ）を開発し、地方自治体、消防等の緊急対応機関の協力を得ながら実証実験を重ねてきている。他に 2016 熊本地震が発生した時には、熊本県高森町に派遣され、応急ネットワークを構築し、鹿島宇宙技術センター経由でインターネット衛星回線を提供した[1], [2]。

一方、大災害が発生すると被災地の対応力（消防や警察など）だけでは緊急対応が困難であり、全国から応援組織が派遣される。その時、重要なのが道路被害情報（道路被害箇所、道路段差の高さ、道路段差の長さなど）である。東日本大震災が発生した時、国土交通省は、防災ヘリコプターなどを使い、道路などの被害状況を確認した。しかし、防災ヘリコプターや職員の人海戦術による情報収集には限界があったことから、被害当日の夜の

時点で状況を確認できた国道は東北 6 県の約 7 割程度である[3]。このことから例えば、愛媛県などでは民間ボランティア組織とアマチュア無線などを利用し、道路被害情報を収集している。

他方、2004 年新潟県中越地震の例をみると最も早い消防応援隊は約 5 時間で被災地に入っており[4]、東日本大震災時も同じ時間で被災地に入っている[5]。

そこで、大規模災害が発生した場合、災害現場に出動する緊急援助消防隊又は緊急機関と一緒に移動することを想定し、小型車載局に加速度センサーやカメラなどを設置し、道路被害情報（特に段差情報）の検出と検出した道路情報を災害対策本部へ WINDS 経由で送信できる道路段差検出・伝送システムを開発した。本システムを活用すれば、災害現地に向かって移動中の小型車載局からリアルタイムで送られてくる道路被害情報を閲覧、又は関係部局と共有することが可能である。

本稿では、本システムの概要、構成などの紹介する。

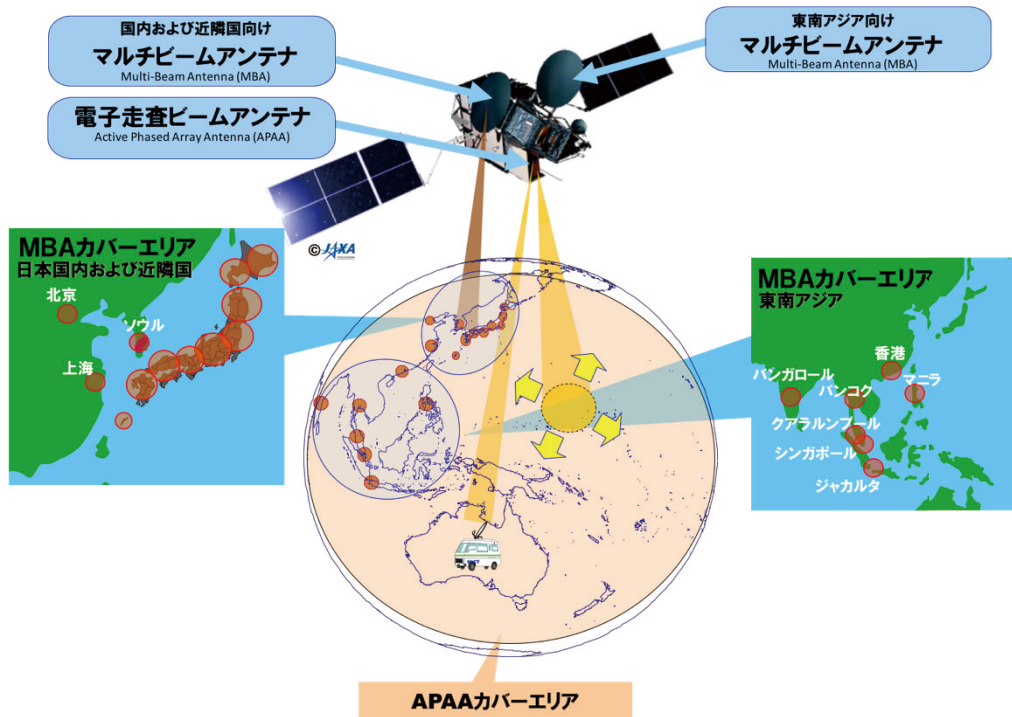
2. WINDS及び小型車載局

WINDS の概要と WINDS 用小型車載局について説明する。

(1) WINDS の概要

日本政府が 2001 年に策定した「e-Japan」に基づく WINDS は、NICT と JAXA が共同で開発した超高速インターネット衛星であり、2008 年 2 月に H-II A にて打ち上げられ、基本実験を終え、現在は後期利用実験のフェーズに入っている。

WINDS の主な特徴として再生交換中継方式と非再生中継方式（ベントパイプ方式）の 2 つの中継方式を持つ。



	MBA	APAA
周波数	上り: 27.5~28.6GHz / 下り: 17.7~18.8GHz	
カバーエリア	日本全国(9地区)及びアジア10都市	アジア太平洋地域 (任意方向に送受信 2ビーム)
EIRP, G/T	68 dBW以上, 18 dB/K以上 (MPA合計最大出力: 280 W)	55 dBW以上, 7 dB/K以上
偏波	水平及び垂直偏波	垂直偏波
中継方式	再生交換中継方式またはベントパイプ中継方式	

図1 WINDSの概要



図2 小型車載局

また、アンテナはマルチビームアンテナ (MBA) と電子走査アンテナ (APAA) を搭載し、目的に合わせて使い分けることが出来る [6].

再生交換中継方式においては 1.5 Mbps から 155 Mbps の伝送が可能であり、衛星に搭載されたベースバンド交換器により、異なるデータを特定の地球局へ送ることが可能である。また、ベントパイプ方式では一般的な衛星通信と同様に地球局からの信号を受信し、周波数変換を行い、信号を増幅して地上へ送信する。この方式では最大 3.2 Gbps の高速通信に成功している [7]。図 1 に WINDS の概要を示す。

(2) WINDS の寿命

WINDS の設計寿命は 5 年であり、2008 年 2 月 23 日に打ち上げられ、運用開始から 11 年目となる。2020 年 3 月まで運用が決まっており、現在は燃料節約のため、南北制御を中止している。

(3) 小型車載局について

NICT では、東日本大震災の教訓を踏まえ、災害時に簡易な操作で設置が可能な衛星通信用の小型車載地球局を開発し、運用している。小型車載地球局は、WINDS の再生中継システムとマルチビームアンテナを使用して、走行しながら 24Mbps の通信速度を実現できる。

小型車載地球局は、レドーム付きの開口径 65cm の軸対称型反射鏡アンテナ、20W クラスの固体化電力増幅器、

3 軸ジンバル機構および変復調器などで構成される。各機器は図 2 に示すように小型の車両に搭載されている。災害発生直後、緊急消防援助隊等と一緒に移動を想定し、開発された本地球局は Ka 帯で、時速 100 km で移動しながら 24Mbps のデータ通信が可能であり、世界でも例を見ない衛星通信車載局のため、消防関係や防衛関係などから期待されている技術である。

3. 災害時道路情報収集システム

大規模災害が発生した場合、災害現場に出動する緊急消防援助隊又は緊急機関と一緒に移動することを想定し、小型車載局に加速度センサーやカメラなどを設置し、道路被害情報（主に段差情報）の検出と検出した災害時の道路情報を収集し、災害対策本部等後方へ衛星経由で送信できる災害時道路情報収集システムを開発し、運用している。本システムを活用すれば、災害現地に向かって移動中の小型車載局からリアルタイムで送られてくる道路被害情報を閲覧、又は関係部局と共有することが可能である。

(1) システムの概要

地域本システムは、小型車載局車両に設置される計測用 PC（以降、車載 PC と呼ぶ）と災害本部に設置される道路被害情報閲覧 PC（以降、災対 PC と呼ぶ）から構成される。

車載 PC には、加速度センサーと USB カメラが接続されている。加速度センサーは小型車載局車両前輪のショックアブソーバ付近の車体面に設置するが、必要に応じて、加速度センサーを各車輪ショックアブソーバ付近の車体面に設置することが可能である。また、USB カメラはダッシュボードの上に設置し、車載 PC は IDU に有線接続される。

車載 PC では道路段差の計測と計測したデータの送付を行い、災対 PC では車載 PC からリアルタイムで送られてくるデータの受信とデータの描画を行う。図 3 に本システムの構成を示す。

(2) UDP 再送制御機能

本システムは WINDS を含む衛星回線の使用を想定し、設計した。WINDS は静止衛星であり、通信距離が非常に長いことや衛星局での中継処理と地球局側での送受信処

理などを含めると RTT が非常に大きく 500ms 程度になる。このような高遅延環境下で TCP 通信を行うと送受信間での応答が遅くなるため、ウィンドウサイズの増加も遅くなり、結果的に通信可能な帯域を十分に使用できない。また、小型車載局の走行中に遮蔽によるパケットロスも少なからず発生する。これらを考慮し、車載 PC と災対 PC 間の通信は TCP ではなく、UDP を採用した。ただし、UDP にはエラー処理機能（再送制御）がないため、独自の再送制御機能を実装した。

(3) 加速度センサーを用いた災害によって生じた道路道路被害の検出

小型車載局車両のショックアブソーバより上に位置する車体面における上下動の振幅を計測するため、加速度センサーをショックアブソーバ上部の車体面に設置し、得られた加速度データ $[m/s^2]$ から上下動振幅 $[mm]$ を検出するため、八木の検出する手法を借用した [8]。八木の提案手法を用いると、上下動振幅が低くなった高さから高くなった高さまでの差である道路の段差高 $[mm]$ と、その間走行した距離である段差長 $[mm]$ を得られる。また、走行に支障のないうねり成分も検出することができる。ただし、上り坂や下り坂のような非常に穏やかな成分は検出できない。

(4) 車載 PC 及び災対 PC の画面

システムを起動するとメイン画面が立ち上がり、開始 (REC) ボタンを押すと図 4 のようなグラフ表示が現れると同時に道路段差の検出と伝送を開始する。

災対 PC を起動すると図 5 のように左側に地図画面、右側に受信データ一覧が表示される。受信データは車載 PC が送信したタイミングごと分割された形で、開始地点の緯度経度、区間の距離、段差の数、開始地点の住所情報

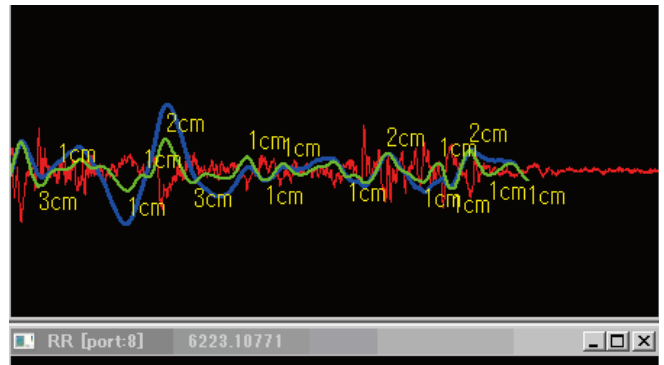


図 4 加速度センサーの道路段差画面

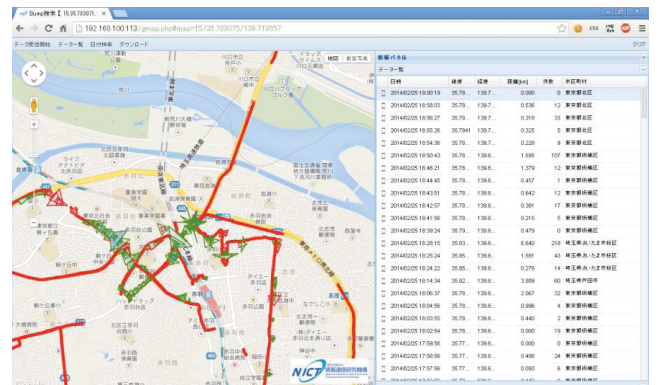


図 5 災対 PC の画面

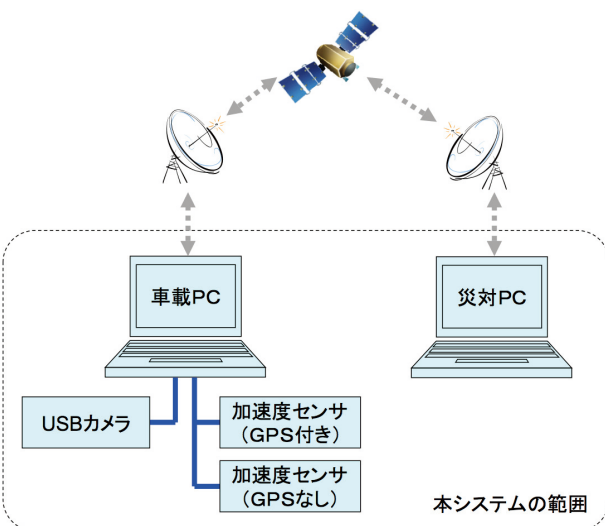


図 3 システムの構成



図6 本システムにより検出された段差高のデータと現地調査で得られたデータの重ね合わせ



図7 現地調査

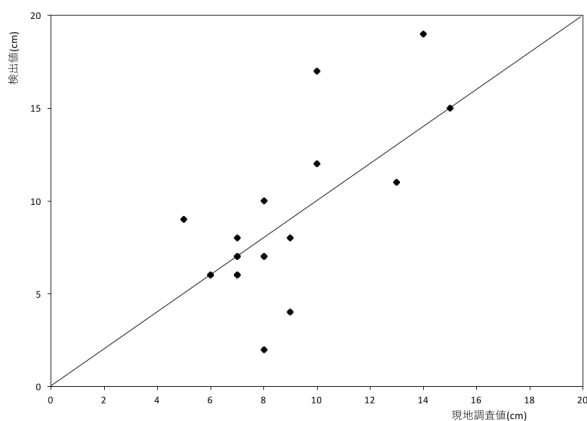


図8 検出値と現地調査値の比較

が表示される。

(5) 検出された段差高データの検証

本システムで検出される道路段差情報の精度を検証するため、鹿島宇宙技術センター近くの住宅地の一般道を走行し、道路段差情報を採取した。走行した道路は東日本大震災時に段差が生じており、補修する前の道路であ

る。図6に収集したデータを示す。なお、矢印は図7に示すとおり簡易的方法で測定した段差の高さ[cm]と位置を表している。

図8は、本システムにより検出された段差高と現地調査で得られた段差高を比較したものである。実際の高さより高く評価された場所や逆に比較評価された場所も見られが、おおむね対応関係にあることが分かる。災害発生直後、道路情報がない中では、十分意味のあるデータであると思われる。

4. まとめ

東日本大震災の発生直後、被害地域へ向かう緊急対応組織と連絡が取れず、迅速な対応や活動方針などがうまく伝えられなかった教訓から、移動中でも衛星通信が可能な小型車載局を開発し、小型車載局の持つ能力を最大限生かすため、道路の被害情報を検出・伝送できるシステムを開発した。本システムにより、検出された道路の段差値と現地調査で得られた段差値を比較した結果、おおむね対応関係にあることが確認できた。また、検出した道路被害を伝送する時間を検討した結果、500Kbps程度の衛星帯域を確保すれば、本システムを運用できることを確認した。

今後は、地方自治体の防災訓練などに参加し、システムの評価を行う予定である。

文 献

- [1] Akira AKAISHI, Takashi TAKAHASHI, Mitsugu OHKAWA, Toshio ASAI and Byeongpyo JEONG, “Kahand Mobile Earth Station for WINDS”, 29th ISTS, June 2013.
- [2] 鄭炳表, 大和田泰伯, 薄田一, 高橋卓, 菅智茂, 豊嶋守生, WINDS を用いた 2016 熊本地震応急ネットワーク構築, 信学技報, vol. 116, no. 144, SAT2016-30, pp. 103-106, 2016年7月
- [3] “カーナビ情報で被災状況把握＝不通区間を短時間で発見 一国土交通省”, <http://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20130803-00000056-jij-pol>, 2003.08.06
- [4] 総務省消防庁消防大学校消防研究センター, “2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震時の消防活動に関する調査報告書”, 消防研究技術資料第80号, March.2008.
- [5] 総務省消防庁消防大学校消防研究センター, “平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の被害及び消防活動に関する調査報告書(第1報)”, 消防研究技術資料第82号, December.2008.
- [6] 情報通信研究機構, “超高速インターネット衛星(WINDS)特集”, 情報通信研究機構季報, Vol.53, No.4, 2007年12月.
- [7] Kenji Suzuki, et al., “16APSK/16QAM-OFDM 3.2Gbps RF Signal Direct-Processing Transmitter and Receiver Communication Experiments Using WINDS Satellite”, 信学技報, vol. 115, no. 241, SAT2015-40, pp. 137-140, 2015年10月.
- [8] 八木浩一, “スマートフォンの加速度センサを用いた路面段差検出手法と東北地方太平洋沖地震における適用”, 第31回交通工学研究発表会論文集, pp.249-252, August.2011.