

災害時における無線モニタリングによる社会インフラの見える化

松本直人^{1,a)} 菊地俊介²

概要：災害時の情報が混乱する中、人々が被災状況を迅速に把握できることは、心理的な不安軽減につながると考えられる。しかし東日本大震災に代表される広域災害では、放送・通信基盤の多くが機能停止し、各機関から迅速に被災情報開示が行われることは少なかった。本研究では災害時、無線モニタリングによって、地域の社会基盤の被災状況を迅速に推定可能とする手法を検証する。

キーワード：災害コミュニケーション、無線モニタリング、携帯電話

1. はじめに

東日本大震災に代表される広域災害では、放送・通信基盤の多くが機能停止したが、その被災状況が各機関から迅速に共有されることは少なかった。こういった情報が混乱する中では、社会全体での不安軽減ためにも、人々に被災状況を迅速に提供できる仕組みが望まれる。

我々の社会生活では、数多くの無線技術は利用されている。総務省によれば、日本全国における LTE/4G・高度化 BWA の基地局数は合計で 66 万局を超えており、人口カバー率も 99.7%を超えている[1]。携帯電話の通信基盤は、我々の日常に欠かせないものである一方、日本全国に網の目のように広がった巨大なセンサーネットワークともいえる。

本研究では、災害時に被災地域において、無線モニタリングを行うことにより、放送・通信基盤に甚大な被害が起きていないかを推定する手法について検証した。

2. 関連研究

Kyle Keen [2]によるソフトウェア実装 rtl_power は、安価に入手可能な RTL2832U(RTL-SDR)型 USB ドングルと無線アンテナを組み合わせること、広帯域スペクトラム・アナライザとして利用可能となる。この機能を使うと、65MHz から 2.1GHz までの範囲で、1MHz 間隔単位に周波数範囲の dB(デシベル)値が出力できる。この機能を用いることで、周辺環境における電波状態を広帯域で把握ができる(図 1)。



図 1 rtl_power 出力結果のグラフ(測定例)
Figure 1 rtl_power output graph (example)

同様のソフトウェアに soapy_power[3], rx_power[4]が存在するが、使用する SDR(Software Defined Radio)型 USB デバイスの種類によって、これらソフトウェアを利用できる。

1 さくらインターネット株式会社 さくらインターネット研究所
SAKURA internet Research Center, SAKURA internet Inc.
a) n-matsumoto@sakura.ad.jp

3. 無線モニタリングのための調査

我々が住む現代において、無線による放送・通信は多岐にわたっている。航空機であれば ADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)、船舶であれば AIS(Automatic Identification System)などが代表されるが、利用される目的により周波数や各通信方式が異なる。いずれの用途であれ、その地域に存在している無線設備・機器からは放送・通信が行われているのは確かであり、状況を広帯域スペクトラム・アナライザで観測可能することは可能である。テレビ放送やラジオ放送であれば、受信器を介して内容を視覚・聴覚的に把握することは可能であるが、その他無線通信方式は周波数もデータ形式も異なっているため、容易には内容を把握することはできない。ただ、各地域において周波数がどのような用途に割り当てられているかは国により定義されており[5](図2)、周波数の電波状態を確認することで、当該通信状況と設備が正常に動作していることを推定できる。日本全国に展開される66万超の携帯電話基地局や、テレビ・ラジオ放送、航空機や船舶から発せられる通信、その他、我々の社会生活を支える無線通信のひとつひとつが、発災時にその地域で何が起きているか推定する要素となるのだ。

本研究では、この仮説に基づき無線モニタリングを用いた社会インフラの見える化を試みている。

国内分配 (MHz) (4)		無線局の目的 (5)
806-810	移動	公共業務用 小電力業務用
810-850 J67	移動 J68	電気通信業務用
850-860 J67	移動 J68	一般業務用
860-895 J67 J94	移動 J68	電気通信業務用
895-900 J67	移動 J68	一般業務用
900-915 J67	移動 J68	電気通信業務用
915-930 J67	移動 J68	電気通信業務用 公共業務用 放送事業用 小電力業務用 一般業務用

図2 総務省 周波数割当表

Figure 2 Frequency Allocation Table (METI).

4. 実験

今回の実験では、RTL2832U(RTL-SDR)型 USB ドングルおよび無線アンテナを Windows10 ノートパソコン上の Virtual Box に、Linux OS(Ubuntu 18.04LTS)の仮想マシンを搭載して行っている(図3)。



図3 無線モニタリング環境

Figure 3 Wireless Monitoring Environment.

この実験環境では、65MHz から 2.1GHz までの周波数の無線モニタリングが可能で、災害時における移動と可搬性を考慮して、最軽量かつ長寿命のバッテリーを環境のシステム構成を採用していた。実験では、rtl_power アプリケーションを広帯域スペクトラム・アナライザとして用いて 65MHz から 2.1GHz までの周波数を 1MHz 区切りで測定した。期間は、2020年2月6日から3月22日の日中から夜間にかけて行われている。実験の行われた地域は、東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県、秋田県、岩手県、宮城県の異なる地域と場所で、測定は延べ66回行っている。

測定には都市部、山間部、海岸部、移動時など異なる場所と条件で行った。これは地域毎の電波状況の違いを確認するとともに、電波状況が災害時における無線設備の被害状況を推定するに足る情報になりえるかを検証している。ここでいう電波状況とは、私たちの生活を支える放送・通信向けの設備から発せられる電波を意味し、テレビ放送、ラジオ放送、携帯電話に代表される広く一般に利用される無線設備を指している。

我々が生活を営んでいく上で欠かせない無線設備であるが、日常的にこれら無線状況を簡単に把握する方法は存在しない。つぎにさまざまな条件下による実験結果を見ていく。

4.1 都市部の測定

都市部の無線モニタリングでは、東京駅前、仙台駅前、盛岡駅前で測定を行った(図 4)。この測定によりラジオ放送、テレビ放送、携帯電話(PHS を含む)の周波数における良好な電波状況が確認できた。東京都、宮城県、岩手県という異なる地理における無線モニタリングにおいて、測定結果から携帯電話向けに割り当てられた周波数で通信状況の類似性が確認できた。都市部には、数多くの携帯電話基地局が設置されており、それら周波数割り当てられた通信の活発な利用がみとれる。

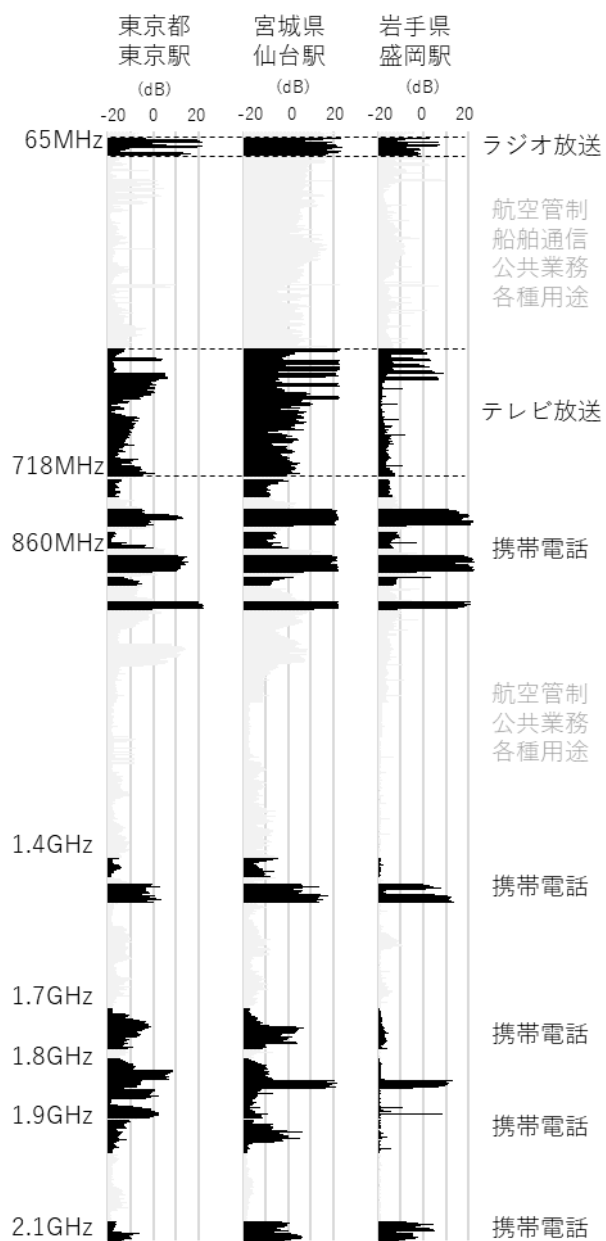


図 2 無線モニタリング (都市部)
 Figure 2 Wireless Monitoring (Urban)

4.2 郊外等の測定

郊外等の無線モニタリングでは、神奈川県清川村、秋田県大仙市協和峰吉川で測定を行った(図 5)。清川村の測定地点は、ヤビツ峠の山間部を進んだ災害復旧現場であり、携帯電話基地局の真下でもある。周辺に住民は住んでおらず、無線モニタリング測定時にも、持参した携帯電話は電源オフ状態である。峰吉川の測定地点は、農村部の駅前であり、近くに携帯電話基地局がある。測定から都市部で携帯電話向けに使われる GHz 帯の周波数は一部しか確認できなかったが、MHz 帯のプラチナバンドと呼ばれる周波数は良好な通信を行っていた。

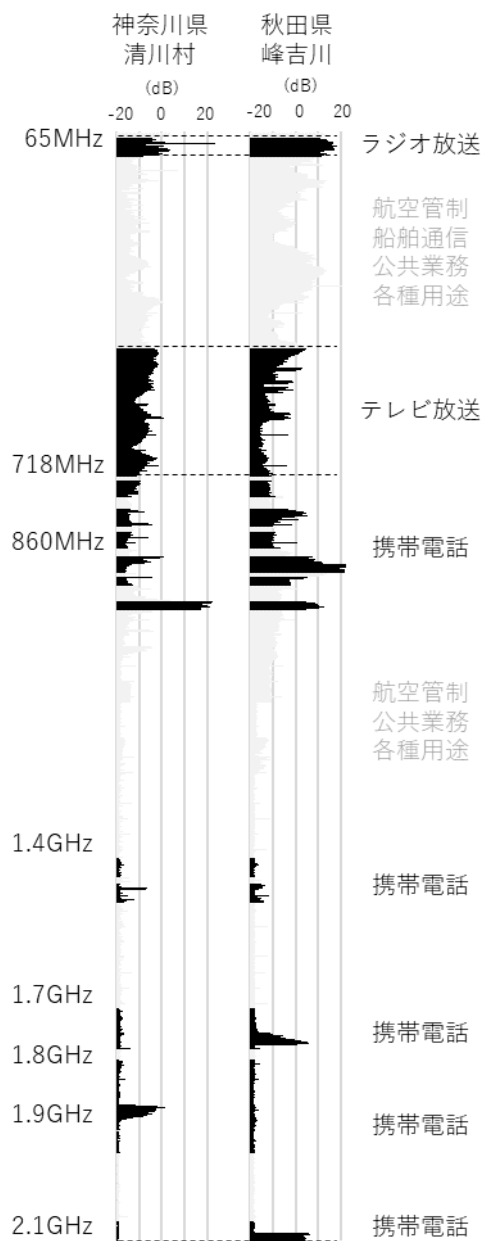


図 3 無線モニタリング (郊外等)
 Figure 3 Wireless Monitoring (Suburb)

4.3 海岸部の測定

沿岸部の無線モニタリングでは、千葉県海ほたるパーキングエリア、神奈川県観音崎灯台で測定を行った(図 6)。神奈川県観音崎灯台の測定地点は、灯台直下の山を背負った海岸線であり、周囲から海に飛び出した地形となっている。このため、ラジオ放送、テレビ放送、携帯電話の一部周波の電波が届きにくくなっている。海ほたるパーキングエリアでは、測定から都市部で携帯電話向けに使われる GHz 帯の周波数は一部しか確認できなかった。

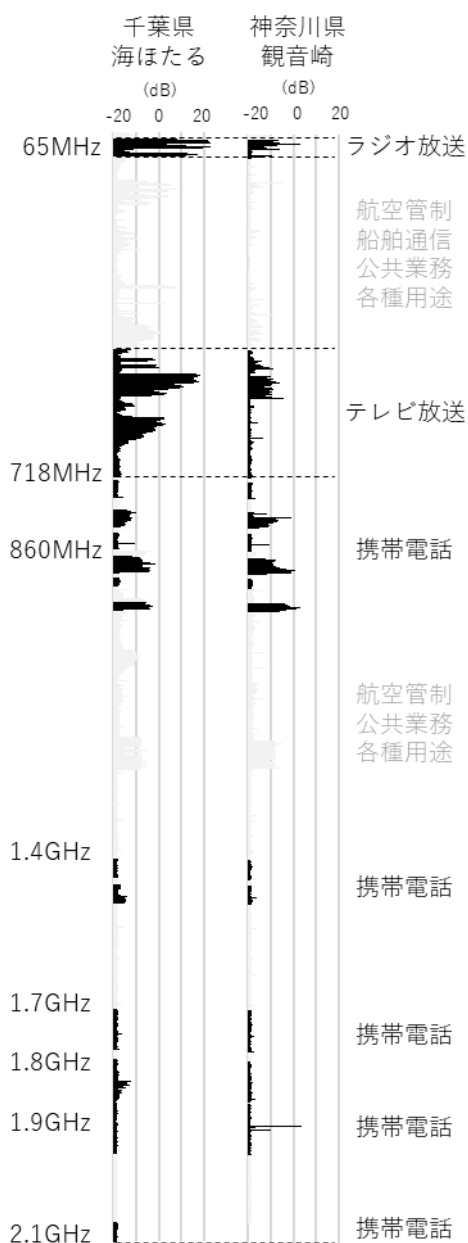


図 4 無線モニタリング (沿岸部)
 Figure 4 Wireless Monitoring (Gulf)

4.4 移動時の測定

移動時の無線モニタリングでは、新幹線による高速移動中の車窓から測定を行った(図 7)。これは短時間かつ広範囲に無線モニタリングを行えるかを評価するためであり、移動時において測定結果にどのような変化を及ぼすかを視覚的にも確認している。測定結果から、高速移動時に無線モニタリングを行った場合、静止状態で行った測定とは異なり、測定結果に多数の測定誤差が生じることが確認できた。

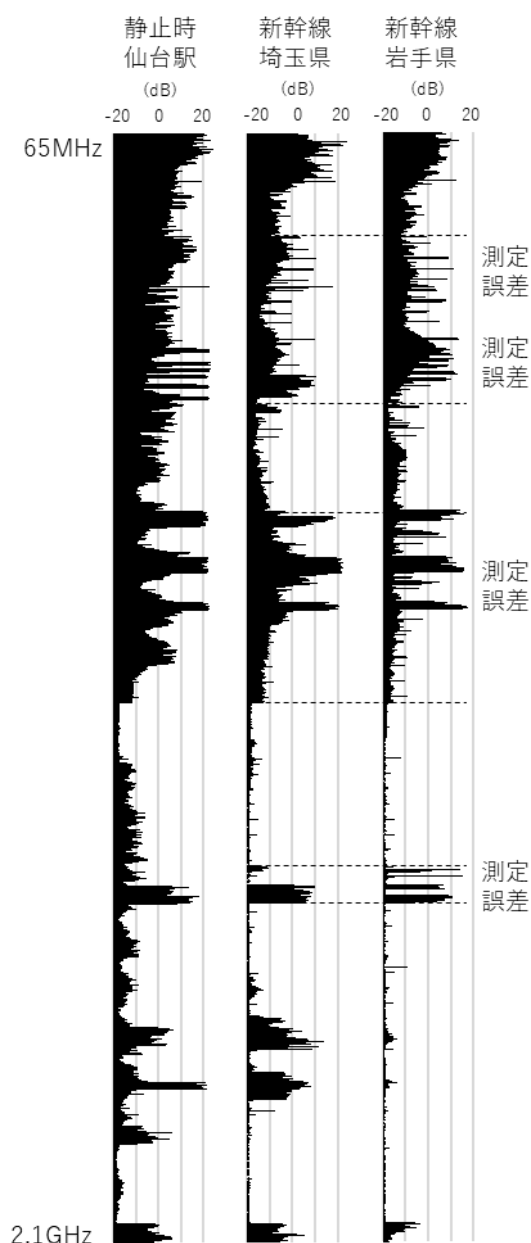


図 5 無線モニタリング (新幹線)
 Figure 5 Wireless Monitoring (Super Express Railway)

4.5 無線モニタリングの性能測定

無線モニタリングにおける周辺電波の測定は、地形および周辺環境により大きく異なる。無線モニタリングにおいて、どれだけ広範囲に電波を捉えられるかも今回評価している。評価では千葉県木更津市の港湾部から、海上の船舶が発する AIS(automatic identification system)信号の受信し、得られた船舶の位置情報を地図にプロットすることで行った(図8)。

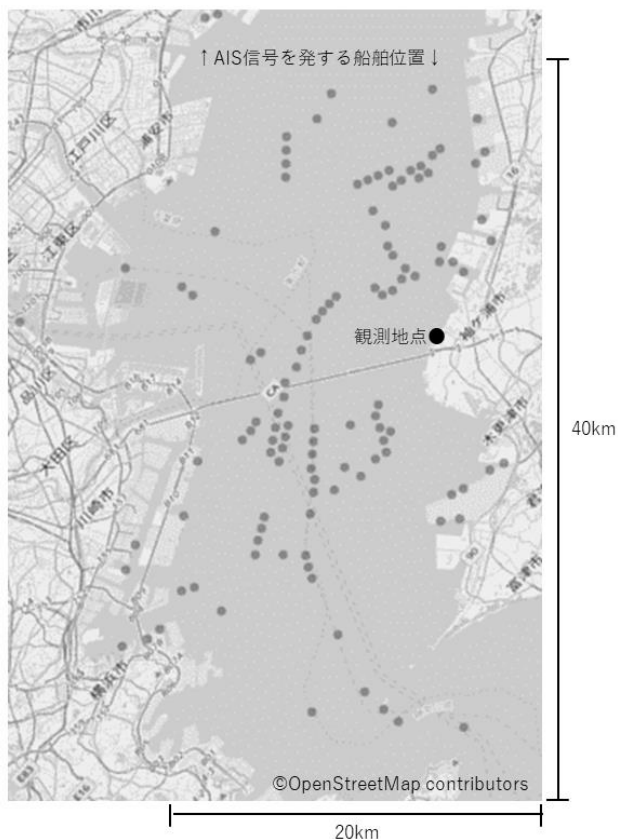


図 6 無線モニタリング (AIS)
 Figure 6 Wireless Monitoring (AIS).

評価には、無線モニタリングで使われていた環境をそのまま用いている。USB ドングル、無線アンテナおよび Linux OS(Ubuntu 18.04LTS)もすべてそのまま同じものを使っている。海上の船舶が発する AIS 信号の受信には、rtl-ais[6]を用いた。測定結果から、千葉県から 20km 以上離れた対岸の東京都および神奈川県に存在する船舶の AIS 信号が受信できた。これにより、発せられる電波および測定場所によっては、かなり広域に無線モニタリングが可能であることが分かった。参考となるが、行政機関等で使われる MCA 無線[7]では 20~40km の範囲を、携帯電話では最大 7km の範囲[8]をサービスエリアとしている。

4.6 災害時の被害推定

無線モニタリングの測定結果から、ラジオ放送、テレビ放送、携帯電話など、提供されるサービスごとの違いはあるが、異なる地域であっても、そのサービスごとの周波数の使われ方には、一定の類似性が確認できた。このことから、発災時の被災地において、無線モニタリングを行えば、ラジオ放送、テレビ放送、携帯電話等の社会基盤を支える無線設備に甚大な被害が及んでいるかを迅速に推定可能であると推定できる。(図9)

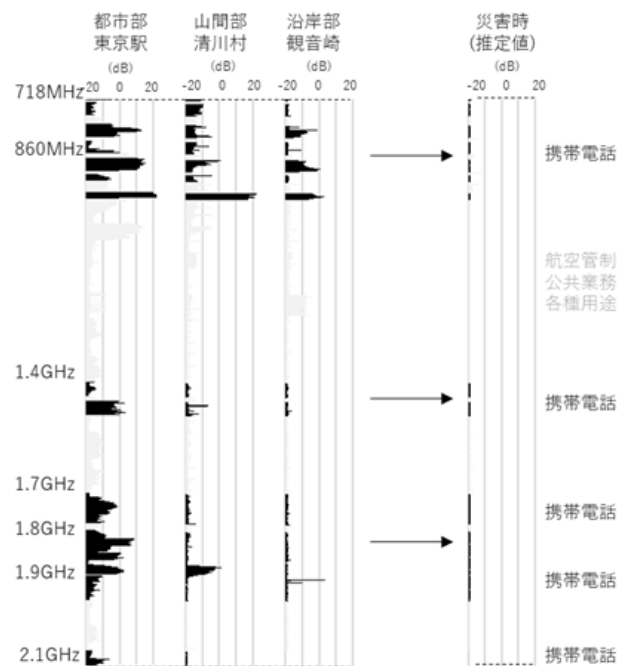


図 7 無線モニタリング (災害時の推定)
 Figure 7 Wireless Monitoring (Disaster Simulation)

東日本大震災では最大約 29,000 局の携帯電話等基地局が機能停止し、移動基地局車 40 台以上、移動電源車 100 台以上が現地復旧作業に赴いている[8]。復旧作業は3月11日の発災から4月末までに、ほぼ終わっているが、最長で50日間、携帯電話によるコミュニケーション手段が失われた地域が存在していたことになる。震災後、携帯電話事業者においては、基地局の耐震性等も強化されているが、地震災害、土砂災害、火災、竜巻など、さまざまな災害により、放送・通信等社会基盤の一部が機能停止することは、常に考えられる。

4.7 その他電波の無線モニタリング

本研究では、ラジオ放送、テレビ放送、携帯電話の三つの放送・通信領域に焦点をあてて無線モニタリングの有効性を検証したが、その他無線周波数についても、同様に発災時の無線設備の被災状況を確認可能であると考えられる。我々の社会を支える無線技術は、消防、救急、警察活動、

航空、鉄道、バス、タクシー、防災、軍事、公共業務、船舶、電力、ガス、上下水道、放送、銀行、警備など多岐にわたって利用されている。発災時、それらひとつひとつが災害復旧に向けた活動を示す痕跡として無線モニタリングによって現れてくる可能性があり、ラジオ放送、テレビ放送などで報道されない情報を数多く含んでいる。これら各周波数で割られた無線通信の利用を丁寧に紐解いていくことで、発災時、その被災地域において、どのような復旧活動が行われているのか把握でき、また現地とのコミュニケーション手段として、どんなものが残されているのかを把握することが可能であると推定できる。

4.8 データ共有の考え方

無線モニタリングで使われる `rtl_power` コマンドでは、周波数ごと 1MHz 単位の CSV(カンマ区切り)でファイルに出力すると 157Kbyte ほどとなる。このファイルはテキストデータで、圧縮すればデータサイズは 20Kbyte とさらに少量となる。今回の実験では、`rtl_power` コマンドから得られるデータは、GPS レシーバーから得られた時刻および位置情報をファイル名としているため、CSV ファイル以外に追加のデータを必要とせず、正確な測定場所と時刻を格納されている。これにより比較的少量のデータから、周囲数 km 範囲の電波状況および、そこから類推される発災時の無線設備の被災推定が可能となる。情報共有の観点からいえば、被災地を衛星画像で確認する方法もあるが、被災状況を高精度で把握しようとすればデータサイズは大きくなる。また別手法として温度や湿度センサーのようなデバイスを活用することもできるが、それは地域の点として情報に限定される。発災時の情報伝達における問題は、通信基盤にダメージを受けることでの影響として整理すると、つぎの二つがある。

- 1) 被災地内の情報を被災地外に伝えることが困難になる。
- 2) 被災地内での情報伝達が困難になる。

1) への対応策として DTN(Delay Tolerant Network)[9]によるパケットリレー式情報伝達や、衛星通信などが考えられる。DTN 通信は、通信遅延(情報が伝わるのに必要な時間)は大きいですが、情報密度が高く、更新頻度がそれほど高くない無線モニタリングは、親和性が高いと考えられる。また特殊な動作モードが必要で現時点では普及に課題がある DTN に対し、既に(数は多くないが)一般的に用いられる衛星通信は、スループットが小さく通信コストが高いが、災害時に伝搬する情報として本情報は適していると考えられる。

2) については、昨今のスマートフォンによる情報伝達は、クラウド型のアプリケーションが主流となっており、これ

は災害時に遠地にあるクラウドとの通信が途絶すると、途端に役に立たなくなるという弱点を持っている。この問題への対処の一つとして、近年、データセンター拠点を地域に分散させるエッジコンピューティングが検討されてきており、災害時においてもエッジ拠点を中心に被災地域内での情報伝達が可能になることが期待されている。エッジ拠点において無線モニタリングを行い情報取得し配布すれば、被災地内での情報共有の一助となると考えられる。無線モニタリング、一定頻度で継続的に情報取得し、災害発生時に平時との差分をとることで、さらに有用な情報が得られるので、クラウド拠点とのリンクをもつエッジ拠点において本情報を取得することには合理的である。またエッジ拠点が増え、無線モニタリングの情報取得カバレッジが広がれば、さらに高くなる。以上の無線モニタリングと情報共有手段については、現時点ではあくまで適合性や可能性を議論したものにすぎないが、災害時コミュニケーションの推進発展のため、さらなる検討議論が必要であると考えられる。

5. おわりに

広域災害時において、情報が混乱する中、人々が被災状況を迅速に把握することは、極めて困難である。しかし、本研究の検証結果から、被災地の放送・通信等の社会基盤にどれだけ甚大な被害が及んでいるか、どのような災害復旧活動が行われているか、被災地との利用可能なコミュニケーション手段はどのようなものが残されているか、推定可能である。本研究が、災害時における情報収集のひとつとして活用され、そこから得られる被災状況を表す情報が、社会全体での不安軽減に役立っていくことを期待する。

参考文献

- [1] 総務省, 令和元年度携帯電話及び全国 BWA に係る電波の利用状況調査の評価結果の概要(案). https://www.soumu.go.jp/main_content/000654166.pdf,
- [2] Kyle Keen, Rtl Power. <http://kmkeen.com/rtl-power/>
- [3] Michal Krenek, soapy_power. https://github.com/xmikos/soapy_power
- [4] Robert X. Seger, rx_power. https://github.com/rxseger/rx_tools
- [5] 総務省, 周波数割当計画 令和元年 7 月 11 日現在. <https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/share/plan.htm>
- [6] rtl-ais. <https://github.com/dgiardini/rtl-ais>
- [7] デジタル MCA 無線(D-MCA)の概要. https://www.soumu.go.jp/main_content/000513980.pdf
- [8] 総務省, 2.1 東日本大震災における携帯電話サービスの復旧対策. https://www.soumu.go.jp/soutsu/chugoku/data/kentou2012_data/kentou2012-04.pdf
- [9] V. Cerf, etl, Delay-Tolerant Networking Architecture. <https://tools.ietf.org/html/rfc4838>