

大規模災害での現場医療活動における デジタル簡易無線の有用性の検討

Evaluation of a two-way digital-voice radio system for communicating
medical services during disasters

大山 太^{1,3}, 吉村晶子², 嶋田淳子³, 小島善和¹, 杉田学⁴

Futoshi OHYAMA^{1, 3}, Akiko YOSHIMURA², Junko SHIMADA³,
Yoshikazu Kojima¹ and Manabu SUGITA⁴

¹ 東海大学健康科学部

Tokai University the School of Health Science

² 千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科

Chiba institute of technology

³ 群馬大学大学院保健学研究科

Gunma University, Graduate School of Health Sciences

⁴ 順天堂大学医学部附属練馬病院

Juntendo University Nerima Hospital

In this paper, we discuss a communication system for disaster relief medical teams. Usually, Japanese medical teams are not equipped with communication systems specialized for disaster operations. They can only rely on common-use mobile and landline phones during disaster events. However, public lines are reported to be out of function in disaster areas during the past major disasters. We conducted experiments to evaluate communication means that can hold medical communication links during disasters, using the new Japanese two-way communication radio system, "Digital Convenience Radio: DCR". Our results suggested that DCR can support medical activity at sites of devastating disasters.

Keywords: Disaster medicine, Tow-way radio, Telecommunication

1. はじめに

(1) 問題の所在

災害医療における「通信」の問題は、医療の質を左右する重要な要素である^{1) 2)}。英国にはMajor Incident Medical Management and Support: MIMMSとよばれる大規模災害対応の教育システム³⁾がある。この中では大災害時における医療対応の重要なアプローチとしてCommand and Control, Safety, Communication, Assessment, Triage, Treatment, Transport: CSCATTTが示されており、日本の災害医療でも参考にされている。ここでは災害医療における「通信」は重要な要素であることが示されている。しかし本邦では、国が整備している災害派遣医療チーム(Disaster Medical Assistance Team : DMAT)に専用の通信手段は与えられておらず、災害医療活動に利用できる非常時の通信手段は限られ、警察や消防といった他の緊急事態対応組織とは大きく異なっている。平時より独自の通信回線網の整備も行われていない。そのため、こういった医療チームでは公衆回線、特に携帯電話に頼らざるを得ないのが実情である。

災害時の携帯電話の信頼性は著しく低下することは良

く知られており、そのため災害医療では、比較的災害時に繋がりやすいといわれる災害時優先携帯電話や衛星携帯電話が薦められ利用されている。しかし、災害時優先携帯電話は指定や数に制限があり、病院ですら十分な台数を準備する事ができない。また、衛星携帯電話は維持費の面で平時から十分な数を備えることも難しい。さらに衛星電話といえども災害時には完全ではなく、例えば東日本大震災では一部機能しなかったとの報告もある⁴⁾⁵⁾。どのような通信手段であっても完璧なものは無いが、災害時の通信手段をどのように確保するかは課題である。

(2) 想定する災害と災害医療チーム

本研究では、インフラが機能不全に陥るような大規模災害を想定する。県域・市町村規模で携帯電話基地局や他の通信施設等が機能しなくなるような状況である。このような災害発生直後から被災地内で活動する医療チームを想定する。ここで言う医療チームとは、DMATや救助隊と共に救助活動を行いながら医療を提供する都市探索型救助(Urban Search and Rescue : USAR)チームの医療班、発災直後医療ニーズを調査するサーベイチーム、一時避難所で医療を展開する医療チーム等である。これ

らの医療チームの特徴は、通常複数の団体や個人により形成され、ほとんどが平時はそれぞれが通常の医療活動に従事しており、災害医療だけに特化した職務ではないことである。このような医療従事者が災害時に緊急に召集され、被災地で活動することを想定する。

(3) DCRへの着目

現在災害時に医療で利用される電話以外の通信手段として、特定小電力無線がある。機器が安価で簡易に使用できることから、DMAT等でも利用されている⁶⁾。しかし、送信電力が微弱で外部アンテナも使用できないため通信距離が短い欠点がある。また、東日本大震災時はMCA無線が有用であったと報告があるが、一方でサービスエリア外では利用できなかったことや、中継局や有線接続箇所の破壊により通信不能を生じた等の問題点も報告されている⁷⁾⁸⁾。

その他にも通信手段の選択肢はあるが、選定の前提として合法的である必要がある。さらに、通信の専門家ではない医療従事者が利用するため、高度な専門的知識や技術、資格を要するものも適当ではない。また、機材の購入や維持に多額の費用を要したり、入手困難な特殊な機材で構成されるものも現実的ではない。

特に検討すべき項目は、災害で既存のインフラが破壊された中でも通信できること、緊急参集した不特定の医療従事者がいつでも参加し通信ができること、平時の使用料金等の維持費が少なく、可能な限り電話のように個人所持ができること、操作が簡易であること等が重要な要素となる。

本研究では日本の比較的新しい無線通信制度、デジタル簡易無線(Digital Convenience Radio: DCR)に注目した。これは従来のアナログ簡易無線局の次世代の制度で、基本的に簡易な業務のための音声(一部データ通信も可能)無線通信を直接端末同士で行うものである。

DCR制度には免許局と登録局の2種類があり、本研究では登録局を対象とし、災害時の活動での利用を検討することとした。

DCR登録局は、UHF帯(351MHz)でデジタル音声通信(4値FSK)を行うが、従事者資格は不要、使用目的も不問、個人的開設も可能等自由度が高い制度になっている。送信出力5W、地上高無制限での外部アンテナの使用も認められる等実用性も高い。年間500円程度の電波利用料の支払い義務はあるが、それ以外に維持費用も不要である。通信機器は一台5万円程度と、他の業務無線機と比べればかなり安価である。30チャンネルの周波数を自由に選択し、一般の業務無線では認められない不特定多数の局と通信することも、また逆に高度なデジタル秘話やグループ通信機能による閉鎖した使い方も認められている。

自由な利用ができる反面、キャリアセンス機能や連続5分以上の送信を自動停止する機能等の制限がある⁹⁾。

制度や機能が従来のアナログ簡易業務無線とも異なり、利用の自由度や簡便さを尺度とするならば、特定小電力無線と業務無線との中間に位置するといえる。

(4) 災害医療従事者の利用を前提として

DCRでどの程度の通信ができるかはユーザーに任されており、実用の程度は未知の部分が多い。特に医療従事者にとって無線通信は非日常的な通信手段であり、不慣れた方法である¹⁰⁾。そのためDMAT隊員養成教育では、効果的な無線通話法の講義や訓練が行なわれている¹¹⁾。

想定するような災害現場に派遣される医療チームは、

当然医療については十分訓練された者で構成されており、医療に関するほとんどの判断を現場で下す能力を有する。そのためここで行われる通信は、遠隔医療を行うような大量の医療データや動画のやり取りは想定しない。

想定される情報は、MIMMSで教育されている Major Incident, Exact Location, Type of Incident, Hazard, Access, Number of Casualties, Emergency Services : METHANE¹²⁾情報に加え、患者の状態と搬送手配、医師以外の医療従事者に医師から与える医療指示、その他活動上必要になる連絡事項等である。情報量自体は少ないが非常に重要な情報であり、最低限音声だけのシンプルな通信でも確実に確立する事が出来れば、全く通信手段が無い状況と比較し、医療の質を格段に向上させることができる。すなわち機能的にはDCRの音声通信があれば最低限の目的は達成できる。

したがって本研究では、多くの災害医療従事者がDCRで災害時に最低限の通信を確実に確立できるように、予め提供しておくべき利用上の要点の特定も視野に入れ研究を行うこととした。

(5) 災害医療で必要とされる通信距離

大規模災害時発生時、特に国際的協力下で USAR 活動が行われるような場面では、国際捜索救助諮問グループ(International Search and Rescue Advisory Group: INSARAG)ガイドライン¹³⁾に従って各国チームは活動をする。このガイドラインには災害対応のための要となる場所として、各チームの指揮本部(Base of Operation: BoO)、現地活動調整センター(On-Site Operations Coordination Center: OSOCC)、現地災害対策本部(Local Emergency Management Authority :LEMA)の3つが示されている。

LEMAは現地の緊急事態に対応する部署が役所等に設置し、日本の国内災害においては県の災害対策本部等が相当する。OSOCCは国際組織が、原則被災地の中心に設置して情報を集約し、LEMAと情報共有をして現場活動チームを統括する仕組みがある。

BoOはそれぞれ現場活動チームが設置するが、その性質からできるだけ活動場所とOSOCCに近いところに設置する。BoOは活動指揮本部であり、チームの生活拠点でもあり、また患者を一時的に収容し安定化処置をしたりすることにも使う。例えば、2011年ニュージーランド南島地震ではクライストチャーチ市内に、2009年西スマトラ州パダン沖地震ではパダン市内に、どちらのケースも被害が最も大きい場所にOSOCCが設置され、国際的USARチームのBoOはOSOCC周囲に配置されていた。さらに両災害に日本政府が派遣した国際緊急援助隊のUSARチームは、そのBoOより半径3Km以内で活動を行っていった¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾。

このようなことから、最前線で活動する医療チームが災害医療の現場活動で必要とする通信手段は、活動現場から現場指揮所(数百m)、現場指揮所からBoO(数Km)、BoOからOSOCC/LEMA(数Km~数十Km)の間で通信可能なものが必要と考えられる。

DCRの通信範囲は条件によるが車両搭載型(外部アンテナを使用)では10Km程度、ハンディー機で1~4Km程度の通信範囲を目安とされている¹⁷⁾¹⁸⁾。本研究は活動現場~OSOCC/LEMAの間での医療活動にDCRが通信手段として使用できるかを検討することとした。

2. 目的

本研究では携帯電話等の公衆回線が機能しないような災害時において、DCR が災害医療チームの活動を支援するコミュニケーション手段として、実用に耐えうるかをケーススタディとして検討する。検討項目は以下の4項目である。

- ・ 山間部や市街地において、実際に通信ができるかどうか、またその通信可能範囲を事前に予測できるかどうか。
- ・ 建物内外との通信は可能かどうか。
- ・ コンピューターシミュレーションを併用した DCR が、実際のフィールドでの医療活動（非災害時のイベントでの救護活動）で役立つのか。
- ・ 連続送信時間 5 分制限が医療通信を行う上で障害になるのか。

以上の実験・調査の結果を総合的に考察することで、DCR が災害医療活動での利用において実用に耐え得るかを検討する。

3. 方法

(1) モデル地域 2 種での DCR 電波伝搬の通信実験（通信実験 1）とコンピューターシミュレーション

活動現場～OSOCC/LEMA の間での通信規模を想定し、半径約 30Km を検討の対象とする。DCR の利点である高利得の外部アンテナ使用やアンテナの設置場所、地理的条件等の点を最大限有効に利用すれば対応できると考え、実験ではアンテナの使用条件に幅をもたせることで、どのような条件だと実際の通信条件についてのエビデンスを得ることとする。

また、通信範囲は、アンテナの他、地形や地上構造物によって大きく影響を受ける。これを考慮したモデル地域を選定し、通信実験を行うとともに、コンピューターソフトにより受信電界強度を予測して通信範囲をシミュレーションする事を試みる。シミュレーションは、医療従事者が利用することを考えると、ソフトが高価すぎるもの、操作が複雑で専門的知識を多く必要とするものは利用し難い。災害時の医療通信で必要とされる受信電力の予測は、放送業界や通信の研究者が用いるような高精度のものが必要ではない。おおよそ予測できればそれで本来の目的は十分達成できる。そこで本研究では、アマチュアが利用する無料のシミュレーションソフトを用いることとした。

a) 通信実験に用いる DCR 仕様と通信の評価方法

実際の通信実験とコンピューターによる電波伝搬シミュレーションを実施し、結果を比較検討した。通信実験には ICOM 社ハンディー型 DCR 「IC-DPR5」を使用し、送信出力は全実験において 5W とした。通信実験では実際の利用を想定しデジタル秘話装置及びデジタルグループコードを設定して行った。アンテナは短縮ヘリカルアンテナ（利得 2.15dBi）、1/2λ ホイップアンテナ（利得 2.15dBi）、3/4λ 車載用ホイップアンテナ（利得 4.15dBi）、3 段コリニアアンテナ（利得 7.15dBi）、5 素子八木アンテナ（利得 11.15dBi）の 5 種をそれぞれ実験に合わせて用いた。

通信実験の評価は、固定局、移動局双方が実際に通信を行い、「良好に通信可能」、「多少の移動やアンテナ

の位置をずらせば通信可能」、「通信不能」の 3 段階で主観的に評価した。基本的に移動局も通信を行う際は停止した状態で行うこととした。

b) 通信実験に用いたモデル地域と通信パターン 2 種およびそれぞれの DCR 仕様

2010 年 5 月～2011 年 2 月の間、山間地や市街地のモデル地域を選び、①山間地と市街地間の通信、②都市部市街地内での通信、2 パターンの通信実験を行った。

・通信実験 1-①山間地と市街地間の通信実験

神奈川県伊勢原市大山地区の住宅地に仮設した固定局、麓の市街地を移動する移動局との間での通信実験を行った。大山地区は標高 200m 程度に位置する周囲を山に囲まれた見通しがほとんどない山間部の集落地域である。

ここに、3 段コリニアアンテナを地上高約 4m に架設、無線機と 5D2V 同軸ケーブル 10m で接続した。また移動局は乗用車を用いて 1/2λ ホイップアンテナを無線機より 1.5D-Q・SUPER 同軸ケーブル 2.5m で延長し、車両の屋根にクリップで装着して、移動しながら通信を行った。固定局より半径約 30Km 程度を主に、移動し通信を行った。

・通信実験 1-②都市部市街地内での通信実験

都市部市街地内で、移動・固定局双方がハンディー型の無線機を手にした状態で通信実験を行った。実験は平地で且つ密集した高層の建築物が多くある兵庫県神戸市 JR 三宮駅前および元町駅周辺を選んだ。

元町駅前に固定局を設け、移動局は三宮駅前より南方向 400m 程度のビル街に向かってから元町駅に近づくようにビルの間を繰り返し徒歩で移動しながら通信を行った。双方の無線機には短縮ヘリカルアンテナを装着し手に持った状態で実験を行った。

c) コンピューターによる電波伝搬シミュレーション

64bit コンピューター (CPU: Intel Core 17, OS :Windows7)で、Roger Coudé 氏が制作し無償提供している電波伝搬シミュレーションソフト “Radio Mobile Version 11.2.9” に NASA 提供の地形データ SRTM-3 (Shuttle Rader Topography Mission 3 秒格子)を用いて電波伝搬をシミュレーションした。このソフトは、Longley-Rice Model アルゴリズムに基づいて、電波伝搬予測している²²⁾。

シミュレーション条件は、前記通信実験 1-①、②のモデル地域での実際の通信実験とすべて同じにして行った。シミュレーションの方法は、両局が発信した電波をそれぞれ互いに受信した時の受信電力を計算により予測して、どちらか条件の悪い数値を採用し、その受信電力シミュレーションは基本的に-93dBm から-118dBm の範囲で虹色に色分け表示した（ただし、実験の内容や目的に応じ、結果の見やすさを考慮し、可視化する予測受信電力の範囲は適宜変更した）。地形データに重ね合わせた後、オンライン地図 (Google Earth™) 上に表示させ、「通信が可能な電波の到達範囲」が視覚的に容易に観察できるようにした。

シミュレーションの基本的な予測受信電力の範囲を-93dBm から-118dBm にした理由は、以下のとおりである。実験に用いる無線機の受信感度の定格を元に非移動時で-118 dBm、フェージング環境で-107.9dBm が通信可能な最低受信電力であることを計算で求めた。当初この範囲でシミュレーションと実測を繰り返す中で、このシミュレーションソフトで-93dBm 以上と示す場所においては、通信条件が悪い環境でも、良好な通信ができる場合が多いことが判った。そこでこのソフトでシミュレーション

を行う上で-93dBmを便宜上の上限値とすることとした。

(2) 建築物内外との通信実験 (通信実験 2)

都市部で生じる通信障害の原因の一つにマルチパスがある。特にデジタル通信では致命的な問題になる¹⁹⁾²⁰⁾。その他、様々な原因で生じるノイズ等、デジタル通信の障害になりうるものが都市部に多く存在する。そのため、都市部での災害医療通信を検討するにはこれらを考慮する必要があるため、室内外間の通信実験は以下の要領で行った。前記の通信実験 1-①の実験と同じ条件で、移動局は固定局から約 5Km 離れた場所にある大学校舎 (7 階建て鉄筋コンクリート製) の 1 階研究室より、固定局方向に直接向いていない窓際 (200cm X 120cm) に立ち、窓の外から無線機のアンテナを徐々に室内に入れながら固定局と通信を行い、その変化を観察した。その際、移動局無線機と同じアンテナ条件に設定した AOR 社の広域受信機 AR-2300 で、アンテナの位置を室外から室内へと移動させた時の固定局の信号強度を測定し、記録した。

(3) フィールドでの医療活動で DCR を利用する実験

非災害時のフィールドで行われる医療活動で、実際の医療活動に DCR を使用する応用実験を行うこととした。

実験は山岳地自動車専用道路を利用した自転車レース (医療活動応用実験 1) と、沿岸部に作られた自動車専用道路を利用したマラソン大会 (医療活動応用実験 2) の 2 つで、コース上で競技参加者のための救護活動を行う医師、看護師、救急救命士の医療従事者らに連絡手段として DCR を利用してもらった。どちらの状況も円滑な通信を行うため、DCR での通信はコース上で活動する医療従事者と本部との間だけで通信することを原則とし、個々の医療従事者同士は直接通信をしないように運用規則を作った。さらに DCR 利用者には、無線通話方法の原則をパンフレットで説明し、事前に簡単な通信訓練も行った。また、無線の配備場所や本部設営、アンテナの選択等はあらかじめコンピューターシミュレーションを行い、それぞれの場所で効果的に通信できるように設計した。

a) 山岳地自転車レース救護活動での利用実験 (医療活動応用実験 1)

この実験は、2012 年 12 月、山間 (神奈川県小田原市～箱根町) に作られた自動車専用道を利用したコース全長 13.8Km の自転車レースにおいて、実際の救護活動で DCR (9 台) を使用しながらその状況を調査した。ゴール前救護所の医師とコース全域を移動するボランティア救護リーダースタッフ (看護師、救急救命士等) の全員が DCR により通信できる必要があった。そのためゴール前救護所にハンディー型の DCR を固定し、車両のタイヤで固定できるアルミ伸縮ポールを使い、地上高 3m に 5 素子八木アンテナを設置、5D-FB 同軸ケーブル 30m で接続した。機材の設置は、レース当日に担当の医療従事者自身が行った。

あらかじめコンピューターシミュレーションを行い、ゴール救護所から直接コース全域と交信することは困難と予測された。そのため、シミュレーション結果を基にゴール前救護所と通信ができ且つゴール救護所から通信できない場所と通信ができる場所に中継局を配置し、ゴール前救護所に伝言を行うようにした。中継局は 1.5m 高に 3/4 車載用ホイップアンテナを架設し、RG58A/U 同軸ケーブル 4m で無線機と接続した。移動する救護スタッフは 1/2 入ホイップアンテナを無線機に接続し救護活動

をしながら通信を行った。

b) 沿岸部自動車専用道路上マラソン大会での利用実験 (医療活動応用実験 2)

この実験は、2012 年 11 月、沿岸にある国道及び自動車専用道 (神奈川県藤沢市～二宮町) を利用した 2 万人規模のフルマラソンの救護活動で DCR (12 台) を使用し、その状況を調査した。例年、フルマラソンのゴール付近約 3Km 区間で重症傷病者が多く発生しているため、この区間の救護医療体制を強化すべく、ゴールにある救護所本部 (医師、救急救命士) とそのエリアで救護を担当する救護ボランティアリーダー (看護師、救急救命士) それぞれに DCR (本体付属ホイップアンテナ装着) 10 台を配備、常に通信が確保できるように計画した。このコースは沿岸部に立体的に設置された自動車専用道路であり、場所によりコンクリートによる防護壁が高く積まれた場所もあった。そのため、地形図では平地で見通しが良いように見えるが、実際には見通しは十分でない場所であった。コンピューターシミュレーションでは、無線機に直付けしたホイップアンテナだけでも十分ゴール前救護所とコース上の移動局とは交信が可能と予測できた。しかし、構造物の影響で不安定な通信となることが予測されたため、本部の基地局には、地上高 3m に 3 段コリニアアンテナを設置、5D-FB 同軸ケーブル 30m で DCR と接続して可能な限り安定した通信が行なえるように計画した。

(4) 救急隊が行う医療無線通信一回の送信時間調査

DCR の連続送信時間は 5 分に制限されている。この事が医療通信で問題になるかを推測する必要がある。しかし、災害時の医療無線通信時間を詳細に調査した報告は無く、また、平時でも医療従事者による医療無線通信を行っているようなところもほとんどない。そのため、災害時の医療通信とは異なるが、平時に消防署の救急隊が、救急搬送の際に行なっている無線通信を傍受、その中で医療情報 (患者状態に関する情報) を伝送している通信時間を測定した。

2013 年 8 月 2~7 日の間、A 市 (人口約 10 万人) 消防署の救急隊無線通信 (アナログ FM 2 波複信方式) を、基地局から発射された電波を広域受信機 AR-2300 で傍受、音声信号を ksyshd 氏作成の AirRecorder を用いて、期間中コンピューターに自動録音した。録音した通信は、通信内容毎に一回の電波送信時間を調べ集計した。

4. 結果

(1) モデル地域 2 種での DCR 電波伝搬の通信実験 (通信実験 1) とコンピューターシミュレーション結果

a) 実験 1-①山間地と市街地間での通信実験結果と電波伝搬コンピューターシミュレーション結果

山間地と市街地の移動局での電波伝搬は、シミュレーションでは地形に強く依存することが示され、地図上に歪んだ広がりとして表示された (図 1)。

固定局から半径 30Km 圏内 73 箇所測定し、内シミュレーションが -118dBm 以上と示した場所 54 カ所で「良好に通信可能」な場所 28 カ所、「多少の移動やアンテナの位置をずらせば通信可能」な場所 25 カ所、「通信不能」な場所 1 カ所であった。さらにこのシミュレーション中で、-93dBm 以上と示された場所 8 カ所中 6 カ所では車両

で 30~40Km/時程度で移動しながらでも良好に交信ができた。-118dBm 以下とシミュレーションされた場所の 19 か所では、「多少の移動やアンテナの位置をずらせば通信可能」な場所 6 か所、「通信不能」な場所 13 か所、「良好に通信可能」なところはなかった。

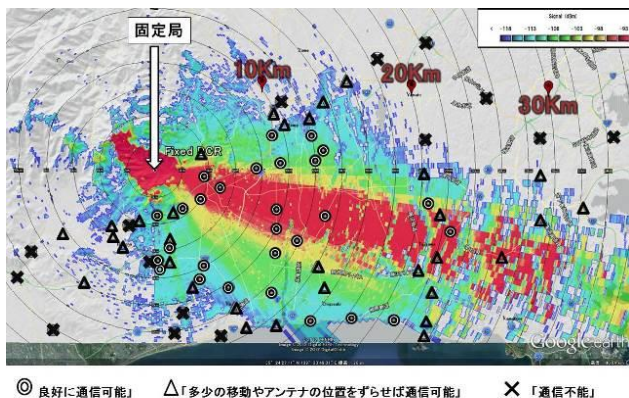


図 1 実験 1-①山間地と市街地間での通信実験結果と電波伝搬コンピューターシミュレーション結果

大山地区の固定局からはほぼ見通し方向にある場所で、受信電力-86.4dBm とシミュレーションされている約 64km 離れた場所（千葉県富津市）とも良好に通信ができた。これは実験中の最高通信距離であった。

また、山影になる非見通し地であってもシミュレーション上、ピンポイントで交信可能が予測される地点も存在し、その一つで、約 27Km 離れた場所に-126.5dBm とシミュレーションされた一点があり、実際に同地点を GPS で特定、そこから通信実験を行い、交信が良好に可能であることを確認した。そのピンポイントに示された地点より十数 m の距離を移動するとまったく交信はできなかった（図 2）。

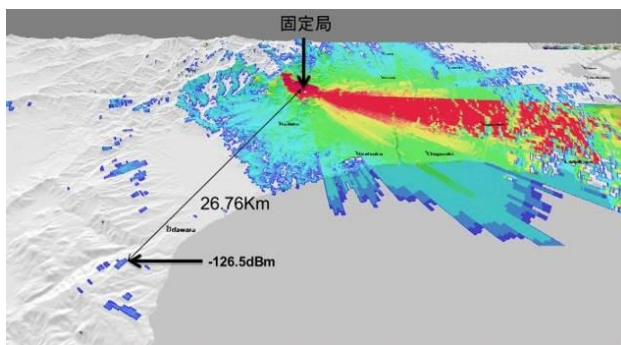


図 2 シミュレーションにより遠隔地に点在する交信が可能と予測できる場所

b) 実験 1-②都市部市街地内での通信実験と電波伝搬コンピューターシミュレーション結果

シミュレーション上、JR 三宮駅前から少なくとも山際に沿って半径 8km は-93dBm 以上の受信電力と予測されたが（図 3）、実際は直線距離約 750m 離れた元町駅との通信は成立しなかった。その後ビル間を移動し始めると突然交信が可能となったり、再び交信が不能となったり、断続的な状態が続いた。約 500m の距離まで近づくとほぼ完全な交信ができた（図 4）。

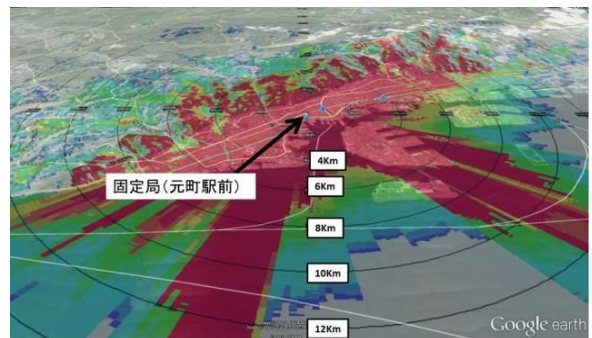


図 3 実験 1-②都市部市街地内の電波伝搬コンピューターシミュレーション結果

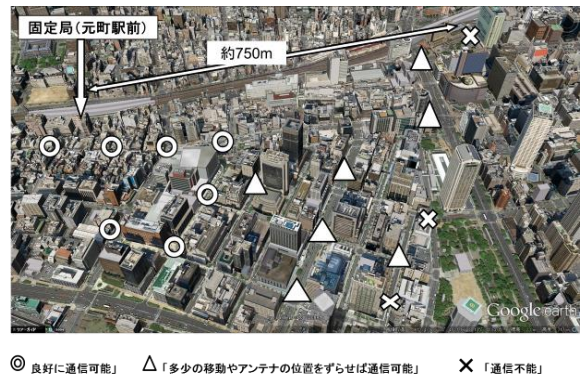


図 4 実験 1-②都市部市街地内での実験における元町駅周辺での実際の通信状況の結果

(2) 建築物内外との通信実験（通信実験 2）結果

窓の外（建築物外）にアンテナがあるときには固定局と良好な状態で交信ができた。しかし、アンテナを室内（建築物内）に入れた途端、固定局の音声を聞くことができなくなった。固定局から送信された電波の受信電力は、窓の外にアンテナがあったときは-98dBm で、室内に入れたときは-97dBm とどちらも十分に通信ができるだけの受信電力があったにもかかわらず、室内では音声を復調することがまったくできなかった。一方、その状態で室内の移動局が送信した音声については、固定局側で十分に復調することができた。

(3) フィールドでの医療活動で DCR を利用する実験

a) 山岳地自転車レース救護活動での利用実験（医療活動応用実験 1）結果

この実験対象となった自転車競技コースは、ゴールとスタート地点は直線距離で約 10Km、高低差 981m であり、地形的にまったく直接見通せない状況であった（図 5）。

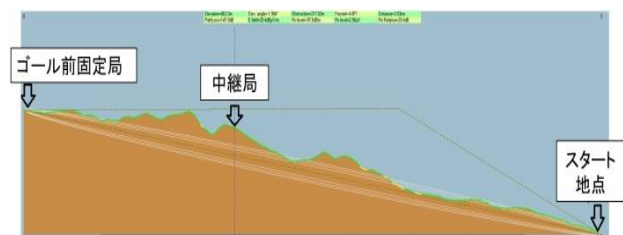


図 5 医療活動応用実験 1 における地形の断面図

コンピューターシミュレーションを行ったところ、ゴール前固定局からコース全体のほとんどが受信電力

-118dBm 以上と示された (図 6) .

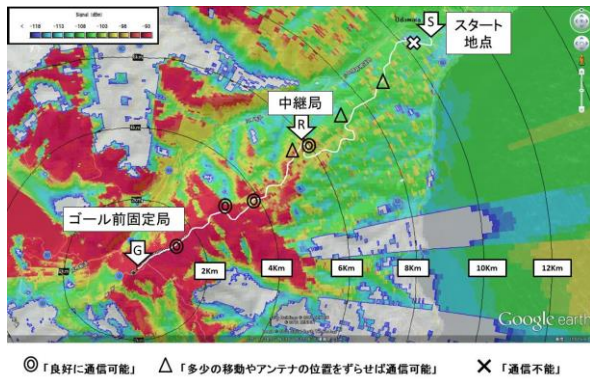


図 6 医療活動応用実験 1 電波伝搬コンピューターシミュレーション結果と実際 (ゴール前固定局中心)

しかし、救護活動を行いながら交信を行うことを考えると、必ずしも通信に適した状態で交信が行えるわけではない。そのため実験 1-①をふまえてコース全体を最低でも-107.9 dBm 以上で、限りなく-93dBm 以上の値でカバーすることを目標とし、中継局を設置することとした。中継局はゴール前固定局と確実に交信ができる場所かつゴール前固定局が直接交信することが困難と思われるコース上の場所をカバーする位置をシミュレーションから見つけ出し、さらにその中から実際に中継局を設置できそうな所を、地図を用い探し出した (図 7) .

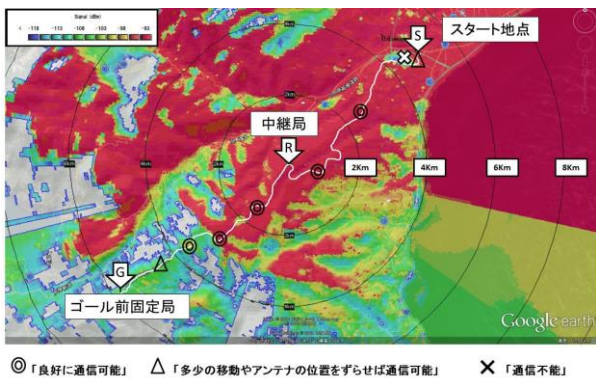


図 7 医療活動応用実験 1 電波伝搬コンピューターシミュレーション結果と実際 (中継局中心)

さらに、中継局の場所を定めた後、中継局とゴール前固定局のそれぞれのアンテナ条件で 2 局間の受信電界強度を再度シミュレーションしたところ-97.6dBm であり、中継局とゴール前固定局も確実に通信できると予測できた。移動局は、コースほぼ全域で-107.9dBm 以上の受信電力でゴール前固定局もしくは中継局と交信ができるようになることを考え、計画をした。

レース当日、ゴール前固定局の八木アンテナの設置と無線機への接続等の準備は、前日にその方法を説明された医療従事者 3 名が約 30 分かけて行った。実際にゴール前固定局と中継局は問題なく通信ができ、コース全体で活動する救護スタッフは、ゴール前固定局と直接または中継局と交信し、救護所にいる医師と連絡ができ救護活動を円滑に行った。シミュレーション上、ただ一か所、ゴール前固定局からも中継局からも交信不能と当初から

予測された約 150m の区間が存在した。実際にその場所からはまったく交信はできなかった。しかし、不感地帯と予測ができていたために別の通信手段を講じることができ、問題は生じなかった。

またこのコースは携帯電話も不感地帯が多く、大会運営本部が準備していたハンディー型のアナログ簡易業務無線も十分機能しない中、救護の DCR だけが安定した通信を確保していた。また使用者から通信上の問題の指摘もなかった。

b) 沿岸部自動車専用道路上マラソン大会での利用実験 (医療活動応用実験 2) 結果

本部のコリニアアンテナを接続して使用している DCR は 3Km の区間に配置された救護リーダーの持つ DCR と常に良好な通信を維持した。競技中発生した負傷者の搬送、救急車手配、医師から現場スタッフへの指示等の重要な医療通信が円滑に行われていた。他の通信手段として携帯電話も利用していたが、本部付近にゴールした選手が増加してくるに伴い、携帯電話は輻輳が原因と考えられる通信障害が発生。その間、緊急連絡は DCR で対応した。使用者からの通信上の問題の指摘も無かった。

一方、シミュレーション上、救護本部と対象区間はホイップアンテナを接続したハンディーDCR 同士の通信でも-98dBm 以上と予測され、問題なく通信できる値であったが、実際その条件で救護活動中の通信を救護所のハンディーDCR で傍受したところ、通話が断続する等の不安定な受信状態を観察した。

(4) 救急隊が行う医療無線通信一回の送信時間調査果

6 日間の救急隊無線通信傍受で、479 回の信号を受信、内、患者情報等の医療情報に関する通信は 68 送信あった。1 送信平均 37.9 秒 (SD 10.6 秒)、最短 12 秒、最長 63 秒であった (図 8) . この期間、通常交通災害、急病人発生等日常的な救急事案のみで、大災害や集団災害等特別な事案に関する通信は行われていなかった。

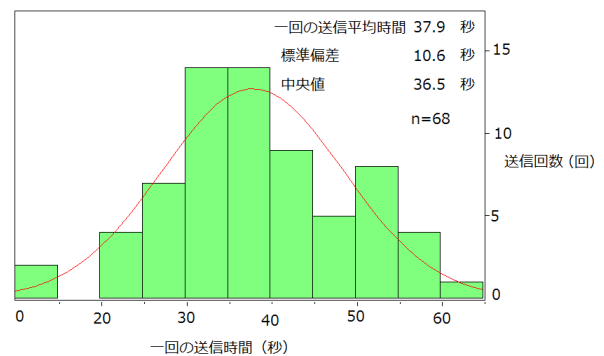


図 8 救急隊が行う医療無線通信一回の送信時間

5. 考察

(1) DCR の通信可能距離

今回の実験はいずれも一度のみのケーススタディではあったが、DCR で数 Km-数十 Km 間の通信ができ、状況により 60Km 以上も通信できる事が確認された。これははじめに確認した災害医療活動で必要とされる通信範囲に照らし合わせて考えるなら、現場活動の医療従事者と現場指揮所間の通信、現場指揮所と BoO 間の通信、BoO から OSOCC/LEMA までの間の通信、いずれの通信に

も DCR が利用できると思われた。

しかし、この通信距離を得るには通信条件を整える必要性があることも本研究は同時に示した。特に通信実験 1-②、医療活動応用実験 2 で観察されたように、条件が悪ければわずか数 Km 以内の距離でさえ交信が不安定となる場合がある。この「条件」の重要な要素の一つがアンテナである。今回の実験 1-①、医療活動応用実験 1、2 でも、基地局は高利得のアンテナを使用し、移動局も車の外にアンテナを出す等の工夫をして初めてこれだけの結果を出している。

実際災害現場で医療従事者は、本体に低利得アンテナが直接接続されたハンディー型の DCR を携帯電話のように手に持ったり、腰に装着したりしたままで活動中に使用することが多い。しかしこれでは通信実験 1-②からも解るように、500m 程度の至近距離の連絡用であれば問題ないが、距離が離れると極端に通信の信頼性が低下する。このような従来の方法での使用は DCR の性能を十分引き出して利用する事ではできない。アンテナの利得や設置場所を検討して使用する必要がある。

(2) デジタル通信に特徴的な問題

通信実験 1-②において、都市部で極端に通信がしにくかったのは、一つは大きな建築物が遮蔽物となり電波が減衰したことが原因と考えられる。医療活動応用実験 2 で観察された、十分ハンディー無線機同士でも交信可能と思われる距離でも受信不良だった事も、同様に立体的に組まれた自動車道路が遮蔽物となった可能性がある。

しかし問題はそればかりではなく、実験 2 で見られた、建物の中では強力な電波を受信しているのに音声は復調されない現象が観測されたこと等も考えると、これらはマルチパスが影響した可能性もある。いずれも一度だけのケーススタディのため、その発生頻度や正確な原因究明には至っていないが、都市部での DCR の利用は困難が多いと考えられる。

マルチパスやその他デジタル通信のビット誤りに起因する通信障害の対策は大変難しく、原因となる場所を避け、アンテナを条件の良い場所に設置する等で改善を試みるしかない。特に実験 2 の建築物内外での通信の試みでは、マルチパスを誘発するような最低の条件ばかり組み合わせた結果ともいえる。実際に 2001 年の米国 911 テロ災害発生直後の救援活動でも、WTC ビル内部での無線通信障害が救援活動を困難にした²¹⁾との報告がある。

都市災害での災害医療活動ではビル等の建築物内部からの通信も十分想定されるが、今回の調査からはこのような状況では DCR の使用は適さないと考えるのが安全である。このように DCR は高層建築物が密集するような都市部で使用するには課題が多く示された。しかし、このような高層建築物や立体的な自動車道路が密集する都市は日本では限局されており、DCR は日本のほとんどの都市で利用できる可能性はある。

今まで災害医療に用いられてきた無線通信の大部分はアナログ簡易無線や特定小電力無線等のアナログ FM によるものであり、多くの医療従事者にとってデジタル無線通信の特徴的な現象に遭遇する機会は少なく、このようなことが問題になる事すら知らないことがほとんどである。DCR を利用する上では、このような現象の存在をしっかりと認識させることが必要である。それにより、DCR で通信不能な場合を予測し、あらかじめそれに対応した計画を立てることができる。

(3) DCR 通信可能範囲と電波伝搬シミュレーションの関係及び災害医療への応用

本研究で実施した、シミュレーションと実際の通信実験からは、再現性や信頼性が共に乏しく、その関係について定量的で普遍的な結論を出すには至っていない。今回、電波伝搬シミュレーションソフト Radio Mobile で DCR の電波伝搬を予測するためには、通信に不適切な条件で DCR を使用するなら予測受信電力-93dBm、理想的な状態で利用できる場合は-118.0dBm を目安にシミュレーションすれば実用的な通信可能範囲が予測できる可能性がある。しかしこの実験は簡便な方法で実際とシミュレーションを比較しており、これらの数値が絶対的な意味を持ってはいない。特に観測地での実際の電波強度測定を実施していない等、数値の信頼性は低く、普遍的なものとするには、今後さらに実験を繰り返す必要がある。

また、電波伝搬シミュレーションを利用する上で注意すべき点も明らかとなった。実験 1-①、②、医療活動応用実験 2 では、建築構造物の影響についてシミュレーションソフトでは十分予測できないことを示した。実際の通信範囲がシミュレーション結果と大きく異なり、特に建築構造物が多く存在する都市部での電波伝搬予測をこのシミュレーションソフトで行っても、信頼性の低い結果しか得られない事が解った。

一方で、今後の災害医療活動にこのシミュレーションが応用出来る可能性を示唆する結果も得られている。特に医療活動応用実験 1 では、実際の救護活動の場で電波伝搬シミュレーションによる通信回線の設計と共に使用する DCR が有効であった事例で、シミュレーションによりあらかじめ不感地帯を把握し、対応することが出来ている。

また図 2 が示すようなピンポイントで通信が確立できる場所を数十 m の精度で示すことができることも、現場指揮所等の設置場所選択の際にも考慮する材料となる。この情報は、特に初めて訪れる土地に派遣された場合等、かなり有益な情報となりえる。災害発生時、活動開始前に通信可能な場所と不能な場所を確認できれば、それを踏まえて被災地での災害医療活動計画を立てることができる。確実な通信可能範囲を知るためには、実際に通信実験をして調査してみる必要があるが、災害がどこで発生するのかわからない状況では、電波伝搬をあらかじめ調査しておいたり、災害発生直後に緊急に調査したりすることには限界がある。

このように対象地域全体の通信状況を予測するためにはシミュレーションは有効であり、このような方法を災害医療チームに提供できれば、安全、効率的且つ効果的な災害医療活動の実施に資するものと考えられる。

(4) 送信時間制限

医療活動応用実験 1、2 で行われた医療通信においても、これらの問題は指摘されていない。救急隊が行う医療無線通信一回の送信時間調査から、平時の救急活動で行われる医療に関する通信では、5 分以上連続して送信を必要としている状況は今回の調査では全くない。最長でも 1 分程度であり、5 分には及ばない。だが、これがそのまま災害医療での医療従事者が行う通信でも同じかどうかは不明である。しかし、この研究で想定している医療チームは救急隊と同じく緊急活動をしており、通信内容が大きくかけ離れているものではないと考える。また、医療活動応用実験 1、2 において、送信時間制限が問題と指

摘されることも無かった状況からも、災害時もこれらと同等程度に運用できれば、この送信時間制限が大きな問題となることは無いと言える。

(5) DCR と電波伝搬シミュレーションを災害医療に応用する利点

医療活動応用実験 1 及び 2 では、携帯電話が十分利用できない中、DCR を利用し、救護医療スタッフを完全に医師によるメディカルコントロール下におくことができた。これはそのまま災害時にも十分応用可能であり、特に救急救命士は医師による直接的なオンラインメディカルコントロールが受けられることは大変重要である。また看護師にとっても、医師等の各種専門家といつでも連絡が取れる状態にあることは、より高度な診療の補助業務や質の高い看護を災害時に提供し続ける事を可能とする。

DCR は他の通信手段が機能不全に陥るような大災害において最も効果を発揮する。携帯電話や MCA 無線等の中継局が壊滅的な被害を受けた場合でも、医療従事者が DCR 端末を個々に持つことで通信が可能となり、前記したような方法で医療を展開できると予想される。また建造物が崩壊するような災害では遮蔽物が少なくなりさらに通信範囲は数 10Km に及ぶと期待される。このような事が DCR の最大の利点と考えられる。

またその操作性について、医療活動応用実験で行われたように無線通話方法の原則について、簡単な教育を受けただけで、普段無線通信に馴染んでいない医療従事者でも、DCR を利用し通信ができるという簡便性も確認できた。機材設置についても、医療活動応用実験 1 において、時間を要しながらも構造の複雑な八木アンテナを設置し設置し利用することも可能であることが示された。

しかし、医療者が使う事を前提にした場合、八木アンテナのような利得が高くとも設置に時間がかかるようなものを選択すべきかどうかはさらに検討が必要である。

DCR を有効に活用するためには、運用方法に工夫が必要である。一つは最前線で医療従事者個々が DCR を手に持って現場活動に従事する際には、できるだけ通信環境の良い場所に現場活動指揮所を設ける。その指揮所に十分な地上高で利得のあるアンテナを設置し、それを接続した DCR を用いれば DCR の性能を十分引き出した通信距離が得られ、実験 1-①のように条件次第では 60Km 以上もの通信距離を得ることもできる。そのため、指揮所に通信担当のオペレーターを配置するか、必要に応じて医療活動を中断して DCR の前に座って通信に専念する時間を設ける必要がある。

また、個々が持つ DCR で個から個へ直接通話を行うのではなく、必ず用件は現場指揮所を介して、指揮所から個へ伝送してもらう方法をとる。この方法は必ず指揮所にオペレーターが必要となり、時間のかかる非効率な方法にも見えるが、これにより通信の統制がとれ、利得のあるアンテナから送信された電波は活動中の者が携帯する DCR に確実に届き、全員で情報の共有ができる利点もある。医療活動応用実験 1, 2 ではこの方法が有効に機能し、医療活動全体がスムーズに遂行できた一因になっていたと考えられる。

実際に、このような運用が可能かとの疑問については、想定するような災害医療活動では、最低でも医療資材や人員の搬送が必要なため、車両での移動が基本となる。そのため現場指揮所で使用するアンテナや同軸ケーブル等の運搬や設置に大きな障害はないと考える。また災害

直後の危険地域での活動では、必ず現場指揮所や車両に居残り、指揮や調整を司る者が必要となる。この者が全体の状況把握も兼ねて指揮所での DCR オペレーターを兼任すればよいので、人員配置を現状と大きく変えなくとも実施できると考えられる。

シミュレーションソフトの操作については、知識のまったく無いままでの操作や結果解釈は無理である。そのため、これを医療従事者が行えるようにするための教育が必要となる。その内容や方法については更なる検討が必要である。

DCR を効果的に利用するには技術的な課題が多く残っている。しかし、その課題を明らかにしたうえで利用すれば、災害時の医療活動での利用は十分検討できると考える。

(6) DCR と既存の通信手段の比較

通信距離や安定性は携帯電話が DCR に勝っているが、医療活動応用実験 1 及び 2 のように携帯電話が使用できない状況では、DCR の有用性が示される。

単純に端末同士の通信可能距離だけ比較すれば、DCR は特定小電力無線を上回る能力を有している。だが、都市部の建築構造物の影響が大きい場所では、逆に中継器を使ったアナログの特定小電力無線の方が災害時の有効な通信手段となりうる可能性がある²²⁾²³⁾。

他の一般の業務無線と比較すると、送信出力が低く、不特定多数の者と周波数を共有しなくてはならない欠点がある反面、DCR は柔軟な利用法が認められており、所属の違う多くの医療チームや多職種と連携して活動しなくてはならない災害対応の場面ではこれは大変に有利な点である。

特に災害時はどのような通信手段も完全では無いため、それぞれの特徴をとらえて、組み合わせて利用する手段を選ばなくてはならない。今回の調査から、DCR はその選択肢の一つであると考える。

(7) 今後さらなる検討を要する点

実際に DCR を災害時に有効に利用するため、本研究で調査が不十分な点やさらに検討すべき点があり、以下にまとめて記す。

- ・シミュレーションと実際の通信測定結果の再現性と信頼性の検討
- ・DCR 電源の検討
- ・今後日本全体で DCR 利用者が増加した場合の検討
- ・災害医療従事者間での使用チャンネルや秘話コードの取り決め等、運用面において通信確保に関わる体制・役割の明確化

6. 結論

DCR は災害医療を展開する際、現状で実用に耐えうる通信手段の一つになり得る可能性がある。有効に利用するためには運用方法の工夫が必要である。コンピュータソフトによる通信可能範囲のシミュレーションは、建築構造物の影響が無い場合は有効であった。シミュレーションを基に、フィールドでの DCR を用いた医療活動計画を立てて実践することができたことから、この方法は、災害時の現場医療活動を安全に効率的よく実施することに資することが示唆された。

謝辞

本研究遂行に当たり、NPO 法人ユニバーサル・レスキュー・ジャパン 理事長福島圭介氏、東海大学医学部付属病院高度救命救急センター主任看護師 中嶋康広氏、大山沙子氏に数々のご協力をいただきました。ここに心からの謝意を表します。

また本研究は、文部科学省科学研究補助金基盤 C 課題番号 22592418 「大規模災害における小規模医療活動、看護活動を支える無線通信システムの研究」で行われた研究成果の一部である。

参考文献

- 1) Theodore, C.Chan., et al.: Information Technology and Emergency Medical Care during Disasters, Acad Emerg Med Vol.11, pp. 1229-1236, 2004.
- 2) Seyed, H.Seyedin., Hamid,R. Jamali.: Health Information and Communication System for Emergency Management in a Developing Country, Iran , J Med Syst, Vol 35: pp591-597. 2011
- 3) Advanced Life Support Group, 小栗顕他 (監訳) :MIMMS 大事故災害への医療対応 現場活動と医療支援, 第 2 版,pp10-15,永井書店, 2005
- 4) 総務省総合通信基盤局 HP:東日本大震災における公衆電話の状況, 公衆電話の現状等について (http://www.soumu.go.jp/main_content/000131658.pdf)
- 5) 日本看護協会出版会編集部 編:ルポ・そのとき看護はナース発 東日本大震災レポート, 初版,日本看護協会出版, 2011
- 6) 日本集団災害医学会監修:日本集団災害医学会 DMAT テキスト編集委員会編集, 通信基盤, DMAT 標準テキスト,pp99-114,へるす出版, 2011
- 7) 大庭正敏:東日本大震災における宮城県災害対策本部の医療活動 MCA 無線による通信手段の確保, 災害医療コーディネーターの役割 何ができて何ができなかったか, 日本集団災害医学会誌,Vol 17:, pp130-139, 2012
- 8) 田中博: 災害時と震災後の医療 IT 体制 そのグランドデザイン 情報管理, Vol 54, pp825-835, 2012
- 9) 電波産業会: デジタル簡易無線局の無線設備標準規格平成 24 年 12 月 18 日 1. 3 改定, 2012, (http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/1-STD-T98v1_3.pdf)
- 10) 大山太 他: 災害医療における看護師による情報交換手段としての特定小電力無線の有効性の検討, 日本救急看護学会雑誌, Vol 9, pp 54-63, 2008
- 11) DMAT 事務局研修プログラム検討委員会編:実習 災害現場での情報通信, 日本 DMAT 隊員養成研修受講生マニュアル Ver4.3,pp42-48, 2012
- 12) 益子 邦洋 (監修), 石原 晋, 大友 康裕 (編集): 多数傷病者対応, 1 版,pp 200-201,永井書店, 2007
- 13) United nations office for the coordination of humanitarian affairs field coordination support section (INSARAG Secretariat): INSARAG guideline 2012 , (http://www.insarag.org/images/stories/INSARAG_Guidelines-2012_ENG_Read_version.pdf)
- 14) 国際緊急援助隊事務局:インドネシア西スマトラ州パダン沖地震に対する国際緊急援助隊救助チーム・医療チーム活動報告書, 独立行政法人国際協力機構, 2011
- 15) 国際緊急援助隊事務局:ニュージーランド南島地震に対する国際緊急援助隊救助チーム活動報告書, 独立行政法人国際協力機構, 2011
- 16) 総務省消防庁: ニュージーランド南島地震災害国際消防救助隊活動報告, 総務省消防庁, 2011
- 17) 八重洲無線株式会社: デジタルトランシーバー FAQ, (http://www.yaesu.com/jp/dt_index/faq01.html#01)
- 18) アイコム株式会社: 通信距離について, (<http://www.icom.co.jp/products/leisure/transeiver/>)
- 19) 長谷良裕:第 3 章フェージング, RF ワールド, vol 9, 27-32, 2010
- 20) 長谷良裕:第 5 章電波伝搬とビット誤りの関係, RF ワールド, Vol9, pp39-43, 2010
- 21) J, Randall. Lawson., Robert , L. Vettori. :7. 3. 6 Communications, Command and Control , NIST NCSTAR 1-8 Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster. The Emergency Response Operations, pp139-143, 2005 (http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=101049)
- 22) 原岡 充 :Radio Mobile を使った中山間地域の電波伝搬シミュレーション, CQ ham radio 1, pp84-89. 2009
- 23) 澤田淳一:地域コミュニティと防災を意識した特定小電力無線レピータの設置, フリーライセンスで遊ぶ本, pp21-29, CQ 出版, 2013
- 24) Ohyama, F., et al.: A Specified Low Power Radio Repeater for Disaster Relief Medical Teams Support System Radiomatics ,Vol 3, pp14-21, 2012

(原稿受付 2013. 8. 30)

(登載決定 2014. 1. 13)