

災害時のSCU活動支援ネットワークにおける 地上から艦船への無線マルチパス有効性の一考察

辻井 高浩¹ 新井 イスマイル¹ 垣内 正年¹ 油谷 暁¹ 猪俣 敦夫² 藤川 和利¹

概要：2011年3月11日に発生した東日本大震災以降も日本国内において大災害は発生しており、これらの災害時の経験を教訓として発生が予想される南海トラフ地震の被害に対して対策を講じることが急務となっている。大規模災害発生時のDMAT(災害医療派遣チーム)間の情報共有は、効率的な患者搬送・機能施設の確認等のために必要不可欠である。この情報共有をするためには、インフラ設備が壊滅している被災地において活用できる地上系回線もしくは衛星回線を有効に活用することが重要である。一方、大規模災害発生時のDMAT活動では広域搬送拠点臨時医療施設(以下、SCU)として自衛隊の艦船を利用することを想定しているが、自衛隊の艦船内の通信環境は閉じたネットワークであり、インターネット接続のサービスを利用することができない。本稿では、2017年7月29日に実施された、内閣府が主催する「平成29年度大規模地震時医療活動訓練」[1](以下、DMAT訓練)において岸壁に設置した衛星回線経由インターネット接続サービスシステムを接岸している自衛隊の艦船内のSCUで利用するために構築した複数の無線機器によるマルチパスネットワークについて述べ、後日、同様のネットワーク構成により艦船が沖合に出ることを想定して実施した模擬実験のトラフィック測定結果と考察について報告する。

A Study of a Wireless Multipath Effectiveness from Land to a Ship for an SCU Activity Support Network at the Time of Disaster

TAKAHIRO TSUJII¹ ISMAIL ARAI¹ MASATOSHI KAKIUCHI¹ AKIRA YUTANI¹ ATSUO INOMATA²
KAZUTOSHI FUJIKAWA¹

Abstract:

Major catastrophes have occurred in Japan since the Great East Japan Earthquake that struck on March 11, 2011, and taking measures against the damage of the Nankai trough earthquake that is expected to occur as a lesson from the experiences of these disasters is an urgent task. It is indispensable for DMAT (Disaster Medical Assistance Team) to manage an efficient emergency medical transport. In order to share these information, it is important to effectively utilize terrestrial lines and satellite links that can be utilized in disaster areas where infrastructure facilities have been destroyed and terrestrial lines have been almost unusable. In this paper, we introduce a multipath network using multiple wireless devices to Self Defense Force vessel warship Osumi from the Internet connection service system via the satellite circuit installed at the port in the DMAT training conducted on July 29, 2017. and we report on the results and a study of the experiment conducted with the same network configuration assuming that the ship is going offshore with a similar network configuration at a later date.

1. はじめに

東日本大震災では、インフラ設備において甚大な被害が発生し、東北地方を中心に回線の途絶や停電等により情報通信機器が使用できなくなり、医療機関における建物・施

¹ 奈良先端科学技術大学院大学 総合情報基盤センター
Information Initiative Center, Nara Institute of Science and Technology

² 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究所
Graduate School of Science and Technology, Nara Institute of Science and Technology



図 1 DMAT 訓練時の機器設置状況

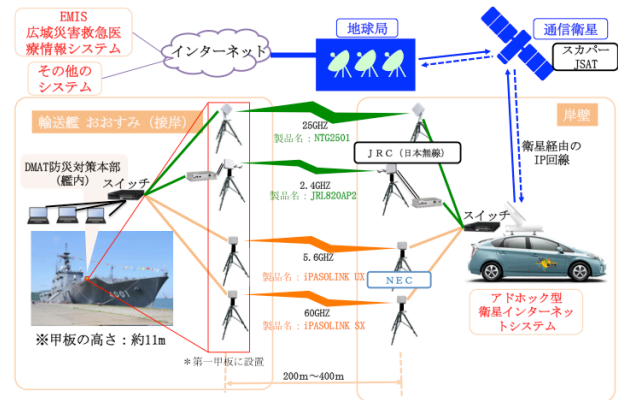


図 2 ネットワーク概要

設被害の有無・患者収容の可否・ライフライン利用の可否などを入力し、連携支援の可否を判定するシステムである広域災害救急医療情報システム（以下、EMIS (Emergency Medical Information System) [2] への接続も被災地では一時不能となった。医師、看護師、業務調整員（医師・看護師以外の医療技術職員や事務職員）で構成され、大規模災害や多傷病者が発生した事故などの現場に急性期（おおむね 48 時間以内）に活動できる機動性を持った医療チームである DMAT (Disaster Medical Assistance Team) [3] において災害時の初期活動時、音声通信および EMIS へのアクセスによる情報共有は必要不可欠である。この情報共有をするためには、インフラ設備が壊滅している被災地において活用できる地上系回線もしくは衛星回線を有効に活用することが重要である。一方、大規模災害発生時の DMAT 活動では SCU[4] として自衛隊の艦船を利用することを想定しているが、自衛隊の艦船内の通信環境は閉じたネットワークであり、インターネット接続のサービスを利用することができない。

本稿では、2017 年 7 月 29 日に実施された DMAT 訓練において岸壁に設置した衛星回線経由インターネット接続サービスシステムを接岸している自衛隊の艦船の SCU 内で利用するために構築した複数の無線機器によるマルチパスネットワークについて述べ、後日、同様のネットワーク構成により艦船が沖合に出ることを想定して実施した学内模擬実験のトラフィック測定結果による無線マルチパスの有用性と洋上における DMAT 訓練に必要なネットワークに関する考察について報告する。

2. DMAT 訓練時のネットワーク

本章では、2017 年 7 月 29 日（土）に実施された DMAT 訓練において和歌山下津本港中ふ頭 第 4 岸壁に配置された DMAT が利用したネットワークについて述べる。DMAT 訓練時の機器設置状況を図 1 に示す。今回の DMAT 訓練は洋上の艦船を利用することが予定されていたが、諸事情

により自衛隊の艦船が接岸された状況で実施している。

2.1 必要要件

和歌山下津本港中ふ頭 第 4 岸壁で実施された DMAT 訓練は、接岸した自衛隊の輸送艦おおすみに設置された SCU で実施されるため、以下の要件を満たす必要があった。

(1) 衛星回線の利用

災害時には地上系ネットワークが壊滅的な状況であることを想定して、DMAT 訓練時には、衛星回線を利用する。

(2) 自衛隊艦内におけるインターネット接続

自衛隊の艦船内のネットワークはインターネットへの接続が制限されており、DMAT 訓練時のインターネット接続は独自に用意する。

2.2 ネットワーク構成

(1) を実現するために奈良先端科学技術大学院大学が所有するアドホック型衛星インターネットシステム [5] を利用した。アドホック型衛星インターネット通信システムでは、被災地やデジタルデバインド（情報格差）地域において、音声ナビゲーションに従い、液晶パネルのタッチ操作をするだけで専門的知識・技術なしにインターネット接続を確保することができる。地震・津波等で地上系通信インフラが損壊した場合でも、VSAT 地球局の自動衛星捕捉機能とハイブリッド車による運搬・電源供給機能により、地上系の通信網に依存することなく、通信衛星を介したインターネット環境を構築することができる。衛星回線の帯域は、2Mbps である。(2) を実現するためにアドホック型衛星インターネットシステムの衛星経由のインターネット接続回線を無線により艦船まで延長した。ネットワーク概要を図 2 に示す。岸壁に設置したアドホック型衛星インターネットシステムによる衛星回線を 4 種類の無線機器により接岸した輸送艦おおすみ内の SCU に延長している。ネットワークを構成する機器は以下である。

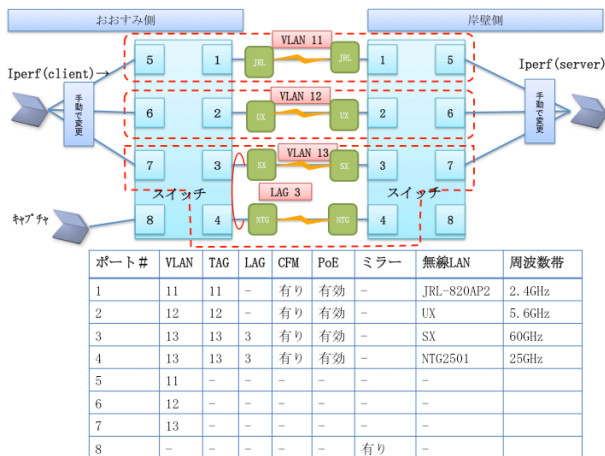


図 3 無線ネットワーク構成

- 衛星回線
 - JCSAT-2A(スカパー JSAT 株式会社保有)
利用ビームは Ku バンドの日本ビーム
- VSAT のアンテナ
 - Skyware 社製 Type756
- VSAT の ODU
 - 新日本無線株式会社製 BUC 3W
 - 新日本無線株式会社製 LNB DRO
- VSAT の IDU
 - Hughes Network Systems 製 HX200
- スイッチ
 - アラクサラネットワークス株式会社製 AX2530-08P
- 無線機器
 - 日本無線株式会社製 NTG2501
 - * 指向性 水平：2°，垂直：2°
 - * 伝送距離：3.8km(64QAM 変調方式・晴天の場合)
 - 日本無線株式会社製 JRL-820AP2 (アンテナ：NZA840)
 - * 指向性 水平：60°，垂直：60°
 - * 伝送距離：1.8km
 - 日本電気株式会社製 iPASOLINK UX
 - * 指向性 水平：23°，垂直：23°
 - * 伝送距離：10km(晴天時の場合)
 - 日本電気株式会社製 iPASOLINK SX
 - * 指向性 水平：1.7°，垂直：1.7°
 - * 伝送距離：1.3km (晴天時の場合)

無線ネットワーク構成を図 3 に示す。岸壁側、輸送艦 おおすみ側に設置したスイッチに 4 種類の無線機器 JRL-820AP2, iPASOLINK UX, iPASOLINK SX, NTG2501 を接続する。JRL-820AP2 は、2.4GHz, iPASOLINK UX は、5GHz の Wi-Fi 規格の周波数帯を利用しており、iPASOLINK SX は、ミリ波帯の 60GHz, NTG2501 は、準ミリ波帯の 25GHz 帯を利用している。JRL-820AP2, iPASOLINK UX は、LACP のパケットが通らないため独立し

表 1 各機器のスループット

#	ベンダ	機器	周波数	Iperf(TCP)
1	日本無線	JRL-820AP2	2.4GHz	167Mbps
2	日本電気	iPASOLINK UX	5.6GHz	53Mbps
3	日本電気	iPASOLINK SX	60GHz	90Mbps
4	日本無線	NTG2501	25GHz	90Mbps

表 2 フィルタ条件

送信元 IP アドレスが艦船内のサブネット	Upload
送信先 IP アドレスが艦船内のサブネット	Download

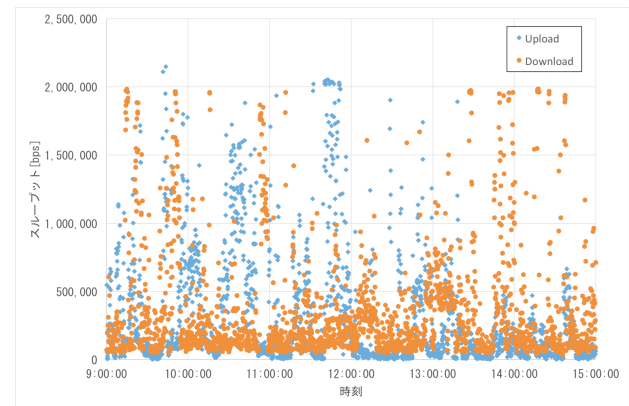


図 4 DMAT 訓練時のスループット

た VLAN に接続し、iPASOLINK SX, NTG2501 は、LACP による LAG (Link Aggregation) を組んだ同一 VLAN に接続する。Iperf による帯域測定用の PC は手動切り替えとしている。

2.3 トラフィック測定結果

DMAT 訓練前日 (7 月 28 日) の事前検証時に 4 種類の無線機器固有のスループットを Iperf により測定した。艦船側の PC を Iperf のクライアント、岸壁側の PC を Iperf のサーバとした。測定結果を表 1 に示す。無線機器間のスループットについては、機器固有の性能が出ていた。

DMAT 訓練 (7 月 29 日) のサービス提供時において iPASOLINK UX による無線接続ができなかった。DMAT 訓練のネットワークは、iPASOLINK UX を除く 3 種類の無線機器により、10:00~17:00 まで提供し、13:16 までは、iPASOLINK SX, NTG2501 の LACP による LAG を組んだネットワークを、それ以降においては、JRL-820AP2 によるネットワークを提供した。スイッチのミラーポートから取得した衛星回線経由インターネット接続のトラフィックを tshirck を使用して、表 2 の条件で、10 秒毎のバイト数により測定した Upload および Download のスループットを図 4 に示す。縦軸にスループット、横軸に時刻をとっている。

スループットにおいてダウンロードは衛星回線の帯域 (2Mbps) で押さえられ、アップロードもそれに追従する形となっていた。13:16 のネットワーク切替前後において

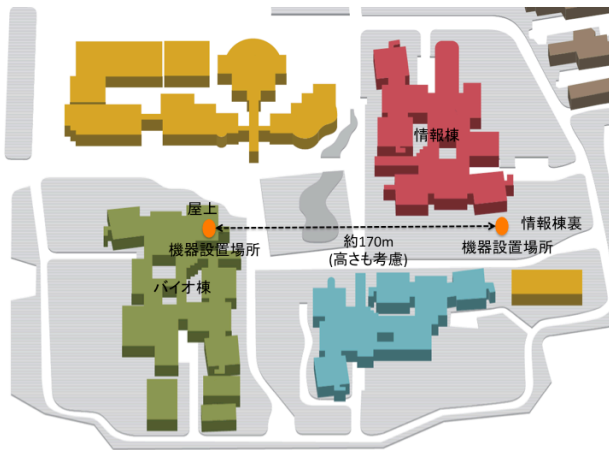


図 5 実験場所

も変化はなかった。

2.4 問題点と課題

5.6GHz 帯は、気象レーダの電波と干渉することを回避する DFS 機能 [6] により自衛隊の艦船上では利用できないことが判明した。艦船上の甲板上で場所を変更しても効果がなく、5.6GHz 帯の電波使用は回避すべきである。7月29日に実施された DMAT 訓練では、自衛隊の艦船は、接岸されていたが、実際の災害時においては、被災地近くの洋上で SCU 機能を果たすことになる。洋上で停泊している艦船は一定方向に留まることなく、おろした錨を中心に回転する状況下において、地上の衛星系もしくは地上系回線を洋上の艦船まで無線により延長するのは有効な方法であるが、回転している艦船で安定したネットワーク接続を提供することが必要である。

3. 学内模擬実験

洋上の艦船に地上の衛星系もしくは地上系回線を無線により延長するための模擬実験を実施した。

3.1 実験場所

模擬実験を実施した場所を図 5 に示す。艦船側をバイオ棟屋上、岸壁側を情報棟裏側と想定した。バイオ棟屋上と情報棟裏との距離は、約 170m であり、各場所に 4 種類の無線機器を配置した。

3.2 学内模擬実験のネットワーク構成

実験ネットワーク構成を図 6 に示す。情報棟側およびバイオ棟側の各々にスループット測定用の PC を 2 台用意している。LACP は、1 つの PC 間通信を負荷分散するのではなく、PC 間毎の通信を負荷分散するため、その効果を見るためには、複数 PC 間の通信を測定する必要がある。

実験に利用した無線ネットワーク部分の構成を表 3 に示す。DMAT 訓練時は、iPASOLINK および JRL-820AP2

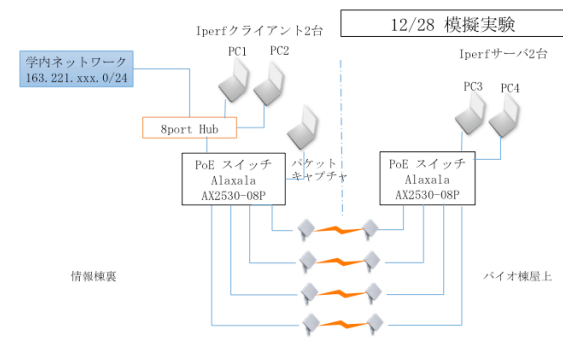


図 6 学内模擬実験のネットワーク構成

表 3 学内模擬実験の無線ネットワーク構成

#	ベンダ	機器	周波数	別名
1	日本電気	iPASOLINK UX	5.6GHz	
2	日本無線	JRL-820AP2	2.4GHz	LAG-A
3	日本電気	iPASOLINK SX	60GHz	
4	日本無線	NTG2501	25GHz	LAG-B

において LACP のパケットが通らなかったが、その後、ファームウェアの改善により、両製品とも LACP のパケットが通るようになり、LACP による LAG が組めるようになった。指向性の緩い Wi-Fi 規格である表 3 の 1 の無線回線 (以下、回線 1) および 2 の無線回線 (以下、回線 2) を利用した LAG の無線回線 (以下、LAG-A) は、広範囲をカバーすることができる。指向性の強い表 3 の 3 の無線回線 (以下、回線 3) および 4 の無線回線 (以下、回線 4) を利用した LAG の無線回線 (以下、LAG-B) は、狭い範囲しかカバーできないが干渉を考慮せずに安定した通信を確保できる。

3.3 実験方法

洋上で回転することが予想される艦船を模擬するために、情報棟側に設置した無線機器を回転させることにした。LAG-A の効果を見るために、情報棟からバイオ棟の方向を正面方向とし、正面方向から右に 90° ずらした位置から 5° ずつ、実験時間の都合上、途中から 10° ずつ正面方向に戻していき、各々の位置で 2 台の PC で Iperf によりスループットの測定 (以下、実験 1) をした。LAG-B の効果を見るために、情報棟からバイオ棟の方向を正面方向とし、正面方向から右に 10° ずらした位置から 1° ずつ、実験時間の都合上、途中から 2° ずつ正面方向に戻していき、バイオ棟屋上の PC1 および PC2 から情報棟裏の PC3 および PC4 に対して Iperf によりスループットの測定 (以下、実験 2) を実施した。

4. 結果と考察

4.1 結果

実験 1 の結果を表 4 に、実験 2 の結果を表 5 に示す。表 4 の 4 列目は、LAG-A の接続状況を示しており生きて

表 4 実験 1 の結果

変更角度 (°)	スループット (Mbps)		時間	LACP 接続状況
	PC1	PC2		
0-30	2-34	11-34	14:53-15:09	up
35-60	10-73	23-70	15:13-15:20	up
65-90	15-80	72-99	15:21-15:28	up
100-120	25-60	61-95	15:30-15:33	up
130-150	9-23	11-69	15:34-15:38	up
160-180	8-10	12-44	15:39-15:42	up
190-210	6-15	5-21	15:46-15:49	up
220-240	3-21	4-14	15:53-15:56	up
250-270	3-15	4-16	15:58-16:01	up

いる回線番号または接続状況を示す。表 5 の 4 列目は、LAG-B の接続状況を示しており生きている回線番号または接続状況を示す。LAG-A および LAG-B において LAG を構成している両方の回線が接続している場合は、up、回線 1~回線 4 のいずれかが接続している場合は各々の回線番号、不通の場合は、NG と表記する。実験 1 および実験 2 においては、計測回数が多いため、表 4、表 5 では、特徴が理解できるように複数の計測を一定の範囲でまとめて表記している。

表 4 の結果より、実験 2 において以下のことを確認した。

- (1) 測定したいずれの方向において両回線の接続を確認
回線 1 で利用しているアンテナの指向性は、水平方向 23° であり、回線 2 で利用しているアンテナの指向性は、水平方向 60° であるため、180°~270° においては、回線 1 もしくは回線 2 の接続が切れると推測していたが、アンテナがどの方向であろうが、回線 1 および回線 2 は接続された状況であり、最低 2Mbps のスループットを測定している。建物の反射も考えられるが、270° の方向には建物はなく、原因は特定できていない。
- (2) 90° に近いほど、スループットが良い傾向を確認
アンテナが正面方向で向き合う 90° 近くにおいて最大値 99Mbps を測定している。

表 5 の結果より、実験 2 において以下のことを確認した。

- (1) 広範な角度における回線の接続確認
回線 3 で利用しているアンテナの指向性は、水平方向 1.7° であり、回線 4 で利用しているアンテナの指向性は、水平方向 2° であるため、0° および 20° 以降においては、回線 3 もしくは回線 4 の接続が切れると推測していたが、39° まで回線 4 は接続された状況であり、最低 3Mbps のスループットを測定している。建物の反射が原因の可能性が高いと推測している。
- (2) 10° に近いほど高いスループットを確認
アンテナが正面方向で向き合う 10° 近くにおいて最大値 132Mbps を測定している。
- (3) 11° におけるスループットの低下

表 5 実験 2 の結果

変更角度 (°)	スループット (Mbps)		時間	LACP 接続状況
	PC1	PC2		
0-1	15-18	15-23	16:25-16:26	4
2-3	5-7	43-55	16:27-16:28	4
4	16	16	16:30	4
5-7	10-11	80-81	16:30-16:33	4
8	10	81	16:35	4
9	11	81	16:39	up
10	132	90	16:42	up
11	11	81	16:45	up
12	131	90	16:48	up
13	7	27	16:49	2
14-15	6-7	55-56	16:51	4
16	30	31	16:53	4
18-20	5-7	54-56	16:56-16:58	4
22-26	3-4	25-27	16:59-17:02	4
28	3	25	17:04	4
30	14	14	17:06	4
35-39	3	21-22	17:09-17:11	4
40	0	0	17:12	NG

表 6 実験 2 における 10° におけるトラフィック解析

送信元	送信先	送信 ポート	スループット (Mbps)	スループット合計 (Mbps)
PC1	PC3	56992	137	231
PC2	PC4	51825	94	

表 7 実験 2 における 11° におけるトラフィック解析

送信元	送信先	送信 ポート	スループット (Mbps)	スループット合計 (Mbps)
PC1	PC3	56993	11	95
PC2	PC4	51847	84	

表 8 実験 2 における 12° におけるトラフィック解析

送信元	送信先	送信 ポート	スループット (Mbps)	スループット合計 (Mbps)
PC1	PC3	56996	116	210
PC2	PC4	51849	94	

該当する時間に取得したキャプチャパッケージを tshark により解析した結果を表 6、表 7、表 8 に示す。送信元ポートが変わることにより 2 つのトラフィックが流れる回線が変わる可能性がある。

4.2 考察

実験 1 で利用した無線機器の場合、指向性が緩いため艦船側では少数の機器で LACP による LAG を組んだ回線を用意でき、災害時に洋上の艦船に回線を延長する有効な手段である。ただし、艦船上では気象レーダが用いられており、5.6GHz を使用する無線機器の使用は回避すべきである。

実験2で利用した無線機器の場合、指向性が強い艦船の各方向に複数の機器を配置しLACPによるLAGを組むことにより、継続した通信が可能と推測する。ただし、相当数の機器が必要となり、コスト面、運用面では現実的でない。実験2における11°におけるスループット合計が低下したのは、AX2530-08PにおけるLAGでは、フレームを送信元および宛先ポート番号に従って振り分けており、同一回線にトラフィックが流れたのが原因[7]と推測できる。

実験1および実験2では、機器の仕様以上に角度変更が許容されているのは反射の影響と推測しており、洋上での実験が必要である。

今回の模擬実験は、170mの距離で実施しており、各無線機器の性能範囲内である。実際の津波等の災害時では、自衛隊の艦船は、岸から数km離れての救援活動を行うことになるので、本稿では取り上げていないが伝送距離も問題となってくる。

5. まとめ

DMAT訓練前日(7月28日)に実施した事前検証では、表3における4種類の無線機器が性能通り機能することが確認できた。DMAT訓練(7月29日)では、DFS機能により自衛隊の艦船上では利用できないリスクを想定はしていたが、全く利用できないことを体験し、艦船上の甲板上で場所を変更しても5.6GHz帯の電波使用は不可であることが判明したとはいえ、概ね衛星回線の帯域である2Mbpsを維持してインターネットへのネットワーク接続サービスをDMATに提供でき、DMAT訓練におけるネットワークを利用した情報共有に支障はきたさなかった。模擬実験においては、LACPによるLAGを利用したマルチパスの無線回線の有効性を確認できた。災害時におけるDMAT活動の情報共有は必要不可欠であり、通信可能なインフラを利用可能とするラスワンマイルネットワークの技術を確認することは重要である。本稿で報告した4種類の無線機器により実現したLACPによるLAGを利用したマルチパスの無線回線は、災害時のUAV(Unmanned aerial vehicle)有効活用により、災害時の利用促進に繋がる可能性がある。

謝辞 本論文の衛星回線提供に御協力頂いた、スカパーJSAT株式会社 瀬尾淳様、木代正憲様、木村護様、内山浩様、DMAT訓練時のネットワーク構築にご協力頂いた、山口赤十字病院 末永利一郎様、NECプラットフォームズ株式会社 道田正明様、アラクスネットワークス株式会社 江口裕之様、佐幸智行様、日本無線株式会社 伊東厚様、渡壁栄造様、株式会社ファーストパーソン 米村直樹様、柏木義彦様、学内模擬実験ネットワークの構築と実験データ採取にご協力頂いた、奈良先端科学技術大学院大学 佐藤由章様、小山琢也様、衣川俊二様、宮内英仁様、米澤明生様に謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 平成29年度大規模地震時医療活動訓練について
入手先 (http://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/pdf/20170721_01kisyu.pdf)
(参照 2018-04-06).
- [2] 広域災害救急医療情報センター：広域災害救急医療情報システム (EMIS)
入手先 (<https://www.wds.emis.go.jp/topcontents/W01F14P.pdf>)
(参照 2018-04-06).
- [3] 日本DMAT：DMATとは？
入手先 (<http://www.dmat.jp/DMAT.html>)
(参照 2018-04-06).
- [4] 広域医療搬送の概要
入手先 (http://www.bousai.go.jp/oukyu/pdf/kouiki_gaiyou.pdf)
(参照 2018-04-06).
- [5] 辻井, 高浩, 猪俣, 敦夫, 垣内, 正年, 油谷, 暁, 藤川, 和利：非常時における車載型衛星インターネット通信システムの実装と評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2015-IOT-28, No.9, pp.1-6 (2015)
- [6] 無線LANの基礎と最新技術動向
入手先 (<https://www.nic.ad.jp/ja/newsletter/No61/0800.html>)
(参照 2018-04-10).
- [7] コンフィグレーションコマンドレファレンス Vol.1
入手先 (https://www.alaxala.com/jp/techinfo/archive/manual/AX3650S/HTML/11_12/CFREF/0119.HTM)
(参照 2018-04-10).
<https://www.nic.ad.jp/ja/newsletter/No61/0800.html>