

# 緊急防災時におけるアドホック無線ネットワークの利用について

## *Utilization of the Ad-hoc wireless network in the urgent prevention of disasters time*

曾我部 雄樹  
Yuki Sogabe

奥山 徹  
Tohru Okuyama

要旨 地震などの自然災害の発生は少なからず既存のネットワークインフラに被害を与える。さらに災害発生時は様々な情報が飛び交い、ネットワークは輻輳状態になる。そのような時に行政や通信会社に頼らない民間によるネットワークを、地域内に広く分散している民間所有の無線アクセスポイントを用いて構築する手段について考え、非常用ネットワークの緊急展開のための基本要素と要件を明らかにする。

### 1. 背景

1999年の阪神淡路大震災・2004年の新潟県中越地震では多くの人命が失われた。その最大の原因は情報伝達に通常では考えられない程の時間がかかった事にある。行政や通信会社の所有する通信網の遮断や、電柱・電力線の倒壊による電力の供給停止から発生する様々な被害は予想よりも大きくなる。このように、自然災害が発生した場合、当該地区では通常では考えられないトラブルが発生する。特に通常よりも多くのトラヒックが発生する携帯電話や地域無線網の多くは通信に規制がかけられる。そのため、地域社会においても非常時に行政に頼らない独自の通信網を構築出来るような体制を考えておく必要がある。

阪神淡路大震災・新潟県中越地震などの自然災害発生時に、初動で情報を収集する事が出来ずに多くの地域で被害が拡大した[1]。また、情報の遅れによる二次災害も発生し、予想以上の人命が失われた事は周知の事実である。現在

多くの民間の無線 LAN アクセスポイント(以下、「AP」と略記する)が無差別に設置されており、これらを接続する事で広範囲なネットワークを構築する事が出来る。このネットワークを災害発生時に非常用ネットワークとして利用する事が出来れば緊急用のネットワークとして利用出来、初動での情報流通を円滑にし、多くの二次災害を防ぐ事が出来ると考える。そのため、本研究で提案する緊急用ネットワークは、インフラとしては行政・通信会社に頼らずに構築する事を目指すが、収集された情報は積極的に公開し、行政やその他の機関に対して広く協力(情報提供・情報公開)を求めるものである。

アドホックネットワークは、近隣にある無線通信設備を瞬時に結び、必要な情報通信網を確保するための手段として最近広く研究されている[2]。しかしながら、アドホックネットワークは走行中の車同士や移動中の携帯端末間を結ぶモバイル資源の活用としての研究が主であり、緊急時に固定設備と移動端末設備を組み合わせた非常用通信路を確保するというような研究は未だ構

想段階であり、有効なネットワーク構築の手段と活用のための指針は提供されていない。

本研究では、地域に広く分散配置されていると考えられる無線ネットワークのアクセスポイントと、移動体システムとしてのノートPCなどを利用した、新しい民間主導の地域防災通信システムについて研究した。実際に朝日大学周辺において緊急展開するための実地実験を行うための予備調査として、無線ネットワークのAPの分布を測定したので、その概要も報告する。また、本論文は2005年12月時点の研究をまとめた朝日大学大学院経営学研究科紀要第7号の研究ノート「緊急時における地域無線ネットワーク構築に関する一考察」に2006年3月末までの研究成果を加筆修正したものである。

## 2. 災害発生時のインフラ

1995年の阪神淡路大震災、2004年の新潟県中越地震でのインフラ・ライフラインの被害は非常に大きかった。特に阪神淡路大震災の場合ではピーク時には兵庫県及び大阪府で約260万戸が停電し、ガスの供給停止が84万5000戸、また兵庫県をはじめ大阪府などの9府県68市町村において水道の断水が127万戸、下水道においては総延長約260kmの管渠に被害が及び、通信路の基幹であるNTT回線は神戸、大阪を中心に約30万回線が普通になった[3]。特に被害の大きかった神戸市で最初に復旧したインフラは電気(地震発生から7日)であり、通信インフラの代表である電話は15日後であった。

阪神淡路大震災の場合では地震発生直後は各地の被害状況が把握出来ず、被害もそれほど大きいとは思われていなかった。しかし、時間

の経過と共に各地の情報が集まり、最終的に死者6432人になる大災害に発展した。これは初期段階での情報流通が非常に困難な状況にあり、被害状況の把握の遅延から自衛隊の災害救援要請までに時間を要したためである。

また、中越地震でも状況は同じであり、特に中山間地域を多く抱えた地域の特殊性も手伝って、被害把握は困難を極め、川口町や山古志村の実態が明らかになったのは地震発生から一夜明けてからであった。しかしながら、中越地震では阪神淡路の教訓が生かされ、迅速な情報インフラの復旧が行われたが、そのとき、地域住民にとって最も大きな情報源となったのは新聞であり[1]、インターネットなどのメディアは被災地域住民への情報提供インフラとしては全く役に立たなかったと言っても過言ではない。しかし、インターネットは一時情報の提供(いくつかのブログサイトによる)や安否情報、新聞・テレビが報道出来なかった詳細情報を外部に伝えるメディアとしては活用された。

以上のように、災害発生などの緊急時においては何よりも情報流通のためのインフラ確保が非常に重要になる。特に、被災地との連携や地域住民への迅速な情報提供は二次災害の防止や地震が遠因による身体的・精神的負担による死亡を食い止めるためにも必要である。しかしながら、行政だけでそれらを充当するのは難しい局面がある。したがって、民間側も何らかの対策を考えておかなければならない。

## 3. 瑞穂市の状況

瑞穂市は平成16年度において総人口48,273人であり、そのうち65歳以上が6,338人

(阪神淡路大震災の場合では 65 歳以上の死者は 3,193 人と、全体の約半数を占めた)である[4]。災害発生時には情報班・消化班・避難誘導班・救出救護班・給食給水班が編成され、情報インフラを担当する情報班の役割は「被害状況を把握する。また、デマ情報に惑わされないように、防災機関と連絡を取り合い、正確な情報を住民に伝える。」となっている。また、朝日大学も避難場所に指定されており、許容量・立地条件(災害対策本部となる市役所からの距離)からも情報発信拠点としての役割が求められると考えられる。

瑞穂市は主に長良川・根尾川によって出来た扇状地帯で沖積層からなっており、また揖斐川や長良川をはじめ、犀川や五六川など 10 数本の一級河川が北から南へ貫流する低湿平坦な輪中地帯であるため、地盤が軟弱であると指摘されている。このような地勢から、万一地震が発生した場合、穂積市では震度 5 から 6 のかなり強い揺れになり、液状化現象による家屋倒壊などの被害が多数発生すると予想されている。また、風水害においても、昭和 51 年の 9.12 水害をはじめとして、これまで幾度となく洪水の被害に見舞われており、近年は治水事業の推進により大きな被害は起きてはいないものの、油断する事は出来ない。

#### 4. 緊急用ネットワーク

ライフラインの確保や人的被害を早期に把握・解決する事の重要性は、過去に発生した地震や水害などの例を見ても周知の事実である。災害などの緊急事態が発生した際に、地域住民から多くの情報を収集し、初動で被害状況を把握する事は、その後の災害対策に大きく影響す

る。また、公官庁などから住民への情報提供は、住民が災害の全体像を把握し、風評などからの被害を食い止めるためにも必要である。このように住民から公官庁へ、また公官庁から住民への、双方向の情報流通は、初動の混乱を防ぎ、二次災害を防ぐ事が出来るだけではなく、災害からの復旧を早める事が出来る。

緊急用ネットワークを構築する際に、以下の要件が考えられる。さらに緊急用ネットワークは容易で安価に構築する事が出来なければならないと考える。本論文ではこれらの要件を満たすために民間所有の一般的な AP を用いて AP 同士の WDS による接続を提案する。

- ・ 電源  
ネットワークを構築時に、機材を運用するために必要な電源
- ・ 無線  
過去の例より、有線ネットワークは災害発生時に寸断される事が多い
- ・ 情報量  
多くの機関(警察・消防・その他)が無線を使用するため、周波数割り当てなど、使用可能なリソースに限界が出来る。

民間所有の AP を、WDS を用いて接続するためには以下の要件を満たす必要がある。特に、電源の問題は大きく、緊急用ネットワークの最低条件になると考える。

- ・ 災害発生時に AP が生存している場合は必ず設定の変更がなされ、ネットワークに接続されるものとする。
- ・ 災害発生時においても電力が確保されている。電力が確保されない条件は家屋の倒壊

などの場合である。

- 緊急用ネットワークに接続する全ての AP は WDS をサポートしている。

過去の例より災害発生時に行政によるネットワークで扱える情報の数には限界があり、同時に多様なメディアを扱える IP による無線を使ったインフラは官民双方にとって有益であると考えられる。

### 5. アドホックネットワーク

アドホックネットワークは、必要な時に一時的に形成し、用が済み次第消滅する「その場限りの」ネットワークである[5]。移動環境で、センサーデータ以外の通信も想定し、マルチホップの無線ネットワークを前提にするのが特徴である。本論分では緊急用アドホックネットワークを「災害などの緊急事態の発生時に初動で情報をやり取り出来るネットワーク」とする。

無線 LAN は IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) の 802.11WG (Working Group) によって標準化されている。802.11WG は 1990 年に設立され、物理レイヤと MAC レイヤの標準化作業を中心に行っている。

物理レイヤは OSI 基本参照モデルの第 1 層であり、物理的な媒体の電氣的なインターフェイスと、基本的なデータの変調方式について規定している。物理層には PMD 副層と PLCP 副層があり、PMD 副層はデータを電波や赤外線に変調する副層、PLCP 副層は変調方式の差異を吸収する副層で MAC フレームを PLCP フレームでカプセル化して同期を取る。また、無線を使用する際の周波数は 2.4GHz と 5GHz の 2 種類がある。

MAC レイヤは OSI 基本参照モデルの第 2 層(データリンク層)の下位半分にあたり、ケーブルなどのネットワーク媒体に信号を送出するタイミングを制御する。無線 LAN では以下の 2 つの方式とマネージメント機能が存在する。

- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance: 衝突回避機能付きキャリア感知多重アクセス方式)  
分散制御による無線チャンネルアクセス方式
- ポーリング方式  
集中制御による無線チャンネルアクセス方式
- マネージメント機能  
STA が特定の AP を介して LAN に收容されるまでの一連の動作に関わる管理手順。

IEEE802.11 標準規格にはインフラモードとアドホックモードがある(表 1 参照)。これらのモードは状況によって使い分けられ、様々なサービスを提供する。

表 1 IEEE802 標準規格のモード

インフラモード	AP とその電波到達範囲内に存在する STA (Station: 無線 LAN 子機) から成り、これを BSS (Basic Service Set) と呼ぶ。
アドホックモード	BSS ではなく、STA 同士・AP 同士で通信を行う。

無線 LAN には隠れ端末問題がある。これは、BSS があった場合、AP から全ての STA が見えたとしても、1 つの STA から他の STA の全てが見えるとは限らない事に起因している。アドホックネットワークを構築する際に隠れ端末問題は大きな

問題になる事に留意しなければならない。

本研究でアドホックネットワークを構築する際に、現在使用可能である無線 LAN 規格である IEEE802.11b・IEEE802.11a・IEEE802.11g (表 2 参照)を利用する事を考えた。これは、これらの規格の無線 LAN システムが、既に多くの場所で利用されており、必要に応じて利用可能な第一級の資源であると見なせるためである。しかしながら、実際にこれらを使いネットワークを形成するには、具体的な技術的要素を議論する前に、AP の分布状況を把握し、実際に利用出来る密度となっているか、あるいは、給電などについてどのように配慮するか、など多くの要件を整えていく必要がある。

表 2 無線 LAN 規格

規格	最大伝送速度	通信距離	周波数帯 標準化時期
IEEE802.11b	11Mbps	数十 m	2.4GHz 1999 年 9 月
IEEE802.11a	54Mbps	数十 m	5GHz 1999 年 9 月
IEEE802.11g	54Mbps	数十 m	2.4GHz 2003 年 5 月

最初に重要な要素として取り上げるのは通信距離である。一般的に無線 LAN が設置されている場所は屋内である事が多く、さらに田園地帯が多い穂積町では家屋間の距離も離れている。無線 LAN の一般的な通信距離が数十 m である事を考えると、数十 m 間隔で無線 AP が設置されている必要がある。しかし、田畑のために家屋が離れている場所では通信が行えない可能性がある。そのために移動可能な仮設無線 AP の構築と設置の必要がある。この問題については後の節

で述べる。

現在、穂積町内には多くの無線 AP が設置 (2006 年 2 月 22 日時点で 382 箇所)されており、民間において個人的に使用されている。一般的に無線インフラは有線インフラよりも災害に強い事は周知の通りである。これらの無線 AP を使い民間の協力の下にネットワークを構築する事によって、安価に一時的な非常用ネットワークを構築する事が可能である。そこで、まずは、AP の分布状況を把握する調査を行った。

## 6. AP の調査

本研究では穂積町が災害に遭った場合を想定し、穂積町内に設置されている AP の分布を調査した。

調査範囲は以下の通りである。この範囲には公官庁として瑞穂市庁舎・消防署 (岐阜中消防署穂積分署)・交番 (北方警察署穂積警部補交番)、教育機関として穂積小学校・穂積保育所・朝日大学、その他の公共施設として市民センター・総合センターなどがある。

- ・ JR 東海道線よりも南側
- ・ 長良川より西側
- ・ 中川より東側
- ・ 長良川より北側

調査範囲内で想定されるケースとして、21 号線よりも南側は古い建物が多く、倒壊しやすい地域と言える。逆に 21 号線よりも北側は比較的新しい建物 (マンションなど)が多い。

本調査は以下の手順に沿って進められた。調査は深夜 0 時以降に開始した。これは、0 時以

降に検知出来る AP は常時電源が入っている可能性が高く、緊急時にも使用出来る可能性が高いためである。

- ① 地域における無線 AP 設置状況の調査として最初に統計的な調査を行う。
- ② GPS 位置検出装置を用いて地域に設置されている無線 AP のおおよその位置を計測し、利用可能なアクセスマップを作成する。
- ③ アクセスマップを用いて、AP のある位置情報を把握する。
- ④ AP 間を結ぶアドホックネットワーク形成のための基礎実験を行い、地域適用における緊急無線システムとしての実用化の可能性を探る。

調査に使用した機材は以下の通りである。各 AP はその AP の所属する BSS の運用情報をビーコン信号と呼ばれる制御用パケット信号 (MAC レイヤのマネージメント機能) にて周期的に放置している。NetStumbler はビーコン信号を受信し、各 AP の状況を把握、GPS から得た位置情報を付加してリスト化する。

- ・ Toshiba Dynabook SS MX/190DK
- ・ BUFFALO WLI-CB-G54 + WLE-NDR
- ・ IO DATA CFGPS2 + GPS-ANT/CF2
- ・ NetStumbler 0.4.0

地域内の既存の無線 AP を調査する事によって、現在使用可能な無線 AP を把握する事が出来た。表 3 は NetStumbler で取得したデータの例である。GPS 位置検出装置のデータは NetStumbler によって他の多くの情報 (SSID や使用チャンネルなど) と一緒に緯度・経度として記

録され、さらにそのデータの中から緯度・経度・SSID を抜き取り、ゼンリン電子地図帳 Z7 にて表示した。図 1 は穂積町における無線 AP の設置状況である。

調査結果は緊急時に割り当てる無線チャンネル情報などを付加し、それらの情報をオープンポリシーとみなして OPS サーバーでの情報提供システム[6]上で利用する事を考えている。もちろん、この OPS サーバーは初動 AP による無線ネットワーク内に置かれ、必要な AP を探し出す事を可能にしておく必要があるが、それは、今後の課題である。

表 3 NetStumbler のデータ例

Latitude	N 35.3784250
Longitude	E 136.6932467
SSID	MML
Type	BSS
BSSID	00:07:40:b1:e2:ba
Time (GMT)	19:02:46 (GMT)
SNR	35
Sig	84
Noise	49
Name	
Flags	0011
Channelbits	00000040
BenIntvl	100
DataRate	540
LastChannel	6

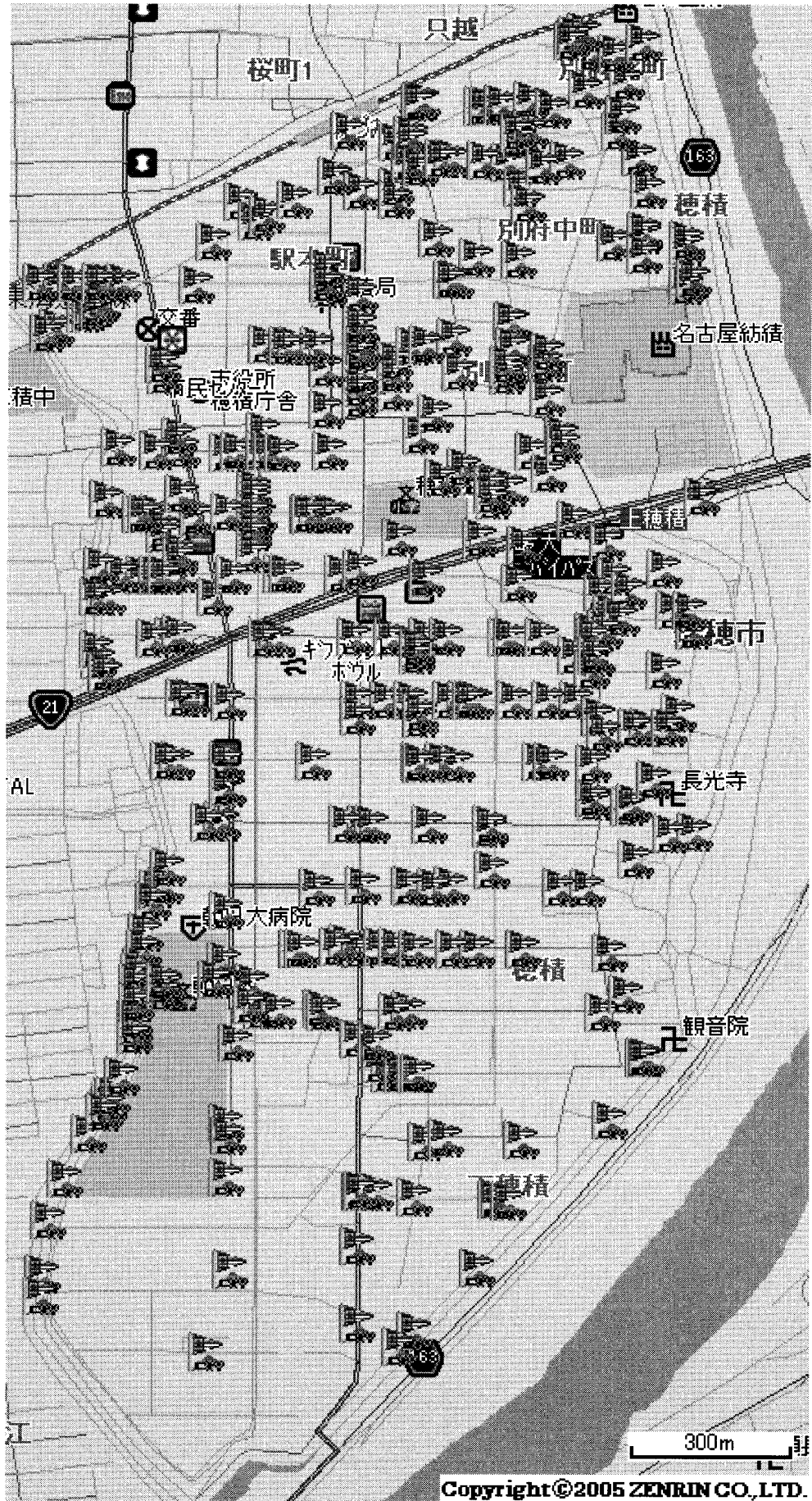


図1 穂積町無線 AP 設置状況

7. アドホックネットワークの形成

アドホックネットワークは、IETF (Internet Engineering Task Force) によって 1997 年に MANET (Mobile Ad-hoc Network) としてワーキンググループが発足し、ルーティング制御を中心に標準化作業が活発化している。また、1999 年には最初の RFC (Request For Comments) が情報提供のためにまとめられている[2]。

無線 LAN のアドホックモードはマルチホップのネットワークを前提としており、IEEE802.11b から使用する事が出来る。無線 LAN では有線 LAN と違い、データ転送用のケーブルを考慮する必要が無い。よってマルチホップのネットワークとは「ケーブルを使用せずに通信が可能なネットワーク」と言える。そのために無線 AP 同士が接続する場合、通信可能な範囲内に複数の AP が存在する可能性がある。特にマンション・アパートなどの場合は、GPS 位置検出装置を見た場合、同じ場所に数個の無線 AP が設置されているように見える事がある。その際、どの無線 AP を経由してデータを転送するか、ルーティングを考慮する必要がある。

しかしながら、端末が移動しながらアドホックネットワークを構築する場合と違い、無線 AP は設置されている場所から移動する事を考慮する必要が無い。したがって、この場合ではプロアクティブ型プロトコルでルーティング制御が可能であると考えられる。プロアクティブ型プロトコルとは、通信要求に先立ってあらかじめルーティングテーブルを作成する事によって、通信要求が発生するとすぐに通信を開始出来る。

トポロジーはツリー型・バス型を基本とする。ループ型・メッシュ型の場合、データがループするためにブロードキャストストームが発生するから

である。また、AP が増加する事によってストームが発生する可能性があるため、本研究では町内に情報の基点を設け、ネットワークと情報の集約を図り、大規模なネットワークを構築しないようにする。考えられる情報の基点は表 4 の通りである。情報の基点では必要に応じたネットワークの管理(セグメント・ルーティングなど)を行うだけでなく、それぞれの基点が欲する情報を収集する。また、指向性アンテナなどを用いて基点同士を接続する事によって町内のネットワークを構築する。

表 4 情報の基点

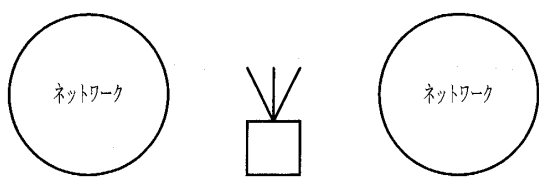
公 官 庁	市役所	当該地区の防災を指揮する指令所
	警察	火事場泥棒対策、火災発生時・倒壊
	消防	家屋の撤去、その他の活動
災 害 支 援	避難所	家屋が倒壊、またはその危険性のある住民が避難する場所
	大学 病院	大学・病院などの支援環境のある施設
イ ン フ ラ	駅	線路には光ファイバがあり、外部とのコミュニケーションを行う事が出来る
	インフラの管理	通信 (NTT など)、電気、ガス、水道などの管理を行う場所

無線 AP の電波到達の空白地帯では無線通信を行う事が出来ない。それを補完するために移動通信システムを構築する必要がある。本実験ではポータブル発電機と無線 AP の組み合わせで移動通信システムを構築出来る事と考える。この移動無線 AP は田畑などによって通信が行えない屋外に設置され、通信を補助する事になる (図1参照)。





この場合だと無線ネットワーク同士の間には田畑があり、無線の電波が届かない。



その場合は、接続したい無線ネットワーク同士の間地点に携帯無線 AP を設置し、電波の中継をする。

図1 無線 LAN の中継

災害が発生した場合、各 AP は指定された AP に接続し、アドホックネットワークを構築する。ここで、初動で情報を把握するために AP の生存率が利用出来る。例えば、AP の生存率が 100% であれば建物の倒壊による被害は非常に少なく、50% であれば家屋の倒壊も半分程度だと考えられる。

IEEE802.11b 以降であれば使用する事が可能なアドホックネットワークの使用は、新たに無線 AP が増えた場合でも柔軟に対応出来、Wi-Fi に準拠している機器であれば相互接続も容易に行う事が出来る。したがって、このような無線 LAN の AP による緊急時の無線ネットワークは給電さえ十分であれば、容易に構築出来ると考えられる。

## 8. 通信内容

緊急用ネットワークの目的は各地の被害状況を把握するために多くの情報を早期に収集し、住民へ必要な情報を提供する事である。やり取りされる情報は以下のものが考えられる(表 5 参照)。住民から公官庁などへ、また公官庁などから住民への双方向の情報流通は初動での混乱・二次災害の防止になる

表 5 通信内容

住民から 公官庁 などへ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建物の被害 倒壊した建物の情報</li> <li>・ 人の被害 死傷者の情報</li> <li>・ 道路状況 陥没・倒壊した建物による道路封鎖の情報</li> <li>・ インフラの状況 電気・ガス・通信などの生存・復旧情報</li> </ul>
公官庁 などから 住民へ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 災害の全体像 震度・被害範囲など</li> <li>・ 復旧への進捗度合い インフラや道路などの復旧状況</li> <li>・ 避難場所 家が倒壊した人などが非難する場所の情報</li> <li>・ 支援状況 警察・消防の活動状況や物資の輸送状況</li> </ul>

これらの情報は必要に応じて各機関に収集される。例えば、死傷者の情報は消防署や病院に集められ、インフラの状況は中部電力・ガス会社・NTT などに集められる。

## 9. 今後の課題

実際の運用に関してはまだ多くの問題があると考えられる。例えば、IP アドレスの配布計画やルーティングもさらに詳しく規定する必要がある。これらの問題は今後の研究上の課題として検討していかなければならない。

さらに、災害発生時を想定した、万が一のネットワークであるので、いつ使われるかわからないネットワークを、いつ緊急事態が発生しても使用出来るようにする事が求められる。そのために事前に住民への理解を得る必要があり、さらに実際の運用の際と同じ条件で運用テストを行う必要がある。

また、主要なポイントへのポータブル発電機の設置など、給電のための十分な体制を整えるなど、行政側との連携も必要である。

## 10. 結論

災害発生時は、当該地区においては非常事態であり、多くの常識が失われる。その中で正確な情報を把握し、住民に提供するための手段は重要であり、被害を食い止める手段になる。

本研究では民間所有による無線 AP を利用した緊急時における地域無線ネットワークの構築を目指した。災害発生時などの緊急時にはボランティアによる人的支援と共に様々な情報流通が可能なネットワークが求められる。ボランティアとして民間所有の無線 AP の利用提供は情報流通を促進し、官民双方にとって有益な活動を行う事が可能である。

東海地震の発生の際には瑞穂市も大きな影響を受けると想定されている。このような状況に

においてここで示したアドホックネットワークを用いた緊急時における地域無線ネットワークは大きな役割を担うと考える。しかし、地域無線ネットワークの構築には住民への説明など、多くの課題が残されており、これらを解決する事が必要である。

## 11. 参考文献

- [1]新潟日報社, 「新潟日報の 168 時間」, 新潟日報社, 2005.
- [2]S. Corson and J. Macker, “Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations”, RFC2501, IETF. 1999.
- [3]消防白書平成 12 年版, 総務省消防庁, 2000.
- [4] <http://www.city.mizuho.lg.jp/>, 穂積市 HP, 2005.
- [5] 阪田史郎, ワイヤレス・ユビキタス、香和システム, 2004.
- [6] 奥山徹, 種田智哲, 藤澤大, Finley, Marion R., 「OPS (Open Policy Service) による Web ページの著作権に対する登録・提示システムのサービスモデルの設計」, 電子情報通信学会テレコミュニケーションマネジメント研究会報告 (信学技報), TM2003-121, pp.61-66, 2004.

曾我部 雄樹 (経営学部ポストドクター)

奥山 徹 (経営学部情報管理学科教授)