

災害時孤立集落での利用を想定した 地域内情報共有システム

塚田 晃 司^{†1} 野崎 浩 平^{†2,*1}

日本は平地地域が少なく国土面積の約 7 割を中山間地域が占めている。中山間地域にある集落の多くは、災害時に孤立集落となってしまう可能性が高い。そこで、我々は、中山間地域の孤立可能性集落向けの地域内情報共有システムを提案する。提案システムでは、DTN (Delay-Tolerant Networking) と P2P モデルを用いることで、既存の通信インフラの被災の影響を受けない情報共有システムを提供する。提案システムのプロトタイプを実装し、屋外での評価実験を実施した。その結果、通信が切断されるケースがたびたび発生するような通信状況が変化する状況においても、情報伝達に遅延は発生したが、喪失や重複はないことが確認できた。

Implementation of The Disaster-proof Information-communication System for Villages in Hilly and Mountainous Areas

KOJI TSUKADA^{†1} and KOHEI NOZAKI^{†2,*1}

The hilly and mountainous areas in Japan equal nearly 70% of its total land area. Many of villages in the areas have a high risk of becoming isolated villages caused by a natural disaster, such as earthquake. In this paper, we propose a new disaster-proof information-communication system for the isolated villages in the hilly and mountainous areas. Since the system is using DTN (Delay-Tolerant Networking) and P2P architecture, it is not affected by disasters. We have implemented a prototype of the system and conducted its evaluation experiments. As a result of the experiments, even though the system was used in a situation with unstable wireless links, we confirmed that there were no loss and duplication of the information that the system delivered.

1. はじめに

日本は大都市周辺部を除くと平地地域が少なく、国土面積の約 7 割を中山間地域が占めている。中山間地域にある集落は、条件不利地域に位置していることが多く、外部との交通インフラ、通信インフラなどのライフラインを災害に備えて冗長化することが難しい。このような地域において、ライフラインが地震、風水害などの自然災害により被災すると、孤立集落となってしまう可能性が高い。国内で 19,238 集落（うち中山間地の農業集落は 17,451 集落）が災害時孤立集落になる可能性が指摘されている¹⁾。

災害時孤立集落では、災害発生初期に

- 集落の住民が自治体などに対して救援要請を発することが困難となる、
- 自治体などが集落の被災状況を把握することが困難となる、

という事態が想定され、災害後の救援・復旧活動に支障をきたす可能性がある。現状では、自治体職員などが孤立集落まで出向いて確認する、あるいは、孤立集落に住む自治体職員が携帯電話などで状況報告をすることにより対処している。しかし、東海・東南海・南海地震のような大規模災害が発生し、被害が広範囲に及んだ場合には対応できない可能性がある。そのため、中山間地域で利用可能な災害に強い通信インフラが必要である。

このような現状をふまえ、救援要請、被災状況などの情報伝達のために、防災行政無線や地域 SNS (Social Networking Service) などの ICT (Information and Communication Technology) を用いた災害情報サービスが導入されはじめている。その一方で、災害時にしか利用できないシステムでは、いざというときに使用方法が分からず効果的に活用できないという問題点がある。普段から使い慣れておくためには、災害時以外は行政情報、地域情報など住民の生活に密着した情報を提供可能なサービスが必要である。さらに、中山間地域の集落では過疎化・高齢化が進んでおり、国内 7,878 集落が限界集落である²⁾。高齢者にも使いやすいシステムであることが必要である。

そこで、我々は、上記の課題を解決する一手法として、中山間地域の孤立可能性集落向けの地域内情報共有システムを提案する。このシステムでは、DTN (Delay-Tolerant Net-

^{†1} 和歌山大学システム工学部

Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

^{†2} 和歌山大学大学院システム工学研究科

Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

*1 現在、アクセントチュア・テクノロジー・ソリューションズ株式会社

Presently with Accenture Technology Solutions Ltd.

working) と P2P モデルを用いることで、既存の通信インフラの被災の影響を受けない情報共有システムを提供する。

本論文では、まず、現状の課題を整理し、提案システムの具体的な構成、および、その試作システムの実装について述べる。次に、試作システムを用いた評価実験の結果について述べる。

2. 関連技術

2.1 通信インフラ

多くの自治体ですでに防災行政無線を導入している。防災行政無線には同報系、移動系の 2 系統があり、同報系は屋外拡声器や戸別受信機を用いた自治体から住民への片方向の情報伝達手段である。非常時に住民側から救援要請や、被災状況を自治体側に連絡する目的には使用できない。一方、防災行政無線の移動系や地域防災無線は、双方向の情報伝達手段である。その主な利用目的は、自治体職員と自治体庁舎との間、学校や病院などの公共施設と自治体との間の通信が主であり、孤立可能性集落のすべてに配備することは難しい。現状の対策として、防災行政無線の通信方式をデジタル化し、集落内の戸別受信機と自治体との間で双方向通信を可能とする同報デジタル系の整備も進んでいる(平成 19 年現在、全国で 8.24%³⁾)。しかし、すでに導入済みのシステムを更改するには費用がかかり、中山間地域に位置する小規模自治体にとっては負担が大きく難しい。

専用システムでなくても、一般の電話で十分な場合もある。公衆回線網や携帯電話網は局所的な被災であれば障害復旧も早い。しかし、東海・東南海・南海地震のように広域で大規模災害が発生した場合には、同時多発的に広範囲に孤立集落が発生し、完全復旧までに長期間を要する。現状の対策として、衛星携帯電話機を導入している自治体もあるが、導入・運用費用の負担が大きく、すべての孤立可能性集落に配備することは難しい。

以上の課題解決に向けて、さまざまな取り組みがなされている。現在、注目されているのは、無線アドホックネットワークにより、複数の中継装置を介して孤立集落と外界との通信を確保するアプローチである。

平成 16 年新潟県中越地震の際、新潟県の旧山古志村(現在、長岡市)が孤立したことをきっかけに新潟大学が中心となって取り組んでいる「山古志ねっと共同実験プロジェクト」が有名である^{4),5)}。災害で孤立した場合でも、見通しの良い山頂や、上空に浮かべた気球に設置した無線装置を中継して集落外との通信を確保する。衛星通信と連携した通信実験も行われている⁶⁾。

また、総務省四国総合通信局では、四国の中山間地域におけるブロードバンド環境整備とデジタル・ディバイド解消のために無線ネットワーク導入に取り組んでいる⁷⁾。効果検証のために、試験システムを愛媛県内子町に構築し、行政、医療・福祉、地域振興などの情報サービスの可能性を検証した⁸⁾。

これら 2 つの事例を含めアドホックネットワークを用いたシステムは、通信の送信側と受信側とがつねに安定して接続されることを前提としている。しかし、無線通信では周辺環境によって不安定な通信状態になる場合が多い。従来の多くのネットワークアプリケーションは、安定した通信を前提としているため、不安定な状況を避けるためには、多くの中継装置を用いる必要があり、導入・運用コストが大きいという問題がある。

この問題を解決するアプローチとして、DTNRG (Delay Tolerant Networking Research Group) が中心となって取り組んでいる DTN (Delay-Tolerant Networking) がある^{9),10)}。不安定な接続を前提とした通信方式であり、トランスポート層の上位に位置するバンドル (Bundle) 層^{11),12)} を用いて実装される。本来は惑星間通信のように不安定かつ遅延の大きいネットワークを実現するための通信方式であったが、災害時など不安定な通信状況における伝送方式としても利用可能である。バンドル層の実装はすでにいくつか存在するが¹⁰⁾、TCP や UDP を利用した既存の多くのアプリケーションをそのままの形では利用できないという問題点がある。

2.2 災害情報サービス

防災行政無線で住民に提供される情報サービスの多くは、同報系を用いているため、片方向の情報サービス(時報、行政からのお知らせなど)となってしまう。そのため、災害時に限らず、住民側から自治体に対する情報発信の必要性が議論されている。

自治体、地域住民の情報交換の場として、住民参画型の地域 SNS を利用する自治体が増えている¹³⁾。また、総務省による地域 SNS に関する実証実験が行われ、災害時において、地域 SNS を用いた地域内の家庭どうしの情報交換、あるいは地域住民から自治体への情報提供、という行為を行うことの有効性が認められた¹⁴⁾。平成 19 年 1 月現在、全国で 210 事例の地域 SNS が確認されている¹⁵⁾。地域 SNS は、インターネットを活用し、文字情報以外に、音声・画像情報も取り扱うことが可能で、住民側からの情報発信も容易である。平常時は自治体からの広報、住民同士のコミュニケーションを支援し、災害時には被災情報、安否情報を提供するなど、防災行政無線を補完する利用も始まっている。しかし、地域 SNS はインターネット上に存在する Web サイトとして運用されているため、災害時における耐障害性が課題である。クライアント・サーバ方式であるため、サーバ設備が被災すると運用

できない。また、それを利用する住民側が孤立した場合には当然利用できない。

一方、中山間地域の集落は高齢化が進んでいるため、独居高齢者向け救急時ホットラインなど地域に密着したサービスなど平常時利用も重要である。従来からある防災行政無線の戸別受信機では同報受信に限られる。しかし、マウス、キーボードの操作を前提とした一般的なコンピュータを住民が利用する端末として採用することは難しい。高齢者にも使いやすいユーザインタフェースを備えた端末が必要である。

少数のボタンだけで操作可能な専用端末を用いた地域情報配信サービスの運用が始まっている（たとえば文献 16）のサービス事例）。しかし、情報配信は防災行政無線の同報系と同じ形態であり、住民側からの情報発信は一般の電話回線を用いた音声通話機能となっている。

3. 提案システムの概要

本研究では、前述の課題解決を目指し、中山間地域の孤立可能性集落向けの地域内情報共有システムを提案する。地域内で独立して情報共有が可能な自律型のシステムとして、集落内の各戸に図 1 のような情報端末を設置し、集落内の端末どうして既存の通信インフラに依存しないネットワークを構築する。そして、災害時に重要な地域内の共助を促進させることを目指している。

ただし、ここでの孤立可能性集落は中山間地域における農業集落を想定しており、都市的地域などの人口集中地区に大量の情報端末を設置することは想定していない。和歌山県における農業集落の平均戸数は 182.8 戸¹⁷⁾ であるが、この統計情報には中山間地域だけでなく平地地域の農業集落も含んでいるため、条件不利地域である中山間地域の農業集落の戸数はこれよりも少ないと考えられる。そこで本論文では、中山間地域の農業集落の戸数を、文献 18) をもとに 40 戸程度と想定し、本提案システムにおいても 40 台程度の情報端末での動作を目標とする。

特徴は以下の 3 点である。

- (1) 無線 LAN を用いたアドホックネットワークにより集落内の通信インフラを構築し、さらに DTN を構成することで、既存の通信インフラの被災の影響を受けない情報共有システムを提供する。集落内各戸に設置した情報端末どうしてアドホックネットワークを構築することで既存の通信インフラに依存しないネットワークを構築できるため、孤立した場合でも集落内では通信ができる（図 2 参照）。

アドホックネットワークで構築したネットワーク上でのデータ伝送には、不安定な通信状況を前提とした DTN の手法を用いる。従来のアドホックネットワーク技術だ

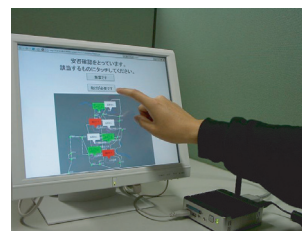


図 1 提案システムの情報端末

Fig. 1 Information terminal of our proposed system.

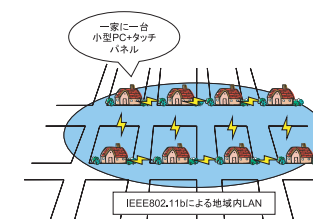


図 2 集落内に設置した情報端末

Fig. 2 Information terminals located in a village.

けで接続状態の安定化を図るには、中継装置増設などで対応せざるをえず、そのため、機器の導入コスト、運用コストが増加するという問題点があった。そこで、本提案ではアドホックネットワークと DTN を併用することで、上記のコストを抑えた通信インフラの実現を目指している。

一方、現状の DTN はトランスポート層の上位にバンドル層を置くことを想定しているため、TCP や UDP を用いた既存のアプリケーションをそのまま利用することができない。そこで、本研究では、バンドル層を用いず、従来からあるネットニュースシステムを基盤とし、DTN 機能を実現する構成を採用した。

さらに、既存の地域 SNS はクライアント・サーバモデルを構成しているのに対し、サーバに相当する機器を設けず、すべての情報端末から平等に情報を発信できる P2P モデルを採用している。これにより、サーバ被災によるサービス停止を避けることができる。

- (2) 災害時だけでなく普段から利用できるように、双方向情報サービスを提供する。平常時は地域情報の掲示板サービス、そして、災害時は地域住民の安否確認サービスを提供する。

災害時しか使用しないシステムでは、いざというときに使用方法が分からず、利用者が慌ててしまい、効果的に利用できない。そこで、地域 SNS のように地域内コミュニケーション手段の 1 つとして掲示板サービスを提供する。このようにして、平常時から端末に触れて使い慣れるきっかけを設ける。

災害時には、安否確認の機能を提供する。これは、災害時に重要な自助・共助・公助のうちの 1 つ、共助の支援機能である。各世帯が安否状況を近隣の住民間で共有・

17 災害時孤立集落での利用を想定した地域内情報共有システム

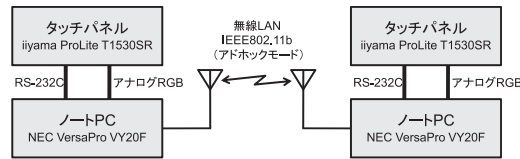


図 3 ハードウェア構成
Fig. 3 Hardware architecture.

把握しあうことができれば、住民間で助けが必要な人のもとに駆けつけるといった共助活動につなげられる。

- (3) 高齢者でも使えるシステムとするために、タッチパネル式モニタによるユーザインタフェースで操作を行う。

地域 SNS などの従来システムは、一般的な PC を使用し、マウス、キーボードによって操作することが前提となっている。しかし、このような前提は、PC 操作に慣れていない高齢者には扱いにくい。そこで、キーボードの操作をタッチパネル式モニタで代用可能な情報端末を用いる。これにより、高齢者でも使うことができる。また、慌てている状況でも操作が可能となる。

4. 試作システムの構成

試作システムを実装した。以下、試作システムのハードウェア構成およびソフトウェア構成について述べる。

4.1 ハードウェア構成

ハードウェア構成を図 3、使用機材の詳細を表 1 に示す。

各戸に設置する情報端末は、試作システムではノート PC を用いる。また、入出力デバイスとして、タッチパネル式モニタをノート PC に接続し、マウス、キーボードの操作なしでも画面に表示されたボタンに触れるだけで操作可能とした。PC カードタイプの無線 LAN カードに無指向性の外部アンテナを接続し、アドホックモードで使用する。

4.2 ソフトウェア構成

各戸に設置する情報端末のソフトウェア構成、処理内容について述べる。

- (1) アドホック経路制御

無線 LAN により構築したアドホックネットワーク上で、経路制御プロトコルとして Proactive 方式の OLSR (Optimized Link State Routing²¹⁾ を使用した。Reactive

表 1 使用機材

Table 1 Equipments used for implementing a prototype system.

ノート PC	VersaPro VY20F/AG-W (日本電気) ThinkPad X40 (日本 IBM)
タッチパネル式モニタ	ProLite T1530SR-B1 (マウスコンピューター)
無線 LAN カード	WLI-PCM-L11GP (IEEE802.11b) (バッファロー)
外部アンテナ	WLE-NDR (絶対利得 2.0 dBi) (バッファロー)

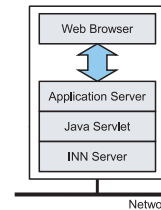


図 4 ソフトウェア構成
Fig. 4 Software architecture.

方式に比べて定期的に経路制御のためのトラフィックが発生するために、トラフィック的には不利である。しかし、近隣ノードとのリンク状態をつねに把握して動作できること、また、最新の経路表をつねに保持できるので非常時でもすぐに通信をすることができること、さらに提案システムで想定している 40 台程度の端末数における動作実績^{19),20)} があることの 3 点から OLSR を採用した。

- (2) 情報配信方法

提案システムの特徴である DTN、ならびに、P2P モデルは、従来からあるネットニュースシステム INN (Internet News system) v2.4²²⁾ を基盤として機能拡張して実現した (図 4 参照)。

提案システムでやりとりする情報はすべてネットニュースの記事の形式で取り扱う。各戸に設置した端末のすべてで INN サーバを動作させ、各 INN サーバどうして記事を交換しあう P2P モデルの形態をとる。一部の端末に障害が発生した場合でも、残りの端末だけで動作することが可能である。

- (3) 配送経路の決定

INN サーバでは、あらかじめ設定された配送経路に基づいて端末間で記事を転送を行う。不安定な通信状況でも情報を配信できるように、配送経路に冗長性を持たせ

て複数経路で配送させる。これにより、一部の配送経路の通信状況が悪く配送できない状況になっても、別の経路を用いた配送を可能とする。

配送経路は、アドホックネットワークにおけるノード間リンクと一致するように設定し、リンクの変化に合わせて動的に変更できることが理想である。しかし、試作システムでは、各ノードは各戸に設置する情報端末を想定しているのもので移動せず、リンクが頻繁に断接することは少ないと考え、ノード間リンクに合わせて事前に静的に設定している。

また、記事に付加される記事識別用の Message-ID、どの配送経路で配送されたかを示す Path の情報を利用し、冗長に設定した配送経路を通じて記事が届く場合や配送経路にループが含まれていて同一の記事が届くような場合に、重複の検出・配送抑止が可能である。そこで、試作システムにおける静的配送経路は、リンク断で配送できない状況を避けるために安全側に見積もって設定している。具体的には、各戸の端末からアドホックネットワークのノード間リンク 1 ホップで届く範囲の端末すべてに配送を行うメッシュ状の配送経路を設定した。

以上の方式により、仮に一部の経路が途絶えた場合、あるいは、端末が停止した場合でも、別経路を迂回して他の端末に配送可能である。

(4) 配送タイミング

指定された時刻、あるいは、新しい記事の投稿をトリガとして、配送処理を開始する。試作システムでは、この 2 つ以外に、配送経路の隣接ノードとのリンクの有無もトリガとして配送処理を行う。配送処理には INN の構成要素である innfeed を用いており、隣接ノードにリンクがある場合（厳密には、データリンク層ではなくネットワーク層で IP 到達可能性がある場合）は速やかに配送経路上の隣接ノードに配送する。リンクがない場合には、隣接ノードの INN サーバとのコネクション確立に失敗するので、短い周期で再接続・再配送処理を繰り返すことで、リンクが回復し次第配送する。具体的には、innfeed の設定により 20 秒周期で再接続・再配送処理を行う設定をした。しかし、これは暫定的に設定した値であり、最適な周期は、全体のノード数やネットワークの安定度により変化するものと考えている。最適な設定については引き続き検証が必要である。

以上の方式により、通信状態が不安定で記事が配送できない場合でも、リンク回復後速やかに配送することができ、DTN 機能を実現することができる。

(5) 記事の形式

ネットニュースシステムはテキスト情報の配送のみを想定して設計されている²³⁾。しかし、テキスト情報だけでは伝達できる情報が非常に限定されるため、画像や音声などマルチメディアデータに対応する拡張を行った。ネットニュースシステム自体の処理には変更は加えず、記事の形式を変更した。試作システムでは単純に MIME 形式によりマルチメディアデータを添付する形式ではなく、XML 形式によりマルチメディアデータの種類やレイアウトなどの情報もあわせて記述する方式をとった。

このような方式をとった理由は、端末で情報を表示するためのビューアとして、既存の Web ブラウザを利用するためである。ネットニュースシステムにおいて記事の閲覧・投稿を行うためのニュースリーダは、テキストデータを対象として作られている。既存のニュースリーダを拡張する手法もあるが、Web ブラウザの方が普段から使われている利用者が多いと判断し、Web ブラウザを利用することにした。

INN サーバは記事の形式には影響されないため、XML 形式で記述した記事そのままの形で配信する。そして、配信された記事を Web ブラウザで表示可能な HTML 形式に変換することで、Web ブラウザで表示する。具体的には、各端末で Web サーバ（図 4 のアプリケーションサーバ）を動かし、サーバ側で動作する Java サーブレットで XML 形式の記事を HTML 形式に変換する Web アプリケーションを構築した。利用者は、Web サーバが動作しているのと同じ端末で Web ブラウザを用いて HTML 形式に変換後の記事を閲覧する。Web アプリケーションの構築環境には、Sun Java System Application Server 9.1 を用いた（図 4 参照）。

4.3 提供サービス

本試作システムでは、災害時のサービスの例として安否確認サービス、平常時のサービスの例としてお知らせサービス、掲示板サービス、回覧板サービスの 4 つのサービスを実現した。それぞれ Web アプリケーションとして実装し、一般の Web ブラウザで利用できるようにした。

(1) 安否確認サービス

各世帯で安否状況を登録するのとあわせて、近隣世帯の安否情報を画面に表示するものである。安否状況登録時は、タッチパネル式モニタ上に図 5 のように「無事です」、「助けが必要です」の選択肢を表示、選択することで登録する。登録された情報は、INN の記事として近隣世帯に配送される。また、近隣世帯から配送されてきた安否状況を受け取った場合には、その情報を地図上に表示し、集落内の安否を確認できるようにしている。

19 災害時孤立集落での利用を想定した地域内情報共有システム

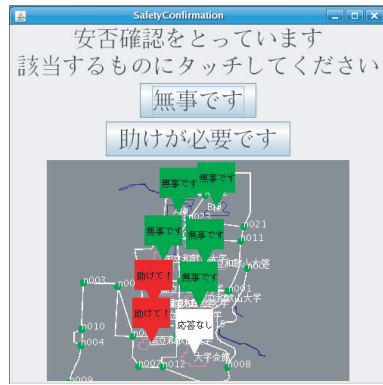


図 5 安否確認サービスの動作画面
Fig. 5 A screenshot of Safety-Check.

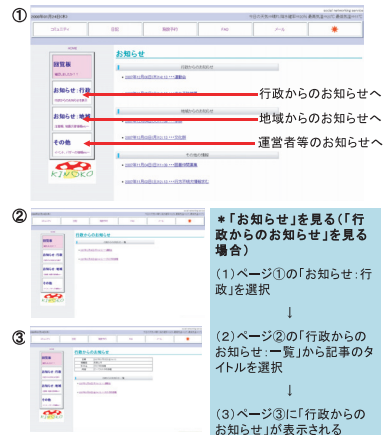


図 6 お知らせサービスの動作画面と使用手順
Fig. 6 A screenshot of Announcement with its usage.

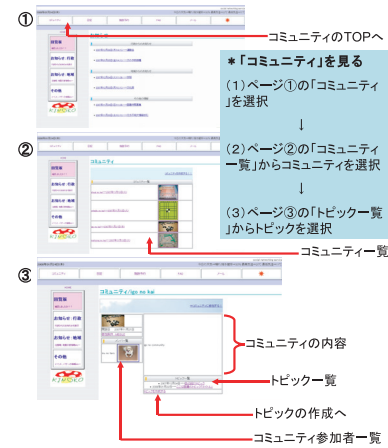


図 7 掲示板サービスの動作画面と使用手順 (1)
Fig. 7 A screenshot of Message-Board and its usage (1).

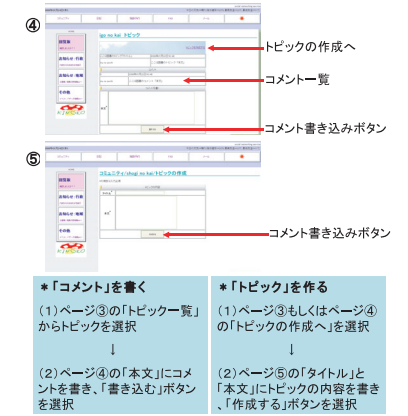


図 8 掲示板サービスの動作画面と使用手順 (2)
Fig. 8 A screenshot of Message-Board and its usage (2).

(2) お知らせサービス

行政・地域・運営者などからのお知らせを表示する．ニュースシステム上の記事として、お知らせ情報を配信・表示する．システムの運用者側が情報発信することを想定した機能で、従来の防災行政無線など同報系無線のサービスと同等のものである．画面例と操作方法について図 6 に示す．

(3) 掲示板サービス

地域住民間で自由に情報交換できる場を提供する．地域 SNS と同等の機能である．掲示板への書き込みは、INN の記事として配送される．地域住民間で双方向で情報を発信することが可能である．画面例と操作方法について図 7、図 8 に示す．

(4) 回覧板サービス

上記の掲示板サービスに、誰がいつ閲覧したかの情報の管理機能を追加したものである．地域の自治会による紙媒体での回覧板と同等の機能である．回覧板の情報を閲覧すると、閲覧者、閲覧時刻などの情報を回覧板の情報とは別の記事として配送し、全端末で情報共有する．そして、この閲覧者の情報をもとに、閲覧者の一覧を表示し、誰がまだ閲覧していないのか確認することができる．画面例と操作方法について図 9 に示す．

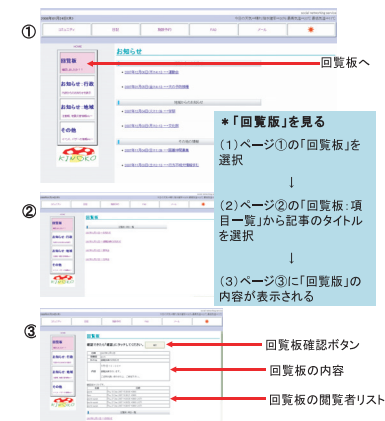


図 9 回覧板サービスの動作画面と使用手順
Fig. 9 A screenshot of Notice-for-Circulation and its usage.

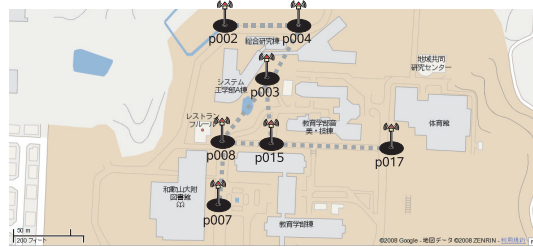


図 10 端末の設置場所

Fig. 10 Locations of information terminals.



図 11 端末構成

Fig. 11 A sample terminal used for evaluation experiments.

表 2 実験結果

Table 2 Results of the experiments.

実験場所	和歌山大学構内
実験日	2007 年 12 月 20 日
端末数	7 台
記事数	68 件
配送完了までに要した時間	(最小) 1.8 秒 (最大) 560.7 秒 (平均) 173.6 秒 (標準偏差) 177.3 秒

5. 評価

5.1 機能・性能評価実験

試作システムを導入した端末を和歌山大学構内に設置し、評価実験を行った。この実験の目的は、情報配信が漏れなく行われるか確認することと、情報配信にかかる時間を計測することである。これにより、提案システムの効果を検証する。

5.1.1 実験内容

端末は表 1 に示した構成のノート PC (図 11 参照) を 7 台使用した。ただし、この評価実験では情報伝達の機能・性能に関する評価実験であるので、タッチパネル式モニタは取り外している。

端末の設置場所 7 箇所を図 10 に示す。端末間の距離は、約 20 ~ 50 m である。設置場所の周辺環境は、2 階 ~ 8 階の中層建築物が並んだ平坦な土地である。端末と端末の間に引かれている点線は、実験開始時のアドホックネットワークのトポロジを示している。各端末は OLSR による経路制御により、他の端末すべてと通信できる。

端末ごとに操作者 1 人をおき、試作システムの掲示板機能を用いて、7 カ所に設置された端末から 7 人の操作者がランダムなタイミングで記事を投稿する。7 人の操作者には、実験時間中 (約 30 分程度) の間に、他の操作者の記事投稿のタイミングを考慮せずに自由に投稿するように指示を与えた。投稿する記事で扱うデータは、テキスト、静止画像、録音した音声の 3 種類であり、今回の実験における 1 件の記事のサイズは、INN の管理情報、XML のタグ情報などを含めて 1k ~ 100k バイト程度である。

5.1.2 結果の考察

7 人の操作者が投稿した記事が、その他のすべての端末に配送されるまでの時間を計測した。実験結果を表 2 に示す。

(1) 機能評価について

図 10 の設置場所は、実験開始前に安定して通信できることを確認して決定したものであるが、実際に実験を開始すると、通信が切断されるケースがたびたび発生した。しかしながら、このように通信状況が変化するような状況においても、端末が正常に稼働している状態であれば、記事の配送遅延は発生したが、配送漏れや重複がないことが確認できた。

一部の端末を試験的に停止させた状態にしても、動作しているその他の端末だけで記事の配送が問題なく行われた。その後、停止していた端末を再び動作させると、停止させていた間に受け取ることのできなかつた記事の配送が正しく行われることが確認できた。

しかし、今回の実験では 7 台の端末による実験であり、提案システムが想定している 40 台には台数が至らない。提案システムの構成で端末数増加による影響を受ける可能性が高いのは、アドホックネットワークのスケラビリティと端末に割り当てる IP アドレスの個数である。前者については文献 19), 20) で実績があること、後者については IP アドレス 40 個であればプライベート IP アドレスを用いて十分運用可能である。以上のことから、端末数を 40 台に増やしても設計どおり動作すると考えられるが、想定した台数の実機を用いた実証評価の実施が今後必要である。

(2) 性能評価について

配送にかかった時間の平均は約 174 秒であった。今回の実験での 1 件の記事の

21 災害時孤立集落での利用を想定した地域内情報共有システム

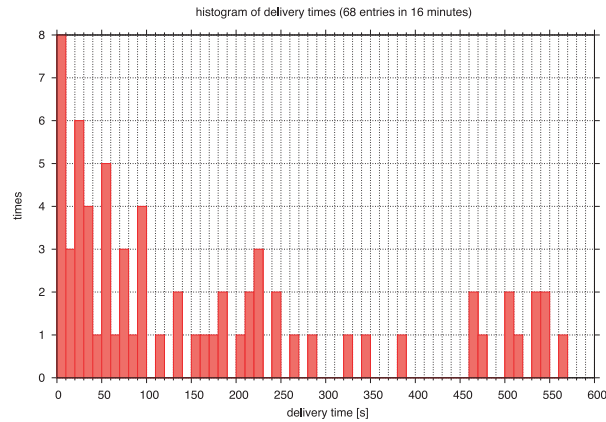


図 12 記事が全端末へ配送されるまでにかかった時間の分布
Fig.12 Histogram of delivery time.

サイズは大きく見積もって 100k バイト程度，IEEE802.11b の通信速度 11Mbps，5.5Mbps，2Mbps，1Mbps のうち最も遅い 1Mbps で接続していたと仮定しても隣接する端末への転送時間は 0.8 秒程度である．また，INN サーバでの配送処理は INN サーバの動作ログより 1 秒程度となる．したがって，平均配送時間約 174 秒に対する記事自体の配送時間による影響はわずかである．

評価実験中に 7 人の操作者が投稿した記事 68 件について，記事が全端末に配送完了となるまでに要した時間（任意の 1 台の端末から投稿された記事が他の端末すべてに行き届くまでの時間）の度数分布を図 12 に示す．図 12 の分布を見ると 0~200 秒の区間と 450 秒以上の区間の 2 つに偏った分布となっていることが分かる．平均を引き上げているのは，一部の記事が，配送完了までに非常に長い時間（450 秒以上）を要しているためである．

この配送遅延の発生理由を考察するために，実験中に投稿された 68 件の各記事について調査した．実験開始後，最初の記事の投稿時刻を時刻 t_0 ， n 番目の記事の投稿時刻 t_n としたとき，68 件の各記事の $t_n - t_0$ の値を横軸に，全端末に配送完了するまでの要した時間を縦軸にしてプロットしたグラフを図 13 に示す．図 13 を見ると，右下がりに直線状にプロット点が並んでいる個所が数カ所観測できた．この個所について，INN サーバの動作ログをさらに詳細に調査すると，リンク断により一部

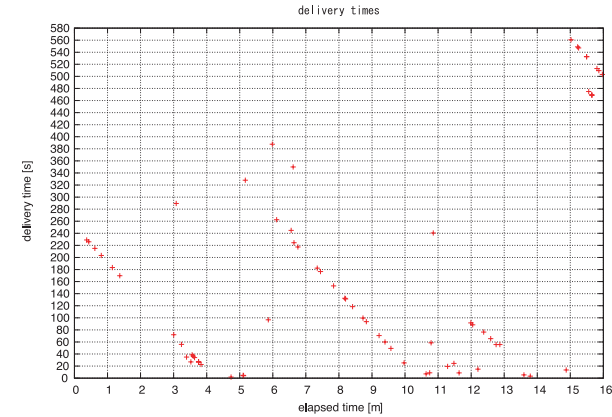


図 13 記事が全端末へ配送されるまでにかかった時間
Fig.13 Delivery time.

の端末がネットワークから切り離され，記事を配送できなかった時間帯と一致した．このことから，この右下がりの直線部分には，リンク断により配送できずに滞留した記事を，リンク再接続をトリガとしてシステムがいっせいに配信処理したことを表していることが分かった．

ここで，改めて図 12 のグラフの分布と図 13 のグラフとを対比させてみると，図 12 で配送完了までに非常に長時間を要しているもの（図 12 の右側に分布）は，長時間のリンク断により配送できなかったことが原因であることが分かる．一方，リンクが安定して接続できていれば記事の配送は短時間で完了する（図 12 の左側に分布する）が，この場合でも短時間ながらリンク断による影響を受けている．

短時間の切断については，大学構内の建屋間の通路上に端末を配置して実験したため，一般の歩行者や構内の建屋による反射による影響，端末の操作者自身の身体による遮蔽の影響によるものと考えられる．

長時間の切断については，学内で利用されている無線 LAN 機器との干渉の影響が大きいと考えられる．無線 LAN の普及により，学内においても複数の無線 LAN 機器が設置されており，建屋外においてもインフラストラクチャモードで使用しているアクセスポイントの電波が多数受信できる状況にある．実験で使用した IEEE802.11b の場合，日本国内においては 14 チャンネルが利用可能であり，干渉なく複数のチャンネル

を同時利用するためには適切なチャンネル間隔を確保する必要がある。建屋内で使用されている無線 LAN 機器の場合はサービス提供範囲が限定されているので、隣接する無線 LAN 機器と適切にチャンネル間隔を確保し、相互干渉を避けることが可能である。今回の実験では、7 台の端末で 1 つのアドホックネットワークを構成するためチャンネルはすべて同一である。図 10 に示すような広範囲を同一のチャンネルでカバーしているので、周辺の無線 LAN 機器の使用チャンネルと干渉していることが予想される。

しかしながら、実験結果では、配信機能が実験中継続的に干渉を受けるのではなく、断続的にリンクの断接を繰り返すような干渉を受けている。本来、建屋内のアクセスポイントは移動しないので、継続的に干渉を受けるはずである。そのアクセスポイントの周辺の環境が変動し、建屋外への漏れ電波の強度が変動したことにより断続的になるのではないかなどの原因が考えられる。原因の解明は今後の課題である。

また、今回の実験では、情報配信が漏れなく行われるか確認することと、情報配信にかかる時間を計測することを目的に実施したため、他の隣接するチャンネルの利用状況、受信信号強度、雑音強度は測定していない。チャンネルの近接・一致による干渉は、実際の運用においても考慮しなければならない事項である。周辺環境中層建築物が並んだ平坦な土地での実験であったので、今後、中山間地域に相当する地域での検証を行う必要がある。

5.2 地域住民からの意見聴取

システムが想定している中山間地域の住民に対して、試作システムのデモンストレーションを行い、意見を聴取した。

本研究は和歌山大学防災研究教育プロジェクト²⁴⁾の活動の 1 つとして取り組んでいる。当該プロジェクトの実証実験を、2008 年 1 月 26 日(土)に紀美野町文化センター(和歌山県海草郡紀美野町)において実施した。紀美野町は、紀ノ川支流の貴志川沿いの山間地に位置し、典型的な中山間地域である。集落間を結ぶ主要な幹線道が貴志川沿いの国道 370 号のみという地域が多く、災害時孤立可能性集落も多数存在する。

実証実験には、和歌山県など自治体、自主防災組織の関係者、地元紀美野町の住民など総勢約 50 人が参加した。評価実験で使用した端末 7 台を現地に持ち込んで会場でデモンストレーションを行った。提案システムの提供サービスを実際に試用してもらい、その後、参加者から直接意見を聴取した。

聴取した意見の内容は、提案システムの提供サービスに関するものと、提案システム自体に関するものとに大別される。前者については、

- (1) 手渡しの回覧板は近隣住民間のコミュニケーションの一環という意味も含んでいるため、電子化すればいいというものではない、
- (2) (安否確認に)『応答なし』の家庭をフォローするアイデアがあれば良い、
- (3) 高齢者にも使いやすくすべきである、
- (4) 高齢者にはテレビを利用したシステムが良いのではないかと、
- (5) もう少し見やすいモニタの方が良い、

の意見があった。(1)、(2)は、実際にこのシステムの利用者としての意見である。提案システムにおける提供サービスについては、既存の地域 SNS の事例¹⁵⁾をもとに、安否確認サービス、お知らせサービス、掲示板サービス、および、回覧板サービスを選択した。提供サービスの種類、内容については、情報の提供者側(自治体)、閲覧者側(地域住民)の両者の意見を考慮して検討を進めていく必要がある。また、(3)~(5)は、高齢者の視点での意見である。中山間地域は高齢化・過疎化も進んでいる地域であるため、主な利用者となる高齢者に配慮したシステムの設計が必要である。これらの意見を参考に、今後改善する必要がある。

一方、後者については、

- (6) (試作システムの)端末が高価すぎるので、もっと安価な端末を開発すべきである、
 - (7) 中山間地域を多くかかえる和歌山県にとっては、非常に有益なシステムである、
 - (8) 実際にモデル地区で使用実験を行い、使用者の意見を聞くべきである、
- の意見があった。これらの意見にもあるように、地域住民、自治体との協体制を整え、実験を進めていくことが今後重要である。

6. おわりに

中山間地域における災害時の孤立問題を解決するために、アドホックネットワークによる集落内通信インフラの上に、DTN と P2P モデルを適用した地域内情報共有システムを提案した。試作システムを実装し、和歌山大学の構内において評価実験を実施した。その結果、通信が切断されるケースがたびたび発生するような通信状況が変化する状況においても、端末が正常に稼働している状態であれば、記事の配送遅延は発生したが、配送漏れや重複がないことが確認できた。また、一部の端末を試験的に停止させた状態にしても、動作しているその他の端末だけで記事の配送が問題なく行われた。その後、停止していた端末を再び動作させると、停止させていた間に受け取ることのできなかつた記事の配送が正しく行われることが確認できた。以上のことから、DTN と P2P モデルとによる効果が確認できた。

中山間地域に位置する和歌山県紀美野町において、試作システムのデモンストレーションを実施し、地域住民の意見を聴取した。そこでの意見をふまえ、地域住民、自治体と連携し、中山間地域での評価実験を実施するなど、実利用を想定した評価・改良に今後取り組んでいく。

また、提案システムは、中山間地域に散在している集落内などの限定された地域内での情報共有のみを想定している。外部との通信には、平常時はブロードバンド網、電話網など既存の通信インフラを利用可能であるが、孤立時には別の通信手段が必要である。衛星通信を用いる方式や、自治体、消防などのヘリコプタを移動ノードとして、孤立集落上空に飛来した際にデータのやりとりを行うメッセージフェリー²⁵⁾を用いる方式などが考えられる。今後、提案システムへの機能追加に取り組んでいく。

謝辞 本研究の一部は(財)関西エネルギー・リサイクル科学研究振興財団平成17年度助成事業「携帯端末を用いた双方向防災情報システム実現に向けての基礎研究」、和歌山大学オンリー・ワン創成プロジェクト「中山間地域における災害時の孤立による情報伝達システムの研究」、和歌山大学システム工学部大学院プロジェクト研究「地域密着型情報配信サービスプラットフォームの研究」および文部科学省科学技術振興調整費(科学技術連携施策群の効果的・効率的な推進「センサ情報の社会利用のためのコンテンツ化」)の補助による。

参 考 文 献

- 1) 内閣府政策統括官(防災担当): 中山間地等の集落散在地域における孤立集落発生の可能性に関する状況調査(都道府県アンケート調査)調査結果, 内閣府(2005).
- 2) 国土交通省国土計画局総合計画課: 平成18年度「国土形成計画策定のための集落の状況に関する現況把握調査」—最終報告, 国土交通省(2007).
- 3) 総務省: 市町村における同報系通信システムの整備状況, 電波利用ホームページ(オンライン). 入手先 <http://www.tele.soumu.go.jp/j/system/trunk/disaster/multi.htm> (参照 2009-4-19).
- 4) 新潟大学: 山古志ねっと共同実験プロジェクト. 入手先 <http://www2.net.ie.niigata-u.ac.jp/yamakoshi-net/> (参照 2009-4-19).
- 5) 間瀬憲一, 岡田 啓, 大和田泰伯: 中山間被災地復興へ向けた無線ブロードバンド提供の実践的取組み—山古志ねっと共同実験プロジェクトの概要, 電子情報通信学会誌, Vol.91, No.10, pp.857-861 (2008).
- 6) 宇宙航空研究開発機構: 超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)の基本実験および利用実験成果について. 入手先 http://www.jaxa.jp/press/2008/12/20081210_sac-kizuna.pdf (参照 2009-4-19).
- 7) 総務省四国総合通信局: 中山間地域におけるワイヤレスブロードバンドに関する検討会報告書. 入手先 <http://www.soumu.go.jp/soutsu/shikoku/chosa/tiiki-ip/> (参照 2009-4-19).
- 8) Kawasaki, K., Shimizu, A., Monden, K., et al.: Wireless Ad-hoc Network-Based Tourist Information Delivery System, *Proc. 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'06)*, IEEE Computer Society, pp.138-142 (2006).
- 9) Farrell, S. and Cahill, V.: *Delay- and Disruption-Tolerant Networking*, Artech House Publishers (2006).
- 10) Wood, L.: What is DTNRG?, Delay-Tolerant Networking Research Group (online). available from <http://www.dtnrg.org/> (accessed 2009-4-19).
- 11) Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., et al.: Delay-Tolerant Networking Architecture, RFC 4838 (2007).
- 12) Scott, K. and Burleigh, S.: Bundle Protocol Specification, RFC 5050 (2007).
- 13) 庄司昌彦, 三浦伸也, 須子善彦, 和崎 宏: 地域 SNS 最前線, アスキー(2007).
- 14) ICT を活用した地域社会への住民参画のあり方に関する研究会: 住民参画システム利用の手引き, 総務省自治行政局自治政策課(オンライン). 入手先 <http://www.soumu.go.jp/denshijiti/ict/> (参照 2009-4-19).
- 15) (財)地方自治情報センター: 地域 SNS の活用状況等に関する調査報告書(財)地方自治情報センター(2007).
- 16) 東京テレメッセージ(株): 地域情報配信サービス. 入手先 <http://www.teleme.co.jp/service/multicast/> (参照 2009-4-19).
- 17) 農林水産省: 2000年世界農林業センサス, 第1巻, 都道府県別統計書—農業編. 入手先 http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2000/report_archives.html (参照 2009-7-20).
- 18) 中央防災会議: 中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定結果について, 東南海, 南海地震等に関する専門調査会(第34回). 入手先 http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_chukin.html (参照 2009-7-20).
- 19) 高橋義彦, 大和田泰伯, 須田利章, 間瀬憲一: 大規模無線アドホックネットワークテストベッドの開発, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J89-B, No.6, pp.836-848 (2006).
- 20) Okada, H., Owada, Y., Takahashi, Y. and Mase, K.: A Large-Scale Testbed for Wireless Mobile Ad Hoc Networks, *Proc. 1st International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation & Characterization (WiNTECH'06)*, ACM, pp.91-92 (2006).
- 21) Clausen, T. and Jacquet, P. (Eds.): Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), RFC 3626 (2003).
- 22) Internet Systems Consortium: ISC INN. available from <http://www.isc.org/software/inn/> (accessed 2009-4-19).

24 災害時孤立集落での利用を想定した地域内情報共有システム

- 23) Horton, M. and Adams, R.: Standard for Interchange of USENET Messages, RFC 1036 (1987).
- 24) 和歌山大学：防災研究教育プロジェクト．入手先 <http://bousai.joi.wakayama-u.ac.jp/> (参照 2009-4-19).
- 25) Zhao, W. and Ammar, H.M.: Message Ferrying: Proactive Routing in Highly-Partitioned Wireless Ad Hoc Networks, *Proc. 9th IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems (FTDCS'03)*, IEEE Computer Society, pp.308–314 (2003).

(平成 21 年 4 月 20 日受付)

(平成 21 年 10 月 2 日採録)



塚田 晃司 (正会員)

1991 年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業．1993 年同大学大学院理工学研究科修士課程修了．1996 年同大学院理工学研究科後期博士課程所定単位取得退学．同年 (株) 日立製作所に入社．システム開発研究所において, VoIP, P2P, アドホックネットワークに関する研究に従事．2003 年より和歌山大学システム工学部情報通信システム学科助教授．現在, 准教授．博士 (工学)．ネットワークサービス, グループウェア等に関する研究に従事．著書『社会基盤としてのインターネット』(岩波書店)(共著), 『ユビキタスコンピューティングと応用』(電気学会)(分担執筆)等．電子情報通信学会, 日本災害情報学会, IEEE, ACM 各会員．



野崎 浩平

2006 年和歌山大学システム工学部情報通信システム学科卒業．2008 年同大学大学院システム工学研究科博士前期課程修了．防災分野へのネットワークサービス技術の適用に関する研究に従事．現在, アクセンチュア・テクノロジー・ソリューションズ (株) に勤務．