

災害時の携帯端末を用いた 避難共助支援に関する委員会の調査報告

委員長：金沢大学自然科学研究科
環境デザイン学専攻 吉田成宏

1. はじめに

我が国では多数の地震が発生しており、近い将来には、東海地震や東南海地震のような大規模地震の発生が懸念されている。このような大規模災害時において人的被害を軽減するためには、災害発生時に被災しうる人々に適切な情報を発信し、円滑に危険から回避する避難行動をとらせることが必要である。現在は、地区ごとの避難所が設定され、地震等の災害時にはその避難所に住民を集結させることで危険からの回避が図られる。しかし、避難所に避難者を集結させる点には、依然、多くの課題が存在する。第一に、避難が必要な人は必ずしも災害発生時に滞在していた場所の道路事情や避難所の位置を把握しているとは限らない。そのような場合には避難先・避難経路自体の情報を提供するようなシステムが求められる。

第二に、災害時には避難経路自体も被災している可能性がある。発災直後の避難において、避難経路の決定に必要な情報を入手することは、現状ではほとんど不可能である。この状況下においては、危険な避難に多くの人が集まってしまうことで、さらなる人的被害につながる可能性も考えられる。前述のような課題は、携帯端末の双方向通信を活用したアプリケーションを導入することによって解決できる可能性が高い。まず、非居住者については、その地域に詳しい人の避難行動情報を提供することで、適切な避難先、避難経路に誘導することが可能となる。また、避難経路の被災情報についても、各避難者が通過できなかった区間の情報を発信し共有することによって、後続の避難者に通行不可能の情報をリアルタイムに伝達し、円滑かつ危険な場所への人の集束を自律的に避けることが可能となる。

本研究では、災害発生時の人的被害の低減を目的とした ERESS：非常時緊急救命避難支援システム (Emergency Rescue Evacuation Support System) という既往の研究²⁾⁵⁾を参考に、EMSS：避難共助支援システム (Evacuation Mutual Support System) の構築及び有効性の確認を目的とした。EMSS では、人々に利用されやすいように iPhone アプリケーション(以下、アプリケーションという。)として開発し、屋外でも有効に作用するシステムとする。位置情報や避難

行動から被災状況をリアルタイムで確認し、通行不能箇所の情報を端末保持者に迅速に伝達することで、安全な経路での避難を可能にする。

EMSS の構築に関する調査研究として、現在位置、通行不能箇所及び避難場所の情報を共有することのできるアプリケーションを開発し、避難行動を想定した約 55ha 範囲での実験を実施した。これにより、前述の情報を共有することが避難に対してどのような作用を及ぼすのか確認した。

2. 避難共助支援システム (EMSS) の特徴

地震や火災・津波といった突発的な災害が発生した時、被災者は冷静な判断や的確な避難ができないケースが多く、死傷者を増やす結果となっている。⁶⁾被害の拡大を防ぐためには、災害についての情報を迅速に被災者に伝え、避難を促すことが重要となる。EMSS は、地震や津波などの災害が発生した直後に、屋内にいる被災者に対しては、出口までの避難経路を迅速に表示し、屋外にいる被災者に対しては、最寄りの避難所までの通行可能な避難経路を表示するというシステムである。

ERESS では屋内の被災者のみを対象としているが、外に避難できたとしても、最寄りの避難所やそこまでの安全な避難経路がわからない場合がある。そこで EMSS では、その点を考慮して、屋内だけでなく、屋外の被災者も対象とする。また、日々の技術の進歩により携帯端末には新たな機能が搭載されているため、最新の機能を利用し、より精度が高く迅速なシステムを開発する。

EMSS の新規性として、避難経路情報だけでなく、現在地周辺の被災状況や近辺の被災者の行動も同時に確認することができるという点が挙げられる。混雑している場所、誰も通らなかった経路、多くの人が通る経路など、周囲の避難情報が把握できれば、冷静な判断やより適切な方向への避難が可能となり、安心して避難ができることになる。従来のような避難経路のみを提示するのではなく、周辺情報を伝える(共有する)ことで、より有効なシステムになり得ると考えている。

本システムの概略図を図-1 に示す。地震発生時に気象庁から緊急地震速報が発令され、携帯端末が

それを受信した場合にアプリケーションが起動する。携帯端末が端末保持者の移動速度の測定を開始し、移動速度の変動を認識する。同時に、近隣の一定範囲内に存在する端末同士で通信を開始し、携帯端末により取得される現在位置、通過経路、移動速度の情報を共有する。携帯端末間で得られた情報を元に、出口までの避難経路や最寄りの避難所までの安全な避難経路を検索し、端末保持者に提示する。以上がEMSSの特徴である。

3. 位置情報共有アプリケーションの開発

(1) アプリケーションの機能

本研究では、独自に開発したアプリケーションを使用する。本アプリケーションは、①使用者の現在位置、②他の使用者の現在位置、③通行不能箇所、④拠点避難場所、を地図上に表示する。また、避難者の行動を分析するため、5秒ごとに携帯電話の位置座標を記録する機能を搭載した。以下 a)～d)の設定を行うことができる。

a) タイプ

自分の位置情報の表示アイコンの選択であり、「人」を選択した場合は赤いピン、「物」を選択した場合には通行不能マークとなる。

b) グループ

表示情報の選択であり、「1」を選択した場合は前述の①④、「2」を選択した場合は前述の①②④、「3」を選択した場合は前述の①②③④を表示する。

c) 年代

年齢の選択である

d) 性別

性別の選択である。

(2) 京都府北区での予備避難実験

予備実験は、京都府北区において土地勘のない12人の被験者が開発したアプリケーションを使用し、任意の地点から避難所として設定した地点まで移動する。予備実験後のヒアリング調査により、アプリケーションの改良の有無を確認する。

実験方法として、避難所近くの通路に通行不能箇所を設け、自由な単独行動をしている被験者は、定刻に避難を開始し、アプリケーション上に表示された情報を基に、避難所を目指す。その際、被験者のアプリケーションのグループの設定は、「1」～「3」を各4名ずつとして避難行動を記録した。

結果として、画面の地図上に情報が記録されなかったこと及び避難行動が記録されていないものがあったことが問題として挙げられた。

前述の原因として、サーバとのデータの更新頻度が1秒に1回であったことが挙げられたため、データの更新頻度を2秒に1回とアプリケーションを改良した。また、サーバの容量を増やし、金沢大学の敷地内で動作確認実験を行うことで、開発したアプリケーションがよりスムーズに動作することを確認した。



図-1 EMSSの仕組み

4. 金沢市野町地区住民を対象とした避難行動把握に関する避難実験

(1) 地域住民参加型の避難実験概要

平成 30 年 8 月 26 日に開催された金沢市市民防災訓練に本システムの検証実験を実施した。実験の対象地区は金沢市の中央部に位置する野町地区（図-2 参照）で、参加者は 528 名程度、その地区の拠点避難所は旧野町小学校である。金沢市では、災害発生時、まず各町会の一次避難場所に避難し、その後班ごとに地域の拠点避難所に避難するように決められている。野町地区でも同様に、各町会の一次避難場所に避難したのち、各班それぞれが拠点避難所である旧野町小学校に避難する。なお、実験対象地区は 26 町会 140 班で構成される。今回の防災訓練においても同様な避難方法をとるため、班を 1 人の避難者として考え、避難行動や意思決定の手段の把握を行う。

本実験では、野町の住民が避難者となり、住民の一部に位置情報を共有するアプリケーションを使用してもらい、避難行動を記録した。各班に 1 台、アプリケーションを起動した iPhone を所持させ、避難を行ってもらった。また、避難行動を多様化するために、被験者の一部には、表示情報を制限したアプリケーションを使用させ、避難行動を調査した。さらに災害時には、道路が被災していることを想定し、一部道路を通行不能箇所とすることで、人々の避難行動を把握する。通行不能箇所は、倒壊しそうなブロック塀が面している狭い通路や建物が道路側に崩壊する可能性のある場所など、災害時に危険となり得る箇所を町会の防災士や避難訓練委員会のメンバーと共に踏査調査し、決定した。本実験では、避難者が通行不能箇所を発見した際、通行不能箇所の情報を他の携帯端末へ伝え（共有し）、共有された情報による避難者行動（意思決定）の変化を調査する。

(2) 実験方法

まず、実験で使用する iPhone6s に、第 2 章で開発した位置情報共有アプリケーションを導入しておく。次に、訓練開始の放送後、住民は各自宅からあらかじめ決められた班を形成し、班ごとに図-2 中の一次避難場所に避難する。一次避難場所では、スタッフを待機させ、スタッフは避難してきた班の代表者に、アプリケーションの条件設定を完了させた iPhone6s を手渡し、操作方法の説明を行う。その後、住民はアプリケーションを利用しながら、拠点避難所を目指し、iPhone6s は拠点避難所で回収し、被験者のデータ及び GPS データを転送する。なお、班の代表者に手渡されるアプリケーションの条件設定の際、グループに関してはランダムに割り当てた。また、一次避難所に待機していたスタッフは、住民へ iPhone6s 配布後、土地勘のない観光客役として拠点避難所を目指して避難する。ここで、通行不能箇所に関して説明する。通行不能

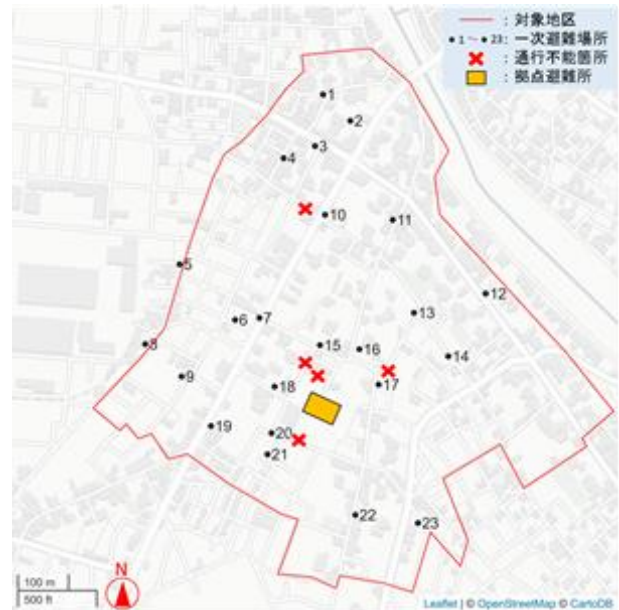


図-2 実験対象地区の一次避難場所と通行不能箇所

箇所では iPhone6s を所持したスタッフを待機させる。スタッフは、被験者に目視で通行不能箇所を確認された場合に、タイプに関する設定を「物」としてアプリケーションを起動させる。この方法で実験を行うことで、通行不能箇所は実験開始時点では表示されておらず、当該箇所を住民が目視で発見した場合に、他の端末と通行不能箇所の共有を行うことができる。これは、EMSS がまだ開発段階であり、その機能を模擬的に再現するためである。

(3) 実験結果および考察

a) 避難行動を開始するまでの時間に関する分析

本分析において、「拠点避難所に向かって、移動（避難）を開始する」ということを「5 秒間に 3m 以上移動する」とことと定義し、分析を進める。

グループ毎のアプリケーションを起動させてから避難行動を開始するまでの時間をバイオリンプロットで表したものを図-3 に示す。バイオリンプロットとはデータの分布などを表現するプロットであり、中央値、四分位点、データの分布密度を同時に表現する。図-3 において、グラフの中央にあるボックスの底辺は第 1 四分位点（25 パーセントイル）、ボックスの頂点は第 3 四分位点（75 パーセントイル）、ボックス内部の赤いバーは第 2 四分位点（中央値）を表す。また、上に伸びる垂線の頂点の外側にあるプロットされている点は、 2σ 範囲に含まれないデータ（外れ値）を表す。

図-3 を見ると、グループ「1」、「2」、「3」の順に避難行動を開始するまでに時間がかかっている傾向にあることが分かる。これはアプリケーションの機能上、グループナンバーが大きくなればなるほど得られる情報量が多いために、避難経路を決定するまでに時間がかかり、このような結果になったと考えられる。

b) 移動速度に関する分析

本実験で得られたデータから、次の地点までの移動速度が 0.04m/sec(ログデータ数における移動速度の下位 5%)のデータを抽出し、地図上に青点でプロットしたものを図-4 に示す。この図を確認すると、黒い円で囲んでいる場所に多くの点が密集していることが確認できる。そこで、黒い円付近に注目して、すべての避難者の時間ごとのデータログを確認した。結果として、特に 8 時 09 分 00 秒から 8 時 11 分 00 秒までの 2 分間に多くの被験者が往来し、非常に混雑していることが確認できた。これは、通行不能箇所が存在を知らずに通行不能箇所に向かう被験者と、通行不能箇所を確認し他の経路で避難しようとする被験者であった。

したがって、混雑箇所では移動速度が遅くなる傾向にあることが確認できた。また、通行不能箇所から戻る避難者と向かう避難者が交錯していたにもかかわらず、通行不能箇所へ向かう避難者が確認された。このことから、本実験では特に口頭による情報伝達を禁止していないが、他の被験者と遭遇しても口頭による情報は十分に伝わっていないことが考えられる。

5. 調査研究で得られた結論及び EMSS の展望

災害発生後には、建造物の倒壊などによって、避難経路自体も被災している可能性があるため、時々刻々と変化する被災状況に対応した避難行動をとることが重要である。そこで本研究では、ICT を活用し、リアルタイムで避難を支援するシステムを開発した。また、野町地区を対象に地区住民の共助避難が可能であるかを考え、実験、分析を行った。その結果、避難者の避難行動を把握し、分析することによって、システムを開発する上で重要な項目である「避難行動開始までの時間」と「避難時の移動速度」に関する考察を明らかにした。

現在求められている避難とは、ICT を活用し、リアルタイムで避難を支援するシステムと考えている。想定された避難路は土砂崩れや建物の倒壊によって閉塞するかもしれないし、最寄りの避難所は満員で入室できない可能性も高い。EMSS により、避難経路の通行できる可能性を相互にやり取りしつつ、最寄りの避難所の混雑度合いや満員情報も把握することができる。

上記の実験を通して、EMSS の将来の展望も明らかとなった。本システムの有用性の検証実験を通じて、システムの改良や拡張を行うことで、さらに効率的な避難を実現できる可能性が高く、精神的にも余裕をもった避難行動ができるようになって考えている。また、日常的に利用できる機能をアプリケーションに付加することで普及率を高めることも必要であり、その工夫も鋭意検討を進めている状態にある。どのような情報を収集し、どのように処理すれば人(車)の制御ができるのかは社会的にも重要かつ喫緊の課題である。

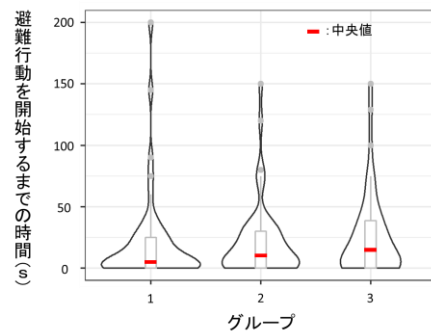


図-3 グループ毎の避難行動開始までの時間

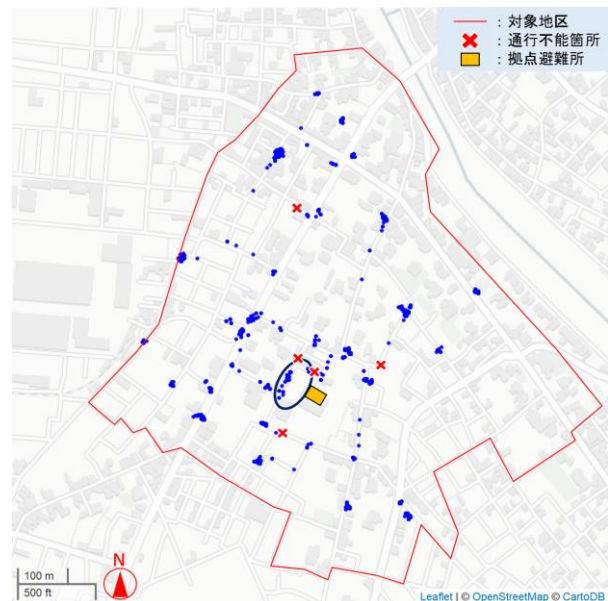


図-4 移動速度が 0.04m/sec(下位 5%)の分布

参考文献

- 1) 山口裕通, 中西航, 福田大輔: 都市間旅行 OD 表の時間変動パターン分析, 土木計画学・研究講演集 Vol. 55 (CD-ROM), 2017.
- 2) 石田祐介, 早川洋平, 山根明典, 森和也, 津高健太郎, 和田友孝, 大月一弘, 岡田博美, 非常時緊急救命避難支援システム (ERESS) のための位置推定アルゴリズム, 信学技報, IN2011-74 (2011-09), pp. 65-69.
- 3) 森和也, 津高健太郎, 和田友孝, 大月一弘, 岡田博美, パニック型災害における非常時緊急救命避難支援システム (ERESS) の開発-バッファリング SVM による災害検知アルゴリズム-, 信学技報, IN2011-158 (2012-03), pp. 127-132.
- 4) 樋口裕子, 藤村純, 中村隆文, 小郷克文, 津高健太郎, 和田友孝, 大月一弘, 岡田博美, ERESS (非常時緊急救命避難支援システム) における DFT を用いた災害発生自動検出アルゴリズム, 信学技報, IN2013-83 (2013-10), pp. 37-42.
- 5) 藤村純, 中村隆文, 樋口裕子, 小郷克文, ERESS (非常時緊急救命避難支援システム) における加速度・角速度センサと SVM を用いた被災者行動の状態判定アルゴリズム, 信学技報, IN2013-84 (2013-10), pp. 43-48.
- 6) 東日本大震災時の地震・津波避難に関する特定集落へのヒアリング調査結果, http://www.reconstruction.go.jp/topics/20120928_tokuteisyuurakucyousa.pdf (2018年11月1日閲覧)