

# 災害時における携帯端末を用いた避難共助支援システムの開発及び小規模避難実験

吉田成宏<sup>1</sup>・下田滉貴<sup>1</sup>・池本敏和<sup>2</sup>・山口裕通<sup>3</sup>・高田良宏<sup>4</sup>・宮島昌克<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 非会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: m-yoshida7511@stu.kanazawa-u.ac.jp

E-mail: shimoda@stu.kanazawa-u.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 金沢大学・講師 理工学域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: tikemoto@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 金沢大・特任助教 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: hyamaguchi@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>4</sup> 正会員 金沢大学・准教授 総合メディア基盤センター (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: yoshihiro@kenroku.kanazawa-u.ac.jp

<sup>5</sup> 正会員 金沢大学・教授 理工学域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

災害発生直後の避難では、火災、道路の閉塞など不確定要素が多く、事前作成の避難経路の提示だけでは対応が不十分である。さらに、近年、土地勘のない観光客などの外部者の避難支援が問題となっている。そのような背景のもと、我々は、従来の避難援助システムのように避難経路を提示するだけでなく、住民同士さらには住民と外部者が情報を共有して避難支援を行う避難共助支援システム (Emergency Mutual Support System: EMSS) を提案する。本稿では、EMSS の仕組みを解説し、実証用に開発したアプリケーションを用いた小規模範囲に準備された空間におけるペアリング実装実験、既存の友人検索アプリケーションを利用した模擬避難実験の結果と位置情報共有の有効性、EMSS の将来展望について述べる。

**Key Words:** 避難共助支援, MANET, application, 情報共有

## 1. はじめに

我が国では地震が多く発生しており、近年では2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が、2016年4月14・16日に熊本地震が発生した。また、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重要である。我が国では、各地区ごとの災害に対応するための準備がなされた避難所が設定されている。そして、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を通じて危険からの回避が図られる。

しかし、避難所に支援者を集結させる(誘導する)点において、依然、多くの課題が存在する状態にある。第一には、避難が必要な人は必ずしも災害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点がある。例えば、出張や観光、冠婚葬祭などの目的で普段の居住地の外に滞在している場合には、滞在地の道路事情や避難所の位置などをすべて把握しているとは考え難い。実際に、携帯端末位置情報を用いて都市間旅行行動の時間変化を分析した山口ら<sup>1)</sup>の研究では、我が国では平常時には2~5%程度の人々が居住地の都道府県外に滞在している。さらに、年末年始やお盆などの時期になると10%もの人が居住地県外に滞在している。つまり、現在のわが国の行動パターンにおいては、地区に関する知識が十分でない非居住地に滞在することが多く、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、災害時には道路・通路自体も被災している可能性がある。例えば、建物の倒壊などによって、道路が通行不可能か通行が危険な状態にある場合、避難者は迂回経路をとる必要がある。ところが、発災直後の避難において、このような避難経路の決定

に必要な情報を入手することは、路上における口頭でのコミュニケーションを除けば、現状ではほとんど不可能である。この状況においては、避難において危険な経路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ってしまう可能性も考えられる。

上述のような課題は、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中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<sup>2)-5)</sup>を参考に、EMSS：避難共助支援システム (Evacuation Mutual Support System) の開発及び有効性の確認を目的とした。ERESS とは、災害発生時に屋内にいる被災者を対象としており、加速度や角速度などのセンサーを搭載した携帯端末のみで構成されるシステムである。通信インフラに依存しない通信方法により、携帯端末同士で相互に通信し、情報を共有・分析する。そこで、一定時間の停止、転倒といった異常挙動の状態を検知した携帯端末の数が一定数を超えた場合に、災害が発生したと判断する。そして位置情報をもとに安全な避難経路を検索し、端末保持者に提示することにより、迅速な避難支援を行う。EMSS では、人々の親しみやすいように 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にする。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、端末保持者に情報を迅速に提供するだけでなく、周囲の人々と協力して安全な経路での避難を提供する。

EMSS の開発に関する研究の第一段階として、位置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小規模実験を実施した。これにより、EMSS が災害時にどれほど有効に作用するのかを確認した。

## 2. 避難共助支援システム (EMSS)

### (1) システムの特徴

地震や火災・津波といった突発的な災害が発生した時、被災者はパニックに陥り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。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おいて、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避難経路を表示するというシステムである。

EMSS と ERESS の相違点として、ERESS では屋内の被災者のみを対象としている。しかし、外に避難できたとしても、最寄りの避難所が満杯となっていた場合にどこへ避難すれば良いのかということがわからなくなってしまう。また、屋内において ERESS が端末保持者に提供する情報として、災害の発生位置・災害の種類・現在地から出口までの避難経路・適切な避難行動となっている。これらの情報は避難時において必要最低限の情報であり、被災者に安心を与えるには不十分であると考えられる。そこで EMSS では屋内だけでなく、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新たな機能が多く等々されているため、最新の機能を利用し、ERESS の各機能を再構築し、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目視化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、誰も通らなかつた経路、多くの人が通る経路など、周囲の情報が分かれば、提示された避難経路に素直に従うことができたり、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。従来のような、避難経路だけを提示するのではなく、リアルタイムの周辺情報を組み合わせることで、より有効なシステムになり得ると考える。

EMSS の携帯端末間通信方法として、Bluetooth を使った MANET という無線通信技術を利用し<sup>6)</sup>、通信インフラに依存しない通信を行う。

また、図-1 に示すように、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移動速度の情報を共有する。ここで、移動速度の変動を共有することにより混雑している経路・スムーズに移動できる経路がわかる。さらに、通過してきた経路を共有すれば、誰も通らなかつた経路がわかる。通らないということはそれなりの理由があると判断し、避難経路の対象から外す。このように、携帯端末間で得られた情報を元に、出口までの最短避難経路や最寄りの避難所までの最短避難経路を検索し、端末保持者に提示する。以上が EMSS の特徴である。EMSS が最も有効に働く場面としては、首都圏などの比較的人が密集している場所で災害が発生し、通信インフラが崩壊してしまう状況であると考えられる。インターネット等が利用できない場合でも、EMSS を利用することにより、周囲の人々と協力することにより、迅速に安全な場所まで避難できる。



図-1 EMSS の仕組み

(2) 避難行動の把握

避難共助支援システムの開発のための第一段階として避難行動の把握を行う。人が多くいるために通行に時間がかかる経路や、建物や塀が倒壊して道を塞ぎ通行が不可能な経路は、移動速度や通過してきた経路などの情報で明確になる。そして、混雑状況や通行不可能箇所を把握することにより、より迅速に安全な場所への避難支援が可能となる。そのため、始めに端末保持者の歩行や走行などの移動速度の変動を認識できるアプリケーションの作成を行う。アプリケーションの開発ツールである Xcode を用いて、避難行動を把握するためのアプリケーションの作成を行った。

避難行動把握アプリケーション(図-2 参照)は、GPS や端末保持者の体の動きを測定し、移動距離を算出する。また、同時に時間も測定することによって端末保持者の移動速度を取得することができる。この速度表示は一定時間間隔で更新されるため、細かく変動する端末保持者の速度に対応することができる。



図-2 避難行動把握アプリケーション

EMSS では、災害によって通信インフラが崩壊した場合を想定し、携帯端末のみでネットワークを構築する MANET を用いる。MANET とは、携帯端末同士が無線通信により直接通信を行う自律型ネットワークであり、緊急ネットワークの早期構築が可能であるため、高い対災害性と柔軟性を持つとして現在注目されている通信方法である。今回は、携帯端末同士の通信方法として、図-3 に示すように Bluetooth を採用した<sup>6)</sup>。Bluetooth によって 2 台の携帯端末同士をペアリングし、お互いの位置情報を確認できることを目標とし、避難行動把握アプリケーションに Bluetooth を用いた通信の機能を追加した。そして、図-4 のようなお互いの位置情報を共有し合うことのできるアプリケーションを作成した。これにより、相手の位置を確認しながら避難することが可能となる。ここで、東北地方太平洋沖地震の津波被害アンケートでの生存者の避難開始のきっかけ<sup>7)</sup>によると、1)他の人が避難しているところを見た。2)他の人に避難を促された。といったように、他人の影響を受けて避難を始めた人が全体の 15% 存在する。したがって、他者の行動を目視化することで、避難時間の短縮につながる事が期待できる。

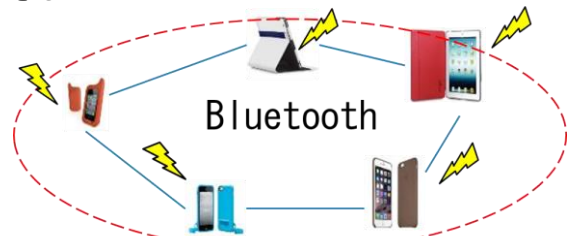


図-3 Bluetooth を用いた MANET

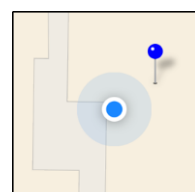


図-4 自分と相手の位置情報

### 3. 動作確認実験

アプリケーションを2台のiPhone5sにインストールし、屋内を想定した仮想空間を屋外に設置して動作確認実験を行った。実験内容として、**図-5**のように部屋を想定したブロックを6部屋作成し、それぞれの部屋から避難可能な出口を設ける。出口1から出口6までの6箇所の出口のうち脱出可能な出口は1箇所に限定し、残りの5箇所は通行不可能とする。また、黒矢印で示しているのが移動可能な通路であり、それぞれの部屋は中央の通路で繋がっているものとする。実験参加者にはどの出口が封鎖されているのか、どの出口から避難可能であるのかということを知らず、自由に行動して出口を探してもらった。実験のパターンとして、声を発することなく避難してもらったパターン、出口を発見した際に「出口がある」と言葉で伝えてもらうパターン、そしてアプリケーションを使用したパターンの3パターンで実験を行った。パターン3では、端末保持者に避難行動把握アプリケーションがインストールされているiPhone5sを持って出口を探してもらった。また、**図-6**のように形状を変化させても実験を行った。実験2では、声を発しないパターンとアプリケーションを使用するパターンの2パターンで実験を行った。ここで実際の災害時について考える。人が多く集まる場所というのは建物が密集しており、道も入り組んでいる状況が考えられる。また、人々は冷静な状態ではいられず、声をかけあって避難をするということは難しい状態になると推測される。そのため、実験2で声かけのケースを行わなかった理由として、実験2は実験1と同等の規模であり、声かけとアプリケーション使用時の避難時間差がどれだけ近づくかという観点より、声かけなしとアプリケーション使用時ではどれだけ避難時間に差がでるかということを検討するため、パターンを1つ省略して実験を行った。

今回はアプリケーションの動作確認実験ということで、出口に到達した場合は端末保持者にその場で停止してもらったこととした。これにより、端末保持者の位置情報を示すピンが停止したとすれば、その場所に出口があるということがわかる。まだ出口に到達していない端末保持者は相手が停止したことを確認すると、正解の出口へ向かい、避難ができる。

実験結果を表-1、表-2に示す。動作確認実験1(**図-5**)において、アプリケーションを利用するパターン3は、声を発しないパターン1よりも約20秒早く避難できていることがわかる。動作確認実験2(**図-6**)でもアプリケーションを利用した方が15秒以上早く避難できている。動作確認実験1(**図-5**)に関しては、声で場所を教え合うのとほぼ同じ時間で避難できたということも分かった。今回の実験ではどちらも規模が小さく、パターンの違いによる差が出にくい状況であった。広範囲に及ぶ避難では、自らの目視で確認できる範囲が限られてくるため、他者からのシステムを通じた情報がより重要に

なってくる。したがって、広範囲になればなるほど、避難行動把握アプリケーションの使用の有無で、避難にかかる時間の差がより大きくなると考えられる。また、実際の災害時において、周囲の人の声や足音等による騒音によって会話をするのが困難となり、声で場所を教え合うことができる状況はほとんどないと言える。そのため、今回の実験で明らかのように、災害時でもアプリケーションの利用が迅速な避難のための有効な手段となる。今後、出口に到達した時に色を変えるなどのサインを視覚的に発するアプリケーションに改良することで、さらに迅速な避難が可能となると思われる。

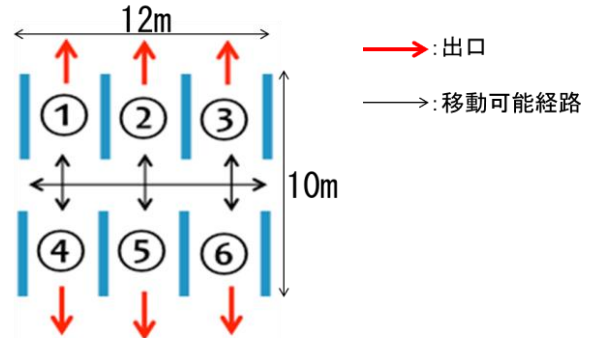


図-5 ペアリングによる共助避難実験 1

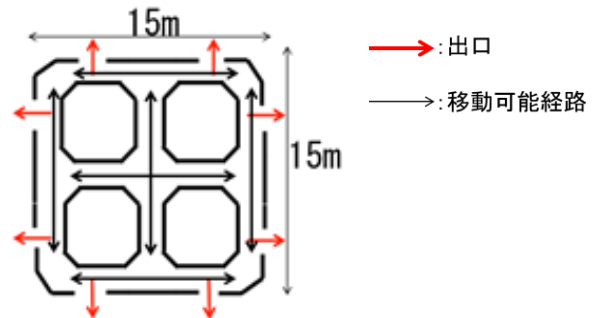


図-6 ペアリングによる共助避難実験 2

表-1 ペアリングによる共助避難実験結果 1

	1回目(s)	2回目(s)	3回目(s)	平均(s)
声なし	53.52	42.63	45.34	47.16
声かけ	21.40	23.23	28.68	24.44
アプリケーション	29.40	26.46	27.59	27.82

表-2 ペアリングによる共助避難の実験結果 2

	1回目(S)	2回目(S)	3回目(S)	平均(S)
声なし	54.60	30.13	48.58	44.44
アプリケーション	26.48	31.50	28.86	28.95

#### 4. 携帯端末を増やした小規模避難実験

次に、携帯端末の数を増やした実験を行った。複数の携帯端末を Bluetooth で通信状態にし、情報のやり取りをするためのアプリケーションは開発中であるため、ここでの実験では、携帯端末にあらかじめ搭載されているアプリケーションを用いて実験を行った。開発中のアプリケーションと既存アプリケーションの差として、他人の行動のスムーズな移動速度が考えられる。既存アプリケーションでは、災害時を想定していないため、動きにタイムラグが生じており、1~2 秒程度の間隔で動きが更新される。開発中のアプリケーションではリアルタイムということを最重要に考え、他者の行動が簡単に瞬時にわかるものとなっている。それでも、共助避難が有効であるか否かを判断することができると考えた。

図-7 に示すように、金沢大学ハードラボ周辺を対象に実験を行い、規模を大きくした。赤のコーンは通行不可能を意味しており、毎回ランダムで3か所設置した。ゴール(避難所)も同等に毎回ランダムに設定した。6 人の実験参加者にはスタート地点から同時に避難をしてもらい、全員が避難できた時間を測定した。前回の実験同様に、パターン 1 から 3 までを行った。実験結果を表-3 に示す。

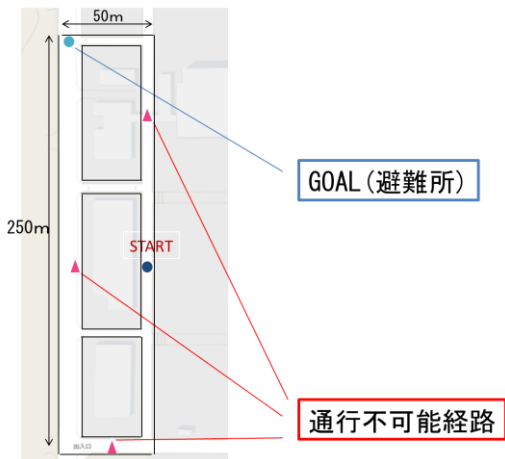


図-7 アプリケーションを利用した複数人同時の共助避難の小規模実験

表-3 実験結果 3

	1 回目(S)	2 回目(S)	3 回目(S)	平均(S)
声なし	553	303	237	270
声かけ	267	317	217	267
アプリケーション	277	211	220	236

結果として、実験 1,2 と同様に、アプリケーションを利用したパターン 3 の避難時間が最も短く、声なしのパターン 1 が最も時間を要した。パターン 3 の中には、時間的にパターン 2 よりも時間がかかっているものもある。これは、今回の実験では避難経路が直線のみで構成されているために、見通しも良好でアプリケーションの情報なしに目視でかなりの情報を入手することができるため、結果に差が現れに

くい状況であったことが原因として考えられる。今回の実験では、アプリケーションを使用した場合の平均避難時間が最も短かった。これは周囲の行動を目で確認できることが大きく影響していると考えられ、今回ような規模であるなら既存アプリケーションでも対応が可能であると想定される。しかし規模が拡大するに従い、進行する道が通行不可能な状態であったといったように、U ターンをする状況が出てくると、既存アプリケーションでは対応しきれなくなると考えられる。今後は、金沢市内の細街路を対象として、家屋が並び、狭道が入り組んだ、より見通しが悪くアプリケーションの有効性が高いと想定される場所で同様の実験を行う予定である。そこでその結果を基に、地下鉄や大型デパートなど、被害が大きくなりやすい場所にも利用できるのかどうかの検討を行いたい。

#### 5. EMSS の将来の展望

上記の実験を通じて、EMSS の将来の展望も明らかとなったものと考えている。すなわち、EMSS の特徴として、周囲の人々と協力して避難を行うということが挙げられるが、どのような情報を収集し、どのように処理すれば最適な群衆の制御ができるのかについては重要な課題である。EMSS は観光客のような土地勘のない人を対象とし、地元住民との共助避難が可能かを考えたものである。そのため、事前に土地勘があるかどうかという情報を登録することにより、アプリケーションから得られる情報のうちで、地元住民の行動に大きな重みをおくことによって、土地勘がある人がない人を誘導するような仕組みにすることができる。

EMSS の構築に際して、多くの人が進む方向を正しい方向として処理してよいのかという問題が生じるが、地域住民が自宅周辺の道に精通していることは疑いようがなく、土地勘のある地域住民の複数者の判断は信頼できると考えられる。もちろん、この判断は絶対ではないため、通行不可能箇所遭遇すると、次の道へと順次移動することが余儀なくされる。これらの行動は情報として共有され、間違った道の探索(検索)を抑止するとともに、避難可能な最適な経路をシステムが支援することとなる。上記の行動は、災害発生から数分程度で解決しなければならない問題であると考えている。

#### 6. 結論

EMSS は、災害発生直後に使用することを想定し、屋内・屋外を問わず、被災者を安全な場所まで避難させることを目的としている。そこで我々は共助という部分に着目し、周囲の人と協力して避難するシステム開発を行った。現在、一対一で通信を行い避難者を相互に支援するアプリケーションが完成し、それを用いた避難共助実験を行った。また、規

模や人数を拡大した実験を通して、位置情報共有の有効性が避難支援に有効であることを検討した。行った実験の規模は比較的小規模であったものの、アプリケーションを使用した場合としなかった場合では、やみくもに避難するより有効な結果が得られた。以上により、周囲の人々の動きを目視化することは、避難に要する時間の短縮に有効であると考えられる。

今後、細街路道が入り組んでいるような住宅地内の見通しが悪い狭隘な場所での実験を金沢市危機管理課と連携して、晩秋に行う予定である。

現在求められている避難共助支援システムとは、進化し続ける ICT を活用し、リアルタイムで避難を支援するシステムである。想定された避難路は土砂崩れや家屋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 を構築することにより、より安心・安全な避難共助支援が可能となる。本システムの有用性の検証は災害による被害を抑制するだけでなく、精神的にも余裕をもって避難行動できるようになるのではないかと考えている。また、日常的に利用できる機能を付け加えることで利用者を増やすという工夫も鋭意進めており、様々な場面での活用が期待される。

**謝辞**：本実験を実施するにあたり、本学学生の多大な助力を受けた。ここに記して謝意を表します。本研究は、JSPS 科研費 15K01259 の助成を得ている。

## 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) 近接通信 Bluetooth を使って、複数利用者間でのリング状ネットワーク構成技術を構築  
[https://www.nttcom.co.jp/tera/tera53/pdf/p17\\_18.pdf](https://www.nttcom.co.jp/tera/tera53/pdf/p17_18.pdf)  
2016年10月10日アクセス
- 7) 東日本大震災 津波調査結果 - ウェザーニュース  
[https://weathernews.jp/ip/info/tsunami2011\\_research/index.html](https://weathernews.jp/ip/info/tsunami2011_research/index.html)  
2016年11月20日アクセス

(2017. 7. 7 受付)

## EVACUATION MUTUAL SUPPORT SYSTEM BY USING MOBILE UNIT DURING DISASTER AND ITS APPLICATION REFUGE EXPERIMENT IN A SMALL AREA

Mitihiro YOSHIDA, Hiroki SHIMODA, Toshikazu IKEMOTO,  
Hiromichi YAMAGUCHI, Yoshihiro TAKATA and Masakatsu MIYAJIMA

We proposed a new system "Emergency Mutual Support System (EMSS)" to support mutual evacuation during disaster. EMSS was proposed as a mobile application in which everyone could use everywhere easily. When EMSS also automatically start during emergency, we collect positional information of the person from the mobile units mutually. The positional data and moving speed can be shared in each mobile unit, and evacuation behavior of the person can be comprehended. The mobile user can select a suitable evacuation route depending on the situation.

In this study, the implementation experiment of pairing using EMSS was planned (carried out, performed) in a small area.

An evacuation experiment was also carried out using an existing application for friend searching.