

# 地区防災訓練を通じた避難共助支援システムの有効性確認 及び避難行動に関する一考察

## Study of Evacuation Procedure Using the Evacuate Mutual Support System in District On-foot Evacuation Drill

○小川 福嗣<sup>\*1</sup>, 池本 敏和<sup>\*2</sup>

Fukutsugu OGAWA<sup>\*1</sup> and Toshikazu IKEMOTO<sup>\*2</sup>

\*1 石川工業高等専門学校建築学科 助教 博士(工学)

Assistant Professor, Department of Architecture, National Institute of Technology, Ishikawa College, Ph.D.

\*2 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 講師 博士(工学)

Associate Professor, Institute of Science and Engineering, Faculty of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, Ph.D.

**Summary:** This research developed an application as part of an EMSS (Evacuation Mutual Support System) for sharing information on the geographic location of evacuees and the position of road blocked by obstacles such as collapse of a building. We verified the application's efficacy with an emergency drill in the Kanazawa-Nomachi area. The system effectively shares information on the geographic position, and evacuees can perform appropriate on-foot evacuations from the evacuation trajectory log. The information provided by the application allows evacuees to choose detours that avoid position of obstruction on road. However, some evacuees could not avoid a route blocked by an obstacle despite having acquired this information. It is presumed that this was because the evacuees did not use the application effectively. The results imply that learning to use the application effectively is important.

**キーワード:** 避難共助; 避難行動; 避難時情報共有

**Keywords:** Evacuation Mutual Support; evacuation behavior; evacuation drill; information sharing.

### 1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震, 2016年の熊本地震をはじめとした地震による甚大な被害を受け, 建築物や防潮堤等の社会インフラの強化や整備といったハード対策のみならず, ソフト面での防災対策が進められてきた。

災害時被害の軽減に対するソフト面からのアプローチには, 1) ハザードマップ作成, 防災教育等による周知や事前準備に関する対策, 2) 発災時における適切な避難行動支援のための情報伝達や誘導が挙げられる。後者では, 近年のスマートフォン普及を受け, 防災に資する情報を提供する防災アプリケーション(以下, アプリケーションはアプリと表記)の開発が進められた。有馬<sup>1)</sup>は50の防災アプリを対象に搭載機能を整理している。アプリの機能として, 1) 地震・津波等の情報提供機能を主とするもの, 2) 指定避難場所の位置や開設状況, 経路表示機能を主とするもの, 3) 安否確認機能を主とするもの, 4) ハザードマップの表示を主とするものに分類している。

スマートフォンに付随したセンサや通信機能を利用した情報共有や伝達を試みる研究がある。災害を早期に検知し避難行動を支援するシステムとして, Emergency

Rescue Evacuation Support System (ERESS)の開発<sup>2,3)</sup>も行われている。携帯などの各端末から得られる加速度や角速度の情報を相互に通信, 共有し, 複数の端末から集約した情報から一定時間の停止, 転倒といった異常挙動の状態の検知により災害の発生を判断し, 迅速な避難行動につなげるシステムである。大佛・沖<sup>4)</sup>は, 災害時の情報収集・共有・活用のためのシステムとして, クラウドサーバーの利用したwebアプリケーションの開発を行い, 災害ボランティアによる災害時情報収集実験を通じてシステムの利用者数が少数かつ収集時間が限定的であっても広範囲の災害情報の収集でき, 迅速な救急活動を実施できる可能性があることを示している。

吉田ら<sup>5)</sup>は前述したERESSを参考に, 避難時における情報共有および適切な避難行動を支援するEvacuation Mutual Support System (EMSS)を提案している。

EMSSでは, 緊急地震速報などの受信により携帯端末同士がBluetoothによる通信を行いMANET(Mobile Ad-hoc Network)を構築する。各携帯端末から得られる位置情報を用いて避難行動や混在状況等に関する情報を, MANETを通じてリアルタイムに共有するとともに, 通

行不可能箇所や避難経路の提示などを行う。EMSS の開発においては、災害時の避難において重要な通行不可能箇所に関する情報の提供、共有や可視化に関する実装および検証と、MANET による冗長なシステムの安定的な運用に関する実装および検証が必要である。

既存研究では開発された避難支援システム等の活用により得られる情報と避難行動の実態との関係は十分に明らかにされていない。本研究では EMSS の一部として前者の情報の共有や可視化に関して、災害時において臨機応変に変化する通行不可能箇所等の情報の共有および可視化に関する機能をスマートフォンアプリとして実装し<sup>6)</sup>、石川県金沢市野町地区住民における比較的大規模な防災訓練で利用することで、その有効性について検証した。また、情報共有の効果や課題について、記録された行動ログから避難者が実際の行動分析により明らかにするとともに、避難共助のための情報提供・共有の在り方や今後のアプリ改善や展望について考察する。

## 2. 避難共助支援に関する実験概要

平成 30 年 8 月 26 日に実施された金沢市野町地区の市民防災訓練において、開発したアプリを利用してもらった。野町地区は金沢市中央部に位置し、伝統的建造物群保存地区をはじめとして古い町並みが残り、幅員の狭い街路も多い。そのため、災害時には建物の倒壊及びそれに伴う道路の閉鎖が想定され、道路閉鎖等の情報の提供及び活用により効率的な避難を促すと考えられる。

災害時における住民の避難方法として金沢市では、各町会の一次避難所に避難ののち、少人数の班を形成し地区の拠点避難所に避難することとしている。防災訓練(本実験)時も同様に、災害が発生したと想定し、各町会の一次避難所に避難・集合した後に、班を形成し拠点避難所である旧野町小学校に避難する。実験対象の野町地区における防災訓練の参加者 26 町会 140 班で構成され、参加者は約 600 名である。本実験では、一次避難所で構成された班の代表者にアプリをインストールした iPhone (以後、端末と呼ぶ)を渡し、拠点避難所までの避難に利用してもらい開発したシステムの有効性を確認するとともに記録された行動ログから避難者の行動を分析する。本研究では、端末を利用する各グループの代表者を一被験者として扱う。また、当該地区の地理的状况を十分に把握していない観光客の避難を想定した観光客役として学生にも参加してもらった。

災害時には、建物や塀の倒壊等により道路が通行不可となることが想定される。そのため、本実験においても事前に町会の防災士や避難訓練委員会メンバーとともに災害時に危険となりえる箇所を踏査し、通行不可能箇所を設定した。

本システムは、swift により iOS のアプリとして開発し



図 1 アプリによる情報共有 (表示画面)

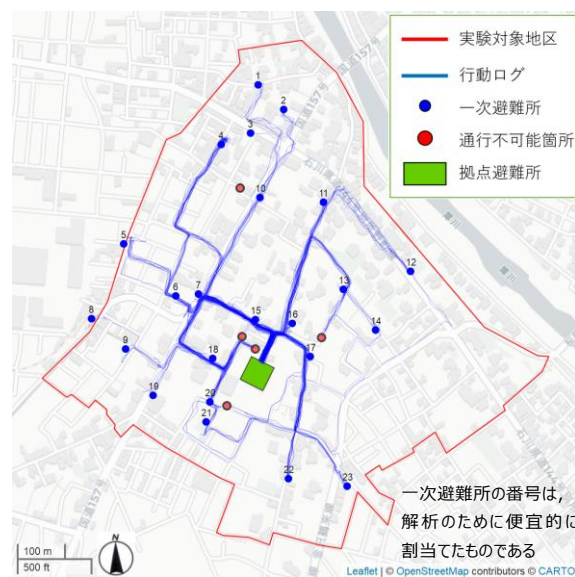


図 2 実験地区の概要と全被験者の行動ログ

た<sup>6)</sup>。アプリでは、図 1 に示すように、1)アプリ利用者本人の現在位置、2)他のアプリ利用者の現在位置、3)通行不可能箇所、4)拠点避難所の位置情報、をそれぞれ地図上で表示し情報を得ることができる。また、避難者の行動を把握するために端末の位置情報を 5 秒ごとに記録する。位置情報は一次避難所で被験者に端末を渡した直後から、拠点避難所に避難完了するまで記録される。本稿では被験者毎に得られた避難開始から避難完了までの位置情報を集計した結果を行動ログと呼ぶ。実験対象地区の一次避難所、拠点避難所、通行不可能箇所及び得られた行動ログを図 2 に示す。分析に利用する行動ログは、訓練途中で位置情報の記録が終了した等の不備のあるデータを除外した 137 被験者分である。図中の行動ログは 137 被験者分を重ね合わせて表示している。図中の行動ログの濃く見えるところは、避難拠点に近づくにつれ避難経路が限られ複数ログが記録されているためである。

各端末は利用時に、班の代表者の性別及び年齢 (10 代から 80 代までの 10 歳刻みおよび 80 代以降) を入力した。また、取得可能な情報が避難行動に及ぼす影響につ

表 1 被験者の属性等に関する情報

(a) スタート地点別

スタート地点番号	被験者数	スタート地点番号	被験者数
1	4	13	8
2	5	14	6
3	1	15	5
4	17	16	6
5	8	17	7
6	2	18	3
7	5	19	5
8	1	20	4
9	4	21	8
10	2	22	11
11	6	23	9
12	10	計	137

(b) グループ別

グループ	被験者数
1.(自)	46
2.(自他)	45
3.(自他物)	46

(c) 性別

性別	被験者数
男	93
女	44

(d) 年代別

年代	被験者数	年代	被験者数
10代	3	50代	29
20代	18	60代	31
30代	6	70代	32
40代	16	80代~	2

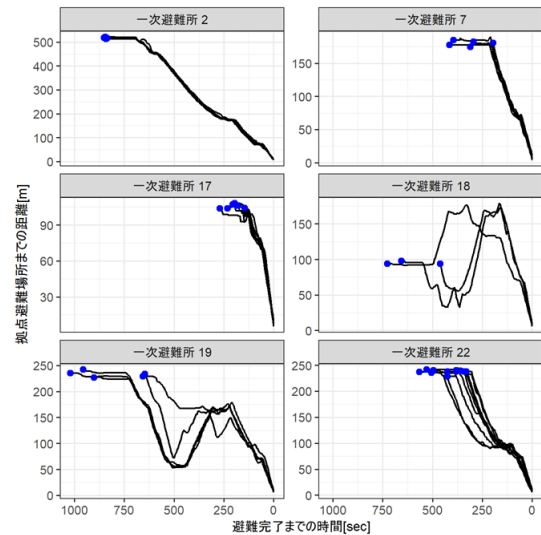


図 3 被験者のタイムスペースダイアグラムの一例 (スタート地点別)

いて分析するために、グループ設定を行い表示される情報に制約を与えた。グループは端末の地図上に表示される情報の種類を表しており、1)「自」: 自分の位置情報と拠点避難所の位置情報、2)「自他」: 1)の情報に加え他の避難者の位置情報、3)「自他物」: 2)の情報に加え通行不可能箇所の位置情報、が各端末に表示される。通行不可能箇所に関する情報は、最初に発見した避難者の通報によって各端末に表示、すなわち共有可能となる。グループの設定は被験者数が均等になるようランダムに割り当てた。被験者に関する属性の集計結果および一次避難所ごとの被験者数を表 1 に示す。

### 3. 避難共助支援に関する実験結果および考察

#### (1) 防災訓練における実験結果

スタート地点別の各避難者の時間経過と避難距離の関係を図 3 に示す。図の横軸は、拠点避難所に避難完了した時刻を 0 として逆算した避難完了までの時間 (秒)、縦軸は拠点避難所までの直線距離を表し、図中の青色の点は行動ログの記録開始 (避難開始) を表す。拠点避難所への避難経路途中で通行不可能箇所に遭遇しない場合は、一次避難所 2, 7, 17, 22 のように被験者の属性と無関係に類似した行動ログであった。一方、避難経路に通行不可能箇所が存在する場合は、通行不可能箇所回避の可否や選択した迂回路の違いが、スタート地点 18, 19 の結果に表れている。これらの事例を分析し情報共有や開発したアプリの有効性を確認する。



(a) 被験者ID140



(b) 被験者ID44



(c) 被験者ID139

図 4 被験者の行動ログ (一次避難所 18)

スタート地点 18 から避難を開始した各被験者の詳細を確認する。通行不可能箇所を発見しシステムに情報提供した被験者、避難開始時にそれらの情報を取得可能及び不可能であった被験者が存在する。各被験者の行動ログの詳細を図 4 に示す。被験者 ID44 及び 140 はアプリ上での表示制限がないグループ 3 であり、ID139 は自分の位置情報のみが表示されるグループ 1 である。

ここで図 4(a)の被験者 ID140 についてみると、グループ 3 (アプリにより通行止め等の情報が把握可能なグループ) であるが、避難開始時 (8 時 5 分) には通行不可能箇所の情報は明らかとなっていないため、避難拠点まで最短経路での避難を試みている。しかし、設定した通行不可能箇所に遭遇したために、迂回ルートを利用し避難している。この ID140 の被験者が通行不可能箇所の第一発見者となり、他の避難者に通行不可能箇所の情報提供が行われた。次に、(b)の被験者 ID44 についてみると、避難開始時 (8 時 18 分) に通行不可能箇所が判明し、情報共有が行えていたことから、拠点避難所への避難開始時からアプリから得られる情報を利用し、はじめから迂回ルートを選択し避難を行っている。一方、(c)の被験者 ID139 は、避難開始時 (8 時 30 分) に通行不可能箇所の情報が判明しているが、グループ 1 であり被験者の持つアプリ上からは当該情報は得られない。そのため、被験者 ID140 と同様に最短経路で避難を試み、通行不可能箇所に遭遇したのちに迂回ルートを利用し避難している。以上のことから、災害時の予期しない通行止め等の情報をリアルタイムで共有することにより、迅速な避難を促すことができた事例を確認することができた。

次に通行不可能箇所に遭遇する可能性のあった被験者を抽出・分析し、アプリの有効性及び避難の特性を確認する。設定した通行不可能箇所内、避難者が複数到達した区域を対象区域として設定し、遭遇する可能性のあった被験者の行動について分析する。対象区域 (図 5) 内を通過した被験者には、一次避難所 5,6,9,12,15,18~21 から避難を開始した被験者が含まれており、これらの一次避難所を出発した被験者は通行不可能箇所に遭遇する可能性があったと考えられる。これらの被験者について、グループごとに避難完了までに要した時間の分布を図 6 に示す。避難時間は各一次避難所について、拠点避難所までの避難完了に要した平均時間で除することで正規化し、横軸としている。平均的な避難時間の場合には 1、平均的な避難時間に比べ早く避難できた場合は 1 より小さくなる。また、色の違いは避難中に実際に対象区域内に入ったかを表す。自分の位置情報のみ表示されるグループ 1 の被験者の中には、通行不可能箇所に遭遇した後に適切な迂回ルートを選択できずに、平均的な避難完了までの時間の 2 倍以上要している場合があることが確認できる。避難に 2 倍以上の時間を要したのは土地勘のない観

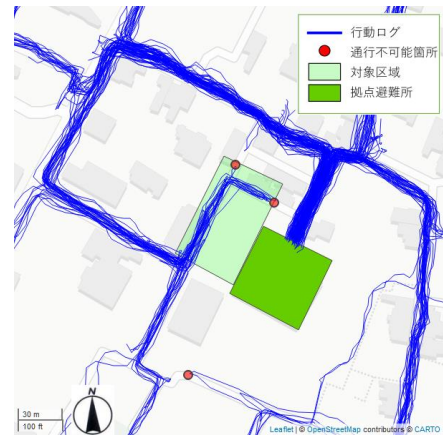


図 5 通行不可能箇所手前の分析対象区域

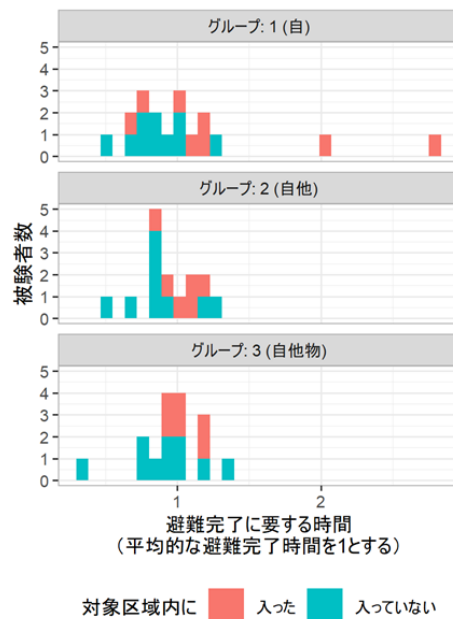


図 6 グループ別の避難完了までの時間

光役として参加した 10 代および 20 代の学生であった。ほかの情報を確認できるグループ 2 および 3 の被験者の中にも観光役として参加した 10 代~20 代の学生が含まれているが、避難完了までの時間に極端な遅れはない。そのため、他者の避難状況や通行不可能箇所等の適切な情報を与えることにより、土地勘のない観光客などに対してより迅速な避難を促すことができると考えられる。また、グループ 1 では 18 人中 10 人、グループ 2 では 15 人中 9 人、グループ 3 では 16 人中 10 人が対象区域内を通過せずに避難完了しており、共有する情報が多いほど事前に通行不可能箇所を回避した上で避難できていることが確認された。すなわち、他者や通行不可能箇所に関する情報提供により迅速な避難を促すことができるといえる。

通行不可能箇所手前の避難行動について分析する。通行不可能箇所に遭遇したために引返しが多くみられた通

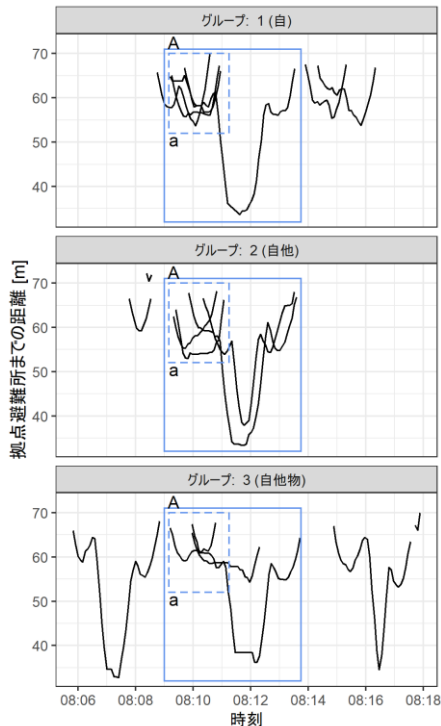


図 7 分析対象区域における行動ログ

行不可能箇所手前の通路を分析対象区域（図 5）に設定し、当該区域内において記録された行動ログを図 7 に示す。行動ログ数が多いため、グループ（アプリより取得可能な情報種別）ごとに表示している。

グループ 3 に示す 8 時 6 分ごろ対象地区に入った被験者 ID140 のログ（図 4(a) に示した被験者）について確認する。対象区域に入った後一時的に拠点避難所までの距離は短くなるが、通行不可能箇所に遭遇し折返したために再び拠点避難所までの距離が大きくなり、対象区域外を出て迂回路を利用して避難している。当該被験者はグループ 3 であり端末から通行不可能箇所の情報が入手可能であるが、対象区域に入った 8 時 5 分時点では通行不可能箇所に関する情報は存在しない。当該被験者が通行不可能箇所に遭遇（発見）することにより、グループ 3 の各被験者に対して通行不可能箇所の情報提供（共有）が行われた。情報共有が行われた後の図 7 に示す区間 A に着目すると、各行動ログの軌跡が重複、類似しており複数の被験者が集団で行動していることが確認できる。また、図中 A の行動ログには 2 パターン存在し、1 か所目の通行不可能箇所 1 に遭遇後、すぐに引返し迂回路を利用して避難を行った集団（図中 a）と、別の通行不可能箇所 2 を通るルートから避難を試みる集団である。この 2 集団は、初めに対象区域に入った時間帯により行動パターンが分類される。両集団とも通行不可能箇所の情報が入手可能なグループ 3 の被験者が含まれるが、後者は周囲の行動に合わせようとする多数派同調バイアス<sup>7)</sup>が働

表 2 アンケート項目

1. 年齢  
1) 10代, 2) 20代, 3) 30代, 4) 40代, 5) 50代, 6) 60代, 7) 70代以上
2. 性別  
1) 男性, 2) 女性
3. 避難場所を知っているか  
1) 知っている, 2) 知らない
4. 避難場所までの経路を決めているか  
1) 考えたことがある, 2) 考えたことない
5. 避難時に持っていくものは何か  
1) 財布, 2) 携帯電話, 3) 身分証, 4) 非常用バッグ, 5) その他  
選択肢 (a) 持っていく, (b) 持っていかない
6. アプリケーションの画面の内容を理解できたか  
1) 理解した, 2) 理解できなかった
7. 避難時にアプリケーションで役立つ情報は何か  
1) 地図, 2) 避難所, 3) 自分, 4) 他人, 5) 通行不可, 6) なし  
選択肢 (a) 役立った, (b) 役立たなかった
8. アプリケーションを利用したことにより通行不可能箇所を回避できたか  
1) はい, 2) いいえ, 3) 行っていない

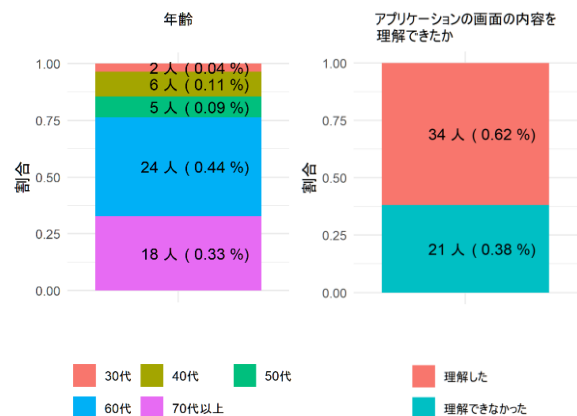


図 8 アンケート集計結果の一部

き、アプリから得られる情報を適切に処理できずに通行不可能箇所に遭遇したと考えられる。また、避難速度がほぼゼロである時間帯があり、一度立ち止まってアプリを確認していると考えられる班もあったが、通行不可能箇所を回避できていなかった事例も確認され、適切にアプリから情報を取得できなかったと考えられる。比較的短時間で状況を適切に把握可能なようなアプリのインターフェースに工夫や改善が必要といえよう。

## (2) アンケートによるアプリの有効性の確認

アプリを使用した被験者に対して選択式のアンケート調査を行った。アンケート項目を表 2 に示す。140 人にアンケートを配布し、59 人から回答があった。回答の欠如や複数回答等のアンケート結果を除くと、有効回答数は 55 人であった。アンケートの結果の一部を図 8 に示す。年代属性は 60 代以上が 7 割以上を占め、アプリ画面内容の理解では、事前にアプリの利用方法の説明を行ったにもかかわらず、半数以上が理解できていない結果であった。また、年齢属性に関係なく約半数が理解できていない回答であることから、避難の際に活用してもらうためには十分な周知及び事前の利用訓練等の実施が必要であることが明らかとなった。

アプリの画面が理解できた 34 名について、アプリで役

立った機能に関するアンケート集計結果では、自分の位置情報は18名、避難所の位置情報は16名、他人の位置情報は4名、通行不可能箇所の情報は21名が役立ったとそれぞれ回答している。避難の際には、自分、目的地(避難所)、通行不可能箇所に関する情報共有が有効といえる。一方で、約半数は情報が役立たなかったと回答している。被験者が地元住民であり土地勘があること及び半数以上は最短ルートの経路上に通行不可能箇所等がなく、情報共有の有効性を確認できなかった事例が含まれることが原因といえる。また、他人の位置情報提供が有効とした回答数は非常に少なかった。他人の位置情報はアイコン表示(図1)され、時々刻々と変化している。そのため、他人の避難経路や方向などを把握するには一定時間アプリ画面を見る必要があったことに起因すると推察される。実際の災害時はより緊迫した状況であり、瞬時に情報が把握できることも必要である。今後は直前の位置情報との差分から避難方向について表示するなどの工夫・改善が必要であることが明らかとなった。

#### 4. おわりに

避難共助支援システム(EMSS)の一部として、避難者の位置情報及び通行不可能箇所に関する情報の共有および可視化に関するアプリを開発した。金沢市野町地区で行われた防災訓練でアプリを利用してもらい、情報の共有が避難行動にどのような影響を与えたのか分析を行った。防災訓練中に判明した通行不可能箇所の情報等について、アプリより得られる情報をもとに、避難開始時に迂回路を優先的に選択し臨機応変に避難行動が行えた事例を確認した。また、土地勘のない観光客等に対しては、他者の行動や通行不可能箇所に関する情報を与えることによって、迅速な避難を促すことができる可能性があることが確認された。本研究で対象とした地区のように比較的観光客が多い場所では、このようなシステムを導入し、災害時の避難に備えておくことが重要であると考えられる。また、アンケート結果から通行不可能箇所等に関する情報は避難時に役立つ情報であったことが確認できた。一方で、アプリを十分に活用できずに適切な避難行動に反映できなかった事例も確認された。行動ログの結果からわかるように、被験者が集団で避難していたため、先導する避難者に追従する同調バイアスが働き、アプリから得られる情報を十分に活用できなかったと考えられる。被験者のアプリの理解に関するアンケート結果も踏まえると今回の実験ではアプリの有効性や使い方に関して十分に理解していなかったことも一因であると考えられる。今後は、事前に利用方法について十分に周知すること、位置情報を活用し避難ルートの予測や予測ルート上に通行不可能箇所がある場合にはアラートを発生させる等のアプリの改善を行うこと、アプリの有効活用によ

り被災状況に応じた適切な避難行動を実施できた事例を示すことにより、災害時の避難時に利用される機会が増えると考えられる。また、災害リスクは地震のみに限らず、水害等多様なリスクがあり多様な災害時において活用できるように機能の確認及び改良を行うことにより認知度が上がるとともに非常時においても活用しやすくなると考えられる。今後は、MANETによる端末間のBluetooth通信による情報提供・共有に関する部分のシステムを実装・検証しシステムに組み込むことにより、通信設備の損傷等に影響を受けないEMSSの構築を目指していく必要がある。

#### 謝辞

本実験を実施するにあたり、金沢市及び金沢市野町地区住民の多大な協力を受けた。また、アプリ作成に関しては元金沢大学大学院生の吉田成宏氏、清水大樹氏によるところが大きい。本研究の一部は(一般社団法人)北陸地域づくり協会助成2020(山崎,小川ら)の援助を受けた。ここに記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 有馬昌宏：ソフト防災に果たす防災アプリの可能性と課題。横幹, Vol. 11, No. 2, pp. 145-155, 2017.
- 2) 石田裕介, 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。電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 111, No. 197, pp. 65-70, 2011
- 3) 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(情報ネットワーク)。電子情報通信学会技術研究報告=IEICE technical report: 信学技報, Vol. 113, No. 245, pp. 37-42, 2013.
- 4) 大佛俊泰, 沖拓弥：リアルタイム災害情報収集・共有・活用システムの開発。日本建築学会計画系論文集, Vol.82, No.739, pp.2451-2459, 2017.
- 5) 吉田成宏, 下田滉貴, 池本敏和, 山口裕通, 高田良宏, 宮島昌克：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。土木学会論文集F6(安全問題), Vol. 73, No. 2, pp. I 91-I96, 2017, doi:10.2208/jscejsp.73.I\_91.
- 6) evacuation-route-visualizer. <https://github.com/prog470dev/evacuation-route-visualizer> (2021.04.16 アクセス).
- 7) 浦田淳司, 羽藤英二：豪雨災害時の避難開始選択における他者避難と人的ネットワークの影響評価。土木学会論文集D3(土木計画学), Vol. 73, No. 1, pp. 24-39, 2017.
- 8) 鶴島 彰：避難シミュレーションにおける反応閾値モデルによる複数タスクのモデル化。人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2018, pp. 1D3OS28b04-1D3OS28b04, 2018.