

徒歩避難時における位置情報共有アプリケーションの 効果に関する実験的研究

An experimental study on the effect of geographic location sharing information using application for on foot evacuation

○山崎 智大*¹, 池本 敏和*², 小川 福嗣*³, 高田 良宏*⁴, 芹川 由布子*⁵, 宮島 昌克*⁶
Chihiro Yamazaki *¹, Toshikazu Ikemoto *², Fukutsugu Ogawa *³,
Yoshihiro Takata *⁴, Yuko Serikawa *⁵ and Masakatsu Miyajima *⁶

*1 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻

Kanazawa University, Graduate School of Natural Science and Technology, Graduate Student.

*2 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 講師

Kanazawa University, Institute of Science and Engineering, Faculty of Geosciences and civil Engineering, Associate Professor.

*3 金沢大学 総合技術部

Kanazawa University, Engineering and Technology Department, Technical Staff.

*4 金沢大学総合メディア基盤センター 准教授

Kanazawa University, Information Media Center, Associate Professor.

*5 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻

Kanazawa University, Graduate School of Natural Science and Technology, Graduate Student.

*6 金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 教授

Kanazawa University, Institute of Science and Engineering, Faculty of Geosciences and civil Engineering, Professor.

In order to reduce human damage at the time of natural disaster, it is necessary for evacuees to obtain appropriate information, avoid danger, and take evacuation action smoothly. This study is to develop an application to share information on the geographical location of the evacuees and the location of obstacles such as collapse of houses or block walls. Therefore, we verified the effectiveness of the application by evacuation training in the Nomachi area in Kanazawa city. Evacuees could recognize the location of obstacles on the road from the information provided by the application and select a detour. However, some of the evacuees could not avoid the route despite obtaining this information. This means that it is important to understand exactly how to use the application. We will also describe the prospects of EMSS in the future.

キーワード: 避難共助支援; 情報共有; 避難行動; 防災訓練; アプリケーション

Keywords: Evacuation assistance; Information sharing; Evacuation behavior; Evacuation training; Application.

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。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。このような災害発生時において、人的被害は逃げ遅れやパニックの発生により拡大すると考えられる。大規模災害時に人的被害を軽減するためには、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。現在、我が国では地区ごとの避難場所が設定され、地震等の災害時にはその避難場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、避難場所に避難者を集結させる点において、依然、多くの課題が存在する。第一に、我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することが多い。例えば、金沢はひがし茶屋街や寺町寺院群といった古い街並みが広がり、それらは観光地として賑わっている。さらに、北陸新幹線開業によってますます観光客が増加している。このような観光地で災害が発生した場合、避難が必要な人は必ずしも滞在している場所の道路事情や避難場所の位置を把握しているとは限らないと考えられる。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の研究¹⁾では、我が国では平常時に 2~5%程度の

人々が居住地の都道府県外に滞在し、さらに、年末年始やお盆などの時期になると 10% もの人々が居住地都道府県外に滞在している。このことから、人々は地区に関する知識が不十分な非居住地に滞在していることが少なく、そのような場合には避難先及び避難経路自体の情報を提供するような仕組みが求められる。第二に、災害時には避難経路となる道路自体も被災している可能性がある。建造物の倒壊や火災などによって、あらかじめ考えていた避難経路が通行できないことも考えられる。これらの理由から発災直後の避難において、すべての被災者が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。この状況では、避難中に危険な道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。

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と考えられている。まず、非居住者の避難については、その地域の道路や避難場所に詳しい人の避難行動情報を提供することで、非居住者を適切な避難先・避難経路に誘導することが可能となる。また、道路の被災情報についても、避難者が通過することができなかった区間の情報を共有することによって、後続の避難者に通行不可能道路の情報をリアルタイムに伝達し共有することで、危険な道路や場所への人の集中を自律的にかつ円滑に避けることが可能となる。

避難時に被災者に対して必要な情報を提供するシステムとして、吉田らは、災害発生時の人的被害の低減を目的とした、ERESS(Emergency Rescue Evacuation Support System):非常時緊急救命避難支援システム²⁾⁻⁶⁾を参考に、EMSS(Evacuation Mutual Support System):避難共助支援システムの構築を進めてきた。ERESSは複数端末の加速度や角速度の情報を相互に通信し、情報を共有・分析する。集約した情報から複数端末において一定時間の停止、転倒といった異常挙動の状態を検知することにより災害の発生を判断し、迅速な避難行動につなげることができるシステムである。一方でEMSSでは、災害時における避難所までの避難行動の避難共助支援に着目し、避難時において近傍の避難所の位置や通行可能な避難経路などの情報共有を行うことにより適切な避難行動を支援することを新規性としている。EMSSの構築に際して、携帯端末を用いた少人数での避難実験は行われてきたが、大人数での大規模実験は行われておらず、避難者間で共有される情報が多数ある条件での避難行動は解明されていない。吉田らの実験⁷⁾では、アプリケーションを用いて互いの位置情報を共有することや通行不可能箇所を把握することは迅速な避難において有効ではないかと考えた。しかし、実施された実験は避難距離が短く、実際の避難場所を想定していないことや、10人以下の少人数での情

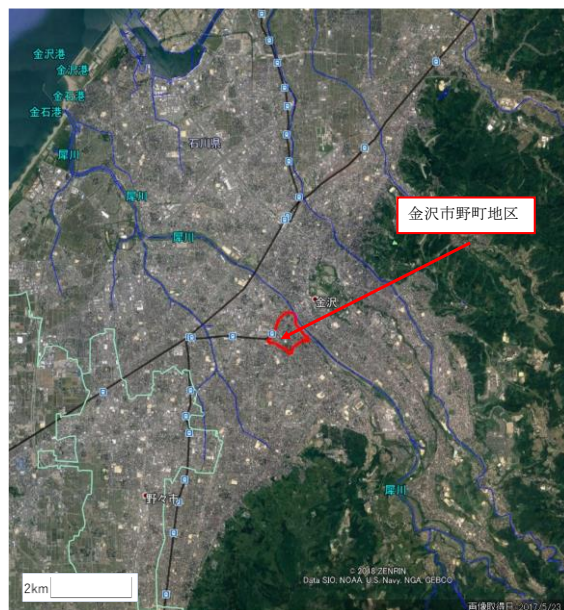


図1 対象地区(野町地区)の位置

の共有であることなど、本来のアプリケーションの使い方とは異なっていた。そこで本研究では、避難共助支援システムの実用化に向けた大人数大規模実験を行い、共有する情報量の増加や避難経路がより長くなった場合では、アプリケーションによる情報の共有は避難に対してどのような影響を与えるかについて調査した。

2. 位置情報共有アプリケーションを用いた大人数大規模避難実験の概要

2.1. 金沢市野町地区について

本研究で対象とした金沢市野町地区は石川県の金沢市の中央に位置し(図1)、野町1丁目~4丁目及び寺町5丁目からなる地区である。この地区の総人口は3293人、世帯数は1724世帯(平成31年1月1日現在)である⁸⁾。野町地区は、「にし茶屋街」や「寺町寺院群」などの観光エリアを保有する。にし茶屋街では、伝統的な街並みが保存されている250mの通りにカフェやショップが立ち並び、国内外から多くの観光客が訪れる観光エリアとなっている。また、寺町寺院群は、金沢三寺院群の中で最も規模が大きく、約70もの寺社が集まっている。この地域には、忍者寺として有名な「妙立寺」、国指定天然記念物の大桜を有している「松月寺」など、歴史と物語を伝える寺社が軒を連ね、その町名にふさわしい風情と佇まいを遺しており、多くの観光客が訪れている。さらに、野町地区(伝統的建造物群保存地区、文化庁)は前述のように伝統的な街並みが保存されていることから、この地域は道路が狭隘であり、非常に入り組んでいることも特徴として挙げられる。

したがって、観光客である土地勘のない可能性が高い

人が多く訪れているこの地区は、地震や火災が起きた際には、その地域での被害は甚大なものになると想定され、本研究で提案する EMSS の効果を確認するのに適しているといえる。

2.2.金沢市市民防災訓練の概要

本研究の実験は平成 30 年 8 月 26 日に開催された金沢市市民防災訓練の一環として実施した。実験の対象地域は前述の野町地区で、参加者は 600 名程度、その地域の拠点避難場所は旧野町小学校である。金沢市では、災害発生時、住民はまず各町会の一次避難所に避難し、その後町会よりも少人数のくくりである班ごとに地域の拠点避難場所に避難する。野町地区でも同様に、各町会の一次避難所に避難したのち、班に分かれて拠点避難場所である旧野町小学校に避難した。なお、実験対象地域は 26 町会 140 班で構成される。今回の防災訓練も前述のような避難方法をとるため、班を一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った。

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、避難に使用してもらった。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。表示情報の制限パターンについては後述する。さらに、実際の災害時には、道路が被災していることを想定し、一部道路を通行不可能箇所を設定することで、人々の避難行動特性を把握する。通行不可能箇所は、ブロック塀が面している狭い通路や瓦が道路側に落下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調査し、野町の防災士の方などと決定した。本実験では、避難者が通行不可能箇所を発見した際、通行不可能箇所の情報を他の携帯端末と共有する。そのため、通行不可能箇所に誰も到達していない避難開始時には、アプリケーション上に通行不可能箇所の位置情報は表示されていないように設定した。

2.3. 使用アプリケーションの特徴

本研究の実験では、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通行不可能箇所、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 秒ごとに携帯端末の位置座標を記録する機能を搭載した。アプリケーションの条件設定で表示条件の制限別にグループ 1, 2, 3 の 3 グループに分けた。「グループ 1」を選択した場合は前述の①使用者の現在位置と④拠点避難場所、「グループ 2」を選択した場合は前述の①、④と②他の使用者の現在位置、「グループ 3」



図 2 使用アプリケーション画面

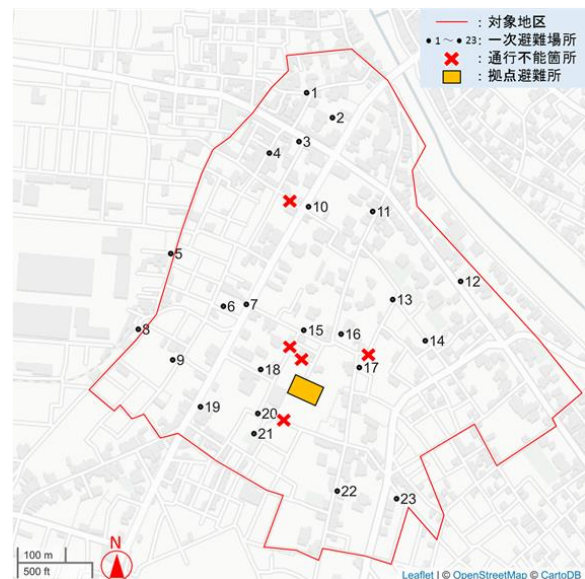


図 3 実験対象地区の一次避難場所と通行不可能箇所を設定する位置

を選択した場合は前述の①、②、④と③通行不可能箇所を表示する。

また、アプリケーション起動時の画面例を図 2 に示す。図 2 のアプリケーションはグループ 3 で設定したため、自分（使用者）の位置情報、他人（他の使用者）位置情報、通行不可能箇所が表示されている。（拠点避難場所は表示範囲内でない）図 2 のように同時刻にアプリケーションを起動している他人の位置情報が地図上に複数表示される。

2.4. 実験方法

地震発生アラートが発令後、図3中の一次避難所に避難してきた住民に対して各班に1台ずつ、アプリケーションの条件設定が完了したiPhoneを渡す。その後、住民は通行不可能箇所を迂回しながら、拠点避難場所を目指す。アプリケーションの条件設定において、グループ「1」～「3」はランダムに決定する。また、各一次避難所に配置したスタッフは土地勘のない観光客役として、上記と同様の方法で避難する。通行不可能箇所に配置したスタッフは、住民が通行不可能箇所に到達した時点でアプリケーションのタイプ「物」を選択し、起動することで、他の端末に通行不可能箇所の情報を共有する。拠点避難場所に避難した住民からiPhoneを受け取り、通過経路のデータログをサーバに送信する。被験者に関する属性の集計結果を表1に示す。

3. 大人数大規模避難実験の結果及び考察

本実験ではデータ収集のために163台のiPhone 6sを用意したが、記録されたログデータにも不適切なログデータが存在し、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する前処理を行った結果解析対象データは137台分である。処理は「2時点間のログデータの移動距離が20m以上ある場合には、その時点で分割し、多くのログデータが連続している群を正しいとして利用する」、「設定したスタートポイントから30m以内のバッファ内からスタートしているデータを解析対象とする」の2つの方法を行った。距離は被験者の移動速度からそれ以上の移動は考えられない値を設定した。図4は実験で収集した137台分の行動ログを重ね合わせたものである。この図4から、拠点避難場所への移動行動には、細街路ではなく、できるだけ幅の広い道路を利用しながら避難行動がとられていること、設定した通行不可能箇所において、通行を許可されなかった移動行動記録が多くあることが確認できる。

また、避難速度が遅いもしくは早い行動ログが記録された箇所を図5に示す。図中に大きな丸で囲った箇所は一次避難所の位置を示す。ほとんど移動していない、移動速度が遅い(0.01m/sec以下)箇所は主に一次避難所、大通りに面した交差点及び通行不可能箇所付近であることが確認できる。特に、通行不可能箇所近辺の移動速度が遅くなっているところでは、アプリケーションを確認し、迂回ルートの検討を行うなどの行動が行われていると考えられる。一方、移動速度が速い(1.8m/sec以上)箇所は、拠点避難場所近辺に多いことが確認できる。目的地(拠点避難場所)にたどり着くことを認識することにより避難速度が速くなることが多いと考えられる。ほとんど移動していない避難速度が遅い箇所では

表1 被験者の属性等に関する情報

グループ	被験者数	性別	被験者数
1.(自)	46	男	93
2.(自他)	45	女	44
3.(自他物)	46		

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代以上	2

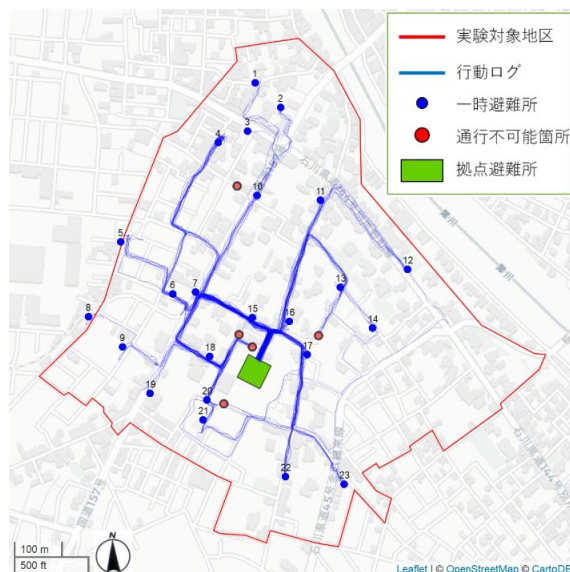


図4 全被験者のデータログ

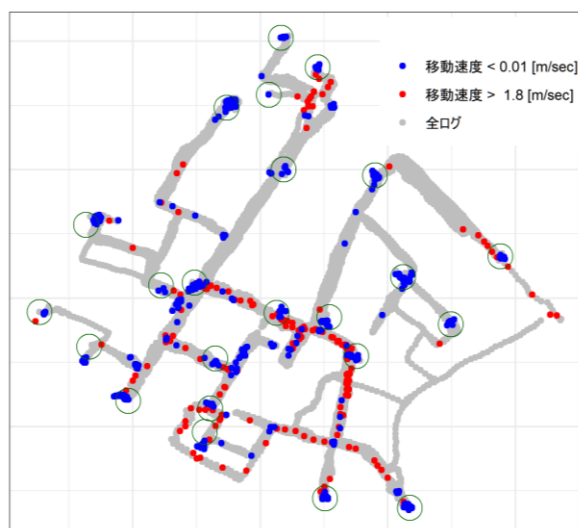


図5 移動速度の遅速が生じた場所

アプリケーションを確認する余裕もあると考えられることから、このようなアクションを検知し、その直後に適切な情報提供を行うことがより効率的な避難を促すこと

ができると考えられる。

グループ毎に一次避難所において被験者に iPhone を渡した時刻（記録開始）から避難開始（単位時間（5秒）あたり 3m 以上移動した時刻）までの時間の分布を図 6 に示す。本研究において、「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」と定義し、分析を進める。これは「不動産の表示に関する公正競争規約施行規則」⁷⁾で「徒歩による所要時間は、道路距離 80m につき 1 分間を要するものとして算出した数値を表示すること」と定められていることから、その 50%の歩行速度である 0.67m/s を基準に定義したものである。避難開始までに要する時間は各グループとも同じであることを帰無仮説として分散分析を行ったところ有意確率 p 値が 0.081 となり、帰無仮説を棄却できなかった。このことから、アプリケーションから得られる情報の違いにより、避難開始までの時刻にはほとんど影響はなく、また、避難行動の方針決定やアプリケーションを確認するなど数秒～50 秒程度の時間が必要であったと考えられる。次に、各被験者の行動ログについて連続する 2 時刻における位置情報の差分をとることにより、移動方位を算出する。さらに移動方位について 2 時刻間の差分から直前の時刻の避難方向からの転換角度を算出する。転換角度が小さいことは、前回と同様の方向に避難行動を行っていること、大きい場合には避難の方向転換等を行っていることと推定される。避難中における転換角度の推移を図 7 及び図 8 に示す。また、それぞれの行動ログを図 9、図 10 に示す。図 7 は通行不可能箇所を通過しなかった事例、図 8 は通行不可能箇所近辺を通過した事例である。図 7 及び図 8 はともに一次避難所からの避難開始直後はアプリケーション（端末）を確認しどのように避難するかを確認していることが想定され、移動方向はかなりばらつきが分かる。図 7 の場合、避難行動を開始してからはおおむね安定している。一方で、図 8 の場合、避難行動を開始してから通行不可能箇所へ近づくまでの時間は、移動方向はおお

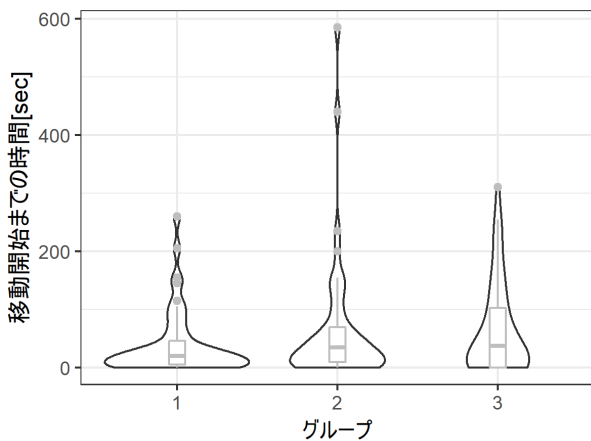


図 6 避難開始までに要する時間

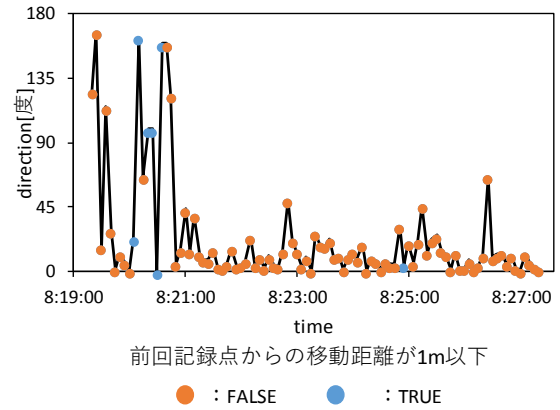


図 7 転換角度の推移（被験者 ID : 76）

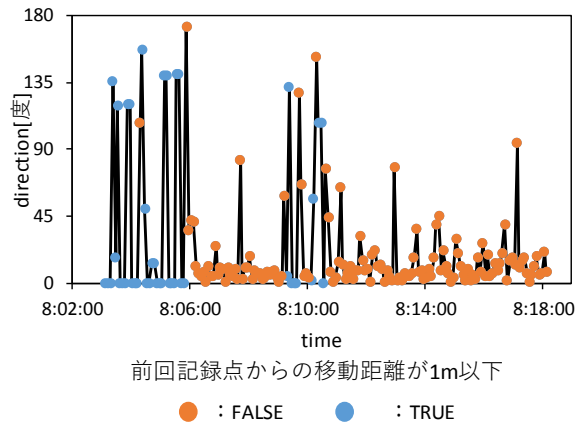


図 8 転換角度の推移（被験者 ID : 55）



図 9 行動ログ（被験者 ID : 76）

むね安定していることが分かる。その後、通行不可能箇所近辺でその先の道路が通行できないことに気付いた直後から移動方向が大きくばらつく結果であった。これは、図 9 に示す行動ログから確認できるように通行不可能箇所があることを察して引き返しが生じ、避難方向を大きく変更する必要があるためである。本実験の結果から通行不可能箇所を通過、または通行できない道路があることを認識した後も、アプリケーションを利用することで別の避難経路の選択が行いやすくなることや避難中にア

アプリケーションを確認することが大きなタイムロスにならないことが確認された。今後のシステムの改善点としては、引き返し等による移動方向の転換を検知しリアルタイムで適切な情報を提供できる可能性があることがわかった。

4. 本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 を活用したリアルタイムで避難を支援するシステム導入したアプリケーションを使用し、避難行動について調査をする実験を行った。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、分析を行った。その結果、アプリケーションの画面上で通行不可能箇所を表示するだけでは不十分であり、より容易に利用しやすいアプリケーションの作成を行う必要があることが分かった。例えば移動速度が遅くなった地点や移動方位にばらつきがある地点では、アプリケーションから情報を得ることができる時間があると判断し、リアルタイムの避難情報をよりわかりやすく大きく表示するなどと考えられる。他にも、他人の位置情報や通行不可能箇所などの避難に関わる情報を得ている場合でも、情報有無の避難開始時刻は僅差なので、積極的にアプリケーションの活用を勧めることが重要であると考えている。

一方、上記の実験を通して、EMSS の将来の展望も明らかとなった。今後、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、さらに安全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、落ち着いた避難行動ができるようになると考えている。改良の例としては、誰も通行していない道路や迂回している行動が見られる箇所を避難経路や移動方位

の異常の有無から自動的に判断し、アプリケーション上にリアルタイムで通行できない経路の表示をすることが挙げられる。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による住民への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、どのように情報を与えるのかは社会的にも重要かつ喫緊の課題である。

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助力を受けた。また、アプリケーション作成及び実験実施に関しては金沢大学大学院（当時）の吉田成宏氏、清水大樹氏によるところが大きい。ここに記して謝意を表します。本研究の一部は、JSPS 科研費 18H01677-02（代表者：宮島昌克）及び公益財団法人三谷研究開発支援財団（代表者：高田良宏）の援助を受けた。

【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) Tomoya Kitazato, Miku Hoshino, Masaki Ito, and Kaoru Sezaki: Detection of pedestrian flow using mobile devices for evacuation guiding in disaster. Journal of Disaster Research, Vol. 13, No. 2, pp. 303-312, 2018.
- 7) 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), 2017 年 73 巻 2 号 pp. 91-96
- 8) 町丁別人口・世帯数【改正後】 - 金沢市役所, https://www4.city.kanazawa.lg.jp/11018/toukeidatasyu/tyoutyou_2.html (2019 年 1 月 20 日閲覧)
- 9) 不動産の表示に関する公正競争規約及び施行規則 - 全国公正取引協議会, http://www.jfftc.org/rule_kiyaku/pdf_kiyaku_hyouji/066.pdf (2019 年 1 月 20 日閲覧).



図 10 行動ログ (被験者 ID: 55)