

避難訓練時の新たな避難行動観測手法の開発とその活用に関する研究

大澤 脩司¹・南 貴大²・松岡 佑樹³・藤生 慎⁴・高田 和幸⁵

¹学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
e-mail : osawa-ed904@stu.kanazawa-u.ac.jp

²学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
e-mail : taketaka0503@stu.kanazawa-u.ac.jp

³学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
e-mail : yuki912@stu.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
e-mail : fujii@se.kanazawa-u.ac.jp

⁵正会員 東京電機大学 理工学部 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)
e-mail : takada@g.dendai.ac.jp

2011年3月11日14時46分に発生した東日本大震災では、当時の想定を上回る巨大な津波により甚大な人的・物的被害が発生した。この経験から、今日では津波被害を軽減する対策の1つとして避難訓練の重要性が認識されている。これまで多くの既往研究から避難訓練の有効性が示されており、いかにその効果を高めていくかが今後の重要な課題である。このためには避難訓練結果のフィードバックが必要となる。本研究では避難行動の新たな観測手法および避難訓練結果のフィードバック方法を提案する。具体的には、提案手法により観測し得る避難行動の基礎集計から得られる移動速度、避難経路の情報に加え、応用的な分析として避難の開始タイミングと避難に要する時間を示すことで、避難訓練結果のフィードバックを狙う。

Key Words : earthquake, tsunami, evacuation behavior, evacuation drill, evacuation vulnerability

1. はじめに

2011年3月11日14時46分に発生した東日本大震災では、当時の想定を上回る巨大な津波により、甚大な人的・物的被害が発生した。この経験から、津波による人的被害を軽減するためには堤防建設などのハード面での対策だけでは不十分であり、ソフト面での対策が不可欠であることが認識されている。津波による人的被害を軽減するために迅速な避難が重要であることは言を待たない。一方で、津波避難には様々な壁が存在しており、すべての住民が迅速に避難できるような社会を形成することは依然として我が国における防災上の重大課題の1つである。このような中で、一般に「釜石の奇跡」と呼ばれる東日本大震災における岩手県釜石市での事例¹⁾をはじめとする東日本大震災での教訓を踏まえ、ソフト面での対策として津波避難訓練の重要性が改めて認識されている。津波避難訓練についてはこれまで多くの研究・取り組みが行われており、その効果が報告されている^{例えは2)}。突発

的な事象である地震・津波に対して、日頃より訓練によって備えておくことの重要性は明らかである一方で、避難訓練の課題として訓練の形骸化が今日までに繰り返し指摘されてきた。避難訓練が津波被害を軽減する上で重要な役割を持つ以上、いかに訓練の形骸化を防止するか、加えて訓練の効果をいかに高めていくかという視点での十分な検討が必要であろう。筆者らはこれら課題を解決する要素の1つとして、訓練に参加する住民はもちろんのこと、訓練の主催者に対しても、避難訓練の実態について十分なフィードバックを行うことが重要であると考ええる。このためには避難行動を定量的に把握することが必要不可欠である。

避難行動を定量的に把握する試みはこれまでにも多く行われており、アンケート調査やビデオ撮影による調査³⁾⁴⁾などの典型的な方法のほか、近年ではGPSロガーを用いた方法やスマートフォンのアプリケーション（以下、スマホアプリ）を用いた方法などが試みられている⁵⁾⁶⁾。これら既往の方法を避難行動の観測手段という点で整理

すると、まず、アンケート調査では住民の防災意識など、避難者の行動を外的に観測したのみでは得られない情報を得ることができる反面、どのような速度・経路で避難したかなど、実際の避難行動を把握することは難しい。ビデオ撮影では移動速度を観測することは可能であるが、避難訓練の実施地域全体に渡って撮影することは困難であり、一部の代表的な地点での避難行動を観測することが限界である。これら典型的な手法に対し、GPSロガーやスマホアプリを用いた手法では、避難者の行動を避難開始時から避難終了時まで詳細に把握することができるため、速度や避難経路の情報を取得することは容易である。一方で、観測できるのはGPSロガーやアプリの利用者の行動のみであるため、訓練参加者全体の行動を把握することには向かない。以上の既往手法による避難行動観測の課題は、「実際の避難行動を把握することが困難である」、「訓練参加者全体の行動を観測することが困難である」の2点に整理できる。

避難訓練の実態について十分なフィードバックを行うためには、これら2点の課題が解決される必要がある。1点目の課題は、実際の避難行動についてフィードバックを得ることができなければ、住民が訓練から気づきを得ることは難しいために解決される必要がある。訓練の主催者は、訓練の実態を踏まえて避難計画や防災計画の立案・実施を行う立場にある場合がほとんどであると考えられる。このことから、訓練参加者の一部ではなく参加者全体の避難行動に関するフィードバックを得ることができなければ、主催者が前述のような活動を行うことが困難となるため、2点目の課題が解決される必要がある。

以上を踏まえ、本研究では、避難訓練参加者の避難行動を全体に渡って観測するための手法および、観測情報を活用した訓練参加者・主催者への訓練結果のフィードバック手法を提案することを目的とする。

2. 既往研究の整理と本研究の位置付け

本章では津波避難訓練における訓練参加者の避難行動の観測手法に関する既往研究を整理するとともに、本研究で提案する手法と比較し、提案手法の特徴を整理する。

照本³⁾は津波の危険性と避難の課題に対する地域住民の認識を高めることを目的とする実践的な訓練の試行について報告している。道路の一部は通行できない、想定している避難所の一部は使用できないなど、実際の被災後を想定した訓練を実施しており、避難訓練の新たな展開と言えよう。避難行動は調査員による避難場所到達時刻の調査と、紙面調査による避難状況の把握という典型的な形で行われている。避難者の移動時間の把握も試みられているが、紙面調査の回答者の感覚を調査したもの

であり、必ずしも実情を捉えられていない可能性がある。

辻原⁴⁾は建物内に設置された防犯カメラとビデオカメラを用いた屋外での定点観測映像を用いた避難行動調査を行っている。ここでは津波避難訓練ではなく建物火災からの避難訓練を対象としているが、その調査手法は訓練の想定に限定されない適用性を有すると考えられる。この手法では避難者の実際の避難行動を把握することができるが、一般には避難訓練の実施エリア全体をカバーするほどのカメラを設置することは困難であり、調査地点は限定されやすい。加えて、映像からは訓練参加者の移動速度を把握できても、避難経路を把握することは困難である。これは映像から同一人物を同定することの困難さに依存している。

村上⁵⁾と森田⁶⁾はGPSロガーを用いた避難行動の把握を試みている。村上⁵⁾は避難者の一部にGPSロガーの装着を依頼する形で、森田⁶⁾はGPSロガーを装着した調査員が避難者を追跡する形でそれぞれ避難行動を調査している。これらGPSロガーを用いた調査手法では、紙面調査やビデオ撮影からは把握できなかった避難者の移動速度、移動経路といった避難行動の実態を把握できる。一方で、GPSロガーを訓練参加者のほぼ全数を調査できるほどの個数用意することはコストの面で容易ではなく、一部のサンプルに限定された調査になりやすい。避難行動の実態をより客観的に把握するためには、サンプルの確保は重要な課題である。

孫⁷⁾は避難訓練の参加率が低い、訓練参加者の主体性が奪われていること、参加者の具体的な行動を把握することが困難、訓練結果のフィードバックが不十分であることなどを避難訓練の課題として指摘し、これに対して住民が主体となる避難訓練の手法として、スマートフォンをベースとする津波避難アプリを提案している。スマートフォンは近年急速に普及しており、誰もが自由にアプリを使用できることから、ビデオ撮影やGPSをロガーによる調査に比べれば調査機材による制約は受けにくい。孫⁷⁾が主張するように、津波避難訓練支援ツールとしての効果、地域全体へのフィードバックが期待される。一方で、津波避難アプリの性格上、個々のユーザーの避難行動を調査し結果をフィードバックすることに焦点が当てられているため、訓練参加者者全体の行動を把握することは難しい。住民が主体的に避難訓練に参加し、訓練から学びを得ることと同様に、訓練の主催者が住民の避難行動の把握・避難の課題抽出を行い、避難計画や防災対策へ反映することも重要である。このためには訓練参加者全体の避難行動を客観的に把握することが必要不可欠である。

避難訓練の効果を高めていくためには、訓練結果を参加者・主催者へフィードバックすることが重要であることは1章で指摘した。以上の既往研究からは、GPSロガ

一の活用やスマートフォンを活用した津波避難アプリの登場により、訓練結果を参加者にフィードバックする試みが行われつつあることがうかがえる。その一方で、訓練の主催者に訓練結果をフィードバックし、避難計画や防災計画へ反映する試みは十分行われていないということが指摘できる。このためには先に指摘したように、避難訓練参加者の避難行動を把握することが必要であるが、この点に着目した研究はこれまでにない。そこで、本研究では避難訓練参加者のほぼ全数に渡って避難行動を観測するための方法を提案する。また、提案手法により得られる観測情報を活用した訓練結果のフィードバック方法についても検討する。

3. Wi-Fi MACアドレスの観測による避難行動観測

本章では、本研究で提案する避難行動の観測方法について概説する。

本研究では、スマートフォンのWi-Fi MACアドレスをセンサを用いて観測することで、避難訓練参加者の避難行動を観測することを試みる。スマートフォンのWi-Fi MACアドレスに着目する理由は以下の2点にある。

- i) スマートフォンのWi-Fi MACアドレスは、端末ごとに固有であるため、観測地点を複数設けることで、同一端末の移動履歴を把握可能である。
- ii) 近年スマートフォンは急速に普及しており、訓練参加者の多くが所持していると考えられることから、客観的な避難行動を把握するために十分な数の参加者の行動を観測できる見込みがある。

次に、Wi-Fi MACアドレスを観測するための観測機器について述べる。本研究では図-1に示すようなRaspberry Pi[®]をベースとした観測機器を使用する。ここで、Raspberry Piは名刺サイズの超小型コンピュータであり、ハードウェアと接続しやすい特徴を持つことから電子工作の分野で近年注目を浴びている。本観測機器は非常に小型であり更にモバイルバッテリーで駆動させることが可能であるために移動性が非常に高く、設置・撤去が容易であるという特徴を有する。Wi-Fi MACアドレスの取得は、観測機器の付近にWi-Fiの電波を発する端末が存在する場合に行われ、アドレスの取得時刻と暗号化されたWi-Fi MACアドレスを記録する(図-2)。このとき、MACアドレスの暗号化は同一の規則に則って実行されるため、異なる調査機器で観測した情報でも、同じ端末の暗号化後のMACアドレスはすべて同一のものが記録される。このような性質のために、複数の観測機器を設置することで、端末の移動履歴をトラッキングすることが可能である。ここで、1人の人間が所有している端末は1台のみであると仮定すれば、端末の移動履歴をある人物の移動

行動に置き換えて解釈することができる。更に、観測情報に観測地点の情報を付した上で、同一人物ごとに時系列順に並び替えることで、各人物の移動経路も把握することができる。なお、本提案手法によって観測される暗号化後のMACアドレスからは、「ある端末がある時刻に観測機器の設置場所付近に存在していた」という事実以上の情報は得ることは不可能であり、端末の所有者が特定されることもない。これは、MACアドレスは端末ごとに固有であり、世界中で1アドレスしか存在しないが、誰がどのアドレスの端末を所有しているかは端末の製造メーカー及び販売者ですら把握不可能な情報であるための保証されるものである。

以上の手法で得られる観測情報は、観測元を特定の1つの観測機器に限定した場合は、設置場所付近における「ある時刻におけるある人物の存在情報」を示すものである。しかし、複数の観測機器から得られた観測情報を共有化することで、移動速度や移動経路の把握を可能としている。同種の情報を観測可能なGPSロガーと比較すると、GPSロガーでは一定時間間隔ごとに位置情報が取得されるため、移動履歴を高密度に取得できる一方、本提案手法では移動履歴は観測機器を設置した周辺のみで取得されるため、情報の密度としては低くなっている。

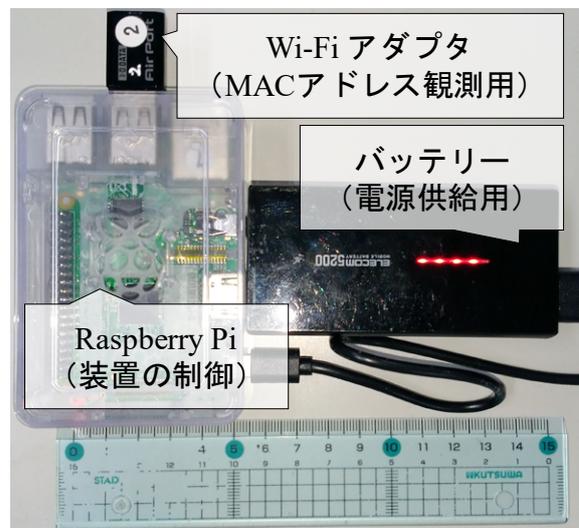


図-1 観測機器の外観

観測時刻※	観測MACアドレス (暗号化処理後)
1970 09:00:44.998154000 JST	54cb6676570b8f38de6e3866e5a9650426dcb966736de9b1717db107db15066
1970 09:00:45.009312000 JST	54cb6676570b8f38de6e3866e5a9650426dcb966736de9b1717db107db15066
1970 09:00:45.037163000 JST	54cb6676570b8f38de6e3866e5a9650426dcb966736de9b1717db107db15066
1970 09:00:45.139574000 JST	54cb6676570b8f38de6e3866e5a9650426dcb966736de9b1717db107db15066
1970 09:00:45.140626000 JST	54cb6676570b8f38de6e3866e5a9650426dcb966736de9b1717db107db15066
1970 09:00:46.518854000 JST	f6e2ba78245b0d0723c0e888f1bcf4b46c9edf55b7a62fd1a9e759e888
1970 09:00:47.515564000 JST	f1e9e888f6e015ab091516f53f3e34d921a4160619b9392510cb8f07f8ca2
1970 09:00:47.809461000 JST	1e536cab70c100f17b79e84594b12a8b3f727512ef133730a62372f1906e245
1970 09:00:49.396989000 JST	37d6681bc05a0bf0c09fa899bcf5215caf980b4921e89053a3702a3545e709
1970 09:00:49.409943000 JST	37d6681bc05a0bf0c09fa899bcf5215caf980b4921e89053a3702a3545e709
1970 09:00:49.421921000 JST	37d6681bc05a0bf0c09fa899bcf5215caf980b4921e89053a3702a3545e709
1970 09:00:50.076512000 JST	5396601965b1373d1e24819d8a932e6824fa9fccc1f5e724e51003edd9d4c34d

※観測時刻はRaspberry Piのインターネットの接続状態で記録が変化(インターネットを介して時計合わせをしているため)
 接続状態: 観測時点本来の時刻が記録される
 未接続状態: 時計合わせ前のデフォルトの時刻が記録される
 未接続の場合に限り、実際の観測開始時刻とRaspberry Pi側の観測開始時刻の差分を用いた時刻補正が必要

図-2 Wi-Fi MACアドレスの観測記録形式

しかし、避難行動の観測を目的とした場合には、GPSロガーのように移動速度や移動経路を僅か数秒で移動可能な範囲という非常に細かい区間で観測する必要性は、必ずしもないと考える。そのような細かい区間（距離的に短い区間）で避難行動が劇的に変化することは考えにくいのである。どれだけ細かくとも、移動速度については道路の交差点から交差点までの平均速度が、移動経路については、どの交差点からどの交差点へ移動したかがそれぞれ把握できれば、避難の実態を把握することは十分可能であると考えられる。本提案手法でも、各交差点に観測機器を設置すればこのような規模の情報取得は可能であり、GPSロガーに比べて情報の取得密度が劣ることは、必ずしも本提案手法の欠点を示すものではない。

4. 提案手法の津波避難訓練への適用

本章では3章に述べた手法を実際の避難訓練に適用した結果を述べる。まず適用対象とした地域と避難訓練の概要を整理し、次に避難行動の観測結果を整理するとともに、提案手法の適用可能性について考察を示す。

(1) 対象地域・避難訓練の概要

本研究では愛知県田原市堀切校区（西地区・東地区）で実施された避難訓練において調査を実施した。田原市は2017年7月31日時点での人口は63,125人、世帯数は22,126世帯であり、市域は愛知県の南端に位置する渥美

半島の大半を占めている。

愛知県では内閣府が公表した南海トラフ巨大地震等の断層モデルをもとに県独自に震度分布、津波浸水分布、被害予測を行っており、この検討結果を踏まえて田原市では詳細な被害予測を行っている⁹⁾。この中で、堀切校区では東地区では最大で想定浸水深が2~5m、西地区では最大で5~10mで、30cm以上の津波の予想到達時間は15~20分であり（図-3）、予想される津波による死者が市全体の988人のうち602人が同校区における被害であることが示されている。こうした想定を踏まえ、堀切校区では避難の目標時間を15分に設定している。

避難訓練の実施日は2017年7月2日であり、午前7時の地震発生と同時に住民は避難を開始するという想定のもと実施された。堀切校区東地区の住民は渥美運動公園、西地区の住民は寅之神社がそれぞれ指定避難場所であり、居住地域ごとに住民は指定された避難場所へ避難する。なお、渥美公園は避難者の居住地から離れた場所に位置していることから、田原市では浸水想定区域から更に1.5mの標高がある地点をセーフティラインとして定め、少なくとも15分以内にセーフティラインまで到達できるように全力で避難するよう住民に促している。また、住民には原則として徒歩避難をするようとの指示が出されている。当日は午前7時に防災無線を通して住民に地震発生がアナウンスされ、訓練が開始された。

(2) 観測情報の基礎集計

図-4に観測機器の設置地点の位置図を示す。図中の青

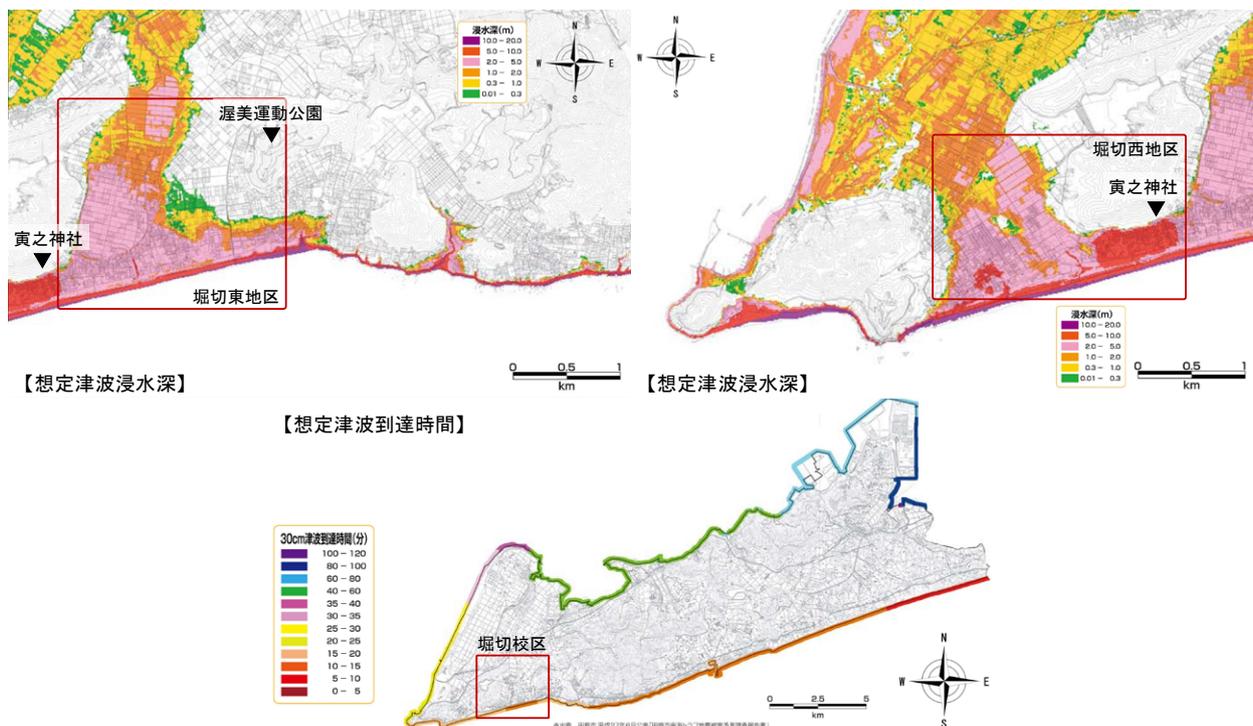


図-3 堀切校区における想定津波浸水深と津波到達時間⁹⁾

丸が観測地点を、数字は観測地点の番号をそれぞれ示している。観測地点は避難訓練の実施地域を網羅するように、主要な交差点を中心に選定し、東西各地区の避難場所2箇所とセーフティライン2箇所を含む全23箇所設けた。

本節では、得られた観測情報から「各観測地点における観測人数」、「区間平均移動時間」、「移動経路」に関する集計手順及び集計結果を示す。以降の分析では避難訓練開始の前後20分間の観測データを対象とする。

図-5に各調査地点における観測人数を示す。ここでは複数の端末を持ち歩く人はほとんどいないと想定し、1つのアドレスが1人の存在を示すものであると仮定している。なお、同一個人が複数の観測地点で観測されている場合もあるが、同一個人であっても、観測地点が異なれば各観測地点で1人として集計する。図-5より、訓練実施時間中に1人も観測されなかった観測地点が複数見受けられる。これは、この地点が避難経路として利用されなかった可能性を示唆していると解釈できる。すべての観測地点で避難者が観測されてしまうと、観測点以外の場所を避難者が通過した可能性を否定できない。そこで、「この場所を通過した避難者はいなかった」という情報を得るために、観測人数が0になるような場所へも観測機器の設置も必要になると考える。また、観測地点3や観測地点9において特に観測人数が多くなっていることも読み取れる。観測地点3は西地区の避難所である寅之神社であり、最も人が集まりやすい観測地点であった。観測地点9は堀切校区の公民館であり、同地区の主要な道路に面している。加えて住宅地の中心的な位置に立地しているため、他の観測地点に比べて人通りが多いことが、観測人数に影響していると考えられる。それ以外の観測地点では、最終的な避難場所やセーフティライン（観測地点20および21）での観測人数と比較しても妥当な観測数であることが読み取れる。

複数の観測地点で観測された人物の場合、観測地点間での観測時刻の差分を求め、更に観測地点間の距離で除すことで、その観測地点間での移動速度が得られる。そこで、観測順序が連続した観測地点間での移動速度を集計し、区間ごとにその平均値を求める。図-6に各調査地点間の平均移動速度を示す。観測順序が連続した観測地点間であっても、途中の観測地点では観測できなかった場合などが存在するため、隣接した観測地点ペアであっても、平均移動速度が定義されない区間が発生しうる。このような平均移動速度は、移動に時間を要する区間の把握や、住民の避難可能速度の実態把握などへの応用が期待される。

個人別に、観測された順に観測地点を結ぶことで移動経路が把握できる。図-7に観測された移動経路の一例を示す。観測されたすべての個人の移動経路を集計することで、同一経路の利用者数や、各区間の経路としての

利用率を算出できる。これらは避難時の経路選択行動を把握するだけでなく、避難経路の混雑予測などにも活用できると考えられる。今回の避難訓練では徒歩避難が原則とされたが、実際の避難時には自動車や自転車などを

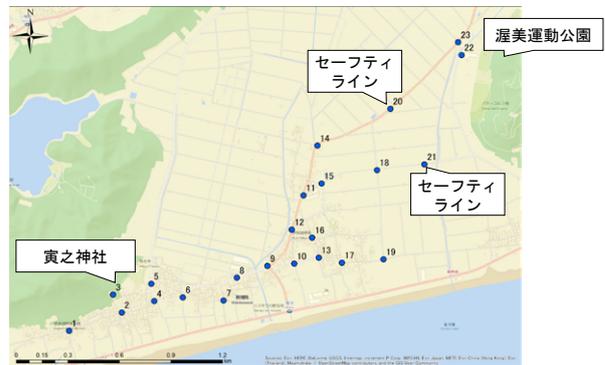


図-4 観測地点の位置図

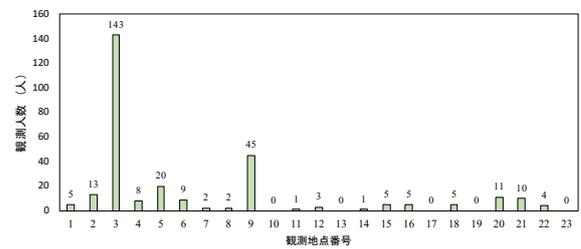


図-5 各観測地点における観測人数

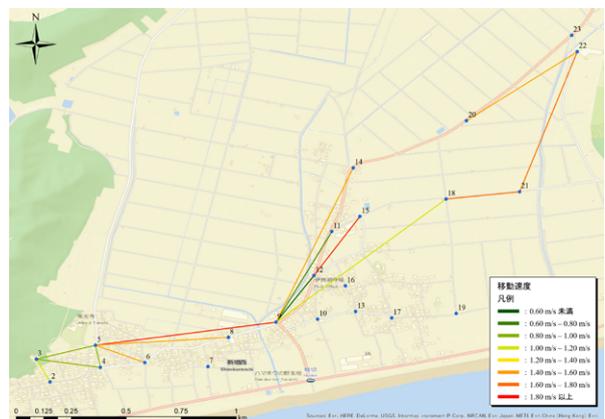


図-6 区間平均移動速度

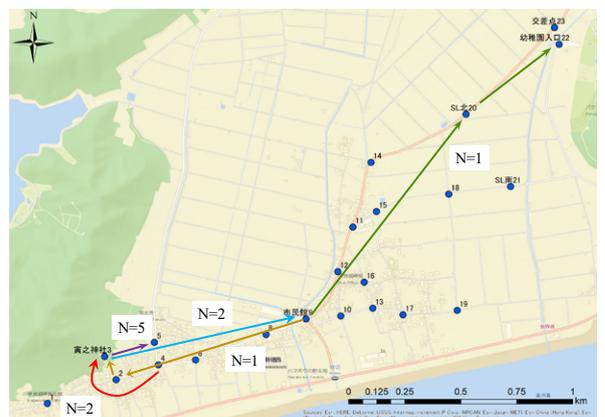


図-7 観測された移動経路の例

利用する行動も当然想定される。これら徒歩以外の手段での避難者と徒歩避難者が同一経路を利用すると思われ、事故や混雑を招くおそれもあり、利用経路の情報は適切な避難誘導策の検討に活用可能であると考えられる。

(3) 避難開始・避難完了時刻に関する分析

実際の津波避難では、避難の開始時刻が犠牲者数に大きく影響することは言うまでもない。従って、住民が発災後のどのタイミングから避難を開始するのかを把握することは重要な課題である。しかし、従来の避難行動観測手法では、避難場所に調査員を配置するなどして、可能な限り避難完了時刻を正確に記録する試みは行われている³⁾が、訓練参加者全体の避難開始タイミングを把握することは困難であった。そこで、本提案手法を用いて得られる観測情報を活用して、訓練参加者の避難開始タイミングを把握することを試みる。

本提案手法では、個人ごとに「何時にどの観測地点を通過したか」を把握可能である。このとき、避難訓練の実施地域を網羅するように観測機器が設置されており、かつ観測漏れなどが十分少ないとすると、ある個人の一番最初の観測情報は、その個人が「どこの地点からいつ避難を開始したのか」を示す情報であると解釈できる。このように解釈したとき、全個人の最初の観測情報のみを抽出すれば、観測地点ごとの避難タイミングが把握可

能である。本稿では、「観測された情報はすべて避難訓練参加者のものである」、「観測漏れはなく、各個人の最初の観測情報は、その個人の避難開始位置及び時刻を示すものである」という仮定のもと、十分な観測データが得られている観測地点3および観測地点9を例に、分析結果を示す。なお、観測地点3は避難場所に該当するため、この地点における各個人の最初の観測情報は避難完了時刻を示すものとなる。図-8に観測地点3における避難完了時刻の分布を、図-9に観測地点9における避難開始時刻の分布をそれぞれ示す。図-8より、田原市が避難の目標値に設定している15分以内（7時15分）までに避難できた参加者は約60%であることが分かる。しかし、この中には避難訓練開始前（7時以前）に避難を完了している者も含まれるため、実際には目標時刻以内に避難できた訓練参加者は半分程度である可能性が否定できない。また、図-9より、避難訓練開始時点（7時時点）で80%近い参加者が避難を開始していることが読み取れる。これは避難訓練が本来の目的を果たしておらず、形骸化している可能性を否定できない。訓練の実施方法について何らかの工夫が必要であると言える。

以上は観測情報がほぼ完全であるという強い仮説設定下での分析結果である。前節に述べたように、観測地点9は対象地域における主要道路沿い及び住宅地の中心部に立地しているため、この地点で観測された者の中には、

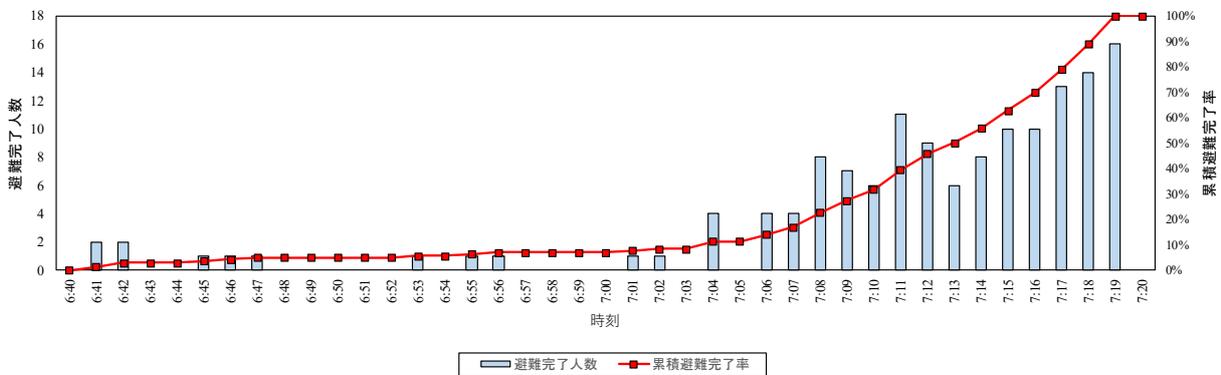


図-8 観測地点3における避難完了時刻の分布

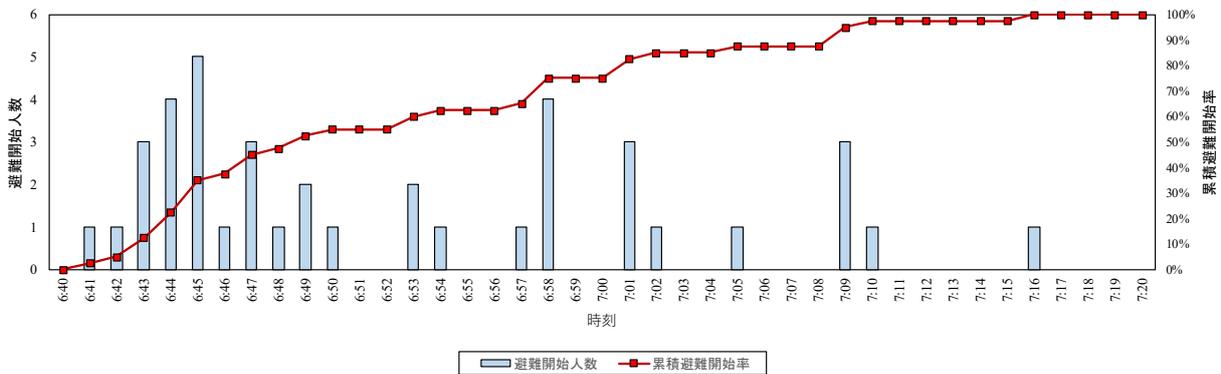


図-9 観測地点9における避難開始時刻の分布

訓練に参加しなかった地域住民も少なからず含まれている。このため、実際には訓練開始時刻以前に避難を開始した住民の割合はこれより低い値になると考えられる。一方で、観測地点3については、高台に位置する神社であり、地域住民であっても休日の早朝に立ち寄る者は少ないと考えられることから、訓練参加者でない住民の行動情報の混入による影響は少ないものと考えられる。

(4) 平均移動速度を用いた避難必要時間の推定

本章(3)節では、区間ごとに平均移動速度を示した。これを更に全体で平均すると、平均移動速度は1.13 m/s という結果となる。この結果を活用し、各観測地点が所属地域で指定されている避難場所までの避難にかかる時間(避難必要時間)を推定する。このとき、避難場所までの距離を各観測地点からの最短距離として考えることで、最短で避難所まで到達できる時間として求める。ここで、西地区である観測地点1-9は観測地点3の寅之神社へ、東地区である観測地点10-23は渥美運動公園の入り口に相当する観測地点22へそれぞれ避難するとして、避難必要時間を求める。また、観測地点10-23については、田原市が設定した2つのセーフティラインまでの避難必要時間もそれぞれ求める。ただし、セーフティライン上に位置する観測地点20および21と、セーフティライン以南に位置する観測地点23は安全な場所であると考え、避難必要時間算出の対象外とする。図-10に各観測地点から各避難場所までの避難必要時間を、図-11および図-12に各観測地点から各セーフティラインまでの避難必要時間をそれぞれ示す。

図-10について、避難の目標時間とされる15分に対して、西地区では観測地点8と9において、地震発生直後は揺れが収まるまで避難を開始することは困難であることを考慮すると、避難に余裕がほとんど存在しないことが示されている。また、東地区ではほとんどの観測地点から、避難場所まで15分以内に到達することは困難であることが読み取れる。図-11および図-12より、避難場所をセーフティラインまで緩和しても、住宅が集中した場所にある観測地点10,13,16,17からは15分以内に到達することが困難であることが示されている。避難路の状況が平時と変化のない避難訓練における避難行動から推定した避難必要時間であっても、以上のように地域全域に渡って避難に余裕がないことから、早急な対策が必要であると言える。

5. まとめと今後の課題

(1) まとめ

本研究は、避難訓練の参加者・主催者への訓練結果の

フィードバック手法を提案することを目的として、新たな避難行動の観測手法の提案及びその適用性の検討を行った。避難行動の観測手法としては、近年著しく普及しているスマートフォンのWi-Fi MACアドレスの観測に基づく手法を提案し、実際の避難訓練に適用した。その結果、提案手法では、従来の手法では観測が困難であった避難訓練参加者全体の行動を観測し、その移動速度や移動経路を観測できる可能性を示した。更に応用的な集計として、避難訓練参加者の避難タイミングと、地域内のある地点から避難場所まで、最低でも必要となる避難時

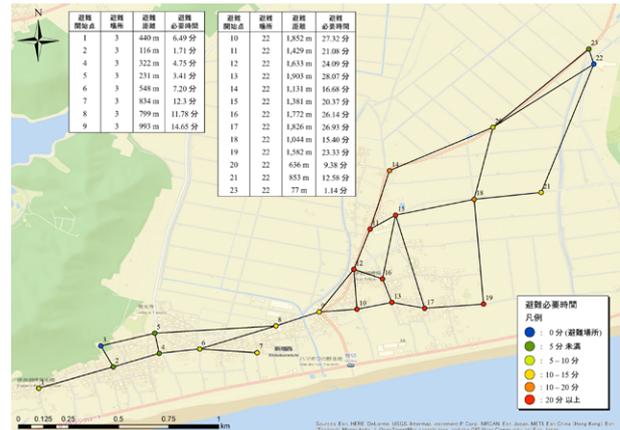


図-10 各観測地点から避難場所までの避難必要時間

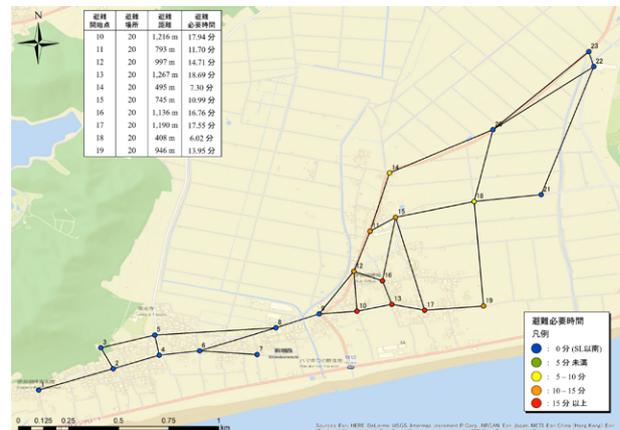


図-11 各観測地点から SL (20) までの避難必要時間

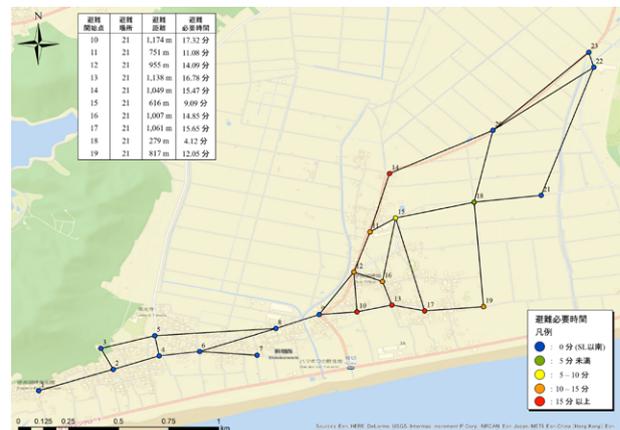


図-12 各観測地点から SL (21) までの避難必要時間

間を把握・推定可能であることを示した。以上は従来の手法では観測しえなかった避難訓練参加者の避難行動であり、本提案手法の有用性が示されたものと考えられる。

(2) 今後の課題

従来の方法では観測が困難であった避難行動が観測できる可能性を示した一方で、実用にあたっては、十分な精度の観測情報をうるための観測機器の配置問題、あるいは観測精度の向上に関して検討が必要があることが明らかとなった。また、それら観測情報の高精度化に関する課題を解決した後、高精度な観測情報が得られた場合に可能となるより応用的な避難行動の分析手法について、更に検討が必要であろう。

謝辞：本研究の実施にあたり、田原市堀切校区の堀切自治会・小塩津自治会役員や住民の皆様にご多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 内閣府, 防災情報のページ, 特集 東日本大震災から学ぶ ～いかに生き延びたか～ : http://www.bousai.go.jp/kohou/kouhoubousai/h23/64/special_01.html (2017.08.31 閲覧)
- 2) 消防庁応急対応室, 実践的な防災訓練の普及に向けた事例調査報告書, 2014年3月
- 3) 照本清峰: 実践的津波避難訓練の計画と試行, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.68, No.5, pp.I_63-I_74, 2012.
- 4) 辻原治, 今北智基, 松川知憲, 澤田勉: 避難訓練の調査とCAに基づく避難行動シミュレーション, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, pp.150-159, 2005.
- 5) 村上ひとみ, 脇浜貴志, 小山真紀, 奥村与志弘: 津波避難における移手段と自転車活用に関する研究—南海トラフ地震に備える愛知県田原市の訓練事例—, 地域安全学会論文集, Vol.28, pp.147-155, 2016.
- 6) 森田匡俊, 小池則満, 小林哲郎, 山本義幸, 中村栄治, 正木和明: GPSを用いた海水浴場避難訓練時の行動分析—愛知県南知多町を事例として—, 地域安全学会論文集, Vol.23, pp.45-54, 2014.
- 7) 孫英英, 矢守克也, 鈴木進吾, 李勇昕, 杉山高志, 千々和詩織, 西野隆博, 卜部兼慎: スマホ・アプリで津波避難の促進対策を考える: 「逃げトレ」の開発と実装の試み, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.1, pp.205-214, 2017.
- 8) Raspberry Pi - Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi, Raspberry Pi Foundation : <https://www.raspberrypi.org>, (2017.08.31閲覧) .
- 9) 田原市, 田原市南海トラフ地震被害予測調査業務報告書 概要版 : http://www.city.tahara.aichi.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/001/437/mayor/newsconference/pdf/1506/1506_1-1nankaitorafu-higaisoutei.pdf, 2015, (2017.08.09閲覧)

(??.? 受付)

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF NEW EVACUATION BEHAVIOR OBSERVATION METHOD

Shuji OSAWA, Takahiro MINAMI, Yuki MATSUOKA, Makoto FUJIIU and Kazuyuki TAKADA