

# EverCuate：ユーザ非同期参加型津波避難訓練システム

大越 匡<sup>1,a)</sup> 米澤 拓郎<sup>1,b)</sup> 山本 慎一郎<sup>2,c)</sup> 中島 円<sup>3,d)</sup> 神武 直彦<sup>3,e)</sup> 栗田 治<sup>5,f)</sup> 中澤 仁<sup>4,g)</sup>  
徳田 英幸<sup>4,h)</sup>

受付日 2015年12月20日, 採録日 2016年7月5日

**概要：**大地震発生時の津波から身を守るためには平常時の津波避難訓練が重要とされる。本研究は、従来行われてきたイベント型の津波避難訓練における、災害シナリオ、訓練日時、訓練場所、参加可能な人の面での柔軟性欠如の課題に取り組み、ユビキタス・コンピューティング技術を利用してそれらを解決する「ユーザ非同期参加型津波避難訓練モデル」を提案する。同モデルにおいては、各ユーザが個別に、任意のタイミング・災害シナリオ・地点で避難訓練を実施でき、また避難行動記録や避難中の気づきを集約して可視化分析することで、防災計画の更新に活用できることを特長とする。本研究では同モデルに基づきプロトタイプシステム「EverCuate」を構築した。神奈川県藤沢市において40人の被験者による229回にわたる広範なユーザ評価実証実験、およびアンケート評価を行い、訓練への参加のしやすさへの寄与、防災意識向上への貢献、収集した避難行動やユーザフィードバック情報の可視化による防災計画への活用、既存方式と比較しての施策としての有効性の面で効果が明らかになった。

**キーワード：**ユビキタスコンピューティング、モバイルアプリケーション、災害対策・管理、位置情報サービス、地理データベース・空間データ管理

## EverCuate: Asynchronously-participatable Tsunami Evacuation Training System

TADASHI OKOSHI<sup>1,a)</sup> TAKURO YONEZAWA<sup>1,b)</sup> SHIN'ICHIRO YAMAMOTO<sup>2,c)</sup> MADOKA NAKAJIMA<sup>3,d)</sup>  
NAOHIKO KOHTAKE<sup>3,e)</sup> OSAMU KURITA<sup>5,f)</sup> JIN NAKAZAWA<sup>4,g)</sup> HIDEYUKI TOKUDA<sup>4,h)</sup>

Received: December 20, 2015, Accepted: July 5, 2016

**Abstract:** Evacuation trainings have been conducted as an effective action to protect people from incoming tsunamis in case of a big earthquake. This research addresses limitations of existing conventional “event-style” tsunami evacuation trainings, that are inflexible in disaster scenarios, training timings, training locations, and participatable trainees. We propose a new ubiquitous computing technology-supported training model named “Asynchronously-Participatable Tsunami Evacuation Training Model” and a prototype system “EverCuate” based on this model. We evaluated the EverCuate system by conducting an extensive user study in Fujisawa city, Kanagawa, with 40 participants and the total number of 229 trainings. The evaluation results validated the effectiveness of EverCuate in terms of easiness in participation to a training, promotion of understanding necessity of different evacuation behaviour for different disaster scenarios, and easiness of analysing people’s real evacuation behaviour from the view point of local authorities.

**Keywords:** ubiquitous computing, mobile application, contingency planning and disaster recovery, location based services, geographical databases and spatial data management

<sup>1</sup> 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科  
Graduate School of Media and Governance, Keio University,  
Fujisawa, Kanagawa 252-0882, Japan

<sup>2</sup> 藤沢市企画政策部企画政策課  
Planning and Policy Division, City of Fujisawa, Fujisawa,  
Kanagawa 251-0054, Japan

<sup>3</sup> 慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科  
Graduate School of System Design and Management, Keio  
University, Yokohama, Kanagawa 223-8521, Japan

<sup>4</sup> 慶應義塾大学環境情報学部  
Faculty of Environment and Information Studies, Keio Uni-  
versity, Fujisawa, Kanagawa 252-0882, Japan

<sup>5</sup> 慶應義塾大学理工学部管理工学科  
Department of Administration Engineering, Faculty of Sci-  
ence and Technology, Keio University, Yokohama, Kanagawa  
223-8522, Japan

a) slash@ht.sfc.keio.ac.jp

b) takuro@ht.sfc.keio.ac.jp

c) yamamoto-sh@city.fujisawa.lg.jp

d) madoka.nakajima@sdm.keio.ac.jp

e) kohtake@sdm.keio.ac.jp

f) kurita@z6.keio.jp

g) jin@ht.sfc.keio.ac.jp

h) hxt@ht.sfc.keio.ac.jp

## 1. はじめに

特に東日本大震災以降、発展するコンピューティング技術、ネットワーク技術の防災・減災への様々な活用が提案されている。地震や津波、その被害に関するシミュレーションといった従来からの技術開発に加えて、人々が携帯利用するモバイル・ウェアラブルデバイスやセンサ、街の公共空間に配置されたセンサやディスプレイ、それらをつなぐ広域ネットワークやクラウド基盤をつないだユビキタスコンピューティング環境を活用しての防災・減災対策も、発災前（平常時）、発災直後、復興といった異なるフェーズに関して様々な研究が行われている。

本研究では、大地震発生時に襲来する可能性がある津波に着目する。東日本大震災では、震災直後の死者のうち90%以上が津波により亡くなっている [1]。またインドネシアスマトラ島沖地震（2004年）では、22万人以上が津波により命を落としている。世界に目を向けると、全人口の10%である7億人が世界の陸地面積の約2%にあたる海拔10m未満の土地に住み、世界の人口上位都市20のうち13都市が沿岸部に位置している [2]。大地震は地球上の位置で均等に発生しないものの、潜在的に多くの人々が津波被害の脅威にさらされていると考えられる。

地震の震源位置に依存するものの、地震発生から津波が都市に襲来するまでにタイムラグが期待でき、これを高台や高い建物等に逃げ込む猶予時間として活用できる。地震発生後津波襲来の可能性が考えられる場合に、いかに迅速に避難行動を開始し適切な場所へ避難できるかは、防災無線放送等発災時の情報伝達だけでなく、その情報を受け取り（または受け取らなくても）実際に避難行動を起こせる各自の意識に依存する。そのため、想定される津波について学習や避難訓練等、平常時における津波避難に対する意識づけが重要となる。

本研究は、従来行われてきたイベント型の津波避難訓練における課題、すなわち (1) 複数の災害シナリオへの柔軟性の低さ、(2) 訓練日時の柔軟性の低さ、(3) 訓練場所の柔軟性の低さ、および (4) 参加できる人が限られる点に着目する。本研究はそれらを解決することで、人々の津波避難訓練のしやすさの向上に寄与することを第1の目的とする。また本研究は、人々各自の避難訓練行動の記録を収集し、街の避難経路や防災計画の更新に寄与することを第2の目的とする。

本研究ではこれら目的のため、ユーザ非同期参加型津波避難訓練システム「EverCuate」を開発した。EverCuateはスマートフォンアプリケーションおよびクラウド上のバックエンドサービスから構成される。ユーザはEverCuateアプリケーションを各自のスマートフォンにインストール・実行することで、各自で選ぶ津波襲来シナリオに基づいて、任意のタイミングで、任意の場所から津波避難訓練を実施

できる。各ユーザの訓練行動の軌跡や、ユーザによる訓練経路に関するコメントや各種アノテーションはサーバで収集保存される。防災担当者向けインタフェース上では複数ユーザからの情報を重ねて地図上に視覚化でき、避難経路における危険箇所の発見や防災計画の更新に役立てられる。

神奈川県藤沢市において、地元住民20人および観光客役の学生20人によるユーザ評価実証実験、および実験被験者や行政担当者を対象としたアンケートによる評価を行った。その結果、本提案手法が既存津波避難訓練の4課題に対して有効であり、津波避難訓練のしやすさの向上に寄与することが分かった。また避難行動記録やユーザフィードバック情報の可視化は、行政担当者による街の防災計画の更新に役立つと考察された。実際に本提案方式で避難訓練を行った被験者、および本システムを試用した行政担当者の双方から、本提案方式の防災意識向上への貢献について肯定的な見解が得られた。また行政担当者からは、既存の方式と比較して本提案方式の施策は有効であるとの評価を得た。

本論文の貢献は第1に、従来型の津波避難訓練イベントの課題を解決する「ユーザ非同期参加型津波避難訓練」のモデル提案にある。第2に、同モデルに基づくプロトタイプシステム「EverCuate」設計と実装である。最後に、被験者合計40人による合計避難訓練回数229回に及ぶ実ユーザでの実証評価実験および各種アンケートを通じた、提案方式の広範な評価である。

## 2. 津波被害と避難訓練

大地震発生時に想定される津波は、地震の震源域や規模によって高さや沿岸への到達時刻が異なる。日本では東海地震、南海トラフ巨大地震等をはじめとして多くの大きな地震発生が想定され、それにとまって発生する津波に関しても被害予測がそれぞれ公開されている。

### 2.1 既存の津波防災対策

津波の襲来に対して、各自治体は様々な防災・減災対策を実施し、特に東日本大震災以降はその取り組みを強化している。たとえば下記は、地震・津波双方に対する神奈川県藤沢市における取り組み [3] 例である。

- (1) 津波ハザードマップの整備・更新・精緻化
- (2) 津波一時避難場所・ビルの整備
- (3) 震度、海拔、津波避難経路等の情報地図の整備
- (4) 電柱等への海拔の表示
- (5) 津波避難ビルへの備蓄や無線設備の整備/配置
- (6) 津波避難ビル屋上へのフェンスの整備
- (7) 防災計画の見直し

### 3. 既存の津波避難訓練における課題

津波襲来時の防災・減災対策として津波避難訓練は有

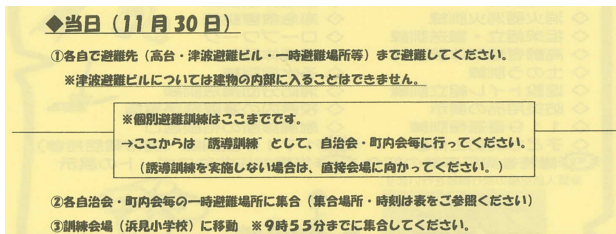


図 1 藤沢市辻堂地区での津波避難訓練イベントのチラシ

Fig. 1 Handout of tsunami evacuation training event in Fujisawa Tsujido area.

効であるため、津波避難訓練の取り組みが行われている。図 1 に、本研究の実証実験エリアでもある神奈川県藤沢市辻堂地区における津波避難訓練イベントのチラシを示す。藤沢市では各地区で年間数回程度このような避難訓練が実施されている (イベント実施にはコストがかかるため、実施頻度はあまり多くない)。多くの地域でこういった訓練イベントは主に週末や休日に実施され、計画された日時にいっせいに地元住民が避難訓練を行う。このような従来のイベント型津波避難訓練には、以下のような課題があげられる。

- 複数の災害シナリオへの柔軟性が低い  
第 1 の課題は、想定される複数の異なる災害シナリオへの柔軟性が低い点である。地震の震源域や規模に起因して、津波の高さや到達時刻には違いが生まれる。たとえば神奈川県では、12 の異なる地震震源域および津波を想定している [4]。また災害は季節や日時、それに起因する人口分布等多くの変数に依存する。たとえば図 2 に示す神奈川県藤沢市では、42 万の居住人口に対し夏季のピーク時には 10 万人以上の海水浴客が想定され、夏季と冬期では発災時の滞在人口およびその分布に大きな差が出るのが想定される。既存のイベント開催型の津波避難訓練では、その頻度の制約や最大公約数的な実施時期がゆえ、想定される多くの異なる災害シナリオに対する訓練を行うことが難しい。
- 訓練日時の柔軟性が低い  
イベント開催型の津波避難訓練では、その日時に都合が付き訓練に参加できる人のみが自然と参加対象となり、都合がつかない場合は必然的に参加できない。イベント型訓練の開催にはコストがかかり回数が限られるため、最大公約数的な集客を見込める実施日時となっているのが現状である。
- 訓練場所の柔軟性が低い  
イベント開催型の津波避難訓練の頻度の少なさに起因し、人々は多くの場合自宅や職場をスタート地点とした訓練を行い、多様な場所からの避難訓練を行いにくい。
- 訓練参加者の柔軟性が低い  
訓練日時の柔軟性に関する課題と関連し、訓練の参加



図 2 藤沢市の人口と想定海水浴観光者数

Fig. 2 Population of Fujisawa city and expected number of summer tourists to beaches.

対象者に関する柔軟性も低い。また観光で短期間当該地域を訪れる観光客は、偶然訓練イベントと日程が重なる場合を除けば基本的に訓練には参加できない。

#### 4. ユーザ非同期参加型津波避難訓練

本章では、前章で明らかにした既存のイベント型津波避難訓練における課題を受け、本研究の取り組みである「ユーザ非同期参加型津波避難訓練」について述べる。本研究の目的は第 1 に、ユーザ非同期参加型津波避難訓練の提案、実装、実証を通じて、従来型避難訓練の課題を解決し、人々の津波避難訓練のしやすさの向上に寄与することである。また従来型の避難訓練では実現できていなかった人々の実際の避難行動や避難行動中の気づきに関するデータを集約し、街の避難経路や防災計画の更新に寄与することである。

図 3 に、本研究が提案する「ユーザ非同期参加型津波避難訓練」のモデルを示す。本モデルにおいては、あらかじめ複数の異なる災害シナリオに基づく避難シミュレーションモデルが準備され訓練ユーザ向けに提供される。訓練ユーザは各自のモバイル端末を使用し個別に避難訓練を実施する。

本モデルの特長は以下のとおりである。

- (1) ユーザが個別に訓練を実施可能：避難訓練をするユー

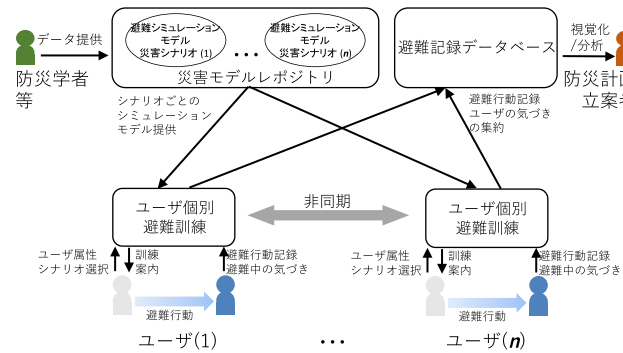


図 3 ユーザ非同期参加型津波避難訓練モデル

Fig. 3 Asynchronously-participatable tsunami evacuation training model.

ずは、決められた日時に開催される避難訓練イベントに参加することなく、各自で個別に避難訓練を実施できる。またユーザ各自の保持するモバイル端末があれば（イベント等を開催することなく）実施可能なため、何度でも頻繁に実施可能である。

- (2) 任意のタイミングで訓練を実施可能：たとえば夜間等、津波避難訓練イベントの開催タイミングに影響されずに、ユーザが希望する任意のタイミングで訓練を開始できる。
- (3) 任意の災害シナリオで訓練を実施可能：訓練を実施するたびにユーザは災害シナリオを選択でき、多くの異なる災害シナリオに則った訓練ができる。
- (4) 対象地域内の任意の地点から訓練を実施可能：任意のタイミングで、ユーザ自身のモバイル端末を使って訓練が可能のため、たとえば自宅以外にも公園、海岸、出先等区内の任意の地点から訓練を実施できる。
- (5) ユーザの避難行動記録や避難中の気づきデータを集約し防災計画や街作りに活用可能：各ユーザが実施する避難訓練におけるユーザの避難行動の軌跡や、ユーザによる避難経路に関する気づき等のフィードバックを情報空間で集約できるため、容易な視覚化や分析が可能となり、防災担当者による防災計画の更新や街作り計画に活用できる。

## 5. EverCuete システムの設計

前述のユーザ非同期参加型津波避難訓練モデルに基づき、本研究では、同モデルの実証を行うためのプロトタイプシステム「EverCuete」を開発した。図 4 に、EverCuete システムの概観を示す。

EverCuete は大きく 3 つのサブシステム、すなわち災害シナリオごとの避難シミュレーションを行うシミュレーション部、同シミュレーションの結果を用いて各ユーザにユーザ非同期参加型避難訓練サービスを提供する非同期訓練サービス部、収集した複数のユーザの訓練行動記録やユーザのフィードバックを視覚化し分析機能を提供する避難行動視覚化分析部から構成される。

本システムは、ユーザ非同期参加型津波避難訓練モデル

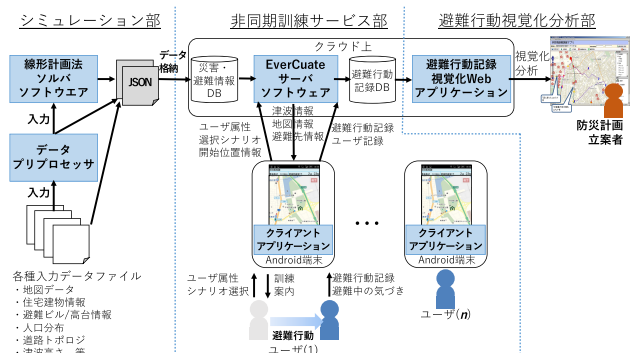


図 4 EverCuete システムの概観

Fig. 4 System overview of EverCuete.

の実証システムとして、前章で述べた同モデルの 5 つの特長を有すると同時に、シミュレーション部から非同期訓練サービス部へのデータ引き渡しに構造化され公開された JSON 形式でのデータフォーマットを採用している点を、システム自身の特長とする。この特長により、非同期訓練サービス部では、EverCuete のシミュレーション部で我々が実施した避難シミュレーション以外にも、他の研究者からシミュレーション結果を入力することができ、シミュレーション結果の比較評価が可能なくみとなっている（本データフォーマットは文献 [5] で公開されている）。

### 5.1 シミュレーション部

シミュレーション部は、基本的地図データ、住宅建物の情報や、避難先となる津波一時避難ビルおよび高台の情報、人口分布、道路トポロジ、津波の高さの情報を利用し、データプリプロセッサで加工してから、ソルバソフトウェアで線形計画法の問題の解を発見する形で避難シミュレーションを行う。シミュレーションは各災害シナリオごとに行い、オフラインで行う。災害シナリオごとに 2 つの情報、すなわち各避難先の水没状況に関する情報および各避難開始地点からの向かうべき避難先に関する情報が、シミュレーションの結果としてファイルに出力される。また別途、災害シナリオそのものに関する情報（地震に関する名前や規模の情報、津波に関する高さや沿岸到達までの時間）をファイルで用意する。以上のファイルに用意された情報は、非同期訓練サービス部内で「災害・避難情報 DB」へインストールされる。

### 5.2 非同期訓練サービス部

非同期訓練サービス部は、ユーザのモバイル端末上（Android プラットフォーム）で動作するクライアントアプリケーションと、クラウド上のバックエンドサーバから構成される。ユーザがユーザ属性を入力し災害シナリオを選択すると、クラウド上のサーバソフトウェアは入力情報およびユーザの現在の位置情報をもとに、避難場所情報 DB から避難すべき避難場所を発見する。地図情報および避難先

の情報がクライアント側に送られ、それに基づいてユーザは実際に避難行動を行う。避難行動におけるユーザの行動記録（移動の軌跡）やコメント/アノテーションといったフィードバックはサーバへ送信され、「避難行動記録 DB」へ保存される。

### 5.3 避難行動可視化分析部

避難行動可視化分析部は、避難行動記録 DB へ保存されたユーザたちの避難行動の記録を地図上に可視化し、自治体の防災計画立案者や地域の街作り担当者等権限が与えられたユーザに提供する。集約された情報から、防災計画の更新や街作りに役立てることができる。

次章以降では、各部について詳説する。

## 6. シミュレーション部

図 5 にシミュレーション部におけるデータと処理の手順を示す。シミュレーションには、政府機関により公開されているオープンデータや商用の地図データを組み合わせて利用する。シミュレーション前のデータプリプロセスにおいては、GIS ソフトウェア ArcGIS [6] および独自に開発したデータ加工プログラムを用いる。その後 GNU Linear Programming Kit (GLPK) を用い線形計画法の問題を解く。最後にポストプロセス用データ加工プログラムで GLPK による出力を加工し、シミュレーション部における出力データを生成する。

### 6.1 避難シミュレーションの概要

図 6 に避難シミュレーションの概要を示す。本研究では避難シミュレーションを、線形計画法における輸送問題として定義する。輸送問題とは、それぞれ供給量を持つ複数の供給地、それぞれ需要量を持つ複数の需要地が存在し、各供給地から需要地までの輸送費用が与えられるとき、目的関数をたとえば「総輸送費用の最小化」と定義し、そのためにはどの供給地からどの需要地へどの量輸送を行えばよいかを求める問題である。

本避難シミュレーションにおいては、供給地を人々が津波避難行動を始める始点と定義し、 $m$  個の始点に、それぞれ  $P_i$  の人口が存在するとする。また一方、需要地を人々が避難を行う宛先の津波一時避難ビルや高台とし、 $n$  個の

宛先はそれぞれ  $C_j$  の避難民収容キャパシティを持つとする。各供給地と需要地は、 $D_{i,j}$  で示される移動コスト（道路上の距離等）を持って結ばれる。このときたとえば「全員の総移動コストの最小化」を目的関数とし、解を求める計算を行う。

本研究では、EverCuate の持つ任意の災害シナリオで訓練が実施可能な特長を実現し実証評価するため、実際に表 1 に示す 2 つの災害シナリオでシミュレーションを行った。慶長型地震は神奈川県津波浸水予測の中で神奈川県

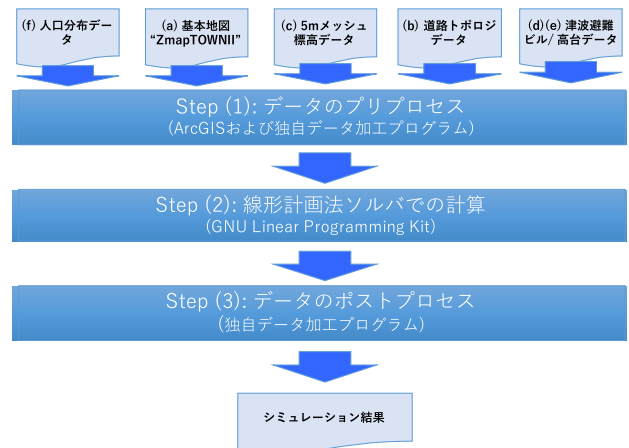


図 5 シミュレーション部のデータと処理手順概要

Fig. 5 Overview of input data and processing flow in the simulation subsystem.

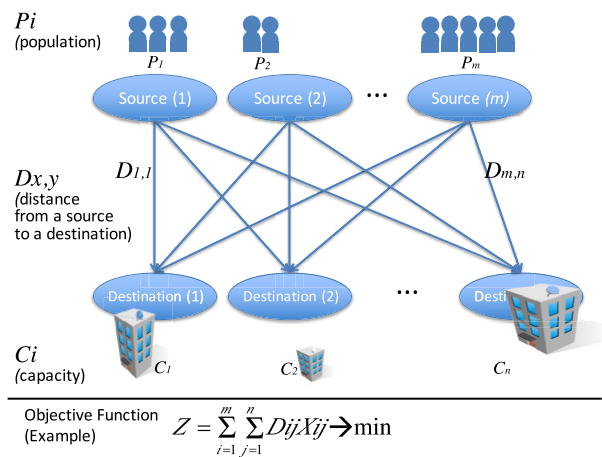


図 6 避難シミュレーションの概要

Fig. 6 Overview of evacuation simulation.

表 1 シミュレーションシナリオ

Table 1 Simulation scenario.

シナリオ名	慶長型地震（夜間人口分布）	慶長型地震（夏観光シーズン）
概要	慶長型地震地震が閑散期の夜間に発生と想定	慶長型地震地震が夏の海水浴シーズンピーク時に発生と想定
津波想定	慶長型地震	慶長型地震
津波の高さ（最大）	10.7 m	10.7 m
津波到達時刻（第 1 波）	35 分	35 分
人口分布	国勢調査に基づく地元住民の分布	地元住民に加えて 130,200 人の観光客を想定

南部地域に大きい被害をもたらすと考えられる代表的な地震モデルである。また当該地域での避難の必要性に大きく差異が出る要素として人口分布に着目し、地元住民のみが滞在している「夜間人口分布」、および夏の海水浴シーズンのピーク時である「夏観光シーズン」の2シナリオを用意した。

## 6.2 入力データ

シミュレーションのための入力データとしては、下記のデータをそれぞれ用いた。

(a) 基本地図データ：データの精度、加工のしやすさ等からゼンリン社の地図データ「住宅地図データベース Zmap-TOWN II」[7]を使用した。

(b) 道路トポロジデータ：ESRI ジャパン社の「ArcGIS データコレクション道路網」[8]を使用した。

(c) 5m メッシュ標高データ：国土交通省国土地理院のWeb サイトから基盤地図情報データである5m メッシュの「基盤地図情報数値標高モデル」[9] データを入手し使用した。

(d)(e) 津波避難ビルや高台のデータ：津波からの避難行動時における避難先は、大きく(1) 近隣の高層建築物および(2) 近隣の高台に分けられる。今回実証実験の舞台とした神奈川県藤沢市は、学校等の公営施設や個別契約した民間のマンション等あわせて約200の「津波一時避難場所」[10]を準備している。このデータを高層建築物の避難先として使用した。一方、近隣の高台としては、今回のシミュレーションで想定する津波の高さ以上の標高を持つ内陸の土地を地図上で選定した。実際にはその地点よりより高い内陸地はすべて避難先として利用できるが、浸水が予測される低地と高地の道路網上の境界部分一帯をGISソフトウェアで選定し、そのエリアを(高地の入り口としての)避難施設と定義した。図7に、地図上にプロットした両タイプの避難先を示す。

(f) 人口分布データ：地元住民の人口分布に関しては、総務省統計局「政府統計の総合窓口」より、平成22年国勢調査時点での市内町丁目ごとの居住者数データ「男女別人口総数及び世帯総数」[11]を入手し、使用した。また観光シーズンに訪れる観光客数として、夏のピーク時の週末に海岸を訪れ砂浜付近に滞在する海水浴客数を、過去の実績より、複数の海水浴場あわせて総計約13万人と見積もった。

(g) 津波の高さと沿岸までの到達時間に関するデータ：津波には第1波、第2波等複数の波があり、次々と沿岸へ到達する。一方津波の高さは必ずしも第1波が最大ではなく、災害シナリオによっては後から到達する波の方が高くなる場合も存在する。このため本システムにおいては、避難者の安全を最大限に保護する観点から、「津波の高さ」情報として神奈川県津波浸水予測にて予想される最大の波の高さを設定し、「沿岸到達までの時間」として同予測にお

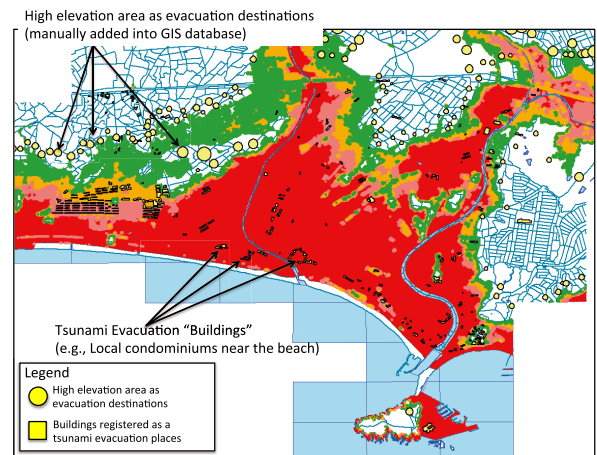


図7 地図上にプロットした神奈川県藤沢市の津波一時避難ビルおよび高台エリア

Fig. 7 Tsunami temporary evacuation buildings and high altitude areas in Fujisawa city, Kanagawa.

る地震発生から第1波が沿岸に到達するまでの時間を設定する。これらは災害シナリオごとに用意される。

## 6.3 データのプリプロセス

データのプリプロセスは、GISソフトウェアArcGIS[6]、および独自に開発したデータ加工プログラム上での各処理から構成される。ここではデータの種別ごとにその処理の概要を述べる。

### 6.3.1 津波避難行動開始地点

本シミュレーションにおいては、災害シナリオごとに人口分布データを用意する。「夜間人口分布」シナリオでは、地元の居住人口がそれぞれの住居に滞在している場合を想定する。入力データとしての町丁目単位の夜間人口、地図データに含まれる各住宅建物の位置と建物面積およびフロア数の情報を利用し、町丁目ごとの人口を、その地区の各住宅建物に対してその総床面積に比例して配分し配置した。

一方「夏観光シーズン」シナリオでは、加えて海水浴観光客を海岸に配置する必要がある。地図データ上で砂浜に海水浴客が滞在する仮定の建物を複数定義し、海水浴客を分割して配分した。図8にその模様を示す。

### 6.3.2 避難先地点

各津波一時避難場所それぞれについては、まず、場所の特定、建物の重心点計算、建物面積の計算、標高の計算、階数情報の整備を行った。次に、建物の標高および階数と災害シナリオごとの津波の高さから、津波襲来時に水没しないフロア数(屋上も含む)を計算し、避難民が滞在可能な床面積を求めた。そして同面積のうち共有部分の収容可能面積を1人あたりの専有面積を0.6m<sup>2</sup>として割り、最終的に災害シナリオごとにおける各一時津波避難場所の収容キャパシティを算出した。一方避難先の高台については、実際はそこにたどり着ければそれ以上の標高へさらに移動

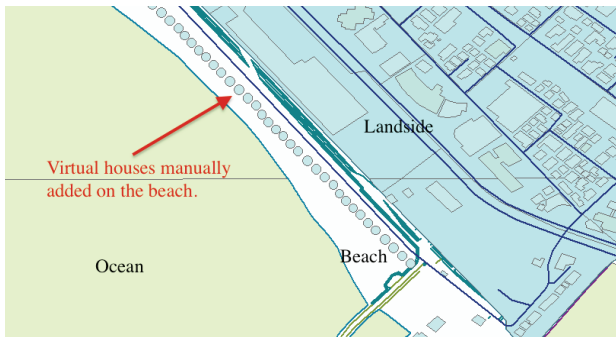


図 8 海岸砂浜に設置した観光客を表す仮想建物

Fig. 8 Virtual buildings on the beaches for accommodating tourists.

```
#Starting points
set Source;

#Destination evacuationplaces
set Destination;

#D'istance
param d{Source, Destination };
#P'opulation of the starting point
param p{Source};
#C'apacity of the destination
param c{ Destination };

var x{Source, Destination } >= 0;

minimize cost: sum{i in Source, j in Destination } d[i,j] * x[i,
j];

subject to distribution_from_a_source{i in Source}: sum{j in
Destination } x[i,j] == p[i];
subject to capacity_of_a_destination{j in Destination }: sum{i
in Source } x[i,j] <= c[j];

end;
```

図 9 tsunami\_evacuation.mod ファイル

Fig. 9 tsunami\_evacuation.mod file.

可能なことから、キャパシティを仮に十分大きい固定値として設定した。

### 6.3.3 各地点間距離

ArcGIS の Spatial Analysis along Networks (SANET) プラグイン [12] を使用し、前述の各津波避難行動開始地点から各避難先地点までの道路網上の距離をそれぞれ計算し、各地点間の移動コストとした。

### 6.4 線形計画法ソルバでの計算

プリプロセスされたデータは、独自のデータ加工プログラムにより MathProg モデル言語のデータとして出力される。GLPK では、図 9 に示す問題定義と同データを読み込み、輸送問題の計算を行う。各計算には MacBook Pro (Intel Core i7, 4 コア, 2.6 GHz~最大 3.8 GHz, L3 キャッシュ 6 MB, メモリ 16 GB) を使用し、1 時間半程度を要

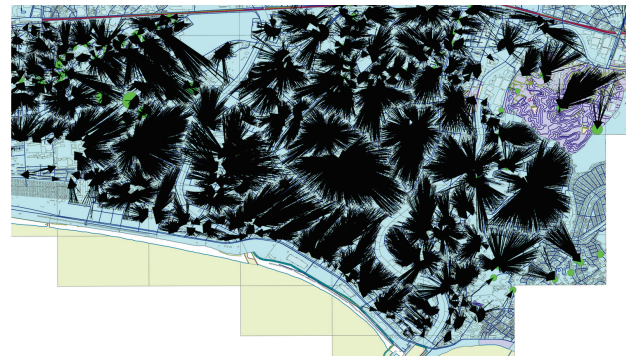


図 10 西浜地区におけるシミュレーション結果の可視化 (夜間人口分布シナリオ)

Fig. 10 Visualized simulation result: Nishihama area (“Night time population” scenario).

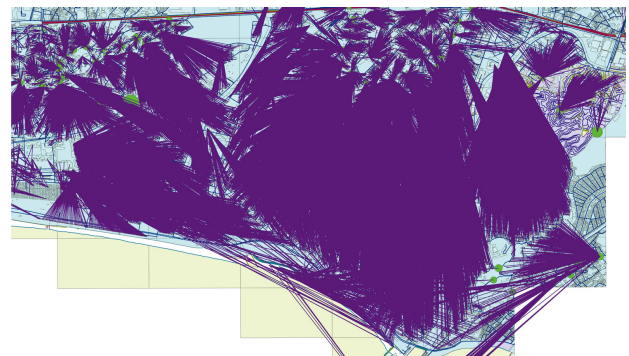


図 11 西浜地区におけるシミュレーション結果の可視化 (夏観光シーズンシナリオ)

Fig. 11 Visualized simulation result: Nishihama area (“Summer peak season” scenario).

した。

### 6.5 シミュレーション結果

シミュレーション結果を地図上に視覚化したのが、図 10 (夜間人口分布シナリオ) および図 11 (夏観光シーズンシナリオ) である。背景色水色の部分が沿岸部の土地であり、左下の背景色緑色の部分が相模湾である。

地図上の密集した線分は、それぞれの避難開始地点と避難先地点を結んだものである。夜間人口分布シナリオでは、線の集合が地図上でいくつかのグループに分かれているのが分かる。これは各地区各避難開始地点からそれぞれ比較的近くにある一時避難ビルや高台に短距離で避難できることを意味する。一方夏観光シーズンにおいては、南部 (図の下部) の海岸に 10 万人以上の観光客が滞在しているため、それらの人々を収容するためには、より多くの人々がより長い距離を移動し、より北部 (図の上部) へ避難する必要があることを示す。

シミュレーション結果のデータは、各災害シナリオごとに、当該地域内の位置情報が与えられたときそこから避難すべきの避難先場所を特定できる指針と考えることができ

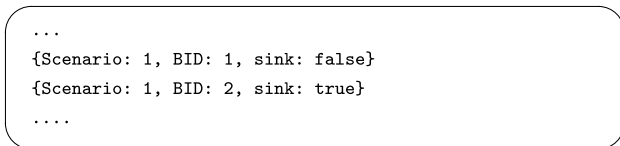


図 12 避難先水没状況情報のデータ構造

Fig. 12 Data structure of “evacuation place condition” data.

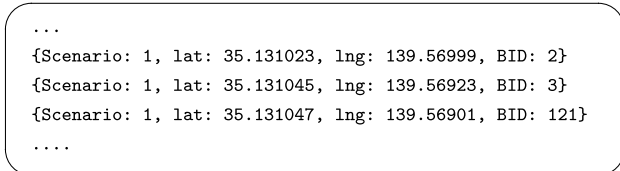


図 13 避難先情報のデータ構造

Fig. 13 Data structure of “destination evacuation place” data.

る。データは次節で述べる JSON 形式のファイルで出力される。

### 6.6 シミュレーション結果のデータ構造

シミュレーション部から出力するデータをまとめると、下記の 3 種類となる。出力された各データは非同期避難訓練サービス部のクラウド側 DB 内に保存され、実際のユーザによる避難訓練時に活用される。

- 災害シナリオ情報：災害シナリオに関する情報。シナリオごとに、災害シナリオ ID、地震の名前、震源域、規模の情報、および津波の高さ、沿岸到達までの時間を保存する。本データは手動で用意される。
- 避難先水没状況情報（災害シナリオごと）：シミュレーション部のソルバ出力を簡易スクリプトで変換し生成する。図 12 にデータ構造を示す。各レコードは、災害シナリオ ID、各避難場所 ID (BID)、水没状況 (true/false) を保持する。
- 避難先情報（災害シナリオごと）：シミュレーション部のソルバ出力を簡易スクリプトで変換し生成する。図 13 にデータ構造を示す。各レコードは、災害シナリオ ID、緯度・経度の位置情報、その場所から避難すべき先の避難場所 ID (BID) を保持する。

## 7. 非同期避難訓練サービス部

非同期避難訓練サービス部は、ユーザが (1) 個別に、(2) 任意のタイミングで、(3) 任意の災害シナリオで、(4) 対象地域内の任意の地点から訓練を実施でき、また (5) 避難行動記録や避難中の気づきデータの集約といった「ユーザ非同期参加型津波避難訓練モデル」の特長を実現する、本プロトタイプの中核である。図 14 に非同期避難訓練サービス部のシステムアーキテクチャを示す。また図 15 にクライアントアプリケーションのスクリーンショットを示す。システムは、ユーザのモバイル端末上 (Android 4 プラットフォーム) で動作するクライアントアプリケーションと

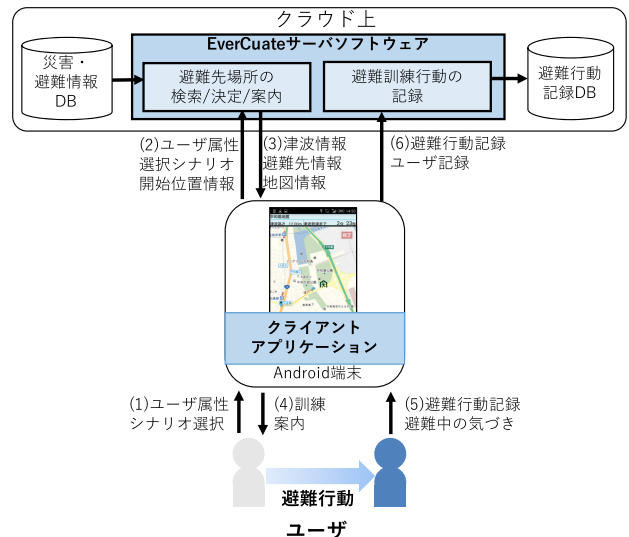


図 14 非同期避難訓練サービス部システムアーキテクチャ

Fig. 14 Architecture of asynchronous evacuation training service subsystem.

クラウド上のバックエンドサーバから構成される。

### 7.1 サーバ内データの準備

EverCuatate のクラウド上システムには、シミュレーション部から出力された JSON ファイル群から、下記の情報を災害・避難情報 DB にあらかじめ格納してシステムの準備を行う。同 DB は PostgreSQL/PostGIS 上に実装されている。

- 災害シナリオ情報：クライアントアプリケーション上での災害シナリオ情報の表示に利用される。
- 避難先水没状況情報（災害シナリオごと）：訓練実行時に、指定された災害シナリオにおいて、水没しない避難場所をアプリケーション上で表示される用途に利用される。
- 避難先情報（災害シナリオごと）：訓練実行時に、指定された災害シナリオ ID において、ユーザの避難開始場所から避難すべき宛先の避難場所を検索する用途に使用される。

### 7.2 避難訓練の起動

ユーザはクライアントアプリケーションを起動し (図 15 画面 (1))、ユーザの属性情報を入力するとともに、災害シナリオを選択する (図 15 画面 (2) および図 14 手順 (1))。入力された情報は、ユーザの現在の位置情報とともにクラウド上の EverCuatate サーバソフトウェアへ送信される (図 14 手順 (2))。

サーバソフトウェアは、クライアントからの情報をもとに、災害・避難情報 DB を検索してユーザが向かう避難場所を発見する。与えられたユーザの選択シナリオと位置情報 (緯度・経度) に基づき、ユーザに最も近い緯度・経度





図 15 クライアントアプリケーションのスクリーンショット

Fig. 15 Screenshots of the client application.

を含むレコード1つを発見し、これを避難出発地点とする。次に、発見したレコードが指し示す避難場所IDを取得し、この避難場所を「ユーザを誘導する先の避難場所」とする。データはシミュレーション部における算出結果であるため、レコードが指す避難場所は、ユーザが選択した災害シナリオにおいて(1)完全には水没せず、(2)シミュレーション結果と同様に実際の人々が移動した場合、ユーザはその場所の(水没しない)避難民滞在可能空間内に収容されることができると算出されている避難場所である。

より単純な避難場所の発見方式として、単純にユーザの現在位置から最も近い避難場所を検索する方式が考えられる。しかし、表1に示したような地域内の人口分布までの違いを含む異なる災害シナリオをユーザに選択させ、シナリオごとに行くべき避難先に相違がありうることを理解してもらうためには、同検索方式は有効ではなく、各シナリオごとのシミュレーション結果を利用することが必要となる。

災害シナリオの情報、発見された避難先に関する情報、周辺の地図情報がクライアントへ送信される(図14手順(3))。

### 7.3 避難訓練の実行

クライアントアプリケーションは、サーバからの返答をもとに訓練を開始し、ユーザを案内する(図15画面(3)および図14手順(4))。サーバで発見された、目的地の避難場所は緑のアイコンで地図上に表示され、ユーザはそこへ移動するように促される。

避難行動中ユーザは、実際に避難経路を歩きながら、その途中で気づいた箇所に関して各種のアノテーション(「コメント場所候補」、「迷った」、「危険」、「いいね」)を残すことができる(図15画面(4)および図14手順(5))。「迷った」、「危険」、「いいね」の3種に関してはその場でアプリケーション画面をタップしてアノテーションを残す。コメントを残したい場合は、訓練中に「コメント候補場所」のア

ノテーションを残し、訓練終了後に実際のコメントを残す。ユーザが、画面上に表示された「津波到達まで」の残り時間のうちに避難のゴールである避難場所周辺に到着すると、その旨がアプリケーションに表示され、ユーザは訓練を完了する(図 15 画面 (5))。津波到達時刻を過ぎた場合にも、ユーザは訓練を継続することができ、ユーザが明示的に訓練を中止しない限りは、目的の避難場所周辺に到着することで訓練が完了となる。

#### 7.4 避難訓練のレビュー

ユーザは避難場所に到着した後、移動の軌跡を確認でき(図 15 画面 (6))、「コメント場所候補」としてアノテーションを残しておいた場所に関してコメントを入力できる(図 15 画面 (7) と (8))。

その後ユーザが最終的にデータ送信操作を行うと、これらの避難行動記録やコメントおよびアノテーションがサーバへ送信される(図 14 手順 (6))。これらのデータはサーバ上で「避難行動記録 DB」へ保存される。

### 8. 避難行動視覚化分析部

避難行動可視化分析部は、避難行動記録 DB へ保存されたユーザたちの避難行動記録を地図上に可視化する Web アプリケーションを、自治体の防災計画立案者や地域の街作り担当者等アクセス権限が与えられたユーザへ提供する。

同部 Web アプリケーションのスクリーンショットを図 16 に示す。トップメニューや表示切替えメニューで選択したモードおよび項目に応じて、マップ表示エリアの表示情報が切り替わる。

- 画面上部のトップメニューでは、表示する行動記録の災害シナリオを切り替えられ、また任意の期間(年月日)を指定して表示対象期間を絞り込むことができる。「位置検索」や「エリア検索」の機能により、マウス操



図 16 避難行動視覚化分析部 Web アプリケーションの表示画面  
Fig. 16 Example screenshot of evacuation behavior visualization and analysis subsystem.

作で地図上の特定場所や特定範囲に存在する情報(避難場所やアノテーション・コメント情報)を抽出して表示できる。「到達避難場所指定」モードでは、マウスで避難場所を指定することにより、その避難場所に向けた避難行動記録が表示される。

- 画面右側の表示切替えメニューでは、画面に表示する情報の ON/OFF を、避難場所、被験者の性別、年齢層、住民/観光客の種別、子供連れや要配慮者の有無によって切り替えられる。
- マップ表示には、各避難行動記録の開始地点(青いピン)、終了地点(赤いピン)、移動の軌跡(ユーザごとに複数の色を用いて表示)、ユーザによる各種のアノテーションやコメントが表示される。それぞれのアイコンをクリックすると、その詳細情報(具体的なコメント内容や、避難行動者の属性情報等)が表示される。ユーザは本機能を利用することにより、当該地区内における避難時の危険な場所、迷いやすい場所、多くのユーザが通る経路といった情報を把握することができ、防災計画の更新や街作りに役立てられると考えられる。

### 9. 実証評価

本章では、本研究の評価について述べる。第 1 に、構築した EverCuate プロトタイプシステムに関して、神奈川県藤沢市において合計 40 人の被験者と訓練実施回数 229 回にわたる広範なユーザ評価実験を行い、本提案方式の有効性を評価した。第 2 に、地元自治体の防災担当者および地区の防災協議会メンバの協力を得て説明会を開催し、アンケートを通じて本提案方式の評価を行った。

#### 9.1 EverCuate ユーザ実証評価実験

実際に様々なユーザに EverCuate を使って避難訓練を実施してもらうユーザ実証評価実験を行い、ユーザ非同期参加型津波避難訓練の有効性を評価した。

##### 9.1.1 被験者と実験手順

実験の被験者として、藤沢市内の地元住民、および当該地域の住民でない学生ボランティアによる観光客の、2 種類のユーザの協力を得た。

地元住民を対象とした実験では、藤沢市辻堂地区、同鶴沼地区の 2 地区において地元住民のボランティア合計 20 名に被験者として協力を得た。各被験者は各地区の自治会組織を通じて行った協力者募集のお願いに応じて参加いただいた方々である。はじめに各地区において実験についての説明会を開催し、操作方法の説明とシステムの試用を行った。各参加者にはその後 1 週間モバイル端末が貸し出され、各参加者とその家族は EverCuate を使った訓練を行った。1 週間後再び会合を開催し、アンケート記入とシステムに関する議論を行った。

観光客を対象とした実験では、当該地区に居住していな

表 2 被験者による訓練回数

Table 2 Number of trainings conducted by participants.

災害シナリオ	住民	観光客
慶長型地震（夜間人口分布）	114	26
慶長型地震（夏観光シーズン）	31	58

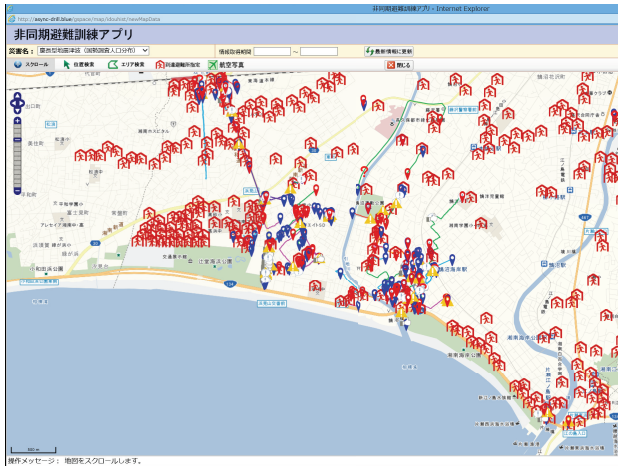


図 17 両地域での避難行動記録（夜間人口分布シナリオ）

Fig. 17 Evacuation behavior trajectory in both areas (night time population scenario).

い大学生のボランティア 20 名をを募集し被験者として協力を得た。実証実験は彼らを仮想的な観光客とみだてて行った。各学生は設定された 2 週間の期間内のうち都合のつく日に当該地域を訪れ、EverCuate を使った訓練を行った。訓練実施後にアンケートに記入した。

実験にはスマートフォン Sony Xperia Z2 を用意し、Android OS Version 4 上に EverCuate アプリケーションをインストールした。各デバイスのネットワーク回線として LTE データ通信回線を用意した。

実験参加者は訓練実施ごとに、用意された 2 つの災害シナリオ「慶長型地震（夜間人口分布）」「慶長型地震（夏観光シーズン）」のいずれかを選び、またなるべく多くの場所から訓練を実施するよう依頼された。被験者は避難訓練中の安全確保のため、（急いで走るのではなく）徒歩での移動を依頼された。

### 9.1.2 実験結果

表 2 に、各被験者グループと災害シナリオごとの訓練実施回数を示す。総計 229 回、被験者 1 人あたり平均 5.7 回の訓練が実施された。229 回の各訓練の出発地点はそれぞれ異なり、またシステムは各訓練ごとに 35 カ所の異なる津波一時避難場所および高台を避難先として選定し被験者を誘導した（収集したデータより、明らかに試行、テスト、およびデモンストレーション用途であると判定できたデータ（まったく移動しない、開始から数秒で終了したケース等）は除外している）。

実施した 2 地区両方における被験者の軌跡を図 17（夜

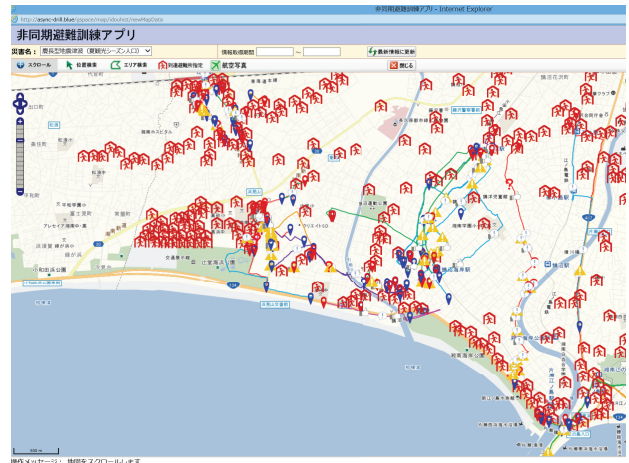


図 18 両地域での避難行動記録（夏の観光シーズンシナリオ）

Fig. 18 Evacuation behavior trajectory in both areas (summer peak season scenario).

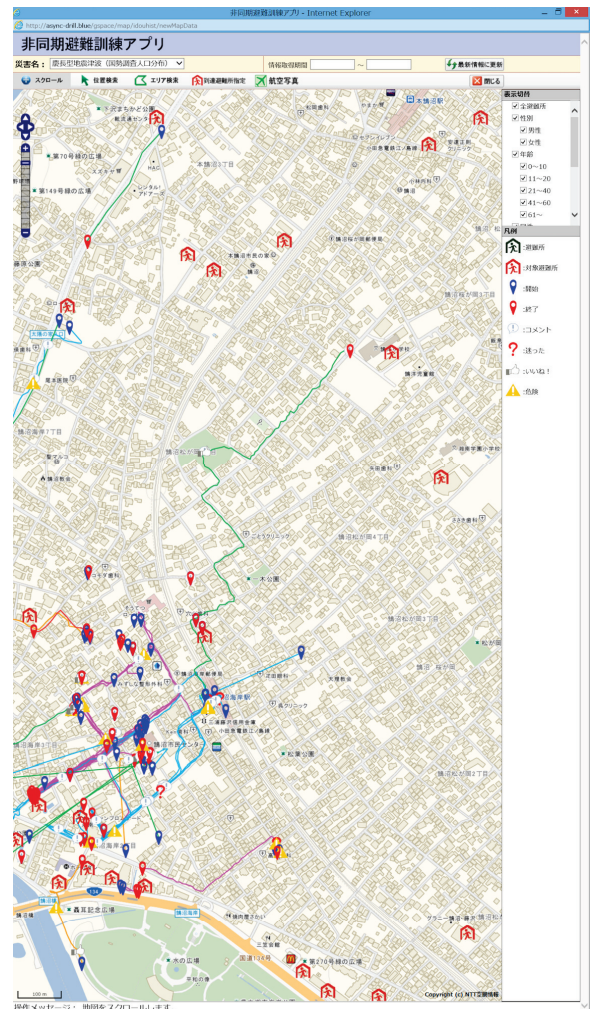


図 19 鶴沼地域での避難行動記録（夜間人口分布シナリオ）

Fig. 19 Evacuation behavior trajectory in Kugenuma area (night time population scenario).

間人口分布シナリオ）および図 18（夏観光シーズン）に示す。図中の青いピンは避難行動開始地点、赤いピンは行き先の避難場所をそれぞれ示し、黄色いピンはアノテーシ

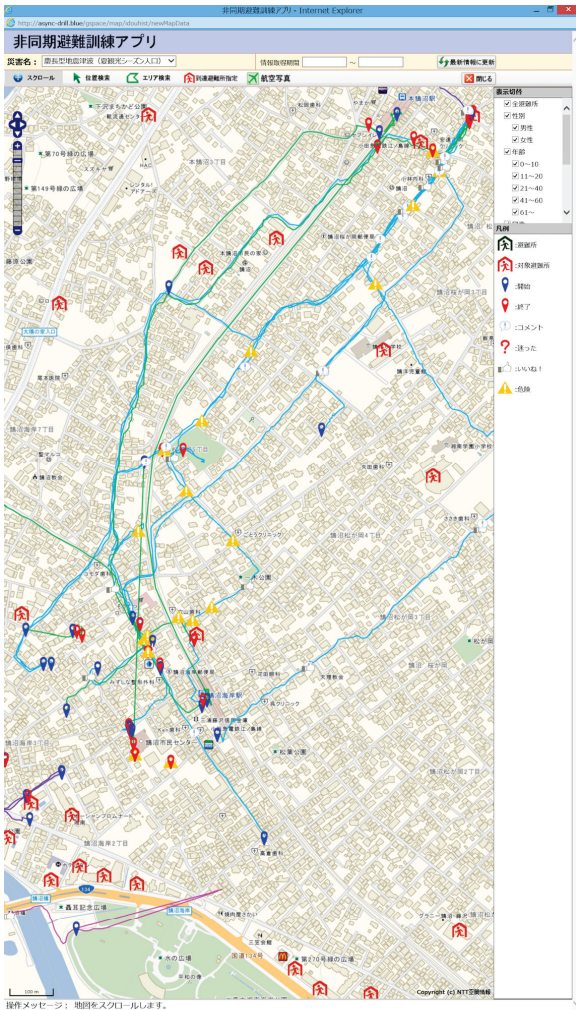


図 20 鶴沼地域での避難行動記録 (夏の観光シーズンシナリオ)

Fig. 20 Evacuation behavior trajectory in Kugenuma area (summer peak season scenario).

ン、白い“!”マークはコメントを示す。

また鶴沼地区における拡大図が図 19 (夜間人口分布シナリオ) および図 20 (夏観光シーズンシナリオ) である。いずれの図を見ても分かるように、2つの災害シナリオ間で比較した場合、夏観光シーズンシナリオにおいては被験者は明らかに北方向 (図中上方向) により遠くに向けて避難を行っていることが分かる。全被験者による避難行動距離の平均は、夜間人口分布シナリオにおいては平均 305m であった一方、夏観光シーズンシナリオにおいては平均 489m であった。

9.1.3 異なる被験者クラスによる避難行動速度の違い

実証実験で収集できた実際の被験者の避難行動記録からは、異なる被験者クラス間での避難行動速度の違いが明らかとなった。なお被験者は、実験時には安全のため歩いて避難行動することを求められている。

表 3 は、異なる年齢層ごとの避難行動速度の違いを示す。明らかに 11~20 歳のユーザ層の移動速度が時速 3.67 km と最速である。61 歳以上の被験者の平均は時速 1.90 km と

表 3 年齢層による避難行動速度の違い

Table 3 Differences in evacuation speed according to ages.

年齢層	平均避難速度 (km/h)
11~20	3.67
21~40	2.92
41~60	2.40
61~	1.90

表 4 子供同伴時の避難行動速度の違い

Table 4 Differences in evacuation speed in case of being with children.

被験者種別	平均避難速度 (km/h)
子供同伴	2.36
子供なし	2.45

表 5 要配慮者同伴時の避難行動速度の違い

Table 5 Differences in evacuation speed in case of being with elderly person needing care.

被験者種別	平均避難速度 (km/h)
要配慮者同伴	2.01
要配慮者なし	2.48

11~20 歳の半分に満たない。

表 4 に、被験者が子供連れである場合とそうでない場合の速度の違い、また表 5 に要配慮者同伴である場合の速度の違いを示す。いずれの場合も平均速度に違いが表れた。

9.1.4 ユーザからのフィードバック

被験者からのコメントやアノテーションの数には差異が見られた。「迷った」アノテーションは、住民の被験者からは 1 避難あたり 0.20 回付与された一方、観光客の被験者からは 0.34 回付与された。また「危険」アノテーションの数は、住民の被験者からは 1 避難あたり 0.45 回付与された一方、観光客の被験者からは 1.01 回付与された。いずれも、当該地区を歩き慣れない観光客の被験者からのアノテーションが多く観測された。

9.1.5 実験後のアンケート結果

実験後、各被験者にアンケート調査を行った。地元住民を対象としたアンケートを 20 名の被験者に対して行い、17 名からの有効回答を得た (男性: 10 名, 女性: 7 名) (年齢層: 40 代~80 代, 最頻値: 70 代) (17 名全員が当該地域に 10 年以上居住)。表 6 にアンケート結果を示す。また観光客を対象としたアンケートを 20 名の被験者に対して行い、17 名からの回答を得た (男性: 15 名, 女性: 2 名) (年齢層: 10 代~20 代, 最頻値: 20 代)。表 7 にアンケート結果を示す。

9.2 行政担当者向け評価

行政担当者を対象とした評価として、地元自治体の防災担当者および同市辻堂地区の防災協議会メンバ 14 名による評価を行った。対象者に対する説明会を実施し、その中で参加者は、まず (1) 複数の災害シナリオによるシミュ

表 6 津波避難被験者へのアンケート結果 (地元住民) (5 段階評価)  
**Table 6** Post-experiment questionnaire results by participants (local residents) (5-point Likert scale).

質問番号	質問項目	評価の分布					中央値	最頻値
		1	2	3	4	5		
(1)	日頃、あなた自身は防災意識が高いとお考えですか？	0	3	2	5	7	4	5
(2)	今回は、決まった日に行う避難訓練イベントではなく、いつでも好きな時に訓練を行える試みでしたが、これまでの避難訓練に比べ参加しやすかったですか？	1	1	3	4	8	4	5
(3)	もし、あなたが旅行先でこのアプリを使った場合、避難に役立つと思いますか？	1	0	3	6	7	4	5
(4)	今回の訓練に参加してみて、防災意識が高まったことを実感しましたか？	0	1	6	6	4	4	3,4

※回答選択肢 (1:まったくそう思わない, 2:ややそう思わない, 3:どちらともいえない, 4:ややそう思う, 5:強くそう思う)  
 ※有効回答数: 最大 17 (記入式のため質問により有効回答数が異なる)

表 7 津波避難被験者へのアンケート結果 (観光客) (5 段階評価)  
**Table 7** Post-experiment questionnaire results by participants (visitors) (5-point Likert scale).

質問番号	質問項目	評価の分布					中央値	最頻値
		1	2	3	4	5		
(1)	日頃、あなた自身は防災意識が高いとお考えですか？	5	6	1	5	0	2	2
(2)	今回は、決まった日に行う避難訓練イベントではなく、いつでも好きな時に訓練を行える試みでしたが、これまでの避難訓練に比べ参加しやすかったですか？	0	0	6	6	5	4	3,4
(3)	もし、あなたが旅行先でこのアプリを使った場合、避難に役立つと思いますか？	1	1	3	6	6	4	4,5
(4)	今回の訓練に参加してみて、防災意識が高まったことを実感しましたか？	1	3	3	10	0	4	4

※回答選択肢 (1:まったくそう思わない, 2:ややそう思わない, 3:どちらともいえない, 4:ややそう思う, 5:強くそう思う)  
 ※有効回答数: 17

レーション結果の説明を受けた。次に、(2) 避難訓練者として EverCuate の操作説明を受けた後試用した。その後、(3) 実施したユーザ評価実験から得られた実際の訓練記録を避難行動可視化分析部 Web アプリケーションの閲覧操作を通じて確認し、異なる災害シナリオでの被験者の避難行動の差異等について確認した。(4) 最後にアンケートへの回答およびディスカッションを行った。表 8 にアンケート結果を示す。

9.3 結果の考察

本研究の目的は 1 章で述べたように、従来のイベント型津波避難訓練における 4 つの課題、すなわち (1) 複数の災害シナリオへの柔軟性が低い、(2) 訓練日時の柔軟性が低い点、(3) 訓練場所の柔軟性が低い点、(4) 訓練参加者の柔軟性が低い点を解決して人々の津波避難訓練のしやすさの向上に寄与すること (第 1 の目的)、また人々各自の避難訓練行動の記録を収集し街の避難経路や防災計画の更新に寄与すること (第 2 の目的) である。これら 2 つの目的に

表 8 行政担当者へのアンケート結果 (5 段階評価)

**Table 8** Questionnaire results by local authority workers and volunteers (5-point Likert scale).

質問番号	質問項目	評価の分布					中央値	最頻値
		1	2	3	4	5		
(5)	シミュレーション結果と避難訓練から、季節や時間ごとに訓練結果が変化したことがわかりましたか？	0	0	2	8	2	4	4
(6)	避難訓練時の避難所までの軌跡データや訓練を通して得られた避難経路についてのコメントや危険箇所等の情報は、地域防災対策・計画を策定する上で役立つと思いますか？	0	0	0	7	5	4	4
(7)	本方式の避難訓練は、住民の防災意識向上に役立つと感じましたか？	0	0	0	8	4	4	4
(8)	個人で訓練を行い訓練結果を可視化できるシステムは、これまでの決まった日に行う集合型の避難訓練に比べて有効的な施策であると思いますか？	0	0	1	9	3	4	4

※回答選択肢 (1:まったくそう思わない, 2:ややそう思わない, 3:どちらともいえない, 4:ややそう思う, 5:強くそう思う)  
 ※有効回答数: 最大 14 (記入式のため質問により有効回答数が異なる)

そって、本提案手法の有効性を議論する。

9.3.1 津波避難訓練のしやすさの向上

(1) 複数の災害シナリオへの柔軟性が低いという課題に対して、EverCuate はまずその設計上、非同期訓練サービス部に複数の災害シナリオを保持しユーザへ提供可能である。ユーザは用意された複数のシナリオの中から選択して避難訓練を実行できる。本実証実験においても、被験者は 2 つのシナリオから選択的に避難訓練を実行可能であった。地元住民 (実施期間 1 週間) および観光客 (実施期間 2 週間) の双方において、表 2 に示すように両シナリオでの訓練が行われた。既存のイベント型津波避難訓練においては、複数の災害シナリオで訓練を行うためには訓練イベントを繰り返し実施する必要があり、比較して本提案方式は、異なる想定災害シナリオでの避難訓練をより容易に実現可能であると分析できる。加えて、行政担当者へのアンケート (表 8) における質問 (5) 「シミュレーション結果と避難訓練から、季節や時間 (災害シナリオ) ごとに訓練結果が変化したことがわかりましたか？」に対しては、83%が「ややそう思う」または「強くそう思う」と答えた。このことから、災害シナリオごとに求められる避難行動に差異が生じる (異なる避難場所へ移動する必要がある) ことへの理解が、シミュレーション結果、および本システムを用いて被験者が実際に複数のシナリオ下で行った実避難行動データの閲覧により促進されたものと考えられる。従来のイベント型避難訓練では、3 章で述べた 4 点の課題に加え、異なるシナリオにおける実避難行動データの分析も現状では十分に行われているとはいえず、比較して本システムの効果が理解されたものと考えられる。

(2) 訓練日時の柔軟性が低いという課題に対して、避難訓練被験者へのアンケート (表 6 と表 7) の質問 (2) 「今

回は、決まった日に行う避難訓練イベントではなく、いつでも好きなときに訓練を行える試みでしたが、これまでの避難訓練に比べ参加しやすかったですか？」を実施した。その結果、地元住民の71%、観光客の65%、両者合算では68%が「ややそう思う」または「強くそう思う」と答えた。このことから、既存手法と比較して本提案方式は、いつでも好きなときに訓練を行える点において有効であるといえよう。なお本実証実験の被験者募集にあたっては、従来型の避難訓練へ参加経験の有無については、募集時および募集後のいずれにおいても条件づけやヒアリングは行わなかった。その点における被験者の偏りの発生については、可能性を否定するものではないことを記す。

(3) 訓練場所の柔軟性が低いという課題に関して、本実証評価において被験者が避難訓練を行った出発地点数は、実験期間（最長2週間）中で1人あたり平均5.7カ所、総計229カ所であり、また誘導された津波一時避難場所または高台も35カ所だった。既存のイベント型津波避難訓練において各訓練者が同様に異なる場所での訓練を体験するには、訓練イベントを繰り返し実施する必要がある。比較して本提案方式は、異なる訓練場所での避難訓練をより容易に実現可能であると分析できる。

(4) 訓練参加者の柔軟性が低いという課題に関して、第1に、実証実験において被験者は最長2週間の期間を与えられ、期間中都合がよい日時に各自で訓練を行った。このことから本提案方式は、特定日時に開催され「その日時に都合があわないと参加できない」避難訓練イベントと比較して、既存方式では参加できていない住民や観光客等より多くの人々に訓練参加への機会を与えられるものと考察する。また、避難訓練被験者へのアンケート（表6と表7）の質問(3)「もし、あなたが旅行先でこのアプリを使った場合、避難に役立つと思いますか？」に対しては、地元住民の76%、観光客の71%、両者合算では74%が「ややそう思う」または「強くそう思う」と答えた。この結果から、本手法によって観光客にも避難訓練参加の機会が与えられた場合には、その人たちの避難に役立つ効果が期待できると考察される。

以上の各考察から、本研究で提案するユーザ非同期参加型津波避難訓練は、既存の4つの課題に対して既存のイベント型津波避難訓練よりも有効であり、人々の津波避難訓練のしやすさの向上に寄与すると考えられる。

### 9.3.2 訓練行動記録の防災計画への活用

本研究の第2の目的である、避難訓練行動記録の収集による街の避難経路や防災計画の更新への貢献について考察する。まず行政担当者へのアンケート（表8）において、質問(6)「避難訓練時の避難所までの軌跡データや訓練を通して得られた避難経路についてのコメントや危険箇所等の情報は、地域防災対策・計画を策定する上で役立つと思いますか？」を実施した。その結果、解答者全員が「やや

そう思う」または「強くそう思う」と答えた。

同時に行ったディスカッションで参加者からは、第1に(1)「住民の生の声は大事である」というコメントが出た。EverCuateでは、避難行動をしているその場での気づきに基づくスムーズなアノテーションやコメント投稿を実現している。このような街中の「生の声」が地図上にプロットされる形で視覚化されそれを閲覧できたことで、行政担当者の立場から、上記のような見解が表明されたのだと考察する。

次に、(2)「まちの安全を検討すべき項目が明らかになり、事前の対応準備に有効である」というコメントが得られた。限られた数のスタッフで地域の安全に関して検討および施策を行う立場としては、地域において防災対策の強化等発災前の事前対策が必要な場所を効率的に洗い出し、実際の施策につなげていくことは課題であると考えられる。実験の被験者が街に関するセンサの役割を果たし、避難行動視覚化分析部がそれらを集約して可視化するEverCuateの機能が、検討項目の洗い出しに貢献できるものと考察する。

最後に、(3)「可視化することで誰にも分かる。判断しやすい。共通認識できる」というコメントが得られた。行政は複数の部署からなる組織において実施される。防災対策の計画策定においても、組織内のスタッフ同士や部署同士で共通の認識を持つことがスムーズな計画策定に必要であると考えられ、EverCuateの情報可視化機能が、彼らの共通認識作りおよびその先の判断のしやすさに貢献できるものと考察される。

以上の考察から、EverCuateが実現した避難行動記録やユーザフィードバック情報の可視化は、行政担当者による街の防災計画の更新に、住民の生の声の収集、検討項目の洗い出し、担当者間での共通認識作りやそれに基づく判断のしやすさといった面で役立つと考えられる。

### 9.3.3 総合的な有効性

本提案方式が人々の防災意識の向上につながるか、また方式としての有効性に関する議論を行う。

避難訓練被験者へのアンケート（表6と表7）の質問(1)で、被験者の日頃の基本的な防災意識を尋ねたところ、地元住民では中央値が4、最頻値が5と非常に高い意識が観察された一方、観光客では、中央値と最頻値がともに2と低く、大きな差が観察された。ただし両グループ間には、地元住民と観光客という違いと同時に年齢層に大きな違いがあるため、単純な比較は困難である。次に質問(4)にて、本方式の訓練によって防災意識の向上を実感したか尋ねた。その結果、地元住民、観光客ともに59%が「ややそう思う」または「強くそう思う」と回答した。このことから、EverCuateによる非同期避難訓練の体験が、防災意識が比較的高い地元住民および同意識の比較的低い観光客の双方に対して、防災意識向上の効果があつたと考察できる。さらに、行政担当者へのアンケート（表8）の質問(7)で、行

政担当者の立場から本方式での避難訓練が住民の防災意識向上に役立つと感じるか尋ねたところ、解答者全員が「ややそう思う」または「強くそう思う」と回答し、全関係者から、本提案方式の防災意識向上への貢献について肯定的な見解が得られた。なお、EverCuate アプリケーションを説明会中に短時間試用した行政担当者と比べて、実際に複数回避難訓練を実施した地元住民や仮想観光客の評価はやや後退していると分析できるが、これは EverCuate のプロトタイプ実装のユーザビリティ等にも影響を受けているのではないかと考察する（紙面の都合上省略するが、被験者からはユーザビリティに関する多くの助言をいただいた）。

行政担当者へのアンケート（表 8）の質問（8）で、既存のイベント型避難訓練と比べての本方式の施策の有効性を尋ねた。結果として、92%の解答者が「ややそう思う」または「強くそう思う」と肯定的に回答した。このことから、地元自治体の防災担当者、および地元地区の防災協議会メンバーの立場から、本方式による津波避難訓練は施策として有効であると評価されたものと考察する。

## 10. 関連研究

本章では、関連研究についての分析および本研究との比較を行う。防災・減災に関する研究は、災害発生前、災害発生直後、復興時の 3 つのフェーズにおける研究に大きく分けられる。ここでは特に、本研究が焦点をあてる（災害発生時のための訓練を行う）災害発生前における、ICT 技術特にモバイル・ウェアラブル技術を使った避難訓練支援に関する研究を、1 章で述べた本研究の 2 つの目的に照らし合わせて比較する。浦野ら [13]、島山ら [14]、[15]、光原ら [16]、[17]、[18]、Kawai ら [19] は災害発生前フェーズに焦点をあて、一方深田ら [20]、濱村ら [21] は、加えて災害発生直後をもターゲットとした研究を行っている。

浦野ら [13] は、広く普及するスマートフォンを使い、ユーザがスマートフォンアプリケーションを携帯動作させながら地域を歩く途中で、システム内であらかじめ設定された災害が発生（アプリケーション上で動作）し、ユーザに対処を求め、ユーザが災害リスクを楽しめながら学習できるシステムを構築した。同システムはその設計上、EverCuate と同様に実空間上で訓練できるシステムであり、ユーザの災害リスク認知支援に関する有用性が確認された。一方、本研究第 1 目的に関連して、ユーザがシナリオを選択できず、(1) 複数の災害シナリオへの柔軟性が低いという課題が残る。また第 2 目的に関連し、ユーザからのフィードバックを実現して防災計画へ寄与する仕組みがない。これらの点は本研究における新規性であるといえる。

島山ら [14]、[15] は、ICT を用いた防災教育の文脈において、学習者が自ら屋外において周囲の状況を観察し、危険箇所等の特徴的な場所を見つけて防災マップを作成するためのシステムを構築し評価を行った。システムは、ユー

ザが携帯する Android タブレットのアプリケーションとリモートのサーバから構成され、ユーザは、「安全な場所」「危険な場所」「避難情報が得られる場所」の区分分けを行いながら、地点ごとにコメントや写真を投稿できる。投稿されたデータを集約表示する機能も有する。実証実験の結果、学習者の防災意識に変化が見られ防災学習における効果があった。同システムでは津波には特化しておらず、また避難の訓練システムではないため直接の比較対象ではなく、本研究とは補完的關係にあるといえる。ユーザによる区分分けをともなった写真やコメント投稿機能が、EverCuate のアノテーション・コメント機能と類似しており、将来の EverCuate においても導入の検討対象となろう。EverCuate においては、「危険」「迷った」といった複数のボタンを設置することで、避難行動中に画面を 1 回タップするのみの単純なユーザインタフェースで記録を残せる点、またコメントについては、避難中にはボタンを押して場所を記憶しておき、避難完了後に具体的なコメントを記入できる機能設計が、時間制約のある津波の避難訓練に特化して設計された本システムにおける特徴となっている。

光原ら [16]、[17] は、物語分岐、ユーザ間競争、Augmented Reality (AR)、ユーザ行動の相互反映 (reflection) といった技術要素によってユーザへの魅力、印象、効果を高めた実世界 Edutainment (RWE: Real World Edutainment) システムを提案し、同システムに基づく津波避難訓練を行って評価を行った。特に提案システムの物語分岐が学習意欲と学習効果に及ぼす影響を評価し、被験者の学習意欲が高まり、RWE による避難訓練の有用性が高いと評価した。同研究が用いる RWE システムは、非同期避難訓練にも要素として適用可能であり補完的關係にあるといえる。一方、ユーザからコメントだけでなく各種アノテーションを通じて避難時の多様な情報を収集し、防災計画に活用する点の評価を行った点、地元住民や仮想観光客の協力のもと大規模な実証実験を行った点は、本研究の新規性である。

光原らは研究を継続し [18]、各地域ごとに現実的な（実際に発生が想定される）被害や避難シナリオを立案することが効果的な避難訓練実現には必要だと論じた。同研究では、市民にスマートフォンから写真投稿を依頼する形で想定される被害を収集する“community survey”，被害のデジタル素材を画像・音楽等を使って作成する“digital material creation”，地域と防災に詳しいユーザがそれらを組み合わせ避難シナリオを作成する“evacuation scenario composition”の 3 機能からなる Web ベースのシステム“Bosai Yattosar” (BY) を構築した。光原らはこれら 3 機能が、訓練教材の作成に参加しながら作成者自身が学びを得るアクティブラーニングの効果の効果をもたらす可能性があるとして論じているが、システムの評価結果は報告されておらずその有効性は不明である。また community survey における情報投稿は、その具体的な実施方法が不明である。

一方 EverCuate では、非同期避難訓練中に訓練者が自らアノテーションやコメントを残すことができ、避難行動という具体的な文脈の中で情報を収集できる点が特長である。

Kawai ら [19] は前述の光原らの研究に関連して、ゲームに基づく避難訓練 (GBED: Game-Based Evacuation Drill) 特に津波避難訓練システムをスマートグラス上で構築した。時間的余裕がない訓練をサポートするため、軽量のスマートグラス機器を採用し、またテキストと地図のみの簡易なデジタル素材表示を採用した。ただし提案手法の評価が行われておらず、その有効性は不明である。スマートグラスの使用は、視界に合成された津波や被害の映像によりユーザの没入間を増やせる可能性があるものの、デバイスやその操作ノウハウがスマートフォンと比較して普及途上の段階にあり、また、ユーザの視界が部分的に遮られ、訓練中の安全に影響を与える可能性がある。本研究では EverCuate の設計段階で、これらの点を本研究の第 1 目的で取り組む課題 (4) に照らし合わせ、スマートグラスではなくスマートフォンを採用している。また本研究での実証評価実験では、9 章で述べたように、訓練中の安全確保のため被験者は徒歩での避難を依頼された。これにより訓練中の安全を確保できる点に加え、訓練中の認知負荷を抑えることで避難経路に関する気づきとそれに基づくアノテーションやコメント投稿の機会を増やせ、地区の防災計画への活用を狙った点が、本研究のもう 1 つの特長である。

深田ら [20] は、タブレット PC とその中に地図データを保存できネットワーク接続がなくても動作するオフライン型 GIS ソフトウェアを用い、津波避難訓練システムを構築した。システムのコンセプトとしては、(1) オフライン GIS を用いることでサーバとのネットワーク接続を不要にでき、災害発生前における訓練に加えて災害発生時の本番の避難にも活用できる点、(2) 本研究の第 2 目的とも重なる、訓練データの蓄積による地域防災力向上を特長としている。同研究ではタブレット PC を用いたと比較して、本研究ではスマートフォンを用いた。タブレットは大型の画面を特長とするものの、スマートフォンと比較して体積重量があり携帯性には劣る。一方スマートフォンは携帯性の高さに加え、タブレットと比較して普及率が大幅に高く、機器を貸し出さなくてもユーザがアプリケーションを自身のデバイスへダウンロード・インストールできる点が大きな特長であり、EverCuate は本研究第 1 目的の課題 (4) に鑑み、スマートフォンを採用するシステム設計上の意思決定をした。また本研究では、第 2 の研究目的に基づくアノテーション・コメント機能、および移動軌跡をサーバ上で集約し可視化する機能が深田らのシステムと比べての新規性である。

濱村ら [21] は、災害発生前およびネットワーク断絶が予想される災害発生後にも利用可能な、ユーザ間で避難時に役立つ情報 (避難支援情報) を投稿/交換するオフライン対

応型の災害時避難支援システムを開発した。スマートフォンアプリ上での地図形式での情報提供に加え、ユーザの現在地周辺の情報の通知やいくつかのゲーミフィケーション機能を用いて、平常時からのユーザ利用を促す。同研究は、津波を含む広義の災害時における避難を支援するための総合的なシステムとして開発されており、上記機能による平時の利用促進や、オフラインキャッシュ機能によりネットワーク断絶時にも利用可能な点を特長とする一方、津波に関して災害シナリオ選択や時間制約をともなった避難訓練の機能は有しておらず、それらは本研究の特長である。EverCuate と同研究とは相互補完的な位置づけにとらえられる。また EverCuate においては、本研究の第 2 目的に関連して、行政担当者が一般ユーザの行動履歴やコメント・アノテーションを専用の可視化機能を使って閲覧・分析できる機能が実現されており、行政担当者の視点から防災対策に活用できる。この視点での機能の実現と評価は、濱村らのシステムと比較しての EverCuate の新規性である。

## 11. 終わりに

本研究は、大地震発生時に襲来する津波への有効な防災・減災手段と考えられる津波避難訓練において、既存のイベント型津波避難訓練における「複数の災害シナリオへの柔軟性が低い」、「訓練日時の柔軟性が低い」、「訓練場所の柔軟性が低い」、「訓練参加者の柔軟性が低い」といった課題に着目した。本研究は「ユーザ非同期参加型津波避難訓練」を提案し、実証を通じて、従来型避難訓練の課題を解決し人々の津波避難訓練のしやすさの向上に寄与すること、および従来容易には実現できなかった人々の実際の避難行動やフィードバックを集約し、街の避難経路や防災計画の更新に寄与することを目的とした。本モデルを実装するシステム「EverCuate」を実装し、神奈川県藤沢市で地元住民、観光客、行政担当者を対象とした実証評価実験やアンケートによる評価を行った。実験から収集したデータからは、災害シナリオの違いやユーザ属性の違いによる実際の避難行動の差異が明らかになった。

アンケート結果からは、本提案手法が既存津波避難訓練の 4 課題に対して有効であり、津波避難訓練のしやすさの向上に寄与することが分かった。また避難行動記録やユーザフィードバック情報の可視化は、行政担当者による街の防災計画の更新に役立つと考察された。実際に本提案方式で避難訓練を行った被験者、および本システムを試用した行政担当者の双方から、本提案方式の防災意識向上への貢献について肯定的な見解が得られた。最後に、行政担当者からは、既存の方式と比較して本提案方式の施策は有効であるとの評価を得た。

今後の研究課題としては以下の点があげられる。シミュレーション部分における今後の研究課題としては、まず避難シミュレーションの精緻化があげられる。同時に、公開



済みのファイルフォーマットを用いての他の研究者による多様なシミュレーション結果との連結に関する実証評価は、重要な次の研究課題と考えられる。非同期避難訓練において現在のシステムは、シミュレーション部において算出された「指定災害シナリオにおける、ユーザの現在位置から算出された避難に適した避難場所」を1つ発見しユーザを案内する。今後複数の避難先候補をユーザへ提示し、ユーザの避難場所選択に関する実データ収集と分析を可能にすることによって、シミュレーションのさらなる精緻化に利用可能なユーザ行動の特徴を抽出できる可能性がある。また、今回収集できた実際の被験者の避難行動データをシミュレーションにフィードバックさせ、シミュレーションの品質を高められるようなフィードバックループを構築することは大きな研究課題である。最後に、より多くの地域に容易に EverCuate システムを普及展開できるための技術上の研究開発は（普及展開の取り組みそのものも同時に）重要と考える。たとえばユーザはたかだか1つのアプリケーションをモバイル端末にインストールするだけで、ユーザの位置情報に応じてその地域の訓練が実施できる広域分散型の連携機能は、今後の重要な研究課題である。

**謝辞** 本研究の一部は、総務省 G 空間シティ構築事業、独立行政法人情報通信研究機構、および文部科学省博士課程教育リーディングプログラムにご支援いただいた。本研究のプロジェクト管理やシステム開発にご協力いただいた、東日本電信電話株式会社ビジネス&オフィス営業推進本部の皆様へ感謝の意を申し上げる。本研究の実証実験にあたりご協力いただいた多くの藤沢市民の皆様、藤沢市総務部 IT 推進課の皆様、多くの慶應義塾大学の学生の皆様へ感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 警視庁：平成 23 年東日本大震災と警察一回顧と展望 (2012), 入手先 (<https://www.npa.go.jp/archive/keibi/syouten/syouten281/pdf/ALL.pdf>).
- [2] UN-Habitat: *State of the World's Cities 2008/2009 – Harmonious Cities*, UN-Habitat (2008).
- [3] 神奈川県藤沢市：藤沢市津波避難計画 (2014).
- [4] 神奈川県県土整備局河川下水道部流域海岸企画課：「津波浸水予測図」について (平成 24 年 3 月), 入手先 (<http://www.pref.kanagawa.jp/cnt/f36094/>).
- [5] 湘南広域都市行政協議会：レジリエントシティ湘南一時間や季節に応じた人的被害予測及び人やモノの位置に応じた情報伝達・制御で実現する防災モデル実証事業 (平成 25 年度補正予算 G 空間シティ構築事業成果報告書) (2015).
- [6] Esri Japan Corporation: ArcGIS, available from (<http://www.esri.com/products/arcgis/>).
- [7] ZENRIN CO., LTD.: 住宅地図データベース Zmap-TOWNII, 入手先 (<http://www.zenrin.co.jp/product/gis/zmap/zmaptown.html>).
- [8] Esri Japan Corporation: ArcGIS データコレクション道路網, 入手先 (<http://www.esri.com/products/arcgis-data-collection-network/>).
- [9] 国土交通省国土地理院：基盤地図情報サイト, 入手先 (<http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>).
- [10] 神奈川県藤沢市：ふじさわ防災ナビ—防災インフォメーション, 入手先 (<http://bosaiinfo.city.fujisawa.kanagawa.jp/index.php?module=bosai.shisetsu&gid=10005>).
- [11] 総務省統計局：政府統計の総合窓口, 入手先 (<http://www.e-stat.go.jp/>).
- [12] SANET: Spatial Analysis along Networks (SANET) for ArcGIS, available from (<http://sanet.csis.u-tokyo.ac.jp/index.html>).
- [13] 浦野 幸, 于 沛超, 遠藤靖典, 星野准一：実環境における災害体験ゲームシステムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.357–366 (online), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009511457/>) (2013).
- [14] Hatakeyama, H., Nagai, M. and Murota, M.: Development of Mobile Training Systems for Disaster Evacuation Plans, *EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology*, Vol.2014, No.1, pp.2444–2448 (online), available from (<https://www.learntechlib.org/p/147818/>) (2014).
- [15] 畠山 久, 永井正洋, 室田真男：防災マップ作成支援システム “FaLAS” を利用した授業実践とその評価 (学習支援環境とデータ分析/一般), 日本教育工学会研究報告集, Vol.15, No.1, pp.1–6 (online), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020396515/>) (2015).
- [16] Mitsuahara, H., Sumikawa, T., Miyashita, J., Iwaka, K. and Kozuki, Y.: Game-based evacuation drill using real world edutainment, *Interactive Technology and Smart Education*, Vol.10, No.3, pp.194–210 (online), DOI: 10.1108/ITSE-05-2013-0012 (2013).
- [17] 光原弘幸, 三木啓司, 角川隆英, 宮下 純：物語分岐と競争を取り入れた実世界 Edutainment システム, 電子情報通信学会論文誌 D システム開発論文特集, Vol.J96-D, No.10, pp.2476–2487 (2013).
- [18] Mitsuahara, H., Inoue, T., Yamaguchi, K., Takechi, Y., Morimoto, M., Iwaka, K., Kozuki, Y. and Shishibori, M.: Web-based System for Designing Game-based Evacuation Drills, *Procedia Computer Science*, Vol.72, pp.277–284 (online), DOI: 10.1016/j.procs.2015.12.141 (2015).
- [19] Kawai, J., Mitsuahara, H. and Shishibori, M.: Tsunami Evacuation Drill System Using Smart Glasses, *Procedia Computer Science*, Vol.72, pp.329–336 (online), DOI: 10.1016/j.procs.2015.12.147 (2015).
- [20] 深田秀実, 橋本雄一, 赤渕明寛, 沖 観行, 奥野祐介：タブレット PC を用いた津波避難支援システムの提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2013) シンポジウム, 情報処理学会, pp.1938–1944 (2013).
- [21] 濱村朱里, 福島 拓, 吉野 孝, 江種伸之：日常利用可能なオフライン対応型災害時避難支援システム “あかりマップ” の実環境における利用可能性, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp.319–330 (2016).



大越 匡 (正会員)

1998年慶應義塾大学環境情報学部卒業。2000年同大学大学院政策・メディア研究科修士。2006年カーネギーメロン大学計算機科学部計算機科学科修士 (M.S. in Computer Science)。企業勤務を経て、2012年シンガポール経営大学情報システム学部研究員、2015年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士。現在、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任講師。モバイルコンピューティングシステム、ユビキタスコンピューティングシステム、分散システム、ヒューマン・コンピューティング・インタラクションに関する研究に従事。IEEE, ACM 各会員。



米澤 拓郎 (正会員)

2007年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科修士。2010年慶應義塾大学 Ph.D. (政策・メディア)。現在、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任講師。主に、ユビキタスコンピューティングシステム、インタラクティブシステム、センサネットワークの研究に従事。ACM 会員。



山本 慎一郎 (正会員)

藤沢市役所企画政策部企画政策課主幹。1991年藤沢市役所入庁。総務部IT推進課等を経て、2015年より企画政策部企画政策課在籍。総務省「G空間シティ構築事業」、文部科学省「実社会ビッグデータ利活用のためのデータ統合・解析技術の研究開発」、独立行政法人情報通信研究機構が研究委託する「新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発」等の実証研究に関する自治体フィールド調整に従事。



中島 円 (正会員)

慶應義塾大学特任准教授。国際航業(株)に入社後、地理情報システム、位置情報サービスの研究に従事。慶應義塾大学大学院後期博士課程修了。日本地図学会常任委員、博士(システムエンジニアリング学)。



神武 直彦 (正会員)

1996年慶應義塾大学理工学部卒業。1998年同大学大学院理工学研究科修士。2005年同大学大学院政策・メディア研究科博士。宇宙開発事業団、宇宙航空研究開発機構、欧州宇宙機関を経て、2009年より慶應義塾大学准教授。宇宙システム、ユビキタスコンピューティングシステム、アジア太平洋地域を中心とした社会基盤インフラを利用したソーシャルイノベーション創出に関する研究に従事。日本スポーツ振興センターハイパフォーマンスセンターマネージャー。アジア工科大学院招聘准教授。IEEE, ACM, INCOSE 各会員。測位航法学会理事。



栗田 治 (正会員)

1983年筑波大学第三学群社会学類都市計画専攻卒業。1989年同大学大学院博士課程社会学研究科都市・地域計画学専攻修了。1989年日本学術振興会特別研究員(PD)、1990年東京大学助手(工学部都市工学科)、1992年慶應義塾大学理工学部管理工学専任講師、1996年同助教、2002年同教授。学術博士。専門は都市解析と都市のオペレーションズ・リサーチ。著書『都市と地域の数理モデル—都市解析における数学的方法—』(共立出版, 2013), 『都市モデル読本』(共立出版, 2004)等。



中澤 仁 (正会員)

慶應義塾大学環境情報学部准教授。博士(政策・メディア)。ミドルウェア、システムソフトウェア、ユビキタスコンピューティング等の研究に従事。日本ソフトウェア科学会, IEEE 各会員。



徳田 英幸 (正会員)

1975年慶應義塾大学工学部卒業。同大学大学院工学研究科修士。ウォータールー大学計算機科学科博士 (Ph.D. in Computer Science)。米国カーネギーメロン大学計算機科学科研究准教授を経て、1990年慶應義塾大学環境情報

学部に勤務。慶應義塾常任理事、環境情報学部長、大学院政策・メディア研究科委員長を経て、現在、慶應義塾大学環境情報学部教授。専門は、ユビキタスコンピューティングシステム、OS、Cyber-Physical Systems等。情報処理学会フェロー、日本ソフトウェア学会フェロー。現在、日本学術会議会員を務める。本会フェロー。