

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：13801
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2018～2021
課題番号：18K04388
研究課題名（和文）無線系移動体を用いたリアルタイム可視化による避難訓練ダイナミクスに関する研究
研究課題名（英文）Research on evacuation drill dynamics by real-time visualization using wireless mobile objects
研究代表者
鈴木 康之（SUZUKI, Yasuyuki）
静岡大学・工学部・教授
研究者番号：40402664
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：この研究は、「スマートフォンのアプリケーションを通して、津波の被害者を減少させる仕組みをつくること」を目的に、避難訓練のアプリケーション化と津波避難時の危険区域の可視化を行い、効果を検証する取り組みである。
精度の向上と、マッピングの課題の発見をおこなった。精度に関して、測定のアロリズムの見直しや処理速度の最適化を検討し、誤差を最小0.22mと向上させた。またマッピングの課題に関しては東海・東南海地震で被害が想定される125の自治体に対してアンケート調査により現状分析をおこなった。分析結果から多くの課題が発見されたが、津波避難アプリを用いることで、課題の解決は可能であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

携帯端末を用い「一斉訓練」の形式を取らず、生活が多様化する住民が任意のタイミングで単独のゲーム感覚で避難訓練に参加可能であり、またそのデータを総合して「水害危険地域の見える化」により測定結果の「価値化」を実現しようとすることを目指した研究である。携帯端末で測定することの手軽さを犠牲にせず精度を保つ測定アルゴリズムを提案することにより社会実装が可能なシステムを提案することができた。
即ち特に危険地域の住民に自主的に使用してもらい所望のデータを蓄積することで測定結果を社会還元することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：This research is an effort to verify the effect by applying evacuation drills and visualizing dangerous areas during tsunami evacuation with the aim of "creating a mechanism to reduce tsunami victims through smartphone applications".
Improved accuracy and discovered mapping issues.
Regarding the accuracy, we reviewed the measurement algorithm and examined the optimization of the processing speed, and greatly improved the error to a minimum of 0.22m. Regarding mapping issues, we conducted a questionnaire survey of 125 local governments that are expected to be damaged by the Tokai and To-Nankai earthquakes. Many problems were discovered from the analysis results, but it was found that the problems could be solved by using the tsunami evacuation app.

研究分野：無線測位

キーワード：防災計画 水害津波 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

本邦太平洋岸で想定される大地震に起因する津波や、近年頻発する各地の水害に対する備えの一つに「避難訓練」がある。学術的に防災情報のジャンルであるが、その研究の多くが「GNSS(いわゆる GPS,以下同じ)ロガー」を訓練者に頒布回収しての後追い分析が主流であり、IoT 時代としては前近代的な手法である。実用面からも、10m 程度の誤差を持つ GNSS 生データの利用や、例えば津波避難タワーの建築場所の選定にこれらログ分析の結果の反映はおこなわれておらず、研究と社会実装がちぐはぐな状況である。本研究は、水害シミュレーションに不可欠なセンチメートル級の分解能を持つ最新の測位技術と住民の多様化に配慮し集団に依らない個別避難訓練シミュレーションが可能なスマホゲームアプリ（基本特許は研究代表者らが出願し成立、以下アプリ）を併用し、無線システムにより移動する複数端末の動向をリアルタイムに可視化しながら、取得された「出発点と被害シナリオ」に紐づいた勝率から実効性のある「危険度マップ」の構築を可能としたシステムを構築するものである。システムの概念を図1・作成しようとするアプリの時系列的動作概念を図2に示す。

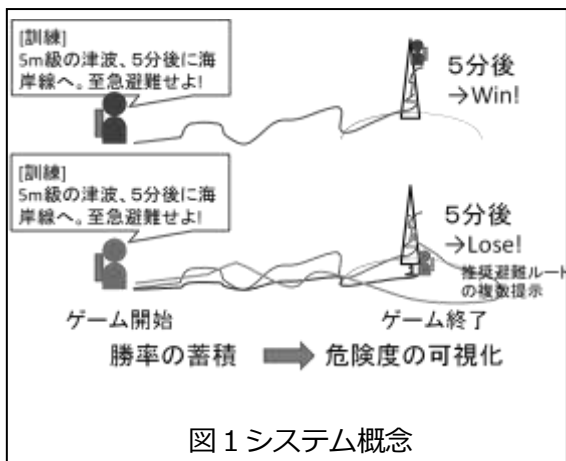


図1 システム概念

2. 研究の目的

避難訓練のアプリ化（以下、津波避難アプリと呼称）により、ユーザの避難データを取得、蓄積する。さらにデータを活用することで、津波被害者を減じることを研究目的とする。

また、本研究の研究目標は避難訓練のアプリケーション化、および津波避難時の危険区域の可視化である。危険区域の可視化については、まず何が危険であるか、現在のハザードマップ等はどうなっているかという状況を把握する必要がある。

現在、各自治体の津波に対するハザードマップ、避難所の配置図、避難訓練には問題点がある。

3. 研究の方法

①携帯スマホ系

津波危険度を測ることのできるアイデア（特許 5737683 号、以下、本特許）がある。本特許を実現するアプリを実現することによって津波危険度マップの作成が可能となる。本特許を実現し津波危険度マップを作成するためには、人の横方向への移動だけでなく縦方向への移動すなわち高度を計測する必要がある。スマートフォンで搭載されているセンサーのうち、本研究では GNSS、気圧計および加速度計を用いる。

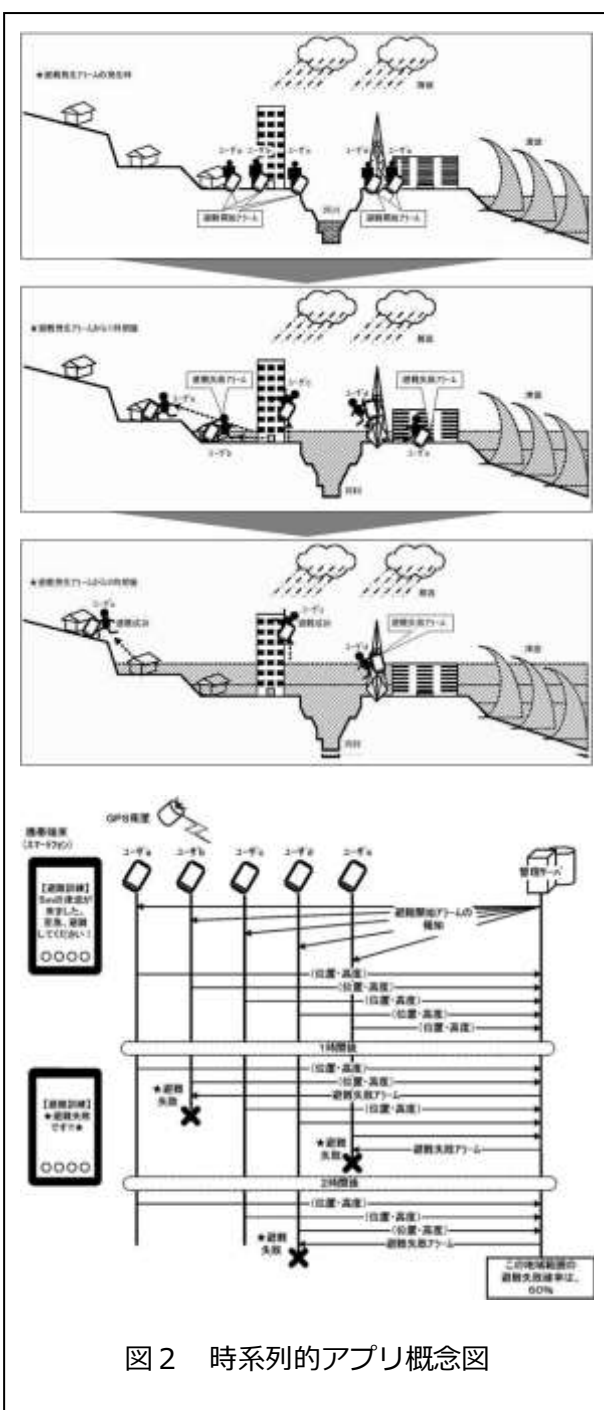


図2 時系列的アプリ概念図

②非携帯スマホ（汎用無線）系

従来、本アプリでは小ゾーンセル方式の携帯電話（および紐付された Wi-Fi）網を利用しており、災害時にその基地局が真っ先に被災する危険がある（概念を図 3 に示す）。そのため発災時の通信網とするためには被災予測地域外に設置した基地局と通信する方式が必要である。そのため、従来型たる「携帯スマホ系」に対し、

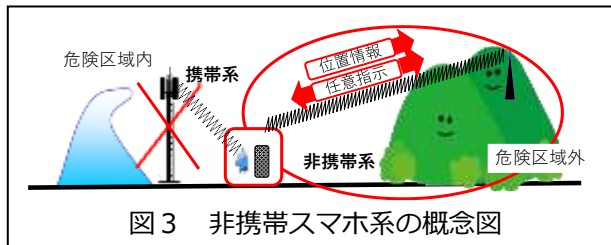


図 3 非携帯スマホ系の概念図

「非携帯スマホ系」、すなわち大セルまたは中セル方式（情報伝達の基地となる無線局は被災しない想定）が必要でありその他の無線系を使用したシステムを構築する必要がある。概念を図 6 に示す。ここでは、デジタル簡易無線とアマチュア無線を活用する場合についての検討を行った。

なお研究代表者らは電波法に定める「陸上特殊無線技士」「アマチュア無線技士」等無線を使用するために必要な国家資格を持ち、いずれも電波法施行規則に則った方式で無線局免許（登録）をしている。

③自治体アンケート

本システムであつめた「危険度」情報を具体的にマッピングするためには、現状のマップを分析検討する必要がある。そのため、津波対策として危険度をマッピングするノウハウがあり、東海・東南海地震で被害が想定される 125 の自治体（県、市、町、村）に対して、避難訓練やハザードマップ等に関するアンケート調査をおこなった。

4. 研究成果

①携帯スマホ系：

気圧計の測定結果から絶対高度を算出する式を (1) に示す。(1)式は気象庁で絶対高度を求め際に用いられる式である。

$$h = \frac{\left\{ \left(\frac{P_0}{P} \right)^{5.257} - 1 \right\} \times (T + 273.15)}{0.0065} \quad \cdot \cdot (1)$$

（ここで、 P_0 :海面気圧 (hPa) T :温度 (°C) P :測定値点気圧 (hPa) h :絶対高度 (m) とする) 本研究では (1) 式において、温度は、静岡県浜松市の 2016 年の平均気温である 18.3°C を使用した。海面気圧は、一般的に標準とされている 1013 [hPa] を用いた。

加速度計の出力である加速度から高度差を求めるには、時間で 2 回積分を行うことで位置変化に換算することができる。しかし、下記の 3 つの課題から、そのままでは高度測定として使用に耐えない。

- ① スマートフォンが回転すると、加速度計の軸も回転してしまう
 - ② 横向きの移動時にも加速度を測定してしまう
 - ③ 積分を行った際の誤差が蓄積し、位置変化の値が発散してしまう
- これらの課題を解決するために、以下の対策を施したアルゴリズムを開発した。

- ① 重力方向への正射影ベクトルを使用する
 - ② 積分結果をゼロに近づけるフィルターを使用する
- これらの対策により高度の測定が可能となる。

以上のことを加味した高度の誤差を表 1 に示す。

即ち、携帯端末に実装されている GNSS のシステムは、少なくとも上下高低方向の測定に関して誤差が大きく、本避難訓練アプリにとっては他の方式（気圧計または/および加速度計）を援用しないと十分な効果が得られないことが示唆された。同時に加速度計は全ての携帯端末に搭載されているわけではなく、本研究では両機能を搭載している GooglePixel5 を使用したが、特に気圧計のデータを高度測定の主軸に置くこととした。

測定後の分析アルゴリズムの検討により精度を向上させることに成功した。比較の方法としてはスマートフォンを固定し、高度計測を 10 回行った。この際、高度計測 1 回につき 100 個のデータを取得し、得られた高度データの推移と基本統計量および測定振幅で、津波避難アプリの改善を確認した。研究開始当初の高度推移を図 4 に、最終段階での高度推移を図 5 に示す。研究開始時の精度が 0.43 [m] から 0.74 [m] であるのに対し、研究終了時では 0.22 [m] から 0.37 [m] と大きな精度の改善が見られた。

また、母平均推定をおこなうことも検討したが、標本数や推定区間の

表 1：携帯電話機に搭載されている計測機器（GNSS、気圧計および加速度計）による高度測定誤差

測定方法	統計誤差	偶然誤差
GNSS	-23.1%	130.8%
気圧計	2.5%	13.4%
加速度計	0%	8.0%

広さ、津波避難アプリの即応性の観点から、本研究には適していないと判断し、実装を断念した。

改良した津波避難アプリを動作させ、スマートフォンの高さを遷移させた場合の挙動を調べた。室内といった環境の気圧変化による影響を避けるため外部に面した階段（1段あたりの高さが0.199[m]）を用いた。

階段の1段目を基準高度とし、基準高度で40回高度を取得した後、階段の2段目で高度を40回取得、その後さらに階段の3段目で高度を40回取得する。この合計120個の高度データを取る操作を3回おこなった。その際の高度推移と、真値である各段数の高さを図6に示す。またこの際、階段の段数移行にともなって発生した異常値は削除している。結果として、このアルゴリズムによって測定気圧値を評価すれば、若干の誤差を含むものの、高度の変化に対応して表示される値も変化することが確認でき、避難訓練アプリとしての実用性が確認できた。

②非携帯スマホ（汎用無線）系：

デジタル簡易無線にAPRSプロトコルを適用した手法について、基地局のカバーエリア内（アンテナ設置場所の制限があり相当に狭い）で、端末を持って徒歩で移動した軌跡を図7に示す。基地局での端末側電波の受信取りこぼしが散見されるものの、活用する基地局のカバーエリア内（アンテナ設置場所の制限があり相当に狭い）で十分な結果が確認できた。パケットの到達率や高速パケット（9600bps）での可能性など今後調査する内容は多いが、目標とする「非携帯系における多端末データ集約と即時可視化の実現可能性」が確認できた。

アマチュア無線を使った系では、デジタル簡易無線による方法において送信機受信機をアマチュア無線機各種に置き換えることで実証を行った。プロトコルやシステムが確立しているため、広い範囲でデジタル簡易無線での結果と同様な成果が得られた。また研究期間中に疫病流行による行動制限が行われることになったため住民が集合しての実証評価ができなくなったことから、アマチュア無線網下で複数機を使用し輻輳した電波環境下でも同様なデータが取れることを確認し、住民参加方式の実証を省略するに至った。

③自治体アンケート調査：

アンケートの質問項目に、海側へ避難する危険性についての考えを問う質問を設けた。回答結果をテキストマイニングした際の共起ネットワーク図を図6に示す。図中に「逃げる」-「やむを得ない」という共起関係があるように、回答には海側への避難について、ある程度割り切っている自治体があった。これは、避難者各自の避難経路や避難能力の考慮が困難であることに由来する。今後、本研究が発展することで作成される危険度マップでは、避

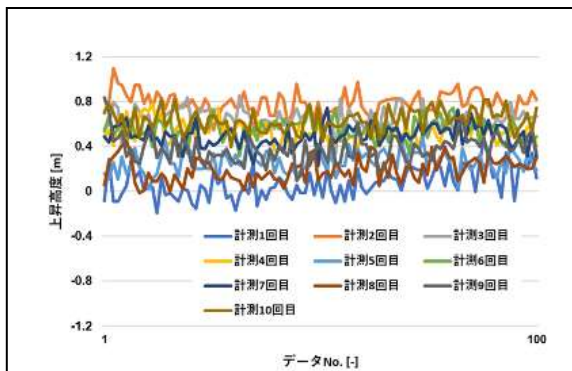


図4 研究開始当初の高度測定データ（端末固定）

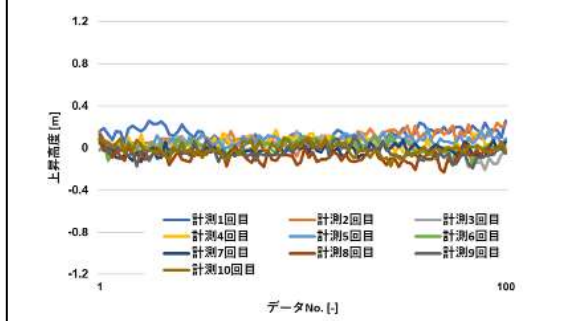


図5 研究終了時の高度測定データ（端末固定）

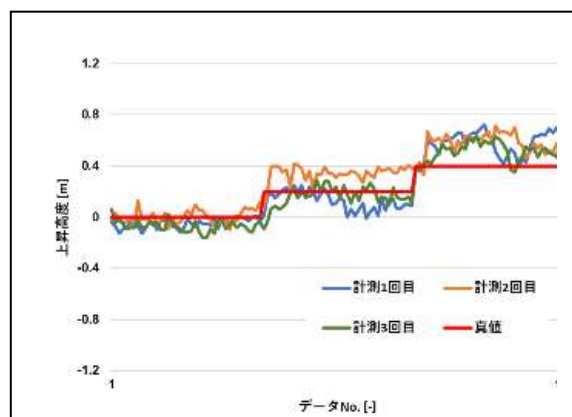


図6 研究終了時の高度測定データ（端末非固定・上下移動）



図7 携帯型無線機を持ち歩いた奇跡例

難者各自の避難能力に基づいて作成される。したがって、本研究の危険度マップを用いて適切な場所に避難できる場所を設置することで、この課題は解決できると考える。

しかし本アンケートでは同時に以下の問題が露呈した。

- 自治体が課題を課題として認識していない
- 避難訓練、シミュレーション等が実際に即していない
- 避難訓練の数や範囲の必要条件の明示
- 避難訓練の対象セグメント
- 高さ方向を考慮したマップが少ない
- マップの見やすさの指標の明示
- マップのリアルタイム性
- ガイドラインに従うのみで、地域特性や個人の避難能力等への考慮が無い
- ハザードマップ作成や避難訓練にともなう予算や人手の不足
- 要配慮者への配慮不足
- 避難行動の安全性の一律化。

・今後の課題

現状の津波対策における課題は、津波避難アプリで解決できることが分かった。しかし、津波避難アプリは精度の面において、

- ・ 特定の場所における気圧を調べることができない
- ・ 時間による気圧変化の影響を無視できず、計測は短時間に限られる
- ・ 気圧変化は一定ではないため、定量的な議論が難しい
- ・ スマートフォンの機種、OS、搭載センサーの種類によって計測結果が変わる可能性がある

といった課題を抱えている。気圧を扱う以上、津波避難アプリの要求精度を満たすことは難しい。

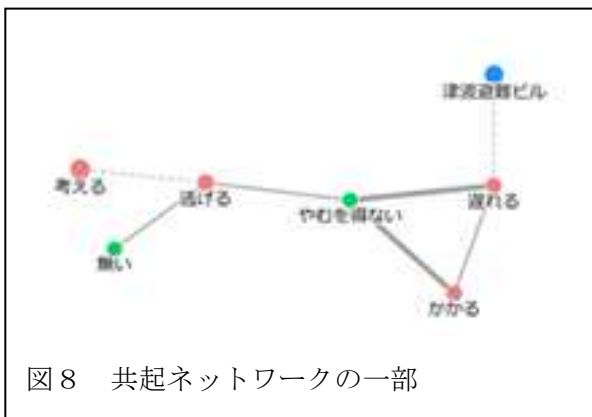


図8 共起ネットワークの一部

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 垣田彰広・森山聡之・鈴木康之
2. 発表標題 災害情報弱者救済のための水位情報伝達システムの開発
3. 学会等名 自然災害研究協議会西部地区部会発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木康之・杉本 等・森山聡之
2. 発表標題 スマートフォンアプリケーション開発における大学における知財戦略の事例報告 「避難訓練ゲーム」の場合・開発者の立場から
3. 学会等名 産学連携学会第16回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 窪田龍吾, 杉本 等, 森山聡之, 鈴木康之
2. 発表標題 Accuracy enhancement in an App, A Tsunami evacuating simulating game. Especially focusing on altitude detection by using RTK-GNSS method.
3. 学会等名 The Society for Risk Analysis, Asia Conference 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森山聡之・栗田航平・鈴木康之
2. 発表標題 360VR カメラによる災害記録のアーカイブ化（第2報）
3. 学会等名 日本災害情報学会 20周年記念大会 日本災害復興学会 10周年記念大会 合同大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 間々田夏菜子・森山聡之・鈴木康之
2. 発表標題 平成29年7月九州北部豪雨におけるGISを利用した豪雨の表示について—段ボールジオラマとプロジェクションマッピングへ向けて—
3. 学会等名 地理情報システム学会 第27回学術研究大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木康之・杉本 等・森山聡之
2. 発表標題 スマートフォンセンサーを利用した高さ計測の一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会:2021年ソサイエティ大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	森山 聡之 (MORIYAMA Toshiyuki) (50136537)	福岡工業大学・社会環境学部・教授 (37112)	
研究 分担者	杉本 等 (SUGIMOTO Hitoshi) (60267028)	事業創造大学院大学・事業創造研究科・教授 (33112)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------