

タブレット PC を用いた津波避難支援システムの提案

深田秀実^{†1} 橋本雄一^{†2} 赤渕明寛^{†3} 沖 観行^{†3} 奥野祐介^{†2}

津波災害に対する防災・減災対策では、「自助」・「共助」・「公助」が不可欠である。「自助」としての津波防災対策としては、津波ハザードマップを入手し、事前に避難行動などを検討しておくことが考えられる。しかし、自助としての津波ハザードマップはあまり活用されておらず、共助として地域で実施される津波避難訓練にもいくつかの課題が指摘されている。そこで、本研究では、タブレット PC 向けに開発されたオフライン型 GIS に着目し、津波ハザードマップやユーザの現在位置・移動軌跡を表示することが可能な津波避難支援システムを提案する。本提案システムのプロトタイプを用いて、北海道小樽市をフィールドとした基礎的な評価実験を行った。その結果、提案システムの基本機能に関して、おおむね良好な評価結果を得ることができた。

Proposal of Tsunami Evacuation Support System Using a Tablet PC

HIDEMI FUKADA^{†1} YUICHI HASHIMOTO^{†2} AKIHIRO AKABUCHI^{†3}
MIYUKI OKI^{†3} YUSUKE OKUNO^{†2}

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）は、東日本を中心とした太平洋沿岸に津波による甚大な被害をもたらした。当該地震の規模がマグニチュード9.0（ $M_w=9.0$ ）であったことから、今後も、比較的大きな余震の可能性とそれに伴う津波の発生が懸念されている[1]。

地震や津波などの自然災害に対する防災・減災対策では、「自助」・「共助」・「公助」が不可欠であるとされている。そのうち、基本となるのは「自助」の徹底である。「自助」となる津波防災対策としては、津波ハザードマップを入手し、事前に避難行動などを検討しておくことが考えられる。

しかし、住民は、行政から配布された津波ハザードマップを詳しく見ることなく、家の中のどこかにしまい込むことが多いとされ、あまり活用されていない。また、海岸を有する地方自治体では、「共助」となる津波避難訓練を行ってきたが、従来の避難訓練は希望者参加型訓練であるため、防災に興味の薄い住民や若年層に対してアプローチすることが難しいといった限界が指摘されている[2]。

そこで、本研究では、タブレット PC 向けに開発されたオフライン型 GIS に着目し、津波ハザードマップやユーザの現在位置や移動軌跡を表示することが可能な津波避難支援システムを提案する。平常時に本提案システムを活用した津波避難訓練を実施できれば、津波ハザードマップ上に

リアルタイムで自分の避難行動軌跡などを確認することが可能になり、津波防災への興味励起や能動的な避難訓練参加が期待できる。

以下、2章では、津波ハザードマップと津波避難訓練に関する現状と課題を述べ、3章で、タブレット PC 向けの GIS エンジンを用いた津波避難支援システムを提案する。4章では、提案システムのプロトタイプを用いた評価実験の概要を説明し、実験結果を考察する。最後に5章で、全体のまとめと今後の展望を述べる。

2. 津波防災に関する現状と課題

日本国内における津波防災に関する現状と課題のうち、津波ハザードマップと津波避難訓練に関する現状と課題を述べる。また、津波避難支援システムに関する先行研究についてまとめる。

2.1 現状と課題

一般に、自然災害に関するハザードマップは、地方自治体が作成し、住民に配布してきた。しかし、現実には、住民は、配布された紙のハザードマップをあまり詳しく見ることなく、家の中のどこかにしまい込んだり、時間が経過すると紛失してしまうこともあるとされる。そのため、平常時における住民の防災意識の啓発、また、災害発生に直面した場合の両面において、ハザードマップを有効に活用できるかどうかについては、懐疑的な意見もある[3]。

また、これまで行われてきた一般的な津波避難訓練では、訓練開始の合図で単に避難場所へ移動するという体験に止まってしまうことがあり、訓練実施時において、参加者の

^{†1} 小樽商科大学商学部社会情報学科
Department of Information and Management Science,
Otaru University of Commerce

^{†2} 北海道大学大学院文学研究科
Graduate School of Letters, Hokkaido University

^{†3} (株)ヒューネス
Hunes Corporation

間で避難訓練の効果などを確認・共有できるような防災教育を兼ねた避難訓練の実施なども望まれている。

2.2 先行研究

近年、モバイル端末を用いた災害時避難支援システムの研究・開発においては、Google Map を代表とする Web サイトの電子地図や携帯電話メールを用いたシステムが多く提案されている[4]-[7]。Web サイト上の電子地図を利用すれば、電子地図の更新をシステム開発者側が行う必要がなく、開発コストの面からも有利であると考えられる。

しかし、大規模地震が発生した場合を考えると、データサーバや携帯電話網の基地局を含む情報通信基盤が被災し、必ずしも、Web サイトに安定してアクセスすることが出来ず、地図を閲覧できないことも考えられる。そうなれば、事前にダウンロードしておいた地図しか利用できない状況が生じる。

一方、現在、タブレット PC やスマートフォンといった画面をタッチすることで操作が可能なモバイル端末が注目されている。従来の携帯電話では、ボタン操作が複雑で高齢者には容易に操作を理解することが難しかった面もある。タブレット PC は、画面を指でなぞることで容易に操作することが可能である。画面上の文字を大きく表示する場合でも、直感的な操作で実現でき、高齢者でも端末操作の習得が比較的容易であるとされている。

そこで、本研究では、今後さらに普及することが予想されるタブレット PC とオフライン型の GIS エンジンに着目し、Web サイトにアクセスしなくとも、事前にインストールした電子地図上に避難所等が掲載されているハザードマップの表示が可能な津波避難支援システムを提案する。

本提案システムを沿岸地域で実施される津波避難訓練の際に使用してもらうことで、津波避難行動意識の醸成を図り、地域防災力の向上の一助となることを目指す。

提案システムを地域の津波防災対策に組み入れることにより期待される具体的な効果は、次の3点にまとめられる。

- ・期待効果 1：モバイル GIS を用いた津波ハザードマップの活用
- ・期待効果 2：避難訓練データの可視化による防災への興味励起
- ・期待効果 3：津波避難訓練データの蓄積による地域防災力向上への寄与

なお、小河ら[8]や福島ら[9]は、筆者らと同様の問題意識から、オフライン時でも使用可能な災害時支援システムを提案している。本研究では、津波防災へのアプローチを主目的としており、平常時には、地域で実施される津波避難訓練での試用による津波防災意識の向上、また、災害時(津波警報発令時)には、避難ナビゲーション機能などによる津波避難行動の支援を行うことを最終目標としている。

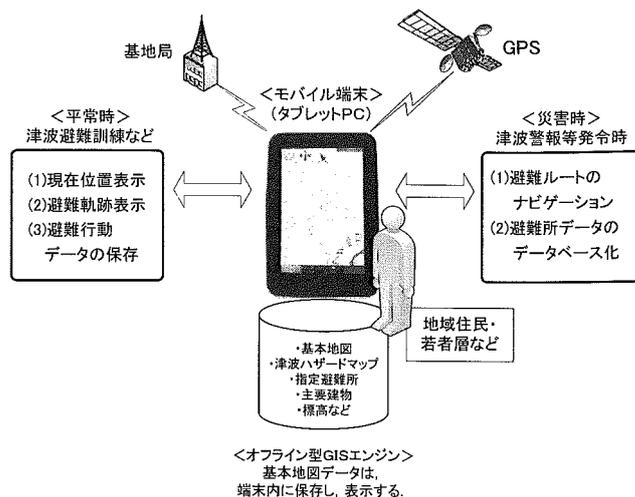


図1 システム概念図
Fig.1 System concept.

3. 津波避難支援システムの提案

3.1 システム設計のコンセプト

災害時の避難行動において、先行研究では、自分の現在地を把握することが特に重要であると指摘されている[10]。そこで、本研究では避難のために必要な現在位置を電子地図上に表示できることを基本コンセプトとし、以下の3項目を設計方針にした。図1に提案システムの概念図を示す。

- ・設計方針 1：オフライン型 GIS で電子地図が表示でき、容易に操作が可能なこと。
- ・設計方針 2：モバイル端末の GPS 機能を用いて、避難に必要な位置情報を表示できること。
- ・設計方針 3：避難行動時の GPS ログデータを保存し、必要ときにデータの表示や検証が出来ること。

3.2 プロトタイプの機能と実装

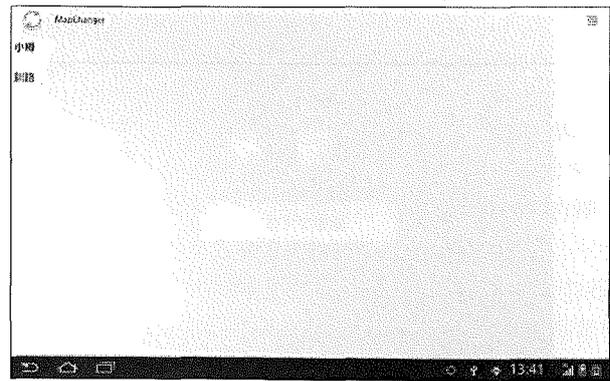
提案システムの設計コンセプトに基づき、主に平常時の津波避難訓練などの際に用いる基本機能をプロトタイプとして実装した[11]。実装に用いたタブレット PC は、GPS 機能を持つ富士通製の Arrows Tab F-01D (OS: Android 3.2, CPU: OMAP4430 Dual Core 1.0GHz, ディスプレイサイズ: 約 10.1 インチ) である。また、画面サイズが 7 インチの Nexus 7 (OS: Android 4.1, CPU: CPU: NVIDIA Tegra 3 モバイルプロセッサ 1.3GHz) においても動作を確認している。以下、今回プロトタイプに実装した機能を説明する。

(1) オフライン型 GIS による電子地図の表示

現段階では、提案システムを主に平常時の津波避難訓練で使用することを想定しているが、今後、津波警報発令時にも使用することを想定し、オフライン型の GIS エンジンを用いて実装する。図 2(a)~(d)に、画面例を示す。



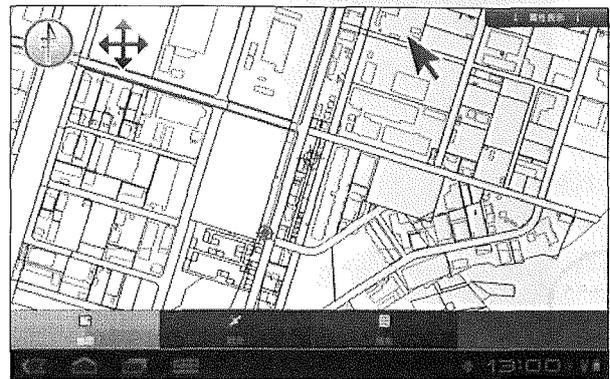
(a) 津波ハザードマップの表示



(b) 基本地図の選択



(c) 避難所データの表示



(d) 現在位置の表示

図2 開発したプロトタイプ画面例
(a) は文献[11]の図2, (d)は図3より引用

Fig.2 Example of screen on prototype.

今回採用した GIS エンジン、タッチパネル操作に対応した TapGIS[12]である。TapGIS は、タブレット PC 内部に電子地図情報（基本地図データ）を保存することが可能である。図 2(a)に、基本地図上に津波ハザードマップを表示した例を示す。

基本地図データは、対象地域ごとに設定できる。図 2(b)に、2つの地域（小樽市と釧路市）の基本地図データを選択する画面例を示す。また、電子地図上に避難所をアイコンで表示できるように、自治体が指定している避難所の位置情報をデータベース化した（図 2(c)）。

(2) GPS 機能による位置情報の表示

タブレット PC の GPS 機能を用いて、ユーザ（操作者）の現在位置を画面中央付近に自動表示する（図 2(d)）。また、避難してきた移動軌跡を画面に表示する。この軌跡表示により、避難中の現在位置をより明確にし、スムーズな避難行動に導く。

(3) 移動軌跡データの保存

ユーザが行動を記録した GPS ログデータをタブレット PC 内部に記録・保存する。このログデータ保存により、画面に避難経過時間を表示することや避難訓練後に避難行動を検証できるようにする。

なお、今回のプロトタイプでは、避難経過時間の画面表示は未実装であるが、保存したログデータを用いて、避難行動の記録や避難に要した時間の検証は可能である。

3.3 提案システムの利用手順

図 3 にタブレット PC の画面例 (Nexus 7) を示しながら、提案システムのユーザから見た利用手順を述べる。以下の手順は、平常時の避難訓練で使用する場合を想定している。

・ Step1 : システムの起動

タブレット PC の画面上に配置したアイコン（図 3(a)）をタップして、プロトタイプを起動する。起動直後の画面例を図 3(b)に示す。

・ Step2 : メニュー項目を表示

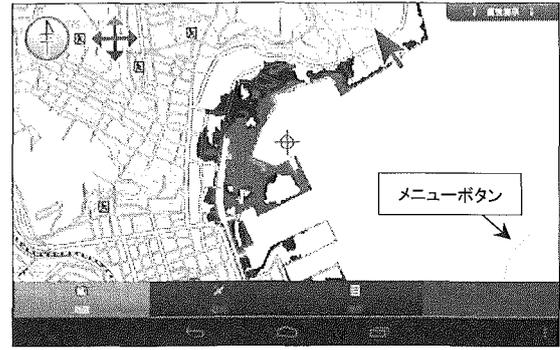
画面の右下にある半円形のメニューボタンを長押しして、メニュー項目を表示させる。

・ Step3 : レイヤー表示を選択

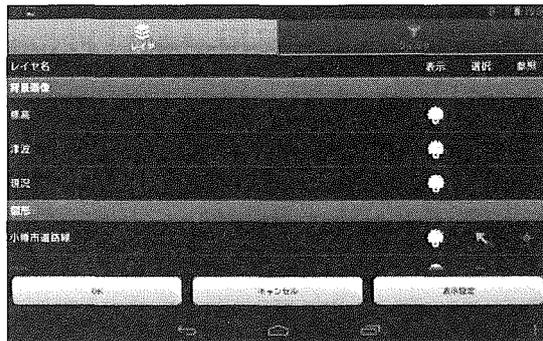
メニュー項目にあるレイヤー設定ボタンを押して、画面に表示するレイヤーを決定する。プロトタイプでは、現況（基本地図）、津波ハザードマップ、標高（等高線）などの表示を選択できる。レイヤー選択の画面例を図 3(c)に示す。



(a) プロトタイプ of 起動アイコン



(b) 起動直後の画面状態



(c) レイヤー選択の表示



(d) GPS 捕捉の開始



(e) 移動軌跡記録の開始



(f) 移動軌跡記録の保存

図3 プロトタイプ of メニュー項目表示例

Fig.3 Example of menu on prototype.

・ Step4 : GPS の捕捉を開始

画面の左上にある現在位置表示ボタンを押すと、GPS の捕捉を開始する。その際、現在位置表示ボタンには「AUTO」の文字が現れる。GPS を捕捉すると現在位置を表すオレンジ色の焦点表示が自動で画面の中央に表示される。GPS の捕捉状態は、画面の左下に4段階で表示される(図3(d))。

・ Step5 : 移動軌跡の記録を開始と停止

避難行動開始に合わせて、メニュー項目の軌跡記録開始ボタンを押すとユーザが移動した軌跡の記録を開始する。その際、画面には、数秒間、「軌跡の記録を開始します」と表示され、記録開始の操作を確認できる(図3(e))。画面上では、ユーザが移動するとともに画面中央に表示された

現在位置表示も追従し、移動軌跡がラインで表示される。

また、避難所などの目的地に到着した際には、メニュー項目の軌跡記録終了ボタンを押すことで、記録が終了する。この時にも、画面には、数秒間、「軌跡の記録を終了します」と表示され、記録停止の操作を確認することができる。

・ Step6 : 軌跡データの保存

軌跡記録を終了した後、軌跡データを保存する場合は、タブレット PC に一時保存されているデータから必要な軌跡データを選択し、GPX 形式のデータフォーマットで出力保存することが可能である。その保存操作を行う画面例を図3(f)に示す。

4. システム評価実験

4.1 実験概要

本提案システムにおける基本機能の有効性を検証するため、実装したプロトタイプを用いて、基礎的なシステム評価実験を行った。実験場所は、北海道小樽市の手宮地区と色内地区である。両地区は、小樽運河の北部に位置している(図4)。実験実施日は、2012年8月8日・9日で、被験者数は20歳代の大学生、男女計12名である。

被験者には、実験開始前に、一端、近くの公共施設に参集してもらい、プロトタイプの操作方法を説明した。また、その際に「津波警報が発令され、避難所へ待避する必要がある」という想定であることを説明した。その後、被験者には、各地区のスタート地点に向かってもらった。

4.2 実験方法

今回の実験では、実験エリアに合わせて、津波ハザードマップを事前にタブレットPCにインストールしている。また、避難先として、小樽市が指定する避難所をポイントデータとして作成し、マップ上にアイコンで表示している。

避難行動のスタート地点は、津波浸水予想範囲内に設定した。各被験者は、タブレットPC上に表示された現在位置を確認し、避難所へ向けた避難行動を行う。その状況は、後方からビデオカメラで撮影し、被験者が発する言葉を書き取る記録員(安全確保要員も兼ねる)も帯同した(図5)。なお、タブレットPCのGPS測位は1秒間隔で、歩行停止中でも測位を続けるよう設定している。

評価実験開始前に、被験者に対して口頭で尋ねたところ、被験者の多くが、実験エリアに関する土地勘はほとんどないとのことであった。また、避難所となっている施設へ行った経験もないとのことであった。

4.3 実験結果と考察

被験者には、避難所へ到着した時点で、移動軌跡の軌跡記録終了ボタンを押してもらった。その後、実験説明を行った公共施設に再度集合し、タブレットPCを回収するとともに、アンケートに回答して頂いた。アンケート評価は、5段階評価とし、最も肯定的な評価を5点、最も否定的な評価を1点として得点化して、質問項目ごとに集計した。

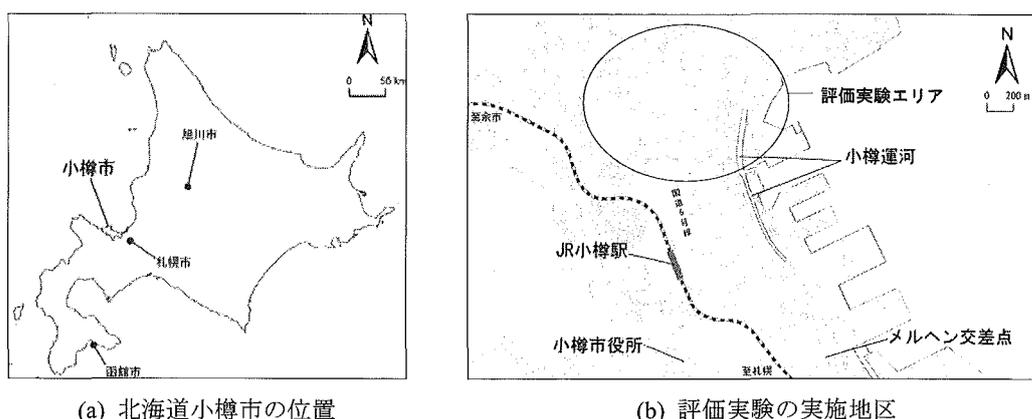


図4 評価実験フィールドの位置(文献[11]の図4より引用)

Fig.4 Area of field experiment.



図5 小樽市における評価実験の状況(文献[11]の図5より引用)

Fig.5 Experiment situation in Otaru.

4.3.1 GISによる電子地図表示（設計方針1）に関する評価

図6(a)に設計方針1に対応したアンケート評価項目の集計結果を示す。アンケートの質問項目として、「タブレットPCの操作は簡単に出来たか(操作性)」と尋ねたところ、5評価段階の5と4を選択した肯定的評価が83%で、平均は3.9となり、おおむね良好な結果を得た。この結果は、被験者が20歳代で、普段からスマートフォンなどの端末で、タッチ操作に比較的慣れていることが一員と考えられる。

また、「画面上の避難所などのアイコン表示は見やすいか(視認性)」との問いに対して、肯定的評価は42%で、平均は3.3となった。この評価の原因は、画面に貼ってある保護フィルムが太陽光線で反射し、画面が見えにくかったためと推察される。また、避難所アイコンの配色を黄色にしたことも要因のひとつと考えられる。

4.3.2 GPS機能による現在位置表示（設計方針2）に関する評価

図6(b)に設計方針2に対応したアンケート評価項目の集計結果を示す。被験者に対して「現在位置の表示は自動的に変化したか(正確性)」と尋ねたところ、肯定的評価が91%で、平均は4.3となり良好であった。しかし、被験者

に確認したところ、一部のタブレット端末でシステムエラーの表示が発生するトラブルもあった。今後、このエラーへの対処を行う必要がある。

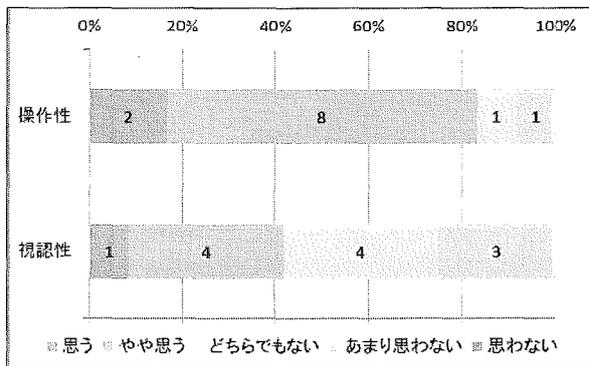
また、「移動した軌跡の表示は避難所に向かうとき役立つか(有用感)」との問いに対しては、肯定的評価が83%で、平均は3.9となり、おおむね良好な結果となった。このことは、目的地である避難所へ移動する際、軌跡表示を画面で確認できることで、避難経路の選択に迷いを発生させない効果が一定程度あるものと考えられる。

一方、アンケートの自由記述欄による被験者の意見に、「道路を詳しく見ようとすると避難所が画面外に出てしまう」との記述があり、改善の必要があることがわかった。

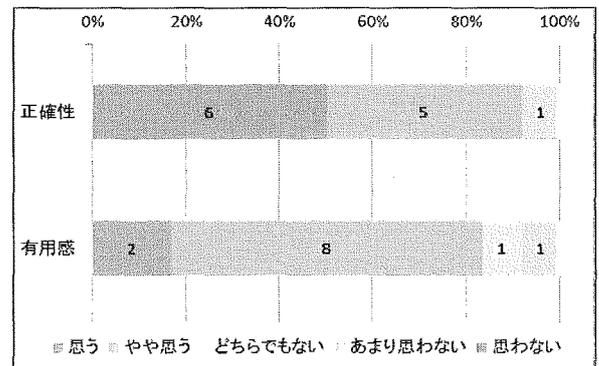
4.3.3 保存したGPSログデータ等による検証（設計方針3）

設計方針3に対応した機能の検証として、タブレットPCに保存されたGPSログをGIS上で可視化した。そのうち、代表的な避難行動のGPSログを図7に示す。図7(a)は手宮地区、図7(b)は色内地区において記録されたGPSログの可視化結果である。

また、GPSログをもとに、スタート地点から避難所に到着するまでに要した時間を計算した。その結果を表1に示



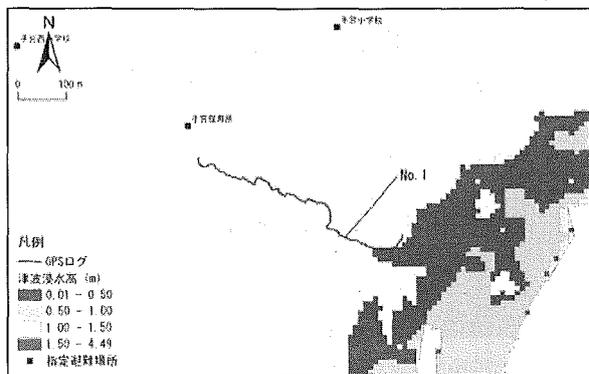
(a) 操作性と視認性



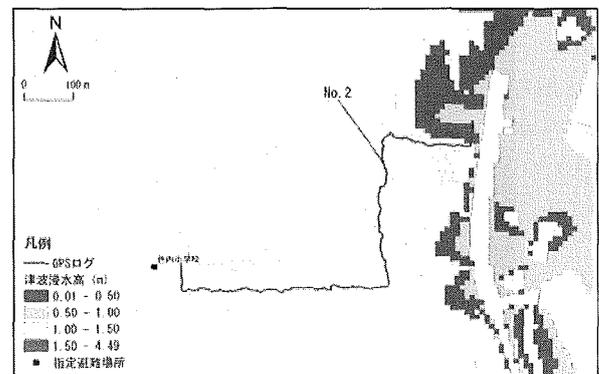
(b) 正確性と有用感

図6 アンケート評価の結果

Fig.6 Evaluation result by user questionnaire.



(a) 手宮地区



(b) 色内地区

図7 評価実験における避難行動の移動軌跡

Fig.7 Example of route of evacuation behavior in experiment.

表1 評価実験におけるGPSログの集計結果

Table 1 Result of GPS log in experiment.

GPS ログ No.	避難所の名称	避難所標高	避難所までの移動距離	避難時間
No.1	手宮保育所	7m	761m	9分
No.2	色内小学校	35m	1,362m	17分

す。これらのデータ分析から、被験者は、ほぼ道に迷うことなく、最寄りの避難所へたどり着いていることがわかった。

以上のことから、プロトタイプに実装した移動軌跡ログをタブレット PC の内部に保存する機能を用いることにより、保存した GPS ログを GIS で可視化し検証することが可能であり、また、避難開始地点からの避難所までの避難に要する時間も確認することができた。

なお、別途、ビデオカメラに記録された各被験者の発話記録の確認を行った。その結果、タブレット PC の画面上に現在位置は正常に表示されており、避難行動とともに、画面表示も追従していることがわかった。これにより、アンケート評価によるシステム動作の正確性を再確認できた。

5. まとめと今後の展望

本稿では、オフライン型 GIS を用いた津波避難支援システムを提案した。提案したシステム機能のうち、平常時に用いる基本機能をプロトタイプとして実装した。このプロトタイプを用いて、北海道小樽市の津波浸水予想範囲が含まれる地区で基礎的な評価実験を行い、提案システムの基本機能に関する有効性を検証した。

その結果、提案システムの操作性や正確性に関しては、良好な評価となった。また、プロトタイプの有用感もおおむね良好な評価結果となった。これらの評価結果を得た要因としては、タブレット PC の画面上にユーザの現在位置と移動軌跡を表示させる機能が被験者の避難行動を一定程度サポートできているためと考えられる。

しかし、評価実験から提案システムの課題も明らかになった。被験者からの意見として、「基本地図の道路詳細を見るため画面表示を拡大して見ようとすると、避難所のアイコンが画面表示から外れてしまい、方向がわかりにくい」という主旨の指摘があった。この課題に対する解決案としては、基本地図を拡大した場合には、避難所の方向を示す矢印を別途表示させるなどの対応が考えられる。

また、平常時の避難訓練の際に必要なと考えられる機能のうち、避難経過時間の自動計算とその結果表示に関しては、今回のプロトタイプでは実装できていない。今後、指定避難所に到着した時点や避難行動の途中などで、避難開始からの経過時間を確認することができるよう、タブレット PC

上で自動計算する機能を組み込むことを考えたい。さらに、その避難時間記録や避難経路をデータベース化し、避難行動記録を参照できるようにすることで、津波避難訓練に対する興味を励起できるような工夫を行っていきたい。

今後の展望としては、実際の津波警報発令時に必要となる避難ルートのナビゲーション機能などの実装を検討し、地域で実施される津波避難訓練で試用してもらうことで、実運用に向けた具体的な課題抽出と追加機能の検討などを行いたいと考えている。

謝辞: 本研究は、平成 24 年度科学研究費 基盤研究 (C) 「ジオマイクロデータを用いた積雪寒冷地都市内部における冬季災害避難の地理学的研究」(課題番号: 24520883, 代表者: 橋本雄一) の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 気象庁: 東日本大震災～東北地方太平洋沖地震～関連ポータルサイト, 入手先<<http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-portal.html>> (参照 2013-05-15).
- 2) 片田敏孝, 金井昌信, 細井教平, 桑沢敬行: 希望者参加型の防災実践の限界—津波避難個別相談会の実施を通じて—, 土木学会論文集 F5, Vol.67, No.1, pp.1-13 (2011).
- 3) 片田敏孝, 木村秀治, 児玉 真: 災害リスク・コミュニケーションのための洪水ハザードマップのあり方に関する研究, 土木学会論文集, D部門, Vol.63, No.4, pp.498-508 (2007).
- 4) Teshirogi, Y., Sawamoto, J., Segawa, N., et al.: A Proposal of Tsunami Warning System Using Area Mail Disaster Information Service on Mobile Phones, *Proc. International Workshop on Disaster and Emergency Information Network Systems (IWDENS'2009)*, IEEE Computer Society, pp.890-895 (2009).
- 5) 飯塚佳代, 鈴木規規, 石川雅之, 飯塚泰樹, 吉田享子: 位置情報取得可能なリアルタイム災害情報マップシステム, 情報処理学会研究報告, 情報システムと社会環境 (IS), 2011-IS-117 (2), pp.1-8 (2011).
- 6) 廣井 悠: スマートフォンによる安否確認・避難誘導アプリの開発, 日本災害情報学会第 14 回研究発表大会予稿集, pp.274-277 (2011).
- 7) 渡邊博之, 成田祐一, 大山勝徳, 加瀬澤正, 武内 惇, 竹中豊文: モバイル端末を活用した災害時最短避難経路提示システムの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.7, pp.1768-1773 (2012).
- 8) 小河千了, 鈴木 浩, 服部 哲, 速水治夫: ハザードマップをオフラインでも使用するアプリケーションの提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2012) シンポジウム予稿集, pp.1435-1441 (2012).
- 9) 福島 拓, 吉野 孝, 江種伸之: オフライン対応型災害時避難支援システムの提案, グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2012 (GN Workshop 2012) 論文集, pp.1-4 (2012).
- 10) 浅見圭貴, 小林大二, 野嶋尚子, 市原和雄, 桜井将人, 山本栄: 避難行動モデルに基づいた携帯情報端末を用いた避難行動の評価, 日本災害情報学会第 13 回研究発表大会予稿集, pp.351-356 (2011).
- 11) 深田秀実, 橋本雄一, 赤淵明寛, 沖 観行, 奥野祐介: GPS・GIS を用いた避難行動支援システムの提案, 日本災害情報学会第 14 回研究発表大会予稿集, pp.266-269 (2011).
- 12) TapGIS: 入手先 <http://www.hunes.co.jp/hnshome/products/products_tapgis.html> (参照 2013-05-15).