

観光地における VR 疑似避難訓練システムを用いた避難行動分析

塩崎大輔*・橋本雄一**

Spatial analysis of evacuation behavior using VR evacuation training system in tourist site

Daisuke SHIOZAKI*, Yuichi HASHIMOTO**

Abstract: This study developed a VR evacuation drill system, reproduced evacuation behavior in tourist site, and collected and analyzed data using ICT and WebVR technology. As a result, the study was able to collect behavior data by constructing a VR evacuation drill system at tourist site at night and during snowfall, and by reproducing the behavior of tsunami evacuation. Furthermore, by analyzing the data related to the evaluation of evacuation information by AHP, this study clarified the effect of information on evacuation awareness. The evacuation experience using the VR training system made users aware of the importance of speed of information transmission in the event of a tsunami. Finally, the VR training system in this study was considered to be very effective in starting evacuation and shortening evacuation time.

Keywords: 観光地 (tourist site), WebVR, 避難訓練 (evacuation training), 函館市 (Hakodate city), 津波 (tsunami)

1. はじめに

東日本大震災以降、日本では地震や津波などの巨大災害に対する防災・減災意識が高まり、国や地方自治体、そして個人といった様々なスケールで、その取り組みが議論されてきた。国レベルでは、中央防災会議の南海トラフ巨大地震対策検討WGが、地震及び津波災害に対する防災教育・防災訓練の充実を実施すべき対策の一つとして挙げており、その中で実際の避難訓練とともに、Eラーニングなどを活用した教育が推進されている(内閣府, 2013)。

また、高等学校では2022年度から実施される次期学習指導要領において地理総合が必修化され、その教育目的の柱の一つとして防災が挙げられている。その教育現場においては現在GIGAスクール構想のもと、情報通信技術(ICT)活用のための機材導入が急速に進められ、防災を考える上でICTを活用する重要性が増すとともに、環境も整備されつつある。

これまでもICTを活用した防災・減災に関する分析は多く、例えば奥野・橋本(2015)は、釧路市において個人を対象とした疑似津波避難訓練を行っ

た。生富ほか(2016)は室蘭において行われたシェイクアウト訓練にて収集された移動軌跡データを収集し、その近隣住民に対する声掛け等といった行動特性を考慮したマルチエージェントシステムにシミュレーションを行なった。こうした避難訓練を対象とした分析は、事前に参加者が避難経路などを確認しているケースが多く、避難行動時の判断や迷いなどが現れることが少ない。

防災・減災対策の課題の一つとして、観光地において地理不慣れな観光客をいかに安全な場所まで誘導するのかがということが挙げられる。観光客が避難所へのルートなどを確認していない場合、避難時に地域住民とは異なる判断や行動を起こすことが考えられる。こうした観光客の行動を推定することは、観光地における地域防災を考える上で重要な要素である。そこで、本研究はICT及びVR技術を用いて、観光地における避難行動を再現できるVR疑似避難訓練システムを開発し、それで収集したデータから本システムの有効性を検討する。

* 正会員 北海道大学大学院文学研究院・専門研究員 (Hokkaido University)
〒060-0810 北海道札幌市北区北10条西7丁目 E-mail: integra.hokkaido@gmail.com

** 正会員 北海道大学大学院文学研究院 (Hokkaido University)

2. 研究方法及び対象地域

本研究は、開発した VR 疑似避難訓練システムを援用し、札幌市内にある 2 つの大学において計 372 名の大学生を対象として、函館市の観光地における避難体験を実施する。次にシステムにおいて収集されるデータを分析し、参加者の避難行動を把握する。また、大学ごとにシステムの災害に関するシナリオを変化させることにより、シナリオに応じた行動の違いを見る。最後に体験の前後に実施する 2 回のアンケート結果を用いて、津波避難情報の評価を AHP（階層分析法）で解明し、結果を比較することで避難体験による防災意識の変化を明らかにする。

対象地域は北海道函館市に位置する観光名所の 1 つである金森倉庫周辺とする(図 1)。北海道函館市は北海道南部に位置し、古くから本州と北海道の玄関口として栄えてきた。2020 年度国勢調査速報値での人口は 251,271 人であり、道内では札幌市、旭川市に次ぐ第 3 の都市である。2004 年に戸井町・恵山町・楸法華村・南茅部町が函館市に編入合併し、現在の面積は 677.87 km² である。函館市を含め合併したすべての市町村が沿岸部に位置しており、津波発生時には被災する可能性の高い地域である。

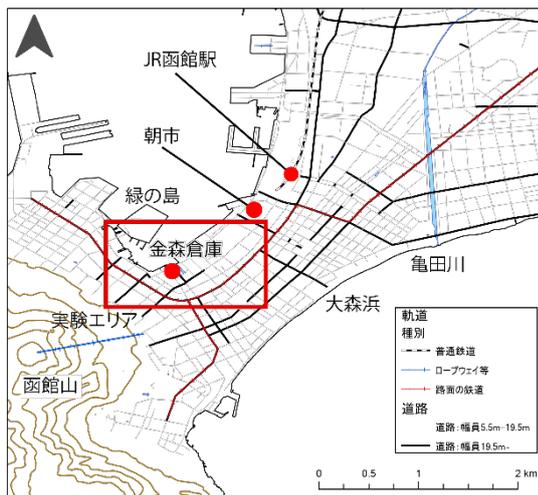


図 1 函館駅周辺外観

2020 年度の観光客入れ込み客数は約 3,102,700 人であり、COVID-19 感染拡大という状況下で前年度比 57.8%と減少しているものの、多くの観光客が訪れる道内屈指の観光地である。避難体験参加者に行

った「北海道内で最も訪ねたい市町村」というアンケートでも、参加者の半数以上が函館市を挙げており、観光客の避難行動を考える上でも重要な地域である。

3. VR 疑似避難訓練システム概要

本研究で使用する VR 疑似避難訓練システム (VET システム) は、ICT 及び WebVR 技術を援用して開発されたシステムである。VirtualPrivateServer (VPS) 上に構築された LAMP (Linux, Apache Web Server, MySQL, PHP) 環境下に Web システムとして配置される(図 2)。ユーザは Web ブラウザを介してシステムにアクセスし、WebVR を体験することができる。

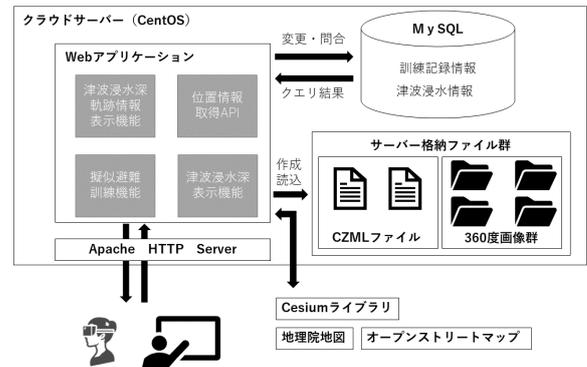


図 2 VET システム構成

特に不特定多数の利用を想定し、スマートフォンなどマルチプラットフォームで可動する汎用性の高いシステムを目指す。そして開発コストの削減と、メンテナンスを考慮し WebVR フレームワークには Mozilla がサポートする A-Frame を利用する。

VR システムを構築する際、高度な 3D データの投影や複雑な動きをサポートする場合、Unity や Unreal Engine が採用されることが多いが、本システムでは既存の画像データを 360 度に投影し、方向を指示する UI を実装するという仕組み的には単純な設計となる。そのため、WebVR のような WebVR フレームワークでもその実装に十分であると考えられる。

本システムは開始場所から避難場所までに設定されたポイント単位のノードを順次移動していく形で避難訓練を行う。ノードデータにはノードの位置情

報及び、紐づくノードの情報が属性情報として付与される。避難開始と共にノード情報及び紐づくノードの情報が読み込まれ、VR空間上に表示される(図3)。

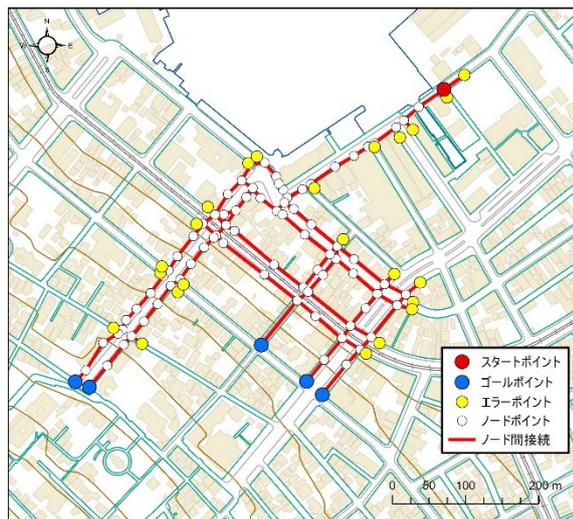


図3 金森倉庫周辺ノード整備状況

本システムにおける避難体験は4つのフェーズに分かれている。第1フェーズはブラウザ上で動画を再生する。動画で体験アプリの概要及び疑似シナリオを元にした状況を説明されることにより、参加者はVR空間上で自分がどのような状況かを確認する。

第2フェーズは実際に地震をVR空間上に発生させる。その後、「周りの様子を確認する(第1選択)」、「スマートフォンを確認する(第2選択)」、「ホテルに戻る(第3選択)」、「避難する(第4選択)」という4つの選択肢を用意し、参加者が発災直後にどのような行動・判断を行うのかというデータを収集する。

ここでは参加者が所属する大学に応じてグループAとグループBに分け、それぞれで選択時のシナリオを変化させる。グループAで第1選択が選ばれた場合は「特に変わった様子はない」、第2選択では「地震が発生しました」と表示する。グループBでは「周りの様子を確認する」が選択された場合、防災無線を模した内容が音声で流れ、大津波警報が発令されたことを知らせる。また「スマートフォンを確認する」が選択された場合も同様に、大津波警報が発令された旨の情報を表示する。どちらの大学も

「ホテルに戻る」を選択された場合は、高台への避難を促す内容を表示し。「避難する」が選択された場合は第3フェーズに移行する。これにより災害発生時の災害情報取得状況に応じて、参加者の行動がどのように変化するかを見る。

第3フェーズではVR空間上に360度画像を用いて観光地を再現し、参加者は矢印アイコンを選択することによって避難する。矢印アイコンが選択されると、選択されたルートに応じて背景画像が変化する。この動作を繰り返すことによってVR空間上を移動する。今回の避難体験は参加者が指定避難所か浸水エリアを抜けると終了となる。最短避難経路を外れた場合は警告とともに参加者を元の道に戻し、参加者はそこから再び新しい経路選択を行うこととなる(図4)。



図4 VR避難訓練システム画面

疑似避難訓練が終了すると第4フェーズとなる。第4フェーズは疑似避難行動ログをWebGIS上に可視化する。可視化するにあたって、避難行動を時間経過とともに動かすアニメーションで避難行動を再現する。これにより、参加者は自身の行動を空間的に把握することができる。なお第4フェーズは本研究を進めるにあたって追加された機能であり、グループBの参加者のみ閲覧が可能となる。

4. VR 疑似避難訓練結果及び避難行動分析

4.1. 災害発生時の行動判断

本研究の避難体験はまずグループ A228 名が参加した。次にフェーズ 2 のシナリオを変更し、グループ A の体験から得られた結果を元にシステムの調整及び第 4 フェーズの追加を行った上でグループ B144 名が参加する。VR 避難訓練を実施する直前に津波避難に関するアンケートを実施し、VET システム上で避難体験を行う。その後、再びアンケートを実施する。事前・事後アンケートは全く同一のアンケート項目であり、これらを比較検討することによって体験前後での参加者の意識の変化を分析する。

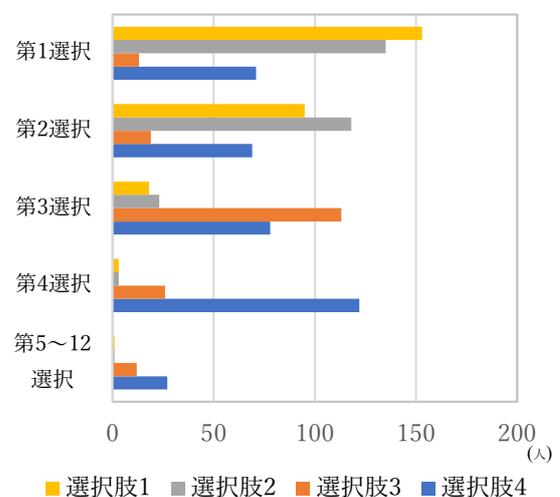
まず VET システム第 2 フェーズにて、参加者が災害発生時にどのような判断を行うのかを見ていく(図 5)。第 2 フェーズ 1 回目の選択は、第 1 選択が 153 人で第 2 選択が 135 人と多く、参加者が情報を収集しようとする傾向が見られた。1 回目で避難を選択した参加者は 71 名であった。第 2 回選択では 301 名の内、「周囲の確認」が 95 名、第 2 選択が 118 名とやはり多い。1 回目の選択で第 1 選択を選んだ参加者が第 2 選択を、第 2 選択を選んだ参加者が第 1 選択を選択する傾向にあった。3 回目の選択ではホテルに戻る第 3 選択を選んだ参加者が 113 名と多かった。

しかし、ここでグループ A とグループ B で判断の差異が見られた。グループ A は 3 回目の選択に到達した参加者 163 名の 57.1% が第 3 選択を選択した。対してグループ B は 69 名の 29.0% が第 3 選択を選択した。また 1 回目・2 回目の選択で避難を判断する第 4 選択を選択したのは、グループ A が全体の 28.5% に対してグループ B が 52.1% であった。このことからグループ A は情報を確認したのちにホテルに戻ろうとする傾向が強く、逆にグループ B は避難する傾向が強いという結果となった。これは第 1・第 2 選択時のレスポンスが参加者の危機感に影響した結果だと考えられる。このように VET システム上のシナリオを変更するだけでも、参加者の行動が変化するという結果が得られた。

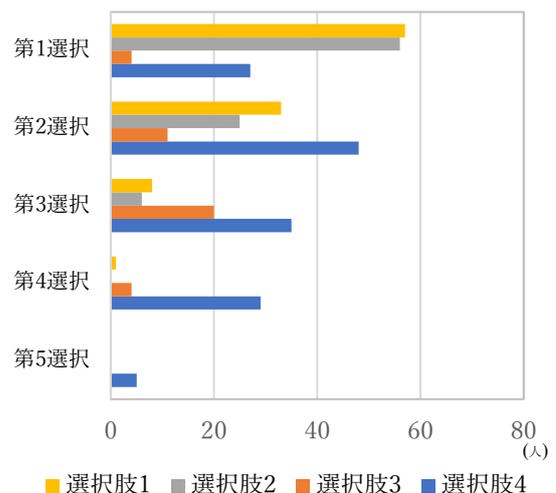
4.2. 観光地における避難行動

次に VR 空間上での避難行動を見る。今回は函館市金森倉庫周辺地域における積雪期夜間の状況を再現した。金森倉庫は函館山に近く、晴れていれば函館山が見える。また周辺には高い建物があり、それらも視認できる。しかし積雪期夜間となると函館山の視認性が極端に下がり、初めて観光で訪れた人となると、函館山との位置関係が分からなくなると考えたからである。

a. グループ A



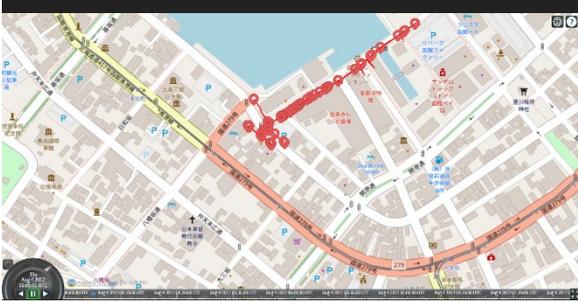
b. グループ B



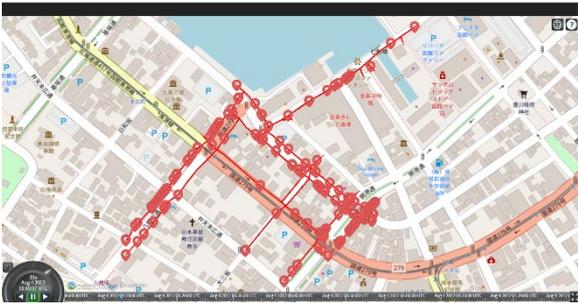
- ・ 選択肢 1：周りの様子を確認する
- ・ 選択肢 2：スマートフォンを確認する
- ・ 選択肢 3：ホテルに戻る
- ・ 選択肢 4：避難する

図 5 第 2 フェーズにおける学生の行動選択

a 津波発生 5 分後



b 津波発生 10 分後



c 津波発生 40 分後



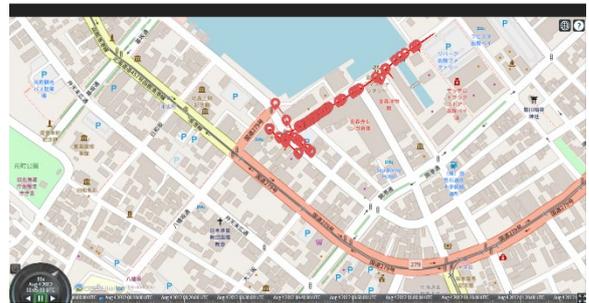
図 6 疑似避難訓練可視化結果 (グループ A)

まず参加者 372 名の内、200 名がスタート地点から函館山とは反対方向のホテル・内陸方面に向かった。しかし函館市の津波発生時における最大浸水想定は、内陸深くまで浸水することが想定されており、徒歩で内陸方面の非浸水領域に抜け出すには時間がかかる。またホテルは浸水領域内にあり、多くの人々が集中して混雑し、ホテル内での垂直避難を行えない可能性がある。今回は浸水領域から出ることを目的としているため、このルートを選択した参加者には警告を表示し元の道に戻した。

次にスタート地点から函館山方面に向かうと、T 字路に突き当たる。この T 字路を右に進むと避難所に指定されている函館西高等学校に向かう最短ルー

トとなる。しかし T 字路に突き当たった参加者 283 名の内、159 名が最短避難経路とは反対となる左側に進んだ (図 6-a, 図 7-a)。これは T 字路まで海を右手側に進んできたため、海とは離れる進行方向を選んだ参加者が多かったことが推測される。また右方向を選んだ参加者も、それまでに海から離れようとして警告が発せられたため、感覚的に左を選ぶという状況も見られた。

a 津波発生 5 分後



b 津波発生 10 分後



c 津波発生 40 分後



図 7 疑似避難訓練可視化結果 (グループ B)

さらには全体を通して進行方向が分からず、対象地域内で迷いが生じ目的地にたどり着けない参加者があり、最短で避難した参加者との避難時間の差異

が現れた (図 6-b, 図 7-b). このように VR 空間上でも, 参加者ごとに避難行動のパターンが異なるという結果が得られた.

5. AHP による津波避難情報に関する意識の変化

5.1. AHP の手法

最後に避難体験前後におけるアンケート結果の差異から, 参加者の津波避難に対する意識がどのように変化するかを見ていく. ここでは, 参加者の津波情報に関する評価に注目し, そのために AHP (階層分析法) を用いた.

AHP (階層分析法) は複雑な状況での意思決定を行うための構造化法の 1 つであり, 階層構造の構築, 一対比較, 重要度の計算, 総合評価値の計算という手順で行われる.

階層構造の構築では, 問題の要素が総合目標, 評価基準, 代替案の 3 階層に分けられる. 本研究では, 「津波の避難情報」を総合目標とし, 重要度では「情報の速さ」, 「情報の正確さ」, 「情報の詳しさ」の 3 項目を, 代替案では「広報車・広報無線」, 「テレビ・ラジオ」, 「ホームページ」, 「エリアメール」, 「SNS」の 5 項目を設定した (図 8).

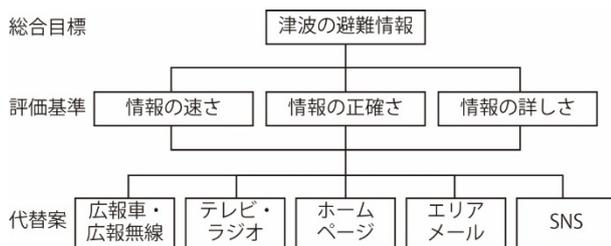


図 8 AHP の階層構造

一対比較は, 評価基準および代替案の項目間において評価の比較を行うものであり, 本研究では 9 点を用いた. これは項目 A と項目 B を比較する際に, 9 段階の評価値を設定するものであり, 9, 7, 5, 3, 1, 1/3, 1/5, 1/7, 1/9 のいずれかを選択する方法とした. なお, 絶対的に項目 A を評価する場合には 9 を, 絶対的に項目 B を評価する場合には 1/9 を, 両項目が同じ評価であれば 1 を選択することとした. 評価基準においては 3 通りの組み合わせ, 代替案に

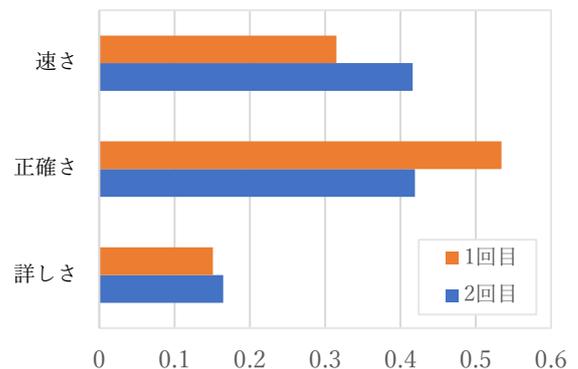
おいては 10 通りの組み合わせについて評価値を求め一対比較の行列を参加者ごとに作成した.

その後で, 一対比較の結果を基にして幾何平均法により重要度を算出し, 続いて各代替案の最終的な総合評価値を求めた. この計算を参加者ごとに行い, その平均値を求めて最終的な結果を導いた.

5.2. 参加者の津波避難に対する意識の変化

VET システムの第 2 フェーズで見られたように, 参加者は情報収集をまず第 1 に考える. そこで主な情報取得源として「情報の速さ」, 「情報の正確さ」, 「情報の詳しさ」という 3 つの評価基準の重要性を求めた上で, さらに代替案である「広報車・広報無線」, 「テレビ・ラジオ」, 「ホームページ」, 「エリアメール」, 「SNS」のいずれを参加者が重要視しているのかを検討した.

a. グループ A



b. グループ B

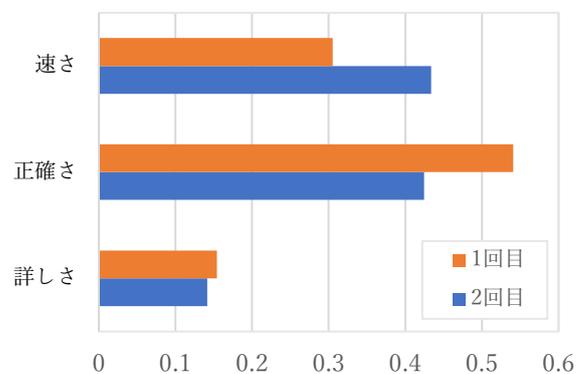
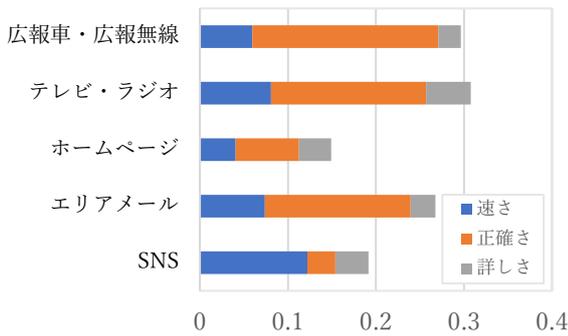


図 9 AHP での評価基準の重要度

a.避難体験前



b.避難体験後

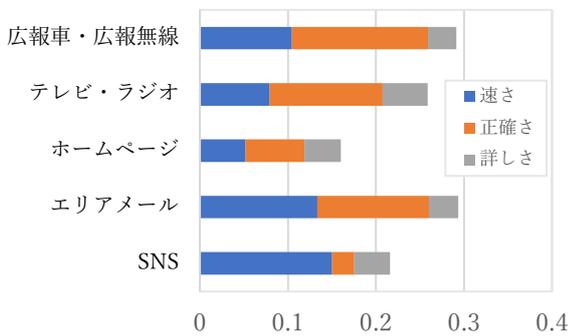
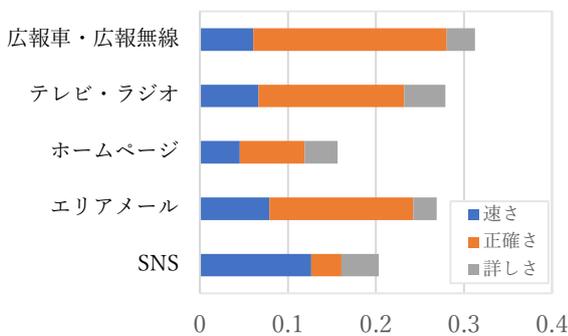


図 10 AHP での代替案ごとの評価値(A グループ)

a.避難体験前



b.避難体験後

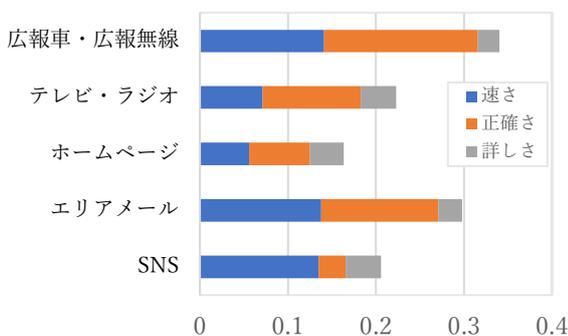


図 11 AHP での代替案ごとの評価値(B グループ)

まず評価基準を見ると、A・グループ B 共に避難体験後に意識の変化が生じた。まず全体的に「速さ」の重要性が大きく上がった (図 9)。

逆に「正確さ」の重要性が大きく下がった。これは避難体験が屋外をスタート地点としており、避難を行うことで避難時間を強く意識したからではないかと考えられる。また実際に情報がないと第 2 フェーズで見られた避難を開始する・しないの判断も難しいといったことも考慮された結果とも考えられる。

次に代替案を見ると、グループ A は「広報車・広報無線」、「テレビ・ラジオ」、「エリアメール」が高い数値であり、その中でも「速さ」の重要性が増した (図 10)。逆にグループ B は「テレビ・ラジオ」の重要性が下がり、「広報車・広報無線」の重要性が上がった。また、「エリアメール」の重要性は高いままであった (図 11)。

グループ B は第 2 フェーズにて防災無線による警告を聞いており、スマート確認でも大津波警報が発令された旨が表示されたことから、グループ A よりも避難開始の判断が早い傾向があり、この体験によって広報車・広報無線やエリアメールの評価が上昇したと推察される。津波避難における情報の速さの重要性について、疑似体験により自分自身で気づいたことは、この研究の VET システムによる避難体験の成果であり、参加者に津波避難の重要性を意識させる効果があったと考えられる。

6. おわりに

本研究は ICT 及び VR 技術を用いた VR 疑似避難訓練システムを用いて観光地における避難行動を再現し、そのデータを収集・分析することを目的とした。VET システムの運用は大きな問題はなく勧められた。また観光地の状況を再現することによって、避難体験参加者は普段の避難訓練とはまた違った経験を得ることができた。この経験は参加者が今後観光行動を行う上で防災を考える 1 つのきっかけになったと考えられる。

そして VET システムを通した VR 疑似避難訓練から、参加者の災害時における避難行動に関するデータを収集することができた。そして疑似避難行動

ログを分析することで、観光地における観光客がどのような行動をとるのかという基礎データとなった。こうしたデータは、例えば迷いやすい地点に避難経路を示す情報を設置するなどといった地域防災を考える資料となることが期待される。

また、本研究ではシステムの成果について、津波避難情報に関する参加者の意識の変化を明らかにする上で、アンケート結果に AHP を施す手法を提案した。従来の単純集計による結果の提示と異なり、参加者にとっての必然性や理解を反映させた評価を導く手法であり、避難体験後の意識の変化を明確化するのに有効と考えられた。この AHP の結果からは、避難体験参加前後で参加者の津波避難に対する意識を変化させるという結果が得られた。特に VET システムを活用した避難体験は、情報の速さ、ひいては避難開始や避難時間の短縮といった、津波避難時における情報の速さの重要性を認識させるという効果が高いことと考えられた。この情報の速さを強く意識させることによって、実際に災害が発生した際の迅速な行動に繋がることを期待される。

以上のように VR 技術を用いた疑似避難訓練は、観光地という非日常空間における避難の難しさや、災害時の行動を参加者自身で考える 1 つの契機となる結果が得られた。そしてこの体験を通して得られたデータは、観光地における地域防災を考える上で資料の 1 つになることが期待できた。今後はシステムの更なる運用を行うことによりデータの蓄積を行う。それと同時にシステム上の新規にシナリオ・周辺データの作成し、より観光地の多彩な状況を再現し、その状況に応じて観光客の判断・行動がどのように変化するかというデータの収集・分析を進めていく。

付記

本研究は、文部科学省「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第二次）」、JSPS 科研費（基盤研究 C）「千島海溝地震による津波の避難行動モデル化と情報統合システム構築」（代表者：橋本雄一、課題番号 19K01166）における成果の一部である。

参考文献

- 中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ（2013）南海トラフ巨大地震対策について（最終報告）．
入手先(http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130528_honbun.pdf) （参照 2021-8-30）
- 生富直孝・浅田拓海・Chawis Boonmee・有村幹治（2016）避難訓練プローブデータを用いた地域防災教育支援ツールの構築．「土木学会北海道支部論文報告集」，**52**，265-270．
- 奥野祐介・橋本雄一（2015）積雪寒冷地における疑似的津波避難に関する移動軌跡データ分析．「GIS—理論と応用」，**23**（1），11-20．