DeVA：VR を用いた防災知識向上のための避難訓練アプリケーションの開発

松下智晴[†1]　菊池晶陽[†1]　大井翔[†2]　後藤壮史[†3]　佐野睦夫[†1]

概要：2011 年の東日本大震災をはじめとした，予期することができない災害が起こったとき，いち早く避難することが最重要である．多くの学校や自治体では，地震などの災害対策として避難訓練が行われている．しかし，その目的は，防災知識の習得ではなく，確認作業である．また，訓練内容に変化がないため，マンネリ化しており，避難訓練の意味をなしていない可能性がある．そこで本アプリでは，VR 技術による没入感と，災害時の心理行動により，避難行動の再現を行った．体験者は，体験ごとに災害状況が変化する仮想空間上でシミュレーションを繰り返し行い，自身の避難行動をふり返ることで，防災知識の取得を図る．今回は小学生 20 名を対象に実験を実施し，本アプリが適切な避難をするための防災知識を向上させる可能性があるということが分かった．

1. はじめに

日本は，海外と比較し地震や台風・大雨等の自然災害が多い．世界で起こったマグニチュード 6 以上の地震の 20.5%は日本で起こったものであり，災害で受けた被災金額の 11.9%が日本となっており，災害の割合が高い国である[1]．2011 年の東日本大震災，2016 年の熊本地震では，予期しない巨大な地震とその二次災害によって多くの人が被災した．また，国土交通省が発表した南海トラフ地震に関連する情報によると，マグニチュード 8 からマグニチュード 9 クラスの地震が今後 30 年以内に発生する確率が 70%から 80%とされている[2]．これまでの地震を契機として，防波堤などのハード対策による被害軽減には限界があることが明らかになっている．そのため，人々の災害・防災に対する意識などのソフト面での対策の重要性が認識されている．

近年，ソフト面での対策として避難訓練が行われている．しかし，多くの学校や自治体で行われている避難訓練の目的は，避難経路の確認や，周辺地域との連携確認が多い．また，一年に複数回避難訓練を行っているが，訓練内容に変化があまりなく，マンネリ化している場合がある．そのため，実際に自然災害に遭遇した時，避難訓練を生かした避難が行うことが困難な可能性がある．また，避難訓練を行った場所，避難訓練の内容（建物にいる状態で火災時における避難など）以外で自然災害に遭遇する可能性もある．

そこで，本研究では，自然災害時に適切に避難を行うための防災知識向上を目的とした VR を用いた避難訓練アプリケーションである Disaster Experience VR App(DeVA)の開発を行う．本アプリのシステム図を図 1 に示す．本アプリでは，VR 技術による 360 度の没入感により，実際に避難訓練を行ったことがなく，避難所などの知識があまりない

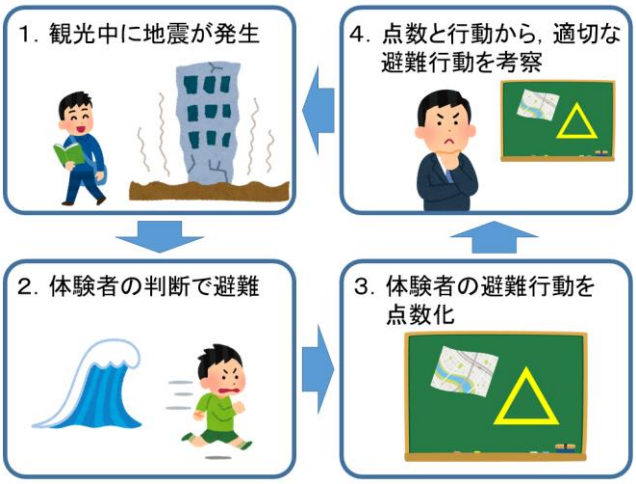

図 1　DeVA のシステム図

場所を仮想空間上で再現し，防災･避難訓練体験を行う．体験者は，外出中に自然災害が起こり，避難体験を行う．周囲の環境は体験ごとに変化する．また，仮想空間上には集団の心理行動を考慮し NPC を配置する．体験者は体験ごとに周囲の状況を把握し，適切な判断を行う必要がある．避難，または被災によって体験終了時，アプリが避難行動から点数化を行う．体験者は表示された点数と軌跡を振り返り，より安全な避難行動を考察することで防災に関する理解の向上を図る．また，本アプリは，12 歳未満の児童も対象としている．そのため，単眼での VR 体験を可能としたハコスコという段ボール型の簡易 VR 機材を用いる．

我々は，過去に本アプリを用いた学生実験を行い，得られた意見から修正を行った[3]．はじめに，操作方法の変更である．意見として，VR 酔いを起こす学生がいたため，コントローラで視点操作を可能にすることで，改善を行った．次に，アンケート内容の修正を行った．また，体験前アンケートを追加して行うことで，アプリ体験前後で変化があるかを確認可能になると考えた．

†1 大阪工業大学 情報科学部 〒573-0196 大阪府枚方市北山 1-79-1
†2 立命館大学 情報理工学部 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1 丁目 1-1
†3 奈良県王寺町立王寺小学校 〒636-0012 奈良県北葛城郡王寺町本町 2-6-16

© 2021 Information Processing Society of Japan

2. 従来研究

2.1 避難訓練システム

日本で起こった過去の地震や，今後予想される南海トラフ地震への対策が行われている．そのため，ソフト面での対策を行うため，VR 技術を用いた様々なシステムの開発が行われている．菊池らは，行動心理と体験学習に基づく避難訓練システムを開発した[4]．このシステムでは，避難優先者である「児童・生徒・学生」が主体的に考え，避難訓練をするということに着目している．しかし，シナリオが一辺倒であるため，複数回の体験により，訓練が作業化するという問題があった．植野らは，スマートフォン挿入型 HMD（Head Mount Display）を用いた VR での体験型津波避難シミュレーションシステムを構築した[5]．このシステムでは，高精度の地域モデルを構築と適応性の高い避難シミュレーションから，避難場所からの視点と，避難者の視点の全天球動画の作成を行った．また，中本らは，被災体験と対策を繰り返すことで防災意識を高めることを目的とした VR 防災教育システムを開発した[6]．このシステムでは，被災という「恐怖」を体験する．その後，その対策を行うが，別の要因で再び被災を経験する．この繰り返し行われる被災体験の映像によって防災意識に強く働きかけ，体験者の防災対策の再検討を目的としている．しかし，これらのシステムは，一定のシナリオの映像によって体験が行われるため，体験者の意思や行動がシステムに反映させることができない．また，高橋らは，大型スクリーンを用いた災害状況の再現とその対応能力訓練システムを開発した[7]．このシステムは，現実で体験者が行う行動によって映像の災害状況がリアルタイムで変化するシナリオとなっている．そのため，周囲の環境が予期しない状況になり，素早い意思決定が必要となる．また，机や教科書などの現実のものと，大型スクリーンに投影される VR 映像を組み合わせることで臨場感を体感できる環境を構築している．しかし，シナリオはシステムについて理解しているオペレータの手動で変化させている．また，体験を行うためには，３つのプロジェクターや大型スクリーン，複数のカメラなど体験環境を整える必要がある．本研究では，体験者の意思によって自由な行動をすることで，自然災害からの避難について身をもって体験し，防災についての理解向上を目的とする．しかし，多くの機器と，シナリオについての理解があるオペレータなど，体験を行うために必要な環境の構築が困難である．Ooi らの研究では，教育工学の ARCS モデルに基づいた，火災時の消火活動および避難訓練システムを開発した[8]．段階的な機器の変化や，ナビゲーションによって，動機づけを高め，体験者の満足感を与得ることを目的としている．しかし，体験者はナビゲーションに沿った行動を行うため，体験以外の行動を知識の習得が困難である．

2.2 NPC に関連する研究

NPC を用いた研究として，Liu らは性格・感情が考慮された NPC を用いた地震避難用仮想プラットフォームを開発した[9]．この研究では，OCEAN モデルを用いた個人の情報や，地震時の周囲の状況から，NPC の表情と行動を生成し，より現実的な災害環境を構築した．その結果，学習結果の向上につながった．また，Belle らは EMoBet（Emotion Modelling Behavior Tree）を用いて感情･気分を付与し，行動が変化する NPC を開発した[10]．この研究では，感情の種類，強さ，原因が NPC の行動に影響し，NPC 同士や周囲の環境によって相互作用が起こり，感情がリアルタイムで変化する．これにより，NPC のより高い没入感とリアリティを得た．

2.3 本研究のアプローチ

以上から，本研究の目的を以下に設定する．

1. 運用コストが低く，手軽に体験可能なアプリの開発を行う．
2. 仮想空間を用いて，体験ごとに発生する自然災害が変化させ，複数のシナリオがあるアプリの開発を行う．
3. 体験者の意思による行動と VR 技術による没入感により，身を持った訓練を行うことで，防災知識が向上するシステムの開発を行う．

また，仮想空間上に NPC を配置し，より現実に近い環境の再現を図る．各 NPC は災害が起こると避難行動を行う．体験者は NPC に惑わされることなく適切に避難を行う．

3. DeVA：VR 防災アプリケーション

3.1 概要

本アプリは，体験者が仮想空間上で自然災害を体験し，自らの意思によって避難を行い，災害について理解をすることで，被災した際に適切な避難行動を可能とすることを目的としている．

本アプリは，図 2 で示すように，スマートフォン，ハコスコ，GamePad を用いる．体験者はハコスコにスマートフォンを装着し，身に着ける．操作には GamePad を用いる．今回は，Nintendo Switch の GamePad である Joy-Con を使用した．操作するキャラクタは，仮想空間を自由に歩き回ることができ，ハコスコによって 360 度見回すことが可能で

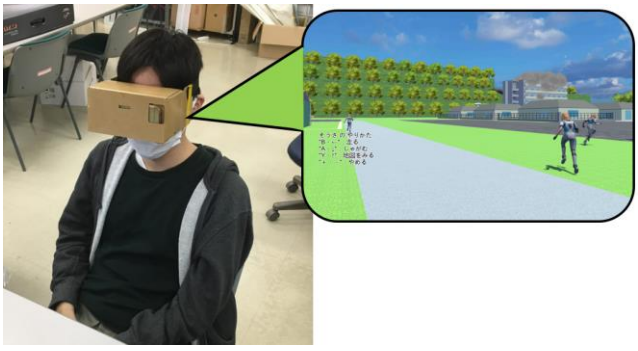

図 2　体験イメージ

© 2021 Information Processing Society of Japan

ある．VR 技術がもつ没入感により，普段の避難訓練とは異なった臨場感のある様々な状況の中で訓練を行う．

3.2 開発環境

本アプリの開発は，ゲームエンジンである Unity を用いる．また，地形や建物はフリーソフトである Sketch Up を用いて作成する．Unity と Sketch Up で作成したステージを図 3 に示す．

3.3 仮想空間

本アプリは，周囲の土地について詳しくないことが予想される観光地に赴いた際に，自然災害に遭遇する場面を想定している．そのため，作成した仮想空間のステージも現実に存在する場所を模して作成した．本アプリでは，三重県伊勢市にある夫婦岩付近を模したステージを作成した．この場所を選んだ理由としては，観光名所として有名であるほかに，図 4 に示す国土地理院が提供する“重ねるハザードマップ”[11]の情報も考慮した．図 4 のハザードマップでは，津波による被害を赤色の濃さで記している．夫婦岩付近では，平地と山岳それぞれに避難場所が存在するため，体験者は災害状況から適切な避難場所を判断し，避難する必要がある．

3.4 シナリオ

本シナリオは，仮想空間内で観光途中に突然地震が発生する．さらにその後，津波などの二次災害が発生する．その状況下で,体験者は安全に避難を行う方法を自身で考え，行動する必要がある．

地震後に複数のシナリオが存在し，各体験によってランダムに選択される．周囲の状況と，体験者の持つ防災知識によって，適切な避難を行う必要がある．地震後の周囲の環境について以下に示す．

① 津波が発生する．
② 避難場所の 1 つであるマンションから火災が発生する．
③ 落石により，道が封鎖される．
④ 周囲の NPC がそれぞれ避難行動を行う

このシナリオから，体験者は周囲の環境を把握し，安全な避難方法を自ら判断を行い，適切な避難行動を行うための防災知識の取得を目的としている．

3.5 NPC

広瀬は発煙実験から,「大勢の人と一緒にいるときの方が,一人のときよりも危機回避行動が遅れることも分かった.[12]」と記述している．これを同調性バイアスという．これは，近くにいる人が起こす集団行動である．災害時に人が集団でいるときに避難を開始することが遅いために，被災する可能性がある，また,「集団は，模倣という同調性も持っている．[12]」と記述している．災害時には，同調性バイアスによって避難行動が遅れることや，どのように避難すればわからない場合に，周囲と同じ行動を行うことがある．本アプリでは，同調性バイアスを再現するために，

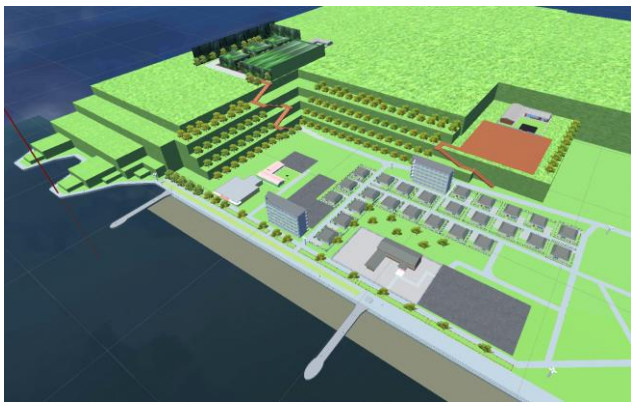

図 3　Unity と Sketch Up で作成したステージ

図 4　ハザードマップ

体験中に NPC を配置する．NPC は，適切，または不適切な避難場所へ避難行動を行う．NPC の避難場は， 体験ごとにランダムに設定される. 周囲で避難している NPC の行動をみて，体験者の避難行動にどのような影響があるかをみる．

3.6 体験後の評価と基準

本体験の終了時に体験者の行動を 100 点満点で評価を行う．今回の評価基準は，実際の小学校教員との協議で決定した．

評価項目と点数の配分を表 1 に示し，各項目について説明する．

① 避難状況（配点 30 点）

体験中に発生する自然災害に対して，仮想空間上で安全に避難を行うことができたかを評価する項目である．

◎：今回想定している体験内では最も適切な場所に避難を行うことができたことを示す．

○：比較的安全な場所に避難を行うことができたことを示す．

△：避難は成功したが，適切ではない場所に避難を行うことができたことを示す．

×：体験中に避難できず，被災したことを示す．

② 火災現場を避けたか（配点 20 点）

体験中に発生する火災現場の近くを通らずに避難を行うことができたかを評価する項目である．

© 2021 Information Processing Society of Japan

表 1　評価点数の項目

項目	評価と点数				配点(合
	◎	○	△	×	
避難状況	30	20	10	0	3(
火災現場を避けたか	20		10	0	2(
地震中の移動	20		10	0	2(
事前確認	15			0	1!
地震後の確認	15			0	1!

◎：避難時に火災現場に近づかずに避難を行ったことを示す.

△：避難時に火災現場の近くを通ったことを示す.

×：△よりも近い場所を通ったこと，または火災現場に避難をしたことを示す.

③ 地震中の移動（配点 20 点）

体験中に発生する地震直後の行動を正しく行うことができたかを評価する項目である.

◎：地震発生直後の行動が適切であったことを示す.

△：地震発生直後の行動が不適切であったことを示す.

×：△よりも行動が不適切であったことを示す.

④ 地図の事前確認（配点 15 点）

体験者が，知らない場所へ訪れる際に，地図の確認が行えているかを評価する項目である.

◎：地図の事前確認が行われていることを示す.

×：地図の事前確認が行われていないことを示す.

⑤ 地震後の地図の確認（配点 15 点）

地震後に避難場所等の周辺状況を確認するために，地図の確認が行えているかを評価する項目である.

◎：地震後に地図の確認が行われていることを示す.

×：地震後に地図の確認が行われていないことを示す.

本アプリは図 5 に示すように，各項目をイラストで表現し，達成できなかった項目は黒いイラストで表示される．これは，本アプリで用いた VR では，文字の可読性が低いためイラストで表示する．その後，図 6 で示すように，体験者の行動軌跡が表示される．青い軌跡は地震前の体験者の行動，赤い軌跡は地震後の体験者の行動を示す．体験者は, この評価項目と点数, 軌跡から自身の行動を振り返り，避難方法を再検討する.

4. 実験

4.1 実験の概要

2020 年 11 月 16 日（月）に，奈良県王寺町立王寺小学校の小学 5 年生 20 名に, 本アプリを用いた評価実験を行った．実験に関する時間は，合計 80 分である．前半と後半で

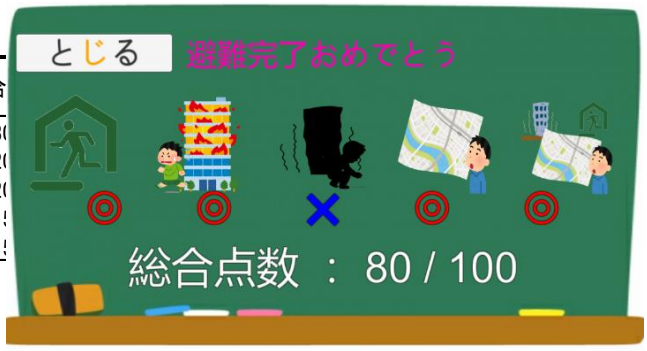

図 5　スコア画面

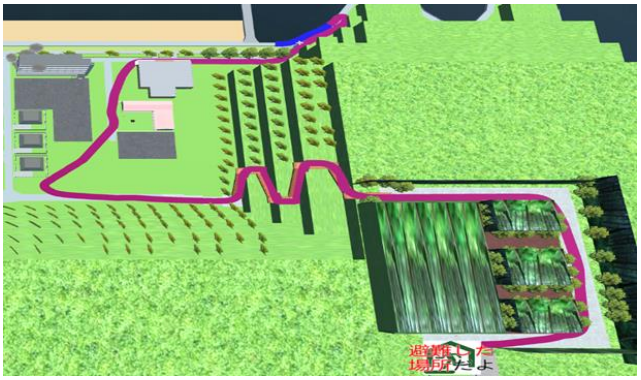

図 6　行動軌跡

10 名ずつにわけ，40 分経過で交代する．はじめに，体験者には事前アンケートに回答してもらう．事前アンケートでは，現在の防災に対する意識と，予想される災害リスクを尋ねた．アンケート終了後，体験者にはスマートフォンで本アプリを体験してもらう．体験中に発生する自然災害に対して自身の意思に基づいて避難行動をしてもらう．体験は二人一組でペアをつくり, 体験時間 40 分の中で交互に体験してもらう．図 7 は実際に実験を行った様子である．体験終了後，アンケートに回答してもらう.

本実験の実施に辺り，大阪工業大学倫理委員会および立命館大学における人を対象とする研究倫理審査委員会の審査（衣笠-人-2019-30），また大阪工業大学における人を対象とする倫理員会の審査（2020-18）に基づき実施する.

4.2 アンケートについて

体験前後で行うアンケートでは，「質問①：知らない土地で地震が発生した時，どうするか」について「1：すぐに避難する」「2：避難指示の放送が流れたら避難する」「3：周りが避難し始めたら避難する」「4：分からない」「5：その他」の中から選択形式で 1 つ回答を依頼した．また，体験後のアンケートでは質問①に加えて 5 つの質問②～⑥の回答を依頼した，質問②～⑥は，リッカート尺度を用いた 5 段階評価での回答を依頼した．5 段階評価は「1：とても当てはまる」「2：当てはまる」「3：どちらともいえない」「4：当てはまらない」「5：全く当てはまらない」の中から回答する．アンケート項目は以下のとおりである.

© 2021 Information Processing Society of Japan

表 2　実験に関するアンケート結果

質問番号	質問内容	評価項目の分布				
		1	2	3	4	5
②	防災訓練アプリの体験内容は，印象に残った.	5	11	4	0	0
③	防災訓練アプリの操作は簡単で，分かりやすかった.	8	6	3	2	1
④	防災訓練アプリは，安全な避難方法が分かった.	8	5	5	2	0
⑤	防災訓練アプリは．様々な二次災害を体験することができた.	9	6	2	1	1
⑥	防災訓練アプリで，日頃から防災に意識を向けようと思った.	6	11	1	0	2

※⑤：一名記述なし

図 7 実験の様子

② 防災避難アプリの体験内容は，印象に残った.
③ 防災訓練アプリの操作は簡単で，分かりやすかった.
④ 防災訓練アプリで，安全な避難方法が分かった.
⑤防災訓練アプリは，様々な二次災害を体験することができた.
⑥ 防災訓練アプリで，日頃から防災に意識を向けようと思った.

以上の項目に対して,それぞれに回答した理由を聞く記述,最後に体験を通して感じたことを自由記述してもらうアンケートとなっている.

5. 結果と考察

実験で行ったアンケートの結果を表 2，図 8 に示す.

5.1 本システムの使用感について

表 2-②より，「防災訓練アプリの訓練内容は，印象に残った」という質問に対して，「1：とても当てはまる」が 5 名，「2：当てはまる」が 11 名，「3：どちらともいえない」が 4 名という評価だった．また，表 2-③より，「防災訓練アプリの操作は簡単で，分かりやすかった」という質問に対して，「1：とても当てはまる」が 8 名，「2：当てはまる」が 6 名，「3：どちらともいえない」が 3 名，「4：当てはまらない」が 2 名，「5：全く当てはまらない」が 1 名という評価だった．システムに対する自由記述から以下の意見が得られた.

- *内容がリアルでわかりやすかった.*
- *ボタン操作が少なかったからわかりやすかった.*

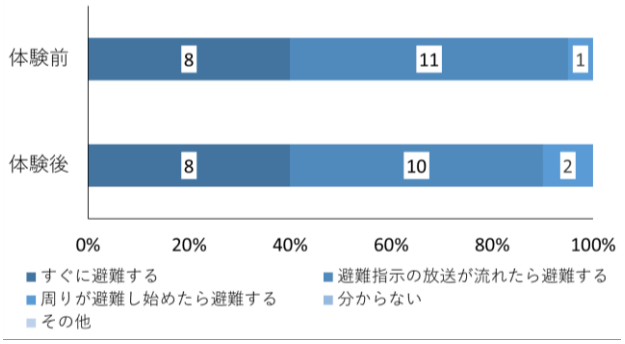

図 8　質問①の回答結果

以上から，本研究の目的 1 である安価で手軽に体験できる可能性があることが分かった．また，低い評価の自由記述に，「もう少し感度を付けてほしい」「細かい操作が分からなかった」と記述されていた．コントローラの操作については改善の必要があることが分かった．また，現在操作確認を行うために「練習モード」を用意していたが，内容は自由な操作ができるだけとなっている．今後は練習ですべての操作内容を確認するシナリオの作成によって改善を行う.

5.2 シナリオと自然災害の影響

表 2-⑤より，「防災訓練アプリは．様々な二次災害を体験することができた.」という質問に対して，「1：とても当てはまる」が 9 名，「2：当てはまる」が 6 名，「3：どちらともいえない」が 2 名，「4：当てはまらない」「5：全く当てはまらない」が 1 名という評価だった．アプリに対する自由記述から以下の意見が得られた.

- *津波とかがリアルで実際にしているような感じだった.*
- *マンションから煙が出ていて火事になっていることが分かった.*
- *津波や土砂崩れにあった.*

以上から，本研究の目的 2 である本アプリは様々な災害から複数のシナリオを体験が可能であることが分かった．アプリ内で津波に被災したことから，すぐに避難を行おうと考える体験者や，どうすればいいか分からなくなり，心配する体験者もいた．また，低い評価の自由記述に「二次災害がこなかった」と記述されていた．本アプリでは，土砂崩れなど一部の災害では，適切な避難を行った体験者は

© 2021 Information Processing Society of Japan

災害現場を見ることなく避難を行うことが可能である．また，津波においては，地震発生から時間を空けて発生することや，かさいにおいては，津波からの避難や NPC についていく行動を行っているために，その他の二次災害に気づいていない可能性が考えられる．そのため，体験者がどの避難方法をとっても二次災害を体験し，防災について考察するアプリにする必要があることが分かった．

5.3 防災知識への影響

表 2-④より，「防災訓練アプリは，安全な避難方法が分かった.」という質問に対して，「1：とても当てはまる」が 8 名，「2：当てはまる」「3：どちらともいえない」が 5 名ずつ，「4：当てはまらない」が 2 名という評価だった．また，表 2-⑥より，「防災訓練アプリで，日頃から防災に意識を向けようと思った.」という質問に対して，「1：とても当てはまる」が 6 名，「2：当てはまる」が 11 名，「3：どちらともいえない」が 1 名，「5：全く当てはまらない」が 2 名という評価だった．アプリに対する自由記述から以下の意見が得られた．

- *津波がきて死んだから，海から離れないといけないことがわかった.*
- *津波や地震の時に，こんなひどいことにならないようにしようと思いました.*
- *奈良県は海がないから津波はこないけど海がある県にいるときはどうすればいいか分かった.*

以上から，本研究の目的 3 である防災知識が向上する可能性があることが分かった．身の大事さや災害の恐怖を改めて実感し，防災について考える体験者もいた．また，低い評価の自由記述に「アプリだけでは少しわかりにくかった」と記述されていた．今回実験時，本アプリ内で災害が起こり，避難する必要があることを伝えずに体験を行ってもらった．そのため，アプリ開始時点や地震が起こったときに何をすればいいかわからなくなり，被災することがあった．また，アプリからの正解例の提示はなく，体験者は点数と軌跡から自身で正しい避難行動を考察する．そのため，体験者が，考察から適切な避難方法を気づかない場合に，防災についての理解が困難であることが考えられる．

5.4 NPC について

NPC に対する自由記述から以下の意見が得られた．

- *人が逃げていた*
- *周囲の人と協力して逃げるべき*
- *人が多くいた*

以上から，NPC は興味を示す可能性があることが分かった．しかし，図 8 より，体験前後で「周りが避難し始めたら避難する」が 1 名から 2 名へと増加した．よって，現在の NPC は人についていくことの危険性を考察するものとして不十分であることが分かった．NPC の身振り手振りを含めた行動や，表情，声などの追加によって，さらなる NPC の精度向上で，周囲の災害状況の再現が必須であることも分かった．

6. おわりに

本研究では，災害時の避難体験に基づく防災知識向上のための VR アプリケーションの開発を行った．本アプリでは，周囲の土地について知らない可能性がある観光地で複数の自然災害とそれにともなう周囲の状況の変化が体験可能である．その中で，体験者自身が考えて適切な避難行動をするための防災知識を向上させる可能性がある．

今後の課題としては，より詳細な災害によって印象に残るシステムの開発があげられる．また，NPC に表情や声，避難行動をより詳細に設計し，災害時における周囲環境の再現を検討している．加えて，操作方法や災害についての検討も必要である．

参考文献

[1] JICE 国土技術研究センター，“国土を知る/意外と知らない日本の国土，”http://www.jice.or.jp/knowledge/japan/commentary09，(参照 2020/12/17).
[2] 国土交通省，気象庁，“南海トラフ地震に関連する情報，”https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/nteq/index.html，(参照 2020/12/17).
[3] 松下智晴，菊池晶陽，大井翔，後藤壮史，佐野睦夫，“避難体験に基づく防災知識向上のための VR アプリケーションの開発”，教育工学研究会，2020.
[4] 菊池晶陽，大井翔，後藤壮史，佐野睦夫，“行動心理と体験学習に基づく VR 避難訓練システム MisasTer-System の開発，”インタラクション 2020，pp.570-575.
[5] 植野雄貴，近真弥，陳詩凌，金澤 功樹，大川 博史，“防災教育のための VR 技術を用いた津波とその避難の疑似体験システムの構築に関する研究，”土木情報学シンポジウム講演集，2019，vol.44，pp.113-116.
[6] 中本涼菜，谷岡遼太，吉野孝，“VR を用いた被災体験とその対策を繰り返すことによる防災教育システムの提案，”情報処理学会関西支部支部大会講演論文集，2017，pp.1-6.
[7] 高橋亨輔，井面仁志，白木渡，磯打千雅子，“災害状況再現・対応能力訓練システムの開発と学校教員を対象とした地震発生時の初期対応訓練の実践，”情報処理学会論文誌，2017，vol.58(5)，pp.1124-1137.
[8] Sho Ooi, Taisuke Tanimoto and Mutsuo Sano，Virtual Reality Fire Disaster Training System for Improving Disaster Awareness，the 2019 8th International Conference on Educational and Information Technology (ICEIT),2019, pp.301-307.
[9] T. Liu, Z. Liu, M. Ma, T. Chen, C. Liu and Y. Chai, "3D visual simulation of individual and crowd behavior in earthquake evacuation", SIMULATION, 2018,vol. 95, no.1, pp.65-81.
[10] Belle, S., Gittens, C. and Graham, T.N., Programming with Affect: How Behavior Trees and a Lightweight Cognitive Architecture Enable the Development of Non-Player Characters with Emotions. In 2019 IEEE Games, Entertainment, Media Conference (GEM) pp. 1-8.
[11] 国土地理院，“重ねるハザードマップ，”https://disaportal.gsi.go.jp/maps/，(参照 2020/12/17).
[12] 広瀬 弘忠，“災害時の避難行動，”東日本大震災関連調査，pp.130-133，https://www.isad.or.jp/pdf/information_provision/information_provision/h25/higashinihon25_all.pdf，(参照 2020/12/17)

© 2021 Information Processing Society of Japan