

防災教育 ゲーム『防災すごろく』へのVR技術による災害表現の適用

石川工業高等専門学校	環境都市工学科	准教授	新保泰輝
石川工業高等専門学校	環境都市工学科	講師	寺山一輝
石川工業高等専門学校	電子情報工学科	准教授	越野 亮
五大開発株式会社	技術研究所	主任研究員	荒木光一
五大開発株式会社	システム技術部		吉田龍史

1. 研究の経緯

近年、我が国では地震や豪雨に伴う土砂災害などの自然災害が頻発激甚化している。令和2年の土砂災害発生件数は1316件であり、年平均発生件数の1.2倍である。令和2年7月豪雨は37都道府県で961件の土砂災害をもたらし、過去最大クラスの広域災害となった。そのほか、令和3年2月13日には福島県沖にてマグニチュード7.3の巨大地震が生じている。今後、南海トラフ地震が想定されるなど巨大地震の懸念は尽きない。著者らは頻発激甚化する自然災害による被害を低減するために、災害時の渋滞とその避難経路に着目している。

2011年の東北地方太平洋沖地震において自動車による避難によって渋滞が発生した。また、2019年の新潟山形地震において、石川県輪島市では津波避難のために渋滞が発生した。渋滞によって避難行動が阻害される可能性があるため、住民自らが常日頃から災害渋滞時の避難行動を学習し、最適な避難経路を考える必要がある。そのためには、家族・町会・市町などのグループ単位での防災意識の向上も必要である。防災意識向上のために、これまでに様々な活動が行われている。このうち、ゲームを用いた防災訓練としてDIG(ディグ)りがある。DIGとはDisaster(災害), Imagination(想像力), Game(ゲーム)の頭文字を取って命名された住民参加型の大きな地図を基に参加者自身が実際に地図に避難経路などを書き込みながら防災訓練を実施する取り組みである。一方、車両等の環境負荷を体験するための交通すごろくが存在する。著者らは、これらの特徴を融合し、道路渋滞を表現した災害時の避難行動について学ぶゲーム「防災すごろく」を開発している²⁾(図-1)。防災すごろくは以下の特徴を有するすごろくゲームである。

- 実際の道路ネットワークやハザードマップ情報(地すべり警戒区域、津波浸水想定区域、液状化危険区域)を用いている。

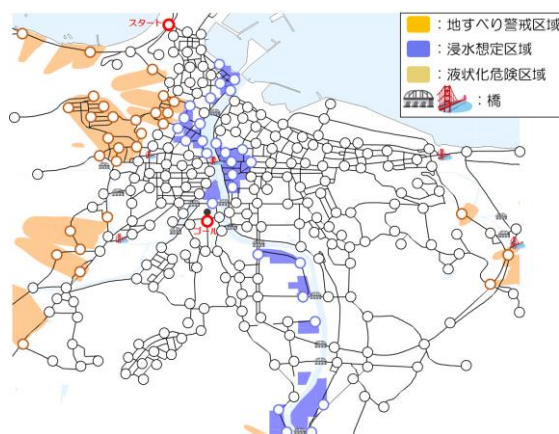


図-1 防災すごろくマップ



図-2 防災すごろくによる防災教育

- コマ進行時に先行するコマを追い越せないようにすることで道路渋滞を表現している。
- ターン毎に災害が発生する可能性がある。災害が発生した場合、災害対象となるすごろくマスへの侵入は禁止(道路封鎖)となる。
- プレイヤー全員がスタート地点から避難所に到達したターン数をグループごとに競う。

周知のすごろくゲームにこれらの特徴を合わせることで、老若男女問わず、我が町マップによる机上訓練・災害の地域特性を考慮した机上訓練が可能となる。

これまでに石川県河北郡津幡町と石川県輪島市の2つの地図を用いてすごろくマップを作成している。作成した地図を用いて、図-2に示すような小学生、高校生を対象とした講座を実施した。その結果、初めて防災すごろくを実施する場合、各人が我先にゴ

ールへと向かっていたものが、渋滞によって通路が封鎖されたり、災害でゲームオーバーになったりする経験を通して、渋滞を避けるような行動をとるようになり、全員が早急に避難するための協調行動やクリティカルな交差点を見極めに関する意識向上が図られた²⁾。しかしながら、何度も防災すごろくを実施すると、マップへの慣れや災害に対する慣れが生じてしまう重大な問題がある。これは、防災すごろくのマップが2種類しかないので慣れを生じやすいことと災害を単に道路封鎖（コマの移動を禁止）で表現していることが原因と考えられる。したがって、これらの問題を解決することでより良い防災教育ゲームになると考えられる。

2. 課題

本助成事業の課題について以下に記す。

課題1【住民自らがすごろくマップを作成でき、それを利用して防災すごろくによる避難行動の評価が行える必要がある】

後述する災害VRコンテンツを防災すごろくに適用するだけでは防災すごろくの効果検証が行えず、慣れと共にプレイヤーに飽きを与えてしまう。そのため、防災すごろくによる教育効果をプレイヤーに明示する必要がある。そこで、本研究では災害VRコンテンツの制作と並行して防災すごろくの作り方マニュアルを整備する。防災すごろくの作成方法や実施方法だけではなく、実施結果を基に事後評価方法を提示することで、効果的な防災訓練を実施できるようにする。学校、自治体、町内会などのグループ毎に地域に応じたすごろくマップを作成し、それぞれの地域に応じた避難行動の評価を行うことで慣れや飽きのない防災すごろくを作ることができる。

課題2【災害表現のリアリティを向上することで防災すごろくの慣れを軽減する】

効果的な教育方法としてVR映像を用いた教育・体験システムがある。板宮ら³⁾はVR/AR映像を用いて津波を体験するDisasterScopeや高潮による浸水没入体験システムを開発している。植野ら⁴⁾は防災教育のためにVR体験型津波避難シミュレーションシステムの構築を行っている。このように、災害を表現する手段としてVR/AR映像は有用といえる。そこで、防災すごろくにVR映像・VRコンテンツを取り入れることで、慣れを軽減し、災害を目で見て感じられるより良い防災教育ゲームにする。

本研究では災害表現のために、災害VRコンテンツの製作を行う。広域災害の表現と、フォトリアスティックな局所的な表現に分けて災害VRコンテンツ

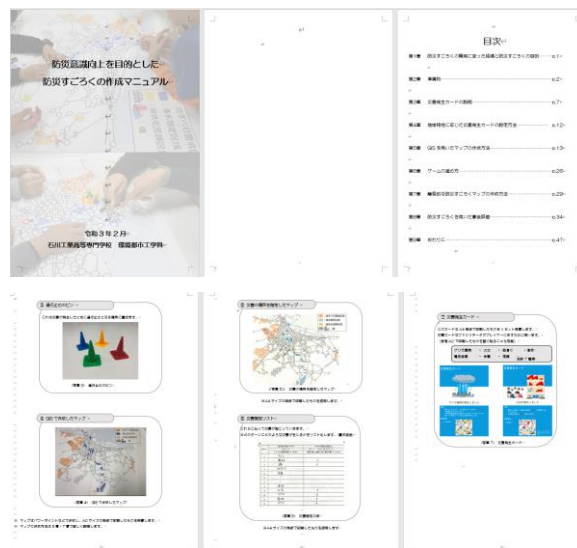


図-3 防災すごろくマニュアル抜粋

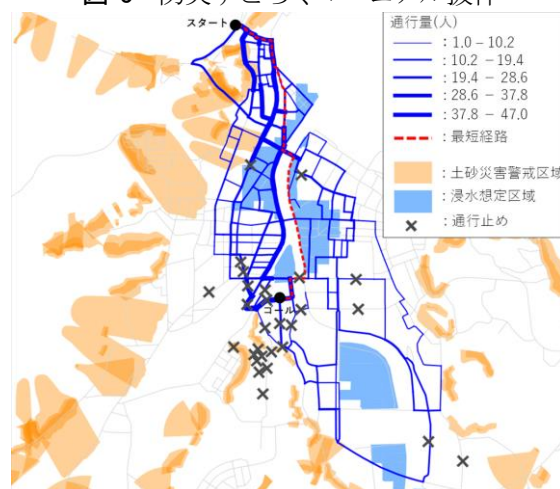


図-4 事後評価（避難経路の分布）

を制作する。ただし、ヘッドセットを通して災害VRコンテンツだけを見せるだけでは、机上の防災すごろくとの連動を図るのは困難であり、教育効果の向上も見込めない。そこで、防災すごろくのアプリケーション化も同時に行った。今後の災害VRコンテンツの拡充や災害種別の拡充に対応したフレキシブルなアプリケーションとしている。他方で、ゲーム性を高めるための要素として、クイズの実施・評価点を与えることなどを行った。この基盤アプリケーションを開発することで、災害VRコンテンツとの連動が図れるようになり、年齢や対象地域に災害渋滞時の机上訓練が可能となる。

課題1、課題2の解決を図るために、本研究では下記3項目について実施している。それぞれの成果は次章の各節にして記す。

- ・防災すごろくのマニュアル作成
- ・災害VRコンテンツの制作
- ・防災すごろくアプリケーション版の開発

3. 成果

3.1 防災すごろくマニュアルの作成

(1)概要

図-3 に示す防災すごろくのマニュアルでは、それぞれの町で自主的に防災について学習するために、防災すごろくの作成方法から防災すごろくを用いた事後評価(分析)方法を紹介している。

(2)目次

本研究で開発したマニュアルの目次を以下に記す。

- 第1章 防災すごろくの開発に至った経緯と
防災すごろくの目的
- 第2章 準備物
- 第3章 災害発生カードの説明
- 第4章 地域特性に応じた災害発生カードの
設定方法
- 第5章 GIS を用いたマップの作成方法
- 第6章 ゲームの進め方
- 第7章 簡易的な防災すごろくマップの作成方法
- 第8章 防災すごろくを用いた事後評価
- 第9章 おわりに

(3)本マニュアルによる事後評価方法について

本マニュアルでは 2 つの事後評価方法を提案している。1つはアンケート調査であり、もう1つはプレイヤーに自身が通行したルートを記入してもらい、それを GIS 上に表示することで災害時の避難行動を分析する方法である。これにより図-4 に示すように、最短経路に対してどのような経路を通ったかを評価できる。これらのデータが数多く蓄積されることで防災整備計画への提言なども行えると期待している。

3.2 災害VRコンテンツの制作

制作した災害 VR コンテンツについて記す。

(1)開発環境と使用機器

災害 VR コンテンツの開発環境として Unity (2019.2.19f1 バージョン) を用いた。また、HMD には Oculus 社の Rift S を用いた。また、後述する 360 度全天球映像の撮影には、RICOH THETA V を用いた。

(2)開発概要

360 度全天球映像によるすごろくマスの制作とマス内に表現する災害 VR コンテンツとして降雨、浸水、落石を制作した。また、広域災害表現として地滑りと河川氾濫の災害 VR コンテンツを制作した。

(3)すごろくマスの表現

図-5 に示すように局所的な VR 表現として、対象位置に対して全方位を確認できる 360 度全天球映像(図-6)を用いた球体モデルを制作した。すごろくマスとなる現地において全天球カメラを用いて写真を撮影し、HMD で 360 度全天球映像を見せることで



図-5 テクスチャを貼り付けたすごろくマス



図-6 全天球カメラで撮影した写真



図-7 球体モデル内から見た降雨の表現

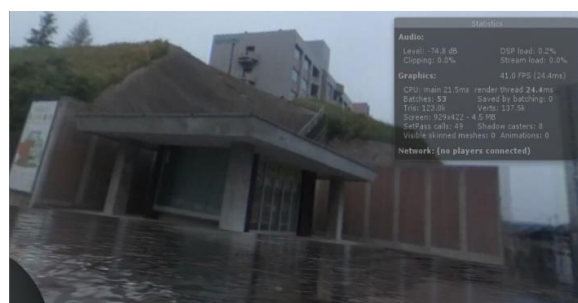


図-8 球体モデル内から見た浸水の表現



図-9 球体モデル内から見た落石の表現

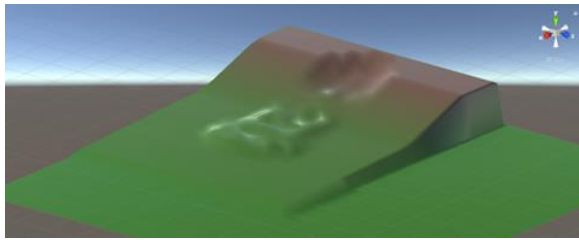


図-10 地滑りモデル全体像

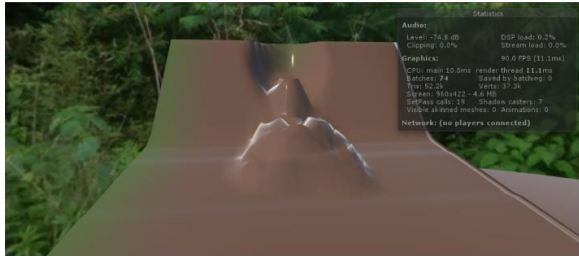


図-11 球体モデル内から見た地滑りの表現

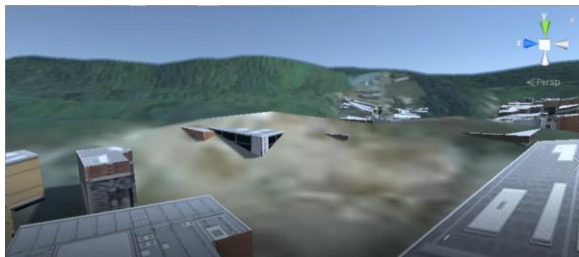


図-12 地滑りの表現

現地映像を見せる。

(4) 降雨の表現

降雨の表現は、Unity の Particle System を利用し、Render に雨粒のテクスチャを張り付けて表現した。実装した結果を図-7 に示す。

(5) 浸水の表現

浸水の表現は、球体モデル内の可視化範囲内に水面を設置することで表現した。Unity の Standard Asset の WaterProDaytime を球体モデル内に配置している。図-8 に球体モデル内に WaterProDaytime を配置した映像を示す。WaterProDaytime は画像の反射も表現できることから、周囲の風景が水面に映っているのが見て取れる。

(6) 落石の表現

既報⁹⁾にて、Agisoft PhotoScan を用いて静止画像から岩石の3次元モデルを制作し、落石シミュレーションを行った。本研究では、既報で制作した落石モデルを球体モデル内で落下させることで落石を表現した。可視化範囲外のランダムな位置から落石を発生させ、物理演算によって落石モデルを可視化範囲内に落下させている。図-9 に落石モデルが球体モデル内を落下する様子を示す。

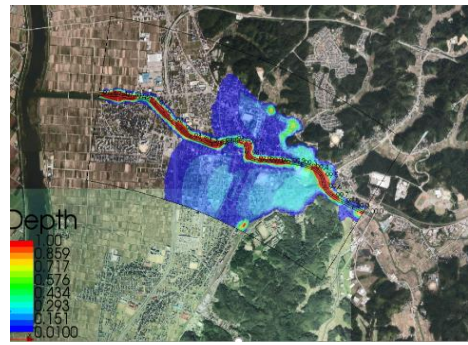


図-12 iRICによる氾濫解析

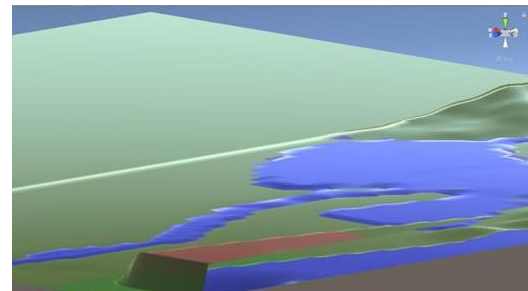


図-13 氾濫解析解析結果

(7) 地滑りの表現

地滑りの表現は、国際斜面災害研究機構の地滑り発生運動統合シミュレーションソフトウェア LS-Rapid による地滑り解析結果を利用した。LS-Rapid は格子状に配置された土柱の高さを時刻ごとに変化させて地形や地滑りの移動を表現している。そのため、格子状のデータが配置可能な Unity の Terrain を用いて災害 VR コンテンツを制作した。利用した地滑りモデル全体像を図-10 に示す。また、球体モデル内に設置した地滑り途中の映像を図-11 に示す。ただし、災害 VR コンテンツに対するアンケート結果より、「地滑りは規模が小さく感じられるため、地形や表現方法の検討が必要だと思う。」という意見があったことから、広域災害を局所的な球体モデルで表現することには限界があると判断し、同様の手順で LS-Rapid の解析結果と後述する mapbox を背景として用いることで図-11 に示す災害 VR コンテンツを制作した。

(8) 氾濫状況の表現

氾濫過程を表現するために、iRIC Nays 2D Flood を用いた氾濫解析を実施した。津幡町の地勢データを (USGS 標高タイル) を用いて全長約 3,600m、幅 1,000m の解析を実施した。解析は仮想的状況を想定しており、当該地区の浸水想定区域とは異なることに注意したい。解析結果を図-12 に示す。このように得られた解析結果を Unity で表現したものが図-13 である。

3.3 防災すごろくアプリケーション版の開発

災害 VR コンテンツを搭載する基盤となる防災すごろくをデジタルゲーム化したシステムを開発する。このゲームを通して防災意識を簡単に楽しく向上させることを目的として防災すごろくアプリケーション版を開発した。

(1)概要

防災すごろくシステムを作成するにあたり、Unity 上ですごろくに用いるマップを作成した。防災すごろくでは実際の道路ネットワークやハザードマップを用いており、オープンストリートマップをベースとした mapbox が提供している Maps SDK for Unity を用いた。これは開発ツール、サービス、既製のアセットを1つにまとめたものであり、現実世界を舞台にしたモバイルゲームを簡単に作成できる機能が用意されている。この SDK を用いることで Google マップ データベースから高品質の地理データにアクセスでき、街並みを表現できたり、図-14 に示す地図を表示することが可能となる。

(2)アプリケーション版について

アプリケーション版では机上の防災すごろくでは実施できない要素をいくつか取り入れることでよりゲーム性を向上させる仕様としている。アプリケーション版の内容ならびに機能について以下に記す。

- 1) プレイヤー全員が順に1回ずつ行動すると1ターンが経過するようにしている。
- 2) 避難時に車両から降りて避難する場合を想定し、図-15 に示すようにターン開始時に徒歩での避難に切り替える選択を用意した。ただし、徒歩の場合にはサイコロの出目が小さくなる。
- 3) 机上の防災すごろくと同様にプレイヤー同士は追い越せない。プレイヤー以外にも車両で避難している人がいることを想定し、ランダムに渋滞が発生する仕様とした(図-16)。
- 4) プレイヤー全員がスタート地点から避難所に到達したターン数が少なければ少ない程協調行動がなされていると判断し、プレイヤー全員に一定の持ち点を与えてゲームを開始し、順番が回ってくると自分のスコアが少しずつ減点される仕様とした。ゲーム終了時にはグループ全体の持ち点を計算している。
- 5) ゲーム性の向上と防災知識の習熟を図るために、ゲーム途中に防災クイズを各プレイヤーに1回ずつ出題し、正解するとスコアがアップする機能も実装した。図-17 に防災クイズの様子を示す。

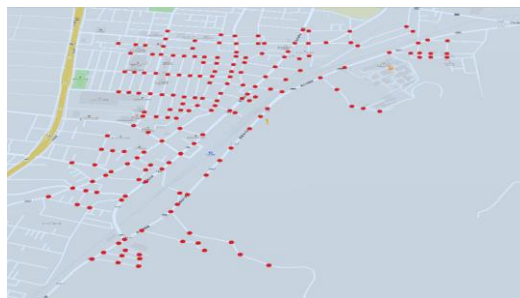


図-14 防災すごろくのマップ



図-15 プレイヤーの行動選択画面



図-16 渋滞の発生

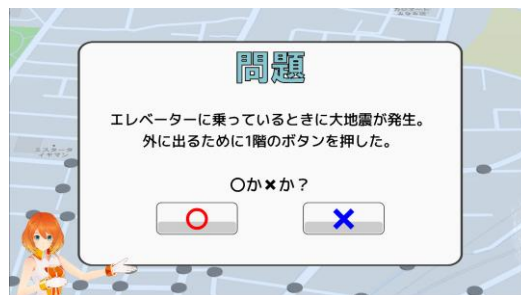


図-17 防災クイズ



図-18 ゲリラ豪雨と火災が起きている様子

- 6) CSV ファイルをゲーム開始時に読み込めるようにし、ゲーム実施者が災害種類とその発生



図-19 ゲリラ豪雨と浸水が発生している様子



図-20 ゲリラ豪雨と浸水が発生している様子

ターンを事前に指定することができるようにした。

- 7) 現在、豪雨と火災を実装している。自然災害の発生する場所と持続期間はランダムに設定しており、ゲームごとに毎回異なる状況での避難行動訓練が可能である。なお、火災の特徴として延焼も想定した災害となっており、ターン開時に火災対象のマスに隣接しているマスが確率で火災の対象に含まれる仕様とした。豪雨と火災が発生している様子を図-18に示す。
- 8) 現在の状況やユーザーへの操作説明のためのナビゲータ⁷⁾を用意している。

(3)災害 VR コンテンツの表示

アプリケーション版はゲーム途中で災害を VR モードに切り替えて表示できるようにしている。現在までに図-19、図-20に示す豪雨と洪水（ただし、水位は任意の水位）を画面を切り替えて表示できるようにしている。図に示すように遠方までの様子を見渡せる広域的な表現が可能となっている。今後は前章で制作した災害 VR コンテンツを導入していく。

4. 今後の展望

本研究では、防災教育ゲーム「防災すごろく」を複数回実施することで生じる災害に対する慣れと飽きを解消するために、防災すごろくマニュアルの整備と防災すごろくのための災害に関する災害 VR コンテンツの制作、アプリケーションの開発を実施した。

制作したアプリケーション版と災害 VR コンテンツについて、体験者から一定の評価を得ている。ただし、本研究で提示した以外の災害も多く存在することから、今後は本研究で開発したアプリケーション版やマニュアルを基に講義、出前授業、公開講座などを通して防災すごろくに関する広報活動を行う。同時にアンケート調査などを実施して、それらの結果を踏まえて防災すごろくの高度化を図り、地域住民の防災減災に寄与していく。

外部発表・新聞掲載一覧

- 1) 新保泰輝,永島桃子,寺山一輝,越野亮, 防災教育すごろくゲームのための VR コンテンツの制作, 第45回土木情報学シンポジウム, Vol. 45, pp.1-4, 2020年9月
- 2) 沖野浩太郎, 越野亮, 新保泰輝, 寺山一輝, 防災教育すごろくゲームのためのシステム開発, 2020年度電気・通信関係学会北陸支部連合大会 2020年9月13日
- 3) VRで防災すごろく, 北國新聞, 2020年9月11日
- 4) 沖野浩太郎, 越野亮, 新保泰輝, 寺山一輝, 防災意識向上を目的としたすごろくゲームの開発, 第26回高専シンポジウムオンライン, 2021年1月23日

参考文献

- 1) 小村隆史, 平野昌: 図上訓練 DIG (Disaster Imagination Game)について, 地域安全学会論文報告集, Vol.7, pp.136-139, 1997.
- 2) 寺山一輝, 新保泰輝: 防災意識向上を目的とした道路渋滞・道路封鎖を考慮した防災ダイスゲームの作成とその発展, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会, pp.CS1-15- pp.CS1-15, 2019.
- 3) 板宮朋基, 吉村達之: 複合現実による災害想定没入体験アプリ Disaster Scope の開発と避難訓練における活用, 日本災害情報学会論文誌災害情報, No.16-2, pp.191-198, 2018.
- 4) 板宮朋基, 村上智一, 小笠原敏記, 川崎浩司, 下川信也: スマートフォン用ヘッドマウントディスプレイを用いた高潮想定没入体験システムの開発, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.74, No.2, pp.1_773-1_778, 2018.
- 5) 植野雄貴, 陳詩凌, 金澤功樹, 大川博史, 樫山和男: 防災教育のための VR 技術を用いた津波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, Vol.44, pp.113-116, 2019.
- 6) 新保泰輝, 川除佳和: Virtual Reality を用いた落石調査技術者向け PSE に関する基礎検討, 第21回 PSE ワークショップ, pp.25-26, 2018.
- 7) (株)バンダイナムコスタジオ, ミライ小町キャラクター使用ガイドライン, <https://www.miraikomachi.com/download/#guide-line>, 2021/02/26 閲覧。