

# マルチエージェントシミュレーションによる秋田高校の避難経路の検討 Examination of emergency evacuation routes for Akita Senior High School using Multi-Agent System

泉侑希<sup>1</sup>, 小野颯太<sup>1</sup>, 信太朝陽<sup>1</sup>, 佐藤叶夢<sup>1</sup>, 松井優介<sup>1</sup>, 遠藤金吾<sup>1</sup>  
IZUMI Yuki<sup>1</sup>, ONO Souta<sup>1</sup>, SHIDA Asahi<sup>1</sup>, SATO Kanamu<sup>1</sup>, MATSUI Yusuke<sup>1</sup>, ENDO Kingo<sup>1</sup>

秋田県立秋田高等学校<sup>1</sup>

Akita Senior High School<sup>1</sup>

Corresponding Author's e-mail: endo.kingo.z1@alumni.tohoku.ac.jp

(Received: 11 September 2022; Accepted: 24 October 2022; Released: 1 February 2023)

## 【要約】

大規模災害が多発する我が国では災害への備えは必要不可欠であり、私達が一日の大半を過ごす学校における災害対策は特に重要な課題である。本校の避難経路は教室配置が現在と異なる時期に設定されたものであり、また、マルチエージェントシミュレーションによって避難経路を検討した事例はこれまでなかった。そこで迅速な避難行動を目標に、マルチエージェントシミュレーションを用いて避難経路を検討することを目的とした。シミュレーションの結果、現在の避難経路での347.5秒より21.2秒早く避難が完了でき、階段での渋滞も解消できる可能性がある新しい避難経路案を考案し、本校に提案することができた。

【キーワード】 避難シミュレーション, マルチエージェントシステム, セルオートマトン

Evacuation simulation, Multi-Agent System, Cellular Automaton

## 1. はじめに

東日本大震災をはじめ、大規模災害が頻発する我が国においては、災害に対する備えが重要である。私たちが1日の大半を過ごす学校は大人が生活する空間でもあり、学校における災害対策は特に重要な課題である。文部科学省では、「自然災害に対する学校防災体制の強化及び実践的な防災教育の推進について(依頼)(文部科学省, 2019)」の中で、学校安全計画や危機管理マニュアル、学校、家庭、地域、関係機関等との連携・協働の体制等についての見直しを指示している。その中で、「②実践的な防災教育の実施」の1つとして、「地域や校内の安全マップづくり、(中略)避難訓練や応急手当のような実習など、様々な手法を適宜取り入れ、児童生徒等が安全上の課題について、自ら考え主体的な行動につながるような工夫が必要です」と述べている。また、「③危機管理マニュアルの作成・見直し」の中では、「複数の避難場所や避難経路の設定をしているか」と述べている。避難経路に関しては、建築基準法施行令第119条(青木防災株式会社, 2019)の中で、避難経路を考慮した学校の建築物内の通路幅に関する規定が設けられている。また、宿泊施設においては、各自治体が定める火災予防条例にて「避難経路図の掲出」が義務付けられている一方、学校における避難経路については、法的に義務付けられてはいないものの、前述の文部科学省の通知によって策定が指示されている。

これまで、学校の避難経路に関する研究は存在し、宮城高専総合教育棟における最適な避難経路をマルチエージェントシミュレーションによって検討した研究成果が報告されている(飯藤将之, 2016)。しかしながら、学校ごとに校舎内の教室の配置等の条件は異なり、個々の学校の事情に応じた最

適な避難経路の検討が必要である。

本校でも避難経路図が作成され、これまでも各教室に掲示されていた。本校では、2年次より進路希望に応じて学級編成が行われるため、毎年の生徒の進路希望動向により、学級ごとの生徒人数によって教室配置が変更となることがある。しかしながら、毎年の教室配置の変更に伴って、その都度避難経路図を新たに作成することは困難であり、教室配置が現在とは異なる時期に設定されたものが標準的な避難経路図として使われているという現状があった。また、本校における避難経路を対象としてマルチエージェントシミュレーションによって検討された事例はこれまでになかった。そこで、より迅速な避難を実現することを目指して、マルチエージェントシミュレーションによって本校の避難経路の最適化を行うことを本研究の目的とした。

## 2. 材料と環境

シミュレーションに用いる避難経路図として、本校が作成した避難経路図を用いた。避難経路のシミュレーションで用いたプラットフォームは、artisoc Cloud、避難訓練アプリケーションの開発で用いたプラットフォームは、Unityであり、Unity Asset Storeで入手できる素材を用いた。

## 3. 方法

### 3-1. 避難経路の最適化を行うためのマルチエージェントシミュレーションの設定

避難経路の最適化を検討するにあたって、マルチエージェントシステム(以下MAS)を採用した。MASとは多数の異質なエージェント(本研究の場合は避難者)からなるシステムであり、

個々のエージェントの情報を組み込むことで、エージェント同士が自律的に影響を及ぼし合い、全体として複雑な状況が生じる様子をシミュレーションするシステムである(生天目章、2008)(公立ほこだて未来大学 web サイト)(矢代嘉朗、1976)(近田康夫、2008)。これによって、個々の避難者が知覚して判断する避難行動を、より現実に近いモデルを作成できる。また、人の移動の再現にあたっては、渋滞や避難モデリングでよく用いられるセルオートマトンの一種である「フロアフィールドモデル(柳澤大地、2006)」を用いた。これは、床を正方形のセル(空間格子:図1)に区切り、そのセル上を人が動くモデルである。本研究において、1つのセルの縦横の長さは、本校生徒と年齢的に近い日本人大学生の歩幅の平均値とされている0.7m(植木岳雪、2021)を表すものとして設定した。

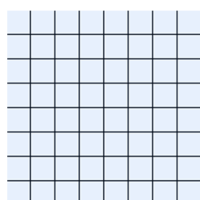


図1 空間格子

次に避難者のモデルであるエージェントを作成した。エージェントは1つのセルに同時に1つしか存在できず、自分のいるセルにとどまっているもの、移動しているものの2種類を設定した。また、初期配置場所ごとに色の異なったエージェントとすることで所属学級を区別できるようにした。

個々のセルには、「最短経路情報(図2)」と「人流情報」の2種類の情報を記録した。最短経路情報とは、出口までの最短セル数(マンハッタン距離)であり、壁や障害物等は全て99で表すものとした。人流情報とは、エージェントが通る毎に1カウントされる数値であり、多くのエージェントが通過したかどうかを示す指標とした。エージェントはこれらの情報を元に次のように移動するものとした。

99	99	99	99	0	0	99
99	5	4	3	2	1	99
99	6	5	4	3	2	99
99	7	6	5	4	3	99
99	8	7	6	5	4	99
99	9	8	7	6	5	99
99	99	99	99	99	99	99

図2 出口までの最短セル数を示す最短経路情報

避難経路を知っている人は、これに従うことで、最短距離の方向へ進み、避難経路を知らない人は他人が移動する方向に追従する傾向にある(大西正輝、2015)。そこで、避難経路に従う人数の割合を  $p$  とし、全体の人数の  $p$  のエージェントを無作為に選び、このエージェントは避難経路上の最短距離の方向に進むこととした。最短距離の方向とは、各エージェントのいるセルと隣接しているセルの最短経路情報の値を参照し、最も値が小さい方向のことを指すものである(図3(A))。一方、残りのエージェントは、他のエージェントが多く存在すると期待される方向に進むこととした。他のエージェントが多く存在すると期待される方向とは、各エージェントのいるセルの隣接セルの中で最も人流情報の値が大きい方向のことを指すものである(図3(B))。これは、多くのエージェントが通過したセルの方向へ進むと、結果的に多くのエージェントに遭遇することが期待できるという考えに基づいて設定し

た。また、進む先のセルでエージェントが重ならないかどうかを確認し、もし重なる場合は、どちらかのエージェントがランダムに元々のセルに留まることとした。移動すべき全てのエージェントの移動が完了した後に、この移動に伴う各セルの人流情報のデータを更新し、避難経路を知っているエージェントはその後にも常に最短距離の方向を選択し続け、避難経路を知らないエージェントはその後にも他のエージェントが多く存在すると期待される方向を選択し続けるものとし、これを繰り返して、避難行動が進んでいくこととした(図4)。

シミュレーションを行う際の条件は、全エージェントが本校の各学級の教室にいる授業中であること、平地における一般の人の避難速度は1.0 m/秒とするガイドライン(内閣府、2005)より、全エージェントが1.0 m/秒で移動することとした。

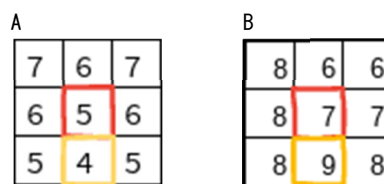


図3 エージェントの移動に関する設定

- A 避難経路を知っており、避難経路上の最短距離の方向に進む場合。注目セル(赤)の近傍セルのうち、最小の4(黄)が最短距離の方向のセルであり、この方向にエージェントは移動する。
- B 避難経路を知らず、人の多い方向に進む場合。注目セル(赤)の近傍セルのうち、最大の9(黄)が人の多い方向のセルであり、この方向にエージェントは移動する。

### 3-2. 避難経路を知っている人数の割合 $p$ の検討

$p$  の値を検討するために、 $p=0.1, 0.13, 0.15, 0.25, 0.5$  を用いて、現状の避難経路を用いたシミュレーションをそれぞれ5回ずつ行い(図5)、全校生徒の避難完了に要した時間を、以下の式(1)によってそれぞれ求めた。

$$\frac{\text{全校生徒の避難完了に要したステップ数} \times 0.7[\text{m/ステップ}]}{1.0[\text{m/秒}]} \quad \text{式(1)}$$

そして、5回のシミュレーションにおける全校生徒の避難完了に要した時間の平均値と標準偏差  $\sigma$  を算出し、標本数  $n=5$  より、以下の式(2)によって標準誤差を算出した。

$$\text{標準誤差} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{式(2)}$$

次に、本校の2018年度、2019年度の避難訓練における全校生徒の避難完了に要した時間と比較し、最も近い時間となる  $p$  を、本校生徒における避難経路を知っている人数の割合として採用し、その後のシミュレーションに用いることとした。

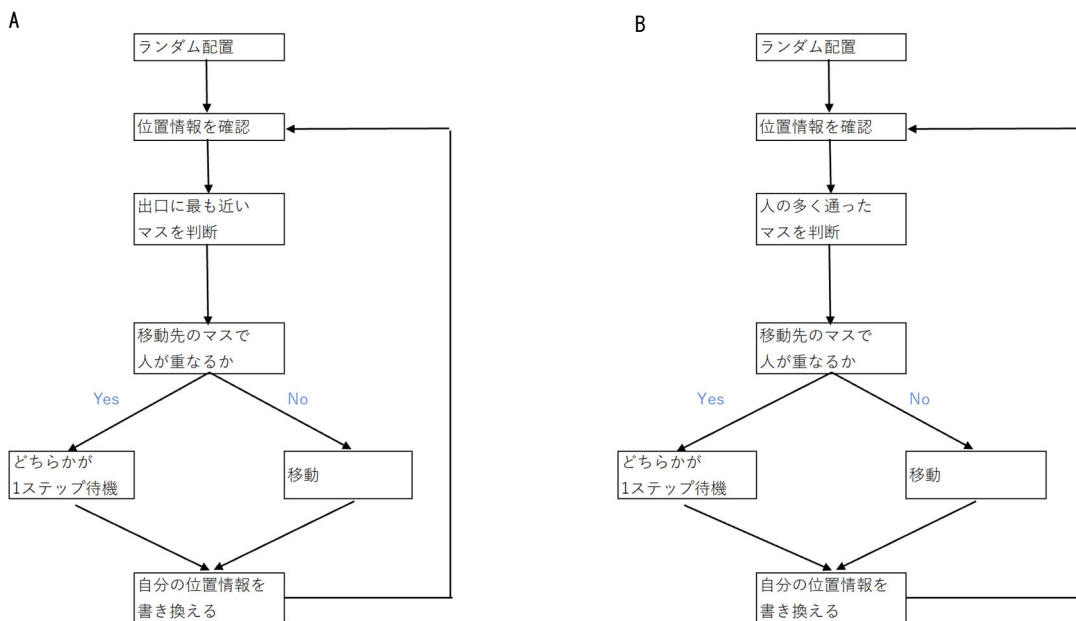


図4 避難行動の進行を示すフローチャート

A 避難経路を知っているエージェント(全体のうち  $p$  の割合)の避難行動パターン

B 避難経路を知らないエージェント(全体のうち  $1-p$  の割合)の避難行動パターン

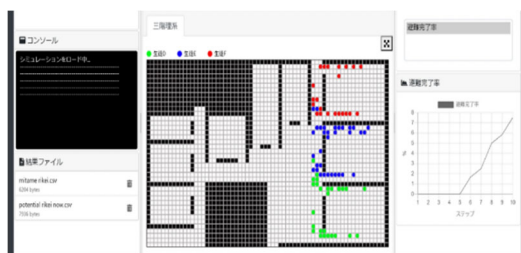


図5 実際のシミュレーションの様子

### 3-3. 3種類の避難経路案の検討

3-2 でのシミュレーション結果に基づいて、他の通路・階段を用いた避難経路の改善案を3つ作成し、それぞれ5回ずつのシミュレーションを行った。この結果より、全校生徒が避難し終わるまでに要したステップ数と式(1)を用いて、全校生徒の避難完了に要した時間を求め、その平均値を算出した。また、標準偏差  $\sigma$  を算出し、標本数  $n=5$  と式(2)より、標準誤差を算出した。

## 4. 結果と考察

### 4-1. 避難経路を知っている人数の割合 $p$ の検討

避難経路を知っている人数の割合として、 $p=0.1, 0.13, 0.15, 0.25, 0.5$  を用いて、現行の避難経路(図6)におけるシミュレーションをそれぞれ行ったところ、全校生徒の避難完了までに要した時間の平均値は表1の通りとなった。避難経路を知っている人数の割合が大きくなるほど、短時間で避難は完了した。追従性心理を導入したモデルにおいては、追従性が避難者全体の避難を遅滞させるリスクとして作用し、あ

る程度の割合で避難場所を知っている避難者が存在すると誘導者として機能することで避難が迅速化するという報告(玉井拓之、2018)と一致した。コロナ禍となる以前で記録が残っている2018年度、2019年度における本校の「避難訓練」での全校生徒が避難完了するまでに要した時間は、333秒、368秒であり、これらの平均値である350.5秒と最も近い結果となったのは、 $p=0.1$  のときであった(表1)。よって、本校における避難経路を知っている人数の割合として、この後の解析においては  $p=0.1$  を用いることとし、これによって、実際の本校での避難行動のシミュレーションを行うための基本的な条件設定を確立できた。なお、10代における避難経路認知率は約11%であるという報告があり(株式会社NTTドコモモバイル社会研究所、2020)、本研究におけるシミュレーション結果はこれとよく一致していた。これらのことから、全校生徒の避難完了までに要した時間を短縮する手段として、避難経路の周知を図り、認知度を向上させることが有効であることが考えられた。また、 $p=0.1, 0.13, 0.15, 0.25, 0.5$  いずれのシミュレーション結果においても、図6中の階段①で2年D組の生徒と3年D組の生徒による渋滞が発生しており、この部分を解消することが避難完了までに要する時間の短縮化に繋がると考えた。

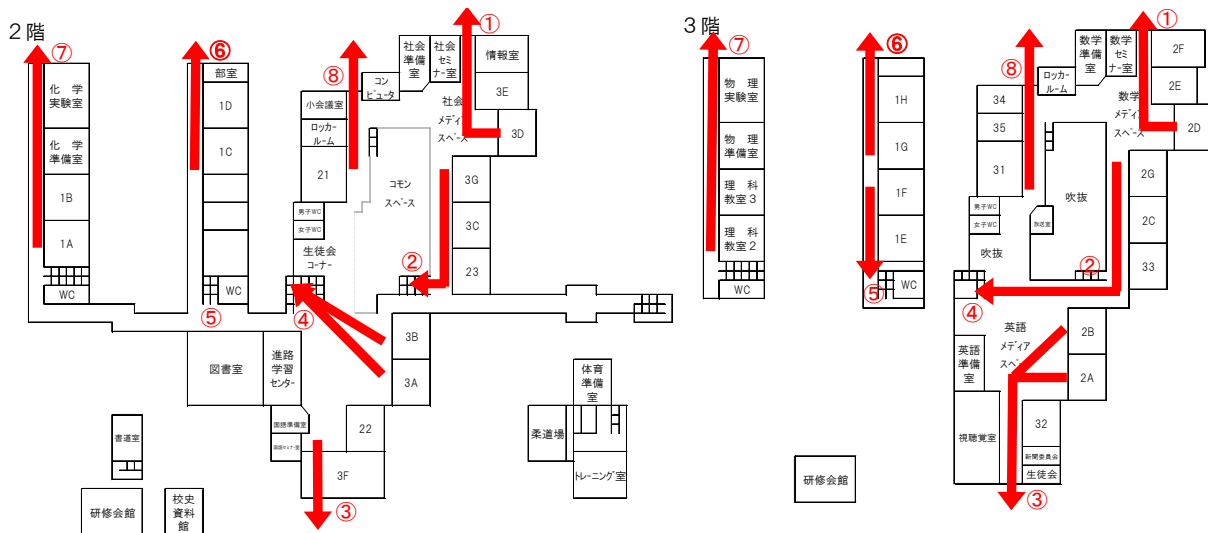


図6 本校の現行の避難経路図

図中の①～⑧は階段の位置を示す。

表1 避難経路を知っている人数の割合  $p$  と全校生徒が避難完了するまでに要した時間との関係

$p$	時間[秒]
0.1	347.5 (±1.8)
0.13	334.3 (±0.8)
0.15	324.4 (±0.5)
0.25	305.3 (±0.6)
0.5	282.5 (±0.7)
実際の防災 避難訓練	350.5 (±11.1)

( )内は標準誤差を表す。実際の避難訓練における値は、本校2018年度、2019年度における記録の平均値

#### 4-2. 3種類の避難経路案の検討

4-1において、2年D組の生徒と3年D組の生徒による渋滞が発生していた図6中の階段①について、特別教室からの避難経路としてしか使用されていなかった階段⑧が近くに存在しており、これを活用することを検討することとした。すなわち、図6中の階段①を利用する2年D組の生徒の避難経路を階段⑧に変更するA案(図7(A))、3年D組の生徒の避難経路を階段⑧に変更するB案(図7(B))、2年D組と3年D組の両方の生徒の避難経路を階段⑧に変更するC案(図7(C))の3つを検討することとした。これらの改善案におけるシミュレーションをそれぞれ5回ずつ行い、全校生徒の避難完了までに要した時間の平均値を求めた(表2)。

全校生徒が避難完了するまでに要した時間を比較したところ、A案～C案のいずれも現在の避難経路での347.5秒より短時間で避難が完了し、特にA案の14.2秒短縮に対し、B案、C案では21.2秒短縮できた(表2)。また、B案とC案を比較すると、全校生徒が避難完了するまでに要した時間は変わら

なかったものの、C案においては階段①の避難完了時間の短縮効果がより大きくなっていった。渋滞していた階段①は他の階段に比べて幅が狭く、実際の避難時には渋滞が発生すると転倒の危険もあることを考慮すると、C案における階段①の渋滞の解消の意義は大きいと考え、これを我々の改善案として本校総務部に提案することとした。

#### 5. 成果と今後の展望

今回は、災害時の本校における避難行動を再現するための基本的な条件設定を確立することができた。今後はこの設定をベースとして、様々な状況をシミュレーションして、避難経路図を検討していくことができる。その1つとして、今回は渋滞が発生していた図6中の階段①に関する改善案を検討し、その中で避難完了に要する時間を短縮するとともに、より安全にも配慮した新たな避難経路図の案を本校総務部に提案できた。本提案は採用され、2022年度秋の避難訓練において実施される予定であり、その有効性について、実際に検証する予定である。また、地震で一部の通路の通行が不可能な場合や、選択授業や休み時間などで生徒が異なる場所に配置されている場合など、今回検証していない状況下での避難についても今回確立した設定を用いることで検証していきたい。

4-1で、避難経路を知っており、これに従う人数の割合  $p$  が大きくなるほど、短時間で避難は完了した(表1)。よって、避難経路の周知を図ることで  $p$  の値は向上し、避難時間が短縮していくことが期待できるが、その上で避難訓練を実施することは有効な取り組みであると考えている。しかしながら、世界各地で感染が拡大している新型コロナウイルス(COVID-19)感染症の拡大防止のために、本校では2021年度春に計画されていた避難訓練が延期となった。そこで、避難訓練を行えない状況でも、避難経路を確認するとともに避難訓練を仮想的に、本校の3次元モデルを使った避難訓練アプリケーション

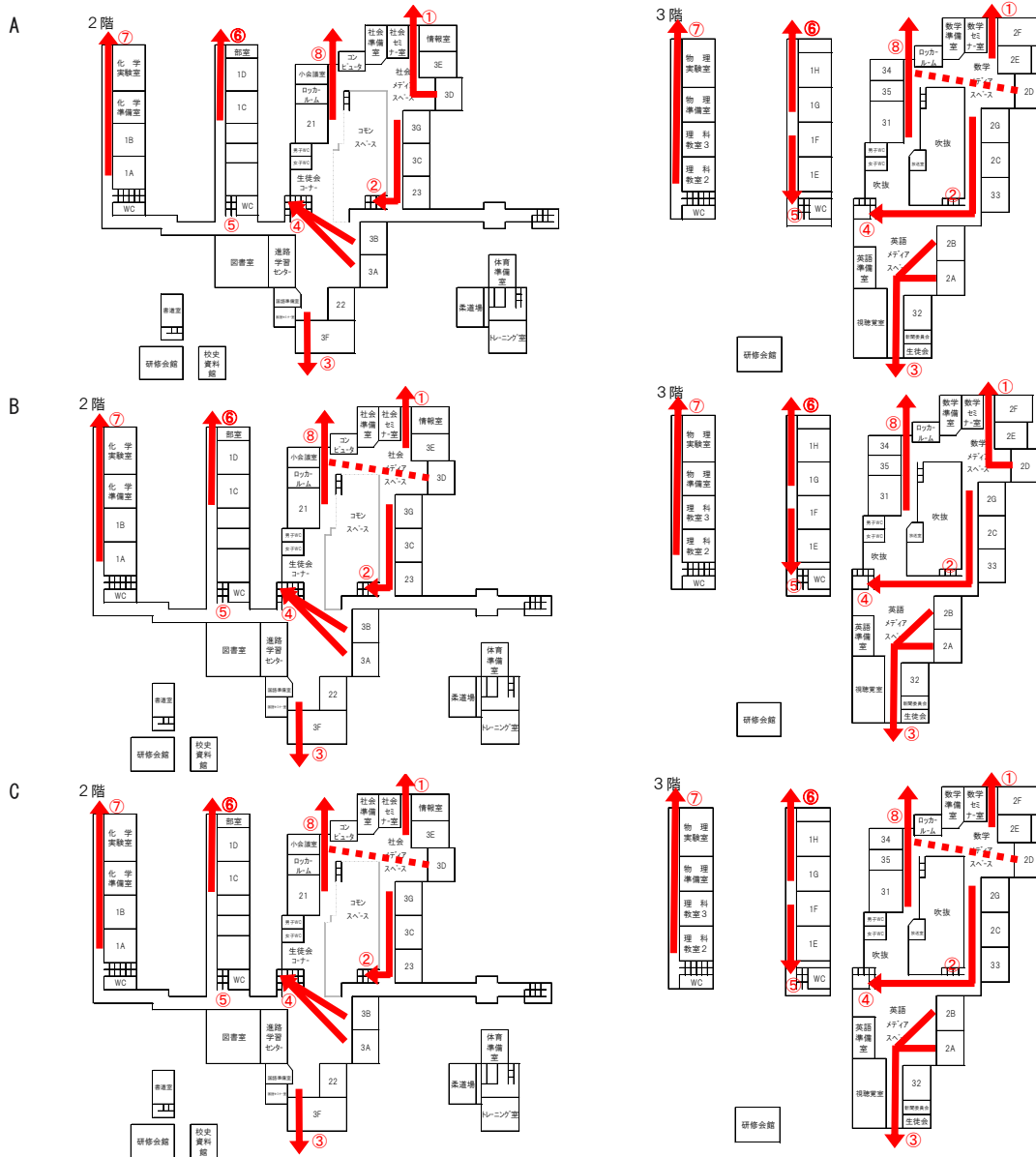


図7 本校の避難経路図の改善案

1階は省略し、2階3階のみを示した。図中の①～⑧は階段の位置を示し、点線部が現行の避難経路からの改善部分を示す。

- A 2年D組の生徒の避難経路を階段①から階段③に変更するA案
- B 3年D組の生徒の避難経路を階段①から階段③に変更するB案
- C 2年D組と3年D組の両方の生徒の避難経路を階段①から階段⑧に変更するC案

表2 3つの避難経路改善案の比較

	現在の避難経路	A案	B案	C案
	時間[秒]	時間[秒]	時間[秒]	時間[秒]
階段①経由の生徒の避難完了	347.5 (±0.8)	333.3 (±0.7)	317.1 (±1.1)	304.2 (±0.4)
階段②経由の生徒の避難完了	265.3 (±0.6)	265.3 (±0.6)	265.3 (±0.6)	265.3 (±0.6)
階段③経由の生徒の避難完了	208.3 (±1.0)	208.3 (±1.0)	208.3 (±1.0)	208.3 (±1.0)
階段④経由の生徒の避難完了	192.1 (±0.4)	192.1 (±0.4)	192.1 (±0.4)	192.1 (±0.4)
階段⑤経由の生徒の避難完了	148.4 (±0.5)	148.4 (±0.5)	148.4 (±0.5)	148.4 (±0.5)
階段⑥経由の生徒の避難完了	326.3 (±0.9)	326.3 (±0.9)	326.3 (±0.9)	326.3 (±0.9)
階段⑦経由の生徒の避難完了	195.9 (±0.5)	195.9 (±0.5)	195.9 (±0.5)	195.9 (±0.5)
階段⑧経由の生徒の避難完了	—	280.1 (±1.0)	256.6 (±0.3)	285.5 (±0.7)
全校生徒の避難完了	347.5 (±0.8)	333.3 (±0.7)	326.3 (±0.9)	326.3 (±0.9)

( )内は標準誤差を表す。また、—はこの階段を通過して避難した生徒がいなかったことを示す。

に体験し、災害時の対応力を向上させることができるよう制作した。3次元モデルは、3次元 Object の”Cube”の情報を書き換えて形を変え、それを組み合わせて制作した。また、机や椅子、黒板などの3次元テクスチャは、Unity Asset Storeにて無料で公開されているものをダウンロードして用いた(図8)。



図8 秋田高校の3次元モデルの一部(2年G組教室)

”Capsule”というオブジェクトに、Character Controllerをインストールして情報を付け加えることにより、プレイヤーとしてキーボードのAWSDキーや矢印キーでのxy軸方向への操作を可能にした。また、実際に2年G組教室から生徒玄関まで本校生が歩いた時間を計測し、その10回の平均値である1分を再現できるようにプレイヤーの移動速度を調整した。プレイ画面はプレイヤーからの視点とし、マウスカーソルの移動に合わせて視点が動くように設定した。その後、タイトル画面(図9A)、リザルト画面(図9B)の作成も行った。リザルト画面は、プレイヤーが目的地(生徒玄関前)に到着した時点でタイマーを止め、その時間を表示するものとした。

最後に我々自身でデバック作業(動作チェック)を行い、バグの有無や操作性の確認、修正を繰り返した。その後、Unity roomに公開し、本校生徒に体験してもらい、寄せられた意見をもとにさらに調整を行った。また、本校の学校祭で一般公開を行い(図10)、校内課題研究発表会においても公開した。

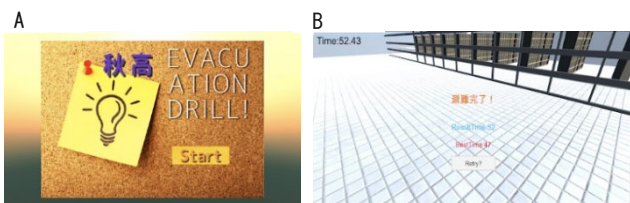


図9 避難訓練アプリケーションの画面

A タイトル画面

B リザルト画面



図10 学校祭での避難訓練アプリケーションの体験コーナー

これらの機会にアプリケーションを体験した生徒からは以下のような感想を得ることができた(抜粋)。

「階段を下るところの視点転換が上手くいっていなかった」  
「自分たちでそのような完成度の高い秋田高校のモデルを作成できるのはすごいと思いました」

「ゲーム感覚で避難経路が確認できるのはすごいと思った。使ってみたいと思う」

「コロナ禍で全校で集まることができない中、画期的なアイデアだと思う。よりリアルな避難を全クラス分作ることができたらかなり有用ではないかと思う」

「実際の社会で用いられているシミュレーションや3次元モデルを、避難訓練などに活用できるようにするという発想がとても面白かった」

「コロナ禍で避難訓練を一度もこの高校で体験できていなかったのも、タブレット端末で各自避難経路の確認ができるというシステムはとても素晴らしいと思いました」

「災害時の避難を3次元モデルでシミュレーションするのは面白いと思った。実際の避難に役立つと思った」

以上のように、ユーザーの反応からは既に高い完成度に達していると考えられるが、実際の避難行動では他者の行動にも影響されると考えられるため、プレイヤー以外のNPCも実装する、避難経路図を2次元マップで表示して参照することができるようにする、2年G組以外の教室からもプレイを開始できるようにする、などの改良をしたいと考えている。

また、本校では、GIGAスクール構想によって生徒全員にタブレット端末が配布されており、本アプリケーションはこのタブレット端末でも動作確認を行っている。生徒全員がタブレット端末を保有している利点を生かして、今回開発したアプリケーションをコロナ禍においてもいつでも何回でも生徒全員に体験してもらうことで、災害に対する生徒全体の意識の向上と災害時の避難行動の迅速化を図っていきたい。

災害対策においては「自助・共助・公助」の3要素が重要であると言われている(内閣府、2021)。本研究の成果は、生徒各自の意識の向上や仮想的な避難訓練という「自助」の要素、生徒である我々の研究成果が他の生徒の災害対策に繋がっているという「共助」の要素、避難経路の改善案の提示を通して、学校の防災対策という「公助」の要素の全てを満たすものである。本研究をさらに発展させていくことで、我々自身の生命や生活の場である学校の安全を守ることに貢献していきたい。

## 引用及び参考文献

青木防災株式会社(2019), 避難経路図の設置基準と作り方, <https://www.aokibosai.com/2019/03/04/%E9%81%BF%E9%9B%A3%E7%B5%8C%E8%B7%AF%E5%9B%B3%E3%81%AE%E8%A8%AD%E7%BD%AE%E5%9F%BA%E6%BA%96%E3%81%A8%E4%BD%9C%E3%82%8A%E6%96%B9/>

飯藤将之、本郷哲、黒田瑛里佳(2016), 仙台高等専門学校

校舎を対象とした人工社会モデルによる災害時の避難行動に関する検討, 東北地域災害科学研究, 52, p217-222.

植木岳雪(2021), 身長と歩幅の関係—大学生の事例から—, 帝京科学大学教育・教職研究,7(1),p55-58.

大西正輝, 山下倫央, 星川哲也, 佐藤和人(2015), 人の流れの計測とシミュレーションによる避難誘導方法の伝承-新国立劇場における避難体験オペラコンサートを例に-, 人工知能学会合同研究会, 知識・技術・技能の伝承支援研究会, SIGKST-026, p6-11.

株式会社NTT ドコモ モバイル社会研究所(2020), 避難場所の認知率は65%。一方、避難経路の認知率はわずか15%, 防災レポート(2020/2/13).

公立はこだて未来大学 web サイト, 大規模マルチエージェントネットワーク,

[https://www.fun.ac.jp/~osawa/lab/proj\\_massive.html](https://www.fun.ac.jp/~osawa/lab/proj_massive.html)

近田康夫,濱政洋,城戸隆良(2008), マルチエージェントを用いた避難行動シミュレーション, 土木情報利用技術論文集,17,p29-38.

玉井拓之,山崎達也,大和田泰伯,佐藤剛至,柄沢直之(2018), 都市避難シミュレーションにおける追従性心理の導入と遅滞リスク軽減モデル提案, 日本シミュレーション学会論文誌, 10(1),p17-24.

内閣府(2005), 津波避難ビル等にかかるガイドライン

内閣府(2021), 令和2年版防災白書.

生天目章(2008), マルチエージェントシステム, 最適設計研究会(防衛大学校)

文部科学省(2019),自然災害に対する学校防災体制の強化及び実践的な防災教育の推進について(依頼), 学校安全に関する通知

([https://www.mext.go.jp/a\\_menu/kenko/anzen/1422067\\_00001.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/anzen/1422067_00001.htm))

矢代嘉朗, 野口富佐子(1976), 避難シミュレーションと設計過程におけるその役割, 清水建設研究諸報(27),p87-95

柳澤大地, 西成活裕(2006), 群集の集団運動と拡張フロアフィールドモデル, 応用力学研究所研究集会報告 No.17(ME-S2)