

震災時の避難行動促進に向けた避難体験ソフトウェア開発

渡邊 凜乃^{*1}

指導教員：白石利夫^{*2}

Email: toshio_shiraishi@shotoku.ed.jp

*1: 聖徳学園高等学校データサイエンスコース 3 年

*2: 聖徳学園高等学校教員

◎Key Words

データサイエンス, 震災, プログラミング

1. 研究の背景

本論では、地震大国である日本において災害発生時に迅速な避難行動が十分になされていない現状に着目し、解決策として筆者が開発した避難ソフトウェアを提案する。従来のハザードマップでは、建物の高さや起伏、東日本大震災の統計データでも指摘される避難所の定員超過や動的な経路寸断の影響を把握することが難しい。そこで本研究では、3D 都市モデル PLATEAU と Unity を活用し実際の街並みを再現したシステムを開発した。本作は、上空視点から建物をリアルタイム破壊し、定員制限のある避難所へ向かう 100 人の住民 AI の迂回行動や避難完了時間を CSV データとして記録できる。本稿では、開発に至る課題設定やデータ収集を概観し、実装やシミュレーションの具体的内容を提示する。最終的に、危険箇所を把握する防災計画ツールとしての実用性を検討し、今後の応用可能性を論じる。

2. 問題の所在

日本では、地震調査研究推進本部による長期評価において、南海トラフ巨大地震や首都直下地震の発生可能性が高いとされており、大規模地震への備えは急務の課題となっている。特に住民一人ひとりの避難意識や心理プロセス、避難を妨げる背景要因の現状を把握することは重要である。

そこで、東日本大震災における沿岸部住民の避難行動を詳細に調査した杉浦ら (2019) ⁽¹⁾ の統計データを表 1 に集約して示す。

表 1 避難行動・心理的过程
・背景要因に関する変数一覧

カテゴリ	項目	内容/数値
適切な津波避難	即時避難 (地震直後)	はい: 510 (54%), いいえ: 440 (46%)
適切な津波避難	自発的避難 (勧告前)	はい: 467 (50%), いいえ: 475 (50%)
心理プロセス	リスクの認識 (津波が来ると思ったか)	はい: 420 (44%), いいえ: 529 (56%)
心理プロセス	脅威の認識 (すぐに来ると思った)	はい: 413 (44%), いいえ: 529 (56%)

	か)	
背景因子 (環境)	警報・勧告の認知 (TV・携帯・広報車等)	はい: 707 (77%), いいえ: 213 (23%)

表 1 によると、地震直後に即時避難を行った人は 54% に留まり、津波のリスクや脅威を正しく認識していた人も半数以下であった。この結果は、災害時の避難行動が単純な知識の有無だけでなく、状況判断や心理的要因にも大きく左右されることを示している。このように、多くの人が災害の危険性をデータとして理解していても、実際の心理プロセスや背景要因の影響によって、迅速に行動に移せていない現状がある。Schmöcker ら (2023) ⁽²⁾ では、東日本大震災の被災地域において市町村ごとの避難率に大きな差が見られ、地域によって避難行動にばらつきがあることが示されている(図 1)。



Figure 1. Proportion of population evacuating in each city

図 1 各都市における避難した人口の割合

図 1 は、この避難開始割合を地図上に表したものである。これにより、多くの人が災害の危険を理解していても、行動に移せていない現状を明確に示すことができる。

また、避難の判断には時間的制約や周囲の状況も大きく影響する。同研究の意思決定モデル(表 2) では、東日本大震災時の 11,239 人の調査データを用いて、どのような要因が住民の避難行動に影響を与えたのかを統計的に分析している。

表 2 東日本大震災における
避難行動の意思決定モデル分析結果

Table 1. Model Results

	Base Model		Nuke Model		2-Stage Model		
	Estimate	Std. Est.	Estimate	Std. Est.	Step 1	Step 2	Std.
AIC	1.36		-1.01		1.17	1.10	
Person specific							
Male	-0.05	-0.11	-0.05	-0.11	-0.05	-0.04	-0.10
Hazard Tsunami Warning	0.39	0.06	0.35	0.07	0.37	0.39	0.07
Family at home	0.13	0.15	0.12	0.13	0.13	0.14	0.16
Family at work	-0.11	-0.13	-0.09	-0.10	-0.11	-0.10	-0.12
Family at kindergarten	0.19	0.11	0.22	0.12	0.20	0.21	0.12
Live near harbour	0.24	0.29	0.04	0.05	0.28	0.26	0.31
Preparation	0.28	0.67	0.28	0.65	0.30	0.27	0.65
Seen sign	0.10	0.23	0.06	0.14	0.10	0.10	0.23
City specific							
Tsunami warning time	-0.01	-0.21	0.00	0.04		-0.01	-0.16
Population density	-0.01	-0.11	0.00	0.01		0.00	-0.07
Flooded area density	0.01	0.12	0.00	-0.02		0.01	0.13
Harbour city (dummy)	0.00	0.09	0.00	0.04		0.00	-0.13
Field effect							
Fitted evacuation (sum in city)			3.14	0.78		0.21	0.30
Sample Size N			10384				
AIC (Pseudo R ²)	104.00 (0.05)		103.52 (0.06)		104.78 (0.05)	104.51 (0.05)	

Note: Bold p values<0.05; Std. p value<0.1; Std. standardized value

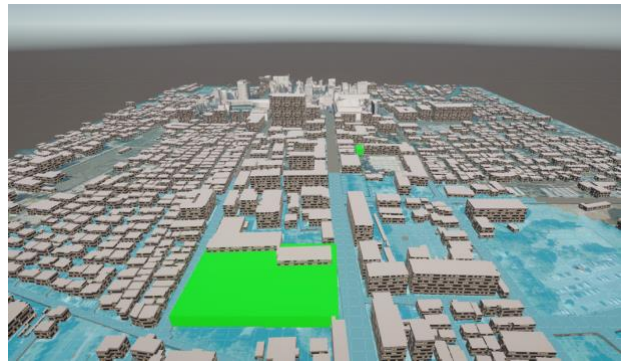


図 2 シミュレーションの画像

表 2 のモデル推定値を見ると、津波警報の認知や事前の備えが避難確率を大きく高める一方で、周囲の避難状況を示す現場効果も強いプラスの影響を与えている。これは、周囲の行動が個人の避難判断に極めて強い影響を与えていたことを示している。

3. システムに必要な機能

以上の震災データが示した現状から、従来のハザードマップを見るだけの防災教育には限界があり、災害時に発生する人々の動きや状況の変化を体験できるシステムが不可欠であると言える。そこで本研究では、統計データから得られた結果を基に以下の 3 つの要素をシミュレーション機能として取り入れる必要があると考えた。

第一に、住民の即時避難が 54%にとどまる現状や地域によって避難行動にばらつきがある問題を再現するため、街の中に 100 人の住民エージェントを配置し、それぞれが避難経路を探索しながらリアルタイムに移動する仕組みが必要となる。第二に、意思決定モデル(表 2) で示された避難警報や事前の備えが重要であるという結果を踏まえ、シミュレーション内の主要避難所に定員制限を設け、満員時に別の避難所を再び探して移動する二次避難の機能を実装する必要がある。第三に、周囲の状況や時間経過によって変化する動的な阻害要因を再現するため、上空視点から建物をリアルタイムで破壊し、その瓦礫によって道路が閉塞される環境を構築する必要がある。

これら住民の移動や避難所の定員超過、道路の閉塞という現実の課題をシステム上で再現し、それらが全体の避難完了時間にどう影響するかを定量的に検証するため、3D 都市モデル PLATEAU と Unity を用いた避難体験ソフトウェアを開発した。

4. シミュレーションゲームの詳細: Unity による動的体験

本研究で開発した避難体験ソフトウェアは、ゲーム開発エンジンである Unity⁽³⁾と、国土交通省が提供する 3D 都市モデル PLATEAU⁽⁴⁾を活用して開発した。

実際の街並みを三次元都市モデルとして構築することで、従来のハザードマップでは把握しにくい建物の高さや地形の起伏を可視化した。また、100 人の住民エージェントを配置し、それぞれが周囲の状況に応じて避難経路を探索しながら移動するシミュレーションを開発した。

本ソフトウェアの特徴は、プレイヤーが上空視点から避難状況を観察しながら、任意の建物をリアルタイムで破壊できる点である。建物を破壊すると、その瓦礫によって道路が閉塞され、避難経路に障害物が発生する。これにより、災害発生後に道路状況が変化する環境を再現し、避難への影響を検証できる。

住民 AI には、避難所の定員制限と二次避難の機能を実装した。シミュレーション開始後、住民はまず主要避難所である Shelter C へ向かう。しかし、Shelter C には定員が設定されており、満員となった後に到着した住民は受け入れられない。その場合、住民は現在地から最も近い別の避難所を再び探し、新たな目的地として避難を継続する。また、住民 AI は経路探索アルゴリズムによって移動しており、避難中に道路が閉塞された場合には通行経路を探索し、目的地までの移動を継続する。この仕組みにより、災害発生後の道路閉塞が避難行動に与える影響を再現した。

さらに、建物の破壊時刻、避難所の定員超過による受け入れ拒否、経路変更の発生回数、避難完了時間などのデータを CSV 形式で毎秒記録する機能を実装した。

表 3 収集可能データ

Time (s)	Event	AgentName
1. 74	Goal	TestAgent (Clone)
4. 83	Goal	TestAgent (Clone)
8. 6	Goal	TestAgent (Clone)
8. 95	Goal	TestAgent (Clone)
10. 46	Goal	TestAgent (Clone)

4. 防災活動への応用と実用性

本ソフトウェアを実際の防災活動に応用する最大のメリットは、普通のハザードマップでは分からない時間や危険な場所のポイントを、具体的な数字で見つけられる点にある。これまでの防災訓練やハザードマップでは、避難所が満員になってしまったら、溢れた人はどこへ逃げればいいのかや、建物が崩れたらどの道が通れなくなるのかを予測することは難しかった。しかし、このゲームが記録する CSV データ（避難にかかった時間や、満員で断られたタイミングなど）を分析すれば、震災が起きてから何分後にメインの避難所がパンクするのか、住民がどの交差点に集まりすぎて遠回りすることになったかが、具体的なデータとして一目で浮かび上がってくる。これは、地域の自治体において、避難所が満員になったあとの誘導計画などを考えるときに役立つだろう。

また、このソフトウェアはゲームとして作られているため、地域の人たちの防災意識を高める学習ツールとしての実際に役立つ可能性が高い。本研究のゲームにおいて、あえて建物が崩れやすい古い住宅街などを舞台に選んだ理由はここにある。普段から見慣れている自分の街の 3D 空間の中で、目の前で建物が崩れ、やっとたどり着いた避難所から満員だから入れないと拒否されるという最悪のシナリオを上空から客観的に体験することは、プレイヤーに大きな驚きを与える。

このように、プレイヤー自身の手で街を破壊し、住民 AI が困る様子をシミュレーションすることで、ハザードマップに載っている避難所だけを信じるのではなく、そこがダメだったときの第 2、第 3 の避難ルートを普段から考えておくことが大切だという実践的な危機意識を身につけることができる。定員漏れした人たちがどのように動き、どうすれば全滅を防げるのかを自分自身の手で実験できるこのソフトは、地域の人みんなで防災について話し合うきっかけ作りや、これからの防災活動を支える新しい教育ツールとして、とても高い実用性を持っていると考えている。

5. 今後の課題

本研究では、3D 都市モデルを用いた避難体験ソフトウェアの開発と、定員制限や道路の閉塞に伴う住民 AI の U ターン行動を観測するための基礎的なシステムを完成させた。しかし、本ソフトウェアは開発を終えたばかりの段階であり、現時点では私自身による検証にとどまっている。今後は、本ソフトを最悪の被災シナリオを自分で作ってデータを集める研究システムとして発展させるため、以下の 3 点に取り組みたい。

第一に、多くの人にこのソフトをプレイしてもらい、災害時における人間のルート選択のデータを集めることである。プレイヤーに神の視点から建物を壊すという操作をしてもらい、予期せぬ通行止めが起きたときに住民 AI や人間がどのように新しい道を選ぶのか、その行動パターンを分析したい。まだ誰にもやってもらっていない現状を活かし、今後は実験データを蓄積することを最優先に進める。

第二に、システムが得られたデータと、実際の防災訓練などで得られるリアルな避難データ（人間の歩行速度や移動ルート）を比較・検証することである。AI の数値データと人間のリアルな行動データを比較して分析することで、プログラムを調整し、より現実の災害に近い高精度なシミュレーションへと進化させたい。

第三に、このソフトを地域の防災学習や自治体のワークショップなどで実際に使ってもらい、その実用性を検証することである。

このシステムを地域に提供することで、住民の危機管理能力を高めるとともに、集まったプレイデータを基に、本当に役に立つ地域の避難計画づくりに貢献することを目指したい。

参考文献

- (1) Sugiura, M., Sato, S., Nouchi, R., Honda, A., Ishibashi, R., Abe, T., Muramoto, T., and Imamura, F., "Psychological Processes and Personality Factors for an Appropriate Tsunami Evacuation", *Geosciences*, Vol. 9, No. 8, Article 326, 2019.
- (2) Schmöcker, J. D., Ji, J., Belgiawan, F. P., and Uno, N., "Evacuation Decisions during the Great East Japan Earthquake", *Findings*, May, 2023.
- (3) 国土交通省, 「3D 都市モデル PLATEAU (プラトール)」, <https://www.mlit.go.jp/plateau/>
- (4) Unity Technologies, "Unity Real-Time 3D Development Platform", <https://unity.com/>