

仮想現実による水害時避難行動データの 継続的な取得・活用方法に関する検討

小比賀 亮仁^{1,a)} 廣井 慧^{2,b)} 樋口 智之^{3,c)} 篠田 陽一^{1,d)}

概要：コンピュータによる避難（人流）シミュレーションは、被災者数の見積り、災害時の効果的な避難誘導方法などを検証する手段として効果的である。より現実的な避難シミュレーションには、各避難者の行動の違いを表現する避難行動モデルが必要となる。そのような避難行動モデルを作成するには、避難行動データから災害時の人の基本行動を抽出し、それらを避難行動モデルという形に落とし込むという一連の処理を継続的に実施する必要がある。これまでは避難行動データの収集方法として、集合型の避難訓練時の行動データを利用したり、被災した方の体験談から避難行動モデルを作るといった方法が取られていたが、継続的に避難行動データを収集することが難しかった。本稿では、継続的な避難行動データの収集を目的として、仮想現実（VR）を使った避難シミュレーションを中心とし、災害の発生条件入力からモデル生成と人流シミュレーションへの適用までの一連のライフサイクルを実現する避難行動データ収集・分析プラットフォーム環境を提案する。また、予備評価として仮想空間上に洪水が発生している街を再現し、被験者がVRゴーグルを使って、仮想空間の中の街を避難所まで避難することによって、個々の避難行動にどのような違いが現れるかを分析した結果を記す。

キーワード：仮想現実、避難シミュレーション、被害予測

1. はじめに

コンピュータによる避難（人流）シミュレーションは、被災者数の見積り、災害時の効果的な避難誘導方法などを検証する手段として効果的である。避難シミュレーションを様々なパラメータで何度も繰り返し実行することによって、被災者の数を最小限に留めるような施策を机上で検討することが可能となる。避難シミュレーションにおいて最も重要な要素は、各避難者の「避難行動モデル」である。本稿における避難行動モデルとは、避難シミュレーションの中で各避難者がどのような行動を取るかということを表すひな型を指している。避難行動モデルにしたがって、シミュレーション中の避難者は避難行動を取ることで、現実に即した避難行動モデルを作成することが重要となる。

現実に即した避難行動モデルを作成するには、継続的な

避難者行動データの収集を通して、避難行動データから災害時の走る・歩くなどの人の基本行動を抽出し、それらを避難行動モデルという形に落とし込むという一連の処理を実施する必要がある。しかしながら、緊急時における行動データの収集は難しいため、一般的な人流モデルを避難時の行動モデルとして利用したり、避難訓練を実施して、その際の被験者の行動を避難時の行動データとして利用するといった手法が用いられてきており、継続的な避難行動データの収集が難しかった。

避難者の行動データの効率的な収集方法として、我々は仮想現実（Virtual Reality, 以下VRと呼称）による避難シミュレーションに注目している。現状、VR避難シミュレーションは単体アプリケーションとして利用されているケースが多く、災害の発生条件入力から、VRを使った避難行動データ収集、基本行動の抽出とその後のモデル生成、人流シミュレーションへの適用といった一連のライフサイクルを考慮した運用がなされていないのではないかと我々は考えている。

本稿では、VRを使った避難シミュレーションを中心として、災害の発生条件入力から避難者の基本行動モデル抽出、モデル生成と人流シミュレーションへの適用といった

¹ 北陸先端科学技術大学院大学

² 京都大学防災研究所 巨大災害研究センター

³ 合同会社ビーベリーズ

a) kohiga@acm.org

b) hiroi@dimisis.dpri.kyoto-u.ac.jp

c) higuchi@peaberryz.com

d) shinoda@jaist.ac.jp

一連のライフサイクルを実現する上で必要不可欠となる「社会的」「技術的」な二つの側面について検討する。「社会的」な側面としては、自治体や国からの補助金に頼らないような平常時の避難データ収集と運用資金の流れを作ることが、継続的な避難データの収集と分析には重要であることを述べる。また、「技術的」な側面としては、避難行動データ収集からモデル生成までを実現する避難行動データ収集・分析プラットフォーム環境を提案する。さらに予備評価として、仮想空間上に洪水の発生している街を再現し、被験者がVRゴーグルを使って、仮想空間の中の街を避難所まで避難することによって、個々の避難行動にどのような違いが現れるかを分析した結果を記す。

2. 関連研究

2.1 避難行動モデル

避難行動モデルとは、災害に巻き込まれた場合に避難者がどのような行動を取るかということを示す避難時の人の行動モデルである。災害が火災がある場合は、避難者は火元からなるべく離れた場所に移動するよう行動する。災害が水害や地震などの大規模災害であれば、避難者は避難所まで逃げるといった行動を取る。そして、災害時の行動を各個人単位で見ると、避難行動は避難者の属性により異なる場合が多い。例えば、普段から運動している人とそうでない人では走る速度や走ることでできる距離が異なる。また、好奇心の強い人は、避難所へまっすぐ向かわず、災害現場がどのような状態になっているのか確認しに行く人もいる。

避難行動モデルは、マクロな視点での避難行動モデルとミクロな視点での避難行動モデルに大別される。マクロな視点での避難行動モデルは、災害の際の群衆の行動方針を指している。洪水であれば、高いところに逃げるといったのが人の行動指針になる。また、火災であれば、火元からなるべく遠くに向かうということが人の行動指針となる。避難行動モデルの例としては、ポテンシャルモデル文献 [1] や各避難者の心理状況をフラグの集合（周りの人が 10 人以上逃げ始めたら、フラグを 0 から 1 に変えるなど）に置き換えたもの [2] など、様々なものがある。避難行動モデルを避難シミュレーションに落とし込んで利用する際は、群衆行動をエージェントシミュレーションで観察することになる [3]。実際に各エージェントがどの方向に向かうか決定するには、マクロな視点での避難行動モデルに加えて、歩く・走る・立ち止まる・周りを見るなどの動作を表すミクロな視点での避難行動モデルが必要となる。ミクロな視点での避難行動モデルは、各避難者の行動について運動方程式を解くもの [4] や、画像から避難者の移動方向や速度の平均と分散を計測したもの [5]、自分の居る場所に依じて人の行動を計算するもの [6] など、様々な視点で作られている。

2.2 避難行動データ収集方法

避難者の行動データを取得する方法はいくつか提案されている。基本的には、避難訓練を実施して行動データを取得する方法 [7] [8]、実際の災害に巻き込まれた方の方にインタビューしてその状況をデータとして取得する方法 [9]、災害時に利用していた携帯電話の GPS 情報を行動データとして取得する方法 [10]、スマートフォンアプリを使って、ゲーム形式で避難所までの避難を体験し、その際の行動データを取得する方法 [11] などである。いずれの手法も、災害時にデータを取得することは難しいので、事後、もしくは訓練時の状況を避難データとして活用している。次節に示す VR を使った避難シミュレーションも避難行動データ収集方法の一つとして挙げられる。

2.3 VR を使った避難シミュレーション

VR を使った避難シミュレーションも様々なものが存在する。文献 [12] は火災の際の避難シミュレーションを VR で実施するものである。文献 [13] は、地震水害などが発生した場合に避難者が避難所まで移動するまでを VR で体験できるシステムである。このような VR を使った避難シミュレーションの利点は、避難訓練やスマートフォンアプリと比較して、リアルな災害の状況を体験することができる点である。体験する災害の状況が現実的であれば、被験者の行動はより現実的な避難行動となる。

3. 避難行動データを継続的に取得するには

継続的に避難行動データを収集・分析し、避難行動モデルを作ることによって、当該モデルを利用した避難シミュレーションがより現実に即した形になっていくと我々は考えている。既存手法のように、避難者を一箇所に集めて避難訓練を実施するだけでは、数百から数千人単位での避難行動データを取得することは難しい。一方 VR やスマートフォンアプリを使った避難シミュレーションも単体のアプリケーションを作っただけだとアプリケーションの利用者を増やすことは容易ではない。

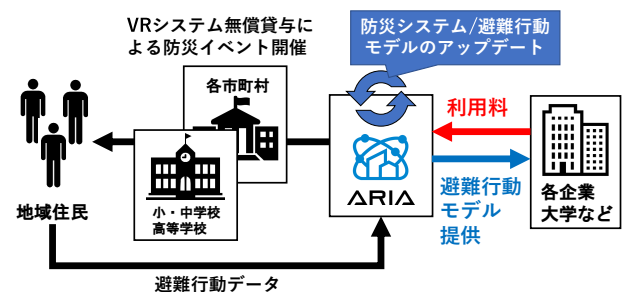


図 1 データとシステム運用資金の流れを作る

避難行動データを継続的に取得するには二つの側面を考える必要がある。一つは取得するためのシステム側の設計をどのような構造にするかという点であり、もう一方は、

現実的に考え、そのようなシステムを運用するためのコストをどこから捻出するかということも考えなければならない。

図 1 は、我々の考える基本的な避難行動データ取得と運用資金の流れを表す図である。我々は ARIA[14] と呼ばれる防災・減災を目的としたデータ収集分析プラットフォームを作成しており、ARIA を中心としてデータ取得と運用資金の流れを形成することを考えている。また、基本的にデータの収集には VR の利用する。VR の利用には、2 つの利点がある。一つは、通常の避難訓練と比較して、リアリティーの高い避難行動データを取ることが可能であることと、もう一つは VR セット（ヘッドマウントディスプレイ・コントローラ・PC）があれば、どこでも避難データの収集が可能である点である。VR セットを全国各地の市町村に提供することによって、大規模に避難行動データを収集することが可能となる。

避難データの取得元には、VR システムを無償で提供することで、利用者が気軽に避難訓練を実施できるような状況を作る。これにより、VR を使った避難訓練の普及を促進する。その一方で、VR システムの利用者からは、VR を使った避難訓練を実施した際に得られる避難行動データを取得する。取得した行動データから避難行動モデルを作り、その避難行動モデルは各企業や大学で利用してもらう。その際の利用料をもって、防災システムや避難行動モデルのアップデート、さらに VR システムや VR ヘッドセットを購入に利用する。このようなデータと利用料の循環を生むことによって継続的に避難行動データを取得できるものと考えている。従来の防災関連ビジネスの主な活動源は各市町村国からの補助金であったが、そのような単発的な資金源では継続的なデータの取得とモデルのアップデートは難しい。我々の目的は、自治体や国からの補助金に頼らないような平常時のデータと防災システムの運用資金の流れを作ることによって、継続的な防災活動を実現することである。

4. 避難データ収集プラットフォーム

本節では、前述した避難行動データの継続的な取得と分析を実現するためのプラットフォームについて述べる。

4.1 全体アーキテクチャ

図 2 に我々の考える避難データ収集プラットフォームの全体像を示す。図は大きく分けて四つの部分から構成される。それぞれ、仮想空間、防災プラットフォーム ARIA、データ収集用バックエンド、避難行動モデル提供用フロントエンドである。本プラットフォームでは、災害として内水氾濫（河川の氾濫ではなく、豪雨によって下水道があふれたため、街中に浸水が発生するような洪水）を想定している。まず、避難訓練の被験者に表示する仮想空間、お

よび洪水シミュレーションの発生条件等を入力し（図 2 の (1)）、避難者には洪水が迫ってくる前に避難所まで逃げてもらう（図 2 の (3)）。避難所までに向かう間、洪水シミュレーションから得られた結果にしたがって、街中の水位が変化し（図 2 の (2)）、その中で避難者は様々な行動を取ることになる。次に、避難行動を数値情報としてデータ収集用バックエンドで収集する（図 2 の (4)）。データ収集用バックエンドでは送られてきた数値情報を避難行動モデルに変換し（図 2 の (5)）、モデル提供用フロントエンドを経由して各企業・大学へ作成した避難行動モデルを提供する（図 2 の (6)）。また、作られた避難行動モデルは ARIA の避難シミュレーションに入力し避難シミュレーションの結果として得られる被災者数や被災状況などは各地方自治体にフィードバックされる（図 2 の (7)）。

4.2 プラットフォーム化の利点

VR の単体アプリケーションや実際の避難訓練とは異なり、VR を使った避難シミュレーションをオンラインで展開することの利点は以下の通りである。

- オンラインでの継続的なデータ収集・モデル展開が可能になること
- 3次元地図情報から VR 空間を生成することによって、各地域にカスタマイズした避難シミュレーションを生成できること
- 洪水、その他の災害シミュレーションを連動させることによって、多彩な状況における避難シミュレーションを実施できること

4.3 VR 避難シミュレーション

VR 避難シミュレーションは、3次元地図上に洪水シミュレーションの結果を投影し、避難者に洪水の際の避難を疑似体験させるアプリケーションである。図 3 に VR 避難シミュレーションで利用している仮想空間を示す。VR 避難シミュレーションは、部屋の中から避難を開始し、避難所まで到着すると終了する。図 3 の左側がアパートの中、右が外を表している。避難所に向かう際、予め実施しておいた洪水シミュレーションの結果を用いて水位を変化させる。避難所の場所は、解答がわからないようにランダムで表示する仕組みになっており、避難所までの経路案内板等は表示していない。避難所までの経路には、経路表示板を表示したり、被験者に仮想空間上で地図や携帯電話を持たせる等の様々なバリエーションが考えうるが、本稿では、まず基本的な避難行動の取得・分析を目指すため、それらのバリエーションに関しては考慮していない。VR ヘッドセットとコントローラには、Facebook の Oculus Quest2 を利用している。

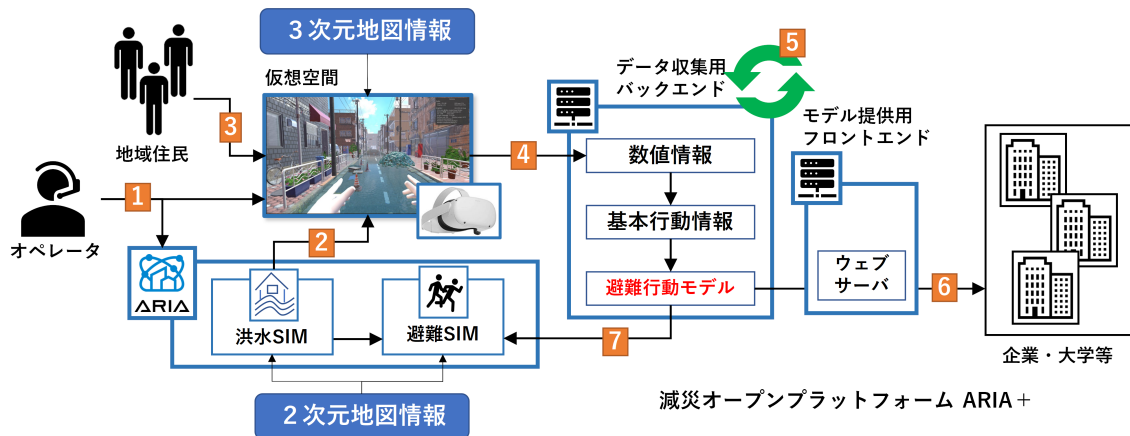


図 2 全体概要図



図 3 VR 避難シミュレーション

4.4 洪水情報の入力

VR 避難シミュレータは、外部からの洪水情報にしたがって、表示されている水位が変化する。洪水情報は、ARIA の一機能である洪水シミュレーションを利用している。図 2 に示す通り、VR を使った避難シミュレーションを実施する地域に対し、オペレータは先だて、ARIA を使って洪水シミュレーションを実施し、洪水の際の水位情報を作成しておく。避難者が仮想空間上の部屋から外に出た時に、VR 避難シミュレータは、ARIA から時刻毎の洪水情報を取得し、その都度水位を変化させる。ARIA は様々なシミュレーションや実センサの情報を組み合わせて運用することができるので、例えば、リアルタイムに水位データを取得し、数時間後の洪水情報を VR 上に投影することも可能である。

4.5 収集するデータ

VR システムから取得した数値情報は以下のとおりである。

- (グローバル座標) 避難者の位置・方向
- (ローカル座標) 顔の位置・方向
- (ローカル座標) 右手・左手の位置・方向

これらの数値情報は一定間隔で取得されるので、例えば、一定期間同じ座標に居れば、「立ち止まっている」とみなし、座標が絶えず変化すれば「移動している」とみなすこ

とができる。グローバル座標とは、当該座標が仮想空間内の絶対位置を表しており、ローカル座標は、避難者の原点座標からの相対位置を表している。座標は、X, Y, Z の 3 次元数値として取得し、向きや手の角度などは、同じくオイラー角 (X, Y, Z の 3 次元数値) として取得している。

4.6 分析方法

取得した数値情報から避難行動モデルを作成するため、我々は 4 つの段階を用意した。

(1) 基本行動の抽出

数値情報を機械学習を使って複数のパターンに分類

(2) VR 特有の行動を排除

VR 特有のパターンを分類パターンから削除

(3) イベント列の生成

分類されたパターンに対して、歩く・走るなどのシナリオ情報を付与

(4) 時間付き確率遷移モデルの作成

イベント列から時間付き確率遷移モデルを作成する

以下、これらの段階について詳細を説明する。

4.6.1 数値データへの意味づけ (基本行動の抽出)

パターン分類に用いられる機械学習方法としてはサポートベクタマシンや、ディープラーニングなどといった様々な方法が考えられるが、本稿では、初期段階の行動抽出方法として、表 1 の方法を用いて数値データから基本行動を抽出した。

4.6.2 VR に特有の行動を排除

予備評価のための行動データ収集のため何人かの被験者に VR 避難シミュレータを試してもらった結果、以下のような VR 特有の振る舞いを行うケースが散見された。

(1) 後ずさりする

コントローラの動作を学習するため、正面を向いたまま、ジョイスティックを後ろに倒して後ろ方向に進む。

(2) 立ち止まって手をひねったりして手の感覚を確認する

表 1 各行動パターンとパターンの認識方法

| シンボル | 数値情報の変換方法 |
|-------|---|
| 歩く | 位置情報から単位時間毎の速度を計算し一定時間内の平均速度が 5km/h 以内かどうかを判定 |
| 走る | 位置情報から単位時間毎の速度を計算し一定時間内の平均速度が 5km/h 以上かどうかを判定 |
| 立ち止まる | 位置情報から単位時間毎の速度を計算し一定時間内の平均速度が 1km/h 未満かどうかを判定 |
| 周りを見る | 立ち止まっている状態で、顔の回転運動があるかどうかを判定 |

表 2 VR に特有の行動パターンの認識方法

| シンボル | 数値情報の変換方法 |
|--------|---|
| 後ずさり | 正方向単位ベクトル (Vector3.forward) に対して Y 軸回転し、正面方向ベクトルを計算した後、当該方向と逆方向への移動があるかどうかを判定 |
| 手の感覚確認 | 立ち止まっている状態かつ顔の角度が Z 軸に対して約 45 度程度回転した状態で手の回転運動があるかどうかを判定 |

VR 上、自分の視覚に入っている手の 3D モデルに対して、コントローラのボタン等を押してみ、指の屈伸が連動するかどうか確かめる。

上述の動作は、避難行動とは関係が無く、VR アプリケーションに初めて触れた被験者によく見られる行動であるので、これらを基本行動として抽出後、イベント列から削除することとする。これらの行動を表すパターンは、表 2 の方法でイベント列から削除する。

4.6.3 イベント列の生成

上述の基本行動情報から生成されるイベント列は式 (1) の通りとなる。 $e_n = \{t_n, S_n\}$ は、 n 番目に観測されたイベントの発生時刻 t_n 、状態 S_n の組み合わせを表している。状態 S_n は基本行動情報 (走る・歩く・立ち止まるなど) の一つの状態を指す。

$$E_n = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}, \quad e_n = \{t_n, S_n\} \quad (1)$$

基本行動の抽出では、一定時間ごとに区切って基本行動を抽出しているため、イベント列の生成では、同じ行動が連続して続くようであれば連続する同一状態は複数個を束ねた形でひとつの状態とし、束ねた状態の最初の発生時刻を t_n としている。

4.6.4 時間付き確率遷移モデルの作成

イベント列から生成する避難行動モデルの表現方法として、文献 [15] に示されるような時間付き確率遷移モデルを用いる。文献 [15] では、状態遷移に対して $f_{S_i S_j}$ のような時間の確率密度関数を与えていたが、本システムでは、状態に対して時間の確率密度関数を与える。文献 [15] は、作成した確率遷移モデルを稀なイベント列の遷移確率を計算するために利用している。稀なイベント列は実験等によって予め与えられている。このように、予め決められたイベ

ント列に対して、その発生確率を計算する場合は、個々の状態遷移に対して確率密度関数をあたえることが適している。一方、我々は、状態遷移モデルからイベント列生成するため、状態遷移確率と時間の確率密度関数を独立させる必要がある。

図 4 は既存技術の状態遷移例を示す図である。図を見ると、 S_3 から S_4 へ遷移する際の時間の確率密度関数と S_3 から S_5 に移動する際の時間の確率密度関数の形は異なる。図では状態 S_3 から S_4 に遷移することがあらかじめ決められておりそれに伴って、確率密度関数は f_{S_3, S_4} が使われることになる。図中、 t_i から t_j の間の積分値としての累積確率は F_{S_3, S_5} の方が高く F_{S_3, S_4} の方が低い。 S_3 から S_4 もしくは S_5 のどちらに遷移するかを単純に累積確率と遷移確率の積で表す場合、それぞれの状態への遷移確率が同じ ($g_{S_3, S_4} = g_{S_3, S_5}$) という条件下であれば、 S_3 から S_5 への遷移する確率が高くなるはずであるが、既存手法では、あらかじめ与えられているイベント列 (図中、 E であらわされる集合) に対して当該イベント列の出現確率が計算されるため、 S_3 から S_4 への遷移確率と累積確率が使われることになる。一方、我々の手法は状態遷移モデルからイベント列を生成するため、状態 S_3 から S_4 もしくは S_5 のどちらに遷移するかは、予め決められているわけではない。この場合、両状態への遷移確率が同じで、図のように時間の確率密度関数が異なる場合は、時間の累積確率が高い方が遷移先として選ばれることになり、状態遷移確率が S_4 と S_5 で同じという条件が意味をなさなくなる。よって、時間の確率密度関数を、次の状態へ遷移するトリガーとしてのみ利用し、 S_4 もしくは S_5 のどちらに移動するかは状態遷移確率を使うというように、時間と状態遷移の確率を独立して使うこととした。

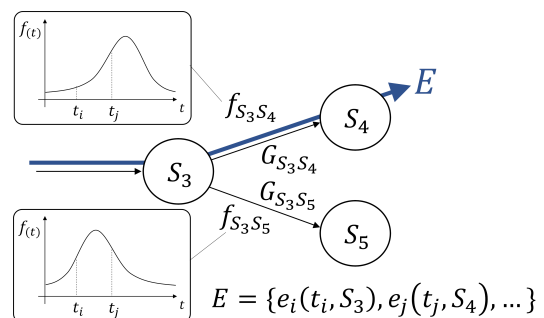


図 4 既存技術の状態遷移例

図 5 に時間付き確率遷移モデルの例を示す。図 5 に示す通り、 S_n が状態を表し、ある状態での滞在時間は T_n ($t_j - t_i$) で表されている。 f_{S_n} は T_n における確率密度関数を表している。 $G_{S_i S_j}$ は、状態 S_i から状態 S_j への遷移確率を表す。

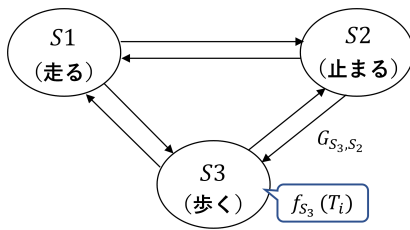


図 5 時間付きマルコフモデル

4.6.5 イベント列の再生

作成した確率遷移モデルを使って人流シミュレーション等を実施する際は、当該確率遷移モデルからイベント列を生成する。前述の通り、まず、ある状態に遷移してからの経過時間にしたがって当該状態の確率密度関数を使って式 2 から累積確率を計算し、次の状態へ遷移するかどうかを判定する。

$$CDS_{S_i}(T_i) = \int_0^{T_i} f_{S_i}(u)du \quad (2)$$

次の状態に遷移することが決まった後、どの状態へ遷移するかを複数ある遷移先から選択する必要がある。複数の遷移先候補から、遷移先となる状態を選択するプログラムは、例えば以下のようなものが考えられる。図中、trans1, trans2, trans3 は各状態への遷移確率（合計 1）を表している。

```
def selectState(trans1, trans2, trans3):
    n = random.random()
    if n > 0 && n < trans1 :
        return "trans1"
    elif n > trans1 && n < (trans1 + trans2):
        return "trans2"
    else:
        return "trans3"
```

図 6 状態遷移先選択のための疑似コード

以上の操作によって、元のイベント列と似た集合(式 1)を確率遷移モデルから取り出すことが可能となる。

4.6.6 人流シミュレーションへの適用

我々が提案する避難行動モデルを人流シミュレーションへ適用する場合は、次の二つの点について考慮しなくてはならない。

- シミュレーションを実施する場所における避難行動モデル別の構成員の数
- 物理的な人の移動モデル

我々の提案する避難行動の収集・分析プラットフォームから出力される避難行動モデルは、属性毎に複数の避難行動モデルに分けられる。例えば、20代の人と50代の人では、走る速度やその他の行動が違うといったように世代や性別などは、典型的な属性として挙げられる。避難行動の収集・分析プラットフォームで抽出される属性が、世代や

性別になるかどうかは、現時点では不明であるが、少なくとも属性毎に避難行動モデルが異なることを想定している。一方、シミュレーションを実施する地域毎に住む人の属性は様々なので、避難行動の収集・分析プラットフォームが出力する属性を考慮した上で、我々の作った避難行動モデルを利用すると、既存技術と比較してより詳細な避難行動をシミュレーション上で再現することができる。

次に物理的な人の移動モデルについて説明する。ポテンシャルモデル [1] やフラグの集合を使った避難行動モデル [2] が、人流シミュレーション中のエージェントを動かすために、物理的な人の移動モデル（本稿ではマイクロな視点での避難行動モデルと呼称している）が必要であったのと同じように、我々の避難行動モデルは時刻毎の人の振る舞いを再現することが目的なので、実際にシミュレーション中で人を動かすには、どこへ向かうかという情報や、柱や壁にぶつかりそうになった時、各個人がどのような行動を取るのかといったような、人の物理的な振る舞いに関する情報が必要となる。

5. 予備評価

本稿の目的は大規模な数の避難行動データを継続的に取得するシステムの検討である。我々の提案する避難シミュレーションシステムは、一定期間の運用を通して、その妥当性を検証できると考えている。一定期間の運用を踏まえた妥当性検証の前段階として、本稿では、20人の被験者から得られた避難行動データを用いて、個々の被験者の行動の違いを検証する。

5.1 データセット

VR 避難シミュレーションの被験者の年代と性別は表 3 の通りである。

表 3 データセット（性別・年代別）

| 年代/性別 | 男性 | 女性 |
|-----------|----|----|
| 10 歳未満 | 2 | - |
| 10 - 20 歳 | 1 | - |
| 20 - 40 歳 | 5 | 2 |
| 40 - 60 歳 | 5 | 3 |
| 60 歳以上 | 2 | - |

5.2 評価結果

図 7 は、各個人の避難行動の違いを表している。図中、赤線は被験者の移動軌跡を表しており、青点はスタート地点、緑点は避難シミュレーションを終了した地点を表している。図では、被験者 20 人のうち典型的な行動を示した三人の移動軌跡を表示している。(a) は、立ち止まらずに避難所を探し続けた被験者の移動軌跡であり、(b) は、途中、何度か止まりながら自分のいる場所と進むべき方向を

探していた被験者の移動軌跡, (c) は移動途中の様々なオブジェクトの様子を観察しながら移動し, 最終的に避難所まで到達しなかった被験者の移動軌跡を表している。

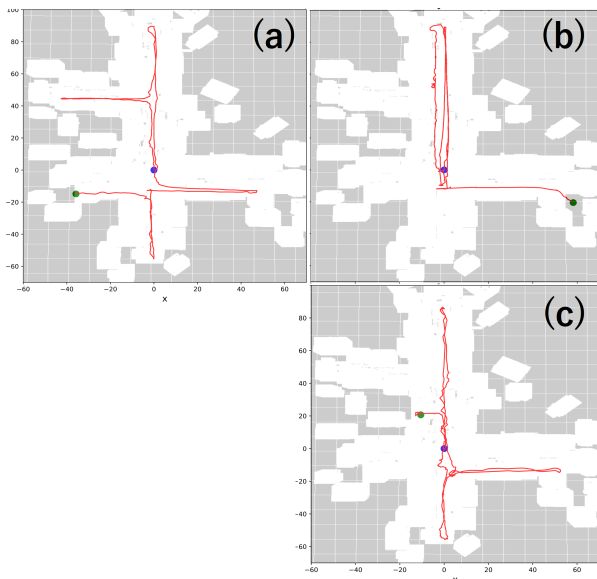


図 7 各個人の避難行動の違い

各個人の行動に関する特徴は, 移動軌跡に現れている。(a) の被験者は立ち止まらずに避難所を探し続けているため, 移動軌跡を示す赤い線が波打たずまっすぐに伸びていることが確認できる。また, (b) の被験者は, 何度も止まりながら確認行動をとっているが, 同じ通路を何度も往復していることがわかる。実験後のインタビューで, 被験者 (b) は, 自分の進んでいる場所が既に通ったことのある道のように感じたので, 何度も立ち止まって周りを確認したと回答した。実際に, 同じ場所を何度も往復しているの, 被験者の考えは正しかったことがわかる。被験者 (b) の移動軌跡は, 図を見ると長細い楕円のような形状をしていることがわかる。これは, 被験者 (b) へのインタビューによると, 道路中央の車道はすでに冠水していた (図 3 を参照すると, 図右側の車道の冠水が確認できる) ので, それを避けるため歩道を歩いた結果, 楕円を描くような軌跡が残っている。被験者 (c) は, 街中の様々なオブジェクト (植木や自動販売機, ゴミ箱等) を間近で観察しているため, 途中の寄り道が移動軌跡の波打ち状態に現れている。

一方, 各被験者の行動の違いは, 移動の軌跡だけではなく, 頭の動かし方や手の動かし方など, 移動軌跡とは異なるデータにも表れている。図 8 は, 頭部 (Oculus quest2 ヘッドセット) の向いている方向を示すデータを 3 次元グラフにプロットしており, 各被験者の周辺確認行動の違いを表している。図中の赤いプロットが広範囲に分散していると, 周辺を確認するために頻繁に頭を動かしている事になる。図中, (a), (b), (c) は, それぞれ前述の被験者 (a), (b), (c) と対応している。

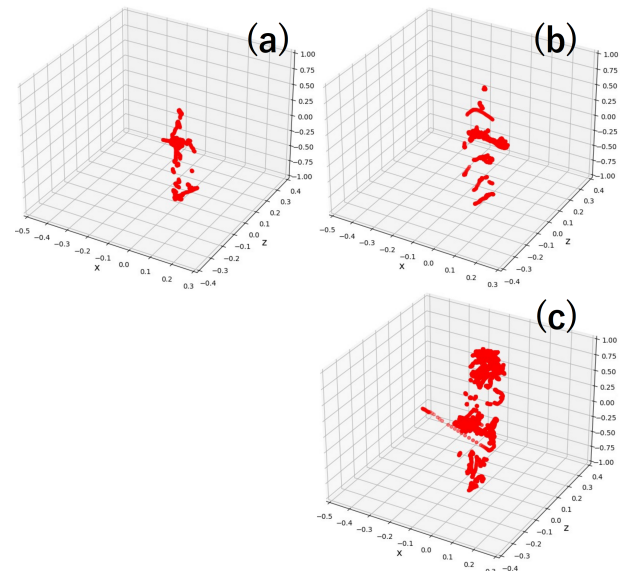


図 8 各個人の周辺確認行動の違い

図を見ると, 被験者 (a), (b), (c) の順に赤点がプロットされている範囲が大きくなっていることがわかる。このことから, 被験者 (a) は, まっすぐ前を向いて周りを確認することなく避難所を探すために行動していることがわかる。また, 被験者 (b) は, 時折止まって周りを確認していたことから, 被験者 (a) と比較して広範囲に赤点がプロットされている (周辺確認行動が多い) ことが明らかとなった。また, 被験者 (c) は, 寄り道しながら様々なオブジェクトを観察していたため, 被験者 (a) と被験者 (b) などと比較すると, 広範囲に赤点がプロットされている (周辺確認行動がさらに多くなる) ことが明らかとなった。

このように, 被験者の移動軌跡を直接分析しなくても, 頭をどれくらい動かしているかを観察するだけで, どの程度の速度で被験者が避難所を探しているかということ予測することが可能であるということが, このデータから読み取ることができる。

6. 考察と今後の課題

予備評価の結果, 各個人の避難行動には, 様々な違いを確認することができた。避難行動データから現実的なモデルを作成するには, 引き続きデータ収集を継続する必要がある。そのためには, 避難行動データをオンラインで取得, バックエンドサーバで分析, 避難行動モデルの改善という一連の作業を自動化する避難行動モデル収集・分析プラットフォームが重要になると我々は考えている。一方, データの収集と分析方法を改善していくための主要な課題としては, 以下のようなものが考えうる。

6.1 入力デバイスの追加

ヘッドマウントディスプレイとコントローラ以外にも, VR には様々なデバイスが存在し, それらを取り入れるこ

とによって、より詳細な行動データの収集が可能になる。現時点で、我々は「歩行デバイス」「音声入力」「視線追跡」の3種類のデバイスの追加を考えている。このような歩行デバイスを導入することによって、避難行動の臨場感を高めることが可能である。また、避難している途中の会話内容や視線データを収集することによって、さらに多様な行動パターンの抽出が可能になると考えている。

6.2 他の避難者の表現方法

国土交通省の調査 [16] によると、平成 30 年 7 月豪雨の際のアンケートで避難しなかった人の回答には「近隣住民が避難していなかった」というものが多く含まれている。よって、自分の身の回りの人を表現することによって、各個人の避難行動に差が生じるものと考えている。近隣住民の表現方法としては、ARIA のサブ機能としての人流シミュレーション (図 2 における避難 SIM) から各避難者の行動を VR 避難シミュレーションに入力して、仮想空間上に近隣住民のアバターを出現させるというやり方が考えられる。近隣住民が周りで避難を開始していることを知れば、被験者の避難行動にも変化が現れるものと期待できる。

7. まとめ

本稿では、継続的な避難行動データの収集を目的として、仮想現実 (VR) を使った避難シミュレーションを中心とし、災害の発生条件入力からモデル生成と人流シミュレーションへの適用までの一連のライフサイクルを実現する避難行動データ収集・分析プラットフォーム環境を提案した。また、予備評価として仮想空間上に洪水が発生している街を再現し、被験者が VR ゴーグルを使って、仮想空間の中の街を避難所まで避難することによって、個々の避難行動にどのような違いが現れることを確認した。避難行動データ収集・分析プラットフォームを使ったさらなるデータの収集・分析によって、各個人の避難行動の様々な違いが今後明らかになっていくと我々は考えている。

謝辞 本研究は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 様の NEDO Entrepreneurs Program (NEP) からの助成により進められています。本研究に助成いただいたことをここに深謝します。また、本研究の行動データ取得のためにご参加いただいた被験者の方々にも感謝いたします。

参考文献

[1] 横山秀史, 目黒公郎, 片山恒雄: 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用, 土木学会論文集, Vol. 1995, No. 513, pp. 225-232 (1995).
[2] 位寄和久: 避難行動モデルに関する研究火災状況の認識と心理状態を考慮したモデルの提案, 日本建築学会論文報告集, Vol. 325 (1983).

[3] Klingsch, W., Rogsch, C., Schadschneider, A. and Schreckenberg, M.: *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2008* (2010).
[4] 山下倫央, 福田俊介, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹: 一元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータとその応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 53, No. 7, pp. 1732-1744 (2012).
[5] 犬飼洋平, 小国健二, 堀 宗朗: 計測に基づく避難行動マルチエージェントシミュレータの開発, 土木学会応用力学論文集, Vol. 8, pp. 629-636 (2005).
[6] Muraki, Y. and Kanoh, H.: 地域性を考慮した広域災害避難シミュレーションのためのマルチエージェントモデル, *Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol. 22, No. 4, pp. 416-424 (オンライン), DOI: 10.1527/tjsai.22.416 (2007).
[7] 柿本竜治, 山田文彦, 田尻亮司, 原田翔太: リスクコミュニケーションを通じた実践的水害避難訓練に基づく避難行動シミュレータの構築, *Infrastructure Planning Review*, Vol. 26, No. 0, pp. 113-122 (オンライン), DOI: 10.2208/journalip.26.113 (2009).
[8] Gwynne, S. M. and Boswell, D. L.: Pre-evacuation data collected from a mid-rise evacuation exercise, *Journal of Fire Protection Engineering*, Vol. 19, No. 1, pp. 5-29 (online), DOI: 10.1177/1042391508095093 (2009).
[9] 嵯峨田 良江, 朝井 大介, 大野 健彦, 浅野陽子: 大災害時にはどのような情報が必要か-被災者インタビューに基づく情報伝達の解明-, 情報処理学会研究報告. Hci, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告, Vol. 2012, No. 13, pp. 1-8 (2012).
[10] 山下倫央, 副田俊介, 大西正輝, 依田育士, 野田五十樹: センサデータマイニングを活用した安全安心な避難誘導への取り組み, 電子情報通信学会誌, Vol. 94, No. 4, pp. 294-298 (2011).
[11] 孫 英英, 矢守克也, 鈴木進吾, Lee, F., 杉山高志, 千々和詩織, 西野隆博, 卜部兼慎: スマホ・アプリで津波避難の促進対策を考える: 「逃げトレ」の開発と実装の試み, 情報処理学会論文誌, Vol. 58, No. 1, pp. 205-214 (2017).
[12] 小林大吉, 加藤孝明, 河原 大, 志村泰知, 江田敏男: VR (仮想現実) を用いた地震火災時の市街地延焼からの避難行動特性, 地域安全学会論文集, No. 30, pp. 59-68 (オンライン), DOI: 10.11314/jiiss.31.59 (2017).
[13] 佐野睦夫, 松下智晴, 菊池晶陽, 大井 翔, 後藤壮史: DeVA: VR を用いた防災知識向上のための, pp. 307-312 (2021).
[14] 廣井 慧, 井上朋哉, 明石邦夫, 廣中 颯, 菅野洋信, 湯村 翼, 宮地利幸, 篠田陽一: ARIA: シミュレーション・エミュレーション連携基盤を利用したインタラクティブな都市型水害の被害予測システム, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム (CDS), Vol. 10, No. 2, pp. 11-25 (2020).
[15] 近藤喜芳, 立花篤男, 下園幸一, 長谷川輝之, 阿野茂浩, 山之上卓: 時間付きマルコフモデルを用いた障害検知手法の提案, *IPSSJ SIG Technical Report IOT*, Vol. 2016, No. 18, pp. 3-6 (2016).
[16] 国土交通省: 平成 30 年 7 月豪雨アンケート調査, https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_jikkousei/190328/09sankoshiry04.pdf (2019).