

# 仮想現実空間内での体験型避難訓練と 心理実験のためのシナリオ記述とその可視化

## Scenario Descriptions and their Visualization for Psychological Experiments and Experience-oriented Evacuation Trainings in a Virtual Reality Space

高浪 晃暉<sup>†</sup>, 飯島 正<sup>‡</sup>

Koki TAKANAMI<sup>†</sup>, and TTadashi IJIMA<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>慶應義塾大学大学院 理工学研究科

<sup>‡</sup>慶應義塾大学 理工学部

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Technology, Keio Univ.

<sup>‡</sup>Faculty of Science and Technology, Keio Univ.

### 要旨

筆者らは、没入型 (非透過型) ヘッドマウントディスプレイを用いた仮想空間内で、避難訓練を体験したり、避難行動シミュレーションを高度化するための技術の確立を目指した基盤の構築を進めている。ここでは、そうした避難訓練や心理実験を実現する上で必要なシナリオ表現と、実装環境として Unity プラットフォームと C# 言語を用いて、そのシナリオを再現する試みについて報告する。現時点は実現可能性調査の段階である。そのアプローチは、以下を繰り返し行い実用に供することができるかを確認する: (1) 自然言語で数本のシナリオを記述する, (2) それを実装環境で動くプログラムへ手作業で変換する, (3) 必要なコンポーネントを構築する, (4) そのシナリオを記述するのに十分なシナリオ記述言語を部分的に構築する, (5) そのシナリオ記述言語の表現から実装言語への変換系を施策する, (6) そのシナリオが記述でき, 実装言語へ変換できることを確認する。

### 1. はじめに

屋内火災が発生した時、火災発生の際に放送があっても、被災者はすぐに避難行動を開始せず、様子見の姿勢をとることが多いということは広く知られている。その後、火や煙を実際に見たり、音や匂いでそれを感じたり、また停電の発生、周囲の人間の避難開始といった状況に至って避難行動を開始することが多い。こうした避難行動は、被災者の心理的傾向や心理状態にも関係しており、不安感の強い傾向にあるほど、一般に避難開始時刻は早まる。そうした心理傾向を導入した避難者行動シミュレーションは未だ例がすくない。その精度を向上させるには、被災者集団の構成員の心理傾向を把握し設定するしかない。

そこで、事前の心理テストに加えて、臨場感を高めた仮想現実空間の中で行動選択データを収集することでデータの質を高めると同時に、体験型訓練にも役立つことが本研究の目的である。行動データの収集の際には、合わせて各種生体情報を収集し、両者を突き合わせることで、データ取得時の被験者の状況をより詳細に把握することを試みる。被験者に立体視によって臨場感を高めた没入型のヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着してもらい、仮想現実 (VR=Virtual Reality) 空間の中で、行動選択アンケート (インタビューもするが、それ以上に、実際に行動してもらってその記録をとる) を実施し、より精度の高いデータの収集を行うことを提案する。

さらに、これらの成果は、再び仮想空間における体験型訓練に反映する。著者らが状況適応型避難訓練と名づけた仮想現実空間 (以下、VR 空間とよぶ) での避難訓練への応用を継続して試みる。小中学校や職場などで避難訓練を経験することは多いが、いろいろな状況を設定した訓練を何通りも実施する余裕はない。通学・通勤で使う駅構内など公共施設の建造物での避難体験も重要であるにもかかわらず、そうした公共空間での避難訓練のための占有使用は実現が難しい。介護施設や病院などでは自力避難可能な避難者のための訓練だけではなく、介護者が要介護者を補助して避難する状況も実地体験しておくことの価値は高い。どのような避難訓練でも、それを体験するかしないかの差は大きい。現実の被災と訓練の間には、その臨場感に大きな違いがあるとはいえ、下手に臨場感を高めようとすると怪我などの危険を伴いかねない。そこで、一種のシリアスゲームとして、VR 空間においてできるだけ参加者に安全に多様な経験をしてもらうことを目指している。

被訓練者/被験者は、体験型避難訓練や行動選択に関する心理実験のためには、仮想現実空間における、なんらかのシナリオに基づいた状況下で、屋内火災を擬似体験し行動する。シナリオとは、被訓練

者/被験者自身の置かれた状況，周囲の被災者とその行動，火災等の災害状況等を設定したものである。訓練すべき状況や，行動選択ルールを取得したい状況毎にシナリオを記述しなければならない。したがって，一つの建造物における一つの災害状況を対象とした場合にも，複数のシナリオを構築する必要がある，その負担は大きい。

特に3次元VR空間を構築するための一般的なツールである，UnityやjMonkeyEngine等の汎用ゲームエンジンを使うとはいえ，C#やJavaといったプログラミング言語で直接的に，シナリオを構築するにはプログラミングの知識が必要であり，多様なシナリオを一つ一つプログラミング言語で記述する多大な手間がかかる。しかも，一般に訓練や心理実験のためのシナリオを設計するのは，プログラミング言語に精通したプログラマではなく，防災・減災を専門とする専門家(domain expert)である。防災・減災の専門家が，ゲームエンジンでのプログラミングの知識を併せ持つことは，必ずしも期待できない(仮に，いたとしても少数であろうと見込まれる)。そこで，防災・減災を専門とするドメイン専門家が，直接，シナリオを記述できる，シナリオ記述言語(ドメイン特化言語)を構築し，そこから特定のゲームエンジンで動くプログラムを生成するアプローチを提案する。

本報告では，特に，ゲームエンジンとしてUnity(実装プログラミング言語としてはC#)を使って，屋内火災を対象とした，実現可能性調査とプロトタイプ設計をすすめているため，この前提のもとに報告する。しかし，対象とする災害(サブドメイン)をパラメータとし，ゲームエンジンや実装言語には，できる限り依存依存しないシナリオ記述言語の設計を心がけて進めている。

## 2. シナリオ記述の五要素と，それを捉える三観点

シナリオに記述すべき要素には，現時点で認識しているものに以下の五要素がある：

- (要素-1) 環境モデル(基本環境要因)
- (要素-2) 対象者(被訓練者/被験者)のモデル
- (要素-3) 建造物とその内部の空間モデル(環境要因-その1)
- (要素-4) 他の在館者(避難者)のモデル。属性情報と振舞情報(環境要因-その2)
- (要素-5) 災害モデル(環境要因-その3)

さらに，これらのシナリオに記述すべき要素は，以下の三つの観点から捉えなければならない：

- (観点-1) 意思決定の判断材料となる主要素(調査対象，もしくは，訓練対象)
- (観点-2) 背景的な要素
- (観点-3) 実装に必要な要素

### 2.1.(観点-1) 意思決定の判断材料となる主要素(調査対象，もしくは，訓練対象)

避難訓練や行動選択ルールを獲得するための心理実験に必要な状況設定であり，訓練目的や実験目的から導かれるものである。第二の観点カテゴリ(背景的な状況設定)に含まれるか，この第一の観点カテゴリに含まれるかは，訓練や実験の目的によって異なる。

たとえば，同時に被災する他の在館者といった要素(人数や年齢等の属性の分布，施設の従業員のよう避難誘導すべき立場の者か否か，どういう行動をとるか)は訓練や実験においてその影響を取り上げたいのであれば，この観点カテゴリに属し，そうでなければ第二の観点カテゴリに属することになる。そうした被訓練者/被験者以外の在館者の情報だけでなく，被訓練者/被験者自身に設定する状況設定もありうる。その建物の構造(間取り)に関する被訓練者/被験者の知識の有無や，何を携行しているか(ハンカチやタオル，水，ビニール袋，ポケットライト，携帯電話など)の影響を対象としていけば，それらはこのカテゴリに含まれる。

### 2.2.(観点-2) 背景的な要素

第二の観点カテゴリは，そうした訓練や実験の背景的な状況設定である。建物の空間構造情報(間取り，見通しの良さ，エレベータの有無，ドアの有無)，避難目標地点(たとえば非常口)，防災設備(排煙装置，防火扉，非常灯，非常口案内板)，窓の有無，各区画(部屋や廊下)の照明/明るさ，避難指示/情報提供放送の有無，建物内に置かれた備品(たとえば通路を塞ぐ障害物の有無)，ドアの施錠状態，発

災場所（火災の発生地点や時刻と発見までの時間）、発災時の被訓練者/被験者の状況（位置、同行者の有無など）、延焼のし易さ（建材やカーテンが難燃性か、可燃物があるか、その保管場所を知っているか）などがある。

また、被訓練者/被験者や身体能力も、年齢等でパラメータ化された基準値（分布）がある。たとえば、歩行や走行、姿勢を低くしての歩行などの際の移動速度には、年齢や性別に応じた基本速度に加えて、その場所の明るさ、煙の有無、平坦な廊下か階段か、ドアはあるか、机・イスなどの調度品等の障害物はあるか、などによって妥当性の高い速度が異なる。単独か、特定の密度を持った群衆かという相違もある。また移動速度だけではなく、視界距離/範囲なども同様である。

### 2.3.(観点-3) 実装に必要な要素

第三には、ゲームエンジンが VR 空間を構築するのに必要な情報がある。視点の方向や操作方法などがこれにあたる。また、できるだけ、上記のような状況設定は、被訓練者/被験者が視認できることが望ましいが、必要に応じてテキストや音声で、状況説明や指示を与える必要が有るかもしれない。また、被訓練者/被験者の行動選択の結果も、被訓練者/被験者のいかなる行動（操作）によって取得するかといった対応付け（マッピング）もこのカテゴリに属す。

### 2.4. 実現可能性調査の手順

現在、これらの3つの側面を擦り合わせるために、以下の様な手順で取り組んでいる。このサイクルには停止条件がない。訓練や実験の目的に合致するところまで進んだら一旦、その目的に対しては完成といえるが、新たな対象、新たな目標を設定することで、このサイクルは繰り返される。

- (1) 訓練や実験の目的を定め、それにもとづいて自然言語でシナリオを記述する
- (2) そのシナリオを手作業で実装言語 (Unity プラットフォームで動く C # プログラム) に変換する
- (3) その際に、必要なコンポーネントを部品化し、実現できている部分とできていない部分に分離する
- (4) 実現できていない部分は、実現すべく実装作業を進める ((5),(6) と並行して進めることができる)
- (5) (2) の変換作業を自動化するために、シナリオ記述言語を設計する
- (6) シナリオ記述言語から実装言語へのトランスレータを構築し、変換可能であることを確認する
- (7) 実装言語へ変換されたシナリオが実際に、訓練や心理実験に使えることを確認する
- (8) (1) へ戻って、あらたなシナリオを記述し、(2) 以降を繰り返す

以下、概ね、この手順に従って、現在行っている実現可能性調査に関して報告する。

## 3. 自然言語によるシナリオ記述の例と実験

この節では、行動選択ルール獲得のための心理実験用シナリオの例を取り上げる。現在、実際に Unity と C # を使って手作業で構築した心理実験用シナリオを二つ紹介する。

### 3.1. 自然言語によるシナリオ記述例 (a)

火災発生時の人の避難行動特性に関しては、以下の様な性質が知られている [1]:

- 帰巢性 … 入ってきた経路をたどって逃げようとする。
- 日常導線志向性 … 日常的に使っている経路をたどって逃げようとする。
- 向光性 … 明るい方向に向かって逃げようとする。
- 危険回避性 … 煙や炎が見えない方向に向かって逃げようとする。
- 追従性 … 大勢の人についていこうとする。
- 向開放性 … 開かれた感じがする方向へ逃げようとする。
- 易視経路選択性 … 最初に目に入ってきた経路、目につきやすい経路を選ぶ。
- 至近距離選択性 … 最寄りの階段や近道をしようとする。
- 直進性 … まっすぐの階段や通路を選ぶとか、突き当たるまで直進する。

これらに基づき、向光性、追従性と向開放性に関する行動選択ルール獲得のためにシナリオ (a) を作成した (図 1)。

シナリオ (a) : ある一定時間経過後, 照明が落ち, 同じ部屋にいる人 (1 名) が部屋から外へ逃げていく. 現在いる部屋から廊下に出ると, その人は出口とは逆の照明が点灯している部屋へ躊躇なく向かうところが見える. 一方, 出口のある広い部屋も明るくなっているが, 近づくと火が燃えているところが見える. 他の避難者の行動の影響を受け, 被験者の避難経路が変化するかを調べる. 行動選択の選択肢は, (1) 出口のある部屋へ向かう (その後, 出口から避難するか, 消火活動を行なう), (2) 照明の点いている部屋へ向かう, (3) 元いた部屋に留まる, (4) 廊下に留まる, 等がある.

### 3.2. 自然言語によるシナリオ記述例 (b)

このシナリオを手作業で, 実装環境 (Unity プラットフォーム+C #プログラミング言語) へ変換し, VR 空間での体験実験を健全な 20 代男性 5 名に対して行った. 被験者は, 椅子に座り, HMD を装着した状態でキーボードを使い, 自らの判断でアバターを避難させる操作を実施した. HMD を装着する前に, アバターの操作方法, ヘッドトラッキング機能について説明を行った. HMD の装着後に「火災が発生しました, 青い部分が出口です, この建造物から避難してください」という説明をした後に, アバターの避難行動の操作をするよう指示した ((図 2 は HMD の表示の一部).

実験の結果として, 行動 (2), すなわち他の避難者に追従して, 照明の点いている部屋に向かって移動した被験者は 3 名, 行動 (1), すなわち他の避難者には影響されずに, 直接出口に向かった被験者は 2 名だった. しかし, 行動選択の理由を被験者にインタビューしたところ, 以下のような理由が挙げられ, 必ずしも, 追従性によるものではなく, 向光性を重視するケースがあることがわかった (但し, 被験者数が少なく, そのプロフィールの属性も分類されていないので, この規模の実験から行動選択ルールが獲得できるというわけではない. このシナリオでは複数の複数の要因を同時に扱っているが, 実際には, 効率よく要因間の関係を見出す実験手順も検討する必要がある).

- 行動 (2) 照明の点いている部屋へ向かった理由 (インタビューによる)
  - － 照明が点いている部屋が気になった.
  - － 部屋に向かっている人に迷いがなかったため, 出口を知っていると思った.
  - － 出口のある広い部屋には火が見えていたため, 火の出ている方向から逃げようとした.
- 行動 (1) 照明の点いている部屋へ向かった理由 (インタビューによる)
  - － 照明の点いている部屋に向かっている人が一人だったので信用できなかった.
  - － 暗い状態で左の方が明るかったため行ってみたが, 近づいて火だと分かった, しかしその際, 出口が見えたため, そこから避難した.

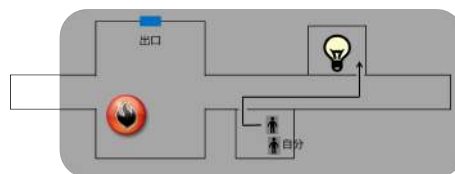


図 1: シナリオ (a) の状況 (鳥瞰図)

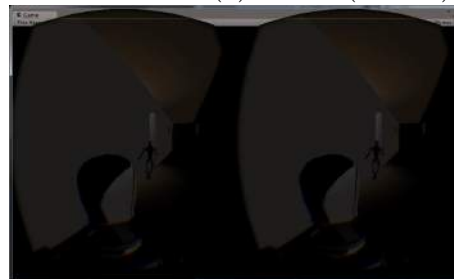


図 2: シナリオ (a) の HMD の表示の一部

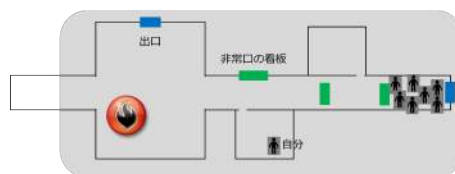


図 3: シナリオ (b) の状況 (鳥瞰図)

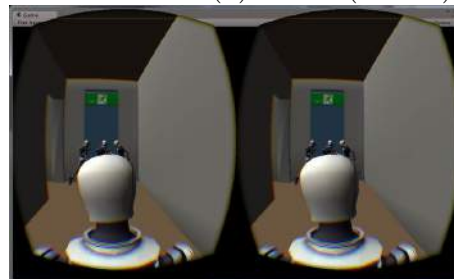


図 4: シナリオ (b) の HMD の表示の一部

学校やオフィスなど在館人数の多い施設では、火災発生時に、限られた出口に人が殺到して退出できず、滞留した群衆が混乱を引き起こすこともある。群衆が見えた時の行動への影響の有無について調べる(図 3)。

シナリオ (b) : 部屋を出ると非常口の看板が見え、非常口には多くの人がいるのが見える。(1) 非常口から他の人が避難し終わってから逃げる, (2) 非常口から他の人を押しのけて避難する, (3) 別のルート(正面玄関)から避難する, (4) 元いた部屋に留まる, (5) 廊下に留まる, などが考えられる。どのように避難するのかを選択してください。

前のシナリオ (a) と同様に, このシナリオ (b) に関しても手作業で実装環境 (Unity プラットフォーム + C # プログラミング言語) へ変換し, VR 空間での体験実験を健常な 20 代男性 5 名に対して実施したところ ((図 4 は HMD の表示の一部), 行動 (1) もしくは行動 (2) を選択し非常口から避難した被験者が 4 名, 行動 (3), すなわち建造物の玄関出口から出た被験者が 1 名という結果となった。さらに, 非常口へ向かった被験者のうち, 2 名は他の被災者を押しのけて非常口から避難し, 残る 2 名は他の被災者が避難するのを待ってから避難した。

- 行動 (1) もしくは (2) の理由 (インタビューによる)
  - － 非常口の看板が気になった。
  - － 非常口の看板は気付かなかったが, 大勢の人がいたため出口があると思った。
  - － 広い部屋には火が見えていたため, 火の出ている方から逃げようとした。
- 行動 (3) の理由 (インタビューによる)
  - － 非常口の近くに大勢の人がいて, 避難に時間がかかりそうだったため別の出口を探した。
  - － 出口(非常口)があることはわかったので, 他に出口を探して見つからなければ戻ろうと思った。

#### 4. 二つの自然言語によるシナリオ例から抽出した要素によるシナリオ記述言語

前節で例示した「自然言語によるシナリオ」をベースに, 実装言語 (Unity プラットフォームと C # 言語) のシナリオへ変換するために必要十分であると思われる情報を抽出し, 一般化/抽象化をおこない, 現時点では, 以下の様な記述要素を認識している (シナリオ記述言語はこれら要素名に基づくタグを持った XML で記述する)。

##### (1) 基本環境モデル (基本環境要因)

- 場所 … 施設名, など
- 時間帯 … 開始時刻, 終了時刻, など
- イベント … イベントの時系列情報, イベント間の関係, イベントの発生時刻 (開始時刻からの経過時間)

##### (2) 対象者 (被訓練者/被験者) のモデル

- 個人的属性
  - － 氏名, 年齢, 性別など; 身体特性 … 車椅子使用など
  - － 性格タイプや行動タイプなど; 施設勤務者の場合役割など
  - － 同行者情報; 振る舞い情報 … イベント-行動対の集合など
- 空間モデルと関連する属性
  - － 位置 (初期位置, 各単位時間毎の位置)
  - － 空間情報 (間取り情報) に関する知識/認知度
- 在館者モデルと関連する属性 … 他の在館者との関係
- 災害モデルと関連する属性 … 発災を認知したきっかけ (トリガー)

### (3) 建造物とその内部の空間モデル（環境要因-その 1）

- 施設名, など
- 階ごとの情報 … 施設の各階の空間 (間取り) 情報
- 各区画 (部屋, 廊下, 階段, エレベータ, クローゼット等) 内の空間情報
  - － 備品, 調度品の配置状況
  - － 火災警報, 避難誘導放送, など

### (4) 他の在館者 (避難者) のモデル. 属性情報と振る舞い情報 (環境要因-その 2)

- 各種属性と振る舞い … イベント-行動対の集合

### (5) 災害モデル (環境要因-その 3)

- 火災発生場所の分布 (時間を追って範囲が拡散する), 火災発生時刻, 強さ, 温度分布
- 煙の充満している場所の分布 (天井近くに充満するなど三次元的に), 種類 (毒性のあるガスなど)

当初は, 各属性の値は, 簡単な記号名で扱うのみとして, 次第に詳細な情報を指定できるように改良を加えていく. 記号名や数値で記述できる属性はよいが, 実験の開始位置や火災の発生位置など, 空間内の位置情報は表現しにくい. 施設名や区画名 (部屋番号, 廊下番号, 等) は記号名として与えられるが, 部屋の中の座標などは特定しにくい. そこで, 建造物の各階の間取り図上での座標と位置情報ラベルとのマッピングは図 5 のようなツールを用い GUI を介して行なうものとする. 間取り図情報は建物の 3 次元設計情報 (CAD データ) を IFC (Industrial Foundation Class) データ形式を仲介させてツールにロードする.

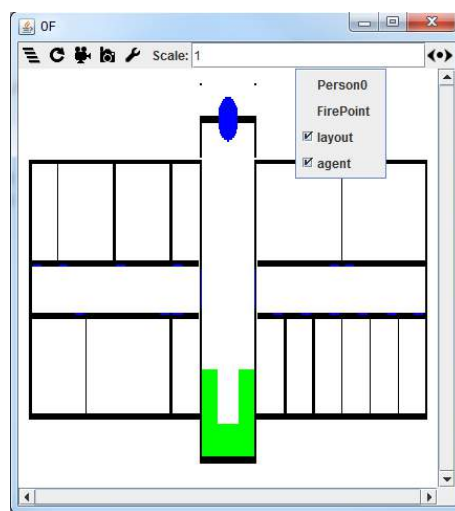


図 5: 建造物の各階の間取り図上で位置を指定するツール

## 5. トランスレータとコンポーネント

トランスレータは現在作成中である. 現時点でサポートコンポーネントによって屋内の基本的な明るさに関しては, 時間帯 (昼間は明るく夜間は暗い) に加えて, 照明の ON/OFF に対応し部屋 (区画) 単位で制御できる. IFC データの読み込み等は, 現在のところ座標指定など一部の機能に制限があるが, 今後も引き続きサポート・コンポーネントの改良により対応していく予定である. 対象者 (被訓練者/被験者) が, 災害の発生に気づききっかけ (トリガー) としては, 現状では, 火災報知機や放送に依る音声避難指示, 全館的な消灯など, 幾つかリストアップしてあるものを選択する方式であるが, より柔軟なイベント定義も実現していく予定である.

## 6. おわりに

現在, 進行中のプロジェクトの一部の中間報告として, VR 空間における, 状況適応型避難訓練と心理実験のためのシナリオ表現に焦点をあてて報告した. 現在, 手作業で実装言語 (ゲームエンジンである Unity プラットフォーム上の C # プログラミング言語) を直接的に使うシナリオを記述し VR 空間を構築しているが, 屋内火災避難に特化したシナリオ記述言語を使うことができれば, 防災・減災の専門家が実際に動作する VR 空間を直接構築することができるので, 構築した VR 空間を試したフィードバックに基づくシナリオ洗練化のサイクルのコストも大幅に低減化できると期待している.

## 参考文献

- [1] 日本火災学会編: “火災と建築,” 共立出版, 2002. (他, 多数に同様に記述あり)