

屋内避難シミュレーションにおける シナリオ設定のための DSL の設計

Design of DSL for scenario settings in indoor evacuation simulation

森文哉[†], 飯島正[‡]

Fumiya Mori[†], and Tadashi Iijima[‡]

[†]慶應義塾大学 大学院 理工学研究科

[‡]慶應義塾大学 理工学部

[†]Graduate School of Science and Technology, Keio Univ.

[‡]Faculty of Science and Technology, Keio Univ.

要旨

屋内火災の対策として有効な避難計画を立案するために、避難シミュレーションは重要な立ち位置にある。しかし、シミュレーションを実行するには、様々な要素を設定する必要がある。本研究プロジェクトでは、Social Force Model を拡張した避難者モデルを利用した屋内避難シミュレーションにおいて、シミュレーションの実行を容易にするためのシナリオ記述方法として、ドメイン固有言語 (DSL) を設計・評価することを試みている。本報告ではその現状を報告する。

1. はじめに

日本は他国と比べ、地震などの災害が多い国である。2010 年には東日本大震災が発生し、大きな被害が出た。近い将来に、首都圏を襲う首都直下型地震が起きる確率も高いとされている。このような災害に伴い、屋内での火災が発生することは十分に考えられる。しかし、いつ、どこで、どの程度の規模の災害が発生するかを正確に予測することは困難である。このような災害に対して有効な減災手段として災害が発生する前に準備しておく防災対策が挙げられる。災害には様々な種類があるが、建造物内での火災発生に話を限定すると、有効な防災対策として建造物の管理者が作成する避難計画がある。

本研究では適切な避難計画を策定するために、屋内避難シミュレーションを利用し避難計画を定量的に評価・改善することを目的にする。本報告では避難シミュレーションの実行におけるシナリオ作成に焦点を当て、様々な要素の設定を容易にするシナリオ記述言語の設計・評価を行う。

2. 屋内避難シミュレーション

本節では、対象とする屋内避難シミュレーションについて説明する。

2.1. 概要

屋内避難シミュレーションのモデルを構築するには様々な要素が必要になるが、主な要素は次の 3 つに大別される。

1. 避難者モデル
2. 空間モデル
3. 災害モデル

本研究ではこの内、避難者モデルに焦点を当てている。

また、屋内避難シミュレーションをプログラムするためのライブラリとして Mason を使用している。Mason の実行画面は図 1 のようになる。

2.2. 避難者モデル

避難者モデルの構築には様々なモデリング手法が用いられている。代表的なものとして Cellular Automata と Agent-based Simulation が挙げられる。Cellular Automata は正方形のセルからなるグリッドによって場を表現し、それらのセル 1 つ 1 つが、隣接する他のセルの状況をもとにして、1 ステップごとに自身の状態を変化させることによって、システムを表現する手法である。Agent-based Simulation は各エージェント間の相互作用や、周辺の環境との相互作用によって、複雑系を構成する。

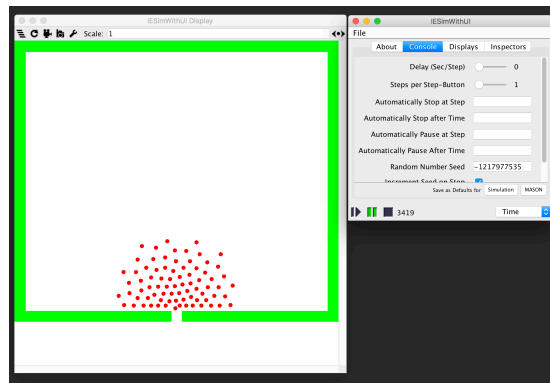


図 1: Mason の実行画面

本研究で用いる屋内避難シミュレーションでは Agent-based Simulation を採用している。エージェントとは「感覚 (sensors) を通して環境 (environment) を知覚 (percepts) し、作動装置 (actuator) を通して環境に働きかける (actions) もの」[1]であり、本シミュレーションでは各避難者をエージェントとして捉え、互いに影響を与え合いながら行動を決定するモデルを構築している。

2.3.Social Force Model

Social Force Model は Helbing, Molnar によって 1995 年に発表されたモデルで歩行者シミュレーションに利用されることが多い。[2] 人と人、あるいは人と環境の間に現実には存在しない Social Force という仮想的な力を考え、この力により、歩行者は移動すると仮定したモデルである。Social Force Model における仮想的な力として以下の 4 種類が挙げられる。

- 理想速度に近づける加速力
- 他者からの斥力
- 他者や物体からの引力
- 壁などの環境からの斥力

これらの仮想的な力の合力を各歩行者に当てはめた運動方程式は以下のようなになる。

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_w f_{iw} \quad (1)$$

本シミュレーションでは避難者モデルの行動決定に対して、この Social Force Model を採用している。

2.4.DSL

DSL とは Domain Specific Language の略であり、日本語ではドメイン固有言語と言われている。DSL の特徴として次の 4 点が挙げられている。[4]

- コンピュータプログラミング言語であり、人間が利用し、コンピュータで実行できることである。
- 言語の特性として「流れるような」感覚を持つということである。これは個々の表現が単独で存在しているというよりも組み合わせや連携により言語表現をしていくという意味である。
- 限定された表現力がある。
- ドメインへの集中としてある特定の小規模なドメインへの特化している

さらに、DSL は大きく分けて 2 種類に大別される。内部 DSL と外部 DSL である。内部 DSL はホスト言語を利用しつつ、独自の言語を記述しているかのような感覚を提供する。一方、外部 DSL は完全に

独立した言語であり、その DSL を解析するためのパーサーやコンパイラなども独自に構築する必要がある。

本研究では外部 DSL を用いて、独自のシナリオ記述言語を作成する。

3. 提案・設計

シナリオを設定するにはプログラミング言語を用いて記述しなくてはならない。しかし、屋内避難シミュレーションを必要とするのは避難計画を策定する建造物の管理者などであり、プログラミング言語を習得している可能性は低い。このことを受け、プログラミング言語を未習得でも容易にシナリオの記述を可能にするためシナリオ記述言語を提案する。

3.1. シナリオ

前節で避難者モデルに Social Force Model を採用しているを説明したが、基本的な Social Force Model では避難者モデルを構築するには十分ではない。屋内避難シミュレーションにおける避難者モデルとするには Social Force Model を拡張する必要がある。一般的に男性と女性、子供と高齢者などによって避難速度は異なっているため、避難者モデルにおいても歩行速度を調整する必要がある。また、Social Force Model では周囲の全てのエージェントから力を受け進行方向を決定するが、現実の状況と比較すると視覚により認知することができたエージェントからのみ力を受け進行方向を決定する方が適切である。そのためにはエージェントに視覚を導入する必要がある。さらに、本研究では災害モデルに関しては扱っていないが、屋内避難シミュレーションであるため簡易的に煙という災害モデルを導入した。避難者は煙の中など視界の悪いところでは速度を落とすという行動特性が知られている。[3]

これらの要素をまとめると次の 3 つに集約することができる。

- モデルに関する要素

シミュレーションで利用するモデルの設定をする。現段階では選択肢は Social Force Model のみであるが、将来的には異なるモデルも採用し、比較検証することが可能なようにする。また、Social Force Model 内で用いるパラメータの設定も行えるようにする。

- ・ 引力の強さ
- ・ 引力の影響範囲
- ・ 斥力の強さ
- ・ 斥力の影響範囲

- 避難者に関する要素

避難者モデルに関してどのような拡張を行うかを設定をする。現段階では歩行速度の調整、視野の導入を拡張要素として提案する。

- ・ 歩行速度：ゆっくり (3.6km/h)、普通 (4.5km/h)、速い (5.4km/h)
- ・ 視野：狭い (140 度)、普通 (160 度)、広い (180 度)
- ・ 初期位置 (専用の GUI を使い設定)
- ・ 個体数 (専用の GUI を使い設定)
- ・ 目的地 (専用の GUI を使い設定)

- 環境に関する要素

避難シミュレーションにおける環境の設定をする。本来であれば災害モデルを詳細に設定するが、本シミュレーションでは簡易的に煙の濃度の設定を行う。

- ・ 煙：薄い (歩行速度を 80% に減)、濃い (歩行速度を 50% に減)
- ・ 壁 (専用の GUI を使い設定)

今後追加していく設定

- ・煙の種類：刺激煙、無刺激煙・煙の時間変化

各要素を適切に設定し、屋内避難シミュレーションのシナリオを構築する。

3.2. シナリオ記述言語の記述例

シナリオ記述言語の記述例は図2のようにになっている。

```
シナリオ {
  モデル {
    SocialForceModel
  }
  避難者 {
    歩行速度は、ゆっくり。
    視野は、狭い。
  }
  環境 {
    煙は、薄い。
  }
}
```

図 2: シナリオ記述言語の記述例

シナリオ記述言語ではブロックと言う概念を使用した。ブロックとは「{」から「}」までを一つのまとまりとしたものである。最も大きなブロックとしてシナリオブロックを記述する。このシナリオブロックの中にモデルブロック、避難者ブロック、環境ブロックを、必要なものだけ記述する。この3つのブロックはそれぞれ、シナリオに必要なモデルに関する要素、避難者に関する要素、環境に関する要素に対応している。モデルブロック、避難者ブロック、環境ブロックの中にはそれぞれの詳細な設定を記述していく。例として避難者ブロックを取り上げる。避難者に関して歩行速度を調整したい場合、避難者ブロック内に「歩行速度は、遅い。」と記述する。この記述により避難者モデルの歩行速度が設定される。設定の記述方法は自然言語に近いような記述方法にしプログラミング未習得者でも記述可能にしている。

応用的な機能としてファイルの分割機能を実装している。ファイルを分割することにより可読性の向上が期待できる。シナリオを部分ごとにファイル分割することができるのでシナリオの再利用も容易になる。分割したファイルの読み込みには include 文を用いる。include(読み込みたいファイル名) とすることで対象のファイルを読み込むことができる。

また、コメントアウト機能も実装している。//から行末まで、または/*から*/までをコメントとして認識する。コメント部分はシナリオ記述言語からは無視されるので自由に記述が可能である。

3.3. シナリオ記述言語から実装言語への変換

シナリオ記述言語から実装言語 (Java) への変換には JavaCC とそのプリプロセッサである JJTree を用いた。まず、シナリオ記述言語の構文定義ファイルを JJTree 形式で作成する。その定義ファイルを JJTree を用いて JavaCC 形式に変換する。この時、変換と同時に構文木生成クラスも生成される。次に JavaCC 形式の構文定義ファイルから JavaCC を用いてトークンを扱うクラスや例外を扱うクラス、パーサークラスなどを生成する。これらのクラスを用い、シナリオ記述言語を解析し実装言語である Java のプログラムを生成する。

シナリオ記述言語の構文木は図3のようにになっている。

4. 評価

4.1. 評価方法・結果

DSL の評価対象としては

- 記述のしやすさ

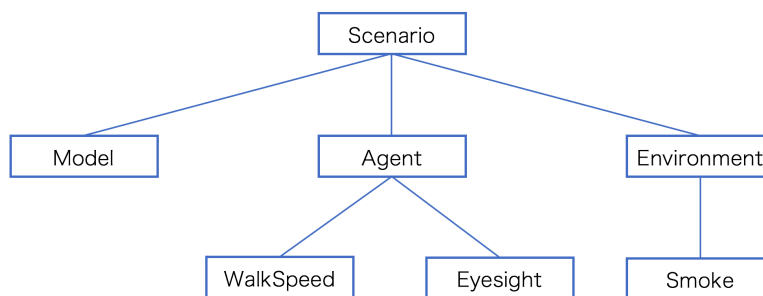


図 3: 構文木

- 構築にかかる負担の軽減
- 可読性の向上

の3点が挙げられる。この内、構築にかかる負担の軽減に関して Java 言語による記述時との比較実験を行い評価検証した。比較実験ではプログラミング言語習得者に対して、同一のシナリオを Java 言語、シナリオ記述言語の両方で記述してもらった。記述にかかった時間と記述した内容の正答率を比較した。本来であればプログラミング言語未習得者を対象とするべきであるが、現段階では、そのステップの前段階としてプログラミング習得者を対象として評価を行った。両言語とも記述方法は自分でドキュメントを読んで理解してもらい、その時間も記述時間に含めた。

実験結果は表 1 の通りとなった。

表 1: 実験結果

	Java 言語	シナリオ記述言語
平均記述時間 (分)	25.53	9.52
平均正答率 (%)	50	100

また、シナリオ記述言語は 208 バイトであり、そこから生成される Java プログラムは 988 バイトであった。

4.2. 考察

Java 言語よりシナリオ記述言語のほうが記述時間に関しては約 37% 削減でき、正答率に関しては 2 倍となった。両言語を比較し、シナリオ記述言語のほうが総合的に良い結果を得ることができたと言える。Java 言語においてボトルネックとなっていたことは、利用するクラスが多いこと、記述方法が直感的でないことが挙げられる。シナリオ記述言語ではクラスは存在せず、また、記述方法も自然言語に近い形を採用したため、これらの観点において改善が見られたと考えられる。

5. まとめ

本研究では屋内避難シミュレーションに特化したシナリオ記述言語を設計・実装した。作成したシナリオ記述言語によりシナリオ設定の効率化を図ることができた。しかし現状では、限定的なシナリオのみの対応となっている。記述できる範囲を広めていく必要がある。さらに、最終的にはプログラミング未習得者に対して評価実験を行う必要がある。

参考文献

- [1] Stuart J. Russell, Peter Norvig, “Artificial Intelligence A Modern Approach, ” SECOND EDITION, Pearson Education, 2002.
- [2] Helbing, D., Molnar, P., “Social force model for pedestrian dynamics., ” Physical review E, 51(5):4282.

- [3] 岡谷賢, 高橋友一, “災害・避難シミュレーションにおける心理表現,” 人工知能学会知識ベースシステム研究会資料, 第88巻,01-08ページ,2010年2月22日.
- [4] Debasish Ghosh, “実践プログラミング DSL ドメイン特化言語の設計と実装のノウハウ,” 翔泳社, 2012.