

人流シミュレーションのためのシナリオ作成手法の提案

副田 俊介[†] 山下 倫央[†] 大西 正輝[†]
依田 育士[†] 野田 五十樹[†]

人の流れを解析・予測するために、マルチエージェントシステムを利用する手法が、避難誘導計画の立案等の様々な分野で活用されている。このような人流シミュレーションでは、歩行者を自律的なエージェントとして表現し、各エージェントが環境に対してどのような判断を行うかを指示する。

このようなボトムアップなアプローチに対して、シミュレーション全体でどのような挙動を示すかを指示するトップダウンなアプローチも考えられる。本稿では、トップダウンな人流シミュレーションのためのシナリオ記述手法について、そのようなシナリオ記述手法を採用する目的について議論し、その実現方法を提案する。

Scenario Generation Method for Pedestrian Simulation

SHUNSUKE SOEDA,[†] TOMOHISA YAMASHITA,[†] MASAKI ONISHI,[†]
IKUSHI YODA[†] and ITSUKI NODA[†]

Multi-agent systems have been used to analyze and predict, various kinds of pedestrian flow. Scenarios for such simulations are usually given as programs for each autonomous agents, which is a bottom up approach.

Sometimes it is more suitable to state the scenario in a top down approach. In this paper, we discuss what kind of top down scenario description method we need for pedestrian simulation, and propose a method for top-down scenario generation.

1. はじめに

人の流れをマルチエージェントシステムによってシミュレーションする人流シミュレーション技術は、活発に研究が行われている分野である。応用もさかんに行われており、高層ビルからの避難、トンネル火災時の避難、航空機や船舶からの避難の検証^{1),2)} や、シドニーオリンピック・アテネオリンピックが開催されたスタジアム周辺の誘導方法の検証³⁾ 等に利用されている。

人流シミュレータで用いられている歩行者の行動モデルは、その機能に基づいて Strategic level, Tactical level, Operational level の三つのレベルに分類できる^{4),5)}。Strategic level で目的地を決定し、Tactical level で目的地までの経路や経由地を決定する。Operational level で他の歩行者や障害物との衝突を回避し、目的地に向かうための移動先を決定する。従来の人流シミュレータは operational level での再現性を重視したものが主流であり、構造物の形状や歩行者の operational level での挙動が、人流にどのような影響を与えるかを分析するのに利用されてきた。そのため、シミュレーションのシナリオに関しては、各エージェントが、環境に対してどのように反応するかを指定する、ボトムアップなアプローチが用いられてきた。

一方で、tactical level や strategic level での挙動が人流にどのような影響を与えるかを分析したいといった必要がある。例えば、災害への対処の遅速や避難誘導計画によって、被害にどの程度の差が出るか^{6),7)} の比較は tactical level での分析となる。このような tactical level での分析を行うのに、operational level での記述を行うと、想定する状況設定を行っているレベルとシナリオ記述のレベルが異なるため、効率的な記述が難しい場

合がある。また、状況設定も operational level で行い、シミュレーションの結果を分析する段階で tactical level な意味付けを行うアプローチも考えられる。しかし、この手法では当初意図した要因が反映されなかったり、例え反映されたとしても他の意図しない要因が影響与えたりする場合があります、やはり tactical level での分析に向いているアプローチとは言い難い。

本稿では tactical level での人流シミュレーションのシナリオ記述・作成手法を提案する。まず、トップダウンなシナリオ記述に適したエージェントの挙動を記述する方法と、それらエージェントの挙動を生成するためのシナリオ記述手法について述べる。更に高速避難シミュレータ NetMAS に対しての、提案したシナリオ記述手法の実装について述べる。

2. 関連研究

ここでは従来のマルチエージェントシステムにおけるシナリオの記述方法について概観する。

従来のマルチエージェントシステムは、自律的なエージェントを環境に配置し、エージェント間やエージェント・環境間のインタラクションによって、エージェントがどのように行動するかをシミュレートすることで、様々な現象を再現・予測する。そのため、マルチエージェントシステムにおけるシナリオ記述の研究は、自律エージェントのモデル化や、エージェントの挙動の記述方法の改善といったボトムアップなアプローチが中心である。

自律エージェントのモデル化には、例えば BDI-logic⁸⁾ を利用したアプローチが挙げられる。BDI-logic に基づくエージェントは、内部状態を状況の解釈 (Belief)、望ましい状況 (Desire)、選択する行動 (Intention) によって表現する。このアプローチを元にしたプログラミング言語は様々なものが提案されているおり⁹⁾、大部分が宣言的な記述方法を採用している。

エージェントの挙動の記述方法の改善に関する研究としては、シナリオ記述を容易にする方法の提案^{10),11)} が挙げられる。文献 10) では社会情報システムのシミュレーションを想定し、シミュレーションシナリオの処理系とエージェント実装を分離する手法を提案している。また、文献 11) ではシナリオの記述にプログラミング言語ではなく、スプレッドシートソフトで入力できる IPC (Interaction Pattern Card) を用いることでプログラミング経験のないシナリオ作成者の負担を軽減する手法を提案している。

ここで紹介した方法はどれも個々のエージェントの挙動を記述するもので、ボトムアップなアプローチを採用している。一方、本稿で提案する方法はシミュレーションのシナリオ全体をトップダウンに記述するアプローチである。

3. シナリオ記述手法のモデル

本節ではシナリオ記述手法のモデルについて述べる。まず各エージェントの行動の記述手法について述べた後、シナリオ全体 (全エージェント) についてのシナリオを生成する方法について述べる。

3.1 エージェントの行動の記述

一般的なマルチエージェントシステムでは、自律的なエージェントを環境に配置し、エージェント同士やエージェントと環境の間でのインタラクションによる、エージェントの判断や行動をシミュレーションすることで、対象となる現象についての分析や予測を行う。このアプローチでは、エージェントの選択する行動がシミュレーション実行中に動的に決まるため、トップダウンにシナリオを記述するアプローチとの相性が悪い。そこで、エージェントの行動選択を静的に記述する方法を提案する。

エージェントに関しては、次の要素を記述する：

- (1) 発生時刻
- (2) 発生位置
- (3) 目的地
- (4) 経由地
- (5) 自由歩行速度・パーソナルスペース

発生時刻・発生位置には、エージェントがシミュレーション環境内に発生する時刻と位置を指定する。目的地はエージェントが最終的に向かう地点を指定する。エージェントが目的地に到達したら、エージェントはシミュレーション環境から除去されるとする。経由地はエージェントが発生位置から目的地までに移動する間に経由す

る場所を指定する。経由地は複数指定することができ、エージェントは指定された順番に移動する。

歩行者の速度を決定するモデルには文献 12) で提案されているものを利用する。自由歩行速度とパーソナルスペースはこのモデルで利用されているパラメータのうち、各歩行者に特有のものである。自由歩行速度は障害物や他の歩行者からの影響がない状態でのエージェントの歩行速度を示している（歩行者の最高速度）。パーソナルスペースは、混雑した状況等でエージェント同士がどの程度影響を与えるかを示す値である。

発生位置・目的地・経由地に関しては、直接座標等を指定するのではなく、シミュレーション対象の空間内の一定範囲にテキストのタグを付与し、そのタグによって位置を指定する。このことにより、実際の空間の形状にかかわらず、意味によって経路を指定することが可能となる。

また、エージェントは基本的には目的地・経由地への最短経路を取るものとする。もし候補となる目的地・経由地が複数ある場合には最短距離にある目的地・経由地を選択する。

3.2 全体シナリオの記述

シミュレーションを行うには、前副節で述べた各エージェントに関する行動の記述を全エージェントについて生成する必要がある。この全エージェントに関する行動の記述の集合を**全体シナリオ**と呼ぶ。全体シナリオを作成するためには各エージェントについて経路等を作成する必要があり、エージェント数が増えると記述のためのコストが大きくなる。そこで tactical level の記述から、直接全体シナリオを作成する手法を提案する。

全体シナリオを作成するには各エージェントについての記述を個別行うのではなく、**シナリオ条件**を記述する。シナリオ条件には様々な制約条件が記述されており、コンパイラを通すことで、制約条件にマッチする全体シナリオが自動的に生成される。

シナリオ条件には、次の要素を記述する：

- (1) ある発生位置から発生するエージェントの数
- (2) ある目的地へ到着するエージェントの数
- (3) ある経由地を通過したエージェントが、次の経由地にある地点を選択する割合
- (4) ある経由地を通過するエージェントの割合
- (5) エージェントの自由歩行速度の分布
- (6) エージェントのパーソナルスペースの分布

また、各制約条件に関しては依存関係を記述することができる。このことで、例えば「パーソナルスペースが大きく、自由歩行速度が低いエージェントが部屋の前方の扉近くに配置されている」場合の影響のような条件も記述することができる。

4. NetMAS への実装

NetMAS は一次元歩行者モデルを採用した高速避難シミュレータ¹³⁾で、多数のシナリオを比較することで tactical level での分析を行う。本節では避難誘導計画の立案支援や評価を行うための NetMAS の利用を題材とし、シナリオ作成手法の実装について述べる。

避難誘導計画は、各エージェントの避難経路の集合として考えることができる。そこで、多数のシナリオを作成するために条件の組み合わせとして避難誘導計画を生成する手法（図 1）を提案し、その記述方法を説明する。

4.1 エージェントの行動の記述

NetMAS では各エージェントの移動や経路に関する情報を (1) 発生する場所と時間等 (2) 経由する場所 (3) 目的とする場所、で指定する。NetMAS では、構造物モデルのリンクやノードに任意のテキストをタグとして付けることができ、エージェントの経路に関する場所はそのタグで指定する。また (2) の経由する場所に関しては複数指定することができ、指定した順番にエージェントは経由する場所を移動する。例えば「BLEFT」に 9:00 から 9:10 の 10 秒間にかけて、合計 20 人発生し、「DOOR.1F.LF」「19_STAIRS1」を経由して「exit」へと向かうエージェントは表 1 のように指定する。

図 1 の「シナリオ」にある各シナリオは、表 1 のような各エージェントに関する記述が多数並んでいる。

4.2 全体シナリオの記述

全体シナリオを生成するためのシナリオ条件のうち、

- (1) ある発生位置から発生するエージェントの数（発生条件）

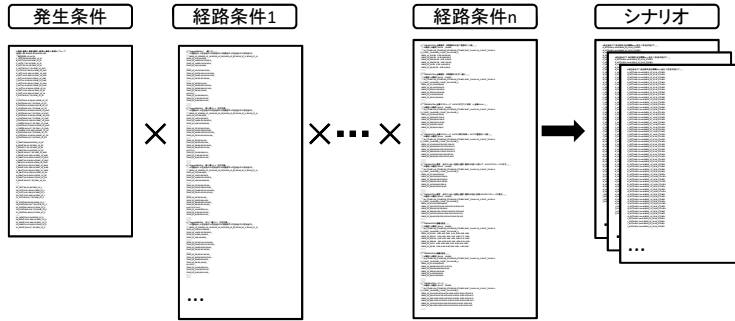


図 1 シナリオの生成方法
Fig. 1 Generating scenario.

表 1 各エージェントの経路地指定方法の例
Table 1 Example route of agents.

地点	発生			目的 地点	経路		
	時刻	期間	人数		地点 1	地点 2	...
B.LEFT	9:00	10	20	exit	DOOR.1F_LF	19_STAIRS1	

表 2 発生条件の記述
Table 2 Generation rules of agents.

発生位置	条件ごとの発生数 (条件 ID)						経路
	1	2	3	4	5	6	
A.LEFT	0	0	0	0	0	0	ZONE.1F_LF
B.LEFT	5	6	4	2	0	0	ZONE.1F_LF
C.LEFT	6	7	5	3	1	0	ZONE.1F_LF

(2) ある経路地を通過したエージェントが、次の経路地にある地点を選択する割合（経路条件）の2つを記述できるよう、実装した。具体的には表 2、表 3 のように記述する。

発生条件では、発生する位置、発生させるエージェントの数、エージェントが選択する経路を指定する。表 2 の例では、「A.LEFT」「B.LEFT」「C.LEFT」の各地点で発生するエージェントについての発生条件を指定している。エージェントの発生数には 6 通りの場合があり、それぞれの場合での発生人数を指定している。また、この例ではエージェントは全て経路「ZONE.1F_LF」を選択する。

経路条件では、発生したエージェントや、ある地点に到着したエージェントが次にどの経路地に向かうべきかを指定するためのものである。各条件ごとに表となっており、行が現在地・列が次の経路地に対応し、欄に現在地からどの経路地を選択するかの割合を記述する。表 3 の例で、例えば「A-1」と「B-1」の条件を利用しており、「ZONE.1F_LMF」の経路を選択するエージェントが 20 ある場合、

- 発生 → DOOR.1F_LRR → 19_STAIRS1 → 出口 が 8
- 発生 → DOOR.1F_LRR → 19_STAIRS2 → 出口 が 8
- 発生 → DOOR.1F_RR → 19_STAIRS1 → 出口 が 2
- 発生 → DOOR.1F_RR → 19_STAIRS2 → 出口 が 2

と割り振られる。

また、「=」記号を用いることで、次の経路地に複数の地点を記述することができる。例えば条件「B-2」にある「RW67.E1=RW1-6.E」は、「RW67.E1」にまず向かってから、次に「RW1-6.E」を経由することを記述している。

表 3 経路条件の記述
Table 3 Route rules of agents.

条件 ID	現在地	次の経由地			
発生から最初の経由地					
A-1		DOOR_1F_LF	DOOR_1F_LR	DOOR_1F_RR	DOOR_1F_RF
	ZONE_1F_LF	1	0	0	0
	ZONE_1F_LMF	0.8	0.2	0	0
	ZONE_1F_LMR	0.2	0.8	0	0
...					
A-2		DOOR_1F_LF	DOOR_1F_LR	DOOR_1F_RR	DOOR_1F_RFL
	ZONE_1F_LF	1	0	0	0
	ZONE_1F_LMF	1	0	0	0
	ZONE_1F_LMR	0.5	0.5	0	0
...					
経由地から経由地					
B-1		19_STAIRS1	19_STAIRS2	20_STAIRS1	20_STAIRS2
	DOOR_1F_LF	0.50	0.50	0	0
	DOOR_1F_LR	0.50	0.50	0	0
	DOOR_1F_RF	0	0	0.50	0.50
	DOOR_1F_RR	0	0	0.50	0.50
...					
B-2		RW67_E1=RW1-6_E	RW67_E2=RW1-6_E		
	DOOR_1F_LF	0.50	0.50		
	DOOR_1F_LR	0.50	0.50		
	DOOR_1F_RF	0.50	0.50		
	DOOR_1F_RR	0.50	0.50		

5. むすびと課題

人流シミュレーション用のシナリオを Tactical level で記述する方法を提案し、その一部を高速避難シミュレータ NetMAS 向けに実装した結果について述べた。Tactical level で行いたいことを直接記述できるだけでなく、多数のシナリオを作成するコストの削減にも有用であることが示せた。

提案手法やモデルを利用することで、NetMAS で実行可能な任意の全体シナリオを作成することが可能である。しかし、自然なシナリオを自動的に生成するためには、シナリオ条件の記述法を追加するのが良いと思われる。例えば改札口をモデル化した場合、NetMAS では太い通路から細い複数の通路が述べている状態で表現する(図 2)。太い通路が改札口の前の通路を表現しており、細い通路が各改札口を表現している。この細い通路のうち、どの通路をエージェントが通過するかを指定することは、現在のシナリオ条件でも記述できる。しかし、実際の歩行者は「近くにある空いている改札口(細い通路)を選択する」という基準で行動を選択すると思われる。このような経路の選択方法を記述する方法は現在のシナリオ条件の記述法では出来ないため、何らかの拡張が必要と考えられる。

謝 辞

本研究成果の一部は NEDO の平成 21 年度産業技術研究助成事業の支援によるものである。また、避難訓練の実証実験に関して協力を得た北九州芸術劇場、リバーウォーク北九州および北九州市消防局の関係者に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) FSEG, University of Greenwich: EXODUS. <http://fseg.gre.ac.uk/exodus/index.html>.
- 2) 今泉 潤: 避難シミュレーション事例の紹介, 日本火災学会「避難シミュレーションモデルの現状とこれから」に関するシンポジウム予稿集, pp. 29-37 (2010).
- 3) Legion International Limited: Legion Studio. <http://www.legion.com/>.
- 4) Hoogendoorn, S. P., Bovy, P. H. L. and Daamen, W.: Microscopic Pedestrian Wayfinding and Dynamics

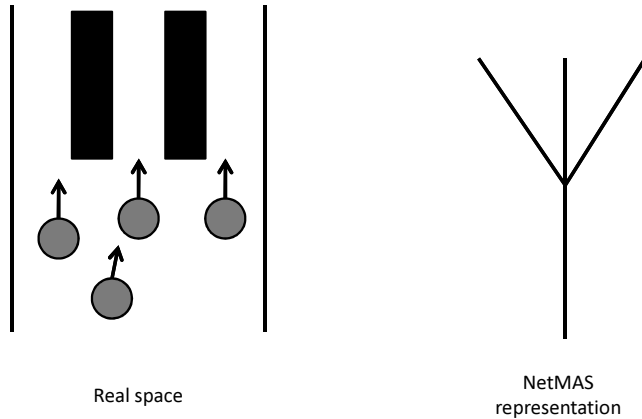


図 2 改札口のモデル化とエージェントの通過
Fig. 2 Modeling ticket booth in stations.

- Modelling, *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer, Berlin, pp. 123–154 (2001).
- 5) Steiner, A., Philipp, M. and Schmid, A.: Parameter Estimation for a Pedestrian Simulation Model, *Swiss Transport Research Conference*, p. 29 (2007).
 - 6) Soeda, S., Yamashita, T. and Noda, I.: NETWORK BASED PEDESTERIAN SIMULATOR, *7th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia* (2008).
 - 7) Yamashita, T., Soeda, S. and Noda, I.: Evacuation Planning Assist System with Network Model-based Pedestrian Simulator, *Proceedings of 12th International Conference on Principles of Practice in Multi-Agent Systems (PRIMA)*, Vol. 5925, pp. 649–656 (2009).
 - 8) Rao, A. S.: Decision procedures for propositional linear-time belief-desire-intention logics, *Intelligent Agents II*, Vol. 1037 of LNAI, Springer, pp. 33–48 (1996).
 - 9) Bordini, R., Braubach, L., Dastani, M., Seghrouchni, A. E. F., Gomez-Sanz, J., Leite, J., O'Hare, G., Pokahr, A. and Ricci, A.: A Survey of Programming Languages and Platforms for Multi-Agent Systems, *Informatica*, Vol. 30, pp. 33–44 (2006).
 - 10) 中島 悠, 椎名宏徳, 山根昇平, 八槇博史, 石田 亨: 大規模マルチエージェントシミュレーションにおけるプロトコル記述, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J89-D, No. 10, pp. 2229–2236 (2006).
 - 11) Murakami, Y., Ishida, T., Kawasoe, T. and Hishiyama, R.: Scenario Description for Multi-Agent Simulation, *The 2nd International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS-03)*, pp. 369–376 (2003).
 - 12) Helbing, D. and Molnár, P.: Social force model for pedestrian dynamics, *Phys. Rev. E*, Vol. 51, No. 5, pp. 4282–4286 (1995).
 - 13) 副田俊介, 山下倫央, 大西正輝, 依田育土, 野田五十樹: 一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発, *情報処理学会研究報告*. MPS[数理モデル化と問題解決], Vol. SIG-MPS-81, 情報処理学会 (2010(to appear)).