

# 歩行者シミュレーションの開発と検討

エンジニアリング本部 社会マネジメントユニット

山本 遼

## 1. はじめに

2019年3月末に国土交通省は民間等が保有するデータを連携し、業務の効率化や施策の高度化、産学官連携によるイノベーションの創出を目指す構想「国土交通データプラットフォーム」<sup>1)</sup>を公表した。それにより、施設や構造物情報の3次元データ化等が進むことが予想される。3次元データの整備に伴い、ストックされていく3次元空間データを活用したサービスの需要が今後高まることが予想される。

さらに、カメラやセンサー技術の進展により、人やモノの位置座標や移動軌跡、属性情報等をリアルタイムに認識しデータ化する技術、データの蓄積が進みつつある。

構造物の3次元情報のようなストックデータと、人やモノの位置・移動情報であるリアルタイムデータの両方が充実することで、人やモノがどう動き、どのような混雑が発生するか等を事前に分析、予測するシミュレーションがさらに発展していくことが考えられる。シミュレーションより得られる人流予測の結果から、様々な施設、構造物の配置や避難誘導を最適化などへの応用も期待できる(図1参照)。

そこで本稿では、当社にて開発している多数の歩行者の移動を表現することができるマルチエージェントシステム(以下、MAS)を用いた歩行者シミュレーションについて紹介し、施設マネジメントや都市空間開発計画等への活用や発展を考察する。



図1 歩行者シミュレーションの有用性

## 2. 歩行者シミュレーションの概要

### 2.1 MASとは

当社では、MASを用いた歩行者シミュレーションの開発と流動予測、その結果を用いた交通計画検討などを行っている。

MASとは、周囲の環境を認識し、一定のルールに基づいて反応し変化するエージェントを複数用いることで、エージェント同士が影響を与え合う複雑な現

象を表現することができるシミュレーションシステムである。

MAS は経済学や機械工学、交通工学など様々な分野に応用されており、将来予測や課題解決策の策定手法として利用されている。

MASを歩行者シミュレーションとして使用する場合、図 2 のようにエージェントが歩行者、周囲の環境が障害物や他人との距離等となる。歩行者は個々の環境に応じて、一定のルールに従って移動方向・速度を変化させて移動することになる。

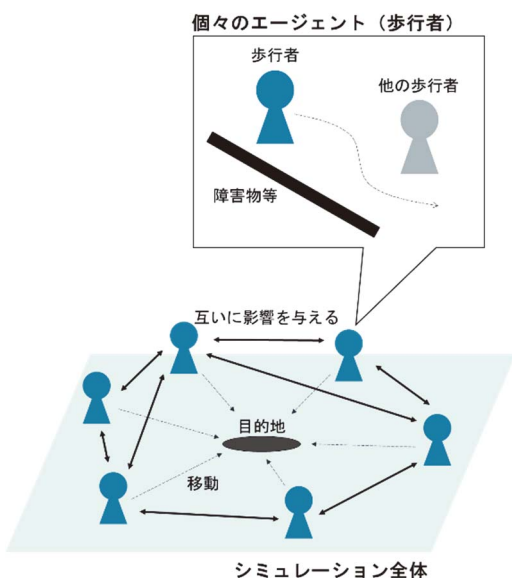


図 2 MAS の概要

## 2.2 歩行者移動のアルゴリズム

前述のように、歩行者が周りの環境から移動方向・速度を決めるためのルール、つまりアルゴリズムが必要となる。

歩行者の移動を表現するアルゴリズムについては、以下のような様々な方法が提案されている。

- ① 磁気モデル  
歩行者を磁石と例えて、磁力が働くとする手法

- ② 個別要素法  
各歩行者間にはたらく力を、ばねとダッシュポットで表現する方法
- ③ RVO モデル  
Velocity Obstacles と呼ばれる一定範囲を定義することで衝突回避を表現する方法を拡張した手法
- ④ Social Force Model  
歩行者は目的地から引力、他の歩行者と障害物からは斥力を受けるとする手法

Social Force Model (以下、SFM) は近年提案された手法<sup>2)</sup>であり、多数の歩行者が 1 つの出口に殺到した際に歩行者が出口付近でアーチ状に分布する「アーチ現象」などの群衆行動をよく表現できるといわれている<sup>3)</sup>。そのため本稿で開発する歩行者シミュレーションでは SFM を使用している。

SFM は以下のような式で表される。式(2)は目的地からの引力であり、式(3)が他の歩行者から、式(4)が障害物から受ける斥力を表現している。

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = f_{iG} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij} + \sum_W f_{iW} \quad (1)$$

$$f_{iG} = m_i \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} \quad (2)$$

$$f_{ij} = A_i \exp \{ (r_i - d_{ij}) / B_i \} \quad (3)$$

$$f_{iW} = A_i \exp \{ (r_i - d_{iW}) / B_i \} \quad (4)$$

$\tau$	推進力係数	0.5N
$A_i$	インタラクション作用	2.0N
$B_i$	反発作用	0.08m
$v_i^0$	目標速度	1.0m/s
$m_i$	歩行者の質量	80kg
$r_i$	歩行者の半径	0.25m
$e_i^0(t)$	時刻 $t$ における単位希望速度ベクトル	
$d_{ij}$	歩行者と他の歩行者との距離	
$d_{iW}$	歩行者と障害物との最短距離	

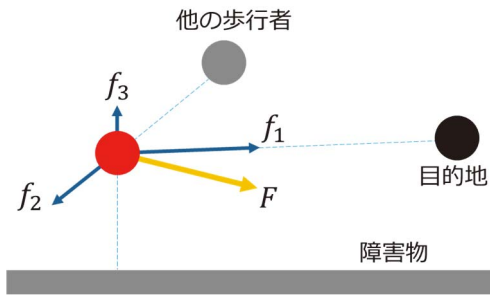


図 3 SFM の概要

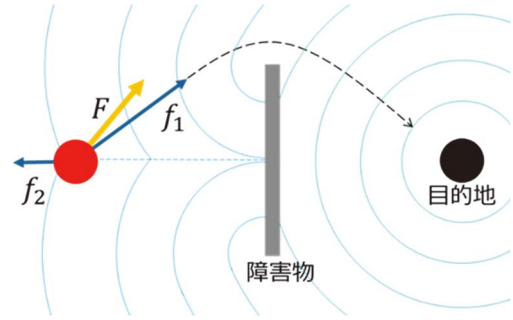


図 5 距離ポテンシャルをもとにした SFM

### 2.3 SFM の問題点と解決方法

従来の SFM の問題点の一つとして、目的地からの引力 $f_1$ と障害物から受ける斥力 $f_2$ が一直線上になるとき、移動が止まってしまうという点が挙げられている。

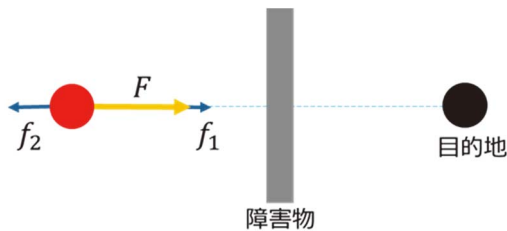


図 4 SFM の課題点

その課題の解決策として、牧野鳴ら<sup>4)</sup>はポテンシャルを利用した方法を提案している。空間上に目的地からの最短距離を記憶させて(これを距離ポテンシャルと呼ぶ)、このポテンシャルの勾配を引力として改善したものである。これにより、複雑な形状の壁であっても自然に避けるような動きを表現できる。

本稿では、この距離ポテンシャルを採用した。

### 3. シミュレーションの流れと試算事例

前章で記載した SFM を使用して実際に歩行者シミュレーションを計算し、その結果を可視化する。本稿では、簡単な 2 次元平面空間での試行モデルを紹介する。

#### 3.1 シミュレーションの流れ

歩行者シミュレーションの計算の手順を示す。

まず、空間全体をメッシュ状に分割し、各メッシュに障害物や目的地などの情報を付与した空間データを読み込み、移動目的や周辺環境に応じた距離ポテンシャルを計算する。

距離ポテンシャルを加えた空間情報と、歩行者の初期座標位置から、前項の SFM をもとに各時刻の歩行者の位置を計算する。

シミュレーションによって得られた各歩行者の各時刻における座標位置を GIS モデルや BIM・CIM モデルに読み込むことで歩行者の状況の時系列変化をアニメーション等で可視化する。

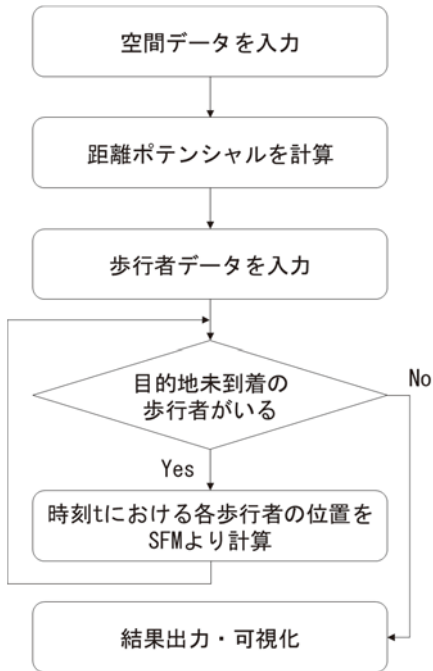


図 6 歩行者シミュレーションの流れ

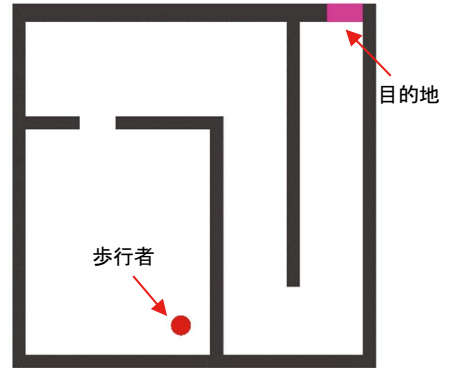


図 7 空間モデル

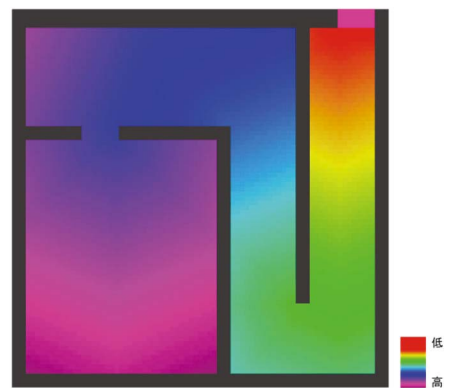


図 8 距離ポテンシャル

### 3.2 簡易な2次元空間での試行計算結果

ここで、実際に歩行者シミュレーションを使用して人の流れを可視化した試算結果を以下に示す。

#### (1) 複雑な障害物を避けた移動

元の SFM では計算ができない目的地と歩行者の間に壁があるような複雑な空間を検証する。

まず、図 7 のような空間モデルを作成し、歩行者(一人)が目的地に向かう軌跡を確認する。

この空間データから得られる距離ポテンシャルが図 8 であり、さらにこの距離ポテンシャルを利用して計算して得られる歩行者の軌跡が図 9 のようになる。目的地が壁の向こう側にあるような移動の計算が可能であることがわかる。

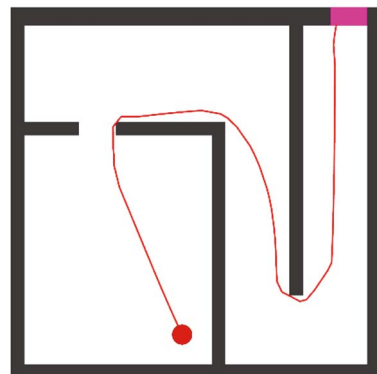


図 9 歩行者の軌跡

## (2) 1つの出口に集中するような移動

次に、複数の歩行者が1つの出口に向かうような状況をシミュレーションする。図10のような空間モデルに、格子状に歩行者を44人配置した。

計算の結果、図11のように出口において歩行者が、アーチ状に混雑している様子を確認することができた。

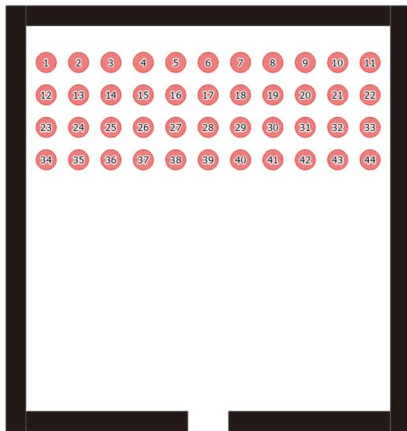


図 10 空間モデル

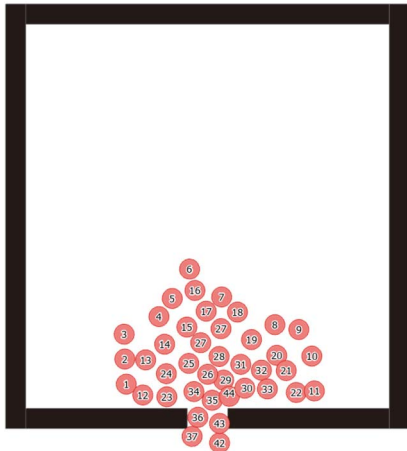


図 11 計算結果

## 4. おわりに

開発した歩行者シミュレーションを使用することで、群衆行動の表現が可能となった。これにより、建物内部や屋外などの様々な状況を想定した歩行者の移動状況をシミュレーションすることができる。

### 4.1 シミュレーションモデルの発展

今後のシミュレーションモデルの展開として、以下のことに取り組んでいる。

- ① 火災等の脅威や体感温度の快適さ等に、距離ポテンシャルの考え方を応用することで、距離以外の環境要因を考慮した人流解析への対応を可能にする。
- ② エレベーター等における待ち行列の発生や、誘導による移動など、SFMの引力・斥力を発展させることで、様々な状況に応じた群衆行動の再現を可能にする。
- ③ 階段やスロープなどの三次元的な構造を考慮できるようにし、BIM・CIMなどの3次元データ上での計算・可視化を可能にする。
- ④ シミュレーションより得られた歩行者流動から混雑具合などを数値化・指標化することで、歩行空間を定量的に評価できるようにする。

### 4.2 活用分野の展開

将来的には以下のような分野への歩行者シミュレーションの活用を目指す。

- ① 歩行空間の再開発  
コンパクト・プラス・ネットワーク<sup>5)</sup>やウォークアブル推進都市<sup>6)</sup>のような歩行空間の再開発が注目されており、それらの計画立案・検討のために歩行者シミュレーションを活用できる。
- ② 歩行者のリアルタイム情報の活用  
歩行者の位置情報をリアルタイムで取得して提供するサービスが増えてきている。取得した歩

行者データを用いてシミュレーションすることで、万博のような大規模イベントにて、混雑を緩和する誘導の提案などが可能となる。

③ 効果の定量化

公共事業の計画において、PFI やソーシャルインパクトボンドなどの民間資金を活用した取り組みが増えてきたことで、投資効果の定量化が重要視されている。公共施設などで改築により混雑の改善がどれくらい見込めるのかなど、効果の可視化手法として歩行者シミュレーションを活用できる。

このように今後、空間データの充実や歩行者位置情報の提供が進むことで、歩行者シミュレーションのさらに幅広い活用が期待できる。

に取り組みませんか？～まちなかを車中心からひと中心へ。チャレンジする自治体を募集します～」

[https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi09\\_hh\\_000052.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/toshi09_hh_000052.html)

## <参考文献>

- 1) 国土交通省 2019 年 3 月 29 日 報道発表資料「国土交通データプラットフォーム整備計画(原案)」に対する意見募集を行います」  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08\\_hh\\_0000572.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_0000572.html)
- 2) Helbing,D., Farkas,I., Vicsek,T. :Simulating dynamical features of escape panic, Nature, Vol.407, 487-490, 2000
- 3) 安福 健祐 :自己駆動粒子による群集流動モデルの特性と建物避難安全性評価, 混相流, 29 卷 1 号, 27-34, 2015
- 4) 牧野嶋 文泰, 今村 文彦, 安倍 祥 :ポテンシャル場と Social Force モデルを用いた群集避難行動の検討, 東北地域災害科学研究, 第52 卷, 223-228, 2016
- 5) 国土交通省 重点的施策「コンパクト・プラス・ネットワーク」  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08\\_hh\\_0000572.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_0000572.html)
- 6) 国土交通省 2019 年 7 月 12 日 報道発表資料「「居心地が良く歩きたくなるまちなか」づくり