

# 進行方向の計算回数削減による ソーシャルフォースモデルを用いた人流シミュレーションの高速化

(指導教員 前川 仁孝 教授)  
前川研究室 2281011 片寄 颯人

## 1. はじめに

駅や商業施設などのように人が多く集まる場所では、利便性や災害時の安全性の観点から、混雑や滞留の対策が重要であり、混雑や滞留の対策にソーシャルフォースモデル (SFM) を用いた人流シミュレーションが広く用いられている<sup>1)</sup>。SFM は、人を運動方程式に基づくエージェントとして再現するモデルである。SFM の運動方程式は、目的地に向かう力、周囲のエージェントや障害物を避ける力の合力を用いてエージェントの移動を決定する。SFM を用いた人流シミュレーションは、解析規模に応じて、エージェントの進行方向を決定する計算に時間がかかるため、高速化が求められている。進行方向を決定する計算中の目的地に向かう力と障害物を避ける力は、目的地と障害物の座標が変わらないため、エージェントの座標に応じて決定する特徴がある。そこで、本研究では、SFM を用いた人流シミュレーションを高速化するために、解析領域を格子状に分割した領域ごとに目的地に向かう力と障害物を避ける力をあらかじめ計算することで、解析中の進行方向計算中の演算回数を削減する手法を提案する。

## 2. ソーシャルフォースモデル (SFM)

SFM は、時間ステップごとに各エージェントの進行方向を決定する運動方程式を解くことで、人々の流れを再現する。式 (1) に SFM の運動方程式を示す。

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

式 (1) 中の  $m_i$  はエージェント  $i$  の体重、 $v_i^0$  はエージェント  $i$  の希望速度、 $e_i$  はエージェント  $i$  の目的地に向かう力、 $v_i$  はエージェント  $i$  の速度、 $\tau_i$  は時定数、 $f_{ij}$  はエージェント  $i$  を避ける力、 $f_{iW}$  は障害物を避ける力である。エージェント  $i$  は、目的地に向かう力とエージェントを避ける力  $f_{ij}$ 、障害物を避ける力  $f_{iW}$  の合力を式 (1) を用いて算出する。SFM の計算例を図??に示す。図中の四角は解析領域を分割したセル、赤丸は計算対象のエージェント、黒丸は他のエージェント、緑色の点線は影響範囲、色の付いた四角は影響範囲の内外判定に用いるセル (近似領域) である。図??の例は、エージェント△の計算例であり、エージェント△

図??の例では、エージェント 0 の進行方向を計算するとき、色のついたセルに存在するエージェントに対して距離を計算し、影響範囲内であるか判定する。このとき、判定に用いるセルは、色の付いたセルであるため、白いセルに存在するエージェントの影響範囲内であるかの判定を減らすことができる。

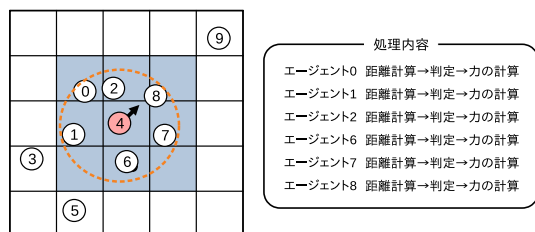


図 1 SFM の計算例 (影響範囲の色と範囲を変更)

## 3. 進行方向計算中の演算回数削減手法

SFM を用いた人流シミュレーションは、実問題に対して

解析する場合、エージェントや障害物が多く存在するため、進行方向の計算に時間がかかる。目的地に向かう力と障害物を避ける力は、目的地と障害物の座標が解析中に変わらないため、エージェントの座標に応じて決定する特徴がある。また、エージェントを避ける力は、エージェント間距離に応じて決定する。そこで、本研究では、解析領域を格子状に分割した領域ごとに、目的地と障害物を避ける力をあらかじめ計算することで、解析中の目的地に向かう力と障害物を避ける力の計算回数を削減する。エージェントを避ける力は、エージェントの座標が解析中に変化することから、あらかじめ計算できない。このため、提案手法は、近似領域を影響範囲に高い精度で近似することで、エージェントを避ける力の計算時のエージェント間距離の計算回数を削減する。格子分割した領域ごとに目的地に向かう力と障害物を避ける力の例を図 2 に示す。

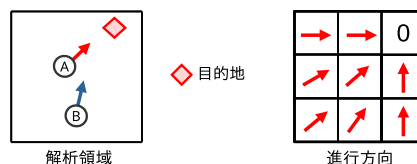


図 2 提案する格子分割の例

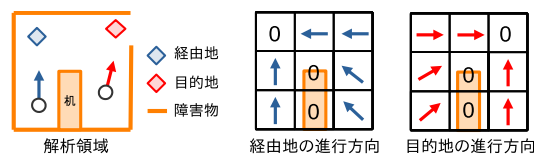


図 3 経由地がある場合の進行方向の例

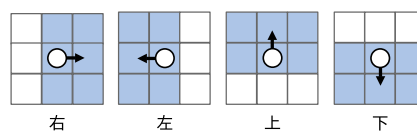


図 4 進行方向ごとの近似領域

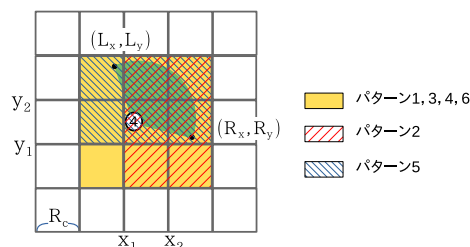


図 5 エージェント 4 の実装パターンごとの近似領域の例

## 4. 評価

提案手法の人流シミュレーションに対する有効性を確認するために、セル分割法と提案手法のエージェント間計算回

数と実行時間を測定する．評価環境は，CPU が Intel Xeon E5-2687W v2，メモリが 64GB である．測定に用いる初期配置は，図??に示すように，交差と直進の配置である．表??にセル分割法と提案手法の実行時間と高速化率，削減率を示す．高速化率，削減率は式 (2)，式 (3) を用いる．式 (2) 中の  $T_k$  は既存手法のエージェント間距離の計算回数， $T_t$  は，提案手法のエージェント間距離の計算回数である．

$$\text{高速化率 [倍]} = \frac{\text{セル分割法の実行時間 [s]}}{\text{提案手法の実行時間 [s]}} \quad (2)$$

$$\text{削減率 [\%]} = \frac{T_k - T_t}{T_k} \times 100 \quad (3)$$

表??より，提案手法は，既存手法よりも高速に解析できることが確認できた．また，提案手法のエージェント間距離の計算回数の削減率は，交差の配置で約 21%，直進の配置で約 31%であり，提案手法の高速化率は，既存手法に対して約 1.5 倍であることが確認できた．これは，提案手法によるエージェント間距離の計算回数が削減により，解析時間の短縮に繋がったからと考えられる．また，直進の配置の方が削減率が高いのは，後ろに近傍のエージェントが存在することが多いことが要因であると考えられる．

表 1 各配置の詳細

	マシン 1	マシン 2
CPU	Intel Xeon E5-2687W v2	Intel Xeon E5-2667W v2
メモリ	64GB	64GB
OS	Linux 4.12.9	Linux 6.5.8
コンパイラ	gcc 7.2.0	gcc 13.2.0

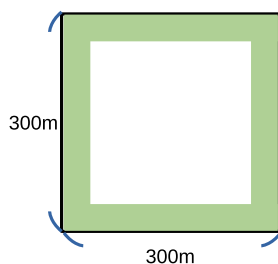


図 6 エージェントの初期配置

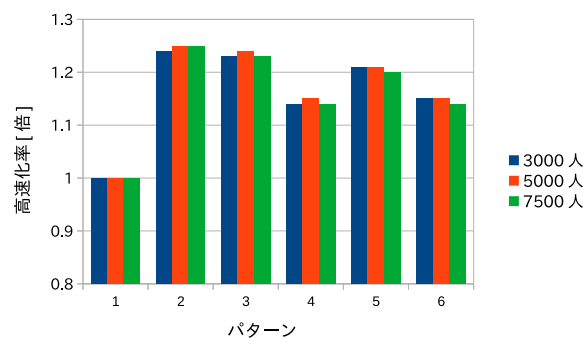


図 7 パターン 1（セル分割法）に対する高速化率

## 5. おわりに

本稿では，視野を用いた人流シミュレーションを高速化するために，SFM のエージェント間距離の計算回数を削減する手法を提案し，その有効性を評価した．評価の結果，提案手法の実行時間は，セル分割法に対して約 1.5 倍高速化することが確認できた．

## 参 考 文 献

- 1) Helbing, D. and Molnar, P.: Social force model for pedestrian dynamics, *Physical review E*, Vol.51, No.5, p.4282 (1995).
- 2) 磯崎勝吾, 中辻隆: Social force model を基にした歩行者の避難シミュレーションモデルに関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol.66 (2009).

表 2 エージェント間距離の計算回数 [ $10^{10}$  回]

人数	パターン					
	1	2	3	4	5	6
3000	5.1	<b>3.9</b> (24%)	4.0 (23%)	4.4 (15%)	4.1 (21%)	4.4 (15%)
5000	14.4	<b>10.9</b> (24%)	11.1 (23%)	12.2 (15%)	11.4 (21%)	12.2 (15%)
7500	33.1	<b>25.2</b> (24%)	25.8 (22%)	28.3 (15%)	26.7 (20%)	28.3 (15%)

表 3 各配置の詳細

	教室	演習室
エージェント数 [人]	96	204
壁粒子数 [個]	1037	1454
経由地数 [個]	12	26
解析領域	50m × 50m	50m × 50m