

# MAS と TUI を用いた施設の最適な動線計画

○末廣 高明\*<sup>1</sup> 三井 和男\*<sup>2</sup>

キーワード：MAS TUI 動線計画

## 1. はじめに

これまで、特定の空間や場面における人間行動特性や群衆流動モデルは種々様々な手法で調査・研究されてきた。特に、駅ホームやコンコースにおける群衆流動モデルや災害時の避難経路選択については長年にわたり研究され、方々で多岐にわたるシミュレータの設計・開発がなされている。阿久澤<sup>1)</sup>は駅構内における群衆歩行モデルに焦点を当て、歩行者個人単位での追従・追い越しといったミクロな動きと、障害物を回避しながら目的地を目指す歩行流などのマクロな動きの双方をシミュレーションモデルとして表現し、あらゆる駅へ適用可能なシステムを構築した。また、源ら<sup>2)</sup>は津波避難時における「道路閉塞時の迂回行動」や「避難場所定員超過時の目的地変更」とこれらのケースで要される「避難者間の情報伝達」などを考慮可能とする津波避難シミュレーション手法を開発した。その他にも、タンジブルユーザインタフェース（以下 TUI）を用いた災害対策支援システム<sup>3)</sup>が開発されており、プロジェクトにて投影された地図に、デジタルペンとパレットシートで直接情報を書き込むことが可能である。

しかし、現状では特定の空間や場面に限定されるシステムや、煩雑な設定や特別な知識を要求する場合が多く、複数人が同時に模型を扱いながら空間設計を吟味する場合を想定したマルチエージェントシステム（以下 MAS）の例は少ない。

## 2. 研究目的

本研究は、「卓上の模型を手で操作して動線を確認できる」、「特別な知識がなくても操作できる」、「複数人で扱うことができる」システム構築を目的とする。具体的には、操作系に TUI を実装し、リアルタイムインタラクションを得ることを目指す。また、実装にはオープンソースのプログラミング言語である Processing と、その外部ライブラリである NyARToolkit を用いる。

## 3. 歩行者行動モデルの構築

### 3.1. 空間表現手法の選択

方々で様々な手法による空間表現がなされているが、本研究ではベクトル空間とポテンシャルモデルを用いる。これにより、セル空間では表現できない緻密な方向選択が可能になり、目的地・障害物・他の歩行者との位置関係から得られる引力や反発力の加減で速度ベクトルを表現可能である。また、次ステップでの位置座標の決定は、得られ

た速度ベクトルを用いて更新する。

### 3.2. 歩行者に持たせるパラメータ

今回のシステムで扱う歩行者に持たせるパラメータを表 3.1. と図 3.1. に示す。このうち、現在位置ベクトルと速度ベクトルはステップごとに变化していく値であり、3.4. 節に記すとおり決定される。

表 3.1. 歩行者に与えるパラメータ

現在位置ベクトル	$\mathbf{p} = (x, y)$
速度ベクトル	$\mathbf{v} = (x_v, y_v)$
最大速度	$V$
人体円の半径	$R$
視野半径（障害物）	$R_w$
視野半径（歩行者）	$R_a$
視野ベクトル（右）	$\mathbf{r} = (x_r, y_r)$
視野ベクトル（左）	$\mathbf{l} = (x_l, y_l)$
認識した壁のリスト	$w_{[]}$
認識した歩行者のリスト	$a_{[]}$
目的地の位置ベクトル	$\mathbf{d} = (x_d, y_d)$

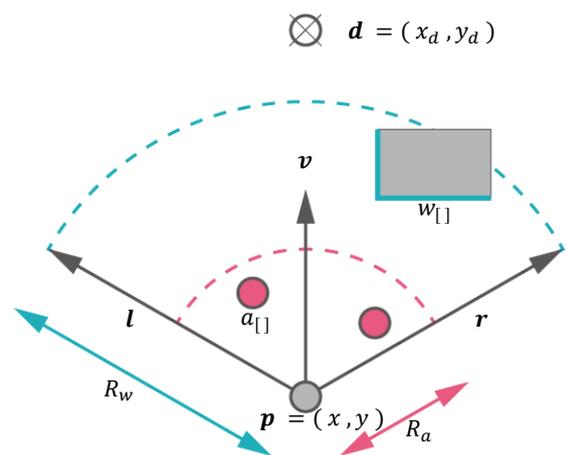


図 3.1. 歩行者に与えるパラメータ

### 3.3. 壁と歩行者の可視判定

自身から伸びる左右の視野ベクトル  $\mathbf{l}$ 、 $\mathbf{r}$  と、視野半径  $R_w$  または  $R_a$  で構成される視野のなかに壁や他の歩行者が一部でも入る場合、その壁または歩行者は認識されるものと

し、 $w_{ij}$ と $a_{ij}$ に追加する。また、視野内であっても自身の位置からは認識できない壁や歩行者を除外するために、壁の場合は各壁への最短ベクトル $i$ と法線ベクトル $n$ を用いて(図3.2.)、歩行者の場合は各歩行者へのベクトル $j$ と壁を構成する線分ABを用いて(図3.3.)可視判定を行う。

その結果、 $i \cdot n > 0$ のとき、その壁を認識せず、 $j$ と線分ABが交差するとき、その歩行者を認識しないものとする。

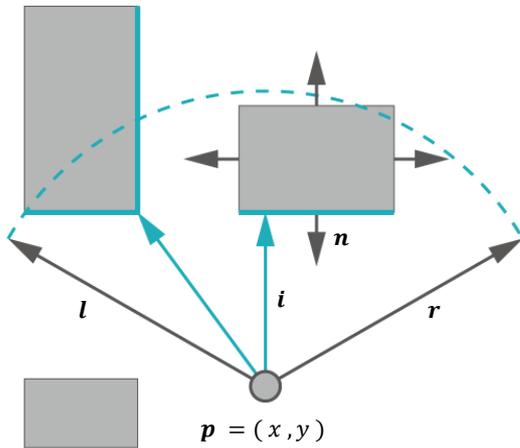


図 3.2. 壁の可視判定

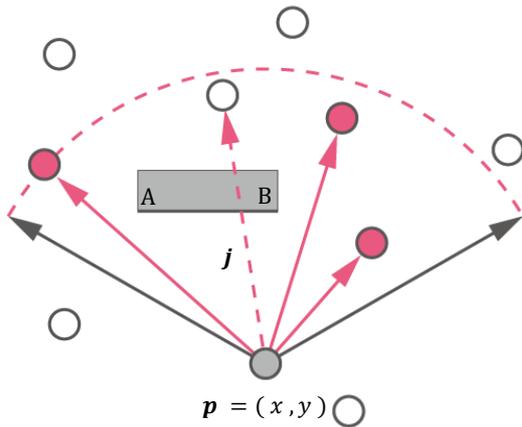


図 3.3. 歩行者の可視判定

### 3.4. 速度ベクトルと次ステップでの位置座標の決定

各歩行者は現在位置 $p$ から目的地 $d$ まで最短距離で進むものとし、ステップごとに最も目的地へ接近可能な方向の単位ベクトル $e$ を求め、更新する。

現在位置 $p$ から目的地 $d$ まで伸ばした線分が、認識された壁 $w_{ij}$ のいずれとも交差しない(図3.4.)とき、単位ベクトル $e$ は、

$$e = \frac{d - p}{|d - p|}$$

で求められ、現在位置 $p$ から目的地 $d$ まで伸ばした線分が、認識された壁 $w_{ij}$ のいずれかと交差する(図3.5.)とき、 $w_{ij}$ のもつ壁を構成する端点のうち、目的地 $d$ との距離が最

短となる点 $q = (x_q, y_q)$ を用いて、

$$e = \frac{q - p}{|q - p|}$$

で求められる。

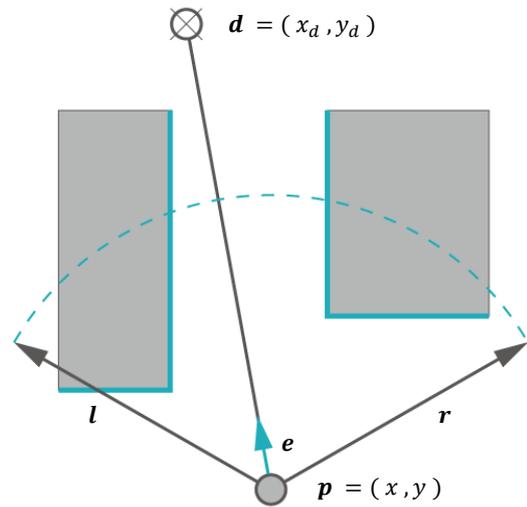


図 3.4. 単位ベクトル $e$ の決定(交差なしの場合)

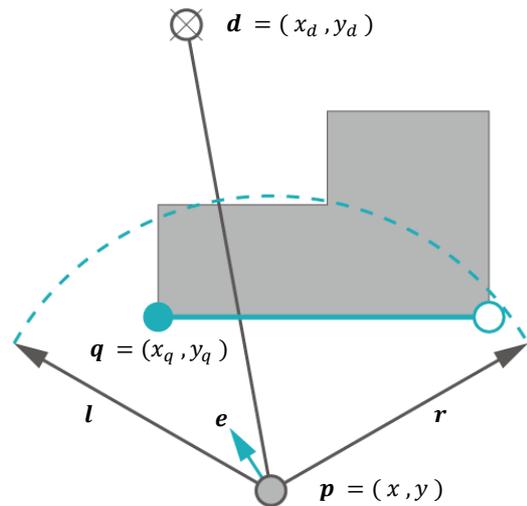


図 3.5. 単位ベクトル $e$ の決定(交差ありの場合)

続いて他者との回避行動について考える。歩行者は $t$ 秒後の位置を予測できるものとし、自身の $t$ 秒後の位置へ向かう有効線分と、 $a_{ij}$ の他者が $t$ 秒後の位置へ向かう有効線分に交点が存在する(図3.6.)とき、回避行動をとるものとする。このときの他者の有効線分をABとし、自身の有効線分とのなす角を $\theta$ とすると、自身の進行方向に対して $AB \sin \theta > 0$ のとき左側に回避、 $AB \sin \theta < 0$ のとき右側に回避、 $AB \sin \theta = 0$ のとき無作為に抽出した方向へ回避させる。また、いずれの場合においても回避方向の単位ベクトルを $f_k$ ( $k$ :回避したい他者の数)とする。

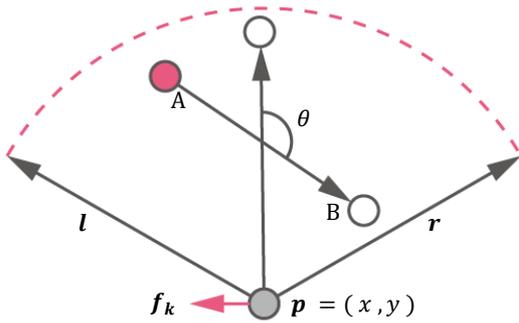


図 3.6. 単位ベクトル  $f_k$  の決定

求めた単位ベクトル  $e$  と単位ベクトル  $f_k$  を用いて、速度ベクトル  $v$  と次ステップでの位置  $p'$  を決定する。このとき、速度ベクトル  $v$  は、目的地との距離に依存する定数  $C$  と他の歩行者との距離に依存する定数  $D_k$  を用いて、

$$v = Ce + D_1f_1 + D_2f_2 + \dots + D_kf_k$$

$$|v| \leq V$$

であり、次ステップでの位置  $p'$  は、

$$p' = p + v$$

で求められる。

なお、一連のフローチャートを図 3.7. に示す。

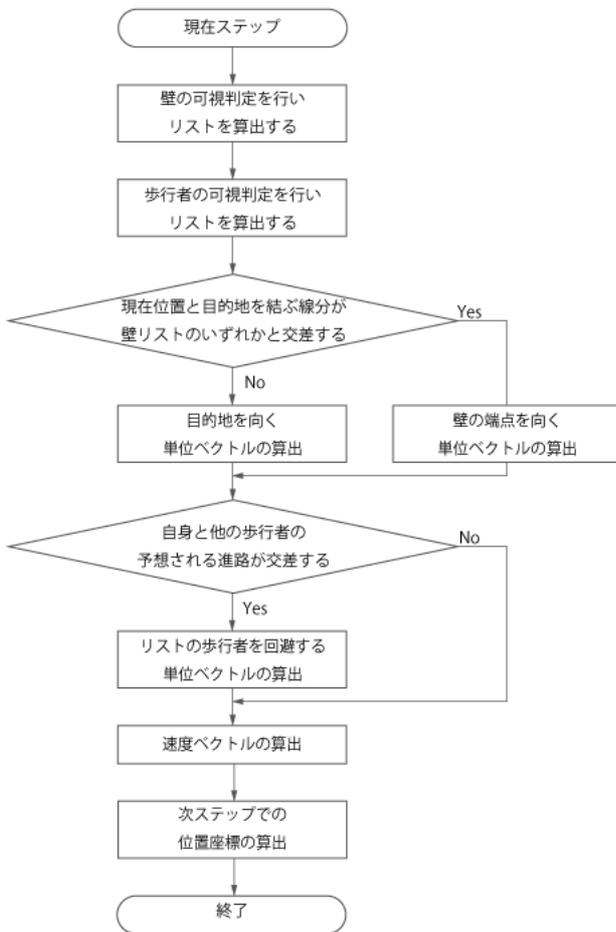


図 3.7.  $p'$  決定までのフローチャート

## 4. TUI の実装

### 4.1. マーカの作成

本研究の TUI では NyARToolkit から提供されている AR マーカを用いて実装する。また、NyARToolkit は、本来 AR を扱う (図 4.1.) ためのライブラリであるが、本研究では TUI 構築のため、あえて AR まで拡張させずマーカ認識のために利用する。

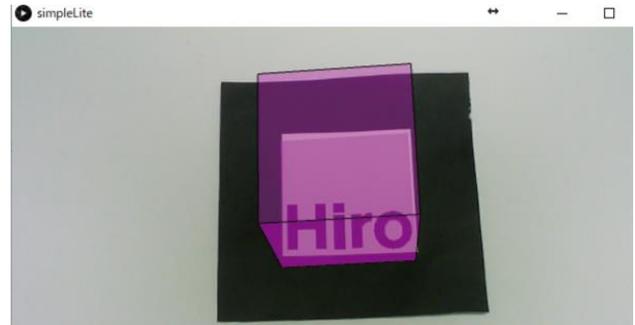


図 4.1. NyARToolkit の AR 表現

認識させるマーカのパターンファイルは Web ブラウザ<sup>4)</sup> 上で作成可能であり、黒く縁取られた枠内に認識させたいパターンを描画する。今回は、PC で描いた複数のパターンを Web ブラウザ上にアップロードし、これを読み込ませることでマーカのパターンファイル (.pat 形式) を作成した。図 4.2. に本システムで用いる自作マーカの一部分を掲載する。

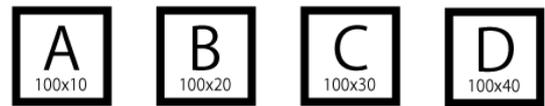


図 4.2. 自作マーカ

### 4.2. マーカの認識

4.1. 節で作成したマーカ群を Processing のプロジェクトフォルダ内に格納する。その後、Processing 上で歩行者をスケッチするキャンバスサイズとカメラ映像のサイズを合わせ、MAS 内のスケールと実際のスケールを統一させる。また、本システムでの TUI とは、マーカの張り付けられた物理模型を操作して MAS を扱える状態を指すため、ここであらかじめマーカに必要なパラメータを与えておき、認識の準備をしておく。そうすることで、シミュレーションを実行した際、システムはカメラに映る物理模型を適切に認識し、マーカに与えられた各パラメータは 1 フレームごとに更新されることになる。

例えば、あるフレームで底面積  $100\text{mm} \times 150\text{mm}$  の障害物模型が角度  $45$  度で座標  $(200, 200)$  の位置にある (図 4.3.) とき、システムはマーカからこれらのパラメータ

を読み取り、これに従った環境をシミュレーションのキャンパス内に再現する (図 4.4.)。

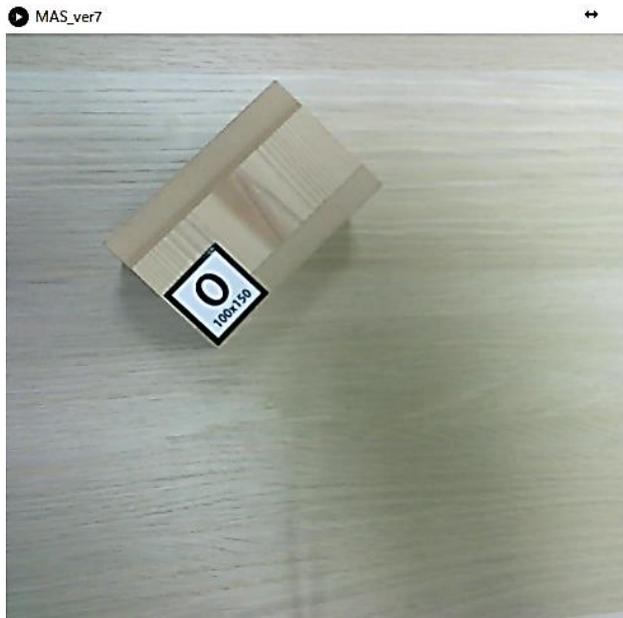


図 4.3. カメラに映る障害物模型

また、目的地模型や障害物模型を移動・増減させることで、シミュレーションの時間変化を即座に得ることができ、操作する人間とシステム間におけるリアルタイムインタラクションが可能である。

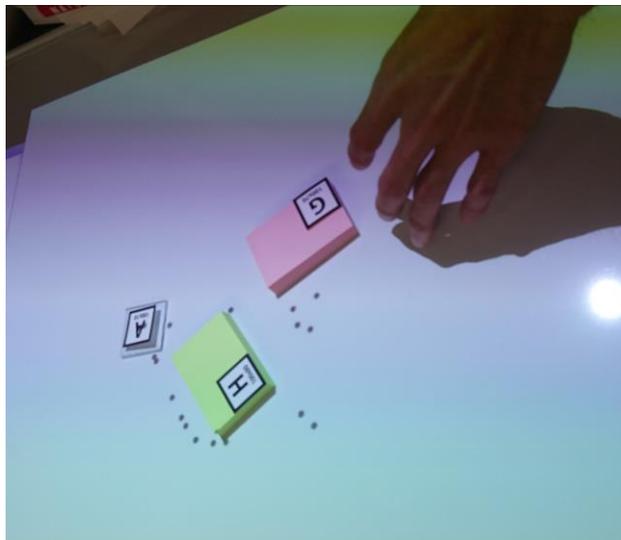


図 4.5. 障害物模型を回避する歩行者

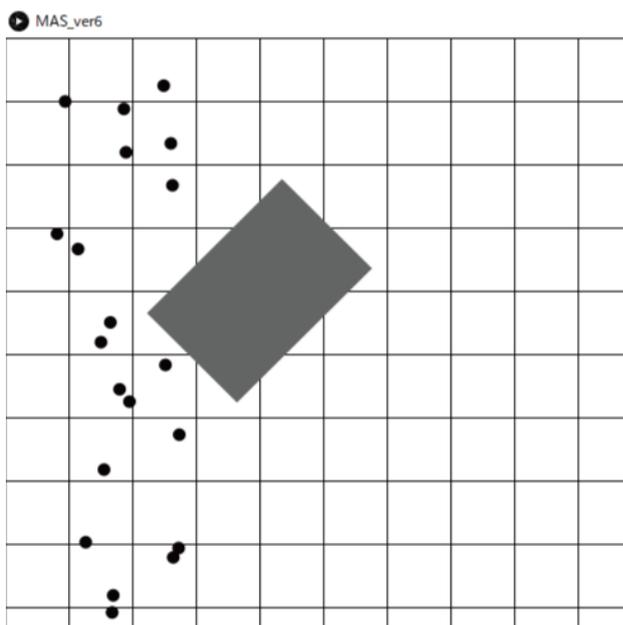


図 4.4. MAS 内に再現された障害物

### 4.3. シミュレーションの実行

PC、カメラ、プロジェクタを接続したら、シミュレーションを実行する。実行されるシミュレーションのキャンパスはプロジェクタからフィールドに投影され、カメラによってマーカの認識が行われる。

通常、各歩行者は歩行者行動モデルに従い、目的地マーカで示された目的地を目指す。が、障害物マーカによってシステム内に再現された障害物を認識すると、あたかもその場の障害物模型を回避するかのよう振る舞う (図 4.5.)。

### 5. まとめ

本研究で操作系に TUI を実装した MAS の構築を行った。このことから、「手で模型を操作しての動線確認」、「操作時に特別な設定や知識を要さない」、「複数人での取り扱い」の三点を解決する可能性を示すことができた。

その一方で、より豊富な行動選択肢をもった歩行者モデルの構築や、より複雑な形状の障害物作成など、システムとして向上の余地が残されている。さらに、広い空間における歩行者間の相互作用や、より扱いやすいインターフェースの設計なども踏まえて、今後もシステムの向上を図っていく考えである。

### 【参考文献】

- 1) 阿久澤あずみ: 駅構内における群集歩行シミュレーションモデルの研究, 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻修士論文, 2006年3月
- 2) 原貴志・成行義文・藤原康寛・三神厚: 津波避難シミュレーションシステムの開発と地区の避難安全性評価への適用, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 65, No. 1 (地震工学論文集第 30 卷), 757-767, 2009年6月
- 3) 武重一直・佐藤賢二・宮下壮史・相良義弘: タンジブル災害対策支援システム, NTT 技術ジャーナル, 53-54, 2015年3月
- 4) ARToolKit Marker Generator Online, <http://flash.tarotaro.org/ar/MarkerGeneratorOnline.html>, (最終閲覧日: 2018年10月5日)

\*1 日本大学大学院生産工学研究科数理情報工学専攻 修士二年

\*2 日本大学大学院 教授 博士(工学)