

# 実挙動データに基づく歩行者シミュレーションモデルの構築\*

Pedestrian Simulation Model Based on the Actual Behavioral Data \*

福田一太\*\*・山下良久\*\*\*・内山久雄\*\*\*\*

By Ichita FUKUDA\*\*・Yoshihisa YAMASHITA\*\*\*・Hisao UCHIYAMA\*\*\*\*

## 1. はじめに

高齢化の進展，地球環境問題，都市再生等，我が国が抱える問題を解決する有効な手段として“公共交通の利用円滑化”が運輸政策の重要な課題のひとつとなっている．大都市圏においては，鉄道の利用率が圧倒的に高いことから鉄道駅における乗継利便性の向上が必要とされており，バリアフリー施設の整備や鉄道駅施設利用円滑化事業に対する補助制度も新設されている．

一方，鉄道事業者は，通勤・通学輸送量が頭打ちあるいは減少傾向にあるなか，新たなビジネスモデルを模索し，様々な事業展開を実施している．特に鉄道駅構内におけるエキナカビジネスは，これまで単なる交通結節点に過ぎなかった鉄道駅を目的地化し，乗降客数が増加している例も見られる．

このような状況から，今後の鉄道駅整備においては，多種多様な利用者が混在することを前提とした上で，歩行者空間の安全性や快適性を考えることが必要となる．すなわち，時間的制約のある歩行者とそうではない歩行者が混在した場合，必然的に発生する追越しや交錯がどのような場所で起こりやすいのか，またそれを改善するためにどのような施策が考えられるのかを事前に検討することが重要になる．このような検討において，歩行者の挙動特性を反映した歩行者シミュレーションモデルが果たす役割は大きいと考える．

これまでも幾つかの歩行者シミュレーションモデルが開発されているものの，歩行者を群集流として扱うもの<sup>1),2)</sup>や，歩行者挙動の再現性について十分な検証が行われていないもの<sup>3),4)</sup>が多い．本研究は，このような問題認識のもと，歩行者の実挙動データに基づく歩行者シミュレーションモデルの開発を目的としている．本稿では，その第一段階として2方向の歩行者流に着目し，再現性の高いアルゴリズムについて検討する．

\* Keywords：歩行者交通行動，交通行動分析

\*\* 学生員，学(工)，東京理科大学大学院

(千葉県野田市山崎2641，TEL 04-7124-1501 (内線 4058)  
FAX 04-7123-9766)

\*\*\* 正員，修(工)，東京理科大学 理工学部 助手

\*\*\*\* 正員，工博，東京理科大学 理工学部 教授

## 2. シミュレーションモデルの構築

本研究では，セルオートマトン法を用いることにより歩行者シミュレーションモデルを構築する．セルオートマトン法によるモデルは，歩行者の周辺の範囲において近傍則を設定し，各歩行者はその近傍則に従い移動するモデルである．この近傍則を歩行者の実挙動データに基づいて設定する．

以下では，歩行者ならびに歩行者空間の表現，各セルに設定する歩行者ポテンシャルの概念，歩行者ポテンシャルを用いた近傍則，シミュレーションのアルゴリズムについて述べる．

### (1) 歩行者ならびに歩行者空間の表現

本モデルでは，歩行者空間を20cm×20cmのセルで分割し，歩行者空間を表現する．また歩行者は，Fruin<sup>5)</sup>による人体楕円を参考に，60cm×60cm(セル9個分)で表現する．なお，歩行者空間を人体よりも細かく設定するのは，歩行者の微妙な速度変化を表現できるようにするためである．図-1に歩行者ならびに歩行者空間の概念図を示す．

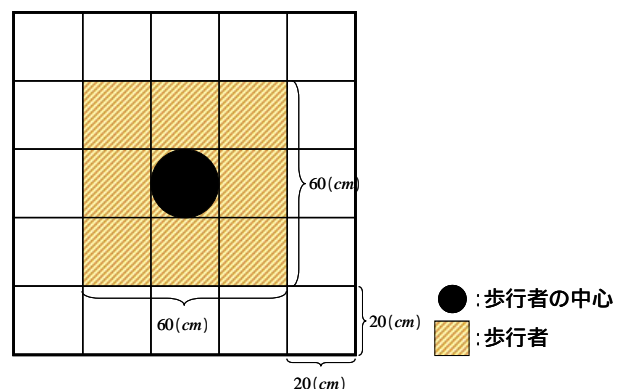


図 1 歩行者ならびに歩行者空間

### (2) 歩行者ポテンシャル

ここでは，歩行者が各セルに与える歩行者ポテンシャルについて述べる．

歩行者は空間を移動する際，周辺の空間に何らかの影響を与えており，速度の大きい歩行者ほどその度合いは大きく，また歩行者に近いセルほど歩行者から受ける

影響は大きいと考えられる。本モデルでは、この影響を歩行者ポテンシャルと称し、歩行者の速度と歩行者とセル間の距離により表現する。なお、歩行者ポテンシャル影響範囲は、各歩行者が1タイムステップで移動可能な歩行領域ならびに歩行者後方と考える。また、歩行領域は、歩行者速度により変化すると考える。歩行者ポテンシャルの式を式(1)に、また歩行者ポテンシャルの概念図を図-2に示す。

$$\tau_{ni} = \frac{u_n}{\exp(d_{ni})} \quad (1)$$

$\tau_{ni}$ : 歩行者 $n$ がセル $i$ に与えるポテンシャル ( $1/s$ )

$u_n$ : 歩行者 $n$ の速度 ( $m/s$ )

$d_{ni}$ : 歩行者 $n$ とセル $i$ との距離 ( $m$ )

### (3) 近傍則

各歩行者は、歩行領域内のセルのうち、他の歩行者から受けるポテンシャルの合計が最も小さいセルに移動するという近傍則を設定する。

### (4) シミュレーションのアルゴリズム

歩行者の初期情報として、初期速度 ( $1.2m/s$ )、歩行者空間に入場する時刻、入場時の座標、目標地点の座標を設定する。初期速度は後述する実挙動データから取得された平均歩行速度である。

歩行者の中心が1タイムステップ ( $0.5$ 秒) で移動可能な歩行領域を歩行者の速度に依存して設定する。

例えば歩行速度が  $1.20 (m/s) (=6 (cell/s))$  の場合の歩行領域は図 2 のようになる。

空間内に存在する  $n$  人の歩行者それぞれについて、歩行領域内の歩行者ポテンシャルを計算する。

各歩行者は、歩行領域内のセルのうち、最も他の歩行者から影響を受けていないセル、すなわち他の歩行者のポテンシャルを合計した値が最も小さいセルに移動する。

図-3 にシミュレーションのフロー図を、また図-4 には、ある歩行者が移動するセルを決定する際の歩行領域内ポテンシャルを示す。

## 3. シミュレーションと実挙動との整合性

### (1) 使用データ

本研究では 2003 年 10 月 19 日 (日)、20 日 (月) に東武春日部駅構内において実施した歩行者流動調査で得られたビデオ画像を用いる。なお、当調査は東武鉄道株式会社の許可を得て研究目的で実施しており、調査にあたっては調査目的、調査主体を利用者に明らかにしている。そのため個人情報保護法の適用対象外となっている。

図 5 は東武春日部駅構内図を示したものである。北側連絡通路の四角で囲まれたエリアにおける 20 日 (月) の通勤時間帯 7:00 ~ 9:00 の歩行者流を対象とする。この時間帯は歩行者が多い混雑時と少ない閑散時の両方が存在しており、様々な状況のデータを取得することができる (図-6、図-7 参照)。データはビデオ画像を 0.5 秒単位で静止画として分割したうえで歩行者の座標データを取得する<sup>9)</sup>。

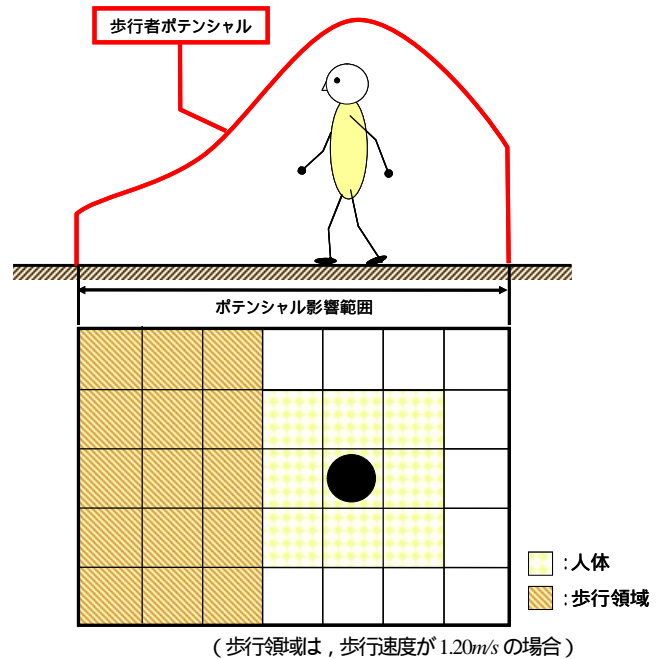


図 2 歩行者ポテンシャル

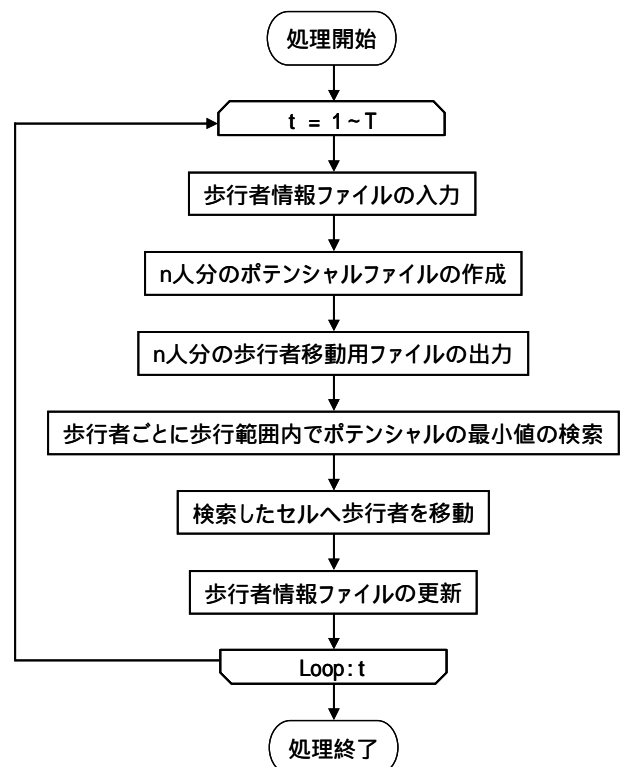


図 3 シミュレーションのアルゴリズム

すると約82%の再現性が確保されている。

再現性が特に低い状況は、空間内の歩行者数が少ない時である（図-7参照）。このような状況下では、歩行領域内の歩行者ポテンシャルに差がないため、最も遠いセルに移動してしまい、次のタイムステップでの歩行領域が非常に広く設定されてしまうことが一因となっている。この問題については、歩行速度に限界値を設ける等の工夫を行なう必要があると考えられる。

表 1 再現性の検証

| 誤差            | 該当割合  | 累積割合   |
|---------------|-------|--------|
| 0セル           | 6.6%  | 6.6%   |
| ±1セル (±20cm)  | 23.5% | 30.1%  |
| ±2セル (±40cm)  | 23.5% | 53.6%  |
| ±3セル (±60cm)  | 13.0% | 66.6%  |
| ±4セル (±80cm)  | 7.8%  | 74.4%  |
| ±5セル (±100cm) | 4.2%  | 78.5%  |
| ±6セル (±120cm) | 3.3%  | 81.9%  |
| それ以上          | 18.1% | 100.0% |

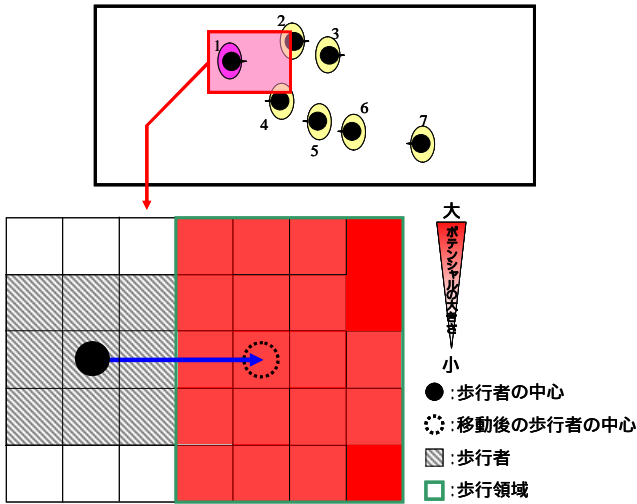


図 4 移動位置決定時の歩行者領域内ポテンシャル

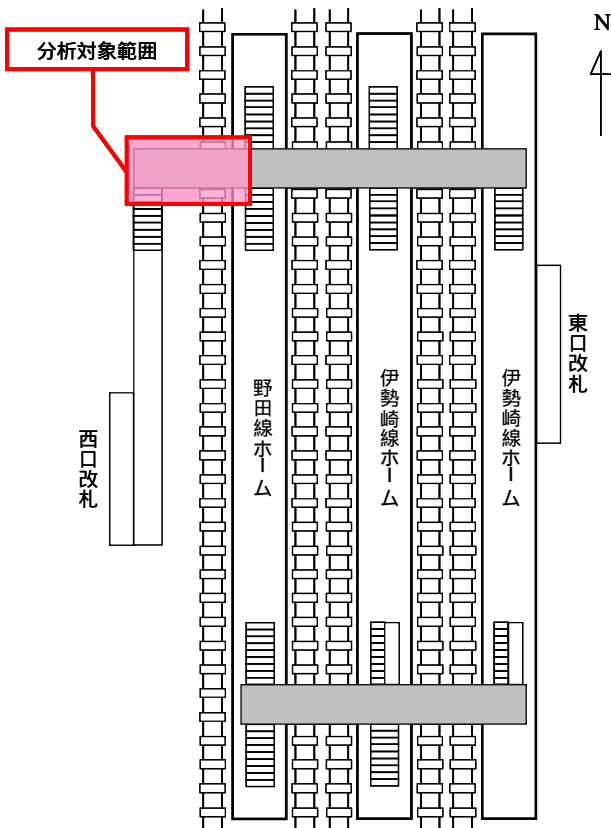


図 5 春日部駅構内図 (2003年10月当時)

## (2) 再現性の検証

再現性を検証する歩行者数は339人である。

各歩行者を空間内に配置した上で、先述のアルゴリズムにより0.5秒後の歩行者の位置をシミュレートし、実際の位置と比較することで再現性を検証する。

表-1は、再現性の結果を示したものである。完全に一致しているのは約7%であるが、歩行者1人分の誤差まで許容範囲とすると約67%、2人分の誤差まで許容範囲と



図 6 分析対象エリア (混雑時)



図 7 分析対象エリア (閑散時)

#### 参考文献

#### 4. おわりに

本稿では、歩行領域内で最も他の歩行者から影響を受けないセル、すなわち最も歩行者ポテンシャルの小さいセルに移動するという近傍則を設定し、それによりどの程度の歩行者挙動を再現できるかについて検証を行った。

再現性の検証を行った結果、歩行者2人分までの誤差を許容範囲とすると約82%の再現性を確保できている。空間内の歩行者数が少ない状況下で歩行速度が際限なく増加する問題があるため、歩行速度の設定において何らかの制約を設けることで再現性をさらに向上させることが可能であると考えられる。

多方向からの歩行者流が存在する空間へ発展させていく際に、歩行者にどのような情報を持たせるか、歩行者ポテンシャルをどのように計算するかについて検討することが今後の重要な課題である。さらに、再現性の検証について、今回は1タイムステップ単位で行なったが、軌跡全体をどの程度再現できているかについても見ていくことが必要である。

謝辞：調査の実施に当たっては、東武鉄道株式会社に甚大なるご協力を頂いた。ここに記して深謝の意を表する。

- 1) 安藤：旅客流動シミュレーション，SUBWAY，pp.15-21，1990.
- 2) 中：交錯流動のシミュレーションモデル - 鉄道駅における旅客の交錯流動に関する研究(2) - ，日本建築学会論文報告集 第267号，pp.103-112，1978.
- 3) 森下ら：セルラオートマトン法による鉄道における人の流れ，日本機械学会第6回交通・物流部門大会講演論文集，pp.539-542，1997.
- 4) 近藤ら：CAを用いた歩行シミュレーションモデルの構築，土木情報システム論文集 Vol.9，pp.19-30，2000.
- 5) Fruin 著，長島訳：歩行者の空間 - 理論とデザイン - ，鹿島出版会，1974.
- 6) 日比野ら：鉄道駅におけるモニターカメラから得られる歩行者挙動データの活用に関する研究，土木計画学研究・論文集 Vol.22 No.3，pp.531-539，2005.