

# 交錯交通及び混雑時における歩行者属性に応じた挙動の観察\*

## Observations on heterogeneity in pedestrian flows\*

松本麻美\*\*・マークミスカ\*\*\*・桑原雅夫\*\*\*\*

By Mami MATSUMOTO\*\*・Marc MISKA\*\*\*・Masao KUWAHARA\*\*\*\*

### 1. はじめに

本研究は、数ある歩行者シミュレーションモデルを考察した上で、より現実に即した歩行者シミュレーションモデル構築のために、交錯交通時における、歩行者の属性に応じた歩行者挙動を観測することを目的としている。

交通容量やサービスレベル等の交通工学指標を評価するための歩行者流動シミュレーションモデルを、より現実社会に即したものとするため、これまで歩行者属性が一様であるシミュレーションモデルに歩行者属性を組み込むことが求められている。そのためにも、年齢、キャリアバックやベビーカーの有無、グループでの歩行など、歩行者の属性に応じた歩行挙動を知ることが必要不可欠である。しかし現在、交錯交通時および混雑時における歩行者の属性に応じた歩行者挙動の観測はいまだ十分になされていない。既往の歩行者モデルを整理した上で、歩行者の属性を拡張する歩行者モデルを決定し、拡張に必要なパラメータ設定のための観測を行う。

### 2. 既往の歩行者シミュレーションモデル

#### (1) 既往の研究

交差点やイベント会場、ターミナルなど、多様な状況が想定される交差点では

- 通過交通量の減少
- 混雑時における事故

を防止するため、混雑状態とそれに応じたサービスレベルの定量的評価が必要である。特に歩行施設などの設計を行う際には容量をできるだけ正確に評価することが不可欠である。歩行者は車両と違い様々な移動方向を選択

\*キーワード：交通行動分析，交通行動調査，活動分析

\*\*非会員，東京大学大学院社会基盤学専攻

(東京都目黒区駒場4-6-1-Cw504, TEL:03-5452-6419,

E-mail: mami@iis.u-tokyo.ac.jp)

\*\*\*非会員，PhD，東京大学生産技術研究所

\*\*\*\*正会員，PhD，東京大学生産技術研究所

することができるため、単純なボトルネックの評価だけではなく複雑な交錯交通を考慮した評価が必要とされる。また交錯交通のパターンは双方向に移動する通路や、十字路、スクランブル交差点など複数方向の動線が交錯する状況など、非常に多種多様であり、そのパターンに応じて歩行者の交通状態は複雑に変化する。駅や交差点など、旧来の設計評価においては対象地点の断面幅員など個々の地点のみに着目した分析が主であった。しかし需要の発生パターンは時間によって大きく変動することから、その変動を考慮した動的な交通流分析が必要となる。歩行者シミュレーションモデルはその分析ツールとして有効である。

Helbingら<sup>1)</sup>が提案したSocial Forceモデルは、障害物や他の歩行者と自分との間に斥力が働き、目的地及び歩行者の興味を引く対象と自分との間に引力が働くと仮定するものである。この斥力と引力の合力により運動方程式をたて、各時刻における加速度を算出する。このような運動方程式によるモデルは、次の時刻における解の導出が容易なことが利点である。しかし、実際の歩行者は、回避対象となる歩行者同士が今の位置から移動することを予測した上で、お互いの目的地に向かって進むことのできるギャップを見つけて交錯部に流入している。またこの差異が混雑時の通過交通量に大きな影響を及ぼすものと考えられるが、Social Forceモデルでは歩行者の意思決定行動の表現がしづらく、周辺歩行者との相互作用や将来の状況の予測を組み込むことができない。よって、歩行者の属性によって変化する意思決定や周囲から受ける影響を考慮できない。

横山ら<sup>2)</sup>は災害時における歩行者の避難行動シミュレーションモデルとしてポテンシャルモデルを提案している。このモデルは、目的地までのポテンシャルコストにより経路選択を行うモデルである。まず任意の点から目的地までの移動コストを算出して移動コストのポテンシャル面を描き、このポテンシャル面に対して勾配の急な方向に向かって歩行者が移動する。歩行者の性別、年齢、知識に応じてポテンシャル面を変化させることによりある程度歩行者の属性を考慮することが可能であるが、モデルが歩行者の避難行動という状況を想定しているため十分な検証がなされていない。また、ポテンシャルモデ

ルでは、最適な方向を常に探索できる反面、同じ目的地の歩行者については属性に関係なく経路が一意に決まってしまうという問題がある。

Hoogendoornら<sup>3)</sup>は、歩行者はコストを考慮してその人の効用を最大化するように加速度を選択するとしている。加速度を決定するコストは、希望速度から離れることによる不効用、他の歩行者や障害物の接近による不効用、急激に速度変化することによる不効用の3つである。このモデルでは他の歩行者の動きを考慮した意思決定行動が反映されているが、近い将来の状況を先読みした上で行動するまでには至っていない。また、歩行者属性として年齢、性別、健康状態を一つのパラメータで表してモデル内に組み込んではいないが、それを拡張するには限界があり、属性による特徴を表現するには十分とはいえない。

浅野ら<sup>4) 5)</sup>は目的地まで移動する歩行者の行動を移動コストの最小化問題として表現した歩行者モデルを提案している。歩行者は、希望する移動方向を持ち、間近の将来までの限られた時間内の移動距離を移動方向成分において最大化する。そして、同時に歩行者が周辺歩行者の行動を先読みした上で、次の時刻の経路と歩行速度を決定するものである。移動時間中も周辺歩行者が等速等運動で移動し続けると仮定した上で最大化し、その際に壁や周辺歩行者などの障害物とは衝突しないように方向と速度を選択する。つまりこのモデルでは、混雑した状況下で重要となる「周辺歩行者の位置を予測しつつ移動する」という挙動を先読み時間として設定することで再現している。この歩行者モデルにおいても、モデル内における母集団の性質が同一タイプであり、交通容量の評価が十分になされているとはいえない。しかし浅野らのモデルは個々の行動メカニズムに基づくため、ビジネスマンやグループ歩行といった歩行者の個人特性の要素を付加し、挙動パラメータを設定することによって、より現実的なシミュレーションが可能である。

## (2) 適応モデル

以上より本研究においては、個々人のパラメータ設定によって交錯交通時における歩行差の属性を考慮してシミュレーションすることが可能となる浅野らのモデル

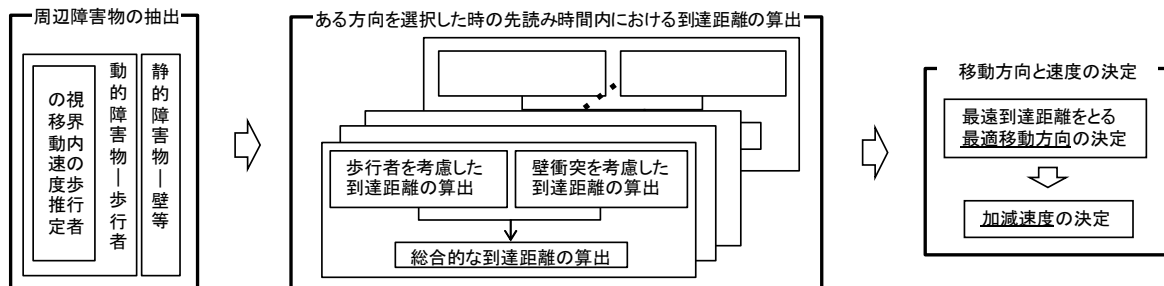


図-2 歩行者の速度ベクトル算出フロー

を適応することにする。以下に浅野らのモデル概要を述べる。

このモデルは物理モデルと異なり、歩行者の行動メカニズムに立脚していることから、個人の挙動特性を付加することが容易であり、実測に基づいた検証が可能である。歩行者 $i$ の選択可能な速度ベクトルの範囲と先読み時間 $T$ 内における周辺歩行者及び障害物の抽出方法を図-1に、浅野らのモデルにおける歩行者挙動のパラメータを表-1に示す。

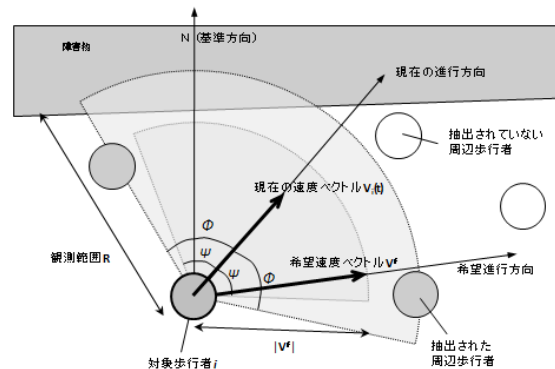


図-1 速度ベクトルと周辺歩行者の抽出<sup>4)</sup>

表-1 浅野らのモデルの歩行者パラメータ<sup>4)</sup>

Scan Interval	$\Delta t$	0.2sec
Size	$r$	0.2
Search Interval		$r = 5\text{m}, \Phi = \pm 60^\circ$
Speed	$v_i^f$	1.35m/s, $\sigma = 0.2$
Direction	$\psi$	$60^\circ$
Anticipation Time	$T$	2sec
Step Size of Direction	$2\psi/n$	$10^\circ$

図-1のように、ある時刻に歩行者が選択可能な速度ベクトルの範囲を、歩行者の現在の移動方向を中心として速度と方向にそれぞれ上限値を持つ扇型であるとする。速度は希望速度 $V^f$ を上限とし、歩行者の視界を進行方向から $\pm\psi$ とする。また、回避の対象となる周辺歩行者も同様に、歩行者の現在の移動方向を中心として抽出範囲長 $R$ と視野角 $\Phi$ からなる扇型の視界を設定する。この視界内に入り、かつ先読み時間 $T$ 内に衝突する可

浅野らによると、対象歩行者の時間  $T$  内の最大移動距離は  $|V^f|T$  であるから抽出範囲長は周辺歩行者の移動を考慮して  $2|V^f|T$  となる<sup>5)</sup>。

図-2に歩行者の速度ベクトル算出フローを示す。歩行者は、視界内の周辺障害物を抽出した上で、まず選択肢となる移動方向毎に先読み時間内で目的地方向へ最も近づくことができる最速到達距離を算出する。この到達距離が最大となる方向を次のステップの移動方向として選択する。選択した方向内で、他の歩行者の挙動を考慮して追従及び通過待ちなどの加減速度を決定する。

### 3. 歩行者の観測と考察

以上より本研究において、パラメータ設定によってより現実に即した交錯交通時における歩行差シミュレーションモデルの構築を可能とする浅野モデルを拡張するため、年齢、グループ行動・職業・荷物の有無など、様々な属性に応じた歩行者の挙動特性を観測する必要がある。歩行者の属性に応じた挙動を観測するため渋谷駅前のスクランブル交差点にてビデオ観測を行った。観測時間帯は駅前に混雑が発生する午前中に行った。写真-1に、観測対象地点である渋谷駅前交差点の写真およびそのサイズを示す。歩行者の軌跡をビデオ画像処理システム<sup>6)</sup>により抽出し、以下に観測の結果をまとめ考察する。観測対象とする歩行者の属性は①ベビーカーを押す歩行者、②2人グループで歩行する者、③平均歩行速度1.35[m/s]<sup>7)</sup>に比べて平均2.0[m/s]以上で歩行する急ぎ足の歩行者の3つに分類した。今回は渋谷駅前という性質上、高齢者は十分な観測結果が得られなかったため観測対象から除外した。表-2に①, ②, ③それぞれの平均歩行速度、分散、および標本数、図-3, 4, 5上部に①, ②, ③に分類される歩行者の速度分布、下部にその歩行者のタイムスペースダイアグラム(以下TSグラフ)を表す。図-4のTSグラフでは、グループ歩行挙動をわかりやすく明示するためグループごとに5.0秒ずつずらした。

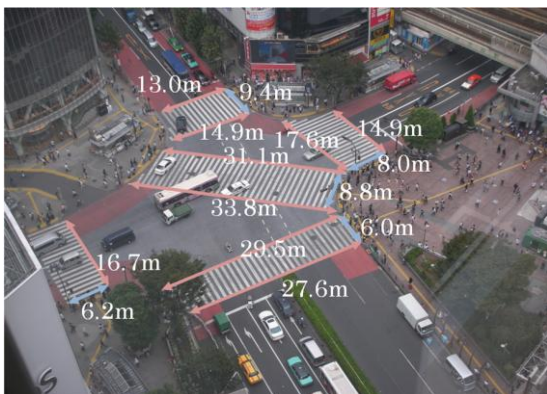


写真-1 渋谷駅前交差点及びそのサイズ

	①	②	③
平均 $\mu$ [m/s]	1.03	1.25	2.17
分散 $\sigma$	0.23	0.21	0.37
歩行者標本数	9	8	5
測定点標本数	1397	1240	401

表-2 平均歩行速度、分散、および標本数

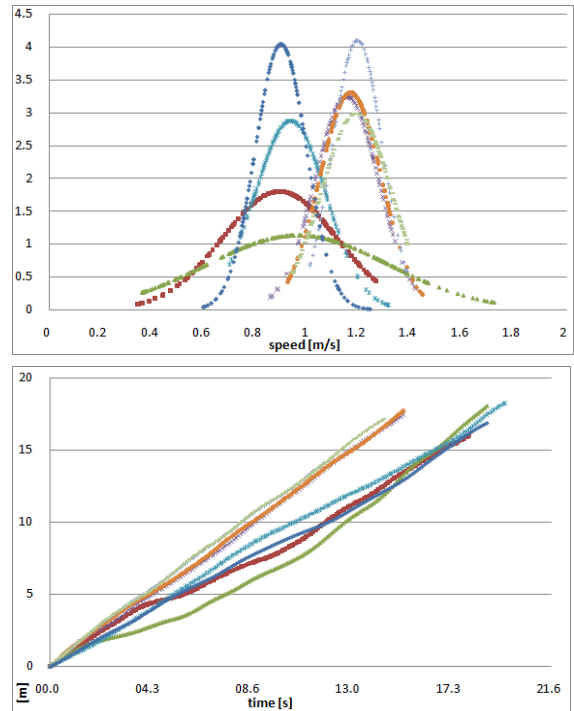


図-3 ①ベビーカー：速度分布とTSグラフ

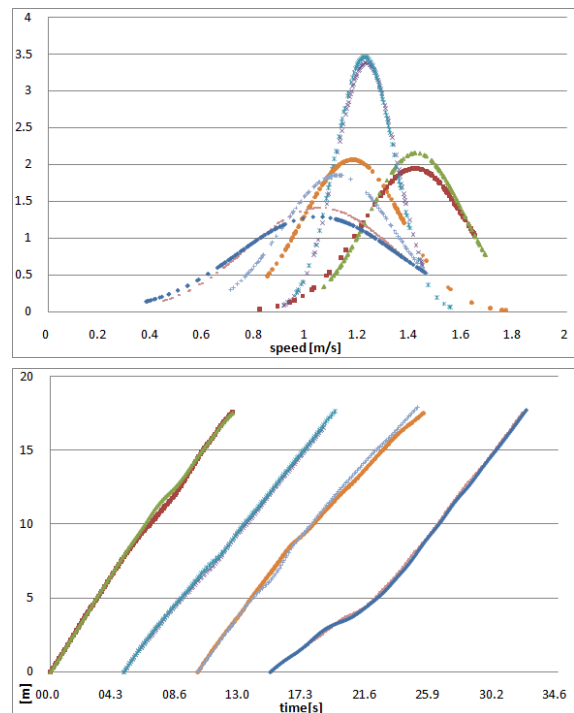


図-4 ②グループ歩行：速度分布とTSグラフ

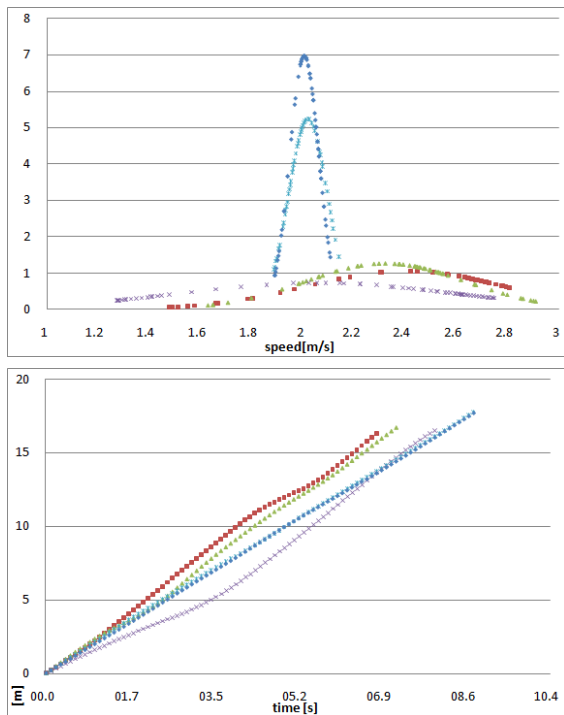


図-5 ③2.0[m/s]以上：速度分布とTS グラフ

ベビーカーを押す歩行者は、対向歩行者や障害となる歩行者が目前に迫ると、直進のまま減速して通過する傾向がある。速度にばらつきが生じている歩行者はそうした回避行動のためである。これは、ベビーカーを押す歩行者は、ベビーカーに乗る子供に遠心力等の影響を与えないよう緩やかな加減速によって他の歩行者を回避するためであると考えられる。グループ歩行の歩行者は、構成する歩行者によって多少の違いが生じるものの、速度分布も軌跡もほぼ同一となり、おおよそ相手に付随して歩行していることがわかる。対向歩行者を回避する際の挙動としては、そのまま並列して歩く場合、一列になる場合、分裂する場合があるため多少のずれが生じるが、ベビーカーを押す歩行者同様、方向を変更せずに減速して通過する傾向にある。これらの歩行形態は、最遠距離到達距離をとる最適方向を選ぶ際の選択角度が小さいことと同義である。一方、急ぎ足で歩行する歩行者の場合は二つのタイプに分類できる。一つは、対向歩行者に回避してもらえぬことを前提で最短経路を一定の速度で直進する歩行者、もう一つは対向歩行者や障害となる歩行者が目前に迫ると判断した場合、経路を変更し加速することで他者を回避する歩行者である。両者とも選択可能歩行速度と、最遠距離到達距離をとるための方向選択角度が大きい。

図-6に①、②、③及び浅野らのモデル内における歩行者の速度分布を示す。浅野らのモデル内における歩行者と比較すると、ベビーカーを押す歩行者及びグループ歩行の者は平均歩行速度が遅い。歩行速度2.0[m/s]以上の歩行者は他と比較して速度にばらつきがある。

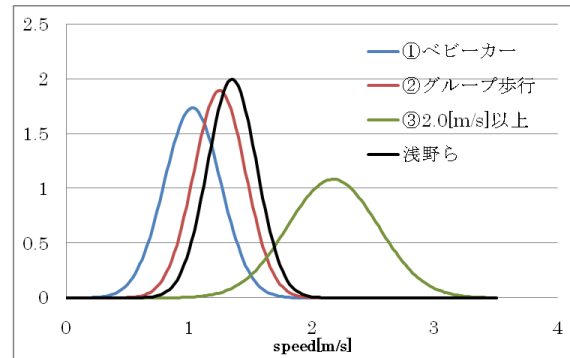


図-6 歩行者の速度分布

### 3. おわりに

今回の観測によって、本研究におけるシミュレーションに歩行者の属性を考慮するための基本的なパラメータを得た。今後、通過交通量に大きな影響を与えるそれぞれの歩行者の混入率の考察が必要である。

対向歩行者に回避してもらおうか、または自分が回避するかの判断の相違により、急ぎ足の歩行者挙動は大きく2つのタイプに分かれた。また、グループ歩行についても構成する歩行者によって多少の違いがあった。これより、グループを形成する歩行者間や対向歩行者との間など、歩行者同士に間力が働いていると考えられる。様々な属性を持った歩行者に対応できるシミュレーションモデルを構築するため、今後の課題としてパラメータを調整した後に、歩行者間に働く力を考察してモデルを拡張する必要がある。

#### 参考文献

- 1) Helbing, D., Molnar, P. : Social force model for pedestrian dynamics. Physical Review E, 51(5), pp.4282-4286, 1995.
- 2) 横山秀史, 目黒公朗, 片山恒雄: 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用, 土木学会論文集, 507(I-31), pp.225-232, 1995.
- 3) Hoogendoorn, S.P : Pedestrian flow modeling by adaptive control, TRB 2004 Annual Meeting, 2004.
- 4) 浅野美帆, 井料隆雅, 桑原雅夫: 交錯交通の容量評価のためのマイクロ歩行者行動モデル, 交通工学, 43(4), pp.80~89, 2008.
- 5) 浅野美帆, 桑原雅夫: 先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション, 生産研究, 59(3-1) pp.38-41, 2007.
- 6) 鈴木一史・中村英樹: 交通流解析のためのビデオ画像処理システムTrafficAnalyzerの開発と性能検証, 土木学会論文集D, Vol.62, No.3 pp.276-287, 2006
- 7) 岡田光正: 建築と都市の人間工学, 鹿島出版, 1977