

# レーザセンサ・データを用いた歩行者モデルの属性別推定と検証

本間ありさ・大佛俊泰・金子弘幸

## Estimation and Validation of Pedestrian Behavior Model

### Considering Personal Attribute Using Laser-Scanner Trajectory Data

Arisa HOMMA, Toshihiro OSARAGI and Hiroyuki KANEKO

**Abstract:** For designing pedestrian spaces, it is important to predict the behavior of pedestrians and evaluate the comfort and efficiency of space by using a sophisticated simulation model. In this paper, we construct a pedestrian behavior model, which considers the personal attribute and the influence by other persons and obstacles (such as walls and chairs) based on the mental stress model. Furthermore, we attempt to validate the model using the laser-scanner trajectory data, and demonstrate the evaluation of the comfort and efficiency of space based on mental stress.

**Keywords:** 歩行者モデル (pedestrian behavior model) , レーザセンサ (laser-scanner) , 病院 (hospital) , 行動モニタリング (behavior monitoring) , 心理的ストレス (mental stress) , 歩行特性 (walking characteristics)

## 1. はじめに

歩行空間の設計に際して、歩行者の行動を精緻にモデル化し、行動予測や快適性評価を行うことは重要である。しかし、実際の施設における行動モニタリングデータを用いて、歩行者モデルの推定・検証を行い、さらに、構築したモデルを平面計画の検討に応用している事例は少ない。

本稿では、まず、心理的ストレス概念（大佛・佐藤, 2003）を用いて、他者・障害物の影響、および、属性別の歩行特性を考慮した歩行者モデルを構築する。次に、実際の病院を対象にして、レーザセンサを用いて計測した行動モニタリングデータを用いて、構築したモデルの推定・検証を行う。さらに、このモデルを用いて、歩行者の快適性・効率性の視点から、歩行空間の環境評価を試みる。

---

本間ありさ 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学 環境・社会理工学院

建築学系 大佛研究室

Email: homma.a.aa@m.titech.ac.jp

## 2. 歩行者モデルの概要

### 2.1 心理的ストレス概念に基づくモデル化

速度や方向を変化させながら、回避行動を連続的に繰り返す群集流動内の歩行者の挙動を記述するため、心理的ストレス概念に基づく歩行者モデルを構築した(図-1)。心理的ストレスは、①歩行中に他者から受けるストレス（他者ストレス）、②目的地への最短経路からずれることによるストレス（目的地ストレス）、③壁や柱などの物から受けるストレス（物ストレス）から構成されるものとした。歩行者はこれら3つの合成のストレスの最も小さい地点を通り、目的地へ移動するものと考えた。

### 2.2 希望到達地点の決定方法

目的地ストレスは、目的地への経路上にある希望到達地点からのずれによって記述される（図-2）。本稿では、壁や柱などの障害物が入り組む施設内において、歩行可能領域にランダムポイントを発生させ、TINネットワークを構築し（図-2(a)），さらに、通路幅員と、壁や柱までの距離を考慮したコスト（図-2(b)）を、TINネットワークを構成する各リンクに設定

し、目的地までのコストの合計値が最小となる経路を Dijkstra 法によって求めることで、障害物を避けて、通路の中央を通行しやすい経路選択特性を表現した。

### 3. レーザセンサ・データによる推定・検証

#### 3.1 病院における実測調査の概要

A 病院を対象に、歩行者の行動モニタリング調査を行った（図 -3）。赤外光の反射戻り時間による距離と方向の情報に基づき、歩行者の軌跡を高精度で計測できるレーザセンサを複数用いる。これにより、従来の行動モニタリング調査が抱えるプライバシーの問題や、計測機器の設置位置による死角の問題を解消できる（金子・大佛、2014）。本稿では、動線が交錯することの多い受付エリア（図 -3(a)）に計 8 台のレーザセンサを設置し、計測を行った。同時に、計測エリア内を出入りする歩行者の時間と属性を、目視調査により記録した（図 -3(c)）。

#### 3.2 パラメータの推定方法

計測軌跡とその始点から終点までの希望到達地点を辿った軌跡との軌跡誤差（図 -4(d)）を最小にするように、勾配法を用いて経路パラメータ ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ) を推定した。このとき、歩行可能領域内を網羅するように、図 -4(a) の A ~ D に示す経路を歩行するサンプルを抽出し、推定に用いた。

次に、サンプル  $i$  の時刻  $t$  におけるストレス最小地点  $P_t^i$  と実際の歩行軌跡  $Q_t^i$  の誤差  $D_t^i$  を算出し、推定に用いる全サンプルによる平均誤差  $D$  が最小となるように、勾配法を用いてストレスパラメータ ( $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ) を推定した（図 -4(e)）。ここでは、属性ごとに、他者や物と接近する機会のあるサンプルを抽出し、推定に用いている（図 -4(b)）。

#### 3.3 経路パラメータの推定結果

軌跡誤差は、いずれの属性も 400mm ~ 600mm 程度に収束した（図 -5(b)）。推定され

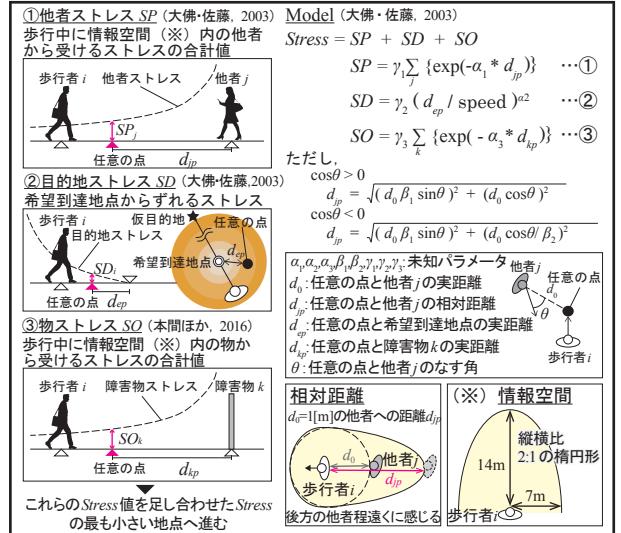


図 -1 歩行者モデルの概要

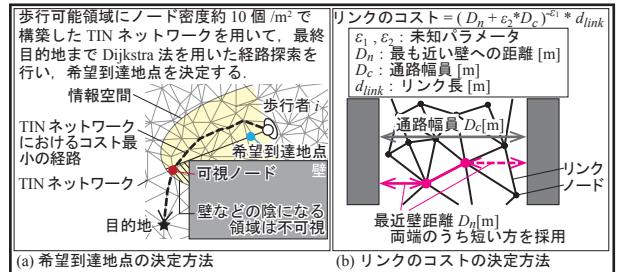


図 -2 希望到達地点の決定方法

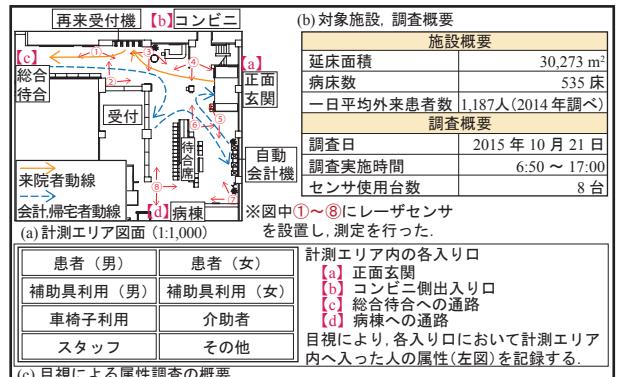


図 -3 A 病院における調査の概要

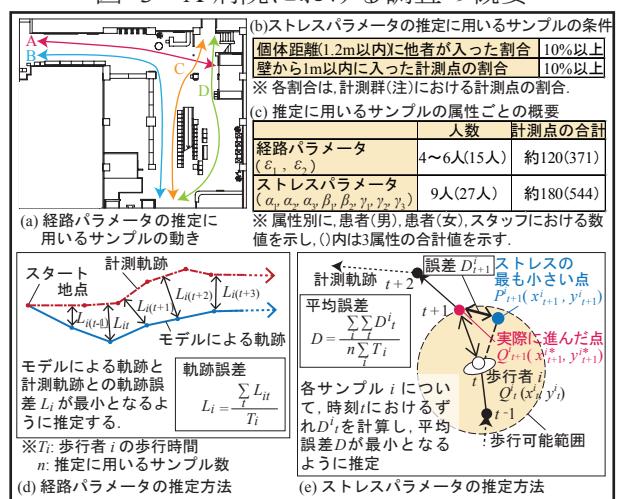


図 -4 パラメータの推定方法

たパラメータ（図-5(a)）に基づき算出したリンクのコストを見ると（図-5(c)），図中(i)の場所では，男性は通路の中央を通過しやすい傾向があるため，通路の中央から壁に寄るほどコストが大きくなるが，女性やスタッフは比較的その傾向は弱く，コストにもあまり差が生じない。図中(ii)の場所では，どの属性も幅員の狭い場所の通行を避ける傾向があり，コストが非常に大きい。全体的に，女性やスタッフは，幅員の広い通路を通行しやすいため，幅員に応じてコストの差が大きくなる。

### 3.4 ストレスパラメータの推定結果

図-6(a)に推定されたパラメータを用いて，他者や物，希望到達地点からの距離と各ストレス値との関係性を属性別に示す。女性は遠くにいる他者には回避行動を行わないため，他者ストレスを感じにくいと考えられる（図-6(c)①）。また，男性は物を回避し、通路の中央を通過する傾向があり，近くの物に対するストレスが大きい（図-6(c)②）。いずれの属性も希望到達地点からのずれが大きくなるにつれて，目的地ストレスも大きくなる（図-6(c)③）。スタッフは患者を回避して歩行する傾向があるため，目的地ストレスは比較的小さい。

### 3.5 モデルの精度検証

歩行者*i*は前節で推定したモデルに従って歩行するが，歩行者*i*以外の歩行者については，計測軌跡に従って歩行する状況を想定し，歩行者*i*の軌跡誤差を計算した。ただし，属性が不明な歩行者に対しては，軌跡誤差が最小となる属性を割り当てた。いずれの属性も80%以上の歩行者の軌跡誤差が1m以内に収まっている（図-7(a)），モデルの記述精度は良好といえる。また，計測軌跡とモデルによる推定軌跡の歩行距離を個人ごとに比較すると（図-7(b)），歩行距離は概ね一致しており，歩行距離の観点からも良好に記述できている。一方，過大・過小推計となっている歩行者も一部見受けられる。こ

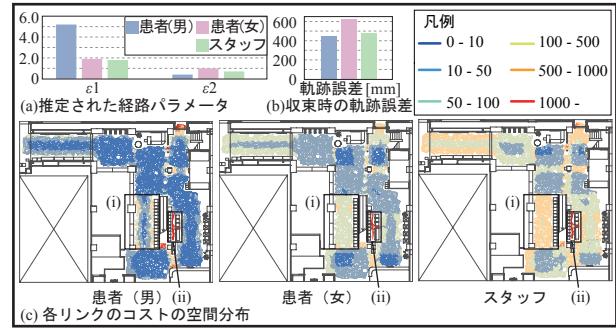


図-5 経路パラメータの推定

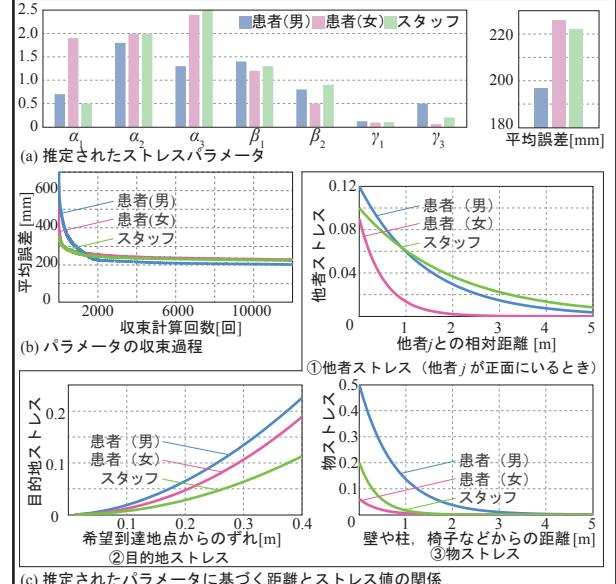


図-6 ストレスパラメータの推定

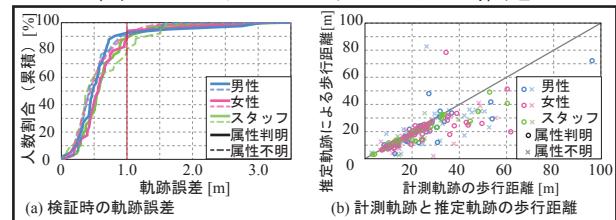


図-7 モデルの検証

うした歩行者は，モデルでは表現できない滞留行動を伴う場合や，柱や壁による分岐を別の方へ進んでいる場合が多い。

## 4. シミュレーションによる空間快適性評価

### 4.1 歩行者シミュレーションの概要

動線交錯の多い12:03～12:15の計測データに基づき，各歩行者の出現時刻，出現場所，歩行速度，目的地等を設定した上で，対象時間における全観測サンプル（239人）を対象に，歩行者モデルを用いたシミュレーションを実行した（図-8）。

## 4.2 ストレス値に基づく空間評価

全歩行者が受けたストレスの合計値の空間分布を図-9, 歩行者の通行頻度のカーネル密度分布を図-10(a)に示す。通行頻度の高い場所では他者ストレスが大きく(図-9①), 壁際や狭い通路において物ストレスが大きい(図-9③)。また、目的地ストレスの値が大きい場所は、他者や物の影響を受けて経路を変更する必要が生じる場所に対応している(図-9②)。歩行者密度の高い場所や、壁際、狭い通路において、心理的ストレスを大きく受けながら歩行している様子が見てとれる。

## 4.3 モデルの課題

計測軌跡とシミュレーションによる歩行軌跡から作成したカーネル密度を比較すると(図-10(a)), 歩行者が頻繁に通行する場所(i)は良く対応しているが、(ii)の場所において歩行者密度が過小に推定されている。実際には、移動距離が多少長くなったとしても、歩行者密度の高い(i)を避けて(ii)を通行する人がいることが一因として考えられる。すなわち、経路パラメータに、通路幅員だけでなく歩行者密度も考慮することで、改善できる可能性がある。また、(iii)の場所はシミュレーションではほとんど通行されていない。これは、診察券を取り出すなど、モデルでは表現できない滞留が発生していること(図-10(b)①)や、目的地ストレスの影響で直線的な歩行をしがちであること(図-10(b)②)が原因と考えられる。

## 5.まとめ

心理的ストレス概念に基づく歩行者モデルを構築し、レーザセンサによる豊富で精緻な計測データを用いて、歩行者属性別のパラメータの推定とモデルの検証を行い、属性別の歩行特性を明らかにした。本モデルを用いることで、平面計画を行う際にも、心理的ストレスの観点から評価を行える可能性がある。

(a) シミュレーションの入力データの例						
ID	速度	出現時刻	出現場所	目的地1	目的地2	...
例1	800mm/s	12:03:12	正面玄関	待合室	72s	会計機
※速度: 計測データのうち、移動距離を静止時間を除いた時間で除した値を用いる。						
(b) シミュレーションの対象データ						
対象時刻			12:03~12:15(12分)		患者(男) 患者(女) スタッフ	
サンプル数			239人		28.0% 25.5% 38.5%	
自視調査により属性の判明しているサンプル数割合			51%		その他10.0%	
平均歩行速度			1.025mm/s			
(c) サンプルの属性分布						

図-8 シミュレーションの概要

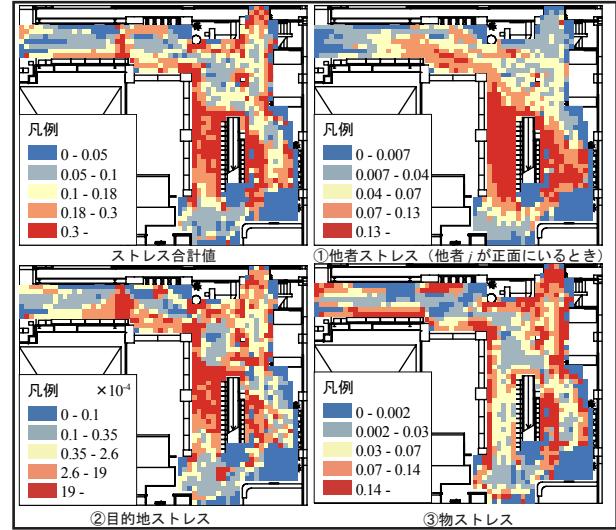


図-9 ストレス値の空間分布

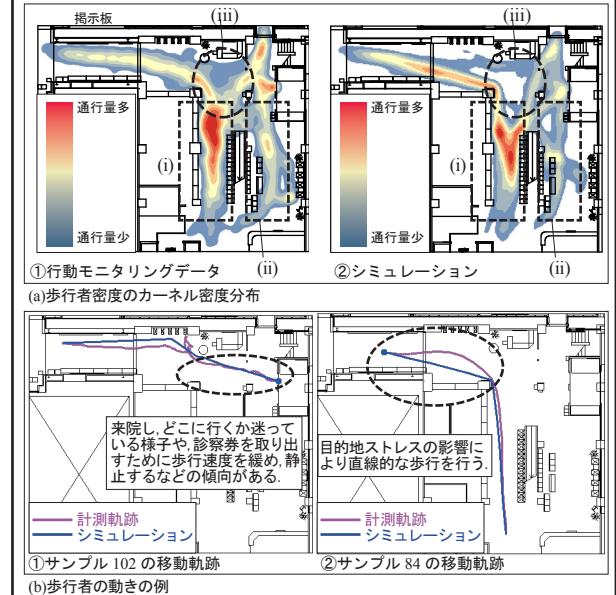


図-10 具体的な歩行者の動き

注

計測システムにより同じIDが付番された時系列的な計測点の集まりを「計測群」と呼ぶ。

謝辞

今回の調査にあたって、東京都済生会中央病院の全面的な協力に深く謝意を表します。また、本論文の執筆に当たり、大佛研究室の沖拓弥助教からは、終始適切なアドバイスを頂き、丁寧に指導して頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 大佛俊泰・佐藤航(2003)：心理的ストレス概念に基づく歩行行動のモデル化, 日本建築学会計画系論文集, 573, 41-48.
- 金子弘幸・大佛俊泰(2014)：レーザセンサによる行動モニタリングデータを用いたオフィスワーカーの着座状態と交流状態の推定, 日本建築学会環境系論文集, 79, 706, 1083-1092.
- 本間ありさ・大佛俊泰・金子弘幸(2016)：レーザセンサによる行動モニタリングデータを用いた歩行者モデルの推定と検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集(CD-ROM), 5253, 505-506.