

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04936

研究課題名（和文）微視的ならびに巨視的な歩行者挙動計測データに基づく歩行者行動モデルの高精度化

研究課題名（英文）Development of accuracy of pedestrian model based on microscopic and macroscopic measurement data

研究代表者

川口 寿裕（Kawaguchi, Toshihiro）

関西大学・社会安全学部・教授

研究者番号：80234045

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：歩行者行動モデルを改良することで、歩行者シミュレーションの高精度化を目指した。このため、遠方からのビデオ撮影による巨視的計測とアイトラッカーを用いた視線追跡による微視的計測の両手法によるデータ収集を行った。通路上の歩行位置、障害物の回避方向、歩道上の自転車・歩行者混在時の挙動について計測を実施した。計測データをもとに、力学ベース歩行者モデルのパラメータを決定し、歩行者行動モデルの高精度化に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歩行者行動モデルを高精度化することで、階段やエスカレータ、非常口などの最適配置に歩行者シミュレーションを活用することができる。このことは、安心・安全な歩行者空間の設計に寄与できるものと期待される。特に本シミュレーション手法は力学ベースのモデルを用いているため、高密度な群集流にも適用できる。つまり、地震・火災等の発生時における建物からの避難のような状況にも適用可能であり、さらに群集事故の解析にも活用できる。

研究成果の概要（英文）：Improvement of the accuracy of the numerical simulation of pedestrian flows is attempted in the present study by improving the pedestrian behavior model. Both the macroscopic and the microscopic measurements are performed. The macroscopic measurement is realized by video recording from a distant place. The microscopic measurement is realized by use of the eye tracker. The measurements are performed for the walking position on the street, the avoidance direction of an obstacle, and the behavior of bicycles-pedestrian flow on the sidewalk. Based on the measured data, parameters of the pedestrian behavior modes are determined to achieve the improvement of the accuracy of the pedestrian simulation.

研究分野：社会・安全システム科学

キーワード：群集事故 歩行者シミュレーション 歩行者行動モデル 視点追跡

1. 研究開始当初の背景

歩行者の流れに関する学術的な研究は、ここ 50 年ほどの間に体系的に進展してきた。災害発生時に建物から避難する際、扉や階段の配置によっては混雑が発生し、被害者を出すおそれがある。また、特定の場所に人が過度に集中すると、2001 年 7 月に兵庫県明石市で発生した朝霧歩道橋事故のような群集事故により、多くの死傷者が出ることもある。

近年は特に歩行者の流れを精度良く再現・予測できる数値シミュレーション手法の確立に多くの関心が集まっている。歩行者は外力を受けなくても自己の意思で動くことができるのが大きな特徴で、この性質を「自己駆動性」と呼ぶ。歩行者流れの数値シミュレーションにおいては自己駆動性の表現が鍵であり、これを表現するために様々な歩行者行動モデルが提案されている。歩行者が目的地を目指して最短距離を進むことに関しては研究者間に大きな考え方の相違はない。しかし、その歩行経路上に対向者や物体が存在する場合の回避挙動を表現する方法に関しては統一的な見解はなく、多くのモデルが存在する。

歩行者流れの数値シミュレーション手法は、力学ベースのものルールベースのものに大別できる。力学ベース・モデルは歩行者が受ける物理的ならびに心理的な力を与え、ニュートンの運動方程式を解くものである。この心理的な力を数式で表したものが歩行者行動モデルであり、自己駆動性を表現するものとなる。一方、ルールベース・モデルでは周囲の状況ごとに歩行者の挙動ルールを設定し、そのルールにしたがって歩行者を移動させる。自己駆動性はそれらのルールの 1 つとして与えられることになる。既存の歩行者行動モデルのほとんどは経験的・直感的に提案されたものであり、その根拠は必ずしも明確ではない。自己駆動性に関する理論的根拠や実測データによる裏付けを持つ歩行者行動モデルを確立することは、歩行者シミュレーションの予測精度向上に直結する。

2. 研究の目的

本研究では、歩行者挙動の巨視的ならびに微視的計測を行う。巨視的計測とは、遠方から撮影した映像等により、歩行者群の全体的な流れに着目した計測を意味する。一方、微視的計測とは、歩行者の経路変更の判断基準等について、個々の歩行者に着目して計測することを意味する。両計測によって得られるデータを活用し、歩行者シミュレーションにおいて自己駆動性を表現するための歩行者行動モデルを高精度化することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 巨視的ならびに微視的計測

巨視的計測については、通常動画撮影を行なった。近年はスマートフォンに搭載されているカメラの性能が高くなっているため、スマートフォン (iPhone SE) のカメラを使って動画撮影を行なった。深夜の商店街において、歩行者が通路の左右どちら側を通行しているかについて計測した。また、歩道上を通行する自転車運転者が歩行者を回避する挙動についても計測した。

微視的計測については、アイトラッカー (トビー・テクノロジー製 Tobii Pro グラス 2) を用いた視線追跡を行なった。計測結果を専用ソフト (Tobii Pro ラボ アナライザーエディション) により解析した。歩行者が通路上の物体を回避する際の視線を追跡した。また、歩道を走行する自転車運転者の歩行者認識について計測した。

(2) 数値シミュレーション

本研究では力学ベースの歩行者モデルを用いた。土木工学や粉体工学の分野で一般的となっている離散要素法 (DEM) をベースとしたモデルを歩行者に適用した。DEM では図 1 に示すように、粒子同士が接触した際に作用する力をバネ、ダッシュポット、摩擦スライダで表し、Newton の運動方程式を数値積分して各粒子の運動を追跡するものである。歩行者は物理的に接触する

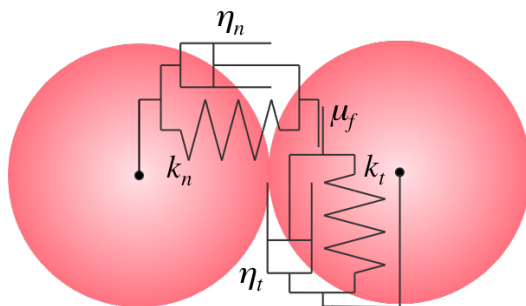


図 1 DEM 接触力モデル

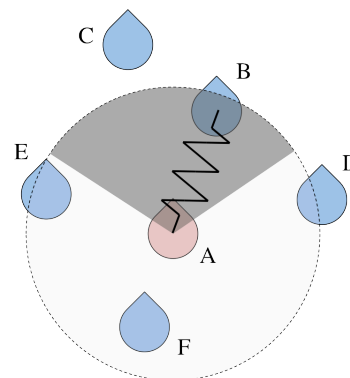


図 2 仮想バネモデル

前に他の歩行者や物体を回避する行動を取るため、そのような行動を表現するための心理的な力を作用させる必要がある。本研究では仮想バネモデルを導入した。図2に示すように、自分から(i)一定の距離内かつ(ii)一定の視野範囲内にいる他の歩行者や物体に仮想的なバネを挿入する。つまり、図2の歩行者Aは濃灰色の扇形部分に存在する他の歩行者や物体の影響を受けるため、右前方の歩行者Bとの間に仮想バネを挿入する。バネの弾性反発力により、歩行者Aの速度は落ち、また歩行者Bの左側を回避する行動が表現されることになる。歩行者C、Dは上記条件(i)を満たさないため、また歩行者E、Fは条件(ii)を満たさないため、歩行者Aに影響を及ぼさない。なお、仮想バネモデルによって作用する心理的な力は例えば図2の場合、BからAへの一方向的なものであり、作用・反作用の法則は成立しない。

4. 研究成果

(1) 通路上の物体回避

通路上の中央に物体がある場合、左右どちらに回避する傾向が強いのか、また歩行者はどこを見て回避方向を決定するのかについて実験を行なった。図3のように通路中央に物体を設置し、被験者に通路を歩行させ、物体の横を通過する際に左右どちら側を通過したかを観察した。166人分のデータを取ったところ、左右に有意差は見られなかった。図4は被験者が最初に注視した位置をアイトラッカーで計測した結果である。赤色が物体の左側を通過した被験者、緑色が物体の右側を通過した被験者の結果である。すべての被験者が最初に注視した側を通過していた。また、歩行者は物体の上部を最初に注視する傾向が強いことがわかる。

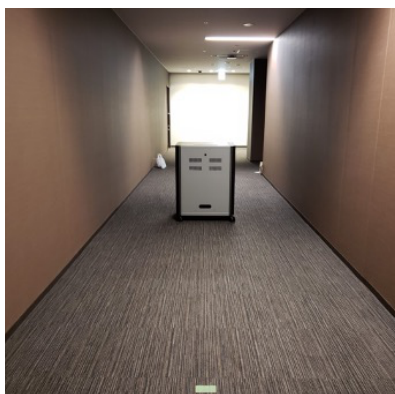


図3 通路上の物体

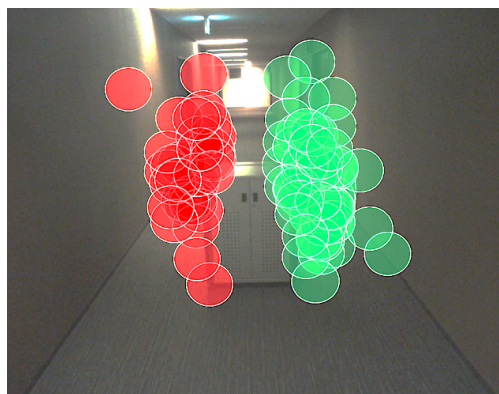


図4 物体回避時の視点

(2) 通路上の歩行位置

歩行者が通路上を無意識に歩行する際に歩行する位置を調べるため、大阪府高槻市の芥川商店街(図5)で計測を実施した。商店街の道幅は5mである。歩行位置に及ぼす外的要因をできるだけ排除するため、深夜24:00~24:30に計測した。この時間帯であれば、人通りは非常に少ないため、他の歩行者による人の流れの影響を受けずに歩行者の自由意志で歩行位置が選択されると考えられる。また、すべての店が閉店しているため、特定の店に立ち寄るなどの理由で歩行位置が影響を受けることもないと考えてよい。さらに、商店街にはアーケードが設置されているが、一部、横側が空いているところがあることを考慮して、計測は雨が降っていない日を選んだ。

商店街の通路中、分岐する経路から十分に離れた位置を計測点とした。5mの通路を1m間隔で5つの領域に分割し、左側からA、B、C、D、Eと分類した。計測点においてそれぞれの領域を通



図5 計測場所

過した歩行者の人数を数えた。8日間で合計354人の単独歩行者の歩行位置を計測した結果を図6に示す。通路中央のCの領域を歩行する歩行者が一番多かった。一方、A、Bに比べてD、Eを歩行する歩行者が有意に少ないこともわかった。個々の歩行者が左側を歩行する傾向があるため、歩行者群も自然に左側通行の流れが形成されるものと考えられる。

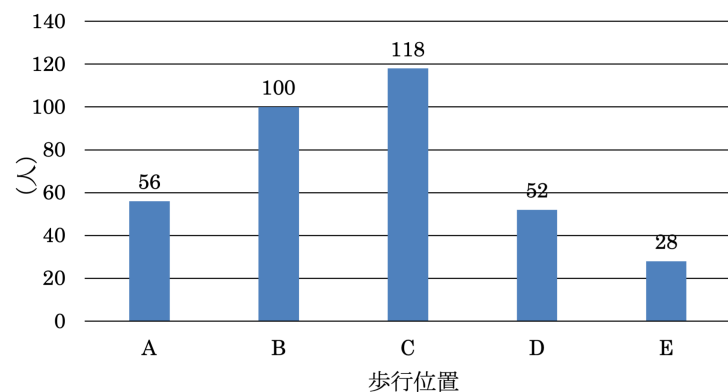


図6 歩行位置の分布

(3) 歩道上の自転車

歩道上を走行する自転車が前方の歩行者を回避し始める距離と自転車速度の関係について、上方からの動画撮影により計測した。結果を図7に示す。両者の間に正の相関が確認された。

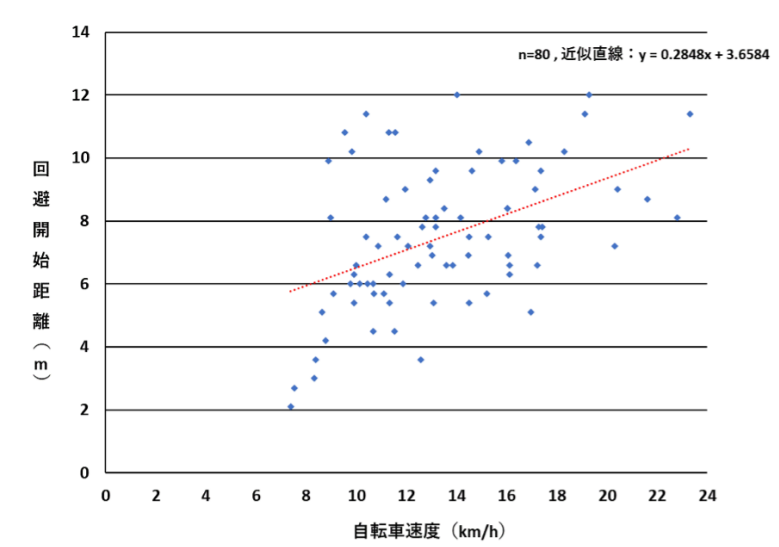


図7 自転車の回避開始距離と自転車速度の関係



図8 実験の様子



図9 視点解析例

次にアイトラッカーを用いた微視的計測を行った。危険防止の観点から、図8のようにあらかじめ録画した映像を室内でプロジェクタ投影した。視点解析の例を図9に示す。自転車運転者が歩道上の歩行者を認識し始める距離と歩道幅の関係を図10に示す。歩道幅が広いときにはより遠くから歩行者を認識できていることがわかった。ただし、認識開始距離は自転車速度による差はほとんどないことが確認できる。このことは、自転車速度が速いときには、歩行者を認識してからその歩行者の位置に到達する時間的余裕が少ないことを意味する。

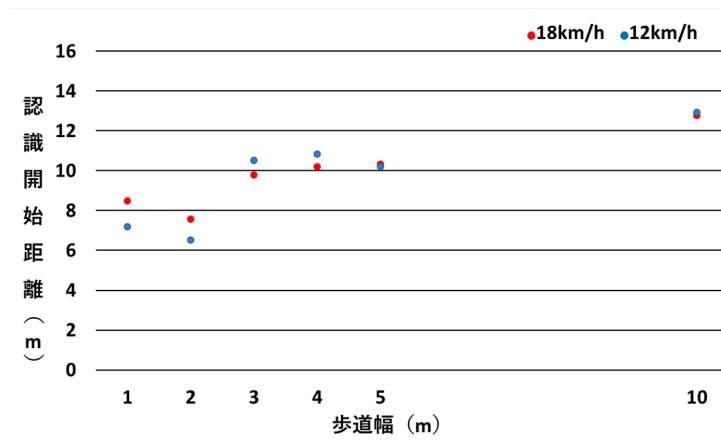


図10 自転車運転者の歩行者認識開始距離と歩道幅の関係

(4) 数値シミュレーション

巨視的ならびに微視的計測結果をもとに仮想バネモデルのパラメータを決定した数値シミュレーションを実施した。自転車と歩行者が混在する歩道上を対象とした数値シミュレーション例を図11に示す。青色の粒子(15個)が歩行者、赤色の粒子(1個)が自転車を表す。歩道は幅3m、長さ100mとした。長さ方向には周期境界条件を適用した。

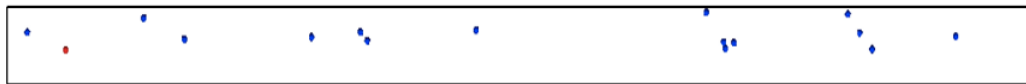


図11 シミュレーション結果例

本シミュレーションを用いて、回避開始距離および自転車速度を変化させたときの事故発生率を調べた。結果を図12に示す。歩行者の4m程度以上手前から回避行動を取れば、8m/s(28.8km/h)の速度であってもほぼ事故は発生しない。回避開始距離が短いときには、当然ではあるが、自転車速度が速いほど事故発生率が大きくなっている。

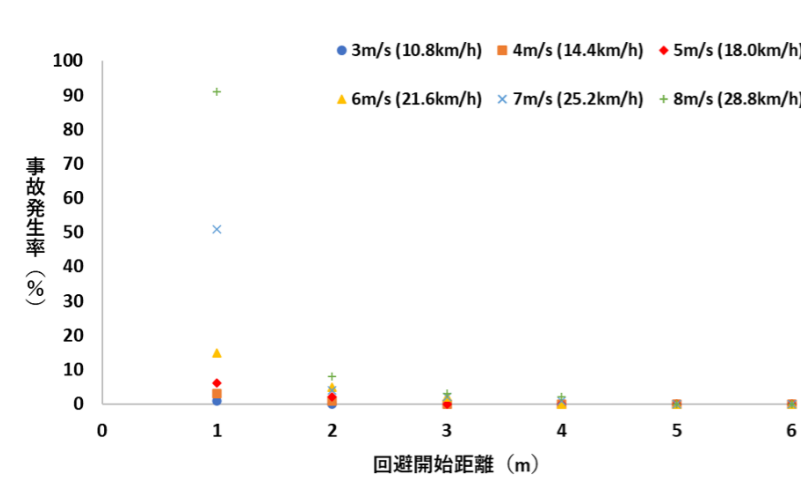


図12 自転車速度と衝突発生率の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 嘉幡聰至・川口寿裕	4. 巻 27
2. 論文標題 電車の形状が乗客の降車時間に与える影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第27回交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 39-42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 川口寿裕	4. 巻 26
2. 論文標題 周回方向制限による対面時間の削減効果について	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第26回交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 31-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 川口寿裕・松谷智香子	4. 巻 25
2. 論文標題 鉄道駅自動改札機配置設計の数値モデル	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第25回交通流と自己駆動粒子系シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 5-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 川口寿裕
2. 発表標題 感染症拡大対策としての周回方向制御
3. 学会等名 第25回先端科学技術シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 市川秀喜 監修	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 260
3. 書名 医薬品製剤開発のための次世代微粒子コーティング技術《普及版》	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------