

# Social force model を用いた歩行者挙動の再現に関する研究

## Reconstruction of Pedestrian Flow Based on the Social Force Model

磯崎勝吾\*\* 中辻隆\*\*\*

By Shogo ISOZAKI\*\* Takashi NAKATSUJI\*\*\*

### 1. 本研究の背景と目的

わが国は世界有数の地震国であり、頻繁に地震が発生する。さらに現在都市内においては人口増加により街を上や地下などに伸ばしつつある。しかし都市部には人口が密集しており今後もさらに過密化することが予想されている。これにより、人口とその活動地域のスペースがすりあいを保てなくなりつつある。そして地下や、建物内には過密状態が生じる。そのような閉鎖的な空間において人口が過密状態にある場合には震災などは非常に危険なものとなる。というのも、閉鎖的であればあるほど地上などの開けた空間に避難する連絡路が限られ、そこに過密状態の人口が一斉に避難すれば混雑し避難が難航することは明らかである。

災害などの避難時における歩行者の行動に関するシミュレーションモデルは何種類も研究されておりその成果は証明されている。しかし多くは歩行者をマクロ的にとらえ避難地への経路を追うものであったり、ミクロに扱ってはいても、どのような経路を通過して避難するかといったようなものであった。そのため歩行者を一人一人の動きを細かく、かつ局所的な動きを再現できるシミュレーションモデルは少ない。地下街などの狭い閉鎖空間での安全性などを知るためには大まかに歩行者が通る経路を予測するシミュレーションではなく、ある状況下でどのような挙動を起こすかというシミュレーションが必要となってくる。

本研究では近年提案された social force model<sup>13)</sup>を研究対象とする。これは歩行者の経路選択などといったことよりも、歩行者同士が互いに影響して挙動が変わるかということに主眼を置いたモデルであり、今後シミュレーションで活用されることが期待される。そこで本研究においてこのモデルを定常時の歩行者に当てはめること

\*キーワード：歩行者・自転車交通計画、地区交通計画、避難計画

\*\*学生員、北海道大学工学部土木工学科

(北海道札幌市北区北13条西8丁目、  
TEL011-706-6217、FAX011-706-6215)

\*\*\*正員、工博、北海道大学工学部土木工学科

(北海道札幌市北区北13条西8丁目、  
TEL011-706-6215、FAX011-706-6215)

でパラメータなどの妥当性などを検証しつつ、動きを再現する。

### 2. 対象地域

本研究では札幌市にある閉鎖的な空間であり、かつできるだけ人通りの多い場所を対象にするということで、札幌市地下街ポールタウンの大通り駅～狸小路を対象地区として選定した。ただし、研究の目的が回遊行動なども同時に表現するといったようなものではないため、ポールタウン内に多数存在する店舗の形状までは考えず、通路形状のみを再現したポールタウンの簡易モデルとして本研究では扱った。

### 3. social force model

本研究で用いる social force model を紹介する。まずこのモデルでは歩行者は質量（歩行者の体重）を持った質点として表される。

$$F = ma \quad (\text{式 1})$$

その質点（歩行者）ごとに運動方程式（式 1）を当てはめることで、ある時刻の歩行者の位置から、次の時刻への進む方向、歩行速度などが算出されるというものである。つまり運動方程式で言うところの外力  $F$  を他者や、障害物からの見かけ上の力として仮定することで算出することになる。この  $F$  は大きく分けて以下の3通りに分類することが出来る。

#### (1) 目的地へ進もうとする力

図 1 に示すように歩行者が他の影響により当初考えているコース（基本は目的地への最短経路）からずれてしまった場合に目的地の方向へ進行方向と曲げるように発生する力。（式 2）のように表すことが出来る。シミュレーション内でまずこの項が働かなければ歩行者は目的地に進まない。

$$f_i(t) = \frac{v_i^0(t)e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} \quad (\text{式 2})$$

$(v_i^0(t))$  : 希望歩行速度、 $(e_i^0(t))$  : 希望進行方向、 $(v_i(t))$

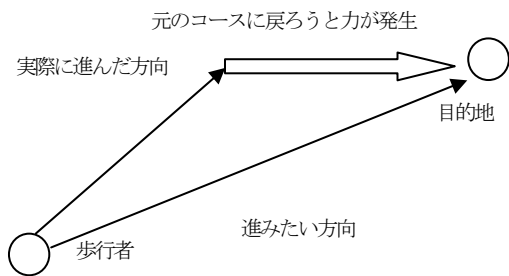


図1 要因1 模式図

: 実際の歩行速度、 $\tau_i$  : 遷移時間)

(2) 他者、障害物から受ける反発力 (避ける力)

図2に示すように歩行者が進む上で他の歩行者や障害物を避けるように動く。これを再現するのが2つ目の要因である(式3)。

$$f_i(t) = \sum_{j(\neq i)} [f_{ij}^{soc}(t) + f_{ij}^{att}(t)] \quad (式3)$$

$$f_{ij}^{soc}(t) = A_i \exp\left[\frac{r_{ij} - d_{ij}}{B_i}\right] n_{ij} \left( \lambda_i + (1 - \lambda_i) \frac{1 + \cos(\phi_{ij})}{2} \right) \quad (式4)$$

$$f_{ij}^{att}(t) = -C_{ij} n_{ij}(t) \quad (式5)$$

( $A_i, B_i, C_{ij}$  : パラメータ、 $d_{ij}$  : i と j の距離、 $r_{ij}$  : i

と j の影響範囲の和、 $n_{ij}$  : i から j 方向の単位ベクトル、

$\lambda_i$  : 位置関係により決まる値)

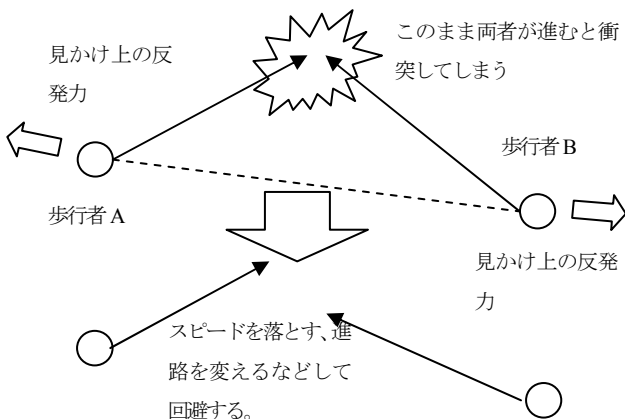


図2 要因2 模式図

(式4)によりお互いの受ける反発力が決定される。この値はパラメータとお互いの距離によってのみ決まる値である。(式5)はグループで行動している歩行者同士に働

く引き合う力を表す。反発力とは逆の引力であるため符号はマイナスとなっている。

(3) パニック時に生じる特別項

前記2項とは別に災害時などのパニック時には特別にもうひとつ、特別な力が加わるとされる。

本研究では定常状態の再現をし、前記の2つの要因に対しパラメータなどを調整、検証することを目的としているためこの要素については扱わない。

4. 群集挙動

歩行者と車の決定的な違いのひとつに複数行動が挙げられる。全てが単体で動く車とは違い歩行者はかなり多くの割合で複数行動する。さらにそれは2人であるか3人であるかもまちまちであり、その数が多いほど多岐にわたる場所を取り、他者に大きく影響を及ぼす。

実際に対象としたポールタウンにて、複数行動をする歩行者がどのくらいの割合で混入しているのかを調査してみたところ、今回扱った休日の午後において以下のような結果が得られた(表1)。

表1 グループ歩行者混入率(%)

1人	2人	3人	4人以上
69.09	27.55	3.04	0.33

この表からも分かるようにおよそ3割は複数で行動していることが分かる。そのためやはり歩行者のシミュレーションにおいて複数行動を考えることは必要であると判断できる。

というのは、前説においてグループのメンバー間には特別に引き合う力が働くと述べた。そのため常に歩行者1人よりも大きく固まった群集として存在することにより、他の歩行者にとっては迂回する距離が伸びたりするため及ぼす影響は1人とは異なる性質を持つ。

また本研究においては、使用モデルそのものが歩行者一人一人の個人属性などを加味するモデルではないことから、グループ内のメンバーの「追従」や「先導」といった要素は考慮していない。そのためグループ内の役割なども無く同じ歩行者としか扱っていない。

5. 用いたデータ

本研究において目的が定常状態の歩行者の流れの再現ということで、対象地区において歩行者のODを調べるために調査を行いデータを得た。

内容としては数箇所ある出入り口に調査員を置き、カウンターを用いて流入量、調査用紙を用いてODを計測した。

データの整合性を調査するために市で行われている調査との比較を行った。

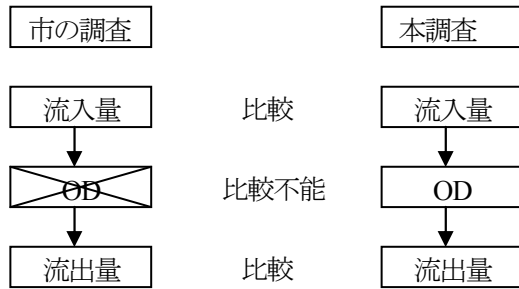


図3 データチェックのフロー

まず流入量のデータに関してだが、これは市での調査でも同じ数値としての結果が得られているため、単純に分布を比較した。

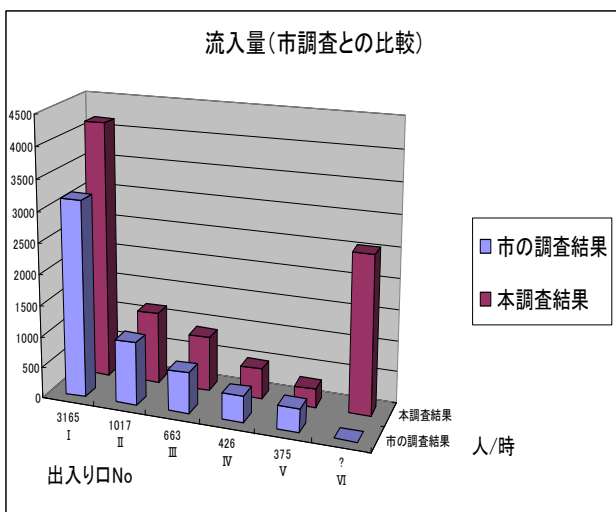


図4 流入量比較

そして OD については市の調査によるデータは無く直接的な比較対象データが存在しない。そこでまず流入量の整合性はとれたため、この数値と本調査で得られた OD のデータにより各出口からの流出量を計算する。そしてその流出量と、市のデータの流出量を流入量と同様の方法で比較し検証した。

その結果より流入量、流出量共に誤差は無視できる範囲にあるとされ、本研究にて調査のデータは正しいとして利用している。

## 6. 歩行者の動きの定義

シミュレーションを行う上で、モデルの式 1 本ではどうしても表しきれない部分が出てくる。それは通路が複雑になればなるほど顕著に現れる。というのも歩行者は車などとは違い動きを制限する拘束条件が存在しない。自動車であれば 1 車線 1 台しか通れない、対向車は同じ車線には存在せず基本的に一方通行などといったものである。これを解消するために、以下で述べるいくつかの仮定を設け、歩行者の動きの選択肢の幅を縮めてやることによりシミュレーションで起きる不自然な動きを解消

した。

### (1) 目的地に関する設定

モデルの式によれば歩行者が動くためには、現在地と目的地の座標が必要であるとされている。そこでその通りに 2 地点のみを定義すると、やはりどうしてもその方向に直進するため壁に向かって歩くなどといった考えにくい行動が生じてしまう。

その対処として歩行者の視野を考慮した目的地の設定を行った。つまり歩行者が持つのは、最終的にここに行きたいという目的地と、そこへ行くためにまず、自分が今目視出来ている範囲でどこに行かなければならないかという目的地の二つである。最終目的地は変わらないが、現在の目的地は歩行者の現在地によってその時間ごとに移り変わると考えた。

### (2) 進行方向に関する設定

歩行者には回遊特性がある。しかし本モデルのモデル特性を考えると回遊行動を表すために特化されたものではないことが明らかであるために今回は再現する目的の項目から除外したと前節までに述べた。さらに本研究において実際にポールタウンで OD の調査を行ったところ、そのデータより入ったところと同じ出口から出る歩行者がいなかったことが分かった。以上の 2 点より本研究において、歩行者は希望する進行方向に向かって進み続けるように表現した。つまり進行方向に対して負の速度を持った場合、他の選択肢を探るようにして設定を行った。

## 7. アニメーションによる再現

本研究では歩行者の動きの再現ということを目的とするため視覚的にわかりやすく表現するために、VB.NET というプログラムソフトを用いてアニメーションを行った。

## 8. 結果

本研究において最終的な検証を実際にポールタウンにてビデオ撮影などをして照らし合わせながらシミュレーションの動きを調整しようと考えていたが、肖像権などの問題でそれは不可能だと管理会社の方から言われたため、既存の歩行者の挙動に関する研究より本モデルのチェックポイントとしても使えるものを選び検証の基準とした。

まず図5 図6のようにグループの動き方を検証した。図の例は 2 人のグループを取り上げたが 2 パターンに分かれる<sup>2)</sup>。分離して合流する形と 2 人がまとまって回避するパターンである。相互の位置によりどちらのパターンになるかは決定するのだが、この 2 つ以外には無く、アニメーションの中でもこの 2 つの動きを再現することが

出来た。

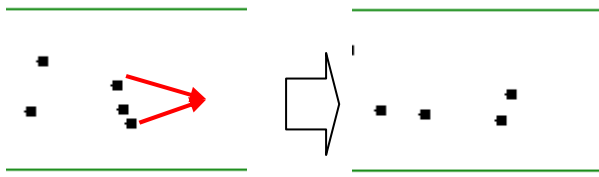


図5 グループ歩行者の動き（分離→合流）

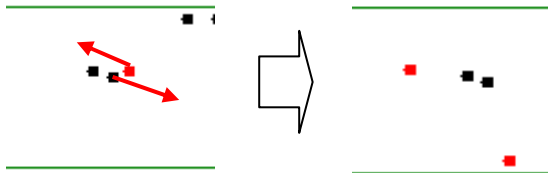


図6 グループ歩行者の動き（まとめて回避）

また、歩行者は自分の前にいる歩行者からしか影響を受けず、かつ、対抗者から受ける影響の方が、同じ方向に進んでいる歩行者から受ける影響よりも大きいということより、進行方向別に層が出来ることが既存研究によって明らかになっている。さらに単路において、歩行者は左側通行になりやすいという結果も出ているが、本研究で扱ったポールタウンには通路の両側に目的地になりえる地上との連絡口があるためきれいに左側通行とはならなかったが、前の歩行者を追う動きをすることで層が生じるという行動はうまく再現することができた(図7)。

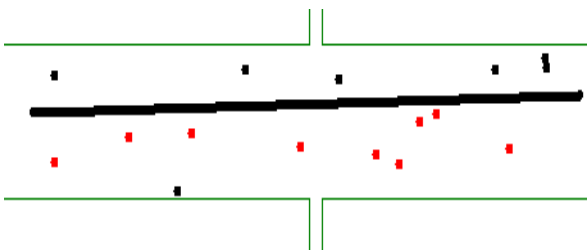


図7 歩行者の進行方向別に生じる層

## 9. 避難シミュレーション

本研究にて定常流を用いてパラメータの検証を行った。そのパラメータを用いて、簡易シミュレーションを行い検討を行った。結果としてはやはりある程度の物理的な作用による挙動変化は表せていると考えられる。それは狭い出口で歩行者が溜まってしまい、普通に流したときより、また歩行者が少ないときよりも外へ出るのに時間がかかっていることから見ても明らかである。本研究では social force model のパニック時の項を無視しているため、厳密に細かい挙動1つ1つは再現できてはいな

いと考えられる。そのためやはり、避難時間などではなく挙動が知りたいという場合には無視した項を含めたシミュレーションが必要である。

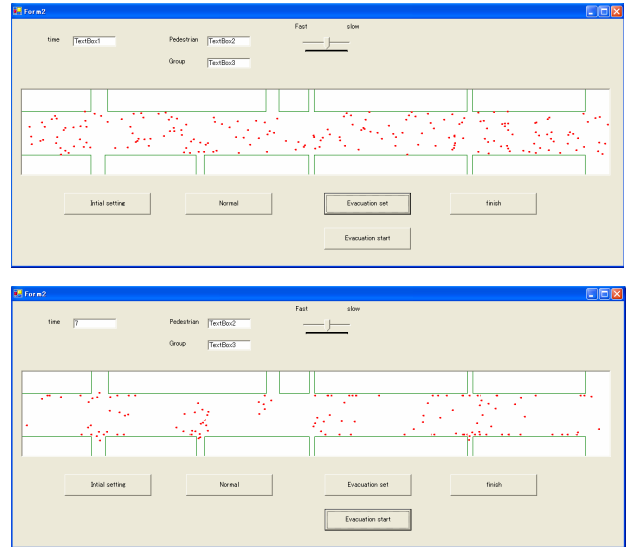


図8 簡易避難シミュレーション

## 10. おわりに

本研究において social force model を用いることで、歩行者の定常時の流れを再現することに成功した。

今後は避難時の要素を取り入れることで避難シミュレーションに用いることでその空間の災害時の安全性などの検証が可能になることが期待される。

本モデルでは歩行者の回遊行動を表すことは出来なかった。別のモデルと組み合わせる必要があると考えられる。また本研究では歩行者における social force model のパラメータは一律でシミュレーションを行ったが、アンケート等により歩行者の属性別行動特性を求め、パラメータによりモデルの中に反映させる等を行うことで再現性が増すであろうと考えられる。実際にモデルの中にそれを現す項目は無いため数値化し、区別を付けやすい属性、例えば性別、グループのところで述べた先導指向や追従指向といった行動のとり方などを取り込むことでどのように挙動を再現できるかなども今後の研究として成立すると考えられる。

## 11. 参考文献

- 1) Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations: Dirk Helbing, Illes J. Farkas, Peter Molnar, and Tamas Vicsek
- 2) Application of context-mediated behavior to a multi-agent pedestrian flow model (PEDFLOW): Robert Kukla\*, Alexandra Willis, Jon Kerridge
- 3) Simulation of Pedestrian Dynamics in Case of Emergency Evacuation in a Community: Nirajan Shiwakoti