

S5-8. 乗換え歩行者行動に着目したシミュレーションモデルの構築

学[土] ○関口 岳史 (東京理科大学) 正[土] 日比野 直彦 (財団法人運輸政策研究機構)

正[土] 内山 久雄 (東京理科大学) 正[土] 山下 良久 (東京理科大学)

A STUDY ON PEDESTRIAN SIMULATION MODEL AT RAILWAY STATION

Takashi SEKIGUCHI, Member (Tokyo University of Science)

Naohiko HIBINO, Member (Institute for Transport Policy Studies)

Hisao UCHIYAMA and Yoshihisa YAMASHITA, Member (Tokyo University of Science)

This study tries to develop the pedestrian simulation model in railway stations. Although it has been hard to be formulated by model since the behavior of pedestrian is overly complicated, it becomes possible by applying the idea of Cell Automaton that have been established in order to resolve complicated phenomenon. Moreover, although it has been difficult to obtain trajectories of pedestrian, it becomes much easier to observe it with the video-recorder installed in the station. The study also suggests the direction of better improvement of facilities for the pedestrian by simulating.

キーワード: 歩行者シミュレーション, 鉄道駅, セル・オートマトン

Key Words: pedestrian simulation, railway station, cell automaton

1. はじめに

東京首都圏における都市鉄道ネットワークは高密度に整備され、利用者は定時性、速達性、高頻度といった点において比較的質の高い輸送サービスを楽しんでいる。一方で、この鉄道網の発達には、乗換え負荷の増大といった問題を抱えており、乗換えの拠点となる駅のリフォームが求められている。

このような中、2000年には交通バリアフリー法が施行され、様々な鉄道駅においてエスカレータ等の設置やユニバーサルデザインを取り入れた施設整備が進められている。つまり、今が鉄道駅をリフォームする絶好のチャンスであり、限られた予算制約の中で最大限に効果を上げる整備を実施することが求められている。

しかし、これまで実施された駅整備をみると、その効果が十分に発揮されているとは言い難い。例えば、上下移動の負荷を軽減するエスカレータの設置は、ただ単に階段をエスカレータに置き換えるという部分的整備にとどまっております。それによる駅全体への影響に対し十分に配慮がなされていない。そのため、エスカレータ付近では歩行者の集中、滞留が生じ、またその影響はコンコースまで広がり、歩行者同士の交錯や衝突などを招いている。つまり、効果的な整備を実現するには、歩行者への影響を事前に予測し、様々な代替案を検討することが必要である。

そこで、本研究では乗換え駅の施設整備に着目し、様々な整備ケースによる歩行者への影響を事前に予測・検討できる歩行者行動シミュレーションモデルの構築を目的とする。本稿では、特に駅構内における歩行者の挙動特性分析

に重点を置き、そこから得られたいくつかの知見をシミュレーションモデルに反映させることを試みる。

2. 歩行者行動データの取得方法

歩行者行動に基づいたモデルを構築するには、まず歩行者の挙動を示す実データの取得が必要となる。

これには、駅構内の利用状況を映像として記録できるビデオカメラが適していると考えられ、本研究では歩行者の実挙動の取得にビデオカメラを利用する。ビデオカメラには、1)歩行者の挙動を空間的に捉えることが可能、2)全数調査が可能、3)ITの発展により容易に画像処理技術の適用が可能といった利点があり、特に画像処理によって得られる歩行者の軌跡データは、歩行者の位置座標、歩行速度、空間モジュールなど、実挙動および歩行環境を示す多くの歩行情報を有している。したがって本研究では、この軌跡データを用いて歩行者の挙動特性分析を行う。

< 2. 1 > 調査

本研究では、東武春日部駅を対象とし、平成 15 年 10 月 19 日 (日) と 20 日 (月) の午前 6 時 30 分から午後 8 時までビデオカメラによる歩行者流動調査を実施している。調査に使用したビデオカメラの配置位置は、図 1 に示すとおりである。

尚、歩行者の挙動特性分析ならびにシミュレーションモデルの対象範囲は、大宮・東武動物公園方面の跨線橋とし、図 1 における四角形で囲まれた部分である。

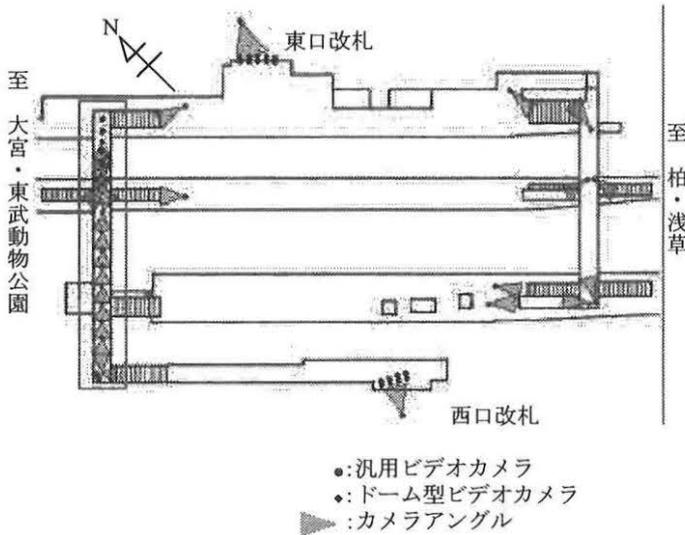


図 1. 春日部駅における調査機器の設置位置

< 2. 2 > 軌跡データの取得

ビデオ映像から歩行者の軌跡データを取得する手法については、テンプレートマッチングを用いた手法が筆者ら (2003) により提案されている。しかし、本研究で対象とする春日部駅では、日光の影響により輝度、明度に変化が生じる場合が多く、歩行者の特定において誤認識が多数発生する。そこで、図 3 に示すように歩行者の頭部に手動にてマーキングを行い、歩行者の特定を行っている。但し、日中の空間モジュールが高い歩行環境下においては、歩行者の足元にマーキングすることにより、軌跡データの精度の向上を図っている。図 4 では、図 3 の画像から、マーキングしている部分のみを抽出している。既存の画像処理ソフトを援用し、マーキングしている箇所に閾値を設定することにより、対象部分のみを抽出し、MS Excel に座標値として出力している。図 5 は、フレーム毎に出力される歩行者の位置情報を、それぞれの歩行者について連続化し、ビデオ座標上の 4 次元パスとして取扱っている。頭部にマーキングしている場合、歩行者の身長を一律 160cm と仮定してアフィン変換を行ない、最終的に図 6 を取得している。



図 2. 原画像



図 3. マーキング画像



図 4. マーキング抽出画像

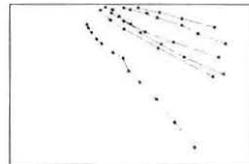


図 5. ビデオ座標上の軌跡



図 6. 測地座標系の軌跡

3 歩行者挙動特性

< 3. 1 > 流れの傾向

本研究は、調査により得られた画像を処理することによって、図 7 に示す軌跡データを取得している。これによると、図 1 に示す対象エリアにおける歩行者は左側通行する傾向が強いことが見て取れる。

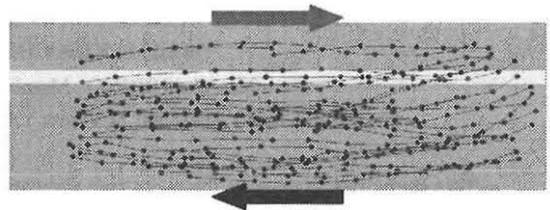


図 7. 左側通行の傾向を示す歩行軌跡

< 3. 2 > 歩行速度

取得された軌跡データより、図 8 に示すような平日の全調査時間における平均歩行速度、最頻歩行速度の取得が可能である。これによると、全時間帯の平均歩行速度は約 1.8m/s (6.48km/h) 前後となっている。どの時間帯においても、歩行速度にはかなりの幅があることが見て取れる。この理由としては、歩行者の属性 (性別、年齢、移動目的等) が様々であることの他に混雑状況が影響していると考えられる。

そこで、混雑状況が歩行速度へ及ぼす影響について調べるため、混雑状況として①一方向の歩行者数が多い一方と比較して極端に多い場合、②両方の歩行者数がほぼ同程度である場合、③非混雑時という 3 つを考え、それぞれの状況ごとの平均歩行速度を計測する。その結果を図 9, 図 10, 図 11 に示す。尚、各グラフの 2 つの棒グラフは 10 秒間の断面通過人数を示し、画像上の進行方向により分けている。また、折れ線グラフは平均歩行速度を表している。図 9, 図 10, 図 11 より、歩行者数が多い側の歩行速度が大きくなっていることが見て取れる。また、最も歩行スペースが確保されやすい非混雑時よりもある程度混雑している時の方が、歩行速度が大きくなる傾向が見て取れる。

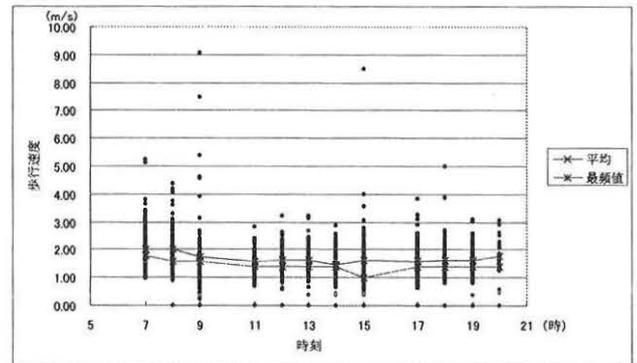


図 8. 平日における全時間帯の歩行速度

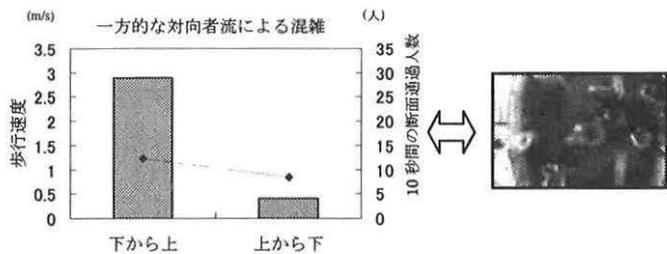


図 9. ケース①

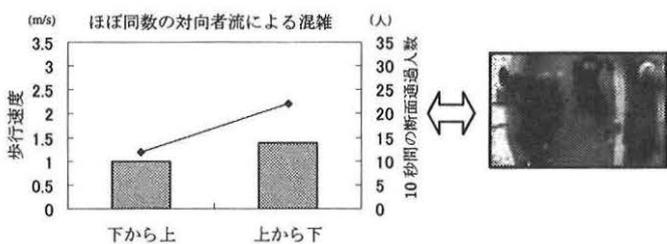


図 10. ケース②

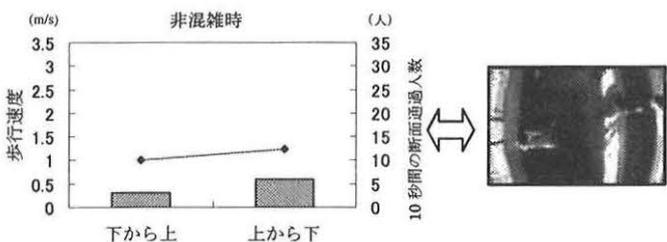


図 11. ケース③

4. 歩行者シミュレーションモデルの構築

歩行特性を踏まえ、本章では歩行者シミュレーションモデルの構築を試みる。歩行者モデルの構築においては、クーロンの法則を歩行行動の表現に応用した岡崎 (1979)^{2), 3), 4)} のモデルが特筆されるが、不規則な歩行行動の表現には主眼が置かれていない。

歩行者流というのは、巨視的な視点ではみな同一の方向に進行しているように見えても、微視的な視点で見ると各歩行者の進行方向は、必ずしも同一方向とは限らない。このような不規則な挙動はモデル化が困難とされてきたが、近年、森下 (2003)⁵⁾、加藤ら (2002)⁶⁾ がセル・オートマトン (C.A.) 法の歩行者交通流への応用可能性を示唆しており、本研究ではこの C.A. 法の概念のモデルへの応用を試みている。

< 4. 1 > セル・オートマトン (C.A.) 法

C.A. 法は不規則な現象の解明を念頭にした方法論であり、隣り合う要素間のマイクロな相互作用による自己組織化を期待してその現象の解明しようとする手法である。具体的には、1) 対象をセル (Cell) と呼ばれるマイクロな要素に分解し、一つ一つのセルに、壁面や歩行空間、歩行者等の、情報を

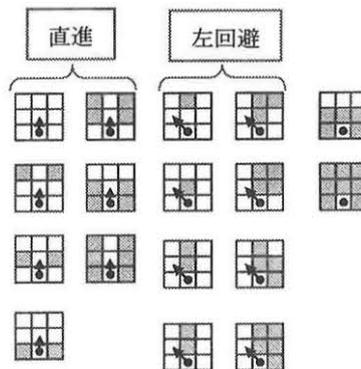
与える。2) 回避、追い越し、直進、曲折等の歩行者の行動を、隣り合うセル間の関係を示す近傍則 (局所的相互作用) により決定する。3) 各セルはこの近傍則に従い、次の時刻での歩行者の位置座標を決定する。この C.A. 法の最大の特徴は、簡単な近傍則の記述で不規則な現象を表現できるという点にある。

< 4. 2 > モデル構築

本研究では、歩行者行動モデルの構築にあたり、以下のようなセルの状態および近傍則を定義している。

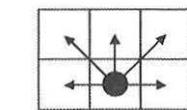
- ・ 滞留時の空間モジュールがおよそ 0.3m^2 であること、Jhon J. Fruin (1974)⁷⁾ の「人体楕円」より肩幅が 60cm とされていることから、本研究では 1 セルの大きさを縦横 0.6m と設定している。
- ・ 歩行者は毎秒 2 セル進むとし、このことから通常歩行速度は 4.32km/h 、高速歩行者は毎秒 4 セル進むとし、2 倍の 8.64km/h 設定し、1 時間ステップごとに 1 セル移動するものとする。
- ・ 目的地は、全歩行者にそれぞれ異なった ID 番号を付与することで設定している。
- ・ 判断領域は、前方 2 セルとその左右の 6 セルと両隣の 2 セルを合わせて 8 セルとする。歩行者はこの領域に入った対向者又は障害物に対して適切な行動領域を選択する。
- ・ ビデオ映像から取得された軌跡データにより、分析対象範囲を利用する歩行者は左側通行する傾向が認められる。このため、本モデルでは基本的に対向者の回避は左側とする。

以上を踏まえ、図 12 に示す簡単な近傍則を定義する。この図における歩行者以外の 8 個のセルは、歩行者の視野と仮定している。各歩行者は常に視野内に他の歩行者や壁面が存在しているかサーチし、行動をとる。この視野とその取るべき行動の関係を定義したものが、本研究の近傍則であり、その行動範囲は図 13 の 1 単位時間当たりの歩行可能領域によって制限されている。



● : 歩行者
■ : 他の歩行者又は壁面

図 12. 近傍則



● : 歩行者
← : 進行方向

図 13. 歩行可能領域

< 4. 3 > シミュレーションの実行

図 14 はシミュレーションの実行画面を示しており、簡単な近傍則ではあるが、歩行者の歩行行動の表現に成功した。図 14、図 15 における 5 色の四角形は、各歩行者を表しており、実行画面上ではこれが動的に表示され、その色は各通路部からの流入人数を示しており、実行時に入力している。また、1 単位時間毎の歩行座標を取得しているため、実行後の結果を集計した分析も可能であるが、動的に表示されることで大局的な挙動を視認することも可能としている。

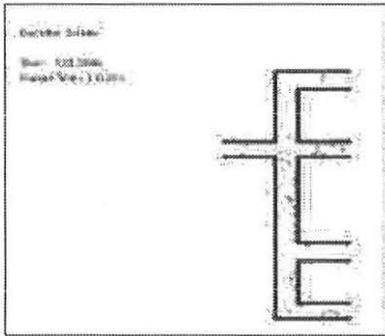


図 14. 実行画面

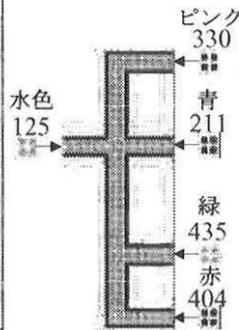


図 15. 流入人数

< 4. 4 > 再現性の検証

図 16 はモデル構築対象エリア全体での時間占有率を示したものである。モデルの再現性のひとつとして図 16 における四角形で囲まれた部分の時間占有率を実際のもものと比べてみたところ、シミュレーションによる時間占有率は棒グラフの様になり、また実際の時間占有率は図 17 のようになった。この図からもわかるように、本モデルの時間占有率のこの一方へ偏る傾向は、実際と比べて強すぎるが見て取れる。これは解決しなければならない課題であるが、現状の極簡単な近傍則に改良を加えることによりこの課題を改善できるものと考えている。

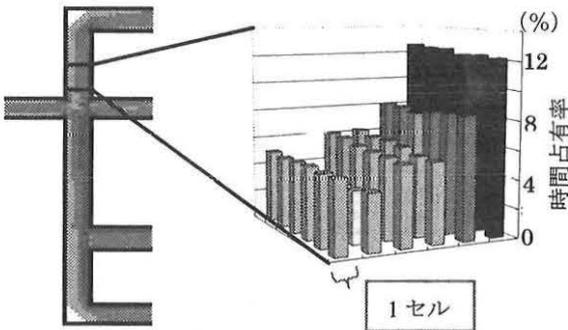


図 16. シミュレーションによる時間占有率

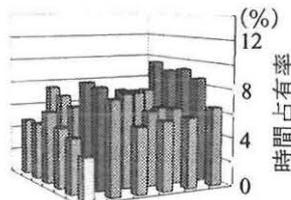


図 17. 実際の時間占有率

5. おわりに

本研究では、歩行者の実挙動をビデオカメラによる撮影で取得し、さらに画像処理技術を適用することにより軌跡データの取得を行った。また、軌跡データをもとに歩行者の挙動特性分析を行い、いくつかの知見を得ることができた。特に、歩行速度については非混雑時よりも、やや混雑している状況の方が速くなる傾向があること、対抗する歩行者流の多さが歩行速度に影響することが確認できた。さらに、不規則な挙動を示す歩行者流を C.A.法の概念を応用することで、そのモデル化を試みた。現時点では、挙動特性分析で得られた知見の全てをモデルに取り入れられておらず、まだまだ再現性は不十分であるが、今後のより良い駅整備を検討していく上で、このような歩行者行動に基づいたモデルが有効であることを示し得た。

なお、今後の課題としては、先に述べた混雑に応じた速度変化に加え、性別、年齢といった属性による速度変化を考慮していかなくてはならない点、得られた軌跡データの更なる活用、そしてこれらの特性をモデルへ導入するための近傍則の改善などが挙げられる。

謝辞

本研究での歩行者流動調査に際し、東武鉄道㈱、㈱NTT データ、㈱アイ・ティ・リサーチの皆様には、データおよび測定機器の提供にて多大なるご協力を賜った。また、本研究は、文部科学省科学研究費(若手研究(B)15760401)の研究助成を受けて実施した。ここに記して、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 日比野 直彦, 中山 泰成, 内山 久雄, 高平 剛: 鉄道駅における歩行者データの取得および活用方法に関する一考察土木計画学研究・講演集 No.27, 4 pages, 2003.6
- 2) 岡崎甚幸: 建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究—その1 磁気モデルの応用による歩行モデル, 日本建築学会論文報告集 第 283 号, pp.111-117, 1979
- 3) 岡崎甚幸: 建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究—その2 混雑した場所での歩行, 日本建築学会論文報告集 第 284 号, pp.101-108, 1979
- 4) 岡崎甚幸: 建築空間における歩行のためのシミュレーションモデルの研究—その3 停滞や火災を考慮して最短経路を選ぶ歩行, 日本建築学会論文報告集 第 285 号, pp.137-144, 1979
- 5) 森下信: セルオートマトン—複雑系の具象化, 養賢堂, 2003
- 6) 加藤恭義, 光成友孝, 築山洋: セルオートマトン法, 森北出版, 2002
- 7) John J. Fruin (長島正充): 歩行者の空間, 鹿島出版, 1974