

駅ホーム上の旅客流動のマルチエージェントによるシミュレーション

稲木 達哉* (千葉工業大学), 富井 規雄 (千葉工業大学)

Passenger Flow Simulation on Station Platform based on Multi Agent Model
Tatusya Inagi* (Chiba Institute of Technology), Norio Tomii (Chiba Institute of Technology)

Abstract

We have developed a simulator for passengers' flow on a station platform. This simulator is designed based on a multi agent model in which each passenger agent behave independently. Passengers' behavior of choosing a place to wait for a train, getting on or off a train etc. are simulated in detail considering their choice, mutual interaction, congestion, obstacles on a platform etc. This simulator was developed to estimate dwell times of trains, because railway companies are now keen to keep punctuality of trains during rush hours in urban railway lines and the dwell times are the most influential factor for punctuality. Using this simulator, it is now possible to analyze the mechanism of occurrence of delays caused by passengers' flow and to estimate in advance effectiveness of countermeasures such as modification of timetables, change of the position where trains stop, renovation of platforms etc.

キーワード: 旅客流動, マルチエージェントシミュレーション, 鉄道
(passenger flow, multi-agent simulation, railway)

1. はじめに

最近, 都市圏での通勤・通学ラッシュ時において頻繁に発生する列車の遅延が問題となっている。僅かな遅れでも, 一度発生すると他の列車に伝播するため, 鉄道会社は, 遅延発生防止の改善策や遅延の伝播に強いダイヤの作成に強い関心を持っている⁽¹⁾。

遅延発生防止の改善策や遅延の伝播に強いダイヤの作成には, 現在施行されているダイヤでの問題点の分析・特定を行なうと共に, 改善策と新たに作成したダイヤを施行した際の効果を事前に予測し, 評価を行なうことが求められる。

施行前の改善策やダイヤに対して, その効果を事前に予測する方法の一つに, 列車運行と旅客流動の相互作用を加味したシミュレータを用いるものが提案されている⁽²⁾⁽³⁾。これは, 列車の運行とあわせて旅客一人ひとりの出発駅から目的駅までの利用列車と乗車扉を選択するといった行動を模擬することで, 現実に近い列車運行を再現できる。

しかし, 既存のシミュレータでは, 現状の観察等をもとに旅客の乗車位置の偏り具合等があらかじめ分かっているものとして各扉の乗降人数を推定している。そのため, 列車の停止位置や階段の位置等を変えた場合の推定には限界があると考えられる。また, 乗降に要する時間は, 推定した各扉の乗降人数をもとに, ある固定的な算出式によって計算されるため, 現実に発生するホーム側の混雑の影響, 再乗車・駆け込み乗車・ドア挟まり時の駅員の対応等の影響などが考慮されていないという課題がある。

筆者らは混雑時の乗降時間をできるかぎり正確に推定することを目的に, 現実に近い駅ホーム上の旅客流動を模擬するシミュレータの開発に取り組んでいる。乗降時間を算

出する上で, 以下のもので重要であると考えられる。

- 各旅客の乗車位置の推定
- 乗降時の扉付近の旅客流動の再現
- 乗降時の車内の混雑の再現
- 駅員の扉を閉めるタイミングの判断

これらを再現するには, 旅客一人ひとりの目的や嗜好の違いを表した行動と, その行動が他の旅客に与える影響, また行動に影響を与える駅ホーム上の建造物の形状, 位置といった環境, 駅員の判断に影響を与える列車運行の状況を考慮する必要がある。

本研究では, 上記問題を解決するために, 列車運行状況を考慮し, 各旅客や駅員をエージェント, 駅ホーム上と車両を環境とするマルチエージェントシミュレーションを用いる。

本稿では, 駅ホーム上の旅客流動シミュレーションの構想と, 現状までの進捗状況を報告する。

2. 既存研究と解決すべき課題

(2-1) 既存研究 これまでにも, 乗降時の旅客流動シミュレータの開発が行なわれている。

上松ら⁽⁴⁾は, 乗降人数が最大になる扉付近のホームならびに車内を中心に, 乗降時の旅客流動を模擬している。降車しない車内の乗客の動きも加味されており, 車内混雑時に発生する降車客に押し出された旅客の再乗車行動が再現されている。一方, 駅ホーム上の詳細な旅客流動の模擬を行っていないため, 乗車人数決定における乗車位置の推定にホーム上の混雑を加味しておらず, 車内での行動に旅客の趣向が反映されていないといった問題がある。

渡邊ら⁽⁵⁾は, 駅ホーム上を中心に, 乗降時の旅客流動を

模擬している。旅客の目的・嗜好を反映させた乗車位置推定による扉前の整列の再現や、ポテンシャルモデルを用いることで、駅ホーム時と乗降時の他の旅客や駅ホーム上の施設・設備の影響を反映した歩行が再現されている。しかし、車内の旅客流動と混雑の推定を行っていないため、乗降時における車内混雑の影響が加味されておらず、降車する旅客に押し出された車内の旅客の再乗車行動等が再現されていない。

また、どちらの研究でも、降車する全ての旅客が降車した後、乗車する旅客の乗車行動を開始しており、個々の旅客が状況に応じて判断するとはされていない。そして、駅ホーム上に存在する全ての乗車する旅客が乗車を完了した時、その駅での乗降が終了したと判断している。しかし、現実には乗降の終了を判断するのは、車掌や駅員であるため、駅員の人数や配置の変化による乗降時間の影響なども考慮すべきであると考えられる。

〈2・2〉 解決すべき課題 本研究で開発するシミュレータは、既存のシミュレータの手法を参考にしつつ、乗降時間に影響を与えると考えられる要素をできる限り導入する。そのため、下記の課題に対して取り組む必要がある。

- (1) 旅客一人ひとりの異なる目的や嗜好を反映した行動が再現できるシミュレーション
- (2) 駅ホームの構造やホーム上の設備といった環境の違いに対応できるシミュレーション
- (3) 乗降時間に影響すると推測される、列車の到着を知らせるアナウンスや車掌・駅員の行動といった要素が再現できるシミュレーション

3. アプローチ

本研究では、旅客と駅員、車掌をエージェント、駅ホームを環境とするマルチエージェントシミュレーション (以下、MAS) を用いる。

MAS は、エージェントと環境から構成されるシミュレーションで、多数の自律的に行動するエージェントが、環境や自身の状況を知覚し目的に向かって行動する。この時、エージェント相互と環境にも影響を与える特徴を持っているため、旅客の目的や行動の違いや駅ホームの構造や設備といった環境の違い、アナウンスの有無、旅客の乗降状況による駅員の行動の再現に対応できる。

〈3・1〉 環境と状況 本研究では、乗降時間に影響を与えると考えられる、階段や柱、壁の位置や大きさとホームの幅などの環境や、列車の運行状況と停車位置、アナウンス、駅員の配置状況、駆け込み乗車などを加味する。

〈3・2〉 旅客エージェント 各旅客をエージェントとする。旅客は、列車の運行状況と視野内の環境情報、自身の嗜好を加味し、目的位置の決定と移動を行なう。これにより、各旅客の行動および全体での流動を詳細に再現することが可能となる。

旅客行動をモデル化したものを図 1 に示す。

〈3・2・1〉 旅客の歩行の再現 本研究では、駅ホームな

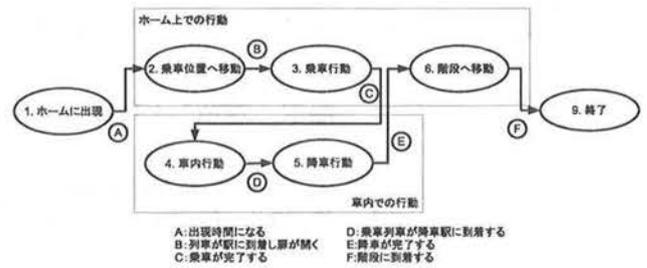


図 1 旅客エージェントの行動モデル

らびに車内における旅客の歩行を再現するモデルとして、ポテンシャルモデルを用いる⁽⁶⁾。

ポテンシャルモデルとは、旅客と障害物に同極の電荷、目的位置に異極の電荷を与えることで、旅客同士と旅客と障害物の間には距離に依存する反発力を、旅客と目的地の間には引力を作用させることで目的位置への移動と障害物の回避を再現できる。

本研究では、目的位置と視野内に存在する他の旅客と壁や柱などを障害物としてポテンシャルモデルを適用し、歩行を行なう。

〈3・2・2〉 旅客の可視判定 人間は、前方約 5[m] の視野内にいる人や物を見ながら行動の判断を行なう⁽⁷⁾。また、歩行時の視野角はだいたい 110~160 度だと言われている。そのため、本研究では図 2 のように、半径 5[m] 中心角 110~160 度の扇型の内部に存在する旅客と障害物を見えると判定する。

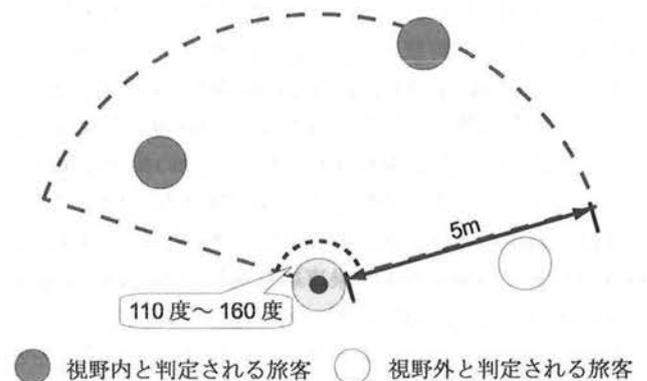


図 2 旅客の視野判定

〈3・3〉 乗車位置への移動

〈3・3・1〉 乗車位置決定方法 旅客の乗車位置を決定する要因の順番は以下である⁽⁸⁾。

- (1) 降車駅で階段などが近い
- (2) 乗車駅で階段などに近い
- (3) 駅構内や車内が比較的混雑していない

そこで本研究では、上記のような旅客一人ひとりの嗜好を乗車位置決定に反映させるため、式 1 の評価値 E を用いる。なお、評価値 E は小さいほど評価が高い。乗車位置を決定するタイミングは、駅ホーム出現時ならびに、移動中に現在の目的としている乗車位置に並んでいる人数が変化

した場合である。

$$E = \alpha \times \text{getoff} + \beta \times \text{geton} + \gamma \times \text{number} \quad (1)$$

E : 評価値

getoff : 降車駅の階段に一番近い扉となる乗車位置から対象乗車位置までの距離

geton : 現在位置から対象の乗車位置の最後尾との距離

number : 対象乗車位置に並んでる人数

α, β, γ : 各要因に対する旅客の嗜好の重み

〈3・3・2〉乗車位置で列車を待つ旅客の列の回避 狭い駅ホーム上では、乗車位置で列車を待つ旅客の列（以下、待ち列）も歩行の障害となる。現実において、旅客は待ち列の後方に歩行できるスペースがあれば、待ち列を回避する行動をとる。そこで、図3のように視野内に待ち列を捉えたら、目的位置（図3では乗車待ち位置）への引力ベクトルと待ち列後方のスペースを表す線分との交差判定を行なう。交差していない場合は、図4のように待ち列後方を一時的な目的位置に設定して移動する。

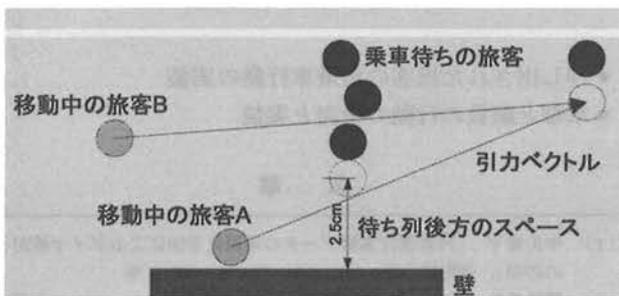


図3 引力ベクトルと待ち列後方のスペースを表す線分との交差判定

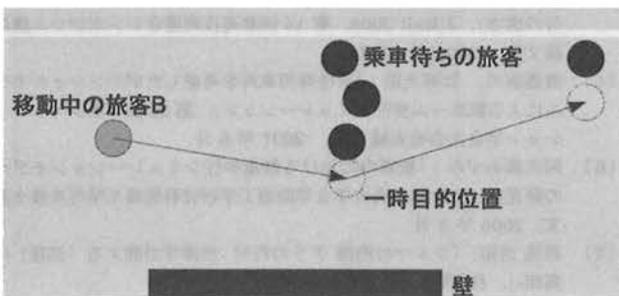


図4 交差していない場合の一時目的位置設定

〈3・4〉乗車行動

〈3・4・1〉乗車する扉の決定 乗車位置の待ち列に並んでいる旅客は、その待ち位置に対応する扉を乗車する扉とする。また、乗車位置に移動中に列車が到着した場合は、現在位置から最も近い扉を乗車する扉とする。

〈3・4・2〉乗車時における降車旅客待ち行動 乗降時において乗車する旅客は、降車する旅客がいる場合、扉の脇に移動して降車するのを待ち、降車の流れが途切れたら乗車を開始する。既存研究では、降車する全ての旅客が降車した後に乗車を開始するが、本研究では個々の旅客が判断する。判断プロセスは以下の通りである。

- (1) 視野内の降車する旅客を探索する
- (2) 現在位置から乗車時の目的位置への引力ベクトル（図5では \vec{A} ）と乗車位置から一番近い扉の脇までの位置ベクトル（図5では \vec{B} ）とのなす角を求める
- (3) 視野内に降車する旅客が存在し、かつ上記で求めた角度が90度未満の場合、一番近い扉の脇を一時的な目的位置に設定して移動する
- (4) そうでなければ、乗車時の目的位置へ移動する

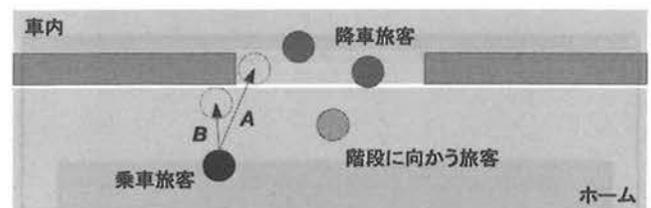


図5 乗車時における降車旅客待ち行動判断

〈3・5〉車内行動

〈3・5・1〉車内行動時における目的位置決定方法 旅客は乗車後、まず視野内に存在する空いている座席に向かうと考えられる。その後、空いている座席がなければ以下の要素に対して自分の嗜好に合った目的位置を決定し、行動すると考えられる。

- (1) 他の旅客との位置
- (2) 吊革の位置
- (3) 座席との距離
- (4) 扉との距離

〈3・5・2〉ホームに押し出された旅客の再乗車行動の再現 車内混雑時の乗降時に発生する、降車客によってホームに押し出された旅客の再乗車行動を再現する。ホームに押し出された旅客は、目的位置を現在位置に最も近い扉に設定し、乗車時における降車旅客待ち行動の判断プロセスを用いて乗車行動を行なう。

〈3・6〉車掌エージェント 車掌エージェントは、一人必ず列車の最後尾の車両に存在し、駅員エージェントが存在しなければ駅での乗降の終了を判断する。乗降の終了判定方法や行動の詳細について現在検討中である。

〈3・7〉駅員エージェント 駅員エージェントは、駅ホーム上に0~複数人存在し、駅での乗降の終了を判断する。また、車内が混雑して乗車できない扉を見つけると、その扉まで移動して乗車する旅客を押しなどの行動をする。乗降の終了判定方法や行動の詳細について現在検討中である。

4. 進捗状況

現在の進捗状況として、仮定の駅ホーム上において、階段に出現した旅客の乗車位置への移動、乗車する旅客が降車する旅客を待つなどの乗車行動、降車した旅客が階段まで移動する動作まで実装した。

ホーム両端に階段がある駅での、旅客の乗車位置への移動と列車到着の待ち、列車到着後の乗車行動と降車行動、降車後の階段までの移動の一連の流れをシミュレーションした結果を図6、7に示す。図6における白い丸が列車を待つ旅客、黒い丸がホームを移動中の旅客である。図7の白い丸は乗車待ちの旅客、黒い丸が降車後の階段まで移動中の旅客、灰色の丸は車内にいる旅客をそれぞれ表している。結果より、駅ホーム上の旅客流動と乗車位置で列車を待つ乗車する旅客の列、乗降時の旅客の行動は、ほぼ現実を再現できていると考えられる。

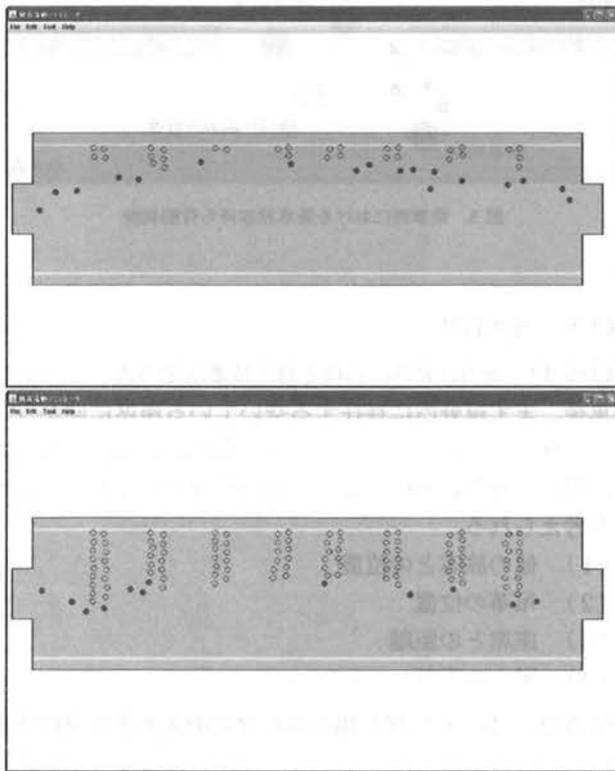


図6 駅ホーム上の旅客流動

5. おわりに

本稿では、乗降時間を推定することを目的とした、乗降時間に影響を与えると考えられる要素をできるだけ加味した駅ホーム上の旅客流動シミュレーションを提案し、現在までの進捗状況について報告した。今後は、以下の残された課題を解決すると共に、乗降時間に影響を与えると考えられる他の要素の検討を行なう必要があると考えている。

- 現実の駅に対するシミュレーションの適用
- 乗車位置の待ち列や降車する旅客を待つ行動の現実との比較と改良
- 車内における旅客行動の検討と実装

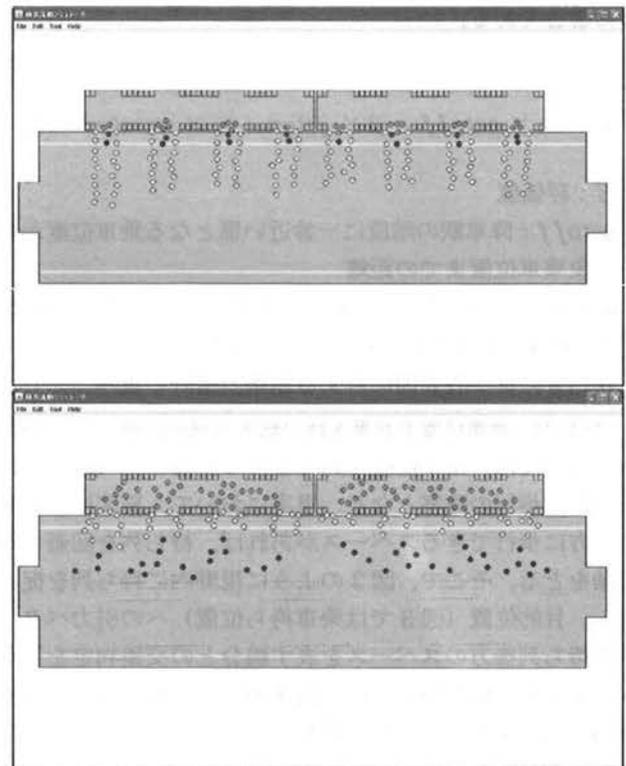


図7 乗降時における旅客流動

- 押し出された旅客の再乗車行動の実装
- 車掌と駅員の行動の検討と実装

文 献

- (1) 牛田賢平：「列車運行実績データの可視化手法によるダイヤ検討への応用」, 運転協会誌, Vol. 52, No. 8, 2010年.
- (2) 國松武俊, 平井 力, 富井規雄：「マイクロシミュレーションを用いた利用者の視点による列車ダイヤ評価手法」, 電気学会論文誌(産業応用部門) Vol.130-D No.4, 2010年4月.
- (3) 中村恭平, 富井規雄：「エージェントモデルに基づく詳細な列車運行および旅客行動を再現するシミュレータの開発」, 電気学会全国大会, 2010年3月.
- (4) 上松苑, 岩倉成志：「エージェントモデルによる都市鉄道の乗降時分の推定」, J-Rail 2008, 第15回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 2008年12月.
- (5) 渡邊康司, 牧野光則：「女性専用車両を考慮したポテンシャルモデルによる駅ホーム歩行シミュレーション」, 第26回日本シミュレーション学会大会発表論文集, 2007年6月.
- (6) 阿久澤あずみ：「駅構内における群集歩行シミュレーションモデルの研究」, 2005年中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻修士論文, 2006年3月.
- (7) 西成 活裕, 「クルマの渋滞 アリの行列 -渋滞学が教える「混雑」の真相-」, 技術評論社, 2007年6月.
- (8) 青木俊幸, 大戸広道, 山本昌和：「リアルタイムな誘導案内による旅客流動の最適化手法」 鉄道総研報告, Vol.17 No.3, 2003年.