

学〔土〕○柿元 祐史 (名古屋大院) 正〔土〕 浅野 美帆 (名古屋大院)

正〔土〕 中村 英樹 (名古屋大院)

Modeling Kiss-and-Ride Vehicle Maneuver for Congestion Evaluation at Station Site

Yuji KAKIMOTO, Nagoya Univ. C1-2, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya City

Miho ASANO, Nagoya Univ.

Hideki NAKAMURA, Nagoya Univ.

Congestion of Kiss-and-Ride (K&R) vehicle in station site is one of the reasons to reduce level of services at railway stations. The objective of this research is to develop a simulation model to represent K&R vehicle maneuver at station site. Necessary sub-models which represent specific maneuvers of K&R vehicles, including a model to determine the stop position for picking up and dropping off, are summarized based on previous studies. A prototype of the simulation is proposed and implemented in this article. The results of the prototype simulation showed that blockages of traffic due to the K&R vehicles and congestion caused by the blockage.

Keywords: station site, kiss-and-ride, simulation, stopping choice model

1. はじめに

駅前広場は各種交通モード間の乗換を円滑に行うために必要不可欠な空間である。我が国の駅前広場は、タクシーの客待ち行列による混雑や歩行者の交通広場の横断による交錯、これらの輻輳によるバスの遅れ、キスアンドライド(以下K&R)と呼ばれる交通形態の増加への対応など、円滑性・安全性に関するさまざまな問題が顕著であり、駅前空間が最優先すべき交通結節機能がうまく発揮されない状態にあると言える。その理由として、駅前広場の交通結節機能を確保するために必要な詳細設計¹⁾の方法論が確立されていないことや、広場利用車両の特性について十分に考慮されていないことが挙げられる。特にK&R車両は、広場内に明確な停車・待機位置が定められていることが少ない。また例えば停車位置が示されていても、そこに実際に停車するか否かは個人の選択行動に委ねられており、公共交通機関と比べると行動規範の制約が少ない。そのため、広場内の特定の区間に停車位置が一極集中することによる広場内交通の停滞や、公共交通の通行の妨げなど、広場内外のサービス水準を引き下げる大きな要因になると考えられる。

このような問題を解消するためには、広場構造・施設配置に応じた利用者行動、ひいてはその結果生じる車両の交錯状況を定量的に評価する手法が必要である。交通シミュレーションはそのための有力なツールの1つと考えられる。吉田ら²⁾は、交通シミュレーションを駅前広場に適用し、広場のレイアウト変更やITS導入による効果について分析・評価を行っている。また堀田・山川³⁾は、ビデオ画像観測から得られたK&R車両データをもとに、駅前広場のK&R車両の動線の変更がバス交通の円滑性に与える影響についてシミュレーション分析を行

っている。しかしこれらの研究では、K&R車両の動線は外生的に与えたもので、停車位置を自由に選択するK&R車両特有の挙動を表現することはできない。

筆者ら⁴⁾は、K&R車両の停車位置、時間などの停車特性の実測分析を行い、施設や障害物などの配置とK&R車両の停車位置選択行動との関係を定量的にモデル化した。しかし、あくまで個々の車両の選択行動に関する分析であり、車両が停車することによる走行空間の閉塞、またその結果生じる混雑状況の分析には至っていない。

本研究は、施設配置等に応じた利用者挙動を表現し、駅前広場の混雑状況を評価するためのシミュレーションモデルの構築を目的とする。まず、シミュレーションにおいて表現すべき、駅前広場に特有のK&R挙動特性と、対応するモデルについて整理する。加えて、シミュレーションのプロトタイプを作成し、広場滞在時間や遅れ時間などの混雑評価の指標となる値を試算する。

2. シミュレーションモデルの要件(構成要素の整理)

この章では、一般的なマイクロ交通シミュレーションには実装されていない、駅前広場のシミュレーションにおいて必要な要素を整理する。

2.1 駅前広場の車両挙動特性

駅前広場の車両挙動特性としては、低速であること、ほとんどの場合必ず人の乗降のために一定時間の停車を行うこと、乗降前・乗降中・乗降後の3種類の車両の状態があり、状態に応じて行動目的が異なることが挙げられる。また、K&R車両には、駅に人を送る送り車両と、駅で待っている人を迎えに来た迎え車両の2つが存在する。また、このうち迎え車両は、車が広場に先に到着す

る「車先行型」と人が先に到着する「人先行型」の2つにさらに分けられる。これらの形態の違いによって停車時間や停車位置選択行動に違いがある⁴⁾。さらに、駅前広場の車両走行区間には数台の車両が並走できる幅があるものの、公道のように車線が設定されているわけではないため、車両の横方向への移動規範が曖昧であり、広場の中央で乗降する車両も見られる。

以上の特性によって、公道ではあまり見られない混雑が発生することがある。図-1にJR東海道線尾張一宮駅の一般車と降車のタクシー専用の駅前広場の例を示す。公道では、路上駐車車両などにより路側側車線が塞がれボトルネックとなり遅れを生じさせることもあるが、駅前広場では、路側側に加えて導流島側にも停車し乗降を行うため、通過交通の閉塞が起こり待ち行列が伸びることがある。



Fig. 1 Example of Congestion in Station Sites

次に、乗降前・乗降中・乗降後の各状況の車両挙動とそれを表現するうえで必要なモデルについて記載する。

・駅前広場流入時から乗降時までの車両挙動

広場に流入した車両は、周辺車両と衝突しないよう距離を保ちつつ進行し、希望する乗降位置まで向かう。この乗降位置を決定する停車選択モデルが必要となり、その他に追従モデル、横方向位置変更モデルを必要とする。横方向位置変更モデルは、乗降位置で路側に寄せる際と、前方の、主に停車車両を追い越す際に行うもので行動ルールが異なると考えられる。

・乗降時の車両挙動

車両は人の乗降のために一定時間の停車を行う。その停車時間を定めるモデルが必要となる。乗降時間は、その車両の種類や形態に応じて異なるため、それを踏まえたモデルである必要がある。

・乗降時から駅前広場流出までの車両挙動

乗降時から動き出す際には、前方及び後方の車間を考慮して発進し、横方向位置変更や他の車両への追従を行いながら広場出口へと向かう。追従モデルと横方向位置変更モデルを必要とする。

2.2 行動特性の表現に必要なモデル

2.1 で記した行動特性を踏まえたモデルを考える。モデルの前提条件として、車両は低速であるため速度差はほぼ無視できることから、車両の速度は一定の低速値か0の二値で表現する。また、車線が明確ではなく、中央に停車する車両による通行帯閉塞も考えられることから、通常の車線よりも細かい横方向解像度が必要となる。

・停車選択モデル

駅前広場の行動で最も重要となる、人の乗降位置を判断するモデルである。停車選択には駅前広場構造や施設配置、広場利用他車両が関係していると考えられ、

モデルはそれを反映すべきである。またその停車の判断は、周辺車両の状況に応じて時々刻々と更新する。

・追従モデル

一般的な追従モデルでは、前方の車との速度差や車間距離から加減速度を求めるが、駅前広場内の場合、車両速度は低速であるため、車両の加減速は無視することができよう。ここでは停止状態から即座に一定の速度に移行できるものとして、前方や後方の車両との車間を保つという条件でモデルを考える。

・横方向位置変更モデル

横方向位置変更モデルは、一般的なシミュレーションでは車線変更モデルに相当するが、駅前広場内の場合、車線の概念に必ずしも囚われない。広場内での停車車両を避ける行動や、乗降時の路側への移動を表現するために用いられる。前者については、車両速度が低速であるため、明らかに停車（乗降）している車両を追い越すための挙動が主となる。

・停車時間モデル

停車時間モデルは、広場流入車両の停車時間を決定するものである。K&R車両の形態によってその時間が異なることがわかっている⁴⁾。

以上のモデルに影響を与える要因のうち、代表的なものについて、既往研究を踏まえて表-1に整理した。

Table 1 Relationship between Models and Influencing Factors

		代表的な影響要因			
		K&Rの形態	駅前広場の構造	駅前広場内施設配置	周辺他車両
モデルの種類	停車選択	✓	✓	✓	✓
	追従		✓		✓
	停車時間	✓			
	横方向位置変更		✓		✓

3. シミュレーションモデルの作成

本研究ではセルオートマトン法を用いたシミュレーションのプロトタイプを構築した。本プロトタイプは、路側側への停車だけでなく、導流島側への停車行動も表現することで、駅前広場特有の事象である広場の閉塞を再現することを主な目的としており、車線が明確でないがゆえに生じる車両挙動は扱わない。以下、シミュレーションでの行動ルールとその結果について記載する。

3.1 シミュレーションにおける状態量の表現

本シミュレーションにおける車両は、次のようなパラメータを持つ。これらのパラメータは車両がシミュレーションの場に配置される際に決定され、広場から流出するまで変化しないものである。希望停車時間は後述のとおり既往研究を参考に、確率分布に基づき発生させる。

- ・車両の大きさ（1台の車両が占有するセルの範囲）
- ・乗降のための希望停車時間

各時間に更新されるパラメータは以下の通りである。

- ・現在位置
- ・広場滞在時間
- ・停車時間(乗降中の車両であれば)
- ・現在の車両の状態(乗降前・乗降中・乗降後)

多くの場合、駅前広場は図-2のような凹の形をしている。本モデルでは、広場の車両通行部分を幾何構造に

沿って直線に近似した。幾何構造の情報は各セルに与え、車両はその幾何構造の状況に応じた行動をとる事とする。

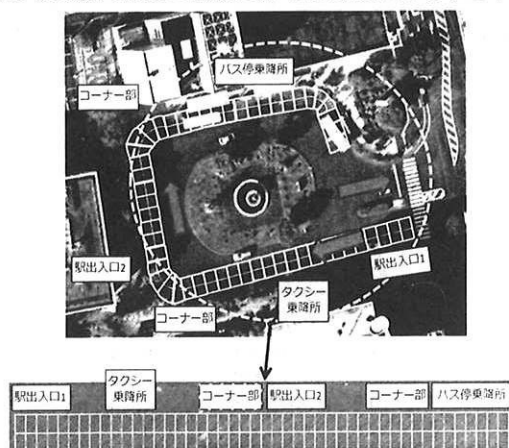


Fig. 2 Assumption of Simulation Layout

3.2 シミュレーション内行動ルール

以下に簡単な例を用いて広場内の車両の行動ルールを説明する。ここでは、車両追従モデル、および駅前広場特有の横方向位置変更モデルと停車選択モデルについて記述する。車両追従モデルは、自車両がセル j にいる場合、その直近前方セル $j+1$ に他車両がいなければ次のシミュレーションステップで $j+1$ に進み、他車両がいればセル j にとどまるといものである。

横方向位置変更モデルは、乗降のために路側で停車する際と、前方車両を避ける際の2種類があり、それぞれ行動のルールが異なる。なおいずれも、実際の車両走行軌跡を踏まえ、真横ではなく斜め前方のセルに移動する。移動したい方向について、現在の車両位置の真横に車両1台分のスペースがあり、かつその前方1セルのスペースがある時に横方向位置変更を行う。

・停車を選択する際の横方向位置変更モデル

車両が次のステップで乗降のための停車を選択し、かつその車両が現在路側にいない場合、横方向位置の変更が可能か判定を行う(図-3左)。

・前方車両を避ける際の走行位置変更モデル

直近前方車両が乗降中車両の場合にのみ、左右方向への位置の変更が可能か判定する(図-3右)。

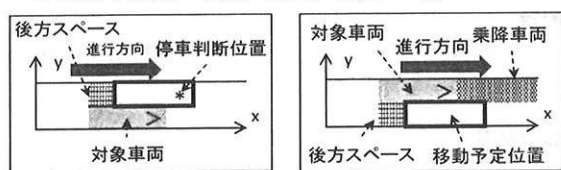


Fig. 3 Horizontal Position Change

停車選択モデルは、筆者ら⁴⁾による二項選択ロジットモデルを適用する。このモデルは、シミュレーションの次のステップにおいて、現在の位置からみて直近前方の路側寄りのセルに停車して人の乗降を行うか否かを選択するものである。セル j にいる車両 i が、直近前方セル $j+1$ で停車を行う確率 $P_{i,j+1}$ は以下の式で表される。

$$P_{i,j+1} = \frac{\exp(V_{i,j+1})}{1 + \exp(V_{i,j+1})} \quad (1)$$

ここに、 $V_{i,j+1}$ はセル $j+1$ で停車することによる車両 i

の確定効用であり、各種説明変数の線形形で表される。説明変数にはそのセルにおける他車両の存在や障害物の有無、駅舎入口までの距離等が含まれる。

上記のモデルは、周辺車両の影響はあくまで効用関数の項の1つであり、車両 i がそのセルに物理的に停車可能であることを保証しない。そこでシミュレーションでは、仮にセル $j+1$ で停車を選択した場合、次のステップでそのセルに停車可能かどうかを判定する。ここで「停車可能」とは、次のステップで、追従または横方向移動によって対象セルに移動可能であることをいう。図-4左側は追従、右側は横方向位置変更により、それぞれ停車判断位置に移動可能な例である。

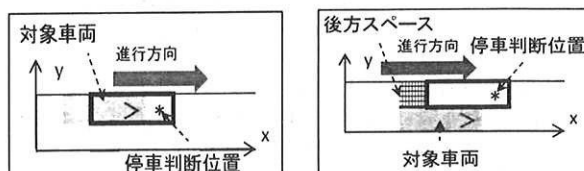


Fig. 4 Stop Judgment position

停車可能であった場合はその位置に進行し、乗降を開始する。既に他の車両がその位置を占有しており停車が不可能であった場合、路側寄りにいる車両であれば図-5のように待機し、現在いるセル j で乗降を開始する。路側側にいない車両で図-6のように停車するスペースが既に乗降車両によって占有されている状態であれば、そのまま前方に進行出来る場合は進行、そうでない場合はその場に待機し、乗降を開始する。

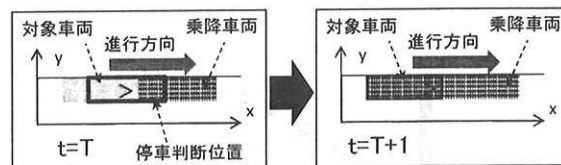


Fig. 5 Example of Stop Choice Behavior 1

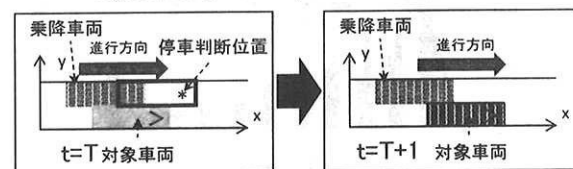


Fig. 6 Example of Stop Choice Behavior 2

4. シミュレーションの結果

上述のモデルを仮定の駅前広場に適用した。セルの大きさは、小型自動車の設計車両サイズ(1.7×4.7)とモデルの作成のしやすさを考慮して一辺 1.5m の正方形とした。1台の車両が占有する範囲は縦1×横3セルに固定した。停車時間や車両の発生確率分布は、既往研究⁴⁾の分布型を用いた。既往研究の停車選択モデルは、約 5m のセル間隔で停車判断を行うものであるため、停車判断タイミングを便宜上現在のセルの位置が上流から数えて3の倍数の時のみとした。需要は朝のピーク時間を想定して200台/時とした。設定した駅前広場の構造は、図-7に示す仮定の広場である。全長を50セル、横方向に2セルを設け、駅舎の入口はシナリオ1では上流から数えて19セル目、シナリオ2では25セル目、シナリオ3では15セル目とした。3つのケースについて、広場内遅延時間、待ち行列の延伸時間、時間-距離図を用いて広場の閉塞を

表現できているか検証を行った。

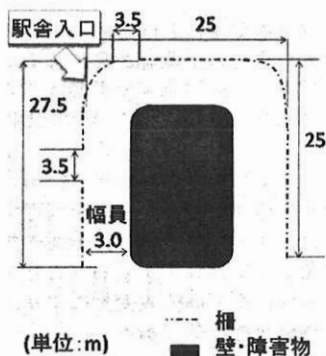


Fig. 7 Simulation Scenario 1

図-8, 9 は各シナリオで 300 秒のシミュレーションを 20 回計算した際に得られた個々の車両の広場内遅れ時間と、待ち行列延伸時間を集計したものである。広場内遅れ時間とは、広場内旅行時間から乗降時間と広場入口から出口までの最短移動時間を差し引いたものである。また、待ち行列延伸時間とは、他車両によるブロッキングで広場内に流入できずに、広場外で待機する車両が存在した時間の合計である。図-8 から広場内遅れ時間はシナリオによる差異は見られなかった。これは、待ち行列により広場に入ることでできない車両の遅れ時間が含まれないためである。しかし、待ち行列延伸時間はシナリオ 2 で短くなっている。これは、駅舎が下流にあり、K&R 車両が下流で停車する傾向があるため、上流部での閉塞が発生しにくくなるものと考えられる。

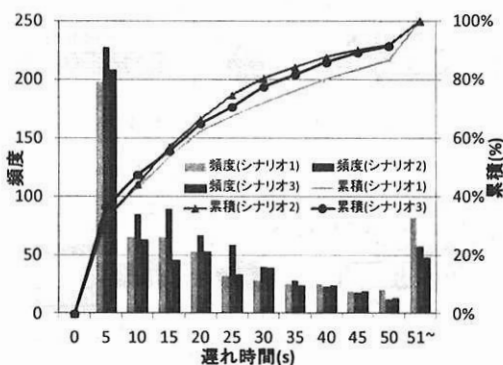


Fig. 8 Delay Calculation in Station Sites

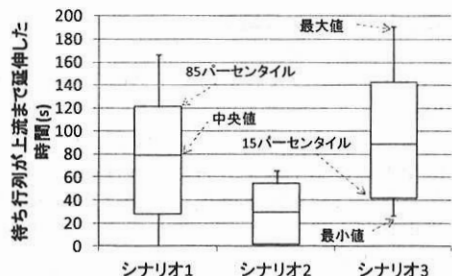


Fig. 9 Duration of Queue Extension to Upstream Arterial

図-10,11 は、それぞれ路側側、導流島側の車両軌跡の時間-距離図である。横軸にシミュレーション経過時刻を、縦軸には駅前広場入口から出口までのセル数を示す。図-10 の路側側の方が車両の停車が多いことが分かる。ま

た、図-10,11 の赤点線で囲まれた部分(100 秒~150 秒付近)では、路側側、導流島側双方での停車により、路側側の車両の待ち行列が上流に延伸している様子が分かる。これは、駅前広場内での二重停車による交通の閉塞を表現できていると言える。

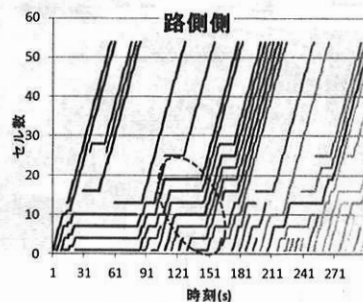


Fig. 10 Time-Space diagram (Roadside)

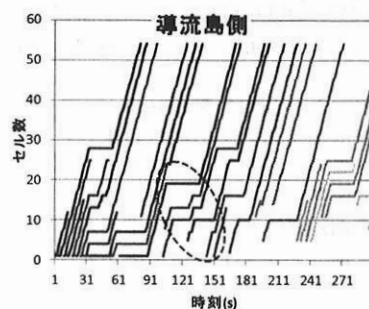


Fig. 11 Time-Space diagram (Island Side)

5. まとめと今後の課題

本研究では、駅前広場のシミュレーションに必要な要件を整理し、作成したシミュレーションのプロトタイプにより、駅前広場内での遅れや交通の閉塞による待ち行列の広場入口方向への延伸が表現できることを確認した。今回のプロトタイプでは、車線に制限されない車両の動きの表現など、整理した要件のうち実装していないものが存在する。より詳細な車両移動を示すためには、セルの大きさを車両幅よりも小さく区切り、車両一台が複数のセルを占めるようなセルの設定が望ましい。今後は、これらをモデルに組み込むとともに、実際の駅前広場での観測データとの比較によるモデル検証が必要である。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金(若手研究(B): 23760479)の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 日本交通協会編：駅前広場計画指針，技法堂出版，1998
- 2) 吉田正，酒匂智彦，富山礼人：駅前広場計画への交通シミュレーション適用に関する研究，第24回土木計画学研究・講演集，No.24(2)，pp.257-260，2001
- 3) 堀田沙絵子，山川仁：K&R 車両の挙動分析に基づく駅前広場運用代替案の評価，第 25 回土木計画学研究・講演集，CD-ROM(152)，2002
- 4) 柿元祐史，浅野美帆，中村英樹：駅前広場におけるキスアンドライド車両の停車特性に関する研究，土木学会論文集 D3，Vol.67，No.5，pp.1_1079-1_1087，2011