

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2011～2014
課題番号：23760479
研究課題名(和文) 道路における空間資源の認知と共有のモデリング

研究課題名(英文) Modeling congestion and share of road spaces

研究代表者
井料 美帆 (Iryo, Miho)

東京大学・生産技術研究所・講師

研究者番号：80469858

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：駅前広場等の都市内道路空間では、幾何構造や施設配置に対する利用者の行動を見据えたうえで、限られた空間を最大限効率的に利用できる設計が求められる。本研究は、車両の停車位置が明確でない駅前広場の一般車の送迎行動を対象に、構造と利用者の停車位置行動選択特性、渋滞現象のメカニズムの関係を定量的に明らかにすることを目的とした。

実態調査から、送りと迎えの目的別に希望停車時間が異なることから、停車位置選択特性や渋滞発生パターンが変化することを示した。また、停車位置選択行動モデルを提案し、交通シミュレーションに実装することで、幾何構造や交通運用状況に応じた駅前広場の効率性を評価可能とした。

研究成果の概要(英文)：In urban road spaces such as approach roads to station terminals, it is necessary to design roads to effectively use the limited spaces considering user behavior reacting to geometry and facility allocations. The research focused on the pick-up and drop-off behavior of passenger cars at station sites where stopping positions are not clearly determined and aimed at quantitatively clarify the impact of geometry upon user stopping choice behavior and mechanism of congestion occurrence. Survey results showed that the characteristics of stopping behavior and congestion pattern vary because of different desired stopping durations between pick-up and drop-off vehicles. Traffic simulation model with proposed stopping choice behavior model were able to evaluate efficiency of station sites dependent on geometry and traffic operations.

研究分野：交通空間機能学

キーワード：土木計画・交通工学 駅前広場 車両挙動 シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

駅前広場や路上・路外駐車場等を含む道路空間においては、利用者が道路という限られた空間を効率的に利用するような設計が求められる。既存の道路空間設計方法では、道路の幾何構造はあくまで設計車両が幾何的に道路空間を通行可能か、需要に対して必要な面積が確保されているかのみに重点を置いており、その幾何形状内で利用者がどこを占有しようと希望するのかについては十分に考慮されていない。

例えば、駅前広場の現在の設計指針¹⁾では、需要予測に基づく必要停車スペースの個数の算出式は示されているものの、停車スペースの配置方法については定性的な知見にとどまっている。このため、交通結節点として評価すべき、待ち行列の発生状況を検討することができない。

待ち行列の分析にあたっては、駅前広場内の利用者の行動規範を知る必要がある。広場利用者のうち、公共交通の行動規範は容易に知ることができる。しかし、一般車であるキスアンドライド(以下、K&R)車両の行動は不明な点が多い。広場内に停車・待機位置が明示されていることが少なく、また例え停車位置が示されていてもそれを利用者が順守するとは限らない。K&R車両が自由に乗降位置を選択することで、駅前広場空間全体が有効に活用されないまま渋滞が発生してしまう状況も考えられる。しかし、K&R車両の乗降位置選択行動に関する知見は限られており、選択行動結果と渋滞発生状況との関連性は明らかになっていないのが現状である。

駅前広場の渋滞を定量的に扱う既往研究の多くは、交通シミュレーションを用いて施策評価を行うものであるが^{2) 3)}、車両の動線をいずれも外生的に与えており、乗降位置を自由に選択するK&R車両特有の行動を表現できていないとは言いえない。

2. 研究の目的

本研究では、車両の自由度の大きな駅前広場、中でも特にK&R車両に着目し、空間構造や周辺利用者の存在に応じて個別の利用者が選択する駐車位置や移動軌跡を、実観測データから定量的かつ確率的に表現し、モデリングすることを目的とする。まず実測データにより車両の乗降位置選択行動と待ち行列延伸状況の分析を行い、幾何構造や送り・迎への目的別の乗降位置選択特性や、その結果生じる待ち行列発生パターンの違いについて考察する。その上で、乗降位置選択行動モデルを構築し、シミュレーションに実装・再現性を検証する。最後にモデルを用いて、広場空間の改良による効果検証を行う。

3. 研究の方法

(1) 対象とする駅前広場

本研究では最も単純な構造である、ワンル

ープ型の駅前広場(図-1)を取り扱う。ワンループ型では広場の入口から出口までが1つのループにて構成される。ループの幅員は車両2台が並走するのに過不足ない長さとする。駅前広場には「車線」の概念が明確に与えられているとは限らないが、以降では便宜的に「路肩側」「島側」の二車線が存在するものとして記述する。

車両は広場入口から流入し、逆走することなく広場内を走行、広場出口にて流出する。広場内にて一度だけ乗降のための停車を行う。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。送り車両の場合は、車両から降りた歩行者は駅舎出入口へと移動する。迎え車両では、歩行者は駅舎出入口から広場へと向かう。車両が既に停車していればその車両に乗車し、車両がまだ停車していない、あるいは広場に到着していなければ、車両が到着・停車するまで広場内に待機する。迎え車両のうち前者を車先行型、後者を人先行型とよぶ。

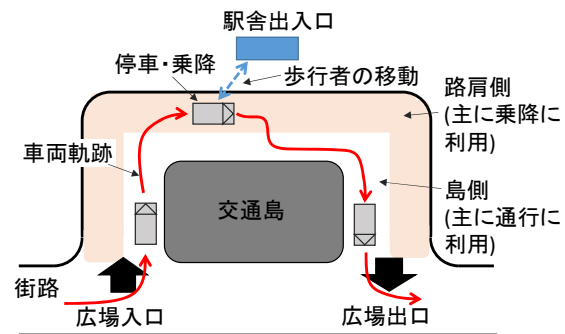


図-1 ワンループ型駅前広場と利用者行動

(2) 利用者挙動の実態調査

駅前広場の利用者挙動、および待ち行列の延伸状況に関するデータ取得のため、名古屋市近郊の複数の駅前広場においてビデオカメラによる観測調査を行い、広場内の車両の停車位置や移動軌跡を抽出した。

(3) 利用者の停車位置選択行動要因分析

利用者が乗降のための停車を行う位置の選択状況について、停車位置の駅舎入口からの位置や道路幾何構造等との関連性を分析し、離散選択行動のモデルとして影響要因の定量化を行った。

(4) 混雑評価のための K&R 車両挙動モデリングとシミュレーションへの実装

上記はK&R車両の各タイプ別のモデルであったが、共通の効用最大化問題として乗降位置選択行動の定式化を行い、簡易なシミュレーションモデルに実装した。

K&R車両の行動の前提は以下のとおりである。まず、K&R車両はそれぞれ自分の希望乗降時間を持っている。迎え車両の場合、広場入り口に車両が到着した瞬間に、乗客が既に

広場にいるかどうか (=人先行型か車先行型か)を判別できるものとする。車先行型では、ドライバは乗客がいつ広場に到着するかがわからないので、実際には「希望」時間は不明であるが、車両が停車を始めてから、乗客が広場に到着し、乗車するまでの待ち時間の期待値が分かっていると考えると差支えなからう。広場に入った瞬間から、ドライバは時々刻々と停車位置ごとの利用コストを評価し、コストが最小となる希望乗降位置を選択する。ある時点で希望乗降位置に到達すると、そこから希望乗降時間の長さだけ停車し、その後広場出口から退出する。

ある地点 i に K&R 車両が停車するときのコスト C_i を、以下のとおり設定する。

$$C_i = C_{1,i} + \theta \cdot C_{2,i} \quad (1)$$

ここに、 $C_{1,i}$:広場流入から駅舎入口到着までの乗降客の旅行時間(車両旅行時間+歩行時間)、 $C_{2,i}$:選択する乗降位置が島側の場合、自車の停車によって周辺車両に遅れを与えることへの心理的負荷(他車両が追加的に被る遅れ時間)。車両はこのコストが最小となる停車位置を選択するものとした。

(5) モデルの感度分析と実空間の改良案の検討

構築したシミュレーションモデルの再現性検証と感度分析を行ったうえで、モデルを用いて、駅前広場の改良案の検討を行った。具体的には、広場出入口の交差点の運用方法の改良や、駅舎入口の位置の移設等を検討した。

4. 研究成果

(1) 実態調査に基づく停車行動特性

車両が広場内で完全に停車した時刻を「停車開始時刻」、人が乗降を行った後に車両が動き出した時刻を「停車終了時刻」とし、停車開始から終了までの時間を「停車時間」と定義する。図-2は、赤池駅における停車時間分布を示している。K&R 車両の形態ごとに停車時間が大きく異なることがわかる。

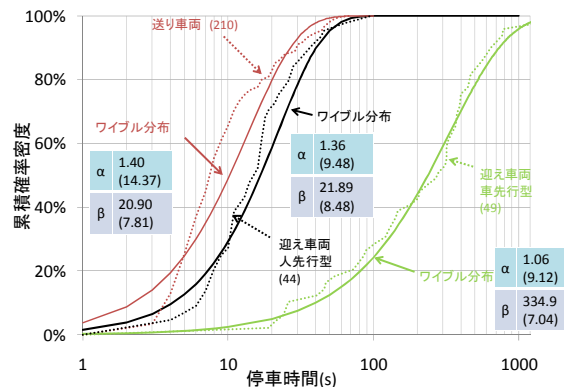


図-2 停車時間の分布 (赤池駅)

停車位置分布についても分析の結果、送り車両は出入口に近い場所を選択する傾向にあること、柵やポストコーンが設置されている場所やコーナー部を避ける傾向にあることなどを示した。また、迎え車両人先行型では人の待機位置に近いところを、迎え車両車先行型では他の車両の通行の妨げにならない場所(コーナー部等)を選択しやすい傾向が見られた。

さらに、周辺停車車両の影響を調べるため、車両の停車パターンを、既に停車している車両の前に停車した場合(前方停車)と後ろに停車した場合(後方停車)に分類した。また、停車位置がコーナーかどうかについても場合分けし、それぞれの車間距離について分析した。図-3に車間距離分布の観測結果を示す。後方車両で、他車両がコーナー部に止まっていた場合(B1-A)は直線部に止まっていた場合(A1-A)よりも大きな車間距離を必要とする。また、前方停車(A1-A, B1-A)よりも後方停車(A2-A, A2-B)の方が大きな車間距離を必要とすることが示された。

車両が島側に停車する「二重停車」に関しては、路肩側の駅舎入口近傍に他車両が停車しており、その車両間隔が上記の必要車両間隔に満たない場合に二重停車を行う傾向が見られた。

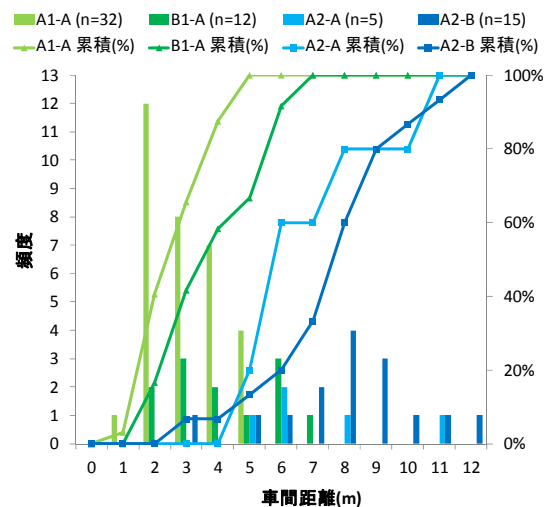


図-3 前後方車両との車間距離 (尾張一宮駅・送り車両)

実際に渋滞が頻繁に発生していた尾張一宮駅を対象に、停車位置選択の結果生じる待ち行列の延伸状況を考察した。

朝ピークの、送り車両の需要が卓越している場合は、駅舎入口周辺の路肩側に停車車両が集中する。その後駅舎から離れた場所の路肩側に空きがあるにも関わらず、駅舎入口の周辺の島側に二重停車を行う車両が現れ、その車両を先頭に待ち行列が延伸する。

迎え車両が卓越する夕ピークでは、広場の路肩全体にまんべんなく車両が停車したの

ち、二重停車を行う車両が発生する。

(2) 停車位置選択行動のモデリング

広場内を車両1台分(約5m)ごとに区切ったものを停車区間として定め、車両の停車区間を上流から順に0, 1, ..., j, ..., nとする。ここで提案するモデルは、車両が上流から下流に向けて移動する中で、各停車区間において停車するか否かを順次選択していくものである。個人*i*が停車区間*j*を選択する確率*P_{ij}*は、「個人*i*が停車区間0から*j*-1までを選択しない確率*p_{i,j-1}*」と「停車区間*i*に到着した時にそこに停車する条件付き確率*q_{ij}*」との積で表される。*P_{ij}*は*q_{ij}*を用いて以下のように表される。

$$P_{ij} = q_{ij} \prod_{k=0}^{j-1} (1 - q_{ik}) \quad (3)$$

今、*q_{ij}*が個人の効用に基づいて決定されると考え、効用関数の誤差項の分布がガンベル分布に従うと仮定する。*q_{ij}*に幾何構造等の説明変数からなる二項ロジットモデルを適用した。説明変数を以下に示す。

① 個別車両から見た広場状況を表わす変数

- 停車車両の有無

j-1番目または*j*番目の停車区間における車両の有無

- 残存停車可能位置割合

区間*j*+1から区間*n*までのうち、他の車両がまだ停車していない区間数を残り停車区間数*S*とする。これを全停車可能区間数*n*で除したものを残存停車可能位置割合*S/n*とした。残り停車区間数が大きいときは、この割合は停車位置決定にはほとんど影響しないが、残り停車区間数がほとんどないときには停車位置決定に大きく影響されると考えられる。そこで、説明変数としてはexp(-*S/n*)を用いた。

② 広場構造を表わす変数

- 最も近い駅出入口までの距離(m)

- 障害物存在ダミー

- バス・タクシー乗降所ダミー

- コーナー部ダミー

- 複数の駅出入口に対するダミー

③ その他

- 広場外ダミー

- 人の待機位置までの距離(m) (人先行型のみ)

推定結果を表-1に示す。ここでは、有意水準5%以下のもののみを説明変数として示した。K&Rの形態によって、優位となる変数が異なっている。

迎え車両では、駅入り口までの距離は有意とはならない。迎え車両車先行型は人を待つために長時間待機する可能性があることから、車両の来る頻度の高い駅出入口周辺よりは少し離れた位置を選択するためと考えられる。迎え車両人先行型では、入り口よりも待っている人までの距離に影響されるためと考えられる。

表-1 停車位置選択モデルの推定結果

説明変数	送り車両	迎え車両車 先行型	迎え車両人 先行型	
	係数(t 値)	係数(t 値)	係数(t 値)	
exp(- <i>S/n</i>)	5.41(6.11)	10.26(8.43)	6.78(4.85)	
駅までの距離	-0.09(-6.79)	-	-	
人までの距離	-	-	-0.08(-6.16)	
障害物	-1.42(-13.70)	-	-0.44(-2.04)	
定数項	-0.87(-1.45)	-8.27(-10.18)	-3.99(-4.58)	
ダミー変数	車両の有無	-0.88(-5.70)	-1.59(-4.41)	-0.93(-3.00)
	バス・タクシー	-4.35(-12.02)	-3.29(-3.96)	-1.89(-2.89)
	コーナー	-1.73(-9.07)	-	-
	広場外	-1.61(-7.54)	-	-
	複数出入口	-2.37(-9.10)	-1.08(-3.11)	-1.60(-3.75)
	口			
疑似決定係数	0.217	0.243	0.272	
サンプル数	自由ヶ丘	赤池		
	203	213		

(3) シミュレーションモデルの再現性検証と実空間の改良案の検討

3(4)で実装したシミュレーションモデルについて、図-4の尾張一宮駅の構造を模擬し、観測時の需要を入力値としてシミュレーションを実施し、混雑発生状況の再現性確認を行った。表-2に路肩側を選択して停車した車両の割合を、表-3に待ち行列延伸状況を実測値と比較したものを示す。各条件について、概ね傾向が再現できていることがわかる。

次に、同じ駅前広場において、(1) 出入口交差点のスクランブル制御を通常の単純4現示制御に変更、(2) 駅舎入口の位置を広場入口から50mの位置に変更、をそれぞれ行った結果を表-4に示す。それぞれの変更を独立に行った場合には、朝のシナリオでは、単体の対策では渋滞が悪化してしまうが、これらの組み合わせによって渋滞が解消されることが示された。

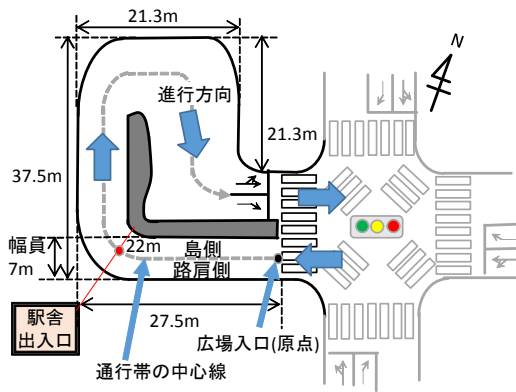


図-4 尾張一宮駅レイアウト

表-2 路肩側選択車両の割合

	朝・需要小	朝・需要大	夜
観測値	52.5%	41.4%	70.0%
計算値	51.2%	46.1%	62.2%

表-3 実測値とシミュレーション結果の比較

	朝・需要大		朝・需要小		夕方	
	観測	Sim	観測	Sim	観測	Sim
待ち行列延伸サイクル数 (回)	21	23.5	11	13.2	9	7.5
うち先詰まり	20	19.1	3	4.1	0	0
広場外への延伸総時間 (秒)	887	955	153	342	259	263
1回あたり延伸時間 (秒)	42.2	40.6	13.9	25.9	28.8	35.0

表-4 改良案適用時の渋滞発生状況試算

		渋滞延伸サイクル数	渋滞総時間 (秒)
朝・需要大	信号	15.7	458
	駅舎位置	19.3	574
	信号+駅舎位置	6.9	62
夕方	信号	0	0
	駅舎位置	3.2	69
	信号+駅舎位置	0	0

(5) 得られた成果の国内外における位置づけと今後の展望

本研究では、駅前広場におけるK&R車両の送り・迎への種別に応じた乗降位置選択行動特性と広場幾何構造の影響を、実測調査によって明らかにした。また、選択行動を自車の旅行時間と周辺車両へ与える遅れとの和か

らなるコストの最小化問題として、送り・迎への双方に共通に適用可能な行動モデルを提案した。これを簡易なシミュレーション上に実装し、モデルで生成される渋滞発生パターンが、時間帯により異なる渋滞発生パターンの実態と類似していることを示した。既往研究では乗降位置は外生的に与えられていたが、混雑状況や駅舎出入口からの距離に応じた選択行動を扱う提案モデルにより、駅舎出入口の位置や広場延長等のレイアウトや送り・迎え車両の割合に応じた混雑発生状況を定量的に評価することが可能となる。

駅前広場の混雑評価をシミュレーションにて実施している例は多くみられるが、停車位置は外生的に与えるものがほとんどであり、構造や運用の変更によって変化する利用者の行動を内生化した点が本研究の特徴である。

今後は、特に到着時刻・希望乗降時間の分布について精査する必要がある。到着時刻分布については、本研究の対象駅は電車の運行頻度が高いため、ランダム到着を仮定していた。しかし電車の運行頻度が低い場合、利用者は電車のダイヤに合わせて駅に到着する。希望乗降時間は利用時間帯や利用目的によっても異なりうる。例えば送り車両であっても、今回のように朝の通勤客を対象とする場合と比べると、利用時間帯や利用目的によってはより長い時間停車することも考えられる。このような点を考慮し、他の広場への適用可能性も確認すべきである。

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

5. 主な発表論文等

- [雑誌論文] (計 1件)
- ① 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. 1079-1087，2011，査読あり

[学会発表] (計 3件)

- ① 井料(浅野)美帆：駅前広場におけるキスアンドライド車両シミュレーションによる混雑評価，第12回ITSシンポジウム2014，6ページ，CD-ROM，2014. 12.
- ② 井料(浅野)美帆：駅前広場におけるキスアンドライド車両による渋滞発生メカニズムの一考察，土木計画学研究・講演集 No. 50，

8 ページ, CD-ROM, 2014. 11.

- ③柿元祐史, 浅野美帆, 中村英樹: 駅前広場の混雑評価のためのキスアンドライド車両挙動モデリング, 第 19 回 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp. 445-448, CD-ROM, 2012. 12.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井料 美帆 (IRYO, Miho)

東京大学・生産技術研究所・講師

研究者番号: 80469858