

安全かつ快適な交通結節点のための 幾何構造設計手法に関する研究

名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 助教 浅野美帆

概要：

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キスアンドライド車両の増加への対応など、円滑性・安全性に関する問題が顕著となっており、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。特にキスアンドライド車両は挙動特性が十分明らかになっておらず、設計時の施設の配置においても車両の停車特性を考慮されたものとなっていない。そこで本研究は、実データ分析に基づいて、駅前広場構造や施設配置などがキスアンドライド車両の停車位置選択特性に与える影響を分析・モデル化し、送迎の目的別に選択影響要因の違いを示した。縦列停車に必要な車間距離と二重停車との関連についても分析した。また、K&R の非混雑時の行動シミュレーションを構築し、施設配置を変えたときの挙動を見るとともに、混雑時のメカニズムと必要なシミュレーション構成要素を整理した。

キーワード： 駅前広場, 幾何構造, キスアンドライド, 車両挙動

1. はじめに

交通結節点とは、各種交通モード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となっており、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、挙動特性が十分明らかになっておらず、設計時の施設の配置においても車両の停車特性を考慮されたものとなっていないため、広場内交通の停滞や、公共交通の通行の妨げなどの広場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。

本研究では、都市近郊の駅前広場利用の実態調査、ビデオ観測等をもとに、駅前広場の利用実態を把握し、特に駅前広場内の施設の配置や形態に応じた K&R 車両の停車特性・走行位置特性と、K&R 車両に起因する広場内の混雑発生メカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 駅前広場の設計指針と既往研究

駅前広場では、バス・タクシー・一般車・自転車・歩行者など様々な交通モードが利用されている。そのため、設計においては個別の交通モードに対する施設配置方法(待機場所や一時停車場所など)、交通モード間での動線の錯綜に対する配慮など様々な条件を考慮して機能を設定すべきである。

(1) 現在の駅前広場計画指針

既存の指針¹⁾によると、駅前広場の計画では、広場機能のあり方、駅前広場と周辺のあり方を踏まえた計画基本方針を策定した後、概略設計と全体配置計画、動線計画の検討を行う。概略設計では、ピーク時1時間計画交通量に基づき、各交通手段に必要な面積を算定する。その後、この面積に基づいた施設配置が行われる。しかし、指針ではバス、タクシー、K&R 用の施設をそれぞれ独立に取り扱っており、他の施設との関連や配慮すべき事項などが明示されていない。また K&R 車両に限ると、郊外住宅地の駅などで急増していること、終電間際の待機車両への対応が課題であることなどの課題について触れられているものの、具体的な設計方法への反映はなされていない。

同様に、米国、豪州などの駅前広場計画指針^{2),3)}も定

性的な留意事項の整理にとどまっている。ただし、駅の規模ごとに必要な役割を明記しており、配置計画においても交通手段ごとに設置優先順位を設定している。

(2) 既往研究のレビュー

K&R 車両に関する既存研究では、K&R 車両が駅前広場内でさばき切れていないことによるバスや広場外への影響についての問題点を指摘したもの⁴⁾、施設配置の検討など、ほとんどが定性的な議論にとどまっている。シミュレーション分析事例^{5),6)}でも、K&R 車両の動線はシナリオごとに外生的に与えたものである。車両挙動と施設配置や広場構造との関係に関する定量的な分析は、著者らの調べた限りでは行われていない。

3. K&R 車両挙動の詳細特性調査

K&R 車両の詳細挙動を調べるため、ビデオ観測による調査を実施した。名古屋市営地下鉄名城線自由ヶ丘駅、名古屋市営地下鉄鶴舞線赤池駅（図-1）、JR 東海道本線南大高駅、尾張一宮駅の4駅を対象とした。これらの駅について、通常のビデオカメラ、またはビデオカメラとビューポール⁷⁾を併用してビデオ観測を行った。画像処理システムを用いてビデオ画像の座標を実際の位置座標へと変換し、個々の車両の停車位置や移動軌跡を取得した。停車位置の分析では、図-1に示す通り、広場入口を0として、広場を5mごとに分割して位置を記述した。

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。以下では、K&R 車両を送り車両、迎え車両車先行型、迎え車両人先行型の3タイプに分類する。



図-1 調査地の例(赤池駅, 出典:Googlemap)

4. K&R 車両の停車位置・停車時間選択行動分析

(1) 停車時間・停車位置の分布

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。

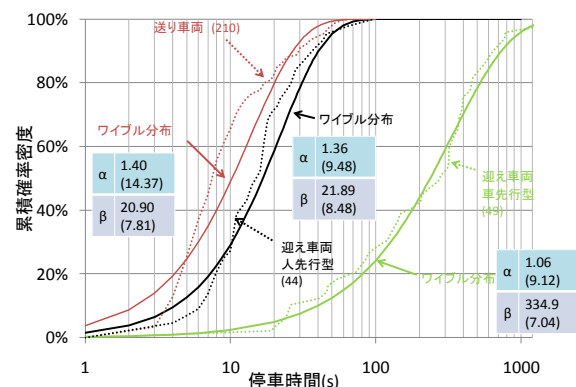


図-2 停車時間の分布(赤池駅)

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。

(2) 停車位置選択行動モデリング

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。ここで、

$$p_{i,j-1} = \prod_{k=0}^{j-1} (1 - q_{ik}) \quad (2)$$

であるため、 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。

- ・ 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。
- ・ 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(柵とコーン)の種類(柵とコーンが両方設置されている場合：2、柵またはコーンのいずれかが設置されている場合：1、なし：0)
 - 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
赤池駅のみ適用した。全ての利用者が奥の出入口を利用する区間番号9~20は1、それ以外の区間は全て手前の出入口を利用しているため0とした。
- ・ 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)

なお、既に停車している車両の横に二重停車した車両は、サンプルに含めていない。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。

5. K&R 車両の詳細移動軌跡に関する分析

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

表-1 停車位置モデル推定の結果

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(-S/n)		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)		
疑似決定係数		0.217		0.243		0.272	
サンプル数		自由ヶ丘	赤池	自由ヶ丘	赤池	自由ヶ丘	赤池
		203	213	43	34	36	33

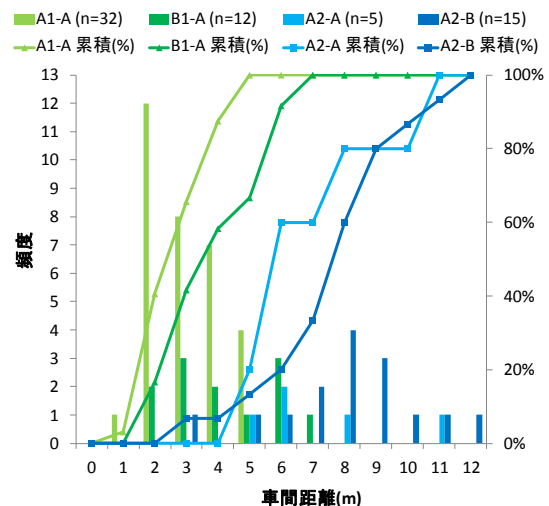


図-3 前後方車両との車間距離（尾張一宮駅・送り車両）

とすることが示された。必要車間距離については、土木研究所モデル⁸⁾を援用した転回軌跡モデルを構築し ta (図-4)。個々の車両の軌跡に対してモデルをフィッティングし (図-5)、前述の傾向が車両の旋回性能によって説明されることを示した。

車両が通行レーンに停車する「二重停車」に関しては、停車レーン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は二重停車を行なっていることが示された。ただし、必要車両間隔が確保できているにも関わらず、コーナー部手前で二重停車する車両も相当量見られた。これは、コーナー部では直線部

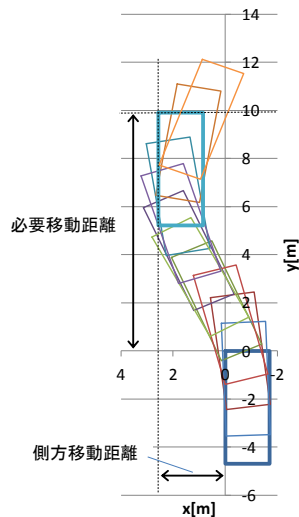


図-4 縦列停車における車両の転回軌跡の例

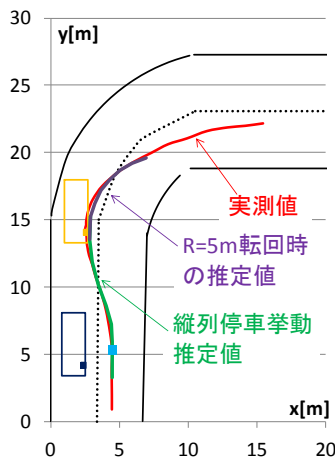


図-5 移動軌跡の推定例

分に比べてハンドルの操作がより複雑になり、停車が困難になるためと考えられる。

6. K&R 車両停車シミュレーション

(1) 非混雑時シミュレーション

4章で推定した停車位置選択モデルでは、広場に到着した車両の停車位置は、到着時に既に広場内に停車している他の車両の停車位置選択結果に依存する。したがって、このモデルを施策評価へ適用するためには、ある時刻の選択結果が次の時刻の他者の行動に影響するような、時間軸を考慮したモデルを構築することが必要である。

そこで、本分析で構築した停車位置選択モデルに、車両到着分布、滞在時間分布（停車時間分布）を組み合わせることで、停車位置分布を再現するモンテカルロシミュレーションを行った。その手順を図-6に示す。

(ア) パラメータ設定など、シミュレーションの初期化を行う。車両の広場到着時間間隔が指数分布に従うと仮定し、次の車両の到着時刻を求める。

- (イ) 次の車両の到着時刻に達した時、以下(ウ)、(エ)の操作を行う。到着時刻でない場合は(オ)へ進む。
- (ウ) 到着した車両に対して前章の停車位置選択モデルを適用し、停車位置を決定する。なお、停車位置までの移動時間は、ここでは無視している。
- (エ) 停車時間分布は、3章で推定したワイブル分布を用い、確率的に停車時間を与える。
- (オ) 時間の更新を行い、(ア)~(オ)を繰り返す。

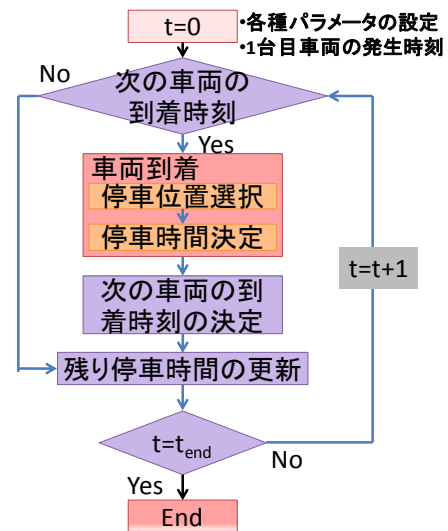


図-6 非混雑時シミュレーション手順

図-7は、シミュレーションの全時間帯における個々の車両の停車位置選択結果を集計し、その分布を示したものと、実観測データとを比較したものである。停車位置間の選択確率の大小関係が観測データとほぼ一致しており、おおむね傾向がつかめていることが分かる。このシミュレーションにより、施設位置の変更などにより、車両の停車位置分布がどのように変化するかシナリオ分析が可能となった。

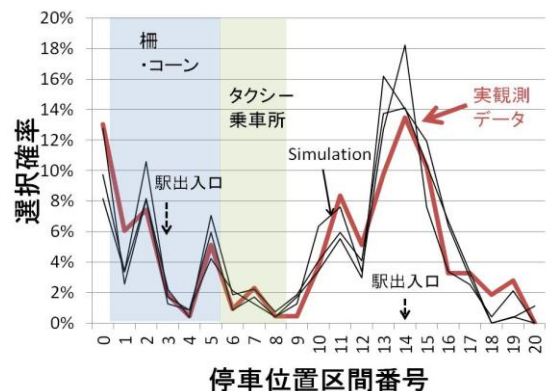


図-7 シミュレーションでの再現結果(赤池駅・送り車両)

(2) 混雑発生メカニズムの考察

上記のシミュレーションは、あくまで非混雑時を対象としたものである。今回の分析結果より、駅前広場、特

に朝ピーク時の送り車両の混雑発生は、①二重停車車両による先づまりの発生、②出口交差点の容量不足、③出口交差点待ち行列の後尾に降車前車両が到達することによる交差点容量低下、の3つに大別されると考えられる。したがって、混雑時シミュレーションの構築には、非混雑のシミュレーションに加えて、二重停車を行うか否かの選択行動、先づまり時の追従・降車のための停車行動、出口交差点の待ち行列生成、についてモデルを構築・実装することが求められる。

7. まとめ

本研究では、駅前広場の幾何構造の合理的な設計手法の提案に向けて、駅前広場の利用者挙動の分析を行った。

まず、K&R 車両を送り車両、迎え車両車先行型、迎え車両人先行型に分類し、停車位置、時間などの停車特性を定量的に分析した。停車位置選択の二項ロジットモデルを適用した結果、送り車両と迎え車両について影響要因が異なることを示した。また、移動軌跡の詳細分析から、コーナー部と直線部の違い、縦列駐車時の他車両との位置関係に応じて必要車間距離が異なることを示した。

非混雑時についてはシミュレーションによる感度分析を行い、施設や障害物などの配置変更による K&R 車両の停車位置選択の変化を見ることができた。

移動軌跡については、幾何構造に対してどのように変化するかを定量的に分析することが必要である。また、二重停車の影響要因も、車線変更した場合との違いを他の広場の状況も含めて分析することが求められる。

これらを踏まえた上で、混雑時の状況を定量評価する

シミュレーションを今後実装していくことで、駅前広場のサービスレベルの評価ができると期待される。

謝辞：現地調査におけるビューポールの使用にあたっては、(株)道路計画に多大なるご協力をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本交通計画協会編：駅前広場計画指針，技報堂出版，1998.
- 2) Washington Metropolitan Area Transit Authority: Station Site and Access Planning manual, 2008.
- 3) NSW Ministry of Transport: Guidelines for the development of public transport interchange facilities, The State of New South Wales, 2008.
- 4) 金利昭・肥田野登：郊外駅前空間におけるキス&ライド車の挙動分析,交通工学, Vol.26, No.3, pp.9-19,1991.
- 5) 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 - 駅前広場へのITS技術の導入効果の検討 -, 土木計画学研究・講演集, No.24(2), pp.257-260,2001.
- 6) 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-バス交通円滑化の視点から -, 第 25 回土木計画学研究発表会・講演集,CD-ROM,2002.
- 7) (株)道路計画 ビューポール
<http://www.doro.co.jp/gijutsu/viewpole.html>
- 8) 建設省土木研究所：旋回軌跡による隅角部の設計について，土木研究所資料第 1453 号，1979.