

## 59. 熊本市の市街地駐輪政策に対する利用者の評価と駐輪行動を内生化した駐輪容量の適正化モデル

### An Analytical Study on Bicycle Users' Evaluation for the Bicycle Parking Policy in Kumamoto City Center

溝上 章志\*・円山 琢也\*\*  
Shoshi Mizokami\*, Takuya Maruyama\*\*

There were some problems caused by illegally on streets parked bicycles in the center of Kumamoto city. All municipal parking lots for bicycles could be used free of charge, however, Kumamoto City has introduced Bicycle Parking Pricing System and extended no-parking zone since June 1<sup>st</sup>, 2012. Almost all problems seem to be ameliorated. This paper has three purposes. The first one is to reveal actual conditions of usage of bicycle parking lots and investigate users' evaluation for this policy. The second one is to develop a model of parking lot and duration. The last one is to get the optimal solution of the bicycle parking lot capacity according to the variable demand, which is forecasted by the simulation based on the decision model of parking lot and duration.

**Keywords:** Bicycle parking pricing policy, Parking place-time choice model, Optimal parking capacity  
路外・有料化駐輪政策, 駐輪場・駐輪時間同時選択, 最適駐輪容量

#### 1. はじめに

健康的で環境にやさしく、かつ経済的な負担も小さい自転車の利用を促進する動きが高まっている。また、大都市圏でも自転車を端末交通手段としてだけでなく、主要交通手段として利用する人が増加するなど、その利用は盛んになってきている。一方で、放置駐輪や走行マナーの悪さ、自転車が原因の交通事故の発生など、自転車に関連する様々な社会的問題が起きるなど、解決すべき課題も多い。

熊本市では、「自転車でお出かけしたくなるまちづくり」を基本理念とした自転車利用促進策を推進する一方で、自転車が引き起こす諸問題、特に中心市街地における放置駐輪問題の解決に取り組んできた。しかし、利用者数を収容するのに十分な駐輪場の整備がなされていないなど、これらの問題の解決には至っていない。そのような中、熊本市は、2012年6月に1)放置駐輪禁止区域の拡大、2)中心市街地の全ての公共駐輪場の路外化・有料化と

いうように見受けられる。

本研究では、図-1に表す中心市街地に整備された民営10箇所と市営5箇所、計15カ所の路外・有料駐輪場の利用実態、およびそれらの利用者を対象にした利用意識調査を行った。これらの2つの調査は、駐輪政策導入から4カ月後の2012年10月に1回目を行い、その後1年おきに2014年まで、計3回行っている。それらのデータを用いて、1)駐輪場の利用実態、2)駐輪政策に対する利用者意識の経年的な推移を明らかにする。さらに、3)自転車利用者の駐輪場選択モデルと駐輪時間モデルの推定を行い、4)これらを組み合わせた駐輪行動シミュレーションを通して時々刻々の駐輪需要を予測すると同時に、5)各駐輪場の適正な容量を検討することを目的としている。

現在では自転車走行空間整備に関する総合的な研究<sup>1)2)</sup>が中心になる中、駐輪場の利用実態や意識に関する研究も伝統的に行われてきた<sup>3)9)</sup>。しかし、本研究で対象としているような中心市街地全域という面的で、かつ複数の路外、かつ有料の駐輪場整備といった、熊本市に固有で、かつ非常に特徴的な駐輪政策に対する実態・利用者意識の調査とその分析、および需要の予測システムを組み込んだ駐輪場別容量の適正化に関する研究は見られない。

本論は6章から構成されている。まず、2.で熊本市における自転車利用環境整備の課題と取り組みについて述べる。3.では利用実態調査と意識調査の内容と実施方法を解説し、得られたデータの分析結果について概説する。4.では駐輪場選択モデルと駐輪時間モデルの推定結果を示す。5.ではそれらを組み込んだ駐輪行動シミュレーションの実行結果と駐輪場容量の最適化モデルの解について説明する。最後に6.で本研究の結論と今後の課題を述べる。



図-1 分析対象地域と駐輪場の分布  
(○)内は収容台数を示す

公共駐輪場の路外化・有料化という2つの自転車利用環境整備政策(以下では駐輪政策と記す)を実施した。それ以降、路上にあふれていた放置自転車は現在ではほとんど見られなくなるなど、駐輪政策の効果が上がって

\* 正会員 熊本大学大学院自然科学研究科 (Kumamoto University)

\*\*正会員 熊本大学政策創造研究教育センター (Kumamoto University)

## 2. 熊本市における自転車利用環境整備

### (1) 駐輪政策導入前の実態と課題

自転車を引き起こす社会的問題の中でも、熊本市が喫緊で重要な問題として取り組んでいたのが放置駐輪である。中心市街地に入り入れられた自転車の多くは主要街路上やその裏道に停められており、これらは景観を損なうだけでなく、緊急車両や歩行者の通行の妨げとなっていた。さらに、路上に放置された施錠忘れの自転車は窃盗などの犯罪の誘発にも繋がっていた。

放置駐輪の実態把握のため、熊本市では毎年10月の晴天の平日に、市内全域の380地点（中心部260地点、郊外部120地点）で放置駐輪台数のカウント調査を行ってきた。図-2は平成2年から平成23年までの放置駐輪台数の推移である。1993年に7,200台もの放置駐輪があったが、この20年間はかなり減少してきた。それでも、2011年には2,600台を超える自転車が放置されている。これを取り締まるために、中心市街地に駐輪指導員を配置して月1回の放置自転車の撤去作業を実施してきたが、最近では状況に大きな改善は見られていなかった。

これらの問題が解決しない主な原因は、利用者のマナーの欠如と同時に、中心市街地への自転車乗り入れ台数に対して収容台数が不足していることにあった。中心部では駐輪場整備のためのスペースを確保することが困難であることから、これまでは市有地や借地に無料の駐輪場を整備したり、歩道や公園などに路上駐輪ラックを設置したりするなどして収容台数の確保に努めてきた。しかし、抜本的な解決を図るためには一定規模以上の駐輪場を確保することが不可欠だと考えられていた。

それと同時に駐輪指導・撤去等の取り締まりを強化してきた。しかし、放置自転車の撤去・処分等には年間7,000万円（1台当り14,000～17,500円）の費用がかかっており、市の財源への負担は小さくない。撤去・回収した自転車については、返還時に所有者に撤去費用の一部を保管料として負担させているが、その返還率は20%を下回っているために、撤去費用を回収するまでには至っておらず、これらの費用の回収に向けた対策を打ち出すことが当時の課題となっていた。

### (2) 熊本市における自転車利用環境整備の取り組み

熊本市が、2012年6月1日に導入した駐輪政策は以下の2つの施策からなっている。第1の施策は中心市街地の主要街路沿いの総延長7kmの線状だった放置駐輪禁止区域を中心市街地全域の約112haに面状に拡大した（図-3参照）。また、駐輪指導員の数を増員して駐輪マナーの向上に向けた指導・啓発を行い、放置自転車の即時撤去を行うなど、取り締まりを強化した。

駐輪場を整備する上での最大の課題であった用地の確保は市街地内にある民間駐車場の運営・管理事業者であるP社の駐輪場事業への参入による路外駐輪スペースの提供によって解決した。市営駐輪場の一部もP社に管理を委託し、同事業者に対して市が事業費の欠損額を補助することで、

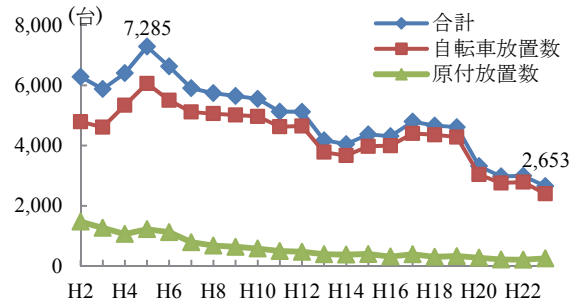


図-2 駐輪政策導入前の放置駐輪台数の推移<sup>10)</sup>

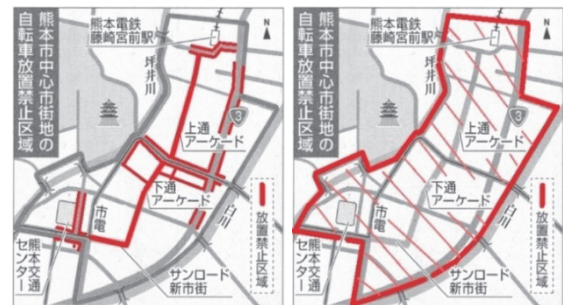


図-3 放置駐輪禁止区域(左:前, 右:後)

表-1 設定料金の変更内容と時期

実施時期	駐輪場名	料金変更の内容
2012年 12月1日	②草葉第2	100円/12時間 → 100円/24時間
	⑩銀座プレス	100円/6時間 → 100円/12時間
	⑫下通2丁目	100円/6時間 → 100円/12時間
2013年 3月1日	⑥下通1丁目	夜間料金廃止
	⑪銀座通り	夜間最大100円打ち切り
2014年 4月1日	①城東	100円/12時間 → 100円/8時間
	②草葉第1	100円/12時間 → 100円/8時間
	③草葉第2	100円/24時間 → 100円/8時間
	④ぼくすりー	100円/12時間 → 100円/8時間
	⑩銀座プレス	100円/12時間 → 100円/8時間
	⑪銀座通り	100円/6時間 → 100円/8時間
	⑫下通2丁目	100円/12時間 → 100円/8時間
	⑬新市街第1	
	⑭新市街第2	

公共駐輪場の路外化・有料化が可能となった。具体的には、既存の有料駐輪場に加えて市営の駐輪場5箇所全てを有料化し、新たに11箇所の有料の民営駐輪場を整備した。この第2の施策により、従来よりも3割増の約5,100台の容量を確保した。

有料化された駐輪場には、運営主体や利便性の違いなどによって3種類の料金が設定されている。しかし、いずれの駐輪場でも2時間までは無料で利用することができる。民間事業者が提供する駐輪場では、サービス開始以降、計3回にわたる設定料金の変更が行われている。設置当初、およびその後の料金変更の経緯を表-1に示す。

## 3. 利用実態と利用者意識調査の分析

### (1) 入・出庫時刻データによる利用実態の分析

駐輪場の利用実態を明らかにするために、駐輪場の入出



表-2 占有率の時間分布パターン

クラスター	平成24年	平成25年	平成26年
I: 高利用型 午前中ピークに達するまでの分布形の傾きが急であり、その後、占有率高い時間帯が数時間こたって続き、夕方ごろからゆっくりと低下する。	⑦ 94	⑦ 96	⑦ 100
	⑧ 87	⑧ 85	⑧ 100
	⑨ 77	⑨ 85	
II: 中-高利用型 午前中から徐々に利用者が増加し続け、日中にピークを迎える。その後数時間こたって占有率が横ばいで、夕方以降に徐々に減少し始める。	① 59	④ 58	④ 55
	② 52	⑤ 69	⑤ 66
	④ 50	⑬ 42	⑨ 64
	⑤ 55		
	⑬ 58		
III: 中-高利用後型 IIと同様、午前中から徐々に利用者が増加し続けるが、夕方以降にピークを迎える。	⑥ 77	⑥ 58	⑥ 51
	⑪ 51	⑩ 62	⑩ 62
	⑬ 66	⑪ 46	⑪ 43
		⑫ 53	⑫ 48
	⑬ 59	⑬ 41	
IV: 昼夜低利用型 占有率が常に50%未満であり、回転率、稼働率とも低い。	③ 9	① 49	① 40
	⑩ 21	② 36	② 38
	⑫ 28	③ 28	③ 20
	⑭ 24	⑭ 28	⑭ 30
		⑮ 31	

注) 左の数字は図-1の駐輪場番号、右の数字は占有率(%)を示す。

ゲートで記録している駐輪車両の入・出庫時刻データ(民間が管理している駐輪場では電子ファイル、市営駐輪場では紙出力データ)を入手し、駐輪場ごとの1日の1)総駐輪台数、2)回転率(=総駐輪台数/容量)、3)時間稼働率(=総駐輪時間/容量\*24時間)、4)駐輪時間の平均値と標準偏差、5)平均利用料金など、利用実態を表す指標を算出した。調査日は2012年10月10日、2013年10月10日、2014年10月9日であり、同日に後述する駐輪場利用者意識調査と放置駐輪カウント調査を同時に行っている。以下では上記の指標値について、駐輪場相互での比較、同一駐輪場の経年的な変化などに関する特徴的な分析結果に限って概説する。

### a) 駐輪場の利用実態

回転率は駐輪場ごとに大きく異なる。2012年駐輪政策導入当初は、下通1丁目が3.31でかなり効率的な駐輪場があるのに対して、草葉第2では0.27、銀座プレスでも0.49と低かった。しかし、2013年には両者は0.66と0.98に改善した。これらの駐輪場は2012年12月1日に料金の値下げが行われている。2014年4月1日には、城東、草葉第1、草葉第2、ぱーくすりー、銀座プレス、下通2丁目の6つの駐輪場で料金を値上げしており、草葉第2が0.50に、下通2丁目が1.07に回転率が減少している。

時間稼働率は、中心部の下通1丁目、庁舎地下や上通、新市街第1など、回転率が1.5以上の駐輪場では、0.3以上と、高い値を示しており、これらは昼夜を通して利用されている。

### b) 利用率分布パターンによる駐輪場の類型化

時間帯毎の利用分布パターンにより、これらの駐輪場をいくつかの型に分類することを試みる。ここでは、年次ごとに、15分毎の占有率(=駐輪台数/収容台数)を変数としてクラスター分析を行った。その結果、表-2のように分類することができた。それぞれのクラスターの特徴を表中に説明している。

庁舎地下、庁舎北側駐輪場は3年間とも常時Iに分類され、ピーク時の占有率も高い。市立体駐輪場は2014年には占有率が低下し、分類もIからIIへと変わっている。ぱーくすりーと上通駐輪場は常にIIに分類されており、日中に良く利用されている。城東、草葉第1駐輪場は2012年から2013年にかけて利用者数が減少しており、分類がIIからIVへ変わっている。辛島公園地下駐輪場も年々利用者数が減少しており、2014年にはIVへと変わっている。下通1丁目、銀座通り、新市街第1駐輪場は常にIIIに分類されているが、ピーク時の占有率は年々減少している。銀座プレス、下通2丁目駐輪場は2012年にはIVに分類されていたが、その後はIIIに分類されている。これらの駐輪場では料金値下げが行われており、利用者数とともに占有率も上昇したためと考えられる。草葉第2駐輪場も同様の理由で占有率の上昇が見られるが、占有率は低く、いずれの年においても新市街第2駐輪場とともにIVに分類されている。このように、設定料金は1回の利用者数だけでなく、時間帯ごとの利用分布パターンにも影響を及ぼす。

### (2) 放置駐輪の実態

駐輪政策が導入された後、中心市街地における放置駐輪台数は以前のおよそ1/10に減少した。熊本駅や健軍商店街、武蔵塚駅周辺など、有料駐輪場設置を主とした郊外部での駐輪政策による放置駐輪台数の減少率が約1/2であることから、中心市街地における駐輪政策は放置駐輪台数の削減に大きな効果を上げているといえる。

図-1に示したゾーンの大半で放置駐輪台数は経年的に減少しているが、銀座通りや新市街などでは2013年以降、逆に増加している。2014年の放置駐輪の分布を時間帯ごとに見ると、当該の通りやそれに並行する裏通りに個人経営の小規模の衣料店や飲食店などが立地している上通側では日中に多く、裏手側に営業時間帯が夜間となる飲食店や居酒屋が多く立地している下通側では夜間に多く見られる。上通側、下通側のいずれにおいても、放置駐輪はアーケードから通りを一本隔てた街路とそこまでの横路地に多く見られる。

### (3) 駐輪場利用者意識調査の分析

本調査は、駐輪場の有料化・放置駐輪禁止区域の拡大に対する意識と駐輪後の利用者の回遊行動の実態を明らかにすることを目的とした調査である。調査は、駐輪場から出庫しようとする利用者に対してヒアリング形式で行った。調査の時間帯は3年間とも12:00~24:00の12時間であり、各年の取得サンプル数は343、462、545であった。

3年間で回答が変動した項目を中心に、集計分析結果の概要を以下に箇条書で示す。

- 1) 回答者の男女比は各年とも同程度であり、女性の方がやや多い。年齢階層別の比も同程度であり、20代の利用者が最も多く、10~30代までが回答者の70%を占めている。50代以上は20%未満である。
- 2) 自転車による来街頻度は40%以上が「ほぼ毎日」であり、「週2~3回」訪れる利用者の割合も30%程度であること

から、利用者は駐輪場を普段から常時利用している。

3) 来街目的としては、通勤・通学目的の利用者が4割程度で最も多く、これに続いて買物目的の利用者が3割である。2014年には通勤・通学目的の比率がそれ以前よりも10%も増加して5割に達しているのが特徴的である。

4) 来街目的別の平均駐輪時間と標準偏差からは、通勤・通学目的の利用者の平均駐輪時間が最も長く、いずれの年も約8.5時間であること、業務目的の利用者の平均駐輪時間は年によって変動が大きく、各年の標準偏差は他の目的よりも大きい。業務の目的の場合、駐輪時間に大きなばらつきがあること、買い物目的の利用者の平均駐輪時間は最も短く、全ての年で料金が無料の2時間以内に出庫する利用者が多いことなどが分かる。

5) 図4と図5は駐輪政策導入前後での滞在時間の変化とその理由を示している。滞在時間が「短くなった」利用者は経年的に減少し、2014年には15%になっている。「短くなった」理由は「料金が発生するから」が多い。2012年には「まちなかに自由に停められなくなったから」が3.8%であったが、翌年には一時的に9.5%まで高くなったが、2014年には3.0%まで減少した。駐輪政策導入前後の訪問回数については、「少なくなった」利用者は年々減少して、7.2%以下となった。その主な理由は、滞在時間の減少に対するものと比べると「駐輪場に停めるのが面倒だから」、「まちなかに自由に停められなくなったから」など、料金発生以外の比率が高くなっている。

6) 駐輪場選択の際の優先条件は、いずれの年も8割以上の回答者が「目的地までの距離」を最優先すると回答している。また、「駐輪料金」と回答する利用者が年々増加していることは興味深い。

7) 図6～図8には駐輪料金と駐輪場数、駐輪場の配置に対する利用者の評価を示す。駐輪料金に対して「高い」とする利用者は約2割であるが、年々減少している。駐輪場の配置に対して約3割が「適切ではない」と回答した。駐輪場の数についても約35%が「少ない」と回答している。料金に比べると、駐輪場の数やその配置についての満足度は高いとはいえない。

8) 導入された駐輪政策に対する利用者の総合評価を図9に示す。「反対」と回答する利用者は24.6%から13.7%まで経年的に減少していることから、熊本市が導入した駐輪政策は利用者には受容されてきているといえる。

その他、ゾーンごと、利用パターンごとに上記の分析を行った結果、以下のようなことも明らかになっている。

9) 収容台数に対して「少ない」とする利用者が2割に達しており、その比率はわずかではあるが増加している。特に多いのは手取ゾーン、Iに分類される駐輪場利用者である。しかし、駐輪政策そのものに対する総合評価は高い。

10) 駐輪政策に対して不満を感じている利用者が多いのは、銀座通りや新市街ゾーン、IIIとIVに分類される駐輪場利用者に多い。これらはいずれも配置に対する利用者の不満が多い駐輪場である。

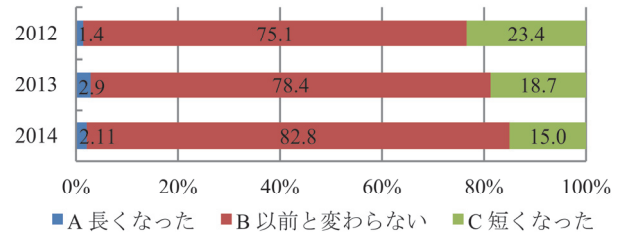


図4 滞在時間の変化

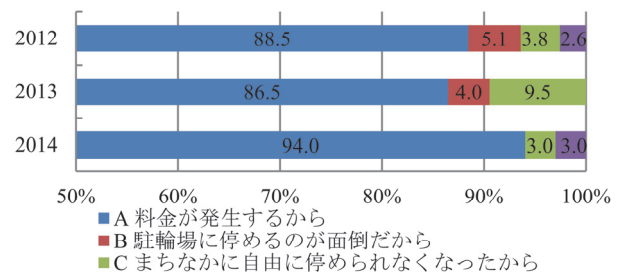


図5 滞在時間減少の理由

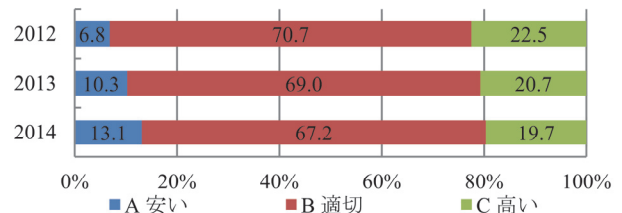


図6 設定料金に対する評価

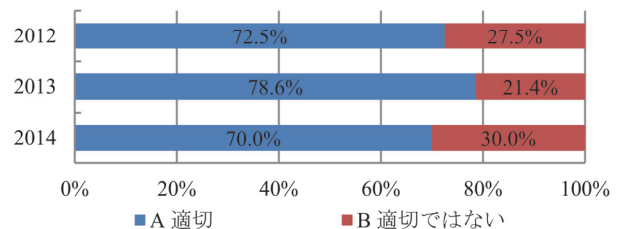


図7 駐輪場の配置に対する評価

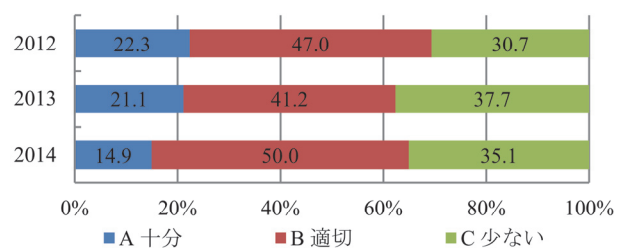


図8 駐輪場の配置に対する評価

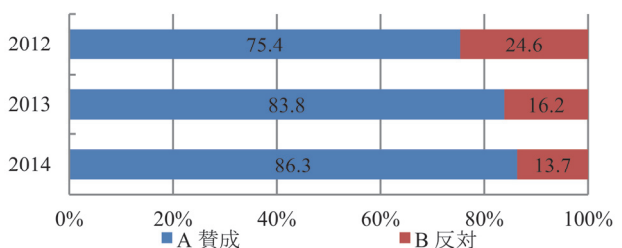


図9 駐輪政策についての賛否

11) 利用者は駐輪場ごとの料金設定や収容台数よりも、中心市街地全域での駐輪場の配置や数を重視している。

#### 4. 駐輪場と駐輪時間の選択モデルの推定

以上の分析より、路外駐輪場整備とその有料化という熊本市の駐輪政策は利用者に受容されてきている一方で、料金水準による利用行動の変動、中心市街地全域での駐輪場の数と配置、駐輪場別の収容台数、利用分布パターンの変化などに対する考慮が必要であることが明らかになった。ここでは、これらを考慮した駐輪場選択とそこでの駐輪時間の予測を可能にする駐輪行動モデルを構築する。

駐輪行動は、出発地から最終目的地までのトリップの中で、自転車をもどる駐輪場にどれだけの時間、駐輪させるかを決める同時選択行動である。ここでは、1)ゾーン選択とそこでの個々の駐輪場選択という構造を持つ2段階の駐輪場選択モデルと、2)生存時間解析に基づく駐輪時間モデルの構築を行った。前述したように、駐輪行動は駐輪場所と駐輪時間の同時選択行動である。このような意志決定行動を表現するにはマイクロ経済理論に立脚した構造型の離散連続モデルを用いるのが良い。しかし、選択肢が3つ以上ある場合、離散モデルに整合した連続モデルの定式化、およびモデル推定が非常に煩雑になるという欠点も持つ。そこで、ここでは駐輪場所と駐輪時間の決定を個別のモデルで独立に推定することにする。

##### (1) 駐輪場選択モデルと駐輪時間モデル

駐輪場の選択行動は、上位で幾つかの駐輪場が存在する空間的まとまりであるゾーン(図-1参照)を、下位でその中の個々の駐輪場を選択する階層的構造から成るネストイット型のロジットモデルで定式化した。なお、上位のゾーンの効用の変数はその中に存在する駐輪場の効用の合成変数だけである。

駐輪時間モデルには、ある基準時刻から一度だけ非再起的なイベントが起きるまでの時間を推計する生存時間解析を用いた。この手法は工業製品や罹患者の寿命などの分析に用いられる。ここでは、入庫した時刻を基準時刻として時刻  $t$  まで駐輪し、次の時刻に駐輪を中止する瞬間出庫確率に、観測データからその形状母数を推定できるワイブル型の生存時間モデルを用いた。

##### (2) データの作成

各年の調査データを用いて、両モデルを年次ごとに推定し、モデルの時間移転可能性について検討を行う。駐輪場選択モデルの説明変数としては、意識調査項目の中の「駐輪場選択の際の優先条件」に対する回答の中で優先度が最も高かった第1目的地までの徒歩時間と、駐輪料金や収容台数といった選択肢固有の変数に加えて、買物目的ダミー(主要目的が買物の場合に1)を下通1丁目駐車場に導入した。第1目的地までの所要時間は、中心市街地の詳細街路網ネットワーク上に最終目的地となった全ての訪問先と全ての駐輪場を入力し、これらの2点間の最短経路を探索し、その距離を歩行速度5km/hで除して求めている。駐輪

表-3 駐輪場選択モデルの推定結果

説明変数	パラメータ (t値)			
	2012年	2013年	2014年	プーリング
第1目的地までの所要時間 (分)	-0.574 (8.60)	-0.750 (10.4)	-0.571 (10.5)	-0.621 (17.2)
駐輪料金単価 (円/1時間)	-0.0479 (3.06)	-0.0504 (2.93)	-0.0967 (5.97)	-0.0679 (7.40)
収容台数 (100台)	0.325 (8.07)	0.204 (4.49)	0.220 (7.25)	0.246 (11.5)
買物ダミー (買物=1)	0.652 (2.47)	0.783 (2.76)	0.164 (0.60)	0.535 (3.50)
$\lambda$	0.881 (8.39)	0.625 (9.69)	0.880 (10.3)	0.796 (16.6)
$\rho^2$	0.35	0.31	0.31	0.32
サンプル数	328	377	473	1178
時間価値(円/分)	12.0	14.9	5.91	9.15

注) ( ) 内は t 値を示す

表-4 駐輪時間モデルの推定結果

説明変数	パラメータ (t値)				
	2012年	2013年	2014年	プーリング	
尺度パラメータ	定数項	3.73 (15.6)	3.71 (23.6)	3.91 (28.8)	3.84 (37.9)
	駐輪料金単価 (円/1時間)	-0.0126 (1.80)	-0.0835 (1.51)	-0.00185 (0.325)	-0.0106 (3.01)
	通勤通学ダミー (通勤通学=1)	0.649 (4.25)	0.783 (7.30)	0.733 (8.02)	0.681 (10.1)
	訪問施設数	0.0138 (0.205)	0.0323 (0.72)	0.0455 (1.09)	0.0189 (0.64)
	入庫時刻	-1.60 (5.95)	-1.91 (9.88)	-2.35 (15.6)	-1.95 (17.1)
	形状母数 $m$	1.26 (6.01)	1.59 (12.2)	1.70 (15.4)	1.45 (18.6)
サンプル数	342	461	544	1347	

注) ( ) 内は t 値を示す

料金には1時間あたりの単価に換算した値を用いた。

駐輪時間モデルには、駐輪時間に影響を及ぼすと考えられる駐輪料金単価と通勤通学目的ダミー(主要目的が通勤または通学目的の場合に1)と訪問施設数、駐輪場への入庫時刻を説明変数とした。

##### (3) 推定結果

ヒアリング調査から得られたサンプルは選択肢別標本抽出法によるサンプルとなっている。しかし、各駐輪場のサンプル比率は母集団シェアとほぼ一致していることから、推定には通常の方法を用いる。調査年次ごとのデータ、およびすべての年次をプールしたデータに対して、同時推定により駐輪場選択モデルを推定した結果を表-3に示す。いずれの変数も符号条件は論理的であり、2014年の買物ダミーのパラメータ以外は統計的にも有意である。第1目的地



までの所要時間が短く、設定料金が安く、収容台数が多い駐輪場ほど選ばれやすいという結果となっている。いずれの年においても、上位モデルのパラメータ  $\lambda$  は  $0.0 < \lambda < 1.0$  であり、下位の選択枝効用の分散の方が上位のそれより大きいことから、想定したツリー構造も妥当である。 $\rho^2$  の値も大きく、これらのモデルの適合性は高い。

表4に駐輪時間モデルの推定結果を示す。いずれのモデルでも訪問施設数の  $t$  値はあまり高くなく、2014年調査データによる駐車料金単価の  $t$  値も小さい。しかし、それ以外の変数では高い  $t$  値を示しており、いずれの変数も統計的信頼性は高い。いずれの年次においてもパラメータの符号は一致しており、料金単価が高く、入庫時刻が遅いほど駐輪場を離れやすく、駐輪時間は短くなることを示している。一方、通勤・通学目的や訪問施設数が多い利用者は長く駐輪するという結果になった。また、形状母数は  $m > 1$  より、駐輪時間モデルは時間の経過とともに出庫の確率が高くなる構造になっている。

#### (4) 経年変化

モデルの時間移転性を検証するために、年次ごとに推定された同一変数組のモデルの各パラメータ値の差の  $t$  検定を行った。帰無仮説は  $\hat{\beta}_{ka} = \hat{\beta}_{kb}$  である。ここで  $\hat{\beta}_{ka}$ ,  $\hat{\beta}_{kb}$  は、A, B 年の  $k$  番目変数の推定値である。検定の結果、2013年と2014年の第1目的地までの所要時間 ( $t$  値=2.01)、駐輪料金単価 (同 1.95) には有意な差がある。また、2012年から2014年にかけても、駐輪料金単価 (同 2.14) に有意な差が見られ、駐輪場選択時の駐輪料金の評価が経年的に高まっている。一方、駐輪時間モデルについては2012年と2014年の入庫時刻以外に有意な差がある変数は見られなかった。しかし、形状母数  $m$  には2012年と2013年 (同 4.21)、2012年と2014年 (同 5.67) でそれぞれ有意な差が見られ、その値は経年的に増加している。利用者は駐輪場を早く離れる傾向にある。

### 5. 駐輪場容量の最適化

前述したとおり、各駐輪場によって利用分布パターンや稼働率に大きなバラつきが見られる。これは駐輪場ごとの需要と容量とのアンバランスが原因であり、効率的な駐輪場の運用を図るためには駐輪場容量の適正化を行うことが求められる。ここでは、時々刻々の利用需要の変動を考慮した駐輪場容量  $q_i$  ( $i \in I$ : 駐輪場の数) の最適化問題を定式化し、その解を導き、考察する。

#### (1) 定式化

駐輪場容量の最適化問題を以下のように定式化した。

$$\max_{q_i} : \alpha \sum_{i \in I} \frac{\sum_{t \in T} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_{ij}^t} x_{ij,t}^n}{q_i T} + (1 - \alpha) \sum_{i \in I} (1 - p_i) \quad (1)$$

$$s.t. \quad 0 \leq q_i \leq \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_{ij}^t} x_{ij,t,p}^n \quad (2)$$

ここで、 $x_{ij,t}^n$  は時刻  $t$  ( $0 \leq t \leq T$ ) に個人  $n$  が目的地  $j$  を

訪れるために駐輪場  $i$  に駐輪していれば 1、そうでなければ 0 という 0-1 変数であり、後述するように、先に推定した駐輪場選択モデルと駐輪時間モデルを組み込んだシミュレーションによって予測される状態変数である。また、 $J_i$  は駐輪場  $i$  からの最終目的地  $j$  の集合、 $N_{ij}^t$  は時刻  $t$  に目的地  $j$  へ行く駐輪場  $i$  の利用者数である。

制約条件式(2)は決定変数である駐輪場  $i$  の容量  $q_i$  はシミュレーションによって得られるピーク時  $t_p$  ( $0 \leq t_p \leq T$ ) の駐輪台数以下になるように設定することを表している。また、目的関数式(1)の第1項は稼働率を、第2項は駐輪待ちが発生しない確率を表す。稼働率を上げるために駐輪容量を小さくすると利用者の駐輪待ちの発生確率は増加することから、両者は相互にトレードオフの関係にある。なお、 $\alpha$  は第1項と第2項のウェイトパラメータである。

駐輪待ち発生確率  $p_i$  には、吉田ら<sup>11)</sup>が駐車場のパフォーマンス評価指標を提案する際に導出した

$$p_i = 1 / [1 + \exp\{h(q_i) \cdot (\beta_1 + \beta_2 \ln q_i - \beta_3 D_i)\}] \quad (3)$$

を採用する。ここで、 $h(q_i)$  は容量について単調増加なスケール関数である。また、 $D_i$  は

$$D_i = \frac{T_i N_i}{q_i T} \quad (4)$$

で表されるトラフィック密度であり、式(3)はこの値がある閾値を超えた場合に駐輪待ちが発生するという仮定のもとに導出される。ここでは、 $N_i$  は駐輪場  $i$  への1日の到着台数、 $T_i$  は駐輪場  $i$  の平均駐輪時間であり、

$$T_i = \frac{\sum_{t \in T} \sum_{j \in J_i} \sum_{n \in N_{ij}^t} x_{ij,t}^n}{\sum_{t \in T} \sum_{j \in J_i} N_{ij}^t} \quad (5)$$

で表現できる。式(3)の未知パラメータを推定するためには、個人  $n$  に駐輪待ちが発生したか否かという実績データが必要となる。しかし、ここではそのようなデータは入手できていないので、次に説明する駐輪場選択行動モデルによる現況再現シミュレーションからこのデータを生成することにする。

#### (2) 駐輪場選択行動モデルによるシミュレーション

シミュレーションは以下の仮定の下で構築、実行される。

- 1) 個人の来街目的、訪問施設、入庫時刻は変化しない。
- 2) 駐輪状況を再現する過程で個人  $n$  が駐輪場  $i$  に止められない場合、2番目に選択確率が高い駐輪場  $i'$  ( $i \neq i'$ ) へ移動する。このときにこの個人に駐輪待ちが発生する。

シミュレーションの各ステップを以下で説明する。

**Step-1 (回遊サンプルの拡大)**: 利用意識調査で得たサンプルを、駐輪場ごとに入・出庫時刻データから得た1日の総利用者数に一致するように拡大する。

**Step-2 (駐輪場選択)**: 繰り返し回数  $l = 0$  とする。駐車場選択モデルを用いて個人  $n$  の駐輪場  $i$  の効用の確定項を算出する。このときの説明変数である駐輪場容量の初期値には実際の駐輪場容量  $q_i^{(0)}$  を用いる。確定項に誤差項として生

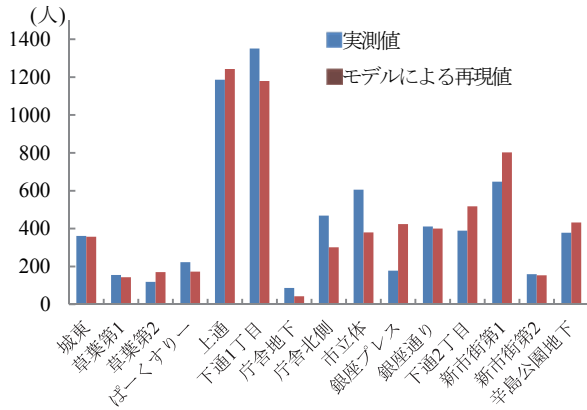


図-10 駐輪場別利用者数の実績再現性

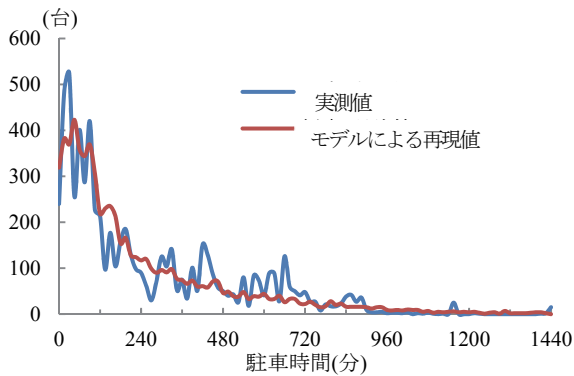


図-11 駐輪時間の実績再現性

成したガンベル分布に従う乱数 $\gamma$ を加えた効用値を持つ駐輪場の中から、個人 $n$ は効用最大の駐輪場を選択する。

**Step-3 (駐輪時間) :** 駐輪時間モデルを用いて個人 $n$ の入庫時刻からの経過時間 $t$ における出庫確率を求める。このとき、説明変数である駐輪料金単価はStep-2で決定した駐輪場の値を用いる。ワイブル分布に従う乱数 $\gamma_w$ を発生させ、出庫確率が $\gamma_w$ より大きくなった時刻を出庫時刻、そこまでの経過時間を駐輪時間とする。同時に、時刻 $t$ に個人 $n$ が駐輪場 $i$ に駐輪しているか否かを表す0-1の状態変数 $x_{ij,t}$ を得る。

**Step-4 (駐輪状況の再現) :** 駐輪場 $i$ の時刻 $t$ における駐輪台数が容量 $q_i^{(l)}$ を超えた場合、個人 $n$ は次に効用が高い駐輪場へと移動する。これより駐輪待ちが発生するか否かを表す0-1の状態変数 $y_i^n$ を得る。

**Step-5 ( $D_i$ と $p_i$ の算出) :** 式(4)と(5)より $D_i$ を求め、式(3)より $p_i$ を得る。

上記のステップで確定した状態変数値のもと、ExcelのソルバーGRG非線形最適化により、式(2)を制約条件として目的関数(1)を最大にする $q_i^{(l)}$ を求める。解の収束判定条件を満足すれば終了し、そうでなければ $l=l+1$ として上記の操作を繰り返す。

### (3) 現況再現性の検証

シミュレーションによる利用者の駐輪場選択結果と駐輪

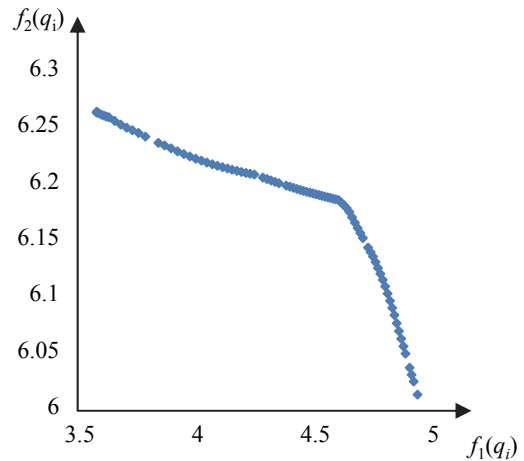


図-12 最適解の軌跡

表-5 駐輪待ち発生確率モデルの推定結果

パラメータ	推定値 (t値)
$\beta_1$	-0.962 (23.7)
$\beta_2$	0.258 (31.2)
$\beta_3$	0.909 (19.3)
$\rho^2$	0.68

時間推計値の現況再現性を確認するために、実績値とモデルによる再現値との比較を行った。

図-10には総利用者6,720人分の駐輪場別利用者数の実績とモデルによる再現値の比較を行っている。上通や銀座プレス駐輪場などで実績よりやや過大に、下通1丁目駐輪場などでやや過小に推計されているが、その他の駐輪場では推計値は実績と概ね一致しており、駐輪場選択モデルの現況再現性は高い。

図-11は駐輪時間の分布を表している。実績とモデルで再現された駐輪時間の分布形は概ね一致しており、駐輪時間モデルの現況再現性も高いといえる。

### (4) 駐輪待ち発生確率モデルの推定

$l=0$ のStep-1~Step-5までの操作によって得られた $y_i^n$ を個人 $n$ に駐輪待ちが発生したか否かのデータとし、駐輪待ち発生確率モデル式(3)の推定を行った。なお、 $h(q_i)$ の関数形は $q_i$ 、 $q_i^{1/2}$ 、 $q_i^2$ の3ケースについて推定を行い、尤度比が最も高かった $q_i^{1/2}$ に特定した。結果を表-5に示す。

いずれのパラメータも符号条件を満足しており、統計的にも有意である。駐輪待ち発生確率は、容量が大きいほど下がり、トラフィック密度が大きいほど増加するという結果となっている。 $\rho^2$ の値からもモデルの適合性は高い。

### (5) 最適な容量の検討

図-12は、目的関数のウェイト $\alpha$ を0.01刻みで変化させながらシミュレーションを実行し、得られた最適解 $q_i^*$ を代入した稼働率 $f_1(q_i^*)$ と駐車待ちが発生しない確率 $f_2(q_i^*)$

の値をプロットしたものである。両者の間のトレードオフ関係が明瞭に現れている。ここでは、 $\alpha = 0.0$ ,  $\alpha = 1.0$ , および  $f_1(q_i^*)$  と  $f_2(q_i^*)$  との相対比が急激に変化する  $\alpha = 0.6$  の場合の解について考察する。

表-6は $\alpha$ が0.0, 0.6, 1.0のときの最適容量を示す。容量が大きいほど駐輪待ちが発生しない確率は増加し、稼働率は低下するはずである。 $\alpha = 0.0$ , つまり駐車待ちの発生しない確率を大きくするときには総容量は最大となり、 $\alpha = 1.0$ のときに最少となっていることから、論理的にも適切な解が導かれているといえる。いずれの場合においても、全体の総容量は現状よりもかなり小さくても良いという結果になっている。

$\alpha = 0.6$ のとき、手取ゾーンの下通1丁目、庁舎地下、庁舎北側、市立体の4つの駐輪場と銀座プレス駐輪場の最適容量は現状の容量と同一の値となった。これらの駐輪場は中心部に位置しており、IかIIかIIIのいずれかに分類される。一方、草葉第1駐輪場は廃止、残りの9駐輪場についても解は現状の容量よりも小さくなっている。なかでも、草葉第2、ぱーくすりー、新市街第2、辛島公園地下の4つの駐輪場の最適容量は現状の半分以下の値となった。これらはIV(昼夜低利用型)であり、これらに分類される駐輪場の容量は再考される必要がある。

## 6. おわりに

本研究では、熊本市の駐輪政策の導入以降、15カ所の有料駐輪場での利用実態と利用者意識に関する調査・分析を行った。得られた主要な結果は下記である。

- 1) 駐輪場ごとに利用者数や回転率、稼働率は大きく異なっている。また、占有率の時間分布パターンは4種に類型化できる。料金変更によって回転率や稼働率だけでなく、占有率の時間分布パターンが変化し、利用特性が変化する。
  - 2) 熊本市の駐輪政策には利用者に受容されており、その割合も経年的に増加している。しかし、駐車場によっては収容台数に対する不満がある。また、中心市街地全域での駐輪場の数やその配置に対する不満は小さくない。
- これらの結果を考慮した駐輪場選択モデルと駐輪時間モデルから成る動的な駐輪場選択行動シミュレーションモデルを構築した。さらに、各駐輪場の容量を適正化するため、このシミュレーションモデルを組み込んだ駐車容量最適化モデルを構築した。その結果、以下の成果を得た。
- 3) 推定した両モデルを組み込んだ駐輪場選択行動シミュレーションモデルは、駐輪場選択とそこでの駐輪時間について高い現況再現性を実現した。
  - 4) 対象地域全体の総容量は過大であり、特に昼夜低利用型体となっている駐輪場については、その位置や料金、容量などの改善が必要である。

謝辞：本研究に協力いただいた松本健志君(当時、熊本大学大学院自然科学研究科、現在(株)清水建設)、(株)パースト24に謝辞を表します。

表-6 現在の容量と最適化された容量

駐輪場名	$q_i^{(0)}$ (台)	$q_i^*$ (台)		
		$\alpha = 0$	$\alpha = 0.6$	$\alpha = 1.0$
① 城東	281	148	164	155
② 草葉第1	159	72	0	54
③ 草葉第2	184	80	86	59
④ ぱーくすりー	233	94	96	98
⑤ 上通	650	613	594	633
⑥ 下通1丁目	407	383	407	376
⑦ 庁舎地下	50	0	50	0
⑧ 庁舎北側	200	200	200	189
⑨ 市立体	365	365	365	357
⑩ 銀座プレス	182	182	182	176
⑪ 銀座通り	368	226	228	233
⑫ 下通2丁目	354	237	231	236
⑬ 新市街第1	482	375	372	357
⑭ 新市街第2	219	80	70	70
⑮ 辛島公園地下	470	208	196	203
全体	4604	3263	3241	3196

## 参考文献

- 1) 屋井鉄雄, 鈴木美緒 (2011), 「米国における自転車政策の展開とわが国での計画制度の方向性に関する研究」, 土木学会論文集D3, Vol.67, pp.155-167, 土木学会.
- 2) 鈴木美緒, 吉田長裕, 山中英生, 金 利昭, 屋井鉄雄 (2012), 「わが国の地方自治体における自転車走行空間整備政策の動向」, 土木学会論文集D3, Vol.68, pp.1867-1881, 土木学会.
- 3) 高山純一, 武野雅至 (1993), 「都市内大規模商業施設の駐車場容量決定法に関する研究」, 都市計画論文集, No.28, pp.103-108, 日本都市計画学会.
- 4) 内田武史 (2002), 「違法駐輪に関する意識を考慮した自転車利用者の駐輪場所選択行動特性分析」, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.3, pp.409-414, 土木学会.
- 5) 阿部宏史, 栗井睦夫 (2002), 「岡山市都心部における放置自転車の現状と自転車利用者の駐輪意識」, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.4, pp.603-611, 土木学会.
- 6) 牧浩太郎, 円山琢也, 大森宣暁, 原田昇 (2004), 「地下鉄事業者による駐輪場事業の可能性の検討～駐輪場所選択と料金支払方法選択の分析を用いて～」, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, No.2, pp.493-500, 土木学会.
- 7) 山下晴美, 古池弘隆 (2004), 「個人の自転車利用履歴が違法駐輪に及ぼす影響に関する研究」, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.2, pp.539-544, 土木学会.
- 8) 羽鳥剛史, 三木谷智, 藤井 聡, 福田大輔 (2011), 「大規模放置駐輪問題を対象としたコミュニケーション施策の効果検証: JR 東日本赤羽駅での取り組み」, 土木学会論文集 D3, Vol.67, pp.1967-1977, 土木学会.
- 9) 梶田佳孝, 外井哲志, 松岡 淳 (2008), 「駐輪形態および駐輪箇所の選択モデルを用いた都心部での駐輪行動シミュレーションモデルの構築」, 土木学会論文集D, Vol. 64, No.1, pp.11-23, 土木学会.
- 10) 熊本市ホームページ, [www.city.kumamoto.jp/hpkiji/pub/detail.aspx?c\\_id=5&id...](http://www.city.kumamoto.jp/hpkiji/pub/detail.aspx?c_id=5&id...)
- 11) 吉田朗, 原田昇 (1996), 「駐車場におけるサービス均衡需要推計のための駐車場パフォーマンス関数の研究」, 土木学会論文集, No.542/IV-32, pp.45-55, 土木学会.