

# 駐車場利用時間の料金感度を考慮した 駐車場予約システムの導入評価

## Evaluation of Parking Reservation System with Price Elasticity of Parking Duration

金森 亮\*<sup>1</sup>      橋本 創\*<sup>1</sup>      伊藤 孝行\*<sup>1</sup>  
Ryo Kanamori      Shogo Kawaguchi      Takayuki Ito

\*<sup>1</sup>名古屋工業大学  
Nagoya Institute of Technology

Parking reservations can reduce the amount of time lost by drivers searching for parking spaces near their destination. For the development and planning of smart cities with electric vehicles, it is important to control parking spaces as places for charging and power management with Vehicle-to-Grid systems. This study proposes an auction-based parking reservation system that includes electricity trading and uses simulation combined with a driver parking duration model to evaluate it. The driver parking duration model is constructed using actual parking data that can estimate parking times after parking fees have changed.

### 1. はじめに

ICT (Information and Communication Technology) の発展に伴い、カーナビゲーションやモバイル端末が普及している。車中においても情報の送受信が可能になり、ICT を利用した ITS (Intelligent Transport Systems) にて多くの交通問題の解決が期待されている。ITS の 1 つとして駐車場予約システムが提案されており、駐車場探しのためのうろつき、入庫待ち、及び路上駐車の問題が期待されており、駐車場運営者にとっても需要の事前把握というメリットがある。実際に空港付近では駐車場予約システムの導入がなされており、一般の駐車場でも軒先パーキングという会員制の駐車場予約サービスが始まっている。

本研究ではより効率的な駐車場予約システムとして、オークションによる駐車スペースへの割当及び駐車料金の決定を提案する。オークションを用いることで、支払意思額の高い利用者に駐車スペースを割り当てることができ、駐車場収入の増加が期待できる。さらに、シミュレーションにより複数の駐車場経営戦略を比較し、駐車場収入を増加させるために有効な戦略を検討した。実際の駐車場利用データに基づいたシミュレーションを行っており、駐車料金を変更した場合の駐車場の需要 (駐車時間) の変化も考慮している。

関連研究として、倉内 [1] の研究では駐車場の入庫待ちや駐車場探しのためのうろつきによる、渋滞の発生などの交通状況の悪化を抑制するために、駐車場案内システム及び駐車場予約システムを導入し、交通シミュレーションを行い、交通流への影響を検証している。駐車場案内システムにより、運転手が駐車場の混雑状況を把握し、駐車場利用の平準化が期待できる。また、駐車場予約システムにより駐車場探しのうろつきや入庫待ちの抑制が期待できる。文献 [1] では、アンケートを用いて運転手の行動パターンをモデル化し、そのモデルをもとに駐車場案内システム及び駐車場予約システムが導入された状態の交通流シミュレーションを行い、駐車システムが交通流に与える影響について評価し、駐車場案内システム及び駐車場予約システムにより交通状況が改善されることを示している。

### 2. オークション型駐車場予約システム

#### 2.1 予約システム概要

本研究で対象とする駐車場は一般の民間時間貸し駐車場であり、複数の駐車スペースを複数の時間帯にまたがって提供するものを想定している。駐車スペースの割当及び駐車料金については、オークションによって決定される。駐車料金は従来の固定額ではなく、利用者が申告する支払意思額に基づいて決定され、駐車スペースの割当は従来の早い者勝ちではなく、支払意思額の高い利用者に対して割り当てられる。従来の固定額の料金や早い者勝ちの割当ではなくオークションにより決定することで、支払意思額の高い利用者に駐車スペースが割り当たるため、利用者便益増加と駐車場収入増加が期待できる。

さらに、提供される時間帯は任意の時間帯を示すものではなく、一定の時間間隔に区切られているものとする。例えば 1 時間ごとに区切られている場合には、10 時から 11 時までの駐車利用、12 時から 15 時までの駐車利用が可能であり、10 時 20 分からの利用、13 時 40 分までの利用といった予約形式は想定していない。

以下、本研究で提案する駐車場予約システムの流れを示す。

**予約の受け付け** はじめに予約の受け付けを行う。予約の受け付けは予約締切時間になるまで行われる。利用者が予約の際に申告する項目は、単位時間あたりの支払意思額、利用開始時間、利用終了時間である。

**予約締切時間** 予約締切時間になると予約の受け付けを締め切り、予約締切時間までに集まった予約を対象として割り当て及び料金の決定を行う。予約締切時間は、各利用時間帯の一定時間前に設定することができる。例えば、予約締切時間を各利用時間帯の 30 分前に設定した場合、10 時からの駐車場の利用の予約は 9 時 30 分まで行うことができる。

**駐車場の割り当て** 予約締切時間までに集まった予約をそれぞれの予約が希望する利用時間帯への割り当てを行う。同じ利用時間帯を希望している予約が複数存在し、駐車スペースの空きが予約に対して少ない場合には、競合する予約に対してオークションを行い、どの予約を割り当てるかを決定する。割り当てが決定した段階で支払料金も

決定される。なお、オークションで割り当てられなかった予約はキャンセルされる。駐車スペースが割り当てられる場所は、競合している予約に応じて、駐車場運営者から自動的に割り当てられるものであり、利用者が駐車スペースの場所を希望することはできない。オークションによる割り当て及び支払料金の決定方法の詳細については次節で述べる。

**営業時間の残り時間の確認** 営業時間の残り時間を確認し、営業時間が残っている場合には”予約の受け付け”に戻り、再度予約を受け付け、予約の割り当てを繰り返す。営業時間終了の場合には、予約の受け付けを終了する。

## 2.2 オークション

本予約システムは予約の割当及び支払料金の決定をオークションを用いて行っている。割当方法及び支払料金の決定は以下の流れで行う。

1. 集まった予約を単位時間あたりの期待収入が高い順での並び替え
2. 並び替え後の予約を順に割当
3. 割り当てられた予約の単位時間あたりの支払料金を第  $(n + 1)$  番目の単位時間あたりの支払意思額に設定 ( $n$  は駐車スペースの数)

1. では、予約締切時間までに集まった予約に対して、単位時間あたりの期待収入が高い順での並び替えを行う。期待収入は、駐車場利用者を割り当てたときの駐車場運営者が得られるであろう料金収入を表している。単位時間あたりの期待収入が高い順での並び替えをする理由は、駐車場運営者の料金収入をより高くするためである。

2. では、1. で並び替えた予約を順に空いている駐車スペースに割り当てる。ただし、駐車場には留保価格が設定してあり、単位時間あたりの期待収入が留保価格未満の予約は割り当てられない。割り当てられなかった予約はキャンセルとなる。また、一度割り当てが確定した予約に関してはキャンセルされることはなく、たとえ、予約確定以降により高い支払意思額の予約の申告があったとしても、以前に確定された予約が上書きされることはない。

3. では、2. で割り当てられた予約の支払料金を決定する。単位時間あたりの支払料金は、第  $(n + 1)$  番目の単位時間あたりの支払意思額となる。つまり、割り当てられなかった予約の中で最も高い単位時間あたりの支払意思額が単位時間あたりの支払料金となる。ただし第  $(n + 1)$  番目の単位時間あたりの支払意思額が留保価格未満の場合、単位時間あたりの支払料金は留保価格となる。支払意思額をそのまま支払料金としない理由は、自分の支払意思額は操作することが可能なため、なるべく安く利用しようと考え、支払意思額を実際の値よりも安い値で申告する人が増え、結局、支払料金が安くなってしまふことを防止するためである。また、支払意思額をそのまま支払料金とした場合には、予約申告時間及び駐車場利用時間が等しい場合であっても、支払料金が異なってしまう利用者に不公平が生じてしまうためである。

## 3. 駐車時間モデルによる料金変更時の需要変動の推計

本研究では実際の駐車場利用（清算）データを分析し、駐車場の需要変動を推計する。駐車場の需要変動としては、留保価

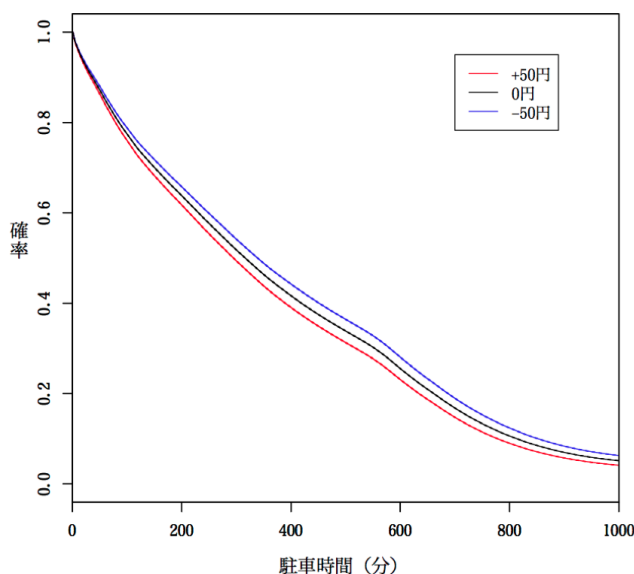


図 1: 料金を変更した場合の生存確率の変化

格（駐車料金の最低価格）が変更された場合を考え、この際のドライバーの行動としては、目的地自体の変更、利用予定の駐車場の変更、利用駐車場の駐車時間の変更、などが需要に影響を及ぼすが、本研究では利用駐車場の駐車時間の変更に注目する。その他の影響の考慮は今後の課題である。

駐車時間の分析は、実際の駐車場利用データを生存時間分析にてモデル化する。生存時間分析とは、イベントが起きるまでの時間とイベントとの間の関係に焦点を当てた分析方法である。工学分野や医療分野などで使用される分析方法であり、製品の故障や破壊、疾患の再発や死亡などをイベントとし、イベントの生起のことを広義の死亡と呼んでおり、死亡するまでの時間を生存時間と呼ぶ。本研究では生存時間を駐車時間とし、イベントを駐車場からの出庫とし、モデル化を行う。

生存時間分析の説明変数としては入庫時間、1時間あたりの駐車料金、収容可能台数、支払方法が有意となった。推定した駐車時間モデルにより、駐車料金を変更した場合の駐車時間の変化を求めることができ、図1の通り、料金を変更した場合の生存確率の変化から駐車時間を算出する。

具体的な駐車時間を変化させる方法は、変更前の留保価格での駐車時間  $t_1$  までの生存確率  $S_1(t_1)$  を求める。そして、留保価格変更後の生存確率で、 $S_2(t_2) = S_1(t_1)$  となる値を求め、 $t_2$  を留保価格変更後の駐車時間とする。

例えば、変更前の留保価格における駐車時間が300分であり、300分までの生存確率が0.3だった場合、留保価格変更後の生存確率が0.3である駐車時間を求める。留保価格変更後の生存確率が0.3のときの駐車時間が240分の場合、留保価格変更後の駐車時間は240分となる。

## 4. 駐車場運営戦略の評価

### 4.1 駐車場の設定

本研究のシミュレーションで対象とする駐車場は、実データが得られた郊外の駅前の駐車場とした。郊外の駅前の駐車場とした理由は、郊外の駅前であれば電車の利用を目的として駐車場を利用することが多く、電車のダイヤにあわせて、駐車場の利用時間を設定することが多いと考えられたため、利用者が駐車

場の入出庫時間を予測しやすく、駐車場予約システムを導入しやすいためである。

今回のシミュレーションでは、郊外の駅前にある駐車場から距離が近い3つを選択し、3つの駐車場全体でのシミュレーションを行う。駐車場の収容台数は、それぞれ、27台、22台、120台である。3つの駐車場のうち1つに予約システムを導入し、その他2つは通常の利用形態であり、利用者が到着順に駐車していく。全ての駐車場利用者があらかじめ駐車場の利用時間を把握していることは考えにくく、利用開始直前に駐車場の利用需要が発生する場合もあるため、予約システムを導入しない駐車場も残した方が利用者の利便性が増加するため、予約システムを導入する駐車場と予約システムを導入しない駐車場を設定した。提供できる時間帯は1時間ごとの時間帯とし、留保価格は、駐車場料金データを参照し、それぞれの駐車場の時間あたりの駐車料金を調べ、1時間あたりに換算した料金とした。

#### 4.2 利用者の設定

シミュレーションにおける利用者は、4.1節で対象とした3つの駐車場ごとの清算データを用いる。用いる清算データの期間は、2011年10月4日から2011年10月6日までの3日間とした。時期を2011年10月4日から2011年10月6日に指定した理由は、イベント等による交通量の変動の少ない標準的な交通量のデータを用いてシミュレーションを行うためである。交通量の変動が少ない季節は9月～11月の秋期であり、祝祭日及び祝祭日の前後の日は交通量の変動が大きくなるといわれている[2]。3つの駐車場それぞれの利用者を、3つの駐車場全体に対しての利用者と仮定し、利用者はまず駐車場1を希望し、駐車場1に空きスペースが無く駐車できない場合には駐車場2を希望する。駐車場2でも駐車できない場合は駐車場3を希望するものとする。駐車場1が予約システムを導入した駐車場であり、その他の駐車場は予約システムのない駐車場である。利用者は予約申告時間に駐車場1の予約を試み、競合相手の存在または空き駐車スペースがないために予約が出来なかった場合には、駐車場利用開始時刻に他の駐車場にいき、駐車場の利用を行う。

駐車場利用者の設定項目及び設定方法について以下に述べる。

**駐車場利用希望時間帯** 清算データから入庫日時と清算日時を抜き出し、入庫時間と清算時間の間の時間帯を駐車利用希望時間帯とした

**支払意思額** 単位時間あたりの支払意思額については、駐車場料金データの値の5割増しを平均とした正規分布に従う乱数を発生させて設定した。[1]において、予約システムの追加料金による利用意向について述べられており(図2)、通常の駐車料金に対して、25%の上乗せの追加料金であれば約55%の人が利用すると答え、50%の上乗せであれば約39%、75%の上乗せであれば約35%の人が利用するという結果を参考にした。

**予約申告時間** 利用希望開始時間の、30分前、1時間30分前、2時間30分前の3パターンを一樣にランダムで設定した。[3]において、予約システムの導入評価を行った際の履歴が示され、予約から入庫までの時間の割合が、1時間以内では32%、1-2時間では30%、2時間以上では38%という結果があり、ほぼ等しいためである。

#### 4.3 比較する駐車場運営戦略

駐車システムの変更による戦略は1) 予約システムを導入しない場合、2) 予約システムを導入した場合、3) 予約システム

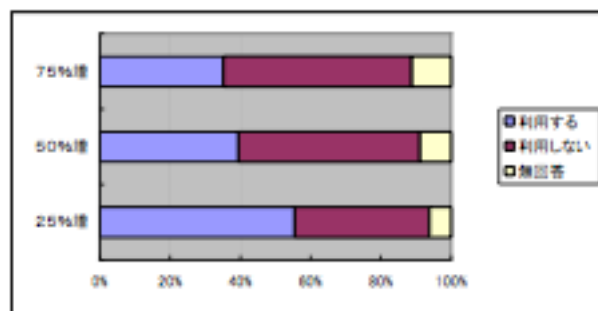


図 2: 駐車場予約の追加料金による利用意向

を導入し、留保価格を増加させた場合及び4) 予約システムを導入し、留保価格を減少させた場合の4つの戦略について比較する。以下に、それぞれの詳細を述べる。

**予約システムなし** 3つの駐車場のどれにも予約システムを導入しない場合である。利用者は、駐車利用開始時間に駐車場を訪れ、空きスペースがあれば駐車し、なければ次の希望の駐車場に移動する。支払額は留保価格(通常の駐車料金と同じ)となる。

**予約システムあり** 3つの駐車場のうち、1つに予約システムを導入した場合である。利用者は予約申告時間に予約を申告する。集まった予約に対してオークションを行い、駐車場に割り当てる予約と支払額を決定する。予約できなかった利用者は、予約システムなしの場合と同様、駐車利用開始時間に次の希望の駐車場を訪れ、空きスペースがあれば駐車し、なければ次の駐車場に移動する。予約システムのない駐車場での支払額は留保価格となる。

**留保価格増加** 3つの駐車場のうち1つに予約システムを導入し、留保価格を増加させた場合である。留保価格の増加額は50円に設定した。利用者の行動は予約システムありの場合と同様である。

**留保価格減少** 3つの駐車場のうち1つに予約システムを導入し、留保価格を減少させた場合である。留保価格の減少額は50円に設定した。利用者の行動は予約システムありの場合と同様である。

駐車場運営戦略を変更した場合の駐車場の需要変動として、留保価格を変更した場合の駐車時間を推計する。シミュレーションの対象とした3つの駐車場の留保価格の変化に対する駐車時間の変化の合計は、表1の通りである。表1で示したように留保価格が増加すると駐車時間が減少し、留保価格が減少すると駐車時間が増加することがわかる。

#### 4.4 駐車運営戦略の評価

各駐車運営戦略の料金収入を図3に示す。

予約システムなしと予約システムありの場合を比較した場合、予約システムありの場合の方が高い駐車場収入を得られている。予約システムありの場合では、オークションにより駐車料金を設定するため、駐車料金が高く設定され、駐車場収入が増加している。

予約システムを導入した場合での留保価格の違いにより比較した場合、留保価格が高いほど駐車場収入が増加している。

表 1: 留保価格の変化に対する駐車時間の変化 (駐車場の数 3 つ, 2011 年 10 月 4 日から 2011 年 10 月 6 日の利用者)

	留保価格 変化なし	留保価格増加 (+50 円)	留保価格減少 (-50 円)
総駐車時間 (時間)	5018	4779	5344
駐車時間の差 (時間)	0	-239	+326

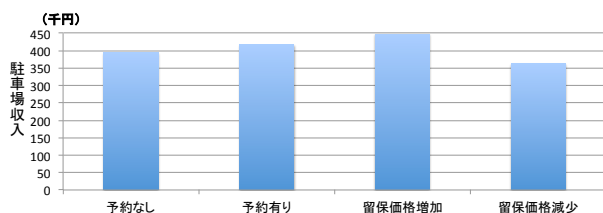


図 3: 駐車システムごとの駐車場収入

留保価格が増加することで 1 人あたりの駐車料金が增加し、駐車場収入が増加している。ただし、今回のシミュレーションで考慮している駐車場の需要変動は、駐車時間の変化のみであり、駐車場利用者数の変化などの他の駐車場の需要変動については考慮していない。実際には留保価格を増加させれば利用者数が減少し、留保価格を減少させれば利用者数が増加し、駐車場収入に影響を与える。今後は、よりいっそうの需要変動の考慮を行う必要がある。

## 5. まとめと今後の課題

本研究では、駐車場予約システムの提案を行い、シミュレーションを用いて駐車場運営戦略の比較及び評価を行った。提案する駐車場予約システムでは、オークションによって駐車スペースへの割当及び駐車料金の決定を行っている。オークションを用いることで、支払意思額の高い利用者に駐車スペースを割り当てることができ、駐車場収入の増加が期待できる。さらに、より現実的なシミュレーションのために、駐車場運営戦略が変化した場合の需要変動を考慮しており、名古屋市周辺の複数の時間貸し駐車場のデータを解析することで、需要変動を求めた。本研究では、需要変動として駐車料金を変更した場合の駐車時間の変化に注目しており、生存時間分析により、実際の駐車場利用データを分析することで駐車時間の変化を求めている。生存時間分析では、駐車時間を目的変数とし、1 時間あたりの駐車料金、入庫時間、駐車場の収容台数、及び支払方法を説明変数として分析を行った。

シミュレーションでは、実際の駐車場利用のデータを用い、予約システムを導入しない場合、予約システムを導入した場合、予約システムを導入し、留保価格を増加させた場合及び予約システムを導入し、留保価格を減少させた場合の 4 つのパターンについて実行し、駐車場収入を求め、考察を行った。予約システムを導入しない場合と予約システムを導入した場合の駐車場収入を比較した場合に駐車場収入が増加することを示し、予約システム導入のメリットを示した。予約システムでは、オークションを用いて予約の割り当て及び支払額を決定しているため、競争が起きた場合に支払意思額の高い利用者に割

り当てを行うことで支払額が増加し、駐車場収入が増加している。留保価格の変化による比較も行い、留保価格を増加させた場合に、駐車場収入が増加する可能性を示唆した。

本研究で提案した予約システムでは、一度確保された予約は変更されず、必ず使用されるものとして考えている。しかし、実際には、渋滞に巻き込まれるなどの交通状況の変化、急な予定変更などによって、利用開始時間や利用終了時間が変化することが考えられる。場合によっては、予定していた出庫時間を過ぎても駐車している自動車によって、後の時間帯に予約していた自動車が駐車できなくなるような事態も考えられる。今後は、このような不確実性にも対応した予約システムの提案が必要である。また、本研究では、駐車場の需要変動として、駐車時間の変化のみを求めている。実際には、駐車時間の変化以外の需要変動が考えられる。例えば、駐車料金を安くした場合の利用者数の増加などがある。今後は、需要変動についてよりいっそうの考慮を行う必要がある。現在の使用しているデータは、予約システムのない時間貸し駐車場の利用データのため、予約の有無による、駐車場利用の変化についてはわからない。そのため、駐車場予約が導入された場合の利用意向について調査し、駐車場予約システムが導入された場合の利用意向の変化を考慮したシミュレーションを行う必要がある。

## 謝辞

本研究の一部は、内閣府の先端研究助成基金助成金（最先端・次世代研究開発プログラム）により助成を受けています。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1] 倉内文孝, "駐車場管理システム高度化による駐車行動の変化と道路網交通流への影響効果に関する研究", 京都市大, 2002 年
- [2] 国土交通省 平成 22 年度 全国道路・街路交通情勢調査 (道路交通センサス) 一般交通量調査  
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/data/kasyorep.pdf>
- [3] 長縄 達博, 荻原 正敏, 渋井 理郎, 稲葉 勝三, "駐車場予約実験システムの評価と考察", 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2001 年. 基礎・境界, 393, 2001-03-07