

# 電気自動車共同利用の動的料金システムの安定性に関する一考察\*

## A Note on Stability of Dynamic Price System under Electric Vehicle Sharing System\*

原祐輔\*\*・羽藤英二\*\*\*

By Yusuke HARA\*\*・Eiji HATO\*\*\*

### 1. はじめに

これまで交通機関の予約システムと言えば、新幹線や航空機といった供給量制約の存在する長距離・非日常的交通機関に限られていた。しかし近年、新しい公共交通としてシェアリングサービスが注目されている。たとえば電気自動車(EV)はエネルギーマネジメントの観点から車両の位置情報管理と走行距離・バッテリー管理を行うことで車両の効率性を最大限に高めることが必要とされており、サービス供給者による一体的な管理が可能なシェアリングサービスの運用に適している。また、EVは前述の交通手段と異なり、利用頻度が多い日常的な交通手段として利用される。そのため、出発時刻や利用時間は利用の直前に決定され、スケジュールに対する不確実性は大きいと考えられる。このような特徴を持つEVシェアリングを成立させるための予約・オペレーションシステムが必要とされている。

一般にサービスの予約システムはサービス消費に先立って申し込みの早い順に利用日におけるサービス利用の権利を割り当てるシステムであり、基本的に早い者勝ちのルールであると言える。このルールは各家計の所得の大きさに依らず、同一の機会が与えられているという点で公平性の高いルールであると言えよう。このシステムに対する既往研究<sup>1)</sup>では前提としてサービスに対するニーズが高い家計ほどより確実にサービスを購入するためにできるだけ早い時期にサービス予約を行うことを仮定している。しかし、ニーズと利用日のスケジュール不確実性の間に相関がない場合、予約システムではパレート最適な配分が行われない可能性が存在する。

別のアプローチとしてボトルネック通行権取引制度<sup>2)</sup>が存在する。この制度及び援用した利用権取引制度では道路・交通手段利用の予約・割当制と時刻別の通行権を

\*キーワード：カーシェアリング、予約システム、料金

\*\*学生員，東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

(東京都文京区本郷7-3-1, TEL 03-5841-1672

hara@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

\*\*\*正員，工博，東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻

(東京都文京区本郷7-3-1, TEL 03-5841-1672

hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp)

自由に売買する市場の創設によって、効率的な資源配分が達成されることを理論的に示している。しかし、現実には取引市場(オークション)において価格と配分が決定するのは利用日直前になるため、当日の利用が直前まで確定しないサービスに対して各家計は心理的に避ける傾向<sup>3)</sup>にあることが見られた。そのため、取引制度は効率性を達成するものの、予約システムの持つ事前の確実性が存在せず、利用者心理として許容しづらい。

そこで、本研究では通常の予約システムと利用権取引制度の利点を取り入れた動的予約システムを提案する。本システムでは各家計の自己選択メカニズムを利用し、家計のニーズに合わせた段階的予約を可能とする。段階的予約とは予約時にサービスに対するニーズを各家計が表明することで個々の予約を段階的に差別化することである。この仕組みにより、スケジュールの不確実性のためにニーズは大きい予約順序が遅くなってしまった家計が相対的にニーズの小さい他の家計による予約と順序を入れ替えることを可能とする。これらの段階的予約は予約の順序とサービス利用のニーズの相関を暗黙に仮定せず、それぞれが独立に決定される場合に、予約システムにオークションの持つ顕示メカニズムを一部導入することで社会的厚生を高めることを目指している。

EVシェアリングサービスが新しい公共交通となるためには利用するまでの手続きの少なさや公平性が担保される必要がある。一方で、サービスの持続可能性のためにはニーズ・支払い意思額(Willingness to Pay)が高い家計の利用を促すことで、サービスの効率性を高める必要がある。本システムはスケジュールの不確実性のためにサービスニーズの大きさと利用割当者が一致しない問題を改善する一つの方策と考えられる。

以下、2. では本研究で採り上げる動的予約システムの基本的な考え方を説明する。3. では動的予約と他の予約システムの比較のための計算機シミュレーションを行い、効率性と公平性の観点から各システムの挙動について考察する。4. では本研究で得られた結果をまとめ、今後の課題について考察する。

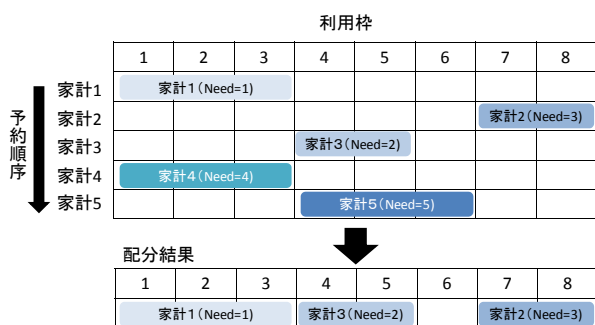


図-1 通常の予約システムの配分例

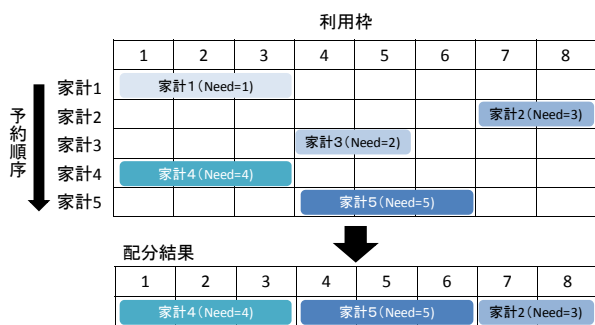


図-2 動的予約システムの配分例

## 2. 動的予約システム

### (1) 自己選択メカニズムを用いた予約レベル

前述の通り、予約システムは予約順に利用枠を割り当てていく配分システムである。予約の順番とニーズの間に大きな相関がない場合、図-1のようにサービスに対するニーズがより高いユーザーがいるにもかかわらず、ニーズが低いユーザーが利用枠を押さえる可能性が存在する。これに対して、本研究が提案する動的予約システムでは図-2のように予約順序が遅くてもニーズが大きい家計が一部予約順序を繰り上げて利用枠を取得することを可能とするシステムである。

本節では動的予約システムの基本的な考え方について説明する。ここでは簡単のため、表-1で示される5つの段階的な予約レベルを導入する。動的予約システムでは各家計は自分のニーズに応じて、自己選択メカニズムに基づき、予約レベルを表明・選択することが可能である。まず、通常の予約であるLv.3は一般的な予約システムであり、予約時点で空き枠が存在すれば自身の利用枠として予約することが可能である。また一度予約すれば予約時点で利用に対する確実性が存在するため、オークション型の料金システムよりも利用者にとってはわかりやすい。

Lv.1, Lv.2は予約時点で空き枠が存在すればLv.3と同様、予約することが可能である。しかし、予約後にLv.4, Lv.5といった予約レベルの高い予約が行われた場合、自身の予約は自動的にキャンセルされる。その分、利用

表-1 動的予約システムの段階的予約レベル

Lv	各レベルの内容
Lv. 1	予約+Lv.4, 5にて利用できない可能性を許容
Lv. 2	予約+Lv.5にて利用できない可能性を許容
Lv. 3	空き枠を予約する
Lv. 4	空き枠を予約+Lv.1をキャンセル可能
Lv. 5	空き枠を予約+Lv.1, 2をキャンセル可能

に対する価格がLv.3に比べて低く設定される。この差額が利用できない可能性に対するオプション価値となっている。本システムにおいては自己選択によってLv.3による確実な予約とキャンセルされる可能性が存在するLv.1, Lv. 2の予約を比較した上で選択しているため、他家計によってキャンセルされたとしても公平性の問題は生じない。Lv.1はLv.4, Lv.5の双方によってキャンセルされる可能性があり、Lv.2はLv.5によってのみキャンセルされる可能性が存在する。

Lv.4, Lv.5の説明はLv.1, Lv.2の逆に対応しており、Lv.3のように空き枠が存在すれば予約できると同時に、予約時点で既にLv.1, Lv.2の予約によって枠が埋まっていたとしても自身の予約枠として確定することができる。このようなスケジュール不確実性に対するオプション価値として、料金をLv.3に比べて高くすることが考えられる。

以上が動的予約システムにおける段階的予約レベルの説明である。動的予約システムは通常の予約システムに各個人のニーズを表明する準オークション的要素を導入したシステムとなっている。本研究では簡単のため、5つのレベルと表-1のような各レベルの力関係にしているが、レベル数や各レベルの強さ関係はサービス提供者が自由に決定することができる。そのため、各交通サービスがもつ特殊な文脈に即した設定も可能である。段階的レベル数を利用者数まで増加させ、Lv.3以上がもつ確実性の排除し、自分以下のレベルに対してキャンセルする権限を持つように設定すれば、利用権オークションと等価である。

### (2) 動的予約システムの配分フロー

これらを踏まえた上で、図-1, 図-2の動的予約システムの配分例を再度確認する。予約システムを必要とする交通サービスは供給量制約が存在するため、総利用枠を把握することが可能である。これに対し、開始時間や利用時間に対して様々な選好を持った家計がスケジュールの不確実性のためにランダムな順番で予約を行うことを考えよう。図-1ではニーズは相対的に低い家計1, 2, 3が予約枠を取得している。しかし、動的予約システムである図-2においてはLv.1をキャンセル可能なLv.4の家計4とLv.2をキャンセル可能なLv.5の家計5が予約枠を取得することが可能である。

しかし、動的予約システムはLv.5の予約を選択したからといって強制的に他のユーザーを追い出すことができるわけではない。あくまでLv.4, Lv.5の家計が望む時間帯に先にLv.1, Lv.2の家計の予約が入っていることが前提である。そのため、動的予約システムは予約システムをベースにした公平性を担保しつつ、一部効率性を高めようとするシステムであると言える。当然、予約レベルの力関係の設定によって公平性を高めるためのシステムにするか、効率性を高めるためのシステムにするかを決定することが可能である。そこで、本研究では次章以降に簡単な数値計算シミュレーションを行うことで、本システムの特徴を明らかにし、システムの挙動に対する基礎的な知見を得ることとする。

### 3. EVシェアリングにおける動的予約シミュレーション

#### (1) EVシェアリングのための設定

本研究では簡単のため、次のような設定で動的予約のシミュレーションを行うことにしよう。

家計が利用を行おうとするEVシェアリングの台数は1台、また他のポートへの乗捨て行動を考慮せず、借りたポートで返却を行うことを仮定する。サービスの提供される時間帯は7:00~22:00の15時間とし、これを30分ごとの離散的な利用権枠に分割し、1日の利用権は30単位あるとする。これが供給側の設定である。

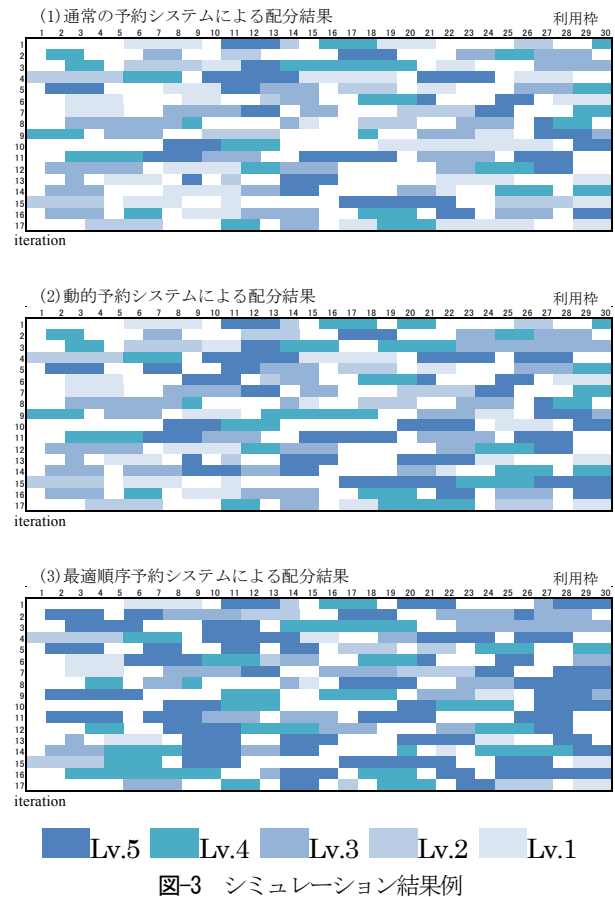
需要側の設定として、潜在的な家計が20世帯いるとしよう。家計が予約を行う順番はランダムであるとし、一様乱数から順番を生成する。各家計が利用を開始したい時間帯について本来であれば時間帯に沿った需要を考える必要があるが、今回は簡単のため一様分布から開始単位を決定した。各家計がサービスに対して需要する利用時間は利用単位として平均3, 標準偏差1の正規分布から生成する。また、レベル選択に影響を与える家計の特性として、家計が1単位の利用権枠から得られる効用を考えよう。この効用は $\lambda = 0.1$ の指数分布に従うと仮定する。このとき、1単位あたりの効用が0.25未満の家計はLv.1を、0.25以上0.5未満の家計はLv.2を、0.5以上1未満の家計はLv.3を、1以上2未満の家計はLv.4を、2以上の家計はLv.5を選択すると仮定する。

#### (2) シミュレーション結果と効率性・公平性指標

上記の設定をもとに、計算機によるシミュレーションを1000回繰り返し行い、複数の予約システムにおける効率性と公平性に対する挙動の違いを比較する。比較対象は1)通常の早い者勝ちによる予約システム, 2)本研究で提案する動的予約システム, 3)サービスに対するニーズが大きい家計から予約を行う最適順序による予約システム

表-2 シミュレーション設定

1日の総利用権枠	30
各家計の予約順	ランダム
利用開始時間	一様分布から生成
利用枠数	平均3, 標準偏差1の正規分布
1単位あたりの効用	$\lambda=0.1$ の指数分布
レベル選択	1単位あたりの効用により決定



ムである。3)はニーズが大きい、つまり支払い意思額が高い家計から順にサービスを割り当てていくので、オークションシステムによる配分結果と等しくなると考えられる。

繰り返しケースにおける各システムでの配分結果の一例を図-3に示す。各行はiterationごとの配分結果を示している。この図からは動的予約が通常の予約よりも一部ニーズが高い家計に配分が移っていることを見取することができる。

これらの予約システムの違いを定量的に評価するために効率性指標と公平性指標を定義する。最適順序予約は各ケースに発生する需要においてこれ以上効率性を高めることができない配分である。よって、通常予約システムや動的予約システムにおける各家計の効用和を最適順序予約における各家計の効用和で除したものを効率性指標とする。

公平性指標は通常予約システムで配分された家計と比較する予約システムで配分された家計の一致数の割合

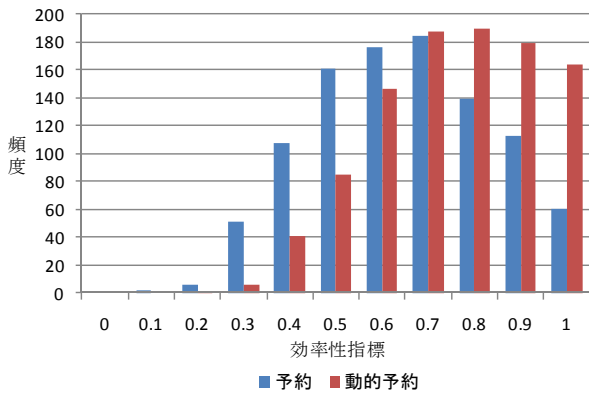


図-4 効率性指標のヒストグラム

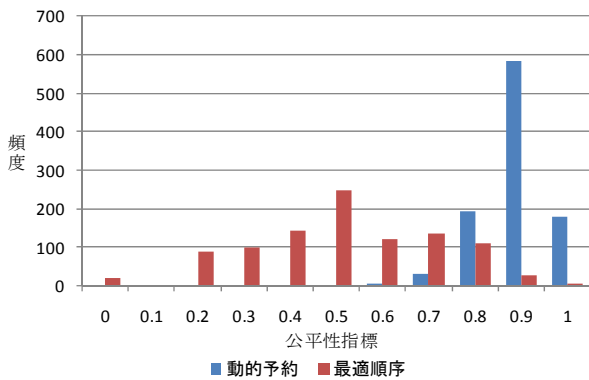


図-5 公平性指標のヒストグラム

によって定義する。通常の早い者順の予約システムは支払い意思額にかかわらず公平性が高い。一方で最適順序予約は予約の順序をニーズの大きさでソートするため、早い者順に比べて公平性が低くなると考えられる。効率性と公平性の両立は不可能であるが、実際のサービス適用においては効率性や公平性に極端に偏ったサービスではないことが望ましい。上記のシミュレーション結果から動的予約システムが通常の予約（公平性）や最適順序予約（効率性）に比べてどのような挙動を示すかについて議論する。

図-4は1000回の計算結果の効率性指標のヒストグラムを、図-5は計算結果の公平性指標のヒストグラムを示す。効率性については、通常の予約の効率性が平均値0.598、標準偏差0.191であるのに対し、動的予約の効率性は平均値0.708、標準偏差0.175である。ヒストグラムからも動的予約の山が通常予約に比べ、右方向へ移動していることが見て取れる。一方、公平性指標について、動的予約の公平性指標は平均値が0.862、標準偏差が0.119であるのに対し、最適順序は平均値が0.477、標準偏差が0.196である。公平性指標のヒストグラムからは動的予約の公平性が最適順序に比べて十分高いことが示されている。

これらの結果は動的予約システムが公平性の高い早い者勝ちのルールを守りつつ、効率性の低い部分のみ選択

的に改善しているためであると考察される。このようなことが可能である理由は動的予約システムが予約時点で段階的な予約レベルを自己選択メカニズムによって提示させたためである。これによって確実性の高い予約を望む家計、重要性はあまり高くないが安く利用できるのであれば利用したい家計、他の家計をキャンセルさせてでも利用したい家計の差別化を行い、大幅に順序を入れ替えることなく効率性を高めることが可能となった。

このような動的予約システムは仕組みがそれほど複雑でないため、人々の認知的負荷を現在以上に高めることなく、実際のサービスに導入可能であると考えられる。既に予約システムが整備されているシステムについても容易に実装可能である。

#### 4. まとめと今後の課題

本研究では通常の予約システムの公平性を担保しつつ、効率性を高めるような動的予約システムを提案した。自己選択メカニズムによってサービスのニーズを表明させることで各予約の差別化を行い、通常の予約システムの公平性と準オークシヨンの効率性を高めることができることを計算機シミュレーションから示した。本研究の内容は未だ提案レベルに留まっているが、理論的な挙動の整理、実際のサービスにおける予約行動による実証的研究を行うことを今後の課題としたい。

#### 参考文献

- 1) 小林潔司・松島格也・菱田憲輔：予約システムの経済便益評価，土木学会論文集D, Vol. 64, No. 2, pp. 299-318, 2008.
- 2) 松島格也・小林潔司・小路剛志：不確実性下における家計のサービス予約行動，土木計画学研究・論文集, No. 17, pp. 655-666, 2000.
- 3) 赤松隆：一般ネットワークにおけるボトルネック通行権取引制度，土木学会論文集D, Vol. 63, No. 3, pp. 287-301, 2007.
- 4) 和田健太郎・赤松隆：“渋滞”と“混雑”を解消する情報効率のメカニズムのデザイン，土木計画学研究・講演集, Vol. 38, CD-ROM, 2008.
- 5) 原祐輔・羽藤英二：自転車共同利用オークションサービスの実装とそのマイクロストラクチャーに関する研究，土木計画学研究・講演集, Vol. 39, CD-ROM, 2009.
- 6) 原祐輔・羽藤英二：協調型料金システムの挙動とその理論的特性，土木計画学研究・講演集, Vol. 40, CD-ROM, 200