

浮動型予約システムのサービスレベル設計問題 とその安定性に関する研究

原 祐輔¹・羽藤 英二²

¹正会員 日本学術振興会特別研究員 (PD) (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: hara@bin.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学大学院准教授 工学系研究科都市工学専攻 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

共同利用型交通サービスや道路空間には供給量制約が存在し、その下で利用者にとどのように割り当て、利用してもらうかというのが交通計画にとって重要な問題になっている。利用者の交通需要に時空間的異質性が存在する場合に供給量制約のある交通サービスの利用枠を割り当てる問題において、早い者勝ちの予約システムではパレート効率性が担保されず、利用枠のオークションでは効率性は担保されるが、取引費用や選好誘出の観点から現実に適用するには課題が多く存在する。そこで本研究では、浮動型予約システムという選好顕示型の予約システム下における、サービス供給者のサービスレベル設計問題を需要予測を内生化した形でシミュレーション分析を行い、設計されたサービスレベルの安定性について分析する。これにより、浮動型予約システムの適用可能な需要パターンや効率的な設計プロセスを明らかにする。

Key Words : reservation systems, mobility sharing, tradable permits

1. はじめに

近年の急速なソーシャルメディアやリアルタイムウェブ等のテクノロジーの発達や環境意識の高まりの影響を受けて、物理的なモノやスペースを共有しようという動きが生まれている。交通サービスにおいても交通手段とその駐車スペースを共有化することで、より望ましい資源配分が達成できるとともに、移動制約が緩和されることでより自由な移動が促されると言えるだろう。たとえばカーシェアリングの Zipcar やコミュニティサイクルの Vélolib¹⁾ は世界的に有名な成功事例として知られている。

このような共同利用型交通サービス（以下モビリティシェアリング）と所有型交通手段の一番大きな違いは利用したいときに利用することができる利用確実性に縮約される。そのため、モビリティシェアリングの実現可能性を高めるためには利用確実性を保証するための予約システムが必要とされている。前もって予約を行うことは各個人の行動制約となるが、それ以上に得られる便益が大きい場合、利用者にとってもサービス供給者にとっても望ましい結果を得ることができる。たとえば航空会社によるチケット値付けは Revenue Management^{1),2)} の先駆的な事例として知られており、様々な価格設定を組み合わせることで利用されない座席を減少させ、収益の最大化とそれに伴う座席の効率的配分を行っている。

交通サービスの予約システムについての先行研究は

高速道路の予約権、予約システムを挙げることができる。赤羽ら³⁾による道路予約権は SP 調査をベースに、休日の高速道路容量を効率的に運用する道路予約権の利点について研究をしている。Koolsra⁴⁾は利用者均衡時の出発時刻とシステム最適時の出発時刻の違いを分析することによって、高速道路のスロット予約の潜在的な便益を算出しており、de Feijter et al.⁵⁾はトリップの予約によって旅行時間信頼性を改善と道路容量の効率的な利用が可能となることをシミュレーションによって示している。また、赤松⁷⁾による通行権取引制度は道路予約権の性質を持つ道路通行権を道路容量に合わせて発行し、オークションによって割当と通行権価格を最適に決定することで、社会的最適状態を達成できることを理論的に示している。

また予約時の家計行動のモデル化を行った研究として松島ら⁸⁾、市場均衡モデルとして予約システムの経済厚生への影響分析した研究として小林ら⁹⁾の研究を挙げることができる。これらの研究では予約システムが家計のサービス選好に異質性が存在する場合に私的情報を開示する顕示メカニズムとして機能する一方で、企業が利潤最大化行動を取ることで社会的厚生は増大するが、家計の経済厚生が減少する可能性が示唆されており、上記の問題が発生しないようなキャンセル料金規制の重要性が示されている。

これらの既往研究は交通システムに予約システムを導入した際のシステム評価や予約システム下における

家計行動と経済厚生分析である。一方で、現実の交通行動における利用者意思決定を考慮すると、利用者自身がその交通サービスを利用(予約)すべきかどうかを事前に判断できない場合が頻繁に存在しうる。そのため、利用者が自身の交通サービスに対する選好を完全に把握していると仮定した上で予約システムの評価を行うことは問題があるだろう。

そこで、原・羽藤¹⁰⁾はそのような利用者像を想定したより柔軟な予約システムとして浮動型予約システムの提案を行った。この予約システムは利用権オークションのように社会的に最適な割当は達成できないが、予約の確定性に対する選好を利用者に表明させる予約システムであり、オークションに比べて利用者にとって取引費用が小さく受容されやすいシステムである。この予約システムにおいてはオークションのように各個人の交通サービスに対する細かな選好は表明されないが、利用時間帯や予約の確定性に対する選好を表明させることでマクロなセグメンテーションを可能にする。つまり、利用者の交通行動における OD 需要に対しては需要予測が必要であるが、予約の確定性に対する選好といった最も観測しづらい要素の表明をさせる予約システムであるといえよう。

しかし、既往研究¹⁰⁾にも示したように、利用者にとって利用権オークションに比べて意思決定負荷が小さい浮動型予約システムは、供給者にとっては予め需要予測とサービスレベル設計が必要となる。そこで、本研究では簡易的なサービスレベル設計行動であっても、通常予約システムに比べて浮動型予約システムがパレート効率的であることを示す。そこで、利用者行動と供給者のサービスレベル設計行動を設定した上で、指呼錯誤型のルールに従い、サービスレベル設計とその安定性について考察を行うことが本研究の目的である。

2. 交通サービスの予約・割当システムの比較

(1) 早い者勝ちの予約システム

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。このシステムに対する既往研究^{8),9)}で示されているように、予約システムはそれがない場合に比べて、利用者は将来時点での選択行動のオプション便益を得ることができ、サービス購入失敗のリスク回避価値を得ることができる。一方でシステム管理者側は予約行動という顕示メカニズムを通じて、サービスに対してより大きな効用を持つ利用者に優先的にサービスを割り当てることができるという優先割当便益を得ると同時にピーク需要を分散させることで混雑

回避を行う需要平準化の便益も得ることが可能である。

この予約システムの社会的厚生に対する問題点を示す。既往研究^{8),9)}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、現実の交通サービス(たとえば航空機)の予約システムとその料金システムを俯瞰すると、一般的に前もって予約を行ったチケットは値段が安く、直前に購入したチケットは値段が高い。もしサービスに対するニーズが高い家計ほどできるだけ早い時期にサービス予約を行うのであれば、より高い支払いを行う直前に購入する利用者は事前に予約を行っているはずである。

このような現象はサービスに対するニーズ(サービスから得られる効用)とは別に、各個人のスケジュール確定性という別の問題が存在していると考えるのが自然である。つまり、交通サービスを予約する利用者サービスに対するニーズが支払額よりも大きいことは当然であるが、必ずしもニーズが高い利用者順に予約を行うのではなく、スケジュールが確定した利用者から順に予約を行うと考えられる。この性質は交通サービスという他の生活行動と密接した財の特徴であり、演劇や映画の予約システムと違って、その財から得られる効用のみで予約を行うことができないという問題を含んでいる。

このような問題を含む交通サービスにおいてはニーズの小さい利用者による早めの予約によって、より利用ニーズが大きい直前にスケジュールが確定した利用者の利用枠が埋まってしまい、最適な割当が行われないという問題が発生しうる。また、ニーズの小さい利用者が早い予約順序で予約を行うことを避けるインセンティブは存在せず、ある個人が予約を行う段階でそれ以降に予約を行いたい利用者のニーズを把握することは不可能であり、またシステム管理者も同様に不可能である。このような点で交通サービスの予約システムには通常の早い者勝ちの予約システムに対して何らかの付加的な機能を追加することが必要である。

(2) 利用権取引制度

別のアプローチにボトルネック通行権取引制度⁷⁾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。この制度は取引を行うことで事前に利用枠を確定している点で予約システムの一つであると解釈できる。しかし、現実には取引市場(オークション)においてある決められた取引終了日時に価格と配分が決定するまで、自身の

予約が確定しないため、予約システムにおけるサービス購入失敗のリスク回避価値によるオプション便益は存在しない。むしろ自身の入札後に、より支払い意思額の高い利用者へ利用権を譲渡されるリスクが常に存在し続けるため、各家計はこのような割当システムを心理的に避ける可能性も考えられる。そのため、全利用者がこの割当システムを避けずに選好を正直に表明する場合、利用権取引制度はパレート効率的な配分を達成するものの、現実的な適用可能性としては、支払い意思額の提示による取引費用や予約システムの持つ事前の確実性の不在のため、利用者心理として許容しづらいという可能性が存在する。

(3) 浮動型動的予約システムの提案

本研究が扱う浮動型動的予約システムとは前述の予約システムの問題点を解決しつつ、利用権取引制度を持たない予約の確実性を持ち合わせた予約システムを目指している。具体的には予約の確実性を価格によって差別化し、個人の自己選択メカニズムによってニーズの高い個人の利用を一部優先することで利用者の総利得とサービス提供者の総収入の合計として定義する社会的厚生の上を目指すパレート改善的予約システムとする。

前述の予約システムの改善を目的としたとき、システム管理者として表明させるべき利用者の選好は予約の確実性についての選好である。サービス購入失敗のリスクを大きく見積もる利用者もいれば、利用できないリスクも許容した上で安価で利用したい利用者も存在するだろう。この予約の確実性に対する選好を表明させることで、自己選択メカニズムによって最適な配分に近づけることが可能となる。

その予約の確実性に対する選好を表明させるためのシステムとして、たとえば表-1のような3種類の段階的予約レベルが存在する浮動型動的予約システムを考えることができる。予約したい利用枠が空いている場合は予約レベルにかかわらず予約を行うことができ、その中でもレベル2の予約は通常の予約と変わらない。浮動型動的予約システムの特徴はレベル1とレベル3の関係性にある。レベル1は予約(利用)に対する価格が低いという利点があるが、予約の確実性が担保されておらず、後から予約を追い出されるリスクが存在する。一方で、レベル3の予約は通常よりも価格が高いが、既に予約されているレベル1の予約を追い出すことが可能である。レベル1のリスク許容した予約をここでは浮動型予約と呼ぶ。レベル3は利用権取引制度におけるオークションのように支払い意思額が相対的に高い利用者が利用可能となるため、準オークション型予約と呼ぶ。

表-1 動的予約システムの段階的予約レベル

予約レベル	各レベルの内容	価格
レベル1	空き枠を予約+ レベル3に追い出される可能性を許容	C ₁
レベル2	空き枠を予約	C ₂
レベル3	空き枠を予約+ レベル1をキャンセル可能	C ₃

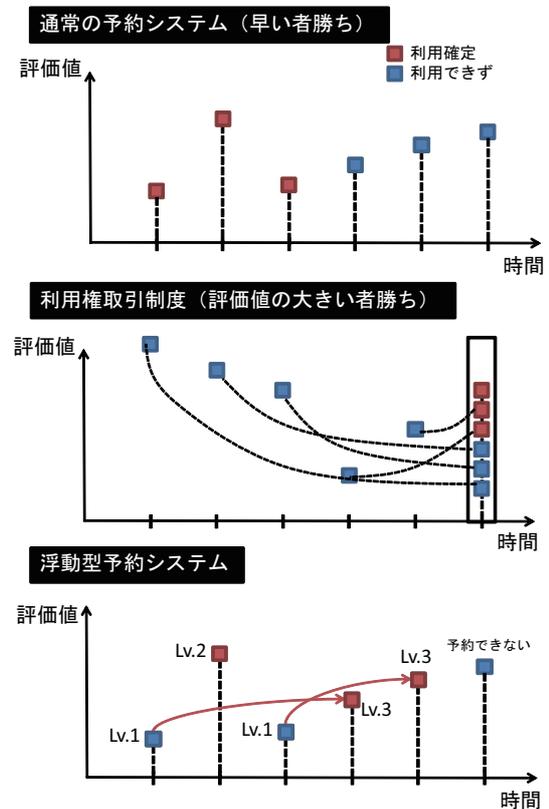


図-1 各予約(割当)システムの比較

このような予約の差別化によって、予約(利用)の確実性に対する選好を表明させ、予約順序を一部変更させることで、ニーズが低い利用者の予約後に、ニーズの高い利用者が現れた場合、後者の利用へと転換させることが可能となる。また、単純に高い価格に設定した予約システムではニーズの低い利用者が利用できない。本システムでは追い出されない限りレベル1の価格で利用が可能であるため、多様な選好・利用ニーズを満たすことが可能である。

各システムの割当イメージを図-1で示す。通常の予約システムの場合、早い者勝ちなので、3人分の枠を取り合っている場合、最初の3人が予約を確定することができ、その予約後には交通サービスに対して高い評価値を有する利用者が現れたとしても予約・利用することはできない。一方で、利用権取引制度・利用権オークションはオークション終了時点まで利用者が確定しないため、利用の確実性に対する効用が時間的に変化

する場合、問題がある。浮動型予約システムにおいては評価値が低い利用者が予約していたとしても、レベル別予約によって評価値の高い利用者が一部追い出すことによって交通サービスの効率性を高めることを目指す。これは利用権オークションほど効率的な割当にはならないが、通常の早い者勝ちの予約システムよりはパレート改善な割当が可能となる。

3. シミュレーションの設定

本節から浮動型予約システムのサービスレベル設計問題として供給者によって供給される車両台数とレベル別価格に対するシミュレーション分析を行う。本研究ではまず基礎的な分析として OD は捨象した単純な利用時間枠選択のみを考え、浮動型予約システムのレベル設計に対する性質を把握する。

(1) 利用者行動の設定

利用者集合は一定であるが、各利用者が予約を行う順序は各 iteration においてランダムであるとする。これは利用者の利用から得られる効用とスケジュールの確定には相関がないという過程を表している。利用者 i の効用は大きく、時間帯 t に交通サービスから得られる効用 (交通効用) と利用確率から得られる効用 (予約効用) によって構成される。利用者集合には異質性があり、各個人において交通効用、予約効用が異なる。また利用者集合は予約効用が存在する / しない集合に大きく分けることができるとし、2つのグループに分けることができるとする。

本シミュレーション分析においては利用者は戦略的意思決定を行わず、予約時点において各レベル別予約から得られる効用のうち最大の予約レベルを選択すると仮定する。つまり、自身が追い出される確率を正確に計算するのではなく、自身の予約効用に従い、予約の確率を選択するものとする。

以上より、利用者 n が時間帯 t の予約レベル j への予約から得られる効用は次式で表される。

$$\begin{aligned} U_j^n(t) &= u_{use}^n(t, t^n) + u_{reserv}^n \cdot \delta^n \\ &= u_{use}^n(t^n) - sc \cdot |t - t^n| + u_{reserv}^n \cdot \delta^n \quad (1) \end{aligned}$$

ここで、 u_{use}^n は交通効用、 u_{reserv}^n は予約効用、 t^n は n の希望利用時間枠、 sc は時間帯変更に伴うスケジュール費用、 δ^n は n が予約効用をもつかどうかを表すクロネッカーの δ である。よって、各レベル別価格を p_1, p_2, p_3 とすると各予約レベルを選択した場合に得られる利得は

$$\pi_3^n(t) = u_{use}^n(t, t^n) + u_{reserv}^n \cdot \delta^n - p_3 \quad (2)$$

$$\pi_2^n(t) = u_{use}^n(t, t^n) + u_{reserv}^n \cdot \delta^n - p_2 \quad (3)$$

$$\pi_1^n(t) = u_{use}^n(t, t^n) - p_1 \quad (4)$$

で表される。この利得の大きさを比較しながら、各利用者は自身の予約レベル j と利用時間枠 t を選択する。ただし、該当時間枠が既にレベル 2 以上の予約で埋まっている場合はその時間枠は予約を行えず、該当時間枠がレベル 1 を含む予約で埋まっている場合はレベル 3 の予約によって追い出すことができる。追い出された利用者は今回のシミュレーションにおいては追い出されたままとする。追い出された利用者は利用価格を支払う必要はない。

(2) 供給者行動の設定

本研究で注目するのは供給者による予約レベル設計行動である。既往研究で示したように、予約レベルを適切に設計するためには供給者は利用者の需要予測を行い、予約レベル設計を行う必要がある。この予約レベル設計が非常に困難であるならば、この浮動型予約システムの導入可能性は低いだろう。そこで、各期に観測可能な利用者行動の集計結果から供給者が自身のサービスレベルを修正することで供給者にとっても利用者にとっても受容可能であり、かつ安定的なサービスレベル設計を行えるのかどうかをシミュレーション分析から考察する。

供給者が設定可能な要素は総車両台数 μ と各レベル別価格 p_1, p_2, p_3 である。供給者が観測可能な利用者行動は各レベルで予約を行った利用者数 N_1, N_2, N_3 、レベル 1 で追い出された利用者数 N_{out} である。予約の場に訪れたが予約枠が埋まっているため予約を行わなかった利用者行動は供給者には観測できないとする。

供給者は社会的余剰ではなく、自身の収益を最大化するプレイヤーであると仮定する。このとき供給者の収益は

$$R = p_1 \cdot N_1 + p_2 \cdot N_2 + p_3 \cdot N_3 - C \cdot \mu \quad (5)$$

で表される。ここで、 N_j はレベル j で利用する利用者数、 C は車両 1 台あたりの提供費用である。

供給者は次のような単純な If-then ルールによってサービスレベルを設計すると仮定する。

- (a) 初期車両台数 μ_1 、初期レベル別価格 $p_{1,1}, p_{2,1}, p_{3,1}$ を設定する。
- (b) iteration i ($i \geq 1$) において、車両数 μ_i 、レベル別価格 $p_{1,i}, p_{2,i}, p_{3,i}$ としてサービスを提供する。その結果、 $N_{1,i}, N_{2,i}, N_{3,i}, N_{out,i}$ を観測し、収入 R_i を得る。
- (c) 車両調整フェイズ

過去 10 回の iteration においてレベル 2 価格が変化していないならば、このステップを行う。収入が増加傾向であり、レベル 1 利用者が存在しないとき、車両数を増やす。逆に収入が減少傾向であり、レベル 1 利用者数が多いとき、車両数を減ら

す。つまり、

$N_{i,i} = 0$ かつ $R_i > R_{i-1}$ ならば $\mu_{i+1} = \mu_i + 1$.

$N_{i,i} > 8$ かつ $R_i < R_{i-1}$ ならば $\mu_{i+1} = \mu_i - 1$

以上の操作後、ステップ (b) に戻る。

(d) 価格調整フェイズ

過去 10 回の iteration において車両台数が変化していないならば、このステップを行う。過去 10 回の利用者の選択結果から、レベル 1,2,3 の利用者割合を算出する。レベル 1 の利用者割合が 25% よりも多い場合、 $p_{2,i+1} = p_{2,i} - 10$ と価格を下落させる。レベル 2 の利用者割合が 75% よりも多い場合、 $p_{2,i+1} = p_{2,i} + 10$ と価格を上昇させる。レベル 3 の利用者割合が 10% よりも少ない場合、 $p_{3,i+1} = p_{3,i} - 5$ と価格を下落させる。以上の操作後、ステップ (b) に戻る。

(e) 過去 10 回の iteration において車両台数、レベル 2 価格がともに変化していないならばサービスレベル設計を終了する。

以上の If-then ルールは単純であるが、供給者の試行錯誤的行動を簡易的に表している。この簡易的な試行錯誤の下でサービスレベル設計を安定的に行うことができるのかどうかを次節のシミュレーション分析によって考察する。

4. シミュレーション分析

(1) シミュレーション設定

シミュレーションの設定を記述する。総利用者数は 50 名とする。これは供給者・利用者にとって未知である。提供される交通サービスは時間枠 $t = 1, 2, 3, 4$ の 4 つの時間枠で利用可能である。つまり、車両 1 台につき 4 人が利用可能である。

利用者は $t = 1, 2, 3, 4$ のうち、ランダムに希望時間帯枠をもつ。また、各利用者の交通効用は $[0, 500]$ の一様分布からランダムに決定する。利用者のうち半数は予約効用を持たない。残りの半数の予約効用は $[0, 500]$ の一様分布からランダムに決定する。各利用者の交通効用や予約効用は本人のみが知る情報である。また、供給者・利用者ともに予約効用をもつ利用者の割合については未知である。

利用者の時間帯変更費用 sc は 200、供給者の車両 1 台あたりの提供費用 C は 400 とする。以降のシミュレーションでは初期車両台数 $\mu_1 = 1$ 、レベル 1 価格 $p_1 = 100$ 、レベル 3 価格 $p_3 = 500$ としてシミュレーションを始める。

50 名の利用者による予約順序はランダムで与えられ、また iteration ごとにその順序はリセットされる。通常の早い者勝ちの予約システム (価格 300) において行った

シミュレーションでは平均社会的余剰は 5193 であった。

(2) レベル 2 初期価格が相対的に低い場合

まず、レベル 2 の初期価格としてレベル 1 価格 p_1 に近い $p_{2,1} = 150$ としてシミュレーションを行う。この結果を示したのが図-2、図-3 である。左上が社会的余剰、左下が消費者余剰と生産者余剰 (収益)、右上がレベル別価格、右下が車両台数を示している。

レベル 2 価格の初期値が低いために、最初の車両台数調整フェイズにおいて 6 台まで車両台数を増加させている。この間レベル 2 価格が低いために供給者余剰が小さく、消費者余剰が大きく上回っている。次に価格調整フェイズにおいてレベル 2 価格が 280 まで上昇し、レベル 3 価格が 350 まで下落している。これにより供給者の収益が増加している。最終的にレベル 2 価格 280、レベル 3 価格 350、車両台数 6 でサービスレベルは安定している。最後 10 期間の平均社会的余剰は 6615 である。

(3) レベル 2 初期価格が相対的に高い場合

次に、レベル 2 の初期価格としてレベル 3 価格 p_3 に近い $p_{2,1} = 400$ としてシミュレーションを行う。その結果を示したのが図-4、図-5 である。

レベル 2 価格の初期値が高いために、先ほどと異なり最初の車両台数調整フェイズでは車両台数が 1 台のまま価格調整フェイズに入っている。価格調整によってレベル 2 価格、レベル 3 価格が下落し、それに伴う車両調整フェイズで車両台数が 3 台、5 台、6 台と緩やかに増加させている。最終的にレベル 2 価格 260、レベル 3 価格 370、車両台数 6 でサービスレベルは安定している。最後 10 期間の平均社会的余剰は 5784 である。

(4) 初期価格と安定状態に対する考察

以上の 2 つのシミュレーションの比較より、このような簡易的な If-then ルールの供給者行動においてもレベル別価格を設計できることが示された。また、2 つの初期状態は大きく異なるが、同傾向の安定状態に近づけることが可能であることがシミュレーションより示された。また、通常の予約システム時における社会的余剰に比べてパレート改善である。

このシミュレーションの推移から、収益や社会的余剰に大きく作用する車両台数を早めに安定させた後に価格調整を行った方が収束の速度が速いことが示されている。この結果より実用的にはレベル 2 価格の初期値は低く、一方でレベル 3 価格の初期値を高めめに設定することがサービスレベルを設計する上で望ましい初期値であることが示唆される。

一方で、このシミュレーション例において、最も社会

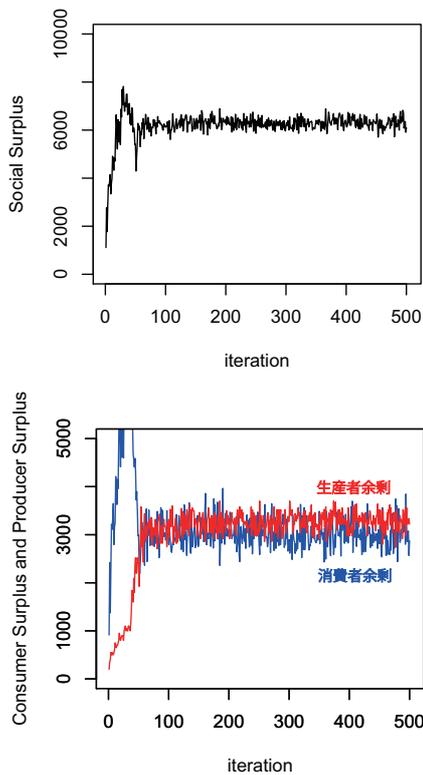


図-2 $p_{2,1} = 150$ シミュレーションにおける余剰の推移

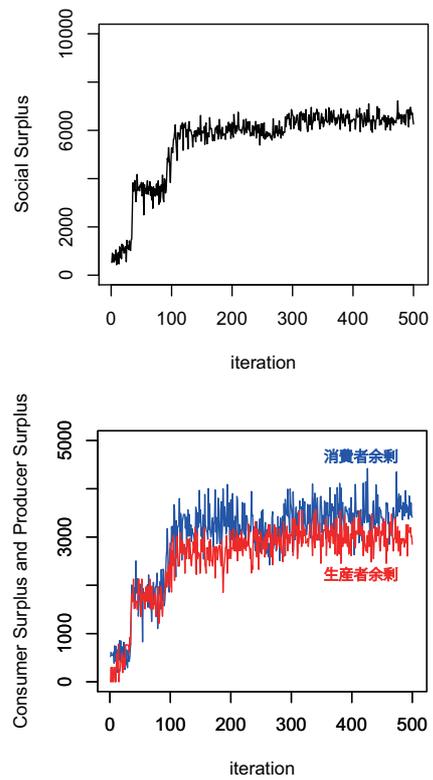


図-4 $p_{2,1} = 400$ シミュレーションにおける余剰の推移

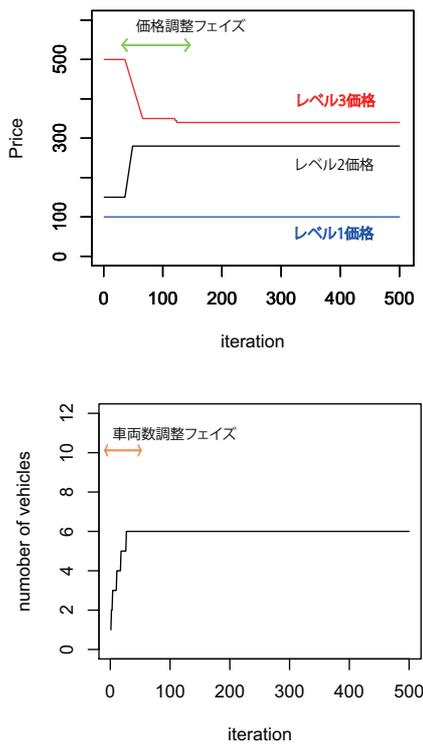


図-3 $p_{2,1} = 150$ シミュレーションにおける価格・車両の推移

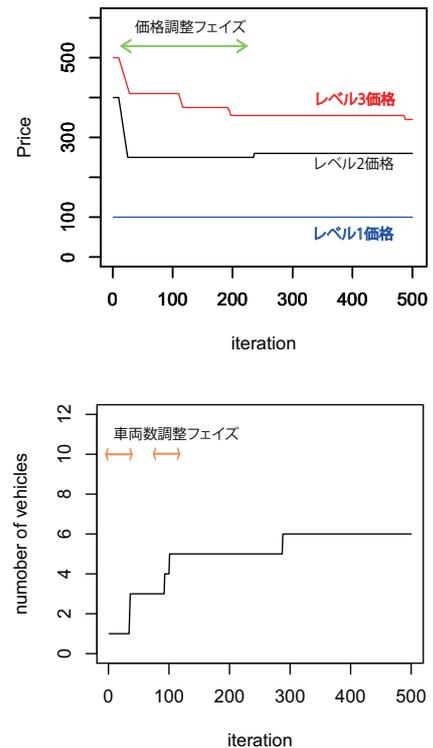


図-5 $p_{2,1} = 400$ シミュレーションにおける価格・車両の推移

的余剰が最大になる(社会的最適な)割当時には車両台数9, その場合の社会的余剰は12632である. 早い者勝ちの予約システムが社会的最適状態の41%の効率性であるのに対し, 浮動型予約システムは52%であり, パレート改善しているとはいうものの, 社会的最適状態

には大きな隔たりがある. その要因として次の3つを挙げることができる.

一点目は供給者が社会的余剰の最大化ではなく, 自身の収益最大化を行動原理としているため, 最適状態に比べて供給される車両台数は少なくなり, その結果

として社会的余剰は小さくなる傾向にある。これは供給者は正の収益であれば車両を供給するような公共的主体を考えれば、改善される可能性がある。二点目は利用者の異質性に対する予約レベル数の少なさである。今回の利用者は交通効用、予約効用、希望時間帯といった個人ごとの異質性が大きく、50名の利用者の識別を正確に行うためには最大50のセグメンテーションが必要である。一方で予約レベルはレベル1,2,3の3種類であり、大きな分類しか行えていない。予約レベル数を増加させセグメント数を増やせば、社会的余剰の増加させることが可能と考える。三点目は供給者行動ルールの単純性である。今回は非常に簡易化したIf-thenルールで供給者行動を表現しているが、供給者の行動ルールをより複雑にする、観測された利用者行動から正確に需要予測を行うことで望ましい価格設計が行える可能性は存在する。

5. まとめと今後の課題

本研究では観測可能な交通需要(交通効用)と観測が難しい予約効用をもつ利用者を想定し、浮動型予約システムを導入時の供給者のサービスレベル設計行動をシミュレートすることによって、浮動型予約システムのシステム挙動の分析を行った。シミュレーション分析の結果より、単純なIf-thenルールを仮定した供給者行動であったとしても、観測不可能な予約効用をもつ利用者集合に対して安定的なシステム状態に導くようなサービスレベル設計が可能であることを示した。これは利用者のランダムな予約順序に対して一定の頑健性をもつシステムであると評価することができる。

また、レベル別価格の初期値設定は最終的な安定状態に対する影響は小さいが、サービスレベルのうち、レベル別価格よりも供給車両台数を早い段階で決定することで安定状態への収束が早い可能性が示された。しかし、最適状態に対する効率性は未だ高くないため、供給者の行動原理の変化、正確な需要予測によるサービスレベル設計、予約レベル数の増加によって効率性を高める必要がある。

今後の課題として、このようなシステムの安定性解析においては、シミュレーションアプローチのみならず、理論的に複数の予約システム間の性質比較を行う必要があるだろう。加えて、OD需要に時間的・空間的な偏りが存在する場合、通常の予約システムに比べて浮動型予約システムがより効率的に運用可能な需要分布、対処することができない需要分布についても研究を行い、他の予約システムとの比較と浮動型予約システムの安定性の分析を行う必要がある。

参考文献

- 1) Belobaba, P.: Airline Yield Management: An Overview of Seat Inventory Control, *Transportation Science*, Vol.21, pp.63-73, 1987.
- 2) McGill, J. and van Ryzin, G.: Revenue Management: Research Overview and Prospects, *Transportation Science*, Vol.33, pp.233-256, 1999.
- 3) 赤羽弘和, 桑原雅夫, 佐藤拓也: 高速道路の利用予約制に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.660/IV-4, pp.79-87, 2000.
- 4) Koolstra, K.: Slot allocation on congested motorways: An alternative to congestion pricing. In: Proceedings of Seminar D at the AET European Transport Conference, pp. 343- 353, 1999.
- 5) de Feijter, R., Evers, J. M., Lodewijks, G.: Improving travel-time reliability by the use of trip booking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.5, pp.288-292, 2004.
- 6) Edara, P., Teodorovic, D.: Model of an advance-booking system for highway trips, *Transportation Research Part C*, Vol.16, pp.36-53, 2008.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 原祐輔, 羽藤英二: 共同利用型交通サービスにおけるネットワーク上での予約システムの提案, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.67, No.5(土木計画学研究・論文集 28), pp.509-519, 2011.

(2012. 5. 7 受付)

SERVICE LEVEL DESIGN PROBLEM ON FLOATING RESERVATION SYSTEM AND THE STABILITY RESEARCH

Yusuke HARA, Eiji HATO