

オークション型カーシェア実証実験における 割当メカニズムの評価

三好 千温¹・原 祐輔²

¹非会員 東北大学 大学院情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06-408)

E-mail: chiharu.miyoshi.p6@dc.tohoku.ac.jp (Corresponding Author)

²正会員 東北大学准教授 大学院情報科学研究科 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06-408)

E-mail: hara@tohoku.ac.jp

本研究ではオークション型カーシェアリングシステムの長期間の社会実験から得られた実際の運用データを用いて、割当メカニズムにより実現された車両割当および利用者の入札行動を社会的厚生最大化の観点から評価した。具体的にはまず過去の運用データから事後的に本システムが実現し得る最大の社会的厚生とそのときの最適車両割当パターンを算出し、実際の車両割当から社会的厚生を約 25% 増加させることができることを明らかにした。次に各割当を外部性により評価し、ほとんどの利用者は外部性の観点からは妥当な入札額設定を行っていた一方で、需要が集中する時期・時間帯には低い入札額設定をしてしまう利用者があり、こうした利用者への車両割当が最適割当との乖離を生じさせるという、現行メカニズムの課題を明らかにした。

Key Words: mechanism design, mobility sharing, auction, behavior analysis

1. はじめに

(1) 背景

今日、自動運転やモビリティシェアリング、ライドシェアリング、MaaS (Mobility as a Service) などの新たなモビリティサービスの概念が生まれている。これらは利用者の利便性向上および車両などの資源の配分効率化を指向したものであるが、これらが都市システム・交通システム全体に与える影響は未知数である。特に自動運転技術が自家用車に搭載され、社会全体のモビリティ保有形態が変化しない社会と社会全体で車両が共有され、それらを集団全体で効率的に活用する社会では都市内の人々の交通行動やライフスタイルに与える影響や社会・経済活動に与える影響は大きく異なる。こうした車両の私有から社会・コミュニティによる共有という概念の変化を受けてカーシェアリングやバイクシェアリング、ライドシェアリングサービスが国内外で社会実装・実サービス展開されている。しかし既存のカーシェアリングサービスは時間や場所によらない均一な料金体系であること、返却場所が貸出場所と同じであるという点で既存のレンタカーサービスに類似するサービスが多い。このようなサービスでは自家用車や公共交通機関、タクシー等の代替としかなり得ない。モビリティシェアリングサービスやライドシェアリングサービスに求められているものは需要の分散や効率的配分によって社会におけるモビリティの善き使われ方を促すデザインである。

一方で社会全体で個々人の移動需要やモビリティ利用の価値を共有しつつ日々の移動需要を実現することはコミュニケーションコストが著しく大きく、結果的に私的な交通手段の利用を促進することになる。こうした課題へは ICT とメカニズムデザインによるアプローチが行われている。オークションメカニズムは利用者間のモビリティ利用に対する価値の違いを管理者が収集することを可能とし、資源の効率的配分が可能となる。また利用者はスマートフォンを用いて逐次的に移動需要を表明することができる。こうしたモビリティシェアリングを社会実装するためには実証研究によりその有用性および実現可能性を明らかにする必要がある。しかしこれまでモビリティシェアオークションについての大規模な実証実験は行われていなかった。

本研究の貢献は以下の 3 点である。

- これまで行われていなかったオークション型カーシェアの大規模な社会実験について、2020 年から 2021 年の約 1 年間にわたる運用データの分析をおこない、実際のシステムにおいて利用者による不誠実な行動と単純な割当メカニズムにより効率性の低下が発生しているという課題を把握した。
- 運用データから事後的に社会的厚生最大化を目的関数とした最適割当パターンを算出し、現行の割当メカニズムにより実現した割当パターンと比較した結果、社会的厚生を約 25% 改善できることを明らかにした。
- 利用者の入札額を外部性の観点から評価する指標

を作成し、実際に行われた入札を検証した結果、ほとんどの利用者は外部性を上回る入札額設定を行っていた一方、需要の高まるタイミングで一部の入札額設定の低い入札への割当が発生していたことを明らかにした。

(2) 目的とアプローチ

奈良先端科学技術大学院大学、信州大学および東北大学はオークションメカニズムを導入した新しいカーシェアリングサービスを構築し、奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST) で実証実験を行っている。本研究では、このようなオークション型モビリティシェアリングシステムの有用性を検証するために実際の運用データを用いて社会的厚生最大化の観点から割当メカニズムの評価を行うことを目的とする。

2. 既往研究のレビュー

(1) 最適割当に関する既往研究

モビリティシェアリングサービスは利用者のモビリティ利用可能性に不確実性が存在したり利用のために予約や選好表明などの手続きの必要性が存在したりするという点から利用者に受け入れられづらい仕組みである。一方でサービスの利用により駐車ステーションの確保や片道のみ利用が難しいなどの制約が解消できたり、複数人でのシェアリングにより車両保有にかかるコストの削減ができたりするなど利用者にとっての直接の利益もあり、普及が進み利便性が高くなれば利用可能性は高まる。

モビリティシェアリングサービスの利便性や効率性の向上のためには適切なメカニズムデザインが必要である。利便性向上の目的は、利用したい時に車両や移動が割り当てられないという状況を減らすなど利用者への利益の拡大である。効率性向上の目的は、総走行距離の削減による温室効果ガス排出量の削減や交通渋滞の緩和など社会全体での利益の拡大である。これらを両立する仕組みとしてはオークションメカニズムが挙げられる。オークションメカニズムは入札額によって利用者の利用への価値を数値化し比較可能にすることで利用価値の高い利用者への割当を可能にする。このことからオークションメカニズムはより柔軟性が高く需要の時間的・空間的な偏りに対応しやすい料金体系である。モビリティシェアリングサービスにオークションメカニズムを導入することで利便性と効率性が両立できることは理論的に確かめられている。Kleiner et al.¹⁾ はオークションメカニズムを導入したライドシェアリングサービスの数値シミュレーションを現実の道路網を対象として行い、このようなメカニズムで割当

可能性と総走行距離のトレードオフが可能であることを示した。また、Hara and Hato²⁾ はオークションメカニズムを導入したカーシェアリングサービスの割当問題を構築しシミュレーションを行った。その中で、オークションメカニズムでは負の料金設定が可能であることから需要の高い地域への車両の再配置を行うことができ、割当可能性を向上させることができることを示した。

(2) 実データに基づく既往研究

新たなモビリティサービスであるモビリティシェアリングの利用を拡大するためには、どのようなサービスが利用されやすいかや利用者がサービスを利用する際のハードルがどこにあるのかといったことを明らかにする必要がある。またそのためには、モビリティシェアリングサービスがどのような交通行動を代替できるかやどのような交通行動を新たに生むかといったことを明らかにする必要がある。Kopp et al.³⁾ は既存のカーシェアリングサービスを対象として利用者と非利用者の個人属性および交通行動の違いを明らかにすることでこれらの課題にアプローチした。

このような新たなメカニズムにおける利用者行動の解明やさらなる課題の発見のためには実証実験が必要である。Hara and Hato⁴⁾ は、ランダムに配分した利用権をオークションメカニズムにより取引することでよりよい利用権の割当を目指す仕組みを自転車シェアリングサービスに導入し、実証実験を行って利用者行動を分析した。この研究は、将来の不確実性によって利用者が取引の決断を先送りすることで効率的な取引が実現できないという利用権取引メカニズムのモビリティシェアリングサービスにおける課題を明らかにした。このような結果から、利便性と効率性の両立を指向するオークションメカニズムを導入したモビリティシェアリングサービスを展開するためには実証実験によってその課題と解決策を提示し有用性を明らかにしなければならない。

(3) 本研究の位置付け

本研究ではオークションを導入したカーシェアリングシステムについての、大規模で長期にわたる運用データを用いて割当メカニズムを評価する。これまでオークション型カーシェアリングシステムについて大規模で長期にわたる実証データはなされていない。また、こうしたシステムにおける割当メカニズムの理論は構築されていたものの実際のシステムに導入し、その評価を行った研究はなされていない。本研究ではカーシェアリングシステムにおけるオークションメカニズムの導入による運用結果を示し、割当メカニズムを評価す



図-1: 供用されている電気自動車

ることでメカニズムの課題と実際の利用者行動を示す。また利用者行動やメカニズムの評価指標を作成し、実データを評価する。

3. NAISMoN カーシェアリング社会実験の概要

(1) NAISMoN カーシェアリング社会実験

奈良先端科学技術大学院大学、信州大学および東北大学はオークションメカニズムを導入した新しいカーシェアリングシステムを構築し、奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST) で実証実験を行っている⁵⁾。このシステムでは利用者を顔が見えるコミュニティである教職員・学生に限定している。これをコミュニティ型モビリティシェアと呼ぶ。また車両は図-1のような電気自動車が供用されており、利用開始および帰着は充電器を備えた駐車ステーションに限定されている。駐車ステーションは大学内や大学の最寄駅など複数箇所に設置され、利用者はその間を自由に移動できる。

このシステムの利用者には管理者から毎週仮想通貨であるトークンが発行される。利用者は車両を利用するためのオークションに保有するトークン残高から自由に入札額を設定して入札を行う。入札時には車両利用を開始する駐車ステーションおよび 20 分間隔 (毎時 0 分・20 分・40 分) に設定された利用開始時刻を表明する。ただし入札時には帰着時刻および帰着駐車ステーションを表明する必要がなく、利用中もこれらを制限されることはない。

オークションの入札受付は 20 分間隔の各利用開始時刻まで受け付けられ、その利用開始時刻に対する入札のうち利用開始駐車ステーションごとに駐車された車両台数分の勝者を入札額が多い順に決定する。駐車ステーションに車両が存在しない場合にはその時刻のその駐車ステーションに対するオークションは不成立となり車両は割り当てられない。

オークションの勝者には表明した利用開始時刻からの車両の利用権が付与され、スマートフォンアプリ経由で車両の鍵がバーチャルキーとして発行される。オークションの勝者は利用権を獲得した車両の近くで本アプリを操作することで車両の利用を開始できる。車両



(a) 利用権オークションの入札画面 (b) バーチャルキー画面

図-2: スマートフォンアプリ画面の例

表-1: 対象期間中に供用された駐車ステーションと供用期間

駐車ステーション名	所在地情報	供用期間
大学	大学のキャンパス内	全期間
最寄駅	大学の最寄駅	全期間
けいはんなプラザ	文化・学術・研究交流施設	2021年3月～

を利用し終えた利用者は駐車ステーションに車両を返却し充電器を車両に接続して利用を終了する。

図-2 は入札に用いるアプリおよびバーチャルキーのアプリ画面の例である。このようなアプリを入札および車両利用権の付与に利用したり利用者自身に車両の充電操作を任せたりすることで、このシステムは管理者を必要としない自律分散型のカーシェアシステムとなっている。

(2) データ概要

本研究では 2020 年 6 月から 2021 年 6 月の運用データを対象とする。対象期間中に使用可能であった駐車ステーションとその供用期間は表-1 の通りであった。

また本研究ではこのサービスから収集された以下のデータを対象とする。

- 各入札での入札額・入札スロット開始時刻・開始駐車ステーション
- 各利用時の利用開始操作時刻と返却操作時刻
- 車両の移動軌跡 (1 分間隔)

対象期間中に一度でも入札をした利用者は 57 人である。対象期間中の入札回数およびその内訳は表 2 のとおりである。車両割当の対象は全入札のうち“勝利”の入札のみであるが、そのうち車両利用があったのは 1928 件である。

表-2: 入札件数の内訳

全入札	2571 件
勝利	2052 件
敗北	414 件
オークション不成立	105 件

(3) カーシェアリングサービスの利用実態

次に対象データから詳細な利用実態の分析結果を示す。図-3は対象期間中の全ての入札のうち、オークション不成立以外（勝利・敗北のみ）の入札の時間帯別（1時間区切り）の入札額の分布を勝利・敗北別に表したバイオリン図である。まず分布としては多くの入札が最低入札額である0.1トークンでなされていたことから底が広い分布となった。また、18時台・21時台を除いて勝利入札の入札額分布が敗北入札の入札額分布よりも平均値や中央値で上に位置していた。このように利用者全体で見ると入札額は最低入札額から大きい入札額まで広く分布していた。また、入札額が高くなる時間帯と低くなる時間帯が現れるなど、利用者が他の入札者の需要や自身の利用に対する価値などに応じて入札額を変えた結果が得られた。

図-4(a)は対象期間中の各月の入札数を、オークションに勝利し車両割当がされた入札、オークションに敗北し車両割当がされなかった入札、車両が駐車ステーションに存在しないなどでオークション不成立となった入札別に表した棒グラフである。入札数は2021年6月に大きく伸び、その入札数は最小の月の約3倍であった。図-4(b)は月別の全入札の結果別の割合を表した図である。入札数が増加した2020年10月や2021年6月にはオークション敗北・オークション不成立の割合が比較的多かった。

次にオークション不成立となった入札についての分析結果を示す。図-5にオークション不成立となったスロットへの入札とその直近でオークション成立となった入札のスロット開始時刻の間隔の度数分布を示す。橙で示した部分に直近のオークション成立となった時刻に入札をしていれば他の入札者以上の入札額を示しオークションに勝利できていた数を示す。これよりオークション成立スロットとの間隔が短いオークション不成立スロットが多くあることがわかった。また、それらのうち約半数は早めに入札をしていればオークションに勝利できていたことがわかった。これらの後から高い入札額を表明した入札者には、高い入札額を表明したにもかかわらず割当を行うことができなかったということになる。このようなオークション不成立になってしまう入札は入札額により車両割当の可否が決定され

ているわけではないため、本来目指していた効率性の高い割当の実現ではない。本研究では後述する社会的厚生最大化を目的関数とした最適割当によりこれらの損失を算出し、数値的にシステムを評価可能な指標を示す。

上で示したオークション不成立となった入札が生じる要因としては以下のようなものが考えられる。

- A. システムが割当を行う利用者を決定するルールによるもの
 - A-1. **逐次割当**: 将来現れる入札者を全く考慮せずに毎時刻にオークションを行っていること
 - A-2. **トークン価値の異質性**: 返却時間を表明しないルールにより、入札者の利用時間あたりのトークン価値がわからず、その差が考慮されていないこと
- B. 利用者の行動によるもの
 - B-1. **キープ行動**: 本当に使いたい時刻よりも前のスロットに入札を行い車両を放置すること（目的で実際に利用したい時間帯よりも早めに入札をすることで需要の集中する時間帯を避けるなどという戦略的行動が可能である）
 - B-2. **返却忘れ**: 車両を利用し終わり、駐車ステーションに車両があるにもかかわらず返却操作忘れにより車両が利用できないこと
 - B-3. **長時間利用**: 管理者が想定するよりもはるかに長時間の利用

このうち A. については4章において社会的厚生最大化を目的関数とする最適割当との比較によって評価を行う。B. について、このような利用者行動がどの程度なされていたかの分析を行う。

まず、キープ行動や返却忘れを定義するために利用者が入札に車両割当がされた際の車両利用フローにおいてこれらの行動がどのようなときに発生するのかを解説する。車両割当がされた利用者は車両まで移動し、バーチャルキーによって車両を開錠する。続いて車両の移動が開始され、車両位置がGPSデータとして記録される。車両割当から最初のGPSデータが記録されるまでの時間を“キープ時間”と定義する。利用者は車両を利用した後、供用された駐車ステーションのいずれかに車両を移動し、駐車する。その後、スマートフォンからの返却操作によって利用者への車両の割当は終了し、次の入札者に車両が割当できる状態となる。GPSデータで最後に車両移動が記録された時刻（1つ前と車両位置が違うGPSデータ記録のうち、車両返却前の最後にGPSデータが記録された時刻）と返却操作までの時間を“返却時間”と定義する。また、車両割当から返却操作までの時間を“車両占有時間”と定義し、車両占有時間のうちキープ時間と返却時間以外を“実利用時間”と

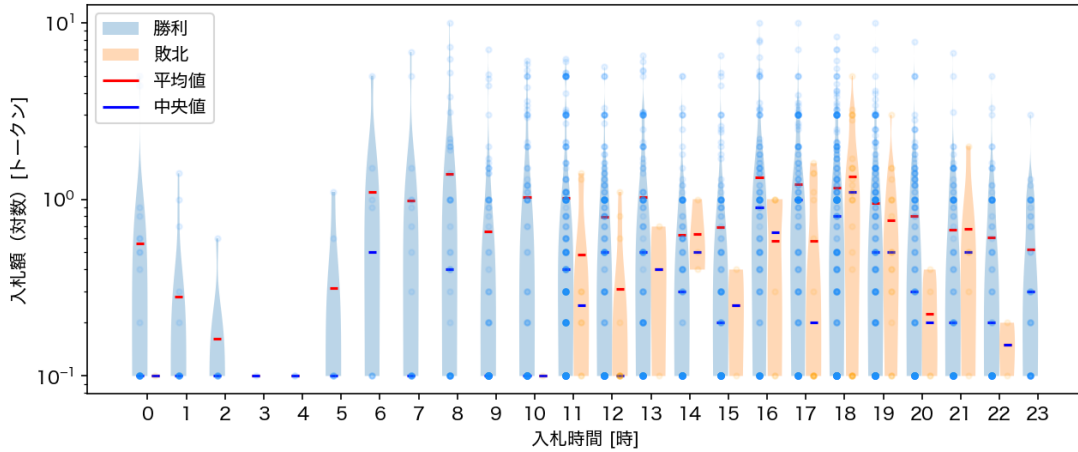
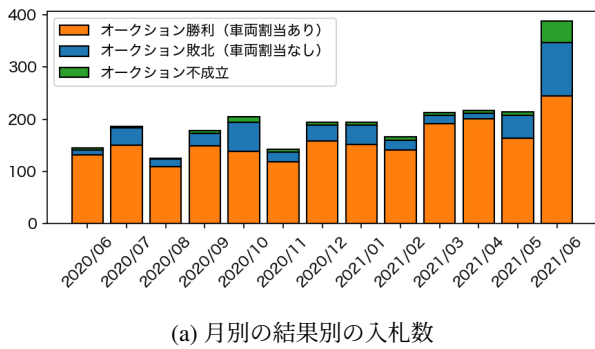


図-3: 時間帯別の入札額分布 (勝利・敗北別)



(a) 月別の結果別の入札数

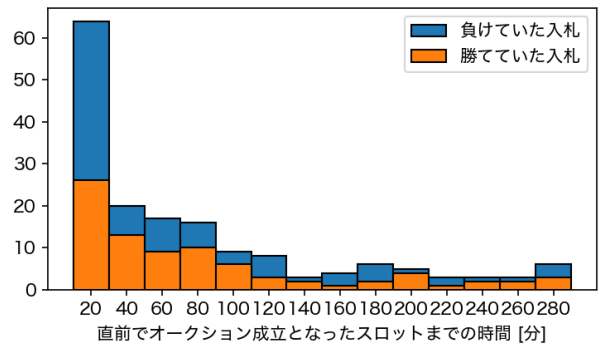
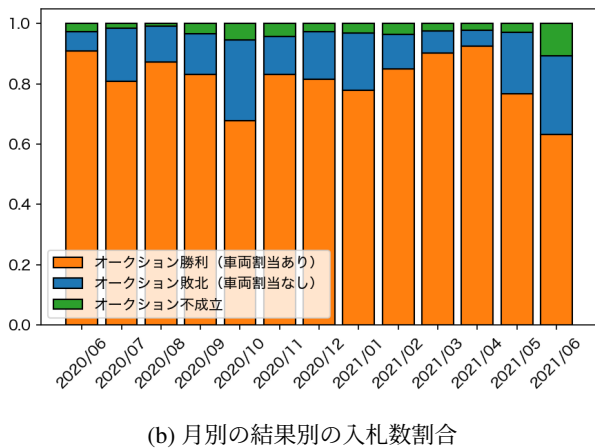


図-5: オークション不成立スロットへの入札の直近のオークション成立スロットまでの時間 (直近のオークション成立スロットでの勝敗別)



(b) 月別の結果別の入札数割合

図-4: 月別の結果別の入札数と入札数割合 (オークションに勝利し車両割当あり・オークションに敗北し車両割当なし・オークション不成立)

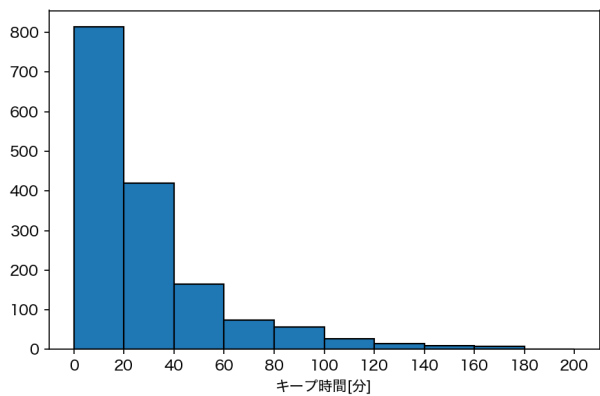


図-6: キープ時間の度数分布

定義する。このとき、他の利用者比べて長すぎるキープ時間はキープ行動であり、長すぎる返却時間は返却忘れであるといえる。

図-6は全ての車両の利用についてのキープ時間の度

数分布を表したものである。1スロットの長さである20分を超えるキープ時間が約半数(46%)あった。キープ時間が20分を超えるような利用では必要以上に早いス

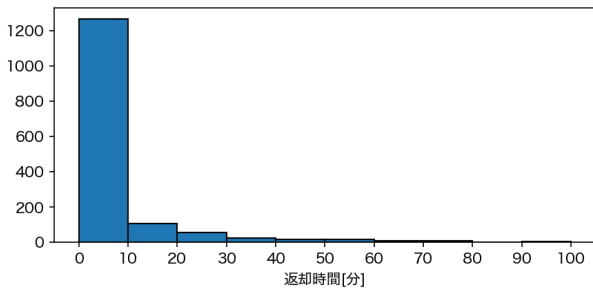


図-7: 返却時間の度数分布

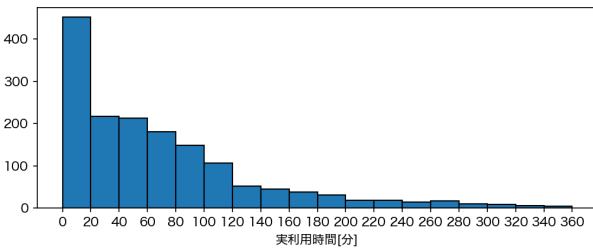


図-8: 実利用時間の度数分布

ロットに入札しているということになる。上で見たように需要の集中する時間があることから、需要が集中する前に低い入札額で車両を勝ち取れば本当に利用したい時刻より前に車両が利用できるという確約を得ることができる。また、車両を割り当てる利用者を決定するルール上、早いスロットへの入札者には車両が存在すれば早くオークションが行われ、それ以降の入札者を排除できる。このようにキープ時間の長い利用には合理性がある。こうした長いキープ時間は他の利用者の利用可能性を下げる行為であり、システムの意図しない利用である。

図-7は全ての車両の利用についての返却時間の度数分布を表したものである。返却時間については20分を超える利用は全体の14%にとどまっていた。この非対称性はキープ行動の存在を強く示唆するものである。

図-8は全ての車両の利用についての実利用時間の度数分布である。3時間以上の利用は9%であった。このことからこのサービスの車両の利用としては比較的短時間のものが多いと考えられる。また最長の実利用時間は24時間(1453分)であった。ただし実利用時間の非常に長い利用では返却忘れによると思われるものが多かった。

4. 本社会実験の割当評価モデルとその結果

(1) 社会的厚生最大化による最適割当パターンの定義

本章ではまず入札額をもとに社会的厚生を最大化するような各入札に対する最適な車両割当パターンを定義した。つづいてこの最適割当パターンと本システムにおいて実際に実現した割当パターンを比較し、その差が生じるタイミングや要因を分析した。

本研究では入札者は、オークションに勝利し車両を利用できた際に入札額の大きさの利用価値を利益として得ると考える。その上で利用者が車両利用により得られた利益の総和を社会的厚生とし、これを最大化する割当を“最適割当”とする。車両が1台で駐車ステーションが1箇所の状況における最適割当パターンの例を図-9(a)に示す。

一方で本システムにおける割当メカニズムによる割当パターンの例を図-9(b)に示す。このように実割当メカニズムでは各時刻における逐次的な割当により後から現れる入札額の高い入札に割当をすることはできない。そのため社会的厚生の低下が発生する。

(2) 事後最適割当パターンの算出

次に、分析対象期間中の全入札に対して前節の最適割当パターンを事後的に算出する。事後最適割当パターンの算出にあたっては以下の仮定をおく。まず、駐車ステーションの個数は1つとし、利用が終わった車両は次の時刻スロットに対するいずれの入札にも割当することができるとする。ただし、この仮定をおくと駐車ステーションの個数を現実と同じ個数に増やして計算するよりも多くの利用者に車両を割当ができる計算になる点に注意が必要である。

次に、入札をしたものの車両割当がされず、返却時刻が不明である入札の車両占有時間は推測値を用いた。車両占有時間の推定は付録Iに記載のとおり、平日・休日別に時刻ごとの割当ありの全利用における車両占有時間の平均値と利用者ごとの車両占有時間の平均値を最適パラメータで按分する推定式を用いた。

(3) 事後最適割当パターンと実割当パターンの比較

前節の仮定のもとで事後最適割当パターンを算出する。その結果、実割当における社会的厚生は1891.5、事後最適割当パターンにおける社会的厚生は2365.3であった。これは実割当では1日車両1台あたり1.73の利用価値が生じていたのに対して最適割当では1日車両1台あたり2.16の利用価値を生むことができることを表している。1日あたりの割当回数は実割当では5.62回であった一方、最適割当では6.51回であった。また、1回の割当あたりの実利用時間は実割当では108分であ

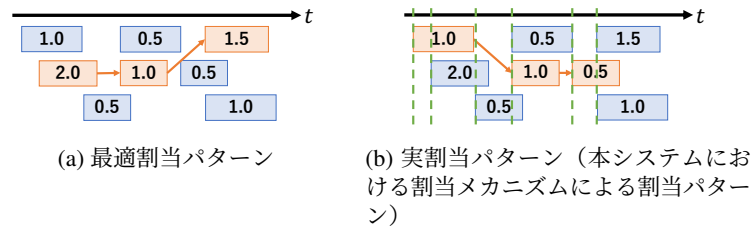
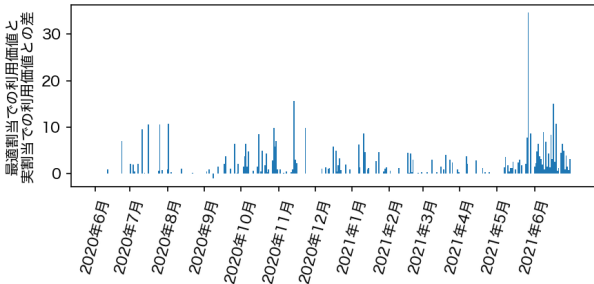
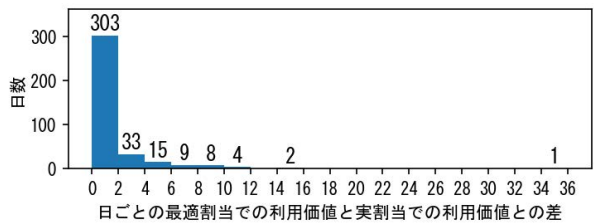


図-9: 各割当パターンの例（橙が車両割当あり，青が車両割当なし）



(a) 日ごとの最適割当における利用価値と実割当における利用価値の差（時系列順）



(b) 日ごとの最適割当における利用価値と実割当における利用価値の差（頻度分布）

図-10: 日ごとの最適割当における利用価値と実割当における利用価値の差

たのに対して最適割当では 100 分であった。以上をまとめると、最適割当では利用時間の短い入札に対して車両を割り当てることで割当回数を増やして総利用価値を増やしていた。

図- 10 は実割当と最適割当において日ごとに生じた利用価値の差を時系列順に並べた図および日ごとの頻度分布を表した図である。ただし 1 日の割当はその日の午前 4 時から翌日の午前 4 時までの時刻スロットに対する入札を対象とする。図- 10(a) は 2021 年 5 月以降に差の大きい日が多く存在していることを示している。これは 2021 年 6 月に利用者が大きく増加し、月別に入札数も増えたためである。入札数が増えたと入札同士が重複しやすくなるが、逐次的に割当を決定する実割当では車両が返却された後に初めて出現する入札の

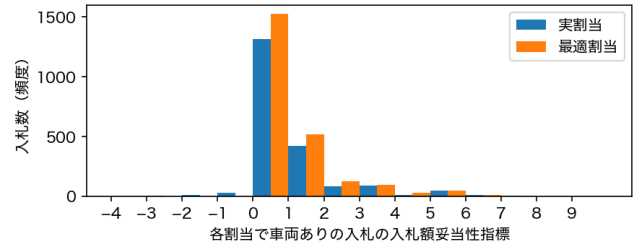


図-11: 実割当と最適割当においてそれぞれ車両が割り当てられた入札の妥当性（大きき順）

みから割当するものが選択される。一方で、最適割当モデルでは入札額の重複している入札から入札額がより大きいものに割当することができる。これが需要が集中する時期に実割当と最適割当の差が大きく開いた要因であった。図- 10(b) は多くの日で利用価値の差は 2 以下と小さくなっていることを示している。

(4) 個々の入札の外部性による評価

次に個々の車両利用についての外部性の評価を行なう。はじめに個々の入札の外部性を表す指標を作成する。対象期間中にあったすべての入札に連番を付け i 番目の入札の入札額を v_i とする。 i 番目の入札に必ず車両を割り当てるとした最適割当による総利用価値を SW^i 、 i 番目の入札に必ず車両を割り当てないとした最適割当 (i 番目の入札を除いて算出した最適割当) による総利用価値を SW^{-i} とするとき i 番目の入札の外部性 VCG_i を次の式により算出する。

$$VCG_i = SW^{-i} - (SW^i - v_i) \tag{1}$$

VCG_i は、 i 番目の入札に車両を割り当てることにより排除された入札により生じるはずであった利用価値を表している。このことから $v_i \geq VCG_i$ であるような入札の入札額設定は妥当である。一方で $v_i \leq VCG_i$ であるような入札は入札額設定が低い。よって $v_i^{\text{right}} = v_i - VCG_i$ を入札額の妥当性とする。

図- 11 は最適割当と実割当それぞれにおいて車両が割り当てられた入札のみの入札額妥当性の頻度分布を

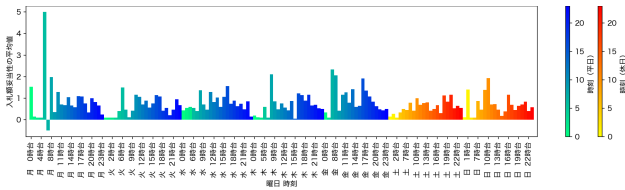


図-12: 曜日・時刻ごとの入札額妥当性の平均値 (色は時刻を表す)

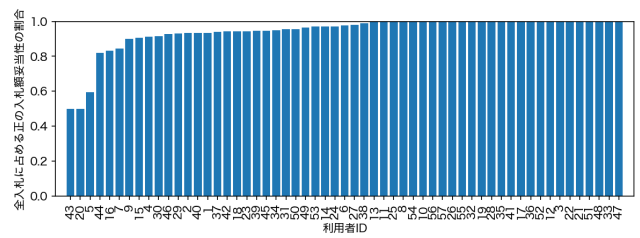
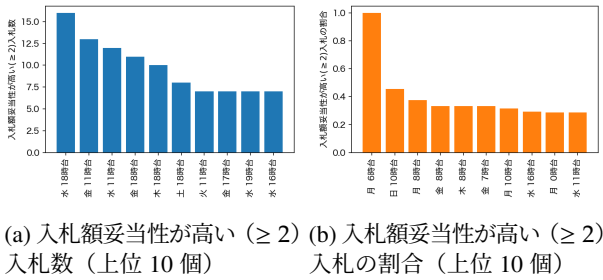
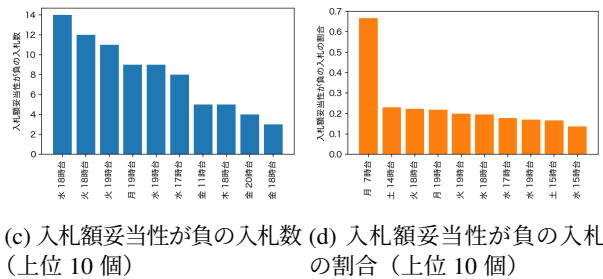


図-14: 利用者ごとの全入札のうち正の入札額妥当性の入札の割合



(a) 入札額妥当性が高い (≥ 2) 入札数 (上位 10 個) (b) 入札額妥当性が高い (≥ 2) 入札の割合 (上位 10 個)



(c) 入札額妥当性が負の入札数 (上位 10 個) (d) 入札額妥当性が負の入札の割合 (上位 10 個)

図-13: 曜日・時刻ごとの入札額妥当性が高い (≥ 2) 入札と負の入札の個数・割合

表した図である。入札額妥当性が正の範囲については最適割当の方が実割当よりも頻度がわずかに多かったが大きな違いはなかった。一方で、入札額妥当性が負の範囲については実割当では車両割当があったのに対して最適割当では車両割当がなかった。

図- 12 は全入札について入札額妥当性の曜日・時間ごとの平均値を図示したものである。入札がなかった時刻は除外しているが平日の 6 時～10 時と 15 時～19 時のピークがあった。また、木曜日を除く平日では 21 時～23 時に再びピークが現れることもわかった。この値が高い時間帯は平均値では外部性を上回るほど十分高い入札額を利用者が示していることを表している。このことから朝や夕方、夜などの需要が集中する時間帯には利用者は高い入札額を示していることを意味している。

一方で入札額妥当性は需要の高い時間帯で高くそれ以外で低いという結果ではなかった。図- 13 は入札額妥当性が 2 以上の入札を入札額妥当性が高いとし、曜日・時刻ごとに入札額妥当性が高い入札と負の入札の含

まれる個数および割合が高い順に示した図である。入札額妥当性が高い入札数が多い曜日・時刻は平日の 11 時台および 18 時台であったのに対して入札額妥当性が負の入札数が多い曜日・時刻は平日の 18 時台・19 時台が多かった。一方で割合で見ると入札額妥当性が高い入札の割合が高い曜日・時刻は平日の 6 時台～10 時台が多かったのに対して、入札額妥当性が負の入札の割合が高い曜日・時刻は平日の 17 時台～19 時台が多かった。このことから入札額妥当性の平均値が高い平日の夕方の時間帯は入札数が多く入札額妥当性も負のものから高いものまでばらついている一方、平日の朝の時間帯は入札数が少なく入札額妥当性が高いことを示している。このことは現行のシステムにおいて入札額妥当性の低い入札額設定を行う利用者がキープ行動などの戦略的行動によって車両割当を獲得すれば他の利用者の利用を著しく阻害する可能性があることを示している。

図- 14 は利用者ごとの入札の入札額妥当性の特徴を全入札のうち入札額妥当性が正であるものの割合と入札額妥当性の平均値から表した図である。この図はほとんどの利用者は全入札のうち半分以上の入札において入札額妥当性が正であることを示している。また、利用者の約半分はすべての入札の入札額を妥当性が正になるような額に設定しているように利用者が車両を獲得しようとして入札額を上げる行動が自然に入札の入札額妥当性を上げていた。このことはほとんどの利用者は需要状況に合わせた入札額設定を行なっていることを示している。

図- 15 は入札額妥当性が正である入札の割合が低かった 3 利用者について入札ごとの入札額妥当性と入札額を時系列順に並べた図である。この図では入札額妥当性が比較的低い利用者も入札額を変えながら車両割当を目指す中で入札額妥当性が変動していることが示されている。また、この図では実割当で車両割当ありの入札を橙で示しているが、実割当では入札額妥当性が負の入札に対しても割当が多い。これは利用者の入札額設定が著しく低いと同時に割当メカニズムに改善の余地があることを示している。

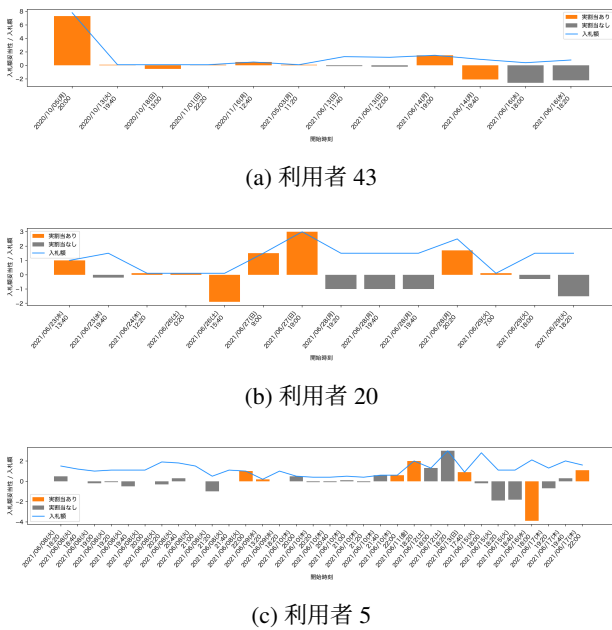


図-15: 利用者別の時系列に並べた入札ごとの入札額妥当性と入札額 (橙: 実割当て車両割当てあり・灰: 実割当て車両割当てなし・青線: 入札額)

(5) 事後最適割当てモデルを通した本社会実験の割当てメカニズムの課題

本章では事後最適割当てと実割当てとの比較を通して総利用価値最大化の観点から実割当てをどの程度改善できるかを示し、各利用者の入札額設定を評価する入札額妥当性という指標を提示した。さらに実割当てと最適割当ての乖離が生じるタイミングや時間帯を分析した。

その結果、現行の割当てメカニズムでは入札額妥当性が低い入札に対する割当てが、主に需要が高まるタイミングで発生していることを明らかにした。一方で、利用者の入札額設定は入札額妥当性の指標で見ると比較的合理的であったことを示した。入札額妥当性が負の入札を多く行っていた利用者はごく少数であった。

5. おわりに

本研究ではオークションを用いたカーシェアリングサービスの長期間の実証実験データの分析および割当ての最適性の評価を通して割当てメカニズムの課題を検証した。本システムは対象期間中に 57 人の登録者による 2571 件の入札があるなど大規模で継続した利用のあるシステムであった。一方で利用者の不誠実な利用による効率性の低下が発生していた。それを検証するために社会的厚生を最大化する事後最適割当てと実割当てを比較し、実割当ての社会的厚生は事後最適割当ての約 8 割程度であることを明らかにした。さらに個々の入札の外

部性と入札額妥当性を算出した。その結果、ほとんどの利用者は妥当性の低い入札の割合がごく少数にとどまっていたこと、また、主に需要の集中する時間帯に妥当性の低い入札への割当てが行われていたことを明らかにした。

このような割当てメカニズムの課題を受けて、本システムの最適性を向上する改善策としては将来の入札を予測するモデルの導入が考えられる。現行の割当てメカニズムは近視眼的な割当てであり、需要が集中する前に低い入札額で車両を確保しておくなどの戦略的行動の余地を残してしまっている。こうした点を改善するためにさまざまな改善施策を実際のシステムで試行することで、それらの効果を検証・比較することができる。

さらに本研究ならびに最適性の向上に向けた研究はオークション型カーシェアの普及に貢献することが期待できる。オークション型カーシェアは逐次的な需要を吸収し最適な割当てを指向することが可能であり、個々の利用者にとっての利便性と社会的な利益を両立するサービス形態である。一方でオークションへの入札や他の利用者の入札状況により割当て可能性が左右されるというシステムは利用者にとっては見慣れないものである。こうした利用へのハードルを下げるためにも本研究で明らかにした課題を解決し、最適性を向上させることで、利用者により受け入れられやすいサービスになると期待できる。

謝辞: 本研究は科研費 基盤(B) 21H01450 の支援を受けたものである。また、本研究を行うにあたり、信州大学 畑秀明 准教授よりご提供いただいた貴重なデータを使用した。ここに記し、感謝を表す。

付録 I 割当てなし入札の車両占有時間の推定式

返却時刻の推定値の算出のために車両占有時間を次のように推定する。

はじめに集合と変数を定義する。利用者集合を $U \equiv \{1, \dots, |U|\}$ とする。車両割当てがなされなかった各入札について、開始時刻が $h \in \{0, \dots, 23\}$ 時台、開始日が平日かどうかを表す変数を $x_{\text{weekday}} \in \{0, 1\}$ (平日の場合に $x_{\text{weekday}} = 1$)、入札をした利用者を $k \in U$ とするとき、実利用時間の推定値を $\hat{t}(h, x_{\text{weekday}}, k)$ と表す。

推定値 $\hat{t}(h, x_{\text{weekday}}, k)$ は $x_{\text{weekday}} = 1$ の場合には、全利用者の利用データのうち平日の h 時台からの利用における実利用時間の平均値 $\bar{t}_{\text{weekday}}^{\text{all}}(h)$ に $w_{\text{all}} (0 \leq w_{\text{all}} \leq 1)$ を掛けた値と利用者 k の実際の利用データのうち平日の h 時台からの利用における実利用時間の平均値 $\bar{t}_{\text{weekday}}^i(h)$ に $1 - w_{\text{all}}$ を掛けた値を足し合わせた値を、 $x_{\text{weekday}} = 0$ の場合には同様に休日の全利用者の h 時台からの利用

における利用時間 $\bar{t}_{\text{holiday}}^{\text{all}}(h)$ と休日の利用者 k の h 時台からの利用における利用時間 $\bar{t}_{\text{holiday}}^i(h)$ を用いて算出した。ここで w_{all} は全利用者の利用時間の平均値と入札した利用者 k の利用時間の平均値を足し合わせる比率を表す。これを式にすると次のように表される。

$$\begin{aligned} \hat{t}(h, w_{\text{weekday}}, k) = & w_{\text{all}} \cdot (\bar{t}_{\text{weekday}}^{\text{all}}(h) \cdot x_{\text{weekday}} \\ & + \bar{t}_{\text{holiday}}^{\text{all}}(h) \cdot (1 - x_{\text{weekday}})) + (1 - w_{\text{all}}) \\ & \cdot (\bar{t}_{\text{weekday}}^i(h) \cdot x_{\text{weekday}} + \bar{t}_{\text{holiday}}^i(h) \cdot (1 - x_{\text{weekday}})) \end{aligned} \quad (\text{I.1})$$

w_{all} はデータからもっとも当てはまりが良くなる値として推定する。具体的には、平日・休日それぞれの各時刻・各利用者の実利用時間の平均値を算出するためのデータ（平均値算出用データ）を全利用データの 95%， w_{all} を推定するためのデータ（パラメータ推定用データ）を全利用データの 5% にランダムに分けて推定を行なう。その際、利用者 k の h 時台からの利用が平均値算出用データに無い場合には全利用者の平均値を利用する。

REFERENCES

- 1) Kleiner, A., Nebel, B., and Ziparo, V. A.: A mechanism for dynamic ride sharing based on parallel auctions, IJCAI 2011, Proceedings of the 22nd International Joint Conference on Artificial Intelligence, Barcelona, Catalonia, Spain, July 16-22, 2011, (Ed. by T. Walsh), pp. 266–272, IJCAI/AAAI, 2011.
- 2) Hara, Y. and Hato, E.: A car sharing auction with temporal-spatial od connection conditions, Transportation Research Procedia, Vol.23, pp.22–40, 2017, Papers Selected for the 22nd International Symposium on Transportation and Traffic Theory Chicago, Illinois, USA, 24-26 July, 2017.
- 3) Kopp, J., Gerike, R., and Axhausen, K. W.: Do sharing people behave differently? an empirical evaluation of the distinctive mobility patterns of free-floating car-sharing members, Transportation, Vol.42, No.3, pp.449–469, May 2015.
- 4) Hara, Y. and Hato, E.: Analysis of dynamic decision-making in a bicycle-sharing auction using a dynamic discrete choice model, Transportation, Vol.46, No.1, pp.147–173, Feb 2019.
- 5) Naist carsharing, <https://naist-carshare.github.io/>.

(Received ?? ??, 2022)

(Accepted ?? ??, 2022)

An Evaluation of The Mobility Allocation Mechanism of An Auction Based Carsharing System

Chiharu MIYOSHI, Yusuke HARA