

ワンウェイカーシェアリング実現に向けた 潜在的利用者による車両偏在問題の解決

千住 琴音¹ 諏訪 博彦^{1,2,a)} 水本 旭洋¹ 荒川 豊^{1,3} 安本 慶一^{1,2}

受付日 2018年12月25日, 採録日 2019年7月3日

概要: ワンウェイカーシェアリングにおいて車両偏在問題の解決は重要な課題である。これまで、運営会社による効率的な車両移動による解決などが試みられてきたが、コスト面でのデメリットは無視できない。そこで我々は、新たなアプローチとして、潜在的利用者へ車両移動を依頼する手法を提案する。本提案は、依頼トリップの数を少なくしながら、要求トリップの成立数を最大化する問題として設定できる。提案手法の効果を検証するためにシミュレーションによる評価を実施した結果、依頼トリップの受託率が20%であったとしても、要求トリップの受託率を17%向上できることを確認した。また、依頼すべき潜在的利用者について検討するために、実証実験を実施しているパーク24株式会社から提供された利用実績データの分析を行った。その結果、利用行動パターンとして5パターン（常連、2way、分散、局所、1ルート）が存在することを明らかにした。また、そのなかでも依頼すべき利用者の利用パターンが、分散型、局所型であることを考察した。本研究の貢献は、車両偏在問題を解決するための新たなアプローチを提案し、シミュレーションだけでなく、実データの分析と合わせて議論していることである。

キーワード: ワンウェイカーシェアリング, 車両偏在問題, 要求トリップ受託率最大化手法, 行動分析, 時系列変化

A Solution of Vehicle Unevenness Problem by Potential Users toward a Realization of One-Way Car Sharing

KOTONE SENJU¹ HIROHIKO SUWA^{1,2,a)} TERUHIRO MIZUMOTO¹
YUTAKA ARAKAWA^{1,3} KEIICHI YASUMOTO^{1,2}

Received: December 25, 2018, Accepted: July 3, 2019

Abstract: The solution of the vehicle uneven distribution problem is an important issue in one-way car sharing. Although the existing method has tried to solve the problem by efficient vehicle movement by the operating company, there was a problem of cost. Therefore, as a new approach, we propose a method of requesting a potential user to move a vehicle. This proposal is set as a problem to maximize the number of required trips while reducing the number of request trips. As a result of evaluating by simulation to verify the effectiveness of the proposed method, even if the acceptance rate of the request trip was 20%, the acceptance rate of the request trip improved by 17%. In addition, in order to examine potential users to be requested, real data of Park 24 Co., Ltd. was analyzed. As a result, we found that there are 5 patterns (regular, 2 way, distributed, local, 1 route) as usage patterns. We also considered that usage patterns of users to be requested are distributed type and local type. The contribution of this research is to propose a new approach to solve the vehicle uneven distribution problem and to discuss not only simulation but also real data analysis.

Keywords: one-way car sharing, vehicle uneven distribution problem, maximization method of request trip acceptance rate, behavior analysis, time-series variations

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology, Ikoma, Nara 630-0192, Japan

² 理化学研究所革新知能統合研究センター
RIKEN, Center for Advanced Intelligence Project, Chuo, Tokyo 103-0027, Japan

³ JST さきがけ
PRESTO, Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan
a) h-suwa@is.naist.jp

1. はじめに

近年、保有している遊休資産を他人に貸し出す、シェアリング・エコノミが広まりつつある [1]. そのなかの1つとしてカーシェアリングがある. カーシェアリングは、都市部における公共交通機関の発達や車の個人所有による経済的負担を理由に、車を所有していない人々でも車を日常的に利用できるものとして、需要が増えつつある [2].

カーシェアリングには、駐車場所によって2つのタイプがある. 路上に駐車するフリーフロート型と専用ステーションで車両を発着させるステーションベース型である. ドイツやフランスではフリーフロート型が主流となっており、Car2Go^{*1}やZipcar^{*2}, Autolib^{*3}など、フリーフロート型のサービスを展開している [3]. 一方で、法律の関係で路上駐車が許されず、ステーションベース型のサービスを展開している国もある. 日本もそのうちの1つであり、複数の会社がサービスを展開している. しかし現在普及しているサービスは、出発地と返却地が同一のラウンドトリップ型のカーシェアリングであり、滞在先での時間も利用時間として加算するため、利用者としては利便性に難がある. そこで注目されるのが貸出場所と異なった場所に乗り捨てるのが可能であるワンウェイ方式カーシェアリングである.

2014年の法整備により、ワンウェイ方式カーシェアリングのサービスが実現可能となった [4]. 安江ら [5] はカーシェアリングの利用促進に向けたサービス検討を目的とし、サービス変更時の利用意向調査を実施したところ、ワンウェイ方式の導入は会員の利用意向の増加が確認できたと主張している. こうしたことから、今後国内でのワンウェイ方式によるカーシェアリングサービスの展開が期待される. 具体的には、パーク24によるタイムズカープラス^{*4}などのサービスが存在する.

一方、ワンウェイ方式の普及に対する課題として、車両偏在問題が指摘されている [6]. 車両偏在問題とは、利用者の需要がある一定時間・一定場所に偏ることにより、特定の場所に車両が集中し、利用が限定される問題である. たとえば、郊外から都市部への通勤という需要のみの場合、朝は郊外から都市部への利用が集中し、夕方に都市部から郊外への利用が集中することとなる. この場合、昼間郊外で利用したいという需要があったとしても利用できる車がないという問題が発生する. また、都市部においても駐車場が確保できず、希望の場所に乗り捨てできないという問題が発生する. この問題に対して、効率的な再配車や偏在を生じる利用受付の拒否、相乗乗車および分割乗車で解決を目指す研究などが存在する.

本研究では、車両偏在問題の解決のための新たな方法として、潜在的利用者へ車両の移動を依頼するアプローチを用いる. 本アプローチは、あらかじめ予約している利用者だけでなく、予約をしていない潜在的利用者にも協力してもらう手法である. つまり、車両の偏在が発生した場合に、その解消に潜在的利用者に利用を依頼するものである. ここで重要となるのが、できるだけ多くの潜在的利用者の要求にこたえられるように潜在的利用者へ効率的に依頼を実施することである. その実現ために我々は、要求トリップ受諾率最大化手法を提案する. また、提案手法の効果を検証するために、シミュレーションを実施する. シミュレーションに際しては、ある確率で依頼トリップが断られることを想定した.

さらに、本手法の実現にあたっては、依頼を引き受けてくれるユーザの存在が重要と考える. 効率良く依頼を行うためには、ユーザの利用タイプに基づいて依頼することが必要である. たとえば、通勤に使用しているユーザに昼間の移動を依頼しても受託される確率は低いだろう. 一方、営業や買い物に使用しているユーザであれば、受託してもらえるかもしれない. そのため、ユーザの利用タイプを把握することは重要である. そこで本研究では、ワンウェイ方式のカーシェアリングにおいて、実際にどのような利用タイプが存在するのかを明らかにすることを目的とする. そのために、実際に東京都内においてワンウェイ式のカーシェアリングサービス、Times Car Plus × Ha:mo^{*5}の実証実験を行っているパーク24株式会社からデータを取得し、ユーザの利用行動タイプを分類する. 加えて、ユーザの利用行動タイプが、時間の経過とともにどのように変化していくのか、その成長過程を明らかにする.

シミュレーション実験の結果、依頼された人の依頼受託率が20%であった場合でも、要求トリップを17%増加させることができることを確認した. 依頼トリップにより要求トリップを増加させることができれば、運営会社はコストをかけずに車両偏在問題を改善できることとなる.

また、ユーザタイプ分析の結果、利用パターン（場所）に基づく利用行動タイプとして5タイプ（常連, 2way, 分散, 局所, 1ルート）が抽出された. ユーザの利用行動タイプおよびその成長過程を明らかにすることは、サービス提供者にとって重要である. ユーザの利用行動タイプが多様であることが明らかになることは、前述した車両偏在問題を軽減する可能性があり、サービス導入の判断に寄与する. また、利用行動タイプの成長過程が明らかになることによって、どのような初期ユーザタイプのユーザが、将来的に車両偏在問題を解決するユーザに成長するのかという知見を得ることができ価値がある.

*1 <https://www.car2go.com>

*2 <http://www.zipcar.com>

*3 <https://www.autolib.eu/en/>

*4 <https://plus.timescar.jp>

*5 <https://share.timescar.jp/tcph/>

2. 車両偏在問題への取り組み

車両偏在問題について、数理的な分析、シミュレーションを用いた分析など、様々な戦略およびモデルが提案されている。

溝上ら [6] は、熊本市の実証実験データを用いてシミュレーションを実施し、ワンウェイ方式シェアリングシステムの導入可能性とその課題を検討している。その結果、各拠点による利用頻度が高いため、駐車不可や車両不在による需要と供給のマッチング、すなわち車両偏在問題を今後の課題としている。

中山ら [7] は経費削減のために、運用時間中に配車しないことを前提としたシステムの効率化を検討している。京都市により運用されている京都パブリックカーシステムのデータを用いたシミュレーションの中で、車両偏在を避けるために受付可能な予約でも、偏在を発生させるようならばあえて受け付けないといった条件を与えている。

車両の偏在を解消するために、車両を再配置する方法も提案されている。国内事例としては、上田ら [8] は電気自動車 (EV) とワンウェイ方式カーシェアリングの仕組みを組み合わせ、EV を効率的に運用するシステム、EVTour を提案し、日本道路交通情報センターの地図データと渋滞情報を用いてシミュレーションを行っている。2段階の手法を用いてフェリー (車両の再配置) のスケジューリングを実施したことで、より少ない配車回数で高い予約受率を達成している。Uesugi ら [9] は利用者の1組あたりの人数と車両偏在分布に着目し、利用者に分割乗車や相乗乗車してもらうことでフェリー回数を削減する手法を提案している。シミュレーションを実施した結果、改善効果があることを示している。

海外事例としては、Barth らや Kek らの研究がある。Barth ら [10] は各拠点に停車されている車両台数に応じて再配置をすることを提案し、南カルフォルニアのリゾート地域に関してシミュレーションを実施している。利用者の待ち時間に着目した場合最も効率的な車両台数は100トリップあたり 3 ± 6 台であるが、再配車を最小限に抑えるには100トリップあたり 18 ± 4 台必要であるという結果を示している。Barth ら [11] は各拠点にある車台数に基づき、相乗乗車と分割乗車を実施する利用者ベースの手法を提案している。相乗乗車または分割乗車が成立すれば利用者は価格の割引が実施されるという手法であり、シミュレーション結果では利用者は100%受け入れると想定したとき、42%再配車が削減されている。

Kek らは、運営スタッフによる2つの車両の移動戦略 (最短時間戦略, 在庫バランス戦略) について検討し、その効果をシミュレーションによって評価している [12]。また、シミュレーションに基づく意思決定支援システムも構築している [13]。

彼ら以外の研究として、Fan らは、未予約の利用に対応するために、多段確率線形モデルを用いてステーション間

での動的な車両割当問題を定式化し、モンテカルロシミュレーションに基づく確率的最適化による解決を試みている [14]。Nair らは、機会制約条件付き最適化問題としてモデル化し、確立制約モデルを用いて解決を試みている [15]。このモデルは、シンガポールにおいて実際に適用されている。Boyacı らは、車両の移動に加え、電気自動車の充電要件を考慮する多目的 MILP モデルを開発し、この問題に取り組んでいる [16]。これら以外にも、カーシェアリングのシミュレーション研究 [17], [18], [19], [20] や自転車の再配置問題として多くの関連研究が存在する [21], [22]。

このように、既存研究においてワンウェイカーシェアリングにおける車両偏在問題に対する様々な取り組みが行われていが、我々は新たなアプローチとして潜在的利用者への依頼による車両偏在問題解決手法を提案する。この手法は、車両の再配置を潜在的利用者へ依頼することで、潜在的利用者の要求に応えようとするものである。この手法の有効性を確認するために、本研究では提案手法を要求トリップ受諾率最大化問題として定式化したうえで、シミュレーションによる評価を行う。

また、シミュレーションベースで実施されている従来研究の多くが、利用者のタイプを一定に扱っていたり、相乗りや分割を100%引き受けるなど、ユーザの違いや特性を考慮していない。より詳細な分析を行うためには、どのようなユーザが実際にカーシェアリングを利用しているのか明らかにする必要がある。そこで本研究では、ワンウェイ方式のカーシェアリングにおいて、実際にどのような利用タイプが存在するのかを明らかにする。そのうえで、車両偏在問題の解決に向けて議論を行う。車両が偏在しないような車両の利用パターンを見出すことは、偏在している車両の移動を依頼することにつながると考える。

3. 要求トリップ受諾率最大化手法

本章では、ワンウェイ方式カーシェアリングにおける車両の偏りを解消し、要求トリップの受諾率を最大化することを目的とし、車両の再配置を利用者に協力してもらう手法を提案する。これは、あらかじめ予約している利用者だけでなく、予約をしていない潜在的利用者にも協力してもらう手法である。

3.1 提案手法の概要

本節では、提案手法の概要を述べる。既存のカーシェアリングサービスでは、利用者は希望乗車時間や出発地・返却地などを予約すると、システムは、出発地に車がある場合は予約成立となるものの、出発地に車がない場合は予約が不成立となってしまう。提案手法では、従来手法では不成立となってしまう予約を、潜在的利用者の協力によって成立させることを考える。

たとえば、ある利用者 X が拠点 A から乗車したいが車は

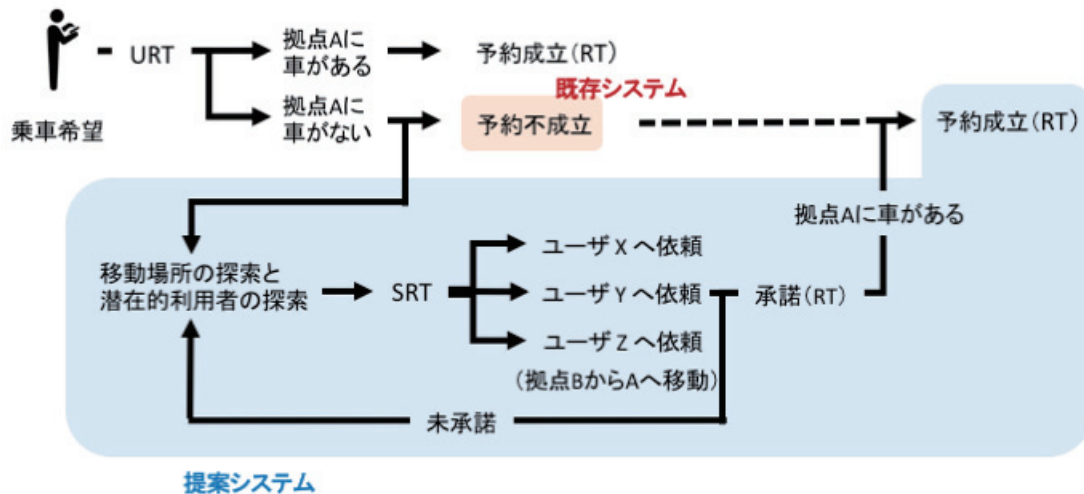


図 1 提案手法のフロー

Fig. 1 Flow of our proposed method.

拠点 B に駐車している場合、別の利用者 Y が拠点 B から A へ移動する予約をすれば利用者 X はカーシェアリングサービスを利用することができる。従来のサービスでは、運営会社の人がコストをかけて利用者 Y の役割を行っていた。提案手法では、その役割を潜在的利用者に依頼するというものである。既存研究では予約している利用者に相乗乗車や分割乗車の協力を得ていたが、本研究で予約をしていない潜在的利用者に協力を依頼することで、乗車できる新たな機会を与える。

提案手法の一連の流れを図 1 に示す。利用者による乗車希望予約を、利用者の要求トリップ (User Request Trip: URT)、確定した予約を確定トリップ (Reserved Trip: RT) とする。URT は、利用者の出発地、目的地、出発時刻、許容時間からなるものとする。許容時間とは、出発時刻の変更可能な時間範囲を指す。本手法では、予約不成立となった場合、車両偏在の状況から最適な車移動のトリップを、過去の利用情報から潜在的利用者の探索を行う。システムは探索した複数の潜在的利用者に、定められた時間や出発地、返却地に基づく車活用を依頼する。これをシステムによる依頼トリップ (System Request Trip: SRT) と定義する。依頼者の 1 人が承諾をすると、SRT は確定し、承諾した潜在的利用者はカーシェアリングを用いる。SRT が成立したことによって、予約不成立となっていた予約トリップが成立する。

3.2 問題設定

本節では、依頼トリップの追加による要求トリップ受諾最大化手法について問題設定を行う。

拠点の集合を P 、要求トリップの集合を U 、依頼トリップの集合を S とする。要求トリップ $u \in U$ は、〈出発地

sp , 目的地 dp , 出発時刻 t 〉の 3 項組である。また、車の集合を C とし、車 $c \in C$ の初期位置を fp とする。

u_i ($1 \leq i \leq |U|$) がルートに採択されたか否かを x_i で表し、採択された要求トリップの集合を $U' (\subseteq U)$ とする。これらは式 (1), (2) で定義する。

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{if } u_i \in U' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$U' \subseteq U \quad (2)$$

k ($1 \leq k \leq |C|$) 台の車を活用できるとすると、 $|C|$ 台の車のルートを $R^1, \dots, R^{|C|}$ とし、 $R^i = \langle r_1^i, \dots, r_{n_i}^i \rangle$ とすると、 r_j^i は式 (3) で定義する。

$$r_j^i \in U' \cup S \wedge \bigcup_{1 \leq i \leq |C|} \bigcup_{1 \leq j \leq n_i} r_j^i = U' \cup S \quad (1 \leq i \leq |C|, 1 \leq j \leq n_i) \quad (3)$$

カーシェアリングのルートは、一筆書きでなければならない。すなわち、車の初期位置と最初の利用者の出発地が等しいこと、ある利用者の目的地と次の利用者の出発地が等しいこと、ある利用者が目的地に着いた時刻以降に次の利用者の出発地から出発することを満たさなければならない。これらの制約を式 (4), (5) で定義する。

$$c_i.fp = r_1.sp \quad (1 \leq i \leq |C|) \quad (4)$$

$$IS Succ(r_j^i, r_{j+1}^i) \triangleq r_j^i.dp = r_{j+1}^i.sp \quad (1 \leq j \leq n_i) \quad (5)$$

本研究では、依頼トリップの発行数を少なくしながら、要求トリップの成立数を最大化するように、各車のルートをスケジューリングする問題を解決する。本問題では、依頼トリップの発行にかかるコストと要求トリップの成立による

利得を任意のトリップ r に関する以下の式 (6) で評価する.

$$r = \begin{cases} 1 & \text{if } r \in U' \\ -1 & \text{if } r \in S \end{cases} \quad (6)$$

$(r \in U' \cup S)$

本問題の目的関数を式 (7) で定義する.

$$\text{Maximize} : \sum_{k=1}^{|C|} \sum_{r \in R^k} r \quad (7)$$

4. シミュレーションによる評価

本章では, 提案手法の効果を検証するために, シミュレーションを行う.

4.1 シミュレーションの目的

本シミュレーションの目的は, 要求トリップの成立数最大化を目指し, 提案手法による効果を検討することである. また, ある確率で依頼トリップが断られることの影響について検討することである. なお, このとき, 要求トリップは, 直前まで変更可能であるということを前提に, 考慮できる要求トリップは, 一定時間以内までという制約を設ける.

4.2 シミュレーション手法

シミュレーション手法として, 総当たりで最適解を探索し実施する方法もあるが, 規模の拡大にともない計算時間が長くなることは自明であり, 拡張性の観点から不適切である. また, 実運用の観点からは, 事前にすべての要求トリップが把握でき, その最適解を考えるというシミュレーションは, 予約が1つ追加されるたびに再計算を必要とするため不適切である. そこで本シミュレーションでは, 準最適解を考える.

ここでは, 予約の変更はある一定時間前までであるという制約を設けることで, タイムスロットによる管理を想定する. 予約は各タイムスロットごとに発生し, 依頼トリップは次のタイムスロットの情報に基づいて決定されるものとする. たとえば, 次のスロットで, A 地点から B 地点への要求トリップが存在し A 地点に車両が存在しない場合は, A 地点への依頼トリップを作成する. このように, 次のタイムスロットの状況のみを考慮する手法に改良することで, 既存手法の問題を解決する. なお, 考慮するタイムスロット数を変更することで, より複雑な要求トリップの準最適化問題への拡張が可能である.

4.3 シミュレーション条件の設定

本シミュレーションは, 著者らが所属する奈良先端科学技術大学院大学に実在する学内カーシェアリングシステムを参考に設定している. 大学および, 周辺に点在する5駅を起終点とし, 実際の道路事情や利用需要を考慮して, そ

の間のルートおよび通行時間については大きな変化はないと仮定している. そのため, 本シミュレーションでは道路ネットワークなどの空間を捨象している.

シミュレーションは, 要求トリップが30件あったある1日の車5台による運用を想定している. 拠点は6拠点であり, 各拠点間の距離と車での移動時間をいずれも30分以内と見なしている. また, 利用者には30分単位で予約してもらいものとし, 9時から21時までの12時間の利用を想定する. なお, 要求トリップと車の初期位置はランダムに設定する. また, 依頼トリップの依頼は, 提案手法に基づいて発生するものとし, その受諾率は, 0.2~1.0とする.

シミュレーションの条件は以下のとおりである.

- 要求トリップ数: 30件/1日
- 車両台数: 5台
- 拠点 (ステーション数): 6カ所
- 予約単位: 30分
- 利用可能時間: 9:00~21:00 (12時間)
- 要求トリップの発生: ランダム
- 車の初期位置: ランダム
- 依頼トリップ受諾率: 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0

4.4 シミュレーション結果

4.3節で設定した条件のもと, シミュレーションを100回実施した結果を表1に示す. ここでは, 潜在的利用者の依頼トリップ受諾率に着目し, 受諾率の変化による成立要求トリップ数, および依頼トリップ数の変化を確認する. 受諾率が0であれば, すべての潜在的利用者が依頼トリップに協力しないことを意味し, 受諾率が1であればすべての潜在的利用者が依頼トリップに協力することを意味する.

依頼トリップの受諾率が, 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0と増加するにつれて, 受託された要求トリップの件数は, 15.09件, 17.66件, 20.32件, 22.64件, 24.27件, 26.19件と増加している. また, 利用者の需要に任せた (依頼トリップの受諾率が0) 場合, 受託された要求トリップ割合は50%であり, 半分の利用者が利用できないことが確認された. さらに, すべての潜在的利用者が提案手法に従って依頼トリップを受託する (依頼トリップの受諾率が1.0) 場合, 87%の潜在的利用者の需要を受託でき, 提案手法によって1.74倍の要求トリップ受託できることが確認された.

しかしながら, 依頼トリップ1件に対する要求トリップ増加数は, 設定した依頼トリップ受諾率0.4と0.6のときが最も大きくなり, その後はほとんど変化しないことが確認された. このことから, 依頼トリップの効率性を考えた場合は, 無条件に依頼トリップの受託率向上が必要であるわけではないことが確認された.

4.5 考察

依頼トリップ1件に対する要求トリップ増加数が, 依頼

表 1 潜在的利用者の依頼トリップ受諾割合を変化させたときの平均値

Table 1 Average value when changing the percentage of potential users accepting requested trips.

設定した依頼トリップ受諾率	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
受諾された要求トリップ件数	15.09	17.66	20.32	22.64	24.27	26.19
受諾された要求トリップ割合	0.50	0.58	0.67	0.75	0.80	0.87
受諾された依頼トリップ件数	–	2.81	5.30	7.66	9.53	11.57
依頼トリップ 1 件に対する要求トリップ増加数	–	0.85	1.01	1.01	0.98	0.97

トリップ受諾率 0.4 と 0.6 のときが最も大きく、その後はほとんど変化しないという結果は、提案手法を実社会に適用させる場合に重要な示唆を含んでいる。実社会で運用する場合、要求トリップの受託率を向上させることは、利用者の満足度の点から重要である。一方で、依頼トリップの受託率を向上させるには、依頼に対する対価で潜在的利用者を動機づけるか、依頼が受け入れられるまで潜在的利用者への依頼を繰り返さなければならず、運営会社にとってはコストとなる。要求トリップの受託率向上による利用者の満足度向上と、依頼トリップの受託率向上に関する効率性は、一定水準よりトレードオフの関係になると考えられる。

そのため、運営会社にとっては、要求トリップの受託率向上を図りつつも、依頼トリップに必要なコストの抑制が重要な課題となると考える。効率的な依頼トリップの実現のためには、車両が偏在しないような車両の利用パターンを見いだすことと、その理解に基づく依頼戦略の検討が必要と考える。そこで、5 章において利用パターンについて実データに基づいて分析し、6 章で依頼戦略について考察する。

5. ワンウェイカーシェアリング利用者の利用パターン分析

本章では、実際に運営されているワンウェイカーシェアリング利用者の利用履歴を分析することで、ワンウェイカーシェアリング利用者の利用パターンを明らかにする。

5.1 分析目的

本分析の目的は、ワンウェイ方式のカーシェアリングにおいて、実際にどのような利用タイプが存在するのかを明らかにすることである（目的 1）。また、時間の経過とともに利用タイプがどのように変化するかを確認することである（目的 2）。

5.2 分析方法

目的 1 を達成するために、利用者の利用パターンをクラスタリングする。利用者のカーシェアリングサービスの利用には、利用パターンに依存していると考え、クラスタリングを実施する（方法 1）。ここで利用パターンとは、利用しているステーションやルートの数や範囲、繰り返しの回数を指す。それぞれの要素を表 2 に示す。

表 2 利用パターンに関する要素と定義

Table 2 Elements and definitions about usage pattern.

要素	定義
net_range	利用範囲の広さ
cnt_station	利用ステーション数
log_cnt_rt	利用件数 (log)
per_rt_round	ラウンドトリップ方式での利用件数割合
per_two_way	ワンウェイ方式で 1 日に往復したトリップ件数の割合
per_rt0	最も利用頻度の高いルートの利用件数割合
per_rt1	2 番目に利用頻度の高いルートの利用件数割合
per_rt2	3 番目に利用頻度の高いルートの利用件数割合

net_range は、利用パターンに基づいて作成されたネットワーク図の最短経路長の最大値を算出しており、利用範囲の広さを表す要素である。cnt_station は、ユニーク利用ステーション数を算出しており、利用ステーションの多様性を表す要素である。log_cnt_rt は、利用件数の対数であり^{*6}、利用のボリュームを表す要素である。per_rt_round は、出発地と返却地が同じであるラウンドトリップ方式での利用件数割合であり、従来型のラウンドトリップ方式の利用かワンウェイ方式の利用かを検討する要素である。per_rt0/1/2 は、最も/2 番目に/3 番目に利用頻度の高いルートの利用件数割合を示しており、特定のルートの一極集中なのか複数のルートの分散利用なのかを検討する要素である。

また、目的 2 を達成するために、期間を区切ってクラスタリングを行い、その変化を確認する。具体的には、期間全体を 3 期に分けて、第 1 期のデータに基づいてクラスタリングモデルを構築し、2 期、3 期のデータに対しては第 1 期で構築したモデルに基づいてクラスタリングを行う（方法 2）。

クラスタリングにはデータマイニングツール weka^{*7}を使用する。weka はデータの前処理や視覚化のための機能を持つ統合型分析ツールである。また、クラスタリングには k-means 法を用いる。

5.3 分析対象

分析対象としては、パーク 24 株式会社のワンウェイカーシェアリングサービス、Times Car Plus × Ha:mo の運用データを用いる。Times Car Plus × Ha:mo は 1 人乗り電

*6 利用件数はべき分布となるため対数を用いている

*7 <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

気自動車 (EV) を利用して東京都内約 100 カ所で乗り捨てることができる会員制サービスである。24 時間いつでも利用することができる。

会員が EV を利用するには、専用アプリやウェブ上で予約する必要がある、その際に出発地と目的地を選択する。会員は予約完了後から 30 分以内に EV を利用することができ、24 時間以内に目的地へ返却すればよい。貸出・返却時に利用者会員が会員カードを車内のリーダにかざすため、会員 ID、出発時刻、出発地 ID、到着時刻、目的地 ID のデータを収集することができる。

本研究では、2017 年 2 月 1 日～10 月 31 日までの 9 カ月間のデータを分析対象とする。2 月から 4 月を第 1 期、5 月から 7 月を第 2 期、8 月から 10 月を第 3 期とする。分析対象利用者は、サービス利用者のうちいずれかの期で 6 回以上使用した 299 人分であり、合計利用回数は 9,146 件である。6 回以上とした理由は、利用回数が少ない場合は、パターンとして違いが出ないと判断したからである。分析 1 については、第 1 期のデータを対象とし、分析 2 についてはすべてのデータを対象とする。

5.4 分析結果

本章では、分析結果について述べる。

5.4.1 利用パターンの抽出

利用パターン抽出のために、第 1 期のデータに対して、k-means 法を用いてクラスタリングを実施した。第 1 期のデータは、130 人分、3 カ月間利用の 2,406 件である。AIC 情報量に基づいてクラスタ数を決定してクラスタリングを実施して結果を確認したが、解釈困難であった。そのため、k の数を徐々に変化させ、そのつど解釈を行い k の値を決定した。その結果、k = 5 のときに最も解釈しやすかったため、今回は k = 5 とした。

カーシェアリング利用者のデータを各要素ごとに平均値を求めたあと、5 つのクラスタに分け、各クラスタごとの平均値と比較した。これを表 3 に示した。また、それぞれのクラスタに所属しているユーザの利用パターンを図 2、図 3、図 4、図 5、図 6 に示す。○ (ノード) はステーションであり、→ (エッジ) はルートを示す。→ (エッジ) の数字は頻度を示している。図および全対象データの平均値や他クラスタのクラスタ中心と比較しながら、各クラスタの特徴について述べる。

クラスタ A は、利用件数、log_cnt_rt が全クラスタのなかで最も大きい値である。よってこのクラスタはリピーターが集まったクラスタであると考えられる。2way の利用率を表す per_two_way の値も平均を 0.13 超えており、2way 利用の人が多くことが分かる。そこでクラスタ A を常連利用と名付ける。図 2 をみると、極端に利用頻度の高い往復利用が確認されることから、通勤などに利用されていることが予想される。

表 3 利用パターンに注目したクラスタごとの平均値

Table 3 Average value of each element for each usage pattern.

	All Data (130 人)	クラスタ A (19 人)	クラスタ B (15 人)	クラスタ C (27 人)	クラスタ D (43 人)	クラスタ E (26 人)
net_range	2.46	2.26	1.73	4.14	2.39	1.42
cnt_station	7.38	7.1	5.13	13.2	6.88	3.65
log_cnt_rt	2.64	3.69	2.09	2.96	2.16	2.66
per_rt_round	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03
per_two_way	0.17	0.3	0.46	0.12	0.04	0.18
per_rt0	0.35	0.36	0.33	0.18	0.27	0.65
per_rt1	0.2	0.27	0.22	0.12	0.18	0.24
per_rt2	0.1	0.11	0.15	0.08	0.14	0.04

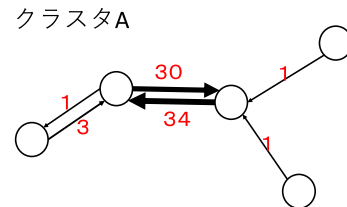


図 2 クラスタ A の一例

Fig. 2 One example of cluster A.

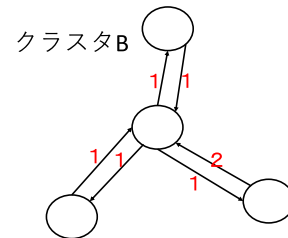


図 3 クラスタ B の一例

Fig. 3 One example of cluster B.

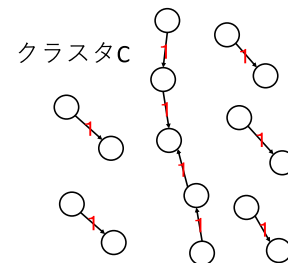


図 4 クラスタ C の一例

Fig. 4 One example of cluster C.

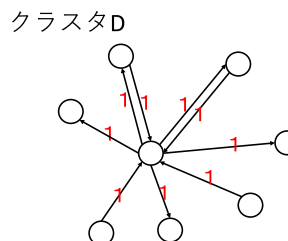


図 5 クラスタ D の一例

Fig. 5 One example of cluster D.

クラスタ B は、per_two_way が最も値が高く、平均より 0.29 上回っているため、このクラスタは 2way 利用を中心としている利用者のクラスタを考えられる。2way 利用はラウンドトリップ利用とほぼ同じであるため、per_rt_round の

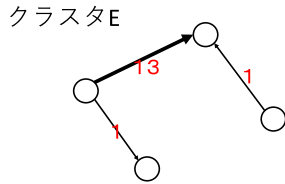


図 6 クラスタ E の一例

Fig. 6 One example of cluster E.

値が平均を下回っているのもそのためと考える. net_range の値が小さいため, 利用者の利用範囲が狭いことが分かる. そこで, クラスタ B を 2way 利用と名付ける. 図 3 をみると, 中心のステーションを軸として往復利用が多いことが確認でき, 従来のラウンドトリップ型のように, ある拠点との往復に利用するパターンと考えられる.

クラスタ C は, 利用ステーション数 cnt_station と一番利用頻度の高いルートの割合 per_rt0 が他のクラスタより値が大きい. 利用ステーション数が多いことから, 日頃から様々なステーションを利用していることが分かる. また, per_rt0 や per_rt1 などの利用高頻度のルート利用割合がとても低いことから, よく利用するルートが定まっていないと考えられる. よってクラスタ C は, よく利用するステーションまたはルートがあまり定まってない, または様々なステーションやルートを利用する利用者のクラスタと考えられる. そこで, クラスタ C を分散利用と名付ける. 図 4 をみると, 利用の重なりがな様々なステーションを利用していることから, 外回り営業などに利用されていることが予想される.

クラスタ D は, 2way 利用を表す per_two_way が最も小さい値である. また, クラスタ C と同様に利用するルートが分散していることが分かる. しかし, 利用範囲を表す net_range を見てみると, クラスタ C に比べて利用範囲が小さい. つまりこれは利用するステーションが集中しているということなので, クラスタ D の人々は利用頻度の高いステーションを中心に利用している人々であることが分かる. この利用者の場合, 利用したことのあるルートはすべてステーション 1 を発着地点としており, 彼はステーション 1 を中心に利用していることが分かる. こうした利用頻度の高いステーションを中心に利用している人々を対象とするクラスタ D を局所利用と名付ける. 図 5 をみると, 中心にステーションを軸に, 外向き, 内向きの矢印が確認されることから, レジャーや買い物に利用されていることが予想される.

クラスタ E は, 1 番利用頻度の高いルート per_rt0 の値がとても大きい. このことから, クラスタ E は 1 つのルートを集中的に利用する利用者の属するクラスタである. 利用範囲を表す net_range の値や利用ステーション数 cnt_station の値が最も小さいため, クラスタに属する利用者の利用範囲はとても狭いと考えられることも, 根拠とな

表 4 利用パターンに注目したクラスタ結果 (() 内は割合)
Table 4 Result of clustering based on the usage pattern (Number inside () means percentage).

名前	All Data 全体	クラスタ A 常連	クラスタ B 2way	クラスタ C 分散	クラスタ D 局所	クラスタ E 1 ルート
第 1 期	130 人	19 人 (14.6)	15 人 (11.5)	27 人 (20.8)	43 人 (33.1)	26 人 (20.0)
第 2 期	167 人	26 人 (15.6)	13 人 (7.8)	27 人 (16.2)	77 人 (46.1)	24 人 (14.4)
第 3 期	184 人	30 人 (16.3)	30 人 (16.3)	29 人 (15.8)	60 人 (32.6)	35 人 (19.0)

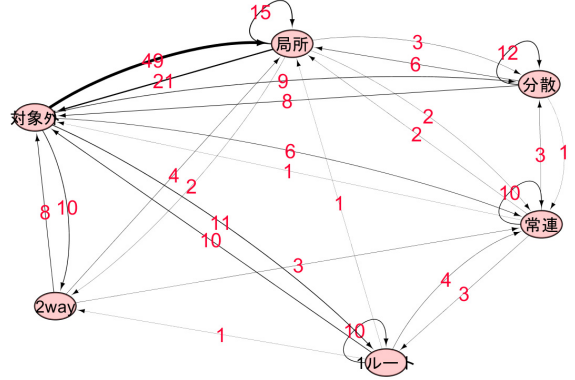


図 7 第 1 期から第 2 期への遷移

Fig. 7 Transition from Phase 1 to Phase 2.

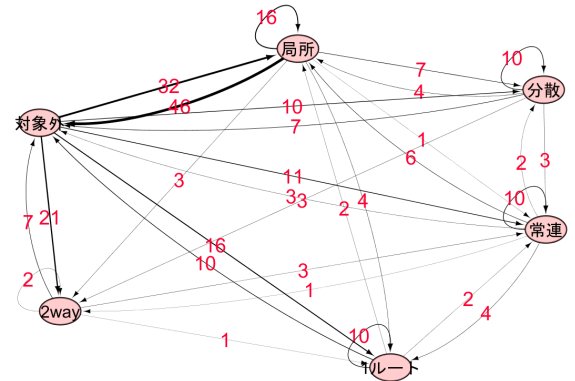


図 8 第 2 期から第 3 期への遷移

Fig. 8 Transition from Phase 2 to Phase 3.

るだろう. また, 他のクラスタに比べ, ラウンドトリップ利用者も多い. そこで, クラスタ E を 1 ルート中心利用と名付ける. 図 6 をみると, 1 つのルートの利用が極端に多いことが確認できることから, 特定の目的 (出社, 帰宅など) のために使用されていることが予想される.

5.4.2 利用パターンの時系列変化

利用パターンの時系列変化を確認するために, 第 1 期で構築したクラスタリングモデルを用いて, 第 2 期, 第 3 期についてもクラスタリングを実施した. 各期のクラスタリング結果を表 4 に示す. 期間の経過とともに分析対象者数が増加し, 特に局所利用割合が大きいことが確認された.

さらに, 第 1 期から第 2 期および, 第 2 期から第 3 期にかけて, 各ユーザがどのようにクラスタを遷移したのか確認した. その結果を図 7 および図 8, 表 5 および表 6 に示す. 各ノードはクラスタを示し, エッジはクラスタの遷移を示す. ノードの内「対象外」とは, 当該期間において

表 5 第 1 期から第 2 期への遷移表 (実数)

Table 5 Transition table from Phase 1 to Phase 2.

		第 2 期					
		常連	2way	分散	局所	1 ルート	対象外
第 1 期	常連	10	1	2	6	4	3
	2way	3	0	0	4	0	8
	分散	1	0	12	6	0	8
	局所	2	4	3	15	0	21
	1 ルート	4	1	0	1	10	10
	対象外	6	10	9	49	11	-

表 6 第 2 期から第 3 期への遷移表 (実数)

Table 6 Transition table from Phase 2 to Phase 3.

		第 3 期					
		常連	2way	分散	局所	1 ルート	対象外
第 2 期	常連	10	1	2	6	4	3
	2way	3	2	0	0	1	7
	分散	3	3	10	4	0	7
	局所	1	3	7	16	4	46
	1 ルート	2	0	0	2	10	10
	対象外	11	21	10	32	16	-

利用回数が 5 回以下であり、分析対象から除外されたことを示している。

図 7 および図 8 をみると、対象外からの遷移は、局所利用へが多いことが分かる。また、利用回数の多い常連を含め、どの利用パターンに対しても対象外からの遷移が一定数以上確認できた。このことから、徐々に常連に成長するというのではなく、人々の利用パターンは、利用経験によらず決定されていると考えられる。

また、それぞれの利用パターンの自己ループ割合を確認すると、ほとんどの利用パターンにおいて 50% を割り込んでおり、利用パターンが時期によって固定されていないことが確認できた。特に、2way においては、ほとんど自己ループがないことが確認できた。このことから、利用パターンは、ユーザによって固定されるものでないと考えられる。

6. 利用パターン分析に対する考察

本章では、利用パターン分析の結果について考察する。まず、分析結果に基づいて、ワンウェイ方式のカーシェアリングシステムにおける車両偏在問題の発生と抑制について検討する。次に、潜在的利用者に対する再配車の依頼戦略について検討する。

6.1 車両偏在問題の発生と抑制

ワンウェイ方式のカーシェアリングには、車両偏在問題が存在する。この問題の抑制・解消には、多様な利用パターンの需要が望まれる。我々は、4.1 節において利用パターンの抽出を行い、5 つの利用パターンの存在を明らかにしている。車両偏在問題を助長させる利用パターンとしては、クラスタ A の常連利用や、クラスタ E の 1 ルート中心利用が考えられる。クラスタ A の常連利用は、通勤利用と推測でき利用の方向や時間帯が他の利用者と重なること

が考えられる。また、クラスタ E の 1 ルート中心利用は、片方向にのみ車を移動させるため、配置の偏りを助長させると考えられる。もちろん、それぞれ逆方向の利用者がいれば、偏りは解消されるが、そのような利用はほとんど見当たらなかった。

次に車両偏在問題を抑制する利用パターンとしては、クラスタ C の分散利用やクラスタ D の局所利用が考えられる。クラスタ C の分散利用は、様々なステーションから様々なステーションへの移動を行っており、偏り抑制する効果があると考えられる。また、クラスタ D の局所利用は、特定のステーションから様々なステーションへの移動を行っており、分散利用ほどではないが、偏りを抑制する効果があると考えられる。これらのことから、クラスタ C の分散利用やクラスタ D の局所利用のユーザを増加させることで、車両偏在問題の抑制につながると考える。

クラスタ C の分散利用やクラスタ D の局所利用のユーザを増加させるためにはどのような戦略が必要であろうか。4.2 節の時系列変化の分析において、どの利用パターンに対しても対象外からの遷移が一定数以上確認できたことから、徐々に特定の利用パターンに変化するようなことはなく、利用者がもともと持っているライフスタイルに合わせて利用パターンが決定されると考えられる。また、同一の利用者であっても、その利用パターンは時期によって大きく異なることも確認されている。これらのことから季節に合わせて、クラスタ C の分散利用やクラスタ D の局所利用を想起するような新規ユーザ獲得キャンペーンやが有効と考えられる。

6.2 利用パターンに基づく依頼戦略

クラスタ A は、常連利用であり、利用回数が最も多いクラスタである。しかし、その利用内容を見ると、固定されたルート中心であることが確認できる。そのため、彼らに再配車を依頼しても承諾されにくいと考えられる。クラスタ B は、2way 中心のクラスタである。クラスタ A と同様、利用のパターンが固定化されており再配車の依頼は承諾されにくいと考える。クラスタ E は、特定の 1 ルートを利用するクラスタである。彼らは、ただ 1 ルートばかりを利用しているため、再配車を依頼しても承諾されるのは難しいと考える。

クラスタ C は、様々なステーションに分散して利用するクラスタである。彼らは、様々なステーションから利用しており、その利用パターンが固定されていない。そのため、彼らに依頼すれば、再配車の依頼が受諾されやすいと考える。クラスタ D は、ある地点を中心に、いろいろなステーションを利用するクラスタである。特定の地域に固定されるが、利用するステーションは分散しており、利用パターンは柔軟であると考えられる。そのため、彼らに依頼すれば、再配車の依頼を受諾しやすいと考えられる。これ

らのことから、再配車を依頼すべき利用者は、クラスター C や D に分類される利用者と考えられる。

前述のように検討した戦略に関して、検討の妥当性を検証するために国内でワンウェイ方式カーシェアリングを運用している企業にインタビューを行った。その結果、クラスターリングの結果について、妥当な結果であるとのコメントが得られた。また、以下のようなコメントが得られた。

- クラスター C の利用者は様々な地域でカーシェアリングを積極的に利用しており、広範囲にわたり効率の良い利用方法を知っている人と考えられる。
- クラスター D の利用者は、特定の地域に限られるが複数の経路を利用しており、稼働率の向上のために重要な顧客である。
- これらの利用者を増やすことが車両移動の多様性を向上させることにつながる。

これらのことから、定性的ではあるが、我々のクラスターリング結果は妥当であると考えられる。また、依頼トリップをより受諾してくれる人がクラスター C とクラスター D の人々であるという考察も適切である。

7. おわりに

本章では、まとめとして本研究の貢献と限界について述べる。本研究の貢献は、1. ワンウェイカーシェアリングにおける車両偏在問題解決の新たなアプローチとして潜在的利用者への依頼手法を提案したこと、2. 提案手法の効果をシミュレーションにより検証したこと、3. 実データの分析結果に基づいて依頼可能なユーザタイプについて議論したことである。提案手法は、潜在的利用者へ車両の移動を依頼し、より多くの要求トリップを受諾可能とする要求トリップ受諾率最大化手法として提案された。

提案手法の有効性を確認するために、シミュレーション実験を行ったところ、提案手法により要求トリップの受託率が上がることで、依頼トリップの受託率が高くなるほど要求トリップの受託件数が増加することが確認された。しかしながら、依頼トリップ 1 件に対する要求トリップ増加数は、設定した依頼トリップ受諾率 0.4 と 0.6 のときが最も大きくなり、その後はほとんど変化しないことが確認された。このことから、要求トリップの受託率向上と依頼トリップの受託率向上に関する効率性が、一定水準よりトレードオフの関係になる可能性を示した。この結果は、ワンウェイカーシェアリングの実運用において、要求トリップの受託率向上を図りつつも、依頼トリップに必要なコストの抑制が重要な課題であることを示しており、本研究の貢献の 1 つである。

また、効率的な依頼トリップの実現を目指し、カーシェア利用者の利用パターン理解とその理解に基づく依頼戦略を検討するために、ワンウェイ式のカーシェアリングサービス、Times Car Plus × Ha:mo の実証実験を行っている

パーク 24 株式会社からデータを取得し、ユーザの利用行動パターンを分類し、時系列変化を確認した。その結果、利用行動パターンとして 5 パターン（常連、2way、分散、局所、1 ルート）が存在することを明らかにした。また、時系列変化の分析から、利用パターンが利用経験によらず決定されていること、同一利用者であっても時期によって利用パターンが変化することを明らかにした。さらに依頼トリップの対象として分散型、局所型が依頼を引き受けやすい可能性があることを示したことは、ワンウェイカーシェアリングの実運用において、より効率的な運営のためのマーケティング対象を示しており、意義がある。

一方で、本研究にはまだまだ限界がある。1 つ目はシミュレーションの現実性である。本研究のシミュレーションでは、車両台数 5 台、ステーション数 6 カ所、要求トリップの発生がランダムなど、規模が小さく現実とは異なる設定で実施している。そのため、本シミュレーションの結果をそのまま現実社会に適用することはできない。今後、車両台数やステーション数を増やすなど大規模なシミュレーションが必要である。また要求トリップの発生については、実データに基づいて、朝や夕方、発生場所に偏りを持たせるなどの設定が必要と考える。加えて、大規模化においては、処理速度の検討なども必要となる。今後の課題としたい。

2 つ目は、データ解析に基づく依頼戦略に対する検証である。本研究では、ワンウェイカーシェアリング運営会社に対するインタビューにより、データ解析に基づく依頼戦略について検証を行い、定性的に妥当性を示している。しかしながら、本検証方法は実際のユーザに対するアプローチはしておらず、定量的な検証にはなっていない。そのため、我々が示した依頼戦略が実運用において実際に効果を発揮するかあわせていない。今後、利用者へのアンケート調査や、実際に依頼トリップを依頼する社会実験などにより、検証が必要と考える。また、今回分析対象としていない利用回数が 5 回以下のユーザの影響や、利用履歴からは観測できない潜在的需要についても検討する必要があると考える。

参考文献

- [1] 総務省：第 4 章第 2 節ソーシャルメディアの普及がもたらす変化、平成 27 年度版情報通信白書、Vol.34、総務省、pp.199-207 (2015) (オンライン)、入手先 (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/27honpen.pdf>)。)
- [2] 公益財団法人日本自動車教育振興財：カーシェアリングと若者のクルマ利用、*Traffi-Cation*、Vol.34、pp.2-7 (2013) (オンライン)、入手先 (http://www.jaef.or.jp/6-traffic-cation/img/TC_34.t.pdf)。)
- [3] 内田 晃：フリーフロート型カーシェアリングの展開可能性に関する基礎的考察 (石塚優教授退職記念号)、都市政策研究所紀要、No.9、pp.79-97 (2015)。
- [4] 国土交通省：いわゆるワンウェイ方式のレンタカー型カーシェアリングの実施に係る取り扱いについて (2014)。

- [5] 安江勇弥, 金森 亮, 山本俊行, 森川高行: カーシェアリング会員特性と利用意向に関する分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5, pp.L761–L770 (2013).
- [6] 溝上章志, 中村謙太, 橋本淳也: ワンウェイ型 MEV シェアリングシステムの導入可能性に関するシミュレーション分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.71, No.5, pp.L805–L816 (2015).
- [7] 中山晶一朗, 山本俊行, 北村隆一: 再配車によらない電気自動車の共同利用システムの効率化に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, pp.481–487 (2002).
- [8] 上田知幸, 柴田知幸, 川井 明, 伊藤 実: EVTour: 電気自動車の乗換スケジューリング法の提案と性能評価, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.2, pp.308–319 (2017).
- [9] Uesugi, K., Mukai, N. and Watanabe, T.: Optimization of Vehicle Assignment for Car Sharing System, Vol.4693, pp.1105–1111 (2007).
- [10] Barth, M. and Todd, M.: Simulation model performance analysis of a multiple station shared vehicle system, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.7, No.4, pp.237–259 (1999).
- [11] Barth, M.J., Todd, M. and Xue, L.: User-Based Vehicle Relocation Techniques for Multiple-Station Shared-Use Vehicle Systems (2003).
- [12] Kek, A.G.H., Cheu, R.L. and Chor, M.L.: Relocation Simulation Model for Multiple-Station Shared-Use Vehicle Systems, *Transportation Research Record*, Vol.1986, No.1, pp.81–88 (2006).
- [13] Kek, A.G., Cheu, R.L., Meng, Q. and Fung, C.H.: A decision support system for vehicle relocation operations in carsharing systems, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol.45, No.1, pp.149–158 (2009).
- [14] Fan, W.D., Machemehl, R.B. and Lownes, N.E.: Car-sharing: Dynamic Decision-Making Problem for Vehicle Allocation, *Transportation Research Record*, Vol.2063, No.1, pp.97–104 (2008).
- [15] Nair, R. and Miller-Hooks, E.: Fleet Management for Vehicle Sharing Operations, *Transportation Science*, Vol.45, No.4, pp.524–540 (2011).
- [16] Boyacı, B., Zografos, K.G. and Geroliminis, N.: An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems, *European Journal of Operational Research*, Vol.240, No.3, pp.718–733 (2015).
- [17] Santos, G.G.D. and de Almeida Correia, G.H.: Finding the relevance of staff-based vehicle relocations in one-way carsharing systems through the use of a simulation-based optimization tool, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, pp.1–22 (2019).
- [18] Barth, M. and Todd, M.: Simulation model performance analysis of a multiple station shared vehicle system, *Transportation Research Part C*, Vol.7, p.237 (1999).
- [19] Boyacı, B., Zografos, K.G. and Geroliminis, N.: An integrated optimization-simulation framework for vehicle and personnel relocations of electric carsharing systems with reservations, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.95, p.214 (2017).
- [20] Wang, H., Cheu, R. and Lee, D.-H.: Dynamic relocating vehicle resources using a microscopic traffic simulation model for carsharing services, *Proc. 2010 3rd International Joint Conference on Computational Science and Optimization* (2010).
- [21] Chemla, D., Meunier, F. and Calvo, R.W.: Bike sharing systems: Solving the static rebalancing problem, *Discrete Optimization*, Vol.10, No.2, pp.120–146 (2013).
- [22] Raviv, T., Tzur, M. and Forma, I.A.: Static reposition-

ing in a bike-sharing system: models and solution approaches, *EURO Journal on Transportation and Logistics*, Vol.2, No.3, pp.187–229 (2013).



千住 琴音 (正会員)

2016年奈良女子大学理学部情報科学科卒業。2018年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。修士(工学)。



諏訪 博彦 (正会員)

2006年電気通信大学大学院情報システム学研究科博士後期課程修了。博士(学術)。2019年4月より奈良先端科学技術大学院大学特任准教授および理化学研究所研究員。



水本 旭洋 (正会員)

2014年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。2019年1月より大阪大学大学院情報科学研究科特任助教。ユビキタスコンピューティングに関する研究に従事。IEEE 会員。



荒川 豊 (正会員)

2001年慶應義塾大学理工学部卒業。2006年同大学大学院博士課程修了。博士(工学)。同大学助教,九州大学助教,奈良先端科学技術大学院大学准教授を経て,2019年より九州大学大学院システム情報科学研究院教授。ユビキタスコンピューティングに関する研究に従事。



安本 慶一 (正会員)

1991年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1995年同大学大学院博士後期課程退学。2011年より奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。ユビキタスコンピューティングに関する研究に従事。