

ワンウェイ方式カーシェアリングにおける 利用者へのトリップ依頼による車両偏在削減手法の提案

千住 琴音^{1,a)} 水本 旭洋¹ 荒川 豊^{1,2} 安本 慶一¹

概要: 近年、移動先で車を乗り捨てるワンウェイ方式カーシェアリングサービスの提供が開始されている。しかし、乗り捨てが可能な場合、使用頻度の違いから、各拠点にある車台数の偏りが発生する。この問題を解決する手段として、現在のサービスでは運営会社が車を移動させて偏りを解消している（フェリーと呼ぶ）。その結果、フェリーに必要な費用がコストを押し上げるという問題を生んでいる。そこで、コスト削減と車の利用効率向上を目的に、何らかのインセンティブを用いて、フェリーに相当する新たなトリップを潜在的利用者へ依頼することを提案する。これには、潜在利用者の行動認識、車の適切な移動場所の探索、行動変容を促すインセンティブ等が必要である。本稿では、提案手法の概要を述べ、ケーススタディを通して本手法の有効性を確認する。

キーワード: 乗り捨て型カーシェアリング、行動変容、配車スケジューリング

Vehicle relocation method by requesting unreserved trips to potential users in one-way car-sharing

SENJU KOTONE^{1,a)} MIZUMOTO TERUHIRO¹ ARAKAWA YUTAKA^{1,2} YASUMOTO KEIICHI¹

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。貸主は遊休資産から収入が得られ、借主は購入費や維持費など所有する際に必要な金銭コストを削減できる。日本国外ですでに多くのサービスが展開されており、サービス分野は多岐にわたる。

例えば、空き部屋や共有スペースの賃借をマッチングさせるサービスがある。貸主は余らせている部屋や使用しない時間のあるスペースを一時的に貸すことで、借主は民泊することや、パーティーや会議などの実施に適した部屋を見つけることができる。2008年にスタートした民泊サー

ビス Airbnb^{*1}では、利用者数が6,000万人を越えている。

また、自転車を貸し借りするシェアサイクルでは、2007年から開始されたフランスのVelib^{*2}が代表的なサービスであり、現在は23,600台以上の自転車が配備されている。アジアでは、2009年に台湾の台北で登場したYoubike^{*3}が、現在会員数約690万人を誇っており、バイク社会である台北に浸透しつつある。国内では現在、セブンイレブンが東京都5区内で実施している^{*4}。

車に関するサービスでは、相乗りによって座席を貸すライドシェアリングと、車そのものを貸すカーシェアリングが提供されている。ライドシェアリングは移動したい人が近くにいたドライバーと相乗りするといったものであり、2009年にスタートしたUber^{*5}の場合、タクシー会社だけでなく個人のドライバーとも連携している。カーシェア

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology
8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 630-0192, Japan

² JST さきがけ
JST Presto

a) senju.kotone.ry1@is.naist.jp

^{*1} <https://www.airbnb.jp>

^{*2} <http://en.velib.paris.fr>

^{*3} <http://taipei.youbike.com.tw>

^{*4} <http://www.sej.co.jp/services/bicycle.html>

^{*5} <https://www.uber.com>

リングには、出発地と返却地が同一であるラウンドトリップ方式と、乗り捨て可能なワンウェイ方式の2種類が存在している。RelayRides や getaround*6のような個人間のカーシェアリングはラウンドトリップ方式が主流であり、Car2Go*7や Zipcar*8, Autolib*9など事業者が貸主である場合は、ワンウェイ方式のサービスも展開されている。国内の場合は、パーク 24 によるタイムズカープラス*10やオリックス自動車の ORIX CarShare*11など、事業者の運営によるサービスが始まっているが、法律規制により、国内では事業者が貸主の場合でもラウンドトリップ方式が主流である。しかし、一方、ワンウェイ方式の場合は貸出場所と異なった場所に乗り捨てるのが可能であるため、利用者の行動に柔軟に対応できるといえる。安江ら [1] 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。さらに、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実現は可能となったことから、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。しかし、それには乗車したい場所で車両が確保できない状況や返却したい場所に駐車スペースがない状況など、車両における車両の偏りの問題を解決しなければならない。

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平滑にするため、再配車（フェリー）を行う研究がある [2][3][4]。しかし実際にフェリーを行う場合、運営会社が実施するとコストがかかってしまう。2016 年からトヨタ自動車と共同でワンウェイ方式カーシェアリングの実証実験を行っているタイムズカープラスを展開するパーク 24 にヒアリングを行ったところ、車両偏在の解決手段として、車両が多すぎる場所から、車両が不足している場所へ、社員が移動しているとのことであった。1 回のフェリーに、1 名の社員が必要であることから、そのコストは甚大であると想像できる。また再配車の研究に対して、フェリーを利用者に協力してもらうといった研究も行われている [5][6]。利用者に分割乗車や相乗乗車を依頼するというものだが、偏在状況と利用者の予約が一致しない場合や、通勤時の使用など 1 人で使用する利用者が多い時間には分割乗車ができないことなど問題点がある。特に文献 [5] では利用者の金銭的成本の一部負担することによって協力してもらうため運営側にコストがかかる。

本研究では、フェリーを利用者に協力してもらう方法を基とするが、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を提案する。提案手法は、依頼したい時間や移動方向などと過去の利用情報をもとに、協力してくれる潜在的利用者を決め、依頼する。これを実現するためには、潜在利用者の行動認識、車の適切な移動場所の探索、協力を促すインセンティブなどを組み合わせ行動変容を引き起こす必要がある。

最近では、位置情報を用いたゲームが人々の行動に影響を与えている。ユーザが 2 つの陣営に分かれた陣取りゲーム、Ingress*12では、チェックポイント（ポータル）を自陣のものにするため位置情報が用いられる。田畑 [9] によると、これはユーザの外出するきっかけとなり、地域活性化につながると指摘する。また、2016 年に配信された Pokémon GO*13は、スマートフォン内に現れたキャラクター（ポケモン）を捕まえ、育てたり戦わせるゲームである。ポケモンを捕まえるためには外を歩き回らなければならない。それによってウォーキングや引きこもりだった人の外出につながったという事例がある。このように、ゲーム要素が利用者の別の行動を促すという、ゲーミフィケーションを取り入れることで、潜在的利用者の行動変容を促す。そして、最終的には利用者同士のみでカーシェアリングを成立させることをめざす。

本稿では、2 章で関連研究について述べた後、3 章で提案手法について説明する。4 章で潜在的利用者が協力してくれた場合を想定し、ケーススタディを用いた評価を示す。最後に 5 章でまとめと今後の課題を記す。

2. 関連研究

ワンウェイ方式カーシェアリングの問題点である車両の偏りの対策としてあげられるのはフェリーである。フェリーを実施する場合には、運営会社が行う場合と利用者に協力してもらう場合が考えられる。また、フェリーを行うとコストがかかるという点から、フェリーを行わない場合もある。そこで、本章では 2.1 節でフェリーを行わない研究について述べたあと、2.2 節で運営会社によるフェリーを実施する研究について、2.3 節で利用者の協力によるフェリーを実施する研究について述べる。

2.1 フェリーを行わない研究

溝上ら [7] は採算面の問題から、フェリーを行わないワンウェイ型シェアリングシステム (OWS システム) の導入可能性を検討した。ある利用者が出発した時点で返却地の空いている駐車スペースを確保することで、車両偏在によって予約を受理できないリスクを逐次更新していくプロセスを導入した。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た。各拠点による利用頻度が高いため、駐

*6 <https://www.getaround.com>

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

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

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

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

*11 <https://www.orix-carshare.com>

*12 <https://www.ingress.com>

*13 <http://www.pokemongo.jp>

車不可や車両不在による需要と供給のマッチングを今後の課題としている。

また、中山ら [8] は費用削減に向けて、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た。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を実施した。彼らは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。

2.2 運営会社によるフェリーを考慮した研究

Barth ら [2] 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た。このシステムは再配置や充電などの影響を受けやすいことがわかった。

また、Burak ら [3] は車両の再配置や電気自動車の充電を考慮した多目的 MILP モデルを構築した。仮想ハブの概念を導入することで、運営者の利益と利用者サービス満足度という利得バランスを検証できる。また経験にもとづいて決定する顧客満足度や人口比率、駅周辺のコストなどを得るのに役立つ。

さらに、上田ら [4] 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た。二段階の手法を用いてフェリー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理率を達成した。しかし、上田らはより少ないスタッフ、配車回数での運用が必要だと考えている。

2.3 利用者協力によるフェリーを考慮した研究

Barth ら [5] は各拠点にある車台数にもとづき、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。彼らはカルフォルニア大学にある *UCR IntelliShare* というシステムによる実証実験とシミュレーションモデルによって実装している。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ものであり、利用者の協力に関しては適切な金銭的インセンティブが動機付けになると考えている。なお実装の際に利用者は 100% 受け入れると想定されている。

また、Uesugi ら [6] 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。分割乗車により出発地の過多状態が、相乗乗車により過小状態を解消できるというもので、シミュレーションを実施した結果、改善効果があった。利用者に協力を促すインセンティブは今後の課題であると述べている。

3. 提案手法

本章では、提案手法に関して述べ、その後、車両偏在の低減を効率よく行うために、最適化問題の定式化を実施する。

3.1 手法概要

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が成立するものの、出発地に車がない場合は予約が不成立になってしまう。そこで、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。

例えば、ある利用者 X が拠点 A から乗車したいが車は拠点 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、運営会社の人がかost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) と称す。URT の詳細は 3.2 節で述べる。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候補者に、定められた時間や出発地、返却地にもと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

表 1 提案手法で定義した用語一覧

名称	定義
URT	利用者の要求トリップ
RT	確定したトリップ
SRT	システムに依頼されたトリップ

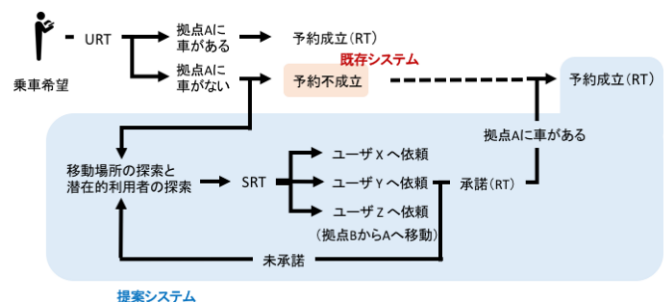


図 1 提案手法のフロー

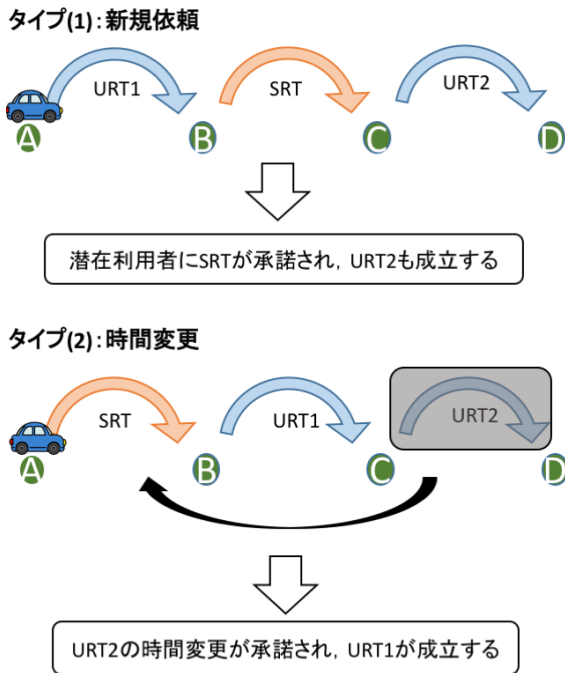


図 2 依頼トリップ追加による要求トリップ成立

する。SRT の詳細は 3.3 節で述べる。候補者のうちの 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、という流れである。これを実現するにあたって、以下のことが必要である。

1. 偏在状況の認識
2. どの拠点にある車を SRT に用いるかという最適なトリップの探索
3. 潜在的利用者の行動認識
4. 依頼承認を促すインセンティブ

3.2 要求トリップ (URT)

本研究では、乗り捨て可能なワンウェイ方式カーシェアリングの際に、利用者が予約したものを要求トリップと称す。要求トリップは、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。

カーシェアリングを実施する場合、ある要求トリップの目的地と次の要求トリップの出発地が一致しなければ、ルートは完成しない。つまり、一筆書きできるルートとなる。そこで、ルート完成向上を促すものとして、依頼トリップを次節で定義する。

3.3 依頼トリップ (SRT)

ワンウェイ方式カーシェアリングの際に、利用者が事前に予約した要求トリップをより多く成立させるため、システムが利用者に報酬付きで依頼するトリップを依頼トリッ

プとする。依頼トリップには 2 タイプ想定している。

- (1) カーシェアリングサービスに登録している利用者への新規依頼
- (2) 利用者が許容範囲とする時間内での要求トリップの時間変更

タイプ (2) の場合、要求トリップで指定された許容時間を用いて時間変更を行う。

それぞれのタイプに関して、図 2 に示す。車は拠点 A にあるものとする。タイプ (1) の依頼トリップは、2 つの要求トリップを成立させるために拠点 B から C へ車を移動させることが必要であるときに、潜在的利用者へ依頼する。また、タイプ (2) の時間変更の場合、元々予約していた利用者に許容時間内での予約時間の変更を依頼することで、要求トリップの成立件数を増加させる。

3.4 問題設定

効率を最大化するには、利用者の希望に近いトリップを確定させること、すなわち依頼トリップのコストが最小であることなどが考えられる。本研究では、希望出発時刻と実際の出発時刻の差と依頼トリップにかかるコストを最小化するために、依頼トリップの追加によるトリップ成立最大化手法について問題設定をおこなう。

拠点の集合を P 、要求トリップの集合を T 、依頼トリップの集合を V とする。トリップ間の距離を関数 $distance(p, p')$ 、トリップの時間を $time(p, p')(p, p' \in P)$ とする。要求トリップ $t \in T$ は、〈出発地 sp 、目的地 dp 、希望出発時刻 rt 、実際の出発時刻 st 、利用者が rt より早くしてもよい許容時間 $minus$ 、利用者が rt より遅くしてもよい許容時間 $plus$ 〉の 6 項組である。利用者には予約の際に sp 、 dp 、 rt 、 $plus$ 、 $minus$ を入力してもらい、ルートを構築したあとにシステムが st を追加する。また、車の集合を C とし、車 $c \in C$ の初期位置を fp とする。

$t_i (1 \leq i \leq |T|)$ 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 $T' (\subseteq T)$ とする。これらは式 (1)、(2) で定義する。

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{if } t_i \in T' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$T' \subseteq T \quad (2)$$

$k (1 \leq k \leq |C|)$ 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。

$$r_j^i \in T' \cup V \quad (1 \leq i \leq |C|, 1 \leq j \leq n_i) \\ \wedge \bigcup_{1 \leq i \leq |C|} \bigcup_{1 \leq j \leq n_i} r_j^i = T' \cup V \quad (3)$$

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.

$$IS Succ(r, r') \triangleq r.dp = r'.sp$$

$$\wedge r.st + time(r.sp, r.dp) < r'.st \quad (4)$$

$$c_i.fp = r_i.sp \quad (1 \leq i \leq |C|) \quad (5)$$

また, システムが決定する実際の出発時刻 st は利用者の指定する許容時間内でなければならない. この制約を式 (6) で定義する.

$$r.rt - minus \leq r.st \leq r.rt + plus \quad (6)$$

本研究では, 希望出発時刻と実際の出発時刻の差と依頼トリップ $v \in V$ にかかるコストを最小化することである. ルートの最大の長さを L_{max} , 希望出発時刻と実際の出発時刻の差の最大時間を DR_{max} , 依頼トリップにかかるコストを関数 $cost(v)$ とすると, 本問題の目的関数を式 (7) で定義する. 式 (7) の第 1 項は希望出発時刻と実際の出発時刻の差の割合を表す. 差が小さいほど第 1 項の値は小さくなり, 利用者の満足につながることを示唆する. 第 2 項は依頼トリップにかかるコストの総和を表し, 値が小さくなるにつれてシステム側の負担も小さくなる. 希望出発時刻と実際の出発時刻の差と依頼トリップにかかるコストのどちらをより重視するかは α で重みをつけることで表す.

$$Minimize : \frac{\sum_{k=1}^{|C|} \sum_{r \in R_k} |r.st - r.rt|}{|C| \times L_{max} \times DR_{max}} + \alpha \sum_{u \in V} cost(v) \quad (7)$$

4. 評価

本章では, 利用者が依頼トリップを全て受け入れるものとし, 依頼トリップの効果を評価する. 第 3.4 節の問題設定をもとに, 奈良先端科学技術大学院大学付近の簡単なモデルを構築し, シミュレーションを実施した.

4.1 条件設定

要求トリップが 10 件あったある 1 日のカーシェアリングサービスを考える. 奈良先端科学技術大学院大学とその付近 5 箇所の計 6 箇所を拠点とし, それらを図 3 に示す. Google マップ^{*14}を用いて各拠点間の距離と車での移動時間を調べたところ, いずれも 30 分以内であることから, 利用者には 30 分単位で予約してもらうものとし, 8 時から 21 時までの 13 時間実施するものとする. 要求トリップと車の初期位置はランダムに設定する. 利用する車の台数と

*14 <https://www.google.co.jp/maps>



図 3 想定する各拠点

導入可能な依頼トリップの件数を変化させ, ルート成立件数が最も多いルートを出力する. 各ルートは, 車の初期位置と一番最初の予約の出発地が一致していること, 目的地と次の予約の出発地が一致していること, 予約時間が重複していないことといった 3 つの条件を満たさなければならない. なお, 今回は新規に依頼するタイプ (1) のみの依頼トリップを考えるため, 利用者が希望出発時刻より早くしてもよい許容時間 $minus$, 利用者が希望出発時刻より遅くしてもよい許容時間 $plus$ を 0 とし, 依頼トリップにかかるコスト $cost(v)$ を 0 とする.

4.2 結果

4.1 節で設定した条件のもと車台数と導入できる最大依頼トリップ件数を変化させ, シミュレーションをそれぞれ 10 回実施した. 表 2 は (a) 依頼トリップなしの平均成立件数, (b) 依頼トリップありの平均成立件数, (c) 依頼トリップなしの平均成立件数と依頼トリップありの平均成立件数の差, (d) 平均の導入依頼トリップ件数, (e) 依頼トリップ 1 件あたりの要求トリップの平均増加件数を表している.

全ての場合において, 依頼トリップを導入することで要求トリップの受入れ件数が増加したことがわかる. また, 依頼トリップ 1 件に対する導入できた要求トリップ件数を見てみると, 採択した依頼トリップ件数が少ない場合のほうが, 追加できる要求トリップ件数は多くなった. これには, 予約件数が影響していると考えられる.

表 3 は, 車 1 台のみ利用し, 予約件数と導入できる最大依頼トリップ件数を変化させた場合の依頼トリップ 1 件に対する増加した要求トリップの件数を示している. この表から, 要求トリップ件数によって, 適切な依頼トリップ件数が違うと考えられる. ただ現段階では相関関係を見出せず, この効果は限定的なものだと考えられるため, 更なる検討が必要である.

表 2 車台数と最大可能依頼件数を変化させたときの件数

車数	最大可能 依頼件数	平均成立件数			実導入 依頼件数 (d)	依頼 1 件に 対する増加 (e)
		依頼なし (a)	依頼あり (b)	差 (c)		
1	1	2.2	3.9	1.7	1.0	1.70
	2	1.7	4.1	2.4	2.0	1.20
	3	1.6	5.1	3.5	3.0	1.17
	4	1.4	5.7	4.3	3.8	1.14
	5	1.3	6.6	5.3	4.4	1.22
2	1	2.9	5.6	2.7	1.0	2.70
	2	3.5	7.1	3.6	2.0	1.80
	3	3.5	7.8	4.3	3.0	1.43
	4	2.6	8.2	5.6	4.0	1.40
	5	3.2	8.7	5.5	4.8	1.14
3	1	4.1	7.3	3.2	1.0	3.20
	2	4.1	7.7	3.6	2.0	1.80
	3	3.9	8.9	5.0	3.0	1.67
	4	4.2	9.3	5.1	4.0	1.27
	5	4.6	9.6	5.0	5.0	1.00

表 3 依頼トリップ 1 件あたりの要求トリップの増加件数

導入可能 最大件数	予約件数				
	5	10	15	20	25
1	1.20	1.70	1.50	1.40	2.60
2	1.17	1.20	1.55	1.85	1.45
3	1.10	1.17	1.40	1.77	1.37
4	1.61	1.14	1.02	1.18	1.25
5	1.18	1.22	1.11	1.10	1.22

また、本稿のアルゴリズムでは全通りの組合せから最も成立件数が多くなる最適解を導出できるが、各変数の値を大きくすることで実行時間が長くなると考えられる。そこで、車台数と要求トリップ件数の増加による実行時間の変化を計測した。要求トリップを 10 件、依頼トリップの導入可能件数を 5 件としたとき、使用する車の台数が 1 台のときは 0.7 秒で計算終了したにもかかわらず、2 台のときは 49 秒、3 台のときは 16 分かかった。しかし、要求トリップを 15 件のとき、車 1 台で 27 秒、車 2 台で 261 分、要求トリップを 20 件のとき、車 1 台で 18 分で導出できたが、それ以上車を増やしたときには導出できなかった。このことから、実際のカーシェアリングサービスで使用するためには有限時間内に導出が可能なアルゴリズムを構築する必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究では、ワンウェイ方式カーシェアリングの問題点である車両の偏りに着目し、依頼トリップによる車両偏在削減手法を提案した。カーシェアリングにまつわる関連研究を述べた後、提案内容の概要と問題設定を記した。依頼トリップには、システムからの提案と利用者による承諾が必要であり、前者には利用者の行動認識や行動推定が、後者には利用者の行動変容が必要である。

その後、システムが潜在的利用者の行動を推定でき、依頼した依頼トリップを潜在的利用者がすべて承諾するとい

う将来を想定し評価を行った。依頼トリップを追加したとき、より多くの要求トリップを採択できることが確認できた。しかし、要求トリップ件数に応じて、効果的な依頼トリップ件数は違う可能性があるため、さらなる検討が必要である。

本稿でのシミュレーションでは計算時間がデータ数に依存するため、今後は別のアルゴリズムを検討する。現在はヒューリスティック探索を用いること、具体的には遺伝的アルゴリズムによる探索や最急勾配法(山登り法)などを用いることを考えている。

また、システムが利用者に依頼トリップを依頼する際の内容や依頼トリップを導入する際のコストに関しても今後検討していく。奈良先端科学技術大学院大学にはモビリティ社会システム実験プロジェクト (IS³ プロジェクト)*¹⁵ [10] により、カーシェアリング実証実験を行える環境が整っているため、実証実験も行う。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 15H05708 および、JST さきがけの助成を受けたものです。ここに謝意を示します。

参考文献

- [1] 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(土木計画学研究 論文集 第 30 巻), pp.L761-L770 (2014).
- [2] Barth, M & Todd, M: Simulation model performance analysis of multiple station shared vehicle system, *Transportation Research*, 7C, pp.237-259(1999).
- [3] Boyaci Burak, Konstantinos G. Zografos, and Nikolas Geroliminis: An optimization framework for the development of efficient one-way car-sharing systems. *European Journal of Operational Research* 240.3 (2015): 718-733.
- [4] 上田知幸, 孫為華, 柴田直樹, 伊藤実: EVTour: 電気自動車の乗換カーシェアリングスケジューリング法の提案, 研究報告数理モデル化と問題解決 (MPS), Vol.2014-MPS-97, No.22 (2014).
- [5] Matthew Barth, Michael Todd, and Lei Xue: User-Based Vehicle Relocation Techniques for Multiple-Station Shared-Use Vehicle Systems, *Transportation Research Board 80th Annual Meeting January 2004 Washington, D.C* (2004).
- [6] Uesugi, Kentaro, Naoto Mukai, and Toyohide Watanabe: Optimization of vehicle assignment for car sharing system. *International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [7] 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, p. L805-L816 (2015).
- [8] 中山 晶一郎, 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).
- [9] 田畑恒平: スマートデバイス向けアプリケーションとゲーミフィケーションによる地域活性化の可能性, 江戸川大学紀要, 26 巻 (2016).

*¹⁵ <http://ubi-lab.naist.jp/i3s3/>

- [10] Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto, Kenichi Matsumoto, Hideaki Hata, Hirohiko Suwa, Akihiro Ihara, and Manato Fujimoto: Project IS³ : Incentive-based Intelligent Intervention for Smart and Sustainable Society, 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, pp.215-218 (2014).
- [11] 原祐輔, 羽藤英二: 乗捨て型共同利用交通システムに対する利用権取引制度の設計とその解法の提案, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.70, No.4, pp.198-210 (2014).