

NAIST-IS-MT1651066

## 修士論文

ワンウェイ方式カーシェアリングにおける  
潜在的利用者を活用した予約受諾率最大化手法

千住 琴音

2018 年 3 月 15 日

奈良先端科学技術大学院大学  
情報科学研究科

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に  
修士(工学) 授与の要件として提出した修士論文である。

千住 琴音

審査委員：

安本 慶一 教授	(主指導教員)
松本 健一 教授	(副指導教員)
荒川 豊 准教授	(副指導教員)
諏訪 博彦 助教	(副指導教員)
水本 旭洋 特任助教	(副指導教員)

# ワンウェイ方式カーシェアリングにおける 潜在的利用者を活用した予約受諾率最大化手法\*

千住 琴音

## 内容梗概

近年、都市部で車の所有に伴う経済的負担を理由にカーシェアリングサービスが増えている。特に最近では、2014年の法整備により運営可能となった移動先で車を取り捨てるワンウェイ方式カーシェアリングサービスが開始されつつある。しかしながら、利用者の利用要求は一定ではないため、特定の場所に車両が集中する車両偏在問題が発生することとなる。

本研究では、ワンウェイ方式カーシェアリングサービスにおける車両偏在問題を解決し利用予約の受諾率を向上させるために、潜在的利用者に車両の利用を促すことで車両を必要な場所に移動する手法を提案する。本手法では、利用者に予約（要求トリップ）に加えて、未予約の潜在的利用者に対する依頼（依頼トリップ）を導入する。依頼トリップの実現には(1) 最小の依頼で車両偏在問題に対する最大の効果（トリップ成立数の最大化）を得るための依頼トリップ区間の導出手法と、(2) その依頼トリップを受諾する可能性の高い利用者の抽出という2つの大きな課題を解決する必要がある。本研究では、(1) については、シミュレーションにより仮想的なワンウェイ方式カーシェアリングサービスを構築し、車両の適切な移動方法について検討する。(2) については、実際のワンウェイ方式カーシェアリングサービス事業者から得られる実データを分析し、実利用者の行動特徴を明らかにするとともに、その結果に基づいて依頼戦略を検討する。

---

\*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 修士論文, NAIST-IS-MT1651066, 2018年3月15日。

本研究では、まず、本大学付近での運用を想定したケーススタディにより提案手法の有効性を検証した。その結果、依頼トリップを導入することで、より多くの要求トリップに対応できることを確認した。また、より現実的な設定のもとでのシミュレーションを実施するために、6 拠点における 30 分スロット式予約のシミュレーションを実施した。ここでは、潜在的利用者の受諾率に着目し、受諾率の変化による成立要求トリップ数または依頼トリップ数の変化を確認したところ、受諾率の増加に伴い要求トリップ数が増加することを確認した。また、依頼トリップ 1 件に対する要求トリップ増加件数は受諾率 40%と 60%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わかった。また、サービス事業者から得られた実証実験のデータを分析し、利用実態を分析した結果、特定の経路のみを使用する利用者だけでなく、様々な時間帯やステーションを幅広く利用する利用者が存在することを確認した。この結果に基づいて依頼トリップ戦略を検討した結果、様々なステーションに分散して利用する人々とあるステーションを中心に様々なステーションを利用する人々が依頼トリップをより受諾しやすい潜在的利用者である可能性を示した。

## キーワード

ワンウェイ方式カーシェアリング、依頼トリップ、潜在的利用者、ステーションベース、行動変容、クラスタリング

# A Method for Maximizing Reservation Acceptance Rate in One-Way Carsharing by Utilizing Potential Users\*

Kotone Senju

## Abstract

In recent years, the economic burden of keeping own car in urban areas increases the number of users who use the car-sharing services. In this thesis, we particularly focus on a one-way type car-sharing service where the rented car is left at a destination, which became available in 2014 after the legislation was changed. One-way car-sharing service is convenient for a user. However, it has a problem that the distribution of the cars is biased if the demand is not constant or is biased.

To solve the problem by low cost, we propose a method for balancing the distribution of cars by involving the potential users. Our method requests an unexpected trip, that is required for balancing, to a potential user in addition to the ordinary trip requested from users. If the user agrees with using a car between assigned stations, the distribution of the cars will be balanced.

To realize the request trip, it is necessary to solve the following two problems: Method of deriving the request trip section to obtain the maximum effect (maximization of the number of trip establishment) for the vehicle unevenness problem with minimum request(1), and Extraction of a user highly likely to accept the request trip(2).

---

\*Master's Thesis, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT1651066, March 15, 2018.

In this thesis, we constructed a virtual one-way type car-sharing service by simulation and consider the appropriate way of moving the vehicle to solve (1), and analyzed the actual data obtained from actual one-way type car-sharing service providers to clarify behavioral characteristics of actual potential users and to examine request strategies based on the results to solve (2).

**Keywords:**

one-way car-sharing, system request trip, potential user, station-based, changing behavior, clustering

# 目 次

<b>1. 序論</b>	<b>1</b>
1.1 研究の背景 . . . . .	1
1.2 研究の目的と提案手法 . . . . .	3
1.3 得られた結果 . . . . .	4
<b>2. 関連研究</b>	<b>5</b>
2.1 配車しない研究 . . . . .	5
2.2 運営会社による配車の研究 . . . . .	5
2.3 ユーザ協力による配車の研究 . . . . .	6
<b>3. 要求トリップ受諾率最大化手法</b>	<b>7</b>
3.1 手法概要 . . . . .	7
3.2 要求トリップ (URT) の定義 . . . . .	8
3.3 依頼トリップ (SRT) の定義 . . . . .	9
3.4 問題設定 . . . . .	9
<b>4. ケーススタディによる評価</b>	<b>11</b>
4.1 ケーススタディの条件設定 . . . . .	11
4.2 結果 . . . . .	12
<b>5. シミュレーションによる評価</b>	<b>15</b>
5.1 シミュレーション目的 . . . . .	15
5.2 条件設定 . . . . .	15
5.3 シミュレーション手法 . . . . .	16
5.4 評価結果 . . . . .	17
<b>6. 依頼トリップ受諾の戦略検討</b>	<b>18</b>
6.1 分析目的 . . . . .	18
6.2 分析対象 . . . . .	18
6.3 分析方法 . . . . .	19

6.4	分析結果 . . . . .	20
6.4.1	利用パターンに着目した場合 . . . . .	20
6.4.2	利用時間帯に着目した場合 . . . . .	22
6.5	戦略検討 . . . . .	23
6.5.1	利用パターンにもとづく依頼戦略 . . . . .	24
6.5.2	利用時間帯にもとづく依頼戦略 . . . . .	25
6.5.3	利用パターンと利用時間帯に基づく依頼戦略 . . . . .	25
6.5.4	運営会社へのインタビュー . . . . .	26
7.	結論	27
	謝辞	29
	参考文献	30



## 図 目 次

1	提案手法のフロー . . . . .	8
2	想定する各拠点 . . . . .	12
3	利用ステーションの一例 . . . . .	22

## 表 目 次

1	車台数と最大可能依頼件数を変化させたときの件数 . . . . .	13
2	依頼トリップ1件あたりの要求トリップの増加件数 . . . . .	14
3	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 . . . . .	17
4	利用パターンに関する要素と定義 . . . . .	19
5	時間帯に関する要素と定義 . . . . .	20
6	利用パターンに注目したクラスタごとの平均値 . . . . .	21
7	利用時間帯に着目したクラスタの平均値 . . . . .	23
8	クラスタの説明 . . . . .	24
9	全クラスタ組み合わせごとの利用者人数 . . . . .	25

# 1. 序論

## 1.1 研究の背景

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]．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低減できる．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，借主は宿泊することや，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<sup>1</sup>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 Vélib<sup>2</sup>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．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<sup>3</sup>．

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<sup>4</sup>の場合，タクシー会社だけでなく個人のドライバとも連携している．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]．カーシェアリングサービスを利用することで，利用者自身は費用負担が減少するだけでなく，公共交通機関利用が増加し環境負荷の低減につながる．また社会全体で考えると，車保有台数減少による交通量低減や駐車スペースの削減が期待される [3]．従来のレンタカーサービスとの違いの一つとして利用方法があげられる．レンタカーでは，利用する際に対人手続きが必要なため，開店時間のみしか利用できない．また，利用時間単位が時間

---

<sup>1</sup><https://www.airbnb.jp>

<sup>2</sup><http://en.velib.paris.fr>

<sup>3</sup><http://www.sej.co.jp/services/bicycle.html>

<sup>4</sup><https://www.uber.com>

や日付であるため、引越しや旅行などの長時間利用に適しており、買い物や送迎などの短時間利用には適していない。しかし、カーシェアリングサービスを利用する際は、携帯やパソコンから予約したのち、IC カードなどを用いて車の施解錠するため、無人手続きが可能である。これにより 24 時間利用できる。また、カーシェアリングサービスは分単位で利用できるため、短時間利用に適しており、レンタカーサービスと比べ日常の使い勝手が良いサービスといえる。

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<sup>5</sup>や Zipcar<sup>6</sup>、Autolib<sup>7</sup>など、フリーフロート型のサービスを展開している [4]。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り、日本もそのうちの 1 か国である。

ステーションベース型には、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。国内の場合は、パーク 24 によるタイムズカープラス<sup>8</sup>やオリックス自動車の ORIX CarShare<sup>9</sup>など、事業者の運営によるサービスが始まっているものの、法律規制により、国内ではラウンドトリップ方式が主流である。しかし、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 [5]。ワンウェイ方式は、フリーフロート型と同様、貸出場所と異なった場所に乗り捨てることが可能であるため、利用者の行動に柔軟に対応できると考えられる。安江ら [6] 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。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。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。

---

<sup>5</sup><https://www.car2go.com>

<sup>6</sup><http://www.zipcar.com>

<sup>7</sup><https://www.autolib.eu/en/>

<sup>8</sup><https://plus.timescar.jp>

<sup>9</sup><https://www.orix-carshare.com>

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するために、再配車（フェリー）を行う研究がある [7][8][9]。しかし実際にフェリーを行う場合、運営会社を実施するとコストがかかってしまう。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 [10][11]。サービス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。特に最近では、国土交通省が、手軽な移動向けのコンパクトな1~2人程度乗り車両（超小型モビリティ）の導入・普及を目指している [12]。トヨタや日産ではすでに1人乗りの車両が開発されているため、今後これらが利用されればサービス利用者に分割乗車や相乗乗車を依頼する手法が適応できなくなる可能性がある [13]。

## 1.2 研究の目的と提案手法

本研究では、ワンウェイ方式カーシェアリングサービスにおける車両偏在問題を解決し、利用者の予約受諾率を向上させることを目的に、潜在的利用者に車両の利用を促すことで車両を必要な場所に移動する手法を提案する。本手法では、利用者に予約（要求トリップ）に加えて、未予約の潜在的利用者に対する依頼（依頼トリップ）を導入する。依頼トリップの実現には (1) 最小の依頼で車両偏在問題に対する最大の効果（トリップ成立数の最大化）を得るための依頼トリップ区間の導出手法と、(2) その依頼トリップを受諾する可能性の高いユーザの抽出という2つの大きな課題を解決する必要がある。本研究では、(1) については、シミュレーションにより仮想的なワンウェイ方式カーシェアリングサービスを構築し、車両の適切な移動方法について検討する。(2) については、実際のワンウェイ方式カーシェアリングサービス事業者から得られる実データを分析し、実利用者の行動特徴を明らかにするとともに、その結果に基づいて依頼戦略を検討する。

本手法を実現するためには、上記に述べた、A) 車両の適切な移動方法の提案、B) 実利用者の行動分析、C) 潜在的利用者への依頼戦略検討 (潜在的利用者の行動変容) の3つの課題を解決する必要がある。

まず、A) を解決するために、要求トリップ数の成立を最大化する、依頼トリッ

プの決定問題の定式化と、その解法を考案するためのシミュレーションを実施する。提案手法では、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定し、依頼する。ここで潜在的利用者とは、車両偏りの発生が考えられるある時間帯に、車両を利用したいと考えられるカーシェアリングサービスの会員である。カーシェアリングサービスの多くは会員制であるため、各利用者の利用情報が蓄積されている。また、会員制であるということは会員のみしか利用できないことから、依頼トリップを受諾する潜在的利用者は会員、すなわち要求トリップを予約できる利用者でもある。

次に、B) を解決するために、東京都内で行われているワンウェイ方式カーシェアリングの実証実験のデータを利用者ごとに分け、利用パターンと利用時間にもとづきクラスタリングを行う。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からどのようにサービスを利用しているのかのことである。

さらに、C) を解決するために、各クラスタに属する利用者たちの特徴から、それぞれの依頼方法を検討する。

### 1.3 得られた結果

まず、A) に関して、奈良先端大学および周辺の駅を含む6拠点における30分スロットでの予約を想定したシミュレーション実験を行い、提案手法の有効性を調べる実験を行った。結果、潜在的利用者が引き受ける割合(依頼トリップの受諾率)の変化による要求トリップ数の成立数に関して、受諾率が40-60%の時に、要求トリップの成立数の増加が最大になることがわかった。

次に、B) に関して、サービス事業者から得られたワンウェイカーシェアリングの実証実験データを分析したところ、利用パターンに着目した場合は5つ、利用時間に着目した場合は4つのクラスタに分けることができ、各クラスタの特徴からクラスタにあてはまる利用者の利用パターン(通勤、買い物、その他など)を推定できることが分かった。最後にC) に関して、B) の結果から様々なステーションに分散して利用する人々とあるステーションを中心に様々なステーションを利用する人々が依頼トリップをより受諾する可能性が高い潜在的利用者であることの示唆が得られた。

## 2. 関連研究

本章では、すでに実施されているサービスに関して述べ、本研究に関連の深い既存研究として、偏りの予測に関する研究、配車しない研究、運営会社による配車の研究、ユーザ協力による配車の研究、それぞれ関連研究を提示し、提案手法との関連性ならびに違いについて説明する。

### 2.1 配車しない研究

溝上ら [14] 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 [15] 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ないといった条件を与えている。

### 2.2 運営会社による配車の研究

Barth ら [7] 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。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  $3 \pm 6$  台だが、再配車を最小限に抑えるには 100 トリップあたり  $18 \pm 4$  台必要であるという結果が示された。日本では、車両以上の駐車場数を確保しなければならないため、再配車の数を抑えるのは難しいと考える。

さらに、上田ら [9] 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 ユーザ協力による配車の研究

Barth ら [10] 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。しかし、相乗り乗車は分割乗車の半分しか効果がなかったとも示されたため、目的地で空き駐車場がないときの対策には検討が必要だと考えられる。また、Uesugi ら [11] 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。しかし、利用者に相乗乗車または分割乗車の協力という手法では、その利用者の出発ステーションと目的ステーションのみしか対応できないと考えられる。

そこで本研究では、あらかじめカーシェアリングサービスの利用予定のある人ではなく、予定のない人に協力してもらう、利用者ベースの手法を考える。

### 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、フェリーを利用者に協力してもらう方法をもとに、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。

#### 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となってしまう。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。



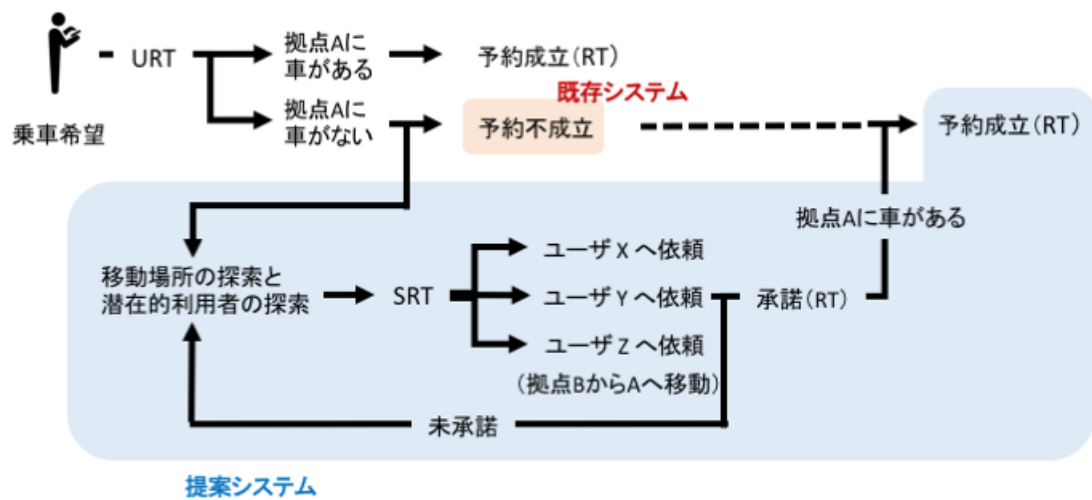


図 1 提案手法のフロー

- A) 車両の適切な移動方法の提案
- B) 潜在的利用者の行動推定
- C) 潜在的利用者への依頼戦略検討

### 3.2 要求トリップ (URT) の定義

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) の定義

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1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

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ために、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おこなう。

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.

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

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

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掛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. ケーススタディによる評価

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。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 ケーススタディの条件設定

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2に示す。Google マップ<sup>10</sup>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。本アルゴリズムでは全通りの組合せを考え、それぞれの組合せに一筆書きルートになるよう依頼トリップを追加する。追加した依頼トリップ件数が、導入できる最大依頼トリップ件数を上回ればその組合せは成立しない組合せと考える。これを全ての組合せで行い、1組でも成立すれば、ルートは成立するとみなす。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、依頼トリップにかかるコスト  $cost(v)$  を0とする。

---

<sup>10</sup><https://www.google.co.jp/maps>



図 2 想定する各拠点

## 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 1 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 2 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

表 1 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

と考えられるため、更なる検討が必要である。

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。

さらに，本シミュレーションの設定では現実サービスと違う点が2つある．1つ目は要求トリップが前日までに全て決まっているという設定だが，現実のカーシェアリングは利用開始予定時刻の一定時間前に予約が決まることである．2つ目は，本シミュレーションでは依頼した潜在的利用者は必ず協力するのだが，現実では必ずしも協力してくれるとは限らないことである．この2点に関しても考慮する必要があると考えられる．

表 2 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

## 5. シミュレーションによる評価

4章において，利用者が依頼トリップをすべて受け入れるものとして評価を実施した．また，要求トリップは事前にすべてわかっていることを前提に，シミュレーションを実施した．しかしながら，その状況は現実的ではなく，依頼トリップを断られることもあり，また要求トリップは直前に追加や削除，変更されることが考えられる．本章では，より現実近づけるために，これらのことを考慮に入れたシミュレーションを行い，提案手法の効果を検討する．

### 5.1 シミュレーション目的

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，この時，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．

### 5.2 条件設定

シミュレーションの条件は以下の通りである．

- 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か所
- 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：0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0

本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台によるカーシェアリングサービスを想定している。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分以内とみなしている。また、利用者には30分単位で予約してもらうものとし、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、依頼トリップの受諾率は、0.2~1.0とする。

### 5.3 シミュレーション手法

4章でのシミュレーションでは、総当たりでルートを考えたため、車台数や要求トリップ件数の値を大きくすると膨大な計算時間を必要とした。しかしながら、この手法は計算時間の観点および実運用の観点から非現実的である。総当たり手法を採用した場合、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てその最適解を考えるというシミュレーションは、予約が一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。例えば、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。

## 5.4 評価結果

5.2 節で設定した条件のもと、100 回実施した。結果は表 3 に示す。ここでは、潜在的利用者の受諾率に着目し、受諾率の変化による成立要求トリップ数または依頼トリップ数の変化を確認する。受諾率が 0 であれば、依頼トリップに全く協力しない潜在的利用者であり、受諾率が 1 であれば依頼トリップに常に協力する潜在的利用者である。

まず、受諾された要求トリップ件数を確認すると、潜在的利用者の受諾率増加とともに受諾された要求トリップ件数は大きくなる。例えば、受諾率が 0 のとき、受諾された要求トリップ件数は 15.09 件だが、受諾率 0.4 であれば受諾された要求トリップ件数は 20.32 件となる。つまり潜在利用者 5 人のうち 2 人が協力してくれれば、本来車に乗れなかった 5 人が乗れるようになるのである。同様に、受諾された依頼トリップ件数や依頼トリップ受諾割合 0 のときの要求トリップ件数との差も、潜在的利用者の受諾率増加とともに大きくなる。しかし、依頼トリップ 1 件に対する要求トリップ増加件数は受諾率 40% と 60% 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わかった。また、潜在的利用者が依頼トリップを受諾した割合は、受諾率とそれほど差はなかった。

表 3 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

潜在的利用者の依頼トリップ受諾割合	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
要求トリップ総数に対する受諾された要求トリップ件数	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
要求トリップ総数に対する受諾された依頼トリップ件数	—	0.13	0.20	0.24	0.27	0.30
依頼トリップ受諾割合 0 のときの要求トリップ件数との差	—	2.57	5.23	7.55	9.18	11.1
依頼トリップ 1 件に対する要求トリップ増加件数	—	0.85	1.01	1.01	0.98	0.97
実際の依頼トリップの受諾割合	—	0.20	0.41	0.63	0.79	1.00
依頼トリップを発行した件数	—	13.67	12.96	12.28	11.99	11.57

## 6. 依頼トリップ受諾の戦略検討

本提案手法では依頼トリップ (SRT) の承諾が必要だが、いつ誰に依頼すればよいか分かっていない。しかし、カーシェアリングサービスは会員制であることから、URT を希望する人々と SRT を受諾する人々は同じ人々と考えられる。そこで、SRT の受諾されやすい特徴を検討するため、東京で行なわれているカーシェアリング実証実験のデータを用いて、URT を希望する人々のサービス利用パターンを分析する。

### 6.1 分析目的

本提案手法では依頼トリップ (SRT) の承諾が必要だが、“いつ” “どんな人” に依頼すればよいか分かっていないため、これらを検討する必要がある。また、多くのカーシェアリングサービスは会員制サービスであることから、SRT の被依頼者はサービスを利用している会員の中から選ばれることを想定している。そこで、実際にカーシェアリングサービスを利用している人々のデータを用いて、カーシェアリングの利用時間帯や利用パターンを示す。これを明らかにすれば、SRT の受諾されやすい特徴を検討することができる。

### 6.2 分析対象

パーク 2 4 株式会社の乗り捨てカーシェアリングサービス、Times Car Plus × Ha:mo [16] の運用データを用いる。Times Car Plus × Ha:mo は 1 人乗り電気自動車 (EV) を利用して東京都内約 100 か所で乗り捨て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

表 4 利用パターンに関する要素と定義

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

集することができる。本研究では、サービス利用者のうち 130 人分の 3ヶ月間利用データ 2406 件を分析対象とする。

### 6.3 分析方法

利用者のカーシェアリングサービスの利用には、利用パターンや時間に依存していると考え、場所に関係する要素を用いた場合と時間に関係する要素を用いた場合でそれぞれクラスタリングを実施する。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からどのようにサービスを利用しているのかのことである。それぞれの要素は表 4, 5 で示す。乗り方のパターンに関しては、ステーションやルートに着目する。

また、時間に関する要素は時間帯と曜日に着目した要素を選択する。各時間帯の区切りは、本サービスの拠点駅は駅の近くにあるものが多いことから電車の利用時間と関係しているのではないかと考えた。JR 西日本では、一部地域で平日の 10 時から 17 時まで割引される切符があり [17]、それをもとに設定した。クラスタリングにはデータマイニングツール weka<sup>11</sup>を使用する。これはデータの前処理や視覚化のための機能を持つ統合型ツールである。また、k-means 法を用いてク

<sup>11</sup><https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>

表 5 時間帯に関する要素と定義

要素	定義
log_cnt_rt	利用件数 (log)
per_morning	朝の利用割合 (6-10 時)
per_afternoon	昼の利用割合 (10-17 時)
per_evening	夕方の利用割合 (17-0 時)
per_midnight	夜中の利用割合 (0-6 時)
per_weekdays	平日の利用割合
per_weekend	休日の利用割合

ラスリングを行なう。

## 6.4 分析結果

本節にはクラスタリング結果を示す。利用パターンに着目した場合のクラスタ結果と利用時間に着目した場合のクラスタ結果をそれぞれ示す。なお、 $k$  の値は目視で適切であると確認した値を利用し、利用パターンに着目した場合には  $k = 5$ 、利用時間に着目した場合には  $k = 4$  とする。

### 6.4.1 利用パターンに着目した場合

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6に示し、全対象データや他クラスタの平均値と比較しながら、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 利用の人が多いことがわかる。そこでクラスタ A を常連利用と名付ける。

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

表 6 利用パターンに注目したクラスタごとの平均値

	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

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わかる。そこで、クラスタ B を 2way 利用と名付ける。

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わかる。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。

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わかる。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わかる。クラスタ D にあてはまる利用者の利用パターンを図 3 に示す。この利用者の場合、利用したことのあるルートは全てステーション 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わかる。こうした利用頻度の高

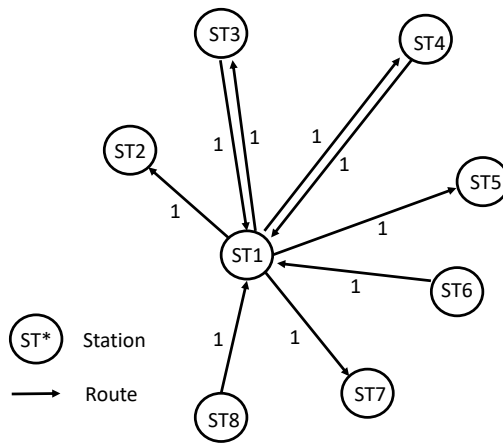


図 3 利用ステーションの一例

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。

クラスタ E では、一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 つのルートを集散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。

#### 6.4.2 利用時間帯に着目した場合

対象データを時間に関する 7 つの要素ごとに平均を求めたあと、4 つのクラスタに分け、各クラスタで要素ごとの平均値と比較した。それぞれの平均値を表 7 に示す。

クラスタ P は朝の利用が平均より 22% 高い。また、朝の利用割合 `per_morning` と夕方利用割合 `per_evening` の全対象データ平均値は 23% も差があるのに比べ、クラスタ P の `per_morning` と `per_evening` の差は 7% であるため、朝と夕に比べて

表 7 利用時間帯に着目したクラスタの平均値

	All Data (130 人)	クラスタ P (39 人)	クラスタ Q (40 人)	クラスタ R (14 人)	クラスタ S (37 人)
log_cnt_rt	2.64	3.27	2.43	2.45	2.28
per_morning	0.2	0.44	0.07	0.08	0.12
per_afternoon	0.27	0.12	0.14	0.13	0.63
per_evening	0.43	0.37	0.74	0.27	0.22
per_midnight	0.08	0.04	0.03	0.51	0.01
per_weekdays	0.88	0.92	0.91	0.86	0.82
per_weekend	0.11	0.07	0.08	0.14	0.17

いる利用者が多いクラスタと考えられる。また、4 クラスタの中で最も平日利用が高い。よって、クラスタ P を平日の朝夕利用と名付ける。

クラスタ Q は夕方に利用する人が全対象データの平均よりも 31% 高い。またクラスタ Q の per\_weekdays は per\_weekdays の最大値である 92% と 1% しか差がないため、クラスタ Q の人々も平日によく利用され则认为られる。よってクラスタ Q を平日の夕方利用と名付ける。

クラスタ R は夜中に利用している人が全対象データの平均よりも 43% 高いことが特徴的である。よってクラスタ R を夜中利用と名付ける。

クラスタ S では、per\_afternoon が 36% も高い。また週末の利用割合はクラスタ S が一番高い。このことから、クラスタ S を休日の昼利用と名付ける。

以上のことから、表 8 に、利用パターンに着目したときのクラスタ A～E、利用時間帯に着目したときのクラスタ P～S の特徴をまとめる。

## 6.5 戦略検討

6.4 節において、場所と時間に基づいて利用者のクラスタリングを行った。その結果、場所については 5 クラスタ、時間については 4 クラスタに分類できた。本節では、より受諾されやすい潜在的利用者を選別することを目的に、各クラスタに属する利用者たちの特徴から、それぞれの依頼方法を検討する。



表 8 クラスタの説明

クラスタ	説明
クラスタ A	常連利用
クラスタ B	2way 利用
クラスタ C	分散利用
クラスタ D	局所利用
クラスタ E	1 ルート中心利用
クラスタ P	平日の朝夕利用
クラスタ Q	平日の夕利用
クラスタ R	夜中利用
クラスタ S	週末の昼利用

#### 6.5.1 利用パターンにもとづく依頼戦略

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 SRT 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 SRT 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、SRT 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、SRT 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、SRT を受諾しやすいと考えられる。

これらのことから、SRT を依頼すべき利用者は、クラスタ C や D に分類される利用者と考えられる。彼らは、利用ステーションが分散している。

表 9 全クラスタ組み合わせごとの利用者人数

	Cluster A	Cluster B	Cluster C	Cluster D	Cluster E	Total
Cluster P	13	0	10	5	11	39
Cluster Q	4	5	8	16	7	40
Cluster R	0	1	3	6	4	14
Cluster S	2	9	6	16	4	37
Total	19	15	27	43	26	130

### 6.5.2 利用時間帯にもとづく依頼戦略

クラスタ P は、平日の朝夕に利用するクラスタである。この人々は平日の朝夕、特に朝に SRT を受諾してくれる人と考えられる。また、このクラスタの人々は昼に利用する割合が最も低いため、昼の SRT は避けるほうがよいと考える。クラスタ Q は、平日の夕方に利用するクラスタである。平日の夕方に SRT を依頼するのであればクラスタ Q の人々が適切である。クラスタ R は、夜中に利用するクラスタである。また平日/休日利用の割合はもっとも平均に近いいため、曜日に限らず夜中利用にはクラスタ R が適切だと考えられる。クラスタ S は休日の昼に利用するクラスタである。SRT の依頼はその時間がよいと考えられる。また、夕方や夜中の利用割合が最も小さいため、夕方や夜中の SRT の依頼は避けるほうがよい。これらのことから、SRT の依頼は各クラスタの利用者の利用時間帯に合わせるのがよいと考えられる。

### 6.5.3 利用パターンと利用時間帯に基づく依頼戦略

利用パターンに基づく 5 つのクラスタと利用時間帯に基づく 4 つのクラスタを合わせて、130 人を 20 箇所にあてはめた。これを表 9 に示す。このように、利用時間帯と利用パターンを組み合わせることで、具体的なユーザモデルが想像できる。

例えば、クラスタ A の 19 人のうち、13 人がクラスタ P にあてはまっている。これは、利用回数の多い人々が朝と夕に利用しているため、通勤に利用している顧客を表していると考えられる。クラスタ B のうち 3 分の 2 はクラスタ S にあてはまっている。休日の昼に 2way で利用している (出発地と到着地を行き来してい

る)ことから、休日の買い物などで往復利用しているのだろう。また、休日の昼に利用しているクラスタ S の 37 人のうち、16 人がクラスタ D にあてはまる。休日の昼に特定のステーションを中心にいろいろなところへ利用しているため、自宅近くのステーションを中心に様々な場所へ遊びに行っているなどが考えられる。夜中に利用しているクラスタ R の 14 人のうち、局所利用のクラスタ D に 6 人があてはまる。これは、終電の時間までに仕事や外出していた人が自宅に帰る状況が考えられる。

こうした具体的なユーザモデルが想像できることにより、SRT の依頼承諾も具体的に考えることができるため、精度が高くなると考えられる。

#### 6.5.4 運営会社へのインタビュー

上記のように検討した戦略に関して、私たちは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した。その結果、クラスタ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。このことから、我々のクラスタリング結果は定性的ではあるが妥当であると考えられる。

また、以下のようなコメントが得られた。

- クラスタ 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 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。

このことから、依頼トリップをより受諾してくれる人はクラスタ C とクラスタ D の人々であるという我々が検討した SRT 戦略は適切だと考えられる。

## 7. 結論

本研究では、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、より多くの利用者がサービスを利用できるようにすることを目的とし、再配車（フェリー）を利用者に協力してもらう方法をもとに、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ようなワンウェイ方式カーシェアリング手法を提案した。

依頼トリップには、システムからの提案と潜在的利用者による受諾が必要であり、前者に対して、最小の依頼数で車両偏在問題に対する最大の効果（トリップ成立数の最大化）を得るための適切な移動方法の提案を、後者に対して、潜在的利用者の行動推定にあてはまる特徴検出や、潜在的利用者により受諾されやすい依頼戦略の検討を行った。

適切な移動方法を考えるために、定式化とアルゴリズムの考案を行い、シミュレーションにより評価した。トリップ成立数の最大化に大きく関わる依頼トリップを、潜在的利用者が受諾する割合に着目すると、受諾率 40%と 60%の場合に最も大きな効果が得られることがわかった。

また、依頼トリップの提案先の潜在的利用者の特徴を知り「行動変容」を促すことを目的に、東京都内の実証実験データをもとに、カーシェアリングサービス利用者を分析し、利用パターン別に 5 つ、利用時間帯別に 4 つのクラスタへの分割結果を得た。潜在的利用者のあてはまるクラスタの特徴から、潜在的利用者の行動推定を行った。

この結果をもとに依頼戦略を検討したところ、様々なステーションを利用する人々とあるステーションを中心に様々なステーションを利用する人々が依頼トリップをより受諾する潜在的利用者であることが示唆された。

今後は、東京都内の実証実験データを用いてシミュレーションを行うことで、より現実に近い結果が得られると考えられる。また、シミュレーションでの依頼トリップの発行を依頼戦略にもとづいて行うことで、どのくらいトリップ成立数最大化につながるのかを検討する。なお、最近では自動運転によるカーシェアリングが新たな交通サービスとして提案されいるようだが [18]、本研究の依頼トリップの検討は、自動運転による適切な車両移動の検討につながると考えられる。ま

た，潜在的利用者の選択は過去のカーシェアリングサービスの利用情報をもとに考える必要がある．たとえばサービス利用予約時に使用するスマートフォンアプリケーションに位置情報を取得する機能を加えることで，潜在的利用者の行動パターンや行動範囲がわかるため，それらをもとに依頼トリップを発行するなどの戦略が考えられる．本学内では，学内者に向けて i-MiEV を用いたカーシェアリングサービスを開始している [19][20]．現在は開始したばかりで会員数は少ないが，今後カーシェアリングサービスを利用する会員から定期的に位置情報を取得することで，上記で述べた情報が取得できるようになり，より効果的な依頼トリップの提案が可能になることが期待される．

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、安本慶一 教授には的確なご指導をいただきました。また、研究活動において未熟な私に温かい言葉かけてくださったことや初めての学会発表や原稿執筆にあたり初歩的なことから教えていただいたこと、心より感謝申し上げます。

松本健一 教授には、ご多忙にもかかわらず論文審査員を引き受けてくださり、心から感謝申し上げます。

荒川豊 准教授には、熱くご指導を賜りましたこと、心より感謝申し上げます。

最近では、アメリカに行かれ時差もあるなか、ご助言いただきましたこと、重ねて感謝申し上げます。

諏訪博彦 助教には、研究方針の相談にのっていただいたり丁寧なご指導をいただきました。特に、パーク24から提供していただいたデータの分析においては先生からのご助言いただけたことで、様々な視点から見ることができました。心より感謝申し上げます。

藤本まなと 助教には、研究の息抜きや気分転換を一緒にしてくださりました。謹んで感謝申し上げます。

水本旭洋 特任助教には、学会発表や修士論文の執筆にあたり細かなところまで丁寧にご指導いただきました。熱く感謝申し上げます。

岡岡恵 事務補佐員、山内奈緒 事務補佐員、尾川恵理 事務補佐員には、研究会や出張の手続きだけでなく、日常生活での相談など聞いてくださり、研究生活を支えていただきました。謹んで感謝申し上げます。

株式会社パーク24のみなさまには、データを提供していただき心から感謝申し上げます。また、運営側の声を実際に聞くことができ、カーシェアリングサービスに対しての視野が広がり、理解が深まりました。重ねてお礼申し上げます。

本学ユビキタスコンピューティング研究室に配属当初よりお世話になりました先輩方、共に励ましあった同輩、慕ってくれた後輩に心から感謝申し上げます。特に同輩が研究だけでなく課外活動や共同研究などそれぞれに頑張る姿に励まされました。ありがとうございました。最後に、本学ユビキタスコンピューティング研究室ならびに近隣の研究室の皆様にお礼申し上げます。

## 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, 第34巻, pp. 199–207. 総務省, 2015.
- [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. In *Traffi-Cation*, 第34巻, pp. 2–7. 公益財団法人日本自動車教育振興財, 2013.
- [3] 交通エコロジー・モビリティ財団. カーシェアリングによる環境負荷低減効果及び普及方策検討報告書, 2006. [http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr1\\_000043.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000043.html). (最終閲覧日 2017 年 12 月 20 日).
- [4] 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, Mar. 2015.
- [5] 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. [http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha03\\_hh\\_000176.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha03_hh_000176.html). (最終閲覧日 2018 年 1 月 10 日).
- [6] 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. I.761–I.770, 2013.
- [7] Matthew Barth and Michael Todd. 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.
- [8] Burak Boyacı, Konstantinos G Zografos, and Nikolas Geroliminis. 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.

- [9] 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, Feb. 2017.
- [10] Matthew J. Barth, Michael Todd, and Lei Xue. User-based vehicle relocation techniques for multiple-station shared-use vehicle systems. 2003.
- [11] Kentaro Uesugi, Naoto Mukai, and Toyohide Watanabe. Optimization of vehicle assignment for car sharing system. Vol. 4693, p. 1105–1111, 2007.
- [12] 国土交通省. 超小型モビリティについて. [http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr1\\_000043.html](http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000043.html). (最終閲覧日 2017 年 12 月 20 日).
- [13] 公益財団法人日本自動車教育振興財. 超小型モビリティの動向と普及に向けた課題. In *Traffi-Cation*, 第 44 巻, pp. 2–6. 公益財団法人日本自動車教育振興財, 2017.
- [14] 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. I-805–I-816, Dec. 2015.
- [15] 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.
- [16] パーク 2 4 株式会社. Times Car Plus × Ha:mo. <https://plus.timescar.jp/tcph/>. (最終閲覧日 2017 年 12 月 20 日).
- [17] JR 西日本. 昼間得割きっぷ. <http://tickets.jr-odekake.net/shohindb/view/consumer/tokutoku/detail.html?shnId=117000738>. (最終閲覧日 2018 年 1 月 10 日).
- [18] 真之山本, 大介梶, 佑哉服部, 俊行山本, 正樹玉田, 洋平藤垣. 自動運転シェアカーに関する将来需要予測とシミュレーション分析 (特集自動運転を支える技術) – (システム技術). *Denso technical review*, Vol. 21, pp. 37–41, 2016.



- [19] Yutaka Arakawa, Keiichi Yasumoto, Kenichi Matsumoto, Hideaki Hata, Hirohiko Suwa, Akinori Ihara, and Manato Fujimoto. Project is<sup>^</sup> 3: Incentive-based intelligent intervention for smart and sustainable society. In *Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI), 2016 5th IIAI International Congress on*, pp. 215–218. IEEE, 2016.
- [20] Yutaka Arakawa. Empirical research on human behavior change and digital intervention through maintaining one-way car-sharing. *International Journal of Service and Knowledge Management*, Vol. 1, No. 1, pp. 31–42, 2017.