

# ユーザの快適度と乗合率を考慮した フルデマンド型公共交通向け配車最適化方法の検討

若園裕太<sup>1,a)</sup> 白石陽<sup>1,b)</sup>

**概要**：近年、都市部への人口集中が深刻化しており、渋滞による経済損失や環境汚染などが危惧されている。渋滞解決のアプローチとして、フルデマンド型公共交通が挙げられる。現在、普及しているフルデマンド型公共交通の問題として、事前予約が必要であり、利便性に欠けるものが多い。この問題を解決したフルデマンド型公共交通の一つに、SAVS (Smart Access Vehicle Service) がある。しかし、さらなる問題として SAVS は、将来需要を考慮した配車を行っていない。SAVS は各デマンド発生時に移動コストが最も低くなる車両を配車しており、新たにデマンドが発生した際に、乗合を行うための迂回路を走行することになる。結果として、乗合が発生しづらくなり、運行コスト増加やデマンド受率の減少に繋がることが考えられる。そこで、本研究では将来需要を考慮した迂回路を生成し、乗合率が向上する経路生成を行う。また、連続的に乗合が起こることで、ユーザの目的地到着時刻がユーザの指定した締切時刻間際になってしまうことが考えられる。そのため、ユーザに間に合わない不安感を与え、快適なサービスを提供できない可能性がある。そこで、ユーザの乗車時間増加の抑制についても検討を行う。

**キーワード**：公共交通、デマンド型交通、配車最適化、交通シミュレーション

## 1. はじめに

現在、世界では都市部への人口増加が進んでいる[1]。日本も同様に東京、名古屋、大阪の3都市で総人口に対する人口割合が増加傾向にある[2]。また、国土交通省は、日本全国の渋滞による経済損失が年間で約12兆円にも上ることを示している[3]。これらのことから、都市部での渋滞緩和は重要な課題であると考えられる。

渋滞を緩和するために、都市全体の交通量を減少させることが効果的である。そのアプローチとしてデマンド型交通の利用が期待される。デマンド型交通とは、他ユーザとの乗合を前提に、ユーザが送信する配車リクエスト(以下、デマンド)に応じて車両を配車する公共交通である[4]。自家用車を利用している人々が乗合車両を利用して移動することで、都市全体の交通量の減少が期待できる。デマンド型交通の一つであるフルデマンド方式は、運行経路や停留所、運行ダイヤが決まっていない[5]。都市部では、人口が多く様々なニーズが発生するため、フルデマンド方式は最適な運行方式であると考えられる。そのため本研究では、デマンド型交通のフルデマンド方式(以下、フルデマンド型公共交通)を用いる。

本研究ではフルデマンド型公共交通の一例として、SAVS (Smart Access Vehicle Service) [5], [6]に注目する。SAVSとは、ユーザがリアルタイムに送信するデマンドに応じて車両を全自動で配車するシステムである。SAVSは、各デマ

ンドが発生した時刻に移動コストが最も小さくなるよう配車を行っている。そのため、乗合するデマンドが挿入された場合に、ユーザを乗車させるために経路が変更され、結果として迂回をしてしまい、非効率な運行になることが考えられる。そのため、対応できるデマンド数に限度ができてしまうことや、運行コストが増加する可能性が考えられる。そこで、将来需要を考慮した運行ができれば、新たなデマンドが発生した場合に乗合までの移動コストを低減することができる。よって、より効率の良い運行を可能にし、乗合率やデマンド受率の向上を図ることができる。

現在、日本では都市部や過疎地域でのフルデマンド型公共交通導入に向けて様々な研究が行われている[6], [7], [8], [9], [10]。日本国外でもフルデマンド型公共交通に類似して、相乗りに向けたタクシーに関する研究が盛んに行われている[11], [12], [13]。文献[7], [12]では、将来需要を考慮した乗合タクシーの走行経路最適化に関する研究を行い、ユーザの移動時間や待ち時間、デマンド受率の増加を実現している。このことからSAVSにおいても、将来需要を考慮した迂回路を生成することは重要であるといえる。よって本研究では、フルデマンド型公共交通における将来需要を考慮した経路生成アルゴリズムの検討を行う。また、将来需要を考慮した経路生成を行う場合、既存の手法[7], [12]ではシステム側で定義した締切時刻を満たす範囲で将来需要を考慮した迂回路を生成している。そのため、各ユーザの乗車時間が最短経路走行時に比べ増加し、ユーザは快適にフ

1 公立はこだて未来大学システム情報科学部  
School of Systems Information Science, Future University Hakodate.  
a) b1017225@fun.ac.jp  
b) siraisi@fun.ac.jp

ルデマンド型公共交通を利用することができない可能性があると考えられる。よって本研究では、ユーザの乗車時間増加を抑制する方法についての検討を行う。乗車時間増加の抑制のための方法として、経路生成を行う際にユーザの指定した降車縮切時刻よりも前に別の縮切時刻を設けることでユーザの乗車時間増加の抑制を行う。

本研究では、将来需要とユーザの乗車時間増加を考慮した経路生成を行う。将来需要を考慮するために、SAVSのユーザと配車車両からログデータを収集する。収集したログデータから各エッジに重み付けを行い、経路生成の際に走行時間と重みの優先度から経路生成を行うことで、将来需要を考慮した経路生成を行う。

## 2. 関連研究

本章では、デマンド型交通の運航方式に関する分類とフルデマンド型公共交通に関する研究事例、配車スケジューリングに関する研究、将来需要を考慮した迂回路の生成に関する研究について述べる。

### 2.1 デマンド交通の分類とフルデマンド型公共交通の研究事例

デマンド型交通は運行の柔軟性から、定路線方式、迂回路方式、フレックスルート方式、フルデマンド方式の4つの方式に分けられる。これら4つから、目的や地域に合わせた方式のデマンド型交通が導入されている。1つめの定路線方式は走行経路、停留所ともに決まっている定路線バスに近い運行方式である。2つめの迂回路方式は走行経路、停留所ともに決まっており、さらに事前にデマンドがあった場合には走行経路を延長する運行方式である。3つめのフレックスルート方式は停留所のみ決まっており、デマンドに応じて自由に経路を走行する運行方式である。4つめのフルデマンド方式は走行経路、停留所ともに決まっておらず、タクシーほどの自由度を持った運行方式である。

本研究で注目するフルデマンド方式は、コンビニクル[14]やSAVS[4], [5], [6]などを筆頭に、各地域への導入や実証実験が行われている。また、都市部での将来需要を考慮した経路生成を行う研究[7], [12], [13]や、配車決定の探索時間を短縮化した研究[11]が行われている。さらに、過疎地域への導入に向けた配車手法の研究[8], [9], [10]なども行われており、実社会への本格的な導入に向けて研究が盛んに行われている。

### 2.2 配車スケジューリング手法に関する研究

Maら[11]は、ライドシェアにおけるタクシーの走行距離の最小化を目的とし、タクシーの走行距離の削減を実現している。この手法では、運行するマップをグリッドごとに

分割し、デマンド送信者と同じセルに存在する車両から最適な車両を探索することで配車計算の時間増加を抑制した配車スケジューリングを行っている。そのため、運行効率の良い車両を探索することができず、乗合率が低下し運行コストが増加する可能性が考えられる。

SAVSは、逐次最適挿入法というアルゴリズムに基づいて適切な車両を選択し配車を行っている。逐次最適挿入法とは、デマンドへの処理を即時ベースで行い、移動コストの低い車両を配車するアルゴリズムである[6]（詳しくは3.3.1節で説明する）。SAVSにおけるデマンドでは、ユーザは乗車地点、降車地点、乗車人数に加え、何時までに到着したいかという降車縮切時刻を入力したものからなる。SAVSの逐次最適挿入法では、デマンド発生時に、ユーザの指定した降車縮切時刻に間に合わない場合はそのデマンドを受理しない。本研究では逐次最適挿入法のアルゴリズムを元にアルゴリズムの検討を行う。現状の逐次最適挿入法では広い地域や過疎地域での運行で採算性が取れないという問題が挙げられる。そこで岩田ら[9], [10]は、広域な過疎地域でのSAVS導入に向けて、長距離のデマンドに対応する車両と近距離のデマンドに対応する車両で区別した。そして、デマンドの乗降地点間の距離に応じて配車車両を変えるアルゴリズムを考案することで、リジェクト率の減少を実現している。本研究では、都市部におけるユーザの乗合効率を促進しかつ、乗車時間の増加抑制に向けたSAVSの配車手法に関する研究を行う。

### 2.3 将来需要を考慮した経路生成に関する研究

将来需要を考慮し、経路生成を行っている研究として、架空のデマンドを発生させる研究[12]と経路に重み付けを行う研究[7]がある。Alonso-Moraら[12]は、タクシーの利用データを用いて将来需要を予測するモデルを構築している。そして、デマンドが発生した際に、将来需要の予測モデルから架空のデマンドを発生させ、実際のデマンドと架空のデマンドを繋ぐ経路生成をすることで将来需要を考慮した経路生成を行っている。全ての乗降地点をつなぐ経路は最短で走行できる経路である。この手法では、実際のデマンドと架空のデマンドを同等のデマンドとして扱い、経路を生成している。そのため、架空のデマンドが発生しなかった場合、ユーザの時間や運用者の利益損失に繋がる可能性がある。大社らは、実在するユーザに対して割り当て最適化を行い、将来デマンドが発生しやすい経路を通る迂回路を生成している[7]。この手法では、将来需要を考慮する際にシステム側で定義した一律の降車縮切時刻を限度として、将来需要量が最大となるような経路生成を行っている。降車縮切時刻を限度として経路生成を行う場合、ユーザの乗車時間が最短経路走行時に比べ増加する。そのため、ユー

が快適なサービスを提供することができない可能性や、経路が混雑した場合に降車締切時刻に間に合わない可能性があると考えられる。ユーザに不安感を与えず、安心してサービスを利用できるようにする必要がある。

### 3. 提案手法

本章では、まず3.1節で本研究の目的を述べ、3.2節では研究課題とアプローチについて述べる。3.3節では拡張した逐次最適挿入法について述べ、3.4節ではエッジへの重み付けの流れについて述べる。

#### 3.1 研究目的

本研究の目的は、フルデマンド型公共交通において、ユーザの乗車時間増加の抑制を行いながら、乗合率向上に向けた配車を行うことである。

#### 3.2 研究課題とアプローチ

本研究では、以下の3つを研究課題とする。

- a) 将来需要を考慮した経路生成手法の検討
- b) 乗車時間増加を抑制する方法の検討
- c) 将来需要データの収集方法の検討

研究課題に対するアプローチを以下に述べる。

課題 a) に対するアプローチとして、将来需要を考慮した乗合の起こりやすい迂回路を通る経路生成を行う。各デマンドの乗降地点を最短経路で走行した場合、新たなデマンドが発生し乗合をする際に、新たなデマンドの乗車地点に対応する経路を走行することで結果的に迂回をすることになってしまう。そこで、事前に将来需要を考慮した迂回路を走行しておけば、新たなデマンドが発生した場合にすぐ乗合を起こすことが可能になり、結果として同デマンドを処理した場合の走行経路の短縮化をすることが可能になる。

課題 b) に対するアプローチとして、ユーザが指定した降車締切時刻よりも短い降車締切時刻をシステム側で再定義することを検討している。降車締切時刻の再定義は常に行うのではなく、将来需要を考慮した迂回路を通る場合の走行時間が最短経路走行時に比べ大きく増加した場合に再定義を行う。各ユーザの乗車時間を最短経路走行時の乗車時間に近づけることで、ユーザを目的地到着までの時間を短縮することができる。また、渋滞に巻き込まれた場合に降車締切時刻に間に合わないケースを抑止することも可能になる。

課題 c) に対するアプローチとして、SAVS の配車車両とユーザのログデータを用いることを検討している。人々の移動について全国で調査を行っているパーソントリップ調

査というものがある[15]。この調査では、人々がどのような目的や交通手段でどこからどこへ移動したのかなどの情報を収集している。この調査結果は、環境負荷を考慮した交通施策、バスや電車などの公共交通における路線計画のための需要予測データとして使われている[16]。これらより、公共交通の運行を行う上で、地域ごとのトリップ情報を考慮することは重要であると考えられる。そのため本研究では、SAVS の配車車両から、デマンドに基づいて走行した全ての経路ログデータとユーザの乗降時刻、各エッジでの乗車人数を収集する。SAVS を用いたユーザからは、デマンドの送信時刻、降車締切時刻、希望乗車地点、希望降車地点、乗車人数のデータを収集する。また、ログデータの収集には交通シミュレータ SUMO を用いる。SUMO とは、道路交通シミュレーションのためのオープンソースである[17]。SUMO はフリーで公開されている道路ネットワークのデータベースである OpenStreetMap[18]を用いてシミュレーションを行うことが可能である。現状、SAVS は都市への大規模な導入は行われておらず実証実験を各地で行っている段階である。そのため、ログデータの収集や提案アルゴリズムの評価実験を実環境で行うことは現実的ではない。そこで、交通シミュレータ SUMO を用いて、OpenStreetMap を取り入れシミュレーションを行う。また、タクシーのオープンデータをデマンドとして用いることで現実の状況に近い環境を構築することを検討している。

#### 3.3 配車計算システム

##### 3.3.1 逐次最適挿入法による配車

本研究で取り扱うフルデマンド型公共交通 SAVS は、逐次最適挿入法により配車を行っている[6]。提案手法で用いる SAVS の配車計算システムである逐次最適挿入法による車両配車までの手順を以下に示す。

- (1) 新たにデマンドを受けた時に、そのデマンドを各車両に提示する。
- (2) 各車両は、現在保持している経由地点リストに受けたデマンドの乗降地点を任意に挿入する。全乗降地点を経由した場合のデマンド達成予定時刻を求める。この差が移動コストとなる。
- (3) 乗降地点の全てのペアの組み合わせについて移動コストを算出する。各車両は、全ての乗降地点の組み合わせの中で最も移動コストが小さいものを受け入れる候補とする。ここで、新たなデマンドが挿入されることで間に合わないデマンドが一つでも存在する場合は除外される。
- (4) 全てのペアの候補の中で、移動コストが最小になるペアを持つデマンドに対しデマンドを割り当てる。

各車両間での乗り換えやシステム側からの乗降地点の変更は行わない。また、乗車後の目的地の変更も考慮しないものとする。

### 3.3.2 逐次最適挿入法の拡張

本研究では現在の SAVS で用いられている配車計算システムである逐次最適挿入法を拡張することを検討している。現在の逐次最適挿入法では、発生したデマンドを最も低い移動コストで対応できる車両を配車している。そのため、将来需要を考慮しない手法に比べて非効率な運行になってしまう可能性が考えられる。そこで、ユーザの SAVS 使用ログデータと配車車両の走行経路ログデータを用いて各エッジに将来需要を考慮した重要度の重み付けを行う。そして、経路生成の際に乗車時間の観点と将来需要の観点から経路を生成する。

### 3.4 エッジへの重み付けの流れ

将来需要を考慮した各エッジへの重み付けの流れを以下に示す。

- (1) シミュレーションログデータの収集
- (2) シミュレーションログデータからデマンド対応中の走行エッジ情報の抽出
- (3) エッジへの重み付け

(1) として、各エッジに重み付けを行うために、既存の SAVS を用いて交通シミュレーションを行う。ログ収集の際にユーザと配車車両からデータを収集する。表 1 に、ユーザから収集するログを示す。

表 1 収集するユーザログデータの内容

データ	内容
デマンド送信時刻	SAVS ユーザがデマンドを送信する時刻
デマンド降車締切時刻	SAVS ユーザが指定するデマンドの降車締切時刻
希望乗車地点	SAVS ユーザが指定する希望乗車地点
希望降車地点	SAVS ユーザが指定する希望乗車地点
乗車人数	SAVS ユーザが指定する乗車人数

表 1 のログデータを使用すると、SAVS ユーザが何時にデマンドを送信したのか、何時までの到着を希望しているのか、乗降希望地点はどこなのか、乗車人数は何人いるのかを把握することができる。続いて、表 2 に配車車両から収集するログを示す。

表 2 収集する配車車両ログデータの内容

データ	内容
走行ルート	各車両がシミュレーション開始から終了までに走行した全てのエッジ ID
エッジ退出時刻	各車両が退出したエッジ ID の時刻
デマンド乗車時刻	各車両が対応したデマンドのユーザを車両に乗車させた時刻
デマンド降車時刻	各車両が対応したデマンドのユーザを車両から降車させた時刻

表 2 のログを使用すると、配車車両がシミュレーションを通してどのエッジをいつ走行したのか、いつユーザを乗降させたのかを把握することができる。

(2) として、(1) の方法で収集したログを用いて各デマンドの乗降地点とエッジを抽出する。デマンドの乗降地点、乗降時刻を用いて配車車両の走行ルートから切り出し、各デマンド対応のために走行した全てのエッジを抽出する。

(3) として、(2) で抽出した各デマンドの走行エッジと乗降地点を用いて各エッジに優先度の重み付けを行うことを検討している。

## 4. 予備実験および考察

本章では、フルデマンド型公共交通における将来需要を考慮した経路生成の有効性を調査するために行った小規模なシミュレーション予備実験について述べる。まず 4.1 節では、シミュレーションを行う実験環境について述べる。次に 4.2 節では、交通シミュレーションの構成について述べる。次に 4.3 節では、シミュレーション実験の結果について述べる。最後に 4.4 節では考察を述べる。

### 4.1 実験環境

シミュレーション実験を行う環境と実験条件を次項以降に示す。

#### 4.1.1 シミュレーション実験の環境

本実験では、交通シミュレータ SUMO を用い、交通シミュレーションを行った。本実験の実験環境を表 3 に示す。

表 3 実験環境

ハードウェア (PC)	
OS	Windows 10 Home 64bit
CPU	Intel(R) Core i7-10510U
RAM	16.00 GB
シミュレータツール	
SUMO	Ver.1.6.0

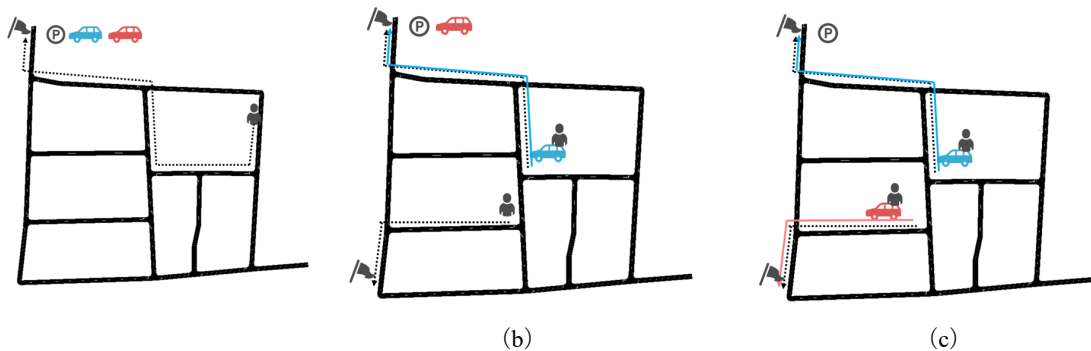


図 2 デマンドへの処理の一例

#### 4.1.2 シミュレーション実験の条件

シミュレーション実験に用いる道路ネットワークを図 1 に示す。道路ネットワークのデータには OpenStreetMap を用いてマンハッタンの道路ネットワークを一部抽出した。図 1 の左上にあるⓅは駐車場を指し、配車されていない車両は駐車場に駐車したままである。

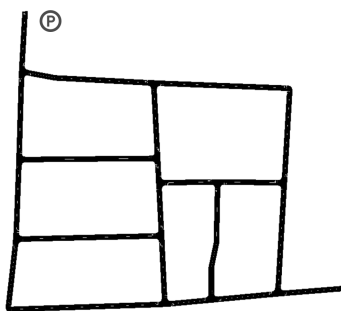


図 1 実験に用いた道路ネットワーク

次にシミュレーション実験に用いる条件を表 3 に示す。

表 4 実験条件

パラメータ	値
シミュレーション時間	500 秒
デマンド数	5 件
車両台数	2 台
最高速度	60km/h
デマンド発生時刻	範囲 [100 秒, 340 秒]
デマンドの予約人数	1 人
車両の定員	4 人

デマンドの発生条件として、100 秒から 340 秒の間で道路ネットワークからランダムに乗降地点を抽出し、5 つのデマンドを発生させる。各デマンドの降車締切時刻は一律 120 秒とする。また、各デマンドの予約人数は 1 人である。配車車両の条件として、最高速度は 60km/h であり最大乗車人数は 4 人とする。

#### 4.2 交通シミュレーションの構成

予備実験でのシミュレーションでは、逐次最適挿入法のアルゴリズムを適応するために外部プログラムと通信することのできる TraCI の機能を用いる。Python を用いて記述したプログラムから SUMO を起動し、TraCI を用いることで SUMO から車両情報を取得する。取得した車両情報を元に文献[9], [10]で利用している SAVS の配車エンジンを利用し、配車車両と走行ルートの決定を行う。また、予備実験でのデマンドはリアルタイムに発生するものではなく、事前に作成しておいたものである。この際のデマンドのデータは、乗車地点、降車地点、デマンド発生時刻、降車締切時刻から成る。シミュレーションの時間が進み、作成しておいたデマンドの時間になった時にデマンドデータを読み出す。また、配車車両の経路探索には SUMO の提供するツールを使用し、ダイクストラ法で行う。

#### 4.3 シミュレーション実験の結果

シミュレーションの実験結果からデマンドへの処理の一例を時系列順に再現したものを図 2 に示す。青い車両を SAV1、赤い車両を SAV2 とする。図 2 の (a) は一つのデマンドが発生したタイミングある。デマンドが発生した時に 2 台の車両は駐車場に駐車しているため、逐次最適挿入法を用いた場合の移動コストは SAV1 と SAV2 で等しい。よって、今回は SAV1 が配車される。図 2 の (b) は SAV1 がデマンドを対応中に新たなデマンドが発生したタイミングである。ここで逐次最適挿入法を用いて SAV1 と SAV2 の移動コストを算出すると、SAV2 の方が移動コストが小さくなる。よって図 2 の (c) のように新たに発生したデマンドには SAV2 が配車される。

#### 4.4 考察

4.3 節の結果から、現状の SAVS の逐次最適挿入法のアルゴリズムでは、非効率な配車を行っていることが考えられる。ユーザのデマンド送信ログデータである乗降地点から各エリアにおける需要の高い地点を予測し、図 3 のような

経路生成をすることができれば, SAV2 を配車せずとも 1 台の車両で乗合を行い, デマンドへ対応することができる。そうすることでもう 1 台の車両が他方面のデマンドを処理が可能になることが予測される。

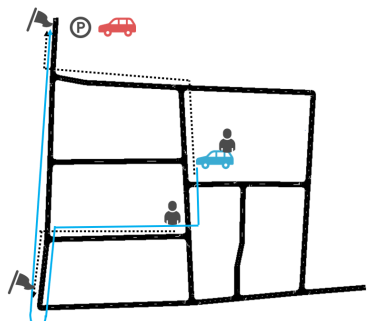


図 3 将来需要を予測した経路生成の一例

今回の予備実験では非常に小規模なシミュレーションを行った。そのため、フルデマンド型公共交通の特徴である連続に乗合を行うような大規模なシミュレーション実験は行っていない。より大規模かつ現実に近い状況でシミュレーション実験を行い、分析を行う必要がある。

## 5. まとめ

本研究の目的は、フルデマンド型公共交通において、ユーザの乗車時間増加の抑制を行いながら、乗合を促進する配車を行うことである。本稿では研究課題としてフルデマンド型公共交通における将来需要を考慮した経路生成の有効性に関する調査のための予備実験について述べた。その結果、予備実験では、将来需要を考慮した経路生成を行うことは運行効率の向上のための有効な手段である可能性が考えられることが分かった。また、将来需要を考慮する上でユーザの送信するデマンドのログデータが有効なデータになる可能性があることが分かった。

今後は、より大規模かつ現実に近いシミュレーション実験を行い分析することで、将来需要と乗車時間の増加を考慮した配車の最適化を行うために有効なデータや予測手法を具体的に検討し実装を行う。

**謝辞** 本研究の予備実験で用いた配車エンジンの利用にあたり、公立はこだて未来大学大学院修士課程学生岩田聖氏と鈴木恵二教授の支援と協力を受けている。ここに深く感謝の意を表す。本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K11793 の助成を受けたものである。

## 参考文献

[1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, World Urbanization Prospects: The 2017 Revision (2017).

[2] 総務省統計局 第 2 章 人口・世帯 2-2 都道府県別人口と人口増加率 <https://www.stat.go.jp/data/nihon/02.html> (最終アクセス日: 2020/07/27).

[3] 国土交通省 業績計画書/達成報告書 III 道路交通を円滑化する, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-perform/18g.html> (最終アクセス日: 2020/10/29).

[4] 田柳恵美子, 中島秀之, 松原仁, デマンド対応型公共交通サービスの現状と展望, 人工知能学会全国大会論文集, Vol.JSAI2013, pp.1-4 (2013).

[5] 中島秀之, 松原仁, 田柳恵美子, スマートシティはこだてラボ, 未来シェア, 『スマートモビリティ革命 未来型 AI 公共交通サービス SAVS』 公立はこだて未来大学出版会 (2019).

[6] 中島秀之, 小柴等, 佐野抄二, 落合純一, 白石陽, 平田圭二, 野田五十樹, 松原仁, Smart Access Vehicle System: フルデマンド型公共交通配車システムの実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.4, pp.1290-1302 (2016).

[7] 大社綾乃, 大滝啓介, 小出智士, 西智樹, 相乗りのための将来需要を考慮した経路最適化, 情報処理学会論文誌, Vol.60, No.10, pp.1653-1661 (2019).

[8] 政野博紀, Juntao Gao, 南和宏, 伊藤実, オンデマンドバスのための乗り換えを含むリアルタイムルートスケジューリング, 情報処理学会第 24 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol.2016, pp.9-16 (2016).

[9] 岩田聖, 鈴木恵二, 広域地方に向けた SAVS シミュレーション分析, 人工知能学会全国大会論文集, Vol. JSAI2019, pp.1-2 (2019).

[10] 岩田聖, 鈴木恵二, 広域過疎地域に向けた SAVS のデマンド受理率に関するモデル化, 情報処理学会研究報告知能システム (ICS), Vol.2020-ICS-198, No. 7, pp.1-6 (2020).

[11] Ma, S., Zheng, Y., and Wolfson, O.: Real-Time City-Scale Taxi Ridesharing, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol.27, No.7, pp.1782-1795 (2015).

[12] Alonso-Mora, J., Waller, A. and Rus, D.: Predictive Routing for Autonomous Mobility-on-Demand Systems with Ride-Sharing, Proc. International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3583-3590, IEEE (2017).

[13] Santi, P., Resta, G., Szell, M., Sobolevsky, S., Strogatz, S.H. and Ratti, C.: Quantifying the Benefits of Vehicle Pooling with Shareability Networks, Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 111, No.37, pp. 13290-13294 (2014).

[14] 順風路 オンデマンド交通システム「コンビニクル」のご紹介 <https://www.jpz.co.jp/odb/index.html> (最終アクセス日: 2020/10/29)

[15] パーソントリップ調査 [https://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/tosiko\\_tk\\_000031.html](https://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/tosiko_tk_000031.html) (最終アクセス日: 2020/10/23)

[16] 国土交通省 都市交通計画課題に対応した検討事例 [https://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/case/pdf/plan\\_all.pdf](https://www.mlit.go.jp/crd/tosiko/case/pdf/plan_all.pdf) (最終アクセス日: 2020/10/23)

[17] kob Erdmann, Daniel Keajzewicz, SUMO - Simulation of Urban Mobility: An Overview, international conference on advance in system simulation, pp.50-60 (2011).

[18] OpenStreetMap, <https://openstreetmap.jp/#zoom=5&lat=38.06539&lon=139.04297&layers=0BFF> (最終アクセス日: 2020/10/23).