

# 中規模都市圏を対象としたデマンドバスを用いる階層型協調交通システムの提案

上原 和樹<sup>1,a)</sup> 赤嶺 有平<sup>2</sup> 當間 愛晃<sup>2</sup> 根路銘 もえ子<sup>3</sup> 遠藤 聡志<sup>2</sup>

受付日 2015年4月12日, 採録日 2015年10月2日

**概要:** 地方都市郊外における公共交通は主に固定路線バスが用いられるが, 利便性の観点から利用者が減少傾向にある. このような現状において, デマンドバスは有効な交通手段として注目されているが, デマンドバスの経路計画問題は利用者の増加に従い計算コストが爆発的に増加することが知られている. 本稿では, 地方都市およびその郊外地域といった中規模都市圏におけるデマンドバスの経路計画を実時間内に行うため, 階層型協調交通システムを提案する. 評価実験においては, 中規模都市圏である沖縄県那覇通勤圏をモデルに構築した道路ネットワークを用い, パーソントリップ調査に基づきトリップを生成してシミュレーションを行った. 評価実験の結果, 経路計画問題を階層化することで既存の経路計画手法よりも高速に経路計画できることを示した. さらに現行の固定路線バスとの比較に基づき提案システムの実現可能性について検討した.

**キーワード:** 高度交通システム, 交通シミュレーション, Dial-a-Ride 問題

## A Propose of Hierarchical Cooperative Transport System Using Demand Responsive Vehicles for Mid-sized Metropolitan Area

KAZUKI UEHARA<sup>1,a)</sup> YUHEI AKAMINE<sup>2</sup> NARUAKI TOMA<sup>2</sup> MOEKO NEROME<sup>3</sup> SATOSHI ENDO<sup>2</sup>

Received: April 12, 2015, Accepted: October 2, 2015

**Abstract:** In this paper, we propose a hierarchical cooperative transport system using demand responsive buses to improve service quality of transportation system in middle-sized cities. We evaluated the proposed system with static simulation constructed from the real road network and trip data generated from a person trip survey report. The result showed the proposed system makes the route planning faster than conventional algorithm for the DARP. Furthermore, we compared the service quality and operational cost of the proposed system with the existing fixed route bus system, and discussed the feasibility of the proposed system.

**Keywords:** intelligent transport system, traffic simulation, dial-a-ride problem

### 1. はじめに

地方都市郊外においては, 交通需要が空間的に分散しているため公共交通機関の収益性が悪く, 郊外地域全域に及

ぶ交通サービスの提供が困難といった問題がある. そのような地域においては軌道交通が整備されないことも多く, 公共交通サービスは固定路線バスにより提供されることが一般的である. しかしながら, 固定路線バスにおいては「便数の制約から希望時刻に利用できない」, 「バス停までの距離が遠い」といった理由から利便性が低く利用者が減少しているのが現状である. さらに, 利用者の減少により運行規模の縮小や路線廃止によるサービスレベルが低下するといった負の循環に陥っている [1]. このような地域住民の移動は自家用車への依存度が高く, 交通量増加による交通渋滞や CO<sub>2</sub> 排出による環境汚染など副次的に様々な

<sup>1</sup> 琉球大学大学院理工学研究科  
Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus, Nakagami, Okinawa 903–0213, Japan

<sup>2</sup> 琉球大学工学部  
Faculty of Engineering, University of the Ryukyus, Nakagami, Okinawa 903–0213, Japan

<sup>3</sup> 沖縄国際大学経済学部  
Department of Economics, Okinawa International University, Ginowan, Okinawa 901–2701, Japan

a) e065709@eva.ie.u-ryukyuu.ac.jp

問題が引き起こされている。

こうした現状の中、デマンドバスが有効な交通手段として注目されている。デマンドバスは、利用者の需要（希望の乗降位置、時刻）に応じて経路やスケジュールを柔軟に作成・変更できるバスの運行形態であり、デマンド発生地点および発生時のみ走行できるため運行の効率化が望める。さらに、近年ではスマートフォンやカーナビゲーションシステムなどといった情報通信端末も広く普及しており、これらの端末から得られる情報（渋滞情報、車両位置情報、リアルタイム予約など）を活用したデマンドバス配車戦略や経路作成などへの応用も期待できる。

これらのことから、筆者らは地方都市郊外における公共交通機関の利便性向上を図るためデマンドバスに着目した。しかしながら、デマンドバスはNP困難問題に分類されており、利用者が多くなるに従い経路における乗降位置や配車の組合せが爆発的に増加し、実時間内に最適な経路の設計が困難となることが知られている [2]。

そこで本稿では、中規模都市圏のような交通需要の多い地域においてもデマンドバスを利用可能にすることを目的とし、階層型の協調交通システムを提案する。提案システムは、局所的に運行するデマンドバスと各地域に設置されたデポ間を經由する協調運行型の急行バス（以降、協調バス）により構成される。利用者の希望出発地点および到着地点にそれぞれ近いデポへ利用者を輸送することで協調バスはデポ間のみを輸送する。デマンドバスは、各利用者をデポに集約するため、限定的な範囲において運行する。そのため、各デポに向かう（もしくはデポから出発する）利用者について経路計画問題を解けばよく、問題規模を縮小することで計算時間の短縮が望める。また、協調バスはデポに集約される利用者のスケジュールにあわせて運行するため効率的な運行ができると考えられる。筆者らはこれまでに都心部の軌道交通と連携した協調型交通システムを提案している [3]。これまでの研究では通勤に着目していたため、郊外地域から都心部または都心部から郊外地域への輸送しか考慮されていなかった。そのため、郊外地域間や郊外地域内での移動の際には別の移動手段を利用する必要があった。本稿では、協調バスをデポ間で移動可能にしたことで郊外地域間の輸送に対応し、さらに協調バス降車後にデマンドバスによる輸送を導入した。

提案システムの有効性を確認するために、実データを用いたシミュレーション実験を行った。対象地域モデルは、交通渋滞が深刻な社会問題となっている沖縄県那覇市およびその通勤圏とした。沖縄県は軌道交通がほとんどないため、自家用車への依存度が高く都心部およびその周辺道路での渋滞が恒常的に発生しており、公共交通機関の有効活用策が強く求められている。

## 2. 関連研究

デマンドバスにおいては、スケジューリングアルゴリズムに関する研究や実際に運用した際の影響や効果を評価するシミュレーション、実証実験など様々な研究がなされている。

デマンドバスのスケジューリングは Dial-a-Ride 問題 (DARP) とよばれ、現実的な時間で最適解を求めることが困難であるため、短時間で準最適解を得るアルゴリズムが多く提案されてきた [4], [5], [6]。Jawら [7] はタイムウィンドウの制約を用いて、複数台車両における挿入法を提案した。挿入法は様々な解法の中でも計算効率が良く、この手法を用いた応用などもよくなされている [8], [9]。これらの応用においては解の精度（利用車両数、旅行距離）が改善したものの、それに伴って計算コストが大きくなることも報告されている。

運用における評価や導入検証に関する研究として、野田ら [10] は、都市においてデマンドバスの運行を適用した場合の運行規模や採算性に関して固定路線バスとの比較をシミュレーション実験により示した。これより、デマンド頻度とバス台数が一定比率で比例する場合、デマンド頻度が高いほどデマンドバスの方が固定路線バスより利便性が高くなるとし、都市における運行規模の大きなデマンドバス運用の可能性を示した。小柴ら [11] は、中規模都市におけるデマンドバスの実運用に焦点をあて、オープンソースを用いて物理的な側面を考慮しながら北海道函館市を対象にデマンドバスのシミュレーションを行った。その結果、デマンド数の上昇に従い採算性を保ったまま車両台数を増加させた場合、渋滞に起因して利便性が悪化する結果を示した。これは、野田らによる過去のシミュレーション [10] とは異なる結果であり、デマンドバスシミュレーションにおける物理的な側面を考慮することの重要性を示した。坪内ら [12] は、自治体担当者やシステム管理者が互いに長所を活かして効率的にシミュレーションできる枠組みを示し、そのシステムを用いたシミュレーションと実証実験との比較を行い提案システムを評価した。

本研究と類似の研究としては、Uchimuraら [13] の提案する階層的な公共交通システムがあげられる。Uchimuraらは、最も下層のレベルにおいてコミュニティ内の移動手段を確保するためにデマンドバスを用いるとし、デマンドバスの経路計画に遺伝的アルゴリズムを用いることで良好な経路が得られることを示した。しかしながら、都市のサイズ（人口 10,000 人を想定）に対してデマンドバス利用者を 10 人と設定し小規模に問題を解いているため、評価が十分でないと考えられる。さらに、デマンドバスと他のレイヤーにおける交通機関との連携についての評価は示されておらず、このような交通システムの有効性は不明である。そこで本研究では、中規模都市圏（人口 100 万人前後の都市圏）におけるデマンドバスサービスの提供を目指した階

層的な協調型交通システムを提案し、実在する道路ネットワークモデルおよびパーソントリップ調査 [14] (以下, PT 調査) によるトリップデータを用いて提案システムの有効性を評価する。

### 3. 階層型協調交通システム

#### 3.1 提案システムの概要

本稿で提案するシステムは、デマンドバスの経路計画に要する計算時間を緩和することで、地方都市およびその郊外のような交通需要の高い中規模都市圏でのデマンドバス運用に焦点を当てている。具体的には、利用者の輸送過程を階層化し、システム利用者を出発地から目的地 (OD) に直接輸送せず、利用者それぞれの OD 地点に近い停留所やデポ\*1に一時的に輸送する。ここで、デポまでの一時的な輸送を下位層、デポ間の輸送を上位層とする。下位層においては、利用者の出発地 (または目的地) とデポ間をデマンドバスにより輸送する。このとき、デポ周辺の狭い範囲で経路計画問題を解くため、エリア全域を対象に経路計画を行う場合と比較して一度に処理するデマンド数が少なくなり、計算時間の削減が期待できる。上位層においては、デポ間を移動する協調バスによりデポに集約された利用者を一括して輸送する。協調バスの経路は、各デポに集められた利用者のグループから効率的な輸送となるよう経路とスケジュールを作成する。

輸送の例について図 1 を用いて説明する。図 1 中における実線矢印はデマンドバス (下位層) の輸送を表し、破線矢印は協調バス (上位層) による輸送を表す。利用者は、A, B, C, D, E の 5 人とし、+ と - がそれぞれ乗車と降車を示す。デポは Depot1~Depot3 までの 3 カ所とする。利用者 A と B は Depot2 までそれぞれ別のデマンドバスにより輸送される。その後、Depot2 から Depot1 まで協調バス

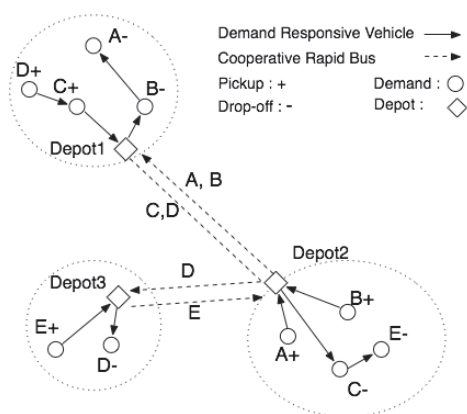


図 1 提案システムの概要図  
Fig. 1 Overview of the proposed system.

\*1 本稿では、便宜上それぞれの停留所やバスステーションは区別せずデポと表現し、各利用者にとって出発地点に近いデポを出発デポ、目的地に近いデポを降車デポと表現する。

で移動し、Depot1 から 1 台のデマンドバスによりそれぞれの目的地へ輸送される。同様に、利用者 C と D は Depot1 までは同じ車両で移動し、協調バスに乗り継ぎ Depot2 へ到着する。このとき、C は Depot2 で降車し、D は Depot3 まで輸送される。利用者 E は Depot3 から Depot2 へ輸送され、C と E が同一のデマンドバスにより Depot2 からそれぞれの目的地へと輸送される。このとき、Depot1 における A, B の降車や C, D の乗車など同一のデマンドバスで輸送される場合は希望時刻が近い場合において可能である。

#### 3.2 問題定義

一般的に DARP では利用者は  $n$  人おり、出発地  $O$  と目的地  $D$  および希望到着 (出発) 時刻  $DT$  のデマンド情報を持つ。また、乗車定員  $c$  の車両が  $m$  台あり、すべての利用者および車両について旅行コスト  $tc$  が最小となるような経路を作成する。このとき、利用者の希望時刻は棄却されないようにする。

本研究においては、利用者は  $OD$  に基づき、利用者が一時的に輸送される出発デポ  $Depot_O$  と降車デポ  $Depot_D$  が設定される。このとき、デポは利用者にとって移動距離が短くなるよう選定する。利用者は  $O$  から  $Depot_O$  までデマンドバス  $DB_O$  により輸送され、 $Depot_O$  から  $Depot_D$  まで協調バス  $CB$  により輸送される。その後  $Depot_D$  から  $D$  までデマンドバス  $DB_D$  により輸送される。このとき、利用者および車両についてそれぞれの旅行コストが最小となる経路を作成する。

#### 3.3 グループ化と経路作成

デポに集められた利用者をもつと輸送すると、車両の利用効率が悪くなってしまいます。そこで、協調バス利用者においては、利用者に割り当てられた出発デポと到着デポおよび到着デポへの到着時刻 (または出発デポからの出発時刻) に基づきグループ化を行い、同時に輸送できそうなグループを作成し一括で輸送する。グループ化の方法は様々な方法が考えられるが、本研究では利用者間における出発デポと降車デポがそれぞれ同一であり、かつ降車デポにおける到着時刻の差が  $\tau$  以内である場合同時に輸送可能とした。さらに、グループ化した利用者の輸送時に他グループのデポを時間内に経由可能であれば経由するものとした。これは、グループ (出発デポ, 降車デポ, 到着時刻) について DARP を解くことに相当し、問題を解くことで協調バスの最適な経路とスケジュールを作成する。

### 4. シミュレーション実験

提案システムの有効性を検証するため、従来型のデマンドバス\*2および固定路線バスのモデルと比較実験を行った。

\*2 OD 間を直接輸送するフルデマンドバスを想定した。



実験の対象地域は沖縄県中南部の那覇通勤圏（人口 100 万人前後、面積 450 km<sup>2</sup>）とし、平成 18 年度に実施された PT 調査報告書 [14] に基づきトリップを作成した。

#### 4.1 道路モデル

シミュレーションに用いた地域データは、那覇通勤圏の市町村をモデルとして構築した（図 2）。本稿では、那覇市内へのトリップ数が比較的多いうるま市以南の沖縄本島中南部の市町村を那覇通勤圏と表現している。道路網データは、国土地理院発行の数値地図 1/25000 から構築し、道路幅などの情報を基に手作業で通勤に影響が少ないと思われる小路を削除したものをを用いた。道路網データのパラメータを表 1 に示す。

#### 4.2 リンク所要時間の推定

交通の利用者が選択可能な経路の所要時間を知っていると仮定した場合、利用者は最も所要時間の短い経路を選択する（Wardrop の第 1 原則 [15]）。一方、道路は利用者が増加するほど渋滞などによる所要時間が増加する。そのため、すべての利用者が最短経路を選択した場合、交通の集中により選択された経路は所要時間の点において最短経路ではなくなる。これを繰り返すことで、「それぞれの出発地と目的地の間に複数存在する経路の中で、利用されている経路の所要時間は等しく、利用されていない経路の所要時間はそれと等しいか大きい」状態に落ち着くとされており、このような配分は利用者均衡配分とよばれている。本研究において各リンクの推定所要時間は、PT 報告書における自家用車利用者の OD をもとに利用者均衡配分を行い、BPR 関数により推定した [16]。



図 2 ネットワークモデル

Fig. 2 The road network of south central Okinawa used by simulation.

表 1 道路網データのパラメータ

Table 1 Specifications of the road model used by the traffic simulation.

ノード数	639
リンク数	2,006
リンク総延長	376 km

#### 4.3 OD からの距離補正

トリップの OD はゾーン内のいずれかのノードを出発地・目的地とするが、ノードは比較的大きな通りの交差点に相当するため、旅行時間が過小評価される傾向がある。特に、郊外ではゾーンが大きく設定されており、ゾーン内の距離における誤差が大きくなる。そこで、本実験では移動距離を以下の式により推定して補正した。

$$d = k\sqrt{S} \quad (1)$$

ここで、 $S$  はゾーンの面積、 $k$  はゾーン内移動距離の調整係数であり、本実験では  $k = 2/\pi$  とした。筆者らは上記の推定移動距離の補正によって OD 間旅行時間の良好な相関が得られることを確認した [17]。

#### 4.4 一般設定

シミュレーションは、Mac OS 10.9, 2.93 GHz Intel Xeon 上で C++ により実装して行った。シミュレーション全般における設定は次のとおりとした。

- 固定路線バスとの比較を行うため、トリップは PT 報告書における主要移動手段がバスの旅行者とした。総トリップ数は 85,943 人である。
- 予約方式は、全体最適化および定時性確保の観点からバッチ方式とする。これは、トリップの前日に予約を受け付け前日中に旅行計画を通知することを想定している。
- シミュレーション中で利用される車両は独立とし、他車両の走行への影響は考慮しない。
- シミュレーション対象外の交通手段は考慮しない。
- 車両の利用可能台数は無制限とする。
- 出発地からノード（ノードから目的地）までの補正距離（4.3 節）は歩行により移動するものとした。

#### 4.5 提案システムの設定

提案システムにおけるデマンドバスおよび協調バスの経路計画・スケジューリングには ADARTW [7] を採用した\*3。協調バスへ配車する際のグループ化の基準  $\tau$  は最も待ち時間が少なくなる 0、すなわち、降車デポへの到着時刻が同じ場合に同一のグループとした。協調バスへの乗り継ぎに用いられるデポは、実験的に 20 カ所とし、配置箇所は遺伝的アルゴリズム (GA) [18] により利用者のデポ経由時の旅行時間が最小となる位置を探索した。提案システムは固定路線バスとの置き換えを想定しており、既存資源を活用できるよう移動の大部分を占める協調バスについては固定路線バスと同様に定員を 70 名とした。また、協調バスへのアクセス（イグレス）に用いられるデマンドバス

\*3 本稿は大規模なデマンドを扱うため計算効率に優れたアルゴリズムを用いる必要がある。ADARTW に関してはこれまで応用的な手法も開発されているが、それらは計算速度に関しては劣るため本稿では ADARTW を採用した。

の定員は機動性の観点から 25 名とした。ノード  $i$  におけるデマンドバスおよび協調バスへの乗り降りにかかる待ち時間  $WT_i$  (秒) は、以下の式により求めた [19]。

$$WT_i = 3 + 1.53 \cdot n_i \quad (2)$$

ここで、 $n_i$  はノード  $i$  における乗降者数を表す。

出発地または目的地がデポに十分近い利用者に関してはデマンドバスを利用する必要がないと考えられるため、補正距離を含め 300 m 以内にデポがある利用者はデポまで歩くものと仮定した [20]。また、デポにおけるデマンドバスの運行範囲内を移動する利用者\*4に関しては最も近いデポに属するデマンドバスで直接 OD 間を輸送するものとした。

#### 4.5.1 タイムウィンドウ

ADARTW を用いて問題を解く場合、タイムウィンドウを設定する必要がある。タイムウィンドウとは、利用者の許容時間においてサービスレベルを保証するための時間枠(制約)である [7]。Jaw らの文献においては乗車時刻希望利用者 (DPT-specified customer) と降車時刻希望利用者 (DDT-specified customer) について 2 種類のタイムウィンドウの設定方法が紹介されている。乗車と降車どちらを指定するかについては状況により異なると考えられるが、本実験ではすべての利用者が降車時刻希望利用者であると仮定し設定した。図 3 は、降車時刻希望利用者のタイムウィンドウを示す。LDT は乗客の指定した時刻、すなわち希望降車時刻を示す。また、WS は、許容可能な希望降車時刻からのずれを表す。利用者は EPT から LPT の時間内に乗車し、EDT から LDT の時間内に降車する。各時間枠は次の式で定義される。

$$EDT = LDT - WS \quad (3)$$

$$LPT = LDT - DRT \quad (4)$$

$$EPT = EDT - MRT \quad (5)$$

ここで、DRT は乗車地点から降車地点までの最短移動時間を表す。また、利用者の最大乗車時間 MRT は次の式により定義される。

$$MRT = A + B \times DRT \quad (6)$$

A, B はいずれも定数である。

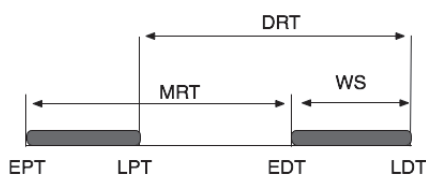


図 3 ADARTW における降車時刻希望利用者のタイムウィンドウ  
Fig. 3 Time window for DDT-specified customers.

\*4 デポ 2 点間を経由して移動するほど遠くないが歩くには遠い利用者

ここで、提案システムにおける各地点(出発地から出発デポ、出発デポから降車デポ、降車デポから目的地)でのタイムウィンドウ設定について図 4 で説明する。本システムにおいては最大で 2 回バスに乗り継ぐため、この利用者について説明する。従来の ADARTW における降車時刻希望利用者の場合、降車希望時刻をもとにタイムウィンドウを設定して DARP を解き乗車時刻を求める。これと同様に、乗客の希望降車時刻(図 4: DDT)と降車デポにおけるタイムウィンドウ(図 4: WS1)に基づき DARP を解き、降車デポにおける出発時刻が求まる。つまり、乗客は降車デポの出発時刻までに降車デポに到着する必要がある、この時刻を締切時刻 1 (図 4: DL1) とする。協調バスにおいても同様に DL1 と協調バスにおけるタイムウィンドウ(図 4: WS2)に基づき DARP (デポによるグループについて) を解き、協調バスの出発時刻、すなわち、出発デポにおける締切時刻 2 (図 4: DL2) を求める。最後に、この DL2 と出発デポにおけるタイムウィンドウ(図 4: WS3)について、出発デポにおける DARP を解き利用者の出発時刻(図 4: DT) が求まる\*5。

本実験でデマンドバスおよび協調バスの経路計画時に与えたパラメータは試験的にすべての利用者において同じ値を採用し、いずれも  $A = 10(\text{min})$ ,  $B = 1.1$ ,  $WS = 5(\text{min})$  とした。ただし、前述のとおりタイムウィンドウは利用者の希望時刻に対する許容時間であるため、利用者によって変動があるものと思われる。これについては、今後十分に検討する必要がある。

#### 4.6 従来型フルデマンドバスの設定

フルデマンドバスの経路およびスケジュール計画は、提案システムと同じ ADARTW で行った。また、車両定員は提案システムと同様の理由で 70 名とし、バスの発着は那覇市バスターミナルを起点・終点とした。乗客の乗降にかかるオーバーヘッドは、4.5 節の式 (2) と同様に算出した。提案システムと比較する際、提案システムはデポを経由するなどサービスの提供方法が異なるため同一条件での比較が困難である。そこで、従来型のフルデマンドバス方式には、提案システムと同等の旅行時間で移動できるパラメータを予備実験により調査し設定した。設定したパラメータ

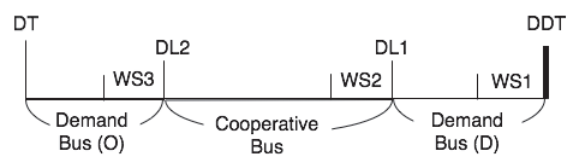


図 4 各車両におけるタイムウィンドウの設定  
Fig. 4 Setting of time window for each vehicles.

\*5 出発時刻希望利用者については、ここでの説明と逆の手順により到着予定時刻を算出することができる。

は、 $A = 10(\text{min})$ ,  $B = 1.1$ ,  $WS = 15(\text{min})$  とした。

#### 4.7 固定路線バスモデルの設定

固定路線バスの経路は、平成 18 年度において実際に沖縄県を運行していた路線バスの時刻表に記載された路線図をもとに作成した。固定路線バスの移動方法は、その利用者が出発地から最寄りのバス停（バス路線にあるノード）まで徒歩で移動し、バスに乗車した後に目的地近くのバス停で降車する。このとき、バス停が目的地まで離れている場合は徒歩で移動し、必要があれば乗り換えるものとした。バスにおける待ち時間  $BWT$  (分) は PT 報告書を参考に以下の式で設定した。

$$BWT = \begin{cases} 0.418g & (0 \leq g < 6.6) \\ 0.197g + 1.459 & (6.6 \leq g < 15.6) \\ 0.057g + 3.643 & (15.6 \leq g) \end{cases} \quad (7)$$

ここで、 $g$  は運行間隔 (分) を表す。

固定路線バスモデルによって推定された旅行時間と、PT 報告書の旅行時間との平均値の比は 1.05 とほぼ同程度であったことから、比較対象として十分であると判断した。

#### 4.8 従来型デマンドバスとの比較

本節では、提案システムと従来型フルデマンドバスの特性を確認するために比較実験を行った。

##### 4.8.1 計算時間

PT 報告書 [14] におけるバス利用者トリップのうち、一様乱数により 10% (8,660 トリップ)、20% (17,210 トリップ)、30% (25,782 トリップ) の割合で抽出した際、それらの経路生成に要する時間を比較し図 5 に示した。40%以降に関しては、従来型デマンドバスの計算時間が有効な時間\*6内で終われないとの見込みから行っていない。なお、30%時においても有効時間を超過しているが、20%時には超過していないことをふまえ、処理時間の傾向を確認する

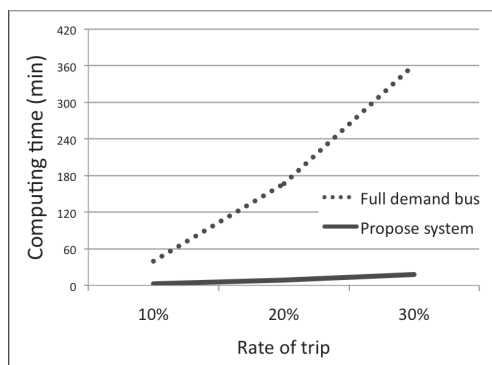


図 5 計算時間 (分) 比較

Fig. 5 Comparison of computing time (min).

\*6 公共交通サービスとして実現するためには、なるべく早い時間で利用者にスケジュールを通知できる方が望ましい。本稿では、計算時間として 4 時間を基準に打ち切るものとした。

ために本項では 30% の割合まで計測した。従来型における計算時間は、10%時に約 40 分程度、20%時に約 3 時間、30%時に約 6 時間の計算時間を要した。一方、提案システムは 30%時において 20 分程度で処理を終えた。また、提案システムの全トリップに対する計算時間は約 120 分であった。

##### 4.8.2 旅行時間比較

旅行時間は両手法とも利用者数の違いによる変化はほとんどなかったため、平均値を示す。旅行時間はそれぞれ提案システムが 42.4 分、フルデマンドバスが 41.49 分であった。

##### 4.8.3 運行効率比較

本項では運行コストとして、同程度の旅行時間における総走行距離および必要となる車両台数について検討した (図 6, 図 7)。ここで示す車両台数は、乗客輸送後にデポへ戻ってきた車両は再利用するものとして計測した。

提案システムは、従来型と比較すると 10%時において総走行距離はおよそ 4,400 km (11%) 多い結果を示した。また、車両台数は約 230 台 (109%) 多く、大型車両 (協調バス) よりも小型車両を多く要した。割合が増えるとともにわずかではあるが差が減少し、提案システムは従来型に対して 30%時において総距離は 4,560 km (8%)、車両台数は 256 台 (74%) 多い結果となった。また、各割合において増加の傾向は両システムとも同様であった。

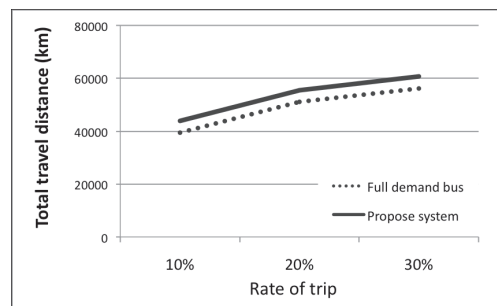


図 6 総走行距離 (km) 比較

Fig. 6 Comparison of the total travel distance (km) of vehicles.

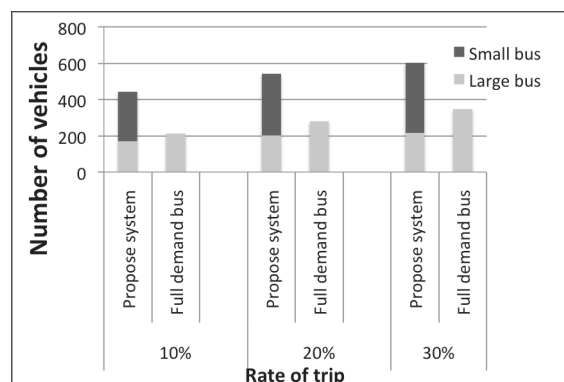


図 7 利用車両台数比較

Fig. 7 Comparison of the number of required vehicles.



#### 4.9 固定路線バスとの運行比較

本節ではPT 報告書におけるトリップの中から、すべてのバス利用者 85,943 人を抽出して実験を行った。

##### 4.9.1 利用者の旅行時間

提案システムおよび固定路線バス利用者の旅行時間を図 8 に示す。本稿における旅行時間は、利用者の出発時刻と希望到着時刻までの差とする。そのため、希望到着時刻より早く目的地に着いた場合も待ち時間として旅行時間に含める。なお、従来型のフルデマンドバスについては、4.8.1 項の結果に鑑みて計算を行っていない。

図 8 の凡例において、Demand bus, Fixed bus はそれぞれデマンドバスおよび固定路線バスの乗車時間を表し、Cooperative bus は協調バスの乗車時間を表す。Wait time, Walk time はそれぞれ待ち時間と歩行時間を示す。図 8 の結果より、提案システムと固定路線バスの旅行時間はどちらも 41.5 分であった。また、固定路線バスにおいては、旅行時間のうち約 16 分は歩行、7.8 分は待ち時間に要する時間であったが、提案システムでは歩行時間は約 12.5 分、待ち時間は約 6.3 分といずれも固定路線バスより短い結果を示した。

##### 4.9.2 運行コスト

提案システムおよび固定路線バスにおける運行コストを比較し表 2 にまとめた。本項において、運行コストは総走行距離、総走行時間および利用した車両台数とした。固定路線バスの運行時間と運行距離は 4.7 節で設定した経路とバス時刻表 [21] の運行本数に基づき推定した値を用いた。提案システムの総走行距離は約 83,241 km、総走行時間は

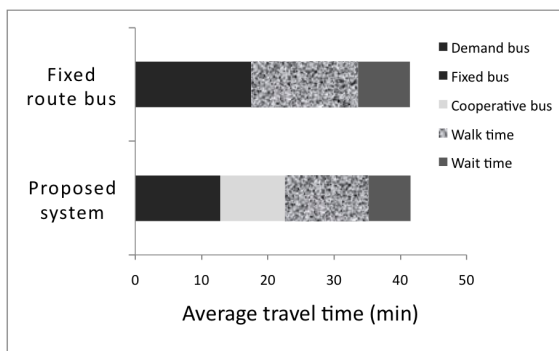


図 8 旅行者の旅行時間比較 (分)

Fig. 8 Traveler's average travel time (min).

表 2 運行コスト比較 (全バストリップ)

Table 2 The operating cost (all of bus users).

	提案システム	固定路線	フルデマンドバス
総距離 (km)	83,241.2	82,147.9	—
総時間 (時間)	3,668.3	3,773.1	—
台数 (大型)	325	646 <sup>*7</sup>	—
(小型)	587	—	—

\*7 車両台数については推定が困難なため、参考として沖縄県主要バス会社 4 社が保有する一般乗合車両台数を示す。

約 3,670 時間、車両台数は大型車両 325 台、小型車両 587 台の計 912 台であった。対して、固定路線バスの総走行距離は約 82,150 km、総走行時間は約 3,770 時間、車両台数は 646 台であった。提案システムは固定路線バスに比べて、走行時間が約 100 時間短い結果となったが、走行距離が約 1,091 km、車両台数は 266 台多い結果となった。

## 5. 考察

### 5.1 従来型デマンドバスとの比較

#### 5.1.1 利用者の旅行時間

提案システムの旅行時間は 4.8 節においては 42.4 分であったが、より利用者の多い 4.9 節の結果では 1 分程度旅行時間が短縮し 41.5 分であった。ここで、提案システムにおける利用者数 (割合) ごとの平均旅行時間と車両別の乗車率を図 9 に示す。乗車率は、(利用者数)/(発車回数 × 車両定員) とする。図中の実線は旅行時間を示し、点線と破線はそれぞれ協調バスとデマンドバスの乗車率を表す。図 9 より、利用者が増えると乗車率が上昇し、旅行時間が減少する結果が示された。これは利用者数が増えることで、より短い迂回で同時に輸送可能な利用者が増えるためだと推察できる。ただし、旅行時間は平均値であるため、利用者によっては乗降のための停車により乗車時間が長くなる可能性がある。運行規模拡大に対する旅行時間の減少は、フルデマンドバスについても同様の結果が報告されている [10]。これより、提案システムおよびフルデマンドバスのいずれも、利用者数が多い方が計算負荷は高いがより効率的である。

#### 5.1.2 計算時間と運行効率

4.8 節においては、同等の旅行時間で目的地に到着できる条件設定のもとで提案システムと従来型のフルデマンドバスを比較した。フルデマンドバスでは、利用者が 30% (約 25,000 人) 時には有効な時間内に計算を終えることができなかったのに対し、提案システムは 20 分程度で計算を終

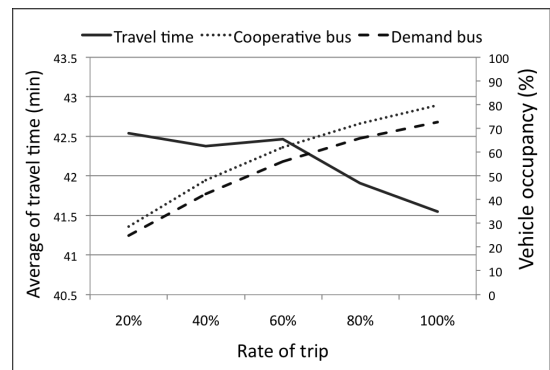


図 9 提案システムにおける利用者数ごとの平均旅行時間 (分) と乗車率

Fig. 9 Average travel time (min) of proposed system and vehicle occupancy of the proposed system by the number of request.

えた。今回用いた ADARTW の計算オーダは  $O(n^2)$  であり [9], 利用者数  $n$  が多くなるほど計算の負荷が高くなる。一方, 提案システムにおいても同アルゴリズムを採用しているが, 利用者をデポごとに分散するため一度に処理する利用者数  $n$  が減少し, 計算時間を低減できていると考えられる。本研究で提案するシステムは, 利用する前日に予約を行いその日のうちに通知をすることを想定している。すべてのリクエストを受け付け一括で処理した場合であっても計算時間はおよそ 120 分であり, 許容可能であると考えられる。

4.8.3 項では, 運行コストについて比較を行った。提案システムは利用者をデポに集約するため, 運行効率は従来型のフルデマンドバスと比較すると悪くなった。しかしながら, 4.9 節の結果では現行の固定路線バスと運行距離および運行時間の点で同程度を示したことから, 運行効率の悪化は許容できる可能性がある。ただし, 必要車両数については改善する必要がある。ここで, 両システムにおける運行効率として, 車両 1 台あたりの輸送人数を示す。10% 時においては提案システムが 19.6 人/台, 従来型が 40.9 人/台であり, 30% 時においては提案システムが 42.9 人/台, 従来型が 74.6 人/台を示した。また, 100% 時において提案システムの輸送効率は 94.2 人/台を示した。これより, 利用人数が増えることで両システムともに輸送効率が上昇していることが分かる。これは, 5.1.1 項と同様に利用者が増えることで同時に乗り合い (少ない迂回での乗降車) できる確率が増加するためだと考えられる。

## 5.2 公共交通サービスとしての有効性

4.9 節においては, 提案システムの有効性を検証するために現行の公共交通機関である固定路線バスと比較した。4.9.1 項ならびに 4.9.2 項の結果より, 旅行時間は同程度であったが, そのうちの歩行時間は 4 分程度減少しており, サービスレベルが向上していると考えられる。

ここで, 固定路線バスと協調バスは同じ旅行速度が設定されているが, 協調バスは経由するデポのみで停車するため, 乗客の乗降にかかる停車頻度が固定路線バスより少ない。そのため, 旅行速度は固定路線バスより速くなると考えられ, 旅行時間は図 8 の結果よりも短縮する可能性がある。また, 比較対象としたトリップは PT 報告書におけるバスのトリップのみを抽出しており, 固定路線バスにとって有利な設定となっている。そのため, 公共交通空白地域におけるトリップも含めて本システムを適用した場合, よりサービスレベルの向上が期待できる。

総走行距離と総運行時間および利用者の旅行時間は同等であったが, 車両台数は固定路線バスより約 260 台多い結果となった。ここで, 車両台数の詳細をみると, 大型車両は 325 台と固定路線バスの半分程度の使用台数であるが, 小型車両, つまりデポにおける利用者の輸送を行う車両は

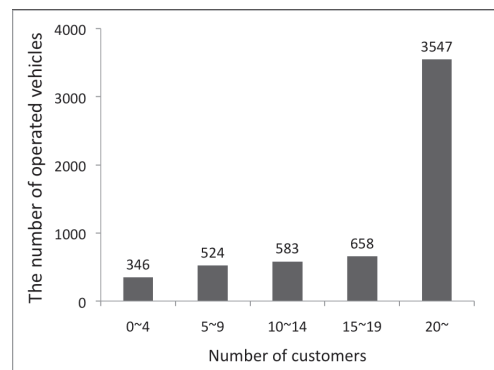


図 10 乗車人数別運行数分布

Fig. 10 Distribution of the number of vehicles by boarding customers.

多く要している。小型車両における一運行\*8あたりの乗車人数のヒストグラムを図 10 に示す。図 10 より, 乗客 20 人以上で運行している車両は 3,547 台であり, さらに, 図中では示していないが最大定員での運行は 1,850 台と全体の約 30% を占める。本稿の設定では, 車両定員に達した時点で新たな車両を配車するため, 定員超過により必要車両数が増加していると考えられる。一方, 表 2 では大型車両の利用台数は 325 台であり, 固定路線バスの車両保有台数から見ると余裕がある。そのため, 比較的利用者の多い地域においては大型車両の一部をデマンドバス運行に充てるなど, 地域ごとの特性を考慮することで必要車両数を低減できると考えられる。また, 乗車人数が 9 人以下の車両も 15% 程度存在する。9 人以下の場合, 大型車両の運転免許は不要であり, ジャンボタクシーなどのより小さな車両との連携も有効だと考えられる。今後, 利用者や地域の特性を考慮したうえで適切な車両を配備するアルゴリズムや, 既存の軌道交通などとの連携 [3] による必要車両数の改善が重要である。このとき, 車両の定員が多くなるほど一度に運べる利用者が多くなるが経路地点が増加し利用者の乗車時間が長くなる可能性がある。したがって, 各地域においてどのようなサイズの車両を運行させるかについては利用者のニーズと運行コストのトレードオフを考慮し適切に設定する必要がある。

### 5.2.1 公共車両優先システムとの連携

4.9.1 項, 4.9.2 項の結果に加え, 公共交通サービスにおいてはバス専用 (優先) レーンや公共車両優先システム (PTPS) [22] などと組み合わせることで利便性の向上が期待できる。そこで, このような施策の一例として片道二車線以上の道路においてバス専用レーンの導入を想定したシミュレーションを行った。提案システムのような出発地から目的地まで移動できるサービスが普及した場合, 地方都市郊外といった公共交通空白地域での自家用車依存度は下がるものと考えられ, このような施策も現実的であろうと

\*8 ここでの一運行は, デポを出発してデポに戻るまでを表す。



判断した。結果を表 3 にまとめ、以下で考察する。

バスレーンの導入を想定した実験においては導入前と比較し、旅行時間は 5 分程度短縮した。運行コストは走行距離が約 13,400 km (16%) 増加したものの、総走行時間は約 710 時間 (20%) 短縮した。これは、バスレーン導入により旅行時間が短くなるような経路を利用した結果、迂回が多くなり走行距離が増加したと考えられる。車両台数については、大型車両が 11 台減少し、小型車両が 54 台減少した。旅行速度が上がることにより運行時間が短くなるため運行効率が高まり、必要な車両数が減少したと考えられる。利用者の平均旅行時間および総運行時間、利用車両台数は減少していることから、このような施策との適切な組み合わせにより運行の効率化が期待できる。

### 5.3 実現に向けた検討事項

提案システムの実現に向けた検討事項として、以下の項目が考えられる。

- 高速・高精度なアルゴリズム
- デポの配置と個数
- 運行規模
- 乗り継ぎのコスト
- リアルタイム需要応答

以下、これらについて考察する。

#### 5.3.1 高速・高精度なアルゴリズム

本研究で採用した ADARTW は高速ではあるが、近視眼的な解を生成しやすいとされている [9]。DARP に関してはこれまで数多くの研究がなされており [6]、より精度の高いアルゴリズムを採用することで旅行コストを改善できると考えられる。ただし、精度の高いアルゴリズムはより計算コストをとまなうため、並列化などを取り入れて高速化

表 3 バスレーン導入設定時のシミュレーション結果

Table 3 The simulation result under the bus lane introduced situation.

	提案システム (BL 設定)	導入前比
平均旅行時間 (分)	36.6	(-4.9 分)
総距離 (km)	96,621.6	(+16%)
総時間 (時間)	2,955.79	(-20%)
大型車両	314	(-11 台)
小型車両	533	(-54 台)

表 4 運行規模における運行効率比較

Table 4 Comparison of operating efficient on each operating scale.

	市内線利用者 (25,728 人)		市外線利用者 (60,215 人)	
	提案システム	固定路線バス	提案システム	固定路線バス
旅行時間	29.09	29.08	46.16	46.79
総運行時間	772	387.7	2,914.6	3,385.3
総運行距離	16,723	7,858	66,702	74,289
大型車両	61	-	273	-
小型車両	136	-	466	-

する必要がある。提案システムでは、各デポについて問題が独立しているため経路計画の処理はデポごとに並列化可能である。

#### 5.3.2 デポの配置と個数

デポの個数や配置箇所は計算時間やサービスレベル、運行コストに大きな影響を与える。本稿では、デポを 20 カ所と仮定して実験を行った。デポの配置箇所は GA [18] により探索したものであるが、今回採用した評価関数は利用者にとって有利な設計となっていたため、評価関数の設計やパラメータによってはより最適な配置や個数が存在すると考えられる。

提案システムは各デポにおいて経路計画問題を解くため、デポ数を多く配置した場合、1 デポ辺りのリクエスト処理数が減少し計算時間を削減できる。加えて、下位層におけるデマンドバスの運行範囲は狭くなるが、その一方で各デポに車両を用意する必要があるため運行に要する車両台数が増加する。このとき、交通需要は地域ごとに偏りがあるため、必ずしもこのとおりはならない可能性がある。たとえば、都心部においては主要施設周辺など交通需要が集中する箇所が考えられ、そのようなエリアのデポでは割り当てられる利用者数が多くなるため交通需要の少ない地域に比べて計算負荷が高くなる。これについては、都心部ではデポの密度を高めるなどして対策可能であると考えられるが、同時にデポの配置コストや運行コストについても考慮しなければならない。そのため、個数や配置箇所に関しては十分に議論する必要がある。

#### 5.3.3 運行規模

4.9 節では那覇通勤圏全域において評価したが、表 2 では固定路線と同等の旅行時間でサービスを提供する場合、必要となる車両台数が固定路線バスより多くなる結果が示された。そこで、本節においては運行規模における必要コストについて考察するため、那覇市内のトリップ (市内線利用者、都心部) とそれ以外 (市外線利用者、郊外) に限定して実験を行った。表 4 は、利用者が同等の旅行時間を達成する場合、それぞれのスケールにおける車両の運行コストを示す。なお、固定路線バスに関してはそれぞれの規模における車両台数の推定が困難であるため、ここでは運行時間と運行距離を運行コストとして考察を行う。表 4 の結果より、市内に限定して運行した場合、固定路線バスと同

等の旅行時間に対して総運行距離、時間ともに約2倍程度のコストを要した。その一方で、市外線利用者に適用した場合は、運行時間、距離ともに固定路線バスよりも10%程度少ない結果となった。

提案システムは協調バスへと乗り継がせるため、狭いエリアにおいては乗り継ぎのための迂回路が長くなり効率的でない。そのため、市内(都心部)のような狭く利用需要の多いエリアであれば固定路線バスが有効であると考えられる。これに対し、郊外地域のようなデマンドが時間的、空間的に分散した地域で広範囲に運行する場合、固定路線ですべてのエリアをカバーすることは効率的ではなく、提案システムのような利用需要に対して柔軟に経路を作成できる方が有効である。これは、他の地域における運行を想定した場合でも同様だと思われ、エリアに合わせて適切にデポを配置することで提案システムを展開できると考えられる。さらに、適用する地域によっては軌道交通が利用できる場合があり、協調バスにおける運行の一部を軌道交通と置き換えるなど、より利便性の高い運行も可能である。ただし、運行に要した車両台数は、市外線のトリップに限定して運行した場合でも固定路線バスの全車両保有台数よりも多い結果となった。本システムの運行形態は現状では車両を多く要すると考えられるが、車両台数については5.2節や5.3.1項での議論のとおり、適切な車両配備や高精度なアルゴリズムの採用による改善が期待できる。また5.2節の結果より、同程度の旅行時間ではあるが歩行時間減少による負担減を考慮すると、ある程度の利用コスト増は許容できる可能性がある。そのため、利用コストと利便性を考慮した需要予測を行い、適切な運行台数について検討する必要がある。

#### 5.3.4 乗り継ぎのコスト

提案システム利用者は、最大で2回乗り継ぐ可能性がある。乗り継ぎすることで急行型の協調バスが利用できるが、乗り継ぎによる利便性の低下(コストの増加)から心理抵抗の発生が考えられる。一般的な交通機関における乗り継ぎに対する心理抵抗の要因として、待ち時間、乗り継ぎ車両への移動、移動先車両における座席確保に対する不安などがあげられる。提案システムは待ち時間が最小となるよう協調的にスケジュールされており、乗り継ぎも降車したデポ内で行える。また、予約制であるため座席の確保が可能である。そのため、一般的な交通機関と比べてこれらの心理抵抗は少ないと考えられる。ただし、乗り継ぎなしで出発地から目的地に到達可能な場合と比較するとコストは増加しており、乗り継ぎにおける心理抵抗を一般化コストとして合算するなど今後議論する必要がある。

ここで、利用者によっては時間的な制約がないなど乗り継ぎが不要な場合が考えられ、そのような利用者に対しては従来型のフルデマンドバスによる輸送も提供可能である。4.8.3節の結果においてフルデマンドタイプは計算コ

ストが高いものの運行効率性は良く、提案システムとフルデマンドバスのいずれかを利用需要に合わせて提供することでより効率的な運行が期待できる。このとき、提案システムとフルデマンドバスの提供度合いは計算コストと運行コストのトレードオフにあり、利用者の多様な旅行目的の検討とともに今後十分な検証が必要である。

#### 5.3.5 リアルタイム需要応答

本稿では予約を一括処理するバッチ方式を想定したが、リアルタイム方式で予約を受付けることも利便性向上には不可欠である。たとえば、急な利用需要や乗り間違いなどからすぐに利用したい場合などが想定される。このような需要に対し、提案システムは広範囲に高頻度な運行を想定しているため、利用者の近くで車両が運行している可能性が高く、最も近い車両の乗降位置と時刻を通知することで対応可能だと考えられる。

## 6. おわりに

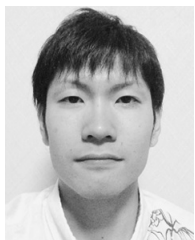
本稿では、デマンドバスを大規模な利用者数に対して適用するため、新たに階層的な協調型交通システムを提案した。評価実験においては、沖縄県那覇市通勤圏をモデルに構築した道路ネットワークとPT報告書に基き作成したトリップを用いて静的シミュレーションを行った。評価実験の結果、提案システムは従来型のデマンドバスアルゴリズムに対して運行コストが増加したものの計算時間を大きく削減できることを示した。さらに、既存の固定路線バスとの比較から、提案システムによるサービスレベルの高い公共交通サービスの実現可能性について検討した。今後は、より精度の高いアルゴリズムを用いた経路計画による運行コストの削減やサービスレベルの向上、並列化などによる提案システムの高速度化などが課題である。

謝辞 本研究は、科研費若手研究(B)(26730160)の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 公益社団法人日本バス協会：2012年版日本のバス事業 51 (2012).
- [2] Paepe, W.E., Lenstra, J.K., Sgall, J., et al.: Computer Aided Complexity Classification of Dial-a-Ride Problems, *INFORMS journal on Computing*, Vol.16, No.2, pp.120-132 (2004).
- [3] 上原和樹, 赤嶺有平, 當間愛見, 根路銘もえ子, 遠藤聡志: デマンドバスと大型車両による協調型交通システムの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.1, pp.46-56 (2015).
- [4] Cubillos, C., Rodriguez, N. and Crawford, B.: A Study on Genetic Algorithms for the DARP Problem, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.4527, pp.498-507 (2007).
- [5] Cordeau, J.-F. and Laporte, G.: A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem, *Transportation Research Part B*, Vol.37, No.6, pp.579-594 (2003).
- [6] Cordeau, J.-F. and Laporte, G.: The dial-a-ride problem:

- Models and algorithms, *Annals of Operations Research*, Vol.153, No.1, pp.29-46 (2007).
- [7] Jaw, J.J., Odoni, A.R., Psaraftis, H.N. and Wilson, N.H.M.: A Heuristic Algorithm For The Multi-Vehicle Advance Request Dial-a-Ride Problem with Time Windows, *Transportation Research Part B*, Vol.20, No.3, pp.243-257 (1986).
- [8] Diana, M. and Dessouky, M.M.: A new regret insertion heuristic for solving large-scale dial-a-ride problems with time windows, *Transportation Research Part B*, Vol.38, No.6, pp.539-557 (2004).
- [9] Luo, Y. and Schonfeld, P.: A rejected-reinsertion heuristic for the static Dial-A-Ride Problem, *Transportation Research Part B*, Vol.41, No.7, pp.736-755 (2007).
- [10] 野田五十樹, 篠田孝祐, 太田正幸, 中島秀之: シミュレーションによるデマンドバス利便性の評価, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.1, pp.242-252 (2008).
- [11] 小柴 等, 野田五十樹, 山下倫史, 中島秀之: 実環境を考慮したバスシミュレータ SAV SQUID による実運用に向けたデマンドバスの評価, コンピュータソフトウェア, Vol.31, No.3, pp.141-155 (2014).
- [12] 坪内孝太, 大和裕幸, 稗方和夫: オンデマンドバスの導入設計シミュレータの開発と評価, 人工知能学会論文誌, Vol.25, No.3, pp.400-403 (2010).
- [13] Uchimura, K., Takahashi, H. and Saitoh, T.: Demand Responsive Services in Hierarchical Public Transportation System, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.51, No.4, pp.760-766 (2002).
- [14] 沖縄本島中南部都市圏総合都市交通協議会: 第3回沖縄本島中南部都市圏パーソントリップ調査報告書 (2009).
- [15] Wardrop, J.G.: Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, *ICE Proc. Engineering Divisions*, Vol.1, No.3, pp.325-362 (1952).
- [16] 土木学会: 道路交通需要予測の理論と適用 (2006).
- [17] 赤嶺有平, 遠藤聡志, 上原和樹, 根路銘もえ子: 時間的交通分散を目指した旅行計画提示手法の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.1, pp.438-447 (2014).
- [18] Joshi, G.: Review of Genetic Algorithm: An Optimization Technique, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Vol.4, No.4, pp.802-805 (2014).
- [19] 明神 証: バスの路側停車による交通遅滞現象について, 土木学会論文集, Vol.1966, No.125, pp.13-20 (1966).
- [20] 国土交通省自動車交通局旅客課: 地域公共交通づくりハンドブック (2009).
- [21] 沖縄県バス協会: バス運行時刻表 (2006).
- [22] 織田利彦: 交通管制システムと ITS の活用による今後の展望, 計測と制御, Vol.40, No.3, pp.226-231 (2001).



上原 和樹 (学生会員)

2013年琉球大学大学院理工学研究科情報工学専攻修了。現在、同研究科総合知能工学専攻博士課程在学中。



赤嶺 有平 (正会員)

2004年琉球大学大学院理工学研究科博士課程総合知能工学専攻修了。博士(工学)。同年日本学術振興会特別研究員。2006年琉球大学工学部情報工学科助手。2007年から同助教。交通システム、複合現実感の研究に従事。人工知能学会、地理情報システム学会各会員。



當間 愛晃 (正会員)

2003年琉球大学大学院理工学研究科総合知能工学専攻(博士後期課程)修了。博士(工学)。2004年琉球大学工学部情報工学科助手。2007年同大助教。複雑系工学, データ/テキスト/Webマイニング, 人工知能に従事。人工知能学会, 自然言語処理学会, 日本認知科学会各会員。



根路銘 もえ子 (正会員)

2001年琉球大学大学院理工学研究科総合知能工学専攻博士課程修了。博士(工学)。2001年通信・放送機構沖縄RC招聘研究員。2003年沖縄国際大学商経学部経済学科講師。2004年沖縄国際大学経済学部地域環境政策学科講師。2005年から同准教授。進化型計算, 観光情報システムの研究に従事。人工知能学会, 計測自動制御学会各会員。



遠藤 聡志 (正会員)

1990年北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年北海道大学工学部助手。1995年琉球大学工学部情報工学科講師。1996年同助教。2004年同教授。複雑系工学に関する研究に従事。人工知能学会, 計測自動制御学会, 日本知能情報ファジイ学会各会員。博士(工学)。