

## 階層型協調交通システムにおけるデマンドバス輸送の経路計画手法 Demand Bus Route Planning for Hierarchical Cooperative Transport System

新垣 隆伍<sup>†</sup> 赤嶺 有平<sup>‡</sup> 上原 和樹<sup>†</sup> 根路銘 もえ子<sup>§</sup> 遠藤 聡志<sup>‡</sup>  
Ryugo Arakaki Yuhei Akamine Kazuki Uehara Moeko Nerome Satoshi Endo

### 1. はじめに

地方都市では自家用車が主な交通手段となっており、交通渋滞や環境汚染といった問題が発生している。これを解決する為には公共交通機関の利用を増やすことが重要である。しかし、地方都市ではバスの本数が少なく不便であるため、利用者数は減少傾向にある。また、電車やモノレールといった軌道交通は設置コストの問題から地方都市では開発は進んでいないのが現状である。

そこで、新たな公共交通機関として、利用者から予約を受けて経路を変更しながら運行する「デマンドバス」が注目されている。筆者らはこのデマンドバスと大型車両を協調させる事で広域な地域への適用が可能な階層型協調交通システムの提案を行っている [1]。本稿では、階層型協調交通システムに於いて、計算時間が多くかかると予想される局所的に交通需要の多い都心部に着目した新たな経路計画手法を提案し、その有効性を既存のデマンドバスとの比較し評価する。

### 2. デマンドバス

デマンドバスとは、利用者の要求に応じて経路やダイヤを決定するバスである。需要のある場所のみを通ることができるため、効率の良い運行が可能である。また、利用者の要求に対して自由に経路を変更するデマンドバスをフルデマンドバスと言い、その経路計画問題を DARP と呼ぶ。DARP は、同じ経路計画問題である巡回セールスマン問題 (TSP) の条件に加え、乗車地点を降車地点より先に訪れる必要があり、より複雑な問題である。これは TSP と同様に、NP-hard に分類される問題であり、利用者数が大きくなると最適解を求めるのが非常に困難となる為、ヒューリスティックな解法が求められる。経路計画アルゴリズムの代表とされる手法として、Jawら<sup>†</sup>が提案した、DARP に利用者の許容時間幅 (タイムウィンドウ) を制約に加えた問題を解くアルゴリズムの ADARTW がある [2]。

#### 2.1. 階層型協調デマンドバス

筆者らの提案している階層型協調交通システムは、輸送方法を大きく下層と上層に分割している。下層では、デマンドバスを利用し、近距離の移動や、乗り継ぎを行なうためのデポへの輸送を行なう。上層では、下層にて集められた乗り継ぎを行なう利用者を、大型車両を用いて目的地に最も近いデポまでの輸送を行なう。階層構造とすることで計算時間を大幅に削減できるほか、比較的長距離の移動を集約して輸送することで、幹線道路への負荷低減が期待できる。

### 3. 提案手法

階層型協調交通システムは、下層では ADARTW を用いており、人口密度の高い地域に於いては、通常のデマンドバスと同様の問題が発生する。そこで、本研究では人口が多い都市部に着目したデマンドバスの経路計画手法を提案し、都市部での輸送をさらに効率化することで階層型協調交通システムの改良を狙う。

現状の路線バスでは、交通需要により経路や運行頻度が決定しており、地域間の移動は旅行時間が長くなる傾向がある。そのため、一般にそのような移動については、コストに対する許容度が大きいと考えられる。このことから、交通需要の高い地域間をグループ化し、それ以外の移動については乗り継ぎにより対応することで DARP の問題を分割する事ができると考えられる。本稿では、需要の多い移動を直接輸送し、他の移動については乗り継ぎを含めた経路計画を行う、多需要優先型デマンドバスを提案する。

#### 3.1. ゾーンの設定

多需要優先型デマンドバスでは乗り継ぎを要するかの判断を出発地と目的地がどの地域に属するかによって行なう。そこで、あらかじめ調査より得られたデマンドの発着点からマップをいくつかのゾーンに分割し、各ゾーン間の交通需要を算出し、優先移動ゾーンペアとする。図1は実際に実験で使用したゾーンと優先移動ゾーンペアの例である。6つに分割したゾーンのうち、優先移動ゾーンペアを二重線で結んだ。また、乗り継ぎが発生した時に一時的に降車させる乗り継ぎ地点を、ゾーンの位置関係から判断し設定した。

#### 3.2. デマンドの分割

デマンドの出発点と目的地から、どのゾーン間の移動であるかを判断しデマンドをグループ分けする。この時、一つのゾーン内での移動はそのゾーンから出発するグループに割り振る。

優先移動ゾーンペア以外の移動は、乗り継ぎを含んだ経路計画を行う。具体的には、出発地と目的地によって乗り継ぎ地点を決定し、その前後でデマンドを分解し、それぞれを優先移動ゾーンペアのグループに割り振る。

#### 3.3. 経路計画

各利用者の目的地や出発地、希望到着時刻からタイムウィンドウとして設定した時間より早く到着するように各グループごとに経路計画を行なう。このとき分解されたデマンドの「乗り継ぎ地点から目的地まで」のデマンドが含まれるグループを先に経路計画し、分割したデマンドの乗車時刻を「出発地から乗り継ぎ地点」のデマンドの到着時刻に設定する。

<sup>†</sup>琉球大学大学院理工学研究科

<sup>‡</sup>琉球大学工学部

<sup>§</sup>沖縄国際大学経済学部

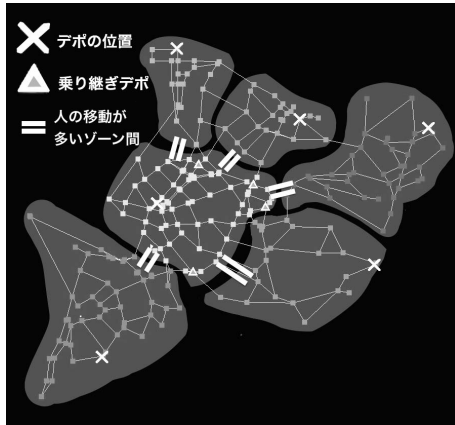


図1: 沖縄県那覇市の地図とゾーンのつながり

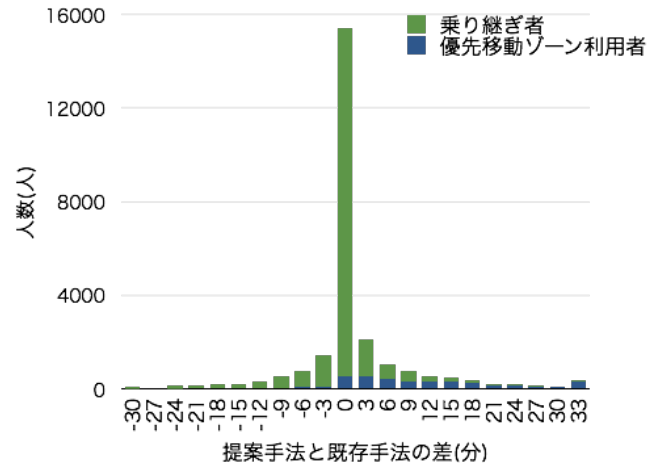


図2: 3分ごとと旅行時間の差の分布

## 4. 実験

### 4.1. 実験概要

提案手法の有効性を確認するため、利用者の旅行時間、バスの総走行距離、計算時間の観点から既存手法と比較する。比較する既存手法として、提案手法と同じデマンドを一括に経路計画したフルデマンドバスを用いる。

実験で使用するマップは沖縄県那覇市のもので、ノード数 232、エッジ数 684 であり、タイムウィンドウは 30 分とした。図1のように6つのゾーンに分割し、それぞれに一つずつデポを配置した。バスの走行速度は 20km/h に固定する。また、デマンドとして沖縄県那覇市のパーソントリップ調査より得られた路線バスの利用者 25744 人を利用した。

### 4.2. 実験結果

図2に既存手法との旅行時間の比較を、表1に利用者の平均旅行時間、バスの総走行距離、計算時間をまとめた。提案手法に於いてデマンドバスの乗り継ぎを行なった利用者の数は 3980 人となり、全体の約 15% となっている。乗り継ぎをする際は平均 7.5 分程度の待ち時間が発生した。また、優先移動ゾーンペアの利用者の旅行時間は 4894 人が減少し、4633 人が増加した。

### 4.3. 考察

まず、利用者の旅行時間について着目する。提案手法の平均と、既存手法の平均を比較すると、提案手法は既存手法より 12.5% 増加した。また、図2をみると優先移動ゾーンペアの利用者を見てもほとんど改善がみられず、乗り継ぎ利用者は旅行時間が増加した。

次に総走行距離を見ると、既存手法が優れていおり、改善は見られなかった。これはデマンドを分割した事により本来同時に送迎できるデマンドが分割されたことで、より多くのバスが運行したためと考えられる。また、提案手法は問題をグループとして分割したため計算量が少なく、計算時間は約 1/5 と大きく短縮できている。

今回の実験では、優先移動ゾーンペアを移動するデマンドの旅行時間は多少改善されたが、乗り継ぎを行なう利用者の旅行時間が予想より大きかった。理由として乗り継ぎ地点までの移動に時間がかかっていると

表1: 各コストの比較

	旅行時間	総走行距離	計算時間
提案手法	13.5 分	23384.6km	42.5 分
既存手法	12.0 分	22386.2km	197.9 分

ということが考えられ、乗り継ぎ地点の位置や数を見直していく必要がある。

## 5. おわりに

本稿では、階層型協調交通システムの一部の改良を狙い、デマンドバス間で乗り継ぎを導入した経路計画手法の提案を行なった。

提案手法は、旅行時間や走行距離を改善するには至らなかったが、計算時間を大きく短縮することができた。しがたって、DARP の計算時間短縮手段として有効な手法であると言える。しかし今回の実験は優先移動ゾーンペアやデポの位置、乗り継ぎ地点をデマンドの状況から試行錯誤的に決定したものであり、数や位置の検証が不十分であるため今後最適化できる余地はある。

**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] 上原 和樹, 赤嶺 有平, 當間 愛晃, 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”, 情報処理学会論文誌, 56(1), 46-56, (2015)
- [2] Jang-Jei Jaw, Amedeo R. Odoni, Harilaos N.Psarafitis, Nigel H. M. Wilson, ”A Heuristic Algorithm for the Multi-Vehicle Advance Request Dial-A-Ride Problem With Time Windows”, Transpn. Res.-B Vol.20B. No.3, pp.243-257, 1986