

クラスタリングとデマンドバスを用いた 大規模通勤システムについての検討

上原 和樹^{1,a)} 赤嶺 有平¹ 遠藤 聡志¹ 根路 銘 もえ子²

概要: 公共交通が十分に供給できない地方都市では、その利便性の低さから自家用車が多く利用されている。特に通勤時や退勤時といった交通需要が高まる時間帯においては渋滞が起きやすく深刻な問題となっている。本稿では、地方都市における公共交通の利便性改善と都市部での通退勤時における渋滞緩和を目的とした新たな通勤システムについて検討する。デマンドバスを利用して地方部の乗客を集約し、大型車両によって都市部まで輸送する手法について議論する。さらに、クラスタリングを用いた効率的なデマンドバス経路生成手法についても検討し、これら手法の効果をシミュレーション実験によって評価する。また、既存の Dial-a-Ride 問題のスケジューリングアルゴリズムとの比較について述べる。

1. はじめに

交通渋滞は全国各地で発生する重大な社会問題であり、経済損失に加えて騒音や CO₂ 排出など環境問題を引き起こす要因となっている。また、地方都市では軌道交通などが十分に供給されず陸上移動の大部分は道路に依存しているため、通勤時や退勤時のような交通需要が急激に高まる時間帯では慢性的に渋滞が発生しており深刻な問題となっている。交通渋滞の緩和策の一つとして、公共交通の利用を促し自家用車の利用を抑えることが考えられるが、地方都市部においては交通需要が空間的に分散していることから公共交通の収益性が悪く、これらを十分に供給するに至っていない。そのため、利便性の観点(近くに利用可能な公共交通が少ない、スケジュール通りの運行が望めないなど)から自家用車が多く利用されているのが現状である。さらに、これら自家用車の利用が多くなるに従い渋滞がより発生しやすい状態となっている。このような現状の中、デマンドバスが有効な公共交通として注目されている。デマンドバスは、利用者(以下、デマンド)の乗降地点や時間帯に応じて経路やスケジュールを柔軟に作成・変更できる運行形態であり、デマンド発生時のみ走行することができるため運行の効率化が期待できる。また、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といった情報端末の技術向上に伴い、道路情報を考慮した配車戦略 [1] など

デマンドバス関連システムへの応用も期待できる。

本研究では、地方部における公共交通の利便性改善及び通勤時における需要の集中による渋滞緩和を目的とし、デマンドバスを用いた通勤システムについて検討する。通勤時においては、地方から都市部への流入が増加することで渋滞が発生する。そこで、地方部の利用需要をデマンドバスによって集約し、LRT(Light Rail Transit) や基幹バスといった大型車両に乗り継がせて都市部へ輸送する。地方部においてはデマンドバスを用いてデマンドを処理することで空間的な利便性の低さを補い、都市部への輸送は公共交通により集約されることで主要道路の混雑解消が期待できる。また、本稿ではクラスタリングを用いることで通勤時に適したデマンドバススケジューリング手法についても検討する。

地域データは、交通渋滞が深刻な社会問題となっている沖縄県那覇市及びその通勤圏をモデルに作成した。沖縄県は軌道交通がほとんどないため、都市部における渋滞が深刻な問題となっており、交通渋滞の緩和策が強く求められている。県民一人あたりの渋滞損失額は全国4位となっており、那覇都市圏の混雑時平均旅行速度は、大都市以下となっている。また、バス路線が不便なため利用率が低く、県民の62%が自動車通勤である。さらに、車両1台あたりの道路面積が全国平均の約半分である上、依然として車両台数は増加傾向にある。そのため、常に道路整備が追いつかない状況にあり既存道路の有効活用が必要となっている。一方、島嶼県のため県外からの車両の流入がなく、大都市圏より交通網の規模が小さいためシミュレーション実験に適している。

¹ 琉球大学
University of the Ryukyus

² 沖縄国際大学
Okinawa International University

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

2. デマンドバス

デマンドバスに関する研究は、スケジューリングアルゴリズムに関するもの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、実証実験など様々である。デマンドバスのスケジューリングは Dial-a-Ride 問題 (DARP) に分類されており、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。Jaw ら [2] 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。その他、遺伝的アルゴリズム [3], [4], タブーサーチや悲観的挿入法などの解法 [5] が研究されてきた。Luo ら [6] は、これら解法の中でも特に挿入法は計算コストが低く、リーズナブルな解が求められるとし、挿入法を改善した rejected-reinsertion heuristic を提案した。

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 [7] 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 [8] 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、北海道函館市を対象とした現状の路線バスとデマンドバスの比較を行った。その結果、実都市の道路ネットワークを採用した場合においても概ね野田ら [7] と同等の結果を示した他、新たにデマンドが少なすぎる場合はデマンドバスの達成コストが高くなり効率が良くないことも示した。坪内ら [9] は、自治体担当者と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。

3. 提案手法及び想定するシステム

3.1 提案システム概要

提案システムの概要を図 1 に示す。まず、地方部におけるデマンドは地方部の中心に配置されたデポット (図 1A) を起点とするデマンドバスによってその地域のみにおいて集約された後に中継地点 (図 1B) へ輸送される。中継地点からは大型の基幹バスや LRT など (以下、大型車両とする) によって都市の中心部 (図 1C) に輸送される。ただし、都市部は軌道交通が充実しており、都市部内は自由に移動できる状況を想定している。地方部では出発地点まで車両が迎えに来ることで利便性の低さを補い、大型車両によって多くのデマンドを輸送できるため自家用車による通勤時の混雑を抑える効果が期待できる。

提案するシステムとして、乗客は事前に出発地、目的地、

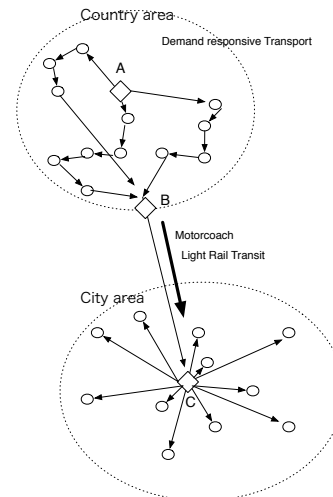


図 1 提案手法イメージ

Fig. 1 the simple image of proposed method

希望到着時刻といったデマンド情報を入力することを想定している。システム運営側は集まったデマンド情報に基づいてバスの経路と乗客の割り当てを行う。その後、求めた経路から乗客に対して出発時刻を通知する。この時、出発時刻及び到着時刻が乗客の許容時刻よりも早ければ乗客は乗車を拒否できるものとする (後述)。デマンドの処理方式としては主にバッチ方式とリアルタイム方式とに分けることができるが、本手法においては通勤時に焦点を当てておりリアルタイム性を要するケースは少ないと考えられることから、バッチ方式を採用する。これにより全体のデマンドを考慮した上でより有効なスケジューリングが可能になると考えられる。また、システム利用者にとっても事前に乗車の可否を知ることができるため、デマンドバスを利用しない場合の代替案を検討しやすいというメリットがあげられる。

3.2 提案アルゴリズム

この節では、説明を簡単にするため出勤時のみについて述べる。^{*1}処理手順は次の通りである。

- (1) 大型車両で輸送するための中継地点を設定する。
- (2) 地方部の中心点からデマンドの出発地点を放射状にクラスタリングする。
- (3) 各クラスター内で中継地点より遠いデマンドから順に繋ぎ、経路とする。
- (4) クラスター内における到着締切時刻を算出する。
- (5) 到着締切時刻に基づき各デマンドに出発時刻を割り当てる。

以下、各項目について詳細に述べる。経路は地方部から都市部へと向きが決まっているため、地方の中心部から都市部への方向に向くようなデマンドを集積する中継地点を設ける。この時、地方部と都市部を結ぶ主要道路が存在するな

^{*1} 帰宅時に関しては地方部と都市部を逆に考える必要がある。

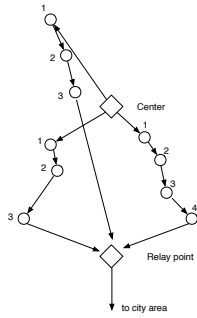


図2 経路作成順序
Fig. 2 Order of routing

らその道路における地方側を中継点とする。地方部においては K-means 法におけるクラスタ評価基準として向きベクトルを採用したもの*2を用いて、デマンドの出発地点ごとのクラスティングを行う。ここで、クラスティングの結果は車両への割り当てに相当するが、一つのクラスタ内で車両への乗車定員を超えた場合は到着希望時刻が早いデマンドから順に車両へ割り当てし、乗車定員を超えたデマンドに対しては新しい車両を割り当てる。次に、図2の様にそれぞれのクラスタにおいて中継地点から遠いデマンドから順に迎えるような経路を作成する。最後に、各デマンドに対して出発時刻を割り当てる。出発時刻の割り当て方法は次のように行う。

- (1) クラスタの内で最も早く降車地点に着かなければならないデマンドを選び、そのデマンドが降車地点に着くべき時刻を到着締切時刻とする。
- (2) その時刻と各地点への所要時間を基にそれぞれの出発時刻を算出し、各デマンドに割り当てる。

前述の通り、スケジュールされた出発時刻もしくは到着時刻が許容時刻を外れた場合は乗車を拒否する。

デマンドの許容時刻に関しては Jaw ら [2] の示したタイムウィンドウを参考に設定した。

$$LDT = DDT \quad (1)$$

$$EDT = LDT - WS \quad (2)$$

$$LPT = LDT - DRT \quad (3)$$

$$EPT = EDT - MRT \quad (4)$$

また、バスに乗車していただける許容時間を示す MRT は以下の式により表す。

$$MRT = \alpha + \beta \times DRT \quad (5)$$

DDT は希望到着時刻、 EPT は最早乗車時刻、 LPT は最遅乗車時刻、 EDT は最早降車時刻、 LDT は最遅降車時刻、 WS は降車時刻における許容可能なずれ、 MRT は許容可能な乗車時間を表す。タイムウィンドウは図3のよう

*2 中心部から各乗客への方向と中心部から各クラスタへの方向ベクトルを比較し、最もベクトルが類似しているクラスタに割り当てる

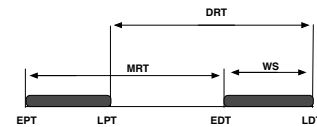


図3 タイムウィンドウ
Fig. 3 Time window

に示され、太線部外においては乗車できないものとする。本手法において、スケジュール時刻はクラスタ内で最も早く目的地に着くデマンドの LDT を基に算出するため、各デマンドに対するスケジュール時刻が LPT 及び LDT よりも遅れることはない。すなわち、デマンドが乗車する条件は以下の式が成立する時である。

$$EPT \leq APT \quad (6)$$

$$EDT \leq ADT \quad (7)$$

APT はスケジュールされた乗車時刻、 ADT はスケジュールされた降車時刻を表す。

4. 評価実験

提案手法の効果を確認する為に、国土地理院が発行する沖縄県の電子地図データを用いて作成された道路ネットワークにおける比較実験を行った。一般に、交通手段における利便性については旅行時間や待ち時間、乗り継ぎに対する心理的抵抗など様々な要因が考えられることから評価することが困難である。そのため本稿では「移動手段」という本来の利用目的に着目し、旅行時間について利便性の評価を行う。比較対象としては、既存の DARP アルゴリズムにより求めた旅行時間及び平成 18 年度における固定路線バスを利用した際の旅行時間と比較を行う。ここで、既存の DARP アルゴリズムとして計算コスト並びに解の精度の観点から Jaw らによって提案された挿入法 [2] を採用した。

4.1 地域データ

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(表1)。本論文では、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。

ノード数	639
リンク数	2006
リンク総延長	376 km

表1 地域データのパラメータ

Table 1 Specifications of the model used by the traffic simulation



図 4 シミュレーションで利用する道路ネットワーク

Fig. 4 the road network of south central Okinawa used by the simulations

4.2 道路モデル

道路網データは、国土地理院発行の数値地図 1/25000 を基に構築し、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 (図 4)。

4.3 実験設定

評価実験における設定条件は以下のように行った。

- 信号及び渋滞などの背景交通は考慮しない
- バス 1 台あたりの定員は 60 名とし、車両利用台数の上限は考慮しない
- 乗降車にかかる時間は無視する
- バスの旅行速度は全ての市町村において一定とする
- 市町村内におけるデマンドの発生は各ノードから一様に発生するものとし、目的地はモノレール沿線上とする

バスの平均旅行速度は、平成 18 年に利用されていた時刻表 [11] に基づき算出した速度 31.04(km/h) とした。実験の対象地区は、沖縄県政策資料 [12] を参考に選定した。これより、那覇市から離れており自家用車含む車両の平均旅行速度が遅い沖縄市と宜野湾市、さらに面積あたりのバス路線数が少ない中城村と八重瀬町についてそれぞれ検討した。なお、各デマンド発生地点からのデマンド数は 30 分の内に 2000 人が出発する状況を想定し、この 2000 人についてのみ考慮する。

4.3.1 提案手法の設定

提案手法における降車地点はモノレール駅のいずれかとし、降車地点から目的地へはモノレールを利用して移動するものとする。モノレールの平均待ち時間は 3 分、旅行速度は 29.88(km/h) とした。これらの値はモノレール時刻表を参考に設定した。また、中継点における大型車両への乗り継ぎにかかる時間は考慮せず、車両はデマンドバスが中継点に到着した時にいつでも利用可能であると仮定した。

4.3.2 挿入法の設定

シミュレーション中における挿入法のパラメータは、予

備実験によりどの市町村においても旅行時間、使用車両台数の観点から良い結果を示した以下の値を採用した。

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 1 \quad (8)$$

また、本実験において利用可能な車両及びオペレータの人数に制限は設けないことから C_5 から C_8 の値は 0 と設定した。式 (5) に関するタイムウィンドウのパラメータは試験的に $\alpha = 10(\text{min})$ 、 $\beta = 1.5$ とした。この α と β については個人差があり、様々な値を取りうるため今後十分な議論が必要である。

4.3.3 固定路線バスの設定

固定路線バスは、平成 18 年に利用された時刻表 [11] に記載された路線図を参考に路線を設定した。デマンドの出発地点に利用可能な路線バスがなければ、利用者は最寄りのバス路線上まで徒歩で移動してバスを利用する。ここで、徒歩における移動速度は文献 [13] を参考に 4.28(km/h) とした。また、乗り継ぎは自由に行えるものとし、乗り継ぎにかかる待ち時間や乗降車にかかる時間は考慮しない。ただし、路線バスにおいては到着時刻を正確に予想することは困難であるため希望到着時刻との待ち時間を考慮する。これは、一定間隔で運行するバスに対して乗客は最も希望到着時刻近くに到着するバスを選択すると想定したものである。乗客の希望到着時刻が一様に分布しているとした場合、希望到着時刻と到着時刻との差も一様に分布していると考えることができる。従って、出発地点の時刻表における平均運行時間間隔の中間値を平均待ち時間として考慮した。各地域における平均待ち時間はバス運行時刻表 [11] の午前 6 時から午前 8 時までの運行頻度と出発地点における運行時刻を参考に算出した。

4.4 平均旅行時間

図 5 から図 8 までは対象地区から那覇市までバスにより移動した際の平均旅行時間 (分) を示す。項目は左から順にそれぞれ、提案手法、挿入法によるデマンドバス、平均待ち時間を考慮した路線バスの平均旅行時間を示す。また、参考として路線バスの平均待ち時間を除外した旅行時間及びパーソントリップ調査におけるバス利用者の平均旅行時間をそれぞれグラフ右側に示す。ここでの旅行時間とは、乗客が出発してから目的地に本来到着したかった時間、すなわち希望到着時刻までの時間を表している。宜野湾市 (図 6) と中城村 (図 7) においては、路線バスによる移動が最も旅行時間が短い。一方、沖縄市 (図 5) においては提案手法と路線バスの旅行時間がほぼ同等、次いで挿入法によるデマンドバスの旅行時間となっている。八重瀬町 (図 8) に関しては提案手法が最もよく、路線バス利用者の旅行時間が最も長くなる結果となった。

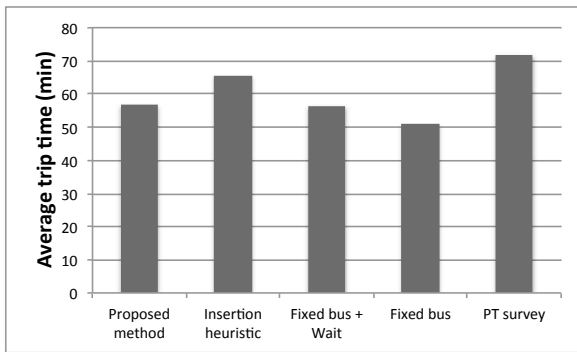


図 5 沖縄市から那覇市までの平均旅行時間 (分)

Fig. 5 Mean trip time (minutes) from Okinawa city to Naha city

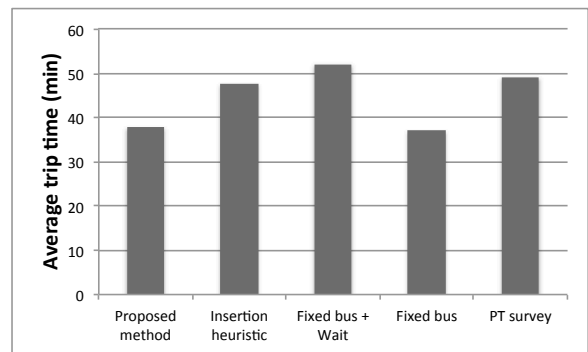


図 8 八重瀬町から那覇市までの平均旅行時間 (分)

Fig. 8 Mean trip time (minutes) from Yaese town to Naha city

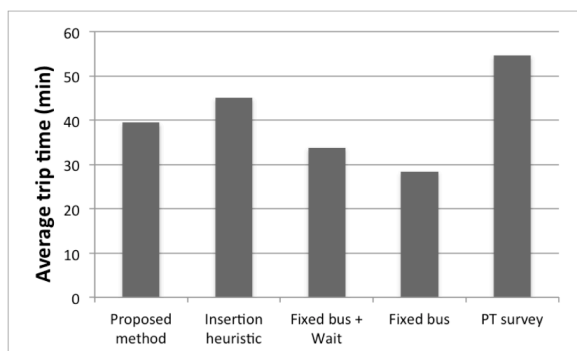


図 6 宜野湾市から那覇市までの平均旅行時間 (分)

Fig. 6 Mean trip time (minutes) from Ginowan city to Naha city

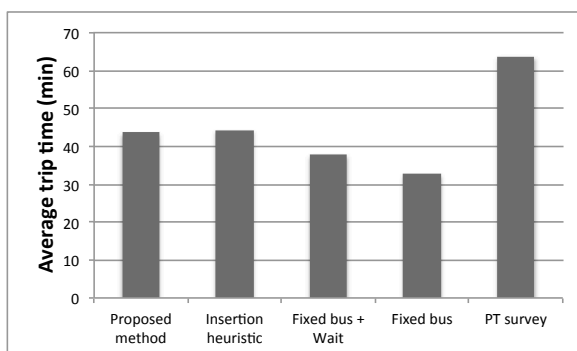


図 7 中城村から那覇市までの平均旅行時間 (分)

Fig. 7 Mean trip time (minutes) from Nakagusuku village to Naha city

平均旅行時間は挿入法と比較し、提案手法が半分ほどに収まっていることがわかる。さらに図 12 においては車両の平均旅行時間はおよそ 3 分の 1 程度まで減少している。乗客の平均所要時間に関しては、中城村 (図 11) を除いた市町村で減少していることが確認できる。車両及び乗客の平均旅行時間については提案手法の方が良い結果を示したが、平均車両使用台数 (表 2) に関しては既存の挿入法が若干良い結果となった。

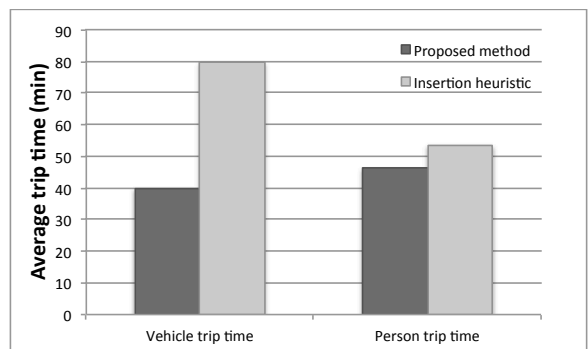


図 9 沖縄市から那覇市までの平均旅行時間 (分) 比較

Fig. 9 Comparison of mean trip time (minutes) from Okinawa city to Naha city

使用台数	沖縄市	宜野湾市	中城村	八重瀬町
提案手法	40.25	36.5	35	38.75
挿入法	36.25	36.25	34.5	36

表 2 各地域における車両平均使用台数

Table 2 Average number of vehicles used in each area

4.5 提案手法と挿入法との比較

次に、提案手法の特性を確認するため車両の旅行時間、乗客が車両に乗車してから目的地に到着するまでの所要時間、使用台数について比較する。図 9 から図 12 は各市町村における車両の平均旅行時間と乗客の平均所要時間のグラフである。また、表 2 は各市町村における車両の平均使用台数を示している。図 9 から図 11 においては、車両の

5. 考察

5.1 平均旅行時間について

まず、平均旅行時間における実験結果について考察する。固定路線バスに対して、提案手法及び既存手法は旅行時間を縮められるケースが少なかった。特に宜野湾市 (図 6) と

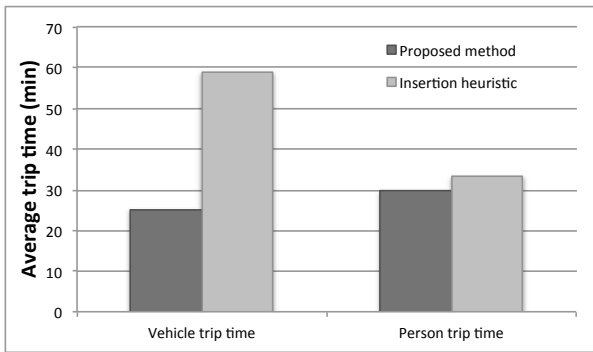


図 10 宜野湾市から那覇市までの平均旅行時間 (分) 比較

Fig. 10 Comparison of mean trip time (minutes) from Ginowan city to Naha city

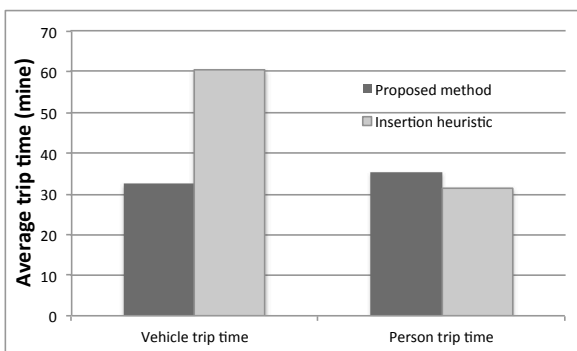


図 11 中城村から那覇市までの平均旅行時間 (分) 比較

Fig. 11 Comparison of mean trip time (minutes) from Nakagusuku village to Naha city

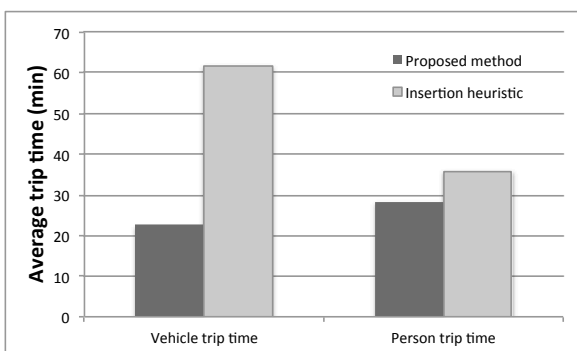


図 12 八重瀬町から那覇市までの平均旅行時間 (分) 比較

Fig. 12 Comparison of mean trip time (minutes) from Yaese town to Naha city

中城村 (図 7) は提案手法と路線バスとでおよそ 5 分の差が生じた。宜野湾市に関しては、バス路線が充実していたことが主な要因だと考えられる。沖縄市 (図 5) では、提案手法と路線バスがほぼ同等の旅行時間を示した。これは、沖縄市も宜野湾市と同様バス路線が充実している地域ではあるが市の面積がより広域なため、宜野湾市と比較すると路線バスまで歩く利用者の割合が多くなったことが理由だと

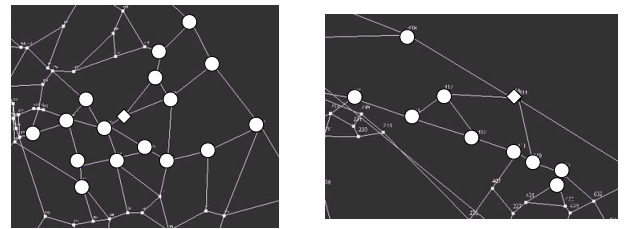


図 13 八重瀬町道路ネットワーク (左) と中城村道路ネットワーク (右)

Fig. 13 The road networks of Yaese town(left) and Nakagusuku village(right)

考えられる。八重瀬町 (図 8) に関しては、提案手法及び挿入法によるデマンドバスの旅行時間が固定路線バスの旅行時間と比べて短かった。これは八重瀬町におけるバスの路線が少ないこと、及び町の面積が広いことが原因だと考えられる。さらに、待ち時間を考慮すると PT 調査結果よりも旅行時間が長くなったことから運行頻度が低い、利用可能な路線が居住地の近くにないなど路線バスそのものの利便性が低い可能性が考えられる。

また、提案手法と挿入法の旅行時間に着目すると、挿入法は中城村においては旅行時間が提案手法とほぼ等しくなっているのに対し、八重瀬町における旅行時間は PT 調査とほぼ同等の旅行時間となっていることがわかる。ここで、地形の影響に関して考察するために八重瀬町と中城村の道路ネットワークを図 13 に示す。八重瀬町 (図 13 左) はノードが一様に分布しているのに対し、中城村 (図 13 右) は道路が直線上となっている。このため、通常の挿入法において八重瀬町では経路が交差しやすいなど旅行時間が大きくなる傾向にあると考えられ、中城村においては直線状の経路が作られやすい傾向にあると考えられる。このことから、挿入法においては地域の形状による影響を受けやすいと考えられる。提案手法については、全ての地域に対して同様に旅行時間が減少していることから、地形の影響は受けにくいと考察できる。現行のバスと比較して、デマンドバスによる輸送は直接出発地 (もしくは出発地付近) まで車両が迎えに来ることから公共交通へのアクセスのしやすさに関しても改善可能だと思われる。

5.2 提案手法と挿入法の比較について

提案手法と挿入法の比較においては、図 9 から図 12 までいずれにおいても車両の平均旅行距離はおよそ半分ほどとなっている。これは、提案手法については乗客を目的地まで輸送しないことにある。都市部においては公共交通をはじめとする交通手段が充実しているため、このような輸送方式も十分に検討され得ると考えられる。また、車両の走行時間が抑えられることにより、燃料費や運転手の賃金といった運行費の削減やその他のデマンドへの対応が可能となり、サービスレベルの拡充が期待できる。平均移動所

要時間に関しては提案手法と挿入法とで大きな差はないものの、中城村においては挿入法が上回っている。これについては5.1節と同様に、道路ネットワークの影響により挿入法にとって効率的なスケジューリングが可能な地域であったことが要因だと考えられる。車両の使用台数に関しては、全体を通して挿入法の方が優れた結果となった。これは、挿入法はタイムウィンドウを確認しながら挿入可能な車両を探索するため効率よい配車ができるのに対し、提案手法はクラスタリングされた方向上で近い乗客をまとめており車両台数については考慮されていない。そのため、同一クラス内で定員を超えた際は新しい車両に乗客を割り振ることで効率の悪い配車になっていると考えられる。これより、配車戦略を考慮したクラスタリングも今後の重要な課題の一つとして検討すべきである。

5.3 検討事項

これまで、デマンドバスは過疎地域における運行を考慮していたため高齢の方のような利用者を対象にすることが多く、ドア・ツー・ドアであることにメリットがあった。しかしながら、都市部において適用する際は通勤や通学、買い物利用や行楽などによる利用が多くなると予想でき、必ずしもドア・ツー・ドアである必要はないと考えられる。これより、提案システムのさらなる改善として、今回は乗客一人一人の出発地点まで迎えに行く設定で検討したが、乗客が歩ける許容範囲内にデマンドバスの経路を作成することでより柔軟で迂回路の少ない経路が作成できると期待できる。さらに、迂回路が少なくなることで乗客のスケジューリングにゆとりが生じるため、より多くのデマンドに対応出来ると思われる。

また、本稿においては、提案手法の効果そのものを既存交通及び既存のDARPアルゴリズムと比較するために背景交通や乗り継ぎに関する待ち時間は考慮していない。従って、実際に運行した場合は同等の結果にならないと思われる。そのため、実現可能性を示すためにはより現実の設定を考慮したシミュレーションが必要な他、効率的な配車戦略によるスムーズな大型車両への乗り継ぎ等を検討する必要がある。

6. おわりに

本稿では、地方都市における通勤時の渋滞緩和を目的として、地方部から都市部に向けたデマンドを集約して輸送する通勤システムを提案した。シミュレーションによる評価実験では、沖縄県那覇市通勤圏を対象に道路ネットワークを作成し、既存のDARPアルゴリズムで作成したスケジュールの旅行時間及び固定路線バスにおける旅行時間と比較した。その結果、提案手法は広域な面積の地域に対して有効となる可能性が示された。

ただし、シミュレーションの設定として現実的でない要

素が含まれるため今後はそれらを改善していく必要がある。具体的には、自家用車や信号機などの背景交通を考慮することや、デマンド発生地点を地域内で一様としたが、実際には住宅地などのデマンド発生が密集した箇所が想定できること、さらに乗り継ぎ時間や待ち時間を無視したことなどが挙げられる。これらについては、筆者らが独自で開発したマイクロ交通シミュレータ [14] を用いてより詳細にシミュレーションをする予定である。さらに5.3節で示した様に、クラスタリングによる配車戦略の改善、及びデマンドバス運行経路の最適化や基幹交通とのスケジューリング最適化をする必要がある。

謝辞 本研究は、科研費 若手研究 (B) (23760356) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 内村圭一, 前田竜士: 動的な交通情報を用いたリアルタイム Dial-a-Ride システムの構築, 電子情報通信学会論文誌 A, J88-A(2), pp.277-285(2005)
- [2] Jang-Jei Jaw, Amedeo R. Odoni, Harilaos N. Psaraftis and Nigel H. M. Wilson: A Heuristic Algorithm For The Multi-Vehicle Advance Request Dial-a-Ride Problem, Transportation Research Part B, Vol. 20, No. 3, pp. 243-257(1986)
- [3] 内村圭一, 齊藤隆司, Hiro Takahashi: 公共交通サービスにおける Dial-a-Ride 問題, 電子情報通信学会論文誌 A, J81-A(4), pp599-606(1998)
- [4] Claudio Cubillos, Nibaldo Rdriguez, Broderick Crawford: A Study on Genetic Algorithms for the DARP Problem, Springer Berlin-Heidelberg LNCS, vol.4527, pp. 498-507(2007)
- [5] Jean-Francois Cordeau, and Gilbert Laporte: The dial-a-ride problem: models and algorithms, Annals of Operations Research Vol. 153, No. 1, pp. 29-46(2007)
- [6] Ying Luo, and Paul Schonfeld: A rejected-reinsertion heuristic for the static Dial-A-Ride Problem, Transportation Research Part B, Vol. 41, No. 7, pp736-755(2007)
- [7] 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, pp242-252(2008)
- [8] 小柴等, 野田五十樹, 山下倫央, 中島秀之: 実都市を対象としたシミュレーションによるデマンドバス評価, 人工知能学会全国大会論文集, 27 巻, RONBUNNO.1D4-3(2013)
- [9] 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, 25 巻 3 号 TS09-E, pp400-403(2010)
- [10] 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).
- [11] バス運行時刻表: 社団法人 沖縄県バス協会 (2006)
- [12] TDM 施策推進アクションプログラム: 沖縄県 (2013)
- [13] 松本直司, 清田真也, 伊藤美穂: 街路空間特性と歩行速度の関係, 日本建築学会計画系論文集, Vol.74(640), pp1371-1377(2009)
- [14] 赤嶺有平, 遠藤聡志, 上原和樹, 根路銘もえ子: 時間的交分散散を旨と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, pp438-447