

シミュレーションによる新型公共交通の 段階的導入の評価手法の提案

宮地 将大^{1,2,a)} 野田 五十樹^{1,2}

概要: 本研究では, 北海道函館市を対象として, 新型公共交通の一つであるデマンドバスを既存路線交通と織り交ぜて導入したときの, 旅行時間に基づく利便性の評価を, マルチエージェントシミュレーションによる手法を用いて調べる. シミュレーション実験の結果から, デマンド数が少ない時には路線交通のみの運行と比較して, デマンドバスを少数導入するだけでも利便性改善の傾向が見られた.

1. はじめに

本研究では, マルチエージェントによるシミュレーションを用いて, 新型公共交通システムの一つであるオンデマンド型交通を, 既存の公共交通に段階的に導入した場合の交通利便性について評価を行なう.

近年, 我が国において, 車社会の進展, 超高齢化社会の到来により, 高齢者をはじめとする交通難民の顕在化が問題となってきている. 特に, 中山間地やモータリゼーションが進展した地域では公共交通機関の利用者が少なく, それによりバス事業者は赤字回避のために路線の撤廃や減便を行なうが, その路線撤廃および減便により, 利用者の利便性をさらに悪化させて, さらに利用者が少なくなるという悪循環が起きている [1].

この問題への解決に期待される対策案の一つとして, オンデマンド型交通(Demand Responsive Transportation, DRT)システムがある. オンデマンド型交通システムとは, 交通事業者の定めた路線を時刻表通りに運行する従来の公共交通システムに対して, 利用者のデマンドに応じて柔軟に運行時刻や運行経路を設定する新型公共交通である.

デマンドバスは, オンデマンド型交通システムの一つで, 特定の範囲内において, 利用者の依頼(デマンド)に応じた乗降車を行なうバスの運行システムであり, 利用者の出発地, 目的地や時間に応じて利用者同士の乗合を可能とするサービス, およびその乗合タクシーである. 特に, 時刻表や標準路線が全く定められていない, ドアツードアでの

運行を行なう形式をフルデマンド方式と呼び, フルデマンド方式のデマンドバスをフルデマンドバスという [2][3][4].

このデマンドバスのシステムは現在, 全国各地の地域や一部運行区間で導入されている [5]. しかし, デマンドバスを導入するためには予約受付するためのシステムやオペレーターが必要となるため, 事業者や自治体にとっては運営のための固定費用を上回る業績が見込めないとデマンドバスシステムの導入は難しい. そのため, 導入を検討している事業者や自治体では, その土地の持つ固有の条件下において, 従来の交通システムから新しい交通システムに移行させたときに, 期待する効果を得られるかどうか, 事前評価が必要となる.

本研究は, 網羅的シミュレーションにより, 新型公共交通システムであるデマンドバスを導入した際の, 交通利便性に影響を与える要素や条件について網羅的に調べることを目的とする. これにより, 交通利便性の改善の評価や, 行政や自治体の都市計画者に対して交通システムの評価や判断となる指標の提供が期待できる. 本論文では, 交通シミュレータを用いて, 既存の公共交通にオンデマンド型交通を段階的に織り交ぜたときの, 新型公共交通の導入効果について網羅的に検証した結果について述べる. 評価には, フルデマンドバスと北海道函館市の既存公共交通である路線バスの交通利便性について比較する. これにより, 社会的な問題への網羅的シミュレーションの適用可能性を探る.

本論文は2節で問題設定, 3節で提案手法について, 4節でシミュレーション実験を行なうにあたり, エージェントの設定やデマンドの設定について述べる. 続いて5節でシミュレーション実験の結果を示し, 6節では結果からの考察を述べる.

¹ 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 知能システム科学専攻
4259 Nagatsutacho, Midori-ku, Yokohama, Kanagawa 226-8563, Japan

² 産業技術総合研究所 サービス工学研究センター
1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8568, Japan

a) miyachi.m.aa@m.titech.ac.jp



図 1 北海道函館市内のシミュレーション対象エリア (南北約 10km 東西約 13km 四方)

Fig. 1 Target Area for simulation in Hakodate city, Hokkaido (North-South 10km, East-West 13km).

2. 問題設定

2.1 対象とする都市

対象とする都市として、北海道函館市の実在路線、エリアを取り上げる(図1)。

函館市は、人口がおよそ 30 万の中規模都市であり、公共交通機関には路線バス、市電、タクシーや鉄道がある。路線バス事業者である函館バス株式会社では、市内に主要系統が 36 あり、在籍車数は 203 台である [6]。市電について、1 日当たりの平均運行数は 145.4 回 [7] である。函館市のタクシー事業について、タクシー事業者数が個人・法人を合わせて 179 であり、タクシーの総台数は 1067 台である [8]。

住宅地はエリア内に平面的に分散しており、市電や路線バス、鉄道では全てのエリアをカバーすることができていない。さらに、人口の減少や自家用車の普及率増加によるバス利用者の減少により、路線バスの便数の減少、運行路線の廃線が発生し、さらなるバス利用者減少の悪循環を招いている [6][7]。

2.2 関連研究

野田らは、11 × 11 の碁盤目状の仮想的な道路ネットワーク上で発生するデマンドに対して路線バスとデマンドバスを運行させ、バス台数を増加させることができれば、同じバス台数でも路線バスよりもデマンドバスの方が優位となることを示した [2]。つまり、デマンドバスはデマンドの少ない地域よりも、むしろデマンドが多く、バス台数を増加させることのできる都市部のほうが、より利用者の利便性が向上することを示した。しかし、野田らの研究では 11 × 11 の碁盤目状の道路ネットワーク上での運行を仮定しており、実都市での道路ネットワーク上での評価は行わ

れていない。また、扱うバスは等速運動で、各々衝突することなく運行し、バス停前後で減速や加速は行われないう簡素化された設定で評価を行なっている。

小柴らは、交通シミュレータを用いて函館の道路ネットワーク上でも野田らの示した結果が得られることを示した [9]。また、野田らはバス台数を増加させることで利用者の利便性が向上することを示していたが、小柴らの結果ではバス台数を増やしすぎても渋滞が発生し、利便性は悪化するケースもあることも示した。但し、小柴らの実験は函館駅周辺のごく狭いエリア(面積およそ 0.5km²)を対象としていて渋滞の発生しやすい実験設定であった。また、1 種類の観光用の路線バス(1 周約 8.5km, 35 分程度)についてのみデマンドバスとの交通利便性について比較、議論を行なっている。

本研究では、デマンドバスを函館市市街地エリア全域で段階的に織り交ぜて導入し、エリア内の路線バスと交通利便性について比較し、導入の効果について評価する。

3. 提案手法

3.1 評価軸

評価項目として、利用者の利便性(交通利便性)を取り上げる。本研究における交通利便性は以下の定義に従う [2]。交通利便性

出発地から目的地まで乗り換え無しで到達する場合の、デマンド発生時刻から達成時刻までの平均時間(デマンド達成時間)

このデマンド達成時間が短いほど、交通利便性は高いものとする。

デマンドバスの織り交ぜ方やデマンド数など、少しずつ条件を変えて網羅的にシミュレーションを行なう。

3.2 織り交ぜ方

織り交ぜ方としては、デマンドバスを現在の路線交通に追加、および現在運行している路線交通の運行をデマンドバスに置き換えて運行させて導入させる。

置き換えによるデマンドバス導入では、1 日当たりに運行するバスの台数を一定として、バス事業者としての運行コストを一定とする。これは、バスの運行コストの多くは人件費であるため、置き換えを行なうことで運行コストを一定として現在の路線交通との比較を行なうことを考慮した。

追加、置換を行なうデマンドバスの台数や比率を変えることで段階的に導入した際の交通利便性を求める。

以後、本論文において、既存路線交通にデマンドバスを追加して導入することを追加導入(図2)と呼び、デマンドバスを路線バスと置き換えて導入することを置換導入(図3)と呼ぶ。

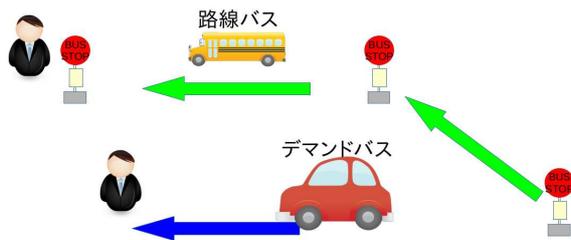


図 2 織り交ぜ方 1: 従来の路線交通はそのまま、デマンドバスを追加していく (追加導入)

Fig. 2 Mix Method 1: Adding demand bus runs into the current route bus system (Additional introduction).

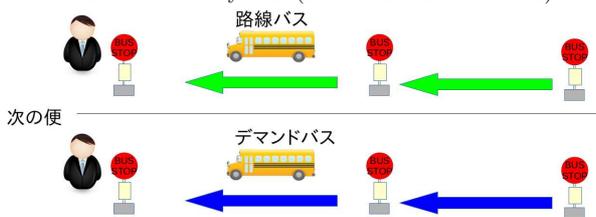


図 3 織り交ぜ方 2: 路線バスの便をデマンドバスでの便に置換する (置換導入)

Fig. 3 Mix Method 2: Replacing route buses with demand buses (Replacing introduction).

3.3 評価シナリオ

以下に示すシナリオの評価を行なう。

シナリオ 1

従来の路線交通の環境に、段階的にデマンドバスを追加導入する。追加するデマンドバス台数を変化させて交通利便性の変化からデマンドバス導入の効果について評価を行なう。

シナリオ 2

運行コストを固定し、段階的にデマンドバスを置換導入する。置換する路線バスは全ての運行からランダムに抽出する。運行コスト一定の下、段階的な置換導入による交通利便性に関するデマンドバス導入の効果について評価を行なう。

シナリオ 3

デマンド数に対するデマンドバスの交通利便性の変化を調べる。全てデマンドバスで運行させた時に、デマンド数を変化させてどれだけのデマンド数であれば路線バスと比較して優位性を持つか評価を行なう。

シナリオ 4

デマンド数を固定し、全てデマンドバスで運行させた環境下で、運行コストを増やしたときの交通利便性について評価する。

シナリオ 5

パーソントリップ調査により推計した、エリアからの潜在需要を含めたデマンドサンプル [3] に対してデマンドバスを置換導入した場合の導入効果について検証

する。

4. シミュレーション実験

4.1 交通シミュレータ

シミュレーションでは、オープンソースソフトウェアである SUMO (Simulation of Urban MObility) [10][11] を交通シミュレータとして用いる。SUMO はマルチエージェントシミュレーションを行なうにあたり、シミュレーション中でも運行経路の変更など、デマンドバスをシミュレータ上で外部から操作できる API を持つ。これにより、発生するデマンドによって変化する状況の中で判断行動を変えるエージェントを設計することができる。

今回の実験では、Open Street Map 上で取得した函館市道路ネットワークをシミュレータにインポートし、そのネットワーク上で路線バス、デマンドバスを運行させる。インポートした函館市の道路ネットワークは、中心市街地であるおよそ 13km(東西) × 10km(南北) 四方のエリアを抽出した。これは、函館空港や函館市内にある大学、観光地を含むエリアである。

4.2 バスエージェント設計

シミュレーション上での路線バスを、株式会社函館バス *1 が運行している路線バスの路線・時刻表に基づいてモデル化した。モデル化した路線バスを平成 25 年度夏季、平日の運行ダイヤに従って運行させる。午前 5 時から午後 8 時までの運行ダイヤに従って、延べ 890 のバスが運行する。エリア内においてバス停は 339 箇所ある。

乗降時間は 1 人当たり 1[秒] に設定し、乗車人数と降車人数を比べて多い方に合わせて路線バスおよびデマンドバスを停車させる。路線バスの場合、遅延が発生していない時は時刻表に従って次の発車時間までバス停で停車を行なう。

乗車定員について、デマンドバスとしてミニバスを想定して乗車定員を 13 名とし、路線バスは中型バスを想定して乗車定員は 60 名とする。ここで、運転手は乗車定員から除いている。実験で扱うデマンドバスはフルデマンドバスとする。

バスは、函館市のネットワーク上でデマンドに応じて経路選択を行い、利用者を輸送する。路線バスの場合、株式会社函館バスの路線バスの路線・時刻表に従ってバス停を移動し、終点のバス停まで利用者を輸送する。また、デマンドバスの場合、利用者への配車方法は逐次最適挿入法 [2] で決定するものとした。この手法は、運行している車両間での単純オークションによってデマンドバスにおける旅行コストが最小となるバスをアサインする手法である。この手法により、最適ではないが準最適となる解を出す。

*1 函館市における唯一の路線バス運行事業者である

バス停間、もしくはデマンド間の経路は旅行時間が最短となる経路を各バスに設定し、運行させる。

また、それぞれのバスにおける最高速度・加速度・減速度は共通とし、それぞれ、 $8.0[m/sec]$ ・ $0.6[m/sec^2]$ ・ $1.5[m/sec^2]$ とする。

各バスは時刻表に基づく始点であるバス停の発車時刻と終点であるバス停の到着時刻の間運行する。シミュレーションでは、午前5時から午後8時までバスを発車させ、午後10時の運行終了時刻まで運行させる。

4.3 利用者エージェント設計

利用者は、デマンド発生時点において、目的地への移動に路線バスかデマンドバス、もしくは歩行による移動を選択する。

移動手段の選択は、デマンド発生時から目的地までの概算時間(概算コスト)が最短となる移動手段を決定する。

目的地まで移動にかかるデマンド達成時間 T は次式(1)のように定義される [12]。

$$T = T_{walk} + T_{wait} + T_{ride} \quad (1)$$

ここで、 T_{walk} は歩行時間、 T_{wait} は待機時間、 T_{ride} は交通機関利用時の時間である。

歩行時のデマンド達成時間(歩行時時間) T_W は、出発地から目的地まで最小コストとなる経路を移動した時間とする。概算では歩行時の平均速度を $1.0[m/sec]$ と仮定し、バスでのデマンド達成時間の8倍とする。出発地から目的地まで歩行で移動した場合、デマンド達成時間 T_W は次式で定義される。

$$T_W = T_{walk} \quad (2)$$

デマンドバス利用時のデマンド達成時間(デマンドバス利用時時間) T_D はデマンド発生時からとデマンドバスが利用者のいる場所に移動するまでの待機コスト、およびデマンドバスに乗り込んでから目的地までに到着するまでの移動コストの総和とする。乗車するデマンドバスは、デマンド発生時点において運行しているデマンドバスの中から、逐次最適挿入法 [2] により求められたバスに決定する。デマンド達成時間 T_D は次式で表される。

$$T_D = T_{wait} + T_{ride} \quad (3)$$

路線バス利用時のデマンド達成時間(路線バス利用時時間) T_R は、デマンド発生時刻から最寄りのバス停までの歩行時時間、バス停到着時刻から路線バスの到着する時刻間の待機コスト、路線バスを利用したバス停間の移動コスト、そしてバス停から目的地までの歩行時時間の総和とする。目的地まで路線バスを利用して移動した場合、デマンド達成時間 T_R は以下のように定義される。

$$T_R = T_{walk} + T_{wait} + T_{ride}$$

where, $T_{walk} = T_{fromBusstop} + T_{toBusstop}$ (4)

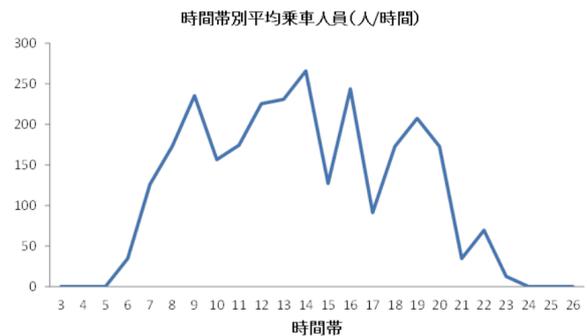


図4 各時間帯における潜在デマンド (文献 [3])

Fig. 4 Potential demands in each time zones(reference [3])

但し、 $T_{fromBusstop}$ は出発地から最寄りのバス停までの歩行時間、 $T_{toBusstop}$ は目的地の最寄りのバス停から目的地までの歩行時間である。

利用者は、デマンド発生時点に概算したデマンド達成時間が短い移動手段を選択するものとした。

但し、利用者は以下の条件の場合には乗車は出来ず、歩行して目的地に移動する。

- 乗車時にバス乗車定員を超えている
- 到着時刻が午後10時を超える

4.4 デマンド設計

利用者からのデマンドは、朝夕の通勤・通学時間帯を含んだデマンドに対して評価するために、午前5時から午後8時の間にエリア内の各道路リンク(一区画)において発生させる。デマンドを以下に述べる2種類のデマンド群から発生させる。

1つ目のデマンド群は、路線バスを普段利用するデマンドとの比較のために集めた、路線バス利用時時間の方が歩行時時間よりも短くなるデマンドの集合である。時間、空間的にランダムに35000集めた。

2つ目のデマンド群は、パーソントリップ調査に基づいて推計した [3]、月曜日の公共交通機関利用者のデマンド群(図4)を用いる。図4において、横軸は時間帯、縦軸は推計したデマンド数を表している。午前5時から午後8時までに発生するデマンドの数は2326であった。

本論文において、以後1つ目のデマンド群を路線バス利用デマンド群と呼び、潜在公共交通機関利用デマンド群と呼ぶ。

シナリオ1からシナリオ4では、路線バス利用デマンド群からランダムに抽出したデマンドをエリア内から発生させ、シナリオ5では潜在公共交通機関利用デマンド群からデマンドを発生させる。

4.5 利便性評価の方法

利便性の評価には、利用者のデマンド達成時間を、出発地から目的地までの歩行時時間で割ることにより正規化し

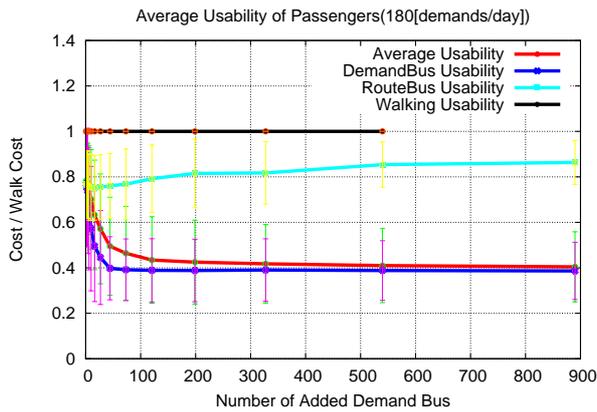


図 5 既存路線交通にデマンドバスを追加導入したときの交通利便性の変化 (180 [デマンド/日])

Fig. 5 Changes of average usability when the number of demand buses to introduce into the current route bus system increased (180 [demands/day]).

た値を用いる.

$$\frac{t}{T_W}, \text{ where } t \in \{T_W, T_D, T_R\} \quad (5)$$

これにより, 歩行時間と比較して利用者がどれだけ早く目的地に到着できるかを算出する. この値が小さければ小さいほど, 歩行時よりも早く目的地に到着することができ, 交通利便性が高いことを意味する.

5. 実験結果

5.1 シナリオ 1 の設定とその結果

従来の路線交通の環境に, デマンドバスを段階的に追加して織り交ぜた. 追加する台数を変化させて, デマンドバス導入により利用者全体の交通利便性はどのように変化するのかシミュレーションを行なった.

デマンドは, 1日当たり 180 のデマンドが発生するものとした. これは, 午前 5 時から午後 8 時までの 15 時間で平均して 5 分に 1 度の頻度でデマンドが発生するとして 180 を設定した.

延べ 890 の路線バス台数に対し, デマンドバスを式 (6) で示す倍率に従って追加した.

$$\exp\left(-\frac{i}{2}\right), \text{ where } i \in [0, 15] \quad (6)$$

各 i に対して 10 回の実験を行ない, 路線バス利用者のデマンド達成時間, デマンドバス利用者のデマンド達成時間を求めた. 得られたデマンド達成時間から, 式 (5) の値の平均と標準偏差を求めた.

シナリオ 1 での実験結果を図 5 に示す. 図 5 は追加したデマンドバスの台数に対する交通利便性の変化を示している. 横軸はデマンドバスの追加台数, 縦軸は先に述べた方法でデマンド達成時間を正規化した値である. それぞれの点は 10 回の実験の平均値であり, 各点に標準偏差を表す

誤差棒を付与している. 赤色の線は利用者全体の交通利便性の変化, 青色の線はデマンドバス利用者の交通利便性の変化, 水色の線は路線バス利用者の交通利便性の変化, 黒色の線は歩行者の交通利便性の変化を表している. 以下, 断りがなければグラフ内の線についての定義は上記の定義に従う.

少数デマンドでの評価であるが, 図 5 から, デマンドバスを追加して導入することにより利用者全体の交通利便性が改善していることが分かる. また, デマンドバスを少数導入するだけでも効果が表れていることが分かる.

5.2 シナリオ 2 の設定とその結果

次に, 1日当たりの総運行数(890 運行)を固定して運行コストを一定とし, 総運行数に対するデマンドバスの運行比率を式 (6) に従って変化させて, 従来の路線交通の運行をデマンドバスの運行に置き換えて導入したときの結果について述べる.

デマンドは, 路線バス利用デマンド群の中から, ランダムに 300・3000・10000・30000 抽出した. 各デマンド数における, デマンドバスの比率に対する交通利便性の変化を図 6(a) から図 6(d) に示す. グラフについて, 横軸は導入したデマンドバスの比率であり, 他のグラフ中の軸や線については 5.1 節で述べた交通利便性のグラフと同様である.

図 6(a) - 図 6(b) より, 1日当たりのデマンド数が比較的少ない時にはデマンドバスの置換導入を行なうことで利用者全体の交通利便性は改善していることが分かる. これは, 路線バスよりも時間的, 空間的に自由度の高いデマンドバスが比率的に増えることにより, 交通利便性の良いデマンドバス利用者が増え, 結果的に利用者全体の交通利便性の向上につながっていると考えられる.

1日当たりのデマンド数を 10000 とした場合(図 6(c))でも, 置換導入を進めることで, 利用者全体の交通利便性の向上は見られたが, 比率の小さい時, つまり少数しかデマンドバスを導入しなかった時には, デマンドバス利用時間は歩行時間とほぼ同じであった. これは, デマンドバス台数の少ない時には 1 台当たりの乗車人数が増えることにより, 寄り道が増えることによってデマンドバス利用時間が増えたことが予想される.

また, デマンドバスの比率が 60%程度が最も交通利便性が良くなることがシミュレーション結果から示された. これによりデマンド数や運行コストによって, 単純にデマンドバスの比率を大きくして導入するのではなく, 少し路線バスを織り交ぜて運行させたほうが, 利用者全体としての交通利便性が良くなるケースがあることが明らかになった. これは, 現状の運行コスト一定のまま, 新型公共交通であるデマンドバスに切り替えると, デマンドバスだけでは利用客の輸送効率が悪くなってしまうため, 運行コスト一定の下では, 路線バスも残して運行させたほうが良いこ

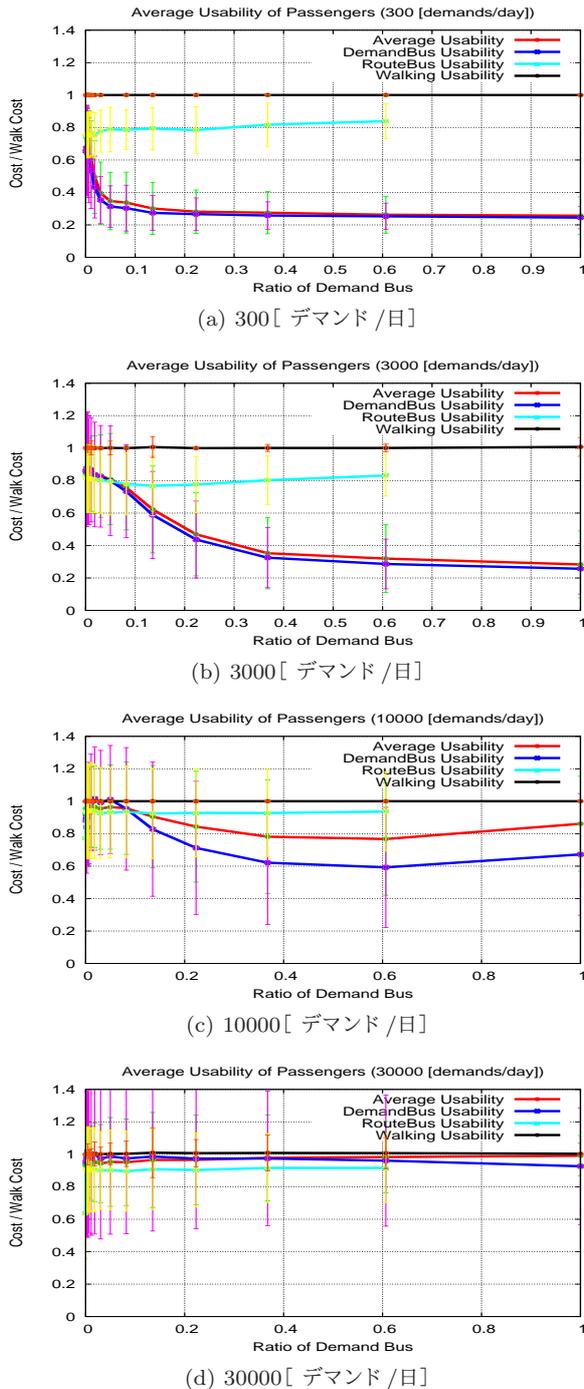


図 6 既存路線交通に置換導入を行なったときの交通利便性の変化
Fig. 6 Changes of average usability when a ratio of a demand bus system to replace with a current bus system is increased.

とを表していると考えられる。

1日当たりのデマンド数を30000とした場合(図6(d))では、デマンドバスの比率を大きくしても、デマンドバス利用時時間は歩行時時間とあまり変わらず、全体としての交通利便性の改善効果は薄い。

また、図6(a) - 図6(d)から路線バス利用時時間はデマンドバスの比率を変えてもほぼ一定していることが分かる。これは、路線バスはデマンドバスと違い、寄り道しながら

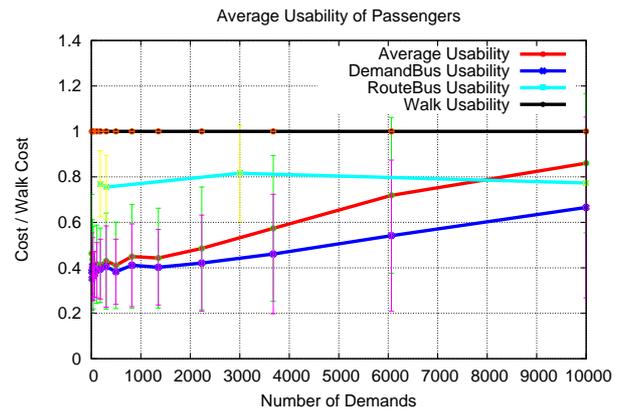


図 7 デマンド数に対する利用者全体およびデマンドバス利用者の交通利便性の変化
Fig. 7 Changes of average usability of overall users and demand bus users versus number of demands.

送迎車することがないため、比較的安定して利用者を輸送できているのではないかと考えられる。

一方、デマンドバスの場合は、隣同士で同じバスに乗る場合でも別々に停車してしまう設定となっている。これについては、配車アルゴリズムや運用に改善の余地がある。

実験結果から、運行数を固定した場合においても、デマンド数が少ない時に、シナリオ1同様に交通利便性の改善の傾向が見られた。デマンドバスが少ない時には、少数置き換えを行なうことでも100%路線バスでの運行の場合と比較して十分改善の効果が得られることが示された。しかし、デマンドバスの比率が少なく、かつデマンド数が多い時には、デマンドバス利用時時間は歩行時時間とほぼ同等となった。これは、1台当たりの乗員数が増え、寄り道が増えることによってデマンドバス利用時時間が長くなったためだと考えられる。

また、路線バスはデマンド数が多くても客を安定して歩行時時間よりも早く輸送することができるが、デマンドバスは、1台当たりの乗車人数が少ない時には路線バスよりも早く輸送することができることが示された。

5.3 シナリオ3の設定とその結果

シナリオ3では、現在の運行コスト(1日当たりの運行数)を変えずに、現在の路線バスでの運行全てをデマンドバスで運行させた時に、デマンド数によって交通利便性がどう変化するかシミュレーションを行なう。

1日当たり発生するデマンド数を、 $9 \cdot 15 \cdot 24 \cdot 40 \cdot 67 \cdot 111 \cdot 183 \cdot 301 \cdot 497 \cdot 820 \cdot 1353 \cdot 2231 \cdot 3678 \cdot 6065 \cdot 10000$ と設定し*2、それぞれ10回の実験を行なった。実験結果を図7に示す。図7において、横軸は1日当たり発生するデマンド数である。

図7より、デマンド数が増えると、デマンドバス利用者

*2 $10000 \exp(-\frac{i}{2})$, where $i \in [0, 15)$ の切り捨て整数値

および利用者全体の交通利便性の改善効果が薄くなっていることが分かる。

デマンドバス利用者の交通利便性が悪化しているのは、デマンド数が増えることにより、デマンドバスの寄り道が増えてデマンドバス利用時時間が長くなっているためと考えられる。

利用者全体の交通利便性が悪化するのには、上記のデマンドバス利用時時間が長くなるとともに、デマンドバスを利用しようと思った利用者がデマンドバスにアサインしようとした時にデマンドバスの持つ、出発地、目的地のリストによって歩行時時間よりも長くなる場合が多くなり、歩行による移動を選択したと考えられる。従って、デマンド数が少ない時、利用者全体の交通利便性とデマンドバス利用者の交通利便性との差は小さいが、デマンド数が多くなるに連れてその差が大きくなっていることが考えられる。

また、路線バスのみでの運行と比較すると、1日当たりのデマンド数が10000程度でもデマンドバスのみでの運行でも利用者全体の交通利便性は路線バスと比較して優位性があることが分かる。このシナリオによるシミュレーション実験から、交通事業者は、予想デマンド数によって路線バスもしくはデマンドバスどちらで運行すれば良いか判断する基準が得られる。

5.4 シナリオ4の設定とその結果

デマンド数を固定して、運行コスト（運行本数）を増やしたときの交通利便性について調べた。なお、運行は全てデマンドバスでの運行とした。

現在の890の運行数に対して100%から240%まで10%刻みで増やした。追加的に運行するデマンドバスは現在の890の運行からランダムに抽出した。

また、デマンドは路線バス利用デマンド群からランダムに10000個抽出して発生させた。

実験結果を図8に示す。図8において、横軸は1日当たり運行するデマンドバスの台数である。図8から、デマンドバスを追加することにより交通利便性は向上していることが分かる。

デマンドバスの台数が増えるとデマンドバスの交通利便性が向上した理由として、1. 1台当たりの乗車定員が少なくなり、デマンドバス利用時時間が減ることと、2. 空席のあるバスが増えることで、新しいデマンドに対してふさわしいバスが選ばれる可能性が高まることの2つが考えられる。また、利用者全体の交通利便性も向上していることから、利用者が歩行による移動からデマンドバスを利用した移動に切り替えていると考えられる。これは、デマンドバス台数が少ない時にはデマンドバス利用時時間が歩行時時間を上回っていたデマンドが、デマンドバスの台数を多くするとデマンドバス利用時時間が小さくなり、デマンドバス利用者が増えたためだと考えられる。

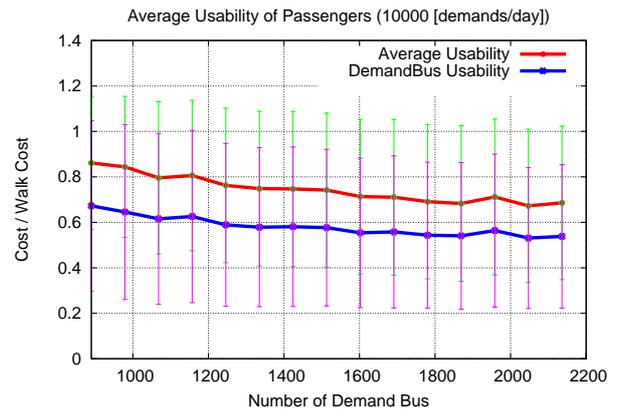


図8 10000[デマンド/日]として運行コスト（1日当たりの運行台数）を変えたときの交通利便性の変化

Fig. 8 Changes of average usability when a running cost (number of runs per day) increased set 10000[demands/day].

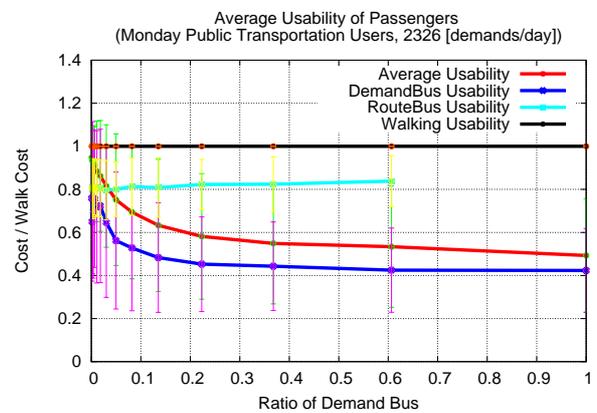


図9 推計されたデマンドに対して、既存路線交通に段階的にデマンドバスの置換導入を行なったときの交通利便性の変化

Fig. 9 Changes of average usability versus potential demands when demand buses' run is replaced with route buses' run.

5.5 シナリオ5の設定とその結果

シナリオ5では、パーソントリップ調査に基づいて推計されたデマンド分布を用いて、潜在需要に基づくデマンドサンプル(図4)に対して、デマンドバスを段階的に置換導入した場合についてシミュレーション実験を行なった。デマンドは1日当たり2326のデマンドが発生すると設定した。

シナリオ5での実験結果を図9に示す。図9より、潜在需要に基づくデマンドサンプルに対しても、置換するデマンドバスの比率を大きくすると利用者全体の交通利便性は向上する結果となった。

6. 考察と議論

デマンドバスは、車社会・超高齢化社会の到来している我が国において、既存の路線交通に代わる新たな公共交通と期待されている。今回検証した結果より、デマンドバス

導入による交通利便性改善の効果についてはエリア内で発生するデマンド数と運行コストに依存することが実際に近いシミュレーション設定でも確認された。今回の実験で対象とした函館市では、1日当たり午前5時から午後8時まで延べ890の路線バスが運行している。この状況では、1日当たりのデマンド数が10000程度でも路線バスのみとの交通と比較してデマンドバスの運行に優位性があることが示された(図7)。

中山間地や郊外ではデマンド数が少ないことが予想されるため、デマンドバスを運用することで利用者全体の交通利便性の改善が見込まれるが、事業者にとっては無駄な運行が増えてしまうため、その場合にはデマンドバスを少数導入するなどの施策を講じるだけで十分効果が得られると考えられる(図5, 図6(a))。

一方で、図6, 図7より、デマンド数が大きいことが見込まれる場合、中型バスをミニバス程度の乗車定員の車両に置き換えると、利用者の交通利便性改善の効果は薄い。平成25年度の函館市の1日当たりの平均バス利用客数は2万程度であり[7]、導入車両がミニバスクラスである場合は、現在の運行コストのままデマンドバスを函館市に導入しても効果は薄いことが予想される。

従って、デマンド数が大きいことが見込まれる時には、バス事業者は料金体系の見直しや、他のサービスと連携してデマンドバスに付加価値をつけて差別化を行なって利用者数をうまく分散させて、かつ採算の取れる仕組みを考慮した方がよい。

先行研究ではデマンドバスを増やすことにより交通利便性の改善率は路線バスよりデマンドバスの方が良いことが示されている[2]。そのため、デマンドバスが普及し、運行コストであるデマンドバスの数を増やすことができれば、交通利便性の改善効果が得られることが期待される。

また、フルデマンドバスを仮定していたため、たとえ近いところでデマンドが集中していても一人ひとり利用者の送迎車を行わなければならなかった。先行研究[2][13]ではデマンドバスは集中度が高ければ輸送効率は高くなることが示されている。従って、より利便性を向上させるためには、例えば先行研究[14]のように、デマンドが集中するエリアにハブとなるバス停を用意し、そのバス停をつなぐ路線とデマンドバスを織り交ぜて乗り換えも考慮したシステムを考える必要がある。

7. おわりに

本研究では、新型公共交通システムの1つであるデマンドバスを段階的に導入している状況をシミュレートして交通利便性を網羅的に評価した。これは、対象地域に新しい公共交通施策を急に導入するのではなく、段階的に導入し、その地域でその施策の認知度が利用者に広まること、つまり利用者にとってのデマンドバスの普及度が高まって

いく状況をシミュレートしていると考えられる。網羅的にシミュレーションをすることで利用者数や導入過程においてどのような利便性変化が生じるかを分析することが可能になり、導入時におけるより細かな計画立案に有用な情報を提供できる可能性を示すことが出来た。

参考文献

- [1] 加藤 博和, 公共交通として位置づけられたタクシーが果たすべき社会的役割, 土木計画学研究・講演集, Vol.49, CD-ROM(128) (2014).
- [2] 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).
- [3] 平田圭二, 佐野 渉二, 小柴 等, 野田 五十樹, 金森 亮, 中島 秀之: Smart Access Vehicle サービス実践への取り組み～サービス共創最適化のためのフレームワーク, 2014年度サービス学会 第2回国内大会, (2014).
- [4] 田柳 恵美子, 中島 秀之, 松原 仁: デマンド 応答型公共交通サービスの現状と展望, JSAI, 2J4-OS-13a-1, (2013).
- [5] 総社市, 雪舟くんデータ(平成26年度), 入手先 (http://www.city.soja.okayama.jp/jinken-machi/kurashi/shin_seikatu.koutuu/shin_seikatu_koutuu_data_h26.html)(2015.02.01)
- [6] 函館市, 平成25年度函館市統計書, 入手先 (<http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014030300489/files/toukeisyoH25.pdf>)(2015.02.01)
- [7] 函館市, 平成25年度交通事業, 入手先 (<http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014011500341/files/h25traffic.pdf>)(2015.02.01)
- [8] 一般社団法人全国ハイヤー・タクシー連合会, 都道府県別事業者数及び車両数, 入手先 (http://www.taxi-japan.or.jp/pdf/toukei_chousa/25y3m31dsaryousuuji_gyousyasuu.pdf)(2015.02.01)
- [9] 小柴 等, 野田 五十樹, 山下 倫央: 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, JSAI, 1D4-3, (2013).
- [10] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, D. Krajzewicz: SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview, SIMUL 2011: The Third International Conference on Advances in System Simulation, pp.63-68, (2011).
- [11] CORDIS, Design of an Interoperable European federated Simulation network for critical InfraStructures, (2008).
- [12] 坪内 孝太, 大和 裕幸, 稗方 和夫: オンデマンドバスのログデータを用いた交通分担シミュレータの開発, 土木学会論文誌 D3(土木計画学), Vol.67, No.1, pp.84-94, (2011).
- [13] 宮地 将大, 小柴 等, 野田 五十樹: 網羅的シミュレーションを用いた交通システムの評価手法の検討, JSAI, 4N1-4, (2014).
- [14] 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の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.56, No.1, pp.46-56, (2015).