

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510145

研究課題名（和文）過疎地域の需要分布を考慮したデマンド交通システムの設計に関する研究

研究課題名（英文）An on-demand bus system with consideration of the demand distribution in a local area

研究代表者

小柳 淳二（KOYANAGI JUNJI）

鳥取大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90225590

研究成果の概要（和文）：

過疎地において、従来の路線バスをオンデマンドバスにおきかえたときに、オンデマンドバスによって満たされる需要数を計算するためのモデルについて主に検討した。オンデマンドバスの形態としては、決められた路線を走る形態を想定し、時刻表があるタイプと、時刻表なしで利用者からの呼び出しに応じて運行するタイプを想定した。またアンケートデータから、限られた数のバスをどのように運行させるかを計算するための基本モデルを作成し、最適化手法によりバスの時刻表と、バス路線の最適化法について検討した。これらにより、どのような時間にバスを走らせるか、何台程度のバスで乗客の需要を満たすかの計算が可能になる。

研究成果の概要（英文）：

This research deals with the model where the normal bus system is replaced to the on-demand bus system in a local area. Two on-demand bus systems with fixed route are considered. One has time table as usual bus though the bus does not go the bus stop with no demand call. The other does not have time table the bus go to the bus stop where the user calls. It is also dealt with the optimal time table and bus route from the questionnaire. This research helps us to estimate how many buses are needed and to determine what time table the bus system should adopt.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

研究分野:複合新領域

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：OR

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) オンデマンドバスの必要性

過疎地においては、都市部のように、定期的にバスを走らせると赤字路線になり、廃止されてしまうことが多い。しかし、赤字バス

路線の廃止は、地域住民には大きな問題となるため、自治体は補助金制度などを利用して路線の維持を図らなければならない。住民の利便性を維持し、かつ補助金の負担を減らすため、近年、利用者から予約をうけ、バスや

タクシーを走らせるデマンド交通システムが注目されている。デマンド交通システムを有効に利用するためには、複数の交通需要を1台の運行で満たすことが重要である。

## (2) オンデマンドバスの種類

オンデマンドバスと通常のバスとの大きな違いは、オンデマンドバスでは客からの呼び、予約がなければ、バスはバス停に行かないということがあげられる。本研究で扱ったオンデマンドバスシステムのなかで、もっとも通常のバスに近い「定時定路線型オンデマンドバス」では通常のバスと同じく、バスは固定された路線を走り、各バス停に時刻表があるが、各バス停の時刻表は、客からの要求があればその時刻に客を乗車させるが、そうでない場合には、そのバス停にバスが行くかは保証されない。つまり、空のバスがそのバス停に停車し、空のままバスが発車することは（突然の予約キャンセルがない限り）ないということになる。空のバスの停車と発車は過疎地におけるバスでは、しばしば見られることで、このような状況をさけるだけでも「定時定路線型オンデマンドバス」を導入する意味がある。

もう一つ本研究で扱ったのは、定路線ではあるが、時刻表がなく、利用者は乗りたいと思う時刻になったときにバスを呼ぶものである。この場合は、他の人が他の目的で使っているときにはそのバスが利用できない場合もある。

本研究では路線が決まっている場合を取り扱っているが、一般のオンデマンドバスでは路線の一部を変更可能なものや、タクシー同様に、自由な場所での乗り降りを可能にしている場合もある。

## (3) 利用者の行動分析

2種類以上の交通機関が利用可能な利用者の行動については、確定的な場合には分析不要であるが、確率的な場合については、選択の結果により、次の選択が再び確率的に変化する。このような状況において、繰り返しの選択結果の均衡状態を分析することで、二種類の交通機関の利用状況を分析する手法について検討する必要がある。

## 2. 研究の目的

### (1) オンデマンドバスの期待利用者数の導出

オンデマンドバスに変更することにより、どのぐらいの利用者が生まれるかを算出することはシステムの比較をする上で重要な要素である。このような期待値を導出することを一つの目的とする。扱うシステムとしてはバスが1台の場合と2台の場合をとりあげる。

### (2) バス路線、時刻表の改善

ある路線、ある時刻表のもとでの期待利用者数を(1)により導出することができれば、

それを変化させることにより、より多い利用者数を達成するためのバス路線、時刻表を決定することが目的となる。そのため、最適化の代表的な手法の適用による、路線、時刻表の改善を目的とする。

### (3) 利用者の行動分析

オンデマンドバス以外の交通手段の提供がある場合、利用者は複数の交通手段から自分の目的にあったものを選択することになる。この選択による利用者の満足度は、目的地に達するまでの時間や労力によって評価されることが多いであろう、しかし、これらの満足度は他の利用者の利用状況によって、変化する場合がある。例えば、以前なら少数しか利用しなかったために目的地に早く着けていたバスが、よく知られるようになったために、利用客が増え多くのバス停に停車するようになり、到着時間が遅くなってしまいうような場合である。これらの利用客の動向により、到着するまでの時間などの指標が変化する場合、各利用客の利用状況の均衡状態を分析する必要がある、これを分析するためのモデル作りも目的である。

## 3. 研究の方法

### (1) バス利用者の期待値の導出

一本道のバス路線を想定し、各バスの状態として、現在の座標と目的地によりバスの状態を表現することができる場合を考える。

時刻表を指定する場合には、時間ごとのバスの状態は、時刻表に従って表現できる。ただし、目的地に関しては利用者からの呼びの状況によって確率的に変化する。この確率的な変化をマルコフ過程により表現し、時刻表によるバスの利用者の一日あたりの総期待利用者数を計算することができる。

時刻表を指定しない場合には、期待利用者数の導出にはマルコフ過程と動的計画法を用いる。時刻表を指定しないため、各時刻のバスの状態変化は確率的に表現しなければならない、この状態変化は各バス停から次の呼びがある確率により表現することができ、このようなシステムはマルコフ過程を利用して分析することができる。分析の結果、時刻ごとの状態確率を求めることができ、バスがどの時刻にどのバス停に停車するか、その確率を計算することができた。また、各時点でのバス停での需要を確率的に表現することで、バスに乗る乗客の期待値を計算する。一日あたりの総期待乗車人数は時刻ごとの状態変化を考慮にいたれた動的計画法を用いて算出することになる。

需要については、ポアソン分布を仮定した場合や、最大一人しか乗車しない場合について分析する。いずれの場合も需要の生じる確率はバス停の位置に依存するものとし、ポアソン分布のパラメータについては、さらに、

時刻により、パラメータが異なる場合をとりあげた。このような設定により、バス停のある位置により需要が異なる場合や（ある集落では多くの人利用する傾向がある）、時間帯により利用者の人数（ある集落では昼の利用が多く、他の集落では夕方の利用が多い）が異なる場合を表現することができる。

2台以上のバスを走らせる場合には各バスについて状態を考え、その結合によりシステム全体の状態を考える。2台の場合を例にとれば、各バスに対して2つの位置情報が必要になるため、システム全体の状態としては、4つの位置情報からなる4次元の状態を扱うことになる。2台以上のバスが相互にサービス可能な乗客をサービスすることにより、1台の場合より多くの乗客をサービスできることが期待できる。

#### (2) タブーサーチの利用

時刻表やバス路線を決定するときに、期待乗車人数を最大化するように決定することは自然な考えである。一方効率の面からは単位走行距離あたりの利用者数や、複数の利用者が利用する確率を最大化することなどを目的とする場合も考えられる。このような様々な目的と、様々な組合せが存在する時刻表の作成には、理論的な解法を適用することは困難であり、ヒューリスティックな解法を適用するのが妥当である。本研究ではタブーサーチを適用することで時刻表の最適化を図った。また一部バス路線の最適化も図った。共同研究者から提供された現在のバスの時刻表と利用者データに対して、乱数により一部のデータを変化させたものをいくつか用意し、それらに対して作成したプログラムを適用した。

#### (3) 利用者の均衡分析

2種類以上の交通機関が利用可能な場合に、利用者はそれぞれの目的に応じて交通機関を選択する。そのような状況をモデル化するとき、選択がシステムの状態によって確率的に行われる状況をマルコフ決定過程により表現することができる。このような状況においては、利用者の選択により、利用状況にある種の均衡状態に達することが予測される。均衡状態としてナッシュ均衡状態を仮定して、利用者の行動を確率的に仮定することで、均衡状態の分析を、マルコフ過程を利用して導出する。均衡状態を望ましい状態にするためにパラメータ調整が必要となるシステムにおいて、均衡状態の分析が必要となる。この均衡状態の導出とそのときの客のコストの導出を目的とした。

### 4. 研究成果

#### (1) 総期待利用者数の導出に関する成果

① 時刻表がないタイプ1台と2台の場合を比較すると、需要が全時刻、全バス停に対し

てほぼ同じのときには、期待通り、2倍弱の期待乗車数になることがわかった。しかし、かたよった需要、例えば初期に遠い目的地に行く需要があり、その後近い目的地に行く需要がいくつか続く場合、1台の場合だと初期に遠くにいく需要にバスが占有されてしまい、後の近い目的地にいく需要をサービスできない場合が生じる。2台あれば、両方をサービスすることができ、総期待乗車数は2倍をこえる場合もあることがわかった。逆の場合も当然あり、2台に増やしても、1台と変わらない場合もあった。このような事前の計算により、ある程度バスを増やした場合の効果について見積もるモデルを作成することができた。

② 時刻表がないタイプ1台と時刻表があるタイプ1台の場合を組み合わせた場合、総期待乗車数は、バス路線の距離が長い場合には時刻表がないタイプ2台より有利な面があった。また需要がある程度の大きさ以上の場合には時刻表がないタイプより総期待乗車人数は増加した。ただし、これは時刻表が、あらかじめ示されているため、ある程度、利用者が時間を調節してバスに乗ると仮定している。時間の調整を考えない場合には、時刻表がないタイプ2台を走らせるほうが、総期待乗車人数は、ほとんどの場合、大きいことがわかった。

#### (2) 時刻表と路線の改善

タブーサーチによる時刻表の改善をはかったところ、現在より多くの人乗車すると予想できる時刻表や路線を得ることに成功したが、一方、現在ある路線のいくつかにはバスを走らせないという結果にもなった。これは総期待乗車人数を最大化する意味では妥当な結果ではあるが、公共交通機関の運営としては妥当とはいえない。これを防ぐために、タブーサーチのパラメータを変化させて、現在存在するバス路線を消滅させない、あるいは可能な限り避けるようにすることが考えられる。今回の研究では、そこまでは数値計算をさせていないが、ヒューリスティックな解法では、このような要求にも柔軟に対応することができる。

#### (3) 利用者の均衡分析

利用者がそれぞれ利用する施設を2つ考え、それに対して待ち時間を評価し、それを最小化しようとする客の行動について分析した。一方の施設に客が集中すると、その施設での待ち時間が増え、他方でサービスを受けた方が待ち時間は少なくなる。このようなことを繰り返し、客がある程度2つの施設に分散してサービスを受ける均衡状態の計算をすることに成功した。このような均衡状態は客が確率的な閾値政策を実行することで到達することができるが、実際にも人は感覚的に閾値政策をしているのではないかと思われる。

上記のような結果を本研究課題の結果として報告する。なお(1)の研究結果は、後に記載する雑誌論文①、②、学会発表①で発表し、(2)に関する内容については学会発表②で発表している。(3)に関する内容は雑誌論文③、④で発表している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

① A discrete time model of two full on-demand buses in local area, J. Koyanagi, H. Kawai, 18th ISSAT Int. Conf. on Reliability and Quality in Design, Boston, America, 査読有, 2012, to appear.

② Discrete time models of on-demand bus system in local area, J. Koyanagi, H. Kawai, 17th ISSAT Int. Conf. on Reliability and Quality in Design, Vancouver, Canada, 査読有, 2011, 335-338.

③ An equilibrium of threshold policies of two types of customers in a system with observable and unobservable queues on arrivals, J. Koyanagi and Hajime Kawai, International Society of Science and Applied Technologies, 査読有, 2010, 333-337.

④ An Optimal Deferment Time for a Special Customer in a Discrete Time Queueing System, J. Koyanagi and Hajime Kawai, The 4th Asia-Pacific International Symposium, 査読有, 2010, 373-380.

[学会発表] (計 2 件)

① 離散時間モデルによるタクシー型DRTと定時型DRTの比較, 小柳 淳二, 河合 一, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011年 春季研究発表会アブストラクト集, 166-167. 2011年 3月 18日, 電気通信大学(東京)で発表予定が震災で中止, アブストラクトのみの発表.

② 過疎地におけるバス時刻最適化問題, 大本高志, 小柳 淳二, 河合 一, 京都大学数理解析研究所研究集会「不確実・不確実性下での意思決定過程」講究録1682, 2010年, 156-162. 2009年 11月 11日, 京都大学数理解析研究所(京都)にて発表

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小柳 淳二 (KOYANAGI JUNJI)  
鳥取大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 90225590

##### (2) 研究分担者

谷本 圭志 (TANIMOTO KEISHI)  
鳥取大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 20304199