

# 過疎地域における路線バスと デマンドバス：事前予約の与える影響

後藤 佑司<sup>1</sup>・三古 展弘<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 神戸大学大学院経営学研究科博士課程後期課程（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 2-1）

E-mail: [206b005b@stu.kobe-u.ac.jp](mailto:206b005b@stu.kobe-u.ac.jp)

<sup>2</sup>正会員 神戸大学大学院経営学研究科教授（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 2-1）

E-mail: [sanko@kobe-u.ac.jp](mailto:sanko@kobe-u.ac.jp)

過疎地域で運行されている路線バスは、慢性的な赤字が問題となっている。そこで多くの地域では、事前予約が必要なデマンドバスを導入し、需要が無い地域・時間帯の運行を無くしている。しかし、効率性の代償として利用者に予約という負担を与えている。なかでも、予約締切時刻の早さは乗客が負担に感じる要因の 1 つであり、デマンドバスを議論するうえで必要不可欠な要素である。しかし、これまでの研究で予約締切時刻の早さについて分析されてこなかった。そこで本研究は、デマンドバスと路線バスの利便性を徒歩時間、乗車時間、予約の 3 要素で評価する理論モデルを構築し、両運行システムの利便性を比較することで乗客が許容できるデマンドバスの予約締切時刻を導出する。さらに、地域の特性が許容できる予約締切時刻に与える影響を分析する。

**Key Words:** Demand Responsive Transport, DRT, Feeder Transit, Reservation deadline

## 1. はじめに

過疎地域で運行されている路線定期運行型の乗合バス、いわゆる路線バスは、需要の少なさから大幅な赤字運行が慢性化している。その赤字により運行頻度の削減や路線の廃止が行われ、より一層需要が少なくなるという悪循環に陥っている。そうした問題を解決すべく多くの地域で導入されているのがデマンドバスである。デマンドバスとは乗客の需要に応じて運行を行うバス<sup>1),2)</sup>であり、どのレベルの需要まで応じるかは運行地域によって様々である。例えば、従来の定時定路線型バスを需要があった便だけ走らせるような地域もあれば、時間も乗降地点も乗客の需要に応じる地域もある。

デマンドバスのメリットは、需要がない地域・時間帯の運行を行わないことによる運行コストの削減や乗客の利便性向上が挙げられる。例えば、高齢者は徒歩に対して大きな抵抗があるため、door-to-door のデマンドバスが好まれる傾向にある。逆に、デメリットとして不確実な到着時刻や予約に対する抵抗が挙げられる。乗合のデマンドバスであれば、乗客の需要によって運行ルートが変わるため到着時刻が予想しにくい。また、タクシーとの区別や運行スケジュール作成といった理由で数時間前に乗車予

約を締切ることが多く、その締切が早いほど抵抗を感じる傾向にある。

デマンドバスに関する研究は数多く存在する。例えば、Li and Quadrifoglio<sup>3)</sup>は路線バスとデマンドバスの分析モデルを構築し、もう一方の運行システムへ転換すべき需要密度を分析している。Edwards and Watkins<sup>4)</sup>は、Li and Quadrifoglio のモデルを拡張し乗客の利便性を向上させるためには高密度なバス停の設置、もしくはデマンドバスの導入、のどちらが望ましいかを分析している。Huang ら<sup>5)</sup>は、デマンドバスの分析モデルを構築し、車両のキャパシティや車両台数が乗客や運行主体のコストに与える影響を分析している。川崎ら<sup>6)</sup>は、デマンド型タクシーにイーールドマネジメントを導入した際の利用者数、収益への影響を分析している。Xie ら<sup>7)</sup>は、登録、リクエスト、選択が必要なモビリティサービスをオンデマンドサービスと呼び、デマンドバスを選択肢に含むオンデマンドサービスを利用する際の意思決定をフレーム化し分析している。Navidi ら<sup>8)</sup>は、路線バスからデマンドバスへの転換は追加的なコストなしに乗客の利便性を向上できることを示している。Avermann and Schlüter<sup>9)</sup>は、待ち時間や年齢、乗り降りのしやすさがデマンドバスの満足度に影響を与えることを示している。Atasoy ら<sup>10)</sup>は、都市部におけ

るデマンドバスの有効性を示している。また、デマンドバスに関する研究を整理し分析している文献もある<sup>11), 12)</sup>。

デマンドバスに関する多くの研究が存在する一方で、予約締切時刻の早さとデマンドバスの利便性の関係は全く研究されてこなかった。締切時刻はデマンドバスの利便性に大きな影響を与えており、例えば過疎地域ではスーパーへ買い物に行く、役所に行く、知人の家に行くといった日常的な移動もバスの出発時刻、もしくは希望する乗車時刻の数時間前までに予約が必要であり、この締切時刻が早くなれば乗客の心理的な負担も増加すると考えられる。

では、なぜ締切時刻が早くなると乗客の負担が増加するのか。デマンドバスの予約ではないが Rahman ら<sup>13)</sup>によると、ホテルや交通機関を予約する旅行者は、事前に予約することで得られる売切れ回避や早期割引、直前に予約することで得られる直前割引やプラン変更の自由、といったジレンマに直面しているという。これをデマンドバスの予約に置き換えれば、乗客が直面するジレンマは事前予約で得られる満席回避、直前予約で得られるプラン変更の自由であると言える。ここで締切時刻が 1 時間早くなったとすると、直前予約で得られるプラン変更の自由が 1 時間だけ短くなる。言い換えれば、予約に縛られる時間が 1 時間長くなる。しかし事前予約で得られる満席回避というメリットに変化はない。したがって、締切時刻が 1 時間早くなると、乗客は予約に縛られる時間が 1 時間長くなるというデメリットだけを受ける。以上が締切時刻が早くなると、乗客の負担が増加するメカニズムである。

本研究では、こうしたメカニズムを元に徒歩時間、乗車時間、予約締切時刻の早さの 3 要素でデマンドバスと路線バスの利便性を比較し、乗客が許容できる予約締切時刻を導出する。

## 2. 比較モデル

本研究では以下のような関数を用いて路線バスとデマンドバスの比較を行う。

$$U_i = \beta_1 \cdot E(T_{wk,i}) + \beta_2 \cdot E(T_{rd,i}) + \beta_3 \cdot E(P_{rs,i}) \quad (1)$$

ただし、 $i = F, D$ でありそれぞれ路線バス、デマンドバスを表している。 $E(T_{wk,i})$ ,  $E(T_{rd,i})$ ,  $E(P_{rs,i})$ はそれぞれ、バス停までの期待徒歩時間、バスの期待乗車時間、予約ペナルティを表している。予約ペナルティについては第 4 章 5 節で詳しく説明する。路線バスとデマンドバスの利便性は、それぞれの期待値に  $\beta_1, \beta_2, \beta_3 (> 0)$  の重みをつけ和をとった  $U_i$  で表す。なお  $U_i$  の値が大きいほど利便性が低いことに注意する。

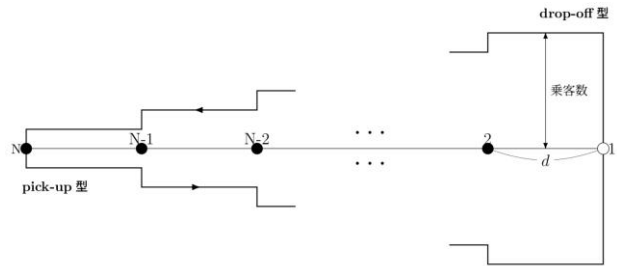


図-1 路線バスの乗客数の変化

## 3. Feeder Transit

本研究では、Feeder Transit と呼ばれる乗車地点もしくは降車地点のどちらか一方が 1 カ所に固定されているデマンドバスを想定する。この運行システムでは drop-off 型、pick-up 型の 2 つのタイプの乗客が存在し、drop-off 型の乗客は 1 ヶ所でしか乗車できないが任意の場所で下車できる。一方で pick-up 型の乗客は任意の場所で乗車できるが 1 ヶ所でしか下車できない。

また、本研究ではデマンドバスの予約に関して次のような仮定をおく。バスが始発を出発する時刻は決まっており、乗客は出発  $r$  分前までに予約しなければならない。また、 $r$  分前以降は予約のキャンセルはできない。この  $r$  分を予約時間と呼び、予約締切時刻の早さに相当する。

また今回は予約時間に下限を設定する。この下限を最小予約時間と呼ぶことにする。詳しくは第 4 章 5 節で説明する。

## 4. 直線モデル

### (1) モデルの概要

直線モデルでは、 $L(km)$  の直線上に乗客が一様分布していると仮定する。路線バスはその直線に沿って運行しており、バス停の間隔を  $d(km)$ 、バス停数を  $N = L/d + 1$  個とする。路線バスはバス停 1 を始発としバス停  $N$  へ向かう。バス停  $N$  へ到着後  $T_s$  (分) 停車したのちバス停 1 へ折り返す。路線バスにおいても drop-off 型、pick-up 型の乗客が存在し、乗車もしくは下車するバス停がバス停 1 に固定されている。固定されていない方は、任意のバス停を利用できる。以上の仮定から、図-1 のようにバス停 1 出発時は drop-off 型のみ、折り返した後は pick-up 型のみとなる。全ての乗客はトータルの移動時間を最短にできるバス停を利用する。詳しくは次節で説明する。

デマンドバスは初めバス停 1 で drop-off 型の乗客を乗せバス停  $N$  方向へ向かう。そして、一番遠い乗客を下車もしくは乗車させたのち向きを変えバス停 1 へ向かう。途中 pick-up 型の乗客を乗せていき、バス停 1 に到着すると pick-up 型の乗客は全員下車する。路線バス、デマンドバスともに出発時刻は同じである。Drop-off 型の乗客は  $\alpha$ 、pick-up 型の乗客は

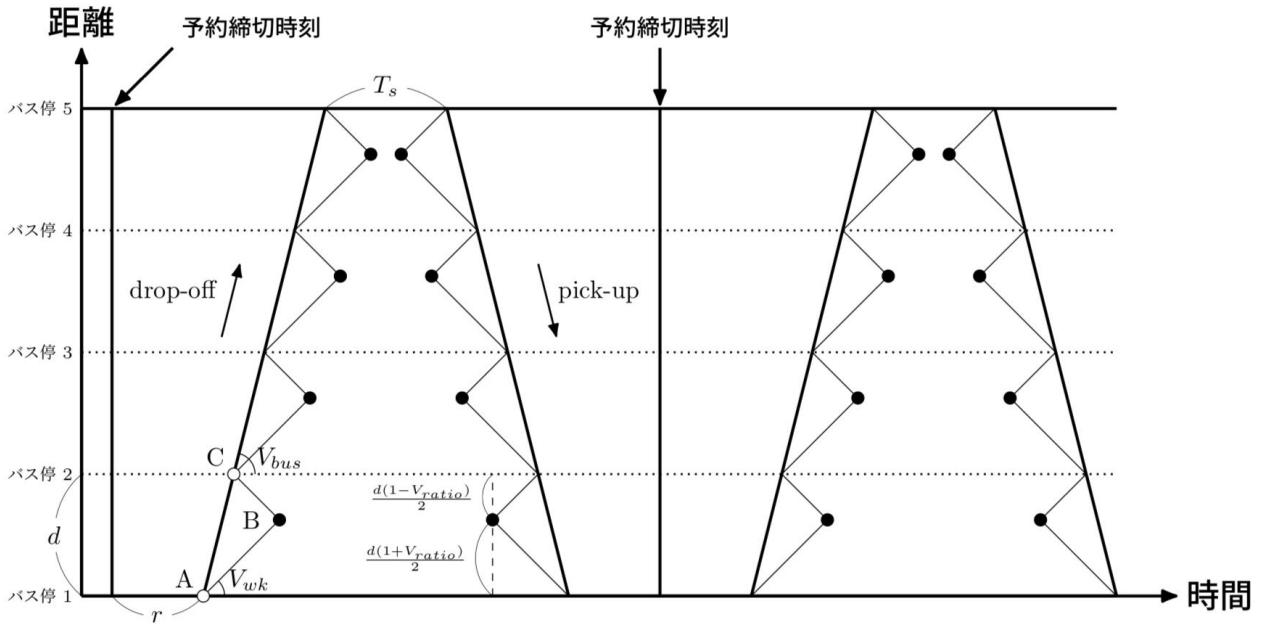


図-2 直線モデルにおける路線バスのダイヤグラム

$1 - \alpha$ の割合で発生し、バスの分速は $V_{bus}(km/分)$ 、乗客の徒歩分速は $V_{wk}(km/分)$ 、バスの乗客数は両者同じ $n(人)$ とする。

(2) ダイヤグラム

図-2は縦軸に距離、横軸に時間をとった路線バスダイヤグラムを表している。太線が路線バス、細線が乗客の徒歩を表しており、それぞれの直線の傾きはバスの速度 $V_{bus}$ 、乗客の徒歩速度 $V_{wk}$ を表している。点Aはバスの運行開始時刻を示しており、点Cはバスがバス停2に到着する時刻を表している。仮定よりバス停1とバス停2の間を目的地とするdrop-off型の乗客は、トータルの移動時間が最短となるバス停で下車する。そのためバス停1とバス停2の間を目的地とする乗客にとってトータルの移動時間が最短になるバス停の境界は、点Bで示される。なお、点Bは点Aと点Cを始点とする傾き $V_{wk}$ の直線の交点である。図-2には徒歩とバスの速度比 $V_{wk}/V_{bus} = V_{ratio}$ として点Bに相当する地点から両バス停までの距離も示している。

なお図中にはデマンドバスが運行された場合の予約締切時刻も示している。これはデマンドバスの予約であり、路線バスの予約でないことに注意する。デマンドバスは路線バスと同じ時刻にバス停1を出発し、予約締切時刻と運行開始時刻Aの間が予約時間 $r$ 分である。

(3) 徒歩時間

a) 路線バス

図-2の点Bよりもバス停2寄りの乗客は、バス停2から目的地まで最小で0分、最大で $d(1 - V_{ratio})/2V_{wk}$ 分かかり、期待値は $d(1 - V_{ratio})/4V_{wk}$ 分である。地点Bよりもバス停1寄りの乗客は、バ

ス停1から目的地まで最小で0分、最大で $d(1 + V_{ratio})/2V_{wk}$ 分の時間がかかり、期待値は $d(1 + V_{ratio})/4V_{wk}$ である。またバス停1,2間のdrop-off型の乗客のうちバス停2寄りの乗客は $(1 - V_{ratio})/2$ 、バス停1寄りの乗客は $(1 + V_{ratio})/2$ で発生する。したがって、バス停1,2間のdrop-off型の期待徒歩時間は、

$$\frac{d(1 - V_{ratio})}{4V_{wk}} \cdot \frac{1 - V_{ratio}}{2} + \frac{d(1 + V_{ratio})}{4V_{wk}} \cdot \frac{1 + V_{ratio}}{2} = \frac{d(1 + V_{ratio}^2)}{4V_{wk}}$$

となる。どのバス停間、どのタイプの乗客であっても同様の計算が行えるため、全乗客の期待徒歩時間 $E(T_{wk,F})$ は、

$$E(T_{wk,F}) = \frac{d(1 + V_{ratio}^2)}{4V_{wk}} \quad (2)$$

となる。

b) デマンドバス

乗客は任意の地点で乗降可能なため、徒歩による移動時間は発生しない。したがって、

$$E(T_{wk,D}) = 0 \quad (3)$$

となる。

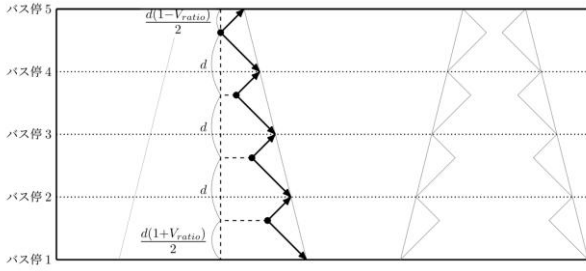


図-3 各バス停を利用する drop-off 型の割合

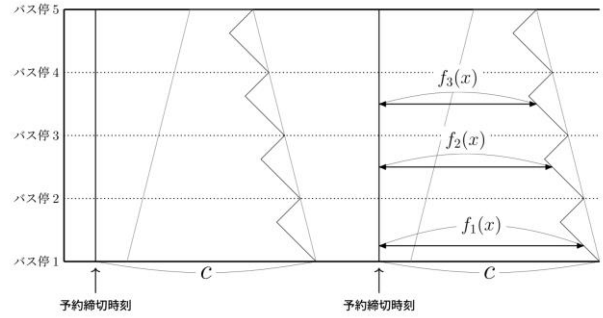


図-4 予約ペナルティ

(4) 乗車時間

a) 路線バス

図-3 は各バス停を利用する drop-off 型の乗客の割合を示している. この割合は pick-up 型の乗客でも同じである. バス停 1 へ徒歩で向かう, あるいはバス停 1 から徒歩で向かう人はバスを利用しないことに注意すれば, 期待乗車時間  $E(T_{rd,F})$  は

$$E(T_{rd,F}) = 0 \cdot \frac{d(1+V_{ratio})}{2(N-1)d} + \sum_{j=1}^{N-2} \frac{dj}{V_{bus}} \cdot \frac{d}{N-1} + \frac{(N-1)d}{V_{bus}} \cdot \frac{d(1-V_{ratio})}{2(N-1)d} = \frac{d(N-1-V_{ratio})}{2V_{bus}} \quad (4)$$

となる.

b) デマンドバス

デマンドバスはバス停 1 から一番遠い乗客を降ろす, もしくは乗せた地点で折り返す. Li and Quadri-foglio によればバス停 1 から一番遠い乗客までの距離の期待値は

$$(N-1)d \frac{n}{n+1}$$

である. したがって乗車時間は最小で 0 分, 最大で  $nd(N-1)/V_{bus}(n+1)$  分となる. これは pick-up 型, drop-off 型どちらの乗客でも同じであるため, 期待乗車時間  $E(T_{rd,D})$  は

$$E(T_{rd,D}) = \frac{nd(N-1)}{2V_{bus}(n+1)} \quad (5)$$

となる.

(5) 予約ペナルティ

本研究では, 予約に縛られる時間の増加分を予約ペナルティとする. 路線バスを利用する乗客は, バス停へ向け出発した後予定を変更できないとすると, 出発後の時間がいわば予約に縛られる時間である. 一方でデマンドバスを利用する乗客は, 予約締切時刻以降の時間が予約に縛られる時間である. 路線バスに比べデマンドバスの方が予約に縛られる時間が

長いとき, この時間の増加分をデマンドバスの予約ペナルティとする. 第 3 章で触れた最小予約時間は, デマンドバスの予約ペナルティを正に制限するものである. つまり, 本研究では路線バスの予約ペナルティは発生しないと仮定している. したがって

$$E(P_{rs,F}) = 0 \quad (6)$$

である.

デマンドバス運行時の pick-up 型の期待予約ペナルティを求める.  $x$  をバス停 1 から乗客の発地点までの距離として, 地点  $x$  の乗客の予約ペナルティを関数  $f(x)$  で表す. ただし,  $f(x)$  は場合分けが必要となるため, バス停  $k$  とバス停  $k+1$  間の予約ペナルティを  $f_k(x)$  とする. 図-4 は予約ペナルティを表している.  $f_k(x)$  は

$$f_k(x) = \begin{cases} c - \frac{x}{V_{wk}} - \frac{d(k-1)(V_{ratio}-1)}{V_{wk}} & \dots \textcircled{1} \\ c + \frac{x}{V_{wk}} - \frac{dk(V_{ratio}+1)}{V_{wk}} & \dots \textcircled{2} \end{cases} \quad (7)$$

と求めることができる. ただし,  $c$  は予約締切時刻からバスが発車に戻るまでの 1 サイクルの時間を表しており図-4 にも示されている. また, ①となる  $x$  の範囲は  $d(k-1) \leq x < d(2k-1+V_{ratio})/2$ , ②となる範囲は  $d(2k-1+V_{ratio})/2 \leq x < dk$  である. そして, pick-up 型の期待予約ペナルティは

$$E(P_{rs,D}^p) = \sum_{k=1}^{N-1} \int_{(k-1)d}^{kd} \frac{f_k(x)}{L} dx \quad (8)$$

で求めることができる. ただし, 上付き文字  $p$  は pick-up 型の期待予約ペナルティであることを意味している. Drop-off 型の場合は  $d$  で表す.

Drop-off 型の乗客は全員  $r$  だけ予約ペナルティを受けるため, drop-off 型の期待予約ペナルティは

$$E(P_{rs,D}^d) = r \quad (9)$$

となる. したがって, 全体の期待予約ペナルティは

$$E(P_{rs,D}) = \alpha E(P_{rs,D}^d) + (1 - \alpha)E(P_{rs,D}^p) \quad (10)$$

で求めることができる。式(10)の計算結果は非常に複雑なため、ここでの記述を控える。

### 5. 分析：直線モデル

各変数を表-1のように設定する。ただし、今回の分析では予約時間 $r$ の値を変化させて分析するため予約時間の値の欄は空白である。図-5、表-2が分析結果である。 $U$ が大きいほど利便性が低いことに注意する。図-5の横軸は予約時間 $r$ 、縦軸は利便性 $U$ を表している。路線バスの利便性は予約時間に関わらず一定であり、デマンドバスの利便性と予約時間は線形関係にあることがわかる。グラフの交点が両運行システムの利便性が同じとなる点であり、この点よりも予約時間が長いとデマンドバスの方が不便になる。この点を予約許容時間と呼ぶことにする。表-2には期待徒歩時間、期待乗車時間、予約許容時間、最小予約時間を示している。直線モデルの特性上、期待乗車時間はほぼ同じである。

### 6. 平面モデル

#### (1) モデルの概要

平面モデルでは、直線モデルを拡張し乗客が縦 $W(km)$ 横 $L(km)$ の矩形上に一様分布していると仮定する。路線バスは乗客の分布範囲の真ん中を横切るように運行され、運行時間、運行速度、停車時間、運行方式は直線モデルと同じである。

平面モデルでは、デマンドバスは No-backtracking policy という方式で運行される。具体的にはバスがバス停 1 からバス停 $N$ 方向へ向かうときは上半分を、バス停 1 方向へ向かうときは下半分を後戻りせずに移動するという方式である。またデマンドバスはグリッド状に移動する。図-6はデマンドバスの運行経路の一例を示している。太線がデマンドバスの運行経路、白丸が乗客の位置を表している。この2つの仮定は運行経路としてふさわしくないように思えるが、Chandra and Quadrioglio<sup>14)</sup>によってその有効性が証明されている。また乗客の徒歩移動に関しても、デマンドバスと同様にグリッド状の移動を仮定する。直線モデルでは、drop-off 型の乗客が全員下車したのち pick-up 型の乗客が乗車していたが、平面モデルでは同じ場所を経由しないため基本的に pick-up 型と drop-off 型の乗客が乗車している。

#### (2) 徒歩時間

##### a) 路線バス

平面モデルでは縦方向への距離が増えたため、直線モデルの期待徒歩時間に縦方向の期待徒歩時

表-1 変数の値

変数	変数名	値
$L$	横の長さ	10km
$d$	バス停の間隔	1km
$N$	バス停数	11
$V_{bus}$	バスの分速	0.5km/分
$V_{wk}$	徒歩の分速	0.05km/分
$V_{ratio}$	徒歩分速/バス分速	0.1
$T_s$	バス停 $N$ での停車時間	10(分)
$n$	乗客数	10
$\alpha$	drop-off 型の割合	0.5
$\beta_1$	期待徒歩時間の係数	3
$\beta_2$	期待乗車時間の係数	2
$\beta_3$	期待予約ペナルティの係数	0.5
$r$	予約時間	

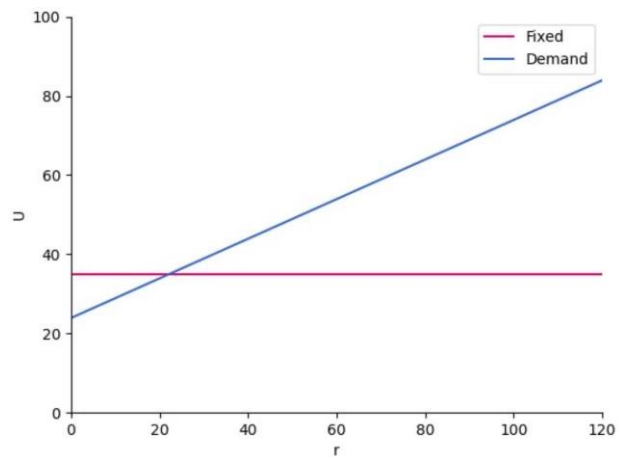


図-5 分析結果 (直線モデル)

表-2 分析結果 (直線モデル)

	$E(T_{wk})$	$E(T_{rd})$	予約許容時間	最小予約時刻
路線バス	5.05	9.90		
デマンドバス	0	9.09	22.06	-21.00

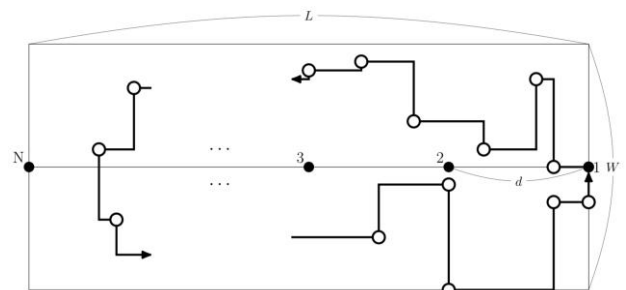


図-6 平面モデルにおけるデマンドバスの経路

間を足せばよい。したがって、

$$E(T_{wk,F}) = \frac{d(1 + V_{ratio}^2) + W}{4V_{wk}} \quad (11)$$

となる。

b) デマンドバス

乗客は任意の地点で乗降できるため徒歩時間は発生しない。したがって、

$$E(T_{wk,D}) = 0 \quad (12)$$

である。

(3) 乗車時間

a) 路線バス

直線モデルと同様の経路で運行されるため、期待乗車時間は直線モデルと同じである。したがって、

$$E(T_{rd,F}) = \frac{d(N - 1 - V_{ratio})}{2V_{bus}} \quad (13)$$

である。

b) デマンドバス

Li and Quadrifoglioによれば、デマンドバスがバス停 1 を出発して再びバス停 1 に戻ってくるまでにバスが走行する距離は、

$$2(N - 1)d \frac{n}{n + 1} + 2 \cdot \frac{W}{4} + \frac{W}{2} + (n - 2) \cdot \frac{W}{6}$$

となる。したがって、乗客は最小で 0 分、最大で上式を  $V_{bus}$  で割った時間だけかかるため、期待乗車時間は

$$E(T_{rd,D}) = \frac{1}{2V_{bus}} \left( 2(N - 1)d \frac{n}{n + 1} + \frac{2W}{3} + \frac{Wn}{6} \right) \quad (14)$$

となる。

(4) 予約ペナルティ

バス停 1 を原点とし乗客の発生位置を(横, 縦) =  $(x, y)$  として表す。平面モデルにおける予約ペナルティの関数  $f_k(x, y)$  は、直線モデルにおける予約ペナルティの関数  $f_k(x)$  に縦方向の位置を加えればよい。また、乗客が受ける予約ペナルティは路線バスの運行経路を軸に上下対称であるため、上半分で発生する乗客の期待予約ペナルティだけを求めればよい。Pick-up 型の予約ペナルティは

$$f_k(x) = \begin{cases} c - \frac{x + y}{V_{wk}} - \frac{d(k - 1)(V_{ratio} - 1)}{V_{wk}} & \dots \textcircled{1} \\ c + \frac{x - y}{V_{wk}} - \frac{dk(V_{ratio} + 1)}{V_{wk}} & \dots \textcircled{2} \end{cases} \quad (15)$$

となる。ただし、①となる  $x, y$  の範囲は  $d(k - 1) \leq x < d(2k - 1 + V_{ratio})/2, 0 \leq y \leq W/2$ 、②となる範囲は  $d(2k - 1 + V_{ratio})/2 \leq x < dk, 0 \leq y \leq W/2$  である。期待予約ペナルティは

$$E(P_{rs}^p) = \sum_{k=1}^{N-1} \int_0^{\frac{W}{2}} \int_{(k-1)d}^{kd} \frac{f_k(x, y)}{WL} dx dy \quad (16)$$

で求めることができる。Drop-off 型の期待予約ペナルティは、直線モデルと同じく

$$E(P_{rs}^d) = r \quad (17)$$

である。あとは式(10)と同様の計算を行えば期待予約ペナルティが求められる。

7. 分析：平面モデル

縦の長さを  $W = 1(km)$  とし、その他の変数は直線モデルと同じ値を設定する。結果は図-7、表-2の通りである。直線モデルと同様、 $U$  が高いほど利便性が低いことに注意する。期待乗車時間を見ると、デマンドバスが路線バスの約 2 倍となっている。これはデマンドバスの縦方向への移動が増加したためである。

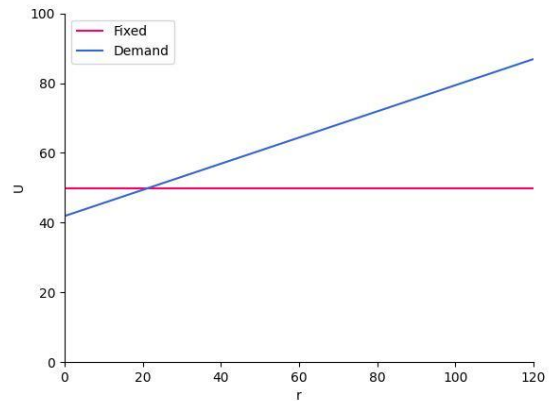


図-7 分析結果 (平面モデル)

表-2 分析結果 (平面モデル)

	$E(T_{wk})$	$E(T_{rd})$	予約許容時間	最小予約時刻
路線バス	10.05	9.90		
デマンドバス	0	20.52	21.47	-11.00

表-3 は  $L \times W = 10$  で固定し  $L, W$  の長さを変更した結果である。横に細長くなると、期待徒歩時間が減少している。これは、バス停間の距離を  $d = 1$  で固定しているため横方向の移動距離は変わらないが、縦方向への移動距離が減少したためである。また横長になると、両者の期待乗車時間の差が減少していることがわかる。直線モデルの結果からわかるように、横方向の移動だけでは乗車時間にあまり差が生まれない。移動距離の差はデマンドバスの縦方向の移動によって生まれる、しかし、横長になると縦方向の移動が少なくなるため、両者の差が減少する。予約許容時間は横長の方が短く  $L = 15, W = 2/3$  では負の値をとっている。これは予約時間に関わらず路線バスの方が便利であることを示している。

表-3  $L, W$  を変化させたとき予約許容時間の変化

		$E(T_{wk})$	$E(T_{rd})$	予約許容時間	最小予約時刻
$L = 5, W = 2$	路線バス	15.05	4.90		
	デマンドバス	0	13.76	75.84	9.00
$L = 10, W = 1$	路線バス	10.05	9.90		
	デマンドバス	0	20.52	21.47	-11.00
$L = 15, W = 2/3$	路線バス	8.38	14.90		
	デマンドバス	0	28.00	-9.01	-24.33

表-4 は乗客数を変化させたときの結果である。乗客数が増加すれば、送迎する乗客が増えるためデマンドバスの期待乗車時間は増加する。したがって、デマンドバスの利便性が減少し予約許容時間は短くなる。

表-4 乗客数  $n$  を変化させたときの予約許容時間の変化

		$E(T_{wk})$	$E(T_{rd})$	予約許容時間	最小予約時刻
$n = 3$	路線バス	10.05	9.90		
	デマンドバス	0	16.17	44.66	-11.00
$n = 8$	路線バス	10.05	9.90		
	デマンドバス	0	19.78	25.40	-11.00
$n = 10$	路線バス	10.05	9.90		
	デマンドバス	0	20.52	21.47	-11.00

表-5 は drop-off 型の割合を変化させたときの結果である。Drop-off 型の割合が多くなるにつれ、予約許容時間は短くなっていく。今回想定しているデマンドバスでは、drop-off 型の方が受ける予約ペナルティは少ないので、 $\alpha$  が増加するにつれ予約許容時間は長くなると思われるが、予想に反し短くなっている。この部分は今後分析を深めていく。

表-5  $\alpha$  の割合を変化させたときの予約許容時間の変化

		$E(T_{wk})$	$E(T_{rd})$	予約許容時間	最小予約時刻
$\alpha = 0.2$	路線バス	10.05	9.90		
	デマンドバス	0	19.78	30.01	-11.00
$\alpha = 0.5$	路線バス	10.05	9.90		
	デマンドバス	0	19.78	25.40	-11.00
$\alpha = 0.8$	路線バス	10.05	9.90		
	デマンドバス	0	19.78	22.33	-11.00

## 8. おわりに

本研究は、徒歩時間、乗車時間、予約締切時刻の早さの 3 要素で路線バス、デマンドバスの利便性を比較し、乗客が許容できる予約時間を導出した。また縦横の長さや乗客数、乗客のタイプが予約締切時刻に与える影響も分析した。その結果、縦に細長く乗客数が少ないと予約許容時間が長くなることが分かった。Drop-off 型の割合と予約許容時間との関係が直観とは合致しない結果となったが、この点は今後分析を深める予定である。

本研究によって、乗客が許容できる予約締切時刻を求めることができた。基準となる予約締切時刻が導出できたことで、今まで以上に適切な締切時刻を設定できるであろう。またシンプルながらもこれまで研究されてこなかった締切時刻に関する研究を行ったことに貢献があると考えられる。

最後に残された課題を述べる。まず、運行されているバスの台数が含まれていない。またバス停での待ち時間も考慮していない。この他にも簡略化した仮定が多く存在し、それらについて優先順位をつけて検討することが課題である。

## REFERENCES

- 1) 国土交通省中部運輸局：デマンド型交通の手引き. <https://www.tb.mlit.go.jp/hokushin/cotent/000104104.pdf>, 2013-04, 参照日 2022-09
- 2) 国土交通省中部運輸局：続・デマンド型交通の手引き. <https://www.tb.mlit.go.jp/hokkaido/content/000174198.pdf>, 2014-03, 参照日 2022-09
- 3) Li, Xiugang, and Luca Quadrioglio. "Feeder transit services: Choosing between fixed and demand responsive policy." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 18.5 (2010): 770-780.
- 4) Edwards, Derek, and Kari Watkins. "Comparing fixed-route and demand-responsive feeder transit systems in real-world settings." *Transportation research record* 2352.1 (2013): 128-135.
- 5) Huang, Di, et al. "An analytical model for the many-to-one demand responsive transit systems." *Sustainability* 12.1 (2019): 298.
- 6) 川崎智也, 轟朝幸, 西山翔太郎. "デマンド型乗合タクシーにおけるイールドマネジメント導入の影響." 交通工学論文集 1.2 (2015): A\_149-A\_157.
- 7) Xie, Yifei, et al. "Behavioral modeling of on-demand mobility services: general framework and application to sustainable travel incentives." *Transportation* 46.6 (2019): 2017-2039.
- 8) Navidi, Zahra, Nicole Ronald, and Stephan Winter.

- "Comparison between ad-hoc demand responsive and conventional transit: a simulation study." *Public Transport* 10.1 (2018): 147-167.
- 9) Avermann, Niklas, and Jan Schlüter. "Determinants of customer satisfaction with a true door-to-door DRT service in rural Germany." *Research in Transportation Business & Management* 32 (2019): 100420.
  - 10) Atasoy, Bilge, et al. "The concept and impact analysis of a flexible mobility on demand system." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 56 (2015): 373-392.
  - 11) Schasché, Stephanie E., Robert G. Sposato, and Nina Hampl. "The dilemma of demand-responsive transport services in rural areas: Conflicting expectations and weak user acceptance." *Transport Policy* 126 (2022): 43-54.
  - 12) Vansteenwegen, Pieter, et al. "A survey on demand-responsive public bus systems." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 137 (2022): 103573.
  - 13) Rahman, Arifur, Geoffrey I. Crouch, and Jennifer H. Laing. "Tourists' temporal booking decisions: A study of the effect of contextual framing." *Tourism Management* 65 (2018): 55-68.
  - 14) Chandra, Shailesh, and Luca Quadrioglio. "A model for estimating the optimal cycle length of demand responsive feeder transit services." *Transportation Research Part B: Methodological* 51 (2013): 1-16.