

都市近郊におけるデマンドバスの最適運用に関する分析

02701976 日本文理大学 \*吉村 充功 YOSHIMURA Mitsunori  
 広島大学大学院 奥村 誠 OKUMURA Makoto  
 広島大学 磯崎 晶光 ISOZAKI Akimitsu

1. はじめに

都心と郊外を結ぶバス路線は、個別の団地ごとに乗り入れる直行バス方式が主流である。しかし、今後は大量の需要を期待することができないため、路線の統廃合が予想される。結果として、幹線道路のみを走る幹線バスと、幹線を走りながら各団地に迂回する迂回型バス、もしくは利用者の呼び出しに応じて団地に迂回する迂回型デマンドバスに集約されると考えられる。

デマンドバス方式は、運行方式の柔軟性から近年注目されている。しかし、呼び出しに応じて迂回する特性のため、既乗車者の所要時間の増加といった外部効果が発生する。近年、バス事業の衰退を受けて自治体による補助金の投入がなされているが、外部効果をあらかじめ利用者へ内部化しなければ、補助金額の妥当性、公平性が失われる結果となる。バス運行に関する外部効果を扱った研究は、鈴木の研究 [1] 以外皆無である。

本研究では都市近郊のデマンドバスの特性を明らかにするため、幹線バスと迂回バスを組み合わせ、バス運行コストと利用者不効用からなる社会的総費用を最小化するバスの最適な運用方法を明らかにする。また、そのモデルを用いて迂回型デマンドバスを呼び出すことによる外部効果を明らかにする。

2. モデル構築のための仮定

本研究では図1のような団地の配置形態、バス路線・バス停配置を想定し、以下の仮定下で分析を行う。

- 郊外の営業所と都心を結ぶ幹線道路に沿って  $n$  個の団地が存在する。団地  $i$  から幹線道路までの距離を  $l_i$  (km)、幹線道路上の団地  $i-1$  の分岐から、団地  $i$  の分岐までの距離を  $L_i$  (km) とおく。
- 営業所と都心間には、幹線バス ( $M$ ) と迂回バス ( $D$ ) が存在する。それぞれのバス時刻表は所与とし渋滞などによる遅れは考えない。バスの運行間隔 ( $h$ /台) をそれぞれ  $I^M, I^D$  とする。なお、単位時間のバス総台数  $1/I (= 1/I^M + 1/I^D)$  は一定とする。バスの走行速度は種類に関係なく  $v_b$  (km/h) で一定とし、バス停での停車時間は無視する。
- バス利用者のアクセス時間は幹線バス利用時の団地中心部から幹線バス停までを考え、その他のア

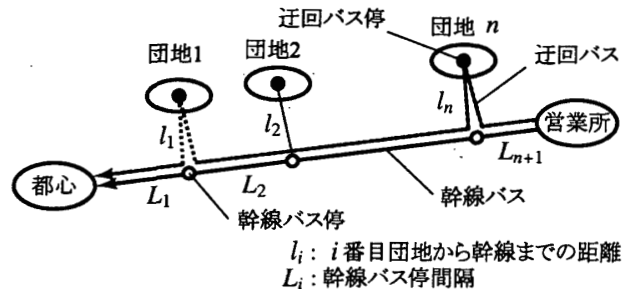


図1 団地配置とバス路線概要図

クセス時間は無視する。徒歩速度は  $v_w$  (km/h) で一定とする。利用者は、バス時刻表を踏まえバスの到着予定時刻にバス停に到着する。

- 団地  $i$  の利用者数 (需要) は既知 ( $X_i$ (人/h)) とし、全員が都心まで乗車する。バスの容量制約と車内の混雑は考慮せず、利用者は希望したバスに必ず乗車できる。なお、利用者の選好は等質とする。

3. 利用者不効用と社会的総費用最小化問題の定式化

団地  $i$  の利用者が各バス ( $M, D$ ) を利用する時の利用者不効用  $f_i^M, f_i^D$  は、家での待ち時間 ( $a$ )、幹線バス停までの徒歩時間 ( $b$ )、バス乗車時間 ( $c$ )、デマンドバスが郊外側で迂回する際に発生するバス停での待ち時間 ( $d$ ) の各期待不効用と、各バスの運賃  $F_i^M, F_i^D$  (円) からなるとし、以下のように定義する。

$$f_i^M(I^M, F_i^M) = a \frac{I^M}{2} + b \frac{l_i}{v_w} + c \sum_{j=1}^i \frac{L_j}{v_b} + F_i^M \quad (1a)$$

$$f_i^D(I^D, F_i^D, \sigma_j) = a \frac{I^D}{2} + d \left( \sum_{j=i+1}^n \frac{2\sigma_j l_j}{v_b} + \frac{l_i}{v_b} \right) + c \left( \sum_{j=1}^i \frac{L_j}{v_b} + \sum_{j=1}^{i-1} \frac{2\sigma_j l_j}{v_b} + \frac{l_i}{v_b} \right) + F_i^D \quad (1b)$$

$a, b, c, d$  は各不効用の時間価値 (円/h)、 $\sigma_j$  は迂回バスの団地  $j$  へのバス迂回確率である。利用者は  $f_i^M, f_i^D$  を比較し、不効用の小さいバスを利用する。

各バスの運行コスト  $g^M, g^D$  (円/h) を次式で定義する。

$$g^M(I^M) = h^M \left( \sum_{j=1}^{n+1} \frac{L_j}{v_b} \right) \frac{1}{I^M} \quad (2a)$$

$$g^D(I^D, \sigma_j) = h^D \left\{ \sum_{j=1}^n \left( \frac{L_j + 2\sigma_j l_j}{v_b} \right) + \frac{L_{n+1}}{v_b} \right\} \frac{1}{I^D} \quad (2b)$$

$h^M, h^D$  は1台1時間あたりのそれぞれのバス運行コスト (円/台/h) である。

社会的総費用  $TC$  (円/h) は、運賃が利用者と事業者間での取引になり社会全体ではキャンセルされることを考慮すると、以下のように定義できる。

$$TC = \sum_{i=1}^n \left\{ (f_i^M - F_i^M)(1 - \delta_i) X_i + (f_i^D - F_i^D) \delta_i X_i \right\} + (g^M + g^D) \quad (3)$$

ただし、 $\delta_i$  は団地  $i$  の利用者の迂回バス選択確率である。社会的総費用最小化問題は、バス総台数  $1/I$  を制約に、バス運行間隔  $I^M$  (or  $I^D$ ) と運賃  $F_i^M, F_i^D$  を制御することで式 (3) を最小化する問題として定式化できる。

#### 4. 想定するバス運行形態

迂回型デマンドバスの有効性を検討するため、迂回バスとして以下のケースを想定し検討する。以下、単純化のため幹線バス停間隔  $L_i$ 、団地～幹線バス停間隔  $l_i$ 、需要  $X_i$  を団地に依らず一定とし、 $L, l, X$  とおく。

##### (I) 完全迂回バスと幹線バスの組み合わせ (完全迂回)

迂回バスが全ての団地に迂回するため、バスの遅れは発生せず  $d = 0$  であり、迂回確率は  $\sigma_i = 1$  である。

この問題設定下で社会的総費用最小化問題の理論解を求めると、不効用  $f_i^M$  と  $f_i^D$  の大小関係より、最適解においては都心側の団地のバス利用者は全員迂回バスを、郊外側のバス利用者は全員幹線バスを利用する。

##### (II) 迂回限定バスと幹線バスの組み合わせ (迂回限定)

完全迂回ケースの結果より、郊外側の団地では、迂回バスを迂回させても利用者が存在しない。そこで、迂回バスの運行コストを節約するため、あらかじめ決められた都心側の団地のみ迂回する迂回団地限定バスを考える。このときもバスの遅れは発生しないため  $d = 0$  である。なお、迂回バスが迂回しない団地の利用者は幹線バスを必ず利用するとする。

##### (III) デマンドバスと幹線バスの組み合わせ (デマンド)

バス停設置のボタンを押してバスを呼び出すことで、迂回バスがその団地へ迂回する迂回型デマンドバスを考える。バスの呼び出しにより外部効果が発生するが、呼び出された場合のみ迂回するため、利用者は事前にこの不効用を正確に把握できない。そこで、迂回型デ

マンドバス選択確率  $\delta_i$  を以下の2項ロジット形で与える。ただし、 $\alpha$  は不効用のスケールパラメータである。

$$\delta_i = \frac{1}{1 + \exp\{\alpha(f_i^D - f_i^M)\}} \quad (4)$$

デマンドバスの団地  $i$  への迂回確率は、 $\sigma_i = \delta_i$  とする。

得られた最適解を用いれば、デマンドバスの既乗車者の所要時間の増加、迂回による到着遅延に起因するバス待ち利用者の待ち時間の増加および運行コストの増加の外部効果を式 (1b), (2b) を用いて明らかにできる。

以上のケースについてそれぞれ社会的総費用を最小化する最適なバス運行間隔、運賃を理論的に導出できる。ただし、デマンドケースでは、 $\delta_i$  の最適値の決定が煩雑になるため、数値計算により求める必要がある。

#### 5. バス最適運用に関する数値計算例

求められた理論解を用いて、それぞれのケースについて数値計算を行った。定数値を  $a = 1,000, b = 5,000, c = 1,500, d = 3,000, h^M = 20,000, h^D = 20,000, I = 0.25, X = 10, v_b = 20, v_w = 4, L = 2.5, l = 0.8, n = 10, \alpha = 0.001$  と設定した。

結果は表1に示す通りとなった。なお、デマンドケースでは、いずれか1つの団地のバス利用者が全員迂回型デマンドバスを利用することが最適となる。このとき、迂回型デマンドバスを利用する団地が1つしかなく他の団地への影響がないため、外部効果は発生しない。

表1 数値計算結果

	$TC$ (円/h)	$I^M$ (分/台)	$I^D$ (分/台)	迂回バス 利用団地
完全迂回	325,692	23	43	1-7
迂回限定	316,770	24	41	1-5
デマンド	326,436	19	67	いずれか1つ

2つ以上の団地に立ち寄り外部効果が発生する場合、これを内部化するためには、発生源である利用者の運賃に上乗せして利用者に負担させる必要がある。

#### 6. おわりに

本研究では、迂回型デマンドバスが呼び出しによって外部効果をもたらすことに着目して、他の運行形態を含めた理論的な分析を行った。その結果、都市近郊では迂回型デマンドバスを導入するよりも迂回する団地をあらかじめ決めて走行する迂回団地限定バスが有効な場合があることを明らかにした。

##### 参考文献

- [1] 鈴木 勉: 「通勤バス停留所の最適配置」, 『都市計画論文集』, 22(1987), 247-252.