

公共交通ダイヤと待ち時間，交通需要の関係に関する研究

鳥取大学工学部 正会員 横松宗太
 （株）西友商事 正会員 真田健太
 鳥取大学工学部 正会員 喜多秀行

1. はじめに

地方では都市と較べて公共交通の便数が少ない．交通企業は地方では需要が少ないので便数を減らして乗車率を上げようと目論むことがある．それに対して本研究では，公共交通の便数の少なさがさらに需要を減少させる構造について記述する．

地方では都市と較べて公共交通の便数が少ないため，移動の際に待ち時間が発生する．待ち時間は，公共交通による移動を伴う活動の機会費用の一部を構成する．よって移動の際の待ち時間が長い場合，活動自体がキャンセルされることもある．本研究では時間配分モデルを用いて，地方の公共交通のダイヤを評価する枠組みを定式化する．そして，地方の公共交通の便数と待ち時間，活動の機会費用の関係を導出して，地方における公共交通の需要構造について検討する．

2. バス利用モデル

個人の休日1日の活動を対象とする．活動には場所 $i(i=1, 2, \dots)$ で行う活動 i と自宅で行う在宅活動がある．本モデルでは大きい効用を与える活動の順に番号 i を付すこととする．活動 i より得られる効用を以下の効用関数 $u_i(\cdot)$ により特定化する．

$$u_i(\tau_i) = (a - i\varepsilon)\tau_i - \frac{b\tau_i^2}{2} \quad (1)$$

τ_i は活動 i の活動時間を表す． $a, b, \varepsilon (> 0)$ はパラメータであり，それらは $u_i(\tau_i)$ が，成立しえる τ_i の範囲において単調増加かつ限界効用逓減を示すように設定されている．一方，在宅活動の効用水準は $h_0 l_0$ ，バス停でバスを待つ時間の効用水準は hl により与えられると仮定する．ただし l_0, l はそれぞれ在宅活動時間，待ち時間を表し， h_0, h は限界効用に相当するパラメータである．なお $h_0 > h > 0$ を仮定する．

活動 i を行うには公共のバスを利用して場所 i までいかなければならない．ここではバス路線について，個人が活動する機会をもつ全ての場所を循環して発着点に戻る循環路線を考える．モデルの簡単化のため，任意の地点間における移動時間はゼロとし，バスに乗りさえすれば瞬時に目的地に到着できると仮定する．自宅から最寄のバス停までの時間距離もゼロとする．自宅が

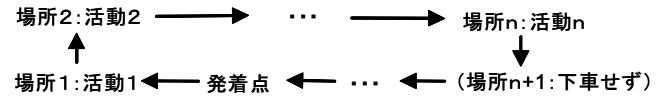


図.1 循環バスモデル

発着点にあり，活動 n までを行う場合のイメージを図.1に示す．個人は(活動数+1)回，バスに乗車する．バスの運賃は移動区間に関わらず一律とする．また，都市では毎時刻バスが周回していると仮定する．一方，地方では1日に $(m+1)$ 本のバスが等しい時間間隔 (T/m) で発着点を出発して1周すると仮定する．個人の効用最大化問題は以下の時間配分問題として表される．

$$\max_{x, \tau_i (i=1, \dots, n), l_0, l} U = x + \sum_{i=1}^n u_i(\tau_i) + h_0 l_0 + hl \quad (2a)$$

$$\text{s.t.} \quad x + p(n+1) = Y \quad (2b)$$

$$\sum_{i=1}^n \tau_i + l_0 + l = T \quad (2c)$$

$$\tau_i, l_0, l \geq 0 \quad (2d)$$

n は実際に行われる活動数を表す． n は自然数であり，離散的な内生変数である． x は消費， p は1回あたりの運賃， Y は利用可能所得， T は利用可能時間を表す．式(2b)(2c)はそれぞれ予算制約，時間制約を意味する．

3. 都市における交通行動

都市と地方の相違を鮮明にするため，都市では在宅活動が行われないようなパラメータ環境を仮定しよう．都市では毎時刻バスが循環しているため，待ち時間が生じることなく活動を切り替えることができる．Kuhn=Tuckerの1階の条件より次式を得る．

$$u'_i(\tau_i) = a - i\varepsilon - b\tau_i = \mu \quad \text{for } i = 1, \dots, n \quad (3)$$

μ は式(2c)に対応したラグランジュ乗数を表す．各活動の限界効用が同一の μ に到達したときに次の活動に切り替えることが効率的となる．上式より $\tau_i = \tau_i^\circ(\mu)$ を得る． $l_0 = l = 0$ と併せて式(2c)に代入すると，

$$\mu = a - \frac{\varepsilon(n+1)}{2} - \frac{bT}{n} = \mu^\circ(n) \quad (4)$$

最適活動数 n^* は以下の条件を満足する自然数となる．

$$u_{n^*}(\tau_{n^*}^\circ(\mu^\circ(n^*))) \geq p + h_0 \tau_{n^*}^\circ(\mu^\circ(n^*)) \quad (5a)$$

$$u_{n^*+1}(\tau_{n^*+1}^\circ(\mu^\circ(n^*+1))) < p + h_0 \tau_{n^*+1}^\circ(\mu^\circ(n^*+1)) \quad (5b)$$

公共交通，時間配分モデル，時間価値，待ち時間

〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101, TEL/FAX 0857-31-5311

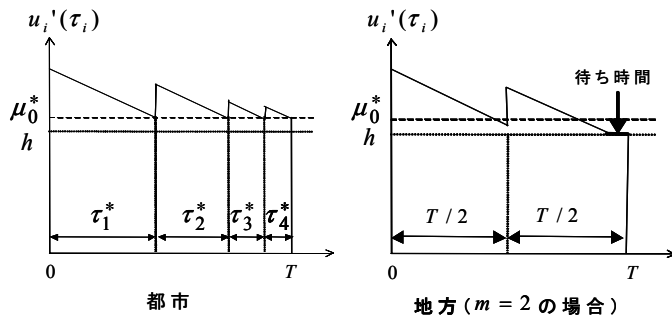


図.2 活動の限界効用と切り替えの関係

ここでは $n^* > 1$ を仮定する．上式において右辺は活動の機会費用を表す．機会費用は追加的に生じる運賃と在宅活動の効用で構成される．不等式(5b)は、 $(n^* + 1)$ 個の活動で時間配分を行うと最後の活動の効用は機会費用を下回ることを意味している． $n = n^*$ により、 $\mu^* = \mu^o(n^*)$ 、 $\tau_i^* = \tau_i^o(\mu^*)$ を得る．図.2の左図に都市での活動の限界効用と切り替えの関係を示す．

個人の活動数を $n^*(p)$ と表すと、当該個人のバス需要は $d^*(p) = n^*(p) + 1$ となる．都市の個人の時間価値を導こう．間接効用関数を $V(Y, T, p)$ と表すこととする．

$$V(Y - dY, T + dT, p) = V(Y, T, p) \quad (6)$$

の左辺を全微分して包絡線定理を利用することにより、時間価値 VOT は次式に決まる．

$$VOT = \frac{dY}{dT} = \frac{\partial V / \partial T}{\partial V / \partial Y} = \mu^* \quad (7)$$

所得の shadow price は1である．都市における時間価値は時間の shadow price であり、全ての活動を切り替える限界効用の水準に相当する．

4. 地方における交通行動

地方では活動を切り替えるタイミングがバスの循環の時間間隔 (T/m) に規定されることになる．地方での活動の切り替えを図.2の右図に示す．地方において活動 j に待ち時間が生じる条件は、

$$u_j'(\tilde{\tau}_j) = a - j\varepsilon - b\tilde{\tau}_j = h \quad \text{かつ} \quad \tilde{\tau}_j < \frac{T}{m} \quad (8)$$

すなわち、 (T/m) 時間間隔でバスが循環してくるまでに活動 j の限界効用が待ち時間の限界効用に到達する場合である．上式より $j > \{a - (bT/m) - h\} / \varepsilon \equiv \bar{j}(m)$ の番号の活動で待ち時間が生じることとなる．待ち時間が生じない活動すなわち $1 < j \leq \bar{j}$ の活動の効用を $u_j^A(T/m)$ 、 $j > \bar{j}$ の活動の効用を $u_j^B(\tilde{\tau}_j)$ と表そう．前章と同様に活動 j を行う条件は、活動 j より得られる効用と機会費用の比較によって与えられる．

$$u_j^A\left(\frac{T}{m}\right) \geq p + h_0 \frac{T}{m} \quad (9a)$$

$$u_j^B(\tilde{\tau}_j) \geq p + h_0 \tilde{\tau}_j + (h_0 - h) \left(\frac{T}{m} - \tilde{\tau}_j \right) \quad (9b)$$

不等式(9b)の右辺第3項は待ち時間に起因する機会費用を表している．バスの便数が少なく m が小さいほど待ち時間が長くなり、活動の機会費用は増大する．いま、 $j \leq \hat{j}$ であれば不等式(9a)ないし(9b)が満たされるような $\hat{j} = \hat{j}(p, m)$ が存在する．以上より、地方においてバス停で待ち時間が発生する状況やバス需要 $d(\cdot)$ は、 $m, \bar{j}(m), \hat{j}(p, m)$ の大小関係によって表.1のようにまとめられる．地方における活動数、バス需要はそれぞれ $n^*(p, m)$ 、 $d^*(p, m) = n^*(p, m) + 1$ のように、運賃のみならずバスの便数に依存することがわかる．

表.1 待ち時間とバス需要のパターン

	$m, \bar{j}, \hat{j}$ の大小関係	待ち時間が 生じる活動 j	活動数 n^*	バス需要 d^*
1	$\bar{j} < \hat{j} < m$	$\bar{j} < j < \hat{j}$	$\hat{j}$	$\hat{j} + 1$
2	$\bar{j} < m < \hat{j}$	$\bar{j} < j < m$	m	$m + 1$
3	$\hat{j} < \bar{j} < m$	なし	$\hat{j}$	$\hat{j} + 1$
4	$\hat{j} < m < \bar{j}$	なし	$\hat{j}$	$\hat{j} + 1$
5	$m < \bar{j} < \hat{j}$	なし	m	$m + 1$
6	$m < \hat{j} < \bar{j}$	なし	m	$m + 1$

時間価値は都市のケースと同様の手順で導かれる．

$$VOT = \frac{dY}{dT} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{n^*} u_i'\left(\frac{T}{m}\right) + \frac{(m - n^*)}{m} h_0 \quad (10)$$

以上のように、地方の時間価値は都市の時間価値のように単一のラグランジュ乗数とは一致しない．ここでは利用可能時間 T が追加的に1時間増加したことにより、バスの循環の時間間隔が $(1/m)$ 時間ずつ広がると考える．時間価値はそのときの効用の増分の和に一致し、各活動の終端時刻の限界効用に $(1/m)$ 時間を乗じて加算したものに相当する．都市で個人の時間価値を計測するときには、顕在化した一つの活動の限界効用関数と活動時間に関する情報があればよい．それに対して地方では個人のあらゆる活動の限界効用関数を知る必要がある．

5. おわりに

本研究では地方における公共交通需要が価格のみならず便数にも依存することを示した．発表時にはバスの便数とバス需要、社会厚生との関係を示す数値計算事例について紹介する．今後はバス企業の行動を考慮して市場均衡を導出し、社会的余剰によって公共交通の経済価値を検討する予定である．また地方において、限られた便数制約の下で社会厚生を増加させるための規制の方法等を導出することを課題とする．