手段補完性に着目したバス交通の逸走に関する一考察

京都大学大学院　学生会員　○西村　元延
京都大学大学院　正会員　松島　格也
京都大学大学院　フェロー　小林　潔司

1. はじめに

通常バス交通を利用する場合，往復で同じ交通手段を選択する．これは，通勤トリップの端末として定期乗車券を利用することを考えると，往復に利用する手段を同じにしなければ，往復のトリップにかかる費用は非常に割高になるためである．すなわち，往路と復路に選択する交通手段は補完的な役割を果たしている．本研究ではこの性質を手段補完性と名づけ，これを考慮した市場モデルを定式化する．当該市場において，より多くの家計がサービスを利用すればサービス提供側はより密なサービスを提供し，その結果さらに多くの家計がサービスを利用する．また，より多くの家計がバスサービスを利用しなくなれば，サービス提供側はよりサービスを少なくし，その結果さらに多くの家計がサービスの利用をしなくなり，時には市場自体が消滅してしまう可能性も否定できない．このような市場においては，市場厚(薄)の外部性を通じたポジティブ・フィードバックのメカニズムが機能し，複数均衡の生じる可能性がある．

2. モデル

家計の通勤トリップを考えよう．ここでは，通勤トリップの手段としてはバスか自動車のいずれか同じ手段を往復で利用すると仮定する．各家計にはそれぞれ自らが希望する往路，復路の希望出発時刻t_1, t_2が存在する．バスを利用する場合，希望出発時刻後の最初の出発時刻を持つバスを選択すると考える．家計の希望出発時刻は往路・復路に関して独立かつ対称的な確率分布に従い，外生的に与えられると考える．最も早く出発する家計の希望出発時刻を$t=0$に基準化し，最も遅い家計の希望出発時刻をTで表そう．この時，往復の家計の希望出発時刻は確率密度関数

$$f(t_j) = \begin{cases} \frac{2}{T^2}(T-t_j) & 0 \leq t_j \leq T (j=1,2) \\ 0 & oterwise \end{cases} \tag{1}$$

として表される．希望出発時刻とバスの出発時刻との間に差異がある場合は，待ち時間に伴う不効用が発生する．一方，自動車を利用する際には待ち時間は発生せず，待ち時間による不効用は発生しない．また，自動車を利用した場合，駐車場代や燃料費などを要するために，自動車利用にかかる費用はバスを利用した場合よりも高くなるものと仮定する．これより，バス利用によって得られる効用と，自家用車の利用によって得られる効用はそれぞれ以下のように表される．

$$U_{bus}(t_1, t_2 : \boldsymbol{h}) = Y - v_1(t_1) - v_2(t_2) - 2p \tag{2}$$

$$U_{car} = Y - 2q \tag{3}$$

ここでYは手段によらずある地点間でのトリップから得られる効用，pはバスの運賃，qは自動車利用の一般化費用，$\boldsymbol{h}$は，バス企業の戦略(運賃，運行本数)を表す．また，$v_j(t)(j=1,2)$はバスの待ち時間による不効用であり，以下のように表される．

$$v_j(t) = \begin{cases} \varepsilon \cdot (s_i(t) - t) & s_i(t) - t < \theta \\ \infty & s_i(t) - t \geq \theta \end{cases} \tag{4}$$

なお，θは心理的な待ち時間の上限値である．簡単化のため，以降では$s_i(t) - t < \theta$のみに注目する．$s_i(t) = min\{s_i | s_i \leq T, i = 1, \cdots, n\}$は希望出発時刻以降に出発するバスのうち，最も早く出発するバスの出発時刻を，ϵは時間価値を表す．家計はU_{bus}, U_{car}を比較し，効用の大きい手段を利用する．

一方，家計にサービスを提供するバス会社は独占企業であり，以下で表される利潤を最大にするように運賃pとバスダイヤ$\boldsymbol{s}(n) = \{s_1(t), \cdots, s_n(t)\}$を決定する．

$$\Pi(n) = 2pm(p, \boldsymbol{s}(n)) - 2nc \tag{5}$$

ここで，$m(p, \boldsymbol{s}(n))$は，バスを利用する家計の総数，つまり需要関数であり，後に導出する．

家計の出発時刻分布が対称的であるので，バス企業は往路と復路に対して，同一の運賃とバスダイヤを設定する．また，バスの容量については制約が無いと考える．これより，バス企業は時間軸上での個々のバス市場が利用密度の大きい時間帯より順に互いに重なり合わないようにサービスを提供する．このとき，バスの運行間隔Δは，$\Delta = \frac{q-p}{\epsilon}$となる．ここで，バス企業は正の利潤を得られる限りバスを運行させるので，バスが運行させる本数は以下のように表される．

$$pm(p, \boldsymbol{s}(n)) - pm(p, \boldsymbol{s}(n-1)) \geq c \tag{6}$$

$$pm(p, \boldsymbol{s}(n+1)) - pm(p, \boldsymbol{s}(n)) < c \tag{7}$$

バスの利用者は，往復ともにバスの運行が行われている時間内に利用するので，運行本数nを与件としたとき，バスの需要関数は以下のように表される．

$$m(p, \boldsymbol{s}(n)) = \int_0^{n\Delta} \int_0^{n\Delta} f(t_2) f(t_1) dt_1 dt_2 \tag{8}$$

利潤を最大化するような運賃p及び運行本数nは，利潤最適化の1階条件より，以下の条件を満たすp^*及びn^*は，以下のようになる．

$$\frac{\partial \Pi(n, p)}{\partial p} = 0 \tag{9}$$

Genen NISHIMURA, Kakuya MATSUSHIMA and Kiyoshi KOBAYASHI

$$\frac{\partial \Pi(n,p)}{\partial n} = 0 \tag{10}$$

ただし，これ以降バスの運行本数nは連続であるとする．

3. 市場均衡解とその特性

nの存在範囲$0 \leq n \leq \frac{T}{\Delta}$において,式(10)を満たす$n$の値は，以下のようになる．

$$\frac{8p}{3\sqrt{3}K} - c \geq 0 \text{のとき} \quad n_1, n_2 (n_1 < n_2) \tag{11}$$

$$\frac{8p}{3\sqrt{3}K} - c < 0 \text{のとき} \quad \text{なし} \tag{12}$$

明らかに$n=0$は解であり，また二階条件$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial n^2}$より$n_1$は極小解$n_2$は極大解であるので，$\frac{8p}{3\sqrt{3}K} - c \geq 0$ならば，$n = 0, n_2$の複数解が存在し，$\frac{8p}{3\sqrt{3}K} - c < 0$ならば，$n = 0$のみが解となる．また，式(9)を満たす$p$は，複数存在するが，このうち$p$の存在範囲$q - \frac{T\epsilon}{q-p} < p < q$を満たすような$p$は，以下の$p_0$しか存在しない．

$$p_0 = \frac{-3(T\varepsilon - nq) + \sqrt{9T\varepsilon^2 + 8T\varepsilon nq + 4(nq)^2}}{5n} \tag{13}$$

以上より，この市場の均衡解は以下の二つである．

$$(p^*, n^*) = (p_0, 0), (p_0, n_2) \tag{14}$$

需要が減少した場合には，利潤を最大化するような運行本数は減少し，その運行本数の減少が，さらに需要の減少をもたらす．このプロセスが逸走のメカニズムとして考えられる．

図－1には，自動車利用の一般化費用がより小さくなったときに，複数均衡の存在がどのような挙動を示すか数値計算を行い，その結果をグラフにしたものである．その際に代入した数値は$\epsilon = 1, c = 0.005, T = 10$である．自動車の一般化費用$q$が減少し，相対的にバス交通が不利になると，バス企業は運賃pを引き下げ，運行本数nを削減することで利潤を維持する．しかし，qがある値に達すると，正の運行本数をもつ均衡解は消滅し，バス企業は運行をとりやめることとなる．このことは，自動車の利便性の変化により，逸走の生じるメカニズムを説明している．

4. 手段代替化戦略とその効果

ここで，手段代替化戦略として，料金$\hat{p}$で利用可能な交通手段が整備され，往路の利用手段に関係なく，復路の交通手段はこの交通手段を利用したとしよう．なお，$\hat{p} < p < q$とする．すると，自動車，バスそれぞれの利用家計の獲得できる効用は以下のようになる．

$$\tilde{U}_{bus}(t_1 : \tilde{\boldsymbol{h}}) = Y - v(t_1) - p - \hat{p} \tag{15}$$

$$\tilde{U}_{car}(t_1 : \tilde{\boldsymbol{h}}) = Y - q - \hat{p} \tag{16}$$

これ以降[˜]は，代替化戦略を採用したことを表す．また，往路の条件付き最適ダイヤ$s(n)$を与件としたバス需要関数は

$$\tilde{m}(p, \boldsymbol{s}(n)) = \int_0^{n\Delta} f(t_1) dt_1 \tag{17}$$

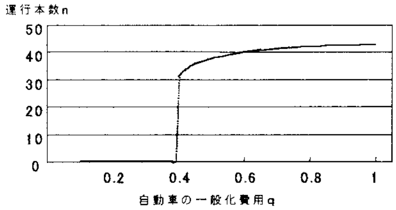

図-1 自動車の一般化費用の変化に伴う均衡解の変化

となるので，バス企業の利潤$\tilde{\Pi}(n,p)$は以下のように表される．

$$\tilde{\Pi}(\tilde{n}, \tilde{p}) = \tilde{p}\tilde{m}(\tilde{p}, \boldsymbol{s}(\tilde{n})) - \tilde{n}c \tag{18}$$

利潤を最大化するような運賃$\tilde{p}^*$とバスの運行本数$\tilde{n}^*$は，それぞれ以下を満たす$\tilde{p}, \tilde{n}$となる．

$$\frac{\partial \tilde{\Pi}(\tilde{n}, \tilde{p})}{\partial \tilde{p}} = 0 \tag{19}$$

$$\frac{\partial \tilde{\Pi}(\tilde{n}, \tilde{p})}{\partial \tilde{n}} = 0 \tag{20}$$

$\tilde{p}$の存在範囲$q - \frac{T\epsilon}{n} < \tilde{p} < q$を考慮すると，式(19)，(20)を同時に満たす$(\tilde{p}^*, \tilde{n}^*)$は，以下のように表される．

$$\tilde{p}^* = \frac{2\tilde{n}q - 2T\epsilon + \sqrt{(\tilde{n}q)^2 - 2\tilde{n}qT\epsilon + (T\epsilon)^2}}{3\tilde{n}} \tag{21}$$

$$\tilde{n}^* = -\frac{T\epsilon(2\tilde{p}^2 - 2\tilde{p}q + cT\epsilon)}{2\tilde{p}(q - \tilde{p})^2} \tag{22}$$

となる．nに関する2階の条件$\frac{\partial^2 \tilde{\Pi}}{\partial n^2}$は，$\frac{\partial^2 \tilde{\Pi}}{\partial n^2} \leq 0$となっており，$\tilde{n}^*$が正であれば，常にその運行本数が利潤を最大化する$n$がただ一つの均衡として存在し，また$\tilde{n}^* < 0$となるときには，$n = 0$が解となり，バス企業は市場から撤退することとなる．式(22)が負になるとき，すなわち，$c > \frac{2p(q-\tilde{p})}{T\epsilon}$が成立するときにバス企業は市場から撤退する．また，手段補完性を考慮したことによる複数均衡が存在するような条件は式(11)から，$\frac{8\tilde{p}}{3\sqrt{3}K} > c$である．$\frac{2\tilde{p}}{K} > \frac{8\tilde{p}}{3\sqrt{3}K}$となることから，手段補完性を取り去った市場では，バス企業がサービスを提供できる限界のcは，手段補完性を考慮した市場よりも大きい．したがって，手段補完性を取り去る代替化戦略をとった市場では，需要の減少に伴う公共交通機関の逸走のメカニズムは生じにくいことがわかる．特に，手段補完性が生じる状況で，複数均衡が生じる範囲$(c < \frac{8\tilde{p}}{3\sqrt{3}K})$において，必ず正の運行本数$\tilde{n}^*$をもつ均衡が成立することがわかる．

5. おわりに

本研究では，手段補完性を考慮した市場均衡モデルの定式化を行い，その均衡から逸走が生じるメカニズムを分析した．また，手段補完性を取り除く手段を導入した市場モデルではこのメカニズムが生じにくくなることを示した．その結果，手段補完性が，バス交通市場の大きな特徴であることが示された．