【土木計画学研究・講演集 No.21(1) 1998年11月】

タクシーサービスのスポット市場均衡に関する研究*

SPOT MARKET EQUILIBRIUM OF TAXI SERVICES *

松島格也**・小林潔司***
by Kakuya MATSUSHIMA** and Kiyoshi KOBAYASHI***

1. はじめに

近年、特定の都心街路が客待ちタクシーに占拠され、一般走行車線の容量不足を招くという問題が生じている。一方で、公共的なタクシー・スタンドの中には、ほとんど利用されていないものも存在する。タクシーサービスの需給関係は空間的・時間的に偏在しており、都市全体において効率的なタクシーサービスの需給関係が実現しているわけではない。タクシーサービスの需給関係は、都市内に設けられたタクシー乗り場（あるいは、地点）という局所的な市場（以下、スポット市場と呼ぶ）で発生する。あるスポット市場においてタクシーサービスに対する需要や供給が増加すれば、そこに混雑という現象が生じない限り、さらに多くの客やタクシードライバーを引きつける。このような規模の経済性が存在する場合、スポット市場におけるタクシーの需給関係には、複数の均衡解が存在する可能性がある。本研究では、タクシー・スポット市場の構造を分析するために市場均衡モデルを提案することとする。

2. スポット市場における外部経済性

スポット市場ではタクシー・客の双方とも市場で生じるであろう需要と供給の状況をあらかじめ知り得ず、互いに需給関係に関して不完全な憶測(imperfect guess)に基づいて行動しなければならない。サービスの買い手と売り手が市場で出会うためには互いにスポット市場まで足を運ばざるを得ず、市場でのマッティングを成立させるために取引費用が生じる。このような1）不完全な憶測と2）取引費用の存在が原因となり、市場に互いに相手と出会うために非金銭的な外部性が生じる。客とタクシーがより頻繁にスポット市場を訪問すれば互いに相手にとって外部的な利得を与えるという市場厚の外部経済性(thick-market externality)が存在する。タクシーと客が互いに需要と供給の増加を予想すればこのような予想は実際に需給を増加させ、そこに市場厚の外部性が働き予想は現実のものとなる。同様の理由から低い需給関係に関する予想も自己実現的(self-fulfilling)である。両者が互いに需給を低く見積もれば、実際に市場は停滞してしまう。このように情報の不完全性と取引費用を要するマッティング市場では、非価格的な相互作用から生じる戦略的外部性(strategic complementarity)が働くため、取引厚（薄）の外部性が生じ市場には乗数効果が現れる。このようなポジティブ（ネガティブ）なフィードバックが働く市場では、複数の均衡解が生じる可能性が存在する。

3. 短期的均衡モデルの定式化

(1) モデルの前提条件

タクシー利用者はスポット市場でタクシーに乗車すると考え、スポット市場に到着した客にはタクシー以外に利用可能な交通手段は存在しない。一度タクシー乗り場に到着した客は待ち行列から立ち去ることはなく、利用可能なタクシーが到着するまで待ち続けるものと考える。一方タクシーの待ち行列長の上限がMに設定されており、待ち行列長がMの時に新規に到着したタクシーは市場から立ち去ると仮定する。客及びタクシーがそれぞれ単位時間当たり平均到着率λ, μでポワソン到着する。短期均衡モデルにおいては、平均到着率λ, μが外生的に与えられており、変化しないと仮定する。伝統的な二重待ち行列モ

---

*キーワーズ：公共交通需要、取引の経済性、駐車需要
**正員　工修　京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
（〒606-8501 京都市左京区吉田本町　TEL・FAX 075-753-5073）
***正員　工博　京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
（〒606-8501 京都市左京区吉田本町　TEL・FAX 075-753-5071）

デルに従って、客とタクシーのいずれかにのみ待ち行列が発生すると考える。

(2) 二重待ち行列モデル

通常の待ち行列理論にしたがって定式化した後、定常状態を考えると以下の状態方程式が成立する。

$$-(\mu+\lambda)P_n+\lambda P_{n-1}+\mu P_{n+1}=0 \quad (1a)$$
$$-\lambda Q_M+\mu Q_{M-1}=0 \quad (1b)$$
$$-(\lambda+\mu)Q_m+\mu Q_{m-1}+\lambda Q_{m+1}=0 \quad (1c)$$
$$-(\lambda+\mu)Q_0+\lambda Q_1+\mu P_1=0 \quad (1d)$$
$$(n=1,\cdots,\infty;n=1,\cdots,M)$$

ここにP_n $(n\geq 1)$, Q_m $(m=1,\cdots,M)$は客、タクシーの待ち行列長がn,mである確率である。ただし、定常解が存在するためには$\mu>\lambda$が成立しなければならない。$\sum_{n=1}^{N}P_n+\sum_{m=0}^{\infty}Q_m=1$であることを考慮すると定常確率$P_n$及び$Q_m$は

$$P_n=(1-\rho)\rho^{M+n}(n\geq 1) \quad (2a)$$
$$Q_m=(1-\rho)\rho^{M-m}(M>m\geq 0) \quad (2b)$$

と表せる。したがって、平均到着率(λ,μ)の下で、客・タクシーの平均待ち行列長は、それぞれ

$$E(n:\lambda,\mu)=\sum_{k=1}^{\infty}P_k\cdot k=\frac{\rho^{M+1}}{1-\rho} \quad (3a)$$
$$E(m:\lambda,\mu)=M-\frac{\rho}{1-\rho}(1-\rho^M) \quad (3b)$$

と表せる。リトルの公式より、到着率(λ,μ)の下での客及びタクシーの平均待ち時間$E(T_p:\lambda,\mu),E(T_t:\lambda,\mu)$は、次式のようになる。

$$E(T_p:\lambda,\mu)=E(n:\lambda,\mu)/\lambda \quad (4a)$$
$$E(T_t:\lambda,\mu)=E(m:\lambda,\mu)/\mu \quad (4b)$$

(3) 短期均衡条件

スポット市場におけるタクシーの取引費用は客の取引費用より小さい。タクシーは既存のタクシー待ち行列長を観察したのち、必要があれば他のスポット市場に移動することが可能である。待ち行列の長さがmの時の平均待ち時間を$W(m)=m/\mu$と表わす。このとき待ち行列長がmの時のタクシーの期待利潤$\Pi(m)$は

$$\Pi(m)=q-\frac{m}{\mu} \quad (5)$$

と表わせる。qはサービス1単位当たりの時間単位で測定した期待収益でありすべてのドライバーにとって同一であると考える。タクシーは当該のスポット市場において正の利潤を得ることができる限り待ち行列に参入するので、自発的な最大待ち行列長は$\Pi(m)=0$の条件より以下のようになる。

$$M(\mu)=q\mu \quad (6)$$

4. 長期市場均衡モデルの定式化

(1) 長期的均衡の考え方

長期的にはスポット市場への客・タクシーの新規参入や市場撤退が生じ、平均到着率が変化する。現行の平均待ち時間に基づく期待効用水準が客の保留期待効用水準より大きい限り、当該の客はスポット市場へ参入するだろう。一方、タクシーはタクシーの待ち行列長がMより小さい限り待ち行列に加わる。スポット市場におけるタクシーの取引費用は客よりも小さいとはいえゼロではない。タクシーはスポット市場において待ち行列に加われない場合の損失も含めて算定した期待利潤が保留水準より大きい限り、当該のスポット市場への訪問を試みる価値があると判断しよう。このような裁定の結果、長期的にはスポット市場に対する客・タクシーの平均到着率がある均衡的な水準に収束すると考える。以下では、このような客・タクシーの自由参入・撤退の結果生じる長期市場均衡をモデル化する。

(2) 利用者の長期行動モデル

すべての客がタクシーを利用して目的地まで到達することによって得られる効用をv、タクシーに乗車するための待ち時間をtと表そう。客の効用関数を危険中立型効用関数$V=v-t$を用いて表現する。効用関数は時間単位で計測されている。客の待ち平均待ち時間$T(M,\mu,\lambda)$は式 (4a) より$\frac{1}{\mu}\frac{\rho^{q\mu}}{1-\rho}$なので、タクシーを利用することによる期待効用$EV$は

$$EV=v-T(M,\mu,\lambda) \quad (7)$$

と表せる。客の確率効用項vが確率分布関数$F(v)$, $(v\geq 0)$に従っていると考える。潜在的顧客の総数を$\overline{H}$とすればタクシーを利用する客数hは

$$h=\overline{H}\{1-F(T(q\mu,\mu,\lambda)\} \quad (8)$$

で表される。各客のスポット市場への到着間隔が互いに独立な同一のポワソン分布（平均ν）に従うと仮定すれば、h人の客による平均到着率は$\lambda = h\nu$と表せる。また、長期的均衡における客の到着率は

$$\lambda^* = \sigma\{1 - F(T(q\mu, \mu, \lambda^*)\} \quad (9)$$

を満足するλ^*に決定される。ただし$\sigma = \nu\overline{H}$である。

(3) タクシーの長期行動モデル

タクシーがスポット市場のアクセスするための取引費用をcと表す。タクシーが市場参入を諦める確率（呼損率）は$\xi = 1 - \rho$で表わせ、この場合利潤$-c$を得る。一方確率$1 - \xi = \rho$で市場参入し、期待利潤

$$\Pi = q - S(\lambda, \mu) - c \quad (10)$$

を得る。利潤も時間単位で計測されている。$S(\lambda, \mu)$は式(4b)で表されるタクシーの平均待ち時間である。タクシーがスポット市場を訪問することにより得られる期待利潤$E(\Pi)$は

$$E(\Pi) = \rho\{q - S(\lambda, \mu)\} - c \quad (11)$$

と表せる。よってタクシーのスポット市場への長期的な到着率は

$$\frac{\lambda}{\mu^*}\{q - S(\lambda, \mu^*)\} - c = 0 \quad (12)$$

を満足するようなμ^*として定義できる。

5. 市場均衡解の特性

(1) 二重待ち行列と規模の経済性

式(3a),(3b)より両待ち行列長は平均到着率λ, μに関してゼロ次同次関数であり、Mが一定である限り任意の$\mu > \lambda \geq 0$と$\theta > 0$に関して

$$E(n : \lambda, \mu) = E(n : \theta\lambda, \theta\mu) \quad (13a)$$
$$E(m : \lambda, \mu) = E(m : \theta\lambda, \theta\mu) \quad (13b)$$

が成立する。客とタクシーの平均到着率が共にθ倍になっても待ち行列長は変化しない。一方式(4a),(4b)より、平均待ち時間$T(\lambda, \mu), S(\lambda, \mu)$は$M$が一定である限り任意の$\mu > \lambda \geq 0$と$\theta > 1$に関して

$$T(\lambda, \mu) = \theta T(\theta\lambda, \theta\mu) \quad (14a)$$
$$S(\lambda, \mu) = \theta S(\theta\lambda, \theta\mu) \quad (14b)$$

が成立し、双方の平均到着率が増加すれば系全体における客・タクシーの平均待ち時間は減少する。市場に参入する客・タクシーの数が多くなればなるほど、市場が効率化していくという取引厚の外部性が存在する。このように客とタクシーのマッティングにより取引が形成されるようなマッティング市場は、市場取引の外部性が形成される要因を内在している。

以上の議論では、待ち行列長Mが一定値にとどまることを想定していた。しかし、Mは客の到着率λが変化すれば、それと対応して変化する。Mの変化が生じる場合、系における平均費用は複雑に変化する。そこで6．では客の確率効用の確率分布を具体的に特定化し、均衡解の特性について分析する。

(2) 複数均衡解の存在

市場均衡では

$$\lambda^* = \sigma\left\{1 - F\left(\frac{\rho^{q\mu}}{\mu(1-\rho)}\right)\right\} \quad (15a)$$
$$c = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}(1 - \rho^{q\mu}) \quad (15b)$$

が成立する。システム(15a),(15b)には明らかな解$(\lambda, \mu) = (0, 0)$が存在し、この解は安定的である。

命題1　システムには安定的な均衡解$(\lambda^*, \mu^*) = (0, 0)$が存在する。

陰関数の定理より、任意の$\lambda \in [\mu > \lambda \geq 0]$に対して式(15b)を満足するような$\mu(\lambda)$が存在することが保証される。この時、式(15a)は

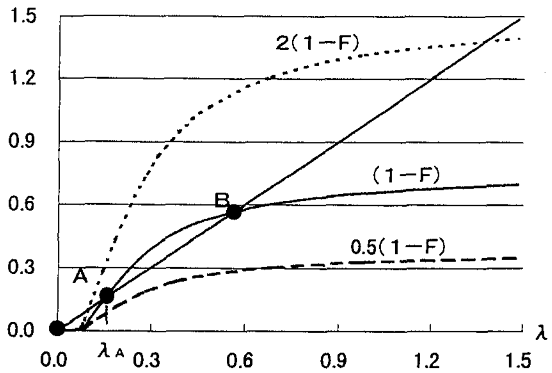
$$\lambda = \Gamma(\lambda, \mu(\lambda)) \quad (16)$$

と表すことができる。式(16)より明らかに$d\Gamma/d\lambda > 0$を満足する。したがって、図－1に示すように複数均衡解が存在するためには、式(16)が$\mu > \lambda \geq 0$を満足するある区間において$d^2\Gamma(\lambda)/d\lambda^2 > 0$となることが必要である。

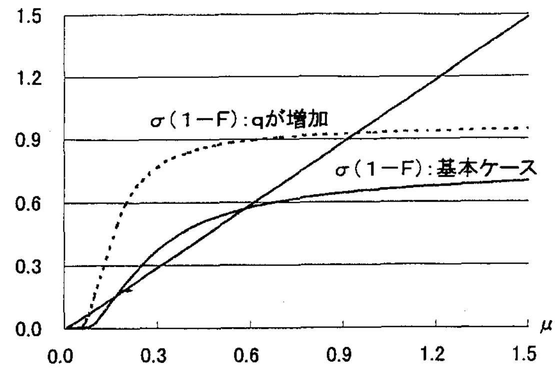
命題2 システムが複数均衡解を持つための必要条件は以下のとおりである。

$$\frac{d^2\Gamma(\lambda)}{d\lambda^2} > 0, \quad {}^{\exists}\lambda : \mu > \lambda \geq 0$$

命題2は複数均衡解を持つための必要条件を述べているに過ぎず、複数均衡解を持つためには関数$\Gamma(\lambda)$が図－1に示すように45度線と少なくとも一度交差することが必要となる。また複数均衡解が存在しない時には$(\lambda, \mu) = (0, 0)$のみが均衡解となり、



図－１　潜在的顧客数と均衡解の関係



図－２　期待収益と均衡解の関係

スポット市場は成立しない。図－１において点Ａは不安定均衡解である。初期の客の平均到着率λがλ_Aより大きい場合市場厚の外部性が働いて長期的には均衡解Ｂに収束する。一方λ_Aより小さい場合、長期的には原点に収束しスポット市場は消滅する。

6. 数値計算事例

(1) 問題設定

長期市場均衡解(λ^*, μ^*)の特性を数値計算で確認する。客の確率効用項は平均2.2分散0.09の対数正規分布に従うと仮定する。また期待利潤qは150分、タクシーが市場にアクセスするための取引費用cを60分、$\sigma = \nu\overline{H} = 1$とする。式（15b）より$\mu(\lambda)$を求めて式（15a）に代入し、両辺を表したものが図－１である。ここでは明らかに均衡解が複数存在している。同図には潜在的顧客の総数$\overline{H}$が2倍（$\sigma = 2$）と半分（$\sigma = 0.5$）になったときの式（15a）の右辺も書かれており、これより潜在顧客数が半分になった場合には複数均衡解は存在せず、原点のみが均衡解となることがわかる。一方潜在顧客数が増加した場合にはより大きな到着率において安定解が成立し、スポット市場が成立しやすい。

またタクシーの期待収益qが１割増加した場合のタクシーの到着率と均衡解の関係を示したものが図－２である。期待収益の増加はタクシーの均衡到着率の増加とともに客の到着率の増加ももたらすため、式(14a)より客の期待待ち時間を減少させることがわかる。

(2) 政策的含意

このようにタクシー市場の均衡解には複数均衡解が生じる可能性が存在する。初期の段階において到着率がある一定水準λ_A以下にとどまっている場合には、$(\lambda, \mu) = (0, 0)$というタクシーも客も来ない均衡解に収束しスポット市場は成立しない。しかしその水準を超えた到着率の場合には、長期的には均衡解に収束する。これはタクシーと客の双方が需要と供給の増加を予想した結果市場厚の外部性が働くことにより生じるものである。したがってスポット市場としてのタクシー乗り場を整備する場合にはある一定レベルの到着率を誘導するような施策があわせて必要になる。また図－２よりタクシーの期待利潤が増加すればタクシーの到着率が増加することがわかる。これは深夜の都心部のように他の交通機関が利用できず長距離客が多い状況においてはタクシーも客も集まってくることを表している。こういった状況において利用できるタクシー乗り場を整備することで、客の便益を上昇させることが可能となる。

7. おわりに

本研究では、タクシーと客が互いにマッティングされることによりサービスの売買の契約が成立するようなタクシー・スポット市場では、市場取引に伴う外部経済性がスポット市場の構造を決定することを指摘した。さらに、スポット市場では非価格的な相互作用から生じる戦略的外部性が働くため、複数の均衡解が生じることを示した。