【土木計画学研究・講演集　No.23 (2)　2000年11月】

タクシー市場の空間的配置と社会的便益*

SPATIAL ALLOCATION OF TAXI SPOT MARKETS AND SOCIAL WELFARE *

松島格也**・小林潔司***・坂口潤一****
by Kakuya MATSUSHIMA**, Kiyoshi KOBAYASHI*** and Jun'ichi SAKAGUCHI****

1. はじめに

タクシー・サービスの取引は，都市内に設けられたタクシー乗り場というスポット市場で発生する．タクシー・サービスが取り引きされるスポット市場においては，市場厚の外部性がはたらく[1),2)]．市場厚の外部性が働くスポット市場においては，顧客とタクシーがお互いの需要と供給の増加を予想すれば実際に需要と供給が増加する．複数の乗り場がある市場を対象にした場合，一方の市場に両主体が集中し，もう片方の市場が消滅する可能性がある．

一方両主体が市場取引に参加するためには，取引費用を支払う必要がある．二つの市場への取引費用が異なれば，各顧客はより取引費用の小さい市場を選択する．取引費用の絶対値が大きくなるにつれ，取引費用の存在は複数市場間での需要や供給の分散化のメカニズムとして機能する．以上のような戦略的外部性による集中化と取引費用による分散化のメカニズムが同時に働くことにより，複数市場の規模や各市場の成立可能性は市場条件によって様々に変化する．

本研究では，都心地域における複数のタクシースポット市場間の競争関係を，規模の経済性による集中化と取引費用による分散化のメカニズムを同時に考慮にいれた市場均衡モデルとして表現する．

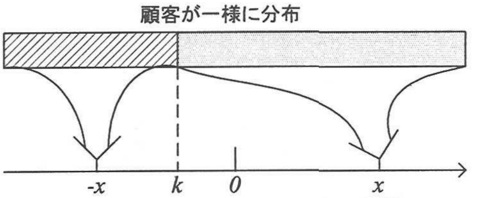
2. 2重待ち行列モデルの定式化

*キーワーズ：公共交通計画，タクシー，交通計画評価
**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）
****学生員　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）

(1) モデル化の前提

図−1に示すようなある街路に沿ったビジネス街，繁華街を想定した長さ2の対称的な線形市場を考える．線形市場には同質の顧客が一様に分布している．線形市場の中心を原点にとり座標$-x, x$の2カ所にスポット市場が政府によって政策的に設定されている．ただし，$0 \leq x \leq 1$が成立する．$x = 0$の場合は，原点に唯一のタクシー・スポット市場が存在する．当面の間，$x > 0$を仮定し，座標xの市場を$i = 1$，座標$-x$の市場を$i = 2$と表そう．2つのスポット市場においてのみタクシー・サービスが利用可能であり，スポット市場に到着した顧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顧客は，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．一方，タクシーの待ち行列長の上限値M^* $(M^* = 0, 1, 2, \cdots)$は外生的に固定されており，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．タクシーの待ち行列長の上限値が決定されるメカニズムは3．**(3)**で言及する．

線形市場の任意の点よりタクシー需要が発生する．顧客は効用を最大にするようなスポット市場を選択する．いま，各タクシー市場の勢力圏の境界が座標k $(-1 \leq k \leq 1)$に位置していると仮定しよう．$k = 1$の場合は，すべての顧客が市場2を利用することと



図−1　仮想的な線形市場

なり市場1は消滅する．逆に，$k=-1$の時は，市場1のみが成立することとなる．このとき，市場1，2にはそれぞれ到着率$\lambda_1=(1-k)\zeta$，$\lambda_2=(1+k)\zeta$で顧顧客がポアソン到着する．ここに，ζは線形市場における単位長さ，単位時間あたりの顧客の平均発生密度である．顧客の発生密度は長期的にはタクシー市場均衡の結果として内生的に変化するが，本研究では2つのスポット市場間の競争関係に焦点を絞るため一定値をとると考える．一方，各市場へのタクシーの到着率をμ_i $(i=1,2)$で表そう．タクシーの到着率は市場均衡の結果として内生的に決定されるが，当面の間外生的に与えられると考える．

(2) 2重待ち行列モデル

市場i $(i=1,2)$において顧客・タクシーがそれぞれ単位時間当たり平均到着率λ_i,μ_iでポワソン到着すると考える．それぞれの市場における待ち行列現象を，それぞれ同一の待ち行列モデルで表現できる．本節及び次節では2つの市場のうちどちらか一方の市場にのみ着目し，市場を表す添え字iを省略して議論を進める．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いると仮定する．

2重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．

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

ここにP_n $(n\geq 1)$，Q_m $(m=1,\cdots,M)$は顧客，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

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

と表せる．ここに$\rho=\lambda/\mu$である．したがって，平均到着率(λ,μ)の下での顧客・タクシーの平均待ち行列長は，それぞれ

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

$$E(m:\lambda,\mu)=M-\frac{\rho}{1-\rho}(1-\rho^M) \tag{3b}$$

と表せる．到着率(λ,μ)の下での顧客及びタクシーの平均待ち時間$T(\lambda,\mu,M),S(\lambda,\mu,M)$は，

$$T(\lambda,\mu,M)=E(n:\lambda,\mu,M)/\lambda \tag{4a}$$
$$S(\lambda,\mu,M)=E(m:\lambda,\mu,M)/\mu \tag{4b}$$

と表せる．タクシーが市場に到着した際，待ち行列長がMに達している確率（呼損率ξ）は

$$\xi=Q_M=1-\rho \tag{5}$$

で与えられる．

(3) 最大待ち行列長の決定

以上の議論では待ち行列長の上限値Mを与件と考えていた．しかし，その値はスポット市場における駐車容量やタクシーの客待ち行動により決定される．いま，スポット市場におけるタクシーの物理的な駐車容量に制約がないと考えよう．スポット市場に到着したタクシーは，タクシーの待ち行列長を観察し，新たに行列に加わるか，他のスポット市場に移動するかを決定する．タクシーの待ち行列の長さが$m-1$の時に新たに到着したm番目のタクシーの平均待ち時間$W(m)$は$W(m)=m/\lambda$と表わされる．この時，当該のタクシーの期待利潤$\Pi(m)$は

$$\Pi(m)=q-\frac{m}{\lambda}-d \tag{6}$$

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利潤である．タクシーは当該のスポット市場を訪問するために取引費用dを負担する．顧客が到着率λで訪問するスポット市場において，自発的な期待利潤最大化行動によって規定される最大待ち行列長$M(\lambda)$（以下，自発的待ち行列長と呼ぶ）は，$\Pi(m)\geq 0$の条件より

$$M(\lambda)=[(q-d)\lambda] \tag{7}$$

と表せる．記号$[\cdot]$は$q\lambda$を越えない最大の自然数を意味する．つぎに，スポット市場に容量制約がある場合を考えよう．スポット市場の容量をWとしよう．タクシーの物理的な容量に制約がある場合，タクシーの待ち行列の最大長$M^*(W,\lambda)$は

$$M^*(W,\lambda)=\min\{W,M(\lambda)\} \tag{8}$$

で決定される．なお，タクシーが市場を訪問する誘因を持つためには少なくとも$q \geq d$が成立しなければならない．

3. 市場均衡

(1) モデル化の前提条件

以上では，市場iへの顧客・タクシーの平均到着率λ_i, μ_iを与件と考えた．しかし，長期的にはスポット市場への顧客・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．両市場を訪れた場合の期待効用水準を比較することにより，当該の顧客はどちらかのスポット市場を選択する．一方，タクシーはタクシーの待ち行列長がM_i^* $(i=1,2)$より小さい限り待ち行列に加わる．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を訪れてみる価値があると判断するだろう．このような裁定の結果，スポット市場に対する顧客・タクシーの平均到着率がある均衡的な水準に収束する．以下，このような顧客・タクシーの自由参入・撤退行動をモデルしよう．

(2) タクシーの行動モデル

市場i $(i=1,2)$に着目しよう．市場iへの顧客の到着率λ_iをひとまず与件と考えよう．スポット市場の物理的駐車容量が$W_i=\infty$ $(i=1,2)$であり，タクシーの最大待ち行列長は自発的待ち行列長で規定される状況を考える．すなわち$M_i^*=M_i$である．スポット市場に駐車スペースがない場合，スポット市場に到着したタクシーは直ちに市場を立ち去る．待ち行列長がM_i未満の場合には，直ちに市場に参入する．式(5)より，市場iを訪問したタクシーは確率$1-\rho_i$で市場参入を諦める．この場合，利潤$-d$を得る．一方，確率ρ_iで市場参入し，期待利潤

$$\Pi_i = q - S_i'(\lambda_i, \mu_i, M_i) - d \qquad (9)$$

を得る．利潤は時間単位で定義されている．$S_i'(\lambda_i, \mu_i, M_i) = S_i(\lambda_i, \mu_i, M_i)/\rho_i$はタクシーの待ち行列長の上限が$M_i$であり，かつタクシーの到着率が$\mu_i$の場合のタクシーの平均待ち時間を表す．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$E(\Pi_i, M_i)$ $(M_i=0,1,2,\cdots)$は

$$E(\Pi_i, M_i) = \rho_i q - S_i(\lambda_i, \mu_i, M_i) - d \qquad (10)$$

と表せる．タクシーは当該のスポット市場を訪問することにより正の利潤を得ることができる限り当該市場を訪問する．顧客の到着率λ_iを与件とした時に，タクシーのスポット市場への長期的な到着率は

$$\rho_i q - S_i(\lambda_i, \mu_i^*, M_i) - d = 0 \qquad (11)$$

を満足するようなμ_i^*として定義できる．

(3) 顧客の行動モデル

地点y $(-1 \leq y \leq 1)$に立地する顧客がタクシーを利用することにより得られる効用をv，市場iでの待ち時間をt_i，市場iまでの移動費用を$c_i(y)$と表そう．市場iを訪れる顧客の効用関数を

$$V_i(y) = v - t_i - c_i(y) \qquad (12)$$

で表現する．効用関数は時間単位で計測されている．効用項vは目的地で獲得する効用値から所要時間，運賃等の不効用，スポット市場までの移動不効用を差し引いた値を表しており，個人にとっては確定値であるが観測者にとっては直接観測できない確率変数である．$c_i(y)$は地点yから市場iまで顧客が移動することに要する費用であり，

$$c_1(y) = \alpha|x-y| \qquad (13a)$$

$$c_2(y) = \alpha|-x-y| \qquad (13b)$$

と表す．ここにαは係数である．ここで，タクシーの到着率μ_iを与件とする．さらに，市場iへの顧客の平均到着率を仮にλ_iであると想定しよう．この時，顧客の平均待ち時間は$T(\lambda_i, \mu_i, M_i)$はタクシーの平均到着率μ_i，サービス率$\rho_i=\lambda_i/\mu_i$，スポット市場の容量M_iの関数として式(4a)であらわされる．タクシーを利用することによる期待効用は

$$EV_i(y) = v - T_i(\lambda_i, \mu_i, M_i) - c_i(y) \qquad (14)$$

と表せる．地点yに立地する顧客が選択する市場$i^*(y)$は

$$i^*(y) = \arg\max\{EV_1(y), EV_2(y)\} \qquad (15)$$

と表される．移動費用$c_i(x)$の定義より$c_1(x) = 0$, $c_2(-x) = 0$を満足し，その点で最小値をとる．したがって，

$$\begin{aligned} EV_1(y) &< EV_1(x) \quad y \in (x, 1] \\ EV_2(y) &< EV_2(-x) \quad y \in [1, -x) \end{aligned} \tag{16}$$

を得る．いま，条件$EV_1(x) < EV_2(x)$が成立したとしよう．この時，任意の$y \in [-1, 1]$に対して$EV_1(y) < EV_2(y)$が成立し，すべての顧客が市場2を利用する．この場合，便宜的に市場の勢力圏の境界は$k = 1$に位置していると考える．逆に，条件$EV_1(-x) > EV_2(-x)$が成立する場合，すべての顧客が市場1を利用する．この場合，市場の境界は$k = -1$に位置すると考える．2つの市場が同時に成立するためには

$$EV_1(x) \geq EV_2(x) \tag{17a}$$
$$EV_1(-x) \leq EV_2(-x) \tag{17b}$$

が成立しなければならない．この時，2つのタクシー市場の勢力圏の境界は$EV_1(k) = EV_2(k)$を満足するような$k \in [-x, x]$として定義できる．すなわち

$$k = \frac{T_1(\lambda_1, \mu_1, M_1) - T_2(\lambda_2, \mu_2, M_2)}{2\alpha} \tag{18}$$

となる．以上のように市場の境界を定義した場合，市場i $(i = 1, 2)$への顧客の到着率λ_iは，それぞれ

$$\lambda_1 = (1 - k)\zeta \quad \lambda_2 = (1 + k)\zeta \tag{19}$$

となる．ただし，上式を満足するようなλ_iは条件$v \geq T_i(\mu_i, \lambda_i, M_i)$を満足しなければならない．

(4) 市場均衡

市場均衡解は，以下の5式を満たす均衡到着率(λ_i^*, μ_i^*) $(i = 1, 2)$及び勢力圏の境界k^*として定義できる．

$$EV_1(k^*) = EV_2(k^*) \quad (-1 < k^* < 1) \tag{20a}$$
$$\lambda_1^* = (1 - k)\zeta \tag{20b}$$
$$\lambda_2^* = (1 + k)\zeta \tag{20c}$$
$$\rho_1 q - S_1(\lambda_1^*, \mu_1^*, M_1) - d = 0 \tag{20d}$$
$$\rho_2 q - S_2(\lambda_2^*, \mu_2^*, M_2) - d = 0 \tag{20e}$$

またすべての顧客が市場1に集中する$(k = -1)$とき，均衡解は

$$\lambda_1^* = 2\zeta \tag{21a}$$
$$\rho_1^* q - S_1(\lambda_1^*, \mu_1^*, M_1) - d = 0 \tag{21b}$$
$$\lambda_2^* = \mu_2^* = 0 \tag{21c}$$

を満たす(λ_i^*, μ_i^*) $(i = 1, 2)$として求まる．一方すべての顧客が市場2に集中する$(k = 1)$とき，均衡解は

$$\lambda_2^* = 2\zeta \tag{22a}$$
$$\rho_2^* q - S_2(\lambda_2^*, \mu_2^*, M_2) - d = 0 \tag{22b}$$
$$\lambda_1^* = \mu_1^* = 0 \tag{22c}$$

を満たす(λ_i^*, μ_i^*) $(i = 1, 2)$として求まる．

式(20a)-(20e)を満たす均衡解が安定であるためには，$dEV_1(k^*)/dy > dEV_2(k^*)/dy$を満たす必要がある．また式(21a)-(21c)を満たす均衡解の安定条件は$EV_1(-x) > EV_2(-x)$，式(22a)-(22c)を満たす均衡解の安定条件は$EV_1(x) < EV_2(x)$である．

(5) 市場立地点と社会的余剰最大化

以上で定式化を行った市場均衡解は，外生的に市場の位置を与えたもとで成立する，政府を先導者，タクシー及び顧客を追従者としたシュタッケルベルク均衡である．この均衡到着率のもとで，線形市場から発生する顧客の消費者余剰CSは

$$CS = \zeta \left\{ \int_{-1}^{k} EV_2(y)dy + \int_{k}^{1} EV_1(y)dy \right\} \tag{23}$$

と求まる．一方供給側は利潤が0になる水準まで市場に参入するため，供給者余剰は0である．したがって$\max_x CS$という問題を解くことにより，社会的余剰を最大にする乗り場の位置を求めることができる．

4. おわりに

本研究ではタクシースポット市場の複数市場間での競争関係をモデル化した．紙面の都合上数値計算例は講演時に発表する．

参考文献

1) 松島格也，小林潔司：タクシー・サービスのスポット市場均衡に関する研究，土木計画学研究・論文集，No.16，pp.591～600，1999.

2) 松島格也，小林潔司，坂口潤一：混雑費用を考慮したタクシースポット市場の内生的形成，都市計画学会論文集（投稿中）．