【土木計画学研究・講演集　No.22(2)　1999年10月】

交通サービスの予約行動と市場均衡*

RESERVATION BEHAVIOUR IN TRANSPORTATION SERVICE AND MARKET EQUILIBRIUM *

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

1. はじめに

予約システムは供給量に制約のある交通サービスを顧客に申し込み順に割り当てるルールであり，この単純なルールを適用することにより需給調整が可能となる．交通サービスに対するニーズが高ければ事前予約をすることにより確実にサービスを購入することができる．交通サービスに制約がある場合，個人は購入可能性に関する不確実性と将来時点におけるスケジュール調整に関する不確実性という２種類の不確実性を考慮する．本研究では，需要の不確実性が存在する下での個人の交通サービスの予約・事前購入行動をモデル化し，その結果生じる均衡状態を合理的期待均衡として定式化する．

2. 本研究の基本的な考え方

交通サービスを利用する時点（利用時点）と交通サービスの予約をする時点（予約時点）という時間軸上の２つの時点を考える．予約時点で交通サービスを事前に予約するかどうかを決定する上で，予約をしなかった場合に利用時点で交通機関が満席になっており交通サービスを利用できなくなる可能性（供給側のリスク）と，予約を行おうとする当事者が有するトリップをとりやめる可能性（需要側のリスク）との二つの不確実性に直面する．個人は供給側・需要側のリスクの双方を考慮しながら，予約時点において交通サービスの利用予約を行うべきかどうかを決定する．

*キーワーズ：交通行動分析，予約
**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）

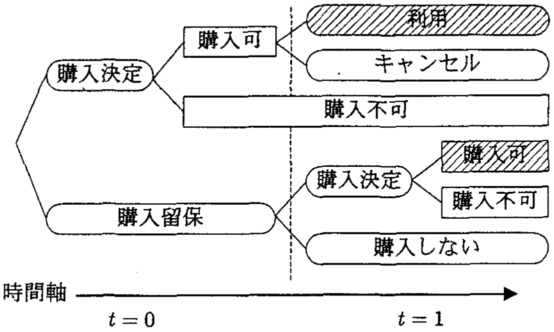
予約システムは，事前にサービスの利用権をチケットとして購入することが義務づけられているかどうかにより２つのタイプに分類できる．利用権の購入が義務づけられている場合，サービスの購入をとりやめる場合にはキャンセル料が徴収される．この場合，将来時点においてサービスを利用するか否かに付随して生じる需要リスクは個人が負担することになる．一方，利用権の事前購入が義務づけられず，予約のキャンセルを無料でできる場合には，将来時点の需要リスクを供給者側が負担することになる．キャンセル料は個人と企業の間でリスク分担をする役割を果たしている．

3. 個人の事前購入行動のモデル化

(1) モデル化の前提

同質的な交通サービスを提供している独占市場を考える．個人は１）事前購入が可能な時点($t=0$)，２）利用直前($t=1$)という２つの離散的な時点で，交通サービスの利用権（チケット）を購入することができる．事前購入したチケットはキャンセル可能であるが，その際キャンセル料を必要とする．各個人は，前述した二つの不確実性を考慮しながらチケットの購入時期を決定すると考える．

論理的な順序関係を図－１に示すようにモデル化する．事前購入の希望者数がサービスの供給数より少ない場合，購入希望者全員にサービスが割り当てられる．希望者数が供給数を超過した場合，「くじ」によりランダムにサービスが事前購入希望者に割り当てられる．事前購入をした個人の中でチケットをキャンセルする個人は，２回目の購入割り当てが行われる直前にチケットをキャンセルすることができる．キャンセル料は時刻$t=1$で支払われる．サービスが供給される直前に供給数の中に利用可能な座席



図－1　モデルの動的構造

が（キャンセルされた座席を含めて）残っていればもう一度潜在的個人にサービス利用の購入の機会が与えられる．直前の時点の割り当てが終了すれば直ちにサービスが個人に供給されることになる．

(2) 需要の不確実性

個人の交通サービスに対する効用を線形効用関数$U=v-d$を用いて表す．ここに，vは目的地に移動することにより得られる効用値，dは交通に要する費用である．一方，他の活動を行うことによって得られる最大の留保効用をεで表す．事前購入が可能な時点$t=0$においては，利用時点における具体的な行動計画は当該の交通トリップ以外には存在せず，留保効用はゼロ$(\varepsilon=0)$である．しかし時間が進むにつれて利用時点周辺における活動計画が具体化され，利用時点における留保効用εが変化する．いま時刻が$t=1$まで進み，留保水準が$\bar{\varepsilon}$に確定したとしよう．この時点において交通トリップの効用が留保効用$\bar{\varepsilon}$よりも大きければトリップを実施し，小さければ交通をとりやめる．留保効用水準εが区間$[0,\infty)$で定義される確率変数であり，確率分布関数$G(\varepsilon)$に従って分布すると考える．

(3) 個人行動の定式化

チケットの価格をc，時点tにおいてチケットの購入が可能である確率（以下，購入確率と呼ぶ）をp_t $(1\geq p_0\geq p_1\geq 0)$とする．購入確率は個人のチケットの購入行動の結果として市場で内生的に決定されるが，ここではひとまず与件と考えよう．事前に購入したチケットを利用直前にキャンセルする場合，キャンセル料金$\alpha c(0\leq\alpha\leq 1)$が必要となる．時点$t=0$において個人は，その時点において判明している効用水準vを与件とした上で最適な戦略を取る．$t=0$の時点で購入することを決定した場合には期待効用EVを獲得し，意思決定を留保した場合には期待効用EUを獲得する．したがって$t=0$で各個人が獲得する期待効用Vは，

$$V=\max\{EV,EU\} \tag{1}$$

と定義される．

a) チケットを事前購入した場合

事前にチケットを購入した場合，利用直前の時点で起こりうる事象としては，1）事前購入したチケットの権利を行使するか，2）予約をキャンセルしチケットの払い戻しを受けるか，のいずれかである．利用時点においてそのまま権利を行使する場合には$t=1$においてvの効用を獲得する一方，キャンセルする場合にはキャンセル料αcを差し引いたチケット代金$c-\alpha c$が還付される．利用時点において，交通トリップの効用vがチケットをキャンセルして別の行動を行う効用$\bar{\varepsilon}+c-\alpha c$よりも大きい限り交通トリップを生成する．したがって，チケットを事前購入した場合に利用時点で獲得できる効用水準V_1は

$$V_1=\max\{v,\varepsilon+c-\alpha c\} \tag{2}$$

と表すことができる．$t=0$時点でチケットを事前購入した場合，利用時点$t=1$において評価した効用の期待値$E[V_1]$は

$$\begin{aligned}E[V_1]&=E[\max\{v,\varepsilon+c-\alpha c\}]\\&=\beta G(\beta)+\int_\beta^\infty \varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon+c-\alpha c\end{aligned} \tag{3}$$

と表すことができる．ただし，$\beta=v-c+\alpha c$である．事前購入決定により得られる期待効用EVは

$$EV=p_0^e(\delta E[V_1]-c)-\omega \tag{4}$$

と表すことができる．ここに，p_0^eは個人の持つ購入確率p_0の主観的期待値（以降上付き添え字^{e}は個人の持つ主観的期待値であることを示す.），δは割引率，ωは事前予約のための取引費用である．

b) チケットの事前購入を留保した場合

利用直前の時点では，そのまま購入しないか，購入するかの２通りの選択が可能である．チケットを購入しなかった場合には効用$\bar{\varepsilon}$を獲得する．一方，チケットを購入した場合には$v-c-\omega$の効用を得る．また，チケットの購入を試みたものの購入できなか

った場合には留保効用0のみが獲得できると考える．この場合には取引費用ωがかかる．チケットの購入が可能である確率をp_1とすれば，チケットの購入を試みることにより得られる期待効用は$p_1^e(v-c)-\omega$となる．したがって，$t=1$の時点における個人のチケット購入行動は

$$\left.\begin{array}{ll}\text{購入を試みる} & p_1^e(v-c)-\omega \geq \bar{\varepsilon}\text{の時} \\ \text{購入しない} & p_1^e(v-c)-\omega < \bar{\varepsilon}\text{の時}\end{array}\right\} \quad (5)$$

となる．いま，時点$t=0$においてチケットの購入を留保した段階で獲得できる期待効用U_1は

$$U_1 = \max\{p_1^e(v-c)-\omega, \bar{\varepsilon}\} \quad (6)$$

と表すことができる．$t=0$でチケットの購入を保留した時に，$t=1$のチケット購入時点で評価した期待効用の期待値$E[U_1]$は

$$\begin{aligned} E[U_1] &= E[\max\{p_1^e(v-c)-\omega, \varepsilon\}] \\ &= \gamma G(\gamma) + \int_\gamma^\infty \varepsilon g(\varepsilon) d\varepsilon \end{aligned} \quad (7)$$

となる．ここに，$\gamma = p_1^e(v-c)-\omega$は，交通トリップの効用が$v$の時に，直前の時点でチケットを購入しなくなるような臨界的な留保効用（最小値）を意味している．結局購入を留保した場合の期待効用EUは

$$EU = \delta\left\{\gamma G(\gamma) + \int_\gamma^\infty \varepsilon g(\varepsilon) d\varepsilon\right\} \quad (8)$$

と表される．

(4) 個人の事前・予約行動の性質

事前にチケットを購入した個人が交通トリップをキャンセルする臨界的な留保効用は$\beta = v - c + \alpha c$と表せる．一方，事前にチケットを購入しなかった場合，個人がチケットの購入を諦めるための臨界的な留保効用は$\gamma = p_1^e(v-c)-\omega$で表される．いま，

$$\beta - \gamma = (1-p_1^e)(v-c) + \alpha c + \omega \quad (9)$$

が成立することより，$\beta > \gamma$が成立する．上式より，直ちに以下の性質が成立する．

性質1　留保効用β, γの間に次式が成立する．

$$\beta > \gamma \quad \frac{\partial(\beta-\gamma)}{\partial v} \geq 0 \quad (10)$$

等号は$p_1^e = 1$の時に成立する．

式(9)の右辺第1項は，直前にチケットを購入しようとしたが，チケットを購入できなかったことにより生じる効用の損失を表している．第2項はキャンセル料，第3項は取引費用を表している．さらに，交通サービスに対する効用vが大きいほど，チケットをキャンセルすることに対する心理的効用は大きくなる．予約時点における期待効用EV, EUは交通トリップに対する効用水準vの関数になっていることに着目しよう．ここで，以下の性質が成立する．

性質2　期待効用EV, EUは以下の性質を満足する．

$$\frac{\partial EV}{\partial v} = \delta p_0^e G(\beta) \geq 0 \quad (11a)$$

$$\frac{\partial EU}{\partial v} = \delta p_1^e G(\gamma) \geq > 0 \quad (11b)$$

$$\frac{\partial (EV-EU)}{\partial v} = \delta(p_0^e G(\beta) - p_1^e G(\gamma)) \geq 0 \quad (11c)$$

$$\lim_{v\to\infty}(EV-EU) = +\infty \quad (11d)$$

$$\lim_{v\to 0}(EU-EV) < 0 \quad (11e)$$

性質(11a),(11b)はともに交通トリップの効用水準vが増加すれば，期待効用EV, EUも増加することを表している．さらに，性質(11c)より効用トリップの効用が大きくなるほど，期待効用EUとEVの格差は単調に増加することを意味している．一方，性質(11d)は$t = 0$期の購入確率が$t = 1$期の購入確率より大きいならば交通トリップの効用が十分に大きくなると必ず事前予約を行うことを意味する．性質(11e)より，交通トリップの効用が0の場合，予約時点において個人は必ず予約を見送ることが判る．期待効用の格差が単調に増加する性質(11c)と性質(11d),(11e)より，期待効用EVとEUが等しくなるような臨界的な効用水準$\bar{v}$がただ1つ存在することがことが保証される．ここに，以下の命題が成立する．

命題　$EV = EU$が成立するような臨界的な効用水準$\bar{v}$がただ1つ存在し，$v \geq \bar{v}$の場合には事前予約を行い，$v < \bar{v}$の場合には予約を見送る．

4. 合理的期待均衡

以上の議論では購入確率p_0, p_1を与件と考えていた．購入確率は個人の購入行動の結果として市場で内生的に決定されるものであり，個人がチケットの購入行動を繰り返すことにより，長期的には購入確率を学習する．このような長期的な学習行動の結果として個人の主観的期待が客観的購入確率に収束するような均衡を合理的期待均衡とよぶ．

(1) 購入確率の定式化

個人の交通トリップに対する効用vはある分布関数$F(v)$に従って分布していると仮定する．予約時点において「事前購入を行うか」あるいは「購入を留保

する」という意思決定の境目となる臨界的な効用水準を$\overline{v}$と表す．予約時点$t=0$で購入する意思を持つ購入希望者数をn_0，利用時点$t=1$における購入希望者数をn_1，予約時点でチケットを購入したが，利用時点までのチケットをキャンセルする個人の数をmと表そう．また，予約時点で実際にチケットを購入できた個人数をn_0^*，利用時点においてチケットを購入した個人数をn_1^*とする．潜在的な個人総数をN，交通サービスの供給量をQとおく．

ある個人が予約時点において交通サービスの予約を行う確率Πは

$$\Pi = \mathrm{Prob}\{v \geq \overline{v}\} = 1 - G(\overline{v}) \tag{12}$$

と表せる．したがって，n人の個人が交通サービスの予約を行う確率$P(n)$は2項分布

$$P(n) = \frac{N!}{n!(N-n)!}\Pi^n(1-\Pi)^{(N-n)} \tag{13}$$

で表せる．よって$t=0$においてチケットを購入できる確率の期待値$E[p_0]$は以下のように定義できる．

$$E[p_0] = 1 \cdot \sum_{n=0}^{Q} P(n) + \sum_{n=Q+1}^{N} P(n) \cdot \frac{Q}{n} \tag{14}$$

次にキャンセル行動を考えよう．予約時点のトリップの効用が臨界水準$\overline{v}$以上であり，かつ利用時点における留保効用εが臨界効用$\beta(v)$よりも大きくなる場合に個人はキャンセルを行う．いま，予約時点の効用がv $(v \geq \overline{v})$である個人が利用時点においてキャンセルする確率は$1-G(\beta(v))$となる．したがってvの分布を考えると，ある個人がキャンセルする確率Φは

$$\Phi = \int_{\overline{v}}^{\infty} f(v)\{1 - G(\beta(v))\}dv \tag{15}$$

となる．$t=0$におけるチケット購入者の人数がn_0^*である時のm人の個人が$t=1$期においてキャンセルする条件付き確率$M(m|n_0^*)$は2項分布

$$M(m|n_0^*) = \frac{n_0^*!}{m!(n_0^*-m)!}\Phi^m(1-\Phi)^{(n_0^*-m)} \tag{16}$$

で表される．同様に$t=0$におけるチケット購入者の人数がn_0^*である時，$t=1$期においてキャンセルする個人数の期待値$E[m|n_0^*]$は以下のようになる．

$$E[m|n_0^*] = \sum_{n=0}^{n_0^*} m \cdot M(m|n_0^*) = n_0^*\Phi \tag{17}$$

したがってキャンセルする個人数の期待値は

$$E[m] = \sum_{n=0}^{Q} n \cdot \Phi + \sum_{n=Q+1}^{N} \Phi \cdot Q \tag{18}$$

となる．

最後に$t=0$においては購入行動を留保したものの利用時点$(t=1)$においてチケットを購入する行動を考える．この事象は予約時点のトリップ効用が$\overline{v}$より小さく，かつ利用時点の留保効用εが臨界水準$\gamma(v)$以下になる場合に生じる．ある個人が利用時点において購入する意思を持つ確率Ψは

$$\Psi = \int_0^{\overline{v}} f(v)G(\gamma(v))dv \tag{19}$$

と書ける．n人の個人が$t=1$期において購入する意思を持つ確率$R(n)$は2項分布

$$R(n) = \frac{(N-n_0^*)!}{n!(N-n_0^*-n)!}\Psi^n(1-\Psi)^{(N-n_0^*-n)} \tag{20}$$

で表される．これより$t=1$においてチケットを購入できる確率$E[p_1]$は以下のように定義できる．

$$E[p_1] = 1 \cdot \sum_{n=0}^{\hat{n}} R(n) + \sum_{n=\hat{n}+1}^{N-n_0^*} R(n) \cdot \frac{n}{\hat{n}} \tag{21}$$

ここに$\hat{n} = Q - n_0^* + m$は$t=1$時点の残容量である．

(2) 合理的期待均衡

個人はチケットの購入行動を行う際各期における予約確率の実現値を正確に知ることはできない．日々の予約行動を繰り返すことで，すべての個人はチケットの購入確率に関する合理的期待を形成すると考えられる．いますべての個人が主観的期待値を修正するインセンティブを持たない合理的期待均衡に収束したと仮定しよう．購入確率の期待値$E[p_0], E[p_1]$は個人の持つ購入確率の主観的期待値p_0^e, p_1^eの変数として$E[p_0](p_0^e, p_1^e), E[p_1](p_0^e, p_1^e)$と表される．このとき合理的期待均衡は，

$$p_0^* = E[p_0](p_0^*, p_1^*) \tag{22a}$$
$$p_1^* = E[p_1](p_0^*, p_1^*) \tag{22b}$$

を同時に満たす購入確率(p_0^*, p_1^*)として定義される．公共主体によって購入確率に関する完全情報が提供された場合にはこの合理的期待均衡が達成されることが考えられる．

5. おわりに

本研究では，供給制約がある交通サービスに対する将来時点でチケットが購入できなくなる供給側のリスクとチケットをキャンセルする可能性という需要側のリスクを同時に考慮した個人の事前予約行動をモデル化し，主観的購入確率が客観的購入確率に収束する合理的期待均衡モデルを定式化した．企業行動のモデル化及び政策的含意は講演時に発表する．