

交通サービスの予約システムの経済便益*

ECONOMIC BENEFIT OF TRANSPORTATION RESERVATION SYSTEM *

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。交通サービスに制約がある場合、家計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。一方交通サービス企業は利潤最大化を図るようサービスの価格やキャンセル料率を設定する。本研究では交通サービスにおける市場均衡モデルを構築し、予約システム導入による便益を評価する。

2. 本研究の基本的な考え方

伝統的差別価格料金を独占企業が設定すればより大きな生産者余剰をもたらすことが知られている¹⁾。完全差別価格政策をとる企業は各算出単位に別々の価格を設定し、各算出単位に対する消費者の支払意思額の高い順に高い価格を割り当てる。需要が限界費用を上回っている限り追加単位のサービスを販売し続けることで、当該企業はすべての余剰を獲得することが出来る。このように差別価格政策を採用することにより企業の利潤最大化と規制者にとっての社会的余剰最大化を同時に達成させることが出来る。しかしこういった価格差別には実際的にも倫理的にもいくつかの限界が指摘されている²⁾。なかでも、企業が完全に余剰を引き出すためには、家計の各算出

単位に対する支払意思額（需要曲線）を知る必要がある点が最大の問題である。また実際上個々の家計にすべて異なる価格を提示することは不可能に近い。

一方、予約システムが存在するもとでは、より大きな効用を持つ家計にサービス購入の機会が割り当てられることになる。その結果、相対的に大きな効用を持つ家計は、より確実にサービスを購入できるようになる。家計が予約するという事は、「その家計が相対的に大きな効用水準を有している」という私的情報を表明していることに他ならない。このように自分自身の私的情報を行動を通じて表明するようなメカニズムを自己選抜(self-selection)メカニズムと呼ぶ。予約システムは、家計の予約行動を通じて、サービスに対する効用の大きい家計を優先的にサービスに割り当てる自己選抜メカニズムに他ならない。企業側にとってみれば予約システムはキャンセル料を通じた差別価格制度にあたり、生産者余剰を増加させる一方消費者余剰を減少させることにつながる。予約システムを導入する際には余剰の配分について慎重に対応する必要がある。

3. 家計の予約行動のモデル化

家計は、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。本章及び次章では松島ら³⁾に従って家計の予約行動と合理的期待均衡をモデル化する。

(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

*キーワード：交通計画評価、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)

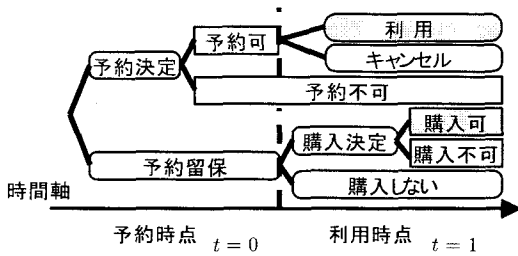


図-1 モデルの動的構造

考える。個人は1) 予約時点($t = 0$)、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。予約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。

論理的な順序関係を図-1に示すようにモデル化する。予約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予約希望者に割り当てられる。予約をした個人の中でサービス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サービス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

家計の交通サービスに対する効用を線形効用関数 $U = v - c - \omega$ 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、 c は交通に要する費用、 ω はサービスの購入に必要な費用(取引費用)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。予約が可能な時点 $t = 0$ 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、時刻が $t = 1$ のときの留保水準が ε 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 ε 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) 家計行動の定式化

サービスの価格を c 、時点 t においてサービスの購入が可能である確率(以下、購入確率と呼ぶ)を \bar{p}_t ($1 \geq \bar{p}_0 \geq \bar{p}_1 \geq 0$)とする。ここに、 \bar{p}_0 は個人の持つ購入確率 p_0 の主観的期待値(以降 \bar{p} は個人の持つ主観的期待値であることを示す)である。購入確率は個人のサービス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。事前に購入したサービスを利用直前にキャンセルする場合、キャンセル料金 αc ($0 \leq \alpha \leq 1$)が必要となる。 $t = 0$ 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、 $V = \max\{EV, EU\}$ と定義される。

サービスを予約した場合、利用直前の時点で起こりうる事象としては、1) 予約したサービスの権利を行使するか、2) 予約をキャンセルしサービス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 と取引費用 ω を差し引いたサービス代金 $c - \alpha c - \omega$ が還付される。利用時点において、交通トリップの効用 v がサービスをキャンセルして別の行動を行う効用 $\varepsilon + c - \alpha c - \omega$ よりも大きい限り交通トリップを生成する。 $t = 0$ 時点でサービスを予約した場合、利用時点 $t = 1$ において評価した効用の期待値 $E[V_1]$ は

$$E[V_1] = E[\max\{v, \varepsilon + c - \alpha c - \omega\}] = \beta G(\beta) + \int_{\beta}^{\infty} \varepsilon g(\varepsilon) d\varepsilon + c - \alpha c - \omega \quad (1)$$

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

$$EV = \bar{p}_0(\delta E[V_1] - c) - \omega \quad (2)$$

となる。 δ は割引率である。

利用直前の時点では、そのまま購入しないか、購入するか2通りの選択が可能である。サービスを購入しなかった場合には効用 $\bar{\varepsilon}$ を獲得する。一方、サービスを購入した場合には $v - c - \omega$ の効用を得る。また、サービス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。サービスの購入が可能である確率を p_1 とすれば、サービスの購入を試みることにより得られる期待効用は $\bar{p}_1(v - c) - \omega$ となる。 $t = 0$ でサービスの購入を保留した時に、 $t = 1$ のサービス購入時点で評価した期待効用の期待値 $E[U_1]$ は

$$E[U_1] = E[\max\{\bar{p}_1(v - c) - \omega, \varepsilon\}] = \gamma G(\gamma) + \int_{\gamma}^{\infty} \varepsilon g(\varepsilon) d\varepsilon \quad (3)$$

となる。ここに、 $\gamma = \bar{p}_1(v - c) - \omega$ は、交通トリップの効用が v の時に、直前の時点でサービス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。結局購入を保留した場合の期待効用 EU は

$$EU = \delta \left\{ \gamma G(\gamma) + \int_{\gamma}^{\infty} \varepsilon g(\varepsilon) d\varepsilon \right\} \quad (4)$$

と表される。以上定式化したモデルより、若干の計算によって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の主観的期待値 \bar{p}_0, \bar{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、個人がサービス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。

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 $t = 0$ 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 、予約時点でサービスを購入したが、利用時点までのサービスを

をキャンセルする個人の数 m と表そう。また、予約時点で実際にサービスを購入できた個人数を n_0^* 、利用時点においてサービス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 $\Pi = \text{Prob}\{v \geq \bar{v}\} = 1 - G(\bar{v})$ と表せる。 $t = 0$ においてサービスを購入できる確率の期待値 $p_0 = E[p_0]$ は、 n の家計が予約を行う確率を $P(n) = \frac{N!}{n!(N-n)!} \Pi^n (1 - \Pi)^{(N-n)}$ とすると以下のように定義できる。

$$p_0 = \sum_{n_0=0}^Q P(n) + \sum_{n_0=Q+1}^N P(n_0) \cdot \frac{Q}{n_0} \quad (5)$$

次に、予約時点の効用が v ($v \geq \bar{v}$)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。キャンセルする個人数の期待値は、ある個人がキャンセルする確率を $\Phi = \int_{\bar{v}}^{\infty} f(v)\{1 - G(\beta(v))\} dv$ とすると以下のように表せる。

$$E[m] = \sum_{n=0}^Q n \cdot \Phi + \sum_{n=Q+1}^N \Phi \cdot Q \quad (6)$$

最後に $t = 0$ においては購入行動を保留したものの利用時点($t = 1$)においてサービスを購入する行動を考える。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

$$\Psi = \int_0^{\bar{v}} f(v)G(\gamma(v))dv \quad (7)$$

と書ける。 $t = 1$ においてサービスを購入できる確率 $p_1 = E[p_1]$ は、 n 人の個人が $t = 1$ 期において購入する意思を持つ確率を $R(n) = \frac{(N-n_0^*)!}{n!(N-n_0^*-n)!} \Psi^n (1 - \Psi)^{(N-n_0^*-n)}$ とすると、以下のように定義できる。

$$p_1 = 1 \cdot \sum_{n=0}^{\hat{n}} R(n) + \sum_{n=\hat{n}+1}^{N-n_0^*} R(n) \cdot \frac{n}{\hat{n}} \quad (8)$$

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

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。均衡購入確率 p_0^*, p_1^* は個人の持つ購入確率の主観的期待値 \bar{p}_0, \bar{p}_1 の変数として $p_0^*(\bar{p}_0, \bar{p}_1), p_1^*(\bar{p}_0, \bar{p}_1)$ と表される。このとき合理的期待均衡は、

$$p_0^*(\bar{p}_0, \bar{p}_1) = \bar{p}_0 \quad (9a)$$

$$p_1^*(\bar{p}_0, \bar{p}_1) = \bar{p}_1 \quad (9b)$$

を同時に満たす購入確率 (p_0^*, p_1^*) として定義される。

5. 企業行動のモデル化

利潤最大化行動をとる交通サービス提供企業を仮定する。企業にとっての政策変数はサービスの価格とキャンセル料の値である。本研究で考慮している航空機や新幹線などの長距離公共交通機関においては、短期的に容量を変動させることが出来ないため、提供するサービスの容量は固定されていると仮定する。当該サービスを提供するにあたって一便あたり b の費用を要すると仮定すると、当該企業の行動は以下のように表される。

$$\max_{c, \alpha} PS^* = (E[n_0^*] - E[m^*|n_0^*])c + \delta E[n_1^*] + \delta E[m^*]\alpha c - b \quad (10a)$$

$$\text{subject to } p_0^*(\tilde{p}_0^*, \tilde{p}_1^*) = p_0^* \quad (10b)$$

$$p_1^*(\tilde{p}_0^*, \tilde{p}_1^*) = p_1^*$$

すなわち、個人の合理的期待均衡により内生的に決定される購入確率を条件として利潤最大化を図るべくサービス価格やキャンセル手数料を決定する。

6. 予約システムの社会的便益

予約システム導入による社会的便益を社会的余剰 SS^* により評価する。

$$SS^* = CS^* + PS^* \quad (11a)$$

$$CS^* = (\delta E[v|v \geq \bar{v}] - c - \omega)(E[n_0^*] - E[m^*|n_0^*]) + (\delta E[\varepsilon|v \geq \bar{v}] - \delta \alpha c - (1 + \delta)\omega)E[m^*|n_0^*] - \omega(E[n_0] - E[n_0^*]) + \delta(E[v|v < \bar{v}] - c - \omega)E[n_1^*] - \delta \omega(E[n_1] - E[n_1^*]) + \delta E[\varepsilon|v < \bar{v}](N - E[n_0] - E[n_1]) \quad (11b)$$

ここに CS^* は消費者余剰を表しており、第一項から順に、予約を行って利用した家計、予約を行ったがキャンセルした家計、予約を試みたが失敗した家計、直前に購入した家計、直前に購入を試みたが失敗した家計、一度も購入を試みなかった家計、の消費者余剰を表している。予約システムが存在しない場合の社会的余剰 SS^{0*} も同様に定式化できる。以下では数値計算を通じて予約システム導入による便益を評価する。図-2にはサービスの価格を変化させたときの社会的余剰及び企業利潤の変化を表してい

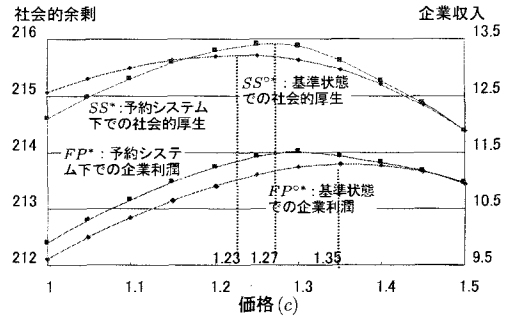


図-2 サービス価格と社会的余剰

る。パラメータを $\omega = 0.002, N = 100, Q = 20, \delta = 0.09975, b = 0$ と設定し、 v は標準正規分布 $N(0, 1)$ 、 ε は平均2の指数分布に従うとしている。この事例では $c \geq 1.15$ の範囲においては予約システム導入により社会的余剰は増加しているが、それ以下においては減少している。予約システムの導入により消費者余剰は減少する一方、キャンセル収入による増加に伴う企業利潤が増加するため、社会的余剰の変化については一概に言えない。予約システムの導入に伴って社会的余剰が増加しているケースにおいても、その増加分はキャンセル料収入を通じて生産者に帰属している。独占企業の場合には企業利潤を消費者に移転する手段が必要となる。また社会的余剰を最大化する価格と企業利潤を最大化する価格は異なっており、規制者による価格規制が必要となる。

7. おわりに

本研究では、交通サービスの予約システムが存在するときの均衡モデルを定式化し、予約システム導入による便益を評価した。

参考文献

- 1) Robinson, J., Economics of Imperfect Competition, Macmillan, 1933.
- 2) Train, K., Optimal Reeregulation - The Economic Theory of Natural Monopoly-, MIT Press, 1991.
- 3) 松島格也, 小林潔司, 小路剛志: 不確実性下における家計のサービス予約行動, 土木計画学研究・論文集, No.17, pp.655-666, 2000.