【土木計画学研究・論文集 No.17 2000年9月】

不確実性下における家計のサービス予約行動*

INDIVIDUAL RESERVATION BEHAVIOR UNDER UNCERTAINTY*

松島格也** ・小林潔司***・小路剛志****
by Kakuya MATSUSHIMA**, Kiyoshi KOBAYASHI***, and Takeshi ORO****

1. はじめに

航空機，新幹線，長距離バス等をはじめとして多くの交通機関では，供給される座席数に制約がある場合が少なくない．劇場，コンサートホール，駐車場等の公共施設においても，サービス供給量に容量制約が存在する．需要量の変動にサービスの供給量を迅速に対応させることが困難な市場ではサービス供給量に容量制約が生じる．また，サービスの価格は固定されており，需給バランスを調整するような価格メカニズムは機能しない．サービスに対して超過需要が発生した場合，潜在的な需要者に対してサービス提供を割り当てる物理的なメカニズムにより需給調整される[1)]．

サービスの割り当てメカニズムでは，基本的にはサービスの申し込み順にサービスを割り当てる「早い者勝ち」ルールが適用される．早い者順にサービスを割り当てるという単純なルールを適用することにより効率的な需給調整が可能となる．サービスの予約システムは，サービス消費に先だって，申し込みの早い順に利用日におけるサービス利用の権利を割り当てるシステムである．最近では，高速道路，駐車場等の交通施設利用に対しても予約制度が検討されるなど，効率的な交通需要管理のための施策として予約システムの発展が期待されている．

一般に，サービス供給主体は個々の家計のニーズの違いに関する情報を持ち得ない．予約システムが導入されれば，サービスに対するニーズがより高い家計ほど，より確実にサービスを購入するために，できるだけ早い時期にサービスの予約を試みようとするだろう．すなわち，家計はサービス購入のタイミングを選択することによって，自己のサービスに対するニーズの違いを自分自身で表明することとなる．このような自己選抜(self-selection)メカニズム[2)]を利用すれば，よりニーズの高い家計に優先的にサービスを割り当てることが可能となる．その結果，より効率性の高いサービスの割り当てが可能となる．

本研究では，需要の不確実性が存在する下での家計のサービスの予約行動をモデル化する．なお，本研究では家計の予約行動にのみ焦点をあて，企業行動はとりあげない．企業行動も同時に考慮したような市場均衡分析に関しては，今後の課題としたい．以下，2．では本研究の基本的な考え方を説明する．3．では，家計のサービス予約行動をモデル化する．4．では，サービスの購入に成功する確率（以下，購入可能確率と呼ぶ）が内生的に決定されるメカニズムを合理的期待均衡モデルにより表現する．5．では，数値計算事例を通じて，個人の予約行動に関して考察する．

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 従来の研究の概要

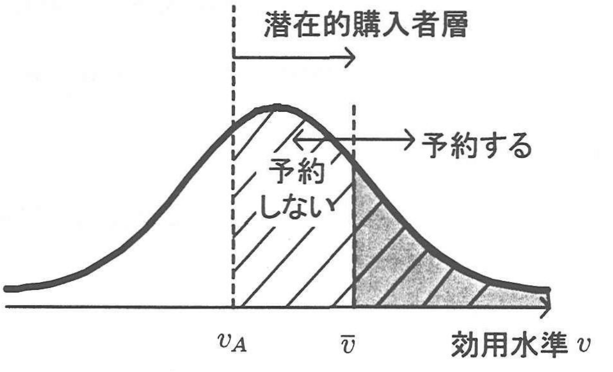
交通サービスの最適な予約メカニズム，チケットの事前購入割引制度等に関しては，オペレーションズ・リサーチの分野において研究が蓄積されてきた．なかでも，航空会社の最適なオーバーブッキング問題，事前割引問題に関しては多くの研究者の関心を呼んでおり，急速に研究が進展しつつある分野となっている[3)-6)]．これらの研究は，いずれも企業利潤，あるいは社会的厚生を最大にするような事前予約・購入システムを考察したものである．しかし，家計の需要分布が外生的に与えられており，家計の予約行動と企業行動の相互関係を明示的に考慮したような均衡論的な枠組みを持っていない．一方，経済学の分野では，予約・事前購入制度の導入が市場均衡や社会的厚生に及ぼす影響に関して研究が蓄積している．交通サービスのように需要に不確実性がある場合，価格メカニズムよりもサービスの割り当てメカニズムが有効な場合が少なくない．このような観点から，需要の不確実性下における最適な価格システム[7)8)]，固定価格制度の下におけるサービスの割り当てメカニズム[9)10)]に関して研究が蓄積された．以上は主として独占市場を対象としたものであるが，最近では寡占市場を対象として事前割引制度によるサービス割り当てに関する研究が進展しつつある[11)12)]．しかし，これらの研究ではサービス需要関数あるいは購入確率を与件としており，客の予約行動に関する行動論的な基礎を有していないという限界がある．このような方法論は政策の効果の定性的分析には有効である．しかし，予約システムの経済便益や予約数の定量的予測を行うためには，客の予約行動を明示的にモデル化する必要がある．

*キーワーズ：公共交通需要，交通行動分析
**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 京都大学大学院博士前期課程 土木工学専攻
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5072)

一方，情報の不確実性下における個人の動学的意思決定問題に関しては膨大な研究の蓄積がある．事前購入を伴う予約行動の１つの特徴は，一度チケットを事前購入すれば予約をキャンセルするために費用を要するという部分的な不可逆性が存在することである．意思決定問題にこのような不可逆性が存在する場合，意思決定を遅らせる（予約しない）ことによる便益が発生する．このような意思決定の保留行動に関しては，Arrow and Fisher[13]，Henry[14]らが先鞭をつけた．その後，将来時点における選択の自由度を保証するような選択肢が有する情報価値に関する研究が進展し，不確実な環境下における意思決定の最適保留行動に関して多側面から分析がなされている[15)-19)]．予約行動のもう１つの特徴は，意思決定を留保することによりサービス購入が不可能となるリスクが存在することである．このようなリスクが存在するため，サービスに対する効用が大きい客ほど，予めサービス消費を予約する可能性が大きくなる．すなわち，不確実性下における予約行動をモデル化するためには，意思決定を留保することにより生じる情報価値の便益とサービス購入の失敗に対するリスク回避の価値を同時に考慮したような意思決定モデルを定式化する必要がある．本研究では，情報価値とリスク回避価値を同時に考慮に入れたような予約行動モデルを定式化することを目的としている．筆者らの知る限り，このような考え方に基づいて予約行動にアプローチした事例は見あたらない．

(2) 不確実性のタイプ

時間軸上の２つの時点を考える．１つはサービスを消費する時点（利用時点），いま１つは利用時点におけるサービスの消費を事前に予約する時点（予約時点）である．簡単のために，予約は時間軸上のある１つの時点だけに許されていると考えよう．当然のことながら，予約時点は利用時点より先行する．利用時点にサービスを消費できる家計数は固定されているとする．予約時点で利用時点におけるサービスの消費を事前に予約するかどうかを決定するためには，利用時点で生じるであろう２種類の不確実性を考慮する必要がある．１つは，サービス供給側のリスクである．すなわち，予約をしなかった場合，利用時点でサービスがすでに予約で一杯になって（あるいは売り切れて）おり，サービスを消費できなくなる可能性がある．いま１つは，予約を行おうとする当事者が有する需要側のリスクである．予約時点においては，利用時点周辺における家計の行動計画は完全には決定されていない．予約時点から利用時点まで時間が経過するうちに，考えているサービス消費行動よりもさらに大きな効用をもたらす別の行動計画が出現する可能性がある．この場合には，せっかく行った予約をキャンセルしなければならない．キャンセル料の支払いを求められるケースもあるだろう．このように，家計は供給側・需要側のリスクの双方を同時に考慮しながら，予約時点において利用時点におけるサ



図－１ 自己選抜メカニズム

ービスの消費を予約すべきかどうかを決定する．

(3) 予約行動と自己選抜メカニズム

家計のサービスに対する選好に異質性があり，サービスに対する効用が図－１に示すように確率分布していると考えよう．一般に，家計のサービスに対する効用水準は私的情報であり，サービス供給者はその値を知ることができない．家計とサービス供給者の間には情報の非対称性が存在する．いま，予約システムが存在せず，サービスが供給される直前にサービスの利用権が販売される場合を考える．効用水準がv_Aの水準以上の家計がサービス購入を希望し，サービス供給量を超過する需要が発生したとしよう．サービス供給者は家計の効用水準を知ることができず，潜在的な需要者にランダムにサービスが割り当てられる．一方，予約システムが導入された場合を考える．家計のサービスに対する効用水準が低い場合には，将来当該のサービスよりも効用が高い別の行動計画が現れ，予約をキャンセルする可能性がある．したがって，サービスに対する効用が高い家計だけがサービス消費を予約するだろう．図－１に示すように，ある臨界的な効用水準$\bar{v}$が存在し，この効用水準より高い効用を持つ者だけが予約すると考えよう．予約システムの導入により，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ことは，「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[2)20)]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．その結果，サービスのより効率的な割り当てを実現することが可能となる．本研究では，１）予約システムの導入により，図－１に示すような家計の自己選抜メカニズムが機能することを示す．さらに，２）臨界的な効用水準$\bar{v}$が決定されるメカニズムを記述する．

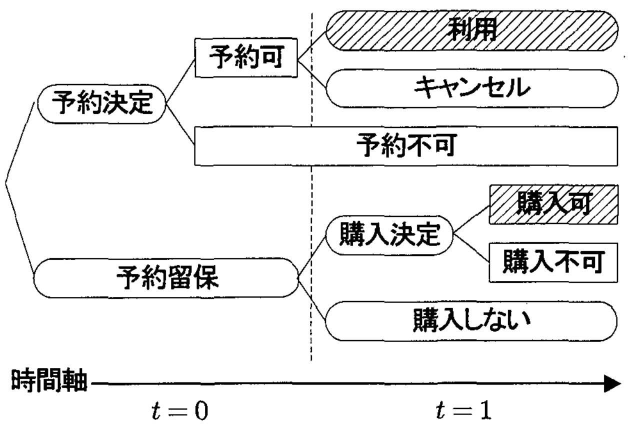
(4) 予約行動とリスク配分

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予約の解消行動が必ず必要とされる．通常，予約をキャンセルする場合，キャンセル料（あるいは，手数料）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家計が一部負担することになる．キャンセルに伴う需要変動のリスクは，キャンセル料によって一部家計が負担するものの，サービス供給者もリスク負担を行うことになる．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も少なくない．この場合には，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．このようにキャンセル料は家計と企業の間でリスク分担をする役割を果たしている．本研究では，このようなサービス供給者と家計の間のリスク分担のルールが家計の予約行動に及ぼす行動を分析しうる予約行動モデルを提案する．なお，望ましいサービスの価格やキャンセル料を分析するためには，サービス企業の行動を含めた市場均衡モデルの開発が必要となる．1．でも言及したように，市場均衡分析に関しては将来の課題としたい．

3. 家計の予約行動のモデル化

(1) モデル化の前提

同質的なサービスが提供されている独占的市場を考えよう．本研究では家計によるサービス予約行動の分析に焦点を絞るため，サービス供給量やサービス価格は短期的に固定されていると仮定する．このようなサービス市場としては，座席予約が必要な交通サービスを提供している航空路線，長距離バス路線などの交通市場，あるいは各種の公共サービス市場，コンサート等の芸術・文化市場が該当する．個々の家計は当該のサービスに対して異質な選好を有している．家計は1）予約を行う時点 $(t=0)$，2）利用する直前の時点 $(t=1)$ という2つの離散的な時点で，サービスの利用権（チケット）を購入することができる．本研究では，家計は予約時点でサービスの利用権をチケットとして事前購入することが義務づけられていると考える．事前に購入したチケットはキャンセル可能であるが，キャンセル料を必要とする．もちろん，ホテル予約等のように事前にチケットを購入することが義務づけられていない場合も多い．この場合は，事前に購入したチケットを無料でキャンセルすることができると考えればいい．以下，議論をわかりやすくするために「事前に（時点 $t=0$ において）チケットを購入する」という表現を用いるが，これは「サービスを予約する」ことと同じ意味を持っていることを断っておく．いま，予約時点 $(t=0)$ でサービスを予約すべきかどうかを検討している家計を考えよう．家計は時点 $t=0$ において，将来時点 $t=1$ におけるサービスに対する効用を確定的に把握することができない．利用時点において，サービスに対する効用が機会費用より低下すれば，予約をキャンセルすることとなる．この場合，家計はキャンセル料を負担しなければならない．また，サービスに対する総需要はサービスの供給容量を超過することはできない．予約時点 $t=0$ においては，利用時点 $t=1$ においてチケットを確実に購入できるかどうかは判らない．家計はこのようなサービスに対する効用と購入可能確率に関する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．



図－2　モデルの動的構造

(2) モデルの動的構造

家計の意思決定に関わる論理的な順序関係を図－2に示すようにモデル化しよう．前述したように，時間軸上に離散的な2つの時点 $(t=0,1)$ を設定する．2つの時点を通じて家計数 N は一定である．予約時点 $t=0$ では，家計全員に対して予約機会が与えられる．予約希望者は，市場チャンネル機関（予約機関）に予約の希望を同時に申し込む．予約希望者数がサービスの供給数より少ない場合，予約希望者全員にチケット購入の権利が割り当てられる．希望者数が供給数を超過した場合，「くじ」によりランダムにチケット購入の権利が予約希望者に割り当てられる．予約に成功した家計は，その時点でチケットの価格を支払わなければいけない．予約をした家計の中でチケットをキャンセルする家計は，2回目の購入割り当てが行われる直前に予約をキャンセルすることができる．予約をキャンセルした場合，時点 $t=1$ でチケットの払い戻しが行われる．サービスが供給される直前に時点に利用可能なチケットが（キャンセルされたチケットを含めて）残っていれば，もう一度潜在的家計にチケットの購入機会が与えられる．直前の時点の割り当てが終了すれば，直ちにサービスが家計に供給されることになる．

(3) 需要の不確実性

家計のサービス消費に対する効用を線形効用関数

$$U=v-c-\omega \tag{1}$$

を用いて表す．ここに，vは当該のサービスを消費することにより得られる効用値，cはサービスの消費に関わる費用（チケットの価格）である．ωはチケットの購入に要する費用（以下，取引費用と呼ぶ）である．線形効用関数(1)は金銭タームで表現されている．一方，家計は当該のサービスを消費する代わりに他の活動を行い効用を獲得することも可能である．他の活動を行うことによって得られる最大の効用水準（以下，留保効用と呼ぶ）をεで表す．家計があるサービスを消費するためには，当該のサービスを消費することにより得られる効用が留保効用より大きくなければならない．いま，事前にサービス消費の予約が可能となる時点$t=0$を考えよう．この時点においては，利用時点における具体的な行動計画は当該のサービスの消費活動以外には存在しないと仮定しよう．すなわち，予約時点で留保効用はゼロ（$\varepsilon=0$）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てくる．それによって，利用時点における留保効用εが変化する．いま，時点$t=1$まで進み，留保効用が$\bar{\varepsilon}$に確定したとしよう．この時点において，サービス消費により獲得できる効用が留保効用$\bar{\varepsilon}$よりも大きければ実際にそのサービスを消費し，一方，小さければサービス消費をとりやめようとする誘因が生じるだろう．このように事前予約の時点では，利用時点におけるサービス消費行動の有無を確定的には把握できない．留保効用εが区間$[0,\infty)$で定義される確率変数であり，分布関数$G(\varepsilon)$（密度関数$g(\varepsilon)$）に従って分布すると考えよう．なお，以下では家計の効用vは時点を通じて一定値をとると仮定するが，この仮定は本質的ではない．線形効用関数(1)の場合，効用値と留保効用の間の相対的な格差のみが意味を持つ．効用値が変動すると考えてもモデルの本質的な構造は変化しない．そこで，以下では留保効用の変動は効用値の変動も同時に表現していると解釈する．

(4) 家計行動の定式化

予約時点において，家計は現時点$t=0$，および将来の利用時点$t=1$において，どの程度確実にチケットを購入できるかを想定する．家計が主観的に想定する「チケットの購入に成功する確率（以下，購入可能確率と呼ぶ）」を$\tilde{p}_t$ $(1 \geq \tilde{p}_0 \geq \tilde{p}_1 \geq 0)$と表そう．以下，変数$\tilde{p}_t$は家計の持つ主観的確率を表している．のちに，実際に市場で実現している客観的な購入可能確率をp_tと表すが，主観的確率$\tilde{p}_t$と客観確率p_tを区別するために異なる変数で表現している．購入可能確率は家計の購入行動の結果として市場で内生的に決定されるが，ひとまず与件と考えよう．チケットの価格をcとする．予約をキャンセルする場合，キャンセル料金αcと取引費用ωが必要となる．α $(0 \leq \alpha \leq 1)$はキャンセルに伴うペナルティ率である．

時点$t=0$において家計は，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，「予約する」か「予約しない」の2通りの選択肢から最適な戦略を取る．時点$t=0$でチケットを購入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．時点$t=0$における期待効用は本節の以下で定式化するが，ここではそれぞれの選択肢を選択したことにより得られる期待効用値がEV, EUで表されることだけを確認しておく．時点$t=0$における家計行動は

$$\left.\begin{array}{ll} \text{予約する} & EV \geq EU\text{の時} \\ \text{予約しない} & EV < EU\text{の時} \end{array}\right\} \tag{2}$$

と表現できる．また，時点$t=0$で当該の家計が獲得する期待効用Wは，次式で定義される．

$$W = \max\{EV, EU\} \tag{3}$$

a) 予約する場合

サービス購入を予約する場合に獲得できる期待効用EVを定式化する．家計が少なくとも予約を行う意思を持つためには，$v \geq c+\omega$を満足する必要がある．以下では，この条件が満足される場合を考えよう．予約時点$t=0$で予約した場合，利用時点$t=1$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．利用時点においては，チケット購入費はすでに支払っており，そのまま権利を行使する場合には，時点$t=1$においてvの効用を獲得する．一方，時点$t=1$でキャンセルする場合にはキャンセル料αcと取引費用ωを差し引いたチケット代金$c-\alpha c-\omega$が還付される．利用時点において，別の行動を行った時に得られる留保効用が$\bar{\varepsilon}$に確定したとしよう．したがって，予約をキャンセルすることにより得られる効用は$\bar{\varepsilon}+c-\alpha c-\omega$となる．当該の家計は利用時点において，サービスを消費することにより得られる効用vが予約をキャンセルして別の行動を行う効用$\bar{\varepsilon}+c-\alpha c-\omega$よりも大きい限り，当該のサービスを消費するだろう．この時，家計行動は

$$\left.\begin{array}{ll} \text{サービスを消費する} & v \geq \bar{\varepsilon}+c-\alpha c-\omega\text{の時} \\ \text{キャンセルする} & v < \bar{\varepsilon}+c-\alpha c-\omega\text{の時} \end{array}\right\} \tag{4}$$

と表現できる．したがって，サービス消費を予約した場合に，利用時点で獲得できる効用水準V_1は

$$V_1 = \max\{v, \bar{\varepsilon}+c-\alpha c-\omega\} \tag{5}$$

と定義できる．時点$t=0$においては，時点$t=1$の留保効用$\bar{\varepsilon}$を確定的に把握することはできない．時点$t=0$において，留保効用εは確率密度関数$g(\varepsilon)$に従う確率変数である．時点$t=0$で予約した場合，利用時点$t=1$で得られる効用の期待値$E[V_1]$の時点$t=1$における価値は

$$\begin{aligned} E[V_1] &= E[\max\{v, \varepsilon+c-\alpha c-\omega\}] \\ &= \int_0^\beta vg(\varepsilon)d\varepsilon + \int_\beta^\infty (\varepsilon+c-\alpha c-\omega)g(\varepsilon)d\varepsilon \\ &= \beta G(\beta) + \int_\beta^\infty \varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon + c-\alpha c-\omega \end{aligned} \tag{6}$$

と表すことができる．ただし，$\beta = v-c+\alpha c+\omega$，$G(\beta)=\int_0^\beta g(\varepsilon)d\varepsilon$である．$\beta$はサービスに対する効用が$v$の時に，家計が直前に予約をキャンセルすることとなる臨界的な留保効用（最小値）を意味している．$v-c-\omega \geq 0$が成立することより$\beta \geq 0$が必ず成立する．記号$E[\cdot]$は

確率変数εに関する期待値操作を表す．家計が予約することにより獲得できる予約時点$t=0$で評価した期待効用$E[V_0]$は

$$E[V_0]=\delta E[V_1]-c \tag{7}$$

と表せる．δは利用時点$t=1$における価値を予約時点$t=0$における現在価値に割り引くため割引率を表す．チケットの購入費用は$t=0$の時点で支払われるため，チケットの購入費用は割り引かれない．予約時点において，必ずしも確実にチケットを購入できるかどうか判らない．そこで，予約時点$t=0$で予約すべきかどうかを決定する局面を考えよう．予約時点における購入可能確率を$\tilde{p}_0$とすれば，予約することにより得られる期待効用EVは

$$EV=\tilde{p}_0\{\delta E[V_1]-c\}-\omega \tag{8}$$

と表すことができる．ここに，ωは予約を行うための取引費用である．

b) 予約しなかった場合

時点$t=0$で予約しなかった場合を考えよう．利用時点では留保効用が$\bar{\varepsilon}$に確定している．この時点で，1）そのまま購入しないか，2）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留保効用$\bar{\varepsilon}$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．しかし，チケットが常に購入可能なわけではない．チケットの購入を試みた時点で，他の活動を行う可能性は排除されると考えよう．したがって，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．家計の選択結果として，1）チケットを購入できた，2）チケットを購入しようとしたが購入できなかった，3）チケットを購入しなかった，という3通りの結果が可能である．それぞれの場合，家計は以下のような効用を獲得することができる．

$$\left.\begin{array}{ll} v-c-\omega & \text{チケットを購入できた時} \\ -\omega & \text{チケットを購入できなかった時} \\ \bar{\varepsilon} & \text{チケットを購入しなかった時} \end{array}\right\} \tag{9}$$

ただし，ωは取引費用である．チケットの購入が可能となる確率を$\tilde{p}_1$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$\tilde{p}_1(v-c)-\omega$となる．したがって，利用時点$t=1$における家計のチケット購入行動は

$$\left.\begin{array}{ll} \text{購入を試みる} & \tilde{p}_1(v-c)-\omega\geq\bar{\varepsilon}\text{の時} \\ \text{購入しない} & \tilde{p}_1(v-c)-\omega<\bar{\varepsilon}\text{の時} \end{array}\right\} \tag{10}$$

と表される．予約時点$t=0$の段階では利用時点$t=1$で実現する留保効用$\bar{\varepsilon}$を確定的には把握できない．予約時点ではεは確率密度関数$g(\varepsilon)$に従う確率変数である．時点$t=0$において予約しなかった場合の期待効用U_1は

$$U_1=\max\{\tilde{p}_1(v-c)-\omega,\bar{\varepsilon}\} \tag{11}$$

と表すことができる．家計がチケット購入のインセンティブを持つためには少なくとも$\tilde{p}_1(v-c)-\omega\geq 0$が成立しなければならない．この条件を満足する場合を考えよう．時点$t=0$で予約しなかった場合の期待効用を時点$t=1$で評価した期待値$E[U_1]$は

$$\begin{aligned} E[U_1]&=E[\max\{\tilde{p}_1(v-c)-\omega,\varepsilon\}] \\ &=\int_0^{\gamma}\gamma g(\varepsilon)d\varepsilon+\int_{\gamma}^{\infty}\varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon \\ &=\gamma G(\gamma)+\int_{\gamma}^{\infty}\varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon \end{aligned} \tag{12}$$

となる．ここに，$\gamma=\tilde{p}_1(v-c)-\omega$は，サービス消費により獲得できる効用が$v$の時に，利用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．$\tilde{p}_1(v-c)-\omega\geq 0$が成立する場合，式(12)において$\gamma\geq 0$が成立する．$EV$の場合と同様の考え方により，予約しなかった場合の期待効用EUは

$$EU=\delta\left\{\gamma G(\gamma)+\int_{\gamma}^{\infty}\varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon\right\} \tag{13}$$

と表される．

(5) 家計の予約行動の性質

家計が事前に予約するかどうかは式(2)により決定できる．家計によって，サービス消費に対する効用水準vは多様に異なる．効用水準vが異なることにより，家計の予約行動がどのように変化するかを分析しよう．家計がサービスを予約する意思を持つためには，少なくともサービスの純便益が正$(v-c-\omega\geq 0)$でなければならない．$v-c-\omega<0$が成立する場合，家計はサービスを消費する意思をもたず，サービスの予約も試みない．一方，時点$t=1$において家計がチケットを購入しようとする誘因を持つためには$\tilde{p}_1(v-c)-\omega\geq 0$（すなわち，$\gamma\geq 0$）が成立しなければならない．$\gamma\geq 0$が成立する場合，$v-c-\omega\geq 0$も成立する．そこで，$\gamma\geq 0$が成立すると仮定しよう．時点$t=0$で予約した家計が，時点$t=1$で予約をキャンセルする臨界的な留保効用は$\beta=v-c+\alpha c+\omega$と表せる．家計は時点$t=1$における留保効用が$\beta$より大きくなれば予約をキャンセルする．一方，予約しなかった場合，家計がチケットの購入を諦めるための臨界的な留保効用は$\gamma=\tilde{p}_1(v-c)-\omega$で表される．時点$t=1$の留保効用$\varepsilon$が$\gamma$より大きくなればチケットの購入を諦める．いま，

$$\beta-\gamma=(1-\tilde{p}_1)(v-c)+\alpha c+2\omega\geq 0 \tag{14}$$

が成立することより，$\beta\geq\gamma$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　$\gamma\geq 0$が成立すると仮定する．この時，β,γの間に次式が成立する．

$$\beta\geq\gamma \tag{15a}$$

$$\frac{\partial(\beta-\gamma)}{\partial v}\geq 0 \tag{15b}$$

式(15b)において等号は$\tilde{p}_1=1$の時に成立する．

式(15a)は，事前に予約した場合の方が，サービス消費を取りやめるための臨界的な留保効用が大きくなることを意味している．すなわち，直前にサービス消費をとりやめるにはより多くの抵抗が働くことになる．式(14)の右辺第１項は，直前に予約しようとしたが，予約できなかったことにより生じる効用の損失を表しており，事前に予約したことにより防げた効用の損失と解釈できる．第２項はキャンセル料を，第３項は取引費用を表している．すなわ

ち，$\beta-\gamma$は事前に予約した家計が，最終的にサービス消費を諦める（予約をキャンセルする）ために必要となる心理的抵抗の大きさを表している．式(15b)はサービスに対する効用vが大きいほど，予約をキャンセルすることに対する心理的効用$(\beta-\gamma)$が大きくなることを意味している．

いま，$\tilde{p}_1<1$であり，キャンセル費用，取引費用に関して$\alpha c=0,\ \omega=0$が成立する場合を考えよう．この時，事前に予約を行ってもサンクする費用が存在しない．かつ，客は将来価値を割り引かず$\delta=1$が成立するとしよう．この時，$v>c+\omega$が成立する任意のvに対して$EV\geq EU$が成立する（**付録I**参照）．すなわち，すべての顧客が事前予約を試みることになる．この時，$EV-EU$はリスク回避の便益を表している．一方，$\tilde{p}_0=1,\tilde{p}_1=1$が成立する場合を考えよう．すなわち，予約時点，利用時点を通じて，常にチケットが購入可能である．この場合，式(8),(13)より$\gamma=v-c-\omega\geq 0$を満足する任意のvに対して$EU\geq EV$が常に成立する（**付録I**参照）．すなわち，チケットの購入が常に可能である場合，顧客はチケットの予約を行わない．この時，$EU-EV$は予約を留保することの情報価値を表している．ここに，以下の性質が成立する．

性質2　$\tilde{p}_0=1,\ \tilde{p}_1<1,\ \alpha c=0,\ \omega=0,\ \delta=1$が成立する場合，予約時点でチケットの購入の意思を持つすべての客がチケットを予約する．$\tilde{p}_0=\tilde{p}_1=1$が成立する場合，すべての客は予約を行わない．

性質2は極端な意思決定環境の下で成立する事項である．現実の意思決定環境の下では，情報の価値とリスク回避の価値の双方が同時に現れる．家計が予約を行うか否かは意思決定環境の性質と家計の効用水準，留保効用水準に依存することになる．いま，予約時点における期待効用EV,EUはサービス消費により獲得できる効用水準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（**付録II**参照）．

性質3　$\gamma\geq 0$が成立すると仮定する．この時，期待効用EV,EUは以下の性質を満足する．

$$\frac{\partial EV}{\partial v}=\delta\tilde{p}_0G(\beta)\geq 0 \tag{16a}$$
$$\frac{\partial EU}{\partial v}=\delta\tilde{p}_1G(\gamma)\geq 0 \tag{16b}$$
$$\frac{\partial(EV-EU)}{\partial v}=\delta(\tilde{p}_0G(\beta)-\tilde{p}_1G(\gamma))\geq 0 \tag{16c}$$
$$\lim_{v\to\infty}(EV-EU)=\begin{cases}+\infty & \tilde{p}_0>\tilde{p}_1\text{の時}\\ \xi<0 & \tilde{p}_0=\tilde{p}_1\text{の時}\end{cases} \tag{16d}$$
$$\lim_{v\to 0}(EV-EU)<0 \tag{16e}$$

ただし，$\xi=-(\tilde{p}_0-\delta\tilde{p}_1)c-(1-\delta)\omega<0$である．

性質(16a),(16b)はともにサービスに対する効用水準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(16c)よりサービスに対する効用が大きくなるほど，期待効用EVとEUの格差は単調に増加することを意味している．一方，性質(16d)は時点$t=0$の購入可能確率が時点$t=1$の購入可能確率より大きいならばサービスに対する効用が十分に大きくなると必ず事前予約を行い，両期の購入可能確率が等しいときにはサービスに対する効用が大きくなっても予約を見送ることを意味する．性質(16e)より，サービスに対する効用が0の場合，予約時点において家計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(16c)と性質(16d),(16e)より，$\tilde{p}_0>\tilde{p}_1$の時には期待効用EVとEUが等しくなるような臨界的な効用水準（以下，臨界予約効用と呼ぶ）$\overline{v}$がただ1つ存在することが保証される．ここに以下の命題が成立する．

命題　$\tilde{p}_0>\tilde{p}_1$ならば$EV=EU$が成立するような臨界予約効用$\overline{v}$がただ1つ存在し，$v\geq\overline{v}$の場合には予約を行い，$v<\overline{v}$の場合には予約を見送る．

命題はサービスに対する効用水準が臨界予約効用より大きい家計だけが，予約時点でサービスの予約を行うことを主張している．家計は予約行動を通じて自己の効用水準という私的情報を表明することになる．すなわち，予約システムは**2.（2）**で述べた自己選抜メカニズムが機能を有しており，サービス供給者は予約システムを通じて，サービスに対してより効用の大きい家計にサービスを優先的に割り当てることが可能となる．

(6) 予約確率モデル

以上では，家計のサービスに対する効用vが確定的に与えられていることを前提として議論を進めた．しかし，家計のサービスに対する効用は利用時点によって多様に変動するだろう．いま，ある家計の現在から将来に及ぶ行動計画を表すタイムテーブルに着目しよう．現時点における行動計画はかなり明確に決まっているが，将来時点の行動計画は未定の部分がかなりある．この家計は着目しているサービスの消費をすべての時点で行うわけではない．この家計のタイムテーブルの中から，ある利用時点が偶然に選ばれ，その利用時点よりもある一定の期間先だった予約時点に利用時点におけるサービス消費を予約するかどうかを意思決定することになる．

いま，ある家計の利用時点における当該のサービスに対する効用vがある分布関数$F(v)$に従って分布していると考える．予約時点までに，利用時点における当該のサービスに対する効用vが区間$(-\infty,\infty)$で定義された分布関数$F(v)$（確率密度関数$f(v)$）に従う確率分布の中からランダムに選ばれると考えよう．この時，ある家計が予約時点$t=0$において，利用時点$t=1$におけるサービス消費を予約する確率（以下，予約確率と呼ぶ）πは

$$\pi=\mathrm{Prob}\{EV(v)\geq EU(v)\} \tag{17}$$

で定義できる．$EV(v),EU(v)$はそれぞれ式(8),(13)で定義される期待効用であり，効用水準vの関数として表される．EU，EVはともに確率変数vを含む非線形式で表され，式(17)に基づいて予約確率を求めることは容易でない．しかし，**命題**を用いれば，式(17)を簡便な予約確率

モデルに変換することができる．いま，$\tilde{p}_0 > \tilde{p}_1$を仮定する．**命題**より，家計は$v \geq \overline{v}$が成立する場合，サービスの消費を事前に予約する．着目している家計の予約確率πは

$$\pi = \mathrm{Prob}\{v \geq \overline{v}\} = 1 - F(\overline{v}) \tag{18}$$

で定義される．$\overline{v}$は臨界予約効用である．ここで，確率効用を加法効用モデル

$$v = v^* + \zeta \tag{19}$$

で表そう．ここに，v^*は確定効用項，ζは確率効用項である．たとえば，ζは平均0の分散σ^2の正規分布$N(0,\sigma^2)$に従う確率効用項と仮定すれば，予約確率モデルは2項プロビットモデル

$$\pi(v^*) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{\overline{v}-v^*}^{\infty} \exp\left\{\frac{-\zeta^2}{2\sigma^2}\right\} d\zeta \tag{20}$$

で表現できる．予約確率モデルも通常の2項離散選択モデルを用いて定式化できる．しかし，ここで留意すべきことは臨界予約効用$\overline{v}$は家計効用の特性を表現するパラメータ（定数項）ではなく，家計行動により決定される内生変数である点である．すなわち，$\overline{v}$は$EV(\overline{v}) = EU(\overline{v})$が成立するような$\overline{v}$として求まる．期待効用を明示的に計算するためには，家計の主観的期待$\tilde{p}_0, \tilde{p}_1$を求める必要がある．主観的期待は，家計が置かれている意思決定環境や料金，キャンセル料金によって影響を受ける．したがって，予約確率モデルを政策分析に用いるためには，家計の主観的期待が形成されるメカニズムをモデル化しなければならない．本研究の以下では，家計の主観的期待を市場における合理的期待均衡としてモデル化する方法を提案することとする．

4. 合理的期待均衡モデルの定式化

(1) 合理的期待仮説

以上の議論では，家計が考えるチケットの購入可能確率に関する主観的期待$\tilde{p}_0, \tilde{p}_1$を与件と考えていた．家計の購入可能確率に関する主観的期待は家計自らが形成したものである．家計は予約環境が変化すれば家計は経験を通じて自らの主観的期待を修正していくだろう．予約確率モデルを完結させるためには家計の主観的期待の形成行動をモデル化する必要がある．このような主観的期待の形成メカニズムに関する1つの自然な仮定は，家計は市場で長期的に実現する購入可能確率を学習するという合理的期待形成仮説である[21]．ここで，個々の家計の主観的確率と市場で実現する客観的な購入可能確率の間には相互関係があることに着目しよう．たとえば，家計が購入行動を変更した場合を考えよう．家計の購入行動の変化により購入可能確率が変化する．家計がチケットの購入行動を繰り返すことにより，長期的には購入可能確率を学習する．あるいは，公共主体が購入可能確率を公共情報として家計に提供することも考えられる．このような長期的な学習行動の結果として，家計が予想する購入可能確率に関する主観的な期待と客観的な購入可能確率が一致するような状況を考えよう．このような状況が達成されれば，家計は主観的期待を変更しようとする誘因をもたないだろう．本研究では，家計の主観的期待が客観的購入可能確率に収束するような均衡を合理的期待均衡と呼ぶこととする．

(2) 購入可能確率の定式化

いま，各家計の主観的確率$\tilde{p}_0, \tilde{p}_1$を与件と考え，市場で実現する購入可能確率の確率分布を導出してみよう．いま，N人の個人で構成される社会を考えよう．簡単のためにすべての家計が同一の主観的期待を有していると仮定しよう．ここでの議論においては，主観的期待が市場で実現する客観的確率と同じである必要はない．家計が異なる主観的確率を持つ場合には，家計の学習モデル[21]を明示的に考慮し，家計の主観的期待が合理的期待に収束する均衡化メカニズムを表現する必要がある．しかし，本稿においては合理的期待均衡を定式化することを目的としており，学習モデルを用いたアプローチはとりあげない．

当該のサービスに対する家計i $(i = 1,\cdots,N)$の効用v_iは共通の分布関数$F(v_i)$に従って分布するが，予約時点$t=0$までに当該サービスに対する効用水準$\overline{v}_i$は確定していると考えよう．各家計は同一の分布関数$F(v_i)$を持っていると仮定する．予約時点において「予約する」あるいは「予約しない」という意思決定の境目となる臨界予約効用を$\overline{v}$と表す．時点$t=0$で予約を試みる予約希望者数をn_0，利用時点$t=1$における購入希望者数をn_1，時点$t=0$で予約したが，利用時点までに予約をキャンセルする家計数をmと表そう．また，予約時点で予約を試みたが予約に成功しなかった家計は，時点$t=1$においてサービスの購入を試みないと仮定しよう．サービスに供給制約があるため，予約希望者がすべて予約に成功するわけではない．そこで，予約時点で実際にサービスの予約に成功した家計数をn_0^*，利用時点においてチケットを購入した家計数をn_1^*とする．潜在的な家計総数をN，サービスの供給量をQとおく．定義より，これらの家計数の間には

$$N \geq n_0 + n_1 \geq 0, \tag{21a}$$
$$Q \geq n_0^* + n_1^* - m \geq 0 \tag{21b}$$
$$Q \geq n_0^* \geq 0 \tag{21c}$$
$$n_0 \geq n_0^* \geq m \geq 0,\ n_1 \geq n_1^* \geq 0 \tag{21d}$$

が成立する．時点$t=0$において$Q \geq n_0$ならばすべての予約希望者が予約に成功するが，$Q < n_0$の場合には予約できない家計が現れる．

いま，当該のサービス利用が繰り返し行われ，個々の利用日における当該サービスに対する効用値が日々変動する．したがって，サービスに対する潜在的需要プロフィルn_0, n_1, mも日々変動することになる．そこで，各個人の効用値の分布関数$F(v_i)$を用いてサービス需要の確率分布を求め，市場で客観的に実現する購入可能確率p_0, p_1を導出しよう．いま，家計iの時点$t=0$における予約確率π_iが式(18)で表され，すべての家計が共通の予約確率を

持つと仮定しよう．すなわち，$\pi_i = \pi \quad (i = 1, \cdots, N)$が成立する．この時，$n_0$人の家計がサービスの予約を試みる条件付き確率$P(n_0)$は2項分布

$$P(n_0) = \frac{N!}{n_0!(N-n_0)!}\pi^{n_0}(1-\pi)^{(N-n_0)} \tag{22}$$

で表せる．$N \to \infty$のときには条件付き予約確率は以下に示すポアソン分布で近似できる．

$$P(n_0) = \frac{(N\pi)^{n_0}}{n_0!}\exp(-N\pi) \tag{23}$$

この時，予約時点$t = 0$で満席になる確率$\bar{P}$は

$$\bar{P} = \sum_{n_0=Q}^{N} P(n_0) \tag{24}$$

となる．したがって，時点$t = 0$において，サービス予約者数がn_0^*となる確率$P(n_0^*)$は

$$P(n_0^*) = \begin{cases} P(n_0) & n_0^* < Q \text{の時} \\ \bar{P} & n_0^* = Q \text{の時} \end{cases} \tag{25}$$

と表せる．一方，n_0を与件とした時の購入可能確率は

$$p_0(n_0) = \begin{cases} 1 & n_0 \leq Q \text{の時} \\ \frac{Q}{n_0} & n_0 > Q \text{の時} \end{cases} \tag{26}$$

と表される．これより，時点$t = 0$においてチケットを購入できる（無条件）購入可能確率$p_0 = E[p_0(n_0)]$は

$$p_0 = \sum_{n_0=0}^{Q} P(n_0) + \sum_{n_0=Q+1}^{N} \frac{Q}{n_0}P(n_0) \tag{27}$$

と定義できる．ここで，確率p_0は客観的購入可能確率であり，先に用いた主観的確率$\tilde{p}_0$とは区別している．また，時点$t = 0$においてチケットを購入できる人数の期待値$E[n_0^*]$は以下のようになる．

$$E[n_0^*] = \sum_{n_0=0}^{Q} n_0 P(n_0) + \sum_{n_0=Q+1}^{N} QP(n_0) \tag{28}$$

つぎに，キャンセル行動を考えよう．予約時点でチケットを購入したが，利用時点において予約をキャンセルするのは，予約時点においてサービスに対する効用が臨界水準$\bar{v}$以上であり，かつ利用時点における留保効用$\bar{\varepsilon}$が臨界効用$\beta = v - c + \alpha c + \omega$よりも大きくなる場合である．臨界効用$\beta$は効用水準$v$と対応して変化する．このことを明示的に表現するために，臨界効用を$\beta(v)$と表そう．留保効用が臨界効用より大きくなる確率は$1 - G(\beta(v))$である．いま，予約時点の効用が$v \ (v \geq \bar{v})$である家計が利用時点においてキャンセルする確率は，留保効用εが臨界効用$\beta(v)$より大きくなる確率で定義できる．いま，効用水準が確率密度関数$f(v)$に従って分布していると考えよう．このとき，時点$t = 0$で予約した家計のうち，その家計が時点$t = 1$でキャンセルすることになる条件付き確率ϕは

$$\phi = \frac{\int_{\bar{v}}^{\infty} f(v)\{1 - G(\beta(v))\}dv}{\int_{\bar{v}}^{\infty} f(v)dv} \tag{29}$$

と表せる．時点$t = 0$における予約者数がn_0^*である時に，その中からm人の家計が時点$t = 1$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

$$M(m|n_0^*) = \frac{n_0^*!}{m!(n_0^* - m)!}\phi^m(1-\phi)^{(n_0^*-m)} \tag{30}$$

で表される．同様に，時点$t = 0$における予約成功者数がn_0^*である時，時点$t = 1$においてキャンセルする家計数の期待値$E[m|n_0^*]$は以下のようになる．

$$E[m|n_0^*] = \sum_{m=0}^{n_0^*} mM(m|n_0^*) = n_0^*\phi \tag{31}$$

最後に，時点$t = 0$で予約しなかったものの利用時点$t = 1$においてチケットを購入する行動を考える．時点$t = 1$において，チケットの購入を試みる家計は，1）予約時点のトリップ効用vが$\bar{v}$より小さく，2）利用時点の臨界効用$\gamma(v) = \tilde{p}_1(v - c) - \omega$が正であり，3）利用時点の留保効用$\bar{\varepsilon}$が臨界効用$\gamma(v)$以下になる家計のみである．留保効用が臨界効用以下になる確率が$G(\gamma(v))$と表されることに着目しよう．さらに，$\gamma(v) < 0$の家計はサービスを消費しない．$v \geq \bar{v}$である家計は時点$t = 0$で予約を試みている．予約時点で予約に成功しなかった家計の再購入行動を考えない場合，予約時点において予約を試みなかった家計（$v < \bar{v}$が成立する家計）が，利用時点において購入を試みようとする条件付き確率ψは

$$\psi = \frac{\int_{\gamma^{-1}(0)}^{\bar{v}} f(v)G(\gamma(v))dv}{\int_{-\infty}^{\bar{v}} f(v)dv} \tag{32}$$

と表せる．ただし，$\gamma^{-1}(0)$は$\gamma(v) = 0$が成立するようなvを意味する．この時，時点$t = 0$でn_0人が予約を試みたという状況の下でn_1人の家計が時点$t = 1$において購入する意思を持つ条件付き確率$R(n_1|n_0)$は2項分布

$$R(n_1|n_0) = \frac{(N-n_0)!}{n_1!(N-n_0-n_1)!}\psi^{n_1}(1-\psi)^{(N-n_0-n_1)} \tag{33}$$

で表される．時点$t = 0$で予約成功者数がn_0^*，キャンセル数がmの場合，売れ残っているチケット数$\hat{n}$は$\hat{n} = Q - n_0^* + m$と表される．キャンセルした家計が時点$t = 1$でチケットを購入する可能性はない．したがって，時点$t = 1$においてn_1人の購入希望者があり，チケットが$\hat{n}$枚売れ残っている場合の条件付き購入可能確率$p_1(n_1 : \hat{n})$は

$$p_1(n_1 : \hat{n}) = \begin{cases} 1 & n_1 \leq \hat{n} \text{の時} \\ \frac{\hat{n}}{n_1} & n_1 > \hat{n} \text{の時} \end{cases} \tag{34}$$

と定義できる．時点$t = 0$でn_0人が予約を試み，その結果予約に成功したn_0^*人の内でm人キャンセルした場合に，時点$t = 1$でチケットを購入できる条件付き確率$E[p_1|n_0, m]$は

$$E[p_1|n_0, m] = \sum_{n_1=0}^{\hat{n}(n_0,m)} R(n_1|n_0) + \sum_{n_1=\hat{n}(n_0,m)+1}^{N-n_0} \frac{\hat{n}(n_0,m)}{n_1}R(n_1|n_0) \tag{35}$$

で表せる．ただし，$\hat{n}(n_0, m)$は

$$\hat{n}(n_0, m) = \begin{cases} Q - n_0 + m & (n_0 \leq Q \text{の時}) \\ m & (n_0 > Q \text{の時}) \end{cases} \tag{36}$$

と表せる．また，時点$t = 1$でチケットを購入する家計数の条件付き期待値$E[n_1^*|n_0, m]$は

$$E[n_1^*|n_0, m] = \sum_{n_1=0}^{\hat{n}(n,m)} n_1 R(n_1|n_0) + \sum_{n_1=\hat{n}(n_0,m)+1}^{N-n_0} \hat{n}(n_0, m)R(n_1|n_0) \tag{37}$$

となる．ここで，n_0, mが式(22),(30)に従って分布することに着目しよう．この時，時点$t=1$でチケットが購入できる（無条件）購入可能確率は

$$p_1 = \sum_{n_0=0}^{Q}\sum_{m=0}^{n_0} M(m|n_0)P(n_0)E[p_1|n_0,m] + \sum_{n_0=Q+1}^{N}\sum_{m=0}^{Q} M(m|Q)P(n_0)E[p_1|n_0,m] \quad (38)$$

と表せる．ただし，$M(m|Q)$は

$$M(m|Q) = \frac{Q!}{m!(Q-m)!}\phi^m(1-\phi)^{(Q-m)} \quad (39)$$

である．また，時点$t=1$でチケットを購入する人数の（無条件）期待値は

$$E[n_1^*] = \sum_{n_0=0}^{Q}\sum_{m=0}^{n_0} M(m|n_0)P(n_0)E[n_1^*|n_0,m] + \sum_{n_0=Q+1}^{N}\sum_{m=0}^{Q} M(m|Q)P(n_0)E[n_1^*|n_0,m] \quad (40)$$

で定義できる．

(3) 合理的期待均衡

本研究では，家計の主観的期待が客観的購入可能確率に収束するような均衡を合理的期待均衡と定義する．いま，式(27), (38)で求めた客観的購入可能確率p_0, p_1は，家計の主観的期待$\tilde{p}_0,\tilde{p}_1$を与件として導出したものである．このことを明示的に表現するために，主観的期待$\tilde{p}_0,\tilde{p}_1$を与件として導出した客観的購入可能確率を，それぞれ$p_0(\tilde{p}_0,\tilde{p}_1)$，$p_1(\tilde{p}_0,\tilde{p}_1)$と表すこととする．このようにして求めた客観的購入可能確率が当初の主観的期待$\tilde{p}_0,\tilde{p}_1$と一致する保証はない．この場合，家計は自らの主観的期待を修正するだろう．長期学習の結果，すべての家計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．このような合理的期待均衡では，市場で実現する客観的購入可能確率が家計の主観的期待に一致する．すなわち，合理的期待は

$$p_0^*(\tilde{p}_0^*,\tilde{p}_1^*) = \tilde{p}_0^* \quad (41a)$$
$$p_1^*(\tilde{p}_0^*,\tilde{p}_1^*) = \tilde{p}_1^* \quad (41b)$$

を同時に満足する$(\tilde{p}_0^*,\tilde{p}_1^*)$として定義される．なお，以上では家計自らが経験を繰り返して学習することを想定していた．しかし，この仮定は本質的ではない．公共主体が学習を繰り返し，システム的なバイアスのないような購入可能確率を家計に提供する場合にも，同様な合理的期待均衡が得られる．

5. 数値計算事例

(1) 問題設定

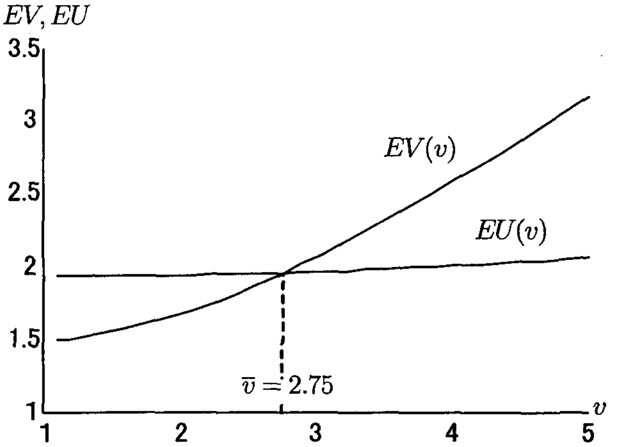
数値計算により予約モデルの性質を確認してみよう．数値計算を行うためにはサービスに対する効用，留保効用の確率分布を特定化する必要がある．以下では，まず客の予約確率をプロビットモデル(20)で表そう．客のサービスに対する確率効用が正規分布$N(0,\sigma^2)$に従って分布すると考える．さらに，留保効用が平均μの指数分布に従うと仮定しよう．すなわち，εが確率密度関数

$$g(\varepsilon) = \frac{1}{\mu}\exp\left(-\frac{\varepsilon}{\mu}\right) \quad (42)$$

に従って分布する．この時，期待効用EV, EUは具体的に

$$EV(v) = p_0\left\{\delta\left[v+\mu\exp\left(-\frac{\beta}{\mu}\right)\right]-c\right\}-\omega \quad (43a)$$
$$EU(v) = \delta\left\{\gamma+\mu\exp\left(-\frac{\gamma}{\mu}\right)\right\} \quad (43b)$$

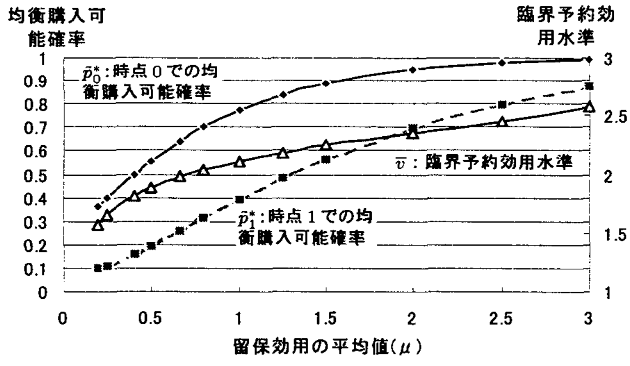
と表せる（**付録III**参照）．式(43a),(43b)より，$EV(\overline{v}) = EU(\overline{v})$が成立するような臨界的効用水準$\overline{v}$は不動点問題の解として与えられる．



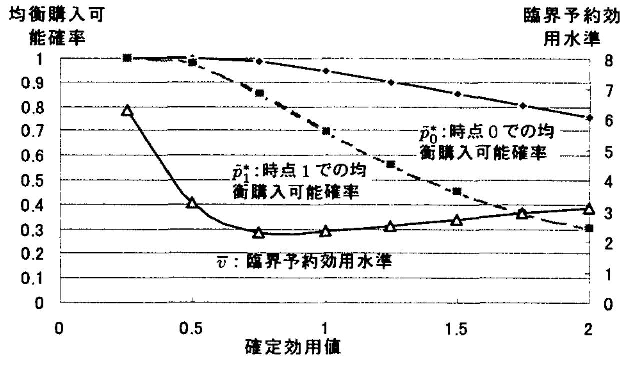
図－3　$EU(v)$と$EV(v)$の関係

(2) 計算結果

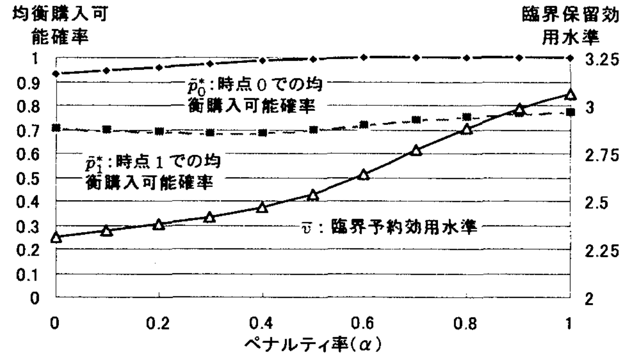
サービスに対する確定効用が$v^*=1$，確率効用項が標準正規分布$N(0,1)$に従って分布すると考える．また，留保効用のパラメータを$\mu=2$，チケット価格$c=1$，取引費用$\omega=0.002$，キャンセルのペナルティ率$\alpha=0.1$，総家計数$N=100$，サービスの供給数$Q=10$，割引率$\delta=0.9975$と設定した場合を標準ケースと考える．標準ケースは総家計数に対してサービスの供給数が非常に限定されており，予約を行わないとチケットを購入できなくなるリスクが無視できない程度大きいケースを想定している．**図－3**は基本ケースにおいて，購入可能確率を$\tilde{p}_0=0.8, \tilde{p}_1=0.2$に設定した場合，$v$の値と対応して$EU(v), EV(v)$がどのように変化するかを表したものである．**性質3**に示すようにvの値が大きくなるほど$EU(v)$，$EV(v)$は単調に増加することが理解できる．$\overline{v}=2.75$において$EU(\overline{v})=EV(\overline{v})$が成立する．$v<2.75$が成立するような客は，$EU(v)>EV(v)$が成立するためサービスの予約を行わない．一方，$v\geq 2.75$の場合，$EV(v)\geq EU(v)$が成立しサービスの予約をする．以上の数値計算では家計の主観確率$\tilde{p}_0,\tilde{p}_1$を与件としていた．しかし，家計の主観的期待はすべての家計の予約行動の結果として内生的に決定されるものである．以下では，**4．**



図－4　留保効用の平均・分散値と予約行動



図－5　確定効用項と予約行動



図－6　キャンセル料率と予約行動

で提案した合理的期待均衡モデルを用いて，上述のようなパラメータ値の設定の下で，個人行動の結果として内生的に決定される合理的期待を数値計算により求めてみよう．

図－4は留保効用分布のパラメータμと，時点$t=0$の均衡購入可能確率$\tilde{p}_0^*$，時点$t=1$の均衡購入可能確率$\tilde{p}_1^*$，及び臨界予約効用水準$\bar{v}$の関係を表したものである．μ以外のパラメータ値は基本ケースの値に固定している．パラメータμは指数分布の平均および分散を表しており，μが大きくなるほど留保効用の平均値・分散が大きくなる．すなわち，家計はより多くの需要側のリスクに直面することになる．需要側のリスクが大きくなると，予約を行った場合の期待効用EVが予約を行わなかった場合の期待効用EUより相対的に小さくなり，臨界予約効用水準$\bar{v}$が増加する．その結果，時点$t=0$で予約を試みる家計数が減少し，時点$t=0$における購入可能確率に関する合理的期待$\tilde{p}_0^*$は大きくなる．同様に，時点$t=1$における均衡購入可能確率$\tilde{p}_1^*$が増加する．**図－5**は家計の確定効用v^*と，$\tilde{p}_0^*$，$\tilde{p}_1^*$，及び$\bar{v}$の関係を表したものである．図に示すように確定効用は臨界予約効用水準に複雑な影響を及ぼす．確定効用水準v^*が0.8の時，臨界予約効用水準は最小値をとる．確定効用水準が0.8より増加すれば期待効用EV，EUが増加する．期待効用が増加すれば，サービスを消費を試みようとする家計数が増加する．しかし，サービスの供給数が固定されているため，時点$t=0$，及び時点$t=1$における均衡購入可能確率$\tilde{p}_0^*$，$\tilde{p}_1^*$は減少する．一方，確定効用が0.8より小さくなれば，購入可能確率が1に漸近し，予約をしなくてもほぼ確実にサービスを購入することが可能となる．その結果，かなり大きな効用値を持つ家計のみが予約を試みることとなり，臨界予約効用水準が大きな値をとるようになる．**図－6**はキャンセル時のペナルティ率αと$\tilde{p}_0^*$, $\tilde{p}_1^*$，及び$\bar{v}$の関係を表したものである．ペナルティ率が大きくなると，キャンセルによる損失リスクが大きくなり，予約を行った場合の期待効用EVが減少する．したがって，より多くの家計が予約を留保することになり，均衡購入可能確率$\tilde{p}_0$は増加する．図に示すように，ペナルティ率の変化は時点$t=1$における家計の購入行動に対しては直接的な影響を与えないものの，時点$t=1$における均衡購入可能確率$\tilde{p}_1^*$に複雑な影響を及ぼすことになる．ペナルティ率の増加は予約した場合の期待効用EVを減少させ，臨界期待効用水準$\bar{v}$を増加させる．その結果，予約時点における予約確率が減少するため，より多くの家計が時点$t=1$においてチケットの購入を試みる．それと同時に，予約者数が減少するため時点$t=1$において利用可能なチケット数は増加する．この2つの効果が同時に機能するため，ペナルティ率の変化が時点$t=1$における均衡購入可能確率に及ぼす影響に関して定性的な結論を導くことはできない．本数値計算事例では，ペナルティ率が0.3の近傍で時点$t=1$における均衡購入可能確率が最小値をとる結果となっている．以上の数値計算事例で示したように，家計が直面する意思決定環境の特性に応じて臨界予約効用水準は多様に変化することが理解できる．予約確率モデル(20)における臨界予約効用水準$\bar{v}$は定数項でありえず，この水準は合理的期待均衡のメカニズムを通じて内生的に決定される．予約者数を推計するためには，臨界予約効用水準を内生変数として含むような予約確率モデル(20)の推計方法と臨界予約効用水準を内生的に決定できるような実用的な合理的期待均衡モデルを開発することが必要になると考える．

6. おわりに

本研究では，家計の将来のサービス消費に対する予約行動をモデル化する方法を提案した．予約システムの導

入により，サービスに対してより大きな効用を持つ家計は事前にサービス消費を予約する誘因を持つ．したがって，予約システムの導入により，より大きな効用を有する家計に優先的にサービスが割り当てられることになり，サービスの割り当てメカニズムの効率化が図られる．本研究では，予約時点，利用時点という２つの離散的な時点のみを考慮するという極めて簡略化された問題設定であるが，家計の予約行動のモデル化と予約システムがもたらす効果に関して分析を試みた．本研究を通じて家計の予約行動モデルに関する１つの有効なプロトタイプを提示しえたと考えるが，今後に残された課題も多い．第１に，本研究では家計の予約行動の分析のみにとどまっているが，今後はサービス生産企業の行動も同時に考慮した市場均衡モデルの開発が必要である．現実には，事前割引制度等の多様な予約システムが導入されており，これらのシステムが社会的厚生に及ぼす影響を分析するためには，この種の市場均衡モデルの発展が不可欠である．さらに，予約システム導入の経済効果を分析する方法論を開発することも必要である．第２に，本研究では予約時点がある１時点だけに限定されるという極めて単純化された問題設定を行っていた．現実には，予約行動は随時行うことが可能であり，連続的時間次元を導入したような予約モデルを開発する必要があろう．第３に，経験的データを用いて予約確率モデルを推計する必要がある．すべての潜在的家計に対して予約行動に関するデータを獲得することは不可能であろう．一方，予約を行った家計，最終的にサービス消費を行った家計に関するデータは比較的容易に獲得できるものと考える．このように限られたデータに基づいて予約確率モデルを推計する方法を開発する必要がある．

付録I 性質２の証明

EV, EUを再掲しておこう．

$$EV = \tilde{p}_0\left\{\delta\left(\beta G(\beta) + \int_\beta^\infty \varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon + c - \alpha c - \omega\right) - c\right\} - \omega$$

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

$\tilde{p}_0 = 1, \tilde{p}_1 < 1$，$\alpha c = 0$, $\omega = 0$, $\delta = 1$が成立する場合，$v > c$の仮定より$\beta - \gamma = (1-\tilde{p}_1)(v-c) > 0$．この時，

$$EV - EU = \delta\left\{\beta G(\beta) + \int_\beta^\infty \varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon - \gamma G(\gamma) - \int_\gamma^\infty \varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon\right\}$$
$$= \delta\left\{\int_0^\infty [\max(\beta,\varepsilon) - \max(\gamma,\varepsilon)]\, g(\varepsilon)d\varepsilon\right\}$$

$\beta > \gamma$より$\max(\beta,\varepsilon) - \max(\gamma,\varepsilon) \geq 0$．したがって，$EV - EU \geq 0$が成立．$\tilde{p}_0 = 1, \tilde{p}_1 = 1$が成立する場合，$v \geq c + \omega$の仮定より$\beta - \gamma = \alpha c + 2\omega \geq 0$．$\max(\beta,\varepsilon) - \max(\gamma,\varepsilon) \leq \max(\beta-\gamma, 0)$が成立．したがって，

$$EU - EV \geq \delta\left\{\int_0^\infty [\max(\beta-\gamma,0)]\, g(\varepsilon)d\varepsilon\right\} + (1-\delta)c + \delta\alpha c + (1+\delta)\omega$$
$$\geq -\delta(\beta-\gamma) + (1-\delta)c + \delta\alpha c + (1+\delta)\omega$$
$$= (1-\delta)(c+\omega) \geq 0$$

すなわち，$EU - EV \geq 0$が成立．

付録II 性質３の証明

臨界効用$\beta = v - c + \alpha c + \omega, \gamma = \tilde{p}_1(v-c) - \omega$であり$v$の関数である．ここで，次式が成立する．

$$\frac{\partial EV}{\partial v} = \delta\left\{\tilde{p}_0\frac{\partial \beta}{\partial v}G(\beta) + \beta\frac{\partial G(\beta)}{\partial v} - \beta g(\beta)\frac{\partial \beta}{\partial v}\right\}$$
$$= \delta\tilde{p}_0 G(\beta) \geq 0$$
$$\frac{\partial EU}{\partial v} = \delta\left\{\frac{\partial \gamma}{\partial v}G(\gamma) + \gamma\frac{\partial G(\gamma)}{\partial v} - \gamma g(\gamma)\frac{\partial \gamma}{\partial v}\right\}$$
$$= \delta\tilde{p}_1 G(\gamma) \geq 0$$

したがって，次式が成立する．

$$\frac{\partial(EV - EU)}{\partial v} = \delta(\tilde{p}_0 G(\beta) - \tilde{p}_1 G(\gamma)) \geq 0.$$

また，$v \in (-\infty, \infty)$より

$$\lim_{v\to\infty} EV = \lim_{v\to\infty} \tilde{p}_0\delta v - \tilde{p}_0 c - \omega = +\infty$$
$$\lim_{v\to\infty} EU = \lim_{v\to\infty} \delta\{\tilde{p}_1(v-c) - \omega\} = +\infty$$
$$\lim_{v\to 0} EV = \tilde{p}_0\left\{\delta\left[\int_0^\infty \varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon + c - \alpha c - \omega\right] - c\right\} - \omega$$
$$\lim_{v\to 0} EU = \delta\int_0^\infty \varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon$$

が成立する．一方，次式が成立することは明白．

$$\lim_{v\to\infty}(EV - EU) = \delta(\tilde{p}_0 - \tilde{p}_1)v - (\tilde{p}_0 - \delta\tilde{p}_1)c - (1-\delta)\omega = +\infty$$
$$\lim_{v\to 0}(EV - EU) = -(1-\tilde{p}_0)\delta\int_0^\infty \varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon - \tilde{p}_0\{(1-\delta)c + \delta\alpha c + \delta\omega\} - \omega < 0$$

付録III 臨界予約効用水準の導出

εが指数分布に従う場合，$\lim_{\varepsilon\to\infty}\varepsilon\exp(-\mu\varepsilon) = 0$であることを考慮すれば，

$$\int_\beta^\infty \varepsilon g(\varepsilon)d\varepsilon = \left[-(\varepsilon+\mu)\exp\left(-\frac{\varepsilon}{\mu}\right)\right]_\beta^\infty$$
$$= (\beta+\mu)\exp\left(-\frac{\beta}{\mu}\right)$$

を得る．さらに，$G(\beta) = 1 - \exp(-\beta/\mu)$が成立．したがって，

$$EV = p_0\left\{\delta\left[v + \mu\exp\left(-\frac{\beta}{\mu}\right)\right] - c\right\} - \omega$$

が成立．同様に，

$$EU = \delta\left\{\gamma + \mu\exp\left(-\frac{\gamma}{\mu}\right)\right\}$$

が成立する．

参考文献

1) 小林潔司編著：知識社会と都市の発展, 森北出版, pp.43-48, 1999.
2) 酒井泰弘：不確実性の経済学, 有斐閣, 1982.
3) Beckmann, M.J.: Decision and team problem in airline reservation, *Econometrica*, Vol. 26, pp. 134-145, 1958.
4) Subramanian, J. and Stidham, S. Jr., and Lautenbacher, C. J.: Airline yield management with overbooking, cancellations, and no-shows, *Transportation Science*, Vol. 33, pp.147-167, 1999.
5) Chatwin, R.: Continuous-time airline overbooking with time-dependent fares and refunds, *Transportation Science*, Vol. 33, 182-191.
6) McGill, J. I. and Ryzin, G.J.V.: Revenue management: Research Overview and prospects, *Transportation Science*, Vol. 33, 233-256.
7) Sherman, R. and Visscher, M.: Nonprice rationing and monopoly price structures when demand is stochastic, *The Bell Journal of Economics*, 13, pp.254-262, 1982.
8) Harris, M. and Raviv, A.: A theory of monopoly pricing schemes with demand uncertainty, *The American Economic Review*, Vol. 71, pp.347-365, 1981.
9) Carlton, D. W.: The theory of allocation and its implication for marketing and industrial structure: why rationing is efficient?, *Journal of Law & Economics*, Vol. XXXIV, pp. 231-261, 1991.
10) Carlton, D. W.: Contracts, price rigidity, and market equilibrium, *Journal of Political Economy*, Vol. 87, pp.1034-1061, 1979.
11) Gale, I. L. and Holmes, T. J.: Advance-purchase discounts and monopoly allocation of capacity, *The American Economic Review*, Vol.83, pp. 135-146, 1993.
12) Dana, J. D. Jr.: Advance-purchase discounts and price discrimination in competitive markets, *Journal of Political Economy*, Vol. 106, pp.395-422, 1998.
13) Arrow, K.J. and Fisher, A.C.: Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 88, pp. 312-320, 1972.
14) Henry, C.: Investment decisions under uncertainty: The irreversibility effect, *American Economic Review*, Vol. 64, pp.1006-1012, 1974.
15) Conrad, J.M.: Quasi-option value and the expected value of information, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 94, pp.813-820, 1980.
16) Johansson, P.-O.: *The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits*, Cambridge University Press, 1987.
17) Pindyck, R.S.: Irreversibility, uncertainty, and investment, *Journal of Economic Literature*, Vol. 29, pp.1110-1148, 1991.
18) Schmutzler, A.: *Flexibility and Adjustment to Information in Sequential Decision Problem*, Springer-Verlag, 1991.
19) 多々納裕一: 開発保留の便益と開発戦略, 応用地域学研究, No. 3, pp.21-32, 1998.
20) Akerlof, G. A.: The economics of castle and of the rat race and other woeful tales, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 90, pp. 599-617, 1976.
21) 小林潔司, 藤高勝己: 合理的期待形成を考慮した経路選択モデルに関する研究, 土木学会論文集, 第458号/IV-18, pp.17-26, 1993.

不確実性下における家計のサービス予約行動*

松島格也**, 小林潔司*** , 小路剛志****

本研究では，供給制約があるようなサービスに対する家計の予約行動をモデル化する．家計は将来時点でサービスが購入できなくなる供給側のリスクと予約をキャンセルする可能性があるという需要側のリスクを同時に考慮してサービス予約の有無を決定する．本研究では供給側のリスクが内生的に決定されるような合理的期待均衡モデルを定式化する．さらに合理的期待均衡として定式化された家計の予約行動の特性について，数値計算を通じて分析する．

INDIVIDUAL RESERVATION BEHAVIOR UNDER UNCERTAINTY*

By Kakuya MATSUSHIMA**, Kiyoshi KOBAYASHI*** , and Takeshi ORO****

In this paper, the individual behavior to reserve services whose supply is constrained in markets is investigated. An individual is supposed to reserve services by taking into account the supply- and demand-sides risks. The former risk is formulated by probability that the individual may fails in consuming the service in future, while the latter is the one that he/she may cancel the reservation. The rational expectation equilibrium model is formulated to describe how the supply-side risk emerges from market transactions.