リアルオプション・アプローチを用いた
マイレージシステムの経済便益評価

平成１９年２月２２日

京都大学工学部地球工学科土木工学コース

菱田　憲輔

目　次

1　序論

近年，IT技術，情報技術，通信技術が大きな進歩を遂げる中，さまざまな交通料金システムが実現している．以前の磁気定期券などに代わり，新たに非接触ICチップを内蔵し，大きな情報容量を持ったICカードなど多方面での応用が期待されるものも開発され，クレジットカード，ポイントカードなどとして実用化されている．その機能を用いて，鉄道交通の分野では，ある期間ごとに一括して期間内の交通料金を支払い，その利用履歴に応じて割引が行われるという交通料金システム（以下，事後料金システムと呼ぶ）が実用化されている．また，航空交通の分野では，家計の交通機関利用に際し，出発地点と到着地点との距離･料金に応じてマイル（ポイント）が付与され，ある一定以上のマイルがたまるとある区間の航空交通サービスを無料で受けられる権利などと交換することができるという交通料金システム（以下，マイレージシステムと呼ぶ）において，貯まったマイルが交通サービス以外のサービス･商品の購入にも利用できるように進化するなどより消費者にとって利便性の高い交通料金システムが実現している．マイレージシステム（利用回数･飛行距離を考慮した料金割引システム）は，毎回一定の普通料金を支払い交通サービスを受けるような交通料金システム（以下，普通料金システムと呼ぶ）と比較して，より社会的厚生を改善し，家計･企業の両方の厚生が改善するというパレート改善はもたらされることができるのだろうか．

それぞれのシステムの存在意義について，その家計･企業に対する影響について，本研究では，先ほど挙げた交通料金システムの中から「マイレージシステム」を研究の対象とし，他のシステムとの比較を通して，分析を行いたい．

「マイレージシステム」との比較のため,「通常料金システム」,「事前料金システム」,「事後料金システム」など他の料金システムに更に説明を加える.「マイレージシステム」や「事後料金システム」では，家計のある時点での交通機関利用が将来的な交通機関利用時点の料金に影響を与えるので，家計のある時点での交通機関利用に関する意思決定において，家計に将来の交通行動を考慮したうえで意思決定するというインセンティブを与えることができる．したがって，これらの交通料金システムでは，各時点での意思決定が相互関係を持つことになるのである．一方,「普通料金システム」では，家計のある時点での交通機関利用が将来的な交通機関利用時点の料金に影響を与えないので，家計は将来の交通行動を考慮せず

に各時点での交通機関利用に関する意思決定を行うことになる．したがって,「普通料金システム」では，各時点での意思決定が相互関係を持たず独立しているといえる．

各料金システムのリスク分担構造について見ていくことにする．どのシステムにおいても共通することは，家計の将来の交通サービス需要行動を確定的に予測できないことである．ここに各システムが抱えるリスクの源泉がある．この家計の将来の交通サービス需要行動を確定的に予測できないことによるリスクを需要リスクと呼ぶことにする.「普通料金システム」では毎回の交通機関利用に関する意思決定が独立しているために家計は将来の需要行動を確定的に予測する必要はないため需要リスクにはさらされない．この場合は，企業が需要リスクを負担する.「事前料金システム」では一括して交通機関利用以前に料金を支払っているため，需要リスクのすべてを家計が負担することになる．家計は将来の需要行動を確定的に予測できないにもかかわらず，将来の交通サービスの対価を事前に支払っているためである．そして，このように家計は需要リスクのすべてを負担する代わりに料金割引を受けるのである．次に「事後料金システム」について，このシステムでは，需要リスクを家計・企業の双方が分担して負担することになる．家計は一回の交通機関利用で次回の交通機関利用料金が割り引かれるという権利を付与されることになるので，次回利用しなければその権利の効果は発揮されない．よって，需要リスクの一部を負担する．また企業は，料金が後払いであるため利用が一度もない，もしくは，ほとんどない場合に対しても常に家計が利用するための準備をしておかなくてはいけないなどの理由から需要リスクを負担することになる.「マイレージシステム」でも「事後料金システム」と似通った家計・企業間のリスク分担構造が見られる．共通する点は，交通機関利用料金が割り引かれるという権利は，次回以降利用しなければその権利の効果は発揮されないという点である．一方，異なる点は，事後料金システムの枠組みでは次回から権利の効果が発揮されるが，マイレージシステムの枠組みではある一定回数以降の利用時点でしか権利の効果が発揮されないという点である．よって，家計の立場から見ると,「事後料金システム」では次回の利用のみの需要リスクを持つのに比べ,「マイレージシステム」では次回以降の一定回数分の需要リスクも持つことになるため，需要リスクの分担割合は比較的大きくなることが考えられるのである．このように，各システムは異なったリスク分担構造を有していることになる．

本論文では，以上のような背景・問題意識を踏まえ，家計の交通利用行動の構造をモデル化し,「通常の料金システム」「事前料金システム」「マイレージシステム」の導入とそれによるリスク分担構造の変化が家計の経済厚生や企業の利潤に与える影響を比較・分析する．そして，そのモデルを発展させ，選択行動が複数回繰り返された時の家計の経済厚生や企業の利潤に与える影響を比較・分析し,「マイレージシステム」「事前料金システム」の料金システムについて考察を与える．以下，第2章では従来の研究概要のレビュー，現在のマイレージシステムの仕組みとその広がりを通して本研究の位置付けを明確にする．第3章では家計の行動モデル，第4章では独占企業行動モデルを構築し，家計・企業の交通システムをめぐる行動を解く，第5章ではそれらの結果から普通料金システム，事前料金システム，マイレージシステムの家計の厚生と社会厚生を比較分析する．

2　本研究の基本的な考え方

2.1　従来の研究概要

マイル・ポイントを用いた制度・システムに関する研究は環境に関するものがいくつか行われている．たとえば，渡邊等[1)]は，二酸化炭素の排出抑制技術の使用に対して与えられる「ape(評価単位)」の導入とそのポイントをマイルと同様に航空マイレージサービスの特典と交換できるとする施策の影響・効果についての研究などがある．土木計画学の分野においても，森川等[2)]は，環境負荷の比較的小さい公共交通機関を用いた場合などに与えられる「交通エコポイント」の導入という施策の影響・効果について認知心理額の枠組みを用いて分析している．そこではSPデータを基づいてポイントが消費行動に及ぼす影響について分析されているが，本研究のようなオプションを表現できるモデルになっていない．また，均衡論的枠組みも伴っておらずポイントが社会厚生に及ぼす影響を分析することができない．

不確実性の存在下における意思決定問題に関しては膨大な研究の蓄積があり，土木計画学の分野でも様々な研究が行われている．将来の交通機関利用により獲得できる効用に不確実性が存在する場合，交通機関利用を中止することにより「将来の意思決定時点で確定した効用に基づいて合理的な意思決定を行うことができる」というオプション価値を獲得することができる．このような不確実性の存在下における意思決定問題をリアルオプション理論を用いて理論的に評価した研究に関しても膨大な研究の蓄積がある．たとえば，織田澤等[3)4)5)6)]は，プロジェクトの事前評価・再評価問題に関し意思決定を留保するという選択肢を持つことによるオプション価値を考慮した意思決定モデルを構築し，プロジェクト評価の方法論を開発した．このようなリアルオプション理論を用いたプロジェクトに関する意思決定の評価についての研究が多く蓄積されていく一方，リアルオプション理論に基づいた交通行動に関する意思決定についての研究は事例は少ない．例えば，羽鳥等[7)]は，ドライバーのETC購入行動をリアルオプション理論を用いて定式化し，ETC普及プロセスを分析している．また，北野等[8)]は，事後割引料金システムにおける料金割引のメカニズムを，家計の割引オプション購入行動を通じて説明しようとした．この研究では意思決定機会が定期的に到着すると仮定してモデル化しているが，実際の意思決定機会の到着は不確実性を持つと考えられる．マイレージシステムのモデル化にあたって，この意思決定機会到着の不確実性はマイレージシ

ステムに家計の基の意思決定行動におけるオプションを考慮する際に必要不可欠である．よって，本研究では，意思決定機会がランダム性を持って到着し，将来到着する意思決定機会の回数を予測できないという枠組みの中で，将来のある時点において，それまでの利用回数・機会到着回数が確定した情報に基づいて意思決定する事により獲得できる，オプション価値を考慮した交通行動に関する意思決定の評価・分析を行う．

2.2 マイレージシステムの現在

マイレージシステムとは，旅行などで航空機を利用した場合などに，その飛行距離に応じて与えられるマイル（ポイント）をためて，提供される特典・サービスと交換できるという仕組みのことである．今や，ポイント先進国のアメリカだけではなく日本においても，誰にでも通用する顧客ポイントカードシステムとなってきている．公表されているデータによると，国内2社のマイレージシステムのカード発行総数は約3100万枚を越えたといわる．地理的に，日本は，アメリカなどと比べ国土が狭いため，空の交通手段である航空機よりも陸の交通手段である鉄道が主な交通手段となっており，時間的にも費用的にも鉄道の方が一般的である．このような状況の中では，一般的な家計が特典・サービスと交換できるまでの水準にマイルを獲得することは大変困難である．したがって，一定期間内にある程度の意思決定機会の発生が予測できるような家計でない限りマイレージシステムの正の影響を受けることは難しいはずである．そんな中で，上記，記したようにマイレージシステムのカード発行総数が約3100万枚を越えたという状況の裏には何があるのだろうか．日本の航空会社は，そのような状況を打開するために国際線や国内線に搭乗することでマイルが貯まる以外に，各種提携・サービスプログラムを増やすことによって，搭乗以外のマイル積算を補完する内容を充実させてきた．はじめは，航空機利用のみに対してマイルが付与されるというだけであったものが，提携先の商店，飲食店，ホテル，レンタカーやタクシーなどの利用に対してもマイルが付与されるようになり，家計にとってはよりマイルが貯めやすい状況に変化してきている．最近，マイレージシステムの新たな進化が注目されている．一つには，マイルがエディ（Edy : 電子マネー）と交換できるようになったことで，今まではマイルの交換用途が限られていたのに対し，交換用途・利用用途の幅が大幅に広がってきたことである．また，一部企業の国際的な航空会社網（スターアラ

イアンス）への加盟により世界中の航空路線の特典航空券とマイルとの交換が可能となったことである．他には，ある日本の航空会社と関西私鉄との間でＩＣカードの提携が発表され，航空交通と地上交通にまたがる大きなサービスが実現したことなどが挙げられる．

2.3 不確実性とオプション価値

家計は，自らの交通機関利用行動において，そこに存在する不確実性に対し柔軟に行動することで不確実性による負の影響を回避している．このように家計は不確実性に対し柔軟に行動する権利をもっている．この家計が行使できる権利をオプションと呼ぶ．リアルオプションアプローチは，オプションを価値評価の枠組みに組み込む点に特徴がある．これによりリアルオプションアプローチでは不確実性の正と負の影響を非対称に評価し，不確実性の正の影響を積極的に評価することができる．従来の価値評価手法であるNPV法では，不確実性の正と負の影響を対称に評価するため，家計が不確実性に対し柔軟に行動し負の影響を回避していることを価値評価に組み込めない．本研究では，オプションを考慮し，交通料金システムを評価する．今回着目する不確実性は，家計が交通機関を利用することにより獲得する効用（以下，トリップ効用と呼ぶ）に関する不確実性と交通機関利用機会の到着に関する不確実性の二つの不確実性である．トリップ効用に関する不確実性とは，トリップ効用が交通機関利用機会到着毎に異なり，あらかじめ予測できないというものである．一方，交通機関利用機会の到着に関する不確実性とは，家計に到着する交通機関利用機会の回数やタイミングが予測できず，短期間に数十回到着する可能性や長期間にほとんど到着しない可能性などのさまざまな可能性が存在するというものである．トリップ効用の不確実性に対する柔軟な行動とは，トリップ効用が小さい時は利用をせず，トリップ効用が大きい場合には利用するというように交通機関利用機会到着時に確定したトリップ効用の状況に応じて意思決定することである．一方，交通機関利用機会到着の不確実性に対する柔軟な行動とは，ある時点で確定した時刻と経験利用回数の状況に応じて意思決定することである．前者の柔軟性オプションを選択オプション、後者の柔軟性オプションをタイミングオプションと呼ぶことにする．以下，この二つのオプションを考慮し，各システムの経済便益を評価する．

3 家計行動モデル

3.1 家計行動の定式化

3.2 モデル化の前提条件

マイレージシステム加入時点0からマイルの失効期限Tまでの期間$[0,T]$内で家計の交通行動を連続モデルとしてモデル化する．その中で，家計の交通機関利用についての意思決定機会はランダムに到着する．意思決定主体である家計は初期時点から経過時間に関してランダムに生起する意思決定機会毎に「交通サービスを利用するか」,「交通サービスを利用しないか」を繰り返し決定する．ある時点の家計の状態としては,「意思決定機会が到着しない」,「意思決定機会が到着して，交通サービスを利用する」,「意思決定機会が到着して，交通サービスを利用しない」の三つの状態が考えられる.「意思決定機会が到着しない」,「意思決定機会が到着して，交通サービスを利用しない」場合，家計は効用0を獲得する．ただし，マイレージシステム利用の下では，家計は交通機関利用毎にマイルを獲得し，失効期限T内では一定以上貯まったマイルを交通機関無料利用の権利と交換できるものとする.「意思決定機会が到着して，交通サービスを利用する」場合，家計は交通機関利用料金pを支払いトリップ効用uを獲得する．トリップ効用は実際の利用以前には予測できないため，トリップ効用uは領域$(0,\infty)$で定義される確率変数である．モデルの簡単化のため，図2に示すように交通機関を利用しない」場合と「意思決定機会が到着しない」場合における家計の状態は同じと考える．ある時間の間にランダムに到着する意思決定機会の総数がポワソン分布に従うと仮定する．まずは，割引の無い通常の一定料金を支払って交通サービスを利用する家計の行動をモデル化し，そのモデルを拡張することで割引を行うシステム，事前料金システム・マイレージシステムをモデル化し，分析する．家計の交通機関利用に関する意思決定問題を，トリップを行う機会が時間に対してランダムに到着する無限期モデルを用いて定式化しよう．トリップを行う機会は第0期から契約終了時点までの期間中に0回から∞回まで存在する．ここからはランダムに到着した意思決定機会の累積回数nをもって第 n 期と表すことにする．一般的な交通料金システムでは，第0期における契約が存在せず，トリップを行うたびに一定の料金を支払うことにより交通サービスを利用する．第0期は家計の事前の厚生を評価するために論理的に設けた時点となる．この研究のテーマはマイレージシステムについてであり,

家計は第0期において交通企業と契約を締結するか否かを決定することになる．ここでは，その先でマイレージシステムを分析するため，まず毎回一定の普通料金を支払って交通サービスを利用するシステムのモデルを考えることにする．交通機関利用に対する料金は，ともにある所与の水準$p \geq 0$に設定されていると仮定しよう．基本モデルでとりあげる料金システム（以下，普通料金システムと呼ぶ）を$\Gamma(p)$と表そう．家計は到着したそれぞれの意思決定時点において，当該の交通機関を利用するのか，別の行動を利用するのかという二つの選択肢を持っている．交通サービスを利用することを選択した場合に獲得できる効用をトリップ効用と呼ぶ．トリップ効用は確率変数であり，それぞれの期のトリップ効用は当該の期首に確定する．すなわち，第１期のトリップ効用は第0期では不確実である．また，第n期のトリップ効用は，それまでの期においては不確実である．

3.3　普通料金システム

家計のある期間Tの初期時点における，家計の効用を線形間接効用関数（基本モデル）

$$\Gamma[W(p)] = Y + max\{u - p + E[W]_a, 0 + E[W]_b\} \tag{3.1}$$

で表現する．ここに，Γ（添字）は普通料金システム下にあること，Yは一般化所得，$E[W]_a$，$E[W]_b$は最初に到着した意思決定機会に交通機関を利用した場合の期待効用と利用しなかった場合の期待効用を表している．また，今回は割引率を考慮しない．線形間接効用関数の右辺第2項は家計が最初に到着した意思決定機会に交通機関を利用した場合の効用と，別の行動を利用した場合に発生する（金銭タームで表現された）効用を比較し効用が大きくなる行動を選択することを表現している．ここで，$(0, T]$において事象がx回生起する確率が以下の式で定義される$P_x(T)$（ポワソン過程）に従うと仮定する．

$$P_x(T) = \frac{(\lambda t)^x}{x!} e^{(-\lambda t)} \tag{3.2}$$

と，ある時間tにおける家計の意思決定機会到着を表現した基本モデル（普通料

金システム）は以下のように表すことができる．

$$\left.\begin{array}{ll}\text{意思決定機会が到着する} & \text{確率}p_1(\Delta t)\text{の時}\\ \text{到着しない} & \text{確率}1-p_1(\Delta t)\text{の時}\end{array}\right\} \tag{3.3}$$

$$E^{\Gamma}[W]_l^t = \begin{cases}\max\{u-p+E^{\Gamma}[W]_{l+1}^{t+\Delta t}, 0+E^{\Gamma}[W]_l^{t+\Delta t}\} & \text{交通機関意思決定機会が到着する時}\\ E^{\Gamma}[W]_l^{t+\Delta t} & \text{到着しない時}\end{cases} \tag{3.4}$$

ここで，ある時点tにあり，経験利用回数がl回の家計の期待効用と，そのΔt時間後の家計の期待効用との関係をに表現しよう．ここからは，$E^{\Gamma}[W]_l^t$をある時点$0 \leq t \leq T$において利用経験回数が$l(l=0,1,2\cdots)$である家計の時刻tにおける期待効用として表現する．その関係を以下に示す．ただし，lは任意の整数であり，$l \in [0,\infty]$である．

家計に残されている失効期限（満期）までの残り時間が$T-t$として表現できる．$P_1(\Delta t)$はΔt時間の間に意思決定機会が到着する確率であり，$1-P_1(\Delta t)$はΔt時間の間に意思決定機会が全く到着しない確率を表現している．ここでは，Δtが微小であり，この間に二回以上の意思決定機会の到着はないこととしている．$E^{\Gamma}[W]_l^{t+\Delta t}$は$\Delta t$時間の間に意思決定機会が全く到着しない場合の期待効用である．また，$\max\{u-p+E^{\Gamma}[W]_{l+1}^{t+\Delta t}, 0+E^{\Gamma}[W]_l^{t+\Delta t}\}$とは，$\Delta t$時間の間に意思決定機会が到着する場合には，その時点で確定するトリップ効用を考慮して，利用するか否かの意思決定をすることを示しており，意思決定は以後の期待効用が大きくなる選択肢を選ぶことになる．

普通料金システムでは過去の利用経験回数はある時点での交通機関利用の意思決定には無関係であるので，その時点での期待効用は時間にのみ関係する．したがって，以下の式が成り立つと考える．

$$E^{\Gamma}[W]^{t+\Delta t} = E^{\Gamma}[W]_l^{t+\Delta t} = E^{\Gamma}[W]_{l+1}^{t+\Delta t} \tag{3.5}$$

この関係式を用いて式(3.3)(3.4)で表現した，ある時点tにあり経験利用回数がm回の家計の期待効用と，そのΔt時間後の家計の期待効用との関係を数学的に記述すると以下のようになる．

$$\begin{aligned}E^{\Gamma}[W]_l^t =& P_1(\Delta t)\{\int_{\alpha_l^{t+\Delta t}}^{\infty}(u-p+E[W]_{l+1}^{t+\Delta t})f(u)du + \int_0^{\alpha_l^{t+\Delta t}}(0+E^{\Gamma}[W]_l^{t+\Delta t})f(u)du\}\\ &+\{1-P_1(\Delta t)\}E^{\Gamma}[W]_l^{t+\Delta t}\end{aligned} \tag{3.6}$$

ここで，閾値$\alpha_l^{t+\Delta t}$は，Δt時間の間に意思決定機会が到着した時点に，交通サービスを利用した場合としなかった場合との期待効用が無差別になるような効用であるから以下の式を満たす.

$$\alpha_l^{t+\Delta t} - p + E^{\Gamma}[W]_{l+1}^{t+\Delta t} = E^{\Gamma}[W]_l^{t+\Delta t} \tag{3.7}$$

ここで，$E^{\Gamma}[W]^{t+\Delta t} = E^{\Gamma}[W]_l^{t+\Delta t} = E^{\Gamma}[W]_{l+1}^{t+\Delta t}$ より，次式が成り立つ.

$$p = \alpha_l^{t+\Delta t} \tag{3.8}$$

これらの式を用いて表すと式(3.5)は以下のようになる.

$$\begin{aligned} E^{\Gamma}[W]_l^t =& P_1(\Delta t)\{\int_p^{\infty}(u - p + E^{\Gamma}[W]^{t+\Delta t})f(u)du + \int_0^p (0 + E^{\Gamma}[W]^{t+\Delta t})f(u)du\} \\ &+\{1 - P_1(\Delta t)\}E^{\Gamma}[W]^{t+\Delta t} \end{aligned} \tag{3.9}$$

ここで，確率密度関数$f(u)$の平均を以下のように表せる.

$$\int_0^{\infty} uf(u)du = \frac{1}{\mu} \tag{3.10}$$

式(3.10)を用いて式(3.10)は最終的に以下のように展開できる.

$$E^{\Gamma}[W]^t - E^{\Gamma}[W]^{t+\Delta t} = P_1(\Delta t)\{-p + \int_0^p F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.11}$$

式(3.2)より$P_1(\Delta t)$は以下のように展開できるから

$$P_1(\Delta t) = \lambda \Delta t e^{-\lambda \Delta t} \tag{3.12}$$

式(3.12)を式(3.11)に代入して，両辺をΔtで割ると

$$\frac{E^{\Gamma}[W]^{t+\Delta t} - E^{\Gamma}[W]^t}{\Delta t} = -\lambda e^{-\lambda \Delta t}\{-p + \int_0^p F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.13}$$

極限$\Delta t \to 0$とすると，

$$\frac{dE^{\Gamma}[W]^t}{dt} = -\lambda\{-p + \int_0^p F(u)du + \frac{1}{\mu} \tag{3.14}$$

dtを両辺にかけ，0からTまで積分すると，

$$E^{\Gamma}[W]^T - E^{\Gamma}[W]^0 = -\lambda T\{-p + \int_0^p F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.15}$$

$E[W]^T$が0であるから，

$$E^{\Gamma}[W]^0 = \lambda T\{-p + \int_0^p F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.16}$$

以下では，この基本モデルを拡張して，事前料金システム，マイレージシステムをモデル化し，分析する．

3.4 事前料金システム

ここまで，交通機関利用を一定の料金を支払って行う通常料金システムをモデル化し，定式化した．ここではまず，比較的定式化が容易な事前料金システムを定式化しよう．ある時点tにあり，経験利用回数がl回の家計の期待効用と，そのΔt時間後の家計の期待効用との関係を表現しよう．ここからは，$E[W]_l^t$をある時点$0 \leq t \leq T$において利用経験回数が$l(l=0,1,2\cdots)$である家計の時刻tにおける期待効用として表現する．その関係を以下に示す．

事前料金システムとは，例えば定期券である．これは，交通機関利用以前の段階で料金をあらかじめ支払い，ある一定期間の交通機関利用を無料で無限に行うことができるものである．従って，これを定式化する際には，事前に支払う料金と毎回の利用料金について通常料金システムとは違った表現をする必要がある．よって，ここでは事前に支払う料金をP，毎回の利用料金を0として定式化する．また，ある時点で交通サービスの意思決定機会が到着する際，事前に料金を支払っているので交通機関利用を行わないという行動のインセンティブは働かないとする．ただし，Φ（添字）は事前料金システム下にあることを表している．

$$\left.\begin{array}{ll} \text{意思決定機会が到着する} & \text{確率}\, p_1(\Delta t)\,\text{の時} \\ \text{到着しない} & \text{確率}\, 1-p_1(\Delta t)\,\text{の時} \end{array}\right\} \tag{3.17}$$

$$\left.\begin{array}{ll} \max\{u + E^{\Phi}[W]_{l+1}^{t+\Delta t}, 0 + E^{\Phi}[W]_l^{t+\Delta t}\} & \text{意思決定機会が到着する時} \\ E^{\Phi}[W]_l^{t+\Delta t} & \text{到着しない時} \end{array}\right\} \tag{3.18}$$

事前料金システムにおいても過去の利用経験回数はある時点での交通機関利用の意思決定には無関係であるので，その時点での期待効用は時間にのみ関係する．したがって，以下の式が成り立つと考えられる．

$$E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t} = E^{\Phi}[W]_{l}^{t+\Delta t} = E^{\Phi}[W]_{l+1}^{t+\Delta t} \tag{3.19}$$

ある時点tにあり経験利用回数がl回の家計の期待効用と，そのΔt時間後の家計の期待効用との関係を数学的に記述すると以下のようになる．

$$\begin{aligned} E^{\Phi}[W]^{t} =& P_1(\Delta t)\{\int_{\alpha^{t+\Delta t}}^{\infty}(u-0+E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t})f(u)du + \int_{0}^{\alpha^{t+\Delta t}}(0+E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t})f(u)du\} \\ &+\{1-P_1(\Delta t)\}E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t} \end{aligned} \tag{3.20}$$

ここで，閾値$\alpha^{t+\Delta t}$は，Δt時間の間に意思決定機会が到着した時点に，交通サービスを利用した場合としなかった場合との期待効用が無差別になるような効用であるから以下の式を満たす.

$$\alpha^{t+\Delta t} - 0 + E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t} = E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t} \tag{3.21}$$

したがって，

$$\alpha^{t+\Delta t} = 0 \tag{3.22}$$

これらの式を用いて表すと式(3.21)は以下のようになる．

$$\begin{aligned} E^{\Phi}[W]^{t} =& P_1(\Delta t)\int_{0}^{\infty}(u-0+E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t})f(u)du \\ &+\{1-P_1(\Delta t)\}E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t} \end{aligned} \tag{3.23}$$

これを解くと，

$$E^{\Phi}[W]^{t} - E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t} = P_1(\Delta t)\frac{1}{\mu} \tag{3.24}$$

式(3.2)より$P_1(\Delta t)$は以下のように展開できるから

$$P_1(\Delta t) = \lambda\Delta t e^{-\lambda\Delta t} \tag{3.25}$$

式(3.25)を式(3.24)に代入して，両辺をΔtで割ると

$$\frac{E^{\Phi}[W]^{t+\Delta t}-E^{\Phi}[W]^{t}}{\Delta t}=-\lambda e^{-\lambda\Delta t}\{\frac{1}{\mu}\} \tag{3.26}$$

極限$\Delta t\rightarrow 0$とすると，

$$\frac{dE^{\Phi}[W]^{t}}{dt}=-\frac{\lambda}{\mu} \tag{3.27}$$

dtを両辺にかけ，0からTまで積分すると，

$$E^{\Phi}[W]^{T}-E^{\Phi}[W]^{0}=-\frac{\lambda}{\mu}T \tag{3.28}$$

$E^{\Phi}[W]^{T}$が0であるから，

$$E^{\Phi}[W]^{0}=\frac{\lambda}{\mu}T \tag{3.29}$$

したがって，事前料金システムを利用した場合の，家計厚生を線形間接効用関数で表すと以下のようになる．

$$U^{\Phi}=Y-P+\frac{\lambda}{\mu}T \tag{3.30}$$

3.5　マイレージシステム

これを定式化する際には，支払うべき料金がpの時，0の時を区別して，通常料金システムとは異なった表現をする必要がある．よって，ここでは毎回支払う料金をp，または0として定式化する．しかし，ここで扱うモデルはマイレージシステムすべてを表現できるわけではないことを断っておく．

ある時点tにあり，経験利用回数がl回の家計の期待効用と，そのΔt時間後の家計の期待効用との関係を表現しよう．交通機関利用を無料で行える権利は利用回数がk回累積する毎に家計に与えられるとする．

まずは，ある時点tにあり，経験利用回数がnk（kの倍数）回の家計の期待効用と，そのΔt時間後の家計の期待効用との関係を表現しよう．ただし，Ω（添字）はマイレージシステム下にあることを表している．

$$\left.\begin{array}{ll}\text{意思決定機会が到着する} & \text{確率}p_1(\Delta t)\text{の時}\\ \text{到着しない} & \text{確率}1-p_1(\Delta t)\text{の時}\end{array}\right\} \tag{3.31}$$

$$\left.\begin{array}{ll}\max\{u+E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l+1=nk+1}, 0+E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=nk}\} & \text{意思決定機会が到着する時}\\ E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=nk} & \text{到着しない時}\end{array}\right\} \tag{3.32}$$

次に，ある時点tにあり，経験利用回数がnk（kの倍数）回以外の家計の期待効用と，そのΔt時間後の家計の期待効用との関係を表現しよう．aは$k>a$となる自然数とする．

$$\left.\begin{array}{ll}\text{意思決定機会が到着する} & \text{確率}p_1(\Delta t)\text{の時}\\ \text{到着しない} & \text{確率}1-p_1(\Delta t)\text{の時}\end{array}\right\} \tag{3.33}$$

$$\left.\begin{array}{ll}\max\{u+E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l+1=nk+a+1}, 0+E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=nk+a}\} & \text{意思決定機会が到着する時}\\ E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=nk+a} & \text{到着しない時}\end{array}\right\} \tag{3.34}$$

以上の関係から以下の関係式が求まる．

$$E^{\Omega}[W]^{t}_{l=nk} = \lambda\Delta t e^{(-\lambda\Delta t)}\{-\alpha^{t}_{l=nk} + \int_0^{\alpha^{t}_{l=nk}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} + E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=nk} \tag{3.35}$$

ただし，

$$\alpha^{t}_{l=nk} = E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=nk} - E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=nk+1} \tag{3.36}$$

$$E^{\Omega}[W]^{t}_{l=nk+a} = \lambda\Delta t e^{(-\lambda\Delta t)}\{-\alpha^{t}_{l=nk+a} + \int_0^{\alpha^{t}_{l=nk+a}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} + E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=nk+a} \tag{3.37}$$

ただし，

$$\alpha^{t}_{l=nk+a} = E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=nk+a} - E[W]^{t+\Delta t}_{l=nk+a+1} + p \tag{3.38}$$

しかし，本来，交通サービス無料利用の権利を保有した家計は，$-p$の料金を支払って交通サービスを利用しトリップ効用uを得るという選択肢・0の不効用を得て当該交通機関利用以外の行動をとるという選択肢・無料利用の権利を行使するこ

とで交通サービスを利用しトリップ効用uを得るという選択肢，以上の三つの選択肢の中から選択するはずである．家計は，貯まったマイルを交通サービス無料利用の権利と交換するが，次回意思決定機会が到着し交通サービスを利用するという意思決定を行った場合に，その権利を必ず行使する必要はない．つまり，義務ではない．家計は，その時点の交通機関利用を普通料金を支払って交通サービスを利用するという選択肢も持っているのである．本来は，このような交通サービス無料利用の権利に存在する行使時点・タイミングに関する柔軟性・オプションには価値が存在するはずである．しかし，本研究では，交通サービス無料利用の権利を次回必ず行使することが最適であると内生的にもとまることを想定してモデル化し，評価・分析を行っている．

本研究で扱うマイレージシステムにおいては，上記で一般化して表現したモデルにおいて，$n=1$として，また，$l(l=1,2,\cdots,k+1)$としてモデル化し表現する．こうして，第一区間のモデルが評価できれば，第二区間，第三区間$\cdots$，はすべて時間の制約（失効期限）を変化させたモデルで表現できる．

ある時点tにあり，経験利用回数がk回の家計の期待効用と，そのΔt時間後の家計の期待効用との関係を表現しよう．経験利用回数がk回の家計の状況を以下で状況1と呼ぶことにする．ただし，$l(l=1,2,\cdots,k+1)$

$$\left.\begin{array}{ll}\text{意思決定機会が到着する} & \text{確率}\,p_1(\Delta t)\,\text{の時}\\ \text{到着しない} & \text{確率}\,1-p_1(\Delta t)\,\text{の時}\end{array}\right\}\tag{3.39}$$

$$\left.\begin{array}{ll}\max\{u+E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l+1=k+2},0+E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=k+1}\} & \text{意思決定機会が到着する時}\\ E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=k+1} & \text{到着しない時}\end{array}\right\}\tag{3.40}$$

次に，ある時点tにあり，経験利用回数がk回以外の家計の期待効用と，そのΔt時間後の家計の期待効用との関係を表現しよう．aは$k\geq a$となる自然数とする．経験利用回数がk回以外の家計の状況を状況2と呼ぶことにする．

$$\left.\begin{array}{ll}\text{意思決定機会が到着する} & \text{確率}\,p_1(\Delta t)\,\text{の時}\\ \text{到着しない} & \text{確率}\,1-p_1(\Delta t)\,\text{の時}\end{array}\right\}\tag{3.41}$$

$$\left.\begin{array}{ll} \max\{u-p+E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l+1=a+1}, 0+E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=a}\} & \text{意思決定機会が到着する時} \\ E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=a} & \text{到着しない時} \end{array}\right\} \tag{3.42}$$

以上の関係から以下の関係式が求まる.

$$E^{\Omega}[W]^{t}_{l=k+1} = \lambda \Delta t e^{(-\lambda\Delta t)}\{-\alpha^{t}_{l=k+1} + \int_0^{\alpha^t_{l=k+1}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} + E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=k+1} \tag{3.43}$$

ただし,

$$\alpha^{t}_{l=k+1} = E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=k+1} - E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=k+2} \tag{3.44}$$

$$E^{\Omega}[W]^{t}_{l=a} = \lambda \Delta t e^{(-\lambda\Delta t)}\{-\alpha^{t}_{l=a} + \int_0^{\alpha^t_{l=a}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} + E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=a} \tag{3.45}$$

ただし,

$$\alpha^{t}_{l=a} = E[W]^{t+\Delta t}_{l=a} - E[W]^{t+\Delta t}_{l=a+1} + p \tag{3.46}$$

状況1の式(3.39)(3.40)より,

$$E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=k+1} - E^{\Omega}[W]^{t}_{l=k+1} = -\lambda \Delta t e^{(-\lambda\Delta t)}\{-\alpha^{t}_{l=k+1} + \int_0^{\alpha^t_{l=k+1}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.47}$$

式(3.47)の両辺をΔtで割ると,

$$\frac{E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=k+1} - E^{\Omega}[W]^{t}_{l=k+1}}{\Delta t} = -\lambda e^{(-\lambda\Delta t)}\{-\alpha^{t}_{l=k+1} + \int_0^{\alpha^t_{l=k+1}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.48}$$

$\Delta t \to 0$として極限をとると,

$$\frac{dE[W]^{t}_{l=k+1}}{dt} = -\lambda\{-\alpha^{t}_{l=k+1} + \int_0^{\alpha^t_{l=k+1}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.49}$$

ただし,

$$\alpha^{t}_{l=k+1} = E[W]^{t}_{l=k+1} - E[W]^{t}_{l=k+2} \tag{3.50}$$

ここで, $k+1$回以降の交通行動は考えないから, その時点からの期待効用は0となる.

$$E^{\Omega}[W]^{t}_{l=k+2} = 0 \tag{3.51}$$

以上から

$$\frac{dE^{\Omega}[W]^t_{l=k+1}}{dt} = -\frac{\lambda}{\mu}e^{-\mu E^{\Omega}[W]^t_{l=k+1}} \tag{3.52}$$

これを境界条件$E^{\Omega}[W]^T_{l=k+1}=0$を用いて解くと，

$$E[W]^t_{l=k+1} = \frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda(T-t)\} \tag{3.53}$$

また，状況2の式(3.41)(3.42)より，

$$E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=a} - E^{\Omega}[W]^t_{l=a} = -\lambda\Delta t e^{(-\lambda\Delta t)}\{-\alpha^t_{l=a} + \int_0^{\alpha^t_{l=a}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.54}$$

式(3.55)の両辺をΔtで割ると，

$$\frac{E^{\Omega}[W]^{t+\Delta t}_{l=a} - E^{\Omega}[W]^t_{l=a}}{\Delta t} = -\lambda e^{(-\lambda\Delta t)}\{-\alpha^t_{l=a} + \int_0^{\alpha^t_{l=a}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.55}$$

$\Delta t \to 0$として極限をとると，

$$\frac{dE[W]^t_{l=a}}{dt} = -\lambda\{-\alpha^t_{l=a} + \int_0^{\alpha^t_{l=a}} F(u)du + \frac{1}{\mu}\} \tag{3.56}$$

ただし，

$$\alpha^t_{l=a} = E^{\Omega}[W]^t_{l=a} - E^{\Omega}[W]^t_{l=a+1} + p \tag{3.57}$$

式(3.56)を$F(u)$が指数分布の確率密度関数の分布関数として計算すると，

$$\frac{dE^{\Omega}[W]^t_{l=a}}{dt} = -\frac{\lambda}{\mu}e^{-\mu\alpha^t_{l=a}} \tag{3.58}$$

式(3.57)から

$$\begin{aligned}\frac{dE^{\Omega}[W]^t_{l=a}}{dt} &= -\frac{\lambda}{\mu}e^{-\mu\{E^{\Omega}[W]^t_{l=a} - E^{\Omega}[W]^t_{l=a+1} + p\}} \\ &= -\frac{\lambda}{\mu}e^{-\mu E^{\Omega}[W]^t_{l=a}}e^{-\mu\{p - E[W]^t_{l=a+1}\}}\end{aligned} \tag{3.59}$$

式の簡略化のため，

$$A^t_{l=a+1} = e^{-\mu\{p - E^{\Omega}[W]^t_{l=a+1}\}} \tag{3.60}$$

とおくと，式(3.60)は

$$\frac{dE[W]^t_{l=a}}{dt} = -\frac{\lambda}{\mu}A^t_{l=a+1}e^{-\mu E[W]^t_{l=a}} \tag{3.61}$$

となる．これを境界条件$E[W]^T_{l=a}=0$を用いて解くと，

$$E^{\Omega}[W]^t_{l=a}=\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda A^t_{l=a+1}(T-t)\} \tag{3.62}$$

ここで，

$$E[W]^t_{l=a+1} \tag{3.63}$$

は，$E[W]^t_{l=k+1}$が求まっており，動学的に解くことで常に求まっている．したがって，式(3.60)(3.61)(3.62)から$E^{\Omega}[W]^t_{l=a}$に関する常微分方程式が得られる．したがって，これを解けば$E^{\Omega}[W]^t_{l=a}$が求まる．ただし，$a(a=1,2\cdots k)$である．$f(u)$は指数分布に従うとしている．まず，$k=2$として解くことで，解の規則性を見る．$E^{\Omega}[W]^t_{l=3}$，$E^{\Omega}[W]^t_{l=2}$，$E^{\Omega}[W]^t_{l=1}$を順に解いていく．

$$E^{\Omega}[W]^t_{l=3}=\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda(T-t)\} \tag{3.64}$$

$$E^{\Omega}[W]^t_{l=2}=\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda A^t_{l=3}(T-t)\} \tag{3.65}$$

ただし，

$$A^t_{l=3}=\exp[-\mu\{p-\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda(T-t)\}\}] \tag{3.66}$$

$$E^{\Omega}[W]^t_{l=1}=\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda A^t_{l=2}(T-t)\} \tag{3.67}$$

ただし，

$$A^t_{l=2}=\exp[-\mu\{p-\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda\exp[-\mu\{p-\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda(T-t)\}\}](T-t)\}\}] \tag{3.68}$$

式(3.67)(3.68)において$t=0$とすると初期時点からの期待効用$E[W]^0_{l=1}$が以下のように求まる．

$$E[W]^0_{l=1}=\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda A^0_{l=2}(T)\} \tag{3.69}$$

ただし，

$$A^0_{l=2}=\exp[-\mu\{p-\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda\exp[-\mu\{p-\frac{1}{\mu}\log\{1+\lambda(T)\}\}](T)\}\}] \tag{3.70}$$

4 数値計算事例

4.1 家計厚生

4.1.1 普通料金システム

式(3.16)内の確率分布関数の確率密度関数$f(u)$が指数分布に従うとして計算すると，家計の厚生水準$U^{\Gamma}[W(p)]$は

$$U^{\Gamma}[W(p)] = Y + \lambda T \frac{e^{-\mu p}}{\mu} \tag{4.1}$$

で表される．

4.1.2 事前料金システム

システムの違いを評価するため普通料金システムで利用ごとに支払う料金総額と事前料金システムで事前に支払う料金を同じにする．式(3.30)内の事前料金$P = \lambda T p$として計算すると，家計の厚生水準$U^{\Phi}[W(p)]$は

$$U^{\Phi}[W(p)] = Y + \lambda T \frac{1 - \mu p}{\mu} \tag{4.2}$$

で表される．

4.1.3 マイレージシステム

ここでもシステムの違いを評価するため普通料金システムで利用ごとに支払う料金総額とマイレージシステムで支払う料金総額を同じにする．以下の式におけるp_{mile}は，普通料金システム下での家計の支払総額とマイレージシステム下での家計の支払総額が同様になるようにp^*に対して求められたものである．例えば，9回利用する度に1回分の無料利用の権利が付与される場合，$p_{mile} = \frac{10}{9}p^*$として設定することになる．

$$U^{\Omega}[W(p_{mile})] = Y + \frac{log\{1 + \lambda T A(p_{mile})\}}{\mu} \tag{4.3}$$

ただし，$A(p_{mile})$は3.5で示した係数で，マイレージ料金p_{mile}の関数である．

4.1.4 家計の厚生水準比較

ここで，以上で求めた各システムにおける家計の厚生水準を整理する．また，各料金システム下での家計の支払料金総額が等しくなるように調整するため，P(事前料金) $= \lambda Tp$,$p_{mile} = \frac{k+1}{k}p$と設定する．ただし，$k$はマイレージシステム下で無料利用の権利を獲得するために必要な利用回数である．

$$U^{\Gamma}[W(p)] = Y + \lambda T\frac{e^{-\mu p}}{\mu} \qquad \text{普通料金システム} \tag{4.4}$$

$$U^{\Phi}[W(p)] = Y + \lambda T\frac{1-\mu p}{\mu} \qquad \text{事前料金システム} \tag{4.5}$$

$$U^{\Omega}[W(p_{mile})] = Y + \frac{log\{1+\lambda TA(p_{mile})\}}{\mu} \qquad \text{マイレージシステム} \tag{4.6}$$

ただし，p, p_{mile}, μは$p_{mile} > p > 0$,$1 \geq \mu \geq 0$である．

(1) $\Gamma[W(p)]$,$\Phi[W(p)]$の比較普通料金システム下と事前料金システム下の家計の厚生水準の差は以下の式で表される．

$$U^{\Gamma}[W(p)] - U^{\Phi}[W(p)] = \frac{\lambda T}{\mu}\{e^{-\mu p} - 1 + \mu p\} \tag{4.7}$$

ただし，p,μは$m \geq p \geq 0$，$1 \geq \mu \geq 0$である．

(2) $U^{\Omega}[W(p_{mile})], U^{\Gamma}[W(p)]$の比較マイレージシステム下と普通料金システム下の家計の厚生水準の差は以下の式で表される．

$$U^{\Omega}[W(p_{mile})] - U^{\Gamma}[W(p)] = \frac{log\{1+\lambda TA(p_{mile})\}}{\mu} - \frac{\lambda T}{\mu}\{e^{-\mu p}\} \tag{4.8}$$

ただし，p,μは$m \geq p \geq 0$，$1 \geq \mu \geq 0$である．

(3) $U^{\Omega}[W(p_{mile})], U^{\Phi}[W(p)]$の比較マイレージシステム下と事前料金システム下の家計の厚生水準の差は以下の式で表される．

$$U^{\Omega}[W(p_{mile})] - U^{\Phi}[W(p)] = \frac{log\{1+\lambda TA(p_{mile})\}}{\mu} - \frac{\lambda T}{\mu}\{1 - \mu p\} \tag{4.9}$$

ただし，p,μは$m \geq p \geq 0$，$1 \geq \mu \geq 0$である．

(4)　数値計算

以下では，(1)(2)(3)により定義された各システム間の効用水準の差を，数値計算事例によって分析することにする．一つの事例として，9回の利用で1回の無料利用の権利が付与されるマイレージシステムを用いて計算を行う．料金総額が同じになるよう，$p_{mile} = 100.0, p = 90.0$，初期時点から失効期限までの時間間隔を$T = 100.0$と定数として設定する．また，家計の異質性を考慮するために，期待トリップ効用$1/\mu$と利用機会到着率λを変数として計算を行う．なお，マイレージシステム下における家計の期待効用$E[W]_{l=1}^{t=0}$を求める際には，便宜上,交通機関利用回数の最大値として十分大きな値Mを定数として与えて$E[W]_{l=M}^{t}$を求め,そこから任意のtにおける$E[W]_{l}^{t}(0 < l < M)$を漸化に求めている．

(5)　数値計算結果の考察

家計に存在する交通機関利用機会到着率の異質性，つまり，到着率の違いに関わらず，事前料金システム下での家計厚生が最も低くなるという結果となった．また，式(4.3)を見てもわかるように，$1/\mu < p$となる場合には図－3のように，期待効用が負の値をとることになるため，このような場合は家計は確実に事前料金システムを選択しない．一方，普通料金システム下，マイレージシステム下の家計厚生比較の中では，利用機会到着率がある一定値よりも小さい場合，普通料金システム下の家計厚生がマイレージシステム下の家計厚生を上回り，利用機会到着率がある一定値よりも大きい場合，普通料金システム下の家計厚生がマイレージシステム下の家計厚生を下回るという結果を得た(図－4,5)．これは，あまりに家計に到着する交通機関利用機会の到着回数が少ない場合，マイレージシステム下の家計には無料利用の権利を獲得するまでに失効期限が訪れることになるからであると推測できる．つまり，到着率の低い家計の交通料金システム選択の最適な意思決定は，普通料金システムを選択することであるとわかる．一方，ある程度の到着率を持つ家計にとっては，マイレージシステムを選択することが最適な選択であることがわかる．この結果は，期待トリップ効用にはよらないことがわかっている．この期待トリップ効用の違いは，マイレージシステムを選択することが最適となる場合と普通料金システムを選択することが最適となる場合が無差別となる臨界到着率に多少の変化を与えるが，無差別となる点が存在することは変わらない．ただし，期待トリップ効用が大きいほど臨界到着率は大きくなり，期待トリップ効用が小さいほど臨界到着率は小さくなり0に収束することもわかった．この期待トリッ

プ効用と臨界到着率の関係は図6に示す.

5 結論

5.1 おわりに

本研究では，交通サービス利用毎に料金を支払いサービスを受けるような普通料金システム，定期券のように交通サービス利用以前に料金を一括して支払い一定期間内自由に交通サービスを受けられる事前料金システム，料金を利用毎に支払い，その利用に対してマイルが付与され，蓄積されたマイルを交通サービス無料利用の権利と交換できるマイレージシステム，という三つの料金システムを取り上げた．リアルオプションアプローチにより各交通料金システム下における，不確実性下の家計交通行動をモデル化すると共に家計が獲得する期待効用を定義した交通機関利用機会の到着に不確実性を持たせたモデルを用いて交通料金システムを分析してきた．この到着機会の不確実性をモデルに組み込んだことでマイレージシステムの価値評価の中で，タイミングオプション価値を評価することができた．数値計算事例を通じて交通機関利用機会の到着率によって，家計の交通料金システム関する最適な選択が異なるとわかった．一方，家計にとって事前料金システムは最適な選択にはならないこともわかった．さらに，到着率が大きい家計ほどマイレージシステム利用が有利な選択になることが示された．

5.2 今後の課題

本研究では，家計行動の分析のみにとどまっているが，今後は交通サービスを提供する企業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．マイレージシステムの導入が社会構成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必要である．また，マイレージ制度導入の大きな目的であると考えられる家計の囲い込みの効果を明らかにするためには，寡占市場を想定することが必要である．

付録I　証明

1）{式(3.56)の解法}

今回トリップ効用は確率密度関数$f(u)$に従うとし，それが指数分布に従うとした．そのため$F(u)=1-e^{-\mu u}$となるから，$\int_0^{\alpha_{l=a}^t} F(u)du = \alpha_{l=a}^t - \frac{1}{\mu} + \frac{e^{-\mu u}}{\mu}$となる．

参考文献

1) 渡邊良夫，岡田仁志：航空マイレージサービスをコアとした環境マネー，NII Journal No. 8 2004.
2) 倉内慎也，永瀬貴俊，森川高行，山本俊行，佐藤仁美：公共交通利用に対するポイント制度「交通エコポイント」への参加意向および交通手段選択に影響を及ぼす意識要因の分析，土木計画学研究・論文集　No. 23 no. 2 2006.
3) 織田澤利守，小林潔司：プロジェクトの事前評価と再評価，土木学会論文集 No. 737／IV-60，189-202，2003.
4) 織田澤利守，小林潔司：不確実性下におけるプロジェクトの最適評価・実施タイミング，都市計画論文集　No. 38-3　2003.
5) 織田澤利守，小林潔司，松田明広：評価費用を考慮したプロジェクトの事前・再評価問題，土木学会論文集　No. 751/IV-62，97-110，2004.
6) 織田澤利守，四辻裕文，小林潔司：遅延リスクとプロジェクト評価，第20回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論講演集　2002.
7) 羽鳥剛史，安野貴人，小林潔司：通時的金銭外部性と意思決定費用を考慮したETC普及メカニズム，土木計画学研究・論文集　Vol. 22 No. 1 2005.
8) 北野喜正，西田純二，小林潔司，松島格也：事前・事後割引料金システムの経済評価，土木学会論文集D　Vol. 62 No. 4，638-656，2006.
9) 松島格也，小林潔司，小路剛志：不確実性下におけるサービス予約行動，土木計画学研究論文集　No. 17　2000.
10) 長谷川専，織田澤利守，小林潔司：遅延リスクを考慮した公共事業の事前・再評価.
11) Michael Lewis:TheInfluence of Loyality Program and Short-term Promotions on Customer Retention，Journal of Marketing Research Vol. XLI 281- 292 2004.
12) Gail Ayala Taylor，Scott A. Neslin:The current and future sales impact of a retail frequency reward program，Jarnal of retailing 81，293-305，2005.