

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*

Diffusion Mechanism of ETC with Diachronic Pecuniary Externalities and Decision-making Costs*

羽鳥剛史**・安野貴人*** 小林潔司****

by Tsuyoshi HATORI**, Takato YASUNO*** and Kiyoshi KOBAYASHI****

1. はじめに

ETC (Electronic Toll Collection System) は有料道路の料金支払いの迅速化を図るシステムとして、平成13年に本格的な運用が開始された。ETCシステムの導入により、料金支払いの効率化だけでなく、渋滞緩和、大気環境や騒音等の環境負荷の軽減、料金制度の弾力的運用、スマートIC (インターチェンジ) 等、多種多様な効果が期待されている。また、路車間情報システムを活用したサービスへの展開等、高度道路交通システム (ITS) を構成する重要な要素に位置づけられている¹⁾。

このため、現在、ETC車載器価格の減額措置や料金割引等、ETC車載器の普及に向けた種々の取り組みが実施されており、ETC車載器のセットアップ台数も増加傾向にある。平成17年1月現在、ETC車載器の普及台数 (セットアップ累積台数) が全国で500万台を超えたことが報告されている¹⁾。しかしながら、全自動車保有台数に占めるETC登録件数の割合で見ると、僅か6.4%程度であり、社会全体の中でのETCの普及は低水準に留まっている。また、地域によるETC普及の格差やETC購入者が有料道路を高頻度で利用する特定の属性に偏っている問題が指摘されている²⁾。今後、ETCシステムを活用し、前述したような交通サービスの多角的な展開を図る上では、社会における多様なドライバー全体を対象として、ETC車載器の普及を達成することが求められる。

ETCは新しい技術であり、普及率の増加に伴う価格低下が期待される。ただし、導入段階においてETC車載器 (以下、単にETCと呼ぶ) の購入費用が高額であれば、価格抵抗によって利用率が低レベルにとどまる。特に、ドライバーが他のドライバーのETC購入行動による価格低下を期待して、ETCの購入に踏みきらない場合、結果的にETCの普及が促進されない可能性がある。本研究では、導入段階におけるETCドライバーの購入実績が、それ以後のETCの価格に反映されるメカニズムを金銭外部性と呼ぶこととする。ETCの普及政策を検討する場合、ETC

市場における通時的金銭外部性がドライバーのETC購入行動に及ぼす影響を分析することが必要となる。

本研究では、ETCの経済価値に関して異質な選好を有するドライバーのETC購入行動をreal optionモデルを用いて定式化する。その上で、ETC価格に関して通時的金銭外部性が存在する場合、ETCが正の消費者余剰を有するときでも個々のドライバーがETCの購入を延期し、社会の中でETCが普及しない可能性があることを理論的に明らかにする。さらに、各ドライバーが合理的にETCを購入し、ETCが社会の中で普及するための条件を分析する。以下、2. では、本研究の基本的な考え方を説明する。3. では、異質なドライバーで構成される社会におけるETCの普及過程を基本ゲームとして定式化する。4. では、ETC普及策が個人のETC購入行動に及ぼす影響を政策ゲームを用いて分析する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 従来の研究概要

土木計画学の分野において、ETCの普及過程に関して幾つかの研究結果が発表されている。たとえば、岡本等は、ETCの普及とサービス利用の相乗効果を仮定した普及メカニズムをモデル化し、シミュレーション分析を行っている³⁾。また、福田等は、ドライバー間のネットワーク外部性を考慮した普及モデルを構築し、「立ち上がり問題 (start up 問題)」を解消するための政策を検討している⁴⁾。これらの研究は、いずれもドライバー間の相互依存性に着目し、ETCの普及過程を分析している点に特徴がある。ある市場における経済主体の行動が、他の経済主体の行動に影響を及ぼす時、当該の市場の外部性が存在すると定義される⁵⁾。本研究においても、ETC市場に存在する外部性を考慮した上で、各ドライバーのETCの購入行動について分析する。その際、本研究では、ドライバーのETC購入行動に影響を及ぼす要因として、1) 通時的金銭外部性と2) 意思決定費用という2つの点に着目し、ETCの普及メカニズムを分析する。第1に、本研究ではETCの価格に関する金銭外部性に着目する^{5), 6)}。特に、将来のETC価格が現時点のドライバーのETC購入行動に依存するという通時的金銭外部性が作用するような状況を想定する。このような外部性が作用するメカニズムについては、のちに2. (2) において詳述する。

*キーワード：計画基礎論、金銭外部性、ETC

** 学生員 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL・FAX 075-753-5073)

*** 正会員 (株) ニュージェック 東京本社 総合計画グループ
(〒135-0007 東京都江東区新大橋1-12-13 (深鉄ビル)
TEL 03-5625-1798・FAX 03-5625-1870)

**** フェロー会員 工博 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL・FAX 075-753-5071)

ETC市場に通時的金銭外部性が存在する時、個々のドライバーがETCの購入を先送りし、結果的にETCの普及が阻害される可能性が存在する。本研究で着目する第2の点は、ETCの購入を検討するための意思決定費用である。前述したETC普及モデルにおいて、すべてのドライバーはETCの購入に関する検討段階に至っており、ETCを購入するか否かを必ず検討することが前提となっている。しかし、ETCを購入するかどうかを検討するためには、ETCのサービスや価格、車載器取り付けのための手続き等の情報を予め把握することが必要であり、金銭的・心理的な負担は少なくない。そのため、すべてのドライバーがETCの購入を検討するとは限らない。ドライバーが一度ETCの購入を検討しないことを決定した場合、以後、ETCが高いサービスを提供できるか否かに関わらず、そもそもETCの購入に関する意思決定を行わない。特に、新規サービスであるETCの社会的な認知が高くない現状を鑑みると、このような意思決定費用は大きいものと考えられる。ETCを普及させるためには、今期にETCの購入を見送ったドライバーも、ETCの価格変化に関心を持ちつつ、ETCの購入の有無について継続的に「考える」ことが重要である。このような問題意識の下に、本研究ではドライバーの意思決定行動を、将来時点におけるETC価格が不確実な状況の下で、「ETCを購入する」、「ETC購入について考えることを放棄する」、「意思決定を保留する」という3つの選択肢に対する最適選択行動モデルとして定式化する。その際、個々のドライバーの意思決定行動を、Real Option理論⁷⁾⁻¹⁰⁾を用いてモデル化する。本モデルにおいて、ETC価格に関する通時的金銭外部性が存在し、ETCというReal Optionの将来価値が、現時点におけるドライバーの意思決定の結果としてETC市場で内生的に決定される。このように、本研究では、個々のドライバーのETC購入行動をReal Optionモデルで表現するとともに、2期間を対象としたETC市場モデルを定式化し、通時的金銭外部性と意思決定費用がETCの普及を阻害するメカニズムを分析する。その上で、社会におけるETCの普及を促進するためのETC普及政策の効果について検討する。

(2) ETC市場における外部性とETC普及の阻害

ETC市場に外部性が存在する時、ETCの効率的な普及が阻害される可能性がある。複数の経済主体間に働く外部性は、技術外部性と金銭外部性に大別される^{5),6)}。技術外部性は、他の経済主体の行動が、当該経済主体の技術条件や嗜好を変えることによって生じる外部性を表す。このような外部性として、たとえば、ネットワーク外部性が挙げられる。ここで、ネットワーク外部性は、当該サービスの利用が増えることによって、個々の利用者が便益を享受する現象を表している¹¹⁾。ETCシステムにおいても、その普及に伴い、ETC専用ブースが増加する可能性がある。その他、ETC購入者・利用者数が増えるほど、

1. で述べたような各種サービスの効果が顕在化する点が指摘されている。また、ETCは新しい技術であり、ドライバーがその経済価値に関して十分な知識を有していない可能性がある。この場合、ETC市場にはドライバーが他のドライバーのETC購入行動を観察することによって、その価値を学習するという外部性が存在する。また、ETC生産企業もETC購入数を観察し、最適な生産行動を学習する状況も考えられる。このような技術的な外部性は、ETCの普及率が高い水準にある場合には、個々のドライバーのETC購入行動を促進するように機能する。しかし、ETCの市場環境によっては、ETCの普及が低い状態で停滞する現象が生じることが指摘されている。一方、金銭外部性は、他のドライバーの行動が当該ドライバーの関係する財・サービスの価格を変えることによって生じる外部性である。ETCは新しい技術であり、その生産費用に占める固定費用の割合が大きいため、生産規模の増大に伴う費用の低下も大きい。そのため、通時的金銭外部性が作用し、現時点におけるETC購入者数が増えるほど、将来のETC価格は大きく低下する。ただし、このような通時的金銭外部性は、ETC価格の低下を通じてETC購入者を増やす一方で、ドライバーがETC購入の決定を引き延ばし、将来より安価でETCを購入しようとするため、ETCの普及を阻害する可能性もある。また、多くのドライバーがETCの購入を延期した場合、将来のETC価格の低下は小さいため、結果として非効率的な経済活動が実現し得る。ETCの普及を抑制する主要な原因として、ドライバーの価格抵抗や車載器の取り付けのための手続き抵抗が挙げられており、ETCを購入していないドライバーの多くが、ETC価格が安くなれば、ETCを購入したいと考えている²⁾。この点に着目すれば、ETC価格に関する金銭外部性の問題を克服することが、社会の中でETCを普及させる上で重要であると考えられる。そこで、本研究では通時的金銭外部性に着目して、ETCの普及メカニズムを分析する。なお、ETC市場には、通時的金銭外部性の他にも、上記で述べたように多様な外部性が存在しており、分析結果の解釈に当たっては本モデルの適用範囲に配慮することが必要である。

(3) 本研究における分析枠組み

本研究では、ETC市場が初期状態にロックインされ、市場規模が拡大しない「ETC市場の立ち上がり問題（start up問題）」が発生する要因として、1）現時点におけるETC市場が将来におけるETC価格に影響を及ぼすという通時的金銭外部性と、2）ドライバーがETCの購入の有無を決定する意思決定費用の存在という2つの要因に着目する。ETC市場が未熟な初期段階においては、ETC生産に莫大な固定費用が必要となり、ETC市場が発展するためには一定規模以上の需要が成立することが必要となる。このため、現時点において一定規模以上の需要が確保できれば、将来時点のETC価格の低下が期待で

きるといふ通時的金銭外部性がETC市場に働くことになる。さらに、ドライバーがETCに対して異質な選好を持つ場合、通時的金銭外部性と意思決定費用の存在が、ETC市場を初期状態にロックイン（以下、初期ロックイン現象と呼ぶ）させる効果を持つ。いま、ETC市場にはETCに対して大きな経済価値を有するタイプHのドライバーと、それほど大きな経済価値を持たないタイプLのドライバーが存在すると考えよう。まず、タイプHのドライバーは、現時点においてもETCを購入する意思を持つが、近い将来にETC価格が低下すると予想すれば、ETCの購入を遅らせる可能性がある。すべてのタイプHのドライバーがETCの購入を見送れば、結果的に生産規模の拡大効果は現れず、ETC価格は低下しない。一方、ETCの経済価値が小さいドライバーの中には、ETCに関心を持たないドライバーも存在する。あるいはドライバーがETCという技術の存在を知ったとしても、その時点のETC価格が高額であり、その時点で「ETCを購入しない」と決定してしまう可能性がある。2.(1)で議論したように、意思決定費用が存在する場合、一度ETCを購入しないと決定すれば、ETC価格が低下してもETCの購入問題自体を考えないことが起こりうる。このような意思決定費用には、ETCの経済価値や価格を再評価するための心理的・金銭的な負担が含まれる。多くのドライバーが現時点でETCを購入しないと決定すれば、結果としてETCの普及率は低水準に留まることになる。ここで重要なことは、タイプHとタイプLのドライバーがETCを購入しない原因が、それぞれ異なった理由に基づいている点である。すなわち、タイプHのドライバーは、通時的金銭外部性による将来のETC価格の低下を予想し、現時点でETC購入を見送る。それに対して、タイプLのドライバーは意思決定費用が存在するために、ETC購入の有無について考えることを取りやめた結果、ETCを購入しない。異質な選好を持つドライバーが、それぞれ別の理由により、ETCの購入を見送る場合、単一のETC普及策だけではETC市場の初期ロックイン現象を解消することは困難である。この場合、互いに補完的な機能を有する複数のETC普及策を同時に導入することにより、ETC市場の初期ロックイン現象を解消することが必要となる。このような問題意識の下に、本研究ではETC普及策として、1) 通時的金銭外部性を内部化する補助金政策と、2) 意思決定費用の存在による影響を緩和するための情報開示政策をとりあげ、これらの複数の政策がETC市場の初期ロックイン現象を解消する効果について分析することとする。

3. 基本ゲーム

(1) ゲーム化の前提条件

いま、図-1に示すように、無限に続く時間軸の中でETCの普及が問題になっているある2つの期間に着目しよう。たとえば、2つの期間をキャンペーン期間と考える

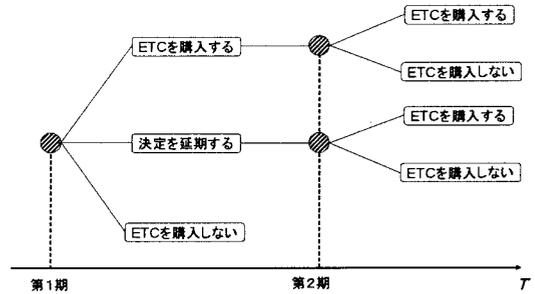


図-1 基本ゲームの意思決定構造

ことができる。ここで対象とする期間は、ETC車載器や自動車の買い換え期間より十分に短く、ドライバーは自動車の買い換え時期とは切り離してETCを購入するかどうかを検討すると考えよう。言い換えれば、ETCシステムのインフラ設置に固定費用が要するため、ETCの早急な普及が必要になっているような状況を想定する。当該期間において、ETCを購入する可能性がある潜在的ドライバーが n 人存在すると考える。着目する2つの期間の内、第1期において、個々のドライバーは、1) ETCを購入する（選択肢1）、2) ETC購入に関する決定を延期し、次期において改めて購入するか否かを決定する（選択肢2）、3) ETCを購入しないことを決定する（選択肢3）、という3つの選択肢の中から1つを選択する。さらに、対象とする意思決定期間は、ETC車載器の買い換え間隔よりも十分に短く、第1期においてETCを購入したドライバーは、第2期以降の各期間ETCの使用を継続すると考えよう。これはゲームを不必要に複雑にすることを避けるための便宜的な仮定であり、ドライバーが（2期間より多い）ある一定の期間ごとにETCを買い換えると仮定しても、ゲームの構造は本質的には変わらない。つぎに、第1期においてETCを購入しないことを決定した場合、意思決定は終了し、以降その決定が変更されることはないと仮定する。このことは、ドライバーが一度ETCを購入しないことを決定した場合、ETCを購入するか否かを以降検討しないことを表す。したがって、ETCを購入しないという決定は、不可逆性を有する意思決定となる。最後に、ETC購入の決定を延期したドライバーは、第2期において再度、ETCを購入するか否かを決定する。しかしながら、決定を延期するためには、意思決定費用を追加的に支払わなければならない。意思決定費用には、ETC購入の是非を継続的に検討するために必要な調査や予測、計算に関わる金銭的な負担や心理的な負担が含まれる。ドライバーのETC購入問題は、第2期において必ず終了し、第1期において決定を延期したドライバーは、第2期において、1) ETCを購入する、2) ETCを購入しない、のどちらかを選択することになる。

ドライバーがETCを購入した場合に獲得できる効用は、ETCの経済価値から価格を引いた消費者余剰を用いて表される。ETCの経済価値は、ドライバーがETCを購

入した場合に獲得出来る利用者便益を表している。ここで、ETCの経済価値に関してドライバーは異質性を有し、各ドライバーがETCの経済価値に関して2つのタイプのいずれかに属することを仮定する。すなわち、ETCの経済価値が高いドライバー（以下、タイプHと呼ぶ）と低いドライバー（以下、タイプLと呼ぶ）の2つのタイプを想定する。タイプHのドライバーの有するETCの経済価値を t_H 、タイプLのドライバーの有するETCの経済価値を t_L によって表現する。タイプ k ($k = H, L$)に属するドライバーの集合をそれぞれ N_H, N_L で表現する。また、各集合に属するドライバーの数をそれぞれ n_H, n_L と表記する。ただし、ドライバー数 n_H, n_L は、ドライバーが知り得ない情報である。ドライバー数に関して

$$n_H + n_L = n \quad (1)$$

が成立する。各タイプのETCの経済価値に関して、

$$t_H > p^1 > t_L \quad (2)$$

が成立すると仮定する。ここで、 p^1 は第1期のETC価格を表している。すなわち、タイプHのドライバーは、第1期においてETCを購入することによって正の消費者余剰を獲得できる。一方、タイプLのドライバーは、第1期においてETCを購入することによって負の消費者余剰を獲得する。したがって、タイプLのドライバーは、第1期においてETCを購入することはない。ただし、ETCの価格に関して通時的金銭外部性が働くため、第1期において、ETCの消費者余剰が負の値をとるとしても、第2期において、正の消費者余剰を確保することが可能である。すなわち、第2期のETC価格が第1期のETC購入者数 X ($0 \leq X \leq n$)に依存して減少するため、第1期のETC購入者数が増大するほど、第2期においてより安い価格でETCを購入することが出来る。すなわち、第1期に十分なETC車載器の生産を確保できれば、ETC生産者は生産規模の拡大によりETC車載器の価格を下げるができる。その際、ETC車載器の生産は導入段階にあり、第1期に生産を無制限に拡大することはできず、第1期という準備期間を経ることにより生産を拡大できると考える。ただし、タイプHのドライバー数 n_H に相当する量の生産は可能であると考え。さらに、基本モデルにおいて対象とされている2期間は、ETC導入段階におけるキャンペーン期間であり、第2期以降においては、ETC価格が低下することはないと仮定し、ETCの生産者はETCを購入する新たな顧客を対象として第2期に設定した価格でETCを継続的に供給すると考える。そのため、以下の均衡解が示すように、第2期においてETCを購入することによって正の消費者余剰を確保できるドライバーは、必ずETCを購入する。このように、ETC普及のためのキャンペーン期間が経過した後、ETCの価格は低下しないと仮定することにより、動学モデルを用いずに2期間モデルの枠組みの中でETC普及政策を分析することが可能となる。な

お、ETCの経済価値に関して、ドライバーが2つのタイプに大別されるという仮定は問題を極度に単純化している。ただし、個々のドライバーの有するETCの経済価値が連続的に分布していると仮定しても、第1期においてドライバーがETCを購入することによって獲得出来る消費者余剰が正と負に大別される限り、本研究の分析結果に本質的な影響を及ぼさない。そのため、以下ではモデルの複雑化を避けるため、ETCの経済価値に関するドライバーのタイプをタイプHとタイプLの2つに限定する。

各ドライバーにとって第1期におけるETC購入者数 X について不確実性を有するため、第2期におけるETC価格を確定的に判断できない。各ドライバーが第1期のETC購入者数 X に関して有している信念を確率分布 $F(X)$ で表現する。また、その確率密度関数を $f(X)$ で表す。ここで、確率分布 $F(X)$ は区間 $[0, n]$ 上で定義される。また、すべてのドライバーは同質の確率分布 $F(X)$ を有しており、そのことがすべてのドライバーにとって共有情報となっていると仮定する。第2期のETC価格（第1期におけるETC購入者数 X ）は、第1期において、ETCを購入した、もしくは決定を延期したドライバーのみが第2期において観察することが可能である。なお、第1期におけるETC購入者数 X は当該期における各ドライバーのETC購入行動に依存している。そのため、ドライバーが第1期のETC購入者数 X に関する信念 $F(X)$ を合理的期待に基づいて形成するのであれば、その信念は第1期における他のドライバーのETC購入行動と整合的でなければならない。しかし、本研究では個人の信念は外生的に与えられており、信念の内容が現実の問題構造と必ずしも整合がとれている保証はないと考える。この意味で、ドライバーの信念は合理的期待ではなく、ドライバーは限定合理的に意思決定を行うと考える。当然のことながら、信念の内容が異なれば、結果として表れる均衡解が異なる。むしろ、以下で定式化する基本ゲームでは、個人の信念の違いが、均衡解の差異にどのような影響を及ぼすかを分析することに主眼を置いている。

ETC価格に関して通時的金銭外部性が作用するため、タイプLのドライバーは、第2期にETCを購入することによって正の消費者余剰を獲得できる可能性がある。しかし、このような外部性は、タイプHのドライバーに対して第1期のETC購入行動を抑制する効果を有する。すなわち、タイプHのドライバーは、将来により低価格でETCを購入しようと、第1期においてETCの購入に踏みきれない可能性がある。さらに、タイプLのドライバーは第1期におけるETC購入者数に関して不確実であるため、第2期におけるETC価格を正確に評価することが出来ない。その結果、第2期において、ドライバーがETCを購入することによって正の消費者余剰を確保できるにもかかわらず、第1期にETCを購入しないことを決定する可能性がある。この場合、そのドライバーは、第2期においてもETCを購入しない結果となる。

(2) ゲームの定式化

第 T 期($T = 1, 2$)にタイプ k ($k = H, L$)に属するドライバーがETCを購入することによって獲得出来る消費者余剰 V_k^T は、ETCの経済価値 t_k と当該期のETC価格 p^T を用いて

$$V_k^T = t_k - p^T \quad (3)$$

と表される。ETCの経済価値 t_k は、今期以降、継続的にETCを使用することにより得られる経済価値を表す。ETCを購入しないことを決定したドライバーは、現状維持の価値 0 を獲得する。ETCから得られる効用は、各ドライバーがETCを購入した時点において発生するが、それぞれのドライバーは将来の効用(第2期にETCを購入した場合の効用)を割引因子 δ で割引いて評価する。また、ETC購入の是非に関する決定を第2期まで延期したドライバーは、意思決定費用 $C > 0$ を負担しなければならない。ここで、意思決定費用 C はすべてのドライバーにとって同一であると仮定する。また、第1期のETCの価格は確定値 p^1 で表され、すべてのドライバーにとって既知である。一方、ETC価格に関して通時的金銭外部性が存在するため、第2期のETCの価格 $p^2 = p^2(X)$ は、第1期のETC購入者数 X の関数として定義される。ここで、価格 $p^2(X)$ は第1期の購入者数 X の増加に従って減少するため、以下の条件が成立する。

$$p^2(X+1) < p^2(X) \quad (4)$$

また、第2期のETC価格は第1期のETC価格よりも増加することはないものとし

$$p^2(0) = p^1 \quad (5)$$

が成立する。ドライバーにとっての第2期のETC価格に関する不確実性は、第1期におけるETC購入者数 X に関する不確実性によって表現するため、第2期におけるETCの価格関数 $p^2(\cdot)$ そのものは、すべてのドライバーにとって共有情報であると仮定する。基本モデルにおける各ドライバーの戦略を定義する。以下の均衡分析において、同一のタイプに属するドライバーは同一の戦略を採用することを仮定し、対称的な部分ゲーム完全均衡解(symmetric subgame perfect equilibrium)を求める。したがって、以下ではタイプ H のドライバーの戦略を $s_H = (s_H^1, s_H^2)$ 、タイプ L のドライバーの戦略を $s_L = (s_L^1, s_L^2)$ と記述する。第1期において、各ドライバーは、1) ETCを購入する、2) ETC購入に関する決定を延期し、次期において改めて購入するか否かを決定する、3) ETCを購入しないことを決定する、という3つの選択肢の中から1つを選択する。タイプ k ($k = H, L$)のドライバーの第1期の選択行動 s_k^1 は

$$s_k^1 = \begin{cases} P: ETCを購入する \\ Q: 決定を延期する \\ R: ETCを購入しない \end{cases} \quad (6)$$

で定義される。第1期におけるETC購入者数 X は

$$X = \begin{cases} n_H + n_L: s_H^1 = 1, s_L^1 = 1 \text{の時} \\ n_H: s_H^1 = 1, s_L^1 = 0 \text{の時} \\ n_L: s_H^1 = 0, s_L^1 = 1 \text{の時} \\ 0: s_H^1 = 0, s_L^1 = 0 \text{の時} \end{cases} \quad (7)$$

で表される。タイプ k ($k = H, L$)のドライバーの第1期の選択行動は、ETCの経済価値 t_k に依存する。このことを明示的に表現するために、第1期におけるタイプ k ($k = H, L$)のドライバーの選択行動を $s_k^1(t_k)$ と記述する。

第1期において決定を延期したドライバーは、第2期に1) ETCを購入する、2) ETCを購入しない、のどちらかを選択する。タイプ k ($k = H, L$)のドライバーの第2期の選択行動 s_k^2 を

$$s_k^2 = \begin{cases} P: ETCを購入する \\ R: ETCを購入しない \\ -: 第1期にETCを購入しないことを決定した時($s_k^1 = R$) \end{cases} \quad (8)$$

で定義する。ただし、第1期においてETCを購入しないことを決定した場合、第2期の選択行動は定義されない。タイプ k ($k = H, L$)のドライバーの第2期の選択行動は、ETCの経済価値 t_k と第1期におけるETC購入者数 X に依存する。

(3) ドライバーの選択問題

各ドライバーがETCの購入に関して各期において直面する問題を定式化する。それぞれのドライバーは、自分の期待利得を最大にするように各期の行動を決定する。いま、第1期に意思決定を延期したドライバーに着目し、当該のドライバーが第2期にETCを購入するかどうかを決定する問題を考えよう。第2期において意思決定を行う各ドライバーは、第2期のETCの価格 $p^2(X)$ を与件として、ETCを購入するか否かを決定する。第2期におけるドライバーの選択問題は

$$\Phi(X, t_k) = \max\{t_k - p^2(X), 0\}. \quad (9)$$

で定式化される。ここで、最適値関数 $\Phi(X, t_k)$ は、上記の選択問題において最適な決定を行った場合に得られる利得を表す。ここで、第1期の意思決定問題に戻り、ドライバーが3つの選択肢の中から1つを選択する問題を考えよう。まず、タイプ k ($k = H, L$)のドライバーがETCを購入する場合、期待利得

$$t_k - p^1 \quad (10)$$

を獲得することができる。つぎに、第1期に意思決定を延期する場合に得られる期待利得は、

$$-C + \delta E[\Phi(X, t_k)] \quad (11)$$

で定義される。ここで、 $E[\Phi(X, t_k)]$ は、ドライバーが第2期において獲得出来る期待利得を表しており、ドライバーの主観的期待 $f(X)$ を用いて

$$E[\Phi(X, t_k)] = \sum_X f(X)\Phi(X, t_k) \quad (12)$$

と定義できる。また、第1期にETCを購入しないことを決定したドライバーは、現状維持として利得0を獲得する。以上より、第1期におけるタイプ k ($k = H, L$) のドライバーの選択問題は

$$\max\{t_k - p^1, -C + \delta E[\Phi(X, t_k)], 0\} \quad (13)$$

と定式化できる。ここで、上式第1項はETCを購入する場合の期待利得、第2項は決定を延期する場合の期待利得、第3項はETCを購入しないことを決定した場合の利得を表している。

(4) 均衡解

基本ゲームの均衡解として、対称的部分ゲーム完全均衡解を導出する¹²⁾。対称的部分ゲーム完全均衡解は、以下の条件を満足する戦略の組 (s_H^*, s_L^*) で表される。

条件：タイプ k ($k = H, L$) のドライバーの戦略 $s_k^* = (s_k^{1*}, s_k^{2*})$ は、各期において、ドライバーの期待利得を最大にする。

基本ゲームにおける対称的部分ゲーム完全均衡解において、タイプ H のドライバーは戦略 I, 戦略 II, タイプ L のドライバーは戦略 III, 戦略 IV のいずれかの戦略を採用する。基本ゲームの対称的部分ゲーム完全均衡解を導出する前に、各戦略を定義する。

戦略 I ($s_H^*(I)$)：第1期にETCを購入する。

$$s_H^*(I) = (s_H^{1*}, s_H^{2*}) = (P, Q) \quad (14)$$

戦略 II ($s_H^*(II)$)：第1期に決定を延期し、第2期にETCを購入する。

$$s_H^*(II) = (Q, P) \quad (15)$$

戦略 III ($s_L^*(III)$)：第1期に決定を延期する。第2期にETC価格の実現値 $p^2(X)$ に依存してETCを購入するか否かを決定する。

$$s_L^*(III) = (s_L^{1*}, s_L^{2*}) \quad (16a)$$

$$s_L^{1*} = Q \quad (16b)$$

$$s_L^{2*} = \begin{cases} P: & \text{if } p^2(X) \geq t_L \\ Q: & \text{if } p^2(X) < t_L \end{cases} \quad (16c)$$

戦略 IV ($s_L^*(IV)$)：第1期にETCを購入しないことを決定する。

$$s_L^*(IV) = (R, -) \quad (17)$$

ドライバーの初期信念に応じて、基本ゲームにおける対称的部分ゲーム完全均衡解が異なる。いま、ドライバー

の初期信念に対して、以下の2つの条件を考えよう。

$$\text{条件 A } t_H - p^1 \geq -C + \delta E[\Phi(X, t_H)] \quad (18a)$$

$$\text{条件 B } \delta E[\Phi(X, t_L)] \geq C \quad (18b)$$

この時、ドライバーの初期信念の違いに応じて、以下に示す4つの均衡解のタイプが現れる。

均衡解1 (条件A, 条件Bが成立する時)

$(s_H^*(I), s_L^*(III))$ ：タイプ H のドライバーは戦略 I, タイプ L のドライバーは戦略 III を採用する。

均衡解2 (条件Aが成立し、条件Bが成立しない時)

$(s_H^*(I), s_L^*(IV))$ ：タイプ H のドライバーは戦略 I, タイプ L のドライバーは戦略 IV を採用する。

均衡解3 (条件Aが成立せず、条件Bが成立する時)

$(s_H^*(II), s_L^*(III))$ ：タイプ H のドライバーは戦略 II, タイプ L のドライバーは戦略 III を採用する。

均衡解4 (条件A, 条件Bが成立しない時)

$(s_H^*(II), s_L^*(IV))$ ：タイプ H のドライバーは戦略 II, タイプ L のドライバーは戦略 IV を採用する。

均衡解1と均衡解2では、タイプ H のドライバーは第1期にETCを購入する。タイプ L のドライバーは、均衡解1では第1期に意思決定を延期するが、均衡解2では、ETCを購入しないことを決定する。均衡解1において、決定を延期したタイプ L のドライバーは、第2期のETC価格 $p^2(X)$ を観察し、ETCの経済価値 t_L と比較して、第2期にETCを購入するか否かを決定する。一方、均衡解3と均衡解4では、タイプ H のドライバーは、第1期にETCの購入に関する決定を延期する。ただし、第2期においてはETCを購入する。タイプ L のドライバーについては、均衡解1、均衡解2と同様に、均衡解3では第1期の決定を延期し、均衡解4では、ETCを購入しないことを第1期に決定する。このようにドライバーが有する第2期のETC価格に対する主観的期待に依存して異なったタイプの均衡解が現れる。

ETCがもっとも普及するためには、均衡解1が実現し、タイプ H のドライバーが第1期にETCを購入し、タイプ L のドライバーはETCの購入を継続的に検討することが必要である。しかし、均衡解2と均衡解4が実現するとき、タイプ L のドライバーは第1期にETCを購入しないことを決定し、それ以降、ETCの購入を検討しない。条件 B, C より、タイプ L のドライバーは、意思決定を延期することによって得られる期待利得が意思決定費用よりも大きいときのみ、ETCの購入を継続的に検討することを決定する。しかし、ドライバーは第1期のETC購入者数に関する不確実な信念 $F(X)$ に基づいて、ETC購入の意思決定を継続的に検討するか否かを判断する。そのため、タイプ L のドライバーは第2期にETCを購入することによって正の消費者余剰を獲得できるにもかかわらず、将来のETC価格が大幅に低下しないと予想すれば、ETCを購入しないことを決定し、以後ETCを購入しない。また、

均衡解3と均衡解4において、タイプHのドライバーは、ETCの購入によって正の消費者余剰を獲得出来るにも関わらず、将来、より低価格でETCを購入しようと、意思決定を延期する。均衡解2から均衡解4のいずれのケースが生起しても、ETC市場が初期状態にロックインされ、ETCの普及が促進されない。次章では、このようなETC市場のロックイン現象を未然に防ぐためのETC普及政策を検討する。

(5) 完全情報下でのファーストベスト解との比較

ドライバーのタイプに関して完全情報が実現する状況下で、すべてのドライバーの総効用を最大にするETC購入行動を導出しよう。ここで、完全情報の下でタイプ k ($k = H, L$)のドライバーが戦略 j ($j = I, \dots, IV$)を採用した場合に獲得できるペイオフ V_j^k は

$$V_I^k = t_k - p^1 \quad (19a)$$

$$V_{II}^k = -C + \delta(t_k - p^2(X)) \quad (19b)$$

$$V_{III}^k = \begin{cases} -C + \delta(t_k - p^2(X)) : \text{if } p^2(X) \geq t_k \\ -C : \text{if } p^2(X) < t_k \end{cases} \quad (19c)$$

$$V_{IV}^k = 0 \quad (19d)$$

と表せる。また、タイプ k のドライバーが採用する戦略を表す0-1変数 $\rho^k = (\rho_I^k, \dots, \rho_{IV}^k)$ を

$$\rho_j^k = \begin{cases} 1: \text{タイプ}k\text{のドライバーが戦略}j\text{を} \\ \text{採用する時} \\ 0: \text{採用しない時} \end{cases} \quad (20)$$

$(k = H, L; j = I, \dots, IV)$

と定義する。また、第1期にETCを購入するドライバー数 X は

$$X = n_H \rho_I^H + n_L \rho_I^L \quad (21)$$

と表される。ETC企業の利潤が0になるように価格が設定されていると考えた場合、社会的総余剰(ドライバーの消費者余剰)を最大にするようなETC購入戦略を求める問題は

$$\max_{\rho^H, \rho^L} \left\{ \sum_{k=H,L} n_k \sum_{j=I}^{IV} \rho_j^k V_j^k \right\} \quad (22a)$$

$$\text{subject to} \\ X = n_H \rho_I^H + n_L \rho_I^L \quad (22b)$$

と表される。この問題の最適解を求めることにより、ドライバーのファーストベストなETC購入行動を求めることができる。問題(22a),(22b)の最適解は、条件

$$\delta\{t_L - p^2(n_H)\} \geq C \quad (23)$$

が成立するか否かにより、つぎの2つのタイプが存在する。

最適解1 (条件(23)が成立する場合)

$(s_H^*(I), s_L^*(III))$: タイプHのドライバーは戦略I, タイプLのドライバーは戦略IIIを採用する。

最適解2 (条件(23)が成立しない場合)

$(s_H^*(I), s_L^*(IV))$: タイプHのドライバーは戦略I, タイプLのドライバーは戦略IVを採用する。

以上のファーストベスト解では、第1期にタイプHのドライバーがETCを購入することは、条件(23)が成立するかどうかに関わらず常に社会的に最適な行動となっている。これに対して、基本ゲームでは、ドライバーが第2期におけるETC価格に関して不確実であり、かつ第1期におけるドライバーの行動が第2期におけるETC価格に影響を及ぼすため、タイプHのドライバーが第1期にETCを購入しないような均衡解が存在する。このような均衡解が実現する場合には、第1期におけるタイプHのドライバーによるETC購入を実現するためのETC普及策の導入が必要となる。一方、タイプLのドライバーの最適戦略は、条件(23)が成立するかどうか依存する。条件(23)は第1期にタイプHのドライバーがETCを購入した時に、タイプLのドライバーが第1期に評価した第2期の消費者余剰の割引現在価値が、意思決定費用よりも大きいことを表している。すなわち、タイプLのドライバーが第1期にETCを購入しなくても、第2期にETCを購入するように意思決定を留保する価値が存在することを表す。条件(23)が成立しない場合、タイプLのドライバーがETCを購入するような政策を検討することの意義が存在しないため、本研究の以下では条件(23)が成立する場合を対象とする。

4. ETC普及のための政策ゲーム

(1) 問題提起

基本ゲームにおいて均衡解1が実現した場合、第1期にタイプHのドライバーがETCを購入する。その結果、第2期のETCの価格が低下し、第2期にタイプLのドライバーがETCを購入することになる。しかし、それ以外の均衡解が実現した場合、社会的最適ではなく、社会におけるETCの普及が促進されないという結果を招く。すなわち、タイプHのドライバーがETCの購入を遅らせることやタイプLのドライバーがETCを購入しないことになり、ETC利用率が低水準にロックインされる結果となる。本章では、ETC普及政策として、1) 第1期にETCを購入するドライバーに一時的に補助金を給付する政策、2) 第2期におけるETC価格を第1期に確約する政策をとりあげ、これらのETC普及政策がドライバーのETC購入行動に及ぼす影響を分析することとする。ドライバーがETCの購入を将来まで留保するという通時的金銭外部性に起因する問題を解消するためには、通時的金銭外部性を内部化する政策の導入が求められる。そこで、4.(2)では、一時的にETCの購入にかかる投資費用の一部を負担する補助政策の導入を検討する。例えば、行政がETCシステムの普及を図るために、限定期間を設けてETCを

購入したドライバーに対して、その費用の一部を負担する政策が考えられる。このような政策は、ETCの購入を延期する行動を抑制することによって、タイプHのドライバーのETC購入行動を促進する政策である。しかし、ETCの経済価値が低いタイプLのドライバーは基本ゲームと同様に、第1期においてETCを購入しないことを決定する可能性がある。特に、タイプLのドライバーは将来のETC価格が低下しないと判断した場合、ETCの購入を継続的に検討しない可能性が高い。そのため、4.(3)では、将来のETC価格に関する情報を開示するような政策を取り上げる。このような政策の例として、行政がETCに対するドライバーの潜在的な需要を調査するとともに、ETC価格の推移に関するシナリオを提示し、将来のETC価格にコミットメントするような政策が該当する。こうした政策は、ETCの購入を継続的に検討させることによって、タイプLのドライバーのETC購入行動を促進する政策である。一方で、第2期のETC価格が十分に低いことが判明した場合、第1期にタイプHのドライバーがETCの購入を抑え、第2期におけるETCの価格低下が実現しなくなる可能性が生じる。そこで、4.(4)では、1)の補助金政策と2)の情報開示政策の双方を同時に考慮したような政策ゲームについて分析する。

(2) 一時的なETC購入費用の補助政策

行政がドライバーのETC購入費用の一部を一時的に補助する政策の効果を分析する。このような一時的な補助金政策の下で実施されるゲームを政策ゲームAと呼ぶ。政策ゲームAでは、第1期にETCを購入したドライバーに対して補助金 D^{1A} が支払われ、ETCの購入費用が実質的に軽減される場合を考える。このような政策の下で、各ドライバーが第1期におけるETC購入者数 X に関して有する信念を主観的確率分布 $F_\alpha(X)$ で表現する。また、その確率密度関数を $f_\alpha(X)$ で表す。政策ゲームAにおけるドライバーの信念 $F_\alpha(X)$ が基本ゲームにおけるドライバーの信念 $F(X)$ と一致する保証はない。ただし、政策ゲームAにおいては、第1期にETC購入に関して補助金が給付されるため、政策ゲームAにおける信念 $F_\alpha(X)$ と基本ゲームにおける信念 $F(X)$ との間に以下の条件が成立すると仮定しよう。すなわち、任意の $X \in [0, n]$ に対して

$$F(X) > F_\alpha(X) \quad (24)$$

が成立すると仮定する。

タイプ k ($k = H, L$)のドライバーが第1期にETCを購入した場合に確保できる利得は

$$V_k^1 = t_k - p^1 + D^{1A} \quad (25)$$

と表される。ただし、第1期に支給された補助金は、ドライバー全体にETC購入の有無に関わらず一定額課せられると仮定しよう。すべてのドライバーに定額課税を行っ

ても、課税自体はドライバーのETC購入行動に影響を及ぼさない。このような政策として、例えば、ガソリン税を原資として、補助金を給付するような政策が該当する。第2期のETC価格は第1期におけるETC購入者数 X に依存し関数 $p^2(X)$ で表される。基本ゲームと同様に、

$$p^1 > p^2(X) \quad (26)$$

が成立すると仮定する。政策ゲームAにおけるタイプ k ($k = H, L$)のドライバーの均衡戦略を、 (s_H^A, s_L^A) と表現しよう。

基本ゲームと同様に、第2期におけるドライバーの選択問題は、

$$\Phi^A(X, t_k) = \max\{t_k - p^2(X), 0\}. \quad (27)$$

と表せる。ここで、最適値関数 $\Phi(X, t_k)$ は、第1期におけるETC購入者数 X を所与として、第2期にドライバーが最適な選択を実施した場合に得られる利得を表している。つぎに、第1期におけるタイプ k ($k = H, L$)のドライバーの選択問題は、

$$\max\{t_k - p^1 + D^{1A}, -C + \delta E_\alpha[\Phi^A(X, t_k)], 0\} \quad (28)$$

と定式化できる。ここで、上式第1項はETCを購入する場合の期待利得、第2項は決定を延期する場合の期待利得、第3項はETCを購入しないことを決定した場合の利得を表している。基本ゲームにおける選択問題(式(13))とは異なり、ETCを購入する場合の期待利得の中に補助金 D^{1A} が含まれている。いま、第1期に給付される補助金が、第1期にタイプHのドライバーのETC購入を確保できる最低額に決定されると考えよう。したがって、補助金 D^{1A} は

$$t_H - p^1 + D^{1A} = -C + \delta E_\alpha[\Phi^A(X, t_H)] \quad (29)$$

を満足するような水準に決定されると考える。当然のことながら、補助金をより高い額に設定することができれば、タイプH以外のドライバーも第1期にETCを購入すると考えられる。ただし、本研究において対象とされている期間はETC生産の導入段階であり、その生産規模に対する技術的制約が存在する。したがって、仮にこのような補助金を設定したとしても、第1期においてETCを無制限に生産・供給することは不可能である。このため、本章では、タイプHのドライバーのみを補助金政策の対象とする。例えば、ETCを高頻度で利用するドライバーに対してETCを確実に購入させることによって、ETCの普及を図るような状況が考えられる。このように、本章で想定する補助金政策は、ETC価格に関する通時的金銭外部性を内部化することによって、第1期においてETCに関して正の消費者余剰を有するドライバーに対して、合理的にETCを購入させるための方策である。ただし、このような政策を導入しても、タイプLのドライバーのETC購

入行動を促進できるとは限らない。むしろ、政策ゲームAの目的は、補助金政策の導入がタイプLのドライバーのETC購入行動を促進するか否かを分析することにある。

条件式(29)を満足する補助金 D^{1A} が支給された場合に実現する政策ゲームAの対称的部分ゲーム完全均衡解は、条件

$$\delta E_{\alpha}[\Phi^A(X, t_L)] \geq C \quad (30)$$

が成立するか否かにより、以下の2つの均衡解が存在する。

均衡解A-1 (条件(30)が成立する場合)

$(s_H^{A*}(I), s_L^{A*}(III))$: タイプHのドライバーは戦略I, タイプLのドライバーは戦略IIIを採用する。

均衡解A-2 (条件(30)が成立しない場合)

$(s_H^{A*}(I), s_L^{A*}(IV))$: タイプHのドライバーは戦略I, タイプLのドライバーは戦略IVを採用する。

条件(30)はタイプLのドライバーがETCの購入の有無を第2期まで保留するための条件である。

政策ゲームAでは、第1期にETCを購入するドライバーに対して、行政が購入費用の一部を負担する。これにより、タイプHのドライバーは第1期にETCを購入することとなる。しかしながら、基本ゲームと同様に、タイプLのドライバーは第2期におけるETC価格が第1期よりそれほど低下しないという信念を有する場合、第1期にETCを購入しないことを決定し、ETCの購入をそれ以降検討しない状態に陥る可能性がある。しかし、基本ゲームにおけるドライバーの信念 $F(X)$ と政策ゲームAにおける信念 $F_{\alpha}(X)$ の間に条件(24)が成立するため、政策ゲームAにおいて、タイプLのドライバーがETC購入を継続的に検討する場合の期待利得 $E_{\alpha}[\Phi^A(X, t_L)]$ と基本ゲームにおける期待利得 $E[\Phi(X, t_L)]$ との間に

$$E_{\alpha}[\Phi^A(X, t_L)] > E[\Phi(X, t_L)] \quad (31)$$

が成立する。したがって、政策ゲームAにおいて均衡解1が実現するための条件(30)は、基本ゲームにおける条件(18b)よりも緩くなり、第2期にタイプLのドライバーがETCを購入する可能性が増加する。しかし、条件(30)が成立する保証はなく、タイプLのドライバーが第1期にETC購入を考えることをやめてしまい、結果的に第2期になってもETCを購入しない可能性が残る。すなわち、一時的なETC購入費用の補助負担政策は、第1期におけるタイプHのドライバーによるETC購入を確実にするものの、一方でタイプLのドライバーによるETCの購入行動を確実に誘導するものではない。

(3) ETC価格に関する情報政策

政策ゲームAを用いて分析したように、一時的な補助金政策は第1期におけるタイプHのドライバーによるETC購入を促進する点では有効であるが、逆にタイプLのドライバーが第1期にETCを購入しないことを決定し

てしまう可能性が残る。タイプLのドライバーがETC購入を放棄するのは、第2期のETC価格に関して不確実な信念を有することに起因している。そこで、本節では、ドライバーが第2期におけるETC価格を正確に把握できる状況を政策ゲームBとしてモデル化する。たとえば、このような政策として、政府が第2期におけるETC価格に関して第1期にコミットするような場合が考えられる。いま、第1期に政府が第2期のETC価格を $p^{2*} = p^2(n_H)$ に設定する場合を考えよう。政策ゲームBにおけるタイプ k ($k = H, L$)のドライバーの戦略を s_k^{B*}, s_k^{B*} と表そう。第2期における選択問題は

$$\Phi^B(n_H, t_k) = \max\{t_k - p^2(n_H), 0\}. \quad (32)$$

と表される。ここで、 $\Phi^B(n_H, t_k)$ は最適値関数である。第1期におけるタイプ k ($k = H, L$)のドライバーの選択問題は

$$\max\{t_k - p^1, -C + \delta\Phi^B(n_H, t_k), 0\} \quad (33)$$

と定式化できる。政策ゲームBにおいては、第2期のETC購入価格 $p^{2*} = p^2(n_H)$ が既知であり、不確実性が存在しない。各ドライバーはETCの将来価格 p^{2*} を正確に知ることができるため、第2期において獲得出来る利得は確定値 $\Phi^B(n_H, t_k)$ をとる。

ここで、タイプLのドライバーの第2期の消費者余剰に関して

$$\delta(t_L - p^2(n_H)) \geq C \quad (34)$$

が成立すると仮定しよう。すなわち、ファーストベスト解に関する条件(23)が成立し、最適解1が保証される場合を考える。さらに、政策ゲームBの対称的部分ゲーム完全均衡解を定義するために、条件A'を以下のように定義する。

$$\text{条件A'} \quad t_H - p^1 \geq -C + \delta(t_H - p^2(n_H)) \quad (35)$$

この時、政策ゲームBにおける対称的部分ゲーム完全均衡解として、以下に示す2つの均衡解が存在する。

均衡解B-1 (条件A'が成立する時)

$(s_H^{B*}(I), s_L^{B*}(III))$: タイプHのドライバーは戦略I, タイプLのドライバーは戦略IIIを採用する。

均衡解B-2 (条件A'が成立しない時)

$(s_H^{B*}(V), s_L^{B*}(III))$: タイプHのドライバーは戦略II, タイプLのドライバーは戦略IIIを採用する。

政策ゲームBにおいて、ドライバーは第2期のETC価格を正確に判断した上で自分にとって最適な選択をすることが可能である。しかし、ETC価格に関して通時的な金銭的外部性が働くため、タイプHのドライバーは将来の価格低下効果を期待してETCの購入に踏み切らない可能性がある。すなわち、行政が第2期のETC価格についてコミットすることによって、タイプHのドライバーが第2

期におけるETC価格の低下を期待して、第2期までETC購入を延期することになる。したがって、条件(34)が成立するため、タイプHのすべてのドライバーが第1期にETCを購入するのであれば、タイプLのドライバーも第2期までETCの購入を延期するにもかかわらず、ETCの購入を断念する可能性がある。このように、政策ゲームBにおいても、完全情報下でのファーストベストを達成することは出来ない。

(4) 複合的政策の必要性

タイプHのドライバーが第1期にETCを確実に購入するためには、第1期におけるETC購入による生産拡大という通時的金銭外部性を内部化するために、タイプHのドライバーに補助金を給付することが有効である。一方、タイプLのドライバーが確実に第2期にETCを購入するためには、タイプLのドライバーが有する不確実性を解消させる情報政策が有効である。このように基本ゲームにおいて、タイプHとタイプLのドライバーが社会的に最適な戦略を採用しなくなるメカニズムが異なっているため補助金政策、情報政策のそれぞれを単独に採用した政策ゲームA、及び政策ゲームBでは社会的に最適な均衡解を必ずしも実現できない可能性が存在する。そこで、補助金政策と情報政策の双方を同時に導入した政策ゲームCをとりあげよう。政策ゲームCでは、政策ゲームBと同様に、政府が第2期のETC価格を第1期に $p^{2*} = p^2(n_H)$ に設定し、そのことを公表する。それと同時に、第1期におけるETC購入に対して補助金 D^{1C} を給付する。政策ゲームCにおけるタイプ k ($k = H, L$)のドライバーの戦略を s_k^{C*}, s_k^{C*} と表す。

政策ゲームBと同様に、第2期における選択問題を

$$\Phi^C(n_H, t_k) = \max\{t_k - p^2(n_H), 0\}. \quad (36)$$

と表そう。 $\Phi^C(n_H, t_k)$ は最適関数である。第1期におけるタイプ k ($k = H, L$)のドライバーの選択問題は

$$\max\{t_k - p^1 + D^{1C}, -C + \delta\Phi^C(n_H, t_k), 0\} \quad (37)$$

と定式化できる。政策ゲームCにおいても、第2期のETC購入価格 $p^{2*} = p^2(n_H)$ は既知であり不確実性は存在しない。さらに、政策ゲームCでは、タイプHのドライバーが第1期にETCを確実に購入するように、第1期に一時的な補助金 D^{1C} が給付される。補助金 D^{1C} は

$$t_H - p^1 + D^{1C} = -C + \delta\Phi^C(n_H, t_H) \quad (38)$$

を満足するように決定される。この結果、政策ゲームCにおいて、タイプHのすべてのドライバーが第1期にETCを購入する。このため、第1期におけるETC購入者数 X は、タイプHのドライバー数 n_H に一致する。さらに、完全情報下での最適解1の成立条件(23)が成立するとき、タイプLのドライバーはETCの購入を継続的に検討するとともに、第2期においてETCを購入する。以上のこと

より、政策ゲームCにおける対称的部分ゲーム完全均衡解として以下のようなただ1つの均衡解が存在する。

均衡解C ($s_H^{C*}(I), s_L^{C*}(III)$): タイプHのドライバーは戦略I, タイプLのドライバーは戦略IIIを採用する。

政策ゲームCにおいて、一時的なETC購入費用の補助政策を実施することにより、タイプHのドライバーが第1期にETCを購入することが実現する。さらに、ETCの将来価格に関する不確実性が除去されるため、タイプLのドライバーは、第1期のETC価格が高額な場合でも意思決定を留保し、第2期にETCを購入することになる。この結果、政策ゲームCでは、基本ゲームにおける均衡解1のみが成立し、完全情報下でのファーストベスト解と同じ結果が実現される。

(5) 分析結果の政策的含意

本研究では、ETC市場のstart up問題に対して、ETC価格に関する通時的金銭外部性とETC購入のための意思決定費用に着目し、このようなETCの市場環境において、個々のドライバーがETCを購入し、社会の中でETCが普及するかどうかについて分析を試みた。本研究の分析結果が明らかにしたことは大きく以下の2つの点である。第1に、ETC市場において、通時的金銭外部性と意思決定費用が存在する時、ETCを購入することによって正の消費者余剰を確保できたとしても、個々のドライバーはETCの購入に踏み切らない可能性がある。すなわち、ETCに対して大きな経済価値を有するドライバーがETCを購入する意思を有していたとしても、将来のETC価格の低下を期待して、ETCの購入を先送りすることが起こり得る。一方、ETCの購入を検討するための意思決定費用が存在するため、ETCの経済価値が小さいドライバーは、将来のETC価格が大幅に低下しないと予想し、ETCの購入を継続的に検討しない可能性がある。この時、ETC市場が初期状態にロックインし、ETCの普及が阻害される結果となる。第2に、このような初期ロックイン現象を解消するためには、個々のドライバーのETC購入特性に合わせた複合的政策を導入することが不可欠である。ETCを効率的に普及させるためには、ETC導入段階において、ETCの経済価値が大きいドライバーがETCを購入するとともに、経済価値の小さいドライバーが購入を継続的に検討するというETC普及プロセスが必要となる。本章でとりあげた一時的な補助政策と情報開示政策は、それぞれ異なるタイプのドライバーに対して社会的に最適なETC購入手動を選択させる上で効果的な政策である。しかしながら、それぞれのタイプのドライバーを対象とした個別的政策が必ずしも他のタイプのドライバーに対して社会的に最適なETC購入手動を促すとは限らない。すなわち、ETC普及政策を単独に実施するだけでは、ETC市場のロックイン現象を完全に解消することができない。このような状況において、ETCの効率的な普及を図る上では、それぞれのタイプに属するドライバーの購入特性

に合った政策を組み合わせて実施することが必要である。なお、以上の知見は、本モデルの前提が成立する範囲でのみ有効であることに留意する必要がある。特に、本研究で検討したETC普及政策は、ETC市場環境において通時的金銭外部性と意思決定費用が存在するという条件の下で、ETC市場のstart up問題を解決する上で効果を発揮するものである。したがって、2.(2)で整理したように、本研究で想定した要因と異なるETC普及の阻害要因が支配的な市場環境の下では異なる方策が必要となろう。

5. おわりに

本研究では、ETC価格に関する通時的金銭外部性とETC購入のための意思決定費用に着目し、異質なドライバーで構成される社会におけるETCの普及メカニズムを分析した。その結果、通時的金銭外部性と意思決定費用という2つの要因が相互依存的に機能するため、ETC市場が発展せず初期状態にロックインされることが理論的に明らかとなった。本研究では、このようなETC市場のロックイン現象を解除するための政策（ETC普及政策）として補助金政策と情報開示政策をとりあげ、ETCの普及過程に及ぼす影響について分析した。しかし、これらの政策単独では、通時的金銭外部性と意思決定費用の存在による初期ロックイン現象を解決しないため、ETCの普及が進展しないことが判明した。この場合、通時的金銭外部性と意思決定費用の存在がもたらす問題を解決するためには、上述の2つの政策を同時に適用することが不可欠であることを明らかにした。

本研究では、ETC市場のstart up問題に対して、通時的金銭外部性とETC購入のための意思決定費用の存在に着目した。しかし、ETC市場のロックイン現象は、本研究でとりあげた要因だけでなく、それ以外の数多くの原因にも影響を受けていることも事実であり、多くの課題が今後に残されている。第1に、2(2)で言及したように、ETC市場には、通時的金銭外部性以外にも多様な外部性が働く可能性がある。それらの外部性の存在が、ETC市場の発展を阻害するメカニズムを分析することが必要である。このような外部性に規模の経済効果が存在する場合、ETC市場のロックイン現象を効果的に解除する政策を導入することが必要となる。第2に、本研究では、ドライバーの意思決定費用が存在する結果、ETC購入の有無を考えないというドライバーの意識に関わるstart up問題をreal option理論を用いてモデル化した。交通行動モデルリングにおけるreal option理論の適用可能性に関しては十分に研究が蓄積されていない。今後、real optionモデルを用いた交通モデリングの方法論を開発するとともに、実証的な推計方法に関して研究を蓄積することが必要である。第3に、本研究では2期間モデルを用いてETCの普及政策に関して分析を試みた。2期間の意思決定問題を想定したため、ドライバーが他のドライバーの

行動に基づいて学習するという効果を見逃している。このようなドライバーの学習行動や、ETC生産企業の学習行動、あるいは、ドライバーのETCの買い換え行動に基づいて、ETC市場の発展戦略を分析するためには、多期間を対象とした動学モデルを開発することが必要である。最後に、本研究では、ETC普及政策の効果に関して規範的な分析を行い、各政策の是非を検討した。ただし、本研究で検討したETC普及政策を実用化する上では、補助金やETCの将来価格の設定等、政策の実現可能性に関する更なる検討が必要となろう。これらの点に関する詳細な分析は今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局有料道路ホームページ：
(<http://www.mlit.go.jp/road/yuryo/index2.html>)
- 2) 財団法人道路システム高度化推進機構：平成15年度効果的なETC普及促進策実施計画に向けた検討業務報告書，2004。
- 3) 岡本直久，石田東生，佃晋太郎，古屋秀樹：車載器購入行動分析に基づくETC普及メカニズムに関する考察，土木計画学研究・論文集，No.20，pp.871-877，2003。
- 4) 福田大輔，渡邊健，屋井鉄雄：利用者間の相互依存性を考慮したETC車載器普及モデル，土木計画学研究・論文集，No.21，pp.463-472，2004。
- 5) 奥野正寛，鈴木興太郎：ミクロ経済学I,II，岩波書店，1988。
- 6) Scitovsky, T.: Two concepts of external economies, *Journal of Political Economy*, Vol.62, pp143-151, 1954.
- 7) Dixit, A. K. and Pindyck, R. S.: *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, 1994.
- 8) Trigeorgis, L.(ed.): *Real Options in Capital Investment: Models, Strategies, and Applications*, Praeger, 1995.
- 9) Trigeorgis, L.: *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*, MIT Press, 1996.
- 10) Copeland, T. and Antikarov, V.: *Real Options*, Texere, 2001.
- 11) 林紘一郎：ネットワークの経済学，NTT出版，1989。
- 12) 岡田章：ゲーム理論，有斐閣，1996。

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*

羽鳥剛史**, 安野貴人***, 小林潔司****

ETCは新しい技術であり、導入段階における利用率の増加に伴って、将来価格が低下するという通時的金銭外部性が存在する。本研究では、ETC価格に関する通時的金銭外部性とETC購入を検討するための意思決定費用に着目するとともに、個々のドライバーのETC購入行動をreal optionモデルとして定式化し、ETC価値に関して異質性を有するドライバーから構成される社会において、ETCが普及するプロセスを分析する。さらに、ETC普及政策として補助金政策と情報開示政策をとりあげ、個々の政策単独ではETCの効率的な普及を実現することが出来ず、これらの政策を組み合わせた複合的政策が必要であることを理論的に示した。

Diffusion Mechanism of ETC with Diachronic Pecuniary Externalities and Decision-making Costs*

By Tsuyoshi HATORI**, Takato YASUNO*** and Kiyoshi KOBAYASHI****

ETC (Electronic Toll Collection System) is a new technology and has the property that the rise of the number of drivers purchasing ETC device in the start-up period reduces its future price. In this paper, a real option model is formulated to investigate drivers' purchasing behavior in the presence of the diachronic pecuniary externalities and decision-making costs. Furthermore, alternative policies, 1) temporary financial support program and 2) information disclosure, are introduced. It is shown that for the prevalence of ETC, it is required to implement a combination of policies which have each different effect for different types of drivers.
