

# ETC システムの普及と金銭的外部性\*

Prevalence of ETC and pecuniary externalities\*

羽鳥剛史\*\*・小林潔司\*\*\*

by Tsuyoshi HATORI\*\*・Kiyoshi KOBAYASHI\*\*\*

## 1. はじめに

ETCは有料道路の料金支払いの迅速化を図るシステムであるとともに、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る。しかしながら、料金の決済方法や割引制度、車載器の価格抵抗等、種々の要因によってETCの普及が促進されず、その普及促進政策の実施が重要な課題となっている。

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、導入初期段階においてETC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、道路利用者が他の利用者の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。ETCが社会の中で普及するか否かは、このような外部性に大きく依存している。

本研究では、新しい技術であるETCの初期投資(ETC端末機とその取り付け費用)に関する経済主体(道路利用者)の意思決定に着目し、社会の中でETCの普及が促進されるかどうかを分析する。その結果、金銭的な外部経済が存在する場合、ETCが正の消費者余剰を有するときでも個々の経済主体が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分析する。さらに、各経済主体が合理的に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、基本モデ

ルを定式化し、均衡解を分析する。4.では、社会の中でETCを普及させるための制度設計を検討する。

## 2. 本研究の基本的な考え方

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。こうした生産費用の低下がETCの購入価格に反映されるとき、将来のETC価格は現時点の他の経済主体のETC購入行動に大きく依存する。すなわち、通時的な金銭的外部性が存在する。金銭的外部性は、他の経済主体の行動が当該経済主体の関係する財・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<sup>1),2)</sup>。このような外部性は市場を通じて波及するものであり、通常市場取引を通じた効率的な資源配分の失敗(市場の失敗)をもたらさない<sup>3)</sup>。しかし、通時的な外部性が存在する場合、ETCが正の消費者余剰をもたらすにもかかわらず、各経済主体が他の経済主体のETC購入行動による価格低下を期待して、ETC購入の決定を引き伸ばし、ETCの普及が促進されない可能性がある。また、多くの経済主体がETCの購入を延期したとき、将来のETC価格の低下は小さく、結果として非効率的な経済活動が実現し得る。本研究では、このような状況の下でETCがより多くの経済主体によって購入され、社会の中に普及するかどうかについて分析し、そのための制度設計を検討する。

## 3. 基本モデル

### (1) モデル化の前提条件

$n + 1$ 人で構成される社会において、個々の経済主体がETCを購入するか否かを決定する問題を取りあげる。経済主体がETCシステムを利用するため

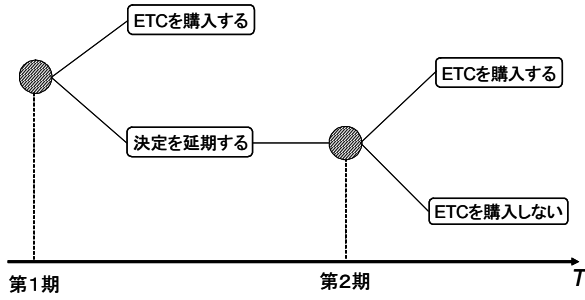
\*キーワード：計画基礎論、金銭的外部性

\*\*学生会員 工修 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 075-753-5072, FAX 075-753-5073)

\*\*\*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)



図－1 基本モデルの意思決定構造

には、ETC 車載器の購入費用や取り付け費用等、その利用にあたっての初期費用が必要となる。ETC は経済主体の個人的利用に供され、それを転売するための中古市場が存在しない、もしくは、転売しようとしても極めて多額の取引費用が必要となる。すなわち、ETC システムを利用するための投入費用は、ETC を購入した時点でサンクされ、事後的に投入費用を回収することが不可能であると考えよう。

経済主体が ETC システムを利用するためには、上述したような埋没（サンク）費用が発生する。したがって、経済主体の ETC 購入行動は不可逆性を有する投資問題としてモデル化することが可能である。いま、図－1 に示すような 2 期間モデルを考える。すなわち、第 1 期において、個々の経済主体は、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決定する、という 2 つの代替案の中から 1 つを選択する。第 1 期において ETC を購入することが決定された場合（代替案 1 が選択された場合）、意思決定過程は終了し、経済主体は第 2 期において決定を変更することはないと仮定する。決定を延期した（代替案 2 を選択した）経済主体は、第 2 期において、再度 ETC を購入するか否かを決定する。経済主体の ETC 選択問題は、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経済主体は、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。

経済主体が 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。ここで、第 1 期と第 2 期の間で金銭的外部性が働き、第 2 期の ETC の価格が第 1 期の ETC 購入者数に依存して逓減すると仮定する。さらに、基本モデルを定式化するにあたり、ETC の経済価値はすべての経済主体にとって同一であり、当

該期間を通じて ETC の消費者余剰は正の値をとると仮定する。すなわち、第 1 期においても ETC の経済価値がその価格を上回り、すべての経済主体にとって ETC を購入することが正の効用をもたらすような状況を想定する。しかしながら、このような状況においても金銭的外部性が働くことによって、経済主体は第 2 期においてより安い価格で ETC を購入しようと意思決定を延期し、ETC の普及が促進されない可能性がある。さらに、多くの経済主体が第 1 期の購入を控えた場合、第 2 期の ETC 価格が減少せず、結果的に非効率的な遅延が実現することもある。すなわち、通時的な金銭的外部性が作用するために、各経済主体は合理的に行動しているにもかかわらず、結果として市場のコーディネーションに失敗するという現象が生起する。本研究ではこのような社会において ETC が普及するメカニズムについて考察する。

## (2) モデルの定式化

第  $T$  期 ( $T = 1, 2$ ) の ETC の消費者余剰  $V$  は、ETC の経済価値  $\theta$  と当該期の ETC 価格  $c^T$  を用いて

$$V^T = \theta - c^T \quad (1)$$

と表される。ここで、本期間を通じて ETC の購入は正の消費者余剰をもたらすことを保証する次の条件

$$\theta > c^1 \quad (2)$$

を仮定する。ETC を購入せず現状維持を選択した経済主体は、価値 0 を獲得する。ETC から得られる効用は、各経済主体が ETC を購入した時点において発生するが、それぞれの経済主体は将来の効用（第 2 期に ETC を購入した場合の効用）を割引因子  $\delta$  で割り引いて評価することを仮定する。また、金銭的外部性が作用するため、第 2 期の ETC の価格  $c^2 = c^2(X)$  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  $c^2(X)$  は第 1 期の購入者数  $X$  の増加に従って逓減するため、以下の条件を仮定する。

$$\frac{dc^2}{dX} < 0 \quad (3)$$

第 1 期において、各経済主体は、1) ETC を購入する、2) ETC 購入に関する決定を延期し、次期に

において改めて意思決定する、という2つの代替案の中から1つを選択する。経済主体 $i$  ( $i = 1, \dots, n+1$ )の第1期の選択行動 $s_i^1$ は以下で定義される。

$$s_i^1 = \begin{cases} A : ETCを購入する \\ D : 決定を延期する \end{cases} \quad (4)$$

第1期にETCを購入した経済主体の人数 $X$ は

$$X = |\{j | s_j^1 = A, j = 1, \dots, n+1\}| \quad (5)$$

で表される。ここで、 $|\{\cdot\}|$ は集合 $\{\cdot\}$ に属する要素数を表している。第1期において決定を延期した経済主体は、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。経済主体 $i$  ( $i = 1, \dots, n+1$ )の第2期の選択行動 $s_i^2$ を

$$s_i^2 = \begin{cases} A : ETCを購入する \\ N : ETCを購入しない \\ - : 第1期にETCを購入した時 ( $s_i^1 = A$ ) \end{cases} \quad (6)$$

で定義する。ただし、第1期においてETCを購入した場合、第2期の行動は定義されない。

基本モデルにおいて、各主体は混合戦略を採用する。第 $T$ 期 ( $T = 1, 2$ )において経済主体 $i$  ( $i = 1, \dots, n+1$ )がETCを購入する(行動 $A$ を選択する)確率を $\rho_i = (\rho_i^1, \rho_i^2)$ で表す。第 $T$ 期 ( $T = 1, 2$ )の各経済主体の戦略の組を $\rho^T = (\rho_1^T, \dots, \rho_{n+1}^T)$ で表す。

### (3) 経済主体の選択問題と均衡解

各経済主体がETCの購入に関して第1期、第2期に直面する問題を定式化する。それぞれの経済主体は、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。第1期において、各経済主体は2つの代替案の中から期待利得が最大となる戦略を購入する。ETCを購入する場合の(期待)利得は $\theta - c^1$ で表される。意思決定を延期する場合に得られる期待利得は、第2期に得られる期待利得を割引因子 $\delta$ で乗じた値となる。第2期に得られる期待利得は、第1期のETC購入者数 $X$ に依存するが、この値は他の経済主体の戦略に従って決定される。したがって、決定を延期した経済主体が第2期に得られる期待利得を $E[\Phi(X)|\rho^1]$ で表す。ここで、最適値関数 $\Phi(X)$ は、第1期のETC購入者数 $X$ に対して、第2期に経済主体が最適な行動選択を実施した場合に得られる期待

利得を表している。最適値関数 $\Phi(X)$ の値については以下で説明する。期待利得 $E[\Phi(X)|\rho^1]$ は

$$E[\Phi(X)|\rho^1] = \sum_X \text{Prob}(X|\rho^1)\Phi(X) \quad (7)$$

で定義される。ここで、 $\text{Prob}(X|\rho^1)$ は、他の経済主体の戦略 $\rho^1$ を与件として、第1期に $X$ の経済主体がETCを購入する主観的確率を表す。以上より、第1期における経済主体の選択問題は

$$\max\{\theta - c^1, \delta E[\Phi(X)|\rho^1]\} \quad (8)$$

で定式化される。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を表している。

第2期において意思決定を行う各経済主体は、第2期のETCの価格 $c^2(X)$ を与件として、ETCを購入するか否かを決定する。第2期における経済主体の選択問題は

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

で定式化される。ここで、最適値関数 $\Phi(X)$ 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期待利得と定義される。

基本モデルの部分ゲーム完全均衡は、以下の条件を満足する戦略の組 $(\rho_1^*, \dots, \rho_{n+1}^*)$ で表される。

**条件：**他の経済主体の戦略を与件として、経済主体 $i$  ( $i = 1, \dots, n+1$ )の戦略 $\rho_i^* = (\rho_i^{1*}, \rho_i^{2*})$ は、各期において、経済主体 $i$ の期待利得を最大にする。

この条件は戦略 $\rho_i^*$  ( $i = 1, \dots, n+1$ )が上記で定式化された各期の選択問題の解となることを表している。

基本モデルにおける部分ゲーム完全均衡として以下に示す2つのケースが存在する。

**ケース1：**すべての経済主体が第1期にETCを購入する。

$$(\rho_i^{1*}, \rho_i^{2*}) = (1, -) \quad (i = 1, \dots, n+1) \quad (10)$$

$$\text{ただし, } \theta - c^1 \geq \delta\{\theta - c^2(n)\} \text{ が成立する時} \quad (11)$$

**ケース2：**すべての経済主体が第1期に混合戦略を採用し、第2期にはETCを購入する。

$$(\rho_i^{1*}, \rho_i^{2*}) = (\mu, 1) \quad (i = 1, \dots, n+1) \quad (12)$$

ただし、条件式(11)が成立しない時

ここで、ケース2における混合戦略 $\mu$ に関して、以下の関係式が成立する。

$$\theta - c^1 = \delta E[\Phi(X)|(\mu, \dots, \mu)] \quad (13)$$

ケース1では、第1期にすべての経済主体がETCを購入する。このとき、ETCの普及が促進される。ケース2では、経済主体は、第1期にETCを購入するか、決定を延期するか無差別となり混合戦略を用いる。混合戦略 $\mu$ について成立する関係式(13)は、経済主体にとっての無差別条件を表している。第1期において決定を延期した経済主体は、第2期に価格 $c^2(X)$ でETCを購入する。ケース2が実現するとき、経済主体の中で第1期にETCを購入する主体と決定を延期する主体とが混合する結果となる。ただし、多くの経済主体が購入を待つことを選択した場合、ETCの普及は促進されない。さらに、第2期においても、ETC価格が予想よりも逓減せず、結果的に非効率的な遅延が実現する。すなわち、市場のコーディネーションが失敗する可能性がある。

ケース1が実現し、経済主体が第1期にETCの購入に踏み切るためには、条件式(11)が成立しなければならない。この条件は、他の経済主体が第1期にETCを購入したとしても、第1期にETCを購入することが各経済主体にとって高い利得をもたらすことを保証する条件である。ただし、金銭的外部性が大きい場合、条件(11)は成立しない。このとき、少数の経済主体のみがETCを購入し、ETCの普及が促進されない。次章で、どのような制度の下で、ケース1の解が実現し、ETCの普及が促進されるかどうかを分析する。

#### 4. ETC普及のための制度設計

基本モデルにおいて、ETCの購入に関して金銭的外部性が大きいとき、ケース2が実現し、多くの経済主体が第1期にETCを購入することを控える結果、ETCの普及が進まない可能性がある。各経済主体は他の経済主体のETC購入行動とその結果生じる将来のETC価格の逓減効果を期待して、ETC購入に踏み込まない結果となる。ETCの普及を促進するためには、このような通時的な外部性の問題を解消する必要がある。すなわち、将来のETC価格の逓減効果を代替する政策の導入が求められる。本章では、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、ETCシステムの普及を図るために、限定期間を設け

てETC端末機を購入した家計に対して、その費用の一部を負担する政策が考えられる。以下では、第1期にETCを購入した経済主体に対して補助金 $d$ が支払われ、その投資費用の負担が軽減される状況を想定する。補助政策の導入によって、ケース1の均衡解が成立するための条件は

$$\theta - c^1 + d \geq \delta\{\theta - c^2(n)\} \quad (14)$$

と表される。条件式(14)は、基本モデルにおけるケース1の条件式(11)よりも緩い制約を課すものである。したがって、補助金 $d$ を導入することによってケース1の均衡解が実現し、経済主体間のETC購入行動が促進される。すなわち、臨時的な補助政策を導入することによって、将来のETCの価格逓減効果(金銭的外部性)に基づくETC購入の遅延を解消することが可能であり、ETCの普及が促進される。

本章では、ケース1が成立し、ETCの購入が促進されるための制度設計を検討した。ただし、ETC価格の逓減効果を補助金の導入によって代替し、ETCの購入を促進するためには、臨時的な補助政策が必要となる点に注意する。すなわち、補助金の給付を第1期にETCを購入した経済主体に限定することによって、第2期までETC購入を控えることに対する経済主体のインセンティブが軽減される。この結果、ETC購入の遅延が抑制される結果となる。

#### 5. おわりに

本研究では、経済主体がETCの購入に踏み込むかどうかを分析するモデルを定式化した。ETCが正の消費者余剰を有するときでも、通時的な金銭的外部性によって経済主体それぞれがETCの導入段階で意思決定を先送りし、ETCの普及が促進されないことを示した。さらに、ETCの普及政策について考察し、臨時的な価格の補助政策の必要性を明らかにした。

#### 参考文献

- 1) Scitovsky, T.: Two concepts of external economies, *Jornal of Political Economy*, Vol.62, pp143-151, 1954.
- 2) 奥野正寛, 鈴木興太郎: ミクロ経済学I,II, 岩波書店, 1988.
- 3) 岸本哲也: 公共経済学, 有斐閣, 1986.