

# 社会的同調効果を考慮した電気自動車普及要因分析

広島大学大学院工学研究科  
 広島大学大学院工学研究科  
 広島大学大学院工学研究科

学生員 ○松原 司  
 正会員 塚井誠人  
 正会員 桑野将司

## 1. はじめに

地球環境問題への対策として、自家用車からのCO<sub>2</sub>やNO<sub>x</sub>等の排出量削減のために、電気自動車等の低公害車への転換が推進されている。しかし、現在販売されている電気自動車は、ガソリン自動車やハイブリッド自動車と比較して、航続距離が短い、車両価格が高いなど、普及に関する課題は多い。

本研究は新たに車種選択モデルを開発し、そのモデルを用いて電気自動車の普及要因、普及シミュレーション分析を行い、電気自動車普及促進施策の提案を行うことを目的とする。

## 2. アンケート調査票の設計と使用データの概要

調査の概要を表1に示す。本調査は、2010年12月21日(水)～22日(木)にかけて、インターネットによるWeb調査方式で実施した。調査内容は個人・世帯属性、保有自動車属性、自動車利用実態、環境意識、電気自動車に関する意識、およびガソリン自動車、ハイブリッド自動車、電気自動車の選好意向を問うSP調査である。ただし、保有自動車属性と自動車利用実態に関しては、保有自動車のうち、1台についてのみを対象としており、複数台保有世帯には、回答者が日常的に利用している自動車を対象とした。

表1 調査の概要

調査名	電気自動車導入可能性意識調査
期間	2010年12月21日～22日
方法	Web調査
対象者	鳥取県内に居住する自動車利用者
回答サンプル	400
有効サンプル	398

本研究では、消費者の車種選択における意思決定メカニズムは、選択肢集合の形成段階（選別段階）と、その選択肢集合の中から最も望ましい選択肢を選ぶ段

階（選択段階）の2段階で構成されていると考えた。したがって、本調査を行うにあたって、選択肢集合形成メカニズムを考慮したSP調査票を設計した。設計したSP調査票を図1に示す。

### ① 選別段階

電気自動車の価格・性能が以下の表のようになったとします。あなたは、現在の自動車を買替える際に、この電気自動車の購入を検討しますか。

車両価格	250万円
航続距離	300km
給電時間	30分
維持費	3000円/千km
新車販売割合	10%
外出時に見かける割合	ほぼ見ることはない

検討する

検討しない

### ② 選択段階

1) それぞれ以下の表のような特性を持つ自動車が販売されています。あなたは、どの自動車を購入しますか。

ガソリン自動車 <sup>a)</sup>	ハイブリッド自動車 <sup>a)</sup>	電気自動車 <sup>b)</sup>
車両価格	車両価格	車両価格
航続距離	航続距離	航続距離
給油時間	給油時間	給電時間
維持費	維持費	維持費
		新車販売割合
		外出時に見かける割合

2) それぞれ以下の表のような特性を持つ自動車が販売されています。あなたは、どの自動車を購入しますか。

ガソリン自動車 <sup>a)</sup>	ハイブリッド自動車 <sup>a)</sup>
車両価格	車両価格
航続距離	航続距離
給油時間	給油時間
維持費	維持費

a)水準は表3-1に示す通り  
 b)水準は選別段階と同じ水準を使用

図1 選択肢集合形成メカニズムを考慮したSP票

## 3. 社会的同調効果を考慮した車種選択モデル

### 1) 選別段階を考慮した車種選択モデルの開発

各個人が自動車購入時に異なる選択肢集合を持つこと、車種選択において、個人の選好が新車の車種別販売割合に左右される社会的同調効果が存在すること、および各個人が車種選択に関して異なる選好を持つことを同時に考慮した車種選択モデルを開発した。

まず、選別段階を考慮するために、個人*i*が選択肢*j*を選択する確率  $p_i(j)$  を、電気自動車が選択肢集合に含まれる確率（選別確率）  $Q_i$  と、選択肢集合から選択

肢  $j$  を選択する確率によって、式(1)で定義する。

$$p_i(j) = Q_i \times \frac{\exp(v_{ij})}{\sum_{j=1,2,3} \exp(v_{ij})} + (1 - Q_i) \times \frac{\exp(v_{ij})}{\sum_{j=1,2} \exp(v_{ij})} \quad (1)$$

電気自動車の選別確率  $Q_i$  には、社会的同調効果を表現する代理変数として、電気自動車の新車販売割合  $s_{i,j=3}$  を導入し、式(2)として定式化する。

$$Q_i = \frac{\exp(\sum_l \gamma_l z_{il} + \eta s_{i,j=3})}{\exp(\sum_l \gamma_l z_{il} + \eta s_{i,j=3}) + 1} \quad (2)$$

ここで、 $z_{il}$  は個人  $i$  の  $l$  番目の個人属性や電気自動車の車両属性に関する説明変数、 $\gamma_l$ 、 $\eta$  は未知パラメータである。式(1)に現れる選択確率に関する効用関数  $v_{ij}$  も選別段階と同様に、社会的同調効果が存在すると考えるため、式(3)で表現する。

$$v_{ij} = \sum_k \alpha_k x_{ijk} + \beta s_{i,j=3} \quad (3)$$

ここで、 $x_{ijk}$  は個人  $i$  の車種  $j$  に関する  $k$  番目の説明変数、 $\alpha_k$ 、 $\beta$  は未知パラメータである。

## 2) 個人異質性の考慮

各個人が車種選択に関して異なる選好を持つことを考慮するために、クラス別に車種選択のパラメータが異なると仮定した潜在クラスモデルを用いる。潜在クラスモデルは式(4)で定式化される。

$$P_i(j) = \sum_{s=1}^S \{p_i(j|s) M_i(s)\} \quad (4)$$

ここで、 $p_i(j|s)$  は個人  $i$  が潜在クラス  $s$  に属しているときの選択肢  $j$  を選択する確率であり、式(1)が当てはまる。  $S$  は潜在クラスの数、 $M_i(s)$  は個人  $i$  が潜在クラス  $s$  に属する確率を表す関数（以下、帰属関数）である。帰属確率  $M_i(s)$  には、本研究では個人・世帯属性などの社会人工学的要因を用いて定義する。また、帰属関数については、最も汎用性の高いロジット型関数を適用し、式(5)で定義する。なお、個人  $i$  の帰属確率  $M_i(s)$  は、設定したクラスのどれかに属するという条件式(6)を満たす。

$$M_i(s) = \frac{\exp(\sum_n \theta_n D_{sn})}{\sum_{s=1}^S \exp(\sum_n \theta_n D_{sn})} \quad (5)$$

$$\sum_{s=1}^S M_i(s) = 1 \quad (6)$$

ここで、 $\theta_{sn}$  は未知パラメータ、 $D_{sn}$  は個人属性などの説明変数、 $n$  は説明変数の数である。

## 4. 提案モデルの有効性の検証

提案モデルの有効性の検証を行うため、3の1)で開発した選別段階を考慮した車種選択モデルと、従来法の選別段階を考慮しないモデルの比較を行い、選別段階に関するモデルの有効性を検証する。なお、モデル間の優劣の比較には、最終対数尤度とパラメータ数、サンプル数から算出される Bayesian Information Criterion (BIC) を用いる。BIC によるモデル比較は、パラメータ数とサンプル数で構成されるペナルティ項と最終対数尤度の両方を考慮しているため、観測データに対して無用なパラメータが設定されていると BIC が悪化するという望ましい性質を有している。BIC は式(7)によって求められる。

$$BIC = \ln(Lc) - 0.5 \times p \times \ln(N) \quad (7)$$

ここで、 $\ln(Lc)$  は最終対数尤度、 $p$  はパラメータ数、 $N$  はサンプル数である。

表2に、選別段階を考慮しない従来モデルと提案モデルのそれぞれの BIC を示す。表2より、選別段階を考慮しない従来モデルよりも、選別段階を考慮した提案モデルの方が BIC の絶対値の値が小さく、選別段階の考慮によってモデル適合度が向上したことがわかる。

次に、潜在クラスモデルによって個人異質性を考慮することによるモデルの有効性の検証を行う。潜在クラスモデルでは、候補となる複数のクラス数についてそれぞれモデル推定を行い、適合度指標を基づいて最適なクラス数を決定する必要がある。本研究では、潜在クラス数を1から5まで設定し、モデル推定を行った。潜在クラス数を変えた場合のモデルの適合度の比較結果を表3に示す。潜在クラス数が1、すなわち潜在クラスを考慮しない場合に比べて、潜在クラスが3のとき適合度が高く、かつ、そのときが最もモデルの適合度が高いことが明らかになった。

表2 選別段階を考慮しない従来モデルとの比較

モデル	BIC
従来モデル	-2446.6
選別段階を考慮したモデル	-2283.3

表3 潜在クラス数別モデル適合度の比較

設定した潜在クラス数	BIC
1 (潜在クラスなし)	-2283.3
2	-2283.2
3	-2281.4
4	-2420.5
5	-2488.1

### 5. 本提案モデルの推定結果

本提案モデルの推定結果を表4に示す。ここでは、有意となったパラメータのみを示す。推定結果より、潜在クラス1, 2に社会的同調効果が存在すること、また、クラス間で選別および選択段階に関するパラメータが有意で異なる結果が得られている。すなわち、各個人によって異なる選好を持つことが明らかとなった。

表4 本提案モデルの推定結果

潜在クラス (潜在クラスの名前)	潜在クラス1 (高齢者)	潜在クラス2 (中年者)	潜在クラス3 (若年者)
帰属関数 $M_i(s)$ の説明変数	推定値	推定値	推定値
年齢(十歳)	4.43	2.08	—
保有台数(台)	-12.89	-4.26	—
世帯年収(百万円)	0.56	0.22	—
世帯人数(人)	1.13	0.63	—
選別段階 $Q_i$ の説明変数	推定値	推定値	推定値
車両価格(万円)	-1.70	-2.51	-1.64
航続距離(km)		2.E-03	
充電時間(分)		-0.02	
新車販売割合(%)	0.01		
MM経験	0.29	0.14	
日常の環境意識度	-0.51		-0.31
CO <sub>2</sub> 排出量の意識度	0.48	0.45	
選択段階 $p_i(j s)$ の説明変数	推定値	推定値	推定値
車両価格(万円)(1~5) <sup>a)</sup>	-4.06	-6.22	-5.08
充電時間(分)(3) <sup>a)</sup>	-0.04		
新車販売割合(%) (3) <sup>a)</sup>		0.02	
定数項(1) <sup>a)</sup>	-2.86	-2.21	-2.63
定数項(2) <sup>a)</sup>	-0.69		
定数項(4) <sup>a)</sup>	-1.25	-1.26	-1.30
帰属確率	0.30	0.47	0.23
サンプル数		1920	
パラメータ数		31	
最終対数尤度		-2164.26	
BIC		-2281.44	

a) : 数字は説明変数が入力された選択肢

1 : 電気自動車を検討し、ガソリン車を選択

2 : 電気自動車を検討し、ハイブリッド車を選択

3 : 電気自動車を選択

4 : 電気自動車を検討せず、ガソリン車を選択

5 : 電気自動車を検討せず、ハイブリッド車を選択

注) —は、潜在クラスの基準化のため0

\*\*):1%有意 \*) :5%有意 +):10%有意

## 6. シミュレーション分析

### 1) シナリオの設定

政策変数に対する電気自動車の普及プロセスを明らかにするために、提案モデルの推定結果を用いた、シミュレーション分析を行う。以下、表5に示す3つのシナリオを設定する。シナリオ1では、一部世帯に電気自動車を無料配布する等の強力な施策により、社会的同調効果により電気自動車の普及率を高める状況を想定する。シナリオ2では、補助金などによる電気自動車の車両価格の低下を、シナリオ3では、技術革新による電気自動車の車両性能の向上を想定する。なお、各シナリオの世帯人数、自動車保有台数、世帯年収、年齢、及び環境意識度は、調査観測値をそのまま用いた。また、各自動車の車両性能は、現在市場で販売されている水準を考慮し、電気自動車については、車両価格350万円、航続距離150km、充電時間30分、新車販売割合0%を、ガソリン自動車、ハイブリッド自動車の車両価格については、それぞれ200万円、275万円、それらの航続距離については、それぞれ700km、1000kmとした。

表5 シナリオ

シナリオ名	具体的な内容
シナリオ1	電気自動車の普及率の上昇 (0%→10%→25%→50%)
シナリオ2	電気自動車の車両価格の低下 (350万円→300万円→250万円→200万円)
シナリオ3	電気自動車の車両性能の向上 (航続距離、充電時間:150km, 30分→300km, 5分)

### 2) シミュレーション結果

シナリオ1, 2, 3による各クラスの電気自動車の選択確率の変化を、それぞれ図2, 3, 4に示す。シナリオ1では、潜在クラス1と潜在クラス2には、社会的同調効果が存在するため、普及率の上昇に伴って電気自動車の選択確率も上昇することが明らかとなった。さらに、その影響は、潜在クラス1よりも潜在クラス2の方が大きい。

シナリオ2では、全クラスで、車両価格の低下とと

もに電気自動車の選択確率が上昇した。また、250万円程度までの車両価格の低下には潜在クラス3が最も反応する。一方で、200万円程度まで車両価格が低下すると、潜在クラス2の選択確率が最も向上することが明らかとなった。また、シナリオ3では、潜在クラス1と潜在クラス2は車両性能が向上するにつれて、電気自動車の選択確率も高くなることが示された。

3つのシナリオによるシミュレーション分析の結果から、電気自動車の普及のために、250万円程度まで車両価格を低下させる補助金施策が有効と考えられる。その施策は、主に世帯の自動車保有台数の多い、若年者が対象となる。施策の提案理由としては以下の通りである。潜在クラス3は、250万円程度までの車両価格の低下に対して最も電気自動車の選択確率が向上する。よって、補助金施策を行い、250万円程度まで車両価格を低下させることで、主に潜在クラス3、すなわち若年者の電気自動車の選択確率を高められる。潜在クラス3の電気自動車普及率を高めることができれば、残る潜在クラス1、および潜在クラス2には、社会的同調効果が存在するため、その効果によって、その他の2クラス、すなわち高齢者および中年者においても電気自動車の普及が期待できる。

## 7. おわりに

本研究では、各個人が自動車購入時に異なる選択肢集合を持つこと、車種選択において、社会的同調効果が存在すること、および各個人が車種選択に関して異なる選好を持つことを同時に考慮した車種選択モデルを開発し、開発モデルは有効であることが明らかとなった。開発したモデルの推定結果より、電気自動車購入時には、社会的同調効果が存在することが確認できた。また、普及シミュレーション分析によって、電気自動車の普及要因分析、および普及プロセスを明らかにした。さらに、電気自動車の普及促進施策を提案することができた。

### 参考文献

- 1) 北村隆一, 佐々木邦明, 山本俊行, 森川高行, 藤井聡: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版, 2002
- 2) 池田謙一: ロコモとネットワークの社会心理: 東京大学出版会, 2010

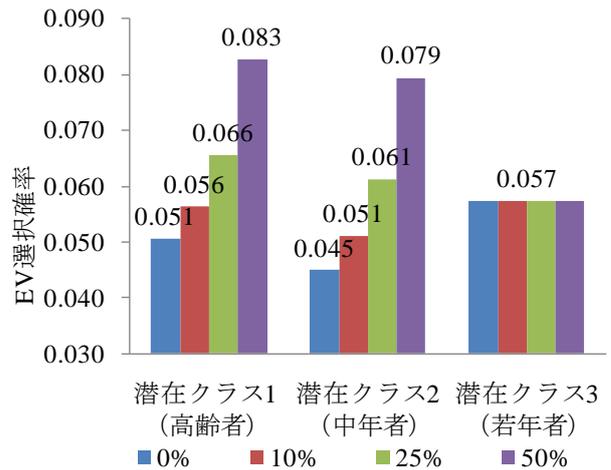


図2 シナリオ1のシミュレーション分析結果

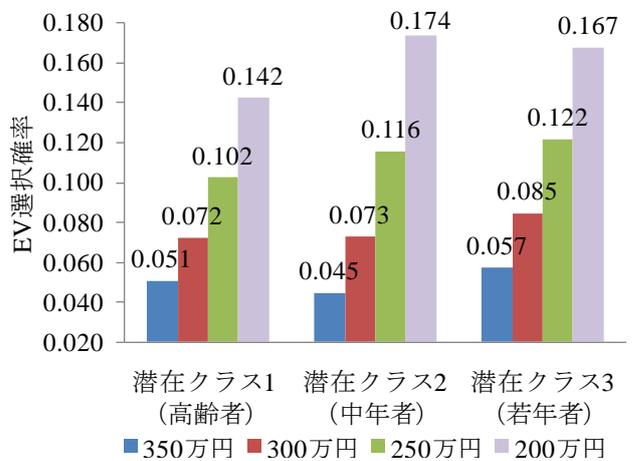


図3 シナリオ2のシミュレーション分析結果

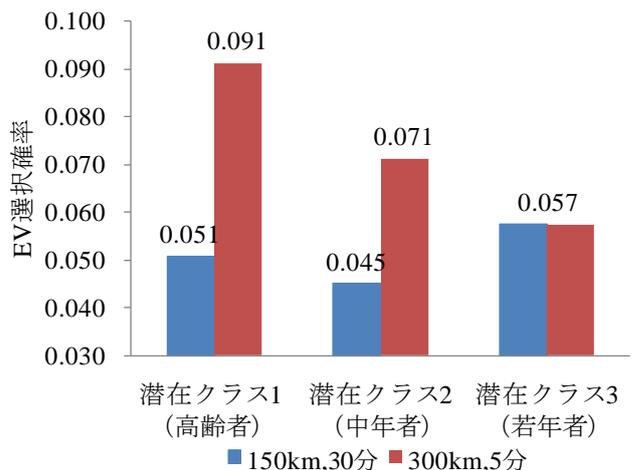


図4 シナリオ3のシミュレーション分析結果