

社会的同調効果を考慮した 電気自動車普及要因分析

松原 司¹・桑野将司²・塚井誠人³

¹学生会員 広島大学大学院 工学研究科社会基盤環境工学専攻 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

E-mail:m110781@hiroshima-u.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院助教 工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail:kuwano@port.kobe-u.ac.jp

³正会員 広島大学大学院准教授 工学研究院社会環境空間部門 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

E-mail:mtukai@hiroshima-u.ac.jp

本研究は、CO₂排出原単位の小さい電気自動車の普及要因を実証分析によって明らかにすることを目的とする。まず、電気自動車購入意識に関するアンケート調査を行った。次に、個人間の自動車購入検討時の選択肢集合の違い、車種選択における社会的同調効果の存在、および選択肢集合の異なるグループ間での車種選択の選好の違いについての異質性を同時に考慮した車種選択モデルを開発した。開発したモデルより、自動車購入時・車種選択時において、それぞれ選好の異質性がみられること、ならびに電気自動車購入時には社会的同調効果が存在することを明らかにできた。また、感度分析によって、電気自動車の普及要因の分析、およびその普及プロセスを明らかにした。以上をふまえて、電気自動車の普及促進施策を提案することができた。

Key Words : *electric vehicle(EV), social conformity*

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CO₂やNO_x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。

本研究では、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、感度分析を行い、電気自動車普及促進施策の提案を行う。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

社会的同調効果とは、各個人が行う意思決定の際に、他者の行動や世論に影響を受ける同調効果や追従効果を指す。社会的同調効果に関する研究は、社会学や社会心理学の分野を中心に進められてきた。これらの分野では、多様な環境下で社会的同調効果が現れることが実験を通じて確認されている^{1), 2)}。

交通行動分析において社会的同調効果は、社会的相互作用と呼ばれる。具体的には、交通行動に関して、他の意思決定主体の行動結果を参照して、自分の交通行動を決定するような相互作用を考慮した実証分析が行われている。森川ら³⁾は、社会的相互作用が存在する状況下で、個人の合理的な選択行動を記述することができるように選択理論の再構築を試みた。森川らは、自分以外の全ての他者の選択肢選択割合を、自らの効用関数の説明変数として用いることによって、他者の行動を参照した離散型選択モデルの手法を提案し、都市域における自動車利用自粛行動の意識分析に適用した。佐々木ら⁴⁾は、甲府都市圏パークアンドバスライド社会実験への参加意向に関して、個人の参加意向が集団の参加率によって変化する状況を実証分析した。その結果、各個人は、集団の参加率が高い場合には、自身の効用が多少損なわれても、集団と同調する行動を選択する傾向があることを明らかにした。福田ら⁵⁾は、社会的相互作用の影響を推計した既往研究のレビューを行い、交通行動モデルへの社会的相互作用の導入可能性の検討を行った。さらに、違法駐車問題を対象として、社会的相互作用が存在する状況下での集団行動変容の可能性について、定量的な考察を行

った。その結果、適切なモデル構築やデータ収集を行うことによって、社会的相互作用の計測と、それがマクロな集団行動に及ぼす影響分析を実施できる可能性を示した。

以上に示すように、社会的同調効果の研究は数多く行われているが、その適用は既存の選択肢として回答者に馴染みのある交通機関や交通行動に対して行われたものがほとんどであり、新技術の導入に関して社会的同調効果を扱った研究の蓄積は少ない。ロジャーズ⁶⁾は、電気自動車をはじめとする新技術の社会への普及プロセスは、採用者と追従者の間でおこる直接的な情報交換に加えて、世論や政策を通じて追従者に間接的に影響を及ぼす社会的同調効果の影響が強いと考察している。そこで、本研究では、社会的同調効果を考慮した電気自動車普及要因分析を行う。

3. アンケート調査票の設計と使用データの概要

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。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。SP調査票の例を図-1に示す。

設計した調査票を用いて行った調査の概要を表-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、電気自動車の選好意向である。ただし、本調査では、自動車を複数台保有している世帯については、回答者が最も日常的に利用している1台のみを対象とした。

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%

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	ハイブリッド自動車	電気自動車
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

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	ハイブリッド自動車
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

図-1 選択肢集合形成メカニズムを考慮した SP 票

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

4. 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

車種選択肢の選別段階において、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、個人の選好が準拠集団（ここでは、自分以外の全ての他者と仮定する）の車種別新車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。

選別段階について、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)を定式化する。

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

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)で定式化する。

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

ここで、 z_{il} は個人 i の l 番目の環境意識や電気自動車の車両属性に関する説明変数、 γ_l 、 η 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、社会的同調効果の存在を考慮した、式(3)を仮定する。

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

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、 α_k 、 β は未知パラメータである。式(2)、(3)から明らかのように、 η 、 β は社会的同調効果の程度を示している。

(2) 個人間異質性の考慮

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⁷⁾を用いる。一般的な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、 $p_i(j|s)$ は潜在クラス s に属す個人 i がの選択肢 j を選択する確率であり、式(1)が表させる。 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、帰属確率）である。

帰属確率 $M_i(s)$ は、個人・世帯属性などの社会人口学的要因を用いて定義する。また、帰属確率については、汎用性の高いロジット型関数を用いて、式(5)で定式化しておく。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。

$$M_i(s) = \frac{\exp(\sum \theta_{in} D_{in})}{\sum_{s=1}^S \exp(\sum \theta_{sn} D_{sn})} \quad (5)$$

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

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

(3) 尤度関数の定式化

式(1)から(6)より、潜在クラス s に属する個人 i の尤度関数 $L_i(s)$ は式(7)で表現できる。

$$L_i(s) = \prod_i \{P_i(j)\}^{\delta_{ij}} = \prod_i \left[\sum_{s=1}^S \{p_i(j|s)M_i(s)\} \right]^{\delta_{ij}} \quad (7)$$

ここで、 δ_{ij} は個人 i が選択肢 j を選択した場合に1、そうでない場合に0をとるダミー変数を表す。

5. 提案モデルの有効性の検証

選別段階に関するモデルの有効性を検証するため、4(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う。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

して冗長なパラメータが設定されていると値が悪化する
という、望ましい性質を有している。BICを式(8)に示す。
定義より、BICの値は小さいほうが適合度が高い。

$$BIC = -\ln(Lc) + 0.5 \times p \times \ln(N) \quad (8)$$

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BICをそれぞれ示す。表-2より、従来モデルよりも、
提案モデルの方がBICの値が小さく、選別段階の考慮に
よってモデルの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、適合度指標に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
数を変えていった場合のモデルの適合度の比較結果を表
-3に示す。モデル間の比較を行うと、潜在クラス数が3
のときに最もモデルの適合度が高いことが明らかとなっ
た。よって、本研究では潜在クラス数を3、と設定する。

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-4 本提案モデルの推定結果

潜在クラス	潜在クラス1	潜在クラス2	潜在クラス3
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 ₂ 排出量の意識度	0.48	0.45	
選別段階 $p_i(j s)$ の説明変数	推定値	推定値	推定値
車両価格(万円)(1~5) ^{a)}	-4.06	-6.22	-5.08
充電時間(分)(3) ^{a)}	-0.04		
新車販売割合(%) (3) ^{a)}		0.02	
定数項(1) ^{a)}	-2.86	-2.21	-2.63
定数項(2) ^{a)}	-0.69		
定数項(4) ^{a)}	-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、基準化のため、パラメータを0とした

**) : 1%有意 *) : 5%有意 +) : 10%有意

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

提案モデルの推定結果を表-4に示す。推定結果において新車販売割合のパラメータが正で有意であり、潜在クラス1, 2に社会的同調効果が存在すること、また、クラス間で選別及び選別段階の両段階におけるパラメータが有意で異なる結果が得られた。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。

6. 感度分析

(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て感度分析を行う。以下の表-5に示す、電気自動車に関する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、社会的同調効果を発揮させて普及率を高める状況を想定する。シナリオ2では、補助金などによる車両価格の低下を、シナリオ3では、技術革新による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%とした。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向上 (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) 分析結果

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になった。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感度分析の結果から、電気自動車の普及のためには、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であると考えられる。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。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普及率を高めることができる。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, 2には社会的同調効果が存在するために、その効果によって、その他の2クラスも電気自動車の普及が期待できる。

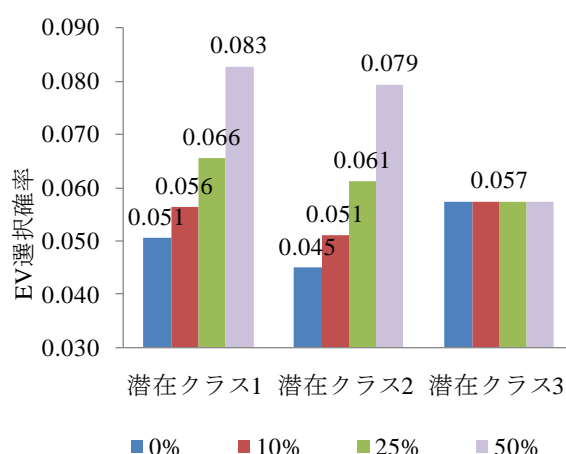


図-2 シナリオ1の感度分析

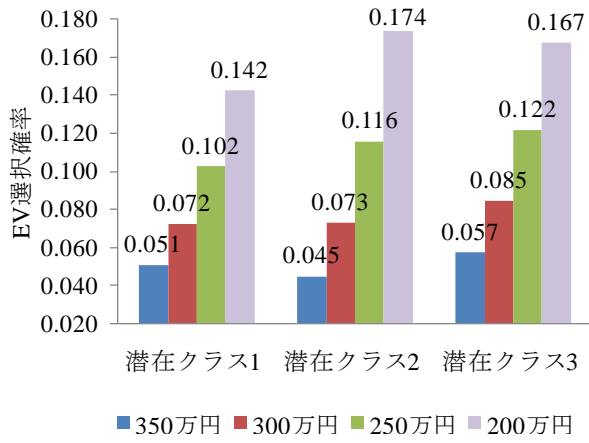


図-3 シナリオ2の感度分析

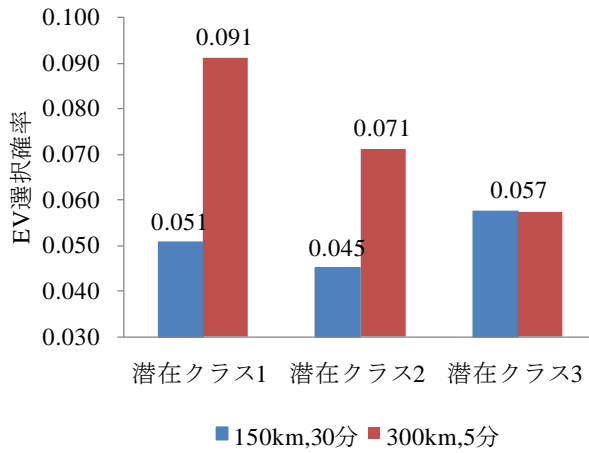


図-4 シナリオ3の感度分析

7. 価格弾性値の計算

各サンプルにおいて、普及初期（普及率0%）と普及均衡（普及率17.2%）の電気自動車、ガソリン自動車、およびハイブリッド自動車の車両価格に対する反応を比較するためにそれぞれの状態での弾性値を求める。普及均衡とは、電気自動車に対する施策を行わずに、社会的同調効果のみによって普及していき、普及が均衡に達したときと定義する。普及均衡の計算手順は、まず、ある時点 t でのガソリン自動車、ハイブリッド自動車、及び電気自動車の構成割合を (x, y, z) とし、ガソリン自動車の選択割合が100%のとき、すなわち $(100, 0, 0)$ のときを初期状態とした。そのときの各車種選択割合 P_i^t を車種選択モデルを用いて算出し、電気自動車の選択確率 P_3 を時点 $t+1$ のときの新車販売割合として、車種選択モデルに代入し、各車種選択割合 P_i^{t+1} を求めた。このようにして $t=0 \rightarrow \infty$ まで繰り返し計算を行った。

それぞれ3車種の車両価格に対する弾性値は、式(9)、(10)、(11)によって求められる。

$$E_{E_{price}}^{P_i(3)} = \frac{\partial P_i(3)}{\partial E_{price}} \times \frac{E_{price}}{P_i(3)}$$

$$= \sum_{s=1}^3 [Q_i \times p_i(3|s) \times \{(1-Q_i) \times \gamma_{price} + (1-p_i(3|s)) \times \alpha_{price}\} M_i(s)] \times \frac{E_{price}}{P_i(3)} \quad (9)$$

$$E_{G_{price}}^{P_i(1)} = \frac{\partial P_i(1)}{\partial G_{price}} \times \frac{G_{price}}{P_i(1)}$$

$$= \sum_{s=1}^3 [\alpha_{price} \times p_i(1) \times \{1-p_i(1)\} \times M_i(s)] \times \frac{G_{price}}{P_i(1)} \quad (10)$$

$$E_{H_{price}}^{P_i(2)} = \frac{\partial P_i(2)}{\partial H_{price}} \times \frac{H_{price}}{P_i(2)}$$

$$= \sum_{s=1}^3 [\alpha_{price} \times p_i(2) \times \{1-p_i(2)\} \times M_i(s)] \times \frac{H_{price}}{P_i(2)} \quad (11)$$

ここで、 E_{price} は電気自動車の車両価格の説明変数、 G_{price} はガソリン自動車の車両価格の説明変数、 H_{price} はハイブリッド自動車の車両価格の説明変数、 α_{price} は選択段階における車両価格のパラメータ、 γ_{price} は選別段階における車両価格のパラメータである。ならびに、 $E_{E_{price}}^{P_i(3)}$ は個人 i の電気自動車の車両価格に対する弾性値、 $E_{G_{price}}^{P_i(1)}$ は個人 i のガソリン自動車の車両価格に対する弾性値、 $E_{H_{price}}^{P_i(2)}$ は個人 i のハイブリッド自動車の車両価格に対する弾性値である。

普及初期と普及均衡時における、それぞれ車種の車両価格に対する弾性値の比較結果を図-5, 6, 7に示す。同図では横軸が普及初期、縦軸が普及均衡時の車両価格に対する弾性値を表している。また、表-4において車両価格のパラメータは負であり、いずれの弾性値も負で算出されるが、これらの図では算出した弾性値の絶対値を示す。図-5の電気自動車では、普及初期と普及均衡時の弾性値が変化しないことを表す直線にほぼ重なるようにプロットされている。したがって、社会的同調効果が発揮されて電気自動車の普及が進んだとしても、自動車利用者の車両価格に対する弾性値に大きな変化は見られない。また、図-5から7を比較すると、電気自動車の車両価格に対する弾性値は、他の車種の車両価格に対するものに比べて、大きな値を示している。

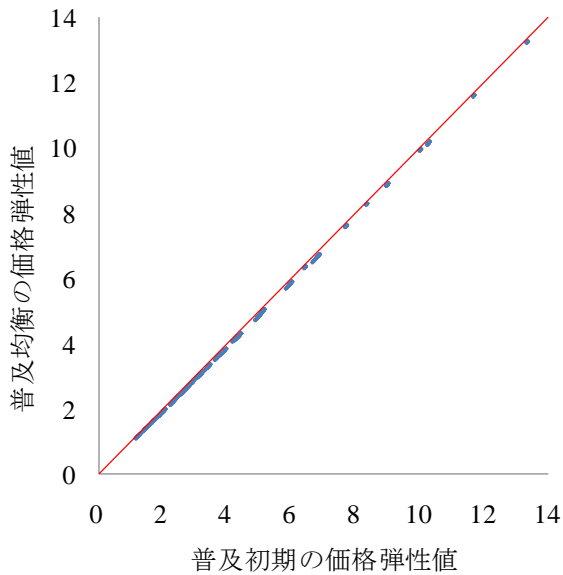


図5 電気自動車の車両価格に対する弾性値の比較

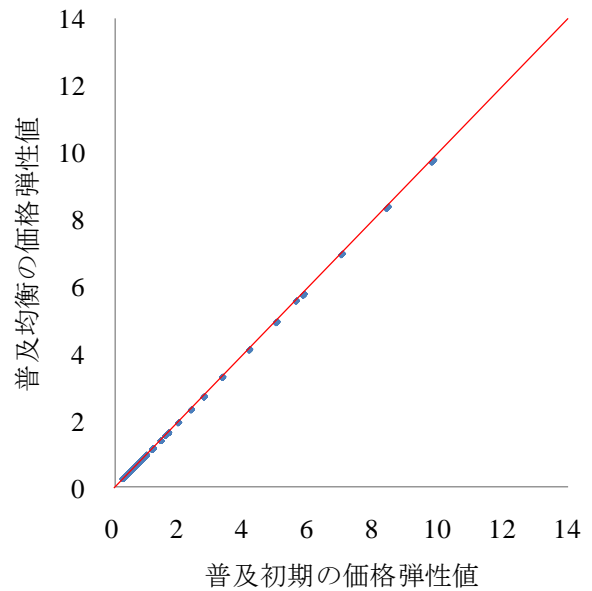


図7 ハイブリッド自動車の車両価格に対する弾性値の比較

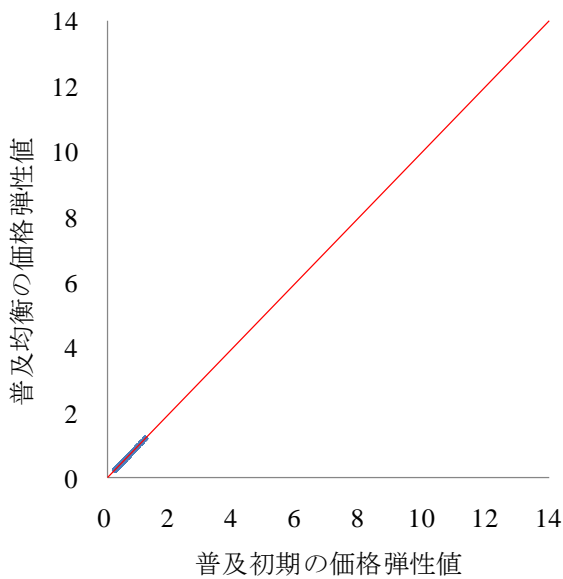


図6 ガソリン自動車の車両価格に対する弾性値の比較

8. 結論

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、実証分析によって、モデルの有効性を検証した。提案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、感度分析によって、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した。

ただし、本研究ではアンケート調査の対象者を、効率的なデータ収集を目的に現在自動車を保有している世帯に限定し、かつ現在保有している自動車のいずれかを買替える際の車種選好をSP調査によって質問した。しかし、既存のガソリン自動車やハイブリッド自動車と車両性能が異なる電気自動車は、現在自動車を保有していない世帯が新規購入する可能性や自動車保有世帯が追加購入する可能性がある。今後は、それらの世帯を含めた調査の実施や、現在保有している自動車の保有特性や利用特性の把握を行う必要がある。

参考文献

- 1) 海野道郎：社会的ジレンマ解決の可能性，社会学研究，Vol.55，pp.121-135，1990.
- 2) Ajzen I：The Theory of Planned Behavior, *Organizational Behavior and Human Decision Process*, Vol.50, pp.179-

- 211, 1991.
- 3) 森川高行, 田中小百合, 荻野成康: 社会相互作用を取り入れた個人行動モデル—自動車利用自粛行動への適用—, 土木学会論文集, Vol.4-36, No.569, pp.53-63, 1997.
 - 4) 佐々木邦明, 西井和夫, 土屋勇太: パークアンバーストライド利用意向がマクロの利用率から受ける影響に関する研究, 土木学会計画学研究・論文集, Vol.20, No.4, pp.835-841, 2003
 - 5) 福田大輔, 上野博義, 森地茂: 社会的相互作用存在下での交通行動とマイクロ計量分析, 土木学会論文集, No.765, pp.49-64, 2004
 - 6) 池田謙一: ロコミとネットワークの社会心理, 東京大学出版会, 2010
 - 7) 北村隆一, 森川高行, 佐々木邦明, 藤井聡, 山本俊行: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版, 2002

Analysis on Promoting Factor of Electric Vehicle with Social Conformity

Tsukasa MATSUBARA, Masashi KUWANO and Makoto TSUKAI

Passenger cars are major source of CO₂ in Japan. The promotion of electric vehicles(EVs) would contribute to CO₂ reduction. The purpose of this study is to clarify the promoting factors of EVs, and to propose effective EVs promoting policies. A questionnaire survey in Tottori Prefecture was conducted through a Web survey. The collected data was analyzed by using a new vehicle-type choice model, which can consider social conformity, forming the choice set, and heterogeneities in their preference. The estimated model gave an empirical evidence for an effectiveness of the proposed model on empirical study. Moreover, the estimation results concerning the membership probability clarified that household characteristics were significant factors to explain inter-personal heterogeneity. Social conformity was significant not only for forming the choice set, but also for the vehicle-type choice.