

電気自動車の購入補助金の政策評価

—集計ネスティッドロジットモデル需要関数を用いて—

春日 啓一郎

<要 約>

世界の自動車市場は、これまで主流であったガソリン車に代わって電気自動車が普及し始めてきた。この背景には、2016年11月にパリ協定が発効したことが挙げられる。各国は、定められたCO₂の目標排出基準量を達成するために、主なCO₂排出の原因となっているガソリン車に代わる電気自動車の普及を進めている。しかし、日本においては、メーカーの方針や政府の施策の遅れが原因で、他の先進国諸国ほどの普及率ではない。本研究は、日本で電気自動車比率を高める施策を考察するため、電気自動車を含む自動車市場における需要関数を推定し、普及政策のシミュレーション分析を行った。需要関数の推定から、電気自動車においても価格の下落は需要を増加させ、価格弾力性が2.6%であることが示された。また、燃費や車格など自動車の品質の向上が需要を増加させることが分かった。シミュレーション分析の結果、電気自動車の購入に対する補助金制度と充電施設数の増加によって、消費者余剰が増加すると同時に電気自動車のシェア率が上昇し、CO₂の排出削減も達成されることが明らかとなった。

<キーワード>

EV, 充電施設, 集計ロジットモデル, 集計ネスティッドロジットモデル, 排出削減量

1. はじめに

地球温暖化の問題の重要性が世界で認識されるようになって久しい。世界各国で産業が発展すると同時に、温室効果ガスである二酸化炭素（以下、CO₂ という）の排出量は増加を続けており、世界の平均気温は上昇の一途をたどっている。この問題の解決を目指そうと、1997年に気候変動に関する国際的な枠組みである「京都議定書」が制定された。これは、世界全体での温室効果ガスの排出削減を目指し、先進国に対して排出削減量の目標値を定めた。そして近年、新興国や発展途上国の産業発展が進むことから、2015年に「パリ協定」が制定された。京都議定書と異なるのは、先進国のみならず、世界 196 か国にそれぞれ排出削減量の目標値を定めたことである。これにより、各国はこの削減目標の達成に向けて、それぞれ対策をとることが急がれている。そこで着目されたのが、地球環境に負荷をかけない次世代自動車の普及である。

自動車は生活必需品であると同時に、重要な産業の 1 つと言える。しかしながら、ガソリンや軽油を燃料とする自家用車や貨物自動車をもたらす環境への負荷は常に懸念されてきた。これまで普及してきた従来の自動車は、ガソリンを燃料とするエンジンを主要な動力源とするため、走行と同時に多くの CO₂ を排出し、地球環境には悪影響を及ぼし続けていた。ここで、CO₂ の排出問題を解決する 1 つが、ハイブリッド自動車（以下、HV という）と、電気自動車（以下、EV という）である。

HV は、動力源にエンジン（内燃機関）とモーター（電動機）の両者を組み合わせている。そのため、通常のガソリン車と比較すると一定量の燃料あたりの走行距離が長いので、CO₂ の排出量が少ない。例を挙げると、平均的なガソリン自動車の燃費が 1 リットルあたりで 20km 台であるのに対し、トヨタ自動車のプリウスはガソリン 1 リットルあたり 37.2km 走行できる¹。こうした特徴が評価され、エコカー減税や補助金などを通して、HV は次世代自動車の代表格として近年大きく普及してきた。

これに対し、EV は動力源にエンジンを一切使用せずモーターのみで走行できるため、CO₂ の排出が全くない。ゆえに、地球温暖化の一要因となっている温室効果ガスの削減に大きく寄与できる。こうした理由から、近年、ガソリンの自動車から EV への普及を推進する EV シフトが先進国を中心に活発化している。この EV シフトの担い手は、自動車メーカーだけでなく、パリ協定の基準を達成することを視野に入れている政府でもあることが特徴である。各国政府は、自動車メーカーへの技術開発支

¹ 国土交通省審査値 JC08 モードによる。

援を行うのと同時に、購入者に対して補助金の付与や利用に関する優遇措置を充実させている。

一方で、日本はEVの普及に大きな後れを取っている。多くのヨーロッパ諸国が普及率で1%以上を達成している一方で、日本での普及率は0.6%に満たない。今後、地球温暖化対策としてパリ協定の目標を達成する近道としても、ガソリン車はむしろHVではなく、CO₂を全く排出しないEVへと転換していく必要がある。

そこで、本稿では、日本で普及が進まないことの要因を明らかに、もって政策提言を行う。第一に、自動車市場における消費者の需要関数の推定においては、自動車の属性をガソリン、HV、EVの3種類に分類し、消費者がどのような要因でこれらの購入選択を行うのかを分析する。そして、日本政府が行っているEV普及に向けた政策について消費者余剰を計算し、政策の妥当性を検証する。これまで、日本におけるEV普及効果を計量的に分析した研究は十分に行われていない。また、現代の自動車購入選択において重要となっている、ガソリン車、HV、EVのカテゴリーを考慮した需要関数を推定した研究は皆無であり、本稿の新規性といえる。本研究は、日本がEVの普及を進め、世界で批准されたCO₂排出量の基準数値を達成するためにも重要である。

2. 現状分析

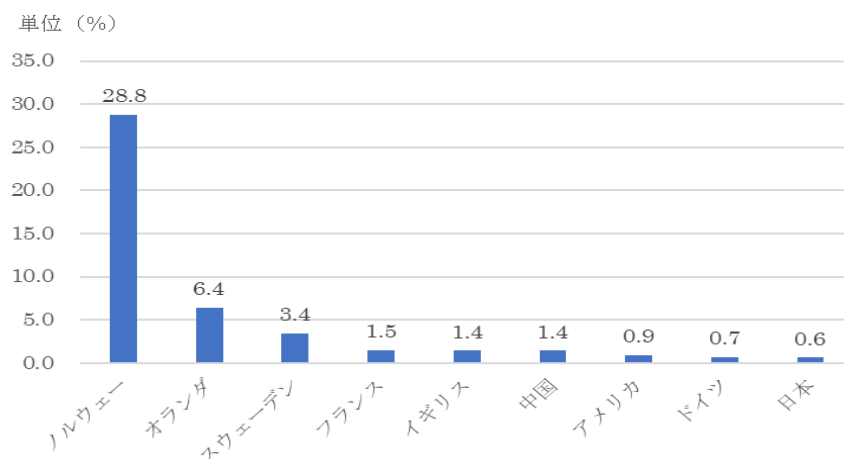
本章では、次世代の自動車として注目を浴びているEVについて詳しく述べる。まず普及率を各国で比較した後、各国と日本が行う普及に向けた施策について具体的に述べる。

(1) EVの普及状況について

次世代自動車が普及し始めている中、ここ数年、EVの販売台数の急増が顕著である。2017年6月には、国際エネルギー機関(IEA)が、世界累計販売台数が約200万台に達したと発表した。

図1は、2016年における、各国のEV普及率を表す。この図を見ると、ノルウェーが世界一の普及率29%を達成していることが分かる。また、2025年を目標にガソリンを燃料とするすべての自動車を撤廃する目標を立てている。ノルウェー以外の欧米諸国も、普及率では世界で上位にランクインしている。一方、日本の普及率は欧米諸国に比べ比較的低いことが分かる。販売台数で考えた場合は上位に位置しているものの、普及率で考えた場合は遅れをとっていることがわかる。

図1 2016年 EV普及率 上位9か国



出典：International Energy Agency 「Global EV Outlook2017」より筆者作成

(2) 世界各国の普及施策

次に、EVの普及率が高い国々の事例を紹介する。普及率で1位となっているノルウェーでは、政府主導でEV推進のための政策がとられてきた²。EVを購入する消費者には自動車税の免税のほか、多額の補助金を付与しており、車種によってはガソリン車と実質同等の価格で購入することができる。また、EVに限り、街中での公共駐車場の利用料金や高速道路料金、そしてフェリーの運賃は無料となり、路上ではバス専用レーンの使用も許可されている。イギリスでは、ノルウェーと同様の購入補助のほか、EVを利用したカーシェアリングを推進しようとしている。また、各国に共通しているのは、普及にとって欠かせない街中の充電施設が豊富であることだ。政府が多額の投資を行うことで、路上に充電インフラが整い、消費者は日常的にEVを利用することができる。また、アメリカのカリフォルニア州では、新車販売台数の多い自動車メーカーに対してEVの販売数を一定比率以上義務付けるZEV規制を導入している。加えて、2018年からは適用される自動車メーカーを6社追加し、現在では12社に対して規制をしている。EVの販売台数が爆発的に増加し世界一の市場となった中国では、第13次五カ年計画に基づき、2020年までに500万台のEVを普及させる目標を立て、大規模な普及

² International Energy Agency 「Global EV Outlook2017」より。

政策を行っている。国から支給される購入補助額は、ノルウェーに次ぐ第2位（1台当たり最大で96万円）であることに加え、北京や上海などの大都市では独自の購入補助も行っており（1台当たり最大で64万円）、消費者への購入を促している。さらに、これまでの厳格な車両ナンバーの交付も、EVに限っては優先的に行う制度も導入した。このように、中国の爆発的な普及の背景には、官民一体となった大規模な取り組みが存在する。

(3) 日本の普及施策

世界各国が様々な施策を行っている中、日本でも民間企業や政府が普及に向けての動きが進みつつある。これまで、日本の自動車メーカーのうち、EVの普及に由来から取り組んでいたのは日産自動車と三菱自動車の2社のみであった。ただ、近年ようやく、世界一の自動車メーカーであるトヨタ自動車がEVの開発に着手した。車両の動力として必要な蓄電池を製造するパナソニックと事業提携を発表したほか、トヨタ自動車を中心核としてダイハツ、日野自動車、デンソーなど7社が共同で新会社を設立することも発表し、他社を巻き込んだEVの技術開発を進めようとしている。また、政府もEVの普及には前向きだ。2009年より、全18都府県においてEVとPHV推進アクションプランを実施し、公用車やタクシー、レンタカーにEVを積極的に導入し、充電施設の設置によってインフラ整備をするなど、普及を進めようと試みている。また、EV購入者には補助金も提供している。その補助額は、満充電当たりの走行距離（km）に補助単価0.1をかけた値である（単位は万円）。研究開発に対しても積極的に支援をしており、近年では革新型の蓄電池を新規的に開発するための研究費に28.8億円投じる計画だ。

ただ、こうした取り組みが行われつつも、消費者の購入意欲は思うように促進していない。実際、最も大きな課題は、充電施設の整備である。充電施設は、充電の速度によって主に普通と急速の2種類に分類される。普通充電施設は車の保管場所において常に発生する需要を満たすこと、急速充電施設は道路上など経路地において突発的に発生する需要を満たすことを目的に整備されている。現段階では、日本に設置されている充電施設の大半が普通充電施設である。充電施設の設置にかかるコストは、家庭用の普通充電施設では1台数1000円程度が見込まれるのに対して、主に公共用として経路地に設置されている急速充電施設は1台当たり数100万円以上と高額だ。日本中に普通充電施設ないしは急速充電施設の整備を進めることを考えると、将来的にも多くのコストと時間が費やされるだろう。

3. 先行研究

本章では、日本の自動車市場における需要関数を推定した先行研究として北野(2012)を主に紹介する。そしてドイツにおける同様の研究として Vance と Mehlin(2009)を、ノルウェーにおいて EV の需要に関する分析を行った Wold and Sara Ølness (2016)を紹介したのち、その評価と本稿の新規性について述べる。

(1) 研究の紹介

北野 (2012)は、差別化された財が存在する自動車市場において、集計データを用いて消費者が財を選択するときの需要関数を推定した。通常、消費者の選択行動は個人属性によって異なるため、分析には個人データを使用する必要がある。ただ、データの収集が困難であるため、集計データを用いながらも個人属性に応じた分析を可能にする集計ロジットモデルと集計ネステッドロジットモデルを用いた。集計ロジットモデルにおいては、自動車以外の財からも得られる効用を仮定し、消費者が自動車の購入を決定するかどうかについて推定する分析を、集計ネステッドロジットモデルにおいては、消費者が自動車の購入を決定した上で、様々な車両分類グループの中からどの車種の購入を決定するかについて推定する分析を行っている。この研究は本稿の分析でも引用したため、モデルの説明については第 4 章にて詳しく述べる。被説明変数には、車種別の新車販売台数と、アウトサイドオプション(市場内に存在する、その車種以外の別の車種全て)のシェアの比を対数変換した値を用いた。分析の結果、自動車市場において需要関数が右下がりであることや、消費者がより車格の大きな自動車から高い効用を得ていることが明らかとなった。最後に、エコカー減税や補助金の政策についてシミュレーション分析をした結果、エコカー減税やエコカー補助金政策は販売台数を 14%から 30%程度増加させていたことを明らかにした。

同様の研究として、Vance と Mehlin(2009)は、ドイツにおける自動車の購入選択について、集計ロジットモデル、集計ネステッドロジットモデルによって分析をした。

EV に関する先行研究には、Wold(2016)がある。ノルウェーにおける自動車市場を対象とし、最小二乗法、固定効果モデル、変量効果モデルを用いて分析を行った。被説明変数には新車販売台数の総計に占める EV 販売台数を、説明変数には充電施設台数、高速料金無料化ダミー、フェリー運賃無料化

ダミー、バス専用レーン使用可ダミーを用いた。分析の結果、充電施設の設置が多いほど、そして高速料金、フェリー運賃無料化、バス専用レーンの優先的使用といった政策が行われるほど EV の販売台数が増加することを明らかにした。なお、EV の普及要因を分析した論文としては、Sobh et. al (2016) の研究や、中国の自動車市場を対象として定性的に述べた程塚(2017)などがある。

(2) 各研究の評価と本稿の新規性

北野(2012)の研究は、自動車市場の需要関数について高度な複数のモデルによって分析したこと、そして減税と補助金政策の効果を数値的に計算した点で社会的に意義のある論文である。Vance と Mehlin (2009)が行った研究においては、同様の分析を行っているが、税金をモデルに組み込むことで内生性を生じる恐れがあることや、その対策として操作変数を用いていないことが懸念点として挙げられる。なおかつ、上記の研究は現在においては最新のデータではないため、普及の進む HV や普及しつつある EV の影響が考慮できていない。Wold (2016)の研究は、EV の政策が消費者の需要に与えることを明らかにしたが、基本的なモデルのみで推定している点で、結果が精緻化されたものであるとは言えない。本稿では、上記の分析の課題を考慮したモデルを推定する。日本における自動車市場の需要関数を最新のデータを用いて分析し、消費者が購入の判断を下す際に大きな要因となり始めた、ガソリン車、HV、EV の選択に焦点を当てて分析をする。そして、EV が高度に普及した自動車市場を想定し、消費者余剰がどれほど増加するのかを推定する。

4. EV を含む自動車市場における需要関数の推定

まず、日本の自動車市場において消費者が財を選択する要因を定量的に分析する。需要関数を推定した先行研究は多く存在するが、自動車市場を対象とした研究には北野(2012)や Vance, Mehlin(2009)がある。第一段階として市場の中から自動車という財を選択する行動を集計ロジットモデルで分析した上で、セダン、ミニバンといったグループ分けが存在する中で一つの車種を選択する行動を集計ネスティッドロジットモデルで分析した。ただ、時々刻々と流行が変化する自動車市場において、売れ行きの良い自動車は北野が研究をした当時と現在では販売台数が変化している。また、HV や EV といった新しいジャンルに属する自動車も増加しつつあることから、消費者の選択行動は変化しているのではないかと考えた。そこで本章では、現在の自動車市場における消費者の選択要因

を、自動車のグループをガソリン、HV、EVの3種類に分類した上で研究した。

(1)モデル

本章では、自動車市場における消費者の需要関数を推定する。ただ、自動車の購入に関する個票データを得ることは困難であるため、集計データを用いて個人の選択行動を分析できる集計ロジットモデルと集計ネスティッドロジットモデルを用いた。Berry(1994)と北野(2012)は、両モデルを用いて財の需要関数を推定した。本章では、これらの論文を参考に分析をおこなう。いずれのモデルにおいて、間接効用関数を v_{ijt} とすると式(1)で与えられる。

$$v_{ijt} = \alpha(y_{it} - p_{jt}) + \sum_{k=1}^K \beta_k x_{jkt} + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

この式において α 、 $(\beta_1 \cdots \beta_k)$ は推定するパラメータ、 x_{jkt} は財の馬力、燃費といった品質を表す変数、 ε_{ijt} は需要ショックを表す。また、 y_{it} は消費者 i の t 期の所得、 p_{jt} は財の価格、 $(y_{it} - p_{jt})$ は自動車以外の財への支出を表している。したがって、 $\alpha(y_{it} - p_{jt})$ は自動車以外の財の消費から得られる効用を表している。 α は推定するパラメータで、自動車以外の財から得られる所得の限界効用である。また、この効用関数は α が一定、すなわち所得効果がない準線形の効用関数を表している。しかし、自動車市場においては、所得の違いが選択行動に大きく影響するため所得効果が存在する。したがって、本分析ではすべての消費者に共通の財を選んだ時に得られる効用、すなわち平均効用を δ_{jt} として、式(2)のように定式化する。

$$\delta_{jt} = -\alpha p_{jt} + \sum_k x_{jkt} \beta_k + \xi_{ijt} \quad (2)$$

離散選択モデルにおいては財間の効用の差に注目しているので、いずれかの財の平均効用を基準化する必要がある。自動車以外、つまりアウトサイドオプションを選んだ時に得られる平均効用をゼロ、つまり $\delta_{ot} = 0$ と基準化する。

ロジットモデルにおいて、消費者 i が財 j を選択する確率は平均効用のみの関数として表現されているため、全消費者での選択確率は共通となる。すなわち、市場における財 j のシェアは、 i が財 j を選択する確率と一致する。よって、財 j のシェアは、式(3)で表される。

$$S_{jt} = \frac{e^{\delta_{jt}}}{1 + \sum_i e^{\delta_{it}}} \quad (3)$$

このとき、 M_t を市場に存在する消費者の総数、すなわち市場規模とすると、需要関数は式(4)で表される。

$$q_{jt} = M_t \cdot S_{jt} \quad (4)$$

本分析における推定式は、Berry (1994)を参考にする。被説明変数には、それぞれの自動車の財と自動車以外の財、すなわちアウトサイドオプションのシェア比を自然対数で変換したものをを用いる。アウトサイドオプションのシェアを s_{ot} とすると、推定式は(5)式のようになる。

$$\ln(S_{jt}) - \ln(s_{ot}) = \delta_{jt} - \delta_{ot} = -\alpha p_{jt} + \sum_{k=1} \beta_k x_{jkt} + \xi_{ijt} \quad (5)$$

この推定式においては、車両価格と観察されない品質、需要ショックは相関することで内生性が生じるため、価格に対して操作変数を用いる。操作変数は、他社の車両平均価格とした。この操作変数は価格に関して相関し、シェアに関して相関しない。企業が財の価格を決定するとき、ライバルメーカーの価格を参考にするため、操作変数として適切であろう。

ロジットモデルにおいては、財間の代替関係に非常に強い制約を課しており、ある財の価格変化が他の複数の財間同士のシェア比に影響しない。これは、現実的とは言えない選択肢の需要構造であり、IIA(Independence of Irrespective Alternatives)特性といわれている。この問題に対処するために、集計ネステッドロジットモデルによる分析も行う。このモデルは、自動車を購入することを前提に、どのグループに所属する自動車を購入するかを選択した上で車種を選択する行動を仮定している。本研究では、自動車をガソリン、HV、EVの三種類のグループに区分した。集計ネステッドロジットモデルにおいて、財の選択確率は式(6)のように示される。

$$S_{jt} = S_{jt/g(j)} S_{g(j)t} \quad (6)$$

この式において、 $S_{jt/g(j)}$ はグループ $g(j)$ を選択したときの財 j の条件付き確率、すなわちグループ $g(j)$ 内の財のシェアを表す。また、 $S_{g(j)t}$ はグループ $g(j)$ が選択させる確率、すなわちグループ $g(j)$ に所

属する財全てのシェアの合計を表す。このとき、推定式は式(7)のようになる。

$$\ln(s_{jt}) - \ln(s_{ot}) = \delta_{jt} + (1 - \lambda) \ln(s_{jt}/g(j)) = -\alpha p_{jt} + \sum_{k=1} \beta_k x_{jkt} + (1 - \lambda) \ln(s_{jt}/g(j)) + \xi_{ijt} \quad (7)$$

ロジットモデルと違うのは、 $(1 - \lambda) \ln(s_{jt}/g(j))$ が含まれている点である。McFadden(1978)によると、集計ネスティッドモデルが効用最大化問題と整合的になるとき、 λ は0から1の値をとる必要がある。 λ が0より大きく1より小さいとき、財の代替関係は所属するグループに依存する。 λ が1のときは、モデルが集計ロジットモデルであることを意味し、所属するグループの違いが代替関係に影響を及ぼすことはなくなる。

(2)データ

本分析では、2014年から2016年までを対象とした都道府県別のパネルデータを用いる。このデータ範囲を対象とした理由は、HVやEVの普及が進み始めた市場のうちで直近のデータであり、かつ3年分で分析に十分なサンプル数が得られたからである。被説明変数には、それぞれの自動車の財と自動車以外の財、すなわちアウトサイドオプションのシェア比を対数変換した値を用いている。すなわち、車種別の販売台数をアウトサイドオプションである都道府県別人口で割り、この値を対数変換する。本分析では、アウトサイドオプションとして市場に存在するすべての消費者、すなわち人口を用いている。都道府県別人口は総務省統計局「人口推計」より入手した。車種別の販売台数は、日本自動車販売協会連合会「新車登録台数年報」を入手し、車種別の都道府県ごとの年間新車販売台数を用いる。ただし、軽自動車や貨物自動車についてはHVやEVの車種が存在しないため、本稿ではそれらの販売台数データを使用していない。

説明変数は既存研究を参考に選択する。車両価格や、全長、全幅、全高、ホイールベース、重量、馬力といった車格、燃費、排気量は、その自動車を製造するメーカーより車種別ごとに「主要諸元表³」を得、データを利用する。車両価格について予想される結果としては、価格が上昇すると通常的需求関数であれば需要は小さくなることから、販売台数のシェアは減少すると予想する。車格のデータは、それぞれ4つの指標が多重共線性を起こすのを防ぐため、それぞれの和を4で割った平均値を利用する。

³ 車種ごとに寸法や性能、価格を詳細に明記したデータである。

重量当たり馬力は、馬力を車重で割ることで算出する。財の品質を表す以上の変数については、消費者はより品質の高い財を購入すると考え、重量当たりの馬力、燃費、排気量が増加すると販売台数のシェアも増加すると考える。EVの購入に当たっては、当該地域の充電施設の利用可能性が重要な影響を与えるため、本研究では説明変数に加えている。充電施設割合は、都道府県ごとの充電施設数を人口で割った値を使用する。充電施設数は、次世代自動車振興センター「充電設備補助金交付台数」より入手した。また、集計ネスティッドロジットモデルにおいては、以上の説明変数に加え、グループ内シェアを対数変換したものを加える。

本モデルでは車両価格、充電施設割合、グループ内シェアが内生変数と考えられるため、操作変数法を用いて内生性をコントロールする。車両価格に対する操作変数には、他社メーカーの車両価格が影響すると考え、他社メーカーの車両価格の平均値を用いる⁴。充電施設については、財政的に余裕がある自治体ほど優先的に設置すると推測し、充電施設割合に対する操作変数には1世帯当たりの平均県民所得を利用する。このデータは厚生労働省「毎月勤労統計調査」より得た。そして、グループ内シェアに対する操作変数には、他の2グループのシェア率が影響するという仮説のもと、2グループのシェア率の平均値を計算し利用する。

表1 自動車市場における財の選択要因 基礎統計量

	平均値	標準偏差	最小値	最大値
車両価格(万円)	322.0879	311.1477	102.7	3857
ln(財のシェア/人口(人))	-24.75893	2.036337	-31.05021	-17.75182
車格(mm)	2629.596	175.0924	1805	3018.75
重量当たり馬力(mps/kg)	0.1030191	0.0453761	0.0348	0.3783784
燃費(km/L)	15.3343	6.0712	0	37.2
排気量(L)	2.1554	0.8584	0	5.662
人口1万人当たり充電施設数(台)	7.48E-03	0.1018887	0	3.398197
ln(グループ内での財のシェア)	-10.25287	2.141887	-14.64711	-2.471061
他社メーカー平均車両価格(円)	327.1512	23.5440	265.0751	356.7354
県民平均所得(円)	670.5482	100.6471	502.6785	909.9389
他グループの平均シェア	0.1164	0.0925	0.0745	0.4984

⁴ メーカーは日本の主要9社、トヨタ、レクサス、日産、ホンダ、マツダ、三菱、ダイハツ、スズキ、スバルに分類した。

(3)分析結果

表 2 は自動車市場における財の選択要因分析の推計結果を示す。model1, model2, model4 は集計ロジット分析の結果を、model3 と model5 は集計ネスティッドロジット分析の結果である。すべての分析に年ダミーを加えており、model1 においては都道府県ダミーも加えている。なお、model4 と model5 は内生性を考慮した操作変数法を用いている。

車両価格に着目すると、いずれのモデルにおいても 1%水準で負に有意となっており、価格が下落するほど需要は増加することがわかる。これは、需要曲線が通常どおり右下がりであることを示している。車格は 1%水準で正に有意となっているため、消費者はより大きいサイズの財を好んで選択することが分かる。燃費についても、いずれのモデルにおいて 1%水準で正に有意となっていることから、燃費性能が向上するほど消費者は財を選択する傾向があることが分かる。人口当たりの充電施設数も正に有意となっている。充電施設が整備されている環境にあるほど、より EV が選択される確率は高まる。都道府県ダミーを加えた model1 の結果からは、全都道府県の中でも、愛知県、静岡県、三重県といった中京地域で特に財のシェアが高くなる傾向があると分かる。

今回の分析では内生性を考慮し、model4 では車両価格と人口当たり充電施設数の 2 つの説明変数に対して、model5 は車両価格、人口当たり充電施設数、グループ内シェアの 3 つの説明変数に対して操作変数を当てた分析を行っている。両モデルにいずれにおいても、仮説通り価格は負に、排気量を除いて品質に関する指標は正に有意となっていることが分かる。操作変数の妥当性を検討するために、内生変数と操作変数の最小二乗法を行うと、F 値は十分に大きな値となった。この結果より、いずれの操作変数も妥当であることが明らかとなっている。

集計ネスティッドロジットモデルにおいて、グループ内シェアの係数から計算できる λ の値は、model3 と model5 のいずれにおいても 0 から 1 で推移している。これは、両モデルが効用最大化問題と整合的であり、財の代替関係は所属するグループに依存することを示す。

最後に、分析結果におけるパラメータの値を用い、自動車市場における需要の価格弾力性を計算する。ここで、価格の微小変化量を dp 、需要の微小変化量を dx とする。価格が dp/p 上昇した時に、需要が dx/x 変化したとすると、価格弾力性 c は以下(8)式のように表される。

$$c = -\frac{dx}{dp} \frac{p}{x} \quad (8)$$

この式を用いて需要の価格弾力性を求めたところ、2.6%と算出された。すなわち、自動車の価格が1%上昇すると、需要が2.6%減少するとわかる。

表3 自動車市場における財の選択要因 推計結果

	model1	model2	model3	model4	model5
モデル	logit		nested logit	logit 操作変数法	nested logit 操作変数法
被説明変数	log(財のシェア/人口)				
価格	-0.002 [-22.47]***	-0.002 [-22.53]***	-0.0004 [-11.34]***	-0.0249 [-3.08]***	-0.0104 [-13.05]***
車格	0.0027 [30.49]***	0.0027 [30.37]***	0.0004 [12.09]***	0.0026 [2.43]**	0.0028 [13.22]***
重量当たり馬力	0.4145 [1.13]	0.4224 [1.15]	0.1972 [1.32]	33.7202 [3.75]***	16.5755 [11.66]***
燃費	0.1266 [53.88]***	0.1267 [53.65]***	0.0196 [19.35]***	0.6046 [2.33]**	0.183 [14.74]***
排気量	-0.287 [-11.94]***	-0.2851 [-11.80]***	-0.0412 [-4.19]***	6.3947 [1.99]**	1.4654 [12.27]***
人口1万人当たり充電施設数	5.7578 [37.67]***	5.759 [37.68]***	8.702 [13.58]***	109.3089 [1.84]*	20.0876 [14.27]***
ln(グループ内での財のシェア)			0.8519 [332.45]***		0.2649 [5.62]***
λ			0.1481		0.7351
定数項	-32.8509 [-130.99]***	-32.6948 [-136.72]***	-17.3104 [-161.02]***	-50.8693 [-7.03]***	-34.1295 [-25.97]***
都道府県ダミー	yes	no	no	no	no
年ダミー	yes	yes	yes	yes	yes
修正済み決定係数	0.2549	0.2468	0.876	0.1453	0.737
観測数	21791	21791	21791	21791	21791

注)*** は 1%水準, **は 5%水準, *は 10%水準で統計的に有意なことを示す。括弧内はt値。

5. EV 普及市場における消費者余剰の変化量推定

EV を含む市場での需要関数の推定を踏まえ、本章では EV の普及促進に効果的な政策を提言する目

的で、各政策がどれほどの消費者余剰を生むのかをシミュレーション分析する。現行の主な政策としては、車両本体の購入に対する補助金制度や、充電施設の設置があり、この 2 つの政策の効果を明らかにする。

(1)消費者余剰

本節では、消費者余剰を推定するにあたって、本稿で重要なモデルであるロジットモデル、ネスティッドロジットモデルでの導出方法を説明する。各消費者は効用を最大にする車種を選択する。この最大化された効用水準を一般化費用の係数で割れば貨幣換算された消費者余剰を求められる。このとき、一般化費用の係数を α で、誤差項を θ_j として最大化された効用を $E [\text{Max}_j(V_j + \theta_j)]$ で表すと、消費者余剰の期待値 $E(\text{CS})$ は以下の式(9)で表される。

$$E(\text{CS}) = \frac{1}{\alpha} E [\text{Max}_j(V_j + \theta_j)] \quad (9)$$

ここで、 θ_j は独立で同じガンベル分布に従う。ガンベル分布のスケールパラメータを 1 に基準化すると、ガンベル分布のもとで期待値は以下の式(10)のように表される。 γ はオイラー定数と呼ばれるが、消費者余剰の算出の際に差をとることで相殺される。

$$E(\text{CS}) = \frac{1}{\alpha} \{ \ln \sum_{j=1}^J \exp(V_j) + \gamma \} \quad (10)$$

プロジェクトを行うケース(With ケース)を W, 行わないケース(Without ケース)を WO で表すと、期待消費者余剰の差は式(11)のように示される。

$$\Delta E(\text{CS}) = E(\text{CS}^w) - E(\text{CS}^{wo}) \quad (11)$$

となる。したがって、プロジェクトが行われた後の消費者余剰の増加分は、消費者の総数が X である市場において、プロジェクトを行う場合の財 j の効用 V_j^w と行わない場合の効用 V_j^{wo} を用いて以下の式(12)のように表される。

$$\Delta B = \Delta E(CS)X = \frac{X}{\alpha} \{ \ln \sum_{j=1}^J \exp(V_j^w) - \ln \sum_{j=1}^J \exp(V_j^{w0}) \} \quad (12)$$

(2)政策シミュレーションと用いたデータ

本分析では、政府が行う2つのEV普及政策に着目し、当該政策がもたらす消費者余剰を算出する。政策の1つ目がEV購入補助金である。2018年の購入補助額は、満充電当たりの走行距離(km)に補助単価0.1を乗じた値である(単位は万円)。EVを代表する車種である日産自動車のリーフは満充電あたりの走行距離が400kmであることから、1台当たり40万円支給される。シミュレーションにおいては購入補助額を10万円ずつ増加させた場合を考えた。

政策の2つ目が、充電施設の設置である。EVの普及を進めるためには、家庭、集合住宅などの車の保管場所や旅行先の滞在施設、道路上など経路地にインフラを整備することが必要不可欠である。今回の分析では、政府による政策のひとつとして充電施設の設置を考えるため、設置費用が高額な公共用の充電器を対象とする。経済産業省のEV普及に向けたロードマップによると、現在の充電施設は約5000台あり、2020年までに2万台を設置する目標を掲げている。そこで、シミュレーションにおいては充電施設の数を2000台ずつ増加させた場合を考えた。

以上2つの政策を実施した場合、結果としてEV購入者が受ける便益の大きさが総効用を表す。この総効用こそが消費者余剰となる。本章では、それぞれの政策別に、まずEVの普及率をどの程度高めるのか推定する。そして、消費者余剰を計算した上で政策に必要なコストを考慮し、社会的総余剰を求める。コストの額は、補助金政策についてはEVの販売台数に一台当たりの補助額を乗じた値であり、充電施設については設置費用に充電施設数を乗じた値で表される。なお、計算にあたっては、前章の分析において示されている集計ロジットモデルを使用する。いずれの政策もEVの普及を促進するが、充電インフラを整備する方が消費者の購入動機になり、補助金制度よりも充電設置がより普及に効果的である可能性が高い。

(3)分析結果

シミュレーションは、政策を2つのパターンに分けて行った。まず、補助金制度がEVの普及に与える影響を分析した場合では、補助金額を10万円増加させるにしたがって、EVシェア率は平均で0.265%増加することが分かった。また、このとき消費者余剰の増加額は209.1万円増加すると計算されたが、消費者余剰額から政策に必要なコストを差し引いた社会的な総余剰は80.4億円減少すると試

算された。次に、充電施設がEVの普及に与える影響を分析した。EV購入者に対する補助金の影響を分析した場合は、充電施設が2000台ずつ増加するにしたがって、EVの普及率は0.3168%増加することが分かった。このとき消費者余剰増加額は221万円と示され、消費者余剰の値から政策に必要なコストを差し引いた社会的な余剰は74.6億円減少することが分かった。以上の2つの政策による指標の変化を、以下の表4に示す。これより、両政策はEVシェア率を高め、消費者余剰を増加させるが、両政策には莫大なコストが算出されることが明らかとなった。

表4 両政策によるEVシェア率と余剰額

	シェア増加率(%)	消費者余剰増加額(万円)	総余剰増加額(億円)
補助金制度	0.265	209.1	-80.4
充電施設設置	0.3168	221	-74.6

(4)市場でのEV販売台数とCO2排出削減量のシミュレーション

以上の推定結果を踏まえ、政策によって市場全体でEV販売台数とCO2排出削減量がどれほど達成できるのかを試算する。本節でも、上記の消費者余剰の試算と同様に3章で紹介した集計ロジックモデルを用いる。また、どちらの政策もともに消費者余剰の増加に有効であることから、2つの政策別に削減量を求める。

それぞれの数値の算出方法を簡単に説明する。EV販売台数は、EVシェア率に新車販売台数の総計を乗じて計算できる。EVシェア率は、計量分析を行った第4章のモデルを用いて被説明変数の値を試算し、その値の対数変換を取り除いてから都道府県別人口を乗じると、都道府県別のEVシェア率が算出できる。市場のCO2排出削減量は、標準式とされている燃料法を用いる。その値は、燃料使用量(L)にCO2排出係数(kg-co2/L)を乗じてCO2の排出量(L)を求め、その値にEVシェア率を乗じることによって算出できる。燃料使用量は、国土交通省「自動車燃料消費量統計」より引用した。

算出結果は以下表7に示した。いずれのデータも日本全国で年間の平均値を用いている。EVシェア率は、補助金額10万円あたり0.265%、充電施設2000台あたり0.3168%と示されたことから、販売台数とCO2削減量は表のとおりとなった。どちらの政策も普及を促進し、とりわけ充電施設の設置がより有効な政策であることが明らかとなった。

表7 EV販売台数とCO2削減量の政策別シミュレーション結果

	シェア増加率(%)	販売台数(台)	削減量(億 kg)
補助金制度	0.265	7226.7	31.4
充電施設設置	0.3168	8639.3	37.6

6. まとめ

本稿では、日本でEVの普及を進めることを目的として、EVを含む自動車市場を対象に需要関数を推定し、普及に向けた政策をシミュレーション分析によって評価した。分析の結果、以下のことが明らかになった。需要関数の推定では、車両価格が下落するほど、あるいは車格や燃費など車の品質が向上するほど需要が増加することが分かった。また、普及政策に関して、補助金制度と充電施設設置の両政策は消費者余剰を増加させ、市場でのEVシェア率が高まると試算された。とりわけ、充電施設の設置はより普及を促進することが明らかとなった。

以上の結果から、今後EVの普及促進にとりわけ必要なのは、購入価格低下を実現することと、充電インフラの整備によって消費者の需要を増加させることである。ただ、EVが普及する市場を長期的に実現していく上では、製造にかかるコストを抑えて価格の低下を実現することが望まれる。そのためには、政府が積極的に開発技術に投資することが必要である。補助金によって購入を支援するだけでなく、各メーカーや研究機関に対して資本を投じる技術的な支援策を検討すべきである。また、車両自体への政策に加え、充電インフラを整えることも必要である。各家庭や集合住宅など、車両の保管場所に基礎的な設備を設けることに加え、日本各地の道路にも突発的な需要に対応できる充電施設を計画することが求められているといえよう。世界的にCO2の排出量削減が望まれている昨今において、日本も官民一体となってEVシフトを加速させたい。

本稿は、HVやEVが注目されつつある自動車市場において、消費者の需要関数の分析と政府の普及政策を評価したことで新規性があり、学術的に価値のある論文といえる。ただ、いくつか課題も存在する。それは、社会的なコストや余剰がどれほどであるのかを十分に考慮をしきれていないことである。EVの普及を推進するためには政府が積極的な補助金支援や充電施設のインフラを整える必要がある

と述べたが、実際のコストはそれらの施策だけでなく EV 開発技術への投資など多岐にわたる。また、もうひとつの懸念点として、EV 自体は CO2 を排出しないものの、技術開発の段階では多くの CO2 を排出し得ることが挙げられる。社会的な総余剰を入念に検討した上で試算をし、現実を見据えた政策を打ち出す必要があるといえよう。

参 考 文 献

論文

- ・ Yarime, M. (2009) : “Public coordination for escaping from technological lock-in: its possibilities and limits in replacing diesel vehicles with compressed natural gas vehicles in Tokyo” *Journal of Cleaner Production*, 17, 1281-1288
- ・ Kley, F., Wietschel, M. and Dallinger, D. (2012) : “Evaluation of European electric vehicle support schemes” *Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research*, 7,1-29
- ・ Berry, Steven(1994) : “Estimating discrete-choice models of product differentiation” *RAND Journal of Economics* 25 (2):242-262
- ・ Berry, Steven, James Levinsohn, and Ariel Pakes(2004) : “Differentiated products demand systems from a combination of micro and macro data: the new car market” *Journal of Political Economy* 112 (1):68-105
- ・ Vance, Colin and Mehlin, Markus (2009) : “Tax Policy and CO2 Emissions – An Econometric Analysis of the German Automobile Market” *Ruhr economic papers*, 89,1-22
- ・ Ali Soltani-Sobh, Kevin Heaslip, Aleksandar Stevanovic, Ryan Bosworth and Danilo Radivojevic (2016) : “Analysis of the Electric Vehicles Adoption over the United States” *Transportation Research Procedia (2017)*, 22, 203-212
- ・ Mads Fjeld Wold and Sara Ølness (2016) : “An Empirical Analysis of Drivers for Electric Vehicle Adoption” *Norwegian School of Economics*, 1,1-103
- ・ 程塚正史 (2017) 「中国における爆発的な EV 普及と 近距離・高頻度交通サービスの可能性」『JRI レビュー』 6-45
- ・ 谷下, 鹿島 (2002) 「車体課税のグリーン化による環境効果の分析について」『土木学会論文集』 709,39-49

資料

- ・ 北野泰樹 (2012) 「需要関数の推定」『Competition Policy Research Center ハンドブックシリーズ NO.3』

- ・奥田修司（2017）「EV・PHV 普及に関する経済産業省の取り組み」『経済産業省』
- ・土屋依子（2007）「我が国における電気自動車普及政策の変遷と市場動向」『電力中央研究所』
- ・金本良嗣，藤原徹，蓮池勝人（2006）「政策評価マイクロモデル」『東洋経済新報社』
- ・日村聡，有村俊秀（2002）「入門経済学—環境問題解決へのアプローチ」『中公新書』
- ・Cazzola Pierpaolo（2017）：“Global EV Outlook 2017” *International Energy Agency*
- ・日本経済新聞（2016年11月4日）「米、連記自動車の充電施設拡充　パリ協定発効受け」
- ・日本経済新聞（2017年6月8日）「EV，世界で200万台販売　中国がシェアトップに」

検索サイト

- ・経済産業省ホームページ <http://www.meti.go.jp/>
- ・次世代自動車振興センター <http://www.cev-pc.or.jp/>
- ・環境省ホームページ <http://www.env.go.jp/>
- ・総務省統計局 e-Stat <https://www.e-stat.go.jp/>