

# 電気自動車が活躍できる社会づくり

---

慶應義塾大学 河井啓希研究会 環境分科会

2009年12月

畔柳創

平井裕太

高田祐樹

松井拓也

前田恵

## 要約

20世紀後半から大気や海洋の平均気温が上昇しているというデータが観測されている。地球温暖化は海面の上昇や、気象の変化、生態系への悪影響を与える可能性をもっているため、世界規模の問題として取り上げられている。地球の平均気温は過去のデータを見ても上昇しており、今後も上昇していくとされている。また、世界の海面の平均水位も気温と同様に150mmも上昇している。これらの原因として二酸化炭素やメタン等の温室効果ガスの存在が挙げられる。そこで先進国では京都議定書の発効によりこれらの温室効果ガスの削減目標を定めた。日本の温室効果ガス全体の基準年排出量は12億6,130万 t-CO<sub>2</sub>であり、目標とされている6%の削減約束を達成するためには、第1約束期間における年平均総排出量を年間11億6,300万 t-CO<sub>2</sub>に、運輸部門では2億5000万 t-CO<sub>2</sub>削減することが必要とされている。また、化石燃料も消費量も近年増加している。そのため新たな油田開発がおこなわれているが、その埋蔵量には限界があり、将来的には枯渇するとされている。

これらの京都議定書で定められた二酸化炭素排出量の削減目標の達成、化石燃料の枯渇を防ぐために新たなエネルギーで走行することができる自動車が必要となってくる。そこで上げられるのが電気自動車である。また、昨年問題となったガソリン価格の大幅な変動が再び発生した場合、自動車での外出を控えざるを得なくなるなど、消費者の行動に影響を与えるが、電気自動車であればエネルギー源である電気を安定して供給することが可能なので、燃料価格上昇の影響は受けることはない。

しかし、電気自動車を普及させるにあたって価格面とインフラ面において問題が発生している。電気自動車の本体価格であるが、研究開発費や電池に含まれているリチウムなどの高価なレアメタルによってその価格は従来の化石燃料自動車と比較すると高価格になるとされている。インフラ面の問題では電気自動車の充電を行う電気スタンドの設備が現在は不足している問題がある。インフラが普及されていないと電気自動車の走行可能な範囲が制限されてしまうため電気自動車の普及に大きな影響が出てしまう。そこで電気自動車の本体価格への補助金とインフラ設置に対する補助金に関する政策提言を分析結果をもとに行っていく。

我々は本稿を作成するにあたって、電力中央研究所(池谷知彦、佐藤歩、田村英寿、馬場健司、田頭直人)により2009年7月に発表された「電気自動車導入による都市環境負荷低減効果の評価」において自動車の二酸化炭素排出量の推定方法及び電気自動車の二酸化炭素削減能力についての研究を参考にした。また、上記の研究報告書では①削減値の推定に消費者の選好に基づいた需要の要素が含まれていないため、現実社会に即していない、②電気自動車の二酸化炭素排出量の推定において発電の際などに発生する間接排出量が考慮されていない、といった問題点があるため、本稿においては消費者需要を求め、間接排出量を仮定し、現状との比較を行う。これにより、削減目標を達成するための電気自動車価格を算出する。また追加的に、性能に対する価格が高価であるために必要になる補助金や減税、現在

不足している充電インフラの設置コストの試算など先行研究で述べられていない点についても言及していく。

分析の方向性としてはまず二酸化炭素排出量を求めて、そのうち何台を電気自動車に置き換えた時に京都議定書で定められた削減目標を達成するかを求める。そしてその台数を普及させるために必要となってくる補助金額を算出する。インフラの普及においては電気自動車の走行可能距離をもとに最適な配置を行い、補助金が必要な場合は補助を行っていく。以上の分析結果をもとに政策提言を行っていく。

## 目次

### はじめに

## 第1章 現状分析

第1節 (1. 1) 地球温暖化

第2節 (1. 2) 化石燃料

第3節 (1. 3) 自動車

## 第2章 先行研究及び本稿の位置付け

## 第3章 分析

第1節 (1. 1) 二酸化炭素排出量

第2節 (1. 2) ヘドニックアプローチ

第3節 (1. 3) 実際の需要関数分析

第4節 (1. 4) 補助金算出

## 第4章 政策提言

第1節 (1. 1) 補助金予算案

第2節 (1. 2) 欧州における現行の政策

第3節 (1. 3) インフラと予備電池

第4節 (1. 4) 民間に対するインセンティブ(誘因)の喚起

## 第5章 今後の課題

第1節 (1. 1) 需要関数算出における課題

第2節 (1. 2) 分析規模の拡張

## 先行論文・参考文献・データ出典

## はじめに

---

近年地球温暖化が大きな問題となっている。温室効果ガスを原因とする説もあれば太陽活動を原因とする説、地球規模の周期的気温変化とする説など議論は決着がついていない。しかし、温室効果ガス、特に二酸化炭素を主要因とする説が主流となっている。

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change : 気候変動に関する政府間パネル) は専門家をつくる地球温暖化の科学的な研究、整理、評価を行う機関である。この機関でも二酸化炭素を主要因と断定し、今後の気温変化を予測している。我々はこの気温予測に危機感を覚えて、すぐにできる現実的な政策はないものかと考えるようになった。

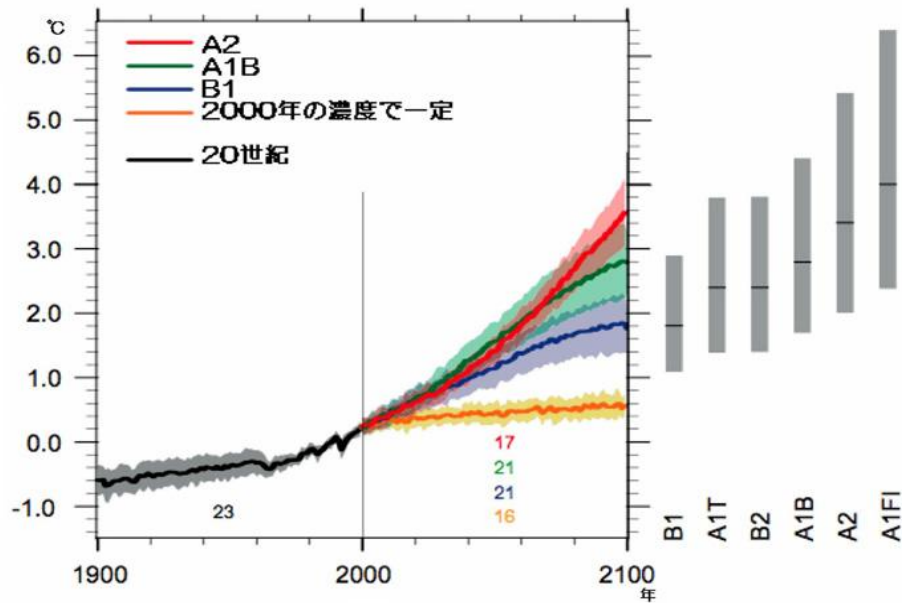
ヨーロッパ連合は削減目標を 20 パーセントから 30 パーセントに引き上げるのを見送り、鳩山内閣の 25 パーセントは厳しい目標であると感じられる。この目標を達成するためには、環境配慮型の工場が多い日本では運輸部門での大幅な削減が必要不可欠である。そこで我々は自動車に目を付けた。ここ数年ハイブリット車が発売されて、飛ぶように売れている。つまり、消費者の環境意識は高いのだ。「究極のエコカー」と言われる電気自動車は開発が進んでいるが、実際の普及率はかなり低い。充電スタンドなどのインフラの整備がまだなされていないこと、燃料電池の交換方法、走行可能距離が短いことなど課題が多くあり、それらを解決することが電気自動車普及に不可欠である。電気自動車が普及するために政府がとるべき政策を我々は調べた。

更に電気自動車が普及することによってライフスタイルの変化も期待できる。走行可能距離が短いということで、パークアンドライドシステムが日本でも発展することが考えられる。このような点からも電気自動車普及は望ましいものと言える。

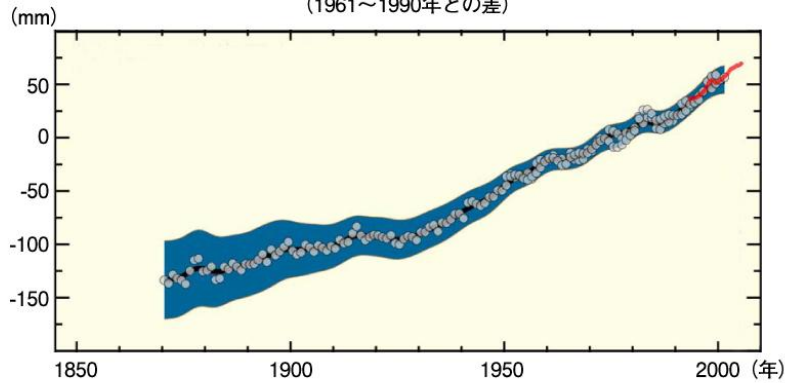
# 第1章 現状分析

## 第1節 地球温暖化

20世紀後半から大気や海洋の平均気温が上昇しているというデータが観測されている。地球温暖化は海面の上昇や、気象の変化、生態系への悪影響を与える可能性をもっているため、世界規模の問題として取り上げられている。



世界平均海面水位  
(1961~1990年との差)



出所) IPCC第4次評価報告書2007

出典：全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト (<http://www.jccca.org/>)

上のグラフは1900年から2100年までの世界平均地上気温の上昇の観測と予測を示している。2000年以降のグラフについてはいくつかのパターンに場合分けされている。A1は高成長型社会を予測したグラフで、グローバル化による急激な経済成長が続くとしたシナリオである。燃料によってさらに3つのシナリオに分けられている。A1Bは化石燃料と非化石燃料をバランスよく使用するシナリオである。最低でも1.7℃、最高では4.4℃もの上昇が見積もられている。A1F1は化石エネルギーを重視したシナリオである。このシナリオでは最低2.4℃、最高6.4℃の気温上昇が見積もられている。A1Tは非化石エネルギーを重視したシナリオである。この場合は最低で1.4℃、最高で3.8℃の気温上昇が見込まれている。やはり高成長型社会では、どのシナリオにおいても1℃以上の上昇が見込まれている。A2は多元化型社会であり、地域ごとに特徴を活かし、多種多様な発展を想定したシナリオである。この社会では、最低で2.0℃、最高で5.4℃の気温上昇が見込まれている。多元化型社会の場合も気温上昇に関しては、高成長型社会と大差はない。B1は持続的発展型社会であり、地域間格差が縮小し、経済構造が変化、クリーンエネルギーの展開、省エネルギー技術が発展したシナリオである。一見一番効率性があるようなシナリオではあるが気温上昇を抑えることはできず、最低で1.1℃、最高で2.9℃上昇してしまう。B2は地域共存型社会で、経済、社会、環境の持続可能性を確保するための地域的対策に重点をおいたシナリオである。最低でも1.4℃、最高で3.8℃の気温上昇が見積もられている。

下のグラフは世界平均海面水位を示している。実際ここ150年で海面水位が約150mm上昇していることが見て取れる。原因としては二酸化炭素やメタンなどといった温室効果ガスの多量放出が最も有力である。

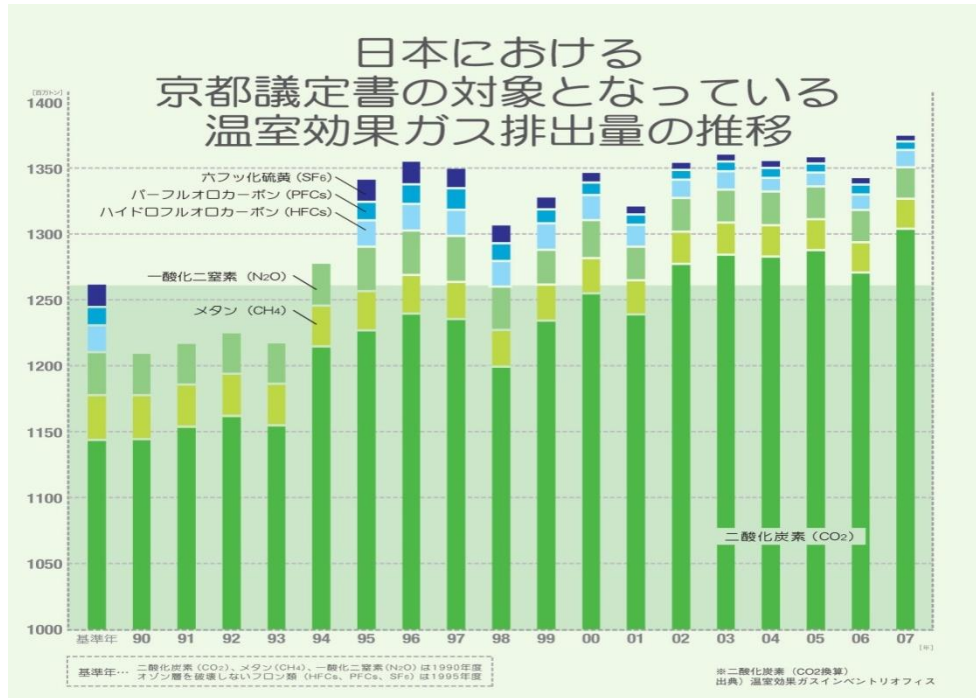
先進国では気候変動枠組条約に基づき、1997年に気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書を議決し、温室効果ガスの一種である二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、ハイドロフルオロカーボン類、パーフルオロカーボン類、六フッ化硫黄について、1990年を基準として各国別に削減目標値を達成することを定めた。これは①55カ国以上の国が締結すること、②締結した条約附属書I国の1990年の二酸化炭素の排出量を合計した量が、全附属書I国の二酸化炭素の総排出量の55%以上を占めること、という2つの条件を満たしてから90日後に発効することになっており、2004年11月にロシアが批准したことにより、京都議定書は2005年2月に発効した。

日本については温室効果ガスの6%削減が法的拘束力のある約束として定められているため、政府は同年に京都議定書目標達成計画をたてた。日本の温室効果ガス全体の基準年排出量は12億6,130万t-CO<sub>2</sub>であり、6%削減約束を達成するためには、第1約束期間における年平均総排出量を年間11億6,300万t-CO<sub>2</sub>に、運輸部門では2億5000万t-CO<sub>2</sub>削減することが必要とされる。しかし2002年度の温室効果ガスの総排出量は13億3,100万t-CO<sub>2</sub>、基準年比で7.6%の増加となっており、削減約束との差は13.6%と広がっている。これは非エネルギー起源のガスの削減については進んでいるものの、産業構造の変革、パソコンや家電の普及を背景にしたエネルギー消費量の増大、旅客需要の増大などにより、温室効果ガスの約9割を占めるエネルギー起源の二酸化炭素排出量が大幅に増大した。また2007年には過去最大の現在の対策のままでは6%削減を達成することができないために政府は新たな対策を考える必要がある。さらに京都議定書は2012年が期限となっているため我々は新たな目標を定める。

そこで麻生政権時代に制定された、2020年までに1990年比15%削減するという目標と、現在の民主党・鳩山政権が発表した2020年までに1990年比25%削減する

という目標を参考にした。麻生政権は数値化したデータはあったが、鳩山政権の発表した削減目標の方はその内訳を未だに公開されていないため、麻生政権時代に制定された削減目標を参考にすることにした。

麻生政権時代に制定された削減目標を参考にする。この目標は京都議定書がマイナス6%としているのに対してさらに9%低いマイナス15%を目標としている(2005年と比較するとマイナス8%)。



## 第2節 化石燃料

18世紀後半に産業革命がおこり、その後ガソリンを燃料とする自動車が開発され広く普及すると、石炭や石油、天然ガスなどの化石燃料は大量に消費されるようになった。そのため、新たな油田開発が継続的に行われているが、埋蔵量には限界があり、急速に減少していると考えられている。将来的には化石燃料は枯渇すると予想されている。こうした理由から低燃費自動車やハイブリッドカーの開発によってガソリン使用量を抑えようとする動きも見られるが、それでもなお化石燃料の使用量は年々増加する一方である。

## 第3節 自動車

現在日本における二酸化炭素排出量のうち、自動車などの運輸部門が21%を占めている。そのため、地球温暖化の問題に対する自動車の影響は無視できない。



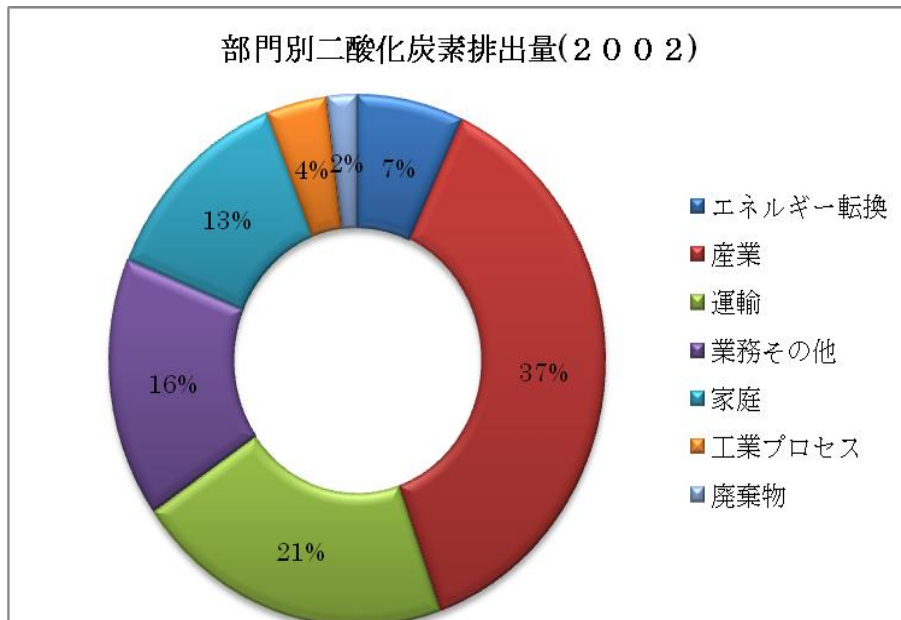
また、化石燃料が枯渇した場合、自動車の主要な燃料であるガソリンの供給が不可能になるため、現在の自動車が走ることはできなくなる。

しかし、今や我々の暮らしに自動車は不可欠であることは言うまでもない。

そこで新たなエネルギーで走行可能な自動車が求められる。特に注目されているのが電気自動車である。電気自動車はガソリンではなく電気を燃料とするため、化石燃料を使用せずに済む。さらに、温室効果ガスの排出量を大きく減少させることもできる。自動車による二酸化炭素の排出量を削減することができれば、地球温暖化も抑制できるため、京都議定書において設定された削減目標値を達成できる。また、昨年問題となったガソリン価格の大幅な変動が再び発生した場合、自動車での外出を控えざるを得なくなるなど、消費者の行動に影響を与えるが、電気自動車であればエネルギー源である電気を安定して供給することが可能なので、燃料価格上昇の影響は受けることはない。

こういった理由から、多くの企業が電気自動車の開発に力を入れている。そして近年では開発段階を経て、具体的に導入するための施策が行われている。

しかし、現段階では電気自動車は一般には普及していない。その理由として、いくつかの問題点が挙げられる。ひとつは、電気自動車本体の価格の問題である。高コストな開発研究費や積載されている電池に含まれるリチウムなどの高価格なレアメタルが原因で従来に比べ、電気自動車の価格は高めに設定されている。よって市場に出回るにはまだ時間がかかり、普及が遅れる原因となっている。もうひとつの問題は、インフラの不足である。電気自動車の充電サービスを行う電気スタンドや家庭用の充電システムの設備などが少ないため、長距離走行は厳しく、電気自動車が普及させられないのが現状である。



## 第2章 先行研究及び本稿の位置付け

---

我々は本稿を作成するにあたって、電力中央研究所(池谷知彦、佐藤歩、田村英寿、馬場健司、田頭直人)により2009年7月に発表された「電気自動車導入による都市環境負荷低減効果の評価」を参考にした。以下では、これら報告書の内容及び本稿の位置づけについて論ずる。

「電気自動車導入による都市環境負荷低減効果の評価」では、電気自動車導入によるエネルギー消費削減の期待、大気環境改善効果の試算、ヒートアイランドの評価、電気自動車の導入・普及関連政策、今後の課題について研究している。その内、我々は自動車の二酸化炭素排出量の推定方法及び電気自動車の二酸化炭素削減能力についての研究を参考にする。

この報告書の問題点は、①削減値の推定に消費者の選好に基づいた需要の要素が含まれていないため、現実社会に即していない、②電気自動車の二酸化炭素排出量の推定に、発電の際などに発生する間接排出量が考慮されていない点である。

本稿においては、以上を踏まえ、消費者需要を求め、間接排出量を仮定し、現状との比較を行う。これにより、削減目標を達成するための電気自動車価格を算出する。

また追加的に、性能に対する価格が高価であるために必要になる補助金や減税、現在不足している充電インフラの設置コストの試算など先行研究で述べられていない点についても言及する。

## 第3章 分析

我々は、電気自動車普及に向けて東京、神奈川、千葉、埼玉の1都3県について普通自動車の交通量、二酸化炭素排出量の分析を行なっていく。今回分析するにあたって、石油連盟による「石油統計情報」の関東各都県における自動車用燃料販売量の調査の上位4県であるこれらの都県をモデルに選んだ。ちなみに全国の燃料販売量は、1位は東京であり、愛知、大阪と続くのだが、最終的にインフラの整備に繋げる上で、東京都と隣接した地域を選択すべきと判断した。二酸化炭素排出量の推計は走行量や排出係数を利用していく。これと並行して同じデータソースを用いて乗用車1台あたりの二酸化炭素排出量も算出する。また国内の電源比率や各種発電(火力、水力、原子力、太陽光、風力、地熱)における二酸化炭素排出量から、電気自動車の間接排出量を算出する。先ほどの乗用車1台あたりの排出量を求める段階で算出する年間1車あたりの走行キロと合わせることで電気自動車1台あたり二酸化炭素排出量を推計する。これらにより政府目標を達成するための電気自動車の必要台数を求める。

次に自動車市場における消費者需要の推定を行なう。販売価格とヘッドニック価格から品質調整済み価格を求め、シェアから需要関数を推定する。

これまでに算出した電気自動車必要台数と需要関数から削減目標達成のための電気自動車販売価格を求め、補助金算出につなげる。以上が主な分析である。

### 第1節 二酸化炭素排出量

算出方法については電力中央研究所の「電気自動車導入による都市環境負荷低減効果の評価」という報告書を参考にした。この報告書では東京特別区における幹線道路や細街路について排出量を算出しているが、我々は東京、神奈川、千葉、埼玉の1都3県の幹線道路についてのみ二酸化炭素排出量を算出する。

#### (1) 現在走行量

はじめに現在の走行量を算出する。データのソースは国土交通省の道路交通センサス一般交通量調査箇所別基本表である。算出する走行量の種類は乗用車、バス、小型貨物車、普通貨物車の4種類である。我々の分析では年間走行量を必要とするため、平日272.5日、休日92.5日(土曜日を平日0.5日、休日0.5日として計算)に設定し換算する。また休日走行量は車種別に分けられていないため、平日の各車種の比率をかけて休日車種別走行量を推定する。そこに各道路の延長を掛けることで平日休日別道路別車種別走行量(走行台数×キロメートル)が算出される。算出結果は以下の表にまとめてある。

	乗用車		バス		小型貨物車		普通貨物車	
	平日 272.5 日	休日 92.5 日	平日 272.5 日	休日 92.5 日	平日 272.5 日	休日 92.5 日	平日 272.5 日	休日 92.5 日
東京	11469113961	3201743425	255722474.8	72233009.62	3600972750	993810564	3492280212	971771956.9
神奈川	9679813452	2921626667	195621155.5	60405417.9	2367393890	707717505	3051727091	906176495.1
千葉	9645564807	2935310444	137071233.3	43264782.08	2238297669	675083793.4	2583645312	779285441.1
埼玉	10339249882	3076051591	160284745.3	49852768.65	2439507936	726332225.1	3440633124	1025636003
合計	41133742102	12134732126	748699608.8	225755978.2	10646172245	3102944088	12568285739	3682869896

表を見ると現在の走行量は乗用車がどの県でも最も多くなっている。

(2) 平均旅行速度の推定

道路交通センサスではおおむね混雑時旅行速度が観測されている。そこで計量計画研究所の「大気汚染物質排出量グリッドデータ整備業務報告書」に記載している環境省のグリッドデータ整備で開発された2種類のモデルを用いて平均旅行速度を算出する。もし混雑時旅行速度が観測されていない場合は以下のモデルを利用し混雑時旅行速度を推定する。

$$V_p = a + b * V_{max} + c * N_p + d * I_n + e * R_1 + R_2 \quad (\text{km/h})$$

係数はそれぞれ  $a = 24.25$ 、 $b = 0.364$ 、 $c = -2.71$ 、 $d = -1.55$ 、 $e = -12.5$ 、 $f = -7.37$  となっている。説明変数はそれぞれ  $V_{max}$  が指定最高速度、 $I_n$  が信号交差点密度、 $R_1$  がDID延長率、 $R_2$  がその他市街地延長率を示している。係数については電力中央研究所の報告書に使われていたものを引用している。

混雑時旅行速度が観測されているものや、混雑時旅行速度が観測されてない場合でも第1のモデルで混雑時旅行速度を推定したものと、次のモデルを用いることで道路別平均旅行速度を算出する。

$$V = V_p + a * (N_p - N) / 2000 \quad (\text{km/h})$$

係数は  $a = 26.28$  である。説明変数はそれぞれ  $V_p$  が混雑時旅行速度、 $N_p$  が混雑時車線あたり小型車換算交通量、 $N$  が平均車線あたり小型車換算交通量を示している。換算交通量はバスと普通貨物車の交通量のウェイトを2倍にしたものである。

(3) 排出係数

ガソリン消費における二酸化炭素排出係数は設定されているが、本来自動車の走行距離に対する二酸化炭素排出係数は車によって燃費が異なっているため設定されていない。そこで電力中央研究所に記載しているモデルを使い、道路別車種別排出係数を作成する。係数は東京23区のみを参考に算出されたものであるが、他の3県でも大きな差はないと考え、そのまま利用した。モデルは以下の通りである。

$$EF = a_0 + a_1 * V + a_2 * V * V + a_3 / V$$

車種	a0	a1	a2	a3
乗用車	1.51647E+02	-1.20410E+00	1.09045E-02	1.85424E+03
バス	6.84855E+02	-6.74754E+00	6.84935E-02	3.47227E+03
小型貨物車	1.40490E+02	-6.97251E-01	1.02862E-02	1.62882E+03
普通貨物車	4.90886E+02	-4.23587E+00	4.71894E-02	2.82202E+03

## (4) 排出量

(1) と(3)から各県の二酸化炭素排出量を算出する。それを以下の表にまとめる。

県名	排出量合計
東京	6.42267E+12
神奈川	5.99775E+12
千葉	4.87121E+12
埼玉	5.53846E+12
合計	2.28301E+13

**電気自動車の間接排出量**

一方で電気自動車に使用する電力を発電する過程においても二酸化炭素が発生する。そこで発電方法別の排出量、日本国内でのそれぞれの発電方法の割合を調べた。

まず火力発電についてだが、燃料によって二酸化炭素排出量は異なる。石炭、石油、液化天然ガス別の二酸化炭素発生量を調べた。石炭による火力発電では1 kWh 発電する際に、石炭燃焼による二酸化炭素発生は887g、施設建設や維持、燃料の運搬による間接的な排出量は88gであり、合計で975g/kWh 発生する。石油による火力発電では1 kWh 発電する際に、石油燃焼による二酸化炭素発生は704g、間接的な排出量は38gであり、合計で742g/kWh 発生する。液化天然ガス(LNG)による火力発電では1 kWh 発電する際に、液化天然ガス燃焼による二酸化炭素発生は478g、間接的な排出量は130gであり、合計で608g/kWh 発生する。

原子力発電や水力発電、太陽光発電、風力発電、地熱発電では化石燃料燃焼による二酸化炭素は発生しないが、間接的な二酸化炭素の発生は無視できない。太陽光発電では53g/kWh、風力発電では29g/kWh、原子力発電では22g/kWh、地熱発電では15g/kWh、水力発電では11g/kWhの二酸化炭素が間接的に排出される。

次に日本国内でのそれぞれの発電の割合を調べてみたところ、石炭による火力発電が22.2%、石油による火力発電は8.6%、液化天然ガスによる火力発電では26.6%、原子力発電では31.2%、水力が9.0%、その他2.4%であった。我々はその他の発電は太陽光発電、風力発電、地熱発電の3つの方法で等しく行われたと仮定した。

その結果、発電に際しての二酸化炭素排出量は平均的に450.62g/kWhとなった。

この結果を用いて電気自動車が1 km 走行する際に排出される二酸化炭素の量(g)を求める。大和総研の井上真穂による「電気自動車 真の実力」を参考にした。これによると電気自動車が1 km 走行する時の電力消費量は、0.1 kWh と想定されていた。これを我々も用いることにした。以上より、電気自動車が1 km 走行するのには45.062gの二酸化炭素が排出されることが導かれた。

**電気自動車必要台数算出**

我々は電気自動車の一般家庭への浸透を目指すため、乗用車から電気自動車に乗り換えることを考えていく。そこで電気自動車と乗用車それぞれの1台あたりの二酸化炭素排出量をもとめていく。

## (1) 乗用車1車あたり年間走行量

1日あたり1車あたり実働走行距離は国土交通省の陸運統計要覧に記載されている。しかし道路交通センサスでは乗用車の走行量は営業用と自家用に分かれていないにもかかわらず、陸運統計要覧では営業用と自家用に分かれており、その走行量も大きな違いがある。

	営業用	自家用
1日あたり1車あたり走行距離	189	40
車両数	270703	42505475

そこで平均の1日あたり1車あたり走行量を求める。算出した結果、乗用車1日あたり1車あたり40.943km走行することになる。よって年間では365をかけて14944.17kmとなる。

#### (2) 電気自動車1車あたりの年間二酸化炭素排出量

先ほど1kmあたりの間接排出量が45.062gとなっていたので、(1)で算出した乗用車1車あたりの年間走行量を掛けて、電気自動車1車あたりの年間二酸化炭素排出量を算出する。算出結果は673414.089gとなった。

#### (3) 乗用車1車あたりの二酸化炭素排出量

道路交通センサスから乗用車の走行台キロメートルをだし、1都3県を合計する。また乗用車の二酸化炭素排出量も合計する。乗用車走行台キロ合計は53268474228kmとなる。乗用車排出量合計は1.08512E+13gである。乗用車走行台キロ合計を乗用車1車あたり年間走行量で割って、乗用車台数を求める。算出結果は3564500台となった。これで乗用車合計排出量を割ると乗用車1車あたり二酸化炭素排出量が算出できる。算出結果は3044241.334gとなった。これは電気自動車の排出量の約4.5倍に相当している。これにより電気自動車が現在走行している乗用車よりもより環境に適していることを示している。

#### (4) 必要台数算出

麻生政権において1990年比8%(2005年比15%)を運輸部門における2020年の二酸化炭素削減目標に設定していた。よって削減目標達成後の排出量は算出した二酸化炭素に0.85を掛けて算出した1.94056E+13gとなると設定する。そして以下の方程式の解が電気自動車の必要台数となる。方程式右辺の第3項はバス、小型貨物車、普通貨物車の二酸化炭素排出量の合計である。

$$1.94056E + 13 = 3044241.334(3564500 - X) + 6.73414.089X + 1.19789E + 13$$

$$X = 144437.988$$

よって目標達成のための電気自動車の台数は144438台となる。これは現在の乗用車走行量の約40%に相当している。

ここから全国規模の必要台数を考える。全国走行量や車種比率が毎年変わらないと仮定して、また来年(2010年)から電気自動車の販売を始めたとしたならば、1年当たり乗用車の4%が電気自動車に代わればよいことになる。国土交通省の陸運輸送統計では乗用車の全国走行量は営業用、自家用合わせて42776178台となっている。その4%なので電気自動車の必要販売台数は年間1711047台となる。

## 第2節 ヘドニックアプローチ

消費者は自動車を購入する際に排気量、燃費、室内空間などのスペックやブランド、値段をもとに購入する車種を決めるであろう。つまり自動車市場は製品の差別化が行われている市場であると言える。経済学における研究では、財が同質的であるということを前提とすることが一般的となっているが、製品属性と需要との関係を調べるのが当研究において重要である。

そこで我々が参考にした論文が、2003年の田口光弘の「製品属性と市場シェア」という論文である。この研究では「たれ」、「国産大豆」、「添加品」など様々な差別化が行われている納豆を題材に研究が行われている。この論文の主な目的は次の2点である。

- ▶ 目的1：属性評価に基づく消費者選択行動を考え、その製品選択行動から導出された市場シェア関数を推計することによって、製品属性と製品の市場シェアとの関係について明らかにする
- ▶ 目的2：「品質調整済み価格」と製品の市場シェアがどのような関係にあるのかを明らかにする

この論文を使って、我々の研究においても重要と思われる点を中心にモデルを説明する。

### i) 品質調整済み価格

この論文で非常に重要な概念として品質調整済み価格というものがある。ある製品群が  $k$  次元の属性ベクトル  $z_i = (z_{i1}, \dots, z_{ik})$  であらわされる時、製品  $i$  の品質調整済み価格  $\bar{P}_i$  は

$$\bar{P}_i = P_i - P(z^i)$$

と定義される。 $P_i$  は製品  $i$  の実売価格、 $P(z^i)$  は製品  $i$  のヘドニック価格関数推計値、 $z^i$  は製品  $i$  の  $k$  次元属性ベクトル  $z_i = (z_{i1}, \dots, z_{ik})$  である。ここでヘドニック価格推計値はある特定の品質を備える製品に対しての市場価格の期待値であるので、品質調整済み価格は、実売価格がその品質から市場で実現されると予想される期待値と比べてどれだけ乖離しているかを表す。つまり実売価格がその商品に対してどれだけ見合った価格付けをされているかを表す。以上から品質調整済み価格と市場シェアに関して次のことが言える。

#### ① 品質調整済み価格が正

消費者は割高感を感じ、消費者は買い控えると考えられる。よって市場シェアは小さくなると予想される。

#### ② 品質調整済み価格が負

消費者は割安感を感じ、消費者は積極的に購入すると考えられる。よって市場シェアは大きくなると予想される。

この品質調整済み価格が生じる理由は、「企業と消費者による正確な均衡価格に対する調整の遅れ」であると考えられる。

### ii) 効用関数の特定化

製品 1 単位を購入した場合の効用最大化問題は

$$\max_{i=1, \dots, n, x} U(z^i, x) + \varepsilon_i \quad \text{s.t. } P_i + x = y$$

と表される。

$x$  : 納豆以外の全ての財をまとめた合成財の数量

$y$  : 消費支出

$\varepsilon$  : 誤差項

制約式から  $x$  を消去して整理すると、確率間接効用関数を用いた効用最大化問題に置き換えられ、次のようにあらわされる。

$$\max_{i=1, \dots, n} V_i + \varepsilon_i$$

ここで消費者の支出データが用意できなかったので  $V_i = -\alpha P_i + v(z^i)$  とパラメータ  $\alpha$  を使った形に書き換える。これと品質調整済み価格の  $P_i = P(z^i) + \bar{P}$  を解いていくと、最終的に

$$V_i = \sum_{j=1}^k (a_j z_{ij} + b_j z_{ij}^2) - \alpha \bar{P}$$

と表すことが出来る。(ただし、 $a$  と  $b$  はパラメータ)

iii) 市場シェア関数の特定化

消費者データが集まらなかったため  $\epsilon_i$  に関してガンベル分布を仮定すると、消費者が製品  $m$  を選択する確率は

$$s_m = \frac{e^{V_m}}{\sum_{i=1}^n e^{V_i}}$$

と表される。これを変形して整理すると次のような市場シェア関数が得られる。

$$\ln s_m = V_m - \ln \sum_{i=1}^n e^{V_i} = \sum_{j=1}^k (a_j z_{mj} + b_j z_{mj}^2) - \alpha \bar{P}_m - \ln \sum_{i=1}^n e^{\sum_{j=1}^k (a_j z_{ij} + b_j z_{ij}^2) - \alpha \bar{P}_i}$$

( $m=1, \dots, n$ )

また、交差価格弾力性と自己価格弾力性は

$$E_{mi} = \frac{\partial s_m}{\partial P_i} \frac{P_i}{s_m} = \frac{\partial \ln s_m}{\partial P_i} = \bar{P}_i = \alpha \bar{P}_i s_i \quad (m, i=1, \dots, n \text{ ただし, } m \neq i)$$

$$E_{mm} = \frac{\partial s_m}{\partial P_m} \frac{P_m}{s_m} = \frac{\partial \ln s_m}{\partial P_m} \bar{P}_m = \alpha \bar{P}_m (s_m - 1) \quad (m=1, \dots, n)$$

IV) 製品間の属性類似度を考慮した市場シェア関数の特定化

対象としている製品群は、製品差別化が進んでいる。上記の交差価格弾力性は製品  $m$  の変数に全く依存しておらず、品質調整済み価格による市場シェアの交差価格弾力性は一定になってしまい、大きな問題である。そこで属性が似ている製品間の交差価格弾力性が大きくなり、属性があまり似ていない製品間のそれは小さくなるような市場シェア関数を特定化する。その際に製品間の「距離」という概念を導入する。自己価格弾力性についても他製品間の平均距離を考える。このようにして導かれた市場シェア関数は次のようになる。

$$\ln s_m = \sum_{j=1}^k (a_j z_{mj} + b_j z_{mj}^2) - \frac{\alpha}{d_m} \bar{P}_m - \ln \sum_{i=1}^n e^{\sum_{j=1}^k (a_j z_{ij} + b_j z_{ij}^2) - \frac{\alpha}{d_{mi}} \bar{P}_i}$$

v) 当研究において

納豆における研究では、製品の値段が安いものであるため、所得などの消費者の属性と需要関数の関係は希薄なものである。一方自動車においては消費者の属性によって需要関数が異なると考えることもできる。消費者の属性の代表的なものに所得があるが、確かに所得によって志向する車種は異なる。しかし、消費者の属性による需要に関するデータを得ることは出来なかったため、消費者の属性は考えないまま応用したい。また、電気自動車の普及への提言にあたって消費者別でのデータより、全体としてのデータの方が有効であるとも思われる。



### 第3節 実際の需要関数分析

我々は以上の方法をもとに実際に分析を行う。使用するデータは2001年度に販売された自動車88車種の販売台数、全長、全幅、全高、ホイールベース、重量、定員、馬力、10・15モード燃費、排気量、希望小売価格である（なお、販売台数0台のものはデータから除外している）。まず、ヘッドニック価格を求めるにあたって定員、馬力を重量で割った値、排気量を説明変数として、希望小売価格を被説明変数とした。はじめは全てのデータの種類を説明変数としてヘッドニック価格を求めることにしたが、P値が高くなってしまったため除外したところ、重量、定員、馬力、排気量が残った。また、重量と馬力は多重共線性を有していると思われるため、それを解消するために馬力を重量で割った値を使用することにした。そして、以上の3つのデータを説明変数、希望小売価格を被説明変数として回帰分析を行ったところ、以下の結果を求めることができた。

回帰統計									
重相関 R	0.800859								
重決定 R2	0.641374								
補正 R2	0.628566								
標準誤差	469201.3								
観測数	88								
分散分析表									
	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F				
回帰	3	3.31E+13	1.1E+13	50.07587	1.17E-18				
残差	84	1.85E+13	2.2E+11						
合計	87	5.16E+13							
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%	
切片	-1E+07	1526638	-6.59988	3.49E-09	-1.3E+07	-7039735	-1.3E+07	-7039735	
X 値 1	-79275.1	66944.53	-1.18419	0.239678	-212402	53851.44	-212402	53851.44	
X 値 2	11453561	2964212	3.863948	0.000219	5558901	17348221	5558901	17348221	
X 値 3	1552057	233054.7	6.659624	2.67E-09	1088602	2015511	1088602	2015511	

ここからヘッドニック価格を求めるための式  
 (ヘッドニック価格) =  $-1E+07-79275.1 * (\text{定員}) + 11453561 * (\text{馬力を重量で割った値}) + 1552057 * (\text{排気量})$   
 が求められる。そこで、上記の式に実際の88車種の値を代入してヘッドニック価格を求め、これを希望小売価格から引いて品質調整済み価格を導く。  
 次に先ほどの3つのデータに品質調整済み価格を加えたものを説明変数、販売台数を被説明変数として回帰分析を行ったところ、以下ようになった。

回帰統計								
重相関 R	0.506375							
重決定 R2	0.256415							
補正 R2	0.22058							
標準誤差	32076.7							
観測数	88							
分散分析表								
	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F			
回帰	4	2.94E+10	7.36E+09	7.155362	5.32E-05			
残差	83	8.54E+10	1.03E+09					
合計	87	1.15E+11						
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	262103.6	104369.3	2.511308	0.013967	54517.15	469690	54517.15	469690
X 値 1	20371.77	4576.628	4.451263	2.64E-05	11269.05	29474.5	11269.05	29474.5
X 値 2	234844.3	202646.8	1.158885	0.249826	-168212	637900.6	-168212	637900.6
X 値 3	-47851.2	15932.66	-3.00334	0.003529	-79540.6	-16161.8	-79540.6	-16161.8
X 値 4	0.010428	0.007459	1.398053	0.165822	-0.00441	0.025264	-0.00441	0.025264

上記の結果をもとに需要関数を求める。

$1711047 = 262103.6 + 20371.77 * (\text{定員}) + 234844.3 * (\text{馬力を重量で割った値}) + 0.010428 * \{P - (-10000000 - 79275.1 * (\text{定員}) + 11453561 * (\text{馬力を重量で割った値}))\}$   
 となる。1711047は2020年までに普及させる電気自動車台数の1年あたりの平均値である。

この式に電気自動車の平均の定員と、馬力を重量で割った値を代入して P を求めることにする。なお、この平均はスペックと希望小売価格が公開されていた三菱自動車の i-MiEV とスバルのプラグインステラのデータを元に算出した値である。

この値を代入して P を求めたところ、その値は73361170と、かなり大きくなってしまった。このような値となった原因は上記の結果にある X 値 4 の係数である 0.010428 と思われる。この値は品質調整済み価格の値を小さくしてしまい、品質調整済み価格が需要関数に与える影響も同時にかなり小さくしてしまう。

需要と希望小売価格で回帰分析を行ったところ結果は以下のようになった。

回帰統計								
重相関 R	0.150864							
重決定 R2	0.02276							
補正 R2	0.011397							
標準誤差	36125.59							
観測数	88							
分散分析表								
	自由度	変動	分散	割された分散	有意 F			
回帰	1	2.61E+09	2.61E+09	2.002947	0.160605			
残差	86	1.12E+11	1.31E+09					
合計	87	1.15E+11						
	係数	標準誤差	t	P-値	下限 95%	上限 95%	下限 95.0%	上限 95.0%
切片	41100.44	11527.31	3.565485	0.000596	18184.91	64015.97	18184.91	64015.97
X 値 1	-0.00712	0.005031	-1.41526	0.160605	-0.01712	0.002881	-0.01712	0.002881

決定係数が低く、また、係数を見ても -0.00712 でとても小さいため、値段は需要を決める要因ではないと言えることができる。

## 第4節 補助金算出

第3節のヘドニックアプローチによって車の需要量は価格に依存しないことが判別された。価格に対する需要関数から各電気自動車に与える補助金の算出ができなくなったため、全体としてどれほどの予算を用意しなければならないかを算出する。補助金の算出は「クリーンエネルギー自動車導入促進事業(有限責任中間法人電動車両普及センター)」を想定し、現在の補助金算定式に当てはめて算出する。算定式は以下のものである。

$$\text{補助金額} = \text{基準額(ベース車との差額)} \times \text{補助金}(1/2) \times \text{減額係数}(0.97)$$

今現在販売されている、または販売が予定されている富士見重工業のプラグインステラと三菱自動車の i-MiEV ではそれぞれ上の算定式によると、プラグインステラは約185万円、i-MiEV は約175万円の補助金が与えられていることになる。いま現在この2種しか電気自動車のデータしか存在しなかったため、今後の電気自動車の販売価格がどのようなかを2通りに場合分けを行なう。

### (1) 電気自動車価格がベース車の5倍である場合

5倍というのは先ほどの2種を参考に我々で仮定した。現在の希望小売価格の平均は2163540円であるため、仮定から電気自動車予想価格は10817700円となる。基準価格となる差額は8654160円であるため補助金算定式から1台に4197268円の補助金が与えられる。これに第1節で算出した必要販売台数1711047台をかけた結果が補助金予算である。結果は約7兆1800億円となった。

### (2) 電気自動車価格とベース車価格との差が一定である場合

このケースはどの価格の電気自動車でも補助金が一定となる。プラグインステラと i-MiEV の補助金を参考に、電気自動車1台当たり180万円の補助金を出すとする。これに第1節で算出した必要販売台数1711047台をかけた結果が補助金予算である。結果は約3兆800億円となった。

## 第4章 政策提言

---

### 第1節 補助金予算案

上記の分析により今後の販売価格によって2通りの補助金予算案を提案する。まず電気自動車がベース車の5倍である場合では、補助金予算が7兆1800億円必要である。電気自動車価格とベース車価格の差が一定である場合は、補助金予算が3兆800億円必要である。

### 第2節 欧州における現行の政策

欧州においては電気自動車の温暖化ガス排出量が少ない所に着目して近年様々な政策が計画、または実行されている。例としてはフランスにおける電気自動車のレンタル、フランス・ドイツにおける都市部への充電スタンドの設置などがある。電気自動車のレンタルはパリ市が周辺の自治体と協力して公共のレンタル制度の導入を行うものである。2010年末の導入をメドとしており、パリ市内の1000カ所に4000台の電気自動車を配置する予定で、市民だけでなく、観光客にも貸し出しを行う。また、フランス政府は公共の駐車場などの75000カ所、住居や事務所の全体の90%にも充電インフラを設置する予定である。ドイツにおいては電力会社のRWEがベルリンに500基の充電インフラを設置するなど、そのインフラ網を整える計画である。

これを参考にして日本でも同様に導入していく政策提言をあげてみる。自動車のレンタル制度は日本でも問題なくできるだろう。都市圏で行えば欧州と同様に市民だけでなく観光客にも貸し出すことも可能であり、人々に関心を持ってもらうことができる。また、これと並行して都市圏に充電インフラを配置することによってその移動可能な範囲を増やすことができる。

### 第3節 インフラと予備電池

インフラの設置については面積と人口の比率の二つの観点からアプローチを行う。まず面積についてだが、これは東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、茨城県のそれぞれの面積の比率や電気自動車の走行可能距離より求める。まず電気自動車の走行可能距離についてだが、今回、これについてはまだデータ数が十分とはいえないため、各社の電気自動車の可能走行距離を平均した数値を求めることはできなかった。この平均の走行可能距離を求めると、それ以降の面積や人口の比率による各都県のインフラ設置数を求めることができる。

面積によるアプローチは、電気自動車の走行可能距離より設置する間隔の距離を求め、等間隔で充電スタンドの設置を行っていく。そうすることによって電気自動車の連続した走行が可能となる。しかし、この方法では人口の多いところでは充電スタンドの不足による充電待ちの人々の発生や、それに付随する渋滞などの問題、また場所によっては使用される頻度の低いものも出てきてしまう。一方、人口の比率によるアプローチは、都市部などの人口の集中している地域には多くの充電スタンドを、逆に人口の少ない地方にはあまり多くの充電スタンドは置かないようにする。しかし、この方法では人口の多い地域では町中にインフラが設置されているためその都市圏内では自由に走行できるなど、便益を享受することができるが、人口の少ない地方の人々は走行可能な範囲が制限されてしまうため電気自動車を購入することをやめてしまうといったことになってしまう可能性がある。

また、インフラを多く設置する代わりに車内に予備用の電池を積みこんでおくといった方法もある。そうすることによってその電気自動車の走行可能距離が増加するため、あまりインフラを設置しなくても自動車の走行可能な範囲が制限されることもなくなる。上記の面積と人口の比率との二つのアプローチに照らし合わせて考えてみると、面積によるアプローチでは人口の多い所での充電待ちによる渋滞の発生などを緩和することはできるが、使用される頻度の低いものは更にその頻度が下がっていくことが予想される。一方、人口の比率によるアプローチの方は都市圏に住んでいる人々は移動範囲を増やすことができ、人口の少ない地方の人々もその移動範囲を増やすことが、更に電気自動車の購買を控えるといったことにも結びついていく。

## 第4節 民間に対するインセンティブ（誘因）の喚起

政策提言として補助金だけではなく民間のインセンティブ(誘因)の喚起も行っていくことによって電気自動車の普及にあたっていく。具体例として、電気自動車を生産している企業による積極的なインフラ設置へのインセンティブがあげられる。企業がインフラを普及させることによって、また上記に示したように予備の電池を積載しておくことによって人々の電気自動車を購入する際の移動範囲の制限の障壁を取り除くことができる。そのほかにも駐車場や高速道路の使用料金の値引き、自動車税の値引きなどで従来の自動車と比較した際に購入後の様々なアドバンテージを持たすことによっても普及を促す。結果として電気自動車の普及が進み、電気自動車市場も拡大していく。

タクシーを電気自動車にすることによって人々の意識変革も行う。タクシーは現在、燃料としてガソリンを使わずにLPガスを使用しているため、ガソリンスタンドを使用していない。そのためガソリンスタンドを撤廃するためのコストがかからないので、新たに電気スタンドを設置すればよい。また、タクシーは乗客の利用人数やその利用頻度が高いため、多くの乗客に利用してもらうことによって電気自動車の良さが伝わり、知名度の向上へとつながる。

また、地方に電気自動車のモデル都市を制定し、地方自治体と協力して、電気自動車の普及政策を推進していく。都市部ではなくあえて地方にモデル都市を設定することで、いくつかのメリットが考えられる。一つは、地方の方が都市部に比べて住民の自動車の利用率が高いため、多くの人々が電気自動車に乗り、知名度の向上につながりやすいという点である。もう一つの利点として、地方は都市部より土地が安いいため、地方の中心部にも多く電気スタンドを設置しやすいという点がある。これにより、都市部よりも少ない数の電気スタンドを設置し、かつ効率的なインフラ整備を実現することができ、コスト面での優位性が図れる。このように、実際に地方に電気自動車のモデル都市を指定し、積極的に走らせることで、電気

自動車の安全性や利便性を確認することができ、かつ電気自動車の知名度を社会に広く向上させることを、低コストで実現することが可能になるのではないかと考える。

## 第5章 今後の課題

### 第1節 需要関数算出における課題

分析より需要関数と価格の間に相関がないことが分かった。この原因としてはデータ不足や、消費者行動選択がメーカーやブランドに対して依存があることなどが予測される。問題点の一つのデータ不足としてはまず定員のデータがあげられる。定員は2人から8人までしかばらつきがなく、さらにほとんどの車種の定員は4人または5人となっている。そのため、ヘッドニック価格を算出する式や需要関数を算出する際にあまり有意であるとは言えなくなっている。そこでデータ種類として新たに「車内空間」を加えることとする。これは現在データに入っている「全長」「全幅」「全高」の3つを掛けたものとする。しかし、このままのデータを使用すると自動車の形状が直方体になってしまい、現在流通している流線型の形状と比較するとその空間体積は実際のものよりも大きいものになってしまう。そのため自動車の形状によって係数を取り、観測された体積に掛けていくこととする。そうすることでより現実に近い数値を得られるようにしたい。また、今回使用したデータは2001年度のものであり、古いデータを使用したものであるため、今後は2008年度のデータを使用する。2001年から2008年にかけてハイブリッド車に対する志向は高まり、数多くのハイブリッド車が販売されるようになったため、より期待に近い結果が得られると思う。

### 第2節 分析規模の拡張

今回は東京都と、東京都に隣接する3県から道路交通量等のデータを入力し、その比率より全国へと規模の拡張を行った。しかし、全国の道路交通量のデータを入力していないため、必要台数や補助金額は必ずしも正確とはいえないため、そのデータを入力することによって必要台数や補助金額の値の精度の向上を図る。

また、所得格差問題も考慮する。所得の差が自動車を購入する際に影響を与えているため、このまま配布を行うと補助金がばら撒きになりかねない。そのため低所得者には算出された補助金よりも多い額を、逆に高所得者には算出された補助金よりも少ない額を配布するなどして、所得の違いによって補助金の配布量も変えていく。

### 第3節 補助金算出における課題

電気自動車がベース車の5倍である場合と電気自動車価格とベース車価格の差が一定である場合の2つの方法で補助金算出を行った。しかし、前者の場合では国の予算に対して大きくなってしまふことが、後者の場合では補助金が一定であるために、価格の高い電気自動車

を買うインセンティブの損失に繋がってしまうことが問題となる。そこで、この二つの方法を織り交ぜるか、新たな算出方法によって補助金を導き出すしていく。



## 先行論文・参考文献・データ出典

### 主要先行論文

- ・ 電力中央研究所(池谷知彦、佐藤歩、田村英寿、馬場健司、田頭直人) (2009)  
「電気自動車導入による都市環境負荷低減効果の評価」
- ・ 田口光弘 (2003)  
「製品属性と市場シェア—納豆を事例として—」

### 参考文献・データ出典

- ・ 全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト

<http://www.jccca.org/> より

- ・ 日本経済新聞
- ・ 社団法人 自動車工業振興会ウェブサイト データファイル需要見通し
- ・ 社団法人 日本自動車連合会
- ・ 株式会社 ジェ・エー・エフ出版社「最新国産&輸入車全モデル購入ガイド」
- ・ 国土交通省 自動車輸送統計年報
- ・ 国土交通省 陸運統計要覧
- ・ 国土交通省 平成17年度道路交通センサス箇所別基本表
- ・ (財) 計量計画研究所「大気汚染物質排出量グリッドデータ整備業務報告書」
- ・ 東京都 東京の環境
- ・ 資源エネルギー庁「電源開発の概要」
- ・ 電気事業連合会 電気の情報広場 各種電源別のCO2排出量
- ・ 大和総研「電気自動車 真の実力」(井上真穂)
- ・ 有限責任中間法人電動車両普及センター クリーンエネルギー自動車導入促進事業