

東京大学大学院 新領域創成科学研究科
環境システム学専攻

平成 29 年度

修士論文

電気自動車を対象にした
企業による自発的な環境性追求の理由の検証

2018 年 2 月 22 日提出
指導教員 吉田 好邦 教授

多田羅 孔明

目次

第 1 章	序論	1
1.1	背景 1 : 気候変動問題における EV	1
1.2	背景 2 : EV の国の政策としての側面	6
1.3	背景 3 : EV の企業戦略としての側面	9
1.4	目的と本論文の構成	13
第 2 章	自動車産業における GHG 削減のマクロ評価	14
2.1	GAMS を用いた次世代自動車の導入評価	14
2.2	産業連関表を用いた低炭素技術の比較	29
第 3 章	経済性と GHG 削減を同時追求する企業行動	46
3.1	経済性と環境性の同時追求とはどういうことか	46
3.2	類型 1 : 規制や法環境の変化に対応する自主的な企業行動	56
3.3	類型 2 : 投資環境の変化に対応する企業行動	60
3.4	類型 3 : 消費者思考の変化を促す企業行動	69
3.5	環境性の追求以外の EV シフトの理由	74
第 4 章	理論的な説明	79
4.1	企業行動に関する理論的研究	79
4.2	企業の EV シフト関する具体的な数式の検討	83
第 5 章	結論	89
5.1	研究成果のまとめ	89
5.2	今後の展望	90
	参考文献	91
	謝辞	99
付録 A	アンケートの内容	101

表目次

2.1	各種次世代自動車の特徴	15
2.2	アンケートの有効回答	20
2.3	乗用車および電気自動車の諸元表	34
2.4	風力発電および太陽光発電の諸元表	35
2.5	LED ランプおよび蛍光灯ランプの諸元表	35
2.6	その他の諸元表	35
2.7	比較を行う低炭素技術のシェアと CO2 排出量	35
A.1	長距離走行の日数のアンケート画面	106

図目次

1.1	日本の 2014 年の CO2 排出構成（左）と一次エネルギー使用量構成（右）	3
1.2	GHG 削減手法と車両電動化の意義のまとめ	4
1.3	自動車の種類ごとの CO2 排出量（a）およびエネルギー消費量（b）の比較	6
1.4	電気自動車の世界保有台数の推移	7
1.5	電気自動車に関わる取組の歴史（1970-2004 年）	8
1.6	外部不経済の概念図	9
2.1	各種次世代自動車の構造	16
2.2	走行距離分布（日走行距離～25km の基準値 20km 使用時）	19
2.3	走行距離分布（日走行距離～25km の基準値補正後）	19
2.4	バリディティチェック後の有効回答の保有台数別内訳	20
2.5	JAMA 公開統計データとの保有台数の比較	20
2.6	有効回答の車両 1 台あたりの年間走行距離分布	21
2.7	ユーザー属性の概要	22
2.8	ベースシナリオにおける仮定	25
2.9	CO2 削減目標段階別の次世代自動車構成推移	26
2.10	ベースシナリオにおける MAC	27
2.11	ガソリン価格変化による MAC への影響	28
2.12	電源構成変化による MAC への影響	28
2.13	産業連関表の概念図	30
2.14	産業連関表の統合イメージ	32
2.15	産業部門の統合ルール	32
2.16	計算の詳細	36
2.17	電気自動車専用部品の原材料分解	37
2.18	太陽光モジュールおよび架台等の原材料分解 1	38
2.19	太陽光モジュールおよび架台等の原材料分解 2	39
2.20	風力発電ターピンの原材料分解 1	40
2.21	風力発電ターピンの原材料分解 2	40
2.22	LED ランプの原材料分解	41

2.23	蛍光ランプの原材料分解	42
2.24	各種低炭素技術による CO2 削減ポテンシャルと限界削減費用	43
2.25	各種低炭素技術の産業の多様性と、国内付加価値率	44
2.26	製品輸出を仮定した場合の国内付加価値率	45
3.1	カーボンプライシングのカバー率の推移	49
3.2	EU における燃費平均値の推移	51
3.3	太陽電池モジュールの国内出荷量推移	52
3.4	CDM/JI に基づくクレジット発行量と CER のセカンダリー市場価格の推移	53
3.5	自主的なカーボンオフセットの発行量と、発行価格の推移	58
3.6	PRI に署名する機関の数と運用投資額の推移	61
3.7	石炭生産量の推移（上）と石炭価格の推移（下）	64
3.8	インパクト投資とサステナビリティテーマ型投資の資産残高の推移	66
3.9	テスラの業績推移（上）とテスラの株価推移（下）	67
3.10	日本における照明器具（ランプ含む）の販売実績推移	71
3.11	PAYS の仕組み	72
3.12	新車乗用車販売における主要国のハイブリッド車の割合	73
3.13	日本における乗用車の価格上昇と平均燃費の推移（GDP デフレーター補正済）	77
4.1	LIB セルおよび車載用 LIB セルの生産曲線（CPI により価格調整）	82
4.2	LEAF の LIB システムの生産曲線	82
4.3	EV および従来車の MR,MC と、EV 生産量増の時の状況	84
4.4	【類型 1】EV および従来車の MR,MC と、EV 生産量増の時の状況	85
4.5	【類型 2】EV および従来車の MR,MC と、EV 生産量増の時の状況	87
4.6	【類型 3】EV および従来車の MR,MC と、EV 生産量増の時の状況	88

第 1 章

序論

1.1 背景 1：気候変動問題における EV

1.1.1 気候変動問題とパリ協定

2015 年 12 月、気候変動枠組条約第 21 回締約国会合 (COP21) においてパリ協定が採択された。協定では、地球の平均気温の上昇範囲を産業革命前の気温から 2°C 未満に抑えること、可能であれば 1.5°C 以内に抑制すべく国際社会が努力することが定められた。この目標は、かなりシビアな目標であり、大気中の GHG 濃度を 450ppm 以下 (2°C 未満) にするシナリオを達成するには、炭化水素燃料の使用を大幅に抑えなければならない。

パリ協定は歴史的合意と言われる。それは、気候変動枠組の活動が始まって以来、全ての国が地球温暖化の原因となる GHG (Green House Gas, 温室効果ガス) の削減に取り組むことを約束したためである。気候変動に関しては、1992 年に国連気候変動枠組条約が採択されて以降国連気候変動枠組条約締約国会議 (COP) が 1995 年から毎回開催されている。しかし、長年効果的な枠組を形成できてこなかった。1997 年の COP3 で採択された京都議定書では、先進国と開発途上国の立場の違いが鮮明になり、GHG 削減義務に関して別の条件を課したために、GHG 排出という意味では、中国やインドの急成長国の GHG が急増し、実質的な効果を得ることに失敗している。

パリ協定で 2°C という数値が定められたわけだが、工業化以前の水準より 2°C 以上高い平均地球温暖化は、様々な災厄をもたらしかねないと考えている。極の氷の融解、それに伴う海面上昇、温度上昇による干ばつや山火事の増加、砂漠化、熱帯性の病原菌の拡散、生態系の変化など挙げればきりが無いが、それほどまでに重大な影響が指摘されているのにも関わらず、世界的に合意を得るまでに 20 年もの歳月を要したのには理由がある。気候変動は様々な意味で、そのほかの環境問題とは異なり、ゲルノット・ワグナー他 (2016) は、気候変動問題には主に 4 つの大きな特殊性があるとしている。

1. 世界的規模でのフリーライダー性

GHG 排出による地球温暖化および気候変動は、世界的に影響があるという意味で特徴的であると考えられる。例えば、都市部のスモッグの問題は、その都市部に影響が限られている

ので、その都市で対策を取れば良い。中国における PM2.5 も、韓国や日本に粉塵が飛散してきたとしても、強い影響は及ぼさない。世界的な対策を取らなければいけない場合、世界での協調が必要になるが、その場合、どうしても利害関係の調整が大変であるし、何よりも今まで GHG を排出してきた先進国と、これから経済発展を目指し、GHG 排出の増加が予想される途上国との対立はどうしても避けられないという難しさがある。

2. 影響の長期性

GHG による影響は長期にわたるが、そのせいで、なかなか影響を実感しにくいという難しさがある。地球の平均気温はここ数十年上昇を続けてきたが、短期的な温度変化は地球の仕組みに吸収されてしまう。ようやく現在、ハリケーンや、豪雨、山火事など目に見える形で実感を始めた。さらには、GHG 排出を今仮に無くしたとしても、今までの排出分の影響は当分将来に影響し、今仮に GHG 排出をやめたとしても、影響が即座になくなるわけではない。

3. 実質的な不可逆性

温暖化により及ぼされた地球の変化は、温度をもとに戻したとしても、地球環境は戻らない可能性がある。例えば南極の氷床が完全に融解してしまえば、もとに戻すのは数十年の単位では不可能であるし、石炭や石油を燃やすことにより発生した CO₂ は、数十年で同じように地中に固定されるわけではない。さらには、たとえより長いスパンで待機中の CO₂ 量が元に戻ったとしても、地球上の CO₂ の存在状態は以前と同じとは言えない。

4. 不確実性

地球の温暖化による地球環境への影響が誰にも予想できないため、対策が非常に難しいのが現実である。地球は過去暖かい時期と寒い時期を繰り返してきたが、過去の暖かい時期と同様の地球環境になるとは限らないため、過去からの推測も難しいと言われている。

1.1.2 日本の GHG 排出状況と車両 EV 化の意義

ここでパリ協定における日本の目標を見てみよう。日本の達成目標は、2013 年度比 26 パーセントの CO₂ 削減である。日本の CO₂ 排出量は 2014 年度 13 億 1000 万トンである。さらに、CO₂ 排出量の、産業部門別の内訳（図 1.1 左）と、エネルギー種類別の内訳を図 1.1 右に示す。

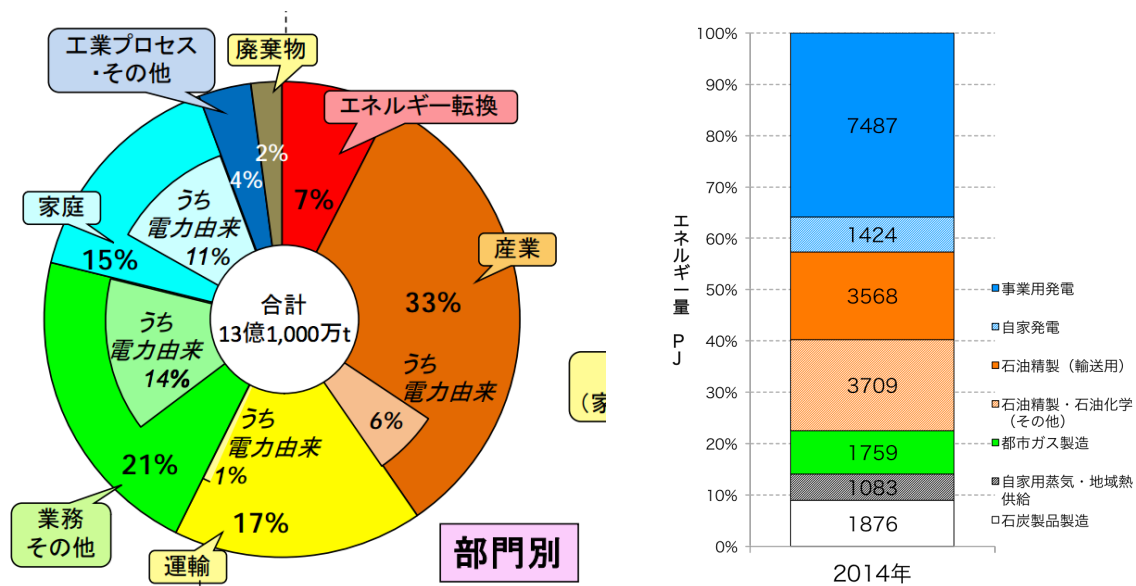


図 1.1: 日本の 2014 年の CO2 排出構成 (左) と一次エネルギー使用量構成 (右) *1

GHG 排出削減対策における、運輸部門における対策、特に電動化の対策には大きな意義がある。それは、図??のように、運輸部門が CO2 排出の 2 割弱を占める大きなセクターであることから明らかである。しかし、意義はそれだけにとどまらない。CO2 排出の根本に立ち戻って見ると、少なくとも廃棄物と工業プロセス由来のものを除いた 94 パーセントが炭化水素製品を含むエネルギー由来である。ということは、どうしても石油や石炭の使用を抑えることだけが唯一の CO2 排出削減の手法である。図??で、日本における一次エネルギーの構成を示しているが、このそれぞれのエネルギー量に、エネルギーあたりの CO2 排出量 (CO2 排出係数と呼ぶことにする) をかけたものの和が、ほぼ全体の CO2 になると考えて良い。

$$\text{CO2 排出量} = (\text{エネルギー消費量}) \times (\text{エネルギー効率}) \times (\text{排出係数})$$

ここで CO2 を減らすには、エネルギー使用量を減らすか、エネルギー効率をあげるか、エネルギーあたりの CO2 排出量を下げしかない。しかし、図??の分類の中で、事業用発電/自家発電/自家用蒸気・地域熱供給以外はエネルギーあたりの CO2 排出量を下げることがほぼできない。なぜなら、石油製品や石炭製品、例えばプラスチックやガソリンやコークスは、最終的に燃やせばもともとの原油や石炭に含まれていた炭素分は CO2 になってしまう。そのため、石油精製や石炭製品製造、都市ガス製造からの CO2 排出を減らすためには、そもそも消費の抑制や、原料の代替により使用量を減らすか、製造や輸送におけるロスを減らして効率をあげるしかない。ただ、産業としては、活動を抑えたくないというのが実情だろう。そうすると、省エネにより効率をあげるしかないわけだが、効率化には技術的にも、さらには物理原則から考えても、限界がある。

一方、発電に関しては効率化だけでなく、CO2 排出係数を下げるという選択肢がある。例えば

*1 CO2 排出構成は経済産業省 (2015b) より引用、一次エネルギー使用量構成は資源エネルギー庁 (2016a) より作成

原子力発電や、太陽光発電、バイオエネルギーなどの発電方法を用いると、発電による CO2 排出はほぼゼロにすることができる。こう考えると、自動車の電動化には、排出係数を下げられない石油から、排出係数をゼロに近づけることのできる電気へとエネルギー使用方法を切り替えることができる意味で、意義が大きいと言えるだろう。

気候変動における GHG 対策として、CO2 排出を削減する以外にもう一つ手法がある。それは炭素固定と呼ばれる手法で、CCS (Carbon Capture and Storage) や、植林が主な例である。地球上の CO2 量を減らしたければ、CO2 を気候変動に影響のない形にしてしまえば良いという考え方である。CCS の具体的な方法としては、CO2 を液体にして、地中に埋めたり、海に溶かししたりするという方法が考えられる。そのためには、効率的に CO2 を回収しなければいけないのだが、個人個人が自動車から排出される CO2 を回収して、どこかに集めるというのは非効率的である。

ここにもう 1 つの車両の EV 化の意義があり、車が電気で動けば、車を動かすことにより生じる CO2 の排出源が、発電所に集約することができるということである。以上の議論を図にまとめておこう。

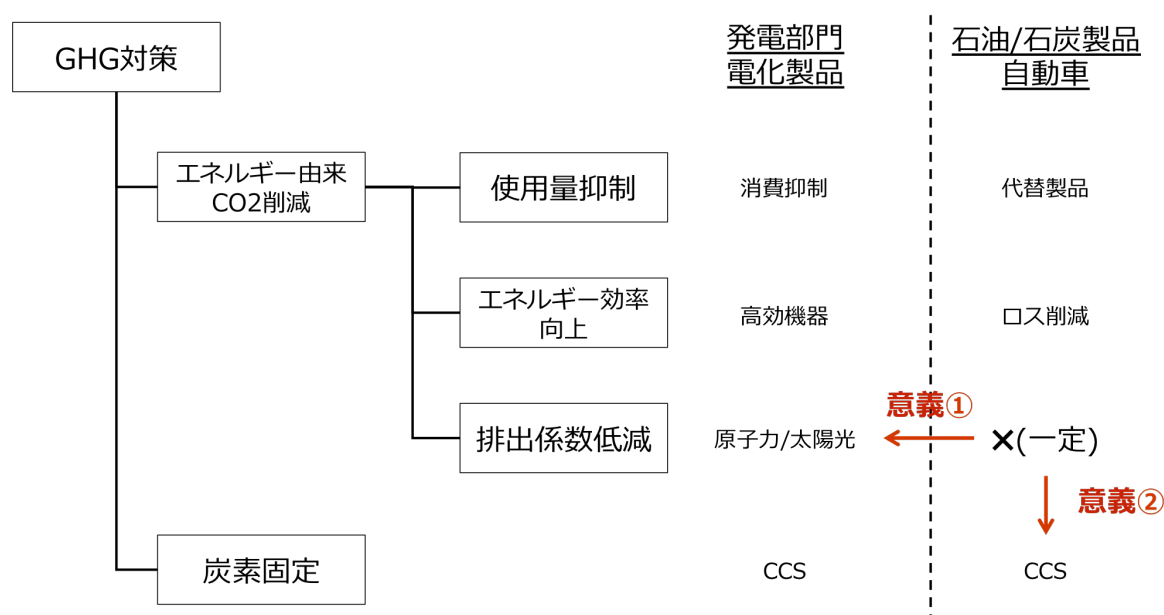


図 1.2: GHG 削減手法と車両電動化の意義のまとめ

1.1.3 限界削減費用に関する先行研究

気候変動対策で重要なのは、GHG (Green House Gas, 温室効果ガス) の削減および排出ガスをなくすことによる環境の追求であるが、環境政策的な観点で言えば、EV による GHG 削減対策はその他の対策と比較して、非効率であるとの指摘があった。

2009 年に日本で温室効果ガス排出削減の中期目標の発表を受けた研究 (永田豊・森裕子, 2010) では、日本における低炭素技術の限界削減費用に関する研究において、自動車による対策における

限界削減費用が 400 ドル/tCO₂ であり、それよりも安い低炭素技術を活用することで、風力発電やトップランナー家電やグリーン IT、高効率給湯器により 7000 万トン分の CO₂ を削減できている。また、地球環境産業技術研究機構 (2016) によると、2030 年の日本の限界削減費用別の削減量を示しているが、産業部門における 2.5 パーセント、エネルギー部門における 7.2 パーセントが限界削減費用が 50 ドル/tCO₂ 以内である一方、乗用車の燃費改善による対策は 200 ドル/tCO₂ を超える。

ちなみに、Nordhaus (2016) によると、気候変動における信頼性のあるモデルである DICE (Dynamic Integrated Climate-Economy) を使用した SCC (Social Cost of Carbon, 炭素の社会的費用) に関する研究において、想定する割引率により異なるものの、ベースケースでは、2015 年に 31.2 ドル/tCO₂、2030 年に 51.6 ドル/tCO₂ であることを考えると、よほど乗用車における GHG 対策の限界費用が高いことがわかるだろう。

ただし、自動車対策による GHG 削減の限界削減費用が高いとしても、より多くの GHG 削減が必要な場合、自動車による GHG 削減に着手しなければならないと言えるだろう。しかしそれでも、現状の電力構成を前提にした場合、EV による対策は、すでに技術の確立されているハイブリッド車と比較して、そもそも GHG 排出の観点で見てもそこまで強い訳ではないという研究もある。

アメリカにおける研究 Onat et al. (2015) は、全米、さらに州ごとに自動車製造・バッテリー製造・ガソリン製造・充電インフラ製造および保守修繕・廃棄段階における LCA (Life Cycle Assessment, ライフサイクル分析) を網羅的に計算し、自動車の種類ごとにライフサイクルにおける CO₂ 排出量とエネルギー使用量を調べている。対象となったのは、EV、18kWh および 62kWh の PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)、HEV (Hybrid Electric Vehicle)*²、ICV (Internal Combustion Vehicle, 内燃機関自動車)*³ に関して比較されている。

それによると、走行距離あたりの CO₂ 排出量は EV と HEV でほぼ変わらず、エネルギー消費量においては HEV の方が少ないという結果が出ている (図 1.3)*⁴。

また、州ごとにエネルギーミックスと人々の走行パターンが異なるという背景から、州ごとに GHG 排出の評価を行った場合、確かに、現状のエネルギーミックスだと EV が一番良い州が 24 州で、HEV が 17 州であった。しかし、現実的には、EV が増えるということはその分の新しい電力生産を補わなければならないが、それを考慮すると、1 番に選ばれる車は HEV ないしは 18kWh の PHEV のみで、EV は選ばれないという結果になっている (Onat et al., 2015)。

もちろん、EV の導入が効果的なのは低炭素発電が入ることが前提ではあり、この研究でも住宅に 100 パーセント太陽光と充電インフラが設置された場合、結果は逆転し、どの州でも EV が入る

*² プラグインハイブリッド車には PHV と PHEV、ハイブリッド車には HV と HEV の 2 種類の略称があるが、本論文では HV/PHV で統一する。この論文では PHEV/HEV が使用されている。

*³ ICV は、主にガソリン車とディーゼル車の 2 種類ある。

*⁴ EV は一般的には ICV と比べてエネルギー効率が良い。この論文でも、現状だと送配電ロス (T&D loss) が理由であるとこの論文では説明している。この論文では 2009 年のエネルギーミックスで計算しているが、現在では当時より発電効率も上がっている。また、国土の広いアメリカでは日本よりも送配電ロスが大きい。

*⁵ Onat et al. (2015) より引用

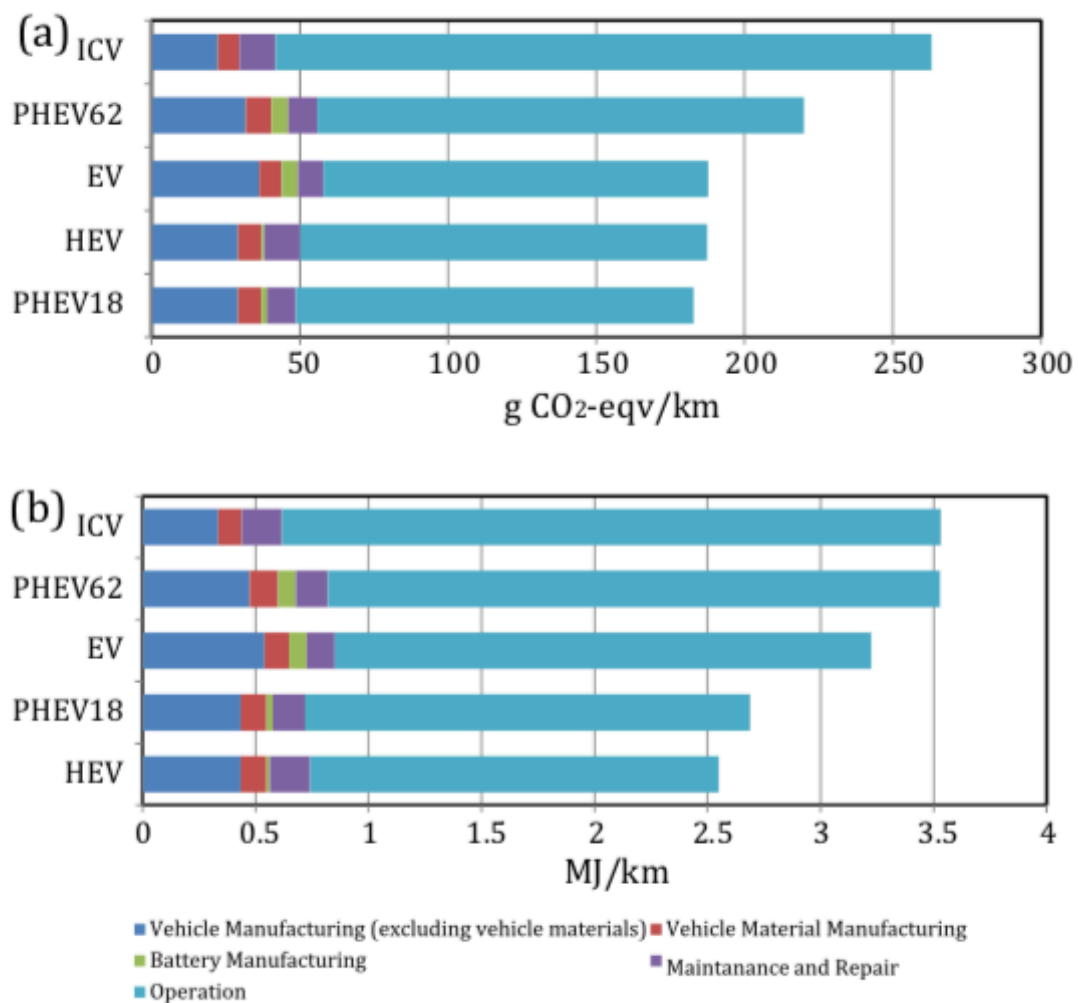


図 1.3: 自動車の種類ごとの CO₂ 排出量 (a) およびエネルギー消費量 (b) の比較^{*5}

ことになる。さらには、現状ではエネルギー効率の悪い EV に関しても、このシナリオでは一番のエネルギー効率となる (Onat et al., 2015) といい、将来的には最有力な自動車であると指摘している。

1.2 背景 2 : EV の国の政策としての側面

1.2.1 近年の EV 普及政策

EV の普及台数の推移を見てみると、初代リーフが発売された当初、世界における EV の保有台数は、当時の世界の自動車保有台数が 10 億台程度であったことを考えると、ごく少数であった。

現在でも、世界における EV の保有台数は 200 万台で、全体の 0.02 パーセントにとどまる（図 1.4）。EV の普及率は実態としては非常に小さいことがわかる。

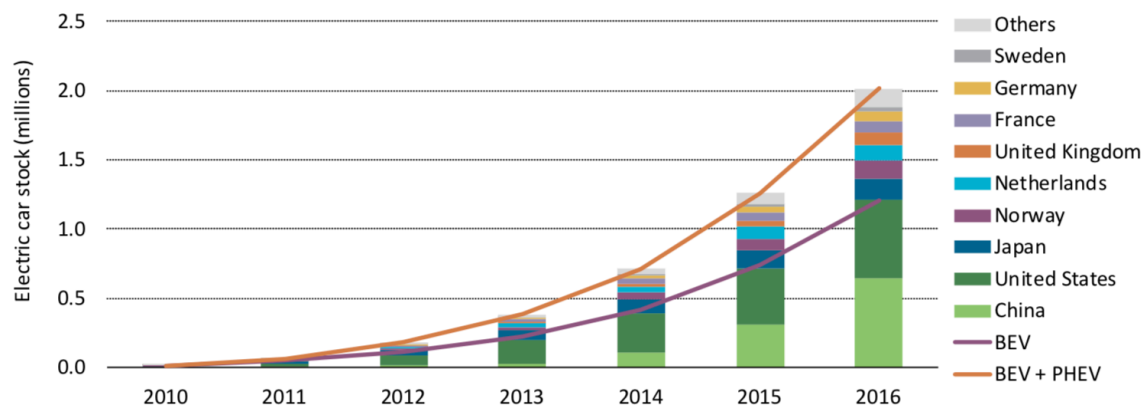


図 1.4: 電気自動車の世界保有台数の推移*6

ただし、政策レベルでは各国で EV 普及の政策が進められている。EV が一番普及の進んでいる国はノルウェーであり、2016 年の新車販売の 3 割弱が EV または PHV である（ロイター、2017/09/22）。この背景には政府の淘汰な補助金政策が背景にある。欧州においては、英・仏が 2040 年までの電動車以外の自動車の販売を禁止した（日本経済新聞、2017/07/07）・（日本経済新聞、2017/07/27）ように、GHG を多く排出する純内燃機関自動車を無くしていこうという動きがある。近年特に EV 普及に力を入れているのが中国である。中国は 2017 年に、NEV 規制をしき、EV を含む新エネルギー車を 2019 年までに 10 パーセント販売することを、各自動車会社に義務付けている（日本経済新聞、2017/9/29）。最後に、日本においては、政府や研究所レベルではリーフの発売以前にも EV 開発の取り組みはあった。1970 年にアメリカでマスキー法（大気浄化法）が制定された際には旧通産省が電気自動車開発プロジェクトを立ち上げたし、1990 年にカリフォルニア州で ZEV（Zero Emission Vehicle）法が制定された時も日本自動車研究所によって ITS/EV 実証プロジェクトが進められていた（図 1.5）。過去多くの開発プロジェクトがあったにもかかわらず、今まで EV が普及してこなかったのには理由がある。1990 年代には EV には動力性能・価格・一充電あたりの走行距離・充電時間という 4 つの大きな課題が残っていた。動力性能に関しては、モーターの技術開発によって加速に関しては今やガソリン車を上回るようになっているが、他の 3 つの課題は依然として残っている。この課題は初代リーフの発売時にも懸念材料であり、航続距離の短さに関してはフル充電での走行可能距離は 200 キロで、高速を 2 時間も走ると電池切れを起こしてしまうという課題があった。発売当時の国内急速充電スポットはわずか 100 カ所程度で、遠出はできなかった。バッテリー性能にも課題があり、「3 年走ればバッテリー交換が必要」「寒冷地では電池消耗が激しく、立ち往生しかねない」といった話もあった。EV を売れるようにするに

*6 IEA (2017) より引用

*7 財団法人日本自動車研究所 (2008) より引用

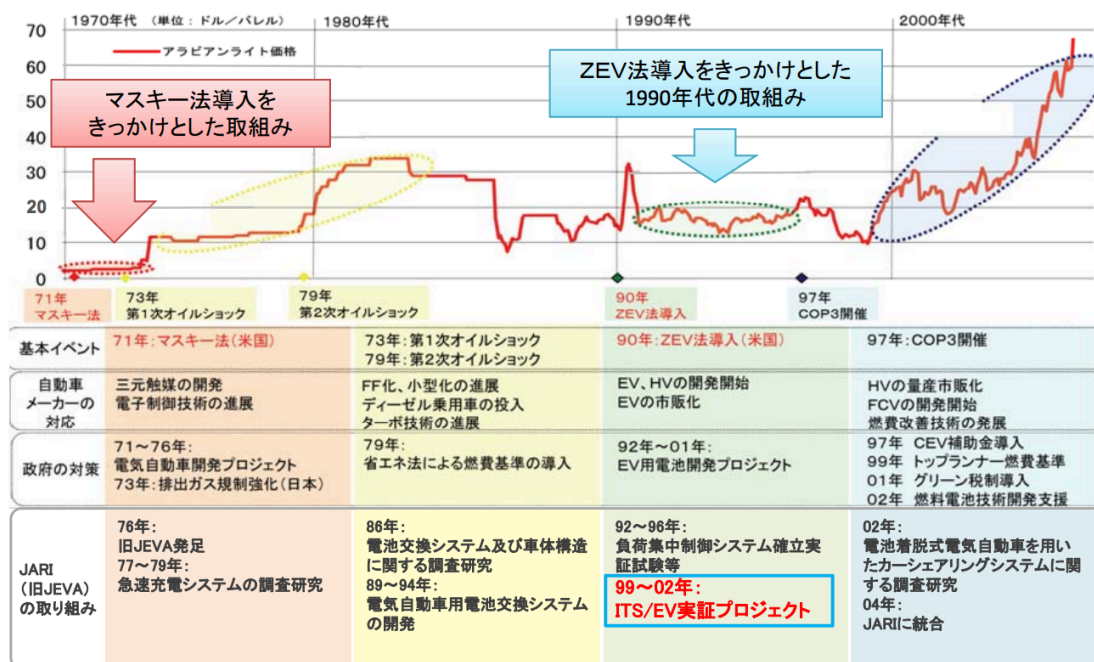


図 1.5: 電気自動車に関わる取組の歴史 (1970-2004 年) *7

は、多方面にわたる相当な技術革新が必要であり、企業にとっては相当ハードルの高い目標設定であるといえるだろう。

1.2.2 経済波及効果に関する先行研究

中国における NEV 規制においては、EV または PHV を自国で生産することを義務付けている。これが意味するのは、EV 生産における、国内経済への好影響を中国が期待していると捉えることができる。政府にとって GHG 削減技術を考えるにあたり、国内への経済影響を考慮することは当然だろう。GHG 削減技術を考えるにあたって、消費者や企業にとっての損得を評価できる限界費用を評価するのは重要だが、国内経済が鈍化する政策は好ましくないため、別の指標として、自動車の生産による経済効果を評価することも重要であると言える。

技術導入における国内経済への影響に関する研究としては、産業連関表を用いて再生可能エネルギー部門を拡張する研究もあり、森泉由恵・本藤祐・中野諭 (2015) はそもそも産業連関表を分割・統合することによって作り出す手法の開発を行っている。この手法は、産業連関表にない業界の評価を行う上で非常に参考になる。産業連関表による産業への影響を評価する具体的な手法としては、環境技術に関連していえば、再生可能エネルギーの導入評価の文脈で文献が多くある。基本的な分析でいえば、中野諭・鷲津明由 (2016) はバイオマスエネルギーの利用について、大規模施設と小規模施設による分析を行い、輸入による生産誘発を除いて国内への誘発効果を比較している。同様に、多田千佳他 (2009) はバイオマスエネルギーの粕殻発電の産業構造を把握するに当たって、

スカイライン図を用いた分析を行っている。

発電部門における産業連関表の研究は数多くある一方で、自動車におけるものは少なく、さらには異なった技術同士の比較を行う研究はあまりなされていない。

1.3 背景 3：EV の企業戦略としての側面

1.3.1 環境性追求活動におけるトレードオフ

産業革命以前の古典的自由経済の理念では、企業と社会の関係は、企業は限界収益と限界費用が等しくなる生産量で利潤が最大化される行動を取ると考えられた(十川寛國, 2005)。そして資源の有効配分を社会として実現できるのは、市場メカニズムという「見えざる手」が働いていると解釈されたという。しかし、産業革命以後は、カール・ポランニーが指摘するように、市場がコミュニティの社会的関係に織り込まれた経済システムの中の小さな部分とみなされていた 1850 年代以前から様変わりし、1850 年代以降には市場経済という新しい概念が登場し、コミュニティでの人間関係(社会)と、消費者とニーズにより構成される経済的生活が分離されるようになった(岡田正大, 2016)。市場経済は市場経済内で最適な資源配分をすると考えると、市場経済と社会とを含めた最適な資源配分とは違った資源配分になってしまう。図 1.6 に簡単な概念図を示す。横軸にサービスや財の量、縦軸に価格を取り、需要曲線と、供給曲線の関係を示す。MSC (Marginal Social Cost, 限界社会費用) と MPC (Marginal Private Cost, 限界私的費用) は供給曲線にあたり、市場経済における限界費用 MPC と、社会における限界費用 MSC に差が生じることを示している。政府が、社会的な最適化を目指す場合、政府は環境政策や規制によってこの差分を埋める必要があり、逆にいえば環境政策や規制において、大きな市場経済(すなわち企業)に対して政策をとることが効率的な手法である。

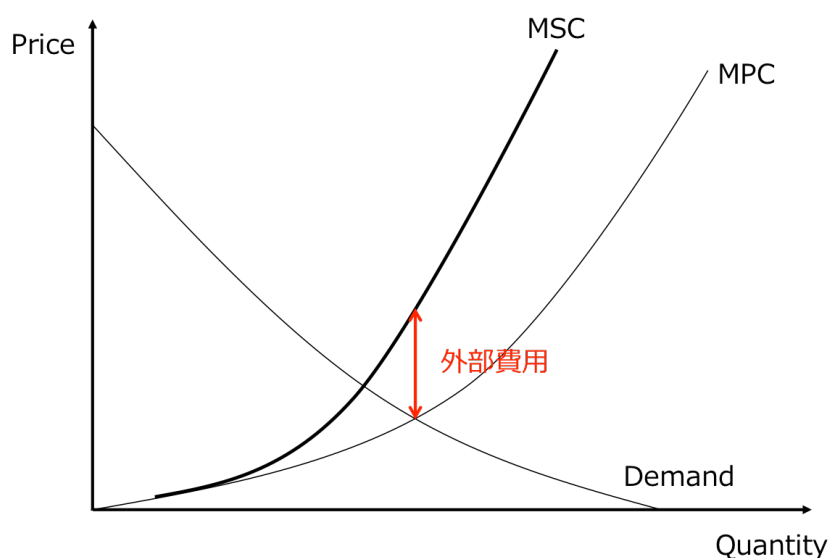


図 1.6: 外部不経済の概念図

そのため、環境性の追求は経済性の追求とトレードオフの関係にあると考えられてきた。経済活動により排出される有害物質の排出を抑えるために規制がかかれば、超過分の物質を減らす手法は、技術的な発展がない限り、生産量を減らすしかないからである。生産量が減ると、利益率が同じであれば利益は減少するし、生産量を減らさないようにするには、様々な努力をして生産コストを落とす必要がある。企業にとっては環境性の追求は経済性の犠牲の上に成り立つものであった。経済学者のミルトン・フリードマンは Friedman (1970) において、「企業がいかなる社会問題であれ、その解決に 1 セントでも拠出して直接関与するならば、それを行なった経営者はその企業の経営者としての正当性を失うだろう。そして企業の最大の社会的責任は利益の極大化であり、その再配分は専門とする能力を持つ公的組織（政府）に納税を通じて委ねられるべきである」と主張している。

1.3.2 企業の環境性と経済性を両立する考え方の登場

環境性が経済活動とトレードオフにあるという考え方から、企業にとっての環境性追求という行為は、歴史的に CSR (Corporate Social Responsibility, 企業の社会的責任) の文脈で捉えられてきた。CSR とは、株主以外の利害関係者への直接的裨益を目的とするチャリティの活動や、環境や社会に負の影響をもたらさない活動、CSR 活動といった社会性を追求する活動について、企業の基本的な社会的責任を果たすことであり、ありていにいえば、法令や倫理の遵守のことである。市場において影響力の高まった企業が、社会性を追求すべきという考えから生まれたものである。すなわち、企業の環境性の追求とは経済主体であるための責任としか捉えられてこなかった。

一方で、企業の経済性追求と環境性追求が本当にトレードオフなのか疑問を呈する研究も存在する。フリードマンの仮説に関して数多くの研究がなされてきたが、それらをもとに、Margolis et al. (2009) は、フリードマンの仮説に関する研究論文 192 本をまとめメタ的な分析を行った。その結果、企業の CSP (Corporate Social Performance, 企業の社会性) の追求活動と、CFP (Corporate Financial Performance, 企業の財務パフォーマンス) 追求活動の間には、平均的にみると弱い正の相関関係があった。さらに正確に、CSP と CFP の前後関係を考慮すると、CSP より CFP が先行する場合も、その逆の場合もほぼ同等の相関関係があり、両者の間の因果関係は双方向的であり、時系列を考慮すればどちらが先かはわからないという結果になった。この結果では企業の社会性の追求が経済性に結びつくことを示せてはいないものの、少なくとも企業による社会性の追求が、経済性を損なうことはないことは示せている。

この研究においては、従来の CSR を負の外部性に関して考察しているが、より発展的に企業の CSP 追求を正の外部性としても捉え、本業を通じて経済性と社会性を追求するという考え方があるので、例示する。

1. CSV

Porter and Kramer (2006) は、社会性の追求が経済性の犠牲のもとに成立するという考えに対して、社会性と経済性が相乗効果をもたらすケースもあるのではないかと、すなわ

ち、社会性の追求を企業が競争優位を維持するための手段として捉え、本業自体が収益をもたらすような CSR を実施できないか、という仮説を立てている。これを CSV (Creating Shared Value, 共有価値の創造) といひ、CSV が目指すのは、社会性追求によるマイナスをゼロにするのではなく、環境や社会に対してプラスの効果をもたらし、それによってプラスの利益を上げていくというものである。

2. Capitalism at the crossroads (未来を作る資本主義)

開発途上国におけるビジネス、BOP ビジネスに関する考え方であり、社会性を考慮したビジネスであればあるほど、より利益が上がり、成功する営利ビジネスが展開可能であるという考え方である。Prahalad and Hart (2002) は、包括的資本主義という考え方のもと、多国籍企業がグローバル戦略を見直すべきであるとし、BOP 市場において利潤を生み出すと同時に貧困の撲滅に対しても貢献できるとしている。さらに、Prahalad (2005) は、BOP 市場は民間企業のビジネスに不可欠なものとなるはずであり、CSR を担当する部門^{*8}に任せてはならないとしている。

3. The B plan/Business Call to Action

The B plan は、Virgin グループの創業者かつ CEO のリチャード・ブランソンによる考え方である。現状のビジネス戦略 (Plan A) を抜け出し、包括的に社会全体の中での企業活動を位置付ける必要があるという考えのもと、10 の Challenges をあげている。環境に関することでいえば、“Net-Zero By 2050”をアクションとして掲げ、パリ協定で掲げられた、2050 年への GHG 排出が実質ゼロとなる社会への移行を目指している。ビジネスなしに、“net-zero economy”は達成できないとし、さらにビジネスにおいてイニシアチブをよりとったものが大きな利益を得ると主張している^{*9}。

国連開発計画での BCtA (Business Call to Action) も同様の考え方で、イノベーションにより、長期的視点で商業目的と開発目的を同時に達成できるビジネスモデルを模索しており、67 国から 205 のメンバー企業・団体が名を連ねている^{*10}。

4. 日本企業の戦略的社会性

日本においては、経済性と社会性の同時の追求の考え方は、近代以降の承認文化や経営の考え方からすでに存在する。近江商人の「三方よし」や、本田技研工業株式会社の「3 種の喜び (買って喜び、売って喜び、作って喜び)」、パナソニックの「社会の公器」といった経営理念はこれに当たる。金井一莖 (1995) や、大滝精一他 (1997) は、戦略的社会性という概念を提示し、経営戦略の本質を、「社会全体の健全な発展に貢献するとともに、企業自体の発展にも役立つという基本的関係を築くこと」、「社会に存在するさまざまな問題を企業が満たすべき社会的ニーズとしてとらえる」として考えている。

^{*8} すなわち、従来のいわゆるチャリティ的な考えを持った部門で、利潤追求を考えていない部門

^{*9} The B team ホームページ、2018 年 1 月 20 日閲覧

<http://bteam.org/planb/#restore-nature>

^{*10} Business Call to Action ホームページ、2018 年 1 月 20 日閲覧

<https://www.businesscalltoaction.org/>

企業の経済性と社会性の同時の追求という考え方については、経営者の考えの中では存在しているものの、比較的新しい考え方であり、学術的な研究はあまりないのが現状である。特に日本においては、この考え方が当たり前であった側面があるために、研究があまりなされてこなかった。さらには、電気自動車においてその検証がなされている研究はほとんどなく、検証の価値がある。

1.3.3 EV 開発を急激に進める自動車企業

EV に関しては、企業が経済性と同時に環境性を追求する手段としての価値がある可能性がある。ここ数年、特に 2017 年に入ってから、新聞の紙面に電気自動車 (Electric Vehicle, EV) の話題に事欠かない。日産自動車は 2017 年 9 月、千葉市の幕張メッセで新型「リーフ」の発表会を開いた。初代リーフは 2010 年 12 月に発売された事実上世界初の市販電気自動車であり、7 年間で 30 万台を販売した (日産自動車, 2018/1/9)*¹¹。2017 年に入り、EV の販売はさらに勢いづいている。2017 年に販売を開始したテスラ社の「モデル 3」は、予約だけで 50 万台超あることを、同社 CEO のイーロン・マスクは明らかにした (Reuters, 2017/07/29)。この数字は、過去 7 年のリーフの実績を一瞬で上回る人気ぶりである。2017 年 9 月にドイツで開催されたフランクフルトモーターショーでは、EV 一色となった。モーターショーでは、その年のトレンドが色濃く反映されることから、いかに企業が EV 開発に注力しているかを示していると言える。

テスラは比較的新しい EV 自動車メーカーだが、伝統ある大手の自動車メーカーも 2017 年に入り次々と EV への参入および EV の拡充を表明している。ドイツ最大の自動車メーカーであるフォルクスワーゲンの CEO マティアス・ミュラーは、同モーターショーにて、“Roadmap E”と表して、2025 年までに世界で 50 種類の EV を投入し合計 300 万台の EV を発売することを宣言した。さらに、2030 年までに全ての車種を電動化 (電動化とは、ハイブリッド車も電動車の部類に入る) するとし、電動車は 300 モデルにもなるとしている。それに伴い、2025 年には年間 150GWh 以上のリチウムイオンバッテリーが必要になるといい、それまでに 500 億ドル規模のバッテリー調達プロジェクトが進んでいるという (Volkswagen, 2017)。

同時にマティアス・ミュラーは、“Our goal is to redefine mobility, To make it sustainable, clean and better for our customers worldwide.”と述べ、持続可能性とクリーンなモビリティを目指すことを明言している。EV シフトの背景には、同社で 2015 年に発覚した排ガス不正問題を受け、ディーゼル車偏重を見直した事情がある (日本経済新聞, 2017/10/14)。

日本企業においても EV 導入の流れは顕著で、長年 HV (Hybrid Vehicle, ハイブリッド車) と FCV (Fuel Cell Vehicle, 燃料電池車) 開発を進めてきたトヨタが EV 開発を本格化した。トヨタは、2017 年 9 月に、マツダとデンソーと新会社「EV シー・エー・スピリット」を設立し、40 人近い技術者を配置し、EV の開発を進める (日本経済新聞, 2017/9/28)。新会社には、スズキ・スバル・日野・ダイハツも参加し、軽自動車や商用車、トラックなどにも対応できるよう技術開発を加速するという (日本経済新聞, 2017/12/31)。

*¹¹ 世界初の量産 EV は、三菱の i-Miev である。

1.4 目的と本論文の構成

以上の議論をまとめる。まず気候変動問題において、パリ協定で世界的な GHG 削減の必要性が確認されたとともに、GHG 削減への各国のコミットメントの合意が得られた。GHG 削減において、運輸部門はインパクトの意味でも重要であり、EV は低炭素エネルギーを使用できたり、運輸部門を電化できるという意味で意義のある技術である。一方で、EV による GHG 削減はその他の GHG 削減技術と比較して費用対効果が悪く、また現状ではハイブリッド車と比較しても効果的とは限らないということであった。

次に、国レベルでの EV に関する政策について触れた。EV の普及率はまだまだ低いですが、政策レベルでは、世界の様々な国で EV 普及が進められていることがわかった。また、EV の普及にあたって、国としては国内の経済波及効果が重要な判断指標になる可能性がある。

最後に、本研究の主題である企業にとっての EV 開発について触れた。EV が消費者に受け入れられるためには、技術のイノベーションが不可欠であり、企業の参画が欠かせない。一方、企業にとって経済的な利益の追求は必要だが、従来から経済的な利益と環境性の追求、ひいては GHG 削減行為はトレードオフの関係にあると考えられてきた。しかし、近年企業が自主的に GHG 削減と経済性を追求するような考え方が現れ始めており、実際 EV 業界においても、様々な企業が EV シフトを名言するようになってきた。

そこで、本研究では、以下の疑問の理由を検証することを目的とする。

自動車企業がなぜ近年急激に EV シフトを進めるようになったのか

さて、本論文の構成だが、まず第 2 章で、最初の 2 つの背景について、日本における状況进行评估する。2.1 節において、EV を含めた各種次世代自動車による GHG 削減対策の限界削減費用进行评估する。その際、アンケートを用いて日本の消費者の走行実態の把握を行い、混合整数計画法を用いてトータルコストを最適化することにより算出する。次に、2.2 節において、EV 普及による日本国内への生産波及効果を評価する。EV を含めた複数の低炭素技術において、国内への波及効果を産業連関表を用いて比較することを目的とする。

以降が本研究のメインであり、第 3 章では、EV 製造企業が GHG 削減と経済性を同時に追求する理由を、規制や法リスクの観点、投資環境変化の観点、消費者思考の変化の観点について類型化し、先行研究と複数の事例を用いて説明する。次に、第 4 章では、第 3 章で類型化した理由について、経済理論に基づいて説明し、EV シフトに進む企業行動を数式に表すことを試みる。

第 2 章

自動車産業における GHG 削減のマクロ評価

2.1 GAMS を用いた次世代自動車の導入評価

2.1.1 次世代自動車

EV に関して研究を進める前に、もう少し大きな単位で電動車、および環境を考慮した自動車というのにはどういうものがあるのかをまとめておく必要があるだろう。表 2.1 のように、自動車は主に動力によって 2 つに分けられる。ICE (Internal Combustion Engine, 内燃機関) と、モーターによるものである。ICE は、ガソリンやディーゼルなどの燃料を使用して推進力を得る GV (Gasoline Vehicle, ガソリン車) や、DV (Diesel Vehicle, ディーゼル車) である。モーターは電力によってモーターを回すことで動く。モーターで動く自動車は、電力をコントロールしなければいけないので、大抵の場合は大小の差はあってもバッテリーが付いている。図 2.1 に簡単な構造を示した図を引用している。

ICE とモーターの両方で動くのが、HV や PHV である。これらの違いは、外部電力を供給できる (PHV) か、できない (HV) かである。モーターのみで動く自動車は、電力をどこから供給するかで自動車の種類が分かれる。大きく分けて 2 つあり、外部電力 (プラグイン) と、内部での発電である。本論文で扱う EV は、表 2.1 でいう BEV (Battery Electric Vehicle, 充電式電気自動車) であり、外部電力のみで動く自動車のことである。一方、内部電力で動く自動車は現時点で主に 2 種類あり、ICE により発電をするものと、燃料電池 (Fuel Cell) により発電するものがあり、それぞれ REEV (Range Extended Electric Vehicle), FCV (Fuel Cell Vehicle, 燃料電池車) と呼ばれる。。さらに、内部電力による自動車は、しばしば外部電力も取り入れることができるようになっていることがある。

ここで、GHG 排出の観点から考えると、GV/DV、HV、REEV は走行時に燃料の燃焼分の GHG を排出する。EV と FCV は、EV であれば電力の製造方法次第、FCV なら水素の製造法次第で大きく変化する。PHV に関しては、PHV の種類や走行・充電方法により異なるが、充電した電力で

走行（Charge Depleting Mode）をする場合はEVと同様、ハイブリッドモードで走行（Charge Sustaining Mode）する場合はHVと同様である。PHVにおいて、全走行距離のうち、充電での電力で走行する距離の比率のことをUF（Utility Factor）といい^{*1}、その割合が重要になる。

表 2.1: 各種次世代自動車の特徴

分類	動力		電力供給			GHG 排出	
	ICE	モーター	外部 プラグイン	内部 ICE	内部 燃料電池	エネルギー 製造	走行時
GV/DV			-	-	-	-	燃焼分
HV				(回生)		-	燃焼分
PHV						発電方法次第	燃焼分
REEV						-	燃焼分
BEV						発電方法次第	0
FCV						発電方法次第	0

これらの次世代自動車だが、先進国だけでなく新興国市場の拡大を受けて、次世代自動車に関する競争が激化している。日本自動車工業会（2016）によると、若年層への調査では車の利便性向上のメリットを認識する一方で、経済的負担のデメリットへの意識が多く見られている。EVについての社会性と経済性の検証を行うに当たり、車両価格から走行までを含めたトータルコスト（Total Cost of Ownership, TCO）を利用して、消費者の経済的な負担を計算することが有効である。

本節では、永尾修一・吉田好邦（2016）の行なったアンケートを元に日走行距離をはじめ各家庭の自動車利用の実態をより追究する。また費用最小化の最適化モデルにより、個人の多様な走行実態を考慮し、経済性ならびに環境性の観点で最適な車種構成を求めることを目的とする。環境的側面・経済的側面から各家庭に最適な車種の構成を計算し、最適化モデルによって分析を行う。

^{*1} SAE International による定義。“Utility Factor Definitions for Plug-In Hybrid Electric Vehicles Using Travel Survey Data”, http://standards.sae.org/j2841_201009/

^{*2} AmsterdamRoundtableFoundation and McKinsey&Company (2014) より引用

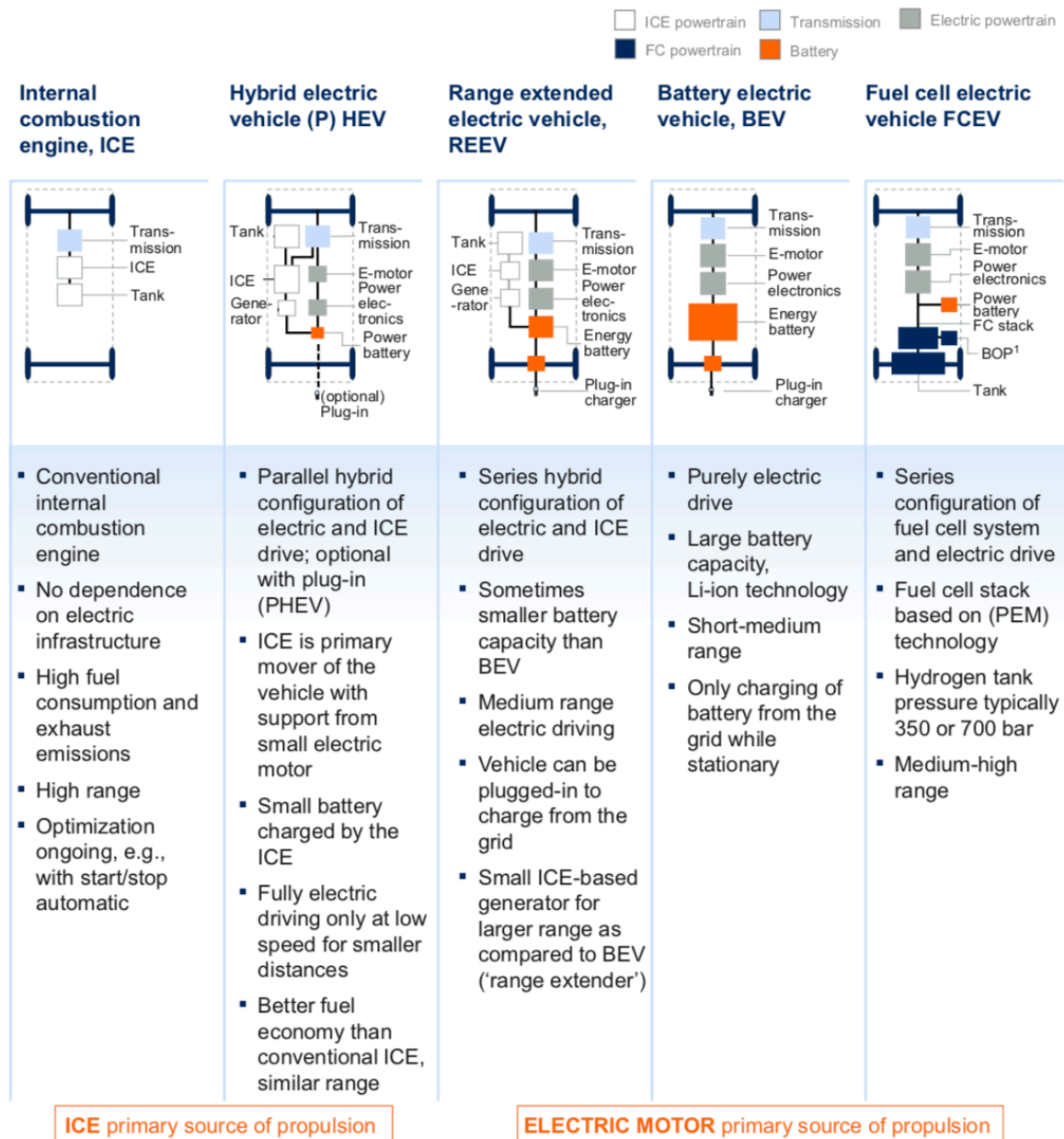


図 2.1: 各種次世代自動車の構造*2

2.1.2 分析の手法と考え方

先行研究とアンケートの実施

TCO はユーザーの車の使い方によって異なり、例えば年間走行距離が長いユーザーの方が、価格が高くても低燃費のエコカーのメリットがあらわれやすい。PHV の場合には特殊であり、全走行距離のうちバッテリーで走行する割合がどの程度かが環境面・燃料費用面で重要な意味を持つが、夜間に充電をすることを想定すると、ユーザーが一日あたりどの程度走行するかが重要な指標となる。

このようなユーザーの車の使用動向を探ることを目的とした既往の研究として、矢部邦明他 (2011) および矢部邦明他 (2012) ではアンケートに基づいて日走行距離を求めている。曜日別の日走行距離に加えて、年に 100 ~ 400km 以上の長距離走行をする日数等を質問して 1 台ごとの日走行距離分布を算出する。PHV の電気走行可能距離を設定した時の、EV モードと HV モードの比率を分析しており、地域ごとにその分析を行って解析もしている。計算はアンケートの対象となった車両に対してのみ行って、その結果を国内全体へと拡大している。

矢部らのアンケート調査の設問を参考として、永尾修一・吉田好邦 (2016) は 1000 人のユーザーに車の使用状況のアンケート調査を行い、保有台数や保有車両の走行距離や燃費などの情報を入手した。その結果を用いて車両の買い替え費用と走行の燃料費用の和である TCO をユーザー全体について合計を求め、これが最小となるような車両選択を解として求めるモデルを作成した。ユーザーの年間走行距離や日走行距離、ならびに保有する車の燃費等によって PHV や EV などのどのエコカーが望ましいかは異なり、その結果は CO₂ 排出量制約によっても変化するなど、ユーザーごとに得られた解を分析することでコスト最小の車両の組み合わせの特徴を検討できる。

ここで、永尾修一・吉田好邦 (2016) のアンケートの内容を紹介する。ここには実施概要のみを示し、具体的なアンケートの内容は付録に示してある。元の研究は、最適な車種構成を焦点に研究を行っているが、本研究では、このアンケート結果に加えて、自動車会社によりヒアリングを行いより精細な車種構成および価格を想定し、自動車切り替えによる限界削減費用の計算を行った。

- 調査実施期間：2015 年 11 月 18 日 ~ 11 月 19 日
- 調査方法：インターネット調査
- 対象者：自動車を保有する全国の男女 1000 人
- 実施機関：楽天リサーチ株式会社

アンケートは、スクリーニング調査と本調査の 2 段階から構成される。スクリーニング調査の目的は、自身が保有している車両の走行距離に関して具体的に把握できている人を抽出することで、本調査に回答してもらう回答者を選別することである。このアンケートでは、スクリーニング調査を経て本調査に進んだ回答者が 1000 人である。以下に示すスクリーニング調査では、自身の自動車利用について把握していない人が除かれる。

有効回答の選択とアンケートの実態

年間走行距離の計算方法 アンケートでは通常 1 週間の走行実態と長距離移動の頻度および、年間走行距離について回答を得ている。今回の分析では、1 週間の走行実態および長距離移動の頻度の回答を主に用い、年間の走行距離の回答は補正用として用いる。前者は 1 週間における走行日数を「～25km、25～35km、・・・65～75km、75km～」の区分で尋ね、それとは別に長距離走行「100～150km、150～200km、200km 以上」を行う日数を別途尋ねている。後者に関しては、区分「2,000km 未満、2,000～4,000km、・・・、28,000～30,000km、30,000km 以上」を尋ね、2,000km 未満および 30,000km 以上を選択した人には具体的な数値を記入してもらっている。

ここで、年間走行距離 D_s の計算を行う。年間走行距離の回答の方は、2,000km 未満または 30,000km 以上を選択した人には具体的な値、それ以外の区分を回答した人は中間値（例えば 2,000～4,000km の場合 3,000km）を基準距離とすることで年間走行距離 D_s とできる。

一方、走行実態から求める年間走行距離 D は、工夫が必要である。ここで、通常 1 週間の走行距離「～25km、25～35km、35～45km、45～55km、55～65km、65～75km、75km～」の区分の計算上の基準距離をそれぞれに順に対応する区分 i ($i = 1, 2, \dots, 7$)、 d_i ($i = 1 \dots 7$) とし、1 週間あたりの走行日数を n_i ($\sum n_i = 7$)、長距離の区分「100～150km、150～200km、200km 以上」に対応する区分 j ($j = (1, 2, 3), \sum nl_j \leq 365$) の基準距離を dl_j 、および年間あたりの走行日数を nl_j とする。そうすると、年間 365 日とすると、年間走行距離 D は以下のように求められる。

$$D = \sum (d_i * n_i) * (365 - \sum nl_j) / 7 + \sum (dl_j * nl_j) \quad (2.1)$$

年間走行距離の補正 ここで、基準値 d_i および d_j を設定する必要があるが、それぞれ 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80km と、125, 175, 225km を設定すると、図 2.2 のようになる。縦軸が走行距離、横軸は回答者の ID で 0 から順に年間走行距離が短い順に横軸に並べている。赤い点が D 、黒い点が D_s を示している。これを見ると、年間走行距離が 7000～8000km 前後に集中していることがわかる。これは、走っていない日で、25km 以内の区分を選択しており、実は走っていない場合も、20km 走行したと計算されてしまうためである。365 日全て 20km 走ったとすると、年間 7300km の走行となり、その値に集中している。すなわち、走行距離 D が多めに計算されてしまうことになる。そこで、補正を行うために、25km 以内の基準値を、0, 5, 10, 15, 20km とし与え、回答者ごとに D_s の回答と最も整合するものを選択するようにして推定の年間走行距離を求めると、図 2.3 のようになる。グレーのラインは $D_s \pm 50$ パーセントを示している。先ほどのグラフより D_s より整合しているので、年間走行距離 D としてこの値を用いることにする。さらに、グレーのラインの外にプロットされた車両については、除外することにした。図 2.4 にスクリーニングされた世帯の保有台数の内訳を示している。左が全サンプルの保有台数の内訳で、右が今回のバリディティチェックによってスクリーニングされた車両の保有台数である。図 2.5（日本自動車工業会（2016）を元に比較）はスクリーニングされた世帯の保有台数の内訳を公開統計と比較した結果である。公開統計と比べて有効回答のサンプルが、2 台持ちが少し多めになってしまうもの

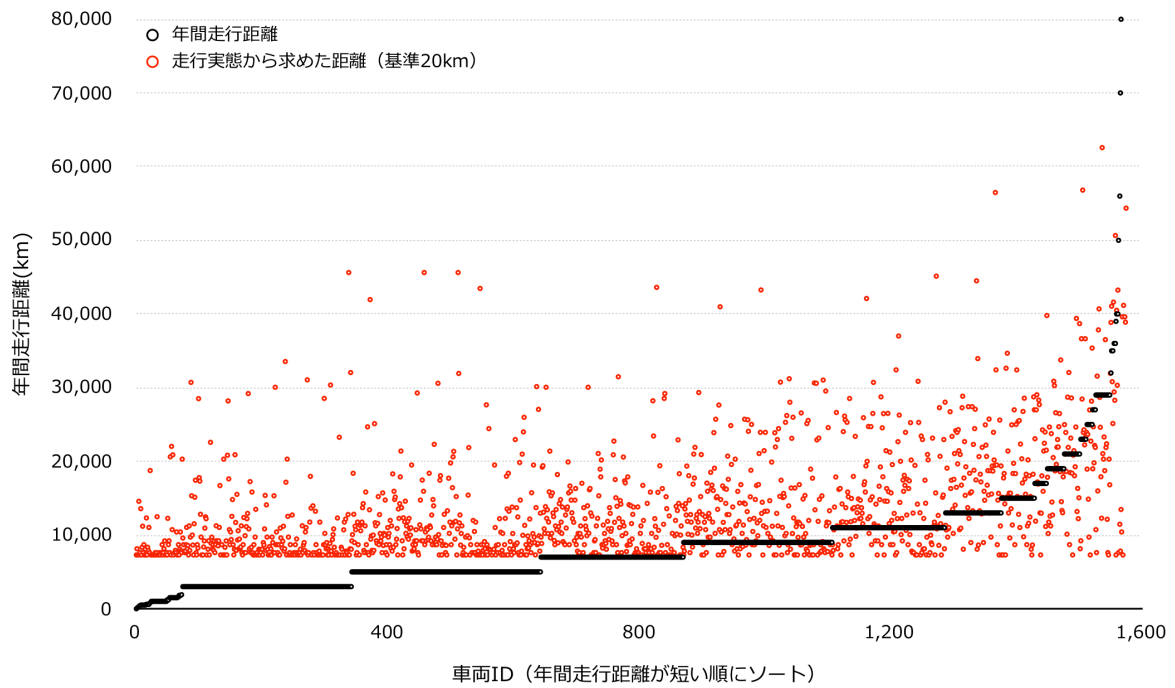


図 2.2: 走行距離分布 (日走行距離 ~ 25km の基準値 20km 使用時)

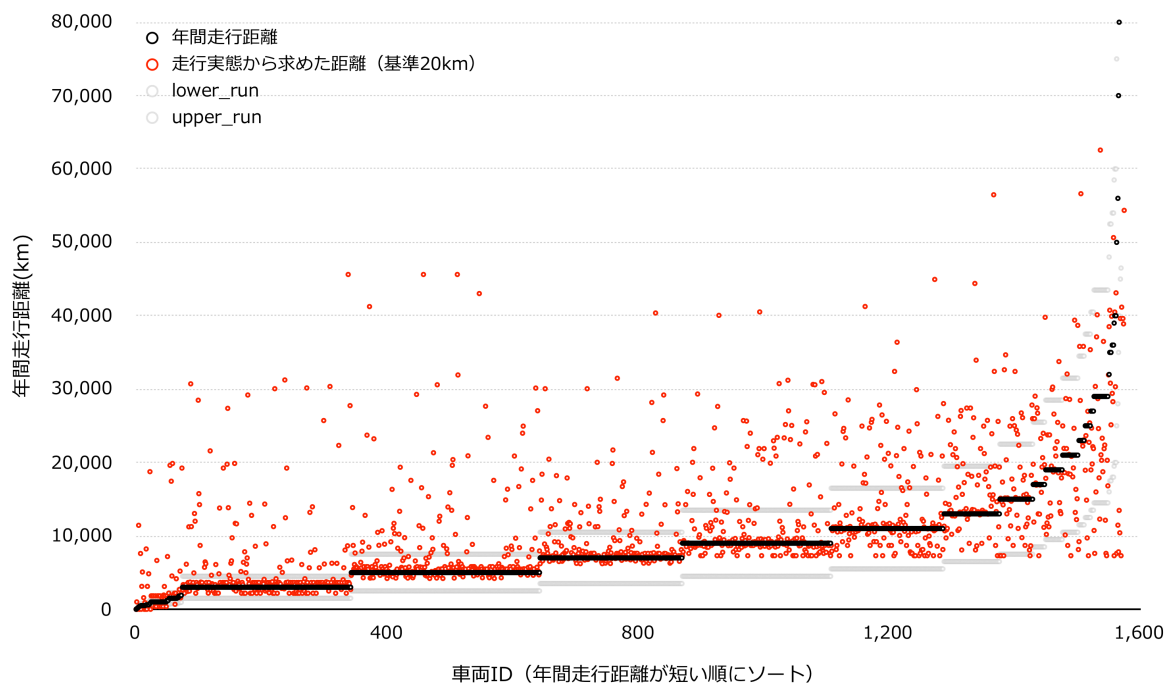


図 2.3: 走行距離分布 (日走行距離 ~ 25km の基準値補正後)

の、比較的整合している。表 2.2 はアンケートの平均年間走行距離の回答値 D_s と、日走行距離から積算して推定した値 D について、全回答と有効回答の値を示している。大きく値に変化はなく、また年間走行距離が概ね 9000km 弱となっているが、この値は、環境省 (2014) での年間走行距離が 9,210km であるから、妥当な水準と言えるだろう。

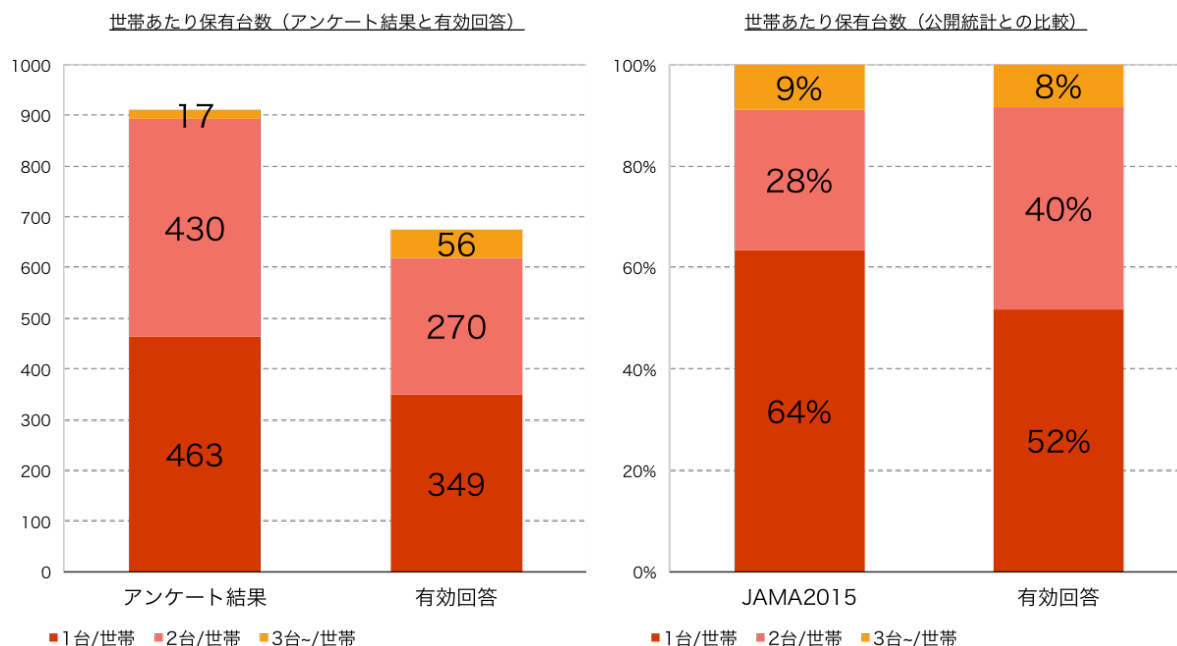


図 2.4: バリディティチェック後の有効回答の保有台数別内訳
図 2.5: JAMA 公開統計データとの保有台数の比較

表 2.2: アンケートの有効回答

	車両		世帯	
	全対象	有効回答	全対象	有効回答
対象数	1,644	1,057	1,000	675
$D_s(km)$		8,716		13,649
$D(km)$		8,653		13,551

ユーザー属性のレビュー 図 2.6 に今回得られた有効回答の車両 1 台あたりの年間走行距離分布を示す。7,000km 走行をピークに、15,000km を超えて走行する車はごく少ないことが見て取れる。

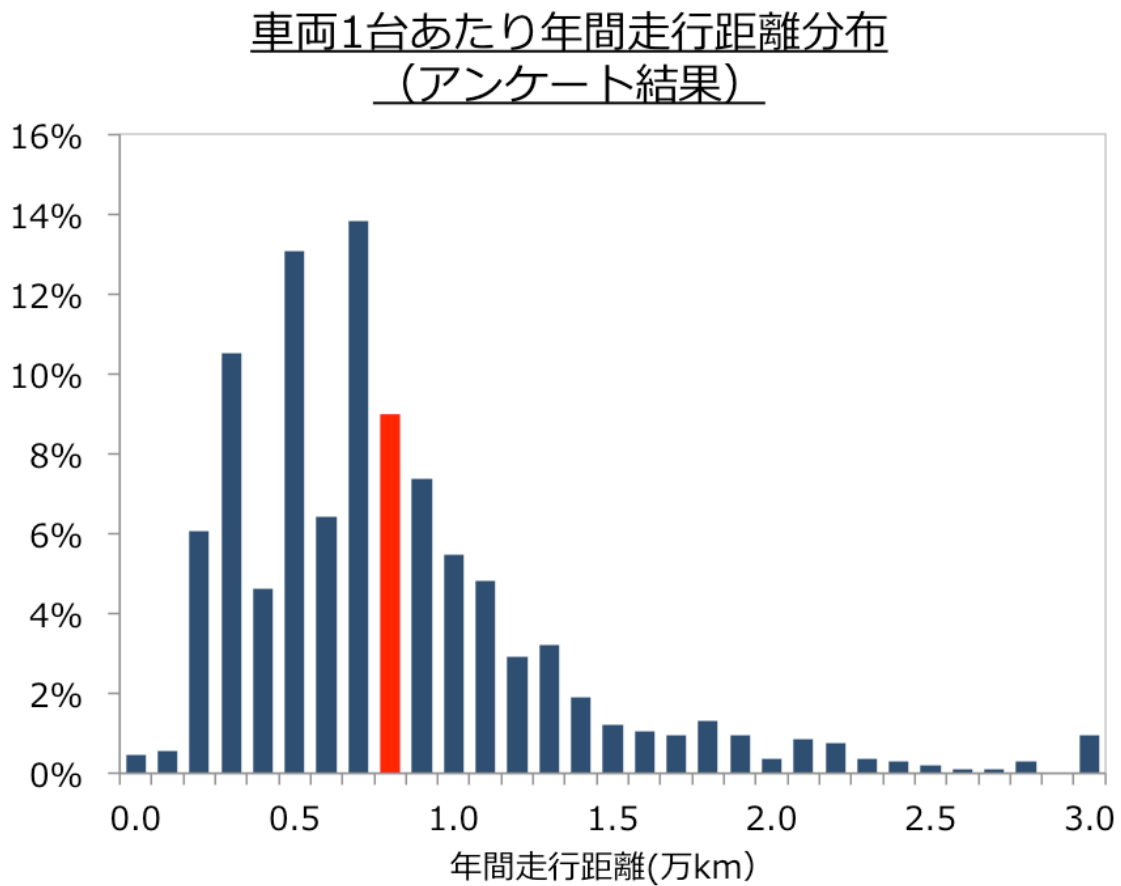


図 2.6: 有効回答の車両 1 台あたりの年間走行距離分布

最後に、今までで得られた有効回答について、実態を簡単に把握しておくために、家族構成、生活スタイル、1世帯あたりの車両保有台数、排気量の内訳を示しておく。

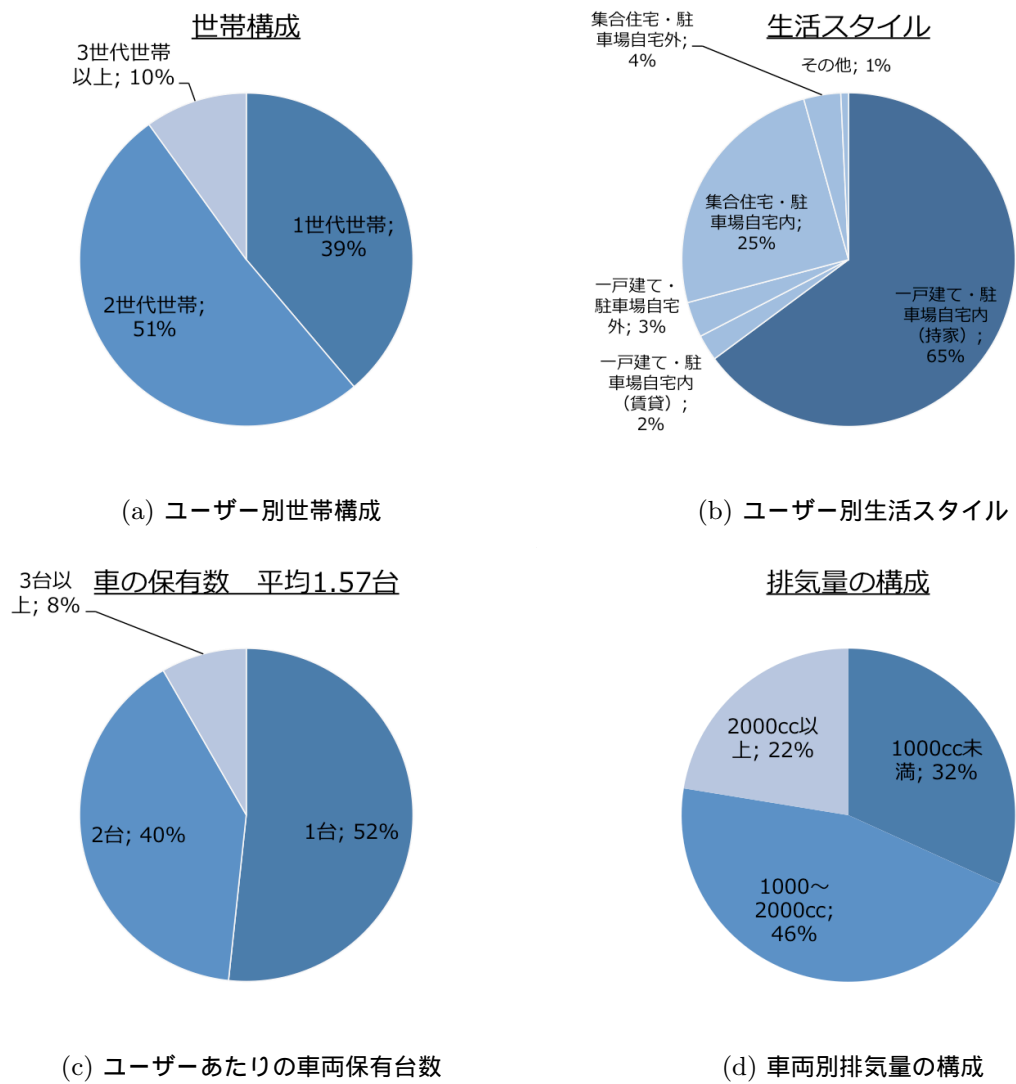


図 2.7: ユーザー属性の概要

GAMS によるモデリング

全体のモデル モデルは 2015 年を初期時点として 2050 年までの保有構成を費用最小化条件で求める。ここで、それぞれの消費者の買い替えることのできる、車両のモデルを設定する必要があるが、車は、GV/HV/充電走行による航続距離 50km の PHV/充電走行による航続距離 300km の EV を想定し、それぞれに軽自動車/コンパクトカー/小型セダン/中大型セダン/SUV/ミニバンの車種を想定した。それぞれの車種の燃費/電費および車重、車両価格は、自動車会社への聞き取り調査に基づいて設定した。

分析には、数理計画ソフト GAMS (General Algebraic Modeling System) を利用する。GAMS には多くのソルバが備え付けられており、解法のプログラムを自分で組む必要はない。本研究のモデル構築では MIP (Mixed Integer Programming) を利用し、オプションとして XPress を付加した。XPress 付きの MIP は 0-1 混合整数計画法を意味する。これは混合整数計画問題の中でも、変数が 0-1 変数になるものをいう。下の最適化問題の式では、変数が x に相当し、 c がアンケートで得られた有効回答に相当する車両、 b が市場に出回っている車両のモデル、 t が年である。 x が 1 の時、

min.

$$C = \sum_{c,t} x(c,b,t) * (C_{run}(c,t) + C_{body}(c,t) + C_{other}(c,t)) \quad (2.2)$$

s.t.

$$CO2 \leq gasmax \quad (2.3)$$

$$CO2 = \sum_{b,t} x(c,b,t) * (CO2_{run}(c,t) + CO2_{body}(c,t)) \quad (2.4)$$

$$\sum_b (x(c,b,t) * cnd(c,b)) = replace(c,t) \quad (2.5)$$

ここで、 C はコスト、 $CO2$ は $CO2$ 排出量である。下つきの $run, body, other$ はそれぞれ、走行時、車体（製造時）、その他（補助金等）を示し、それぞれでかかるコストと $CO2$ 排出量を示す。制約条件として、目標の $CO2$ 排出量 $gasmax$ および、ユーザーの実態の条件を追加している、 cnd はユーザーが電気自動車を選べるかどうかの制約条件を示し、ユーザーが選択可能であれば 1、そうでなければ 0 である。 $replace$ はユーザーの買い替え時期を示し、買い替え時期であれば 1、継続時期であれば 0 である。ユーザーは車の買い替えに関して、一つのモデルしか選べないという条件を、 b で合計した値が 1 となることで、制約条件としている。

cnd は二つの条件からなる。1 つはサイズの条件で、1000cc 未満のユーザーは軽自動車に買い替え、1000 ~ 2000cc のユーザーはコンパクトまたは小型セダン、2000cc 以上のユーザーは中大型セダン・SUV・ミニバンを選ぶとしている。さらに、EV に関しては、充電器の設置できる持ち家かつ駐車場が内にある世帯のみが買うことができるとし、ユーザーの走行実態から、EV の航続距

離を越すユーザーはEVを選択しないようにしている。*replace* はアンケートで得た買い替え予定と、今年目であるかを合計することで、ユーザーの買い替えスパンを計算し、買い替えタイミングを設定している。

ユーティリティファクタの計算の仕方 PHV 利用者のために、UF を推計することだけが注意が必要である。まず、計算をシンプルに行うために、PHV 利用者が、夜に一度、満充電を行うと仮定する。さらに、PHV の満充電走行距離を *phvd* とする。その時、ある日 *k* の日走行距離を $d_k(km/day)$ とする。その時、その日の UF_k は、 $UF_k = \min(phvd, d_k)/d_k$ となる。これを年間に拡張すると、その消費者の年間の平均的な UF は、年間走行距離 D を用いて、

$$UF = \sum UF_k * d_k / D = \sum \min(phvd, d_k) / D$$

のように書くことができる。この式よりわかるように、 UF は走行実態はもちろんだが、PHV の満充電走行距離にも依存する。当然、*phvd* の大きい PHV の方が、 UF が高くなるわけである。

シナリオ設定

今回、シミュレーションを行うにあたって、ベースの条件設定を行った。電気の価格推移は電気事業連合会の統計データ^{*3}を、ガソリン価格推移は資源エネルギー庁の統計データ^{*4}を参照し、将来の価格はガソリンが 124 円/L、電気価格が 24 円/kWh を仮定した。エネルギーミックスは、過去のデータに関して電源構成について IEA のデータ^{*5}を参照し、将来については国の長期電源構成目標（経済産業省, 2015a）の目標値を 2030 年に達成し、それ以降は一定であると想定した。発電による CO2 排出係数は、電力中央研究所（2010）を用いて計算した。

^{*3} 電気事業連合会「電力統計情報」<http://www5.fepc.or.jp/tok-bin/kensaku.cgi>

^{*4} 資源エネルギー庁「石油製品価格調査」

http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/

^{*5} IEA Statistics <https://www.iea.org/Sankey/>

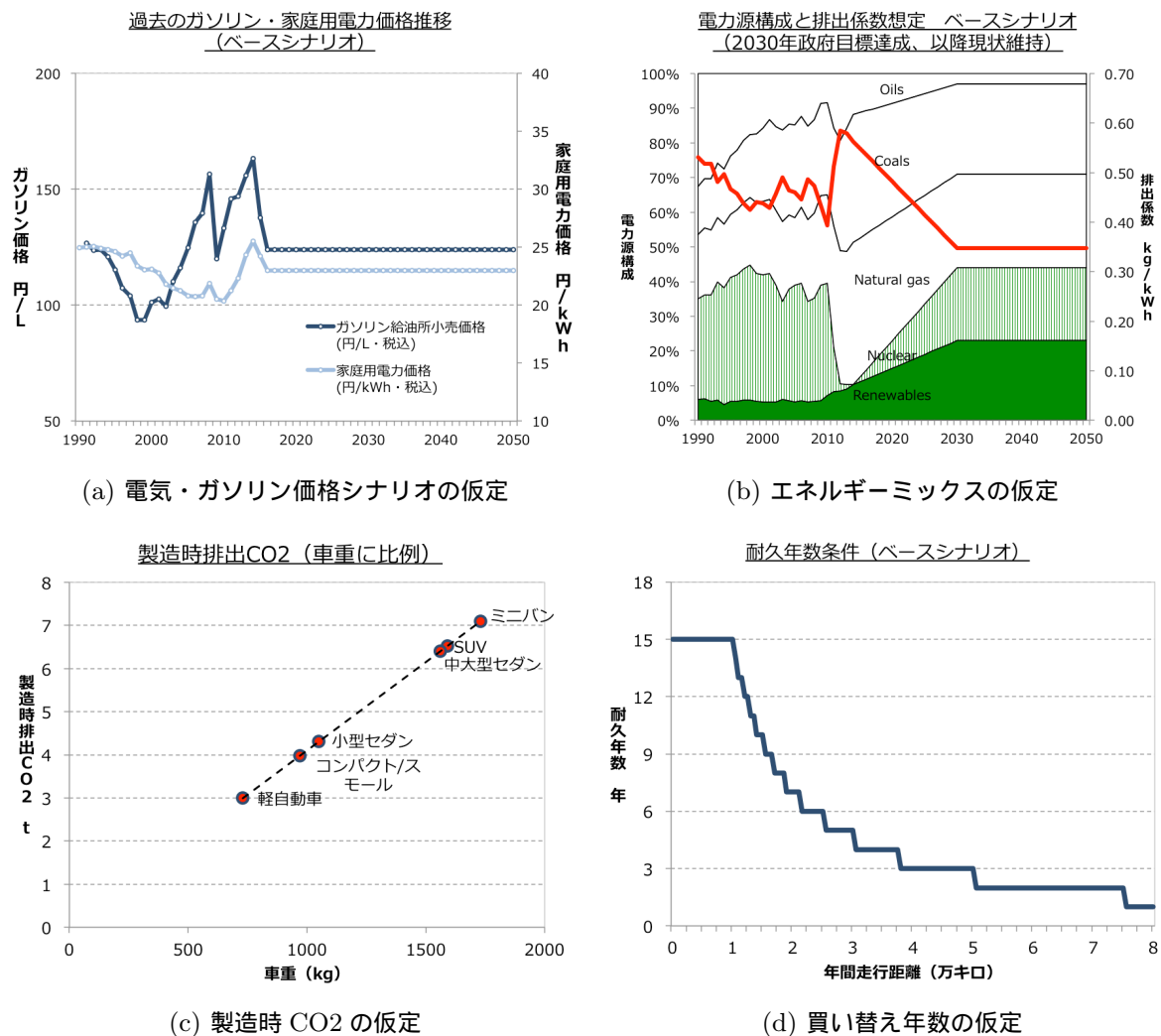


図 2.8: ベースシナリオにおける仮定

2.1.3 結果

ベースシナリオを用いて社会費用の最適化を行ない、gasmax 条件を強くしていったところ、図 2.9 のようになった。base が CO₂ 削減条件のない状態で、goal が限界まで CO₂ 削減を実施した場合である。その間を 10 分割して GV/HV/PHV/EV の構成を表したものである。何も条件がなくとも、ハイブリッド車の技術革新によって将来は普及していくことがわかる。CO₂ 削減目標を設定していくことで、徐々に PHV が導入され、最終的には EV が導入されていくことがわかる。EV が現れるのは、最後の段階であり、EV のコストパフォーマンスから見た導入根拠は薄いと言える。さらに、図 2.10 に MAC (Marginal Abatement Cost, 限界削減費用) を示す。横軸に何も対策しない状態 (BAU, Business As Usual) からの CO₂ 削減率をとり、縦軸に限界削減費用をと

る。この結果によると、高いはずの自動車による限界費用も、消費者の実態を捉えライフサイクルで費用を考慮して適切に導入すると、5 パーセント程度であれば、1 万円以内で対策できることがわかる。MAC4.3～4.5 万円程度がボリュームゾーンである。ボリュームゾーンで導入されるのは主に HV や PHV であり、EV はより高い MAC で導入される。この結果から、EV は次世代自動車の中では MAC の観点では効率のよくない自動車であるといえる。

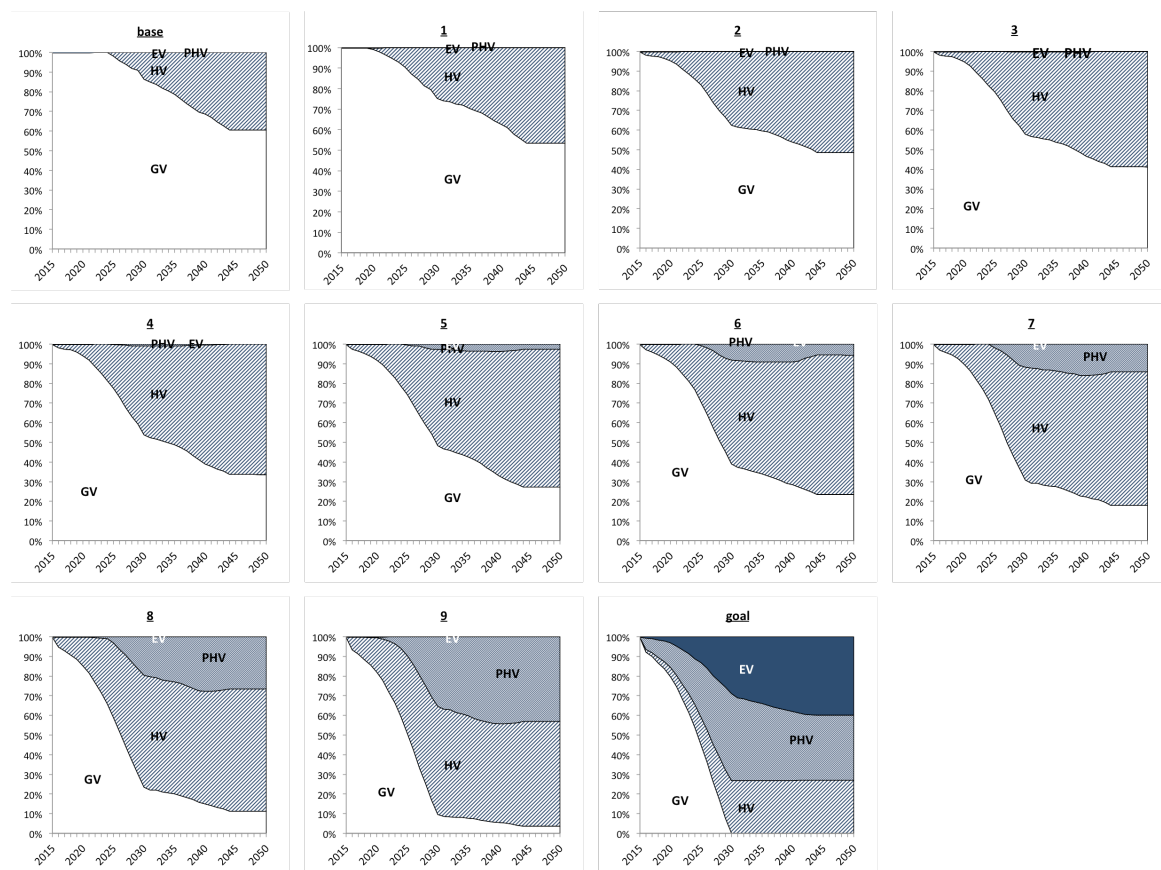


図 2.9: CO2 削減目標段階別の次世代自動車構成推移

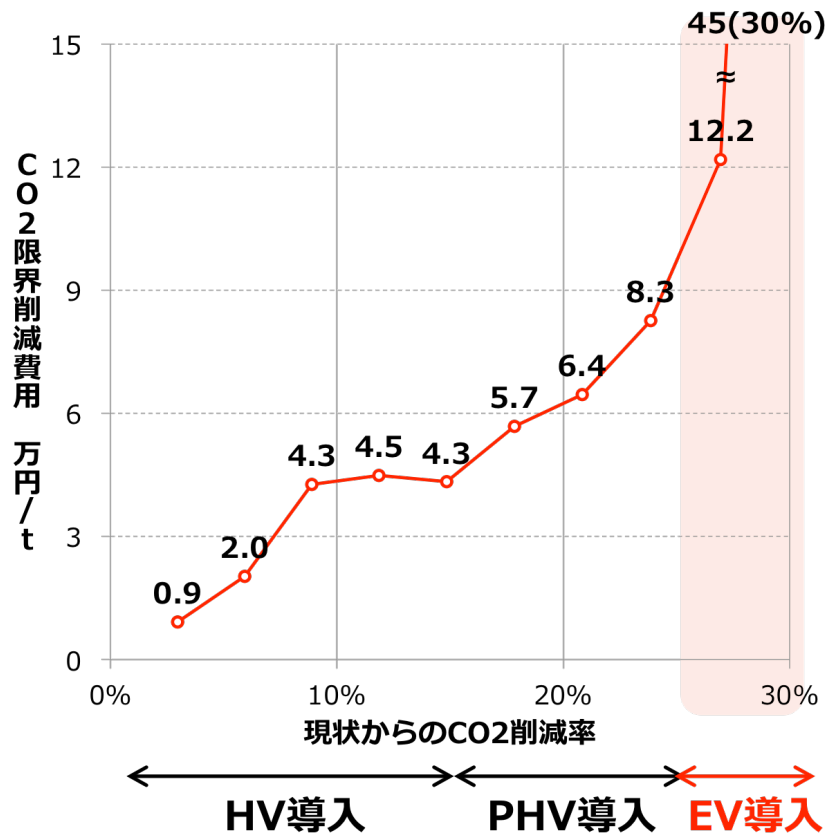


図 2.10: ベースシナリオにおける MAC

さらに、条件を変動させてみて感度分析を行った。図 2.11 にガソリン価格を変化させた場合の MAC の変化を示したが、S1A がガソリン価格 80 円の場合、S1B がガソリン価格 200 円の場合である。感覚と乖離があるかもしれないが、ガソリン価格が安い方が、MAC が高くなる。これは、ガソリン車のライフサイクルコストがハイブリッド車やプラグインハイブリッド車と比較して相対的に安くなるためであり、ガソリン自動車からの切り替えのモチベーションが薄れるからである。逆に、高くなればより低い費用で CO2 削減を実施できる。

図 2.12 には、電源構成を変化させた場合を示している。S2A は、原子力発電が稼働できず、低炭素電源の割合が少なくなってしまった場合、S2B は 2030 年の目標達成以後も再生可能エネルギーの普及が進んだ場合である。当然ながら、電源構成が低炭素になればなるほど、MAC は安くなることになる。

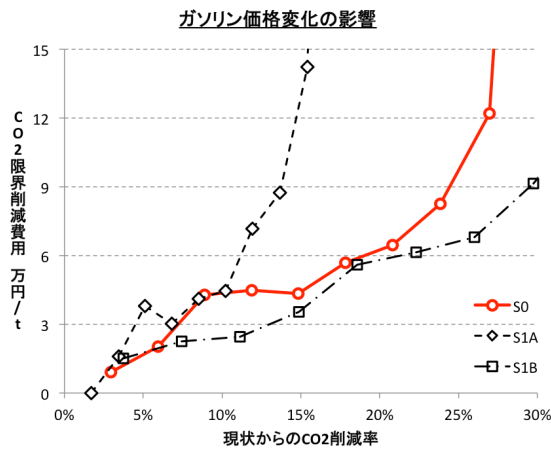


図 2.11: ガソリン価格変化による MAC への影響

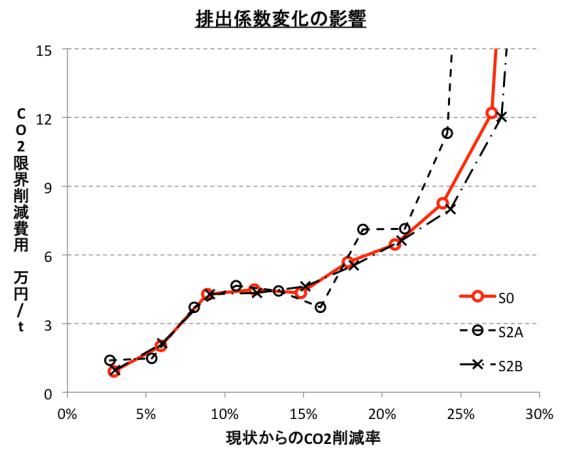


図 2.12: 電源構成変化による MAC への影響

最後に、今回の評価の限界を記しておく。図 2.9 において、HV が 2025 年くらいまでほとんど導入されないことになっているが、現実とは異なる。現実には、多少価格が高くて低燃費車を買う層がいるからであり、純粋にライフサイクルコストだけでは買い替えを説明できないからであろう。より正確な分析のためには、この評価と合わせて、消費者の効用関数の評価が必要になる。

2.2 産業連関表を用いた低炭素技術の比較

2.2.1 理論的背景

産業連関表の見方

前節で、自動車による GHG 削減の切り替えコストに関するレビューから、自動車切り替えによる GHG 削減はコストが高いことがわかった。本節では、より広範な目線から、社会的な価値がどのようなのかという評価を行う。今回の評価に当たっては、複数の低炭素技術に関して、国内経済波及効果と、CO₂ 削減効果との関係性を評価する。経済波及効果には産業連関分析を用いるが、データとして 2011 年度の産業連関表を用いた^{*6}。

産業連関表は、財やサービスが最終需要に至るまでに、各産業部門間でどのような投入や産出の過程を経て生産・販売されるかというものをマトリクスの形で一覧表にまとめたものである。図 2.13 に簡単な産業連関表の概念図を示す。表の上側は、財やサービスの需要（買い手）部門からなる。需要部門は大きくわけて中間需要部門・最終需要部門・輸入/控除にわかれている。中間需要はすなわち生産者による需要であり、生産者が何かを作るときに必要な物資の需要である。最終需要が主に消費者による需要であり、海外の消費者すなわち輸出も含まれている。最後に、合計の国内生産を考えるには輸入も考慮する必要があるため、需要部門に輸入も含まれている。一方、表の左側は供給（売り手）部門から構成されている。中間投入部門は、中間財の供給を示しており、どの業界にどれだけの中間財を供給しているかを表す。さらに付加価値部門は財やサービスの生産のために必要な労働や資本などの費用や余剰を表している。

すなわち、表を左から右に見ていくことで、その業界がどの業界にどれだけ物を供給して（売って）いるかを示し、販路を示す。逆に上から下に見ていくと、対応する業界がどの部門から物資を仕入れ、どれだけの付加価値を見出し、給料や利益に繋げているかを見ることができる。式で考えると、図 2.13 のように、中間需要ベクトルを D 、中間投入ベクトルを P 、最終需要ベクトルを F 、輸入ベクトルを M 、粗付加価値ベクトルを V 、国内生産ベクトルを X とすると、販路構成と、投入の構成から、以下のような等式が成り立つことがわかる。

$$P + F - M = X \quad (2.6)$$

$$D + V = X \quad (2.7)$$

輸入を考慮した生産波及効果

ここで、産業連関表を用いて消費者の需要変動による生産波及の効果、すなわちどれだけ生産が必要になるかを知りたいとする。ただし、生産と需要の関係をいちいち追跡して計算を行うには、膨大な計算が必要となる。より簡単な計算方法が必要となるが、そのために、投入係数表が必

^{*6} 総務省「平成 23 年 (2011 年) 産業連関表 (確報)」

<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200603&tstat=000001073129&cycle=0>

		中間需要						最終需要				輸入	国内生産額	
		・業	・業	・業	・	・	・	中間需要計	消費	輸出	・			最終需要計
中間投入	・業							P				F	M	X
	・業													
	・業													
	・													
	・													
	・													
	中間投入計	D												
粗付加価値	雇用者所得													
	営業余剰													
	・													
	・													
	粗付加価値計	V												
国内生産額		X												

図 2.13: 産業連関表の概念図

要となるが、投入係数は、各部門における、国内生産額に占める各投入の割合のことである。例えば、ある部門において、粗付加価値の投入係数を求めたい場合、その部門の粗付加価値額を、国内生産額で割れば良い。このようにして内生部門（中間投入と中間需要）の全ての項目を各部門の国内生産額で除してできた行列を、投入係数行列といい、 A で表すとする。すなわち、投入部門を i 、需要部門を j とすれば、 i, j における生産額は x_{ij} として、 i, j における投入係数 a_{ij} は、

$$a_{ij} = x_{ij} / X_j \quad (2.8)$$

生産と需要の部門の分類が同じであれば、すなわち A が正方行列であれば、 P は、

$$P = AX \quad (2.9)$$

とかける。ここで、国内最終需要の変化に伴う生産波及の影響を求めたいとすると、一定の考え方の仮定を行うことで、求めることができる。

仮定 1 輸入が、国内の生産活動によって誘発され、内生的に決定される

仮定 2 国内最終需要の増加により、生産技術・規模等の影響を受けず、投入係数が変化しない

仮定 3 国内最終需要の変化によって、輸出が影響を受けるわけではない

まず、最終需要を国内最終需要 Y と輸出 E に分離し、

$$F = Y + E \quad (2.10)$$

を式 2.6 に代入して、

$$X = AX + Y + E - M \quad (2.11)$$

仮定 1 より、輸入は内生生産に影響されることから、輸入係数、すなわち国内総需要に占める輸入依存度を

$$m_i = \frac{M_i}{\sum_j a_{ij} X_j + Y_i} \quad (2.12)$$

とかける。これを变形して、

$$M_i = m_i \left(\sum_j a_{ij} X_j + Y_i \right) \quad (2.13)$$

M_i からなる対角行列を \underline{M} として、

$$M = \underline{M}(AX + Y) \quad (2.14)$$

よって、

$$X = AX + Y + E - \underline{M}(AX + Y) \quad (2.15)$$

$$X = (I - (I - \underline{M})A)^{-1}((I - \underline{M})Y + E) \quad (2.16)$$

さて、仮定 2 のもとで、国内最終需要が ΔY 発生したとすると、仮定 3 より、輸出は変化しないことから、国内最終需要変化に伴う国内生産額の差分は、

$$\Delta X = (I - (I - \underline{M})A)^{-1}(I - \underline{M})\Delta Y \quad (2.17)$$

と求められる。最後に、国内生産額の変化 ΔX に伴う粗付加価値の変化は、粗付加価値の係数

$$v_j = V_j / X_j \quad (2.18)$$

からなる粗付加価値係数ベクトル V を用いて、

$$\Delta VA = V \bullet \Delta X \quad (2.19)$$

2.2.2 分析の手法と考え方

産業連関表データベースの正方行列化

産業連関表から経済波及効果を求めるにあたり、中間投入および中間需要の部門は、一番細かい 6 桁の部門を使用した。生産の表にはより細かい 10 桁までの項目もあるが、項目同士の関連のデータがないためである。

そこで、産業連関表分析の最初の段階として、産業連関表の元データにおいて、逆行列で扱える

ように、正方行列化する必要がある。産業分類の粒度としては、中間投入 518 項目（行部門 7 桁）と、中間需要 397 項目（列部門 6 桁）を、図 2.15 のように統合・追加し生成された、395 産業部門に関して行った。

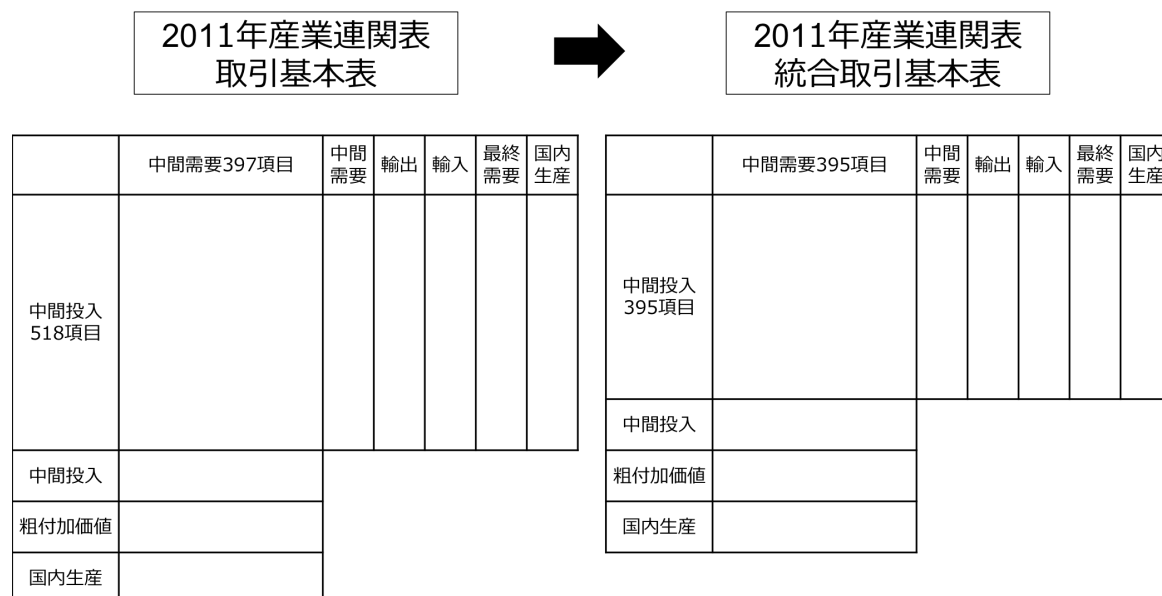


図 2.14: 産業連関表の統合イメージ

統合ルール	対象列部門	対象行部門	統合方法
列部門より行部門の方が細かい (計59列部門)	011101 米	0111011 米	列部門 に統合
		0111012 稲わら	
	011102 麦類	0111021 小麦（国産）	
		0111022 小麦（輸入）	
		0111023 大麦（国産）	
		0111024 大麦（輸入）	
など計59列部門			
列部門より行部門の方が粗い (計3行部門)	011301 野菜（露地）	0113001 野菜	行部門 に統合
	011302 野菜（施設）		
	017201 内水面漁業	0172001 内水面漁業・養殖業	
	017202 内水面養殖業		
	461101 事業用原子力発電	4611001 事業用電力	
	461102 事業用火力発電		
	461103 水力・その他の事業用発電		
片方の部門のみに存在するもの (計3仮部門)	なし	1631021P 古紙	列部門を新設 投入は全て0
		2612011P 鉄屑	
		2712011P 非鉄金属屑	

図 2.15: 産業部門の統合ルール

生産波及効果の計算方法

式 今回、新しい低炭素技術の経済波及効果の比較を行うに当たって、問題が生じる。新しい低炭素技術や産業領域は既存の産業連関表に存在しない。そのため、なんらかの形で既存の産業連関表でも分析できるような手法を取らなければならない。既往の研究によると、この手法に関しては主に 2 通り考えられる。

1 つ目は、新しく産業部門を分割し、作成する方法である。この方法は、理論通り正確に生産波及効果を計算できる一方、新しい産業部門を作成するのは手間であるし、産業部門の投入と需要の構造を聞き取り調査などによって具体的に知る必要がある。そのため、今回は別の方法を検討した。ある財やサービスの原材料構成の額を導き出し、その原材料の生産波及を求める方法である。ただし、この方法だと、最終製造工程における付加価値が抜けてしまうので、類似した産業の製造工程から、付加価値分を修正することにする。

まとめると、ある産業で需要が 1 単位増えた場合に対応する原材料を、 ΔR とする。このとき、原材料変化による国内付加価値 VA_r は、式 2.17 および式 2.18 を用いて、

$$\Delta X = (I - (I - \underline{M})A)^{-1}(I - \underline{M})\Delta R \quad (2.20)$$

$$VA_r = V \bullet \Delta X \quad (2.21)$$

この製造物の、製造工程における付加価値は、この製造率に対応する部門の製造時における付加価値率を vm とし、製造時付加価値 VA_m は、

$$VA_m = \frac{vm}{1 - vm} \sum \Delta X \quad (2.22)$$

足し合わせて、最終的な国内付加価値額は、

$$VA = VA_r + VA_m \quad (2.23)$$

同時に、この製造物の最終消費額は、

$$FC = \frac{1}{1 - vm} \sum \Delta R \quad (2.24)$$

具体的な内容 さて、今回低炭素技術と従来と比較を、電気自動車/従来自動車、太陽光発電/風力発電/事業用電力、LED ランプ/蛍光灯ランプにおいて行う。この時、従来自動車および事業用電力に関しては、原材料分解する必要がなく、産業連関表の部門乗用車と、事業用電力（ミックス値）を直接用いて計算できる。その他の製品に関しては、少し工夫が必要になる。() の値は、燃料費を考慮した場合である。

$$VA_{gv} = VA_{gv}(+VA_{gas}) \quad FC_{gv} = FC_{gv}(+VA_{gas}) \quad (2.25)$$

電気自動車に関しては、従来自動車の内燃機関を除いてできた共通部品 (cmn) と、電気自動車特有部品 (spc) から求める。前者は、産業連関表のデータを用い、後者は原材料データから求める。() の値は、電力を考慮した値である。

$$VA_{ev} = VA_{cmn} + VA_{spc}(+VA_{elc}) \quad FC_{ev} = FC_{cmn} + FC_{spc}(+VA_{elc}) \quad (2.26)$$

同様に、太陽光発電に関しては、太陽光モジュール (mod)、架台等 (sta) および土地費用 (lan) を用いて求める。ただし、土地費用に関しては、原材料ではなく最終価格から推定する。

$$VA_{pv} = VA_{mod} + VA_{sta} + VA_{lan} \quad FC_{pv} = FC_{mod} + FC_{sta} + FC_{lan} \quad (2.27)$$

同様に、風力発電に関しては、風力タービン (tur) および土地費用 (lan) を用いて求める。ただし、土地費用に関しては、太陽光発電と同様である。

$$VA_{wind} = VA_{tur} + VA_{lan} \quad FC_{wind} = FC_{tur} + FC_{lan} \quad (2.28)$$

LED ランプおよび蛍光灯ランプも同様である。() の値は、電力を考慮した値である。

$$VA_{led} = VA_{led}(+VA_{elc}) \quad FC_{led} = FC_{led}(+VA_{elc}) \quad (2.29)$$

$$VA_{cfl} = VA_{cfl}(+VA_{elc}) \quad FC_{cfl} = FC_{cfl}(+VA_{elc}) \quad (2.30)$$

それぞれの VA および FC の計算に用いている vm の値は、共通部品は産業連関表における「乗用車」、ガソリンは「石油製品」、電気自動車特有部品は「電池」の項目、電力は「事業用電力」、太陽光モジュールは「その他の電子部品」、架台等は「建築補修」、土地等は「非住宅建築（非木造）」、風力タービンは「タービン」、蛍光灯ランプおよび LED は「電球」の項目を参照した。また、EV は 30kWh の電池を想定し、電気自動車特有部品は、リーフの価格を参考に、1kWh あたり 45,000 円になるように膨らまし計算を行った。太陽光モジュールおよび、風力タービンに関しては、資源エネルギー庁 (2016b) を参考に、11.4 円/kWh, 12.2kWh となるように膨らまし計算を行った。土地費用に関しては、風力発電は 2MW あたり 10 万平方米、太陽光発電は山田興一・小宮山宏 (2002) のモジュール面積を用いた。土地費用は資源エネルギー庁 (2016b) から逆算し、平方米あたり 12.8 万円を用いた。その他の諸元に関しては以下に記しておく。

今回比較を行うにあたって、同じレベルでの比較を行う必要があるので、市場規模の 10 パー

表 2.3: 乗用車および電気自動車の諸元表

	乗用車		電気自動車	
自動車燃費	15	km/L	8	km/kWh
走行距離	120,000	km/台	120,000	km/台
年数	10	yr/台	10	yr/台
燃料単価	0.120	M¥/kL	0.024	M¥/MWh

セントということで比較を行った。自動車と発電に関しては、2015 年の水準、ランプに関しては

表 2.4: 風力発電および太陽光発電の諸元表

	風力発電		太陽光発電	
出力 MW	2	MW	1000	MW
年数	20	yr	20	yr

表 2.5: LED ランプおよび蛍光灯ランプの諸元表

	蛍光灯ランプ		LED ランプ	
パワー	12.5	W	15	W
ライフタイム	8,000	h	25,000	h

表 2.6: その他の諸元表

	その他	
土地費用	0.0128	M¥/m ²
電力	0.017	M¥/MWh
発電原単位	0.587	t/MWh
ガソリン原単位	2.322	t/kL

2010 年の水準を基準にした。ランプを 2010 年の水準にしたのは、2015 年では市場構造が大きく変わり、ランプから照明器具になっているため、実態の需要が見えないからである。合わせて用いたライフサイクルの CO₂ を表 2.7 に示す。自動車のライフサイクル CO₂ は Onat et al. (2015) をもとに、12 万キロ走る想定で計算し、再生エネルギーは、電力中央研究所 (2010) を、蛍光灯のデータは Scholand and Dillon (2012) を参照した。具体的な計算の詳細は、図 2.16 に示してある。

表 2.7: 比較を行う低炭素技術のシェアと CO₂ 排出量

	市場 10% 相当		CO ₂	
乗用車	50.5	万台	25.7	t/台
電気自動車	50.5	万台	20.7	t/台
従来電力	0.8	億 MWh	0.587	t/MWh
太陽光	0.8	億 MWh	0.038	t/MWh
風力	0.8	億 MWh	0.025	t/MWh
蛍光灯	3	億個	0.305	t/個
LED	0.96	億個	0.251	t/個

単位百万円		機能	単位	参考 CD	最終 消費	単価	製造工程 付加価値率	VA	原材料 消費	原材料 付加価値 (国内分)	付加 価値率	調整	国内 生産率	CO2t
乗用車	乗用車	1	台		1.65	1.65	13%	1.33	1.43	1.11	78%		100%	7.2
	石油製品	8.00	kl	211101	0.96			0			23%			18.6
	乗用車+走行	1	台		2.62	2.62		1.56						25.7
電気自動車	共通部品	1	台		1.34		13%	1.08	1.16	0.90	78%		100%	
	電池等	30	kWh	339903	1.35		29%	0.77	0.96	0.37	39%	2.72	100%	
	モーター等			331101	0.03		34%	0.02	0.02	0.01	44%		100%	
	電気自動車	1	台		2.73	2.73	13%	1.87	2.14	1.29			100%	11.9
	事業用電力	15	MWh		0.36			0			59%			8.8
	電気自動車+走行	1	台		3.09	3.09		2.08						20.7
風力	タービン等	2	MW	291102	975		42%	754.43	564	343	61%	9.75	100%	
	Wind土地	100,000	m2	411202	1280			1,136			89%		100%	
	風力発電	80,000	MWh		2,255	0.028		1,890						2,000
太陽光	module			339909	57,113		27%	35,647	41,970	20,504	49%	2.65	100%	
	stand等			412101	50,708		43%	37,617	28,753	15,662	54%		100%	
	PV土地	1,621,140	m2	411202	20,751			18,417			89%		100%	
	PV発電	5,001,810	MWh		128,572	0.026		91,681						190,069
	事業用電力	1	MWh	461100	0.017			0.0100			59%			0.59
LED	LED				0.0024		18%	0.0012	0.0020	0.0008	38%		100%	
	事業用電力	0.1	MWh	461100	0.0024			0.0014			59%			
		1	個		0.0048	0.0048		0.0026						0.3
CFL	CFL				0.0002		18%	0.0001	0	0	72%		100%	
	事業用電力	0.375	MWh	461100	0.0090			0.0053			59%			
		1	個		0.0092	0.0092		0.0054						0.3

図 2.16: 計算の詳細

原材料使用量分解

製品製造の素材データは、既往の文献を参考に収集した。EV は中野諭他 (2002) を参照、太陽光発電は山田興一・小宮山宏 (2002) を参照、風力発電は Onat et al. (2015) を、LED ランプおよび蛍光灯ランプは、Scholand and Dillon (2012) を参照した。

以下に、詳しい原材料金額を添付しておく。図 2.17 は EV の、図 2.18 および図 2.19 は太陽光発電の、図 2.20 および図 2.21 は風力発電の、図 2.22 および図 2.23 は LED ランプおよび蛍光灯ランプの原料分解・価格分解を示す。

生産波及の多様性の評価

最後に、生産波及がどれだけ広範囲の産業にわたるか、多様性を知るために、生産波及のエントロピーを用いる。エントロピーは熱力学や情報理論において用いられ、今回は、多様性指数として、

$$H = \sum p_i \log p_i \quad (2.31)$$

を用いる。ここで、 p_i は波及生産額の合計を 1 とした時の各部門の生産額の割合、すなわち、以下で表せる。

$$p_i = VA_i / \sum VA \quad (2.32)$$

電気自動車

EV専用部品 (45kWh)			構成		産業連関表との紐付け				金額 (円)							
原材料	単位	LIB	モーター	コントローラ ユニット	合計	コード10番	名称	単位 変換	単価 (円)	備考	コード6番	名称	LIB	Motor	コントローラ ユニット	合計
LIF	kg	5.00 E-01			5.00 E-01	202909612	その他の無機化学工業製品 (別冊を除く)		—	—	202909	その他の無機化学工業製品				
PCI	kg	4.30 E+00			4.30 E+00	202909612	その他の無機化学工業製品 (別冊を除く)		—	—	202909	その他の無機化学工業製品				
CnF2	kg	1.10 E+01			1.10 E+01	202909612	その他の無機化学工業製品 (別冊を除く)		—	—	202909	その他の無機化学工業製品				
炭素	kg	1.45 E+01			1.45 E+01	202909601	炭素 (100%純度)	t	6.68 E+03	6.68 E+00	202909	その他の無機化学工業製品	9.68 E+01			9.68 E+01
炭素	kg	1.32 E+01			1.32 E+01	202903201	炭素	t	—	—	202903	炭素				
炭素	kg	6.50 E+00			6.50 E+00	259909203	炭素	t	3.82 E+04	3.82 E+01	259909	炭素	2.48 E+02			2.48 E+02
炭素	kg	4.30 E+00			4.30 E+00	2029021601	炭素	t	2.39 E+04	2.39 E+01	202902	炭素	1.03 E+02			1.03 E+02
炭素	kg	5.33 E+01			5.33 E+01	272909205	炭素	t	2.63 E+06	2.63 E+03	272909	炭素	1.40 E+05			1.40 E+05
炭素	kg	6.94 E+02			6.94 E+02	202909602	炭素	t	4.21 E+04	4.21 E+01	202909	炭素	2.92 E+04			2.92 E+04
炭素	kg	4.00 E+00			4.00 E+00	2029021101	炭素	千立方メートル	—	—	202902	炭素	2.52 E+01			2.52 E+01
炭素	kg	4.00 E+00			4.00 E+00	202909612	炭素	t	7.96 E+03	7.96 E+00	202909	炭素	2.90 E+03			2.90 E+03
炭素	kg	3.90 E+01			3.90 E+01	2623011103	炭素	t	7.43 E+04	7.43 E+01	262301	炭素	2.78 E+04			2.78 E+04
炭素	kg	3.76 E+01	1.25 E-02	1.40 E-03	3.76 E+01	2710111102	炭素	t	7.40 E+05	7.40 E+02	271011	炭素	1.97 E+04			1.97 E+04
炭素	kg	3.69 E+01			3.69 E+01	2729031403	炭素	kg	5.34 E+02	5.34 E+02	272903	炭素				
炭素	kg	0.00 E+00			0.00 E+00	2041024101	炭素	t	3.30 E+05	3.30 E+02	204102	炭素	6.92 E+03			6.92 E+03
炭素	kg	2.80 E+00			2.80 E+00	2051099501	炭素	t	2.47 E+06	2.47 E+03	205109	炭素	3.11 E+02			3.11 E+02
炭素	kg	2.00 E+00			2.00 E+00	2029012101	炭素	t	1.56 E+05	1.56 E+02	202901	炭素	3.68 E+03			3.68 E+03
炭素	kg	6.00 E+01			6.00 E+01	2049099201	炭素	t	6.14 E+04	6.14 E+01	204909	炭素				
炭素	kg	0.00 E+00			0.00 E+00	—	炭素	t	—	—	—	炭素				
炭素	kg	0.00 E+00			0.00 E+00	202909612	炭素	t	3.40 E+05	3.40 E+02	202909	炭素				
炭素	kg	0.00 E+00			0.00 E+00	2051031201	炭素	t	3.40 E+05	3.40 E+02	205103	炭素	1.79 E+04			1.79 E+04
炭素	kg	0.00 E+00			0.00 E+00	2051031201	炭素	t	1.09 E+06	1.09 E+03	205103	炭素	4.35 E+03			4.35 E+03
炭素	kg	1.64 E+01			1.64 E+01	1519091202	炭素	t	1.65 E+05	1.65 E+02	205102	炭素	1.70 E+02			1.70 E+02
炭素	kg	2.63 E+01			2.63 E+01	2051024101	炭素	t	2.84 E+05	2.84 E+02	205102	炭素	4.62 E+03			4.62 E+03
炭素	kg	6.00 E-01			6.00 E-01	2051031501	炭素	t	4.40 E+05	4.40 E+02	205101	炭素	3.54 E+04			3.54 E+04
炭素	kg	1.05 E+01			1.05 E+01	2051110101	炭素	千立方メートル	—	—	205101	炭素	1.78 E+04			1.78 E+04
炭素	kg	2.08 E+03	3.00 E-05		2.08 E+03	4611001	炭素	kg	1.70 E+07	1.70 E+01	461100	炭素	3.57 E-03			3.57 E-03
炭素	kg	2.82 E+02			2.82 E+02	0621012001	炭素	kg	5.36 E+04	5.36 E+01	062101	炭素	1.04 E+03			1.04 E+03
炭素	kg	1.52 E+01	1.27 E-03		1.52 E+01	2111015101	炭素	kg	6.83 E+04	6.83 E+01	211101	炭素	8.07 E-02			8.07 E-02
炭素	kg	1.97 E+01			1.97 E+01	062101300	炭素	kg	4.10 E+04	4.10 E+01	062101	炭素	2.80 E+03			2.80 E+03
炭素	kg	2.41 E+02			2.41 E+02	0621011001	炭素	kg	6.32 E+03	6.32 E+01	062101	炭素	1.39 E+04			1.39 E+04
炭素	kg	4.80 E+02	3.42 E-02		4.80 E+02	4622011002	炭素	kg	3.19 E+05	3.19 E+01	462201	炭素	1.09 E+04			1.09 E+04
炭素	kg	5.62 E-02			5.62 E-02	2623012109	炭素	t	4.03 E+05	4.03 E+02	262301	炭素	3.47 E+03			3.47 E+03
炭素	kg	9.50 E-03			9.50 E-03	2711031301	炭素	t	2.72 E+05	2.72 E+02	271103	炭素	5.43 E+01			5.43 E+01
炭素	kg	1.90 E-03			1.90 E-03	2051023104	炭素	kg	1.11 E+05	1.11 E+02	205102	炭素	4.62 E+02			4.62 E+02
炭素	kg	9.70 E-04			9.70 E-04	4621011101	炭素	kg	6.22 E+04	6.22 E+01	462101	炭素	1.24 E-01			1.24 E-01
炭素	kg	2.00 E-06			2.00 E-06	2111011103	炭素	kg	7.20 E+04	7.20 E+01	211101	炭素	1.80 E+01			1.80 E+01
炭素	kg	2.50 E-04			2.50 E-04	2111013101	炭素	kg	9.48 E+04	9.48 E+01	211101	炭素	2.37 E+01			2.37 E+01
炭素	kg	2.50 E-04			2.50 E-04	2111014101	炭素	kg	6.16 E+04	6.16 E+01	211101	炭素	2.34 E+01			2.34 E+01
炭素	kg	3.80 E-04			3.80 E-04	2111018101	炭素	t	6.16 E+04	6.16 E+01	211101	炭素	3.30 E+05			3.30 E+05
炭素	kg	1.27 E-03			1.27 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	7.50 E+03			7.50 E+03
炭素	kg	5.66 E-03			5.66 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	1.48 E+04			1.48 E+04
炭素	kg	2.41 E+02			2.41 E+02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	3.52 E+05			3.52 E+05
炭素	kg	4.80 E+02			4.80 E+02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.20 E-02			2.20 E-02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	9.00 E-04			9.00 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	1.70 E-03			1.70 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.00 E-04			2.00 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	9.70 E-04			9.70 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.00 E-06			2.00 E-06	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.50 E-04			2.50 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.50 E-04			2.50 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	3.80 E-04			3.80 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	1.27 E-03			1.27 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	5.66 E-03			5.66 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.41 E+02			2.41 E+02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	4.80 E+02			4.80 E+02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.20 E-02			2.20 E-02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	9.00 E-04			9.00 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	1.70 E-03			1.70 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.00 E-04			2.00 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	9.70 E-04			9.70 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.00 E-06			2.00 E-06	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.50 E-04			2.50 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.50 E-04			2.50 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	3.80 E-04			3.80 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	1.27 E-03			1.27 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	5.66 E-03			5.66 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.41 E+02			2.41 E+02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	4.80 E+02			4.80 E+02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.20 E-02			2.20 E-02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	9.00 E-04			9.00 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	1.70 E-03			1.70 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.00 E-04			2.00 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	9.70 E-04			9.70 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.00 E-06			2.00 E-06	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.50 E-04			2.50 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.50 E-04			2.50 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	3.80 E-04			3.80 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	1.27 E-03			1.27 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	5.66 E-03			5.66 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.41 E+02			2.41 E+02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	4.80 E+02			4.80 E+02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.20 E-02			2.20 E-02	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	9.00 E-04			9.00 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	1.70 E-03			1.70 E-03	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.00 E-04			2.00 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	9.70 E-04			9.70 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.00 E-06			2.00 E-06	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.50 E-04			2.50 E-04	—	炭素	t	—	—	—	炭素	—			—
炭素	kg	2.50 E-04			2											

太陽光発電

[illegible]

図 2.18: 太陽光モジュールおよび架台等の原材料分解 1

INPUT	コード10桁	名称	単位	連関表 単価	単位 変換	単価 (円)	備考	コード6桁	名称	金額(百万)
原料珪石 Na2CO3 重油 中間財：水ガラス 硫酸 硫酸 石灰石 電力 中間財：SiO2 アセチレンブラック レゾール Cl2 NaOH 中間財：高純度C アルゴン	0639092101	けい石	t	1165	1	1.17 E+03		063909	その他の鉱物	3.84 E+01
	2021011101	ソーダ灰	t	43537	1	4.35 E+04		202101	ソーダ工業製品	8.45 E+02
	2111015101	A 重油	kl	68327	0.0255754	1.75 E+03		211101	石油製品	1.13 E+03
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	2029099601	硫酸 (100%換算)	t	6675	1	6.68 E+03		202909	その他の無機化学工業製品	5.02 E+02
	0639091001	石灰石	t	605	1	6.05 E+02		063909	その他の鉱物	2.75 E+01
	4611001	事業用電力	/百万kWh	17004865	0.001	1.70 E+04	ミックス値	461100	-	5.98 E+03
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	2029012101	カーボンブラック	t	155643	1	1.56 E+05		202901	無機顔料	1.69 E+03
	2051011101	成形材料	t	439525	1	4.40 E+05		205101	熱硬化性樹脂	2.86 E+03
KOH IPA POCl3 N2O2 石英管 TPT Ag-Alベースト Alベースト スクリーン Xeランプ ケース 保護ガラス アルミ 配線材 EVA テドラ アルミシート シール 鉄鋼 銅 パワーコンディショナ	2021013101	液体塩素	t	45111	1	4.51 E+04		202101	ソーダ工業製品	1.18 E+02
	2021012101	酸性ソーダ (液体97%換算・固形有姿)	t	41699	1	4.17 E+04		202101	ソーダ工業製品	6.56 E+01
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	2029021301	アルゴン	千立方メートル	90375	0.001	9.04 E+01		202902	圧縮ガス・液化ガス	8.73 E+01
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	2029099301	水酸化カリウム	t	179722	1	1.80 E+05		202909	その他の無機化学工業製品	2.90 E+01
	2041011101	イソプロピルアルコール	t	122109	1	1.22 E+05		204101	脂肪族中間物	4.86 E+01
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	2029021201	窒素ガス	千立方メートル	4584	0.001	4.58 E+00		202902	圧縮ガス・液化ガス	2.48 E-05
アルミニウム アルミ 配線材 EVA テドラ アルミシート シール 鉄鋼 銅 パワーコンディショナ	0631011002	石英粗面岩・同類似岩石 (製品)	t	1476	1	1.48 E+03		063101	砂利・採石	6.38 E-03
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	2711031301	精製アルミニウム地金	t	403390	1	4.03 E+05		271103	アルミニウム (再生を含む。)	7.60 E+00
	2711031301	精製アルミニウム地金	t	403390	1	4.03 E+05		271103	アルミニウム (再生を含む。)	4.00 E+00
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	3399011208	その他の放電ランプ	千個	100068	0.001	1.00 E+02		339901	電球類	8.60 E-02
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	-	-	-	-	-	-		-	-	-
	2511012103	強化ガラス	平方メートル	3911	1	3.91 E+03		251101	板ガラス・安全ガラス	1.27 E+01
	2729021105	棒・線	t	436342	1	4.36 E+05		272902	アルミ圧延製品	8.92 E+02
アルミ 配線材 EVA テドラ アルミシート シール 鉄鋼 銅 パワーコンディショナ	2721011101	銅裸線	t	763962	1	7.64 E+05		272101	電線・ケーブル	1.13 E+02
	2051021102	ポリエチレン (エチレン・酢酸ビニルコポリマー)	t	201049	1	2.01 E+05		205102	熱可塑性樹脂	3.55 E+02
	2051099501	ぶっ素樹脂	t	2472430	1	2.47 E+06		205109	その他の合成樹脂	6.01 E+02
	2729021107	はく	t	972370	1	9.72 E+05		272902	アルミ圧延製品	1.23 E+02
	2042011108	その他の合成ゴム	t	414877	2	8.30 E+05		204201	合成ゴム	3.06 E+02
	2621011301	大形形鋼	t	74988	1	7.50 E+04		262101	熱間圧延鋼材	2.52 E+04
	2721011101	銅裸線	t	763962	1	7.64 E+05		272101	電線・ケーブル	3.33 E+03
	332102	民生用電気機器	pcs	4000	1	4.00 E+03	太陽光発電工学より	332102	民生用電気機器 (エアコンを除く。)	2.64 E+02

図 2.19: 太陽光モジュールおよび架台等の原材料分解 2

風力発電

生産物		rotor			foundation		tower	nacelle				タービン 合計	
INPUT	単位	three blades	blade hub	nose cone	footing	ferrule	three sections	bed frame	main shaft	transformer	generator		gearbox
resin	t	1.17.E+01		1.86.E-01									1.20.E+00
fiber glass	t	7.80.E+00											8.00.E-01
cast iron	t		1.40.E+01										1.40.E+01
concrete	t				7.00.E+02								7.00.E+02
iron	t				2.50.E+01			1.05.E+01				8.00.E+00	4.35.E+01
steel	t				1.50.E+01		1.43.E+02		6.10.E+00	3.30.E+00	4.29.E+00	8.00.E+00	1.80.E+02
silica	t									1.49.E-01	1.95.E-01		3.44.E-01
copper	t									1.50.E+00	2.00.E+00		3.50.E+00
power	MWh	2.02.E+01	1.20.E+01	9.50.E-01	4.00.E-01			9.00.E+00	5.30.E+00				6.20.E+00
energy	GJ					1.70.E+01	1.70.E+02			2.00.E+02	2.65.E+02	4.95.E+02	1.15.E+03

図 2.20: 風力発電タービンの原材料分解 1

INPUT	コード10桁	名称	単位	連関表 単価	単位 変換	単価 (円)	備考	コード6桁	名称	金額(百万)
resin	2051023103	A S樹脂	t	2.35.E+05	1.00.E+00	2.35.E+05		205102	熱可塑性樹脂	3.07.E+00
fiber glass	2511021201	ローピング	kg	1.65.E+02	1.00.E+03	1.65.E+05		251102	ガラス繊維・同製品	1.42.E+00
cast iron	2621011301	大形形鋼	t	7.50.E+04	1.00.E+00	7.50.E+04		262101	熱間圧延鋼材	1.05.E+00
concrete	2521021001	生コンクリート	立方米	1.23.E+04	3.17.E-01	3.90.E+03		252102	生コンクリート	2.73.E+00
iron	2621013102	幅 6 0 0 mm以上 (その他用)	t	7.41.E+04	1.00.E+00	7.41.E+04		262101	熱間圧延鋼材	3.22.E+00
steel	2623012102	冷延広幅帯鋼	t	2.27.E+05	1.00.E+00	2.27.E+05		262301	冷間仕上鋼材	4.08.E+01
silica	0639092201	けい砂	t	1.71.E+03	1.00.E+00	1.71.E+03		063909	その他の鉱物	5.89.E-04
copper	2711011102	電気銅	t	7.40.E+05	1.00.E+00	7.40.E+05		271101	銅	2.59.E+00
power	4611001	事業用電力	/百万kWh	1.70.E+07	1.00.E-03	1.70.E+04	ミックス値	461100	-	9.18.E-01
energy	2111015101	A 重油	kl	6.83.E+04	2.56.E-02	1.75.E+03		211101	石油製品	2.00.E+00

図 2.21: 風力発電タービンの原材料分解 2

LED と蛍光灯

INPUT /lamp	単位	必要量 /生産単位 /lamp	生産単位 /lamp	数量	ウェハー	LED	ラップ	合計	コード10桁	名称	単位	通関表 単価	単位 変換	単価 (円)	備考	コード6桁	名称	金額(円)
アルミナ アルカリ焼酎 電力 膨潤液 基板 アセトン Ausubんだ 無機溶媒 フッ化水素 H2 N2 NH3 O2 有機溶媒 SF6 SiH4 膨潤液 銀 アルミニウム ニッケル チタン インジウム ウェハー アルミナ 電力 タイオード 金 溶媒硬化性樹脂 エポキシ樹脂 LED レアアースオキサイド アルミニウム 銅 ニッケル すす 銅族 クロム インタクター ICチップ キャパシター ワイヤリングボード レジスター-SMD トランジスタ エポキシ樹脂 はんだ 電力	kg	15.6	/water	7.38 E+00	27	12	1	7.38 E+00	2711031101	アルミナ (酸化アルミニウム)	t	9.49 E+04	1.00 E-03	9.49 E+01		271103	アルミニウム (再生を含む、)	700.07
	kg	3.5	/water	1.56 E+00				1.56 E+00	208909204	酸・アルカリ洗淨剤	t	1.81 E+05	1.00 E-02	1.81 E+02		208909	その他の化学最終製品	281.42
	kWh	18.3	/water	8.13 E+00				8.13 E+00	4611001	事業用電力	/百万kWh	1.70 E+07	1.00 E-06	1.70 E+01	ミックス値	461100	—	138.31
	kg	0.83	/water	3.69 E-01				3.69 E-01	208909201	クレンザー	t	1.61 E+05	1.00 E-03	1.61 E+02		208909	その他の化学最終製品	59.37
	pcs			-2.70 E+01	2.70 E+01			0.00 E+00	—	合成アセトン	t	2.96 E+05	1.00 E-06	2.96 E-01		204101	脂肪族中間物	61.50
	g	467	/water	2.08 E+02	2.08 E+02			1.29 E+01	2711021301	はんた	t	4.44 E+06	1.00 E-06	4.44 E+00		271102	船・亜鉛 (再生を含む、)	0.57
	g	0.29	/water	1.29 E-01	1.29 E-01			5.11 E+01	2031021101	純ベンゼン (非石油系を含む)	t	7.73 E+04	1.00 E-06	7.73 E-02		203102	石油化学系最終製品	3.95
	g	115	/water	5.11 E+01	5.11 E+01			1.25 E+02	2029099101	ふっ化水素酸 (50%濃縮)	t	1.31 E+05	1.00 E-06	1.31 E-01		202909	その他の無機化学工業製品	16.39
	g	282	/water	1.25 E+02	1.25 E+02			6.04 E+01	2029021401	水素	千立方米	4.30 E+04	0.00 E+00	0.00 E+00		202902	圧縮ガス・液化ガス	0.00
	g	136	/water	6.04 E+01	6.04 E+01			2.46 E+03	2029021201	遊業ガス	千立方米	4.58 E+03	0.00 E+00	0.00 E+00		202902	圧縮ガス・液化ガス	0.00
アルミニウム ニッケル チタン インジウム ウェハー アルミナ 電力 タイオード 金 溶媒硬化性樹脂 エポキシ樹脂 LED レアアースオキサイド アルミニウム 銅 ニッケル すす 銅族 クロム インタクター ICチップ キャパシター ワイヤリングボード レジスター-SMD トランジスタ エポキシ樹脂 はんだ 電力	g	5527	/water	2.46 E+03				1.99 E+02	2011011101	アンモニア (100%濃縮)	t	8.35 E+04	1.00 E-06	8.35 E-02		201101	化学肥料	16.59
	g	447	/water	1.99 E+02	1.99 E+02			1.02 E+00	2029021101	酸素ガス	千立方米	7.96 E+03	0.00 E+00	0.00 E+00		202902	圧縮ガス・液化ガス	0.00
	kg	2.3	/water	1.02 E+00	1.02 E+00			8.44 E+00	2041019113	合成アセトン	t	2.96 E+05	1.00 E-06	2.96 E-01		204101	脂肪族中間物	2.50
	kWh	42.57	/water	1.89 E+01	1.89 E+01			1.89 E+01	4611001	事業用電力	/百万kWh	1.70 E+07	1.00 E-06	1.70 E+01	ミックス値	461100	—	321.73
	g	13	/water	5.78 E+00	5.78 E+00			1.08 E-01	2082011103	電気絶縁材料	t	1.29 E+06	1.00 E-06	1.29 E+00		208201	塗料	7.44
	g	0.242	/water	1.02 E-01	1.02 E-01			2.22 E-03	2089099201	クレンザー	t	1.61 E+05	1.00 E-03	1.61 E+02		—	—	—
	g	0.005	/water	1.02 E+00	1.02 E+00			2.67 E-03	2711099102	銀地金	kg	8.22 E+04	1.00 E-06	8.22 E+04		208909	その他の化学最終製品	164.51
	g	0.006	/water	2.67 E-03	2.67 E-03			2.67 E-03	2711031301	精製アルミニウム地金	t	4.03 E+05	1.00 E-06	4.03 E-01		271109	その他の非鉄金属地金	182.75
	g	0.004	/water	1.78 E-03	1.78 E-03			1.78 E-03	2729099205	ニッケル・同合金原料材	t	2.63 E+06	1.00 E-06	2.63 E+00		272909	その他の非鉄金属製品	0.00
	g	0.002	/water	8.89 E-04	8.89 E-04			2.67 E-02	—	—		—	0.00 E+00	0.00 E+00		—	—	—
アルミニウム 電力 タイオード 金 溶媒硬化性樹脂 エポキシ樹脂 LED レアアースオキサイド アルミニウム 銅 ニッケル すす 銅族 クロム インタクター ICチップ キャパシター ワイヤリングボード レジスター-SMD トランジスタ エポキシ樹脂 はんだ 電力	g	0.01	/water	4.44 E-03				0.00 E+00	—	—		—	0.00 E+00	0.00 E+00		—	—	—
	pcs			-2.70 E+01	2.70 E+01			0.00 E+00	2711031101	アルミナ (酸化アルミニウム)	t	9.49 E+04	1.00 E-06	9.49 E-02		271103	アルミニウム (再生を含む、)	0.02
	g	0.0135	/LED	1.62 E-01	1.62 E-01			3.60 E-01	4611001	事業用電力	/百万kWh	1.70 E+07	1.00 E-06	1.70 E+01	ミックス値	461100	—	6.12
	g	0.03	/LED	3.60 E-01	3.60 E-01			6.60 E-01	3211021701	発光ダイオード	千個	7.56 E+03	1.00 E-06	7.56 E-03		321102	半導体素子	0.00
	g	0.055	/LED	6.60 E-01	6.60 E-01			7.20 E-04	2711099101	金地金	g	4.07 E+03	1.00 E-06	4.07 E-03		271109	その他の非鉄金属地金	0.00
	g	6E-05	/LED	7.20 E-04	7.20 E-04			2.35 E-01	2051011601	エポキシ樹脂	t	4.40 E+05	1.00 E-06	4.40 E-01		205101	熱硬化性樹脂	0.10
	g	0.0196	/LED	2.35 E-01	2.35 E-01			7.20 E-04	2051011601	エポキシ樹脂	t	4.40 E+05	1.00 E-06	4.40 E-01		205101	熱硬化性樹脂	0.00
	g	6E-05	/LED	7.20 E-04	7.20 E-04			0.00 E+00	—	—		—	0.00 E+00	0.00 E+00		—	—	—
	pcs			-1.20 E+01	1.20 E+01			1.21 E+01	2711031301	精製アルミニウム地金	t	4.03 E+05	1.00 E-06	4.03 E-01		271103	アルミニウム (再生を含む、)	27.51
	g	12.1	/lamp	6.82 E+01	6.82 E+01			5.00 E+00	2711011102	電気銅	t	7.40 E+05	1.00 E-06	7.40 E-01		271101	銅	3.70
アルミニウム 電力 タイオード 金 溶媒硬化性樹脂 エポキシ樹脂 LED レアアースオキサイド アルミニウム 銅 ニッケル すす 銅族 クロム インタクター ICチップ キャパシター ワイヤリングボード レジスター-SMD トランジスタ エポキシ樹脂 はんだ 電力	g	5	/lamp	5.00 E+00				3.00 E-03	2729099205	ニッケル・同合金原料材	t	2.63 E+06	1.00 E-06	2.63 E+00		272909	その他の非鉄金属製品	0.01
	g	0.003	/lamp	3.00 E-03	3.00 E-03			1.65 E+00	2611041301	鋼鋼純込普通鋼	t	5.78 E+04	1.00 E-06	5.78 E-02		261104	粗鋼 (電気炉)	0.23
	g	1.65	/lamp	4.00 E+00	4.00 E+00			2.00 E+04	—	—		—	0.00 E+00	0.00 E+00		—	—	—
	g	4	/lamp	2.00 E+04	2.00 E+04			2.00 E+00	—	—		—	0.00 E+00	0.00 E+00		—	—	—
	g	0.0002	/lamp	5.00 E+00	5.00 E+00			2.00 E+00	—	—		—	0.00 E+00	0.00 E+00		—	—	—
	n	5	/lamp	2.00 E+00	2.00 E+00			1.40 E+01	3299099103	コンデンサ (固定コンデンサを除く)	0	0.00 E+00	0.00 E+00	0.00 E+00		329909	その他の電子部品	0.00
	g	2	/lamp	1.40 E+01	1.40 E+01			6.00 E+00	3211021701	発光ダイオード	千個	7.56 E+03	0.00 E+00	0.00 E+00		321102	半導体素子	0.00
	n	14	/lamp	6.00 E+00	6.00 E+00			1.50 E+01	3299021105	プリント配線基板基板	0	0.00 E+00	0.00 E+00	0.00 E+00		329902	電子回路	0.00
	g	6	/lamp	1.50 E+01	1.50 E+01			3.80 E+01	3211021301	シリコントランジスタ (1 w未満)	千個	2.17 E+03	0.00 E+00	0.00 E+00		321102	半導体素子	0.00
	n	38	/lamp	3.80 E+01	3.80 E+01			4.50 E+00	2051011601	エポキシ樹脂	t	4.40 E+05	1.00 E-06	4.40 E-01		205101	熱硬化性樹脂	0.00
アルミニウム 電力 タイオード 金 溶媒硬化性樹脂 エポキシ樹脂 LED レアアースオキサイド アルミニウム 銅 ニッケル すす 銅族 クロム インタクター ICチップ キャパシター ワイヤリングボード レジスター-SMD トランジスタ エポキシ樹脂 はんだ 電力	g	4.5	/lamp	6.00 E+00	6.00 E+00			3.00 E-01	2711021301	はんた	t	4.40 E+05	1.00 E-06	4.40 E-01		271102	船・亜鉛 (再生を含む、)	0.13
	g	0.3	/lamp	3.00 E-01	3.00 E-01			5.00 E+00	4611001	事業用電力	/百万kWh	1.70 E+07	0.00 E+00	0.00 E+00	ミックス値	461100	—	0.00
	MJ	5	/lamp	5.00 E+00	5.00 E+00													
	g	12.1	/lamp	6.82 E+01	6.82 E+01			5.00 E+00	2711011102	電気銅	t	7.40 E+05	1.00 E-06	7.40 E-01		271101	銅	3.70
	g	5	/lamp	5.00 E+00	5.00 E+00			3.00 E-03	2729099205	ニッケル・同合金原料材	t	2.63 E+06	1.00 E-06	2.63 E+00		272909	その他の非鉄金属製品	0.01
	g	0.003	/lamp	3.00 E-03	3.00 E-03			1.65 E+00	2611041301	鋼鋼純込普通鋼	t	5.78 E+04	1.00 E-06	5.78 E-02		261104	粗鋼 (電気炉)	0.23
	g	4	/lamp	4.00 E+00	4.00 E+00			2.00 E+04	—	—		—	0.00 E+00	0.00 E+00		—	—	—
	g	0.0002	/lamp	5.00 E+00	5.00 E+00			2.00 E+00	—	—		—	0.00 E+00	0.00 E+00		—	—	—
	n	5	/lamp	2.00 E+00	2.00 E+00			1.40 E+01	3299099103	コンデンサ (固定コンデンサを除く)	0	0.00 E+00	0.00 E+00	0.00 E+00		329909	その他の電子部品	0.00
	n	14	/lamp	6.00 E+00	6.00 E+00			1.50 E+01	3211021701	発光ダイオード	千個	7.56 E+03	0.00 E+00	0.00 E+00		321102	半導体素子	0.00

図 2.22: LED ランプの原材料分解

INPUT 3InchCFLランプ	単位	合計	コード10桁	名称	単位	通関表 単価	単位 変換	単価 (円)	備考	コード6桁	名称	金額(円)
アルゴン	g	1.37.E-01	2029021301	アルゴン	千立方米	9.04.E+04	1.78.E-03	1.61.E+02		202902	圧縮ガス・液化ガス	2.21.E-05
N2	g	8.45.E-01	2029021201	窒素ガス	千立方米	4.58.E+03	1.25.E-03	5.73.E+00		202902	圧縮ガス・液化ガス	4.84.E-06
O2	g	7.29.E+00	2029021101	酸素ガス	千立方米	7.96.E+03	1.43.E-03	1.14.E+01		202902	圧縮ガス・液化ガス	8.29.E-05
H2	g	1.00.E-03	2029021401	水素	千立方米	4.30.E+04	8.99.E-05	3.86.E+00		202902	圧縮ガス・液化ガス	3.86.E-09
アンモニア	g	8.50.E-02	2011011101	アンモニア (100%換算)	t	8.35.E+04	1.00.E-06	8.35.E-02		201101	化学肥料	7.10.E-09
すず	g	1.15.E+00	-	-	-	-	-	-		-	-	-
エポキシ樹脂	g	5.00.E-02	2051011601	エポキシ樹脂	t	4.40.E+05	1.00.E-06	4.40.E-01		205101	硬化化樹脂	2.20.E-08
はんだ	g	1.55.E+00	2711021301	はんだ	t	4.44.E+06	1.00.E-06	4.44.E+00		271102	鉛・亜鉛 (再生を含む。)	6.88.E-06
ガラス	g	2.68.E+01	2511091102	電球類用ガラス/リブ (管、棒を含む)	t	4.70.E+05	1.00.E-06	4.70.E-01		251109	その他のガラス製品	1.26.E-05
リン酸	g	2.00.E-03	2029099201	りん酸	t	1.09.E+05	1.00.E-06	1.09.E-01		202909	その他の無機化学工業製品	2.19.E-10
銅線	g	1.00.E-01	2721011101	銅裸線	t	7.64.E+05	1.00.E-06	7.64.E-01		272101	電線・ケーブル	7.64.E-08
モリブデン	g	1.30.E-02	2611021109	フェロモリブデン	t	2.49.E+06	1.00.E-06	2.49.E+00		261102	フェロアロイ	3.23.E-08
タングステン	g	1.00.E-02	-	-	-	-	-	-		-	-	-
電力	kWh	3.72.E-01	4611001	事業用電力	/百万kWh	1.70.E+07	1.00.E-06	1.70.E+01	ミックス値	461100	-	6.33.E-06

図 2.23: 蛍光ランプの原材料分解

2.2.3 結果

図 2.24 に結果を示す。各低炭素技術について、従来のものから市場の 10 パーセント分切り替えたとしたときの、棒グラフが限界削減費用、線グラフが CO₂ 削減ポテンシャルを示している。これを見ると、電気自動車による対策の限界削減費用が高く、他と比べれば、非効率であると言える。削減ポテンシャルも高くない。これは、LED は寿命増によって消費電力量を何分の 1 に減らす一方で、自動車は使用年数は変わらないためである。ただし、電気自動車の限界削減費用は、電力の排出源係数を減らすことができれば、大きく変わってくる。

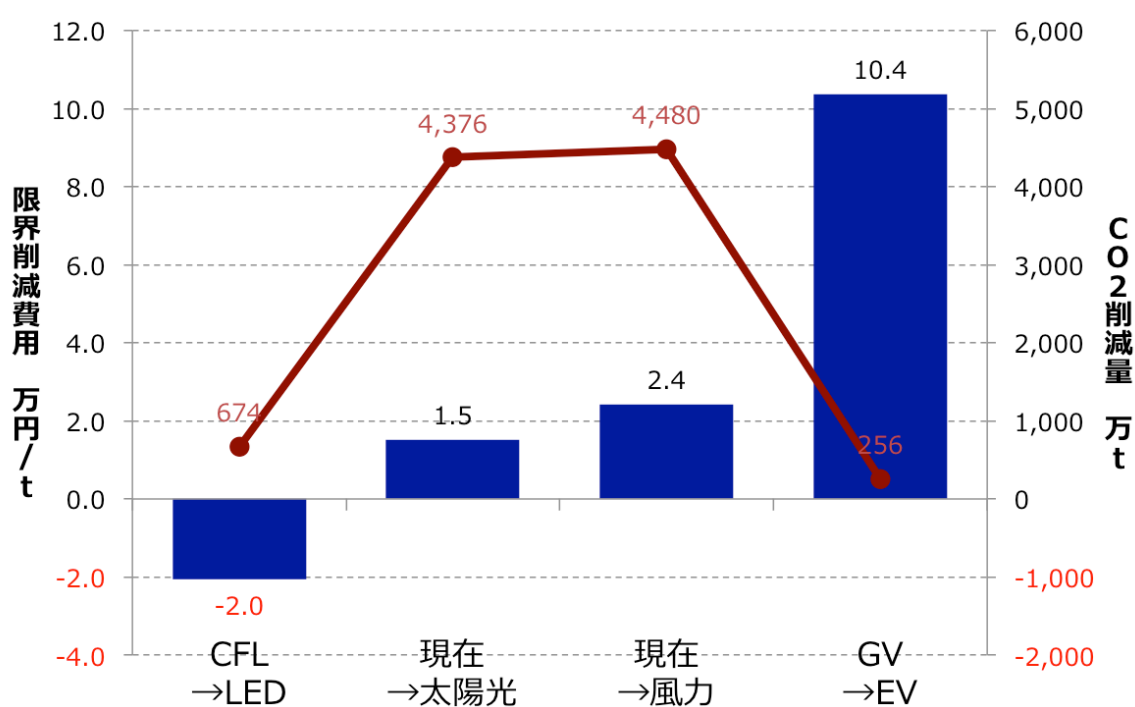


図 2.24: 各種低炭素技術による CO₂ 削減ポテンシャルと限界削減費用

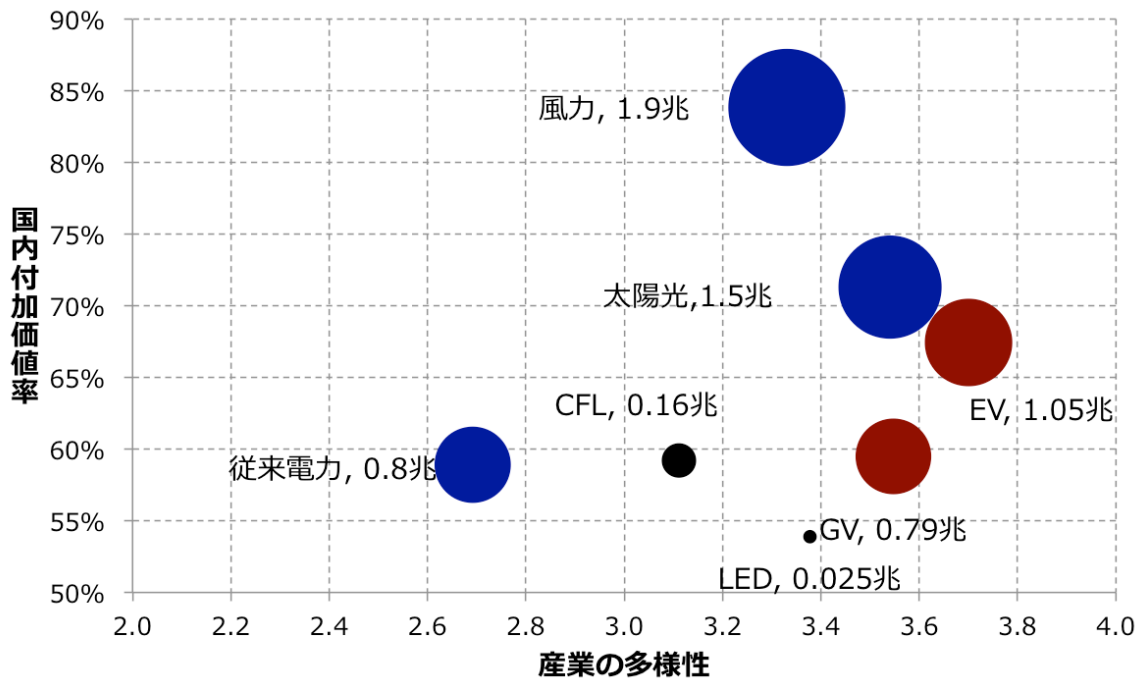


図 2.25: 各種低炭素技術の産業の多様性と、国内付加価値率

一方で、経済波及効果の観点からはどうだろうか。図 2.25 を参照すると、丸の大きさが大きいほど経済へのインパクトが大きいことを示すが、風力、太陽光、電気自動車の順に大きい。ただし、この大きさは価格によって大きく変動するものであり、例えば現在風力は 28 円/kWh ほどで計算を行っているが、価格低下が起こるとそのままインパクトが下がるので、インパクトによる評価はあまり適切ではない。そのため、縦軸に国内付加価値率、すなわち消費のどれだけの割合が国内に還元されるかを、横軸にエントロピーを用いた産業の多様性を示し、評価することにした。

そうすると、低炭素技術の中では付加価値率では風力、太陽光の順に高く、多様性では電気自動車、太陽光の順に高い。ただし、付加価値率に関しては、風力と太陽光に関しては海外に輸出することが難しい。一方、自動車や LED に関しては、製品製造の中で付加価値が生まれるため、最終製品の輸出を行えばその分国内付加価値は上がることになる。簡単な計算では、国内販売の 50 パーセントを輸出することができれば、付加価値率を 1.5 倍にすることができるため、この計算では風力や太陽光に劣るものの、付加価値率の意味でも自動車はポテンシャルがあると言える。図 2.26 に現状の輸出率を考慮した付加価値率をのせる。

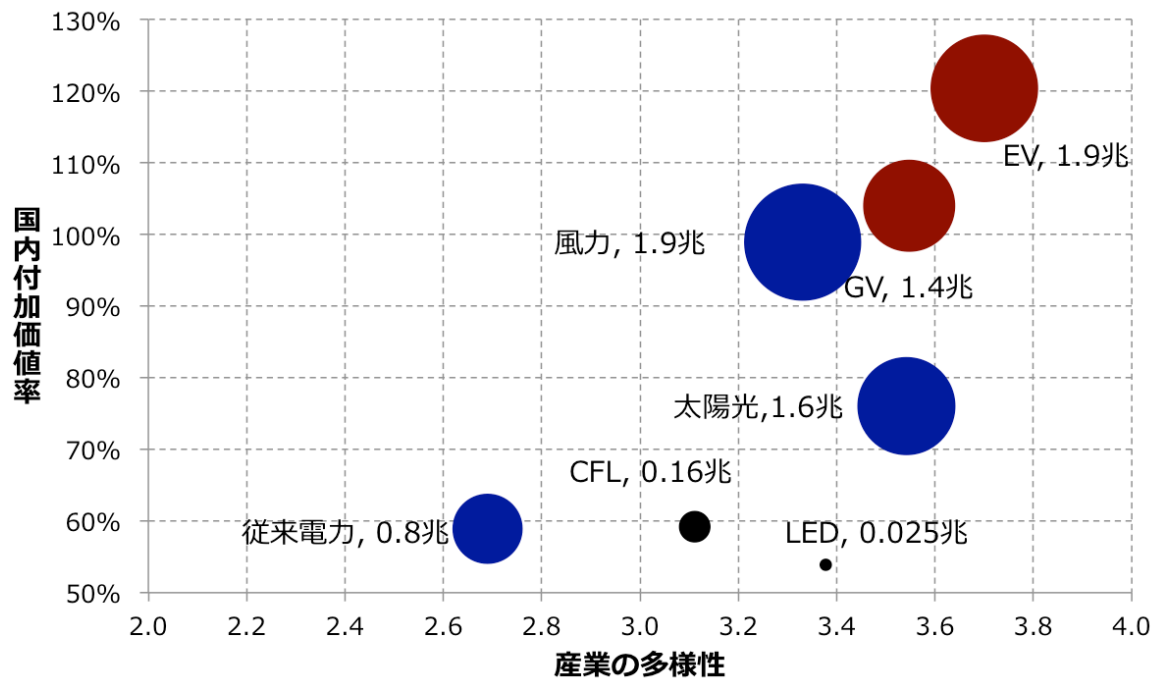


図 2.26: 製品輸出を仮定した場合の国内付加価値率

最後に、今回市場規模の 10 パーセントということで評価を行ったが、この値を増やしていくとなると別の観点も必要になってくる。例えば、風力や太陽光はある一定量以上導入されれば、系統安定化の必要が生じるため、蓄電池などの導入が必要であるが、今回は考慮していない。また、電気自動車に関しても、充電ステーションや充電ケーブルの影響を考慮していない。ランプに関しては、ほぼ 100 パーセントの切り替えが可能である。

第 3 章

経済性と GHG 削減を同時追求する企業行動

この章では、経済性と GHG 削減を同時追求する企業行動と、その理由となるような事象を既存の研究及び、様々な事例から著者が検証し、分類・体系化することで説明する。本研究では主に企業の環境性追求の側面としての EV に着目する。そのために、政府および企業の環境性追求、特に GHG 削減について説明し、経済性と環境性追求の両立とは何なのかを説明する。その後、第 3.2 項から 3 項にわたって、企業が環境性追求として EV シフトを行えるようになってきた理由を、規制や法環境の変化・投資環境の変化・消費者意識の変化の 3 つに分けて整理する。ただし、企業の EV シフトの理由は環境性追求の側面だけではないので、その他の要因も最後の節で説明しておく。

3.1 経済性と環境性の同時追求とはどういうことか

3.1.1 政府による企業活動のコントロールの手法

企業にとっての GHG 削減と経済性の両立について論じる前に、政府の GHG 削減について触れる必要があるだろう。各国政府は、企業を「その気に」させ、GHG 削減努力をさせるために、トレードオフを解消するような政策を実施すべきである。環境政策の設計は、規制的手法によるものと、経済的にマーケットインセンティブを与える手法の二つに分類できる。この分類の根本的な違いは、環境改善を目的として設計する場合か、汚染源に関する経済的な側面を操作するかの違いである（後者は目的外の効果や影響を及ぼす可能性がある）。さらに、経済的な手法に関しては、規制的手法が「ムチ（Stick）」であるとすれば、「アメ（Carrot）」に当たる経済的な優遇を与え政府が外部不経済を負担する場合（Carrot approach）と、企業に外部不経済の内部化を促すインセンティブを与え、企業に内部化をさせる 2 つに分けられるだろう（Market incentive approach）。

Carrot Approach は補助金やコストシェアの方法である。対策によるプライベートコストよりも利益の方が多くするよう設定するものであり、歴史的にはアメリカの農業においての政策が有

名で、耕地の保全につながるような農家にお金を出したり、環境的によくない土地を放棄することによってインセンティブを与えた。この手法は、外部不経済に金銭を与えることになるが、産業規模に対して成果の観点からいって社会的コストが高くつくし (Baumol and Oates, 1988)、その支払いの財源を税によって賄わなければいけないという点でも社会的コストが高くつくとも言われる (Atkinson and Stiglitz, 1980)。

企業にネガティブなコストを与え、外部不経済を内部化させる Market Incentive Approach で一番わかりやすいのはカーボンプライシングである。環境経済学において理論的には、ピグー税式のカーボンプライシングが、市場の失敗である外部不経済を是正する手段として考えられてきた (Pigou, 1920)。古典経済学の理論としては、限界被害金額と同額の税金が課税され、限界均等化原理が満たされるために、市場のメカニズムによって効率的な資源配分がなされるというものである。ただし、実際には限界費用曲線を求めることが非常に困難なため、ボーモル・オーツ式の炭素税が導入され、目標水準を定め、課税によって達成された水準と比較することで税率を上下させる手法が現実的となっている (Baumol and Oates, 1988)。それぞれの手法について、自動車業界も含めた過去の政策の例をあげておこう。

規制的手法 - CAFE 規制と ZEV(NEV) 規制

自動車業界においては、GHG 排出に関する規制は比較的長い歴史を持っている。オイルショックを契機に、米国では 1970 年代から、日本では 1980 年代から導入されている。自動車の GHG 排出に関する規制で主流を占めるのは CAFE(Corporate Average Fuel Economy) 規制と呼ばれるもので、企業の平均燃費を規制するものがある。この規制は自動車の燃費を左右する車重やサイズごとに燃費が設定され、企業の合計の新車燃費の加重平均を規制するものである。

CAFE 規制で特に厳しいのが欧州であり、2008 年に 2015 年における EU 全体の乗用車の平均 CO₂ 排出量を 130g/km とする規制が導入された。さらに、2021 年の規制値として、平均 95g/km の規制が導入されている。この規制は、1998 年に EU と ACEA(欧州自動車工業会) の間で自動車の CO₂ 排出量に関する自主規制の合意がなされ、2008 年までに欧州で販売される乗用車からの平均排出量を 140g/km に削減する目標が設定されており、それは達成されていないために踏み切った規制である。

自動車における規制的な手法は燃費規制だけでなく、販売車種により規制する手法も実施されている。カリフォルニア州では、1990 年から ZEV 規制が導入されている。ZEV というのは Zero Emission Vehicle の略であり、走行時に CO₂ を発生しない電気自動車や水素燃料電池自動車を指す。カリフォルニア州は、2040-2050 年に新車販売のほぼ全てを ZEV にすることを目指しており、そのためにカリフォルニア州で一定台数以上販売する企業が一定以上の ZEV やそれに準ずる車を販売し、クレジットという形で保有しなければいけないという規制をしている。2018 年からは規制がより厳しくなり、今までハイブリッド車で得られたクレジットが認められなくなり、純粋にクレジット認定される車種が BEV(Battery Electric Vehicle), FCV(Fuel Cell Vehicle), PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle), HICE(Hydrogen Internal Combustion Engine) に限定される (三井物産, 2017)。

同じような規制は中国でも実施され、中国政府は 2017 年 9 月 28 日に、NEV (New Energy Vehicle) 規制として、新車販売における新エネルギー車の割合を、2019 年に 10 パーセント、2020 年に 12 パーセントと義務付ける規制を明記した (日本経済新聞, 2017/9/29)。

“Carrot approach” - 補助金や優遇策による手法

環境製品やサービスに対する補助金や優遇措置も、企業の GHG 削減や環境製品開発促進のモチベーションを高めるという意味で、広く行われてきた手法である。IEA (2017) によると、2016 年にノルウェーで登録された新車の 29 パーセントが EV または PHV であった。この数字は、せいぜい 1 パーセント程度しかない世界の EV 発売と比較して、異様に大きな数値である。これを実現したのはノルウェーにおける補助金政策のおかげである。ノルウェーでは、世界的にもっとも EV の補助金の手厚い国であり、EV 所有者が、何千ドルの減税を受けられる他、各自治体でも、道路利用料金や駐車料金の免除など、様々な優遇策を講じている。一例として、ノルウェーのフェンノイ島と呼ばれる島では、島であるために、近郊の都市に出かけるために、トンネル利用料金がかかるが、EV を所有することで、そのトンネル料金を年間 5500-6500 ドル節約でき、その大きな優遇策のために、フェンノイ住民のほぼ 10 人に 1 人が EV を所有しているという (ロイター, 2017/09/22)。

この手法も規制的手法と同様、非常に大きな効果が見込めるが、持続可能性がない。優遇策により大量の EV が導入されると、政府や自治体の負担が大きくなる。そのため、ある程度普及されると、優遇策の見直しが始まることになる。米ジョージア州では、2015 年に 5000 ドル減税措置が撤回されると日産リーフの販売が激減し、デンマークでも政府の補助金カットにより、EV 輸入が激減し、テスラの EV 販売台数は 2738 台から 176 台に急落した (ロイター, 2017/09/22)。

“Market incentive approach” - 市場メカニズムに任せ、外部性の内部化を図る手法

GHG 排出の削減を企業の外部コストと考え、GHG 排出に対してコストを課すという手法もなされてきた。企業が GHG を排出すればするほど、企業負担が大きくなるという訳である。その最たる例がカーボンプライシングや炭素税である。カーボンプライシングは、北欧諸国ではかなり昔から実施されており、フィンランド・スウェーデン・デンマークではそれぞれ 1990・1991・1992 年に実施が始まっている。日本においても、2012 年から「地球温暖化対策のための税」が施行され、石油・天然ガス・石炭などの炭化水素燃料に対して一定額の税率をかけている (国税庁, 2012)。World Bank Group (2017) によると、2017 年の段階で世界各地で 45 のイニシアチブが実施されており、世界全体における GHG 排出の 14 パーセントをカバーしている (図 3.1)。

Figure 2 / Regional, national and subnational carbon pricing initiatives: share of global annual GHG emissions covered

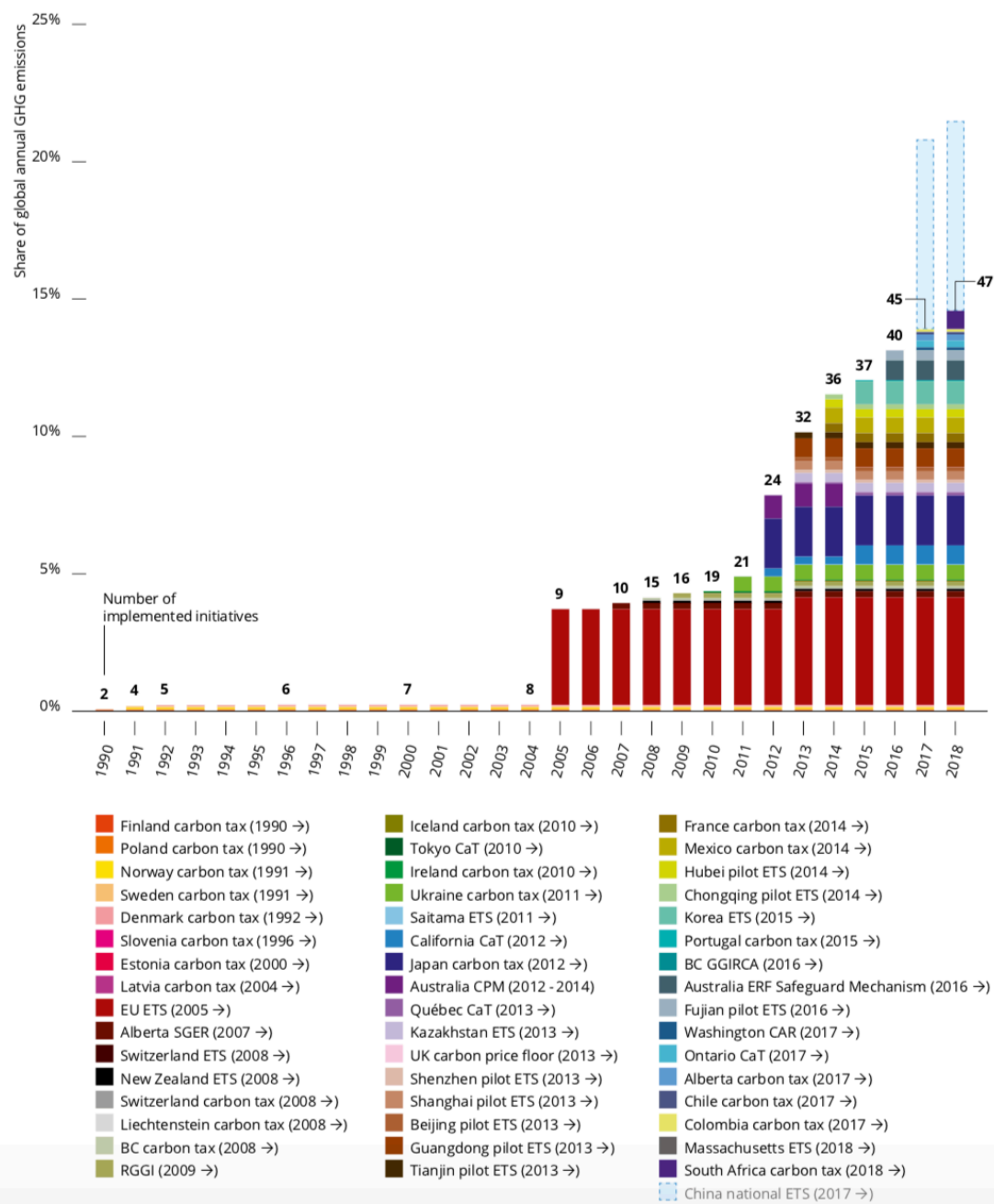


図 3.1: カーボンプライシングのカバー率の推移^{*1}

市場インセンティブ型の政策は、GHG 削減という意味では、ある特定の業界だけに負担が

^{*1} World Bank Group (2017) より引用。あくまでカーボンプライシングされている GHG 排出の割合であり、実質的な削減が見込めるかどうかは別の問題であることに注意が必要である。

いくわけではなく、すべての業界が平等の負担を持つことになり、非常に公平な手法である。一方、ある国で単独で実施されれば、企業負担が大きくなり、負担を嫌う企業が国外に逃げてしまうリスクも伴う。そのため、世界的に実施する必要があるが、世界中でどのように政策を運用していくかは非常に難しい。世界的に市場インセンティブ型の政策を行った例として、京都メカニズムをあげる。世界的に GHG 削減に対して 1997 年に京都で行われた第 3 回気候変動枠組み条約締約国会議（COP3）において採択された議定書に盛り込まれたメカニズムであり、主に排出量取引（Emissions Trading, ET）、クリーン開発メカニズム（Clean Development Mechanism, CDM）、共同実施（Joint Implementation, JI）、吸収源活動（Afforestation, Reforestation and Deforestation, ARD）のメカニズムからなる。このうち ET において、炭素クレジットを取引することができる。CDM および JI は先進国が開発途上国の GHG 削減事業を支援することにより GHG を削減することができる。また、森林による GHG 吸収分を計算に入れられるような仕組みが、吸収源活動である。その上で、各国に割り当てられる炭素排出枠（AAU, Assigned Amount Unit）が定められ、CDM・JI・ARD 活動によって得られた炭素クレジットを用いて、目標の排出枠を達成するというものである。

3.1.2 それぞれの手法のメリットとデメリット

前項で 3 つの例をあげたが、GHG 削減の効果としては当然規制的な手法が一番手っ取り早く、効果てき面である。図 3.2 に EU におけるパワートレイン別の車重と CO₂ 排出量の推移を示しているが、2004 年から 2007 年までは燃費改善速度が小さいが、CAFE 規制の始まった 2008 年から急激に燃費改善がなされていることがわかる。一般的に、それは大企業ほどスケールメリットが強く、人材も豊富で、環境対策を大規模に実施できる。財務的にも余裕のある企業が多いからであり、環境改善行動により社会に与える影響も大きく、規制者にロビー活動などを通じて、自社の都合のいいようにする行動もとりやすい（Alberini and Segerson, 2002）ためである。そう考えると、中小企業の倒産や失業を含む社会全体の遵守コストや、規制導入プロセスにおける政治的成本も大きいいため、直接規制はミニマムな水準を実現すべきである。

優遇策により企業にインセンティブを与える手法は、経済的な分配の視点からいえば、政府が“GHG 削減の目的のために”EV を推進するのは、政策としては妥当ではない。なぜなら、GHG 削減の手法は他にもあるはずで、それらへの優遇策が弱い状態で EV の優遇策だけを手厚くするのは、社会的には正しくないと言える。また、補助金により、競争に晒されない企業は競争力が弱まり、産業を強くしない可能性もある。

日本における、太陽光の例がいい例だろう。日本では、再生可能エネルギーに対する普及促進策として、2002 年に施行された RPS 法（Renewable Portfolio Standard, 電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法）などにより助成が行われてきたが、2005 年に助成が打ち切られて以降、世界一の生産量であった太陽光発電は他国に抜かれ、国内市場も縮小した（日本太陽

*2 EEA (2016) より引用

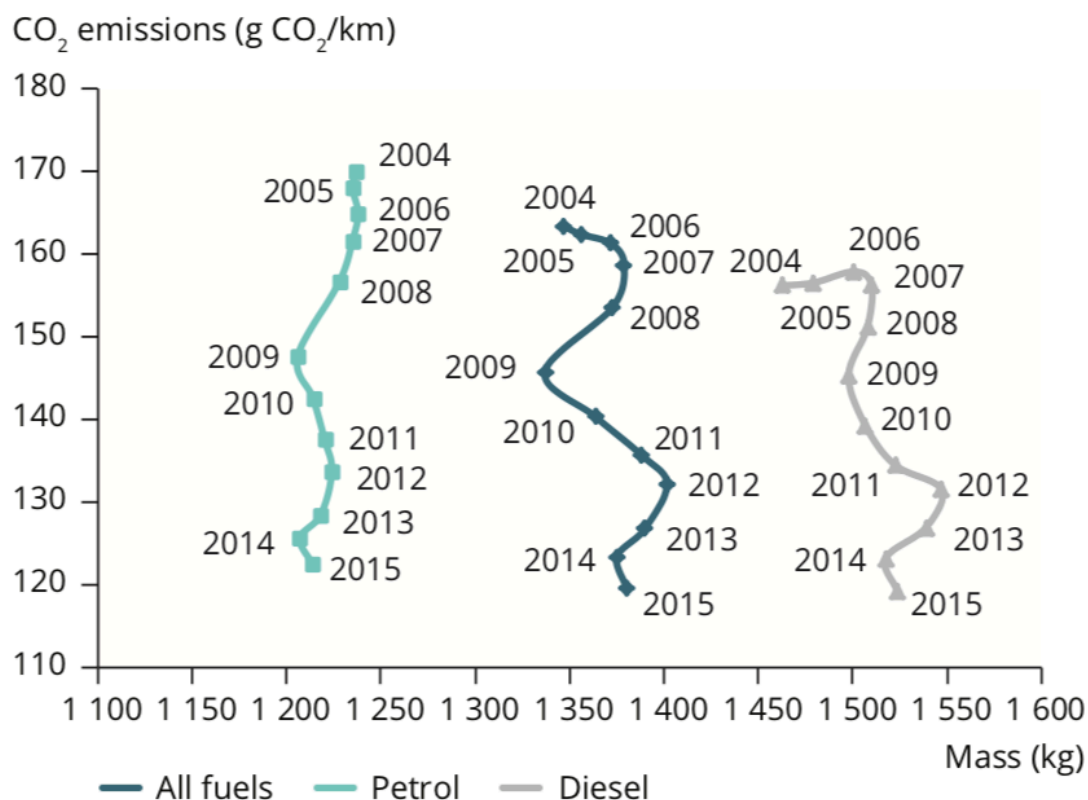


図 3.2: EU における燃費平均値の推移*2

光発電協会, 2010)。それに危機感を感じた日本は、2009 年に FIT 制度 (Feed-in-Tariff, 固定価格買い取り) を実施した。しかし、高い買い取り価格に寄りかかり、複雑な流通構造や日本製パネルの積極採用など高コスト体質が続き、経済産業省 (2017) によれば、太陽光発電システムの設置費用は欧州の 2 倍程度にのぼっているのが実情である。一方で FIT 制度の見直しで国産パネルを優遇することはなくなっている (日本経済新聞, 2017/10/28)。結果、図 3.3 のように、2009 年以降大幅に太陽電池セルの出荷量は伸びたものの、2012 年以降は輸入太陽電池モジュールが多くを占めるようになり、徐々に国際競争力を失ってきているのがわかる。

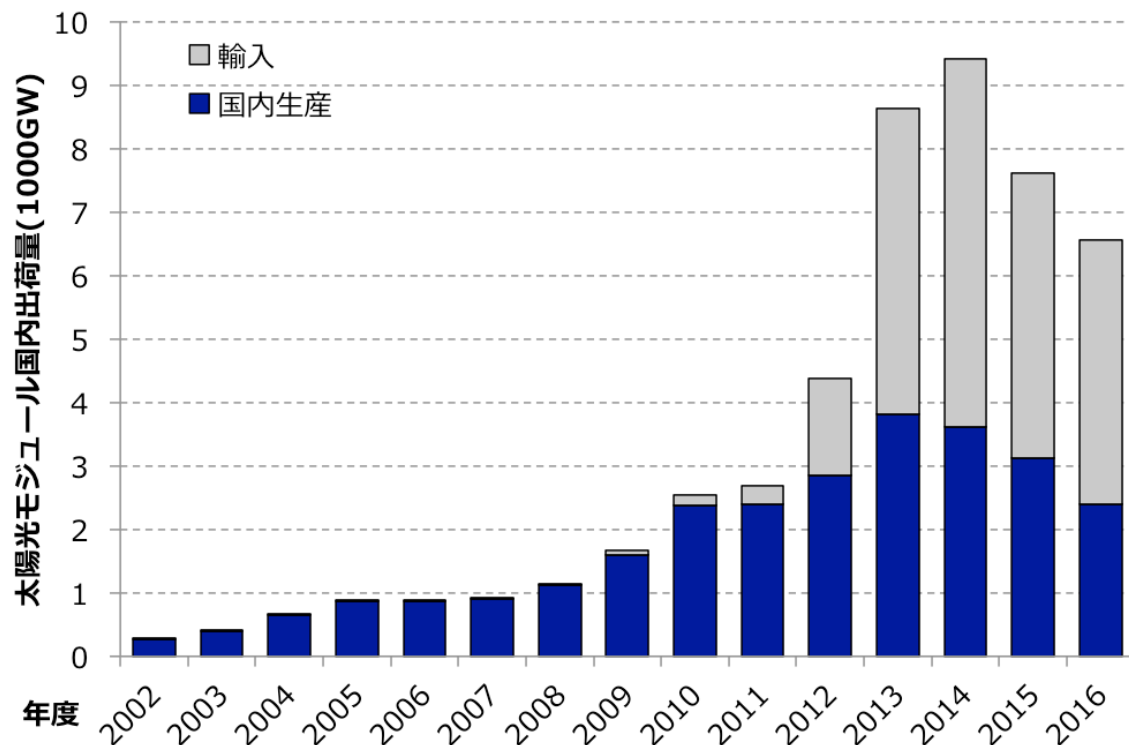


図 3.3: 太陽電池モジュールの国内出荷量推移^{*3}

その意味では、カーボンプライシングの導入は、GHG 削減という意味では、非常に公平な手法である。ある特定の業界だけに負担がいくわけではなく、すべての業界が平等の負担を持つことになる。一方、ある国で単独で実施されれば、企業負担が大きくなり、税負担を嫌う企業が国外に逃げてしまうリスクも伴う。実際、早期に炭素税の導入されたフィンランド・スウェーデンでは、炭素税導入と同時に法人税の引き下げを行い、税金の負担増を相殺する方法をとっている（環境省, 2017）。

一方で、市場メカニズムに任せインセンティブを与える手法の難しさは、京都メカニズムが証明している。効果や、メカニズムの妥当性に関する議論は数多くあるが、本論文では本筋ではないので割愛するが、CDM クレジットの価格推移がその難しさを物語っているだろう。図 3.4 に CDM および JI に基づくクレジットの発行量と、セカンダリー市場における CER 価格を示す。CER とは、Certified Emission Reduction の略で、CDM で発行されるクレジットのこと、ERU は、Emission Reduction Unit の略で、JI により発行されるクレジットのことである。この図によると、CDM クレジットは 2008 年以降 35 ドル/tCO₂e から 2014 年には 0.2 ドル/tCO₂e 程度にまで下がっている。同時期のスウェーデン・フィンランドにおける炭素税がそれぞれ 130 ドル/tCO₂e、64 ドル/tCO₂e である（WBG, 2015）ことを考えると、かなり小さな水準であることがわかる。ま

^{*3} 日本太陽光発電協会（2002-2016）より作成

た、クレジット発行量も、2012 年をピークに、落ち込んでいることもわかる。

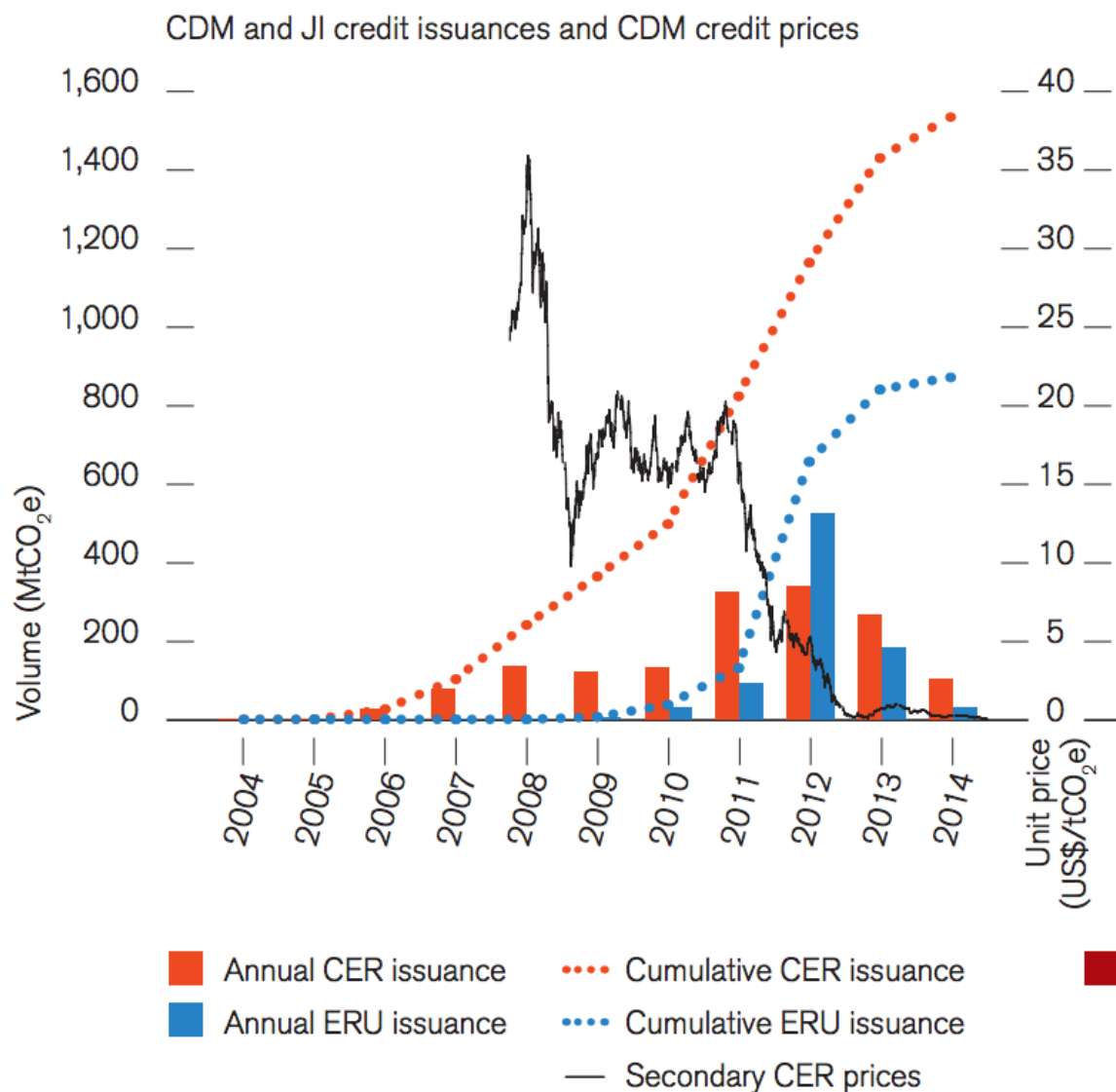


図 3.4: CDM/JI に基づくクレジット発行量と CER のセカンダリー市場価格の推移^{*4}

価格暴落の背景は、2008 年に発生したリーマンショックによる経済停滞の長期化により欧州での European Union Allowance（欧州排出枠）においても余剰が発生したことがまず挙げられる。加えて、排出権購入が期待されていた日本が、京都議定書第 2 約束期間には参加しないと表明したこともクレジット需要に影響を生じさせた。また、過去に国連登録された CDM プロジェクトが稼動し始めクレジット発行が順調に進む案件が増えたことからクレジットの供給過剰が生じた（日経 BP 社, 2012）。このように、需要供給によって価格の変化するような炭素価格は、時々

^{*4} WBG (2015) より引用

済的な状況などの要因によって大きく左右されるため、価格の維持も難しければ、実質的な GHG 削減効果を維持することも難しい。

3.1.3 環境技術イノベーションによる GHG 削減の考え方

今までこれまでの GHG 削減対策の歴史を見てきたが、経済性と社会性はトレードオフであるという考えから規制的な枠組みで捉えられていたため、GHG 削減は規制的に行われてきた。一方で直接規制は、中小企業の倒産や失業を含む社会全体の遵守コストや、規制導入に関して、クリアな評価手法を明示し、モニタリングしていかなければいけないなど、規制導入コストも大きいため、直接規制はミニマムな水準を実現すべきである。さらに、規制によって最も技術革新力のあるリーディング企業は潰されてしまう可能性がある。谷川 (2004) はリーディング企業の潜在力は、少なくとも直接規制によっては十分に発揮されておらず、規制による環境技術の普及は効果的に進みうるとしても環境技術革新の促進という観点からは限界があるとし、リーディング企業の自主的な研究開発努力による技術革新を進めるべきだと主張している。

国レベルでも、規制という観点ではなく環境分野におけるイノベーションを経済発展・成長に結びつけようという動きがある。NEF (2008) は、金融・財政の再構築などとともに、再生可能エネルギーへの展望を明示したエネルギー政策の再構築、環境再生事業による雇用の創出などの政策提言を行い、それを「グリーン・ニューディール」と名付けた。同時期に、オバマ元大統領は CAP (2008) によって提案された環境関連技術の分野で 200 万人の雇用を創出する「グリーン・リカバリー」をもとに、2008 年の大統領選で新エネルギー政策として取り入れ、2008 年 9 月に起こったリーマンショックによる大不況からの脱却のための景気対策・雇用対策と結びつけたのは記憶に新しい。さらには世界レベルでも、Barbier (2009) が 2008 年 10 月に、「グローバル・グリーン・ニューディール」と名付けられたグリーン経済イニシアティブを立ち上げ、この考え方が世界的に知られるようになった (伊藤康・浦島邦子, 2013)。このように、厳しくなる規制の中でも企業がより技術による GHG 削減の達成を進められる、すなわち企業が経済性と GHG 削減を両立できるような環境を整えるという考え方は醸成されつつあると言えるだろう。

3.1.4 企業による経済性と GHG 削減の両立の事例と条件

企業が経済活動と GHG 削減を同時に達成するにはどうすればいいのだろうか。Porter and Kramer (2006) は、社会性を本業において追求する企業の行動である CSV の 2 つのパターンとして、Inside-Out と、Outside-In をあげている。Inside-Out の見方は、自社の製品やサービスや、バリューチェーン内での企業の活動が、社会に正の価値をもたらしていくものである。社会性という観点で幅広くいえば、雇用から、インフラの整備、資材調達経路の見直し、安全な働き場所の提供など様々なものが考えられる。GHG 削減という社会性追求に関して、わかりやすい例はトヨタ自動車のプリウスである。トヨタ自動車は、1997 年に他の企業に先駆けてハイブリッドエンジンという環境負荷の低いエンジンを搭載した HV を発売した。HV は、他の自動車と比べて数十

万円高価なものであったが、2017 年に 1000 万台の累積の販売台数を確立した。環境製品によって、自社の利益を高めた例である。

欧州の風力もいい例だろう。デンマークの国営電力会社エルステッド^{*5}は、欧州有数の石炭依存の電力会社だったが、事業を大きく入れ替え、現在は洋上風力発電が主力の企業である。CO2 排出量において 2006 年比で 2017 年には 52 パーセント削減を達成しており、2023 年までに石炭を全廃し、96 パーセントという目標を掲げている (SustainableJapan, 2017)。さらに価格面でも、欧州の洋上風力発電は 6 円/kWh ほどになることもあり、石炭火力並みの価格競争力を持ち始めている (日本経済新聞, 2017/01/28)。環境性の高い事業かつ国営ということもあり、息の長い研究開発を行うことができた。トヨタが消費者の WTP を上げたのとは逆に、企業努力により、コスト削減を実現した例であると言えるだろう。Outside-In とは、自社の事業と関わりの深い社会問題を特定し、その社会問題の解決に尽力することで、同時に自社製品の販路や、自社ブランドの向上を通じて、自社製品の競争力を持たせるという手法である。岡田正大 (2016) および日経ビジネスオンライン (2016) は、その好例として、ヤマハ発動機株式会社の開発途上国での船外機事業を挙げている。現在ヤマハ発動機はサブサハラ地域で船外機の 75 パーセントのシェア、部分的には 90 パーセントを誇るが、事業を始めた 1960 年代には、丸太船で漁は行われており、船外機が受け入れられる状態ではなかった。そこで、船外機や船体売るのではなく、開発途上国沿岸部に漁業開発・産業振興を図り、水産業そのもの自体を立ち上げることで、船外機を売れる状況を作った。そのために漁法の講習会や、船外機のメンテナンスの方法などを、公的セクターと連携しつつ、地域の援助を行ったという例がある。その結果、長年かけて作りあげたビジネスエコシステムが、他者への参入障壁として機能しているという。

これに近い一例として、パナソニックの 100 Thousand Solar Lanterns Project^{*6}があげられるだろう。このプロジェクトは、無電化地域にソーラー式の電灯を寄贈し、現地の人々の労働時間の拡大による農業以外の収入増加や勉強時間の確保、さらには将来的にはコミュニティの自立的な発展を目指す活動である。まだビジネスにはなっていないが、ブランド認知や流通網の拡大、現地政府や行政機関との接点の拡大、消費者からの商品フィードバックなどを得ることも目的にしている^{*7}。Inside-Out と Outside-In いずれの例も、共通するのは社会性と経済性の同時の追求を目指していることであるが、実際には古典的な経済性と社会性のトレードオフは少なからず存在し、岡田正大 (2016) は「ある特殊な能力を持った企業のみが、CSV を実現することができるという理解が極めて現実的」であり、「伝統的戦略理論の文脈においても、CSV を実現しうる企業が保有する経営資源や能力は、希少性や模倣困難性など、少数の企業のみが実現しうる持続的競争優位の定義と、よく符合」すると指摘している。その意味でいえば、社会性と経済性の追求は、政策で決められるべきものではなく、個々の企業が裁量的に判断して追求するかしないかを決めるものである

^{*5} 旧 DONG Energy 社。2017 年 10 月に社名を変更

^{*6} Panasonic "100 Thousand Solar Lanterns Project"

<http://panasonic.net/sustainability/jp/lantern/about.html>

^{*7} 朝日地球会議 2017 パネル討論「『社会の課題と企業の役割』 企業として、企業市民として」

http://www.asahi.com/ad/awf2017/panasonic/?iref=top_adawf2017

と言える。

EV の業界において、技術的にも難易度が高く、政策的な根拠が見込めない EV 開発を進めるのは、企業が EV 業界を GHG 削減手法としてだけでなく、本業として経済的な利益も見込める領域と考えているからではないかとも考えられる。次項から、企業が EV シフトを進められるようになってきた理由を、EV 以外の事例も参考にしつつ、類型化しまとめていきたい。

3.2 類型 1：規制や法環境の変化に対応する自主的な企業行動

3.2.1 GHG 排出に関する規制の高まりと損害賠償リスク

GHG 排出に関しては、トランス脂肪酸やタバコと異なり、CO₂ がもともと自然界に多く存在する物質であり、その物質自体が人体に即有害なものでない。さらに言えば、GHG は排出後広範囲に広がるものであり、モニタリングも大掛かりであるとともに、外部不経済を被る対象が不明確であった。そのため、科学的に CO₂ の排出増加が気候変動を引き起こしていると評価されたとしても、規制や損害賠償が難しいと考えられていた。実際、1999 年の段階では、アメリカで環境保護団体がブッシュ政権の気候変動対策に対してクリーンエア法に基づき CO₂ を含む GHG を大気汚染物質に指定し、規制するよう EPA に請願したが、「クリーンエア法で GHG を規制する権限は与えられていないし、かりに与えられていたとしても GHG と気候変動の因果関係が明らかでない中、経済性を欠く規制の設定は不合理である」として、請願を拒否している。

しかし、近年その考えも変わってきている。実際に 2003 年、環境保護団体に加えて、複数の州が自動車から排出される CO₂ や、その他の GHG の規制を求めるため、クリーンエア法を根拠に訴訟を提起した。具体的損害が無いと多くの州は却下されたが、マサチューセッツ州のみ原告適格があると認められた (Massachusetts, 2007)。その後の最高裁で、EPA は、クリーンエア法が GHG も対象とする、すなわち、EPA はクリーンエア法に基づいて GHG 規制ができると解釈が変更されたことになる^{*8}

さらに、環境に関する規制については、規制自体の考え方も変わりつつある。環境省の環境基本計画を昔から順に追っていくと分かり易い。平成 12 年の第二次環境基本計画には直接的規制について、ナショナルミニマムの確保について記載がある。直接的規制を生命や健康の維持のような社会全体として一定の水準を確保する必要があるナショナルミニマム的な性格を持っている事項を中心に活用するとある。しかし、平成 18 年の第三次環境基本計画には、ナショナルミニマムを確保するが、できるだけ現場に根ざした判断を行い民間において自主的に設けられた基準との有機的な連携に努めると書くにとどめ、平成 24 年の第四次環境基本計画にはナショナルミニマムについての記載がなくなっている。政府の環境規制に関する考え方が、時代とともに変化してきており、必ずしも規制が最低限のものになされるとは限らなくなっているのが現実である。

^{*8} ただし、損害賠償請求については認められていない。アラスカ州先住民が、気候変動による洪水被害でエクソン・モービルを提訴したキバリナ事件では、GHG 規制に関する法律が未整備な段階では、損害賠償請求は起こせないとして政治的問題であるとしている (Johnson, 2013)。

GHG 排出に対する損害賠償の可能性も現れてきている、寺西 (2017) は、タバコ会社訴訟に適用されているような RICO 法 (Racketeer Influenced and Corrupt Organization Act, ゆすり、たかり、脅迫行為による影響を受けた組織および腐敗した組織に関する法律) を例にあげ、既存の法律が GHG 排出に拡大適用の兆しがあるとしている。タバコ業界においては、タバコ会社が健康被害や依存性について熟知しながらそれを隠しつつ故意的に販売を継続していたことに対して賠償が成立した判例がある。例えば、1998 年にアメリカにおいて 50 の州政府が原告となり公的医療費の返還を求めてタバコ会社を訴えた裁判では、2060 億ドルで和解が成立した。個人が訴えた例でも、2000 年以来次々と個人が勝訴し、懲罰的賠償が認められている (寺西, 2017)。炭化水素燃料を多く扱い大量の GHG 排出を行う企業も、炭化水素燃料を使用することによる外部不経済を知っていたにも関わらず、隠して販売を続けたとすれば、同じような例にあたる。例えば、米エクソン・モービルの研究者は、1970 年代から化石燃料使用による負の影響を幹部に知らせていたが、幹部は公表しないどころか、温暖化懐疑論を意図的に広めていたとして、米連邦捜査局の調査対象になっている (Schwartz, 2015/11/06)。このように、今まで考えられてこなかった、GHG を多く排出する企業に対する訴訟リスクは年々高まっており、企業が自主的に自社の環境影響およびエネルギー使用状況を公表し、自社で行っている環境対策をアピールするインセンティブが高まっていると考えられる。

3.2.2 企業の行動：自主的な規制/損害賠償リスクの回避

このような政府の規制強化に対して、企業が何かしらの策を講じ始めたのは事実であり、より影響力のある企業は、できるだけ直接的な規制をされてビジネスの邪魔をされないような手法を考えてきた。その方法の一つとして、自主的な規制 (Voluntary Approach) が挙げられ、2000 年以降世界的に企業や業界による自主的な環境保護対策が急激に増えてきた。「自主的」というのは、政府などの規制者が規制を行わない状況において、炭素排出企業や業界が自発的に環境対策を実行するものである。ただその背景には政府による規制を恐れて行うものであったり、ロビー活動をしやすいするためであったりと様々な理由があることが往々にしてある。図 3.5 で示すように、自主的なカーボンオフセットの発行量が着実に増えており、CDM の時とは異なり、価格も安定しているのがわかる。経済主体の自主的な行動に環境対策を任せるという手法 (Voluntary Approach) に関する研究は、日本では多くは見られないが、海外、特に欧米圏に多く見られる。2000 年頃のアメリカを中心に、環境経済学の分野において活発であった。Alberini and Segerson (2002) によると、環境保護に対する汚染源の自主的な行動は、主に 3 つに分けられる。1 つ目は、汚染源側が主体的に、規制がなくともなされる自主的な行動で、ビジネス的なメリットに起因するものであったり、企業の環境保護主義によるものであったり、産業界の自主規制によるものであったりする。このような行動を、規制者は推奨したり評価したりすることはできるが、方法については口出しはできない。2 つ目は、規制者と汚染源による双方向的な協定によるものである。この協定は交渉に

*9 WBG (2015) より引用

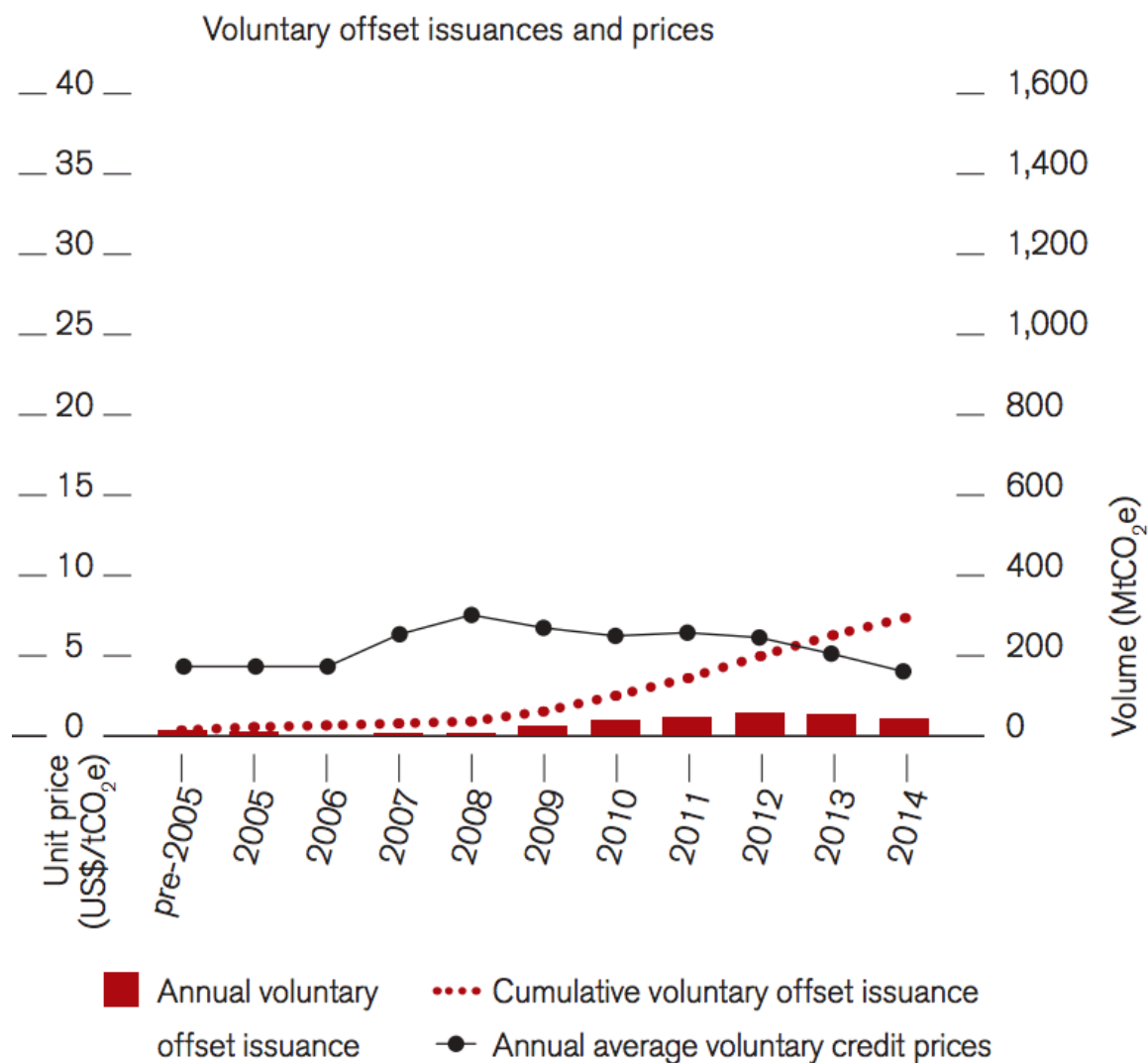


図 3.5: 自主的なカーボンオフセットの発行量と、発行価格の推移^{*9}

よって定められ、汚染源は削減義務を負う代わりに、金銭的な優遇や、規制緩和などを求めることができる。汚染源と規制者で情報交換がなされれば、考え方のギャップも埋まり、より効果的に改善できるというメリットがある。3つ目は、規制者が一方的に、優遇や義務および達成目標を決めるものである。これはあくまで達成目標であり、達成されない場合に罰則等があるわけではない。

自主的な行動では、汚染側が達成水準を満たすために、企業側が手段を選ぶことができ、最小限のコストで進むので、一般的な規制より、効果的に進むと言われている。一方で、一番多くの外部不経済をもたらしている汚染源と、削減意志のある汚染者が必ずしも一致するとは限らないため、業界全体により自主的な規制が行われた場合、“Free-rider incentives”が働くと考えられる。業界内において環境対策に熱心ではない企業が自主的に規制を行わず、環境対策に熱心な企業による

分で目標達成が賄われてしまうかもしれないというわけである。ただし、Segerson and Dawson (2001) によると、こういった場合も、自主的な業界削減プログラムは成功し得るとしている。なぜなら、ある企業が削減目標を達成できずに、その結果規制が敷かれた場合、結果的にはその企業も規制遵守する必要がある、より大変な対策をしなければならなくなるからである。

効率性に関しても、市場インセンティブによる手法と比較すると劣るという指摘がある(武田史郎, 2017)。そういう意味では、自主的な行動は、規制の延長線上にあると思われる。Segerson and Miceli (1998) は、自主的な活動による成果は、規制側によってちらつかされる規制の脅威 (Regulatory Threat) の大きさに直接の影響を受けるとしているし、Khanna and Damon (1999) や Lyon and Maxwell (2007) も同様の結果を結論づけている。

3.2.3 規制を先回りした企業の自主的内部化の早期化 (Regulatory Threat)

これらのような規制を見据えた企業の行動に関しては、“Regulatory Threat”といわれ、研究が進められている。Lyon and Maxwell (2007) は、「厳しい政府規制を先取りする行動」、「来るべき規制を骨抜きにする行動」、「実績を作り、規制当局から規制上又は遵守上の救済措置を得る行動」及び「ライバルに対する優位を得るべく反競争的規制を促す行動」などの規制戦略最適化行動が企業の自主的環境対応のインセンティブになることを指摘している (Lyon and Maxwell, 2007)。

例えば、1995 年に、ドイツの 15 の工業会が、2005 年の CO₂ 排出を、1987 年比 20 パーセント削減すると宣言した。1996 年にはさらに 4 つの工業会が加わった。ドイツ政府と産業団体の多少の交渉はあったものの、削減目標は最終的に産業団体が決定した。ドイツ産業界が、排熱への規制や、炭素税が設定されるのを嫌がり、より柔軟な CO₂ 削減をできるよう、自主的に動いた例である。この行動には、大手エネルギーサプライヤーも含め、産業エネルギー消費の 80 パーセントをしめる業界が参加した (Alberini and Segerson, 2002)。近年では、欧州委員会 (EC) と日本自動車工業会 (JAMA) が、「2012 年までに EU 内で販売される全乗用車の平均燃費を CO₂ で 120g/km とする」という 1995 年の欧州理事会及び欧州議会による政治的コミットメントを達成するための手段として、2000 年に「2009 年までに EU 域内で販売される乗用車の平均燃費を CO₂ で 140g/km とする」旨の自主協定に合意した。これは、欧州委員会と欧州自動車工業会 (ACEA) がその前年の 1999 年に「2008 年までに EU 域内で販売される全乗用車の平均燃費を CO₂ で 140g/km とする」旨の自主協定を締結したことに対応したものである。谷川 (2004) は、これもできないとなると元々自主協定に不満を有する NGO や欧州議会から直接規制の導入の議論が出て来かねないので、規制達成は容易ではなかったものの、「達成できないとはいえない」事情があった。逆に、こういう意味での NGO や欧州議会からの潜在的圧力が “Regulatory Threat” として機能したという (谷川, 2004)。

Alberini and Segerson (2002) は、“Regulatory Threat” が有効に機能するためには、「脅威」の信憑性が高いこと、そして信頼できるモニタリングシステムが整備されていることが重要であると指摘しているが、近年そのハードルが下がってきている。GHG 削減に関してではなく、トランス脂肪酸に関する例であるが、Mayer and Kerby (2010) は、外部不経済に対する企業の対応は大き

く変わったと論じている。トランス脂肪酸の健康被害が報じられると、法的な規制が見直される前に食品・外食産業は製法や使用する調理用オイルを変更するなど素早く対応した。アメリカの食品王手クラフト・ハインツは、2005年に、自社製品の脂質に関する改革をし、これ以上増やさないと宣言し、2006年以降の全製品での使用を削減するとした (navigater.com, 2015/12/23)。トランス脂肪酸は、LDL コレステロールの上昇をもたらし、心臓発作を引き起こすとして、規制への機運は着実に高まっていたものの、実際に FDA (Food and Drug Administration) により規制されたのは 10 年後の 2015 年である (FDA, 2015/06/17)。これは、法律的な規制や訴訟が起こされる前に、企業活動の副作用として企業が周辺環境に及ぼすが支払い義務を負わない影響である外部性を、規制の信憑性が確実ではなく、モニタリングシステムが整備されているわけではない段階から、自ら内部化した事例である。Mayer and Kerby (2010) はこの企業の外部性の内部化への素早い対応について、以前は客観的データで外部性と企業の活動の因果関係が示せなかったものであっても、近代様々なデータに市民がアクセスできる社会になったことが大きな理由だと主張している (Mayer and Kerby, 2010)。

3.3 類型 2：投資環境の変化に対応する企業行動

3.3.1 ESG 投資の高まり

近年、欧米を中心に PRI (Principles of Responsible Investment) に基づき投資する考え方が浸透してきている。PRI は責任投資原則という機関投資に関する国際的なガイドラインであり、投資家により策定され、2006 年に発足した。国連からも支持を受けており、署名機関は 50 カ国超から 1700 機関以上が集まっている (2017 年 3 月末現在)。図 3.6 に PRI に署名する機関の数と運用投資額の推移を示すが、発足から一貫して署名数・投資額ともに増えていることがわかる。PRI の基本的な考え方は、投資家が投資分析と意思決定に ESG 課題を組み込むことを宣言し、ESG に関する情報公開を自分たちにも、投資先にも求めるものである。ESG とは、Environment, Society and Governance の略で、環境・社会・ガバナンスの観点のことである。長期的視点に立てば、ESG に配慮した経営を行う企業への投資が、究極的にはリスクヘッジされ、最大限の利益が得られるという発想のもと、自分たちの利益も求めているというのが特徴的と言える。

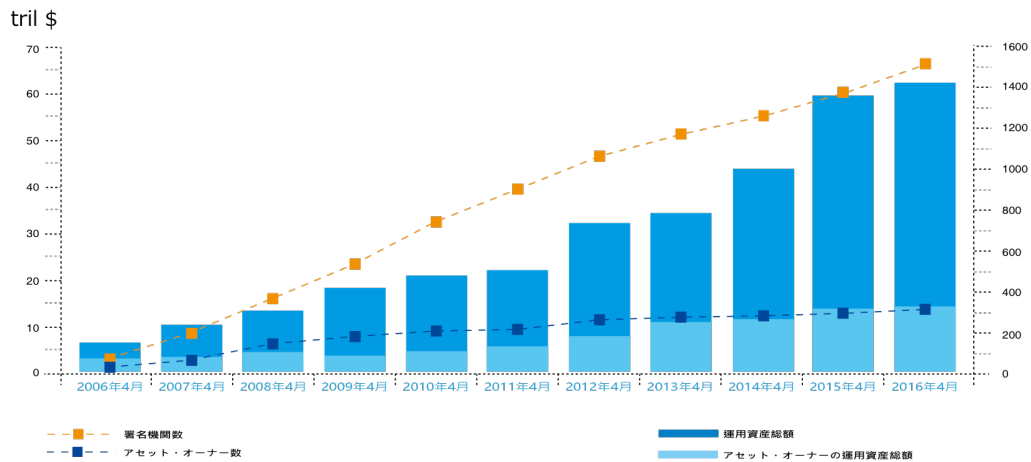


図 3.6: PRI に署名する機関の数と運用投資額の推移^{*10}

GSIA (2016) は、ESG 投資を以下の 7 つに分類している。

1. ネガティブスクリーニング (Negative/exclusionary screening) 2016 年現在、15 兆ドルの資産残高があり、7 つの中で 1 番目に大きな手法である。武器、ギャンブル、たばこ、アルコール、原子力発電、ポルノなど、倫理的でないと定義される特定の業界に属する企業を投資先から除外する戦略である。1920 年代に米国のキリスト教系財団から始まった最も歴史の古い手法で、今では欧州でも広く普及している。
2. ポジティブスクリーニング (Positive/best-in-class screening) 同種の業界の中で ESG 関連の評価が最も高い企業に投資する戦略。ESG 考慮の高い企業は中長期的に業績が高くなるという発想に基づく。一方、投資ユニバース (投資先企業リスト) が小さくなってしまおうという指摘もある。1990 年代に欧州で始まった手法である。
3. 規範に基づくスクリーニング (Norms-based screening) 2016 年現在、6 兆ドルの資産残高があり、7 つの中で 4 番目に大きく、ESG 分野での国際基準に照らし合わせ、その基準をクリアしていない企業を投資先リストから除外する手法である。2000 年代に北欧で始まった比較的新しい手法。ポジティブスクリーニングに比べ投資ユニバースを大きくすることができると評価する専門家もいる。
4. ESG インテグレーション型 (ESG integration) 2016 年現在、10 兆ドルの資産残高があり、7 つの中で 2 番目に大きな手法である。投資先選定の過程で、従来考慮してきた財務情報だけでなく積極的に ESG 情報も含めて分析をする戦略である。特に年金基金など長期投資性向の強い資金を運用するファンドなどがこの手法を取り入れる傾向がある。
5. サステナビリティテーマ投資型 (Sustainability-themed investing) サステナビリティを全面に謳ったファンドへの投資。サステナビリティ関連企業やプロジェクト (特に再生可能エネ

^{*10} PRI (2016) より引用

ルギー、持続可能な農業等)に対する投資が有名で、太陽光発電事業への投資ファンド、グリーンボンドなどがこのカテゴリーに属する。

6. インパクト投資型 (Impact/community investing) 社会・環境に貢献する技術やサービスを提供する企業に対して行う投資。比較的小規模の非上場企業への投資が多いため、ベンチャーキャピタルが行っていることも多い。インパクト投資の中で、社会的弱者や支援の手が行き届いていないコミュニティに対するものは、コミュニティ投資と呼ばれる。
7. エンゲージメント・議決権行使型 (Corporate engagement and shareholder action) 2016年現在、8兆ドルの資産残高があり、7つの中で3番目に大きな手法である。株主として、株主総会での議決権行使・日常的な経営者へのエンゲージメント・情報開示要求などを通じて投資先企業に対してESGへの配慮を迫る、アクティビスト/物言う株主とも呼ばれる。近年は、気候変動関連や役員報酬に対して声を上げることが多い。

3.3.2 GHG 高排出事業に関するリスクの高まり

石炭事業におけるダイベストメント

ESG投資の分類のうち、一番金額の大きいネガティブスクリーンや、規範に基づくスクリーンという考え方は、リスク回避の側面がある。GHG排出に関することでは、気候変動問題の顕在化によって、過去20年に渡り、技術革新や、投資家の行動がより大きな問題となってきた。特に、国際的な気候変動枠組みが制定され、GHG排出の外部性への課金の議論が進む中、炭素を多く排出する技術が“閉じ込められて”しまう懸念が高まってきた (Unruh, 2000)。その結果、炭素を多く排出する技術を利用する資産価値が下がっていくリスクが生じることになる。すなわち、以前までは投資家にとってリスクのなかったGHG排出がリスクとなり、GHG排出の多い技術、特に石炭関連産業への投資の抑制 (ダイベストメント) という動きが現れ始めた。

ダイベストメントの動きが現れ始めたのは、英国のシンクタンク、カーボン・トラッカーによる2011年の「カーボンバブル」の報告書である (CTI, 2011)。報告書によると、世界の企業や国などが保有している全ての化石燃料資産を全て燃焼した場合に排出されるCO₂が、2兆7950億トンに達する。そこから、危険な気候変動の影響を避けるため、2050年までに世界の平均気温の上昇を産業革命前と比べて2度未満に抑えようとする、排出して良いのはわずか5650億トンであり、世界が保有している化石燃料の2割のみというものである。すなわち、2度の平均気温上昇を前提とすると、現在企業の資産として計上されている化石燃料の8割は、その価値が実現することのない座礁資産 (回収できない資産) であるという。現在その価値が過大に評価されているだけで、将来的に“カーボンバブル”が弾け、金融危機をもたらすおそれがある、と警告した。

政府としても、石炭火力に対する動きは顕著であり、2013年6月には、米国が「気候変動に関する行動計画 (オバマアクションプラン)」を発表した (TheWhiteHouse, 2013b)。これには、国内排出削減・気候変動影響への備え・気候変動対策の国際的リーダーシップを米国が取ることが記載され、石炭火力発電所について連邦レベルの基準が必要と記載された。それと同時に、オバマ大

統領は、EPA (Environmental Protection Agency, 環境保護庁) に対して、2013 年 6 月 25 日に「電力セクターの炭素排出基準に関する大統領覚書」を発表し (TheWhiteHouse, 2013b)、石炭火力発電所における CO₂ 排出基準に、既設の石炭火力発電所を加えることを指示した。また、海外の新規石炭火力発電事業への米政府による公的な金融支援を終了すると共に、各国政府及び多国間開発銀行 (Multilateral Development Banks: MDBs) にも同様の措置を取るよう求めることを言明した (TheWhiteHouse, 2013a)。

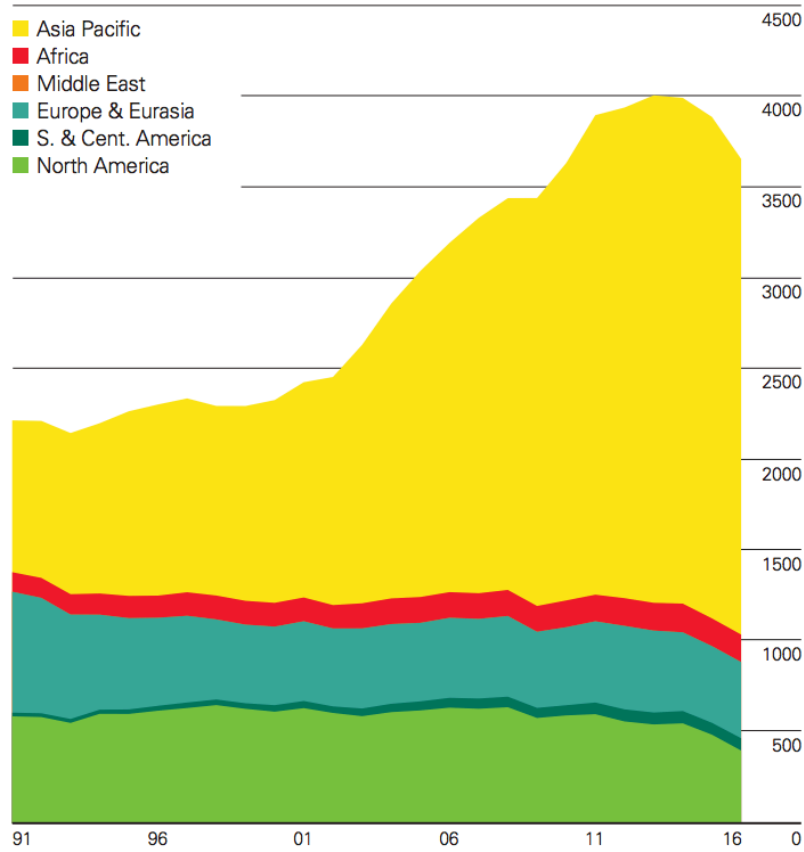
それを受けるように、世界銀行、米輸出入銀行、欧州投資銀行、欧州復興開発銀行などの金融機関が石炭火力への国際的な融資の原則停止を表明し、2015 年 11 月の OECD 輸出信用・信用保証部会の会合では、海外石炭火力発電事業に対する公的支援の規制が合意された。この合意は、低効率の石炭火力発電事業に対する支援のみが対象であり、さらに低所得国の中小規模案件に限定されているが、石炭火力の新設を国際的に規制する流れが始まったと言えるだろう。この動きは、民間金融機関についても現れ、2015 年 5 月にバンク・オブ・アメリカが石炭への投資方針を変更したのを皮切りに、シティバンク、BNP パリバ、モルガン・スタンレー、ウェルズ・ファargo、JP モルガンチェース、ドイツ銀行などが石炭からのダイベストメント方針を発表した。

国際的なダイベストメントの潮流は、実際に石炭業界に影響を与えており、図 3.7 上のように、増加一辺倒であった石炭生産量が、2013 年を境に減少に転じている。石炭価格も、2011 年から、右肩下がりに下落していることがわかる。自然エネルギー財団 (2016) によると、2014-2016 年にアメリカの上位 17 の石炭生産企業のうち、上位 1,2 位を含む 5 社が撤退/倒産している。もちろん、石炭生産企業撤退/倒産は、ダイベストメントだけでなく、石炭価格の低下による収益源や、アメリカの安価なシェールガスブーム、風力や太陽光発電など、技術革新により安価になった再生可能エネルギーにも起因している (Caldecott and Robins, 2014)。

石炭のダイベストメントは、資産価値に影響を与えるという指摘もある。Ansar et al. (2013) は、ダイベストメントによる化石燃料資産に対する影響を評価し、化石燃料のダイベストメントによる直接的な影響は限られているが、石油や天然ガスと比べると、大きいとしている。ただ、環境影響リスク軽減努力を行う企業と、そうでない企業を比較すれば、長期的な視点でみると、大きな差があるという指摘もあり (Caldecott and Robins, 2014)、企業にとっては、環境関連リスクを配慮するプレッシャーが強くなっていると言えるだろう。

Coal: Production by region

Million tonnes oil equivalent



Coal prices

US dollars per tonne

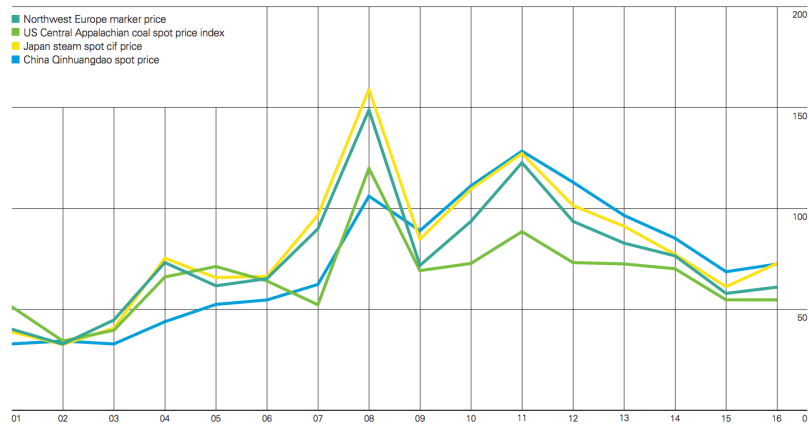


図 3.7: 石炭生産量の推移（上）と石炭価格の推移（下）^{*11}

^{*11} BP (2017) より引用

ダイベストメントと、日本の高効率石炭発電

日本においては、石炭に対するダイベストメントを軽視している節がある。Rainforest Action Network (2017) によると、ダイベストメントの潮流の中、BNP パリバやクレディ・アグリコル、ドイツ銀行などが新規の石炭火力発電プロジェクトへの融資の禁止を表明した中で、三菱 UFJ やみずほ、三井住友等日本の金融機関は、ダイベストメントへの表明を行っていない。

日本には電力需要の増加が見込まれる東南アジアが市場として近く、ビジネスになることから安易な決断はできないという考えがあり、さらに石炭でも超々臨界発電など高効率利用を行うことで、パリ協定での目標との整合性をとる方針である。

これは世界の流れとは逆行しており、前出の TheWhiteHouse (2013b) において、新規の石炭火力発電所に対する基準は、運転開始から 10 年間は毎年の排出原単位の 30 年平均が $0.816\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$ とされ、実質超臨界圧技術 (IGCC)、石炭ガス化複合発電等を用いないと達成できない厳格な規制をしいている。さらに、運転開始から 11 年以降は、毎年の年平均排出原単位は $0.272\text{kg-CO}_2/\text{kWh}$ であり、CCS を導入しないと達成できない規制水準である。そのため、いくら高効率利用を行っても、規制を達成できないのである。

自動車業界における “投資撤退” の可能性

ESG 投資の分野において、運輸部門に対する割合は大きくはない。Eurosif (2016) によると、2016 年 EU のサステナブルテーマ型の投資において、運輸への投資資産残高の割合は、ビルセクターが 24 パーセント、再生エネルギーが 20 パーセント、水管理関連が 13 パーセントが占める中、7 パーセントにとどまる。

一方、政策面での動きは早い。車両電動化の動きは国レベルの取組になりつつある。7 月 6 日にはフランスが、26 日にはイギリスが 2040 年までにガソリン車・ディーゼル車販売を禁止すると宣言している (日本経済新聞, 2017/07/07)(日本経済新聞, 2017/07/27)。

中国はさらに具体的な措置も講じようとしている。国家発展改革委員会、中国工業・情報化部は 2017 年 6 月 12 日、自動車投資プロジェクト管理意見を共同発表し、今後はガソリン車完成車企業の新設を認めないと明らかにし、既存の自動車企業がガソリン車の生産能力を新設する場合も、従来の生産能力の利用率、収益、研究開発などの指標を検討する必要があると発表した (中国網日本語版 (チャイナネット), 2017/06/13)。さらには、将来的にはガソリン車の生産能力の新設を厳格に規制し、(1) 独立法人ガソリン車完成車企業の投資プロジェクト、(2) 既存の自動車完成車企業の乗用車・商用車の類別を跨ぐ投資プロジェクト、(3) 生産停止・半停止状態、連年赤字、債務超過で、政府からの補助と銀行からの貸付に依存する既存の自動車完成車企業による、省・自治区・直轄市を跨ぐ移転に伴う新規投資プロジェクトを新設を原則的に認めないとしている。

上記を鑑み、またエネルギー部門において、2013 年の米アクションプランからダイベストメントの動きが素早く進んでいったことを踏まえると、運輸部門において、機関投資家による投資撤退の動きが始まってもおかしくはない。

3.3.3 低炭素事業に対する投資増加

サステナビリティテーマ型投資とインパクト投資

近年大きく投資残高が増加しているのが、サステナビリティテーマ型の投資と、インパクト投資である。2つ合わせても2016年度の全ESG投資残高の1.4パーセント程度だが、図3.8のように、近年になり急激に伸びている投資である。インパクト投資は、2012年から2016年で3倍程度、サステナビリティテーマ型投資は5倍以上になる。

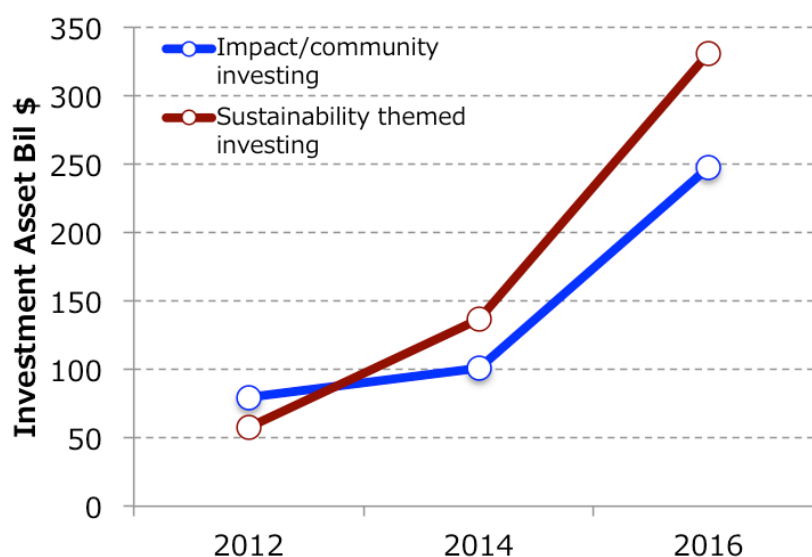


図 3.8: インパクト投資とサステナビリティテーマ型投資の資産残高の推移^{*12}

サステナビリティ投資の例を挙げれば、フランスの金融グループ、ナティクシスアセットマネジメントの投資運用子会社である Mirova は、ヨーロッパのエネルギーのエコロジカル移行を促進することを目的に、「イノベティブな企業が、将来のエネルギーを変革する」という考えのもと、環境とうまくやっていく新しいモデルを開発している企業に対して、投資を行なっている (Eurosif, 2016)。Mirova の行なっている評価手法は、バリューチェーンの上流から下流まで、ライフサイクルのカーボンインパクトを評価するというものであり、単体の企業で評価するものではない。この考え方により、企業により排出された GHG 排出 (induced emission) だけでなく、企業が GHG 削減努力をしていない場合に排出していたであろう GHG 排出 (avoided emission) も見きわめることができる。投資ポートフォリオにおいて、従来よりも、induced emission を減らし、avoided emission を増やすポートフォリオを構築することによって、一貫して外部経済への影響を評価することができる先進的な一例である。

インパクト投資の一例としてはテスラの例が挙げられるだろう。テスラは、アメリカのシリコン

^{*12} GSIA (2016) および GSIA (2014) より作成

パレーに 2004 年に立ち上がった電気自動車のメーカー企業である。インパクト投資は、ESG 投資の中でも、リスクが大きくとも、社会的・環境的インパクトが大きければ投資する手法であるが、「ESG マネーも相当流入している」「ESG 投資により、従来の常識では考えられないマネーの流れが起きている」という指摘がある（日本経済新聞, 2017/8/22）。テスラは、上場以来一貫して赤字である（図 3.9 上）。一方、株価は上がり続けている（図 3.9 下）。すなわち、市場は、企業の赤字よりも、テスラ社の社会的な意義をより強く評価していると言える。米指数算出会社 MSCI も、世界株指数 2448 社中 56 社しかない最高得点 10 点の ESG 評価を付けた。

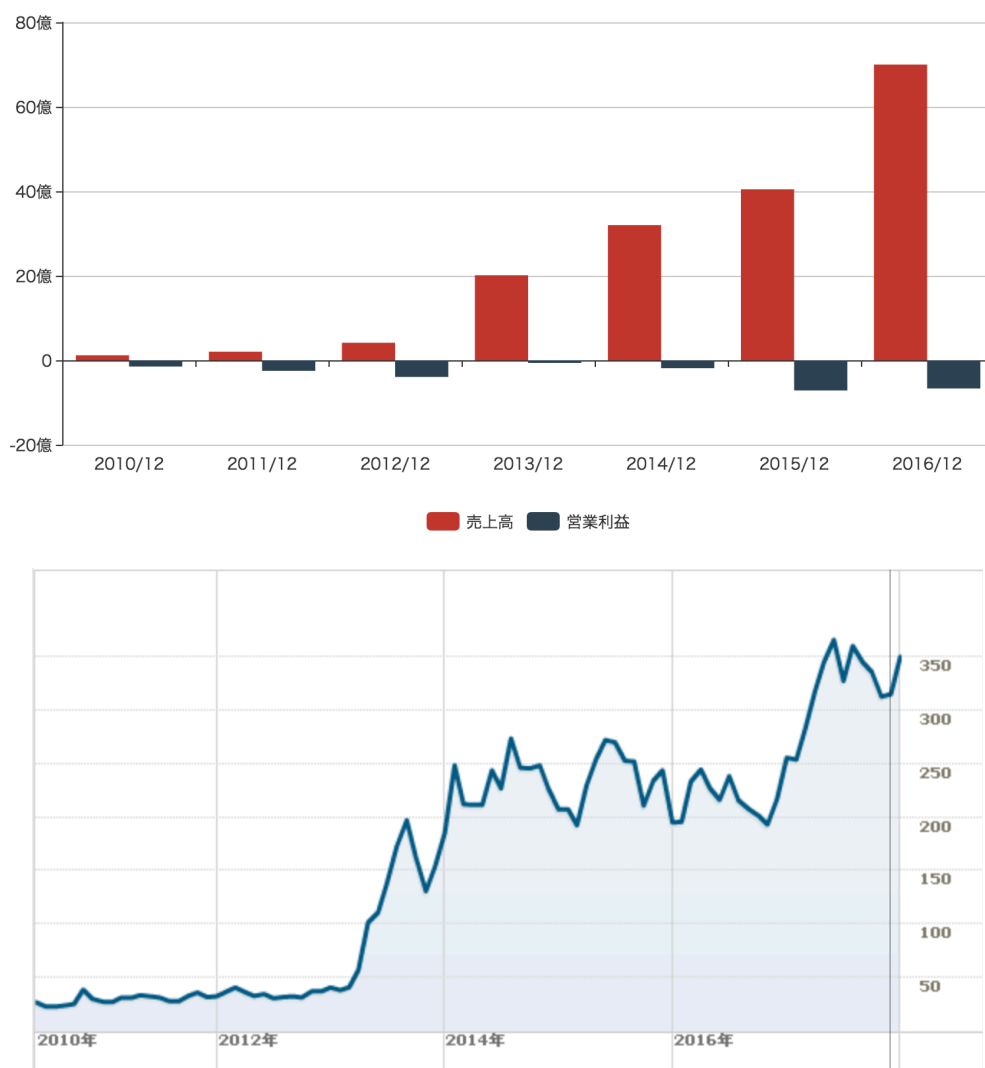


図 3.9: テスラの業績推移（上）とテスラの株価推移（下）^{*13}

^{*13} 業績推移は Stockclip ホームページ、https://www.stockclip.net/companies/9476?attributes%5B%5D=revenue&attributes%5B%5D=operating_income より引用。
株価推移は ReutersHP, "NASDAQ Tesla Inc (TSLA.O)",

投資環境の長期化と企業の経営目線の長期化

ESG 投資の機運が高まる理由には、ESG 投資が長期投資であることも一つにある。2008 年のリーマンショックを機に、投資の考え方を見直す動きが出てきた。リーマンショックのような金融危機を引き起こす原因が、投資家や企業行動の短期志向化と考えられるからである。その考えの皮切りとなったのが、2009 年のウォーカー・レビュー The Walker Review (2009) であり、機関投資家が短期収益思考に陥り、株主としてのガバナンスを十分発揮しなかったことを金融危機の一因とした。さらに、ケイレビューでも同様の分析が発表された。同レポートは世界的な金融危機を受けて、英国政府が経済学者ジョン・ケイに要請し、英国の株式市場の問題と英国上場企業の長期的パフォーマンス及びコーポレートガバナンスについて調査・分析を行ったものである。このレポートにおいて、ケイは、「短期主義 (short-termism)」が英国株式市場の問題と結論づけている (Kay, 2012)。この問題は、「短期主義的問題」といわれ、アメリカでは、2012 年に、金融危機に加えて、2010 年 4 月の、BP 社のメキシコ湾原油流出事故による大規模な海洋汚染被害も、同様の短期主義問題として語られた (CFAI, 2012)。

そのような背景もあり、世界的にも投資の短期主義から脱し、投資家は中長期視点で投資を行い、企業も長期的な視点で企業価値の拡大を目指すことが重視されるようになっていく。また、企業としても、より長期的な目線での経営を行い、長期的にリスクをとっていく潮流がある。

例として、トヨタは、2015 年に、「AA 型種類株式」を発行した。AA 型種類株式とは、普通の株式と異なり、買った後長期間持っている必要がある。その代わりに、保有中 5 年間は段階的に配当率がアップし、5 年後に 2.5 パーセントという高配当になる。その後は普通株に転換するか、継続保有か元本分トヨタに買い取ってもらうか選択することができる。トヨタは、AA 型種類株式の発行目的を、中長期視点での研究開発投資を促進し、次世代技術を生み出すため、また中長期に保有してくれる株主層を増やすことだとしている (トヨタ株式会社, 2015)。現在の AA 型種類株式は、47.1 百万株で、普通株式の 3263 百万株の 1.4 パーセントに当たる (2017 年 3 月末現在)^{*14}。この数は発行予定数最大 50 百万株 (トヨタ株式会社, 2015) の 94 パーセントであり、多くの需要があったことが窺える。

パナソニックは、2014 年 7 月に、テスラのリチウムイオン二次電池工場「Gigafactory」に関する大型契約を結んだ (Tesla, 2014/06/30) が、パナソニックの投資額は合計 1500-2000 億円であるといわれる (山崎良兵, 2017/8/22)。ギガファクトリーとは別だが、テスラも 2017 年に、大衆市場向けセダン「モデル 3」の納車関連費用を補うため、2025 年償還の社債を 15 億ドル相当発行すると発表した (WSJ, 2017/08/07)。リーマンショックを契機に、企業がより長期的な目線で投資を行いリスクをとるようになり、またそのような投資環境に変化していったことも、企業が低炭素事業に乗り出す説明の一つになるだろう。

長期的な目線での経営を行うことで何が得られるかというと、企業が将来の生産コスト低下や技

<https://jp.reuters.com/investing/stocks/chart/TSLA.0> より引用。

^{*14} トヨタ自動車ホームページ (2018 年 1 月 20 日閲覧)

<http://www.toyota.co.jp/jpn/investors/stock/outline.html>

術革新を踏まえて経営判断することができる。生産コストは、企業が生産規模が上がるとスケールメリットが得られたり、生産を重ねるにしたがって製品製造の効率化のノウハウを得られるために、生産効率が上がり、コストも下がると言われている。また、技術が高まるとともに、製品自体の性能が上がり、より少量の材料で生産をすることが可能になることもある。これを企業の経験効果と呼び、投資環境による経営目線の長期化により得られる企業のメリットである。

3.4 類型 3：消費者思考の変化を促す企業行動

3.4.1 Pays to be Green

GHG 削減が、ある特定の状況下では、企業本体に取っても、外部経済にとってもウィンウィンになる状況があり得る。例えばエネルギー使用を少なくすれば、その分コストを減らすことになり、結果利益も上昇することになる。ある特定の状況下では、自分の利益としても、外部経済としても、ウィンウィンの状況が出来上がることがある (Bosch et al., 1995)。例えば、ウォルマートの 2008 年の環境対策では、輸送トラックの燃料効率を 3 年間で 25 パーセント削減、包装材の 25 パーセント削減、レジ袋の 33 パーセント削減といった目標を掲げ、そうした目標の実現のために年間 5 億ドルの投資を行うという (渦原実男, 2008)。これは一見余分なコストがかかるように見えるが、同時に燃料費の削減・包装費用の削減といった、実質的なコスト削減にもつながっている。

企業にとって、このような状況はある特定の状況であり、汚染行動が企業のコントロールできない部分にある場合、企業の環境意識が、外部不経済解消に向かうインセンティブは理屈上はあまりないと考えられる。例えば、冷蔵庫などエネルギーを消費する企業が自社製品を省エネにしても、直接的には自社のコスト減にはつながらない。ただし、もしグリーン選好する消費者が多くいる場合、環境製品を製品の特徴や強みにすることができる可能性がある。環境配慮型の製品を売ることにより他の企業との製品の差別化を図ることができ、ニッチな環境製品市場をとることで、製品の価格が高くと、シェアや利益をあげることができる。環境に配慮した製品を選好する現象は、“Pays to be Green”として知られる。

Pays to be Green に関するケースは GHG 排出に関するものではないが、オーガニック食品がわかりやすい。オーガニック食品とは、化学合成農薬や化学合成肥料、遺伝子組み替えなどせずに育てられた食品のことである。消費者にとっては、オーガニック食品は一般の食品に比べて割高だが、健康に良いということはもちろん、環境に優しい食品だというブランドや、先進的でファッショナブルだというような側面から、より多くのお金を払っているのである。

また、環境コストを余分に支払う消費者層は一般的には少数であるが、やり方によっては、そのような消費者を増やすこともできる。例えば、先ほどのウォルマートの事例では、同時にエコバッグを販売し、消費者に外部コストを転嫁させている。消費者を啓蒙した結果、消費者に自前のバッグを持ち寄せ、レジ袋の外部コストを負担させることに成功した例であろう。

このような小さな消費者行動が、より大きな消費者の Pays to be Green をもたらすこともある。ゲルノット・ワグナー他 (2016) は、リサイクルといった個人の小さな環境保護活動が、その他の

人々を啓発し、その好循環によってより大きな環境保護活動を実現できるとして、これを「変化のコペンハーゲン理論」と呼んでいる。デンマークのコペンハーゲンは自転車に乗る人が多いことで有名だが、自転車通勤の流れは突然出来上がったわけではなく、オイルショックや環境運動の高まり、何年にもわたる活動があり多くの市民が自転車通勤する状況が出来上がった^{*15}。さらには、より大きな影響のある風力発電の普及も押し進んだ。このような消費者行動は、心理学的で自己認識理論と知られ、自分をエコな人間だと思えば、よりその行動を取りやすくなるという。

ただし、Pays to be Green のインセンティブは、中間財の性質を持つ製品や、製品に対する機能性の価値の高いものに関しては強くないと考えられる。例えば、鉄鋼製品は主に最終消費者に直接販売されることはなく、自動車や家など、別の製品となって最終消費者の手元に渡る。消費者にとって、鉄鋼が環境配慮型であるかどうかは見えにくく、Pays to be Green への WTP (Willingness To Pay, 支払い意思額) は大きくないと考えられる。また、電力のように、機能のみが重要なもの、さらには人の目に触れることなく使用後なくなってしまうようなものに関してはたとえ低炭素電力だとしても、価格に対してシビアになるだろう。

3.4.2 ライフサイクルコスト思考の啓蒙

照明器具におけるライフサイクルコスト思考

環境製品は一般的に高価格だが、経済的に合理的な消費者にとっても、魅力的に映る場合がある。環境製品で、購入後にエネルギーを使用する電化製品などは、購入後もエネルギーコストがかかることになる。こういった製品の場合、エネルギー効率がよく、初期費用とランニング費用をトータル考えた費用（ライフサイクルコスト）を抑えられる製品は、経済的にも魅力的に映る。

ライフサイクルコストが低いことによって普及が進んだ環境製品の一例として、照明器具が挙げられるだろう。図 3.10 に日本における、ランプおよび照明器具の出荷額の推移を示す。経済産業省生産動態統計の出荷額に加えて、データの無い 2010-11 年の LED ランプおよび 2010-13 年の LED 照明器具は日本照明工業会統計データの出荷額データを参照し、生産動態統計年報の自動車用の照明器具は蛍光灯/LED の区別がないため除いたものである。2009 年まで蛍光灯が主流であり、徐々に出荷額に占める割合が増えている。その後、2009 年以後、急激に LED 照明が増加し、わずか 10 年弱で 7 割を超えるようになっている。この背景は新型照明の価格競争力の高さにある。もちろん白熱電球よりも蛍光灯ランプ、蛍光灯ランプよりも LED 電球の方が購入価格は高いが、使用時の電力価格を考慮すると、新型照明の方が安くあがる。経済産業省の簡単なコスト比較によると、2012 年のモデル製品で、白熱電球と蛍光灯ランプは 4 ヶ月半、白熱電球と LED 電球は 5 ヶ月、蛍光灯ランプと LED 電球は 3 年でコストが逆転する。ライフサイクルコストが安い方に消費者は流れることになる。ただ、それは同時に環境新製品の価格低下を実現する企業努力があるからであり、実際日本において、LED 電球は 2009 年 4 月からの 2 年半で 6000 円から 2000 円程度に 1/3 に価格低下している（経済産業省 商務情報政策局, 2012）。

^{*15} デンマーク政府ホームページ（2018 年 1 月 20 日閲覧）

<http://denmark.dk/en/green-living/bicycle-culture/copenhagen-bike-city-for-more-than-a-century>

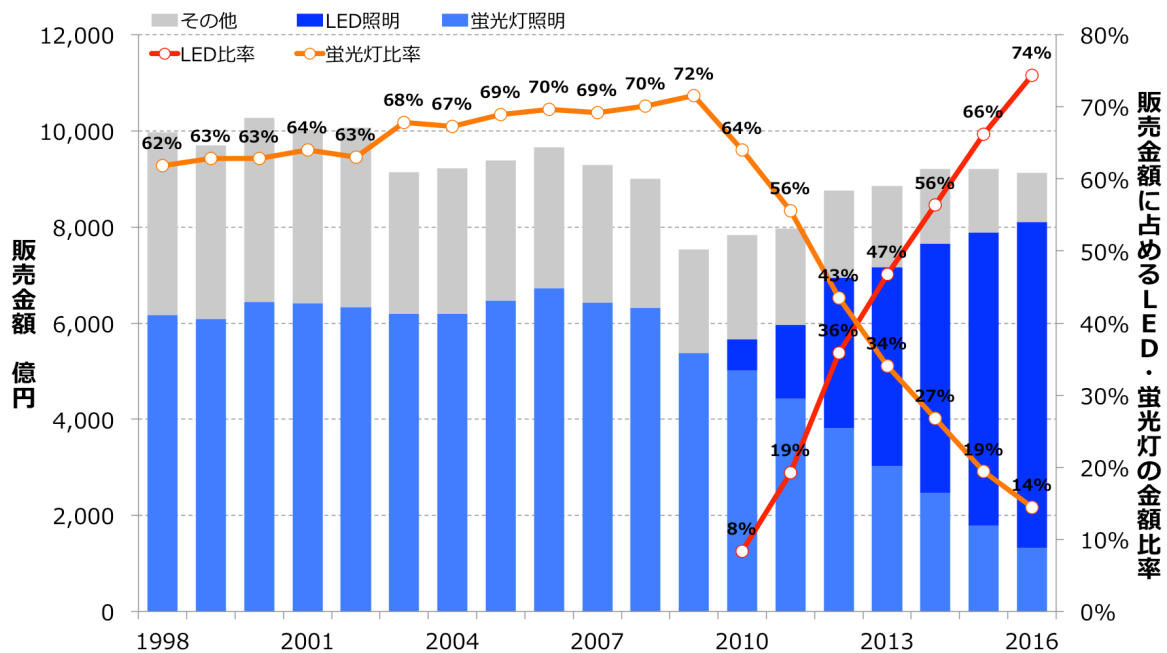


図 3.10: 日本における照明器具（ランプ含む）の販売実績推移^{*16}

Pay As You Save Scheme

このようなライフサイクル思考を取り入れた考えとして、低炭素社会戦略センター（2016）による PAYS（Pay As You Save）という考え方がある。低炭素社会戦略センター・東京大学・プラチナ構想ネットワークを中心に 2014 年から進められている研究で、初期投資が不要で、省エネや省エネメリットを長期間に渡って返済していくという考え方である。

仕組みを図 3.11 に示すが、基本的には省エネ機器の購入に当たって、初期投資をファンド等が肩代わりし、省エネによって浮いたお金で消費者がローンとして支払うというものである。支払いが「そのまま」であることがポイントであり、支払い額を変えることなく、機器のみが設置されるというスキームである。同様の考え方は英国のグリーンニューディールや、米国の PACE（Property Assessed Clean Energy）に見られる。PACE はファンドなどの資金提供者による資金により、ビルのオーナーが省エネ・再生可能エネルギー設備の設置を行い、地方政府が固定資産税に上乗せて徴収し、資金提供者に返済するというものである。ただ補助金を与えて省エネ設備を普及させるのではなく、技術イノベーションのリスクのみを地方政府が肩代わりする。低炭素社会戦略センター（2016）では実際に実証実験が行われており、実現性の検討がなされている。

^{*16} 日本照明工業会統計データ, <http://www.jlma.or.jp/tokei/index.htm>
 経済産業省生産動態統計年報機械統計編, http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html より作成

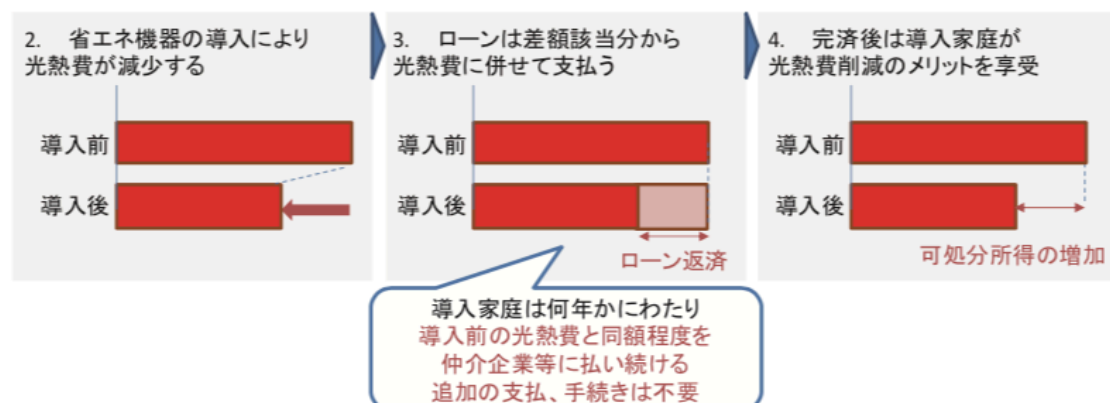


図 3.11: PAYS の仕組み^{*17}

自動車業界におけるライフサイクルコスト思考

車に関しても、燃料やメンテナンスがランニングコストとしてかかるため、同じような考え方でコストを考えることができる。図 3.12 にアメリカ、日本、ドイツ、フランスでの乗用車に新車販売におけるハイブリッド車の割合を示す。日本において、ハイブリッド車の率が高いのは、ハイブリッド車において先進的なトヨタが日本企業だからというのもあるが、TCO で説明することもできるだろう。日本は、アメリカやヨーロッパと比較して、都市部におけるストップアンドゴーが多い。その他の国においては、パリなど一部の都市を除いて、渋滞はあまりない。高速道路においても、渋滞が多く、ストップアンドゴーが多く存在する。そのため、ハイブリッド車における回生エネルギーの利用をより効率的に行えると言える。一方、ハイブリッド車はスムーズに走ることのできる高速においては、回生エネルギーはあまり発生せず、燃費効率は良くならない。

^{*17} 低炭素社会戦略センター（2016）より引用

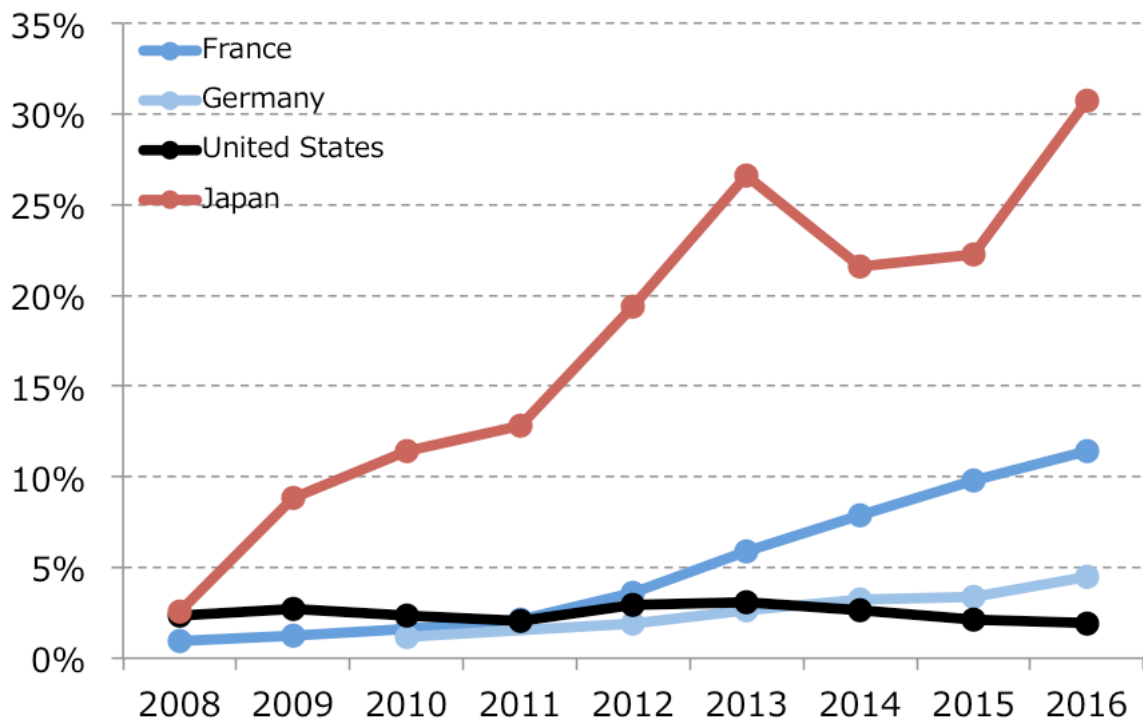


図 3.12: 新車乗用車販売における主要国のハイブリッド車の割合^{*18}

このライフサイクルの考え方を逆手にとる考え方も存在する。企業の技術革新努力により、消費者のランニングコストやメンテナンスを減らすことができたのであれば、その努力分を企業のコスト減に反映したいと考えるのは企業にとって当然であろう。日産は、「日産ゼロ・エミッションサポートプログラム 2」というサポートプログラムを電気自動車 LEAF の購入者に対して提供している^{*19}。サービスには、充電サービスが含まれており、「使いホーダイプラン」では充電台が月額 2000 円で自社または NCS（日本充電サービス）充電器を利用することができ、「つど課金プラン」では、使用時間に応じて充電料金が課金される。2000 円をガソリンで換算すると、ガソリン 120 円/L、燃費 20km/L としても、月 330km 走ればペイするという計算である。消費者からすれば、不確定なランニングコストを購入段階で確定することができるメリットがある。企業からすれば、自社自動車の電費がよければ良いほど、燃料負担が少なくなり、企業努力による外部不経済の解消によるコスト減少分を直接自社に内部化することができるというわけである。

^{*18} OICA 統計データ, <http://www.oica.net/category/sales-statistics/>
 JAMA ホームページ (2018 年 1 月 20 日閲覧)「次世代自動車 (乗用車) の国内販売台数の推移」, http://www.jama.or.jp/eco/earth/earth_03_g01.html
 Hybridcars ホームページ (2018 年 1 月 20 日閲覧) <http://www.hybridcars.com/market-dashboard/> および IEA (2008-2016) より作成

^{*19} 日産自動車ホームページ「NISSAN LEAF」(2018 年 1 月 20 日閲覧) <https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/leaf/maintenance.html>

3.5 環境性の追求以外の EV シフトの理由

3.5.1 環境性能の競争から新たな差別化技術への移行

最後に、企業意思決定を左右する要因として、競合他社の存在を忘れてはならないだろう。Porter (1991) は、企業における市場競争力に着目し、環境規制が必ずしも損失に結びつかないという考えを示した。1970 年から 1985 年頃に、日本と西ドイツが環境規制が厳しくなったにも関わらず企業の生産性が向上したことに着目し、「適切に設計された環境規制は、費用逓減、品質向上に繋がる技術革新を刺激し、その結果国内企業は国際市場において競争上の優位を獲得し、他方で国内産業の生産性も向上する可能性がある」という「ポーター仮説」を主張した。それを証明するように、Porter and van der Linde (1995b) は、企業では規制によって生産技術の非効率を改善するためにイノベーションを起こし、そうできる競争力のある企業の優位性が高められることを数多くの事例から示している。

この仮説に関しては数多くの論文が存在し、議論が続いている。Palmer et al. (1995) によれば、企業が完全に情報を持っていて常に生産可能性曲線上で活動している前提では、生産者は常に環境投資の選択肢を持っているが、そのような投資が利益を生み出さないものと考え、自発的にそうしないのであると主張している。すなわち、環境規制が利益を生み出すのならば、企業は規制が起こるより前に技術革新に対するインセンティブを既に持っているはずだということである。

企業間の競争に関する行動に関して、規制が企業間競争に及ぼす影響に関する興味深い研究がある。中原久美子 (2014) は、日本におけるルームエアコン産業に関して、35 年の歴史的な観点から分析を行い、規制の存在が直接技術進化を促したわけではなく、規制を必要とするような状況をふまえた企業間競争が技術進化を加速させたとしている。一方で技術進化を促そうとした規制は、むしろ企業間競争の効果によって、技術進化を抑制することにつながった、つまり、規制が企業の技術進化や生産性に与える効果については、個々の産業ごとの企業間関係の状況をふまえて検討する必要があると主張している。

中原久美子 (2014) は、ルームエアコンにおける省エネ性能の向上時期を、以下の 3 期に分けて説明している。

第 1 期 市場拡大を目指した基本性能向上期 (1970-1978)

第 2 期 企業間競争による省エネ技術向上期 (1979-1997)

第 3 期 改正省エネ法と省エネ技術の超高度化・付加価値技術の登場 (1998-2005)

第 1 期では、ルームエアコンの普及初期であり、実用化のために消費電力の低減が必要であったとしている。特に、当時石油危機により省エネ圧力が強まったのも背景にあるとしている。第 2 期は、新たな規制が生まれなかったにも関わらず、省エネ性能が向上したことと、石油危機後の電気料金の急激な値上がりを根拠に、顧客争奪のために、ランニングコストを抑える省エネ技術が訴求ポイントになったのだとしている。1998 年にトップランナー制度が導入されてからの第 3 期は、

業界団体の日本冷凍空調工業会が業界全体の目標を定め、前倒しで目標をクリアすべく各企業が努力した結果、短期間で省エネ性能が上昇したが、01年から05年まで省エネ性能の向上が小刻みとなっていることに着目している。トップランナー方式では特定時期における省エネ性能の最大値が目標値として設定されるため、現行値から突出した省エネ性能を持つ機種を開発してしまうと、将来的に“自分で自分の首を絞めない”ように技術の向上や省エネ性能の急激な向上を抑制しようとした動きを説明している。

一方で、中原久美子(2014)は、トップランナー規制により、省エネ性能で差別化を図ることがより一層難しくなったことや、業界そのものの横並び体質や、国内の市場規模が飽和状態に近かったこともあり、省エネによる差別化が困難となり、新たな製品訴求点として付加価値技術がクローズアップされ、多くの付加価値技術の導入が進んだと指摘している。例えば、空気清浄機能・花粉除去、自動掃除機能など新しい機能である。現在であれば、三菱電機の「ムーブアイ」、パナソニックの「ナノイー」を思い浮かべればわかりやすいだろう。

基本性能の向上から、省エネ性能の向上があり、省エネ技術の高まりが限界を迎え(ないしはこれ以上必要のないレベルで省エネ性能が高まり)、付加価値技術へ企業の争点に移行するパターンは照明業界にも見られる。上であげた図3.10を再度見てみよう。興味深いのは、蛍光灯は1999年から2009年までの10年で9-10パーセント程度と、普及に時間がかかったが、LEDは急速に普及していることである。蛍光灯照明と、LED照明を合わせて考えると、LED照明の現れる頃の2009年時点では、72パーセントであったにも関わらず、2016年時点では、蛍光灯照明が14パーセント、LED照明が74パーセントと、合わせて88パーセントにもなる。

蛍光灯に関しても、LED照明に関しても、白熱灯と比べて価格競争力があるのは同様であるが、シェアに差が出たのは、一つは2009年の省エネ法の改正で、エネルギー使用量報告義務のある事業者の対象範囲が拡大された。そのため、義務付けられた企業がこぞって照明をLEDに切り替えるようになり、一気に需要が広がった(ロイター, 2009/04/15)ためであるが、付加価値へのシフトも理由にあるだろう。今まで電気をつけるだけであった照明市場は、LEDに転換する中でビジネスモデルが大きく変わり、ソリューションビジネスに構造転換されてきた(経済産業省 商務情報政策局, 2012)。LED照明の調光のしやすさや、反応の速さ、様々な色の種類があることを生かし、エネルギーマネジメントシステムによる制御を可能にしたり、インターネットやスマートフォンからの端末を利用して明かりの調節をしたりなど、省エネ性能以外の付加価値をつけることで、WTPを上げている。

この背景には、もちろんLED照明の蛍光灯照明と比較した技術的な優位性も理由にあるが、LED照明では、省エネ性能が高まりすぎたために、環境性による差別化が難しくなったのも理由に挙げられるだろう。環境性能が上がれば上がるほど、消費者へのランニングコスト低減による訴求がしづらくなるし、さらには、照明の寿命がのびるために、企業の売り上げも落ちてしまうし、相対的に環境性能を高めるコストが非常に高くなってしまう。それに対応するために、付加価値技術に企業が方針転換した例となるだろう。

3.5.2 自動車における付加価値化の例と CASE

自動車における付加価値化の例

今まで規制が強くなりすぎると、企業間競争の結果として省エネ技術での差別化が厳しくなり、新たな付加価値を求める動きが生まれる。ことを示したが、自動車業界ではどうだろうか。図 3.13 に、日本における車の平均価格の推移を示す。年数が長期間に渡るため、GDP デフレーターを用いて、物価上昇の影響を除き、経年の価格比較をできるようにしている。青い線が全体の自動車価格、黒い線が色の濃い順に普通自動車、小型自動車、軽自動車を示し、赤い点が日本における平均燃費を示している。省エネ法が施行された 2000 年前後から、燃費が急激に良くなっているのと同時に、車両価格がどんどん上がっていることがわかる。特に、サイズの小さい車の方が価格上昇率が大きい。主な燃費向上技術には、高効率エンジンの他に、空気抵抗軽減技術・タイヤの転がり抵抗低減技術・軽量化技術・アイドリングストップシステムなどがあるが、燃費基準を達成するために、これらの技術を搭載する必要があったり、研究開発を促進する必要があり、コストへの転嫁があったからであろう。コストの上がり幅が同じでも、小さい車ほど車の価格に対する燃費対策費用の率が高くなり、価格上昇が大きく見える。

燃費に関して、2013～14 年にかけて上昇水準が下がってきているが、より燃費による差別化が難しくなっている。さらには、ハイブリッド車が広く普及するにあたって、ガソリン車は燃費では劣り、省エネ性能での競争力は見込めない。3.5.1 項と同じように、ガソリン車に付加価値をつけるようになった例として、日産の e-Power の例が考えられるだろう。e-Power は、エンジンで発電し、モーターで動くというパワートレインである。燃費は HV には劣るものの、モーター動力ならではの加速性能と、静寂さ、ペダリングのしやすさを売りにしている^{*20}。その結果、ノートの e-Power の売り上げは、都市部の 30～60 代の男性に訴求し、発売後 2016 年 11 月に、日本の月間新車販売台数でトップとなり、ガソリン車だけの時よりも、売り上げが大きく上回った（日経トレンドネット, 2016/12/27）。

^{*20} 日産自動車ホームページ、2018 年 1 月 20 日閲覧、
<https://www3.nissan.co.jp/vehicles/new/note/performance.html>

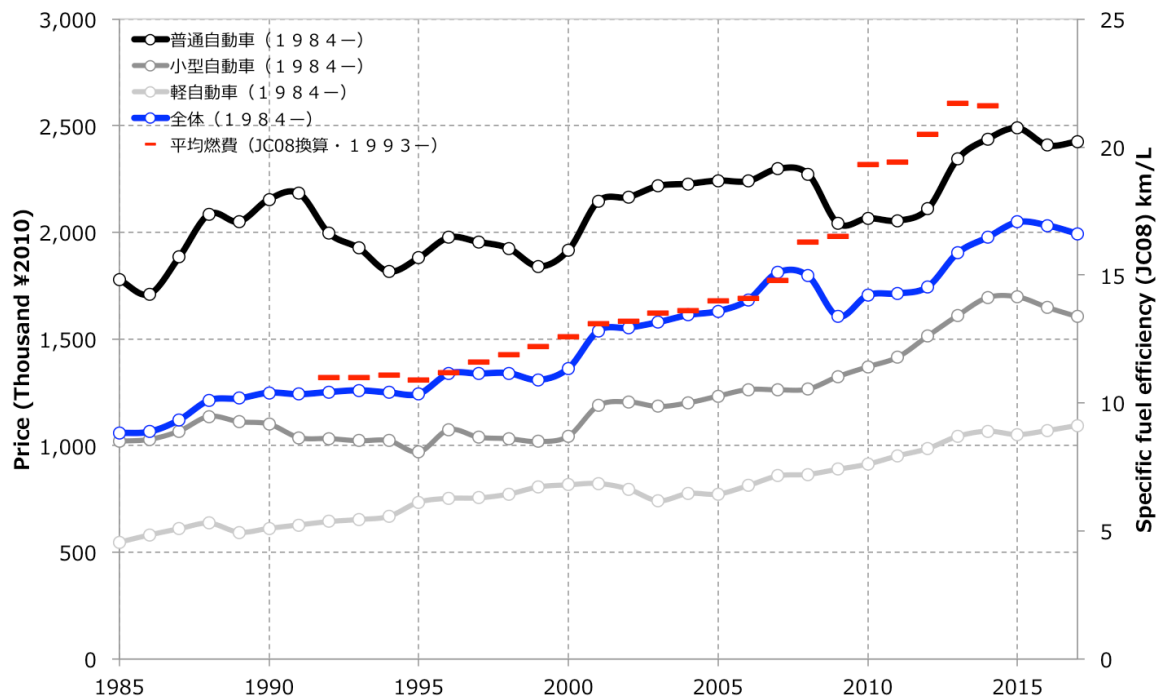


図 3.13: 日本における乗用車の価格上昇と平均燃費の推移 (GDP デフレーター補正済) *21

CASE

自動車業界には、車のモジュール化・コモディティ化に伴って、CASE と呼ばれる 4 つのトレンドがある。

1 つは Connected で、車がインターネット回線などによって人の生活とリンクするという考え方である。これによって、自動車産業が中心であったハード産業が、IT と同様なソフトな考え方をしなければならなくなる。すなわち、発売前に開発の労力を多くかけていた自動車産業が、モジュール化されたハードを生産して、発売後にソフトウェアなどの改善を繰り返すビジネスモデルへと移行していく可能性がある。

2 つ目は Automated の自動運転である。車を運転する乗り物ではなく、移動手段のサービスとして捉える人にとっては (例えば高齢者) 自動運転が実現すれば事故低減や、移動手段の提供という大きな価値を持つことになる。

3 つ目は Sharing であり、近年の UBER などによるライドシェアリングなどに代表される動きである。主に都市部において顕著な動きであり、車を所有することのコストの高さから、所有せずに移動手段として車を利用することである。

*21 国土交通省「自動車燃費一覧」http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_mn10_000002.html,
IMF 統計 "World Economic Outlook Databases" <http://www.imf.org/external/ns/cs.aspx?id=28>,
経済産業省「生産動態統計年報機械統計編」http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html より作成

4 つ目に EV があるが、パリ協定以後の GHG 排出削減の動きに伴うトレンドである。さらにもう一つ、EV は排気ガスを発生しないという特徴があり、排ガスに悩む大市場である中国が EV を推進しているという背景がある。

このような 4 つのトレンドは、現在と比べものにならない将来の付加価値の可能性を持っており、前節の流れに従えば、環境性能で差別化できなくなった自動車企業が企業競争において進まなければならない道となる。この 4 つの点において、電気自動車は大きな強みを持っている。もっとも大きなものは自動運転であり、自動運転は制御のしやすさにおいて、動力がモーターであることが大きなメリットになる。また、Sharing において保有しないという自動車の考えが生まれれば、よりモジュール化の進んだ自動車が好まれるのは当然であるし、Connected の意味合いでは、ZEH (Zero Emission House) のように消費者の生活ごと GHG 排出をなくす上では電気自動車が必要不可欠のものになる。

第 4 章

理論的な説明

4.1 企業行動に関する理論的研究

4.1.1 環境規制

環境規制と企業行動の理論的研究に関しては、ポーター仮説に関する研究が多くある。Porter (1991) は、環境規制が必ずしも損失に結びつかないという考えを示した。1970 年から 1985 年頃に、日本と西ドイツが環境規制が厳しくなったにも関わらず企業の生産性が向上したことに着目し、「適切に設計された環境規制は、費用逓減、品質向上に繋がる技術革新を刺激し、その結果国内企業は国際市場において競争上の優位を獲得し、他方で国内産業の生産性も向上する可能性がある」という「ポーター仮説」を主張した。さらに、Porter and van der Linde (1995a) は、技術・製品・工程・消費者ニーズがすべて不変であると仮定すれば、規制がコスト高を招くのは避けられないが、現実には、適切な環境基準が製品にかかる総費用を下げ、製品価値を高めるイノベーションの契機になると考えている。ポーター仮説が提示される前の文献において、“Early Mover Advantage”があり、独占的市場が確保できる業界を如何に見付け、又は作り企業進出すること、また進出した業界における競争優位を確保していくために新規参入者を如何に阻むかということを説いている (Porter, 1980) が、環境技術革新により “Early Mover Advantage” を達成できるという主張もある。

ポーター仮説は様々な議論を呼び、その議論に関連して、規制に対する企業行動の説明をしようとする先行研究が多くある。Xepapadeas and de Zeeuw (1999) はポーターの仮説に対し批判の立場を取りつつ、一部で認める主張をしている。排出量に対する課税という外生的な要因によって、企業は比較的低コストで得られる新たな技術を獲得しようとする主張している。しかしながら、ポーターの仮説でいうようなより厳しい環境政策は、環境の質も企業利益も増加させるという win-win 状況は、利潤最大化を目的とする無限期間の最適制御問題の中での説明によって、期待できないことを示した。ただし、新たな資本は古い資本よりも生産性が高く汚染排出も少ないという仮定があれば、たとえ厳しい環境政策が全資本ストックを小さくしたとしても、確実な資本投資を行うことで資本ストックの平均年齢を下げ、ひいては生産性を高めることができるとしている。ま

た Mohr (2002) は学習モデルを用いた分析を行い、内生的な技術の変化は「ポーター仮説」を実行可能なものにするとして述べているが、生産における規模の外部経済が企業の新たな技術採用を妨げているとしている。そのため、政府が環境規制と同時にすべての企業に新たな技術の採用を促すような環境政策を行うことで環境の質の改善も生産の増加も可能にすると主張している。

ポーター仮説を支持する論説がある一方で、環境規制が企業活動やその成果に及ぼす影響についての議論では、ネガティブに捉える見方が主流であった。Viscusi (1983) は、規制による罰則が増大することによって、静的なモデルでは、企業の成果と利益が減少し、さらに規制者による追加規制が行われる可能性が曖昧であると機会ロスが生じるなど、規制が企業の意思決定にマイナスの効果をもたらすことを理論的に明らかにしている。規制による生産性向上の減速効果を指摘した研究も多い。Gray (1987) は規制の強い影響下にある製造業、例えば、規制による新燃料消費基準にいち早く対応した日本とドイツの自動車メーカーとは対照的に、基準そのものに抵抗したアメリカの自動車メーカーを事例として、規制が生産性向上の低下を招くと主張している。

このような議論がされている中で、近年の企業の GHG 排出に対する動きは特異に見える。例えば、2017 年 6 月 1 日にアメリカがパリ協定の離脱を宣言したが、その意向とは逆に、フェイスブックやアップル、フォードなどの企業は離脱へ賛同しない意を示した (ロイター, 2017/06/01)。この企業方針は一時的なものではなく、ロンドンの非営利団体 CDP による調査によっても、連邦レベルの支援が欠如しても、企業レベルの気候に関する活動は続いているという結果が出ている (ロイター, 2017/10/24)。自動車業界においても、自動車メーカーの Volvo はいち早く、2017 年 7 月に 2019 年までに発売する全ての車を電気自動車 (EV) やハイブリッド車 (HV) などの電動車にすると発表した (日本経済新聞, 2017/07/05)。アメリカのパリ協定の離脱は、順当に考えれば政府による GHG 規制が弱まるはずだと捉えられるが、それに関わらずこれらの企業がとった行動は明らかに規制が理由ではない。その意味で、企業の環境性の追求は、規制による対応だけで語られるべきではなく、より包括的な説明が必要だろう。

4.1.2 経験関数

前章で 3 つに分けて企業が低炭素技術開発に乗り出す理由を説明したが、大前提にあるのは、低炭素製品に関するイノベーションである。企業によるイノベーションに伴い、価格低下や付加価値の向上が期待でき、消費者に受け入れられるであろうから、投資家は投資を行い、企業も生産を行うのである。技術イノベーションや生産効率化に伴うコスト低下を、経験効果ということがあるが、経験効果を定量的に説明するものとして、経験曲線という概念がある。経験曲線は、経験の蓄積が企業にどれだけの経営効果を与えるかを示す概念であり、BCG (1997) は、1960 年代からの実証研究により、製品の累積の生産量が 2 倍になると、製造コストを含めた総コストが一定・予測可能な率で低下することを明らかにした。すなわち、製品の単位コストを c 、累積生産量を x 、最初の生産単位のコストを α 、累積生産量の変化に対するコスト弾力性を β とすると、

$$c = \alpha x^{\beta} \quad (4.1)$$

と表される。 β が負であると、経験上のコスト削減効果が見込めるというわけである。

これは定量的なモデルであり、現実には、(1) 規模の経済、(2) 技術進歩、(3) 実践による学習の合成的結果として生じるとされている (Day and Montgomery, 1983) が、モデル分析では簡易的に広く BCG (1997) のモデルが用いられている。ただし、現実には、企業の生産コストは秘匿事項のため明らかになっていない場合がほとんどである。そのため、目代武史 (2000) は、より汎用的かつ現実的な経験曲線として、式 4.1 を変形し、

$$\ln(c) = \ln(\alpha) + \beta \ln(x) \quad (4.2)$$

とした上で、メーカーの平均価格を p として、マージン率 $m(0 < m < 1)$ を用いて、

$$\ln(p) = \ln(1 + m) + \ln(\alpha) + \beta \ln(x) \quad (4.3)$$

を用いている。実際に用いる上では、 $\ln(1 + m)$ と $\ln(\alpha)$ を合わせて $\ln(\alpha)$ とすることが可能である。

この考え方をを用いて、日本における出荷データ^{*1}から、1kWh あたりの LIB セルの経験曲線を作成したものが図 4.1 であり、日産リーフの価格データ^{*2}を用いてリーフの 1kWh あたりの LIB システム価格 (推定) の経験曲線を作成したものが図 4.2 である。図 4.1 によると、車載用 LIB セルのコスト弾力性は -0.3 、LEAF のシステムのコスト弾力性は -0.44 という結果が得られた。この結果から、企業によって、コスト弾力性は異なることが想像できる。すなわち、リーディング企業はコスト弾力性の絶対値が高い一方、そうでない企業は低いと考えられる。これは、Day and Montgomery (1983) の考え方を元にとすると、企業規模や技術力の高さなどによって違いが生じるためだと考えられる。したがって、その製品全体に関するコスト弾力性 β に加えて、 β' を企業によるイノベーションによるコスト弾力性と考えて、

$$\ln(c) = \ln(\alpha) + (\beta + \beta') \ln(x) \quad (4.4)$$

とすることができるだろう。^{*3}

^{*1} 経済産業省生産動態統計年報機械統計編、

http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html

^{*2} goonet (2018 年 1 月 20 日閲覧) <https://www.goo-net.com/catalog/NISSAN/LEAF/>

^{*3} 厳密には、 β に対応する累積生産量は業界全体の生産量でありのに対して、 β' に対応する累積生産量は企業単体の生産量であるが、新製品に関しては、最初の新規参入企業が先行者利益 (early mover advantage) を得て大きく変わらない、ないしは比例すると仮定する。

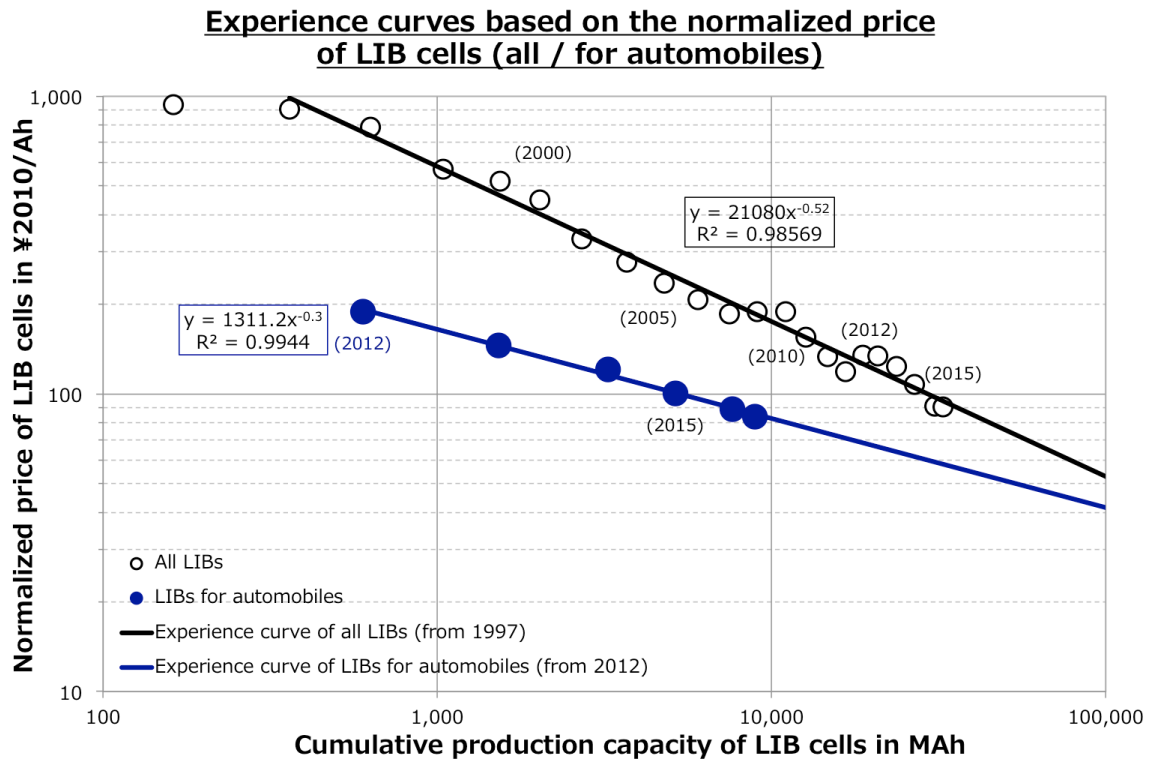


図 4.1: LIB セルおよび車載用 LIB セルの生産曲線 (CPI により価格調整)

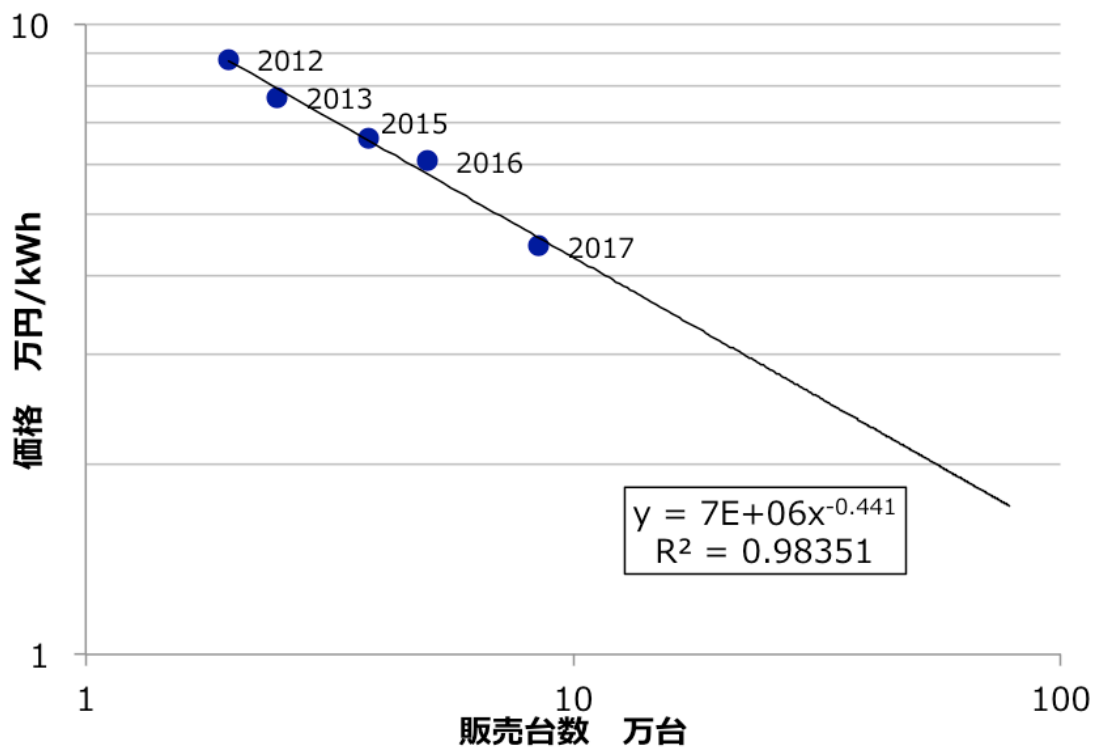


図 4.2: LEAF の LIB システムの生産曲線

4.2 企業の EV シフトに関する具体的な数式の検討

4.2.1 EV シフトの企業の利潤最大化モデル

EV シフトの状況を考える。同一の市場に、2 つの新旧の製品を投入するとする。ただし、現在は従来車であるガソリン車がほとんどの市場を占めており、経験効果の期待できる EV のような環境性の高い車を投入するとする。この時考えている市場は、充電走行距離の限界があることを除き、基本的な性能や機能は一緒であり、車両サイズや消費者選好により細分化された 1 モデル車種に関する市場であるとする。従来車および EV の費用関数 C_o, C および収入関数 R_o, R は、それぞれの生産量 q_o, q に依存し、以下のようにかける。

$$C_o(t) = C_o[q_o(t)] \quad (4.5)$$

$$C(t) = C[q(t)] \quad (4.6)$$

$$R_o(t) = R_o[q_o(t)] \quad (4.7)$$

$$R(t) = R[q(t)] \quad (4.8)$$

同一の市場かつ、従来の製品と新しい製品は同一の性能であることを加味すると、従来製品（ガソリン車）と新製品（EV）の合計の需要量は、大きく変わらないので、簡単に現在の従来車の生産量を Q_o とし、 $q + q_o = Q_o$ であると仮定できるので、この市場における企業の利潤は、次のようになる。

$$\pi(t) = R_o[q_o] - C_o[q_o] + R[q] - C[q] \quad (4.9)$$

$$s.t. \quad q + q_o = Q_o(const.)$$

期間 T までの利潤を考える。期間 T は、企業にとっての利潤最大化の期間である。 r を金利として、以下のような最大化問題が書ける

$$\begin{aligned} Max. \quad & \int_0^T e^{-rt} \pi(t) dt \\ s.t. \quad & \dot{x}(t) = q(t) \end{aligned} \quad (4.10)$$

必要条件は、 $\frac{\partial q}{\partial q_o} = -1$ から、

$$\frac{\partial R}{\partial q} - \frac{\partial R_o}{\partial q_o} = \frac{\partial C}{\partial q} - \frac{\partial C_o}{\partial q_o} \quad (4.11)$$

左辺は短期期間 t での短期限界収入 (MR, Marginal Revenue) の差、右辺は短期限界費用 (MC, Marginal Cost) の差を示している。

ここで、視覚的に捉えるため、簡単な図を描く。従来車と EV の費用曲線および収入曲線を描くと、図 4.3 の左のようになると考えられる。横軸に生産量 (q または q_o) を取り、縦軸に価格をとっている。実線が短期限界収入曲線 MR 、点線が短期限界費用曲線 MC であり、黒色が従来車、赤色が EV を示す。EV の限界費用は環境に優しい製品を選好するニッチな層が存在すること

から、EV は、生産量が少ないうちは高い価格で売れると考えられる。一方、裾野には限界があり、長距離を走るようなユーザーにはどうしても EV は選ばれないという事情があると考えられる。そのため、従来車よりも、最大生産量は小さくなる。限界費用の方は、従来車の方は一定以上で開発コストが回収され、コスト低減が収まるが、EV の方は少しずつ経験曲線により費用低減できると考える。現在の生産量は、EV が市場に入る前と考えて、従来車において、限界収入と限界費用の等しくなる値であると考えられる。

次に図 4.3 の右には、このまま EV の生産量 q を増やしたときの、式 4.11 における短期限界収入の差 $MR - MR_o$ および短期限界費用の差 $MC - MC_o$ の概念図を示している^{*4}。いくら q を増やしても $MR - MR_o$ と $MC - MC_o$ が一致することはない。すなわち企業は EV シフトの選択をしないことになる。

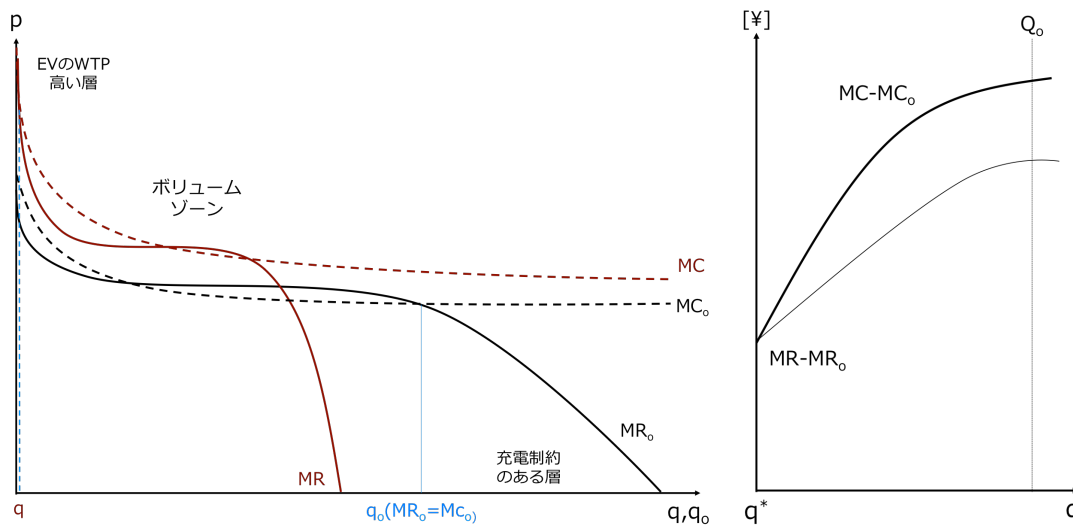


図 4.3: EV および従来車の MR, MC と、EV 生産量増の時の状況

4.2.2 【類型 1】規制や法環境の変化の影響

さて、次に前章で類型化した環境変化の影響を考えてみる。まず 1 つ目の規制環境の変化による影響は、従来車を製造するときにかかる追加的な環境コストを $E_o(t, q_o)$ として考えることができる。規制には直接規制や炭素税など、様々な手法があるが、 E はそれらをひっくるめたコストである。すると、企業の利潤最大化問題は、

$$\begin{aligned} \text{Max.} \quad & \int_0^T e^{-rt} \pi(t) dt \\ \text{s.t.} \quad & \pi(t) = R_o[q_o] - C_o[q_o] - E_o[t, q_o] + R[q] - C[q] \end{aligned} \quad (4.12)$$

^{*4} 正確な描写は条件によって異なり、描写が難しいので、左の図と必ずしも対応はしていない。

必要条件は、

$$\frac{\partial R}{\partial q} - \frac{\partial R_o}{\partial q_o} = \frac{\partial C}{\partial q} - \frac{\partial C_o}{\partial q_o} - \frac{\partial E_o}{\partial q_o} \quad (4.13)$$

ここでわかりやすく、炭素税が従来車の生産台数に応じてかかると考えると、 $\frac{\partial E_o}{\partial q_o}$ は従来車 1 台あたりの炭素排出に課税される金額ということになる。右辺に負の項が追加されたのわかる。この項を MC_o に加算して新 MC_o とすると、グラフでの状況は図 4.4 のようになり、 MC_o が上に持ち上がる。この時、従来車の生産量が多いほど MC_o が大きくなることから、図 4.4 の右のように、 $MR - MR_o$ と $MC - MC_o$ が一致する状況が起こることがある。この時、交点 q^* では式 4.13 を満たす状態になっており、企業が EV シフトをできる選択肢が $q = 0$ 以外に広がることになる。企業は、 $q = 0$ の時と $q = q^*$ の時の比較で利潤の大きい方を選択することになる。

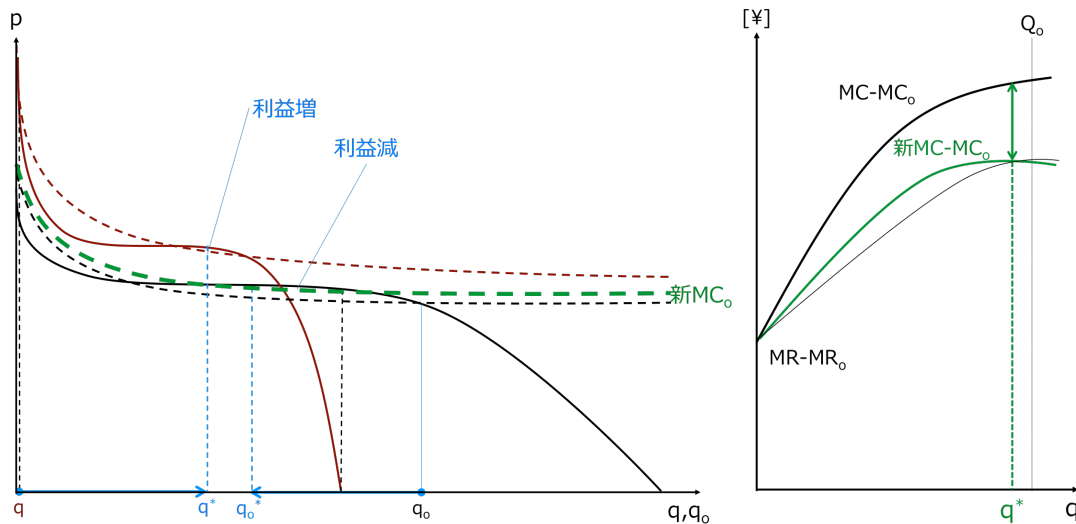


図 4.4: 【類型 1】EV および従来車の MR, MC と、EV 生産量増の時の状況

4.2.3 【類型 2】投資環境の変化の影響

投資環境の変化に関しては、投資スパンの長期化による企業の経験効果の追求と捉えることができる。天谷永 (2017) が経験効果と規模の経済性に関して、製品の差別化による競争優位の理論的な検証を行なっているが、それを参考に EV に関する企業戦略に関する理論的な説明を試みる。経験効果は、4.1.2 節で説明したように、製品の製造コストが累積生産量が増えるに従い減ると考えることができる。

一般に経験効果を得られる製品の企業の利潤最大化を考える。従来車はすでに生産効率が限界まで高まっているので経験効果は使い果たされ、EV にのみ経験効果が得られると考える。 $x(t)$ を累 EV の積生産量とすると、 $q(t)$ を EV の一定期間の生産量として、

$$\dot{x}(t) = q(t) \quad (4.14)$$

である。これを用いて、生産費用関数は、

$$C(t) = C[q(t), x(t)] \quad (4.15)$$

とかけ、期間 t における企業の利潤は、次のようにかける。

$$\begin{aligned} \pi(t) &= R_o[q_o] - C_o[q_o] + R[q] - C[q, x] \\ \text{s.t. } q + q_o &= Q_o(\text{const.}) \end{aligned} \quad (4.16)$$

期間 T までの利潤を考えると、利潤最大化問題は、以下のようになる。

$$\begin{aligned} \text{Max. } & \int_0^T e^{-rt} \pi(t) dt \\ \text{s.t. } & \dot{x}(t) = q(t) \\ & x(0) = 0 \end{aligned} \quad (4.17)$$

この問題は、ハミルトニアン H を用いて解くことができ、必要条件を次のように求めることができる。

$$H = e^{-rt} \pi(t) + \lambda q \quad (4.18)$$

$$\dot{\lambda} = \frac{\partial H}{\partial x} \quad (4.19)$$

を用いて、

$$\frac{\partial H}{\partial q} = \frac{\partial R_o}{\partial q} - \frac{\partial C_o}{\partial q} + \frac{\partial R}{\partial q} - \frac{\partial C}{\partial q} + \lambda = 0 \quad (4.20)$$

$\frac{\partial q}{\partial q_o} = -1$ から、

$$\frac{\partial R}{\partial q} - \frac{\partial R_o}{\partial q_o} = \frac{\partial C}{\partial q} - \frac{\partial C_o}{\partial q_o} - \int_t^T e^{-rt} \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) d\tau \quad (4.21)$$

ここで、 $\frac{\partial C}{\partial x}$ は経験効果を表すため、 $q > 0$ においては、負の値を示すはずである。ただし、 $q = 0$ では、0 になる。4.1.2 節の経験曲線から導出してみよう。式 4.4 から、 q を企業の生産単位とすると、そのコストは一定であると考えて、

$$\begin{aligned} C(t) &= q(t)c(t) \\ &= q(t)Ax^{\beta+\beta'} \end{aligned} \quad (4.22)$$

よって、

$$\frac{\partial C}{\partial x} = A(\beta + \beta')x^{\beta+\beta'} q(t) \quad (4.23)$$

より、 $(\beta + \beta') < 0$ すなわちマイナスであることがわかる。この値は、企業の β' が小さいほど、大きくなるため、企業のコスト弾力性が大きいほど、より企業の生産の決断の可能性が高まるという

わけである。さらに、この経験効果は、 β' が大きいだけでなく、 T が大きいほど、すなわち経験効果を待つことのできる期間が長いほど、経験効果が蓄積される。

経験効果の項を MC に加算して将来の MC とすると、グラフでの状況は図 4.5 のようになり、 MC が下がる。この時、図 4.5 の右のように、 $MR - MR_0$ と $MC - MC_0$ が一致する状況が起こることがある。この時、交点 q^* では式 4.21 を満たす状態になっており、企業が EV シフトをできる選択肢が $q = 0$ 以外に広がることになる。企業は、 $q = 0$ の時と $q = q^*$ の時の比較で利潤の大きい方を選択することになる。

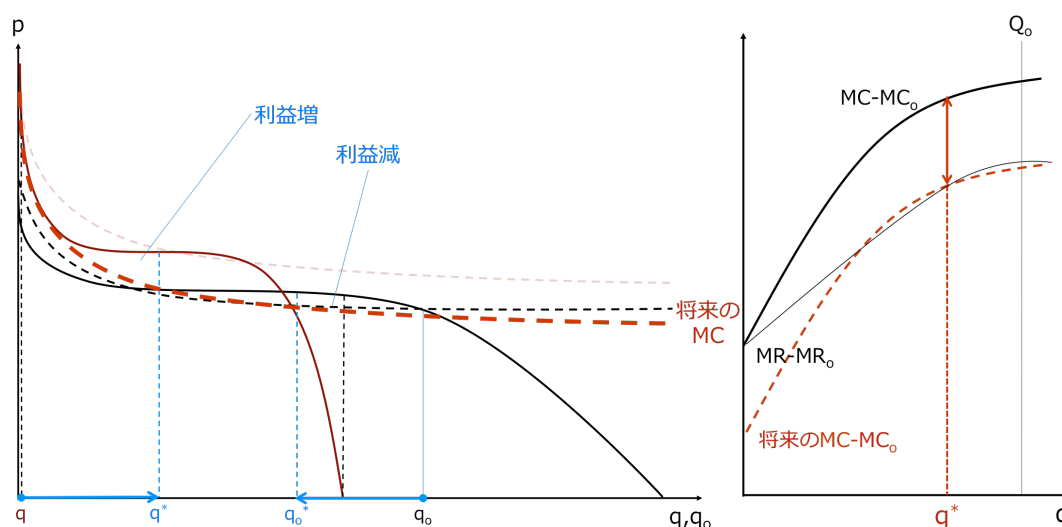


図 4.5: 【類型 2】EV および従来車の MR, MC と、EV 生産量増の時の状況

4.2.4 【類型 3】消費者思考の変化の影響

最後に、消費者思考の変化による影響を考える。企業の宣伝活動等による消費者の環境製品への WTP の増加によって、EV への支出が ρ 分増加するとすると、利潤最大化問題は以下のようにかける。

$$\begin{aligned} \text{Max. } & \int_0^T e^{-rt} \pi(t) dt \\ \text{s.t. } & \pi(t) = R_0[q_0] - C_0[q_0] - E_0[t, q_0] + R[q] + \rho q - C[q] \end{aligned} \quad (4.24)$$

必要条件は、

$$\frac{\partial R}{\partial q} - \frac{\partial R_0}{\partial q_0} = \frac{\partial C}{\partial q} - \frac{\partial C_0}{\partial q_0} - \rho \quad (4.25)$$

ρ は正であるため、右辺に負の項が追加されていることがわかる。この項を MR に加算して新 MR とすると、グラフでの状況は図 4.6 のようになり、 MR が上に持ち上がる。この時、図 4.6 の右のように、 $MR - MR_0$ と $MC - MC_0$ が一致する状況が起こることがある。この時、交点 q^*

では式 4.25 を満たす状態になっており、企業が EV シフトをできる選択肢が $q = 0$ 以外に広がることになる。企業は、 $q = 0$ の時と $q = q^*$ の時の比較で利潤の大きい方を選択することになる。

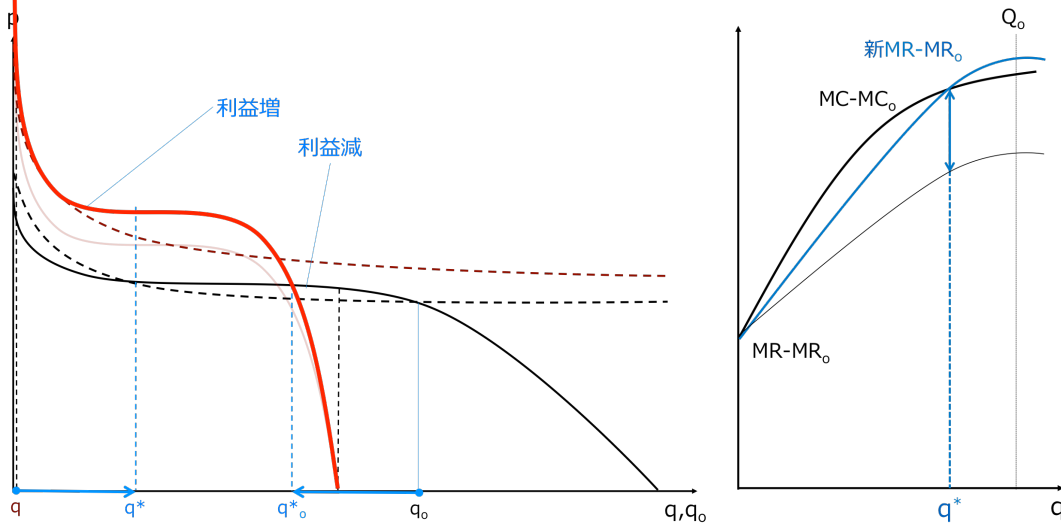


図 4.6: 【類型 3】EV および従来車の MR, MC と、EV 生産量増の時の状況

4.2.5 まとめと企業の EV シフトの条件

前 3 項の影響は一つの式にまとめることができる。

$$\begin{aligned} \text{Max. } & \int_0^T e^{-rt} \pi(t) dt \\ \text{s.t. } & \pi(t) = R_o[q_o] - C_o[q_o] + R[q] + \rho q - C[q, x] \end{aligned} \quad (4.26)$$

必要条件は、

$$\frac{\partial R}{\partial q} - \frac{\partial R_o}{\partial q_o} = \frac{\partial C}{\partial q} - \frac{\partial C_o}{\partial q_o} - \left\{ \frac{\partial E_o}{\partial q_o} + \int_t^T e^{-rt} \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) d\tau + \rho \right\} \quad (4.27)$$

ここで、企業が EV を生産するかどうかを決断する条件を考えると、上の式を満たすような q が $0 < q < q_{max}$ に存在することであると言える。ここで、 q_{max} は、単位期間における需要限界であり、その製品の市場規模と、新製品の機能に依存すると考えられる。EV の場合、充電距離や充電インフラの制限があるので、通常 $q_{max} \leq Q_o$ であると考えられる。すなわち、

$\exists q$ in $0 < q < q_{max}$,

$$\frac{\partial R}{\partial q} - \frac{\partial R_o}{\partial q_o} = \frac{\partial C}{\partial q} - \frac{\partial C_o}{\partial q_o} - \left\{ \frac{\partial E_o}{\partial q_o} + \int_t^T e^{-rt} \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) d\tau + \rho \right\} \quad (4.28)$$

$\pi(q, \tau)(q \rightarrow 0)$ は負であると考えられるので、 $\pi(q_{max}, \tau) > 0$ となるか、 $0 < q < q_{max}$ における $\text{Max.} \pi(q_{max}, \tau)$ が正となることである。

第5章

結論

5.1 研究成果のまとめ

本研究は、「自動車企業がなぜ近年急激にEVシフトを進めるようになったのか」を検証することを目的に行った。

第2章において、EVによるGHG削減対策の限界削減費用と、社会へのインパクトを知るために、次世代自動車によるGHG削減対策の費用対効果をGAMSを用いて評価し、産業波及効果を産業連関表を用いて行った。GAMSによる2015年からの長期コスト最適化分析の結果、消費者の消費実態と走行実態を考慮すると、EVは最後の最後にならないと導入されないという結果を得た。さらに、産業連関表を用いた経済波及効果の検証では、EVによるGHG削減ポテンシャルは、太陽光発電や風力発電、LEDランプと比較しても小さいことがわかった。一方で、国内への付加価値と、産業波及の多様性の観点から評価した場合、多様性の面においてはEVによるGHG削減が一番優れており、国の産業活性化政策としては、幅広い業界にメリットを与えることができ、良い手法であることが示せた。さらに、国内へ還元される付加価値の観点からは、仮にEV産業を現状の自動車産業と同じレベルで輸出産業に発展させることができれば、他のGHG削減手法と比べて優れていることが説明できた。まとめると、今までEV導入は、経済的な意義は大きいGHG削減という観点からは消費者の費用負担が大きく、実現できていなかったということになるだろう。

次に、第3章において、企業による外部不経済の内部化に関して、近年トレードオフであった経済性と社会性を両立する考えが生まれてきている理由を自動車業界を中心に、その他の業界からの事例も交えつつ、体系化することができた。具体的には、企業が規制に関係なく、低炭素技術の開発を”経済的に儲かるから”行っていくことができる方向に、環境が変わりつつあることを説明できた。その理由は主に3つあり、1つ目はGHG排出を多く行う事業が規制されたり、損害賠償訴訟を起こされたりするリスクが強くなってきたことであった。今まではGHG排出が地球温暖化を引き起こす証拠が希薄であったり、GHG排出の個人への損害の把握が困難であったりしたために、企業は規制や損害賠償を免れていたが、近年それらのリスクが高まってきた。その結果、企業にとっては早回りして規制や損害賠償への対策を行うことがより良い選択肢となってきたのであった。2つ目は投資環境の変化であり、リーマンショック以前の短期主義的な投資に対する反省から、投資ス

パンが長期化したことである。パリ協定などの世界的な気候変動の枠組の動きに連動するように、ESG 投資というより環境にポジティブな事業に投資を行い、ネガティブな分野からは投資を撤退する投資の動きが生まれた。その結果企業がより長期的な目線で環境製品開発の経験効果を追求できるようになったということであった。3 つ目に消費者思考の変化をあげた。Pays to be Green という環境性の高い製品を好むニッチな層が現れはじめ、さらに企業の消費者の啓蒙活動によって、より消費者がコストをライフサイクルで考えるようになり、エネルギー消費の少ない EV をはじめ、環境製品に対する WTP が伸びた。ライフサイクル思考の啓蒙は、企業だけでなく政策レベルでも行われつつあり、PAYS やグリーンニューディールといった新しい考え方も生まれつつある。

3 章の最後には、企業の環境性追求の理由に加えて、企業の意思決定の、プロセスについて考えた。ルームエアコンや照明器具の例をもとに、企業間競争が機能による差別化戦略から、環境性能による差別化、さらにはその他の付加価値による差別化という形で発展する流れを示した。この例でいえば、現在自動車産業は環境性能による差別化の段階であるが、HV の登場など、環境性能が極限まで高まりつつある現在、環境性能が競争ポイントにならず、その他の付加価値での勝負になる EV に移行しつつあることを述べた。特に付加価値化の流れにおいて、CASE (コネクテッド・自動運転・シェアリング・EV) の 4 つのトレンドがより EV への企業戦略の移行を促進している可能性がある。

最後に、第 4 章において、既存の経済理論を発展させた形で、第 3 章が企業の EV シフトの原動力になる理論的な説明を試みた。現在のガソリン車が主流な市場に EV のような環境製品を導入する状況において、低炭素な製品がある一定規模の市場を取るようになる生産量 q が存在しうることを示した。そして、第 3 章で類型化した 3 つの要因「規制や損害賠償リスクへの自主的な対応」「投資環境の長期化による経験効果の追求」「消費者の環境製品への WTP 増」が企業の EV シフトをよりやりやすくし、より早期に EV シフトを決断するということを説明できた。

5.2 今後の展望

本研究における今後の発展としては、理論の定量的な評価になるだろう。消費者の需要構造を定量的に把握し、収入関数を定義し、費用関数を定義できれば、定量的な評価が可能である。定義次第でより細かい状況を説明することも可能だろう。例えば EV の電池をより積む場合、走行距離が伸びるので EV の限界収入曲線の裾野が長くなる一方、限界費用曲線は上がることが想定される。また、第 3 章において第 4 章には反映できなかった CASE の事例も、工夫次第では式への組み込みが可能であろう。さらに、国による違いの考慮も考えればより現実的な分析になる。吉森賢 (1998) の行なったアンケートにおいて、「企業の所有者は株主である。したがって株主の利益が最優先されるべきだ」という質問に対する「はい」の回答が、アメリカ・イギリスはそれぞれ 76・71 パーセントであるのに対し、ドイツ・フランスは 17・22 パーセントであり、日本は 2.9 パーセントであった。さらに「会社はその利害関係者（従業員、株主、顧客、仕入先、代理店など）全体の長期利益を増進するために存在する」という質問に肯定したのは、日本が 97 パーセントであるのに対し、アメリカ・イギリスはそれぞれ 24・30 パーセントであり、ドイツ・フラン

スは 83・78 パーセントであった。第 3 章における CSV の議論とも重なるが、日本においては古くから戦略的社会性の概念が備わっているのに対し、英米ではよりコストにシビアであり、欧州がよりサステナビリティへの志向が強いことも理論に加えることが可能かもしれない。また、この理論は EV と同様に、現在広く普及している製品をより環境性能の良い技術で代替するケースにおいて、自動車業界だけでなく他の業界に応用することも可能だろう。

参考文献

- Alberini, Anna and Kathleen Segerson (2002) “Assessing Voluntary Programs to Improve Environmental Quality,” *Environmental and Resource Economics* 22, pp. 157-184.
- AmsterdamRoundtableFoundation and McKinsey&Company (2014) “Evolution Electric vehicles in Europe.”
- Ansar, Atif, Ben Caldecott, and James Tilbury (2013) “Stranded Assets and the Fossil Fuel Divestment Campaign: What does Divestment mean for the Valuation of Fossil Fuel Assets?,” October.
- Atkinson, A. B. and J. E. Stiglitz (1980) *Lectures on Public Economics*: Princeton University Press.
- Barbier, Edward (2009) “A Global Green New deal,” Technical report, UNEP, URL: <https://wedocs.unep.org/rest/bitstreams/11748/retrieve>.
- Baumol, W. E. and W. E. Oates (1988) *The Theory of Environmental Policy*: Cambridge: Cambridge University Press.
- BCG (1997) *Perspectives on Experience*: Boston Consulting Group.
- Bosch, D. J., Z. L. Cook, and K. O. Fuglie (1995) “Voluntary versus Mandatory Agricultural Policies to Protect Water Quality: Adoption of Nitrogen Testing in Nebraska,” *Review of Agricultural Economics*, Vol. 17, No. 1, pp. 13-24.
- BP (2017) “BP Statistical Review of World Energy June 2017.”
- Caldecott, Ben and Nick Robins (2014) “Greening China’s Financial Markets: The Risks and Opportunities of Stranded Assets.”
- CAP (2008) “Green Recovery,” Center for American Progress, URL: <http://www.americanprogress.org/issues/green/report/2008/09/09/4929/green-recovery/>.
- CFAI (2012) “Visionary Board Leadership - Stewardship for the Long Term,” June.
- CTI (2011) “Unburnable Carbon Are the world’s financial markets carrying a carbon bubble?.”
- Day, G. S. and D. B. Montgomery (1983) “Diagnosing the experience curve,” *Journal of Marketing*, No. 47, pp. 44–58.
- EEA (2016) “Monitoring CO2 emissions from new passenger cars and vans in 2015.”
- Eurosif (2016) “European SRI Study 2016.”

- FDA (2015/06/17) “Final Determination Regarding Partially Hydrogenated Oils,” FDA, URL: <https://www.federalregister.gov/documents/2015/06/17/2015-14883/final-determination-regarding-partially-hydrogenated-oils>.
- Friedman, Milton (1970) “The social responsibility of business is to increase its profits.”
- Gray, W. B (1987) “The Cost of Regulation : OSHA, EPA and the Productivity Slowdown,” *The American Economic Review*, Vol. 77, No. 5, pp. 998-1006.
- GSIA (2014) “Sustainable Investment Review 2014.”
- (2016) “Sustainable Investment Review 2016.”
- IEA (2008-2016) “Hybrid and Electric Vehicles.”
- (2017) “Global EV Outlook 2017,” URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>.
- Johnson, Nicole (2013) “Native Village of Kivalina v. ExxonMobile Corp: Say Goodbye to Federal Public Nuisance Claims for Greenhouse Gas Emissions,” *Ecology Law Quarterly*, Vol. 40, No. 2, p. 557.
- (2012) .
- Khanna, M. and L. A. Damon (1999) “EPA’s Voluntary 33/50 Program: Impact on Toxic Releases and Economic Performance of Firms,” *Journal of Environmental and Economic Management*, Vol. 37, No. 1, pp. 1–25.
- Lyon, Thomas P. and John W. Maxwell (2007) “Environmental Public Voluntary Programs Reconsidered,” *The Policy Studies Journal*, Vol. 35, No. 4.
- Margolis, Joshua, Hillary Elfenbein, and James P. Walsh (2009) “Does it Pay to Be Good...And Does it Matter? A Meta-Analysis of the Relationship between Corporate Social and Financial Performance,” *SSRN Electronic Journal*.
- Massachusetts (2007) “Massachusetts v. Environmental Protection Agency, 549 U.S.497 2007,” URL: <https://supreme.justia.com/cases/federal/us/549/497/>.
- Mayer, Christopher and Julia Kerby (2010) “The Big Idea: Leadership in the Age of Transparency,” *Harvard Business Review*, Vol. April 2010, URL: <https://hbr.org/2010/04/the-big-idea-leadership-in-the-age-of-transparency>.
- Mohr, Robert D. (2002) “Technical Change, External Economies, and the Porter Hypothesis,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 43, No. 1, pp. 158-168.
- navigater.com, FOOD (2015/12/23) “Kraft slashes trans fats in time for labelling deadline,” URL: <https://www.foodnavigator.com/Article/2005/12/23/Kraft-slashes-trans-fats-in-time-for-labeling-deadline>.
- NEF (2008) “A Green New Deal,” New Economic Foundation, URL: <http://www.neweconomics.org/publications/green-new-deal>.
- Nordhaus, William D. (2016) “Revising the social cost of carbon,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 114, No. 7, pp. 1518-1523.

- Onat, Nuri Cihat, Murat Kucukvar, and Omer Tatari (2015) “Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States,” *Applied Energy*, Vol. 150, No. 15, pp. 36-49.
- Palmer, Karen, Wallace E. Oates, and Paul R. Portney (1995) “Tightening Environmental Standards: The Benefit-Cost or the No-Cost Paradigm?” *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 9, No. 4, pp. 119-132.
- Pigou, Arthur. C. (1920) *The Economics of Welfare*: MacMillan, New York.
- Porter, M. E (1991) “Americas Green Strategy,” *Scientific American*, Vol. 264, No. 4, p. 96.
- Porter, M. E. and C. van der Linde (1995a) “Green and Competitive: Ending the Stalemate,” *Harvard Business Review*, Vol. 73, No. 5, pp. 120-134.
- (1995b) “Toward a New Conception of the Environmental-Competitiveness Relationship,” *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 9, No. 4, pp. 97-118.
- Porter, Michael E. (1980) *Competitive Strategy-Techniques for Analyzing Industries and Competitors*: The Free Press.
- Porter, Michael E. and Mark R. Kramer (2006) “Strategy and Society:The Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility,” *Harvard Business Review*, Vol. 84, No. 12, pp. 78-92.
- Prahalad, C. and S. Hart (2002) “The fortune at the bottom of the pyramid,” *Strategy+business*, Vol. 26.
- Prahalad, C.K. (2005) 『ネクスト・マーケット』, スカイライトコンサルティング訳 .
- PRI (2016) 「責任投資原則-国連環境計画・金融イニシアチブおよび国連グローバル・コンパクトとのパートナーシップによる投資家イニシアチブ」.
- RainforestActionNetwork (2017) “Banking on Climate Change 2017,” URL: https://www.ran.org/banking_on_climate_change.
- Reuters (2017/07/29) “Tesla’s Musk hands over first Model 3 electric cars to early buyers,” URL: <https://www.reuters.com/article/us-tesla-model-3/teslas-musk-hands-over-first-model-3-electric-cars-to-early-buyers-idUSKBN1AE04G>.
- Scholand, Michael J. and Heather E. Dillon (2012) “Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products,” Technical report, Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S.Department of Energy, URL: https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-21443.pdf.
- Schwartz, John (2015/11/06) “Exxon Inquiry Both Mirrors and Contrasts With Tobacco Industry Case,” *The New York Times*, URL: <https://www.nytimes.com/2015/11/07/science/exxon-inquiry-both-mirrors-and-contrasts-with-tobacco-industry-case.html>.
- Segerson, K. and N. L. Dawson (2001) “Environmental Voluntary Agreements: Participation and Free Riding”, in E. Orts and K. Deketelaere, eds., *Environmental Contracts: Compar-*

- ative Approaches to Regulatory Innovation in Europe and the United States,” *Dordrecht: Kluwer Law International*, pp. 369–388.
- Segerson, K. and T. Miceli (1998) “Voluntary Environmental Agreements: Good or Bad News for Environmental Protection?” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 36, pp. 109–130.
- SustainableJapan (2017) 「【デンマーク】国営 DONG Energy、エルステッドに社名変更。石油ガス事業の全売却完了」, URL : <https://sustainablejapan.jp/2017/10/16/dong-energy-to-orsted/28563> .
- Tesla (2014/06/30) “Panasonic and Tesla Sign Agreement for the Gigafactory,” URL: <https://www.tesla.com/jp/blog/panasonic-and-tesla-sign-agreement-gigafactory>.
- TheWalkerReview (2009) “A review of corporate governance in UK banks and other financial industry entities Final recommendations,” November.
- TheWhiteHouse (2013a) “Presidential Memorandum – Power Sector Carbon Pollution Standards,” June, URL: <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2013/06/25/presidential-memorandum-power-sector-carbon-pollution-standards>.
- (2013b) “The President’s Climate Action Plan,” June, URL: <https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/image/president27sclimateactionplan.pdf>.
- Unruh, G.C. (2000) “Understanding carbon lock-in,” *Energy Policy*, Vol. 28, No. 12, pp. 817–830, October.
- Viscusi, W. K. (1983) “Frameworks for Analyzing the Effects of Risk and Environmental Regulations on Productivity,” *The American Economic Review*, Vol. 73, No. 4, pp. 793–801.
- Volkswagen (2017) “Volkswagen launches largest electromobility campaign in the automotive industry,” URL: <http://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2017/09/IAA-2017-Mueller.html>.
- WBG (2015) “State and Trends of Carbon Pricing 2015,” World Bank Group, ECOFYS.
- World Bank Group, ECOFYS (2017) “State and Trends of Carbon Pricing 2017.”
- WSJ (2017/08/07) “Cash-Hungry Tesla’s Missed Opportunity,” URL: <https://www.wsj.com/articles/cash-hungry-teslas-missed-opportunity-1502120304>.
- Xepapadeas, Anastasios and Aart de Zeeuw (1999) “Environmental policy and competitiveness: the Porter hypothesis and the composition of capital,” *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 37, No. 2, pp. 165–182.
- ゲルノット・ワグナー・マーティン・ワイツマン・山形浩生訳 (2016) 『気候変動クライシス』, 東洋経済新報社 .
- トヨタ株式会社 (2015) 「第 1 回 AA 型種類株式に関するご説明資料」, 6 月, トヨタ株式会社資料 .
- ロイター (2009/04/15) 「4 月から省エネ法改正、LED 照明器具に特需の期待」, URL : <https://jp.reuters.com/article/idJPJAPAN-37503220090415> .

- (2017/06/01) 「米国のパリ協定離脱、フェイスブックやアップルCEOが批判」, URL : <https://jp.reuters.com/article/us-climate-survery-idJPKBN1CT03N> .
- (2017/09/22) 「アングル：電気自動車「天国」に続く補助金の道」, URL : <https://jp.reuters.com/article/autos-electric-idJPKCN1BX0K5> .
- (2017/10/24) 「米企業、気候変動対策を継続 パリ協定離脱方針影響せず = 調査」, URL : <https://jp.reuters.com/article/us-climate-survery-idJPKBN1CT03N> .
- 伊藤康・浦島邦子 (2013) 『ポーター仮説とグリーンイノベーション - 適切にデザインされた環境インセンティブ環境規制の導入 - 』, 第 3・4 月号巻, 科学技術動向, URL : <http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-STT134J-3.pdf> .
- 渦原実男 (2008) 「ウォルマートの経営戦略転換とマーケティング」, 『商学論集』, 第 55 巻, 第 2・3 号, 89-114 頁, 12 月 .
- 永田豊・森裕子 (2010) 「日本の中期 CO2 削減費用とモデル分析の課題」, 『社会経済研究』, 第 58 号, 9 月 .
- 永尾修一・吉田好邦 (2016) 「走行実態と環境制約を考慮した自動車の保有構成の最適化」, 『東京大学卒業論文』 .
- 岡田正大 (2016) 「ROE8 第 5 回 2016 年 1 月 28 日」 .
- 環境省 (2014) 「温室効果ガスインベントリ」 .
- (2017) 「カーボンプライシングに関する意見交換会 参考資料国内外のカーボンプライシングの動向」, URL : <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cp/dl01/ref01.pdf> .
- 吉森賢 (1998) 「企業はだれのものかー企業概念の日米欧比較」, 『横浜経営研究』, 第 XIX 巻, 第 1 号, 42-54 頁 .
- 金井一 (1995) 「地域の産業政策と地域企業の戦略」, 『組織科学』, 第 29 巻, 第 2 号 .
- 経済産業省 (2015a) 「『長期エネルギー需給見通し』: 2030 年の電源構成目標」, URL : http://www.meti.go.jp/press/2015/07/20150716004/20150716004_2.pdf .
- (2015b) 「温室効果ガス排出量の現状等について」, URL : http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004000/pdf/042_s05_00.pdf .
- 経済産業省 商務情報政策局情報通信機器課 (2012) 「LED 照明産業を取り巻く現状」, URL : http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004296/pdf/001_05_00.pdf .
- 経済産業省省エネルギー・新エネルギー部 (2017) 「再生可能エネルギーの大量導入時代における政策課題について」 .
- 国税庁 (2012) 「地球温暖化対策のための石油石炭税率の特例等について」, URL : <http://www.nta.go.jp/shiraberu/ippanjoho/pamph/kansetsu/ondanka.pdf> .
- 財団法人日本自動車研究所 (2008) 「EV・pHV タウン構想推進に向けての JARI からの提案」, 財団法人日本自動車研究所, URL : <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g80730b10j.pdf> .
- 三井物産 (2017) 「世界の燃費規制の進展と自動車産業の対応」, URL : http://www.mitsui.com/mgssi/ja/report/detail/_icsFiles/afieldfile/2017/03/15/

170315i_nishino.pdf .

山崎良兵 (2017/8/22) 「テスラとパナの命運握る世界最大電池工場が稼働-EV 普及の最大の課題だった電池コストを 3 割以上下げる」, 1 月, URL : <http://business.nikkeibp.co.jp/atcl/report/15/110879/010500527/?P=1> .

山田興一・小宮山宏 (2002) 『太陽光発電工学』, 日経 BP 社 .

資源エネルギー庁 (2016a) 「エネルギー白書」.

—— (2016b) 「電源種別(太陽光・風力)のコスト動向等について」, URL : http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/025_01_00.pdf .

寺西たから (2017) 「温室効果ガス削減事業と企業経営戦略に関する研究」, 博士論文, 東京大学大学院 .

自然エネルギー財団 (2016) 「世界の石炭ビジネスと政策の動向～パリ協定後の投融資を誤らないために～」, 10 月 .

十川寛國 (2005) 『CSR の本質』, (株) 中央経済社 .

森泉由恵・本藤祐・中野諭 (2015) 「再生可能エネルギー部門拡張産業連関表の開発と応用」, 『日本エネルギー・資源学会誌』, 第 94 号, 1397-1413 頁 .

多田千佳・柳田高志・佐賀清崇・リュドミラベスピャトコ・バティスタエルマー・藤本真司・美濃輪智朗 (2009) 「産業連関表を用いた日本における粉殻発電導入の産業構造への影響解析」, 『日本エネルギー・資源学会誌』, 第 88 号, 869-876 頁 .

大滝精一・山田英夫・岩田智・金井一頼 (1997) 『経営戦略 創造性と社会性の追求』, 有斐閣 .

谷川浩也 (2004) 「日本企業の自主的環境対応のインセンティブ構造-ケース・スタディとアンケート調査による実証分析-」, 『RIETI DIscussion Paper 04-J-030』, 04-J-030, 独立法人経済産業研究所 .

地球環境産業技術研究機構 (2016) 「カーボンプライシングに関する論点整理 定量的なデータ・分析より」, 長期地球温暖化プラットフォーム 国内投資拡大タスクフォース .

中原久美子 (2014) 「ポーター仮説と企業間競争 - 日本の RAC 産業を事例に -」, 『経済論叢 (京都大学)』, 第 187 巻, 第 4 号, 41-60 頁, 1 月 .

中国網日本語版(チャイナネット) (2017/06/13) 「ガソリン車メーカー、中国での新設が不可に」, URL : http://japanese.china.org.cn/business/txt/2017-06/13/content_41017428.htm .

中野諭・平湯直子・鈴木将之 (2002) 「電気自動車 ELICA の LCA」, 『KEO Discussion Paper』, 第 112 号 .

中野諭・鷲津明由 (2016) 「微細藻類バイオマス燃料油利用の産業連関的評価:2 つの事業モデルを中心に」, 『日本エネルギー・資源学会誌』, 第 95 号, 123-138 頁 .

低炭素社会戦略センター (2016) 「家庭・中小業務における「電気代そのまま払い」社会実装のための提案書」, Technical report, 国立研究開発法人科学技術振興機構 .

天谷永 (2017) 「環境規制と競争戦略 - 「ポーター仮説」の再検討 -」, 『創価経営論集』, 第 31 巻, 第 1・2 号, 23-33 頁 .

電力中央研究所 (2010) 「電源別のライフサイクル CO2 排出量を評価」, URL : <http://criepi.denken.or.jp/research/news/pdf/den468.pdf> , 電中研ニュース. No468 .

日経 BP 社 (2012) 「儲かる CSR - 社会価値で成長する - 特集 1 社会価値で成長する」, 4 月 .

日経トレンドネット (2016/12/27) 「国内月販で首位に躍り出た日産ノートは誰が買ってる? e-Power はなぜそんなに人気なのか」, URL : <http://trendy.nikkeibp.co.jp/atcl/pickup/15/1008498/122600561/?rt=nocnt> .

日経ビジネスオンライン (2016) 「ヤマハ発「ガーナでシェア 90 %」の秘密」, URL : <http://business.nikkeibp.co.jp/atcl/report/15/280921/030400022/?P=1> .

日産自動車 (2018/1/9) 「「日産リーフ」、グローバルに累計約 30 万台を販売」, URL : <https://newsroom.nissan-global.com/releases/release-3459ed449767a2e07b2e465ced004a53-180109-00-j?lang=ja-JP> .

日本経済新聞 (2017/01/28) 「再生エネのコスト低下 - 規模拡大で 風力や太陽光、石炭火力並みも U A E で最安の計画」, URL : https://www.nikkei.com/article/DGKKASGM25H2V_X20C17A1FF1000/ .

—— (2017/07/05) 「ボルボ、全車種 19 年から電動に 有力メーカーの先陣切る」, URL : https://www.nikkei.com/article/DGXLASDZ05IDT_V00C17A7TI1000/ .

—— (2017/07/07) 「フランス、EV 社会へ大転換 ガソリン車禁止の余波」, URL : https://www.nikkei.com/article/DGXLASDZ07HHP_X00C17A7000000/ .

—— (2017/07/27) 「欧州発 電気自動車シフト 英もガソリン車販売禁止へ 脱石油、世界の潮流に」, URL : https://www.nikkei.com/article/DGKKASDC26H3R_W7A720C1EA2000/ .

—— (2017/10/14) 「VW エコカー戦略転換 ディーゼルから電気へ排ガス不正受け投資削減」, URL : <https://www.nikkei.com/article/DGXLZ092787380U5A011C1MM8000/> .

—— (2017/10/28) 「太陽光パネル、中国勢の波 低価格で圧倒世界 8 位ライセンなど参入 入札制度が商機に」, URL : <https://www.nikkei.com/article/DGKKZ021975360W7A001C1MM0000/> .

—— (2017/12/31) 「トヨタ EV 技術開発、7 社連合にスズキ・スバル・日野・ダイハツが参加」, URL : <https://www.nikkei.com/article/DGXMZ025267430Q7A231C1MM8000/> .

—— (2017/8/22) 「日本経済新聞電子版朝刊. 「インパクト投資」日本にも」, URL : <https://www.nikkei.com/article/DGKKZ020213950R20C17A8DTA000/> .

—— (2017/9/28) 「トヨタ、EV 連合へ呼び水 マツダ・デンソーと新会社」, URL : <https://www.nikkei.com/article/DGXLZ021674060Y7A920C1TI1000/> .

—— (2017/9/29) 「中国、新エネ車 19 年に 10 % メーカー対象、製造販売で義務付け」, URL : <https://www.nikkei.com/article/DGXLZ021680200Z20C17A9FF2000/> .

日本自動車工業会 (2016) 「2015 年度乗用車市場動向調査」, URL : http://www.jama.or.jp/lib/invest_analysis/pdf/2015PassengerCars.pdf .

日本太陽光発電協会 (2002-2016) 「太陽電池の出荷統計」, URL : <http://www.jpea.gr.jp/document/figure/index.html> .

—— (2010) 「JPEA PV Outlook 2030 - 日本ブランド 10 兆円産業を目指して - 」.

武田史郎 (2017) 「排出量取引と自主的行動に夜 CO₂ 削減の効果 - 応用一般均衡モデルによる分析 - 」, 『環境科学会誌』, 第 30 巻, 第 2 号, 141-149 頁.

目代武史 (2000) 「自動車部品産業における経験曲線効果に関する実証分析」, 『国際協力研究誌』, 第 6 巻, 第 1 号, 119-132 頁.

矢部邦明・戸上拓哉・篠田幸男・関知道・田中秀雄・秋澤淳 (2011) 「アンケート結果に基づく日走行距離分布と phev の CO₂ 削減効果」, 『エネルギー・資源学会論文誌』, 第 32 巻, 第 4 号, 18-24 頁.

矢部邦明・篠田幸男・関知道・田中秀雄・秋澤淳 (2012) 「アンケート結果に基づく PHEV と EV の普及見通しと支援策の評価」, 『エネルギー・資源学会論文誌』, 第 33 巻, 第 3 号, 23-32 頁.

謝辞

本論文の研究・執筆にあたり、吉田好邦教授には数多くのアドバイスを頂きました。興味が色々と変わって、研究テーマが定まらなかったにも関わらず、その度に毎回相談に乗っていただきありがとうございました。先生とのミーティングを経て、何度も考えが整理されました。この場を借りて、感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。同時に、副査である布浦鉄兵准教授には、吉田教授とは違った視点から適切な助言をいただきました。成果の見せ方や論理構成など、よりテクニカルな部分で多くのアドバイスをいただき、感謝の気持ちでいっぱいです。

自動車の研究においてデータ提供をしていただいたトヨタ自動車さんにも感謝申し上げます。おかげさまで研究を不自由なく進めることができましたし、お話をお聞きする中で研究者からは得られない貴重な視点を得ることができました。

また、研究室の博士課程の Rey には、修論のテーマ設定および手法に関して、色々と相談させてもらいました。わざわざ学外でも手伝ってくれてありがとう。井原研究室の橋本さんには、研究の心構えを教えていただきましたし、博士課程の Long さんには、同じような分析手法を使う上で色々とアドバイスをいただきました。社会人ドクターの鈴木さんおよび高田さんにはいつもお世話になりました。さらに研究室の同期の渡辺さん、野原さん、李君のおかげで、研究生活が充実したものになりました。皆さん本当にありがとうございました。北沢君、西本君、押見君とは、研究で忙しい中毎週テニスができて良い気分転換になりました。

最後になりましたが、大変な執筆作業の中支えてくれた家族と、友人たちにも感謝の意を伝えます。本当にありがとうございました。

平成 30 年 1 月末 多田羅孔明

付録 A

アンケートの内容

アンケートは、永尾修一・吉田好邦 (2016) によるものを使っており、実施概要は以下である。

- 調査実施期間：2015 年 11 月 18 日～11 月 19 日
- 調査方法：インターネット調査
- 対象者：自動車を保有する全国の男女 1000 人
- 実施機関：楽天リサーチ株式会社

アンケートはスクリーニング調査と本調査の 2 段階で構成される。スクリーニング調査により、自身が保有している車両の走行距離に関して具体的に把握できている人を抽出することで、本調査に回答してもらう回答者を選別する。スクリーニング調査を経て本調査に進んだ回答者が 1000 人が本調査に回答した。スクリーニング調査を以下に示す。

1. あなたの世帯では自動車を保有していますか。保有していない

- ① 1 台
- ② 2 台
- ③ 3 台以上

これで①を答えた人は調査対象外となる。②を答えた人は設問 2 に進み、③、④を答えた人は設問 3 に進む。

2. あなたの世帯が保有する車のおよその年間の走行距離が分かりますか。

- ① よく分かる
- ② 大体分かる
- ③ あまり分からない
- ④ 全く分からない

これで①を答えた人のみが本調査に進み、他の選択肢を選んだ人は調査対象外となる。

3. あなたの世帯が保有するすべての車について、それぞれの車のおよその年間の走行距離が分かりますか。

- ① すべての車についておよその年間走行距離が分かる
- ② 年間走行距離が分からない車もある
- ③ 全く分からない

設問 2 と同様に①を選んだ人のみが本調査に移り、他の選択肢を選んだ人は対象外になる。

本調査は大きく、「保有する車両に関する調査」、「車両利用に関する調査」、「買い替え予定に関する調査」、「回答者の個人属性」の 4 つの調査に分類される。

(A) 保有する車両に関する調査

保有する車両について問うが、保有車両が 2 台、3 台となるならば、この調査の質問を 2 周、3 周とすることになる。4 台以上保有する場合はその中で頻繁に利用する 3 台についてのみ回答してもらう。メーカーや車名、購入してからの年数、購入価格、実燃費などについて調査した。以下に保有車両に関する調査の調査票の文面を示す。

———以下調査票の文面———

1. クルマのメーカー・車名をお答えください。

メーカー：記述式

車名：記述式

2. このクルマは購入して何年目ですか。

- ① 1 年目
- ② 2 年目
- ③ 3 年目
- ④ 4 年目
- ⑤ 5 年目
- ⑥ 6 年目
- ⑦ 7 年目
- ⑧ 8 年目
- ⑨ 9 年目
- ⑩ 10 年目
- ⑪ 11 年目
- ⑫ 12 年目
- ⑬ 13 年目
- ⑭ 14 年目

- ⑮ 15 年目
- ⑯ 16 年目
- ⑰ 17 年目
- ⑱ 18 年目
- ⑲ 19 年目
- ⑳ 20 年目
- ㉑ 21 年目以上

3. このクルマは新車で購入しましたか。中古で購入しましたか。

- ① 新車
- ② 中古

4. このクルマの年代をお答えください。

- ① 1970 年以前
- ② 1971 ~ 1975
- ③ 1976 ~ 1980
- ④ 1981 ~ 1985
- ⑤ 1986 ~ 1990
- ⑥ 1991 ~ 1995
- ⑦ 1996 ~ 2000
- ⑧ 2001 ~ 2005
- ⑨ 2006 ~ 2010
- ⑩ 2011 ~ 2015
- ⑪ 分からない

5. このクルマの購入価格をお答えください。

諸経費・オプション価格を除く車体価格でお答えください。

- ① 40 万円未満
- ② 40 ~ 60 万円
- ③ 60 ~ 80 万円
- ④ 80 ~ 100 万円
- ⑤ 100 ~ 120 万円
- ⑥ 120 ~ 140 万円
- ⑦ 140 ~ 160 万円
- ⑧ 160 ~ 180 万円
- ⑨ 180 ~ 200 万円
- ⑩ 200 ~ 220 万円
- ⑪ 220 ~ 240 万円
- ⑫ 240 ~ 260 万円
- ⑬ 260 ~ 280 万円

- ⑭ 280～300 万円
- ⑮ 300～320 万円
- ⑯ 320～340 万円
- ⑰ 340～360 万円
- ⑱ 360～380 万円
- ⑲ 380～400 万円
- ⑳ 400～420 万円
- ㉑ 420～440 万円
- ㉒ 440～460 万円
- ㉓ 460～480 万円
- ㉔ 480～500 万円
- ㉕ 500 万円以上

6. このクルマの実燃費をお答えください。

- ① 1 リットル当たり 4km 未満
- ② 1 リットル当たり 4～6km
- ③ 1 リットル当たり 6～8km
- ④ 1 リットル当たり 8～10km
- ⑤ 1 リットル当たり 10～12km
- ⑥ 1 リットル当たり 12～14km
- ⑦ 1 リットル当たり 14～16km
- ⑧ 1 リットル当たり 16～18km
- ⑨ 1 リットル当たり 18～20km
- ⑩ 1 リットル当たり 20～22km
- ⑪ 1 リットル当たり 22～24km
- ⑫ 1 リットル当たり 24～26km
- ⑬ 1 リットル当たり 26～28km
- ⑭ 1 リットル当たり 28～30km
- ⑮ 1 リットル当たり 30km 以上
- ⑯ 分からない

7. このクルマの排気量をお答えください。

- ① 1000cc 未満
- ② 1000～1500cc
- ③ 1500～2000cc
- ④ 2000～2500cc
- ⑤ 2500～3000cc
- ⑥ 3000～3500cc
- ⑦ 3500～4000cc

- ⑧ 4000～4500cc
- ⑨ 4500～6000cc
- ⑩ 6000cc 以上
- ⑪ 分からない

—————調査票はここまで—————

(B) 車両利用に関する調査

走行距離に関する調査で、各車両について回答してもらうため、(A)と同じく保有車両の台数分、(B)の調査を回答することになる。年間走行距離、日走行距離に加え、1年間のうち長距離走行する日数について質問した。この3つ目の質問を入れておいたのは2つ理由がある。まず1つは、その走行距離についての回答の有効性を確認するためである。直接尋ねた年間走行距離と、長距離走行のデータ・日走行距離のデータを使って算出した年間走行距離の推測値とを比較して、ずれが大きい回答は無効と判断して除外する（後述）。もう1つの理由は、EVの実際の航続可能距離が100km前後であるためで、もし100km以上の長距離走行する日が1年に1日以上ある場合は、EVを保有しないとする制約を設ける。以下に保有車両に関する調査の調査票の文面を示す。

—————以下調査票の文面—————

8. このクルマの1年あたりの平均的な走行距離をお答えください。

あなた以外も運転される場合には、その方の運転も含めたクルマとしての合計の走行距離をお答えください。

- ① 2000km 未満（およそ何 km か記述式）
- ② 2000～4000km
- ③ 4000～6000km
- ④ 6000～8000km
- ⑤ 8000～10000km
- ⑥ 10000～12000km
- ⑦ 12000～14000km
- ⑧ 14000～16000km
- ⑨ 16000～18000km
- ⑩ 18000～20000km
- ⑪ 20000～22000km
- ⑫ 22000～24000km
- ⑬ 24000～26000km
- ⑭ 26000～28000km
- ⑮ 28000～30000km
- ⑯ 30000km 以上（およそ何 km か記述式）

⑰ 分からない

9. このクルマの普段の1週間の自動車走行距離についてお聞かせください。1週間のうち、「25km未満」「25～35km」「35～45km」「45～55km」「55～65km」「65～75km」「75km以上」走行する日がそれぞれ何日ずつありますか。

あなた以外の方も運転される場合には、その方の運転も含めた走行状況でお答えください。

「25km未満」「25～35km」「35～45km」「45～55km」「55～65km」「65～75km」「75km以上」の合計日数が7日になるようにしてください。

- ① 25km 未満：日
- ② 25～35km：日
- ③ 35～45km：日
- ④ 45～55km：日
- ⑤ 55～65km：日
- ⑥ 65～75km：日
- ⑦ 75km 以上：日

10. このクルマを使って長距離走行（100km 以上）する頻度についてお聞かせください。1年のうち、「100～150km」「150～200km」「200km 以上」走行する日数をお選びください。

あなた以外の方も運転される場合には、その方の運転も含めた走行状況でお答えください。

表の1行目、2行目、3行目の空欄にそれぞれ1つチェックしてください。（行方向に1つだけチェック）

21日以上にチェックするときは、具体的に何日あるのかも記入してください。

表 A.1: 長距離走行の日数のアンケート画面

	0 日	1～5 日	6～10 日	11～20 日	21 日以上
100～150km					
150～200km					
200km 以上					

—————調査票はここまで—————

(C) 買い替え予定に関する調査

(A)、(B) に引き続き、各車両に関する、買い替え予定を問う調査である。複数台の車両を保有するならその台数分、(C) の調査を回答することになる。この買い替え予定に関するデータは動学モデルで用いる。以下に保有車両に関する調査の調査票の文面を示す。

—————以下調査票の文面—————

11. このクルマの今後の売却予定をお答えください。
- ① 1年以内に売却
 - ② 1～2年後に売却
 - ③ 2～3年後に売却
 - ④ 3～4年後に売却
 - ⑤ 4～5年後に売却
 - ⑥ 5年後以降に売却
 - ⑦ 故障するまで乗り続け、できれば売却する
 - ⑧ 廃車になるまで乗り続ける
12. このクルマに代わる、次のクルマを買う予定はありますか。
- ① 買い替えをする
 - ② 買い替えをしない
 - ③ 未定
13. 次回自動車を買換えるとすればどのようなタイプの自動車をご希望ですか。
- 13.1 新車 or 中古
- ① 新車
 - ② 中古
- 13.2 大きさ
- ① 軽自動車（660cc 以下）
 - ② 小型自動車（660～2000cc；5 ナンバー）
 - ③ 普通自動車（2000cc 以上；3 ナンバー）
- 13.3 タイプ
- ① ガソリンエンジン車
 - ② ディーゼルエンジン車
 - ③ ハイブリッド車
 - ④ 電気自動車
 - ⑤ プラグインハイブリッド車
 - ⑥ その他（記述式）
 - ⑦ 未定
14. 次にこのクルマに代えて、買換える際のおよその予算額をお答えください。
- ① 100 万未満
 - ② 100～120 万円
 - ③ 120～140 万円
 - ④ 140～160 万円
 - ⑤ 160～180 万円
 - ⑥ 180～200 万円
 - ⑦ 200～220 万円

- ⑧ 220～240 万円
- ⑨ 240～260 万円
- ⑩ 260～280 万円
- ⑪ 280～300 万円
- ⑫ 300～320 万円
- ⑬ 320～340 万円
- ⑭ 340～360 万円
- ⑮ 360～380 万円
- ⑯ 380～400 万円
- ⑰ 400～420 万円
- ⑱ 420～440 万円
- ⑲ 440～460 万円
- ⑳ 460～480 万円
- ㉑ 480～500 万円
- ㉒ 500 万円以上

—————調査票はここまで—————

(D) 回答者の個人属性

各回答者の家族構成、世帯収入、住まい形態および性別、年齢、地域について調査した。EV や PHV を購入する場合には、駐車場に充電設備を導入しなければならない。住まい形態では、駐車場が自宅敷地内にあるかどうかを尋ねた。自宅敷地内に駐車場がないならば、自宅から電力を持っていくことができないので、充電設備を導入できない。したがって EV と PHV は保有できないという制約を課す。

複数台保有している人は 1～14 までを保有している台数分ループする。(D) の調査のみループしない。1 台目に関しては設問 1～14、2 台目に関しては設問 15～28、3 台目に関しては設問 29～42 になる。1 台しか持っていない場合は、設問 14 の次に設問 43 に移る。2 台保有している人に関しても同様である。以下に保有車両に関する調査の調査票の文面を示す。

—————以下調査票の文面—————

43. 家族構成をお答えください。

- ① 単身 または 夫婦 2 人
- ② 未婚の自分と親の 2 世代世帯
- ③ 既婚の自分と親の 2 世代世帯
- ④ 自分と子供の 2 世代世帯
- ⑤ 自分と子供と孫との 3 世代世帯
- ⑥ 自分と親と子供との 3 世代世帯

⑦ その他（記述式）

44. 世帯収入（個人収入ではありません。）をお答えください。

- ① 200 万円未満
- ② 200～250 万円
- ③ 250～300 万円
- ④ 300～350 万円
- ⑤ 350～400 万円
- ⑥ 400～450 万円
- ⑦ 450～500 万円
- ⑧ 500～550 万円
- ⑨ 550～600 万円
- ⑩ 600～650 万円
- ⑪ 650～700 万円
- ⑫ 700～750 万円
- ⑬ 750～800 万円
- ⑭ 800～900 万円
- ⑮ 900～1000 万円
- ⑯ 1000～1250 万円
- ⑰ 1250～1500 万円
- ⑱ 1500 万円以上
- ⑲ 分からない・答えたくない

45. あなたの住まいの形態を教えてください。

- ① 一戸建て（持家）・自宅敷地内に駐車場あり
- ② 一戸建て（持家）・自宅敷地外に駐車場あり
- ③ 一戸建て（賃貸）・自宅敷地内に駐車場あり
- ④ 一戸建て（賃貸）・自宅敷地外に駐車場あり
- ⑤ 集合住宅（持家）・自宅敷地内に駐車場あり
- ⑥ 集合住宅（持家）・自宅敷地外に駐車場あり
- ⑦ 集合住宅（賃貸）・自宅敷地内に駐車場あり
- ⑧ 集合住宅（賃貸）・自宅敷地外に駐車場あり
- ⑨ その他（記述式）

—————調査票はここまで—————