

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

自家用自動車からの CO₂ 排出量の要因の分析評価

令和 3 年 3 月

Factors Affecting CO₂ Emissions from Passenger Cars

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies

国立研究開発法人科学技術振興機構
低炭素社会戦略センター

LCS-FY2020-PP-10

概要

本提案書ではまず、自家用自動車の走行からの CO₂ 排出量の年次変化を、燃費性能の向上、保有台数の増加、走行距離の変動の 3 要因に分解し、全体としての CO₂ 排出の減少トレンドを説明する。小型車を中心として車両耐用年数が近年長くなっている傾向は、車両の更新による燃費改善の CO₂ 排出削減効果を相殺する一方で、車両製造時の CO₂ 排出量を減らすことでライフサイクル全体の CO₂ 排出量の減少に寄与する。現状の燃費性能の改善トレンドの下では、近年の耐用年数の長期化は、CO₂ 排出削減の観点からは合理的といえる。ハイブリッドや EV などの燃費性能が優れた車種へ更新し、車両を長く使うことが、CO₂ 排出削減に有効であることが示唆される。また、年間走行距離は燃費効率と正の相関をもち、燃費効率の良い車両の購入により、走行距離の増加による CO₂ 排出増加のリバウンドがある。ユーザーの車両選択についてのモデルからは、効用関数における燃費効率のウェイトが年々低下しており、消費者の燃費効率への選好が徐々に低下する傾向が示される。今後の政策立案に向けては、製造時の CO₂ 排出の評価、低燃費車の普及による走行距離増加の抑制、消費者の選好の変化の考慮を取り入れることが必要であることを示す。

Summary

To explain the decreasing trend in CO₂ emissions, we broke down the annual change in CO₂ emissions from passenger cars into three factors: improved fuel efficiency, increased ownership, and changes in driving distance. While the longer lifespan of small automobiles in recent years cancels out the reduction in CO₂ emissions from improved fuel efficiency, it contributes to reducing life-cycle CO₂ emissions by cutting CO₂ emissions at the time of vehicle manufacture. Given the current trend of improving fuel efficiency, the recent increase in lifespan is reasonable from the perspective of reducing CO₂ emissions. This suggests that drivers should replace their cars with more fuel-efficient cars such as hybrid or electric vehicles and use them as long as possible in order to reduce CO₂ emissions. Since driving distance has a positive correlation with fuel efficiency, purchasing fuel-efficient cars creates a rebound effect in terms of increased CO₂ emissions due to greater driving distance. The vehicle choice model reveals that consumer preference towards fuel efficiency has gradually decreased as the weighting of fuel efficiency in the utility function has fallen over time. Evaluation of CO₂ emissions in the manufacturing process, suppression of growth in driving distance arising from increasingly fuel-efficient cars, and consideration for changing consumer preferences should be incorporated to facilitate future policymaking.

目次

概要

1. 本提案書の位置づけ	1
1.1 本提案書の低炭素社会実現における位置づけと意義	1
1.2 関連した技術・研究開発の動向	1
1.3 関連政策等の動向	1
2. 自家用自動車の走行からの CO ₂ 排出量の要因分解	2
2.1 要因分解の手法	2
2.2 要因分解の結果	3
3. 車両の耐用年数	4
4. 製造時の CO ₂ 排出を考慮した車両更新の最適タイミング	6
5. 走行距離モデル	9
6. 車両選択モデル	10
7. 自家用自動車からの CO ₂ 排出量のトレンド	13
8. 結論	14
9. 政策立案のための提案	14
謝辞	15
参考文献	15

1. 本提案書の位置づけ

1.1 本提案書の低炭素社会実現における位置づけと意義

日本における運輸部門の CO₂ 排出量は 2017 年度に全体の 18% を占め、その約半分は自家用自動車からの排出である。低燃費車の開発やエコカー減税などの政策などにより、2001 年をピークに自家用自動車からの CO₂ 排出量は減少傾向にあり、2001 年に比べれば約 20% 減少している [1]。自家用自動車部門では 2000 年以降に省エネ法のトップランナー規制によって低燃費化が進み、一方で低燃費化は走行距離の増加のリバウンドを誘発している [2]。エコカー減税、エコカー補助金などの政策支援は、それが無い場合に比べて販売台数の増加に寄与しているだろう。また自動車車両の使用年数が長期化する傾向にあるが、これは全体として製造時のエネルギー消費の減少につながる一方で、低燃費車への更新が遅れる影響もある。

このような背景を踏まえ、どのような要因で CO₂ 排出量が増減しているかを把握することは今後の CO₂ 排出削減策を検討する上で極めて有用である。したがって本提案書では自家用自動車からの CO₂ 排出量の年次変化がどのような要因で起こったかについて分析し、今後の低炭素社会実現における政策や施策に対して有効な示唆を得ることを目的とする。

1.2 関連した技術・研究開発の動向

本研究では、以上に挙げた燃費、走行距離、保有台数、耐用年数などの複数の要因が経年的にどのように変化してきたかを自動車関連の統計データを用いて定量化し、自家用車からの CO₂ 排出量の経年推移との関係を要因分解手法によって評価する。要因分解手法は、CO₂ 排出量を例えば燃料の CO₂ 原単位、燃料消費率、燃料消費量の積で表すとき、それらの 3 つの要因の時間的な変化によって CO₂ 排出量の変化を分解するものである。自家用自動車についても、三科ら [3] は 1990 年から 2008 年までの排出量の変化を燃費、走行距離、保有台数、人口の要因に分解して説明をしている。その結果、1990 年代の CO₂ 排出増加の要因として、人口当たりの保有台数の増加と車両の大型化を挙げ、2000 年代の減少傾向の要因として 1 台当たりの走行距離の減少と実走行燃費の向上を挙げている。米澤ら [4] は地域の交通特性に着目して、2000 年代の CO₂ 排出減少の要因として、排出係数の低下と走行距離の減少を挙げている。また大都市圏では保有台数の減少、小規模自治体では保有台数の増加が見られるなど、地域による相違を示唆している。

一方でこれらの要因は、車のユーザーの選好に依存する。すなわち燃費や走行距離は、消費者がどのような車両を購入するか、どのくらいの距離を走行するかによって決まるので、走行距離などがユーザーの個人属性とどのように関係するかを評価することは要因分解の次のステップとして有用な分析と位置付けられる。ユーザーの選好をモデル化することができれば、各種政策や施策などで環境性能の高い車両の購入にインセンティブを与えよときの効果を推定することができる。例えば Yoo et al. [2] は車両の販売台数と車両属性の関係を統計的に分析し、補助金などの低燃費車への優遇策が走行距離増加や保有台数の増加につながることを示唆している。

本提案書は、自家用自動車からの CO₂ 排出量について要因分解を行い、ユーザーの選好として車両の保有年数に着目し、その長さが CO₂ 排出量に与える影響についても、製造時の CO₂ 排出量を考慮しながら検討する。さらに、走行距離や購入時の車両選択をモデル化することにより、CO₂ 排出とどのような相関があるかを導く。

1.3 関連政策等の動向

日本における自動車関連税には、自動車税、自動車重量税、自動車取得税があり、このうち自動車取得税は 2019 年に廃止されている。これらの税に対して、グリーン税制、エコカー減税、エコカー補助金などの政策が実施され、メーカー側に課す省エネ法によるトップランナー燃費規制とあわせて、エコカーを普及するための政策が実行されてきた。2006 年から 2017 年までのグ

リーン税制、エコカー減税、エコカー補助金の状況を表 1 に示す。省エネ法の燃費基準を利用しながら、年々インセンティブを更新してエコカーを普及するための施策が継続的に行われてきたことがわかる。なお、2019 年の自動車取得税の廃止と同時に、自動車の燃費性能に応じて購入時に支払う税（環境性能割）が導入され、燃費のよい車ほど税が軽減される仕組みになっている。

表 1 日本における自動車関連税とエコカーの普及政策

税の種類 (政策の種類)	2006	2007	2008	2009	2010	2011
自動車取得税 (エコカー減税, 2007年 までグリーン税制)	15,000円減免 (2010燃費基準20%以上) 7,500円減免 (2010燃費基準10%以上)		—	100% 減税 (HV) 75% 減税 (2010燃費基準25%以上) 50% 減税 (2010燃費基準15%以上)		
自動車重量税 (エコカー減税)	—					
自動車税 (グリーン税制)	50% 減税 (2010燃費基準20%以上) 25% 減税 (2010燃費基準10%以上)		50% 減税 (2010燃費基準25%以上) 25% 減税 (2010燃費基準15%以上)		50% 減税 (2010燃費基準25%以上)	
(エコカー補助金)	—			小型・普通：10万円 (2015燃費基準 or 2010燃費基準25%以上) 軽：5万円(2015燃費基準 or 2010燃費基準25%以上)		—
税の種類 (税制の種類)	2012	2013	2014	2015	2016	2017
自動車取得税 (エコカー減税, 2007年 までグリーン税制)	100% 減税 (2015燃費基準20%以上) 75% 減税 (2015燃費基準10%以上) 50% 減税 (2015燃費基準)			100% 減税 (2020燃費基準20%以上) 75% 減税 (2020燃費基準10%以上) 50% 減税 (2020燃費基準) 25% 減税 (2015燃費基準5%以上)		
自動車重量税 (エコカー減税)				100% 減税 (2020燃費基準20%以上) 80% 減税 (2020燃費基準10%以上) 60% 減税 (2020燃費基準) 40% 減税 (2015燃費基準10%以上)		
自動車税 (グリーン税制)	50% 減税 (2015燃費基準10%以上 or 2010燃費基準38%以上) 25% 減税 (2015燃費基準 or 2010燃費基準25%以上)		75% 減税 (2015燃費基準20%以上 and 2020燃費基準) 50% 減税 (2015燃費基準10%以上)		75% 減税 (2020燃費基準10%以上) 50% 減税 (2015燃費基準20%以上)	
(エコカー補助金)	小型・普通：10万円 (2015燃費基準 or 2010燃費基準25% 以上) 軽：7万円(2015燃 費基準 or 2010燃費 基準25%以上)	—				

2. 自家用自動車の走行からの CO₂ 排出量の要因分解

2.1 要因分解の手法

CO₂ 排出量の要因分解では、自動車検査登録情報協会 [5] より 1990 年から 2016 年における初度登録年別の保有車両数データを、全国軽自動車販売協会連合会 [6] より、新車販売台数データを取得し、車両モデルごとの諸元データを紐づけることによってデータベースを作成した。これに 3 章で推定する車両の残存率の推定結果を適用し、各年における保有台数を、軽、小型 (1,000 cc 以下、1,001~1,500 cc、1,501~2,000 cc)、普通 (2,001~3,000 cc、3,001 cc 以上)、ハイブリッドの区分ごとに推定した。

1 台当たりの年間走行距離については、国土交通省の e-Stat データ [7, 8] から、年間総走行距離のデータと 1 日 1 車あたりの走行距離のデータを 2001 年から 2016 年までの各年について、ハイブリッド、普通、小型、軽の 4 区分に分けて推定した。

CO₂ 排出量 (kg/年) は、燃料の排出原単位 2.32 (kg/L)、燃費効率 (L/km)、年間走行距離 (km/台/年)、保有車両数 (台) の積によって計算できる。燃費効率は、保有台数で加重平均をとった値をその年の自動車の平均燃費効率として用いる。求めた CO₂ 排出量について年ごとの変化量を計算し、CO₂ 排出の変化量について二次以上の項を残差とすると、 $\Delta \text{CO}_2 \text{ 変化量} = (\Delta \text{燃費効率} \times \text{年間走行距離} \times \text{保有車両数} + \text{燃費効率} \times \Delta \text{年間走行距離} \times \text{保有車両数} + \text{燃費効率} \times \text{年間走行距離} \times \Delta \text{保有車両数} + \text{残差項}) \times \text{燃料の CO}_2 \text{ 排出原単位}$ 、のように要因分解ができる。

2.2 要因分解の結果

2002 年から 2016 年までの CO₂ 排出量の年次変化について、燃費、走行距離、保有台数のそれぞれの年次変化の寄与に分解した結果を図 1 に示す。CO₂ 排出量は概ね減少傾向にあるが、特に 2000 年代での減少が継続的に大きい。要因としては、燃費の改善が全期間を通して年あたり 50 ～100 万トンの排出削減に寄与している。逆に保有台数の伸びは、排出増加の要因になっている。CO₂ 排出増加量は燃費の改善の影響よりも絶対値として小さいものの、燃費の改善に対するリバウンド効果とみなすことができる。走行距離は 2000 年代にかけて減少し、CO₂ 排出の減少に寄与していたが、2009 年以降に増加する年もみられる。

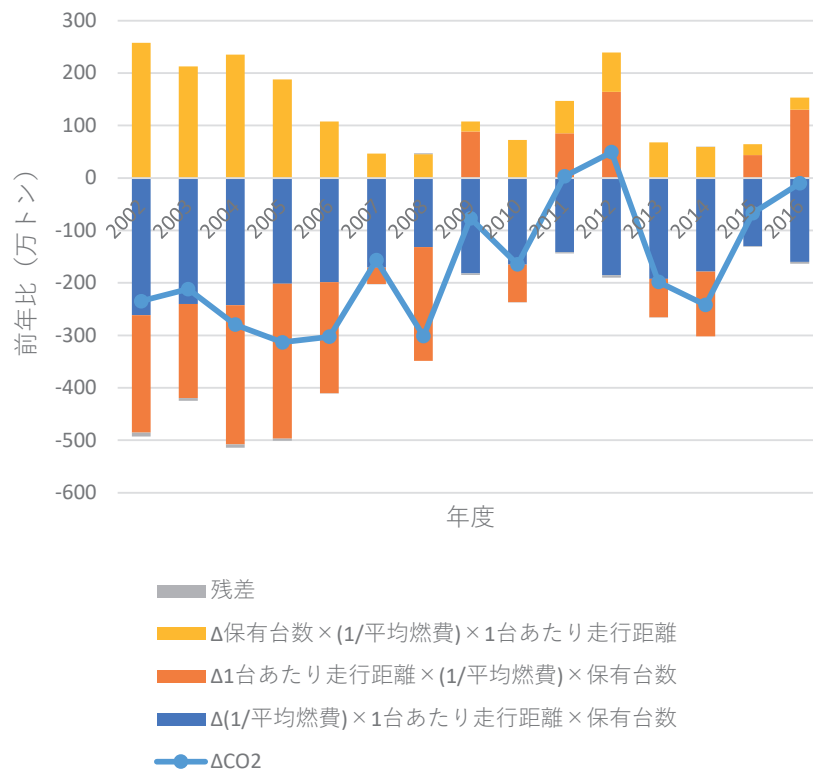


図 1 自家用自動車からの CO₂ 排出量の要因分解

3. 車両の耐用年数

3.1 データと手法

自動車検査登録情報協会 [9] より、初度登録年別の保有車両数について 1983 年から 2019 年の期間のデータを取得した。このデータは、～1,000 cc、1,001 cc～1,500 cc、1,501 cc～2,000 cc、2,001 cc～3,000 cc、3,001 cc～6,000 cc の 5 つの排気量帯に区分されており、これにより排気量帯別の耐用年数を推定する。軽自動車については、軽自動車検査協会の「軽自動車の平均使用年数」より、2005 年から 2019 年までの軽自動車の平均使用年数を使用した。保有車両数データの年度ごとの変化から、初度登録年度の保有車両数データを基準として自動車の残存率を各年度について計算した。これらのデータから、ワイブル分布を用いて当てはめを行った。

3.2 推定結果

経過年数に対する残存率の推移を排気量クラス別に図 2 に示す。販売年数が 2001 年から 2018 年までの車両について 2019 年時点での残存率を示している。まず、高排気量帯の車両ほど耐用年数が長い傾向がある。これは高級車の使用年数が相対的に長いという直感に整合している。それに対して、近年の耐用年数の変化をみると、1,001～1,500 cc、1,501～2,000 cc の排気量帯では、耐用年数が経年的に伸びていることがわかる。一方で 2,001 cc 以上では耐用年数の伸長は見られないか、逆に短くなっている。表 2 に軽自動車を含めた購入後 10 年時点での残存率を示す。軽を含めて 2,000 cc 以下の車両で長寿命化し、10 年残存率が 60～80% 程度に達していることがわかる。以上から耐用年数が特に小型の車両で経年的に長くなっているが、この要因として車両の高価格化が考えられる。そこで、各年の販売価格と各年での耐用年数の関係を排気量帯別にプロットをした。図 3 に 1,001～1,500 cc についての結果を示すが、耐用年数と車両価格の間に正の相関がみられ、車両価格が一つの要因である可能性が示唆される。図 2 と表 2 において高排気量帯で、残存率が延びる傾向が現れていないのは、高級車では車両購入での価格要因の影響が相対的に小さいことが理由として考えられる。

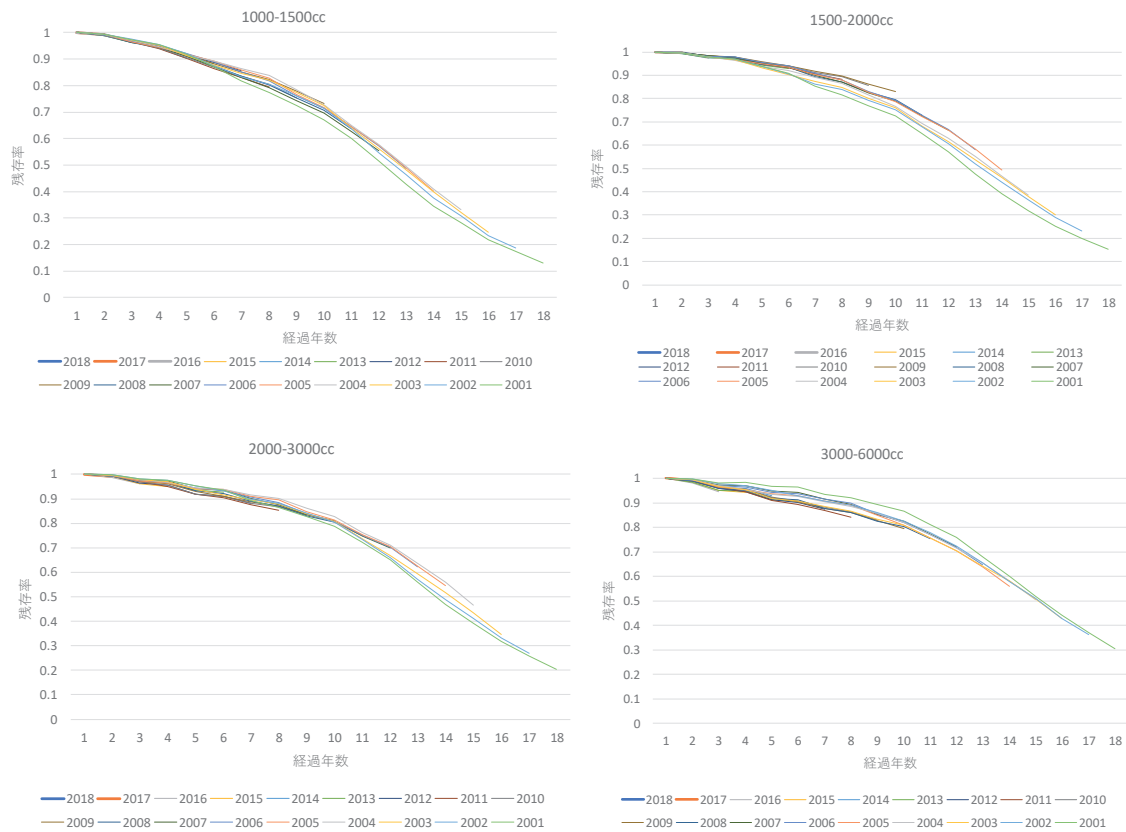


図2 排気量帯別の乗用車の残存率の推移

表2 購入10年後の残存率

購入年	2009	2007	2005	2003	2001
軽	64%	62%	57%	56%	54%
1001-1500cc	73%	70%	72%	72%	67%
1501-2000cc	83%	79%	79%	76%	72%
2001-3000cc	81%	81%	81%	81%	79%
3001-6000cc	80%	83%	81%	81%	87%

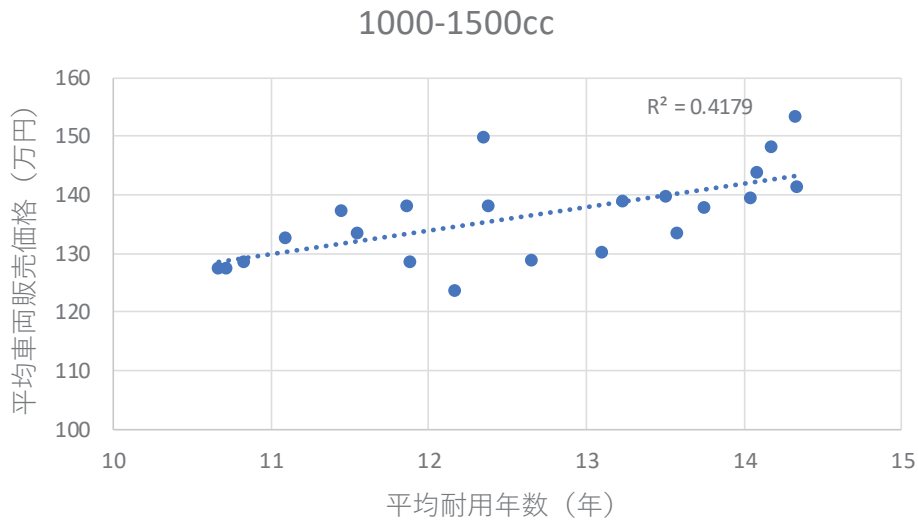


図 3 1,500～2,000 cc の年別の車両平均価格と平均残存率

4. 製造時の CO₂ 排出を考慮した車両更新の最適タイミング

3 章の結果より軽、小型車を中心に耐用年数が長くなっている傾向が見られた。このことは 2 章の要因分解において、車両の更新による燃費改善の CO₂ 排出削減効果が相殺されていると考えることができる。図 4 に販売台数で加重平均した年別の平均燃費を示す。トップランナー方式の燃費規制によってどの排気量帯も低燃費化が進展している。一方でガソリンエンジン自動車の製造時に排出される CO₂ は、平均的な生涯走行距離の場合、ライフサイクルの 15～20% 程度を占めるとされ [10]、ハイブリッドや EV の場合には製造時の CO₂ 排出がガソリンエンジン自動車の 1.3～2 倍程度になるとの試算もある [11]。したがって、低燃費の車両への更新であっても、ユーザーの走行実態や更新する車両の種類次第では、製造時と走行時を合わせた CO₂ 排出量が増えてしまうこともあり得る。

ライフサイクルの CO₂ 排出を最小にする更新のタイミングを、以下の簡易モデルによって導出する。時点 t における走行による CO₂ 排出量 $E(t)$ が、

$$E(t) = -at + b \quad (a > 0)$$

のように線形に低下しているとする (図 4 参照)。製造時の CO₂ 排出量を C 、年間走行距離を D 、最大寿命を T 、期間 T における更新の回数を n とし、均等な間隔で更新が行われるとする。期間 T に n 回の更新をする場合の総 CO₂ 排出量 $CO2_n$ は

$$CO2_n = \sum_{k=0}^{n-1} \left\{ E\left(\frac{kT}{n}\right) \cdot D \cdot \frac{T}{n} + C \right\}$$

となり、これを最小化する n を求めると、最適な廃車のサイクルは

$$\frac{T}{n} = \sqrt{\frac{2C}{aD}}$$

となる。製造時の CO₂ 排出量は、1,500 cc の車両を対象とした事例で 4,700 kg/ 台の排出¹⁾ と推計

¹⁾ この事例では生涯走行距離を 10 万 km とすると製造時の排出量がライフサイクル CO₂ 排出量の 17% 程度に相当するが、約 20 年前の販売車両を対象とした推計のため、現在走行する車両と燃費等が異なることに留意が必要である。

した例があり [12]、海外ではより大きい排出量として推計された例もある [13]。ただ、実際には自動車メーカーからの評価値はなく、車両の大きさに応じて、数千 kg 程度のオーダーになると推察される。本提案書では、Yoshida et al.[12] の 1,500 cc の車両の評価²⁾に基づいて、製造時の素材製造の CO₂ 排出量を車重に比例的にスケール調整する補正をかけることで、各排気量帯の車両の製造時の CO₂ 排出量の推計値とした。これをデフォルトとして Case1 とし、製造時の CO₂ 排出が 1/4 まで削減できたケースを Case2 として感度分析を行った。

車両の更新では同じ排気量帯の新車に代替されると仮定し、CO₂ 排出量が最小となる更新サイクルを求めた結果を図 5 に示す。Case1 では年間走行距離が 2 万 km であってもサイクルが 15 年を下回る排気量クラスはなく、製造時の CO₂ 排出量が無視できない大きさであることが推察される。一方、製造時の CO₂ 排出量は、産業構造、電力の排出原単位、技術革新などによって変わり得るので、製造時の CO₂ 排出を 1/4 まで削減する Case2 を想定している。この場合には年間走行距離が 1 万 km の平均的なユーザーの最適サイクルが、ほとんどの排気量クラスで 10~15 年に入り、中古車を含めた車両の耐用年数のサイクルまで考えれば、車両の更新の年数としては現実的な範囲にある。ただ年間走行距離が 5,000 km 程度のユーザーは最適サイクルが 15 年以上と長期になり、走行実態による差異が大きいことが分かる。図 5 と 3 章での残存率の実績を比較すると、現実には多くの車両が CO₂ 排出の最小時点より前に車両の更新を行っていることが推察される。現在の自動車税制では、新車購入から 13 年の経過で、自動車税が約 15%増額、軽自動車約 20%増額、自動車重量税が 20~40%程度の増額となり、ユーザーの負担が増える仕組みになっている。CO₂ 排出量を減らすためにはメーカーの製造時の CO₂ 排出量を減らすとともに、車両の長寿命化をむしろ優遇するような自動車税制が望まれる。

以上より、車両の更新後に同様のサイズ・車種への代替がされる場合には、CO₂ 排出削減のためにはほとんどの車両で更新までの期間を長くすることが合理的となる。したがって、CO₂ 排出を減らすためには、現在より小型のガソリンエンジン車、あるいはハイブリッドや EV のように駆動形式が異なる燃費性能の優れた車両への更新が必要になる。この場合には走行からの CO₂ 排出量 $E(t)$ が、上述のような線形ではなく、ある時点で急減する不連続な形を仮定することになり、車両製造の CO₂ 排出を含めても直ちに車両の更新をすることが合理的になりうる。ただこれは、更新時に大幅な CO₂ 排出削減効果をもたらすものの、更新した車種の燃費が将来的に徐々に減少していくならば、次の更新まで最適サイクルは上述と同様に長くなる。

²⁾ 対象とした車両は 1,500 cc の小型乗用車で、乗用車を構成する 2,064 種類の部材（総重量 1,081 kg）について産業連関表により素材製造時の CO₂ 排出量を推計している。同時に輸送や組み立てなどの間接的なエネルギー消費についても産業連関表により別途推定し、合計として車両製造時の CO₂ 排出量を 1 台あたり 4,730 kg と推定している。

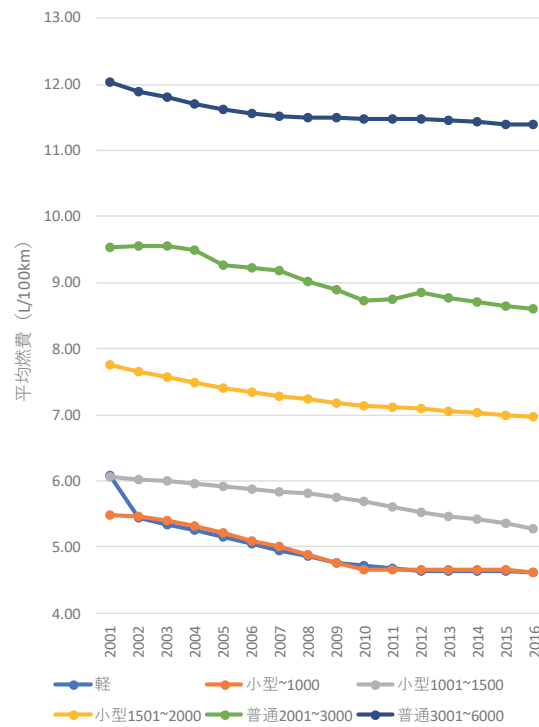


図 4 加重平均燃費効率の推移

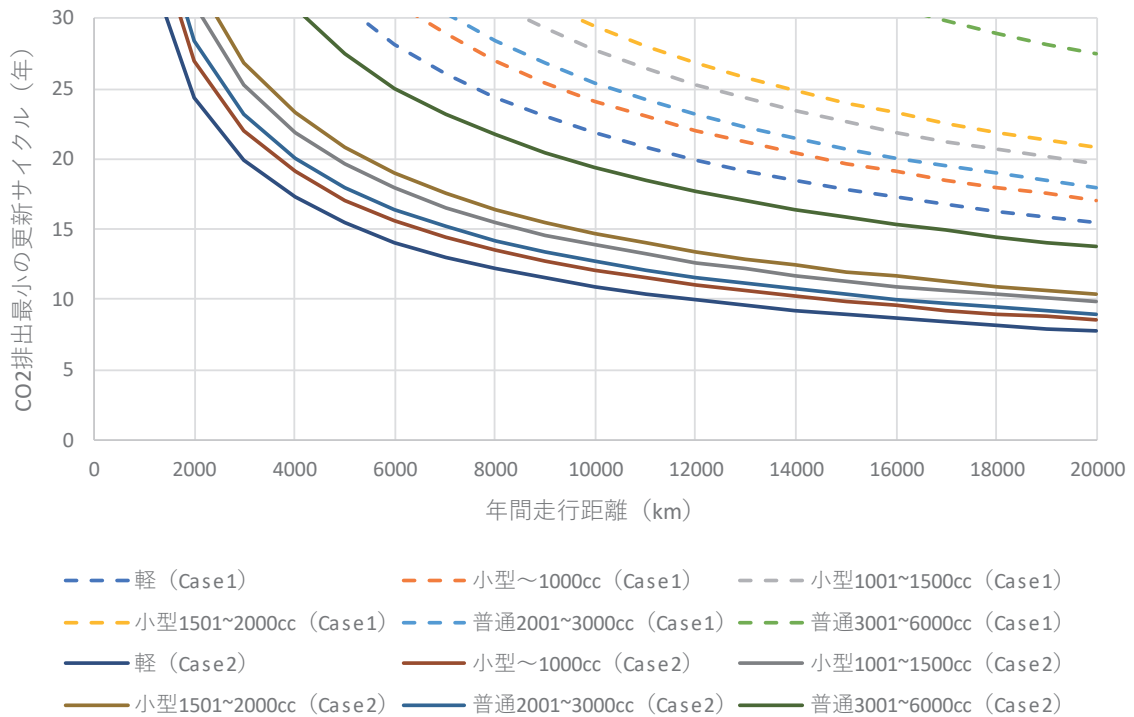


図 5 同じ排気量帯の新車に買い替えをするときの CO₂ 排出量が最小となる買い替えサイクル
 (Case1 は製造時の CO₂ 排出がデフォルト、Case2 は製造時の CO₂ 排出を Case1 の 4 分の 1 に削減を仮定)

5. 走行距離モデル

4 章より、走行距離が車両の最適サイクルに及ぼす影響が大きいことが明らかになったが、走行距離はユーザーごと、車両タイプごとに異なり、ユーザーの走行距離がどのような個人属性、車両属性と相関があるかを知ることが重要となる。本章では、環境省が調査した 2018 年度「家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査」の夏期調査票、および 4 月分のエネルギー使用量調査票への回答を用いる。このデータは総数 9,506 の世帯について、2017 年度における世帯の状況や車両の使用状況などをまとめたものである。それらのデータから、自動車の利用に関して、各家庭の所有する自動車の年間走行距離を説明するモデルを開発した。

まず、各家庭の所有する自動車の年間走行距離を説明するモデルについて、各家庭がメインで使用する 1 台目の走行距離を用いて推定した。観測数は 6,034 で、各説明変数の係数をまとめると表 3 のようになった。つまり、

$$D_{ij} = \varepsilon_{ij} + a_1 N_i + a_2 I_i + a_3 E_j + a_4 F_j + a_5 FE_j + a_6 G_j + a_7 T_i + a_8 H_i$$

と表せる。ただし、 ε_{ij} : 切片、 a_1 : 居住人数の係数、 a_2 : 世帯収入の係数、 a_3 : 自動車排気量の係数、 a_4 : 自動車使用頻度の係数、 a_5 : 自動車実燃費の係数、 a_6 : ガソリン車ダミーの係数、 a_7 : 東京大阪ダミーの係数、 a_8 : 北海道ダミーの係数、 N_i : 居住人数 (人)、 I_i : 世帯収入 (千万円)、 E_j : 自動車排気量 (cc)、 F_j : 自動車使用頻度 (日 / 週)、 FE_j : 自動車実燃費 (km/L)、 G_j : ガソリン車なら 1、それ以外なら 0、 T_i : 東京または大阪なら 1、それ以外なら 0、 H_i : 北海道なら 1、それ以外なら 0 である。

推定結果の頑健性を確認するため、モデル 1 で主な世帯属性を、モデル 2 で主な車両属性を、モデル 3 で両方を説明変数とする 3 つのモデルを推定した。表 3 より、有意な変数については変数の推定値が概ね同様であり、頑健な推定結果と判断できる。また 3 つのモデルを比較すると、東京大阪ダミー以外は、有意であった。相関について、居住人数、世帯収入、排気量、使用頻度、実燃費は正の相関が見られた。ガソリン車ダミーは、負の相関が見られた。ガソリン車以外の選択は、ほとんどがディーゼル車なため、ディーゼル車の方がガソリン車より走行距離が長い傾向にあることが分かる。また、世帯年収や居住地域などの個人属性と相関があるだけでなく、燃費や排気量の車両性能との相関があり、特に燃費との正の相関が見られたことから、低燃費の車両の購入により、走行距離の増加による CO₂ 排出増加のリバウンドが存在することが示唆される。また補正 R² の値から世帯属性よりも車両属性の影響が大きいことが示唆される。

表 3 年間走行距離（万 km）の回帰分析（カッコ内は t 値）

	モデル 1	モデル 2	モデル 3
切片	6735.0 (29.3)	-46.44 (-0.1)	-1070.5 (-1.4)
居住人数 [人]	532.5 (7.6)		295.2 (4.5)
世帯収入 [千万円]	1.491 (5.9)		1.246 (5.2)
排気量 [cc]		1.240 (11.0)	1.030 (8.9)
使用頻度 [日/週]		1073.3 (27.9)	1038.0 (26.8)
実燃費 [km/L]		262.1 (12.2)	258.96 (12.0)
ガソリン車ダミー [-]		-766.2 (-3.1)	-779.3 (-3.2)
東京大阪ダミー [-]	-259.5 (-0.8)	-67.71 (-0.2)	-91.29 (-0.3)
北海道ダミー [-]	916.5 (3.0)	520.1	685.6
補正 R ²	0.02	0.14	0.15

6. 車両選択モデル

ユーザーがどのような車両を選択するかは、車両の価格や燃費などの諸元値によって影響を受ける。本章ではユーザーの車両の選択結果を説明するモデルを提示する。使用したデータは、2006 年から 2016 年までの日本国内で販売された乗用車の車名別販売台数データである。1 年当たり 160 から 170 程度の車両モデル名からなり、それぞれの車両モデルの当該年に販売された台数が示されている。これに対して、車両価格、燃費、排気量、車両サイズなどの諸元値をカタログより収集し、販売台数との紐付けを行った。

消費者が車両価格や車両の諸元からどの車両を購入するかを説明する選好モデルは、車両の選択時の効用 U_{jt} を

$$U_{jt} = x_{jt}\beta - \alpha p_{jt} + \xi_j + \varepsilon_{jt}$$

のように仮定し、効用が最大となる車両を選択するとしたときの、各車両の選択確率（「どの車両も選択しない」を選択肢に含める）を推定している。なお、上式で、 j は車両、 t は年、 x_{jt} は燃費やサイズなどの車両属性、 p_{jt} は車両価格、 ξ_j はデザインのような観察不可能な車両属性、 ε_{jt} はランダムな誤差項である。モデルは Berry et al.[14, 15] によって開発された BLP モデルを基盤として、本データを適用した。BLP モデルは誤差項 ε_{jt} にガンベル分布を仮定する Logit 型のシェア関数をもつ。また、当該車両の以外のメーカーの車両の車両属性（平均燃費、平均車両重量、平均排気量）で内生変数としての車両価格を説明する操作変数法を一部のモデルで試みた。また消費者の選好の異質性を表現するため、ランダム係数ロジット（RC Logit）を一部のモデルで試みている。なお、本モデルでは、燃費のみをランダムパラメータとして扱っている。

表 4 にモデルの推定結果を示す。6 つの種類のモデルについて、効用関数のパラメータの推定値を示している。いずれも BLP モデルであることは共通だが、効用関数の説明変数の種類を変えたもの、変数の扱い方などが異なる。Model (1) と Model (2) は、全ての変数に観測値を用いて、最小二乗法によりパラメータを推定したもので、Model (3) と Model (4) は、車両価格を内生変数としたもの、Model (5) と Model (6) は車両価格を内生変数としたことに加えて、

燃費をランダムパラメータとしたものである。効用関数の説明変数には、燃費の年ごとの選好の変化を捉えるために、年ごとの燃費にウェイトを設定した。車両属性には、全幅、全長、全高などを考慮し、ダミー変数により輸入車、軽自動車を区別した。

まず、Model (2)、(4)、(6) から燃費のウェイトが年々低下しており、消費者の燃費への選好が徐々に低下する傾向にあることが明らかになった。このことから、近年の車両の燃費性能の十分な向上により、消費者の満足度が飽和に近づいていることが示唆される。近年 SUV をはじめとして多様なタイプの車両が販売されていることも、燃費性能以外の要素が消費者の選好に影響を与えていることを裏付けることと考えることもできる。また、Model (5)、(6) では、燃費をランダムパラメータとしているが、燃費の標準偏差は有意でなく、燃費性能を重視しない人も相当の割合にいるのではないかという消費者の異質性は観察することはできなかった。これらの結果から燃費への選好が徐々に低下している傾向があるものの、燃費性能に対してポジティブに捉えている消費者が依然支配的であることを確認することができる。

表 4 年間走行距離（万 km）の回帰分析
 （カッコ内は標準誤差。*, **, *** はそれぞれ 10%、5%、1%の水準で有意であることを表す）

	Model (1)	Model (2)	Model (3)	Model (4)	Model (5)	Model (6)
	Logit	Logit	Logit	Logit	RC Logit	RC Logit
車両価格（対数）	-2.426*** (.206)	-1.638*** (.209)	-7.656*** (.730)	-0.298 (1.221)	-6.398 (9.408)	-1.577* (.589)
燃費 (km/L)	1.440*** (.188)	2.504*** (.200)	1.181*** (.221)	2.727*** (.284)	-1.256* (.615)	2.514* (.240)
燃費2006		.460** (.049)		.542** (.089)		.463* (.264)
燃費2007		.427*** (.041)		.503*** (.084)		.431*** (.062)
燃費2008		.394*** (.048)		.461*** (.078)		.397* (.060)
燃費2009		.322*** (.047)		.389*** (.077)		.325*** (.059)
燃費2010		.246** (.046)		.304** (.070)		.249* (.056)
燃費2011		.159*** (.045)		.210*** (.065)		.161*** (.055)
燃費2012		.159*** (.044)		.206*** (.061)		.161* (.053)
燃費2013		.112** (.043)		.154** (.057)		.114* (.051)
燃費2014		.060 (.193)		.085+ (.200)		.061 (.474)
燃費2015		.027 (.041)		.040 (.063)		.027 (.046)
燃費の標準偏差					1.466 (268,103.10)	3.93e-09 (1.62E+8)
全幅（対数）	4.531+ (2.413)	6.732** (2.324)	27.17*** (4.100)	1.859 (4.963)	20.75 (47.57)	6.507* (3.253)
全長（対数）	8.513*** (.896)	4.610*** (.876)	15.45*** (1.278)	2.165 (1.390)	13.32 (16.01)	4.499* (1.494)
馬力（対数）	1.269*** (.285)	1.119*** (.275)	4.295*** (.519)	0.386 (.714)	3.550 (5.085)	1.085* (.426)
軽乗用ダミー	2.407*** (.310)	2.693*** (.299)	6.452*** (.644)	1.800* (.856)	5.360 (7.963)	2.652* (.491)
輸入車ダミー	1.699*** (.206)	1.606*** (.198)	3.337*** (.323)	1.202** (.414)	2.963 (2.900)	1.588* (.275)
定数項	-80.07* (15.63)	-97.12* (15.06)	-294.1* (33.58)	-50.44 (44.56)	-110.547*** (10.51)	-80.988*** (11.58)
年の固定効果	有	有	有	有	有	有
メーカーの固定効果	有	有	有	有	有	有
車名の固定効果	有	有	有	有	有	有
観測データ数	1806	1806	1806	1806	1806	1806
R ²	0.615	0.646	0.479	0.638	0.447	0.646

7. 自家用自動車からの CO₂ 排出量のトレンド

4 章では 1,500cc の車両を対象として製造時の CO₂ 排出量を求めたが、車重に比例的にスケール調整する補正により、異なる排気量帯の 1 台当たりの車両製造時の CO₂ 排出量を推計し、各年の販売台数を乗ずることで、保有車両全体での製造時の CO₂ 排出量を推計した。これに走行時の CO₂ 排出量に加えて積み上げた結果を図 6 に示す³⁾。燃費の向上による走行時の CO₂ 排出削減により、製造時の CO₂ 排出量のウェイトが徐々に高くなる傾向が見て取れる。また図 6 には 2016 年までの CO₂ 排出量実績に加えて、2017 年から 2030 年までの排出量を線形外挿により推計している。2 章での要因分解の結果より、燃費の改善が主な排出の減少トレンドの要因であり、保有台数の増加がそれを相殺し、年間走行距離による排出が年によって増減する構造が背景にある。

パリ協定での排出削減目標年である 2030 年での走行時の排出量は 6400 万トン程度となり、2013 年比での削減率は 38%程度と推察される。さらに今後の電動自動車の普及拡大の動きより、更なる排出削減が期待できるが、一方で電動自動車では製造時の CO₂ 排出量がエンジン車よりも増加することには注意が必要である。運輸部門全体での政府の削減目標は 2013 年比で 28%削減なので、自家用自動車は削減目標の達成に向けて寄与が大きいといえる。ただ貨物自動車などでは排出削減が自家用自動車ほど進んでおらず、運輸部門全体での 28%削減の達成は微妙な状況である。

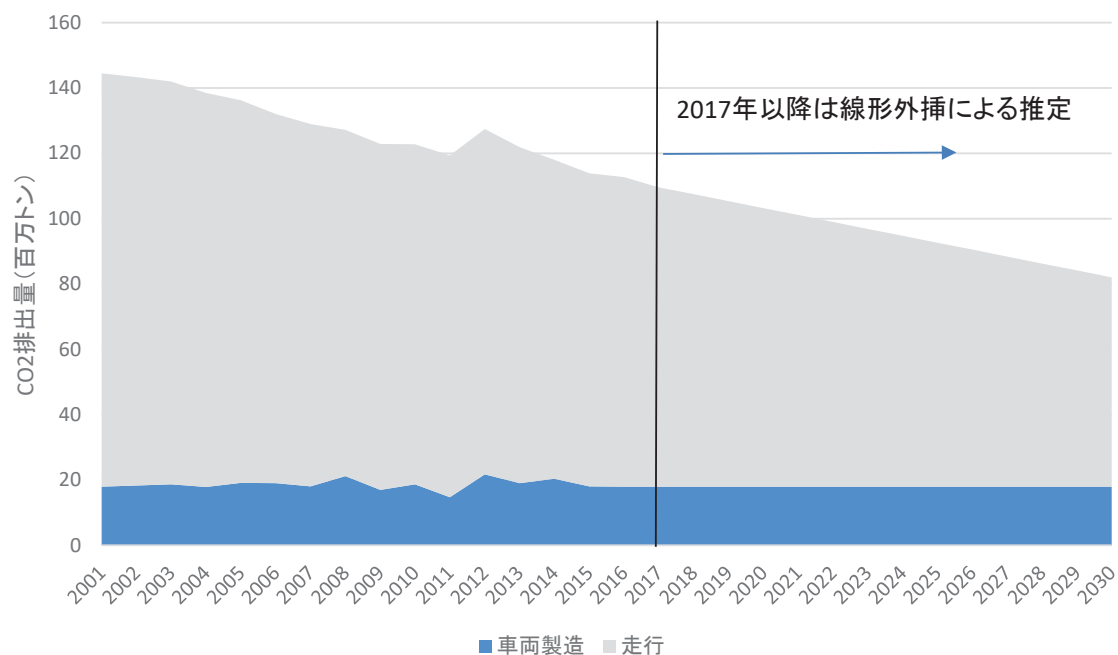


図 6 自家用自動車の車両製造と走行における CO₂ 排出量の経年推移

³⁾ 製造時の CO₂ 排出量の経年変化は、販売台数の変化のみを考慮し、1 台当たりの製造時の変化は基準年から変わらない前提の試算であることに留意されたい。

8. 結論

本提案書ではまず、自家用自動車の走行からの 2002 年～2016 年までの CO₂ 排出量の年次変化を、燃費性能の変化、保有台数の変化、走行距離の変化の 3 つの要因に分けて、その変化の傾向を分析した。燃費性能の向上が経年的に一定の CO₂ 排出削減効果を示し、保有台数の増加がこれを多少相殺しながら、走行距離の変動の影響を含めて、全体としては CO₂ 排出の減少トレンドが説明できる。

一方で、車両の耐用年数分析の結果、2,000 cc 以下の小型、軽などの小型車を中心に近年の耐用年数が長くなっている傾向が見られた。このことは買い替えまでの期間が長くなることにより、燃費改善の CO₂ 排出削減効果を全体として相殺していると考えられる。ただ耐用年数が長くなることは、車両製造時の CO₂ 排出量を減らすことでライフサイクル全体の CO₂ 排出量の減少に寄与する。現状の燃費性能の改善トレンドの下で同種の車種・サイズへの車両の更新を行うときの CO₂ 排出量が最小となるサイクルは 15 年以上となる場合がほとんどであり、近年の耐用年数の長期化は、同種の車種・サイズへの車両の更新を想定するならば、CO₂ 排出削減の観点からは合理的である。車両はハイブリッドや EV などの燃費性能が優れた車種に更新しながら、燃費性能や走行距離に応じて長く使用することが CO₂ 排出削減に寄与するといえる。

走行距離は CO₂ 排出量の要因分解において、年間走行距離が経年的に増減することで、CO₂ 排出増減の両方に寄与する。ユーザーの属性に影響を受けやすいと考えられる走行距離について、2017 年度のユーザー別の走行距離を説明する回帰モデルを作成し、世帯年収や居住地域などの個人属性と相関があるだけでなく、燃費などの車両性能との相関が明らかになった。特に燃費との正の相関は、低燃費の車両の購入により、走行距離の増加による CO₂ 排出増加のリバウンドを示唆する。

保有台数は 2002 年から 2016 年において増加トレンドがあったが、そもそも車両の保有台数は、ストックである車両の耐用年数と、フローである新車販売台数によって規定される。よって、前者の耐用年数分析に加えて、後者の新車販売について、効用理論に基づいたユーザーの車両選択のモデルを開発した。その結果、効用関数における燃費性能のウェイトが年々低下しており、消費者の燃費への選好が徐々に低下する傾向にあることが明らかになった。このことから、近年の車両の燃費性能の十分な向上により、消費者の満足度が飽和に近づいていることが示唆される。

9. 政策立案のための提案

消費者へのグリーン税制、エコカー減税、エコカー補助金などの政策、ならびにメーカーへの省エネ法によるトップランナー燃費規制によって、エコカーを普及するために複合的な政策が実行されてきた。これらの政策により、ハイブリッド車を中心に低燃費車が普及し、走行からの CO₂ 排出の減少をもたらした。一方で CO₂ 排出削減のトレンドの中で見落とされがちな以下の点を、政策立案において注意が必要な項目として取り上げる。

第一に、製造時の CO₂ 排出である。これまでのエコカー普及策では走行時の CO₂ 排出のみを対象としていたが、燃費性能の改善の度合いが小さいと、車両の更新を先延ばしすることが CO₂ 排出削減において合理的になる。メーカー側に対しては製造時の CO₂ 排出の削減を動機付ける政策が望ましく、これにより早期の買い替えを期待するメーカーと CO₂ 排出の削減が両立できる。ユーザー側に対しては、特に年間走行距離が短いユーザーにとっては低燃費車への更新が必ずしも CO₂ 排出削減に寄与しないため、ユーザーの走行実態を含めた政策マネジメントが効果的といえる。ほとんどの走行距離のユーザーにとっては CO₂ 排出の観点からは車両を長く乗り続けることが合理的になるため、新車登録から 13 年経過で重課となる自動車税制の改訂も検討の余地がある。第二に、低燃費車の普及による走行距離の増加のリバウンドが挙げられる。CO₂ 排出量の

削減のためには、低燃費車への車両の更新だけでなく、燃料課税のような走行時の規制が必要になるだろう。第三に、消費者の選好の変化が挙げられる。本来低燃費車への政策インセンティブがなくとも、消費者は低燃費車に対して一定の正の選好をもち、販売増加の要因となる。低燃費車を政策的に優遇することは、その効果を増幅するものであるといえる。しかし、燃費性能への選好が経年的に低下しているという近年のトレンドは、低燃費車への政策インセンティブ効果が今後見かけ上小さくなる可能性を示唆する。したがって、政策の効果を適切に予測するためには、このような消費者の選好の変化を視野に入れて政策をデザインすることが望まれる。さらに、カーシェアリングの普及は全体の車両台数が少なくても済むうえに 1 台当たりの年間走行距離が伸びるため、買い替えのサイクルが短くともライフサイクルの CO₂ 排出量は削減できるため、今後も活用をすべきであろう。

謝辞

本提案書の研究の一部は、東京大学経済学研究科講師の若森直樹氏、九州大学大学院工学研究科特任助教の畚善彬氏、東京大学工学部学生の橋本陸氏との共同で実施されたものである。また環境省の「平成 29 年度家庭部門の CO₂ 排出実態統計調査」のデータを利用した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] 国土交通省ウェブサイト, <https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/index.html>, (アクセス日 2020 年 11 月 20 日).
- [2] Yoo S., Koh K.W., Yoshida Y., Wakamori N., “Revisiting Jevons's paradox of energy rebound: Policy implications and empirical evidence in consumer-oriented financial incentives from the Japanese automobile market, 2006-2016”, *Energy Policy*, Vol.133, 1-15(2019).
- [3] 三科善則, 室町泰徳, “自家用乗用車および貨物自動車の地域別 CO₂ 排出量の変動要因分析”, *土木学会論文集 D3*, Vol. 67, No. 5, 89-99, (2011).
- [4] 米澤健一, 松橋啓介, “自治体規模の違いによる自家用乗用車の CO₂ 排出量変化の要因分析”, *日本都市計画学会都市計画論文集*, No.44-3, 109-114, (2009).
- [5] 自動車検査登録情報協会, “自検協統計 自動車保有車両数”
- [6] 全国軽自動車販売協会連合会ウェブサイト, <https://www.zenkeijikyo.or.jp/>, (アクセス日 2020 年 11 月 20 日).
- [7] 国土交通省, “自動車燃料消費量調査”
- [8] 国土交通省, “自動車輸送統計調査”
- [9] 自動車検査登録情報協会, “自検協統計 初度登録年別 自動車保有車両数”
- [10] Ryuji Matsushashi, Yuki Kudoh, Yoshikuni Yoshida, Hisashi Ishitani, Michifumi Yoshioka and Kanji Yoshioka, “Life Cycle of CO₂-Emissions from Electric Vehicles and Gasoline Vehicles Utilizing a Process-Relational Model”, *International Journal of Life Cycle Assessment* Vol.5, No.5(2000), 306-312.
- [11] 環境省ウェブサイト, https://www.env.go.jp/earth/ondanka/mlt_roadmap/comm/com02-03/mat03-5.pdf, (アクセス日 2020.11.20).
- [12] Yoshikuni Yoshida, Hisashi Ishitani, Ryuji Matsushashi, Yuki Kudoh, Hiroyuki Okuma, Koji Morita, Ami Koike and Osamu Kobayashi, “Reliability of LCI considering the uncertainty of energy consumption in input-output analysis”, *Applied Energy*, Vol.73, No.1 (2002), 71-82.
- [13] Qinyu Qio, Fuquan Zhao, Zongwei Liu, Shuhua Jiang, Han Hao, “Comparative Study on Life Cycle CO₂ Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China, The 8th International

Conference on Applied Energy (2016), Energy Procedia 105 (2017) 3584-3595.

[14] Berry, Steven T., “Estimating Discrete-Choice Models of Product Differentiation”, RAND Journal of Economics, Vol. 25 (2), 242-262, (1994).

[15] Berry, Steven, James Levinsohn, and Ariel Pakes, “Automobile Prices in Market Equilibrium”, Econometrica, Vol.63 (4), 841-890, (1995).

低炭素社会の実現に向けた
技術および経済・社会の定量的シナリオに基づく
イノベーション政策立案のための提案書

自家用自動車からの CO₂ 排出量の要因の分析評価

令和 3 年 3 月

Factors Affecting CO₂ Emissions from Passenger Cars

Proposal Paper for Policy Making and Governmental Action
toward Low Carbon Societies,
Center for Low Carbon Society Strategy,
Japan Science and Technology Agency,
2021.3

国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター

本提案書に関するお問い合わせ先

- 提案内容について・・・低炭素社会戦略センター 特任研究員 吉田 好邦 (YOSHIDA Yoshikuni)
- 低炭素社会戦略センターの取り組みについて・・・低炭素社会戦略センター 企画運営室

〒102-8666 東京都千代田区四番町5-3 サイエンスプラザ4 階
TEL : 03-6272-9270 FAX : 03-6272-9273 E-mail : lcs@jst.go.jp
<https://www.jst.go.jp/lcs/>

© 2021 JST/LCS

許可無く複写・複製することを禁じます。
引用を行う際は、必ず出典を記述願います。