

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K01562

研究課題名（和文）非都市部の交通需要の構造推定と新交通システムの可能性に関する基盤研究

研究課題名（英文）Incentive Mechanism and Structural Estimation of Demand for Car Ownership and Utilization in Non-urbanized Areas

研究代表者

小西 祥文（Konishi, Yoshifumi）

慶應義塾大学・経済学部（三田）・教授

研究者番号：40597655

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：所得、交通インフラ、車種ポートフォリオ選好の地理的分布を明示的に考慮した離散連続選択モデルの推定を行い、同モデルが、原始的なRCロジットと比べ、自動車保有・利用需要の地理空間上の分布を極めて良く説明することを明らかにした。2SRI法とCF法を使うことで、離散選択と連続選択における内生問題に対処している。同モデルを使って仮想的政策の効果を推計した結果、炭素税が、エコカー減税施策やエコカーシェア施策よりも効果的である一方、交通インフラの限られた地域への経済負担がより大きくなることが示された。派生プロジェクトとして、燃費規制の技術歪曲効果に関する実証論文を執筆し、トップ・ジャーナルに受理されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本を含む多くの国々では、都市と非都市部間の交通密度の格差が顕著となっている。十分な交通密度の無い非都市部では、公共交通サービス（バス・電車）の維持・拡充は困難であり、今後、少子高齢化・過疎化の進展に伴い、環境負荷の高い乗用車依存に一層拍車が掛かることが予想される。一方、我が国でも2050年までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロとする目標が掲げられ、パリ協定の達成に向けた取組みが本格化するものと期待されている。本研究は、都市と非都市部間の交通密度の格差が顕在化する中で、いかに交通由来のCO2を地方の交通弱者に配慮した形で効果的に達成するかという政策課題に対して重要な示唆を与えるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：We empirically characterize how automobile demand varies over geographic space and how it affects the economic consequences of climate mitigation policies. We augment a discrete-continuous choice model in a way that accounts for geographic distribution of income, public transit, and portfolio preferences, and show that our model outperforms a naive random-coefficient model in explaining demand stickiness over geographic space. In particular, the model can resolve two empirical puzzles in Japan: Overall price elasticity of demand for vehicle ownership increases with vehicle size; invariance of demand for hybrid vehicles with respect to public transit density. We also use the estimated model to demonstrate the economic significance of this spatial demand heterogeneity: Eco-car sharing outperforms feebates but underperforms carbon tax; The policy impact declines with a decrease in transit density; The naive model overstates the impact in rural areas whereas understating it in urban areas.

研究分野：実証ミクロ経済学、環境経済学、応用計量経済分析

キーワード：ライドシェア 非都市部交通 構造推定 実証ミクロ経済学 シェアリング・エコノミー

1. 研究開始当初の背景

日本を含む多くの国々では、都市と地方（非都市部）間の交通密度の格差が顕著となっている。十分な交通密度の無い非都市部では、公共交通サービス（バス・電車）の維持・拡充は困難であり、今後、少子高齢化・過疎化の進展に伴い、環境負荷の高い乗用車依存に一層拍車がかかることが予想される。交通需要が分散的に発生する非都市部では、コンパクト/スマート・シティ化による低炭素交通システムの経済的妥当性は低く、代替策となり得る新たな交通システムが望まれている。その可能性の一つが、最新の AI/IT 技術と環境技術とを有機的に活用したライドシェアの導入である。非都市部（郊外を含む）に大きな労働人口を持つ北米地域では、ライドシェアの有効利用が進んでいるが、保有乗用車の燃費効率が平均的に低いため、低炭素化施策としての効果は限定的である。高環境性能車へのインセンティブ政策と組み合わせることで、ライドシェア利用者/提供者に帰着する経済余剰と、環境性能の高い自動車をシェアすることによる環境負荷の逡減という二つの大きな経済便益を得ることが出来ると考えられる（混雑率や事故率の変化による他の外部性効果は非都市部においては限定的と仮定する）。近年、実証ミクロ経済学の分野では、高環境性能車へのインセンティブ政策の経済効果を推計した良質の実証研究が急増しているが（e.g., Bento *et al.*, 2009; Beresteanu-Li, 2011; Chandra *et al.*, 2010; Gallagher-Muehlegger, 2011; Gulati *et al.*, 2017; Linn-Klier, 2015; Mian-Sufi, 2012; Sallee, 2011）、交通密度差やライドシェアの環境効果に注目した実証研究は限定的であり、本研究の学術的意義は大きいと考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(1) 自動車保有・走行距離需要の構造パラメーターの推定および仮想的政策の効果推計、(2) 自動車燃費規制の燃費歪曲効果の検証、(3) ライドシェアの環境効果の検証、の三つである。(1) は研究開始当初の主たる目的であり、(2) (3) は、(1) が想定よりも早く進捗した場合を想定し、派生的プロジェクトとして設定された研究である。ページ数が限定されているため、本報告書では、(3) に関する報告は割愛させて頂く。詳細は以下の通り。

(1) 自動車保有・走行距離需要の構造パラメーターの推定および仮想的政策の効果推計：研究代表者は、本研究課題に先立ち、2016 年に大規模なインターネット家計調査を実施している。本研究は、このデータセットをベースとして、自動車保有・走行距離需要の構造パラメーターを推定することで非都市部の需要構造を解析し、地域間の交通密度の違いに配慮したインセンティブ政策の設計や仮想的なライドシェア導入の環境・経済効果の推計を行うことを目的とする。本研究の特徴的な点は、所得、交通インフラ、車種ポートフォリオ選好の地理的分布を明示的に考慮した離散・連続モデルを考え、その構造パラメーターを丁寧に識別・推定することにある。

(2) 自動車燃費基準の技術歪曲効果の検証：非都市部における交通由来の CO₂ 排出をいかに効果的に抑制するかという課題は、(車保有を所与とすれば) 自動車の燃費技術の進歩をどのように効果的に促進するかという課題でもある。日本では、燃費技術の改善を促すため、車体重量に応じた燃費基準が定められており、その段階的引上げと達成度に応じた軽減税制策が採られている。既往研究では、車種属性に応じた燃費規制が企業の商品ミックスを歪曲する効果を持つことが示されているが、燃費技術へ与える影響に関しては明らかにされていない。そこで、本研究では、属性ベースの燃費基準が、そのような技術歪曲効果を持ったか否かを検証する。

(3) ライドシェアの環境効果の検証：本研究課題の目的の一つは、ライドシェアの導入が自動車由来の大気汚染や CO₂ 排出を増加させるのか抑制するのかを実証的に評価することにあった。しかし、

(1) による政策効果推計は、家計調査データから推定されるパラメーターから仮想的シミュレーションによって推計される結果にすぎず、推計結果の外的妥当性は限定的である。そこで、ライドシェアの環境効果の検証を行うため、2018 年度に茨城県筑西市と包括協定を結び、2020 年度に選択実験を行う見込みとなっていた。しかし、複数の調査会社による相見積もりの結果、調査予算の見積りが交付予算を遥かに超える額となってしまったため、本研究課題での実施を見送らざるを得なかった。そこで、代替案として、米国におけるライドシェア参入の都市間差を利用し、ライドシェアの環境効果に関する実証研究を行う。

3. 研究の方法

(1) 自動車保有・走行距離需要の構造パラメーターの推定および仮想的政策の効果推計

研究代表者は、2016 年度に九州大学の馬奈木研究室と共同で全国規模の家計調査を実施しており、乗用車保有・利用に関する約 10 万件の有効回答を得ている。同家計調査データをベースとし、Carsensor.net から車種属性データを、公的 GIS 情報データベースから地理属性データを、その他の公的データベースからガソリン価格や金利などの経済データを取得し、結合させたデータセットを本研究の分析に利用した。

自動車保有・走行距離需要の推定には、(a) 複数の車を保有する家計の逐次的選択の間に介在する

(観察不可能な) 需要要因の相関, (b) 保有に関する離散選択と利用に関する連続選択との間に介在する需要要因の相関, (c) 地域レベルの交通密度を表す変数と車種属性の間に介在する需要要因の相関, という三つの重要かつ対処が困難な内生問題が存在する。(a) に関しては Gentskow (AER, 2007) のポートフォリオ効果モデルを, (b) に関しては Dahl (ECTA, 2002) の制御関数法を, (c) に関しては Terza *et al.* (JHE, 2008) の 2SRI 推定法を利用することで解決した。2SRI 法を適用する際, 現在の居住地の地理属性を制御した上では, 過去の公共交通網が観察できない選好要因に対して外生であることを利用し, 1980 年時点の市区町村レベルの鉄道インフラ密度を操作変数として利用した。また, (a) のポートフォリオ・モデルは, これまで離散・連続選択モデルの文脈で考慮されることが無かったため, 計量モデルの理論的整合性を確保するための思考作業が必要であった。

(2) 自動車燃費基準の技術歪曲効果の検証

研究代表者は, 2000 年以降に発売された全ての車種グレードに関する詳細なカタログ属性を web scraping により Carsensor.com から取得し, 日本の燃費・排ガス基準および自動車関連税制情報と統合することでパネルデータを作成した。車種モデルには改廃やモデルチェンジがあるため, 単に車種モデル名だけでなく, 新聞記事, カタログ, 雑誌に記載されている情報をもとに後継車種を特定することで車種モデルベースのパネルデータを作成している。

本研究では, このパネルデータをベースに, 三階差分法 (Difference-in-difference-in-differences) を適用することで, 燃費規制が車種間の燃費技術および車体重量に与えた因果効果を推定する。具体的には, 2007 年の燃費基準改正 (2015 年規制) が, 単に燃費基準を引き上げただけでなく重量カテゴリーの定義自体を変更させたことで, 重量カテゴリー間の燃費改善インセンティブが大きく変化した点に着目し, インセンティブが同質的であるよう準実験群を作成することで因果効果の識別・推定を行った。

4. 研究成果

(1) 自動車保有・走行距離需要の構造パラメータの推定および仮想的政策の効果推計

上述のように, 同プロジェクトは, 約 10 万件の全国レベルの家計調査の有効回答をベースに, 車種属性データ, 市区町村レベルの地理属性データ, 価格・金利・自動車税制データ等を結合した大規模なデータセットを使うことで, 日本における自動車需要の地理的分布の特性を解析することを第一の目的とする。次に, 推定された需要関数をもとに, 様々な仮想的施策の効果の地理的異質性を推計することを第二の目的としている。

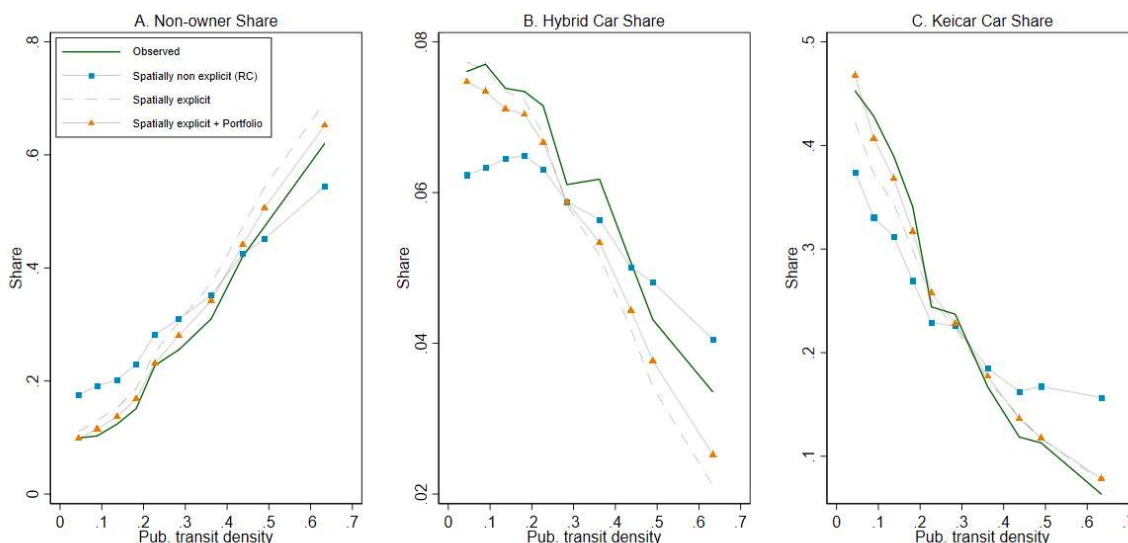
研究の第一段階として, GIS ベースの鉄道路線と鉄道駅情報を使い, 市区町村レベルの鉄道網へのアクセスおよび利便性を捉える指標として「鉄道密度 (公共交通インフラ密度)」を作成し, 家計レベルの自動車関連変数が鉄道密度に応じてどのように変化するのか, 簡単な記述統計分析を行った (バス路線の場合, 市区町村レベルでは殆どバリエーションが存在しないため, 鉄道密度のみを分析に利用)。すると, 自動車保有率, 自動車利用率, 保有車両の平均価格や平均燃費などに関して想定通りの地理的分布が得られた一方で, 車種ポートフォリオが想定とは異なる変化をしていることが明らかになった。即ち, 保有車種におけるハイブリッド車の比率が鉄道密度に対して一定である一方で, 軽自動車の保有比率や特定のポートフォリオの保有比率が大きく異なることが明らかにされた。また, 平均所得や世帯人数なども鉄道密度に応じて大きく変わることから, 家計属性, 鉄道密度および車種ポートフォリオ選好の地理的分布を明示的に考慮することが, 自動車需要の地理的分布を理解するために極めて重要であることが示唆された。

そこで, 研究の第二段階では, 家計属性, 鉄道密度および車種ポートフォリオ選好の地理的分布を明示的に考慮した離散連続選択モデルの推定を行った。具体的には, 伝統的な条件付きロジット・モデルからスタートし, (i) 車種属性の間接効用パラメータに, 家計属性と居住地の地理属性との交差項を入れることで間接効用の異質性と地理条件への依存性を考慮する一方で, (ii) Gentskow (AER, 2007) のポートフォリオ選好モデルを応用し, 特定の車種の組み合わせ (例: 軽自動車 + ミニバン) から追加的効用が生じるモデルを考えた。家計調査の車種選択から, 約 170 程度の保有ポートフォリオの選択集合を構築し, 上述のデータセットに対して同モデルを推定した。また, 「3. 研究の方法」で説明したように, 家計の内生的な居住地選択により, 地理属性と誤差項とに相関が生じてしまう問題に対処するため, 現在の居住地の地理属性を制御した上では, 過去の公共交通網が観察できない選好要因に対して外生であることを利用し, 1980 年時点の市区町村レベルの鉄道インフラ密度を操作変数として Terza *et al.* (JHE, 2008) の 2SRI 推定を行っている。

推定結果は極めて良好であり, 「軽自動車の価格弾力性が普通乗用車よりも低い」, 「ハイブリッド車への需要が公共交通網の密度に対して一定である」という非直観的な既往研究の実証結果を説明するような推定結果が得られた。即ち, 鉄道密度が低い非都市部では, 鉄道密度の高い都市部に比べ, 価格弾力性が高い傾向にある。これは, 非都市部と都市部の所得の違いによる価格弾力性の違いを反映しており経済理論と整合的である。しかし, 同じ地域で比較した場合, 高額のハイブリッド車に比べ軽自動車の価格弾力性が一様に低いことが分かった。即ち, 軽自動車を保有している人々は, 低額かつ燃費の良い軽自動車を非弾力的に需要していることが分かる。つまり, 非都市部に住む所得の低い消費者は, 都市部に住む所得の高い消費者に比べ十分に高い走行需要を持ち, そのため, 燃費効率の良い軽自動車を非弾力的に需要していることが分かる。また, このように推定された自動車需要を使い, 自動車保有率および軽自動車・ハイブリッド車の保有率の予測値をプロットし, 原始的なラ

ンダム係数 (RC) ロジットやポートフォリオ効果を考慮しないモデルと比較したものが図 1 である。図は、我々のモデルが、自動車保有・利用需要の地理空間上の分布を極めて良く説明することを示している。

図 1. 自動車需要の地理的分布に関する予測精度比較



研究の仕上げとして、このような現実説明力の高いモデルを使い、幾つかの仮想的な政策の効果を推計した。考慮した政策は、①炭素税（ガソリン、ディーゼルの利用に対して一トン当たり\$65の炭素税を課す政策）、②保有インセンティブ施策（車種の購入/保有に対して燃費効率に応じて一トン当たり\$65のインセンティブ税制を課す政策）、③エコカーシェア施策（政府主導で低炭素車（ハイブリッド車）のカーシェアを推進する政策）、の三つである。ここで注意したいのは、データの制約上、本研究で識別・推定されたのは需要側のパラメータのみであるため、仮想シミュレーションには、完全に弾力的な供給側のレスポンスを仮定している。したがって、シミュレーションの結果は、供給側が価格変化を完全に吸収するような経済における需要側のレスポンスの上限を表現しているものと解釈されるべきである。このようなシミュレーションの結果、CO₂削減効果は、炭素税が最も大きく、続いて、エコカーシェア施策、保有インセンティブ施策となった。日本のエコカー減税・補助金施策（≒保有インセンティブ施策）の効果が極めて限定的であるという既往研究の結論を改めて確認する結果となる一方で、日本では積極的な導入が進んでいないカーシェア施策の潜在的可能性を示した点で興味深い。また、炭素税が極めて効果的であるという理論予測を確認する一方で、交通インフラ密度の小さい地域へより大きな影響を及ぼしてしまうことが明らかになった。この結果は、炭素税導入が現実的となった場合、所得に応じた Revenue Recycling よりも、鉄道密度に応じた地方税ベースの還付策の方が、より効果的な炭素税の逆進性への対処に繋がる可能性を示している。

これらの結果は WP として纏められ、学術誌へ投稿する準備を行っている。また、結果の一部は、『月刊統計』や『環境経済・政策研究』にも紹介されている。

(2) 自動車燃費基準の技術歪曲効果の検証

同プロジェクトでは、実証分析の前準備として、まずは、技術制約下における企業の商品投入と技術投資に関する簡単な意思決定モデルを用いて、以下の命題を示した。

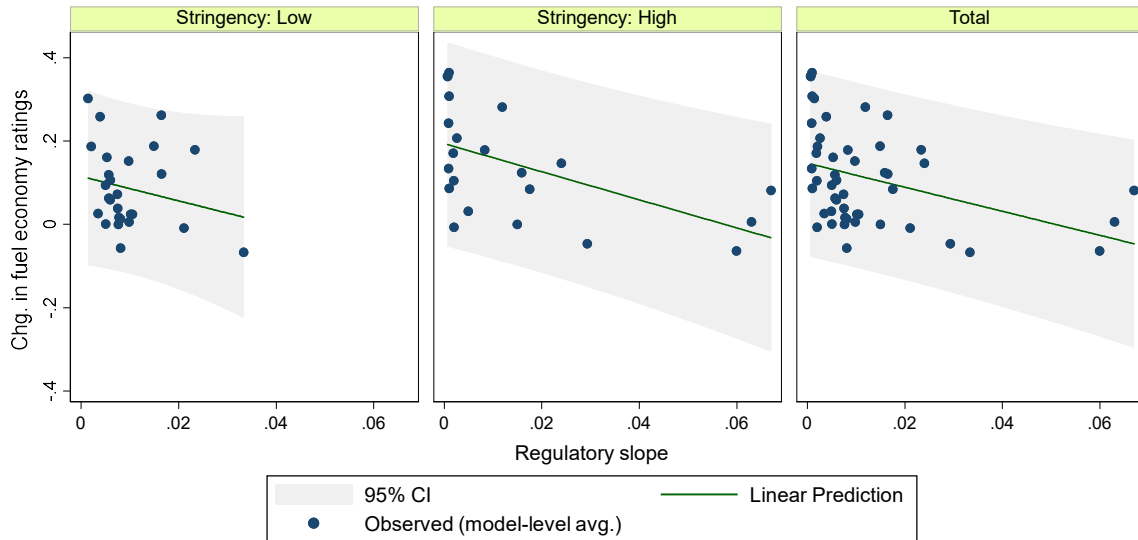
命題. 規制当局が、技術規制の主たる対象である技術属性 f （例：燃費）に関する基準を副次的な技術属性 w （例：車体重量）に応じて設定するとき、企業はその技術規制の傾き (df/dw) に応じて、商品投入と技術投資を変化させる。即ち、企業は、技術投資の代わりに、商品の副次的属性を操作することで技術基準を達成しようとする。

この命題のポイントは、既往研究においては、このような属性ベースの技術規制は、ベースとなる属性（車体重量）の歪みを引き起こすが、技術規制の対象そのもの（燃費効率）には影響を及ぼさないとされていたが、そうではなく、技術規制の対象にも直接影響を及ぼすことが簡単な理論モデルで予測されることを示した点にある。

本実証研究では、この理論予測の正しさを様々な角度から検証を行っている。まず、2001年度に策定された燃費基準（2010年基準）をもとにベースとなる重量カテゴリーを確定。次に、2007年改訂（2015年基準）によって変更された重量カテゴリーとベースの重量カテゴリーとの共通部分を使い重量カテゴリーを細分化する。このように作成された重量カテゴリーに対し、燃費基準の改善要求率 (H) と燃費基準の傾き (R) を計算する。H と R を使って、車種グレードを四つのグループに分類 (High vs. Low H, High vs. Low R) する。理論予測が正しければ、同じ燃費基準の改善要求率を

所与として、燃費基準の傾きが高ければ高いほど、燃費技術へ投資するよりも、重量を増加させることによって燃費基準を達成する方が容易であるため、燃費効率の改善が遅れるはずである。この理論予測を、車種レベルのデータで確認したのが図2である。

図2. 2007年改訂後の燃費改善率と燃費基準の傾きの関係



但し、図2では車種レベルの平均値を使用しているため、車種グレード間の他の属性（重量、サイズ、馬力、トランスミッション等）の影響やその他の観測できない要因の影響を十分に考慮できていない。これらの影響を排除するため、外生的な制御変数を入れた上で三階差分法を推定した結果が以下の表1である。推定結果は、(a)燃費基準の傾きが高い重量カテゴリーに属していた車種グレードは、そうでない車種グレードに比べ、燃費効率の改善が約19pptも遅れたこと、(b)このような歪曲効果は、燃費基準の改善要求率が高い車種カテゴリーにより顕著にみられること、を示している。

表1. 三階差分法による技術歪曲効果の推定結果

	DD (Pooled)		DD (Stringency: High)		DD (Stringency: Low)		DDD (Pooled)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$R \times T$	-0.035	-0.047	-0.115	-0.239	0.082	-0.002	0.089 (0.035)	0.019 (0.079)
$H \times R \times T$							-0.210 (0.057)	-0.139 (0.072)
Variant-level controls for observables	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Time-varying Brand-effect controls	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Time-varying Segment-effect controls		✓		✓		✓		✓
R^2	0.917	0.930	0.699	0.745	0.933	0.949	0.921	0.932
Obs.	3,253	3,253	1,516	1,516	1,737	1,737	3,253	3,253

本研究の成果は、極めて重要な政策的含意を持っている。即ち、日本の自動車燃費規制のように属性に紐付けされた技術規制は、企業の商品ミックスや技術投資に歪みを引き起してしまい、そのような歪みのある制度にエコカー減税のようなインセンティブ政策を紐付けることは、自動車由来の大気汚染やCO₂排出量を削減する政策としては極めて非効率である、ということである。また、このような歪みを是正するには、車種カテゴリー間・企業間の明示的なクレジット取引を導入することである。実は、これらの点は、海外のトップ研究者により既に幾度と無く主張されている点であり (e.g., Ito-Sallee, REstat, 2018; Gillingham-Stock, JEP, 2018), 本研究は、彼らの主張が正しさを別の角度から実証的に検証したものと位置付けることができる。

これらの研究結果を纏めた論文は、Journal of Environmental Economics and Management (環境経済分野におけるトップ・ジャーナルの一つ) に受理されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 小西祥文	4. 巻 71
2. 論文標題 効果的な環境政策を考える 自動車由来のCO2排出削減施策に関する実証分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 統計	6. 最初と最後の頁 14-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshifumi Konishi ; Shunsuke Managi	4. 巻 104
2. 論文標題 Do Regulatory Loopholes Distort Technical Change? Evidence from New Vehicle Launches under the Japanese Fuel Economy Regulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Economics and Management	6. 最初と最後の頁 102377 (1-22)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jeem.2020.102377	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 小西祥文	4. 巻 13
2. 論文標題 EBPMにおける構造推定と誘導形推定 ~効果的な環境政策へ向けて~	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 環境経済・政策研究	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14927/reeps.13.1_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小西祥文
2. 発表標題 Do Regulatory Loopholes Distort Technical Change? Evidence from New Vehicle Launches under the Japanese Fuel Economy Regulation
3. 学会等名 政策大学院大学 ポリシーモデリング ワークショップ（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小西祥文
2. 発表標題 Do Regulatory Loopholes Distort Technical Change? Evidence from New Vehicle Launches under the Japanese Fuel Economy Regulation
3. 学会等名 東京大学 ミクロ経済学 ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小西祥文
2. 発表標題 Do Regulatory Loopholes Distort Technical Change? Evidence from New Vehicle Launches under the Japanese Fuel Economy Regulation
3. 学会等名 慶應義塾大学 応用経済学ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒田翔 (共著: 小西祥文)
2. 発表標題 Green Sharing and Spatial Distribution of Automobile Demand: The Role of Income, Public Transit, and Portfolio Considerations
3. 学会等名 日本経済学会 2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒田翔 (共著: 小西祥文)
2. 発表標題 Climate Mitigation and Spatial Distribution of Automobile Demand: The Role of Income, Public Transit, and Portfolio Considerations
3. 学会等名 上智大学 経済学部セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒田翔（共著：小西祥文）
2. 発表標題 Climate Mitigation and Spatial Distribution of Automobile Demand: The Role of Income, Public Transit, and Portfolio Considerations
3. 学会等名 実証的なモラル・サイエンス研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Climate Policy and Spatial Automobile Demand http://applied-economics.org/docs/GS.pdf

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

国際研究集会 実証ミクロセミナー（筑波大学）	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 International Workshop on Transportation and Environment（慶應義塾大学）	開催年 2020年～2020年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------