

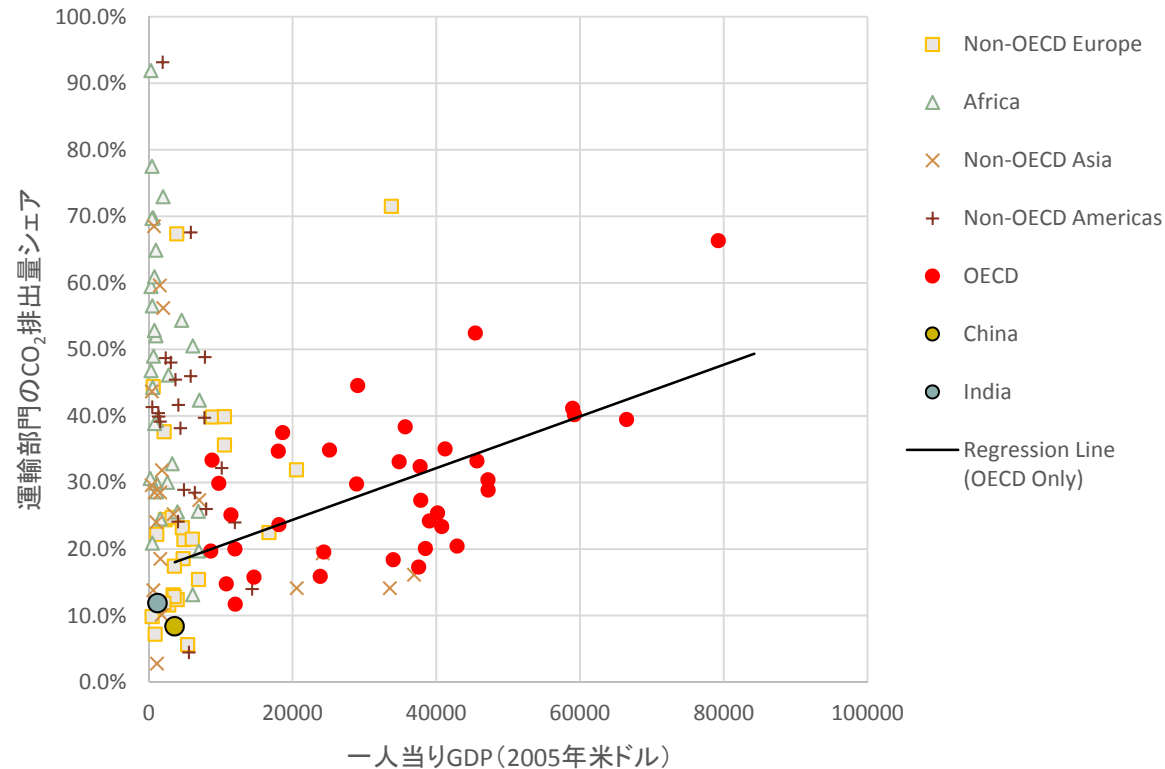
「交通と環境の経済学」
～テーマを学びながら実証ミクロ経済学の基礎も学んでしまおう～

TCER「環境経済学のフロンティア」ワークショップ

小西祥文(上智大学)

経済発展の度合い vs. 運輸部門のCO₂排出量シェア

- 交通・運輸部門は、世界全体の二酸化炭素排出量の約23%を占める。そのうち、約72%が自動車(乗用・貨物)からの排出量(IPCC, 2014)。途上国(特に中国・インド)において、交通・運輸部門の占める割合は大幅に増加すると予想されている。

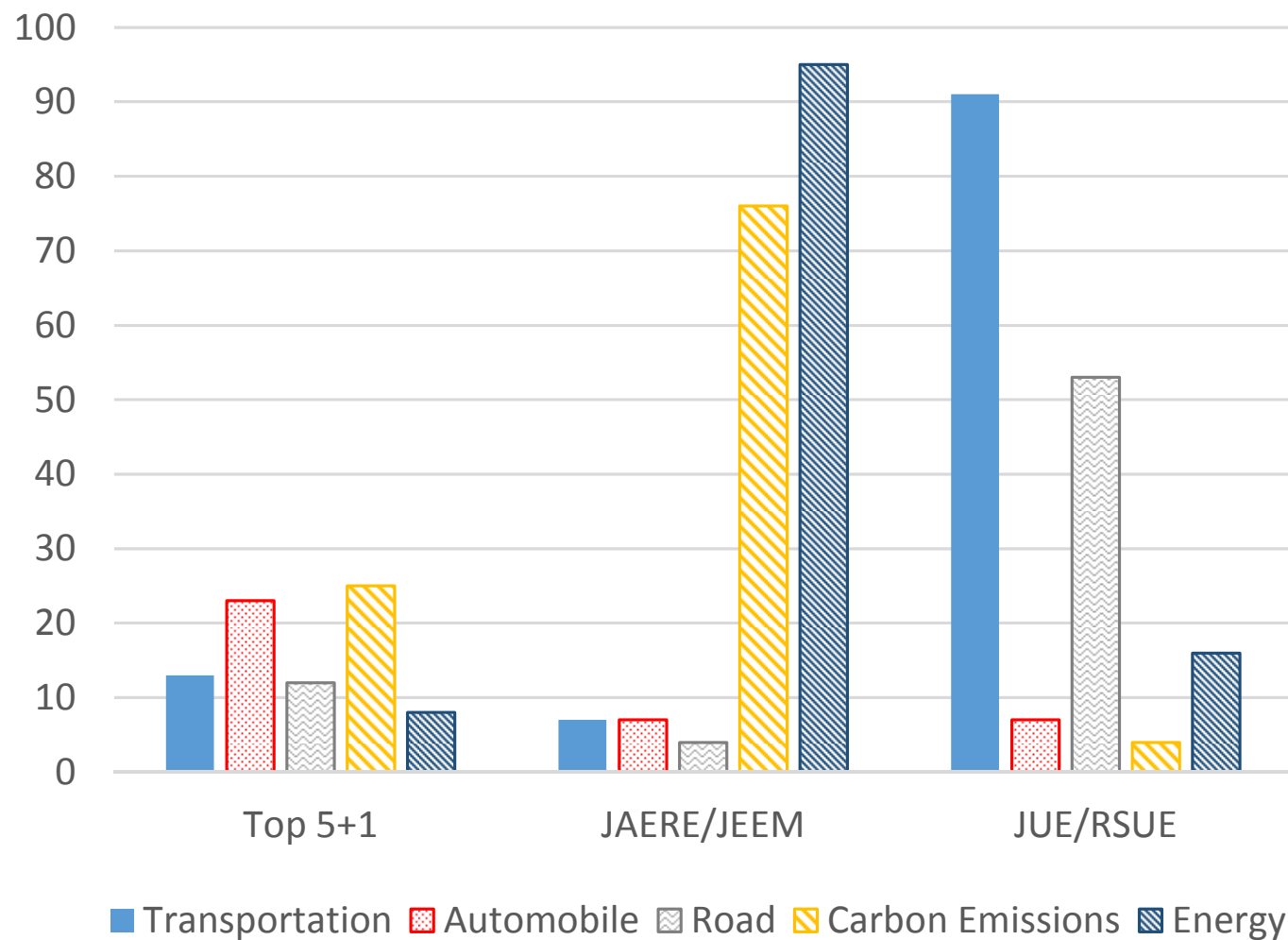


出所: International Energy Agency (2015) のデータベースを基に筆者作成。
註: CO₂シェアは化石燃料由来の排出量に占める割合; データは全て2013年ベース。

「交通と環境」に関する経済学分野の既往研究

- 「交通・運輸 (Transportation)」はとても大きな経済学の一分野。
 - 専門誌: *Journal of Urban Economics*, *Regional Science and Urban Economics*, *Journal of Transport Economics and Policy*, and *Transportation Research* etc.
 - 他分野ほどではないが、経済学のトップ・ジャーナルに常に顔を出す。
 - 環境系Journalで「交通・運輸」を扱った論文は少なく、反対に、交通・都市経済学系Journalで「環境」に焦点を当てた論文はあまり多くない。
 - ⇒ 「交通」と「環境」は明らかに関連した分野であるにも関わらず、統合された研究分野・テーマとして確立されていない。
 - ⇒ 「交通と環境」というテーマを整理・境界を明確にする必要。
 - ⇒ 一方、アメリカの研究者の間では、既に重要性が認識されつつある。REEPの2011年のSymposiumで、「交通と環境」をテーマとした三つ論文が発表された。
- ⇒ 同三論文を出発点として、文献を纏める。

「交通・運輸」に関する学術論文掲載数(2000～2015)



註1:「論文タイトル」「キーワード」「要旨」のいずれかに検索語を含む論文数.

註2: Top 5+1 = AER, ECTA, JPE, QJE, RES and REStat.

「交通と環境」の二つの軸

1. 「都市構造」と交通・環境

- 交通・運輸部門の二酸化炭素排出は、(産業・エネルギー部門と異なり)対象となる人やモノとの空間的距離に依存する.
 - 公共交通網(道路、電車、バス、港、空港)は、家計の居住地選択や企業の立地選択を通じて、交通・運輸活動に大きく影響を与える.
- ⇒ 都市構造、公共インフラ、交通・運輸活動の間の複雑な因果関係の識別が重要.

2. 「自動車需要(保有・走行距離)」と交通・環境

- 交通・運輸部門のCO₂排出量の7割以上が自動車由来;一単位当りのCO₂排出量は自動車が一番大きい.
 - 自動車からの汚染を常時定点観測することは非常に困難.
- ⇒ 交通・運輸部門の二酸化炭素削減を考える上で、自動車保有・走行距離需要に与えるインセンティブ政策が重要となる(Knittel, 2012).

既往研究の分類

表1. 交通と環境に関する主な実証研究論文・教科書

分類	論文(掲載誌、掲載年)
都市構造と 交通・環境	Baum-Snow (QJE, 2007; AER, 2010), Bento <i>et al.</i> (REStat, 2005), Bertaud (JUE, 2003), Chen-Whalley (AEJ: EP), Duranton-Turner (AER, 2011; RES, 2012), Garcia-Lopez (JUE, 2012), Garcia-Lopez <i>et al.</i> (JUE, 2015), Gibson-Carnovale (JUE, 2015), Glaeser-Kahn (JUE, 2010), Hsu-Zhang (JUE, 2014), Parry-Small (AER, 2005; AER, 2009), Small <i>et al.</i> (ECTA, 2005)
自動車需要と 交通・環境	Adamou <i>et al.</i> (EJ, 2013), Bento <i>et al.</i> (REStat, 2005), Bento <i>et al.</i> (AER, 2009), Beresteanu-Li (IER, 2011), D'Haultfoeuille <i>et al.</i> (EJ, 2014), Gallagher-Muehlegger (JEEM, 2011), Grinblatt <i>et al.</i> (REStat, 2008), Goldberg (JIE, 1998), Jacobsen (AEJ: EP, 2013), Li <i>et al.</i> (AEJ: EP, 2009), Li <i>et al.</i> (AEJ: EP, 2014), Klier-Linn (RAND, 2012; JEEM, 2013; AEJ: EP, 2015), Sallee (AEJ:EP, 2011), West (2004)
その他の必読書・論文	交通経済学: Small-Verhoef(2007; 学部上級～大学院) 離散選択モデル: Train(2000; 大学院) Wooldridge(Ch. 15, 2002; 学部上級～大学院) 都市経済学: Fujita-Thisse(2002; 大学院) Glaeser(2008; 大学院) ランダム係数ロジット: Berry-Levensohn-Pakes(ECTA, 1995) Nevo(ECTA, 2001)

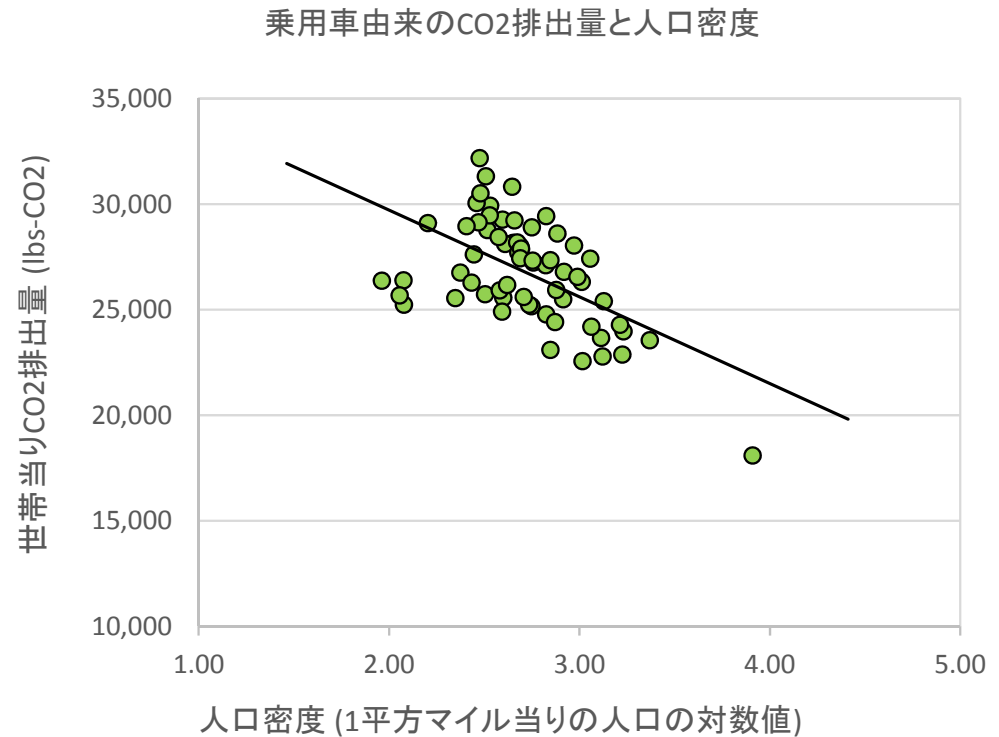
註1: 表は実証分析に関する論文のみ含め、理論・シミュレーション分析は含まない。表に含まれない良質の実証研究も多数存在するが、紙面の都合上、2000～2015年の間に以下に示す学術誌に掲載された論文のみをリストした。

註2: 本章では取り扱わないが、これら二つの分析軸以外にも関連して近年脚光を浴びている重要な研究テーマが存在する。例えば、交通・環境政策が企業の商品・技術戦略に与える影響に関して応用ミクロ経済学的な実証分析を行った論文(e.g., Anderson-Sallee, 2011; Ito-Sallee, 2014; Klier-Linn, 2012; Knittel, 2011; Sallee, 2012)、途上国特有の規制・法制度・文化に焦点を当てた実証論文(e.g., Davis, 2014; Oliva, 2015; Xu *et al.*, 2015)、ガソリン税・自動車税のSalience(突出性)の問題や車種燃費の経済価値に関する誤認の問題を扱った行動経済学的なアプローチの実証論文(e.g., Allcott-Wozny, 2014; Busse *et al.*, 2013; Klier-Linn, 2010; Salle *et al.*, 2016)などが近年増加傾向にある。

第3節. 都市構造と交通・運輸需要 (交通・運輸量を中心として)

都市構造と交通・運輸需要

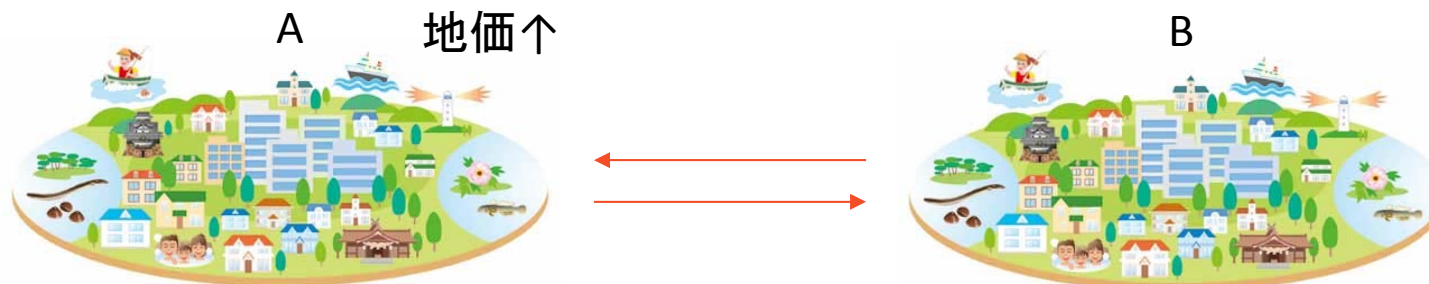
- 都市がより「集約的(コンパクト)」になれば、モノ・人との間の距離が小さくなってくれる。
 - ⇒ 交通・運輸需要が減少; 二酸化炭素排出量も減少?
 - ⇒ 因果関係か、それとも、単なる相関関係か?
 - ⇒ 仮に因果関係だとしても、どのような集約都市でも同じ結果となるのか?



出所: Glaeser-Kahn (2010)のTable 2及び米国2010センサスのデータをベースに筆者が作成。

コンパクトシティ構想の是非

- 国土交通省による「集約都市」構想
 - 都市機能の近接化による歩いて暮らせるまちづくり
 - 拡散した都市機能の集約と生活圏の再構築
 - 医療・社会福祉・教育文化施設の集約地域への移転
 - 移転跡地の都市的土地利用からの転換
- 温暖化対策としても期待されるが…
 - 混雑課金のように、交通・運輸コストに影響を与えるような政策ではなく単に都市機能の集約によって集約化が行われると？



- これまでの都市経済学はMonocentric City Modelが中心. しかし、近年では、このような複数都市間の通勤・物流を考慮した一般均衡モデルも出てきている (Anas and Rhee, JUE, 2006; 2007). ⇒実証的評価？

「交通渋滞の基本法則」

「交通渋滞の緩和を狙った道路延長・拡張は、交通量の増加によって完全に相殺されてしまう(Downs, 1962; 1992)」.

- ⇒ 公共交通機関は道路延長・拡張の代替財. よって、公共交通網の拡充は、自動車による交通量やCO₂排出を減少させることにならない.
- ⇒ 公共交通網の拡充を核とした集約都市の形成は、都市内部の人口移動だけでなく都市間の人口移動も誘引する. よって、コンパクトシティ化が必ずしもCO₂排出を減少させるとは限らない.

Duranton-Turner (AER, 2011)

$$\ln(Q_{it}) = \alpha_0 + \alpha_1 X_{it} + \sigma \ln(R_{it}) + \epsilon_{it}$$

- it = 1983年、1993年、2003年のMSAレベルのデータ
- Q = 交通・運輸量 (MSAレベルの州間高速道路の総走行距離 (VKT))
- R = 道路収容力 (MSAレベルの州間高速道路総延長距離)
- X = 地理変数 (海拔、起伏、気候、土地開発の分散度を表す変数)、社会経済変数 (教育水準、所得水準、貧困層の割合、製造業雇用比率、人種的分離度を表す変数)、センサス区画ダミー

註: 州間高速道路は、米国の都市部に居住する多くの住民が通勤のために使用していると言われており、走行距離全体の約24%を占めている。

⇒ R は明らかに内生変数.

⇒ $\text{cov}(Z, R|X) \neq 0$ かつ $\text{cov}(Z, \epsilon|X) = 0$ となる操作 (識別) 変数が必要.

$$\ln(R_{it}) = \beta_0 + \beta_1 X_{it} + \beta_2 Z_{it} + \omega_{it}$$

Duranton-Turner (AER, 2011)



1947年時点での州間高速道路延長計画

操作変数:

- ① 1947年時点での州間高速道路延長計画
- ② 1898年の鉄道線路距離
- ③ 1835年～1850年にアメリカ合衆国探検遠征隊の通ったルート

Duranton-Turner (AER, 2011) の推定結果

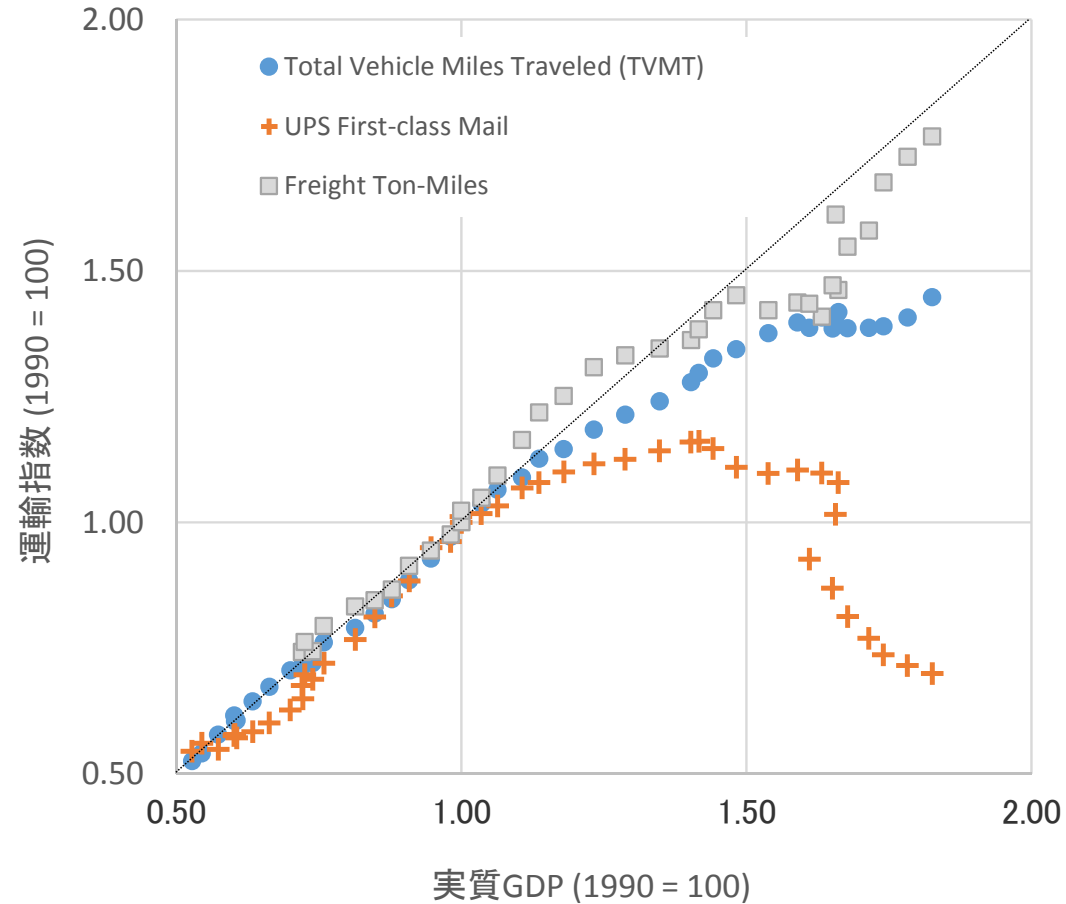
表2. 米国MSAの州間高速道路走行距離需要の推定式

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
ln (IH lane km)	1.03 *** (0.11)	1.01 *** (0.12)	1.04 *** (0.13)	1.09 *** (0.13)	1.18 *** (0.17)
ln (population)	0.30 *** (0.09)	0.34 *** (0.10)	0.23 * (0.12)	0.08 (0.21)	-0.15 (0.27)
ln (bus)				0.12 (0.10)	0.21 (0.14)
Additional controls:					
Geography	✓	✓	✓	✓	✓
Census division	✓	✓	✓	✓	✓
Socioecon. var.		✓	✓		✓
Past populations			✓		✓
Over-identification					
p-value	0.26	0.24	0.29	0.47	0.38
First-stage statistic	11.80	11.50	8.84	9.53	5.68

出所: Duranton-Turner (AER, 2011) の表6-7 (操作変数法の推定結果) より筆者作成。

より大きな・重要なフロンティア？

米国の交通・運輸量と国内総生産の相関



出所：TVMTに関しては米国連邦準備銀行 (St. Louis) のデータを元に指数化；First-class Mailに関しては米国郵便公社によるFirst-class Mailの配達数を指数化；Freight Transportに関しては米国運輸省のFreight Ton-Milesデータ(1970～2011)とFreight Tonnageデータ(2000～2015)を元に指数化；実質GDPデータは米国商務省のデータを使用。

第4節. 自動車需要とインセンティブ政策 (一単位当りのCO₂排出量の削減)

自動車需要とインセンティブ政策

- 交通・運輸活動は温暖化ガスの主要排出源であるが、活動そのものが問題ではなく、活動の際に生じる外部コストが問題。
- ⇒ 理論上はガソリン税が最も効率的な政策と考えられるが・・・
- ガソリン税の逆進性 → これ以上の増税は政治的に困難？
 - 車種選択の際に、消費者は燃費節約の経済価値を適正に評価しない可能性(Allcott-Wozny, REStat, 2014; Busse et al., AER, 2013).
 - 自動車産業は不完全競争市場 → (ガソリン税によって内部化が達成されたとしても)市場均衡が社会的最適解であるとは限らない。
- ガソリン税や(企業平均)燃費規制の代替政策として「Feebates(フィーベイト)」政策が学術的・政策的に注目されてきている。
(Anderson *et al.*, 2011, Symposium on Transportation and Environment; Adamou *et al.*, EJ, 2013; Klier and Linn, AEJ:EP, 2015; D'Haultfoeuille *et al.*, EJ, 2014; Gillingham, WP2013; Roth, WP2014) (France's bonus/malus program, Germany's car tax reform, Japan's ecocar program, Sweden's green car rebate program)

Feebates政策の経済分析

- Feebatesとは？

環境に優しい製品に対してリベート(Rebate)を与え、そうでない製品に対して課徴金(Fee)を課すことで、環境に優しい消費・投資を促す政策.

⇒ 車種価格に直接影響を与える事が出来るので、消費者の非最適な車種選択を是正できる.

⇒ 差別化された車種が競合する自動車市場で、不完全競争による非効率性を是正する Corrective Instruments として利用できる.

⇒ ガソリン税と異なり Intensive Margin (ガソリン消費)に直接影響を与える事は出来ない.

- リサーチ・クエスチョン:

車種レベルの消費者需要(消費者の異質性)を考慮しながら、①不完全競争による非効率性の是正と② Feebates 本来の目的(エコ消費の促進)を同時に達成するよう Feebates をデザインする事が可能か？

研究方法 (Road Map)

- 日本のエコカー補助金・減税政策(2009～)がFeebates政策と似ている点、疑似実験的な構造を操作変数として利用できる点に注目.
- Berry-Levingsohn-Pakes (BLP) 手法 → 車種レベルの消費者需要の構造推定
 - 市場レベルのデータ
 - ランダム係数ロジット (IIA特性(仮定)の問題点)
 - 観察できない製品属性による価格の内生性
- BLP手法によって推定された車種レベルの需要関数・限界費用を利用して、次のような(Second-bestの)最適化問題を解く.

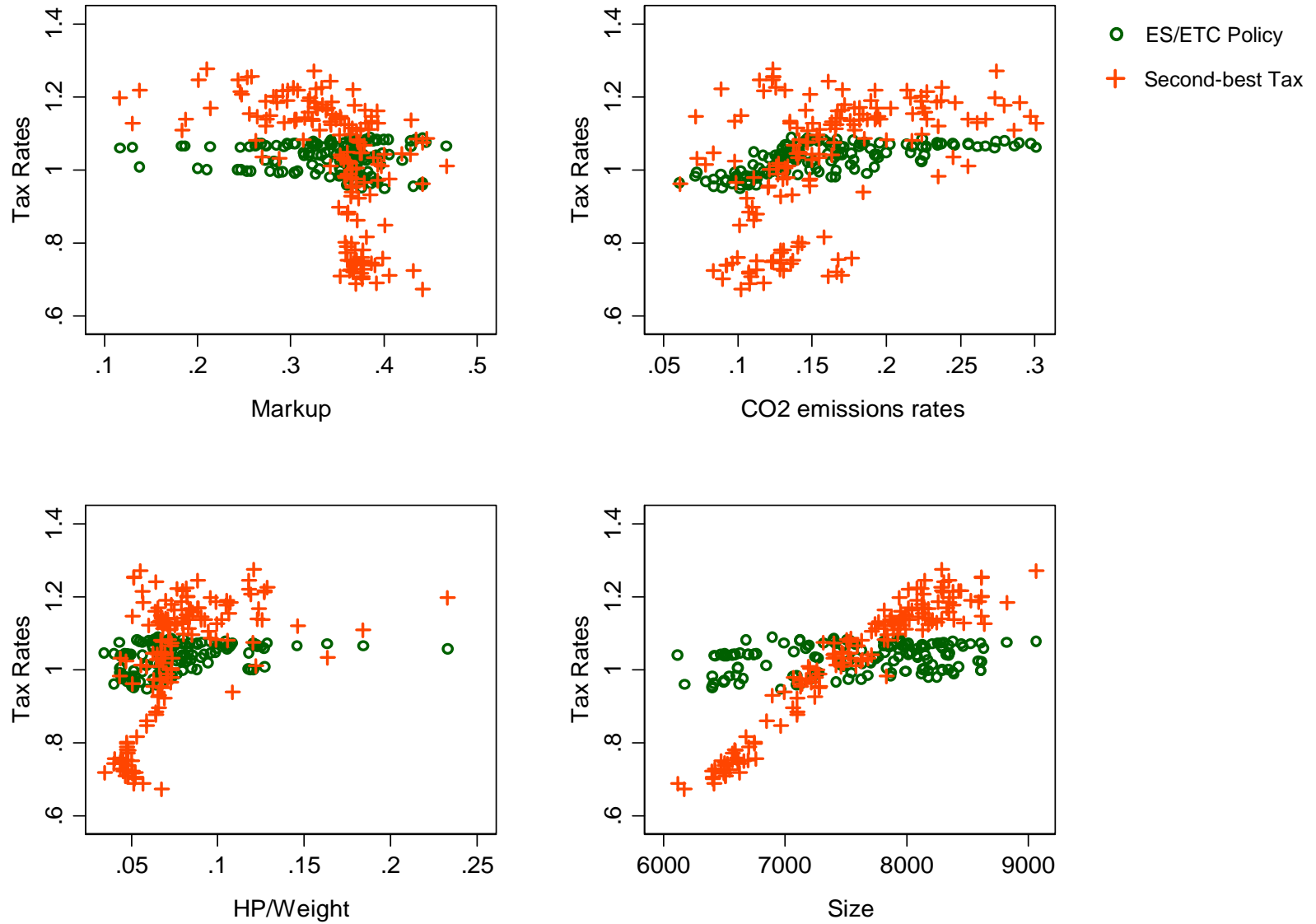
$$\max_{\tau} TS(\mathbf{p}(\tau), \tau; \hat{\theta}) \quad s.t. \quad TR(\mathbf{p}(\tau), \tau; \hat{\theta}) \geq \overline{TR}.$$

* Feebates政策(τ)に対するBertrand競争の市場均衡 $\mathbf{p}(\tau)$ を明示的に解く.

* 次元数=150~160×四半期数の非線形最適化問題.

⇒ 税率 τ をObservableな車種属性(マークアップ, CO₂排出率)の線形関数として近似.

Second-best Feebates (SBF) 政策の特徴



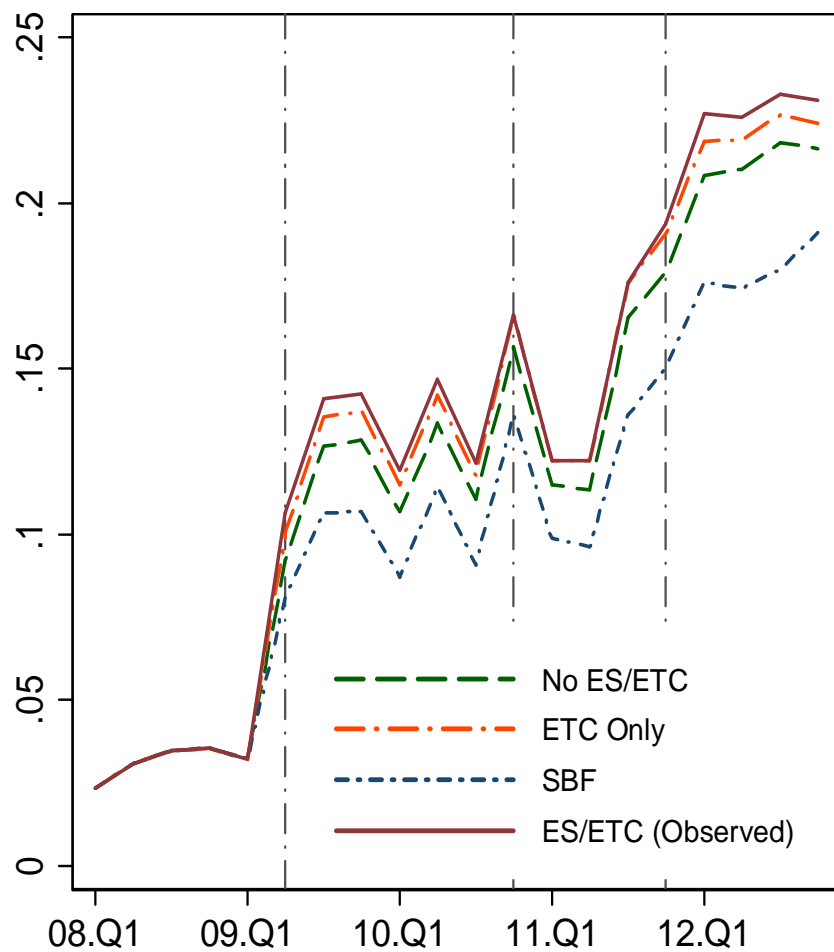
Second-best Feebates (SBF) 政策の政策効果

	Compensating variation		Changes relative to the no-policy countefactual				Total Surplus		Weighted Average Fuel Efficiency		
			Industry profits		Tax revenues						
	ES/ETC (billion ¥)	SBF (billion ¥)	ES/ETC (billion ¥)	SBF (billion ¥)	ES/ETC (billion ¥)	SBF (billion ¥)	ES/ETC (billion ¥)	SBF (billion ¥)	ES/ETC (km/L)	No Policy (km/L)	SBF (km/L)
2009	146.80 (389.6)	114.48 (1,666.7)	74.25 (93.8)	218.78 (222.1)	-147.78 (372.1)	-193.57 (1,783.0)	73.26 (105.4)	139.69 (129.0)	17.29 (2.7)	17.29 (2.7)	17.87 (2.4)
2010	240.16 (544.0)	130.70 (1,842.0)	116.15 (97.3)	273.04 (251.7)	-238.98 (519.7)	-226.20 (1,945.9)	117.33 (111.9)	177.54 (175.8)	17.58 (2.6)	17.59 (2.6)	18.12 (2.3)
2011	114.24 (305.4)	16.10 (1,610.5)	67.04 (56.4)	208.93 (254.7)	-112.09 (282.1)	-90.05 (1,746.1)	69.18 (74.6)	134.98 (162.8)	19.10 (3.9)	19.00 (3.8)	19.32 (3.6)
2012	285.20 (328.5)	150.25 (1,712.3)	149.98 (75.2)	340.15 (241.8)	-286.91 (307.7)	-286.62 (1,872.4)	148.27 (88.7)	203.78 (134.9)	19.54 (4.0)	19.43 (4.0)	19.67 (3.8)
Avg.	196.60 (390.0)	102.88 (1,706.3)	101.85 (80.1)	260.22 (238.8)	-196.44 (368.2)	-199.11 (1,835.5)	102.01 (94.5)	164.00 (141.4)	19.41 (0.8)	19.32 (0.8)	19.68 (0.8)

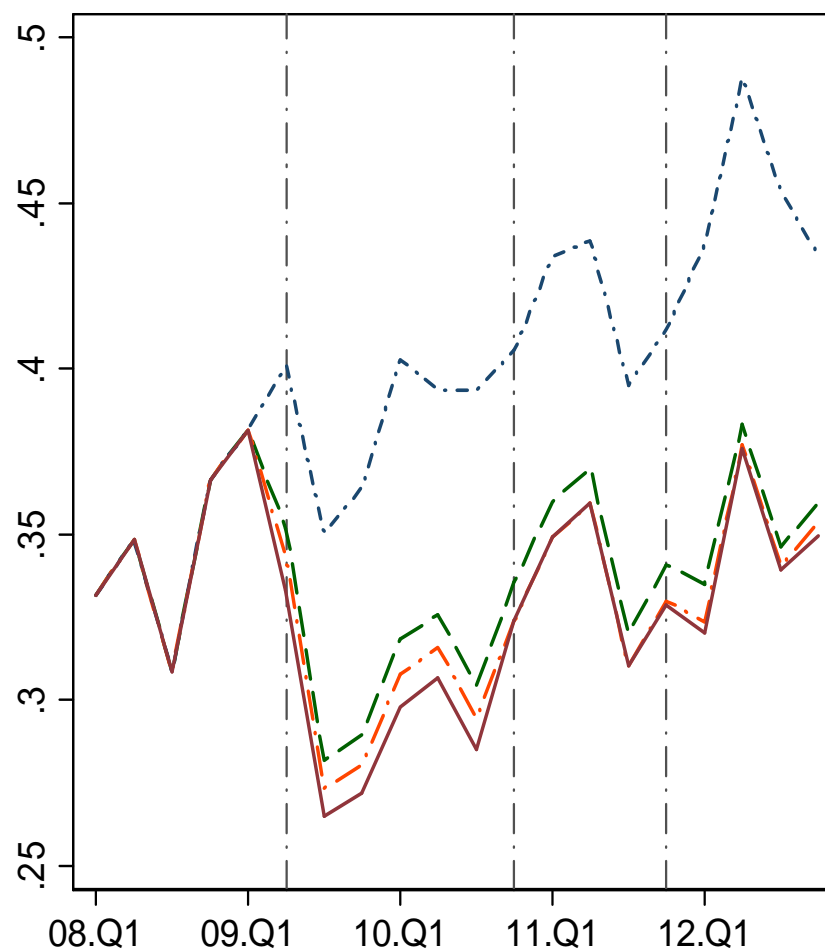
註: Standard Errorは分布の正規性に基づいて発生させたパラメーターの乱数値をもとに政策効果を計算し、その標準偏差を使用したもの。

Second-best Feebates (SBF) 政策の政策効果

(a) Share of Hybrid Cars



(b) Share of Minicars



Feebatesの経済分析に関する残された課題は？

- 理論上は「企業平均燃費規制(CAFE)」と同値といわれているが、全ての企業のラグランジュ乗数がFeebatesのリベート率と一致する必要がある。

$$\sum_{j \in J_i} (p_j - c_j + \tau(\sigma - g_k)) D_j(p_j, \mathbf{p}).$$

$$\sum_{j \in J_i} (p_j - c_j) D_j(p_j, \mathbf{p}) \quad s. t. \quad \sum_{j \in J_i} (\sigma - g_j) D_j(p_j, \mathbf{p}) \geq 0.$$

- 現実的には、この条件は満たされない可能性が高い。
- 企業の戦略的価格設定により、政策間の差は増幅される可能性。

Feebatesの経済分析に関する残された課題は？

- Feebates・燃費規制ともに、Intensive Margin(走行需要)に直接影響を及ぼさない。しかし、選好の異なる消費者を特定の車種に誘引することで間接的に影響を及ぼす可能性が大きい。(例: 走行需要の高い人が、政策によって燃費の良い車を買うと?)

$$\ln(v_{ij}) = \sum_l \sum_k \alpha_k y_{il} x_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

$$u_{ij} = \sum_l \sum_k \theta_k y_{il} x_{jk} + e_{ij}$$

→ 二式の誤差項の相関(Selection on Unobservables)を十分に考慮した研究はまだ見当たらない。(Bento *et al.*, AER, 2009も十分とは言えない)。

結語

- レベルの高い実証ミクロ経済学者が多い分野で競争は激しいが、「交通と環境」という新たなくくりで考えてみると、いたるところにまだ開拓されていないフロンティアが存在。例えば・・・
 - 都市の構造と都市内・都市間の交通・運輸需要
 - 交通・環境政策に対する企業・消費者の応答反応
 - 企業の立地
 - 製品特性の内生性(どのような車種を作るか?)
 - 労働者の働き方・居住地選択
 - 社会的相互作用
 - 自転車通勤
 - PHVや電池自動車エコカーの購入
 - カーシェアリング
 - 途上国の実証研究はまだまだ少ない。

⇒ これらのテーマは、頑張ればトップ5+3 (REStat, AEJ: EP, AEJ:AE)も十分可。