

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420549

研究課題名(和文) 社会的相互作用を考慮した自動車交通からの温室効果ガス削減シナリオの検討

研究課題名(英文) Study of policy for reduction of greenhouse gas emission from vehicle traffic considering with social interaction

研究代表者

奥嶋 政嗣 (Okushima, Masashi)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・准教授

研究者番号：20345797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：環境税などの交通政策の導入にともなう交通手段転換あるいはクリーンエネルギー車両への更新に関して、地方都市圏を対象とした意向調査により転換特性を把握した。また、階層ベイズ型モデルの枠組みを用いて、個人の異質性と社会的同調効果を考慮して、交通手段転換モデルおよび保有車種更新モデルを構築した。これらのモデルに加えて社会的ネットワークモデルを含むマルチエージェント交通シミュレーションシステムを構成するとともに、交通渋滞による影響も考慮して、交通政策による温室効果ガス排出削減シナリオの効果を推計した。

研究成果の概要(英文)：Multi-agent simulation approach is suitable to describe the heterogeneity on social interaction. The choice of commuting mode and clean energy vehicle corresponding to the transport policy related to economic incentive is estimated with the multi-agent simulation. The decision process for commuting mode and holding vehicle type is modeled using the hierarchical Bayesian method mainly to describe the heterogeneity of the influence of the local share. The stated preference for mode change and vehicle choice is investigated via a questionnaire survey in the local city. The decision process in relation to mode choice or vehicle choice is described considering social interaction. The proposed multi-agent simulation system consists of the commuting mode choice model, the vehicle choice model and the social interaction model. The time series changes of the number of the clean energy vehicle and the volume of greenhouse gas emission are estimated by proposed multi-agent simulation.

研究分野：土木計画

キーワード：社会的同調性 課金政策 マルチエージェントシミュレーション 電気自動車 階層ベイズモデル 温室効果ガス排出量 環境意識 意向調査

1. 研究開始当初の背景

(1) 環境的に持続可能な交通システムの実現のためには、自動車技術革新による排出抑制だけでなく、過度な自動車利用の抑制が課題である。このため、交通政策および支援制度、効果計測方法、先進事例などが整理され、段階的な目標設定に対応した具体的なシナリオの策定の重要性が唱えられている。

(2) 地球温暖化問題における外部不経済の解消のために、環境税およびロードプライシングによる交通政策が提案されている。このような経済的インセンティブによる交通政策に関する意向調査に基づいた推計から、自動車利用抑制と、電気自動車 (EV) およびプラグインハイブリッド車両 (PHV) などのクリーンエネルギー車両 (CEV) への更新の両面での排出削減が期待される。

(3) 自動車利用抑制の観点からは、経済的インセンティブ政策だけでなく、代替交通手段となる公共交通の整備に加えて、自転車利用環境の整備が注目されている。これらの代替交通手段については、財源面の制約も考慮しつつ、段階的なサービス水準の向上を図る必要があると考えられる。

(4) 自動車利用習慣からの脱却を図るためには、環境意識および健康意識に着目したモビリティマネジメントを経済的インセンティブ政策の導入および代替交通手段サービス水準の段階的向上と適切に組み合わせることで、排出削減の実現可能性が高まると考えられる。

(5) 自動車利用抑制および低排出車両 (特に CEV) への更新の両面に環境意識が関わることで検証されるとともに、その環境意識に関しては社会的ネットワークによる局所的相互作用の影響を受けることが示されている。この社会的ネットワークの構成については、スモールワールドネットワークモデルなどの複雑ネットワークに関する知見が蓄積されている。

(6) 都市交通政策の評価のために、交通行動モデルとネットワーク交通流シミュレータを統合したネットワーク交通行動シミュレータが開発されている。交通政策の評価を目指し、交通行動主体間の相互作用を考慮して、マルチエージェントシステムとして拡張されている。

(7) 多様な主体の選択行動のモデル化において、マーケティング分野では個人の異質性を考慮した階層ベイズモデル等のアプローチがなされている。ここで交通行動推計にあたっては、個人の異質性を前提としたシミュレーション技法である MAS の適用が、最も適合すると考えられる。

2. 研究の目的

(1) 「運輸部門における環境税」と「交通渋滞緩和による温室効果ガス削減を目指したピークコードンプライシング」に加え、「過度な自動車利用の抑制も考慮した対距離課金」も含め、地球温暖化問題における外部不経済の解消のための相互補完的な役割について、自動車利用抑制と低排出車両への更新の両面から理論的に整理し、モデルによる現象解析により検証する。

(2) クリーンエネルギー車両 (CEV) への更新に関して、経済的政策に加え、急速充電施設整備とスマートシティ (特にソーラーシステム) の動向も含めたシナリオに対する普及促進状況を推計可能とするために、「個人の異質性」と普及状況の時間推移に対応した「社会的同調効果」を考慮して、CEV 保有に関する意思決定構造を解明する。

(3) 経済的政策、公共交通サービス水準、自転車利用環境の向上について、交通手段転換効果の高い交通政策を導出する。さらに、環境意識および健康意識に着目したモビリティマネジメントを組み合わせる場合の効果の推計に関して、環境意識および健康意識の局所的相互作用を考慮した推計を可能とする。

(4) 複雑ネットワークに関する諸研究の知見に基づいて社会的ネットワークモデルを構成するとともに、「マルチエージェント型ネットワーク交通行動シミュレーション」と統合することで、自動車利用抑制と低排出車両への更新の両面から排出削減シナリオの評価を可能とする。

(5) 温室効果ガス排出量の削減目標設定に対応して、対距離課金・環境税などの自動車交通に対する各種課金政策の導入、公共交通サービス水準・自転車利用環境の向上、環境意識・健康意識の向上によるモビリティマネジメントを統合したシナリオを構成し、その効果を推計して有用性を検証する。

3. 研究の方法

(1) 自動車依存度の高い地方都市である徳島都市圏を対象とし、各種課金制度の導入にもなう交通手段転換あるいは CEV への更新に関する意向について、環境問題に対する意識、社会的同調性、局所的相互作用を含めたアンケート調査により、各種課金制度導入に対する交通手段および低排出車両 (特に CEV) への転換特性を把握する。

(2) 課金システムの設定および公共交通サービス水準に対応した「交通手段転換モデル」を構成する。このとき、アンケート調査結果データに基づいて、環境意識と社会的相互作用を考慮して、RP/SP 融合モデルの分析方法を利用して、各種パラメータを推定することで、

統計的に有意な要因を選別する。

(3) CEV への更新に関して、課金システムの設定に加え、購入補助金、技術革新による航続可能距離の増加との関係にも対応した「保有車両更新モデル」をネステドロジットモデルで構築する。このとき、意向調査結果に基づいて、世帯属性、現有車両の構成とその燃費、自動車利用状況、環境意識および社会的相互作用を考慮してモデルを構成する。

(4) PT 調査データに基づいて、始業制約などを考慮した出発時刻選択モデルを構成する。また、都市高速道路の通行止め規制時の対応行動を参考に、出発時刻変更に関する意思決定構造について検討する。

(5) ミクロ交通流シミュレータにおいて、車両の加減速を考慮した温室効果ガス排出モデルを統合し、EV および超小型車両が混在する交通状態における温室効果ガス排出量の算定を可能とする。またネットワーク交通流シミュレータの推計精度向上について検討する。

(6) 「交通手段転換モデル」について、個人の異質性を考慮して、階層ベイズ型二項ロジットモデルとして構成し、MCMC 法によりパラメータ分布の推定を試みる。

(7) 「保有車両更新モデル」における上層である「CEV 保有選択モデル」について、階層ベイズ型二項ロジットモデルの適用を行い、個人の異質性を考慮可能とする。

(8) 徳島都市圏を対象として、健康意識と通勤での自動車利用の転換意向に関するアンケート調査を実施して、健康意識に対応した情報提供による転換意向の形成効果を検証する。また、調査結果データに基づいて、健康意識の向上支援の影響を考慮して、自転車への「交通手段変更モデル」を構成する。

(9) 社会的ネットワークによる局所的相互作用の影響による交通行動者の意識・選好の変遷を考慮した交通需要推計を可能とするために、マルチエージェントシミュレータを構成し、「交通手段転向モデル」と「保有車両更新モデル」を連動させるとともに、「地理的な要素を考慮したスモールワールドネットワークモデル」を組み込む。

(10) 「マルチエージェントシミュレータ」とネットワーク交通流モデルを連動させ、目標時点での対象都市圏における交通流動を推計可能とする。

(11) 課金システムの設定および公共交通サービス水準・自転車利用環境、モビリティマネジメントによる排出削減シナリオを構成する。この排出削減シナリオに対して、上記の

ように構築したシステムを用いて、交通渋滞による影響も加味しながら、温室効果ガス排出量の削減効果を推計する。

4. 研究成果

(1) 自動車利用通勤者については、公共交通手段などのサービス水準が低いこともあり、「代替交通手段はない」との回答が 36%を占めている。また代替交通手段としては、公共交通が 25%、自転車が 24%とほぼ同程度である。温室効果ガス排出削減のための費用負担意向の有無別に、提示協力率に応じた交通手段転換意向の表明率を図 1 に示す。

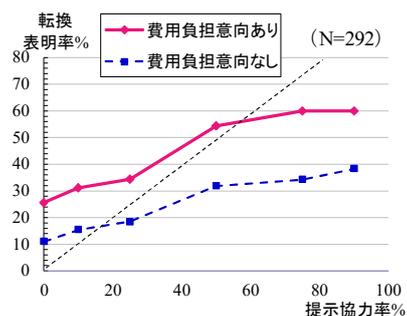


図1 提示協力率に応じた交通手段転換意向

提示協力率が同一であれば、交通手段転換意向の表明率は、「費用負担意向あり」の場合に高い。協力率を提示した場合において、交通手段転換の可能性を示した回答者が増加しており、交通手段転換における社会的同調の影響がみられる。

「環境税賦課」によるそれぞれの課金額に対する交通手段転換意向の表明率を図 2 に示す。

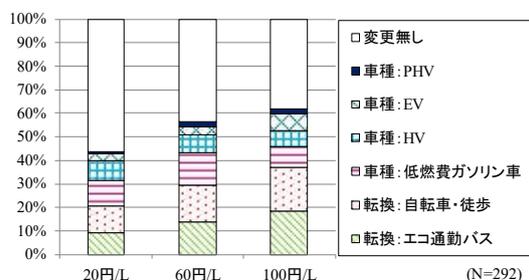


図2 環境税賦課に応じた交通手段転換意向

環境税の課金額が 20 円/L の場合の交通手段転換割合は、エコ通勤バスおよび自転車・徒歩をあわせて 20%である。低排出車両への車種更新の選択割合は 23%であり、交通手段転換割合よりも高くなっている。特に低燃費ガソリン車への車種更新割合が 11%で最も多い。

(2) 現状の通勤交通手段 (RP データ) に加えて、エコ通勤バス運行時および経済的インセンティブ政策実施時の交通手段転換意向 (SP データ) を用いて、RP/SP 融合二項ロジット型交通手段転換モデルを構築した。交通手段転換モデルのパラメータ推定結果を表 1 に示す。環境意識に関して、温室効果ガス排出削減のための費用負担意向がある場合には、エコ通勤の効用が向上することを表す結果となっている。また、社会的同調効果に関しては、エ

コ通勤協力率が向上すると、エコ通勤の効用が向上することを表す結果となっており、社会的同調効果が働くことを表している。

表 1 交通手段転換モデルの推定結果

	推定値	t値
旅行時間(分)	-0.145	-7.49 **
旅行費用(円)	-0.0102	-19.38 **
局所のエコ通勤率(%)	0.0261	7.74 **
費用負担意向ダミー	2.33	13.02 **
定数項	4.35	8.26 **
SPスケール	0.3416	19.39 **

** : 1%有意

(3) 保有車種選択に関しては、エコカー選択を下位モデル、CEV 選択を上位モデルとした 2 段階のモデル構造としている。エコカー選択モデルには二項ロジットモデルを適用している。下位モデルのパラメータ推定結果を表 2 に示す。ここでは、すべての説明変数について、車種「その他」の選択要因としている。

表 2 エコカー選択モデルの推定結果

説明要因	係数値	t値
定数項	1.56E+00	2.54 *
平日利用距離(km)	5.10E-02	2.55 *
平日利用距離35km以上ダミー	1.44E+00	2.12 *
休日との平均利用距離差(km)	3.34E-02	2.25 *
現有車両小型車ダミー	-7.37E-01	-2.97 **
現有車両:燃費効率(km/L)	-1.68E-01	-3.89 **
現有車両:燃料費(円/日)	-1.94E-04	-3.61 **
中高校生同居世帯ダミー	6.34E-01	2.21 *
低年収世帯ダミー	4.46E-01	1.95 .
排出削減意識(高)ダミー	-7.40E-01	-2.31 *
排出削減意識(低)ダミー	9.52E-01	3.75 **

***: 1%有意, **: 5%有意, *: 10%有意

現有メイン車両が小型車である場合、温室効果ガス排出削減の必要性について高い意識がある場合には、「エコカー」の保有意向が高いことが示されている。また、現有メイン車両の燃費効率および燃料費に対応して「エコカー」の保有意向が高くなる。一方、平均利用距離、あるいは休日との平均利用距離差に対応して「エコカー」の保有意向が低くなる。

(4) 始業時刻前に到着する通勤者(非遅刻者)の余裕時間に影響を与える要因を実証的なデータから明確にした。男性は余裕時間が比較的長くなる傾向が示された。これは、朝に家事などの用務後に出勤する女性が多いためであると考えられる。また始業時刻 7 時台の通勤者は余裕時間が短くなる傾向が示された。

(5) 交通手段転換モデルについて、個人の異質性を考慮して、階層ベイズ型二項ロジットモデルを適用した。階層ベイズモデルのモデル構造の選択では、周辺尤度が最大となるモデルを選択することとした。サンプリングでは 20,000 回の繰り返し計算を行い、推定開始から 2,000 回までのサンプリングをバーニング期間として、推定結果の対象外として破棄している。また、交差検証法を用いて、1,000

通りのモデルパラメータのベイズ推定を行い、そのパラメータ推定値を用いて対数周辺尤度を算定した結果として、SP スケールパラメータ値を 0.970 と推定された。効用関数についての説明要因の係数パラメータ推定値の事後分布の特性値を表 3 に示す。

表 3 階層ベイズ型交通手段転換モデル

	旅行時間	旅行費用	エコ通勤協力率	定数項
平均値	-0.568	-0.046	0.024	9.012
標準偏差	0.178	0.079	0.270	9.874
5%値	-0.804	-0.174	-0.381	-7.489
10%値	-0.749	-0.135	-0.335	-4.714
25%値	-0.667	-0.086	-0.223	0.509
中央値	-0.579	-0.044	0.037	11.388
75%値	-0.485	-0.008	0.191	16.305
90%値	-0.384	0.038	0.412	20.876
95%値	-0.280	0.112	0.478	24.547

旅行時間については、負の領域に分布しており、妥当な推定結果である。旅行費用の係数パラメータ推定値では、大半が負の領域に分布しており、概ね妥当な推計結果であると考えられる。ただし、一部ではあるが、係数パラメータ推定値が正の値となる不合理な結果が混在していることに留意する必要がある。これは経済的インセンティブ政策に対応した交通手段転換意向が示されないサンプル(自動車キャブタイプ層)が存在することを意味している。エコ通勤協力率(図 3 参照)の係数パラメータ推定値では、全体としては正の領域の分布が多数ではあるが、負の領域にも分布がみられる。したがって、社会的同調性は個人により異なり、正負両方の影響があることがわかった。

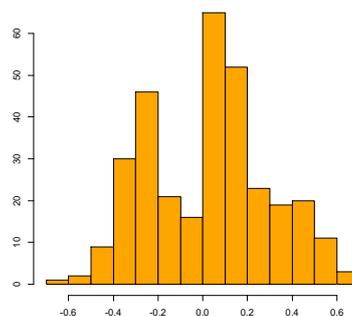


図 3 社会的同調のパラメータ事後分布

(6) 「保有車両更新モデル」における上層である「CEV 保有選択モデル」について、個人の異質性を考慮して、階層ベイズ型二項ロジットモデルの適用した。下位階層の推定結果として、環境税支払額の係数に対して、休日利用距離は負の影響を与えており、休日の利用では環境税の支払いに対する抵抗が弱まる傾向がみられる。航続距離向上の係数に対して、排出削減意識なしダミーが正の影響を与えており、自動車からの排出量削減の必要性の認識がない世帯については、CEV の航続距離向上が保有可能性を高める傾向がみられる。ま

た、ログサム値（CEV以外の車種の合成効用値）の係数に対して、軽自動車保有ダミーおよび中高年女性ダミーが負の影響を与えていることがわかる。さらに、局所 CEV 保有率の係数に対しては、多人数世帯ダミーが正の影響を与えており、多人数世帯では社会的同調により保有可能性を高める傾向がみられる。

つぎに、説明要因の係数パラメータ β_k の事後分布についての基本統計量を表4に示す。

表4 階層ベイズ型 CEV 選択モデル

	定数項	車体価格差 [万円]	環境税支払額 [円/月]	航続距離向上 [km]	局所 CEV 保有率	CEV 多様化ダミー
平均値	-4.006	0.262	0.046	0.081	0.245	6.742
標準偏差	11.951	0.205	0.082	0.108	0.253	1.946
5%値	-25.058	0.000	0.000	0.000	-0.059	3.386
25%値	-11.211	0.092	0.003	0.000	0.075	5.579
中央値	-2.573	0.197	0.016	0.032	0.171	6.653
75%値	2.806	0.457	0.049	0.136	0.407	7.997
95%値	14.629	0.605	0.246	0.298	0.745	10.083

社会的同調（局所的 CEV 保有率）に関して、全体としては正の領域の分布が多数ではあるが、正の領域だけでなく負の領域にも分布がみられる。したがって、CEV 保有に関する社会的同調性は個人により異なり、正負両方の影響があることがわかる。

(7) マルチエージェント交通シミュレーションの全体構成について検討する。通勤交通手段転換および CEV 普及促進が相互に影響を及ぼす過程の観察を目的とするため、通勤交通手段転換プロセスおよび車両保有プロセスを含むことが必要条件となる。また、社会的同調効果を考慮することを念頭に、社会的ネットワークにおける局所的相互作用を表現する社会的相互作用プロセスが必要となる。一方、温室効果ガス排出削減効果を計測するためには、燃料消費量算定を含む温室効果ガス排出量推計プロセスが必要となる。さらに、保有車種選択のタイミングを与える車両更新時期決定のプロセスも必要である。以上のような検討に基づいて、構成した全体フローを図4に示す。

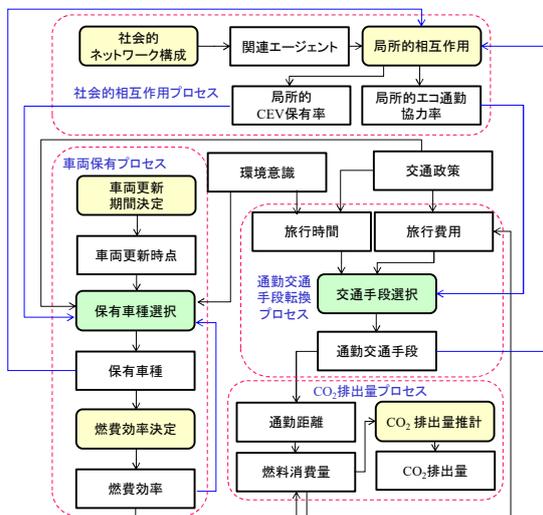


図4 マルチエージェントモデルの全体構成

通勤交通手段転換プロセス、車両保有プロセス、社会的相互作用プロセスおよび温室効果ガス排出量推計プロセスを含むマルチエージェントシミュレーションとして構成した。

(8) 道路交通シミュレーションでは、交通手段転換についての選択結果に基づいて、転換交通量を算定する。この転換交通量を現況自動車利用交通量から差し引いて、推計自動車利用交通量を推計する。道路交通シミュレーションは、車両出発モデル、確率的経路探索モデル、道路区間車両移動モデル、区間所要時間更新モデル、車両到着処理の5種類のサブモデルにより構成した。

(9) 構築したマルチエージェント交通シミュレーションを用いて、環境税賦課について、通勤交通手段転換効果、CEV 普及促進効果および温室効果ガス排出削減効果の変遷を10年間推計した。環境税賦課での CEV 保有割合の推移では、期間前半の保有率の増加に対して、期間後半では増加率が逡減する結果となった。また、環境税賦課金額に対応して、最終時点での CEV 保有割合は増加する。環境税の賦課額が10円/Lの場合でも、最終的な CEV 保有割合は21%程度と増加する。環境税の賦課額が40円/Lまでの場合では、10円/Lの課税額の増加に対して、最終的な CEV 保有割合は10%程度ずつ増加する。環境税の賦課額が50円/Lとなると、CEV 保有割合の増加は抑制された結果となっている。

一方、いずれの設定についても、エコ交通手段利用率は初期より減少する傾向がみられる。また環境税賦課額によるエコ交通手段利用率の差異は明確には見られない。

初期時点での二酸化炭素排出が10年間継続した場合の総排出量を100%として、すべてのケースについて10年間での二酸化炭素排出削減量の割合を図5に示す。

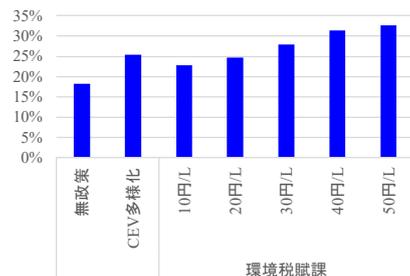


図5 環境税賦課によるCO₂排出削減率

CEV 普及率が徐々に増加することで、社会的同調効果が働き、エコカー保有から CEV への車両更新もみられることがわかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Masashi Okushima : Multi-agent Simulation for Promoting Clean Energy Vehicles from the Perspective of

Concern for the Environment and Local Interactions, Asian Transport Studies, Vol. 4, No. 1, pp. 96-113, 2016, 査読有.
(DOI: 10.11175/eastsats.4.96)

- ② Masashi Okushima : Simulating social influences on sustainable mobility shifts for heterogeneous agents, Transportation, Vol. 42, No. 5, pp. 827-855, 2015, 査読有.
(DOI: 10.1007/s11116-015-9649-3)
- ③ 奥嶋政嗣, 石井亜也加 : 社会的相互作用を考慮したCEV普及シミュレーション, 土木学会論文集 D3, Vol. 70, No. 5, pp. 521-534, 2014, 査読有.
(DOI: 10.2208/jscejipm.70.I_521)
- ④ 大西洋揮, 奥嶋政嗣: 地方都市圏における自動車通勤者の出勤時刻決定に関する分析, 土木学会論文集 D3, Vol. 69, No. 5, pp. 489-496, 2013, 査読有.
(DOI: 10.2208/jscejipm.69.I_489)
- ⑤ 真坂美江子, 加藤研二, 近藤光男, 奥嶋政嗣: 地方都市健康 MM における行動の習慣性に着目した環境・健康促進効果の比較, 土木学会論文集 D3, Vol. 69, No. 5, pp. 57-65, 2013, 査読有.
(DOI: 10.2208/jscejipm.69.I_57)

[学会発表] (計 10 件)

- ① Masashi Okushima : Multi-Agent Simulation for Promoting Clean Energy Vehicle Considering with Concern for Environment and Local Interaction, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 11, Cebu (Philippines), 2015 年 9 月 11 日, 査読有.
- ② 奥嶋政嗣 : マルチエージェントシミュレーションによる CEV 普及促進策の効果分析, ファジィシステムシンポジウム 2015, 電気通信大学 (東京都調布市), 2015 年 9 月 1 日.
- ③ 奥嶋政嗣 : 社会的同調の異質性を考慮した通勤交通手段転換意向の分析, 第 51 回土木計画学研究発表会, 九州大学 (福岡県福岡市), 2015 年 6 月 6 日.
- ④ Masashi Okushima : Multi-Agent Simulation for Promoting Clean Energy Vehicle Considering with Local Interaction, Joint 7th the International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Intelligent Systems, 北九州国際会議場

(福岡県北九州市), 2014 年 12 月 3 日.

- ⑤ 奥嶋政嗣 : 社会的同調の異質性を考慮した持続可能な交通手段への転換意向の分析, 第 17 回日本環境共生学会学術大会, 徳島大学 (徳島県徳島市), 2014 年 9 月 27 日.
- ⑥ 奥嶋政嗣 : 社会的同調性を考慮したマルチエージェント CEV 普及シミュレーション, ファジィシステムシンポジウム 2014, 高知城ホール (高知県高知市), 2014 年 9 月 1 日.
- ⑦ 奥嶋政嗣 : 健康意識の相互作用を考慮した交通行動モデル, 第 49 回土木計画学研究発表会, 東北工業大学 (宮城県仙台市), 2014 年 6 月 8 日.
- ⑧ Masashi Okushima : Analysis of Eco-mobility Shift Considering with Heterogeneity and Social Interaction, Frontiers in Transportation Social Interaction 2013, Munich (Germany), 2013 年 8 月 3 日.
- ⑨ 奥嶋政嗣 : 社会的同調性を考慮したマルチエージェント交通シミュレーション, ファジィシステムシンポジウム 2013, 大阪国際大学 (大阪府枚方市), 2013 年 9 月 9 日.
- ⑩ 奥嶋政嗣 : 社会的相互作用を考慮した CEV 普及シミュレーション, 第 47 回土木計画学研究発表会, 広島工業大学 (広島県広島市), 2013 年 6 月 1 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奥嶋 政嗣 (OKUSHIMA, Masashi)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス
研究部・准教授
研究者番号: 20345797