

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560533

 研究課題名（和文） マルチエージェントシステムによる
温室効果ガス削減のための交通政策の検討

 研究課題名（英文） Effect Analysis of Transport Policy for Reduction of Global
Greenhouse Gas Emission with Multi-Agent Simulation System

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

研究成果の概要（和文）：環境的に持続可能な交通システムの構築のために、多様な主体の複雑な社会的相互作用を考慮して、温室効果ガス排出削減のための交通政策の評価を可能とした。具体的には、個人の「交通行動変更」および「低排出車両への買い替え行動」についての意思決定構造を解明し、「交通行動シミュレータ」と「交通流シミュレーション」と組み合わせ、「マルチエージェントシミュレーションシステム」を構成した。構築したシステムを用いて、交通政策の組み合わせによる「温室効果ガス削減効果」の推計を可能とした。

研究成果の概要（英文）：Transport policy for reduction of global greenhouse gas emission can be evaluated with considering the complicated social interaction between various trip makers for construction of the sustainable transportation system in environment. Firstly, the structure of decision making process for modal shift as well as from private vehicle to other mode as well as vehicle transaction to clean energy vehicle can be analyzed. Secondly, the multi-agent simulation system including travel behavior models and traffic flow model is developed with considering social interaction. Thirdly, the effect of combined transport policy for reduction of greenhouse gas emission can be estimated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木計画学・交通工学

キーワード：交通計画

1. 研究開始当初の背景

モータリゼーションの進展に伴って、運輸部門における二酸化炭素排出量の増加は顕著であり、持続可能な低炭素型社会の実現のためには、自動車技術の革新による排出量抑制だけでなく、際限のない過度な自動車利用の抑制が喫緊の課題となっている。このため、環境的に持続可能な交通（Environmentally Sustainable Transport）の取り組みが期待され、

基本的な考え方、交通政策および支援制度、効果計測方法、先進事例などの整理がなされている。

ここで、地球温暖化問題は外部不経済の典型であり、これを解消するための経済学的アプローチの一例として、環境税（炭素税）などが挙げられる。環境税には、価格インセンティブ効果に加えて、温暖化対策のための財源効果およびライフスタイル変革へのアナ

ウンスメント効果が期待されている。一方、自動車交通の速度低下にともなって二酸化炭素排出量は増大することがわかっており、道路交通混雑の緩和は温室効果ガス削減のためにも重要な課題となっている。この道路交通混雑の外部費用の内部化のために混雑料金政策が検討されており、温室効果ガス削減効果も期待される。現実道路網への適用に関しても多くの研究が蓄積され、ロンドンなどで実施されている。しかしながら、道路利用者に料金負担を強いるため、社会的な合意形成が課題となっている。

さらに、地方都市では自動車依存型社会となっており、他の交通手段への転換は実現が容易ではない。このため、地球環境問題への認識を深めるなどのモビリティマネジメントなどによりモーダルシフトを促進するとともに、代替交通手段となる公共交通（特にバス）、自転車などの交通サービス水準の向上を図る必要がある。

一方、市民および企業の保有する自動車に関して、環境税などの政策実施により、ハイブリッド車、電気自動車などの温室効果ガス低排出車両（エコカー）への買い替えが促進されると考えられる。このような低排出車両の普及状況は二酸化炭素排出量の削減に大きな影響を与える。したがって、低排出車両の普及を考慮した排出量削減策の評価が必要となる。

2. 研究の目的

環境的に持続可能な交通の実現を目標とし、公共交通・自転車交通のサービス水準向上に加えて、環境税、混雑料金などを組み合わせた交通政策の検討においては、上記のように道路利用者・企業・市民など多様な主体の複雑な社会的相互作用を考慮して検討を行う必要がある。このような複雑な社会的相互作用を検討する方法論として、「マルチエージェントシステム (MAS)」が提案できる。

この「マルチエージェントシステム」の開発により、地球温暖化問題の外部不経済解消のための交通政策の評価が可能となる。本研究では、運輸部門における温室効果ガス排出の外部不経済の解消のために、環境税、ロードプライシングなどが相互補完的役割を果たす都市交通政策を構成することを目指す。このため、個人の「交通行動変更」および「低排出車両への買い替え行動」の意思決定構造を解明し、「マルチエージェントシミュレーション」を構成することで「温室効果ガス削減効果」の計測を可能とする。これより、道路利用者・企業・市民など多様な主体の複雑な社会的相互作用を考慮して、地球温暖化防止のための都市交通政策の総合的評価を可能とする。

3. 研究の方法

(1) エコ意識に関する局所的相互作用を考慮して、エコ通勤促進策を検討するためのマルチエージェントシミュレーションモデルの基本システムを構築する。構成したマルチエージェントシミュレータを用いて各種のエコ通勤促進策の効果を計測し、その影響について分析する。これより、エコ通勤促進策の検討に関して、エコ意識に関する局所的相互作用の重要性を示す。

(2) 環境意識は他者の影響により変化するものと考え、環境意識とその社会的相互作用を考慮して、エコ通勤交通手段への転換行動に関する意思決定構造を表現する。一方で、環境意識に関する共分散構造分析により、環境意識構造における局所的相互作用を考慮する重要性を示す。

(3) パーソントリップ調査データを用いて、地方都市圏の自動車利用通勤者について、始業時刻が固定されている通勤者と、フレックスタイム制など始業時刻が固定されていない通勤者に分類し、それぞれについて出勤時刻決定の意思決定構造をモデル化する。これより、実証的な観点から自動車通勤者の出勤時刻決定に関わる要因が明確となる。

(4) 時間的な交通運用の評価のために、ドライバーの出発時刻選択を考慮して、マルチエージェント型交通シミュレーションモデルを構築する。ここで、遅刻リスク、時間価値などについての個別ドライバーの異質性を考慮して、交通状況の変化にともなって動的に変動する認知所要時間の学習プロセスを出発時刻選択モデルに組み込む。

(5) 自動車依存度の高い地域を対象として世帯属性や現状保有車両の構成が CEV の保有に関わる要因を解明する。具体的には、ガソリンエンジン自動車、EV、PHV といった動力形式に関する車種選択についての意向調査に基づいて、CEV 保有可能性に関するモデルの構築を目指す。

(6) CEV の保有に関する局所的相互作用および社会的同調効果を考慮して、CEV 普及促進策を検討するためのマルチエージェントシミュレーションモデルを構成する。またスモールワールドネットワークモデルにより社会的ネットワークを記述する。

(7) 意識調査に基づいて環境意識の局所的相互作用の構造を同定し、環境意識を要因とした通勤交通手段転換モデルと組み合わせ、MAS モデルとして統合することで、各種エコ通勤促進策の影響を計測可能とする。これより、個々のつながり（局所的相互作用）を考慮した環境意識の変遷が交通手段転換行動に及ぼす影響の計測が可能となる。

4. 研究成果

(1) エコ意識に関する局所的相互作用を考慮

して、図1に示すようなエコ通勤促進策を検討するためのマルチエージェントシミュレーションモデルを構築した。

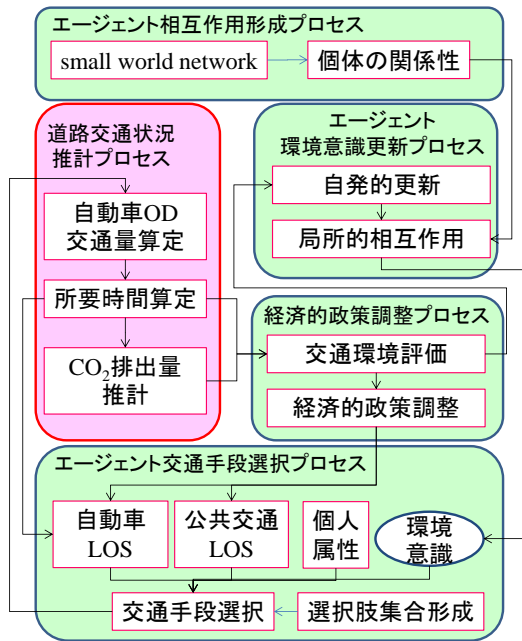


図1 交通行動 MAS システムの構成

①交通状況推計だけでなく二酸化炭素排出量も算定される「道路交通状況推計プロセス」と、二酸化炭素排出状況に影響を受ける「環境意識更新プロセス」およびエージェントの環境意識を考慮した通勤交通手段選択の意思決定を表現した「通勤交通手段選択プロセス」を連動させることで、エコ通勤促進策による交通状況と環境意識の変遷を推計可能とした。

②環境意識の形成に関して、エコ通勤への転換行動に関する社会的ジレンマの構造を、エージェントの交通環境評価において自動車交通の利便性と温室効果ガス削減費用のトレードオフの関係で表現した。このジレンマを解消する方策として、各種エコ通勤促進策の効果が計測可能となった。

③環境意識の変遷に関して、交通環境評価に基づく内発的な環境意識の向上（経験的学習による意識変容）と関係性の大きい周囲の行動者との局所的相互作用（社会的同調性）を表現した。特にエージェント間の関係性の表現に small world network を適用した。社会構成員の関係性の強弱による社会構造の相違によって、環境意識の変遷に差異が現れ、エコ通勤の促進に与える影響が観測可能となった。

(2) 環境意識と交通行動についてのアンケートの分析に基づき、自動車依存度の高い地方都市の郊外への通勤に関して、サービス水準の高いエコ通勤バス運行時の通勤交通手段転換に関する意思決定構造を表現するとともに、環境意識とその社会的相互作用の構造

を分析した。

①環境意識と交通行動に関するアンケート調査から、自動車利用による環境への影響の認識と通勤交通手段の現状の乖離が明確になった。また、現状の通勤交通手段選択要因は、サービス水準（一般化交通費用）のみであり、代替交通手段のサービス水準の低い現状では、環境意識は選択に影響を与えないことが明らかとなった。

②サービス水準の高いエコ通勤バス運行時の交通手段転換について、環境意識を考慮して RP/SP 融合モデルを構築した。表1に示すモデル推定結果より、エコ通勤バス運行によりサービス水準の向上が図られた場合には、現状の選択要因ではない「地球温暖化防止のための自己犠牲意向」が、通勤交通手段転換に関わる要因となることが示された。

表1 交通手段転換モデルの推定結果

要因名称		パラメータ値	t値
一般化費用(円)	共通	-0.002	-4.103
年齢	50歳以上	転換 1.896	2.518
世帯構成	単身	転換 2.564	2.097
	夫婦+子供	転換 3.101	3.354
保有車両	専用	転換 -6.900	-5.602
	共用	転換 -6.235	-4.452
環境意識	時間使用意向	転換 3.338	3.510
エコバス	利用者多数	転換 7.974	7.583
SPスケールパラメータ		0.200	2.455

③エコ通勤バスの利用状況の相違を要因に内包して、環境意識と通勤交通手段転換との関係をモデル化した。この結果として、通勤交通手段転換に関して、サービス水準だけでなく、関連する通勤者との社会的相互作用（社会的趨勢）の影響が示唆された。

④サービス水準の高いエコ通勤バス運行時の交通手段転換について、経済的インセンティブ施策が施行された場合、環境意識と関連する通勤者との社会的相互作用の影響が示唆されるとともに、本研究におけるカーボンオフセットでは、自動車利用抑制の可能性が他の政策よりも低いことが示された。

⑤共分散構造分析を用いて、個人の環境意識と他者の知覚環境意識の構造について分析した。図2に示すように、個人の環境意識構造の分析結果から、「地球温暖化防止のための自己犠牲意向」と「環境問題に関する意識」には強い関係があることがわかった。したがって、「環境問題に関する意識」の向上は、通勤交通手段転換に関わる「地球温暖化防止のための自己犠牲意向」の向上につながる可能性が示された。

⑥共分散構造分析による個人の環境意識と他者の知覚環境意識との関係を分析した結果からは、個人の環境意識は、身近な人の知覚環境意識から影響を受け、世間一般の知覚環境意識（単なる社会的な趨勢）からは直接的な影響を受けていないことがわかった。したがって、通勤交通手段転換に関わる環境意

識の向上を図る際は、個々のつながり（局所的相互作用）を重視した対応（たとえば、社会的キーパーソンの意識づけなど）の必要性が示された。

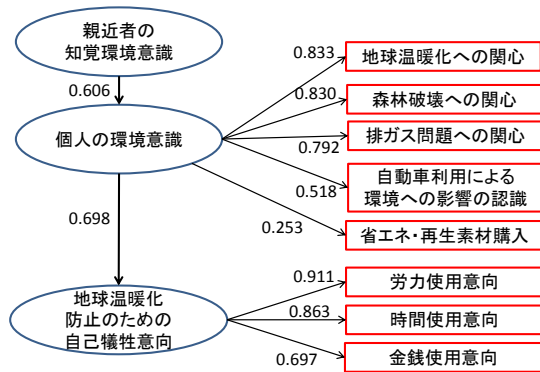


図2 環境意識についての相互作用の構造

(3) PT 調査データを用いて地方都市圏の自動車利用通勤者の出勤時刻決定に関わる意思決定構造を分析し、始業前出勤、始業前出勤者の余裕時間決定および始業時刻に制約のない通勤者（フレックスタイム制通勤者）の出勤時刻決定に関わる要因を分析した。

①始業時刻に制約のある自動車通勤者に関して、始業時刻以後に到着する通勤者（遅刻者を含む）を分類し、その特徴を把握した。始業時刻が7時台の場合において、始業時刻以後に到着する可能性が比較的高い傾向にあることがわかった。

②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に長く、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。生存時間分析におけるいくつかのモデルを適用した結果として、パラメトリックモデルではコックス比例ハザードモデルのように現況再現性を確保できないことが分かった。

③始業時刻に制約のない自動車通勤者に関して、出勤時刻決定要因となる産業・職業などの個人属性を特定した。通勤距離や所要時間が長い場合に出勤時刻が遅くなる傾向を示すことがわかった。ここでも、いくつかのモデルを適用し、図3に示す推計結果で比較検証したところ、パラメトリックモデルではコックス比例ハザードモデルのように現況再現性を確保できないことが分かった。

(4) 認知所要時間の学習プロセスを含む出発時刻選択を考慮したマルチエージェント交通シミュレーションモデルを構築し、シンプルな都市道路網を対象にして、その適用性を検証した。

①経路別認知所要時間および希望到着時刻別認知一般化費用を、走行経験により更新する学習プロセスを構成した。また、出発時刻変更および経路変更に関する状態遷移を限定し、経路・出発時刻選択モデルを記述した。

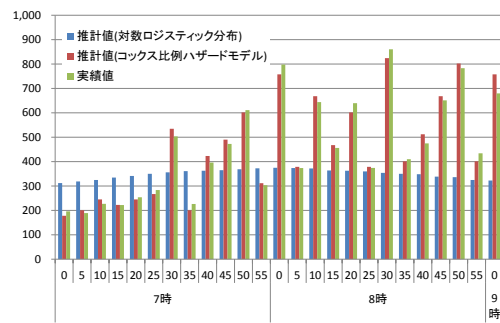


図3 始業制約なし出勤時刻分布の推計結果

②学習プロセスを含む経路・出発時刻選択モデルを交通シミュレーションと組み合わせることで、時間価値など個別ドライバーの異質性を考慮したMA交通シミュレーションモデルを構成した。

③構築したMA交通シミュレーションモデルを適用し、認知所要時間の学習状況を検証した。遅刻の発生が残るものの到着時刻が分散する状況を表現できている。

(5) 自動車依存度の高い地方都市を対象としたクリーンエネルギー車両保有意向調査の結果を基にCEV保有可能性に関する世帯の意思決定構造を考慮したモデルを構築し、CEV保有可能性に影響を及ぼす要因を分析した。

①世帯による意思決定構造を表現するために、潜在クラスモデルを導入すると、2クラス設定した場合及び3クラス設定した場合で世帯構成員の属性、車両保有台数、車両のメインドライバーの年齢層がクラス分類に影響を及ぼす要因であることが示された。また、現状保有車両の車種や環境意識、車両利用状況などがCEV保有可能性に影響を与えることがわかった。

②潜在クラスを考慮したモデルと考慮しないモデルを比較した場合、モデルの適合度が最も高くなったのは潜在クラスを考慮しないモデルであった。これより、世帯による意思決定構造の相違を選択肢の選別段階では考慮する必要性が少ないという結論が得られた。また、選択段階ではCEVの認知と環境意識がCEV選択の一要因となることがわかった。

③構築したモデルのパラメータ推定結果によると、環境意識が高く、すでに環境性能のよい車両を保有、利用している世帯においてCEV保有可能性が高いことがわかった。一方で、車両選択基準として環境性能を重視しない世帯では、CEVの保有可能性が非常に低いと考えられる。

(6) クリーンエネルギー車両CEVの普及促進策の検討に関して、図4に示すような社会的相互作用を考慮したCEV保有MASモデルを構成した。

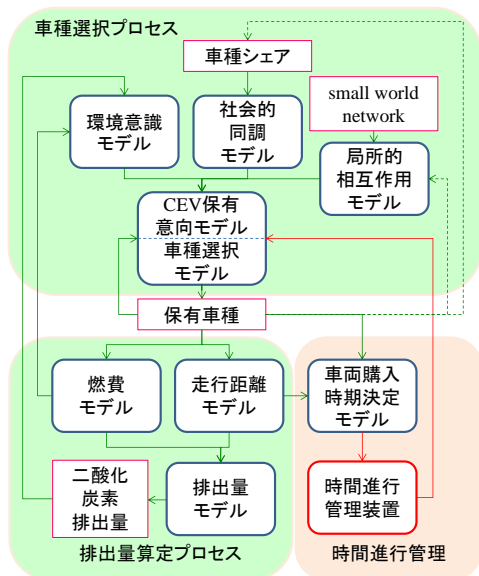


図4 CEV保有MASシステムの構成

①CEV保有MASモデルとして、「車種選択プロセス」および「排出量算定プロセス」に加えて、「時間進行管理プロセス」を含めた構成を提案した。CEV保有に関わる要因のつながりが明確になるとともに、社会的相互作用として「社会的同調」と「局所的相互作用」の効果がフィードバックされるフレームを構成できた。

②車種選択プロセスにおいて、CEV保有意向モデルおよび局所的相互作用モデルを具体的に構築した。ここでは環境意識を要因としてCEV保有意向を表現できた。また、エージェント間の関係性の表現にsmall world networkを適用することで、局所的相互作用の効果を内包したモデルが構築できた。

③排出量算定プロセスにおいて、保有車種とメインドライバー属性および走行距離を要因として、保有車両の燃費をワイブル分布で表現した。また、燃費と走行距離から二酸化炭素排出量を算定するモデルを組み込み、社会全体の二酸化炭素排出量をフィードバックする構造を構築できた。その結果、図5に示す二酸化炭素排出量の推移が推計できた。

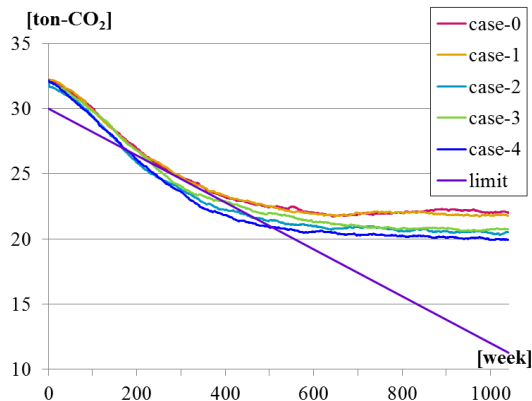


図5 CEV普及による排出量の推移

(7) 意識調査に基づいて環境意識の局所的相互作用の構造を同定し、環境意識を要因とした通勤交通手段転換モデルと組み合わせ、MASモデルとして統合した。統合したMASモデルを用いたシミュレーションにより、交通政策の影響を分析した。公共交通サービス水準の向上および公共交通料金割引と局所的な環境教育（モビリティマネジメント）の組み合わせにより、図6に示すように温室効果ガス（二酸化炭素）の排出削減効果が高いことがわかった。

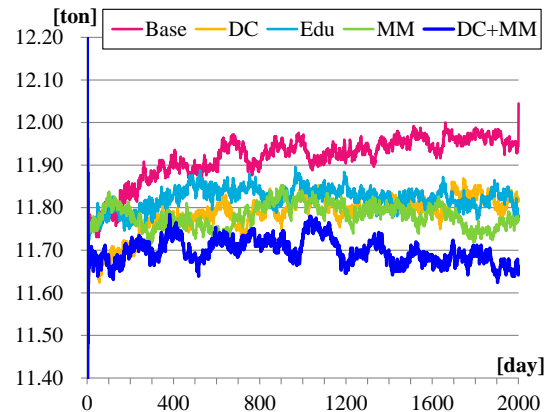


図6 交通手段転換による排出量の推移

(8) 経済的インセンティブ施策を含むパッケージ政策について、より現実的な温室効果ガス排出削減の効果の把握を目指した今後の課題として、以下のように整理できる。

①交通行動者の環境意識の変遷に関して、現実の調査結果に基づいた学習モデルを導入することで、行動原理に適合性の高いMASモデルを構成する。

②交通行動者の交通手段転換に関して、経済的インセンティブ施策によるCEVへの転換も含めた意思決定構造を表現する。

③交通行動者の出発時刻選択に関して、認知所要時間の幅を考慮するとともに、認知所要時間の学習の状況進展に対応した選択プロセスを構築する。

④CEV保有意向に関しては、局所的相互作用だけでなく社会的同調効果の影響を考慮可能とすることなどにより、CEV保有に関する意思決定構造を精緻に表現する。

⑤空間構造についての解釈に関して、エージェントの集塊性の指標を取り込む。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

①奥嶋政嗣, 秋山孝正: マルチエージェントシミュレーションによるエコ通勤促進策の影響分析, 土木学会論文集D3, Vol.68, No.5, pp.625-634, 2012, 査読有。

<http://www.jsce.or.jp/committee/ip/monograph/file/ipv29-2012.pdf>

②今井陽平, 奥嶋政嗣, 近藤光男 : 通勤交通手段転換に関わる環境意識とその社会的相互作用の構造分析, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.5, pp.607-614, 2012, 査読有.

<http://www.jsce.or.jp/committee/ip/monograph/file/ipv29-2012.pdf>

③真坂美江子, 加藤研二, 近藤光男, 奥嶋政嗣: 地方都市における健康支援に着目した低炭素交通政策導入に関する評価分析, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.4, pp.400-411, 2012, 査読有. DOI:10.2208/jscejpm.68.400

④Masashi Okushima, Takamasa Akiyama and Madhu Errampalli : Microscopic Fuzzy Urban Traffic Simulation with Variable Demand, Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol.6, No.5, pp.541-556, 2012, 査読有.

http://www.davidpublishing.com/journals_info.asp?jId=1183

⑤Masashi Okushima and Takamasa Akiyama : Multi-Agent Transport Simulation Model for Eco-Commuting Promotion Planning, Journal of Advanced Computational Intelligence & Intelligent Informatics, Vol.15, No.7, pp.911-918, 2011, 査読有.

<http://www.fujipress.jp/JACIII/JACII00150007>

[学会発表] (計 16 件)

① Masashi Okushima: Multi-Agent Transport Simulation Model with Social Network in Small World, Joint 6th the International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 13th International Symposium on Intelligent Systems, 2012/11/22, Kobe Portopia Hotel (兵庫県).

②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要因の分析, 第46回土木計画学研究発表会, 2012/11/4, 埼玉大学 (埼玉県).

③奥嶋政嗣: 現状保有車両を考慮したクリーンエネルギー車両保有可能性モデルの構築, 第46回土木計画学研究発表会, 2012/11/4, 埼玉大学 (埼玉県).

④奥嶋政嗣: 経済的インセンティブ施策による通勤交通手段転換についての分析, 第46回土木計画学研究発表会, 2012/11/4, 埼玉大学 (埼玉県).

⑤奥嶋政嗣: CEV 普及促進検討のためのマルチエージェントシミュレーション, 第28回ファジィシステムシンポジウム, 2012/9/12, 名古屋工業大学 (愛知県).

⑥Masashi Okushima: Analysis of commuting modal shift with social interaction of consciousness for environment, 13th International Conference on Travel Behaviour Research, 2012/7/17, Fairmont Royal York Hotel, Toronto (カナダ).

⑦奥嶋政嗣: 環境意識の社会的相互作用を考慮した通勤交通手段転換に関する分析, 第45

回土木計画学研究発表会, 2012/6/3, 京都大学 (京都府).

⑧Masashi Okushima : Impact Analysis of Bus Fare System with Microscopic Fuzzy Traffic Simulation, the 1st Conference of Transportation Research Group of India, 2011/12/8, Vivanta by Taj - Yeshwantpur, Bangalore (インド).

⑨奥嶋政嗣: 通勤交通手段転換に関わる環境意識とその社会的相互作用の構造分析, 第44回土木計画学研究発表会, 2011/11/26, 岐阜大学 (岐阜県).

⑩奥嶋政嗣: 地方都市における生活行動シミュレータ PCATS 適用のためのモデル推定, 第44回土木計画学研究発表会, 2011/11/26, 岐阜大学 (岐阜県).

⑪奥嶋政嗣: 出発時刻選択を考慮したマルチエージェント交通シミュレーションの基礎的検討, 第27回ファジィシステムシンポジウム, 2011/9/13, 福井大学 (福井県).

⑫Masashi Okushima: Design of Promotion Plan for Eco-Commuting with Multi Agent Simulation Model, 12th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, 2011/7/6, Lake Louise (カナダ).

⑬奥嶋政嗣: マルチエージェントシミュレーションによるエコ通勤促進策の影響分析, 第43回土木計画学研究発表会, 2011/5/29, 筑波大学 (茨城県).

⑭Masashi Okushima: Multi Agent Simulation Model for Design of Eco-Commuting Promotion Planning, Joint 5th the International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Intelligent Systems, 2010/12/11, Okayama Convention Center (岡山県).

⑮奥嶋政嗣: エコ通勤促進策検討のためのマルチエージェントシミュレーション, 第26回ファジィシステムシンポジウム, 2010/9/14, 広島大学 (広島県).

⑯Masashi Okushima: Microscopic Fuzzy Urban Traffic Simulation with Variable Demand, 12th World Conference on Transport Research, 2010/7/11, Lisbon (ポルトガル).

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

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: