

## 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 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：16301  
 研究種目：基盤研究(A)  
 研究期間：2008 年度～2011 年度  
 課題番号：20246084  
 研究課題名(和文) 社会的ネットワークを考慮した参加型マルチエージェント交通行動シミュレータの開発  
 研究課題名(英文) Development of a Multi Agent Participatory Simulation System with Social Interaction  
 研究代表者  
 吉井 稔雄 (YOSHII TOSHIO)  
 愛媛大学・理工学研究科・教授  
 研究者番号：90262120

研究成果の概要(和文)：本研究では、統合型需要予測システムを、従来考慮されてこなかった個々人間の意思決定における相互作用を考慮した、マルチエージェント型の交通行動シミュレータへと拡張し、交通規制の影響分析および環境配慮行動の分析を行った。さらにこのシミュレータに被験者が参加する実験環境すなわち参加型シミュレーションを提案し、経路選択行動の実験を行った。また、シミュレーションによる長期的需要予測に向けた土地利用モデル、公共交通 LOS 変化モデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this research, the multi agent travel behavior simulation system endogenizing social interaction is developed and we apply this system to the influence analysis for traffic regulations under road maintenance and the analysis of pro-environmental behavior. Moreover, extending this simulation system, we propose the experiment simulation system with participatory simulation technology that includes subjects in traffic simulation. And we developed a simple integrated model to account for endogenous changes in land-use and public-transportation-LOS for long-term demand prediction with simulation system.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	7,000,000	2,100,000	9,100,000
2009 年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
2010 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2011 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
総計	19,300,000	5,790,000	25,090,000

研究分野：土木計画学・交通工学

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：参加型シミュレータ、需要予測、交通施策評価、社会的相互作用

## 1. 研究開始当初の背景

近年の情報計算技術の進展に伴い、マイクロシミュレーションによる交通行動の再現が実用的かつ有効な交通計画、政策分析のツールとして注目されている。申請者らがこれ

までに開発してきた交通行動に関するシミュレータ PCATS と交通流シミュレータ DEBNetS を統合したシステム(以下、統合型需要予測システム)は、そのようなシミュレータの一つであり、これまでに京都市、大

阪市などの日本諸都市で適用されてきた。PCATS は世界的にも最も先進的な交通行動シミュレータの一つで、米国フロリダ州タンパ都市圏での適用に加え、その性能を現存の他シミュレータと比較する研究がオランダの研究者を中心になされている。

交通計画、政策分析の実用的ツールとして様々な可能性を持つものの、マイクロシミュレーションによる交通行動の解析は未だ目新しく、統合型需要予測システムにも解決されるべき問題が存在する。例えばシステムを構成する交通流シミュレータ DEBNetS は、他車との相互作用により自車の状態が決定されるため、広義ではマルチエージェントシミュレーションと表現することが可能であろう。しかし個々の自動車トリップ OD の生成に関しては、他者との相互作用は考慮されていない。また交通行動のシミュレーションに関しても、他者との相互作用を明示的に表現し、かつ実用的なものは現在までに開発されておらず、ましてや動的に変化する交通状況と、個々人間の交通行動の相互作用を組み込んだシミュレーションは存在しない。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまでの統合型需要予測システムをマルチエージェントシミュレーションへと拡張することで、個々人間の相互作用を表現した、新しい需要予測アプローチを提案する。

- (1) 他者の行動との相互作用の検討：従来の交通需要予測であまり重視されなかった他者との相互作用、特に環境意識と交通行動の関係性に焦点をあて分析する。
- (2) 個々人の異質性の再現：個々人をエージェント化することで、学習や態度をモデルとして記述し、個々人の異質性を表現した需要予測システムとする。
- (3) 参加型交通行動シミュレーション：エージェントが多数存在するシミュレーションという仮想社会に、被験者が操作する個体を内在させた実験環境を整備する。
- (4) 長期予測の検討：長期予測技法を統合型シミュレーション需要予測システムに実装するための方略、特に土地利用・交通機関 LOS の将来値の表現方法について検討する。
- (5) 入出力データの整合性：これまででは、交通行動シミュレータと交通流シミュレータを独立に稼働し収束計算を行っていたが、2つのシミュレーションを完全に統合し、繰り返し計算を不要とする。このことは2つのシミュレータでの入出力データの整合性を解決し、計算時間を短縮するだけでなく、繰り返し計算に意味を持たせることになる。すなわち異質性を表現したエージェントの利点を活かし、同一個人でも day-to-day の変動を再現可能とするツールとなる。

## 3. 研究の方法

### (1) 統合型マルチエージェントシミュレーションの開発

統合型需要予測システムのマルチエージェント化のための設計にあたっては、特に次の諸点について詳細に検討する。

- ①時空間的スケールの取り扱い
- ②動的な交通状況と交通行動の相互作用
- ③学習メカニズムの実装方法

特に1点目の時間的スケールの取り扱いは重要な検討項目である。マイクロ交通流シミュレータは一般にピリオディックスキニング方式であるが、交通行動シミュレータはイベントスキニング方式であり、異なる時間進行方式のシミュレータの統合方法の検討である。本研究では、図1のような時間進行を制御する事象管理装置を別途開発することにより、既存のシミュレーションプログラムを流用可能とした。

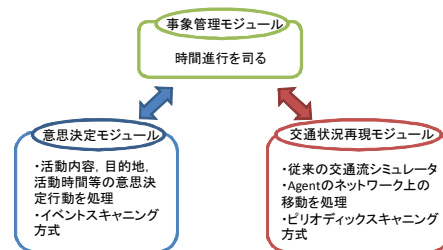


図1 シミュレータの構成

### (2) 参加型交通行動実験環境の構築

従来型の予測手法による施策評価では、人々の行動変化は、実装されているモデルの説明変数と、施策実施に伴う環境変化を記述する外生データに影響を受ける。しかしながら、環境変化は個々人の相互作用の結果として創発されるものと考えれば、内生的に変化させなければならない。シミュレータが作り出す仮想空間に、被験者 20 名が参加する実験環境を構築する。このような参加型の実験を行うことで、個人の行動変化が周囲に及ぼす影響と、さらにその結果創発された全体からフィードバックされる個人への影響を内生的に作り出す調査・実験が可能となる。

### (3) 土地利用・交通 LOS 推計モデルの構築

これまでの交通需要予測においては、将来予測の際、外生的に設定した前提条件（土地利用、公共交通 LOS 等の入力データ）を予測システムにインプットし、その諸水準に基づいて交通需要量をアウトプットする、という方法が採用されてきた。しかしながら、交通需要もまた前提条件に影響を及ぼすという相互作用が考えられる。そこで交通需要の変化に伴う前提条件の変化を加味した上で交通需要を推計するモデルシステムとして、従来型の四段階推計法を改良した「交通・土

地利用・公共交通 LOS 簡易型統合モデル」を構築する。

#### (4) 他者の行動の相互作用モデル化

他者の影響により変動するものの一つに環境配慮行動がある。本研究では、環境配慮に関する局所的相互作用を考慮したシミュレーションモデルを用い、環境配慮行動促進策の効果を分析する。

### 4. 研究成果

#### (1) 統合型マルチエージェントシミュレーションの開発

シミュレータの構成は図1に示した通りである。このフレームをもとに、統合型需要予測シミュレーションシステムに以下の改良を施した。

- ・ 公共交通機関ネットワークの内生化
- ・ エージェントの学習モデル
- ・ 出発時刻選択モデル
- ・ 経路選択ロジックの変更

なお、本シミュレーションシステムの適用事例としては、道路工事に伴う交通規制時の対応行動を対象とする。それに伴い交通規制時における機関選択モデルを別途構築の上、シミュレーションシステムに実装した。以降では、その分析結果を示す。

分析に用いたシナリオは終日、交通容量が半分になる交通規制を考えた。シナリオ1では、対象区間を10日間連続して行った。また、シナリオ2、シナリオ3では、シナリオ1より広範囲のエリアで交通規制を考えた。その際に、シナリオ2では5日間連続で一括して、全ての区間で交通規制を行い、シナリオ3では、エリアを複数に分割して行うことを考えた。

また、各シナリオでは、事前に交通規制を知っているエージェントの割合（情報率）で比較して行い分析した。結果、交通規制時にネットワークの混雑が交通規制区間から波及する現象を表現できた。特に、交通規制開始後、数日間の混雑が激しいことがわかった（図2）。しかし、ネットワークの混雑は情報率の差異によって大きく異なり、適切な情報率の場合には、混雑が緩和されることが示された。

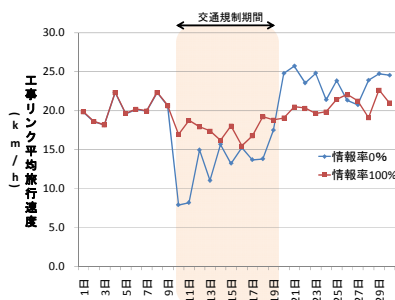


図2 シナリオ1工事リンク平均旅行速度

また、図3にシナリオ2シナリオ3の結果を示す。この図はシミュレーション中の総自動車通勤旅行時間費用を示している。この結果から、交通規制区間の規模や期間によって、ネットワークの混雑を緩和できる適切な情報率が異なることがわかる。

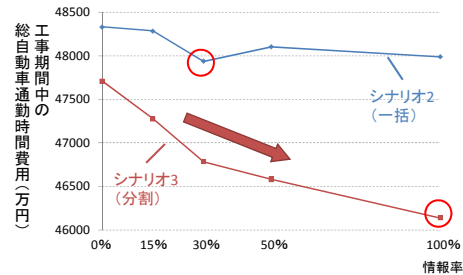


図3 情報率別の通勤時間費用

#### (2) 参加型交通行動実験環境の構築

本室内実験システムは、20台のPCと、それらをLANで接続した1台のサーバーPCから構成される。サーバーPCには図4に示すように、複数のAgent（Agentの数は外生的に与える）が内在しており、被験者と同様の選択を行う。つまり、サーバーPC内ではAgent Simulationが実行され、Agentが創り出す仮想空間内に同時に20名の被験者がドライバーとして参加することになる。

被験者端末はパーティションで区切られており、他者の選択結果を見ることはできない。

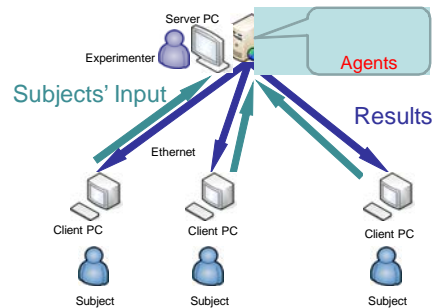


図4 実験システムの構成

この実験環境を用い、経路選択時の情報提供施策に関する以下の仮説検証実験を行った。

仮説) 公益情報を提供することで、総走行時間の減少に寄与する経路が選択される傾向が増進し、それを通じて総走行時間が減少する。

上記仮説の検証のため、被験者が総走行時間の減少に寄与する経路を選択した割合を実験群毎に算出した。本研究では、総走行時間の減少に寄与する経路を「公益経路」と呼称する。ここで総走行時間の減少に寄与する経路とは、ドライバーがその経路を走行した場合にネットワークの総走行時間の増加量

が最も小さい経路である。

本実験では、表1に示すように実験群2~6では所要時間情報と公益情報を同時に提供している。全体の遅れ時間情報やCO2排出量情報の値が小さい経路は、本研究における公益情報の定義からもわかるように、「公益経路」に一致する。すなわち実験内において、公益情報が推奨する経路は公益経路である。

表1 実験群の設定

	提供する情報 ※( )内は強調方法
群1	所要時間
群2	所要時間+CO <sub>2</sub> 排出量(強調なし)
群3	所要時間+CO <sub>2</sub> 排出量(文字強調)
群4	所要時間+CO <sub>2</sub> 排出量(動機付け)
群5	所要時間+CO <sub>2</sub> 排出量(動機付け+文字強調)
群6	所要時間+全体の遅れ時間(強調なし)

また本研究では、所要時間の小さい経路と公益経路が異なる経路である状況を「trade-off」と呼称する。所要時間情報と公益情報が推奨する経路が同一の場合、ほぼ全ての被験者は推奨された経路を選択することが予想される。そのため、本研究では、trade-off の状況で被験者が自らの所要時間が小さい経路と公益経路のどちらの経路を選択するかという点に着目して分析を行った。

trade-off 時に各被験者が公益経路を選択した割合を実験群毎に平均した値を表2に示す。図から「所要時間情報のみ」を提供した実験群1に比べて、「所要時間情報+公益情報」を提供した実験群2~6の方が公益経路選択割合が大きくなっていることがわかる。また、統計的検定を行ったところ、実験群1とその他の実験群の間で、公益経路選択割合の平均に有意差 ( $p < 0.05$ ) が示された。

次に、実験群毎に「総走行時間の平均」を算出した。結果を表3に示す。ここで、総走行時間とは、20人の経路選択の結果生じた交通状況において、そのときの各被験者の所要時間を合計した値を意味する。各実験群とも20人の被験者が経路選択を行う試行を1回として、20回の試行を行っているため、ここでは試行1回あたりの平均を算出した。

表から「所要時間情報のみ」を提供した実験群1に対して、「所要時間情報+公益情報」を提供した実験群2~6の方が、総走行時間の平均が低くなっている傾向が読み取れる。ここで、「総走行時間の平均」を従属変数とし、「実験群」を因子とした分散分析(多重比較)を行った結果、実験群2~6は実験群1に比べて、総走行時間の平均が、有意 ( $p < 0.05$ ) に低いことが示された。これらの結果は、仮説を支持するものであった。

表2 実験群間での公益経路選択割合の比較

	実験群1	実験群2	実験群3	実験群4	実験群5	実験群6
平均	0.07	0.45	0.43	0.49	0.42	0.55
標準偏差	0.16	0.21	0.25	0.22	0.21	0.22

表3 実験群間での総走行時間平均の比較

	実験群1	実験群2	実験群3	実験群4	実験群5	実験群6
平均(分)	1237	1064	1077	1042	1070	1015
標準偏差(分)	99	75	82	49	61	33

### (3) 土地利用・交通 LOS 推計モデルの構築

#### ① 土地利用モデル

ここで構築するモデルは、図5に示したように「基準年次の人口配置は、基準年次の交通状況、及び過去の人口配置・交通状況に依存する」と仮定し、かつ、その相互関係を表すパラメータ、ならびに、モデルで説明することができない各ゾーン毎の誤差の一部は時間に対して定常的であると仮定するものである。

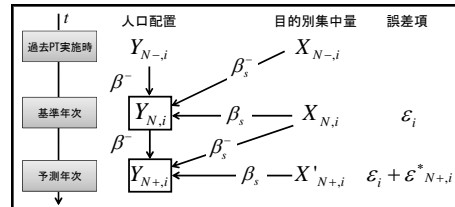


図5 土地利用モデルの仮定

このモデルにおけるパラメータ、ならびに、各ゾーン毎の誤差項については、既にデータとして得られている  $Y$ ,  $X$  のデータ ( $Y$  は各種人口データ,  $X$  については過去の集中交通量及び集中交通量変化分 [ $X_{N,t} - X_{N,t-1}$ ] を導入) に基づいて推定した。パラメータ推定結果を表4に示す。

表4 土地利用モデルのパラメータ推定結果

独立変数	夜間人口	第2次産業従業者数	第3次産業従業者数
S60 夜間人口 [千人]	1.068 (+45.12)†	-	-
S60 第2次産業従業者数 [千人]	-	0.804 (+16.44)†	-
S60 第3次産業従業者数 [千人]	-	-	0.662 (+10.75)†
S60 帰宅目的集中交通量 [千人/日]	-	-	-0.131 (-5.96)†
S60 私事目的集中交通量 [千人/日]	-	-	0.260 (+7.12)†
S60 業務目的集中交通量 [千人/日]	-	0.341 (+5.16)†	0.529 (+7.64)†
私事目的集中交通量変化分 [千人/日]	0.219 (+3.95)†	-0.067 (-2.27)‡	0.139 (+5.50)†
業務目的集中交通量変化分 [千人/日]	-	0.680 (+5.52)†	0.556 (+5.78)†
サンプル数	143	143	143
調整済み決定係数	0.961	0.879	0.943

※括弧内の値はt値。†: 両側危険率1%で有意, ‡: 両側危険率5%で有意。

それぞれにおいて、調整済み決定係数は十分高く、各パラメータも有意となっており、適切な予測モデルを構築できたとと言える。なお、パラメータ推定にあたっては、第2回西



遠都市圏 PT 調査(昭和 60 年)による人口データと集中交通量, 第 4 回西遠都市圏 PT 調査(平成 19 年)による集中交通量を用いた。また, ゾーン別就業者数(第 1 次従業人口については, 第 1 次就業人口と等値として扱う)および学生数はゾーン別夜間人口と連動して算出することとしているため, 土地利用モデルによる予測の対象外とした。

## ② 公共交通 LOS 変化モデル

ここで構築するモデルは, 「交通需要(OD 交通量)に応じて, 公共交通路線の運行頻度が実現されている」と仮定し, かつ, その相互関係を表すパラメータ, ならびに, モデルで説明することができない各ゾーン毎の誤差は時間に対して定常的であると仮定するものである。

このモデルにおけるパラメータ, ならびに, 各路線毎の誤差項については, 既にデータとして得られている  $Y$ ,  $X$  のデータ( $Y$  は運行頻度データ,  $X$  は目的別利用者数)に基づいて推定した。パラメータ推定結果を表 5 に示す。

表 5 運行頻度モデルのパラメータ推定結果

独立変数		運行頻度
パラメータ及び値	定数項	2.269 (+9.68)†
	通勤目的利用者数[人/日]	0.0609 (+5.55)†
	帰宅目的利用者数[人/日]	0.0453 (+15.71)†
	業務目的利用者数[人/日]	0.2067 (+2.70)‡
サンプル数		695
調整済み決定係数		0.607

※括弧内の値はt値, †: 両側危険率1%で有意, ‡: 両側危険率5%で有意。

これより調整済み決定係数は高く, 適切な予測モデルを構築できたと言える。なお, 西遠都市圏の鉄道データ整備の制約から, 内生モデルの構築対象はバス路線のみとした。

## (4) 他者の行動の相互作用モデル化

ここでは, 環境配慮行動に焦点をあて, 環境配慮意識に関する局所的相互作用を考慮したマルチエージェントシミュレーションモデルにより, 環境配慮行動促進策の検討を行った。本研究の成果は以下のように整理できる。

- 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(環境行動自発性)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。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① 笈田翔平, 菊池輝, 平見憲司, 井上紳一, 藤井聡: PT 調査実務における公共交通 LOS の内生変化を加味した交通需要予測手法の提案と活用, 土木学会論文集 D3, Vol. 67, No. 5, 2011.
- ② 松本洋輔, 吉井稔雄: 集計 QK ならびにローカル LP を組み合わせたランプメータリング制御の提案, 第 31 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 1-6, 2011
- ③ 塩見康博, 宇野伸宏, 山本 浩司, 田子 和利: シンボル画像を表示する高速道路図形情報板の導入効果に関する研究, 第 31 回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 181-184, 2011
- ④ Schmocker, J.D. Pettersson, P. and Fujii, S.: Comparative Analysis of Proximal and Distal Determinants for the Acceptance of Coercive Charging Policies in the UK and Japan, International Journal of Sustainable Transportation, Vol. 6, pp. 156-173, 2011
- ⑤ Masashi Okushima and Akio Kondo: Design of Promotion Plan for Eco-Commuting with Multi Agent Simulation Model, Proceedings of 12th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, pp. 1-15, 2011
- ⑥ 山崎浩気, 宇野伸宏, 塩見康博, 倉内文

孝：ETC データに基づく利用者行動変化に着目した高速道路供用効果把握に関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol. 20，pp. 961-972，2010

- ⑦ 塩見康博，吉井稔雄，北村隆一：希望走行速度分布に基づく車群台数分布推定手法，交通工学，Vol. 45，No. 1，pp. 58-67，2009
- ⑧ Dahee Hong, Nobuhiro Uno and Fumitaka Kurauchi: Heterogeneity in multi-anticipative car-following behavior by video image data, International Journal of ITS Research, Vol. 7, No.1, pp39-48, 2009
- ⑨ Fujii S., Kitamura, R., Nagao, and Doi, M. : An experimental analysis of intelligibility and efficiency of in-vehicle route guidance system displays , Transportation 36, pp. 779-786, 2009
- ⑩ 奥嶋政嗣，秋山孝正：都市道路網における交通障害発生時の知識利用型個別車両情報提供，交通工学研究発表会論文報告集，Vol. 29，pp. 313-316，2009
- ⑪ Nakayama, S: Bayesian Learning, Day-to-Day Adjustment Process, and Stability of Wardrop Equilibrium, W. H. K. Lam, S. C. Wong & H. K. Lo eds., Transportation and Traffic Theory 2009: Golden Jubilee, Springer, New York, pp. 425-440, 2009

〔学会発表〕（計 4 件）

- ① 奥嶋政嗣，秋山孝正（2011）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効果分析，土木計画学研究・講演集，Vol. 43，1-8 頁，2011. 5. 29，筑波大学
- ② 山本貴之，菊池輝，Petr Senk，北村隆一（2009）交通行動実験における被験者の意思決定分析，土木計画学研究・講演集，39，2009. 6. 14，徳島大学。
- ③ 菊池輝，森大祐，北村隆一，藤井聡（2009）動的発生・分布・分担・配分統合型マイクロシミュレータの開発とその適用，土木計画学研究・講演集，40，2009. 11. 23，金沢大学。
- ④ 菊池輝，山本貴之，北村隆一（2008）参

加型経路選択シミュレーション実験システムの開発，土木計画学研究・講演集，38，2008. 11. 3，和歌山大学。

〔図書〕（計 2 件）

- ① 菊池輝「情報化時代の都市交通計画（飯田恭敬監修，北村隆一編集，共著）」8.1 シミュレーションアプローチと被験者実験アプローチ（pp.256-261），8.4 アクティビティシミュレーション（pp.282-289），2010.10.21，コロナ社
- ② 吉井稔雄「交通シミュレーション活用のススメ」7 章 pp.137-145，9.2 pp.166-170，2012.1.24，丸善出版株式会社

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

北村 隆一 (KITAMURA RYUICHI)  
京都大学・工学研究科・教授  
研究者番号：60252467 (H20)  
吉井 稔雄 (YOSHII TOSHIO)  
愛媛大学・理工学研究科・教授  
研究者番号：90262120 (H20~H23)

### (2) 研究分担者

菊池 輝 (KIKUCHI AKIRA)  
東北工業大学・工学部・准教授  
研究者番号：00343236  
宇野 伸宏 (UNO NOBUHIRO)  
京都大学・経営管理研究部・准教授  
研究者番号：80232883  
藤井 聡 (FUJII SATOSHI)  
京都大学・工学研究科・教授  
研究者番号：00343236  
山本 俊行 (YAMAMOTO TOSHIYUKI)  
名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授  
研究者番号：80273465  
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  
中山 晶一郎 (NAKAYAMA SHOICHIROU)  
金沢大学・環境デザイン学系・准教授  
研究者番号：90334755  
倉内 慎也 (KURAUCHI SHINYA)  
愛媛大学・理工学研究科・講師  
研究者番号：90314038