

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

奥嶋 政嗣¹・今井 陽平²・近藤 光男³

¹正会員 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)
E-mail: okushima.masashi@tokushima-u.ac.jp

²学生員 徳島大学大学院先端技術科学教育部環境創生工学専攻 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)
E-mail: imai@eco.tokushima-u.ac.jp

³正会員 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)
E-mail: kondo@eco.tokushima-u.ac.jp

持続可能な交通システムの実現のためには、過度な自動車利用の抑制が課題として挙げられる。エコ通勤の促進のためには、自動車利用を除く交通手段のサービス水準向上だけでなく、交通行動者の環境問題に対する意識（エコ意識）が重要となる。このエコ意識は、他者の影響により変動するものと考えられる。本研究では、マルチエージェントシミュレーション（MAS）モデルにより、各種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。このため、地方都市郊外部への通勤者を対象とした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、構造方程式モデリングを用いて同定した。この局所的相互作用の構造を、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。このMASモデルを用いて、エコ通勤促進策の影響による環境意識と通勤交通手段の推移について推計した。これより、局所的相互作用による環境意識の変遷が通勤交通手段転換行動に及ぼす影響を計測することが可能となった。

Key Words : *travel mode choice, environmental consciousness, structural equation modeling, multi-agent simulation*

1. はじめに

持続可能な低炭素型交通システムの実現のためには、自動車技術の革新による温室効果ガスの排出量抑制だけでなく、過度な自動車利用の抑制が課題として挙げられる。このため、代替交通手段となる公共交通、自転車などの交通サービス水準の向上を図るとともに、地球環境問題への認識を深めることによりモーダルシフトを促進する必要がある。このような自動車利用に関わる環境意識は、他者の影響により変動するものと考えられ、社会的な相互作用の影響を考慮する必要がある。

このような観点から既往研究において、環境意識の局所的相互作用を考慮した通勤交通手段転換についてのマルチエージェントシミュレーション（MAS）モデルが提案されている¹⁾。この既往研究では、交通社会実験におけるアンケート調査を用いて、環境意識を要因とした通勤交通手段転換モデルを構築することで、通勤交通手段転換に及ぼす環境意識の影響を表現できるものとなっている。しかしながら、環境意識の局所的相互作用に関

しては、現実社会の実態と整合した構造が表現されていることを検証する課題が残されている。

一方で、筆者らは環境意識と通勤交通手段転換に関するアンケート調査より得られたデータを用いて、個人の環境意識、身近な人の知覚環境意識、世間一般の知覚環境意識の相互作用の構造について分析を行っている²⁾。

そこで本研究では、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とを目的とする。このため、徳島市郊外従業者へのエコ通勤バス運行に関するアンケート調査に基づいて、通勤交通手段転換と環境意識およびその局所的相互作用の関係について構造方程式モデリングを用いて分析する。この分析結果に基づいて、環境意識に関する局所的相互作用を考慮し、エコ通勤促進策を検討するためのMASモデルを構築する。このMASモデルを用いて、エコ通勤促進策の影響による環境意識と通勤交通手段の推移について推計する。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通勤交通手段転換行動に及ぼす影響を計測することが可能となる。

2. 環境意識構造と交通手段転換要因に関する分析

ここでは、環境意識と交通行動についてのアンケート調査結果を用いて、局的相互作用を考慮した環境意識構造について分析するとともに、環境意識を要因として考慮した通勤交通手段転換モデルを構築する。

(1) 環境意識と交通行動に関するアンケート調査概要

既存研究において、エコ通勤シャトルバス運行などの社会実験の対象となった徳島市北部郊外に位置する今切工業団地における従業者およびその18歳以上の家族を対象に、とくしま環境県民会議参加企業の協力により、環境意識と交通行動に関するアンケート調査が実施されている。このアンケート調査の概要を表-1に示す。

このアンケート調査では、個人(被験者自身)の環境意識・環境配慮行動だけでなく、身近な人(家族・友人など)および世間一般の環境意識・環境配慮行動についての被験者の認識が質問されている。

また、エコ通勤交通手段の利用促進策として、自宅の最寄バス停留所より勤務地までのシャトルバス(エコ通勤バス)が1時間に2本運行されたと仮定した場合の自動車利用抑制意向について回答が得られている。ここでの自動車利用抑制意向とは、「自動車通勤を週1回以下に抑制すること」としている。

(2) 相互作用を考慮した環境意識の構造分析

本節では、個人の環境意識と他者の知覚環境意識との関係を構造方程式モデリング³⁾を用いて分析する。

環境意識と交通行動のアンケート調査では、「環境問題についての意識」4項目、「環境配慮行動」4項目および「地球温暖化防止のための自己犠牲意向」3項目の計11項目について回答を得ている。環境意識の指標の一覧を表-2に示す。

ここで環境意識についての潜在要因を規定して、潜在要因間の因果関係を記述する多重指標モデルを構成することとする。「環境意識」については、「環境問題についての意識」についての4項目の観測指標と「環境配慮行動」についての4項目の観測指標に影響を与える潜在変数として規定した。また「地球温暖化防止のための自己犠牲意向」については、労力使用意向、時間使用意向、金銭使用意向の3項目の観測指標に影響をあたえる潜在変数として規定した。また、「環境意識」にともなって「地球温暖化防止のための自己犠牲意向」が向上する因果関係を想定している。また、「個人の環境意識」に対

表-1 環境意識と交通行動に関する調査概要

調査方法	企業訪問 配布回収	配布回収 状況	配布数:320票 回収数:193票 回収率:60.3%
調査項目	個人属性, 世帯構成, 自動車保有利用状況 通勤距離, 通勤交通手段 個人の環境意識 身近な人の知覚環境意識 他者の知覚環境意識 エコ通勤バスの利用意向		

表-2 環境意識に関する調査項目

環境問題についての意識	地球温暖化への関心
	森林破壊への関心
	排ガス問題への関心
	自動車利用による環境への悪影響の認識
環境配慮行動	省エネ・再生素材を購入しているか
	ゴミ分別を行っているか
	レジ袋を断っているか
	冷暖房を控えているか
地球温暖化防止のための自己犠牲意向	労力使用意向
	時間使用意向
	金銭使用意向

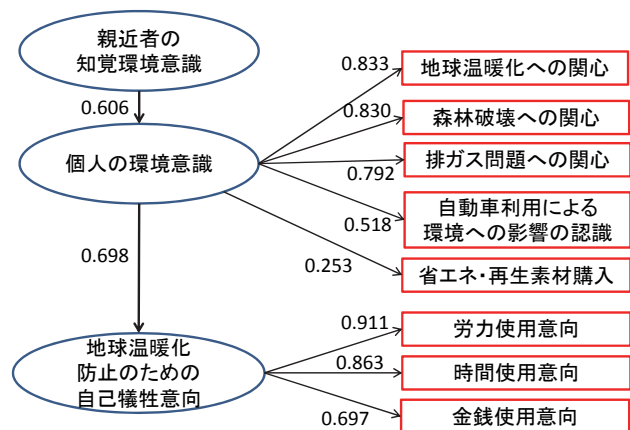


図-1 環境意識についての相互作用の構造

して「親近者の知覚環境意識」および「世間一般の知覚環境意識」が影響を及ぼす構造を想定する。

以上のように相互作用を考慮して想定した環境意識の構造についての知覚環境意識の構造について、共分散構造分析パッケージソフトウェア SPSS19-Amos を用いてパラメータ推定を行った。統計的に有意でない関係は除外し、推定結果を標準化し、パス図で表現した結果を、図-1に示す。

「個人の環境意識」は、「地球温暖化防止のための自己犠牲意向」に強い影響を与えていることがわかる。これより、地球温暖化防止のために自己犠牲意向を形成するためには、個人の環境意識が高いことが要因となることがわかる。また「個人の環境意識」に対して、「親近

者の知覚環境意識」が影響を及ぼすという因果関係が有意であり、パラメータ標準化推定値も 0.606 と比較的大きい。一方、「世間一般の知覚環境意識」が「個人の環境意識」に影響を与えるという因果関係は有意ではない。これより、世間一般の知覚環境意識から個人の環境意識への直接的な影響は少ないことが示唆された。

(3) 環境意識を考慮した通勤交通手段転換モデル

既往研究では、現状の通勤交通手段（RP データ）と、エコ通勤バス運行時の利用意向（SP データ）を用いて、通勤交通手段転換モデルが構築されている。このモデルにおける交通手段の選択肢は自動車、その他の2種類である。現況の通勤交通手段選択に関わる要因のパラメータ推定結果について、統計的に有意な要因は「一般化費用」のみであり、係数パラメータ推定値は-0.002（t 値：-4.547）であった。

つぎに、現在運行しているバスよりサービス水準の高いエコ通勤バスの運行を仮定した場合について、通勤時の自動車からの交通手段転換の可能性の分析を行う。ここでの交通手段転換の可能性は、エコ通勤バス運行時の自動車利用抑制意向の有無の回答により判断する。

また関連する通勤者との社会的相互作用を考慮して、勤務地域におけるエコ通勤バス利用者が多数(90%以上)の場合における自動車利用抑制意向の有無の回答を、利用者数が明示されていない場合の回答と合わせて分析している。ここでは要因として「エコ通勤バス利用者数多数ダミー」を追加して分析している。このダミー変数は、エコ通勤バス利用者が多数(90%以上)の場合に「1」、利用者数が明示されていない場合に「0」と設定している。

統計的に有意な要因のみを選定した通勤交通手段転換モデルのパラメータ推定結果を表-3 に示す。尤度比は 0.216 となり、モデルの適合度も良好である。また、「エコ通勤バス利用者数多数ダミー」が有意となり、符号が負であることから、エコ通勤バス利用者が多数の場合、自動車からの交通手段転換の可能性が高いことがわかる。

以上のように、関連する通勤者との社会的相互作用（利用者数の多少）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がなされている。

3. マルチエージェントシミュレーションの構成

ここでは、先行研究¹⁾を参考としながら、環境意識の局所的相互作用を考慮した通勤行動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。

(1) 仮想社会の構成

エコ通勤促進のための交通社会実験⁴⁾が行われた徳島

表-3 通勤交通手段転換モデルのパラメータ推定結果

初期対数尤度	-165.0	
最大対数尤度	-129.4	
尤度比	0.216	
要因名称	パラメータ値	t 値
一般化費用× θ	-0.297	-2.679
誤差項の期待値	-0.691	-2.357
50歳以上ダミー	-0.947	-2.656
夫婦と子ダミー	-0.762	-2.333
労力使用意向ダミー	-1.653	-4.482
エコ通勤バス利用者数多数ダミー	-1.524	-4.827
定数項	3.029	5.456

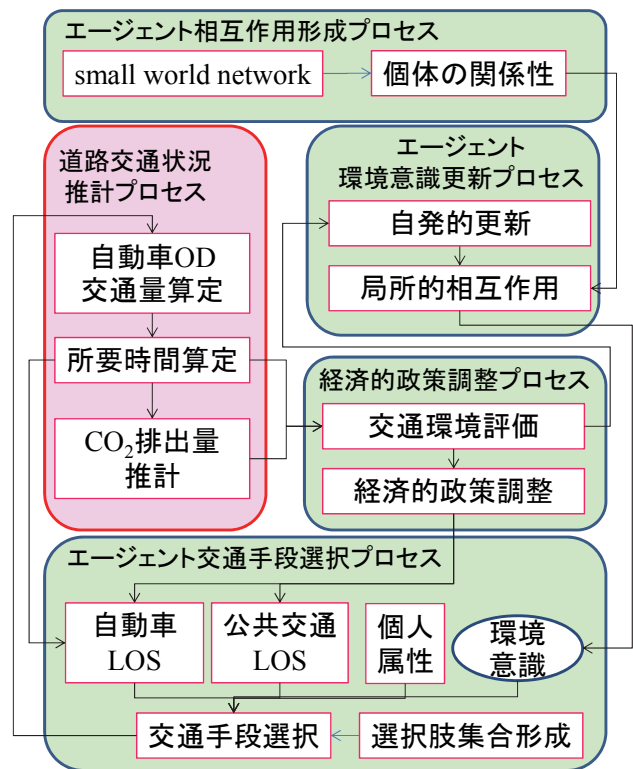


図-2 シミュレーションの全体フロー

市内の特定地域を参考として、仮想社会を構成する。本研究では、エコ意識に関する社会的相互作用を考慮するために、エージェント間の関係を表す概念空間を導入する。ここでは、居住地域における配置とは無関係に、個々のエージェントを概念空間に配置する。

本研究での MAS モデル全体の基本フローを図-2 に示す。「エージェント交通手段選択プロセス」および「道路交通状況推計プロセス」に加えて、本研究では「エージェント環境意識更新プロセス」、「エージェント相互作用形成プロセス」および「経済的政策調整プロセス」を含めた構成としている。

「エージェント交通手段選択プロセス」では、前述の「通勤交通手段選択モデル」にしたがって、個別エー

エージェントの通勤交通手段を決定する。また、「道路交通状況推計プロセス」では、各エージェントの交通手段選択結果に基づいて、自動車利用交通量を算定する。この自動車利用交通量と交通容量の関係から、所要時間を算定するとともに、走行速度に基づく二酸化炭素排出量原単位と自動車交通量から、二酸化炭素排出量を算出する。

「エージェント環境意識更新プロセス」では、前述の相互作用を考慮した環境意識構造モデルにしたがって、個別エージェントの環境意識を更新する。さらに、「経済的政策調整プロセス」では、交通管理者が「交通環境評価」に基づいて経済的政策を調整する。

これらのプロセスにより、状況を順次更新することで、day-to-day のシミュレーションを実行し、交通手段選択状況、道路交通状況および環境意識の推移を観察する。

(2) 相互作用形成プロセス

交通手段選択の意思決定に関して、社会的相互作用による他の交通行動者の協力率が影響することが明らかにされている²⁾。本研究では、エージェントの環境意識は、関係性の大きいエージェントからのみ直接的な影響を受けるものと仮定する。

ここでエージェント間の相互作用を記述するために、社会的ネットワークにおける既往研究を参照すると、現実の社会的ネットワークは本質的に非局所的構造特性をもつとされている。このような現実の社会的ネットワークの特徴をもつグラフは、"small world network"と呼ばれている。この"small world network"は、非常にシンプルなアルゴリズム (WSモデル) で生成できることがWattsらによって提示されている³⁾。

WSモデルにしたがって、概念空間において近接するすべてのエージェント間を相互にリンクで結節する。本研究では、概念空間でのエージェントの相互作用の影響範囲を規定する限界距離 L_{max} を設定し、概念空間での距離 l が L_{max} 以下となるエージェント間を連結する。

つぎに、一定の確率でリンクを削除して、ランダムに選択した別のエージェントと連結しなおす。本研究においても、参考文献5)に示されている例と同様に、リンクの再連結を行う確率を5%と設定している。本研究では、再連結したリンクの距離は限界距離の1/2と設定する。このようにして構成された"small world network"では、概念空間での距離 l によってエージェント間 (i, k) の関係性の大きさ $r_{i,k}$ を式(1)のように表現する。

$$r_{i,k} = \frac{L_{max} - l_{i,k}}{L_{max}} \quad (1)$$

この関係性の大きさ $r_{i,k}$ および周囲のエージェント k の環境意識に基づいて、周囲のエージェントからの影響の強さ $w_{[i]}(t)$ を式(2)のように算定する。

$$w_{[i]}(t) = \frac{\sum r_{[i,k]} (eco_{[k]}(t) - eco_{[k]}(t-1))}{\sum r_{[i,k]}} \quad (2)$$

これは周囲のエージェントにおける環境意識の変化を関係性の大きさによって案分し、関係性のあるすべてのエージェントに関しての影響を集積するというものである。したがって、関係性の大きいエージェントの環境意識の変化が大きい場合には、そのエージェント自身の環境意識が向上することになる。このように、環境意識に関して、エージェント間の局所的な相互作用を表現した。

4. おわりに

本研究では、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。本研究の成果は、以下のように整理できる。

- 1) 構造方程式モデリングを用いて、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。個人の環境意識は、親近者の知覚環境意識から影響を受ける局所的相互作用の構造を検証できた。
- 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、通勤手段選択モデルを構築した。エコ通勤バス運行時には、「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検証できた。
- 3) 環境意識の局所的相互作用を考慮した通勤行動MAS モデルを構成した。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。

参考文献

- 1) Masashi Okushima, 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.
- 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, 土木計画学研究 講演集, Vol. 44, 5pages, 2011.
- 3) 森川高行, 北村隆一: 交通行動の分析とモデリング, 技報堂出版, 2002.
- 4) とくしま環境県民会議: 平成 20 年度低炭素地域づくり面的対策推進事業報告書 (徳島市地域), 2008.
- 5) Watts, D. J. and Strogatz, S. H.: Collective dynamics of 'small-world' network, Nature, 393, pp.440-442, 1998.