

クリーンエネルギー車両普及促進に関する マルチエージェントシミュレーション†

奥嶋 政嗣*¹

マルチエージェントシミュレーションでは、社会的相互作用を容易に記述可能である。本研究では、経済的インセンティブ政策、航続可能距離延伸、充電インフラ整備およびクリーンエネルギー車両（CEV）の多様化による CEV の普及促進効果を推計するために、マルチエージェント CEV 普及シミュレーションを構築する。提案するマルチエージェントシミュレーションは、車種決定プロセス、排出量算定プロセスおよび相互作用プロセスで構成される。車種決定に関しては、世帯の異質性を考慮して社会的同調効果に影響される点をモデルで表現する。また、エージェント間の関係をスモールワールドネットワークモデルで表現する。このマルチエージェント CEV 普及シミュレーションにより、世帯の異質性と社会的同調効果を考慮して CEV の普及と温室効果ガス排出状況の推移が観察可能となる。

キーワード：マルチエージェントシミュレーション，社会的同調効果，スモールワールドネットワーク，クリーンエネルギー車両，異質性

1. はじめに

環境的に持続可能な交通システムを実現するために、自動車交通からの温室効果ガスの排出削減が課題となっている。このため、電気自動車（EV）・プラグインハイブリッド自動車（PHV）のような地球環境への負荷が低いクリーンエネルギー車両（CEV： clean energy vehicle）の普及促進が期待されている [1]。

マーケティングリサーチ分野では、CEV のような新製品の普及に関する知見が整理されている。消費者はリスク低減のために情報を探索し、他の消費者の購買状況に影響を受けることが指摘されている [2]。代表的な新製品の普及モデルとしては Bass モデルを挙げることができ、購買周期の長い耐久消費財の新規需要の分析に適しているとされている [3]。Bass モデルでは、先駆的な消費者（イノベーター）と他者の影響を受ける消費者（イミテーター）を想定し、新製品の市場導入から成長期までの普及構造が簡潔に表現されている。最近では、温暖化対策のための環境製品の普及に関して、Bass モデル、消費者選好モデル、学習曲線モデルを統合したモデルも構築されている [4]。

エコカーの普及に関しても、Bass モデルとコンジョイント分析を組み合わせたモデルが適用されている [5]。EV の普及促進に関しても、Web アンケート調査結果に基づいて、社会的同調効果が EV 保有意向に影響することが明らかにされている [6]。ここでの社会的同調効果とは、社会全体での EV の購入シェアの向上が、各個人の EV 保有意向を高めることを指す。このように、自動車などの新製品の普及に関して、いくつかの既往研究において社会的相互作用を考慮した普及シミュレーションが構築されている。これらの既往研究においては、社会全体の普及率が個々の消費者に影響を与える構造となっている。

一方、実際の消費行動でみられるクチコミなどの効果あるいは地域性の発現といった現象を適切に表現するためには、社会的ネットワークにおける局所的相互作用を想定したモデル構造が要求される。このような認識に基づいて、家電製品の普及では、家庭用 VTR の普及に関してマルチエージェントモデルによる人工市場アプローチが適用されている [7]。ここでは、市場導入期における局所的相互作用の影響の重要性が指摘されている。また、消費者間の相互作用ネットワークを組み込んだ製品市場のモデル化が行われる [8] など、新製品の普及に関して、いくつかのマルチエージェントモデルの構築が行われている。本研究においても、社会的ネットワークにおける局所的相互作用を組み込んだマルチエージェントモデルによるアプローチを採用し、CEV の普及分析に適用することとする。

† Multi-Agent Simulation for Promoting Clean Energy Vehicle with Economical Measure
Masashi OKUSHIMA

*1 徳島大学大学院理工学研究部准教授
Associate Professor, Institute of Science and Technology,
Tokushima University

以上のような整理に基づいて、社会的同調効果を考慮して、CEVの普及を表現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(MAS)が構築されている[9]。また、環境意識に関する局所的相互作用が社会全体のCEV普及に及ぼす影響についても推計がなされている[10]。これらのCEV普及についてのMASモデルの特徴は、エージェント間の局所的相互作用の表現のために、スモールワールドネットワークモデル[11]により社会的ネットワークを記述していることである。

しかしながら、社会的同調性は個人により相違すると考えられる。したがって、社会的同調性についての個人の異質性を明示的に組み込んだ分析フレームを適用することが必要となる。ミクロ計量経済学の分野においては、消費者は異質であるが共通する部分もあるとの論理で、異質性を推定する際に不足する情報を共通性で補うといったモデリング法である階層ベイズモデルが提案されている[12]。たとえば、消費の外部性を考慮した書籍市場の分析のために、階層ベイズモデルが適用され、市場シミュレーションが行われている研究もみられる[13]。また、個人の異質性および社会的同調性が通勤交通手段転換意向へ与える影響の分析にも、階層ベイズモデルが適用され、マルチエージェントシミュレーションによりその影響の波及効果が計測されている研究もみられる[14]。したがって、車種決定に関しては、階層ベイズモデルを適用することで、世帯の異質性および社会的同調性がCEV普及へ与える影響を表現できると考えられる。

本研究では、CEV普及促進策によるクリーンエネルギー車両への車両更新の効果を把握することを目的とする。このため、世帯の異質性および社会的同調性がCEV普及へ与える影響を考慮して車種決定をモデル表現し、既往研究でのマルチエージェントモデルに組み込むことで、CEV普及シミュレーションを構築する。

提案するMASモデルは、車種決定プロセス、排出量算定プロセスおよび相互作用プロセスで構成される。対象とするCEV普及促進策としては、車両購入補助金、ガソリン価格上昇、航続可能距離延伸、充電インフラ整備およびCEVの多様化を検討する。車種決定に関しては、世帯の異質性を考慮して社会的同調効果に影響される点を階層ベイズモデルで表現する。また、エージェント間の関係をスモールワールドネットワークモデルで表現する。このマルチエージェントCEV普及シミュレーションモデルにより、CEVの普及と温室効果ガス排出状況の推移が観察可能となる。

2. CEV普及シミュレーションの構成

マルチエージェントシミュレーションの構成要素を整理する。CEV普及促進の過程の観察を目的とするため、車種決定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、社会的相互作用(社会的ネットワーク)を表現する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、燃料消費量算定および温室効果ガス排出量推計の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、既往研究[9]を参考として、車種決定プロセス、相互作用プロセス、排出量算定プロセスおよび時間進行管理プロセスを含むマルチエージェントシミュレーション(MAS)を構成した。この構成の全体フローを図1に示す。

「車種決定プロセス」では、エージェントの車両購入時点での車種選択の意思決定を記述する。このとき、世帯属性および保有車両だけでなく、環境意識、局所的相互作用(社会的同調)を考慮する。また、CEV普及促進策の影響を考慮する。具体的には、前節で構築した保有車種選択モデルを採用し、その上位モデルについては階層ベイズ型CEV選択モデルを適用する。

「相互作用プロセス」では、社会的ネットワークにおいて関連するエージェントの保有車種により、CEV保有意向に影響する相互作用効果を記述する。このとき、社会的ネットワークをsmall world network モデ

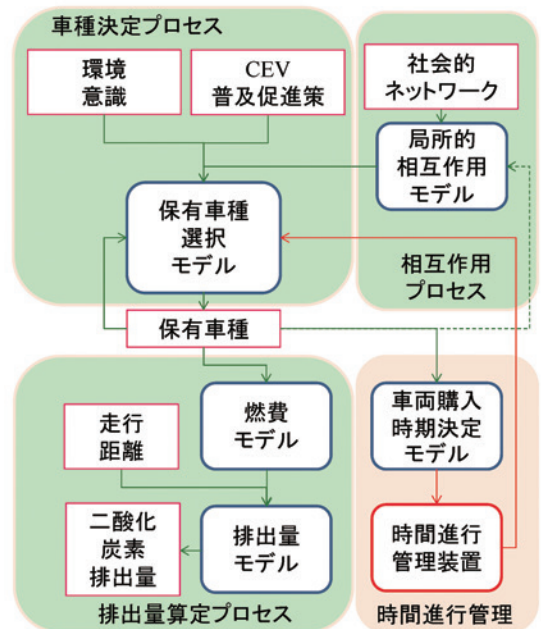


図1 エージェントシミュレーションの全体構成

ル [11] により表現する。このため、CEV 保有有無とは無関係に、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。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。参考文献 [11] 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。

コミュニティでの CEV 保有率 $w_{[h]}^{CEV}$ については、リンクで関連づけられたエージェント数 M と、関連エージェント m の CEV 保有の有無 $\delta_{[m]}^{CEV}$ に基づいて、式 (1) のように算定することとする。

$$w_{[h]}^{CEV}(t) = \frac{\sum \delta_{[m]}^{CEV}(t)}{M_{[h]}} \quad (1)$$

「排出量算定プロセス」では、保有車両の利用による二酸化炭素排出量を推計する。このとき、保有車両の燃費および走行距離を考慮する。「燃費モデル」では、世帯属性と保有車両に対応した確率分布 (ワイブル分布) に基づいて、確率的に保有車両の燃費を決定する。

「排出量モデル」では保有車両の利用による二酸化炭素排出量を推計する。具体的には、走行距離 d に単位走行距離あたりの二酸化炭素量の排出原単位 ef を乗じて、個々のエージェントの二酸化炭素排出量 ce を算定する。ここで、二酸化炭素量の排出原単位 ef については、CEV および CEV 以外の車両に区分して算定する。CEV では、発電時における二酸化炭素排出量を考慮して、国内大手メーカーにより市販されている電気自動車の単位走行距離あたりの二酸化炭素量の公表値 0.048 kg/km を排出原単位 ef とする。CEV 以外の車両では、 1 km の走行により排出される二酸化炭素排出量原単位 ef は、ガソリン 1 L の消費による二酸化炭素排出量 $ef_0 (= 2.3 \text{ kg/L})$ を保有車両の燃費 y で除して算定する [15]。

社会全体での二酸化炭素排出量は、すべての自動車利用エージェントについて、二酸化炭素排出量 ce を集計することで算定できる。

「時間進行管理プロセス」では、時間の進行とエージェントの車両購入イベントを管理する。「車両購入時期決定モデル」では、世帯属性、保有車両および走行距離に対応した確率分布に基づいて、確率的に車両購入時期を決定する。各エージェントの車両購入イベントの生起により、当該エージェントにおける他のプロセスが実行される。ここで既往研究 [9] で構築さ

れた車両購入時期決定モデルを適用する。各種要因 x_j の影響 (係数パラメータ α_j) も考慮できるパラメトリックな加速ハザードモデルの枠組が用いられている。車両購入時期の確率分布としてワイブル分布を仮定すると、次回車両購入までの期間 s (年) の累積確率 $F(s|x)$ は式 (2) のように記述できる。

$$F(s|x) = 1 - \exp \left[-s^p \exp \left(\sum -p \alpha_j x_j \right) \right] \quad (2)$$

車両購入意向調査において車両購入時期についての回答のあった 254 サンプルを対象とし、世帯属性 (構成人数、運転者数、幼児・乳児同居、小学生同居、中高生同居、高齢者同居、年収)、現有車両 (台数、車種、車型、燃費) およびその利用状況 (メインドライバーの性別・年齢、利用頻度、平日走行距離、休日走行距離) など 15 種類の要因を対象として分析する。車両購入時期の基本統計量は平均値 4.2 年、標準偏差 3.0 年となっている。車両購入時期決定モデルのパラメータ推定結果は、定数項: 1.50、幼児・乳児ダミー: 0.29、高収入ダミー: -1.05 および形状パラメータ p : 1.43 となった。したがって、次回車両購入までの期間について、世帯構成員に幼児・乳児が含まれる場合には長く、高収入 (世帯年収 1500 万円以上) の世帯では短い。

マルチエージェントシミュレーションでは、この車両購入時期決定モデルを用いて確率的に次回車両購入時期を決定することとする。このため、決定された車両購入時期になったエージェントのみが車種決定プロセスにしたがって車種決定を行うこととし、それ以外のエージェントは各時点における保有車両の変更はないものとする。

以上のように、社会的相互作用を考慮して、CEV 普及促進の過程を観察する MAS モデルを構成した。

3. 車種決定プロセス

(1) 保有車種選択モデルの構造

ここでは保有車種選択モデルの構造について検討する。保有車種の選択肢として、EV あるいは PHV のいずれかの車種を表す「クリーンエネルギー車両 (CEV)」, HV あるいは燃費 25 km/L 以上の低燃費型ガソリンエンジン自動車のいずれかの車種を表す「エコカー」および一般的なガソリン車を表す「その他」の 3 区分に整理している。保有車種選択に関しては、図 2 に示すような 2 段階のモデル構造としている。「エコカー選択」および「CEV 選択」の双方に、二項ロジットモデルを適用し、全体をネステッドロジットモデルで記述する。

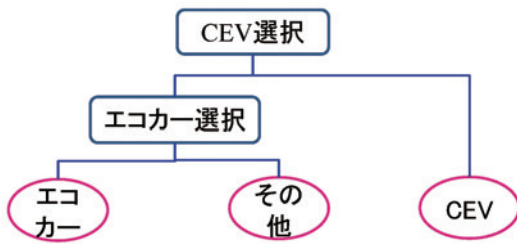


図2 車種選択についての意思決定構造の仮定

下位では「エコカー選択」として、CEVを選択肢から除き、「エコカー (LV)」と「その他 (GV)」の2区分の車種選択を確率的に表現する。ここで二項ロジットモデルを適用し、すべての選択要因が車種「その他 (GV)」の効用に関わると仮定する。このとき、世帯 h についての車種「エコカー (LV)」の選択確率は以下のように記述できる。

$$P_{[h]}^{LV} = \frac{1}{1 + \exp(\sum_j \theta_j^{GV} x_{j,[h]}^{GV})} \quad (3)$$

$x_{j,[h]}^{GV}$: 車種「その他 (GV)」の選択要因 j の観測値,
 θ_j^{GV} : 車種「その他 (GV)」の選択要因 j の係数

ここから、世帯 h についての「エコカー (LV)」と「その他 (GV)」の合成効用を表すログサム変数 $\Lambda_{[h]}$ は以下のように記述できる。

$$\Lambda_{[h]} = \log [1 + \exp \sum_j \theta_j^{GV} x_{j,[h]}^{GV}] \quad (4)$$

一方、上位では「CEV 選択」として、「CEV」と「それ以外」の車両の2区分の車種選択を確率的に表現する。このとき、階層ベイズ型二項ロジットモデルの枠組みを利用して、世帯のCEV選択における意思決定構造を記述する。説明要因としては、世帯属性を除き、CEV普及促進策に関わる政策変数とエコカー選択のログサム変数および定数項とする。世帯属性に関しては、直接的な要因とせず、階層モデルで扱うこととした。なお、メインドライバー属性については、性別および年齢層(若年層: 30歳未満, 中年層: 30歳以上50歳未満, 中高年層: 50歳以上65歳未満, 高齢層: 65歳以上)で区分して、ダミー変数として扱った。

世帯 h についての車種「CEV」の選択確率 $P_{[h]}^{CEV}$ と「CEV」の確定効用 $V_{[h]}^{CEV}$ および「それ以外」の確定効用 $V_{[h]}^{other}$ の関係、「CEV」の確定効用 $V_{[h]}^{CEV}$ とその選択要因の関係、「それ以外」の確定効用 $V_{[h]}^{other}$ とその選択要因の関係をそれぞれ式(5)~式(7)のように表すことができる。

$$P_{[h]}^{CEV} = \frac{\exp(V_{[h]}^{CEV})}{\exp(V_{[h]}^{CEV}) + \exp(V_{[h]}^{other})} \quad (5)$$

$$\text{where } V_{[h]}^{CEV} = \sum \beta_{k,[h]} x_{k,[h]}^{CEV} \quad (6)$$

$$\text{and } V_{[h]}^{other} = \beta_{0,[h]} + \beta_{\Delta pr,[h]} \Delta pr_{[h]} + \beta_{\Lambda,[h]} \Lambda_{[h]} \quad (7)$$

$x_{k,[h]}^{CEV}$: CEV普及促進に関わる要因 k の設定値,
 $\Delta pr_{[h]}$: 車種「CEV」と車種「それ以外」の車両価格差の設定値(政策変数),
 $\beta_{k,[h]}$: 要因 k についての係数パラメータ,
 $\Lambda_{[h]}$: 「エコカー (LV)」と「その他 (GV)」の合成効用を表すログサム変数。

つぎに階層モデルにより、世帯 h の選択要因の係数パラメータは、いくつかの属性に関連づけて説明可能であるとし、式(8)および式(9)のように記述できると仮定する。

$$\beta_{k,[h]} = \Delta_k \cdot z_{[h]} + u_{k,[h]} \quad (8)$$

$$\text{where } u_{k,[h]} \sim N(0, \sigma_k) \quad (9)$$

ここで、 z : 属性(個人属性、環境意識など)、 Δ_k : 要因 k のパラメータ $\beta_{k,[h]}$ に係る属性 Z のパラメータ、 $u_{k,[h]}$: 要因 k のパラメータ $\beta_{k,[h]}$ についての誤差、 $N(\cdot)$: 正規分布関数、 σ_k : 要因 k のパラメータ $\beta_{k,[h]}$ の標準偏差である。

以上のように、CEV選択において、個人の異質性を明示的に組み込んだモデル構造とした。

(2) 保有車種選択モデルのパラメータ推定

二段階のネステッドロジットモデルのパラメータ推定に関しては、推定計算が比較的容易な段階推定法が提案されている [16]。本研究においても、この段階推定法を用いてパラメータ推定を行う。ここで、パラメータ推定のためのデータは、既往研究 [9] における Web アンケートによる CEV 保有意向調査結果として得られた 414 サンプルを用いることとした。また、下位モデルでは情報量基準 AIC が最小となるように、説明要因を取捨選択している。

下位モデルのパラメータ推定結果を表1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。このため、係数パラメータの符号が「負」の場合に、車種「エコカー」の選択に正の影響を与えることになる。

ここで、「低収入世帯ダミー」を除く、すべての説明変数の係数パラメータに関して、少なくとも有意水準 5% では統計的に有意である。「低年収世帯ダミー」の係数パラメータについても、 p 値は 0.051 であり、選択要因として寄与している可能性が高い。尤度比は 0.14 であり、モデルの適合度は十分とまではいえない。

表1 下位モデルのパラメータ推定結果

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**
中高生同居世帯ダミー	6.34E-01	2.21*
低年取世帯ダミー	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。

一方、上位モデルの階層ベイズ型二項ロジットモデルのパラメータ推定に関しては、Rossi, et al.[17]により開発された推定方法を適用可能である。ここで効用関数についての係数パラメータの推定はMetropolis-Hastings法であるランダムウォークアルゴリズムによりサンプリングを行い、階層モデル(回帰モデル)

についての係数パラメータの推定ではギブスサンプラーを用いてサンプリングしている。

サンプリングは5000回の繰り返し計算を行い、初期500回の算定結果を除いて、係数パラメータの事後分布を推定している。

下位階層の推定結果として、係数パラメータ β_k の事後分布の期待値を表2に示す。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3に示す。車両価格差、環境税支払額、航続距離向上およびCEV多様化ダミーの係数パラメータ推定値は、いずれも正の領域に分布しており、妥当な推計結果であると考えられる。

表2 上位モデルにおける下位階層の係数パラメータ期待値の推定結果

	上位階層		下位階層における説明変数の係数パラメータ期待値						
	係数期待値	休日利用距離[km]	多人数世帯	軽自動車保有	中年男性	中高年男性	中高年女性	排出削減意識なし	定数項
定数項	-4.01E+00	-1.66E-01	1.70E-01	-2.10E-01	4.85E-01	4.77E-01	-4.96E-01	4.84E-01	9.47E-03
車体価格差[万円]	2.62E-01	2.46E-02	-1.53E-02	2.84E-02	-5.66E-03	-6.76E-03	-1.09E-03	2.71E-02	-7.73E-03
環境税支払額[円/月]	4.61E-02	-2.10E-02	-1.16E-03	-2.26E-03	3.40E-04	-7.52E-03	6.36E-03	-5.96E-03	-9.60E-04
航続距離向上[km]	8.13E-02	9.80E-03	4.30E-04	6.64E-03	2.21E-02	2.38E-02	1.88E-02	2.76E-02	1.84E-02
局所CEV保有率	2.45E-01	6.08E-03	4.20E-02	2.64E-03	-1.02E-02	-1.34E-02	1.17E-02	9.82E-03	-2.82E-03
CEV多様化ダミー	6.74E+00	2.60E-01	3.41E-01	4.08E-02	2.99E-01	3.75E-01	1.79E-01	-3.00E-01	-1.40E-02
ログサム値	5.11E-01	7.77E-02	-7.83E-02	-1.63E-01	-5.38E-02	-1.84E-02	-1.12E-01	9.45E-02	-1.64E-02

表3 上位モデルの上位階層のパラメータ事後分布の統計量

	平均値	標準偏差	最小値	5%値	25%値	中央値	75%値	95%値	最大値
定数項	-4.006	11.951	-29.544	-25.058	-11.211	-2.573	2.806	14.629	21.159
車体価格差[万円]	0.262	0.205	0.000	0.000	0.092	0.197	0.457	0.605	0.749
環境税支払額[円/月]	0.046	0.082	0.000	0.000	0.003	0.016	0.049	0.246	0.469
航続距離向上[km]	0.081	0.108	0.000	0.000	0.000	0.032	0.136	0.298	0.598
局所CEV保有率	0.245	0.253	-0.268	-0.059	0.075	0.171	0.407	0.745	1.032
CEV多様化ダミー	6.742	1.946	2.316	3.386	5.579	6.653	7.997	10.083	11.960
ログサム値	0.511	0.313	0.000	0.000	0.241	0.525	0.759	1.000	1.000

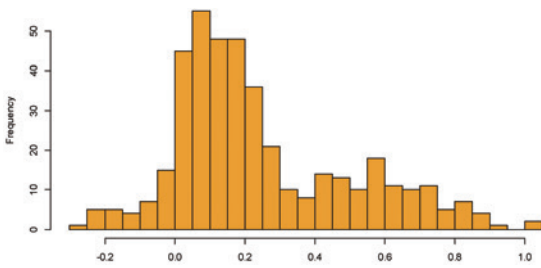


図3 社会的同調についてのパラメータ事後分布

また、ログサム値（CEV以外の車種の合成効用値）の係数パラメータ推定値についても、妥当な範囲に分布している。

社会的同調を表す局所CEV保有率の係数パラメータ推定値の事後分布を図3に示す。この事後分布の横軸は係数パラメータ β_k の推定値であり、縦軸はサンプル数を表すヒストグラムである。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。

4. 車両保有に関するシミュレーション

これまでに構築したMASモデルを用いて、各種のCEV普及促進策に対して、仮想社会でのCEV普及状況の推移を観測する。

(1) シミュレーション条件設定

ここでは、CEV保有意向調査の対象地域である徳島都市圏を参考に、地方都市圏におけるCEV普及状況の推移を観察するための仮想社会を構成する。エージェントの意思決定事項は、保有車両更新時の車種選択と車両更新時期の決定のみとする。

つぎに、エージェントの個別属性を設定する。エージェントは世帯を単位とし、CEV保有意向調査のサンプルを基本エージェントとして設定した。基本エージェントについては、当該サンプルのそれぞれの質問項目に対する回答に基づいてエージェント属性を設定した。基本エージェントを均等に複製することで、合計10,000エージェントを設定した。推計期間は、1サイクルを1週間単位とし、10年後（520週）までの推移を観察することとした。

シミュレーションケースとしては、「無政策」ケースを比較対象として、「車両価格低下」ケース、「環境税賦課」ケース、「航続距離向上」ケースおよび「CEV多様化」ケースを設定した。ここで「CEV多様化」ケースとは、CEVのデザインおよびメーカーなどが多様化し、従来の車両と燃費性能と車両価格で比較可能となった場合を想定したものである。一方、「CEV多様

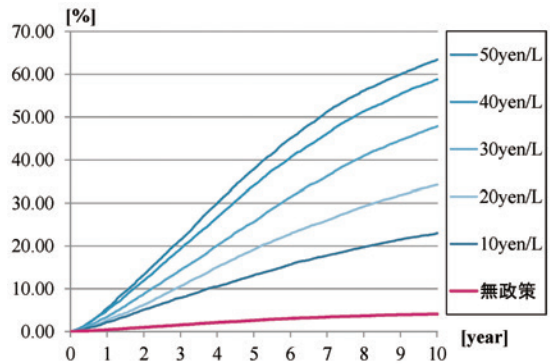


図4 環境税賦課でのCEV保有台数の推移

化」ケース以外の4種類のケースでは、CEV多様化を前提としない場合を想定することとする。

(2) 車両保有状況と二酸化炭素排出量の推移

仮想社会における車両保有状況の推移を観察する。ここでは、「環境税賦課」ケースについてのCEV保有台数の推移を図4に示す。

課金のない「無政策」ケースでは、最終的にCEV保有割合は5%程度となり、次回購入時の最上位候補車両についての意向調査結果と概ね一致している。一方、環境税賦課のある各ケースでは、いずれも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減速する。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。ただし、課金額の増加に対して、CEV保有の増加割合は徐々に少なくなっている。

期間最終時点での車種割合を図5に示す。「無政策」ケースでは、最終的にエコカー保有割合は53%程度と他ケースより多くなり、次回購入時の最上位候補車両についての意向調査結果とほぼ一致している。一方、「CEV多様化」ケースでは、最終的なCEV保有割合は40%、エコカー保有割合は30%となっている。その他のケースについてみると、CEV普及促進策により、CEV普及率が高くなるにしたがって、最終的なエコカー保有割合は低くなる傾向がみられる。

仮想社会におけるエージェントの保有車両の利用にともなう二酸化炭素排出量を比較する。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6に示す。

「無政策」ケースにおいても、エコカーの普及によって、二酸化炭素排出量は18%程度の削減となっている。CEV普及促進策に関しては、いずれのケースにおいても、CEV普及率が高くなるにしたがって、二酸化炭素排出量は減少する傾向がみられる。

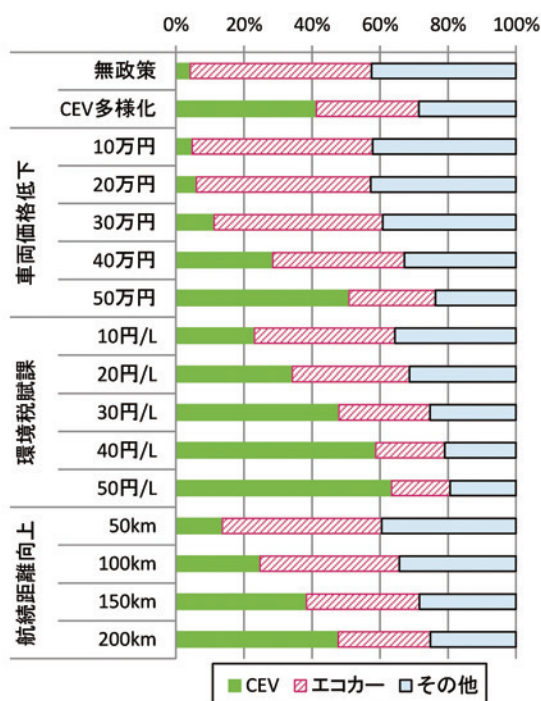


図5 期間最終時点での車種割合

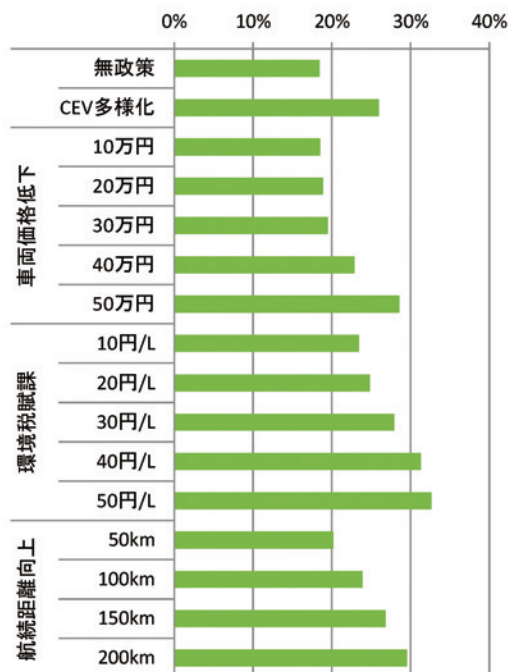


図6 期間全体での二酸化炭素排出量の削減比率

5. おわりに

本研究では、CEV 普及促進策が、CEV の普及と二酸化炭素排出削減に与える影響を観察することを目的

として、社会的相互作用を考慮して MAS を構築した。本研究の成果は以下のように整理できる。

- 1) CEV 普及促進策による CEV への車両更新についての意思決定構造の記述のため、階層ベイズ型二項ロジットモデルの枠組みを適用した。これにより、個人の異質性を考慮して、CEV 普及促進策および社会的同調性に関する CEV 保有意向への影響についての表現できた。
- 2) 保有車種選択に関わる要因として「社会的相互作用」を考慮して、温室効果ガス排出削減効果を計測する枠組みを MAS として提案した。特に、局所的な社会的同調性を要因とした階層ベイズ型選択モデルに関して、その具体的な社会的相互作用の波及過程を明示的に表現するための枠組みとしての MAS の適用方法を提示した。
- 3) MAS により、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観察した。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ため、二酸化炭素排出量推移の適切な推計のためには、社会的相互作用を考慮したシミュレーションが有用であることを示した。

謝辞

本研究は、科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）基盤研究(C)16 K 06540 の研究成果の一部です。ここに記し、感謝の意を表する次第です。

参考文献

- [1] 大久保隆弘：「エンジンのないクルマ」が変える世界，日本経済新聞出版，2009。
- [2] 照井伸彦，佐藤忠彦：現代マーケティングリサーチ，有斐閣，2013。
- [3] Bass, F. M. : A New Product Growth for Model Consumer Durables, Management Science, Vol. 15, No. 5, pp. 215-227, 1969.
- [4] 松本光崇，近藤伸亮：産業技術の社会受容－既存の3モデルを統合した環境製品普及評価モデルの構築，構成学，Vol. 2, No. 1, pp. 23-31, 2009。
- [5] 大野宏司：市場データとシミュレーションによるエコカーの普及予測，日本シミュレーション学会論文誌，Vol. 2, No. 2, pp. 82-91, 2010。
- [6] Kuwano, M., Tsukai, M. and Matsubara, T. (2013) The influence of social conformity in promoting electric vehicle sales, Travel Behavior Research: Current Foundations, Future Prospects, 369-385.
- [7] 井庭崇，竹中平蔵，武藤佳恭：人工市場アプローチによる家庭用 VTR の規格競争シミュレーション，情報処理学会論文誌：数理モデル化と応用，Vol. 42, No. SIG 14 (TOM 5), pp. 73-89, 2001。

- [8] 川村秀憲, 大内東: ネットワーク外部性の働く製品市場のモデル化とプレゼン戦略の評価, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, Vol. 48, pp. 48-65, 2005.
- [9] 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.
- [10] Okushima, M.: 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, 2015.
- [11] Watts, D. J. and Strogatz, S. H.: Collective dynamics of 'small-world' network, Nature, Vol. 393, pp. 440-442, 1998.
- [12] 照井伸彦, ウィラワン・ドニ・ダハナ, 伴正隆: マーケティングの統計分析, 朝倉書店, 2009.
- [13] 金城敬太, 海老名剛: 消費の外部性を考慮した書籍市場の分析-階層ベイズモデリングと市場シミュレーション, 知能と情報, Vol. 25, No. 2, pp. 690-700, 2013.
- [14] Okushima, M.: Simulating social influences on sustainable mobility shifts for heterogeneous agents, Transportation, Vol. 42, No. 5, pp. 827-855, 2015.
- [15] 環境省: (家庭からの二酸化炭素排出量算定用) 排出係数一覧, 2006.
- [16] 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.
- [17] Rossi, P.E., Allenby, G.M., Culloch, R. M.: Bayesian Statistics and Marketing. WILEY, 2005.
(2015年12月16日 受付)
(2016年5月23日 採録)

[問い合わせ先]

〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1

徳島大学大学院理工学研究部

奥嶋 政嗣

TEL: 088-656-7340

FAX: 088-656-7341

E-mail: okushima.masashi@tokushima-u.ac.jp

著者紹介



おくしま まさし
奥嶋 政嗣 [正会員]

平成6年 京都大学大学院工学研究科修士課程応用システム科学専攻修了。同年4月 (株)日本総合研究所入社。平成14年4月岐阜大学工学部助手。平成19年4月 助教。平成20年12月徳島大学大学院准教授。交通需要推計, 交通行動分析, 交通流解析, エージェントシミュレーションなどの研究に従事。日本知能情報ファジィ学会, 土木学会, 交通工学研究会, 日本交通学会会員, 日本都市計画学会。博士(工学)。

Multi-Agent Simulation for Promoting Clean Energy Vehicle with Economical Measure

by

Masashi OKUSHIMA**Abstract :**

Multi-agent simulation approach is suitable to describe the heterogeneity on social interaction. The choice of clean energy vehicle corresponding to the promoting policy related to economic incentive or innovation of vehicle is estimated with the multi-agent simulation. The proposed multi-agent simulation system consists of the vehicle choice model and the social interaction model. The vehicle choice is affected by social conformity effect in the model. The relation between agents like a social network of the real world is generated with a simple algorithm by small world network 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.

Keywords : multi-agent simulation, social conformity, small world network, clean energy vehicle, heterogeneity

Contact Address : **Masashi OKUSHIMA**

Tokushima University, Institute of Science and Technology

2-1 Minamijosanjima-cho, Tokushima, JAPAN

Phone : +81-88-656-7340

Fax : +81-88-656-7341

E-mail : okushima.masashi@tokushima-u.ac.jp