

マルチエージェントモデルにおけるスマートシティの交通行動記述

関西大学大学院 理工学研究科 長谷川 陽平
関西大学 環境都市工学部 秋山 孝正
関西大学 環境都市工学部 井ノ口 弘昭

1. はじめに

地方都市における環境共生型の都市交通システムの創生に多くの課題が存在している。特にスマートシティの開発では、太陽光発電、メガソーラの設定、スマートハウス地区の導入、電気自動車(EV)の有効活用などの都市政策が想定できる。本研究では、スマートハウス導入時の低炭素車両やスマートモビリティ(SM)の普及について述べる。具体的には、交通行動者をエージェントと設定し、スマートハウスの導入による交通行動変化の記述を考える。まず交通行動者のガソリン自動車から電気自動車 (EV) やハイブリッド車両 (HV) への利用車両に変更モデルを作成する。これら提案される交通機関選択モデルは、スマートシティの都市交通現象推計についての基本部分を構成する。環境指標として二酸化炭素排出量を経年的に分析し、都市交通政策の評価を行う。本研究の成果は、スマートシティの動向を表現するマルチエージェントモデルの構築にきわめて有効に利用可能である。

2. スマートシティのマルチエージェントモデル

本研究では、スマートシティに関連する都市交通環境に基づいた地方都市における交通体系についてマルチエージェントモデルを用いて検討する。

2.1 スマートシティの都市活動

スマートシティとは、環境負荷を抑えながら継続して成長を続けられる都市である。そして、健全な経済活動をうながし、市民の生活の質を高めていける都市である。スマートシティの実現には、二酸化炭素排出量の削減やエネルギー効率の向上、省資源化の徹底、市民のライフスタイルの転換などを複合的に組み合わせる必要がある。そのため、エネルギーや情報通信、水、交通、廃棄物などあらゆる分野における最新技術やソリューションでつなげ、地域でエネルギーを有効活用する次世代の社会システムである。その中心となるのが、HEMSを中心に家庭内のエネルギー利用を最適にコントロールする「スマートハウス」である。図-1に示すように、太陽光発電システムが創った電力を蓄電池に蓄え、EVの充電など暮らしに必要な電力として使用。それをHEMSが効率よく賢くコントロールし、エネルギーの省エネを実現する。

2.2 マルチエージェントモデルの意義

知的情報処理において、複雑系とは、複数の構成要素をもち、エージェントが有機的に結合している全体的なシステムである。システムのエージェントは自律的規則にした

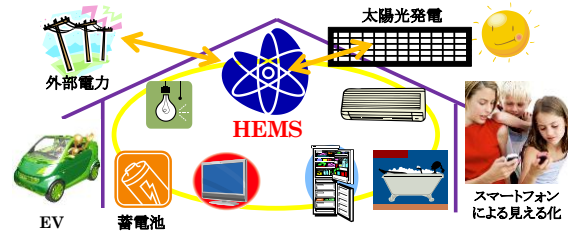


図-1 スマートハウス概念図

がって変化することから、システム全体の状態が決定される様相を持つ。したがって、複雑系モデルは多数の研究分野において、要素還元的な分析方法での解決の困難な問題に対する応用が検討されている。複雑系モデルにおいて、人間をエージェントとして、社会現象を複雑系として表現したマルチエージェントモデルが提案されている²⁾。

マルチエージェントモデルでは、交通行動者をエージェントとするため、個別の交通行動を都市圏で集計的に交通現象として算定する。具体的な特徴としては、エージェント単位の行動規範の多様性を前提として、確率的効用理論などの統一的行動規範で定式化していない。また、エージェントのランダム性・あいまい性を考慮し「相互作用」の記述を前提とする。多様なエージェントの局所的行動変化が都市交通現象全体に波及する「創発現象」を観測する意図を持っている²⁾。

スマートシティの創出を目指した運輸部門に関する政策的アプローチを検討するため、マルチエージェント型的人工社会モデルを提案する。交通行動者をエージェントとし、モーダルシフトと低炭素車両の普及についての分析を行う。①実証的なモデル構成を実現するため、現実のパーソナリティ調査結果に基づくエージェント行動を記述する、エージェントのEVやHVにおける購入意識のプロセスを明確化し、普及過程を観測する。③現実的な都市交通環境変化についての考察から、スマートシティの創生プロセスを検討する。以上より、スマートシティを目指した都市交通政策の可能性について整理する。

3. マルチエージェントモデルの基本構成

本研究では、マルチエージェントシミュレータを応用した人工社会モデルを作成する。本研究では、中京都市圏の岐阜市を研究対象地域として設定した。

3.1 人工社会モデルの都市空間設定

本研究で構築する仮想空間は岐阜市の都市構造を参考としている。岐阜市総合計画「ぎふ躍動プラン・21」に位置

図けられる「13の地域生活圏」と第4回パーソントリップ調査(PT調査:平成13年実施)との整合をとる。そのため、本研究では図2に示すように、岐阜市を13区分で構成される仮想空間を設定している。

スマートハウス導入地区を「北西部②」とする。年間100世帯スマートハウスを導入する政策を実行する。本研究では、交通行動者を自律エージェントとする人工社会モデルを構築する。各エージェントには、表1に示す個人属性が設定されている。各エージェント単位の交通行動をモデル化する。サンプル数は4,131となり、人口の1/100スケールとする。

- 1) 就業者・就学者エージェントの対する就業日の設定をする。平均的な就業者・就学者の異なる行動を想定した設定である。①就業者：月曜～金曜：80%，土曜：40%，日曜：20%の確率を用いて、一様乱数を発生させる。②就学者：月曜～金曜：100%，土曜：40%，日曜：0%の確率を用いて、一様乱数を発生させる。③その他：日曜～土曜：0%の確率を用いる。
- 2) 2011年自動車保有台数(全国)の実績値を参考に、自動車を保有するエージェントに対して、確率に従って車種構成を決定する。①軽自動車：30%，②小型乗用車：35%，③普通乗用車：25%，④ハイブリッド乗用車：9%，⑤電気自動車：1%の確率を用いる。
- 3) 所得レベルは低所得者層，中所得者層，高所得者層がそれぞれ3分の1の割合で存在すると設定する。

3.2 エージェントの意思決定構造過程

人工社会モデルでは、各エージェントは日常的に交通行動パターンを決定するとともに、交通行動者のガソリン自動車からEV・HVへの利用車両の変更に関する意思決定を行う。都市空間におけるエージェントの意思決定結果の集合として、スマートシティにおける都市活動が構成される。図3にエージェントの意思決定過程を示す。

交通行動者(エージェント)の意思決定として、①交通手段選択、②EV・HV導入の検討の2種類を考える。また、交通手段選択では、日常的な意思決定に対応するため、1日単位で意思決定を行う。車両の購入車種決定は、比較的長期のエージェントの意思決定である。ここでは、一定の割合で車両の更新時期に至ったエージェントのみが意思決定を行う。

利用交通手段は、①自動車(EV・HVを含む)、②公共交通機関、③徒歩・二輪とする。図4に、利用距離に対応した徒歩・二輪の選択確率を設定する。ここでは移動距離として、自宅と勤務先のユークリッド距離を用いる。決定される選択確率に応じて徒歩・二輪の選択を決定する。徒歩・二輪の非選択者となったエージェントは、①自動車、②公共交通機関の選択を行う。ここでは、EVやHVは航続距離の制限を考慮する。EVの選択において、過去1年間の1日平均移動距離が50km未満のみ選択の対象となる。HVの選択において、過去1年間の1日平均移動距離が

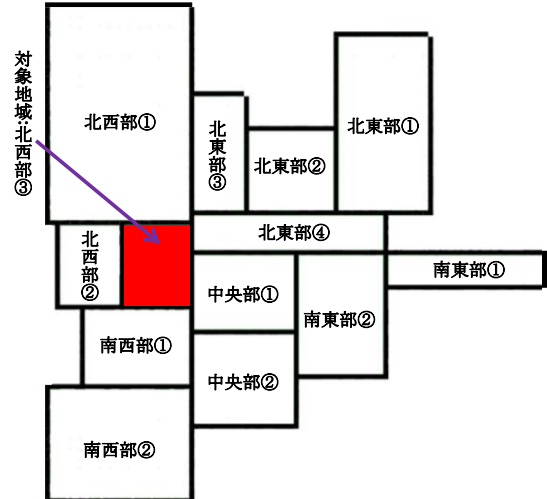


図-2 人工社会モデル対象地域(岐阜市)

表-1 エージェントの基本属性

年齢・性別	パーソントリップ調査結果(属性レコード)
就業状況	1: 就業者、2: 就学者、3: その他
居住地・勤務地	小ゾーン単位に設定
就業曜日	曜日ごとに出勤・休日を設定
保有自動車の種類	0: 保有なし、1: 軽自動車、2: 小型乗用車、3: 普通乗用車、4: ハイブリッド乗用車、5: 電気自動車
運転免許の保有	運転免許の保有状況を設定(免許の有無)
世帯人数・世帯主	パーソントリップ調査結果(世帯人数)
所得レベル	1: 低所得、2: 中所得、3: 高所得

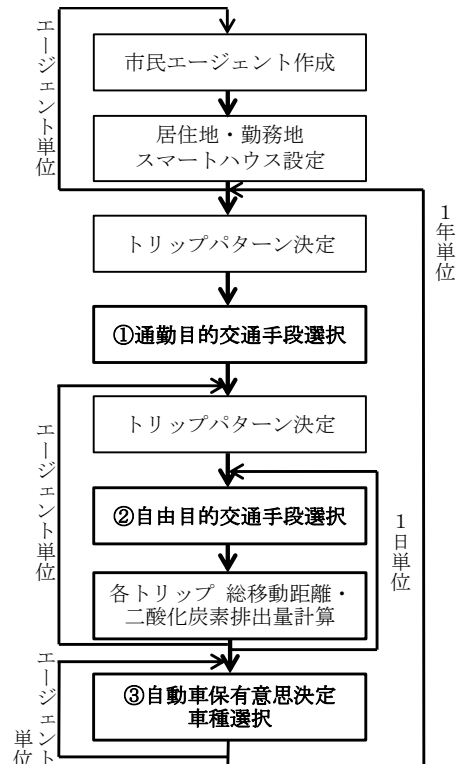


図-3 エージェントの意思決定過程

10km未満であり、世帯人数1人の方か世帯主以外の方が選択の対象となる。

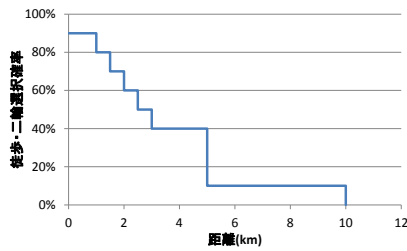


図-4 徒歩・二輪の選択確率

上記のエージェントの①自動車、②公共交通機関の交通機関選択プロセスについて簡略ファジィ推論を用いて定式化する。これは、エージェントの意思決定において、あいまいな情報処理と経験的知識に基づく推論過程を表現するものである。ここでは、自由目的を例に具体的に述べる。説明要因として、TM: 所要時間、TC: 所要費用を用いる。具体的には、TC: 所要費用として、①自動車の燃料費、②公共交通機関の運賃を用いる。この場合の簡略ファジィ推論で用いられる推論ルールを図-5 に示す。

Rule 1: If TM is small	and TC is small	then GR is large.
Rule 2: If TM is small	and TC is medium	then GR is large.
Rule 3: If TM is small	and TC is large	then GR is medium.
Rule 4: If TM is medium	and TC is small	then GR is large.
Rule 5: If TM is medium	and TC is medium	then GR is medium.
Rule 6: If TM is medium	and TC is large	then GR is small.
Rule 7: If TM is large	and TC is small	then GR is medium.
Rule 8: If TM is large	and TC is medium	then GR is small.
Rule 9: If TM is large	and TC is large	then GR is small.

図-5 交通手段選択の推論ルール

各説明変数に対する言語変数（メンバシップ関数）の形状を図-6 に示す。メンバシップ関数の形状はパラメータの設定値に依存している。各変数ごとの試行錯誤法により決定される。

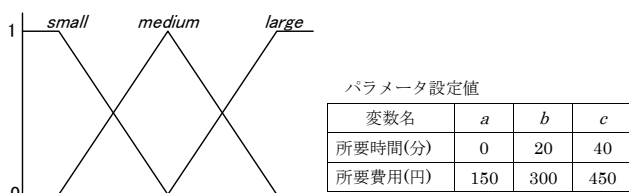


図-6 各説明変数のメンバシップ関数

3.3 電気自動車(EV)・ハイブリッド車(HV)導入決定モデル

本モデルでは、1年ごとの車両購入者に関する車両選択を考える。EV・HV導入決定モデルのフローを図-7に示す。乗用車について、車両の大きさ・排気量から、軽自動車・小型乗用車・普通乗用車・EV・HVに分類する。各エージェントは上記のような選択肢から購入車種を決定する。このとき、エージェントは自動車に対する総保有費用に基づいて意思決定を行うと考える。総保有費用は次式で示すように、車両の購入費用と走行費用の総和とする。

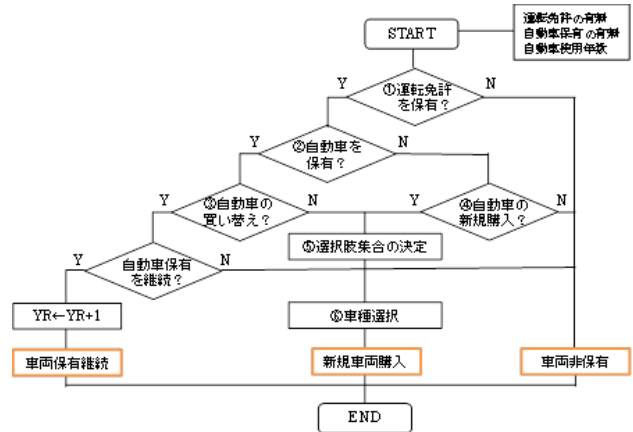


図-7 EV・HV導入決定モデルのフロー

$$CP_i = CV_i + l_s \times e_i \quad (1)$$

(CP_i : 車両*i*の総費用(円), CV_i : 車両*i*の購入費用(円), l_s : エージェント*s*の予定走行距離(km), e_i : 車両*i*の走行単価(円/km))

それぞれの車種の運行費用を表-2に示す。購入費用は、車両価格に対応する。車両の総走行費用は、予定走行距離と走行単価から算定する。走行単価は各車種の単位距離走行あたりのガソリン・電気の消費量に単位燃料費を乗じて算定する。さらに、予定走行距離は、購入予定車両に対して、将来的に想定される利用走行距離を示す。具体的には、各エージェントが現在利用中の車両のこれまでの実績走行距離と同一の値を想定する。以上のように、選択肢集合の各車種に対して、それぞれ総費用を算定し、最小値を与える車種が選択される。

表-2 各車種の運行費用の設定

	車両価格 (万円)	燃費(走行可 能距離)	燃料費	走行単価(円/km)
軽乗用車	100	15km/ℓ	150円/ℓ	10円/km
小型乗用車	150	12km/ℓ	150円/ℓ	12.5円/km
普通乗用車	300	10km/ℓ	160円/ℓ	16円/km
ハイブリッド乗用車	250	30km/ℓ	150円/ℓ	5円/km
電気自動車	400	0.125kWh/km	20円/kWh	2.5円/km

4. スマートシティにおけるエージェント交通行動モデル

スマートハウスの導入に伴うエージェントの交通行動のモデル化を検討する。ここでは、エージェントのEV・HV導入の検討を行う。

4.1 利用交通機関の推計

スマートハウス導入時の環境変化動向を記述するために、人工社会モデルを利用する。人工社会モデルではエージェントモデルを具体化するため、コンピュータ画像を構成している。この画像表示では主として環境負荷量(二酸化炭素排出量)と車両の空間的分布を表示している。また、観測期間を20年とする。図-8に初期状態と20年後の二酸化炭素排出量と車両保有状況を示す。ここでは、二酸化炭素排出量のランクにより色彩表現されている。

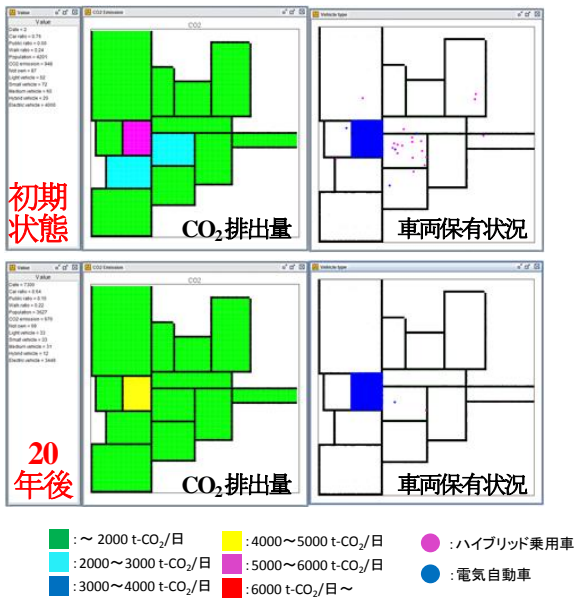


図-8 二酸化炭素排出量及び車両保有状況

図-9にエージェントの日常的活動の蓄積に基づく利用交通機関の経年変化を示す。本モデルでは、外生的にエージェント数が経年的に減少するため、都市圏のトリップ数は減少傾向となる。最終年次のトリップ数は、初年に対して2.6%減少している。最終的に20年間で自動車の分担率は17%現象、公共交通利用率は17%増加、徒歩・自転車は0.1%増加する傾向である。

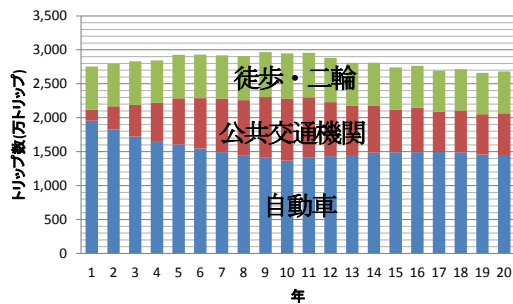


図-9 利用交通機関の経年変化

4.2 二酸化炭素排出量の推計

環境影響を表す指標である二酸化炭素排出量の算定方法を示す。ここでは、各エージェントのトリップに対して二酸化炭素排出量を算定する。本モデルでは、交通機関として自動車、公共交通、徒歩・二輪の3種類を用いている。このうち、徒歩・二輪はトリップでは二酸化炭素は排出されない。また自動車の場合は、ガソリン・電気消費量に表-3に示す二酸化炭素排出係数を乗じて算定する。EVでは、走行による直接の二酸化炭素排出量はないが、発電時に二酸化炭素を排出するため、この値を排出係数としている。また、公共交通機関は鉄道を想定し、この場合の単位距離当たりの排出係数を用いて排出量を算定する。

表-3 交通機関・燃料別二酸化炭素排出量

交通機関・燃料	CO ₂ 排出係数
自動車・ガソリン	2.31 kg-CO ₂ /ℓ
自動車・電気	0.444kg-CO ₂ /kWh
公共交通機関 (鉄道)	0.019kg-CO ₂ /人・km

図-10に20年間の二酸化炭素排出量の経年変化を示す。全般的には自動車トリップ数の減少とエコカーの普及により、二酸化炭素排出量は逡減する傾向にある。最終的に20年目の排出量は初年度から約10.5%減少する。

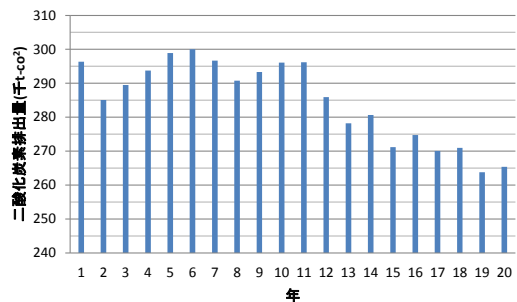


図-10 二酸化炭素排出量の経年変化

5. おわりに

本研究では、スマートシティにおける都市交通政策についての検討を行うための人工社会モデルの展開を試みた。具体的な成果を以下に示す。

- 1) 交通行動記述の精緻化を実行した。①パーソントリップ調査結果から、現実的エージェント属性を設定した。②交通手段選択モデルでは、徒歩・二輪の選択に移動距離を考慮した。③自動車保有モデルでは、EVの購入意識と周辺環境の関係を明確にした。
- 2) 現行トレンドの設定として、人口の減少とHV・EVの増加を考えている。

今後の課題として①モデルの実用性を検討するためのデータ整備、②エージェントの意思決定プロセスに関する実証的調査、③視覚的表現を含めた先進的コンピュータ技術の導入があげられる。

謝辞：最後に本研究を遂行するにあたって、資料収集に関連して、岐阜市企画部・都市建設部・自然共生部・まちづくり推進部等に多大な御尽力を頂きました。ここに記し感謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1) 日本交通政策研究会 (2011) 「低炭素社会を目指した都市道路網における道路交通運用方策の研究 低炭素交通研究プロジェクト (PL: 秋山孝正)」, 『日交研シリーズ A-531』.
- 2) 秋山孝正, 奥嶋政嗣, 和泉範之 (2007) 「マルチエージェント型フェジィ交通行動モデルの提案」, 『土木計画学研究・論文集』, Vol. 24, pp. 489-490.