

課題番号 11-NA09

都市圏レベルの交通・都市システム評価モデル（活動・交通行動マイクロシミュレーション及び情報可視化）の開発

森川高行（名古屋大学）

概要 都市圏レベルの交通・都市システムの評価システムの開発として、数百万人の個々人の活動・交通行動を時間軸に沿って再現可能な活動・交通行動マイクロシミュレータの構築、さらに施策導入による行動や交通量の変化、CO₂削減量などの各評価指標を、一般市民の合意形成プロセスに提示できるように効果的な可視化/動画化の検討を研究目的とする。本年度はシミュレータの再現性や操作性の検証とともに、国の成長戦略にも挙げられているスマートシティの検討を想定し、電気自動車の普及が都市交通や電力エネルギーに及ぼす影響分析を行った。今後の課題として、並列計算処理の効率性向上、ロードプライシングを中心とした複数の交通施策を組み合わせた導入評価、評価指標の可視化やシミュレーション結果の動画化に向けた検討がある。

1. 研究の目的と意義

(1) 研究目的

急務の環境問題対策や高齢化社会における交通弱者への対応として、自動車利用の適正化や効率化、公共交通利用促進などの交通施策が実施・検討されている。しかし、近年の公共事業への不信感増大により、これまでの行政サイドの判断に、市民をはじめとした多くの利害関係者の意見を組み込むプロセスを追加した、事業実施に向けた合意形成が必要不可欠となっている。その際、交通施策を導入した際の人々の活動や交通行動の変化、それに伴う交通状況や経済活動等への影響を客観的に把握することは重要であり、定量的な評価指標を提供するのが交通需要予測である。しかし、従来の交通需要予測モデルは、例えば検討対象道路の自動車交通量などの量的な評価指標の再現精度は高いが、その算出過程で人々の行動変化（質的变化）を考慮していないなど予測モデル自体に課題・改善点も多い。また、予測作業が高度に複雑化・専門化し、情報公開不足によって一般市民が理解・入手できる内容はごく一部の最終的な評価指標だけとなり、事業の正当性を促進させるために作業上で何か不正をしているのではないかなど、新たな疑念を生じさせている。以上を背景として、本研究では都市圏レベルの新たな交通需要予測モデルとして、数百万人の個々人の活動・交

通行動を時間軸に沿って再現可能なマイクロシミュレータを開発し、さらに交通施策導入による行動や交通量の変化、CO₂削減量などの各評価指標を効果的に可視化（動画化も含む）するプロセスを組み込むことで、一般市民の合意形成が得られやすい評価モデルの構築を目的とする。

(2) 研究意義

我が国のCO₂排出量の約2割を占める運輸交通部門の対策として、自動車利用の適正化と効率化、電気自動車など次世代自動車への転換が有効とされている。自動車利用の適正化・効率化については、道路利用に課金を行う“ロードプライシング”の有効性が再確認されつつあり、課金システムの技術進展により海外では導入事例も多い。一方、行政サイドは新たに課金収入を得られるため公共交通への投資計画などを提示するものの、追加的な支払に対する市民の嫌悪感も強く、合意形成過程で失敗する事例も多い。ロードプライシング導入による自動車利用者への追加的負担と不公平感、環境負荷削減効果、地方経済への影響など市民の関心事を交通需要予測にて丁寧に説明することが重要である。そのため、本研究では評価対象の交通施策としてロードプライシングの導入事例に即した評価モデル構築を考える。また、電気自動車などの次世代自動車への転換促進も有効な対策で

あるが、電気自動車は充電時間や航続距離など既存の自動車よりも利用時の制約が多くなる。これらの要因を出来る限り反映した活動・交通行動モデルの再構築し、電気自動車の利用状況や都市圏内での地区別集中度合いや滞留状況を把握することは、最近注目を集める効率的なエネルギーシステムを備えた都市システムである“スマートシティ”の在り方を検討する際の定量的な根拠データになるとも考えている。以上より、本研究成果は新たな交通需要予測モデルの提案に留まらず、世界中に適用可能な都市システムの評価モデルの構築も担うものであり、研究意義は非常に高い。

2. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

(1) 共同研究を実施した大学名と研究体制

名古屋大学

研究体制は、森川高行（名古屋大学大学院環境学研究科）、石井克哉（名古屋大学情報基盤センター）、山本俊行（名古屋大学エコトピア科学研究所）、高橋一郎（名古屋大学情報連携統括本部）、金森亮（名古屋工業大学大学院工学研究科）であり、名古屋大学の計算機など研究資源を利用。

(2) 共同研究分野

超大規数值計算系応用分野

(3) 当公募型共同研究ならではの事項など

低炭素社会に相応しい都市システムを議論するにあたり、都市圏内の居住者の活動・交通行動を簡略化した全国レベルのマクロ評価、個別施設周辺の人々の流動を把握する必要がある建築・設計レベルのミクロ評価など、分析視点は多様である。本研究で対象とする都市圏レベルは、名古屋都市圏であれば名古屋市を中心とした半径 40km 圏域、居住者約 800 万人を対象とし、500 地区程度に分割したゾーン数にて各個人の活動・交通行動を再現するものであり、マクローミクロの中間に位置するメソスケールの評価となる。これまでメソスケールの都市交通システムの評価モデルは行政単

位である市区町村区分でなされ、市区町村内の交通行動などは省略されることが多かったが、今後は日常生活圏（市区町村内）の活動状況、高齢者数増加や環境意識向上によって徒歩や自転車といった非動力系の交通手段の利用状況を把握することも重要となる。本研究で開発する交通需要予測モデルは、日常生活圏よりも詳細な 1km メッシュ単位でもモデル構築が可能であり、かつメッシュ内の詳細な自動車交通流や活動状況を分析するためのミクロレベルの評価モデルへのデータ受け渡し（各個人や自動車の出発ー到着地点：OD 交通量）が可能である。これまで、ミクロレベルで各個人の交通行動や自動車交通流を再現・評価するためのモデルは構築されてきたが、本研究のようにミクロレベルと同様のモデル構造でメソレベルの評価モデル構築は数少ない。さらに、本研究では一般市民への説明力向上を目指して算出結果の可視化に取り組むため、これまでになかったメソスケールの交通・都市システムの評価モデルであるといえる。ただし、シミュレーション実行にはスーパーコンピュータでの並列計算や膨大なメモリ確保が現実的手段であり、情報基盤センターとの共同研究が必要であった。

3. 研究成果の詳細と当初計画の達成状況

(1) 研究成果の詳細について

i) 活動・交通行動マイクロシミュレーション

a) 活動・交通行動モデルの概要

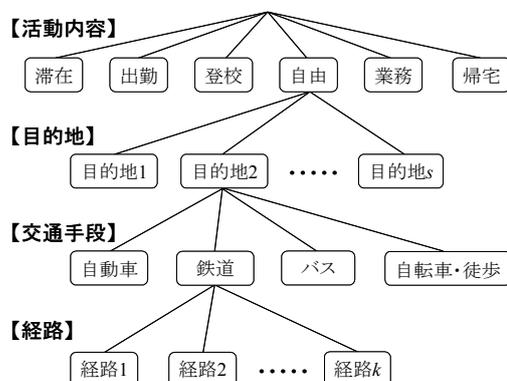


図-1 活動・交通行動の選択ツリー構造

時間帯 T におけるゾーン r の滞在箇所 l に居る個人の活動・交通行動は、図-1 に示す活動内容一目的地一交通手段一経路の 4 レベルの選択ツリー構造からなる、Nested Logit モデルにて記述できると仮定する。以下では、各レベルの選択確率等について示す。

✓ 経路選択

時間帯 T において、移動目的 i にて OD ペア rs 間を交通手段 m で移動する場合、経路 k の選択確率は以下の式で表現できる。

$$\Pr[k | i, rs, m] = \frac{\exp[-\theta_1^{i,m} C_{m,k}^{i,rs}(T)]}{\sum_k \exp[-\theta_1^{i,m} C_{m,k}^{i,rs}(T)]}$$

$C_{m,k}^{i,rs}(T)$: 時間帯 T において、移動目的 i にて OD ペア rs 間を交通手段 m で移動するときの経路 k の交通一般化費用（所要時間、通行料金 p_a 、運賃、乗換回数、アクセス/イグレス距離等を時間価値 τ^i 等で一般化所要時間に変換したものであり、時間帯別の混雑状況、運行頻度により変化）

$\theta_1^{i,m}$: 移動目的 i の交通手段 m における経路選択に関するスケールパラメータ

競合する経路を適切に考慮しなければ交通需要予測の過大評価に繋がるという知見もあるように、競合経路の考慮は重要である。しかし、バス、自転車・徒歩については適切な代替経路や所要時間の設定が困難であったため、所要時間最短経路を選択するものとし、経路選択モデルは適用していない。従って、自動車および鉄道利用時のみに経路選択モデルを適用している。

✓ 交通手段選択

時間帯 T において、移動目的 i にて OD ペア rs 間を移動する場合、交通手段 m の選択確率は以下の式で表現できる。

$$\Pr[m | i, rs] = \frac{\exp[-\theta_2^i (V_m^{i,rs} + S_m^{i,rs}(T))]}{\sum_m \exp[-\theta_2^i (V_m^{i,rs} + S_m^{i,rs}(T))]}$$

$$S_m^{i,rs}(T) = -\frac{1}{\theta_1^{i,m}} \ln \sum_k \exp[-\theta_1^{i,m} C_{m,k}^{i,rs}(T)]$$

$V_m^{i,rs}$: 移動目的 i にて OD ペア rs 間を交通手段 m

で移動することで得られる効用の内、交通手段 m を選択することのみから得られる効用の確定項

$S_m^{i,rs}(T)$: 時間帯 T において、移動目的 i にて OD ペア rs 間を交通手段 m で移動するときの期待最小費用

θ_2^i : 移動目的 i の交通手段選択に関するスケールパラメータ

交通手段選択モデルはゾーン間の移動のみに適用している。交通手段選択肢として自動車、鉄道、バス、自転車・徒歩を設定するが、名古屋市以外ではバス分担率が低いため、バスは名古屋市内々交通のみに設定している。また、自動車運転免許非保有かつ自動車非保有者が自宅から移動する場合、自動車を選択肢集合から除外し、鉄道・バスにてそれぞれ目的地まで到着できない（営業範囲外や営業時間外）場合、選択肢集合から除外している。

✓ 目的地選択

時間帯 T において、移動目的 i にてゾーン r から移動する場合、目的地 s の選択確率は以下の式で表現できる。

$$\Pr[s | i, r] = \frac{\exp[-\theta_3^i (V_s^i + S_{rs}^i(T))]}{\sum_s \exp[-\theta_3^i (V_s^i + S_{rs}^i(T))]}$$

$$S_{rs}^i(T) = -\frac{1}{\theta_2^i} \ln \sum_m \exp[-\theta_2^i (V_m^{i,rs} + S_m^{i,rs}(T))]$$

V_s^i : 移動目的 i にて目的地 s を選択することで得られる効用の内、目的地 s を選択することのみから得られる効用の確定項

$S_{rs}^i(T)$: 時間帯 T において、移動目的 i にて OD ペア rs 間を移動するときの期待最小費用

θ_3^i : 移動目的 i の目的地選択に関するスケールパラメータ

トリップチェーン再現のためにゾーン内々交通も対象としているため、ゾーン内々ダミーを導入してその効用を表現する。また、帰宅目的の場合、目的地は自宅ゾーンに固定されるため目的地選択モデルは適用していない。

✓ 活動内容選択

時間帯 T においてゾーン r の滞在箇所 l から活動（移動目的） i を行う選択確率は、以下の式で表現できる。

$$\Pr[i | r, l] = \frac{\exp[-\theta_4^i (V_{r,l}^i + S_r^i(T))]}{1 + \sum_i \exp[-\theta_4^i (V_{r,l}^i + S_r^i(T))]}$$

$$S_r^i(T) = -\frac{1}{\theta_3^i} \ln \sum_s \exp[-\theta_3^i (V_s^i + S_{rs}^i(T))]$$

$V_{r,l}^i$: ゾーン r の滞在箇所 l にて活動（移動目的） i を行うことで得られる効用の内、活動（移動目的） i を選択することのみから得られる効用の確定項

$S_r^i(T)$: 時間帯 T において、移動目的 i にてゾーン r を移動するときの期待最小費用

θ_4^i : 滞在箇所 l における活動内容選択に関するスケールパラメータ

活動内容の選択肢としては、滞在、出勤、登校、自由、業務、帰宅を設定するが、選択肢集合は滞在箇所や職業、活動履歴によって異なる。そのため、滞在箇所を“自宅”、“勤務先・通学先”、“その他外出先”に区分して、モデルを適用している（自宅は帰宅、勤務先・通学先は出勤・登校を選択肢集合から除外）。加えて、就業者は登校、就学者は出勤、主婦・無職は出勤・登校を選択肢集合から除外し、出勤・登校は前時間帯までに行われている場合には選択肢集合から除外するなど、状況に合わせて適宜選択肢集合を設定している。また、本モデルでは滞在（移動しない）の効用を基準値として「0」と設定している。

一方、本モデルは各時間帯内における活動回数を 1 回のみ限定していることになるため、適切な時間帯幅の設定が必要となる。平均移動時間、交通需要の時間変動、自動車の混雑状況や鉄道・バスの運行頻度、時間帯別均衡配分モデルの初期条件等を勘案して、本研究では時間帯幅を「1 時間」と設定する。

b) 等価最適化問題

前節にて示した各レベルの選択確率を用いると、

時間帯 T における各種交通量は、以下の様に個人の活動・交通行動結果を集計することで得られる。（ここで、時間帯 T を表す添字は省略）

$$f_{m,k}^{i,rs} = q_m^{i,rs} \Pr[k | i, rs, m]$$

$$q_m^{i,rs} = Q_{rs}^i \Pr[m | i, rs]$$

$$Q_{rs}^i = O_r^i \Pr[s | i, r]$$

$$O_r^i = \sum_l O_{r,l}^i$$

$$O_{r,l}^i = N_{r,l}^{T-1} \Pr[i | r, l]$$

$$\sum_i O_{r,l}^i + O_{r,l}^0 = N_{r,l}^{T-1}$$

$f_{m,k}^{i,rs}$: 移動目的別・交通手段別経路交通量, $q_m^{i,rs}$: 移動目的別・交通手段別 OD 交通量, Q_{rs}^i : 移動目的別 OD 交通量, O_r^i : 移動目的別発生量, $O_{r,l}^i$: 滞在箇所別・移動目的別発生量, $O_{r,l}^0$: 滞在箇所別滞在者数, $N_{r,l}^{T-1}$: 前時間帯の滞在箇所別滞在人口（前時間帯の滞在者数と到着した人数（集中交通量）の和）

このとき、個人の活動・交通行動を Nested Logit モデルで記述するとともに、時間帯別のネットワーク均衡条件を満足するような交通フローパターンを求める均衡モデルは、マルチクラス型の時間帯別・確率的統合均衡モデルとして表され、以下の等価最適化問題として定式化できる。（ここで、時間帯 T を表す添字は省略）

$$\begin{aligned}
 \min . Z = & \sum_a \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_{i,a} x_a^i p_a / \tau^i \\
 & + \sum_a \left\{ \max . (X_a^{T-1} + x_a - \mu_a, 0) \right\}^2 / (2\mu_a) \\
 & + \sum_{i,rs,m,k} \frac{1}{\theta_1^{i,m}} f_{m,k}^{i,rs} \ln(f_{m,k}^{i,rs} / q_m^{i,rs}) \\
 & + \sum_{i,rs,m} \frac{1}{\theta_2^i} q_m^{i,rs} \ln(q_m^{i,rs} / Q_{rs}^i) \\
 & + \sum_{i,rs} \frac{1}{\theta_3^i} Q_{rs}^i \ln(Q_{rs}^i / O_r^i) \\
 & + \sum_{r,l} \frac{1}{\theta_4^i} [O_{r,l}^0 \ln(O_{r,l}^0 / N_{r,l}^{T-1}) + \sum_i O_{r,l}^i \ln(O_{r,l}^i / N_{r,l}^{T-1})] \\
 & + \sum_{i,rs,m',k} f_{m',k}^{i,rs} C_{m',k}^{i,rs} + \sum_{i,rs,m} q_m^{i,rs} V_m^{i,rs} \\
 & + \sum_{i,rs} Q_{rs}^i V_s^i + \sum_{i,r,l} O_{r,l}^i V_{r,l}^i
 \end{aligned}$$

$$\text{subject to } \sum_i x_a^i = x_a, \quad \forall a$$

$$x_a^i = \sum_{rs,k,a} f_{m,k}^{i,rs} \cdot \delta_{a,k}^{i,rs}, \quad \forall i,a$$

$$\sum_k f_{m,k}^{i,rs} = q_m^{i,rs}, \quad \forall i,rs,m$$

$$\sum_m q_m^{i,rs} = Q_{rs}^i, \quad \forall i,rs$$

$$\sum_s Q_{rs}^i = O_r^i, \quad \forall i,r$$

$$\sum_l O_{r,l}^i = O_r^i, \quad \forall i,r$$

$$\sum_i O_{r,l}^i + O_{r,l}^0 = N_{r,l}^{T-1},$$

$$\begin{aligned}
 f_{m,k}^{i,rs} \geq 0, \quad q_m^{i,rs} \geq 0, \quad Q_{rs}^i \geq 0, \\
 O_r^i \geq 0, \quad O_{r,l}^i \geq 0, \quad O_{r,l}^0 \geq 0
 \end{aligned}$$

x_a^i : 移動目的別自動車リンク交通量,

$\delta_{a,k}^{i,rs}$: OD ペア rs 間の移動目的別自動車交通の経路 k にリンク a が含まれるとき 1, 含まれないとき 0

この問題の最適解が満足すべき Kuhn-Tucker 条件を求めると、先に示した Nested Logit モデルを導出することができる。また、目的関数の凸性は、

$$t_a(x_a) > 0, \quad \frac{\partial t_a(x_a)}{\partial x_a} > 0, \quad \theta_1^{i,m} > \theta_2^i > \theta_3^i > \theta_4^i > 0$$

の条件下で狭義凸関数となることがわかる。制約条件による実行可能領域は凸集合であることから、目的関数の解の一意性は保証される。

目的関数は経路交通量により定式化されているが、起点別リンク交通量による表現も可能である。従って、部分線形化法を用いることで、都市圏レベルの大規模ネットワークでも効率的に計算が可能となる。

名古屋都市圏の居住者 800 万人、一人ひとりの活動・交通行動を計算する必要がある、また、入力条件として各交通手段のサービスレベルの他、前時間帯までの活動・交通行動履歴が必要となる。そのため、今回は名古屋大学情報基盤センターのスーパーコンピュータシステム HX600 を利用し、16CPU コアの並列化計算にて実行した。その結果、1 日 24 時間のシミュレーションにおおよそ 24 時間の計算時間となり、現実的に実行可能なシミュレーションとなった。本研究では Fortran の OpenMP で並列化を行ったが、今後は更なる並列化として MPI の適用も考えていく必要がある。

ii) 電気自動車の普及による都市交通への影響

a) 前提条件

分析対象地域は名古屋都市圏（名古屋市を中心として約 40km 圏域）とする。また、環境改善目標年次として頻りに設定される 2020 年を対象年次とし、2020 年の居住者数、通勤・通学先を設定した。なお、活動・交通行動モデルの各種パラメータは、2001 年に実施されたパーソントリップ調査からランダム抽出したサンプルから推定し、再現性は妥当であることを確認している。

EV 保有者の設定は、2020 年の全国の保有率推計値（次世代自動車：17%、EV：3%）を参考に、自動車運転免許保有・自動車保有者数の 10%とした。その結果、都市圏全体（約 805 万人）での EV 保有者数は約 47.2 万人（保有率：約 6%）となった。

ガソリン代と比較して電気代は安く、EV の走

行費用は相対的に安くなるため、EV 保有者は自動車よりも選択しやすい環境となる。本研究では、交通手段選択の走行費用に係るパラメータは自動車保有状況で変わらないと仮定し、入力データとなる走行費用のみをそれぞれ与えることとした。EV とガソリン車の走行費用は次の通りである。

- ・ EV : 2 円/km
- ・ ガソリン車 : 15 円/km

EV の航続距離に関する物理的制約や不安感は考慮できておらず、今後の課題である。しかし、EV の走行費用減少の影響を交通手段選択に加えて、ログサム変数を通じて活動内容選択（誘発交通）まで反映することが可能となる。

b) 都市交通への影響分析

自動車走行台キロと走行台時の基準ケースからの変動をみたが、大きな変化はなかった。一方、EV 普及による CO2 と NOx の排出量削減効果は確認でき、CO2 はで -4% 程度であった。なお自宅発電に係る CO2 排出量は全排出量の 1~2% を占めている。

本研究では、個人情報を持してシミュレートするため、ケース間の EV 保有前後の活動・交通行動を比較することができる。EV などのエコカー保有者は自動車依存度を高める恐れがあることが指摘されており、本研究で EV 保有者前後の自動車利用回数、自動車総走行距離、生成原単位について個人属性別に検定したところ、どの属性でも統計的には変化がない結果となった。本研究の交通需要予測モデルの限界もあるが、休日も含めた 1 週間程度の利用頻度を算出できるようにし、アンケート調査と共に EV 保有による誘発的増加の影響を検証する必要がある。

続いて、EV の駐車状況について分析していく。

図 2 は EV 保有者の時間帯別活動・交通行動を集計したものであり、EV を利用している時間割合は少なく、多くの時間帯で自宅や勤務先他にて滞在し、活動していることが分かる。時間帯別の EV 駐車箇所（図 3）をみると、全時間帯で自宅に駐車している割合が最も高く、EV 以外で移動する保有者も 3 割弱いることから昼間でも 50% 以上となった。また、多くの EV 保有者の勤務時間帯で

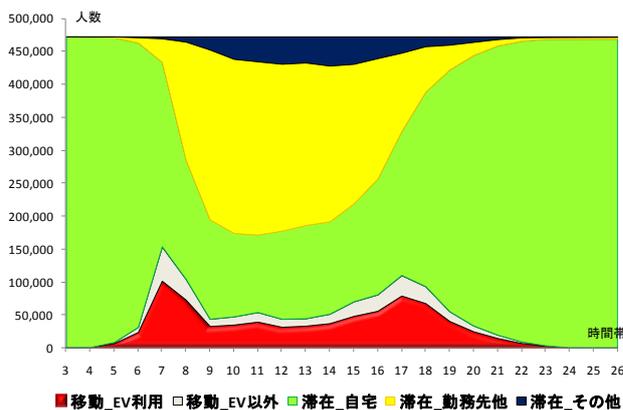


図 2 時間帯別 EV 保有者活動・交通状況

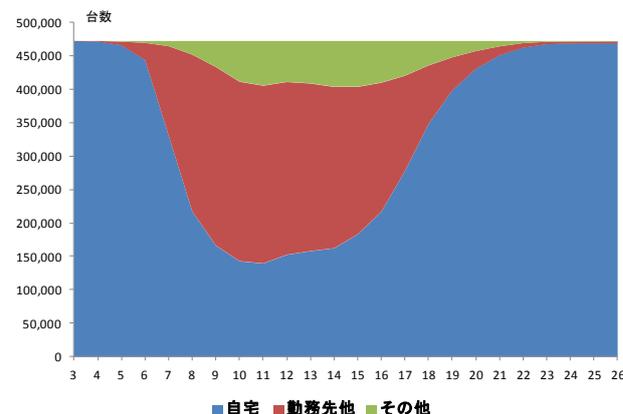


図 3 時間帯別 EV 駐車箇所

ある 9~16 時台は勤務先の割合は 32~39% と高くなっている。平均駐車時間は勤務先で 8.3 時間、その他外出先で 1.3 時間であり、EV の蓄電機能を適切に利用することで消費電力のピークカットを実施できる可能性は高い。

c) 電力需要への影響分析

また、本研究では名古屋市の都市計画基礎調査データ（2006 年調査）を用いて、名古屋市内 259 ゾーンの電力需要を算出する。算出方法は、ゾーン別に建物用途別延床面積を集計し、電力需要原単位と季節・時間変動比率から任意の 1 日の時間帯別電力需要パターンを算出する。なお、今回は交通需要予測との整合を図るため、10 月の電力需要パターンにて分析を進めるが、名古屋市全体の算出結果より 10 月は 2 番目に小さな期間（5 月が最低）であり、最も需要が大きい 8 月は 10 月比 1.36 倍、冬場の最大需要月である 2 月は 10 月比で 1.22 倍となっている。

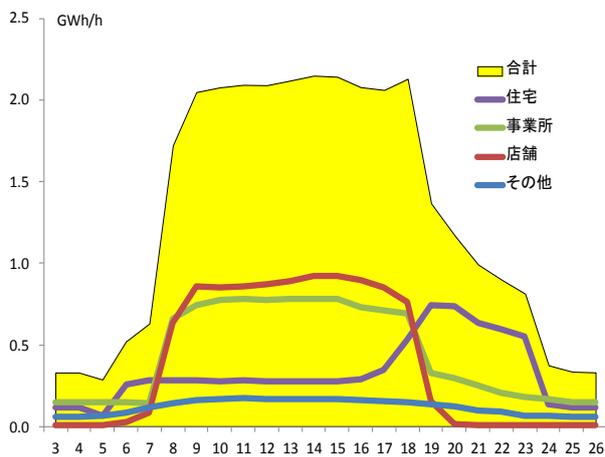


図 4 時間帯別建物用途別電力需要 (名古屋市)

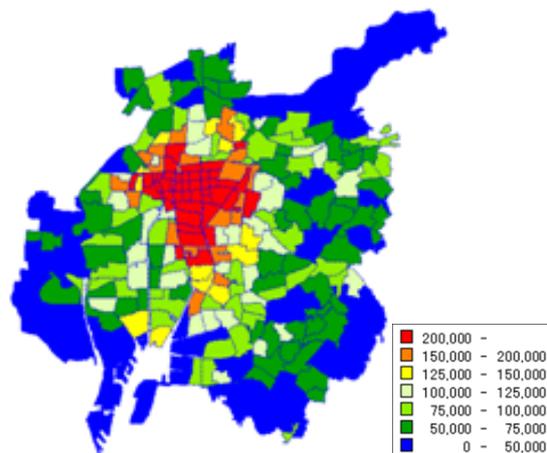


図 5 ゾーン別 1 日電力需要 (kWh/km²)

表 1 充放電ケース別電力負荷量の増減 [Case_0 比]

	1日	最大		最小	
Case_1	2.51%	57.73%	5時台	0.01%	8時台
Case_2	2.51%	57.73%	5時台	1.43%	26時台
Case_3	1.56%	5.27%	9時台	0.01%	23時台
Case_4	0.57%	57.73%	5時台	-5.35%	9時台

図 4 は名古屋市全体の時間帯別建物用途別の電力需要である。1 日の総電力需要は約 31GW であり、時間変動は 8 時台に急上昇し、18 時台まで 2GW 程度の利用が継続し、その後減少している。建物用途別にみると、住宅は多くの人帰宅後の活動場所となるため 19-20 時台にピークとなり、反対に事業所や店舗は営業時間である 8-18 時台にピークを持っている。また、ホテルと病院からなるその他の建物では、際立ったピークは見られない。次に、図 5 のゾーン別電力需要 (1 日総需要 : kWh/km²) をみると、事業所や店舗が集中している名古屋市中心部で相対的に高く、住宅割合の高い周辺部は相対的に低くなっていることがわかる。これは EV 駐車台時/km²とも似た関係性を持っており、次に EV の蓄電機能による V2G など、電力需要に及ぼす影響を考察する。

2020 年には EV の蓄電機能が十分に活かされる状況下 (自宅でも外出先でも充放電器が十分に整備されている) にあることを仮定し、EV の充放電による電力需要への影響を把握する。

設定するシナリオは以下の通りである。

【Case_0】: EV の充放電なし ([rnd] ケース)

【Case_1】: 自宅の充電器にて帰宅後に充電 (充

電開始時間の制約なし)

【Case_2】: 自宅の充電器にて夜間に充電 (充電可能時間を 23 時-6 時台に制約)

【Case_3】: 勤務先の充電器にて到着後に充電 (充電開始時間の制約なし)

【Case_4】: 自宅の充電器にて夜間に充電し、勤務先の充電器にて昼間に放電 (自宅での充電可能時間を 23 時-6 時台に制約、勤務先での放電可能時間を 9 時-18 時台に制約し、電池容量 5kWh まで放電可能)

また、充放電は 1 時間以上同一場所に滞在する際に行い、充電量によって EV 保有者の活動・交通行動は変化しないものとする。なお、EV の電池容量は全て 20kWh であり、充放電量は 1 時間当たり 1.5kWh と設定する。

午前 3 時に全ての EV の蓄電池が 14kWh (7 時までフル充電可能) からのシミュレーションを 3 回行い、これらの平均値を用いて EV 普及による電力需要への影響を分析する。名古屋市の 1 日電力需要への影響をみると、表 1 の通り、Case_1 と Case_2 は 2.5% 増、Case_3 は 1.6% 増、Case_4 は 0.6% 増となった。時間帯別にみると、自宅充電する場合 (Case_1, 2, 4) は 5 時台が 57.7%

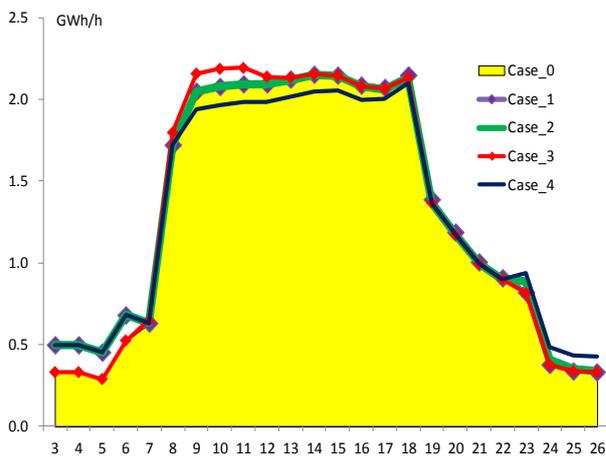


図 6 充放電シナリオ別電力需要 (名古屋市)

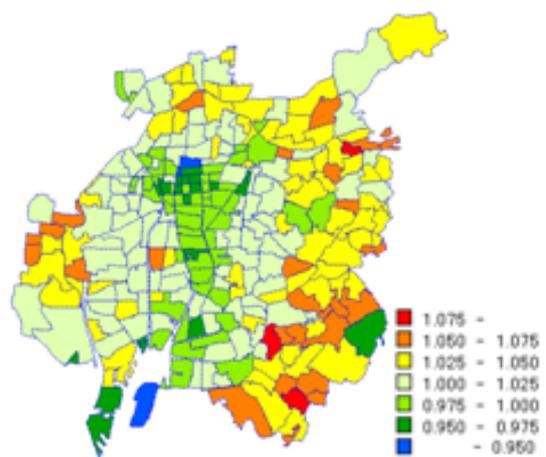


図 7 ゾーン別電力需要の変化 (Case_4)

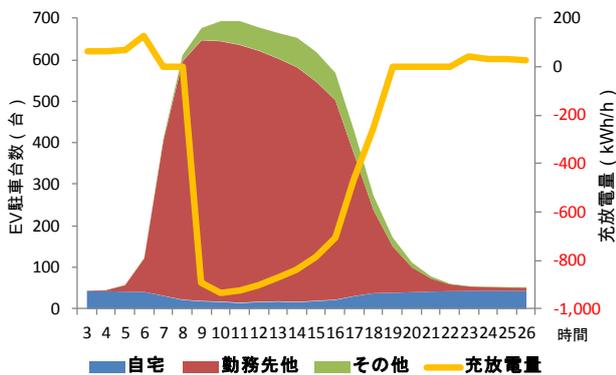


図 8 時間帯別 EV 駐車台数と充放電量 [601_Case_4]

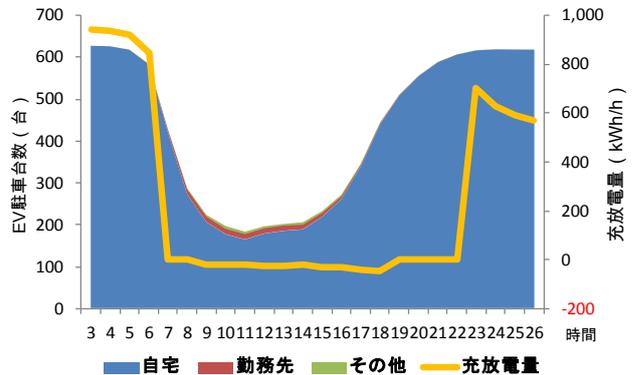


図 9 時間帯別 EV 駐車台数と充放電量 [1401_Case_4]

増と大きく影響を受ける。また、勤務先で充放電する場合 (Case_3, 4) は、充放電ともに 9 時台に最大 5% 程度の増減がみられる。

充放電シナリオ別に名古屋市の時間帯別電力需要をみると (図 6)、自宅夜間の充電による需要増加 (Case_1, 2, 4) は 58% 増であるが、需要量自体の増加は 0.2GW 程度である。昼間のピーク時間帯に注目すると、勤務先で充電可能とした Case_3 では 8-11 時台で 0.1GW (5%) 程度の増加となり、放電可能とした Case_4 では 9-16 時台で 0.1GW (5%) 程度の減少となった。

また、ゾーン別の電力需要の影響分析として Case_4 の電力需要の変化をみると (図 7)、自宅にて夜間充電される割合が高い周辺部の住宅地では 2.5% 以上増加するゾーンが多く、事業所や店舗が集中し、EV の駐車台時も大きい中心部では 2.5% 以上減少すると試算された。ここで、特に電力需要の増減が大きかったゾーンについて、時間帯別の EV 駐車台数と EV 充放電量の変化を集計

したものが図 8、図 9 である。図 8 は 1 日の電力需要が 6.7% 減少したゾーン [601] であり、ゾーン内の延床面積構成は自宅: 18%、事業所: 40%、店舗: 1%、その他: 41% であり、EV は昼間に勤務先他に多く駐車している地区である。その結果、夜間の自宅における充電量は少なく、昼間の放電量は 800kWh/h 以上となり、総電力需要が削減される。反対に図 9 は夜間の自宅での充電量にて 1 日の電力需要が 8.0% 増加したゾーン [1401] であり、ゾーン内の延床面積は自宅: 87%、事業所: 5%、店舗 7%、その他: 1% と住宅地区である。

以上より、EV の充放電を行った場合、名古屋市の電力需要への影響として、ピーク時に 5% 程度の変動が生じ、地区別によっては EV の充放電量が 800kWh/h 以上となる可能性があることが示された。なお、本研究では EV 走行中の回生ブレーキによる充電やゾーン内々移動距離は無視している。そのため、充放電量に小さくない誤差が含まれていることに注意が必要である。今後は更な

る影響分析として、太陽光発電による余剰電力の考慮、CO2 排出量の削減効果評価などを行っていく必要がある。

(2) 当初計画の達成状況について

本研究の当初計画では、①活動・交通行動マイクロシミュレーションの構築と計算効率化、②スマートシティ検討に資する交通施策評価、③評価指標の可視化・動学化の検討、が挙げている。①のシミュレーション構築については活動・交通行動パラメータの更新などを行うことができた反面、計算効率化については OpenMP から MPI への移行を考えていたができなかった。これは、当初予定よりもパラメータ更新に時間が掛かったことが原因であり、今後の並列処理について取り組んでいく必要がある。②の交通施策評価は本稿で紹介した電気自動車の普及が都市交通や電力需要に及ぼす影響分析の他、電気自動車専用道路の導入、ロードプライシングや LRT を同時に導入した場合など、多くのケースを評価することができ、当初予定以上の成果が得られた。③の可視化・動学化については、AVS を中心に GIS データや Google Earth との連携などを検討した。自動車交通量については、リンク別時間帯別交通量を動学化し(図 10)、名古屋都市圏における交通施策が導入された状況変化を確認した。また、住民らへのより理解しやすさについても検討し、今後は 3D 地図の利用(図 11)や様々な視点からの操作など、AVS の拡張機能にて充分対応できることを確認し、今後の展開方針について整理することができた。

以上の通り、計算効率化については今後の課題となったが、その他については当初予定を達成できた。

4. 今後の展望

本研究では、都市圏レベル(数百万人規模の居住者圏域)を対象とする活動・交通行動マイクロシミュレーションを実行するため、個々人の活動・交通行動を記述する行動モデルのパラメータ

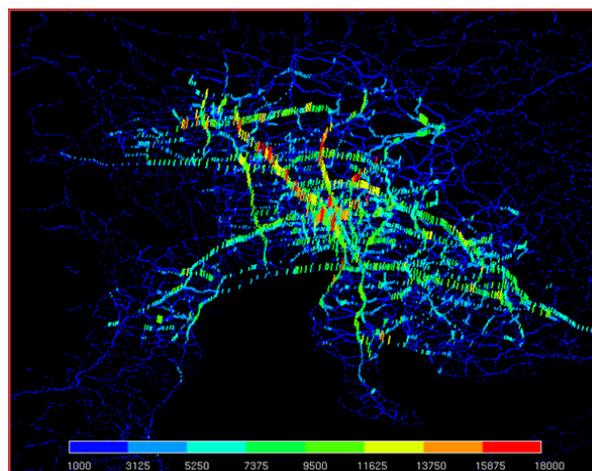


図 10 時間帯別自動車リンク交通量の動画



図 11 3D 地図と自動車交通量の描写

を事前に推定し、交通施策導入や時間軸に沿って変化する各個人の判断状況(活動・交通行動履歴や交通サービスレベルなど)を逐次に算出していく。ここで、時々刻々と変化する都市圏レベルの自動車や鉄道など各交通手段の交通状況(旅行時間)を算出するには膨大なメモリが必要となり、計算時間の短縮に向けた並列計算の実行のため、スーパーコンピューターを利用している。更なる計算効率化の向上を目指すことも重要であるが、本研究では大規模シミュレーションの実用化に重点を置き、実際の都市交通問題の解決方法として期待されているロードプライシングや低炭素社会における重要な交通手段となる電気自動車について分析を進めてきた。

本研究にて、低炭素社会の評価ツールとして有効であることを確認できたため、今後は更なる計算効率化について検討していく必要がある。また、活動・交通行動モデルの精緻化やパラメータ推定のためのサンプルデータ収集方法など、プローブデータなどの蓄積データの利活用が期待できるた

め、収集された（ビック）データとシミュレーションの融合なども検討していきたい。

5. 研究成果リスト

(1) 学術論文（投稿中のものは「投稿中」と明記）

・金森 亮, 森川高行, 奥宮正哉, 山本俊行, 伊藤孝行: 電気自動車の普及による都市交通と電力需要への影響分析, 土木学会論文集 D3, Vol.68 No.5, (投稿中)

・金森 亮, 新井秀幸, 山本俊行, 森川高行: 道路課金政策における課金収入再分配に関する研究, 土木学会論文集 D3, Vol.67 No.5, pp.I_673-I_681, 2011 年 12 月.

・金森 亮, 森川高行: 地域メッシュデータに基づく住宅地の遷移過程を考慮した将来人口予測手法の提案, 都市計画論文集, Vol.46 No.3, pp.841-846, 2011 年 11 月.

・金森 亮, 森川高行, 山本俊行: 電気自動車の保有者属性の違いによる利用/駐車状況と環境改善に関する研究, 第 10 回 ITS シンポジウム 2011 Peer-Review Proceedings, pp.85-90, 2011 年 11 月.

(2) 国際会議プロシーディングス

・Kanamori, R. and Morikawa, T: Evaluation of electric vehicle lanes and electric vehicle/toll lanes with multi-class combined equilibrium model, Proceedings of the 16th International Conference of Hong Kong Society for Transportation, December, 2011.

(3) 国際会議発表

・Kanamori, R., Mizutani, N and Ito, T: Agent-based electrical power management model for houses equipped with storage battery and photovoltaic units, International Workshop on Knowledge and Service Technology for Life, Environment, and Sustainability (KASTLES2011), December, 2011.

・Kanamori, R., Morikawa, T and Ito, T: Evaluation of special lanes as incentive policies for promoting electric vehicles, The International Workshop on Multi-agent Smart computing (MASmart2011), November, 2011.

(4) 国内会議発表

・金森 亮: 活動・交通行動シミュレーションによる次世代交通システムの評価, 情報処理学会全国大会企画セッション「サステイナブルな次世代社会情報メカニズム」, 2012 年 3 月. [招待講演]

・金森 亮: 電気自動車を利用した次世代交通システムに関する一提案, 平成 23 年度電気関係学会東海支部連合大会シンポジウム「新しい社会の仕組みを創造する先端情報技術」, 2011 年 9 月. [招待講演]

・金森 亮, 森川高行, 奥宮正哉, 山本俊行, 伊藤孝行: 電気自動車の普及下における都市交通と電力需要に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.44, CD-ROM, 2011 年 11 月.

・安江勇弥, 金森 亮, 森川高行: 国勢調査時系列メッシュデータに基づく都市形成過程を考慮した人口予測手法の提案, 土木計画学研究・講演集, Vol.44, CD-ROM, 2011 年 11 月.

・金森 亮, 森川高行: マルチクラス統合均衡モデルによる EV 専用レーン及び EV/Toll レーンの導入評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, CD-ROM, 2011 年 5 月.

(5) その他（特許, プレス発表, 著書等）なし