

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

金森 亮¹・森川 高行²・奥宮 正哉³・山本 俊行⁴・伊藤 孝行⁵

¹正会員 名古屋工業大学 特任准教授 大学院工学研究科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

E-mail: kanamori.ryo@nitech.ac.jp

²正会員 名古屋大学 教授 大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: morikawa@nagoya-u.jp

³非会員 名古屋大学 教授 大学院環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: okumiya@davinci.nuac.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 名古屋大学 教授 エコトピア科学研究所 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

E-mail: yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp

⁵非会員 名古屋工業大学 准教授 大学院工学研究科 (〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町)

E-mail: ito.takayuki@nitech.ac.jp

本研究では、低炭素社会の実現に向けた次世代自動車、特に電気自動車 (EV) の普及下における都市交通や環境改善に及ぼす影響、電力需要に関する分析を行う。EVはガソリン車と比較して走行費用が安くなるため、誘発需要を考慮できる統合型交通需要予測モデルを適用し、都市圏内の個人の人々の1日の活動・交通行動を再現する。2020年の名古屋都市圏で6%程度のEV保有率を仮定した場合、ピーク時の利用が多い就業者に対する保有促進が環境改善効率が高いこと、都心部のオフィスへの充放電施設整備が望ましいこと、また、自宅での駐車時間と充電可能容量 (走行による消費電力) から夜間電力利用や太陽光発電の蓄電を上手く組み合わせることで、電力消費を削減できる可能性があることを定量的に示した。

Key Words : *Electric vehicle, Travel demand forecasting model, Electricity demand*

1. はじめに

(1) 背景と目的

二酸化炭素 (CO₂) など温室効果ガス排出量の削減目標達成のため、我が国の CO₂ 排出量の約 2 割を占める運輸部門でも徹底的な低炭素化が求められている。運輸部門の約 9 割が自動車からの排出であるため、交通流対策、公共交通機関の利用促進、物流の効率化に加えて、自動車単体の環境性能の向上、低炭素型の自動車の普及が重要とされている¹⁾。

低炭素型の次世代自動車の普及戦略としては、「低炭素社会づくり行動計画」²⁾における野心的な目標「次世代自動車を 2020 年までに新車販売のうち 2 台に 1 台の割合で導入する」があり、「エコカー減税・補助金」が普及促進策として実施され、実際に 2009 年度のプリウスの販売台数は大きく伸びた。しかし、エコカー補助金制度が予定よりも早く打ち切られるなど、継続的な財源確保に難がある。そのため、どういった購入者/世帯層

(例えば、ファーストカー的利用か、セカンドカー的利用か) を優先的にターゲット化することが環境改善の視点から効果的であるかを把握することは重要であろう。

本研究では、都市圏内の次世代自動車の総保有者数 (保有率) を一定とし、限定された保有者属性によって利用パターン (走行・駐車状況) や環境改善がどう異なるのかを統合型交通需要予測モデルにてシミュレートし、今後の購入補助制度の対象者・世帯について考察を行う。なお、本研究で想定する次世代自動車は電気自動車 (EV) のみとし、活動・交通行動を再現する選択モデルにEVとガソリン車との走行費用の差異 (EV利用時の割安感) を考慮する。また、EVの交通量や駐車台時から潜在的な充電需要や今後の施設整備、夜間電力や太陽光発電との関係性についても考察する。

(2) 既存研究と本研究の位置づけ

次世代自動車の利用パターンや環境改善、さらに電力需要に関する研究は、近年多くなされている³⁾。ただ

し、既存研究の多くはプラグインハイブリッド (PHV) を対象としている。Kang and Recker⁴⁾ はパーソントリップ調査から世帯 1 日の自動車利用パターンを集計し、PHV の電動航続距離の違いや充電シナリオ別の電力需要を算出している。Axsen and Kurani⁵⁾ は新車購入者を対象に自動車利用パターンと希望する PHV のスペックを把握し、充電シナリオ別の電力需要を算出し、その後、CO2 削減効果を分析している⁶⁾。我が国では、道路交通センサ OD 調査を基に利用パターンを推計し、充電シナリオに加えて、電源構成 (原子力、石炭、石油、水力など) も考慮して CO2 削減効果を分析している⁷⁾⁸⁾。

既存研究では次世代自動車の普及率を段階的に設定した影響分析が多いが、本研究のように保有者属性 (男性就業者、女性就業者・主婦など) の影響を分析しているものはなく、走行費用減少に伴う自動車利用パターン自体の変化を交通需要予測モデルにて推計しているものもない。また、次世代自動車の自宅外 (勤務先、買い物先や通院先など) での駐車台時、つまり潜在的な充電需要を空間的に把握できることも本研究の特徴である。

2. 統合型交通需要予測モデルの概要

EV は従来のガソリン車両と比べると走行時に CO2 や NOx を排出しないことから、大きな環境改善効果が見込まれるため、普及促進は環境政策として合理的である。一方、EV の走行費用はガソリン代と比べて電気代が割安となるため、自動車利用を誘発し、混雑・渋滞をもたらすとの指摘もある。そのため、EV 普及下における都市交通を適切に評価するには、各個人の移動時の交通手段選択を考慮することが望ましい。また、利用交通手段の選択要因としては、自動車走行費用や代替交通手段である公共交通の利便性を加味すべきであり、本研究では著者らが構築した統合型交通需要予測モデル⁹⁾ を改良する。

統合型交通需要予測モデル⁹⁾ は、時間帯ごとに個々

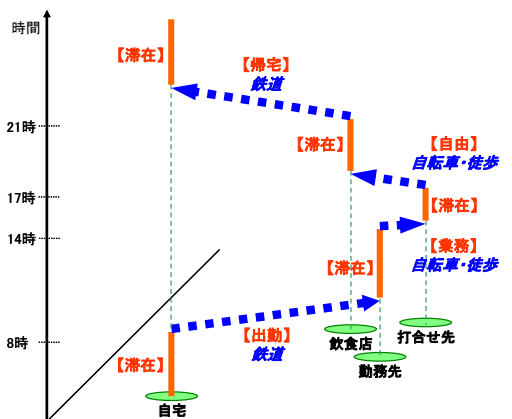


図1 個人の1日の活動・交通行動の再現イメージ

人の活動・交通行動と自動車所要時間との均衡状態を計算し、基準時刻から逐次的に実行することで図1の様な都市圏内の各居住者の1日の活動・交通行動の時空間パスを再現できる。本来は定式化を含めて説明すべきであるが、紙面の都合上、本稿では改良点を中心に述べる。

(1) 活動・交通行動モデル

ある時間帯における各個人の活動・交通行動は、図2に示す Nested Logit モデルにて記述できると仮定する。活動内容選択は前時間帯と同じ活動を継続する“滞在”の他、一般的な移動目的を選択肢集合とし、移動する場合は、目的地、交通手段 (自動車、鉄道、バス、自転車・徒歩)、経路を同時に選択する。なお、経路選択は自動車と鉄道のみを対象としている。

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 保有者は自動車をより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以下の通りである。

- ・EV : 2円/km¹⁰⁾
- ・ガソリン車 : 15円/km (燃費8km/L, 1L=120円)

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。

(2) 評価指標

EV 保有者属性の違いが都市交通に及ぼす影響を把握するための指標として、本研究では、EV の利用時間帯や駐車状況の他、走行台キロ、走行台時、CO2 や NOx の排出量を比較する。

CO2 と NOx は EV 走行時に排出されないため、ガソリン車のみからの排出を加算する。算出式は土木研究セ

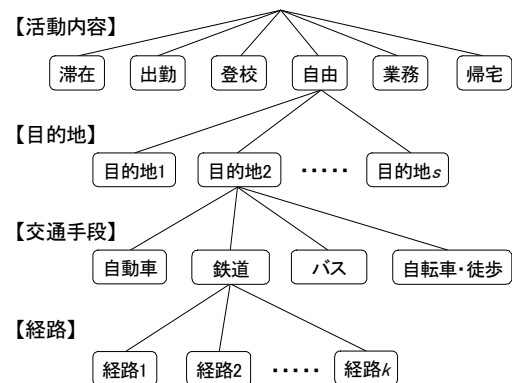


図2 活動・交通行動の選択ツリー

ンターの速度別算出式^{11) 12)}から求める(ただし、勾配や車種の区別はなし)。また、EVは夜間自宅での充電を想定し、次式の使用端CO₂排出原単位¹³⁾から発電関連のCO₂排出量を算出する。

・自宅発電に係るCO₂排出量:

$$51.5 \text{ g-CO}_2/\text{km}$$

(使用端CO₂排出原単位: 0.412 kg-CO₂/kWh,
電費: 8.0 km/kWh)

3. EV普及による都市交通への影響分析

(1) 条件設定

本研究の分析対象地域は、名古屋都市圏(名古屋市中心として約40km圏域)である。また、環境改善目標年次として頻繁に設定される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^{14) 15)}。なお、統合型交通需要予測モデル内の活動・交通行動モデルの各種パラメータ、ネットワーク条件等は既存研究⁹⁾と同じである。

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%)¹⁾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。その後、保有者属性の違いによる影響を把握するため、ランダムにEVを割り当てたケース[**rnd**]、主に通勤交通手段としての利用を想定して男性就業者に割り当てたケース[**man**]、主に買い物や送迎などセカンドカー的利用を想定して女性就業者と主婦・無職に割り当てたケース[**wmn**]を設定した。0また、EV普及率0%も基準ケース[**nm1**]として設定した。各ケースの属性別EV保有者数は表1の通りである。本研究では地域別の保有傾向の差異、世帯構成の考慮はしていない。なお、各ケースのEV保有者数の地域分布に大きな違いはなく、ケース間の都市交通の差異はEV保有者属性が主要因であるといえる。

(2) 保有者属性別のEV利用パターン

本研究ではケースごとに午前3時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普及による都市交通への影響を分析する。なお、EV利用はEV保有者自身のみの自動車利用となる。

はじめに都市圏全体の交通状況を見ると、総生成量、移動目的構成、利用交通手段分担率ともに、どのケースも基準ケースと違いはなく、EV保有率6%程度ではEV普及自体や保有属性の差異の影響はないといえる。

表1 属性別EV保有者数(ケース別)

単位:人

	男性			女性			EV保有者計
	就業者	就学者	主婦・無職	就業者	就学者	主婦・無職	
rnd	191,465	31,193	56,598	74,824	27,307	91,000	472,387
(構成比)	40.5%	6.6%	12.0%	15.8%	5.8%	19.3%	
man	472,387	0	0	0	0	0	472,387
(構成比)	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
wmn	0	0	0	212,637	0	259,750	472,387
(構成比)	0.0%	0.0%	0.0%	45.0%	0.0%	55.0%	

次に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(図3)、大きな変化はなかった。一方、EV普及によるCO₂とNO_xの排出量削減効果は確認でき(図3)、CO₂は[**man**]で-5%程度と最も大きく、[**wmn**]で-3%程度と最小であった。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。また、図4の時間帯別のNO_x排出量削減効果を見ると、EV導入により全時間帯で削減され、特に[**man**]では朝・夕のピーク時間帯の削減率が高いことが分かる。これは自動車交通量が多く、平均走行速度が低下し、CO₂排出量が多くなる時間帯のEV利用の違いによる。図5、図6はケース別の時間帯別EV利用トリップ数とEV走行台キロであり、朝夕のピーク時間帯にEV利用が多いのは男性就業者のみの保有を仮定した[**man**]である。以上より、環境改善効率の観点からは、主に通勤手段として利用する人々にEV保有を促進することが有効であるといえる。しかし、通勤手段としての利用を前提とすると航続距離に対する希望は現在よりもさらに長くなる可能性もあり、環境改善効果とEV購入意向(航続距離、価格など)の最適化やEVとPHVの住み分けについて、更なる研究を行う必要がある。また、ピーク時間帯の自動車利用自体を削減する道路課金政策などの交通施策との効果的な組み合わせを検討することも重要である。

EV保有者属性別の移動特性として、ケース別にEV保有者の生成原単位をみると、[**md**]は2.24トリップ/人日(外出率: 87%)、[**man**]は2.37トリップ/人日(外出率: 96%)、[**wmn**]は2.13トリップ/人日(外出率: 79%)となり、保有者属性に応じて総生成量は異なった。EV保有者の移動目的構成をみると、44%程度の帰宅を除くと[**md**]は出勤と自由が約22%、[**man**]は出勤が約37%、[**wmn**]は自由が約34%と高くなる。また、EV保有者であっても自動車以外の交通手段でも移動しており、図7のケース別交通手段構成の通り、EV利用は全てのケースで7~8割に留まる。最後に各ケースにおける1日のEV総走行距離帯分布をみると(図8)、[**md**]と[**wmn**]はゾーン内々移動を含む0~5kmの割合が45%以上と最も高く、通勤手段として利用される[**man**]は他と比べて長くなっている。また1日の総走行距離の平均値は[**md**]: 13.9km/日、[**man**]: 16.3km/日、[**wmn**]: 12.5km/日であり、現時

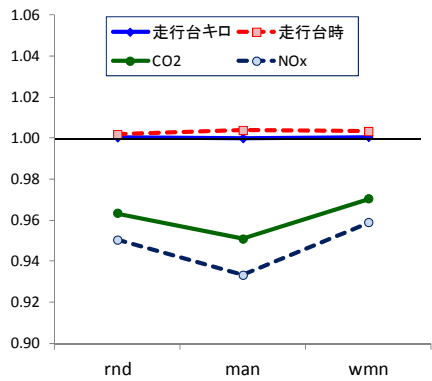


図3 ケース別評価指標の変動

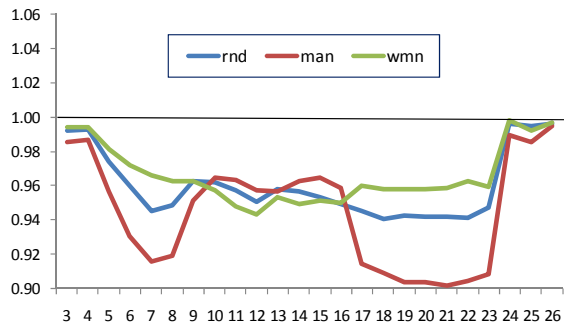


図4 ケース別時間帯別NOx排出量削減効果

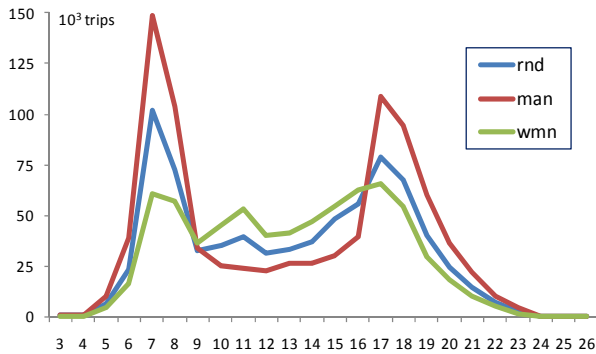


図5 ケース別時間帯別EV利用トリップ数

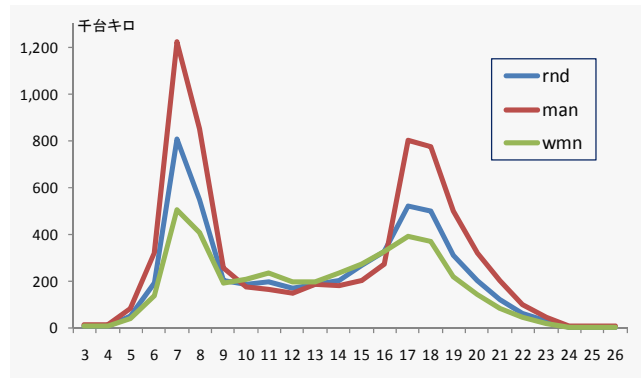


図6 ケース別時間帯別EV走行台キロ

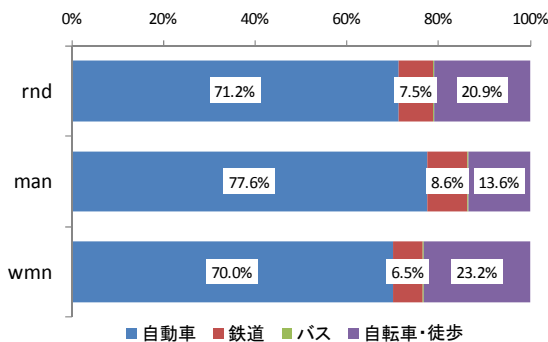


図7 ケース別交通手段分担率

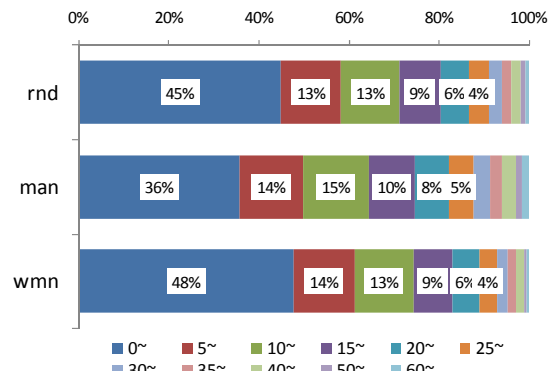


図8 ケース別総走行距離帯分布

点でのEVの航続距離制約(160km程度)でも充分であるといえる。

(3) EV駐車状況と電力需要への影響

本研究では、個人情報保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。図9は[md]でEVを割り当てられた47万人1人ひとりの保有前[nml]との1日当たりの自動車利用回数の差の分布である。EV保有により自動車利用回数は増加も減少もし、統計的には変化がない結果となった。その他、生成原単位や自動車総走行距離についても確認したが、EV保有による変化はどの個人属性でも確認できなかった。本研究の交通需要予測モデルの限界もあるが、今後は、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考察していく。図10は[md]における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11)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、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の蓄電池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。図12は各EVのバッテリー容量を20kWh、3時に全車両が充電完了していると想定し、電費を8.0km/kWhとして走行距離に応じて消費さ

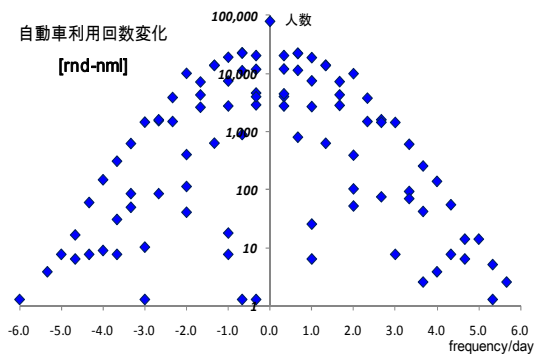


図9 EV保有による自動車利用回数の変化分布

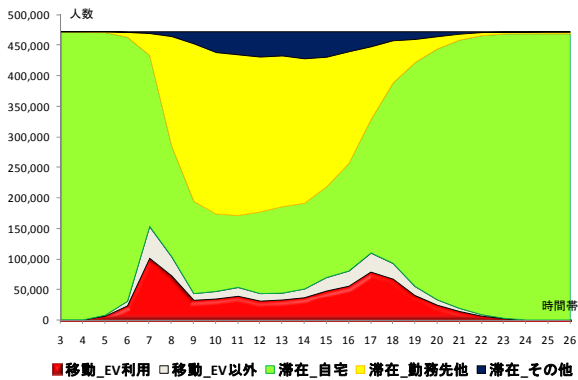


図10 時間帯別EV保有者活動・交通状況 [md]

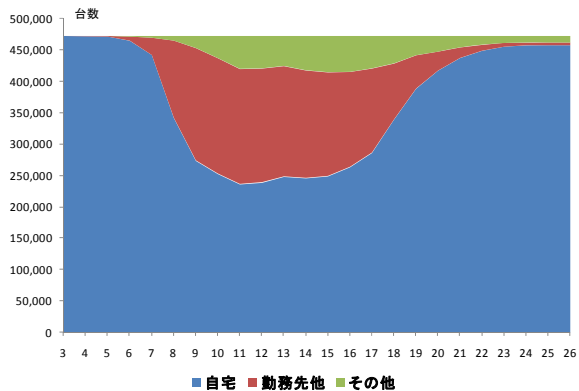


図11 時間帯別EV駐車箇所

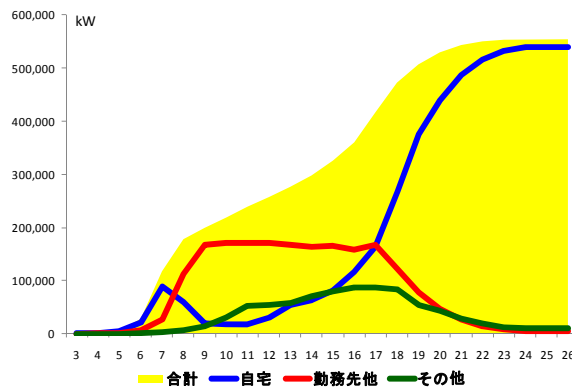


図12 時間帯別充電可能量 (走行による消費電力) [md]

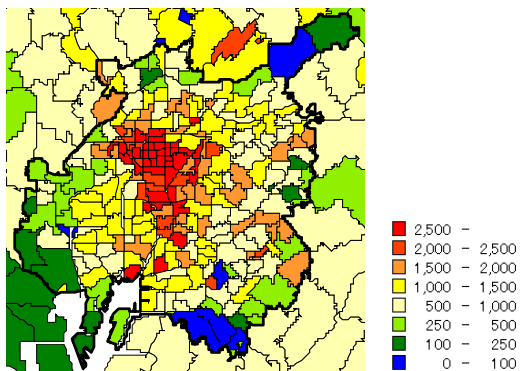


図13 EV駐車台時/km² [md] (勤務先)

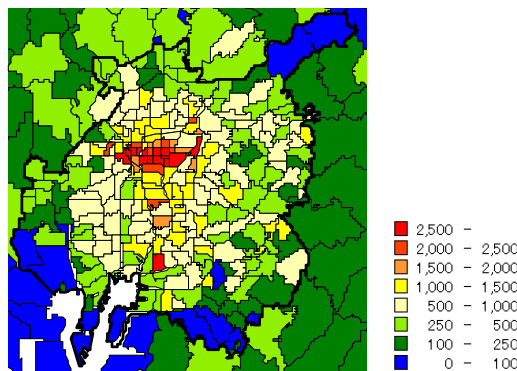


図14 EV駐車台時/km² [md] (その他外出先)

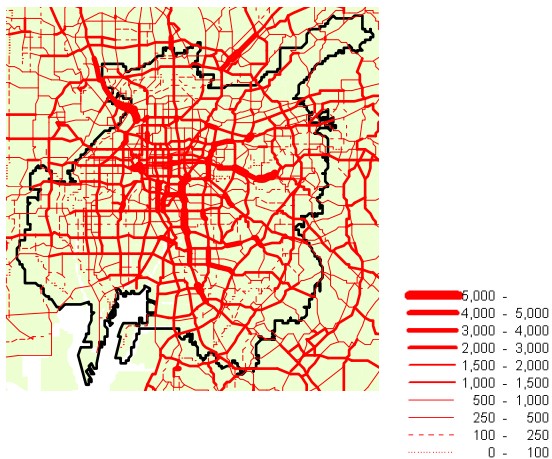
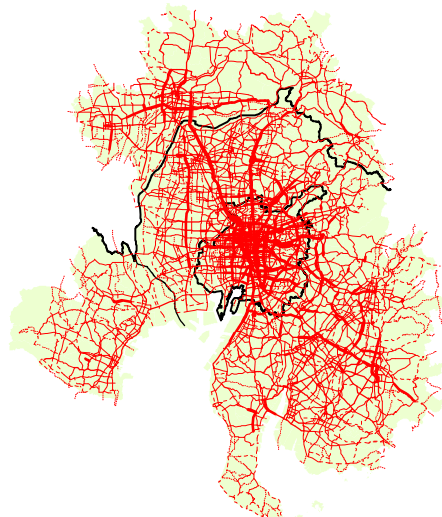


図15 リンク別EV交通量 [md] (24時間, 上下方向計)

れた電力（時間帯別）と、駐車箇所別充電可能量である。なお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。都市圏全体でEVは47.2万台と仮定しているため、EVの総蓄電能力は9.4百万kWh（47.2万台×20kWh）となり、EVの1日の走行による消費電力は55.5万kWhであり、消費量は6%となる。名古屋市中心部で電力供給している中部電力の時間帯別電力需要（2011/08/04実績¹⁶⁾をみると、1,245～2,112万kWであり、夜間に充電を行う場合は約0.7%程度の電力需要増加となる。一方、1日の総走行距離は平均で14km/日であったことから、バッテリー容量の半分（10kWh）は消費電力の平準化に向けた放電したり、夜間電力での充電は容量の半分程度に抑え、不安定であるが無視できない昼間の太陽光発電¹⁷⁾を蓄電調整を行うことがより効率的な電力の利用方法といえる。

また、名古屋市中心部のゾーン別の駐車台時/km²をみると（図13、図14）、勤務先、その他外出先ともに鉄道網が整備されている都心部に高くなっている。勤務先の駐車時間は比較的長いことから、勤務先での優先的な充放電施設整備によってEVの航続距離に対する心理的な不安解消や蓄電池機能としての有効利用が進むものと期待される。さらに、ガソリン車を対象とした道路課金政策と組み合わせ、鉄道来訪者にEV利用を開放するシェアリングシステムの導入も考えられ、EV普及に伴い交通状況が大きく改善できる可能性の高い地域であるといえる。最後に、図15はリンク別EV交通量を示したものであり、国道など幹線道路で多いことから、非常時の急速充電施設はこれら幹線道路沿いの施設に整備することが有効であるといえる。

7. まとめ

環境改善への貢献が大きいEVの普及促進に関する知見を得るため、本研究では、同一普及率の条件下で保有者属性の違いが都市交通に及ぼす影響や潜在的な充放電需要について分析した。

EVは従来のガソリン車に比べて走行時にCO₂を排出しない特長を有するが、走行費用が安くなるため自動車利用を誘発し、新たな交通混雑をもたらすとの指摘もある。そこで、本研究ではEVの走行費用減少の影響が交通手段選択だけでなく、目的地選択や活動内容選択にも反映される統合型交通需要予測モデルを用いた。2020年の名古屋都市圏を対象とし、EV普及率6%の保有者数を①ランダム、②男性就業者のみ、③女性就業者と主婦のみ、にそれぞれ割り当てた場合の交通状況や環境改善効果、EVの駐車状況などを計算した。その結果、得られた知見は次の通りである。

- ✓ 環境改善の観点からは、男性就業者のみに割り当てたケースが最も削減効果が高くなったため、ピーク時に利用される就業者を中心にEV保有・利用を促進することが効果的である
- ✓ 一方、EVは航続距離の物理的制約からセカンドカー的な利用が適合しているともいえ、今後、消費者ニーズと環境改善効率の最適化やEVとPHVとの住み分けに関する研究が必要となる
- ✓ 走行費用の安いEV保有による誘発需要について、同一個人間でEV保有前後の自動車利用回数などに統計的に有意な変化（増加）は確認できなかった
- ✓ EVの駐車場所は自宅が大半を占めており、電池容量の半分程度を自宅での太陽光発電システムや勤務先での充放電施設と連携して利用することで、より効率的な電力需要のマネジメントが可能となる
- ✓ 自宅外の駐車場所は都心部に集中しており、通勤先の平均駐車時間は8時間以上と長いことから、勤務先での充放電施設整備を優先的に行うことで、電力需要の平準化を進めることができる
- ✓ 低炭素交通システムの実現には、EV普及促進と道路課金政策など適切な自動車利用を導く交通施策との連携が望まれる

今後は施設別の電力需要¹⁸⁾や電源構成、余剰電力の買い取り制度、等を考慮したCO₂排出量の削減効果評価などを行っていく予定である。

謝辞：本研究は環境研究総合推進費（E-1003）、最先端・次世代研究開発支援プログラムにより実施された研究内容の一部である。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：次世代自動車普及戦略、2009。
- 2) 内閣官房：低炭素社会づくり行動計画、2008。
- 3) Green, R.C., Wang, L., Alam, M. : The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pp.544- 553, 2011.
- 4) Kang, J.E. and Recker, W.W. : An activity-based assessment of the potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on energy and emissions using 1-day travel data, Transportation Research Part D 14, pp.541- 556, 2009.
- 5) Axsen, J. and Kurani, K.S. : Anticipating plug-in hybrid vehicle energy impacts in California: Constructing consumer-informed recharge profiles, Transportation Research Part D 15, pp.212- 219, 2010.
- 6) Axsen, J., Kurani, K.S., McCarthy, R., Yang, C. : Plug-in hybrid vehicle GHG impacts in California: Integrating consumer-informed recharge profiles with an electricity-dispatch model, Energy Policy 39, pp.1617- 1629, 2011.

- 7) 中上聡ら：利用パターンと電源構成を考慮したプラグインハイブリッド車導入と CO2 排出量の評価，日本エネルギー学会誌，89(3)，pp.249-258，2010.
- 8) 中上聡ら：車種別利用パターンを考慮したプラグインハイブリッド車と電気自動車の導入評価，エネルギー・資源学会論文集，Vol.31，No.6，pp.7-15，2010.
- 9) 金森亮，森川高行，山本俊行，三輪富生：総合交通戦略の策定に向けた統合型交通需要予測モデルの開発，土木学会論文集 D，Vol.65，pp.503-518，2009.
- 10) 次世代自動車振興センター HP (<http://www.cevpc.or.jp>) .
- 11) 大城温，小根山裕之，山田俊哉，大西博文：沿道における大気汚染予測に用いる自動車の排出係数について，土木技術資料，Vol.42，No.1，pp.60-63，2000.
- 12) 大城温，松下雅行，並河良治，大西博文：自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数，土木技術資料，Vol.43，No.11，pp.186-191，2001.
- 13) 電気事業連合会：電気事業における環境行動計画，2010.
- 14) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の市区町村別将来推計人口（平成 20 年 12 月推計），2008.
- 15) 金森亮：従業地側人口制約を緩和した個人属性別居住地-従業地分布の推計手法，土木計画学研究・講演集，Vol.42，CD-ROM，2010.
- 16) 中部電力 HP (<http://www.chuden.co.jp>) .
- 17) 佐々木淑貴，赤林伸一，坂口淳：戸建住宅における電気エネルギー消費に関する研究－主に東北地方を対象とした太陽光発電の有効性の検討，日本建築学会計画系論文集，第 545 号，pp.79-86，2001.
- 18) 日本エネルギー学会：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008，2008.

(2011.8.5 受付)