

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289164

研究課題名(和文) 充電行動に着目した次世代モビリティの保有・利用需要予測と普及促進策の評価

研究課題名(英文) Demand forecast and evaluation of promotion strategy on ownership and use of next-generation mobility focusing recharging behavior

研究代表者

山本 俊行 (Yamamoto, Toshiyuki)

名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授

研究者番号：80273465

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：電気自動車の充電に関し、バッテリー容量の効率的利用に急速充電設備整備と周知が重要である事を示した。また、残充電量と次回利用予定が充電行動に影響を及ぼす事、事業用に比べ自家用車両の運転者は長い迂回距離を許容する事を示した。さらに、電気自動車共同利用システムを対象とした分析結果より、システム入会による交通行動変化、電気自動車に対する意識向上を確認した。

超小型車の最高速度が時速40km以上の時、都市内利用で効率性や安全性に影響は少なく、環境性は向上する事が示された。また、名古屋都市圏の電気自動車普及率が6%の時、二酸化炭素排出量は4%減少し、電力需要の約5%のピークカットが可能である事が示された。

研究成果の概要(英文)：The results suggest fast charger implementation and dissemination are important for efficient use of battery capacity in electric vehicles. It is also shown remaining electricity and next trip plan affect charging behavior, and private car drivers accept longer detour than company cars. Investigation on electric vehicle sharing system affirmed change in travel behavior and improve in attitude to electric vehicle after admission.

Microcars with maximum speed of 40 km/h don't deteriorate efficiency and safety but improve environmental condition of urban car traffic. At penetration rate of 6% in Nagoya Metropolitan area, electric vehicles reduce CO2 emission from car traffic by 4% and cut 5% of peak demand.

研究分野：交通計画

キーワード：電気自動車 急速充電 自動車共同利用 超小型車 電力需要

1. 研究開始当初の背景

交通による環境負荷を削減する試みとして様々な交通政策が実施されている。しかしながら、自動車に代表される個別移動手段から鉄道などの公共交通機関への転換促進の効果は十分ではない。一方、自動車の燃費向上技術は年々発展しており、低燃費の自動車が次々と市場に登場している。このような状況のもと、交通による環境負荷の削減を促進するためには、将来の個別移動手段を社会的により望ましいものにすることが求められている。その際、人々の現在および将来の交通行動パターンを的確に把握し、それに基づいて個別移動手段（モビリティ）の将来像を見定めることが重要である。

交通行動パターンの把握のためには、ある特定の1日の行動を観測したデータに基づく分析では不十分であり、行動の規則性や変動を考慮した分析が不可欠であるとの認識が広まっている。それに伴い、パネル調査や継続調査のような同一個人から複数回の情報を得る調査手法の開発が進められている。特に、自動車の利用パターンは日々一定とは限らず、その利用パターンの変動が最適な移動手段の選択に影響を及ぼすことが考えられる。研究代表者らは、これまで、パネル調査の効率化や行動の規則性、影響要因と行動の時間的關係等の分析を進めてきている。これらの分析では、調査データの質・量を確保することが重要であり、それらの限界によって分析が制限されるケースも見られる。

近年、データの精度を向上させるための情報通信機器の活用が進められており、長期に渡る行動データの観測が可能となってきている。研究代表者らは、これまで、携帯電話端末や独自に作成した車載機器端末により、交通行動データや車両挙動データの収集を進めている。さらに、それらのデータを用いた交通行動の分析や交通情報の加工・提供を行っている。本研究では、これらの長期観測データを有効活用し、人々のモビリティの利用パターン・変動を詳細に把握するものであり、その上で、将来の望ましいモビリティ像を明らかにするものである。

さらに、望ましいモビリティ像の実現を促進するためには、適切な施策の実施が不可欠である。すなわち、次世代モビリティの購入に対する補助金施策による次世代モビリティの購入促進の最適化、特に、電気自動車とプラグインハイブリッドの車種間の補助金差別化、および、異なるバッテリー容量に対する補助金差別化や、急速充電設備の最適配置による地域全体での環境負荷削減効果について定量的に分析することが必要である。

2. 研究の目的

(1)次世代モビリティの最適なエネルギー源とバッテリー容量の把握

本研究では、電気自動車やプラグインハイブリッド車、ハイブリッド車等の様々なエネ

ルギー源を持つ車両のうち、人々の車両利用パターンから見て最適な車種はどのようなものであり、どのようなバッテリー容量が経済性および環境負荷等の効率性の観点から望ましいのかを明らかにする。前述のように、人々は日々異なった活動を行っており、自動車の利用パターンも日によって変動がある。さらに、居住地や世帯構成により、人々の行動パターンは様々に異なる。そこで、人々の自動車利用状況の長期観測データを分析し、一日の自動車利用距離の分布や各トリップの起終点、トリップ間の間隔等を把握することで、外出中の充電の可能性や自宅での充電に限定した場合の必要バッテリー容量等を算出することが可能となる。各世帯での最適なエネルギー源とバッテリー容量が算出出来れば、それらを集計することにより、車種別の市場規模の予測、および、社会的受容性の高い車種、社会的効用を向上させるための今後の開発方向、補助金施策の最適化等を検討することが可能となる。

(2)超小型次世代モビリティの利用可能性の把握と効率的な共同利用システムの構築

上記では、あくまで現在の自動車の利用パターンに基づいて、次世代型車両に求められる性能を検討することになる。しかしながら、より環境負荷の低いモビリティとして、超小型車、セグウェイやウイングレット、コムス等の超小型車両の開発も進められている。これらの車両は現在の自動車を完全に代替するとは考えにくい一方、価格や使い勝手の問題により、追加的な購入を促進することも困難な状況である。そのため、共同利用という形で普及促進が検討されている。本研究では、現在実施中の自動車共同利用システムを対象として、GPS測位等を活用した利用データを取得し、そのデータを用いた分析により、共同利用車両がどのようなトリップで利用されるのか、また、共同利用車両利用時の速度、経路、加減速、等の利用状況を把握する。さらに、それらの結果に基づき、効率的な貸し出し・返却場所の設置、必要なバッテリー容量、効率的な充電タイミング、等々を明らかにし、今後の効率的な共同利用システム構築のための知見を得る。

(3)次世代モビリティと現況の車両が混在する環境下での交通状況のシミュレーション

(1)や(2)で記述した次世代モビリティはサイズや最高速度、加減速性能、安全性等が様々であり、現況の一般車両と異なっているため、普及段階においては様々な車両が道路上で混在する状況が考えられる。このような多種多様な車両が道路上で混在する場合、全体としての交通容量や安全性に大きな影響を及ぼす可能性がある。本研究では、ミクロシミュレーションモデルの構築により、これら多様な車両が混在する場合の交通状況を把握し、その結果を用いて、効率性および安

全性の向上のために必要となる交通施策の検討を行う。さらに、急速充電施設の最適配置を検討することにより、次世代モビリティの利用効率に及ぼす効果を把握する。

3. 研究の方法

(1)次世代モビリティの最適なエネルギー源とバッテリー容量の把握

次世代型車両性能の最適化に関する分析として、自動車利用状況の長期観測データを用いて、最適な次世代モビリティを世帯毎に算出する。ここで用いるデータは豊田市において収集されたガソリン車およびプラグインハイブリッド車の走行履歴、および、JARIから入手した全国 500 台の電気自動車 (iMiEV) の走行履歴データである。ここでは、既存研究に関する調査結果に基づき、バッテリー容量の増大による走行可能距離の延長と車両重量の増加による燃費の低下のトレードオフ、トリップ実施間隔と充電可能量、トリップ目的地と充電可能場所の関係、等を考慮した分析を行う。また、最適性の基準として、電気料金体系を考慮した利用者費用、および、環境負荷を考慮した社会的費用を取り上げ、各基準による最適化を行う。

(2)超小型次世代モビリティの利用可能性の把握と効率的な共同利用システムの構築

本研究課題を推進するにあたって次世代型個別移動手段の最新の技術動向を正確に把握することが必要である。ここでは、特に最適なバッテリー容量の算出に必要な 2 次電池の性能、充電所要時間の算出に必要な充電速度、等の要素技術の動向、および、電気自動車やプラグインハイブリッド車、燃料電池車等を含む自動車会社の開発方針等に着眼した調査を行う。

その上で、現在実施中の自動車共同利用システムから得られる利用データを用いて利用トリップ目的やトリップ距離、利用時間帯等の利用パターンを分析する。ここでデータ収集には、アンケート調査の他、携帯電話端末を用い、GPS 測位と加速度データを収集することで、より詳細な走行特性の把握が可能となる。

(3)次世代モビリティと現況の車両が混在する環境下での交通状況のシミュレーション

ミクロシミュレーションモデルを用いて様々なサイズ・走行性能の車両混在時の交通状態に関する分析を単路部での分析からネットワークレベルでの分析に拡張し、総交通量および各車種の構成比の変化が交通状況にどのような影響を及ぼすかを分析する。ここでは、低速車両の混在による平均速度の低下、車両の小型化による交通容量の増加、追い越しや加減速等による安全性の低下等に着眼した分析を行う。名古屋都市圏等の道路ネットワーク上での交通状態の分析と、効率性および安全性の向上のために必要となる

交通施策の検討を行う。車両による走行性能の相違を考慮するため、マルチクラスの交通量配分問題として多様なサイズ・走行性能の車両が道路上に混在する場合の交通状態を再現する。さらに、配分結果の考察に基づき、車種毎に格差のある混雑料金制度や専用車線等の設置により、ネットワーク全体としての効率性や安全性を向上できる可能性について検討する。

4. 研究成果

(1)次世代モビリティの最適なエネルギー源とバッテリー容量の把握

約 500 台の電気自動車を対象とした 1 年間に及ぶ利用データを用いて、長距離トリップ時におけるトリップ中の充電行動に関して分析した。トリップ中の急速充電は車両のバッテリー容量と密接な関係があり、バッテリー容量の増大による航続可能距離の増加は、電気自動車普及に必要な急速充電設備の配置密度とトレードオフの関係にある。フロントティアモデルを用いた急速充電タイミングの分析結果より、低速で走行している場合には早めに充電を実施していることや、充電可能場所の知識があるほど充電タイミングが遅く、実際に充電場所が周辺にたくさんあるほど充電タイミングが遅くなることが示された。充電タイミングを遅らせることはバッテリーの効率的な利用を意味し、急速充電設備の整備とその周知のいずれもが重要であることを明らかにした。

また、車両を保有する事業所や各家庭において実施される普通充電に着目した分析を行った。普通充電は急速充電よりも頻繁に実施され、各事業所や家庭での総電力需要に及ぼす影響が大きい。分析の結果、残充電量と次回利用予定が充電行動に大きな影響を及ぼすことを確認した。また、電力料金体系に関するデータが得られなかったものの、推定結果からは、深夜充電の選択要因として非観測要因の影響が大きいことが示されており、深夜割引料金の影響が大きいことが示唆された。

さらに、トリップ途中の急速充電を対象として、充電場所の選択行動を分析した。特に、充電のためにどの程度の迂回が許容されるかという点に着目し、離散選択モデルを適用した分析を行った。本分析では、迂回距離の閾値を考慮したモデルと考慮しないモデルを構築し、比較分析の結果、迂回距離を考慮したモデルの有効性を確認した。さらに、感度分析の結果、事業用車両では閾値が 500m の時に最もモデルの精度が良く、個人用車両では閾値が平日で 1750m、休日で 750m の時に最もモデルの精度が良いことが示された。これより個人用車両の運転者の方がより長い迂回距離を許容していることが明らかとなった。また、個人用車両は平日において無料の充電場所を選択する傾向が強いことを示された。

(2)超小型次世代モビリティの利用可能性の把握と効率的な共同利用システムの構築

フランス・パリにて実施されている電気自動車共同利用システムを対象として、2か年にわたる導入前後の利用者意識調査を実施し、システム入会により公共交通の利用促進など交通行動が変化することを明らかにした。また、電気自動車に対する意識の向上が確認され、共同利用システムが次世代自動車の普及を促進する効果を持つことを示した。

また、名古屋市を中心に事業展開されているカーシェアリングの利用実態の把握を目的に、運営管理データを分析した。用いた運営管理データは数か月の車両GPSデータや予約データであり、利用車両軌跡の追跡による利用目的の把握、クラスター分析による典型的な利用パターンの把握、地域特性を考慮した利用目的判別モデル(決定木)を構築した。分析結果から、名古屋のカーシェアリングは男女で利用パターンが異なること、利用直前の予約が多いこと、私事目的での利用が最も多いことを明らかにした。

(3)次世代モビリティと現況の車両が混在する環境下での交通状況のシミュレーション

超小型車が普通乗用車と混在する場合に交通流に及ぼす影響について、個々の車両の挙動を再現するミクロシミュレーションモデルを構築し、効率性、安全性、環境性の3つの観点からの分析を行った。超小型車の最高速度についていくつかの仮定でシミュレーションを行った結果、最高速度が時速30km以下の場合には効率性や安全性が大きく損なわれるが、最高速度が時速40km以上の場合には効率性や安全性に大きな影響はなく、環境性は向上することが示された。

また、電気自動車の充放電による都市全体の電力需給に関して、名古屋都市圏において電気自動車による利用パターンを考慮した将来需給予測を行った。2020年の電気自動車の普及率を6%とした場合、都市圏レベルでの二酸化炭素排出量は4%の減少となることが示された。さらに、電気自動車の充電を夜間に自宅で行い、通勤に利用して勤務先の駐車場に駐車している車両から昼間に電力系統に電力を供給することによって、電力需要の5%程度のピークカットが可能であることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計13件)

- ① Sun, X.-H., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Fast-charging station choice behavior among battery electric vehicle users, *Transportation Research Part D*, Vol. 46, pp. 26-39, 2016. DOI:10.1016/j.trd.2016.03.008 (査読有)
- ② Tsuboi, Y., Kanamori, R., Yamamoto, T. and

Morikawa, T.: Analysis of parking lot choice behaviors by utilizing accounting data, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 11, pp. 523-536, 2015. DOI:10.11175/easts.11.523 (査読有)

- ③ Sun, X.-H., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Charge timing choice behavior of battery electric vehicle users. *Transportation Research Part D*, Vol. 37, pp. 97-107, 2015. DOI:10.1016/j.trd.2015.04.007 (査読有)
- ④ Kanamori, R., Morikawa, T., Okumiya, M., Yamamoto, T. and Ito, T.: Impact of electric vehicles on travel and electricity demand in metropolitan area: a case study in Nagoya, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, Vol. 9, 341-349, 2015. DOI:10.17265/1934-7359/2015.03.012 (査読有)
- ⑤ Sun, X.-H., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Stochastic frontier analysis of excess access to mid-trip battery electric vehicle fast charging. *Transportation Research Part D*, Vol. 34, pp. 83-94, 2015. DOI:10.1016/j.trd.2014.10.006 (査読有)
- ⑥ Xu, G., Miwa, T., Morikawa, T. and Yamamoto, T.: Vehicle purchasing behaviors comparison in two-stage choice perspective before and after eco-car promotion policy in Japan. *Transportation Research Part D*, Vol. 34, pp. 195-207, 2015. DOI: 10.1016/j.trd.2014.11.001 (査読有)
- ⑦ 河尻陽子, 金森亮, 山本俊行, 森川高行: 運営管理データを用いたカーシェアリングの利用実態分析, *土木学会論文集D3*, Vol. 70, No. 5, pp. I_487-I_500, 2014. DOI:10.2208/jscejipm.70.I_487 (査読有)
- ⑧ Sanko, N., Dissanayake, D., Kurauchi, S., Maesoba, H., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Household car and motorcycle ownership in Bangkok and Kuala Lumpur in comparison with Nagoya, *Transportmetrica A*, Vol. 10, No. 3, pp. 187-213, 2014. DOI:10.1080/18128602.2012.726285 (査読有)
- ⑨ Mu, R., Yamamoto, T. and Cao, P.: Simulation analysis of micro-cars' safety influence on traffic network, *Traffic Science*, Vol. 44, No. 1, pp. 49-58, 2013. (査読有)
- ⑩ Yang, J., Miwa, T., Morikawa, T. and Yamamoto, T.: A discrete-continuous model for analyzing the ownership and usage of electric vehicles using stated preference data. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 10, pp. 499-514, 2013. DOI:10.11175/easts.10.499 (査読有)
- ⑪ Mu, R. and Yamamoto, T.: Analysis of micro-cars' influence on traffic network using a microscopic simulator. *Journal of Transportation Systems Engineering and*

Information Technology, Vol. 13, No. 6, pp. 44-51, 2013.
DOI:10.1016/S1570-6672(13)60127-0 (査読有)

- ⑫ 安江勇弥, 金森亮, 山本俊行, 森川高行: カーシェアリング会員特性と利用意向に関する分析, 土木学会論文集 D3, Vol. 69, No. 5, pp. I_761-I_770, 2013. DOI:10.2208/jscejipm.69.I_761 (査読有)
- ⑬ 安藤章, 山本俊行, 森川高行: 路上乗り捨て型EVカーシェアリングが市民意識と交通行動に及ぼす影響分析~パリ市・autolib'を例として~, 都市計画論文集, Vol. 48, No. 3, pp. 465-470, 2013. DOI:10.11361/journalcpj.48.465 (査読有)

[学会発表] (計 19 件)

- ① Mu, R. and Yamamoto, T.: A literature review on microcars' safety issue, 53rd Infrastructure Planning Conference, Hokkaido University (Hokkaido / Sapporo), May 29th, 2016.
- ② 山本真之, 梶大介, 服部佑哉, 山本俊行, 玉田正樹, 藤垣洋平: 自動運転車によるシェアカーの普及に関する研究, 第 53 回土木計画学研究発表会, 北海道大学 (北海道・札幌市), 2016 年 5 月 28 日.
- ③ 山本真之, 梶大介, 服部佑哉, 山本俊行, 玉田正樹, 藤垣洋平: 自動運転車によるシェアカーの普及に関する研究, 平成 27 年度土木学会中部支部研究発表会, 豊田工業高等専門学校 (愛知県・豊田市), 2016 年 3 月 16 日.
- ④ Liu, K., Wang, J.B. and Yamamoto, T.: Improving the estimation of electric vehicles' energy consumption based on multilevel mixed effects models, International Symposium on EcoTopia Science 2015, Nagoya University (Aichi/Nagoya), November 29th, 2015.
- ⑤ Liu, K., Pang, J. and Yamamoto, T.: Study on the influence factor of the required time for electric vehicles (EVs) fast charging, International Symposium on EcoTopia Science 2015, Nagoya University (Aichi/Nagoya), November 29th, 2015.
- ⑥ Sun, X., Yamamoto, T., Takahashi, K. and Morikawa, T.: Charge timing choice behavior of plug-in hybrid vehicle users under dynamic electricity pricing scheme, International Symposium on EcoTopia Science 2015, Nagoya University (Aichi/Nagoya), November 29th, 2015..
- ⑦ Tsuboi, Y., Kanamori, R., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Analysis of parking lot choice behaviors by utilizing accounting data, 11th EASTS Conference, Cebu (Philippines), September 12th, 2015.
- ⑧ Yamamoto, T.: Exploring factors to decrease in car ownership among young adults with multiple data sources, 14th International Conference on Travel Behaviour Research, Windsor (United Kingdom), July 23rd, 2015.
- ⑨ Sun, X., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Charge timing choice behavior of electric vehicle users, 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. (U.S.A.), January 13th, 2015.
- ⑩ Yamamoto, T.: Connecting vehicles to grid, The Ninth International Conference on Traffic & Transportation Studies, Shaoxing (China), August 2nd, 2014.
- ⑪ 河尻陽子, 金森亮, 山本俊行, 森川高行: 運営データに基づくカーシェアリングの利用目的推定と潜在需要に関する分析, 第 49 回土木計画学研究発表会, 東北工業大学 (宮城県・仙台市), 2014 年 6 月 7 日.
- ⑫ Sun, X., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: The timing of mid-trip electric vehicle charging, 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C. (U.S.A.), January 15th, 2014.
- ⑬ 山田健太, 薄井智貴, 山本俊行, 森川高行: 大学構内での共同利用実験におけるセグウェイ利用状況と運転挙動に関する分析, 第 48 回土木計画学研究発表会, 大阪市立大学 (大阪府・大阪市), 2013 年 11 月 3 日.
- ⑭ Mu, R. and Yamamoto, T.: Comparative analysis of two simulations on mixed traffic flow of conventional passenger cars and micro-cars. The Fourth International Conference on Transportation Engineering, Chengdu (China), October 20th, 2013.
- ⑮ Yang, J., Miwa, T., Morikawa, T. and Yamamoto, T.: Forecasting the demand of electric vehicles ownership and usage in the Chukyo region in Japan. The Fourth International Conference on Transportation Engineering, Chengdu (China), October 20th, 2013.
- ⑯ Yamamoto, T.: Transport modeling and simulation for next generation infrastructure development: Connecting vehicle to electricity network, International Symposium for Next Generation Infrastructure, Wollongong (Australia), October 2nd, 2013.
- ⑰ Yang, J., Miwa, T., Morikawa, T. and Yamamoto, T.: A discrete-continuous model for analyzing the ownership and usage of electric vehicles using stated preference data. 10th EASTS Conference, Taipei (Taiwan), September 9-12, 2013.
- ⑱ Kanamori, R., Morikawa, T., Okumiya, M., Yamamoto, T. and Ito, T.: The impact of electric vehicles on travel and electricity demand in Nagoya. 13th International

Conference on Urban Planning and Urban Management, Utrecht (The Netherland), July 3rd 2013.

- ⑱ 河尻陽子, 安江勇弥, 金森亮, 山本俊行, 森川高行: 車両 GPS データによるカーシェアリングの利用実態の基礎分析, 第 47 回土木計画学研究発表会, 広島工業大学 (広島県・五日市), 2013 年 6 月 1 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 俊行 (YAMAMOTO, Toshiyuki)
名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授
研究者番号: 80273465

(2) 研究分担者

森川 高行 (MORIKAWA, Takayuki)
名古屋大学・大学院環境学研究科・教授
研究者番号: 30166392

三輪 富生 (MIWA, Tomio)
名古屋大学・未来材料・システム研究所・准教授
研究者番号: 60422763

薄井 智貴 (USUI, Tomotaka)
名古屋大学・大学院経済学研究科・特任准教授
研究者番号: 20549448
(平成 26 年度より連携研究者)

(3) 研究協力者

劉 鏜 (LIU, Kai)
中国大連理工大学・交通運輸学院・准教授