

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601  
研究種目：若手研究(B)  
研究期間：2014～2016  
課題番号：26750119  
研究課題名(和文) 次世代自動車の社会的普及に向けた支援インフラの整備・運用方策に関する数理的研究

研究課題名(英文) Mathematical Study on the Support Infrastructure for Promotion of Next Generation Vehicles

研究代表者  
本間 裕大 (HONMA, Yudai)  
東京大学・生産技術研究所・講師

研究者番号：40514055  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、流れという観点から、次世代自動車とその支援インフラの数理的関係性に焦点を当てる。具体的には、オペレーションズ・リサーチ手法に基づく数理的分析を多角的に推進し、(I) 次世代自動車がどのように人々に活用されるか、(II) その結果、どの程度の数・規模の支援インフラを整備しなければならぬのか、そして(III) その結果として、都市にどのような影響が生じるのか、を追求していく。これらはそれぞれ、次世代自動車の普及という観点を通じた、人・施設・都市への影響の分析という研究側面をもつ。

研究成果の概要(英文)：As environmental issues become more prominent, electric vehicles (EV) have attracted an increasing amount of attention. However, the continuous cruising distance of an EV is limited to approximately 160 km, which is insufficient for everyday use. Battery capacity is the limiting factor in long-distance EV travel, because the vehicles need to stop at EV recharging stations multiple times. In Japan, there are more than 2,000 EV charge stations, but there are, at most, two rapid chargers. When multiple users converge at the station, a queuing (or waiting) condition is created, which may lead to a call-loss condition. In other words, an appropriate number of chargers must be installed at each station when planning the EV infrastructure. Therefore, the number of vehicles entering the station must be estimated. In this study, a mathematical model based on the supporting infrastructure for widespread EV use is proposed to estimate the number of vehicles arriving at each charge station.

研究分野：社会システム工学

キーワード：次世代自動車 支援インフラ 整備方策 社会システム

### 1. 研究開始当初の背景

近年、環境意識の高まりも後押しし、電気自動車(EV: Electric Vehicle)や水素燃料電池車(FCV: Fuel Cell Vehicle)に対する注目が高まっている。相次いで市販EVやFCVの発売も開始されており、社会全体への普及が期待される。しかしながら、日々、性能向上が試みられているものの、例えばEVならば、その連続航続距離が160km程度と、未だ十分な性能を有していない。FCVについても、その支援インフラとなる水素ステーションが一基当たり数億円かかるなど、その障壁は大きい。このように、次世代自動車の本格的普及のためには、その支援インフラ整備を同時に考えることが必須であり、その適切な戦略が課題となる。

民間も上述の課題への対策は力を入れている。例えば市販EVとして大きな注目を集めている日産リーフでは、全国各地の日産ディーラー、約200店舗に急速充電器を設置し、リーフ所有者が自由に利用できるような整備を行っている。急速充電施設を中心とした半径40kmの円でほぼ日本全国がカバーされていることから、リーフによる長距離トリップが可能であることが推察される。しかしながら、上述したディーラー店舗には、急速充電器が高々1台、多くとも2台程度しか設置されておらず、仮に、複数台のリーフが同時に到着すると“待ち”が発生し、場合によっては“呼損”すら起こり得る可能性がある。

すなわち、次世代自動車の支援インフラの整備に当っては、どのように社会で次世代自動車が活用されて、そして、各支援施設への到着数を見積もりし、適正規模のステーションを設置しなければならない。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、流れという観点から、次世代自動車とその支援インフラの数理的関係性に焦点を当てる。具体的には、オペレーションズ・リサーチ手法に基づく数理的分析を多角的に推進し、(I) 次世代自動車がどのように人々に活用されるか、(II) その結果、どの程度の数・規模の支援インフラを整備しなければならないのか、そして(III) その結果として、都市にどのような影響が生じるのか、を追求していく。これらはそれぞれ、次世代自動車の普及という観点を通じた、人・施設・都市への影響の分析という研究側面をもつ。

### 3. 研究の方法

2次元平面上における次世代自動車のトリップに関する数理モデルを構築する。具体的な次世代自動車の対象として、ここではEVを想定し、起点・終点間の需要と、施設の位置を所与としたとき、都市平面上にどのようなフローが実現するかを考える。

以上の定式化は、複数経路が存在するとき

の合理的経路選択問題と、捉えることができる。一般にこのような問題では、複数経路を考慮しなくてはならないため、同時に扱う経路数を増やすほど、計算量が指数的に増大する危険性がある。この懸念点に対し、本研究で取り扱った数理モデルでは、考える全ての経路を取り扱う、という逆転の発想によって、当該問題を回避した。

本研究の数理モデルでは、EVの出発地(Origin)、目的地(Destination)、そして支援インフラ(EV station)を適切に結合した、EV経路選択ネットワークを構築する必要がある。その概念図を示したものが図1である。

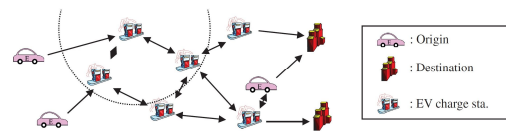


図1 EV経路選択ネットワークの概要

上述の数理モデルを詳細なGISデータを基に構築する。まず、ODマトリックスに相当する国内流動であるが、今回は、国土交通省がまとめた第3回全国幹線旅客純流動調査より自動車・全目的の移動データを抽出し、かつ、それらを平成22年国勢調査10kmメッシュに用い、人口分布に応じた比例配分をすることによって、3460×3460地点間のOD表へと変換した。次に、対象とするEVステーションの候補地点であるが、今回は、2013年3月現在、日本に存在したCHAdeMO規格の急速充電器設置地点、計2151地点を、EVステーションの位置と見做し、計算を行った。最後に、任意の2点間の距離については、2005年全国デジタル道路地図データベースより、全国詳細道路ネットワークを作成し、2地点間をEVで移動した場合の所用時間を、詳細に計算した。なお、当該計算は、最短距離経路を基本とし、高速自動車国道:80[km/h]、都市高速:60[km/h]、一般道:30[km/h]と仮定して計算している。さらに急速充電時間は40分とした。結果として、本研究で構築した全国EV経路選択ネットワークを図2に示す。

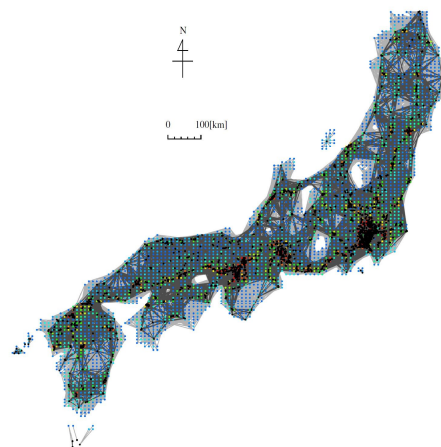


図2 全国EV経路選択ネットワーク

#### 4. 研究成果

まず、ガソリン車からEVへの変更が、「人」にどのような影響を与えるかについて、分析する。前述のように、EVを選択することによって、人々は、未だ十分に整備されてない支援インフラを経由していく必要がある。これは、ある程度の迂回を強いることを意味し、旅行経路の増大を招く。加えて、EVの充電にもある程度の時間がかかる。結果として、EVへ利用モードを変更することによって、ガソリン車のそれに比べ、所要時間が増加する。

その増加具合がどの程度であるか、ガソリン車の旅行時間とEVのそれとを散布図としてひかくしたのが図3である。これを見ると分かる通り、EVへのモーダルシフトは、最大で1.4倍程度の所要時間を招くことが判明した。

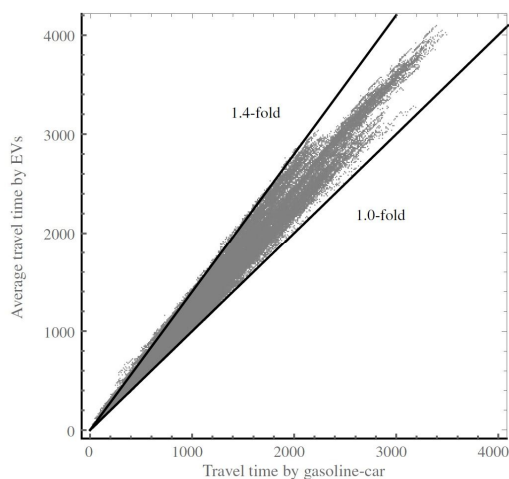


図3 ガソリン車とEVとの所要時間の比較

次に、そのようなEV流動が実現された際の、各支援インフラへの到着台数を計算したものが図4に示すものである。

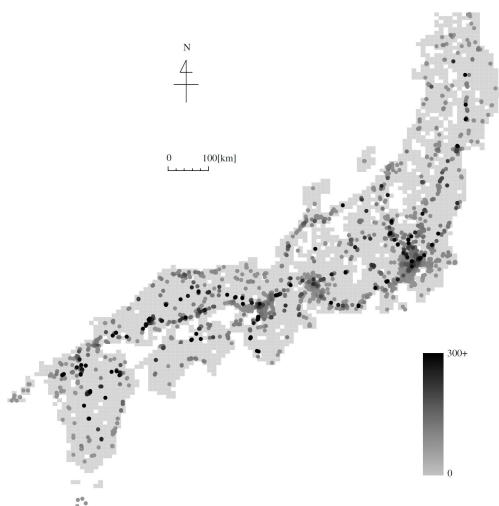


図4 一時間当りEV到着台数

これを見ると分かる通り、全てのガソリン車がEVへと置き換わった場合、一時間当り平均95.7台のEVが支援インフラへと到着する。

当然ながら、これはまかない切れる到着数ではないため、現状の支援インフラ規模から、対応できるEV普及率の上限を、待ち行列理論に基づき計算すると、0.079%となった。このように、EV普及と支援インフラ整備は鶏と卵の関係であり、その最重要要因に関する計算手法が整理された点に意義がある。

最後にEVが「都市」へと与える影響の考察について、述べる。前述のように、EVへのモーダルシフトは、現状ではその施設配置の影響もあり、所用時間の増大を招く。一方で、施設配置の濃淡により、その所要時間の増大が強く出る地域と、あまり出ない地域が必然的に出てくる。その結果をまとめたのが図5である。

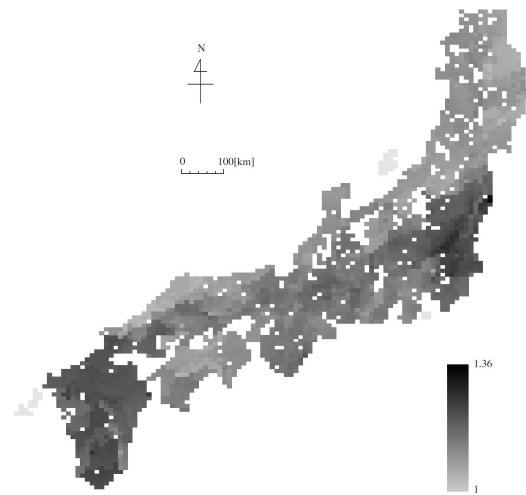


図5 所要時間の増大率の比較

ほぼ所要時間が分からない地域がある一方で、1.36倍程度、増加してしまう地域もあることが確認できよう。先ほど、最大で1.4倍という結果が得られているので、そのような地域は「EV難民地域」と解釈できる。すなわち、適切なる施設配置計画が重要であることが本研究より示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

Yudai Honma and Shigeki Toriumi, ``A Mathematical Analysis of Electric Vehicle Movement with Respect to Multiple Charging-stops'', Journal of Energy Engineering, 10.1061/(ASCE)EY.

1943-7897.0000356, F4016007. 2016. 査読有。

Yudai Honma, ``Spatial Interaction Model for Trip-Chaining Behavior with a Focus on Calculation Efficiency'', Journal of the Operations Research Society of Japan, Vol.58-3, pp.223-246, 2015. 査読有。

Yudai Honma and Shigeki Toriumi,

``Model Analysis of Electric Vehicle Charging Infrastructure Development on Highways - An Approximation of the Required Scale of Electric Vehicle Charging Facilities - '', FORMA, Vol.29-1, pp.41-50, 2014. 査読有 .

Yudai Honma, ``A Mathematical Model for Electric Vehicle Movement with Respect to Multiple Charging-stops'', In Proceedings of 13th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia (USMCA2014), Myanmar, November 3-5 2014. 査読有 .

田島雅己, 本間裕大, ``代替経路の乖離性に着目した交通ネットワークの定量的評価'', 日本オペレーションズ・リサーチ学会2017年春季研究発表会アブストラクト集, pp.187-188, 2017年3月. 査読無 .

本間裕大, 鳥海重喜, ``複数回の給電を考慮したEV支援インフラ整備に関するモデル分析'', 東京大学生産技術研究所・生産研究, 66(4), pp.389-392, 2014年7月. 査読無 .

[学会発表](計6件)

Yudai Honma, ``Mathematical Analysis on the Sustainable Traffic Networks with Respect to Infrastructure Management'', In Invited Faculties Section at Joint Seminar on Various Approach to Infrastructure Management between Civil Engineering Department of CU and UTokyo, Bangkok, Thailand, March 20 2017.

Motoki Tajima and Yudai Honma, ``Evaluation Model of Traffic Network Utilizing Geographical Divergence Degree of Multiple Routes'', Joint Seminar on Various Approach to Infrastructure Management between Civil Engineering Department of CU and UTokyo, Bangkok, Thailand, March 20 2017.

田島雅己, 本間裕大, ``代替経路の乖離性に着目したネットワーク評価モデル'', 都市のORワークショップ2016, 南山大学, 2016年12月.

Yudai Honma, ``Introduction to mathematical analysis for Next-Generation Vehicle'', In Invited Professor Section at 7th Joint Student Seminar on Civil Infrastructures, Thailand, August 19, 2015.

Yudai Honma, ``A Business Model on the EV Support Infrastructure Focusing on the Number of Stations and Charge Fee'', INFORMS Annual Meeting 2014, USA, November 10, 2014.

Yudai Honma and Shigeki Toriumi, ``Optimal Location of Battery Stations and its Charger for Electric Vehicles Based on Japanese Road Networks'', 20th

Triennial Conference of the International Federation of Operational Research Societies, Barcelona, Spain, July 17, 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本間 裕大 (HONMA, Yudai)

東京大学・生産技術研究所・講師

研究者番号 : 40514055