

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510187

研究課題名(和文)フロー需要型施設配置モデルを用いた電気自動車充電施設の立地分析

研究課題名(英文)Flow demand location model of charging stations for electric vehicles

## 研究代表者

宮川 雅至 (MIYAGAWA, Masashi)

山梨大学・総合研究部・助教

研究者番号：50400627

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電気自動車での移動に必要な充電施設の密度を求めるためのモデルを構築する。サービスレベルをランダムな起終点間の往復移動が可能な確率として表現し、一定のサービスレベルを達成するために必要となる充電施設の密度を求める。そして、航続距離、起終点間距離、起終点での充電設備の有無が密度に及ぼす影響を明らかにする。また、充電施設へ立ち寄るための寄り道距離やトリップ長分布を考慮できるようにモデルを拡張する。

研究成果の概要(英文)：This research develops a model for determining the sufficient density of charging stations for electric vehicles. The service level is represented as the probability that the vehicle can make the repeated round trip between randomly selected origin and destination. The density of stations required to achieve a certain level of service is obtained to show how the vehicle range, the trip length, and the charging availability at origin and destination affect the sufficient density of stations. The model is then extended to consider the deviation distance to visit a station and the trip length distribution.

研究分野：都市工学

キーワード：施設配置 フロー需要 施設密度 航続距離 往復移動 寄り道距離

### 1. 研究開始当初の背景

電気自動車の普及のために重要な要因の一つは、十分な数の充電施設の整備である。その立地分析に、通常の施設配置モデルを用いることは適切ではない。なぜなら、充電施設は移動途中に利用されることが多く、需要が点ではなくフローとして表現されるからである。このような立ち寄り型の利用行動を記述するためには、図 1a に示す需要が点で表現される通常の施設配置モデルではなく、図 1b のフロー需要型施設配置モデルを用いる必要がある。

研究代表者は、移動途中に施設に立ち寄るための寄り道距離の分布を解析的に導いた (Miyagawa, European Journal of Operational Research, 2010)。寄り道距離とは、施設に立ち寄るために必要となる、起終点間の最短距離からの距離の増分を表す。一般に、施設へのサービス需要はこの距離の増加に伴って減少することから、寄り道距離の分布はフロー需要型施設の立地を分析する基礎となる。

本研究は、Miyagawa (2010) のフロー需要型モデルを電気自動車充電施設へ応用し、充電施設の立地分析モデルを構築する。その際、施設への立ち寄り行動というフロー需要の特性に加えて、電気自動車の航続距離や家庭用充電設備の有無などの充電施設に固有の特性を取り入れる。そして、一定のサービスレベルを達成するために必要となる施設の密度を求めることにより、充電施設を効率的に整備するための指針を得ることを目指す。

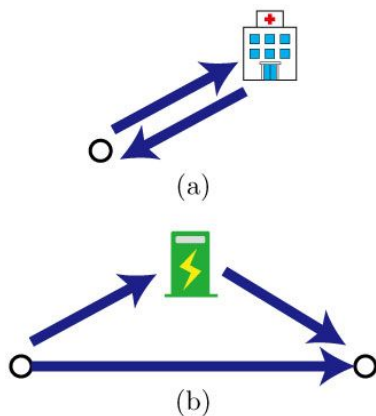


図 1. 施設の利用行動: (a)通常の施設; (b)フロー需要型施設

### 2. 研究の目的

本研究は、電気自動車充電施設の立地モデルを構築し、一定のサービスレベルを達成するために必要となる施設の密度を明らかにすることにより、充電施設の効率的な整備に資することを目的とする。特に、フロー需要型施設配置モデルを用いて、移動途中の施設への立ち寄り行動を明示的に扱い、充電施設が立地することでどのような移動が可能になるかという観点から立地を評価する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 充電施設の立地分析モデルの構築

フロー需要型施設配置モデルを基に、充電施設の立地を分析するためのモデルを構築する。利用者が移動途中に施設に立ち寄って充電する状況を考え、施設で充電することで往復移動が可能になる起終点ペアの量を用いて立地を評価する。理論化を容易にするため、充電施設の配置パターンとして線分上および平面上の規則的配置とランダム配置を対象とし、平面上での距離の計測には直線距離と直交距離を用いる。

#### (2) 充電施設の密度の分析

施設密度、航続距離、起終点間距離、起終点での充電設備の有無がサービスレベルに及ぼす影響を明らかにする。構築したモデルを用いて、移動の起点と終点のどちらでも充電できる場合、どちらか一方でのみ充電できる場合、どちらでも充電できない場合の3つの場合に対し、往復移動が可能な起終点ペアの量を計測する。そして、一定のサービスレベルを達成するために必要となる充電施設の密度を求める。

#### (3) 道路ネットワーク上での分析

実際の道路ネットワーク上の充電施設を対象として、施設で充電することで往復移動が可能になる起終点ペアの量を計測する。それを規則的配置やランダム配置に対するモデル分析の結果と比較し、実際の配置を評価する。また、充電施設の立地によって移動が可能になる領域を地図上に表示することで、立地の効果を視覚的に表現する。さらに、道路ネットワーク上での分析から得られた知見を、より記述力の高いモデル構築へとフィードバックさせる。

#### (4) 充電施設の整備水準の提案

電気自動車の航続距離や家庭用充電設備の普及率などに関するデータを収集し、構築したモデルに代入する。そして、目標とするサービスレベルを達成するために必要となる充電施設の密度を提示する。また、施設密度、航続距離、家庭用充電設備の有無がサービスレベルに及ぼす影響を定量的に比較することにより、電気自動車の普及に向けた政策の優先順位を決定するための情報を提供する。

### 4. 研究成果

#### (1) 充電施設の立地分析モデル

電気自動車での移動に必要な充電施設の密度を求めるためのモデルを構築した。

まず、ランダムな起終点間の往復移動が可能な確率を求めた。そして、施設密度が高いほど、航続距離が長いほど、起終点間距離が短いほど、往復移動が可能となる確率が大きくなることを示した。また、起終点のどちらでも充電できない場合には、短距離の移動でさえ

常に往復が可能とは限らないことを明らかにした。図2は、施設がランダム配置で距離が直線距離の場合に、横軸に起終点間距離、縦軸に往復移動が可能なる確率を表したものである。ただし、 $r$  は航続距離、 $\rho$  は施設密度を表す。

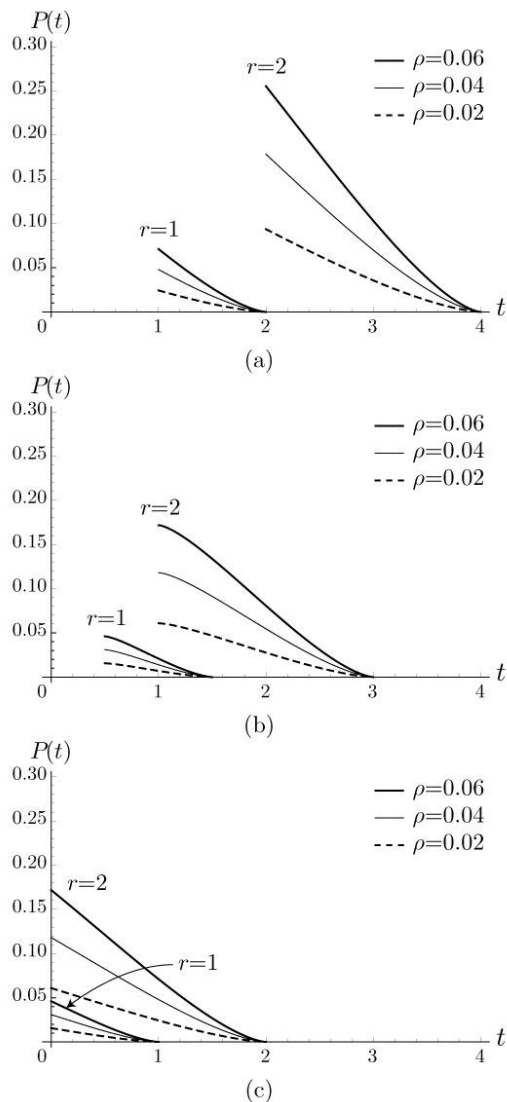


図2. 往復移動が可能なる確率: (a)起点と終点のどちらでも充電できる場合; (b)起点のみで充電できる場合; (c)起終点のどちらでも充電できない場合

次に、求めた確率を用いて、目標とするサービスレベルを達成するために必要となる充電施設の密度を求めた。そして、より高いサービスレベルを求めるほど、必要となる施設密度が高くなることを確認した。また、起終点のどちらでも充電できない場合には、どちらか一方でのみ充電できる場合やどちらでも充電できる場合に比べて、より多くの施設が必要になることを示した。

## (2) 寄り道距離を考慮したモデル

充電施設へ立ち寄るための寄り道距離を考慮できるように立地分析モデルを拡張し

た。これにより、寄り道距離の増加による施設利用需要の減少を記述できるようになった。

まず、起終点間の往復移動ができるかどうかに着目して、移動途中に充電施設に立ち寄るための寄り道距離の分布を求めた。そして、航続距離が長いほど、起終点間距離が短いほど、一定の寄り道距離で施設に立ち寄ることができるフローの量が増加することを示した。また、起終点のどちらでも充電できない場合には、施設を利用できるのは短距離移動時だけであることを明らかにした。

次に、一定の寄り道距離以内で施設に立ち寄ることができ、かつ施設で充電することで起終点間の往復移動が可能になる確率を求めた。図3は、施設がランダム配置で距離が直線距離の場合に、横軸に寄り道距離、縦軸に往復移動が可能なる確率を表したものである。ただし、 $t$  は起終点間距離を表す。

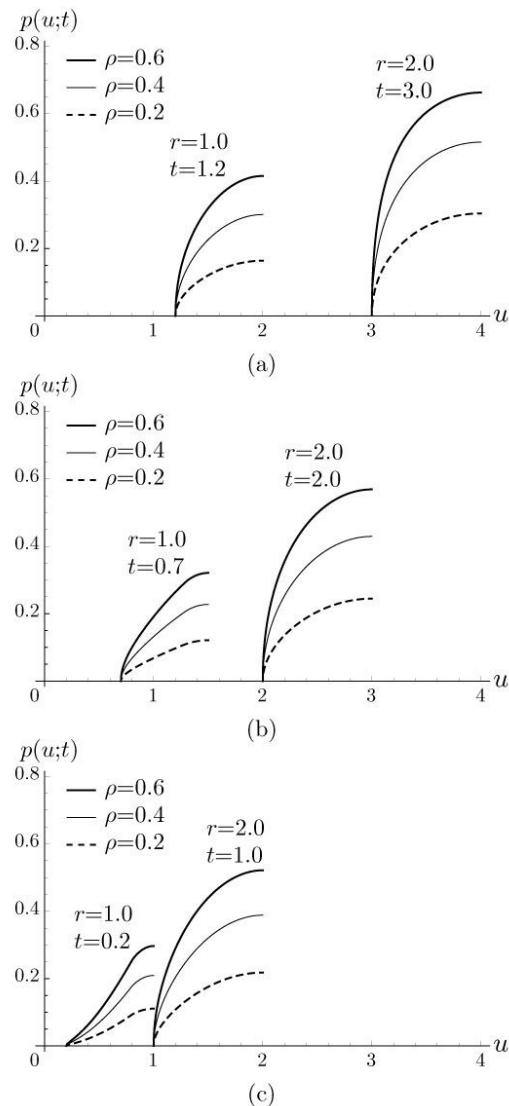


図3. 往復移動が可能なる確率: (a)起点と終点のどちらでも充電できる場合; (b)起点のみで充電できる場合; (c)起終点のどちらでも充電できない場合

最後に、一定のサービスレベルを達成するために必要となる施設密度を求め、移動者が許容できる寄り道距離が大きくなるほど、必要となる施設密度が低くなることを示した。

### (3) トリップ長分布を考慮したモデル

トリップ長分布を考慮できるように立地分析モデルを拡張した。これにより、起終点間距離の増加によるトリップ発生頻度の減少を記述できるようになった。対象領域内のトリップ長分布が与えられたとき、すべての起終点ペアのうちで、施設で充電することで往復移動が可能になる起終点ペアの割合を用いてサービスレベルを評価した。数値例として、図4のような起終点が一様に発生する円形領域において、設定したサービスレベルを達成するために必要となる施設の数求めた。

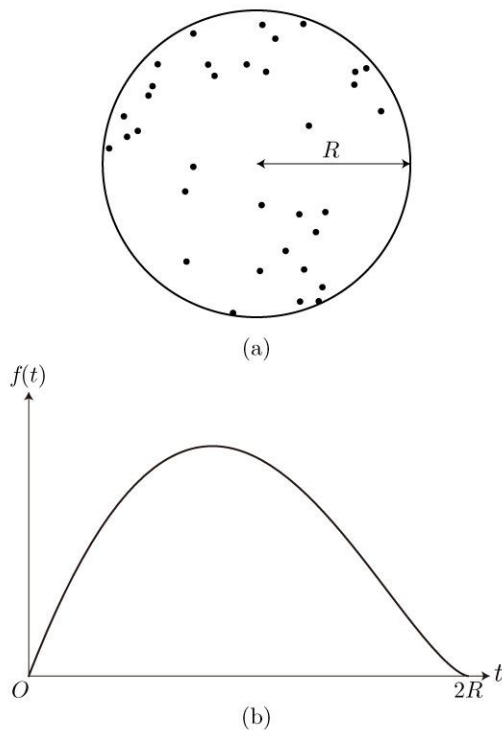


図4. (a)円形領域; (b)トリップ長分布

以上の研究成果は、電気自動車の普及に必要な充電施設の数を決める際の基礎資料となる。それに加えて、家庭や職場における充電設備の設置に対する補助など、電気自動車の普及のための政策の効果予測の際にも役立つ。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

Miyagawa, M.: Distribution of the sum of distances to the first and second nearest facilities. *Geographical Analysis*, 46, 321-333, 2014. [査読有]  
DOI:10.1111/gean.12041

Miyagawa, M.: Density of alternative fuel stations and refueling availability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38, 12438-12445, 2013. [査読有]

DOI:10.1016/j.ijhydene.2013.07.067

Miyagawa, M.: Distribution of deviation distance to alternative fuel stations. *American Journal of Operations Research*, 3, 363-368, 2013. [査読有]

DOI:10.4236/ajor.2013.33033

[学会発表] (計10件)

宮川雅至: 最も近い施設と2番目に近い施設までの距離の同時分布および和・差の分布. 第28回応用地域学会研究発表大会, 2014年11月29日, 沖縄県産業支援センター(沖縄県・那覇市).

Miyagawa, M.: Distribution of deviation distance to alternative fuel stations. *International Conference on Operations Research (OR2014)*, 2014年9月4日, Aachen (Germany).

宮川雅至: 最も近い施設と2番目に近い施設までの距離の和の分布. 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会, 2014年8月28日, 北海道科学大学(北海道・札幌市).

Miyagawa, M.: Sufficient density of refueling stations for alternative fuel vehicles. 20th Conference of the International Federation of Operational Research Societies (IFORS), 2014年7月14日, Barcelona (Spain).

Miyagawa, M.: Density of alternative fuel stations and refueling availability. *Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS) Annual Meeting*, 2013年10月17日, Minneapolis (USA).

宮川雅至: 電気自動車充電施設への寄り道距離分布. 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会, 2013年9月11日, 徳島大学(徳島県・徳島市).

Miyagawa, M.: Joint distribution of distances to the first and the second nearest facilities. *International Conference on Operations Research (OR2013)*, 2013年9月6日, Rotterdam (Netherlands).

Miyagawa, M.: Distributions of

rectilinear deviation distance to point-like and line-like facilities. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS) Annual Meeting, 2012年10月17日, Phoenix (USA).

宮川雅至: 電気自動車での移動に必要な充電施設の密度. 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会, 2012年9月13日, ウィンク愛知(愛知県・名古屋市).

Miyagawa, M.: Joint distribution of distances to the first and the second nearest facilities. 12th International Symposium on Locational Decisions (ISOLDE), 2012年7月20日, 南山大学(愛知県・名古屋市).

[その他]

ホームページ等

<http://www.js.yamanashi.ac.jp/~miyagawa/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮川 雅至 (MIYAGAWA, Masashi)

山梨大学・総合研究部・助教

研究者番号: 50400627