

## EV の走行データ分析に基づいた充電ステーションの最適配置法の提案 Proposal of optimal charging station placement method based on EV driving data analysis

太田 竜平<sup>†</sup> 平松 薫<sup>†</sup>  
Ryuhei Ota Kaoru Hiramatsu

### 1. はじめに

電気自動車 (EV) は、大気汚染物質の排出と化石燃料への依存を減らす可能性があることから、最近注目を集めている交通手段であり、人気が高まっている。実際に、CO<sub>2</sub> の削減は、EV 導入の動機として最も頻りに挙げられている[1]。

しかしながら、このような EV の利点にも関わらず、EV の販売全体における市場シェアは依然と小さく、2022 年日本での新車販売比率は 2.58%にとどまっている[2]。その要因の 1 つとして、充電ステーションの整備が十分ではない点が挙げられる。EV の充電ステーションの整備は近年進展しているものの、従来のガソリンスタンドと比較すると利便性において劣っているのが現状である。

このような背景のもと、本研究では、充電ステーションの配置に着目し、EV の走行データを用いて、充電残量が少なくなった地点から充電ステーションまでの道路距離の合計を最小化するような充電ステーションの最適配置法を提案する。

### 2. 先行研究

本章では EV 充電ステーションの最適配置問題に取り組んだ研究を最適化アルゴリズムに注目して紹介する。

#### 2.1 最適化アルゴリズム

充電ステーションの配置問題を取り扱った研究で用いられている最適化アルゴリズムで多いのが整数計画法とヒューリスティックな最適化アルゴリズムである。

整数計画法は、制約を設定した上で目的関数を最大化または最小化させるように定式化する手法である。欠点として、確率的な問題に対処できないことと計算量が多くなることが挙げられる[3]。[4]は、充電ステーションの配置計画、サイズ、および各充電ステーションの充電ポイント総数を最適化することで、設置コストと EV ドライバーの充電需要場所と充電ステーションの位置間の平均移動距離 (以下、アクセスコスト) を最小限に抑えるための、5 つの異なる整数線形計画法モデルを提案した。

ヒューリスティックな最適化アルゴリズムは、完全な解を見つけることが難しい問題に対して、短時間で近似解を求める手法である。その中でよく用いられているのが、遺伝子アルゴリズム (GA) である。[5]は、遺伝子アルゴリズムを利用して、設置コストとアクセスコストを最小化することを目的として充電ステーションの数と場所を特定する最適化モデルを提案した。

整数計画法とヒューリスティックな最適化アルゴリズム

の他にクラスタリングアルゴリズムを用いた手法もある。[6]は、充電ステーションの最適配置を求めるために、多重もしくは多種類のクラスタリングアルゴリズムを使用し、どちらがアクセスコスト (直線距離) をより最小化するか比較を行った。また、クラスタリングアルゴリズムは、他の最適化手法を用いる際の初期値を求めるために使用されることも多い。

充電ステーションの配置問題におけるクラスタリングアルゴリズムは、その他の手法と比較し、複雑な目的関数や制約を考慮することが難しい欠点があるが、計算量が少なく、大規模な走行データにも適用できる利点がある。本研究では、道路距離を考慮したクラスタリングアルゴリズムを用いて充電ステーションの最適配置方法を提案する。

### 3. 方法論

前章で述べた通り、クラスタリングアルゴリズムを用いた充電ステーションの最適配置は、他の手法と比較し少ない計算量で最適配置を提案することができる。クラスタリングアルゴリズムの中でも、k-means 法では広く利用されており、本研究でもこれを採用する。

k-means 法は、与えられたデータを k 個のクラスタに分類し、各クラスタ内のデータの類似性を最大化するように重心を決定するクラスタリング手法である。本研究では、EV の充電残量が一定以下になった地点 (以下、低充電地点) をクラスタリングの対象とし、各クラスタの重心を充電ステーションの候補地点として提案する。

しかし、k-means 法は通常ユークリッド距離 (直線距離) に基づいてクラスタリングを行うため、道路ネットワークを考慮しないという欠点がある。これは、道路上の移動距離やアクセス性を無視することにつながり、実運用においては非現実的な配置となる可能性がある。

そこで本研究では、道路距離を考慮した 2 種類のクラスタリング手法を導入し、最適な充電ステーションの配置を提案する。

#### 3.1 MDS を用いたクラスタリング手法

多次元尺度構成法 (MDS: Multidimensional Scaling) は、距離行列によって表現された距離間を実現するために最適な点の配置を計算するアルゴリズムである。まず、全ての低充電地点間の道路距離行列を計算し、その距離行列に MDS を適用して、各地点の位置関係を保った 2 次元座標空間を構成する。次に、その座標空間上で k-means 法を用いて低充電地点のクラスタリングを行い、道路距離に基づいたクラスタを構築する。最後に各クラスタ内のすべての地点からの道路距離の合計が最小となる地点を重心として選出し、これを充電ステーションの設置候補地とする。

#### 3.2 k-means 法の改良による反復最適化手法

本研究では、従来の k-means 法に道路距離を導入し、以下の手順でクラスタリングを行う：

<sup>†</sup> 埼玉大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

1. 充電ステーションの初期配置をランダムに決定する。
2. 各低充電地点を、道路距離で最も近い充電ステーションに割り当て、クラスタを形成する。
3. 各クラスタにおいて、全ての地点からの道路距離の合計が最小となる新しい充電ステーション位置を再設定する。
4. 2、3 の手順を、クラスタ構成が収束するまで繰り返す。

この手法により、最初から道路距離に基づいてクラスタを構築し、反復的に充電ステーションの配置を最適化することが可能となる。

以上の 2 つの手法により、道路ネットワークを考慮した実用的な最適配置の提案を可能とする。次章ではこの手法を用いた実験および評価を行う。

## 4. 実験

実験は、EV の走行データ（位置データ、時間データ、充電残量データ）をシミュレータで作成して、提案した 2 つの手法と従来の k-means 法の計 3 手法について性能評価を行う。

### 4.1 実験データ

本研究では本来、実車両から得られた EV の走行データの利用が望ましいが、日本国内における実データの入手が困難であったため、本研究では、オープンソースの交通シミュレータである「SUMO (Simulation of Urban MObility) [7]」を用いて、人工的に走行データを生成した。

シミュレーションは、現実の道路ネットワーク上において EV の走行を模擬し、その結果を実験データとして利用する。SUMO では、1 時間あたり 1 km の道路上に出現する車両台数を変数として設定可能であり、本実験では初期値である 12 に設定した。

実験対象とした道路ネットワークは、東川口駅近辺の広さ約 1.3km<sup>2</sup>の範囲とし、380 秒間のシミュレーションを実施した。これにより 63 台の EV 走行データが得られた。各車両の出発時充電残量は 250Wh に固定し、他のパラメータ（回転質量や推進効率等）はすべて初期値に設定した。

本研究では、充電残量が 0Wh になった地点を低充電地点と定義し、合計で 50 箇所の低充電地点が得られた。このデータをもとに 3 つの手法の比較実験を行った。

### 4.2 手法比較

MDS を用いたクラスタリング手法（以下、MDS 法）、道路距離を用いた k-means 法による反復最適化手法（以下、反復最適法）、従来の k-means 法（以下、従来法）の比較指標として、「全ての低充電地点から充電ステーションまでの道路距離の合計」を用いた。充電ステーションの設置数は、全ての手法で 2 箇所 (k=2) とした。また、k-means 法の初期値によって結果が変わるため、10 回実験を行い、平均値を比較対象とした。

結果として、MDS 法は 16111.75m、反復最適法は 12101.38m、従来法は 15912.55m となった。この結果から反復最適法が最も優れた結果を示したことがわかる。一方で、MDS 法は従来法よりも悪い値となり、道路距離に基

づいた手法であるにもかかわらず、直線距離ベースの従来法に劣る結果となった。

この要因として、MDS によるクラスタリングの結果、本来他のクラスタの充電ステーションの方が道路距離的に近いにもかかわらず、同一クラスタのステーションに割り当てられる地点が存在することも、精度の低下につながった可能性がある。今後は異なる道路ネットワークでの実験や MDS における処理などを調査し、原因を探っていきたい。

なお、実行時間は、MDS 法が、12.22 秒、反復最適法が、36.71 秒、従来法が 0.017 秒であった。（実行環境：MacbookPro(16-inch,M1,2020), OS: macOS Sonoma バージョン 14.6.1, CPU: 6 コア Intel Core i7, メモリ: 16GB)

## 5. おわりに

本研究では、EV の走行データに基づき、道路距離を考慮したクラスタリング手法による充電ステーションの最適配置法を 2 つ提案した。また、交通シミュレータ SUMO を用いてシミュレーションを行い、実験データを作成し、提案手法と従来の k-means 法の性能比較を行った。その結果、反復的に重心点を更新する「反復最適法」が最も良好な結果を示し、道路距離を考慮することの重要性を確認した。一方で、MDS 法では良い結果が得られなかった。

今後は、今回の結果の考察に加え、より広い地理的範囲や大きい車両データを用いた実験を進める。また、シミュレーション上の設定を実際の道路状況に類似させることができるかどうかを検討していく。また、k-means 法は遺伝子アルゴリズムなどの他の最適化手法と比較して計算量が小さくなるが、反復最適法はこれらと同様にネットワークが大きくなるとそれに応じて指数関数的に大きくなることが予想される。今後はシミュレーションの検討とともに、計算量を抑える方法はないかについても検討していきたいと考えている。それに加えて、k-means 法の最適な k の値について検討していきたい。

### 参考文献

- [1] Apurva Pamidimukkala, Sharareh Ker-shachi, Jay Michael Rosenberger, Greg Hladikand, "Barriers and motivators to the adoption of electric vehicles: A global review", Green Energy and Intelligent Transportation, Vol.3, Issue.2, April 2024,100153
- [2] EV: 【2024 年最新】日本の電気自動車 (EV) の普及率は？新車販売に占める EV・PHEV 比率の推移を解説 <https://ev-charge-enechange.jp/articles/033/>
- [3] Mohd Bilal, Mohammad Rizwan, "Electric vehicles in a smart grid: a comprehensive survey on optimal location of charging station", IET Smart Grid, Vol.3, Issue.3, June 2020, pp.267-279
- [4] Irfan Ullah, Kai Lui, Safa Bhar Layeb, Alessandro Severino, Arshad Jaml, "Optimal Deployment of Electric Vehicles' Fast-Charging Stations", Transitions Towards Electrification, Automation and Shared mobility for Urban Transport 2022, April 2023
- [5] Vasiliki Lazari, Athanasios Chassiakos, "Multi-Objective Optimization of Electric Vehicle Charging Station Deployment Using Genetic Algorithms", Evolutionary Computation: Theories, Techniques, and Applications Appl. Sci. 2023, Vol.13, Issue.8, 4867
- [6] Qing Li, Xue li, Zuyu Liu, Yaping Qi, "Application of Clustering Algorithms in the Location of Electric Taxi Charging Stations", Sustainable Transition in Transport Energy Consumption: The Charging/Discharging Infrastructure and Self-Containing Transport Energy System of New Energy Vehicles, Sustainability 2022, Vol.14, Issue.13, 7566
- [7] SUMO: SUMO Documentation, <https://sumo.dlr.de/docs/index.html>