

電気自動車専用急速充電器の最適配置問題

2008MI272 山之内亮介 2008MI278 保田将弘

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

1.1 研究の動機

本研究では東海4県(静岡県, 岐阜県, 愛知県, 三重県)における電気自動車専用急速充電器の配置問題について考える。電気自動車(EV: Electric Vehicle)は電気をエネルギー源とし、ガソリンを使用せず走行するため、二酸化炭素を一切排出しないことなどから注目を集めている。しかしながら、EVの普及は進んでいないのが現状である。

EVは一度の充電による走行可能距離が160~200kmであり[1]、ガソリン自動車と比較すると、走行可能距離が短い。よって、EVの普及には充電インフラの構築が必要である。私たちは、EVを普及させるためには素早く充電できる急速充電器の広域的な配置を優先するべきだと考える。

また、[2]によると愛知県の急速充電器の設置数は10基(2011年12月6日現在・一般開放可のみ)である。これは、急速充電器設置数第1位の神奈川県(85基)、第2位の東京都(59基)と比較するとかなり少ない。愛知県は都道府県別の自動車保有台数第1位の県であるにもかかわらず[3]、急速充電器の設置は遅れていると言える。以上のような現状を考慮すると、特に東海圏の急速充電器の設置は急務だと考える。そこで、本研究の目的は東海4県における急速充電器の最適配置を考案し導き出すこととする。

1.2 過去の研究

急速充電器の設置についての研究では、石亀らの「充電インフラの適正配置に関する検討」[4]がある。この研究はポロノイ図を用いて、急速充電器と利用者代表点の平均距離を最小にする施設配置法で急速充電器の配置を検討している。

2 モデルの説明

2.1 言葉の定義

以下の記述において、次のように言葉の定義をする。

需要点：市区町村の代表点。

候補点：急速充電器の設置候補点。

節点：需要点と候補点と既存の急速充電器の設置点。

ODペア：出発地と目的地のペア。

アクセスレベルネットワーク：

需要点と候補点および既存の急速充電器の設置点間におけるネットワーク。

充電器ネットワーク：

候補点および既存の急速充電器の設置点間におけるネットワーク。

需要点*i*を出発地、需要点*j*を目的地とするODペアを*(i, j)*と表し、節点*i*と節点*j*を結ぶ枝を*(i, j)*と表す。

2.2 最適な配置について

ここでは最適な配置について図を用いて説明する。

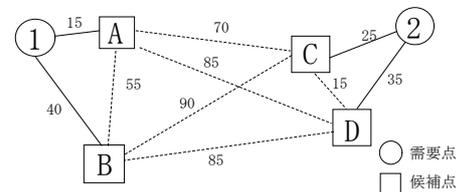


図1 急速充電器配置の例

図1の実線で示された線が需要点と候補点を結ぶ枝、点線で示された線が候補点間を結ぶ枝である。枝の横の数字はその枝の長さ(2点間の距離)を表している。枝が接続していない節点間はEVでは走行不可能な距離にあり、直接行くことができないものとする。需要点1から需要点2までEVで移動したい場合、充電器に経由していかなければ、需要点2に向かうことができない。すなわち、走行するには、需要点1と需要点2が連結となるように候補点を選んで充電器を設置する必要がある。例えば、候補点A, Cに設置した場合、走行距離は $15+70+25=110$ 、候補点B, Dに設置した場合は $40+85+35=160$ となる。運転手はなるべく短い距離を走行したいと考えるだろう。よって最小の距離となる候補点A, Cに充電器が設置されていることが1番望ましい。

したがって、各ODペアに対する総移動距離が最小となるように急速充電器を配置することが、最適な配置だと私たちは考える。

2.3 モデルの概要

最適な配置となる仮定を以下に定義する。

- EVが1回の充電で走行可能な限界距離を100kmと仮定する。よって、距離が100km以上ある節点間は走行できないものとする。ただし、アクセスレベルネットワークの枝は走行可能な限界距離を50kmとする。これは、途中で充電することなく往復できる2点間の距離である。
- EVは出発地から目的地に着くまで急速充電器に複数経由可能である。需要点には経由できない。
- 候補点、枝に容量制約を設けない。
- ODペアの出発地と目的地は連結でなければいけない。
- ODペアの出発地と目的地はすべて需要点のみとする。
- 需要点同士の中にEVが急速充電器を経由せずに往復可能である場合、その需要点同士はODペアの集合に含めない。すなわち、ある需要点同士が50km以内にある場合、その需要点同士はODペアの集合に含めない。

2.4 解決方法

この問題を多品種流問題として定式化し、急速充電器の最適な配置を求める。急速充電器の設置点数を p とし、 p の値を変更して、急速充電器の配置とそれの場合の総移動距離を求め分析する。最適化計算には IBM ILOG CPLEX 12.2(以下 CPLEX) を用いる。使用したコンピュータの CPU は Intel® Core™ i7-960 Processor, メモリは 24GB である。

また、本研究では既存の急速充電器を含む場合と含まない場合の実行を行う。

3 定式化

問題を定式化するにあたり、以下に記号を定義する。

添字集合

- V : 需要点の添字集合.
- M : 候補点の添字集合.
- E : 既存の急速充電器の設置点の添字集合.
- Π : OD ペアの添字集合.
- O_π : OD ペア $\pi \in \Pi$ の出発地.
- D_π : OD ペア $\pi \in \Pi$ の目的地.

定数

- d_{ij} : 枝 (i, j) 間の距離.
- p : 設置する急速充電器の数.
- a_{ij} : 枝 (i, j) の長さが EV の走行可能な距離ならば $a_{ij}=1$, 走行不可能ならば $a_{ij}=0$ とする行列.

変数

- x_{ij}^π : OD ペア π に対して、EV がアクセスレベルネットワークの枝 (i, j) を走行するとき 1, しないとき 0.
- y_{ij}^π : OD ペア π に対して、EV が充電器ネットワークの枝 (i, j) を走行するとき 1, しないとき 0.
- z_i : 候補点 i に急速充電器を設置するとき 1, しないとき 0.

目的関数

Minimize

$$2 \cdot \sum_{\pi \in \Pi} \left(\sum_{i \in V} \sum_{j \in (M \cup E)} d_{ij} x_{ij}^\pi + \sum_{k \in (M \cup E)} \sum_{l \in (M \cup E)} d_{kl} y_{kl}^\pi \right) \quad (1)$$

制約条件

$$z_i = 1 \quad i \in E \quad (2)$$

$$\sum_{i \in M} z_i = p \quad (3)$$

$$x_{ij}^\pi \leq a_{ij} z_j \quad i \in V, j \in (M \cup E), \pi \in \Pi \quad (4)$$

$$y_{ij}^\pi \leq a_{ij} z_j \quad i, j \in (M \cup E), \pi \in \Pi \quad (5)$$

$$\sum_{j \in (M \cup E)} x_{ij}^\pi = 1 \quad i = O_\pi, \pi \in \Pi \quad (6)$$

$$\sum_{j \in (M \cup E)} x_{ij}^\pi = 1 \quad i = D_\pi, \pi \in \Pi \quad (7)$$

$$x_{ik}^\pi + \sum_{j \in (M \cup E)} y_{jk}^\pi = x_{lk}^\pi + \sum_{m \in (M \cup E)} y_{km}^\pi \quad i = O_\pi, l = D_\pi, k \in (M \cup E), \pi \in \Pi \quad (8)$$

定式化の説明

目的関数および各制約条件の説明は以下の通りである。

- (1) すべての OD ペア間の往復の移動距離の合計を最小にする。
- (2) 既存の急速充電器の設置点には必ず充電器が設置されている。
- (3) 設置する急速充電器の設置点数は p とする。
- (4) 需要点 i と候補点および既存の急速充電器の設置点 j が走行可能な距離にあり、 j に急速充電器が設置されている場合、 i から j の枝を走行できる。
- (5) 候補点および既存の急速充電器の設置点 i, j が走行可能な距離にあり、 j に急速充電器が設置されている場合、 i から j の枝を走行できる。
- (6) 出発地 i における流量保存則。
- (7) 目的地 i における流量保存則。
- (8) 候補点および既存の急速充電器の設置点 k の流量保存則。

4 データの作成

4.1 需要点・候補点の決定

需要点は、位置参照情報ダウンロードサービス [5] から東海 4 県の大字・町丁目レベルの座標データを取得し、そのデータを元に求めたメディアン点とする。メディアン点は市区町村ごとに求める。需要点の数は 186 点である。また、メディアン点を求めるプログラムは Microsoft Visual C++ 2010 Express(以下 VC2010) で作成した。

候補点は、実際に立地している、ある会社のガソリンスタンドの場所とする。候補点の数は 272 点である。候補点の座標データを求める際には、各ガソリンスタンドの住所からアドレスマッチングサービス [6] を利用し、座標データを csv ファイルで出力した。また、既存の急速充電器の設置点の数は 44 点である。

しかしながら、このデータを用いて CPLEX を実行したところ、コンピュータのメモリ不足により、解を求めることができなかった。よって、節点数の合計が 150 程度になるように、用意したデータから需要点と候補点を選択し、計算実験用の需要点・候補点データを作成した。

4.2 距離データの作成

距離データは道路距離とする。距離データを作成するにあたって、数値地図 25000(空間データ基盤)[7](以下数値地図)の道路データを使用した。以下に作成手順を明記する。

1. 数値地図の道路データを市区町村別に抽出する。
 2. 抽出した市区町村別の道路データをマージする。
 3. 各節点と最寄りの道路との距離を測る。
 4. 節点間の最短距離をダイクストラ法で計算する。
- 以上の手順に沿って距離データを出すために必要なデータはすべて VC2010 でプログラムを作成した。

5 実行結果

5.1 既存の急速充電器を含む場合

既存の急速充電器を含む場合の結果を示す。使用したデータの節点数と OD ペア数を表 1 に示す。

表 1 節点数と OD ペア数 (既存の急速充電器を含む場合)

節点の種類	数
需要点	62
候補点	43
既存の急速充電器	44
計	149
OD ペア数	1450

各点の配置は図 2 に示す。また、図 2 は数値地図のデータを地理情報分析支援システムの MANDARA[8] で読み込み、描画した。

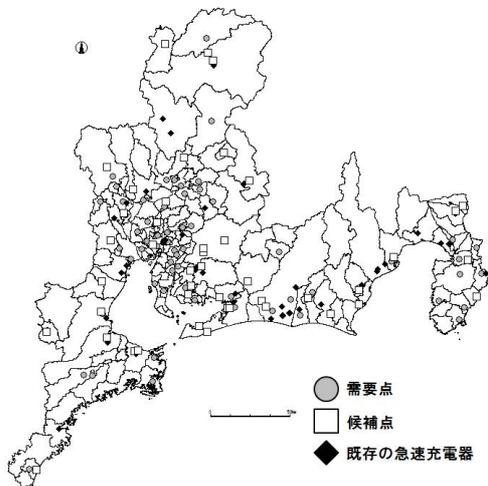


図 2 各点の配置 (既存の急速充電器を含む場合)

表 2 と図 3 は、設置する急速充電器の数を変化させたときの最適値 (総移動距離) の変化を表している。

表 2 実行結果 (既存の急速充電器を含む場合)

設置点数	総移動距離 (km)	設置点数	総移動距離 (km)
0	-	15	498,663.7
1	506,859.7	16	498,614.9
2	503,982.7	17	498,583.3
3	502,155.8	18	498,551.9
4	501,174.5	19	498,524.0
5	500,256.6	20	498,551.6
6	499,933.9	21	498,471.5
7	499,622.4	22	498,446.3
8	499,447.5	23	498,422.2
9	499,297.9	24	498,409.7
10	499,150.2	25	498,402.4
11	499,008.1	26	498,398.4
12	498,902.5	27	498,396.3
13	498,801.3	28 ~ 43	498,396.3
14	498,727.7		

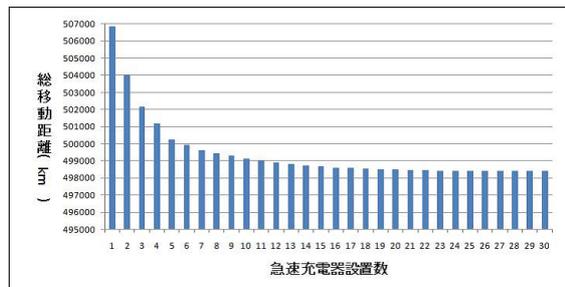


図 3 最適値の変化 (既存の急速充電器を含む場合)

表 2 より、すべての OD ペア間を往来可能にするためには、少なくとも 1 か所に急速充電器を設置する必要があるがわかった。また、設置点数が 28 のとき総移動距離は最小となり、それ以上は設置点数を増やしても総移動距離は変化しない。

実行結果の一例として設置点数 10 の場合の設置の様子を図 4 に示す。また、飛騨市から河津町、幡豆郡幡豆町から名張市、不破郡関ヶ原町から津市への経路も表示した。

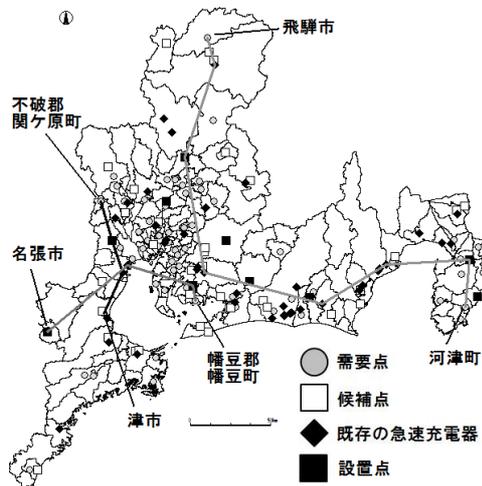


図 4 設置点数 10 の場合 (既存の急速充電器を含む場合)

5.2 既存の急速充電器を含まない場合

既存の急速充電器を含まない場合の結果を示す。使用したデータの節点数と OD ペア数を表 3 に示す。

表 3 節点数と OD ペア数 (既存の急速充電器を含まない場合)

節点の種類	数
需要点	62
候補点	91
計	153
OD ペア数	1628

表 4 と図 5 は、設置する急速充電器の数を変化させたときの最適値 (総移動距離) の変化を表している。

表 4 実行結果 (既存の急速充電器を含まない場合)

設置点数	総移動距離 (km)	設置点数	総移動距離 (km)
0~12	-	38	602,095.8
13	707,168.6	40	601,897.8
14	643,023.6	42	601,729.0
16	624,465.8	44	601,585.0
18	616,211.2	46	601,465.5
20	610,659.9	48	601,369.4
22	608,257.6	50	601,299.8
24	606,702.4	52	601,251.9
26	605,367.0	54	601,211.6
28	604,401.3	56	601,186.4
30	603,666.2	58	601,170.1
32	603,035.2	60	601,167.4
34	602,640.3	62~91	601,166.4
36	602,343.5		

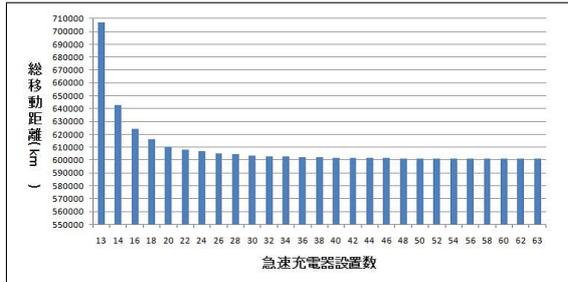


図 5 最適値の変化 (既存の急速充電器を含まない場合)

図 6 に設置点数 44 の場合の設置の様子を示す。また、大野郡白川村から西伊豆町、静岡市葵区から岡崎市、揖斐郡大野町から名張市への経路も表示した。

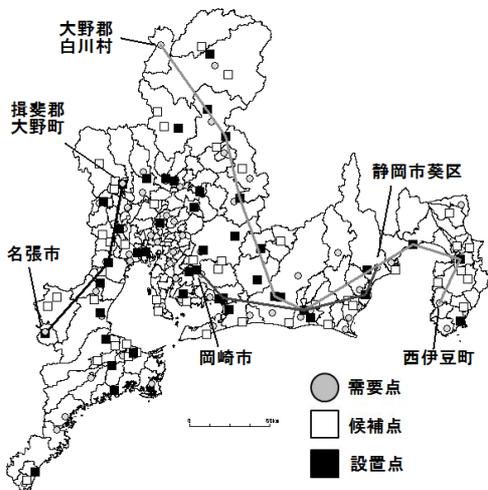


図 6 設置点数 44 の場合 (既存の急速充電器を含まない場合)

表 4 より、すべての OD ペア間を往来可能にするためには、少なくとも 13 か所に急速充電器を設置する必要があることがわかった。設置点数が 62 のとき総移動距離は最小となり、それ以上は設置点数を増やしても総移動距離は変化しない。

図 2 と図 6 を比べると、図 6 は図 2 より静岡県の設置点数が大きく減少し、地図の中心部、つまり愛知県に集中して急速充電器を設置されていることが分かる。このように配置の違いが現れた要因は、本研究では東海圏外との

OD ペアを考慮していない点、OD 間の需要を平等に見ている点が挙げられる。また、既存の急速充電器の設置点は静岡県の海沿いに多く設置されている。このことから、既存の急速充電器の設置点は、交通量も考慮して設置されていると考えられる。

5.3 考察

今回の研究結果より、現在の東海 4 県の急速充電器の設置状況で、すべての需要点が往来可能になるには、少なくとも 1 つの候補点に急速充電器を設置し、設置点数が 45 必要であることがわかった。対して、既存の急速充電器を考えなければ、少なくとも設置点数が 13 必要であり、急速充電器の数の大きく差が出た。

設置点数が少ない場合、OD ペアによっては急速充電器に経由する距離が非常に長くなる。急速充電器に経由しながら目的地に移動する距離と、目的地への最短の移動距離の相対誤差がなるべく少ない方が利用者は不便さを感じにくいと考える。そこで、設置点数を増やすことで、目的地に移動する距離を短くすることや、充電回数などを気にした経路の選択も可能となる。しかし、このモデルでは一概に設置点数を増やしていけばよいと考えることはできない。なぜなら、図 3 より、設置点数を多くしていくほど、総移動距離にはほとんど変化は見られなくなるからである。

6 おわりに

本研究では、EV で東海 4 県における任意の需要点間に往来可能となるような急速充電器の最適配置を求めた。提案したモデルでは各設置点における急速充電器の設置数を考慮していない。EV の普及台数が増加した場合、1 つの設置点につき 1 基の急速充電器では EV の充電供給が追い付かないであろう。各需要点の人口や各道路の交通量、OD 間の需要を考慮し、各設置点に何基の急速充電器を設置するかを検討することが今後の課題である。

参考文献

- [1] 電気自動車 (EV) 総合情報サイト | 日産 <http://ev.nissan.co.jp/>
- [2] CHAdeMO 協議会 <http://www.chademo.com/jp/index.html>
- [3] 財団法人 自動車検査登録情報協会 <http://www.airia.or.jp/index.php>
- [4] 石亀篤司, 松田真典: 『充電インフラの適正配置に関する検討』. オペレーションズ・リサーチ 2011 年 7 月号, pp. 388-394.
- [5] 国土交通省国土政策局 GIS のページ <http://www.mlit.go.jp/kokudokeikaku/gis/index.html>
- [6] Geocoding Tools & Utilities <http://newspat.csis.u-tokyo.ac.jp/geocode/>
- [7] 国土地理院 <http://www.gsi.go.jp/>
- [8] KTKTGIS.net <http://ktgis.net/index.php>