場所と速度による電池残量変化を考慮した高速道路上での充電器利用状況の研究

経営システム研究室 大野優也

1. はじめに

近年，低燃費，環境負荷の少なさなどを理由に電気自動車 (EV) が普及すると考えられる．しかし，充電インフラの不備などを理由に高速道路充電施設では，利用者の混雑が予想される．過去の研究では高速道路の区間設定を細かくすることで EV の走行速度の違いを考慮した．本研究では，場所による速度変化，電池残量は速度に依存して減るという条件を加えて実際の高速道路の状況に近いモデルを作成し，充電器台数を見積もることを目的とする．

2. 高速道路と EV の設定

高速道路を等間隔に区切られた数直線で表し，原点を地点 0（高速道路始点），正の整数の点を地点 $1,\ldots,\bar{i}$ ($\bar{i}$ は高速道路終点）と地点番号をつける．各地点のいくつかは高速道路のパーキングエリア，サービスエリア，その地点に充電器を置くことを考える．またいくつかの地点は入口，出口に対応する．

EV の設定としては，充電状態を表現する充電レベルを考える，充電レベルは急速充電による最大充電状態を正の整数 $\bar{l}$ であらわし，残量 0 を 充電レベル 0 とする．走行による充電量の残量を $0,\ldots\bar{l}$ の整数で表す．

地点 i_0 に充電レベル l_0 で時刻 t_0 に高速道路に流入してきた状態を初期状態として，終点に向かって一方向に走行する．出口での流出を表すために，地点 i_0 から入った EV が地点 i で高速道路から流出する確率を $q(i|i_0)$ とする．

EV が，時刻 t に地点 i に充電レベル l で存在すると考えたとき 1 単位時間に確率 $1-p(i)$ で 1 区間走行し，確率 $p(i)$ で 2 区間走行し，1 区間（2 区間）走行して充電レベルが r 減る確率を $d_1(i,r)$（$d_2(i,r)$） とする．走行による充電レベルが減少したとき，充電施設では充電するか判断する．このとき地点 i で充電レベル l のとき，充電を行う確率を $c(i,l)$ とする．2 区間走行時は，1 単位時間後に 1 区間走行し，そこで $d_1(i,r)$ の確率で充電レベルが r 減った状態を考え，それに対して $1-c(i+1,l-r)$ の確率で充電しなければ，2 区間進むものとする．2 区間進んだときには，あらためて，$d_2(i,r)$ の確率で r レベル減るものとする．

充電にかかる時間は充電残量 l に応じてかわり $m(l)$ とし，終了したとき充電レベルは最大充電状態 $\bar{l}$ となる．

3. モデルの定式化

1 台の場合の状態確率の導出

高速道路を走行する EV の状態を，地点番号 i，充電レベル l，時刻 t により表す．EV が地点番号 i を充電レベル l で時刻 t のとき道路上に到着する確率を $s(i,l,t)$ とする．$s(i,l,t)$ の確率は, 初期流入地点を i_0 とすると，

$$s(i,l,t) = \sum_{r=0}^{\min[\bar{r},\bar{l}-l]} [1-p(i-1)]g_1(i-1,r)s(i-1,l+r,t-1) + \sum_{l+r\le\bar{l}} p(i-2)g_2(i-2,r)s(i-2,l+r,t-1) \quad (1)$$

$g_1(i,r)$（$g_2(i,r)$）は地点 i から流出，充電せずに充電レベル r 減り，1 区間 (2 区間) を走行する確率．

最初に流入した地点，時刻，レベルを初期状態確率として与え，各初期状態確率に対する充電台数を求める．それらを合成（畳み込み）して各地点，各時刻の総充電台数分布を求める．

4. まとめ

今回の研究では東名，名神高速道路に似せたモデルを作り考察を行った．東名神高速道路のパーキングエリア， サービスエリアに対応する地点に充電器を置いてるとする．東名神高速道路の地点 $\bar{i}$ は地点 536 となり，充電地点としては地点 14， 31， 54， 72 地点などがある．時速 60km から 102km で変化しながら走行する EV が 5 分おきに，7 台ずつが地点 0 から流入する場合の各地点で利用されている充電器台数の確率を下表に示す．

表 1：30 時刻での充電台数確率

	0 台	1 台	2 台
14 地点	9%	23%	28%
31 地点	40%	38%	16%

地点 14 では 1 台以上利用されている確率が約 91%，地点 31 では約 60% となることがわかる．
地点 31 では 2 台以下まで利用されてる累積確率が約 94% となることがわかる．