EVの航続可能範囲の視覚化と観光行動パターンに基づく充電施設配置に関する研究

栗栖 嵩¹・高橋 清²・松久 浩³・井上 秀行⁴・大波 拓也⁵

¹学生会員 北見工業大学大学院 土木開発工学専攻（〒090-8507 北海道北見市公園町165番地）
E-mail: mcv10003@std.kitami-it.ac.jp

²正会員 北見工業大学教授 社会環境工学科（〒090-8507 北海道北見市公園町165番地）
E-mail: kiyoshi@mail.kitami-it.ac.jp

³非会員 国土交通省北海道開発局網走開発建設部（〒093-8544 網走市新町2丁目6番1号）
E-mail: matsuhisa-h22aa@hkd.mlit.go.jp

⁴非会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社（〒206-8550 東京都多摩市関戸1丁目7番地5）
E-mail: hideyuki.inoue@ss.pacific.co.jp

⁵非会員 JR北海道 旭川保線所名寄保線管理室（〒096-0001 北海道名寄市東1条南8丁目）

本研究の対象地域である、北海道東部地域（以下、道東地域とする）において、オホーツクEV推進協議会が主体となり、2度のEVモニタ実験が実施された。そして、EV利用促進のためのインフラ整備・運用の可能性検証と、今後の運用に向けた対応方針の検討が行われ、今後は、広域的な観光周遊行動に対応する充電施設配置の検討が重要な課題であることが明らかとなった。本研究では、EVの航続可能範囲を視覚化するとともに、観光客の行動パターンに基づく充電需要を分析することで、道東地域の観光流動に対応する充電施設配置について検討した。結果、EVユーザーが電欠を生じることのない、最低限の密度での急速充電施設配置、および急速充電施設密度を高める上での充電施設候補地の設置優先順位を明らかにした。

Key Words : *electric vehicle, charger facility location problem, visualize cruising range, tourism behavior*

1. はじめに

(1) 背景と目的

近年、環境意識の高まりにより、走行時に排気ガスを一切排出しない電気自動車（以下、EVとする）が注目されている。EV普及における最大の課題は、航続距離が短いことであり、車種によって異なるが、公称値は約90～200 kmである。しかし、道路勾配やエアコンの使用等、実際の走行状況によって、航続距離はさらに短くなることが分かっている。そのため、長トリップが相対的に多い地域においては、EVユーザーが電欠や、電欠に対する不安を生じることなく走行可能となるよう、充電環境を整備する必要がある。

現在、EVの充電方式には、大きな分類として普通充電と急速充電が存在する。普通充電は、一般家庭や宿泊施設等における使用が想定されており、低コストでの設置が可能である。また、普通充電用のコンセントには、

100V用と200V用の2種類があり、既に市販されているEV（日産リーフ）では、満充電まで100V用で約28時間、200V用で約8時間の充電時間を要する¹⁾。これに対し、急速充電は、走行途中の補充電が主な役割であり、設置コストは高いものの、約30分で電池容量の約80%まで充電が可能である。このことから、急速充電施設は道の駅やコンビニ、観光施設等、30分程度滞在可能な施設への設置が想定されている。このように、ガソリン車の給油と比べ、EVの充電においては、充電時間の制約が存在し、充電時間を考慮した充電施設配置を検討しなくてはならない。

そこで本研究では、北海道東部地域（以下、道東地域とする）における観光客の周遊行動に着目し、EVの航続距離と道東地域の観光客の行動パターンを分析することで、充電需要を把握するとともに、EVによる広域的な観光周遊行動に対応する充電施設配置について検討することを目的とする。

(2) 対象地域および路線の概要

本研究の対象地域・路線、および既存の充電施設配置を図-1に示す。都市や観光スポットを接続する主な国道、および道道を対象路線とした。

本研究の対象地域である道東地域は、世界自然遺産知床や阿寒国立公園等、わが国でも有数の観光資源を有し、年間観光入込客数が900万人を超える、北海道を代表する観光エリアの一つである。近年では、自家用車やレンタカーによるドライブ観光が中心となっており、自動車による移動を確保しつつ、自然環境への負荷軽減を図ることが地域観光の重要な課題となっている。この点から、EVを観光客の移動手段として、有効活用することが期待されている。しかし、道東地域へのEV導入を検討する場合、都市や観光スポットが広域に点在することから、走行途中における充電の必要性が高く、そのために、充電施設の計画的な整備が必要となる。

そこで、道東地域のオホーツク管内において、平成22年12月6日にオホーツクEV推進協議会が設立され²⁾、EVを活用した観光モデルの構築に向けた取組みが行われている。図-1に示した通り、道東地域においては、9都市に充電施設が設置されており、このうち、大空・斜里・ウトロの道の駅においては、実験的に急速充電施設が設置された。また、北見市・弟子屈町においては、車両販売店に普通充電施設、および急速充電施設が設置されており、道東地域全体では、5都市に急速充電施設が設置されている。しかしながら、EV普及へは、依然として充電施設は不足しており、充電施設配置の更なる検討が必要である。特に、道東地域の自動車ユーザーの中でも、1日に長距離移動する傾向が大きい「観光客」が、EVによって、都市や観光スポット間を移動可能であるか等、十分に検討する必要がある。

2. 研究の位置づけ

EVに関する研究の中では、充電施設配置に関する研究が近年多く報告されている。平野³⁾は、岡山県全域を10kmメッシュに区切り、メッシュ毎に1つの急速充電施設を設置することが、EVの行動範囲を広げる上で必要最低限の設置水準としている。小柳・瓜生⁴⁾、小柳・岩田⁵⁾や、松田・石亀⁶⁾は、重み付きボロノイ図により、それぞれ東京都と大阪府における充電施設の適正配置について考察している。しかし、こうしたメッシュやボロノイ図による分析は、都市部のように、EV利用者や道路網密度が比較的一様に分布している場合において、適用可能であると考えられる。道東地域のような、都市や観光スポットが広域に点在する地域においては、適用することが適切ではないと考えられる。

上述したような充電施設配置の分析に対し、シミュレーションによる充電施設配置の分析も報告されている。日渡ら⁷⁾は、マルチエージェントシミュレーションにより、車両相互作用を考慮した充電台数の時系列データを算出している。また、笹井⁸⁾や小山⁹⁾は、観光客の行動パターンをモデル化し、EV1台毎の走行を時間発展的にシミュレーションすることで、充電需要を把握し、急速充電施設配置と設置数を検討している。こうしたシミュレーションによる分析では、道路ネットワークを考慮した細かな施設配置や設置数の検討が可能であるが、その際、EVの航続距離推定に関して高い精度が求められる。

EVの航続距離に関する研究としては、鈴木ら¹⁰⁾が、マルチエージェントシミュレーションにより、車両相互作用を考慮したEVの消費電力量を算出しており、渋滞や信号によって加減速を繰り返すと、航続距離が短くなることを確認している。また、田中ら¹¹⁾は、地域の特性を考慮したEVの車両性能、走行モードに基づいた航続距離を推定する手法を提案しており、渋滞時、一般走行時、高速走行時における航続距離を推定している。清水ら¹²⁾は、EVの回生ブレーキ機能に着目し、道路勾配を考慮した消費電力量算出モデルを作成し、同じ巡回経路でも走行方向による道路勾配の違いにより、航続距離に差が生じることを明らかにしている。安土ら¹³⁾は、車両の速度と加速度、および重量等の車両データを用いることで、高精度な航続距離推定モデル式を作成している。

以上より、EVの充電施設配置に関する研究としては、都市部のように、EV利用者や道路網密度が比較的一様に分布しているエリアを対象とした分析と、シミュレーションによる分析が多く行われている。しかし、道東地域のように、都市や観光スポットが広域に点在する地域を対象とする場合、ボロノイ図を用いた分析に代表されるような、移動距離を直線で近似する幾何学的手法ではなく、道路ネットワークを考慮した分析が必要であると考える。また、こうした分析にあたっては、信号やカーブ部における加減速や道路勾配を考慮し、高い精度でEVの航続距離を推定する必要がある。

図-1 北海道東部地域および既存の充電施設配置

3. 観光客の行動パターン特性の把握

(1) 観光行動に着目した充電施設配置の考え方

EVの航続距離の制約を、充電施設面から解決していくためには、普通充電によるEV基幹電力の確保および急速充電による走行途中の補充電が可能で、かつそれぞれの充電時間を有効に活用可能となる充電施設配置を検討する必要がある。また、急速充電施設に関しては、電欠に対する不安が生じることのない密度で整備し、EVユーザーが受ける制約を最小限に抑える必要がある。

本研究のように、観光客を対象とする場合、観光客が宿泊スポットにてEV基幹電力を確保し、観光スポット滞在中に補充電を行うことを想定すると、航続距離と充電時間の制約を最低限受けることなく、観光行動が可能となると考えられる。従って、宿泊スポットに普通充電施設を設置し、観光スポットに急速充電施設を設置することが有効であると考えられる。また、観光スポットの中でも、道の駅は広い駐車場や無料の休憩スペースを備えており、道路インフラの一つとして、急速充電施設の整備が必要不可欠な箇所の一つであると考えられる。以上を踏まえ、観光客の行動特性を分析した。

(2) 使用データの概要

道東地域を、自動車またはレンタカーで移動する観光客の行動パターン特性を分析するため、本研究において、平成19年に実施したマイカー観光行動の実態調査データを用いた¹⁴⁾。調査概要は表-1の通りである。本調査は、道東地域におけるマイカー観光行動の実態と、観光客の意識を把握することを目的としたアンケート調査で、平成19年9月15日～17日に、摩周湖第一展望台および道の駅摩周温泉において実施した。調査は、直接配布・郵送回収形式で行い、1,000票を配布し、回収票数は444票、回収率は44.4%、有効票数は236票であった。本データを用いて、道東地域の観光行動実態を把握した。

(3) 観光客の観光行動特性把握

a) 日平均トリップ長

宿泊日数別にみた観光客の日平均トリップ長を、図-2に示す。宿泊日数が少なくなるほど、日平均トリップ長

表-1 アンケート調査概要

調査目的	道東地域におけるマイカー観光行動の実態及び意識の把握
調査対象	自家用車またはレンタカーで、摩周湖第1展望台または道の駅摩周温泉を訪れる観光客
調査項目	個人属性、移動経路、訪問スポット、摩周湖マイカー規制に対する観光客の意識
調査時期	2007年9月15日(土)～2007年9月17日(月)
回収数	444票(回収率44%)
有効票数	236票(有効回収率24%)

が大きくなる傾向にあることが分かる。1泊以上する観光客の場合、1日に100～150km移動する割合が最も多いのに対し、日帰り観光客の場合、1日に200～250km移動する割合が最も多い。

次に、日平均トリップ長に対するサンプルの累積割合を、図-3に示す。サンプルの累積割合が80%に達する日平均トリップ長に着目すると、約200kmであることが分かる。このことから、観光客の1日の最大の移動距離を200kmと想定すると、EVの航続距離は約90～200kmであることから、1日に最低1回の充電が必要であることが明らかとなった。

b) 日平均訪問観光スポット数

宿泊日数別にみた観光客の日平均訪問観光スポット数を、図-4に示す。日平均トリップ長の傾向と同様に、宿泊日数が少なくなるほど、日平均訪問スポット数が多くなる傾向にあることが分かる。1泊以上する観光客の場合、1日に平均2～3箇所の観光スポットを訪問する割合が最も多いのに対し、日帰り観光客の場合、1日に平均4

図-2 宿泊日数別日平均トリップ長(N=236)

図-3 日平均トリップ長に対する累積割合(N=236)

図-4 宿泊日数別日平均訪問観光スポット数(N=236)

～5箇所の観光スポットを訪問する割合が最も多い。

次に、日平均訪問観光スポット数に対するサンプルの累積割合を、図-5に示す。サンプルの累積割合が80%に達する日平均訪問観光スポット数に着目すると、4箇所であることが分かる。従って、観光客の日訪問観光スポット数を4箇所と想定すると、道東地域において観光客は、1日200kmを5トリップで移動する、広域的な観光周遊行動を行っており、訪問する観光スポットのうち、少なくとも1箇所で補充電する必要があることが明らかとなった。

c) 宿泊スポット累積宿泊回数

観光客の宿泊スポット累積宿泊回数を、図-6に示す。知床の主要な宿泊スポットであるウトロや、道東地域の主要な温泉地である川湯温泉、屈斜路温泉、阿寒湖温泉が宿泊地として多く選ばれていることが分かる。一方、オホーツク地域の主要都市である北見や網走も、知床周辺や屈斜路湖周辺ほどではないものの、宿泊地として選ばれていることが分かる。普通充電施設は、急速充電施設に比べ低コストであり、設置が容易であるため、図-6に示す6箇所の宿泊スポットへ普通充電施設を順次設置し、EV基幹電力の確保が可能な環境を整える必要があると考えられる。

d) 観光スポット累積訪問回数および来訪・滞在時間

急速充電施設の設置箇所や、設置基数を検討する際の基礎データとして、観光スポットの訪問頻度や来訪時間、滞在時間を把握する。まず、観光客の観光スポット累積訪問回数を図-7に示す。知床や阿寒国立公園周辺等、道東地域を代表する観光スポットへの訪問が多いことが分かる。従って、図-7に示す観光スポットは、急速充電施設の設置箇所として適していると考えられる。

次に、観光スポットの来訪時間を把握するため、知床の代表的な観光スポットの一つであり、知床の玄関口でもある、オシンコシンの滝の駐車場利用実態データを分析した。オシンコシンの滝駐車場利用台数の時間推移を図-8に示す。駐車場利用台数は、午前10時から11時の間が最も多く、その後、概ね1時間30分～2時間程度のスパンで来訪のピークが生じていることが分かる。

図-5 日平均訪問観光スポット数に対する累積割合 (N=236)

各観光スポットの滞在時間に関しては、観光客の訪問目的によって、滞在する時間がその都度異なることから、訪問目的を6つに分類し、滞在時間の傾向を想定した。これを表-2に示す。日帰り温泉以外の訪問目的に関しては、オホーツクEV推進協議会H23活動・実験中間報告資料²⁾より、オホーツク地域におけるEVユーザーの立寄目的別平均滞在時間データを用いた。また、日帰り温泉に関しては、オホーツク地域に関するデータが見当たらなかったため、湯沢ら¹⁵⁾が実施した、群馬県の日帰り温泉

図-6 道東地域の観光客の宿泊スポット累積宿泊回数(N=236)

図-7 道東地域の観光客の観光スポット累積訪問回数(N=236) (図中の括弧付数字は表-3に対応)

図-8 オシンコシンの滝駐車場における利用台数の推移

表-2 観光客の訪問目的別平均滞在時間

訪問目的	平均滞在時間[分]	概要
休憩・景観	16.1	休憩や景観鑑賞を目的とした立寄
買い物	31.0	買い物を目的とした立寄
食事	59.5	食事を目的とした立寄
見学観光	65.4	観光向けに整備された施設での見学等
体験観光	106.5	レジャー等を目的とした立寄
日帰り温泉	130.6	日帰り温泉を目的とした立寄

施設利用実態調査データを用いて、平均滞在時間を算出した。以上より、主要な各観光スポットの滞在時間を一覧にしてまとめたものを、表-3に示す。参考として、訪問目的次第で最大となる平均滞在時間を同表に示した。観光スポットにより滞在時間に差があり、こうした特性を踏まえた充電施設配置を検討する必要がある。

e) 急速充電施設候補地の選定

ここまでの分析を踏まえ、各観光スポットの急速充電施設設置箇所としての適性を判定し、急速充電施設の候補地を選定する。選定に際し、EVユーザーの充電時間活用の観点や充電施設の設置・運用コストの観点等より、以下の4点を考慮した。

- ・EVユーザーの訪問回数、および滞在時間
- ・休憩施設、駐車スペースの有無
- ・観光スポットの年間利用の可否
- ・既存の急速充電施設の有無

以上より、既存の急速充電施設が存在しない観光スポットのうち、30分以上の滞在が可能で、かつ休憩施設や駐車スペースを有し、年間を通じて利用可能な観光スポットを選定した。その結果、図-9のように急速充電施設候補地を16箇所抽出した。

4. EVの航続可能範囲の視覚化

充電施設候補地の優先順位を検討するにあたっては、いつ・どこに・どれだけの充電が必要かを把握することが重要である。しかし、そのためには、EVの走行特性を把握する必要がある。本研究では、EV走行調査を実施し、収集した実走行データを用いて、EVの航続距離について分析するとともに、EVの航続可能範囲を視覚化することを試みた。

(1) EVの電力消費量の推定

a) 電力消費量推定モデル式

まず、EVの航続可能範囲を算出するにあたり、本研究では、安士ら¹³⁾の構築したモデル式を参考に、以下のEVの電力消費量を推定するモデル式を作成した。

$$P_1 = k_1 + a_1 k_2 |\alpha + g \sin \theta| \times V + k_3 (V^3 + a_2 V^2 + a_3 V) \quad (1)$$

$$P_2 = k_1 - \beta \times a_1 k_2 |\alpha + g \sin \theta| \times V + k_3 (V^3 + a_2 V^2 + a_3 V) \quad (2)$$

P_1, P_2 : 消費電力[kW] $\sin \theta$: 勾配
 V : 車両速度[m/s] k_1, k_2, k_3 : パラメータ
 α : 車両加速度[m/s²] a_1, a_2, a_3 : 常数
 g : 重力加速度[m/s²] β : 回収率

ここで、車両の加速度と道路勾配による重力の加速度との合成加速度が正の場合、式(1)で表される。一方、EVは特徴的な機能として回生ブレーキ機能を有しており、これは減速時にモーターを発電機として使用することで、エネルギーを回収する機能である。回生時、すなわち合成加速度が負の場合、式(2)で表され、EVの回生ブレーキ機能によって充電が行われる。この特徴を考慮し、消費電力 P を時間積分することで、EVの消費電力量が算出される。

表-3 観光スポットの訪問目的と平均滞在時間

図・7に対応する 括弧付数字	地点名	訪問目的						訪問目的 平均滞在 時間「分」
		休憩・ 景観	買い物	食事	見学・ 観光	体験・ 観光	日帰り 温泉	
(1)	サロマ湖	○	○	○		○		106.5
(2)	卯原内		○					31.0
(3)	能取岬	○						16.1
(4)	網走	○	○	○		○		106.5
(5)	大空	○	○	○		○	○	130.6
(6)	浜小清水	○	○	○				59.5
(7)	斜里	○	○	○		○		106.5
(8)	オシンコシンの滝	○	○					31.0
(9)	ウトロ	○	○	○		○	○	130.6
(10)	知床自然センター	○		○	○			65.4
(11)	知床五湖	○		○		○		106.5
(12)	知床峠	○						16.1
(13)	羅臼	○	○	○		○		106.5
(14)	北見	○	○	○	○			65.4
(15)	美幌	○	○	○		○		106.5
(16)	美幌峠	○	○	○				59.5
(17)	和琴半島	○		○		○	○	130.6
(18)	砂湯	○	○					31.0
(19)	藻琴山展望駐車公園	○						16.1
(20)	川湯温泉	○	○	○	○	○	○	130.6
(21)	裏摩周展望台	○						16.1
(22)	摩周湖第一展望台	○	○	○		○		106.5
(23)	弟子屈	○	○	○			○	130.6
(24)	相生	○	○	○				59.5
(25)	阿寒湖温泉	○	○	○	○	○	○	130.6
(26)	オンネトー	○			○	○	○	130.6

図-9 急速充電施設候補地の選定結果

b) EV走行調査概要およびパラメータ算出

次に、作成したモデル式のパラメータ k_1 、 k_2 、 k_3 を算出するため、平成23年10月26日(土)～11月2日(金)にかけて5度のEV走行調査を実施し、実走行データを収集した。調査概要を表4に示す。調査では、市販されている日産リーフを使用した。車両の運転者は、20代男性の大学生、EVの運転経験は数回程度であった。走行路線に関しては、EVの電力消費量が道路勾配、車両の加減速、および電装品の使用状況の影響を受けて大きく変動することを考慮し、市街地走行・郊外部走行・峠部走行・自動車専用道走行からなる路線を設定した。これらの路線を、エアコン・電制シフトの使用条件別に法定速度で走行し、車両のデジタルメーターおよびナビ画面に表示される速度や消費電力等、車両情報をそれぞれビデオ撮影することで、データを収集した。

以上の走行調査より、収集した実走行データを用いて、モデル式のパラメータ k_1 、 k_2 、 k_3 を算出した。使用したデータは、1秒毎の消費電力、速度、加速度および道路勾配である。1秒毎の各地点における道路勾配に関しては、Google Maps JavaScript API V3を利用した標高データ取得プログラムを独自に作成し、これにより取得した標高データより算出した。パラメータ算出にあたっては、前述の通り、走行路線によって、車両の速度と加速度は大きく異なり、EVの電力消費量も大きく変動することに留意する必要がある。本研究では、精度の高いモデル式を構築するため、モデル式を速度と加速度の大小により5パターンに分類し、それぞれのモデル式においてパラメータ k_1 、 k_2 、 k_3 を算出した。その結果、自由度修正決定係数はいずれも0.9以上であり、良好な結果が得られた。

c) 対象地域の走行データベースの作成

作成したモデル式より、1秒毎の速度、加速度および道路勾配を入力することで、1秒毎の電力消費量を推定可能である。しかし、本研究のように、道東地域全体を対象とするような大規模ネットワークの電力消費量を推定する場合、路線全てをEVで走行し、各路線の1秒毎の速度、加速度を収集することは困難である。そこで、走行調査にて収集した実走行データを基に、対象地域の走行データベースの作成を試みた。まず、前述の標高データ取得プログラムを用いて、道東地域全体の緯度・経度・標高を5m間隔で取得し、各区間における道路勾配および曲率半径を算出した。次に、対象地域における車両速度変化の主要因が、信号およびカーブであると仮定し、設定した5m間隔の各区間を、信号の有無および曲率半径より、信号区間、カーブ区間、信号無し直線区間の3タイプに分類した。そして、3タイプの道路区間の速度、加速度の平均値を実走行データより算出し、これを各タイプの道路区間の速度、加速度として設定した。

d) 回帰分析による常数の導出

走行データベースの値を用いて電力消費量を推定する場合、実走行データを用いた場合に比べ、推定値に誤差が生じてしまう。この誤差を修正するため、走行調査により収集した電力消費量を目的変数とし、モデル式の各項の常数 a_1 、 a_2 、 a_3 を回帰分析にて算出した。なお、算出にあたり、回収率 β は既存研究¹³⁾より0.74と設定した。以上を踏まえ、走行データベースを用いて電力消費量を推定した結果を、図-10に示す。結果として、モデル式を用いることで、実測値に対し、3%の誤差で電力消費量を推定可能であることが明らかとなった。

(2) EVの航続可能範囲の視覚化

算出した消費電力より、EVの電池残量を算出した。EVの電池残量は式(3)で与えられる。

$$\text{電池残量} = \text{初期電池残量} - \text{各路線の電力消費量} \quad (3)$$

式(3)より、起終点間を最短経路で走行した場合に、5m間隔の各地点における電池残量を算出し、電池残量内で到達可能な範囲を航続可能範囲として算出した。

一例として、北見において急速充電を行い出発した場合の航続可能範囲を図-11に示す。設定条件として、EV

表4 EV走行調査概要

	10月26日	10月28日	10月31日	11月1日	11月2日
天候	晴れ	曇り	晴れ	晴れ	晴れ
最高気温[°C]	14.2	15.6	14.5	13.3	16.7
最低気温[°C]	4.2	-0.3	3.6	0.6	0.6
走行時刻	10時～17時	10時～17時	10時～18時	10時～18時	7時～17時
走行距離[km]	85.8	147.9	162.2	148.0	138.7
走行路線	・郊外部	・郊外部	・郊外部	・市街地 ・峠部	・市街地 ・自動車専用道
乗車人数	2人	2人	2人	2人	2人

※最高気温、最低気温に関しては、気象庁の気象統計情報を使用

図-10 モデル式の精度検証

図-11 北見を起点とした場合の航続可能範囲

の電池容量を24[kWh]、初期電池残量は80%充電状態である19.2[kWh]とし、常時エアコンを使用すると設定した。航続可能範囲は図-11のように、道路ネットワークのグラデーションによって表現した。道路ネットワーク色が緑色から赤色になるにつれ、電池残量が少なくなっていることを表し、黒色の地点は電池残量が0[kWh]となり到達不可能な地点であることを示している。

図-11より、北見を起点とした場合、ウトロを除く急速充電施設へ到達可能であることが分かる。一方、北見からウトロや羅臼へ移動する場合においては、走行途中に電欠を生じてしまうため、大空や斜里で補充電を行う必要があることが分かる。また、北見から弟子屈へ移動し、摩周湖や阿寒湖といった弟子屈周辺の観光スポットを周遊する場合、弟子屈において補充電する必要があることが分かる。

5. 観光行動パターンに基づく充電需要分析

(1) 充電需要の算出

a) 充電需要の算出方法

航続距離の分析を、観光客の行動パターンに適用することで、観光客がそれぞれの行動パターンで移動する際に、いつ・どこで充電が必要になるかについて分析した。充電需要の算出方法を図-12に示す。まず、観光客がEVで移動する際、EVの電池残量がある一定の残量を下回ったときに、観光客は充電の必要性を認識し、充電需要が発生すると仮定する。この時の電池残量を充電タイミング残量と定義し、充電需要が発生する地点を充電需要発生ポイントと定義した。観光客がそれぞれの行動パターンで移動、滞在を繰り返したときの、EVの電池残量を算出し、電池残量が充電タイミング残量を下回る地点、およびその時刻を算出することで、充電需要発生ポイント、およびその時刻をそれぞれ算出した。

充電需要を算出するにあたり、オホーツクEV推進協議会が、平成23年8月8日～平成23年11月13日にかけて実施したモニタ実験のアンケート結果のデータを用いて、充電タイミング残量に関する分析を行った。分析結果より、レンタカー利用者のような、短期のEV利用者が充電したほうが良いと感じた電池残量を図-13に示す。電池残量が6～8[kWh]の時、最も多くの利用者が充電した方が良く感じていることから、その中間値である7[kWh]を、充電タイミング残量として設定した。

観光行動パターンの設定に関しては、観光客は午前10時に出発、午後6時にその日の最終目的地に到着するとし、飛行機等の制限時間がある場合は、制限時間内に行動可能なように出発時刻や滞在時間を設定した。また、観光客はドライブモードにより実勢速度で走行し、常時

エアコンを使用すると仮定した。

b) 充電需要発生ポイントの算出結果

236サンプルより、延べ627パターンの観光行動に基づく充電需要発生ポイントを算出した結果を、図-14に示す。結果として、観光客の主要な移動経路である国道上に充電需要が多く分布していることが分かる。また峠部においては、EVの電力消費量が大きくなるために、充電需要が集中することが明らかとなった。

c) 充電需要発生時の行動シミュレーション

次に、充電需要発生時のEVユーザーの充電行動をシミュレートする。充電需要発生時、EVユーザーは最短距離で到達可能な急速充電施設にて補充電を行うとし、補充電後は最短経路でもとのルートへ戻ると仮定する。さらに、充電需要が発生した場合においても、宿泊地や空港といった最終目的地へ一定の電池残量 BL_{De} で到達可

図-12 充電需要発生ポイントの算出方法

図-13 充電タイミング残量の分析 (N=25)

図-14 充電需要発生ポイントの分布

能な場合、補充電を行うことなく最終目的地に向かうとする（図-15）。以上の方法によりシミュレートし、充電行動を考慮した場合の行動特性を把握する。なお、今回の分析においては、電池残量 BL_{Des} を3[kWh]と設定した。計算にあたっては、EVの電池容量を24[kWh]、初期電池残量を100%、急速充電後の電池残量を80%とした。また、ドライブモードにより実勢速度で走行し、常時エアコンを使用すると仮定した。

既存の急速充電施設配置における行動シミュレーション結果を表-5に示す。627パターンの観光行動を分析した結果、電池残量が7[kWh]を下回り充電需要が発生した回数の累計は441[回]であり、このうち、EVユーザーが電欠に至った回数は96[回]であった。従って、電欠発生率は21[%]であり、走行途中に補充電が必要となったEVユーザーの2割が、電欠に至ってしまうことが明らかとなった。また、補充電開始時の平均電池残量は2.8[kWh]、補充電を行ったことにより旅行が遅延した平均の時間は75[分]であった。以上の結果より、現状として、道東地域の充電環境は初期段階にあり、候補地の優先順位を検討する際には、まず、EVユーザーが電欠を生じることのない、最低限の密度での急速充電施設配置を検討する必要があることが明らかとなった。

(2) 電欠を回避する水準の急速充電施設配置の検討

a) 電欠に至る充電需要発生ポイントの抽出

電欠に至る充電需要発生ポイントについて分析することで、充電環境を最低限整備する必要がある箇所を抽出する。

前節において、算出した充電需要発生ポイントは充電タイミング残量7[kWh]を下回った地点であった。従って、充電需要発生時に、残り7[kWh]分の電池残量でいずれかの急速充電施設に到達できない場合、電欠に至ることとなる。そこで、既存の各急速充電施設に対し、7[kWh]以下の電力消費量で到達可能な領域を図-16に示した。図中の青色の点は、いずれの領域にも属さない充電需要発生ポイントであり、これらの地点で電池残量が7[kWh]を下回った場合、EVユーザーはいずれの急速充電施設へも到達することが出来ず、電欠を生じてしまうことが明らかとなった。従って、図-16に示したサロマ湖エリア・羅臼エリア・阿寒湖エリアにおいては、急速充電施設を最低限設置する必要があると考えられる。

そこで、これらの3エリアに属する候補地を図-9より抽出した。結果、サロマ湖エリア・羅臼エリアに関しては、サロマ湖・羅臼の2地点に道の駅が存在することから、この2地点へ急速充電施設を設置することが有効であると考えられる。阿寒湖エリアに関しては、わが国でも有数の温泉地である一方で、東西北の三方を峠に囲まれ、補充電の必要性が高い箇所である阿寒湖温泉への設

置が有効と考えられる。しかし、阿寒湖温泉への設置のみでは、北側から峠を経由し、阿寒湖温泉を訪問する観光客の補充電に対応出来ないため、阿寒湖温泉の北部に位置し、道の駅を有する相生への設置も必要であると考えられる。

b) 行動シミュレーションによる電欠発生率の分析

サロマ湖・羅臼・阿寒湖温泉・相生の4地点へ急速充電施設を設置することによる、電欠発生率の変化を分析した。設定条件は前節と同様とし、既存の急速充電施設に加え、サロマ湖・羅臼・阿寒湖温泉・相生の4地点へ急速充電施設が設置されたと想定した場合の行動シミュレーション結果を表-6に示す。

図-15 充電行動シミュレーションの例

表-5 既存の急速充電施設配置における充電需要発生時の行動シミュレーション結果

項目	結果
累積充電需要発生回数[回]	441
電欠発生回数[回]	96
電欠発生率[%]	21
補充電開始時平均電池残量[kWh]	2.8
平均旅行遅延時間[分]	75

図-16 電欠にいたる充電需要発生ポイントの分布

表-6 サロマ湖・羅臼・阿寒湖温泉・相生へ急速充電施設を設置した場合の充電需要発生時の行動シミュレーション結果

項目	結果
累積充電需要発生回数[回]	386
電欠発生回数[回]	0
電欠発生率[%]	0
補充電開始時平均電池残量[kWh]	4.6
平均旅行遅延時間[分]	34

シミュレーションの結果、電欠発生率は0%となり、サロマ湖・羅臼・阿寒湖温泉・相生へ急速充電施設を設置することで、いずれの観光パターンにおいても、電欠を生じることなく観光行動可能であることが明らかとなった。また、累積充電需要発生回数は、既存の急速充電施設のみの場合と比べ、441[回]から386[回]まで減少した。これは、急速充電施設を新設したことにより、充電需要発生時に、より近くの急速充電施設を選択することが可能となり、より少ない電力消費量で観光行動が可能となったためである。また、このことにより、補充電開始時の平均電池残量は、2.8[kWh]から4.6[kWh]まで上昇するとともに、旅行が遅延した平均時間は、75[分]から34[分]まで縮小し、より電欠に対する不安や充電時間の制約が少ない状態で、観光行動が可能となることが明らかとなった。

(3) 急速充電施設候補地の優先順位の検討

EVユーザーが電欠を生じることのない、最低限の密度での充電環境を整備することは、EV普及にむけた出発点に過ぎず、将来的には寄り道が可能であったり、電欠に対する不安が生じないように、充電環境を充実させていく必要がある。しかし、前述したように、急速充電施設はコスト等の制約より、計画的な整備が必要であり、そのためには、急速充電施設候補地の優先順位を検討する必要がある。

急速充電施設候補地の優先順位を検討するにあたり、本研究では、累積充電回数に着目し、行動シミュレーションより充電回数が集中する地点を分析した。累積充電回数が多い地点ほど、走行途中で補充電を行う必要性が高い地点であり、優先的に整備すべき地点であると考えられる。そこで、候補地全てに急速充電施設を設置したと仮定し、EVユーザーの充電行動をシミュレートした。結果を図-17に示す。図-17より、既存の急速充電施設、およびサロマ湖・羅臼・阿寒湖温泉・相生を除いた12地点の候補地に対し、累積充電回数が多い順で優先順位を検討した。

図-18に示した優先順位の検討結果より、川湯温泉の累積充電回数が最も多く、急速充電施設の設置必要性が最も高いことが明らかとなった。次いで、摩周湖第一展望台、札弦という結果となった。川湯温泉、摩周湖第一展望台は、道東地域の主要な観光スポットの一つであるとともに、充電時間を活用して多種多様な観光が可能であることから、急速充電施設の設置箇所として適していると考えられる。また、川湯温泉に関しては、峠に入る前の補充電地点として重要な役割を担うため、地形的な側面からも、設置箇所として適していると考えられる。札弦に関しては、観光客の主要な移動経路である弟子屈-知床間の中継地であり、道の駅を有する観光スポッ

トであることから、急速充電施設を整備することが重要な地点であると考えられる。

6. おわりに

本研究では、道東地域へEVを導入する際の充電施設配置について検討するために、まず、道東地域を周遊観光する観光客の行動特性を把握した。道東地域の観光客の1日の平均トリップ長から、1日に少なくとも1回は補充電を行う必要があることが明らかとなった。また、道東地域の観光客の観光スポット訪問回数を分析することで、道東地域の観光客が広域的な周遊行動を行っていることを明らかにした。

次に、EVの消費電力量を推定することで、各路線を走行した際の電池残量を算出し、EVの航続可能範囲を視覚化した。これにより、充電を行った地点から最大でどの地点まで到達できるかを視覚的に判断でき、よりミクロな充電施設配置の検討が可能となるとともに、EV利用者への情報提供手段としても用いることが可能となった。

また、航続距離の分析方法を、観光客の観光行動パターンに適用することで、観光行動パターンに基づく充電需要発生ポイントを算出した。そして、充電需要発生時のEVユーザーの充電行動をシミュレートすることで、

図-17 累積充電回数の算出結果

図-18 累積充電回数に基づく優先順位

いつ・どこに・どれだけの充電需要が発生するかを把握するとともに、EVユーザーが電欠を生じることのない、最低限の密度での急速充電施設配置、および急速充電施設密度を高める上での優先順位について検討した。

今後の課題として、充電需要が発生する時間分布の詳細な分析や現状の来訪時間との比較により、充電需要の発生する時間の特性を把握することや、今後の地域観光と充電施設のあり方について検討することが挙げられる。また、こうした分析の基礎データとなる観光スポットの来訪時間・滞在時間等の観光行動特性は、EVの検討のみでなく、観光地の交通政策を検討する上でも重要な指針となるため、今後は調査を実施し、詳細な状況の把握・分析を行う予定である。

謝辞：本研究のデータの収集・分析にあたっては、オホーツクEV推進協議会の多大な協力を頂いた。ここに記して関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 経済産業省、国土交通省：電気自動車・プラグインハイブリッド自動車のための充電設備設置にあたってのガイドブック，2010.
- 2) オホーツクEV推進協議会ホームページ：
<http://www.ev-okhotsk.jp/index.html>
- 3) 平野彰：電気自動車用充電インフラ設置手法に関する研究（中間報告），エネルギー総研レビュー，Vol.3, No.21, pp.10-11, 2010.
- 4) 小柳文子，瓜生芳久：重み付きボロノイによる電気自動車用充電設備の適正配置の検討，電気学会論文誌B, Vol.119-B, No.12, pp.1412-1419, 1999.
- 5) 小柳文子，岩田景新：領域分けによる武蔵野市充電設備の優先順位の決定，成蹊大学理工学研究報告，Vol.46, No.1, pp.35-40, 2009.
- 6) 松田真典，石亀篤司：ボロノイ図を用いたEV用急速充電器の適正配置，電気関係学会関西連合大会講演論文集(CD-ROM)，Vol.2010, Page.4A303-24, 2010.
- 7) 日渡良爾，岡野邦彦，朝岡善幸，池谷知彦：充電インフラ検討用次世代自動車交通シミュレータの開発ー電気自動車導入に向けた基本解析機能構築ー，電力中央研究所原子力技術研究所研究報告，No.L09009, Page20P, 2010.
- 8) 笹井雄亮：電気自動車用充電器の設置場所評価システムの研究，二次電池による社会システム・イノベーション第8回フォーラム，2010.
- 9) 小山真生：観光客行動シミュレーションによる最適急速充電スタンド配置法，二次電池による社会システム・イノベーション第5回フォーラム，2010.
- 10) 鈴木将史，藤井秀樹，吉村忍：走行特性と車両間相互作用を考慮した電気自動車の走行シミュレーション，日本機械学会計算力学講演会論文集(CD-ROM)，Vol.23rd, PageROMBUNNO.2202, 2010.
- 11) 田中謙司，手島哲，鈴木慎太郎：特定地域別の電気自動車の航続距離推定法の開発，人工知能学会第2種研究会資料，2010.
- 12) 清水太郎，國府方久史，松本修一，川嶋弘尚：道路勾配などを考慮した電気自動車の最適経路問題，社会技術研究論文集，Vol.8, pp.53-59, 2011.
- 13) 安土光男，福田達也，大澤進，藤井馨一郎：EVの走行可能範囲を予測するナビシステム，Pioneer R&D, Vol.20, No.1, pp.1-7, 2011.
- 14) 黒田貴司，高橋清，江口将之，岡本真和：摩周湖周辺のマイカー規制に伴う広域的な観光周遊行動の変化に関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.63rd, No.Disk2, PageROMBUNNO.4-346, 2008.
- 15) 湯沢昭，星啓，塚田伸也：公営日帰り温泉施設の利用実態と効果に関する一考察ー群馬県を事例としてー，都市計画論文集，Vol.40, pp.913-918, 2005.

(2012.2.25 受付)

A STUDY ON THE CHARGER FACILITY LOCATION PROBLEM FOR ELECTRIC VEHICLE BY ANALYSIS OF CRUISING RANGE AND TOURISM BEHAVIOR

Takashi KURISU, Kiyoshi TAKAHASHI, Hiroshi MATSUHISA, Hideyuki INOUE
and Takuya ONAMI

Okhotsk electric vehicles society monitored electric vehicle twice in Eastern Hokkaido. And an important subject is the examination of charger facility location for electric vehicle by analysis of tourism behavior in wide area. From the inspection of putting in place the infrastructure for electric vehicles and the examination of a measure for effective using it.

This study examine setting up charger facility location for electric vehicle in Eastern Hokkaido by visualizing cruising range of electric vehicles and analyzing of tourism behavior. As a result setting charger facility location for electric vehicle for runnable range in Eastern Hokkaido and setting rapid charger facility location for electric vehicle in the order of ascending priorities.