

EVの航続可能範囲の視覚化と観光周遊行動分析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 工博 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）のオホーツク管内において、オホーツクEV推進協議会が主体となって、平成23年2月7日から平成23年3月21日にかけてEVのモニタ実験が実施された。そして、EV利用のためのインフラの整備・運用の可能性の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になった。本研究では、道東地域の観光流動に対応する充電施設を検討するために観光客の行動パターン特性を分析するとともに、ミクロな充電施設の配置を検討するために航続可能範囲の視覚化を試みた。その結果、道東地域の観光客の訪問する観光スポットや宿泊地、およびその移動経路が明らかとなった。また、観光客が充電を行った地点から到達地点までの視覚的判断が可能となった。

Key Words : *electric vehicle, charger facility, visualize cruising range, p-median location problem*

1. はじめに

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。しかし、EVの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約90～200 kmとされている。その上、エアコンの使用や道路の勾配によって実際の走行距離はさらに短くなるため、EVの普及において充電施設の整備が重要な課題となっている。

現在、充電施設は大きく普通充電施設と急速充電施設に分けられ、その種類によって想定される設置場所や使用形態が異なる¹⁾。普通充電施設は100V用と200V用の2種類があり、満充電まで100V用で約14時間、200V用で約7時間の充電時間を要するため、自宅や宿泊施設等の長時間滞在可能な施設への設置が想定されている。一方、急速充電施設については約30分で電池容量の約80%の充電が可能であり、道の駅やコンビニ、観光施設等の30分程度滞在可能な施設への設置が想定されている。

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）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（以下、協議会とする）が設立され²⁾、協議会が主体となって平成23年2月7日から平成23年3月21日にかけてEVのモニタ実験が実施された。そして、EV利用のためのインフラの整備・運用の可能性の検証と今後の運用に向けた対応方針の検討が行われ、検討の結果、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。そこで本研究では、道東地域における観光客の周遊行動に着目し、道東地域の観光客の行動パターン特性を把握するとともに、EVの航続可能範囲を視覚的に表現することで、EVによる広域的な観光周遊行動に対応する充電施設の配置について検討することを目的とする。

2. 研究の位置づけ

EVに関する研究の中でも、充電施設の配置に関する

研究は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、各メッシュ毎に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⁴⁾や松田⁵⁾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利用者や道路網が均一に分布している場合に適用可能と考えられるが、道東地域のような広域分散型の地域には課題も残る。

このような幾何学的な充電施設配置の分析に対し、シミュレーションによるミクロな充電施設配置の分析もいくつか報告されている。日渡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場合の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、EVの1台1台の走行を時間発展的にシミュレーションすることで急速充電施設の配置と設置数を検討している。こうしたミクロな分析では細かな施設配置や設置数の検討が可能であるが、EVの航続距離や充電タイミングに関してより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¹⁰⁾がマルチエージェントシミュレーションによる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¹¹⁾は導入地域の特性を盛り込んだ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推定航続距離を算出している。清水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¹³⁾は車両の速度と加速度、および重量等の車両データより精度の高い航続距離の推定を可能とするモデル式を作成している。

一方、充電タイミングに関して研究した事例は非常に少なく、関根¹⁴⁾が代替燃料自動車の燃料補給のタイミングに関してアンケート調査を行っている。しかしこの調査は代替燃料自動車を対象としており、EVに限定したものではない。

以上より、EVの充電施設配置に関する研究としては幾何学的なマクロな視点による分析とシミュレーションによるミクロな視点による分析が多く行われている。しかし、道東地域のような広域分散型の地域を対象としたマクロな分析に関しては、ボロノイ図による分析のように移動距離を直線で近似する手法ではなく、ネットワークボロノイ図を用いた道路ネットワーク距離を考慮した分析が必要であると考えられる。

3. 観光客の行動パターン特性の把握

(1) 使用データの概要

道東地域の自動車およびレンタカーの観光客の行動パターン特性を分析するために、本研究室で平成19年に実施したマイカー観光行動の実態調査のデータを用いた¹⁵⁾。調査の主な概要は表-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1展望台および道の駅摩周温泉において実施した。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283票であった。

分析にあたって、本研究の対象地域であるオホーツク地域を訪れた観光客のデータを抽出して使用する。有効票数283票のうち、オホーツク地域を訪れた観光客のデータ数は270票であり、本データを用いて道東地域の観光行動実態を把握した。

(2) 道東地域の観光客の観光行動の現状

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-1に示す。宿泊日数が少なくなるほど日平均トリップ長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。このことから、道東地域の観光客は広域的な周遊行動を行っていることが明らかとなった。

次に日平均トリップ長に対するサンプルの累積割合を

表-1 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%)
有効回収数	283票(有効回収率28%)

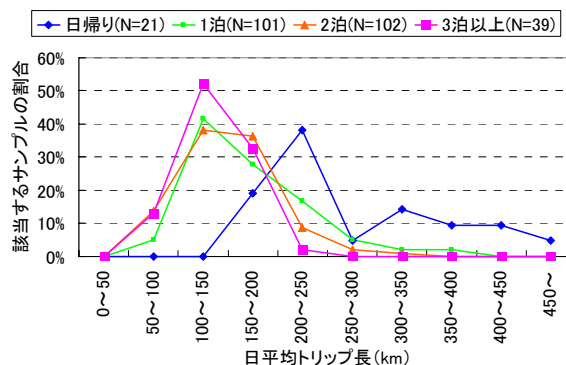


図-1 宿泊日数別日平均トリップ長 (N=270)

図-2に示す。日平均トリップ長が200km以下の観光客は全体の8割に達していることが分かる。したがって、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日に少なくとも1回の充電が必要であることが明らかとなった。

b) 日平均訪問スポット数

宿泊日数別にみた観光客の日平均訪問スポット数を図-3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4~6箇所の観光スポットを訪問する割合が最も多い。

次に日平均訪問スポット数に対するサンプルの累積割合を図-4に示す。日平均訪問スポット数が4箇所以下の観光客は全体の8割に達していることが分かる。したがって、観光客の1日の最大の訪問観光スポット数を4箇所と想定すると、4箇所の訪問する観光スポットのうち、少なくとも1箇所で急速充電する必要があることが明らかとなった。

c) 観光スポット訪問頻度および宿泊地選択頻度

観光客の観光スポット訪問頻度および道東地域の観光客の宿泊地選択頻度を図-5、図-6に示す。観光客の訪問する観光スポットの傾向として、世界自然遺産知床や摩周湖・屈斜路湖といった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。

次に、観光客の宿泊地選択頻度に着目すると、知床の主要な宿泊地であるウトロや、道東の主要な温泉地である川湯温泉、屈斜路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が宿泊地として選ばれていることが分かる。

d) ODパターン

観光客が道東地域の主要な観光スポット間や宿泊地間をどのように移動しているかを把握するため、観光客のODパターンを図-7に示す。図-7は、ある経路を全サンプル数に対し何割のサンプルが通ったかを示したもので、

全サンプルが通る場合を1としている。北見-ウトロ間や北見-弟子屈間の移動経路としては、主に国道39号や国道243号が利用されており、美幌から斜里に直接抜ける国道334号や、網走から弟子屈方面へ直接抜ける道道102号は、観光客にはあまり利用されていないことが明らかとなった。こうしたの要因として、国道334号や道道102号沿いに主要な観光スポット存在しないことが考えられ

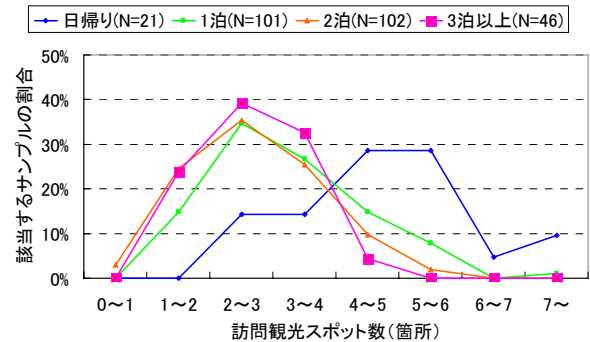


図-3 宿泊日数別日平均訪問観光スポット数 (N=270)

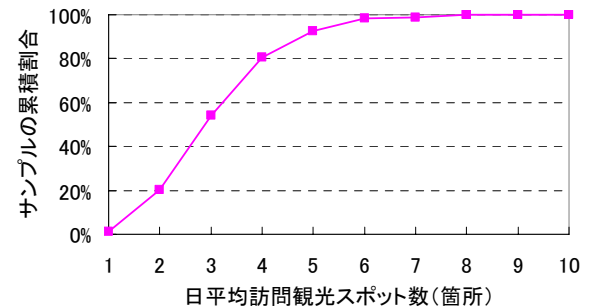


図-4 日平均訪問観光スポット数に対する累積割合 (N=270)

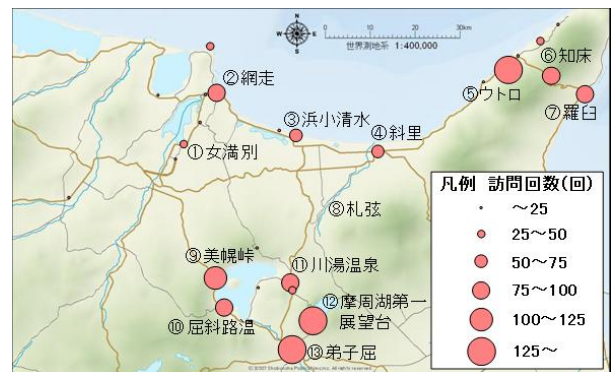


図-5 道東地域の観光客の観光スポット訪問頻度

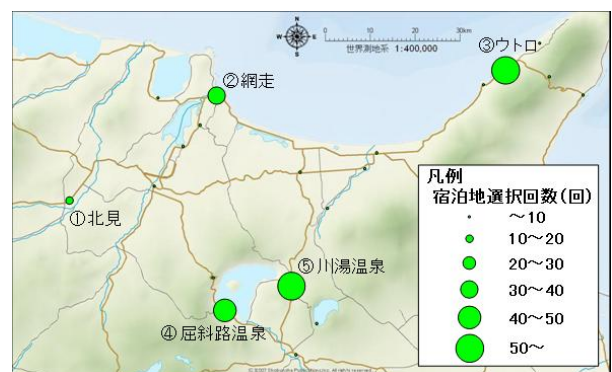


図-6 道東地域の観光客の宿泊地選択頻度

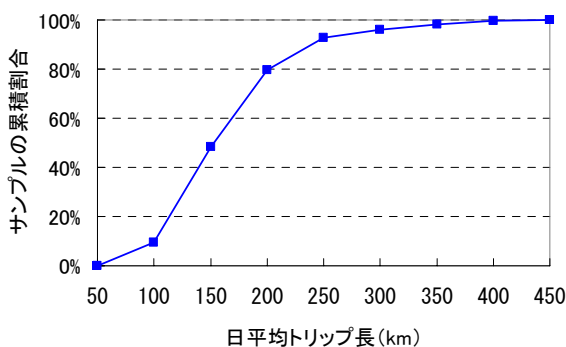


図-2 日平均トリップ長に対する累積割合 (N=270)

る。また、弟子屈-ウトロ間の移動において、観光客は札弦を通る経路を多く利用していることが明らかとなった。

(3) 観光流動からみた充電施設の設置候補地の考え方

EVを利用する観光客が、EVによる制約を受けずに観光周遊行動を行うためには、観光客の宿泊頻度が高い場所に普通充電施設を設置し、訪問頻度の高い観光スポットに急速充電施設を設置していく必要があると考えられる。したがって、普通充電施設に関しては、図-6に示す①～⑤の宿泊地への設置が必要であると考えられる。

一方、急速充電施設に関しては、図-5に示す①～⑬の観光スポットを急速充電施設の設置候補地として扱い、この13箇所の設置候補地の優先順位について検討を行う。なお、これらの設置候補地のうち、①女満別と⑧札弦は観光客の訪問回数こそ少ないものの、道の駅を有し、観光客の移動経路上に位置するため設置候補地として選定した。

4. 総移動距離に着目した設置候補地の優先順位

(1) 総移動距離の概要

設置候補地に急速充電施設を配置する際、コスト等の制約から一度に全ての設置候補地に急速充電施設を設置することは困難であるため、多くの観光客が利用可能な設置候補地から順に充電施設を配置していく必要がある。そこで、設置候補地の利用可能性の観点から設置候補地の優先順位を決定するため、メディアン問題における総移動距離の概念を用いて分析を行った。本研究で用いる総移動距離 W を(1)式のように定義する。

$$W_i = \sum_j d_{ij} \quad (1)$$

ここで、 d_{ij} は設置候補地*i*とノード*j*との重み付き最短経路距離であり、2点間の最短経路問題を求めるアルゴリズムであるダイクストラ法によって求めた。通常、総移動距離を求める際には最短経路距離を用いるが、本来、観光交通は観光客の効用を最大化することが目的であり、最短経路での移動を本質としていない。そこで、設定したノード間の距離に、図-7で示したOD交通量の割合を重みとして掛け合わせた値をノード間のコストとして用いることで観光客のODパターンを考慮した。総移動距離 W が小さいほどいずれのノードからも移動距離が短くなり、その設置候補地の利用可能性が高くなると考えられる。

(2) 各設置候補地の総移動距離の算出結果

算出した各設置候補地の総移動距離と、それに基づ

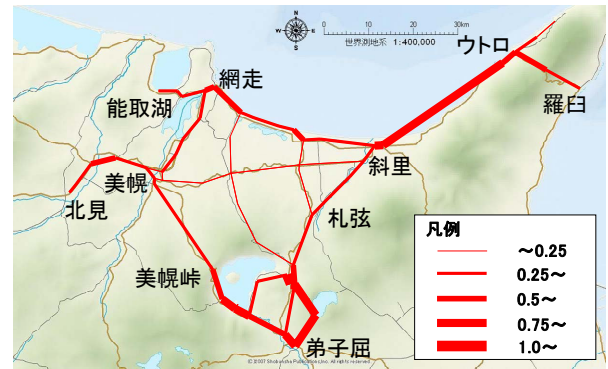


図-7 道東地域の観光客のODパターン

表-2 各設置候補地の総移動距離の算出結果

優先順位	設置候補地名	総移動距離 (km・トリップ/人)
1	③浜小清水	2759.66
2	②網走	2813.28
3	④斜里	2858.54
4	①女満別	2885.74
5	⑧札弦	3248.48
6	⑪川湯温泉	3446.92
7	⑩屈斜路温泉	3522.76
8	⑨美幌峠	3541.51
9	⑫摩周湖第一展望台	3868.74
10	⑬弟子屈	3902.47
11	⑤ウトロ	4530.61
12	⑥知床峠	5360.38
13	⑦羅臼	6334.58

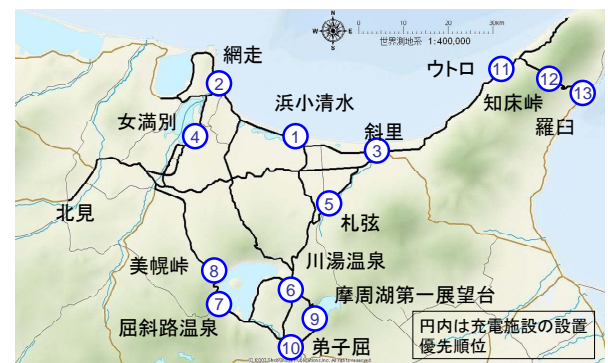


図-8 設置候補地の優先順位

く設置順位を示したものを表-2および図-8に示す。計算の結果、③浜小清水の総移動距離が最も小さく、13箇所の設置候補地の中で最も優先順位が高いことが明らかになった。次いで、②網走、④斜里、①女満別の順番に優先順位が高いことが明らかとなった。また、図-8より北見-ウトロ間の急速充電施設の整備が重要であり、次いで弟子屈-ウトロ間、そして北見-弟子屈間、最後に知床周辺の急速充電施設の整備が、観光客の利用可能性の観点から望ましいことが図から読み取れる。

5. 航続可能範囲の視覚化

充電を行った地点からの航続可能範囲を視覚化することは、ミクロな充電施設配置の検討やEV利用者に対する情報提供の意味からも重要である。そこで本研究では航続可能範囲を算出するために、既存研究を参考にして

EVの消費電力量の算出を試みた。

(1) EVの消費電力量モデル式¹⁾

一般にガソリン車の消費エネルギーPは機械損失、走行抵抗による損失、ブレーキ損失の他、エアコンなどの動力外の消費エネルギーを加えたものとなり、式(2)で表すことができる。また、走行抵抗による損失は転がり摩擦抵抗(第1項)、勾配抵抗(第2項)、空気抵抗(第3項)、加速抵抗(第4項)で構成される。

$$P = P_{idle} + \left(\frac{1}{\eta \cdot \varepsilon} \right) \cdot u \cdot \{ g \cdot r_{Roll} \cdot M + g \cdot M \cdot \sin \theta + \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot S \cdot u^2 + a(1 + k_{Rotat}) \cdot M \} \quad (2)$$

P_{idle} : 動力外の消費エネルギー(W)

$\mu \cdot \varepsilon$: 機械損失

u : 車両速度(m/s)

g : 重力加速度(m/s²)

r_{Roll} : 転がり摩擦抵抗係数

M : 車重(kg)

$\sin \theta$: 勾配

ρ : 空気密度(kg/m³)

C_d : 空気抵抗係数

S : 車両前方投影面積(m²)

a : 車両加速度(m/s²)

k_{Rotat} : 回転部等慣性質量係数

一方EVの場合、回生ブレーキ機能があるためP<0のとき運動エネルギーを回収して充電が行われる。この特徴を考慮して消費エネルギーPを時間積分するとEVの消費電力量が算出できる。

(2) EVの消費電力量の算出結果

EVの回生ブレーキ機能のために、消費電力量の算出にあたっては道路勾配を考慮することが必要である。本研究では、Google Maps JavaScript API V3を用いて5m間隔の緯度・経度・標高を取得し道路勾配を求めた。

算出した消費電力量の一例を図-9に示す。図-9より、登坂時には電池の消耗が激しく、下り坂時には回生ブレーキ機能により充電が行われていることが分かる。なお、今回はEVが時速40km/hの等速移動をした場合と仮定して消費電力量を算出している。

(3) 各設置候補地の航続可能範囲の算出と視覚化

算出した消費電力量を基に、今回は一例として、③浜小清水、⑬弟子屈、および⑦羅臼に急速充電施設が設置されたときの航続可能範囲を図-10、図-11、図-12のように示した。なお、設定条件として初期電池残量は満充電の80%、充電タイミングは協議会が実施したアンケー

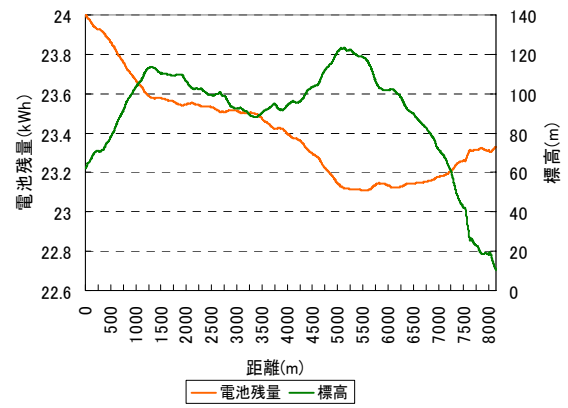


図-9 算出したEVの消費電力量の一例



図-10 浜小清水に設置した場合の航続可能範囲



図-11 弟子屈に設置した場合の航続可能範囲



図-12 羅臼に設置した場合の航続可能範囲

ト結果を用いて電池残量が9kWh~11kWhの時とした。また、エアコンの使用ありと仮定し、最短経路を走った場合の航続可能範囲を算出した。

航続可能範囲は図-9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にした。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となる地点であることを示している。また、青色の地点はEV利用者の充電タイミングを表しており、この地点で充電されることが好ましいことを示している。

まず、浜小清水に急速充電施設が設置された場合をみると、図-9よりいずれの地点へも到達可能であることが分かる。ただし、知床周辺や弟子屈、北見へと移動し新たに別の場所へ移動する場合は、知床周辺や弟子屈、北見のそれぞれの地点で一度充電を行っておくことが望ましいことが分かる。

次に、弟子屈に急速充電器が設置された場合をみると、図-10より網走から羅臼へ移動する場合、電池容量が途中で空になってしまうため斜里もしくはウトロで一度充電する必要があることが分かる。また、網走や北見方面へ移動する場合においても途中で充電することが必要であることが分かる。

最後に羅臼に急速充電施設が設置された場合をみると、図-11より羅臼から他の地域へ移動する場合には、ウトロまたは斜里で充電する必要があることが分かる。これは羅臼からウトロへ抜ける際、知床の難所である知床峠を通過する必要があり、消費電力量が大きくなってしまいうためである。

6. おわりに

本研究では、北海道東部地域のオホーツク管内に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パターン特性を把握した。道東地域の観光客の1日の日平均トリップ長から、1日に少なくとも1回は急速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頻度やODパターン等を把握することで、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や、その際の移動経路を明らかにした。

さらに、急速充電施設設置候補地の優先順位を総移動距離によって決定した。

最後に、EVの消費電力量を算出することで各設置候補地から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の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の手段としても用いることが可能となった。

今後の課題として、ネットワークボロノイ図によるカバー領域を用いることで設置候補地の優先順位を検討す

ることや、観光客の1日の行動パターン分析することによりミクロな充電施設の配置を検討していくことが挙げられる。

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。

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, Page10-11, 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 Page.1412-1419, 1999
- 5) 小柳文子，岩田景新：領域分けによる武蔵野市補充充電設備の優先順位の決定，成けい大学理工学研究報告，Vol.46, No.1, Page35-40, 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-電気自動車導入に向けた基本解析機能構築-，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) 清水太朗，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, pp53-59, 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, Page1-7, 2011
- 14) 関根喜雄：世帯保有自動車の長期間再現シミュレータの開発，筑波大学社会環境工学系卒業論文，2002
- 15) 黒田貴司：北海道東部地域における広域的な観光周遊行動分析に関する研究，北見工業大学工学部土木開発工学科平成19年度卒業論文，2007