

勾配を考慮した電気自動車の最適経路問題とその近似解法

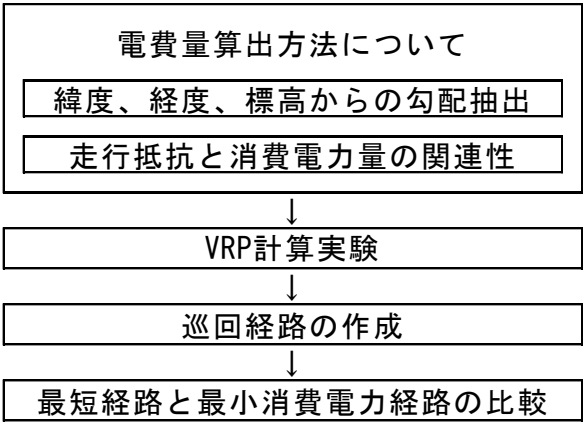
慶應義塾大学大学院理工学研究科	学生会員	○清水 太朗
慶應義塾女子高等学校	非会員	國府方 久史
慶應義塾大学先導研究センター	正会員	松本 修一
慶應義塾大学理工学部	正会員	川嶋 弘尚

1 研究背景・研究概要

現在、環境に優しい次世代自動車として電気自動車（以下「EV」と記す）が注目されている。多くの自動車メーカーがEVの販売を発表しており、EVが我々の日常の足となる日はそう遠くないと考えられている。

EVの特徴として、減速、下り坂走行時にモーターが発電機となり電気が回収される回生ブレーキ機能などが挙げられる。そのため走行する路面の勾配によって消費電力量が変化を受ける。しかし巡回経路決定問題に道路勾配やEVの消費電力量を加味した研究例は少ない。

よって本研究では、電気自動車の消費電力量（以下「電費」と記す）に焦点を当て、道路勾配と電費、回生ブレーキによる電力回収の関係を表す数式モデルを定式化し、複数の立ち寄り地点を巡回する制約下において、電費の削減効果の可能性を明らかにする。具体的には、長崎県五島市に実在する教会群を対象に、主要な教会を最小消費電力で回る巡回経路決定問題をVRP(Vehicle Routing Problem)として定式化する。また、一般的に用いられている最短巡回経路解と、本研究で活用する勾配を考慮した電費算出モデルを用いて計算した最小消費電力巡回経路解との比較を行う。

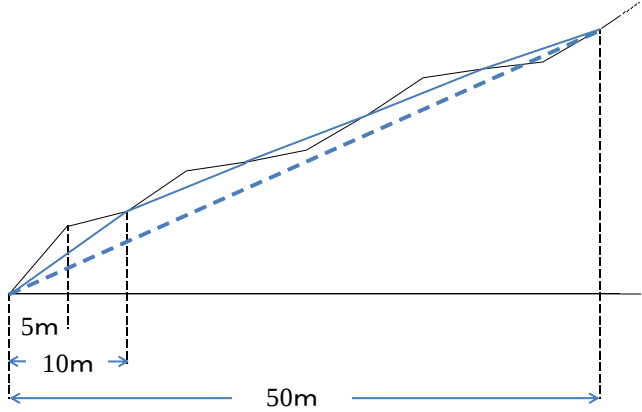


図－1 本研究のフロー

2 電費算出方法について

(1) 緯度、経度、標高からの勾配抽出

EVでは、回生ブレーキ機能があるため、道路勾配を考慮することは、電費を算出する上でとても重要である。本研究では、実際に4つのGPS端末を用いて1秒ごとに道路の緯度、経度、標高を測定した。このデータを用いて、道路を等間隔に区切った地点に最も近い位置にあるGPSデータの標高をその地点の標高と仮定した。本研究では、勾配を設定する間隔を5、10、50、100mとし、それぞれの勾配を算出した（図－2）。



図－2 勾配を設定する間隔

(2) 走行抵抗と消費電力量の関連性

走行時の自動車にかかる抵抗F[N]と走行距離に準じて消費電力量[Wh]が変化すると仮定した。また、速度、加速度は一定と仮定した。自動車にかかる走行抵抗は以下の通りである。¹⁾

$$F = F_r + F_w + F_a + F_g \tag{1}$$

$$F_r : \text{転がり摩擦抵抗} \quad F_r = \mu m_t g \tag{2}$$

(μ :転がり摩擦係数、 m_t :車の総重量[kg]、 g :重力加速度[m/s²])

$$F_w : \text{空気抵抗} \quad F_w = \rho C_d S v^2 / 2 \tag{3}$$

(ρ :空気密度[kg/m³]、 C_d :空気抵抗係数、 S :前面投影面積[m²]、 v :車速[m/s])

キーワード 電気自動車、電費、勾配、経路問題

連絡先 〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1 TEL:045-566-1141 FAX:045-566-1617

$$F_a : \text{加速抵抗} \qquad F_a = (m_t + m_n)a \qquad (4)$$

(m_t :自動車重量[kg]、 m_n :自動車回転部分相当重量[kg]、 a :加速度[m/s²])

$$F_g : \text{登坂抵抗} \qquad F_g = m_t g \sin \theta \qquad (5)$$

(θ :斜度 [rad])

今回は、公表されている市販のEVの総電力量などから消費電力率(Wh/J)を算出する際、既存の資料が公開されていないため、回生ブレーキは作動時にかかる0.5m/s²の負荷(運動エネルギー)が75%の回収率で電気エネルギーに変換され、電池内の電気になると仮定した。

3 VRP 計算実験

2章で作成した電費算出方法を使って、巡回経路決定問題を解く(図-3)。まず、勾配データを使用し作成した各部分道路の消費電力量を求め、それを用いて、各ノードから各ノードへの最小消費電力経路をワーシャル・フロイド法を用いて計算した。スタート地点と巡回すべき教会をノードとして、それらをすべて巡回する最適順回路を求めた。

この問題は1台の車両で指定されたすべての地点を巡回するTSP(Travelling Salesman Problem)である。しかし、ノードの数が多くなると1台の車両で巡回するのは難しいので、複数車両の配車・配送順回路を求めるVRP(Vehicle Routing Problem)がある。一般的にVRPは、規模が大きく複雑になるにつれて計算量が飛躍的に増大し最適解を求めることは困難となる。そこで最適解を短時間で効率よく探す近似解法の研究が進んでおり、筆者らはこのうち、試行変形を制御して最適解へ誘導するシュミレーテッド・アニーリング法(SA法)を用いて最適巡回路を探索する計算法を開発している²⁾。今回の計算実験で用いた例は、1台の車両で7個のノードを巡回する小規模なTSPの問題であるが、ノード数が多い大規模な問題で、車両も複数用いて、時間帯制約がある順回路決定の際にも利用できるように、筆者らの開発した計算法を用いて計算した。

探索結果は、表-1のようになった。表-1より、巡回経路は最短巡回路と同じ結果であったが、逆ルートで回った時は消費電力量が変わるということが見て取れる。これは同じ道を走行する場合でも、走行方向によって勾配の緩急が異なるため、回生ブレーキによる電力回収量が変わってくるためである。回収勾配を設定した間隔によって値が大きく違うのは、間隔が小さくなるほど道に緩急がつくため勾配の数が増え、GPSの測位誤差により勾配が急になったことが原因だと考えられる。

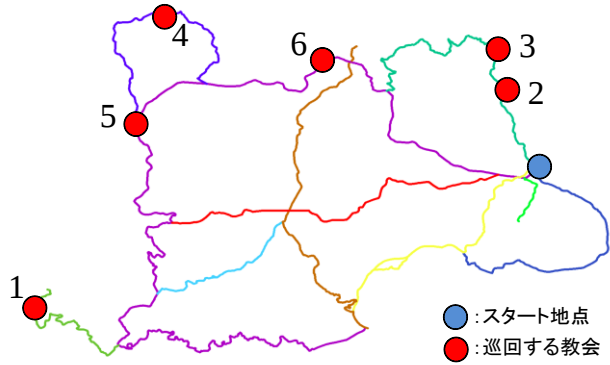


図-3 計算機実験対象のネットワーク

表-1 最短経路、最小消費電力経路

使用データ	ルート	距離(m)・消費電力量(Wh)	
			逆ルート
最短経路問題	0→2→3→6→4→5→1→0 or 0→1→5→4→6→3→2→0	103,665	
間隔(5m)	0→2→3→6→4→5→1→0	152,590	152,897 (+0.20%)
間隔(10m)	0→2→3→6→4→5→1→0	54,387	54,394 (+0.01%)
間隔(50m)	0→2→3→6→4→5→1→0	11,699	12,152 (+3.87%)
間隔(100m)	0→2→3→6→4→5→1→0	5,729	6,569 (+14.66%)

4 おわりに

本研究では、勾配を考慮したEVの消費電力量算出モデルをもとに、勾配と消費電力量の関連性に定量的な評価を行った。今回の実験では経路選択において、通常の最短巡回路と同じ結果になったが、最小電力巡回路問題では巡回方向によって消費電力量が異なった値になる。これは回生ブレーキによる電力回収が行われたことが原因である。

以上のことにより、EVの電費算出を行う場合においては、道路勾配の影響が小さくないことがわかった。また、EVの正確な走行距離・消費電力量を算出するには、既存の道路データに標高・勾配等の情報をどのように整備するべきかという課題がある。

このように巡回路問題の最小化基準としてEVの消費電力量を適用させたことは新しい試みであり、これらの地球環境、交通事情を考える上で重要な視点となる。最後に、本研究を行うに辺り長崎EV&ITSコンソーシアムより多大な協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 電気学会：電気自動車の最新技術・電気自動車駆動システム調査専門委員会 編、オーム社、1999。
2) 平島浩一郎、古谷秀樹、川嶋弘尚：自動車排出ガス量低減のための車両巡回計画問題に関する研究、土木計画学研究・論文集 Vol.19 no.2 pp.275-282、2002。