

# 日常的に大量に発生する EV の内部データの 異目的活用に基づく実世界情報分析

大橋 弘典<sup>†</sup> 吉瀬 雄大<sup>†</sup> 植村 智明<sup>†</sup> 富井 尚志<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 横浜国立大学大学院環境情報学府情報環境専攻 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

<sup>††</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: †{ohashi-hironori-pc,kichise-yudai-vb,uemura-toshiaki-xh}@ynu.jp, ††tommy@ynu.ac.jp

**あらまし** 本研究では日々発生する大量の電気自動車 (Electric Vehicle: EV) の内部データを蓄積し、それを利用して実世界の地理データを生成することを目指す。本論文では EV の内部データとして CAN データに含まれるモータのトルクを解析し、道路勾配の推定を行う。評価用の正解データとして国土地理院が公開する 5m メッシュの標高データから算出した道路勾配を用いる。我々が提案する道路勾配推定モデルと、日本全土のデータが存在する 10m メッシュの標高データを利用したベースラインの道路勾配との精度評価を行った。それぞれの比較実験において二乗平均平方根誤差を算出すると、前者は 1.4%、後者は 3.3% となり、推定精度が高いことを確認した。

**キーワード** ライフログ, CAN データ, 道路勾配, 定速走行

表 1 電気自動車とガソリン自動車の比較

## 1 はじめに

近年、センサ技術やストレージ技術の発達により、実世界の膨大且つ多様なデータを取得・蓄積することが可能になった [1]。中でもスマートフォンなどのスマートデバイスや IoT (Internet of Things) の普及により、ヒトの生活に関する記録である「ライフログ」が容易に利用できるようになった。しかし集められるデータは膨大であるため、その多くは蓄積されず破棄されている。

一方、気候変動問題が世界的な課題として存在している。2016 年に発行されたパリ協定には、産業革命前からの地球の平均気温上昇を 2 度未満に抑えることが盛り込まれた。そのため、脱炭素化および省エネルギー化が求められている。日本では、「2050 年までに 80% の温室効果ガスの排出削減を目指す」という目標が掲げられている。目標達成への取り組みの一つとして、現在の日本における消費エネルギー量の 2 割以上を占める運輸部門のエネルギーを、すべてゼロエミッションにすることが必要とされている [2]。

省エネルギー化や CO<sub>2</sub> 排出量削減を実現する次世代自動車の候補として、電気自動車 (Electric Vehicle: EV) が挙げられる [2]。EV は走行時に CO<sub>2</sub> を排出せず、ライフサイクルにおける CO<sub>2</sub> 排出量も「同クラスのガソリン車 (Internal Combustion engine Vehicle: ICV)」と比べて 6 割程度であるという特徴がある [3]。さらに、EV は十分大きなバッテリーを搭載していることから、非走行時にバッテリーの充電電を行うことで電力系統と電力の融通を行うこと (Vehicle-Grid Integration: VGI) が期待されている [4]。

本研究では、EV 固有の内部データが従来では入手困難であった情報を含むことに着目した。EV は ICV と比べて内部構造が単純なため、車の走行に必要なエネルギーを運動方程式に基づ

項目	EV	ICV
エネルギー源	電気	ガソリン
エネルギー変換経路	電磁気エネルギー → 力学的エネルギー	化学エネルギー → 熱エネルギー → 力学的エネルギー
エネルギー変換機構	インバータ + モータ	エンジン + トランスミッション
エネルギー変換効率	高い	低い
エネルギー変換に関する要因	少ない	多い

く物理モデルにより説明することが可能である [5]。また、電気エネルギーを力学エネルギーに変換する過程は単にモータの変換効率として計上され、その効率は 80%~90% と高い (表 1)。

加えて、近年アダプティブ・クルーズ・コントロール (車間距離制御装置 Adaptive Cruise Control: ACC) の技術が発達しており、一般高速道路においても比較的安全に定速走行時のデータの取得が可能になった。

以上の EV 固有の特徴を考慮して、我々は EV の内部データをもとに実世界の情報分析を行うことを考えた。EV の内部では制御情報を転送するための機構として、CAN (Controller Area Network) が使われており、走行時のモータ出力やバッテリー端電力などの様々なデータが CAN バスを流れている。そこで本研究では、定速走行時に CAN バスから取得された EV 内部のデータを用いて実世界情報を算出することを試みる。CAN データを用いた情報分析の対象としては、道路勾配や EV 内部のモータにおけるエネルギー変換効率マップなどが考えられる。これらは航続距離に不安を抱える EV において、事前に走行時の消費エネルギーを推定する際に利用することができる。

本論文ではモータのトルク（回転力）を表す CAN データを利用して、道路勾配の推定を行う。

本論文の構成を次に示す。2 章では関連研究を示し、我々の研究との比較を行う。3 章では定速条件下における道路勾配推定モデルを示す。4 章では、推定精度評価のための実験で利用するデータについて説明する。5 章では、実験結果および考察について述べる。6 章で結論を述べる。

## 2 研究背景

本章では、CAN データや ACC 機能に着目した研究を示し、他の道路勾配推定に関する研究と本研究との比較を行う。

### 2.1 関連研究

道路勾配を計算可能にする道路の標高データを得るために、様々な手法が存在している。その多くは、航空レーザーによる標高の測量、車載カメラを利用した画像分析による道路形状の推定、LiDAR のような測量のためのセンサの利用といった手法に分類される。例えば国土交通省国土地理院は航空レーザーにより表面高度を測定したのち、高架や陸橋などを除いた標高データを生成している [6]。日本国内では日本デジタル道路地図協会<sup>1</sup>が ITS などの利用目的のために道路勾配データを含むデータベースを管理している。

これらのデータを「ユーザ視点から」「簡易な方法で」「その場限りにおいて」収集できることは有効であると考えた。従来は技術的に困難であったが、ACC 機能を有する EV が利用可能になったことで、今後はより現実的なものとなる。ユーザ側のデータから現実世界の情報を算出することが本研究の目的である。本研究に類似した研究として、ガソリン車の CAN データを使い道路勾配を推定した研究が存在する。田中らは、スマートフォンから取得した位置情報とガソリン車の CAN データを利用して 3 次元道路情報の生成を行った [7]。我々は、ガソリン車と比較して構造が単純で現在普及が進んでいる EV を用いることによって、より簡単にこのような道路情報を生成することを目指している。

### 2.2 CAN データ

CAN (Controller Area Network) は複数の電子制御装置 (ECU: Electric Control Unit) 間で通信を行う車載ネットワーク用に開発されたシリアルバス通信規格である。ドイツの Robert Bosch 社によって開発され、現在では国際規格 (ISO11898 [8] 及び ISO11519 [9]) として、ほぼすべての自動車に採用されている。現在では CAN バス上を流れるデータを個人で用意に取得することができる。CAN バスを流れるデータはメーカーや車種によって異なるが、ICV なら燃料噴射量、EV ならバッテリーパックのセル電圧やバッテリー残量、モータのトルクといったデータが存在する。

本研究では、道路勾配推定に必要な車の駆動力を導出するた

1: 一般社団法人、日本デジタル道路地図協会、<https://www.drm.jp/> (参照 2021-2-11)。

表 2 EV の駆動力に関わる変数

変数	単位	意味
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度
$\mu$	-	転がり抵抗係数
$g$	$m/s^2$	重力加速度
$Cd$	-	空気抵抗係数
$A$	$m^2$	車両前面投影面積
$M$	$kg$	車両総重量
$M_i$	$kg$	慣性重量
$v_c$	$m/s$	車両速度
$v_w$	$m/s$	風速
$\theta$	rad	道路勾配
$t$	s	時刻

めに EV の CAN データを使用した。実験用の EV として日産 LEAF (ZAA-ZE1 型 2020 年式) を用いた。CAN データの取得には Android アプリ LeafSpy Pro<sup>2</sup> を使用する。また、OBD2 (On Board Diagnosis second generation) 接続用の Bluetooth 通信端末として Kiwi3 OBD2 Wireless Bluetooth Diagnostic Scannar<sup>3</sup> を使用した。

### 2.3 運動方程式に基づく EV 走行時に必要な駆動力

運動方程式に基づく車の走行に必要な駆動力  $F$  は式 (1) のように、空気抵抗  $F_{AIR}$ 、登坂抵抗  $F_{SLOPE}$ 、転がり抵抗  $F_{ROLL}$ 、加速抵抗  $F_{ACC}$  の 4 種類から構成される [5]。4 種類の抵抗力はそれぞれ式 (2)~(5) と表される。式中的変数を表 2 に示す。

$$F = F_{AIR} + F_{SLOPE} + F_{ROLL} + F_{ACC} \quad (1)$$

$$F_{AIR} = \frac{1}{2} \rho C_d A (v_c - v_w)^2 \quad (2)$$

$$F_{SLOPE} = Mg \sin \theta \quad (3)$$

$$F_{ROLL} = \mu Mg \cos \theta \quad (4)$$

$$F_{ACC} = (M + M_i) \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

## 3 EV の内部データの異目的活用に基づく実世界情報分析

本章ではモータのトルクの値を利用して道路勾配を推定する手法を示す。

### 3.1 道路勾配推定モデル

まず、勾配推定で利用する各パラメータは表 3 に従う。走行中の EV に必要な駆動力  $F$  と、EV 内部のモータのトルク  $T_1$  の関係を示す。モータのトルクとタイヤ側のトルクは減速機を通じて運動している (式 (6))。また、タイヤ側のトルクとタイヤ端における駆動力は式 (7) に従う。

2: "LeafSpy Pro", Google Play, [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Leaf\\_Spy\\_Pro&hl=ja&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Leaf_Spy_Pro&hl=ja&gl=US) (参照 2020-12-24)。

3: Inc. PLX Devices, "PLX Devices model Kiwi3" <https://www.plxdevices.com/Kiwi-3-OBD-Car-to-Smartphone-Connection-p/897346002832.html> (参照 2020-12-24)。

表 3 EV の駆動力に関わる変数

変数	単位	意味
$a$	-	減速比
$T_1$	$Nm$	モータ側トルク
$T_2$	$Nm$	タイヤ側トルク
$r$	$m$	タイヤ半径

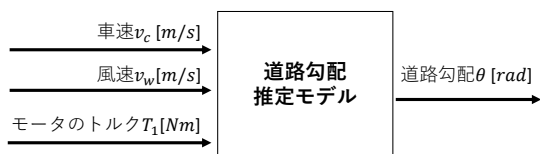


図 1 道路勾配推定モデルの入出力データ

$$T_1 a = T_2 \quad (6)$$

$$\frac{T_2}{r} = F \quad (7)$$

定速走行時において、加速度が 0 であることから  $F_{ACC}$  は 0 になる。また、日本国内では道路構造令第二十条に基づき、道路の区分や設計速度に応じて縦断勾配の限界が定められており、その多くが 10% 未満となる。この道路勾配の範囲において、転がり抵抗  $F_{ROLL}$  の変動幅は高々 0.5% であり、登坂抵抗の変動幅に比べて極めて小さい。よって本論文では転がり抵抗  $F_{ROLL}$  を定数  $c$  とする。これと式 (1)~(7) を用いて、道路勾配  $\theta$  は式 (8) のように表すことができる。式 (8) における変数は、車速  $v_c$ 、風速  $v_w$ 、モータのトルク  $T_1$  であり、これを図で表すと図 1 のようになる。このデータ処理方法を道路勾配推定モデル（以下、推定モデル）とする。

$$\theta = \arcsin\left(\frac{1}{Mg}\left(-\frac{1}{2}\rho C_d A(v_c - v_w)^2 + \frac{a}{r}T_1 - c\right)\right) \quad (8)$$

### 3.2 道路勾配推定モデルの利用方法

本節では、3.1 節で示した推定モデルで利用するデータ構造を示す。道路法に基づく道路では、道路を線データとして捉えたときのリンクデータやノードデータ、リンクを構成する中間点（以下、リンク構成点）などが国土交通省により定義されている<sup>4</sup>。本論文ではこのリンク構成点ごとに一つの道路勾配データを保持するデータ構造を考える。

推定モデルの利用については以下の手順に従う。

- (1) ACC 機能を用いた定速走行を行い走行ログを取得、蓄積する
- (2) 走行時の位置情報から最も近いリンク構成点ごとに走行データを集約する

- (3) 集約により道路リンク構成点ごとにモータのトルクや風速の代表値を求める
- (4) モータのトルクの代表値と、定速走行時の設定速度、風速の代表値を推定モデルの入力データとして、道路勾配の推定を行う

(1) における走行ログは、車の位置・走行速度・モータのトルクが該当する。

## 4 道路勾配推定モデルの評価実験

本章では、3 章で提案した道路勾配推定モデルの評価実験に利用するデータを示す。

### 4.1 評価方法の概要

3 章で提案した道路勾配推定モデルの評価実験を以下の手順で行う。

- (1) 正解データとベースラインとの比較
  - (2) 正解データと提案手法を用いて推定した道路勾配データの比較
  - (3) (1) と (2) における二乗平均平方根誤差 (Root Mean Square Error: RMSE) を算出し、比較する
- (3) において RMSE を比較することで、提案手法を用いて推定した道路勾配データが正解データにより近いことを示す。正解データ、ベースライン、提案手法を用いて推定した道路勾配データの 3 つの勾配データセットの作成方法を示す。

### 4.2 正解データ

正解データは、勾配を求める区間の両端の標高差と距離から算出する。標高については、国土交通省国土地理院が公開する高精度な標高データ<sup>5</sup>のうち、5m メッシュごとに一つの値を持つ標高データを利用する。5m メッシュの標高データは、2021 年 3 月現在において日本全土のうちの一部のデータは存在しない。また、国土地理院が公開する標高データは、盛土や高架橋などの地表遮蔽物を除去した地表の標高である。よって路面標高とは異なる道路区間については路面勾配が算出できないため、今回の評価対象区間から除外した。

### 4.3 ベースライン

ベースラインについては、勾配を求める区間の両端の標高差と距離から算出する。標高は、国土地理院が公開する標高データのうち、10m メッシュごとに一つの値を持つ標高データを利用する。正解データの作成に用いた 5m メッシュデータとは異なり、日本全土の 10m メッシュの標高データが公開されているため、すべての場所で勾配が算出可能である。

4: "国土交通省", "国土数値情報ダウンロード 線データについて", [https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/old/old\\_data\\_line.html](https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/old/old_data_line.html) (参照 2021-3-17)。

5: "国土交通省 国土地理院", "高精度な標高データ", [https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser\\_demimage.html](https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_demimage.html) (参照 2021-2-11)。

#### 4.4 提案手法を用いて推定した道路勾配

3章で示した推定モデルの入力データのうち、モータのトルクについてはCANデータから取得する。CANデータにはモータのトルクの値が存在し、LeafSpy Proにより最短で5秒程度のサンプリングレートで取得可能であるとされている<sup>6</sup>。LeafSpy Proにより取得したモータのトルク（以下、モータのトルクの計測値）の検証として、次のような走行実験を行った。

表4に示されるRoad1及びRoad2を対象区間として、定速走行時のモータのトルクの値を取得した。得られた結果を図2と図3に示す。Road1ではモータのトルクの計測値が一定の高い値を示しており、道路勾配が一定の緩やかな上り坂が続く様子を表している。また、Road2では谷となる下りから上りへと変わる地点が2箇所あり、下り坂では低い値、一方で上り坂では高い値を示すことが分かった。このように、モータのトルクの計測値は道路勾配の変化に伴って変動する。

図2に示されるように、道路勾配が一定の区間では、モータのトルクの計測値は大きく変動しない。Road1は地表の標高と路面標高が一致しているため勾配の正解データが算出可能で、道路勾配 $\theta$ は2.74%となる<sup>7</sup>。このことから、式(8)と表5に示すパラメータを用いてRoad1における定速走行時のモータのトルクの理論値が34.6Nmと求められる。これは我々が取得したモータのトルク計測値データの分布と大きく異なっていた。このように、モータのトルクの計測値は道路の形状を反映しているが、取得されたデータの値が異なる特徴をもっていた。よって本論文ではモータのトルクの計測値 $T_{measure}$ とモータのトルクの理論値 $T_{theoretical}$ は線形の関係にあると仮定し、線形係数を $n$ としたときに式(9)が成り立つとする。

線形係数 $n$ を求めるために次の走行実験を行った。表4に示す正解データが作成可能であるRoad3a~Road5bまでを対象区間として、定速走行時のモータのトルクの計測値と、その区間におけるモータのトルクの理論値を求めて比較した。実験結果を図4に示す。横軸はモータのトルクの計測値、縦軸はモータのトルクの理論値であり、図上の1点是对象区間を走行中に取得した走行ログ1レコードに対応している。赤い直線は線形の回帰直線を表す。本論文ではこの傾きである14.4を $n$ として、式(9)における右辺を推定モデルのモータのトルクの入力データとした。

車速 $v_c$ は次のようにして取得した。

- 対象データ: GPSデータの中に存在するドップラーシフトにより計測された速度データ
- 取得方法: 走行中の車に載せたGPSが搭載されたスマートフォン

この車速データは、スマートフォンでも利用できるようなSPS (Standard Positioning Service) において、海上の障害物の無い状況下で95%のデータで0.2m/s程度の精度が確保でき

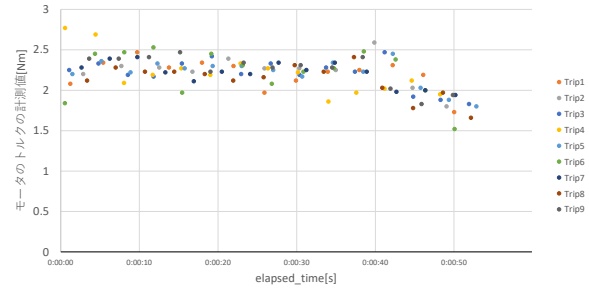


図2 Road1におけるモータのトルクの計測値

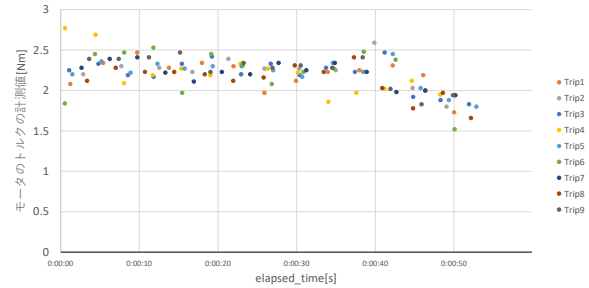


図3 Road2におけるモータのトルクの計測値

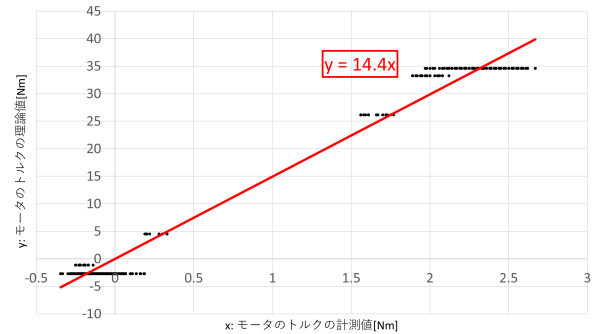


図4 モータのトルクの計測値と理論値の比較

るといわれる[10]。

ドップラーシフトにより計測された車速データの測定誤差を考える。ACC機能使用時の車速の時系列データは、設定速度に対して $\pm 2\text{km/h}$ の誤差範囲に収まることを確認した。よってACC機能の設定速度に対し、平均速度が $2\text{km/h}$ の誤差のものを定速と定義し、その時の平均速度を車速 $v_c$ として利用した。風速 $v_w$ は $0\text{km/h}$ とした。

$$T_{theoretical} = nT_{measure} \quad (9)$$

## 5 実験

### 5.1 実験結果

4.1節における(1)の結果を図5、(2)の結果を図6に示す。(1)のRMSEは3.3%、(2)のRMSEは1.4%となり、ベースラインに比べて提案手法を用いた推定道路勾配の精度が高いことを確認した。

6: "LeafSpy Pro Help Version 1.2.1 (iOS)", [http://www.leafspypro.com/wp-content/uploads/2017/09/LeafSpy-Help-1\\_2\\_1-iOS.pdf](http://www.leafspypro.com/wp-content/uploads/2017/09/LeafSpy-Help-1_2_1-iOS.pdf) (参照 2021-2-11)。

7: 道路勾配 $\theta$ の単位はradであるが、道路勾配を示す際には通例として $\tan \theta \times 100[\%]$ が用いられる。

表 4 走行実験区間

名称	区間	距離	条件	走行件数
Road1	高速道路 1	0.8 km	70 km/h 定速	9 件
Road2	高速道路 2	3.2 km	70 km/h 定速	3 件
Road3a	高速道路 3 (下り線)	0.8 km	70 km/h 定速	38 件
Road3b	高速道路 3 (上り線)	0.8 km	70 km/h 定速	31 件
Road4a	高速道路 4 (下り線トンネル)	0.4 km	70 km/h 定速	2 件
Road4b	高速道路 4 (上り線トンネル)	0.5 km	70 km/h 定速	2 件
Road5a	高速道路 5 (下り線トンネル)	1.0 km	70 km/h 定速	2 件
Road5b	高速道路 5 (上り線トンネル)	1.0 km	70 km/h 定速	2 件
Road6	高速道路 6 (上り線)	2.3 km	70 km/h 定速	35 件

表 5 本実験において設定した定数値

変数	単位	意味	値	取得方法
$M$	$kg$	車両総重量	1760	カタログ値
$g$	$m/s^2$	重力加速度	9.80665	定数
$a$	-	減速比	8.193	カタログ値
$r$	$m$	タイヤ半径	0.3234	カタログ値
$\rho$	$kg/m^3$	空気密度	1.22	定数
$Cd$	-	空気抵抗係数	0.28	カタログ値
$A$	$m^2$	車両前面投影面積	2.24	カタログ値
$c$	$N$	転がり抵抗	258.9	定数

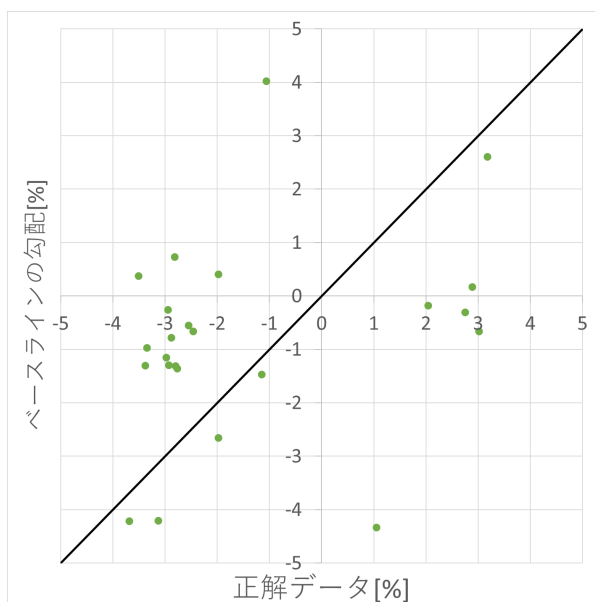


図 5 ベースラインの勾配と正解データの比較

## 5.2 考察

本論文では正解データを作成するうえで、盛土などの地表遮蔽物が含まれる道路については評価対象外として比較実験を行った。一方で提案した推定モデルでは EV が定速走行可能な場所であれば、等しく道路勾配を求めることが可能である。5.1 節における評価実験において、対象としたリンク構成点は 26 か所だが、推定モデルでは評価対象区間排除前の 54 か所において道路勾配の推定を行うことが可能であった。

このことから、次のことが示された。

- (1) ベースライン手法は国土地理院が公開する地表メッシュ

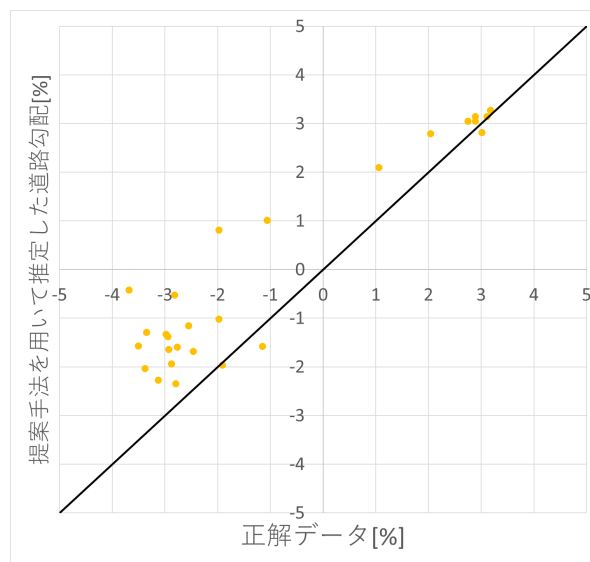


図 6 提案手法を用いて推定した道路勾配と正解データの比較

データに基づく道路勾配推定である。そのため、盛土や高架など、地表標高と路面標高が不一致となる地点の道路勾配は正しく算出できない。

- (2) 提案手法は定速走行時の EV の内部データに基づく道路勾配推定である。定速走行が可能な道路区間については、ある程度の勾配推定が可能である。

## 6 まとめ

本論文では EV の内部データに実世界の情報が含まれていることに着目し、推定勾配を導出した。代表として道路勾配を対象とした分析を行ったが、異なる分析対象として EV モーターのエネルギー変換効率マップの推定や、EV の走行時のエネルギー消費量推定で必要なデータの生成などが考えられる。また現段階では実験件数が少なく、誤差の影響を十分に検討するためにも走行実験の回数を重ねることを検討する。

## 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (課題番号 18K11750)、および、横浜国立大学大学院環境情報研究院共同研究推進プログラム、ならびに横浜国立大学学長戦略経費の支援による。

## 文 献

- [1] 総務省. 令和元年版 情報通信白書. Last accessed: 21 May 2020.
- [2] 経済産業省資源エネルギー庁. 令和元年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2020). Last accessed: 17 December 2020.
- [3] 黒川文子. Ev へのシフトと CO<sub>2</sub> 排出量に関する考察. 環境共生研究, No. 11, pp. 25–36, mar 2018.
- [4] Kang Miao Tan, Vigna K Ramachandaramurthy, and Jia Ying Yong. Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 53, pp. 720–732, 2016.
- [5] 廣田幸嗣, 船渡寛人, 三原輝儀, 出口欣高, 初田匡之. 電気自動車工学. 森北出版, 2017.
- [6] 国土地理院. 高精度な標高データ. [https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser\\_demimage.html](https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_demimage.html)(最終閲覧日: 2020/12/24).
- [7] 諒外山, 成典田中, 弘平上谷. プローブデータを用いたサグ部とヒヤリ・ハット地点の 3 次元道路情報の生成に関する研究. 第 77 回全国大会講演論文集, 第 2015 巻, pp. 407–408, mar 2015.
- [8] ISO. Road vehicles—Interchange of digital information—Controller area network (CAN) for high-speed communication. ISO 11898, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1993.
- [9] ISO. Road vehicles—Low-speed serial data communication—Part 1: General and definitions. ISO 11898, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1993.
- [10] GPS NAVSTAR. Joint program office (1996) navstar gps user equipment introduction, 1996.