

EV エネルギー消費ログ DB のための走行消費電力量推定の精度向上

吉本 亘汰[†] 柏原 勇太[†] 川沼 大輝[†] 植村 智明^{††} 富井 尚志^{†††}

[†] 横浜国立大学大学院環境情報学府情報メディア環境学専攻 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

^{††} 横浜国立大学理工学部数物・電子情報工学科 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

^{†††} 横浜国立大学大学院環境情報研究院 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

E-mail: [†]{yoshimoto-kota-cg,kashiwabara-yuta-zv,kawanuma-daiki-yx,uemura-toshiaki-xh}@ynu.jp,
^{††}tommy@ynu.ac.jp

あらまし 環境に配慮したモビリティとして電気自動車 (EV) が挙げられるが, EV はバッテリーを搭載していることからスマートグリッドでの応用が期待されている. このためには EV からどれくらい電力を取り出せるか把握する必要がある. そこで我々は既存の自動車の走行ログから, 仮に EV に置き換えた際の走行エネルギー量を推定・蓄積するデータベースを構築した. 本研究では, 通勤に使われる EV に注目し, 実車 EV から得られたバッテリー残量データを正解データとして, GPS 軌跡データから推定した走行消費電力量の精度評価を行う. マップマッチングによる GPS 軌跡データの補正を行った結果, 推定精度に向上が見られた.

キーワード センサデータベース, スマートグリッド, 日常運転ログ, エネルギー, マップマッチング

1. はじめに

近年, 温室効果ガスの排出量増加による地球温暖化, 化石燃料の枯渇といった問題から, 省エネへの要求が高まっている. 現在日本におけるエネルギー消費量のおよそ 4 分の 1 が運輸部門から, またそのおよそ 9 割が道路交通分野であることから, 道路交通分野からの省エネが必要とされている [1]. 省エネを実現する媒体として電気自動車 (EV) が挙げられる [2]. EV はガソリン車に比べて燃料コストが低く, 二酸化炭素排出量も大幅に削減される. また, EV は移動としての役割のほかにバッテリーとしての役割を持ち, 非走行時には EV の内部電源から電気を取り出すことが可能である. EV を利用した省エネの手段として, 運転に使用しない余剰電力を他の場所に提供する V2X (Vehicle to X) が考えられている. V2X の形の 1 つとして, 事業所に集まった数台~数十台の EV から電力を取り出して事業所で利用する V2B (Vehicle to Building) がある. V2B では, 夜間に充電した電力を日中のピーク時に利用することで電力のピークシフトを図ることができる. しかし, 事業所に集まってくる個々の EV はそれぞれ運転状況が異なるため, 各 EV から取り出せる電力量の最適値を知ることはできない.

また, EV 自体も未だ普及しているとはいえない. この理由は, 初期導入コストが高いことや EV の走行可能距離が短いこと, さらに充電インフラの普及が進んでいないなど, 実際の利用に対して EV が耐えうるか不明瞭であることが原因である. EV に関しては世界中の自動車メーカーや地方都市によって運用実験がなされているが, それらはモデルケースであるため, 実際の自分の運転と照らし合わせた定量的な評価は行えない. そのため, EV に乗換える前に個々人の状況に即した効果予測を行う必要がある.

一方で, 自動車の運転データを取得し, 活用する取り組みが行われている. 各自動車メーカーは多数の自動車の走行情報を

集めている. これらのデータはカーナビ等において細かい地点の渋滞情報や到着時間予測などに活用されている. このデータの問題点として, カーナビのデータは不特定多数のデータであるので, 個人ごとの運転の改善点を示すのには向いていないことが挙げられる.

これを解決する手段として, 現在乗っている自動車の個人運転状況のデータログを基にして, もし仮に EV に置き換えた場合の細かいエネルギー消費状況を推定することを我々は考えた. その方法として自動車に搭載した簡易なセンサから得た走行ログを蓄積するデータベースを構築し, EV のエネルギー消費モデルを基に走行エネルギーを推定を行ってきた [3], [4]. そのためのセンサデータとして GPS で計測された位置情報のログデータを用いた.

ここで, GPS の計測誤差はエネルギー推定に大きな影響を及ぼす. そこで本研究では, マップマッチアルゴリズムを用いることによって推定精度を向上させることを提案する.

2. 研究背景

2.1 EV と V2X

EV はバッテリーを搭載し, モータによって駆動する新たなモビリティである. 例えば日産自動車の LEAF は 24kWh のバッテリー容量を持ち, 最大 228km の走行が可能とされる [5]. EV の特徴としては, Well-to-Wheel の観点で比較した場合の燃料コストがガソリン車に比べて低いことや, 走行時に二酸化炭素を排出しないことが挙げられ, 今後の普及が期待されている [6], [7].

また, EV に搭載されたバッテリーに充電した電力を電力網 (Grid:V2G) や家 (Home:V2H), ビル (Building:V2B) に提供する V2X という技術が注目されている. Kempton らは V2G をアメリカ電力市場に投入した際にどの程度の効果と利益が得られるのかの検証を行った [8], [9]. Jansen らは既存の電力網に

V2G を投入した際に V2G が果たす役割について論じた [10]. 太田らは EV を家庭の電力網に接続することで、再生可能エネルギーのような不安定な電源の補助として活用できることを検証した [11]. また日産自動車³が LEAF to Home [12] として、V2H の製品化を行った.

しかし、V2X の実現のためにはバッテリーの余剰電力を事前に把握しておく必要がある. その中でも EV に搭載されるバッテリー容量の小ささは EV の普及においても問題とされている. この問題に対して、Zhang らは残余走行距離推定を計算資源を節約しながらも達成する手法を提案した [13]. Martinez らは重要課題に掲げ、運動方程式を用いるのではなく人工ニューラルネットワークを用いて EV の消費エネルギー推定モデルを構築した [14]. これらのことから EV のエネルギー消費量の推定は重要な課題であるが、充放電の繰り返しによるバッテリー寿命の短縮、新技術ゆえの社会制度、十分なインフラの整備などの問題があり、これらに関しては官民が協力して解決すべき課題であるといえる [15], [16].

2.2 センシング技術とライフログ

近年の情報技術の発達により、計算機やネットワークの高速化、低価格化が進んでいる. さらに無線 IC タグや GPS、加速度センサのような実空間情報を取得することを目的としたセンサ類の発達により、いつでもどこでも誰でも計算機の恩恵を受けられるユビキタス環境が実現された. ユビキタス環境では環境内の様々な場所、モノにセンサを取り付けることで、ユーザの無意識下で様々なデータの取得が可能となる. これによってユーザの負担なく日常行動のセンシングデータを記録・蓄積するライフログの収集が実現されている.

その発展として、これらのセンサ類を自動車に搭載することで自動車自体を一つのセンサとして情報収集を行う「プローブカーシステム」に関する研究が行われている. Manzoni らはバスのような運転スタイルによって燃費が大きく影響される車両にセンサを搭載し、運転者別や時間帯別でエネルギー消費に差があることを確認した [17]. 森川らはプローブカーデータに気象状況や道路状況を組み合わせた動的経路案内システムを開発し、その性能評価を行った [18]. 秦らは新潟県中越沖地震において、プローブカーのリアルタイム情報を用いた「通れた道路マップ」を実際に試験提供することで、プローブカー情報を減災目的に利用した [19]. Ito らは大量に収集した EV の消費エネルギーのデータを道路の特性で集約し、航続距離の推定に用いるモデルを提案した [20].

近年では、このような GPS や加速度センサを搭載したスマートフォンが身近なデバイスとなった. スマートフォンを自動車に搭載することで、自動車の走行ログを日常的に取得することが可能になった. 八木はスマートフォンの加速度センサを用いて走行時の段差の検出を行う研究に加え、先の東日本大震災において発生した路面段差の調査を行った [21]. 佐藤らはスマートフォンがプローブ情報取得センサとして十分使用可能であることを検証した [22].

2.3 Controller Area Network

CAN は複数の電子制御装置 (Electronic Control Unit:ECU)

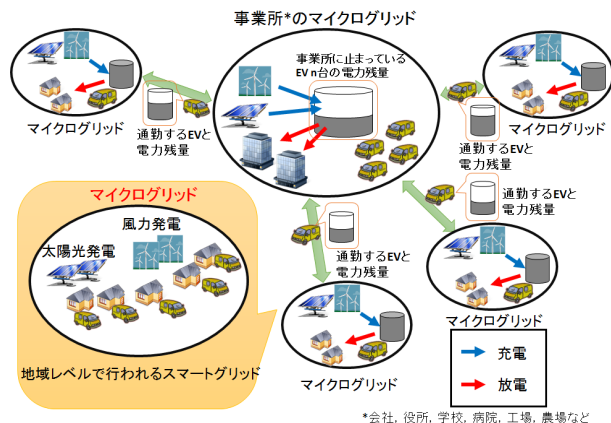


図 1 想定環境概略

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 [23] および ISO11519 [24]) として、ほぼすべての自動車に採用されている.

各自動車メーカーはテレマティクスサービスによって CAN データを収集し、様々な情報を提供している. トヨタ自動車⁴が提供する T-Connect [25] は、月別、日別の平均燃費、エコ運転スコア、燃費ランキングといった情報を表示する. 本田技研工業のインターナビ [26] でも同様のサービスを受けることができる. 日産自動車のカーウイングスではリーフ専用のサービスとして、「みんなの消費電力」[27] の提供を行っている. これはカーウイングスデータセンターに蓄積されている走行データを統計処理し、出発地から目的地までの間に記録された消費電力量の最大値、最小値、平均値などを表示するサービスである. 以上のように各社から CAN データを用いたテレマティクスサービスが提供されているが、限られた車種やナビゲーションシステムにしか対応していない.

現在では CAN バス上を流れるデータを個人で容易に取得する手段が確立されている. 車載式故障診断 (OBD:On Board Diagnosis) システムのインタフェースを利用し、スマートフォンなどの外部機器と車載ネットワークを接続することで、CAN データを記録することが可能である. 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 ならバッテリー残量といったデータから消費エネルギーを計算することができる.

2.4 想定環境

想定する環境の概略を図 1 に示す. 一般家庭に太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギー発電施設を備えた小さなスマートグリッド (マイクログリッドと定義する) が存在する [28]. 各家庭には V2H が備わっており、駐車している EV との間で電力の充放電が可能となる. 各マイクログリッドでは EV を用いて電力ピークの制御や再生可能エネルギーの安定化を行う. 事業所においても同様に通勤で集まる数台~数十台の EV との V2B や事業所に設置された太陽光発電などでマイクログリッドが構成される. 再生可能エネルギーや V2B で供給された電力はグリッド内の電力のピークカットに利用される. 事業所がマ

イクログリッドを構築することで、一般家庭から通勤する EV は事業所と家庭のマイクログリッド間を行き来する電力の運び手であると考えることができる。

このような状況下で、事業所が新たにマイクログリッドの構築を検討する場合を考える。事業所の意思決定者は、導入の目的である電力制御が自身の環境でどの程度効果が見込めるのかを見積もる必要がある。そのために、現在使用している自動車の日常的な運転ログデータを活用し、事業所に止まっている多数の自動車をもし仮に EV に置換えた際に事業所側に提供できる総電力量を事前に見積もりたい。すなわち本研究の目標は、既存の自動車から取得したライフログを用いて EV に置き換えた場合の消費エネルギーを推定し、図 1 のようなスマートグリッドの環境下で V2B の効果を事前に検討することである。V2B の効果を検討するにあたって、EV が通勤で消費するエネルギーを把握することが必要である。したがって通勤による往復で利用される EV の総消費エネルギーの推定精度が重要である。

このシナリオには電力売買の精度やプライバシー保護の問題など多岐に渡り詳細に検討すべき事項は存在する。これらは別の課題とし、本論文の対象外とする。

2.5 本研究で解決すべき課題

前節の想定に対して我々は、ライフログを用いて EV の問題点を解決することを提案してきた。具体的には、自動車の走行ログから EV における消費エネルギーを計算し、データベースに蓄積・検索するシステムを ECOLOG システム (Energy COnsumption LOG) として運用してきた [3,4,29~33]。ECOLOG システムを運用することで、現在乗っている自動車から収集した運転ログから事業所の駐車場に止まっている車をもし仮に EV に置き換えた際に事業所に提供できる電力量の事前見積もりが可能となる。

本研究の目標はこの ECOLOG システムにおけるライフログを用いて EV の消費エネルギーを推定することに対してその推定精度検証を行う。EV の消費エネルギーの要因は走行によるもの、電装品によるもの、エアコンによるものに大別される。電装品による消費エネルギーは EV の総消費エネルギーに対して小さいので評価の対象外とする。またエアコンによる消費エネルギーはすでに評価済みである [33]。

本論文では、ECOLOG システムにおいて特に EV の走行による消費エネルギーの推定精度への影響が大きい GPS の生データに注目した。これは誤差を含み、その誤差によって以下の 2 つが大きな影響を受ける。

- 速度
- 通過した地点の標高

これらの誤差による影響を解決するためにマップマッチングを用いた。さらに、このマップマッチングによる ECOLOG システムの推定消費エネルギーへの影響も評価する。

3. ECOLOG システム

3.1 ECOLOG システムの概要

本研究で開発した ECOLOG システムの全体像を図 2 に示

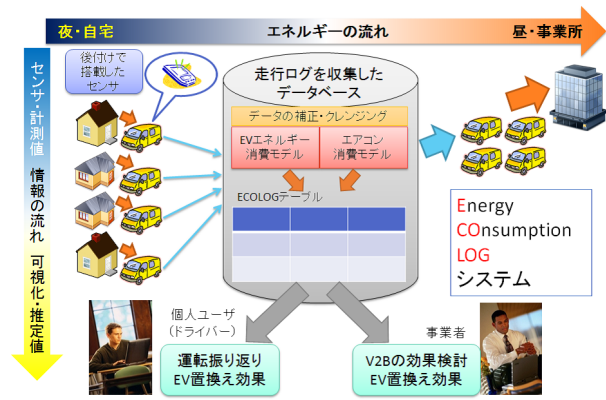


図 2 ECOLOG システムの全体像

表 1 運動方程式のパラメタ

パラメタ	単位	意味	取得方法
g	m/s^2	重力加速度	定数
ρ	kg/m^3	空気密度	定数
μ		転がり抵抗係数	定数
C_d		空気抵抗係数 (CD 値)	カタログ値
A	m^2	車両前面投影面積	カタログ値
M	kg	車両重量	カタログ値
θ	rad	坂路勾配	地図データから
A_x	m/s^2	加速度	GPS から算出
v	m/s	自動車の走行速度	GPS から算出

す。本システムは以下のような機能によって構築される。

- (1) 既存の自動車に後付で設置した簡易なセンサで、自動車走行ログを収集する
- (2) 走行ログに対し、EV エネルギー消費モデル (EV モデル) を適用して、瞬間の消費電力を推定する
- (3) これらのデータに対して効果的な検索と演算を可能とするデータベースを構築し、EV エネルギー消費ログを蓄積する
- (4) 運転者に対して、EV への置換え効果や、地点別・時点別の消費エネルギーを提示する
- (5) 事業所に対して、V2B による効果を提示する

本章では EV の消費エネルギー推定モデルについて説明する。

3.2 EV モデルによる消費エネルギー推定

EV のエネルギー消費には走行に消費されるエネルギー、カーナビなどの自動車内の電装品に消費されるエネルギー、エアコンに消費されるエネルギーに分けられる。EV はガソリン自動車 (ICV) やハイブリッド自動車 (HV) に比べて内部構造が簡易であるため、走行のために消費される電力エネルギーはセンサから取得される速度・加速度から推定可能である。ECOLOG システムにおける消費エネルギー計算の詳細については参考文献 [3] に記述されているため本論文で計算で利用する式を記載する。これを EV モデルと呼ぶ。

自動車の出力は空気抵抗 R_{AIR} 、タイヤの転がり抵抗 R_{ROLL} 、坂道の勾配が影響する登坂抵抗 R_{SLOPE} 、自動車の加減速に応じて発生する加速抵抗 R_{ACC} の総和であり次式で示される。

$$F_d(t) = R_{AIR} + R_{ROLL} + R_{SLOPE} + R_{ACC}$$

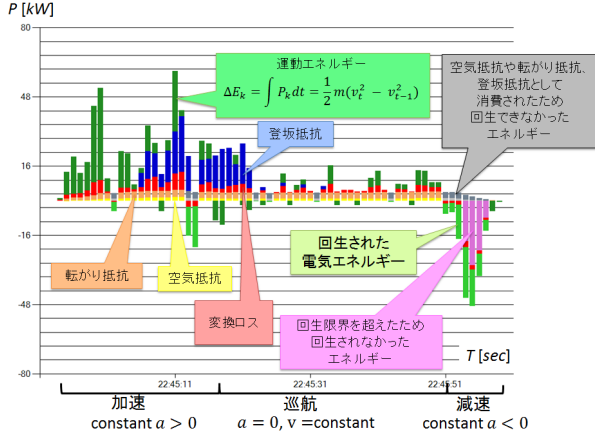


図3 EVモデルによるエネルギー消費の推定の例

$$= \frac{1}{2} \rho C_d A v(t)^2 + \mu M g \cos \theta + M g \sin \theta + M(a(t) - g \sin \theta) \quad (1)$$

(1)における各パラメータを表1に示す。出力 $F_d(t)$ に対して速度 $v(t)$ と変換効率 η を乗じて電力 $P_e(t)$ を求める。

$$P_e(t) = \frac{F_d(t) \times v(t)}{\eta(v(t), F_d(t))} \quad (2)$$

$P_e(t)$ を時間積分することで電力量 E_e が求まる。

$$E_e = c \int_{t_{start}}^{t_{end}} P_e(t) dt \quad (3)$$

(2),(3) 式を基に EV の消費電力 (瞬時値) とエネルギー消費について以下に説明する。

● EV の消費電力 (瞬時値)

EV の電力消費について説明する。図3は実際に発進から停止を行った走行ログから EV モデルでの計算値をグラフ化したものである。ただし、これらはあくまで瞬時値であり、個々のデータには誤差が存在する。図3では加速時に自動車を加速させるために加速抵抗 (緑色) によるエネルギーを消費した。次に一定速度を保ちつつ坂道を上り、登坂抵抗 (青色) によるエネルギーを消費した。その後減速時にブレーキによる負の加速抵抗 (黄緑色) によりエネルギーを回生したが、強い減速を行うために摩擦ブレーキを併用したのでエネルギーロス (ピンク色) も発生したことを示している。また、走行時には空気抵抗 (黄色) と転がり抵抗 (茶色) により常にエネルギーを消費する。このグラフでは走行に関するエネルギー消費量を示しているが、実際には走行以外に消費されるエネルギーとして電装品やエアコンのエネルギーも存在する [33]。

● EV のエネルギー消費モデル

図4に往復トリップ全体のエネルギー消費量を示す。このグラフは瞬時値を積算したものを示しており、最終的に EV がエネルギーロスした要因によって色分けされている。図3においては加速抵抗と登坂抵抗によるエネルギーが瞬間の消費エネルギーとして示されたが、これらのエネルギーは減速時や坂道を下るときに回生される。したがって、最終的なエネルギー消費量に影響するのは転がり抵抗、空気抵抗、エネルギー変換ロス (赤色)、摩擦ブレーキによるエネルギーロス、エアコン・電装品による消費エネルギーである。これらの多くは運転中に少しずつ発生するため、ドライバーはこれらのロスを運転の仕方の変更によってコントロールすることは難しい。しかし、たとえば摩擦ブレーキによるロスは急減速を行わないように運転することで減らすことができる。そのため、摩擦ブレーキによるロスを少なくするような運転改善につながると考えられる。

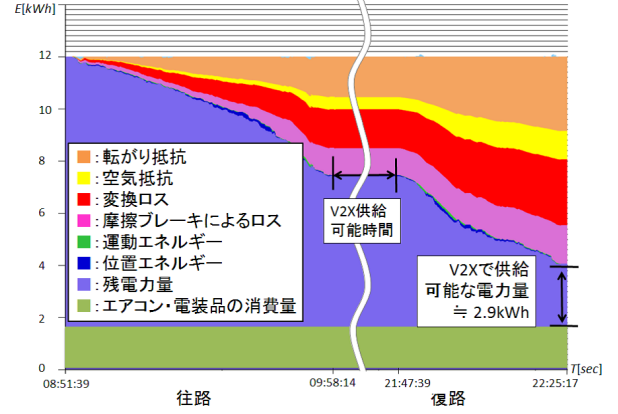


図4 EVのエネルギー消費モデル

3.3 ECOLOG データベース

EV モデルにより計算されたエネルギー消費量はセンサデータとともにデータベース内に蓄積される。このテーブルを ECOLOG テーブルと名付けた。ECOLOG テーブルでは1秒ごとに時間正規化したデータを蓄積する。これによりエネルギーの消費量の計算 (式 (3)) を次に示す単純な加算集約により計算する。

$$E_e = c \sum_{t=t_{start}}^{t_{end}} P_e(t) \Delta t \quad (\text{ただし } \Delta t = 1 \text{ sec}) \quad (4)$$

ECOLOG テーブルに蓄積される主なデータ要素としてはセンサから取得される時刻、緯度・経度、速度、3軸加速度、地図データからの標高、EV モデルにより計算される空気抵抗、転がり抵抗、登坂抵抗、加速抵抗、モータの変換効率、エネルギー回生量、エネルギー消費量などが含まれる。

ECOLOG データベースのスキーマ図を図5に示す。ECOLOG テーブルは検索キーとしてドライバー、車種、トリップが利用可能である。地図情報として交差点から交差点までを定義した道路リンクに関するデータも蓄積する。さらに、ドライバにとって有意なデータ集計を行うため、意味を持つ区間の道路リンク集合として定義したセマンティックリンクが存在する [34]。これを用いることで高速道路区間や坂道などの人にとって意味のある単位での集約、検索が可能となる。リンクデータは国土院の“数値地図 2500 (空間データ基盤)” [35] を利用した。

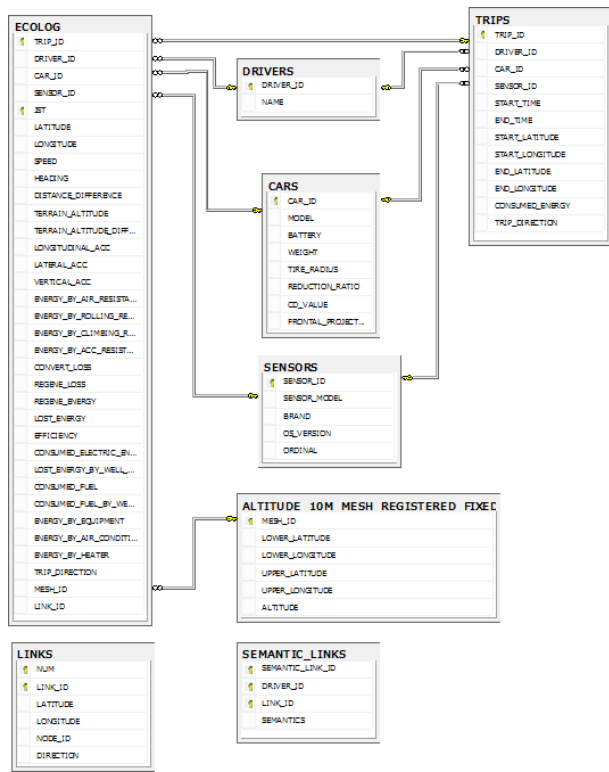


図 5 データベーススキーマ

表 2 取得したデータ

データ内容	単位	取得方法	説明
バッテリー残量	GIDs	LeafSpy	バッテリー残量の属性値 LeafSpy の仕様より $1[\text{GIDs}] = 0.0775[\text{kWh}]$
充電量	kWh	電力計	帰宅後の充電時の充電量を記録

4. 電気自動車を用いたデータ取得

本研究の目的は「現在使用している自動車 (EV でなくてもかまわない) の走行ログを用いて、仮に EV に置き換えた場合のエネルギー消費傾向を明らかにする」ことである。そのため、評価用データとして、実車 EV を用いたデータ取得を行った。本章では、実車 EV を用いたデータ取得方法と取得したデータの詳細について述べる。

4.1 実車 EV を用いた CAN データの取得

EV モデルの精度評価を行うための正解データとして EV の CAN データを収集した。実験用 EV として日産 LEAF(ZAAZE0 型) を用いた。CAN データの取得には Android アプリの Leaf Spy Pro [36] と OBD2 接続用の Bluetooth 通信端末として PLX Devices Kiwi Bluetooth Wireless Trip Computer and OBDII Scanner [37] を使用してデータ取得を行った。収集したデータを表 2 に示す。この取得したデータについて正解データとして妥当であるか検証を行った。

4.2 CAN データの検証

Leaf Spy Pro によって取得された CAN データのバッテリー残量が正解データとして妥当であるかの検証を行う。具体的には Leaf Spy Pro を用いて取得された CAN データのうち、運転開始前のバッテリー残量 $B_{start}[\text{kWh}]$ と運転終了時のバッテリー残量 $B_{end}[\text{kWh}]$ を読み取り、その差を $B_{trip}[\text{kWh}]$ とす

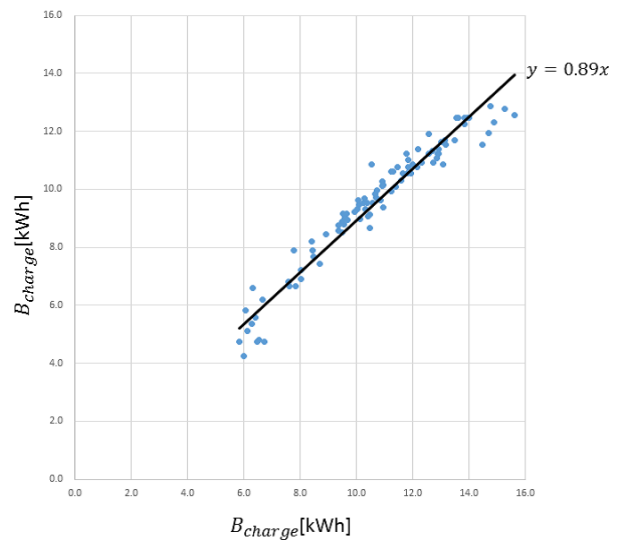


図 6 充電量と CAN から取得したバッテリー残量の比較

る。また電力計を用いて運転終了後に充電した時の充電量を $B_{charge}[\text{kWh}]$ とする。これらの間に相関があるかを検証するため B_{trip} と B_{charge} の比較を行った。その結果を図 6 に示す。横軸 x は B_{charge} を、縦軸 y は B_{trip} を表している。グラフより B_{charge} と B_{trip} の間の相関係数は 0.89 となった。この場合における相関係数は充電効率を表している。一般的に EV の充電効率は 90% 程度 [38] とされているので、この相関係数は妥当であると考えられる。また、直線 $y = 0.89x$ に対してバラつきが小さいため、本研究ではこのバッテリー残量データから求めた運転に使用された走行消費電力量 $B_{trip}[\text{kWh}]$ を正解データとして扱う。

5. マップマッチングによる消費エネルギーの推定精度の向上

5.1 GPS 計測による誤差

EV の消費エネルギー推定は、3.2 節 (1) 式によって行われる。そのためセンサとして、本研究では GPS 位置計測ログを用いた。GPS による位置計測データを元として、速度の算出と走路勾配の参照を行う。

しかし、GPS による位置計測には誤差を伴う。このため、位置、道路勾配および速度にはそれぞれ、次の (A) ~ (C) に示されるような誤差が含まれる。これらの誤差は消費エネルギーの推定に大きな影響を及ぼす。

(A) GPS 計測による位置の誤差

GPS のログデータは、道路上を通るような軌跡データとはならないことがある。たとえば図 7 に示されるように、道路を外れたような位置が計測される。

(B) 道路勾配の参照誤り

道路勾配は、GPS で計測された位置を基として、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルを参照して求めた。そもそもこのデータは道路勾配データではなく、地表メッシュの標高を示す。たとえば、道路が高架になっていたり、橋が架けられた場所では、正確な道路勾配を示さない。図 8 に高架の箇所での

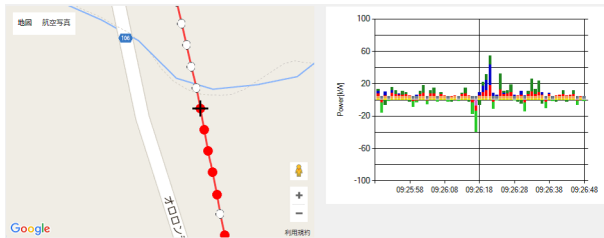


図 7 GPS の生データ用いて推定した ECOLOG データ



図 8 GPS の生データ用いて推定した ECOLOG データ

GPS 軌跡を示す。このとき実際には計測車両は高架の道路上を走行していた。しかし、GPS で計測された位置を基に標高を参照し、勾配を計算してエネルギー推定に用いると、「高架下に急降下し、高架上に急上昇する」ような運動に必要なエネルギーを計算することになる。図 8 右に見られる瞬時値の乱高下は、このような推定によって算出された値であり、誤りである。

(C) 速度の誤差

速度は GPS で計測された位置データの時間変位量から求める。すなわち、GPS の軌跡を時間微分することで速度が得られる。しかし、実際のデータは (A) で述べたような誤差を含むため、道路上に載った地点群とはかぎらない。そのため、微分して得られた速度ベクトルデータは、より大きな誤差を含むデータとなりえる。たとえば一定速度で巡航している時に、位置の誤差が進行方向に生じると、加速や減速をしたような速度データとなってしまう。

5.2 マップマッチングによる位置・道路勾配・速度の修正方法

前節で述べた誤りを改善するために、GPS 軌跡データを補正することを考える。基本的な方法として、マップマッチング [39] を用いる。マップマッチングによって (A) GPS による位置の誤差を最小化することが見込まれる。

本研究で対象とする軌跡データは任意の移動ではなく、日常的に同じ道路を利用する通勤データを対象とする。このため、対象となる道路リンクを予め絞り込むことができる。そこでまず、道路リンクデータに勾配情報をあらかじめ付与する。これによって、マップマッチングが成立すれば (B) 道路勾配の参照誤りを解消することができる。

したがって、(C) 速度の誤差を改善するようなマップマッチングが求められることになる。本研究では、ECOLOG システムによる推定精度向上のために、以下に示す 2 種類のマップマッチングアルゴリズムを用い、どちらがより高精度であるかを

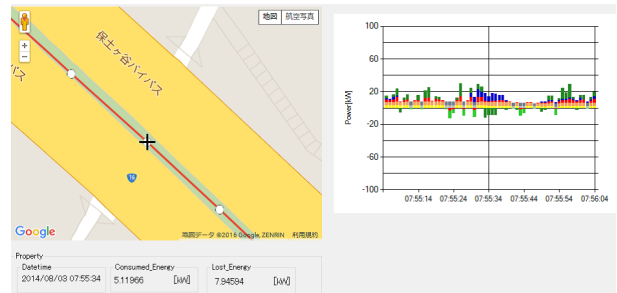


図 9 マップマッチング後の ECOLOG データ

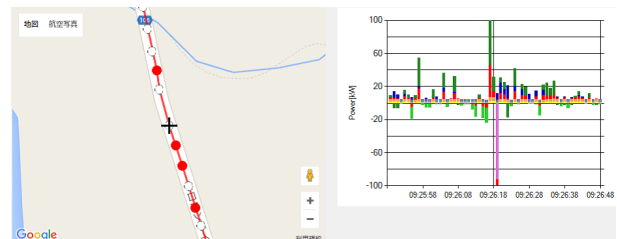


図 10 リンク絞込マップマッチング後の ECOLOG データ

を検証する。

(アルゴリズム 1) リンク絞込マップマッチング

アルゴリズム 1 は通常のマップマッチングである。ただし、通勤ルートを想定するため、事前に車の通るルートを絞り込むことができる。具体的なマップマッチングの流れを以下に示す。

- (1) 道路リンク集合から通勤ルート上にあるものを絞り込む
- (2) GPS 座標から近傍の道路リンクを絞り込む
- (3) 道路リンク線分上の最近傍点へとマッチングさせる
- (4) (2) ~ (3) を GPS 軌跡データの全ての点に適用する

図 8 に示した GPS 軌跡データを対象として、アルゴリズム 1 によって修正し、エネルギー消費量を推定しなおしたデータを図 9 に示す。マップマッチングによって GPS 軌跡データが道路上を走行するデータに修正され、推定エネルギーの大きなエラーが見られなくなっている。

(アルゴリズム 2) 速度保存マップマッチング

アルゴリズム 1 では位置のみの修正を行う。このとき、時間変化量を考慮しないため、マップマッチング後のデータは速度の誤りが多くなる場合がある。そこで、特に安定した等速運動を行っている巡航区間だけに着目し、速度を保存するようなマップマッチング方法を提案する。

具体的な流れとして、アルゴリズム 1 の (1) ~ (4) を適用したのち、次の (5) を適用する。

- (5) 巡航区間 (速度変位がほとんどない区間) と判断された場合には、GPS 位置データを時間上で等間隔に再配置する

図 7 の区間に対して、上記に示した 2 種類のマップマッチングアルゴリズムを適用した例を、図 10 および図 11 に示す。図 10 では、時間変位量が一定であることを考慮せずに最近傍点にマップマッチさせた結果、加速と減速を繰り返すような運動として推定された。これに対して図 11 では、等速で巡航するデータに補正されているため、より実際のエネルギー消費に近い推定値が算出されるようになった。

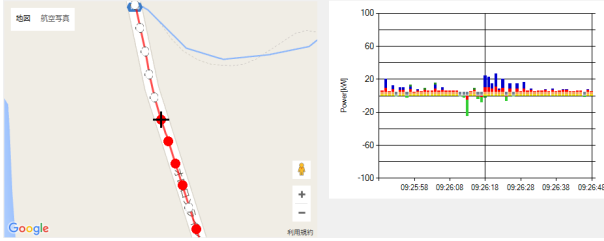


図 11 速度保存マップマッチング後の ECOLOG データ

表 3 計測条件

項目	条件	
日程	2014 年 02 月 20 日～2014 年 04 月 03 日 2015 年 09 月 15 日～2015 年 09 月 17 日	
使用車両	日産 LEAF ZAA-ZE0 型 (タイプ G)	
被験者	1 名	
トリップエリアと件数	神奈川県内の自動車専用道路	4 件
	宗谷国道, オロロライン	5 件
空調設定	エアコンなし	
走行条件	巡航の多い走行	
走行ログ 取得端末	Android タブレット端末 REGZA Tablet AT570	
CAN データ 計測方法	Android アプリ “Leaf Spy Pro” [36] によるデータロギング機能を利用	

6. 実車を用いた精度評価

我々は, ECOLOG の正確性の評価のために通勤による往復で利用される EV の総消費エネルギーの評価を行ってきた [32]. EV の消費エネルギー要因のうち, 電装品による消費エネルギーは EV の総消費エネルギーに対して小さいので評価の対象外とする. またエアコンによる消費エネルギーはすでに評価済みである [33].

データ収集のための計測条件を表 3 に示す. 本章では走行による消費エネルギーの推定精度検証を行う. このため, 通勤ルートに加え, 等速巡航に適した道路環境で収集したデータも用いる.

実車の CAN で取得したデータと EV モデルでの推定消費エネルギーの比較を行い精度評価とする. ここで入力とするデータは GPS 軌跡の生データ, アルゴリズム 1 による補正を行った GPS 軌跡データ, アルゴリズム 2 による補正を行った GPS 軌跡データとし, 消費エネルギーの推定には第 3 章にて述べた EV モデルを用いた. それぞれの GPS 軌跡データで推定した消費エネルギーをそれぞれ E_{raw} , E_{link} , $E_{velocity}$ とする.

3 章で述べた, CAN データから得られた運転開始時と運転終了時のバッテリー残量の差 B_{trip} を運転に使われた総消費エネルギーを正解データとする. これを用いて, 実車 EV による推定精度の検証を行った. 精度検証は表 3 に示されるデータに対して行った. 正解データと推定値の比較を行った結果を図 12 に示す.

横軸 x は CAN データのバッテリー残量から算出した総消費電力量 B_{trip} を表す. 縦軸 y は EV モデルにより推定したそれぞれの消費電力量 E_{raw} を青色の円, E_{link} を橙色の円, $E_{velocity}$ の丸で示す. これにより, 走行による消費エネルギー

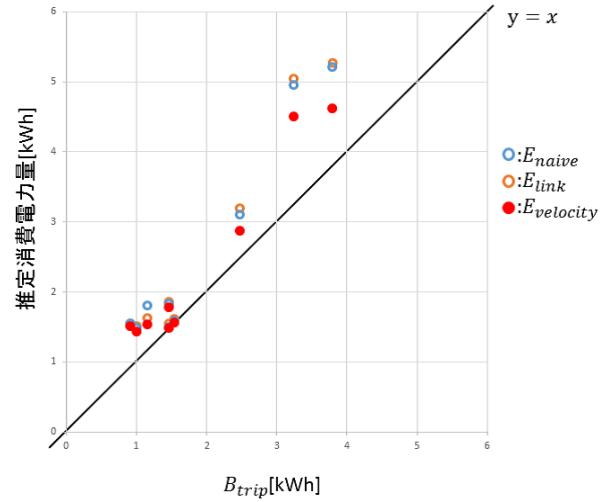


図 12 マップマッチング前後での推定電力量と CAN データの比較

の正解データとの相関を見ることができる.

E_{raw} では標準偏差 σ は $0.53kWh$ となったが, アルゴリズム 1 を適用した E_{link} では標準偏差 σ は $0.56kWh$ と悪化してしまった. この原因は, GPS 軌跡を道路上にマッチングさせたことによる道路勾配の参照誤りの減少よりも, 無理矢理道路上にマッチングさせたことによる速度の誤りによるエネルギーの誤差の増加のほうが大きかったためと考えられる. 一方で, アルゴリズム 2 を適用した $E_{velocity}$ は標準偏差 σ は $0.37kWh$ と減少し, 精度の向上が見られた. このことから ECOLOG システムにおける消費エネルギーの推定精度には, 車の速度を考慮したアルゴリズム 2:速度保存マップマッチングが有効であることがわかった.

7. ま と め

本論文では, GPS 軌跡データについてリンク絞込マップマッチングと速度保存マップマッチング, これら 2 種類のマップマッチングアルゴリズムによる補正を行った. また, GPS の生データを用いた ECOLOG システムによる推定消費エネルギーと, 2 種類のマップマッチングによる補正を行った GPS それぞれを ECOLOG システムの入力とした場合の推定消費エネルギー, これら 3 つの推定消費エネルギーと CAN バスから得られた消費エネルギーの比較を行った. その結果, 速度保存マップマッチングにより補正を行った GPS を用いた場合が CAN バスから取得した消費エネルギーに最も近いことがわかった. 今後の課題としては, より多くのデータでの検証や, 加速・減速時の精度の検証が必要である.

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (26330358) および横浜国立大学大学院環境情報研究院共同研究プロジェクトの助成による. また, 公益財団法人日産財団研究助成 (2011～2012 年) の支援により着想を得た.

文 献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁エネルギー白書 2014, <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2014pdf/>
- [2] 廣田 幸嗣, 小笠原 悟司編著, 船渡 寛人, 三原 輝儀, 出口 欣高, 初田 匡之 著, “電気自動車工学”, 森北出版, 2010.
- [3] T. Tomii, S. Hagimoto, N. Fueda, T. Deguchi, M. Idenawa, T. Hayashi “Long-Term Experiment of the ECOLOG Database Capability of Estimating V2X Effect Replacing with EVs”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [4] 萩本 真太郎, 出縄 誠, 林 拓也, 讃井 峻, 富井 尚志, 本藤 祐樹, “車載センサを用いた EV エネルギー消費ログ DB の長期運用と精度評価”, 第 6 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2014), A2-5, 2014.
- [5] 日産 LEAFWeb カタログ, <http://ev.nissan.co.jp/LEAF/>, 参照 Jan 6, 2015
- [6] 中上 聡, 山本 博巳, 山地 憲治, 高木 雅昭, 岩船 由美子, 日渡 良爾, 岡野 邦彦, 池谷 知彦, “車種別パターンを考慮したプラグインハイブリットと電気自動車の導入評価”, エネルギー・資源学会論文誌, Vol.31, No.6, pp.7-15, 2010.
- [7] 内田 晋, “電気自動車の電費から燃費への換算とその東日本大震災による影響”, エネルギー・資源学会論文誌, Vol.32, No.6, pp.14-18, 2011.
- [8] W. Kempton, J. Tomic, “Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue”, Journal of Power Sources, Vol.144, No.1, pp.268-279, 2005.
- [9] W. Kempton, J. Tomic, “Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy”, Journal of Power Sources 144, pp.280-294, 2005.
- [10] B. Jansen, C. Binding, O. Sundstrom, D. Gantenbein, “Architecture and Communication of an Electric Vehicle Virtual Power Plant”, 1st IEEE Int'l Conf. Smart Grid Communication (SmartGridComm2010), pp.149-154, November, 2010.
- [11] 太田 豊, 谷口 治人, 中島 達人, K. M. Liyanage, 馬場 旬平, 横山 明彦, “ユビキタスパワーネットワークにおけるスマートストレージの提案 -電気自動車の自律分散型 Vehicle-to-Grid-”, 電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌), Vol.130, No.11, pp.989-994, 2010.
- [12] 日産 LEAF to Home, <http://ev.nissan.co.jp/LEAFTOHOME/>, 参照 Jan 8, 2016
- [13] Y. Zhang, W. Wang, Y. Kobayashi, K. Shirai, “Remaining Driving Range Estimation of Electric Vehicle”, 3rd IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC2012), pp.1-7, 2012.
- [14] M. Martinez, A. Gardel, A.M. Wefky, F. Espinosa, J.L. Lazaro, I. Bravo, P. Revenga, “Electric Vehicle Consumption Estimation based on Heuristics and MLP Artificial Neural Network”, European Electric Vehicle Congress (EEVC), pp.1-7, 2012.
- [15] 経済産業省, “EV・PHV タウンベストプラクティス集”, http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evphv/town/state/best_practice.html, 参照 Jan 6, 2015
- [16] 久村 春芳, “スマートグリッドと連携した電気自動車 (EV) の技術動向”, 情報処理, vol54, no.4, pp.310-315, 2013
- [17] V. Manzoni, A. Corti, P. De Luca, S. M. Savaresi, “Driving Style Estimation via Inertial Measurements”, 2010 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2010), Madeira Island, Portugal, pp. 777-782, 2010.
- [18] 森川 高行, 山本 俊行, 三輪 富生, 王 立暁, “動的経路案内システム「PRONAVI」の開発と性能評価実験”, 交通工学, Vol.42, No.3, pp.65-75, May, 2007.
- [19] 秦 康範, 鈴木 猛康, 下羅 弘樹, 目黒 公郎, 小玉 乃理子. “新潟県中越沖地震における通れた道路マップの提供とプローブカー情報の減災利用実現に向けた課題と展望”. 日本地震工学会論文集, Vol.9, No.2, pp. 148-159, 2009.
- [20] M. Ito, T. Shimoda, K. Maema, “Prediction Method of Cruising Range using Probe Data for Electric Vehicle”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [21] 八木 浩一, “加速度センサを用いた路面段差検出手法の改善と東北地方太平洋沖地震後の観測データへの適用”, 第 10 回 ITS シンポジウム 2011, 1-A-05, 2011.
- [22] 佐藤 雅明, 和泉順子, 松井 香奈, 上田 憲道, 植原 啓介, 村井 純, “スマートフォンを活用したプローブ情報システムの構築”, 第 12 回インターネットテクノロジーワークショップ, 2011.
- [23] International Organization for Standardization. ISO 11898, road vehicles - interchange of digital information - Controller Area Network (CAN) for high-speed communication, 1993.
- [24] International Organization for Standardization. ISO 11519, road vehicles- low-speed serial data communication, 1994
- [25] トヨタ自動車. T-Connect. <http://tconnect.jp/>, 参照 Mar 13, 2015.
- [26] 本田技研工業. インターナビ. <http://www.honda.co.jp/internavi/>, 参照 Mar 13, 2015.
- [27] 日産自動車. みんなの消費電力. <http://n-link.nissan.co.jp/MANUAL/EV/HOWTOUSE/MYPAGE01/energyusage.html>
- [28] H. Farhangi, “The path of the smart grid”, IEEE Power Energy Mag., vol.8, no.1, pp.18-28, Jan-Feb, 2010.
- [29] 出口 達, 出縄 誠, 富井 尚志, “電気自動車の運転ログを用いた多様な状況提示システムの実装と評価”, 第 11 回 ITS シンポジウム 2012, 2-C-01, 2012
- [30] 笛田 尚希, 萩本 真太郎, 林 拓也, 讃井 峻, 富井 尚志, “車載センサを用いた EV エネルギー消費ログ DB のモデル構築と V2X 効果推定”, 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2013), E2-1, 2013.
- [31] 出縄 誠, 出口 達, 富井 尚志, “EV エネルギー消費ログ DB を用いた多様な可視化システムと運転状況に基づく情報の提示”, 日本データベース学会論文誌, vol.12, no.1, pp.127-132, 2013.
- [32] 讃井 峻, 吉本 亘汰, 柏原 勇太, 川沼 大輝, 萩本 真太郎, 富井 尚志, “車載センサを用いた EV エネルギー消費ログ DB の精度検証”, 第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2015), C3-5, 2015.
- [33] 讃井 峻, 萩本 真太郎, 富井 尚志, “EV エネルギー消費ログ DB における気象状況に基づく冬期エアコン消費電力量の推定と検証”, 第 12 回 ITS シンポジウム 2014, 2-2C-01, 2014.
- [34] 川沼 大輝, 吉本 亘汰, 柏原 勇太, 植村 智明, 富井 尚志, “EV エネルギー消費ログ DB を用いた可視化システムと運転者の知?を明示化する情報の提示”, 第 8 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2016), H2-2, 2016.
- [35] 国土地理院, “数値地図 2500 (空間データ基盤)”, <http://www.gsi.go.jp/geoinfo/dmap/dm2500sdf/>, 参照 Jan 06, 2015.
- [36] “Leaf Spy Pro”, Google Play, https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Leaf_Spy_Pro, 参照 Jan 6, 2015.
- [37] PLX Devices Inc., “PLX Kiwi Bluetooth”, http://www.plxdevices.com/product_info.php?id=GSSTBLUETOOTH, 参照 Jan 6, 2015.
- [38] ニチコン. EV パワーステーション. <http://www.nichicon.co.jp/new/new128.html> 参照 Feb 13, 2015.
- [39] Sotiris Brakatsoulas, Dieter Pfoser, Randall Salas, Carola Wenk, “On Map-Matching Vehicle Tracking Data”, In Proceedings of the 31st international Conference on Very Large Data Bases, pp.853-864, 2005.