EV エネルギー消費ログ DB のための GPS データ補正による走行消費電力量推定の精度向上

植村　智明† 　川沼　大輝† 　磯部　康太†† 　齋藤　祐亮†† 　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 79–7
††† 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: †{uemura-toshiaki-xh,kawanuma-daiki-yx,isobe-kota-py,saito-yusuke-gb}@ynu.jp,
††tommy@ynu.ac.jp

あらまし　電気自動車は，十分な容量のバッテリーを搭載していることから，スマートグリッドへ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の授受が可能であるかを事前に把握する必要がある．そこで我々はスマートフォンを自動車に搭載し，そのセンサデータから EV の消費エネルギー量を推定・蓄積するデータベース，ECOLOG(Energy COonsumption LOG) システムを構築した．本研究では，消費エネルギー量の推定精度向上のために，スマートフォンで取得した GPS データの補正手法を導入する．GPS 軌跡データには，マップマッチングを適用した．また，GPS から求めた車速データにはローパスフィルタによる補正を行った．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，補正後のデータから推定した走行消費電力量の精度評価を行う．

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，電気自動車，スマートフォン

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 は移動手段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) が注目されている．V2B では，EV に充電した余剰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．

本研究ではスマートフォンという簡易かつ汎用的なセンサのみを用いて得た走行ログを蓄積し，EV のエネルギー消費モデル（以下，EV モデル）を用いて EV の消費電力量を推定する．そして，V2B の導入効果を事前に検討する事業所やドライバーに対して個々人の状況に即した情報提示を行う．本論文では，EV モデルを用いた ECOLOG システムによる消費電力量の推定精度の検証を行う．ECOLOG システムによる情報提示に関しては [3] で述べる．EV の消費エネルギーの要因は，走行，電装品，エアコンに大別される．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．またエアコンによる消費エネルギーは別に推定精度評価を行っている [4]．電装品，エアコンに関しては本論文では評価の対象外とし，走行による消費エネルギーのみを評価対象とする．

本論文では，ECOLOG システムの走行による消費エネルギーの推定精度に影響が大きい GPS データに着目した．EV の走行による消費エネルギー推定において，搭載したセンサデータより実験車両の前後方向の運動を取得することが必要となる．そのため，ECOLOG システムでは，GPS 軌跡データから参照・計算された道路勾配・車速を EV 消費エネルギー推定モデルへの入力として，EV の消費エネルギーを推定する．すなわち，GPS の計測誤差は道路勾配と車速の誤差となり，最終的に EV の消費エネルギーの推定精度の誤差としてあらわれる．そのため，GPS 計測誤差による道路勾配と車速それぞれの誤差を低減するために，GPS データの補正手法の導入を行う．道路勾配の参照エラーを低減するために，GPS 軌跡データには位置の誤差を低減するマップマッチングを適用した．車速の誤差を低減するために，GPS から求めた車速データにはローパスフィルタによる補正を行った．さらに，これら補正手法による ECOLOG システムの消費エネルギーの推定精度への影響も評価する．

2. 関連研究

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 24〜30kWh のバッテリー容量を持ち，最大 280km 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].

一方で，Kempton らは V2G (Vehicle to Grid) 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る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].

プローブカーなどを利用して収集した大量のデータを用いて，REXEV (レンジエクステンダ EV) や PHEV (プラグインハイブリッド EV) などの消費エネルギーを考慮した制御の最適化を行う研究も盛んにおこなわれている．Styler らは，プローブカーから取得したデータを用いた REXEV の燃料消費量とエンジンノイズを削減する最適化制御の提案をおこなった [21]．Karbowski らは大量のプローブカーデータを利用して車両の走行状況を予測し，予測した状況に基づいた PHEV の燃料消費を削減する最適化の提案を行った [22]．一方，Kurtulus らは交通状況や天気データを利用して，EV や HV (ハイブリッド自動車) の消費エネルギーやバッテリーの損耗を考慮したルート決定手法の提案を行った [23]．しかしながら，これらの最適化において利用されたデータは個々人の状況に即したものとはいえない．

また近年では，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 [24]．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 [25].

2.3 Controller Area Network

CAN は複数の電子制御装置 (Electronic Control Unit:ECU) 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 [26] および ISO11519 [27]) 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．トヨタ自動車が提供する T-Connect [28] 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 [29] 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」[30] 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．また，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．

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 [31].

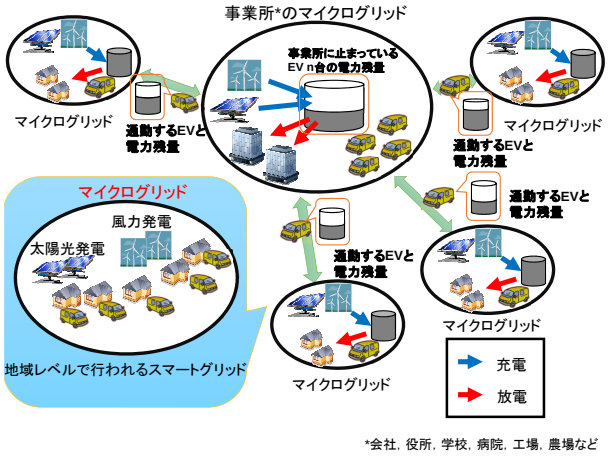

図 1　想定環境概略

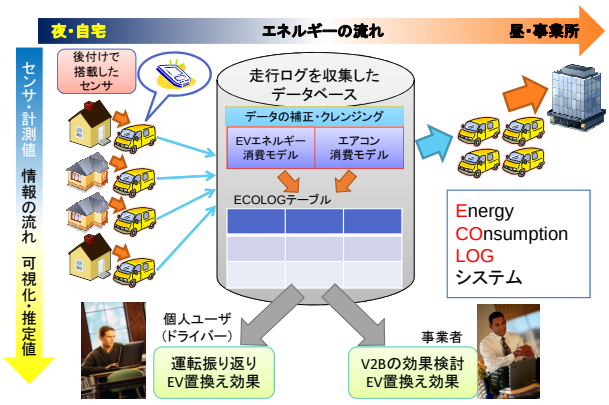

図 2　ECOLOG システムの全体像

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となる．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　ECOLOG システム

上記のような背景から，我々は自動車の運転ログから 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 システムとして開発，運用してきた [32], [33]．ECOLOG システムに蓄積した現在乗っている自動車の運転ログを利用することで，個々人の状況に即した情報提示が可能になる．例えば，エネルギーを時間や区間毎に集計することで，個人ユーザ（ドライバー）は，既存のガソリン車から電気自動車への置き換え効果の検討や運転の振り返り [3] を行うことができる．事業所においては，V2B の導入を検討する意思決定者が EV から給電できる電力を事前に把握することができる．

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） 既存の自動車にあとづけ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 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 [32] に記述されているため本論文で計算で利用する式のみを記載する．これを EV モデルと呼ぶ．

自動車の駆動力は，空気抵抗 R_{AIR}，タイヤの変形等により発生する転がり抵抗 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．

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	空気の密度	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

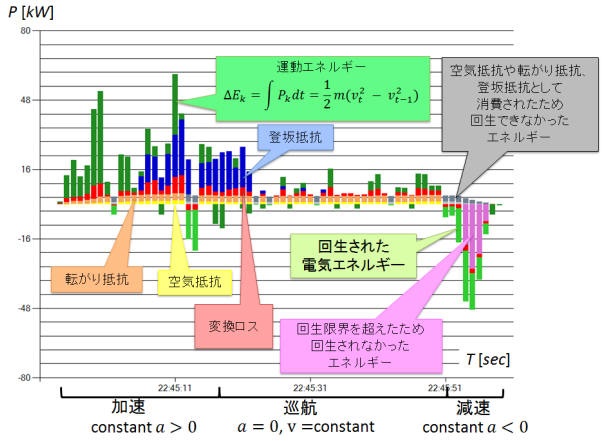

図 3　EV モデルによるエネルギー消費の推定の例

$$
\begin{aligned}
F_d(t) &= R_{AIR} + R_{ROLL} + R_{SLOPE} + R_{ACC} \\
&= \frac{1}{2}\rho C_d A v(t)^2 + \mu M g \cos\theta \\
&\quad + M g \sin\theta + M A x
\end{aligned} \tag{1}
$$

(1) における各パラメタを表 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．

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

$P_e(t)$ を時間積分することで電力量 E_e が求まる．

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

(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 [4]．

- 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．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．

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．

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

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，車速，3 軸加速度，地図データからの取得される標高，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 [3] ．これを用いることで高速道路区間や坂道などのドライバー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地理院の “数値地図 2500（空間データ基盤）” [34] を利用した．

4.　GPS データの補正手法

4.1　GPS の計測から生じるデータの誤差

ECOLOG システムにおいて，EV モデルには GPS 軌跡から

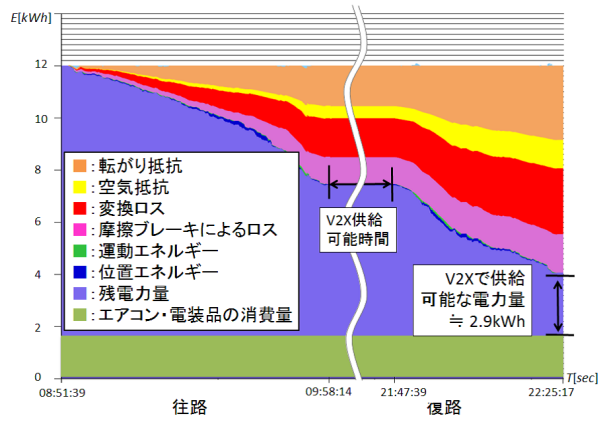

図 4　EV のエネルギー消費モデル

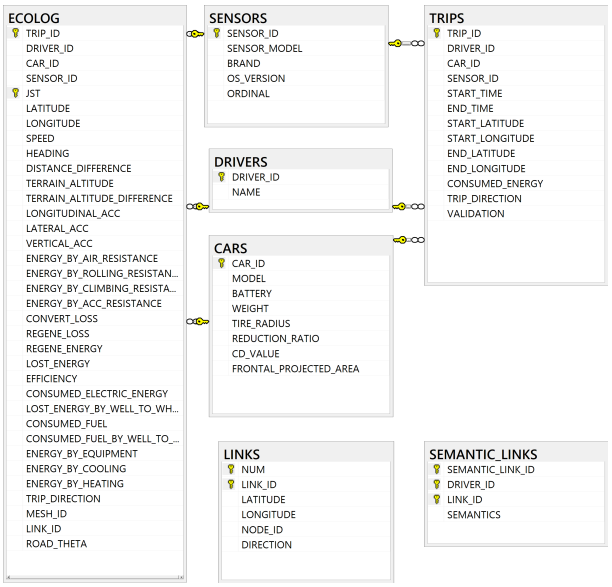

図 5　データベーススキーマ

計算された車速データと道路勾配データを入力する．GPS 軌跡データには計測誤差が含まれるため，入力するデータには以下で説明するような誤差が含まれる．これらの誤差はエネルギー推定の大きな誤差となりうる．

(A) 道路勾配の誤差

道路勾配は，GPS で計測された位置を基に，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ている．このモデルは地表メッシュの標高を示す．計測された GPS 軌跡が位置の誤差を含む場合，標高モデルへの参照誤りによって道路勾配に誤差が生じる．

(B) 車速の誤差

車速は GPS で計測された位置の時間変化量から求める．しかし，実際のデータは GPS の測定誤差を含む．そのため，GPS データより得られた車速データは，図 6 に示されるように，実際の車速と比較して強い加減速を繰り返すようなデータとなる．図 6 は，神奈川県内のある高速道路における GPS から求めた車速データとガソリン車の CAN から取得された車速データを示している．

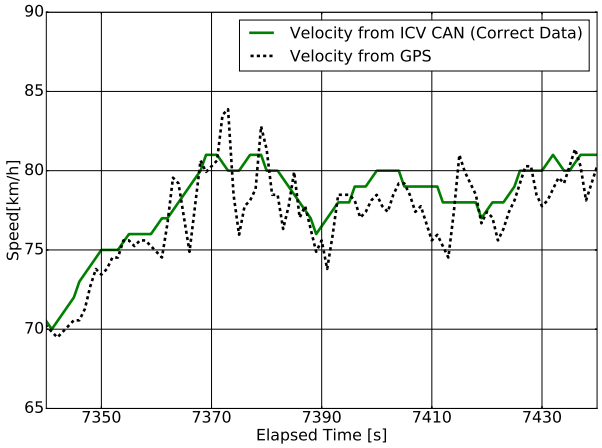

図 6　GPS の生データから取得された車速と CAN から取得された車速

(C)GPS データの補正手法

(A), (B) の誤差を改善するために，我々は 2 つの GPS データ補正アルゴリズムを導入する．

基本的な方法として，マップマッチングアルゴリズムを用いる [35]．マップマッチングアルゴリズム (以下 Algorithm1) が位置の誤差を改善することで，(A) の参照誤りが改善することはすでに確認済みである [36]．

しかし，マップマッチングは図 7 で示されるように (B) 車速の誤差を改善することができない．図 7 は，図 6 と同じ運転ログに Algorithm1 を適用した際の車速データを示している．

そこで，(B) 車速の誤差を改善するために車速データにローパスフィルタを適用する補正手法 (以下 Algorithm2) を提案する．(B) で示したように GPS の誤差は車速データには強い加減速としてあわられる．つまり周波数空間に車速データを展開した場合，高周波成分が車速の誤差に相当する．そのため，ローパスフィルタを車速に適用することで車速データの誤差が改善されることが見込まれる．

Algorithm2 の流れを以下に示す．

(1)　1 トリップ分の GPS 座標データに対し，Algorithm1 を適用（すなわち，マップマッチングを適用）．

(2)　(1) を適用した 1 トリップ分の車速データを高速フーリエ変換．

(3)　フーリエ変換後のデータに対し，カットオフ周波数以上の高周波成分を 0 に．

(4)　(3) を適用したデータを逆フーリエ変換．

(1) から (4) の処理を図 6,7 と同じデータに適用した車速を図 8 に示す．Algorithm2 適用後の車速データを生データ，Algorithm1 適用後と比較すると，実際には存在しない加減速が車速データからなくなり，最も CAN データ（正解データ）に近いデータであることがわかる．このことから，Algorithm2 により (B) 車速の誤差を改善できたことを確認した．

Algorithm2 を適用したことによるエネルギー推定の誤差改善の評価は 6 章にて後述する．

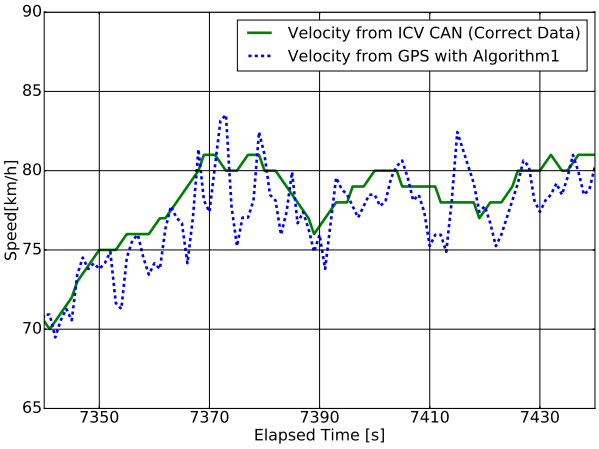

図 7　Algorithm1 適用後の車速と CAN から取得された車速

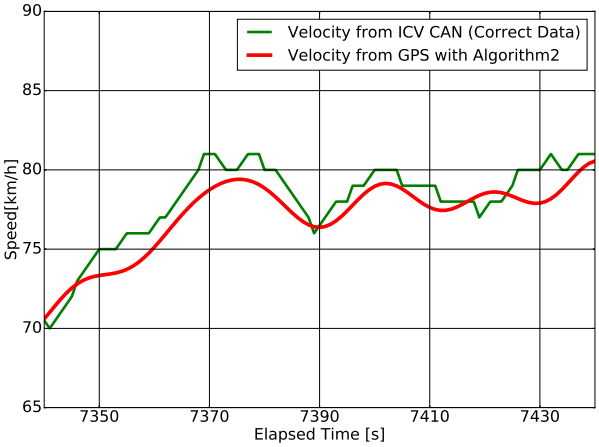

図 8　Algorithm2 適用後の車速と CAN から取得された車速

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[GIDs]=0.0775[kWh]
充電量	kWh	電力計	帰宅後の充電時の充電量を記録

5.　電気自動車から CAN データの取得

本研究の目的は「簡易かつ汎用的なセンサーで取得した現在使用している自動車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．

5.1　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(ZAA-ZE0 型) を用いた．CAN データの取得には Android アプリの Leaf Spy Pro [37] と ODB2 接続用の Bluetooth 通信端末として PLX Devices Kiwi Bluetooth Wireless Trip Computer and ODBII Scanner [38] 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．

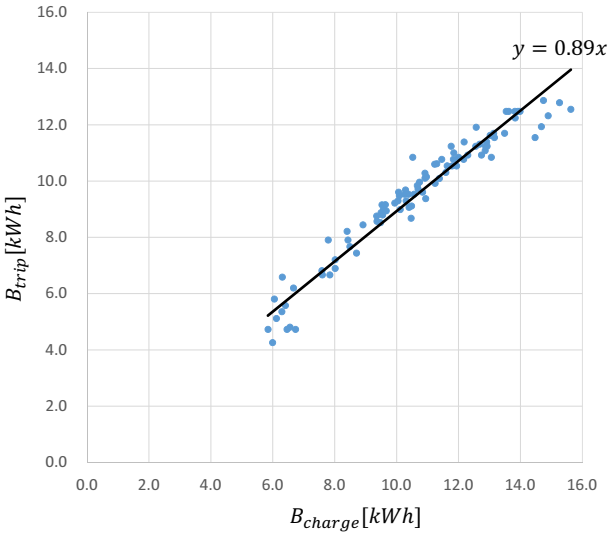

図 9　充電量と CAN から取得したバッテリー残量の比較

5.2　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}[kWh] と運転終了時のバッテリー残量 B_{end}[kWh] を読み取り，その差を B_{trip}[kWh] とする．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}[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 9 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} の間の近似直線の傾きは 0.89 となった．この場合における直線の傾き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 [39] とされているので，この近似直線の傾き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}[kWh] を正解データとして扱う．

6.　精 度 評 価

この章では，ECOLOG による推定消費電力量と B_{trip} を比較することで ECOLOG システムの推定精度評価を行う．実験条件を表 3 に示す．

ここで消費電力量に用いた入力は，それぞれ GPS の生データ（ECOLOG），GPS データに Algorithm1 を適用したもの（ECOLOG with Algorithm1），GPS データに Algorithm2 を適用したもの（ECOLOG with Algorithm2) の三種類とし，補正アルゴリズムの推定精度への効果を評価する．推定消費電力量と B_{trip} の比較を行った結果を図 10 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} をあらわす．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を示す．それぞれのデータの RMSE（Root Mean Squared Error）は，0.69[kWh](ECOLOG)，0.73[kWh](ECOLOG with Al-

表 3　計 測 条 件

項目	条件
日程	2016 年 01 月 05 日～2017 年 2 月 13 日
使用車両	日産 LEAF ZAA-ZE0 型 (タイプ G)
被験者	1 名
件数	117 件
走行ルート	被験者の通勤ルート
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” [37] によるデータロギング機能を利用

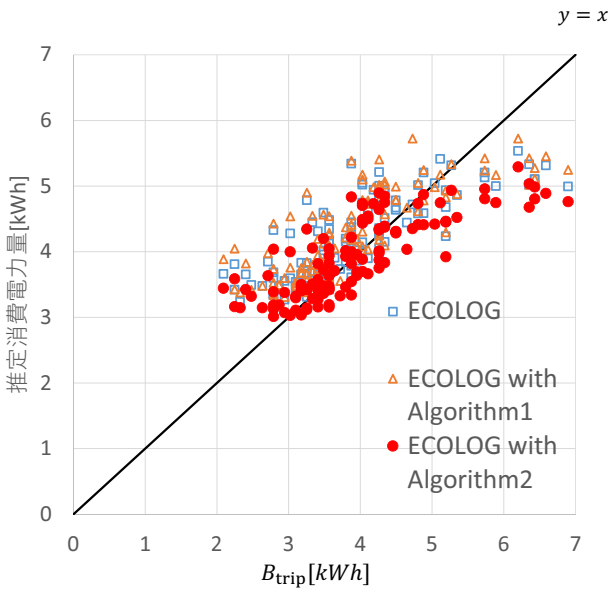

図 10　推定消費電力量と B_{trip} の比較

gorithm1)，0.63[kWh](ECOLOG with Algorithm2) となり，Algorithm2 を適用したことにより精度向上が確認された．このことから，マップマッチングにより道路勾配の誤差を解消し，ローパスフィルタにより車速の誤差を解消した Algorithm2 が ECOLOG 推定精度向上に提案手法の中で最も有効であることがわかった．

一方で，B_{trip} が 5[kWh] 以上のデータに着目すると消費エネルギー量が低めに推定され，推定誤差が増加しているトリップが多い．B_{trip} が 5[kWh] 以上であるトリップにおける気温は，約 88 %が 3[°C] ～ 10[°C] であり気温が低い冬の期間での走行である．そのことから，EV の走行における消費エネルギーには，気温に依存した電力消費要因が存在することが示唆される．今後の課題として，気温特性を考慮したエネルギー消費モデルの提案が必要となる．

7. ま と め

本論文では，ECOLOG システムの EV の消費電力量の推定精度検証を行った．また，GPS データに着目し，マップマッチングとローパスフィルタを利用してデータ補正手法の導入を行った．GPS の生データをそのまま利用した場合，GPS データにマップマッチングのみを適用した場合，マップマッチングとローパスフィルタの両方を適用した場合の 3 種類の推定精度の比較を行った．その結果，マップマッチングとローパスフィルタの両方により GPS データの補正を行った場合が最も推定精度が優れていることがわかった．今後の課題として，エアコンによる消費エネルギーの推定精度検証と気温特性を考慮したエネルギー消費推定モデルの提案が必要である．

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 2016, http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2016pdf/, 参照 Feb 13, 2017.
[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] D. Kawanuma, Y. Kashiwabara, T. Uemura, T. Tomii, ”Data Analysis Framework for Visualizing Correlation of Energy Consumption and Transit Time in Road Sections using the ECOLOG database”, International Workshop:MUSICAL16, Hiroshima, 2016.
[4] 讃井 峻, 萩本 真太朗, 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.
[5] 日産 LEAFWeb カタログ, http://ev.nissan.co.jp/LEAF/, 参照 Feb 13, 2017.
[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 Feb 13, 2017.
[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 Feb 13, 2017.
[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] A.Styler, I,Nourbakhsh, A.Sauer, H.Rottengruber, "Learned Optimal Control of a Range Extender in a Series Hybrid Vehicle", 2015 IEEE 18th Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems (ITSC2015), pp. 2612-2618, 2015.
[22] D. Karbowski, V. Sokolov, A. Rousseau, "Vehicle Energy Management Optimisation through Digital Maps and Connectivity", 22nd ITS World Congress, paprt#1952, pp. 1–10, 2015.
[23] C.Kurtulus, G.Inalhan, "Model Based Route Guidance for Hybrid and Electric Vehicles", 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2015), pp.1723-1728, 2015
[24] 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.
[25] 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.
[26] International Organization for Standardization. ISO 11898, road vehicles - interchange of digital information - Controller Area Network(CAN) for high-speed communication, 1993.
[27] International Organization for Standardization. ISO 11519, road vehicles- low-speed serial data communication, 1994
[28] トヨタ自動車. T-Connect. http://tconnect.jp/, 参照 Feb 13, 2017.
[29] 本田技研工業. インターナビ. http://www.honda.co.jp/internavi/, 参照 Feb 13, 2017.
[30] 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, 参照 Feb 13, 2017.
[31] H.Farhangi, "The path of the smart grid", IEEE Power Energy Mag., vol.8, no.1, pp.18-28, Jan-Feb, 2010.
[32] 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.
[33] 萩本 真太朗, 出縄 誠, 林 拓也, 讃井 崚, 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.
[34] 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 Feb 13, 2017.
[35] 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.
[36] T. Uemura, Y. Kashiwabara, D. Kawanuma, T. Tomii, "Accuracy Evaluation by GPS Data Correction for the EV Energy Consumption Database", International Workshop:MUSICAL16, Hiroshima, 2016.
[37] "Leaf Spy Pro", Google Play, https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Leaf_Spy_Pro, 参照 Feb 13, 2017.
[38] PLX Devices Inc., "PLX Kiwi Bluetooth", http://www.plxdevices.com/product_info.php?id=GSSTBLUETOOTH, 参照 Feb 13, 2017.
[39] 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, 2017.