

ライフログを活用した区間正規化に基づく EV のエネルギー損失の可視化

吉瀬 雄大[†] 植村 智明[†] 富井 尚志^{††}

[†] 横浜国立大学大学院 環境情報学府 情報環境専攻 〒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: [†]{kichise-yudai-vb,uemura-toshiaki-xh}@ynu.jp, ^{††}tommy@ynu.ac.jp

あらまし 電気自動車 (EV: Electric Vehicle) は走行時の二酸化炭素の排出が無いという特徴から、脱炭素化や省エネを実現するための次世代自動車として期待されている。我々は、自動車による走行の GPS ログを長期間に渡って蓄積し、その GPS ログを元に EV の走行時の消費電力量を推定する ECOLOG (Energy CONsumption LOG) システムを構築してきた。我々の先行研究では、これらのデータを分析することによって EV での走行の仕方とエネルギー損失量の間に関係があることを示してきた。本研究では、特定道路区間におけるエネルギー損失量を、その場所におけるエネルギー損失の統計量と比較する可視化システムを構築する。それによりドライバーに対して EV の運転改善のための情報提示やデータ分析者に対する分析の支援を行う。本可視化システムの有用性を評価するために、EV の多量の走行ログを用いて本可視化システムが有効であった事例を示す。

キーワード 情報可視化, データベース, 電気自動車, EV, エネルギー

1 はじめに

近年、スマートフォンやセンサデバイスの普及により、人間の生活や社会の動きのデータであるライフログが大量に取得可能になった。また、ストレージデバイスの大容量・低価格によりそれらの蓄積も可能になった。しかし、蓄積した大量のライフログの活用方法が確立されてるとは言えない。ライフログを有効に活用するためには、それらを蓄積し検索可能にするデータベースと、それらを利用するアプリケーションが必要である。

一方で、自動車業界では電気自動車 (EV: Electric Vehicle) や自動運転車などの次世代自動車の開発・普及が促進されている。ヨーロッパ・中国を中心としてガソリン車から EV へのシフトが進んでいる。加えて、日本においては一つの目標として 2050 年までに乗用車の 100% を EV とすることが掲げられている [1]。しかし、EV への乗り換えが進んでいるとは言えない。一般に EV には航続距離が短く、充電に時間を要する。また導入コストが高いのが実情である。そのような EV の特徴がある上で、ドライバーの視点に立った時に「自分が EV に乗り換えた時に、自身の生活に EV が適しているか」が明確でないために EV への乗り換えが進んでいないと考えられる。

そこで我々は、広く普及しており GPS により位置情報を取得可能なスマートフォンをロギングデバイスとして既存の車両に搭載することで、GPS から得られる自動車走行ログをドライバーの負担無く蓄積できることに着目した。これにより、EV を用いずに、EV で走行した場合のエネルギー消費量を GPS データと地理情報から算出し、蓄積・分析することができる ECOLOG (Energy CONsumption LOG) システムを構築した。

ECOLOG システムでは、運動方程式を基にしたエネルギー

消費量推定モデル [2] を用いており、登坂抵抗や転がり抵抗などの各種抵抗成分についてそれぞれエネルギー消費量を求めることができる。EV には力学的エネルギーを電気エネルギーに変換することで車両の減速を行う回生ブレーキと呼ばれる仕組みが搭載されている。我々は、EV のエネルギー消費が、回生ブレーキによって回収できる要因とそうでない要因に分けられると考えた。回収できないエネルギー消費要因である転がり抵抗や空気抵抗によるエネルギー消費などを EV のエネルギー損失であると考えて、EV のエネルギー損失を分析する研究を行ってきた。その中で我々は、蓄積したライフログを道路ごとに集約して分析した。その結果、道路ごとにエネルギー損失を少なくするようなドライバーの運転行動や道路状況が存在することを明らかにしてきた [3]。

このように、道路ごとにエネルギー損失のデータを集約して道路におけるエネルギー損失を分析したが、どのような走行状況や運転行動が道路におけるエネルギー損失に寄与したかの関連付けが難しいことが課題であった。そのような課題を解決するために、マイクロなエネルギー損失のデータと、道路におけるエネルギー損失の統計値を比較・分析できるようなシステムが必要であると我々は考えた。本研究では、特定道路区間における要因別のエネルギー損失量を、その場所におけるエネルギー損失の統計量と比較する可視化システムを構築する。提案システムにより、ドライバーに対して EV の損失エネルギーに着目した運転改善のための情報提示やデータ分析者に対する分析の支援を行う。

本論文の構成を以下に示す。2 章では、本研究の関連研究を示す。3 章では、ECOLOG システムについて述べ、本研究の提案システムで用いるデータの定義を行う。4 章では、本研究の提案システムの設計を行う。5 章では、提案システムの実装について

述べる。6章では、提案システムの可視化事例について述べる。7章では、本論文のまとめと今後の課題について述べる。

2 関連研究

2.1 EVのエネルギー消費量推定

EVのエネルギー消費量・航続距離を評価するために、走行データを活用したEVの消費電力や電費推定の研究が多く行われている。EVは運動方程式を用いることで、EVの消費電力や電費推定を行うことが可能である[4],[5]。岩坪らは、EVの電費シミュレーションモデルを開発し、実際の走行ログを元に電池容量増加によるEVの航続距離の変化がシミュレーションできることを示した[6]。Grubwinklerらは、収集した多様な車両走行データを元に統計的に車両走行データを生成し、その生成データを入力としてEVのエネルギー消費推定を行った[7]。Itoらは、EVを含めたプローブカーデータベースを元に、速度や加速度に対するエネルギー消費量の期待値のMAPを生成することで、EVの航続距離推定を行った[8]。Zhangらは、自動車の走行ログや走行時の交通状況、天気情報を使用して、精度と計算資源を考慮したEVの航続距離推定方法を提案した[9]。

一方で、機械学習を利用したEVの消費電力推定の研究も行われている。Felipeらは、人工ニューラルネットワークにドライバーの運転スタイルと走行ルートの特徴を入力することで、EVの走行時の消費電力量推定を行った[10]。FeiらとMartinezらは、運動方程式を利用した消費電力量推定モデルに、機械学習を利用したモデルを組み合わせたハイブリッドモデルの提案を行った[11],[12]。一方で、Yangらは自動車にセンサを設置せずに、交差点に車の通過を感知するセンサを設置することで、道路ごとの平均速度や停止頻度から区間ごとのエネルギー消費量推定や、二酸化炭素排出量を推定する手法を提案した[13]。これらの研究の目的は、EVのバッテリー残量や航続距離、運転スタイルなどの推定のみで、エネルギーの消費要因を細かく分析を行うことを考慮していない。そのため、走行データの応用先に限られてしまうことが考えられる。また、これらの手法は、取得したデータをライフログとして蓄積、後から運転者や車両、時間、道路区間、車両の速度や加減速などの走行状況を元にライフログの分析を行うことを考慮していない。

2.2 EVのエネルギー消費最適化

EVのエネルギー消費量を最小することを目的としたEVの制御手法や経路決定問題を扱った研究も存在する。これらの研究は、運動方程式を基にした消費電力量推定モデルを利用している。Stylerらは、プローブカーデータを基にREX(レンジエクステンダー)EVのエネルギー消費量を推定した上で、省エネルギーなレンジエクステンダーの制御方法の提案を行った[14]。Karbowskiらは、交通情報や道路データ、マルコフ連鎖により生成した仮想車速データを入力として、PHV(プラグインハイブリッド)EVのエネルギー消費シミュレーションとそれを基にした制御方法を提案した[15]。Kurtulusらは、交通情報や天気、地図情報、目的地を入力として、REXEV向けのエネルギー

消費とバッテリー損耗を考慮した経路決定アルゴリズムを提案した[16]。De Souzaらは、EVの走行時間と消費エネルギーを最小化するような交通量分配問題を解くアルゴリズムの提案を行った[17]。しかし、これらの研究は個々の車両の走行データの使用は想定しておらず、個人の運転や車両の特性等によって変化する最適解とは乖離した結果を招く可能性がある。

2.3 走行ログのデータ管理

自動車より収集した走行データをログとして蓄積し、そのログをデータ管理する仕組みの提案も行われている。矢野らは、プローブカーデータを基にしたEVの消費エネルギーを分散処理基盤上で管理し、EVのバッテリー残量を考慮したEV経路探索プラットフォームの提案を行った[18]。Fouladgarらは、道路ネットワーク上を移動する移動オブジェクトとして自動車を扱い、そのGPSログを空間、時間、IDでの検索が可能なDBの構築とクエリの定式化を行った[19]。これらのデータ管理に関する研究は、任意の道路区間で集計を考慮していない。

2.4 自動車の走行ログに関連する可視化システム

近年、自動車より収集した走行ログを活用する取り組みが展開されている。自動車や人など移動するオブジェクトにセンサを持たせて取得したデータを可視化するような研究は多く行われている[20]。飯島らは、プローブカーで収集した道路状況を元に、渋滞状況を地図の色分けで可視化するシステムを構築した[21]。平岡らは、運転者に自発的なエコドライブを促すためのエコドライブ支援システムを提案し、情報提示の重要性を示した[22]。Wilmlinkらは、情報提示による運転改善が二酸化炭素排出量を削減することをシミュレートした[23]。Komamizuらは、EVの運転軌跡をドライバの属性情報と共に可視化するフレームワークを提案した[24]。

本研究では、蓄積したライフログを元にEVの損失エネルギーに着目した可視化を行っているという点で、これらの研究と異なる。

3 ECOLOGシステム

3.1 ECOLOGシステムの概要

我々が開発したECOLOGシステムについて述べる。本システムは以下の機能で構成される。

- (1) 自動車に後付けで搭載するセンサによって、自動車走行(GPS)ログを収集する。
- (2) 走行ログに対して、我々が構築したEVエネルギー消費モデル(EVモデル)を適用して、1秒ごとのエネルギー消費量を推定する。
- (3) 推定した瞬間のエネルギー消費量をデータベースに蓄積する。
- (4) 地点別・時点別・走行状況別の消費エネルギーを検索・集約する。

図1にECOLOGシステムの概要を示す。

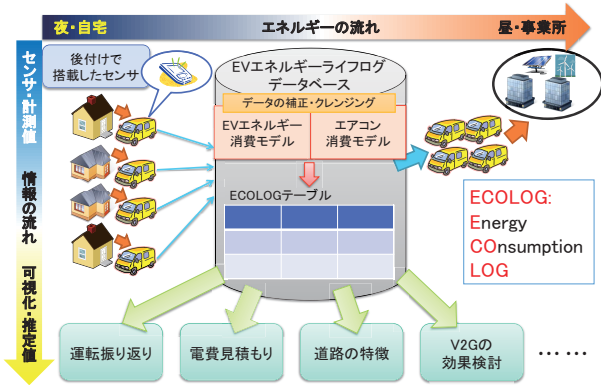


図 1 ECOLOG システム

3.2 EV モデルによる消費エネルギー推定

本研究で用いる EV 消費エネルギー推定モデル (EV モデル) は、先行研究 [2] で定義したものを利用する。この EV モデルは、走行ログのサンプリングレート (1Hz) に合わせ、EV の瞬間のエネルギー消費量を消費要因ごとに推定を行う。これにより、ECOLOG データは時間に正規化されたエネルギー消費要因データとして、データベースに格納される。

ここで、EV のエネルギー消費要因について述べる。EV の消費エネルギーは、加速抵抗によるエネルギー、登坂抵抗によるエネルギー、転がり抵抗によるエネルギー、空気抵抗によるエネルギー、力学的エネルギーと電気エネルギー間のエネルギー変換時の損失、摩擦ブレーキによるエネルギー損失が存在する。このとき、加速抵抗と登坂抵抗によるエネルギーは消費エネルギーとして計上されるが、これらのエネルギーは減速時や坂道を下るときに回生ブレーキにより電気エネルギーとして回収される。このことから、回収することが不可能であるためにエネルギー損失となるのは、転がり抵抗、空気抵抗、摩擦ブレーキによる抵抗、及びエネルギー変換時の損失の 4 つである。したがって、これらの和をエネルギー損失として ECOLOG データベースに蓄積する。EV の消費エネルギー推定の精度に関しては、文献 [2] で議論しているため、本論文の対象外とする。

3.3 集約用道路区間

本研究で提案する可視化システムにおける、エネルギー損失量集約のための道路区間について述べる。

道路リンクは、国土交通省が公開している交差点を端点 (ノード) とした道路区間である [25]。道路リンクは、各交差点や道路の終端を表すノードと道路形状を表すリンク構成点で構成されている。ノードとリンク構成点は、それぞれの緯度経度の座標を持つ。道路リンクは道路の物理的な形を表しているだけであり、分析者やドライバーにとっては意味を持たない区間である。

我々は、有意な道路リンクの集合であるセマンティックリンクを定義した。これは、分析者やドライバーが興味を持つ任意の道路区間である。

本研究ではこのセマンティックリンクを等間隔に分割した道路区間である道路セグメントを作成した。道路セグメントを用いることで、詳細な地点ごとのエネルギー損失の統計量をデー

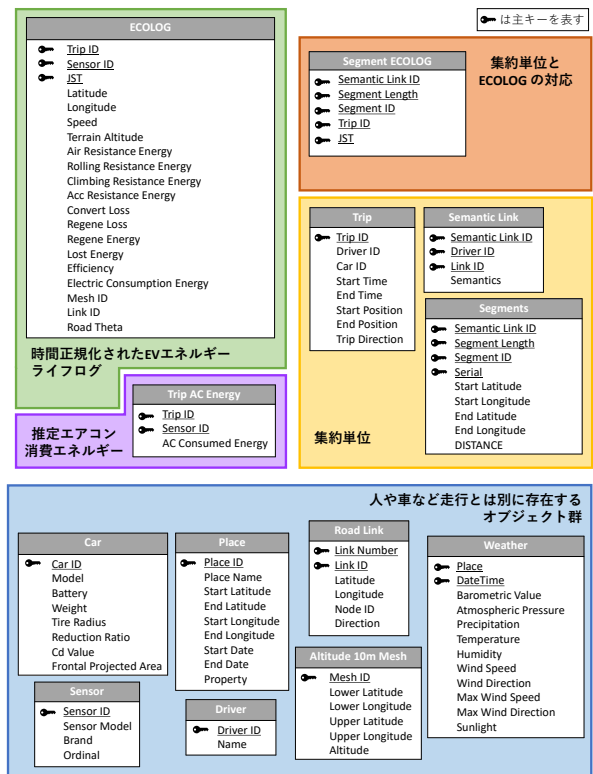


図 2 ECOLOG スキーマ

タベースの集約演算で算出できるようになる。

3.4 ECOLOG データベース設計

図 2 に ECOLOG システムにおけるスキーマ図を示す。ある運転者がある車を運転して、ある時間にある始点からある終点へと走行することをトリップとする。例えば、運転者「運転者 A」が車「車 1」を運転して、時刻「2020/03/02 08:53:54」に始点「運転者 A の自宅」を出発し、時間「2020/03/02 10:31:11」に終点「運転者 A のオフィス」に到着した走行は、「往路」のトリップであるといえる。すなわちトリップは、運転者、車、時刻、始点、終点のリレーションシップである。また、ECOLOG テーブルは、あるトリップにおけるあるセンサにより取得した走行データによって推定された瞬間のエネルギー消費量が格納される。この格納されるデータは、3.2 節で述べた ECOLOG データである。ECOLOG テーブルを参照することで、その時点、その地点で生じたミクロなエネルギー消費量を取得することができる。

ECOLOG データの集約単位として 3.3 節 で述べた道路リンク、セマンティックリンク、道路セグメントを用いることができる。これらの集約単位は、それぞれテーブルとして定義した。また、道路セグメントと ECOLOG データを紐付けるためのテーブルも定義した。これらのテーブルと ECOLOG テーブルを結合し集約することによって、道路ごとにエネルギー消費量の総量の計算や、エネルギー消費要因別の集計分析が可能になる。

表 1 ECOLOG 区間正規化時のパラメタ

パラメタ	意味	単位
i	トリップ中のデータ点の番号	-
d_i	$i - 1$ 番目のデータ点から i 番目までのデータ点の移動距離	m
$e_{i,Air}$	i 番目のデータ点における 空気抵抗によるエネルギー損失量	kWh
$e_{i,Roll}$	i 番目のデータ点における 転がり抵抗によるエネルギー損失量	kWh
$e_{i,Fric}$	i 番目のデータ点における 摩擦ブレーキによるエネルギー損失量	kWh
$e_{i,Conv}$	i 番目のデータ点における エネルギー変換時のエネルギー損失量	kWh
$e_{i,Regene}$	i 番目のデータ点における 回生エネルギー量	kWh
j	始点から終点までの道路区間の番号	-
$points_j$	j 番目の道路区間に存在する トリップ中のデータ点の番号の集合	-
l_j	j 番目の道路区間の距離	m
$Loss_j$	現在着目しているトリップの j 番目の 道路区間におけるエネルギー損失量	kWh
$Regene_j$	現在着目しているトリップの j 番目の 道路区間における回生エネルギー量	kWh
$Trips$	平均値・標準偏差の算出対象となるトリップ集合	-
n	トリップ集合のトリップの数	-
$Loss_{t,j}$	トリップ t における j 番目の道路区間におけるエネルギー損失量	-
$Regene_{t,j}$	トリップ t における j 番目の道路区間におけるエネルギー回生量	-
$AvgLoss_j$	j 番目の道路区間における エネルギー損失量の平均値	kWh
$AvgRegene_j$	j 番目の道路区間における 回生エネルギー量の平均値	kWh
$SDLoss_j$	j 番目の道路区間における エネルギー損失量の標準偏差	kWh
$SDRegene_j$	j 番目の道路区間における 回生エネルギー量の標準偏差	kWh

した積み上げグラフとして描画する。式 (1) によって計算される、エネルギー損失量の合計値 ($Loss_j$) を桃色の面積としてグラフ縦軸の正領域に描画する。式 (2) によって算出される、エネルギー回生量の合計値 ($Regene_j$) を黄緑色の面積としてグラフ縦軸の負領域に描画する。

$$Loss_j = \sum_{i \in points_j} (e_{i,Air} + e_{i,Roll} + e_{i,Fric} + e_{i,Conv}) \quad (1)$$

$$Regene_j = \sum_{i \in points_j} e_{i,Regene} \quad (2)$$

(C) の道路区間におけるエネルギー損失量や回生量の平均値と標準偏差を図示するグラフの模式図を図 6 に示す。道路区間ごとのエネルギー損失量と回生量の算出は、算出対象のトリップ集合 $Trips$ から行う。トリップ集合に含まれるトリップの

4 提案システムの設計

本研究で提案する可視化システムの設計を行う。

4.1 問題設定

ECOLOG データは時空間データであり、レコード数が多い上に属性数が多く、人間の手で分析することは難しい。そのため、データ集約をすることによって、統計値でデータの傾向を大まかに把握することが可能になる。

一方で、EV のエネルギー損失と道路の交通状況やドライバーの運転の仕方との関係などの細かい情報は、データ集約せずにデータを時系列にみることにより把握することができる。

このように、データを集約するか否かによって、データの見え方が変化する。これらのことから、EV のエネルギー損失量や回生量について、元データと集約データを組み合わせて閲覧できるような可視化システムを構築することを目指す。

4.2 システム設計

図 3 に、提案システムで表示するグラフの模式図を示す。本システムでは、あるトリップにおけるエネルギー損失量や回生量を、道路区間ごとのエネルギー量の平均値や標準偏差の値と比較することを目指す。それらと比較するために、以下の 3 つの要素を単一のグラフに重ねて描画する。

(A) 集約前: 特定トリップにおける ECOLOG レコードの各属性値

(B) 集約後: 特定トリップにおける 道路区間ごとの エネルギー損失量と回生量のそれぞれの合計値

(C) 集約後: 道路区間ごとのエネルギー損失量と回生量の平均値と標準偏差

画面に描画する各パラメタを表 1 に示す。(A), (B), (C) のそれぞれについて順番に述べる。

(A) の特定トリップにおける ECOLOG レコードの要因別のエネルギー損失量と回生量を図示するグラフの模式図を図 4 に示す。ECOLOG データは時間正規化されたデータ構造である。ECOLOG レコード 1 つを、幅が 1 秒間に移動した距離 (d_i) として、面積を要因別のエネルギーとした 1 本の積み上げグラフとして描画する。積み上げグラフの描画色を塗り分けることで、EV の要因別のエネルギー量を示す。空気抵抗による損失 ($e_{i,Air}$) を黄色、転がり抵抗による損失 ($e_{i,Roll}$) を橙色、エネルギー変換時の損失 ($e_{i,Conv}$) を赤色、摩擦ブレーキによる損失 ($e_{i,Fric}$) を桃色、回生ブレーキによるエネルギー回生量 ($e_{i,Regene}$) を黄緑色で描画した。EV の力行時の要因別のエネルギー損失量 ($e_{i,Air}, e_{i,Roll}, e_{i,Conv}$) をグラフ縦軸の正の領域に描画する。EV 減速時のエネルギー回生量 ($e_{i,Regene}$) とエネルギー変換時の損失 ($e_{i,Conv}$)、摩擦ブレーキによる損失 ($e_{i,Fric}$) をグラフ縦軸の負の領域に描画する。

(B) の特定トリップにおける道路区間ごとのエネルギー損失量や回生量の合計値を図示するグラフの模式図を図 5 に示す。道路区間ごとにエネルギー損失量や回生量の合計値を算出し、道路区間の長さ (l_j) を幅とし、エネルギー量の合計値を面積と

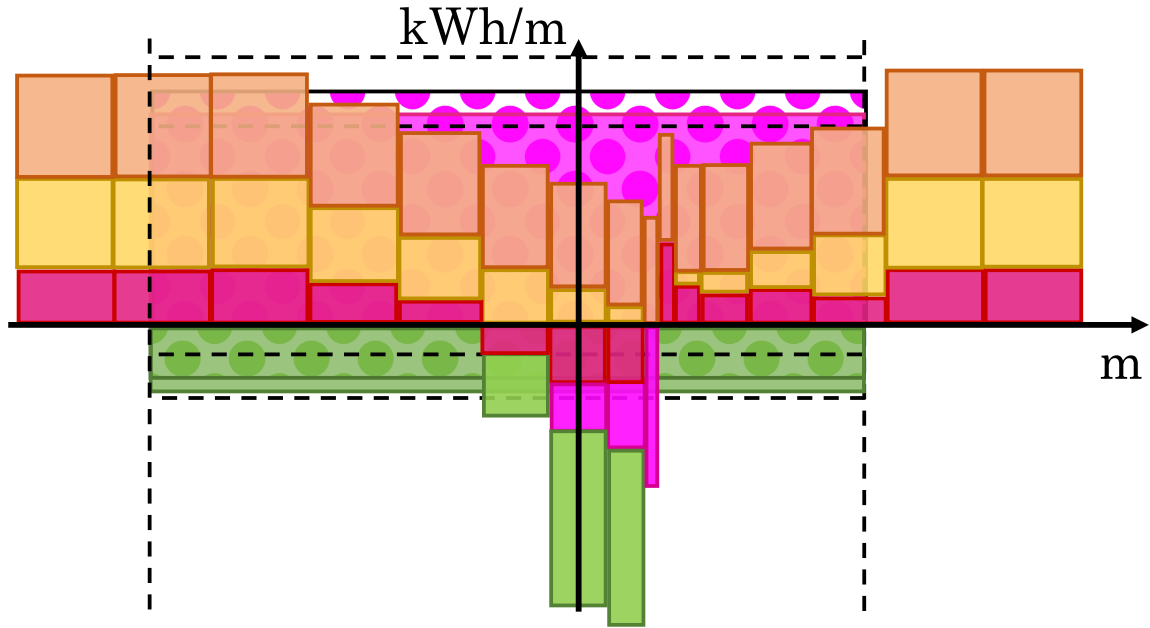


図 3 提案システム模式図

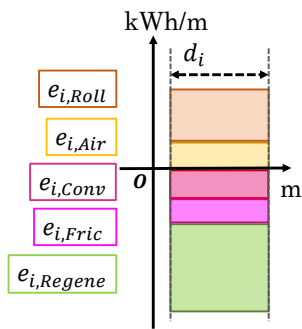


図 4 (A) 距離正規化した 1 秒間のエネルギー損失量の積み上げグラフの模式図

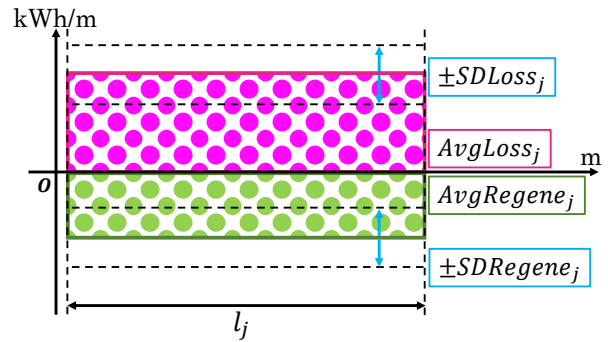


図 6 (C) 特定の道路区間におけるエネルギー損失量の統計量を示すグラフの模式図

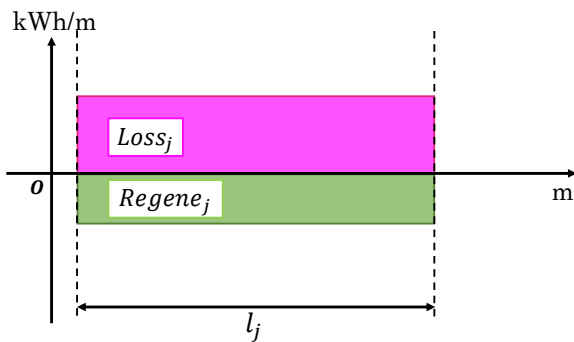


図 5 (B) 特定の道路区間におけるエネルギー損失量を示すグラフ模式図

掛けとして描画する。また、平均値に標準偏差の値を加減した 2 つの値を 2 本の破線でそれぞれ描画した。この破線の範囲から、道路区間におけるエネルギー量の分布が分かる。

$$AvgLoss_j = (\sum_{t \in Trips} Loss_{t,j})/n \quad (3)$$

$$AvgRegene_j = (\sum_{t \in Trips} Regene_{t,j})/n \quad (4)$$

$$SDLoss_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t \in Trips} (Loss_{t,j} - AvgLoss_j)^2} \quad (5)$$

$$SDRegene_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t \in Trips} (Regene_{t,j} - AvgRegene_j)^2} \quad (6)$$

数を n とする。式 (3) ~ (6) を用いて、平均値と標準偏差を求める。平均値については、道路区間の長さ (l_j) を幅とし、エネルギー量の平均値を面積とした網掛けの長方形として描画する。エネルギー損失量の平均値 ($AvgLoss_j$) を桃色の網掛けとして、エネルギー回生量の平均値 ($AvgRegene_j$) を黄緑色の網

図 4, 5, 6 のグラフを組み合わせて、1 つのグラフとしたものが図 3 である。このグラフによって、EV の詳細な走行状況やエネルギー損失量を、道路区間ごとのエネルギー損失量の統計

表 2 トリップごとのエネルギー量

トリップ	エネルギー損失量	エネルギー回生量
トリップ A (信号 1 停止)	0.0454 kWh	0.0236 kWh
トリップ B (信号 1 通過)	0.0308 kWh	0 kWh
平均値	0.0402 kWh	0.011 kWh
標準偏差	0.0097 kWh	0.0146 kWh

値と比較することができるようになる。

5 提案システムの実装

本章では、4 章で述べた提案システムの設計にしたがって行った提案システムの実装について述べる。

5.1 システムの実装

図 7 に実装した画面を示す。4.2 節で述べた内容に従って、画面下部のグラフを描画した。画面左上に描画されている地図により、着目しているトリップのデータ点を確認できる。画面右上には実験用として取得している車両の前方画像を表示した。

本画面により、地点ごとのエネルギーの統計量と EV の細かいエネルギー損失量や回生量、その時の前方の状況を確認することができる。

5.2 実装方法

本システムは、幅広い環境で動作することを意図して、Web ブラウザ上で動作するように実装した。DB への問い合わせ処理などのサーバーサイド処理の実装には Node.js を、画面の描画などのクライアント処理の実装には HTML, CSS, JavaScript を用いた。

6 情報可視化例

本章では、提案システムの利用例について述べる。本システムでは、特定の道路区間における走行の比較を行うことができる。

ある信号 1 において赤信号であったため停止したトリップ A と、青信号であったため通過できたトリップ B についてそれぞれ提案システムによる可視化を行った。信号が存在する道路区間におけるトリップのそれぞれのエネルギー量と、統計値を表 2 に示す。トリップ A の可視化結果を図 8 に、通過できたトリップ B の可視化結果を図 9 に示す。トリップ A では信号停止のために減速が発生した。その際に、回生ブレーキが働き車両の持つ力学的エネルギーの一部が回生エネルギーとしてエネルギーの回収が行われているが、同時にエネルギー変換時の損失が発生している。また、回生ブレーキにより回収できなかった力学的エネルギーは摩擦ブレーキの利用により損失していることがわかる。また、信号停止後の再加速時に、エネルギー変換時の損失が多く発生していることも可視化した図からわかる。一方、トリップ B では信号停止の減速が発生せず、ほとんど一定速度で通過できていることが分かる。そのため、トリップ A で発生していたような損失や回生は発生していない。その結果が、統計値と比較しても確認することができる。トリップ A では、信号 1 が存在する区間におけるエネルギー損失は、他の走行に

おける損失の平均値よりも高い値となっている。一方、トリップ B では、信号停止による損失が発生しなかったために、他の走行における損失の平均値よりも低い値となっている。

この例では、「信号で停止するとそうでない場合に比べて、減速や再加速のためにエネルギー損失が増大する。」という結果を得た。EV は、回生によってエネルギーが回収可能であるために、エネルギー損失が無いように感じられるが、信号で停止したことによって減速・再加速の際のエネルギー変換ロスが増大するため、このような結果となる。これは、ドライバーが暗に日常的に感じていることであり、本システムではそのような知見を可視化することができた。

7 まとめと今後の課題

本論文では、特定道路区間におけるエネルギー損失量を、その場所におけるエネルギー損失の統計量と比較する可視化システムを構築した。本システムが、ドライバーの知見を統計量と比較して示すことができる例題として、ある信号を通過できたトリップと通過できなかったトリップを選びそれぞれ可視化した。

今後の課題として、表示する特定道路区間における統計量の算出に用いるデータを条件によって選択することを可能にし、それを利用した有用な事例の発見が必要である。用いる条件としては、季節や曜日、時間帯をはじめとした時間による条件や、あらかじめラベル付けをした信号パターンなどが考えられる。

本システムでは、エネルギー量を表示しているグラフの範囲が、地図上のどの区間に対応しているかがわからない。グラフに表示した値を地図上に描画することによって、より道路に注目した可視化方法を検討する必要がある。

謝 辞

本研究の主要な部分は JSPS 科研費（課題番号 18K11750）の支援による。また、一部については横浜国立大学教育・研究改革推進事業「先端的な数理・情報手法に基づくビッグデータ解析技術の改革推進」の支援を受けた。

文 献

- [1] 経済産業省. 自動車新時代戦略会議. http://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jidosha_shinjidai/index.html, 参照 Jan, 2, 2020.
- [2] 齊藤祐亮, 植村智明, 富井尚志. EV 消費エネルギーログデータベースにおける消費電力量推定の精度検証. 情報処理学会論文誌データベース (TOD), Vol.12, No.4, pp. 40–52, 2019.
- [3] Daiki Kawanuma, Yuta Kashiwabara, Toshiaki Uemura, and Takashi Tomii. Data analysis framework for visualizing correlation of energy consumption and transit time in road sections using the ecolog database. In *Adjunct Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing Networking and Services, MOBIQUITOUS 2016*, p. 207–212, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [4] 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.
- [5] M. Eshani, Y. Gao, S. Gay, and A. Emadi. *Modern electric, hybrid electric and fuel cell vehicles 2nd. Edition*. Power electronics and applications series, CRC press, 2010.
- [6] 岩坪哲四郎, 池谷知彦. 電気自動車の性能評価技術 - 電費シミュ

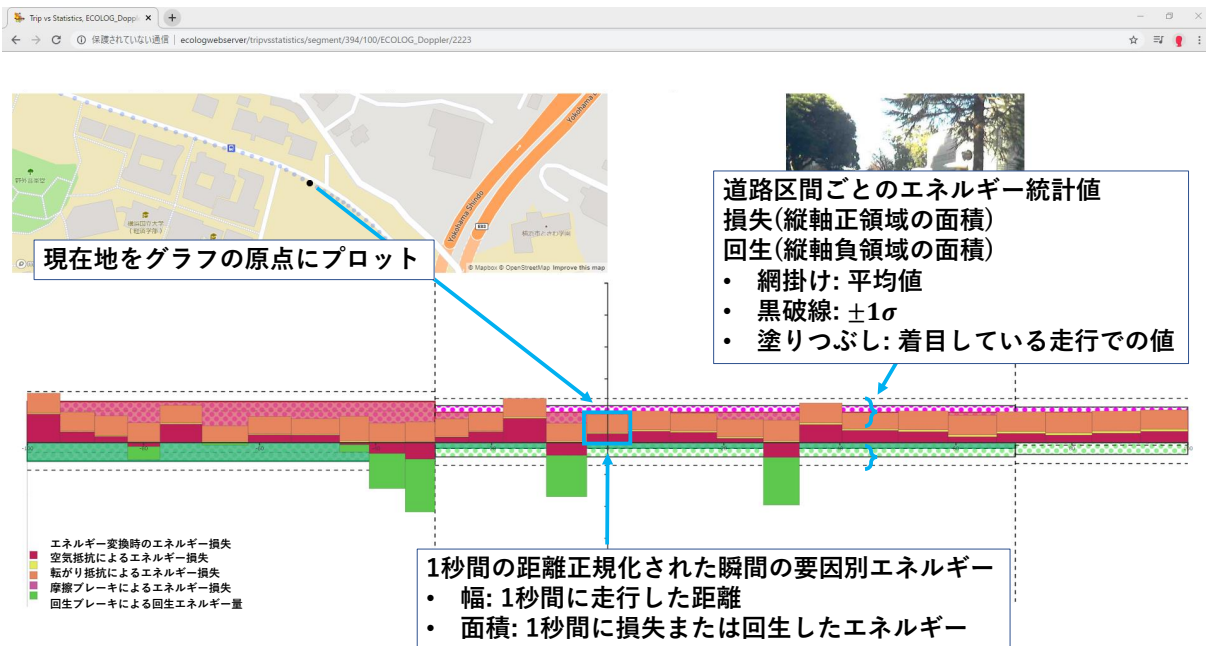


図 7 提案システム実装画面

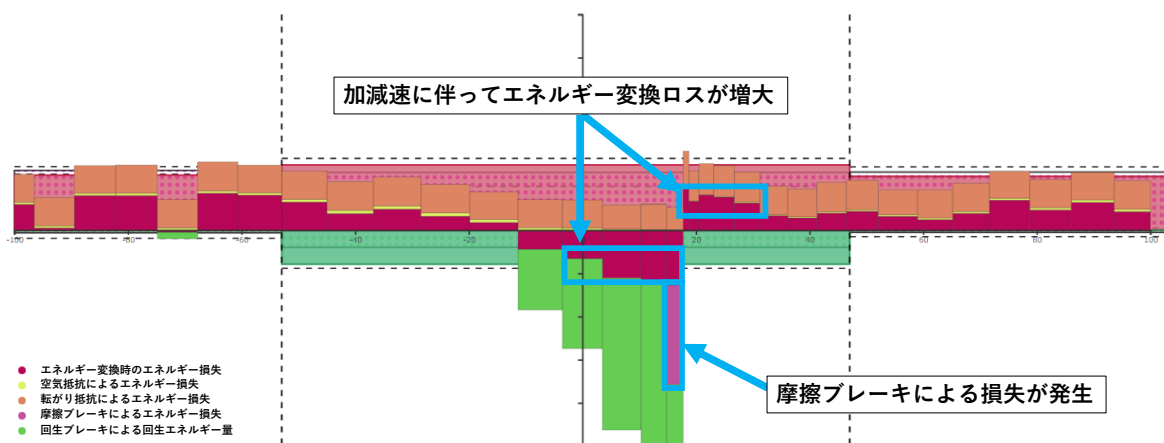


図 8 トリップ A: 信号 1 停止トリップにおけるエネルギー量のグラフ

レーション基本モデルの開発 -. *Energy Engineering Research Laboratory, Rep.No.M11023, August*, pp. 1-19, 2012.

[7] S. Grubwinkler, M. Hirschvogel, and M. Lienkamp. Driver and situation-specific impact factors for the energy prediction of evs based on crowd-sourced speed profiles. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings*, pp. 1069-1076, 2014.

[8] M. Ito, T. Shimoda, and K. Maema. Prediction method of cruising range using probe data for electric vehicle. *20th ITS World Congress*, pp. 1-10, 2013.

[9] Y. Zhang, W. Wang, Y. Kobayashi, and K. Shirai. Remaining driving range estimation of electric vehicle. *IEEE International Electric Vehicle Conference*, pp. 1-7, 2012.

[10] J. Felipe, J. C. Amarillo, J. E. Naranjo, F. Serradilla, and A. Diaz. Energy consumption estimation in electric vehicles considering driving style. *2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 101-106, 2015.

[11] Y. Fei, W. Guoyuan, K. Boriboonsomsin, and M. Barth. A hybrid approach to estimating electric vehicle energy consumption for ecodriving applications. *2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 719-724.

[12] Miguel Martínez, Alfredo Gardel, Ahmed M Wefky, Felipe Espinosa, José Luis Lázaro, Ignacio Bravo, and Pedro Revenga. Electric vehicle consumption estimation based on

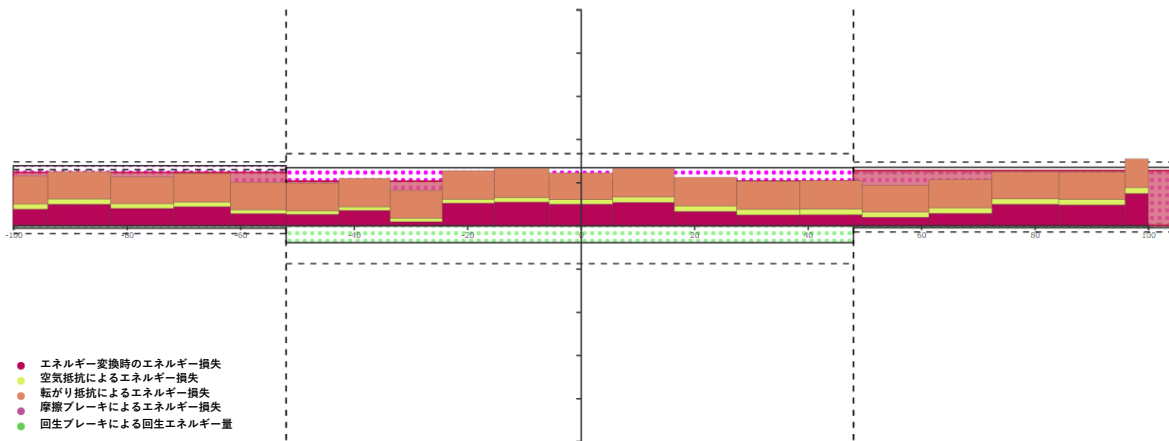


図9 トリップ B: 信号 1 通過トリップにおけるエネルギー量のグラフ

heuristics and mlp artificial neural network. *EEVC European Electric Vehicle Congress, No. November*, pp. 1–7, 2012.

- [13] Q. Yang, K. Boriboonsomsin, and M. Barth. Arterial roadway energy/emissions estimation using modal-based trajectory reconstruction. *2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 800–814, 2011.
- [14] A. Styler, A. Sauer, I. Nourbakhsh, and H. Rottengruber. Learned optimal control of a range extender in a series hybrid vehicle. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, Vol. 2015-October*.
- [15] D. Karbowski, V. Sokolov, and A. Rousseau. Vehicle energy management optimisation through digital maps and connectivity. *22nd ITS World Congress*, pp. 1–10, 2015.
- [16] C. Kurtulus and G. Inalhan. Model based route guidance for hybrid and electric vehicles. *2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1723–1728, 2015.
- [17] M. De Souza, M. Ritt, and A. Bazzan. A bi-objective method of traffic assignment for electric vehicles. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings*, pp. 2319–2324, 2016.
- [18] 矢野純史, 西村茂樹, 福永邦彦, 中島正浩, 山田浩之, 森口雅弘. プローブ情報を活用した ev 電費推定と経路探索への応用. *SEI テクニカルレビュー*, No. 184, pp. 24–29, 2014.
- [19] M. Fouladgar and R. Elmasri. Formalization of network-constrained moving object queries with application to benchmarking. *Proceedings of the 7th ACM SIGSPATIAL International Workshop on GeoStreaming - IWGS '16*, pp. 1–10, 2016.
- [20] W. Chen, F. Guo, and F. Wang. A survey of traffic data visualization. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, no. 6*, pp. 2970–2984, 2015.
- [21] 飯島護久, 堀口良太. プローブデータに基づくエリア流動性情報提供に関する研究. 第 9 回 ITS シンポジウム 2010 論文集, pp. 1–4, 2010.
- [22] 平岡敏洋, 西川聖明, 川上浩司, 塩瀬隆之. 自発的な省燃費運転行動を促すエコドライブ支援システム. 計測自動制御学会論文集 = Transactions of the Society of Instrument and Control

Engineers, Vol. 48, No. 11, pp. 754–763, 2012.

- [23] Isabel Wilminck, Johan Olstam, Martijn van Noort, and Charisma F Choudhury. Microscopic simulation of eco-driving systems using real-world vehicle models. *22nd ITS World Congress, Bordeaux*, pp. 1–12, 2015.
- [24] Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa, and Hiroyuki Kitagawa. Visual spatial-olap for vehicle recorder data on micro-sized electric vehicles. *Proc. of the 20th Int 'l Database Engineering & Applications Symposium*, pp. 358–363, 2015.
- [25] 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/>.