

# 有意な道路区間で集計可能な電気自動車 推定消費エネルギーデータ解析システムの構築と応用

植村 智明<sup>†</sup> 能條 太悟<sup>††</sup> 吉瀬 雄大<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 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7

<sup>††</sup> 横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

<sup>†††</sup> 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,nojo-daigo-gf,kichise-yudai-vb}@ynu.jp, ††tommy@ynu.ac.jp

**あらまし** 本研究では、自動車走行ログの活用を目的として、電気自動車（EV）の推定消費エネルギーデータ解析システムを構築する。本システムは、消費エネルギーデータを分析者が求める有意な道路区間で集計可能なデータベースと、可視化の状態を SQL に類似した言語形式により保存可能な多次元データ可視化システムで構成される。データベースには、ユーザーが所有する既存の自動車の走行ログから推定した EV の消費エネルギーデータを蓄積する。これにより、次世代自動車の EV を持たずに、EV の消費エネルギーに関する特性を定量的に把握することを可能にする。また、実際に収集した自動車走行ログから推定した EV の消費エネルギーデータを利用した本システムの応用例を示し、本システムの有用性を示す。応用例では、有意な道路区間による集計を利用することで、走行した道路の特性に依存した ICV（Inner-Combustion Vehicle: 内燃機関自動車）と EV の消費エネルギーの特性の違いを分析する例題を示す。これにより、本システムによって、自動車走行ログが EV 特有の有用なデータ活用が可能であることを示した。**キーワード** Path-based Query, 消費電力量, データ可視化, 探索的データ分析, 関係データベース

## 1 はじめに

近年、スマートフォンやウェアラブルデバイスなどの普及により、日常をデータとして記録する「ライフログ」を、個人でも気軽に取得・蓄積することが可能となった。これらのデバイスをデータロガーとして利用すれば、センサデータを自動的に取得・蓄積できる。すなわち、ユーザの意識や手間無くライフログを収集することができる。しかしながら、その大量に収集したライフログを利用する際には、そのデータの特性や利用目的などに適したクエリを実行する必要がある。それに対し、データに適したクエリの実行を想定した関係データベースを構築することで、ライフログの有用なクエリを実行可能にすることが一つの解決法として考えられる。また、データ分析者がデータから有用な情報を発見するには、多数のクエリの実行結果をグラフなどによって可視化しながら、試行錯誤を繰り返すことが必要となると考えられる。

一方、地球温暖化対策として、電気自動車（EV）が次世代自動車として注目されている。EV は、走行中の温室効果ガスの排出物が無いゼロエミッション車（ZEV: Zero Emission Vehicle）の一種であり、Well-to-Wheel（エネルギー製造から走行まで）の二酸化炭素排出量削減への貢献が可能である。加えて、比較的大きな二次電池を持つことから、分散型エネルギー社会に参画し、エネルギーの効率的利用や、非常時のエネルギー供給の確保などに貢献することができる。また、消費者にとって、急速充電時間が 30 分ほどかかることや、航続距離に関する不安などの EV 導入に対する障壁が多くある一方、低ランニング

コストなどの観点から世界的に EV に対する関心が高まっている [1]。特に航続距離に関しては、EV は ICV とは異なる傾向を持つ。例えば、エアコンやバッテリーなどの要因により、気温次第でエネルギー消費量が大きく変化する。他にも、ブレーキ時のエネルギー回生があるために、ドライバーのブレーキの踏み方でもエネルギー消費量が変化する。すなわち、EV の航続距離は、ドライバーの運転の違い、道路の違いや季節によっても変化する。そのため、EV の走行データを利用せずに、EV の特性を把握することは難しいといえる。この問題の解決法として、「今の車の走行データ」から「EV に乗り換えた場合の推定消費エネルギーデータ」を求めることが挙げられる。これにより、もしも EV でこの道路をこの運転で走行した際の消費エネルギーの定量的な把握が可能になる。

以上に対し我々は、有意な道路区間で集計可能な EV の推定消費エネルギーデータ解析システムを構築することを考えた。本システムは、(1)「推定消費エネルギーデータを蓄積するデータベース」と(2)試行錯誤の過程を SQL に類似した言語形式で保存可能な「多変量データ解析支援システム」から構成される。

(1)については、我々の先行研究 [2] において、自動車に搭載したスマートフォンから取得した GPS などのセンサデータから、「EV に乗り換えた場合の消費エネルギー」の推定方法を確立してきた。それにより推定した EV の消費エネルギーデータを蓄積、有用な検索が可能な ECOLOG (Energy Consumption LOG) データベースを構築してきた。ECOLOG システムにおいて、我々は、有意な道路区間で消費エネルギーデータを集計することで、EV の消費エネルギーの特性 [3] を把握することが出来ることに着目した。有意な道路区間とは、データ分析者

やそのデータを深く知る熟練者などが持つ仮説に基づいた意味が有ると考える道路区間のことである。しかしながら、実際のデータ解析においては、設定した道路区間で集計した結果の可視化を行い、データ解析者が求める適切かつ有意な道路区間が設定できたかを確認する必要がある。

そこで可視化の支援のため、我々の先行研究である(2)多変量データ解析支援システム[4],[5]を利用することを考えた。この解析支援システムは、多変量データに対してアドホックなクエリが実行できるGUIアプリケーションプログラムである。多変量データを可視化し、選択・射影・結合などの関係代数演算の基本的な演算が表現可能なGUIとしてParallel Coordinates Plot(PCP)を利用する。そのデータ操作結果を任意の手法で可視化することで解析を進める。その過程において、PCP上のデータ操作と可視化の状態をSQLに類似した $(PC)^2L^1$ の言語表記形式で保存できる。本論文では、これらの機能を利用し、EVの推定エネルギーの有用なデータ解析を支援する。

なお、本論文では、過去の先行研究[2],[3],[4],[5]の要素をすべて組み合わせて1つのシステムとして実装・構築し、実践的にデータ蓄積まで行ったことによって得られた知見を報告する。そこで、データ解析例では、実際に蓄積した自動車走行ログと本システムを用い、EVとICVの消費エネルギー比較によるそれぞれの特性を比較する例を示す。それにより、自動車に関するライフログの有用性を示すことを目指す。

## 2 関連研究

本研究において、以下の2種類の関連研究が挙げられる。

- (1) 自動車走行ログの活用と時空間クエリ(第2.1節)
- (2) データ解析支援(第2.2節)

以下の節でそれぞれ説明する。なお、第2.1節で説明する研究は、主に第1章で記述した「推定消費エネルギーデータを蓄積するデータベース」に関連が深い。第2.2節で説明する研究は、主に第1章で記述した「多変量データ解析支援システム」に関連が深い。

### 2.1 自動車走行ログの活用

近年、自動車より収集した走行ログを活用する研究が盛んにおこなわれている。特に、交通データの可視化[6]は注目されており、多くの研究がみられる。しかし、その多くは移動時間に関する可視化に関するもので、EVの消費エネルギーに着目した可視化に関する研究は行われていない。それに対し、我々は今後のEV社会を見据え、EVの消費エネルギーに関する有用なデータ可視化を提案していく必要があると考える。

他の自動車の走行ログの可視化に関する研究として、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[7]。Komamizuらは、EVの運転軌跡をドライバの属性情報と共に表示し、道路を走行するEVの数を可視化するフレームワークを提案した[8]。これらの研究は、渋滞情報の可視化に着目しており、EVの消

費エネルギーのデータ解析に着目する我々の立場と異なる。

Wilminkらは、情報提示による運転の改善が二酸化炭素の排出を削減することをシミュレートした[9]。この研究は、ドライバーへのデータフィードバックを主な目的としており、データ解析手法を提案する我々と立場が異なる。

我々の先行研究として、既存の自動車の走行ログからEVの消費エネルギーを推定し、EVなしで未来のEVを予測するデータベースシステム(ECOLOGシステム)を構築してきた[2]。このシステムを利用したデータ可視化として、有意な道路区間の通過時間と消費エネルギーの可視化[3]を行ってきた。これらの研究により、有意な道路区間による消費エネルギーデータを集計を行い、EVの消費エネルギーに関する有用な可視化が可能という知見を得ることができた。この有意な道路区間による時空間データの検索は、文献[10]によると、指定した経路(Path)上を移動したデータを結果として返すPath-based Queryに相当すると考えられる。Kroghらは、Path-based QueryをGPSなどの軌跡データに対し高速に実行するためのインデックスを提案した[11]。本論文の目的は、有意な道路区間を利用したデータ解析が有用であることを示すことであり、この研究とは立場が異なる。そのため、クエリ応答時間などのデータベースの性能評価については、本論文の対象外とし今後の課題とする。

その一方で、我々の先行研究は、実際のデータ解析を想定したデータ応用を示したものとは言い難い。それに対して本研究では、多変量データ解析を支援する可視化システムである我々の先行研究[4],[5]を組み合わせ、より実践的なEVの消費エネルギーデータの解析例を示す。

### 2.2 データ解析支援

他の研究として、データやシステムの操作過程を管理する研究(Provenance)が行われている[12]。特にデータやシステム、プログラミングコードなどの操作過程や意図を保存することは、複雑なデータ処理を支援するために重要なことであるといわれている。さらには、解析結果データの操作過程や意図を示すことは、SQLのような関係代数演算をサポートする問い合わせ言語で記述することが有効であるともいわれている。その点で、我々が定義したSQLに類似した言語 $(PC)^2L$ を用いて、可視化システムによるデータの操作過程を保存することは有効な手段であるといえる。

システムの操作過程を保存してユーザのタスクを支援する手法として、Waldnerらは、PCのアプリケーション操作ログを記録し、そのログを時系列が理解できるように可視化することで、ユーザが過去に行った意思決定の検証やデータソースの再取得の支援を行った[13]。Mindekらは、画像データに分析過程に利用する他のデータソースのデータを同時に表示し、分析者の文脈を保存したスナップショットを保存することで、シミュレーションデータの可視化や文書分析の支援を行った[14]。Gratzlらは、PCPやヒートマップ、散布図行列など様々な可視化手法を組み合わせる複数のデータソースから得られたデータとその解析過程を可視化し、データ解析の支援を行った[15]。これらの手法と比較して我々の手法は、「可視化システムのデー

1: Parallel Coordinates Plot Commutative Language の頭文字より。

タ解析過程を可視化して見せる」のではなく、「SQL に類似した言語を用いてデータ解析の途中結果を保存し、問い合わせ言語として一般的な SQL に親しみのあるデータ解析者を支援する」ものであり、立場が異なる。また、言語を用いて操作過程を保存する利点として、言語の一部を書き換えるだけでデータ解析の改善をすることが容易であり、その点でこれらの研究と比較して優位性をもつ。

また、大量のデータを対象とし、インタラクティブにデータ可視化を行う研究については多くの事例が見られる [16]。中でも、関係データベーススキーマに基づくデータに対し、GUI 上でクエリの記述や複数の可視化の連携を可能にし、データ解析を支援する研究も複数行われている。Derthick らは、データオブジェクトを可視化しつつ、インタラクティブに GUI でクエリが表現可能な環境を構築した [17]。North らは、データの可視化と、表示した複数の可視化間の連携をユーザーが自由に変更可能なインターフェースの構築を行った [18]。杉渕らは、クエリフローモデルによる直感的かつ段階的なクエリが構築可能な GUI を機能として備えた、可視化フレームワークを実装した [19]。これらの研究は、可視化とクエリを GUI 上で連携させることで、インタラクティブなデータ解析を支援する点では、我々と立場が同じと言える。その一方で、これらの研究は、「データベースに習熟していないデータ解析者を支援する」点を重視している。本研究は、「データ解析過程と可換な SQL に類似した言語により、データベースや SQL に習熟した解析者を支援する」ことを目的としており、これらの研究とは立場が異なる。

### 3 EV 推定消費エネルギーデータ解析システム

本章では、EV 推定消費エネルギーデータ解析システムの概要 (図 1) について説明する。本システムは、EV の推定エネルギーデータを格納するデータベースである ECOLOG システムと ECOLOG システムにより集計したデータを解析するための多変量データ解析支援システムで構成される。本システムの想定される利用の流れを以下に説明する。

(1) 既存の自動車にスマートフォンを搭載し、自動車の走行ログを収集する。

(2) 収集した走行ログから EV の消費エネルギーデータの推定を行い、ECOLOG データベースに蓄積する。

(3) データ解析の目的やデータ解析者の仮説に基づき、専用の UI (Semantic Editor) を用いて有意な道路区間 (Semantic Link, 以後、SL とよぶ) をデータベース内に作成する。

(4) ECOLOG データベースを利用して、SL による EV の推定消費エネルギーデータの集計を行う。

(5) SL による集計結果を多変量データ解析支援システムで表示する。

(6) 多変量データ解析支援システム上で、可視化、データ操作をインタラクティブに行いながらデータ解析を進める。

(7) 作成した SL による集計結果で所望の結果が得られなければ、再度 Semantic Editor を利用し、SL を新たに作成、も

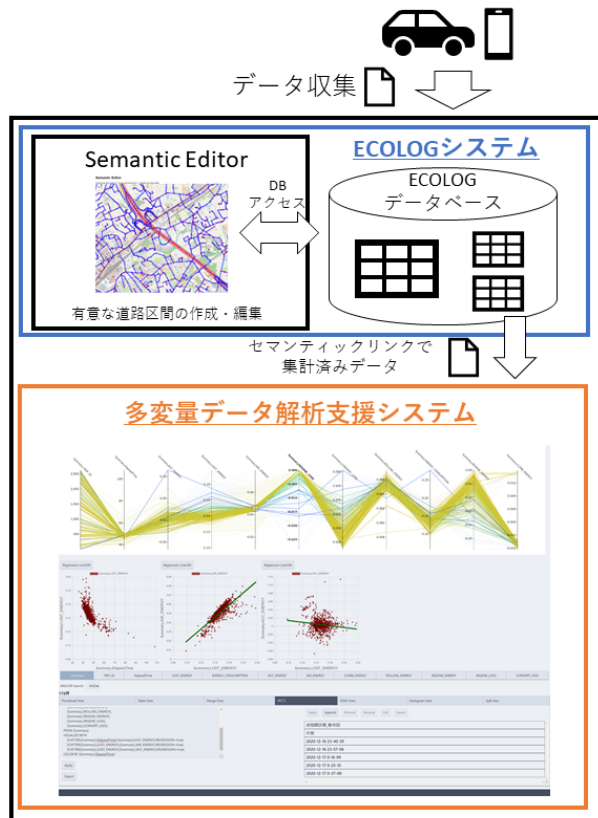


図 1: EV 推定消費エネルギーデータ解析システムの概要

しくは、既存の SL の編集を行う。

(8) データ解析者が満足する結果が得られるまで、(4) から (7) を繰り返す。

なお、ECOLOG システムおよび多変量データ解析支援システムの詳細については、それぞれ第 4 章および第 5 章に記述する。

## 4 ECOLOG システム

本章では、ECOLOG システムについての説明を記述する。ECOLOG システムは、スマートフォンを用いて収集した走行ログを利用した EV の推定消費エネルギーデータを蓄積し、EV の消費エネルギーに関する有用な検索が可能なデータベースである。走行ログから消費エネルギーデータを推定する方法については、先行研究 [2] にて取り組んできた。本論文でも、先行研究 [2] と同様の手法で推定した消費エネルギーデータを利用する。以下には、先行研究の中でも、EV の消費エネルギー推定モデル (以後、EV モデル) や ECOLOG データベーススキーマなどを抜粋して記述する。また、ECOLOG データベース内に SL を作成・編集するための UI, Semantic Editor についても説明する。

### 4.1 EV モデルによる瞬間の消費電力推定

瞬間の EV 消費電力を推定するための EV モデルについては、先行研究 [2] で定義したものを利用する。そのため、EV の消費電力  $P_e(t)$  [kW] は、空気抵抗により消費されるエネル

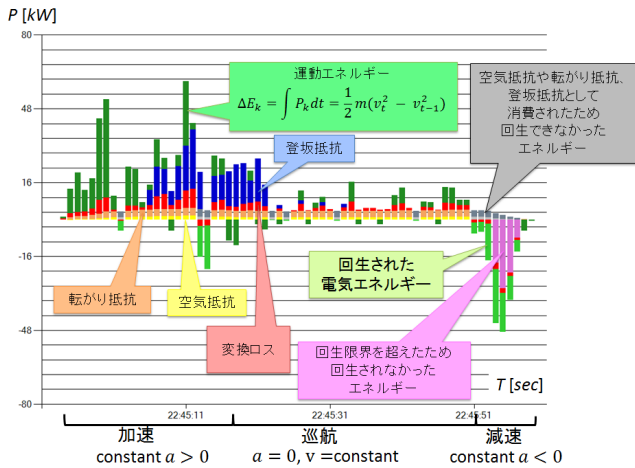


図 2: EV モデルによる電力消費推定の例

ギー  $P_{AIR}[kW]$ , タイヤの摩擦などの転がり抵抗により消費されるエネルギー  $P_{ROLL}[kW]$ , 坂道の勾配によって発生する登坂抵抗により消費されるエネルギー  $P_{SLOPE}[kW]$ , 自動車の加減速に応じて発生する加速抵抗により消費されるエネルギー  $P_{ACC}[kW]$  の総和 ( $P_d(t)[kW]$ ) と変換効率  $\eta$  の積で求めることができる。この EV モデルにおいて、エネルギー推定に必要な計測値は、GPS で計測した位置と速度のみである。多くの誤差が含まれる GPS の位置データの補正手法については、先行研究 [20] で利用したマップマッチングアルゴリズムを利用している。

次に、推定された EV の消費電力 (瞬時値) について、例を用いて説明する。図 2 は実際の走行における発進から停止までの走行ログから EV モデルでの推定値例を示したグラフであり、横軸は時刻、縦軸が推定した消費電力である。図 2 ではまず、加速時に自動車を加速させるために  $P_{ACC}$  (緑色) を消費した。次に一定速度を維持したまま坂道を上る際に  $P_{SLOPE}$  (青色) を消費した。その後減速時にブレーキによりエネルギーを回生 (黄緑色) したが、強い減速を行ったために回生ブレーキの他に摩擦ブレーキを併用したのでエネルギー損失 (桃色) も発生した。図 2 においては  $P_{SLOPE}$  と  $P_{ACC}$  が瞬間の消費電力として示されるが、これらの電力は減速時や坂道を下るときに回収される。したがって、最終的なエネルギー損失に影響するのは転がり抵抗、空気抵抗、エネルギー変換による損失 (赤色)、摩擦ブレーキによる損失、エアコンや電装品による消費である。

## 4.2 ECOLOG テーブル

EV モデルによって推定されたエネルギー消費量はセンサー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 EV エネルギー消費量 (積算値) を単純な加算集約により計算できるようになる。

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ーから取得した時刻、緯度、経度、車速、地図データから取得される標高、EV モデルにより計算される  $P_{AIR}$ ,  $P_{ROLL}$ ,

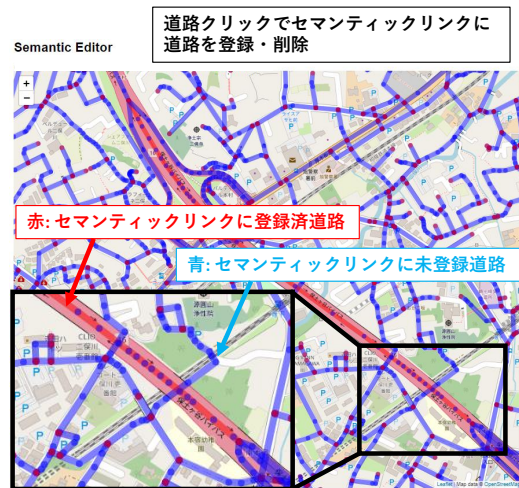


図 3: Semantic Editor の表示例

$P_{SLOPE}$ ,  $P_{ACC}$ ,  $\eta$ ,  $P_e(t)$  などが含まれる。

## 4.3 ECOLOG データベース

ECOLOG データベースは、先行研究 [2] のデータベーススキーマを元に構築した。

ECOLOG データベースにおいて、ある時刻に運転者が車を運転して、ある場所から別の場所へと移動することを 1 回のトリップと定義する。例えば、「運転者 A」が「車 1」を運転して時刻「2018/12/18 08:34:48」に「運転者 A 自宅」を出発し、時刻「2018/12/18 09:44:49」に「運転者 A オフィス」に到着したという移動は、「往路」のトリップであるといえる。ECOLOG テーブルに対する検索では、キーとしてトリップやセンサはもちろん、トリップテーブルを介して運転者や車、時間、場所が利用可能である。

また、検索や集約の単位として利用できる地図情報として道路リンクや有意な道路区間 SL, 道路セグメントがある。このうち、道路リンクは国土交通省が公開している数値地図 2500 (空間データ基盤) [21] を用いた。一方、SL と道路セグメントは我々が定義したものである。SL は、「任意の道路リンクの集合」としてデータベース内に定義される [3]。SL により、高速道路や渋滞が起こりやすい区間といった「運転者やデータ解析者にとって有意な道路区間」という単位での集計を高速に行うことができる。

なお、本研究の実験環境として、Microsoft SQL Server を利用し、このデータベーススキーマを反映したデータベースを構築、運用を行っている。

## 4.4 Semantic Editor

本節では、ECOLOG データベース内に SL を作成・編集するための UI である Semantic Editor (図 3) について説明する。

図 3 で示すように、Semantic Editor には地図上に道路リンクデータが表示される。SL を作成する時点では、全ての道路が未登録道路となっている。表示された地図上の道路をクリックすることで、編集中の SL にその道路リンクを登録するか否かを選択することが出来る。地図上の道路が赤色であれば編集

中の SL にその道路が登録されている、青色であれば編集中の SL にその道路が登録されていないことを示す。

この Semantic Editor は、環境を問わず気軽に利用できるようにするため、Web アプリケーションとして実装を行った。この UI により、データ解析者が求める SL を自由に作成・編集が可能になる。

## 5 多変量データ解析支援システム

本章では、我々の先行研究 [4], [5] に対して、拡張を行った部分を中心に説明する。

### 5.1 データ解析支援システムの概要

データ解析支援システムでは、先行研究 [5] と同様な機能が利用可能である。PCP 上で表示したリレーションに対し、インタラクション（データ操作）を行う機能、PCP だけでは不十分な可視化機能を補完する任意のグラフによる可視化機能、データ操作やグラフの状態を言語として保存し、さらには、言語から状態を復元する機能が利用可能である。本論文では、より有用なデータ可視化を行うため、散布図に回帰直線とその決定係数を描画する機能を追加した。この機能により、軸間の相関をより簡単に把握することが可能となることが期待される。

加えて、この回帰直線を描画するか否かの状態を保存するため、(PC)<sup>2</sup>L の文法拡張を行った。先行研究 [5] では、可視化手法の状態を保存するための句である VISUALIZE WITH 句に SCATTER( $X, Y_1, Y_2, \dots$ ) と記述すれば、X 軸が属性  $X$ 、Y 軸が属性  $Y_1, Y_2, \dots$  の散布図を表示することが可能であった。本論文では、SCATTER の引数 Regression を追加する文法拡張を行った。SCATTER( $X, Y_1, Y_2, \dots, \text{Regression}=\text{regression}$ ) と記述することで、回帰直線の描画状態を保存することとした。ただし、regression は bool 値 (true or false) である。すなわち、SCATTER( $X, Y_1, Y_2, \dots, \text{Regression}=\text{true}$ ) は、回帰直線を描画するという状態を表す。

### 5.2 実装システムの表示例

実装システムの画面の例を図 4 に示す。実装システムは、先行研究 [4], [5] と同様に、環境を問わず利用できるようにするため、Web ブラウザを通して多くの端末から利用できるように構築した。

図 4 の A: PCP View では、指定したリレーションのデータを可視化した PCP が表示され、先行研究 [4] で定義したデータに対するインタラクションである、Selection, Coloring, Coordinating が利用可能である。

図 4 の C: Join & Projection Button では、横一行がリレーション一つに対応するトグルボタンが表示される。このボタンにより、先行研究 [4] で定義したデータに対するインタラクションの Join と Projection が利用可能である。ボタン最左部には、Join のためのリレーション名が表示されたリレーションボタンが配置されており、クリックすることで結合条件を選ぶための画面が表示される。そこで指定した結合条件に応じた Join を実行することが可能である。なお、すでに Join されているリ

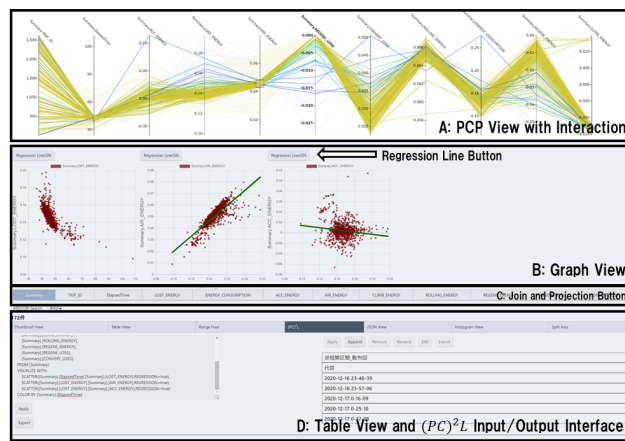


図 4: 多変量データ解析支援システムの表示例

レーションボタンを再度クリックすると、Join が解除できる。リレーションボタンより右側には、Projection のための軸ボタンが配置されており、クリックすることで軸の表示/非表示を切り替えることができる。

図 4 の D: Table View & (PC)<sup>2</sup>L Input/Output Interface では、A, C でのインタラクションを反映したデータセットのテーブル表示と (PC)<sup>2</sup>L の入出力を受け付ける UI を持つ。

図 4 の B: Graph View では、(PC)<sup>2</sup>L の VISUALIZE WITH 句で指定したグラフが表示される。A, C 上のインタラクションを反映したデータセットがグラフ上に表示される。先行研究 [5] と比較すると、特に B: Graph View の回帰直線と Regression Line Button が主な拡張部分である。

## 6 データ解析例

本章では、構築した EV 推定消費エネルギーデータ解析システムを用いたデータ解析例を示す。解析例に使用するデータセットは、ある被験者が通勤時に収集したものを利用する。以下の解析例により、解析システムを利用した SL による集計を行った EV の推定エネルギーデータが有用であることを示す。

### 6.1 データ解析例:EV と ICV の特性の比較

本解析例では、ECOLOG データを SL で集計したデータを解析し、EV と ICV の消費エネルギーに関する特性の違いを明らかにする。利用したデータセットは、表 1 に示す。また、ECOLOG では取得できない ICV の燃料消費量 (L) を取得するため、Android アプリ TORQUE PRO<sup>2</sup> を用いて CAN データを取得した。データの集計に利用した SL については、表 2, 表 3 に示した。被験者復路が一般道路、高速道路区間という意味を理解しやすい形での分割が比較的容易だったため、以上のような形で 2 つの SL を Semantic Editor を用いて作成した。使用したリレーションを表 4 に示した。EV と ICV の消費エネルギーを公平に比較するために、ECOLOG データベースに

2: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.prowl.torque&hl=ja&gl=US>, 参照 2021-02-05

表 1: 解析例 1 で使用するデータセット

| 属性    | 値                       |
|-------|-------------------------|
| 取得期間  | 2013-01-07 ~ 2013-07-25 |
| トリップ数 | 174                     |
| 取得データ | GPS データ, CAN データ        |

表 2: 解析例 1 で使用する SL "General"

| 属性   | 値           |
|------|-------------|
| 走行距離 | 約 10km      |
| 説明   | 被験者復路の一般道区間 |

表 3: 解析例 1 で使用する SL "Highway"

| 属性   | 値            |
|------|--------------|
| 走行距離 | 約 13km       |
| 説明   | 被験者復路の高速道路区間 |

表 4: リレーション EVvsICV の属性

| 属性名                            | 説明   |
|--------------------------------|--|
| LOST_ENERGY_W2W_BY_L.Highway   | WtW 換算後の区間 Highway を走行したときの推定エネルギー損失 [L]   |
| TRIP_TIME.Highway              | 区間 Highway を走行するのにかかった時間 [s]               |
| CONSUMED_FUEL_W2W_BY_L.Highway | WtW 換算後の区間 Highway を走行したときの ICV の燃料消費量 [L] |
| TRIP_DIRECTION                 | TRIP の方向 (復路 or 往路 or その他)                 |
| CONVERT_LOSS.Highway           | 区間 General を走行したときの推定変換ロス [kWh]            |
| TRIP_TIME.General              | 区間 General を走行するのにかかった時間 [s]               |
| LOST_ENERGY_W2W_BY_L.General   | WtW 換算後の区間 General を走行したときの推定エネルギー損失 [L]   |
| CONVERT_LOSS.General           | 区間 General を走行したときの推定変換ロス [kWh]            |
| CONSUMED_FUEL_W2W_BY_L.General | WtW 換算後の区間 General を走行したときの ICV の燃料消費量 [L] |

よるデータ集計時に、WtW 換算<sup>3</sup>を行った。すなわち、推定エネルギー損失には EV の WtW 換算係数、CAN データから取得した ICV の燃料消費量には ICV の WtW 換算係数を乗算し、リレーション"EVvsICV"として多変量データ解析支援システムで表示した。

まずは、時間とエネルギーの散布図により、ICV と EV の消費エネルギーの違いを可視化することとした。その結果を図 5 に示す。図 5 では、VISUALIZE WITH 句に 2 つの散布図を指定した (PC)<sup>2</sup>L を入力して散布図の表示を行った。表示した散布図は、今回作成した高速道路区間 Highway のデータを表す散布図と一般道区間 General のデータを表す散布図の二つである。また、PCP を用いて、散布図で表示するデータから今回の対象外データを除外する (TRIP\_DIRECTION が復路以外のデータを除外する) などの処理を行った。図 5

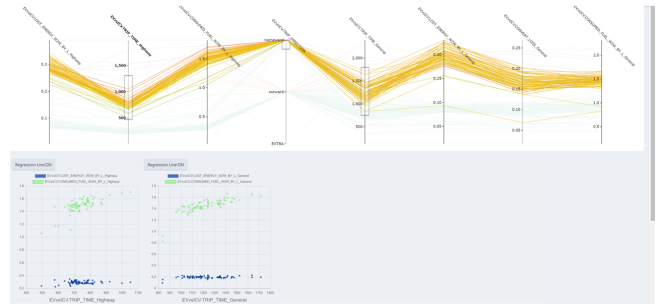


図 5: 解析例:EV と ICV の消費エネルギー比較 (EV:青, ICV:緑)

で表示した 2 つの散布図の拡大図をそれぞれ図 6, 図 7 に示す。図 6 には、X 軸が TRIP\_TIME.Highway, Y 軸に CONSUMED\_FUEL\_W2W\_BY\_L.Highway を指定した散布図, すなわち、高速道路区間の ICV と EV の消費エネルギーデータを可視化した散布図を示す。「もし ICV と同じ運転のまま EV に乗り換えた場合」の消費エネルギーデータが図 6 中の青点、ICV の消費エネルギーデータが図 6 中の緑点として表示されている。この散布図を見ると、EV は 0.2 から 0.4L 付近、ICV は 1.4 から 1.6L 付近に主に分布していることがわかる。そのため、この被験者の高速道路区間における消費エネルギーは、ICV のほうが EV と比較して約 4 倍から 7 倍の違いがあることが図 6 から読み取れる。図 7 には、X 軸が TRIP\_TIME.General, Y 軸に CONSUMED\_FUEL\_W2W\_BY\_L.General, LOST\_ENERGY\_W2W\_BY\_L.General を指定した散布図, すなわち、一般道路区間の ICV と EV の消費エネルギーデータを可視化した散布図を示す。図 7 の消費エネルギー量を見てみると、ICV, EV ともに図 6 で示す値と大きく変わらないことが視認できる。以上のことから、WtW 換算を行ったエネルギー消費量では、被験者の ICV は EV に乗り換えた方がかなり小さくなるという知見が示された。これは、車両走行ログを実際に収集し、個人のデータに合わせた有用な結果が得られたといえる。

また、図 6, 図 7 から、ICV は時間に対して消費エネルギーが正相関を持つこと、EV は時間に対して消費エネルギーの相関が少ないことが推察される。そこで、図 6, 図 7 の ICV のデータ、EV のデータそれぞれを別々の散布図に分割して表示し、本研究で拡張実装した回帰直線と決定係数を描画する機能を使用して、相関を確認することとした。

新たに描画した 4 つの散布図をそれぞれ図 8, 図 9, 図 10, 図 11 に示す。図 8, 図 9 の決定係数を見ると、それぞれ約 0.02, 約 0.05 である。すなわち、この 2 つの SL(Highway, General) においては、時間に対して EV の推定エネルギー損失は無相関であることが確認できた。一方、図 10, 図 11 の決定係数を見ると、それぞれ約 0.52, 約 0.60 である。すなわち、この 2 つの SL(Highway, General) においては、時間に対しての ICV の燃料消費量は弱いながらも正相関を示していることが確認できた。以上のことから、ICV は道路が走行する時間が短くなる (すな

3: Well-to-Wheel 換算. 原油の採掘から走行までに利用したすべてのエネルギー量をガソリンの熱量に換算したもの. 単位は、ガソリンの量に換算したため、L. 「平成 30 年度省エネルギー政策立案のための調査事業 (自動車におけるエネルギー性能の評価方法に関する調査検討事業) [https://www.meti.go.jp/medi\\_lib/report/H30FY/000787.pdf](https://www.meti.go.jp/medi_lib/report/H30FY/000787.pdf)」の値を利用. 換算係数として、EV は 0.875/8700 \* 1000/0.653 L/kWh, ICV は、1/0.875 L/L をそれぞれ利用.

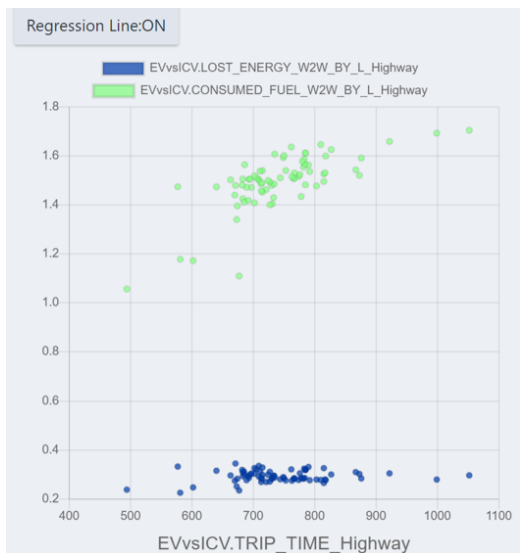


図 6: 解析例:高速道路区間の EV と ICV の消費エネルギー比較 (EV: 青, ICV:緑)

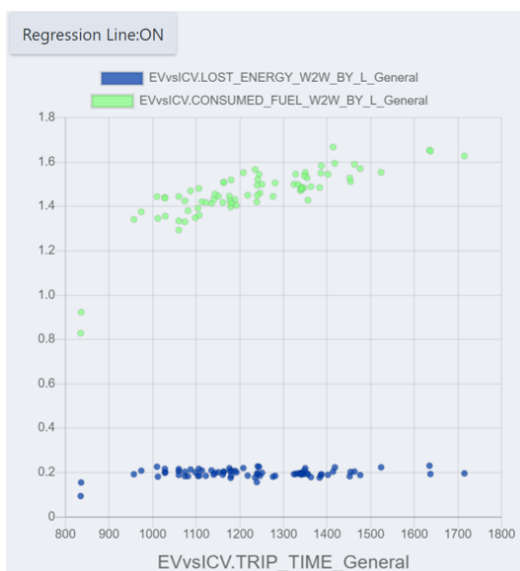


図 7: 解析例:一般道路区間の EV と ICV の消費エネルギー比較

わち、高速に走る)ほど、消費エネルギーを少なく走行できることがわかる。その一方で、EV は走行時間とは違う要因で消費エネルギーが変化することが推察される。このことから、ICV と EV では、消費エネルギーを少なくする運転をする上で意識する点が異なるという知見を示すことができた。

## 7 まとめと今後の課題

本研究では、SL で集計可能な EV 推定消費エネルギーデータ解析システムを構築した。また、本システムと実際に収集したログを用いて、ICV や EV の消費エネルギーの差や時間に対する特性の違いに関する知見を示すことができた。これにより、本システムにより、有用なデータ解析が可能であることを示し、自動車走行ログを EV の消費エネルギーについて有用な応用が可能であることを示した。今後の課題として、データベースの性能評価、エアコンの消費電力も含めたより高度なデータ解析

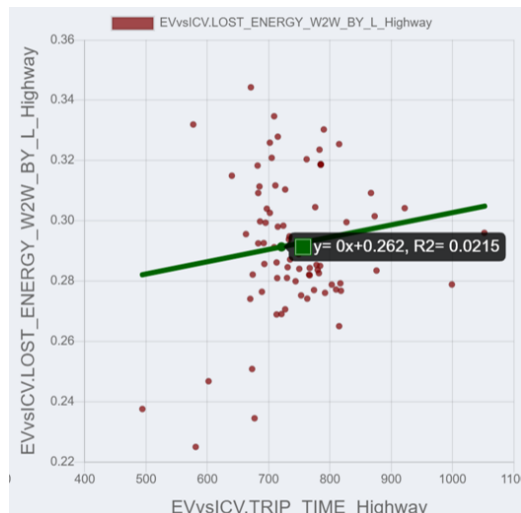


図 8: 解析例:高速道路における走行時間に対する EV の推定エネルギー損失の相関

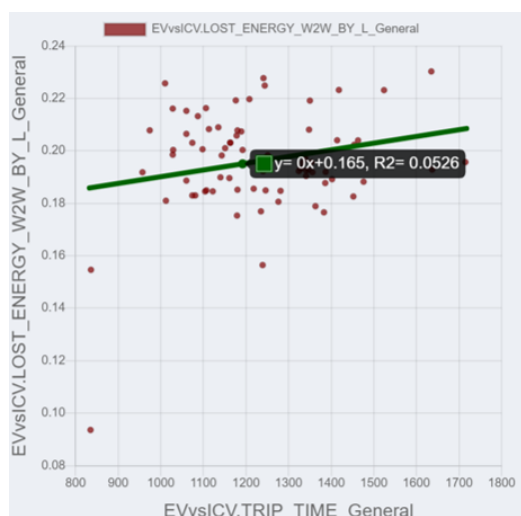


図 9: 解析例:一般道における走行時間に対する EV の推定エネルギー損失の相関

例などが挙げられる。これらにより、本システムによって、より多様なデータ解析が可能であることを示していく。

**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] デロイトトーマツグループ. 次世代車に関する消費者意識調査 2020. <https://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/about-deloitte/articles/news-releases/nr20200414.html>. 参照 2021-02-05.
- [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, October 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. *Adjunct Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and*

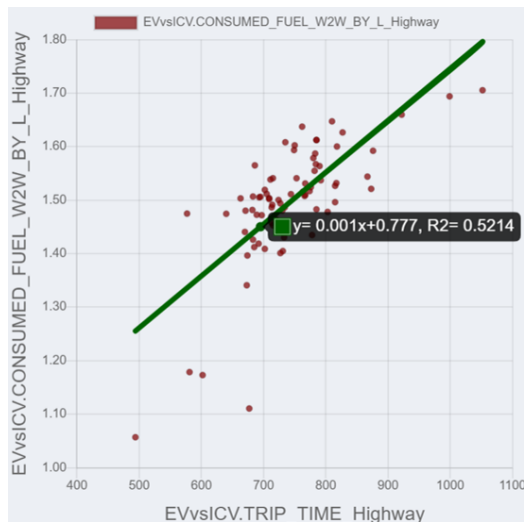


図 10: 解析例: 高速道路における走行時間に対する ICV の燃料消費量の相関

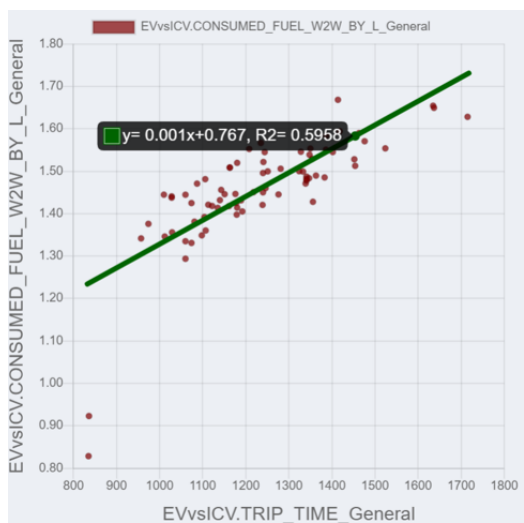


図 11: 解析例: 一般道における走行時間に対する ICV の燃料消費量の相関

*Ubiquitous Systems: Computing Networking and Services*, pp. 207–212, 2016.

- [4] 濱崎裕太, 植村智明, 富井尚志. 多変量データを spj 質問により統合する平行座標プロット型情報可視化システムと操作言語. 情報処理学会論文誌データベース (TOD), Vol. 12, No. 4, pp. 27–39, October 2019.
- [5] 植村智明, 吉田顕策, 吉瀬雄大, 富井尚志. 試行錯誤を許容するデータ解析支援システムと電気自動車の走行ログ解析. 情報処理学会論文誌データベース (TOD), Vol. 13, No. 4, pp. 13–26, October 2020.
- [6] 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, Dec 2015.
- [7] 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.
- [8] Takahiro Komamizu, Toshiyuki Amagasa, and Hiroyuki Kitagawa. Visual spatial-olap for vehicle recorder data on micro-sized electric vehicles. In *Proceedings of the 20th International Database Engineering & Applications Symposium*, IDEAS '16, pp. 358–363, 2016.
- [9] Isabel Wilminck, Johan Olstam, Martijn van Noort, and Charisma F Choudhury. Microscopic simulation of eco-

driving systems using real-world vehicle models. In *22nd ITS World Congress, Bordeaux*, pp. 1–12, 2015.

- [10] 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.
- [11] Benjamin Krogh, Nikos Pelekis, Yannis Theodoridis, and Kristian Torp. Path-based queries on trajectory data. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, SIGSPATIAL '14, pp. 341–350, 2014.
- [12] Melanie Herschel, Ralf Diestelkämper, and Houssem Ben Lahmar. A survey on provenance: What for? what form? what from? *The VLDB Journal*, Vol. 26, No. 6, pp. 881–906, Dec 2017.
- [13] Manuela Waldner, Stefan Bruckner, and Ivan Viola. Graphical histories of information foraging. *Proc. of the 8th Nordic Conf. on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational(NordiCHI '14)*, pp. 295–304, 2014.
- [14] Peter Mindek, Stefan Bruckner, and M. Eduard Gröller. Contextual snapshots: Enriched visualization with interactive spatial annotations. *Proc. of the 29th Spring Conf. on Computer Graphics(SCCG '13)*, pp. 49–56, 2013.
- [15] S. Gratzl, N. Gehlenborg, A. Lex, H. Pfister, and M. Streit. Domino: Extracting, comparing, and manipulating subsets across multiple tabular datasets. *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics(TVCG)*, Vol. 20, No. 12, pp. 2023–2032, Dec 2014.
- [16] P. Godfrey, J. Gryz, and P. Lasek. Interactive visualization of large data sets. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 28, No. 8, pp. 2142–2157, 2016.
- [17] Mark Derthick, John Kolojechick, and Steven F. Roth. An interactive visual query environment for exploring data. In *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '97, pp. 189–198, 1997.
- [18] Chris North and Ben Shneiderman. Snap-together visualization: A user interface for coordinating visualizations via relational schemata. In *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '00, pp. 128–135, 2000.
- [19] 杉淵剛史, 田中讓. 関係データベースモデルに基づくデータベース可視化フレームワークの提案と実装. 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム = The IEICE transactions on information and systems (Japanese edition), Vol. 90, No. 3, pp. 918–932, mar 2007.
- [20] T. Uemura, Y. Kashiwabara, D. Kawanuma, and T. Tomii. Accuracy evaluation by gps data correction for the ev energy consumption database. In *Adjunct Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing Networking and Services*, MOBIQUITOUS 2016, pp. 213–218. ACM, 2016.
- [21] 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 2021-02-05.