

# 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

植村 智明<sup>1,a)</sup> 吉田 顕策<sup>2,b)</sup> 吉瀬 雄大<sup>1,c)</sup> 富井 尚志<sup>3,d)</sup>

受付日 2020年3月10日, 採録日 2020年6月18日

**概要:** 本研究では、データ解析の支援を目的として、GUI上でアドホックなクエリの実行と、解析過程をSQLに類似した言語形式で保存・復元することが可能なシステムを実装した。当システムを用いて、電気自動車(EV)特有の問題に対し、走行ログ解析手法を提示する。実装システムでは、多変量データを可視化し、クエリ(データ操作)を実行するための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ライクな言語表記形式で保存できる。言語形式で保存することで、解析途中の試行錯誤を支援する。これらの機能により、リアルタイムにユーザの操作が反映されるGUIと、データの操作過程を論理的に記述できる言語形式という両者の利点を活かした解析を可能にする。本論文では、我々が長期にわたり収集したEVの走行ログに対し、実装システム上で、アドホックなクエリを試行錯誤しながら適用するようなデータ解析を行う例を提示した。これにより、EV特有の複合したエネルギー消費要因を特定するデータ分析や、多様な条件で走行ログを絞り込むデータ処理などの問題を解決することができた。

**キーワード:** 消費エネルギー, データ操作言語, データ分析, ライフログ

## A Data Analysis Support System Enabling Trial-and-Error and Electric Vehicle Driving Logs Data Analysis

TOSHIKI UEMURA<sup>1,a)</sup> KENSAKU YOSHIDA<sup>2,b)</sup> YUDAI KICHISE<sup>1,c)</sup> TAKASHI TOMII<sup>3,d)</sup>

Received: March 10, 2020, Accepted: June 18, 2020

**Abstract:** In this research, we implemented a system for data analysis assistance that enables data analysts to execute queries on GUI and to save and restore the analysis process as a language form like SQL. Also, we present a driving logs analysis method to utilize the system for solving problems specific to Electric Vehicles (EVs). On the system, we employ Parallel Coordinates Plot (PCP) for visualizing multivariate data and executing queries (or data manipulation). And, the system visualizes manipulated data with any intended visualization method. In the analysis process, users can save a state of data manipulation and visualization on PCP as a language form like SQL. A saved language helps them to do trial and error in the process. These functions enable an analysis utilizing the advantages of both GUI and a language form. In this paper, we presented examples of data analytics to apply ad-hoc queries through trial and error. For these examples, we used our EV's driving logs accumulated for a long time. As a result, we can solve problems that data analysis to identify the combined causes of EV's energy consumption, or data process to select driving logs with various conditions.

**Keywords:** energy consumption, data manipulation language, data analysis, life log

<sup>1</sup> 横浜国立大学大学院環境情報学府情報環境専攻  
Department of Information Environment, Graduate School  
of Environment and Information Sciences, Yokohama National  
University, Yokohama, Kanagawa 240-8501, Japan  
<sup>2</sup> 横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科  
Department of Mathematics, Physics, Electrical Engineering  
and Computer Science, College of Engineering Science,  
Yokohama National University, Yokohama, Kanagawa 240-  
8501, Japan

<sup>3</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院  
Faculty of Environment and Information Sciences,  
Yokohama National University, Yokohama, Kanagawa  
240-8501, Japan  
a) uemura-toshiaki-xh@ynu.jp  
b) yoshida-kensaku-rc@ynu.jp  
c) kichise-yudai-vb@ynu.jp  
d) tommy@ynu.ac.jp

## 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、センサーデータを自動的に取得・蓄積できる。すなわち、ユーザは無意識かつ手間なくライフログを収集することができる。さらに、ユーザ自らに限らず、他ユーザとデータを共有しあうことにより、多様で有用なライフログの利用が可能になる。しかしながら、無暗にセンサーデータを収集すると、蓄積したライフログは膨大かつ多様な多変量データとなる。そのため、多変量データに対して、アドホックなクエリを適用し「ユーザが求めている有用なデータ」の取得を支援することは重要なことといえる。

そこで、我々の先行研究 [1] では、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を実装した。加えて、そのデータ操作過程を SQL に類似した  $(PC)^2L$ \*1 の言語表記形式で保存することによって、データ分析の試行錯誤の支援を行うことを考えた。データ操作を行う GUI には、多変量データを一覧に可視化可能で、選択・射影・結合などの関係代数演算の基本的な演算が GUI 上で表現可能な Parallel Coordinates Plot (PCP) を利用した。しかし、我々の先行研究では、GUI 上でのデータ操作と言語による保存にとどまり、具体的なユースケースに基づいた可視化の支援を行うことが十分にできているとはいえない。

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ないゼロエミッション車 (ZEV: Zero Emission Vehicle) の 1 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、比較的大型な 2 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。しかしながら、EV は、認知度が上がっている一方で、価格の高さ、航続距離の短さ、充電設備の不十分さなどの要素から、いまだ消費者から購入が敬遠される傾向がある [2]。加えて EV には、ガソリン車にはない特徴がある。たとえば、減速時にエネルギー回生を行うことや、低温時にはエネルギー消費量が多くなることがある。すなわち、ドライバーの個人差だけでなく地域差や季節差によってもエネルギー消費が変化する。そのため、EV の走行データを利用せずに、EV のメリット・デメリットを明確に把握することは難しいといえる。これらのことか

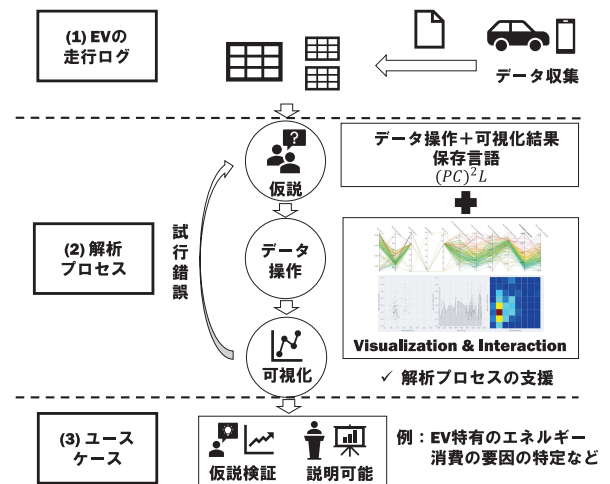


図1 データ解析プロセスのイメージ  
Fig. 1 A image of data analysis process.

ら、その人・その場・そのときの EV のライフログ（走行時データ）を分析し、データからエネルギー消費の要因を特定することや、EV の固有のメリット・デメリットを定量化することは重要となる。しかしながら、このような走行ログは多種のセンサーから得られる多変量データであり、データ分析の支援が必要となる。

そこで我々は、EV の走行ログ解析の支援として、我々の先行研究 [1] の情報可視化システムを利用することを考えた。すなわち、本研究の目的は、我々の情報可視化システム上で、EV の走行ログデータ解析例を示すことにより、EV の走行ログを収集することの有用性を示すことにある。

本論文におけるデータ解析プロセスのイメージを図1に示す。図1における(1) EV の走行ログでは、我々が長期間にわたり収集し続けた実際の EV の走行ログ (CAN, GPS) を利用する。これにより、実践的なデータ解析例を示すことを目指す。図1における(2) 解析プロセスでは、今回扱うプロセスを、以下の3つを試行錯誤しながら繰り返し、データによる仮説検証や説明を目指すものとした。

- 仮説を立てる。
- データ操作（アドホックなクエリの適用）を行う。
- 可視化を行うことでデータの傾向を把握する。

この試行錯誤を支援するために、先行研究 [1] の情報可視化システムの機能拡張を行った。具体的には、すでに実装していた「PCP 上でのアドホックなクエリ実行」機能と「PCP 可換言語  $(PC)^2L$  によるデータ操作過程の保存」機能に加えて、「リアルタイムな PCP での操作結果の任意のグラフによる可視化」機能の実装と「 $(PC)^2L$  の任意のグラフ可視化に対応する文法拡張」を行った。これらによって、リアルタイムにユーザの操作が反映される GUI と、データの操作過程を論理的に記述できる言語形式という両者の利点を活かした解析を可能にする。加えて、図1における(3) ユースケースでは、データ解析者が試行錯誤しな

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

がら, EV 特有の複合したエネルギー消費要因を特定していく解析プロセス例を示す。

## 2. 関連研究

本研究において, 以下の3種類の関連研究があげられる。

- (1) PCP とそれに対するデータ操作
  - (2) データ解析支援
  - (3) 自動車走行ログの活用
- 以下の節でそれぞれ説明する。

### 2.1 平行座標プロット (PCP) とデータ操作

1985 年, Inselberg によって初めて PCP の概念が定義された [3]。それ以来, PCP に関する様々な議論がされてきており, 情報可視化の分野において重要なトピックの1つとなっている [4]。Johansson らによれば, PCP の研究は次の4つに分類される [4]: (1) PCP の (属性) 軸レイアウト, (2) PCP の Clutter 軽減方法, (3) PCP の実応用例の提示, (4) PCP と他のデータ解析手法との比較。上記の通り, ほとんどは PCP の見せ方に関して議論がされているものがほとんどであり, 操作の過程に着目した議論はされていない。また, 可視化と同時にデータに SPJ<sup>\*2</sup> のような演算を加えることは議論されていない。

また, Bouali らは, 対話型遺伝的アルゴリズムを使用することで, 可視化手法の推薦を行うシステムを構築した [5]。これは, データや利用者の要求に応じてより適切な可視化手法 (散布図行列や PCP など) の選択を支援するものである。我々の提案システムは関係代数における SPJ 質問に相当する表現力を持つような可視化システムを構築するため, タプルが1つの線で明示され, 詳細に参照・分析可能である PCP が適切である。

一方で, インタラクティブに操作しながら PCP による分析を支援するシステムの提案もされている。Itoh らは, 属性軸間の相関に基づいてインタラクティブに次元削減を行い, PCP から所望する情報の発見を支援するシステムを構築した [6]。Zhou らは, エントロピーの概念を導入することで, PCP の属性軸の整列順序をクラスタに基づいて決定する手法の提案をした [7]。

一方, 多変量データを可視化するその他の有名な手法として, 複数の散布図を表示する散布図行列があげられる [8]。しかし, 散布図行列は, 属性どうしの相関を直感的に把握できるが, 散布図数が属性数の2乗に比例して増加する。そのため, データの操作過程で SPJ (特に Join) を適用することには不向きであるといえる。

以上の関連研究に対して, 我々の先行研究 [1] では, PCP 上のインタラク션을 SQL に類似した言語 (PC)<sup>2</sup>L で保存する多変量データ可視化システムを実装した。しかし

ながら, 先行研究では, PCP によるインタラクシオンと言語による保存のみに着目しており, データ解析者が求める有用なデータ取得の支援を行えていたとはいえない。それに対し, 本研究ではデータ可視化もあわせて支援することで, データ解析プロセス全体の支援を行う。

### 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 [9]。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合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, 我々が定義した操作言語を用いて, 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 [10]。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 [11]。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 [12]。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, 問合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持つ。

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 [13]。なかでも, 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 [14]。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が自由に変更可能なインタフェースの構築を行った [15]。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

<sup>\*2</sup> SPJ: Selection (選択), Projection (射影), Join (結合)。いずれも関係データベース固有のデータ操作演算。

として備えた、可視化フレームワークを実装した [16]. 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いえる. 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.

### 2.3 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さかに行われている. 特に、交通データの可視化 [17] 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 [18]. Komamizu らは、EV の運転軌跡をドライバの属性情報とともに表示し、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 [19]. これらの研究は、渋滞情報の可視化に着目しており、消費エネルギーの可視化に着目する我々の立場と異なる.

Wilmlink 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 [20]. 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.

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推定した 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 [21]. 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 [22]. これらの研究は、データ管理に着目しており、我々のデータ解析プロセスを支援する我々の研究とは立場が異なる.

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を構築してきた [23]. このシステムを利用したデータ可視化として、道路特有の通過時間と消費エネルギーの可視化 [24], [25] を行ってきた. これらの研究は、EV の消費エネルギーに着目した有用なデー

タ活用例を示す点では、本研究と立場が同じである一方、データ解析を支援するものではないという点で立場が異なる. また、EV の“推定”消費エネルギーを対象としたものであり、実際の EV の走行ログを対象とした解析は行っていない. 本研究は、EV を用いて収集した「実際の EV の走行ログ」を対象としている点において、従来研究と異なる.

以上のことから、本研究の「EV の実際の走行ログを利用し、消費エネルギーに着目したデータ解析手法を提示する」点に、我々の研究に独自性があると考えられる.

## 3. データ解析支援システムと (PC)<sup>2</sup>L の拡張

本章では、我々の先行研究 [1] に対して、拡張を行った部分を中心に説明する.

### 3.1 データ解析支援システム拡張の概要

データ解析支援システムの概要を図 2 に示す. 本論文では、先行研究 [1] で実装したシステムに対して、図 2 赤枠で示した Visualization (可視化) 機能、(PC)<sup>2</sup>L の VISUALIZE WITH 句の追加を行った.

このシステムでは、以下で示す想定する操作を可能にし、図 1 で示した解析プロセスを支援することを想定する.

- (1) 1 つのリレーションを PCP により可視化する.
- (2) PCP を補完する形で、任意のグラフの可視化を行う.
- (3) 可視化をもとに、PCP 上でインタラクション (データ操作) を行う. その際、データ操作の結果をリアルタイムに (2) で表示したグラフに反映する.
- (4) 分析者が所望するときに、(2), (3) の解析過程のスナップショットを (PC)<sup>2</sup>L で保存する.
- (5) (2)~(4) を繰り返す. その際、過去のスナップショットに戻る必要がある場合は該当する (PC)<sup>2</sup>L を入力し、システム上にデータ解析過程を再出力する.
- (6) データ解析者が所望の可視化結果を獲得する.

PCP 上で可能なインタラクション機能は、先行研究 [1] で示したものを利用する. 本論文で述べる機能拡張は、上記の (2) グラフによるデータ可視化、および、それになう言語表記形式の文法拡張に大別される.

### 3.2 データ可視化機能

本節では、本研究で解析システム上に新たに実装したデータ可視化機能について述べる.

この機能は、PCP 上のデータ操作によって得られたデータセットを任意のグラフで可視化する機能である. 本論文では、選択できる可視化手法として棒グラフ、線グラフ、散布図、ヒートマップ、バイオリン図の実装を行った. 今後の課題として、有用な可視化手法を自由に追加することを想定している.

また、PCP のインタラクションの結果をデータ可視化にリアルタイムに反映する. これにより、PCP の選択操作に

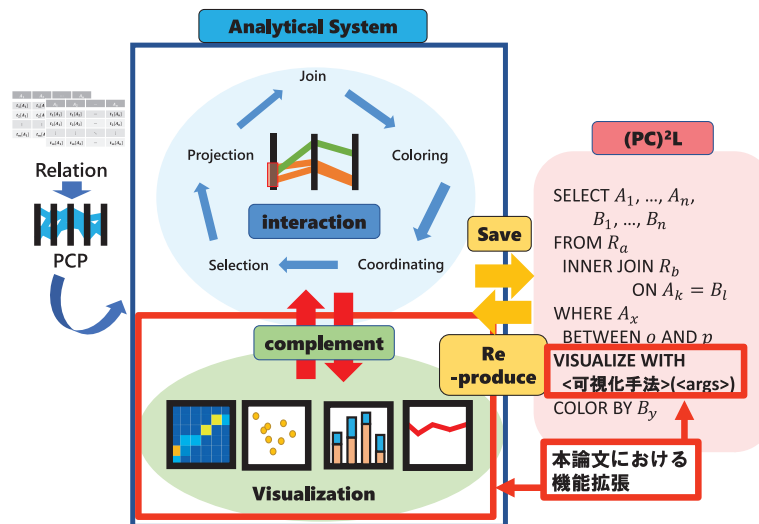


図 2 データ解析システムの概要図

Fig. 2 A system overview.

よってデータ可視化を行いたいデータセットを絞り込むなどの操作が、GUI上でシームレスに実行可能になる。

### 3.3 (PC)<sup>2</sup>Lの文法拡張

本節では、先行研究 [1] で定義した、5 種類の PCP に対するインタラクションの過程を保存・再現するための言語形式である (PC)<sup>2</sup>L の文法拡張について述べる。

本研究では、データ可視化の状態（使用する可視化手法、グラフ軸に表示する属性）を保存するために VISUALIZE WITH 句の追加を行った。これにより、(PC)<sup>2</sup>L によってシステム上の解析過程のなかでも、PCP 上の操作だけでなく、任意のグラフによる可視化の状態を言語形式で論理的に保存することが可能になった。

以下に、VISUALIZE WITH 句によるデータ可視化機能の表現方法を記述する。

- データ可視化機能：VISUALIZE WITH 句に「<可視化手法名>(<args>)」と記述。

<可視化手法名> に指定可能な可視化手法およびその引数を表 1 に示す。たとえば、SCATTER( $A_1, A_2$ ) と記述すれば、X 軸が属性  $A_1$ 、Y 軸が属性  $A_2$  の散布図を表示することが可能である。なお、PCP による Selection を適用したデータのみを表示し、軸に対応する属性値の最大値、最小値が収まるように、軸の表示範囲を自動的に変更することとした。また、BAR( $A_x, <Func>, A_y^1, \dots, A_y^n$ ) における <Func> は属性  $A_y^1, \dots, A_y^n$  の値に適用する集約関数を示す。AVG：平均、SUM：合計、MAX：最大、MIN：最小などの一般的な集約関数が利用可能である。集約単位は第 1 引数の  $A_x$  の値である。

### 3.4 実装システムの表示例

実装システムの画面の例を図 3 に示す。実装システム

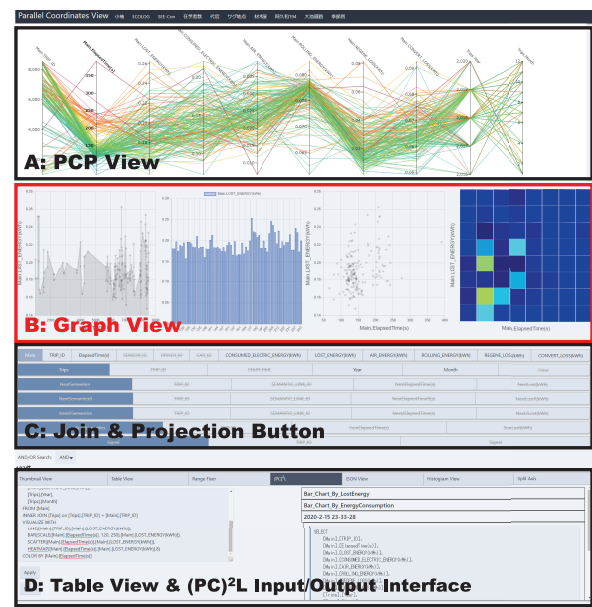


図 3 解析システムの表示例

Fig. 3 An example of an analytical system screen.

は、先行研究 [1] 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 3 の A：PCP View では、指定したリレーシオンのデータを可視化した PCP が表示され、先行研究 [1] で定義したデータに対するインタラクションのなかでも、Selection, Coloring, Coordinating が可能である。

図 3 の C：Join & Projection Button では、横 1 行がリレーション 1 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 [1] 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

表 1 VISUALIZED WITH 句で指定できる可視化手法  
Table 1 Available methods at VISUALIZED WITH statement.

| 可視化手法                                         | 引数                                                                    | 説明       |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------|
| BAR( $A_x$ , <Func>, $A_y^1$ , ..., $A_y^n$ ) | $A_x$ : X 軸に対応する属性名                                                   | 積み上げ棒グラフ |
|                                               | <Func>: Y 軸に積み上げる属性値に適用する集約関数<br>$A_y^1, \dots, A_y^n$ : Y 軸に積み上げる属性名 |          |
| LINE( $A_x$ , $A_y$ )                         | $A_x$ : X 軸に対応する属性名                                                   | 折れ線グラフ   |
|                                               | $A_y$ : Y 軸に対応する属性名                                                   |          |
| SCATTER( $A_x$ , $A_y$ )                      | $A_x$ : X 軸に対応する属性名                                                   | 散布図      |
|                                               | $A_y$ : Y 軸に対応する属性名                                                   |          |
| HEATMAP( $A_x$ , $A_y$ , $d$ )                | $A_x$ : X 軸に対応する属性名                                                   | ヒートマップ   |
|                                               | $A_y$ : Y 軸に対応する属性名<br>$d$ : ヒートマップの分割数                               |          |
| VIOLIN( $A$ )                                 | $A$ : 属性名                                                             | バイオリン図   |

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 3 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 3 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 [1] と比較すると、特に B: Graph View が本研究による拡張部分である。

## 4. 解析例で使用するデータセット

本章では、後述するデータ解析例で利用するデータセットについて記述する。データセットに含まれるデータ件数と期間を表 2 に示す。

### 4.1 データ取得環境

走行ログは、EV による被験者 1 名の通勤時のデータを継続して取得したものを利用する。また、データ取得用の EV として、日産 LEAF (ZAA-ZE0 型 2011 年式) を利用した。取得したデータは CAN データと GPS データの 2 種類に分かれる。これらのデータを利用したデータ解析例を後の章で示す。以下の節で詳細を説明する。

### 4.2 CAN データ

CAN データの取得には Android アプリ Leaf Spy

表 2 解析例で使用するデータセット

Table 2 Dataset used at example analysis.

| 属性           | 値                     |
|--------------|-----------------------|
| 取得期間         | 2016-07-22~2020-01-28 |
| トリップ数        | 1,379                 |
| GPS データレコード数 | 5,850,794             |
| CAN データレコード数 | 755,806               |

Pro<sup>\*3</sup>と OBD2 (On Board Diagnosis Second Generation) 接続用の Bluetooth 通信端末として PLX Devices Kiwi Bluetooth Wireless Trip Computer and OBDII Scanner を利用した。Leaf Spy Pro を利用することで、バッテリー残量 (GIDs<sup>\*4</sup>)、バッテリー健全度 (SOH)、累計回生エネルギー量 (REGENWh)、エアコン、ヒータ、電装品それぞれの消費電力などのデータを最短 2 秒おきに取得することが可能である。

### 4.3 GPS データ

GPS データは、Android 上で動くロギングアプリを実装し、Android 端末を EV に搭載することでデータの取得を行った。また、サンプリングレートは 1 Hz で取得した。GPS では、(時間、位置、対地速度) が取得できる。

また、GPS データから、OD (Origin-Destination) トリップ (今後、単にトリップと呼ぶ) の算出を行った。トリップは、トリップの ID、ドライバーの ID、出発地座標、目的地座標、出発時刻、到着時刻、向き (往路 or 復路) の組として定義した。

### 4.4 気象データ

気象データは、気象庁から 10 分ごとの過去の気象デー

<sup>\*3</sup> Leaf Spy Pro, Google Play, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.Turbo3.Leaf.Spy.Pro> (参照 2020-07-22)。

<sup>\*4</sup> GIDs は Leaf Spy の独自単位であり、バッテリー残量を示す値である。Leaf Spy の仕様によれば、1 GIDs = 0.0775 kWh とされる。

タ\*5を取得した。このデータでは、走行ルート付近の気温、湿度、風向き、風速などを利用することができる。

## 5. データ解析例：EV のエネルギー消費要因の特定と可視化

本章では、EV の走行ログを用いたデータ解析の事例を提示する。

### 5.1 EV の走行ログデータ解析で立証する仮説

被験者であるエキスパートドライバは、「冬の EV は電費が悪い。その原因として、エアコンや回生ブレーキなどの複合した原因が考えられる」という意見を持っていた。実験車両である日産 LEAF の情報表示パネルでは、「平均電費 [km/kWh]」、「エアコン ON 時の航続可能距離 [km]」、「エアコン OFF 時の航続可能距離 [km]」、「モータの瞬間出力 [kW]」、「エアコン・電装品の瞬間出力 [kW]」などを見ることができる。エキスパートドライバは長期間に及ぶ EV の運転経験とこれらの情報フィードバックを通じて、以上のような意見を持つようになったと考えられる。しかし、一般のドライバにとっては、このような知見を正確なデータに基づいて定量的に提示されなければ、納得を持って EV のメリット・デメリットを把握することは難しいと考えられる。すなわち、本解析例では、エキスパートドライバの知見を定量化する目的で実際の EV の走行ログを使用し、「冬の EV の消費電力量は悪化する。また、その要因として、冬のエアコンの消費電力量の増加と回生エネルギーの減少が存在する」という仮説をデータで説明可能とすることを目指す。

### 5.2 使用するリレーション

解析例で使用するリレーションを、表 3、表 4、表 5、表 6 に示す。リレーション LEAFSPY (表 3) は、4.2 節で示した CAN データのトリップごとの集約値を属性として持つ。今回扱うデータは通勤時のデータであるため、トリップの出発地および目的地は、被験者宅と勤務先の 2 つに限定される。リレーション AVG\_TEMP (表 4) は、4.4 節で示した気象データの中でも、走行地点から最も近い観測地点の気温をトリップごとに集約した値を属性として持つ。リレーション SUMMARY, MONTH (表 5、表 6) は、4.3 節で示した GPS データのトリップごとの集約値を属性として持つ。

### 5.3 解析プロセス例

本節では、解析プロセス例を以下で順を追って説明する。データ解析の流れを図 4 に示す。図 4 には解析 STEP に対応した、解析システム上に表示された PCP と任意のグ

表 3 リレーション LEAFSPY の属性  
Table 3 Attributes of relation “LEAFSPY”.

| 属性名                    | 説明                                |
|------------------------|-----------------------------------|
| TRIP_ID                | トリップの ID                          |
| START_GIDS             | トリップ開始時のバッテリー残量 [GIDs]            |
| END_GIDS               | トリップ終了時のバッテリー残量 [GIDs]            |
| GIDS_DIFFERENCE        | トリップ開始時と終了時のバッテリー残量の差 [GIDs]      |
| GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh | トリップ開始時と終了時のバッテリー残量の差 [kWh]       |
| START_REGENWh          | トリップ開始時の累計回生エネルギー量 [Wh]           |
| END_REGENWh            | トリップ終了時の累計回生エネルギー量 [Wh]           |
| REGENWh_DIFFERENCE_kWh | トリップ開始時と終了時の回生エネルギー量の差 [kWh]      |
| AC_ENERGY              | トリップのエアコンによる総消費電力量 [kWh]          |
| EST_AC_ENERGY          | トリップのヒータを除いたエアコンによる推定総消費電力量 [kWh] |
| EST_HTR_ENERGY         | トリップのヒータによる推定総消費電力量 [kWh]         |
| AUX_ENERGY             | トリップの電装品による総消費電力量 [kWh]           |

表 4 リレーション AVG\_TEMP の属性  
Table 4 Attributes of relation “AVG\_TEMP”.

| 属性名      | 説明            |
|----------|---------------|
| TRIP_ID  | トリップの ID      |
| AVG_TEMP | トリップの走行時の平均気温 |

表 5 リレーション SUMMARY の属性  
Table 5 Attributes of relation “SUMMARY”.

| 属性名                | 説明                          |
|--------------------|-----------------------------|
| TRIP_ID            | トリップの ID                    |
| ENERGY_CONSUMPTION | トリップの走行による EV の総消費電力量 [kWh] |
| TRIP_TIME          | トリップが開始してから終了するまでの時間 [s]    |
| COUNT_LOGS         | トリップのデータ数                   |
| DISTANCE           | トリップの走行距離 [m]               |

表 6 リレーション MONTH の属性  
Table 6 Attributes of relation MONTH.

| 属性名     | 説明           |
|---------|--------------|
| TRIP_ID | トリップの ID     |
| MONTH   | トリップの走行開始時の月 |

\*5 過去の気象データ検索, 気象庁, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (参照 2020-07-22)。

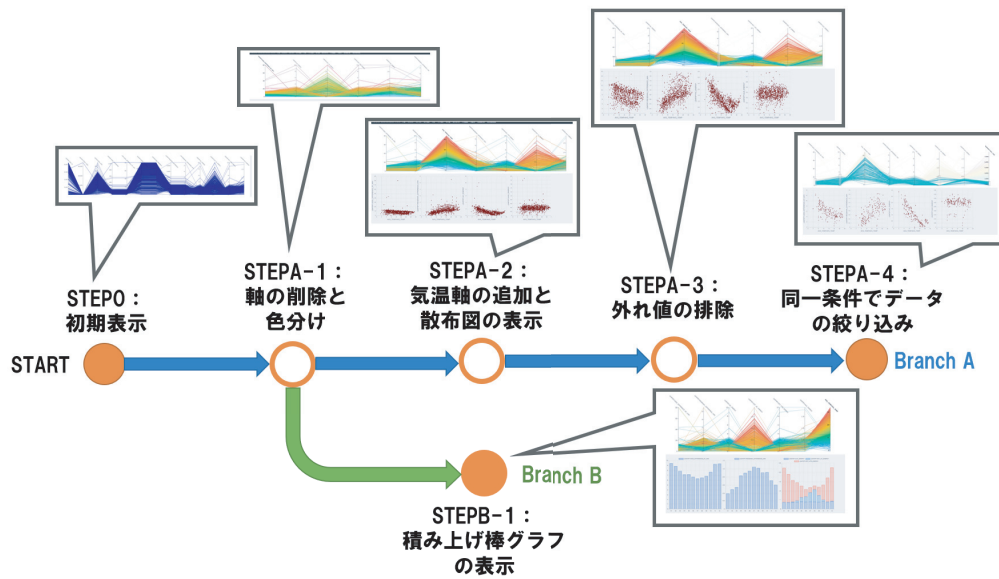


図 4 データ解析の流れ

Fig. 4 Flows of a data analysis example.

ラフを示している。また、各 STEP を保存した (PC)<sup>2</sup>L を付録 A.1 に示す。

最初に、気温と EV の総消費電力量間、気温と回生エネルギー量間、気温とエアコンの消費電力量間、気温と電装品の消費電力量間の相関を散布図によって可視化する。そのために、最初の解析ブランチ A として STEP 0 から解析をスタートし、STEP A-1 から STEP A-4 の順でデータ解析を進める。

次に試行錯誤の 1 つとして、STEP A-4 よりも仮説検証に適した可視化があるかを確認するため、散布図とは異なる可視化を行う。具体的には、月別に、平均総消費電力量、平均回生エネルギー量、エアコンの平均消費電力量、電装品の平均消費電力量を棒グラフで可視化する。特にエアコンは、ヒータの消費電力量とヒータを除くエアコンの消費電力量を棒グラフに積み上げることで、冷房、暖房それぞれの使用割合も可視化する。そのために、STEP A-1 から派生した新しい解析ブランチ B として STEP B-1 を示す。

#### STEP 0：初期表示

解析システムの PCP View を図 5 に示す。STEP 0 では、最初に表示するリレーションとしてリレーション LEAFSPY の全レコードをそのまま PCP に表示した。

#### STEP A-1：軸の削除と色分け

STEP 0 でそのまま表示された PCP では属性が多く、分析が難しい。そこで、STEP A-1 では、今回の仮説に必要なと考えられる属性のみを残して Projection を行った。STEP A-1 の結果を示す解析システムの PCP View を図 6 に示す。Projection の結果として、トリップの総消費エネルギー量に相当する GIDS\_DIFFERENCE\_BY\_kWh、トリップの回生されたエネルギー量に相

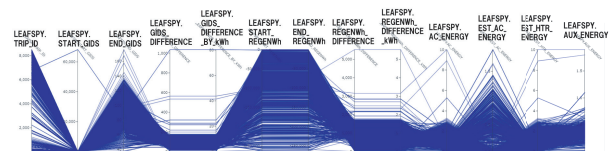


図 5 データ解析例 (STEP 0：初期表示)

Fig. 5 An example of data analysis (STEP 0: an initial display).

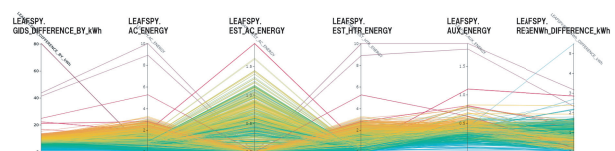


図 6 データ解析例 (STEP A-1：軸の削除と色分け)

Fig. 6 An example of data analysis (STEP A-1: Projection and Coloring).

当する REGENWh\_DIFFERENCE\_kWh、エアコンの消費電力量を示す AC\_ENERGY、EST.AC\_ENERGY、EST\_HTR\_ENERGY、電装品の消費電力量を示す AUX\_ENERGY のみが表示された。また、PCP のインスタンスを示す線の色は、GIDS\_DIFFERENCE\_BY\_kWh の値を基準にして色分け (Coloring<sup>\*6</sup>) した。

#### STEP A-2：気温軸の追加と散布図の表示

STEP A-2 の結果を示す解析システムの PCP View と Graph View を図 7<sup>\*7</sup>に示す。STEP A-2 では、STEP A-1 に対して、PCP にトリップの平均気温を示す軸を追加し、

<sup>\*6</sup> PCP の線の色が、基準とした値が大きいほど赤く、小さいほど青くなる。

<sup>\*7</sup> 図中の黒枠、青枠は説明の便宜上、書き入れたものである。実装システムの画面では表示されない。

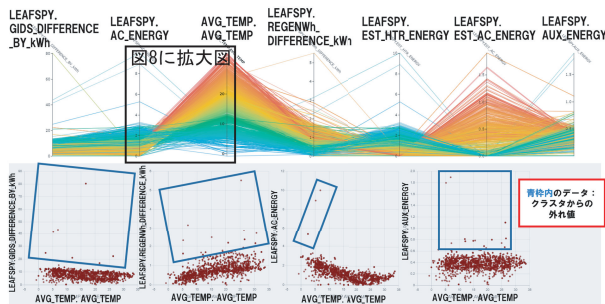


図 7 データ解析例 (STEP A-2: 気温軸の追加と散布図の表示)

Fig. 7 An example of data analysis (STEP A-2: to add a temperature axis and display scatter plots).

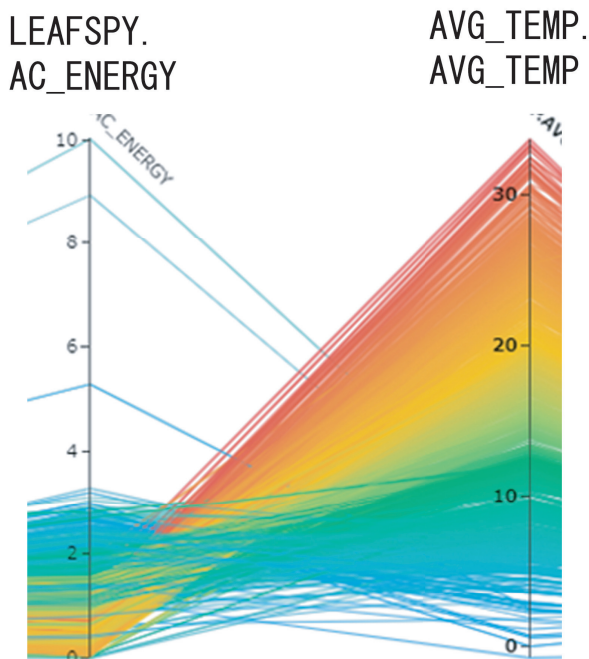


図 8 図 7 の拡大図

Fig. 8 An enlarged figure of Fig. 7.

気温と消費電力量間の相関を見たい。そこで、リレーション LEAFSPY とリレーション AVG\_TEMP を内部結合し、リレーション AVG\_TEMP からは属性 AVG\_TEMP のみを残して Projection した。また、PCP で相関を見やすくするために、属性 AVG\_TEMP の値を基準に Coloring を行った。これにより、各軸に表示される線の配色の順番を見ることで、平均気温に対する相関が把握できる。その結果として、図 7 上部の PCP が表示された。左から 2, 3 番目の軸 AC\_ENERGY, AVG\_TEMP (図 8) に着目すると、軸間の線どうしの交差が多くみられ、平均気温 AVG\_TEMP に対して、エアコンの消費電力量 AC\_ENERGY が逆相関を示していることが推察できる。しかし、PCP は相関を推察することは可能であるものの、データ全件を正確に視認することが難しい欠点を持つ。そこで、平均気温と消費電力量との相関を把握しやすくするために、4 つの

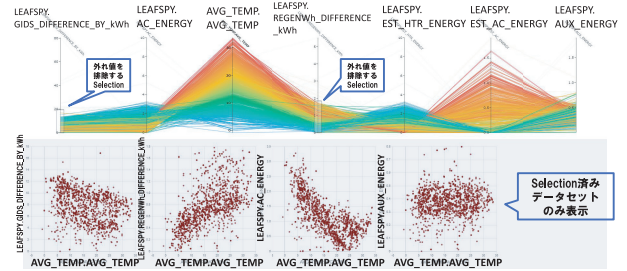


図 9 データ解析例 (STEP A-3: 外れ値の排除)

Fig. 9 An example of data analysis (STEP A-3: to remove outliers).

散布図 (Y 軸はそれぞれ GIDS\_DIFFERENCE\_BY\_kWh, REGENWh\_DIFFERENCE\_kWh, AC\_ENERGY, AUX\_ENERGY) を表示することとした。ここで、図 7 の青枠内の点群に注目する。電力量が主なデータクラスターから大きく外れた値が存在し、有効な可視化ができていないことが分かる。

### STEP A-3: 外れ値の排除

STEP A-3 の結果を示す解析システムの PCP View と Graph View を図 9 に示す。STEP A-3 では、有効な散布図を作成するために、消費電力量が非常に大きい値を外れ値として、外れ値を排除するようにデータを Selection した。属性 GIDS\_DIFFERENCE\_BY\_kWh および属性 REGENWh\_DIFFERENCE\_kWh の軸を PCP View 上で範囲選択することで、外れ値排除を行った。この PCP での Selection 操作中、Graph View もリアルタイムに同期し、Selection されたデータのみが表示される。そのため、データ解析者がインタラクションを行いながら、適切にデータ選択されているかを確認することは容易である<sup>\*8</sup>。

図 9 下部の Selection 後の散布図を見ると、データのばらつきが大きく、相関があると十分にいい難い。データのばらつきの要因として、収集した EV の走行ログの走行条件が均一でないことがあげられる。実際、通勤に使用した走行ルートは同一であるものの、交通や天気などのその日の状況によって、消費エネルギーが大きく変化していることが考えられる。特に、エアコンは車内温度をキープするために、定常的に電力を使用し続けることから、トリップに要した時間に比例してトリップの消費電力量が増加していくことが予想される。

### STEP A-4: 同様な条件でデータの絞り込み

STEP A-4 の結果を示す解析システムの PCP View と Graph View を図 10 に示す。STEP A-4 では、リレーショ

<sup>\*8</sup> 視認性を重視するために、Graph View 内の各グラフの軸範囲が自動設定されるように実装した。一方で、PCP の軸範囲は固定である。このような仕様にしたのは、PCP を操作入力インタフェース、グラフ表示を出力インタフェースと位置づけたためである。データ可視化の自由度を上げるために、PCP の軸範囲を修正する機能や、グラフ表示の軸範囲を固定する機能の追加も考えられる。このような操作支援に関する仕様拡張は今後の課題とする。

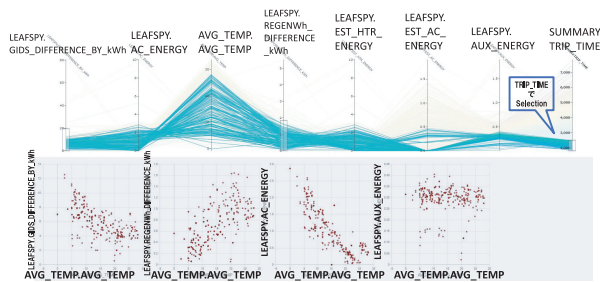


図 10 データ解析例 (STEP A-4: 同様な条件でデータの絞り込み)

**Fig. 10** An example of data analysis (STEP A-4: to select similar data).

ン SUMMARY を利用して、同一条件のデータを絞り込むことで、より正確に温度と消費電力量との相関を把握することをねらう。そのために、リレーション LEAFSPY に対し、リレーション SUMMARY を内部結合を行い、リレーション SUMMARY の属性のなかでも、TRIP\_TIME のみを残して Projection を行った。STEP A-4 では、エアコンへの影響が大きいと考えられるトリップに要した時間 TRIP\_TIME が近いデータのみを選択し、同一条件のデータを絞り込むこととした。

その結果として、図 10 下部の Graph View を見ることで、以下のことが分かる。

- 平均気温 AVG\_TEMP に対して、総消費エネルギー量 GIDS.DIFFERENCE\_BY\_kWh は逆相関の傾向がある。すなわち、低温であればあるほど、EV の消費電力量は増大し、電費が悪化する (図 10 下部左から 1 番目)。
- 平均気温 AVG\_TEMP に対して、回生エネルギー量 REGENWh\_DIFFERENCE\_kWh は正相関の傾向がある。すなわち、低温であればあるほど、EV の回生されるエネルギーが減少し、結果として総消費電力量が増加する (図 10 下部左から 2 番目)。
- 平均気温 AVG\_TEMP に対して、エアコンの消費エネルギー量 AC\_ENERGY は逆相関の傾向がある。すなわち、低温であればあるほど、エアコンによる消費エネルギー量が増加している (図 10 下部左から 3 番目)。
- 平均気温 AVG\_TEMP に対して、電装品の消費エネルギー量 AUX\_ENERGY は無相関の傾向がある。すなわち、電装品の消費エネルギー量は、気温によって変化しない (図 10 下部左から 4 番目)。

STEP A-4 における同一条件の絞り込み方として、たとえば平均加速度などの他の条件にして絞り込むことも考えられる。実装した解析システム上では、複数の条件を試して比較するような試行錯誤も (PC)<sup>2</sup>L の保存により支援することが可能である。

以上の STEP 0–STEP A-4 のプロセスにより、「気温が低い冬の EV の消費電力量は悪化する。また、低温時は冬のエアコンの消費電力量の増加と回生エネルギーの減少が

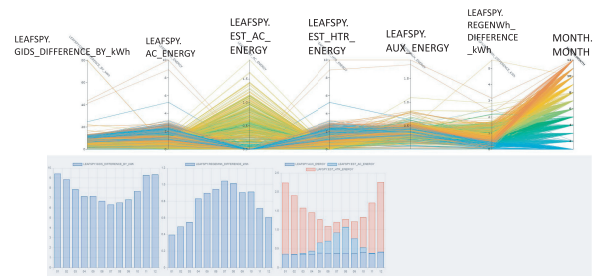


図 11 データ解析例 (STEP B-1: 積み上げ棒グラフの表示)

**Fig. 11** An example of data analysis (STEP B-1: to display stacked bar plot).

存在し、これらが総消費電力量の悪化に影響を及ぼしている」ことが示唆される。

### STEP B-1: 積み上げ棒グラフの表示

保存した (PC)<sup>2</sup>L を利用して過去の STEP (STEP A-1) に遡り、その STEP から新しく分岐して分析を進める STEP B-1 を示す。

STEP B-1 では、STEP A-4 の結果によって示された EV の消費エネルギー量の気温に対する特性を、別の方法を用いて可視化する。具体的には、季節と EV の消費エネルギー量間の相関を可視化する。そのために、Projection 済みのリレーション LEAFSPY のみが表示されている STEP A-1 に 1 度遡った。そして、リレーション LEAFSPY に対し、リレーション MONTH を内部結合を行い、リレーション MONTH の MONTH 軸を追加した。加えて、X 軸に MONTH, Y 軸には MONTH を単位として集計したエネルギー量の平均値を表示する棒グラフを追加した。STEP B-1 の結果を示す解析システムの PCP View と Graph View を図 11 に示す。追加した棒グラフの拡大図を、図 12, 図 13, 図 14 に示す。また、付録 A.1 のリスト 1 に、STEP A-1 を保存した (PC)<sup>2</sup>L と、また、リスト 5 に STEP B-1 における (PC)<sup>2</sup>L を示す。リスト 5 における 8 行目以降が、STEP A-1 の (PC)<sup>2</sup>L における 8 行目以降を加筆・修正した部分に該当する。

図 12 は、図 11 の下の Graph View 左にある、月別の総消費電力量 GIDS.DIFFERENCE\_BY\_kWh の平均値の棒グラフを示す。図 12 より、取得期間全体の消費電力量の傾向として、1 月から 7 月まで平均総消費電力量は減少し続け、8 月以降は 12 月まで増加し続けることが読み取れる。

図 13 は、図 11 の下の Graph View 中央にある、月別の回生エネルギー量 REGENWh\_DIFFERENCE\_kWh の平均値の棒グラフを示す。図 13 より、1 月から 7 月まで平均回生エネルギーは増加し続け、8 月以降は 12 月まで減少し続けることが分かる。回生エネルギーの増加は、ブレーキによって回収されるエネルギーが増加することから、EV の総消費電力量が減少することを意味する。すなわち、回生エネルギーの季節による変化は、総消費電力量に影響を

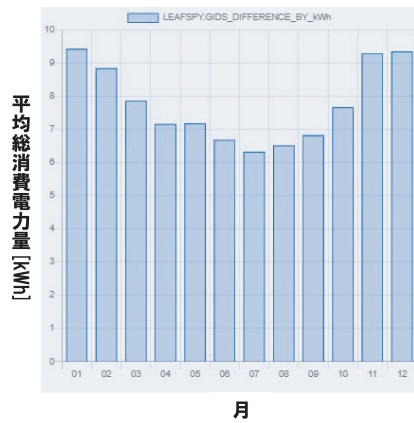


図 12 月別平均総消費電力量 (STEP B-1)

Fig. 12 Monthly average electric energy consumption.

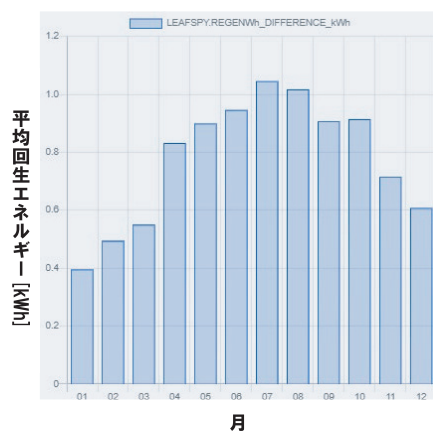


図 13 月別平均回生エネルギー (STEP B-1)

Fig. 13 Monthly average regenerative energy.

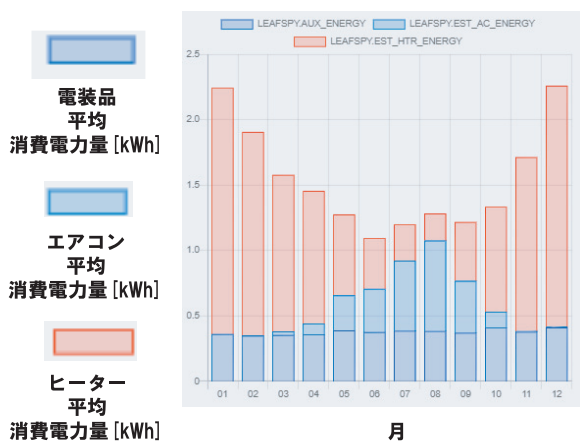


図 14 月別平均電装品・エアコン (ヒータを除く)・ヒータ消費電力量 (STEP B-1)

Fig. 14 Monthly average electric energy consumption of car components, air-conditioner and heater.

及ぼしている可能性が示唆される。

図 14 は、図 11 の下の Graph View 右にある、月別の電装品 AUX\_ENERGY、エアコン (ヒータを除く) EST\_AC\_ENERGY、ヒータ EST\_HTR\_ENERGY の消費

電力量の平均値を下から順に積み上げた棒グラフを示す。図 14 より、エアコン全体と電装品を合わせた (EST\_AC\_ENERGY + EST\_HTR\_ENERGY + AUX\_ENERGY) の消費電力量は、1 月から 6 月にかけて減少し、6 月から 8 月まで増加、その後、再度 9 月に減少してから、12 月まで増加し続けるという傾向があることが分かる。この要因として、冬には暖房による消費電力量が増大し、夏には冷房による消費電力量が消費電力量が増大することが考えられる。これは、エアコン (ヒータを除く) とヒータの消費電力量の月別の割合の変化によって読みとることができる。

これらの STEP B-1 の結果から、「冬の EV の総消費電力量は大きい。また、冬のエアコンのヒータの消費電力量の増大および冬の回生エネルギーの減少が存在し、総消費電力量に影響を及ぼしている」ことが示唆される。

#### 解析例まとめ

STEP A-4 と STEP B-1 の結果は、両者ともに仮説「冬の EV の消費電力量は悪化する。また、その要因として、冬のエアコンの消費電力量の増加と回生エネルギーの減少が存在する」という仮説をグラフ形式で定量的に示唆できる結果となった。さらには、散布図を示した STEP A-4 は、気温に対する消費電力量の相関を可視化できる一方、棒グラフを示した STEP A-4 は、エアコンのヒータとそれ以外が占める割合を可視化できるというそれぞれの可視化ごとの長所がある。そのため、データ解析者が示したい仮説に適した結果を選択することが重要である。

このように、我々の解析システム上で、データ解析者が、(PC)<sup>2</sup>L によって途中の解析過程を復元し、それぞれの結果を長所を検討しながら試行錯誤する例を示すことができた。

これらは、実装した解析システムのインタラクションと可視化機能、(PC)<sup>2</sup>L による保存・復元機能により実現した。

## 6. まとめと今後の課題

本論文では、PCP 上のインタラクションとその結果をリアルタイムに反映する可視化機能、インタラクションと可視化の状態を保存・復元する (PC)<sup>2</sup>L を利用可能なデータ解析システムの実装を行った。また、EV 特有の問題に対し、実装システムを利用した走行ログ解析例を示した。解析例では、長期間収集した実際の走行ログに対し、アドホックなクエリを試行錯誤しながら適用する例として、EV のエネルギー消費要因の特定を行うデータ解析例を示した。これにより、実装システムによりデータ解析者を支援しながら、EV の走行ログの有用なデータ解析例を示すことができた。今後の課題として、実装システムを利用した他の EV の走行ログの有用な解析例を提示することや、解析システム上で実行可能なデータ操作として、データ集計、更新、挿入を可能にし、実行可能なアドホックなクエリの機

能を増やしていくことがあげられる。

謝辞 本研究の一部はJSPS 科研費 (課題番号 18K11750) 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。

## 参考文献

- [1] 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 (2019).
- [2] 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 2019, 入手先 (<https://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/about-deloitte/articles/news-releases/nr20190919.html>) (参照 2020-07-22).
- [3] Inselberg, A.: The plane with parallel coordinates, *The Visual Computer*, Vol.1, No.2, pp.69-91 (1985).
- [4] Johansson, J. and Forsell, C.: Evaluation of Parallel Coordinates: Overview, Categorization and Guidelines for Future Research, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics (TVCG)*, Vol.22, No.1, pp.579-588 (2016).
- [5] Bouali, F., Guettala, A. and Venturini, G.: VizAssist: An Interactive User Assistant for Visual Data Mining, *The Visual Computer: Int'l Journal of Computer Graphics*, Vol.32, No.11, pp.1447-1463 (2016).
- [6] Itoh, T., Kumar, A., Klein, K. and Kim, J.: High-dimensional data visualization by interactive construction of low-dimensional parallel coordinate plots, *Journal of Visual Languages & Computing*, Vol.43, pp.1-13 (2017).
- [7] Zhou, Z., Ye, Z., Yu, J. and Chen, W.: Cluster-aware arrangement of the parallel coordinate plots, *Journal of Visual Languages & Computing*, Vol.46, pp.43-52 (2018).
- [8] Grinstein, G., Trutschl, M. and Cvek, U.: High dimensional visualizations, *Proc. KDD Workshop on Visual Data Mining* (2001).
- [9] Herschel, M., Diestelkämper, R. and Ben Lahmar, H.: A survey on provenance: What for? What form? What from?, *The VLDB Journal*, Vol.26, No.6, pp.881-906 (2017).
- [10] Waldner, M., Bruckner, S. and Viola, I.: Graphical Histories of Information Foraging, *Proc. 8th Nordic Conf. Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational (NordiCHI '14)*, pp.295-304 (2014).
- [11] Mindek, P., Bruckner, S. and Gröller, M.E.: Contextual Snapshots: Enriched Visualization with Interactive Spatial Annotations, *Proc. 29th Spring Conf. Computer Graphics (SCCG '13)*, pp.49-56 (2013).
- [12] Gratzl, S., Gehlenborg, N., Lex, A., Pfister, H. and Streit, M.: Domino: Extracting, Comparing, and Manipulating Subsets Across Multiple Tabular Datasets, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics (TVCG)*, Vol.20, No.12, pp.2023-2032 (2014).
- [13] Godfrey, P., Gryz, J. and Lasek, P.: Interactive Visualization of Large Data Sets, *IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering*, Vol.28, No.8, pp.2142-2157 (2016).
- [14] Derthick, M., Kolojechick, J. and Roth, S.F.: An Interactive Visual Query Environment for Exploring Data, *Proc. 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp.189-198 (1997).
- [15] North, C. and Shneiderman, B.: Snap-Together Visualization: A User Interface for Coordinating Visualizations via Relational Schemata, *Proc. Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pp.128-135 (2000).
- [16] 杉測剛史, 田中 譲: 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 (2007).
- [17] Chen, W., Guo, F. and Wang, F.: A Survey of Traffic Data Visualization, *IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems*, Vol.16, No.6, pp.2970-2984 (2015).
- [18] 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).
- [19] Komamizu, T., Amagasa, T. and Kitagawa, H.: Visual Spatial-OLAP for Vehicle Recorder Data on Micro-Sized Electric Vehicles, *Proc. 20th International Database Engineering & Applications Symposium*, pp.358-363, Association for Computing Machinery (2016).
- [20] Wilmink, I., Olstam, J., van Noort, M. and Choudhury, C.F.: Microscopic Simulation of Eco-driving Systems Using Real-world Vehicle Models, *22nd ITS World Congress, Bordeaux*, pp.1-12 (2015).
- [21] 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).
- [22] Fouladgar, M. and Elmasri, R.: Formalization of network-constrained moving object queries with application to benchmarking, *Proc. 7th ACM SIGSPATIAL International Workshop on GeoStreaming - IWGS '16*, pp.1-10 (2016).
- [23] 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).
- [24] Kawanuma, D., Kashiwabara, Y., Uemura, T. and Tomii, T.: Data Analysis Framework for Visualizing Correlation of Energy Consumption and Transit Time in Road Sections Using the ECOLOG Database, *Adjunct Proc. 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing Networking and Services*, pp.207-212 (2016).
- [25] 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).

## 付 録

### A.1 解析例で示した STEP ごとの (PC)<sup>2</sup>L

以下に、5 章の解析例で示した解析 STEP ごとの結果を保存した (PC)<sup>2</sup>L を以下のリストに示す。

リスト 1 STEP A-1 の結果を保存した (PC)<sup>2</sup>L

```

1 SELECT
2   [LEAFSPY] . [GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh] ,
3   [LEAFSPY] . [AC_ENERGY] ,
4   [LEAFSPY] . [EST_AC_ENERGY] ,
5   [LEAFSPY] . [EST_HTR_ENERGY] ,
6   [LEAFSPY] . [AUX_ENERGY] ,
7   [LEAFSPY] . [REGENWh_DIFFERENCE_kWh]
8 FROM [LEAFSPY]
9 COLOR BY [LEAFSPY] . [GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh]
```

リスト 2 STEP A-2 の結果を保存した (PC)<sup>2</sup>L

```

1 SELECT
2   [LEAFSPY].[GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh],
3   [LEAFSPY].[AC_ENERGY],
4   [AVG_TEMP].[AVG_TEMP],
5   [LEAFSPY].[REGENWh_DIFFERENCE_kWh],
6   [LEAFSPY].[EST_HTR_ENERGY],
7   [LEAFSPY].[EST_AC_ENERGY],
8   [LEAFSPY].[AUX_ENERGY]
9 FROM [LEAFSPY]
10 INNER JOIN [AVG_TEMP] on
11   [AVG_TEMP].[TRIP_ID] = [LEAFSPY].[TRIP_ID]
12 VISUALIZE WITH
13   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
14     GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh]),
15   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
16     REGENWh_DIFFERENCE_kWh]),
17   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
18     AC_ENERGY]),
19   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
20     AUX_ENERGY])
21 COLOR BY [AVG_TEMP].[AVG_TEMP]

```

リスト 3 STEP A-3 の結果を保存した (PC)<sup>2</sup>L

```

1 SELECT
2   [LEAFSPY].[GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh],
3   [LEAFSPY].[AC_ENERGY],
4   [AVG_TEMP].[AVG_TEMP],
5   [LEAFSPY].[REGENWh_DIFFERENCE_kWh],
6   [LEAFSPY].[EST_HTR_ENERGY],
7   [LEAFSPY].[EST_AC_ENERGY],
8   [LEAFSPY].[AUX_ENERGY]
9 FROM [LEAFSPY]
10 INNER JOIN [AVG_TEMP] on
11   [AVG_TEMP].[TRIP_ID] = [LEAFSPY].[TRIP_ID]
12 WHERE
13   ([LEAFSPY].[GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh]
14     BETWEEN 0 AND 19.427258269720102) AND
15   ([LEAFSPY].[REGENWh_DIFFERENCE_kWh]
16     BETWEEN 0 AND 1.8423333333333334)
17 VISUALIZE WITH
18   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
19     GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh]),
20   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
21     REGENWh_DIFFERENCE_kWh]),
22   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
23     AC_ENERGY]),
24   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
25     AUX_ENERGY])
26 COLOR BY [AVG_TEMP].[AVG_TEMP]

```

リスト 4 STEP A-4 の結果を保存した (PC)<sup>2</sup>L

```

1 SELECT
2   [LEAFSPY].[GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh],
3   [LEAFSPY].[AC_ENERGY],
4   [AVG_TEMP].[AVG_TEMP],
5   [LEAFSPY].[REGENWh_DIFFERENCE_kWh],
6   [LEAFSPY].[EST_HTR_ENERGY],
7   [LEAFSPY].[EST_AC_ENERGY],
8   [LEAFSPY].[AUX_ENERGY],
9   [SUMMARY].[TRIP_TIME]
10 FROM [LEAFSPY]
11 INNER JOIN [AVG_TEMP] on
12   [AVG_TEMP].[TRIP_ID] = [LEAFSPY].[TRIP_ID]
13 INNER JOIN [SUMMARY] on
14   [SUMMARY].[TRIP_ID] = [LEAFSPY].[TRIP_ID]
15 WHERE
16   ([SUMMARY].[TRIP_TIME] BETWEEN 1809 AND
17     2515.0356234096694) AND
18   ([LEAFSPY].[GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh]
19     BETWEEN 0 AND 19.427258269720102) AND
20   ([LEAFSPY].[REGENWh_DIFFERENCE_kWh]
21     BETWEEN 0 AND 1.8423333333333334)
22 VISUALIZE WITH
23   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
24     GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh]),
25   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
26     REGENWh_DIFFERENCE_kWh]),
27   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
28     AC_ENERGY]),
29   SCATTER([AVG_TEMP].[AVG_TEMP], [LEAFSPY].[
30     AUX_ENERGY])
31 COLOR BY [SUMMARY].[TRIP_TIME]

```

リスト 5 STEP B-1 の結果を保存した (PC)<sup>2</sup>L

```

1 SELECT
2   [LEAFSPY].[GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh],
3   [LEAFSPY].[AC_ENERGY],
4   [LEAFSPY].[EST_AC_ENERGY],
5   [LEAFSPY].[EST_HTR_ENERGY],
6   [LEAFSPY].[AUX_ENERGY],
7   [LEAFSPY].[REGENWh_DIFFERENCE_kWh],
8   [MONTH].[MONTH]
9 FROM [LEAFSPY]
10 INNER JOIN [MONTH] on
11   [MONTH].[TRIP_ID] = [LEAFSPY].[TRIP_ID]
12 VISUALIZE WITH
13   BAR([MONTH].[MONTH], AVG, [LEAFSPY].[
14     GIDS_DIFFERENCE_BY_kWh]),
15   BAR([MONTH].[MONTH], AVG, [LEAFSPY].[
16     REGENWh_DIFFERENCE_kWh]),
17   BAR([MONTH].[MONTH], AVG, [LEAFSPY].[
18     AUX_ENERGY]),
19   BAR([MONTH].[MONTH], [LEAFSPY].[EST_AC_ENERGY],
20     [LEAFSPY].[EST_HTR_ENERGY])
21 COLOR BY [MONTH].[MONTH]

```



植村 智明 (学生会員)

横浜国立大学大学院環境情報学府博士課程後期在学中。2016年横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科卒業。2018年横浜国立大学大学院環境情報学府博士課程前期修了。マルチメディアデータベース、時空間データベースの研究・開発に従事。日本データベース学会、ACM各学生会員。



吉田 顕策

横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科在学中。マルチメディアデータベース、時空間データベースの研究・開発に従事。



吉瀬 雄大

横浜国立大学大学院環境情報学府博士課程前期在学中。2019年横浜国立大学理工学部数物・電子情報系学科卒業。マルチメディアデータベース、時空間データベースの研究・開発に従事。日本データベース学会学生会員。



富井 尚志 (正会員)

横浜国立大学大学院環境情報研究院准教授。1999 年横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了。博士(工学)。マルチメディアデータベース, 時空間データベースの研究に従事。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 日本データベース学会各正会員。

(担当編集委員 平松 薫)