

EV エネルギー消費ログ DB を用いた可視化システムと 運転者の知見を明示化する情報の提示

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

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

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

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

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

あらまし 我々は既存の自動車の走行ログから、仮に EV に置き換えた際の走行エネルギー量を推定・蓄積するデータベースを構築してきた。本研究では、大量に存在する運転ログを、運転者が意味を持つと考えている道路区間で分割し集約することで、その区間における交通状況ごとの傾向を可視化するシステムを提案する。本システムを用いた情報提示を行うことで運転者は日々の運転の傾向を定量的に評価でき、気づきや納得を得ることが可能となる。またある区間における運転の傾向はその道路の特徴を示しており、運転ログが道路の特徴を把握する上で有用であることを示す。

キーワード 日常運転ログ, セマンティックリンク, 道路の特徴づけ, 情報提示, 分布集約, 運転者の知見

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が発生し、省エネへの要求が高まっている。現在日本におけるエネルギー消費量のおよそ 4 分の 1 が運輸部門から、またそのおよそ 9 割が道路交通分野であることから、道路交通分野からの省エネが必要とされている [1]。省エネを実現する媒体として電気自動車 (EV) が挙げられる [2]。EV はガソリン車に比べて燃料コストが低く、二酸化炭素排出量も大幅に削減される。また、EV は移動としての役割のほかには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。しかしながら個々の EV の電池残量はそれぞれ異なるため、各 EV から取り出せる電力量の最適値を知ることはできない。

また、EV 自体も未だ普及しているとはいえない。この理由は、初期導入コストが高いことや EV の走行可能距離が短いこと、さらに充電インフラの普及が進んでいないなど、実際の利用に対して EV が耐えうるか不明瞭であることの問題による。EV に関しては世界中の自動車メーカーや地方都市によって運用実験がなされているが、それらはモデルケースであるため、実際の自分の運転と照らし合わせた定量的な評価は行えない。そのため EV に乗換える前に個々人の状況に即した効果予測を行う必要がある。一方で、自動車の運転データを取得し、活用する取り組みが行われている。各自動車メーカーは多数の自動車の走行情報を集めている。これらのデータはカーナビ等において細かい地点の渋滞情報や到着時間予測などに活用されている。このデータの問題点として、カーナビのデータは不特定多

数のデータであるので、個人ごとの運転の改善点を示すのには向いていないことが挙げられる。

これを解決する手段として、現在乗っている自動車の個人運転状況のデータログを基に、もし仮に EV に置き換えた場合のエネルギー消費状況を推定することを我々は考えた。その方法として自動車に搭載した簡易なセンサから得た走行ログを蓄積するデータベースを構築し、EV のエネルギー消費モデルを基に走行エネルギーを推定した [3,4]。本研究ではこのデータベースを用い、運転者の知見を明示化する情報提示を行う。同一の運転者が同じ区間を走行したログを大量に集めることで、その区間に関する統計的な知見を得ることができるようになる。例えば、ある区間を通過するのに掛かる時間やエネルギー損失を頻度分布として確認することや、ルートごとの傾向を比較することが可能になる。このような情報提示を行うことで運転者は気づきや納得を得ることができ、運転者の心理的負担を軽減することに繋がる。また個人の走行ログを大量に集めることで、走行ログから各道路の個人特性を導き出すことが可能になる。この道路特性は様々な分野に活用できる可能性がある。

2. 研究背景

2.1 EV と V2X

EV はバッテリーを搭載し、モータによって駆動するモビリティである。例えば日産自動車の LEAF は 24kWh ~ 30kWh のバッテリー容量を持ち、最大 228km ~ 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]。また、EV に搭載されたバッテリーに充電した電力を電力網 (Grid: V2G) やビル (Building: V2B)、家

(Home:V2H) に提供する V2X という技術が注目されている。Kempton らは V2G をアメリカ電力市場に投入した際にどの程度の効果と利益が得られるのかの検証を行った [8,9]。Jansen らは既存の電力網に V2G を投入した際に V2G が果たす役割について論じた [10]。太田らは EV を家庭の電力網に接続することで、再生可能エネルギーのような不安定な電源の補助として活用できることを検証した [11]。Udawatta らはマイクログリッド内の太陽光発電について、EV を用いることで効率的にエネルギーの受け渡しができることをシミュレーションにより示した [12]。また日産自動車が LEAF to Home [13] 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 [14]。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 [15]。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があり、これらに関しては官民が協力して解決すべき課題であるといえる [16,17]。

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 [18]。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 [19]。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 [20]。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 [21]。近年では、このような GPS や加速度センサを搭載したスマートフォンが身近なデバイスとなった。スマートフォンを自動車に搭載することで、自動車の走行ログを日常的に取得することが可能になった。八木はスマートフォンの加速度センサを用いて走行時の段差の検出を行う研究に加え、先の東日本大震災において発生した路面段差の調査を行った [22]。

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 [23]。

2.3 可視化と情報提示

近年、各自動車メーカーはテレマティクスサービスによってデータを収集し、様々な情報を提供している。トヨタ自動車を提供する T-Connect [25] は、月別、日別の平均燃費、エコ運転スコア、燃費ランキングといった情報を表示する。本田技研工業のインターナビ [26] でも同様のサービスを受けることができる。日産自動車のカーウイングスではリーフ専用のサービスとして、「みんなの消費電力」[27] の提供を行っている。これはカーウイングスデータセンターに蓄積されている走行データを統計処理し、出発地から目的地までの間に記録された消費電力量の最大値、最小値、平均値などを表示するサービスである。以上のように各社から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、運転者の興味に応じて任意の区間やルートごとの傾向を比較するような情報提示や運転者ごとにパーソナライズされた情報は提供されていない。一方で、運転者への情報提示は重要視されており、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 [28]。

2.4 本研究で解決すべき課題

2.2 節で述べたように、自動車の運動に関する日常のデータを取得することが可能になってきた。これらの大量のセンサデータを扱う情報システムでは、多くの場合、蓄積せずにデータ処理しながら捨てるストリーム処理の手段が主流である。しかし、運転の振り返りや多様な分析を後から行うために、これらのデータを保持しておくという考え方もある。近年では大容量のストレージが安価で手に入るようになったため、これらのデータをライフログとして保存しておくことが可能になった。このことから我々は、ライフログを用いて EV の問題点を解決することを提案してきた。具体的には、自動車の走行ログから EV における消費エネルギーを計算し、データベースに蓄積・検索を行うシステムを ECOLOG システム (Energy Consumption LOG) として運用してきた [3,4,29-33]。本研究ではこの ECOLOG システムを用い、大量に集められた走行ログから運転者が興味を持った任意の区間の傾向を定量的に評価し可視化することを目指す。2.3 節で述べたように既存の可視化システムでは運転者の興味に応じた情報提示は行われていない。しかしながら運転者の興味に基づいて任意の区間を設定し、その区間を通過するのに掛かった消費エネルギーや通過時間の傾向を示すことや、任意のルート間の傾向の比較を行うことは個人運転者にとって有用な情報提示となる。また大量に集められた走行ログを用いれば、運転において重要な要素である消費エネルギーと通過時間に基づく道路の特徴づけを行える。この特徴づけは交通の最適化を初め、様々な分野への応用が期待できる。よって本研究ではこれらの情報提示を行う可視化システムの実装を行う。

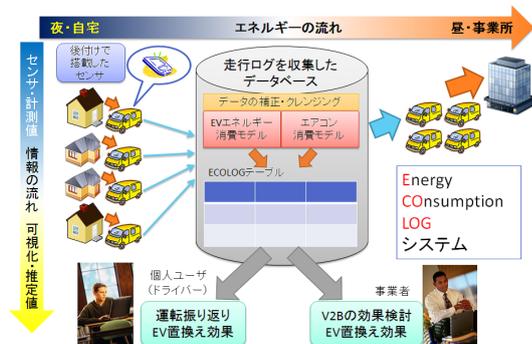


図1 ECOLOGシステムの全体像

| ECOLOG | |
|--------------|--|
| PK.FK5 PK | TRIP_ID JST |
| FK1 | DRIVER_SENSOR_ID |
| FK2 | CAR_ID LATITUDE LONGITUDE SPEED HEADING DISTANCE_DIFFERENCE TERRAIN_ALTITUDE TERRAIN_ALTITUDE_DIFFERENCE LONGITUDINAL_ACC LATERAL_ACC VERTICAL_ACC ENERGY_BY_AIR_RESISTANCE ENERGY_BY_ROLLING_RESISTANCE ENERGY_BY_CLIMBING_RESISTANCE ENERGY_BY_ACC_RESISTANCE CONVERT_LOSS REGENE_LOSS REGENE_ENERGY LOST_ENERGY EFFICIENCY CONSUMED_ELECTRIC_ENERGY |
| FK3 | MESH_ID |
| FK4 | LINK_ID SEMANTIC_LINK_ID |

主な属性の説明

※ すべて瞬時値(1秒区間値)

- トリップIDと日時(主キー)
- 緯度・経度(GPSで計測)
- 速度(GPS他から計測)
- 地点別標高差(地図から計測)
- 進行方向加速度
(加速度センサで計測・補正)
- 空気抵抗による損失
- 転がり抵抗による損失
- 登坂抵抗に対するエネルギー
(位置エネルギーとして回収可能)
- 加速抵抗に対するエネルギー
(運動エネルギーとして回収可能)
- 力行時のエネルギー変換損失
- 回生時のエネルギー変換損失
- 回生エネルギー
- エネルギー損失の総和
- モータの変換効率
- 電気エネルギー消費量の総和

図2 ECOLOGテーブル

3. ECOLOGSemanticViewer の設計

本章では本研究で提案する可視化システムの設計について述べる。提案する可視化システムは3.4節で述べるセマンティックリンクに着目した可視化システムであることから、ECOLOGSemanticViewer と名付けた。

3.1 ECOLOG システム全体の概要

本研究のシステムの全体像を図1に示す。自動車に搭載したスマートフォンのセンサデータを自動車運転ログとして収集し、データベースに蓄積する。データベース内ではセンサデータに対して補正を行い、消費エネルギーの推定が行われる。推定された消費エネルギーは1秒単位に正規化され、時刻や緯度経度等のデータとともに1つのテーブルに格納される(図2)。我々はこのテーブルの1レコードをECOLOG(EnergyCOConsumption LOG)と名付けた。システムの利用者はこのテーブルに対して検索を行うことで、高速にデータにアクセスする事が可能になる。

3.2 ECOLOGViewer と ECOLOGSemanticViewer

先行研究として、3.1節で述べたECOLOGテーブルの検索結果を利用者に提示する可視化システム、ECOLOGViewerを運用してきた[29]。ECOLOGViewerは、個人運転者向けに1回の運転(以降、トリップと呼ぶ)の詳細な振り返りを行う機能や、事業者向けとしてV2G可能なEVの余剰電力量を1日ごとにまとめたカレンダー表示機能を持つ。このようにECOLOGViewerは個人運転者向け可視化機能と事業者向け可視化機能の両方を持つ総合的な可視化システムであるのに対し、ECOLOGSemanticViewerは個人運転者向け可視化



図3 定義したセマンティックリンクの例

機能に特化した可視化システムであり、ECOLOGViewerにない新たな個人運転者向け可視化を行う。そのため両可視化システムは相互に機能を補完し合う関係である。本来であればECOLOGViewerの機能を拡張する形で新たな可視化機能を実装するべきだが、実装上の都合により新たな可視化システムとして実装を行った。2つの可視化システムの統合は今後の課題である。

3.3 運転の重要点と運転者の知見

個人運転者が重要視する運転の要素として運転時間・消費エネルギー・安全性・快適さが考えられる。安全や快適さは重要な要素であるが本研究では分析の対象外とし、運転時間と消費エネルギーに着目する。運転時間は、時間通りに目的地に到着することや、時間を無駄に消費することなく目的地に到着するといった観点で重要になる。同様に消費エネルギーは、できるだけ小さい消費エネルギーで燃費の良い運転をするといった点で重要になる。これら運転時間と消費エネルギーについて、運転者は日々の運転経験からいくつかの知見を持っている。例えば、渋滞の発生しやすい道路やその時間帯、燃費の悪そうな道路といった知見が挙げられる。また運転者はこの知見に基づき、交通状況によって走行するルートを選択する場合もある。しかしこれらの知見が実際に正しいかは分からず、運転改善の正しい判断基準になり得ていない。そのため道路の傾向や優劣を定量的に評価し、運転者の知見を明示化することが重要になる。

3.4 セマンティックリンク

3.3節で述べた運転者の知見を定量評価し明示化するために、集約区間を定義する必要がある。集約時間として次に示す3レベルを考える。

- (1) 運転区間全域(トリップ)
- (2) 「興味のある適切な」有意な区間
- (3) 道路地図上での交差点間(道路リンク [34])

(1) 運転区間全域は、1度のトリップ全体をマクロに集計する。この集計方法によってV2Xによるエネルギー移動がどの程度期待できるのかを定量的に示すことができるため有用であ

る。その一方で、トリップ全体が長距離に及んだり、トリップに色々な特徴の道路が含まれていると、部分区間ごとの局所的な特徴を知ることはできない。一方(3)道路リンクの単位で集計することを考える。道路リンクとは国土交通省が公開している道路の物理的切れ目(交差点ごと)を端点とした微小区間を単位とする[34]。図3に道路リンクの例を示す。道路リンクは交差点を単位としているため運転者の感覚的な道路区間とマッチしないことがしばしば起こる。多くの場合、道路リンクは細かすぎて運転者にとって意味を持たない。そこで(1)と(3)の間として運転者にとって「有意な」区間を導入する。すなわち、運転者にとって意味のある道路の集約単位としてセマンティックリンクという単位を定義する。セマンティックリンクは複数の道路リンクの集合である。図3は道路上に存在するサグ部^(注1)を1つのセマンティックリンクとしたものである。このセマンティックリンクは13個の道路リンクの集合であり、これを集約の単位とすることでこのサグ部に関する情報を示すことが可能となる。セマンティックリンクの意味は、大きなものでは高速道・一般道といった道路区分や、小さいものでは人通りの有無など様々なものが考えられる。詳細な意味に基づいたセマンティックリンクを自動生成することは困難な問題であるため、本研究では高速道路区間や運転者が興味を示している区間等を元に手動で作成を行った。またセマンティックリンクの分割次第で集約結果は大きく変わるため、アプリケーションごとに適切なセマンティックリンクの分割方法があると考えられる。本研究では運転者が興味を持った区間の情報提示を行うことを目標とし、他のアプリケーションへの応用は今後の課題とする。

3.5 集約データの可視化手法

セマンティックリンクごとの情報提示を行うにあたり、可視化手法として2つの集約モデルを提案する。

Histogram モデル

セマンティックリンクごとの傾向の比較に用いるのがHistogramモデルである。Histogramモデルは3.3節で述べたように運転時間と消費エネルギーに着目し、それぞれの傾向をヒストグラムによって可視化する。セマンティックリンクごとに、そのセマンティックリンクを通過するのに掛かった時間とエネルギー消費量をトリップ単位で集計を行い、過去トリップ全体の傾向を頻度分布として表現する。一般に運転は交通状況に大きく依存するため2つのセマンティックリンクを比較するのに1回のトリップを用いるとそのときの交通状況が強く影響してしまうが、頻度分布を用い比較することで運転時間、消費エネルギーそれぞれについて過去トリップ全体の傾向として比較が可能になる。これによりセマンティックリンク間の傾向の差や優劣の比較に役立つ可視化が可能になる。

HeatMap モデル

セマンティックリンクごとの運転時間と消費エネルギーにおける道路の特徴を可視化するのがHeatMapモデルである。

(注1): サグとは下り坂と登り坂がひと続きになった区間である。一般的に速度制御が難しいため、渋滞の原因になったり、燃費の優劣が顕著に現れることが多い。

HeatMapモデルはセマンティックリンクを通過するのに掛かった時間と消費エネルギーをそれぞれ階級分けし、2つのヒストグラムのマトリクスをヒートマップで表現する。これにより運転時間と消費エネルギーの関係を直観的に把握することができる。

3.6 ECOLOGSemanticViewer の設計

ECOLOGSemanticViewerの設計については、以下の設計方針に従って行った。

定量的な評価

3.2節で述べた運転者の知見において、運転者の知見が実際に正しいのかを明示化することが重要になる。ECOLOGSemanticViewerでは毎日収集した運転ログを用い、セマンティックリンクごとの傾向を定量的に評価し可視化することで、運転者の感覚をデータで示し運転改善に役立てることができるようにした。

セマンティックリンクごとの比較

セマンティックリンクごとの情報提示において、システム利用者がセマンティックリンク間の傾向を比較できることは重要である。特に運転者がルート選択を行っている区間においては、可視化システムが各ルートの優劣を定量的に評価・提示できることが望ましい。そこでECOLOGSemanticViewerでは任意の組み合わせのセマンティックリンクをHistogramモデルを用いて比較することで、利用者はセマンティックリンク間の違いや優劣を確認できるようにした。

簡易な操作

ECOLOGSemanticViewerは広く一般的な個人運転者をシステムの利用者としている。そのため利用者に特別な知識を要求することなく情報を提示することが求められる。そこでECOLOGSemanticViewerではあらかじめ有用な定型クエリを用意しておくことで、利用者はセマンティックリンクを選択するだけで各セマンティックリンクの詳細な情報を閲覧できたり、セマンティックリンクを比較できるようにした。

道路特徴の可視化

個人の大量の走行ログを用いたセマンティックリンクごとの集約結果はそのセマンティックリンクの地形や交通状況を反映した結果となっていると考えられる。このことからECOLOGSemanticViewerは個人の走行ログを用い、道路特徴をHeatMapモデルによって可視化する。

4. ECOLOGSemanticViewer の実装

本章では、ECOLOGSemanticViewerの各画面について説明する。

4.1 一覧表示画面

この画面では任意に選択したセマンティックリンクの組の大きな傾向を比較できる。比較方法として次の2種類を用意した。

- エネルギー損失による比較(図4)
- 運転時間による比較(図5)

システムの利用者は特に注目したいセマンティックリンクを選択し、セマンティックリンク詳細画面(図6, 7, 8)にて詳細

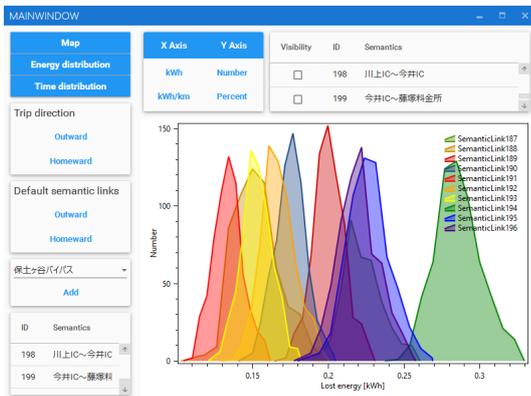


図 4 一覧表示画面：エネルギー損失

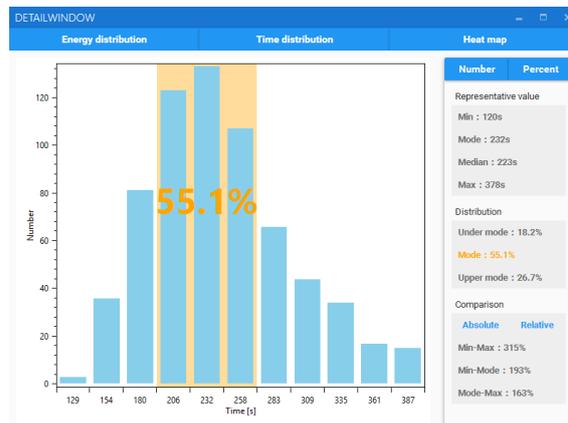


図 6 セマンティックリンク詳細画面：運転時間

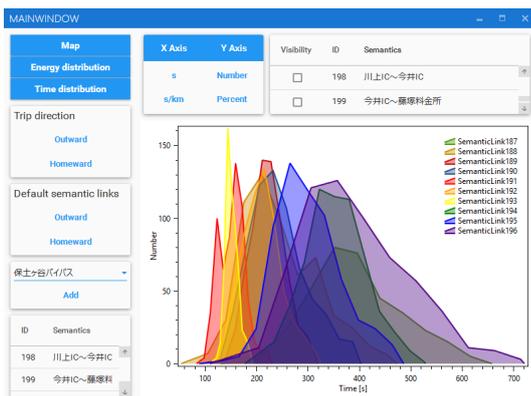


図 5 一覧表示画面：運転時間

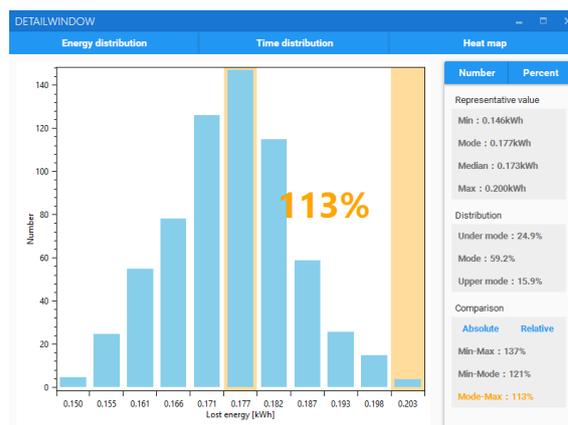


図 7 セマンティックリンク詳細画面：消費エネルギー

な情報を閲覧できる。またセマンティックリンク比較画面 (図 9, 10) にて比較を行える。

4.2 セマンティックリンク詳細画面

各セマンティックリンクの詳細を表示する画面を図 6, 7, 8 に示す。この画面では一覧表示画面で選択したセマンティックリンクの詳細な情報を閲覧することができる。提示する情報として、以下の 3 種類を用意した。

- 運転時間の頻度分布 (図 6)
- エネルギー損失の頻度分布 (図 7)
- HeatMap モデルを用いたヒートマップ (図 8)

これらの画面でシステム利用者は各セマンティックリンクにおける過去のトリップ全体の傾向を頻度分布として確認できる。

4.3 セマンティックリンク比較画面

セマンティックリンク比較する画面を図 10, 9 に示す。この画面では一覧表示画面で選択したセマンティックリンクの比較を閲覧することができる。比較する情報として以下の 2 種類を用意した。

- 運転時間による比較 (図 9)
- エネルギー損失による比較 (図 10)

それぞれの比較は Histogram モデルを用いて可視化を行う。システム利用者は比較を行うそれぞれのセマンティックリンクにおける過去トリップ全体の傾向を頻度分布として比較できる。

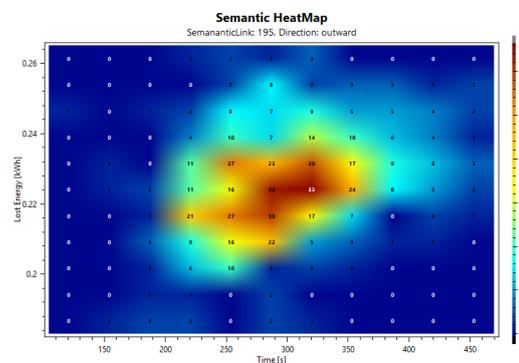


図 8 順相関な道路

5. 可視化の実例

本章では ECOLOGSemanticViewer を用いて得られた可視化例について説明する。集計対象を表 1 に示す。2012 年 7 月から 2015 年 12 月までの 3 年半の期間で取得した 1,686 本のトリップ、約 500 万の ECOLOG レコードを集計対象とした。

5.1 渋滞の多い区間

図 6 は渋滞が多いセマンティックリンクにおける、その区間の運転時間の頻度分布を表したものである。頻度分布における最小値は 120 秒であり、最大値は 378 秒である。またモード付近は 200 秒から 275 秒となっている。分布を全データに対する

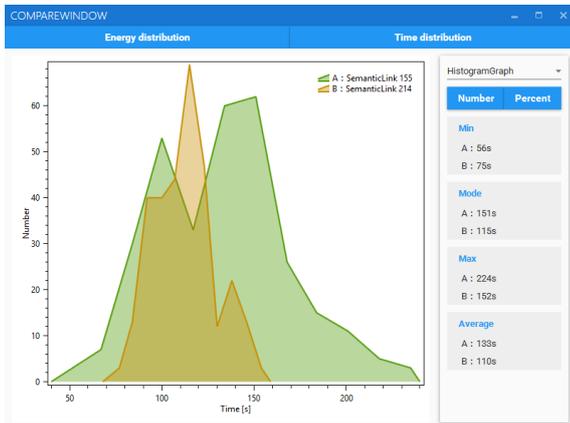


図 9 セマンティックリンク比較画面：運転時間

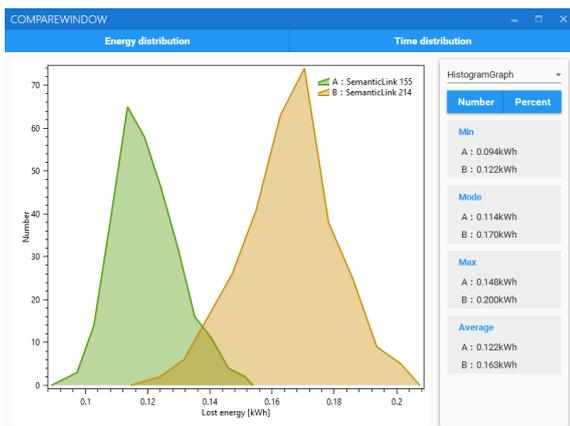


図 10 セマンティックリンク比較画面：エネルギー損失

相対頻度割合で比較すると、モード付近が55%、モードより小さい部分が16%、モードより大きい部分が26%となっている。このことから、全トリップの3/4程度は260秒以内にこの区間を通過できることが分かる。またモード付近と最大値を比べると差は120秒程度であり、最も通過に時間が掛かった場合でも2分程度の差で収まることが分かる。このことから、次のことが示されたことになる。

- (1) どれだけ急いでも通過に2分は掛かるため、前もってその時間を確保すべきである。
- (2) 渋滞した場合でもさらに2分待てば通過できるので気にすべきではない。

次に、図7は同セマンティックリンクにおける、その区間を走行するのに必要なエネルギー損失の頻度分布を表したものである。モード付近は0.17kWhから0.18kWhとなっている。またモード付近と最大値を比べると差は相対値で13%となっている。このことからエネルギー損失の面ではトリップによってそれほど大きな差は生じていないことが分かる。以上のことからこのセマンティックリンクでは運転時間に差がみえるが、エネルギー損失には差がないと言える。

このようにセマンティックリンクの傾向を頻度分布と定量的な値によって可視化した。これにより運転者が体感として持っていた知見を定量的に評価したことになり、運転者の心理的負担を軽減することに繋がる。また具体的な数値やグラフ領域の

表 1 集計対象

| | |
|-------|-------------------------|
| 集計期間 | 2012/07/09 - 2015/12/18 |
| 被験者 | 1名 |
| 被験車両 | ICV, EV |
| センサ | REGZA Tablet AT570 |
| レコード数 | 5,015,079 |
| トリップ数 | 1,686 |



図 11 ルート選択

表 2 ルート詳細

| | 区間長 | 勾配 | 信号数 | 道路区分 |
|-------|---------|------------|-----|-----------|
| A ルート | 約 1.0km | 平坦 | 2 | 生活道路 (市道) |
| B ルート | 約 1.2km | 緩やかなアップダウン | 3 | 幹線道路 (県道) |

ハイライトを伴う直観的な情報提示を行うことで、運転者に理解しやすいものとなる。

5.2 ルート選択を行っている区間

同一の始点・終点の組に対して、途中の経由地が異なるようなルートが存在する場合がある。たとえば、被験者は図11に示す2種類のルートのいずれかを通過していた。これらのルート選択に対して、2つのルートの定量比較を行った。ルートの詳細を表2に示す。

まずルートごとの通過時間の頻度分布を図9に示す。Aルートは二山の分布を示しており、通過時間に幅がある。これは信号による停止の影響であることが確認された。対してBルートはモードを100秒から120秒にもつ一山の分布を表している。これらのことからBルートのほうが通過時間が安定しており、かつ短い傾向であることが分かる。

次にルートごとのエネルギー損失の頻度分布を図10に示す。両分布は一山の分布を示しており、Bルートに比べAルートのほうがエネルギー損失が小さい傾向にあることが分かる。これは区間長が短いことと、加減速に伴うエネルギー損失が小さいことが考えられる。これらのことからAルート、Bルートともにエネルギー損失の傾向は安定しており、Aルートのほうがエネルギー損失が小さい傾向であることが分かる。

以上の比較から、ルートごとの消費エネルギーと運転時間を定量的に示したことになり、この結果は運転者のルート選択の判断の材料になり得る。

5.3 道路の特徴づけ

4.2節で述べたヒートマップはエネルギー損失と通過時間の関係を表しており、道路の特徴を分類することに役立つ。各セマンティックリンクにおけるヒートマップを分類したところ以

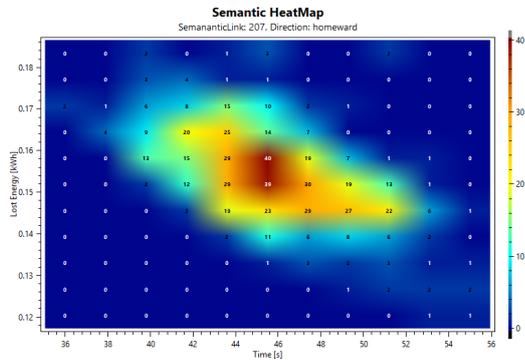


図 12 逆相関な道路

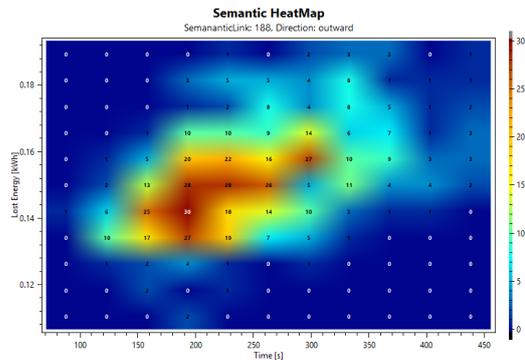


図 14 二山分布な道路

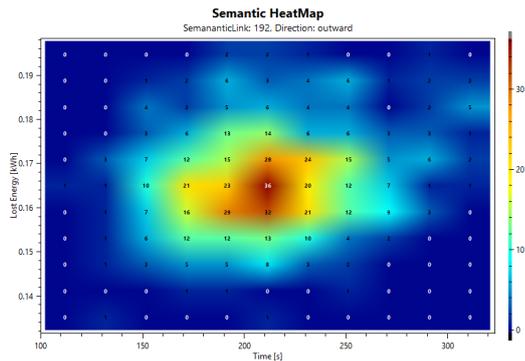


図 13 中心広範な道路

下の 5 つの分類が行えた。

- 順相関な道路 (図 8)
- 逆相関な道路 (図 12)
- 中心広範な道路 (図 13)
- 二山分布な道路 (図 14)

それぞれの傾向について説明する。

順相関な道路

エネルギー損失と経過時間が正の相関を持つ道路である (図 8)。この道路は信号や渋滞で停止と発進を繰り返すことでエネルギー損失が生じ、エネルギー損失と通過時間が相関を持って増加していくことが特徴である。主に信号での停止が多かったり、渋滞が起りやすい一般道がこの道路に該当する。逆相関の道路と違いエネルギー損失と通過時間はトレードオフの関係ではないので、エネルギーと時間の両立を計る運転が有効な区間である。

逆相関な道路

エネルギー損失と経過時間が負の相関を持つ道路である (図 12)。この道路は速度が大きいくことで空気抵抗が増し、エネルギー損失が大きくなることが特徴である。主に高速道路がこの道路に該当する。エネルギー損失と通過時間はトレードオフの関係にある。

中心広範な道路

エネルギー損失と経過時間があまり相関を示さず、頻度分布のモードを中心に広がりを持つ道路である (図 13)。この道路は様々な交通状況が含まれていることを示唆しており、個々の分析が必要である。

二山分布な道路

特徴的な二山の分布を持つ道路である (図 14)。この道路は交通状況を大きく分けて二分できることを示唆している。実際に図 14 のセマンティックリンクでは、区間内のある信号を通過できたか否かでエネルギー損失に違いが生じることが分かった。この場合、該当する信号でのブレーキングに注意することで運転改善が見込まれる。

6. まとめ

本稿では、ECOLOG データベースに蓄積した運転ログを可視化するシステムの実装について述べた。更に、大量に蓄積された運転ログに対して、運転者の知見に基づくセマンティックリンクを 1 つの集約単位とすることで、セマンティックリンクの定量評価や比較が可能になり運転者にとって有用な情報になることを示した。今後は可視化を行う集約単位や検索条件を増やし、より有益な情報を示すことを目指す。また、本稿で得られた有用な情報を幅広い分野へ活かすことを目指す。

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 2015, <http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2015pdf/>
- [2] 廣田 幸嗣, 小笠原 悟司編著, 船渡 寛人, 三原 輝儀, 出口 欣高, 初田 匡之 著, “電気自動車工学”, 森北出版, 2010.
- [3] T. Tomii, S. Hagimoto, N. Fueda, T. Deguchi, M. Idenawa, T. Hayashi “Long-Term Experiment of the ECOLOG Database Capability of Estimating V2X Effect Replacing with EVs”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [4] 萩本 真太郎, 出縄 誠, 林 拓也, 讃井 峻, 富井 尚志, 本藤 祐樹, “車載センサを用いた EV エネルギー消費ログ DB の長期運用と精度評価”, 第 6 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2014), A2-5, 2014.
- [5] 日産 LEAFWeb カタログ, <http://ev.nissan.co.jp/LEAF/>, 参照 Jan 6, 2016
- [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] Lanka Udawatta, Udaya K. Madawala, Dharsgana Muthumuni, Mahinda Vilathgamuwa, “Control of Solar Powered Micro-grids Using Electric Vehicles”, IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies (IC-SET 2012), pp.270-275, 2012
- [13] 日産 LEAF to Home, <http://ev.nissan.co.jp/LEAFTOHOME/>, 参照 Jan 6, 2016
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 経済産業省, “EV・PHV タウンベストプラクティス集”, http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evphv/town/state/best_practice.html, 参照 Jan 6, 2015
- [17] 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
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] M. Ito, T. Shimoda, K. Maema, “Prediction Method of Cruising Range using Probe Data for Electric Vehicle”, 20th ITS World Congress, Tokyo, 2013.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] H.Farhangi, “The path of the smart grid”, IEEE Power Energy Mag., vol.8, no.1, pp.18-28, Jan-Feb, 2010.
- [25] トヨタ自動車. T-Connect. <http://tconnect.jp/>, 参照 Jan 6, 2016.
- [26] 本田技研工業. インターナビ. <http://www.honda.co.jp/internavi/>, 参照 Jan 6, 2016.
- [27] 日産自動車. みんなの消費電力. <http://n-link.nissan.co.jp/MANUAL/EV/HOWTOUSE/MYPAGE01/energyusage.html>, 参照 Ja 6, 2016
- [28] 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 Vol.48, No.11, pp.754-763, 2012
- [29] 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, pp127-132, 2013.
- [30] 出口 達, 出縄 誠, 富井 尚志, “電気自動車の運転ログを用いた多様な状況提示システムの実装と評価”, 第 11 回 ITS シンポジウム 2012, 2-C-01, 2012
- [31] 笛田 尚希, 萩本 真太郎, 林 拓也, 讚井 峻, 富井 尚志, “車載センサを用いた EV エネルギー消費ログ DB のモデル構築と V2X 効果推定”, 第 5 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2013), E2-1, 2013.
- [32] 讚井 峻, 萩本 真太郎, 富井 尚志, “EV エネルギー消費ログ DB における気象状況に基づく冬期エアコン消費電力量の推定と検証”, 第 12 回 ITS シンポジウム 2014, 2-2C-01, 2014.
- [33] 讚井 峻, 吉本 亘汰, 柏原 勇太, 川沼 大輝, 萩本 真太郎, 富井 尚志, “車載センサを用いた EV エネルギー消費ログ DB の精度検証”, 第 7 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム (DEIM2015), C3-5, 2015.
- [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 Jan 06, 2016.