

研 究 報 告 書

「都市内の人々の活動・交通行動と施設集積メカニズムの解析技術開発」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2015 年 10 月 ～ 2018 年 7 月

研 究 者: 原 祐輔

1. 研究のねらい

人口減少・少子高齢化が進む日本において、将来の都市計画・交通計画を立案するための人々の活動・交通行動分析は必要不可欠である。そのデータ収集のために、伝統的にはパーソントリップ調査などの社会調査が実施されてきたが、被験者の手間、膨大な費用、特定の 1 日の行動調査しか行えないなどの問題があった。しかし、現在は GPS 移動軌跡データを用いた行動調査や GPS 移動軌跡データを用いた交通状態モニタリングは一般的なツールとなっており、これらをもとに詳細な人の交通行動の観測やリアルタイムな交通状態の観測が実現可能となっている。一方で、このような GPS 移動軌跡データは個人の行動履歴を包み隠さず明らかにしてしまうというプライバシーの問題が存在し、これらのデータ収集・解析については議論がある。

また、計画論の観点では、日常的な行動もさることながら、災害時等の発生頻度の低いレア事象時における人の行動を理解・予測したいという要望が存在する。このような場合において、これまで重要視されてきたのは、交通サービス変数と社会経済属性（年齢、性別、職業等）である。しかし、社会経済属性が行動に与える影響・メカニズムの分析はなされることが少なく、また、働き方・暮らし方の多様化することによって、固定化された社会経済属性の分類と現代的な生活スタイルとの乖離が大きくなっているという問題が存在した。そのため、各個人の行動習慣や選好をより適切に表現方法が求められている。

本研究では、このようなプライバシーを含む GPS 移動軌跡データを各個人が自ら分析可能とする GPS 軌跡解析器の開発と、各個人が第三者に共有可能なデータフォーマットの提案、そして、そのデータフォーマットが従来の社会経済属性と比べて、十分な情報量を有しており、非日常時の行動予測に利用可能であることを実証的に示す。これにより、個人のプライバシー、長期的に交通行動データ観測可能なプラットフォーム、計画立案に寄与するデータの質を将来的に担保することを目指す。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究課題における成果は主に次の 3 つの研究テーマに分けられる。

A) GPS 軌跡解析器の開発

B) 行動スタイルデータの提案と安定性評価

C) 行動スタイルデータを用いた非日常行動予測

以下に詳細を記す。

(2) 詳細

研究テーマ A「GPS 軌跡解析器の開発」

人々の GPS 移動軌跡データを収集する企業は多いが、プライバシーの問題のために、道路リンク単位の集計（渋滞情報、所要時間提供）やメッシュ単位の集計（混雑情報、ヒートマップ）として提供されることが多い。これらは空間モニタリングとしては有用である一方、都市計画用途のための個人単位の分析が困難である。一方で、現在、多くの個人はスマートフォン等の移動収集センサーを有しており、自ら収集して解析できる時代となっている。そのため、テクノロジーの民主化を進めるために、各個人が自身の GPS 移動軌跡データを解析可能なツールとして、GPS Trajectory Analyzer: Catsudon を開発した。

本ツールは OpenStreetMap をベースにした日本全国の道路情報を内部に有しており、時刻、緯度、経度の 3 つで構成される GPS 時系列データを入力とすることで、自動的に移動・滞在判別、経路特定、活動場所特定、活動内容特定を行い、結果を出力するツールである。結果は構造化された社会調査である既存のトリップ単位データと同じフォーマットであり、人間が解釈しやすいデータとなっている。このようなツールは、各個人が自身の行動ログを分析・可視化するための small data 分析用途に用いることが可能であり、またビッグデータの前処理ツールとして利用することも可能である。このツールは誰でも利用可能なオープンソースとして、github 上で公開している。

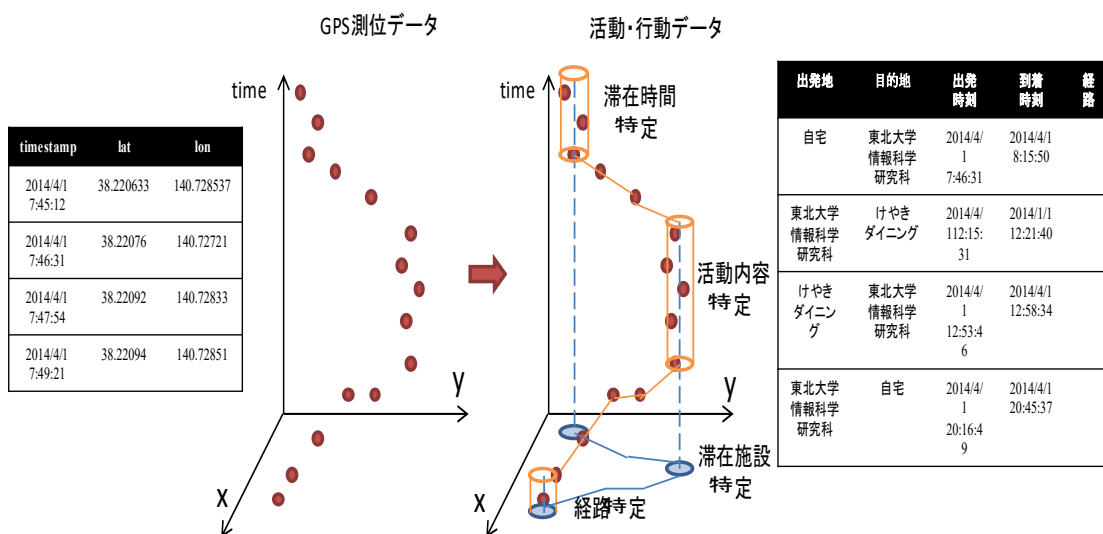


図: GPS 軌跡解析器 Catsudon の一例

研究テーマ B「行動スタイルデータの提案と安定性評価」

上述のツールでは、活動場所特定や活動内容特定を行うことができるため、個人がある時間帯にどのような活動場所に滞在しているかを集計的に表現することが可能である。長期間のある個人の行動データを上述のツールを用いて処理し、時刻別の活動内容の確率分布として、一個人を表現するデータフォーマットを本研究では行動スタイルデータと名付けた。具体的には移動、自宅、職場、買い物施設などの 15 種類の活動を 5 分単位で確率分布として表現している。個人の行動履歴をこのように情報圧縮することで、空間情報や正確な時間情

報を捨象する一方で、各個人の行動特性のみを抽出することを目的としている。

このような行動スタイルデータの特性を検証するために、東京都市圏で 600 名、3 ヶ月の GPS 行動調査を実施し、これらの実証データをもとに行動スタイルデータの有用性の検証を行った。その結果、行動スタイルデータは各個人の従来の社会経済属性(性別、年代、職業)を高い精度で予測できた。加えて、3 ヶ月の調査期間を前後 1.5 ヶ月ごとに分割し、前期・後期の各個人の行動スタイルデータ間の距離(KL divergence)を用いてマッチングしたところ、8 割以上の個人が同一個人として高い確率で識別可能であることを示した。この結果は行動スタイルデータの次の 3 つの性質を表している。(1)行動スタイルデータは空間情報や時間情報を捨象しているため、個人にとってプライバシーが保護される、(2)行動スタイルデータは社会経済属性を包含する情報量を有している、(3)行動スタイルデータは(3 ヶ月という期間の中で)中期的に安定的である。

研究テーマ C「行動スタイルデータを用いた非日常行動予測」

本研究課題の大きなねらいの一つに、めったに発生しない災害時やイベント時といった非日常時の行動予測がある。既往研究でも示されているように、人々の日常時の行動履歴を収集すれば、人々の日常時の行動を高い精度で予測することが可能である。これは人々の日常行動に強い習慣性が存在することに起因する。一方で、非日常時の行動は習慣性として直接現れるものではないため、予測が困難である。本研究テーマでは、日常時の行動履歴そのものから、非日常時の行動を予測可能であるかどうかを検討する。

具体的には、日常時の行動履歴は上述の個人別の行動スタイルデータを用い、非日常時の行動として、年末年始の長距離トリップの有無に着目した。600 名のサンプルを訓練データとテストデータに分割した上で、行動スタイルデータを特徴量として、長距離トリップの有無を予測するモデルを畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いて構築した。また、行動スタイルデータとの比較のために、従来の社会経済属性(性別、年齢、職業)を用いたモデルも同様に構築した。結果として、テストデータによる交差検証時の予測精度は、従来の社会経済属性では 0.55 とほぼ予測できないのに対し、行動スタイルデータでは 0.75 と高い精度で、日常時の行動スタイルから非日常時の行動を予測可能であることが示された。これは、日常時の行動履歴の中に各個人の選好やライフスタイルといった固有の特徴が含まれており、その微小な差異によって、非日常時の行動が予測可能であると考えられる。ここから、個人を単純にラベリングしてしまう従来の社会経済属性よりも、行動スタイルそのものを、個人表現の指標として用いる方が、有用であるという結果が示された。

3. 今後の展開

本研究の成果を整理した上で、今後の展開を述べる。まず、GPS 軌跡解析器の開発によって、研究者や実務者のみならず、一般の人々が自分自身の GPS 軌跡ログを解析し、可視化できるようになった。その際に、空間的・時間的プライバシーが保護された行動スタイルデータを出力し、個人は選択的にそのデータを提出するか否かを決定することができる。このデータは中期的に安定しており、個人を表現するのに十分な情報を有しており、かつ、非日常時のデータと組み合わせることで、予測モデルを構築することも可能であることが示された。

以上を鑑みると、各個人がそれぞれ自身の行動軌跡をロギングし続け、都市計画的に重要な課題、たとえば災害時や新規路線の建設といった事象の発生時に、これまでの行動スタイルと直後の行動をセットで解析することで、これまで分析が難しかった非日常時の行動の理解や政策評価、また長期的なライフスタイルの変化が都市内の活動・交通行動に与える影響を分析することが可能である。このような行動スタイルを中心に据えた交通行動分析の方法論を構築したいと考えている。

4. 自己評価

研究当初の目的である GPS 軌跡解析器の開発は概ね達成した。また、東京都市圏を対象とした GPS 行動調査およびそれらのデータを用いた解析についても、本研究の仮説通りの結果を実証し、GPS 軌跡解析器の有効性を示した。また、これらの出力結果である匿名化された行動スタイルデータが人々の日常・非日常を問わず、予測に有用であることや個人属性特定に有用であることを示し、新たなデータ収集・解析手法を提案することができた。このようなデータ解析手法は、今後ますます重要となるプライバシーの問題を解決するとともに、災害時や特定イベント時といった非日常行動予測に有用であり、新たな社会調査手法・解析手法として様々な社会的問題の解決につながると考えられる。海外研究機関への異動のために、最終年度に本研究課題をあまり進めることができなかったことが心残りであるが、今後も引き続き本研究テーマを深めていきたいと考えている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Yusuke Hara, Behavioral mechanism design for transportation services: Laboratory experiments and preference elicitation cost, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.115, pp.231-245, doi:10.1016/j.trb.2018.07.008 (Sep. 2018)
2. Yusuke Hara, Junpei Suzuki, Masao Kuwahara, Network-wide Traffic State Estimation using a Mixture Gaussian Graphical Model and Graphical Lasso, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.86, pp.622-638, doi:10.1016/j.trc.2017.12.007 (Jan. 2018)
3. Yusuke Hara, Eiji Hato, A car sharing auction with temporal-spatial OD connection conditions, Transportation Research Part B: Methodological, Vol.117, pp.723-739, doi:10.1016/j.trb.2017.08.025 (Nov. 2018)
4. Yusuke Hara, Eiji Hato, Analysis of dynamic decision-making in a bicycle-sharing auction using a dynamic discrete choice model, Transportation, article in press, doi: 10.1007/s11116-017-9795-x (Jul. 2017)
5. 末木祐多, 原祐輔, 佐々木邦明, 澤田茜, 有働友哉, 定常的交通行動に着目した個人表現に基づく休日の買い物目的地選択モデルと来訪要因分析, 都市計画論文集, Vol.53, No.3, pp.1327-1334 (2018 年 10 月)

(2)特許出願

研究期間累積件数:0 件

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. 原祐輔, GPS 軌跡解析器の開発と長期観測データを用いた新たな個人属性の提案, 土木計画学研究・講演集, Vol.55, CD-ROM, 2017.
2. 稲垣和哉, 原祐輔, 桑原雅夫, 店舗の空間的・業種的共起関係に基づいた中心市街地の潜在構造分析, 土木学会論文集 D3, Vol.72, p.L473-L485, 2016.
3. 原祐輔, 人の動きから、まちを眺めよう ―移動の記録が教えてくれるもの―, 日本科学未来館サイエンティスト・クエスト, 日本科学未来館 (2016 年 10 月).
4. Yosuke Kawasaki, Masao Kuwahara, Yusuke Hara, Takuma Mitani, Atsushi Takenouchi, Takamasa Iryo, Junji Urata, Investigation of Traffic and Evacuation Aspects at Kumamoto Earthquake and the Future Issues, Journal of Disaster Research, Vol.12, No.2, pp.272-286 doi:10.20965/jdr.2017.p0272 (Mar. 2017)
5. Yet Another GPS Trajectory Analyzer: Catsudon, <https://github.com/harapon/catsudon> (Feb. 2017)

以上