GPS データを用いた滞在抽出による駅周辺回遊行動の定量化とその課題

中山俊*・金森貴洋・厳網林*****

Quantification of Pedestrian Wandering Behavior around Stations through Stay Point Extraction from GPS Data and Its Challenges

Shun Nakayama*, Takahiro Kanamori**, Wanglin Yan***

Abstract: This study developed a methodology for quantifying pedestrian wandering behavior around stations by automatically extracting stay points from GPS data. We constructed a stay detection method combining DBSCAN spatial clustering algorithms with temporal continuity constraints and conducted analysis targeting 18 stations along the Chuo Line. Using intra-area complete trips as indicators, we confirmed an exponential relationship with station passenger numbers (R^2=0.83) and a linear relationship with unique users (R^2=0.98). Hachioji Station showed effects of multiple transportation nodes, while Toyoda and Kichijoji stations exhibited wandering promotion effects from dispersed commercial facilities. However, methodology validation faces technical and practical constraints, requiring future development of comprehensive validation frameworks combining multiple approaches.

Keywords: 回遊行動（Wandering behavior），GPS データ（GPS data）、滞在判定（Stay point detection）、ウォーカビリティ（Walkability）

１．はじめに

我が国では人口減少社会への突入と共に、持続可能な都市構造への転換が急務となっている。東京都はコンパクトシティへの転換に向けて「集約型の地域構造への再編に向けた指針」を発表し、駅周辺の建築ボリュームを諸制度の活用によって緩和することで、機能的で賑わいのある拠点形成と歩いて暮らすことができる街の実現を目指している。この政策は、建築ボリュームとその配置が人々の歩行行動や地域の賑わいに異なる影響を与えるという前提に立っており、どのような都市空間が効果的な人流動を生み出すか、科学的な解明が求められている。

人々の歩行行動や地域の賑わいを捉える指標の一つに歩行者の回遊行動があり、これを用いて容積率の規制緩和が与える影響を評価する試みがある(天谷ほか, 2024)。回遊行動は市街地評価やウォーカブルなまちづくりにおいて重視されているが(武田・有馬, 2010)、その捉え方は研究によって異なる。既往研究では、面的な流動量から捉える方法(西村ほか, 2018; 佐藤・円山 2015)、個人の最短距離でない移動から捉える方法(天谷ほか, 2024)、個人の滞在の連続から捉える方法(羽藤ほか, 2002)に大別される。近年、スマートフォンの GPS データが容易に入手可能となり、流動量や迂回行動に基づく分析は増加している。しかし、純粋に回遊という概念から想起される「滞在の連続」として回遊を捉える手法は、解析技術の制約により十分に実装されていない。

そこで本研究では、GPS データから個人の滞在地点を自動抽出し、滞在地点間の移動をトリップとして定義することで回遊行動を定量化する手法を開発する。この手法を用いて、駅周辺の回遊行動分析を実施し、駅ごとの回遊性能を比較評価する。従来のアンケート調査では把握困難であった詳細な回遊パターンを客観的に分析することで、どのような駅周辺の空間特性が歩行者の回遊を促進するかを明らかにする。本研究の成果により、駅周辺の都市空間における実際の人々の行動パターンを客観的に把握する手法が確立され、効果的な都市計画実現のための科学的根拠が提供される。特に各駅の回遊性能比較から得られる知見は、今後のウォーカブルなまちづくりの指針策定に重要な貢献をもたらすことが期待される。

２．手法

２.１　回遊の捉え方

本研究では、回遊行動を「個人が特定の地域内において複数の地点に連続的に滞在し、それらの滞在地点間を移動する一連の行動」として定義する。「滞在」とは個人が一定の場所に一定時間留まった状態を指し、「トリップ」とは滞在地点間の移動を指す。すなわち、滞在 A→移動→滞在 B→移動→滞在 C という一連の行動パターンにおいて、滞在 A から滞在 B への移動を 1 トリップ、滞在 B

*　正会員　　専修大学ネットワーク情報学部（Senshu University）、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
〒214-8580　神奈川県川崎市多摩区東三田 2-1-1　Tel：044-712-7772 または E-mail：shunnkym@isc.senshu-u.ac.jp
**　正会員　　株式会社パスコ（PASCO Corporation）
***　正会員　　慶應義塾大学環境情報学部（Keio University）

から滞在 C への移動を 1 トリップとして計数する。この概念化により、従来のアンケート調査では把握困難であった短時間の立ち寄りや複雑な移動パターンを含む、詳細な回遊行動の定量化が可能となる。つまり滞在の捉え方が肝要であり、以下に滞在の判定手法を解説する。

滞在判定の前に、データを前処理する。研究対象地域として任意の鉄道駅を選定し、各駅を中心とした半径 800m のバッファを設定する。800m は一般的な徒歩圏内として認識される範囲であり、「集約型の地域構造への再編に向けた指針」においても利用されていることもあって、駅利用者の行動範囲を適切に捉えることができる範囲として決定した。続いて、このバッファ内に対象日に訪問した人を抽出する。今回使用する人流データはジオテクノロジーズ社より取得したデータで、標準地域メッシュ単位で管理されているため、設定したバッファと重複する全てのメッシュを特定した。駅周辺 800m 圏内で記録されたすべてのユニークなユーザーID から、バッファ内に滞在歴のある個人を抽出した。その後、これらの個人について 1 日全体の移動データを収集した。

続いて、滞在を判定する。本研究で使用するデータには、プライバシー保護の観点から個人識別情報の秘匿処理が施されているエリアが含まれている。この秘匿処理は、自宅が含まれる標準 6 次メッシュに関して、実測の位置ではなく、この標準 6 次メッシュの重心点に置き換えられるというものである。そのため秘匿処理フラグ（isanonymous）が True のエリアについては、個人が自宅に滞在していたとみなし、最低 1 ポイント以上で滞在として認定する処理を実装した。一方、秘匿処理が施されていない通常の GPS データ（isanonymous が False）については、より詳細な空間クラスタリング手法を適用した。秘匿処理されていない GPS データに対しては、Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise（DBSCAN）アルゴリズムを適用して滞在判定を行った。DBSCAN のパラメータは、空間的閾値を 50 メートル、最小ポイント数を 3 ポイントに設定した。これらの値は、GPS の測位誤差と一般的な滞在行動の特性を考慮して決定した。

滞在判定において空間的な近接性だけでなく、時間的な連続性も重要な要素である。そのため、DBSCAN による空間クラスタリングを実行する前に、時系列順に並べられた GPS ポイントが時間的に連続していることを確認する処理を実装した。具体的には、ある時点を開始点として、そこから時間的・空間的に連続する一連のポイント群を抽出し、それらに対してクラスタリングを適用する手法を採用した。そして、時間的制約として、連続する位置情報ポイント群について最大 2 分間隔での記録を前提とし、1 つのクラスタ内のポイント数に 120 秒を乗じた値を最大許容時間として設定した。最大 2 分間隔としたのは、使用したジオテクノロジーズ株式会社の GPS データ Geo-People が基本的に 1 分間隔で取得されていることを踏まえた物である。この制約により、長時間にわたって断続的に記録されたポイントが 1 つの滞在として誤認されることを防いだ。

なお、1 人の個人について複数の滞在が時間的に重複する場合が発生するため、これらを適切に統合する処理を実装した。同一個人における時間的に重複する滞在については、開始時刻と終了時刻を比較し、重複が検出された場合は 1 つの連続した滞在として統合した。統合処理では、滞在期間を重複部分を含めて延長し、ポイント数を合算し、中心座標を各滞在のポイント数による重み付け平均として再計算した。単純な 2 つの滞在間の重複だけでなく、複数の滞在が連鎖的に重複する場合も考慮した処理を実装した。この処理では、統合可能な滞在がなくなるまで反復的に統合処理を実行し、最終的に同一個人の滞在時間に重複が生じないようにした。

２.２　指標の活用方法

本研究で開発した手法により抽出されたトリップについては、様々な特性を定量化することが可能である。トリップの空間的特性としては、起点や終点の空間分布やトリップの距離が挙げられる。時間的特性については、トリップの所要時間や、滞在時間が重要な指標となる。数量的特性としては、駅 800m 圏内などで発生したトリップ総数、1 人の個人が実行したトリップの数、1 人の個人による連続する滞在の数などが考えられる。このうち空間的特性や時間的特性は、回遊行動の質的評価において主要な指標となりうる。例えば滞在時間の長さは、その場所に対する個人の関心度や満足度を反映する可能性があり、トリップの距離は回遊範囲の広がりを示す指標として機能する。これに対し、数量的特性は回遊行動そのものを捉えるのに役立つ、基本的指標と言える。

本稿で回遊行動の発生量に着目し、数量的特性を捉える。具体的には、エリア内完結トリップの集計により、各駅について以下の指標を算出する。第 1 に、エリア内完結トリップの総数である。この値は、駅周辺における回遊行動の絶対的な発生量を示し、地域の活動性や賑わいの程度を表現する。第２に、一人当たりのエリア内完結トリップ数である。この値は、駅周辺を訪れた個人の平均的な回遊活動量を示し、空間の魅力度や多様性を反映する指標として機能する。また、この具体的な算出においては、エリア内完結トリップのユニークなユーザー数を母数にする考え方と、駅の乗降客数ないし乗車人員を母数にする考え方がある。

３．ケーススタディ

３.１　対象地域

本研究では、JR 中央線の中野駅以西から高尾駅までの

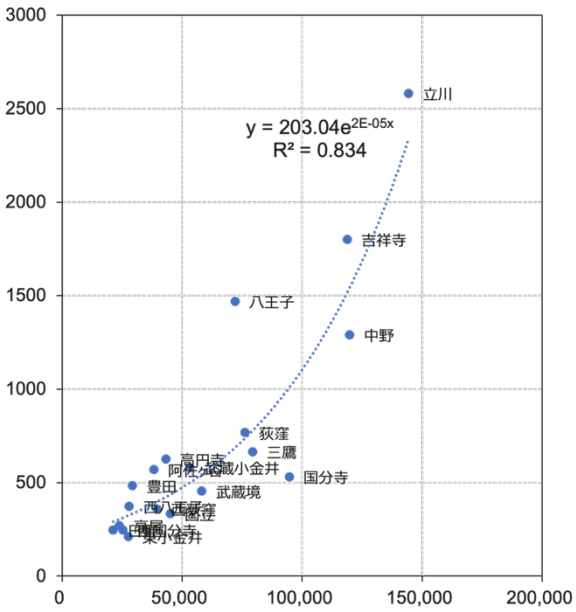


図 1　乗車人員数(横軸)とトリップ数(縦軸)

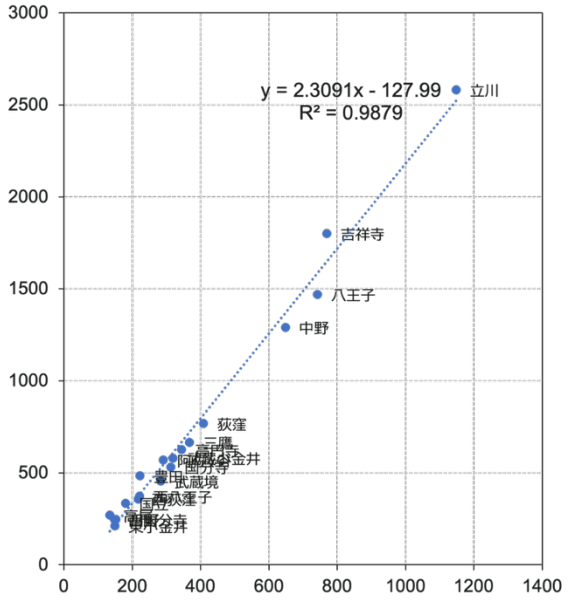


図 2　ユニークなユーザー数(横軸)とトリップ数(縦軸)

18 駅を対象地域として設定した。この対象地域の選定は、東京都の「集約型の地域構造への再編に向けた指針」で示されている地域構造の多様性を反映している。中野駅や吉祥寺駅のような都心近郊の商業地域から、立川駅や八王子駅のような郊外拠点、さらには豊田駅や高尾駅のような郊外住宅地域まで、異なる都市機能と空間特性を持つ駅が連続的に分布している。このような地域特性の違いは、駅周辺の回遊行動に与える影響を分析する上で理想的な条件である。また、中央線沿線は東京圏における代表的な放射状に伸びる鉄道路線の一つであり、本研究で得られる知見は東京の他路線や類似の都市構造を持つ地域への応用可能性を有している。

なお分析対象日として 2022 年 11 月 8 日（火曜日）を設定した。この日は国民の祝日等ではない一般的な平日であり、気象庁の記録によると東京地方は晴天で、11 月としては典型的な気候条件であった。

3.2　分析結果

中央線沿線 18 駅を対象とした分析の結果、エリア内完結トリップ数と駅の利用状況との間に明確な関係性が確認された。以下、2 つの異なる観点から結果を示す。

各駅の乗車人員とエリア内完結トリップ数の関係を分析した結果、両者の間には指数的な関係が認められた。図 1 に示した散布図における指数近似曲線の R^2値は 0.83 となり、強い相関関係を示している。この結果は、駅の利用者数が増加するにつれ、駅周辺での回遊行動が指数的に増加することを示唆している。この傾向は、駅周辺の商業集積や都市機能の密度が一定の水準に達すると、相互の相乗効果により回遊行動が促進されることを示している可能性がある。

一方、エリア内完結トリップを行ったユニークなユーザー数とエリア内完結トリップ総数の関係については、図 2 のように線形関係が確認された。線形近似の R^2値は 0.98 と極めて高い値を示し、両変数間の強い線形相関を表している。この線形関係から導かれる重要な知見は、ユニークユーザー数の少ないエリアほど 1 人当たりのトリップ数が少なく、ユニークユーザー数の多いエリアでは 1 人当たりのトリップ数が多くなる傾向である。この傾向は、駅周辺を訪れる人数が多い地域ほど、個人レベルでの回遊活動も活発になることを示している。つまり、人が多く集まる場所では、個人の行動選択肢や移動の動機が増加し、結果として 1 人当たりの回遊頻度も高まると考えられる。

4．議論

4.1　駅特性と回遊行動

前節で示した分析結果から、駅周辺における回遊行動の発生メカニズムと各駅の特性について重要な知見が得られた。図 1 と図 2 からは、駅利用者数がある水準を超えると、商業施設の集積や多様な都市機能の充実により、回遊行動を誘発する環境が急激に整備され、結果として回遊行動が加速度的に増加することが示唆された。

駅ごとの個別事象で特に注目すべきは、八王子駅におけるエリア内完結トリップ数の突出した多さである。この駅は乗車人員に対して近似曲線を大きく上回る回遊行動を示しており、この現象の要因として、駅周辺 800m 圏内に京王八王子駅が立地していることが挙げられる。2 つの異なる鉄道事業者の駅が近接して立地することで、より広範囲からの利用者の集積が生じ、また鉄道間の乗り換え需要により駅周辺での滞在時間が延長され、回遊行

動が促進されていると推測される。阿佐ヶ谷駅も同様の可能性がある。これらの結果は、交通結節点の近接配置が回遊行動に与える効果を実証的に示している。

また、図 1 及び 2 の両方で、豊田駅と吉祥寺駅が近似線を大きく上回る回遊行動を示している。これらの駅に共通する特徴は、駅からやや離れた徒歩圏内に大規模集客施設が立地していることである。豊田駅周辺にはイオンモール日の出などの大型商業施設があり、吉祥寺駅周辺には東急百貨店、ヨドバシカメラなどの多様な商業施設が点在している。また、吉祥寺駅周辺は商業施設だけでなく、井の頭公園という大規模な緑地空間も含まれており、商業・レクリエーション機能の複合的な配置が多様な回遊動機を創出していると推察される。

これらの結果から、効果的な回遊行動を創出する都市空間の条件として、単純な施設の密度だけでなく、施設の分散配置と機能的多様性が重要な要素であることが示唆された。特に、駅を中心とした 800m 圏内における複数の集客拠点の適切な配置が、歩行による回遊行動を効果的に誘発すると考えられる。

４.２　回遊の捉え方の検証方法

本研究では、GPS データから滞在地点を自動抽出し、滞在間の移動をトリップとして定義する手法により回遊行動を定量化した。しかし、この手法の妥当性を検証することは技術的・実践的な課題を多く含んでいる。ここでは、考えられる検証方法とその限界、そして今後の検証に向けた課題について論じる。

本手法の検証方法として、第 1 に、GPS データの可視化による目視判定との比較が考えられる。具体的には、個人の移動軌跡を GIS 上で可視化し、研究者が時空間的な位置情報の分布パターンから滞在地点を目視で判定し、本研究で開発したアルゴリズムによる自動判定結果と照合する手法である。この方法は、滞在判定の空間的精度や時間的妥当性を直接的に評価できる利点がある。第 2 の方法として、実際の歩行行動との照合による検証が考えられる。これは、研究協力者にトリマアプリを使用した状態で特定の地域を歩行してもらい、その際の実際の行動記録（立ち寄り先、滞在時間等）を詳細に記録し、後日 GPS データから抽出された滞在・トリップデータと照合する手法である。この方法により、実際の人間の行動認識と自動判定アルゴリズムの整合性を直接的に検証することが可能となる。

しかし、これらの検証方法にはいずれも本質的な限界が存在する。目視判定による検証では、研究者の主観的判断に依存する部分が大きく、判定基準の統一や再現性の確保が困難である。特に、短時間の立ち寄りや移動中の一時的な停止を滞在として認定するかどうかの判断は、研究者間で異なる可能性が高い。また、大量のデータに対して目視判定を行うことは現実的ではなく、検証可能なサンプル数が限定される。実際の歩行行動との照合による検証においても、サンプル数の制約が重大な問題となる。また、個人のプライバシーに関わる詳細な位置情報の取得と利用には倫理的な配慮も必要である。

これらの課題を踏まえると、複数のアプローチを組み合わせた包括的な検証枠組みの構築が必要である。スマートフォン以外の測位デバイスを用いた比較分析により、手法の妥当性を評価することができる。完全な検証は困難であることを認識しつつ、複数の部分的検証結果を統合的に評価することで、手法の信頼性と適用可能性を段階的に向上させていくアプローチが現実的だろう。

５．結論

本研究では、GPS データから個人の滞在地点を自動抽出し、滞在地点間の移動をトリップとして定義することで回遊行動を定量化する手法を開発し、中央線沿線 18 駅を対象としたケーススタディを通じてその有効性を実証した。開発した手法により、従来のアンケート調査では把握困難であった詳細な回遊パターンを客観的に分析することが可能となった。八王子駅における複数交通結節点の相乗効果、豊田駅や吉祥寺駅における分散配置された大規模集客施設の回遊促進効果など、具体的な都市空間特性と回遊行動の関係が示唆された。

一方で、本手法の検証については課題が残る。今後、複数の検証を組み合わせた包括的な検証枠組みの構築により、信頼性を段階的に向上させていくことが期待される。

謝辞

本研究は、東京都「地域を主体とするスマート東京先進事例創出事業」支援プロジェクト「デジタルエリアデザインの共創 in 大井町」の一環で実施された。

参考文献

羽藤英二・中西雅一・寺谷寛紀・柏谷増男（2002）都市内回遊行動評価のための空間データマイニング.「土木学会研究講演集」, 26.

佐藤貴大・円山琢也（2015）スマホ・アプリ型回遊調査データによる熊本都心部回遊行動圏の分析.「都市計画論文集」, 50（3）, 345-351.

西村圭太・杉本興運・菊地俊夫（2018）コミュニティサイクル利用観光者の回遊行動特性.「観光研究」, 29 (2), 29-42.

天谷太一・岡田潤・中村文彦・出口敦（2024）東京都区部の大規模開発集積地における従業者・来街者の回遊行動の傾向の変化に関する研究.「都市計画論文集」, 59（3）, 659-666.

武田裕之・有馬隆文（2010）中心市街地における回遊性能の可視化・定量化に関する研究.「都市計画論文集」, 45 (3), 73-78.