

# Wi-Fi パケットセンサを用いた狭域における 交通流動の調査手法に関する研究

日野 陽介<sup>1</sup>・今井 龍一<sup>2</sup>・金子 俊之<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社建設技術研究所 道路・交通部  
(〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町 3-21-1)

E-mail: ysk-hino@ctie.co.jp

<sup>2</sup>正会員 法政大学教授 デザイン工学部 都市環境デザイン工学科  
(〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2 丁目 33)

E-mail: ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社福山コンサルタント 交通・環境マネジメント事業部  
(〒101-0033 東京都千代田区神田岩本町 4-14)

E-mail: t.kaneko@fukuyamaconsul.co.jp

近年、施設間流動等の狭域な交通実態の把握に対する関心が高まっている。そこで、鮮度および空間解像度に優れる交通ビッグデータを活用することで、従来の交通実態調査を補完できる可能性がある。その中でも Wi-Fi パケットセンサは特定範囲内の端末を常時計測できるので、狭域における交通実態の把握への活用に期待されている。現在、このセンサを用いて交通流動を把握する分析事例は蓄積されているが、狭域における交通実態を集計・処理する手法は開発途上にある。そこで、本研究では、Wi-Fi パケットセンサの計測データを用いた滞留および移動人口の算出手法を考案し、その有用性を検証した。その結果、考案手法を用いると、対象地域内の滞留や移動に関する交通実態を把握できることを明らかにした。

**Key Words:** *Traffic Big Data, Traffic Flow Analysis, Wi-Fi Packet Sensor*

## 1. はじめに

我が国では、人口減少や少子高齢化が時々刻々と進行している。さらに、各都市では、超高齢化社会の到来で懸念される交通弱者への移動手段的確保、都市部への一極集中化による交通渋滞および高度経済成長期に建設された構造物の老朽化といった多様な課題を抱えている。

このような状況下で、今後も都市を維持し続けるためには、都市の外延化を抑制し、従来の成長都市からコンパクトかつ魅力的な成熟都市へと転換していく必要がある<sup>1)</sup>。そこで、成熟都市の形成に向けて必要な一つの要素として考えられるのが、狭域における短距離の交通流動を把握し、適切な施設配置や人の回遊動線等を検討することである<sup>2)</sup>。また、国土交通省は、様々な課題が我が国を取り巻く中、IoT、ビッグデータ、AI、ロボットおよびセンサ等に代表される第4次産業においてイノベーションを創出し、それらを実装することで様々な課題を克服し持続的な経済成長を実現する必要があると提言している<sup>3)</sup>。

現在、交通実態の把握には、一般的にパーソントリップ調査や国勢調査等の統計調査が用いられている。これら統計調査は、費用が高額であることや調査自体の負担

が大きいことから、調査間隔が数年～10年に一度であるものや、集計単位が市区町村単位であるものが多数存在している。また、調査対象も居住者に限られており、他地域からの来訪者や住民票を移していない人等も含めた幅広い層を対象とした情報の把握は難しい。そこで、従来の交通実態調査を補完する一方策として、様々な機器から24時間365日データを蓄積し、膨大な情報量を持つビッグデータの活用が期待されている<sup>2)</sup>。ビッグデータが急成長した背景には、情報通信技術の発展により、膨大なデータを生成、収集および蓄積できる環境が整備されたことが挙げられる。東京都市圏パーソントリップ調査では、駅勢圏において人の回遊行動を把握するために有効な方法として、ビッグデータの活用方法や分析事例を紹介している<sup>4)</sup>。これらビッグデータを用いることによって、交通実態の把握や将来予測の高度化に寄与するものと期待されている。

交通ビッグデータ由来のメッシュ統計の既往研究として、横井ら<sup>5)</sup>、有田ら<sup>7)</sup>、芥川ら<sup>8)</sup>は、メッシュ統計を用いて、ハロウィン、サッカーの試合およびグルメイベント等の特異日における周辺地域の人の滞留状況や滞留者の特性等を明らかにしている。松島ら<sup>9)</sup>、折出ら<sup>10)</sup>は、メッシュ統計を用いて、災害時における人口動態を明ら

かにしている。また、近年、活用が進みつつある Wi-Fi パケットセンサに関する既往研究として、西田ら<sup>11)</sup>は Wi-Fi パケットセンサによる計測手法を概括し、計測精度を検証したうえでプライバシー侵害のリスクに関して調査している。田中ら<sup>12)13)</sup>は、Wi-Fi パケットセンサを用いて、観光客の観光行動等を計測できることを明らかにしている。Fukuda ら<sup>14)</sup>は、Wi-Fi の MAC アドレスおよび GPS ロガーデータを用いて、途上国における小型乗合バスの乗降位置を推定している。金子ら<sup>15)</sup>は、Wi-Fi パケットセンサによる観測結果をカメラによる歩行者交通量の計測と比較し、連続したデータ取得時間による滞在判定および電波強度を用いた距離判定からデータクリーニングを実施すると、歩行者交通量との相関が高まることを示している。さらに、車両のプローブデータに関する既往研究として、稲場ら<sup>16)</sup>は、ETC2.0 プローブ情報を活用し、豪雨災害時におけるドライバーの避難行動の推定や道路交通状態のモニタリングを実施している。太田ら<sup>17)</sup>は、携帯カーナビから取得された走行軌跡データを用いた道路交通分析を実施し、道路交通の現状把握や道路整備事業の効果測定への適用可能性を明らかにしている。Zhengyu Duan ら<sup>18)</sup>は、スマートフォンアプリ等から取得される GPS データを用いて、中心市街地における回遊行動や観光地における観光行動を分析している。中村ら<sup>19)</sup>は、交通系 IC カードの利用履歴を用いて公共交通機関の利用状況を分析している。しかし、交通ビッグデータに関する既往研究を調査した結果、駅勢圏のような 1~2km 圏内の徒歩で移動可能な領域における調査事例はあるものの、滞留および交通流動を集計・処理する手法に関しては十分に確立されていないことが明らかになった。

以上より、本研究の目的は、Wi-Fi パケットセンサの計測データを用いて滞留人口および移動人口の算出手法を考案・体系化することとした。本研究のフローを図-1 に示す。まず、2 章では、現在流通が進みつつある交通ビッグデータを調査し、交通流動の把握に適用可能な交通ビッグデータの特徴を明らかにする。3 章では、実際に Wi-Fi パケットセンサを製作する。そして、Wi-Fi パケ

ットセンサを用いた交通流動調査を実施する。4 章では、Wi-Fi パケットセンサの計測データを用いた滞留人口および移動人口の算出手法を考案する。5 章では、前章で考案した算出手法の有用性を検証する。6 章では、本研究のまとめと今後の課題を述べる。

## 2. 交通ビッグデータの調査

本研究では、駅勢圏における交通流動および都市の実態把握に活用可能と考えられる交通ビッグデータを調査した。国内外で蓄積、流通が進んでいる交通ビッグデータを調査対象とし、仕様が明らかになっているものは詳しい収録内容、収集方法およびその活用状況を整理した。調査した交通ビッグデータの一覧を表-1 に示す。表-1 では、収録されているデータの属性、目的、位置・動き、時刻、手段、感情および周囲の状況を取得可能であるか否かと他のデータと比較して活用するメリットおよびデメリットを示している。

### (1) 携帯電話基地局の運用データに基づく人口統計

携帯電話基地局の運用データは、携帯電話端末と携帯電話基地局との通信記録を活用して生成されている人口統計である。具体的には、基地局との通信記録により、各時間帯における携帯電話端末の位置を推定することで、滞留人口や移動人口を把握できる。このデータは、時間帯、年代、性別および居住地毎に、滞留人口は最小 250 m、移動人口は最小 1km 四方のメッシュ単位で集計されている<sup>20)</sup>。メッシュ毎に滞留人口を集計した人口分布統計、メッシュ間の移動人口を集計した人口流動統計として既に商品化され日本国内での流通が進んでいる。具体的には、モバイル空間統計<sup>®</sup>を用いることで、集計エリア毎の性年齢階層別・居住地別の滞留・移動人口や経年変化を把握可能である。また、活用事例も多く、コロナ渦やイベント時における人の動きの分析等に用いられている。

### (2) 人の流動を計測可能な機器

人の流動を計測可能であるセンサとしては、レーザーセンサ、画像解析型センサ、トラフィックカウンタおよび Wi-Fi パケットセンサが挙げられる。まず、レーザーセンサは、人の動きの方向がある程度限定されている地点にセンサを設置することで、レーザーで人を探知しその地点を通過した方向別の人数を計測できる<sup>21)</sup>。また、画像解析型センサは、カメラ画像から歩行者を認識し、通過した人数を計測できる<sup>21)</sup>。これら 2 つのセンサは、施設やイベントの入館人数の計測等に用いられている。次に、トラフィックカウンタは、高速道路等にセンサを

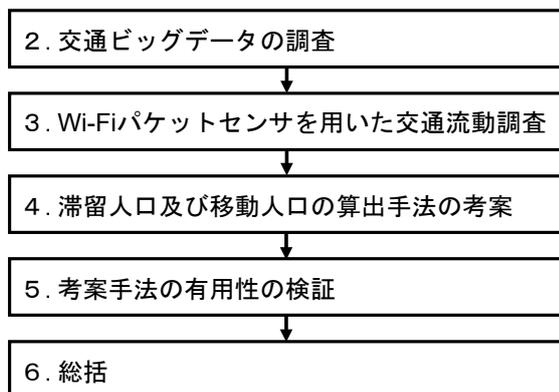


図-1 本研究のフロー

設置することで、対象地点を通過した車両の台数を計数できる<sup>2)</sup>。以上で述べたレーザーセンサ、画像解析型センサおよびトラフィックカウンタは、特定地点の断面交通量を全数調査できるものの、連続した移動を把握できない。最後に、Wi-Fi パケットセンサは、Wi-Fi が ON の際に、電子端末から接続可能な Wi-Fi を探索するために発信されるプローブリクエストを取得できる<sup>2)</sup>。プローブリクエストには、端末固有の ID である MAC アドレスや現在接続している Wi-Fi のルーター名等が収録されている。このプローブリクエストを秘匿処理して用いることで、センサの設置地点における滞留やセンサ間の移動を計測できる。このセンサは、狭域における交通流動を連続的に把握できるものの、取得率が携帯電話の Wi-Fi の ON 率や周辺状況に影響されるため、全数を把握できない。

(3) 携帯電話の位置情報

携帯電話の位置情報は、GPS (Global Positioning System) により一定時間毎に衛星を利用し、移動した経路を記録するデータである。このデータは、端末固有の ID、取得時間、緯度および経度を取得することで、詳細な移動経路を把握できる<sup>2)</sup>。具体的な活用事例としては、プローブパーソン調査が挙げられる。プローブパーソン調査は、被験者に特定のアプリケーションのダウンロードや GPS ロガーを保持してもらうことで位置情報を記録する。そして、アンケート調査により、移動目的や交通手段

を記録することで、具体的な周遊情報を収集する調査である。また、携帯電話事業者およびアプリケーションの企業が連携するアプリケーションからオプトイン方式により位置情報を収集・集計したデータも流通している。これらのデータは、メッシュで集計されているものもあれば、点データとして提供されているものもある。携帯電話の位置情報は、測位精度や空間解像度が高いため、詳細な移動経路等を把握できる。しかし、サンプル数が限定的であることが課題として挙げられる。

(4) 交通系 IC カード

交通系 IC カードは、事前に IC カードへ代金をチャージし、鉄道や路線バス等の乗車時に IC リーダーで読み取りすることで、キャッシュレスに公共交通機関や買い物の支払いができる媒体である<sup>2)</sup>。近年、国内外で急速に普及が進んでおり、特に東京都市圏で普及している東日本旅客鉄道が発行する IC カード「Suica」は、2019年3月現在、累計 7,500 万枚が発行されている。キャッシュレスによる支払い方法としては、クレジットカードに次ぐ普及率となっている。交通系 IC カードには、購入者の情報を提供せずに購入できる無記名方式と、使用者の氏名等を登録する記名方式が存在する。記名方式では、氏名、年齢や性別等の登録が必要であることから、個人属性と公共交通を用いた移動や購買行動との紐づけが可能である。しかし、有用性の高いデータではあるものの、国内では個人情報保護の観点から流通は限定的であり、

表-1 交通ビッグデータ一覧

区分	種類	得られる情報	属性	目的	位置・動き	時刻	手段	感情	周辺の状況	連続性	活用するメリット	他と比較したデメリット
センサ	交通系ICカードデータ	サービス利用者の電車およびバス等の乗降履歴	○	×	○	○	○	×	×	○	公共交通の移動と購買を紐づけ可能	移動目的が不明
	自動車のプローブデータ	サービス利用者の挙動履歴	×	×	○	○	○	×	×	○	自動車の移動量、経路を把握可能	移動目的が不明
	Wi-Fiデータ	接続エリア内の端末数	×	×	○	○	×	×	×	○	狭域で移動量、滞在人数を把握可能	属性、取得率が不明
	人流センサ	対象域内の人数	×	×	○	○	×	×	×	×	通過人数を全数把握可能	他のデータとの紐づけが不可能
	GPSロガー	利用者の位置情報	×	×	○	○	×	×	×	○	数秒～数分単位での移動経路が把握可能	サンプル数の確保が課題
	加速度センサ	対象者の状況把握	×	×	○	○	×	×	×	×	ヒヤリハット箇所の把握	挙動原因の収集が難しい 属性が不明
	赤外線センサ	対象域内の人物の感知	×	×	○	○	×	×	○	×	通過人数を全数把握可能	他のデータとの紐づけが不可能
	駐車場・駐輪場利用記録	自動車・自転車の利用状況	×	×	○	○	○	×	×	×	車の出入庫状況を把握可能	移動目的が不明
	トラフィックカウンター	通過台数	×	×	○	○	×	×	×	×	時間帯別の通過人数の把握	他のデータとの紐づけが不可能
ソーシャルメディア	Twitter	主観的な意見	×	○	○	○	×	○	×	×	位置情報と感情の関係	属性が不明 サンプル数が少ない
	Instagram	主観的な意見	×	○	○	○	×	○	×	×	位置情報と感情の関係	属性が不明 サンプル数が少ない
マルチメディア	ドライブレコーダー	車の周辺環境	×	×	○	○	○	×	○	×	周辺の状況も把握可能	サンプル数が少ない
	防犯カメラ	カメラの周辺環境	×	×	○	○	○	×	○	×	時間帯別の通過人数の把握	個人情報により入手の難易度が高い
オペレーション	携帯電話網の運用データ	携帯電話の通信記録	○	×	○	○	○	×	×	○	滞留人数、流動人数の把握	移動目的が不明
カスタマー	クレジットカード	利用者の購買履歴	○	×	○	○	×	×	×	×	性年齢別の消費特性	人の行動との紐づけが難しい
	施設の利用記録	施設利用者数	×	×	○	○	×	×	×	×	滞留時間、再来訪の把握	周辺施設との紐づけが難しい

未だ本格的に活用された事例は少ない。

### (5) テレマティクスサービス

テレマティクスサービスは、従来のカーナビのGPSを用いて目的地までのルートを提供することに加えて、通信システムを車両に搭載し各車両の位置情報等を取得してリアルタイムな渋滞情報や天候情報を提供する<sup>24)</sup>。その中でも、国内の高速道路では、ETC (Electronic Toll Collection System) と呼ばれる高速道路の自動料金収受システムが普及している。そして、近年では、高速道路料金の収受に加え、運転者の安全運転支援、渋滞や所要時間等の提供も加えられた ETC2.0 が国土交通省主体で提供されている。ETC2.0 は、路車間通信により、車両属性、時刻毎の位置情報 (エンジン ON/OFF の起終点の前後では秘匿のため、データは消去されている) および急挙動情報等が ETC2.0 プローブ情報としてプローブ統合サーバーに収集・蓄積される。また、自動車メーカーやカーナビメーカー等の民間事業者も車載のカーナビゲーションシステム等を用いてネットワーク通信等により独自にデータを収集・蓄積している。これらの車両の位置情報を用いることで、渋滞、車両の危険挙動や移動軌跡等を把握できる。

## 3. Wi-Fi パケットセンサを用いた交通流動調査

本研究では、前章で調査した4種の交通ビッグデータの中から、地方公共団体や商店街の方々が自立的かつ継続的に狭域の交通流動を計測可能と考えられる Wi-Fi パケットセンサに着目した。そこでまず、Wi-Fi パケットセンサを製作した。次に、製作したセンサの性能調査を実施した。さらに、センサを用いた交通流動調査を実施した。最後に、センサの計測データのフィルタリングを実施した。

### (1) Wi-Fi パケットセンサの製作

Wi-Fi パケットセンサの本体には、プローブリクエストを収集するために必要な Monitor Mode に対応した Wi-Fi アンテナを搭載し、安価である Raspberry pi 3 を選定した。また、OS は Kali Linux 2019 を用いた。そして、実際に計測したデータを簡易的に収集するため、データの保存先には USB を選定した。さらに、AC アダプタでも計測可能だが、電源のない場所でも計測できるようにモバイルバッテリーを選定した。また、電波の繋がらない環境下でもセンサ内の時刻を調整するため、RTC モジュールを選定した。以上の選定品を用いることで、横 20cm、縦 10cm とコンパクトなサイズとなり、製作費はセンサ1台当たり約 13,000 円であった (図-2)。

センサの仕様として、取得データは1分間隔でUSBに保存される。また、取得された端末固有の ID (MAC アドレス) は、不可逆変換可能なハッシュ関数を用いてハッシュ化しプライバシーを保護している。取得されるデータの項目としては、MAC アドレス、取得時刻および電波強度となっている。

### (2) Wi-Fi パケットセンサの性能調査

本研究では、製作した Wi-Fi パケットセンサの性能調査を実施した。まず、センサのデータの取得率を調査するため、交通流動調査を実施した。次に、センサの取得可能範囲を調査した。最後に、ランダム化されている MAC アドレスの特性を調査した。

#### a) 交通流動調査

交通流動調査は、MAC アドレスを把握しているスマートフォンを用いて、センサの端末の取得率を明らかにすることを目的とし、東京都市大学世田谷キャンパス内にて実施した。図-3 に交通流動調査の概要を示す。1号館、新6号館、食堂および研究室の4地点にセンサを設置し、端末を持ちセンサ周辺を歩行する。そして、各地点で対象端末が観測されたかを確認し、対象端末の取得率を算出する。対象端末は、Wi-Fi を有効にした iOS13.3 端末を計 6 台、Android7.0.0, 8.0.0, 9.0.0 端末を計 6 台とした。この調査を表-2 に示した3パターンで実施した。取得率は、センサ付近に数分滞在し Wi-Fi 接続した状態での調査①の取得率が 72%、センサ付近に数分滞在し Wi-Fi 接続していない状態の調査②の取得率が 28%、セ

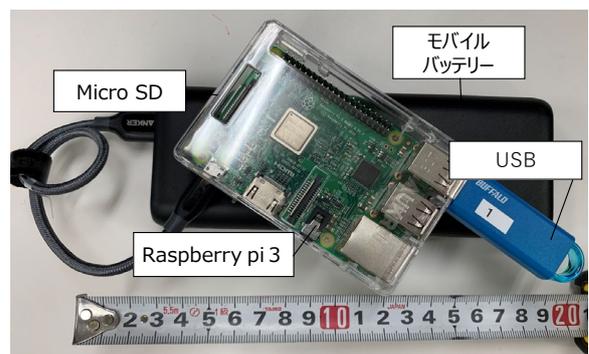


図-2 製作した Wi-Fi パケットセンサ

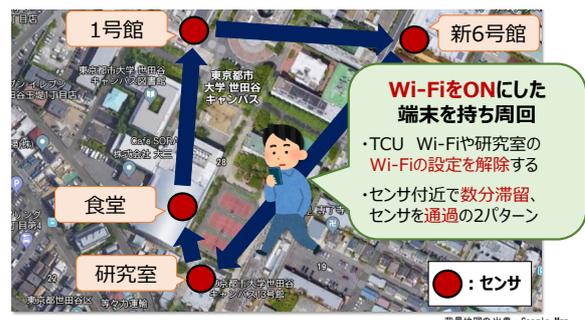


図-3 交通流動調査の概要

ンサ付近はそのまま通過し Wi-Fi 接続していない状態の調査③の取得率は 19%となった。さらに、iOS 端末は Wi-Fi接続無しの場合、固有の MACアドレスを取得できなかった。以上より、Wi-Fi 接続していない iOS 端末は、MAC アドレスがランダム化される可能性が高いと考えられる。

b) センサの取得可能範囲の調査

次に、センサの取得可能範囲を調査した。図-4に取得可能範囲の調査概要を示す。この調査は、センサと端末との距離を10m毎に50m地点まで離して計測する。調査結果より、Wi-Fi に接続していないため取得端末が限定されているものの、約50m地点まで取得できることが明らかになった。

c) MAC アドレスのランダム化に関する特性調査

続いて、前項の調査結果を踏まえて、MACアドレスのランダム化の特性を明らかにするための特性調査を実施した。まず、電波遮断ケースを用いて、センサが対象端末のみを計測できる環境で調査を実施した。調査概要を図-5に示す。結果としては、Android (OUKITEL社) のMACアドレスのみが取得され、他のMACアドレスは一つも取得されなかった。次に、対象端末およびセンサを持ち複数地点を移動して計測した。この特性調査は、全ての地点で計測されたMACアドレスを発見することで、ランダム化されたMACアドレスの特定を目的とした。調査概要を図-6に示す。結果としては、2地点で観測されたMACアドレスは複数確認できたが、3地点全てで観測されたMACアドレスは確認できず、ランダム化されたMACアドレスを特定するには至らなかった。以上より、一つの端末に対しMACアドレスが複数存在する可能性や、端末によりプローブリクエストの発信方法が異なる可能性が明らかになった。また、OSやプライバシー設定によってMACアドレスがランダム化されている可能性も明らかになった。

(3) 製作したセンサを用いた交通流動調査の概要

本研究では、前節で製作した Wi-Fi パケットセンサを用いて、日比谷公園内の交通流動を把握することを目的に、交通流動調査を実施した。調査方法としては、東京都市大学および法政大学の学生の協力により、各地点でセンサを携行した。日比谷公園における交通流動調査の概要を図-7に示す。この調査は、2020年11月26日(木)の朝(7時30分~10時30分)、昼(11時30分~14時30分)および夜(16時30分~19時30分)の各3時間帯で、日比谷公園内の14か所にセンサを2台ずつ計28台を設置して実施した。表-3に計測されたサンプル数を示す。計測された総サンプル数は、約6万台であった。なお、実測値との比較のため、図-7に示した赤丸の出入口5地点では、Wi-Fiパケットセンサの計測と同時に交通量

カウンタで断面交通量を計測した。

(4) 計測データのフィルタリング

Wi-Fi パケットセンサの計測データの中には、ランダム化された MAC アドレスが含まれるため、過剰にサンプルが計上されている。このため、最初にランダム化された MAC アドレスの除去処理を実施した。次に、日比谷公園の出入口付近に設置した5地点においては、公園外の道路上の端末も計測する可能性があるため、フィルタリングを実施した。具体的には、公園出入口の

表-2 調査概要および端末の取得率

調査名	センサ	Wi-Fiの接続の有無	取得率
調査①	数分滞留	有り	72%
調査②	数分滞留	無し	28%
調査③	通過	無し	19%



図-4 取得可能範囲の調査



図-5 電波遮断ケースを用いた調査



図-6 複数地点を移動する調査

赤丸のセンサで観測され、かつ公園内に設置した青丸のセンサの両方で観測された端末を公園端末として抽出した。計測された観測数を分析した一例として、**図-8**に朝時間帯、**図-9**に昼時間帯、**図-10**に夜時間帯におけるセンサ毎の観測数と実測された断面交通量との比較結果を示す。また、**表-4**に各地点のフィルタリング前後における実測値に対する取得率を示す。比較結果より、フィルタリングを実施したことによって、実測された断面交通量の約 2~3 倍あったセンサの計測データ数が実測値以下のデータ数となった。具体的には、地点②、③および④においては、実測値に対する取得率は約 3 割以内となった。また、地点①および⑤においては、取得率が約 5 割となった。これは、この 2 地点を通過した端末が内側に設置したセンサで捕捉しきれなかった可能性が高い。また、一部の地点や時間帯によっては、実測値よりもフィルタリング後の観測数が上回っていることも確認できた。これは、フィルタリング用に内側に設置したセンサも公園外の電波を捕捉した可能性が高く、実際に公園に立ち寄っていない端末が過剰に計数されたと考えられる。

#### 4. 滞留人口および移動人口の算出手法の考案

本章は、前節でフィルタリング処理した Wi-Fi パケットセンサの計測データを用いて、滞留人口および移動人口を算出する手法を考案した。

##### (1) 滞留人口の算出手法

本研究では、徒歩移動の所要時間を基にセンサ周辺の滞留人口の算出手法を考案した。本手法の算出フローを**図-11**に示す。まず、Wi-Fiパケットセンサは、同一のMACアドレスからのプローブリクエストを連続的に取得している。そのため、対象地域から外に出て戻ってきた場合に、滞留として過剰に計上されてしまう可能性がある。そこで、センサの取得範囲の距離と歩行速度を考慮し、同一地点での滞留時間が3分以上の場合は「滞留の



図-7 日比谷公園における交通流動調査の概要

可能性が高い」、3 分未満の場合は「通過」である可能性が高いと判定する<sup>29</sup>。次に、「滞留の可能性が高い」と判定された端末のうち、同一地点で同一のアドレスからのプローブリクエストが 12 分以内に連続して観測されている場合は「滞留」、12 分以内に観測されていない場合は「通過」と判定する<sup>15</sup>。以上より、同一地点で

表-3 計測されたサンプル数

時間帯	アドレス数(台)
7:30~10:30	19,114
11:30~14:30	29,766
16:30~19:30	22,544

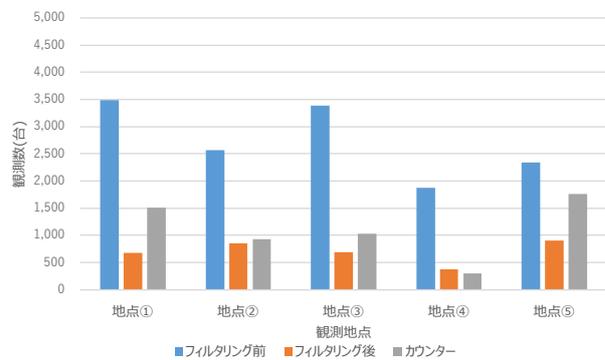


図-8 朝時間帯における観測数の比較

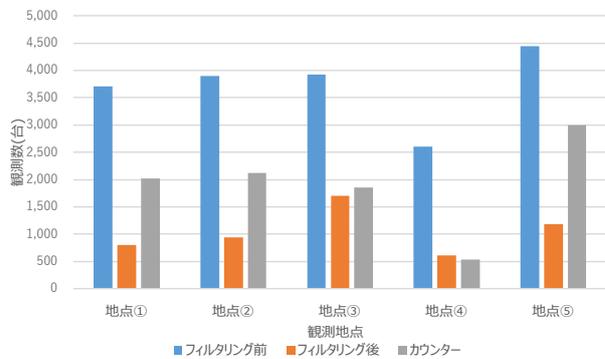


図-9 昼時間帯における観測数の比較

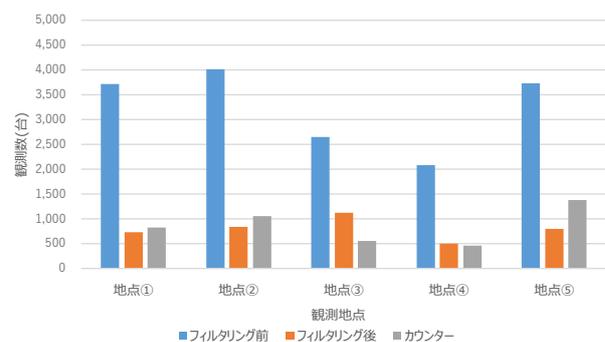


図-10 夜時間帯における観測数の比較

の滞留時間による判定によって、Wi-Fi パケットセンサの計測データから滞留人口を抽出する。

(2) 移動人口の算出手法

次に、徒歩移動の所要時間を基にセンサ間の移動人口の算出手法を考案した。本手法の算出フローを図-12 に示す。まず、各端末が、あるセンサで最後に観測された後、異なるセンサで最初に観測されるまでの時間を移動時間とする。計測データの中には、移動時間が 30 分以上の端末も一定数観測されていた。これらの端末は、あるセンサで観測されてから別の場所を経由して次のセンサで観測されている可能性が高く、単純に次の地点に直行しているとは考えにくい。そこで、各地点間の徒歩による移動時間から基準を設定した。日比谷公園の各地点間における最速の移動時間を表-5 に示す。表-5 に示した各地点間の最速の移動時間を基準に、「単純な移動の端末」と「立ち寄り移動の端末」に分類する。

表-4 各地点の実測値に対する取得率

地点	時間帯					
	7:30~10:30		11:30~14:30		16:30~19:30	
	フィルタリング前	フィルタリング後	フィルタリング前	フィルタリング後	フィルタリング前	フィルタリング後
①	231%	45%	184%	39%	446%	88%
②	278%	93%	184%	44%	378%	80%
③	330%	67%	212%	92%	472%	200%
④	617%	122%	486%	114%	450%	111%
⑤	133%	51%	148%	40%	269%	58%

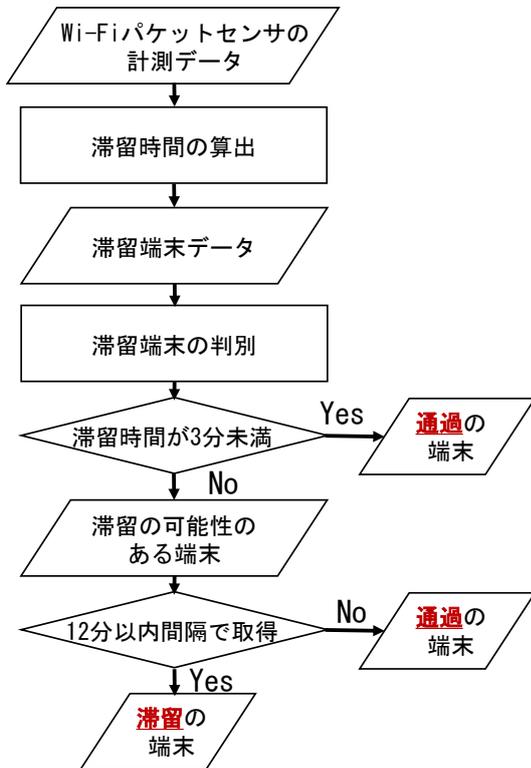


図-11 滞留人口の算出フロー

5. 考案手法の有用性の検証

本研究では、前章で考案した滞留人口および移動人口の算出手法の有用性を検証した。

(1) 滞留人口の算出結果

ここではまず、前章で考案した滞留人口の算出手法を用いて、日比谷公園内に滞留している端末を抽出した。そして、抽出した端末の各地点における滞留時間を算出した。一例として、図-13 に⑧大噴水の滞留時間、図-14 に⑫草地広場の滞留時間を示す。⑧大噴水における滞留時間では、夕方に各滞留時間の観測数が多い。⑫草地広場における滞留時間では、朝・昼間・夜の全ての時間帯で滞留時間が 10~29 分の観測数が多く、滞留時間が長くなるにつれて観測数が少なくなる傾向がある。今回、⑧大噴水や⑨にれのき広場において、1 時間以上の滞留時間が長い人が比較的多くの地点にて確認された。これは計測の翌日に日比谷公園にてイベントがあり、イベント

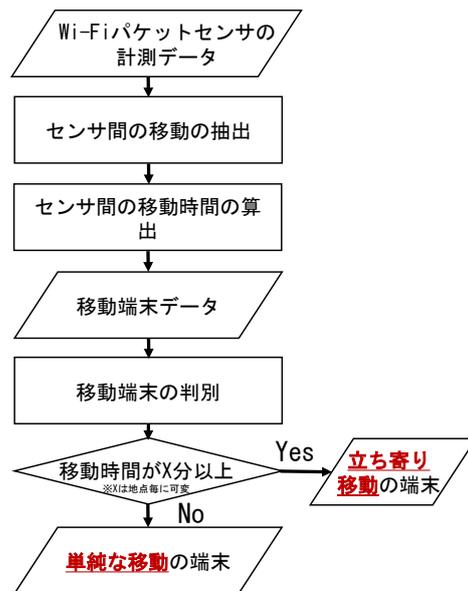


図-12 移動人口の算出フロー

表-5 各地点間の徒歩による移動時間

地点間	距離 (m)	移動時間
①有楽門-②日比谷門	270	8分
①有楽門-③幸門	500	13分
①有楽門-④中幸門	650	16分
①有楽門-⑤霞門	600	15分
②日比谷門-③幸門	220	7分
②日比谷門-④中幸門	400	11分
②日比谷門-⑤霞門	350	10分
③幸門-④中幸門	180	6分
③幸門-⑤霞門	350	10分
④中幸門-⑤霞門	300	9分

開催の準備が一因として考えられる。

(2) 移動人口の算出結果

続いて、前章で考案した移動人口の算出手法を用いて、「単純な移動の端末」と「立ち寄り移動の端末」における各地点間の移動量を算出した。一例として、図-15に「単純な移動の端末」における各地点の移動量、図-16に「立ち寄り移動の端末」における各地点間の移動量を示す。「単純な移動の端末」では、昼時間帯に③幸門→④中幸門、④中幸門→③幸門の移動が多いことが確認できた。これは、昼休憩で食事に出る人や買い物に出る人であると考えられる。また、朝では9時台、昼間では13時台に、夜では18時台に移動量が最大となる傾向が確認できた。「立ち寄り移動の端末」では、移動量は全体的に少ないことが確認できた。

6. おわりに

本研究では、まず、現在流通が進みつつある交通ビッグデータを調査し、交通流動の把握に適用可能な交通ビッグデータの特徴を明らかにした。次に、実際に Wi-Fi パケットセンサを製作し、交通流動調査を実施した。さらに、Wi-Fi パケットセンサの計測データを用いた滞留人口および移動人口の算出手法を考案し、考案した算出手法の有用性を検証した。本研究の成果を以下に示す。

- 考案したフィルタリング手法により、計測データから日比谷公園内に立ち寄った端末を抽出できた。
- 滞留人口において、滞留時間を定義することで、「滞留」と「通過」に分類して把握できる可能性を示した。
- 移動人口において、地点間毎に移動時間を定義することで、「単純な移動の端末」と「立ち寄り移動の端末」に分類し、公園内の交通実態を把握できる可能性を示した。

上記の研究成果を踏まえ、今後は、考案手法の精度検証を実施することで、実用性を高める必要がある。また、より詳細な交通実態を把握するため、属性別の交通流動量や回遊順序の推定手法を考案することが必要と考える。

**謝辞：**本論文の研究を遂行するにあたり、東京理科大学の柳沼秀樹准教授、摂南大学の塚田義典准教授からは Wi-Fi パケットセンサの製作や取得データの分析に関する貴重なご意見を賜った。また、日比谷公園内の調査は千代田区と区内の大学等が区の事象を調査・研究する「千代田学」の活動の一環である。調査にあたっては、千代田区都市計画課、(公財)東京都公園協会、(一財)国民公園協会、環境省皇居外苑管理事務所、三菱地所

(株)、Oxyzen(株)、法政大学の景観研究室、建築計画学研究室および社会空間情報研究室の皆様から多大なるご協力を賜った。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：都市再生基本方針、<<http://www.mlit.go.jp/common/001049763.pdf>>, (2021.1.28 閲覧)
- 2) 国土交通省：スマートプランニング実践の手引き、<<http://www.mlit.go.jp/common/001203971.pdf>>, (2021.1.28 閲覧)
- 3) 国土交通省：平成 28 年度 国土交通白書、<<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h28/>>, (2021.1.28 閲覧)
- 4) 東京都圏交通計画協議会：駅まち回遊まちづくり分析の手引き、<[https://www.tokyo-pt.jp/static/hp/file/publicity/kyoten\\_1.pdf](https://www.tokyo-pt.jp/static/hp/file/publicity/kyoten_1.pdf)>, (2021.9.28 閲覧)

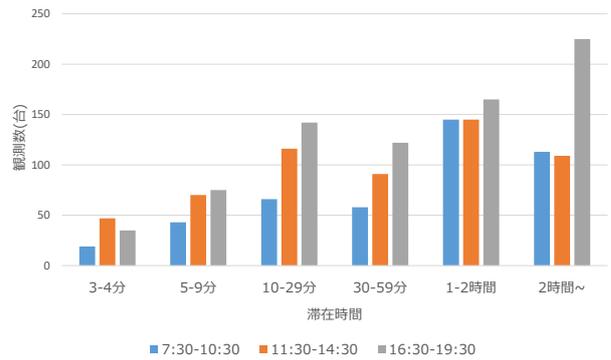


図-13 ⑧大噴水における滞留時間

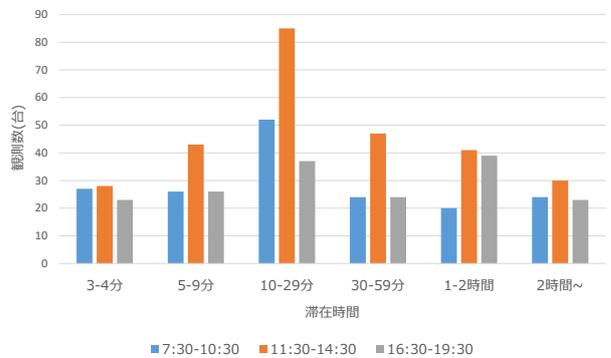


図-14 ⑫草地広場における滞留時間

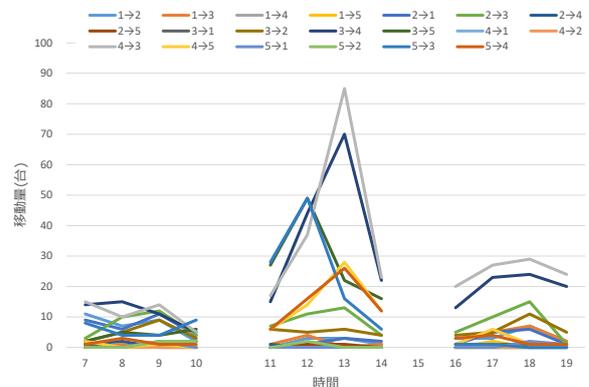


図-15 単純な移動の端末における各地点間の移動量

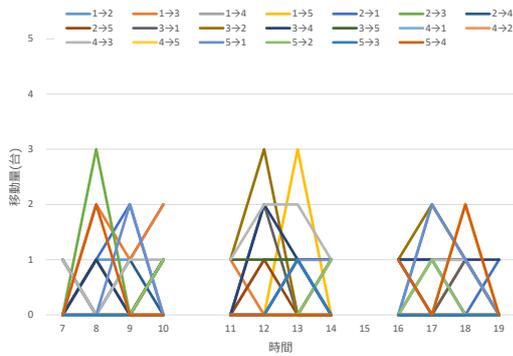


図-16 立ち寄り移動の端末における各地点間の移動量

- 5) 横井和樹, 松島敏和, 和田翔: モバイル空間統計を活用した渋谷ハロウィンのモニタリング, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.60, No.13-15, 2019.
- 6) 横井和樹, 松島敏和, 和田翔: モバイル空間統計を活用した渋谷ハロウィンの人口動態分析, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.62, No.27-07, 2020.
- 7) 有田建哉, 寺部慎太郎, 柳沼秀樹, 田中皓介, 泰楠: モバイル空間統計を用いたご当地 B 級グルメが観光入込客誘致に与える因果推論に関する考察, 土木計画学研究発表会・講演集, 土木学会, Vol.60, No.14-07, 2019.
- 8) 芥川穂高: モバイル空間統計を利用した J リーグクラブの商圈についての分析, 地理情報システム学会講演論文集, 地理情報システム学会, Vol.29, pp.B25-3-2.
- 9) 松島敏和: モバイル空間統計による大阪北部地震モニタリング, 土木計画学研究発表会・講演集, 土木学会, Vol.60, No.13-16, 2019.
- 10) 折出康輔, 秋山祐樹: 空間情報とモバイルビッグデータを用いた 水害時における迅速な被害状況および避難者の分布推定-令和元年台風 19 号における長野県千曲川周辺を対象として-, 地理情報システム学会講演論文集, 地理情報システム学会, Vol.29, pp.B24-2-4.
- 11) 西田純二, 宇野伸宏, 倉内文孝, 中川義也, 望月祐洋: Wi-Fi パケット観測の精度と個人情報保護, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.57, No.02-09, 2018.
- 12) 田中謙大, 神谷大介, 我部新, 福田大輔, 中西航, 五百蔵夏穂, 柳沼秀樹, 管芳樹, 山中亮: 沖縄本島内の主要観光地における滞留・回遊特性に関する分析, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.57, No.01-14, 2018.

- 13) 五百蔵夏穂, 田中謙大, 神谷大介, 福田大輔, 中西航, 管芳樹: Wi-Fi パケットセンシングによる沖縄本島観光周遊パターンの特徴抽出, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.57, No.01-15, 2018.
- 14) Fukuda, D., Kobayashi, H., Nakanishi, Y., Suga, Y., Kerkritt, S. and Kasem, C.: Estimation of Paratransit Passenger Boarding/Alighting Locations Using Wi-Fi based Monitoring: Results of Field Testing in Krabi City, Thailand, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.12, pp.2151-2169, 2017.
- 15) 金子俊之, 松下雅典, 森谷武浩, 齋藤育門: Wi-Fi パケットセンサーデータを活用した公共空間の面的な人流解析, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.57, No.02-08, 2018.
- 16) 稲場亘, 柳沼秀樹, 寺部慎太郎, 康楠, 田中 皓介: ETC2.0 プローブデータを活用した豪雨災害時の交通ネットワーク異常検知, 土木計画学研究発表会・講演集, 土木学会, Vol.62, No.15-02, 2020.
- 17) 太田恒平, 大重俊輔, 矢部努, 今井龍一, 井星雄貴: 携帯カーナビのプローブ情報を活用した道路交通分析, 土木計画学研究・論文集, 土木学会, Vol.47, No.323, 2013.
- 18) Zhengyu, D., Chun, W., Zengxiang, L. and Dongyuan, Y.: A Comparison of College Students' Travel Patterns in Different Campuses Using Mobile Phone Positioning Data: A Case Study of Tongji University, China, *CICTP 2017: Transportation Reform and Change—Equity, Inclusiveness, Sharing and Innovation*, ASCE, pp.38-48, 2017.
- 19) 中村陸哉, 神田佑亮: IC カードデータを用いた COVID-19 禍の公共交通利用の影響分析, 土木計画学研究発表会・講演集, 土木学会, Vol.61, No.34-03, 2020.
- 20) 国土技術政策総合研究所: 携帯電話基地局の運用データに基づく人の移動に関する統計情報の交通計画等への適用に関する共同研究, <<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutn/nm1015pdf/ks1015.pdf>>, (2021.1.19 閲覧)
- 21) 国土交通省: まちの活性化を測る歩行者量調査のガイドライン, <<https://www.mlit.go.jp/common/001282666.pdf>>, (2021.1.19 閲覧)
- 22) NEXCO 中日本: 安全性向上 3 年計画の取組み状況, <<https://www.c-nexco.co.jp/corporate/safety/tonkumi/tonkumi/vol08/>>, (2021.1.19 閲覧)
- 23) PASMO (パスモ): 電子マネーでのお買い物, <<https://www.pasmo.co.jp/use/shopping/>>, (2021.1.19 閲覧)
- 24) 国土交通省: ETC2.0, <<https://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/etc2/index.html>>, (2021.1.19 閲覧)
- 25) 阿久津邦男: 歩行の科学, 不昧堂, pp.56-57, 1975.

(2021. 10. 1 受付)

RESEARCH ON TRAFFIC FLOW SURVEY METHODS IN NARROW AREAS USING WI-FI PACKET SENSOR

Yosuke HINO, Ryuichi IMAI and Toshiyuki KANEKO