

## Wi-Fi パケットセンサを用いた歩行流動観測に関する研究

国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市施設研究室 交流研究員 河井 裕紀  
室長 新階 寛恭  
主任研究官 吉田 純土  
元都市施設研究室長(現岡山市 都市整備局 次長) 中西 賢也  
一般財団法人計量計画研究所 研究本部 都市地域・環境部門 グループマネジャー 森尾 淳

### 1. はじめに

近年、集約型都市構造の実現に向けて、中心市街地の活性化に関する施策が推進される中で、その効果等をより高度に予測・分析することが必要となっており、歩行流動等を観測する方法についても効率化・高度化が求められている。これまで、歩行流動の観測は、主に人手カウンター調査やアンケート調査により実施されてきたが、手間やコストが必要等といった課題があった。一方で、近年は ICT 等の新技術の進歩により、携帯基地局、Wi-Fi、GPS 等の歩行流動を把握する新たな手法が注目されている。国土交通省においても、「スマート・プランニング実践の手引き(第二版)<sup>1)</sup>」、「まちの活性化を測る歩行者量調査のガイドライン<sup>2)</sup>」を公表し、新技術の利用を促している。

上述の新技術はそれぞれ長所・短所があり、例えば Wi-Fi パケットセンサ(以下「センサ」という。)のは、簡易かつ安価に歩行流動を観測できる。また、携帯基地局や Wi-Fi アクセスポイントは、取得できるデータ量は多いが歩行流動を街路ごとのスケールまで観測することが難しく、GPS は詳細な歩行流動が把握できるが取得できるデータ量が少ないのに対し、センサは携帯基地局や Wi-Fi アクセスポイントに比べ、詳細な歩行流動の把握が可能であり、GPS よりも多くデータを取得できる。さらに携帯基地局や Wi-Fi アクセスポイントは、設置箇所が限定されているが、センサは自ら設置が可能であり、歩行流動を詳細に把握できる GPS データは地下等では、データの取得ができないが、センサは地下での流動把握も可能という特徴もある。このような特徴を踏まえると、地下空間を多く有する都市内において、歩行流動等を把握する手法としてはセンサが最適であると考えられる。

センサを活用した歩行流動等に関する近年の研究では、明光・倉内ら<sup>3)</sup>はセンサから得られるデータを用いて、頻出するトリップパターンを抽出し、京都駅周辺の観光流動について分析を行っている。東川・木村<sup>4)</sup>はセンサから得られるデータを用いて、歩行所要時間により歩行目的を推定し、目的ごとの回遊状況について分析をしている。佐竹・宇野ら<sup>5)</sup>は ID の捕捉状況から観光客と推定されるデータを抽出し、その観測間隔の分布の違いから、周遊パターン分析において観測間隔を考慮する意義を示している。Khaimook・土井ら<sup>6)</sup>はセンサの電波強度を用いて、空間的に精度のより高い歩行者回遊の推定手法を開発し、来街者の回遊行動を明らかにしている。寺部・一井ら<sup>7)</sup>は 2 か年に渡って同じ規模で同じ時期にセンサを用いて取得し、滞在時間分布から、滞在時間分布と通過交通除外の閾値について考察するとともに、2016 年と 2017 年の 2 日間の OD パターンを比較し、相関係数は高いものの少数の OD 交通量が多いため、必ずしも類似性があるとは言えないことを明らかにしている。太田・西田ら<sup>8)</sup>はアンケート調査によりスマートフォンの保有率と Wi-Fi オン割合の把握、設置環境によるデータ取得率から設置条件の評価を行うとともに、センサで取得した流動量と交通量調査の結果を比較し、断面交通量推計モデルの構築を行っている。

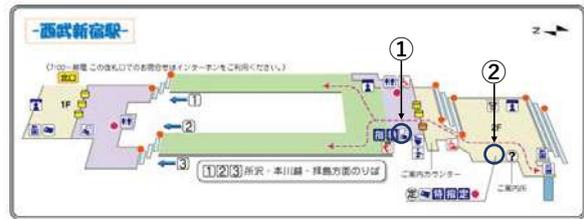
このようにセンサに関する様々な研究は行われているが、統計データ等の歩行流動量の実測値とセンサから得られた歩行流動量の推計値との比較までは行われていない。そのため、本研究では、歩行流動量に相当する統計データ(乗換状況人員:都市交通年報)が存在し、センサの特徴を活かせる地下空間が存在する西武新宿駅と東京メトロ新宿駅・新宿三丁目駅に至る経路で観測を実施し、センサを用いた歩行流動観測手法の精度の検証を行った。

## 2. 観測対象の箇所及び期間

調査対象エリアは、東京都新宿区内の西武新宿線西武新宿駅から東京メトロ新宿駅及び新宿三丁目駅に至る鉄道利用者の主な乗換経路とした。その中でセンサを設置した地点は、西武新宿駅改札前、東京メトロ新宿駅の2つの改札口、東京メトロ新宿三丁目駅の丸ノ内線西側の改札、さらには、乗換経路上となる地下街の新宿サブナード(11地点)、地上の街路(5地点)として、具体的には図1、2に示す通りである。これらのうち新宿サブナード3地点及び地上の街路4地点においては、人手によるカウンター調査も実施した。

調査対象期間は令和2年1月20日から2月16日までであり、西武新宿駅改札前及び東京メトロの駅、サブナード、地上1地点においては当該対象期間全日においてセンサを設置し、地上の5地点においては1月22日と30日のみセンサを設置した。また、人手によるカウンター調査は1月22日と30日のみである。

なお、各日の天候は表1に示す通りである。



資料: 西武鉄道 HP

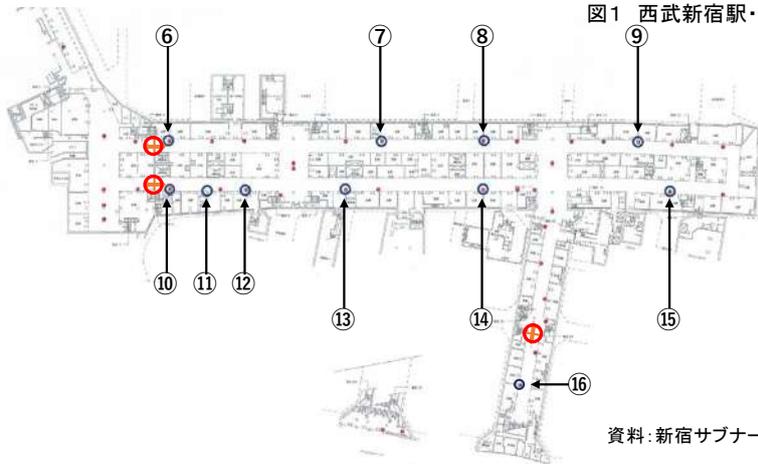


資料: 東京メトロ HP



資料: 東京メトロ HP

図1 西武新宿駅・東京メトロ新宿駅及び新宿三丁目駅の観測箇所



資料: 新宿サブナード株式会社提供



資料: GoogleMap

- 凡例
- ⊕ 人手による観測断面
  - ⊙ Wi-Fi観測地点

図2 新宿サブナード及び地上の観測箇所

表1 調査対象期間の最高・最低・平均気温及び降水量の合計

月日	平均気温 (°C)	降水量の 合計(mm)	月日	平均気温 (°C)	降水量の 合計(mm)	月日	平均気温 (°C)	降水量の 合計(mm)	月日	平均気温 (°C)	降水量の 合計(mm)
1/20	7.5	0	1/27	5.1	5	2/3	9.3	0	2/10	4.6	0
1/21	7.4	0	1/28	4.4	55.5	2/4	7.9	0	2/11	6.3	0
1/22	4.9	0	1/29	11.8	28	2/5	7.6	0	2/12	8.7	0
1/23	6.1	2.5	1/30	11.7	0	2/6	2.9	0	2/13	11.7	0
1/24	9.9	0	1/31	8.1	0	2/7	2.4	0	2/14	12	0
1/25	7.8	0	2/1	7.9	0	2/8	6.2	0	2/15	12.4	0
1/26	5	6	2/2	8.7	0	2/9	3.9	0	2/16	9.3	8.5

### 3. 観測の結果と考察

#### (1) センサから得られた ID 数

##### ① 西武新宿駅

西武新宿駅改札前に設置したセンサから得られた時間帯別の ID 数を平日で平均すると図3のようになる。

平日の時間帯別 ID 数の平均値を見ると、7 時頃から 9 時頃までと 17 時から 22 時頃までの ID 数が多く記録され、ラッシュ時間帯の混雑を表しているものと推察される。

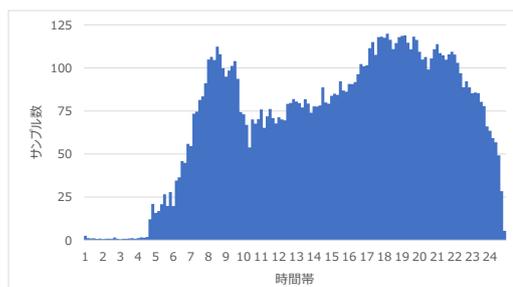


図3 西武新宿駅における平日の平均取得 ID 数

なお、朝のピーク時よりも夕方のピーク時の方において ID 数が多くなっているが、この理由としては、センサの ID 記録数に上限があり、本来記録されるべき ID がカウントされていないことや、朝ラッシュ時に高田馬場駅を利用していた(乗換を行っていた)通勤・通学等の旅客が夕方ラッシュ時において始発駅でより着席できる可能性が高い西武新宿駅にシフトしていることが推察される。

##### ② 新宿サブナード

新宿サブナードに設置したセンサから得られた時間帯別の ID 数を観測日ごとに整理すると図4のようになる。表1も合わせて比較し、雨天であった 1 月 28 日と平均気温が低かった 1 月 28 日及び 2 月 6 日、7 日の ID が比較的多いことが見て取れる。この結果は、悪天時に地下街の通行量が多いという一般的な傾向と一致するものと考えられる。

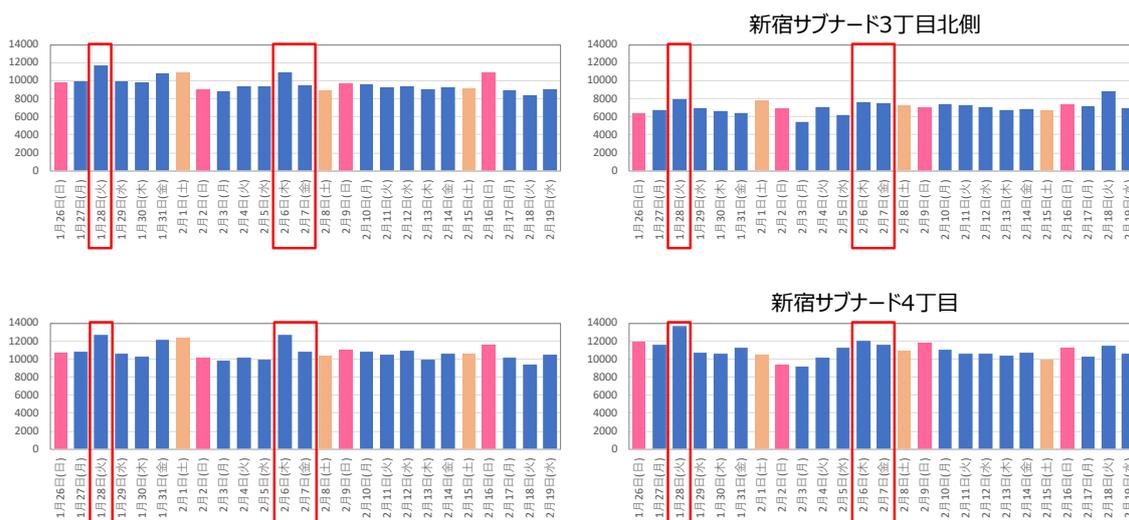


図4 新宿サブナードにおける観測日ごとの取得 ID 数

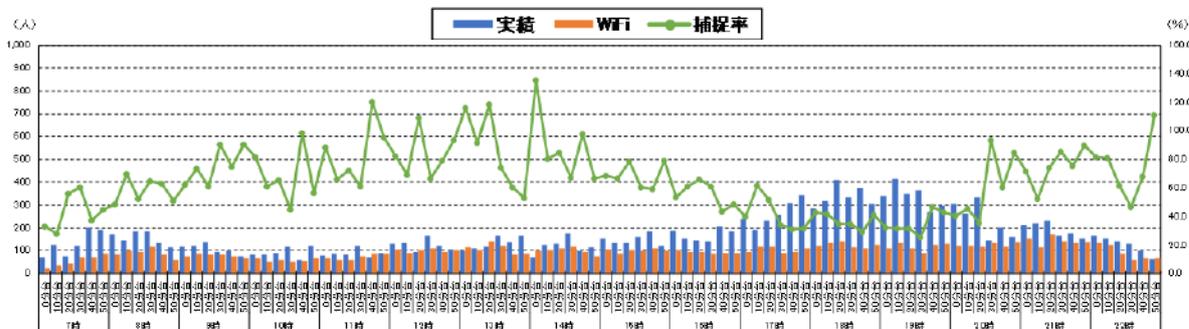
一方で、新宿サブナードにおいては、一部の観測日において人手カウンター調査も同時に実施している。センサと人手のカウンター調査による歩行者交通量を以下の図5において比較してみた。

各地点とも概ねセンサから得られた ID 数と人手カウンター調査から得られた歩行者交通量は、変動

の傾向が類似している。しかしながら地点により、センサから得られた ID 数に対する人手カウンター調査から得られた歩行者交通量の比(拡大係数)は異なる傾向にある。これはセンサの設置環境により端末より発する電波の取得状況が異なることに起因しているものと推察される。

また、歩行者通行量が一定数を超えたところで、センサから得られる ID 数が頭打ちになっている状況が見て取れる。これはセンサの ID データ保存容量に限界があるためであるものと考えられる。

【新宿サブナード1丁目北側(地点⑥): 1月30日】



【モア5番街(地点⑦): 1月30日】

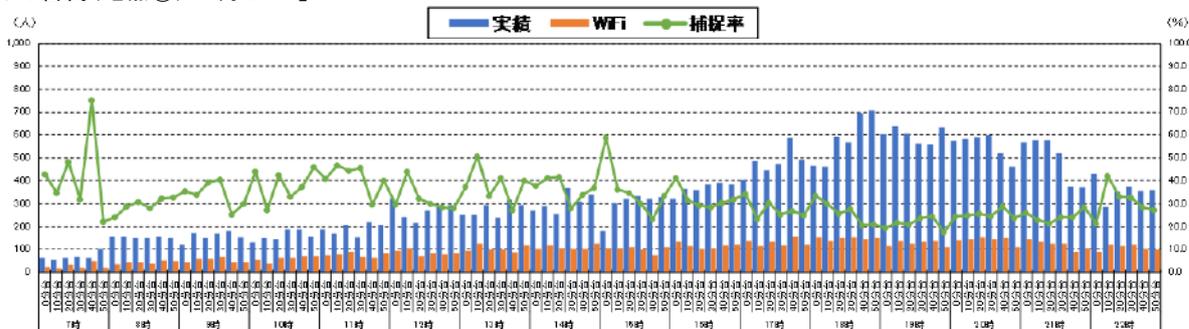


図5 センサによる取得 ID 数と人手カウンターの比較

新宿サブナードは一部において 2 つの通路(本稿では、北側通路、南側通路と称する。)が並行する区間がある。この 2 つの通路に関して、時間帯別に ID 数の取得割合を表したものが図 6 になる。これを見ると、午前中(特に朝ピーク時の 7、8 時台)は南側通路の比率が高く、その後時間を経るにつれて南側通路の比率が減少傾向となり、夕ピークの 17、18 時台は北側通の比率が高くなっていることが見て取れる。歩行者の地下通路内における経路選択に何らかの傾向がある(たとえば目的地に近い側の通路を選択する傾向にある等)の可能性が考えられる。

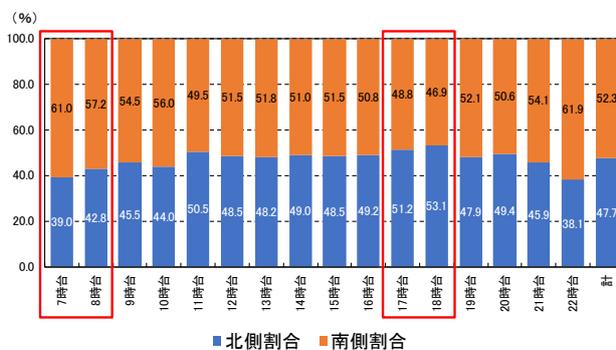


図6 北側通路と南側通路の時間別取得 ID 数の割合

以上の結果から、センサから取得される MAC アドレスの ID 数を用いることで、ある程度は断面交通量の変化の傾向を捉える可能性があるものと考えられる。

## (2) 2地点間における流動状況

地上においてセンサを設置した 1 月 30 日における西武新宿駅・東京メトロ駅間の流動状況を把握するため、西武新宿駅と東京メトロの駅(新宿駅、新宿三丁目駅)間において一定時間内に同一 ID が得られたサンプルを流動データとして扱い、この西武新宿と東京メトロの駅の流動データのうち、さらに、サブナードまたは地上の街路において同一 ID が観測された数を集計すると以下の図 7 のようになる。

西武新宿駅から東京メトロの駅に向かう方向に関しては 7 時頃をピークに午前中の流動が多く、その

一方で、東京メトロの駅から西武新宿駅に向かう方向に関しては午後の流動が多い。これは、通勤・通学の午前において都心方向、午後において郊外方向の流動が多い傾向を示しているものと考えられる。

サンプル数を見ると、それぞれ方向別に 340、549 となっており、乗換人員の推計値\*と比較するときわめて少ない。これは、MAC アドレスのランダム技術が各端末で、近年急速に進展した結果であるものと推察される。

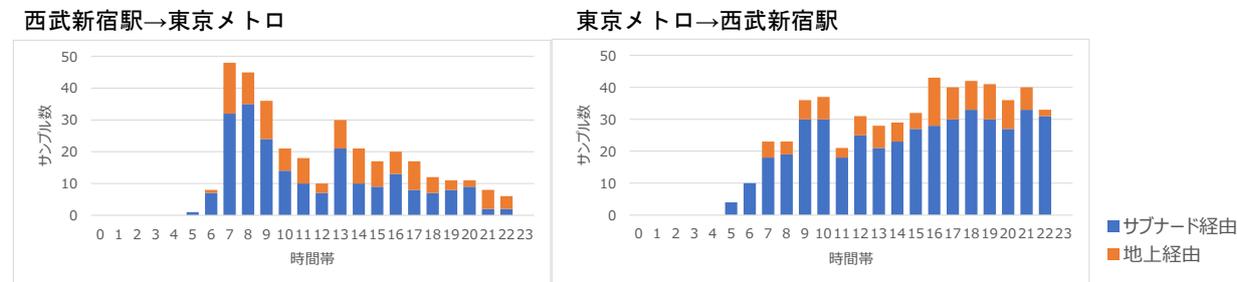


図7 西武新宿駅・東京メトロ駅間の流動数

※乗換人員の推計

都市交通年報<sup>9)</sup>においては平成 25 年度の西武新宿駅と東京メトロの乗換人員は 1 日平均 10,433 人とされている。その一方で、西武新宿駅乗降人員は平成 25 年度から平成 30 年度にかけて 5.32% 増加したことから<sup>10)</sup>、平成 30 年度の当該乗換人員は 1 日平均 10,999 人と推計される。

都市交通年報の定期外は、平成 25 年度新宿区の概況<sup>11)</sup>における定期外と定期の割合に比べて低くなっており、定期外の乗換人員を把握できていない可能性が高い。そのため、仮に平成 25 年度新宿区の概況における定期外と定期の割合と同等の割合で定期外の乗換人員も存在すると設定した場合、乗換人数は平成 30 年度の西武新宿駅と東京メトロの乗換人員は 1 日平均 20,351 人と仮定される。

(3) 地上と地下の流動状況の比較

西武新宿駅・東京メトロの駅間の移動において、経路は主に地下街である新宿サブナード経由と地上の街路経由とに二分される。このうち新宿サブナードには全箇所・全日に渡りセンサを設置したものの、地上の街路においては一部の経路上・期間に設置したのみであった(西武新宿駅及び東京メトロの駅は、全日にわたりセンサを設置)。そこで、経路別の流動数を比較するために、地上の流動数については、西武新宿駅・東京メトロの駅間の全体の流動数と新宿サブナード経由の流動数の差分をとることとした。しかしながら、ここで留意すべき点として、「西武新宿駅・東京メトロの駅間の全体の流動数」とは、西武新宿駅のセンサと東京メトロの駅のセンサの 2 箇所 で捕捉された ID 数である一方で、「新宿サブナード経由の流動数」とは、西武新宿駅のセンサ及び東京メトロの駅のセンサ、新宿サブナードのセンサの 3 箇所 で捕捉された ID 数である。すなわち、双方の ID 数は、センサで捕捉される可能性が異なり(新宿サブナード経由の ID が捕捉される可能性の方が低い)、等価ではない。この問題を解決するために、図8に示している通り、「新宿サブナード経由の流動数」については、「西武新宿駅のセンサ及び東京メトロの駅のセンサ、新宿サブナードのセンサの 3 箇所 で捕捉された ID 数」に新宿サブナードにおいて実施した人手によるカウンター調査から得られた拡大係数を乗じることにより、便宜的に算出した。この「新宿サブナード経由の流動数」をもって、「西武新

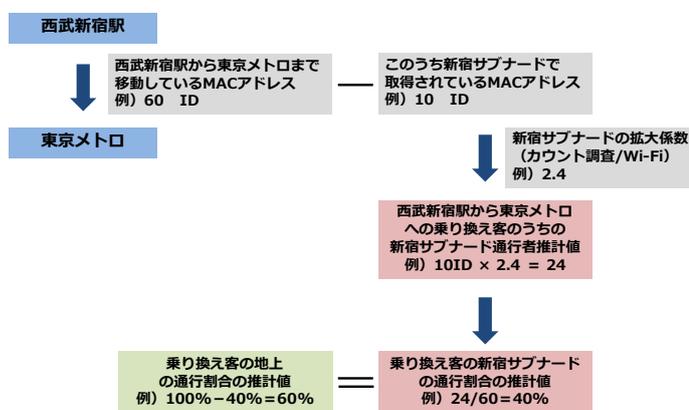


図8 西武新宿駅・東京メトロの駅間の移動の経路別の比率の推計の考え方

駅・東京メトロの駅間の全体の流動数」からの差分をとることにより、「地上の街路経由」の流動数を得ている。西武新宿駅・東京メトロの駅間の移動の経由別の比率を図9に示す。

図9の比率と表1の天候状況を比較すると、雨天日、低温日において新宿サブナード経由の流動数が他と比較して高い傾向が見て取れる。

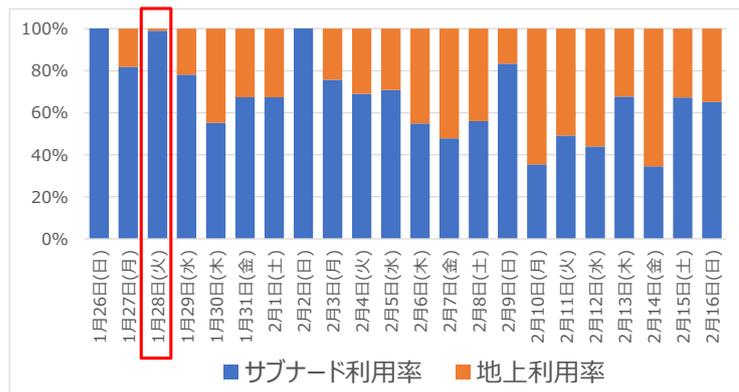


図9 西武新宿駅・東京メトロの駅間の移動の経由別の比率

#### 4. まとめ

本研究では、西武新宿駅の時間別のデータ取得状況や新宿サブナードにおいて悪天候や気温の低い日で取得された ID 数が多かったこと、人手カウンターとの比較において、傾向が類似していることから、地下空間においてセンサにより歩行動態の傾向を把握する上で一定の有用性があることを示した。

一方、歩行流動状況は、実数値に比べ、サンプル数が極めて少ない結果となった。これは MAC アドレスのランダム技術による影響と推察され、センサによる観測を行うにあたっては、ランダム技術を適切に処理する技術が必要な点に留意して、観測を行う必要がある。

また、他の研究においても示唆されているとおり、センサは歩行流動の実数を把握することを不得手としているため、施策の効果等をより高度に予測・分析するためには、レーザーカウンター等他の新技術との組み合わせることによる相互補完の手法等についても、整理、検証を行っていく必要があるものと考えられる。

#### 【参考文献】

- 国土交通省都市局都市計画課都市計画調査室：スマート・プランニング実践の手引き～個人単位の行動データに基づく新たなまちづくり～（第二版），2018.9
- 国土交通省都市局都市計画課：まちの活性化を測る歩行車両調査のガイドライン（ver1.1），2019.3
- 明光就平、倉内文孝、伊藤伸：Wi-Fi パケットセンサを用いた代表的観光パターン抽出の検討，第 60 回土木計画研究発表会・講演集，2019
- 東川晃久、木村優介：Wi-Fi パケットセンサを用いた観光街路空間における歩行流動の解析手法の検討，第 60 回土木計画研究発表会・講演集，2019
- 佐竹克仁、宇野伸宏、中村俊之：Wi-Fi パケットセンサを用いた観測間隔を考慮した代表的観光周遊パターン分析，第 60 回土木計画研究発表会・講演集，2019
- KhaimookSippakorn、葉健人、八木優治、青木保親、猪井博登、土井健司：限定設置条件下での Wi-Fi パケットセンサに基づく来街者の回遊行動の把握，第 59 回土木計画研究発表会・講演集，2019
- 寺部慎太郎、一井啓介、柳沼秀樹、小野瑞樹、康楠、田中皓：WiFi パケットセンサーを用いた歩行観光客周遊行動の二か年比較，第 58 回土木計画研究発表会・講演集，2018
- 太田香織、大村真輝、辻堂史子、浅尾啓明、西田純二：Wi-Fi 歩行者流動センサによる計測値から実数推定手法，第 58 回土木計画研究発表会・講演集，2018
- 運輸総合研究所：平成 27 年度版都市交通年報，2019
- 西武鉄道株式会社：駅別乗降人員，  
<https://www.seiburailway.jp/company/business/railway-business/data/index.html>
- 新宿区：平成 27 年度新宿区の概況，<https://www.city.shinjuku.lg.jp/content/000180018.pdf>