

Wi-Fi センサを用いた甲府市中心市街地の訪問者数と流れの推定 Estimating the Number of Visitors and Flow in downtown Kofu Using Wi-Fi Sensor

並木 純[†] 豊木 博泰[‡] 亀田 凌佑[†]

玉田 拓[†] 渡辺 喜道[‡]

Jun Namiki Hiroyasu Toyoki Ryousuke Kameda

Taku Tamada Yoshimichi Watanabe

1. はじめに

Wi-Fi 機能を有している携帯端末（スマートフォン等）等の普及に伴い、多くの市街地では無料通信スポットとして Wi-Fi アクセスポイント（以下、AP）が増加している。携帯端末では AP との通信を行うためにプローブパケットをブロードキャストし、周囲の AP の情報を収集している。そのパケットを収集、分析することにより人の流動を把握するシステムの研究が最近の数年間に多数行われてきた。研究対象は、観光地での狭域[1]、広域[2,3]行動パターン、建物内の人流[5,6]、自動車道路の流動[5]、市街地の歩行者流[4]などが主である。

人流の限られた出入口を有する建物の出入りを観測する場合であれば、絶対数の把握が比較的容易であるが、開かれた空間の移動については、行動パターンや相対的な多さを把握することは可能であるものの人数の把握は困難である。また近年、プローブパケットにランダム MAC アドレスを利用する端末が増加していることも、流動把握を困難にしている。

本研究では、毎年 3 日間、人手による歩行量調査が行われている甲府市中心街の調査地点とほぼ同じ地点に Wi-Fi センサを設置し、両者を比較することにより歩行者数の推定の精度を検討する。甲府市中心街は、多くの地方都市同様に空洞化が著しく、中心街の活性化施策に生かす人流把握への期待が大きい。そのため、調査は長期間行うこととしており、複数年にわたって Wi-Fi センサによる調査を行い、データは関係者に逐次公開することとしている。センシングからデータの公開までを継続的に行うシステムの構築をすることも本研究の目的である。

2. Wi-Fi パケットセンサの製作

多くの既存研究と同様に、Wi-Fi パケットセンサの製作には複製が容易であり安価である点から、Raspberry Pi 3 model B (以下、RasPi) を用いた。Wi-Fi パケットの受信を行うために Wi-Fi ドングル、データ通

信を行うために 3G ドングルを USB 端子により RasPi に接続する。OS は Raspbian Stretch、パケットキャプチャには tcpdump を使用した。

プローブパケットは 1 日分 RasPi 上に蓄積し、サーバへ scp により送信する。送信が成功した段階で RasPi から消去する。サーバ上にデータ管理用のユーザを作成し、そのホームディレクトリ下に RasPi 側の公開鍵を保管し、scp による自動送信を可能とした。RasPi が盗難にあうことによるサーバ不正アクセスの懸念はあるが、サーバを常時監視することとして、この方式を採用している。

併せて、常時サーバに ssh ポートフォワーディングセッションを張り、センサ監視、プログラムのアップデート等の操作をサーバから行えるようにした。センサが多数になっても、サーバ側のポート番号と RasPi の同定を容易に行えるように、RasPi のホスト名をハッシュ関数を用いてポート番号を決定する方式を採用した。他の地域での実証実験も含め 30 台以上の RasPi が稼働しているが、問題なく管理できている。

tcpdump プロセスが動作しているかどうかを cron により定期的に確認し、落ちていれば再起動するようにした。また、3G 回線の接続についても定期的に確認し、切れている場合は再接続を試みるようにした。

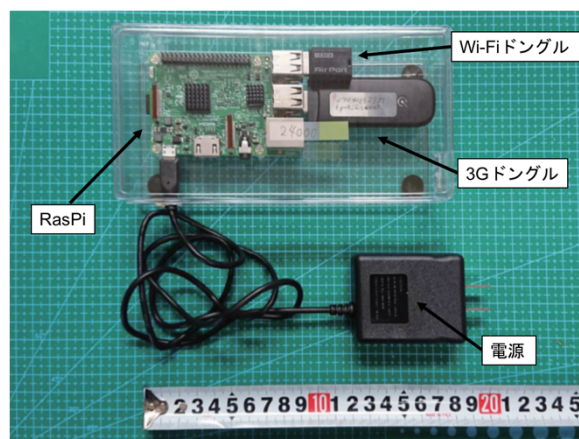


図 1 Wi-Fi パケットセンサ

[†] 山梨大学大学院工学専攻電気電子工学コース

[‡] 山梨大学大学院総合研究部工学科,

University of Yamanashi

3. パケットデータの処理

(1) プローブリクエストデータの処理

プローブリクエストデータからタイムスタンプ、受信周波数、受信強度、MACアドレスを抽出する。パケットデータを保存したファイル名に起動時刻を含めることとした。tcpdump が再起動したときには、1日分のデータは複数のファイルになっているのでそれらを連結し日毎のデータとする。

MACアドレスは6 Byteで構成されており、上位3 ByteはIEEEに定められている各メーカーのOUIであり、下位3 Byteはメーカーによって割り振られる端末の番号である。また上位1 Byteの7bit目はグローバルアドレスかローカルアドレスかを示している。プローブパケットを発信する際はMACアドレスをランダム化することがあり、その際は7bit目をローカルアドレスにする。本研究ではこれをランダムMACアドレスとして考える。MACアドレスはSHA256を用いてハッシュ化し、16進表現した後、末尾の16文字分を個々の端末IDとして保存した（以下、匿名アドレス）。このような短縮を行っても 10^6 程度のアドレス数では衝突はほとんど起こらず、一意性を確保できるとともに復号可能性を排除できる。

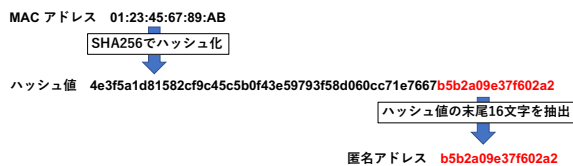


図2 MACアドレスの匿名化

(2) 滞在時間の抽出

日毎のデータから各端末の滞在時間の抽出を行う。図3に抽出方法を示す。匿名アドレスが初めてキャプチャされた時刻を滞在開始時刻とし、次に同じ匿名アドレスがキャプチャされた時刻を滞在終了時刻とする。その次に同じ匿名アドレスがキャプチャされている場合は滞在終了時刻を更新する。ただし次にキャプチャされるまでの時間間隔が10分以上空いた場合はいったんその地点を離れたものと解釈し、新たな端末としてカウントする。データは滞在開始時刻、滞在終了時刻、匿名アドレス、ランダム・固定MACアドレス区別フラグ、その間のパケット数に抽出する。滞在中データは地点ごとに記録する。

(3) 地点間移動者の抽出

地点ごとの滞在中データをすべての地点について日ごとに1つのファイルにマージし地点間の移動者の抽出を行う。図4に抽出方法を示す。匿名アドレス、時刻をキーにソートすることにより、地点間移動者を抽出する。アドレスごとに移動地点の回遊データとともに地点間移動数を把握するために地点ペアの移動データも作成した。

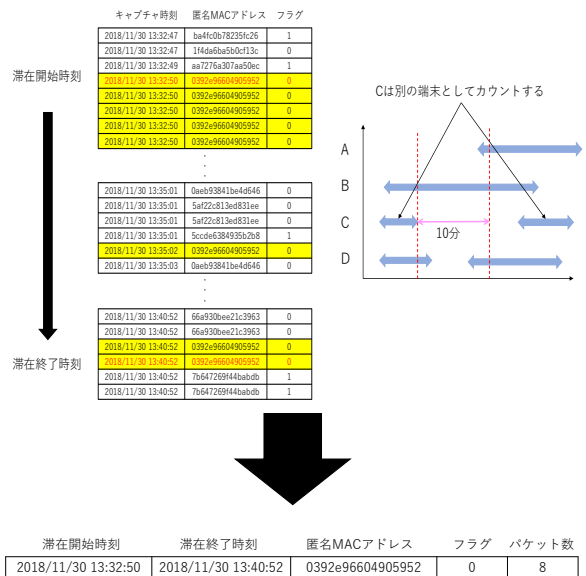


図3 地点ごとの端末抽出方法

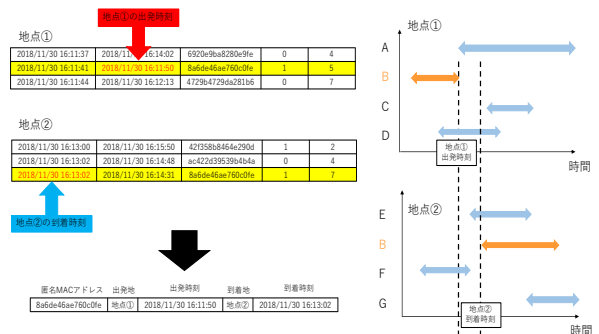


図4 地点間移動の端末抽出方法

4. 甲府市中心市街地の通行量及び流動推定

(1) センサ設置と観測

毎年11月の最終週の金土日に甲府駅を中心とした21地点で歩行量調査が行われている。それとほぼ同地点の店舗等に依頼し、許諾を得られた20か所にRasPiセンサを設置した。設置地点を図5に示す。調査地点は(a) 甲府駅北西にある朝日町商店街、(b) 甲府駅南口の平和通り沿いの官庁、オフィス街、(c) オフィス街に隣接した丸の内商店街、(d) 商店、飲食店が多い中央地域に大別される。(a)、(d)は空洞化が目立つ地域である。特に(d)は小売店が減少し飲食店が中心の街になってきている。

中央地域の1か所については軒下の地面近くに置いたため、塵埃等が原因で約4か月後に故障したが、それ以外は目立ったトラブルがなく2018年9月以降、観測を継続している。

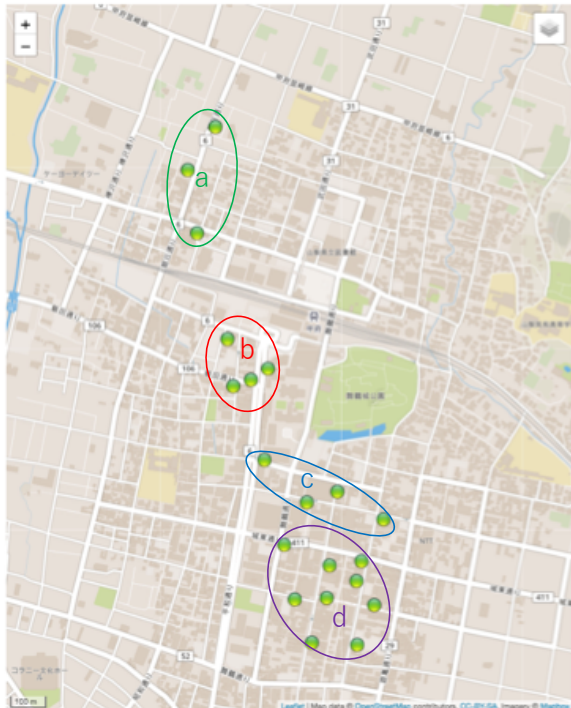


図 5 センサの設置地点

(2) 地点ごとの訪問者数及び地点間移動数

前節に記した方法を用いて訪問者数及び地点間移動数を日毎のデータとしてデータベースに登録し、それらを Web 上で閲覧できるシステムを構築した[7]. 地点, 時間, 日時範囲指定, グローバル・ランダムアドレスの選択などをユーザが行えるシステムとなっている. 表示例として, 2018/11/1~2018/12/31 の飲食店街 3 地点における端末アドレス数の変化を図 6 に示す. どの地点も週末にピークがある. また 12 月下旬の平日は比較的多いこともわかる.

地点間の移動数の時間変化の典型例を図 7 に示す. (c)~(d)は上述した地域の典型的な地点である. 全体として駅南の平和通りと, 商店街を東西に走る城東通りが多く, 特に朝夕の通勤時間帯が多い. 官庁街近くの飲食店を含む(b), (c)は昼時にもピークがみられる. また, 飲食店が多い商業地区(d)は夕方から夜に人出が増えることなど, 地区の機能が良く表れた結果となった.

城東通りの方向別の変化を図 8 に示す. この通りは自動車交通量が多い通りであり, 歩行者数よりも自動車の方が多いと考えられる. 東向きよりも西向きの方が多いことは, 周辺の道路網から直観的に理解できる. 地点間の旅行時間から, 移動手段別の流量をある程度推定することが可能と考えているが今後の課題である.

(3) 階層線形モデルによる歩行量調査と Wi-Fi データと比較

甲府市中心市街地の活性化に係る諸政策に資する目的で甲府市が毎年行っている歩行量調査[8]のデータとの比較を行った. 歩行量調査では, 21 地点に人を配し, 10 時から 20 時まで歩行者数, 自転車数, 原付自転車時間ごとの数を集計し公開している. 本研究での Wi-

Fi センサ設置店舗等はそのうちの 20 地点とほぼ同じ地点であるが, 最大 50 メートル程度, 交差点を挟んで離れたところも数カ所ある. 本稿では, 第 1 段階として, 自転車, 原付自転車を含めず, 歩行者数と Wi-Fi アドレス数の時間ごとの集計を比較する. 図 9 に両者の散布図を示す. データは 10 時間, 20 カ所, 3 日間のものでデータ数は 600 である. 相関係数は 0.51 であり, かなりばらついていることが視認できる. ばらつきの原因は, Wi-Fi パケットには, 周辺の建物内の居住者, 訪問者, 自動車による移動者のものが含まれていること, センサ設置場所が店舗の奥まったところにあたり窓際だったりとはばつきがあることが考えられる. 末木らは, 関係が 3 つのグループに分かれているように見えることから 20 地点を 3 グループに分けて相関

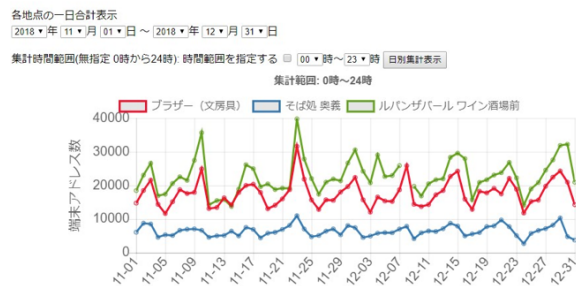


図 6 Web システムでの表示例 (飲食店街の 3 地点, 期間 2018/11/1~2018/12/31)

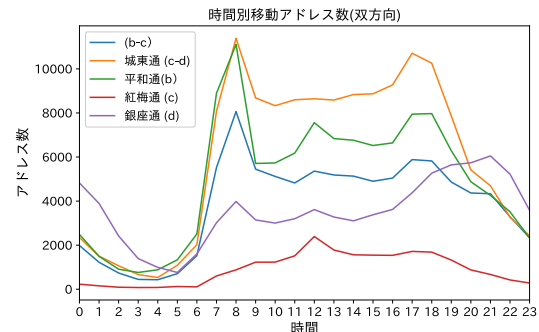


図 7 地点間の移動アドレスの時間変化例 (2018/9/1 ~2019/1/31)

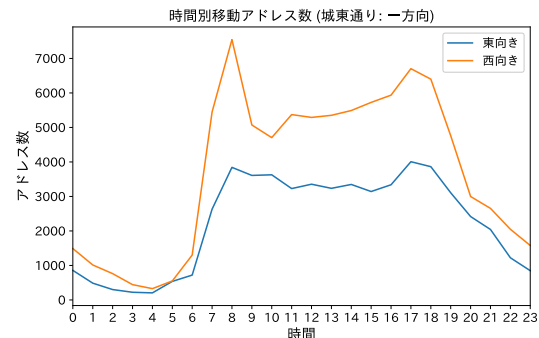


図 8 方向によって流動数が異なる通りの例

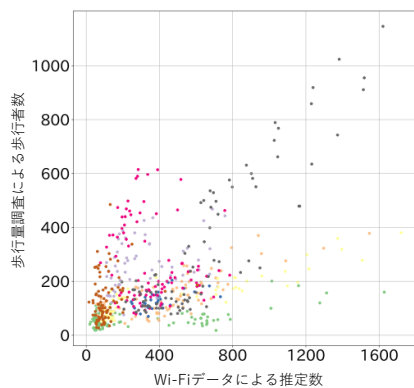


図 9 時間ごとの歩行者数とアドレス数

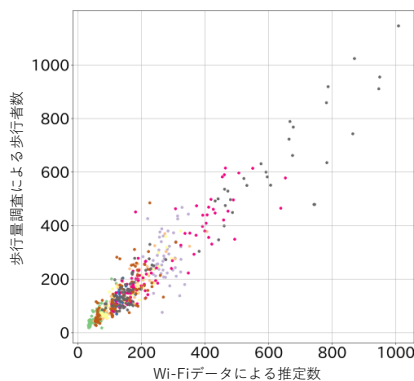


図 10 時間ごとの歩行者数と LMER による推定数

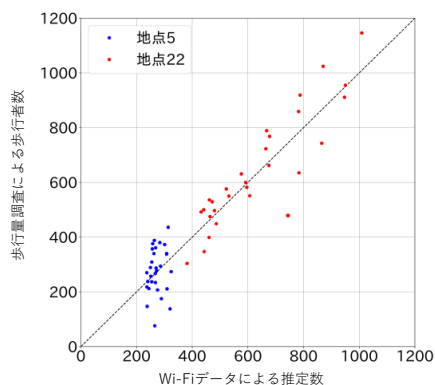


図 11 推定精度がよい地点と悪い地点の例 (地点 5, 地点 22 はそれぞれ図 5 に示したエリア b, c の右端)

を網羅的に計算し、もっとも相関が良くなるグループを見出した[9]。もっともよい相関係数は 0.92 であることを報告している。本研究では、グループに分けるのではなく、20 地点を下の階層として一般化階層線形モデル (以下, LMEM) によるフィッティングを行った。LMEM の計算には python の統計パッケージ statsmodels の mixedlm を用いた。LMEM では、全体の回帰係数と

それからの地点ごとのずれ (ランダム効果) が計算される。地点ごとの回帰係数を Wi-Fi パケット数に適用して推定した歩行者数と歩行量調査の値の散布図を図 10 に示す。相関係数は 0.94 であり、末木らの結果よりも若干良い値になった。しかし、地点ごとに相関係数を求めると 0.17 から 0.86 までであった。典型例を図 11 に示す。地点 5 は歩行量調査地点とセンサ地点が離れており、両者の相関が極めて悪い。LMEM から得られる結果として回帰係数の傾きの値が小さく、推定値の幅が実測値に比べ狭くなっている。

5. まとめ

甲府市が実施している歩行量調査とほぼ同地点に Wi-Fi パケットセンサを設置し、両社のデータ比較を、階層混合線形モデルを用いて行なった。3 日間の時間ごと推定値と実測値の相関係数は 0.94 であった。推定精度がかなり低い地点もあったが、歩行量の概要は把握できていると考える。歩行量には自転車等の交通手段による移動者が含まれておらず、また建物内の滞在者も入っていないので、歩行量の推定には限界がある。Wi-Fi データは歩行量というよりもむしろその地点の「賑わい度」を表す指標と捉えるのが妥当だろう。

参考文献

- [1] 壇辻貴生, 杉下佳辰, 福田大輔, 浅野光行, Wi-Fi パケットデータを用いた観光客の滞在時間特性把握の可能性に関する研究, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, pp247-254, 2017.
- [2] 五百蔵夏穂, 田中兼大, 中西航, 神谷大介, 菅芳樹, 福田大輔, Wi-Fi パケットセンシングによる沖縄本島観光客周遊パターンの特徴抽出, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集 01-15, 2018.
- [3] 遠藤幹大, 高橋央亘, 浅田拓海, 有村幹治(2018), Wi-Fi パケットセンシングによる広域観光圏における時空間周遊行動パターン分析, 同上 54-03.
- [4] 金子俊之, 松下雅典, 森谷武治, 斎藤育門(2018), 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, 同上 02-08.
- [5] 森本哲郎, 白浜勝太, 上善恒雄, Wi-Fi パケットセンサを用いた人流・交通流解析の手法, 第 14 回情報化学技術フォーラム, pp505-511, 情報処理学会, 2015.
- [6] Abdullah Kurkcu, Kaan Ozbay, Estimating Pedestrian Densities, Wait Times, and Flows with Wi-Fi and Bluetooth Sensors, Transportation Res. Record No.2644, pp.72-82, 2017.
- [7] Wi-Fi パケットデータによる甲府市中心街訪問者分析, <https://8tops.yamanashi.ac.jp/kofu/>, 2019 年 6 月現在
- [8] 平成 30 年度甲府市中心街歩行量調査結果報告書, <https://www.city.kofu.yamanashi.jp/shoko/business/san-kyo/shinko/documents/kekka.html>, 2019 年 6 月現在
- [9] 末木祐多, 佐々木邦明, 武藤慎一, 豊木博泰, Wi-Fi パケットセンサを用いた歩行者 OD 交通量の推定, 土木学会第 46 回関東支部技術研究発表会, 2019/3/13.