

Wi-Fi 歩行者流動センサによる計測値からの 実数推定手法

大田 香織¹・大村 真輝²・辻堂 史子³・浅尾 啓明⁴・西田 純二⁵

¹ 非会員 株式会社社会システム総合研究所（〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀 1-22-4）

E-mail:ota@jriss.jp

² 非会員 京都市都市計画局（〒604-8571 京都府京都市中京区寺町通御池上る上本能寺前町 488 番地）

E-mail: omuci670@city.kyoto.lg.jp

³ 正会員 株式会社シティアプランニング（〒600-8431 京都府京都市下京区綾小路通新町東入善長寺町 143）

E-mail: tujido-cp@par.odn.ne.jp

⁴ 非会員 株式会社社会システム総合研究所（〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀 1-22-4）

E-mail:asao@karn.asia

⁵ フェロー会員 株式会社社会システム総合研究所（〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀 1-22-4）

E-mail:nishida@jriss.jp

昨今のインバウンド観光客の急増に伴い、観光地における適切な観光客の案内誘導、観光地周辺の混雑緩和や交通安全の確保が課題となっている。筆者等は京都市内で観光客が集中する東山地区において、歩行環境改善・適切な案内誘導を目的とした Wi-Fi パケットセンサを用いた歩行者流動計測を行った。Wi-Fi パケットセンサは Wi-Fi 機器を保有する移動体（スマートフォンを持った観光客）を計測対象とする。このため、スマートフォンの保有率、保有者の属性の把握を行った。さらに Wi-Fi パケットセンサの設置環境によるデータ取得率の違いを分析した。本調査では、断面交通量のカウント調査、聞き取りによるアンケート調査を同時に実施し、観測交通量と Wi-Fi パケットセンサの計測結果から算出される交通量の比較を行った。この結果に基づいて、Wi-Fi パケットセンサの計測結果を設置条件に基づいて補正し、実交通量を推計するためのモデル式を構築した。さらにこのモデル式を用いて、Wi-Fi パケットセンサの計測結果を用いて、断面交通量の推計を行った。

Key Words: 公共交通計画, 道路計画, 交通量計測

1. はじめに

観光流動や交通流動の計測手段として Wi-Fi パケットセンサでの計測技術の研究が広まりつつあり、交通量だけでなく、広範囲での人の流動に関するデータがローコストかつリアルタイムに計測可能となってきた。

ラオス国ビエンチャン市内における渋滞情報提供のための交通観測システム¹⁾、浅尾らによる京都府宮津市における観光戦略の基礎データ取得のための観光流動調査²⁾、舞鶴市、京丹後市、伊根町、与謝野町の「海の京都都市圏」における観光客の域内動向、交通流動等の調査³⁾など計測事例も増え、様々な分析が行われている。

Wi-Fi パケットの計測では、計測対象は通信端末を保有し Wi-Fi 機能を ON にしている移動体に限られるため、観測値は実数値とは一致しない。

筆者等は京都市の「安心・安全な東大路歩行空間創出事業」の一環として、京都市東山地区において最も観光客が集中する祇園交差点～東山五条交差点間の東山地区において、2017年10月1日～2018年3月28日の間、Wi-Fi パケットセンサを用いた歩行者流動調査を行った。

併せて、2017年11月12日（日）、13日（月）の二日間、観光来訪者の属性を把握するためのアンケート調査と域内流動量を計測するための断面交通量調査を行った。アンケート調査では来訪者の属性とともにスマートフォンの保有率や、年齢別、国別の Wi-Fi 機能の On, Off 等を調査した。

これら3種類の調査結果を踏まえ、センサの設置個所の周辺状況の特性分析を行い、センサのデータ取得率に関する考察を行った。

2. Wi-Fi パケットセンサデータの基本特性

(1) Wi-Fi パケットセンサの仕組み

スマートフォンなどの多くの通信端末は、スタンバイ状態でも機種固有の MAC アドレスを含む探索パケット (Probe Request Frame) と呼ばれる管理パケットを送出している。このパケットを受信し解析することで移動体の交通流動を計測することができる。

さらに複数個所での受信データを突合することで、車両や人の移動速度や滞留時間、トリップパターンの計測が可能となる。

パケットに含まれる機器固有の情報は、それ単独では個人の特特定を行うことはできないが、例えば狙った個人を追跡して MAC アドレスを取得する等、悪意を持って個人情報との紐付けが行われた場合には、個人の行動追跡が行われる可能性がある。そこで本システムでは、取得した MAC アドレスをセンサ内で一方向ハッシュ関数により変換し、匿名化を行った上で分析処理を行うこととした。ここでは匿名化 (Anonymous) した MAC アドレスを用いた Probe Request を受信するセンサを AMP センサ (Anonymous MAC address Probe Sensor) と呼ぶ。

AMP センサシステムの構成は図-1 の通りであり、Wi-Fi パケットをキャプチャした後すぐに匿名化処理を行い、取得ログを内部メモリに保存した後、一定時間ごとにセンタサーバにアップロードを行う。

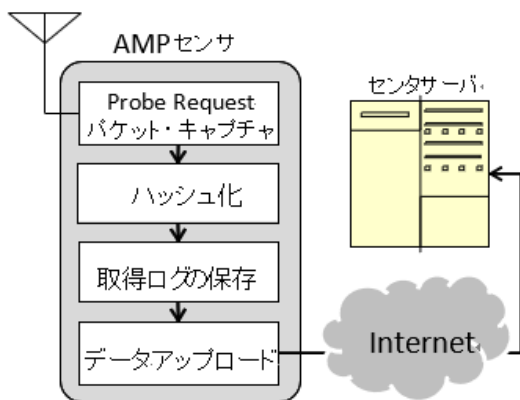


図-1 Wi-Fi パケットセンサのシステム構成

(2) Wi-Fi パケットセンサの特性

昨今のスマートフォンの急速な普及により、AMP センサが受信する Wi-Fi パケットの多くはスマートフォンが発しているものである。そこで筆者らはスマートフォンと AMP センサの距離により AMP が受信する電波強度 (RSSI) がどの程度変化するかを計測した。

望月・西田ら⁴⁾によれば、電波強度はスマートフォン機種による差はあるが、センサから 6m 以内で -60dBm 程

度、それ以上の距離では -70 dBm から -80 dBm 程度で、10 m 以上の距離では顕著な電波強度の差は計測されていない。

また、スマートフォンをかざすように保持 (自撮り棒のように頭上に保持) すると、見通し距離で 200 m 程度の位置でもパケットが受信できるが、ポケットやカバンに入れたスマートフォンでは、実用的な測定範囲はセンサから 40 m 程度となることが明らかになっている。

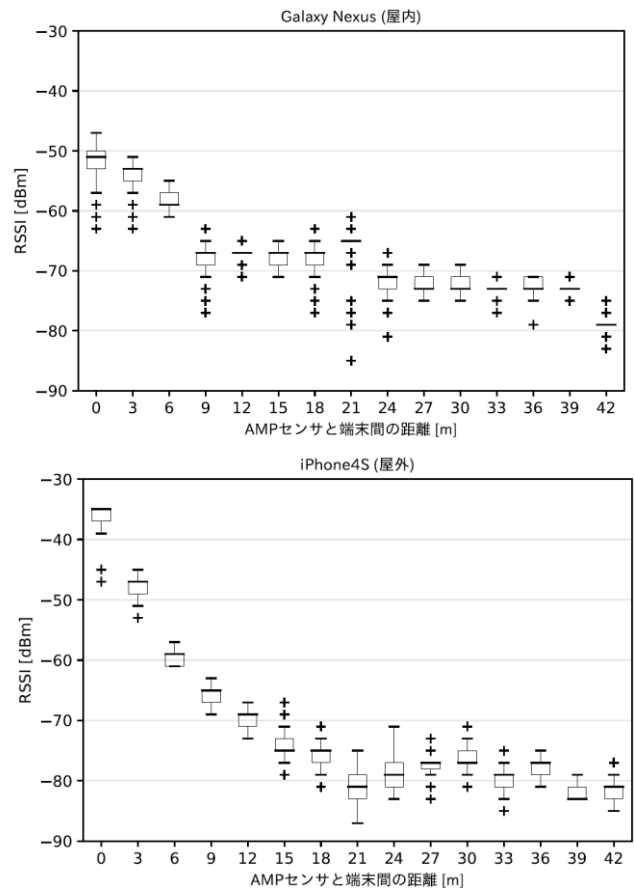


図-2 端末との距離と電波強度の関係⁴⁾

次に、スマートフォンの保持方法と障害物 (人垣等) の有無による電波強度については、コンクリート構造部等の電波が反射しやすい屋内ではスマートフォンの保持方法による影響は比較的小さいが、電波の反射が期待できない屋外にあっては、身体を隔ててスマートフォンを保持することにより、電波強度は 10 dBm ほど減衰している。また、人垣等の障害による電波強度への影響も大きく 20dBm 近い減衰が見られることが明らかになっている。

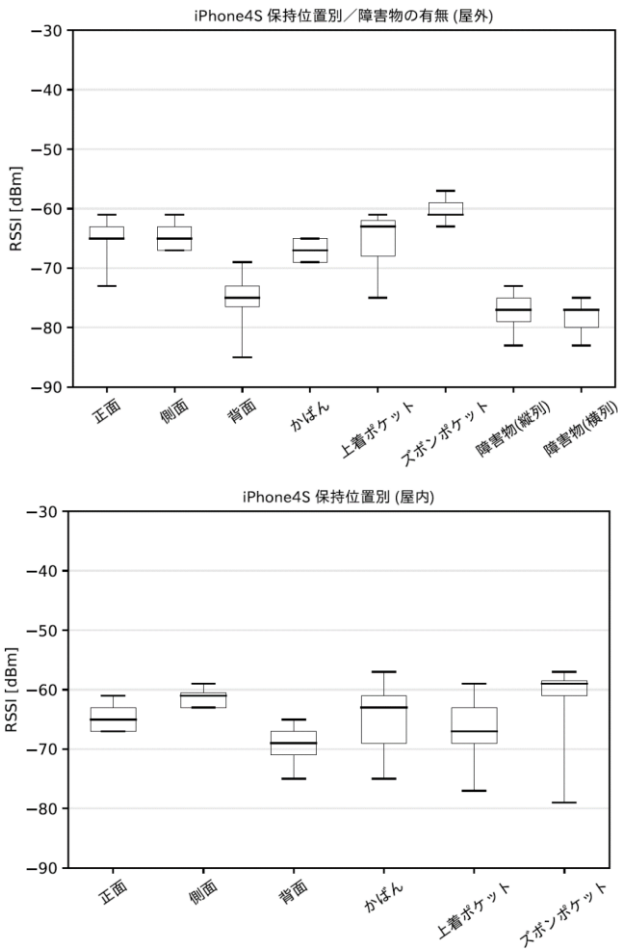


図-3 保持形態・障害物の有無による減衰⁴⁾

以上のことから、AMP センサは最大 200m 程度の受信範囲を持つが、都市内での実質的な測定範囲はセンサから 40m 程度といえる。

また周辺に電波を反射させる構造物（木造以外の鉄筋コンクリート建築物等）があるエリアでは、反射波が発生しやすくデータ取得率は向上する。周辺に木造建築物や樹木が多いエリア、見通しの良い広場等の中にある場合は反射波が発生しにくく取得率は低下する。

Wi-Fi の周波数帯である 2.4 GHz, 5 GHz 帯の電波は直進性が高いだけでなく、人体に吸収されやすい特性をもつことから、混雑するエリアにおいては人が遮蔽物となりやすい。このような環境では、AMP センサを高い場所に設置し、雑踏による遮蔽の影響を受けにくくするといった対策が有効であると考えられる。

3. スマートフォンの保有率と Wi-Fi オンの割合

AMP センサが受信する Wi-Fi パケットである Probe

RequestFrame は、Wi-Fi がオンになっている端末のみ検知できるものであることから、スマートフォンの保有率と Wi-Fi をオンにしている人の割合を調査するため、2017 年 11 月 12 日（日）、13 日（月）の平休 2 日間で観光客を対象とする聞き取りによるアンケート調査を実施¹⁾した。

この調査ではインバウンド観光客に対応するため、調査票は日本語、英語、中国語の 3 種類作成し、英語、中国語でのヒアリング対応のために京都大学、岐阜大学の留学生を含む 18 名の学生らの協力を得て実施した。

調査内容は、Wi-Fi の利用状況を含め、個人属性、旅行形態、京都での滞在日数、交通手段、経路検察ツールなどの 7 項目である。

この結果によれば、スマートフォンの保有率は、日本人観光客の 86.8%、外国人観光客の 97.1%、全体平均で 90.2%であった。

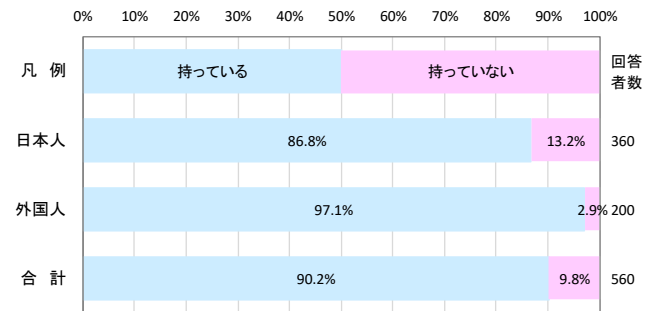


図-4 京都市東山地区における観光客のスマートフォン保有割合

しかし、Wi-Fi をオンにしている割合は低く、日本人で 57.1%、外国人で 75.1%、平均で 63.6%という結果であった。

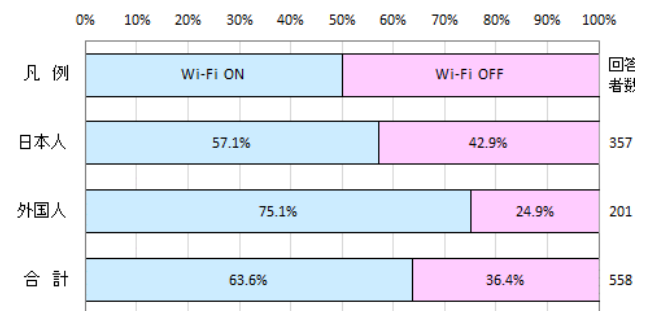


図-5 Wi-Fi をオンにしている割合

これを年齢別に集計すると、Wi-Fi をオンにしたスマートフォンを保有している割合は、30 歳代から 60 歳代では 70%近い割合を示しているが、10 歳代と 70 歳以上では 50%以下に割合が低下する（図-6）。

¹⁾本調査は平成 29 年度国土交通省 国土技術政策総合研究所の委託による「観光流動把握を目的とした交通流動推定システムの研究開発」の中で実施したものである。

さらに、国別に Wi-Fi をオンにしたスマートフォンの保有率を見てみると、日本・香港・台湾の保有率が低いことがわかる(図-7)。これらの結果を総合すると、Wi-Fi をオンにしたスマートフォンの保有率は全体で $63.6\% \times 90.2\% = 57.4\%$ となった。

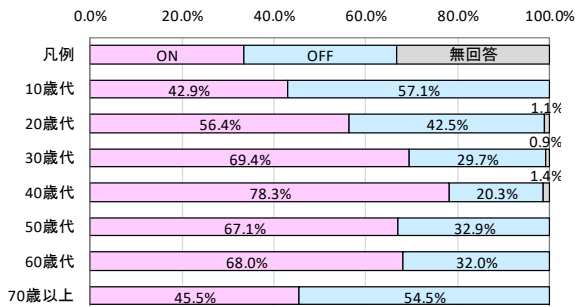


図-6 年齢別の Wi-Fi をオンにしている割合

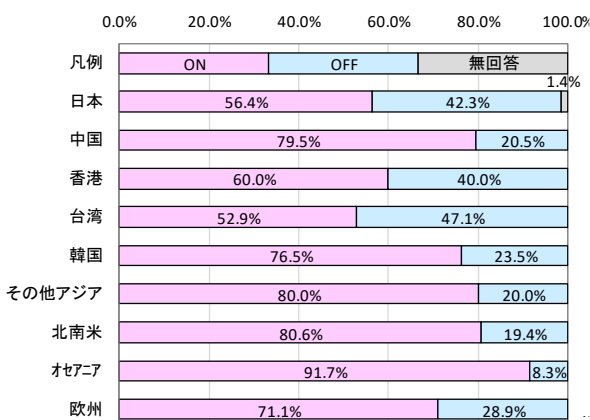


図-7 国別の Wi-Fi をオンにしている割合

4. MACアドレスのランダム化の影響と除去

Google 社と Apple 社は、モバイル機器の追跡によるプライバシー侵害を避けるために 2014 年頃より MAC アドレスのランダム化機能を搭載すると発表し、Apple 社は 2014 年に iOS 8 で、Google 社は 2015 年に Android Ver6 でランダム化機能を追加した。しかし、その後ランダム化機能の実装の不具合やスマートフォンの脆弱性によって MAC アドレスのランダム化が事実上無効であることが明らかになった。

このため、iOS 10 や Android においてもランダム化機能が一時停止されたとの話もあり、スマートフォン全台数の中での MAC アドレスのランダム化を行っている割合は少ないと考えられる。

しかし、ランダム化された MAC アドレスは 1 台のスマートフォンが複数台存在しているかのように観測されるため、調査結果に深刻な影響を与える。

そこで、ランダム化された MAC アドレスを除去する方法として、ランダム化 MAC アドレスの特定の位

置に特定の数字が与えられているという特性を活用し、ランダム化パケットを除去するフィルタを開発した。このフィルタを用いることで、ランダム化されていない MAC アドレスを選択的に取得することができるようになった。

このランダム化されたスマートフォンの台数割合は、受信記録から算出することが困難であるが、AMP センサの取得数と後述する断面交通量調査の比較データを用いて比定することができる。

5. 設置環境による AMP センサのデータ取得率

(1) データ取得率に影響を与える因子

AMP センサのデータ取得率は、センサ周辺の移動体が保持するスマートフォン等の Wi-Fi 機器の保有率やセンサを設置する周辺環境によって変化する。

周辺に電波を反射しやすい建物が多い場合や、鉄筋コンクリート造りの屋内のような環境では反射波を受信することができるため取得率は高くなる。

逆に周辺に電波を反射するものがない広場や、さらに電波の吸収体である人体や樹木、高湿な木造建物等が多い場合にはデータ取得率は低くなる。

特に京都東山地区の清水寺周辺のように観光客の集中が激しく AMP センサの前に人垣ができるようなケースでは、AMP センサの設置位置を人の身長よりも高い位置とすることで、人垣による遮蔽効果を緩和することができる。

また、滞留時間もデータ取得率に影響を与える要因の一つである。これまでの研究によれば、スマートフォン等の機器が発する Wi-Fi パケットの送信間隔を計測したところ、送信間隔が短い機器で 10 秒前後、長い機器で 2~3 分であることが明らかになっている。

従って、AMP センサの検知範囲となるエリアに、計測対象とする移動体が 3 分以上滞留する場合は、かなりの確率で検知されることとなるが、AMP センサの検知範囲から短時間で離れてしまう場合には、移動体は検知されない確率が高くなる。

(2) AMP センサ設置条件の分類

AMP センサの設置状況によりデータの取得率が大きく変化することから、後述する 8. 京都東山地区における観光流動調査において設置した 20 基の AMP センサの設置条件を比較した。図-11 に示す設置地点の特性を、①周辺状況 ②設置の高さ ③滞留状況 で整理し、3 段階での評価を与えた。

① 周辺状況 (Re)

- A：鉄筋コンクリートや鉄骨造の電波を反射しやすい建物の屋内、または 10 m 以内のセンサに対面する近接した場所に電波を反射する建物がある
- B：10 m 以内に電波を反射しやすいお建物がなく、人や樹木などの電波吸収体は少ない
- C：対面に電波を反射する建物がなく、さらに人や樹木などの電波吸収体が多い
- ② 設置高さ (Rh)
- A：2 m 以上の高所で、周辺の人垣の影響を受けにくく、見通しが良い場所
- B：1.5 m～2 m の高さで、人の身長程度の位置で、見通せる場所
- C：1.5 m 以下で、人垣や車両に阻まれる高さにあり、見通しが悪い場所
- ③ 滞留状況 (Rr)
- A：名所旧跡や商業施設など、数分以上滞留する場所に面している
- B：信号交差点や写真撮影などで、1～2 分程度の滞留が発生する場所に面している
または、写真撮影をしながら歩くなど、人の歩行速度は遅い
- C：滞留がなく、ほとんどの人はAMPセンサの前を通過する

この分類に従って、地区内に設置した AMP センサの設置条件を比較したものが表-1 である。

京都東山地区は、伝統的建造物群保存地区等の景観に配慮した制限が設けられている地区が多く、全体に低層の木造住宅が多い。また、樹木に囲われた設置地点も多く、電波吸収が行われやすい設置環境である。

東大路神幸道の場合、センサと反対側にホテルがあり、体の反対側ポケットにスマートフォンが入れられていたとしても、電波は建物で反射されて受信できる可能性が高く、また、センサの前に障害物がないため、取得率は高くなると考えられる。

しかし、下河原高台寺の場合では、センサの反対側が植栽で電波吸収体であるため、電波の反射が期待できずデータ取得率は低下すると考えられる。また、清水寺（松原通清水寺）の AMP センサの場合、高い位置への設置ができなかったため、センサの前に人垣が発生し電波が遮断されることがあり、受信ロスが発生しやすいと考えらる。

表-1 京都東山地区における AMP センサの設置状況

設置個所名	周囲の状況 (電波反射・吸収)	センサーの設置高さ	センサー周辺の 滞留状況
①東大路神幸道	A	A	B
②下河原神幸道	B	A	A
③ねねの道神幸道	C	C	B
④ねねの道中央	C	B	C
⑤下河原安井	C	C	C
⑥東大路安井	B	A	B
⑦清水坂駐車場	B	A	A
⑧ねねの道高台寺	C	C	B
⑨下河原高台寺	C	C	C
⑩東大路高台寺	B	A	B
⑪東大路八坂通	B	A	C
⑫下河原八坂通	C	C	B
⑬二寧坂八坂通	C	A	B
⑭産寧坂松原通	B	A	A
⑮松原通清水寺	C	C	A
⑯茶わん坂清水寺	B	A	B
⑰五条坂茶わん坂	A	C	C
⑱松原通中央	C	A	C
⑲東大路松原通	C	A	B
⑳東大路五条坂中	B	B	C



図-8 ①東大路神幸道の設置個所



図-9 ⑨下河原高台寺の設置個所



図-10 ⑮松原通清水寺の設置個所

6. AMP 観測データを用いた断面交通量推定モデルの構築

2017年11月12日（日）に実施した交通量調査の結果から、当該地区の歩行者流動量と AMP センサが取得し

た方向別流動量の比較を行った(表-2)。AMP センサの配置箇所と交通量観測調査の実施箇所は図-11 に示している。

表-2 断面交通量と AMP 取得数との比較

断面	調査地点名	方向	歩行者 交通量 人/12h	車両含む 交通量*2 人/12h	AMP 観測数 個/12h	対歩行者 取得率 %	対車両含 取得率 %
21	東大路 神幸道	①⇒②	2,914	5,564	1,344	46.1%	24.2%
		②⇒①	3,159	4,493	1,295	41.0%	28.8%
22	下河原 高台寺	⑩⇒⑨	5,169	10,845	1,313	25.4%	12.1%
		⑨⇒⑩	5,087	9,405	1,844	36.2%	19.6%
23	松原通 中央	⑱⇒⑱	8,077	8,187	1,486	18.4%	18.2%
		⑱⇒⑱	8,178	11,502	1,905	23.3%	16.6%
24	五条坂 茶わん坂	⑳⇒⑰	11,498	23,271	2,974	25.9%	12.8%
		⑰⇒⑳	9,600	19,294	3,185	33.2%	16.5%
25	下河原 安井	⑤⇒⑤	4,406	4,492	401	9.1%	8.9%
		⑤⇒⑤	2,717	3,766	363	13.4%	9.6%
26	ねねの道 高台寺	④⇒⑧	7,626	7,934	851	11.2%	10.7%
		⑧⇒④	7,683	7,745	1,034	13.5%	13.4%

この結果から、AMP センサの設置地点ごとの設置環境が異なるため、実測値の交通流動量と AMP 観測数の間にかなりの開きがあることがわかる。また、地点ごとの取得率にも大きな差が生じている。そこで、AMP センサによる取得データを設置環境の違いを反映させて補正し、断面交通量を推計するモデル式の構築を試みた。

各箇所を設置された AMP センサが計測する区間流動量 (Namp) と、実際にその区間を流動するパーソントリップ数 (Npt) との関係は、AMP センサの設置環境や設置条件により決定される取得率 (Ramp) によって規定されることは前述した通りである。

さらに道路断面を通過するパーソントリップ数は、歩行者の人数 (Nw) と車両に乗車して移動する人数 (Nv) の合計となるが、車両により移動する人数は、センサ前を停車せずに短時間で通過する場合と、信号交差点のようにセンサ前で停車する場合とでデータ取得率 (Rv) に差が出るものと予想される。

また、Wi-Fi をオンにしたモバイル機器の保有率を Rwifi とし、MAC アドレスのランダム化を行っている端末の割合を Rrdm とすると、これらの間には下記の関係式(1a)が成立する。

$$Namp = Ramp (Nw + Rv Nv) \times Rwifi (1 - Rrdm) \quad (1a)$$

また Ramp は交通量計測対象断面の両側に位置する i 及び j の 2 か所の AMP センサのデータ取得率の積として表現できると考えられるため、Ramp = Ri × Rj である。この Ri, Rj は計測対象断面の両側の AMP センサのデータ取得率であるが、設置環境である周辺状況(Re)・設置高さ (Rh) ・滞留状況(Rr)の影響を受ける。そこで Re,

Rh, Rr に対し、AMP 計測値と実測交通量の比較を行い、次の減衰率を設定した。

$$A : 5\% \quad B : 15\% \quad C : 25\%$$

すなわち、設置条件が[AAA]の取得率は0.85%、[ABC]の取得率は0.60%、[CCC]の取得率は0.42%となる。当該区間における通過全トリップ中の歩行者トリップの割合を rw とすれば、

$$Nw = Npt \times rw, \quad Nv = Npt (1 - rw) \quad (1b)$$

となるため、

$$Namp = Ramp \times (Npt \times rw + Rv \times Npt \times (1 - rw)) \times Rwifi \times (1 - Rrdm) \quad (1c)$$

これを Npt について解けば、下記の関係式が得られる。

$$Npt = \frac{Namp}{Ramp (rw + Rv(1-rw)) \times Rwifi (1 - Rrdm)} \quad (1d)$$

ここで、各変数は下記の通りである。

- Npt : 計測対象区間を移動する断面通過パーソントリップ数
- Namp : 計測区間において、AMP センサが取得したユニーク ID の計測数
- Ramp : 計測区間両側 (i, j) の AMP センサデータ取得率 (Ri, Rj) の積
(AMP センサの設置環境と設置方法によって算出される: 表-2)
- rw : 計測区間を通過するパーソントリップにおける歩行者の割合
例: 歩行者専用道は 1.0, 自動車と歩行者がほぼ同数の道路では 0.5
交通量調査や現地視認調査によって設定する。
- Rv : 自動車からの AMP センサのデータ取得率。車両走行速度から算定。
時速 10 km で通過する道路では 0.5, 交差点信号待ち渋滞がある場合は 0.8
計測対象区間を時速 50 km で通過する場合は 0.1。走行速度から算出。
- Rwifi : 計測対象者で Wi-Fi をオンにしている人の割合。
京都東山では 57.4%
- Rrdm : MAC アドレスのランダム化率。

京都東山では、実測値と AMP 計測値の比較から、15%の値を用いる。

ことから、敷地内を移動する流動の一部を計測している可能性がある。

表-3 東山地区調査断面における AMP 取得率

断面	下流側 AMP 設置環境	上流側 AMP 設置環境	上流側 AMP 取得率	下流側 AMP 取得率	調査地点名	方向	歩行者の割合	車両移動の割合	車両移動速度
21	A A B	B B A	A A B	B B A	東大路 神幸道	①⇒②	52.4%	47.6%	低速通過
						②⇒①	70.3%	29.7%	一時停止
22	A A A	C C C	A A A	C C C	下河原 高台寺	⑩⇒⑨	47.7%	52.3%	低速通過
						⑨⇒⑩	54.1%	45.9%	一時停止
23	C A B	C A C	C A B	C A C	松原通 中央	⑩⇒⑩	98.7%	1.3%	低速通過
						⑩⇒⑩	71.1%	28.9%	一時停止
24	B B C	A B C	B B C	A B C	東大路 五条坂	⑳⇒⑰	49.4%	50.6%	低速通過
						⑰⇒⑳	49.8%	50.2%	一時停止
25	C C C	C C C	C C C	C C C	下河原 安井	⑤⇒⑤	98.1%	1.9%	低速通過
						⑤⇒⑤	72.1%	27.9%	一時停止
26	C B C	C C B	C B C	C C B	ねねの道 高台寺	④⇒⑧	96.1%	3.9%	低速通過
						⑧⇒④	99.2%	0.8%	一時停止

7. 推計交通量と実測交通量の比較

京都東山地区で実施した断面交通量調査では、歩行者交通量と車種別交通量をカウントしているが、東山地区の自動車流動はほとんどが観光に伴う流動であるため、一般地域における車両の平均乗車人員より多人数の乗車が観測された。

そこで、現地で視認による乗車人数調査を行い、そのデータをもとにタクシーを含む乗用車（ワゴン車による送迎を含む）の平均乗車人数を3人として総移動パーソントリップ数を算出した。

自動車やバスでセンサ前を通行する場合には短時間で通過するため、歩行者よりデータ取得率は低く、そこで歩行者の平均歩行速度を5km/時、車両の平均走行速度を10km/時と想定して、車両で移動する人のデータ取得率を歩行者の50%と設定した。車両の平均走行速度を10km/時としたのは、東山地区では観光客が車道部を歩行していることから、自動車の走行速度がかなり制限されていることを反映した数値である。東山地区以外の地域の道路では、車両の走行速度はより高い数値とする必要がある。さらに交差点付近での車両の停滞による影響を推計モデルに反映させることとした。例えば東大路五条坂では、信号待ち等による影響に、時には激しい渋滞が発生する。東大路に流出する側の車線では、車両の運行速度は歩行者と同じあるいはそれ以下に速度低下するケースも見受けられた。そこでこの影響を推計モデルに反映するため、交差点への流入側と流出側でRvの値を変化させた。流出側の走行速度を6.5km程度と想定し、流出側のRvを80%と設定した。

このようにして設定された各断面におけるRampを算出するための断面両端のAMPセンサの取得率Ri、Rjを表-3に示している。またこの取得率を式1dに適用して推計された交通量と実測調査により得られた交通量を表-4にまとめた。

この結果によれば、推計値と実測値の乖離は0.29%~16.23%であり、平均推計誤差は7.48%と、比較的良好な結果を示している。

推計誤差の大きな観測断面について見てみれば、下河原高台寺と寧々の道は、計測区間の間に観光客も利用する石部小路などの街路があり、それら街路を利用して流入する流動がAMPセンサでは計測されておらず、実測値との乖離が発生している可能性がある。また東大路神幸道は八坂神社敷地縁端部にAMPセンサを設置した

表-4 推計交通量と実測断面交通量の比較

断面	調査地点名	方向	AMP 観測数値/24h	AMP 観測数値/12h	下流側 AMP 観測率 %	上流側 AMP 観測率 %	AMP 流動量 取得率	歩行者交通量の割合	自動車からの取得率	歩行者歩行速度 (m/s)	自動車平均速度 (m/s)	歩行者歩行速度 (m/s)	MAC 係数	推計交通量 PT数	実測交通量 PT数	推計誤差	推計値と実測値の差
21	東大路 神幸道	①⇒②	1,400	1,238	0.77	0.68	52.4%	52.4%	0.5	0.574	0.13	0.13	6,215	5,564	11,779	652	
		②⇒①	1,349	1,193	0.68	0.77	52.4%	70.3%	0.8	0.8	4,851	4,493	7,988	358			
22	下河原 高台寺	⑩⇒⑨	1,368	1,210	0.86	0.42	36.1%	47.7%	0.5	0.5	9,085	10,845	16,238	-1,757			
		⑨⇒⑩	1,921	1,699	0.42	0.86	36.1%	54.1%	0.8	0.8	10,271	9,458	10,271	965			
23	松原通 中央	⑩⇒⑩	1,544	1,369	0.61	0.52	32.3%	98.7%	0.5	0.5	8,537	8,187	4,288	350			
		⑩⇒⑩	1,984	1,759	0.53	0.61	32.3%	71.1%	0.8	0.8	11,535	11,562	0,298	-33			
24	東大路 五条坂	⑳⇒⑰	3,098	2,740	0.61	0.53	32.3%	49.4%	0.5	0.5	22,717	23,271	2,388	-554			
		⑰⇒⑳	3,318	2,934	0.53	0.61	32.3%	49.8%	0.8	0.8	20,208	19,294	4,738	913			
25	下河原 安井	⑤⇒⑤	418	370	0.42	0.42	17.6%	98.1%	0.5	0.5	4,237	4,492	5,678	-255			
		⑤⇒⑤	378	334	0.42	0.42	17.6%	72.1%	0.8	0.8	4,019	3,768	6,728	293			
26	ねねの道 高台寺	④⇒⑧	885	784	0.48	0.48	23.0%	96.1%	0.5	0.5	6,945	7,924	12,458	-988			
		⑧⇒④	1,071	963	0.48	0.48	23.0%	99.2%	0.8	0.8	8,292	7,745	7,968	547			
														平均誤差	7.48%		

8. 京都東山地区における観光流動調査への適用

(1) 東山地区における観光流動調査の目的と概要

近年のインバウンド観光客の急増により、京都市の祇園から清水寺にかけての地区では、観光シーズンの混雑が激しく、周辺住民の生活に支障が発生しているだけでなく、観光客にとっても安全で快適に観光を楽しめる環境の提供が課題となっている。

このような状況の下で、京都市では当地区の歩行者の分散と歩行環境の整備を目的に「平成29年度安心・安全な東大路歩行空間創出事業」を実施し、この事業の一環として、地区内の交差点部付近の商業店舗等に20基のAMPセンサを設置し、観光客流動の計測を行った。

また先述の通り、2017年11月12日(日)・13日(月)の2日間にわたり地区内の6か所において断面交通量調査と2か所のバス待ち人数カウント調査、さらに観光客の属性とスマートフォン等の端末機器の保有率を調べるためのアンケート調査を実施した。

断面交通量調査、アンケート調査を行った地点とAMPセンサの設置位置を図-11に示す。

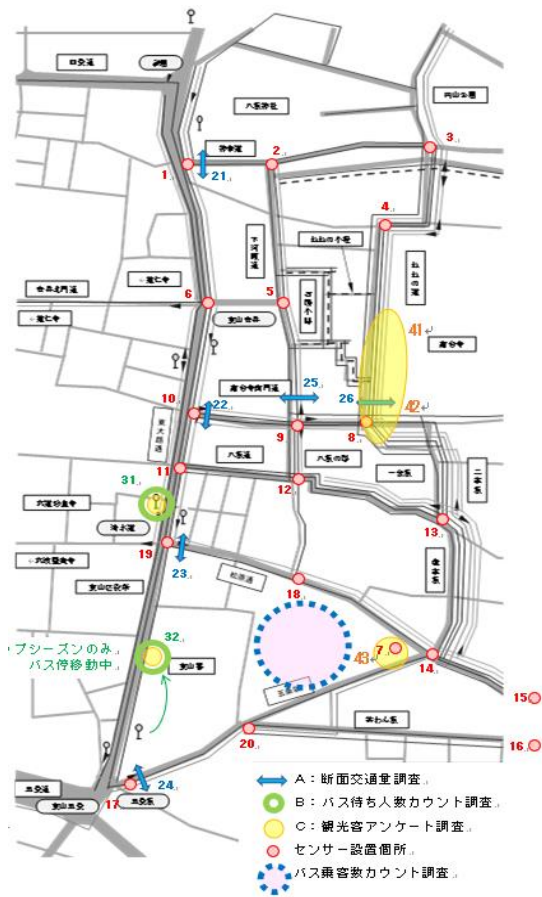


図-11 AMPセンサ設置位置と各調査の実施地点

(2) 観測期間の流動量の変化

図-12 は AMP センサが取得したユニーク ID の期間変動を示したものである。2017年度の観光流動のピークは 11 月 25 日の紅葉シーズンの連休となっており、降雨日の観光客の減少も捉えている。

11 月の紅葉シーズンに次いで来訪客が多いのは 1 月 1 日の初詣の時期であった。

さらに、1 週間に 3 日以上計測されたユニーク ID を地域住民等と定義し、その割合を図示している。観光客が増加する週末や連休には混雑を避けて地域住民の流動が減少している。特に年末年始において最も住民の流動量が減少している様子が捉えられている。

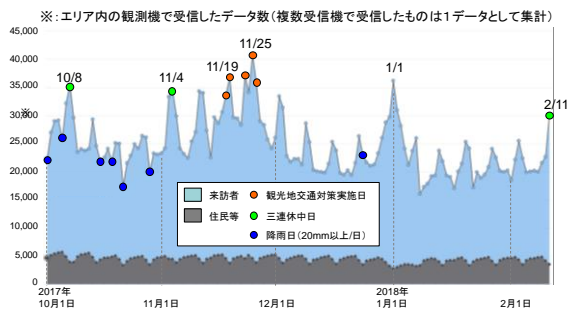


図-12 京都東山地区における観光流動の変動

(3) 道路区間別の歩行者流動量の推計

地区内の 6 断面において、平日・休日の 2 回、12 時間交通量のカウント調査を実施した。交通量カウント調査を実施していない道路区間や時間帯については、AMP センサの観測データに式 1d を適用し流動量を推計した。

一般に観光流動は時間変動・曜日変動・季節変動が大きいことから、観光流動の全容把握を行うためには、多数の地点、長期にわたる計測を実施する必要がある。

しかし AMP センサを使えば、少ない観測地点で実施したカウント調査結果をもとに、週間や月間交通量や、ピーク時の交通量を推計できる。また実測していない地区間の流動量の推計を行うことができる。

この手法を用いて、地区内の前道路断面に対して、2017 年 11 月の 1 日平均交通量を求めた。この結果を図-13 に示している。また 11 月の交通量の日変動を推計し図-14 に示した。

図-13 を見ると、清水道、五条坂、産寧坂などの西側の道路に歩行者が集中している様子が捉えられており、この結果をもとに、京都市ではねねの道など利用の少ない東側の道路整備を行い、観光客の地区内分散をはかるための対策を検討することとなった。

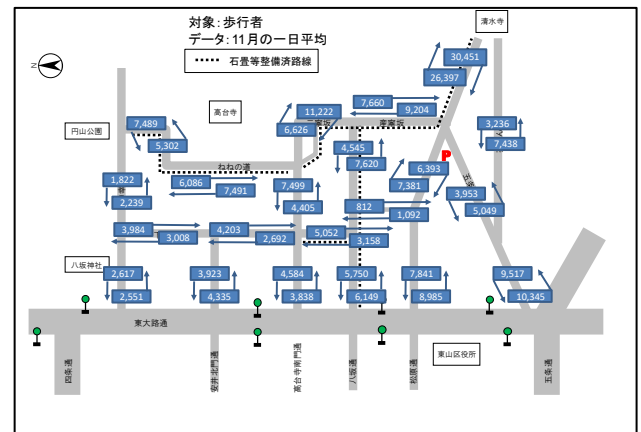


図-13 東山地区における 2017 年 11 月の 1 日平均歩行者交通量

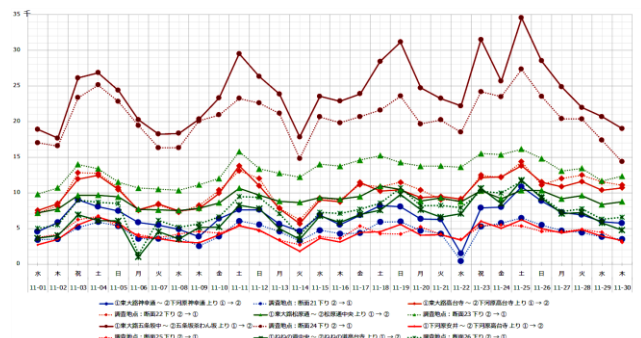


図-14 11 月の歩行者交通量の変動

9. おわりに

本論文では、AMP センサを用いて地区の実流動交通量を推計するモデル式を提案し、このモデル式の現況再現力の高さ（平均推計誤差 7.48%）を確認した。またこのモデル式を適用して、少数かつ短期間の断面交通量観測結果を用いて、長期間にわたる多数の断面の交通量の推計が可能であることを示した。

AMP センサの設置箇所ごとのデータ取得率の設定にあたっては、実測値と観測値の比較データから経験に基づき設定した減衰率を適用した。この結果、現況再現性が高い推計モデルを得ることができたものの、今後はより多様な設置環境の下で計測を行い、設置環境とデータ取得率の関係について、統計的なアプローチにより正確な数値を導き出すことが必要であると考えている。

また、MAC アドレスのランダム化についても、プライバシー保護の観点から、導入が進む可能性が高い。実際に iOS の最新版では一定の条件下で MAC アドレスのランダム化を開始したことを確認している。今後は被観測者のプライバシー保護に留意しつつ、研究を深化させていく必要があると考えている。

謝辞：本研究は平成 29 年度「安心・安全な東大路歩行空間創出事業」の委託を請けて実施しました。また、現地調査においては、京都大学、岐阜大学にご協力をいただきました。ここに改めて謝意を表します。

参考文献

- 1) 大田香織, 西田純二, 三島あい, 森本哲郎, 浅尾啓明: 開発途上国における IoT センシングの実務的課題と対応策, 土木計画学会第 55 回土木計画学研究発表会春大会 No. 55,2017
- 2) 浅尾啓明, 森本哲郎, 望月祐洋, 西田純二, 安東直紀: Wi-Fi パケットセンサーによる交通流動解析, 土木計画学会第 53 回土木計画学研究発表会春大会 No. 53,2016
- 3) 浅尾啓明, 西田純二, 安東直紀, 前田繁: Wi-Fi パケットセンサーによる交通常時観測システムの実用化, 土木計画学会第 55 回土木計画学研究発表会春大会 No. 55,2017
- 4) 望月祐洋, 西田純二他: Wi-Fi パケットセンサを利用した匿名人流解析システムの構築, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-MBL-70 No. 45, 2014. 3

(2018.4.27 受付)

THE ACTUAL NUMBER ESTIMATION METHOD BY MEASURED VALUE OF WI-FI PEDESTRIAN FLOW SENSOR SYSTEM

Kaori OTA, Masaki OMURA, Fumiko TSUJIDO, Hiroaki ASAO, Junji NISHIDA