

Wi-Fi パケットセンサを用いた関西 3 空港間の旅客流動解析手法の研究

名古屋大学未来社会創造機構 特任准教授 中村俊之

航空・空港利用者はインバウンド旅客の急増期を経て、COVID-19 による旅客需要の激減に直面している。今後のポストコロナ社会やスーパーメガリージョン構想等を見据え、需要変化に対する機動性・即応性の高い輸送サービスの実現が望まれる。そのためには旅客流動をリアルタイムに、広域に計測することが求められる。本研究では、国内外で活用が進むスマートフォンが発する Wi-Fi ビーコンを計測することで人流解析を行う Wi-Fi パケットセンサを活用し、プライバシー保護・個人情報保護法に準拠しつつ関西 3 空港および関西圏の主要地点における流動解析手法および広域流動計測基盤に関して研究を行うものである。

キーワード：Wi-Fi パケットセンサ、リアルタイム旅客計測、広域流動

1. はじめに

昨今の個人のモバイル端末保有率は 8 割、個人のスマートフォン保有率も 7 割を超えるに至っている。モバイル端末の保有者は、歩行中でも、自動車および公共交通（バス・鉄道）での移動中においても端末を肌身離さず携帯している。このモバイル端末・スマートフォンが発する Wi-Fi ビーコンを計測することによる人流解析が国内外で活用が進んでいる。

学術研究の一例として、浅尾ら（2016）¹⁾は京都府宮津市において設置した 28 箇所の Wi-Fi パケットセンサにより常時観測システムを構築し、OD 表などによる流動パターンを把握している。鉄道駅における乗降客数の実測値と観測値の比較を行い、センサによって概ねの変動を捉えている。

壇辻ら（2017）²⁾は奈良県桜井市の長谷寺参道を対象に Wi-Fi パケットセンサを用いた観光客の回遊行動分析とアンケート調査により取得したデータの分析の結果を比較し、観測地点から観光客の交通手段を推定し、鉄道利用者と自動車利用者における滞在時間特性の違いを明らかにした。

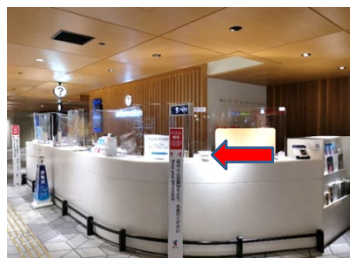
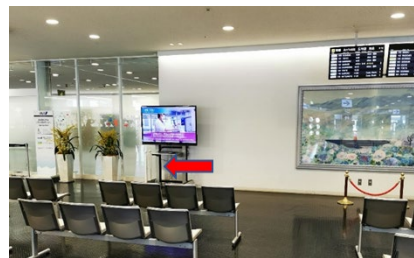
中西ら（2018）³⁾は沖縄・本部半島の観光地 13 箇所に Wi-Fi パケットセンサを設置し、観

光周遊パターンの把握を行った。センサデータから観光地間の OD 表およびトリップチェーンを作成し、時系列変動や地点間流動量の大小関係について実際の来場者数との比較分析を行った。

こうした学術研究での活用が進む Wi-Fi パケットセンサに関して、西田（2020）⁴⁾はデータ収集の基盤技術の開発、個人情報保護のためのデータ処理・計測手法の確立から、実用化・商用化までの課題と技術的障壁の克服の過程に関して整理し、Wi-Fi パケットセンサの利活用可能な土台の形成に尽力した。

さて、新型コロナウイルス感染症（以下、COVID-19）が世界中で猛威を振るい、いまでも多くの人々の生活や経済に影響を与えている。COVID-19 により人間の価値観、行動は大きく変わり、アフターコロナの時代における都市にも大きな方向転換を求められている。コロナ以前では市街地活性化や観光等で回遊できるまちとして、都市の経済効果や成長が見込まれるために、人を集積させることを主眼に置いた施策が展開されていた。一方で、アフターコロナ時代では密度回復と 3 密の回避という矛盾する問題の解決が求められることとなる。とりわけ、移動だけでなく、人の滞留が発生する大規模鉄道ターミナルや空港においては、この矛盾する問題に対処が求めら

表 1 関西 3 空港の Wi-Fi パケットセンサ設置箇所

①：関西国際空港（2F 国内線ロビー）  	②：関西国際空港駅  
③：大阪国際空港（空港カウンター）  	④：神戸空港（到着ロビー）  

れている。航空・空港に着目すると、利用者はインバウンド旅客の急増期を経て COVID-19 による旅客需要の激減に直面しているが、ポストコロナ社会やスーパーメガリージョン構想等を見据え、需要変化に対する機動性・即応性の高い輸送サービスの実現が望まれている。

そうした背景を踏まえ、本調査研究では国内外で活用が進むスマートフォンが発する Wi-Fi ビーコンを計測することで人流解析を行う Wi-Fi パケットセンサを活用し、プライバシー保護・個人情報保護法に準拠しつつ、関西 3 空港および関西圏の主要地点における旅客流動をリアルタイム、かつ広域に計測する流動解析手法および広域流動計測基盤を構築することが目的である。

2. 関西 3 空港でのセンサ設置とデータ収集

2.1 関西 3 空港でのセンサ設置

本研究ではリアルタイムの流動把握、広域流動把握のデータ取得のために、関西国際空港（以下、関空）・大阪国際空港（以下、伊丹）・神戸空港（以下、神戸）の 3 空港に Wi-Fi パケットセンサを設置する。

設置箇所はセンサ購入および調査費用制約から空港と鉄道駅を結ぶ歩行者動線上で関空 2 箇所、他空港は 1 箇所、計 4 箇所とした。表 1 に設置箇所を示す。センサ設置にあたっては、事前に動線上の設置箇所を選定し、空港管理会社および鉄道事業者との協議・承諾を経て、2021 年 9 月 7・8 日の 2 日間で設置し

た。なおセンサ設置に先立ち、個人情報に配慮し、プライバシーポリシーを設定の上、ホームページ上で公開し、研究代表者の所属する名古屋大学の研究倫理委員会の承認を経て、データを収集した。

2.2 収集されるデータ

サーバーにおいて収集されるデータ項目は、データレコード番号、タイムスタンプ (UNIXTIME)、匿名化 MAC アドレス、センサ ID、シーケンス番号、OUI、RSSI である。

このうち、匿名化 MAC アドレスは一定期間ごとに变化するソルトと MAC アドレスで生成したハッシュ値であり、ソルトは保存していないため、一定期間経過後は MAC アドレスとは照合不能ある。OUI はネットワーク機器の物理アドレスである MAC アドレスの前半部にあたり、メーカーごとに割り当てられる番号である。標準化団体の IEEE が一元的に管理し、通信機器メーカーなどに発行している。RSSI は、受信信号強度を示すものである。

3. 関西 3 空港での分析結果

関西 3 空港に設置したセンサより収集されたデータを活用した分析結果を示す。

3.1 観測数の時間帯別推移

図 1 は各センサが取得したデータを 15 分単位で集計し、1 日分を時間帯別推移として示したものである。空港という特性上、フライトスケジュールに影響を受けた各空港の特徴を把握することができる。

関空に設置したセンサ (図 1 中: オレンジの線) では朝・昼にピークがあり、夕方にもややなだらかなピークが見られる。また夜間にも取得が見られるのが特徴的である。一方、関空の駅構内に設置したセンサ (図 1 中: 青の線) では、朝・夕にピークが見られ、夜間はほぼ取得されていない。

伊丹 (図 1 中: 緑の線) では朝の 8 時から急速に増え夜は 21 時以降に急速に減少する様子が特徴的である。図では昼よりも夕方の方の方がやや大きい、その日のフライトの関係等も考えられる。

神戸空港 (図 1 中: 赤の線) は取得が少なく、目立ったピークは見受けられない。

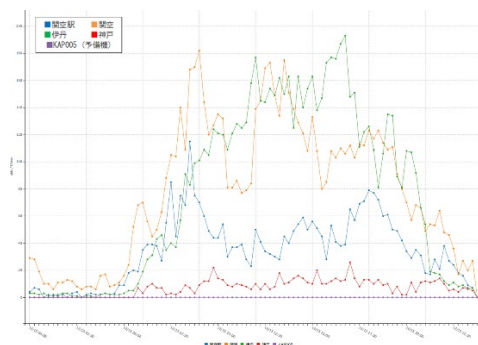


図 1 関西 3 空港 (平日) での時間帯別推移 (2021 年 12 月 15 日 (水))

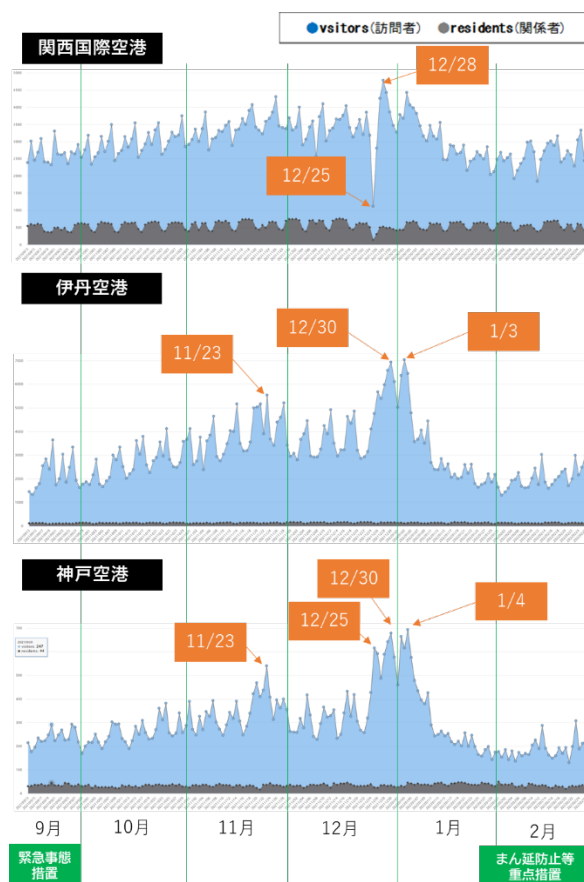


図 2 関西 3 空港での日別観測数の推移 (設置~2022 年 2 月末)

3.2 観測数の長期推移分析

図 2 は設置後から 2 月末時点までの推移グラフである。取得したデータを 1 週間単位 (月曜 0 時~日曜 24 時) で解析し、同一 ID が週のうち 3 日以上観測された場合に residents (関係者)、それ以外を visitors (訪問者) として判別し、日単位で図化している。

関空では、ノコギリ様に定期的なピークが見られるが、visitors の傾向にけん引され 1 週間のうち金曜が最も多く、次いで火曜が多い。

全体として年末年始に向け緩やかに上昇し、ピークは2021年12月28日（火）に観測されており、1月以降は12月以前より取得数が減っていることが確認できる。

伊丹空港では、秋の行楽シーズン（11月23日頃）から年末年始に向けての人出の回復、年末年始をピークにして、COVID-19の影響による縮小傾向が表現されている。1週間のうちではvisitorsで日曜に取得が多く、次いで金曜に多いため週末にピークが見受けられる。

神戸空港でも年末年始のピークと、1月以降の減衰を見て取ることができる。定期的なピークは伊丹空港と同様に日曜・休日に生じている。

3.3 滞在時間分布

同一地点のセンサで1日に複数回の観測があった場合に、最初と最後の観測時間の差を算出することで、滞留時間の解析を行うことができる。ただし、朝に観測された対象が、日中は別の場所へ移動した後、夜に再度観測された場合には1日中滞在していたことになるため、120分以上の集団にはこれらが含まれることには留意が必要である。一方で5分以下の滞在も多く観測されているが、これは通過者を含んだ数値となる。

図3は空港別滞在時間分布である。空港という施設の特徴から、その滞在時間分布は概ね同様の形状であることが確認できる。また、センサ設置数からも利用者の観測は、一方通行の5分以内、および120分以上が多い。特に120分以上に関しては、residentsを含む解析となるため、長時間滞留は空港にて仕事をされている方が観測されている可能性が高い。

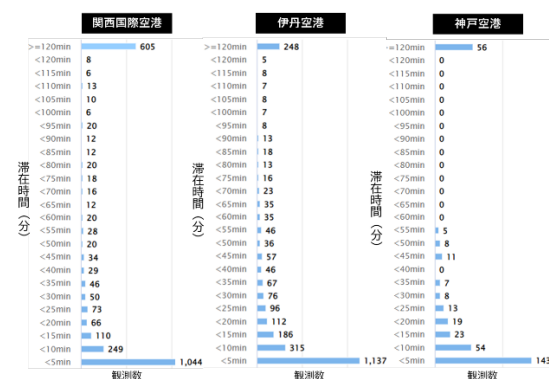


図3 関西3空港での滞在時間分布
(2022年2月6日(日))

4. 広域流動解析の実現に向けて

4.1 広域流動解析の意義

本調査研究では、関西3空港にWi-Fiパケットセンサを設置し、リアルタイムでのデータ収集、分析環境を構築しているが、国内線と国際線(国内線)の乗り継ぎの旅客よりも、関西3空港から関西の各都市への旅客流動を把握することが求められている。その理由としては、コロナ回復期における旅客流動変化や空港アクセスサービスの検討、大阪・関西万博に向けた旅客流動リアルタイム計測に基づくインフラ整備等への活用が挙げられる。

4.2 広域流動解析の連携先

前節の意義を踏まえ、既に関西圏でWi-Fiパケットセンサを設置・計測を行っている主体との協議の上で、連携を図ることとした。協議の結果、参加意向を示した事業者は下記に示す10団体であり、センサ設置個所とともに表2に示す。関西圏にセンサ設置を自らで行っている団体もしくはセンサによるデータ管理を行っている団体である。

表2 広域流動解析の連携先

- ①奈良市、②尼崎市、③一般社団法人あまがさき観光局、④京都大学、⑤名古屋大学
- ⑥岐阜大学、⑦近畿日本鉄道、⑧南海電気鉄道、⑨西日本旅客鉄道
- ⑩社会システム総合研究所

参加意向に基づき、個々の主体が収集しているデータを広域流動解析に活用する箇所(2022年3月31日時点)を表3に示す。

表3 広域流動解析の対象箇所

- ①関西国際空港、②伊丹空港、③神戸空港、④JR京都駅、⑤JR大阪駅、⑥奈良駅、⑦阪神尼崎駅、⑧JR尼崎駅、⑨南海なんば駅

※奈良駅は、JRおよび近鉄の鉄道駅の双方での観測を元にデータ生成

4.3 広域流動解析実現に向けた課題

Wi-Fiパケットセンサ設置している団体より連携協力の参加意向を取り付け、解析するセンサも合意したものの、広域流動解析の実現には法的、技術的、事業的課題が存在しており、その課題をまとめたものが図4である。

法的課題として各機関が実施している観測

調査のプライバシーポリシーの変更、技術的課題として関西圏の主要ターミナルから収集される大量データの処理が可能なデータセンタの構築、複数機関から提供されるデータを管理・分析するための明示的な責任主体の設立や継続性のある事業モデルの構築等が必要となる。

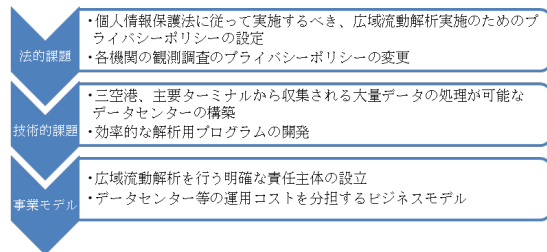


図4 広域流動解析実現に向けた課題

4.4 個人情報保護法への対応

Wi-Fi パケットセンサより収集されるデータには、ハッシュ化した MAC アドレスが含まれる。2017 年から施行された改正個人情報保護法では、さらに個人情報の定義に、「個人識別符号」が加えられており、MAC アドレスは個人情報保護法に定義する個人情報そのものには該当しないが、個人情報に準じた形で取り扱う必要がある。

広域流動解析の実現にあたり、広域連携解析のために連携する各機関が、当初設置を行った Wi-Fi パケットセンサの計測時のデータ収集・利用の目的に加えて、広域連携解析を行うためのデータ利用目的、取得の方法、データの取扱い方法などの告知（WEB、ポスターやステッカー他）を行う必要がある。

また、この広域流動解析を実施する責任主体を明確にして、広域連携解析におけるアウト方法の告知や問い合わせ窓口を設置する必要がある。

さらに取得したデータは匿名化し、十分なセキュリティ対策（センサ本体、データ通信における暗号化やデータ蓄積装置に対する外部からの侵入防止等）を講じたデータセンタにて解析を行う体制の整備が必要となる。

その上で、上記内容を文書において明確に記載したプライバシーポリシーの制定と公開、目的外使用を行わないこと、データの第三者提供を行わないことの宣言など、個人情報保護法に準拠したデータ取扱い方法を厳格に定める必要がある。

4.5 関西広域流動解析コンソーシアム設立

関西における幅広い機関が連携して、広域流動解析を実施し、その結果を各機関が関連する事業に活用する場合は、前項に示したデータの取扱い方法を厳守する必要がある。特にこの実施にあたっては、単一の機関で担うことが難しく、広域流動を解析するための主体（組織）の設立が不可欠となる。

本調査研究で設置した関西 3 空港での Wi-Fi パケットセンサの広域流動解析の継続的かつ学術研究およびそれ以外の分野におけるデータの解析・利用を行う実施主体として「関西広域流動解析コンソーシアム」の設立が行われ、研究代表者、研究分担者が所属する組織も参画する。

関西広域流動解析コンソーシアム⁵⁾の会員・役員や規約、計測概要、プライバシーポリシーは公開されている。

5. 関西 3 空港からの広域流動解析

本調査研究で設置した関西 3 空港を含む関西広域流動解析コンソーシアムでの計測箇所との流動解析の一例を示す。

広域流動解析においては、空港単独での分析と異なり、異なる 2 箇所に設置されたセンサ間で観測された対象 ID を解析することで流動解析が可能である。

5.1 関西 3 空港を中心とする流動解析

得られたデータから、OD 解析（Origin-Distination：起終点）を行い、流動を把握することができる。OD 表から関西国際空港での流動に関して Chord Diagram（弦グラフ）を作成したものが図 5 である。関西国際空港では JR 大阪駅との流動が最多、次いで南海なんば駅や JR 京都駅が多く、各ターミナルとの間で流動が観測されている。また、空港間 OD も僅かではあるが成立しているのが見受けられた。

なお、Chord Diagram では、円周上に地点名が並び、成立した OD 量に応じた太さの弦が地点間に描画される。円弧の長さは OD が成立した総量である。リアルタイムの解析結果を示す実際の画面では、円弧や弦にカーソルを運ぶことでインタラクティブに動作し数値を確認することができる。

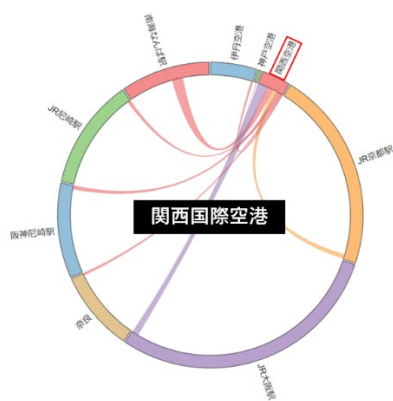


図 5 関西空港との流動量
(2022 年 2 月 6 日 (日))

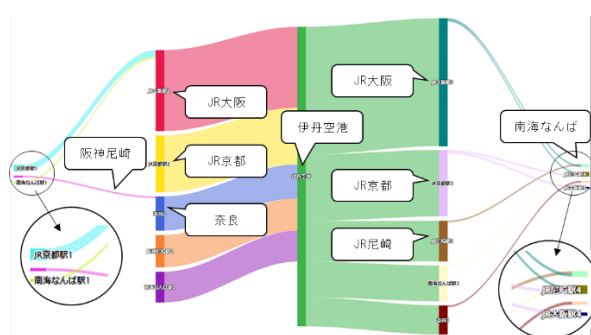


図 6 伊丹空港を中心とした前後地点間流動
(2022 年 2 月 6 日 (日))

5.2 地点間の流動解析結果

前項の OD 量の解析に対して、地点間流動をビジュアライズしたものが図 6 である。5つのセンサ間の流動を解析しており、伊丹空港を中心に分析したものである。左側が流入側、右側が流出側となる。それぞれ量の多い順に 5 地点までとなるが、流入・流出の一方が域外（設置されたセンサで観測されていない）というパターンもあり、流入側と流出側の総量は必ずしも一致しない。

伊丹空港を中心とした地点間流動としては、流入流出とも JR 大阪・JR 京都が多く、流入側 3 位が奈良、流出側 3 位が JR 尼崎となっている。もう一段階先の流動については殆どが不明（域外）となるが、いくつかは観測されている。

6. おわりに

本調査研究では、関西 3 空港に Wi-Fi パケットセンサを設置し、リアルタイム計測が可能な環境整備、データ収集を行った。収集したデータからは、空港における時間帯別の利

用客の推移や滞在時間の把握、空港利用者の長期傾向把握が可能となった。コロナ禍において流動抑制が求められる中で、リアルタイムに流動の把握ができること、また蓄積するデータにより、多様なデータ解析が可能となったことは大きな成果である。

今後のコロナ禍の終焉時における流動量の変化測定や、大阪・関西万博等の大規模イベント時におけるターミナル間所要時間や流動量のリアルタイム把握を通じた効率的な交通運営の実現などに寄与する継続的な計測、解析が望まれる。

謝 辞

関西エアポート㈱、新関西国際空港㈱、関西エアポート神戸㈱、南海電鉄鉄道㈱、西日本旅客鉄道㈱には Wi-Fi パケットセンサの設置およびデータ取得に協力いただいた。また、研究分担者である岐阜大学倉内文孝教授、㈱社会システム総合研究所西田純二氏には、貴重な意見・示唆をいただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 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, 第 53 回土木計画学研究・講演集, 15-05, 2016
- 2) 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, pp.247-254, 2017
- 3) 中西航, 小林巴奈, 都留崇弘, 松本拓朗, 田中謙大, 菅芳, 神谷大介, 福田大輔: Wi-Fi パケットセンサによる観光周遊パターンの把握可能性: 沖縄・本部半島における検討, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 74, No. 5, pp. I_787-I_797, 2018
- 4) 西田純二: Wi-Fi パケットセンサ商用化に至る課題克服の歩み -産学官連携が生んだ交通流動解析システム-, 情報処理学会デジタルプラクティス Vol.11 No.3 (通巻 43 号), 2020.
<https://www.ipsj.or.jp/dp/contents/publication/43/S1103-S03.html>(2022.3.31 アクセス)
- 5) 関西広域流動解析コンソーシアム:
<https://www.jriss.jp/kpfa-home> (2022.3.31 アクセス)