

Wi-Fi パケットセンサを用いた関西広域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

関西空港調査会の 2021 年度調査研究を通じて、関西国際空港、大阪国際空港、神戸空港の関西三空港に Wi-Fi パケットセンサを設置し、リアルタイム計測環境の整備を行ったが、センサ数の制約から到着側施設への設置に留まり、限られた範囲における流動把握であった。2022 年度調査研究では、関西三空港に設置するセンサを増強するとともに、広域流動コンソーシアムとの連携強化を図り、空港と主要ターミナル間の交通流動を計測する広域センサネットワークが実現された。本調査研究では、関西三空港を中心としてセンサを継続運用し、コンソーシアムと連携して関西エリアの交通拠点間のリアルタイム広域流動分析およびモニタリングを可能とした。

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

Covid-19 の影響により、激減した空港需要が回復する中、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求められる。このためには関西圏の交通を支える関係機関と連携することが求められる。

著者らは、関西空港調査会の 2021 年度調査研究助成事業を通じて、関西国際空港、大阪国際空港、神戸空港の関西三空港に Wi-Fi パケットセンサを設置し、リアルタイム計測環境整備を実施した。この背景には、コロナ回復期における移動パターンや時間の変化、都市間における所要時間の把握や 2025 年開催まで 2 年に迫っている大阪・関西万博に向けて、空の窓口である空港を中心とした旅客流動の把握を視野に入れたものであった。

しかしながら、センサ数の制約から空港の到着施設側へのセンサ設置に留まり、より広域な流動把握のためには、センサ増強が必要であった。

そうした背景を踏まえ、プライバシー保護・個人情報保護法に準拠しつつ、関西三空港の出発施設側にもセンサ設置し、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。

本研究で使用する Wi-Fi パケットセンサは、Wi-Fi 接続機能を ON にしているスマートフォンやゲーム機（機器）が発している電波（パケット）を受信し、人や車の流動解析を行うシステムである。パケットに含まれる MAC アドレス、取得時刻、取得位置を突合解析することで、多様な交通流動解析を行うことができる。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定制を行うことはできない。しかし、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、個人の行動追跡が可能となる。そこで取得した 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っている。

2. 関西三空港のセンサ運用継続と追加設置

関西国際空港には 2021 年度調査研究により、①2F 国内線ロビーと②関西空港駅の 2 ヶ所にセンサを設置していた。既設センサは、本委託研究期間中は稼働状況の常時モニタリングを行い、システムでの遠隔で監視をしていた。

No.	AMPID	Status	Last Signal Received	Last 15 min. UIDs	Penultimate 15 min. UIDs
1	関空駅 (KAP001)	normal	2023/04/11 19:00:46	4052	4262
2	関空2F 国内発着 (KAP002)	normal	2023/04/11 19:00:31	6802	7553
3	伊丹2F 到着 (KAP003)	normal	2023/04/11 19:00:30	5080	4225
4	神戸1F 到着 (KAP004)	normal	2023/04/11 19:00:57	549	430
5	伊丹2F JAL発 (KAP005)	normal	2023/04/11 19:00:31	22	28
6	伊丹2F ANA発 (KAP006)	normal	2023/04/11 19:00:37	3425	3930
7	関空4F 国際発 (KAP007)	normal	2023/04/11 19:00:52	9159	9835
8	関空1F 国際着 (KAP008)	normal	2023/04/11 19:00:33	15182	15231
9	神戸2F 出発 (KAP009)	normal	2023/04/11 19:00:44	3995	3960

図 1 設置したセンサの遠隔モニタリング画面

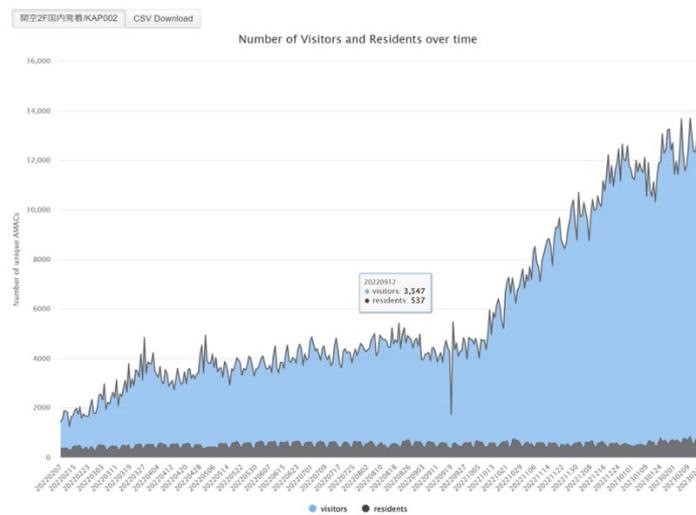


図 2 関西国際空港 2F 国内線発着ロビーの計測結果

図 1 はセンサの稼働状況を遠隔モニタリングする画面である。センサに異常が発生しデータの取得が停止すると、Status が赤に変化する。5 番から 9 番までのセンサが 2022 年度に追加したセンサである。

図 2 は関西国際空港国内線発着ロビーの計測結果を示している。年間を通して、計測を行っており、2022 年 10 月よりコロナ対策の緩和を受けて、利用者が急増している様子が記録されている。2022 年 9 月 19 日は台風 14 号の影響による欠航等が発生し、利用者が減少している。このように、既設のセンサを 2021 年度から継続運用することで、コロナからの利用者増等の長期的な観測データを得ることを可能である。

本年度の調査研究では、各空港運営会社の支援のもと、以下に示す 5 つのセンサを増設した。具体的な設置個所は以下に示す通りである。

- ・伊丹空港 2F JAL 出発ロビー
- ・伊丹空港 2F ANA 出発ロビー
- ・関西国際空港 4F 国際線出発ロビー
- ・関西国際空港 1F 国際線到着ロビー
- ・神戸空港 2F 出発ロビー

3. 関西広域流動解析基盤との連携

関西三空港へ設置した 9 つのセンサでの解析の動きとは別に、関西圏では多くの交通事業者や自治体、大学等の研究機関が独自の目的で交通ターミナルや主要観光地に多数のセンサを設置している。これら複数の主体が設置しているセンサのデータを集約化し、広域的な流動を解析することができれば、さまざまな社会課題の解決に活用できる。このような認識のもとに、広域流動解析を実現するための組織「関西広域流動解析コンソーシアム」が 2022 年 2 月 4 日に設立された。

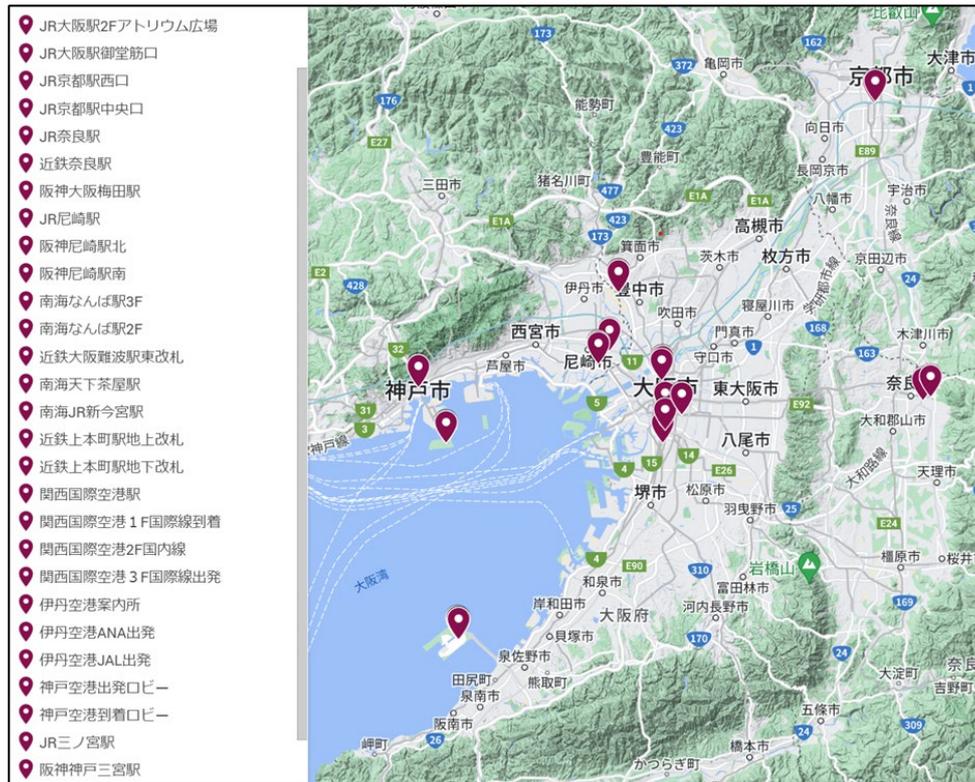


図3 関西広域流動解析コンソーシアムにおいて運用するセンサ

コンソーシアムでは、規約の第2条に目的として、下記のように定められている。

コンソーシアムは、会員等が設置するWiFi/Bluetooth パケットセンサから得られるデータを活用し、社会が抱える課題解決を図るため、広域的な人の動きを観測するセンサーネットワークを実現し、広域流動解析基盤の構築と運営を行うことを目的とする。

この目的の達成のための主な事業として、①関西圏における人の動きの広域流動解析を実現する「広域流動解析基盤」の構築、②広域流動解析基盤を活用した解析システムと解析結果の可視化システムの構築、③上記①②の解析結果の活用が期待されており、関西三空港に設置したセンサおよび収集されるデータは、その一端の役割を担う。

なお、2023年3月末現在で、関西広域流動解析コンソーシアムが連携運用するセンサは、次の28基であり、その位置を図3に示す。

関西広域流動解析コンソーシアムに参加表明をした各機関の保有するWi-Fi/Bluetoothパケットセンサが取得するデータレコードを調査すると、1日の最大レコード数は1300万レコードを越えるデータ量である。このレコ

ードには、MACアドレスをランダム化したデータも含まれていることから、ランダム化フィルタによりこれらレコードを除去して解析対象データの圧縮化を行う必要がある。関西広域流動解析に参加する各機関はそれぞれ独立したサーバに自機関のデータを蓄積しており、関西三空港のデータを蓄積しているサーバにおいても、サーバ負荷を低減するため、広域流動解析サーバとのインタラクション数を低減させる必要が生じる。そこでサーバ上の処理対象とするセンサのデータを抽出し、広域流動解析サーバに集約するにあたり、多段階でデータの読み込みを行うことで負荷低減を図ることとした。

広域流動解析サーバ側では、読み込まれたデータは解析内容に従い必要なデータをメインメモリに転送し、高速に解析処理を実行する仕組みが構築されている。以上のような技術的な対応を行うことにより、円滑に関西三空港のデータを広域流動解析サーバに集約し、連携解析を実現させることに成功している。なお、コンソーシアムの活動内容や組織については、関西広域流動解析コンソーシアムのホームページ (<https://www.jriss.jp/kpfa-home>) に掲載されている。

関西広域流動解析基盤による解析結果や、三空港設置センサの取得状況及び解析結果は、リアルタイムに可視化され WEB ダッシュボード (図 6) を通して提供される。加えて、三空港に設置された全 9 台のセンサのデータについては、週次で生成される raw データからより詳細な分析を行うことも可能である。

それぞれのダッシュボードは 2023 年 3 月末時点で図 6 のスクリーンショットの通りとなっており。サーバ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 MAC アドレスとの照合は不可能である。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。

[関西広域流動解析] データ可視化画面一覧

お知らせ 本ページの開設 [2022/02/24]

- OD表 (日次)
- 弦グラフ (日次)
- 設置地点別の滞在時間 (日次)
- 設置地点別の前後地点間流動 (日次)
- 訪問者数・住人数 (日次)

非グループ化版可視化画面一覧

- OD表 (日次)
- 弦グラフ (日次)
- 訪問者数・住人数 (日次)
- 地点間所要時間 (日次)
- 地点間所要時間 (日次・表形式・10%の平均)

図 6 ダッシュボード TOP 画面

解析画面の一部を以下より概説する。図 7 は、日次の定期処理により、異なる 2 地点 (エリア) に設置されたセンサで観測された対象 ID から OD 解析 (Origin-Destination: 起終点) を行った結果が表示される。前日までの任意

の日を指定して OD 表の表示及び CSV データのダウンロード、時間別で表示・ダウンロードも可能である。

OD Table

場所	伊丹空港	神戸空港	関西空港	JR京都駅	JR大阪駅	奈良	阪神尼崎駅	JR尼崎駅	南海なんば駅	近鉄大阪難波駅	近鉄大阪上本町駅	三ノ宮駅	阪神大塚梅田駅
伊丹空港	0	96	1924	596	1769	284	134	181	329	293	344	263	396
神戸空港	73	0	365	133	336	48	26	36	55	49	45	126	95
関西空港	1756	371	0	3016	7543	1219	650	850	1650	1191	1408	1048	169
JR京都駅	490	121	2546	0	2674	540	179	274	407	338	388	354	563
JR大阪駅	1342	251	5412	2917	0	833	452	842	1062	852	1074	1004	200
奈良	230	45	1028	554	1076	0	92	107	188	328	269	147	206
阪神尼崎駅	117	20	488	177	480	80	0	82	81	121	98	83	474
JR尼崎駅	226	57	970	414	1165	170	102	0	164	137	153	201	233

2023/03/31 09:00 | 場所: 伊丹空港, 神戸空港, 関西空港, JR京都駅, JR大阪駅, 奈良, 阪神尼崎駅, JR尼崎駅, 南海なんば駅, 近鉄大阪難波駅, 近鉄大阪上本町駅, JR三ノ宮駅, 阪神大塚梅田駅, 阪神神戸三宮駅, 域外, 合計
 伊丹空港, 0, 15, 289, 70, 253, 49, 25, 23, 55, 36, 40, 38, 53, 43, 1730, 2719
 神戸空港, 5, 0, 24, 12, 13, 2, 0, 2, 2, 0, 2, 4, 3, 345, 416
 関西空港, 206, 34, 0, 280, 618, 116, 45, 66, 145, 89, 85, 95, 132, 101, 6723, 8735
 JR京都駅, 41, 6, 231, 0, 158, 46, 12, 15, 30, 21, 25, 21, 52, 20, 1999, 2677
 JR大阪駅, 107, 17, 416, 163, 0, 45, 19, 42, 78, 49, 58, 60, 98, 56, 4940, 6148
 奈良, 25, 2, 64, 31, 68, 0, 5, 4, 9, 13, 8, 8, 14, 9, 926, 1186
 阪神尼崎駅, 6, 2, 32, 9, 28, 3, 0, 4, 3, 7, 10, 3, 29, 14, 412, 562

図 7 起終点解析結果画面 (OD 表) と CSV

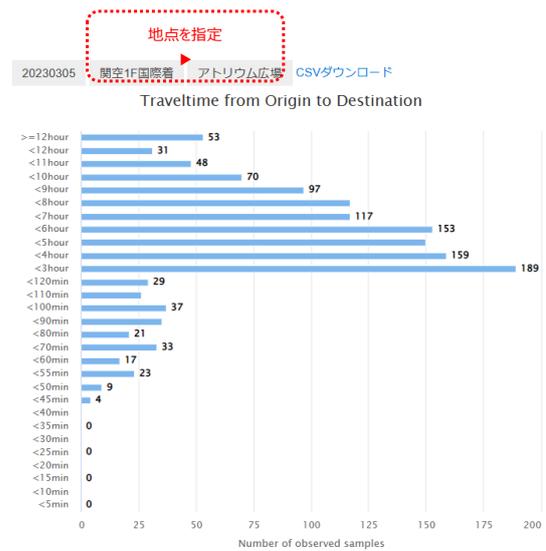


図 8 地点間所要時間

起終点 (OD) 解析と同様に、2 地点で観測された同一 ID から地点間の移動に要した時間を算出することが可能であり、滞在時間と同様に図化したものが下図である。日付・発地センサ・着地センサを指定することで、該当する結果が表示され、CSV データをダウンロードすることも可能となっている。

図 9 は地点間所要時間のうち、図 8 の地点間所要時間解析結果から上位 10%を抽出し、このうちの平均所要時間を算出 (分単位) の

うえ OD 表の形式で表示する画面が以下である。寄り道を考慮しない概ねの最短所要時間を概観することが出来る仕組みである。

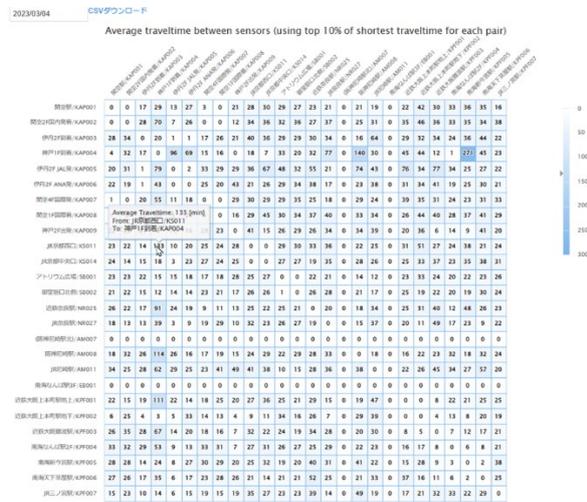


図9 地点間所要時間
(日次・表形式・10%の平均)

6. 運用継続にあたって

現在関西三空港に設置されているセンサは、本調査研究を行う目的で、研究の代表者の所属する東海国立大学機構名古屋大学が計測の主体となり運用が行われている。



図10 現在観測調査実施の周知ステッカー

本調査研究は、2022年度で終了する。2023年度以降の計測継続を行うには、その後の計測主体を明確にしておく必要がある。この対応には、次の3つの選択肢が考えられる。

- ・名古屋大学等で構成される現在の組織がそのまま、計測主体となる方法
- ・各空港運営会社（関西エアポート等）が計測

主体となる方法

- ・関西広域流動解析コンソーシアムにセンサを移管し、コンソーシアムが計測主体となる方法

計測の継続には、センサの年間維持費の負担や継続的にこの費用を捻出するための事業モデルの成立が条件となるため、センサの運用を継続することにより得られるメリットと費用負担の関係を明確にし、関係者による協議と合意形成を図る必要がある。

年間維持費に関して、データ活用の有用性を加味して、空港運営会社で負担することができれば、センサから取得されるすべてのRAWデータを含めたデータ解析の権利は、空港運営会社が保有することとなる。一方で、データ解析の権利を空港運営会社において維持・保有する必要がない場合は、引き続き大学が計測主体となる方法もあるが、持続可能な研究費の獲得が求められる。もう1つの方法として、センサを関西広域流動解析コンソーシアムに移管し、コンソーシアムがセンサの運営を行う方法がある。この場合は空港内の流動解析に関する様々なニーズに対応した詳細な分析を行うことはできなくなるが、関西圏の主要ターミナル間の広域流動解析の結果が提供される。

コンソーシアムが運営を行う場合は、コンソーシアムは任意団体（権利能力なき社団）であることから、経営継続の担保性は高くはないため、コンソーシアムの活動終了とともに計測が終了する可能性が生じる。

持続可能な観測に向けては関係主体の協議の上で、意思決定を今後行う見込みである。

7. おわりに

本調査研究では、関西三空港のWi-Fiパケットセンサに関して、到着側の観測のみならず、出発側の観測においてもリアルタイム観測が可能な環境の整備を行った。その結果として、各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。2020年1月半ばに国内で最初にCOVID-19の感染が発生してから、私たちの生活は多くの移動制約を受け、人流把握の重要性が増す中で、Wi-Fiパケットセンサによる常時観測の環境整備により得られるデータ、さらに分析される人流動は大きな価値がある。さらにわが国ではDX化が産業界

を中心に進められており、その貢献も期待される。

本調査研究で対象とした関西三空港では、関西広域流動解析コンソーシアムと連携し、継続的な流動解析を続けることで、2025年大阪・関西万博に向けて、更なる活用が期待される追加設置が望まれるところである。

一方で継続的運用には多大な費用が必要となり、その事業間での負担方法やデータを介在とするビジネスモデルの構築が早急に求められている。こうした広域流動基盤の整備・運用はイニシャルコスト・ランニングコストが必要となるが、ひとつのソリューションとして、関西の関連する経済団体や自治体、国土交通省等の関連する機関と連携することが求められる。関西圏においては多様な主体間での連携することができた一方で、空港や鉄道駅のターミナルを中心に、より広い範囲で人流動はなされており、更なる大きな規模での流動解析ができる仕組みづくりが期待される。

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2021年度に続き、2022年度においてもWi-Fiパケットセンサの設置(増設)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。