

Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサの連携による 関西広域流動解析の実現

西田 純二¹・中村 俊之²・倉内 文孝³・宇野 伸宏⁴・中村 眞⁵・津山 和之⁶・
大田 香織⁷・小林 潔司⁸

¹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

²正会員 名古屋大学未来社会創造機構 (〒464-8601 名古屋市千種区不老町)
E-mail: tnakamura@mirai.nagoya-u.ac.jp

³正会員 岐阜大学工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1 番 1)
E-mail: kurauchi@gifu-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター)
E-mail: uno.nobuhiro.2v@kyoto-u.ac.jp

⁵非会員 奈良市総合政策部 (〒630-8012 奈良市二条大路南一丁目 1-1)
E-mail: cio@city.nara.lg.jp

⁶非会員 尼崎市総合政策局 (〒660-8501 兵庫県尼崎市東七松町 1 丁目 23 番 1 号)
E-mail: tsuyama-kazushi@city.amagasaki.hyogo.jp

⁷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

⁸フェロー会員 京都大学経営管理大学院 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)
E-mail: kobayashi.kiyoshi.6n@kyoto-u.jp

関西圏において、異なる複数の主体が設置した Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサを連携し、広域流動解析を実現するための取組みが進みつつある。自治体・交通事業者・大学等が、関西の各空港や主要鉄道ターミナル等に設置し計測を行っているパケットセンサのデータを連携させ、広域にわたる流動解析を行うことが出来れば、一都市一地域での観測に比べて幅広い利活用が期待できる。複数主体が連携した広域流動解析の実現にあたっては、主体となるコンソーシアムの組成、計測と分析のためのプライバシーポリシーの作成と公開、大量のビッグデータを収集し解析するためのシステム（広域流動解析基盤）の構築が必要であった。本論文では広域流動解析の結果を報告するとともに、この実現のために対応が必要であった解析に関する技術的課題、プライバシー保護等に関する法的課題等について述べる。そして長期的な解析体制を維持していくためのビジネスモデルなど、今後の活用と発展の可能性について展望する。

Key Words: Traffic flow, Personal Information, IoT, Industry-government-academia collaboration

1. はじめに

昨今のスマートフォン保有率は 90%¹⁾ を越え、移動体の多くはスマートフォンを携行している。このため、スマートフォンが発する Wi-Fi/Bluetooth のビーコンを解析することで、人流解析を行う Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサの活用例は国内外で増加しており、これらセンサにより収集されたデータの精度解析や活用に向けた研究が進んでいる。しかしながら Wi-Fi/Bluetooth パケットセ

ンサにより収集されるデータは準個人情報として位置づけられることから、データ収集と活用においては、個人情報保護法に定められた取り扱いを行う必要がある。このため広域流動解析を行うには、データ収集・利用の目的等を統一する必要がある。これまでは複数主体が実施しているパケットセンサのデータを連携させて分析を行うことの障害の一つとなっていた。

一方、複数主体が実施しているパケットセンサのデータ連携が実現すれば、それぞれの観測主体単独では実現

が困難であった広域にわたる流動把握が可能となる。

そこで本研究では、複数主体が連携して広域流動解析を実現するために、解析の主体となるコンソーシアムの組成、個人情報保護法に対応するためのプライバシーポリシーの作成と公開、そして大量のビッグデータを収集し解析するためのシステム（広域流動解析基盤）の構築等の課題とその対応方策について述べ、関西圏における広域流動解析の実現プロセスを紹介する。さらに長期的な解析体制を維持していくためのビジネスモデルなど、今後の活用と発展の可能性を展望する。

2. 広域流動解析の既往研究と調査手法の特性

人流や自動車流動を広域的に計測するための手法は、Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサ以外にも、携帯電話系のデータや ETC2.0 などさまざまなデータソースが利用できる。宇野ら（2020）²⁾ は、現在入手が可能なさまざまな交通流動に関するビッグデータについて、その基本特性を比較分析し、京都市における観光流動を把握するためのトリップパターンおよびトリップチェーン流動を推定するシステムを開発している。この宇野らの論文によれば、Wi-Fi パケットセンサは、携帯電話会社に依存せず（キャリアフリー）、屋内・屋外ともに設置が可能で、安価であるという長所があるが、性別・年齢等の属性が取得できず、移動履歴はセンサ設置箇所間に限定されること、スマートフォンの機種によりデータ収集頻度が異なること、センサの設置条件によりデータ取得率が影響されるなどの短所があることが示されている。

一方、携帯電話会社が提供する人口分布統計・人口流動統計等では、属性の把握が可能でサンプル数が多いといったメリットがある反面、位置情報は基地局あるいはメッシュ単位となり、分析時間単位も 1 時間となること、携帯電話キャリアが 1 社に限定されるという短所がある。また携帯電話会社が提供する人口分布統計・人口流動統計は、データの抽出と提供を受けるために期間や対象エリアにより相応の費用が発生するため、長期かつ広域の分析を行うには、経済的な負担が大きい。これに対して Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサは、設置を行うための初期費は必要となるが、長期観測を行うための運用コストは比較的安価であることから、長期観測に適合した調査方法であると言える。

寺部ら（2019）³⁾ は、Wi-Fi パケットセンサに関する既往研究の包括的レビューと本調査手法の特性に着目し、定点で長期間にわたる計測を行うことにより、交通行動の長期変動分析が可能であるとともに、長期観測の重要性を指摘している。

3. Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサの概要

ここで Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサの概要を示しておく。西田（2020）⁴⁾ や中村（2022）⁵⁾ に示されている通り、Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサは、Wi-Fi や Bluetooth の接続機能を“ON”にしているスマートフォン等が発する電波（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、さまざま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を行うことはできないが、たと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方向ハッシュ関数により変換し、十分な匿名化を行った上で分析処理を行う。キャプチャされたパケットはセンサ内で匿名化され、3G/4G 携帯電話回線によりクラウド・ストレージ・サーバにアップロードされ解析される。

現在までに国内外でのべ数百台に上る設置実績を有し、低コストで実施できる交通観測調査手法として多くの計測事例が蓄積されている。図-1 には、次章に示す関西圏におけるパケットセンサ計測調査で用いられているセンサの筐体、表-1 にその仕様を示している。



図-1 Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサの筐体

表-1 Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサの仕様

収納物	データ処理用プロセッサ、携帯電話通信端末、アンテナ、電源ユニット
筐体	防水・防塵 ABS ボックス
色	ホワイトグレー
サイズ	160mm x 160mm x 95mm
電源	AC100～240V 最大消費電力 7W
消費電力	平均消費電力 5W

4. 関西圏におけるパケットセンサ計測調査

関西圏では、複数の機関がそれぞれ異なる目的のもとに、Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサを用いた流動調査を行っている。中村ら (2022) ⁵⁾ は、各機関が実施している流動調査の目的と概要を調査した。この調査結果に基づき、関西圏におけるパケットセンサを用いた主要な流動調査の概要を以下にまとめた。

(1) 奈良市・奈良市観光協会による流動調査

奈良市では、市内主要地点における混雑状況を把握し、市民と奈良市を来訪する観光客等の安心と安全の確保を目的に、Wi-Fi パケットセンサによる人流計測を 2020 年 12 月 1 日より奈良市観光協会に委託し実施している。この人流計測では「with コロナ」の周遊観光を推進し、非接触型観光案内の整備を目的に、奈良公園などの観光地、主要駅における混雑状況の可視化を進めている。さらに新型コロナウイルス感染拡大に伴い人流把握を目的に 2021 年 4 月 17 日からは、奈良市として市内主要駅前周辺にセンサ設置を拡大している。この 2つの取組みを併せて、観光来訪者に加えて奈良市民の流動も把握することにより、地域全体での「混雑状況可視化」を目指している。奈良市による計測では市内主要駅に 8 箇所、奈良市観光協会による計測では奈良公園を中心に 36 箇所のセンサを設置し、常時観測を行っている。調査の目的、実施主体は図-2 の告知資料に示すとおりである。



図-2 奈良市・奈良市観光協会における流動調査の告知

(2) 尼崎市・あまがさき観光局による流動調査

あまがさき観光局では、阪神尼崎駅周辺エリアにおける交通・観光流動の把握を目的として、Wi-Fi パケットセンサによる観測調査を実施している。調査は 2019 年 8 月 9 日に開始し、現在も継続観測を行っている。センサ設置箇所は、阪神尼崎駅を中心として 17 箇所です。調査の目的、実施主体は図-3 の告知資料に示すとおりである。



図-3 あまがさき観光局による流動調査の告知

(3) 京都大学研究開発チームによる流動調査

京都大学大学院工学研究科が代表となり、名古屋大学、岐阜大学等が参画する「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チーム」では、京都市域における観光流動の把握を目的に、JR 西日本京都駅の他、京都市内主要観光地に Wi-Fi パケットセンサを設置し、2018 年 11 月 12 日から現在まで継続して観測調査を行っている。合計 11 台のセンサによる常時観測を行っており、調査の目的、実施主体は図-4 の告知資料に示すとおりである。



図-4 京都大学による京都市域観光流動調査の告知

(4) 南海電気鉄道による流動調査

南海電気鉄道株式会社は、戎橋筋商店街振興組合、ミナミ御堂筋の会との協同で、なんば・御堂筋エリアにおける交通・観光流動の把握を目的として、2019 年 6 月より Wi-Fi パケットセンサによる観測調査を実施している。この調査には、大阪市、富士通特機システム株式会社、株式会社社会システム総合研究所が協力している。南海難波駅の他、合計 6 箇所です。常時観測を行っており、調査の目的、実施主体は図-5 の告知資料に示すとおりである。



図-5 南海電気鉄道による流動調査の告知

(5) 西日本旅客鉄道による流動解析

西日本旅客鉄道（JR 西日本）では、JR 西日本コミュニケーションズが調査主体となって、うめきた（大阪駅北地区）周辺の第二期開発に伴う、うめきた及び周辺のまちづくりのあり方を検討することを目的に、Wi-Fi パケットセンサを用いた交通流動調査を実施している。

センサは JR 大阪駅に 2 箇所と大阪駅北地区に 8 箇所の合計 10 箇所に設置され、常時観測が行われている。調査の目的、実施主体は図-6 の告知資料に示すとおりである。



図-6 JR 西日本における流動調査の告知

(6) 名古屋大学による関西三空港の流動解析

名古屋大学未来社会創造機構モビリティ社会研究所では、一般財団法人関西三空港調査会の 2021 年度調査研究助成を受けて、関西三空港（関西国際空港、伊丹空港、神戸空港）に Wi-Fi パケットセンサを設置し、三空港の旅客流動と空港間の流動解析を行っている。2021 年 9 月に各空港の到着側と関西国際空港駅にセンサを 4 台設置した。その後 2022 年 7 月には各空港の出発側に 5 台を増設し、合計 9 台で常時観測を行っている。告知ステッカーは空港ごとに管理主体が異なり、ステッカーの内容は若干異なるが、関西国際空港における告知ステッカーを代表例として図-7 に示した。調査の目的等は告知資料に示すとおりである。



図-7 関西国際空港における流動調査の告知

5. 広域流動解析のための連携協議

前章で示した 6 つの観測を実施する各構成機関に対して、関西三空港を含む関西主要ターミナル間の広域流動解析の実施について提案を行ったところ、すべての機関から実施に参画する意向が寄せられた。広域流動解析に参画の意向を示した機関は、次の 11 機関である。

- ① 奈良市 総合政策部
- ② 尼崎市 総合政策局政策部都市政策課
- ③ 一般社団法人あまがさき観光局
- ④ 京都大学経営管理大学院
- ⑤ 京都大学大学院工学研究科
- ⑥ 東海国立大学機構名古屋大学
未来社会創造機構モビリティ社会研究所
- ⑦ 東海国立大学機構岐阜大学工学部社会基礎工学科
- ⑧ 近鉄グループホールディングス（株）
- ⑨ 南海電気鉄道（株）
- ⑩ 西日本旅客鉄道（株）
- ⑪ (株)社会システム総合研究所

6. 広域流動解析実現のための課題

Wi-Fi パケットセンサを設置している団体より連携協力の参加意向を確認することができた。しかしながら広域流動解析の実現には法的、技術的、事業モデルに関する課題が存在している。各課題の概要を図-8 にまとめた。その上で、各課題への対応を述べる。

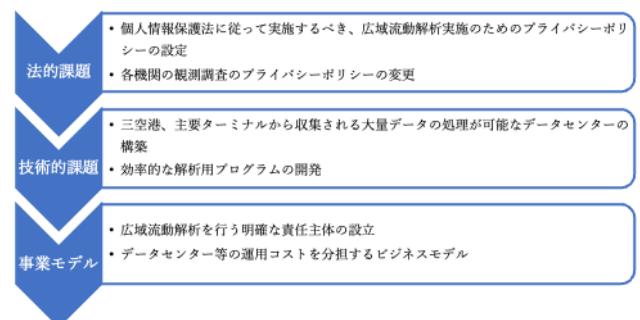


図-8 広域流動解析実現のための課題

(1) 法的課題への対応

Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサから収集される情報は、端末ごとに与えられた固有アドレス（MAC アドレス）を含んでいる。収集された固有アドレスは個人のスマートフォン等と一対一に対応していることから、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。プライバシー保護を目的とした法規制は、わが国では 2005 年に施行され、2017 年 5 月に

改正された個人情報保護法に定められている。

旧個人情報保護法では、個人情報とは「個人に関する情報であり、かつその情報に含まれる記述等によって特定の個人を識別できるものを指す」という定義となっていた。Wi-Fi パケットセンサが取得する情報には氏名やメールアドレス、通信内容等を含まないため個人情報には該当しない、という解釈が可能であった。しかしながらこの規定には、「他の情報と容易に照合することができ、それにより特定の個人を識別することができることとなるものを含む」という但し書きが添えられている。個人が保有するスマートフォンの MAC アドレスを何らかの手段で取得・推定することができれば、個人の追跡を行うことができることから、この解釈には幅があり、Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサによる計測にはグレーゾーンが存在する⁴⁾とされていた。

2017 年から施行される改正個人情報保護法においては、さらに個人情報の定義に、「個人識別符号」が加えられた。個人識別符号とは、身体的特徴を変換した顔認識データや指紋認識データ、公的に付与される番号（旅券番号や免許証番号、マイナンバー等）と定義されており、この定義には MAC アドレスは含まれない。しかし個人のプライバシーが侵害される可能性があるデータであるということから、総務省では改正個人情報保護法の施行以前から、IT 総合戦略本部の下に、「パーソナルデータに関する検討会」を設けて検討が進められた。ここでの議論を踏まえて、総務省は「位置情報プライバシーレポート」¹⁰⁾を平成 26 年（2014 年）7 月に公開した。このレポートでは Wi-Fi の MAC アドレスに関して、個人情報との関係を次のように定義している。『個人の PC やスマートフォン等の識別情報（端末 ID 等）などは、一義的には PC やスマートフォンといった特定の装置を識別するものであるが、実質的に特定の個人と継続的に結びついており、プライバシーの保護という基本理念を踏まえて判断すると、実質的個人識別性の要件を満たす。このため MAC アドレス等の契約者・端末固有 ID について、単体では個人識別性を有しないが、同一 ID に紐付けて行動履歴や位置情報を集積する場合、プライバシー上の懸念があるため、「個人情報に準じた形で取り扱うことが適切」である。』

すなわち、MAC アドレスは個人情報保護法が定義する個人情報には該当しないが、個人情報に準じた形で取り扱う必要がある、との見解を示したものである。この取扱いに関する主要な対応策は以下のとおりである。

- ①データの利用目的、取得の方法、データの取扱い方法等を明示し、利用者への十分な情報提供（WEB、ポスターやステッカー他）を行う。
- ②事前の本人同意を前提とするデータ取得とはならないため、データ取得を望まない被計測者に対して計測を

避ける方法（Wi-Fi オフ等）の提示やオプトアウトの方法を告知し、その対策・問い合わせ窓口を準備する。

- ③取得したデータは一方向ハッシュ関数を用いて匿名化を行い、匿名加工情報として取り扱う。
- ④センサ本体はもちろん、データ通信経路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、十分なセキュリティ対策を行う。
- ⑤以上のデータ取得及び取扱いの方法、方針をプライバシーポリシーとして公開する
- ⑥観測した原データの第三者への提供は行わない。利用の範囲はプライバシーポリシーに示したデータ利用目的に限定する。目的に沿った解析や研究を外部に委託する場合でも、プライバシーポリシーに沿った取扱いを義務付ける。

そこで広域流動解析の実施においては、広域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を各機関のホームページ等で告知することとした（前記①への対応）。

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オプトアウト方法の告知や問い合わせ窓口を設置した（前記②への対応）。

さらに取得したデータはセンサ内で匿名化処理し、十分なセキュリティ対策を完備したデータセンタにて解析を行う（前記③④への対応）。

その他、以上を文書に明瞭に示したプライバシーポリシーを作成し公開した。目的外使用を行わないこと、原データの第三者提供を行わないことなど、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た（前記⑤⑥への対応）。

以上を実施することで、個人情報保護に関する法的課題への対応を図ることとした。

(2) 技術的課題への対応

関西広域流動解析コンソーシアムに参加表明を受けた各機関が保有する 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 万レコードを越えていた。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った。次にセンサ間・地点間の移動（OD）を算出するにあたり同一観測レコード数が 2 件以上含まれているユニークな ID を有効 UID として集計したところ、1 日に約 18 万件のユニーク ID（OD ペア）が観測された。

広域流動解析では地点間の時間帯別 OD 表の生成や、

各地点での滞在時間分析、週間 OD 表の生成などを企画しており、毎日 1 回夜間早朝に前日分のデータを用いて集計する日次処理と、1 週間に 1 回前週分のデータを用いて集計する週次処理を行う。どちらの処理もリアルタイム性は要求されないが、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いることから、各機関の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ある。そこでサーバごと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予め集約するにあたり、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。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を構築した。これらの広域流動解析を実現するための大規模データ解析システムを「関西広域流動解析基盤」と称している。

(3) 事業モデルへの対応①（責任主体の設立）

広域流動解析を継続的に実施するには、データ解析を行うための責任主体の設立が必要となる。

広域流動解析で用いる Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサのデータは元の MAC アドレスが復元できないように匿名加工情報に変換するため、個人情報保護法で定める個人情報には該当しない。しかし、(1)に示したとおり、外部の情報と突合解析することにより個人の行動追跡が行われる可能性があることから、準個人情報として取り扱う。このため本情報を取り扱う主体は、個人情報保護法が第 2 条第 5 項に定める「個人情報取扱事業者」に義務付けられた要件を満たすこととし、収集した情報を安全かつ厳正に取り扱うこととした。

なお個人情報取扱事業者は、個人情報の取扱に関して個人情報保護委員会への報告義務があり、委員会の命令に違反した場合や報告義務を怠った場合には罰則が課せられる。従って個人情報取扱事業者は法人格を有しているか、もしくは「代表者の定めのある権利能力なき社団」の組織成立の要件を満たし、契約の当事者かつ、訴訟の当事者となり得る組織とする必要がある。「代表者の定めのある権利能力なき社団」は、民事訴訟法における訴えまたは訴えられることができる（民事訴訟法 29 条）権利を有する、とされていることから訴訟の当事者となることができるためである。

この社団の要件は、昭和 39 年 10 月 15 日の最高裁判例によれば、次の通りである。

- ① 共同の目的のために結集した人的結合体であって
- ② 団体としての組織を備え
- ③ そこには多数決の原理が行われ
- ④ 構成員の変更にもかかわらず、団体そのものが存続し
- ⑤ その組織によって、代表の方法、組合の運営、財産の

管理その他団体として主要な点が確定しているもの

以上の理由から、広域流動解析の責任主体として「代表者の定めのある権利能力なき社団」の設立を行うこととした。法人格のある社団法人や株式会社として設立する方法も考えられるが、法人組織の設立とそこへの参画は、自治体や公益法人、大学等の組織内の意思決定のハードルが高いという事情を勘案した結果である。

(4) 事業モデルへの対応②（ビジネスモデルの構築）

広域流動解析を継続的に実施するための責任主体の設立方針は確定したが、この組織を継続的に運営していくための事業モデルは未だ模索中の段階である。広域流動解析の実現には、この解析を行う大規模データ解析システムが必要であることは (2) で述べた。この構築にあたってはデータセンサの初期契約費やシステム構築費等の初期費用が必要である。この費用は当初は国の競争的資金へ応募することで調達することを検討したが、残念ながらこの資金獲得ができなかったことから、後述するコンソーシアムの事務局が初期費用の負担を行った。今後の運営費の捻出には、コンソーシアムを構成する会員からの会費収入や、解析結果の有償提供等の方法を検討している。

7. コンソーシアムの組成

第 4 章に示した 6 つの組織に関西広域流動解析を実施するための、「代表者の定めのある権利能力なき社団」の要件を満たすコンソーシアムの設立について提案を行ったところ、すべての組織から参画に対して前向きな回答を得ることができた。そこで 2022 年 2 月 4 日に設立総会を開催し、コンソーシアムの設立を行うことができた。本組織は、関西広域流動解析コンソーシアムと称し、設立の目的は「会員等が設置する Wi-Fi/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」とされている。

各組織は、次のターミナルや空港にセンサを設置しており、関西圏の主要ターミナルと空港の間の流動を解析することができる。

- ・ JR 大阪駅, JR 京都駅, JR 三ノ宮駅
- ・ 近鉄大阪難波駅, 近鉄大阪上本町駅
- ・ 南海なんば駅, 南海新今宮駅, 天下茶屋駅
- ・ 近鉄奈良駅, JR 奈良駅
- ・ 阪神尼崎駅, JR 尼崎駅
- ・ 関西国際空港, 伊丹空港, 神戸空港

この設置地点を図-9 の地図に示した。

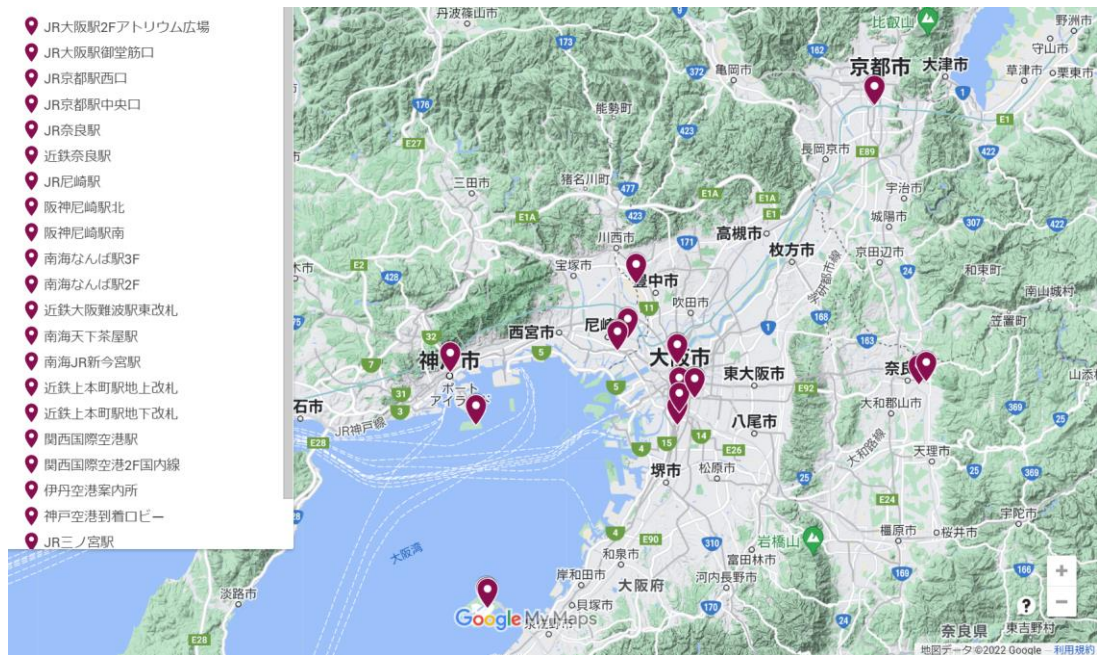


図-9 関西広域流動解析コンソーシアムによるセンサ設置地点

8. 広域流動解析

(1) 広域流動の解析例

図-9 に示した関西の主要ターミナルおよび3空港において計測されたセンサのデータを関西広域流動解析基盤に集約し、リアルタイムの解析を可能としている。以下よりその一部を紹介する。

図-10 は各地点に設置されたセンサから得られたデータのうち、2カ所以上で観測されたもの、すなわち OD が成立した流動を Chord Diagram で表示したものである。この図では流動が重なり合って見にくいこともあり、そのうち関西国際空港に関する流動のみを表示したものが図-11 である。関西国際空港には鉄道駅にセンサを設置している影響もあり、関西国際空港駅から直通列車が運行されている JR 大阪駅、南海なんば駅、JR 京都駅等との流動割合が多い。



図-10 設置センサ間の流動 (2022 年 8 月 28 日)

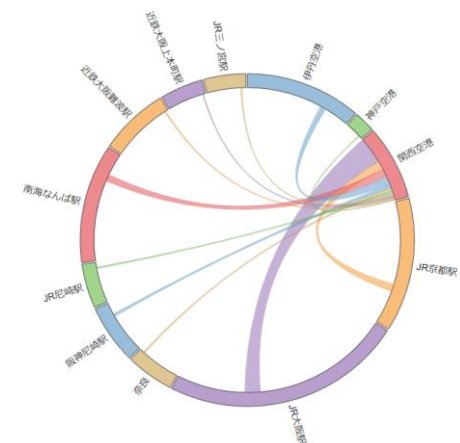
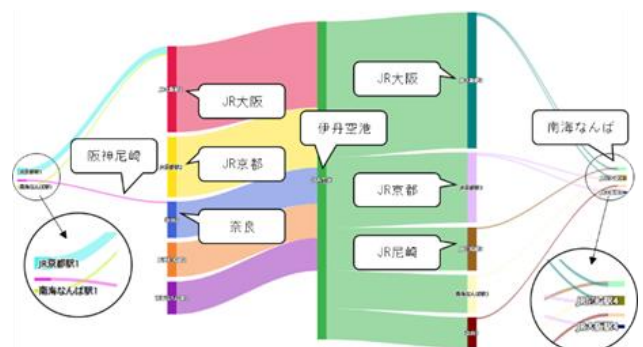
図-11 関西国際空港を起終点とする流動
(2022 年 8 月 28 日)図-12 伊丹空港を中心とした前後地点間流動
(2022 年 2 月 6 日)

図-12 はセンサ間の流動に対して、地点間流動をビジュアライズしたものである。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、右側が流出側である。それぞれ流動量の多い順に 5 地点まで表示しており、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、流入と流出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。

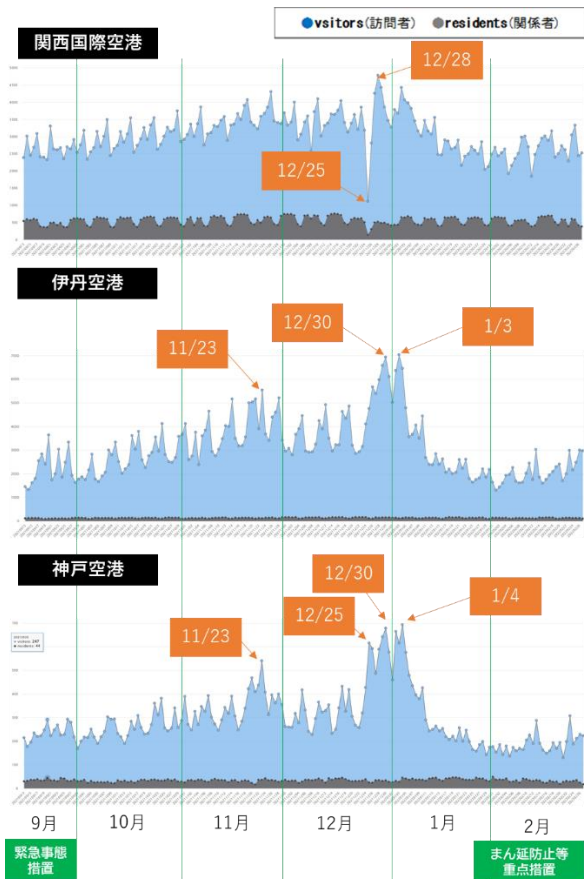


図-13 関西三空港での日別観測数の推移
(2021 年 9 月 2022 年 2 月)

図-13 は関西三空港の日別観測数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、日単位で図化した。広域流動解析では交通結節点である鉄道駅や空港を中心にセンサを設置しており、図-13 に示すように複数の観測地点を比較することで流動特性を分析することが可能となる。

関西国際空港では、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人出が回復するが、年末年始をピークにして、Covid-19 の影響により減衰傾向が表現されている。1 週間のうちでは visitors は日曜に取得が多く、次いで金曜に多く、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。

(2) 広域流動解析の課題

以上に示したように、関西圏の主要ターミナル・空港間の流動を常時観測する仕組みを構築することができたが、この解析手法には次のような課題がある。

① 地点間 OD の一部しか計測できないこと

関西の主要ターミナルや空港に設置したセンサは、センサ設置地点の制約により、各観測対象地区の一部を通行する流動しか観測できない。

JR 大阪駅では中央北口と御堂筋口北に 2 台のセンサを設置しているが、南方面への流動を把握することができず、JR 大阪駅から大阪市営地下鉄方面の流動が欠損している。また関西国際空港でも、分散配置されている駐車場の利用者の全数把握ができない。出発・到着ゲートともに、広大な空港内を 3 基のセンサで計測しているため、利用者全体の把握が実現できていないのである。

この問題に対応するためには、大都市交通センサスやパーソントリップ調査等の流動量全数把握を目的とした調査手法から得られる OD 表と、本調査手法により得られる OD 表を突合させる等、OD ペアごとの拡大係数や各観測対象地区の発生集中量に対する計測率を推計することで、全体 OD を推計するためのモデルの構築が望まれるところとなっている。

② 属性把握ができないこと

Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサによる計測は、その計測手法の特性から、移動体の属性（性別・年齢、居住地構成や外国人比率）を知ることができない。Wi-Fi パケットセンサの取得データの SSID フィールドを用いて訪日外国人比率を推計する手法は、望月ら⁸⁾により研究がすすめられたが、2021 年頃より MAC アドレスのランダム化とともに、SSID についても秘匿される端末が増加したことから、2022 年の本論文執筆時点では訪日外国人比率の推計精度は低下している。

この問題に対応するには、属性把握が可能な調査手法、例えば Wi-Fi 人口統計データ⁹⁾や携帯電話会社が提供する人口分布統計・人口流動統計等と組み合わせて解析を行う方法や、属性把握ができる画像センサ等と組み合わせて解析を行う手法が提案されている。

9. 広域流動解析の今後の活用と持続的発展

Wi-Fi/Bluetooth パケットセンサによる計測システムは、主要拠点へのセンサ設置のための初期投資、解析基盤の設立のための費用が必要となるが、その維持は比較的低コストであることから、長期的な流動解析に適している。また大阪・関西万博の開催を 2025 年に控え、大規模イベント時の会場へのアクセス交通流動パターンの把握や主要ターミナルから会場への所要時間のリアルタイム把握を行う仕組みが少ない追加投資で実現できるなど、さまざまな活用の可能性がある。さらにセンサ未設置の鉄道やバスのターミナルを運営する交通事業者は、追加設置のためのセンサ費用と会費等を負担することで、関西広域流動コンソーシアムに参加することが可能となり、広域流動解析の結果を自社で活用することができる。

以上に述べた通り、産官学の連携により関西広域流動解析コンソーシアムの設立が行われたが、今後はコンソーシアムの運営を継続していくためのビジネスモデルの確立が求められている。このためには 6 章 (4) において示した会費収入や解析結果の提供収入などの収益基盤の確立に向けて検討を進めていく必要がある。

謝辞：本研究は、関西空港調査会 2021 年度調査研究助成事業により実施された「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」⁵⁾ の成果を活用させていただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) モバイル社会白書 2021：NTT ドコモモバイル社会研究所, <https://www.moba-ken.jp/whitepaper/wp21.html>
- 2) 宇野伸宏他：さまざまなビッグデータを活用した京都市における観光流動把握の取り組み, 交通工学 2020 Vol.55 No.4 pp40-43
- 3) 寺部慎太郎他：Wi-Fi パケットセンサーを用いた歩行者行動・観光客周遊行動研究の包括的レビューとそれを踏まえた分析例示, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.75, No.5, I_669-I_629, 2019.
- 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 43 号, Vol.11 No.3(July 2020)
- 5) 中村俊之：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, 関西空港調査会 2021 年度調査研究助成事業報告書, 2022
- 6) 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
- 7) 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)
- 8) 望月祐洋, 西田純二：Wi-Fi インバウンドカウンタによる日本人・訪日外国人比率の推定手法, 第 60 回土木計画学研究・講演集, 2019
- 9) Wi-Fi 人口統計データ：国際航業株式会社, <https://biz.kkc.co.jp/data/stat/dynamic/> (2021)
- 10) 総務省：位置情報プライバシーレポート～位置情報に関するプライバシーの適切な保護と社会的利活用の両立に向けて～ (2014)

Implementation of Kansai wide-area person flow analysis by linking Wi-Fi/Bluetooth packet sensors

Junji NISHIDA, Toshiyuki NAKAMURA, Fumitaka KURAUCHI, Nobuhiro UNO,
Makoto NAKAMURA, Kazushi TSUYAMA, Kaori OTA, Kiyoshi KOBAYASHI

In the Kansai region, efforts are underway to realize wide-area person flow analysis by linking Wi-Fi/Bluetooth packet sensors installed by multiple entities. Local governments, transportation operators, universities, and other organizations will link data from packet sensors installed at airports, major railroad terminals, and other locations in the Kansai region to conduct wide-area flow analysis.

To realize wide-area person flow analysis with the cooperation of multiple entities, it was necessary to form a consortium, create and disclose a privacy policy for measurement and analysis, and build an information system for collecting and analyzing big data. This paper reports on the results of the wide-area person flow analysis and describes the technical issues related to the analysis and legal issues related to privacy protection, etc. The paper also looks at the future possibilities for utilization and development, including a business model for maintaining the analysis over the long term.