

Wi-Fiパケットセンサを用いた 交通流動調査

まなか けんご さとう ひろき まるやま けんた たけだ よしたけ
真中 健吾・佐藤 大樹・丸山 健太・武田 芳丈

株式会社復建技術コンサルタント（〒980-0012 仙台市青葉区錦町1丁目7番25号）

Wi-Fi通信機能を持つ端末の普及に伴い、プローブ要求による行動分析が活発化しており、プローブ要求を取得するWi-Fiパケットセンサが注目されている。本研究では、パケットセンサを用いた短期・長期の交通流動分析から人流の傾向把握への有効性が得られ、来訪者の傾向把握や地点間の人流把握など、幅広い活用が可能であることを確認した。

本技術の活用により、交通流動調査の労力削減や、今まで調査不可能であった交通流動データの取得も可能となる。加えて、社会実装に適した分析システムの開発により、今後のデータ駆動形社会における位置情報分析の活発化に寄与する技術となると考えられる。

Key Words : Wi-Fi, プローブ要求, 位置情報, 人流解析, 混雑度

1. はじめに

(1) 背景と目的

近年、Wi-Fi通信機能を持つ端末の普及に伴い、都心部では約7割の歩行者がWi-Fi接続機器を所有すると推定され¹⁾、プローブ要求（Wi-Fi接続時の情報発信）を用いた行動分析が活発化している。プローブ要求を取得するWi-Fiパケットセンサ（以下「パケットセンサ」という。）は安価に導入可能で、詳細な交通流動が低コストで長期的に調査可能となる。また、リアルタイムな交通流動把握や、GPS電波の届かない地下等の位置情報取得も可能なため、既存調査の負担軽減、既存調査で取得不可能な位置情報取得が可能となり、将来的に都市、交通計画や観光マーケティング等で幅広い活用が見込まれる。

また、昨今の新型コロナウイルスの感染拡大防止対策としては、ソーシャルディスタンスの確保が重要な課題として挙げられ、混雑度分析の重要性は今後さらに高まると考えられる。パケットセンサで取得する位置情報は混雑度把握にも活用でき、個人でも交通流動が分析可能なため、よりミクロな視点からの混雑度緩和の対策検討に有効と考えられる。

本稿では、パケットセンサによる交通流動調査の効用を把握し、社会実装に向けた活用方策を整理するとともに、今後の展望について検討する。

(2) パケットセンサの特徴

a) データ取得の容易性

一般的に、データによる交通流動分析は基地局に係る位置情報やGPS等利用のアプリ、インフラ（交通系ICカード、ETC2.0等）の利用履歴が活用される。

しかし、基地局に係る位置情報は携帯電話事業者のデータ提供が必要となり、位置情報の精度は基地局単位となる。また、アプリやインフラ利用履歴は取得可能なサンプル数がシステム利用者数に左右され、利用者が少ないとデータの信頼性を担保できない。

一方、パケットセンサで取得可能な位置情報は、数十m程度の精度で取得可能であり、Wi-Fi通信端末からのデータ取得のため、特別なシステムを必要とせずに安定した数量の位置情報が取得できる。

b) 個人情報の匿名化

今後、Society 5.0で実現する社会では位置情報の幅広い活用が想定される一方、総務省は位置情報の利活用に関し個人情報の十分な匿名化が必要としており、データ活用とプライバシー保護の両立が課題となる。

パケットセンサで取得するMACアドレスには個人情報に含まれず、取得したMACアドレス自体も不可逆変換で自動的に匿名化されるため、十分な匿名化にあたるといった考え方が一般的であり、データ活用とプライバシー保護の両立が可能である。

表-1 位置情報の種類ごとの特徴²⁾

	基地局に係る位置情報		Wi-Fi位置情報	
	個々の通信の際に利用される基地局の位置情報	位置登録情報	GPS位置情報	端末利用者がアクセスポイント設置者との間の通信に基づく位置情報
概 要	移動体端末が通信等を行うために、移動体端末がどの基地局のエリア内に存在するかを明らかにする。自動的に取得される位置情報。	移動体端末のGPS機能により端末の具体的な所在地を示す情報。利用者が当該位置情報を利用する場合、サービスを利用することにより取得される。	端末がアクセスポイントと接続し、外部と通信を行う前提として、端末がMACアドレス等をアクセスポイントに送信することにより取得可能な位置情報。	端末利用者がアクセスポイントから外部と通信を行うことで取得される位置情報。
通信の秘密・個人情報への該当性	・電気通信事業者によって、通信の秘密に該当する。 ・携帯電話事業者の契約者情報と紐づくことにより個人情報。	・他の個人情報と紐づく場合、個人情報。	・他の個人情報と紐づく場合、個人情報。 ・MACアドレスと紐づく場合、個人情報。	・電気通信事業者によって、通信の秘密に該当する。 ・他の個人情報と紐づく場合、個人情報。 ・MACアドレスと紐づく場合、個人情報。
取得の経緯	・通信時に取得される。 ・通信の前提として取得される。	・利用者が当該位置情報を取得する際に取得されるが、設定によりバックグラウンドで取得されることもある。	・通信の前提として取得される。	・通信時に取得される。
精 度	基地局単位（数百メートル）	精度程度情報（数百メートル）	アクセスポイント単位（数十メートル）	
利用者の認識	・通信目的で取得・利用されることについては予測可能と考えられる。	・携帯電話を使用していないにもかかわらず、基地局に位置情報を把握されていることについて、利用者の認知が乏しいという可能性がある。	・Wi-Fi通信を利用していても、アクセスポイントにMACアドレス等の取得・当該サービスに利用されていることについては、利用者の認知が乏しいという可能性がある。	・通信目的で取得・利用されることについては予測可能と考えられる。

2. パケットセンサ概要

(1) 本体の構成

使用するパケットセンサは、プローブ要求取得のプログラムを設定した小型PCと以下の機器（全て普及品）で構成され、価格は8千円程度である。



図-1 本体の構成

(2) データ取得方法

- ① Wi-Fi機能オンの端末は、30～60秒の間隔でプローブ要求を送信する。プローブ要求には端末のMACアドレス等のデータが含まれる。
 - ② パケットセンサはプローブ要求に含まれるMACアドレスを取得し、不可逆変換によって匿名化する。その後、匿名化MACアドレスに取得時間、電波強度（RSSI）等の情報を付与したデータ群をログとして本体に保存する。
 - ③ 本体に保存されたログは、パケットセンサごとにキャリア回線を用いてクラウドに送信される。
 - ④ クラウド上のログを確認することで、遠隔から交通流動の分析を行う。なお、機器回収後に本体保存のログを分析することで、キャリア回線が繋がらない地点の分析も可能である。
 - ⑤ 仮に地点Aで特定のMACアドレス取得し、30～60秒後に、同地点で同アドレスを取得した場合、端末の所有者はその地点に滞在したと判断できる。
- 一方、地点Bで同アドレス取得の場合、所有者は地点AからBへ移動したと判断できる。同時に、（地点間距離／取得時間差）から移動速度が算出でき、移動手段（徒歩、車）も推定可能である。

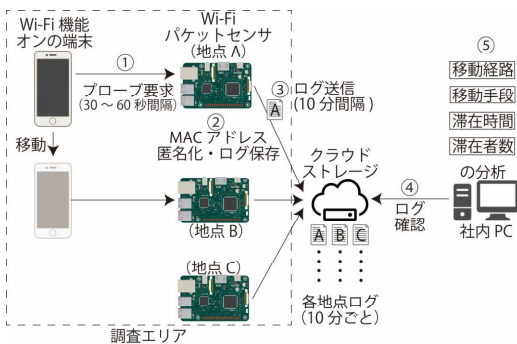


図-2 データ取得方法

表-2 クラウド送信のデータ
位置情報ログ（CSV形式）

1. 測定日時
2. 計測チャンネル（全13チャンネルを特定の区間で検索）
3. 電波強度（RSSI）
4. Wi-FiデバイスのMACアドレス上位3バイト（OUI） （デバイスのメーカー情報（iOS、Androidなど））
5. Wi-FiデバイスのMACアドレス下位3バイト（暗号化されたMACアドレス）

(3) システム概要

a) 設置方法

パケットセンサによる長期の交通流動調査では、電源接続が必要となる。屋内ではコンセントから電力供給が可能だが、市街地の調査では管理者に承諾を得た上で固定電源から電力を供給した。



図-3 屋外のパケットセンサ設置例

b) プローブ要求の取得範囲

プローブ要求の取得範囲は、パケットセンサやWi-Fi端末の周辺環境に影響され、遮蔽物等がない場合、最大で100m程度とされている³⁾。現段階では正確な端末位置の特定は難しいが、同アドレスの滞在の場合、電波強度から大まかな流動が推定できる。また、同時刻に複数のパケットセンサから同アドレスが取得された場合、電波強度（RSSI）から各パケットセンサとWi-Fi端末の位置関係も推定できる。

c) ログの送信頻度

ログの作成・送信の間隔はtxt形式のデータ上で設定する。間隔を短く設定することでリアルタイムに近い情報取得が可能だが、データ通信量が多くなるため、調査目的に合わせた設定が必要となる。今回は数日～数ヶ月単位の流動把握が目的のため、ログ作成・送信の間隔を10分に設定した。

(4) プライバシーポリシー

前述の通り、MACアドレスに個人情報含まれず、不可逆変換による匿名化で個人特定はほぼ不可能となる。しかし、MACアドレスは個人情報に準じた形で取扱う必要があるため⁴⁾、調査時には十分なプライバシー確保を目的に以下の体制を構築した。

- ① 設置箇所にデータ観測中の旨を掲示し、観測を希望しない場合、端末のWi-Fi機能オフによって、MACアドレスが取得されないことを周知した。
- ② 掲示内容に弊社HPのURLを記載し、プライバシーポリシーを確認できるように。また、問い合わせに応じて取得したMACアドレスを部分的に削除することとした。なお、現時点で個人情報に対する問合せは寄せられていない。

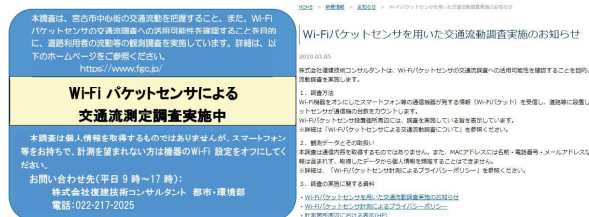


図-4 調査中の掲示

図-5 プライバシーポリシー

3. 調査概要

本稿ではパケットセンサの効果検証を行った調査の中から、以下2つの調査事例について記載する。

表-3 調査概要

(1) 屋内の人流調査 (短期調査)	
場所	本社3階の執務室 (1地点)
日時	2018年10月9日～2018年10月12日
目的	・1時間ごとの社内における人流の傾向把握
(2) 市街地の人流調査 (長期調査)	
場所	宮古駅前広場・末広町商店街・宮古市役所 (3地点)
日時	a) コロナ禍における駅前広場のにぎわい調査 2019年・2020年の4月26日～5月28日 (駅前広場) b) 駅前広場の来訪者調査 2019年4月～2020年5月 (駅前広場) c) 主要地点間の流動傾向調査 2019年10月～2020年5月 (宮古駅前広場・宮古市役所2F・末広町商店街)
目的	・長期的なまちなかのにぎわい把握 ・駅前広場の来訪者の傾向把握 ・主要地点間の流動傾向の把握

(1) 屋内の人流調査 (短期調査)

屋内の人流調査では、業務時間外はMACアドレスがほぼ取得されず、2018年10/10 (水) のノー残業デーは18時以降のMACアドレス取得数が大きく減少したため、社内の人流傾向を把握できたと判断できる。

また、図-7のようにMACアドレスごとのログを確認することで、匿名化された個人流動の把握も可能となり、(2)の来訪者調査や地点間の流動傾向調査にも応用可能である。

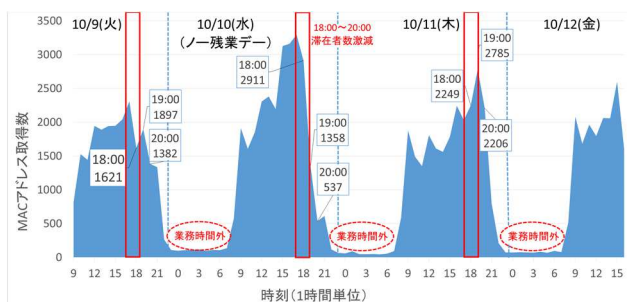


図-6 社内における滞在傾向



図-7 社内における滞在者ごとの有無 (抜粋)

(2) 市街地の人流調査 (長期調査)

市街地の人流調査では、人流と無関係のプロープ要求が多く取得されたため、取得MACアドレスのOUI (デバイス情報) から子機 (固定・ランダムMACアドレス) のみを抽出して分析を行った。

a) コロナ禍における駅前広場のにぎわい調査

コロナ禍における駅前広場の取得MACアドレス数を前年の同期間と比較した結果、全体で27.2%減少した。特に、休日の取得数が大きく減少しており、GW期間は最大で75.3%減少した日も見られる。

また、2019年に実施した宮古駅周辺の交通量調査では、休日より平日の自動車・歩行者交通量が多い結果となり、本調査からもこの傾向が得られた。これらの結果から、まちなかのにぎわい傾向を把握できたと判断できる。

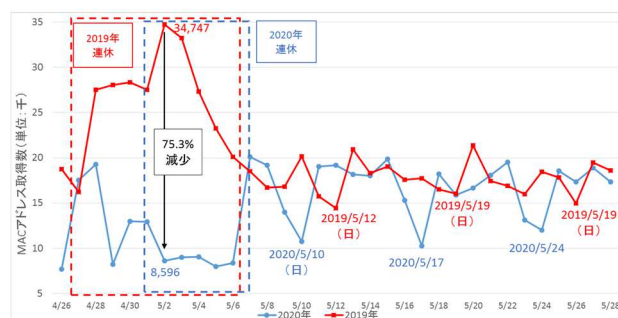


図-8 駅前広場におけるにぎわいの前年比較

b) 駅前広場の来訪者調査

駅前広場の来訪者調査として、各月に取得した個々のMACアドレスが、当月を含めて他の月に何回取得されたかを調査した。この結果、コロナ禍の2020年4月～5月は前年12月と比較して、他の月の取得がないMACアドレス (1回) の数が特に減少している。このため、宮古駅の来訪頻度が少ない買い物客や観光客が多く減少し、通勤・通学等の日常的用户の変動は少ないことが想定される。

なお、より高い精度で長期的な特定のMACアドレスを分析する場合、MACアドレスのランダム化を行う端末の分析方法が今後の課題となる。

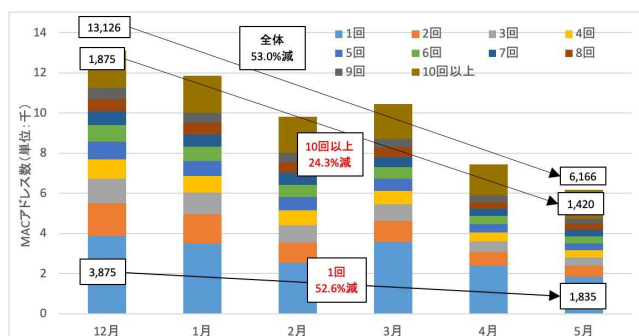


図-9 駅前広場における利用者の来訪傾向 (抜粋)

c) 主要地点間の流動傾向調査

駅前広場・商店街・市役所で取得した個々のMACアドレスから、地点間の流動傾向を調査した結果、駅前広場～商店街の流動が最も多く、反対に商店街～市役所の流動が少ないことが把握できた。また、市役所2Fは車内の端末からのプロープ要求が取得されないため、他地点と比較してMACアドレス取得数が少ないものの、業務時間外となる休日の

MACアドレス取得数が平日と比較して大きく減少しているため、流動傾向が把握できたと判断できる。

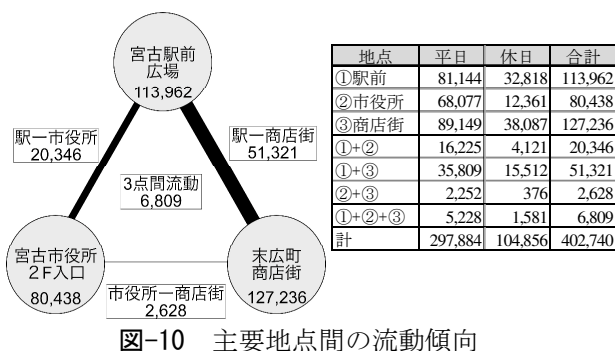


図-10 主要地点間の流動傾向

(3) ログ解析ツール(β版)の開発

短期調査(1台・4日間)であっても取得MACアドレスは約2.1万種類、9.3万個と膨大となったため、社会実装時のデータ活用を想定した場合、CSV形式のままでは分析の難易度が高いと想定される。そこで現在、取得したログをブラウザ上で解析するログ解析ツール(β版)を開発している。

本システムは特定の場所・期間におけるクラウド上のログを統合して分析を行うものであり、現時点では、端末の移動経路、滞在スポット数、平均移動時間、平均滞在時間が分析可能で、パケットセンサ間の滞在・流動のグラフが作成可能である。

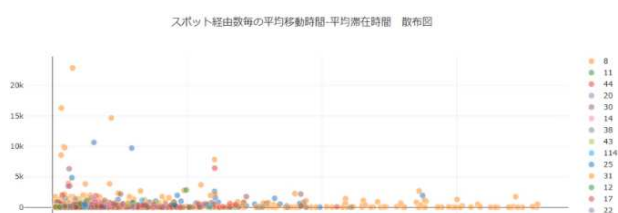


図-11 ログ解析ツール(β版)の画面

4. まとめ

短期調査ではパケットセンサによって屋内の人流調査が可能であることを確認した。また、個々のMACアドレスの分析により、より詳細な交通流動が分析可能なことが判明した。

長期調査では、コロナ禍における交通流動の分析を行い、まちなかのにぎわい調査が可能であることを確認した。また、同MACアドレスの分析から来訪者の傾向把握が可能であることを確認し、複数地点で同MACアドレスを確認することで、地点間における交通流動の傾向把握が可能であることを確認した。

今後の課題としては(1)データの精度向上、(2)データ分析と将来予測の2つが挙げられ、これらの課題解決により(3)の展望が期待できる。

(1) データの精度向上(第1段階)

パケットセンサが取得するMACアドレス数は、周辺のWi-Fi端末数に依拠するため、現時点では完

全な実数把握は難しい。しかし、従来の交通量調査から実数を把握し、MACアドレス数と実数との相関から条件ごとにパラメータを設定することで、MACアドレス数から実数の概算が可能となる。

同時にMACアドレスの取得精度向上やデータクレンジング、移動手段や住民・観光客を正確に判別する閾値設定等によりデータの精度を向上させることで、実数概算の精度向上が可能である。

(2) データ分析と将来予測(第2段階)

交通量・混雑度など正確な実数データが存在する場合、実数とそれに付随する調査条件を教師データとした深層学習からのパラメータ設定により、日時、天候等の各種条件から、特定条件下における交通量・混雑度の実数が逆算的に予測可能となる。これにより、都市、交通計画や観光マーケティング等の将来予測にも活用可能となる。

(3) 今後の展望

パケットセンサで得られる位置情報は非常に汎用性が高く、データの精度向上や活用方法の検討により、将来的には既存流動調査の費用・労力削減や、新たな交通流動データの取得が可能となる。

また、パケットセンサの社会実装により、個人でも交通流動データの取得が可能となる。そのため、取得した位置情報の分析ツールや交通流動・混雑度をリアルタイムに可視化できるシステムの開発により、社会実装時に多くの人が位置情報を活用できるものとする事で、今後の位置情報分析の活発化に寄与する技術となると考えられる。

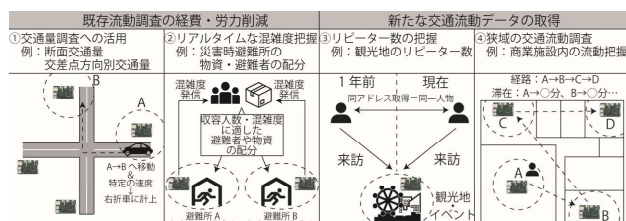


図-12 社会実装時の活用イメージ

謝辞：本調査は岩手県宮古市、末広町商店街振興組合、仙台高等専門学校の協力を得て実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 望月祐洋, 上善恒雄, 西田純二, 中野秀男, 西尾信彦: 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書, 2014.
- 2) 総務省編: 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.
- 3) 大野沙知子, 中村俊之, 薄井智貴, 手嶋茂晴: 人流解析のためのWi-Fiパケットセンサー射程距離に関する研究, 第57回土木計画学会研究発表会, 2018.
- 4) 西田順次, 宇野伸宏, 倉内文孝, 中川義也, 望月祐洋: Wi-Fiパケット観測の精度と個人情報保護, 第57回土木計画学会研究発表会, 2018.