横浜みなとみらい 21 地域における Wi-Fi パケットセンサによる 来訪者人流特性の予備調査

PRELIMINARY INVESTIGATION OF TOURIST STAY AND MOVEMENT CHARACTERISTICS BY WI-FI PACKET SENSOR IN YOKOHAMA MINATO MIRAI 21 AREA

白 林^{*1}, 卯月盛夫^{*2}
Lin BAI and Morio UZUKI

Five Wi-Fi packet sensors were installed at the sightseeing hotspots in Yokohama Minatomirai 21 area to collect the visitor stay and movement data for one month. The database and analysis tool were developed to have the visitor stay and movement characteristics, and to verify the applicability of Wi-Fi packet sensor survey methodology in urban planning. The result confirmed that the Wi-Fi packet sensor survey methodology and developed analysis tool can be continuously used in visitor movement collecting over wide area from various aspects of urban planning, while which has been a difficult in conventional investigators' manually count and questionnaire survey.

Keywords : *Wi-Fi packet sensor, visitor flow, urban design, big data, Minato Mirai 21*

Wi-Fi パケットセンサ, 来訪者移動, まちづくり, ビッグデータ, みなとみらい 21

1. はじめに

横浜みなとみらい 21 (以下 MM21 という) 地域は, 活力があふれる国際文化都市として, 年々来訪者が増えている。平成 31 年 3 月の横浜市発表資料によると, 平成 30 年の来訪者数は過去最多の約 8300 万人を記録した^{注 1)}。今後, 東京オリンピック・パラリンピックの開催に伴い, より多くの来訪者が来ることが予想される。一方, 来訪者の利便性・快適性向上に向けてのまちづくりと安全・安心なまちづくりを推進するために, 特に東日本大震災以降, 防災対策の重要性が高まっていることを踏まえ, MM21 地域のような人が集中する都市部等の災害に対し, 人の分布・移動状況をリアルタイムに把握するシステムの重要性が高まりつつある。

本研究は社会システム総合研究所が開発した Wi-Fi パケットセンサを用いて¹⁾, 人々が携帯する Wi-Fi 機器の管理パケットを収集し, 観光スポットにおける来訪者移動, 滞留状況の回遊特性を統計的に分析する。

これまで, 来訪者の回遊行動調査は通常歩行者交通量カウントやアンケートに基づいて行ってきた。しがし, アンケート調査には時間・費用がかかり, サンプルに偏りもあることが指摘されていた。特に, 現地でのインタビューでは詳細な移動行動の問い合わせなどは, 来訪者の観光行動を妨げ, 実行が困難になる場合がある。また, 質問紙を郵送配布して行う調査の場合でも, 回答は記憶に基づいて行われ, 不正確な場合がある。

近年 Wi-Fi デバイスを搭載した携帯端末の普及に伴い, Wi-Fi デ

バイスから送信されるプローブ要求に着目した人々の行動を分析する可能性が拡大している。具体的には, Wi-Fi デバイスを搭載した端末から送信されたプローブリクエスト (Probe Re-request : PR) を Wi-Fi パケットセンサによって収集し, 各デバイスに割り当てられた MAC (Media Access Control) アドレス, リクエスト時間と電波強度などのデータを蓄積する。これらデータの分析により, 人の移動特性を把握することが可能になる²⁾。この手法では回答者に負担をかけることなく, 大量のデータを低コストで長時間連続して取得できるという大きな利点がある。特に, 来訪者の時間的・空間的集中の変動が大きい観光周遊行動を把握するには, このような調査手法の有用性は大きいものと期待される。

本研究は, Wi-Fi パケットセンサに基づき, MM21 地域における小範囲観光スポットの来訪者の滞留・移動特性の把握と来訪者誘導計画, 災害対応に活用する可能性を検証することを目的とする。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

Wi-Fi パケットセンサを用いた歩行者の移動分析に関する研究と応用は, Wi-Fi 機能を搭載するスマートフォンの普及により, 2010 年頃から報告が増えて来た。森本ら³⁾, 廣川ら⁴⁾などの研究がその事例である。森本らは Wi-Fi パケットセンサを用いて商業施設内の人の流れの解析を行い³⁾, 廣川らは観光地の来訪者の滞留時間と地域間移動に関する基礎的分析を行った⁴⁾。一方, 近年個人情報プライバシーの保護に配慮し, MAC アドレスを個人情報と紐付けしない

^{*1} 早稲田大学先端社会科学研究所 研究員・工博

^{*2} 早稲田大学先端社会科学研究所 教授・工博

Research Fellow, Institute for Advanced Social Science, Waseda University, Dr.Eng.
Prof., Institute for Advanced Social Science, Waseda University, Dr.Eng.

ことが要求され、2014 年以降のスマートフォンの一部に MAC アドレスをランダム化する機能を追加し、既存の手法を用いて同一利用者の判別を行うことが困難になっている⁵⁾。

そのため、取得された MAC をハッシュ関数により匿名化し、個人情報と紐付けができないように安全な人の移動解析を行えるセンサ（AMP センサ）が開発された⁶⁾。更に、MAC アドレスのベンダーコード、受信シーケンス番号などを分析処理し、ハッシュ関数により匿名化された匿名 MAC(AMAC, Anonymous MAC) 等データを専用サーバに送信し、これらの AMP センサのデータをもって同一利用者の判別が出来るようになった⁶⁾。

AMP センサを用いて、西田らは複数の高速道路、一般道路、SA や都市部の人の滞留する場所において計測実験を行い、センサの幅広い目的の交通移動解析や交通流常時観測装置として活用できるという結果を得た⁷⁾。浅尾らは AMP センサのセンシングの手法やインフラの紹介、実際に収集されたデータを専用サーバに蓄積し、専用サーバにおいて解析や視覚化手法について、具体例を示した²⁾。また、浅尾らは京都府北部地域（福知山市、舞鶴市、綾部市、宮津市、京丹後市、伊根町、与謝野町）において、天橋立地区（宮津市）を中心に全 60 台に及ぶ「Wi-Fi パケットセンサ」を「海の京都観光圏」圏域に設置し、専用サーバに集められたビッグ・データを更なる観光振興と持続可能な観光地域づくりへと活用する試みを行った²⁾。

ただし、AMP センサ収集されたデータは専用サーバに転送とサーバ用特有に開発した解析ツールによりデータ解析が必要であり、システムの汎用性と実用性に課題がある²⁾。今後、ビッグ・データをリアルタイムに且つローコスト（低負荷）に活用するにあたり、簡易でありつつ効率良く実用的な情報を取得する必要がある。また早く・深く広く・詳細に・簡単にといった相反する要求がたえず発生する。本研究は、以上の AMP センサの研究成果を踏まえて、Wi-Fi パケットセンサに収集されたデータを個人パソコンに移し、個人パソコンに対応するビッグ・データ処理の MySQL ツールを開発し、汎用性と実用性を重視しながら、簡単かつ低負荷の来訪者滞留、移動特性の分析システムを試みる。また、今までの Wi-Fi パケットセンサは分散地域の応用は多いが、MM21 地域のような多数観光スポット、来訪者が集中する都市エリアの応用ケースは少ない。本研究は、観光スポットが集中する都市エリアの来訪者に対し、汎用解析ツールにより、来訪者の移動、滞留状況の回遊特性を分析し、リアルタイムを重視すると共に、来訪者誘導、防災計画等の都市計画、災害対応に活用する手法を開発する。

3. Wi-Fi パケットセンサの設置場所

2019 年 11 月に新港埠頭客船ターミナルが開港された。この開港に伴い来訪者はどのような移動ルーチンと滞留特性で新港埠頭客船ターミナルを訪ねるのかをこの予備調査の一つの目標とした。そのため、Wi-Fi パケットセンサは新港埠頭と桜木町駅を連結する汽車道 (Fig.1 の拠点 3)、万国橋通り (Fig.1 の拠点 2)、及びみなと大通りと繋ぐ赤レンガ倉庫 (Fig.1 の拠点 4) を含め下記 5 拠点到設置する。測定範囲は各拠点の半径 100 メートルを見通すが、実運用は 40m 程度である²⁾。測定期間は 2019 年 12 月 09 日~2020 年 1 月 10 日の 5 週間である。

- 1.新港ふ頭客船ターミナル(Shinko Futo)
- 2.ワールドポーターズバス停(World Porters Bus Stop)
- 3.汽車道京浜フェリー(Keihin Ferry)
- 4.横浜赤レンガ倉庫(Akaranka Warehouse)
- 5.横浜ステーションビル CIAL 桜木町(CIAL Sakuragicho)

Fig.1 Wi-Fi packet sensor installation site and visitor movement

4. 収集データと解析ツール

収集されたデータは、CSV ファイルとして個人パソコンに保存される。各データレコードには Table 1 に示す内容が含まれる。

Table1 Data record collected by Wi-Fi sensor	
Item name	Description
ID	No. of data record
UNIXTIME	Internal UNIX time
TIMESTAMP	Data record timestamp
AMPID	Sensor ID
AMAC	Anonymous MAC
SC	Sequence number
OUI	Vendor code part of MAC
RSSI	Wi-Fi signal strength

その中の AMAC は OUI や SC の項目を使って下処理されて、同じ端末に対し一定期間では同じ AMAC になる。

これをベースに MySQL を利用して、来訪者数のデータベースを作成した。次に、設置場所 (AMPID)、取得された端末 (AMAC)、と TIMESTAMP に着目し、来訪者数、滞留時間と移動の解析するツールを開発した。

(1) 地元住民と就業者の除去

収集されたデータには観光や仕事、国際会議等で来訪する人と地元住民と就業者が含まれている。来訪目的の人とそれ以外の地元住民、就業者を区別するために、1 週間のうち 3 日以上観測された対象を地元住民と就業者と想定する。即ち、除去対象の特定に約一週間程度かかるため、来訪者を区別できる計測期間は少なくとも一週間以上が必要である。因みに、それ以降は得られた 3 日以上に観測された者を除去対象とし、観測データからリアルタイムに来訪者を区別することが出来る。

(2) 来訪者の滞留^{注2)}

一つのセンサにおいて複数のタイミングで同一の識別子(AMAC)が収集された場合は“滞留”と判断し、滞留時間分布を解析する。

ここでの滞留とは、観光スポットの測定範囲（40m 程度）以内暫くどまっていること。つまり、建物内外とは関係なく、Wi-Fi パケットセンサの測定範囲以内にいることを意味する。

Wi-Fi パケットセンサは常時観測を続けるため、従来の調査手法（調査員によるカウントやヒアリング）では難しかった滞留時間の把握は、Wi-Fi パケットセンサの監視により自動的に算出し積み上げることが可能となる。

また、一日の内来訪者は同じ場所に複数回訪ねて滞留する場合がある。同一の識別子(AMAC)の来訪者は 10 分間の間隔を超えて観測される場合は、新しい滞留と処理する。因みに、一回だけ観測される来訪者は、“滞留”ではなく、“通過”と処理する。

この仮定で、例えば交差点付近に設置されたセンサに往復繰り返し通過した場合、“長時間の滞留”と判別される可能性があり、この点に留意が必要である。

(3) 来訪者の移動

複数地点で同一の識別子 AMAC が収集される場合は“移動”と判断し、これを基に観光スポット間の移動特性を解析する。

具体的に、移動元と移動先での Wi-Fi パケットセンサ装置に同じ識別子のパケットが収集され、移動先装置に収集されたパケットのタイムスタンプは、移動元装置に収集されパケットのタイムスタンプより新しい、かつ時差が最小である。Fig.2 は来訪者の ws05 と ws01 両センサ間の移動例である。ws05 施設から ws01 へ移動は、ws05t.id=8715827 と ws01t.id=8844155 のパケットであり、ws01t から ws05t への移動は ws01t.id=8912869 と ws05t.id=8969199 のパケットである。

WS05t		WS01t	
id	timestamp	id	timestamp
8715827	12/9/19 7:44	8844155	12/9/19 12:28
		8844814	12/9/19 12:29
		8851471	12/9/19 12:38
		8854884	12/9/19 12:44
		8912869	12/9/19 14:05
8969199	12/9/19 15:29		
8970222	12/9/19 15:30		

Fig.2 Judgment of visitor movement

5. データ解析結果と考察

本研究で利用した Wi-Fi パケットセンサは(株)社会システム総合研究所が 2014 年から開発⁶⁾、富士通特機(株)那須工場で 2019 年度に製造され、データ処理用プロセッサ、携帯電話回線通信端末、アンテナを搭載した屋外用と屋内用両仕様のものである。屋外用モデルのサイズは 160mmx160mmx90mm であり、屋内用は 130mmx160mmx60mm である。

データ分析用パソコンは Windows10 の 64 ビット OS、Intel(R) Core(TM) i7-5600U CPU 及び 16.0GB RAM を搭載した Dell 社製ノートパソコンである(Latitude E7450 モデル)。

開発した MySql ツールは全てフリーソフトウェアとして配布された SQLyog32 ビット(v12.09)のグラフィカルな環境で実行する。一日の計測されたデータ(12 月 14 日の例、5 台センサ合計 156,412 データレコード)の処理時間は 10 分程度である。

従来の調査員により通行者カウントやアンケートの調査手法と比

べ、本研究の Wi-Fi パケットセンサ調査手法は来訪者の分布・移動状況をリアルタイムで計測することが出来、数分程度で収集されたデータの処理結果が得られた。

(1) 一日の動向

各センサの平日と週末、祝日に取得された来訪者数を 15 分単位でグラフ化し、任意のセンサと任意の一日の来訪者動向を確認することが可能である。Fig.3～Fig.6 は平日と週末の新港ふ頭客船ターミナル、横浜ステーションビル CIAL 桜木町の例である。

新港ふ頭客船ターミナル、ワールドポーターズバス停、自動車道京浜フェリー、横浜赤レンガ倉庫では、平日と週末ともに朝から来訪者数はピークまで増えつつ、その後徐々に減少する。各施設の平日と週末のピークの時間帯は若干異なる。

例えば、新港ふ頭客船ターミナル、12 月 11 日(水曜日)の平日は 13:15 頃にピークになり、週末は平日より 1 時間半ぐらい遅れ 14:45 になる。ワールドポーターズバス停は、平日のピークは 16:30 頃、週末は 1 時間 45 分遅れの 18:15 になる。自動車道京浜フェリーでは、平日のピークは 17:30 頃、週末は平日と大体同じ 17:45 頃である。横浜赤レンガ倉庫は平日と週末が同じく、16:45 頃にピークとなる。

横浜ステーションビル CIAL 桜木町では、他の箇所と違って、ピークになった後に一定の時間を維持し、その後徐々に減っている。例えば平日は 11:30 頃までには増えて、17:45 頃までは高い数を維持する。週末は高い来訪者数の時間帯は 13:30～16:30 の間である。

以上の結果を踏まえて、集客イベント等を計画する際、各拠点の平日、週末の来訪者がピークになる時間帯に行うことが効果的であると判断できる。具体的には、赤レンガ倉庫は平日、週末とも午後 16:45 ごろ、横浜ステーションビル CIAL 桜木町は平日は 11:30～17:45、週末は 13:30～16:30 の時間帯が適当である。

Fig.3 Visitor trend during a day(Shinko Futo, weekday, Dec. 11)

Fig.4 Visitor trend during a day(Shinko Futo, weekend, Dec. 21)

Fig.5 Visitor trend during a day(CIAL Sakuragicho, weekday, Dec. 11)

Fig.6 Visitor trend during a day(CIAL Sakuragicho, weekend, Dec. 21)

(2) 来訪者数の推移

各センサで取得されたデータを 1 時間単位で集計して得られた毎日の来訪者の結果を Fig.7～Fig.11 に示す。平日と週末、祝日の平均来訪者数を Fig.12 に示す。

Fig.7 Number of people detected(Shinko Futo)

Fig.8 Number of people detected(World porters bus stop)

Fig.9 Number of people detected(Keihin Ferry)

Fig.10 Number of people detected(Akaranka Warehouse)

Fig.11 Number of people detected(CIAL Sakuragicho)

Fig.12 Average number of people detected per day

Fig.7～Fig.12 の各箇所の来訪者変化図により、以下の傾向が分かる。

1. 各箇所の来訪者の来場は朝 7 時～夜 23 時の時間帯になる、24 時～6 時の時間帯は来訪者はほとんどいない。

2. 曜日により人出の差は大きく異なる。横浜ステーションビル CIAL 桜木町を除く各箇所の土日曜日(12/14～12/15, 12/21～12/22)の来訪者数は平日(12/09～12/13, 12/16～12/20)の倍ぐらいになる。横浜ステーションビル CIAL 桜木町においては、土日曜日と平日に大きな差はない。

3. 横浜ステーションビル CIAL 桜木町は、5 箇所の中で平日、祝日とも来訪者は一番多い、その次はワールドポーターズバス停、次は赤レンガ倉庫、汽車道京浜フェリー、新港埠頭客船ターミナルである。

4. 横浜ステーションビル CIAL 桜木町を除く各箇所の地元住民と就業者は 50 名未満であり、来訪者数の 1/10 以下である。毎日朝 9 時は、就業者到着のピーク時間である。横浜ステーションビル CIAL 桜木町の就業者は他の観察拠点よりはるかに多く、一日 3000 名程度観測され、来訪者数の 1/4 程度である。平日の毎日朝 8 時はピークになり、一時間内 600 名位と検出される。これは、桜木町駅北改札口を利用するランドマークビル等に働く就業者と思われる。土日曜日は、就業者は少なくなり、平日の半分ぐらいになる。

以上の結果を踏まえて、来訪者案内、誘導計画と災害対応の案内等は、横浜ステーションビル CIAL 桜木町付近の他、ワールドポーターズバス停と赤レンガ倉庫周辺を重点地区にすることが妥当であると判断される。

(3) 滞留時間分布

平日と週末、祝日の来訪者平均滞留時間の 5 分単位の分布と来訪者の 0~10 分、11~30 分、31~60 分と 60 分以上滞留時間の日中変化を集計した。新港ふ頭客船ターミナル、汽車道京浜フェリーを例として結果を Fig.13~Fig.18 に示す。

Fig.13 Visitor stay time distribution(Shinko Futo, weekday)

Fig.14 Visitor stay time distribution(Shinko Futo, weekend)

Fig.15 Visitor stay time change during a day(Shinko Futo)

Fig.16 Visitor stay time distribution(Keihin Ferry, weekday)

Fig.17 Visitor stay time distribution(Keihin Ferry, weekend)

Fig.18 Visitor stay time change during a day(Keihin Ferry)

各箇所における来訪者滞留時間結果から、平日と週末とも以下の傾向が分かる。

1. 5 分間に満たない滞留が圧倒的な多い、おおよそ半分以上を占める。

2. 新港ふ頭客船ターミナル、ワールドポーターズバス停での 20~30 分内滞留する来訪者数はおおよそ 5 分ごとに半分に減少する。例えば、新港ふ頭客船ターミナルでの平日 5 分以内の滞留は 1044 人、5~10 分に滞留する来訪者は 490 人、10~15 分に滞留する来訪者は 228 人、15~20 分は 115 人、その後 20~25 分、と 25~30 分の来訪者数は 70 人と 52 人である。

3. 汽車道京浜フェリー、赤レンガ倉庫、横浜ステーションビル CIAL 桜木町での 20 分以内滞留する来訪者数はおおよそ 5 分ごとに 1/3 までに減少する。例えば、汽車道京浜フェリーの週末では 5 分以内の滞留意来訪者は 1419 人、5~10 分は 408 人、10~15 分は 143 人、15~20 分は 58 人である。

4. 各滞留時間帯での週末、祝日の来訪者は、おおよそ平日より 50%~100%増加する。例えば、汽車道京浜フェリーでは 5 分以内の滞留では平日は 814 人、週末は 1419 人、5~10 分の滞留では平日と週末は 277 人と 508 人。滞留する来訪者全体も同じ傾向である、平日は 4591 人、週末、祝日は 6962 人である。

5. 滞留時間の日中変化では大勢の来訪者は 11 時~19 時の時間帯内に 10 分以内滞留する。10~30 分の中長時間滞留もこの時間帯に発生し、30 分以上の長時間滞留はどこ時間帯もほとんどない。

6. 通過する来訪者は多く存在する。例えば、汽車道京浜フェリーでは週末祝日通過する来訪者は 4817 人、5 分以内の滞留は 1419 人。

調査員によるカウントやヒアリングの調査では、通過と滞留者の区別、及び滞留時間の数値化が難しかったことに対し、Wi-Fi パケットセンサでは簡単に分別できる。

以上の来訪者の通過と短い滞留が多い結果を踏まえて、来訪者案内、誘導計画と災害対応は、簡単かつ読みやすい案内サインの設置等は妥当であると判断される。

(4) 来訪者の移動

5つのWi-Fiパケットセンサの設置場所では、施設間はTable 2のような20個の移動ルーチンがある。方向が異なる両ルーチンは一つ道路とする。各道路と各ルーチンの測定期間中の平日と週末、祝日の平均移動結果もTable 2に示す。

また、来訪者の移動フローを分かりやすく表示するため、移動元と移動先のODコード図(Origination Destination Chord Diagram)を用いて施設間移動量を可視化する^{注3)}。

OD図の円周に各施設の名称が並べられ、取得量が弧長に反映され、施設間の移動があれば弦が張られ、その太さにより移動量を表

す。弦の始点には、施設から移動する来訪者の人数を入れ、弦の終点は来訪者の移動先である。

平日と週末、祝日の移動状況をFig.19, Fig.20に示す。これらの図により、以下の傾向が分かる。

1. 各施設の間で来訪者が一番頻繁に移動するのは、自動車道京浜フェリーとワールドポーターズバス停の道路である。平日平均では3404人であり、その内、ワールドポーターズバス停から自動車道京浜フェリーへの移動は1732人、自動車道京浜フェリーからワールドポーターズバス停への移動は1672人である。
2. ワールドポーターズバス停と赤レンガ倉庫間の道路は二番目の来訪者移動量を占める。平日平均1416人であり、その内、ワールドポーターズバス停から赤レンガ倉庫への移動は612人、赤レンガ倉庫からワールドポーターズバス停への移動は804人である。

Table 2 The route of visitor movement and daily average result

Road	Route	From	To	Weekday	Weekday road total	Weekend	Weekend road total	Weekend/weekday
1	1	1-Shinko Futo	2-World Porters	303	561	434	819	1.4
	2	2-World Porters	1-Shinko Futo	258		385		1.5
2	3	1-Shinko Futo	3-Keihin Ferry	213	379	287	555	1.3
	4	3-Keihin Ferry	1-Shinko Futo	166		268		1.6
3	5	1-Shinko Futo	4-Akaranka Warehouse	289	568	442	938	1.5
	6	4-Akaranka Warehouse	1-Shinko Futo	279		496		1.8
4	7	1-Shinko Futo	5-CIAL Sakuragicho	132	288	210	427	1.6
	8	5-CIAL Sakuragicho	1-Shinko Futo	157		217		1.4
5	9	2-World Porters	3-Keihin Ferry	1732	3404	2500	4759	1.4
	10	3-Keihin Ferry	2-World Porters	1672		2259		1.4
6	11	2-World Porters	4-Akaranka Warehouse	612	1416	981	2333	1.6
	12	4-Akaranka Warehouse	2-World Porters	804		1352		1.7
7	13	2-World Porters	5-CIAL Sakuragicho	328	672	525	1067	1.6
	14	5-CIAL Sakuragicho	2-World Porters	344		541		1.6
8	15	3-Keihin Ferry	4-Akaranka Warehouse	393	947	676	1650	1.7
	16	4-Akaranka Warehouse	3-Keihin Ferry	555		974		1.8
9	17	3-Keihin Ferry	5-CIAL Sakuragicho	284	580	466	939	1.6
	18	5-CIAL Sakuragicho	3-Keihin Ferry	297		473		1.6
10	19	4-Akaranka Warehouse	5-CIAL Sakuragicho	219	440	398	748	1.8
	20	5-CIAL Sakuragicho	4-Akaranka Warehouse	221		350		1.6

OD_Weekday Average (Person/day, Dec. 09~Jan. 10)

Fig.19 Visitor weekday average movement

3. 各移動ルーチンでは、週末、祝日の来訪者移動は、およそ平日の1.4~1.8倍である。1月3日の新年は自動車道京浜フェリーとワールドポーターズバス停間の来訪者の移動はそれぞれに3105人と3082人になり、平日平均の1732人と1672人のおよそ倍になる。

4. 平日と週末、祝日の各拠点の来訪者の移動元と移動先の構成は以下になる。

(1) ステーションビル CIAL からの移動は、一番多いのはワールドポーターズバス停までのルーチンであり、平日では344人である。二番目の移動ルーチンは自動車道京浜フェリーの297人である。ステーション CIAL から赤レンガ倉庫への移動は三番目で、平日平均221人。ステーションビル CIAL から新港埠頭客船ターミナルの移動は平均157人である。

OD_Weekend Average (Person/day, Dec. 09~Jan. 10)

Fig.20 Visitor weekend average movement

その一方、ステーションビル CIAL へ来る来訪者は、ワールドポーターズバス停からは一番多く 328 人である。次は汽車道京浜フェリー 284 人。その次は赤レンガ倉庫と新港埠頭である。

(2) 新港埠頭客船ターミナルの来訪者で一番多い移動先はワールドポーターズバス停であり、平日では 303 人である。次は赤レンガ倉庫で 289 人である。汽車道京浜フェリーとステーションビル CIAL は、その次である。新港埠頭客船ターミナルへ来る来訪者は、赤レンガ倉庫からが一番多く平日では 279 人である。ワールドポーターズバス停からは二番目の 258 人である。その次は汽車道京浜フェリーとステーションビル CIAL である。

(3) 赤レンガ倉庫の来訪者では、一番多い移動先はワールドポーターズバス停であり、平日では 804 人に達する。その次は汽車道京浜フェリーの 555 人である。新港ふ頭客船ターミナルとステーションビル CIAL はその次で、279 人と 219 人になる。

赤レンガ倉庫への来訪者は、ワールドポーターズバス停方面から来るのが一番多く 612 人であり、汽車道京浜フェリーは二番目を占めて 393 人である。新港ふ頭客船ターミナルとステーションビル CIAL はその次である。

(4) 汽車道京浜フェリーへの来訪者で、一番多い移動先はワールドポーターズバス停であり、その次は赤レンガ倉庫、ステーションビル CIAL と新港ふ頭客船ターミナルである。それぞれ平日の平均は 1672 人、393 人、284 人と 166 人である。

汽車道京浜フェリーの来訪者は、ワールドポーターズバス停周辺から来るのが一番多く、その次は赤レンガ倉庫、ステーションビル CIAL と新港ふ頭客船ターミナルである。

(5) ワールドポーターズバス停周辺の来訪者は、汽車道京浜フェリーへ移動するのが一番多く、その次は赤レンガ倉庫、ステーションビル CIAL と新港ふ頭客船ターミナルである。

その一方で、ワールドポーターズバス停周辺への来訪者では、汽車道京浜フェリーを経由するのが一番多く、その次は赤レンガ倉庫、ステーションビル CIAL と新港ふ頭客船ターミナルである。それぞれの平日平均は 1672 人、804 人、344 人と 303 人である。

以上の結果により、観光案内図の設置や、非常時避難案内の設置はワールドポーターズバス停と汽車道京浜フェリーの間、及びワールドポーターズバス停と赤レンガ倉庫間が適していると判断できる。また、販売、キャンペーン等集客イベントを行うには、週末が適している。

以上 MM21 のように観光スポットが集中し、大量の観光来訪者を対象に調査員によるカウントやヒアリングの調査、データの収集と処理が難しかったことにに対し、本研究での Wi-Fi パケットセンサの調査手法では、自動的に来訪者データが収集され、開発したノートパソコン上に動く分析システムは調査現場に持ち運びすることができ、調査現場での結果検証、観光客を誘導することが可能となる。さらに、今後スマートフォンや Wi-Fi を搭載する装置の更なる普及に、簡単かつ低負荷で客の滞留、移動特性の把握と防災対応、避難誘導するに活用できることが期待される。

(5) Wi-Fi パケットセンサの計測値と実測値の検証

Wi-Fi パケットの計測は、来訪者のスマートフォンの所持状況、移動状況、電波受信状況の影響を受け、観測値と実際の値が必ずし

も一致するとは限らない。以上では、Wi-Fi パケットセンサの計測値に基づき、Wi-Fi パケットセンサの来訪者人流特性調査の有用性を考察したが、ここではこの手法の正確性及び Wi-Fi パケットセンサの計測値自体を利用して実際の来訪者状況を反映されるかを検証する。検証は、2020 年 8 月 1 日（土）の MM21 地域のある観光スポットの来訪者数及びその間の歩行移動者数を調査し、その上で Wi-Fi パケットセンサの計測値を用いた実来訪者数推定モデルを構築して、算出された推測来訪者数と実来訪者数の比較を行う。また、調査は比較的に来訪者をカウントしやすいワールドポーターズバス停(WS02)、汽車道京浜フェリー(WS03)の朝 9 時～午後 21 時の 12 時間の来訪者数とその間の歩行移動者数を対象にした。

1) Wi-Fi パケットセンサの計測値と実測値の関係

AMP Wi-Fi パケットセンサに計測された来訪者数 (Namp) は、来訪者のスマートフォンの保有率、Wi-Fi 装置を ON する率、AMP センサの取得率に影響される。計測値と実来訪者数は以下の関係式がある。

$$Namp = Nact \cdot Rwifi \cdot Ron \cdot Ramp \quad (1a)$$

ここで、各変数は下記の通りである。

Namp: Wi-Fi パケットセンサに計測された来訪者数

Nact: Wi-Fi パケットセンサの計測範囲内にいる実来訪者数

Rwifi: スマートフォンの保有率(%)

Ron: Wi-Fi を ON にする率(%)

Ramp: Wi-Fi パケットセンサの取得率(%)。AMP センサの設置環境、設置条件と人の通行条件に基づいて決定される。

計測範囲内にいる実来訪者は、歩行者 (Nw) と車両に乗りして移動する人 (Nv) の合計となるから、(1a) は以下の関係式になる。

$$Namp = Nw \cdot Rwifi \cdot Ron \cdot Ramp + Nv \cdot Rwifi \cdot Ron \cdot Ramp \cdot Rv \quad (1b)$$

ここで Rv は車両に乗っているときに Wi-Fi パケットセンサーの取得に影響を受ける要素である（車両の電波反射減衰や通行速度など）。歩行者人数 (Nw) は調査員によるカウントされる実測値とすると、実測値 Nw と計測値 Namp は以下の関係式になる。

$$Nw = (Namp - Nv \cdot Rwifi \cdot Ron \cdot Ramp \cdot Rv) / (Rwifi \cdot Ron \cdot Ramp) \quad (1c)$$

Wi-Fi の設置状況、環境、来訪者属性（来訪目的、移動ルーチン、スマートフォンの保有率、Wi-Fi を ON にする率等）が変わらない場合、上記の Nv、Rwifi、Ron、Ramp、Rv 等を定数値に単純化して、実観値 Nw と計測値 Namp の関係は一次関数になる。つまり、

$$Nw = f(Namp) + C \quad (1d)$$

ここでの C は一次関数の定数項である。

以上の分析により、Wi-Fi パケットセンサ計測した時期の来訪者属性と実調査した時の（8 月 1 日、土曜日）が同じ程度と想定し、Wi-Fi パケットセンサ計測した週末平均値と実測値の線形回帰分析を行い、結果を表 3 に示す。因みに、調査員によるカウントされる来訪者数と歩行移動者数の実測値は地元住民と就業者を含める可能性があるから、表 3 の回帰分析は地元住民と就業者を含める Wi-Fi パケットセンサの計測値を使用する。

表 3 のワールドポーターズバス停(ws02)、汽車道京浜フェリー(ws03)での来訪者数、その間の歩行移動者数の実測値(y)と Wi-Fi パケットセンサの計測値(x)の回帰分析結果では、全ての回帰式の有意 F 値と計測値 x の回帰係数の p 値が 0.01 を下回り(p<0.01)、実測値

の回帰式は 0.01 水準で有意であると言える。また、全ての回帰式の決定係数 (R^2) は 0.86～0.90 であり、回帰式は 86%～90%の確率で実来訪者数と歩行移動者数を当てはまることが分かる。つまり、Wi-

Fi パケットセンサの計測値自体は 86%～90%の確率で実来訪者数を表される。

Table 3 The result of linear regression analysis of Wi-Fi packet sensor measured value(weekend average) and actual value

Site	Number of visitors in World Porters Bus Stop(ws02)		Number of visitors in Keihin Ferry(ws03)		Number of pedestrians on ws02->ws03		Number of pedestrians on ws03->ws02	
	Measured, x*	Actual, y	Measured, x*	Actual, y	Measured, x*	Actual, y	Measured, x*	Actual, y
09:00~10:00	340.1	1593	226.8	1027	106.8	326	118.9	367
10:00~11:00	621.0	3841	368.9	1389	147.6	539	191.4	616
11:00~12:00	691.0	3983	410.9	1656	174.8	709	201.0	881
12:00~13:00	747.8	4186	445.0	2314	201.9	693	211.3	996
13:00~14:00	831.3	3973	467.3	2016	228.4	1098	236.5	933
14:00~15:00	892.8	4582	517.5	2764	251.6	1249	228.9	1011
15:00~16:00	841.0	4137	529.3	2361	263.9	1241	216.3	889
16:00~17:00	915.9	5209	548.5	2868	277.5	1334	237.3	1123
17:00~18:00	872.8	4951	592.1	3012	317.0	1517	250.0	1209
18:00~19:00	745.6	3582	472.9	2129	261.1	973	210.5	968
19:00~20:00	671.1	3317	408.0	2219	252.9	951	207.9	917
20:00~21:00	550.0	2582	321.5	1629	204.9	789	173.8	659
Regression result**	y=5.5923x -235.84 (8.5259) (-0.4833) R ² =0.88, F=6.71E-06 P-value of coefficient x: 6.71E-06		y=5.4685x -303.78 (7.8439) (-0.9613) R ² =0.86, F=1.4E-05 P-value of coefficient x: 1.4E-05		y=5.6436x -312.69 (9.6587) (-2.3152) R ² =0.90, F=2.18E-06 P-value of coefficient x: 2.18E-06		y=6.2416x -410.99 (8.6099) (-2.7044) R ² =0.88, F=6.15E-06 P-value of coefficient x: 6.15E-06	

* The Wi-Fi packet sensor measured value includes local residents and staffs.

** Numbers in parentheses are t values.

2) 来訪者推測値と実測値の比較

以上の Wi-Fi パケットセンサの計測値と実測値の回帰式から、推

計来訪者数と観光スポット間の歩行移動者数を算出して、算出された推測値と実測値の比較結果は表 4 に示す。

Table 4 The Comparison of estimated number of visitors, number of pedestrians with actual value

Site	Number of visitors in World Porters Bus Stop(ws02)			Number of visitors in Keihin Ferry(ws03)			Number of pedestrians on ws02->ws03			Number of pedestrians on ws03->ws02		
	Estimated	Actual	Estimated error (%)	Estimated	Actual	Estimated error (%)	Estimated	Actual	Estimated error (%)	Estimated	Actual	Estimated error (%)
09:00~10:00	1666.2	1593	4.60	936.2	1027	-8.84	289.8	326	-11.12	331.0	367	-9.81
10:00~11:00	3237.0	3841	-15.73	1713.4	1389	23.36	520.4	539	-3.44	783.5	616	27.19
11:00~12:00	3628.4	3983	-8.90	1943.1	1656	17.34	673.5	709	-5.00	843.6	881	-4.25
12:00~13:00	3945.8	4186	-5.74	2129.7	2314	-7.96	826.6	693	19.28	907.5	996	-8.88
13:00~14:00	4412.8	3973	11.07	2251.4	2016	11.68	976.2	1098	-11.10	1065.1	933	14.16
14:00~15:00	4756.7	4582	3.81	2526.2	2764	-8.60	1107.4	1249	-11.34	1017.6	1011	0.65
15:00~16:00	4467.3	4137	7.98	2590.4	2361	9.72	1176.5	1241	-5.20	938.8	889	5.60
16:00~17:00	4886.0	5209	-6.20	2695.7	2868	-6.01	1253.4	1334	-6.04	1069.8	1123	-4.73
17:00~18:00	4644.8	4951	-6.18	2934.3	3012	-2.58	1476.3	1517	-2.68	1149.4	1209	-4.93
18:00~19:00	3933.9	3582	9.82	2282.1	2129	7.19	1161.0	973	19.32	902.9	968	-6.73
19:00~20:00	3517.3	3317	6.04	1927.4	2219	-13.14	1114.4	951	17.19	886.5	917	-3.33
20:00~21:00	2839.9	2582	9.99	1454.3	1629	-10.72	843.5	789	6.91	673.5	659	2.20
Average			8.01			10.60			9.88			7.71

表 4 の結果により、ワールドポーターズバス停と自動車道京浜フェリーの来訪者数は、推測値と実測値の乖離は 2.58%～23.86%であり、平均推測の誤差は 8.01%～10.60%で、良好な結果を示している。この二つの観光スポット間の歩行移動者数結果も、推測値と実測値の乖離は 0.65%～27.19%、平均推測の誤差は 7.71%～9.88%であり、良い結果が得られた。

以上の Wi-Fi パケットセンサの計測値と実測値の検証結果に基づき、Wi-Fi パケットセンサの計測値を利用して良好的な来訪者数と観光スポット間の歩行移動者数の推測することができ、及び Wi-Fi パケットセンサの計測値自体は実際の来訪者数の変化状況を反映していることを確認できた。

(6) 実来訪者数の算定

来訪者のスマートフォンの所持状況、Wi-Fi パケットセンサの設置環境、電波受信状況等の影響で、Wi-Fi パケットセンサの計測値と実来訪者数の差があるが、Wi-Fi パケットセンサの計測値自体は

実際の来訪者数の変化状況を表すことできる。実来訪者数に近い数値の結果が必要な場合は、表 3 に示すように、一定期間内の実来訪者数を調査した上 (調査員のカウント等により)、計測値と実測値の回帰分析を行う。そして、得られた回帰方程式から実来訪者数を算定する。

6. おわりに

本稿では MM21 地域の観光スポットに 5 台の Wi-Fi パケットセンサを設置し、横浜新港埠頭客船ターミナル開港に伴い来訪者はどのような移動ルーチンと滞留特性を有するかの調査を行った。得られた結果は MM21 区域の来訪者の滞留、移動、及び来訪者誘導計画、防災計画の都市計画等に活用出来るかを検証した。

Wi-Fi パケットセンサは広域かつ長期にわたり常時観測を続けることができ、開発されたビッグ・データ分析ツールの活用により、リアルタイム重視かつローコストで、これまでの調査員によるカウ

ントやヒアリングの調査で難しかった様々な側面における数値化が簡易、かつ効率良く入手できることが確認できた。

本調査により以下の来訪者の滞留と移動状況が判明した。

1. 各施設の来訪者数にはピーク時間帯があり、ピークタイムは平日と週末は若干ずれる。集客イベントを計画する際にピーク時間帯に合わせて行うことが適している。

2. 曜日により 5 観測観光スポットでの来訪者の人出の差は大きく異なる。週末の来訪者数はおおよそ平日の倍である。

3. 来訪者の滞留に関しては、各施設とも測定範囲内 5 分に満たない滞留と通過する数は圧倒的に多く全体の半分程度を占める。

4. 各施設の間では、来訪者が頻繁に移動するのは自動車道京浜フェリーとワールドポーターズバス停の道路である。

5. 各移動ルーチンでは週末、祝日の来訪者移動は、おおよそ平日の 1.4~1.8 倍である。

以上の結果に踏まえて、来訪者案内、誘導計画と災害対応は、横浜ステーションビル CIAL 桜木町付近の他、ワールドポーターズバス停と赤レンガ倉庫辺りを重点地区にするのが妥当である。また、来訪者の通過と短い滞留が多いため、来訪者案内、誘導計画と災害対応は、簡単かつ読みやすい案内サインの設置は妥当であると思われる。

大田香織の京都市内で観光客が集中する東山地区においての AMP Wi-Fi パケットセンサにより計測値と実数調査では、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%、比較的良好な結果を得られている。本研究の Wi-Fi パケットセンサ計測値に基づき来訪者数と観光スポット間の歩行移動者数の推測値と実測値の平均誤差は 7.71%~10.60%であり、Wi-Fi パケットセンサの計測値自体は実際の来訪者数変化状況を反映していることを確認できた。また、実来訪者数により近い数値の結果が必要な場合は、計測値と実測値の回帰分析により実来訪者数を算定することを勧める。その一方で、本研究の電源と Wi-Fi パケットセンサの設置拠点の制限があり、来訪者移動時間の解析、移動手段の推測は行わなかった。また、収集されたデータの解析と結果の図面表示ツールの利便さもまだ十分であるとは言えない。

今後より多くのデータが蓄積され、来訪者の確認検証、分析ツールの汎用性と実用性に対してより様々な可能性を広げ、より来訪者に優しいまちづくりのため観光や交通の現場に展開して行きたい。

謝辞

Wi-Fi パケットセンサーの提供と設置に、株式会社社会システム総合研究所、一般社団法人横浜みなとみらい 21 事業推進部、新港ふ頭客船ターミナル株式会社、京浜フェリー株式会社、横浜市交通局総務部、株式会社横浜赤レンガ、横浜ステーションビル店舗運営部 CIAL のご協力を頂きました。ここに改めて謝意を述べさせていただきます。

注

注 1) 都市整備局みなとみらい 2 1 推進課 (2019) : 横浜市記者発表資料、みなとみらい 2 1 地区平成 30 年の来訪者数は過去最多の約 8,300 万人！就業者数も過去最多を記録、2019 年 3 月 18 日。

注 2) 来訪者とは観光や仕事、国際会議等で 2 日間以内みなとみらい地域に来訪する人と定義する。

注 3) OD 図の作成に利用したフリーオンラインツール：

<https://app.flourish.studio/@flourish/chord-diagram/4>
(アクセス：2020 年 2 月 1 日)。

参考文献

- 1) Nishida, T., Adachi, T., Makimura, K., Morimoto, T., Jozen, T.: Traffic Flow Analysis by The Wi-Fi Packet Sensor, The 49th Spring Proceedings of Infrastructure Planning and Management, 2014 (in Japanese)
西田純二, 足立智之, 牧村和彦, 森本哲郎, 上善恒雄 : Wi-Fi パケットセンサによる交通移動解析, 土木学会第 49 回土木計画学研究発表会春大会, 2014.
- 2) Asao, H., Nishida, J., Ando, N., Maeda, S.: Practical Application of Realtime Traffic Monitoring System by Wi-Fi Packet Sensor, The 55th Spring Proceedings of Infrastructure Planning and Management, 2017 (in Japanese)
浅尾啓明, 西田純二, 安東直紀, 前田繁 : "Wi-Fi パケットセンサによる交通常時観測システムの実用化", 土木学会第 55 回土木計画学研究発表会春大会, 2017.
- 3) Morimoto, T., Shirahama, S., Jozen, T.: Method of Pedestrian And Traffic Flow Analysis Using Wi-Fi Packet Sensor, The 14th Information Technology Forum, Information Procession Society of Japan, pp.505-511, 2015 (in Japanese)
森本哲郎, 白浜勝太, 上善恒雄 : Wi-Fi パケットセンサを用いた人流・交通流解析の手法, 第 14 回情報科学技術フォーラム, pp. 505-511, 情報処理学会, 2015.
- 4) Hirokawa, K., Sasa, Y., Izimi, N., Kinuta, Y., Makimura, K., Nishida, J.: Understanding the Human Movement Behavior by Using Wi-Fi Packet Sensor, The 54th Proceedings of Infrastructure Planning and Management, Vol.54, pp.1180-1185, 2016 (in Japanese)
廣川和希, 笹圭樹, 和泉範之, 絹田裕一, 牧村和彦, 西田純二 : Wi-Fi パケットセンサを用いた人の行動実態の把握～観光都市・飛騨高山での活用に向けて～, 第 54 回土木画学研究発表会・講演集, pp. 1180-1185, 土木学会, 2016.
- 5) Nakata, S., Okamoto, A., Horikawa, M.: Identical Trminal Estimation Method for Behavior Analysis from Wi-Fi Probe Request Frames, The 80th Proceedings of Information Processing Society of Japan, 2018 (In Japanese)
中田恵史, 岡本東, 堀川三好 : Wi-Fi ブローブ要求からの行動分析のための同一端末推定手法, 情報処理学会第 80 回全国大会, 2018.
- 6) Asao, H., Morimoto, T., Mochizuki M., Nishida, J., Ando, N.: Traffic Flow Analysis Using Wi-Fi Packet Sensor System, The 53th Spring Proceedings of Infrastructure Planning and Management, 2016 (in Japanese)
浅尾啓明, 森本哲郎, 望月祐洋, 西田純二, 安東直紀 : Wi-Fi パケットセンサによる交通移動解析, 第 53 回土木計画学研究発表会・講演集, 2016.
- 7) Ota, K., Omura, M., Tsujido, F., Asao, H., Nishida, J.: The Actual Number Estimation Method by Measured Value of Wi-Fi Pedestrian Flow Sensor System, The 57th Spring Proceedings of Infrastructure Planning and Management, 2018 (in Japanese)
大田香織, 大村真輝, 辻堂史子, 浅尾啓明, 西田純二 : 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, 第 57 回土木計画学研究発表会・講演集, 2018.

PRELIMINARY INVESTIGATION OF TOURIST STAY AND MOVEMENT CHARACTERISTICS BY WI-FI PACKET SENSOR IN YOKOHAMA MINATO MIRAI 21 AREA

Lin BAI^{*1} and Morio UZUKI^{*2}

^{*1} Research Fellow, Institute for Advanced Social Science, Waseda University, Dr.Eng.

^{*2} Prof., Institute for Advanced Social Science, Waseda University, Dr.Eng.

Five Wi-Fi packet sensors were installed at the sightseeing hotspots in Yokohama Minato Mirai 21 area to investigate the visitor stay and pedestrian flow characteristics for the purpose to verify the applicability of Wi-Fi packet sensor survey methodology in urban planning, and to provide the reference data for visitor-friendly, disaster responsible city area develop planning. A database was constructed, and the big data analysis tool was developed to have the visitor stay and movement characteristics from various aspect.

For the visitor trend during a day, the result shows that the number of visitor increases from the morning to its peak time, and then gradually decreases for both weekday and weekend in all monitored site except CIAL Sakuragicho station, although the peak hours on weekday and weekend at each facility are slightly different around the noon. The peak hour in CIAL Sakuragicho maintains certain time around 11:30 to 17:45 in weekday, and 13:30 to 16:30 in weekend.

About the long time trend of visitor during the monitoring period, the result shows there is remarkable difference in weekday and weekend in all monitored sites except CIAL Sakuragicho station, about 50% more visitor coming in weekend than weekday, and the number of visitor visiting most is CIAL Sakuragicho station, World porters, Akaranka warehouse, Keihin ferry and Shinko terminal.

The investigation also discloses that the stays of less than 5 mins in each monitoring spots is overwhelmingly large, and basically the number of visitor stays decreased to about 1/3 ~ 1/2 in each 5 minutes, there is very less visitors stay at a spot more than 30 minutes. Based on this result, it is not appropriate to set up facilities for long-staying customers such as dealers and service facilities around these hot spots. And it is appropriate to install simple and easy-to-read signs as tour and disaster evacuation guidance.

The analysis also easily shows the most frequent movement happens in the route between Keihin ferry dock and World porters bus stop, the second is the route between World porters and Akaranka warehouse, and there is 40%~80% more movement in each route in weekend than weekday, which was time consuming to have by investigators' counts and hearing surveys. Specific to each sightseeing spot, the most movement destination of CIAL Sakuragicho, Shinko Futo, Akaranka warehouse, and Keihin Ferry dock is World porters, and it is Keihin ferry for World porters. And, about the coming origins of visitor in each spot, World porters is the biggest source for CIAL Sakuragicho, Akaranka warehouse, Keihin Ferry, and Akaranka warehouse is the biggest source for Shinko Futo. Therefore, it is appropriate to place the visitor guidance and rescue information in the route between Keihin ferry dock and World porters, and between World porters and Akaranka warehouse.

Above result confirmed that the methodology and analysis system based on the data collected by Wi-Fi packet sensor can be continuously used in visitor data collecting over a wide area from various urban plan aspects for long period investigation, which has been a difficult in conventional investigators' counts and hearing survey.

(2020年3月31日原稿受理, 2020年11月6日採用決定)