

無線 LAN プローブ情報を用いた市街地の回遊性調査

高木元気^{†1} 並木渉^{†1} 大山智子^{†1}
市野将嗣^{†1} 吉井英樹^{†2} 吉浦裕^{†1}

本研究では、都市計画への利用を目的として、無線 LAN プローブ情報を用いて市街地における人の流れ（『回遊性』）を導出した。その手法として、複数箇所に無線 LAN アクセスポイントを設置し、そこで個人の端末からブロードキャストされるプローブ要求フレームの収集を行い、分析することで回遊性を導出できる。実際に、祭り期間中に行なった滞留人口推定では、イベントの開始と滞留人口の増加が関係していることを明らかにし、回遊性調査では地点間の人の移動や滞留の様子を明らかにした。その結果、駅と商店街の間で人の移動が少ないことや、ほとんどの自動車が商店街中を通り抜けていると考えられることを明らかにし、市や地元団体に対して改善策と共に報告を行った。また、本方式は人力での交通量調査に比べ安価で実施できるため、長期間や広範囲での実施に適する。

Presumption of Crowd Migration by Using Wi-Fi

GENKI TAKAGI^{†1} WATARU NAMIKI^{†1} TOMOKO OYAMA^{†1}
MASATSUGU ICHINO^{†1} HIDEKI YOSHII^{†2} and HIROSHI YOSHIURA^{†1}

1. はじめに

自動車を対象とした交通量調査や、歩行者や自転車を対象とした通行量調査の結果は都市計画を立案するための有用な情報として用いられている。しかし、従来型の調査は人力での目視によるカウントによって行われることがほとんどで、実施費用が多額となるため長期や広範囲での実施や、対象地域の住民の移動や活動の様子のパターンを抽出するといった高度な分析には適さないという課題がある。

交通量調査を自動化する手法として、磁気センサによる車両の検知[1]や、映像センサによるナンバープレートの読み取り[2]が検討や実施されているが、これらには歩行者を認識できないという課題がある。通行量調査を自動化する手法として顔認識技術の利用が提案されたが[3]、プライバシー上の懸念のために実証実験は延期となった[4]。また、近年では、GPS を搭載するスマートフォンに対して、位置情報を組み合わせたサービスが数多く提供されている。しかし、プライバシーへの配慮により、各種 OS では利用者の事前同意が無ければ端末の GPS から位置情報を取得できなくなるようになっている。

事前同意の必要ない位置情報取得の手段として無線 LAN が利用されている。例えば Google は、街中の無線 LAN アクセスポイントの MAC アドレスと位置情報を収集し、データベース化している[5]。それによって同社が提供する Google Maps においては、GPS での位置情報取得の速度や精度を補償するほか、GPS 非搭載端末や屋内においても位置情報サービスが利用できる。他の例として無線 LAN を

電車内の混雑度の推定に利用した先行研究が存在する[6]。

本研究では、スマートフォンなどの無線 LAN 搭載端末を利用し、市街地での人の流れ（『回遊性』）を推定する手法の検討と実証を行う。無線 LAN のプローブ要求とビーコンには個々の端末を識別できる情報が含まれており、従来は実施が困難であった回遊性調査が実施できる。回遊性によって街の特徴が客観的にわかることで、都市計画立案の判断材料として効果が期待できる。また、無線 LAN 機器は安価であり、従来型の調査の大きな課題であった実施費用を抑えることができるため、長期間や広範囲での実施が可能となる。

2. 先行研究・事例

2.1 無線 LAN を用いた電車内の混雑度推定

中野らにより無線 LAN を用いた電車内の混雑度推定が提案された[6]。具体的な手法として、電車内に持ち込んだ PC をアクセスポイントとして動作させ、乗客のスマートフォンなどから発信されるプローブ要求フレームを収集する。その中に含まれる MAC アドレスをハッシュ化し、ID とすることで駅間での混雑度推定が行われる。ID の取得数の増減は実際の混雑度と対応があることが報告された。

しかし、プローブ要求フレームの送信間隔は端末の種類によってばらつきがあるため、駅間の乗車時間よりも長い場合などは、実際にいつ乗車/降車が行われたかが正確に判別できないという課題が挙げられている。

2.2 Google Maps

Google が提供する Google Maps では機能の一部として、無線 LAN を利用することで位置情報取得の高速化と、GPS

†1 電気通信大学大学院

Graduation School of the University of Electro-Communication

†2 ソフトバンクテレコム

SoftBank Telecom Corp.

非搭載端末における位置情報取得を可能にしている[5].

その仕組みとして、Google は Android 搭載端末などを介して街中の無線 LAN アクセスポイントの MAC アドレスと、対応する位置情報を取得し、データベースを構築している。Google Maps を利用する端末は周辺の無線 LAN アクセスポイントの情報を収集し、それをデータベースに照会することで位置情報を得られる。そのため GPS の補助や代替を無線 LAN で行える。だが、無線 LAN による位置情報の精度は設置密度に依存する部分も大きいが、一般に GPS よりも低い[7].

また、無線 LAN による位置情報取得を可能にする同種のサービスを Koozyt [8] や Skyhook Wireless[9]などが提供している。

2.3 無線 LAN を利用した匿名人流解析システムの構築

望月らによって無線 LAN 搭載端末が発信するプローブ要求フレームを利用し、人流解析を行うシステムの検討と提案が行われた[10]. 構築が容易なシステムとするために、安価なシングルボードコンピュータがフレームの収集のセンサとして利用されている。センサの適切な設置間隔を導出するために、主要なスマートフォン 4 機種について、センサとスマートフォン間の距離と、電波強度の対応が調査された。また、収集したプローブ要求の中に含まれる MAC アドレスはハッシュ化し、保存される。

2.4 iBeacon

iBeacon は Apple が提案している屋内向け位置情報提供システムである[11]. 極低消費電力で安価な Bluetooth LE 規格のモジュールに位置情報を組み込み、それを屋内に多数配置することで位置情報提供を可能にしている。また、各センサは対応端末向けに情報をプッシュ配信できるため、クーポンや広告配信などのマーケティング施策への利用が特に期待されている。しかし、現時点で正式に対応している OS は iOS のみである。

3. 回遊性調査

3.1 回遊性調査

一般に回遊性とは、ある空間内において目印となる複数の地点間での移動や滞留を含めた移動の様子を意味する。近年では、センサなどをを利用して商業施設やウェブサイト内における、個人や集団の回遊性を導出し、マーケティングなどに活かす動きがある。

しかし、回遊性を導出するためには個人を識別し、連続的にデータを収集しなければならない。そのため現在行われている商業施設やウェブサイトなどの回遊性調査では、調査対象者へセンサの貸与や、GPS による位置情報取得の許諾、個人の端末へ専用ソフトウェアのインストールなど

が必要とされている。そのため、市街地での歩行者のような不特定多数に対しての調査は困難であり、今回の目的である市街地の回遊性調査の実施には適さない。

そこで本研究では、ID として利用可能な MAC アドレスを含むプローブ要求フレームをブロードキャストする無線 LAN の仕組みを利用し、回遊性調査を実施した。

3.2 無線 LAN

無線 LAN による通信を行うためには、アクセスポイントと端末の間でセッションを確立する必要がある。アクセスポイントと端末はそれぞれ自身の存在を通知するために、アクセスポイントはビーコンを、端末はプローブ要求をブロードキャストする。ビーコンとプローブ要求にはそれぞれの MAC アドレスのほか、接続を確立させるための情報が含まれている。MAC アドレスは一意な値であるため、ID としての利用が可能であるほか、上 6 桁は製造者を示すので端末の種類を大まかながらも予測できる。

なお、ビーコンとプローブ要求はブロードキャストされているため、Wireshark などのネットワーク解析ソフトウェアを使って容易に収集することができる。

3.3 無線 LAN による回遊性調査

3.3.1 回遊性調査に必要な情報

回遊性調査を行う場合、少なくとも ID、時間、位置情報が必要となる。表 1 には回遊性調査に必要な情報と、無線 LAN を利用して取得可能な情報との対応を示す。

表 1 回遊性調査に必要な情報

必要な情報	無線 LAN による取得
ID	プローブ要求に含まれる MAC アドレスからの情報を利用
時間	プローブ要求の取得時間
位置情報	予めアクセスポイントを設置した場所の位置情報を取得し、収集時にそれをプローブ要求取得時に付与して利用

3.3.2 回遊性調査の手順

本研究で行った無線 LAN を用いた回遊性調査の手順は以下のとおりである。

- I. フレーム収集機能を持った無線 LAN アクセスポイントを 1 つ以上の地点に設置する。また、設置した地点の位置情報を記録する。
- II. 設置したアクセスポイントで継続的に周辺のプローブ要求フレームを収集する。
- III. アクセスポイント毎にプローブ要求をまとめ、それに含まれる ID を抜き出し、リストをつくる。
- IV. 任意の時間単位でデータを分割してアクセスポイン

- ト別のリストをつくり、重複分を削除することで滞留人口推定となる。
- V. ID 毎に複数のアクセスポイント間で収集したプローブ要求をまとめ、ID 別のリストをつくる。
- VI. ID 別のリストを時系列順に追って、取得されたアクセスポイントが変化したときに移動が発生したと見なし、カウントする。全ての ID に対して移動が発生した回数を集計し、回遊性としてまとめる。

4. 市街地での実証実験

総務省 ICT 街づくり事業の一環として宮城県大崎市において、市役所や商店街組合の協力の下で市街地での無線 LAN を用いた滞留人口推定（大崎市夏まつり）と、回遊性調査（大崎市秋まつり）の実証実験を行った。

4.1 滞留人口推定

回遊性調査の前段階として、無線 LAN を用いた滞留人口の推定を大崎市の夏まつりの開催期間中に行った。

4.1.1 実験の概要

滞留人口推定の実験の概要を以下の表 2 に示す。

表 2 概要

実施期間	8月3日 10時より18時、 同4日 9時から16時
設置箇所	1カ所（大崎夏まつり メインステージ横）
使用機器	Wireshark を導入した MacBook Pro
取得情報	フレーム取得時間、RSSI、ID、周波数帯

4.1.2 方法

滞留人口を推定する手順を以下に示す。

- アクセスポイント毎に収集したプローブ要求を任意の間隔で分け、その中に含まれる ID をリスト化した
- リスト化した ID に関して、ID の重複分を削除した
- 重複分を削除した ID の合計数を算出した

4.2 回遊性調査

滞留人口推定の実験と同様に、大崎市内にて古川駅西側の台町商店街と七日町中央通商店街において、10台のアクセスポイントを設置して無線 LAN を用いた回遊性調査の実証実験を行った。なお、実験期間中は秋まつりが催されていた。

4.2.1 実験の概要

回遊性調査の実験の概要を以下の表 3 に示す。アクセスポイント（以下 AP）の設置場所と詳細を図 1 に示す。赤

線で示した区間が商店街であり、その区間はパレード型のイベント開催のために 20 日の 10 時から 13 時半まで車両通行止めが実施された。各アクセスポイントの間隔はおおむね 50~70m 程度である。また、AP6 は駅内の観光案内所に設置し、AP7 から 10 はイベント会場の四隅に設置を行った。

表 3 概要

実施期間	10月19日 11時より16時、 同20日 9時半から14時
設置箇所	10カ所（詳細な設置箇所は図 3）
使用機器	node.js を利用した収集ソフトウェアを導入した MacBook
取得情報	フレーム取得時間、RSSI、ID、アクセスポイント番号



図 1 設置場所*

赤線の区間は 20 日 10 時から 13 時半まで車両通行止め

表 4 設置箇所の備考

	アクセスポイント (AP) 番号
交差点付近である	1, 4, 7, 9
道路に面している	1, 2, 3, 4, 5, 7, 9
屋内に設置されている	6 (古川駅構内観光案内所)

4.2.2 方法

3.3.2 で示した無線 LAN の回遊性調査の手順に沿って実験を行った。

5. 結果

5.1 滞留人口推定

各日で取得した ID の総数は以下のとおりである。

8月3日: 3,422 個

8月4日: 2,169 個

3日に比べ4日のほうが多い多くのIDを取得したことについては、実験を行った時間の長さが理由だと考えられる。

10 分割みでの ID 取得数の増減と、設置箇所横で行われていたイベントの開始時刻を対応させたグラフが図 2 と図 3 である。2つのグラフからはイベントの開始時刻と ID 数の増加が対応していることが分かった。これは目視での人

* ©2014 Google, ZENRIN

数の増減の観察とも対応しており、市街地においても無線 LAN を用いた滞留人口の推定は有効であると考えられる。

また、来場者を対象に設置箇所横でアンケートを実施したところ、夏まつり来場者のスマートフォン所持率は 49 %であった（回答者 259 人）。そこから、実際の滞留人口は図 2 で示す結果のおよそ 2 倍であると推定することも可能である。



図 2 滞留人口推定結果の推移（8月3日）

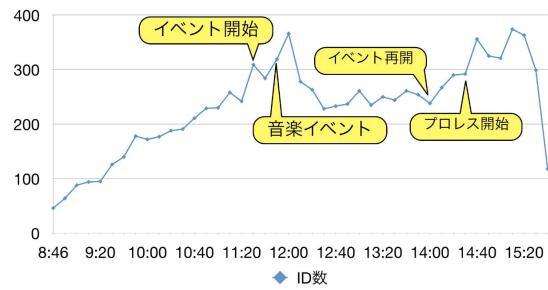


図 3 滞留人口推定結果の推移（8月4日）

5.2 回遊性調査

5.2.1 ID 取得数の変遷

実験を実施した 2 日間で取得したプローブ要求は合計で約 1,540 万個、ID 数は重複分を除き 48,786 個であった。ただし、AP8 については機器の不調により node.js での収集が行えなかつたため、以降の結果から除く。

アクセスポイントごとに取得した ID の総数をまとめたものが図 4 である。各日で実験を行った時間帯が異なるが、図からは取得した ID 数は 20 日のほうが少ない傾向にあることがわかる。特に AP1 は 19 日比で 80% 程度、AP7 では 70% 程度減少していた。これは、AP1 と AP7 は交通量の多い交差点に面しているため、車両通行止めによって自動車からの ID 取得が行えなかつたものだと考えられる。

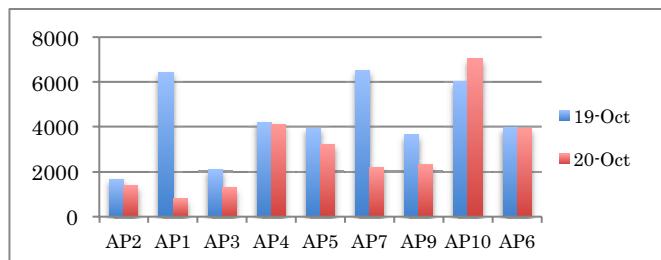


図 4 取得した ID の総数（アクセスポイント別）

5.2.2 回遊性

収集したデータを 3.3.2 で示した回遊性導出の手順に沿って処理し、回遊性を 1 時間ごとに導出した結果を図示した。図上での矢印の向きは回遊のあった方向を示している。例えば、AP1 から AP3 への回遊があった場合は、AP1 から AP3 へ向けた矢印で表している。また、線の色が濃いほど、太さが太いほど回遊の数が多かったことを示している（図 5 を参照）。なお、ここではイベント会場に設置した AP7 から AP10 は 1 カ所として扱った。



図 5 端末数と図上矢印配色との対応

また、回遊性に関わる情報として、秋まつり本開催日の 20 日の出来事を表 5 にまとめた。

表 5 20 日の出来事

時刻	イベント	場所
11 時台	パレード 1	AP7 から AP1
12 時台	雨が降り出す	全域
13 時台	パレード 2 大雨による撤収開始	AP2 から AP7 AP7 付近

<11 時台>

各日の 11 時台の回遊性を図示したのが図 6 と図 7 である。19 日の結果では AP1 と AP7 のように隣接しないアクセスポイント間での回遊が多く、20 日とは異なる。この事象について考察にて論じる。また、19 日になかった特徴として、20 日は 1 つめのパレードが行われていたことも有り、回遊が活発だったことがわかった。



図 6 11 時台の回遊性（19 日）*



図 7 11 時台の回遊性 (20 日) *

<12 時台>

各日の 12 時台の回遊性を図示したのが図 8 と図 9 である。19 日の結果について、11 時台に見られた隣接しないアクセスポイント間での回遊が大きく減少したことがわかった。20 日については全体的に 11 時台と比べて減少傾向だった。



図 8 12 時台の回遊性 (19 日) *



図 9 12 時台の回遊性 (20 日) *

<13 時台>

各日の 13 時台の回遊性を図示したのが図 10 と図 11 である。19 日の結果は 12 時台の回遊と傾向は一致していた。20 日については、大雨でありながら 19 日よりも回遊が全体的に活発であった。



図 10 13 時台の回遊性 (19 日) *



図 11 13 時台の回遊性 (20 日) *

<まとめ>

19 日と 20 日では同じ区間であっても回遊の傾向が異なることが確認できた。これについては、20 日に行われた車両通行止めやパレードの影響だと考えられる。また、いずれの時間帯においても、商店街 - 駅間の回遊が少ないことがわかった。この他にも市が観光の二核と位置づける AP2 付近の観光施設と、AP7 付近の商業施設の両方を訪れた ID の数は 2 日間合計で 34 個であった。

6. 考察

6.1 滞留人口推定について

無線 LAN を用いた市街地における滞留人口推定については、イベント開始時刻に合わせた増加や、視認での人数推定の結果との対応が見られたことから、実際の滞留人口との相関があることが考えられる。だが、現状の滞留人口推定はあくまでも増減を見ているに過ぎず、より実用的にするためにには、実数に近づけるための係数を求めることが必要となる。例えば、今回の実験ではアンケートを実施したこと、夏まつり来場者のスマートフォン所持率は 49% だったことがわかった。そのため、推定した滞留人口の数値を約 2 倍にすることで実際の滞留人口に近づけられると考えられる。しかし、アンケートの実施は費用や工数の面から現実的な解決策とは言い難い。

* ©2014 Google, ZENRIN

6.2 回遊性調査について

回遊性調査についても、イベントの開始や車両通行止めなど人の流れを変えるような事象が起きた時刻において、結果にそれらの影響が確認できた。このことから、無線 LAN を用いた回遊性調査によって、実際の回遊の傾向がわかると考えられる。

実験を行った 2 日間で、AP1, AP7, AP9 の 3 カ所のアクセスポイントで取得した ID の総数に大きな差があった。これについて、その 3 カ所はいずれも自動車の交通量の多い交差点の付近であり（図 12。赤線は車両通行止め区間）、車両通行止めの影響を受けやすかったと考えられる。一方で、AP4 や AP6 は 2 日間で取得した ID の総数に差がほとんどなかったが、これについて AP4 は設置場所が迂回路となつた道路の横、AP6 は駅内であるために通行止めの影響を受け難かったことが考えられる。

19 日 11 時台（図 6）の AP1-AP7 間のように、隣接しないアクセスポイント間で多くの移動があると判断された事象の理由として、端末の種類によって異なるプローブ要求の送信間隔が、アクセスポイントを設置した間隔や端末を持つ個人の移動速度に対して長いことが考えられる。プローブ要求の送信間隔は、例えば Nexus 4 では 15 秒間隔、iPhone 4S では 480 秒間隔であり[10]、その間は移動の様子を捉えることが出来ない。加えて、前述したように AP1 と AP7 は交差点に面しており、自動車に載せられた端末からのプローブ要求を取得しやすかったことが考えられる。一方で車両通行止めが行われた 20 日 11 時の結果では、同様の事象が見られなかつたことから、結果に対する自動車の影響が大きいことがわかった。



図 12 2012 年 10 月 7 日実施 交通量調査の結果[12]*

11 時間測定。数値左が自動車、右が歩行者と自転車の合算
赤線部は 10 月 20 日に車両通行止めが行われた区間

6.3 都市計画に対しての提案

本研究により得られた結果を、2013 年 12 月に市役所、商店街組合、事業参画企業などで構成される大崎市 ICT 街づくり委員会の会合の中で報告を行った。駅と商店街や、観光施設と商業施設の間での回遊が少ないと示し、対策の必要性を提示した。また、参加者により報告結果と実

* ©2014 Google, ZENRIN

態との比較、特徴的な事象が生じた原因についての議論がなされた。議論を通じ、店舗の割引券の配布を行って人の流れの誘導を行うといった、本研究を利用した施策の提案も行われた。

2014 年 3 月には、実験結果を元に地域振興施策の方針の提案を行った。図 12 に示した 2012 年の交通量調査では、商店街中の自動車の交通量はいずれの地点でも 1 日 7,000 台以上であった。しかし、本研究による回遊性調査（図 6、図 8 など）では 6.2 で述べたように、隣接しないアクセスポイント間での回遊が多く、車両通行止めが行われた際に回遊性の結果が図 7 などのように大きく変化していることから、その多くが素通りしている自動車であると考えられる。そこで、商店街中を通る自動車を活かすために、商店街内に利用し易い駐車場を設置することと、その利用を促進するための具体策の検討を行うことを提案した。

今後も地域社会と連携により調査へのアイデアを得て、提案方式の改良を重ねることで、都市計画の策定に資する結果を導出していくことを目標とする。

7. まとめ

本研究では、無線 LAN を利用して市街地での滞留人口と、人や自動車の流れを表す回遊性を推定できることを明らかにした。人力での交通量調査に比べて実施費用が抑えられるため、長期間や広範囲での調査の実施が行いやすいことを示した。また、回遊性調査が実施できたことで、リピータ分析など高い有用性を持つ調査についても実施が期待できる。

今後の課題として以下の 4 点が挙げられる。

- より長期かつ広範囲での実験の実施
- 滞留人口の推定結果を実数に近づけるための係数
- プローブ要求の送信がない間の移動を補償する手法の検討
- 地域社会と連携し都市計画策定に資する分析の検討

謝辞

本研究は、ソフトバンクテレコム株式会社の受託研究として行った。また、研究を進めるにあたり、大崎市市役所、大崎市 ICT 街づくり委員会の皆様に御助言、御討論をいただくと共に、七日町中央通商店街、台町商店街の皆様に多大なる御支援を頂いた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 高田知典、石間計夫、井坪慎二：センサネットワーク技術の活用による道路交通調査の効率化に関する研究、第 31 回土木学会研究発表会、入手先 <http://www.jsce.or.jp/library/open/proc/maglist2/00039/200506_no31/pdf/244.pdf> (2005.6.4)

- 2) 日立産業制御ソリューションズ: 交通量計測システム, 入手先<<http://www.hitachi-ics.co.jp/product/ganin/koutu/koutu.html>> (参照 2014.5.7)
- 3) 情報通信研究機構: 大規模複合施設における ICT 技術の利用実証実験を大阪ステーションシティで実施, 入手先<<http://www.nict.go.jp/press/2013/11/25-1.html>> (参照 2014.5.10)
- 4) 情報通信研究機構: 大阪ステーションシティでの ICT 技術の利用実証実験の延期について, 入手先<<http://www.nict.go.jp/press/2014/03/11-2.html>>(参照 2014.5.10)
- 5) Google: Configure access points with Google Location Service, 入手先<<https://support.google.com/maps/answer/1725632>> (参照 2014.5.7)
- 6) 中野隆介, 沼尾雅之: 無線 LAN アクセスポイントへの検索要求を利用した鉄道車内混雑度推定, DBSJ Journal Vol.12 No.1, pp121-126 (2013)
- 7) Ekahau: Real-Time Location System Whitepaper, 入手先<http://www.ekahau.com/userData/ekahau/documents/white-papers/White_Paper_Technology_RTLS_Oct_2013.pdf>(2013)
- 8) Koozyt: PlaceEngine について, 入手先<<http://www.placeengine.com/show/about>>(参照 2014.5.7)
- 9) Skyhook Wireless, 入手先<<http://www.skyhookwireless.com>>(参照 2014.5.10)
- 10) 望月祐洋, 上善恒雄, 西田純二, 中野秀男, 西尾信彦: Wi-Fi パケと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, Vol.2014-MBL-70 No.45 (2014.3.15)
- 11) Apple: Understanding iBeacon, 入手先<<http://support.apple.com/kb/HT6048>>(参照 2014.5.7)
- 12) 大崎市: 大崎市中心市街地復興まちづくり計画, 入手先<http://www.city.osaki.miyagi.jp/20110311jisin/jisin_sien/download/shigaichifukou_keikaku.pdf>(2013.3)