

# トピックモデルによる Wi-Fi パケットセンサー データを用いた中心市街地の人出に対する COVID-19 の影響分析

西堀 泰英<sup>1</sup>・加藤 秀樹<sup>2</sup>・豊木 博泰<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 正会員 公益財団法人豊田都市交通研究所 (〒471-0024 愛知県豊田市元城町 3-17 元城庁舎西棟 4 F)  
E-mail: nishihori@ttri.or.jp (Corresponding Author)

<sup>2</sup> 正会員 公益財団法人豊田都市交通研究所 (〒471-0024 愛知県豊田市元城町 3-17 元城庁舎西棟 4 F)  
E-mail: h\_kato@ttri.or.jp

<sup>2</sup> 非会員 山梨大学大学院総合研究部工学域電気電子情報工学系 (〒400-8510 山梨県甲府市武田 4-4-37)  
E-mail: toyoki@yamanashi.ac.jp

本研究は、人流調査に用いられる Wi-Fi パケットセンサー（以下、WPS）データに文書データの解析手法であるトピックモデルを適用し、地方都市の中心市街地の人出に対して COVID-19 が及ぼした影響を分析するものである。愛知県豊田市の中心市街地に設置した 12 箇所の WPS から得た、日本国内で感染拡大が始まる前の 2020 年 1 月から、政府による緊急事態宣言期間を含む 8 月末までのデータを用いた。トピックモデルにより、平日の通勤通学や週末夜の繁華街の活動など、特徴的な 20 個のトピックが抽出された。それらのトピックの時系列的な変化から、COVID-19 の感染拡大防止のための様々な対策が、中心市街地の人出に影響している実態を確認した。そして、本研究で用いたトピックモデルは、WPS データにも適用できることを確認した。

**Key Words:** wi-fi packet sensor, topic model, covid-19, town center, visiter

## 1. はじめに

新型コロナウイルス (COVID-19) の感染拡大は、私たちの生活に大きな影響をもたらした。イベントの中止、店舗の営業自粛、学校の休校、市民への外出自粛などが要請された。その結果、都市部の繁華街における人出が減少し、その増減が日々報道されることが日常化した。

COVID-19 の感染が広がる以前は、中心市街地活性化など様々な観点から、繁華街の人出は増やすべきものと認識され、その増減が注目されてきた。緊急事態宣言下においては、人同士の接触を減らす観点から、繁華街の人出が増えることが人々の心配を招いた時期もあるが、経済活動の観点からはこの状況が続くことは望ましくない。様々な自粛要請が緩和され、少しずつではあるが日常が戻り始めた状況下では、感染予防に配慮しつつ人出を増やすための様々な努力が行われている。

人出の量を常時把握するための調査手法には様々なものがある。国土交通省が 2019 年 3 月に発行したガイドライン<sup>1)</sup>によると、歩行者量調査の手法には従来の人出に

よるカウント調査の他に、新技術を活用した調査手法として、GPS データ、Wi-Fi データ、レーザーカウンター、カメラ画像、などが紹介されている。特に近年では、Wi-Fi データを取得するための Wi-Fi パケットセンサー（以下、WPS）を用いた調査が数多く行われている。WPS を用いることで、人出の量だけでなく、中心市街地内での回遊状況や滞在時間などの活動状況も把握することもできる。

また、人々の移動や活動の特徴を抽出する手法として、因子分析やクラスター分析などの方法が用いられてきたが、近年は機械学習の一種であるトピックモデルを用いる事例が増えつつある。

本研究では、愛知県豊田市の中心市街地に設置した WPS で収集したデータを用い、トピックモデルを適用して人々の活動の特徴を抽出する。本研究の目的は、1) WPS データにトピックモデルを適用する際の方法の検討や、得られた結果による適用可能性の検討を行うこと。そして、2) 抽出された特徴ごとの活動の変化から COVID-19 の感染拡大が人出に及ぼした影響を明らかに

することを目的とする。

## 2. 既往研究

ここでは、本研究で用いる WPS を用いた調査研究の事例とトピックモデルを適用した研究事例を整理し、本研究の特徴を示す。

### (1) WPS を用いた調査研究事例

WPS を用いた調査や研究の事例については寺部ら<sup>2)</sup>に詳しく整理されているので、ここでは簡単にこれまでの事例を整理することとする。

WPS で得られるデータを用いて人の動きを把握する試みは 2010 年代前半頃から取り組まれてきた<sup>例えば 3,4)</sup>。その後、WPS を用いた調査が数多く行われ事例<sup>例えば 5,9)</sup>が蓄積されるとともに、WPS を用いた調査を行うにあたっての手法、調査時に必要となる個人情報保護への対応、センサーの検知性能など、調査に必要となる様々なノウハウが示されるようになった<sup>例えば 10,11,12)</sup>。

WPS を用いた研究は、観光地における観光客の流動を対象としたものと、交通結節点周辺や中心市街地の歩行者流動を対象としたものが多く行われている。後者の研究には、これまでに示した研究の他にもいくつかの事例<sup>13,14)</sup>が存在する。

### (2) トピックモデルを適用した研究事例

トピックモデルは、自然言語処理分野で提案された文書データの解析手法であり、単語の頻度分布で表された文書から、特定の単語の頻度分布で表されるトピックを推定する手法である<sup>15)</sup>。

トピックモデルは文書データの解析手法として提案されたものであるが、土木計画分野においても数多くの適用例が存在する。議事録やアンケートの自由記述データに適用した研究<sup>16,19)</sup>は、もともとトピックモデルが提案された文書解析の手法として適用した事例と言える。

文書解析以外にも、様々な特徴抽出に用いられている。そのひとつに、地理情報を用いた市街地の特徴抽出<sup>20)</sup>や、道路構造データを用いた降雪によるスタック発生区間の分析を行った事例がある<sup>21)</sup>。前者は、3 次メッシュの地理情報に因子分析とトピックモデルの 2 手法を適用し、地理特性を抽出した。その結果、因子分析では 3 種類の特性を抽出したのに対し、トピックモデルでは 8 種類の特性を抽出し、トピックモデルの利点を示している。また、後者は中国地方の直轄国道における降雪によるスタック発生記録と道路構造データを用いて、スタック発生区間の特徴的なパターンを抽出している。

さらに、本研究で対象とする移動データに適用した事例も存在する。古屋ら<sup>22)</sup>は、訪日外国人の訪問パターン

特性を把握するため、GPS ログデータを用いてトピックモデルを適用し、訪問場所の組み合わせパターンを分析した。また、川野ら<sup>23)</sup>は、熊本都心部で行われたスマホ型回遊調査の軌跡データに拡張トピックモデルを適用し、訪問しやすい潜在エリアの組み合わせや個人属性等を推定できる可能性を示唆する結果を得ている。しかし、WPS データに適用した事例はみられない。

### (3) 本研究の特徴

寺部らは、WPS で取得したデータの分析方法として「設置しておくだけで次々に記録が蓄積され、その中には研究に必要なものも含まれる膨大なデータセットになるため、ビッグデータの分析手法が適している」ことを指摘している。

WPS から得たビッグデータを用いて移動の特徴を抽出する研究は、主に観光客を対象として行われてきた。これらの研究は対象が観光客であるため、対象地域で日常的に暮らす人や仕事をする人は分析対象外とされている。

COVID-19 の感染拡大の影響は、観光に多大な影響を及ぼした。しかし本稿で着目するのは、通勤や通学、買物や業務など、人々が日常的に生活を営む中心市街地における様々な活動に対して COVID-19 の感染拡大が及ぼした影響である。WPS データから中心市街地における人々の多様な活動を抽出することは、ビッグデータの分析手法が適していると言える。そこで本稿においてもビッグデータの分析手法のひとつであるトピックモデルを適用する。

本稿の特徴は、WPS データを用いて中心市街地における人々の日常的な活動の特徴をトピックモデルを用いて抽出すること、及び、得られた特徴の変化を分析することで、中心市街地の人々の活動に COVID-19 の感染拡大が及ぼした影響を分析することにある。

## 3. 方法

### (1) 対象地域の概要

愛知県豊田市は愛知県中央部に位置する人口約 42 万人の中核市である。中心市街地には名古屋鉄道豊田市駅と愛知環状鉄道新豊田駅の 2 つの鉄道駅が存在し、駅を中心として市街地が広がっている。駅周辺には市街地再開発事業で整備された商業施設等が集積している。中心市街地東側の矢作川を挟んだ対岸には、2019 年に開催されたラグビーワールドカップ 2019 で試合が行われた豊田スタジアムがあり、J リーグやラグビーなどのスポーツイベントやコンサート等が数多く開催されてきた。

豊田市では中心市街地の魅力を高めることで、来訪者、就業者、居住者を増やすことを目指して取り組んでいく

施策や工程を定めた都心環境計画<sup>24)</sup>を2016年に策定し、現在は計画を具体化する様々な取組が進められている。第3期豊田市中心市街地活性化基本計画<sup>25)</sup>においても、歩行者通行量の増加などを実現するため様々な施策が位置づけられている。

## (2) 使用データ

### a) WPS データ

豊田市中心市街地の WPS は、2019 年に開催されたラグビーワールドカップ 2019 の試合開催時の人々の活動を捉えることを狙い、2019年9月に設置された。大会終了後も継続して設置し、データを取得し続けている。

中心市街地に設置したセンサーのうち、駅周辺にあり長期のデータ欠測がない 12 地点において、2020 年 1 月から 2020 年 8 月末までに取得されたデータを用いる。本研究で使用する WPS の設置個所を図-1に示す。

WPS で取得したデータは、山梨大学で運用するシステムにより処理を行った。詳細は参考文献<sup>13)</sup>に記載のとおりである。処理方法の概要を記述すると、MAC アドレスの匿名化(匿名化した MAC アドレスを匿名アドレスとする)、ランダムアドレスの除去を行っている。同一センサーで複数回観測された際の処理として、観測の時間間隔が 10 分以内を滞在と解釈し、観測されたデータの最も早い時刻を到着時刻、遅い時刻を出発時刻として処理した。なお、10 分以上の間隔が空いた場合はいったんその地点を離れたものと解釈した。

### b) 歩行者通行量データ

愛知県豊田市の中心市街地では、駅周辺の 21 箇所においてカメラによる自動計測装置(パロッシー)で年間を通して歩行者通行量を常時観測している。本研究では、WPS データにトピックモデルを適用して抽出された特徴量の変化が実態を適切に表現しているのかを、自動計測装置によって実測された歩行者通行量を用いて検証する。

歩行者通行量データは、1 時間ごとの方向別・時間帯別の歩行者通行量とともに、当日の気象状況(天候と気温)、中心市街地で行われた主要イベントも記録されている。観測データは、観測機の設置者である豊田市が管理している。

## (3) WPS データへのトピックモデルの適用

### a) 適用するトピックモデル

WPS データから人々の活動の特徴を抽出するため、トピックモデルの中でも LDA (Latent Dirichlet Allocation) を用いる。LDA の詳細は、様々な書籍<sup>例えは 26,27)</sup>や過去の研究<sup>例えは 16,22,26)</sup>においても紹介されていることからここでは割愛する。

### b) 入力データの作成



図-1 豊田市中心市街地の駅周辺における WPS 設置地点

トピックモデルの入力データについて、岩田<sup>26)</sup>に基づいて示す。トピックモデルでは、文書をその中に出現する単語の多重集合 (bag) で表現する。このような文書の表現を BoW (Bag of Words) 表現と呼ぶ。BoW 表現では、文書を行方向、単語を列方向に並べる行列として作成する。各文書に表れる単語は限られるが、BoW 表現では対象とする全文書の単語を持つため、出現しない単語(値が 0 となる単語)が頻出する。トピックモデルは、データに 0 値が多数含まれるスパースなデータの分析に適した手法である。

BoW 表現に変換することにより単語の出現する順番に関する情報はなくなる。しかし、文書のトピックを知るためには、語順よりもどのような単語が使われているかの方が重要である。

WPS データにトピックモデルを適用するため、WPS データを BoW 表現に変換する際の考え方は次のとおりである。

中心市街地での人々の活動は時間帯によって異なる。そこで、1 日を 0 時~3 時, 3 時~6 時, 6 時~9 時のように 3 時間ごとに区切って 8 つの時間帯に分割する<sup>14)</sup>。12 個のセンサーが設置された各地点毎に 8 つの時間帯の単語が存在すると考える。単語の出現回数は、塚井ら<sup>20)</sup>の手法を参考に、分単位の滞在時間を 10 階級分類した値<sup>21)</sup>とする。そして、文書は中心市街地における人々(各端末)の一日の活動と考える。

つまり、単語は地点と時間帯の組み合わせ、文書は 1 端末 1 日のデータ、単語の出現回数は滞在時間の階級である。この方法は、古屋ら<sup>22)</sup>や川野ら<sup>23)</sup>の方法を参考にしたが、これらの研究では、本研究における地点をメッシュとしていることと、時間帯で区分していない点に違いがある。

以上の考え方で、WPS データから BoW 表現への変換を行った。なお、固定端末のデータを除外するため、1 日の滞在時間が 14 時間以上のデータは分析対象から外



した。

### c) トピックモデルの評価尺度

トピックモデルの性能を評価する尺度として、パープレキシティ (perplexity, 以下, PPL) が用いられる。PPL は分岐数または選択枝の数を表す。PPL は、より少ない値であればそのモデルの絞り込み性能が良いことを示す<sup>27)</sup>。本研究では、抽出されるトピック数を決定する際に PPL を用いる。

## 3. 結果

### (1) トピックの抽出結果

前章で作成した BoW 表現されたデータにトピックモデルを適用した。分析には R(version 3.6.2)の topicmodels パッケージを用いた。

トピック数は PPL の値から 20 個に設定した。PPL はトピック数が 20 を超えても減少し続けるが、トピック数 20 を境に減少幅が縮小したためこの値とした。

各トピックにおける単語 (地点と時間帯の組み合わせ) の出現確率を図-2 に示す。グラフの縦軸にトピックに出現する単語、横軸に出現確率を示している。なお、トピックに含まれる単語が 9 個を超える場合は省略している。単語は、「地点\_時刻」の組み合わせで表現し、時刻は 8 個に区切った各時間帯の最初の時間帯を表す (例: 06 は 6~8 時台)。各トピックの名称は、出現する単語と

その出現確率から名付けた。トピック名のアラビア数字は中心となる時間帯を表し、漢数字は地点の丁目をを表す。

全体的な傾向として、複数地点間を行き来する活動のほとんどは、豊田市駅を中心とする地区 (駅近隣: 橙色のグラフ) における活動である。そして、それらの移動は時間帯ごとに別々のトピックとして抽出されている。一方、駅から離れた地区 (縁辺部: 青色) のトピックは、同一地点の幅広い時間帯の単語が出現している。前者は各地点が近接していることや駅を中心とする人々の往来が多いことが要因と考えられる。後者は、駅縁辺部に位置し他の地点から比較的離れていることや、特定方向の人の移動が生まれにくいことが要因と考えられる。

駅付近にあり比較的人の往来が多い屋外空間 (屋外: 黄色) に着目すると、デッキは豊田市駅の西側にあり、豊田市駅西口と新豊田駅や駅周辺の商業施設を連絡するペDESTリアンデッキ上にある。ここでは飲食を提供するコンテナショップが設置されている。デッキでは日中 (9時~15時) と夕方 (15時~21時) に分散しているのが特徴である。また、喜多二は豊田市駅東側にある交差点であるが、2019年9月に供用された芝生広場「とよしば」に近接している場所にある。

この他、駅付近の施設内 (施設内: 黄色) に着目すると、ギャザは豊田市駅東口にある商業施設であり、昼の時間帯を中心に 9時から 21時まで分散している。TMP や喜多 P は豊田市駅周辺の商業業務施設等利用者向けの

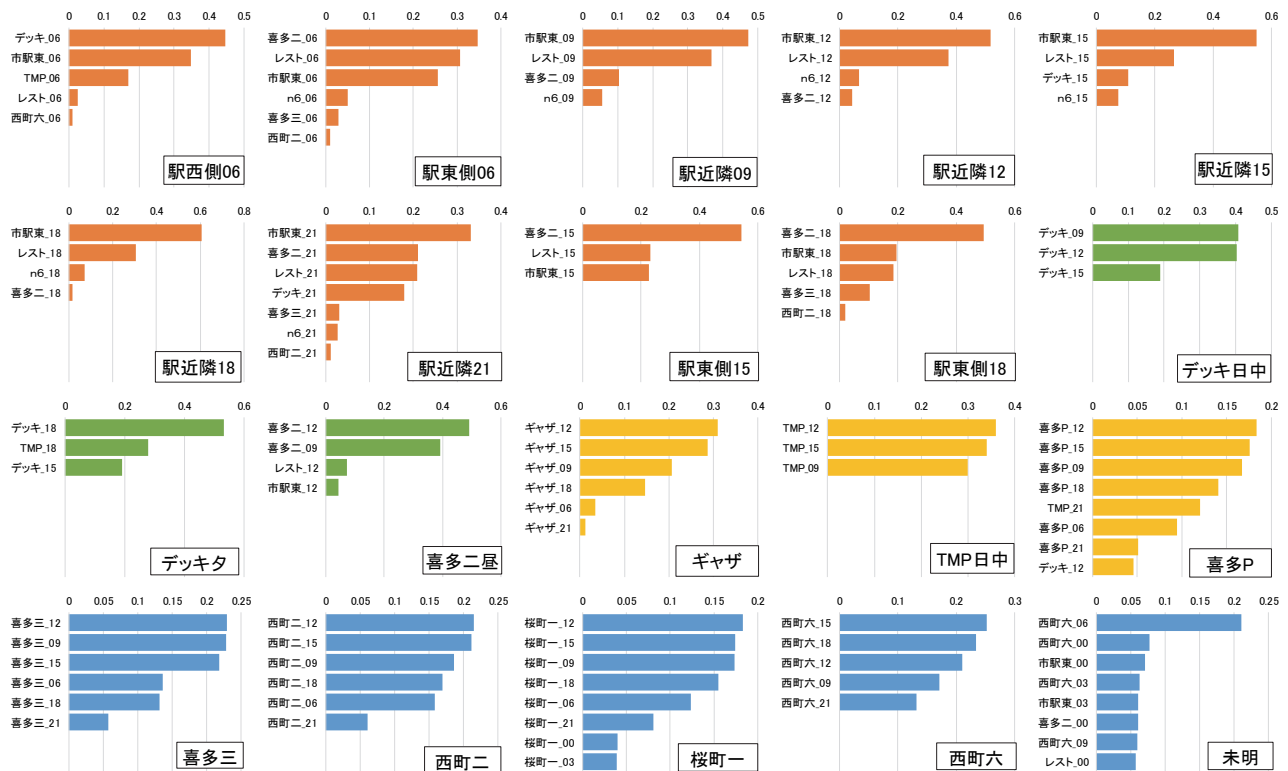


図-2 豊田市中心市街地の駅周辺における WPS 設置地点

(縦軸はトピックに出現する単語、横軸は単語の修験確率。橙は駅近隣、緑は屋外、黄色は施設内、青は縁辺部を意味する。)

駐車場である。TMP (TM 若宮パーキング) は豊田市駅の西側にあり、TMP の単語は駅西側やデッキなどのトピックにも表れている。TMP のみのトピックには日中の時間帯が単語として出現している。

(2) 曜日別変動にみる各トピックの特徴

次に、抽出されたトピックの特徴をさらに理解するため、曜日別の変動を分析する。ここでは、COVID-19 の影響がほとんどないと考えられる、感染拡大前の 2020 年 1 月 6 日 (月) ~2 月 2 日 (日) までの期間を対象とする。図-3 に駅近隣の 9 地点、図-4 に屋外と施設内の 6 地点の図を示す。

特に駅近隣の各地点の変動をみると、曜日により大きく変動するトピックが存在することが確認できる。中でも、駅近隣 21 が金曜日に特に多くなるのが特徴的である。土曜日やや多いこと、駅近隣には飲食店が集積していること、時間帯が 21 時~23 時台であることを考えると、夜の飲食のために駅近隣に人々が集まる状況を表すトピックであると言える。金曜日にピークがある他のトピックは駅近隣 18 や駅東側 18 であり、いずれも 18 時~20 時台の単語が出現している。

また、駅西側 06 や駅東側 06 のトピックは、時間帯が 06 時~08 時台、月曜から金曜までが多く土日に少なくなることから、通勤や通学の状況を表すトピックであると言える。

この他、駅近隣 09, 12, 15 や、駅東側 15 などのトピックは土曜日にピークがみられる。また、屋外や施設内のトピックをみると、金曜日や土曜日にピークがみられるものがある。土日の中でもピークが土曜日にあるトピックが多い理由として、ここでの対象期間中の 2020 年 1 月 18 日 (土) にラグビートップリーグの試合が豊田スタジアムで開催され、多くの人々が試合観戦のために来訪したことが影響していると考えられる。

ここでの分析対象期間は、感染拡大に伴う様々な活動の自粛が本格化する前の期間であり、コロナ禍前の中心市街地の人々の活動を捉えたものであると言える。通勤・通学や金曜夜の人出、週末の人出などの特徴が捉えられており、トピックが適切に抽出されていると判断する。

(3) COVID-19 による影響の分析

COVID-19 の感染拡大による影響を分析するため、まずは各トピックの変化の状況を確認する。図-5 には、1/6 の週 (2020 年 1 月 6 日 (月) から始まる 1 週間) を基準 (100%) とし、WPS の観測数が 8 割に落ち込んだ 3 月 2 日の週 (小中高校の休校要請が発表された 2020 年 2 月 27 日の翌週) から 8 月 27 日の週末までの平均値との比率 (3/2 以降平均) と、週当たりの WPS の観測数が最も落

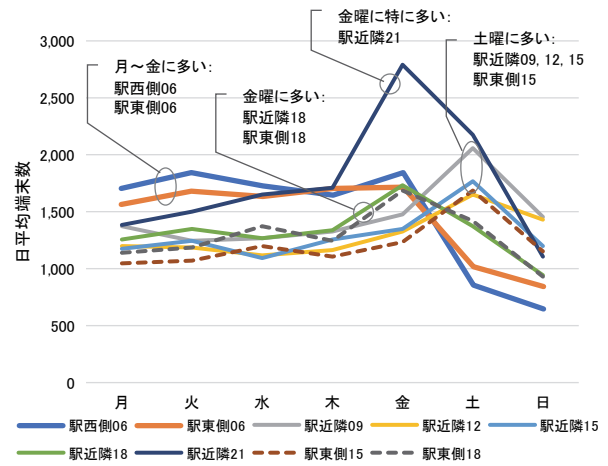


図-3 トピック別の曜日変動 (2020/1/9-22, 駅近隣)

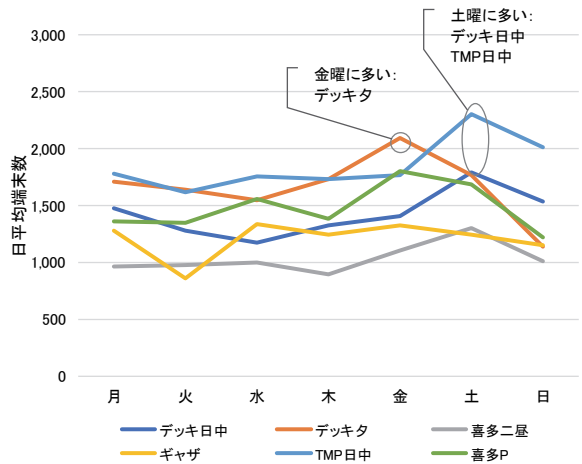


図-4 トピック別の曜日変動 (2020/1/9-22, 屋外・施設内)

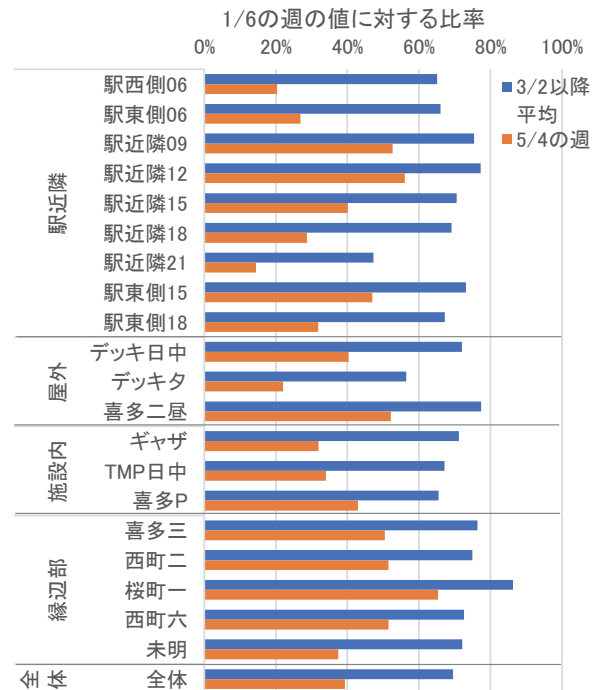


図-5 トピック別の変化率 (1/6の週=1.0)

ち込んだ緊急事態宣言期間と春の大型連休が重なった 5 月 4 日の週 (5/4 の週) の値との比率である。

図-5から、トピックによって減少幅に違いがあることや、最も減少が大きい時期には8割前後減少しているトピックが存在することが確認できる。比較的減少が大きいトピックの特徴としては、駅近隣の夕方以降や朝の時間帯であることが挙げられる。これらは前節でも触れた通勤・通学や夜の飲食関連の活動に関するトピックである。比較的現象が小さいトピックの特徴としては、縁辺部であることや駅近隣でも日中の時間帯であることが挙げられる。

前者は豊田市内外を移動する人が多く含まれると想定されることから、在宅勤務や出張自粛、リモートの会議や講義などが広がったことの影響を受けていると考えられる。一方後者は、中心市街地内や周辺に住まう人が多く含まれると考えら、それらの人々の活動は比較的影響を受けにくいものであると考えられる。

また、減少幅が最大となった5月4日の週では、緊急事態宣言と大型連休が重なったことで、通勤・通学関連や夜の飲食関連の活動とみられるトピックが著しく減少

表-1 COVID-19に関する主な出来事  
(豊田市に関連のあるものを中心に整理)

地域	出来事
全国	1/16 国内で初の感染者
全国	2/25 政府が感染症対策の基本方針を発表〔①〕
全国	2/27 首相が小中高校の休校を要請〔①〕
豊田市	3/12 豊田市内で一例目の感染者
全国	3/29 政府が感染症対策の基本的対処方針を決定〔②〕
豊田市	3/31 豊田市内で二・三例目の感染者
全国	4/7 政府が1都1府4県に緊急事態宣言発出〔③〕
愛知県	4/10 愛知県が独自の緊急事態宣言発出〔③〕
全国	4/16 政府が緊急事態宣言を全国に拡大
全国	5/14 政府が愛知県含む39県で緊急事態宣言を解除〔④〕
全国	5/25 政府が全国の緊急事態宣言を解除〔⑤〕
愛知県	5/25 県立学校再開〔⑤〕
愛知県	5/26 愛知県が独自の緊急事態宣言を解除〔⑤〕
愛知県	6/1 東海3県の県をまたぐ移動自粛を解除
全国	6/19 全国を対象に県をまたぐ移動の自粛を解除〔⑥〕
全国	6/27 Jリーグ無観客で再開
全国	7/10 Jリーグ観客ありでの再開
豊田市	7/22 豊田市の警戒レベルを最高の4に引き上げ〔⑦〕
全国	7/22 Go To トラベル事業開始
愛知県	8/6 愛知県が独自の緊急事態宣言発出
愛知県	8/24 愛知県が独自の緊急事態宣言解除〔⑧〕
豊田市	9/4 豊田市の警戒レベルを3に引き下げ

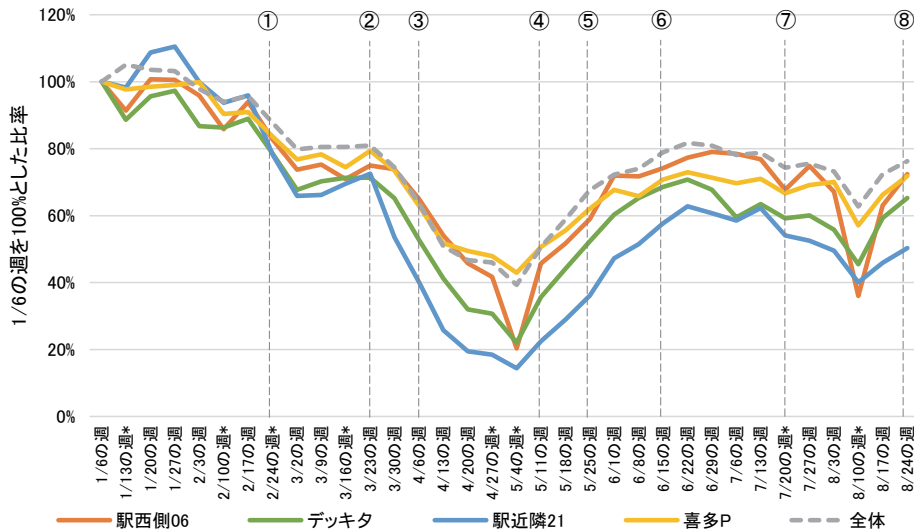


図-6 減少が比較的大きいトピックの変化 (1/6の週=100%)

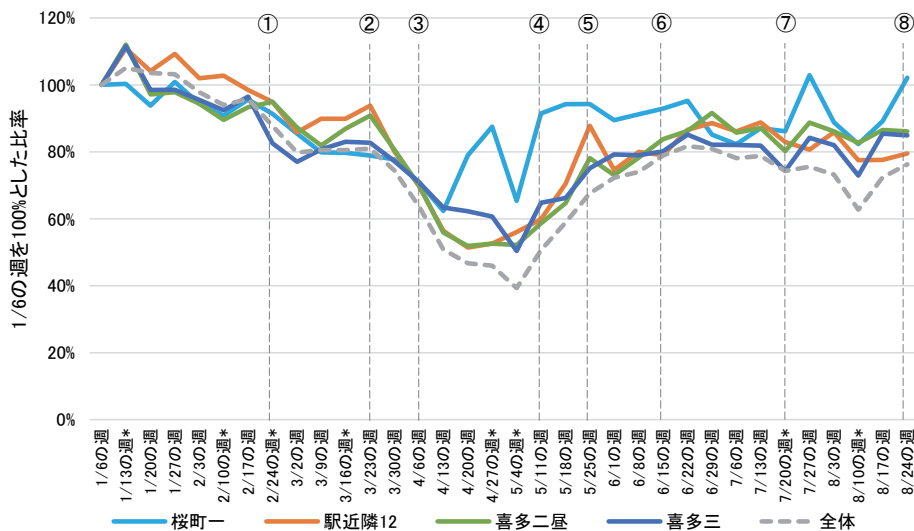


図-7 減少が比較的小さいトピックの変化 (1/6の週=100%)

するだけでなく、通常の大規模連休であれば多くの人出が見込まれた駅近隣や屋外、施設内の日中の活動も、大きく減少している。

以降では、3月2日以降の比率において、減少が比較的大きいトピック（駅西側 06、喜多 P、デッキタ、駅近隣 21）と小さいトピック（桜町一、駅近隣 12、喜多二昼、喜多三）を取り上げ、2020年1月6日の週～8月24日の週までの週単位の推移を確認する。

#### (4) COVID-19 関連の出来事と変動の関係

ここでは、トピック別の観測数の変動した背景を考察するため、表-1に COVID-19 関連の出来事について豊田市に関連するものを中心に整理した。表中の丸数字は、グラフの丸数字に対応している。

図-6に減少が比較的大きいトピックの変化、図-7に減少が比較的小さいトピックの変化を示す。それぞれの図に、全トピックの観測数の変化を示している。まずはこの全体の推移をみる。小中高校への休校要請が出された直後の3月2日の週から8割程度に減少し、政府の緊急事態宣言中には4割にまで減少した。その後政府の緊急事態宣言解除や県をまたぐ移動自粛要請解除の後、8割程度に回復した。7月頃から再び感染者数が増大する状況となったことを受けた愛知県独自の緊急事態宣言発出やお盆などがあり一時的に減少したが、お盆明け以降は県独自の緊急事態宣言が解除され、観測数が回復する傾向にある。以上のように、WPSの観測数は COVID-19 関連の出来事に応じて変動していることが確認できた。

比較的減少幅の大きいトピックに着目する。これらのトピックは、駅近隣や駅周辺の屋外や施設に関するものである。

夜の飲食関連のトピックとみられる駅近隣 21 は、3月2日の週の段階から7割近くに減少した。3月下旬以降急速に落ち込み、緊急事態宣言の間中は2割前後にまで減少した。その後回復してはいるものの、他のトピックと比べて回復は緩やかであり、回復は6割にとどまり頭打ちの状況である。デッキタについては期間を通した減少幅は駅近隣 21 と比べてやや小さいものの、同様の傾向にある。夜の飲食関連の活動は、回復しにくい状況がうかがえる。

通勤・通学が多く含まれる駅西側 06 は、期間を通して全体と似たような変化をしているが、多くの職場や学校が休みとなる大規模連休やお盆などの休日が多い時期に大きく減少している。喜多 P は5月までは全体と同様の推移であるが、6月以降は全体より10ポイント程度低い水準で推移している。この要因は明らかではないが特徴的な傾向である。

比較的減少幅の小さいトピックに着目する。これらのトピックは、縁辺部や駅近隣の日中の活動に関するもの

である。桜町一のトピックを除き、おおむね全体と似たような変化を示している。桜町一のトピックが他のトピックと大きく異なる変動を示しているが、その理由は特定できておらず引き続き検討が必要である。

以上、WPS データから抽出されたトピックの量を用いて、その変動の様子を中心市街地の COVID-19 関連の出来事と合わせて確認した。抽出されたトピックの変動をみることで、中心市街地における様々な人々の活動が、COVID-19 関連の出来事の影響を受けて変動している様子が確認できた。

#### 4. おわりに

本研究では、WPS で収集したデータにトピックモデルを適用する方法の検討や、トピックの抽出結果の分析を通じて適用可能性の検討を行うとともに、抽出されたトピック別の活動の変化から COVID-19 の感染拡大が人出に及ぼした影響を分析した。

WPS データをトピックモデルの入力データである BoW 表現に変換する際の考え方は、既往研究を参考にしつつ、中心市街地での人々の活動は時間帯によって異なることを考慮し、単語には地点と時間帯（8 時間帯）の組合せ、文書は1端末1日のデータ、単語の出現回数は滞在時間の階級とした。

抽出されたトピックの特徴を、曜日の変動や COVID-19 感染拡大後の変動の観点から分析した結果、通勤・通学や夜の飲食関連の活動、日中の活動など、中心市街地における人々の様々な活動を特徴として抽出することができた。

そして、COVID-19 関連の出来事とそれぞれのトピックの量の変動を対比して分析した結果、人々の活動によって変化の幅に違いがあることが把握できた。最も減少が大きいのは夜の飲食関連の活動であり、他の活動と比べて回復しにくい実態が確認できた。また、中心市街地における日中の活動や駅から離れた縁辺部での活動は、比較的減少が小さい。これらの活動は、中心市街地やその周辺の居住者の活動が多く含まれると考えられることから、COVID-19 感染拡大の影響を受けにくいものと考えられる。このように、トピックモデルで抽出した人々の活動の特徴は、COVID-19 感染拡大の影響も表現し得るものであることが確認できた。

WPS データの分析手法として従来から用いられてきたクロス集計や多変量解析と比べて、トピックモデルを適用することで分析に恣意的な判断が入りにくく、多様な特徴を簡便に抽出できる。トピックモデルは WPS データから活動の特徴を抽出する分析手法として利用できることを示した。

今後の課題としては、BoW の作成方法の改善可能性



を検討することがあげられる。今回は地点ごとに時間帯を 8 つに区切って単語を定義し、滞在時間のランクをその量としたが、他にも方法が考えられるため、検討することが求められる。また、本研究ではトピックの抽出とその変化傾向の分析を行ったが、トピックごとに各端末の OD や滞在時間などを分析し、各トピックに対する理解や、COVID-19 の感染拡大後の変動に対する解釈を深めることなどが求められる。これらを通じて、WPS データから COVID-19 感染拡大の影響を把握するだけでなく、中心市街地のあり方を検討する材料を提供することが重要である。

**謝辞：**WPS の設置には豊田市中心市街地の店舗や施設の関係者の協力を得ました。歩行者通行量のデータは豊田市商業観光課から提供を受けました。本研究の一部は、科研費 (20K14856) 及びNICT委託研究 (採択番号21404) の助成により行われました。ここに記し、厚くお礼申し上げます。

## 付録

- [1] 3 時間ごとに区切ったのは、通勤・通学や業務、買物、帰宅などの活動が多く含まれる時間帯を大まかに区分できると考えたためであるが、さらに良い方法がないか検証が必要である。
- [2] 滞在時間の階級分類は、分析対象期間全体の地点別時間帯別の滞在時間に対して自然階級分類を用いた。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：まちの活性化を測る歩行者通行量調査のガイドライン (Ver1.1), 2019.3.
- 2) 寺部慎太郎, 一井啓介, 柳沼秀樹, 小野瑞樹, 田中皓介, 康楠：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, Vol.75, No.5, I\_669-I\_679, 2019.
- 3) 西田純二, 足立智之, 牧村和彦, 森本哲郎, 上善恒雄：Wi-Fi パケットセンサーによる交通流動解析, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.49, CD-ROM, 2014.
- 4) 森本哲郎, 辻本悠佑, 白浜勝太, 上善恒雄：Wi-Fi パケットセンサーを用いた人流解析と可視化, DEIM Forum, 2015.
- 5) 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 パケットセンサー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～, 土木計画学研究・講演集, vol.54, CD-ROM, 2016.
- 6) 伊藤伸, 倉内文孝, 安東直紀, 西田純二：Wi-Fi パケットセンサーデータによる観光行動把握の可能性に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.56, 2017.
- 7) 壇辻貴生, 杉下佳辰, 福田大輔, 浅野光行：Wi-Fi パケットデータを用いた観光客の滞在時間特性把握の可能性に関する研究—奈良県長谷寺参道における試み—, 都市計画論文集, Vol.52, No.3, pp.247-254, 2017.
- 8) 岡平孝司, 川名義輝：神戸市における Wi-Fi データを活用した歩行者行動分析, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.55, 2017.
- 9) 金子俊之, 松下雅典, 森谷武浩, 齋藤育門：Wi-Fi パケットセンサーデータを活用した公共空間の面的な人流解析, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.57, CD-ROM, 2018.
- 10) 西田純二, 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, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.57, CD-ROM, 2018.
- 11) 大田香織, 大村真輝, 辻堂史子, 浅野啓明, 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, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.57, CD-ROM, 2018.
- 12) 大野沙知子, 中村俊之, 薄井智貴, 手嶋茂晴：人流把握のための Wi-Fi パケットセンサー調査手法に関する研究, 土木学会論文集 D3, Vol.75, No.5, I\_799-I\_807, 2019.
- 13) 並木純, 豊木博泰, 亀田凌佑, 玉田拓, 渡辺喜道：Wi-Fi センサを用いた甲府市中心市街地の訪問者数と流れの推定, FIT2019 (第 18 回情報科学技術フォーラム) 第 4 分冊, 2019.
- 14) 末木祐多, 佐々木邦明：Wi-Fi パケットセンサから得られるデータを用いた市街地における歩行者 OD 交通量の推計, 都市計画論文集, Vol.54, No.3, pp.718-725, 2019.
- 15) 八田敏行, 三輪祥太郎：トピックモデルに基づく人行動分析技術, FIT2015 (第 14 回情報科学技術フォーラム) 第 4 分冊, 2015.
- 16) 塚井誠人, 椎野創介：討議録に対するトピックモデルの適用, 土木学会論文集 D3, Vol.72, No.5, I\_341-I\_352, 2016.
- 17) 塚井誠人, 原祐輔, 山口敬太, 大西正光：土木計画学の研究トピックスの変遷, 土木学会論文集 D3, Vol.74, No.5, I\_349-I\_358, 2018.
- 18) 川野倫輝, 佐藤嘉洋, 円山琢也：トピックモデルと離散連続モデルを用いた自由記述の量的分析法, 土木学会論文集 D3, Vol.74, No.5, I\_277-I\_284, 2018.
- 19) 上原一輝, 川野倫輝, 円山琢也：自由回答データにおける代理回答バイアスの推定, 土木学会論文集 D3, Vol.75, No.5, I\_143-I\_152, 2019.
- 20) 塚井誠人, 塚野裕太：トピックモデルによる詳細地理情報分析, 土木学会論文集 D3, Vol.74, No.2, 111-124, 2018.
- 21) 山本航, 辰巳嘉大, 小山田哲郎, 塚井誠人：トピックモデルによるスタック発生区間の分析, 交通工学論文集, Vol.6, No.3, pp.1-10, 2020.
- 22) 古屋秀樹, 岡本直久, 野津直樹：GPS ログデータを用いた訪日外国人旅行者の訪問パターンの分析手法の開発, 運輸政策研究, Vol.20, 2018.
- 23) 川野倫輝, 木崎凜太郎, 円山琢也：トピックモデルの拡張モデルを用いたスマホ型回遊データの分析, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.59, CD-ROM, 2019.
- 24) 豊田市：都心環境計画, 2016.
- 25) 豊田市：中心市街地活性化基本計画, 2018.
- 26) 岩田具治：トピックモデル, 講談社, 2015.
- 27) 佐藤一誠, 奥村学：トピックモデルによる統計的潜在意味解析, コロナ社, 2015.

(Received ????, ????)

(Accepted ????, ????)



ANALYZING THE IMPACT OF COVID-19 FOR THE VISITORS OF CITY  
CENTER USING WI-FI PACKET SENSOR DATA BY TOPIC MODEL

Yasuhide NISHIHORI, Hideki KATO and Hiroyasu TOYOKI