

# イベント開催時の混雑に対応した 鉄道駅利用者数の予測技術

クロスステック開発部  
いしかわ 石川  
おおたき 大滝  
しゅう 周  
とある 亨  
いしぐる 石黒  
しん 慎

大型イベント開催時の会場周辺の鉄道駅で発生する混雑は、突発的かつ大規模となること  
があり、それを事前に知っておくことは混雑を回避する上で重要である。そこでドコモで  
は、イベント開催による影響に対応した、将来の鉄道駅利用者数の予測ができる技術を開発  
し、鉄道利用者の混雑回避のための支援を可能とした。さらに、NTTが開発し、オリ  
ンピック・パラリンピック等経済界協議会が配信したバリアフリールート案内Webアプリ  
へ、本予測情報を提供した。

## 1. まえがき

鉄道利用者にとって鉄道の混雑状況をあらかじめ知っておくことは、快適に移動する上で重要である。鉄道利用者は、事前に情報が与えられれば、混雑が発生する場所や時間帯を避けて移動できるからである(図1)。また、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)が流行している昨今では、人の密集を避ける意識が向上していることもあり、混雑回避のニーズはより高まっている[1]。従って、鉄道の混雑予測の技術が、鉄道の利便性向上と密集回避の

ために求められてきている。しかしながら、鉄道の利用状況はさまざまな事象によって変化する。特に数千人以上が参加するような大規模イベントが行われる際には、利用状況が劇的に変化するため、これまで混雑を正確に予測することは困難であった。この状況を踏まえ、ドコモは混雑回避のニーズに応えるために、携帯電話基地局の運用データ\*を用いることで、リアルタイムに鉄道の混雑状況を把握し、鉄道駅ごとの乗降者数を予測する手法を考案した。

また、その手法を組み込んだ駅混雑状況予測システムを開発し、その実用性を検証するために、日本

©2022 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

\*本システムで用いた携帯電話基地局の運用データは、パーソナルデータダッシュボード[5]において、「位置情報の利用」に同意いただいたお客様のものに限定される。分析によって推計されるすべての結果は、集団の人数のみを表す人口統計情報であり、お客様個人を特定することはできない。推計の過程で、個人識別性を除去する「非識別化処理」、ドコモの携帯電話普及率を加味して人口を拡大推計する「集計処理」、さらに少人数を除去する「秘匿処理」が適切に実施され、お客様のプライバシーは保たれている。

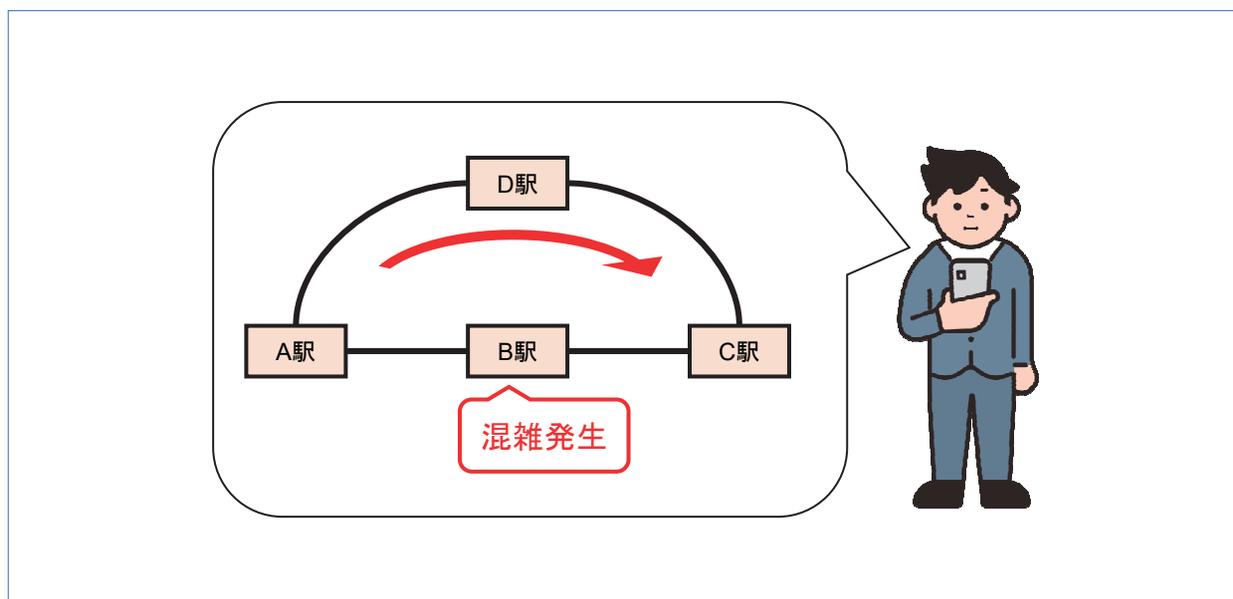


図1 駅混雑状況予測システムの利用イメージ

電信電話株式会社（NTT）が開発し、オリンピック・パラリンピック等経済界協議会が配信したバリアフリールート案内Webアプリ「Japan Walk Guide<sup>\*1</sup> [2] [3]」を通じて、予測結果を一般公開した。駅混雑状況予測システムから10分に1回の更新頻度で予測結果が提供され、これにより本アプリは各鉄道駅の将来90分先までの駅乗降者数を時系列で表示した。

将来的には本システムを活用し、混雑を回避できるような移動経路を推薦するサービスの開発などによって、移動者の快適な移動をサポートできるようになることを目指す。

本稿では、この駅混雑状況予測システムについて解説する。

## 2. 駅混雑状況予測システム

### 2.1 概要

駅混雑状況予測システムは、将来90分先までの所

定の駅における乗車人数と降車人数を予測するものである。なお、本稿では、乗車人数と降車人数をまとめて乗降者数、乗降者数が一定値よりも大きくなる状態を混雑とそれぞれ定義する。また、予測を将来90分先までとしたのは、その時間内が、後述するリアルタイム乗降者数予測技術を用いることによる予測精度の向上が認められる範囲であるためである。駅の乗降者数を予測する上で、課題は3つある。

- ・1つ目は、非日常的な混雑への対応である。例えば、ラッシュアワーにおける混雑は、発生する時刻と規模がほとんど変わらないため、予測が容易である。一方で、大型イベントの開催時に発生する混雑は、その内容により時刻や規模が特異に変化するため、予測が困難である。
- ・2つ目は、駅の乗降者数にかかわるデータの用意である。将来の乗降者数を精度良く予測するためには、予測対象とする全駅で十分な量の乗降者数の過去データが必要である。これらを効率的に取得することは、高精度な予測を実現す

\*1 Japan Walk Guide：NTTが、公益財団法人交通エコロジー・モビリティ財団と協力して開発した、バリアフリールート案内Webアプリ。オリンピック・パラリンピック等経済界協議会から、競技ボランティアなどスポーツ大会関係者向けのサービスとして提供された。

るために重要である。

- ・3つ目は、リアルタイム性である。特にイベントの開催時には人の流れが急に変化し、不測の混雑が発生する場合がある。従って、より精度の高い予測を実現するためには、直近の混雑状況を予測に反映させる仕組みが必要である。

これらの課題に対応するために、本システムは①イベント参加人口抽出技術、②乗降者数推定技術および③リアルタイム乗降者数予測技術によって構成されている。

- ①イベント参加人口抽出技術は、非日常的な混雑を精度良く予測するための、人口データの加工技術である。当日の人口から平常時の人口を差し引くことにより、一定エリア内の全人口からイベントに関係のある人口のみを抽出することを可能とした。
- ②乗降者数推定技術は、ドコモの携帯電話基地局の運用データから乗降者数データを生成する技術である。統計情報に加工した基地局ごとの在圏端末数の変遷を基に、乗車駅から降車駅までの移動人数を推計することで、予測対象駅の乗降者数を推計する。
- ③リアルタイム乗降者数予測技術は、直近の駅周辺の混雑状況を考慮した予測を行う技術である。連続値である将来の乗降者数を予測するため、連続値を出力する際に一般に用いられる回帰モデル<sup>\*2</sup>を採用した。このモデルの説明変数として、「モバイル空間統計<sup>®</sup> 国内人口分布統計（リアルタイム版）<sup>\*3</sup>」を①の技術によって整形されたものが用いられる。また、目的変数としては、②で推計された乗降者数が用いられる。「モバイル空間統計 国内人口分布統計（リアルタイム版）」からは、直近の人口分布データを逐次的に取得できるため、常に予測を更新し

ながらより正確な将来の乗降者数を出力可能にした。

## 2.2 イベント参加人口抽出技術

イベント参加人口抽出技術は、人口分布データの値からイベントに関連する人口（以下、イベント参加人口）のみを抽出する技術である。なお、イベント参加人口とは、ある一定エリアで算出される人口から、通勤通学などによって日常的に現れる人口（以下、定常人口）が除かれたもので、イベントがある日のイベントの参加者やスタッフなどの人数が算出されたものである。

本システムにおける予測では、当日のイベント会場や予測対象の駅付近の混雑状況を考慮するために「モバイル空間統計 国内人口分布統計（リアルタイム版）」を用いた。「モバイル空間統計 国内人口分布統計（リアルタイム版）」からは、地域メッシュ<sup>\*4</sup> [4]（以下、メッシュ）ごとの人口分布データを取得できる。これによりイベント会場のあるメッシュの人口をそれぞれ取得する。

この人口分布データをそのまま用いた場合、イベント参加人口と定常人口の合算値が用いられることとなる。この場合、開催されているイベントの参加者規模と、それに伴って発生する突発的な混雑との関係性を抽出することが困難となり、予測も難しくなる。そのため、人口分布データからイベント参加人口を抽出する方法が必要となる。

「モバイル空間統計 国内人口分布統計（リアルタイム版）」では、「イベント人口」として一般的なメッシュにおけるイベント参加人口と定常人口が取得可能である。しかし、高頻度で大規模イベントが開かれるような施設<sup>\*5</sup>が位置するメッシュでは、平常時の人口の時間変化となる日数の方が少なくなることがあり、これらの算出が困難となることがある。イベント参加人口抽出技術では、人口分布データの

\*2 回帰モデル：連続的な値をもつ目的変数に対して、説明変数を用いた式としてモデル化したもの。

\*3 モバイル空間統計 国内人口分布統計（リアルタイム版）：ドコモの携帯電話ネットワークの仕組みを使用して作成される人口の統計情報「モバイル空間統計」の1つで、最短1時間前までの人口分布データを提供している。モバイル空間統計は、ガイドラインに沿って作成された集団の人数のみを表す人口統計情報であるため、お客様個人を特定することはできない。なお、

モバイル空間統計のガイドライン [7] では、お客様のプライバシーを保護するため、個人識別性を除去する「非識別化処理」、ドコモの携帯電話普及率を加味して人口を拡大推計する「集計処理」、さらに少人数を除去する「秘匿処理」を適切に実施することを定めている。

\*4 地域メッシュ：国土を緯度・経度に基づき地域を隙間なく網の目の区域に分けたもの。

各メッシュについてクラスタリング\*6による統計処理を行うことでこのようなメッシュにおいてもイベント参加人口と定常人口を算出することを可能とした。

イベント参加人口抽出技術では定常人口を求めるため、以下の操作を行った(図2)。まず、同一の曜日をもつ日付を列举し、各日24時間分の人口変動を取得する。なお、人口変動とは、該当メッシュ内に存在した人口の時間変化である。次に、各日の人口変動をデータとしてクラスタリングを行い(図2①)、似たような人口変動をもつ日付でまとめられたクラスタを取得する。そして、取得されたクラスタのうち、最も人口の平均値が小さいクラスタを定常人口として得る(図2②)。このように得られた定常人口を用いて、元データの人口から定常人口を減算したものをイベント参加人口として取得する(図2③)。

この処理によって、イベント施設が位置するエリアにおけるイベント参加人口が取得できるようになり、イベントの影響のみによって発生する人口変動の特徴を学習可能となった。従って、非日常的な状況下での混雑もより高い精度で予測が可能になる。

### 2.3 乗降者数推定技術

乗降者数推定技術は、「モバイル空間統計 国内人口分布統計(リアルタイム版)」からは得られない、鉄道駅における過去の乗降者数を推計する技術である(図3)。

乗降者数を予測するモデルを学習するためには、一般に十分な量の過去の乗降者数データが必要になる。そこで、ドコモの携帯電話基地局の運用データから乗降者数を推計する方法を用いた。なお、こ

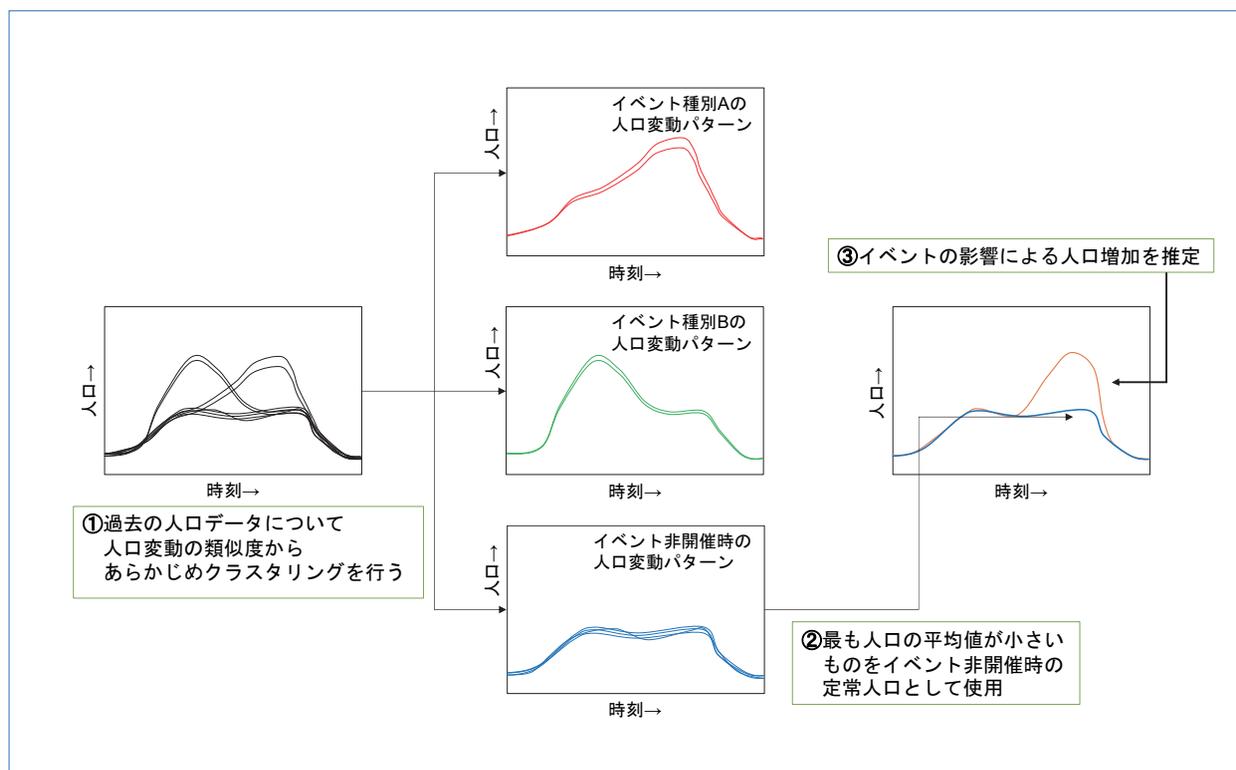


図2 高頻度でイベントが開催される施設のあるメッシュのイベント参加人口抽出技術の手順

- \*5 高頻度で大規模イベントが開かれるような施設：収容人数および1年間に開かれるイベント数が一定以上のもの。
- \*6 クラスタリング：データ同士の類似性や任意の尺度における距離を基に、データ集合を部分集合に分割する分析方法。

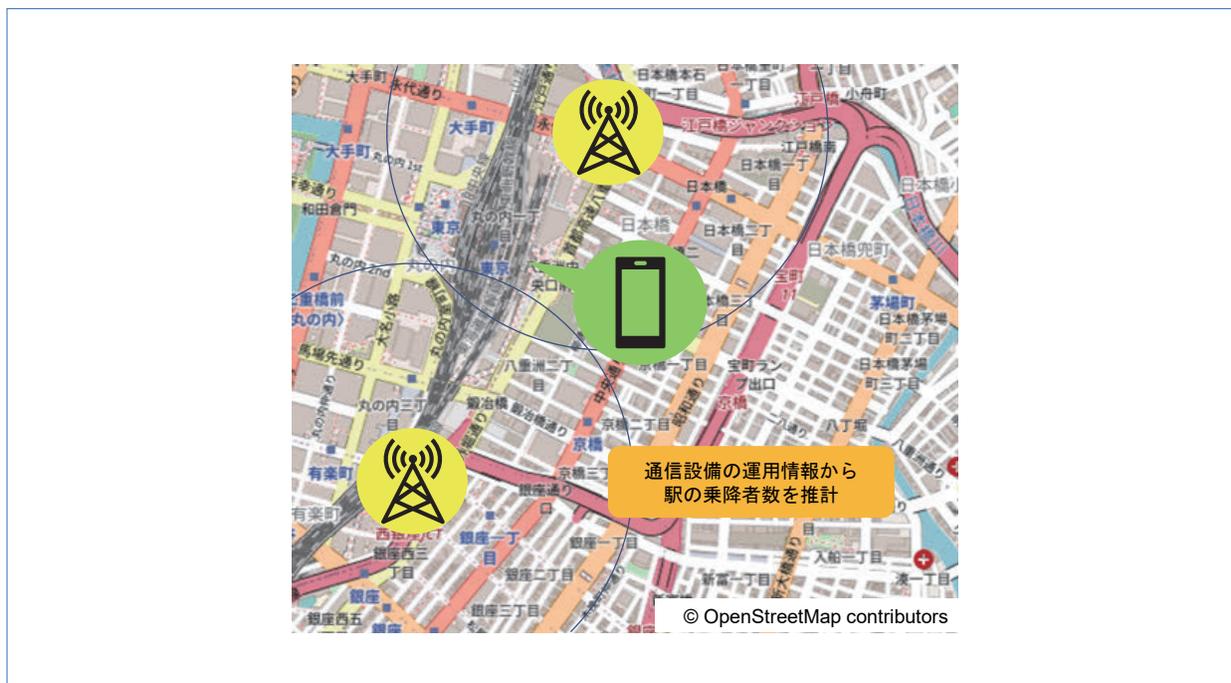


図3 乗降者数推定技術の仕組み

で用いられる運用データは、パーソナルデータダッシュボード [5] において、「位置情報の利用」に同意いただいたお客様のものに限定している。

乗降者数の推計は、この運用データからユーザ端末の在圏情報を集計することで各鉄道路線の移動端末の台数を求め、国勢調査 [6] の結果を基に拡大推計を実施し、特定の路線についての任意の乗車駅と降車駅の組合せにおける乗車人数や降車人数を算出するという方法で行った。なお、本技術における乗降者数の推計の際には、非識別化処理・集計処理・秘匿処理の3段階処理が実施されている。

本仕組みを用いて乗降者数を推計することで、後述のリアルタイム乗降者予測技術において、用いられる学習データを高頻度に更新することができ、より新しいデータで学習を行うことが可能となるため、高い予測精度をもつモデルの作成に繋がる。

## 2.4 リアルタイム乗降者数予測技術

リアルタイム乗降者数予測技術は、「モバイル空間統計 国内人口分布統計 (リアルタイム版)」から取得される、最短1時間前までの人口分布データを用いて、高精度な将来の乗降者数を予測する技術である (図4)。学習モデルにはXGBoost (eXtreme Gradient Boosting) \*7を採用した。モデルの説明変数は、イベント会場や最寄り駅付近の人口分布データ、イベント日程データ、気象データを加工し組み合わせ合わせたデータで、目的変数は乗降者数の90分先までの値である。モデルの学習時には、乗降者数推定技術で算出した過去の乗降者数を用いる。予測時には、10分間に一度取得する直近 (最短1時間前) の人口分布データを用いることで、予測結果も10分間に一度最新のものへ更新されるようにした。このようにして、人口分布データを高頻度に取得することができるため、最新の人口増減の状況を考慮した予

\*7 XGBoost: 多数の異なる決定木による予測モデルから多数決をとることで、高い精度での回帰予測を実現する機械学習手法。

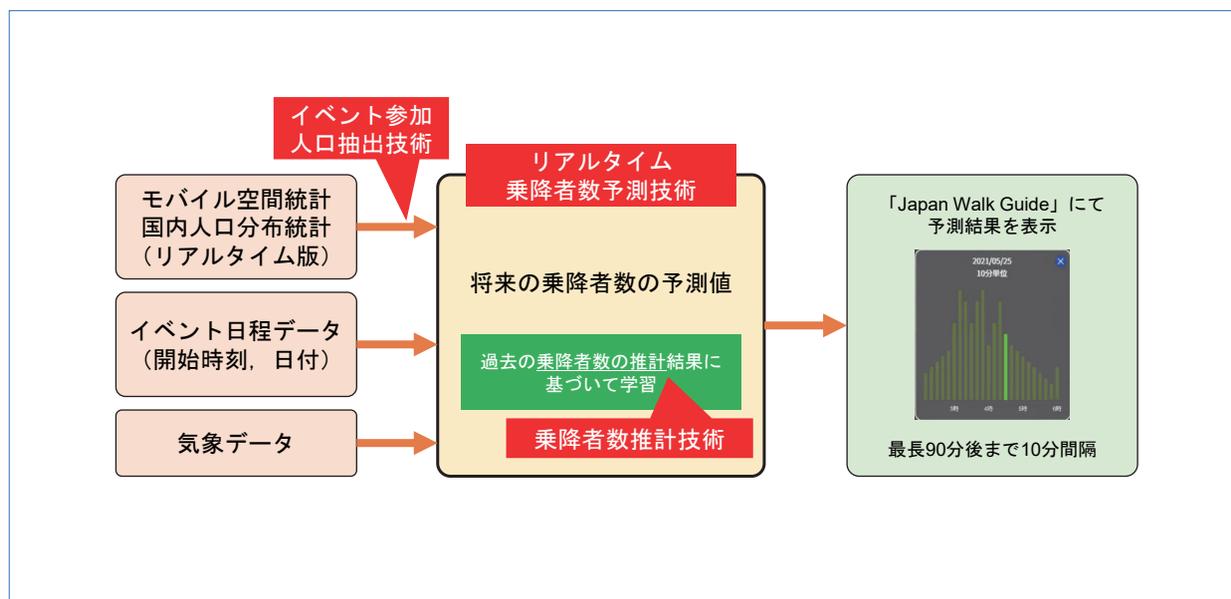


図4 リアルタイム乗降者数予測技術の構成

測値の更新を行うことで、精度を高めることができました。なお、学習時と予測時に用いられる人口分布データは、イベント参加人口抽出技術によってイベント参加人口へ加工される。

### 3. Webアプリへの混雑情報の提供による実用性の検証

本システムの実用性を検証するために、本システムの出力を前述の「Japan Walk Guide」へ接続した。ユーザは本アプリを利用する際に、地図上に表示される駅の中から混雑状況を知りたい駅を選択することで90分先までの乗降者数の予測結果を閲覧することができた。乗降者数の予測結果は棒グラフで表示された（図5）。

### 4. あとがき

本稿では、将来の乗降者数を予測できる駅混雑状

況予測システムの詳細について解説した。予測が困難とされるイベント開催時への対応や乗降車数データの作成、直近の混雑状況の反映などによって実用性の高い予測モデルの構築を実現した。今後は、多様な大規模イベント時においての実証が求められる。さらに本システムの応用として、路線バスや商業施設などの鉄道以外の混雑の予測ができる技術開発に取り組んでいきたい。

#### 文献

- [1] 国土交通省 鉄道局都市鉄道政策課：“鉄道利用者アンケート調査結果,” Jan. 2021.  
<https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001401393.pdf>
- [2] NTTドコモ報道発表資料：“イベント初開催の場所でもイベント終了後の混雑が予測可能な「駅混雑状況予測技術」を開発,” Aug. 2021.  
[https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news\\_release/topics\\_210819\\_01.pdf](https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_210819_01.pdf)
- [3] 市川 裕介, 阿部 裕文, 伊藤 達明, 小長井 俊介, 佐久間 聡, 深田 聡, 木下 真吾：“バリアフリールート案内×MaPiece®,” NTT技術ジャーナル, Vol.34, No.1.



図5 Japan Walk Guideでの混雑予測の画面例

pp.34-38, Dec. 2021.

<https://journal.ntt.co.jp/article/16488>

[4] 総務省統計局：“地域メッシュ統計.”

<https://www.stat.go.jp/data/mesh/index.html>

[5] NTTドコモ：“パーソナルデータについて.”

[https://www.nttdocomo.co.jp/utility/personal\\_data/](https://www.nttdocomo.co.jp/utility/personal_data/)

[6] 総務省統計局：“平成27年国勢調査.”

<https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/index.html>

[7] NTTドコモ：“モバイル空間統計ガイドライン.”

[https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile\\_spatial\\_statistics/guideline/](https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/guideline/)