

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16095

研究課題名(和文) 携帯電話基地局通信履歴を利用した鉄道利用区間の判定

研究課題名(英文) Estimation of Railway Usage with Cellular Tower Information

研究代表者

金杉 洋(Kanasugi, Hiroshi)

東京大学・地球観測データ統合連携研究機構・特任研究員

研究者番号：00526907

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：携帯電話利用時に記録される基地局通信履歴(CDR)を分析することで人々の流動を推定することが期待されているが、空間分解能の低さなどが原因でそのまま交通手段まで推定することは難しい。そこで鉄道インフラのGISデータを新たに作成し、それを参照することで鉄道の利用駅区間の推定を試みた。

日本国内ではCDRデータの入手は困難であるため、利用者端末のアプリから基地局ID(セルID)の切り替わりを検知することでCDRデータを代替した。東京都内地下鉄路線(東京メトロ・都営地下鉄)を対象に路線・駅と各携帯電話事業者のセルIDとの対応関係を現地調査によりデータベース化し、地下鉄路線・駅区間を計測可能とした。

研究成果の概要(英文)：In order to estimate and analyze people movement, Call Detail Records(CDRs) have been expected to be baseline data. However, due to the low spatial resolution and un-uniform sampling rate, CDRs cannot be directly applied to analysis of transportation mode. Therefore, in this research, as a reference GIS data for transportation, we tried to create new railway network including geometry and topology information, and applied to estimate railway movement from mobile phone information.

In Japan, since it is difficult to obtain CDR data from mobile phone carriers, we created mobile phone app to acquire cellular tower information and employed it as alternative of CDRs. Then, we acquired cell IDs and prepared corresponding table between Cell IDs and railway stations in the all subway stations in Tokyo and Nagoya regions. Eventually, using the corresponding table, we estimated railway usage through obtaining cell IDs.

研究分野：空間情報科学

キーワード：携帯基地局情報 地下鉄 人流 屋内測位

### 1. 研究開始当初の背景

人々の流動を把握可能なデータは都市計画や交通計画に限らず、観光や広告などの商業活動、防災・減災や感染症のシミュレーションなどの危機管理等、人の活動に関わる幅広い分野の基盤情報としての活用が期待されている。携帯電話やスマートフォンの普及により、人々の位置情報を観測する方法として、端末付属の測位機能（GPS や Wi-Fi 等）を利用し、高精度に位置情報を取得することが一般的であるが、専用アプリのインストールが必要なことや測位機能の利用に伴う電源消費の拡大などで利用者への負荷が課題となる。他方で、携帯電話通信時に接続した基地局位置情報が記録される CDR（Call Detail Records）は、従来の測位手法に比べ空間分解能が粗く、利用者ごとの携帯電話利用状況に応じて個人あたりのサンプル数にばらつきが生じるが、通信事業者のインフラに記録されるため計測にあたり利用者に新たな負担なしに大規模なデータを利用可能な利点がある。特に、携帯電話の普及が先進国・途上国を問わず世界的に拡大していることから、CDR データを活用し人々の流動データを整備することは、広く国際的に利活用される可能性を有している。

### 2. 研究の目的

具体的に CDR データから人々の流動を推定し一定の品質を確保したデータセットとして整理するには、空間分解能が低く時間分解能の不揃いな特性を踏まえ、実態に即した移動経路・利用交通手段・利用区間等を推定し一定の時間間隔のデータに再整理する必要がある。その際、鉄道や道路等の交通インフラに関する地理空間情報が、欠損したデータ間の移動経路の推定・補間や実際の移動経路へのマッチングを行う際に不可欠となる。しかし、国や地域によって整備が十分でないこともあるため、OpenStreetMap（OSM）に代表されるオープンな地図データから加工して作成する事も必要になる。

そこで本研究では、CDR データから鉄道の利用有無とその利用区間を推定することを目的に、OpenStreetMap をはじめとした公開地図・GIS データを組み合わせることで、経路探索やマップマッチング等が可能な鉄道ネットワークデータを作成し、実際に鉄道の利用とその利用区間（路線・駅）の推定を行う。提案当時にはトルコ・イスタンブール地域を対象地域としていたが、不安定な情勢から現地での実地調査を見送り、代替地として日本国内（東京都心部・名古屋市）の地下鉄において適用可能な方式を検討した。日本国内では携帯電話事業者の保有する CDR データの入手が困難であることから、利用者端末にインストールしたアプリから携帯基地局 ID（セル ID）の切り替わりを検知することで CDR データを代替した。

### 3. 研究の方法

#### 1) 鉄道インフラデータの作成

必要となる鉄道インフラデータは、鉄道の地理的な形状情報だけでなく、交差点や駅間の接続関係、更には時刻表や運行ルートなどの細かな情報が含まれることが期待される。そこでまずは既存の鉄道関連データを組み合わせることで全国の鉄道路線を網羅的に整備する。具体的には、鉄道の形状情報は国土数値情報の鉄道データを、接続情報は駅データ.jp の駅間接続データを参照し、双方の特徴を補間し合うことでデータを整備する（図 1）。なお、本研究では時刻表の整備は対象としない。

図 1 に示した通り、国土数値情報鉄道データには鉄道路線の形状データが含まれているが、駅間の接続情報がなくそのままでは経路探索（乗換案内）として利用できない。一方で、駅データ.jp には駅の位置及び駅間の接続情報が含まれるが、路線の形状情報までは含まれておらず、駅間の移動区間が欠けている。駅データ.jp の接続関係・運行路線を基準として、双方のデータを位置関係の近いもの同士を順次組み合わせることで、データを整備する。このとき異なる運行路線が路線を共有して運行することがあるため、必ずしも共通の路線名称のものを組み合わせるのではなく、位置関係の近いものを採用することにした。図 2 に山手線の例を示す。環状路線として知られる山手線だが、実際には山手線（田端⇄品川間）・東北線（田端⇄東京間）・東海道線（東京⇄品川間）の組み合わせによって環状路線を構成している。そのため、国土数値情報鉄道データ上は各路線が分離しており、駅データ.jp の駅位置から最も位置関係の近い路線をそれぞれの区間で選択することで路線全体をひとつの路線区間として抽出する。なお、路線間の乗換に関しては、駅データ.jp の駅グループをそのまま利用している。

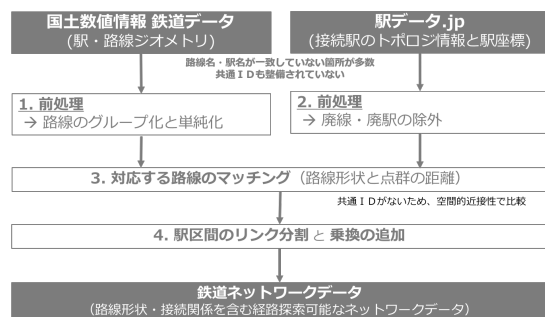


図 1. 鉄道インフラデータの作成の流れ

以上に示した手順を全国の路線に対して適用することで、594 路線（10,191 区間，10,791 駅）について鉄道インフラデータを整備した（図 3）

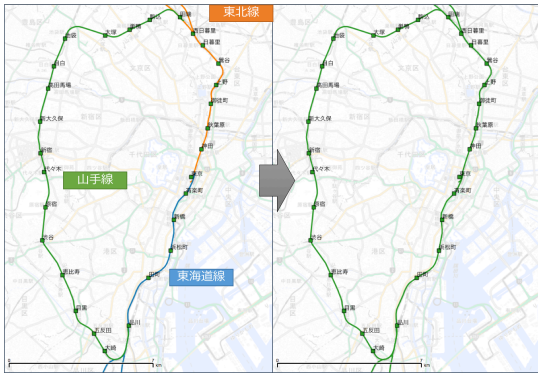


図 2. 鉄道インフラデータ整備の例 (山手線)

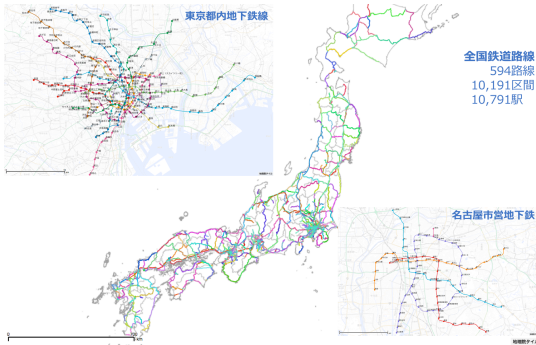


図 3. 鉄道インフラの整備結果

## 2) 携帯基地局と鉄道駅の対応関係の整理

東京都内地下鉄路線 (東京メトロ・都営地下鉄の 13 路線 274 駅) 及び名古屋市営地下鉄 (6 路線 100 駅) を対象に、整備した鉄道インフラデータの路線・駅と各携帯電話事業者の基地局セル ID との対応関係を現地調査によって整理しデータベース化する。つまり、地下鉄駅で捕捉される基地局情報を可能な限り収集し、駅と基地局情報のマッピングテーブルを作成する。そして、逆に現在捕捉している基地局セル ID から駅名を引き当てることで駅・路線を推定する。実際に基地局セル ID を観測する Android アプリを作成・携行し、対象の全地下鉄駅において上下線のホームを端から端までまで歩くことで、国内携帯事業者 (docomo, Softbank, au) の基地局セル ID と Location Area Code (LAC) を収集し、駅との対応テーブルを作成した。また、都市部の地下鉄では各駅の停車時間は 1 分に満たないことが一般的であり、列車遅延時に生じる誤差などもあるため、分単位で記載される時刻表からは実際の正確な駅の停車時間を得ることが難しい。そのため、実際の停車時間をセル ID の観測時に秒単位で記録し、セル ID による駅滞在推定の評価に利用する。

図 4 に収集したセル ID と駅の対応関係の概略を示す。単一のセル ID が観測される駅もあるが、複数の駅に跨って観測されるセル ID もあり、必ずしもセル ID から駅・路線が一意に特定されとは限らない。また、携帯電話事業者の違いにより各駅で補足されるセル ID 数には差が生じることも駅・路線を推定する際には留意する必要がある。

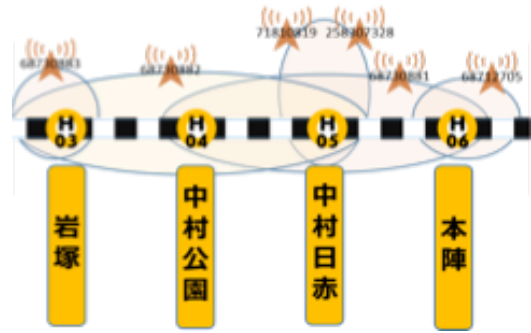


図 4. 駅と基地局の対応関係の概要

## 3) 駅・路線の推定

2) で整備したセル ID と駅の対応表を参照し、セル ID から路線・駅を引き当てることで利用している路線・駅を推定する。複数の駅に跨って観測されるセル ID があることから、必ずしもセル ID から駅・路線が一意に特定されとは限らない。そのため、鉄道インフラデータの各路線における駅の接続順を参照し、観測されていたセル ID の履歴と補足した新たなセル ID の順序関係から、現在利用している路線・駅の推定する。また、補足されるセル ID の出現順序から駅の出現順が推測可能となるため、上下線 (進行方向) の別についても、今回整備したデータから補足することが可能となる。

整備したセル ID と駅の対応表を組み込んだ Android アプリを作成し、地下鉄乗車中の路線・駅の推定状況を評価した。作成したアプリを携行し、実際に名古屋市営地下鉄全線の始点から終点までの区間を地下鉄に乗車して一往復した。駅到着後ドアが開いてから閉じるまでの間を「停車中」とし、停車中に常に正しい駅を指していた場合には (◎)、停車中に一瞬でも正しい駅を指した場合には (○)、停車中に常に正しくない駅を指していた場合には (×) の 3 段階の指標で記録した。表 1 に名古屋市営地下鉄東山線下り線での計測結果を示す。

表 1. 名古屋地下鉄東山線下りでの実測結果 (d:docomo, a:au, s:SoftBank)

駅名	d	a	s	駅名	d	a	s
高畑	◎	×	◎	千種	◎	×	◎
八田	◎	×	×	今池	◎	◎	◎
岩塚	◎	◎	◎	池下	×	×	◎
中村公	◎	×	◎	覚王山	◎	◎	◎
中村日	◎	◎	◎	本山	◎	◎	◎
本陣	◎	×	◎	東山公	◎	◎	◎
亀島	◎	◎	◎	星ヶ丘	◎	×	○
名古屋	×	○	×	一社	◎	◎	◎
伏見	◎	◎	◎	上社	◎	◎	◎
栄	◎	◎	◎	本郷	◎	×	◎
新栄町	◎	◎	◎	藤が丘	◎	◎	◎

駅推定の結果は携帯電話事業者によって異なるものとなった。docomo の場合、7 割弱程度の割合で駅・路線共に正確な結果が得られた一方で、主に乗換駅周辺駅で複数駅に跨って観測される基地局セルが多く、その駅を含む間では精度が落ちる傾向が見られた。au の場合、発車後も前駅を示し続ける傾向が強く、また複数路線の交差する駅での推定精度が低下する傾向が見られた。同一の基地局から中継器を介して地下鉄の通信をカバーしているものを推測される。SoftBank の場合、9 割弱の割合で駅・路線共に正確な結果が得られている。基地局からの電波到達距離が短く、駅単位で個別に基地局を設置している箇所が多いものと推測される。また路線についても推定精度は高く、路線ごとに階が異なる構造の駅では階の移動時に路線の変更を検出することもできている。

今回の調査を通じて、複数駅に跨って捕捉される基地局セル ID が多いことから、引き当てられる複数の駅候補の中から一意に現在駅を選択する方法が必要である。今回は簡易的に、鉄道インフラデータの駅の接続順をもとに前駅から近い駅を選択しているが、Wi-Fi 測位を併用し相互に補完しあうことで、精度の改善が期待できる。また、スマートフォンの標準的な機能のみを使用しているため、国内外の他の地下鉄においても同様の手法を適用可能である。今回は Android 用に作成したが、基地局情報の規格は共通のため、iOS でも同等のアプリケーションを作成することが可能である。

#### 4. 研究成果

##### 1) 鉄道インフラデータの整備

人々の移動を分析する際に不可欠となる交通インフラデータのひとつとして、国内全域の鉄道インフラデータを整備した。国土数値情報鉄道データの地理的な形状情報と、駅データ.jp の駅間接続情報を組み合わせることで、双方の特徴を補間したデータとして整備した。マップマッチングや経路探索など、一般的な分析に適用可能な形式に整備したため、他の研究等での利活用が期待できる。時刻表情報が含まれないため、必ずしも実用的でないが、今後の追加整備を検討したい。

##### 2) 携帯基地局情報による地下鉄利用推定

携帯基地局セル ID を利用し、鉄道インフラデータを参照しつつ地下鉄の路線・駅の推定方法を提案し、東京都内地下鉄及び名古屋市営地下鉄を対象にデータ整備を行い推定精度の検証を行った。検証の結果、一定の精度で現在位置(駅)、および利用路線の特定が可能であった一方で、駅間の距離が近く複数駅に渡って電波が到達する基地局エリアや、キャリアによっては一意に特定が困難であるという課題が明らかとなった。Wi-Fi 測位はじめとした他方式と組み合わせることで、推定精度の改善が期待できる。

#### 5. 主な発表論文等 〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

- ① 松原剛, 金杉洋, 熊谷潤, 柴崎亮介, 携帯基地局情報と公開情報を利用した地下鉄内位置情報提供システムの検討, 第 25 回地理情報システム学会, Vol. 25, 2016. 10
- ② 池澤俊, 金杉洋, 松原剛, 柴崎亮介, 携帯電話 G P S と鉄道ネットワークデータを利用した東京都市圏における鉄道利用状況の推計, H C G シンポジウム 2 0 1 6, 2016. 12
- ③ 金杉洋, 瀬戸寿一, 関本義秀, 柴崎亮介, オープンストリートマップに基づく交通ネットワークデータの寝室評価手法の検討, 第 25 回地理情報システム学会, Vol. 25, 2016. 10
- ④ 松原剛, 金杉洋, 熊谷潤, 柴崎亮介, 携帯基地局情報を用いた地下鉄内測位システムの検討, DICOM02016, 2016. 07

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 (計 0 件)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

金杉洋 (HIROSHI KANASUGI)

東京大学・地球観測データ統融合連携研究機構・特任研究員  
研究者番号: 00526907

##### (2) 研究協力者

松原剛 (GO MATSUBARA)

東京大学・空間情報科学研究センター・特任研究員  
研究者番号: 70772854

熊谷潤 (JUN KUMAGAI)

東京大学・空間情報科学研究センター・客員研究員  
研究者番号: 90548702

柴崎亮介

東京大学・空間情報科学研究センター・教授  
研究者番号: 70206126