

# 携帯電話基地局通信履歴に基づく人の移動行動の推定可能性に関する研究

金杉洋・関本義秀・黒川茂莉・渡邊孝文・村松茂樹・柴崎亮介

## Study on Personal Mobility Estimation Based on Cellular Network Data

Hiroshi KANASUGI, Yoshihide SEKIMOTO, Mori KUROKAWA,  
Takafumi WATANABE, Shigeki MURAMATSU and Ryosuke SHIBASAKI

**Abstract:** Continuous personal position information has been attracting attentions to a variety of services and researches. Although GPS positioning is typically used for mobile phone-based position acquisition, the telecommunication histories of mobile phones (CDRs: Call Detail Records) have been applied to position acquisition and behavior analysis. However, the spatial resolution of CDRs is lower than existing positioning techniques. In this paper, we attempt to estimate personal mobility routes in whole day with CDRs. In particular, personal mobility routes are estimated by maximum likelihood estimation with route candidates based on stay positions detected by GPS logs. The estimation is conducted and is assessed with CDRs and GPS logs obtained 156 people in the experimental survey.

**Keywords:** 個人行動分析 (personal mobility analysis), 携帯電話通信履歴 (call detail records), 移動経路推定 (route estimation)

### 1. はじめに

様々な分野において継続的に取得された人々の位置情報の利活用が注目されている。個人の位置情報を継続的に取得する手段として、携帯電話に付属するGPS機能が挙げられるが、その一方で、通信網側に記録される通信履歴 (CDRs: Call Detail Records) の利活用も検討され始めている (黒川茂莉ほか, 2012)。CDRsは通信事業者の既存インフラに記録される情報であり、データ利用には利用者の同意を得る必要があるが、計測にあたり利用者への新たな負担がなく、通信利用者全ての大規模なデータ取得が可能であるため、その活用が期待されている。

従来, CDRsは通信インフラの障害や異常を発見

し, 迅速な復旧に利用されるほか, 通信時の認証と課金の基礎データとなる情報であり, 携帯電話による通信が行われたとき (通話やメール送受信など), その時刻と接続した通信基地局の位置情報が記録される。従って時間分解能は携帯電話の利用状況に依って個人差があり, 空間分解能は通信基地局の通信可能範囲となるため, GPSなど既往の測位手法と比較すると粗くなる。こうした特徴を持つため, CDRsから具体的な移動経路を直接得ることは難しく, CDRs単体或いは, 他の情報と組み合わせての推定が必要になる。

本稿では, 個人の1日の移動経路をCDRsに基づいて推定する。その際, 同じ個人を対象に過去により正確なGPSによる履歴が得られており, それを利用して推定精度を向上させることを考える。具体的には, 過去のGPS履歴から抽出した断続的な滞在地点を基準に最短経路探索を通じて

金杉洋: 〒277-8568 千葉県柏市柏の葉5-1-5

東京大学 地球観測データ統融合連携研究機構

E-mail: yok@ccsis.u-tokyo.ac.jp

移動の経路候補を作成し、推定対象とする日の CDRs を観測値に、最尤推定を通じて移動経路を推定する。推定手法の評価には、事前の調査を通じて 156 名の被験者から得た CDRs と GPS 履歴を基に、最初の 7 日間の GPS 履歴から経路候補を作成し、以降の期間から 1 日を選び移動経路を推定する。その後、推定結果と実際の移動経路(同日の GPS 履歴)との比較を通じて推定結果を評価する。

## 2. 関連研究

携帯電話通信基地局の履歴情報の利活用事例に、NTT ドコモのモバイル空間統計がある(NTT ドコモ, 2012)。モバイル空間統計では、基地局エリア毎に所在する携帯電話の情報を、基地局毎の空間解像度で統計化し、まちづくりや防災計画に適用できる可能性を示している(清家剛ほか, 2011)。しかし、同データは各基地局の範囲に集計された人口統計であり、個人の特定や追跡が予め困難なデータであるため、本研究で目的としている個人の経路推定へ適用することは難しい。

海外でも CDRs を利用した人々の流動分析に関する研究は多いが、メッシュレベルでの人口推定やその時間変化(R. A. Becker et al, 2011)、移動起終点の推定とその間の移動パターンの分析(F. Calabrese, 2011)が中心であり、GPS 履歴や行動内容の記録などの実態調査と並行して実施し、移動経路の推定や検証にまで至っていない。

## 3. 移動経路推定の手法

### 3.1 概要

移動経路推定では、各個人が利用した可能性のある経路の候補を複数通り準備し、推定対象とする日の CDRs の各レコードと、時空間的に最も近い経路候補を推定結果として得る。まず、経路候補は、GPS 履歴から抽出した過去の滞在地点と、滞在地点間の最短経路から作成する。その後、CDRs との時空間的な近接度合いを尤度関数として定義し、尤度最大となる経路候補を取得する。

### 3.2 経路候補作成

経路候補の作成には、1) 滞在地点と滞在時間の取得、2) 滞在地点間の移動経路探索、3) 移動生起時刻の調整、の 3 つの処理を行う。

まず、滞在地点と滞在時間を 1 日分の GPS 履歴から抽出する。ここでは滞在地点の抽出条件を、1 日の間に 2 点以上の GPS 履歴があり、連続する GPS 点列の重心から他の点までの距離が 200m 以内で、GPS 点列内での経過時間が 30 分以上として抽出する。また、滞在として抽出した GPS 点列内での経過時間を滞在時間とする。

次に、得られた滞在地点間を最短経路探索し、道路・鉄道のネットワークに沿った経路情報を取得する。ここでは、東京大学空間情報科学研究センター人の流れプロジェクトの動線解析 PF WebAPI<sup>1</sup>を利用し、道路のみの最短経路と、鉄道と道路を複合した最短経路の二種類の経路を取得する。なお、ここで最短経路が得られない場合(滞在地点間に道路がない場合など)は、もとの GPS 点列を移動経路として採用する。

最後に、滞在時間を 1 日の滞在地点間で 30 分単位に時間配分を調整し、移動生起時刻を変更した経路候補とする。時間を再配分するのは滞在のみとし、移動に要する所要時間は最初に滞在地点を抽出した際の、滞在間の時間をそのまま利用する。また、CDRs の各時点の位置と比較するため、経路候補は 1 日の位置情報を分単位で補間する。

### 3.3 尤度

経路候補の尤度は、1 日分の CDRs に対して各経路候補の同一時刻(分単位)における距離から算出する。具体的には、CDRs に記録された基地局位置から、同一時刻における経路候補上の位置が半径  $R$  km 以内かを判定する。 $R$  は基地局からの通信可能範囲を想定し、ここでは約 5 km 程度までの値を設定する。最終的に 1 日分の CDRs に対して、判定結果が有効の割合をその経路候補の尤度

<sup>1</sup> <http://pflow.csis.u-tokyo.ac.jp/platform.html>

とし、尤度が最大となるものを推定結果とする。

### 3.4 精度評価

最尤推定から得られた経路の推定精度を、推定対象とした日の1日分のGPS履歴を真値として評価する。GPS履歴の各時点における位置と、同一時刻における推定結果の位置との距離(誤差)を算出し、1日分の平均と分散から評価する。

## 4 検証

### 4.1 調査データ概要

前章で述べた経路推定手法の検証に、2011年11月28日～12月22日(25日間)に実施した移動調査データを用いる。同調査においては、CDRsの取得に同意を得た182名の被験者に対し、CDRsに加えて、移動実績としてAndroidスマートフォンを用いて5分間隔で計測したGPS履歴と、Web Diaryを用いた行動実績(立寄場所名、時間帯、交通手段、目的)を同時に取得している。この調査データから、CDRs及びGPS履歴の記録されている被験者156名に、前述の移動経路推定を適用した。

### 4.2 推定結果と考察

調査期間の最初の1週間(11月28日～12月4日)のGPS履歴から経路候補を作成し、以降の18日間から1日を選び、移動経路を推定した。図1に各被験者に関する誤差平均と尤度最大値を示した。尤度算出には $R=3$  kmとした。尤度は経路候補とCDRsの距離をもとに算出しているため、真値にあたるGPS履歴が同一時刻においてCDRsから概ね一定距離内に位置することを考慮すれば、尤度の高い推定結果との誤差平均が小さくなるのは妥当な結果といえる。

約8割(130名)の被験者で誤差平均が3 km以内に収まっており、誤差の標準偏差からも大幅な差異が含まれていないことがわかる。特に誤差平均が微小となった推定結果について、CDRs・推定結果・GPS履歴とを重畳した結果を図3に示した。図3からも明らかであるが、1日を通じて一定位置(自宅)に留まっていたため、付近1 km圏に位

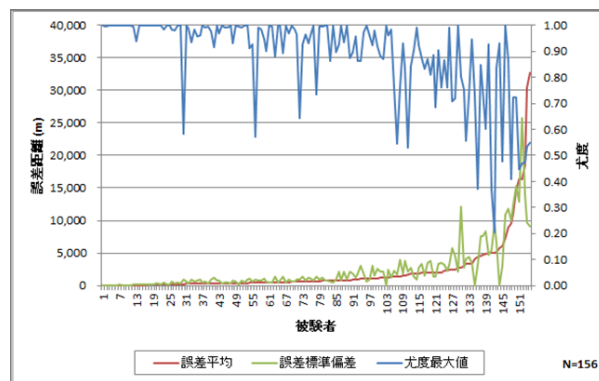


図1 推定結果の誤差平均と尤度最大値

置する4箇所の基地局のいずれに接続していたとしても、尤度の加算条件を満たし、推定結果においても誤差が微小に留まっている。これは同時に、基地局の接続範囲が重複する狭い範囲内での移動は、本手法では尤度が高い値を示すため、正確な推定結果とならない可能性を示している。CDRsの空間解像度を考慮すると、狭域内での移動経路をCDRsから推定することは難しい。

一方で、鉄道を含んだ通勤経路について図2に同様に図示した。経路全体を通じて、推定結果とGPS履歴が概ね同様の経路を辿っており、CDRsはその移動経路に沿って周囲に散在している。移動距離が比較的に長いため、1日を通じて22の基地局と接続しており、前述の一定位置に留まる場合と比較すると、CDRsからも移動状況の識別が容易である。即ち、接続する基地局数が一定数以上となるやや長距離の移動では、CDRsからの推定が比較的有效に機能するものと推測される。

図4には推定結果が大幅に異なった例を示した。推定結果が狭い範囲での移動を示す一方で、CDRsとGPS履歴では長距離の移動を示している。この推定で使った経路候補は、調査期間の最初の1週間分に基づくため、同期間に立ち寄っていない地域が、経路候補に含まれないため推定結果が大幅に異なる。経路候補に含まれていない、特に日常行動圏外の移動経路については、明示的に経路候補に追加する、或いは経路候補とするGPS履歴の期間を延ばすなどの対処が必要になる。

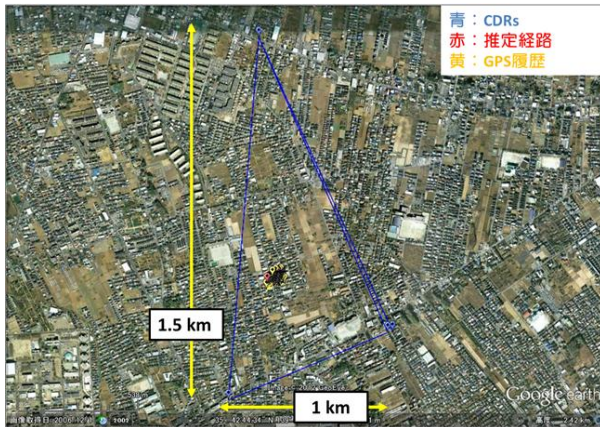


図 3 狭域内移動の経路推定結果  
(誤差平均 16m, 尤度 1.0)

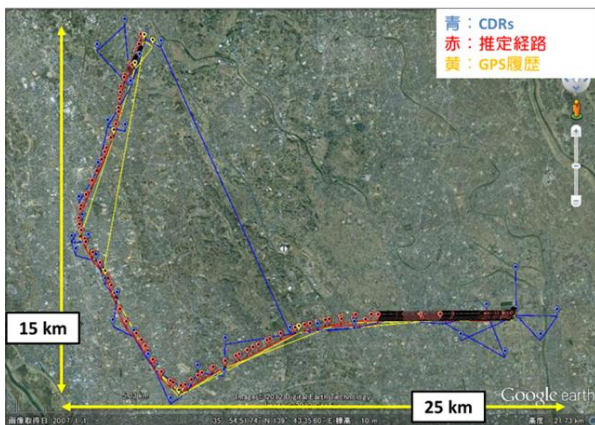


図 2 長距離移動の経路推定結果  
(誤差平均 5,211m, 尤度 0.84)

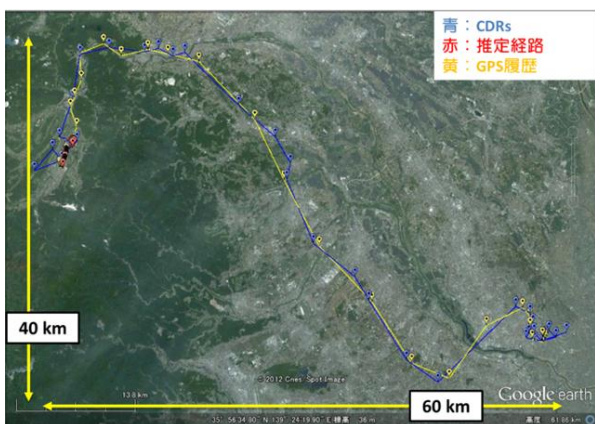


図 4 日常生活圏外での経路推定結果  
(誤差平均 16,413m, 尤度 0.47)

## 5. まとめと課題

本稿では、GPS 履歴から抽出した過去の滞在地

点を基に最短経路探索を利用して経路候補を作成し、CDRs を観測値とした最尤推定を通じて移動経路の推定を試行した。事前の調査から得た CDRs と GPS 履歴を用いて推定結果を評価した結果、接続する基地局が少数に留まり、狭い空間範囲での移動経路を CDRs から推定することが難しい一方で、接続する基地局数が一定数以上となるやや長距離の移動については、CDRs からの推定が比較的有效に機能することが示された。今後は、経路候補の作成方法を改善すると共に、CDRs のみからの移動経路の推定手法も検討していきたい。

## 謝辞

本研究は、文部科学省のグリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス (GRENE) 事業 (環境情報分野)、並びに文部科学省科学研究費若手 (A) 「社会インフラとしての『人の流れ』データの効率的な再現技術の構築」の支援を受けて実施した。

## 参考文献

- 清家剛, 三牧浩也ほか(2011): まちづくり分野におけるモバイル空間統計の活用可能性に関する研究, 都市計画論文集, 46(3), pp. 451-456
- NTT ドコモ: モバイル空間統計に関する情報, [http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile\\_spatial\\_statistics/](http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/) (アクセス: 2012 年 8 月 27 日)
- F. Calabrese, G. D. Lorenzo, et al(2011): Estimating Origin-Destination Flows Using Mobile Phone Location Data, IEEE Pervasive Computing, 10(4), pp. 36-44
- R. A. Becker, R. Caceres, et al(2011): A Tale of One City: Using Cellular Network Data for Urban Planning, IEEE Pervasive Computing, 10(4), pp. 18-26
- 黒川茂莉, 横山浩之ほか(2012): 携帯電話通信時に得られる疎な位置情報履歴を用いた有意位置検出, 電信論文誌, J95-D(4), pp. 722-733