

携帯電話網の運用データを用いた人口流動統計 の都市交通分野への適用に関する研究

今井 龍一¹・藤岡 啓太郎²・新階 寛恭³・池田 大造⁴・永田 智大⁴・
矢部 努⁵・重高 浩一⁶・橋本 浩良⁷・柴崎 亮介⁸・関本 義秀⁸

¹正会員 東京都市大学 工学部 都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)
前 国土交通省 国土技術政策総合研究所 メンテナンス情報基盤研究室
E-mail:imair@tcu.ac.jp

²非会員 沼津市 副市長 (〒410-8601 静岡県沼津市御幸町16-1)
前 国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市施設研究室

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市施設研究室 (〒305-0802 茨城県つくば市立原1)
E-mail:shingai-h86ax@nilim.go.jp

⁴非会員 株式会社NTTドコモ 先進技術研究所 (〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘3-6)
E-mail:ikedad@nttdocomo.com, nagatatom@nttdocomo.com

⁵正会員 一般財団法人計量計画研究所 社会基盤計画研究室 (〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9)
E-mail:tyabe@ibs.or.jp

⁶正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 メンテナンス情報基盤研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
E-mail:shigetaka-k258@nilim.go.jp

⁷正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
E-mail:hashimoto-h22ad@nilim.go.jp

⁸正会員 東京大学 空間情報科学研究センター (〒277-8568 千葉県柏市柏の葉5-1-5)
E-mail: shiba@csis.u-tokyo.ac.jp, sekimoto@iis.u-tokyo.ac.jp

情報通信技術の進展により、人、車や鉄道などの移動実態が把握できる動線データが24時間365日取得されている。都市交通分野では交通関連ビッグデータと称されており、様々な活用方策の研究や実用化が進められている。動線データのうち、携帯電話網の運用データを元にしたモバイル空間統計は、滞留人口を表す我が国最大の交通関連ビッグデータである。この携帯電話網の運用データを元にした人の流動を把握できる人口流動統計があると、都市交通分野における活用のさらなる高度化が期待できる。

本研究は、携帯電話網の運用データを非識別化処理、集計処理および秘匿処理を適切に実施し、人の滞留や移動を推計する人口流動統計の仕様を明らかにした。同仕様に準じた人口流動統計を用いて、その特性を把握するために都市圏パーソントリップ調査結果との相関を分析し、有用性を検証した。また、ユースケース分析に基づき、都市交通分野への人口流動統計の適用可能性を考察した。

Key Words : urban transportation planning, person trip survey, mobile base station, mobile spatial dynamics

1. まえがき

都市交通計画の推進には、人の滞留や流動の交通実態の把握が重要であり、我が国では国勢調査、パーソントリップ調査（以下、「PT調査」という。）や道路交通センサスなどの統計資料が活用されている。昨今、当該

分野では、既存の統計資料に加え、携帯電話やカーナビゲーションシステムなどから取得された人、車や鉄道などの移動実態が把握できる動線データを交通関連ビッグデータと称し、様々な活用方策の研究や実用化が進められている¹⁾。その結果、統計資料の“質”、動線データの“量”と“鮮度”の特長を活かした組合せ分析の有

用性・有効性が明らかにされてきている¹²⁾¹⁵⁾。

動線データのうち、携帯電話網の約6,500万人の運用データ（法人名義のデータなどを除去）を元にした人口分布統計のモバイル空間統計¹⁶⁾¹⁸⁾は、我が国最大の交通関連ビッグデータである。モバイル空間統計は、250～500mメッシュあるいは行政区の空間解像度、1時間単位の時間解像度、15～79歳の年齢層・性別および居住地の人の属性を元にして人口分布を明らかにする。既往研究では、モバイル空間統計の統計的信頼性が確認¹⁹⁾²⁰⁾されており、まちづくり^{15) 20)24)}、防災^{25) 26)}、都市間旅客交通²⁷⁾や公共交通活性化²⁸⁾への活用が試みられている。既往研究の結果を踏まえると、人口分布統計のモバイル空間統計の活用可能性が高いことがうかがえる。

現在のモバイル空間統計は人口分布統計であるため、人がどこからどこへ移動したかの流動までは明らかにできない。しかしながら、我が国最大の交通関連ビッグデータの源泉である携帯電話網の運用データに基づいた人の流動を把握できる人口流動統計があると、当該分野における活用の一層の高度化が期待できる。

本研究の目的は、都市交通分野の多様な用途に適用できる携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計の仕様を明らかにし、その仕様に基づき作成されたデータの有用性を検証することとした。具体的には、第2章にて都市交通分野における人口流動統計に対する要件を定義する。第3章にて、携帯電話網の運用データを非識別化処理、集計処理および秘匿処理を適切に実施し、人の滞留や移動を推計する人口流動統計の推計方法およびデータ仕様を示す。第4章にて、前章の仕様に準じた人口流動統計を用いて、その特性を把握するために都市圏PT調査結果との相関を分析し、その有用性を検証する。第5章にて、都市交通分野におけるユースケース分析を実施し、人口流動統計の適用可能性を考察する。第6章にて、前章までの結果および今後の課題を総括する。

2. 人口流動統計の要件定義

本研究では、都市交通分野における人口流動統計に対する要件を定義した。具体的には、当該分野の様々な施策で活用されているPT調査および道路交通センサスの調査結果を参考に、「OD量」と「移動・滞留人口」とに大別して要件を定義した。

表-1はOD量の要件を示している。集計対象時間、出発・到着エリアの単位（空間解像度のゾーン）やトリップ推計値はPT調査や道路交通センサスと整合した要件とした。PT調査では調査圏域居住者の出発・到着エリアを対象にしているが、携帯電話網の運用データを用いると全国の居住者を対象にできる。したがって、人口流

動統計の最大の特長と期待し、出発・到着エリアを全国とした。また、この要件を踏まえて、域内居住者を識別できるフラグを定義した。

表-2は移動・滞留人口の要件を示しており、PT調査や道路交通センサスで得られている移動人口および滞留人口を再現できる値域および単位を定義した。

なお、表-1および表-2の大・中・計画基本・小ゾーンは東京都市圏PT調査の用語を用いて表現している。

表-1 OD量の主要要件

項目	要素	要件
集計対象時間	値域	午前3時～翌午前3時
	単位	月日時分（トリップ単位に出发時刻/到着時刻を保持）
出発エリア	値域	全国
	単位	大ゾーン/中ゾーン/市区町村ゾーン/計画基本ゾーン/小ゾーン/町丁目単位/Bゾーン
到着エリア	値域	全国
	単位	大ゾーン/中ゾーン/市区町村ゾーン/計画基本ゾーン/小ゾーン/町丁目単位/Bゾーン
域内居住者フラグ	値域	域内, 域外
	単位	—
トリップ推計値	値域	—
	単位	トリップ

表-2 移動・滞留人口の主要要件

項目	要素	要件
調査対象時刻	値域	—
	単位	時分（出発地/目的地の時刻および交通手段別の所要時間）
出発エリア	値域	調査対象都市圏
	単位	大ゾーン/中ゾーン/市区町村ゾーン/計画基本ゾーン/小ゾーン/町丁目単位/Bゾーン（市区町村程度の大きさに相当するゾーン。ゾーンあたりの発生交通量を50,000トリップ以下となるように分割）
到着エリア	値域	調査対象都市圏
	単位	大ゾーン/中ゾーン/市区町村ゾーン/計画基本ゾーン/小ゾーン/町丁目単位/Bゾーン
滞留フラグ	値域	移動, 滞留
	単位	—
属性（年代）	値域	5歳～
	単位	1歳階級
属性（性別）	値域	男性・女性
	単位	性別
人口推計値	値域	—
	単位	人

3. 人口流動統計の概要と推計方法

(1) 人口流動統計の概要

音声電話・データ通信サービスを提供する携帯電話網では、いつでもどこでも電話やメールを着信できるように、基地局の電波到達範囲（基地局エリア）毎に所在する携帯電話を周期的に把握している。この運用データを活用し作成されるモバイル空間統計は日本全国の人口分布統計であり、活用が進められているが必ずしも流動する人口を捉えた統計情報ではなかった。

そこで本研究では、都市交通分野などでの幅広い適用を目指し、モバイル空間統計の高度化の一環として、どこからどこに流動したかを示す人口流動統計の仕様および推計手法を確立する（図-1）。人口流動統計は、携帯電話網の運用データに基づく人口流動の直接的な推計値である点および広域にわたり継続的に作成できる点において、既往の人口推計手法とは一線を画するものである。

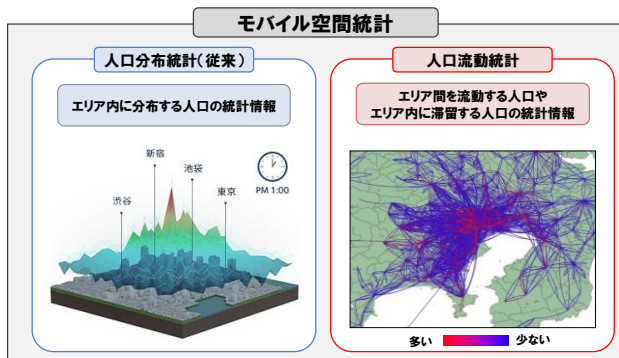


図-1 人口分布統計と人口流動統計

人口流動統計は、人口分布統計と同様に携帯電話サービスを提供するための運用データに基づき、携帯電話利用者の個人情報およびプライバシーを保護する3段階処理を用いて作成される。具体的には、人口流動統計の作成に不要な個人識別性を運用データから除去する「非識別化処理」、ある日のある時間帯においてエリア間を流動する人口を推計する「集計処理」、推計人口のうち少ない人口を除去する「秘匿処理」を経て、人口流動統計が作成される（図-2）。

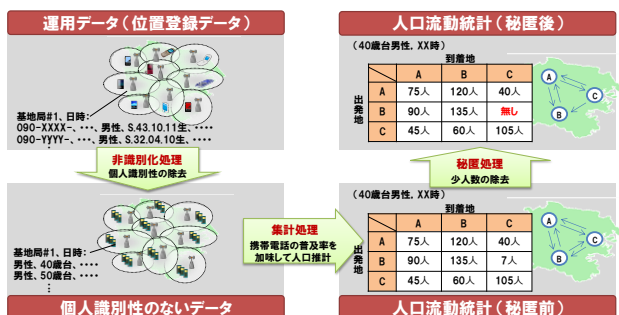


図-2 人口流動統計の作成方法

加えて、集計処理では NIT ドコモの携帯電話台数と住民基本台帳人口との比を拡大係数として母集団推計を行う。このような手順により統計情報として作成されるため、個人を特定することはできない。人口流動統計の特性は、運用データを基礎としていることから携帯電話網の仕組みに依存する。携帯電話網のサービスエリアは本論文執筆時点では全国市区町村庁舎を 100%カバーしており、これらのエリア間における人口の流動を推計することが可能である。人口流動統計の時間解像度は、携帯電話網において基地局エリアに所在する携帯電話を把握する頻度がおおよそ 1 時間ごとであることから、推計値の信頼性を確保するために 1 時間としている。また、継続的に 24 時間 365 日の人口流動統計を作成することが可能である。空間解像度は、携帯電話網の基地局の設置密度に依存する。都市部などの人が多く集まるエリアでは基地局の設置密度が高いため、中ゾーンから小ゾーンに相当するエリア単位での推計ができると考えられる。一方、郊外などでは基地局の設置密度が低いため、市区町村とすることが一つの目安となる。また、人口分布統計と同様に運用データを用いることにより、人口流動統計を性別・年齢階層別・居住地別に分けて推計することができる。年齢階層は人口分布統計と同様に 15-79 歳から選択できる。このような特長を持つ人口流動統計は、用途に応じて時間解像度・空間解像度を決定することや分計に用いる属性を決定することを許容している。そのため、人口流動統計の信頼性を考慮しながら推計項目を柔軟に選択することができる。

(2) 人口流動統計の推計方法

携帯電話網の基地局で観測される信号は必ずしも人々の移動に伴い発生するものでないため、観測される信号から移動を判定することが必要となる。基地局エリアで信号を観測した場合、その基地局エリアの位置座標を参照し、次に観測された信号の位置座標と比較して移動距離を算出する。移動距離が所定の条件を満たした場合に移動と判定することで、移動中の携帯電話の台数を集計することが可能となる。一方で、基地局エリアに所在する携帯電話を把握する頻度がおおよそ 1 時間ごとであるため、1 時間以上同じ基地局エリア配下に所在したことをもって滞留中と判定する。このように携帯電話の移動・滞留判定を行うことにより、エリア間の人口流動を推計することが可能となる。

人口流動統計の活用が想定される都市交通分野では、人々の移動を包括的に捉えるために複合的な観点での分析が求められる。本研究では、2 章で定義した人口流動統計の要件に応えるため、OD 量および移動・滞留人口の推計手法を以下のとおり考案した。

複数時間帯に跨る移動量を示す OD 量は、移動した携

携帯電話の台数に基づき複数時間帯に跨る移動量の総計を算出する。OD量は、PT調査で推計されるトリップに該当する統計量であり、単位はトリップとなる(図-3)。

また、OD量を算出する中で、PT調査のトリップ原単位に相当する1日における1人当たりの平均移動量を算出することができる。さらに、PT調査の外出率に準じ、1日当たりに移動した人口の割合を外出率として算出することが可能である。ただし、移動していない人々の滞留エリアには居住地以外の勤務地などが含まれる可能性があることを考慮して活用する必要がある。

移動・滞留人口は、携帯電話の移動・滞留判定を時間帯別に行うことにより推計される移動人口および滞留人口を示し、単位は人となる。基地局で信号を観測した時間と携帯電話が移動を開始もしくは移動を完了した時間が必ずしも一致するとは限らないため、信号の観測期間を正時の前後30分まで拡大し、この期間内で移動・滞留判定基準となる距離を超えて携帯電話の移動が発生した場合に移動と判定する。一方、正時の前後30分の間、同一の基地局エリアに所定の時間を超えて滞留していた場合に滞留と判定する(図-4)。

以上述べた推計方法により作成される人口流動統計のデータ仕様を表-3に示す。日本全国を対象に出発エリアと到着エリアを選択できる点、集計対象時刻として年月日時を指定できる点、推計値として人口以外にも移動量(トリップ)を選択できることが特長である。

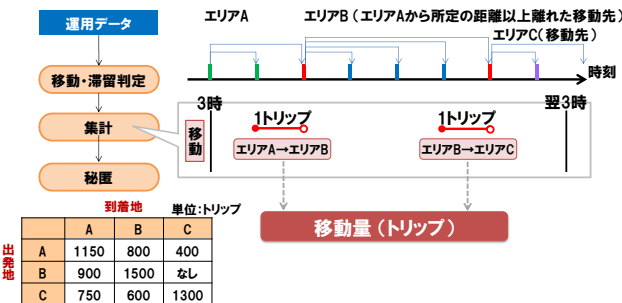


図-3 OD量の推計手法

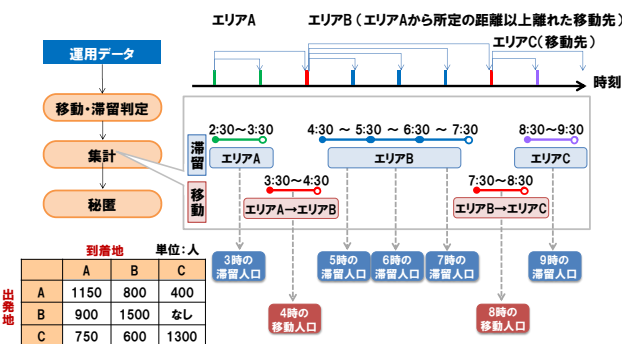


図-4 移動・滞留人口の推計手法

表-4に人口流動統計とPT調査との比較表を示す。PT調査では交通手段や目的にもわたり移動実態を詳細に把握することができる一方、標本調査の抽出率が低いことから信頼性を考慮しながら活用方法を検討する必要がある。人口流動統計では、移動手段や目的といった項目は把握できないものの、高い信頼性で時間帯別、属性別に広域な移動実態を捉えることができる。また、調査日、調査頻度を自由に設定できるため、継続的な人口流動の調査が可能となる。

表-3 人口流動統計のデータ仕様

項目	人口流動統計		データの例
	OD量	移動・滞留人口	
集計対象時刻	年月日時	年月日時	2014年11月13日10時
出発エリア	日本全国	日本全国	22101(静岡市葵区)
到着エリア	日本全国	日本全国	22101(静岡市葵区)
滞留フラグ	—	移動・滞留	0(移動) 1(滞留)
年代	15歳~79歳	15歳~79歳	25(25~29歳)
性別	男性・女性	男性・女性	1(男) 2(女)
域内居住者フラグ	域内・域外	域内・域外	0(域外) 1(域内)
人口推計値	—	人	1,020(人)
トリップ推計値	トリップ	—	460(トリップ)

表-4 人口流動統計とPT調査の比較

項目	PT調査	人口流動統計
調査対象	標本調査(都市圏居住者の約2%)	ドコモ携帯所有者(約6,500万台※)
調査日	特定の日	365日いつでも
調査頻度	10年	毎日
調査地域	都市圏単位	日本全国
属性	性別・年齢別・居住地別	性別・年齢別・居住地別
時間解像度	時間単位	時間単位
空間解像度	ゾーン(最小は夜間人口約15,000人を目安とした小ゾーン)	基地局密度に依存(都市部では中~小ゾーンが目安)
移動の目的	大まかな目的	把握不能
移動手段	交通手段、経路	把握不能

※法人名義の契約データなどを除去して推計

4. 人口流動統計の比較検証

本章では、第 3 章で示した推計手法に基づく人口流動統計と既存の都市圏 PT 調査結果との相関性などを分析し、人口流動統計の有用性を検証する。

(1) 分析対象エリアの設定

本研究では、都市圏 PT 調査の実施年次が比較的新しい静岡中部都市圏を分析対象エリアとして設定する。静岡中部都市圏は、静岡県のほぼ中央部に位置し、静岡市（葵区、駿河区、清水区）、藤枝市、焼津市、島田市の 6 市区で構成される人口約 110 万人を有する地方中核都市圏であり、平成 24 年 10 月に都市圏 PT 調査が実施されている。本研究では、平成 26 年 11 月時点の人口流動統計を用いて比較検証を行う。静岡中部都市圏 PT 調査では、64 の中ゾーンに区分されており、このうち 3km² 未満（概ね半径 1km の円の面積）のゾーン数=16（全体の 25%）、9km² 未満（概ね半径 3km の円の面積）のゾーン数=50（全体の 78%）となっている（図-5）。

(2) 人口流動統計の推計と比較検証の考え方

本研究ではまず、人口流動統計を推計する。比較検証に用いた人口流動統計は、NTT ドコモにてモバイル空間統計ガイドライン²⁹⁾に準拠し、第 3 章で示した仕様に基づき、移動・滞留判定基準を設定し作成されたものである。本研究では、同じ基地局エリアへの所在の判定基準として、携帯電話からの信号が観測された基地局間の距離を 1km 以上とした場合と 3km 以上とした場合の 2 ケースを設定した。比較検証では、推計された人口流動統計に対し、比較対象とする PT 調査の集計方法や条件



※黒い太実線は鉄道，静岡市葵区の一部は省略している

図-5 静岡中部都市圏のゾーン図（中ゾーン）

をそれぞれ適宜整合させた上で、表-5 に示す視点に着眼する。

(3) OD量に関する比較検証

a) 比較検証のためのPT調査の集計

OD量の比較検証に際して、比較対象とするPT調査の集計条件を表-6のように整合させて集計した。

b) 移動・滞留判定基準に着眼した比較検証結果

人口流動統計と表-6 の条件で集計した PT 調査の OD 量の総量を比較した結果、表-7 のとおりとなった。まず、PT 調査の集計結果は、都市圏外々トリップを除く OD 量の総量は約 223 万トリップである。1km 未満のトリップを除外すると OD 量は約 187 万トリップ（全数の約 84%）となり、3km 未満のトリップを除外すると同じく約 128 万トリップ（同 57%）となった。この PT 調査の集計結果に対して、人口流動統計として推計された OD 量を比較すると、移動・滞留判定基準が 1km の場合、OD 量（総量）は PT 調査に対して約 109%となり、同じく 3km の場合は約 91%となること分かる。これは、

表-5 人口流動統計の比較検証項目と着眼点

検証項目	着眼点
OD 量	・移動・滞留判定基準（1km/3km） ・空間解像度（市区単位/中ゾーン単位） ・時間解像度（時間帯区分）
移動・滞留人口	・時間解像度（時間帯区分）による比較 ・空間解像度（市区単位/中ゾーン単位） ※移動・滞留判定基準は 1km とする
基本統計量（外出率および生成原単位）	・移動・滞留判定基準（1km/3km）

表-6 比較検証のためのPT調査の集計条件

項目	集計条件
集計対象とする年齢	・15歳～74歳に限定
トリップ距離	・人口流動統計の移動・滞留判定基準にあわせ、起終点の直線距離が 1km 未満（または 3km 未満）のトリップは除外 ※トリップ距離不明は含む（除外しない）
トリップのパターン	・都市圏外々トリップは除外

表-7 総量に着眼したOD量の比較

判定基準	PT 調査	人口流動統計
なし（全数）	約 223 万トリップ	—
1km 以上	約 187 万トリップ （全数の約 84%）	約 204 万トリップ （PT 調査の約 109%）
3km 以上	約 128 万トリップ （全数の約 57%）	約 117 万トリップ （PT 調査の約 91%）

※PT 調査は表-5 の集計条件に基づく（括弧内は、OD 量の全数と比率）

※人口流動統計は、市区間の OD 量として推計された値（括弧内は、同一の判定基準における PT 調査の OD 量との比率）

移動・滞留判定基準が 1km の場合、PT 調査に対して人口流動統計は OD 量（総量）が 1 割程度多くなることを示している。その要因として、人口流動統計の基準による機械的な判定処理に起因することが考えられる。典型的な例として、PT 調査ではトリップとして回答されない「自宅から近場へ移動して用事を済ませた後、自宅へ戻る」トリップを人口流動統計では移動として判断される場合があるためと考えられる。一方、移動・滞留判定基準が 3km の場合、PT 調査に対して人口流動統計は OD 量（総量）が 1 割程度少なくなることを示している。その要因として、人口流動統計の移動・滞留判定に起因するトリップの定義の相違が考えられる。典型的な例として、「自宅を出発して 3km 以上離れた目的地に移動し、その目的地で短時間の用事を済ませた後、自宅に戻る」ような一連のトリップを 1 時間未満で行った場合、人口流動統計ではずっと自宅に滞在したと判定される場合があり、PT 調査ではトリップとして集計される。このような例が PT 調査との OD 量（総量）の差に表れていると考えられる。したがって、この統計間の特性の差異を考慮し、適用方法を検討することが求められる。

c) 空間解像度に着目した比較検証結果

人口流動統計の出発エリアおよび到着エリアの空間解像度として、市区間および PT 調査で用いられる中ゾーンを取り上げて、PT 調査結果と比較検証を行った。

まず、人口流動統計と PT 調査の市区間 OD 量の相関係数は、移動・滞留判定基準 1km の場合 0.994、移動・滞留判定基準 3km の場合は 0.998 と高い相関を示している（図-6、図-7）。また、中ゾーン間の OD 量に関しては、移動・滞留判定基準 1km の場合の相関係数は 0.889、移動・滞留判定基準 3km の場合の相関係数は 0.831 と、市区間の OD 量の相関係数よりもやや低い結果となった。このうち、移動・滞留判定基準 1km の場合は、一部の中ゾーン内々の OD ペアで乖離が見られるものの全般的には整合性が高くなっている。また、移動・滞留判定基準が 3km の場合は、特に中ゾーン内々の OD ペアで人口流動統計が増減する傾向にあり、全体としての整合性は、移動・滞留判定基準 1km の場合よりも若干低い結果となっている。またいずれも OD ペア数が増えるため、市区間 OD 量（図-6、図-7）と比較すると整合性が低くなる傾向にある。一方で、PT 調査の標本は約 2% である

人口流動統計市区間OD量(1km以上)

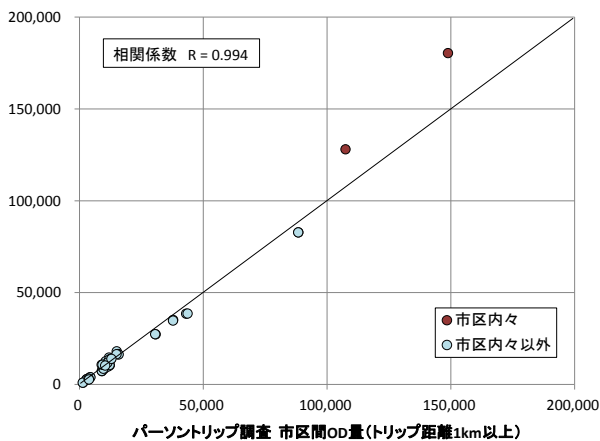


図-6 OD量の比較検証結果（市区間，判定基準1km）

人口流動統計中ゾーン間OD量(1km以上)

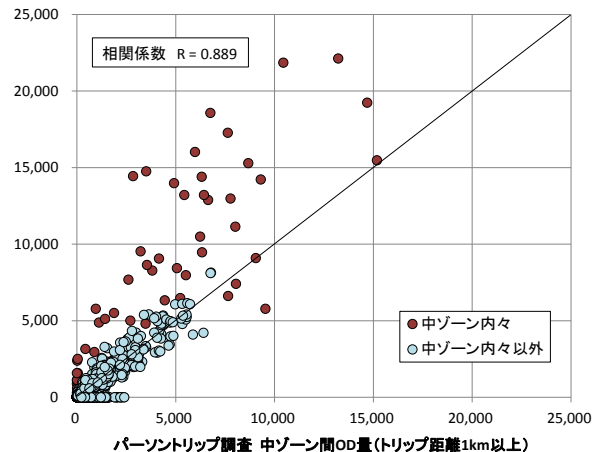


図-8 OD量の比較検証結果（中ゾーン間，判定基準1km）

人口流動統計市区間OD量(3km以上)

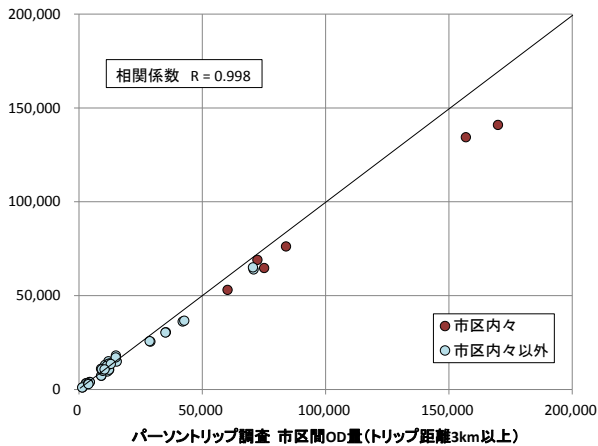


図-7 OD量の比較検証結果（市区間，判定基準3km）

人口流動統計中ゾーン間OD量(3km以上)

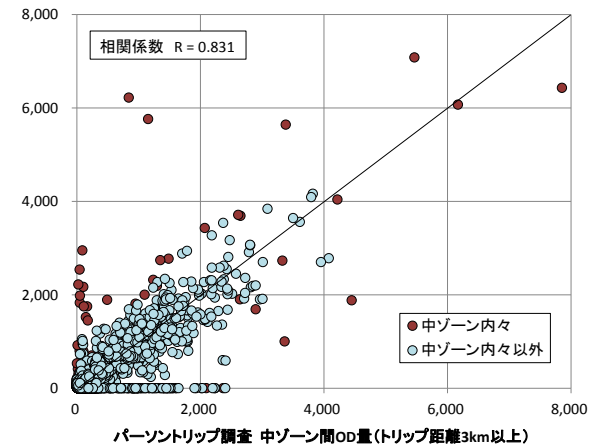


図-9 OD量の比較検証結果（中ゾーン間，判定基準3km）

ため、ゾーン間の移動実態を捉える上では標本誤差は無視できなくなる。したがって、統計の特性を理解した上で、利用目的に応じて適用方法を選択する必要がある。

d) 時間解像度に着眼した比較検証結果

次に、時間解像度に着眼し、移動・滞留判定基準を1kmとした場合に、人口流動統計における日OD量を時間帯に区分した結果とPT調査の時間帯別OD量とを比較した。時間帯は6区分(3-5時台, 6-9時台, 10-15時台, 16-19時台, 20-23時台, 0-2時台)とした。一般に、PT調査の集計においては、6~8時台の3時間帯が通勤通学のメインであるが、9時台も8時台と同程度トリップが発生していることから、6~9時台の4時間帯を朝ピーク時間帯とする。また、17時台、18時台が帰宅のピークであるが、その前後の16時台・19時台も比較的トリップが多く、朝ピークでいう6時台・9時台に相当すると想定されるため、時間幅を朝と合わせて夕ピーク時間帯を16~19時台の4時間帯とした。PT調査では、朝ピーク時間帯および夕ピーク時間帯の通勤通学などの移動実態を把握することが大きな課題となっている。

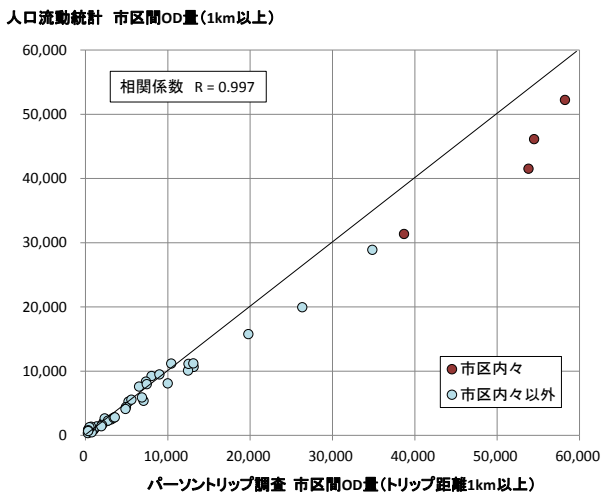


図-10 OD量の比較検証結果(市区間, 6-9時台)

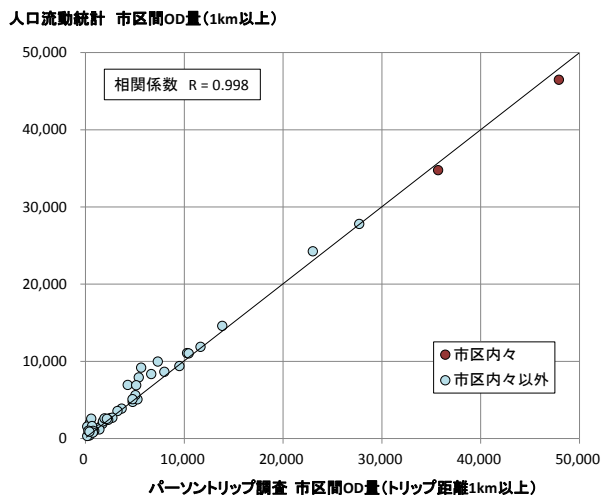


図-11 OD量の比較検証結果(市区間, 16-19時台)

以上の点を踏まえ、朝ピーク時間帯(6-9時台)および夕ピーク時間帯(16-19時台)のOD量の比較結果をそれぞれ図-10、図-11に示す。人口流動統計とPT調査の市区間OD量の相関係数は、朝ピーク時間帯では0.997、夕ピーク時間帯では0.998を示した。日OD量(移動・滞留判定基準3km)の相関係数が0.998であることから、時間帯に区分してもほとんど遜色ないことが分かる。

なお、PT調査は、トリップの出発時刻および到着時刻が明確なため発時間帯ベースの集計が可能である。一方、人口流動統計は推計手法上の制約から発時間帯ベースのOD量の集計ができないため、集計対象とする時間帯に移動していると判定されたデータにより拡大推計される。ただし、複数の時間帯に跨って移動している場合には、それぞれの時間帯で移動と判定される(都市圏全体で約8%、市区間で最大2割程度の重複が発生)ことが分かっており、時間帯別のOD量として活用する場合には、このダブルカウントに留意が必要である。

(4) 移動・滞留人口に関する比較検証

a) 比較検証のためのPT調査の集計

人口流動統計の移動・滞留判定では、同じ基地局エリアに1時間以上滞在した場合を「滞留」、それ以外の時間を「移動」と概ね1時間単位で判定している。これはすなわち、実際の移動が10分であっても50分であっても、同様に当該1時間帯に(1時間単位で)移動を行ったと判定されることになる。このため、比較するPT調査においても、これに整合させた集計を行うこととした。具体的には、図-12に示すとおり、PT調査で回答されたトリップ時間を[60分×n]に変換した上で、毎時正時(00分)の状態に移動/滞留を判定した。また、複数のトリップが60分以内に近接している場合には、上記の処理を行った上でトリップ(移動時間)を統合した。なお、PT調査結果による移動・滞留人口の算出において、トリップ距離が1km未満や3km未満を除外して(トリップ

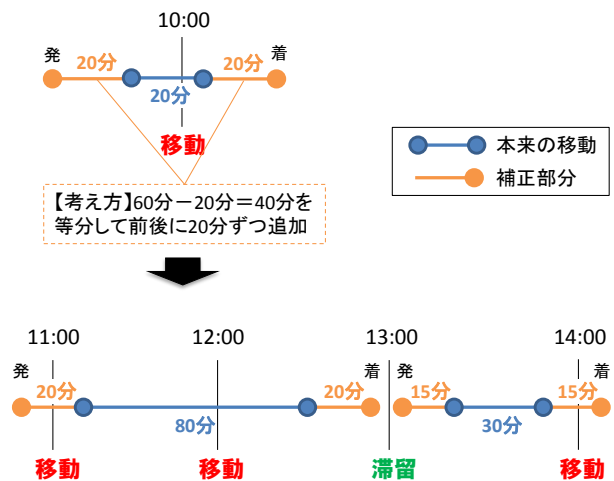


図-12 移動・滞留人口の比較のためのPT調査の集計処理方法

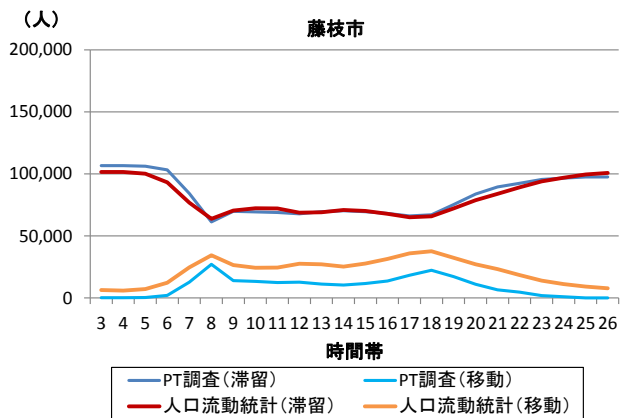
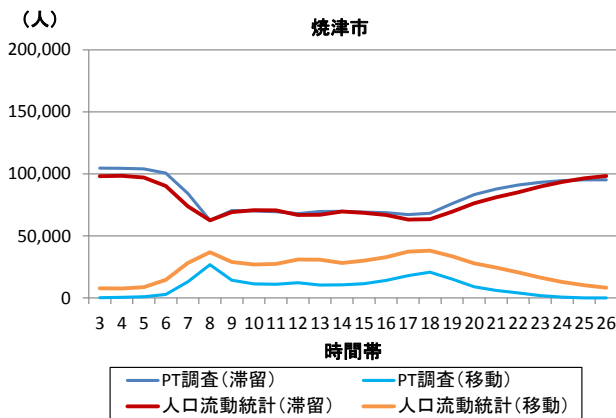
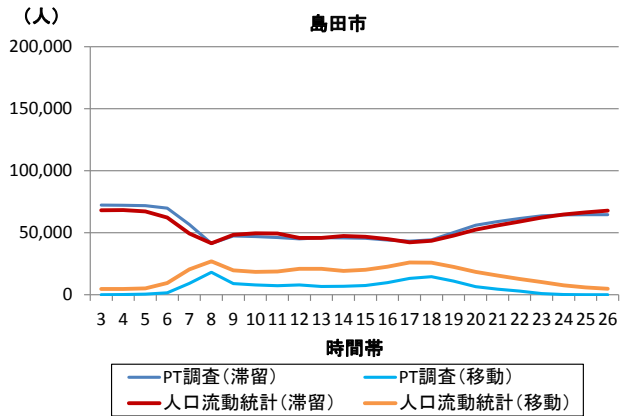
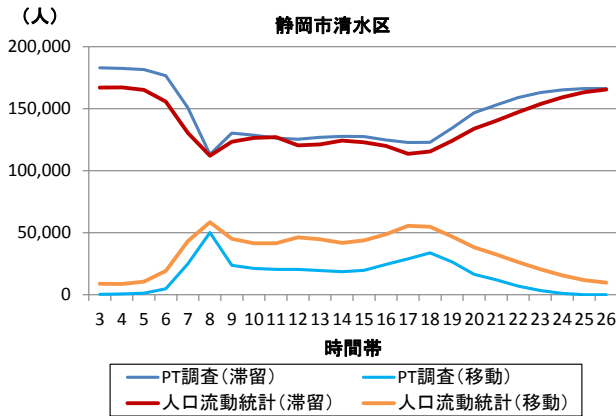
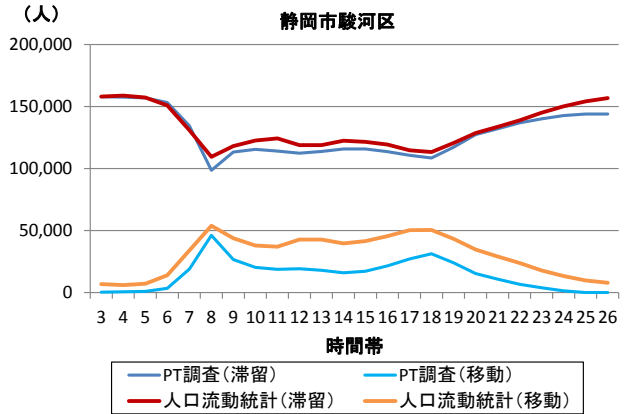
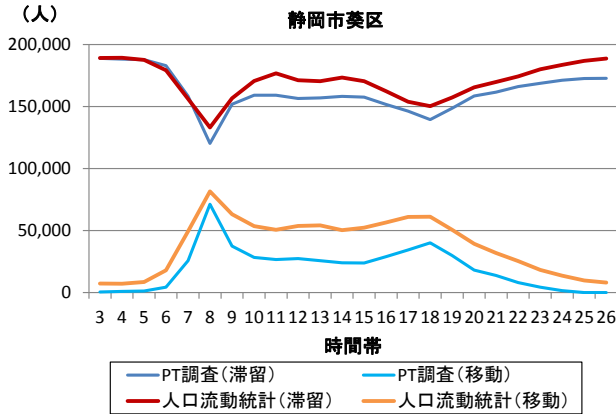
が行われなかったとして) 集計することは困難であるため、トリップ距離による移動の除外などの処理は行わないこととした(表-8)。

表-8 比較検証のためのPT調査の集計条件

項目	集計条件
集計対象とする年齢	15歳~74歳に限定
トリップ距離	トリップ距離による移動の除外などの処理は行わない
トリップのパターン	都市圏外々トリップは除外

b) 時間解像度に着眼した比較検証結果

図-13に示すとおり、滞留人口は、PT調査と概ね一致している。一方、移動人口は、朝ピーク時間帯は概ね一致している。ただし、朝ピーク時間帯を除くとPT調査よりも人口流動統計のほうが多い傾向にある。これは、移動・滞留判定に着眼した比較検証結果で述べた人口流動統計の基準による機械的な判定処理に加え、PT調査結果に存在する発着時刻またはゾーンが不明のトリップが移動人口に反映されていないことによる影響と考えられる。



※移動人口は着地側の市区ゾーンで集計
 ※人口流動統計は、15~74歳の域内居住者、移動判定基準1km以上のトリップを対象
 ※PT調査は、全トリップを対象

図-13 移動・滞留人口の比較検証結果

c) 空間解像度に着眼した比較検証結果

市区単位から中ゾーン単位に詳細化した場合、の比較検証結果の一例として、静岡 6 市区の特徴ある拠点の 1 つである中心部（静岡駅付近）のゾーン 102 と、その近傍の居住地であるゾーン 107（図-14 参照）の移動・滞留人口を図-15 に示す。ゾーン 107 は夜間に比べ昼間の滞留人口が少なく、すべての時間帯で概ね傾向が一致している一方で、ゾーン 102 は夜間に比べ昼間の滞留人口が多く、かつ乖離が見られる。これは、PT 調査が居住地ベースの調査体系であるため、居住者が多いゾーンではトリップ特性が安定している一方で、人が多く集まる着地側の滞留人口の精度は人口流動統計に比べて低い可

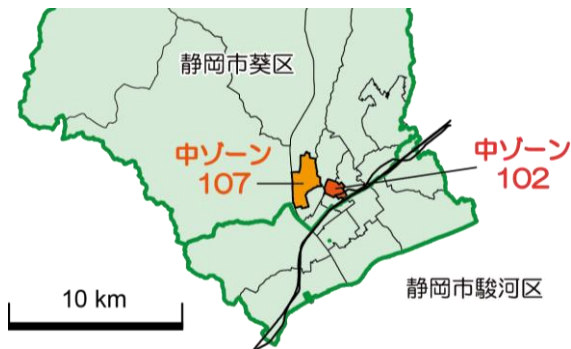
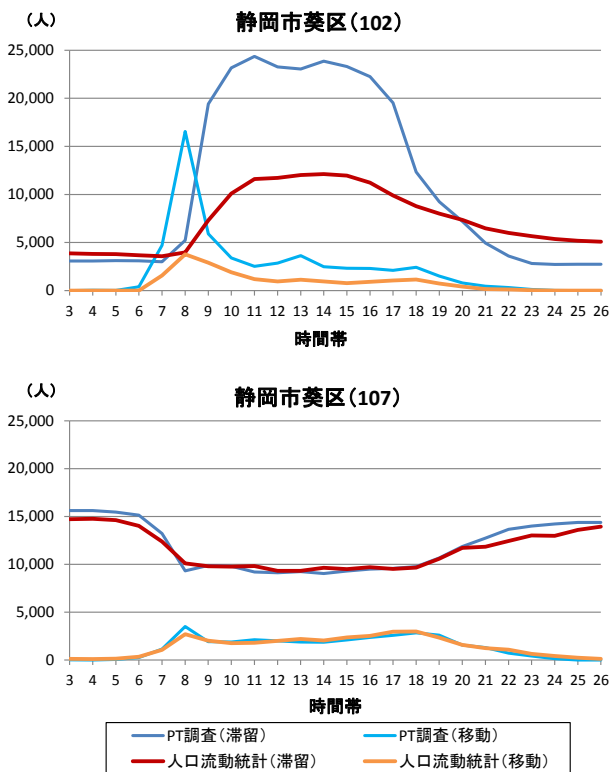


図-14 中ゾーン位置



※移動人口は着地側の中ゾーンで集計
 ※人口流動統計は、15～74 歳の域内居住者、移動判定基準 1km 以上のトリップを対象
 ※PT 調査は、全トリップを対象

図-15 移動・滞留人口の比較検証結果

能性が考えられる。したがって、具体的な分析ニーズに応じて分析、考察するには留意が必要である。また、人口流動統計の信頼性という観点では、人口分布統計の信頼性が確保される人口集中地区に相当するエリア（4,000人/km²以上）が基準になると考えられる^{19),30)}。

(5) 基本統計量に関する比較検証

a) 比較検証のためのPT調査の集計

OD量の比較検証と同様、各トリップの起終点情報から算定された直線距離を基に、1km未満のトリップは除外して集計した外出率および生成原単位との比較検証を行う。なお、極端な例として、PT調査において、トリップ距離が1km未満のトリップしか行わなかった人は、トリップなし=外出なしとして集計を行う。

b) 外出率の比較検証結果

外出率の比較検証結果を表-9に示す。移動・滞留判定基準が1kmの場合、人口流動統計で算出した外出率は、PT調査から算出した外出率と比較してわずかに過小となるものの概ね一致しているが分かる。なお、一連のトリップが1時間以上、かつ目的地に1時間以上滞在せずに出発地に戻ってきた場合、人口流動統計では1トリップと判定されるが、PT調査では往復で2トリップと集計されるため、留意が必要である。

c) 生成原単位の比較検証結果

生成原単位（グロス）の比較検証結果を表-10に示す。

表-9 外出率の比較検証結果

市区	外出率（外々トリップおよび1km未満のトリップ除く）	
	PT調査	人口流動統計
静岡市葵区	81.8%	79.3%
静岡市駿河区	81.8%	81.7%
静岡市清水区	81.2%	81.4%
島田市	84.1%	85.9%
焼津市	85.2%	86.3%
藤枝市	85.3%	84.9%
都市圏全体	82.8%	—

表-10 生成原単位（グロス）の比較検証結果

市区	生成原単位（外々トリップおよび1km未満のトリップ除く）	
	PT調査	人口流動統計
静岡市葵区	1.95	2.25
静岡市駿河区	2.00	2.38
静岡市清水区	2.01	2.41
島田市	2.07	2.63
焼津市	2.18	2.76
藤枝市	2.13	2.63
都市圏全体	2.05	—

グロス原単位で比較すると、移動・滞留判定基準が1kmの場合、人口流動統計で算出した原単位は、PT調査から算出した原単位と比較して過大となる傾向にある。要因としては、これまで述べたきたように推計手法の差異により、PT調査のアンケートでは答えられない近隣への一連のトリップの存在が考えられるため、分析などへの適用上は留意が必要である。

(6) 比較検証結果のまとめ

OD量および移動・滞留人口ともにPT調査結果と高い相関性を示したことから分かるように、人口流動統計により、エリア間の移動実態の時間変動を概ね把握することができる。一方で、総量の検証結果では、PT調査との推計手法に起因する差異がみられ、短い距離のトリップをPT調査に比べて過大に捉える可能性がある。時間解像度という観点では、朝ピーク時間帯、夕ピーク時間帯のOD量は同様の傾向を示した。また、時間帯別滞留人口は、総量の差異が小さくある程度の精度で一致したが、移動人口は昼間になると差異が大きくなる傾向にある。空間解像度という観点では、市区間に比べ中ゾーン間OD、中ゾーン間の移動・滞留人口の信頼性はやや劣るものの、人口が多い市街地などでのエリアではある一定精度の信頼性を示した。これまで、人口分布統計の検証結果として、1kmメッシュ人口であれば人口集中地区に相当するエリアにおいて一定の信頼性が確保されることが示されており、人口流動統計の推計精度の目安になると考えられる。一定の人口密度が確認された出発エリ

アおよび到着エリアにおいて活用することが望ましいといえる。人口流動統計では、基地局間を移動した距離および基地局エリアに所在した時間によりトリップが定義されるため、そのデータ特性をよく把握した上で利用することが重要である。特に移動・滞留判定基準とする距離にも留意が必要である。今後は、より多くの地域で人口流動統計を活用できるよう分析対象エリアを拡大し、精度を高めた検証を行うことにより、適用範囲を具体化することが求められる。

5. 都市交通分野への人口流動統計の活用に向けたユースケース分析

著者らは、動線データの活用シーンと分析に必要なデータとの関係を表-11のように既往研究にて整理している¹⁴⁾。この表の作成時の携帯電話の欄は、携帯電話網の運用データに基づく人口分布統計およびスマートフォンのGPS・アプリケーションなどに基づく移動履歴を対象にしていた。このため、本研究では、表の携帯電話の欄に人口流動統計も含むことを念頭においてユースケース分析を再実施し、その適用可能性を考察する。

具体的には、表の No.1 は、特定地域に係わる動線データを駆使して分析すると、地域の都市活動の見える化が可能となり、表の No.2 以降の基礎資料となる。この際、人口流動統計は、PT 調査などの既存統計調査の補完、究極は代替が可能なデータとして期待される。

表-11 動線データの活用シーンの一覧と分析に必要なデータとの関係

No.	動線データの活用シーン	既存統計データ			活用が想定される動線データ（一例）					基盤データ	
		PT調査	道路交通センサス	国調メッシュ	携帯電話※	交通系ICカード	無線LAN	車両プローブ	バスロケ	電子地図	各種ネットワーク
1	特定地域（都心部）の都市活動の見える化	◆	◆	◆	◆	◆	◇	◆	◆	◆	◆
2	防災計画・避難誘導方策の検討	◆	—	◆	◆	◆	◇	—	—	◆	◆
3	高齢者などの移動支援に資する公共交通サービス	◆	—	◆	◆	◆	—	—	—	◆	◆
4	公共交通の潜在需要の発掘	◆	◆	◆	◆	◆	—	◆	◆	◆	◆
5	PT調査の補完・効率化・高度化	◆	—	◆	◆	◆	◇	◇	—	◆	◆
6	道路交通センサスの補完・効率化・高度化	—	◆	—	◆	—	—	◆	◆	◆	◆
7	道路整備効果計測の多様化・高度化	◆	◆	◆	◆	◆	◇	◆	◆	◆	◆
8	外国人旅行者の移動支援、移動障害の抽出	—	—	—	◆	◇	◇	—	—	◆	—

※：携帯電話網の運用データに基づく人口分布統計およびスマートフォンのGPS・アプリケーションなどに基づく移動履歴の両方を含む。
 ◆◇：評価に必要となるデータなど（◆：必須，◇：理想），—：対象外

表の No.2 では、例えば実態に即した帰宅困難者の推計による防災計画や避難誘導方策の検討が可能となる。さらに、高齢者などの個人属性を含む動線データが活用できると、表の No.3 の高齢者などへの移動支援に資する公共交通サービスの検討や表の No.4 の公共交通の潜在需要の発掘への寄与が期待される。

表のNo.5およびNo.6は、社会情勢に柔軟かつ機動的に対応するために、既存の統計調査を補完する支援策の確立が望まれている。都市交通計画の立案に必要な交通行動は、PT調査や道路交通センサスにより把握されてきた。しかし、これらの調査は5～10年に1度の実施であり、かつ調査は特定日のみであることから、実態の詳細把握に限界があり、災害やイベントの交通行動の把握は困難である。人口流動統計では、日本全国にわたり継続的な調査が可能であり、これまで難しかった経年変化を捉えた把握の実現が期待される。表のNo.7は、既にいくつかの動線データが活用されているが、現在は普通自動車のプローブデータの活用事例が多い。複数のプローブデータ（大型車、普通車、タクシーやバスなど）を複合的に活用することで、より実態に即した道路整備の効果計測が行える。これに、人口流動統計を組み合わせると、例えば、分析対象の道路区間や交差点を通過する交通流動を含めた詳細な分析の実現が期待される。

さらに、表のNo.8は、観光立国の支援として、人口流動統計として外国人旅行者の移動履歴が収集できれば、現在の移動の障害となっている問題点を把握し、より適切な移動支援策の検討が可能となる。

表-11の携帯電話の欄の整理結果からも明らかなように、人口流動統計には、全ての交通モードを含むことから、各活用シーンへの適用性が高い。このことから、携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計は、骨格的データとしての活用が期待される可能性が高いと考えられ、基盤データの電子地図や各種ネットワークデータと併せて、その重要性および有用性が高いと考えられる。

6. あとがき

本研究は、携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計を都市交通分野へ適用する際の要件を定義した。その要件に基づいて、非識別化処理、集計処理および秘匿処理による人口流動統計の推計手法および仕様を明らかにした。同手法に準じた人口流動統計を用いて、PT調査結果との相関を分析して有用性を検証するとともに、都市交通分野へ適用する際の留意点を明らかにした。また、ユースケース分析に基づき、都市交通分野への人口流動統計の適用可能性を考察した。

本研究および今後の研究の進展により、都市交通分野

における継続的で広域な調査・効果検証・モニタリングツールとして活用の途が広がることを期待する。

謝辞：本研究の遂行にあたり、計量計画研究所の廣川和希氏、NTTドコモの福手亜弥氏には人口流動統計の比較検証の作業にて多大な協力を賜った。国土技術政策総合研究所の吉田純土氏、鳥海大輔氏、松島敏和氏、瀧本真理氏、NTTドコモの羽矢崎聡氏には資料収集、関係者間調整および貴重な意見を賜った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 関本義秀：人の流動と時空間データセット最前線，オペレーションズ・リサーチ：経営の科学，pp.24-29，2013.
- 2) 今井龍一，井星雄貴，中村俊之，森尾淳，牧村和彦，濱田俊一：交通系 IC カードから取得できる動線データの活用に向けた考察～全国の交通系 IC カード取扱事業者への実態調査から得た知見～，土木計画学研究・講演集，Vol.45，2012.
- 3) 門間俊幸，橋本浩良，松本俊輔，水木智英，上坂克巳：プローブデータ活用と道路交通分析の新たな展開，土木技術資料，Vol.53，No.10，pp.14-17，2011.
- 4) 絹田裕一，矢部努，中嶋康博，牧村和彦，齋藤健，田中倫英：バス IC カードデータからの所要時間及び移動履歴へのデータ変換方法に関する検討，土木計画学研究・講演集，Vol.38，2008
- 5) 牧村和彦，中村俊之，千葉尚，森尾淳，布施孝志：バス IC カードを用いた人の動き～交通計画への活用に向けた可能性と限界～，土木計画学研究・講演集，Vol.41，2010.
- 6) 川崎洋輔，羽藤英二：プローブパーソン調査データを用いた時空間行動変容解析，土木計画学研究・講演集，Vol.30，2004.
- 7) 北野誠一，中島良樹，井料隆雅，朝倉康夫：交通系 IC カードデータを用いた長期間の鉄道利用履歴の分析，土木計画学研究・講演集，Vol.37，2008.
- 8) 仙石裕明，秋山祐樹，柴崎亮介：GPS携帯電話のオートログを利用した商業集積地における回遊行動の分析，地理情報システム学会講演論文集，Vol.20，2011.
- 9) 三輪富生，森川高之，岡田良之：プローブカーデータによるOD表の作成と経路選択行動に関する研究，第1回ITSシンポジウム，pp.591-596，2002.
- 10) 田宮佳代子，瀬尾卓也：プローブカーデータを活用した都市内一般道路のQ-V特性について，土木計画学研究・講演集，Vol.25，pp.599-602，2002.
- 11) 橋本浩良，河野友彦，門間俊幸，上坂克巳：交通円滑化対策のためのプローブデータの分析方法に関する研究，平成22年度国土技術研究会，2010.
- 12) 今井龍一，井星雄貴，千葉尚，牧村和彦，濱田俊一：バス IC カードデータを用いた定時性評価による道路整備の効果検証に関する研究，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.68，No.5，pp.I_1271-I_1278，2012

- 13) 今井龍一, 井星雄貴, 中村俊之, 牧村和彦, 濱田俊一: 複数の動線データの組合せ分析によるバス停留所付近の走行改善の検討支援に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.68, No.5, pp.I_1287-I_1296, 2012.12
- 14) 今井龍一, 深田雅之, 重高浩一, 矢部努, 牧村和彦, 足立龍太郎: 多様な動線データの組合せ分析による都市交通計画への適用可能性に関する考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.48, 2013
- 15) 今井龍一, 田嶋聡司, 矢部努, 塚田幸広, 重高浩一, 橋本浩良, 山王一郎, 石田東生: 動線データを活用した都市活動のモニタリングの持続的な運用に向けた取り組み, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, 土木学会, 2015.6
- 16) (株) NTT ドコモ: モバイル空間統計に関する情報, <https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/>, (入手 2015.7)
- 17) 小田原亨, 永田智大: 社会動態推定技術ーモバイル空間統計の推計技術と応用ー, 電子情報通信学会誌, Vol.97, No.9, pp.806-811, 2014.
- 18) 岡島一郎, 田中聡, 寺田雅之, 池田大造, 永田智大: 携帯電話ネットワークからの統計情報を活用した社会・産業の発展支援ーモバイル空間統計の概要ー, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vo.20, No.3, pp.6-10, 2012
- 19) 大藪勇輝, 寺田雅之, 山口高康, 岩澤俊弥, 萩原淳一郎, 小泉大輔: モバイル空間統計の信頼性評価, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vo.20, No.3, pp.17-23, 2012
- 20) 清家剛, 三牧浩也, 原裕介, 小田原亨, 永田智大, 寺田雅之: 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係る研究, 都市計画論文集, Vol.46, No.3, pp.451-456, 日本都市計画学会, 2011
- 21) 小田原亨, 川上博: モバイル空間統計のまちづくり分野への活用, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vo.20, No.3, pp.30-33, 2012
- 22) 清家剛, 三牧浩也, 原裕介: 基礎自治体におけるモバイル空間統計の活用可能性に関する研究, 日本建築学会技術報告集, pp.737-742, 2013
- 23) 永田智大, 青柳禎矩, 川上博: モバイル空間統計の地域活性化への活用, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vo.20, No.3, pp.41-44, 2012
- 24) 清家剛, 三牧浩也, 森田祥子: 柏市および横浜市を対象としたモバイル空間統計による地域評価モデルに関する研究, 日本建築学会技術報告集, pp.821-826, 2015
- 25) 鈴木俊博, 山下仁, 寺田雅之: モバイル空間統計の防災計画分野への活用, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vo.20, No.3, pp.34-40, 2012
- 26) 村上正浩, 岡島一郎, 鈴木俊博, 山下仁: モバイル空間統計を活用した滞留者・帰宅困難者数の推定と具体的対策の検討, 日本建築学会梗概集, F-1 分冊, p.893-894, 2011
- 27) 室井寿明, 磯野文暁, 鈴木俊博: モバイル・ビッグデータを用いた都市間旅客交通への活用に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.51, 土木学会, 2015.6
- 28) 国土交通省総合政策局情報政策本部: 情報通信技術を活用した公共交通活性化に関する調査報告書, 2015.3
- 29) (株) 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/>, (入手 2015.7)
- 30) 寺田雅之, 永田智大, 岩澤俊弥, 小林基成: モバイル空間統計における推計技術, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vo.20, No.3, pp.11-16, 2012

(2015.7.31 受付)

A STUDY ON APPLICATIONS OF MOBILE SPATIAL DYNAMICS FOR URBAN TRANSPORTATION PLANNING

Hiroyasu SHINGAI, Ryuichi IMAI, Keitaro FUJIOKA, Daizo IKEDA,
Tomohiro NAGATA, Tsutomu YABE, Koichi SHIGETAKA,
Hiroyoshi HASHIMOTO, Ryosuke SHIBASAKI, and Yoshihide SEKIMOTO