

携帯電話網運用データに基づく人口流動統計と パーソントリップ調査手法との比較による 活用可能性に関する研究

新階 寛恭¹・今井 龍一²・池田 大造³・永田 智大³・森尾 淳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 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 茨城県つくば市原1)
E-mail: shingai-h86ax@nilim.go.jp

²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)
E-mail: imair@tcu.ac.jp

³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

⁴正会員 一般財団法人計量計画研究所 道路・経済社会研究室 (〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9)
E-mail: jmorio@ibs.or.jp

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 社会資本情報基盤研究室 (〒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／生産技術研究所 (〒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

筆者らは、人の流動を把握できる交通関連ビッグデータであり、携帯電話網の運用データを元に作成される人口流動統計の推計手法および都市交通計画分野への活用可能性を研究している。人口流動統計を用いると、回答バイアスのない24時間365日の全国の人々の大量の移動・滞留情報を比較的速やかに捉えることができる。これらの信頼性、継続性、不偏性、網羅性や即時性等の特長は、従来の統計調査のアンケート方式を中心としたデータ収集分析手法の課題解決に寄与する可能性がある。一方、現行の人口流動統計は、全ての交通実態や正確なトリップの捕捉が困難であることや電波環境等に依存した人の位置推定精度、移動目的・手段が直接には把握できない等の課題も存在する。

本研究の目的は、そのような課題も内在する人口流動統計の都市交通調査・分析・予測・計画手法への活用可能性を検証することとした。まず、人口流動統計の最新のデータ仕様を示した上で、パーソントリップ調査データを用いてトリップパターン等に注目したOD量を比較検証した。その結果を基に、人口流動統計の作成手法の改良の方向性を示し、曜日変動に着目したOD量の比較および実地調査データを用いた位置推定精度を検証した。これらを通じて人口流動統計の交通実態の表現特性を明らかにした。

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

1. はじめに

持続可能な都市の実現には適切な都市交通計画の推進が必要である。そのためには、人の滞留や移動等の交通実態の正確な把握と的確な将来予測が重要であり、我が

国では国勢調査のほか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等の調査手法が活用されている。近年、これらの調査に対して、従来のマクロスケールに加えて、ミクロスケールの計画での活用ニーズが寄せられている。このニーズに応えるに

は、より具体的で即効性のある政策提案につながる、移動実態・ニーズを的確かつ詳細に捉え将来を予測する調査手法への高度化や、コスト縮減を含む調査手法の効率化等の解決すべき課題がある。

そのような中、情報通信技術（ICT）の発達により人の移動や滞在に関する様々な情報の取得・保有が民間通信事業者等を中心に急速に進められており、調査手法の新たな展開に多くの可能性が広がっている。

具体的には、携帯電話（スマートフォンを含む、以下同じ）やカーナビゲーションシステム、交通系ICカード等から取得された、人、車や鉄道等の移動実態が把握できる動線データ、いわゆる交通関連ビッグデータの様々な活用方策の研究や実用化が進められている¹⁴⁾。その結果、統計資料の“質”、交通関連ビッグデータの“量”や“鮮度”の特長を活かした組合せ分析の有用性・有効性も明らかにされてきている¹⁵⁾¹⁸⁾。

交通関連ビッグデータのうち、携帯電話保有者約7,000万人への情報通信サービスに伴う通信事業者の運用データ（法人名義のデータなどを除去）を元にしたモバイル空間統計¹⁹⁾²¹⁾は、我が国最大の量を有する。現行のモバイル空間統計のうち先行して開発された人口分布統計は、250～500mメッシュ程度の空間解像度と1時間単位の時間解像度における15～79歳の年齢層・性別および居住地等の属性を有した統計データである（図-1）。既往研究では、人口分布統計の統計的信頼性が確認²²⁾²³⁾されており、まちづくり¹⁸⁾²³⁾²⁷⁾、防災²⁸⁾²⁹⁾、都市間旅客交通³⁰⁾や公共交通活性化³¹⁾への活用も試みられている。既往研究の結果を踏まえると、人口分布統計の活用可能性は高いことがうかがえる。現行の人口分布統計は、ある時間帯における人口の分布量を表しているため、あるエリアにおける量的変動を算出できる。一方、人がどこからどこへ移動したかの変遷、すなわち人口流動（移動または滞留）は明らかにできない。

そのため、筆者らは、人の流動を把握できる交通関連ビッグデータであり、人口分布統計と同様の携帯電話網の運用データを元に作成される人口流動統計の推計手法に取り組んでいる³²⁾（図-1）。人口流動統計を用いると、回答バイアスのない、24時間365日の全国の人々の大量の移動・滞留情報を比較的速やかに捉えることができる。

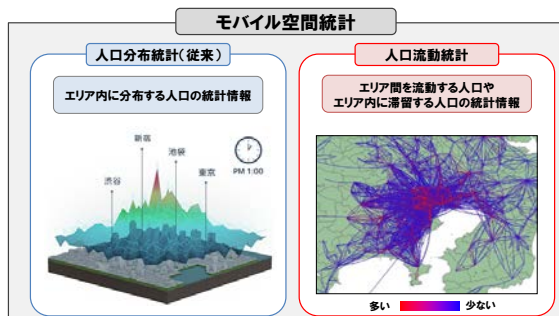


図-1 人口分布統計と人口流動統計

これらの信頼性、継続性、不偏性、網羅性、即時性等の特長は、従来のPT調査等のアンケート方式を中心としたデータ収集分析手法の課題解決に寄与する可能性がある。

一方、現行の人口流動統計³²⁾には、全ての交通実態や正確なトリップを捕捉できない、人の位置推定精度は電波の到達範囲や基地局密度、電波伝搬環境等に依存する、移動目的・手段が直接把握できない等の課題もある。

本研究の目的は、そのような課題も内在する人口流動統計の都市交通調査・分析・予測・計画手法への活用可能性を検証することとした。第2章にて、人口流動統計の最新の推計方法およびデータ仕様を示す。第3章にて、PT調査データを用いてトリップパターン等に着目したOD量を比較検証する。また、人口流動統計の作成手法の改良の方向性を示し、曜日変動に着目してOD量を比較検証する。第4章にて、実地調査データを用いて人口流動統計の位置推定精度を検証する。これらを通じて人口流動統計の交通実態の表現特性を明らかにする。これらの結果を基に第5章にて、人口流動統計のPT調査の代替手法としての活用可能性および交通計画等への活用可能性を考察する。最後に第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. 人口流動統計の概要とデータ仕様

(1) 人口流動統計の概要及び推計方法

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、任意に位置が変動する携帯電話端末に対して常時速やかに電話やメール等が着信されるよう、ある基地局の電波到達範囲（以下、「セル」という。）内に所在する端末の存在確認を通信（以下、「通信」という。）により基地局側で周期的に（概ね1時間に一度）把握している。この通信により把握している運用データを元に、統計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」、流動人口を推計する「集計処理」、推計人口のうちある一定の値以下の少数を除去する「秘匿処理」の3段階処理を経て端末保有者の個人情報およびプライバシーを保護した人口流動統計が作成される³³⁾。

しかし、基地局と端末間で行われている通信はあくまで端末の定期的な存在確認のためであり、GPSを用いて取得した人の移動履歴とは用途や特性が異なることから、限られた通信結果から移動・滞留の判定が必要となる。そこで、既往研究³²⁾では、移動・滞留の判定方法を考案している。具体的には、ある時刻にあるセルで通信が行われた場合の当該セルの図心位置と、次の通信時刻（概ね1時間後）に通信が行われたセルの図心位置との間の距離を算出する。その距離が所定の条件を満たした場合

に「移動」と判定し、満たさない場合に「滞留」と判定する(図-2)。

本研究では、この判定の考え方に基づいて、第1章で述べた人口流動統計の課題への対応策として、人の交通・活動を表す集計量として推計できるようにしたOD量および移動・滞留人口を以下のとおり再考した。

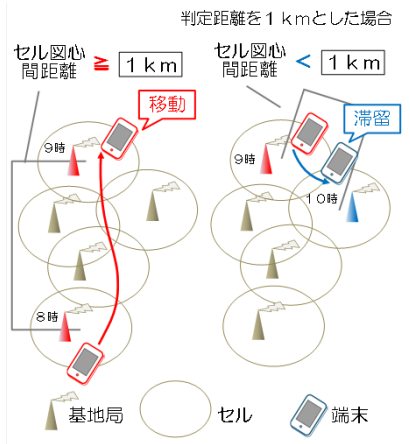


図-2 「移動」「滞留」の判定の仕組み

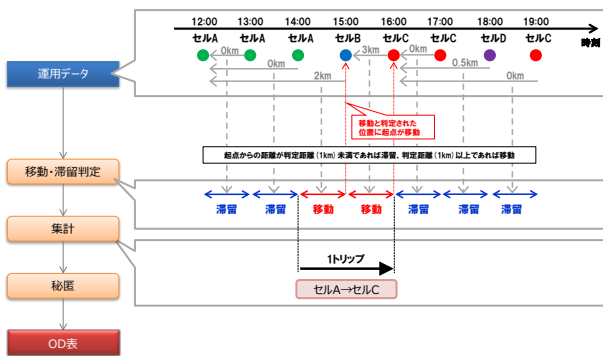


図-3 トリップ抽出の方法

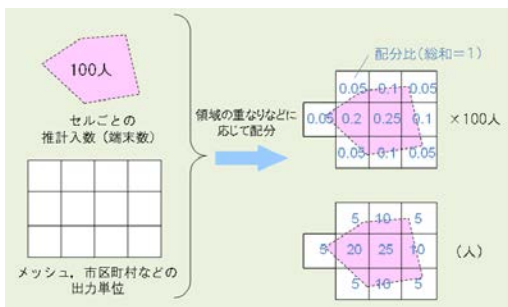


図-4 推計値のメッシュ等の出力単位への配分方法

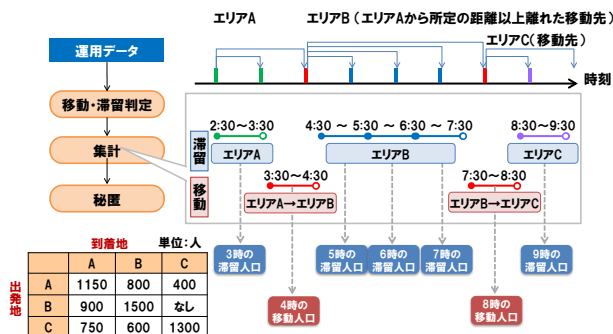


図-5 移動・滞留人口の振り分け方

a) OD量の推計方法

ある時点(集計対象とする期間の最初の時点)で端末と通信が行われた基地局のカバーするセルの図心位置を起点に設定する。その後、通信が行われた基地局のカバーするセル図心位置と起点との距離が一定の条件(今回は1kmとする)を満たす場合に、その一つ前に通信が行われた時点から今回通信が行われた時点までを「移動」と判定する。その際、条件を満たすこととなったセル図心位置を次の起点とする。その後も同様の判定を続け、条件を満たさなくなった場合に「滞留」と判定する。その際、起点は移らないものとする。次に、滞留から移動へと切り替わる際のものとの起点を出発地、移動から滞留へと切り替わる際の起点を到着地としてトリップを抽出する(図-3)。抽出されたトリップをゾーンやメッシュ等の集計単位に応じたOD毎に配分する(図-4)。これを集計し推計したものをOD量とする。

b) 移動・滞留人口の推計方法

移動・滞留人口は、端末の移動・滞留判定を時間帯別に行うことにより推計される移動者数および滞留者数を示し、単位は人となる。集計の際には計測期間を設定し、その期間内の移動者数を移動人口、滞留者数を滞留人口とする。計測期間は、各正時の前後30分間の1時間とする(図-5)。

(2) 人口流動統計のデータ仕様

前述の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-1に示す。今回、移動・滞留人口の推計にあわせて「現在エリア(経由地)」を抽出できるようにした。また、集計対象時刻として過去も含めて年月日時を柔軟に指定できる点、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も主な特長である。

表-1 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	2015年10月25日10時
出発エリア	日本全国	日本全国	43101(熊本市中央区)
到着エリア	日本全国	日本全国	43101(熊本市中央区)
現在エリア	—	日本全国	43101(熊本市中央区)
滞留フラグ	—	移動・滞留	0(移動), 1(滞留)
発着時間	年月日時	—	2015年10月25日9時
着時間	年月日時	—	2015年10月25日11時
年代	15歳~70歳	同左	25(25~29歳)
性別	男性・女性	同左	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)
人口帯値	—	人	1,020(人)
トリップ帯値	トリップ	—	460(トリップ)

表-2 PT調査と人口流動統計の比較

項目	PT調査	人口流動統計
調査対象	都市圏内居住者 (標本として数%を抽出)	(株)NTT ドコモの携帯電話 所有者 (法人名義除く)
調査日	特定の1日	限定なし(365日いつでも)
調査頻度	概ね10年に1度	毎日可能
調査地域	都市圏	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	分単位	時間単位
空間解像度	中ゾーン (最小は夜間人口約1万5千人を目安とした小ゾーン)	電波到達範囲, 基地局密度や電波伝搬環境に依存 (都市部では小ゾーン程度)
移動目的	大まかな目的	現状では直接把握不能 ※
移動手段	交通手段, 経路	現状では直接把握不能 ※

※推計手法等の技術開発によって把握できるようになる可能性あり

調査の基本的な諸元に関するPT調査と人口流動統計との比較結果を表-2に示す。PT調査では移動目的や交通手段等の移動実態を詳細に把握できる。しかし標本調査の抽出率が低いため、ゾーンを詳細にする場合等は信頼性の考慮が必要になる。一方、人口流動統計では高い信頼性で時間帯別、属性別に広域的な移動実態を捉えることができる。また、調査日や調査頻度を自由に設定で

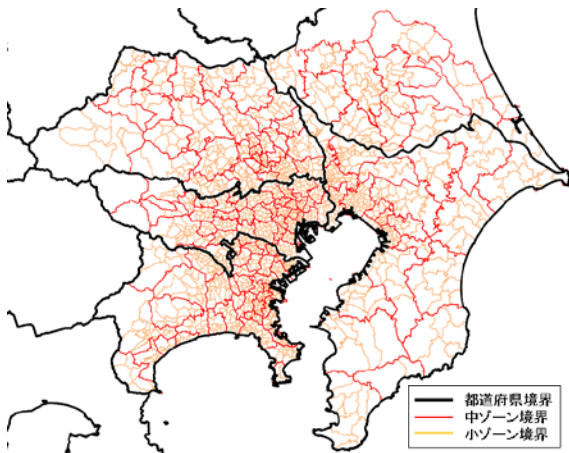


図-6 東京都市圏PT調査の対象地域 (ゾーン境界)

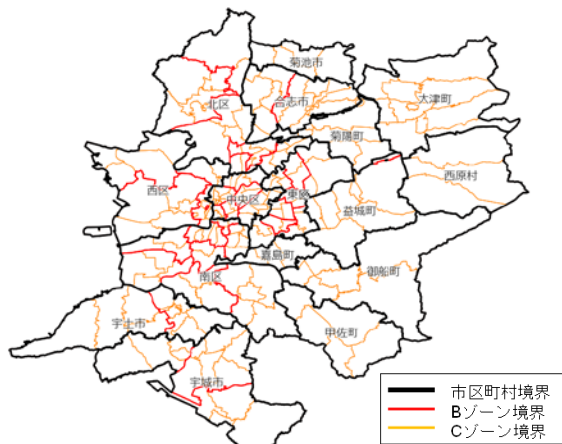


図-7 熊本都市圏PT調査の対象地域 (ゾーン境界)

きるため、継続的な移動実態の把握も可能である。ただし、移動目的や交通手段は、工夫の余地はあるものの現時点では直接は把握できない。

3. 人口流動統計による交通実態の捕捉性の検証

本章では、PT調査で用いられるゾーンレベルにおいて、人口流動統計がPT調査と比べて交通実態をどの程度捉えられているか (以下、「捕捉性」という。) を検証する。検証に用いる人口流動統計は、NTTドコモにてモバイル空間統計ガイドライン³⁾に準拠し作成されたものである。

(1) 対象地域の選定

近年PT調査を実施した都市圏から以下の条件を勘案し、大都市圏からは「東京都市圏」、地方都市圏からは「熊本都市圏」を対象地域とした (図-6, 図-7)。

- PT調査データの提供環境が整っていること
- 標準的なPT調査手法であること
- PT調査のデータ精度が高いこと
- 人口流動統計の秘匿が極力発生しないよう人口規模の比較的大きな都市圏であること

(2) 対象日の選定

対象日は、PT調査データとの比較を行うため、可能な限りPT調査の条件に近く、かつイベント等の特殊な事象がない日を選定した (表-3)。人口流動統計は平成27年10月以降のデータのみ作成可能であるため、実施月を同じくして平成27年10月を対象とし、天候やイベントも勘案する。なお、両都市圏のPT調査実施日は平日のみであるが、平日休日の比較の観点から、人口流動統計

表-3 対象日の選定

対象日等		東京都市圏	熊本都市圏	
P T 調 査 実 施 日	調査年	平成20年	平成24年	
	ロット内訳	第1	10月1週: 9/30(火)-10/2(木)	10月2週: 10/10(水)-11(木)
		第2	10月2週: 10/7(火)-9(木)	10月3週: 10/16(火)-18(木)
		第3	10月3週: 10/14(火)-16(木)	10月4週: 10/23(火)-25(木)
		第4	10月4週: 10/21(火)-23(木)	—
		第5	10月5週: 10/28(火)-30(木)	—
		第6	11月2週: 11/5(水)-6(木)	—
平成27年 天候・イベント等の特殊日	天候	10月中は全ての日で晴れまたは曇り	10月4週: 10/27(火)の雨以外は晴れまたは曇り	
	イベント	東名高速道路集中工事 11/16-20(金), 24(火)-27(金)	10月中に交通が大きく変化するイベントはない	
データ取得日		平成27年 10/20(火), 10/25(日)	平成27年 10/19(月)-10/25(日)	

表-4 PT調査の集計条件

項目	集計条件
集計対象年齢	・ 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 / 以上のトリップを区分 (距離不明トリップは 1km 以上に含める)
トリップパターン	・ 都市圏外々トリップは除外

は平日と休日の両方を取得する。熊本都市圏は、一週間分のデータを取得し曜日変動も検証する。

(3) 人口流動統計における交通流動量の捕捉性の検証

本節では、人口流動統計データの集計条件に整合させるようにPT調査データを表-4に示す方法で集計し、トリップ量として捕捉されているかを比較検証する。

a) 市区間レベルのOD量の比較検証

市区町村間のOD量をPT調査データと比較する。その際、1km以上のトリップを対象とし、小ゾーン（熊本はCゾーン）間OD量を市区町村単位に集約する。

東京都市圏では、市区内々以外のトリップは両者が比較的整合している一方で、市区内々トリップは人口流動統計が一定の傾向で過大となっている（図-8）。

これは、PT調査データではトリップとして回答されない近傍への移動や、わずかな動きによる基地局の変位を人口流動統計ではトリップとして判定する可能性がある

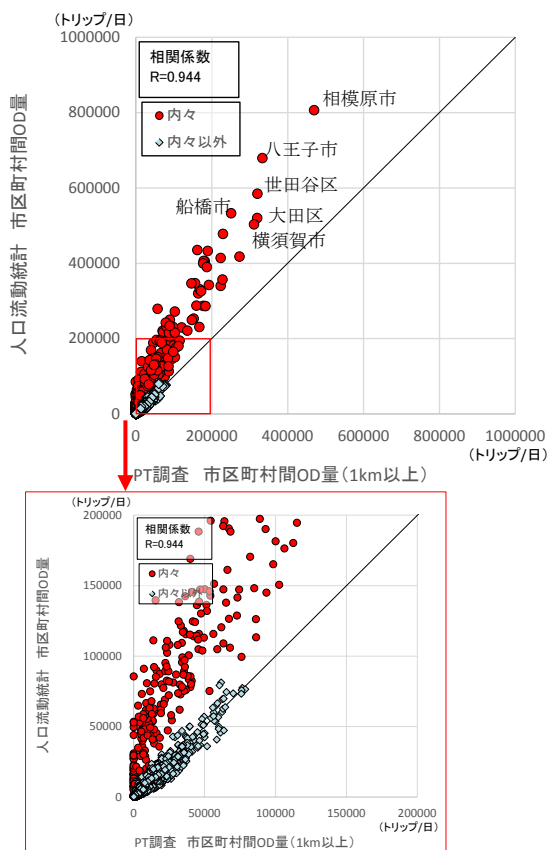


図-8 東京都市圏 市区町村間OD量の比較結果

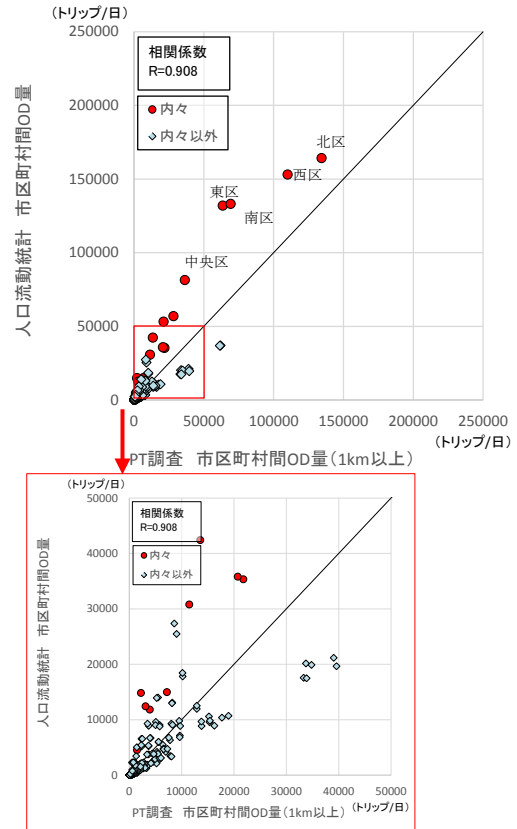


図-9 熊本都市圏 市区町村間OD量の比較結果

ことが原因としてあげられる。このため、近傍への移動やわずかな動きが考えにくい市区内々以外トリップでは、比較的乖離が小さくなっている。また、熊本都市圏でもほぼ同様の傾向が見られる（図-9）。

b) ODパターン別の小ゾーンレベルのOD量の比較検証

ミクروسケールでの検討が求められる都心部に着目しつつ、小ゾーンレベルの捕捉性を熊本都市圏で検証する。まず、1km以上のトリップを対象とし、全Cゾーン間OD量を市区町村単位に集計せずに比較すると、市区間レベルに比べ乖離は大きい（図-10）。

次に、これらの乖離の特性を把握するため、人口流動

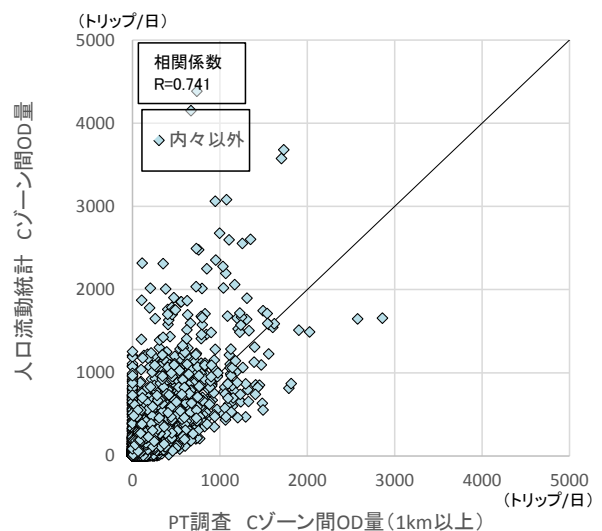


図-10 熊本都市圏 Cゾーン間OD量の比較結果

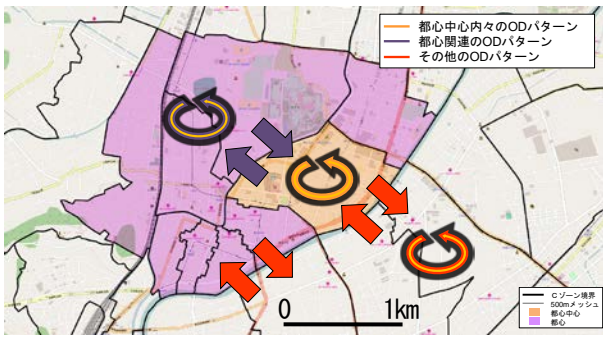


図-11 熊本都市圏の都心ゾーンの設定

表-5 ODパターンの設定

出発地		到着地		
		都心中心	都心	その他
都心中心	都心中心	都心中心内々	都心関連	その他
	都心			
	その他			

統計における「トリップ」の概念に立ち戻り、以下の方法で分析する。

まず、都市圏のトリップは通勤・業務・買物等のため都心方向に向かうものが多いという交通特性に着目し、都心やさらにその中心部との関連の有無によりODパターンを区分する(図-11)。その考え方を表-5に示す。

次に、今回の人口流動統計の移動・滞留は、ある端末が「1時間以上の滞留」の後、「1km以上」かつ「1時間以上」変位した場合に1トリップとして認識される。このため、トリップを「(直前の)滞在時間」「トリップ距離」「トリップ時間」の順に区分していく。結果は表-6に示すとおりとなる。

表-6 ODパターン別の捕捉性

ODパターン	滞在時間	トリップ距離	トリップ時間	熊本PT調査		人口流動統計	人口流動統計/PT
				トリップ	構成比		
都心中心内々	合計	合計	合計	11,684	100.0%	1,063	47.3%
			1時間未満	10,982	94.0%		
			1時間以上	702	6.0%		
		1km未満	1時間未満	7,854	67.2%		
			1時間以上	3,128	26.8%		
			1時間以上	702	6.0%		
	1時間未満	1km未満	1時間未満	4,044	34.6%		
			1時間未満	1,531	13.1%		
			1時間以上	52	0.4%		
		1km以上	1時間未満	3,810	32.6%		
			1時間未満	1,597	13.7%		
			1時間以上	650	5.6%		
都心関連	合計	合計	合計	28,535	100.0%	14,968	111.7%
			1時間未満	26,370	92.4%		
			1時間以上	2,165	7.6%		
		1km未満	1時間未満	10,821	37.9%		
			1時間未満	15,549	54.5%		
			1時間以上	2,165	7.6%		
	1時間未満	1km未満	1時間未満	4,391	15.4%		
			1時間未満	4,287	15.0%		
			1時間以上	30	0.1%		
		1km以上	1時間未満	6,430	22.5%		
			1時間未満	11,262	39.5%		
			1時間以上	2,135	7.5%		
その他	合計	合計	合計	1,789,300	100.0%	1,746,952	138.3%
			1時間未満	1,615,942	90.3%		
			1時間以上	173,358	9.7%		
		1km未満	1時間未満	135,855	7.6%		
			1時間未満	1,480,087	82.7%		
			1時間以上	173,358	9.7%		
	1時間未満	1km未満	1時間未満	47,774	2.7%		
			1時間未満	382,698	21.4%		
			1時間以上	7,201	0.4%		
		1km以上	1時間未満	88,081	4.9%		
			1時間未満	1,097,389	61.3%		
			1時間以上	166,157	9.3%		
総計				1,829,519	-	1,762,983	-

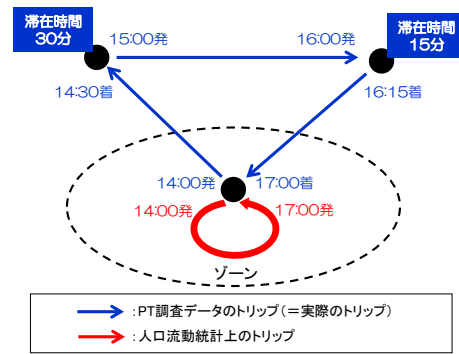


図-12 連続するトリップが異なるODとして集計される場合

「都心中心内々」では、本来「トリップ」と判定されるべき条件の場合でも、人口流動統計はPT調査データの半数に満たない。一方で「都心関連」や「その他」では、同じく「トリップ」と判定されるべき条件で比較して、人口流動統計の方が図-8同様に過大になっている。

都心中心内々のような狭い範囲での移動は、移動距離が1km未満や移動時間が1時間未満の短距離・短時間の移動が多いため、現在の人口流動統計の集計仕様では把握できないトリップが多数ある。しかし、直前の滞在時間が1時間以上で移動距離が1km以上のトリップであっても、人口流動統計のトリップ数はPT調査データの半数程度である。原因は大きく以下の2点があげられる。

- ・都心中心ゾーンの大きさ自体は1km強程度の大きさである。このため、隣接する別のゾーンにセルがまたがる基地局で通信が行われる。この結果、本来は都心中心内々のトリップであったものが別ゾーン側に配分され、当該ゾーンでのトリップが過少に集計される。
- ・トリップ間の滞在時間が1時間未満のトリップが連続する場合、PT調査側では滞在時間によらず都心中心内々や都心関連トリップとして集計される。一方、人口流動統計では途中の滞留判定が発生せず連続する1つのトリップとみなされ、都心中心等と関係のない別のODとして集計される現象が起こる場合がある(図-12)。この原因は「その他(周辺部関連)」のトリップにも影響していることが示唆されており、人口流動統計が過大傾向となる結果となっている。

c) 比較検証を踏まえた人口流動統計の改良の方向性

以上から、捕捉性や空間解像度を高めるために、以下のような「判定方法」の再定義の方向性が導かれる。

一つ目は、基地局密度に応じた「判定距離」の適正化である。都心部のトリップ距離は概して短いことから、都心部で空間解像度を高める効果は大きい。例えば、先行研究³²⁾で対象とした静岡中部都市圏PT調査では、熊本同様に「都心」「都心周辺」「その他」に区分すると、都心内々の平均トリップ距離は0.5km、都心周辺は1.9km、その他のトリップは8.3kmである。都心における短いトリップを捕捉できるようになる意義は高い。

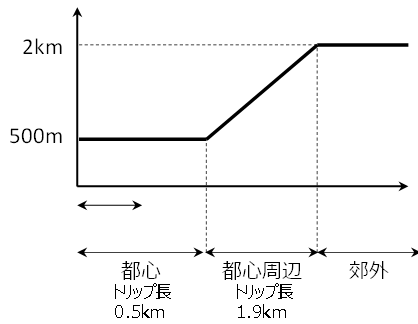


図-13 基地局密度に応じた判定距離の設定

これまでに開発した人口流動統計では、移動・滞留の判定距離を場所によらず一定の値、1kmまたは3kmと設定してきた。しかし都心部は基地局密度が高く、それに伴いセルも比較的小さいと考えられることから、都心部では移動・滞留の判定距離を短くできる可能性がある。

一方、基地局密度が低いところで判定距離を500mのように短くしてしまうと、ほぼ同じ場所に滞留しているにも関わらず、状況により端末と通信を行う基地局が変わると不必要に移動と判定されることがありうる。

以上を踏まえ、基地局密度が高い都心部を500m程度、基地局密度が低い郊外では2km程度として判定距離を設定し、その間は、基地局密度に対応して遷移させるという方向性が導かれる（図-13）。これにより都心部での捕捉性や空間解像度の向上と、(3a)で示した市区間内々のトリップの過大傾向も解消できる可能性がある。

二つ目は、捕捉性の問題への対応であるが、移動速度変化を考慮した「滞留」判定の精緻化である。途中で本来は滞在がありながら継続して「移動」と判定される場合への対応で、通信が行われた時刻ごとにセル図心位置の変位から移動速度を求め、移動速度が大きく変化する時刻や地点を抽出することで、より詳細に「移動」、「滞留」を細分化して判定できる可能性が高まる。

三つ目は、これも捕捉性の問題への対応であるが、基地局が通常通信を行う時間間隔（概ね1時間）そのものの短縮である。同じく静岡都市圏においてトリップ時間に着目すると、都心内々の平均トリップ時間は11.0分、都心周辺は18.3分、その他は24.7分であり、30分未満のトリップが65.3%を占める。そのため、都市交通分野の分析に活用できるようにするためには、現在の1時間単位から短くなることが望ましい。これは、通信事業者において、携帯電話網におけるシステム設計と両立する時間間隔の改善ができれば、捕捉性や空間解像度が飛躍的に高まる可能性がある。

(4) 曜日変動に着目した交通実態の捕捉性の検証

熊本都市圏の人口流動統計を用いて、域内外居住者別のトリップの曜日変動の捕捉性を概観する。平日の総ト

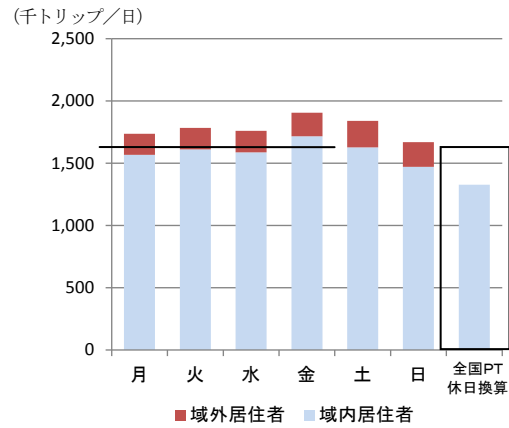


図-14 人口流動統計の曜日変動及び全国PTとの比較

リップ数の変動は、最大で6%程度であり、金曜日の総トリップ数が最も多い。休日の総トリップ数の平均は、平日平均の6%程度減となっている（図-14）。

全国PT調査（全国都市交通特性調査）では、域内居住者を対象に平日及び休日が調査されているため、グロス原単位（居住者一人あたりのトリップ数。熊本都市圏では平日2.41、休日2.00）を用いて平日休日比が求められる。人口流動統計の域内データの平日の平均値にこの平日休日比をかけた値と、人口流動統計の域内データの休日の推計値とを比較する（図-14）。人口流動統計に対し全国PT調査の結果を用いた値の方が若干小さくなっているが、アンケート調査方式における回答バイアス等を考慮すると、概ね傾向を捉えているといえる。

4. 人口流動統計の位置推定精度の検証

次に、マイクロレベルでの捕捉性、すなわち人口流動統計の空間解像度に着目する。これに影響を与えるものは、先述した移動・滞留の判定距離のほか、集計単位への配分方法、基地局がカバーするセルの大きさ（電波到達範囲）とセルどうしの重なり度合い、そして実際の電波伝搬環境（建物等による電波の遮蔽・回折等の影響）による通信範囲の変動等が考えられる。

現在の携帯電話網の運用上はセル内の端末そのものの位置座標を基地局が捉えることはできない。あるセル内で通信のあった全ての端末の数だけがいったん集計された後、セル形状とゾーンやメッシュ等の出力単位との重なる面積に応じて配分される。すなわち、セル内の実際の端末の分布によらず統計上は均等配分される（図-4）。

次に、通信事業者にとって安定したサービスを提供する必要からセルには一定の重なりがある。そのため、建物の影響等による端末に対する僅かな電波環境の変化等により通信が行われる基地局（セル）が急に変化する可能性がある。したがって、重なるセルが多いほど、1端末

が配分される範囲は広がる。すなわち、セルに重なりがありうる場合には、「基地局密度が高くなるほど空間解像度が低くなる」という逆説的な現象が起こる。

また、電波伝搬環境により、通信事業者が想定するセルの形状と実際の電波到達範囲とが異なる可能性もある。

これらが、GPSを用いて取得した移動履歴と異なり、人口流動統計の空間解像度に一定の限界を与える要因にもなっている。

そこで、本研究では、人口流動統計の位置推定精度（空間解像度）を検証するため、東京都市圏において具体的な複数の端末を用いて典型的な地区を対象に複数の経路を実際に移動し、メッシュ等の出力単位に現れる統計値から、セルの大きさや重なり、電波伝搬環境等の影響を分析することとした。

(1) 調査の概要

a) 対象地区

市街地の様相の異なる業務地区と住宅地区とを区分した上で、業務地区は建物の高さ、密度等が異なる複数地区を対象として選定した（表-7、図-15）。

表-7 調査対象地区

分類	地区のイメージ	調査対象
業務地区	高層ビル街 30階建以上の高層ビルが狭いエリアに密集している地区	A①丸の内
	中低層ビル街(高密度) 5~15階建程度の中低層ビル(雑居ビル等)が幹線道路沿い、後背地に立地している地区	B①日本橋 B②新橋
	中低層ビル街(低密度) 5~15階建程度の中低層ビル(オフィスビル等)が広い区画の中に立地している地区	C①霞ヶ関 C②有明
住宅地	3~5階程度の建築物が商店街の両側に立ち並ぶ業務地区以外の駅前地区	D①北品川



図-15 調査対象地区

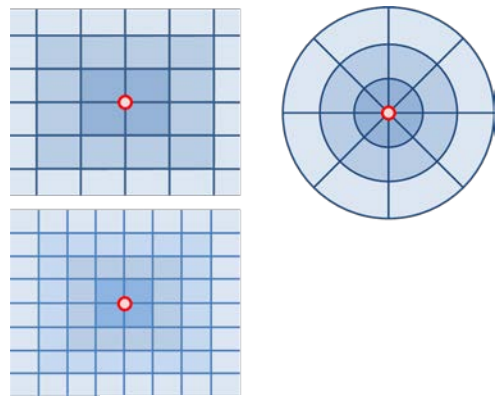


図-16 多様な出力単位のイメージ

b) 人口流動統計の集計の考え方

空間解像度に影響を与える先述したセルの大きさや重なりは携帯電話網のシステム設計に依存するとともに、電波伝搬環境は天候や現地の状況等に応じて時々刻々と変動する。そのため、まず端末と通信のあった基地局がカバーするセルのおおよその範囲とメッシュの大きさや位置との関係を把握する。そのために、集計する出力単位のサイズの異なるメッシュや同心円など、多様な集計単位で試行することも効果的と考えられる（図-16）。

できるだけ詳細な集計単位で集計することにより、より正確に空間解像度の把握が可能となる。一方、調査に用いる端末数が限られる場合は秘匿処理の影響も大きくなる。そこで本研究ではまず、一般に利用される標準地域メッシュの中から、秘匿処理の影響も考慮して500mメッシュ単位で分析する。

c) 調査方法

分析には調査に用いる端末だけから人口流動統計の値が現れるようにする必要がある。そのため、起点または終点を特殊な箇所（今回は暁ふ頭）に設定し、通常発生しないODとすることにより調査端末と人口流動統計に固有の対応関係をもたせることを試みた（図-17）。

端末は同一の経路を同一の手順で移動することが求められるため、一人の調査員が複数の端末を同時に持って移動することとした。

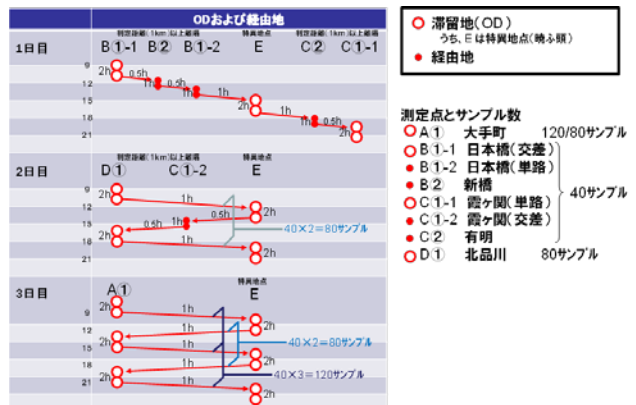


図-17 調査対象地区の調査順のイメージ

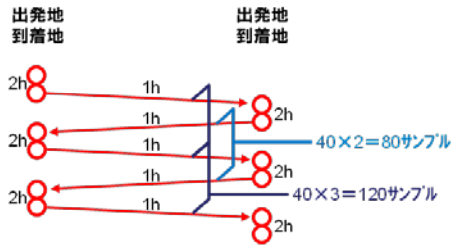


図-18 サンプル数確保のイメージ

表-8 実態調査のデータ取得結果

日	地域	観測回数	出発エリア*	到着エリア*	現在エリア*	人口推計値(拡大後)
1日目 平成28年 2月16日(火)	B①-1日本橋→E晩ふ頭	1	46114	36233	36233	53
	B②新橋 現在エリア	1	46114	36233	46011	38
	B①-2日本橋 現在エリア	1	46114	36233	46114	37
	E晩ふ頭→C①-1霞ヶ関	1	36233	45094	45094	26
	C②有明 現在エリア	1	36233	45094	36533	18
2日目 平成28年 2月19日(金)	D①北品川→E晩ふ頭	2	35394	36324	—	11
			35491	36233	—	32
			35492	36233	—	11
			35493	36233	—	70
			35493	36331	—	12
	E晩ふ頭→D①北品川	1	36403	36331	—	12
			36233	35493	—	44
			36322	35492	—	14
			36323	35481	—	13
			36324	35491	—	12
	C①-2霞ヶ関 現在エリア	1	36324	35492	—	10
			36233	35493	45094	25
			36233	35493	46003	23
			46003	36323	—	13
			46103	36233	—	10
3日目 平成28年 2月23日(火)	A①丸の内→E晩ふ頭	3	46104	36233	—	41
			46104	36233	—	41
			46104	36331	—	24
			46111	36233	—	14
			46113	36233	—	67
	E晩ふ頭→A①丸の内	2	46113	36331	—	36
			36233	46102	—	10
			36233	46104	—	30
			36233	46113	—	44
			36323	46111	—	14
			36331	46113	—	16
			36331	46211	—	13
			46003	36323	—	13
			46103	36233	—	10
			46104	36233	—	41

*1次メッシュ番号5339は省略



図-19 調査結果のプロット (A①丸の内: 約210人想定)



図-21 調査結果のプロット (C①霞ヶ関: 約70人想定)

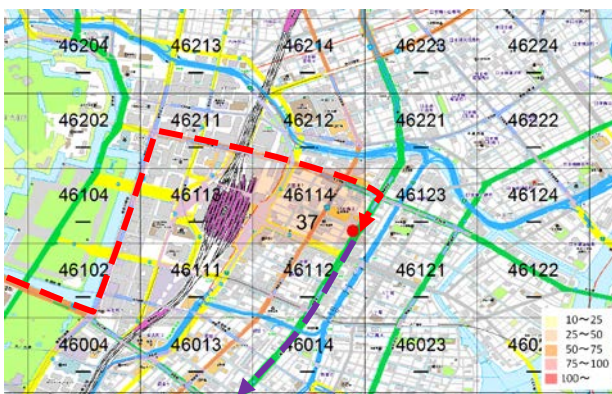


図-20 調査結果のプロット (B①日本橋: 約70人想定)

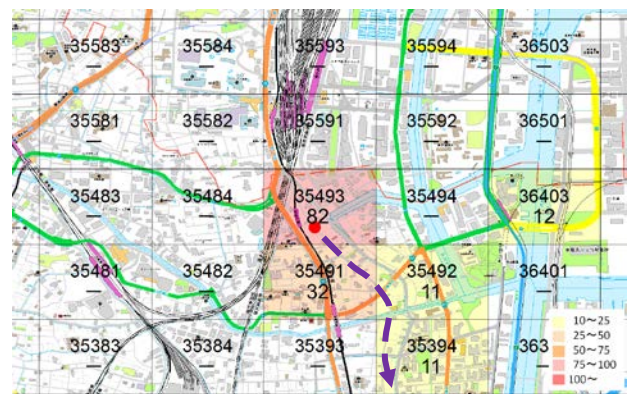


図-22 調査結果のプロット (D①北品川: 約140人想定)

なお、今回用意できる端末の台数が40台に限られているため、調査員が同じルートを複数回繰り返し移動することにより、実質的に多数のサンプル数を確保するパターンも設けた(図-18)。

(2) 調査結果と分析

人口流動統計の値は、端末保有者数約7,000万人からある一定の拡大係数が付与されたものとなる。単純に日本の人口(約12,700万人)に拡大されるとすると約1.8倍となり、40台の端末は最大で約70人の統計となって現れると想定される。

調査地点を含むメッシュから東西南北に2メッシュまで(計25メッシュ)の範囲でのデータ取得結果を表-8に示す。なお、秘匿処理されたODは出力されないため、表には入っていない。また、OD推計値はいずれも10以上の値を示した。

これら調査箇所のうち、代表的な以下の4箇所の人口流動統計の値が取得された500mメッシュと調査地点との位置関係、周辺の市街地状況との関係等を踏まえて空間解像度に関する分析結果を示す(図-19, 図-20, 図-21, 図-22)。

a) 丸の内地区 (A①: 高層ビル街)

調査地点がメッシュの西側に偏っており主に当該メッシュおよび西側のメッシュで取得されている。その数に比べ、南側および北側メッシュでの取得がほとんどないことから、セル範囲がおおよそ500mメッシュ相当また

はそれより小さく、著しくメッシュをまたいではいないことが分かる。なお、この場合、南北のビル（丸ビル等）の遮蔽等がセル範囲に影響を与えている可能性があるが、今回の調査結果からは識別できない。

図中にある霞ヶ関、皇居付近の値は、ODの反対側（暁ふ頭）においても調査地点から離れたメッシュで取得されていることから、別のトリップと推定される。

b) 日本橋地区（B①：中低層ビル街（高密））

調査地点がメッシュの南東側に偏っているにも関わらず、取得は当該メッシュのみである。値が37で相当程度あることから、調査地点がセルの縁辺部に位置しているか、セルの大きさが著しく小さいかのどちらかである。いずれにせよ、隣接する南側、南東側、東側のメッシュで秘匿が生じている可能性がある。

c) 霞ヶ関地区（C①：中低層ビル街（低密））

調査地点が4つのメッシュのほぼ交点にあるにも関わらず、取得は北西および北東のメッシュのみである。日本橋地区同様、調査地点がセルの南縁辺部に位置しているか、セルの大きさが著しく小さいかのどちらかである。

なお、北西、北東メッシュの値がほぼ同数であることから、セルはその東西のメッシュでほぼ同面積であると推定される。

d) 北品川地区（D①：住宅地）

調査地点がメッシュの南側に偏っており、主に当該メッシュ及び南側メッシュで取得されている。この2つのメッシュで相当数が取得されていることから、セル範囲はおおよそ500～600m以下と推定される。

なお、調査地点のあるメッシュの東側では取得がないにも関わらず、その南側等で複数取得されているのは、現実の調査における前後の移動の影響、すなわち調査地点から移動する際に別の基地局で通信が行われてしまうことを示唆している。

(3) 分析結果のまとめ

今回の調査では、秘匿の影響を考慮してメッシュサイズを比較的大きくしたことから、市街地状況別の特性や建物遮蔽等の影響までは判別できなかった。しかし、調査地点とデータ取得状況との関係から、市街地におけるセルの大きさは概ね500～600m以下であることが確認できた。また、調査地点と観測されるメッシュが著しく離れる、すなわち想定した電波到達範囲と実際の電波到達範囲が大きく異なることが分かった。

したがって、たとえ今回と同程度のサンプル数であっても、メッシュサイズをさらに小さくして例えば200～300mにしても十分に統計値が取得でき、概ねのセルの範囲や建物遮蔽の影響等、より詳細な空間解像度の分析が可能であることが確認できた。サンプル数がより多く確保できれば、秘匿の影響も少なくなり、より効果的な分析

が可能となる。

以上から、人口分布統計だけでなく人口流動統計の空間解像度も数百mのスケールまで高められる可能性がある。これは、先述したPT調査で分かっている都心部の平均トリップ距離である数百mのスケールにも対応して行く。

なお、これは端末が静止している状態での解像度であるため、前章でも述べた端末がわずかに動く場合等に伴う通信される基地局の変位による移動判定の発生の問題は依然として解決すべき課題である。

5. 人口流動統計の活用可能性および留意事項

冒頭に述べた信頼性、不偏性、網羅性、継続性、即時性等の特長を活かした人口流動統計の活用可能性は非常に多岐にわたる。今回の分析から明らかになった活用可能性としては、主に以下のようなものがある。

市区間レベルでは比較的精度が高く、小ゾーンレベルでもトリップ特性に関する分析が進めば正確なODを概ね捉えることができる可能性が高い。これにデータ整備期間が短いというメリットも活かし、特定地区での交通計画、例えば大規模開発等の臨機応変なアクションに対する正確でスピーディな情報提供や周辺への影響検証等の作業が可能となる。

人口流動統計の静止した端末に対する空間解像度は、相当高いことが分かった。判定方法の工夫により、端末のわずかな動きに伴う過剰な「移動」判定も少なくすることができれば、域外居住者も含めてのミクロスケールでの正確な交通実態、すなわち都心部や中心市街地等における観光行動・回遊行動等が正確かつ詳細に把握できる。これに、バイアスのない大量のサンプルが継続的に確保できるというメリットを活かし、例えば都心部での歩行交通シミュレーションによる活性化施策の効果予測評価等、ミクロレベルでの高度な予測評価技術が構築できる。従来のプローブパーソンやモニターアンケート等、統計的信頼性には留意の必要な調査方式への負担を軽くすることもできる。ただし、人口流動統計では対象年齢が限られていることから、高齢者や子供等を対象とした計画にあたっては留意が必要である。

また、本研究で言及した判定方法への速度概念の導入や空間解像度の向上により、交通手段や移動目的等の推定の可能性も高まっていく。これにより、PT調査等における中間年等の補完情報としての活用だけでなく、PT本体調査のサンプル数を軽くできるなど、本体調査の一部代替機能を持たせることも視野に入ってくる。

6. おわりに

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の仕様を再考し、PT調査データや他の統計等との比較および実地調査を通じて、調査ゾーンレベルからミクロレベルに至る多様なスケールにおける交通実態を一定程度捉えていることを明らかにした。その結果を基に、より正確に交通実態を捉えるための課題および人口流動統計の作成手法の改良点を明らかにした。そして、これらの検証結果に基づき、都市交通に関する調査や計画等の分野への人口流動統計の活用可能性が高いことを明らかにし、活用にあたっての留意事項を考察した。

今後も、交通関連ビッグデータ等の様々な統計情報を用いて交通実態をより正確に捉えられるようにするための分析や工夫を進める必要がある。また、既存調査手法に対する代替や補完・高度化のニーズを踏まえ、それらに求められる条件を整える取組みを進める必要がある。

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効率的で効果的な調査・分析・予測・計画手法への改善、ひいては持続可能な社会の実現に寄与することを期待する。

謝辞：本研究の遂行にあたり、計量計画研究所の石井良治氏、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、鳥海大輔氏には資料収集、関係者間調整および貴重な意見を賜った。また、国土交通省都市計画調査室の菊池雅彦室長、井上直氏の両氏には、多くの貴重な示唆を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 新階寛恭, 田宮佳代子: 新技術を活用した交通実態調査の新展開, 交通工学, Vol.34増刊号, pp.23-28, 1999.
- 2) 大森宣暁, 室町泰徳, 原田昇, 太田勝敏: 交通行動調査へのGPSの適用可能性に関する研究, 交通工学研究発表会論文報告集, pp.5-8, 1998.
- 3) 牧村和彦, 中嶋康博, 長瀬龍彦, 濱田俊一: PHSを用いた交通データ収集に関する基礎的研究, 交通工学研究発表会論文報告集, pp.105-108, 1999.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 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.
- 19) (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2016.4)
- 20) 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, Vo.97, No.9, pp.806-811, 2014.
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) 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.
- 24) 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.
- 25) 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.
- 26) 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.
- 27) 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.
- 28) 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.
- 29) 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.
- 30) 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.
- 31) 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.
- 32) 今井龍一, 藤岡啓太郎, 新階寛恭, 池田大造, 永田智大, 矢部努, 重孝浩一, 橋本浩良, 柴崎亮介, 関本義秀: 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, 土木計画学研究・講演集, Vol.52, 2015.
- 33) (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2016.4)

(2016.4.?? 受付)

A STUDY ABOUT THE UTILIZATION POSSIBILITY OF MOBILE SPATIAL DYNAMICS BY THE COMPARISON WITH PERSON-TRIP SURVEY TECHNIQUE

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