

[人の動きを捉え社会を動かす人口流動統計]

②人口流動統計の開発 —携帯電話基地局の運用データに基づく OD量・移動経路・移動手段の推計—



池田大造 (株) NTT ドコモ



人口流動統計の概要

人流ビッグデータへの期待

都市交通計画をはじめとした幅広い分野において人の流動や交通実態の把握は重要であり、国勢調査、パーソントリップ調査(以降, PT 調査)といった統計調査(以降, 統計データ)が活用されている。これらは、いずれも伝統的な調査手法に基づき調査票を用いて作成される。調査頻度は5~10年に一度のため、災害対応や都市開発終了後の評価などの機動的な用途には適用できないことが指摘されてきた。

近年、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の移動に関する統計情報の生成手法の研究や実用化が進められてきた。その1つである携帯電話基地局の運用データに基づき生成されるモバイル空間統計は、携帯電話の電波を受信できていれば、24時間365日いつでもデータを生成できるという特徴がある。一方、この運用データは必ずしも人の移動に伴い発生するものではないため、人流を把握するためには運用データに基づき新たな統計量を推計する必要があった。

上記の背景を踏まえ、(株)NTTドコモは国土技術政策総合研究所、東京大学と共同研究を実施し、

人の流動に関する統計情報を交通計画などへ活用することを目的に、携帯電話基地局の運用データに基づき人口流動統計を開発した。具体的には、エリア間の人口流動を示すOD(Origin-Destination)量、移動経路および移動手段の推計手法の開発である。

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、基地局エリアごと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生成されるモバイル空間統計は、いつどこに何人いるかが分かる日本全国の人口分布統計として活用が進められている。

そうした中、人口流動の実態を示すビッグデータの生成、交通計画や防災計画などへの活用の期待の高まりを受けて、人口流動統計が開発された(図-1)。

人口流動統計は、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段階処理により生成される(図-2)。具体的には、人口流動統計の生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

特集
Special Feature

てエリア間を流動する人口を推計する「集計処理」、人口の少ない推計エリアを除去することで個人が特定できないようにする「秘匿処理」を経て生成される。集計処理では携帯電話の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生成されるため、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生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、1kmメッシュなどの単位で推計ができる。一方、郊外などでは基地局の設置密度が低いため、市区町村が1つの目安となる。

また、性別・年齢階層別・居住地別に分けた推計が可能であり、年齢階層は15～79歳から選択できる。このような特徴を持つ人口流動統計は、時間解像度・空間解像度や分計に用いる属性を用途に応じて決定できるため、柔軟に活用することができる。

OD 量の開発

OD 量の推計手法

携帯電話網の基地局で観測される信号は必ずしも人の移動に伴い発生するものでないため、運用データから人の移動を判定することが必要となる。携帯電話網の運用データは基地局の電波到達範囲内に所在する携帯電話に関するデータであり、位置登録処理によって基地局にて生成される。

位置登録処理は携帯電話が位置登録エリア外に移動した場合、もしくはおおよそ1時間ごとに行わ

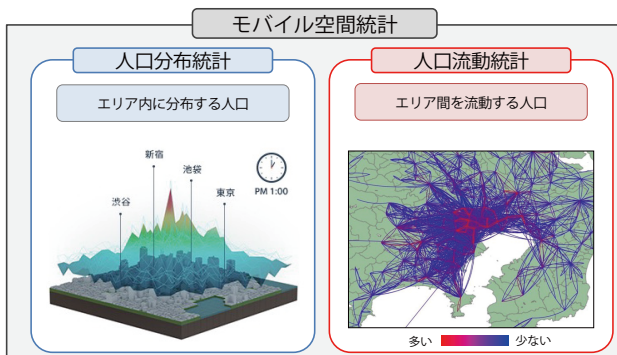


図-1 人口分布統計と人口流動統計

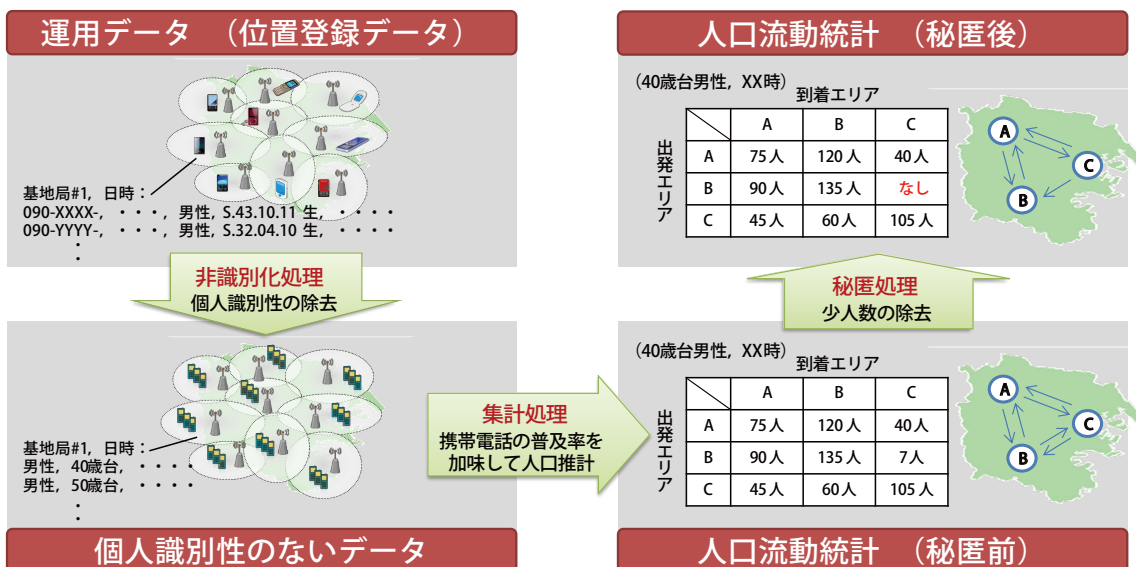


図-2 人口流動統計の生成処理

特集
Special Feature

れる (図-3)。位置登録信号が発生した際、その位置座標を参照し、次に観測された信号の位置座標を用いて移動距離を算出する。移動距離が所定の条件(1km としている)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 (図-4)。

位置登録処理の頻度がおおよそ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。このとき、滞留から移動へ切り替わる際に滞留した地点を出発エリア、移動から滞留へ切り替わる際に滞留した地点を到着エリアとして抽出する。

このように携帯電話の移動・滞留判定を行うことにより、エリア間を移動した人口を推計する。OD量は、移動した携帯電話の台数に基づき推計された移動量の総計であり、PT調査で推計されるトリップに該当する統計量である。

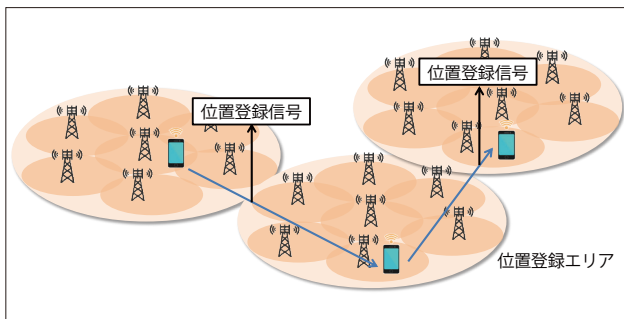


図-3 位置登録処理

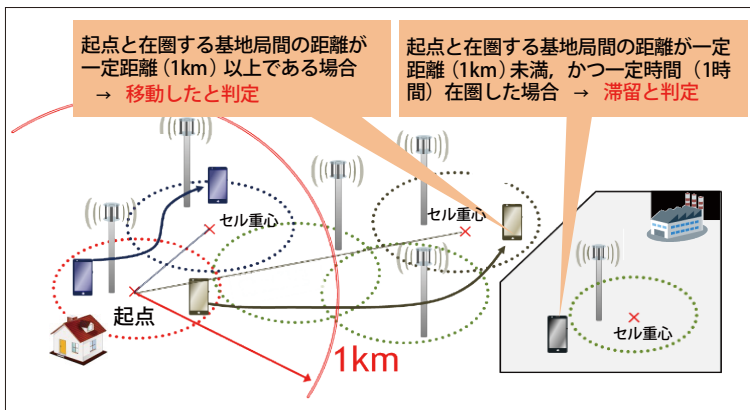


図-4 移動・滞留判定

OD量の比較検証

人口流動統計の活用方法を検討する上で、既存の統計データと比較し、特性の違いを把握することが重要である。比較対象とした統計データは静岡中部都市圏PT調査である。PT調査は都市圏居住者を対象とした調査であるため、人口流動統計のデータ仕様に合わせ、年齢を15歳～74歳に限定し、都市圏外から都市圏外へ移動したトリップを除外した。

PT調査の集計結果とOD量を比較すると、OD量(総量)はPT調査に対して約109%となった¹⁾。PT調査に対して人口流動統計が1割程度多かった要因には、人口流動統計の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ことが挙げられる。集計期間が異なることに留意が必要であるが、0.994と高い相関を示した市区間OD量は実態に近い傾向を捉えることができるといえる (図-5)。

生成原単位の比較検証

PT調査の基本統計量として用いられる一人あたりのトリップ数を示す生成原単位で比較すると、PT調査と比較して大きい傾向はあるものの、近い傾向を示した (表-1)。差分が発生する要因として

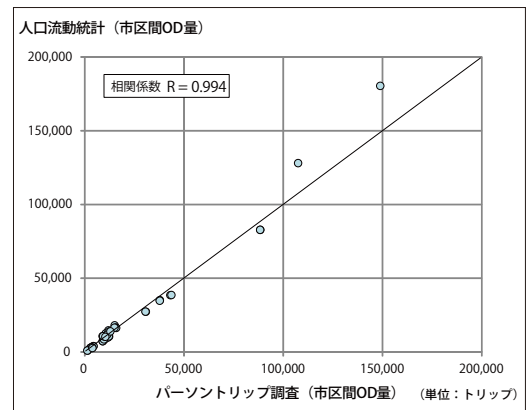


図-5 OD量の比較検証結果

特集
Special Feature

は、推計手法の差異により、PT 調査のアンケートでは把握できない近隣への一連のトリップの存在を人口流動統計では捉えていることがうかがえる。

外出率の比較検証

特定のエリアに滞留する住民のうち、ある 1 日に 1 回でも移動した住民の割合を外出率として推計した。PT 調査から算出した外出率と比較したところ、おむね一致した (表-2)。人口流動統計では、滞留エリアに居住地のほかに勤務地などが含まれるため、PT 調査における外出率の定義と異なることに留意が必要である。

代表性に関する検証

単一事業者の携帯電話網の運用データから生成されたモバイル空間統計の代表性という観点で、アンケート調査結果に基づき、携帯電話事業者間の利用者の日常の行動特性の比較検証が行われた²⁾。各携帯電話利用者の外出率や生成原単位 (1 日あたりの平均トリップ数) は、事業者間の差異はごくわずかであり、既存の統計データは本調査結果に基づく 95% 信頼区間の範囲内であった (表-3)。

表-1 生成原単位の比較検証結果

市区	生成原単位	
	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	—

表-2 外出率の比較検証結果

市区	外出率	
	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%	—

また、各年代において保有する携帯電話の事業者間でそれぞれ t 検定 (有意水準 5%) を行った結果、統計的に差異がないことが示された。属性ごとにトリップの平均所要時間や平均距離を算出した結果も PT 調査で公表されている結果とほぼ同様であり、保有する携帯電話の事業者による傾向に大きな差異はないことが明らかにされている (表-4)。

移動経路の推計

移動経路の推計手法

出発エリアから到着エリアまでの移動経路が分かると、幹線道路などの利用実態や、観光における周遊実態の把握に活用できる。携帯電話が長い距離もしくは長い時間かけて出発エリアから到着エリアまで移動した場合は、位置登録信号が発生する可能性が高い。そこで、人口流動統計を生成する過程で、位置登録信号が発生したエリアを通

表-3 事業者・年代別の外出率・トリップ数

年代 事業者	10代・20代			30代・40代			50代以上			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
サンプル数	151	150	148	163	155	158	171	173	167	
外出人数	139	134	135	142	141	146	148	156	144	
外出率 (%)	92.1	89.3	91.2	87.1	91.0	92.4	86.5	90.2	86.2	
トリップ数	383	368	341	369	384	385	424	462	396	
原単位	グロス	2.54	2.45	2.30	2.26	2.48	2.44	2.48	2.67	2.37
	ネット	2.76	2.75	2.53	2.60	2.72	2.64	2.86	2.96	2.75

(n=1,436)

表-4 事業者・年代別のトリップ時間・距離

年代 事業者	10代・20代			30代・40代			50代以上		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
トリップ数	383	368	341	369	384	385	424	462	396
平均所要時間 (分)	28.1	28.3	31.4	27.9	29.6	27.5	30.5	26.1	27.3
1時間以上トリップ数	41	39	42	39	41	43	50	56	56
平均移動距離 (km)	14.7	10.8	23.0	9.6	8.5	14.6	15.0	10.7	10.4
100km 以上トリップ数	5	6	10	0	0	7	7	4	1
100km 以上トリップを除く平均距離 (km)	9.6	9.0	9.6	9.6	8.5	9.3	10.5	8.8	10.2

(n=1,436)

特集
Special Feature

過エリアとして出力することで、移動経路を推計する手法を開発した。

具体的には、出発エリアから到着エリアまでの移動中に観測された位置登録信号をすべて抽出する(図-6)。出発エリアから到着エリアまでのトリップにおいて1つでも通過エリアが抽出できれば、通過エリアを地図情報と照らし合わせることで、移動経路を推計できる可能性が高まると考えられる。

移動経路の比較検証

このような手法で推計された移動経路別 OD 量の特性を把握するために比較検証を行った。ここでは、飛行機、新幹線および自動車を利用されている愛知県を出発し、東京都まで移動するトリップを取り上げ、東名高速道路・新東名高速道路・中央自動車道の3つの高速道路の利用割合を推計した(表-5)。

比較分析対象の統計データは、新東名(静岡県)インパクト調整会議における開通後1年間の高速道路の交通状況および整備効果の分析結果である。対象期間やトリップの定義が異なる点の考慮と、移動経路の推計手法における課題は残っているものの、今後の技術開発により、より交通実態に近い統計情報としての活用が期待される。

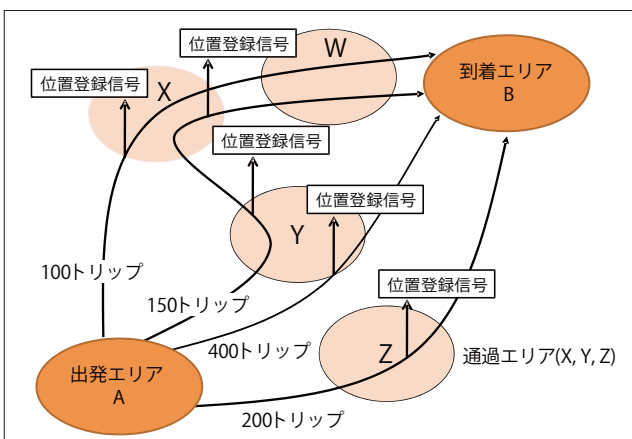


図-6 移動経路の推計手法

移動手段の推計

移動手段の推計アプローチ

人口流動統計は携帯電話の位置登録の仕組みを用いて生成されるため、都道府県を越える長距離スケールのトリップであれば、実際の移動速度・移動距離の大きな推計ができる可能性が高い。

このような観点で、飛行機、新幹線および自動車(高速道路)を利用したトリップの推計手法が開発された。移動手段別 OD 量を把握することができれば、観光施設の検討や混雑対策、周遊実態の把握などに活用できる。

携帯電話の仕組み上、飛行機が飛行する上空には電波が届かないため、電源断の事象が発生する。この事象を捉えることができれば、飛行機の推計が可能である(電源断による判定)。さらに、新幹線や高速道路は決まったルートを通ることから、携帯電話が通過する基地局エリアを抽出できれば、飛行機、新幹線、自動車(高速道路利用)を利用したトリップを推計できる可能性がある(基地局リストによる判定)。また、携帯電話の移動速度を捉えることができれば、どの手段で移動したか推計できる可能性がある(移動速度による判定)。

飛行機利用トリップの推計手法

まず、空港周辺にある基地局リスト判定を用いて飛行機利用トリップを推計した。ここで、空港周辺の住宅エリアが含まれる可能性を極力排除するため、出発エリア、到着エリアそれぞれ空港の評点位置から一定距離内(3km, 5km, 10kmを用いた)にある基地局を対象とした。

全国幹線旅客純流動調査を用いて県間 OD 量を

表-5 自動車利用トリップに対する利用割合

高速道路	自動車トリップに対する利用割合	
	整備効果	人口流動統計
東名高速道路	23.4%	36.9%
新東名高速道路	68.4%	55.9%
中央自動車道	8.2%	7.2%

特集 Special Feature

比較したところ、高い相関性が示された(図-7)⁴⁾。空港から10km範囲内の基地局リスト判定が最も近い値になることが分かっている。また、空港周辺基地局リスト判定だけでなく、電源断判定と移動速度判定を組み合わせることにより、新幹線利用を飛行機利用と誤って判定するトリップを低減できる可能性が示された。

新幹線利用トリップの推計手法

トリップ中の最高速度に着目することで、長距離移動手段の中で新幹線を利用したトリップを推計できる可能性がある。また、新幹線の沿線上を必ず通過するため、位置登録信号が連続して新幹線の沿線上で発生した場合、新幹線利用トリップとして推計できる可能性がある。そこで、最高速度判定および新幹線沿線基地局リスト判定を組み合わせ、新幹線利用トリップの推計を行った。

ここで、最高速度判定とは、移動中の最高速度がある範囲内(一例として、マージンも考慮し180km/h以上350km/h未満とした)の場合に新幹線利用トリップと判定する。新幹線沿線基地局リ

スト判定では、移動中に観測された位置登録信号が3回連続で新幹線から一定距離内にある基地局である場合に、新幹線利用トリップとして判定する。また、同様のアプローチを用いて、自動車(高速道路)利用トリップの推計手法が開発されており、より実態に合った移動手段別OD量を推計できる可能性が明らかにされている。

今後の展望

人口流動統計は都市交通計画をはじめとした幅広い分野で活用できる統計的信頼性を持つビッグデータとして開発された。携帯電話の仕組みを活用して生成された統計情報であり、その特徴を把握した上で活用することが重要である。人の流動を把握できるデータはGPS、無線LAN、プローブデータなど多岐にわたるため、これらの特性を踏まえた上で組み合わせることで技術開発が進み、人流ビッグデータの活用がますます広がることを期待したい。

参考文献

- 1) Imai, R., Ikeda, D., and Shingai, H., Nagata, T. and Shigetaka, K.: Origin-Destination Trips Generated from Operational Data of Mobile Network for Urban Transportation Planning, ASCE Journal of Urban Planning and Development, Vol.147, No.1 (Mar. 2021).
- 2) 矢部 努, 北村清州, 高野精久, 池田大造, 今井龍一: 携帯電話網の運用データに基づく人口統計の代表性に関する検証, 土木計画学論文集 D3 (土木計画学), Vol.74, No.5, pp.L_43-L_54 (Jan. 2019).
- 3) 北川大喜, 福手亜弥, 関谷浩孝, 糸氏敏郎, 池田大造, 永田智大, 今井龍一: 人口流動統計を用いた移動経路の推計手法に関する一考察, 土木計画学論文集 D3 (土木計画学), Vol.75, No.5 (土木計画学研究・論文集第36巻), pp.L_555-L_563 (Jan. 2019).
- 4) 北川大喜, 関谷浩孝, 糸氏敏郎, 池田大造, 永田智大, 福手亜弥, 新階寛恭, 今井龍一: 携帯電話基地局の運用データを用いた長距離移動手段の推計手法に関する一考察, 土木計画学論文集 D3 (土木計画学), Vol.74, No.5, pp.L_633-L_646 (Jan. 2019). (2021年5月31日受付)

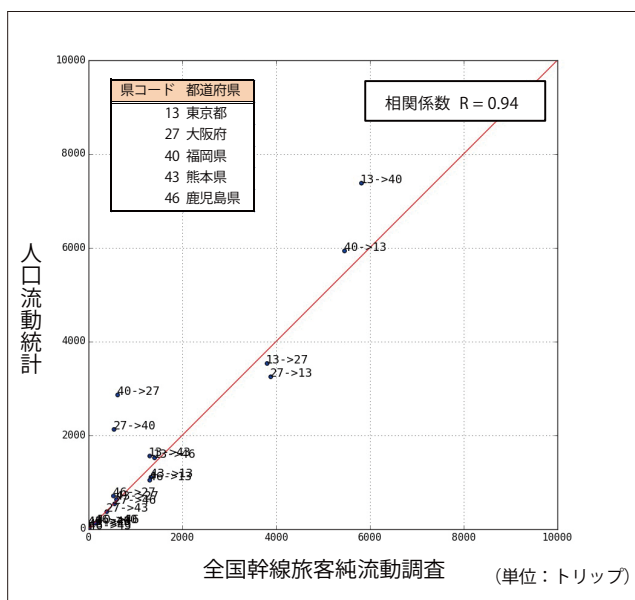


図-7 飛行機利用トリップの推計結果

■池田大造 (正会員) ikedad@nttdocomo.com

マサチューセッツ工科大学(MIT)修士課程修了。博士(工学)。1996年NTTドコモに入社以来、モバイルインターネット(iモード)を実現するパケット移动通信システム、モバイル空間統計の開発等に従事。令和2年度科学技術分野の文部科学大臣表彰受賞。