

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

北川 大喜¹・福手 亜弥²・関谷 浩孝³・糸氏 敏郎⁴・
池田 大造⁵・永田 智大⁶・今井 龍一⁷

¹非会員 株式会社エイト日本技術開発 国土インフラ部 (〒164-8601 東京都中野区本町五丁目33-11)
E-mail: kitagawa-da@ej-hds.co.jp

²非会員 株式会社NTTドコモ プラットフォームビジネス推進部
(〒100-6150 東京都千代田区永田町2-11-1)
E-mail: aya.fukute.wb@nttdocomo.com

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
E-mail: sekiya-h92tb@milit.go.jp

⁴非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
E-mail: itouji-t86ps@milit.go.jp

⁵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

⁶非会員 株式会社NTTドコモ プラットフォームビジネス推進部
(〒100-6150 東京都千代田区永田町2-11-1)
E-mail: nagatatom@nttdocomo.com

⁷正会員 法政大学准教授 デザイン工学部 都市環境デザイン工学科
(〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-33)
E-mail: ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp

携帯電話基地局の運用データを基にした人口流動統計 (OD量) を用いて移動経路の推計手法を開発すれば, 国内最大規模のサンプル数を基にした24時間365日ごとの出発エリア・到着エリア別移動経路を把握できる. 本論文はその推計手法を提案および比較分析した. 本論文では, 人口流動統計を生成する過程で, 位置登録信号が観測されたエリアを通過エリアとして出力し, 移動経路を推計する手法を提案した. 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通過エリアとして抽出し, 通過エリアを地図情報と照らし合わせて, 移動経路を推計する手法を考案した. 比較分析として, 既存調査と比較分析を行ったところ, 高速道路の利用割合が整合する結果を得た.

Key Words : urban transportation planning, mobile base station, mobile spatial dynamics, moving path, OD trip

1. はじめに

(1) 背景と目的

携帯電話やカーナビゲーションシステムから取得される人や車の移動実態の常時取得が可能な交通関連ビッグデータは, 交通計画や防災計画などへの活用が強く期待されており, 研究や実用化が活発となっている.

この交通関連ビッグデータのひとつである, 携帯電話基地局の運用データを基にした統計情報は, 平成26年時

点で, ある時間のあるエリアにいる人の数 (10時台A市に15,000人, 11時台A市に20,000人など) の滞留人口を示す人口分布統計であった. そのため筆者らは, この統計情報を交通計画へ適用することなどを目的に, この統計情報からどこへ, どのような人が何人移動したかの情報 (OD量) を示す統計情報 (以下, 「人口流動統計」という.) を開発した¹⁾³⁾. この人口流動統計を利用して, 出発エリア・到着エリア間でどの経路を利用したかを推計できれば, 下記の用途へ展開ができると考えられる.

- ・ 特定の出発エリア・到着エリア間の移動において、新規バイパスや新規高速道路の開通により、どの経路の交通量がどの程度変化しているのかの把握。

上記の推計結果と近いことを示す既存統計情報として、自動車交通量調査結果やETC2.0プローブ情報がある。自動車交通量調査結果は、特定の日の実際の自動車交通量を把握することができる。しかし、出発エリア・到着エリアごとの交通量は不明であり、人員や調査準備が伴う課題がある。ETC2.0プローブ情報は、出発エリア・到着エリア・移動経路ごとのトリップ数を示せる。しかし、基データとなるETC2.0の利用率は年々増えているものの、18.6%⁴⁾と普及率が低いという課題がある。以上より、既存統計情報は、上記の推計への利用には適していない。一方、人口流動統計から上記の推計手法を開発すれば、国内最大規模のサンプルデータを元にした24時間365日1時間単位の出発エリア・到着エリア間の移動経路を把握できる。すなわち、既存統計情報の課題の解決策となる。そこで、筆者らは、人口流動統計から移動経路を推計する手法を開発した。本論文では推計手法の提案およびケーススタディによる推計結果と既存統計調査との比較分析の結果を考察する。

(2) 人口流動統計の特性

これまで筆者らが開発した人口流動統計は、出発エリアと到着エリアごとのトリップを表すOD量を推計した統計情報である²⁾。携帯電話基地局の運用データには、携帯電話の位置データや性別・年代・居住地といった属性データが含まれる。携帯電話の位置データは携帯電話が所在する基地局の電波到達範囲（以下、「基地局セル」という。）を示すデータであり、携帯電話の位置登録処理によって基地局にて取得される。位置登録処理は、いどこにいても電話やメールができるように、携帯電話が在圏する基地局セルを把握するために実施される。位置登録処理は複数の基地局セルから構成される基地局セルグループ外に移動した場合、もしくはおよそ1時間ごとに行われる（図-1）。筆者らはこのような携帯電話網の仕組みに着目し、人口流動統計を生成する手法を開発した²⁾。具体的には、位置登録処理が行われた後に、所在した基地局セルと過去に所在した基地局セルとの移動距離を算出し、所定のしきい値（本論文では1km）を超えた場合に移動と判定する。一方、所定の移動距離を超えて移動せずに1時間以上滞在したことをもって滞留中と判定する（図-2）³⁾。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、集計ゾーン間を移動する人口の推計が可能となる。このとき、人口流動統計は、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（非識別化処理、集計処理、秘匿処理）を用いて生成される。非識別化処理では、人口流動統計の作成に不要な携帯電話番号などを除去することで個人識別性がないデータとする。集計処理では、携帯電話台数から住民基本台帳データを用いて性別・年代別・居住地別に拡大処理を行い、ODごとにトリップを集計する。秘匿処理では、少人数の場合に出力データの対象から除去する。このような処理を経て人口流動統計を生成するため、個人を特定することはできない情報となる。OD量は、パーソントリップ調査や全国道路・街路交通情勢調査（以下、「道路交通センサス」という。）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）。

上述した移動・滞留判定手法を用いてゾーン間のトリップが抽出されるため、出発エリアおよび到着エリアは1時間以上滞留した地点が選定される。そのため、1時間滞在しなかった地点を出発エリアおよび到着エリアから

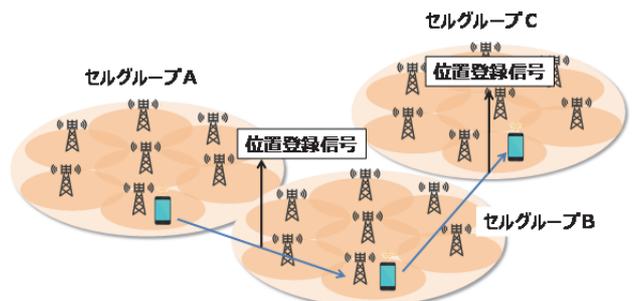


図-1 位置登録処理

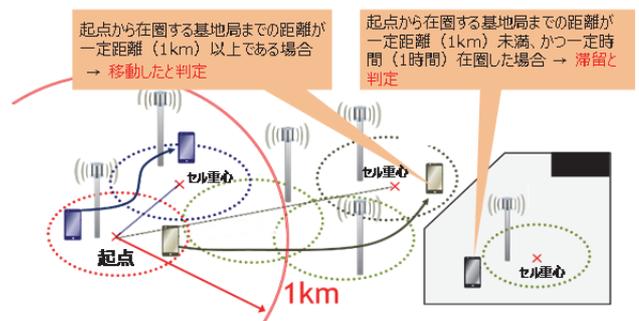


図-2 移動・滞留判定処理

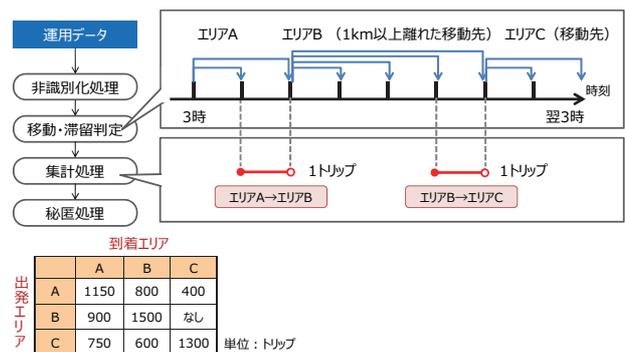


図-3 人口流動統計のOD量の推計手法

知ることができない。また、出発エリアから到着エリアまでの移動経路を推計するための情報は取得できないという課題がある。そのため、本論文では課題であった移動経路を推計する手法を開発する。

2. 既往研究との比較

携帯電話基地局の運用データを基にした統計情報を利用して交通計画等へ適用する手法は、今井ら⁵⁾の研究、新階ら⁶⁾の研究、北川ら⁷⁾の研究、松島ら⁸⁾の研究、Gonzalezら⁹⁾の研究、長谷川ら¹⁰⁾の研究がある。今井らは、人口流動統計とPT調査結果に基づく自動車トリップ換算係数、PT調査結果に営業用車などのトリップを加味した自動車トリップ換算係数、GPSデータに基づく自動車トリップ換算係数それぞれ3パターンから、自動車OD量を推計する手法を提示した。新階らは、人口流動統計とWEBアンケート調査結果を利用し、移動目的別や移動手段別のOD量を生成した。北川らは、特徴的な移動となる高速道路による移動手段判定手法を考案し、既存統計調査と比較評価し、携帯電話基地局の運用データから移動手段を把握できることを明らかにした。松島らは、人口流動統計とETC2.0プローブ情報を組み合わせる事により、広域的な道路交通状況を把握する手法を提案した。Gonzalezらは、匿名化された10万人の長期間移動軌跡データを分析し、人の移動に時間的・空間的な規則性があることを示している。長谷川らは、CDR (Call Detail Records) を用いて17人の移動経路を長期間の観測履歴を用いて推計し、GPS観測履歴と比較を行っている。

今井らの研究、新階らの研究、北川らの研究は、人口流動統計を用いて移動手段や目的など付加価値があるOD量を求める手法を提案しているが、OD間のどの移動経路を利用しているかを分析していない。松島らは、ETC2.0プローブ情報を組み合わせることで、サンプル数が多い状態で移動経路を分析できることを提案したが、有用性の検証が未対応である。Gonzalezらの研究は、移動経路を分析しているものの、移動経路の規則性を示すのみであり、一つ一つのトリップがどの経路を利用したのかを分析していない。これに対し本論文は、人口流動統計を用いて、出発エリア・到着エリア間でのどの経路を利用したかを全トリップで一つ一つ推計し、経路毎のトリップ数を推計する手法を提案する。

3. 移動経路の推計手法の提案

(1) 推計手法

第1章の(2)で示したとおり、人口流動統計は、1時間以

上滞在した地点間を移動するトリップを表すOD量を推計した統計情報である。出発エリアから到着エリアまでの移動経路を推計するためには、移動中に観測される位置登録処理に伴う信号(以下、「位置登録信号」という。)を活用する必要がある。位置登録処理は携帯電話に対して着信を行うために実行されるもので、複数の基地局セルから構成される基地局セルグループ外に移動した場合、もしくはおよそ1時間ごとに行われる。着信処理は同一のセルグループに所在する全ての携帯電話に対して一斉に行われるため、セルグループが大きいと着信トラヒックが増え、小さいと位置登録トラヒックが増える。このように着信トラヒックと位置登録数頻度のトレードオフが存在するため、セルグループは最適な大きさに設計される。位置登録の仕組みによって、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に移動した場合は、位置登録信号が観測される可能性が高い。そのため、筆者らは人口流動統計を生成する過程で、位置登録信号が観測されたエリアを通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試行した。具体的には、出発エリアから到着エリアまでに移動中に観測された位置登録信号をすべて抽出する(図-4)。仮に

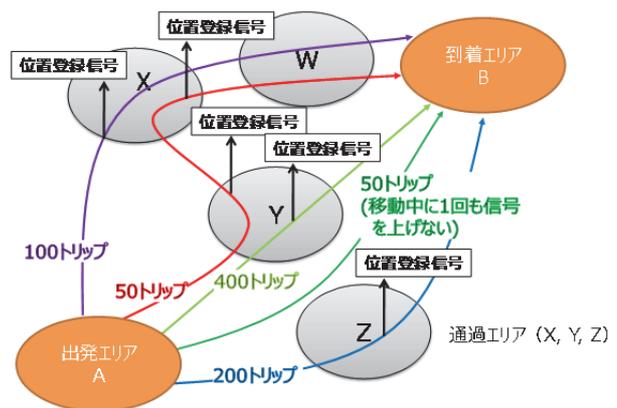


図-4 移動経路の推計手法

表-1 従来のトリップデータ仕様

集計日	出発エリア	到着エリア	トリップ数
20180731	A	B	800

表-2 移動経路別トリップデータ仕様

集計日	出発エリア	到着エリア	通過エリア	初回通過フラグ	トリップ数
20180731	A	B	X	1	100
20180731	A	B	X	0	50
20180731	A	B	Y	1	450
20180731	A	B	Z	1	200
20180731	A	B	-1	1	50

出発エリアから到着エリアまでのトリップにおいて一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いと考えられる。

位置登録信号が観測された基地局セルを通過エリアとして抽出する際にはいくつか確認すべき課題がある。まず、出発エリアから到着エリアまでの移動中に位置登録信号が複数回観測されたケースを考える。位置登録の開始時間は携帯電話により異なり、セルグループの定義は必ずしも全ての携帯電話で同一ではないことから、複数の通過エリアを経由したトリップに対してODごとに全ての通過エリアを出力する場合に少人数になり、人口流動統計を生成する過程で秘匿される可能性がある。そのため、通過エリアが複数存在した場合、ODペアごとに一つのみ出力することとする。このとき、通過エリアが一

表-5 推計対象とした通過エリア

高速道路	対象区間
東名高速道路	・浜名湖 SA～焼津 IC 区間
新東名高速道路	・浜松いなさ JCT～藤枝岡部 IC 区間
中央自動車道	・東京都～愛知県区間

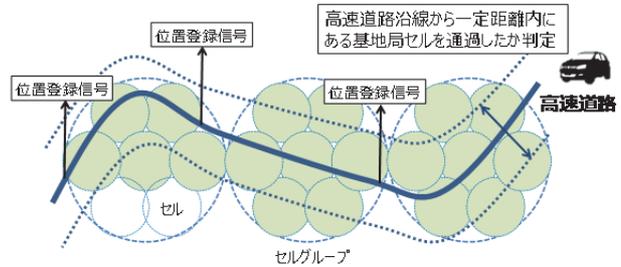


図-5 高速道路沿線の基地局セル通過判定

表-3 データ作成条件

項目	集計条件
時間解像度	・1日 (2015年10月20日(火))
出発エリア	・愛知県
到着エリア	・東京都

表-4 通過エリアの適用条件

項目	適用条件
移動経路間の距離	・都心部 2km以上 ・郊外部 5km以上
走行時間	・30～60分程度
走行距離	・50～100km程度

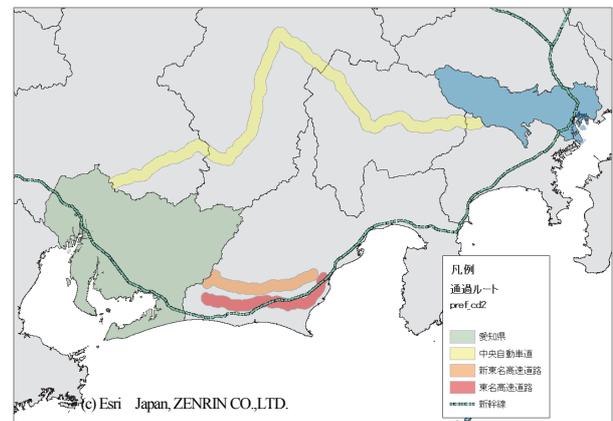


図-6 通過エリア (東海道新幹線除外なし)

表-6 移動経路別トリップ数の推計値と整備効果の分析結果の比較結果

データ	項目	トリップ 総数	自動車トリップ			その他 トリップ	信号観測 なし
			東名高速道路	新東名高速道路	中央自動車道		
移動経路別トリップ 数の推計値 (東海道 新幹線除外なし)	トリップ数(トリップ/日)	19,631	2,285	2,024	259	14,695	368
	総数に対する自動車トリップの割合 (%)	—	11.6	10.3	1.3	74.9	1.9
	自動車トリップ数に対する利用割合 (%)	—	50.0	44.3	5.7	—	—
移動経路別トリップ 数の推計値 (東海道 新幹線除外あり)	トリップ数(トリップ/日)	19,631	1,337	2,024	259	15,643	368
	総数に対する自動車トリップの割合 (%)	—	6.8	10.3	1.3	79.7	1.9
	自動車トリップ数に対する利用割合 (%)	—	36.9	55.9	7.2	—	—
整備効果の分析結果	トリップ数(トリップ/日)	29,100	6,800	19,900	2,400	—	—
	自動車トリップ数に対する利用割合 (%)	—	23.4	68.4	8.2	—	—

つの場合は、出力されるデータは、従来のトリップデータ形式となる。一方、通過エリアが複数抽出された場合、従来のトリップデータに対して通過エリア数の分だけデータを作成することとする。このとき、通過エリアとは別に従来のトリップ数を推計できるようにする必要がある。そのため、通過エリアのうち、出発後に最初に信号が観測されたエリアを示す初回通過フラグをつけることで、初回通過フラグが「1」のODペアのみを集計すれば、従来のトリップ数を推計できる仕様とする(表-2)。また、通過エリアがない場合、通過エリアがないことを識別するフラグ(例：-1)を付与する。同一の集計ゾーン(例：市区町村)にて、複数の位置登録信号が観測された場合、一つの通過エリアとしてまとめることで、秘匿される可能性を緩和する。このようにして通過エリアを出力することで、出発エリアから到着エリアまでの移動経路を推計することができるか検証を行う。

(2) 比較分析

本節では、前節の推計手法を用いた移動経路別トリップ数の比較分析する。ここでは、自動車及び新幹線、飛行機等、どの交通手段も利用されており、自動車以外の移動を誤計測する可能性が高いトリップである愛知県を出発し、東京都まで移動するトリップを取り上げ(表-3)、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できるかデータを作成した上で分析する。

まず、通過エリアを用いて移動経路を推計するため、通過エリアとしてどのようなゾーンングを用いるかを考案する。ここで考慮すべき点として、以下の3点があげられる。

- ・基地局の設置密度
- ・通過エリアにて信号が観測される可能性
- ・秘匿の影響

最初に基地局の設置密度から考案する。基地局の設置間隔は都心部ではおおむね500mから1km、郊外部では数kmであることから、異なる移動経路を利用したにも拘わらず、位置登録信号を同一の基地局セルで観測されるケースを対象外にするため、推計対象とする移動経路間の距離として、都心部では2km以上、郊外部では5km以上を確保する必要がある。次に、通過エリアで信号が観測される可能性から考案する。たとえば、通過エリアとして500mメッシュを適用した場合、通過エリア上で信号が観測されれば移動経路を推計できる可能性が高い。一方で、前述したとおり位置登録処理は複数の基地局セルから構成される基地局セルグループ外に移動した場合、もしくはおよそ1時間ごとに行われるため、高速道路を移動中に特定の500mメッシュで携帯電話が観測される可能性はきわめて低いと考えられる。また、移動経路上

の複数のメッシュで観測されることになり、それぞれのメッシュごとの観測数は少数になる可能性が高く、秘匿処理により出力されない可能性が高い。高速道路の利用割合の推計では、必ずしも通過エリアとして小さなゾーンを用いる必要がないことから、ある程度の区間を包含するようなゾーンングが望ましい。位置登録処理は前述したとおり、複数の基地局セルから構成される基地局セルグループ外に移動した場合、もしくはおよそ1時間ごとに行われる。セルグループはおおむね県単位に設計され、トラヒックの増大に伴い小さくなっていく傾向にある¹¹⁾。このような携帯電話網の仕組みを考慮して、位置登録信号が観測されるための走行時間として30~60分、走行距離として50~100kmを適用条件として設定した(表-4)。この適用条件を用いて、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するために、それぞれの高速道路上の通過エリアとして設定する区間を選定した(表-5)。ここで各区間の高速道路は、国土数値情報ダウンロードサービス¹²⁾の高速道路時系列データを用いて、高速道路沿線から一定距離内にある基地局セルにおいて、位置登録信号が観測された場合、その高速道路を通過したトリップと推計する(図-5)。本研究では、高速道路沿線からの距離として、山間部周辺では基地局セルが半径1km以上である可能性を考慮し、高速道路を走行していれば信号が観測されるよう3km以内と設定した。

ここで、東名高速道路は東海道新幹線と重複する区間が多く存在するため、東海道新幹線を利用したトリップが東名高速道路を通過したトリップとして推計される可能性がある。これまで筆者らは、高速道路区間から新幹線と重複している区間を除外したものを高速道路の通過エリアとして設定した場合の有効性を明らかにした。本論文でも、東名高速道路の通過エリアを用いたものとは

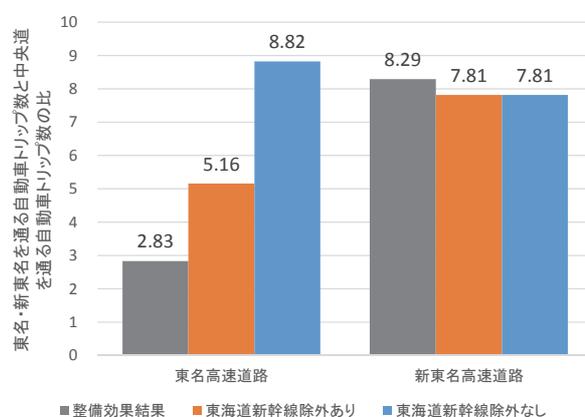


図-7 東名高速道路・新東名高速道路を通る自動車トリップ数(東海道新幹線除外あり、なし)と中央自動車道を通る自動車トリップ数の比

別に、東海道新幹線と重複している区間を除外したものを東名高速道路の通過エリアとして用いて検証することとした（図-6）。

比較分析の際に真値とするデータとして、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¹³⁾の分析結果（以下、「整備効果の分析結果」という。）を用いた。具体的には、2012年9月1日～2012年9月30日における中京圏以西～首都圏以東の1日の平均利用交通量を用いた。愛知県から東京都まで移動した総トリップ数及び自動車トリップ数に対する、それぞれの高速道路の利用割合に係わる整備効果の分析結果と比較分析を行った（表-6）。比較の結果、図-7より、東海道新幹線除外なしの移動経路別トリップ数の推計値よりも、東海道新幹線除外ありの通過エリアによる移動経路別トリップ数の推計値の方が整備効果の分析結果と近い傾向を示した。高速道路を利用した経路のトリップ数の割合を求める場合、高速道路の通過エリアから新幹線の通過エリアとの重複箇所を除外した方が真値に近づくことが示された。なお、東名高速道路における整備効果結果と、東海道新幹線除外ありの結果のトリップ数の比で約2倍近い差があるが、これは一般道路や在来線を利用したトリップが含まれているためと考えられる。以上より、出発エリアから到着エリアへの移動経路推計時に用いる高速道路の通過エリアと他の移動手段の通過エリアに重複箇所が存在する場合は、重複箇所を除外した方が良いと考えられる。

次に参考として、移動経路別トリップ数を移動手段別トリップ数の割合の観点から比較分析を行った。ここで、移動手段別の割合を直接推計できないことから、移動手段別トリップ数の割合の算出を試みた。まず、移動経路

別トリップ数の推計値（整備効果の分析結果と近い傾向を示した東海道新幹線除外ありの通過エリアによる移動経路別トリップ数の推計値とした。）のうち、東名高速道路、新東名高速道路、中央自動車道それぞれを通過したトリップを自動車を利用したトリップとして合算した。次に、前述した3つの高速道路以外の経路を通過したトリップを新幹線を利用したトリップ、移動中に一度も位置登録信号が観測されなかったトリップを飛行機を利用したトリップとみなすことで、移動手段別の割合を算出した上で既存統計調査と比較した（表-7）。既存統計調査として、高速道路を利用したトリップには平成27年度道路交通センサス OD 調査、新幹線を利用したトリップは平成27年度幹線鉄道旅客流動調査、飛行機を利用したトリップには平成27年度航空輸送統計年報を用いた。ここで、道路交通センサス OD 調査は、トリップの単位が自動車の台数であるため、道路交通センサス OD 調査のうち、「自動車利用特性自動車利用特性マスターデータ」を用いて求めた平均乗車人数の1.3を自動車トリップ数に掛け合わせて、人単位のトリップ数に変換した。平成27年度航空輸送統計年報は、10月の中部空港から羽田空

表-7 移動手段別トリップ数（割合）

移動手段	既存統計調査	トリップ数の推計値
総数	16,477 (1.000)	19,631 (1.000)
自動車	2,292 (0.139)	3,620 (0.185)
新幹線	13,892 (0.843)	15,643 (0.797)
飛行機	293 (0.018)	368 (0.019)

表-8 移動経路別トリップ数（移動手段推計あり、なし）の推計値と整備効果の分析結果の比較結果

データ	項目	トリップ 総数	自動車トリップ		
			東名高速道路	新東名高速道路	中央自動車道
移動経路別トリップ 数の推計値（移動手 段推計なし、東海道 新幹線除外あり）	トリップ数(トリップ/日)	19,631	1,337	2,024	259
	総数に対する自動車トリ ップの割合 (%)	—	6.8	10.3	1.3
	自動車トリップ数に対す る利用割合 (%)	—	36.9	55.9	7.2
移動経路別トリップ 数の推計値（移動手 段推計あり、東海道 新幹線除外あり）	トリップ数(トリップ/日)	19,631	475	1,516	163
	総数に対する自動車トリ ップの割合 (%)	—	2.4	7.7	0.8
	自動車トリップ数に対す る利用割合 (%)	—	22.1	70.4	7.6
整備効果の分析結果	トリップ数(トリップ/日)	29,100	6,800	19,900	2,400
	自動車トリップ数に対す る利用割合 (%)	—	23.4	68.4	8.2

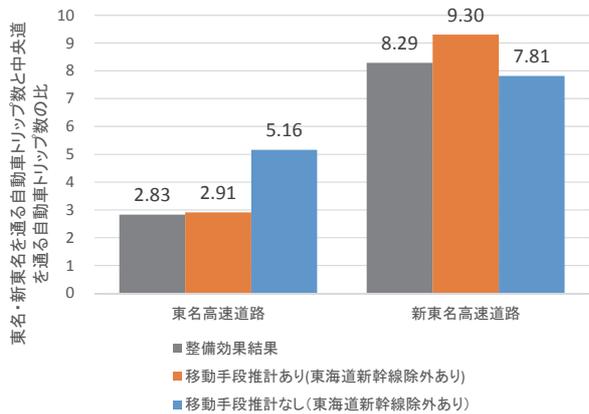


図-8 東名高速道路・新東名高速道路を通る自動車トリップ数(移動手段推計あり, なし)と中央自動車道を通る自動車トリップ数の比

港までの旅客数であるため、10月の平均旅客数を算出した。比較の結果、既存統計調査とトリップ数の推計値の移動手段別トリップ数の割合の傾向はおおむね一致した。

4. 移動手段の推計後に移動経路を推計する手法の提案

(1) 推計手法

第3章では、高速道路を利用したトリップの移動経路を推計する場合、全移動手段のトリップを対象に推計している。本来であれば全移動手段のトリップでなく、高速道路を利用したトリップに限定して推計した方が望ましい。本節では、移動経路の推計前に北川らが提案した高速道路を利用したか否かを推計する手法を利用して高速道路を利用したトリップを抽出し、そのトリップを対象に移動経路を推計し、比較分析を行った。なお、筆者らが提案した高速道路を利用したか否かを推計する手法は複数の手法が提案されているが、そのうち最も道路交通センサスの値との差の絶対値の合計が少なかった新幹線除外あり、周辺基地局範囲3km、ケース3「最高速度判定及び沿線周辺通過判定」を実施する手法を採用した。ここで、「最高速度判定」とは、最高速度がある条件を満たした場合に高速道路利用トリップと判定する処理であり、「沿線周辺通過判定」とは、トリップ中に基地局セルグループを跨いだ際に観測された信号が3回連続で高速道路沿線の一定距離内にある基地局にある場合に、高速道路を利用したトリップと判定する処理である。

(2) 比較分析

既存の分析結果との比較結果は表-8のとおりである。真値とするデータは、第3章と同様に整備効果の分析結果を用いた。比較の結果、図-8より移動手段推計後に移

動経路別トリップ数を推計した値の方が整備効果の分析結果の割合と近い傾向を示した。これは、それぞれの高速道路に重複した一般道路や在来線を利用して移動したトリップが移動手段推計を実施することにより、除外されるためと考えられる。なお、新東名高速道路に関しては、移動手段推計後に移動経路別トリップ数を推計した値の方が整備効果結果の値より乖離が大きくなっている。この要因として、既存の分析とデータ取得間に、遠州森町スマートICが開通する等、新東名高速道路の利便性が向上したためと考えられる。

5. まとめ

本章では、筆者らが開発した人口流動統計から移動経路を推計する手法の提案及びケーススタディによる推計結果と既存統計情報との比較分析の結果を考察した。まず、人口流動統計から通過エリアを利用して移動経路を推計する手法を提案した。次に、その手法を用いて、東名高速道路・新東名高速道路・中央自動車道の3つの高速道路を通過エリアとして設定し、東海道新幹線除外あり・なし、移動手段の推計あり・なしそれぞれの通過エリアによる移動経路別トリップ数の推計値と整備効果の分析結果を比較した。最後に参考として、移動経路別トリップ数を移動手段別トリップ数の割合の観点から比較分析を行った。その結果、以下のことを明らかにした。

- ・高速道路を利用した経路別トリップ数の割合を求める場合、高速道路に重複した新幹線を利用して移動したトリップを除外するため、高速道路の通過エリアから新幹線の通過エリアとの重複箇所を除外した方が真値に近づく。
- ・移動経路を推計する手法から求めた移動手段別トリップ数の割合が既存統計調査と概ね一致する。
- ・移動手段推計後に移動経路別トリップ数を推計した値の方が高速道路に重複した一般道路や在来線を利用して移動したトリップを除外するため、移動手段推計を実施せず移動経路別トリップ数を推計した値よりも真値に近づく。

また、今後移動経路の推計手法の研究をさらに進める上で課題となる点として以下の6点あげる。

1点目は、移動経路の推計手法の評価方法が挙げられる。特定の出発エリア・到着エリア間の移動において、新規バイパスや新規高速道路の開通により、どの経路の交通量がどの程度変化しているのかを推計できる、かつサンプルが充分にある統計がない。そのため、本論文では、代替として出発エリア・到着エリアを広くした移動経路別トリップ数の割合で移動経路別トリップ数の推計値の割合を比較した。また、移動手段別トリップ数の割合と、

既存統計調査の移動手段別トリップ数の割合を比較した。しかし、本来は出発エリア・到着エリアごとの移動経路別トリップ数の割合で評価をする必要がある。

2点目は、比較対象データの年度の整合が挙げられる。人口流動統計の最古のデータは2015年である。そのため、本論文での移動経路別トリップ数の推計値はこの年度(2015年度)だが、比較対象とした整備効果の分析結果の対象年度(2012年度)と乖離があり、その年度間に対象範囲内で事故やイベントが起こった際に大きく交通量が変化するという課題がある。

3点目は、移動経路の推計時にその移動経路を通る移動手段以外の通過エリアとの重複箇所を除外すべきか否かの確認が挙げられる。本論文では、高速道路を利用した経路のトリップ数の割合を求める場合、高速道路の通過エリアから新幹線の通過エリアとの重複箇所を除外した方が良いことが示された。しかし、新幹線以外のその他の移動手段の通過エリアとの重複箇所も除外すべきか否かを確認する必要がある。

4点目は、実際は1つのODにもかかわらず、人口流動統計では2つ以上のODに分割される点が挙げられる。例えば、途中でサービスエリアにて1時間休憩した場合、実際は1つのODであるにもかかわらず、人口流動統計の特性の関係上、出発地発・休憩したサービスエリア着、休憩したサービスエリア発・到着地着の2つのODに分割される可能性がある。そのため、対象とした移動経路上で1時間滞在した場合は出発地・到着地と定義しないなど、移動経路の推計手法におけるODの推計方法を変更する必要がある。

5点目は、途中で別の経路を通るトリップの誤抽出が挙げられる。本論文では、通過エリア内で信号を1回以上抽出した場合、指定の経路を利用したとしているが、信号抽出後、別の経路を移動している可能性があることに留意する必要がある。

6点目は、出発エリア・到着エリアに応じた通過エリアの適用条件の選定が挙げられる。本論文では、出発エリア・到着エリアに関係なく通過エリアの適用条件を設定したが、基地局の設置密度は場所により異なるため、出発エリア・到着エリアによって適用条件を変更する必要がある。

参考文献

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 東京大学, 株式会社 NTT ドコモ: 携帯電話基地局の運用データに基づく人の移動に関する統計情報の交通計画等への適用に関する共同研究, 国土技術政策総合研究所資料,

No. 1015, 2018.

- 2) 今井龍一, 藤岡啓太郎, 新階寛恭, 池田大造, 永田智大, 矢部努, 重高浩一, 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, CD-ROM (No. 142), 2015.
- 3) 新階寛恭, 今井龍一, 池田大造, 永田智大, 森尾淳, 矢部努, 重高浩一, 橋本浩良, 柴崎亮介, 関本義秀: 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, 土木計画学研究・講演集, Vol. 53, CD-ROM (No. 15-03), 2016.
- 4) 一般財団法人 ITS サービス高度化機構: ETC/ETC2.0 (DSRC)普及状況, <<https://www.go-etc.jp/fukyu/>>, (入手 2019.1.30)
- 5) 今井龍一, 池田大造, 永田智大, 福手亜弥, 金田穂高, 重高浩一, 鳥海大輔, 廣川和希: 携帯電話網の運用データを用いた人口流動統計から算出した自動車OD量と道路交通センサスとの比較分析—道路交通分野へのモバイル空間統計の適用可能性—, 土木計画学研究・講演集, Vol. 53, 2016.
- 6) 新階寛恭, 池田大造, 小木戸渉, 森尾淳, 石井良治, 今井龍一: 携帯電話網運用データに基づく人口流動統計を用いた都市交通調査手法の拡充可能性の研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 54, 2016.
- 7) 北川大喜, 関谷浩孝, 池田大造, 永田智大, 福手亜弥, 新階寛恭, 今井龍一: 携帯電話網の運用データを用いた高速道路トリップの推計手法に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol. 57, CD-ROM (No. 30-06), 2017.
- 8) 松島敏和, 今井龍一, 池田大造, 中川圭正: 道路交通状況モニタリングに向けた人口流動統計による自動車ODの生成, Chuo Fukken Consultants technical report, No. 49, pp. 16-21, 2019.
- 9) Gonzalez, M. C., Hidalgo, C. A. and Barabasi, A. L.: Understanding individual human mobility patterns, *Nature*, Vol. 453, No. 7196, pp. 779-782, 2008.
- 10) 長谷川瑠子, 関本義秀, 金杉洋, 樫山武浩: 同化手法を用いたスパースな携帯基地局情報に基づく人の移動推定, 交通工学論文集, 第1巻, 第4号(特集号A), pp. A_9-A_17, 2015.
- 11) 中島信生: 移動通信の基盤技術(その1) 3.セル構成技術—マイクロセル化に向けて—, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.1, No. 2, pp. 21-29, Oct. 1993.
- 12) 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサービス, <<http://nftp.mlit.go.jp/ksj/>>, (入手 2019.1.30)
- 13) 新東名(静岡県)インパクト調整会議: 『新東名高速道路(御殿場JCT~三ヶ日JCT間)開通から1年』開通後1年間の高速道路の交通状況及び整備効果, <http://www.cbr.mlit.go.jp/road/shintomei/shintomei-shizuo/ka/ps/qn/usr/db/d_file1-0000-0005.pdf>, (入手 2019.1.30)

(Received February 22, 2019)

(Accepted August 26, 2019)

AN EXAMINATION INTO AN ESTIMATION METHOD OF MOVING PATHS BASED ON OPERATIONAL DATA OF MOBILE SPATIAL DYNAMICS

Daiki KITAGAWA, Aya FUKUTE, Hirotaka SEKIYA, Toshiro ITOUJI,
Daizo IKEDA, Tomohiro NAGATA and Ryuichi IMAI

If we develop an estimation method of moving paths using mobile spatial dynamics (quantity of OD) generated from the operational data of mobile phone base stations, it would allow us to capture moving paths on a 24-hour 365-day basis. This study proposed an estimation method of moving paths and compared it with an existing investigation.

This study outputted the area where position signals were observed in the process that produced mobile spatial dynamics and proposed an estimation method of moving paths. Specifically, we devised an estimation method of moving paths that extracted position signals observed during movement to the destination area from the origin area as the pass area and compared the pass area with map information. Through comparing it with an existing investigation, we obtained results that generally match expressway use ratios.