

# モバイル空間統計のデータ特性を 考慮したOD推計手法： 京都観光地間流動におけるケーススタディ

川上 陸<sup>1</sup>・Jan-Dirk Schmöcker<sup>2</sup>・宇野 伸宏<sup>3</sup>・中村 俊之<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社三菱総合研究所（〒100-8141 東京都千代田区永田町二丁目10番3号）

E-mail:riku\_kawakami@mri.co.jp

<sup>2</sup>正会員 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都府京都市京都大学桂）

E-mail:schmoecker@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都府京都市京都大学桂）

E-mail:uno.nobuhiro.2v@kyoto-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 名古屋大学未来共創機構近未来型交通システム研究部門  
（〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町ナショナルイノベーションコンプレックス）

E-mail:tnakamura@mirai.nagoya-u.ac.jp

本研究では、モバイル空間統計データを利用し、観光地間流動に関するOD推計を行うことを目的としている。具体的には欠損トリップが含まれるデータに対して、欠損トリップを補完するようにODを推計する手法を提案する。提案するOD推計手法は、秘匿処理による欠損ケースと集計方法の特殊性による欠損ケースに対して、インプットデータであるOD量からのバッファを与えることによって欠損トリップを補完するというものである。仮想的なOD表に対してこれらの推計を実施したところ、概ね良好な推計結果が得られたが、いくつかのODに対しては過大・過少に推計されることが分かった。実際のOD表に関する推計では、各エリア人口に基づいた評価指標において、概ね値が改善されることが分かった。

**Key Words :** mobile special statistics, OD estimation, tourism, case study

## 1. はじめに

我が国有数の観光地である京都には国内外より多くの観光客が訪問し、有名観光地を中心として大きな賑わいを見せている。京都観光総合調査<sup>1)</sup>によると、2016年に京都市を訪れた観光客は5,522万人に上り、3年連続で5,500万人を維持している。多くの観光客が来訪し、観光産業が発展することは望ましいことではあるが、近年においては許容量を大きく超える観光客によって観光地の混雑や交通機関の渋滞が深刻となっている。これらの混雑や渋滞により、観光サービス水準の低下や商店等の機会損失が発生するだけでなく、公共交通を利用する地域住民への影響も考えられ、これらの問題を解決することは京都観光における喫緊の課題となっている。

このような現状を解消し、観光立国として観光客ニーズに合わせた交通サービスを提供していくためには、市内の観光流動把握が必要不可欠となる。具

体的には市内観光地の出入把握または予測や観光地間交通サービスの評価などにより、適切な交通施策を行うことが求められる。京都における観光流動把握に向けては、これまでも研究<sup>2)</sup>が行われてきたが、具体的な観光地間の流動に着目したものは少なく、観光流動が十分に把握されているとは言えない。

近年、移動体データに対して注目が集まっている。京都市も例外ではなく、市内観光地の人の行動を把握するために、移動体データの収集・統合・解析手法研究が今後必要になると想定している<sup>3)</sup>。代表的な移動体データとして、本研究では、モバイル空間統計に着目する。株式会社NTTドコモ<sup>4)</sup>によると、モバイル空間統計とは、電気通信サービスを提供する過程で発生する運用データを、社会の情報基盤・整備を目的として統計化した特定の個人を識別できない情報のことである。モバイル空間統計は、人の分布や流動をほぼ全量で捉えることが可能であり、個人属性の把握も可能であることから、人の流動を捉え

るうえで有用なデータとなることが考えられる。しかし、モバイル空間統計は近年利用が始まった新しいデータであるため、現在においても、データの統計的的代表性や精度検証といった研究が続けられている。また、匿名性を保持するためや集計方法の特殊性から観測されるべきデータが除去されてしまうことも指摘されている。

しかし、このような匿名性等の制約がある中においても、広域性、即時性の観点からモバイル空間統計のような移動体データに価値があることは明らかである。Qian ら<sup>9)</sup>は、移動体データに代表されるモバイル・ビッグデータを、匿名性を保持したまま分析することで、高コストな大規模アンケート調査に頼らない流動把握が可能になると示唆している。

本研究では、観光地間流動に関してモバイル空間統計データを利用した OD 推計を行う。具体的には欠損トリップが含まれるデータに対して、欠損トリップを補完するように OD を推計する。

## 2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

### (1) 既往研究の整理

#### a) モバイル空間統計を用いた OD 推計に関する研究

近年、交通関連モバイル・ビッグデータに関する研究は盛んに行われており、モバイル空間統計を利用した研究も多くみられる<sup>7)9)</sup>。その中でも、本研究のテーマである OD 交通量や流動把握に向けた研究においても、近年様々な研究が展開されている<sup>14)18)</sup>。具体的には、PT 調査との比較によりモバイル空間統計の適用可能性を検討しているもの<sup>14)</sup>や PT 調査の補完データとしてモバイル空間統計を利用することを試みているもの<sup>16)18)</sup>が見られる。また、OD 交通量や流動を把握するにあたり、人口流動統計における移動目的や交通手段の推定手法についても研究がなされている<sup>19)21)</sup>。

#### b) 人口分布統計の信頼性に関する研究

OD 交通量や流動把握をはじめとして、様々な分野においてもデータ活用のための研究がなされているが、モバイル空間統計は近年登場したデータであるため、その統計的な信頼性についても様々な研究がなされている。大藪ら<sup>20)</sup>は、人口分布統計による推計人口の信頼性の評価を行い、特に3次メッシュにおいては、人口集中地区では高い信頼性を持つ一方で、それ以外の地区では推計値の扱いに留意が必要であるとしている。清家ら<sup>23)</sup>は、人口分布統計と PT 調査の滞留人口を比較し、市街地区における3次メッシュ単位の人口分布については十分な信頼性があると示唆している。矢部ら<sup>24)</sup>は、単一事業者から生成された

人口統計の代表性について検証し、携帯電話の非保有者がデータに与える影響は限定的であること、事業者毎のデータの傾向に大きな差異がないことを確認し、モバイル空間統計における人口分布統計が全体の傾向を表現していることを示した。

#### c) 人口流動統計の信頼性に関する研究

上記のように、人口分布を表現する人口分布統計については一定の信頼性が確認された一方で、人の移動を表現する人口流動統計については信頼性について依然として課題が残されている。新階ら<sup>25)</sup>は、人口流動統計の空間解像度からみたトリップデータ取得精度に関する研究を行った。その結果、携帯電話を捕捉する基地局の変更によって実態とは異なるトリップが生成されることを明らかにした。松島ら<sup>26)</sup>は、人口流動統計の季節変動に着目した近畿圏 PT 調査データとの比較分析を行った。分析の中で、人口流動統計による近畿圏 OD 量の季節変動幅を把握し、変動幅と近畿圏 PT 調査データの相対誤差の範囲を比較することで、両データの整合性について検証を行った。國分ら<sup>27)</sup>は、人口流動統計と北部九州圏 PT 調査データとの比較検証を行った。その中で、OD 交通量に関してマクロな整合性は確認された一方で、C ゾーンレベルにおける精度については課題が残ることが明らかとなった。中矢ら<sup>28)</sup>は、人口流動統計の特長と課題について、近畿圏 PT 調査データとの比較により分析した。その結果、両データでトリップに違いが生じると想定されるケースを整理している。石井ら<sup>29)</sup>は、人口流動統計におけるトリップデータ取得精度の向上に関する研究を行った。その中で、基地局間の移動速度を算出し、移動・滞留判定に活用することやゾーン処理段階での按分手法を改善することなどを提案しているが、今後もデータの信頼性については検証が必要であると述べている。

### (2) 本研究の位置づけ

観光行動に対する従来の OD 推計では、PT 補完関連調査や観光調査等のアンケートベースによるデータを利用するものが多かった。しかし、アンケートベースの推計では、時点更新が困難であることや大規模な調査が必要であるといった問題が存在していた。そのような背景からモバイル空間統計に注目が集まっているが、現状のモバイル空間統計を用いた OD 推計では、データを PT 調査の補完として利用するものが主流であり、あくまでアンケートデータに依存するものである。本研究においては、京都市における観光行動把握のニーズに応えることを目的としながら、アンケートに頼らない OD 推計手法を提案することを目指している。

また、モバイル空間統計に代表される移動体データは、端末の移動判定をどのように設定するかで集計量に大きな差が発生するため、現状においても精度検証の研究が多くなされている。しかし、判定基準を調整したとしても全量集計には限界があり、プライバシーの問題が存在する限り、一定数のデータは必ず秘匿処理されてしまう。本研究では、そのようなデータの欠損を認めたくえず、欠損トリップを補完するような形で OD 推計を行うものであり、秘匿データに対する有効な分析手段となることが期待される。

### 3. 分析対象エリアと利用データ概要

#### (1) 分析対象エリア

本研究では、京都府京都市を中心としたエリアを分析対象として設定した。市内中心部では、JR 京都駅、阪急河原町駅などをターミナルとして国内外から多くの観光客が訪れ、市内の観光施設を周遊している。京都市内では様々な場所に寺院等の観光施設が点在しており、観光客の流動は複雑を極めている。

#### (2) 利用データの概要

本研究で利用するデータの概要について述べる。本研究では、株式会社ドコモ・インサイトマーケティングから提供されているモバイル空間統計を用いる。モバイル空間統計とは、携帯電話ネットワークの運用データから継続的に生成される、日本全国の人口の統計情報である。集計処理の手順は単純化すると以下の手順により行われる<sup>30)</sup>。

1. 運用データに基づいて、それぞれの基地局エリアに存在する携帯電話の台数を集計する。
2. 人口当たりのドコモの携帯電話の普及率に基づいて、携帯電話の台数を人口に拡大する。
3. 上記で得られた基地局ごとの人口を、メッシュや市区町村ごとの人口へと再集計する。

このように集計されたデータの内、個人の特定のおそれのあるデータを秘匿処理することで、モバイル空間統計が作成される。

#### a) 人口分布統計

人口分布統計とは、日本全国における人口分布の時間変動に加え、その属性を把握するものである。属性とは、性別・年代・居住地であり、調査期間、エリアとともに解像度はそれぞれ自由に設定できる。ただし、解像度を上げる程、個人情報の観点から秘

匿処理されるデータは多くなる。そのため本研究では、表-1 のように年齢・性別と居住地をそれぞれ 10 歳階層・男女別と都道府県別によって集計したデータを利用する。集計エリアに関しては、京都市全域を網羅するように 1km (3 次メッシュ) 単位で、集計間隔に関しては、1 時間毎 (24 時間) で集計した。

表-1 人口分布統計データ概要

エリア	京都全域 1km メッシュ
時間	1 時間毎 (24 時間)
属性 (居住地)	都道府県単位
属性 (年齢・属性)	10 歳階層, 男女別 ※15 歳未満, 80 歳以上はデータなし
期間	8 週間単分日単位

#### b) 人口流動統計

人口流動統計とは、ある 1 日の中で出発エリアから到着エリアへ何人移動したかを推計するものである。ここで、出発エリアと到着エリアとは、最小 1km メッシュ相当の単位をシェープファイルで指定したものであり、分析目的に応じて自由に形状を決定することができる。本研究では図-1 に示すような 207 (42,849OD ペア) のエリアを定義し、そのエリア間 OD について集計したものを利用する。具体的には、京都市内の中心部を 1km メッシュ単位で細かく集計し、郊外部はメッシュを大きく設定している。また、京都市外については北部と南部でそれぞれ 1 エリアごとに分割している。関西圏 (滋賀県, 大阪府, 兵庫県, 奈良県, 和歌山県) と京都に隣接する福井県に関しては、それぞれ 1 エリアと定義し、京都への来訪者が多い中京圏 (岐阜県, 愛知県, 三重県) は 3 県合わせて 1 エリアと定義している。また、それより以東、以西のエリアはそれぞれ全体で 1 エリアとしている。時間については日単位の OD を発・着時刻ごとに集計したものを使用し、属性については人口分布統計と同様である。また、期間に関しては、観光繁忙期と通常期の特徴を捉えるため、2016 年 10 月 19 日 (水), 20 日 (木), 11 月 19 日 (土), 20 日 (日) の 4 日間分を利用する。人口流動統計のデータ概要については表-2 に整理している。

OD 推計にあたり、1km メッシュ単位で人口を取り扱うことは煩雑なため、モバイル空間統計における集計メッシュを図-2 のように観光地エリアごとに集約した。メッシュの集約に当たっては、京都市の観光地紹介サイト等<sup>30)39)</sup>の情報を参考にしている。

さて、人口流動統計の中で移動人口を集計するにあたり、携帯電話の電波の時空間的な移動をどのように「滞在」と判定するか「移動」と判定するかについては、第 4 章以降で述べる人口流動統計のトリップ

欠損と強く関連する．そこで，人口流動統計の移動人口集計方法については，次章にて詳しく説明を行うものとする．

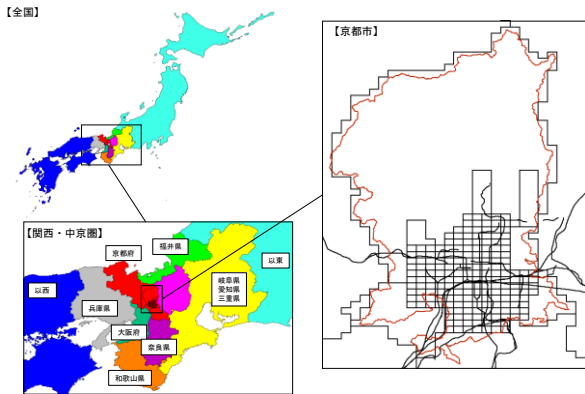


図-1 人口流動統計のエリア定義

表-2 人口流動統計データ概要

エリア	207ゾーン (42,849ODペア) ・京都府：細分化 ・福井，滋賀，大阪，兵庫，奈良，和歌山：全体で1エリア ・三重，愛知，岐阜：全体で1エリア ・以东，以西：全体で1エリア
時間	日単位のOD (発着時刻月)
属性 (居住地)	都道府県単位
属性 (年齢・属性)	10歳階層，男女別 ※15歳未満，80歳以上はデータなし
期間	4日分日単位

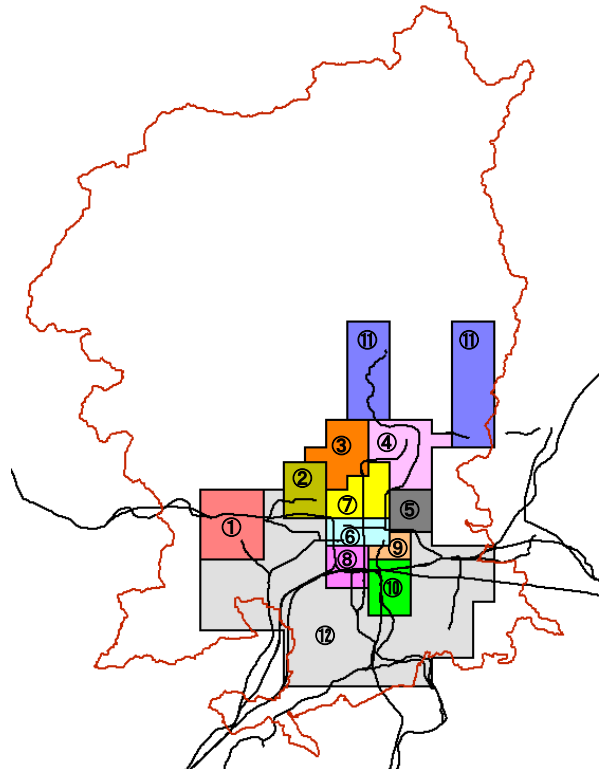
#### 4. 人口流動統計のトリップ欠損

人口流動統計はOD量の集計を行うものであるが，OD量を集計するためには捕捉される全ての携帯電話の動きの中で，特定の条件下のものを「トリップ」と定義する必要がある．その定義とは，時間ごとに基地局に届く位置情報の変化から，基準となる距離をもとに移動と滞留を判定し，滞留から移動，さらに滞留へと切り替わることである．つまり，携帯電話の電波を捕捉する基地局エリア間の距離がしきい値を超えた場合に移動と判定され，しきい値を超えずに1時間以上いた場合に滞留と判定される．尚，しきい値は集計段階で自由に設定することができるが，本研究においては1kmと設定されている．

##### (1) データの集計方法とトリップ欠損

上記のような集計方法の特徴に加え，プライバシーによる秘匿処理の影響により，実際のトリップがデータ上，欠損してしまうケースが存在する．本節では，ドコモ・インサイトマーケティングへのヒアリングや先行研究<sup>29)</sup>などから，欠損トリップが生じる

ケースについて整理する．



① 嵯峨・嵐山	⑦ 京都御所・二条城
② きぬかけの路	⑧ 京都駅・東寺
③ 上賀茂・大徳寺	⑨ 清水寺・円山公園
④ 修学院・一条寺・宝ヶ池	⑩ 三十三間堂・東福寺・伏見稻荷大社
⑤ 岡崎・銀閣寺	⑪ 鞍馬・貴船・大原
⑥ 三條・四條・河原町	⑫ その他市内中心部

図-2 観光エリア定義

##### a) ケース1：プライバシーによる秘匿処理

集計されたOD量が少量であり，個人の特定のおそれがある場合，秘匿処理によりデータが削除される．また，秘匿処理が行われる人数については，情報保護の観点から公開されていない．人口流動統計の1データに含まれる情報は，出発日時，到着日時，出発エリア，到着エリア，年代・性別または居住地，移動人数であり，これらのクロス情報によって移動人数がある値を下回ったときにデータが削除される．このようなケースは移動人数が少ないODや時間帯に生じることが多いと考えられる．また，居住地データがクロス情報としてインプットされている場合は，京都来訪者が少ない都道府県のデータも秘匿処理される可能性がある．

##### b) ケース2：1時間未満の滞在

1時間以上の滞在の間に挟まれた1時間未満の滞在エリアはOD量のOとしてもDとしても集計されない．例えば，京都駅から金閣寺に移動し，そこから嵐山方面に移動するケースを考える．観光サイト<sup>30)</sup>によると，



金閣寺の見学所要時間は約40分とされており、そのエリアに1時間以上滞在しなければ、「京都駅から金閣寺」、「金閣寺から嵐山」という2つのトリップは欠損することとなる。この場合、金閣寺があるエリアに対する発生交通量と集中交通量は変化せず、人口データのみが増減することとなる。この欠損は主に、短時間滞在が多く行われるエリアに対して生じることが想定される。

### c) ケース3：1km未満のトリップ

人口流動統計の移動・滞留判定では、1kmのしきい値を超えなければ移動と判定されない。つまり、1km未満のトリップ全ては欠損トリップとなってしまう。例えば、四条河原町から八坂神社の入り口までは約800mであり、この間を移動したトリップは欠損することになる。このようなケースは市内のあらゆる場所で発生することが考えられるが、欠損トリップの多くはエリアに対しての内内トリップに対して現れることが想定される。

## (2) 人口流動統計誤差の定量化手法

観光繁忙期である2016年11月20日（日）において人口流動統計を集計した1日OD表を表-3に示す。OD表の1から12までは前章で定義した観光地エリアを意味しており、それ以外のエリアを13としている。このOD表を見ると、多くのOD間において「0」のセルが見られ、実際の観光流動に即した結果となっていないことが伺える。

人口流動統計データには集計方法やプライバシーの制約上、欠損トリップが含まれるが、特定のODペアについてどの程度欠損が生じるかについては直接把握することができない。そのため、人口流動統計の誤差について以下の方法により定量化を試みる。

あるエリアkについて、時刻における人口は人口分布統計データより集計可能である。式(1)により、人口分布統計データより得られたエリアkにおける時刻の人口を $ND_k^t$ と定義する。また、その間にエリアkに出入りした人口（k以外の全てのエリアからエリアkに移動した人口とエリアkからエリアk以外の全てのエリアに移動した人口）は人口流動統計データより集計される。つまり式(2)により、人口流動統計データにより予測されるエリアkにおける時刻tの人口を $NF_k^t$ と定義できる。人口流動統計データには誤差が含まれるため、 $ND_k^t$ と $NF_k^t$ は必ずしも一致しない。そこで $ND_k^t$ と $NF_k^t$ を、全てのエリアと時刻により比較することで、人口流動統計データの誤差について把握する

$$ND_k^t = X_k^t \quad (1)$$

$$NF_k^t = X_k^{t-1} + \sum_i x_{ik}^{t-1 \sim t} - \sum_j x_{kj}^{t-1 \sim t} \quad (2)$$

ただし、

- $ND_k^t$  : 人口分布統計により作成される時刻 t におけるエリア k の人口
- $NF_k^t$  : 人口流動統計により作成される時刻 t におけるエリア k の人口
- $X_k^t$  : 時刻 t におけるエリア k の人口
- $x_{ij}^{t-1 \sim t}$  : 時刻 t-1 から t の間にエリア i からエリア j へ移動した人口

初めに、各エリアにおける時間帯別の $ND_k^t$ と $NF_k^t$ を比較する。表-4は各エリアにおける $ND_k^t$ と $NF_k^t$ の比を示している。尚、セルの色は値が大きいほど赤く、値が小さいほど青くなっている。

全体の傾向として $NF_k^t$ は、朝の時間帯において過少、夕刻の時間帯において過大となっている。この要因として、朝の時間帯では観光エリアに流入する人口が多く、一部の流入トリップが欠損したことが考えられる。逆に、夕刻の時間帯では観光エリアから流出するトリップが多く、一部の流出トリップが欠損したと考えられる。これらのトリップがOD表から欠損していることを考えると、人口流動統計データを直接OD推計やその他の流動分析に用いることは建設的とは言えない。

観光地エリア単位でみると、貴船・鞍馬・大原エリアでは誤差が大きく、午前9時において0.327倍、午後8時において2.93倍となっている。誤差の過大側のピークは午後8時と、他のエリアと比べて遅く、この時間帯の流出トリップが多く欠損していることが分かる。

## 5. OD 推計手法

### (1) OD 推計手法（欠損の補完方法）の提案

前章でも述べたように、トリップ欠損の数はOD単位で把握することができない。しかしエリア単位でみると、ある時点間における人口流動統計から計算される人口の変化量と実際に人口分布統計から集計される人口の変化量を比較することは可能である。そこで、人口流動統計にトリップ欠損がないと仮定したときのOD量、つまり本研究で提案する手法によって推計されるOD量を $a_{ij}$ としたときに、すべてのエリアkに対して式(3)が成り立つことになる。ただし、 $\Delta X_k$ は人口分布統計により集計されるエリアkの人口の変化量とする。

つまり、式(3)の右辺を左辺に移行したものの2乗を最小化すれば、 $a_{ij}$ を推計することができる。しかし、

この式を満たす $a_{ij}$ の組み合わせは無数に存在し、実際の計算においては目的関数が収束しない。そこで、前章で明確化した各トリップ欠損ケースに応じてそれぞれ制約を設けることにより、計算の収束を図る。

$$\sum_i a_{ik} - \sum_j a_{kj} = \Delta X_k, \forall k \quad (3)$$

ここで、ケース3の1km未満の移動に関する欠損で

あるが、このケースは内内ODに対してあてはまると考えられる。しかし、内内ODはエリア人口の変化に影響を及ぼさないため、上記の概念で欠損を捉えることができない。このケースを考慮するためには、エリアに含まれる観光地間の距離等のデータが必要であり、本研究の範囲ではODを推計することができない。よって欠損ケース3については、本研究の対象外とする。

表-3 人口流動統計を集計した1日OD表 (2016/11/20 (日))

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	O
	嵯峨・嵐山	きぬかけの路	上賀茂・大徳寺	修学院・一条寺	岡崎・銀閣寺	三条・四条・河原町	京都御所・二条城	京都駅・東寺	清水寺・円山公園	三十三間堂・東福寺	鞍馬・貴船・大原	その他市内中心部	外	合計
1	5,230	24	0	0	0	505	0	2,093	36	0	0	66	8,177	16,131
2	19	384	24	0	0	59	57	229	0	0	0	14	216	1,002
3	0	0	184	0	0	11	15	0	0	0	0	0	94	304
4	0	0	0	390	39	25	0	0	0	0	35	0	226	715
5	0	0	0	110	5,306	3,795	131	854	1,881	47	0	0	10,181	22,305
6	182	0	0	0	1,717	7,541	607	5,241	4,213	582	0	99	35,138	55,320
7	0	12	36	0	347	1,279	611	180	0	0	0	0	1,732	4,197
8	433	0	0	0	290	3,319	24	8,588	1,405	1,327	0	67	44,376	59,829
9	0	0	0	0	581	4,515	0	2,467	5,266	661	0	0	15,031	28,521
10	0	0	0	0	189	1,135	0	2,402	1,187	1,851	0	36	7,376	14,176
11	0	0	0	0	0	28	12	52	0	0	846	0	1,104	2,042
12	24	0	0	0	0	88	0	134	0	25	0	3,242	4,241	7,754
13	12,148	614	90	677	13,000	24,598	2,769	32,602	11,006	9,313	1,925	5,009	223,714,127	223,827,878
D	18,036	1,034	334	1,177	21,469	46,898	4,226	54,842	24,994	13,806	2,806	8,533	223,842,019	224,040,174

表-4 各エリアにおける $NF_k^t/ND_k^t$  (2016/11/20 (日))

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
嵯峨・嵐山	1.09	0.974	0.948	1.02	0.924	0.948	0.681	0.68	0.631	0.709	0.821	0.934	1.033	1.035	1.099	1.234	1.488	1.669	1.635	1.475	1.223	1.176	1.051
きぬかけの路	1.034	0.933	0.997	1.034	0.927	1.119	0.778	0.89	0.579	0.675	0.765	0.891	0.935	1.021	1.158	1.33	1.749	1.373	1.27	1.331	1.545	1.273	1.117
上賀茂・大徳寺	0.928	1.032	1.012	0.919	0.959	0.999	1.089	0.758	0.741	0.725	0.743	0.893	1.109	0.93	1.233	1.543	1.659	1.51	1.09	1.149	1.185	0.906	1.116
修学院・一条寺	1.183	1.167	1.122	1.199	1.096	1.146	1.092	0.91	0.775	0.769	0.849	0.978	1.031	1.002	1.192	1.403	1.42	1.58	1.455	1.367	1.383	1.3	1.384
岡崎・銀閣寺	1.03	0.98	1.009	0.969	1.026	0.977	0.899	0.729	0.698	0.75	0.862	0.951	0.947	0.951	1.048	1.125	1.319	1.22	1.269	1.391	1.406	1.226	1.132
三条・四条・河原町	1.033	1.006	1.032	1.006	1.025	1.026	0.949	0.981	0.975	0.932	0.857	0.91	0.944	0.982	0.981	0.956	0.993	1.054	1.045	1.085	1.112	1.164	1.141
京都御所・二条城	1.008	1	0.983	1.008	1.011	1.01	0.95	0.837	0.795	0.777	0.906	0.97	0.932	0.987	1.122	1.176	1.303	1.315	1.25	1.222	1.147	1.003	1.091
京都駅・東寺	1.016	1.013	0.991	1.011	0.985	0.985	0.94	0.937	0.968	0.967	1.013	0.984	1.018	0.977	0.953	0.899	0.931	1.061	1.075	1.055	1.054	1.07	1.134
清水寺・円山公園	1.026	1.018	1.088	0.975	0.973	0.998	0.883	0.801	0.777	0.869	0.895	0.961	0.936	1.003	0.986	0.998	0.96	0.963	1.126	1.228	1.399	1.411	1.132
三十三間堂・東福寺	0.971	0.971	0.963	1.056	0.968	0.987	0.824	0.714	0.701	0.836	0.942	1.04	1.041	0.986	0.981	1.169	1.185	1.191	1.117	1.207	1.208	1.277	1.094
貴船・鞍馬・大原	0.8	1.143	1.228	1.056	0.701	0.917	0.903	0.49	0.327	0.632	0.73	0.93	1.039	0.993	1.3	1.4	1.674	1.358	1.458	2.93	1.328	1.55	0.903
その他市内中心部	0.998	0.999	1.003	1	1	1.003	1.002	1.015	1.014	1.009	1.008	1.007	1.007	1.002	1	0.995	0.996	0.996	0.991	0.991	0.992	0.998	1.002
平均	1.01	1.02	1.031	1.021	0.966	1.009	0.916	0.812	0.748	0.804	0.866	0.954	0.998	0.989	1.088	1.186	1.306	1.274	1.232	1.369	1.248	1.196	1.108

a) ケース1における推計手法

ケース1のトリップ欠損は秘匿処理により生じるものであり、人口の少ないエリア間の移動において多く生じるものと考えられる。そこで、人口流動統計により集計されるOD量を $b_{ij}$ としたときに、各ODペアに対して $b_{ij}$ からの変化量にバッファをもたせるとすると、式(4)のような目的関数を定義することができる。ただし、 $\bar{X}_i, \bar{X}_j, \mu_1$ はそれぞれエリアiの平均人口、エリアjの平均人口、第2項部分の調整パラメータ

とする。尚、 $\bar{X}_i, \bar{X}_j$ は人口分布統計から集計することができるため、インプットデータとして扱う。

$$\text{Min} \sum_k \left( \sum_i a_{ik} - \sum_j a_{kj} - \Delta X_k \right)^2 + \mu_1 \sum_{i,j} \ln \bar{X}_i \bar{X}_j (a_{ij} - b_{ij})^2 \quad (i \neq j) \quad (4)$$

Subject to

$$a_{ij} \geq b_{ij}, \forall i, j$$

上式の第 1 項は前節で述べた人口流動統計と人口分布統計の誤差を最小化するものであり、第 2 項はトリップ欠損ケース 1 で考えるバッファ部分である。第 2 項部分について考えると、人口が多いエリア間 OD においては  $\ln \bar{X}_i \bar{X}_j$  の値が大きくなるため、 $a_{ij}$  は  $b_{ij}$  に近い値となる。つまり、この OD に関しては欠損トリップが少量であるとみなすことができる。逆に、人口の少ないエリア間 OD に関しては、 $a_{ij}$  は  $b_{ij}$  から離れた値をとることができる。そのため、これらの OD においてはケース 1 による欠損が多く生じていると考えることができる。

ケース 1 においては、トリップが欠損することによって、ある 1 つの OD ペアの OD 量が減少するため、 $a_{ij}$  は  $b_{ij}$  よりも小さな値をとることはない。そのため、制約条件としては、全ての  $i$  に対して、 $a_{ij} \geq b_{ij}$  という条件を設定している。

b) ケース 2 における推計手法

ケース 2 は、図-3 のようにエリア  $i, j, k$  を順に移動する際に、途中の目的地であるエリア  $j$  の滞在記録が欠損することにより生じる。この状況においては、本来のトリップである  $a_{ij}$  と  $a_{jk}$  が欠損し、実際には発生していないトリップ  $a_{ik}$  が集計されることとなる。

ここで、実際の移動と人口流動統計データ上の移動の間で、OD 表にどのような違いが現れるかについて考える。図-3 の例では、実際の OD 表において集計されるべき  $(i, j)$  成分と  $(j, k)$  成分が 1 トリップずつ削除され、その代わりに  $(i, k)$  成分が 1 トリップ集計される。このとき、各エリアの発生交通量と集中交通量に着目すると、エリア  $i$  における発生交通量は  $(i, j)$  成分の減少分と  $(i, k)$  成分の増加分が相殺され、実際の移動とデータの間で値が一致する。また、エリア  $i$  の集中交通量に関しては、実 OD 上でもデータ上でも集計されることはないため値は一致する。エリア  $j$  に関しては、実 OD の  $(i, j)$  成分と  $(i, k)$  成分が削除されているので、データ上の発生交通量と集中交通量は実 OD のそれらと比べてそれぞれ 1 トリップずつ減少する。エリア  $k$  に関しては、発生交通量に該当するトリップは実 OD においてもデータ上においても集計されないため、両者の発生交通量は一致する。集中交通量に関しては、 $(j, k)$  成分が削除されているが、その分  $(i, k)$  成分が集計されているので、集中交通量に関しては、両者の値は一致する。

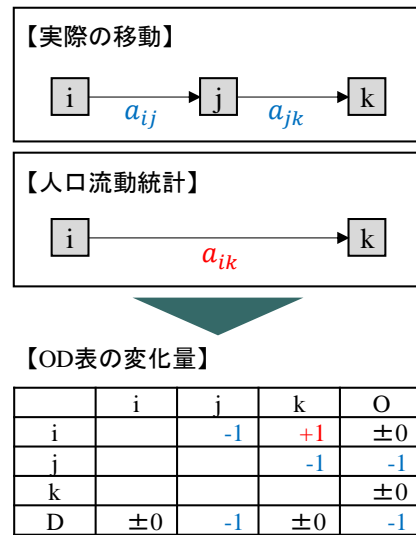


図-3 ケース 2 の例

また、各エリアの人口の変化量に注目する。エリア  $i$  の人口の変化量はエリア  $i$  に対する集中交通量と発生交通量の差で表現できるが、実 OD とデータ上でそれらの値が一致しているため、両者において人口の変化量に相違はない。エリア  $j$  についても、データ上の集中交通量と発生交通量は実 OD のものよりもそれぞれ 1 ずつ減少しているため、人口の変化量は実 OD のそれと一致する。エリア  $k$  はエリア  $i$  と同様で、実 OD とデータ上で発生交通量と集中交通量が一致しているため、人口の変化量も同様に一致する。つまり、欠損ケース 2 においては、途中の目的地に関するトリップが削除されるものの、最終的な人口の変化量に関しては、実際の移動と人口流動統計データとの間で相違がないことが分かる。これは、データ上で途中の記録が欠損したとしても、最初の地点  $i$  と最終地点  $k$  は実際の移動と一致していることから明らかである。

以上より、欠損ケース 2 については式(5)で表される式が成り立つ。ここで、 $a_{ik}$  はケース 2 の欠損を補完することで推計された OD 量、 $b_{ik}$  はデータ上の OD 量であり、インプットデータである。

$$\sum_i a_{ik} - \sum_j a_{kj} = \sum_i b_{ik} - \sum_j b_{kj}, \forall k \quad (5)$$

次に、欠損としてトリップが抜け落ちやすいエリア（上の例における  $j$  のようなエリア）について考える。ここでは、式(6)のように定数  $\delta_m$  を定義する。尚、 $\bar{X}_m$  はエリア  $m$  における平均人口、 $\sum_i b_{im}$  はエリア  $m$  に対するデータ上の集中交通量、 $\sum_j b_{mj}$  はエリア  $m$  に対するデータ上の発生交通量、 $b_{mm}$  はエリア  $m$  に対するデータ上の内内交通量を表している。

$\beta$  : 調整パラメータ

$$\delta_m = \frac{\bar{X}_m}{\sum_i b_{im} + \sum_j b_{mj} - b_{mm}} \quad (6)$$

ケース2により、途中の目的地であるエリア  $m$  に関するトリップが1データ分欠損する場合、エリア  $m$  に対する発生交通量と集中交通量は実 OD に対してそれぞれ1データずつ減少する。このとき、エリア  $m$  の前後に滞在していた出発エリアと到着エリアの発生交通量、集中交通量はそれぞれ変化しない。つまり、ケース2によりトリップが欠損するエリア  $m$  においては  $\sum_i b_{im}$  と  $\sum_j b_{mj}$  の和が実際の移動よりも小さな値となる。一方、人口分布統計では毎時の人口が集計されているため、人口流動統計においてトリップが欠損したとしても、エリア  $m$  における平均人口と発生交通量、集中交通量の和とに滞在している間は分布人口として集計されている。つまり、エリア  $m$  の比である  $\delta_m$  は、欠損ケース 2 が生じている場合、実際の値よりも大きくなる傾向にある。

また、欠損するエリアの前後のエリア間 OD 量は、データ上では実際の OD 量よりも過大に集計されることにも注意する。

以上のことを踏まえ、式(7)のような目的関数を定義する。この式の第1項は式(5)の条件であり、第2項はトリップが抜け落ちやすいエリアに関して、 $a_{ij}$  の  $b_{ij}$  からの変化に対するバッファを表している

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_k \left\{ \left( \sum_i a_{ik} - \sum_j a_{kj} \right) \right. \\ \left. - \left( \sum_i b_{ik} - \sum_j b_{kj} \right) \right\}^2 \\ + \mu_2 \sum_{i,j,k} \left\{ (a_{ij} - b_{ij} \right. \\ \left. - \beta \delta_j b_{ik})^2 \right. \\ \left. + (a_{jk} - b_{jk} - \beta \delta_j b_{ik})^2 \right. \\ \left. + (a_{ik} - b_{ik} + \beta \delta_j b_{ik})^2 \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

Subject to

$$a_{ij} \geq 0, \forall i, j$$

ただし、

$a_{ij}$  : 推計するエリア  $i$  からエリア  $j$  への OD

$b_{ij}$  : データ上におけるエリア  $i$  からエリア  $j$  への OD

$\delta_j$  : エリア  $j$  におけるケース 2 の発生量を表す指標

$\mu_2$  : 調整パラメータ

エリア  $i$ , エリア  $j$ , エリア  $k$  という移動においてエリア  $j$  に関するトリップが欠損する場合を考えると、推計される OD に関しては、OD 表の  $(i, j)$  成分と  $(j, k)$  成分を同量増加させ、 $(i, k)$  成分を同量減少させることが望ましい。そこで式(7)の第2項のように、 $a_{ij}$ ,  $a_{jk}$ ,  $a_{ik}$  のバッファとして  $\beta \delta_j b_{ik}$  という同じ値を与えている。この値が大きければ、推計される OD はインプットデータである OD から離れた値をとることとなる。

## (2) 調整パラメータ決定手法

これまで述べた推計手法において、 $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $\beta$  という 3 種類の調整パラメータを定義した。これらのパラメータは項や定数の重要度を調整するためのものであり、最適な値が1つに定まるものと考えられる。

実際の OD 表と 3 種類のケースによるトリップ欠損がすべて既知の場合を考える。このとき、図4のようなフローにより、調整パラメータを決定する。

まず、すべての欠損を含む OD 表をインプットデータとして、ケース 1 の欠損を補完する処理を行う。このインプットデータは本研究において、人口流動統計により集計された OD 表に対応する。この処理において、推計された OD を  $a'_{ij}$  とし、欠損ケース 1 のみを復元した OD 表を基準として推計前の OD からどの程度改善されているかを確認する。尚、推計された  $a'_{ij}$  の妥当性については、以下の式(8)で定義する RMSE によって検証する。式(8)中の  $a'_{ij}$  は推計された OD,  $a_{ij}^{ref-c1}$  は基準となる欠損ケース 1 のみを復元した OD を意味する。またこの処理において、調整パラメータである  $\mu_1$  の値を変動させ、RMSE が小さくなるような  $\mu_1$  の値を決定する。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} (a'_{ij} - a_{ij}^{ref-c1})^2} \quad (8)$$

次に、欠損ケース 1 の処理において RMSE の結果が良好な  $a'_{ij}$  をインプットデータとして、欠損ケース 2 の欠損を補完する処理を行う。推計された OD を  $a_{ij}$  とし、推計前の  $a'_{ij}$  からどの程度結果が改善されているかを検証する。ここでの検証は以下の式(9)で定義する RMSE を用いる。式中の  $a_{ij}$  は推計された OD,

$a_{ij}^{ref-c1,2}$  は欠損ケース 1 と 2 を復元した OD を意味している。またこの処理において、調整パラメータである  $\mu_1$  と  $\beta$  の値を変動させることによって、RMSE が



小さくなるような値を決定する。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} (a_{ij} - a_{ij}^{ref\_c1,2})^2} \quad (9)$$

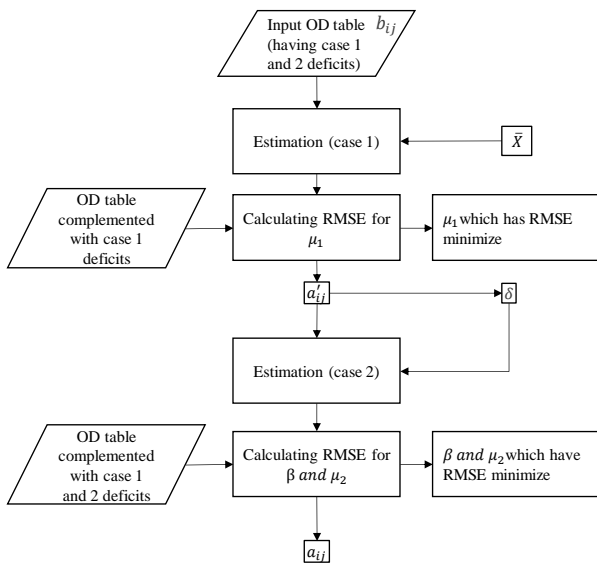


図-4 調整パラメータ決定手法の概要

ここで、欠損ケース1と2の処理の順序について補足する。仮に、欠損ケース1と2の処理を入れ替えた場合では、インプットデータである $\delta$ の値が変化する。 $\delta$ はインプットデータであるOD表の発生交通量と集中交通量に依存する値であり、欠損ケース2の処理を最初に行った場合では、インプットされるOD表にケース1の欠損も含まれるため、 $\delta$ が過大に計算される恐れがある。よって欠損ケース2の処理は、欠損ケース1の処理が終了した後に行う方が望ましいと言える。

上記の方法で計算を行った結果、 $\mu_1 = 5 \times 10^{-10}$ 、 $\mu_2 = 1$ 、 $\beta = 0.18$ 付近で各RMSEが最小となった。

### (3) 実ODに対する適用と考察

#### a) OD推計手法の適用

人口流動統計により集計された実際のOD表に対して、前節で提案したOD推計手法を適用する。尚、推計に用いるOD表は2016年11月20日（日）における京都府以外の居住地属性を持つデータを集計したものを対象とした。

推計後のOD表を表5に示す。欠損ケース1の処理においては、主に人口の小さいエリア間の流動が増加している。反対に、人口が圧倒的に多い外からの移動や外への移動の増加量は比較的小さな値となっている。欠損ケース2の処理においては、OD量が多かった三条・四条・河原町、京都駅・東寺エリアや外のトリップが減少し、その他のトリップが増加し

ている。中でも、その他市内中心部のトリップが大きく増加しているが、これはインプットデータに用いた $\delta$ の値が大きく関係すると思われる。その他市内中心部の $\delta$ は他のエリアと比較して非常に大きな値となっているが、その他市内中心部は主要な観光地が存在せず、流動は活発でないと考えられる。しかし、広域なエリアであり人口も多いことから $\delta$ が過剰に算出された可能性が存在する。推計精度を上げるためには、 $\delta$ に対して滞在時間の概念を導入することが望ましいと言える。

#### b) 各観光地エリア人口に基づく評価

推計後のOD表に対して、各観光地エリアの人口に基づいた評価を行った。第4章で行った誤差の定量化と同様の手順で、最終時点（午後11時）における予測人口を推計前と推計後で比較する。表6中のNDは人口分布統計により集計された最終時点での人口、NFは人口分布統計による最初の時点（午前0時）での人口にOD表の集中人口と発生人口の差を足したものであり、最終時点での予測人口を表している。つまり、NF/NDが1に近いほどNFが真値に近いと考えることができ、ここでは推計前後におけるNF/NDの改善度に着目する。表中の誤差とは、NF/NDの1からの乖離度を表しており、式(10)のように定義している。

$$(\text{誤差}) = \left(1 - \frac{NF}{ND}\right)^2 \quad (10)$$

誤差の合計値に関して、推計前の値が128.448であったのに対して、推計後では16.586まで減少しており、全体的に改善が見られる。各観光地エリアで見ると、推計後に適合度が改善したのは嵯峨・嵐山、上賀茂・大徳寺、岡崎・銀閣寺、三条・四条・河原町、京都駅・東寺、清水寺・円山公園、鞍馬・貴船・大原エリア、その他市内中心部の8エリアである。

#### c) PT補完関連調査との比較

また、実際の観光調査データであるPT補完関連調査<sup>30)</sup>との比較も行った。この調査は京阪神圏内の主要な観光施設において、来訪者の動きの実態を把握することを目的として実施されたアンケート調査である。調査時期は2005年10月・11月の土・日曜日であり、調査箇所は2府4県3政令都市（京都府・大阪府・滋賀県・兵庫県・奈良県・和歌山県・京都市・大阪市・神戸市）の各3か所（計27か所）の主要な観光施設である。また、調査対象は観光施設への来訪者であり、本研究の対象とするサンプルと比較的近い属性を持つと考えられる。

ここでは、PT補完関連調査によって集計されたODと推計されたODに対してもPT補完関連調査との比

較を行った。ただし、この比較においては、その他市市中心部に関する検証ができなかったため、その点については不問としている。

図5の左は人口流動統計によるOD表の値と比較したものであり、右は推計後のOD表と比較したものである。尚、サンプル数に偏りがあるためODの割合を比較している。推計前のRMSEが0.0152であったのに対して、推計後のRMSEは0.0063まで減少しており、結果に改善が見られる。推計前のOD表では、多くの

セルが「0」となっており、多くの点が横軸上に存在している。また、それに伴い「0」以外のセルの割合が相対的に増加することで、45度線の上側に多くの点が存在している。推計後では「0」のセルが増加することでそれらの点が45度線に近づき、それに伴い人口の多いセルの割合が相対的に減少することで、45度線に近づいていることが推察される。いずれにせよ、PT補完関連調査との比較においては、推計値は推計前と比較して、改善していることが伺える。

表-5 OD推計手法後のOD表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	O
	嵯峨・嵐山	きぬかけの路	上賀茂・大徳寺	修学院・一条寺	岡崎・銀閣寺	三条・四条・河原町	京都御所・二条城	京都駅・東寺	清水寺・円山公園	三十三間堂・東福寺	鞍馬・貴船・大原	その他市内中心部	外	合計
1	5,230	345	379	329	433	970	528	2,632	388	495	339	612	8,437	21,116
2	335	384	414	541	469	552	515	790	347	540	407	239	707	6,241
3	349	347	184	300	436	308	459	558	553	283	375	311	713	5,175
4	277	437	286	390	506	569	488	408	411	383	441	269	824	5,688
5	370	523	321	559	5,306	4,107	585	1,331	2,181	496	420	638	10,404	27,241
6	563	560	587	468	2,043	7,541	1,138	5,588	4,682	996	399	925	34,796	60,285
7	342	424	174	524	673	1,904	611	664	418	414	358	462	2,315	9,283
8	787	552	419	516	772	3,707	490	8,588	1,842	1,731	315	988	43,737	64,444
9	208	474	309	406	998	4,702	341	2,924	5,266	1,163	317	644	15,178	32,930
10	430	391	317	459	494	1,649	459	2,834	1,628	1,851	396	496	7,662	19,067
11	636	467	422	344	174	518	256	434	415	571	846	493	1,566	7,141
12	548	372	390	447	664	821	462	1,105	642	566	464	3,242	5,691	15,414
13	12,222	1,100	539	1,107	13,152	24,635	3,495	32,267	11,093	9,541	2,210	6,310	223,714,127	223,831,797
D	22,296	6,375	4,740	6,389	26,120	51,982	9,830	60,123	29,866	19,030	7,287	15,627	223,846,157	224,105,823

表-6 推計前後におけるNF/NDの比較

	ND	NF		NF/ND		誤差		
		推計前	推計後	推計前	推計後	推計前	推計後	
		1	嵯峨・嵐山エリア	669	2,950	2,224	4.41	3.32
2	きぬかけの路エリア	427	1,048	1,150	2.45	2.69	2.115	2.870
3	上賀茂・大徳寺エリア	568	1,067	603	1.88	1.06	0.772	0.004
4	修学院・一条寺・宝ヶ池エリア	865	2,151	2,390	2.49	2.76	2.210	3.110
5	岡崎・銀閣寺エリア	1,586	1,725	1,440	1.09	0.91	0.008	0.008
6	三条・四条・河原町エリア	13,799	11,340	11,459	0.82	0.83	0.032	0.029
7	京都御所・二条城エリア	2,412	4,084	4,602	1.69	1.91	0.481	0.824
8	京都駅・東寺エリア	15,558	11,965	12,631	0.77	0.81	0.053	0.035
9	清水寺・円山公園エリア	2,678	468	931	0.17	0.35	0.681	0.426
10	三十三間堂・東福寺・伏見稲荷大社エリア	2,429	2,699	3,032	1.11	1.25	0.012	0.062
11	鞍馬・貴船・大原エリア	72	828	210	11.50	2.91	110.250	3.654
12	その他市内中心部	9,740	14,193	13,627	1.46	1.40	0.209	0.159
		合計		128.448	16.586			

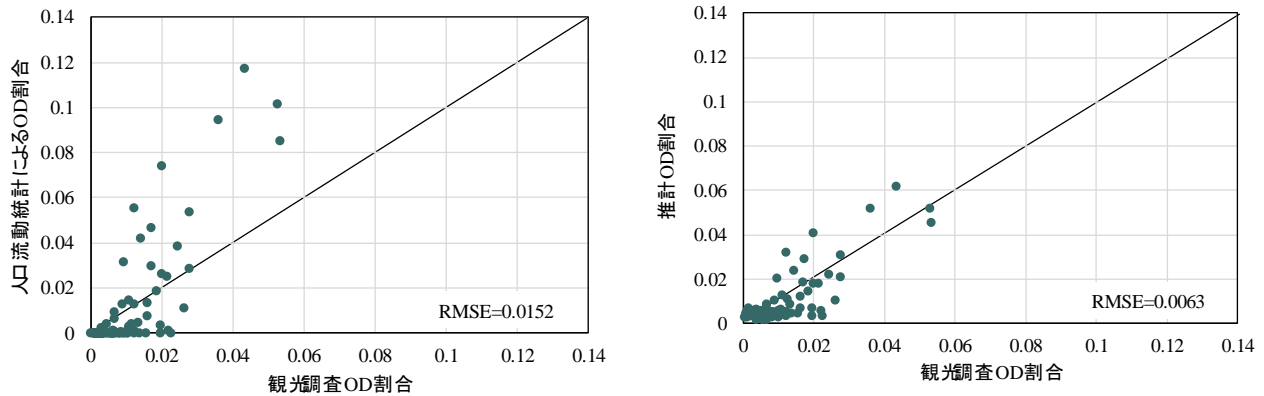


図-5 PT補完関連調査との比較 (左：推計前，右：推計後)

## 6. おわりに

本研究では、人口流動統計データのトリップ欠損を各観光地エリアに関して定量化し、各欠損ケースに基づき、欠損トリップを補完する形で OD 推計を試みた。

エリアの予想人口に基づいた人口流動統計の誤差の定量化では、トリップの欠損によって予想人口が 2 倍以上異なる場合があることが明らかになった。これより、プライバシーによる秘匿処理によって多くのトリップが欠損している可能性が示唆された。

提案した OD 推計手法は、秘匿処理による欠損ケースと 1 時間未満の滞在による欠損ケースに対して、インプットデータである OD 量からの増減に対するバッファを与えるというものであった。仮想的な OD 表に対してこれらの推計を実施したことにより、以下のことが明らかとなった。

- ✓ 秘匿処理による欠損ケースでは、OD 量のバッファは各エリアの人口に依存するが、欠損が多い OD に対しては過少な、欠損が少ない OD に対しては過大な OD が推計される傾向にある。
- ✓ 1 時間未満の滞在による欠損ケースでは、欠損を想定した OD に関しては良好な推計結果が得られると同時に、その他の OD に対しても影響が及ぶ。
- ✓ 全体的な適合度 (RMSE) は推計によって大きく改善し、2 つの推計において最適なパラメータが存在する。

実際の OD 表に関する推計では、各エリアの予想人口に基づいた評価指標は概ね改善されることが分かった。ただし、OD ペアごとの評価を直接的に行うことはできないため、推計 OD ペアに対する評価に対しては他のデータからの検証が必要となる。

本研究で提案した推計手法では、欠損ケースの 1 つ

である 1km 未満のトリップに対する推計が行えない。このトリップの補完に関しては、モバイル空間統計以外からのデータが必要になると考えられる。また、実際の OD 表に対する推計では、「0」のセルに対してバッファが一様になってしまうこと、滞在時間を一定と仮定していることが課題としてあげられる。前者の課題に対しては、観光エリア間の移動コストといった新たなバッファを設けることが解決策の 1 つとして考えられる。後者の課題に対しては、滞在時間に関する変数を加えることが解決策として考えられる。ただし、滞在時間に関してはモバイル空間統計データからでは把握することができないため、現状では他のデータを使用する必要がある。

また、本研究で提案した手法はモバイル空間統計データを対象にしたものであり、このデータが存在すれば、京都における観光流動以外に対しても拡大の可能性はある。具体的には京都市程度の規模の都市部における流動や観光行動以外のトリップに対しても推計手法が適用できると考えられる。観光トリップでは、移動パターンは煩雑であるが、通勤トリップではある程度移動パターン化される。そのため、プライバシーによる秘匿処理が生じるケースもパターン化することが想定され、推計はより容易になる可能性がある。また勤務中は職場に滞在するため、1 時間未満の滞在に関しても減少することが予想される。問題となるのは、帰宅途中の立ち寄りトリップ等であり、これらに対しては本研究で提案した手法が応用できるものと考えられる。

## 謝辞

〇〇〇

## 参考文献

- 1) 京都市産業観光局観光：京都観光総合調査，2016年。
- 2) 西井和夫，酒井弘，小野恵一，北村隆一：京都観光ト

- リップチェーンにおける活動個所数に着目した時間利用特性分析, 土木計画学研究・論文集, No.16, 1999.9
- 3) 西野至, 西井和夫, 北村隆一: 観光周遊行動を対象とした複数目的地の組合せに決定に関する逐次的モデル, 土木計画学研究・論文集, No.17, 2000.9
  - 4) 京都未来交通イノベーション研究機構: 京都未来交通イノベーション研究機構が切り拓く未来の交通社会, 2014年8月22日
  - 5) 株式会社NTTドコモ: モバイル空間統計ガイドライン (2018.12.1時点), <[https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile\\_spatial\\_statistics/guideline/index.html](https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/guideline/index.html)>
  - 6) Qian Ge, Daisuke Fukuda: Updating origin-destination matrices with aggregated data of GPS traces, Transportation Research Part C 69 (2016) 291-312
  - 7) 石神孝裕, 菊池雅彦, 井上直, 岩館慶多, 森尾淳, 石井良治: 都市交通の実務からみた交通関連ビッグデータに対する期待と課題, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 8) 佐藤史典, 力石真, 藤原章正: モバイル空間統計を用いた復旧・復興過程の独立成分分析: 2014年8月広島土砂災害を例に, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 9) 嶋本寛, 黒江真樹: インフラのストック効果計測に向けたモバイル空間統計データの特性把握, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 10) 太田勝也, 金井翔哉, 今井龍一: 携帯電話網の運用データに基づく人口分布統計及び住宅地図データを用いた公共交通カバーエリア内人口の分析, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.54, 2016
  - 11) 田中敦士, 岡本直久, 鈴木俊博, 浅野礼子, 白川洋司: 人口分布統計データを活用した観光地の特性把握, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.54, 2016
  - 12) 日高健, 志賀孝広: 複数の統計データの融合による都市内の人の移動行動推計と時点更新, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 13) 有村幹治, 鎌田周, 浅田拓海: モバイル空間統計を用いた帯広都市圏メッシュ人口の推計, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.51, 2015
  - 14) 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, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.52, 2015
  - 15) 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, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.51, 2015
  - 16) 森尾淳, 牧村和彦, 山口高康, 池田大造, 西野仁, 藤岡啓太郎, 今井龍一: 東京都市圏におけるモバイル空間統計とパーソントリップ調査の比較分析—都市交通分野への適用に向けて—, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.52, 2015
  - 17) 澤田茜, 小原拓也, 佐々木邦明: アクティビティモデルとモバイル空間統計を用いた都市圏OD推計の可能性, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 18) 菊池雅彦, 井上直, 岩館慶多, 茂木渉, 森尾淳: 全国PTデータと携帯電話基地局データを用いた地方都市でのOD表の推計, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 19) 新階寛恭, 池田大造, 永田智大, 森尾淳, 石井良治, 今井龍一: 携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計におけるトリップ目的推定手法に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 20) 齋藤貴賢, 北川大喜, 今井龍一, 池田大造, 永田智大, 関谷浩孝, 新階寛恭, 橋本浩良, 福手亜弥, 矢部努, 廣川和希: 携帯電話基地局の運用データに基づく人口流動統計を用いた交通手段の推計手法に関する一考察, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 21) 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, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.54, 2016
  - 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 Vol.20 No.3, 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, 日本都市計画学会都市計画論文集, Vol.46, No.3, pp.451-456, 2011
  - 24) 矢部努, 北村清州, 渋川剛史, 中矢昌希, 高野精久, 新階寛恭, 関谷浩孝, 池田大造, 柴崎亮介, 関本義秀, 今井龍一: 携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計の代表性に関する考察—単一事業者のビッグデータから生成された人口統計に代表性はあるのか?—, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 25) 新階寛恭, 池田大造, 永田智大, 森尾淳, 石井良治, 今井龍一: 携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計の解像度からみたトリップデータ取得精度に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.56, 2017
  - 26) 松島敏和, 中矢昌希, 田中文彬, 池田大造, 永田智大, 福手亜弥: 人口流動統計の季節変動に着目した近畿圏パーソントリップ調査データとの比較分析, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 27) 國分恒彰, 今井龍一, 新階寛恭, 池田大造, 永田智大, 福手亜弥, 渋谷大介, 白川洋司, 高嶋裕治, 山田敏久, 辰巳浩: 携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計を用いたパーソントリップ調査体系に関する一考察—北九州圏パーソントリップ調査の事例研究から得た知見—, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 28) 中矢昌希, 白水靖郎, 松島敏和, 田中文彬, 立川太一, 池田大造, 永田智大, 新階寛恭, 今井龍一: 都市交通分野における人口流動統計データの活用に向けた一考察—近畿圏パーソントリップ調査との比較によるデータの特長と課題に関する分析—, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.53, 2016
  - 29) 石井良治, 新階寛恭, 関谷浩孝, 池田大造, 永田智大, 森尾淳, 柴崎亮介, 関本義秀, 今井龍一: 携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計におけるトリップデータ取得精度の向上に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, Vol.55, 2017
  - 30) 寺田雅之, 永田智大, 小林基成: モバイル空間統計における人口推計技術, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル Vol.20 No.3, 2012



- 31) 京都観光 Navi (2017.12.17 時点) ,  
<<http://kanko.city.kyoto.lg.jp/>>
- 32) そうだ京都, 行こう (2017.12.17 時点) ,  
<<http://souda-kyoto.jp/>>
- 33) Times Club 京都の旅 (2017.12.17 時点) ,  
<<http://www.timesclub.jp/tanomachi/feature/00001/00001.html>>
- 34) 旅ぐるたび (2017.12.17 時点) ,  
<<https://gurutabi.gnavi.co.jp/area/kyoto/kyotoshi/ecotrip.html>>
- 35) 京都観光 Navi, 鹿苑寺 (2017.1.17 時点) ,  
<<https://kanko.city.kyoto.lg.jp/detail.php?InforKindCode=1&ManageCode=1000243>>
- 36) 京阪神都市圏交通計画協議会：京阪神都市圏における観光交通への提言, 2008 年 3 月  
(2018.〇.〇 受付)

**OD MATRIX ESTIMATION UTILIZING MOBILE SPATIAL STATISTICS  
WITH KYOTO TOURISM CASE STUDY**

Riku KAWAKAMI, Jan-Dirk Schmöcker, Nobuhiro UNO, and Toshiyuki NAKAMURA