

# 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

OD matrix estimation utilizing mobile spatial statistics with Kyoto tourism case study

川上 陸\*

Riku KAWAKAMI

\*交通マネジメント工学講座 交通情報工学分野

## 1. 序論 (第1章)

観光都市である京都は、多くの観光客によって賑わいを見せている一方で、観光地や交通機関の渋滞が深刻化している。このような課題の解決には、市内の観光流動把握が必要となる。流動把握の手段として、近年では移動体データに注目が集まっている。その中でもモバイル空間統計は、人の分布をほぼ全量で捉えることが可能であり、流動を捉えるうえで有用なデータとなる。しかし、モバイル空間統計は、匿名性の保持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。

本研究では、モバイル空間統計を利用し、観光地間流動に関する OD 推計を行うことを目的とする。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。

## 2. 分析対象エリアと利用データ (第3章)

本研究では、京都府京都市を分析対象エリアとして設定した。観光地間の流動を捉えるために、12の観光地エリアを定義している。また、利用データであるモバイル空間統計は人口の分布を捉える人口分布統計と流動を捉える人口流動統計に分類される。人口分布統計は1時間毎におけるメッシュ人口を、人口流動統計は1時間単位の発着時刻と発着エリアを与える。人口流動統計では、基地局に届く電波が1kmを超えた場合に「移動」と判定され、それを超えずに1時間以上いた場合は「滞留」と判定される。さらに、「滞留」、「移動」、「滞留」という一連の判定がなされたものを1つのODとして集計する。

## 3. 人口流動統計のトリップ欠損 (第4章)

人口流動統計のトリップが欠損するケースは以下の3種類である。

- [1] OD量が少なくプライバシーの観点から秘匿処理される：OD自体が除去される
- [2] 1時間未満の滞在により、「滞留」判定がされない：複数トリップが結合する
- [3] 1km未満のトリップにより「移動」判定がされない

ある時刻の人口分布統計から集計された人口に人口流動統計の集中交通量と発生交通量の差を足したものは次

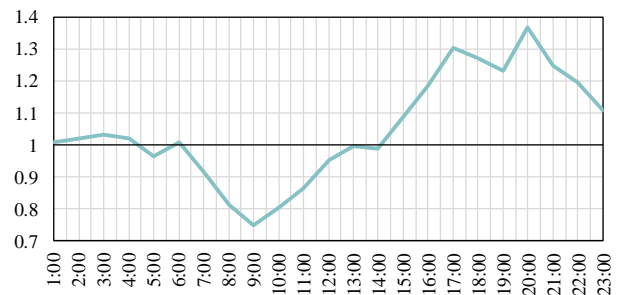


図-1 人口流動統計の誤差

時点の人口を表す。その人口と次時点の人口分布統計の人口の比をとることで人口流動統計の誤差を定量化した。1時間毎に全エリアの比を平均したものを図-1に示す。午前の時間帯は人口流動統計が過少(最小で約0.8倍)に、午後では過大(最大で約1.4倍)に集計されている。つまり、午前では集中交通量が、午後では発生交通量に関わるトリップが多く欠損していると考えられる。

## 4. OD 推計手法の提案と適用 (第5章)

本章では各トリップ欠損を補完するような OD 推計手法を提案する。尚、ケース3は対象外とする。

欠損ケース1は人口の少ないエリア間の移動において多く生じると考えられるため、式(1)の目的関数によって各ODである $a_{ij}$ を求める。第1項はエリアkに対する集中交通量と発生交通量の差と人口分布統計による人口の変化量 $\Delta X_k$ が最小となること、第2項はエリアの平均人口 $\bar{X}$ に応じてインプット OD である $b_{ij}$ からのバッファを与えることを意味している。 $\mu_1$ は調整パラメータである。

$$\text{Min} \sum_k \left( \sum_i a_{ik} - \sum_j a_{jk} - \Delta X_k \right)^2 + \mu_1 \sum_{ij} \ln \bar{X}_i \bar{X}_j (a_{ij} - b_{ij})^2 \tag{1}$$

Subject to

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

欠損ケース2は途中の目的地(移動i, j, kにおけるj)が消失するため、 $a_{ij}$ と $a_{jk}$ が欠損し、実際には発生していない $a_{ik}$ が集計される。それらを補正するために式(2)の目的関数を定義する。第1項は推計前後で各エリアkの人

表-1 推計前後のNF/NDの比較

	ND	NF		NF/ND		適合度		
		推計前	推計後	推計前	推計後	推計前	推計後	
1 嵯峨・嵐山	669	2,950	2,224	4.41	3.32	11.625	5.405	
2 きぬかけの路	427	1,048	1,150	2.45	2.69	2.115	2.870	
3 上賀茂・大徳寺	568	1,067	603	1.88	1.06	0.772	0.004	
4 修学院・一条寺	865	2,151	2,390	2.49	2.76	2.210	3.110	
5 岡崎・銀閣寺	1,586	1,725	1,440	1.09	0.91	0.008	0.008	
6 三条・四条・河原町	13,799	11,340	11,459	0.82	0.83	0.032	0.029	
7 京都御所・二条城	2,412	4,084	4,602	1.69	1.91	0.481	0.824	
8 京都駅・東寺	15,558	11,965	12,631	0.77	0.81	0.053	0.035	
9 清水寺・円山公園	2,678	468	931	0.17	0.35	0.681	0.426	
10 三十三間堂・東福寺	2,429	2,699	3,032	1.11	1.25	0.012	0.062	
11 鞍馬・貴船・大原	72	828	210	11.50	2.91	110.250	3.654	
12 その他市役所中心部	9,740	14,193	13,627	1.46	1.40	0.209	0.159	
						合計	128.448	16.586

口に変化が起きないという制約を意味している。第2項は $a_{ij}$ ,  $a_{jk}$ ,  $a_{ik}$ に対してインプットODである $b_{ij}$ ,  $b_{jk}$ ,  $b_{ik}$ からのバッファを表している。 $\delta$ は式(3)で定義され、各エリアに対する欠損の起きやすさを表している。つまり、人口に対して発生・集中交通量の量が少ないものは抜け落ちの確率が高いものとしている。 $\mu_2$ と $\beta$ は調整パラメータである。

$$\text{Min} \sum_k \left\{ \left( \sum_i a_{ik} - \sum_j a_{kj} \right) - \left( \sum_i b_{ik} - \sum_j b_{kj} \right) \right\}^2 \quad (2)$$

$$+ \mu_2 \sum_{i,j,k} \left\{ (a_{ij} - b_{ij} - \beta \delta_j b_{ik})^2 + (a_{jk} - b_{jk} - \beta \delta_j b_{ik})^2 + (a_{ik} - b_{ik} + \beta \delta_j b_{ik})^2 \right\}$$

Subject to

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

$$\delta_m = \frac{\bar{X}_m}{\sum_i b_{im} + \sum_j b_{mj} - b_{mm}} \quad (3)$$

以上の処理を図2のようなフローに従って行い、最適な調整パラメータを決定する。トリップ欠損が把握されている仮想的なOD表に対してこの処理を行ったところ、 $\mu_1 = 5 \times 10^{-10}$ ,  $\mu_2 = 1$ ,  $\beta = 0.18$ においてRMSEが最小となることが分かった。

これらの調整パラメータを用いて実際のOD表に対してOD推計手法を適用した。使用したOD表は2016年11月20日(日)における1日ODで、京都府以外の居住地属性を持つサンプルに対して集計したものである。

人口流動統計のトリップ欠損についてOD単位で推計量を評価できないため、各エリア人口に対して評価を行う。表-1中のNDは人口分布統計の最終時点での人口、NFは人口分布統計の最初の時点での人口に集中交通量と発生交通量の差を足したものである。また適合度とは、NF/NDの1からの乖離度を表しており、1とNF/NDの差の2乗により算出される。表-1の結果より、推計前後で

表-2 PT補完関連調査(観光調査)との比較

	PT補完調査割合	集中交通量割合		適合度		
		推計前	推計後	推計前	推計後	
1 嵯峨・嵐山	12.4%	4.5%	4.8%	0.006213	0.005633	
2 きぬかけの路	9.3%	0.2%	1.7%	0.008211	0.005757	
3 上賀茂・大徳寺	3.7%	0.1%	1.3%	0.001343	0.000588	
4 修学院・一条寺	3.2%	0.3%	1.7%	0.000874	0.000234	
5 岡崎・銀閣寺	13.1%	5.6%	5.9%	0.005594	0.005198	
6 三条・四条・河原町	18.1%	13.7%	12.6%	0.001890	0.002984	
7 京都御所・二条城	7.7%	1.3%	2.6%	0.004125	0.002567	
8 京都駅・東寺	13.1%	16.1%	14.6%	0.000939	0.000242	
9 清水寺・円山公園	7.2%	6.9%	7.0%	0.000011	0.000005	
10 三十三間堂・東福寺	8.1%	4.2%	4.9%	0.001572	0.001062	
11 鞍馬・貴船・大原	4.1%	0.7%	1.8%	0.001176	0.000522	
				合計	0.031947	0.024792

※PT補完調査のサンプルは8,850

全体的に適合度が改善されていることが分かる。中でも、誤差の大きかった鞍馬・貴船エリアの改善度が大きな影響を与えているが、その他の多くのエリアに対しても改善が見られる。

また、観光調査の特色を持つPT補完関連調査との比較も行った。表-2の適合度とは、PTデータの割合と推計前後の集中交通量の割合の差を2乗したものである。この結果においても、全体的に改善が見られることが分かる。唯一改善のなかった三条・四条エリアであるが、これは、他のエリアの割合が増加したことにより、相対的に割合が減少したことが原因と考えられる。

### 5. 結論 (第6章)

本研究では、人口流動統計データのトリップ欠損を補完する形でOD推計手法を提案した。エリア人口に基づいた評価では、推計後に概ね改善が見られたが、ODペアごとの評価にはその他のデータが必要となる。今後の課題としては、処理1に関してODペアごとに対して移動コストの適用が望ましいこと、処理2に関して各エリアに対して平均滞在時間の変数を適用する必要があることなどがあげられる。

本研究が提案する手法はモバイル空間統計のトリップ欠損を補完するものであり、同様のデータを利用すれば、他の地域に対しても適用可能であり、様々な都市において観光流動把握のための一助となることを期待する。

修士論文指導教員

Jan-Dirk Schmöcker 准教授

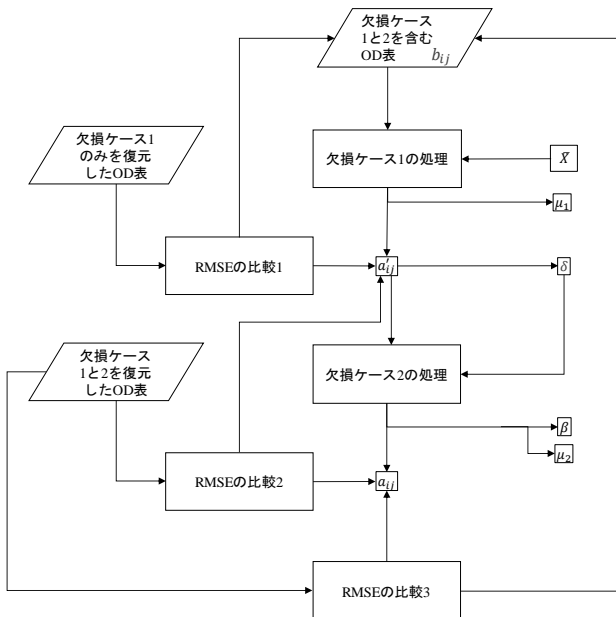


図-2 OD推計フロー