

正会員 ○内田 瑞生*
 非会員 杉本 達哉*
 非会員 高森 秀司*

人流 重力モデル 放射モデル
 OPS モデル 分布交通量 パーソントリップ調査

1. はじめに

近年、我が国のまちづくり政策において、モバイル空間統計をはじめとする人流ビッグデータの活用が進められている。今後、持続可能なまちづくりを実現するためには、これらの過去実績データに加えて、人流の将来推計の重要性が高まると考えられる。

代表的な人流モデル (Human mobility model) として、重力モデルが知られており¹⁾、4段階推定法における分布交通量の推計などに利用されてきた²⁾。しかし、重力モデルは、過去の人流データによるパラメータ推定が必要であるため、データ精度の低い地域や長期間を対象とする将来推計に適さない可能性がある。

近年、こうした課題を解決しうるモデルとして、放射 (Radiation) モデル³⁾や OPS (Opportunity Priority Selection) モデル⁴⁾をはじめとするパラメータフリーな人流モデルが提案された。しかし、放射モデルと OPS モデルは、もともと発生制約型モデルとして定式化されており、分布交通量の推計で用いられる二重制約型モデルへの応用可能性については十分に検討されていない。

そこで、本研究では、放射モデルと OPS モデルを、二重制約型モデルとして定式化し、パーソントリップ調査データにより重力モデルとの推計精度の比較を行う。

2. 人流モデル

2.1. 重力・放射・OPS モデル

重力モデルは、ニュートンの重力法則のアナロジーに基づくモデルであり、発地*i*・着地*j*間のトリップ数 T_{ij} が、式 (1) の関係をもつと仮定する¹⁾。ここで、質量項にあたる m_i および n_j は、それぞれ発地*i*・着地*j*の人口、 d_{ij} は、移動距離、 b は、距離減衰パラメータである。

$$T_{ij} \propto m_i n_j d_{ij}^{-b} \quad (1)$$

放射モデルおよび OPS モデルは、いずれもランダム効用に基づいて選択確率を導出している^{3),4)}。しかし、移動者の行動原理に関する仮定はそれぞれ異なり、放射モデルでは、発地よりも効用の高い最寄りの地点が選ばれることを仮定するのに対して、OPS モデルでは、発地より効用が高い全ての地点が選ばれる可能性があるとして仮定する。これらの仮定より明らかなように、内々トリップは、両モデルの推計対象外であることに注意が必要である。

放射モデルと OPS モデルにおける、発地*i*の移動者が着地*j*を選ぶ選択確率 P_{ij} は、それぞれ式 (2)、式 (3) の関係をもつ。ただし、 s_{ij} は、発地*i*からみて着地*j*よりも近い (発地*i*を除く) 地点の人口の和を表す。また、これらは発生制約型モデルであるため、トリップ数 T_{ij} は、発生数 O_i を用いて、 $T_{ij} = O_i P_{ij}$ と推計される。

$$P_{ij} \propto \frac{m_i n_j}{(m_i + s_{ij})(m_i + s_{ij} + n_j)}, \quad \sum_j P_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$P_{ij} \propto \frac{n_j}{m_i + s_{ij} + n_j}, \quad \sum_j P_{ij} = 1 \quad (3)$$

2.2. 二重制約型モデル

二重制約型モデルにおいてトリップ数 T_{ij} は、式 (4) のように表される¹⁾。ここで、 A_i 、 B_j は、バランス調整項、 O_i 、 D_j は、それぞれ発生数、吸収数、 f_{ij} は空間的相互作用に関する項である。バランス調整項 A_i 、 B_j は、制約条件より式 (5) となり、繰り返し計算により推定される。

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j f_{ij}, \quad \sum_j T_{ij} = O_i \wedge \sum_i T_{ij} = D_j \quad (4)$$

$$A_i = \left(\sum_j B_j D_j f_{ij} \right)^{-1}, \quad B_j = \left(\sum_i A_i O_i f_{ij} \right)^{-1} \quad (5)$$

本研究では、バランス調整項を除いた推計値 $O_i D_j f_{ij}$ が、2.1 で示したトリップ数 T_{ij} に比例するように、空間的相互作用項 f_{ij} を設定した。ただし、従来手法¹⁾と同様に、発地人口 m_i および着地人口 n_j を、それぞれ発生数 O_i 、吸収数 D_j に置き換えた。重力モデル、放射モデル、OPS モデルにおける f_{ij} は、それぞれ式 (6)、式 (7)、式 (8) のようになる。ここで、 s_{ij} は吸収数 D_j より算出した。また、発生数 O_i または吸収数 D_j が 0 の場合に発散しないよう定式化した。

$$f_{ij} = d_{ij}^{-b} \quad (6)$$

$$\begin{cases} f_{ij} = 0, & \text{if } O_i = s_{ij} = D_j = 0 \\ f_{ij} = \frac{1}{D_j}, & \text{if } O_i = s_{ij} = 0 \wedge D_j > 0 \\ f_{ij} = \frac{O_i}{(O_i + s_{ij})(O_i + s_{ij} + D_j)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} f_{ij} = 0, & \text{if } O_i = s_{ij} = D_j = 0 \\ f_{ij} = \frac{1}{O_i + s_{ij} + D_j}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

3. 人流モデルの推計精度比較

3.1. 推計方法・評価指標

国土数値情報に公開されている三大都市圏パーソントリップ調査の移動目的別 OD 量データを対象として、実績発生数 O_i および吸収数 D_j からトリップ数 T_{ij} を推計する。データ概要を Table 1 に示す。ただし、発生数と吸収数がともに0のゾーンは推計対象外とした。また、移動距離 d_{ij} として測地線距離を使用した。また、重力モデルの距離減衰パラメータ b は、実績値に対するポアソン回帰（リンク関数：ln）により推定した。

推計精度の評価指標として、先行研究でよく用いられる CPC (Common Part of Commuters) ^{例えぼ5)}、および決定係数 R^2 を使用する。二重制約型モデルにおける CPC は、式 (9) で表され、0 が完全な不一致、1 が完全な一致を意味する。ただし、 T_{ij} 、 \widehat{T}_{ij} は、それぞれ推計トリップ数、実績トリップ数、 $N = \sum_i \sum_j T_{ij} = \sum_i \sum_j \widehat{T}_{ij}$ は、総トリップ数を指す。

$$CPC = \frac{2 \sum_i \sum_j \min(T_{ij}, \widehat{T}_{ij})}{\sum_i \sum_j (T_{ij} + \widehat{T}_{ij})} = 1 - \frac{\sum_i \sum_j |T_{ij} - \widehat{T}_{ij}|}{2N} \quad (9)$$

3.2. 推計結果・精度比較

推計結果に対する、調査または移動目的別 CPC および決定係数を、それぞれ Fig. 1, Fig. 2 に示す。Fig. 1 より、モデル間での CPC の差は、異なる調査や移動目的間での差と比べて大きいとは言えないものの、OPS モデルの CPC は、他のモデルと比べてやや高い傾向がみられた。また、Fig. 2 より、放射モデルの決定係数が、重力モデルを大きく下回ったことがわかる。放射モデルは、移動距離の短い OD において推計精度が低くなることが指摘されており⁹⁾、こうした OD で大きな推計誤差が生じたことが、決定係数の低くなった原因であると考えられる。一方で、OPS モデルの決定係数は、多くの調査または移動目的において、重力モデルをやや上回る傾向がみられた。

4. まとめ

本研究では、パラメータフリーな人流モデルである放射モデルと OPS モデルを二重制約型モデルとして定式化し、重力モデルとの精度比較を行った。推計の結果、放射モデルは、重力モデルの推計精度を下回ったが、OPS モデルでは、重力モデルをやや上回る推計精度が得られた。そのため、二重制約型 OPS モデルは、従来、用いられてきた重力モデルを代替しうることが確認された。さらに、本モデルは、重力モデルと異なりパラメータ推定を必要としないため、データ精度の低い地域や長期間を対象とする人流の将来推計にも適していると考えられる。

今後は、道路・鉄道路線距離などを考慮した移動距離の精緻化や移動経路の区間・メッシュ別での人流ヒートマップ作成に関する検討を進めていく予定である。

Table 1 Summary of person trip OD amount data

Area	Year	Zones	Trips to other zones by purpose (million)					Total
			Go to work	Go to school	Free	Business	Go home	
Kanto	2010	601	10.76	2.22	10.49	4.48	18.53	46.48
Chubu	2010	450	3.18	0.78	2.86	1.73	6.01	14.56
Chubu	2013	626	5.80	1.30	7.26	2.83	12.18	29.37
Kinki	2010	302	4.74	1.05	3.82	2.83	8.12	20.55
Kinki	2012	432	4.64	1.04	4.51	2.21	8.46	20.85

Source: Authors' calculations using person trip OD amount data from National Land Information Division.

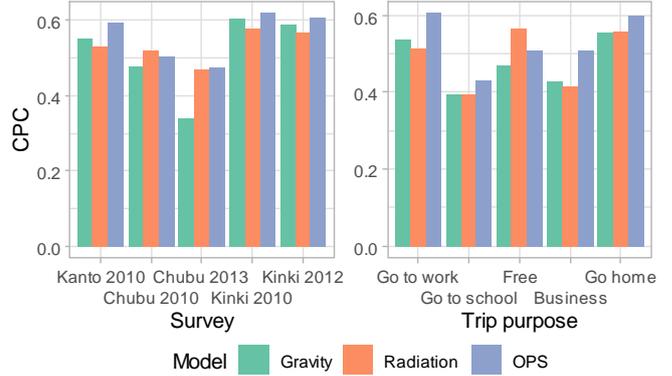


Fig. 1 CPC by survey or trip purpose

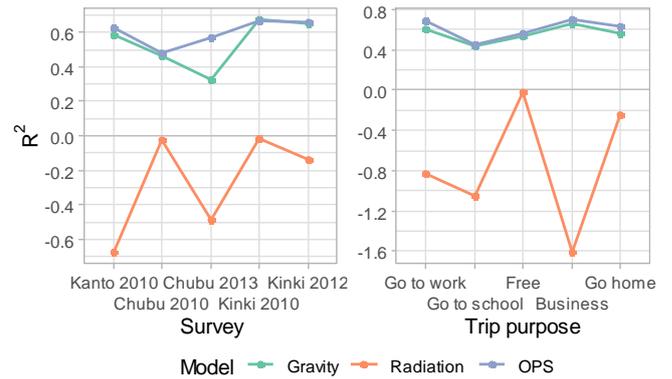


Fig. 2 R^2 by survey or trip purpose

参考文献

- 1) 野上道男, 杉浦芳夫: パソコンによる数理地理学演習, 古今書院, Jan.1986.
- 2) 土木学会: 道路交通需要予測の理論と適用 第I編 利用者均衡配分の適用に向けて, 丸善, 2003.
- 3) Simini, F., González, M., Maritan, A., and Barabási, A.: A universal model for mobility and migration patterns, Nature 484, pp.96–100, 2012.
- 4) Liu, E. and Yan, X.: New Parameter-Free Mobility Model: Opportunity Priority Selection Model, Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, Vol.526, 121023, Jul.2019.
- 5) Lenormand, M., Bassolas, A., and Ramasco, J.: Systematic Comparison of Trip Distribution Laws and Models, Journal of Transport Geography, Vol.51, pp.158–69, 2016.
- 6) Masucci, A., Serras, J., Johansson, A., and Batty, M.: Gravity versus Radiation Models: On the Importance of Scale and Heterogeneity in Commuting Flows, Physical Review E 88 (2): 022812, 2013.