

移動人口を対象としたロジスティック回帰分析による放射モデルの推定精度向上

正会員
会員外

○内田 瑞生*
高森 秀司*

放射モデル
移動人口

重力モデル
国勢調査

空間的相互作用モデル
ロジスティック回帰分析

1. はじめに

東京一極集中に伴う地方衰退やコロナ禍での地方移住の機運の高まりなど、移動人口は社会課題を表す重要な指標となっており、そのメカニズムの分析が必要である。

人口移動の推定に利用される空間的相互作用モデルとして、重力モデル¹⁾や、Siminiら²⁾が提案した介在機会モデルの一種である放射モデルがよく知られている。

重力モデルは、文字通り重力法則のアナロジーから導出されたモデルであり、これまで理論的基礎の乏しさが課題とされてきた¹⁾。一方で、放射モデルは、「発地より効用の高い最寄りの地点に移動する」という明確な行動原理に基づく²⁾モデルである。また、重力モデルの質量項に相当する介在機会数として人口などを直接用いることにより、パラメータフリーで地域間流動を推定できることも利点とされている²⁾。

しかし、放射モデルは、重力モデルと比べて推定精度が低くなる³⁾ことが指摘されている。また、Siminiら²⁾では、推定精度を改善する方向性として、発地の介在機会数を調整することを挙げているが、具体的な調整方法までは示されていない。

そこで本研究では、2020年国勢調査の移動人口を対象に、従来の放射モデルの推定精度の課題を明らかにした。さらに、ロジスティック回帰分析を用いて、放射モデルの推定精度を改善する方法を提案する。

2. 空間的相互作用モデルの概要

2.1. 放射モデル

放射モデルでは、発地*i*の主体が着地*j* ≠ *i*を選択する割合 p_{ij} が、式(1)のように表される³⁾。ただし、放射モデルが、発生制約型モデルであり、内々トリップが推定対象とならないことには、注意が必要である。

$$p_{ij} = \left(1 + \frac{m_i}{\sum_{j \neq i} n_j}\right) \frac{m_i n_j}{(m_i + s_{ij})(m_i + n_j + s_{ij})} \quad (1)$$

m_i, n_j : それぞれ発地*i*, 着地*j*の介在機会数

s_{ij} : 発地*i*からみて着地*j*より近い着地の合計介在機会数

したがって、発地*i*の主体が着地*j* ≠ *i*かそれより近い着地を選択する割合 P_{ij} は、式(2)となる。また、式(2)より、式(3)の近似式が成立する。

$$P_{ij} = \left(1 + \frac{m_i}{\sum_{j \neq i} n_j}\right) \frac{s_{ij}}{m_i + s_{ij}} \quad (2)$$

$$\text{logit } P_{ij} \approx \ln s_{ij} - \ln m_i, \quad \text{if } m_i \ll \sum_{j \neq i} n_j \quad (3)$$

2.2. 重力モデル

本研究では、放射モデルと同様、発生制約型モデルかつ内々トリップを推定対象としない重力モデルを用いる。発生制約型の重力モデルでは、発地*i*の主体が着地*j* ≠ *i*を選択する割合 p_{ij} が、式(4)のように表される。

$$p_{ij} = \frac{n_j^\alpha d_{ij}^{-\beta}}{\sum_{j \neq i} n_j^\alpha d_{ij}^{-\beta}} \quad (4)$$

n_j : 着地*j*の質量項, d_{ij} : 発地*i*・着地*j*間の距離
 α, β : パラメータ

3. 放射モデルの課題・推定精度の改善

3.1. 放射モデルによる従来の推定方法・課題

以下では、2020年国勢調査データを活用し、市区町村別人口から市区町村間移動人口を推定する。ただし、政令指定都市については、市レベルの集計データを使用した。また、市区町村間の移動距離として、交通網上の最短経路距離を用いた(国土地理院のGlobal Map Japan version 2.2 Vector data・国土数値情報の2014年空港間流通量データを使用)。

通常、放射モデルでは、式(5)のように、介在機会数が設定され、式(3)および式(5)より、式(6)が得られる。

$$m_i = n_i = \text{Pop}_i, \quad s_{ij} = \text{Pop}_{ij} \quad (5)$$

Pop_i : 地域*i*の人口

$$\text{logit } P_{ij} \approx \ln \text{Pop}_{ij} - \ln \text{Pop}_i \quad (6)$$

Pop_{ij} : 発地*i*からみて着地*j*より近い地点の合計人口

図-1は、2020年国勢調査データに基づき、式(6)の示す関係を確認したものである。

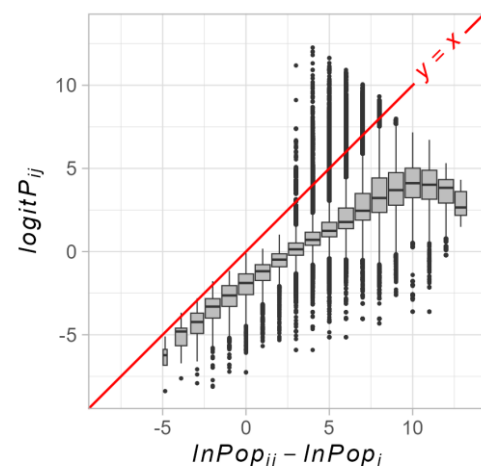


図-1 国勢調査データによる式(6)の確認

図-1 より、 $\logit P_{ij}$ が、 $\ln Pop_{ij} - \ln Pop_i$ を下回る傾向がみられ、式(6)の関係が十分に満たされていないことがわかる。

3.2. ロジスティック回帰分析による推定精度の改善

Simini ら²⁾は、放射モデルにおいて、長距離の流動量が過小評価されることに着目し、発地の介在機会数に正の定数を加えるという調整方法を提案した。こうした処理により、移動する主体の発地に関する知識の多さが、発地の介在機会数を高める²⁾といった状況が再現可能となる。

図-1 より、今回の人口移動データにおいても、長距離の地域間流動が過小評価される傾向がみられるため、Simini ら²⁾の示した調整方法が有効である可能性が高い。一方で、Simini ら²⁾は、発地の介在機会数の具体的な調整方法を示していない。

そこで、ロジスティック回帰分析により、発地の介在機会数を調整する方法を提案する。ここでは、式(5)の発地*i*の介在機会数を、式(7)で置き換える。式(7)は、Simini ら²⁾とは異なり、発地の介在機会数に定数を掛けることにより設定されることに注意が必要である。式(3)および式(7)より、式(8)が得られるため、式(7)のパラメータ β は、一般的なロジスティック回帰分析により推定できる。

$$m_i = Pop_i \exp \beta \quad (7)$$

β : パラメータ

$$\logit P_{ij} \approx \ln Pop_{ij} - \ln Pop_i - \beta \quad (8)$$

式(8)に対するロジスティック回帰分析の結果、 $\beta = 2.884$ となることがわかった (P 値は 0.05 未満)。

4. 放射モデルの推定精度の改善効果の確認

提案手法による放射モデルの推定精度の改善効果を確認するため、移動人口の推定精度を従来手法と比較した。ただし、式(4)に示した重力モデルのパラメータ α, β は、移動人口が多項分布に従うと仮定して最尤法により推定した。

評価指標としては、先行研究でよく用いられる CPC (common part of commuters)^{たとえ4)}および二乗平均平方根誤差 RMSE を用いた。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。

$$CPC = 1 - \frac{\sum_i \sum_{j \neq i} |\hat{T}_{ij} - T_{ij}|}{2N} \quad (9)$$

\hat{T}_{ij} : 推定移動人口, T_{ij} : 実績移動人口, N : 総移動人口

CPC および RMSE による精度比較の結果を、それぞれ図-2 および図-3 に示す。図-2 より、提案手法を用いることで、放射モデルの CPC が重力モデルとほぼ同等になることがわかる。また、図-3 より、提案手法は、発地・着地別移動人口の RMSE が重力モデルよりやや高い一方で、着地別移動人口の RMSE が重力モデルより低く、着地別移動人口の推定精度が従来手法より高いことがわかった。

5. おわりに

本研究では、ロジスティック回帰分析を用いて、放射モデルの発地の介在機会数を調整する手法を提案した。さらに、2020 年国勢調査の移動人口により、重力モデルを含む従来手法との精度比較を行った。精度比較の結果、提案手法により、放射モデルの推定精度が重力モデルとほぼ同等の精度まで改善されることがわかった。

他地域などへのパラメータの移転可能性については、今回、未検証のため、今後の課題としたい。

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, 1986.
- 2) Simini, F., González, M., Maritan, A., and Barabási, A.: A universal model for mobility and migration patterns, Nature, Vol.484, No.7392, pp.96–100, 2012.
- 3) Masucci, A., Serras, J., Johansson, A., and Batty, M.: Gravity versus Radiation Models: On the Importance of Scale and Heterogeneity in Commuting Flows, Phys. Rev. E, Vol.88, No.2, 022812, 2013.
- 4) Lenormand, M., Bassolas, A., Ramasco, J.: Systematic comparison of trip distribution laws and models, Journal of Transport Geography, Vol.51, pp.158-169, 2016.

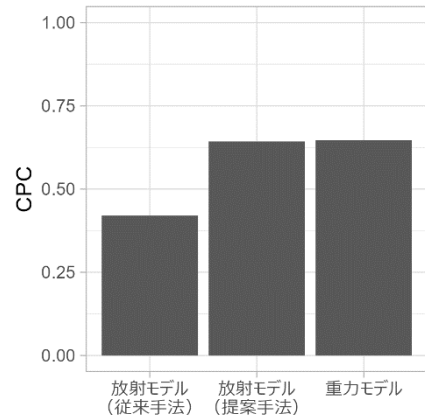


図-2 CPCによる精度比較の結果

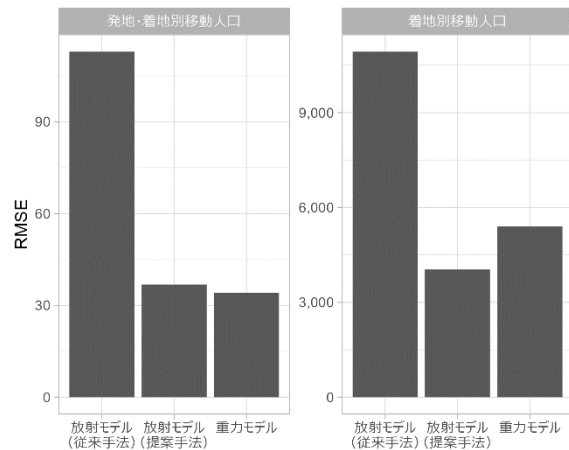


図-3 RMSEによる精度比較の結果