

2 段階乗客流推定モデルの大規模ネットワークにおける推定精度検証

宮崎大学 学生会員 平井一成
宮崎大学 正会員 嶋本 寛

1. 研究の背景と目的

地球温暖化の抑制や、都市の活性化の観点から公共交通の利用促進が叫ばれている。公共交通事業者は、利用促進や混雑緩和のための適切な対策をとるためには、乗客のトリップパターンを正確に把握することが必要であるが、均一料金制度がとられている大都市においては、整理券データや IC カードデータから直接乗降需要を推定することは困難である。このような問題意識のもと、筆者らは均一料金制度がとられている大都市におけるバスネットワークへの適用を念頭におき、2 段階アプローチによる乗客流推定モデルを提案している¹⁾。本稿では、先行研究で構築した乗客流推定モデルを大規模ネットワークに適用し、推定精度検証を行うことを目的とする。

2. 乗客のトリップパターン推定モデルの概要¹⁾

本研究で用いる乗客のトリップパターン推定モデルは、系統単位における乗り換えを考慮しない OD パターンである「レグ OD」を推定する第 1 段階と、これを用いて乗り換えを考慮した OD パターンである「ジャーニー OD」を推定するという、ボトムアップ的なアプローチである。

第 1 段階は、一部バス停において観測される系統・車両別の乗降人数と「レグ OD」の先験情報を入力データとして、エントロピーモデルを援用して「レグ OD」を推定する。第 1 段階における目的関数は以下の通りである。

$$\min_{x_{ij}^{r_l(\tau)}, i < j \leq N} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{n-1} \left(x_{mn}^{r_l(\tau)} \ln \frac{x_{mn}^{r_l(\tau)}}{q_{mn}^{r_l(\tau)}} - x_{mn}^{r_l(\tau)} \right) \quad (1)$$

ただし、 $x_{mn}^{r_l(\tau)}$ 、 $q_{mn}^{r_l(\tau)}$ はそれぞれバス $r \in R_l$ 、 $l \in L$ 、時間帯 $\tau \in T$ における mn 間のレグ OD 需要 (未知変数) およびその先験情報である。制約条件は、バス停間の乗客人数は車両容量以下であるという車両容量制約条件と、乗降人数を計測するバス停において乗降人数の推定値と観測値が一致するという条件である。なお、先行研究¹⁾では、IC カード利用履歴データの利用を前提として、全バス停における降車人数と一部バス停における乗車人数の一致条件を制約条件としている点が本研究で用いるモデルと異なっている。

第 2 段階では、「ジャーニー OD」の路線利用確率を与件として、栢元ら²⁾を参考に乗り換えを考慮した OD パターンである「ジャーニー OD」と「レグ OD」の関係を定式化した上で、「ジャーニー OD」から推定される「レグ OD」パターンが第 1 段階で推定されたレグ OD パターンを時間帯、路線別に集約したものと整合するように、「ジャーニー OD」を推定するものであり、式(2)に示す尤度関数を最大化することにより求める。

$$L_\tau = \prod_{mn,l} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{\{\ln(\hat{y}_{mn}^{l(\tau)}) - \ln(\hat{y}_{mn}^{l(\tau)})\}^2}{\sigma^2} \right) \right]^{\delta_{mn}^l} \quad (2)$$

ただし、 $\hat{y}_{mn}^{l(\tau)}$ は第 1 段階で推定された「レグ OD」であり、 $\hat{y}_{mn}^{l(\tau)}$ は第 2 段階で推定される「ジャーニー OD」を以下の式により「レグ OD」に変換されたものである。

$$\hat{y}_{mn}^{l(\tau)} = \sum_{OD \in \Omega} \hat{\mu}_{rs,l}^{OD}(\tau) \hat{T}_{OD}^\tau \quad (3)$$

式(3)における $\hat{\mu}_{rs,l}^{OD}(\tau)$ はジャーニー OD の路線 rs 間の利用率であり、乗客配分モデル³⁾の結果を用いる。本研究における利用率の設定方法は次章で述べる。また、本稿において、「ジャーニー OD」は以下に示す重力モデルに従うものと仮定する。

$$\hat{T}_{OD}^\tau = (NB_0^\tau)^\alpha (NA_0^\tau)^\beta (d_{OD})^\gamma (LOS_{OD}^\tau)^\delta \quad (4)$$

ただし、 NB_0^τ 、 NA_0^τ はそれぞれ時間帯 $\tau \in T$ におけるバス停 $O \in N$ 、 $D \in N$ における乗車人数、降車人数を、 d_{OD} は OD 間の直線距離を、 LOS_{OD}^τ は時間帯 $\tau \in T$ における OD 間の一般化費用を表している。

3. 大規模ネットワークにおける推定精度検証

(1) 精度検証手法の概要

本稿では、実規模ネットワークを用いて提案するモデルの推定精度検証を行うが、実規模ネットワークにおける需要の真値を入手するのは困難である。そこで、本稿では図-1 に示すフローにしたがって検証を行う。まず、ネットワークデータを用いて車内混雑を考慮しないゼロフロー配分を行い、ジャーニー OD のレグ OD 利用率データと全 OD ペア間の一般化費用データを作成する。そして、式(3)を用いてジャーニー OD の真値と利用率データからレグ OD

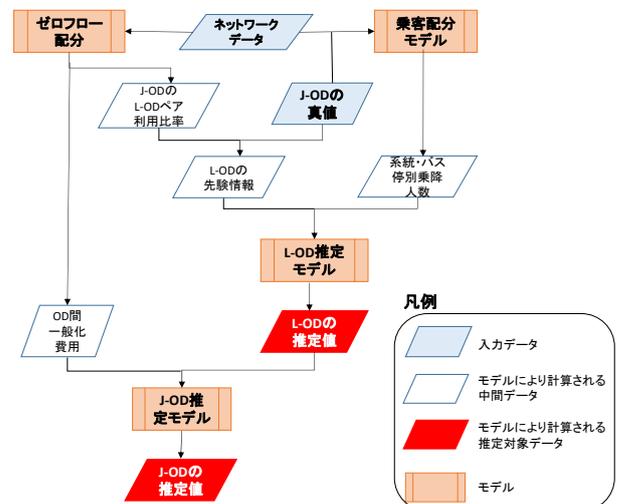


図-1 精度検証手法の概要

の先験情報データを作成する。ついで、ネットワークデータとジャーニーOD の真値を設定し、これらを用いて配分計算することにより、ジャーニーOD 推定モデルの入力データである系統・バス停別の乗降人数データを作成する。そして、これらのデータを入力データとしてレグ OD の推定を行ったのち、これと OD 間一般化費用データを入力データとして、ジャーニーOD を推定する。

(2) 推定精度検証

(a) 分析対象ネットワークと需要の設定

本稿では、京都市バスネットワークにおける概ね京都駅以北の均一料金区間のエリアを分析対象ネットワークとして設定する。分析対象ネットワークにおけるバス停数、系統数はそれぞれ 403, 135 である。

ジャーニーOD の真値の設定にあたり、各バス停における乗降人数を設定し、これを以下に示す式により変換した。

$$T_{OD} = (NB_{OD})^{0.8504} (NA_D)^{0.8459} (LOS_{OD}^T)^{-0.4339} \quad (4)$$

その上で、ジャーニーOD の総量が京都市バスの 1 日あたりの利用者数に近い 30 万人になるように比例配分した。

(b) 分析条件

先行研究¹⁾において、系統・バス停別の乗降人数の観測バス停数はレグ OD の推定精度に及ぼす影響が小さいことを確認しているため、路線・バス停別の乗降客数データを用いずにレグ OD を推定する。さらに、ジャーニーOD 推定モデルの入力データであるバス停における乗降人数は、以下に示すように誤差を与えたものを用いて推定する。

$$\begin{cases} \overline{NB_{OD}} = NB_{OD} (1 + 0.1 \times NR) \\ \overline{NA_D} = NA_D (1 + 0.1 \times NR) \end{cases} \quad (5)$$

ただし、NR は標準正規乱数であり、以下では乱数の影響を考慮するため、ジャーニーOD の推定は 20 回行う。

(c) 検証結果

図-2 にそれぞれの推定における RMSE 誤差を示す。各計算における RMSE 誤差のばらつきは大きくなく、構築したモデルは観測誤差による影響を受けにくいといえる。次に、表-1 に RMSE 誤差が最小、最大のときのジャーニーOD 推定モデルのパラメータの推定結果を示す。両ケースとも、すべてのパラメータは統計的と有意となり、直線距離のパラメータ以外は符号条件を満たしていることがわかる。最後に図-3 に RMSE 誤差が最小、最大のときの推定結果の比較を示す。RMSE 誤差が最小のケースでは真値が大きい OD ペアにおいて過小推定される傾向があるものの、両ケースとも、相関係数は非常に高い値となっていることがわかる。

4. おわりに

本稿では、先行研究で構築した乗客流推定モデルを大規模ネットワークに適用し、推定精度の検証を行った。その結果、構築したモデルは実規模ネットワークにおいても比較的推定結果は良好であることを確認した。今後は、設定したネットワークに対してさらに様々な OD パターンや観測条件を想定した推定精度検証を行う予定である。

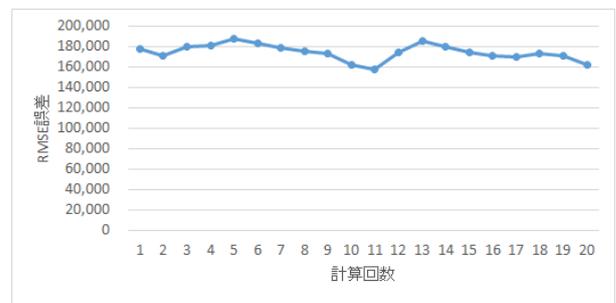
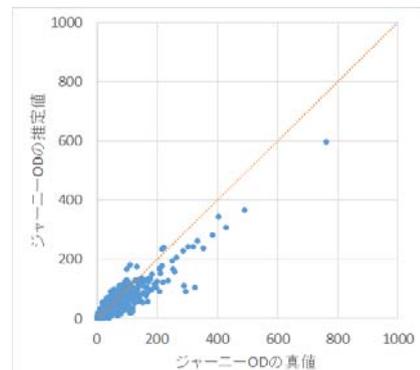


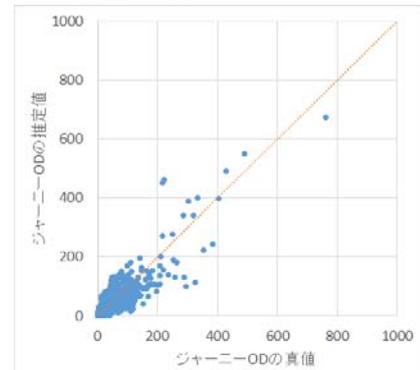
図-2 各推定における RMSE 誤差

表-1 ジャーニーOD 推定モデルのパラメータの推定値

	RMSE最小ケース			RMSE最大ケース		
	推定値	t値	P値	推定値	t値	P値
乗車人数	0.777	263.69	0.00	0.806	44.48	0.00
降車人数	0.784	417.28	0.00	0.811	34.38	0.00
直線距離	0.703	126.40	0.00	0.759	139.15	0.00
一般化費用	-2.375	-308.50	0.00	-2.521	-490.97	0.00
σ^2	0.259	133.65	0.00	0.223	29.70	0.00
最終尤度	-3.01 E+04			-2.70 E+04		
初期尤度	-2.13 E+06					



(a) RMSE 誤差が最小のケース ($R^2 = 0.9224$)



(b) RMSE 誤差が最大のケース ($R^2 = 0.8995$)

図-3 ジャーニーOD の推定結果の比較

<参考文献>

- 1) 平井一成, 嶋本寛: 2 段階アプローチによる乗客トリップパターン推定モデルの構築, 第 58 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2018
- 2) 栢元淳平, 奥村誠, 塚井誠人: 純流動データによる都道府県間純流動の逆推定: 土木計画学論文集 21(1) 83-89 2004
- 3) 倉内文孝, 嶋本寛, 王萍, 飯田恭敬: 最小費用 Hyperpath 探索アルゴリズムを用いたバスサービス評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 23(3), 755-761, 2006