

二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

宮崎大学大学院工学研究科 学生員 ○平井一成

宮崎大学工学部 正会員 嶋本 寛

1 はじめに

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が、これらに対する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。しかし、均一料金制度がとられている大都市圏のバス交通では整理券データや近年活用されている IC カードを用いてトリップパターンを把握することはできない。

以上を踏まえて、本研究では均一料金制度がとられている大都市におけるバス事業者への適用を念頭におき、乗客のトリップパターンの推定手法を構築し、仮想ネットワークでその性能を評価する。

2 乗客のトリップパターン推定モデル

2.1 推定手法の概略

本研究で対象とする均一料金制度がとられているバス事業者においては、IC カード利用者は乗車時、あるいは降車時のいずれかしか IC カードをタッチする必要がないため、IC カード利用履歴データから直接に乗降パターンを把握できない。そこで、本研究で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 (leg) を推定する第1段階と、乗り換えを考慮した OD パターンであるジャーニー (journey) を第1段階で推定したレグ OD パターンを用いて推定するという、ボトムアップ的な推定する方法論を採用する。

2.2 レグ OD パターン推定モデル

第1段階においては、IC カードの利用履歴データ、乗り込み調査等により得られる事前 OD 情報、および一部バス停で観測される乗車人数を入力データとして、佐佐木のエントロピーモデル¹⁾をベースにして、第1段階におけるモデルは以下のように定式化できる。

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

$$, \forall l \in L, r \in R_l, \tau \in T$$

such that

$$\sum_{i \leq n} \sum_{j \geq n+1} x_{ij}^{r_l(\tau)} \leq C_{r_l}, \quad n = 1, 2, \dots, N_l - 1, r \in R_l, l \in L, \tau \in T \quad (2)$$

$$\sum_{i \leq n} x_{in}^{r_l(\tau)} = \xi Y_n^{r_l(\tau)}, \quad n = 1, 2, \dots, N_l, \quad r \in R_l, l \in L, \tau \in T \quad (3)$$

$$\sum_{n < j \leq N} x_{nj}^{r_l(\tau)} = X_n^{r_l(\tau)}, \quad n \in B_l, r \in R_l, l \in L, \tau \in T \quad (4)$$

ただし、 $x_{mn}^{r_l(\tau)}$ はバス $r \in R_l, l \in L$ 、時間帯 $\tau \in T$ における mn 間の乗車需要であり、本モデルの未知変数である。 L は路線集合、 R_l は路線 $l \in L$ におけるバス走行の集合、 T は時間帯の集合、 N_l は路線 $l \in L$ におけるバス停の集合、 B_l は路線 $l \in L$ において乗車人数を計測するバス停の集合、 C_{r_l} はバス $r \in R_l, l \in L$ の車内容量、 $X_n^{r_l(\tau)}$ 、 $Y_n^{r_l(\tau)}$ はそれぞれバス $r \in R_l, l \in L$ の時間帯 $\tau \in T$ におけるバス停 $n \in B_l$ における乗車および降車人数、 ξ は IC カード利用率から推定される拡大係数、 $q_{mn}^{r_l(\tau)}$ はバス $r \in R_l, l \in L$ 、時間帯 $\tau \in T$ における mn 間の乗客需要の事前データである。

2.3 ジャーニー OD パターン推定モデル

第2段階においては、ジャーニー OD を式(5)のような重力モデルに従うと仮定し、これを最小費用 Hyperpath 探索アルゴリズム³⁾により算出される路線利用確率を用いて式(6)によりレグ OD に変換する。その上で、式(6)により変換したレグ OD と、式(7)に示すような路線ごとに集計した第1段階で求めたレグ OD の誤差が平均0の正規分布に従うと仮定し、最尤推定法によりパラメータ推定を行う。

$$\hat{T}_{OD}^{\tau} = (NB_D^{\tau})^{\alpha} (NA_D^{\tau})^{\beta} (d_{OD})^{\gamma} (LOS_{OD}^{\tau})^{\delta}, \quad \forall O, D \in N \quad (5)$$

$$\hat{y}_{mn}^{l(\tau)} = \sum_{OD \in \Omega} \hat{\mu}_{rs,l}^{OD}(\tau) \hat{T}_{OD}^{\tau}, \quad \forall mn \in \omega, r \in R_l, l \in L, \tau \in T \quad (6)$$

キーワード 公共交通、均一運賃エリア、乗客流推定

連絡先 連絡先 〒 889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1, TEL: 0985-58-7331

$$\hat{y}_{mn}^{l(\tau)} = \sum_{r \in R_l(\tau)} \hat{x}_{mn}^{r_l(\tau)}, \forall mn \in \omega \tag{7}$$

ただし、 NB_{ϕ}^{τ} 、 NA_{ϕ}^{τ} はそれぞれ時間帯 $\tau \in T$ における乗車、降車人数、 d_{OD} はOD間の直線距離、 LOS_{OD}^{τ} は時間帯 $\tau \in T$ におけるOD間の一般化費用である。ジャーニー推定モデルにおける尤度関数を式(8)に示す。

$$L_{\tau} = \prod_{mn,l} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{\{\ln(\hat{y}_{mn}^{l(\tau)}) - \ln(\hat{y}_{mn}^{l(\tau)})\}^2}{\sigma^2} \right) \right]^{\delta_{mn}} \tag{8}$$

3 推定精度検証

3.1 レグ OD の推定精度

図-1 のようなネットワークに逆方向を含めた計 8 つの路線を設けた。これをもとに、IC カード普及率から推定される拡大係数の誤差に起因する降車人数観測誤差、レグ OD 事前情報誤差をともに 0.1 とし、乗車人数を観測しないという条件下でレグ OD の推定精度を検証した。表-1 は路線ごとの推定精度の結果である。決定係数も 0.98 前後で全体的に良好な推定精度が得られた。

3.2 ジャーニーOD 推定精度

前節で得られたレグODを入力データとして、ジャーニー推定を行った。表-2はパラメータの推定結果を示す。すべてのパラメータが有意となっており、また乗車人数、降車人数のパラメータが正值、OD間直線距離、一般化費用のパラメータが負値をとっており、妥当なモデルといえる。図-2にジャーニーOD推定モデルの交通量分布を示す。決定係数は0.8835と大きな値となっており、ジャーニーODの推定精度は精度よく推定できているといえる。

4 おわりに

本研究では、均一料金制度がとられている大都市を想定して、乗り換えを考慮した乗客のトリップパターンの推定モデルを路線ごとの乗り換えを含まないレグODの第1段階と、乗り換えを含めたジャーニーODの第2段階と分けモデルを構築するとともに、構築したモデルを仮想ネットワークにおいて推定精度の検証した。その結果、第1段階のレグOD推定は設定した全路線において良好な推定結果が出た。続く第2段階を含めたジ

ャーニーOD推定も、扱ったネットワークの既存のODを比較的精度よく再現することができた。

参考文献

1) 佐佐木綱：トリップの OD 分布を求める確率的方法，交通工学，2(6)，12-21，1967
2) 柊元淳平，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

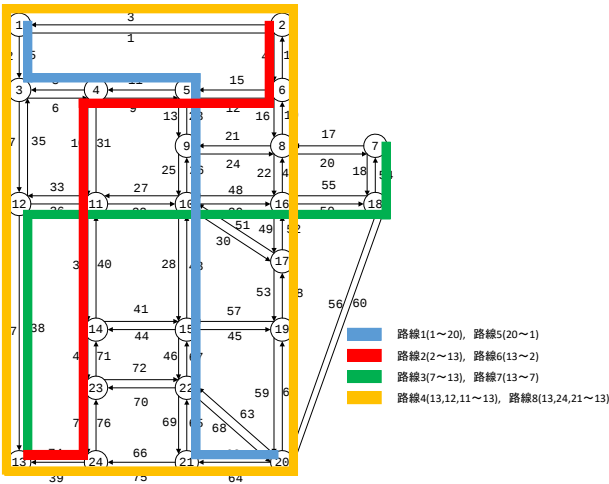


図-1 推定対象ネットワーク

表-1 路線別レグ OD 推定精度

路線	1	2	3	4	5	6	7	8
RMSE	1721	1094	231	1791	1911	1290	888	1210
決定係数	0.987	0.981	1.000	0.983	0.985	0.978	0.995	0.993

表-2 ジャーニーOD モデルの推定結果

	ジャーニーOD推定モデル		
	パラメータ	t値	P値
乗車人数	0.8500	38.396	0.000
降車人数	0.8399	38.674	0.000
直線距離	-0.5821	-29.426	0.000
一般化費用	-0.4230	-4.907	0.000
ρ^2	0.1273	12.591	0.000

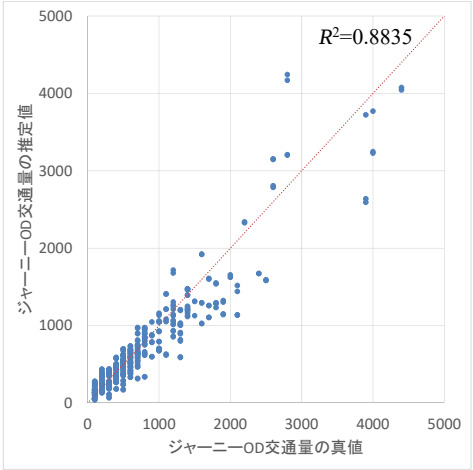


図-2 ジャーニーOD の真値と推定値