

ETC統計データを用いた車種別時間帯別ランプ間OD交通量推定の改良

*(一財)計量計画研究所 正会員 ○廣川 和希
岐阜大学 正会員 倉内 文孝
(株)交通システム研究所 正会員 大藤 武彦
(株)交通システム研究所 正会員 小澤友記子

1. はじめに

近年の ETC システムの急速な普及により、ETC 搭載車の動的な「ランプ間 OD 交通量」は、直接観測可能な交通量となってきており、これらのデータを用いた経路選択行動のモデル化¹⁾など様々な既往研究がなされている。また、阪神高速道路では交通流シミュレーションの基礎的データとして、ETC データから得られる動的なランプ間 OD 交通量を活用しており、その活用分野は多岐にわたっている。しかし、ETC 利用率に着目してみると、ランプや時間帯、また、車種によってもばらつきがあり、また、ETC 車は非 ETC 車と比較し、平均トリップ長や OD パターンが異なる傾向にあること²⁾も指摘されていることから、単純に ETC 利用率で割り増すだけでは、正確なランプ間 OD 交通量を把握できるとはいえない。

そこで先行研究³⁾では、ETC データから得られるランプ間 OD パターンをベースにした車種別時間帯別ランプ間 OD 交通量推定モデルが提案されたが、観測区間交通量を考慮した補正が必要であること、また入力データを作成する上で非常に煩雑な作業を要する、などの課題が指摘されている。

本研究は、このような背景を踏まえ、上記の課題を考慮することで、先行研究の車種別時間帯別ランプ間 OD 交通量推定モデルの推定精度の向上とモデル自体の扱いやすさの向上を目指したものである。

2. 車種別時間帯別ランプ間 OD 交通量推定モデルの概要

2.1 先行研究の課題と本研究の位置づけ

先行研究では、ETC データから得られた動的な OD パターンをベースに、オン/オフランプの観測流入/流出交通量と整合するよう最小二乗法により推定するモデルが提案された。このモデルを用いて、阪神高速道路の実ネットワークと観測データから時間帯別のランプ間 OD 表を作成し、交通流シミュレーションを用いて現状再現を実施した。その結果、多くの区間交通量観測地点でシミュレーションによる再現値が観測値よりも多めに算出された(図-1)ことから、ランプ間 OD 交通量推定時にも観測区間交通量を考慮する必要があると考えられる。

Keywords: ETC 統計データ, 動的ランプ間 OD 推定
最小二乗法推定量

* 連絡先: khirokawa@ibs.or.jp / 03-3268-9721

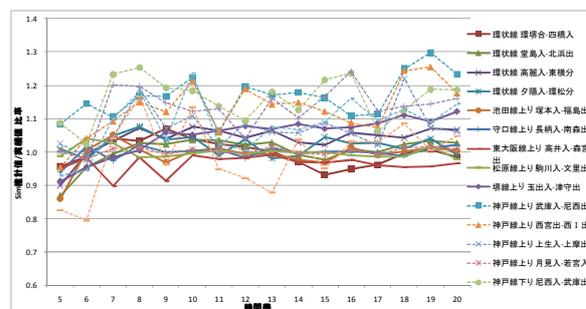


図-1 シミュレーション結果と観測値の比較

また、推定前の入力データ作成時に、欠損データや車種が観測されていないオフランプについて、データの補完が必要であり、長期的な推定に非常に手間がかかった。本研究では、先行研究のモデルをベースに、上記の課題に対して「観測区間交通量の考慮」と「入力データ欠損の許容」「車種の一括推定」を可能なモデルの構築をおこなう。

2.2 対象ネットワークと観測データ

本研究では、モデルの適用対象として阪神高速道路を想定している。阪神高速道路での営業上の車種は、普通/大型の2種類であるため、本研究もこの定義に従う。また、推定の時間帯幅は1時間とする。

阪神高速道路の路線上の観測データは、オン/オフランプでの車両検知器による「流入/流出交通量」、料金所の車種判別装置による「車種判別データ」、ランプ間の区間上の車両検知器による「区間交通量」や「空間平均速度」などである。流入交通量は、車両検知器と車種判別装置のデータから「車種別」「時間帯別」に、流出/区間交通量は、車両検知器のデータから車種区分なく「時間帯別」にそれぞれ算出する。なお、課題でも述べたが、先行研究では、車種が観測されていない流出交通量については、入力データ作成時に前後のデータなどから車種別に補完していたが、本研究では、観測データの信頼性、補完データ作成時の煩雑さの解消の観点から、流出/交通量は車種区分のない全車交通量として扱う。ETC データは、個人情報を含まない、オン/オフランプ、流入/流出時間、車種情報別に集計処理された統計データを用いる。

2.2 モデルの定式化

まず、モデルの基本的な考え方を示す。モデルは、推

定計算の容易さを考慮し、最小二乗法を適用した。ETC データから得られるオンランプごとのオフランプ選択確率（以下、OD 確率）を既存情報とし、それを観測流入／流出／区間の各交通量に整合するよう最小二乗法により補正するモデルである。先行研究では、車種別に推定計算をおこなっていたが、本研究では、前述の理由により車種の一括推定が可能なモデルを構築する。また、車両検知器エラーなどにも対応できるよう、観測交通量データの欠損についても許容可能なモデル化をおこなう。

表-1 にモデルに用いる変数／定数の定義を示す。もし、ETC データから得られる OD 確率 g_{wisk} が全車のそれと同一であるならば、 y_{wsk} と g_{wisk} には、以下の関係が成立する。

$$y_{wsk} = g_{wisk} \cdot \sum_{w_j=j} y_{wsk} \quad \forall j, s, k \quad (1)$$

また、OD 交通量と流入／流出／区間交通量には、それぞれ以下の関係が成立する。

$$\sum_{w_i=i} y_{wsk} = o_{isk} \quad \forall i, s, k \quad (2)$$

$$\sum_s \sum_{w_j=j} r_{wjst} \sum_k y_{wsk} = d_{jt} \quad \forall j, t \quad (3)$$

$$\sum_s \sum_i q_{wast} \sum_k y_{wsk} = v_{at} \quad \forall a, t \quad (4)$$

これらの関係式を用いて、考慮する観測交通量別に4手法の車種別時間帯別ランプ間 OD 交通量推定モデルを以下に定式化する。

まず、式 (1), (2), (3) を用いて、手法1と手法2の定式化をおこなう。手法1は、ETC データから得られる既存 OD 確率を流入交通量で補正する、式 (5) の第1, 2項により推定する手法、手法2は、手法1に加え、流出交通量を考慮した手法であり、式 (5) の第1, 2, 3項により推定する手法である。これらは、先行研究で提案されたモデルに、観測データの有無を表わすダミー変数である δ_{is}^o と δ_{js}^d を新たに加えたモデルであり、車種の一括推定および観測データの欠測が許容可能な推定手法である。

次に、式 (4) も考慮して、手法3および手法4の定式化をおこなう。手法3は、ETC データの既存 OD 確率を、流入交通量と区間交通量で補正する、式 (5) の第1, 第2, 第3項により推定する手法である。また、手法4は、流入／流出／区間の各地点で観測された全ての交通量で、ETC データの既存 OD 確率を補正する手法であり、式 (5) そのものである。これらについても、観測区間交通量のデータ欠損を許容するため、 δ_{as}^a を目的関数の当該項に加えている。

2.3 係数の算定方法

推定計算の際には、各交通量に関する係数である g_{wisk} 、 r_{wjst} および q_{wast} を算出する必要がある。

g_{wisk} は、ETC データを活用して得られる、時間帯 s に i から流入してきた車両のオフランプ選択確率（既存 OD 確率）である。すなわち、ETC データにより得られている時間帯 s に i から流入した OD ペア w の車両を

表-1 変数／定数の定義

y_{wsk}	時間帯 s に流入した OD ペア w 、車種 k のランプ間 OD 交通量(未知変数)。
g_{wisk}	時間帯 s にオンランプ i から流入した車種 k の車両の OD が w である確率(ETC データから得られるオフランプ選択確率)。
r_{wjst}	時間帯 s に流入した OD ペアの車両が時間帯 t にオフランプ j から流出する割合(ETC データから得られる確率)。
q_{wast}	時間帯 s の OD ペア w の車両が時間帯 t に区間 a の観測地点を通過する確率(時間帯別区間利用率)。
o_{isk}^*	時間帯 s にオンランプ i から流入した車種 k の交通量の観測値。
d_{jt}^*	時間帯 t にオフランプ j から流出した交通量の観測値。
v_{at}^*	時間帯 t に区間 a を通過した交通量の観測値。
α_{ijsk} β_{isk} γ_{jt} η_{at}	観測データの信頼性を考慮するための重み。 同上。 同上。 同上。
δ_{is}^o δ_{js}^d δ_{as}^a	観測データの有無を表すダミー変数。 同上。 同上。

$$\begin{aligned} \min_y \quad & \sum_k \sum_s \sum_w \alpha_{wsk}^2 \left(g_{wisk} \sum_{w_i=i} y_{wsk} - y_{wsk} \right)^2 \\ & + \sum_k \sum_s \sum_i \delta_{is}^o \beta_{isk}^2 \left(o_{isk}^* - \sum_{w_j=j} y_{wsk} \right)^2 \\ & + \sum_t \sum_j \delta_{js}^d \gamma_{jt}^2 \left(d_{jt}^* - \sum_s \sum_{w_i=i} r_{wjst} \sum_k y_{wsk} \right)^2 \\ & + \sum_t \sum_a \delta_{as}^a \eta_{at}^2 \left(v_{at}^* - \sum_s \sum_w q_{wast} \sum_k y_{wsk} \right)^2 \\ \text{subject to } & y_{wsk} \geq 0 \quad \forall w, s, k \quad (5) \end{aligned}$$

e_{wisk} とすると、 $g_{wisk} = e_{wisk} / \sum_w e_{wisk}$ として算出することができる。

r_{wjst} は、 g_{wisk} が流出時間帯を考慮していないのに対して、流入時間帯 s に対する流出時間帯 t の時間遅れを表現する係数であり、ETC データを用いて $r_{wjsk} = e_{wjsk} / \sum_w e_{wjsk}$ と算出することができる。なお、ここでの e_{wjsk} はオフランプ流出時刻も考慮した ETC 車両台数であることに留意する。

q_{wast} は, r_{wjt} と同様に, 流入時間帯 s に対する区間到達時間帯 t の時間遅れを表現する係数である. しかし, 上記の係数と異なり, ETC データからの算出はできない. 本研究では, ランプ間に設置されている車両検知器で観測された 2.5 分ごとの空間平均速度を用いたタイム・スライス法^{たとえば4)}を用いて, 流入時間帯におけるオンランプ i から流入した車両の当該区間への到達確率を算出する.

3. モデルの推定精度検証

3.1 推定対象ネットワークとデータ

以上で説明した 4 手法の推定モデルのランプ間 OD 交通量の推定精度の検証をおこなう. 推定は, 阪神高速道路 3 号神戸線上路線 (大阪方面行き) の「神明口入」から海老江出以東のオフランプを集約した「集約出」までの全長約 37km のネットワークを対象に, 2007 年 5 月 1 日~21 日までの 21 日間の ETC データを含めた観測データを用いる. 該当期間中の全オンランプの日平均流入交通量は約 9.2 万台, 平均 ETC 利用率は 61.0% である.

3.2 推定結果の確認

各手法の推定精度を, 流入/流出/区間の各観測地点における観測交通量に対する推定交通量の誤差をもって検証する. 検証には, 結果のばらつきを表す「二乗平均平方根 (Root Mean Square : RMS) 値」と散布図を用いる. なお, インプットデータである各観測交通量には欠損がないこと, また観測交通量の重みに関するパラメータについては, 今回の推定では全て「1」, つまりデータ間の信頼性に差がないものとして推定計算をおこなった.

手法 1 は, ETC データから得られる OD 確率を流入交通量で拡大する手法である. したがって, 推定結果の RMS 値を示した表-2 の流入交通量の列をみればわかるように, 流入部は観測値とほぼ整合している. 一方, 流出部や区間部は, 推定に際して観測交通量を考慮していないため, 特に区間部において RMS 値が 460.6 となっており, 観測値と大きく乖離していることがわかる. これらの傾向は, 図-3~4 の散布図からも確認できる.

手法 2 は, 手法 1 に対して流出交通量を考慮しているため, 流入部で RMS 値が多少大きくなっているものの, 流出部での RMS 値はかなり改善された. また, 流入/流出部の双方で, ある程度の推定精度が確保されたためか, 区間部での誤差も改善され, 手法 1 に対して RMS 値の総和も 553.0 から 351.2 と大きく改善されている. これらの傾向は, 先行研究でも確認できた傾向であり, 本研究にて構築した車種の一括推定でも先行研究と同等の推定を実施可能であることが確認された.

手法 3 は, 流入交通量に加え区間交通量を考慮した推定手法である. 当然ながら, 流入部と区間部において,

表-2 各観測地点における手法別の RMS 値

手法	流入	流出	区間	総和
P1 _(o)	0.2	92.2	460.6	553.0
P2 _(od)	7.7	20.1	323.5	351.2
P3 _(ov)	14.7	77.4	17.5	109.6
P4 _(odv)	20.6	22.4	69.4	112.4

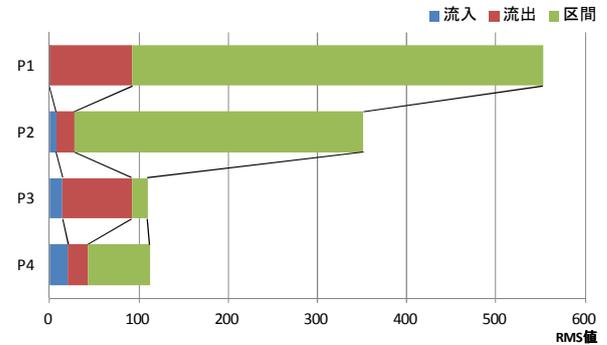


図-2 各観測地点における手法別の RMS 値

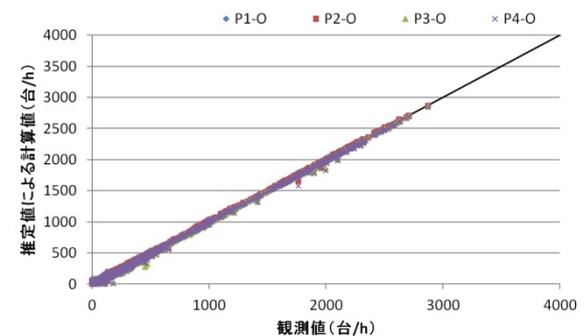


図-3 流入部の観測値と手法別推定値の散布図

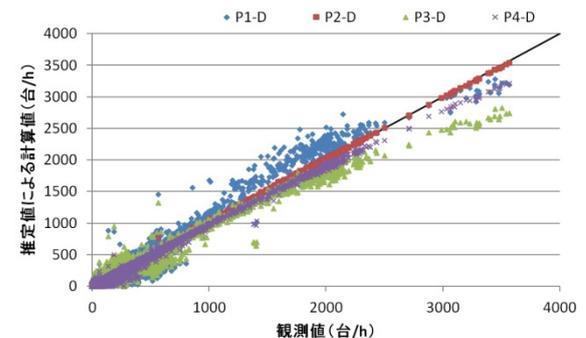


図-4 流出部の観測値と手法別推定値の散布図

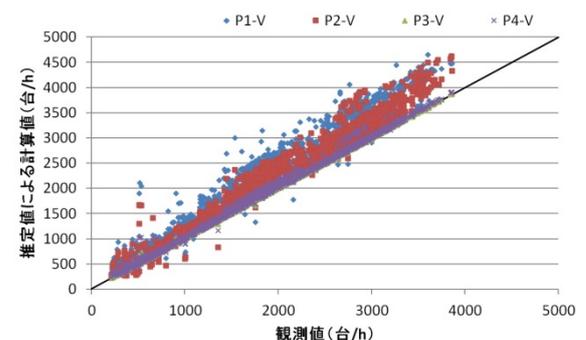


図-5 区間部の観測値と手法別推定値の散布図

推定値と観測値の誤差は小さい結果となっているが、流出部では大きい。また、図4の散布図では、流出交通量が観測値に比べ低く推定されている傾向が確認できる。しかし、RMS 値を比較してもわかるように、手法2の区間部ほどの誤差はなく、総和も109.6と手法2に比べ優位であるといえる。

手法4は、全観測部の交通量を考慮した推定手法である。全ての交通量を考慮していることから、各部において一定の誤差はあるものの、大きな誤差は生じていない。また散布図でも、観測値に対して大小の偏りなくバランス良く推定されていることがわかる。

3.3 観測データ欠損の推定精度への影響

観測交通量データは、車両検知器により観測されたデータであり、一定確率で欠損や誤計測のデータが含まれる。本研究では、車両検知器のエラーによる観測交通量データの欠損に対して、インプットデータ作成段階での補完作業解消のため、ダミー変数によるデータの欠損を許容するモデル化をおこなった。しかし、欠損が生じたデータを推定に用いた場合、当然ながら推定精度の低下が想定される。そこで、対象期間内の観測データについて、一定確率で欠損させ、推定精度への影響を考察する。

欠損がない観測交通量での推定結果と、流入／流出／区間の観測交通量を5%の確率で欠損させたデータを用いた推定結果の総RMS値を表-3に示す。まず、欠損させた観測交通量データの種類に着目すると、流入交通量は、同手法での流出／区間交通量が欠損した推定結果と比較し、推定精度へ与える影響が大きいことがわかる。これは、流入交通量が唯一車種区分のある観測交通量であることが要因と考えられる。逆に流出交通量は、欠損の有無に関わらず、推定結果への影響が少ないことから、流出部の車両検知器の信頼性が低いことが推察され、観測交通量間にも信頼性の重みが必要と考えられる。一方、モデル間では、全ての観測交通量を考慮する手法4が他の手法と比較し、欠損データの種類に関係なく、同程度の精度で推定可能であることがわかる。

以上の結果から、ランプ間OD推定モデルとしては、手法4が推定精度が高く、データ欠損に対しての頑健性も高いモデルであることが示された。また、流入交通量が最も重要な観測データであり、流入／流出／区間の各観測交通量間にも信頼性に差を持たせた方がよいことが示唆された。なお、信頼性の重みに関しては、考慮可能なモデル化をおこなっているため、今後考慮することで更なる推定精度の向上が見込まれる。

4. おわりに

本研究では、ETCデータと観測交通量データを用いた車種別時間帯別ランプ間OD交通量推定モデルを構築し、その推定精度を阪神高速道路神戸線のネットワークと実

表-3 5%欠測データによる推定結果の総RMS値

手法	欠損無	流入欠	流出欠	区間欠
P1(o)	553.0	662.3	553.0	553.0
P2(od)	351.2	427.3	357.0	351.2
P3(ov)	109.6	136.2	109.6	141.8
P4(odv)	112.4	137.7	113.0	127.7

観測データで検証した。その結果、ETCデータに加え、流入／流出／区間の各観測交通量データを考慮した手法4の推定モデルが、推定精度が高く、またデータ欠損に対しても頑健性の高いモデルであることを示した。また、今回構築したモデルでは、観測流入交通量が他の観測交通量と比較し重要であること、さらに観測交通量間にも信頼性に差を設けることで推定精度の向上が見込まれることが示唆された。今後、交通流シミュレーションによる推定結果を用いた再現性の確認、また観測交通量データの信頼性に関しては、時系列解析等によるパラメータ推定を検討しており、更なる推定精度の向上を目指す。また、近年ETC利用率は飛躍的に向上してきており、2012年4月時点で阪神高速の平均利用率が88.9%³⁾まで向上していることから、ETC利用率と推定精度の関係についても分析する必要があると考える。

謝辞

本研究は、「平成23年度交通流シミュレーションの活用と関連技術に関する調査研究業務」の一部として遂行された。阪神高速道路株式会社にはデータを提供して頂いた。記して深く感謝致します。

参考文献

- 1) 嶋田真尚, 倉内文孝, 萩原武司, 宇野伸宏, 大藤武彦, 小澤有記子: ETC統計データに基づく都市高速道路での情報提供に伴う乗継経路選択行動分析, 土木計画学研究・講演集 Vol.44, 2011
- 2) 割田博, 桑原雅夫, 佐藤光, 稲富貴久: 首都高速道路におけるETCデータを用いたランプ間ODに関する実証分析, 第29回交通工学研究発表会論文集, 2009
- 3) 倉内文孝, 金進英, 宇野伸宏, 石橋照久: ETC統計データによる時間帯別ランプ間OD交通量推定, 第28回交通工学研究発表会論文集, CD-ROM, 2008
- 4) 金進英, 倉内文孝, 飯田恭敬: 動的経路交通量推定, 推定モデルの実ネットワークにおける適用検証, 土木計画学研究発表・講演集 Vol.30, CD-ROM, 2004
- 5) 国土交通省道路局: ETC利用状況の推移, 2012年4月22日アクセス, <http://www.mlit.go.jp/road/yuryo/riyou.pdf>