

OD 交通量逆推定手法時間単位モデルの改良

松田奈緒子¹・倉内文孝²・内田賢悦³・円山琢也⁴・杉浦聡志⁵・
丹下真啓⁶・瀧本真理¹・中田寛臣⁷・瀬戸下伸介¹

¹正会員 国土技術政策総合研究所道路交通研究部道路研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)
E-mail: matsuda-n8310@mlit.g.jp

²正会員 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1 番 1)

³正会員 北海道大学大学院教授 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

⁴正会員 熊本大学教授 政策創造研究教育センター (〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1)

⁵正会員 岐阜大学助教 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1 番 1)

⁶正会員 一般社団法人システム科学研究所 (〒604-8223 京都市中京区新町通四条上ル小結棚町 428 番地)

⁷非会員 国土技術政策総合研究所道路交通研究部道路研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

国土交通省では、概ね 5 年に 1 度の全国道路・街路交通情勢調査・OD 調査により、自動車の動きを把握している。道路を賢く使う取組や事故、災害等の突発事象の発生時における道路交通施策の実現のためには、日々の変動や時間的な変化も含めた道路交通状況の把握が必要とされている。OD 交通量データの精度向上や変動特性の把握の解決策として OD 交通量逆推定手法が有効とされている。

筆者らは、OD 交通量の時間変動を捉え各種施策に利用することを目的として、OD 交通量逆推定手法の実用化に向けた研究に取り組んでいる。本稿では、OD 交通量逆推定手法の時間単位モデル式の提案および性能検証結果を述べる。

Key Words : traffic survey, trip table estimation, road traffic census

1. はじめに

国土交通省では、概ね5年に1度、全国道路・街路交通情勢調査により、OD交通量を把握している。OD交通量は、将来交通需要の推計、路線別交通量の推計等に利用される。これらの推計結果に基づき、道路事業の評価、道路計画におけるネットワーク・構造規格の決定等が行われている。さらに、道路ネットワーク全体としてその機能を時間的・空間的に最大限に発揮させる「道路を賢く使う取組」では、料金施策や情報提供による道路マネジメント施策の立案や実施効果の確認のため、日々の道路交通状況の変動や時間的な変化も含めた細やかな把握・分析が必要とされている。

OD交通量や経路交通量の変動特性を把握・分析する方法として、OD交通量逆推定手法が挙げられる。この方法は、実測調査である観測リンク交通量を用いて、OD交通量を逆推定または補正するものである。OD交通量逆推定手法について、飯田¹⁾は「新設・改良道路の整備効果や規制・誘導による交通管理の導入効果が的確に評価できる」、「交通現象変動に対する交通行動変化が

解明できる」、「従来の交通センサ調査手法を変革する新しい方法論となる」などの利点があると述べている(飯田, 2008, 4)。

国土技術政策総合研究所(以下、「国総研」という)では、全国道路・街路交通情勢調査OD交通量の年次更新、日々の変動を捉えた日別OD交通量データを作成するために、OD交通量逆推定手法を用いてOD交通量を把握する研究に取り組んでいる^{2),3)}。

さらに、道路マネジメント施策の立案や実施効果の評価のためには、日別OD交通量のみならず時間別OD交通量の把握が必要である。OD交通量逆推定手法を用いた時間別OD交通量の把握手法について、藤田ら^{4),5)}は時間変動係数に基づく時間別OD交通量の逆推定手法(以下、「時間変動係数モデル」という)を提案している。この手法は、日別OD交通量を与件として、時間別の観測リンク交通量との残差が最も少なくなるように時間変動係数のみを修正する手法であるが、課題の1つとして「実用的な地区別方向別逆推定モデルの開発」が挙げられている。

本稿では、より実用的な時間別OD交通量を把握する

ことを目的に、近畿大都市圏を対象とし、方向別ODの時間変動係数の類似性から類型化したうえで、類型ごとの時間変動係数を未知変数とした時間変動係数モデルの推定を行い、把握された課題を整理するとともに、課題解消のための推定モデル式の改良方針について検討を行った結果を報告する。

2. 時間変動係数モデルを用いた推定

(1) 時間変動係数モデルの推定フロー

本研究に用いた時間変動係数モデルの推定フローを図-1に示す。時間変動係数モデルは、日別OD交通量を与件として、時間別OD交通量（時間変動係数）を推定するモデルである。

ここでは、日別OD交通量を推定するための日別OD交通量逆推定モデルと、時間変動係数を推定するための時間変動係数モデルについて概説する。

a) 日別OD交通量逆推定モデル

時間変動係数モデルの与件データとなる日別OD交通量を推定する手法のフローを図-2に、モデル式を式(1)に示す。リンク交通量の推定値と観測値の残差平方和と対象地域における全発生交通量に占める各ゾーンの発生交通量の比率の推定値と現実値の残差平方和を最小化することによって発生交通量（未知変数）を推定するモデルである²⁾ (C-model)。

なお、式(1)において、第1項は観測リンク交通量の残差項、第2項は発生交通量の残差項を示すが、それぞれ重み係数を設定している。重みは、誤差論にもとづくものであり、それぞれ分散の逆数を意味する。第2項は、全国道路・街路交通情勢調査・OD調査において、発生交通量の調査精度を「信頼度 95%で相対誤差率 20%以内」と設定していることに鑑み、正規分布を仮定した場合の分散の逆数を表す。一方、第1項は、性能検証を実施し決定したものであるが²⁾、観測リンク交通量と発生交通量の変動係数の比を、1:2として設定していることに等しい。なお、重み係数の考え方については、本稿後段3.(3)を参考にされたい。

モデル式

(目的関数)

$$\frac{1}{(0.1/1.96)^2 \sum_a (v_a^*)^2} \sum_a \sum_i \sum_j (\hat{O}_i m_{ij} P_{a,ij} - v_a^*)^2 + \frac{1}{(0.2/1.96)^2 \sum_i (O_i^*)^2} \sum_i (\hat{O}_i - \hat{O}_i^*)^2 \rightarrow Min \quad (1)$$

ここで、

- $P_{a,ij}$: OD交通量 ij のリンク a の利用率
- m_{ij} : ij 間の目的地選択率
- v_a^* : リンク a の観測リンク交通量
- \hat{O}_i : 発生交通量 (未知変数)
- \hat{O} : 総発生交通量 ($\hat{O} = \sum_i \hat{O}_i$)
- O_i^* : 既存データによる発生交通量比率 ($= O_i^*/O^*$)
- O_i^* : 既存データの発生交通量
- O^* : 既存データの総発生交通量

b) 時間変動係数モデル

時間変動係数モデルのモデル式を式2に示す。目的関数は藤田ら⁴⁾⁵⁾によるものと同じであるが、推定方法は次の点で異なる。藤田らは交通量配分の方法として、高速道路転換率内生型利用者均衡配分を採用しているのに対し、本研究では一般化費用利用者均衡配分を用いた。

また、藤田らは逆推定モデルを上位問題、均衡配分を下位問題とし、上位と下位の繰り返し計算を行い、収束した値を時間変動係数の推定値としているのに対し、本研究では繰り返し計算を行わず、交通量配分と逆推定を1回ずつ行った値を推定値としている。これらはいずれも計算をより簡便に行うために採った措置であるが、繰り返し計算の有無が時間変動係数の推定に与える影響は大きくないことを確認している。

また、対象地域外関連ODの時間係数は、推定対象とせずH22センサス値で固定し、交通量配分の結果をもとに観測リンク交通量から先取りする方法とした。

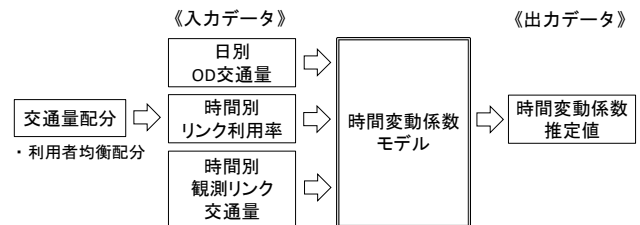


図-1 時間変動係数モデルの推定フロー

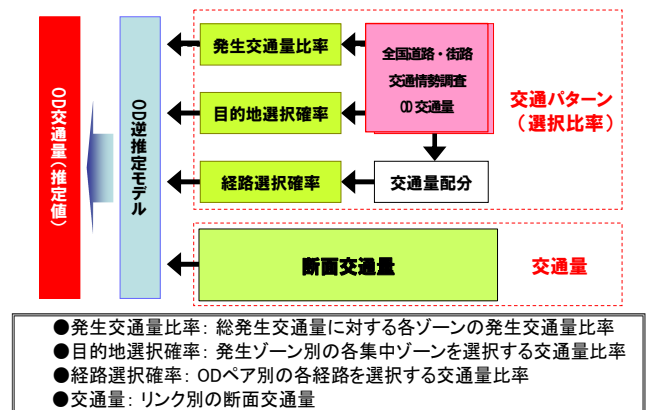


図-2 日別OD交通量逆推定手法のモデルフロー

モデル式

(目的関数)

$$\sum_T \sum_a \sum_k (P_{a,ij}^T \hat{E}_k^T Q_{ij} - v_a^{T*})^2 \rightarrow Min \quad (2)$$

(制約条件)

$$\sum_T \hat{E}_k^T = 1 \quad \hat{E}_k^T \geq 0$$

ここで、

v_a^{T*} : T時間帯におけるリンクaでの観測リンク交通量

Q_{ij} : ODペアij間での日別OD交通量

$P_{a,ij}^T$: T時間帯にOD交通量 Q_{ij} がリンクaを利用する確率
[リンク利用率]

\hat{E}_k^T : T時間帯の類型kの時間変動係数 (未知変数)

※kはODペアijが属する類型

(2) 時間変動係数モデルを用いた推定結果

a) 前提条件

検証対象エリアの概要および入力データの前提条件を表-1に示す。

なお、時間変動係数モデルに入力する日別OD交通量は、本来日別OD交通量逆推定モデルの推定結果を用いるが、一部に十分な推定精度が得られなかったゾーンがみられたため、本研究においては、H22 センサス日OD交通量を用いることとした。

また、時間変動係数類型は、対象エリアの46生活圏ごとの方向別ODペアの時間変動係数 (H22センサス値) をもとにクラスター分析 (k-means法) を行い、その結果を参考に5類型とした (図-3)。

b) 推定結果

5つの類型ごとに得られた時間変動係数とH22センサスの時間変動係数を比較した結果を図-4に示す。ただし、センサスは発時刻集計を行ったものであり、逆推定から得られる走行時間帯にもとづくものとは異なることに注意が必要である。

「京阪神圏の生活圏内々」、「地方部の生活圏内々」において類型の特徴が再現できているものの、夜間の時間変動係数がゼロとなった。また、「その他府県間」において、ピーク時間が不明瞭で、センサスでは7時台がピークに対し6時台がピークとなった。この原因として、類型を細分化するほど、同時間帯内での類型間のOD交通量の分配が複雑になり、時間変動係数モデル元来の時間帯間の分配ともあいまって、非現実的な推定値が生じやすくなることが考えられる。

表-1 検証対象エリアの概要

| | |
|----------|--|
| 対象エリア | 近畿地方 (大阪府全域, 兵庫県南部, 京都府南部, 奈良県南部, 奈良県北部, 滋賀県南部) |
| ゾーン数 | 近畿内: 601 (H22センサスBゾーン) |
| リンク利用率 | 利用者均衡配分 (時間別に独立に適用) リンク数: 約14,500 ノード数: 約12,000 |
| ODペア数 | H22センサスBゾーンODの 近畿関連交通のODパターン数: 約120,000 |
| 日別OD交通量 | H22センサス日OD交通量 |
| 観測リンク交通量 | 24時間別上下別 モデル入力: 624箇所 (うちBゾーン境界312箇所, 高速道路312箇所) |
| 時間変動係数類型 | OD別5類型 (京阪神圏の生活圏内々, 地方部の生活圏内々, 阪神圏内々, 地方部の府県内々, その他の府県間) |

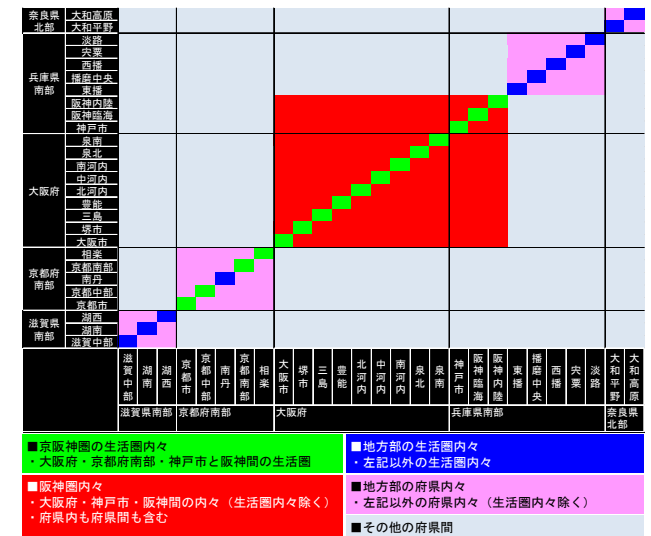


図-3 時間変動係数類型

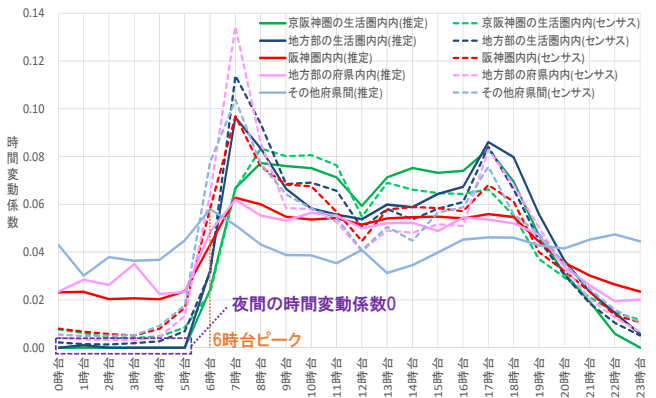


図-4 時間変動係数の推定結果

3. 時間変動係数先験情報項追加モデルを用いた推定

(1) 時間変動係数先験情報項追加モデル

時間別OD交通量が、路線別交通量の推計、道路マネジメント施策の立案や実施効果の評価等に利用されることに鑑みると、より高い再現性の確保が必要である。モデル的にセンサス先験情報を考慮することで、推定結果が安定することが考えられる。先験情報項を追加した改良モデルのモデル式を式3に示す。

先験情報としては、H22センサスOD調査結果の発時間帯別のOD交通量を5つの類型ごとに集計した値を用いた。ここで、先験情報には、類型ごとの集計値に代えてOD交通量を利用することも考えられるが、OD単位では時間交通量の欠測時間帯が多いため、類型別合計を用いることとした。

また、リンク交通量の残差項（第1項）と先験情報項（第2項）の重みの比を重み係数 α を用いて設定した。

なお、前述のとおり逆推定から得られる時間変動係数は、走行時間帯にもとづくものであるから、本来は先験情報としてもそれと同等の値を用いることが望ましいが、これについては今後の課題としたい。

モデル式（センサス先験情報項を追加）

（目的関数）

$$\alpha \sum_T \sum_a \sum_k (P_{a,ij}^T \hat{E}_k^T Q_{ij} - v_a^{T*})^2 + (1 - \alpha) \sum_T \sum_k (\hat{E}_k^T Q_k - E_k^{T*} Q_k)^2 \rightarrow Min \quad (3)$$

（制約条件）

$$\sum_T \hat{E}_k^T = 1 \quad \hat{E}_k^T \geq 0$$

ここで、

v_a^{T*} : T時間帯におけるリンクaの観測リンク交通量（上下別）

Q_{ij} : ODペアij間での日別OD交通量

Q_k : 類型kの日別OD交通量

$P_{a,ij}^T$: T時間帯にOD交通量 Q_{ij} がリンクaを利用する確率

\hat{E}_k^T : T時間帯の類型kの時間変動係数（未知変数）

E_k^{T*} : T時間帯における類型kのセンサス時間変動係数

（センサスマスターより類型別に集計した時間変動係数）

α : 重み係数

k : ODペアijが属する類型

(2) 推定結果

重み係数 α を0.50, 0.07, 0.90, 0.99, 1.00（先験情報がない場合と同等）と変化させて推定した時間変動係数の推定結果を図-5に示す。

当然ではあるが、先験情報を追加することで、時間変動係数の推定値が、先験情報がないケースと先験情報と

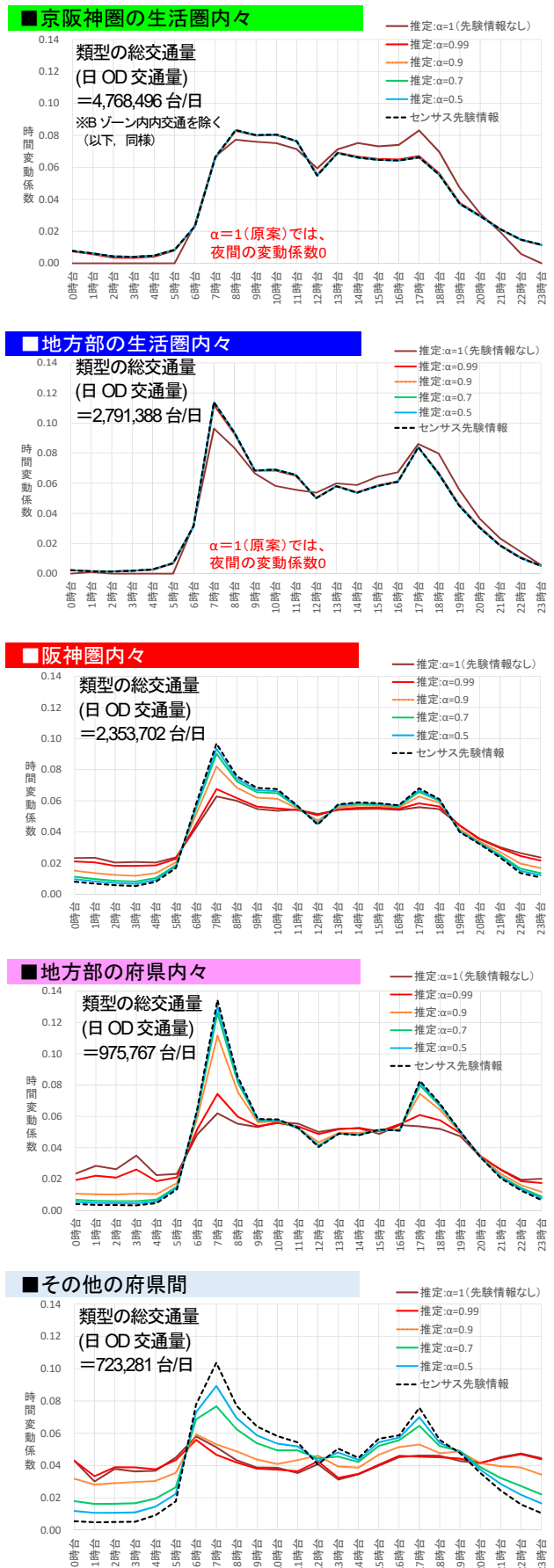


図-5 先験情報項の追加の検討結果

の間に位置すること、重み係数 α の値によって推定値が変化することが確認できる。このことから、適切な重み係数 α を設定することで、実用面から求められるより細分化された類型ごとの時間変動係数が推定できる可能性があるものといえる。

実際、「京阪神圏の生活圏内々」、「地方部の生活圏内々」における夜間の時間変動係数がゼロになる課題や、「その他府県間」におけるピーク時間が不明瞭、ピーク時間帯が現実的ではないといった課題は解消されている。

ただし、重み α の値が同じであっても、時間変動係数の推定値が、先験情報なしの値と先験情報のどちらにどの程度近づくかは、類型ごとに異なっており、総交通量が大きい類型ほど、またトリップ長が短い類型ほど先験情報により近づきやすくなっている。この原因としては、類型の総交通量が多いと第2項が相対的に強く作用し、トリップ長が長く通過する観測リンクが多いと第1項が相対的に強く作用することが考えられる。

(3) 残差重みの設定方法

前節の検討結果を踏まえ、第1項と第2項の重みの設定方法について考察を行った。重みは、誤差論の考え方に則り、変数の標準偏差の2乗に反比例するものとして設定することを考える。一般には次式4の通りとなる。

$$\sum_i (R_i / \sigma_i)^2 \rightarrow \text{Min} \quad (4)$$

(R_i : 変数iに関する残差, σ_i : 変数iの標準偏差)

今回のモデルにあてはめると、各観測値、すなわち時間別リンク別のリンク交通量および時間別OD別のOD交通量のそれぞれについて、標準偏差 σ_i を設定することとなる。

橋本ら³⁾は、日別の発生交通量を推定するモデルにおいて、これに準じた次式5の方法を提案している。

$$\frac{1}{\sigma_l^2} \sum_i (R_i)^2 + \frac{1}{\sigma_o^2} \sum_i (R_i^o)^2 \rightarrow \text{Min} \quad (5)$$

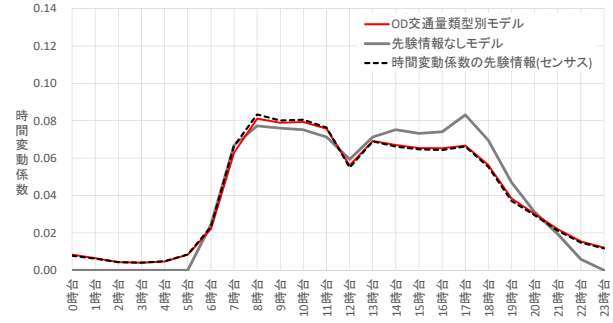
(l : 観測リンク交通量, o : 発生交通量)

ここで、 σ_l 、 σ_o はそれぞれ観測リンク交通量と発生交通量の平均的な標準偏差を総交通量を用いて表現したものである。(例えば、観測リンク交通量の平均的な変動係数を cv とすると、観測リンク交通量の総和(Σl)を用いて、 $cv \Sigma l$ とする。)

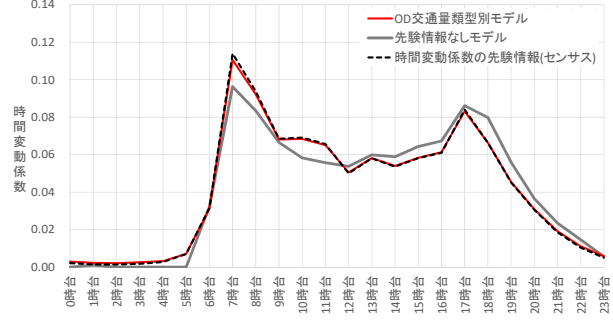
これは、前章で観測リンク交通量とOD交通量の残差全体の重みの比を α を用いて表現した考え方に対応している。

式4との違いは、1つに、観測リンク交通量(または発生交通量)の標準偏差は、リンク(またはゾーン)によらず一定としていること。2つに、交通量の大小に関わらず全てのリンク(またはゾーン)を同一の値で除す

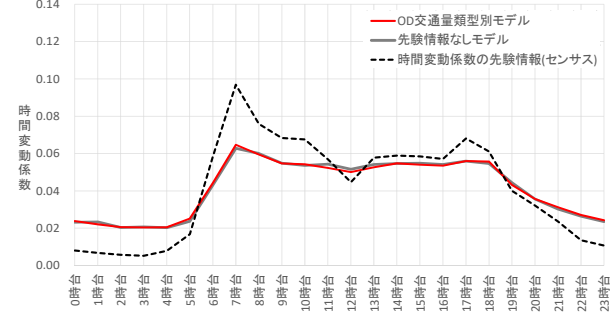
■京阪神圏の生活圏内々



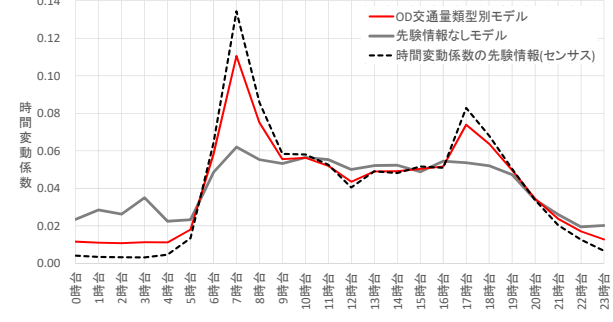
■地方部の生活圏内々



■阪神圏内々



■地方部の府県内々



■その他の府県間

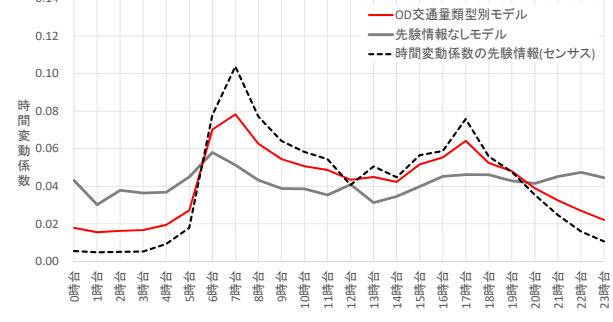


図-6 OD交通量類型別モデルによる推定結果

ることになるから、交通量の大きいリンク（またはゾーン）の残差を相対的に重く評価することである（推定時に観測値との残差をより小さくする）。

2点目について、未成ら²⁾は、式4に類似する日別の発生交通量を推定するモデルとして、標準偏差に変えて観測交通量を用いたモデル（比率モデル）を提案し、その推定結果を式5によるモデルと比較しているが、式4によるモデルは、交通量の大きいリンク（またはゾーン）のリンク交通量（または発生交通量）の再現性や安定性が低くなっている。

これら既存研究を参考に本研究においては、式5に準じて重みを設定することを考えた。すなわち、時間別リンク別リンク交通量と時間別OD交通量について、それぞれその総和を用いた標準偏差により一律に重みを設定する方法である。

ただし、前述のとおり、OD単位の時間交通量には欠測時間帯が多いため、第2項については類型ごとの合計値を用いることとした。

また、前節の重みの感度分析では、総交通量が大きい類型ほど、トリップ長が短い類型ほど時間変動係数の推定結果が先験情報により近づきやすくなったことから、それを緩和する方法として、類型ごとの総交通量の大小を反映できるよう、全類型の総OD交通量ではなく、類型別のOD交通量で重みを設定することとした。すなわち、第2項については、一部に式4の考え方を用いることとした。

リンク交通量とOD交通量の標準偏差については、未成ら²⁾が変動係数の比（リンク交通量／発生交通量）を1/4, 1/2, 1として推計結果を比較している。発生交通量については、自明であるが、この比が大きいほど先験情報に近い結果が得られている。また、リンク交通量の再現性については、いずれのケースにおいても大きな差はない結果となっている。本研究では、この変動係数の比を1/2としたが、これについては検討の余地があるといえよう。

上記の考えに基づき設定した目的関数を式6に、時間変動係数の推定結果を図-6に示す。

モデル式

(目的関数)

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \sum_T \sum_a (v_a^{T*})^2} \sum_a \sum_T \sum_k (P_{a,ij}^T \hat{E}_k^T Q_{ij} - v_a^{T*})^2 + \sum_k \frac{1}{(1)^2 \sum_T (E_k^{T*} Q_k)^2} \sum_T (\hat{E}_k^T Q_k - E_k^{T*} Q_k)^2 \rightarrow \text{Min} \quad (6)$$

(制約条件)

$$\sum_T \hat{E}_k^T = 1 \quad \hat{E}_k^T \geq 0$$

推定結果をみると、夜間に0となる問題が解消するとともに、ピーク時間帯などより確からしい時間変動係数が推定できている。ただし、トリップ長が短い類型ほど時間変動係数の推定結果が先験情報により近づきやすくなる傾向は残されており、より実践的な重みの設定方法については今後の課題としたい。

4. おわりに

(1) 本研究の成果

本研究では、近畿大都市圏を対象とし、方向別ODを時間変動係数の類似性から類型化したうえで、類型ごとの時間変動係数を未知変数とした時間変動係数モデルの推定を行い、把握された課題を整理するとともに、課題解消のための推定モデル式の改良方針について検討を行った。その結果以下が明らかになった。

- ・近畿大都市圏を対象とし、方向別ODを時間変動係数の類似性から類型化したうえで、類型ごとの時間変動係数を未知変数とした時間変動係数モデルの推定を行ったところ、「京阪神圏の生活圏内々」、「地方部の生活圏内々」における夜間の時間変動係数がゼロになる課題や、「その他府県間」におけるピーク時間が不明瞭、ピーク時間帯が現実的ではないといった課題がみられた。
- ・時間変動係数モデルに、H22センサスOD調査結果の発時間帯別のOD交通量を先見情報項として与えることにより、上記の課題は解消された。ただし、総交通量が大きい類型ほど、またトリップ長が短い類型ほど先験情報により近づきやすい傾向がみられた。
- ・時間変動係数先見情報項追加モデルの重みについて、誤差論の考え方に則り設定する方法を提案した。

(2) 今後の課題

本研究において、得られた時間別OD交通量は走行時間帯にもとづくものである。一方、センサスは発時刻集計を行ったものであるため、今後、発時刻ベースの時間別ODを走行時間ベースODに変換するステップの追加を検討する予定である。

また、時間変動係数先見情報項追加モデルの重みについて、誤差論の考え方に則り設定する方法を提案したが、トリップ長が短い類型ほど時間変動係数の推定結果が先験情報により近づきやすくなる傾向は残されており、より実践的な重みの設定方法の検討が必要である。

さらに、時間変動係数モデルに入力する日別OD交通量は、本来、日別OD交通量逆推定モデルの推定結果を用いるが、一部に十分な推定精度が得られなかったゾーンがみられたため、本研究においては、H22センサス日

OD交通量を用いた．時間変動係数先見情報項追加モデルの検討とともに，日別OD交通量逆推定モデルの再現性の向上が求められている．

一方，ETC2.0プローブ情報等これまで困難とされてきた経路情報やOD交通量の把握が可能なプローブデータの活用が進みつつある．今後は，そのようなビッグデータを活用し，実用化に向けた検討を進めて参りたい．

参考文献

- 1) 飯田恭敬：交通計画のための新パラダイム-交通ネットワーク信頼性と OD 交通量逆推定，技術書院，2008.
- 2) 末成浩嗣，田中良寛，橋本浩良，瀬戸下伸介，倉内文孝，内田賢悦，円山琢也，杉浦聡志，飯田恭敬：OD 交通量逆推定手法における結合モデル (C-model) の改良と検証，土木計画学研究・講演集 Vol.55CD-ROM
- 3) 橋本浩良，高宮進，倉内文孝，飯田恭敬：OD 交通量逆推定手法を利用した OD 交通量の補正方法，土木計画学研究・講演集 Vol.50 CD-ROM
- 4) 藤田素弘，渡邊健，山田真士：観測交通量からの時間変動係数に基づく時間帯別 OD 交通量の逆推定手法の開発，交通工学論文集，Vol2, No1, pp.11-20, 2016
- 5) 村上慎太郎，藤田素弘，渡邊健，桐戸慎太郎：地域別方向別・域外交通を考慮した時間変動係数に基づく時間帯別 OD 交通量逆推定の研究，土木計画学研究・講演集 Vol.52 CD-ROM

IMPROVEMENT OF Hourly OD MODEL IN THE TRIP TABLE ESTIMATION METHOD

Naoko MATSUDA, Fumitaka KURAUCHI, Kenetsu UCHIDA, Takuya MARUYAMA, Satoshi SUGIURA, Masahiro TANGE, Masamichi TAKIMOTO, Hiroomi NAKATA and Shinsuke SETOSHITA