

仮想ネットワークにおけるOD交通量逆推定モデルの基本性能検証*

Basic Performance Verification of Estimation Method of OD Matrix in the Virtual Network*

南部浩之**・松本俊輔***・上坂克巳****・前川友宏*****・倉内文孝*****・飯田恭敬*****

By Hiroyuki NAMBU**・Shunsuke MATSUMOTO***・Katsumi UESAKA****・

Tomohiro MAEKAWA*****・Fumitaka KURAUCHI*****・Yasunori IIDA*****

1. はじめに

道路交通センサスのOD交通量データは交通需要予測等、道路計画の分野において広く用いられている。

この道路交通センサスODデータは自動車起終点調査(OD調査)で得られた行動データから、自動車保有台数に基づく拡大処理によって作成しており、そのプロセスにおいて観測交通量は考慮されていない。しかし、OD調査は数パーセントのサンプル調査であること、回収率が低下していること、訪問調査が困難な社会状況になってきていることなどの要因により、OD交通量を正確に把握することが困難な状況になりつつある。その一方で、交通量の観測は比較的容易であり、人為的ミスなどによる誤差が生じる可能性はあるものの、サンプリングや数学モデルによる推定値に比べて、その精度は高いといえる。そこで、OD交通量データの精度確保のために観測交通量を活用することが有効であると考えられる。

この観測交通量を用いてOD交通量を推定する手法については、1960年代から研究されており、理論的には完成の域に達していると考えられるが、現時点では実務での適用例はほとんどない。

そこで、筆者らはこの手法(以下、OD逆推定手法と呼ぶ)を用いたOD交通量データの精度向上について、実務への適用を最終目的として研究に取り組んでいる。その中で、精度の高い推定値を得るためのインプットデータの設定方法や、正しいOD交通量が不明な状況における推定値の誤差の評価方法を明らかにすることが重要であると考えられる。

*キーワード: OD交通量逆推定、OD交通量データ

**正員、工修、現: 中央復建コンサルタンツ(株)

(大阪府大阪市東淀川区東中島4-11-10、
TEL06-6160-4140、FAX06-6160-1230)

前: 国土技術政策総合研究所道路研究室交流研究員

***正員、国土技術政策総合研究所道路研究室

****正員、工博、国土技術政策総合研究所道路研究室

*****正員、工修、社) システム科学研究所

*****正員、工博、岐阜大学工学部

*****正員、工博、京都大学名誉教授

そこで、本稿では、OD交通量逆推定モデルを仮想ネットワークに適用し、インプットデータの設定方法に関する知見を得るためにインプットデータの誤差が推定結果に与える影響の把握を行うとともに、実際の交通量を用いた推定結果の誤差の評価方法について提案を行う。

2. 検討方法および検討条件

(1) OD交通量逆推定モデル

本取り組みは最終的には実ネットワークを対象に道路交通センサスODデータを活用することを前提としている。この点に考慮し、モデル解法の容易さの点から、2種類の残差平方和最小化モデルを採用した¹⁾。各モデルの式で用いる変数は、下記のとおりである。

- ・ i, j : 域内ノード
 - ・ k, l : 域外ノード
 - ・ $X_{ij}, Y_{il}, U_{kj}, W_{kl}$: 内々、内外、外内、外々OD交通量
 - ・ $P_{ij}^a, P_{il}^a, P_{kj}^a, P_{kl}^a$: リンクaのOD別リンク利用率¹⁾
 - ・ n_a^* : リンクaの観測交通量¹⁾
 - ・ τ, λ : 域内、域外ノードからの域内集中確率¹⁾
 - ・ G_i, S_k : 域内、域外ノードからの発生交通量
 - ・ $m_{ij}, n_{il}, q_{kj}, r_{kl}$: 内々、内外、外内、外々ODの目的地選択確率¹⁾
 - ・ g_i : 域内ノードの発生交通量比率¹⁾
-) インプットデータとして設定する変数

a) リンク交通量モデル(L-model)

観測リンク交通量の推定値と現実値の残差平方和を最小にすることによって発生交通量(G_i, S_k)を推定する。

【目的関数】

$$\begin{aligned} \Phi &= \sum_a \left[(\sum_i \sum_j X_{ij} P_{ij}^a + \sum_i \sum_l Y_{il} P_{il}^a \right. \\ &\quad \left. + \sum_k \sum_j U_{kj} P_{kj}^a + \sum_k \sum_l W_{kl} P_{kl}^a) - v_a^* \right]^2 \\ &= \sum_a \left[(\sum_i \sum_j \tau G_i m_{ij} P_{ij}^a + \sum_i \sum_l (1-\tau) G_l n_{il} P_{il}^a \right. \\ &\quad \left. + \sum_k \sum_j \lambda S_k q_{kj} P_{kj}^a + \sum_k \sum_l (1-\lambda) S_l r_{kl} P_{kl}^a) - v_a^* \right]^2 \rightarrow \text{Min} \end{aligned}$$

【制約条件】

$$G_i \geq 0$$

b) 結合モデル(C-model)

観測リンク交通量の推定値と現実値の残差平方和に加えて、発生交通量の推定値と現実値の残差平方和が最

小になるように発生交通量 (G_i, S_k) を推定する。

【目的関数】

$$\begin{aligned} \Phi = & \sum_a [\sum_i \sum_j X_{ij} P_{ij}^a + \sum_i \sum_l Y_{il} P_{il}^a \\ & + \sum_k \sum_j U_{kj} P_{kj}^a + \sum_k \sum_l W_{kl} P_{kl}^a] - v_a^*]^2 + \sum_i [G_i - Gg_i]^2 \\ = & \sum_a [\{ \sum_i \sum_j \tau G_{ij} m_{ij} P_{ij}^a + \sum_i \sum_l (1-\tau) G_{il} n_{il} P_{il}^a \\ & + \sum_k \sum_j \lambda S_k q_{kj} P_{kj}^a + \sum_k \sum_l (1-\lambda) S_k r_{kl} P_{kl}^a \} - v_a^*]^2 \\ & + \sum_i [G_i - Gg_i]^2 \rightarrow \text{Min} \end{aligned}$$

【制約条件】

$$G = \sum_i G_i \quad , \quad G_i \geq 0$$

(2) ネットワーク構成

検討用の仮想ネットワークを以下のとおり設定した。

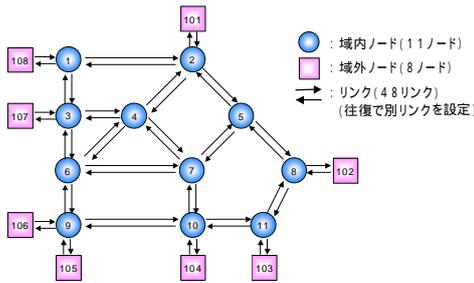


図 - 1 仮想ネットワーク

(3) インputデータの概要

上記のモデルを用いたOD交通量の逆推定に必要なインputデータを以下に示す。

a) 目的地選択確率 ($m_{ij}, n_{il}, q_{kj}, r_{kl}$)

各ゾーンペアのOD推移確率であり、例えば、内々交通の場合には以下の式で表される。

$$m_{ij} = T_{ij} / \sum_j T_{ij}$$

T_{ij} : ゾーンペアijのOD交通量

b) 発生交通量比率 (g_i) (C-modelのみ)

各ゾーンの発生交通量の総和に対するゾーンiの発生交通量であり、以下の式で表される。

$$g_i = \sum_j T_{ij} / \sum_i \sum_j T_{ij} = G_i / \sum_j G_j$$

T_{ij} : ゾーンペアijのOD交通量

G_i : ゾーンiの発生交通量

c) OD別リンク利用率 ($P_{ij}^a, P_{il}^a, P_{kj}^a, P_{kl}^a$)

OD交通量がリンクaを利用する確率であり、例えば内々交通の場合には以下の式で表される。

$$p_{ij}^a = v_{ij}^a / T_{ij}$$

v_{ij}^a : リンク a の配分交通量のうちゾーンペア ij をODとするもの

T_{ij} : ゾーンペアijのOD交通量

d) 観測リンク交通量 (s_a)

リンクaを利用する交通量。

(4) 本研究で用いるインputデータの作成方法
本研究では誤差のない真値のインputデータを作成し検討に用いた。その設定のための条件は以下のとおりであり、以降に各インputデータの設定方法を示す。

- ・域内集中確率 () : 0.5
- ・集中交通量比率: 内々、内外、外内、外々のそれぞれで均等比率
- ・発生交通量: 3,000台 (発生交通量比率は全ノード均等比率)

a) 目的地選択確率、発生交通量比率

域内集中確率、集中交通量比率から設定した。

b) OD別リンク利用率、観測リンク交通量

上記条件に基づきOD交通量を設定し、そのOD交通量をネットワークに交通量配分した結果を用いた。交通量配分の条件は以下のとおりである。

- ・配分手法: 均衡配分
- ・収束回数: 100回
- ・収束条件 (交通量の最大変動幅): 0.01
- ・リンクパフォーマンス関数: BPR関数 ($\beta = 0.48$, $\gamma = 2.82$)

(5) 再現性確認

真値のインputデータを用いて逆推定を行った。

図-2は発生ノード別の発生交通量の誤差 (推定値-真値) を示したものであり、図-3は観測リンク交通量の真値と推定値の関係を示したものである。これらより、L-model、C-modelともに、発生交通量、観測リンク交通量が真値と推定値がほぼ一致し、高い精度で再現できていることが確認できた。

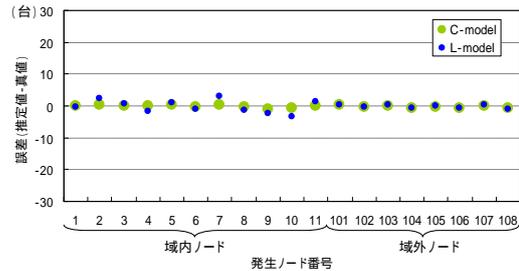


図 - 2 発生交通量の誤差

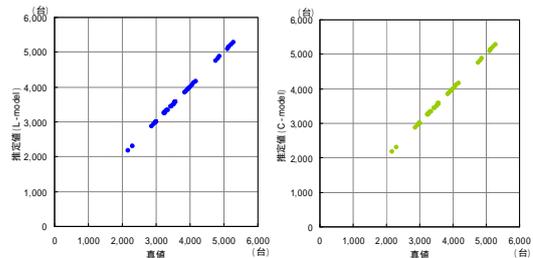


図 - 3 観測リンク交通量の真値と推定値の比較

3. インputデータの誤差による推定値への影響把握

(1) リンク交通量の誤差

以下のパラメータに従う正規乱数を発生させて観測リンク交通量に誤差を与えて推定値への影響を把握した。

以降の推定値の誤差の程度を示す指標としては、相対誤差（% RMS 誤差）を用いた。

- ・ 平均値：観測リンク交通量（真値）
- ・ 標準偏差：観測リンク交通量（真値）× 誤差率（5%、10%、20%、40%）
- ・ 各誤差率に対し、100ケース設定

観測リンク交通量の誤差と発生交通量の誤差の関係を示したものが図-4である。これより、リンク交通量の誤差の増大に伴い発生交通量の誤差も大きくなる結果となり、それぞれの誤差の関係は決定係数が、L-model で0.92、C-model で0.96と高い値を示していることから相関関係にあることがわかった。

さらに、回帰式の傾きよりC-modelの方が観測リンク交通量の誤差に対して安定的であるという結果となった。

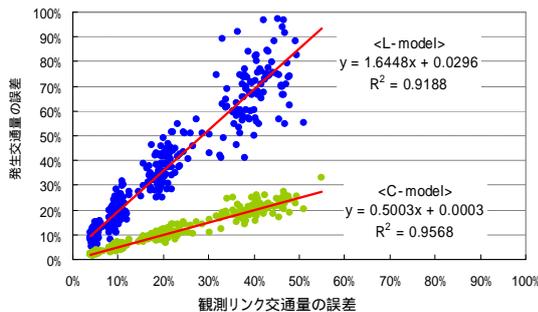


図 - 4 観測リンク交通量の誤差による影響

(2) リンク交通量の観測箇所数の変化

以下の方法によりカバー率（観測地点の交通量計 / 全リンクの交通量計）を変化させることで、リンク交通量の観測箇所数の変化に伴う推定値への影響を把握した。

- ・ 観測地点数を徐々に削減（往復リンクをペアとして、46、44、42、...、2リンク）
- ・ 観測地点をランダムに設定（各観測地点数に対し20ケース）

図-5は観測リンク交通量に誤差を与えない場合のカバー率と発生交通量の誤差の関係を示したものであり、図-6は観測リンク交通量の誤差による検証と同様に観測リンク交通量に誤差を付与した場合の結果である。

図-5より、L-modelでは、観測交通量のカバー率の低下に伴い推定値の誤差が拡大し、全観測リンク交通量の30%程度カバーできれば、推定値の誤差は10%以下に収まるが、それよりカバー率が低下すれば、誤差は急激に増大する結果となった。C-modelでは、発生交通量比率を先に与えるため、カバー率が低下しても推定値の誤差は拡大しない結果となった。ただし、発生交通量比率に誤差がある場合にはこの限りではないことに留意する必要がある。

また、図-6より、リンク交通量に誤差が含まれるとC-modelにおいても、観測カバー率の低下に伴い推定誤差が拡大し、観測カバー率が30%程度を下回れば、誤差が拡大する結果となった。それでも、C-modelの方がL-modelより推定値への影響は小さい結果となった。

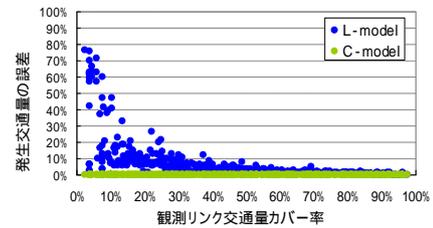


図 - 5 リンク交通量の観測箇所数の変化による影響

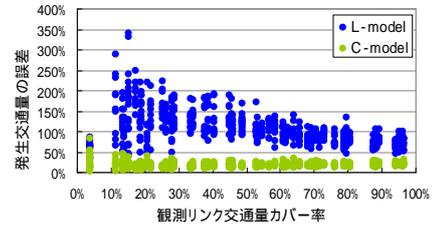


図 - 6 リンク交通量の観測箇所数の変化による影響（リンク交通量誤差あり）

(3) OD交通量（目的地選択確率）の誤差

以下の方法による誤差を含んだOD交通量を用いてOD交通量（目的地選択確率）に誤差が生じた場合の、推定値への影響を把握した。

- ・ 集中交通量比率に正規乱数を発生させ、誤差（5%、10%、20%、40%）を付与した目的地選択確率・OD交通量を作成（発生交通量は固定。各誤差率に対し、50ケース。）
- ・ 誤差を付与したOD交通量から交通量配分を行い、誤差を付与したOD別リンク利用率を作成

目的地選択確率の誤差と発生交通量の誤差の関係を示したものが図-7である。これより、回帰式の傾きは、0.53（L-model）、0.18（C-model）となり、目的地選択確率の誤差による推定値への影響はそれほど大きくないという結果となった。また、発生交通量の推定誤差の感度は、C-modelがL-modelより低い結果となった。

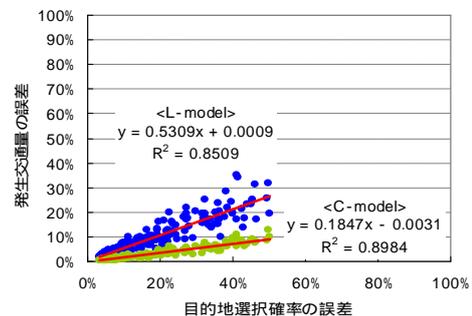


図 - 7 OD交通量(目的地選択確率)の誤差による影響

4. 推定結果の誤差の評価方法

実測の交通量を用いてOD交通量を逆推定した場合、推定値の精度を分析するためには、発生交通量の真値が必要となる。しかし、現実には発生交通量の真値は不明であることから、直接、推定精度を測ることは不可能である。そのため、本研究では発生交通量の誤差の評価方法について以下のように考えた。

逆推定の結果、推定結果として得られるリンク交通量と観測リンク交通量との差（「リンク交通量の残差」と呼ぶ）が得られる。このリンク交通量の残差と把握したい発生交通量の推定値の誤差の間には何らかの関係があり、推定後のリンク交通量の残差から発生交通量の誤差が類推できる。

この考え方に基づき、具体的には以下の方法により発生交通量の推定値の誤差が類推できると考えた。

残差・誤差相関分析

- ・リンク交通量を道路交通センサスOD交通量による配分交通量とした場合、発生交通量の真値が道路交通センサスOD交通量となる。
 - ・次に、リンク交通量に誤差を発生させ、その誤差を付与した交通量をインプットデータとして推定した結果に対する以下の値を算出する。
残差A：“誤差を付与したリンク交通量”と“リンク交通量の推定値”との差
誤差B：“発生交通量の真値”と“発生交通量の推定値”との差
 - ・リンク交通量に誤差を発生させるパターンを変化させ、その都度、残差A・誤差Bを算出し、それらの結果に対して相関分析を行う。
- 実測の交通量を用いた場合の残差の算出
- ・実測の交通量を用いた逆推定を実施し、観測リンク交通量（実測値）と、リンク交通量の推定値との差を算出する（残差aとする）。
- 発生交通量の推定値の誤差の類推差
- ・の相関関係との残差aより、実測の交通量を用いて逆推定した発生交通量（推定値）の真値に対する誤差を類推する。

ここで、に示した相関分析で残差Aと誤差Bが相関関係になれば、この方法により推定値の誤差を類推することができない。そこで、上記について、リンク交通量の残差と発生交通量の推定値の誤差に相関関係があるかどうかの検証を行った。

3.(1)のデータを用いてリンク交通量の残差と発生交通量の誤差の関係を示したものが図-8である。これより、リンク交通量の残差と発生交通量の誤差の関係は、決定係数が、L-modelで0.90、C-modelで0.89と高い値を示しており、双方は相関関係にあることがわかった。

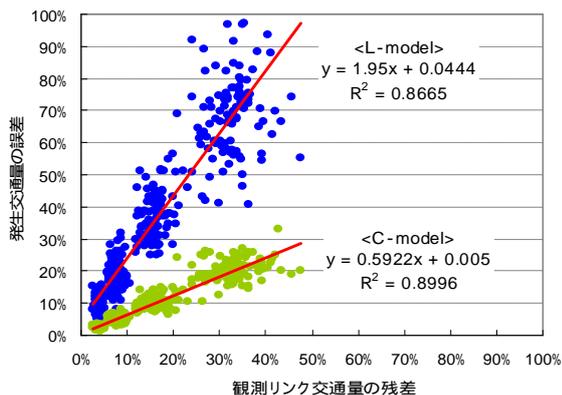


図 - 8 リンク交通量の残差と発生交通量の誤差の関係

5. 考察

3.(2)の結果から、インプットデータの設定にあたってはL-model、C-modelともに、カバー率として、約30%程度の交通量を把握しておくことで推定値の誤差を小さくできると考えられる。

また、3.(1)の結果から得られた“観測リンク交通量の誤差と発生交通量の誤差”の回帰式の傾きが、3.(3)の結果から得られた“目的地選択確率の誤差と発生交通量の誤差”の回帰式の傾きより大きいことから、観測リンク交通量の誤差の方が目的地選択確率の誤差よりも推定値に与える影響が大きいと考えられる。

さらに、4の結果から、リンク交通量の残差と発生交通量の誤差は相関関係にあることから、リンク交通量の残差を用いて発生交通量の誤差を類推することが可能であると考えられる。これに加えて、逆推定を行うことにより実際にOD交通量の精度が向上することを確認する必要があると考える。

また、今回の検討では、L-modelよりC-modelの方が推定値の誤差が小さい結果となっている。しかし、この結果は発生交通量を真値に固定して検討したものであり、発生交通量に誤差がある場合、C-modelではその影響を大きく受ける可能性があることに留意が必要である。

6. まとめ

OD逆推定モデルを仮想ネットワークに適用し、インプットデータの誤差が推定結果に与える影響の把握、発生交通量の推定値の誤差の評価方法に関する検証を行った結果、以下の成果を得た。

- ・観測交通量のカバー率が全観測リンク交通量の30%程度より低下すれば推定値の誤差は急激に増大することがわかった。
 - ・目的地選択確率の誤差の増大により発生交通量の推定誤差は増大するが、観測リンク交通量の誤差による推定誤差に比べると感度が低いことがわかった。
 - ・発生交通量に誤差がない状況では、L-modelよりC-modelの方がインプットデータの誤差に対して安定的であることが確認できた。
 - ・リンク交通量の残差と発生交通量の誤差には相関関係があることがわかり、リンク交通量の残差から発生交通量の誤差の類推が可能であることを確認した。
- 今後は、具体的なネットワーク、道路交通センサスOD交通量を用いた検討を通じて、本研究で確認した内容の一般性の確認と、より広域なネットワークへの適用に向けた課題抽出、対応策の検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) 飯田恭敬：交通計画のための新パラダイム、技術書院、pp.92-104、2008