

観測リンク交通量による域外・域内OD交通量の同時推定法*

Estimation Method of OD Matrix With Observed Traffic Data Considering Traffic from Outside Area *

田中久光**・飯田恭敬***・中川真治****

By Hisamitsu TANAKA**・Yasunori IIDA***・Shinji NAKAGAWA****

1. はじめに

現在、現況の道路交通のOD交通量推定では、アンケートによる調査で得られた調査結果に、抽出率の逆数を拡大係数として乗じて現況のOD交通量を推定する手法が多く用いられている。しかし、このようなアンケートによるサンプリング調査は特定の一日の調査であり、その日特有の運行・運休状況が日常の一般的な調査結果として現れる可能性がある。また、実際には存在するにも関わらずサンプリングできなかったODペアが存在すると、調査結果のゾーン間のODが0となり、地域的には必ずしも実際の道路交通状況に適合した現況OD表を作成しきれない可能性がある。

この現況OD表は、将来の交通需要推計に用いられる段階推定法の基となっているデータである。現況OD表の推計誤差が大きいと現況OD表を基として推計される将来OD表にも影響を及ぼし、この将来OD表を基に推計される将来のリンク交通量の推計にも多くの誤差を含む結果となる可能性が高い。

そこで、本稿では比較的容易に観測できる観測リンク交通量に着目し、観測値からOD交通量を推定する「逆推定」モデルの実務での適用性について考察する。観測リンク交通量は観測ミス等による誤差を含むものの、数式モデルによって推定される発生・集中交通量やOD交通量に比べて精度が高いと考えられる。

「逆推定」モデルでは、比較的精度の高い観測リンク交通量をインプットデータとして、現況の発生・集中交通量、OD交通量が推定できるので、その現況OD交通

*キーワード：OD交通量推定モデル、逆推定、域外交通、プローブカー

**正員、工修、(株)地域未来研究所
(滋賀県大津市春日町5番11号 REC大津)、
TEL077-522-6163、FAX077-522-6231)

***フェロー、工博、(社)システム科学研究所
(京都市中京区新町通四条上ル小結棚町428
新町アイエスビル4F)、
TEL075-221-3022、FAX075-231-4404)

****正員、工修、(社)システム科学研究所(同上)

を用いることで将来推定値の精度向上が期待できると考えられる。

本稿では、まず既存のモデルをまとめ、その後対象地域の域外交通も考慮した新たな推定モデルを提案し、その実務適用上の課題について述べる。

2. 観測交通量からOD交通量を推定するモデル

(1) 残差平方和最小化モデル

既存モデルの例として、残差平方和最小化モデルの概要を以下に述べる¹⁾。

以下の a) ~ c)における各記号の意味

T	対象地域内の総トリップ数
O_i	ゾーン i の発生交通量
T_{ij}	ゾーン ij 間のOD交通量
f_i	ゾーン i の交通量の発生確率 (=発生交通量/総トリップ数)
f_{ij}	ゾーン j への目的地選択確率 (=OD交通量/発生交通量)
p_{aij}	OD交通量 T_{ij} がリンク a を利用する確率 (道路区間利用率)
V_a	リンク a の交通量(理論値)
V_a^*	リンク a の交通量(観測値)

a) 道路区間交通量モデル¹⁾

リンク交通量の残差(理論値 - 観測値)の平方和を最小にするモデルである。

目的関数(制約条件:なし)

$$Z_1 = \sum_a (V_a - V_a^*)^2 = \sum_a \left(\sum_i \sum_j O_i \cdot f_{ij} \cdot p_{aij} - V_a^* \right)^2$$

b) 発生交通量モデル¹⁾

発生交通量(総トリップ数 × 発生確率)の残差を最小にするモデルである。

目的関数

$$Z_2 = \sum_i (T \cdot f_i - O_i)^2$$

制約条件：

$$V_a^* = \sum_i \sum_j O_i \cdot f_{ij} \cdot p_{aj} \quad T = \sum_i O_i$$

c) 結合モデル¹⁾

リンク交通量と発生交通量（発生確率）の両方について、観測値との残差平方和が最小になるような推定値を求めるモデルである。

目的関数

$$Z_3 = \sum_a \left(\sum_i \sum_j O_i \cdot f_{ij} \cdot p_{aj} - V_a^* \right)^2 + \sum_i (T \cdot f_i - O_i)^2$$

制約条件：

$$T = \sum_i O_i$$

(2) 域外交通を考慮した新しいモデル

a) 開発の意義

(1)で紹介した各モデルは、図-1(a)のように交通流動が「閉じた」対象地域を前提としている。しかし、閉じた対象地域は、国全体といった相当に広い範囲を意味し、推定対象として現実的でない。

そこで、図-1(b)のような「閉じていない」対象地域にも容易に適用可能なモデルが必要である。

また、ネットワークとゾーニングを可能な限り整合させることも重要である。実務では、データ収集や作業に係るコストの制約などから、ネットワークデータとゾーニングの整合が十分に配慮されないことが少なくない。交通量配分では、OD交通量はセントロイドで発生・集中することを前提としており、セントロイド以外のノードがゾーン内に多く存在することは、予測精度の低下に

つながる。今回提案するモデルでは、一つのゾーンに一つのノード（=セントロイド）を配置することを原則とする（図-2）。

以上から、本研究では、ネットワークとゾーニングの整合を考慮しつつ、対象地域の内々・内外・外内・外外（通過）の各交通に係る OD 交通量を観測リンク交通量から推定するモデルを提案する。

本モデルは、例えば従来のアンケートによる手法では正確な OD 交通量を捉えにくく推計値と現実値に大きな差がある地域への適用が特に効果的であると考えられる。また、対象道路ネットワークが広域になった場合、対象域を分割統合することにより、本手法が適用できる。

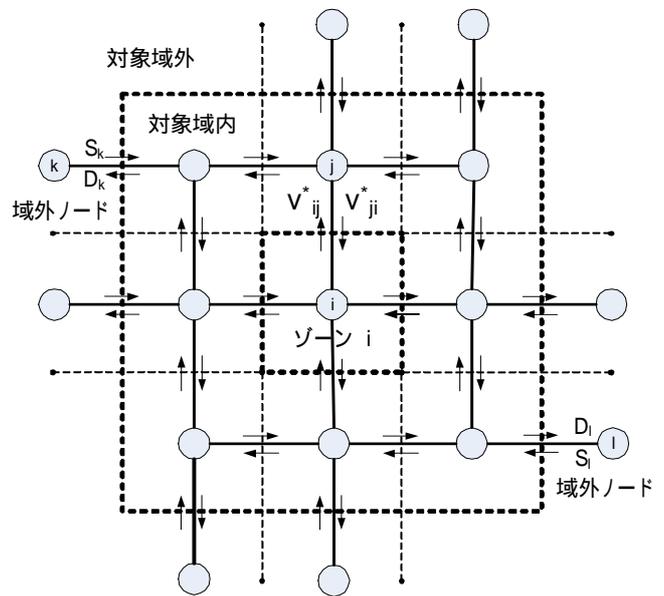


図-2 ゾーニングとネットワークの関係

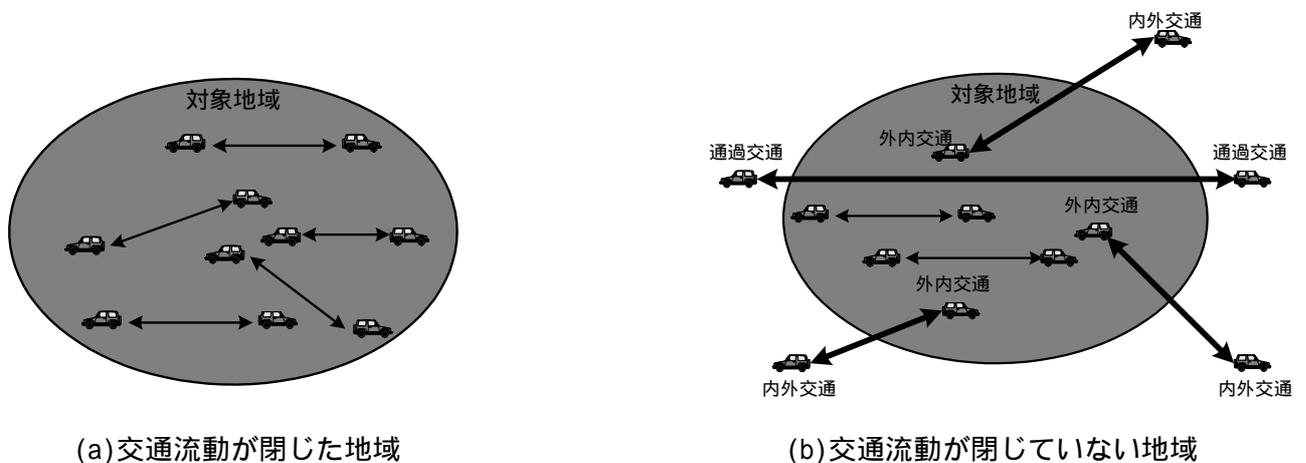


図-1 交通流動と対象地域

b) 定式化

本研究で提案するモデルでは定式化にあたり、対象地域のOD表を下表のように分割する。

表-1 モデルで想定するOD表

O \ D		域内		域外		全域
		j	小計	l	小計	合計
域内	i	X_{ij} $G_i^I m_{ij}$ $\tau G_i m_{ij}$	G_i^I τG_i	Y_{il} $G_i^E n_{il}$ $(1-\tau)G_i n_{il}$	G_i^E $(1-\tau)G_i$	G_i
	小計	A_j^I	G^I	D_l^E	G^E	G
域外	k	U_{kj} $S_k^I q_{kj}$ $\lambda S_k q_{kj}$	S_k^I λS_k	W_{kl} $S_k^E r_{kl}$ $(1-\lambda)S_k r_{kl}$	S_k^E $(1-\lambda)S_k$	S_k
	小計	A_j^E	S^I	D_l^E	S^E	S
全域	合計	A_j	A	D_l	D	$G+S$

各記号の意味は以下の通りである。

- ・ 添字はゾーン番号
- ・ その他の英字小文字は目的地選択確率
- ・ $X \cdot Y \cdot U \cdot S$ は OD 交通量
- ・ $G \cdot S$ は発生交通量、 $A \cdot D$ は集中交通量
- ・ τ は域内発生交通の域内集中割合
- ・ λ は域外発生交通の域内集中割合

なお、 τ 及び λ をゾーンごとに与える場合にはゾーンを表す添字をつければ良い。

以上より、リンク交通量に関する残差平方和の最小化に関する目的関数は以下のように定義することができる(制約条件はなくても良い)。

[目的関数]

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

P_{ij}^a : ゾーン ij 間の OD 交通量がリンク a を使用する割合 (OD 交通量のリンク利用率)

v_a^* : リンク a の観測交通量

上の目的関数は、内々・内外・外内・外外の各交通について「(OD 交通量 × リンク利用率)」で与えられるリンク交通量の推定値と観測リンク交通量の残差平方

和を最小化することを意味する。

なお、リンク交通量に加えて、発生交通量の残差平方和の最小化も考慮した結合モデルも定義することが可能である。

c) 計算方法

ここでは、(*)の最小化(非負制約なし)を例として、計算方法を記す。

$$\frac{\partial \Phi}{\partial G_i} = 0 \quad \text{より}$$

$$\begin{aligned}
 &\sum_a \left\{ \left[\sum_i \sum_j \tau G_i m_{ij} P_{ij}^a + \sum_i \sum_l (1-\tau) G_i n_{il} P_{il}^a \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \sum_k \sum_j \lambda S_k q_{kj} P_{kj}^a + \sum_k \sum_l (1-\lambda) S_k r_{kl} P_{kl}^a \right] - v_a^* \right\} \\
 &\times \left[\sum_j \tau m_{ij} P_{ij}^a + \sum_l (1-\tau) n_{il} P_{il}^a \right] = 0
 \end{aligned}$$

ここで、

$$\sum_k \sum_j \lambda S_k q_{kj} P_{kj}^a + \sum_k \sum_l (1-\lambda) S_k r_{kl} P_{kl}^a = H_a$$

$$\sum_j \tau m_{ij} P_{ij}^a + \sum_l (1-\tau) n_{il} P_{il}^a = J_{ia}$$

とおくと、

$$\sum_a \{ \sum_j G_j J_{ja} + H_a - v_a^* \} J_{ia} = 0$$

(各 i に対して)

したがって、

$$\sum_a \{ \sum_l G_j^{(t)} J_{ja}^{(t-1)} + H_a^{(t-1)} - v_a^* \} J_{ia}^{(t-1)} = 0$$

(t) は繰り返し回数を示す

以下に、計算手順の一例を示す。

【step1】

$J_{ja}^{(t-1)}$ と $H_a^{(t-1)}$ は前回の演算で決定されているので(初期値はプローブを活用した調査もしくは既存のOD調査により設定する)、上の連立方程式から $G_i^{(t)}$ を求める。

【step2】

$|G_i^{(t-1)} - G_i^{(t)}| \leq \varepsilon$ となれば、計算を終了する。

【step3】

$|G_i^{(t-1)} - G_i^{(t)}| \leq \varepsilon$ とならなければ、 $t = t+1$ として step1 に戻る。

(*)の最小化は市販のソフトによっても行うことができる。

d) 既知量の与え方

上記のモデルは域内発生交通量 G を推定するモデルである。モデルの適用にあたり、既知量の与え方を以下にまとめる。

目的地選択確率 ($m \cdot n \cdot q \cdot r$)

将来的には、実際の道路利用者に関するプローブカーデータが大量に蓄積されると、目的地選択確率も求めることが可能であると考えられる。

真のODパターンと既存の調査ODパターンが大きく異ならないと仮定すると、目的地選択確率は既存のOD調査から得られるものとして取り扱うことができる。域外OD交通および内々OD交通の目的地選択確率は、対象域が狭い場合には以下の式を仮定し求めることができる。

$$\text{内々OD交通} \quad m_{ij} = \frac{A_j}{\sum_j A_j} = \frac{G_j - \Delta v_j^*}{\sum_j (G_j - \Delta v_j^*)}$$

$$\text{外内OD交通} \quad q_{kj} = \frac{A_j}{\sum_j A_j} = \frac{G_j - \Delta v_j^*}{\sum_j (G_j - \Delta v_j^*)}$$

$$\text{内外OD交通} \quad n_{il} = \frac{D_l}{\sum_l D_l}$$

$$\text{外外OD交通} \quad r_{kl} = \frac{D_l}{\sum_l D_l}$$

発生交通量の初期値 ($G^{(0)} \cdot D^{(0)}$)

真のODパターンと既存の調査ODパターンが大きく異ならないと仮定すると(既存のOD表はその観測年次と推計年次がかけ離れていないものを用いる。)、既存のOD表を活用することができる。

真のODパターンと既存の調査ODパターンが大きく異ならないと仮定すると(既存のOD表はその観測年次と推計年次がかけ離れていないものを用いる。)、既存のOD表を活用することができる。

経路選択率 (P_{ij}^q)

将来的には、実際の道路利用者に関するプローブカーデータが大量に蓄積されると、経路選択確率も求めることが可能であると考えられる。

既存のOD表に対して交通量配分を行って求められる経路選択率を仮定する方法が実務的には現状での次善の策であると考えられる。

域内発生交通の域内集中割合 ()

・ 域外発生交通の域内集中割合 ()

実際の道路利用者に関するプローブカーデータが大量に蓄積されると、 \cdot も求めることが可能であると考えられる。

特に \cdot に関しては、域外から域内へ流入する車両の観測手法の開発が必要である。

交通量配分における広域配分の結果から配分対象地域の交通流動を切り取る際の考え方を適用するのが、

現状での現実的な仮定の仕方である。

e) 実用化に向けての留意点

このモデルの実用化に向けて、特に以下の点に留意することが必要である。

- ✓ (*) は、制約なし最適化問題であり、負の解が得られる可能性がある。しかし、非負条件を追加することも容易である。
- ✓ P_{ij}^q 、 \cdot を予め与える必要がある。車の発着地点と移動経路に関するデータを収集すれば、これらを推定することが可能である。発着点と移動経路はGPSを搭載したプローブカーを用いることにより、ドライバーに過度の負担をかけずにデータを得ることができる。 P_{ij}^q 、 \cdot の推定のためのプローブカー調査の枠組みを構築することが必要である。

3. おわりに

(1) 本研究のまとめ

本研究では、現在の道路交通における現況OD交通量の推計手法を取り上げ、その推定方法についての考察を行った。

その際、リンク交通量の観測値を用いて OD 交通量を推定する「逆推定」の考え方に基づくモデルを提案し、その開発意義、及び、実務適用上の課題について整理した。

また、最近各地で実施されているプローブカーの活用など、OD 交通量推定モデルに必要なデータ収集調査方法を構築する必要性についても言及した。

(2) 今後の課題

最後に、今後の課題を列挙する。

- ・ 本研究で提案した OD 交通量推定モデルについての試算を行い、推定精度や計算時間について評価する必要がある。
- ・ と (表-1 参照) は、従来の OD 調査によって観測可能であるが、プローブカーを活用した調査など、人的・金銭的コストのかからない調査方法についても検討する必要がある。

[謝辞]

今回提案するモデルの定式化については、宇野伸宏京都大学大学院助教授、倉内文孝同助手から貴重な意見をいただいた。ここに記して感謝の意を表す次第である。

【参考文献】

1) 土木学会編：交通ネットワークの均衡分析 - 最新の理論と解法 - (第 12 章) . 土木学会 , 1998