

AVI データを用いた OD 交通量推定モデル* An Estimation Model of Origin-Destination Matrix Using AVI Data

藤由雅裕**, 内田敬***

By Masahiro FUJIYOSHI and Takashi UCHIDA

1. はじめに

近年、都市部における交通渋滞は深刻となっており、大きな社会問題の一つとなっている。ITS(Intelligent Transport System)と呼ばれる道路交通情報システムによって渋滞情報や経路所要時間などがリアルタイムにドライバーに伝えることができるようになってきている。ドライバーへの情報提供を効果的に行えば、交通渋滞問題を軽減することができる。ドライバーへの情報提供効果を評価するためには、交通流を再現するシミュレーションモデルの開発が必要である。その入力情報として、短い時間間隔ごとの OD 交通量を用いる。短い時間間隔の OD 交通量を直接調査することによって得ることは非常に困難であることから、一般的に、観測交通量から OD 交通量を間接的に推定する方法の適用が考えられている。

ITS の一分野に AVI (Automatic Vehicle Identification)を利用した交通流観測システムがある。2台以上の AVI 装置によって読み取られたプレートナンバーを比較し一致させることによって AVI 設置地点を通過してきた車両を直接観測することが可能である。つまり、AVI データによって OD 交通量の一部を直接観測することが可能である。

そこで本研究では、AVI データによって得られる OD 交通量に関する情報を用いて都市高速道路における情報提供効果を判断するために用いる OD 交

通量を推定するモデルを提案する。

2. 従来の研究と本研究の概要

動的 OD 交通量を推定する方法として、松本ら¹⁾はリンク交通量および流出交通量を旅行時間を用いて流入時刻ベースの流入交通量で表し、OD 推移確率と経路選択率を未知変量とし、残差自乗和最小化法を用いて推定する方法を提案している。経路選択率は利用者均衡原理に従うと仮定されている。しかし、発生地点から観測リンクや流出地点までの正確な旅行時間が必要であり、渋滞時の OD 推定は困難である。

AVI によって目的地選択率、経路選択率に関する情報がリアルタイムで得られるという条件下では、経路選択等を内生化するかわりに最新の観測値を用いることで、従来の静的枠組みを時間帯ごとに逐次適用することで簡易に動的 OD 交通量推定が可能となることが期待できる。

これまでに提案されてきた観測交通量を用いる OD 交通量推定モデルは次のように整理することができる²⁾。

a) OD 交通量を未知数とし、推定 OD 交通量とリンク利用率から計算される計算交通量が実測交通量に一致するという条件および推定 OD 交通量の合計がトータル交通量に一致するという条件のもとで、トータル交通量と目的地選択率から計算される OD 交通量が推定 OD 交通量に最も近づくように推定するモデル。

b) 発生交通量を未知数とし、推定発生交通量、目的地選択率およびリンク利用率から計算される計算交通量が実測交通量に最も近づくように推定するモデル。この場合はリンク利用率と目的地選択率を外生的に与える。

* キーワード: AVI, OD 交通量推定
** 学生員, 東北大学大学院工学研究科
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06
Tel : 022-217-7479, Fax : 022-217-7477
E-mail : fujiyoshi@rs.civil.tohoku.ac.jp)

*** 正員, 工博, 東北大学助教授, 大学院工学研究科土木工学専攻

本研究では、OD 交通量を逐次更新することを考え、AVI データによって得られる OD 交通量に関するリアルタイム情報を用いた、OD 交通量推定モデルを提案する。ここではその第 1 段階として静的枠組みで検討する。

3. OD 交通量推定モデル

流入交通量を制約条件とし、OD 交通量、AVI 間交通量、リンク交通量それぞれの計算値と推計値の残差自乗和の合計を最小化することによって OD 交通量を推定する。AVI によって得られるリアルタイム情報を推定に用いる。推定結果をターゲット OD 交通量として取り入れて OD 交通量を逐次更新することで時間変動する OD 交通量を取り扱うことも可能である。

(1) 用いるデータおよび仮定

流入交通量、リンク交通量、AVI データ、リンク利用率およびターゲット OD 交通量を用いる。流入地点のすべてで流入交通量は観測されているものとする。リンク交通量はすべての地点で観測されている必要はない。ただし、AVI が設置されているリンクの交通量は必ず観測されているとする。リンク利用率については AVI でリアルタイムに観測されている情報を用いる。AVI で観測されていないリンク利用率については、過去の調査によって得られた値を用いる。

(2) 記号の定義

以下の記号を定義する。

- X_{ij} : 流入地点 i からネットワークに流入する交通量のうち、流出地点 j から流出する OD 交通量の推定値
- X_{ij}^* : ターゲット OD 交通量
- V_l^* : リンク l を通行する交通量の観測値
- W_m^* : AVI- m によって観測される車両台数
- δ_m : AVI- m のリンクを通過した車両のうち AVI- m で観測された交通量の割合 (検知率)

- W_{mn}^* : AVI- m で観測された車両のうち、AVI- n で観測された車両台数 (マッチング数)
- T_{mn}^* : 上流 AVI- m を通過し、下流 AVI- n を通過した車両のトータル交通量 (マッチング数を検知率で修正した値)
- R_{ij}^{mn} : 流入地点 i からネットワークに流入し、流出地点 j から流出する交通量のうち、上流 AVI- m のリンクを通過し下流 AVI- n を通過する割合
- R_{ij}^l : 流入地点 i からネットワークに流入し、流出地点 j から流出する OD 交通量のうち、リンク l を利用する割合
- G_i : 流入地点 i からネットワークに流入する交通量
- α, β, γ : 重み付け係数

(2) AVI 間交通量

AVI は、すべての車両を認識することはできないため、実際に通過している車両数より少ない観測台数になる。そのため、実際に通過している車両数に合うように修正する必要がある。

検知率は、AVI 設置区間を通過した車両のうち AVI で観測された車両の割合である。AVI- m の検知率 δ_m は、AVI- m の観測交通量 W_m^* を AVI- m 設置区間のリンク交通量 V_m^* で割ったものである。ここで、区間を通過する交通量は、車両検知器で正確に観測されていると仮定する。

$$\text{検知率 } \delta_m = \frac{W_m^*}{V_m^*} \quad (1)$$

AVI 間交通量は上流 AVI の検知率と下流 AVI の検知率でマッチング数を割戻すことで与える。ただし、上流 AVI を通過し、下流 AVI を通過するまでには旅行時間分の時間差が生じるが、推定時間帯には影響がないものと仮定している。

$$\text{AVI 間交通量 } T_{mn}^* = \frac{W_{mn}^*}{\delta_m \delta_n} \quad (2)$$

(3) OD 交通量推定モデルの定式化

残差自乗和最小化問題として定式化する。

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{ij \in \Omega} (X_{ij} - X_{ij}^*)^2 + \alpha \sum_{ij \in \Omega} (X_{ij} - X_{ij}^*)^2 \\
 & + \beta \sum_{mn} (T_{mn} - T_{mn}^*)^2 + \gamma \sum_1 \left(\sum_{ij} X_{ij} R_{ij}^1 - V_1^* \right)^2 \\
 = & \sum_{ij \in \Omega} (X_{ij} - X_{ij}^*)^2 + \alpha \sum_{ij \in \Omega} (X_{ij} - X_{ij}^*)^2 \quad (3) \\
 & + \beta \sum_{mn} \left(\sum_{ij} X_{ij} R_{ij}^{mn} - T_{mn}^* \right)^2 \\
 & + \gamma \sum_1 \left(\sum_{ij} X_{ij} R_{ij}^1 - V_1^* \right)^2 \rightarrow \min
 \end{aligned}$$

sub. to

$$\sum_j X_{ij} = G_i \quad (4)$$

$$\alpha, \beta, \gamma \geq 0 \quad (5)$$

ただし、

$$T_{mn}^* = \frac{W_{mn}^*}{\delta_m \delta_n} \quad (6)$$

$$\delta_m = \frac{W_m^*}{V_m^*} \quad (7)$$

ここで、 Ω は $R_{ij}^1 = 1, \exists (mn)$ なる (ij) の集合である。

(4) 推定モデルの解法

ラグランジェ関数を導入する。

$$\begin{aligned}
 L(X_{ij}, \lambda_i) = & \sum_{ij \in \Omega} (X_{ij} - X_{ij}^*)^2 + \alpha \sum_{ij \in \Omega} (X_{ij} - X_{ij}^*)^2 \\
 & + \beta \sum_{mn} \left(\sum_{ij} X_{ij} R_{ij}^{mn} - T_{mn}^* \right)^2 \\
 & + \gamma \sum_1 \left(\sum_{ij} X_{ij} R_{ij}^1 - V_1^* \right)^2 + \lambda_i \left(\sum_j X_{ij} - G_i \right)
 \end{aligned}$$

最適解に関する条件は、

$$\frac{\partial L}{\partial X_{ij}} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = 0$$

より

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial X_{ij}} = & 2E_{ij} + 2\beta \sum_{mn} R_{ij}^{mn} \left(\sum_{ij} X_{ij} R_{ij}^{mn} - T_{mn}^* \right) \\
 & + 2\gamma \sum_1 R_{ij}^1 \left(\sum_{ij} X_{ij} R_{ij}^1 - V_1^* \right) + \lambda_i = 0 \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$\text{ただし、} E_{ij} = \begin{cases} (X_{ij} - X_{ij}^*) : i, j \notin \Omega \\ \alpha(X_{ij} - X_{ij}^*) : ij \in \Omega \end{cases}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = \sum_j X_{ij} - G_i = 0 \quad (12)$$

となる。したがって、未知変数 X_{ij} 、 λ_i は次の方程式を解くことで求められる。ただし、 i, j, I, J の4次元の式を (i, j) 、 (I, J) それぞれを1次元配置して2次元に変換する。

$$\begin{pmatrix} A & C \\ D & O \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B \\ G \end{pmatrix} \quad (13)$$

ここで、 X, G, λ はそれぞれ X_{ij}, G_i, λ_i を要素とするベクトルであり、 O はゼロ行列である。マトリックス A, C, D, O およびベクトル B はそれぞれ以下のような要素を持つ。

$$A_{ij, IJ} = 2F_{ij, IJ} + 2\beta \sum_{mn} R_{ij}^{mn} R_{IJ}^{mn} + 2\gamma \sum_1 R_{ij}^1 R_{IJ}^1 \quad (14)$$

ただし、

$$F_{ij, IJ} = \begin{cases} 1 : i = I \text{かつ} j = J \text{かつ} ij \notin \Omega \\ \alpha : i = I \text{かつ} j = J \text{かつ} ij \in \Omega \\ 0 : i \neq I \text{または} j \neq J \end{cases}$$

$$B_{ij} = 2H_{ij} + 2\beta \sum_{mn} R_{ij}^{mn} T_{mn}^* \quad (15)$$

$$\text{ただし、} H_{ij} = \begin{cases} 1 : ij \notin \Omega \\ \alpha : ij \in \Omega \end{cases}$$

$$C_{ij, I} = \begin{cases} 1 : i = I \\ 0 : i \neq I \end{cases} \quad (16)$$

$$D_{i, IJ} = \begin{cases} 1 : i = I \\ 0 : i \neq I \end{cases} \quad (17)$$

この式を解くことで X_{ij} を求めることができる。計算手順を図-1に示す。

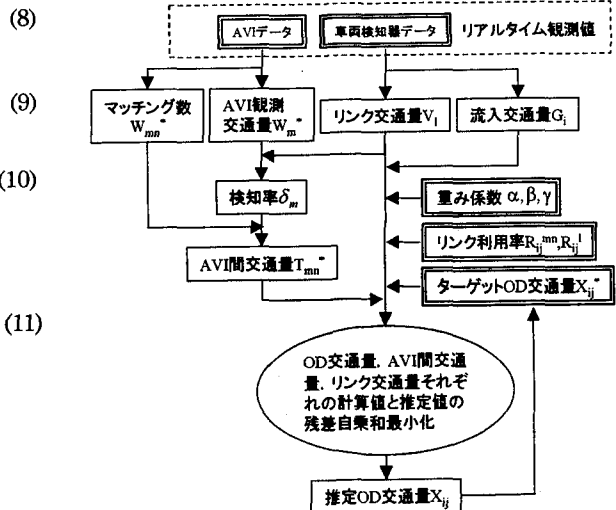


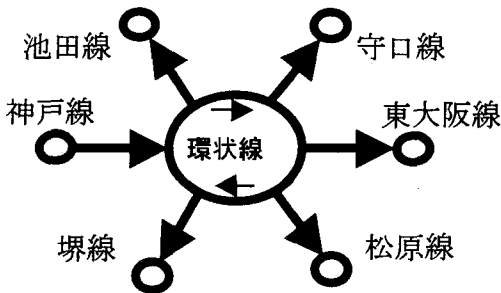
図-1 計算手順

4. 阪神高速道路データによる数値計算

本研究で提案した OD 交通量推定モデルを実際に適用する。推定結果の妥当性を調べるために、阪神高速道路データを用いる。観測機器の誤差による影響やターゲット OD 交通量の違いによる OD 交通量の再現性の検証を行う。また、仮想 OD 交通量を用いて数値実験を行うことで AVI 配置と推計精度の関係を検討することができる。

(1) 簡略化ネットワーク

阪神高速道路のネットワークを集約し、簡略化したネットワークを用いて数値計算を行う。阪神高速道路のそれぞれの路線を以下のように集約する。神戸線上りの深江・芦屋区間の AVI 設置地点を通過した車両の目的地を考える。AVI 設置区間を通過する交通量の集合を神戸線の流入交通量とする。池田線下りの池田線環状分岐・出入橋合流区間の AVI 設置位置を通過し、池田線から流出する交通量の集合を池田線の流出交通量とする。放射線は以下同様にする。一方環状線部においては AVI 設置位置より環状線側の流入交通量を環状線の流入交通量とする。また、その流出交通量を環状線の流出交通量とする。ただし、西大阪線は環状線の交通量に含めない。簡略化したネットワークを図一2に示す。



図一2 簡略化したネットワーク図

(2) 用いるデータ

データは1997年4月13日曜日の午前7時から14日曜日の午前7時までの24時間を用いる。ターゲット OD 交通量は、起終点調査のデータを用いる。

阪神高速道路の簡略化ネットワークで OD 交通

量を推定し、妥当な推定結果が出るかどうか確かめる。

(3) 再現性の検証

流入交通量および観測リンク交通量は車両検知器によって観測されるもので、誤差を持っている。また、ターゲット OD 交通量が大きく異なる場合がある。誤差がある場合とターゲット OD 交通量が異なる場合の再現性を検証する。

乱数を用いて交通量に最大 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ の誤差を与えて計算し、数回の計算結果の平均値で観測誤差の影響を調べる。

分析パターンは流入交通量にだけ誤差がある場合、リンク交通量にだけ誤差がある場合、流入交通量とリンク交通量に誤差がある場合である。また、それぞれにターゲット OD 交通量が異なる場合がある。

(4) 仮想交通量を用いた数値実験

精度の高い OD 交通量やリンク利用率の観測値を入手することは非常に困難であり、現実の OD 交通量は得られない。そこで一般的な知見を得るため、仮想の OD 交通量を用いて推定することで OD 交通量の検討を行う。また、AVI 配置と推計精度の関係を検討する。

個々の AVI が観測する交通量はすべて AVI の下を通過した車両の一定割合であると仮定する。計算値として与えられるデータとして、検知率と AVI 間交通量がある。検知率は AVI で観測された交通量を観測リンク交通量で割ったものである。車両検知器および AVI を新たに設置する場合の効果的な設置地点、設置による効果を仮想交通量を用いて実験により求める。

結果は講演時に示す。

参考文献

- 1) 松本幸正, 藤田素弘, 松井寛; 交通量観測値に基づく動的 OD 交通量の再帰的推定に関する研究, 土木学会論文集, No.590/IV-39, pp.63-78, 1998.4.
- 2) 高山純一; リンクフロー観測値に基づいた道路網交通需要分析モデルに関する方法論的研究, 京都大学学位論文, 1988.2.