

## VICS 装着率に依存する所要時間情報の信頼性を考慮した 道路交通情報提供システムの評価法

熊本大学 学生員 馬場 拓也  
熊本大学 正会員 溝上 章志

### 1. はじめに

最新の情報通信技術を用いた道路交通情報提供システムが整備され、全国で VICS (Vehicle Information and Communication Systems) により、混雑情報や最短経路情報などの道路交通情報が提供されている。著者らはこの道路交通情報提供システムの導入便益を評価するため、VICS 情報の利用者と非利用者毎の経路選択規範を考慮に入れた多種流ネットワークフローと VICS 情報利用率を同時推定する VICS 利用需要変動型多種流確率均衡モデル [MUSE/VICS-Demand] を構築した。しかし、道路上のピーコンから収集される所要時間情報はアップリンク数 (VICS 搭載車両の通過台数) に依存する誤差を持つ。本研究では、アップリンク数に依存した情報誤差を内包した需要変動型多種流確率均衡モデルを提案し、そのモデルを用いて道路交通情報システムの便益評価を行なう方法を示す。

### 2. 提供情報の信頼性を考慮した多種流均衡モデル

#### (1) モデルの仮定と均衡条件

セグメント主体  $g$  ( $g=1$ : VICS 非装着者,  $g=2$ : VICS 装着者) の  $rs$  間第  $k$  経路の選択確率  $P_{g,k}^{rs}$  は、確率変数である知覚経路所要時間を  $\tilde{C}_{g,k}^{rs}$  とすると以下のように表すことができる。

$$P_{g,k}^{rs} = \Pr[\tilde{C}_{g,k}^{rs} < \tilde{C}_{g,j}^{rs}; k \neq j] \quad (1)$$

また、 $rs$  間トリップのうちの VICS 装着率は、VICS 情報を利用する場合と利用しない場合の確率効用を  $\tilde{S}_{rs}^g$  とするとき以下のように定義できる。

$$P[2/rs] = \Pr[\tilde{S}_{rs}^1 < \tilde{S}_{rs}^2] \quad (2)$$

本研究では、以上の条件を満たすような VICS 装着率変動型多種流確率均衡モデルを用いて、アップリンク数に依存する観測誤差を含む道路交通情報システムの社会的便益評価を行なう手法を提案する。

#### (2) 経路選択確率と VICS 装着率

ドライバーの知覚リンク所要時間  $\tilde{t}_a$  は、下記のように実所要時間  $t_a$  にアップリンク数に依存した観測誤差  $\lambda_a$  を加えた VICS による提供所要時間とドライバーの知覚誤差  $\xi_a$  の和で表されると仮定する。

$$\tilde{t}_a = t_a + \lambda_a + \xi_a \quad (3)$$

観測誤差  $\lambda_a$  と知覚誤差  $\xi_a$  は、各リンクで独立に  $\lambda_a \sim N(0, h(x_{a,2}))$ ,  $\xi_a \sim N(0, \beta_g t_a)$  に従うと仮定する。ここで、 $h(x_{a,2})$  はアップリンク数  $x_{a,2}$  の減少関数である情報誤差分散、 $\beta_g$  は知覚分散パラメータである。このとき、知覚経路所要時間ベクトルは下記で表現できる。

$$\tilde{\mathbf{C}}_g^{rs} \sim MVN(\mathbf{c}^{rs}, \Sigma_{g,\eta}^{rs})$$

ここで  $\mathbf{c}^{rs} = \mathbf{t} \cdot \Delta^{rs}$

$$\Sigma_{g,\eta}^{rs} = \Delta^{rsT} \cdot \Sigma_{g,\eta} \cdot \Delta^{rs} \quad (4)$$

また、 $\mathbf{t} = (t_1, \dots, t_a, \dots, t_A)$ ,  $\Sigma_{g,\eta} = \{h_a(x_{a,2}) + \beta_g t_a\} \cdot \mathbf{I}$  である。この経路所要時間を持つ  $rs$  間第  $k$  経路の経路選択確率  $P_{g,k}^{rs}(\mathbf{c}^{rs}, \Sigma_{g,\eta}^{rs})$  はプロビットモデルから求められるが、その算出は容易でない。そこで本研究ではモンテカルロ法を用いた。まず、 $\Sigma_{g,\eta}^{rs}$  を以下のようにコレスキー分解する。

$$\Sigma_{g,\eta}^{rs} = \mathbf{G}_{g,\eta} \cdot \mathbf{G}_{g,\eta}^T \quad (5)$$

$\mathbf{G}_{g,\eta}$  は正の対角要素を持つ下三角行列、 $\mathbf{G}_{g,\eta}^T$  はその転置行列である。この  $\mathbf{G}_{g,\eta}^T$  と標準正規乱数列ベクトル  $\mathbf{v}$  を用いて以下の線形変換を行う。

$$\tilde{\mathbf{C}}_g^{rs} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{G}_{g,\eta}^T + \mathbf{c}^{rs} \quad (6)$$

こうすると、 $\tilde{\mathbf{C}}_g^{rs}$  の期待値と分散は、

$$E[\tilde{\mathbf{C}}_g^{rs}] = \mathbf{c}^{rs} \quad (7)$$

$$\text{Cov}[\tilde{\mathbf{C}}_g^{rs}] = \mathbf{G}_{g,\eta} \cdot \text{Cov}(\mathbf{v}) \cdot \mathbf{G}_{g,\eta}^T = \mathbf{G}_{g,\eta} \cdot \mathbf{I} \cdot \mathbf{G}_{g,\eta}^T = \Sigma_{g,\eta}^{rs} \quad (8)$$

となるから、式(4)の分布に従う多変量正規乱数を発生させることができる。この乱数を多数生成し、最小値の経路別生成比率を経路選択確率とする。

同様にして、VICS 装着率  $P[2/rs]$  もプロビットモデルで推定する。この際の効用には、OD 間所要時間の不確実性を表す指標として、以下のような実所要時間と期待最小所要時間との差を用いた。

$$S_{rs}^g[\tilde{C}_g^{rs}(x)] = \min_{k \in K_{rs}} \{C_k^{rs}\} - E[\min_{k \in K_{rs}} \{\tilde{C}_k^{rs}\}] \quad (9)$$

このとき VICS 装着率は、

$$P[2/rs] = \Phi((S_{rs}^1 - S_{rs}^2) / \sqrt{\sigma^2}) \quad (10)$$

$$\sigma^2 = \alpha \sum_g S_{rs}^g \quad (11)$$

で表すことができる。

### 3. モデルネットワークによる感度分析

モデルから得られる解の特性を分析するため、図 -

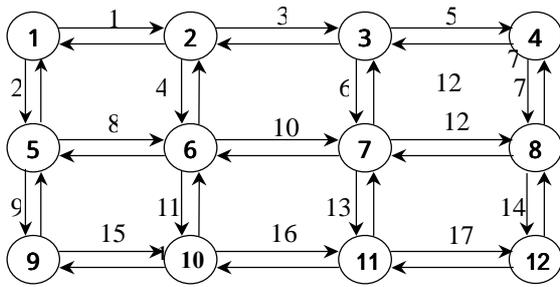


図 - 1 感度分析に用いたモデルネットワーク

1 のモデルネットワークにおいて感度分析を行なった。OD ペアは 1-6,1-12,6-1,6-12,12-1,12-6 の 6 つであり，構成比は 1/8:1/4:1/8:1/8:1/4:1/8 とする。以下に計算アルゴリズムを示す。

- Step-1:実行可能な OD 交通量ベクトル  $\{q^{1(0)}, q^{2(0)}\}$  とリンク交通量ベクトル  $\{x(f_1, f_2)^{(0)}\}$  により，初期実行解を設定する。
  - Step-2:リンク所要時間  $t$  を計算し，各 OD 別分散共分散行列を作成する。その行列を用いて多変量正規乱数を 1 経路につき  $N$  回発生させ，経路選択確率を計算し，経路交通量を算出する。
  - Step-3:収束判定を行い，収束していれば次へ進む。そうでなければリンク所要時間を更新し Step-2 へ。
  - Step-4:OD 間所要時間の不確実性指標値を計算し，VICS 装着率を更新する。
  - Step-5: 収束判定を行い，収束していれば終了。そうでなければ OD 交通量を更新し Step-2 へ戻る。
- ここでは，情報誤差による均衡状態の変化を確認す

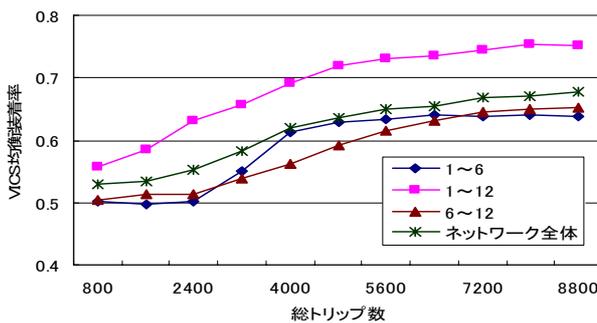


図 - 2 総トリップ数と VICS 均衡装着率の関係

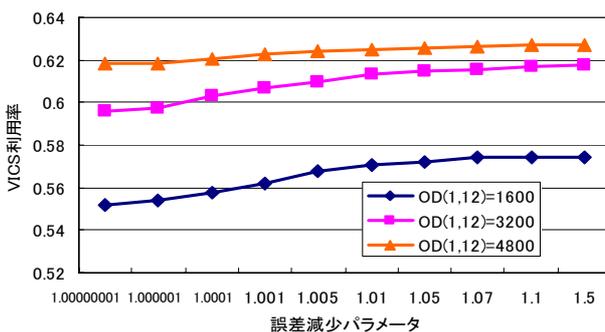


図 - 3 誤差減少パラメータと VICS 均衡装着率の関係

るため，知覚分散パラメータ  $\beta_1 = 0.1, \beta_2 = 0.02$  に固定し，情報誤差分散関数にはアップリンク数が増える程，誤差が小さくなりかつ知覚誤差の大きさを超えないような以下の減少関数を用いた。

$$h_a(x_{a,2}) = \beta_2 \cdot t_a(x_a) / \gamma^{x_{a,2}} \quad (12)$$

図 - 2 に総トリップ数の変化に伴う VICS 均衡装着率および各 OD 間別 VICS 装着率の関係を示す。VICS 装着率は総トリップ数が増加して，ネットワーク上の混雑度が大きくなるに従って増加すること，トリップ長が長いほど高くなるのが分かる。

図 - 3 には情報誤差分散の大きさを示すパラメータ  $\gamma$  と VICS 均衡装着率の関係を示す。 $\gamma$  が大きくなり VICS 情報誤差が小さくなるに従って VICS 装着率は増加していく。以上より，本モデルはあらかじめ想定していた感度と挙動を示すことが確認された。

#### 4. VICS による提供情報の社会的便益評価

同様のネットワークを用い，ビーコンの設置便益の試算を行なった。混雑度が異なる場合の便益額を比較するため，総トリップ数が 3000 と 6000 の 2 ケースで試算した。また，VICS 利用時にビーコン設置のないリンクには  $\gamma = 1$  とした一定の情報誤差を生じさせた。需要予測モデルの立脚している確率効用理論に整合するように，便益は式(9)に示した不確実性指標  $S_{rs}^g$  で計測する。総便益は以下の式で表すことができる。

$$TS = \varepsilon \sum_{rs} \sum_g q_{rs}^g \cdot S_{rs}^g \quad (13)$$

ここで  $\varepsilon$  は不確実性指標の限界効用，つまり金額換算パラメータである。ここでは  $\varepsilon$  の値は不明であるため，1.0 とした。試算結果を表 - 1 に示す。これより，混雑度が小さいときは，提供情報の信頼性は社会的便益にそれほど影響しないといえる。しかし，混雑度が高いときは，社会的便益に大きな差が生じている。

#### 5. おわりに

本研究では，提供される所要時間情報の信頼性を考慮した道路交通情報提供システムの評価法を提案した。しかし，この手法を実ネットワークに適用する際には，各種未知パラメータと有効経路をあらかじめ推定しておく必要がある。

表 - 1 ビーコン非設置時と設置時の便益の差

総トリップ数	1リンク設置	7リンク設置	全リンク設置
3000	505.0	584.1	873.0
6000	2043.6	2281.8	3021.0

注) 1リンク設置時は上記ネットワーク上のリンクナンバー10に，7リンク設置時は 3,4,6,10,11,13,16 にビーコンを設置した