

アップリンク数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*

An evaluation method of VICS
considering a reliance of travel time information depending on the number of uplink

溝上章志**・馬場拓也***

By Shoshi MIZOKAMI**・Takuya BABA***

1. はじめに

道路交通情報提供システム（ATIS）の導入便益を評価するため、VICS 交通情報の利用者と非利用者に分割されたドライバーの経路選択規範を考慮に入れて、これら2種類のネットワーク均衡フローと道路交通情報の均衡利用率を同時推定する VICS 情報利用需要変動型多種流確率均衡モデル [MUSE/VICS-Demand] を構築してきた。しかし、ビーコンから収集される所要時間情報は、その下を通過する VICS 装着車両数（アップリンク数）に依存した誤差を持つ。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モデルに [MUSE/VICS-Demand] を拡張し、道路交通情報システムの社会的便益を評価する方法を提案する。

以下、2 章では VICS 装着比率に依存する所要時間の信頼性を考慮した道路交通情報システムの評価モデルについて述べる。3 章ではモデルネットワークを用いた感度分析について、4 章では VICS による情報提供の社会的便益評価を行なった。最後に5章では本研究の成果と今後の課題について述べる。

2. アップリンク数に依存する提供所要時間の誤差を考慮したVICSの便益評価

(1) VICSの概要と情報誤差

図-1に VICS のしくみを示す。VICS は、警察庁や総務省、および国土交通省が協力して進める事業であり、警察の収集する「交通情報」や道路管理者の収集する「道路情報」を「財団法人日本道路交通情報センター」を通じて、「財団法人道路交通情報通信システムセンター（VICS センター）」から光ビーコン、電波ビーコン、FM 多重放送の3つのメディアを活用して VICS 車載機

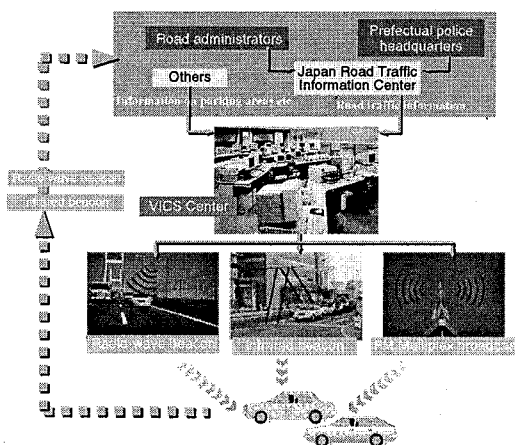


図-1 VICSの仕組み

に対して提供する。この3つのメディアから提供される情報を全て受信することができる VICS 車載機は、3メディア対応型 VICS 車載機と呼ばれており、交通の円滑化、所要時間の短縮化の効果に加え、それに起因する排出ガスの削減等といった環境改善等の効果も見込まれていることから、積極的な普及促進が図られている。この3つのメディアの中で、光ビーコンは他のメディアには無いアップリンク（車載機から光ビーコンへの通信）機能が備わっている。精度の高いリンク所要時間の計測の為、ビーコンユニット搭載車両の ID 番号による情報収集が行なわれており、車載機の光ビーコンユニットから ID 番号情報を受け取り、直前に通過した光ビーコンとの所要通過時間を計算、集計するもので、今まで以上に正確なリンク旅行時間が収集できる。ナビ電源の ON/OFF によって乱数により ID 番号が決定され、個別車両を継続的に追跡が出来ない様になっており、個人のプライバシーにも考慮したシステムとなっている。このように VICS は非常に高度な所要時間の収集、編集、提供という双方向のシステムとなっている。

しかし、VICS 装着率が低かったり、光ビーコンの設

*キーワード VICS, ATIS 便益評価, 観測情報誤差

**正会員, 工博, 熊本大学大学院自然科学研究科

(熊本市黒髪2-39-1, TEL:096-342-3541, FAX:096-642-3507)

***正会員, 修(工), (株)長大

置密度が低かったりし、VICS 装着車両の通過台数が少ない場合は、収集される所要時間のアップリンク数は少なくなり、その分、収集される所要時間データの信頼性は低下する。このように、提供される所要時間情報は、実所要時間に光ビーコンユニット搭載車両の通過台数であるアップリンク数に依存した情報誤差を含むことになり、アップリンク数が増加するほど提供される情報は正確になり実所要時間に近づく。現在、アップリンク数の少ない区間では、AVI (Automatic Vehicle Identification/車両自動認識) 端末間で計測した所要時間に基づいた情報提供が行なわれている。また、AVI 端末が設置されていない箇所では、車両感知器で収集した交通データと信号現示を用いて推定されたリンク旅行時間の情報提供が行なわれているが、共に提供される情報の信頼性は高いとはいえない。

VICS を装着した車両のドライバーはこのような提供情報の誤差を認識して経路選択行動を行なっていると考えられ、その結果として長期的には VICS 装着率と経路交通量は定常状態に落ち着くと考えられる。以下では、このような長期均衡状態を表現するモデルの定式化を行なう。

(2) 提供情報の誤差を考慮した需要変動型多種流確率均衡条件

a) モデルの仮定と均衡条件

本モデルの基本は [MSUE/VICS-Demand]³⁾ である。しかし、[MSUE/VICS-Demand] では VICS によって提供される所要時間情報は均衡後の最短経路の実所要時間であり、その値には誤差は含まれていない。しかし、前述したように、VICS によって収集されるビーコン間の通過所要時間はその間を通過するビーコンユニット装着車両数であるアップリンク数に依存した観測誤差を含む。したがって VICS によって提供される所要時間情報にも誤差が含まれる。この提供所要時間情報の誤差を考慮した VICS 装着車のドライバーの経路と VICS 装着の選択行動を図-2 のような2段階の階層的な選択行動で表現する。

セグメント g ($g=1$: VICS 非装着者, $g=2$: VICS 装着者) の rs OD 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。

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

一方、VICS 情報を利用するときの効用を $\tilde{S}_2^{rs}$ 、利用しないときの効用を $\tilde{S}_1^{rs}$ とするとき、 rs OD 間トリップのうちの VICS 装着率は以下のように定義できる。

$$P[2/rs] = \Pr[\tilde{S}_1^{rs} < \tilde{S}_2^{rs}] \quad (2)$$

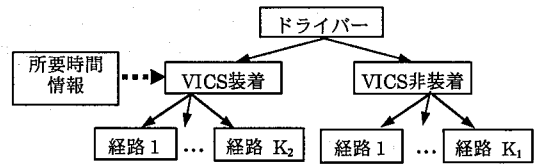


図-2 経路/情報利用統合モデルの構造

b) 経路選択確率の定義

VICS 非装着者は経路の実所要時間 c_k^{rs} を知らず、VICS 装着者よりも分散の大きい知覚誤差を含む知覚所要時間に基づいて確率的に経路選択を行う。このとき、経路選択確率をロジットモデルで仮定すると以下となる。

$$P_{1,k}^{rs} = \frac{\exp(-\theta_1 c_k^{rs}(\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2))}{\sum_{k \in K_{rs}} \exp(-\theta_1 c_k^{rs}(\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2))} \quad (3)$$

一方、VICS 装着ドライバー ($g=2$) の知覚リンク所要時間 $\tilde{t}_a$ は、実所要時間 t_a にアップリンク数に依存する情報誤差 λ_a を加えた VICS 提供所要時間、および知覚誤差 $\xi_{a,2}$ との和であると仮定する。

$$\tilde{t}_a = t_a + \lambda_a + \xi_{a,2} \quad (4)$$

ここで、情報誤差 λ_a は各リンクで独立に平均 0、分散 $\sigma_a^2 = h(x_{a,2})$ のある種の確率分布に従うとする。この $h(x_{a,2})$ はアップリンク数 $x_{a,2}$ の減少関数と仮定できる。

このとき、 $t_a + \lambda_a$ を経路 k 上の全てのリンクについて足し合わせた経路費用 (効用の確定項) として、他にも良く適用されるように、その期待値 $c_k^{rs}(\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2)$ と分散値 $\sigma_k^{rs}(\mathbf{f}_2)$ とのウェイト付き線形和

$$V_k^{rs} = c_k^{rs}(\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2) + \gamma \sigma_k^{rs}(\mathbf{f}_2) \quad (5)$$

で定義すると、経路選択確率は以下ようになる。

$$P_{2,k}^{rs} = \frac{\exp[-\theta_2 \{c_k^{rs}(\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2) + \gamma \sigma_k^{rs}(\mathbf{f}_2)\}]}{\sum_{k \in K_{rs}} \exp[-\theta_2 \{c_k^{rs}(\mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2) + \gamma \sigma_k^{rs}(\mathbf{f}_2)\}]} \quad (6)$$

ここで、 $\mathbf{f}_g$ はセグメント g の経路交通量ベクトルである。また、 θ_g は $0 < \theta_1 < \theta_2 \leq \infty$ なる知覚分散パラメータ、 γ はウェイト値である。

c) 不確実性指標によるVICS装着率の定義

ここでは、 $\tilde{S}_g^{rs}$ の確定項を構成する要因として、

$$S_1^{rs} = \min_{k \in K_{rs}} \{c_k^{rs}\} - \left\{ -\frac{1}{\theta_1} \ln \sum_{k \in K_{rs}} \exp(-\theta_1 c_k^{rs}) \right\} \quad (7)$$

$$S_2^{rs} = \min_{k \in K_{rs}} \{c_k^{rs}\} - \left\{ -\frac{1}{\theta_2} \ln \sum_{k \in K_{rs}} \exp(-\theta_2 \{c_k^{rs} + \gamma \sigma_k^{rs}(\mathbf{f}_2)\}) \right\} \quad (8)$$

を導入する。これらは、最小経路費用から期待最小費用を引いたものであり、VICS 情報の有無による経路所要時間の不確実性の大きさの違いを表すと解釈しても良い。

また、 $0 < \theta_1 < \theta_2 \approx \infty$ であるから、たとえ $\sigma_g^2(f_2) \neq 0$ であっても、式(7)の第2項<<式(8)の第2項となり、 S_g^{rs} は VICS 装着率を定義する指標として有用である。このとき、VICS 装着率をロジットモデルで仮定すると以下となる。

$$P[2/rs] = \frac{1}{1 + \exp[\alpha + \beta \{S_1^{rs} - S_2^{rs}\}]} \quad (9)$$

(3) 等価な最適化問題

経路選択と VICS 装着率の均衡条件が上記のように記述される場合、以下のような等価な最適化問題で置き換えることが可能である。

$$\begin{aligned} \min: Z(x, f_g, q_g) &= \sum_{g=1,2} \int_0^{f_g} t_a(\omega) d\omega \\ &+ \sum_{g=1,2} \frac{1}{\theta_g} \sum_{rs} \sum_{k \in K_n} f_{g,k}^{rs} \ln(f_{g,k}^{rs} / q_g^{rs}) \\ &- \frac{1}{\beta} \sum_{rs} \int_0^{q_g^{rs}} \left(\ln \frac{\omega}{q_g^{rs} - \omega} + \alpha \right) d\omega + \sum_{k \in K_n} \int_0^{f_g^{rs}} \lambda \sigma_k^{rs}(\omega) d\omega \\ \text{s.t. } \sum_{k \in K_n} f_{g,k}^{rs} &= q_g^{rs}, \quad \forall r \in R, \forall s \in S, g=1,2 \\ \sum_{g=1,2} q_g^{rs} &= \bar{q}^{rs}, \quad \forall r \in R, \forall s \in S, g=1,2 \\ x_a &= \sum_{rs} \sum_{k \in K_n} \sum_{g=1,2} f_{g,k}^{rs} \delta_{a,k}^{rs}, \quad \forall a \in A \\ q_g^{rs} &\geq 0, \quad \forall r \in R, \forall s \in S, g=1,2 \\ f_{g,k}^{rs} &\geq 0, \quad \forall k \in K_n, \forall r \in R, \forall s \in S, g=1,2 \end{aligned}$$

ここで、 $\bar{q}^{rs}$ は rs OD 間交通量である。制約条件式は、順にセグメント別経路交通量保存条件、VICS 装着車と非装着車の OD 交通量保存条件、リンク交通量保存条件、非負制約である。

この問題は需要変動型確率均衡配分⁴⁾の一種なので、simplicial decomposition 法などの数値解法で均衡解を得ることが可能であり、実用的である。

3. 提供情報の誤差と知覚誤差の相関性を考慮した経路選択モデル

(1) アップリンク数に依存する所要時間の情報誤差を考慮した経路所要時間

前章では、ドライバーの経路選択と VICS 装着行動の均衡条件を個別にロジット型モデルで記述し、それらを同時に満足する需要変動型多種流確率均衡モデルを定式化した。これは、式(5)に示すように、経路費用の確定項を実経路所要時間とその分散値とのウェイト付き線形和で定義できるとしたためである。しかし、アップリンク数に依存する情報誤差は、提供情報の不確実性として

確率的に定義するのが自然である。また、知覚誤差に加えて情報誤差を考慮する場合には、利用可能経路相互の費用の誤差の相関性も無視できなくなる。

ここでは、提供される情報に含まれるアップリンク数に依存する情報誤差を確率変数と仮定し、経路選択モデル、および VICS 装着率モデルを定式化し直す。式(4)の情報誤差 λ_a はリンク毎に独立な $N(0, h(x_{a,2}))$ に従うとする。また、セグメント別のドライバーの知覚誤差 $\xi_{a,g}$ はその分散が実所要時間の大きさに比例する $N(0, \beta_g t_a)$ に従うとする。VICS 情報を利用する $g=2$ にとつての誤差は $\eta_a = \lambda_a + \xi_{a,2}$ となり、 $N(0, h_a(x_{a,2}) + \beta_g t_a)$ に従う。一方、VICS 情報を利用しない $g=1$ は、知覚誤差 $\xi_{a,1}$ だけあり、その分布は $N(0, \beta_1 t_a)$ である。

このとき、VICS 提供情報の誤差を含む rs OD 間経路 k の知覚所要時間 $\tilde{c}_{g,k}^{rs} = \sum_a \tilde{t}_a \delta_{a,k}^{rs}$ は以下のような母数を持つ多変数正規分布に従う。

$$\tilde{c}_{g,k}^{rs} \sim MVN(E[\tilde{c}_{g,k}^{rs}], Var[\tilde{c}_{g,k}^{rs}]) \quad (10)$$

$$E[\tilde{c}_{g,k}^{rs}] = E\left[\sum_a \tilde{t}_a \delta_{a,k}^{rs}\right] = \sum_a t_a \delta_{a,k}^{rs} = c_k^{rs} \quad (11)$$

$$Var[\tilde{c}_{g,k}^{rs}] = \sum_a \{h_a(x_{a,2}) + \beta_g t_a\} \delta_{a,k_1}^{rs} \quad (12)$$

$$Cov(\tilde{c}_{g,k_1}^{rs}, \tilde{c}_{g,k_2}^{rs}) = \sum_a \{h_a(x_{a,2}) + \beta_g t_a\} \delta_{a,k_1}^{rs} \cdot \delta_{a,k_2}^{rs} \quad (13)$$

以上をマトリックス表示すると下記となる。

$$\tilde{c}_{g,\eta}^{rs} \sim MVN(c^{rs}, S_{g,\eta}^{rs}) \quad (14)$$

$$c^{rs} = t \cdot \Delta^{rs} \quad (15)$$

$$S_{g,\eta}^{rs} = \Delta^{rsT} \cdot S_{g,\eta} \cdot \Delta^{rs} \quad (16)$$

ここで、 $t = \{t_a\}$ 、 $S_{g,\eta} = \{h_a(x_{a,2}) + \beta_g t_a\} \cdot I$ 、 Δ^{rs} は rs OD 間リンク-経路接続マトリックスである。

(2) 経路選択と VICS 装着確率の算出方法

式(1)の経路選択確率の算出には Monte Carlo Simulation による計算方法⁵⁾を適用する。この方法は、正値対称行列である $S_{g,\eta}^{rs}$ を

$$S_{g,\eta}^{rs} = G_{g,\eta} \cdot G_{g,\eta}^T \quad (17)$$

のように Cholesky 分解により表現し、 $G_{g,\eta}^T$ と標準正規乱数列ベクトル $v \sim N(0,1)$ を用いた以下のような線形変換を行なうことによって、 $MVN(c^{rs}, S_{g,\eta}^{rs})$ を生成するという方法である。

$$v \cdot G_{g,\eta}^T + c^{rs} \quad (18)$$

これによって K_{rs} 個の乱数列を多数組生成させ、この中の最小の値、つまり $\min_{k \in K_{rs}} \{\tilde{c}_{g,k}^{rs}\}$ となる success ルート k の生成割合を経路選択確率とする。

一方、式(2)の $\tilde{S}_g^{rs}$ は、経路所要時間の不確実性指標

表-1 各リンクのパフォーマンス関数設定条件

リンク番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
t_{a0}	20	18	23	19	17	16	22	14	24	17	20	13	26	19	7	18	17
C_a	1000	1000	500	500	500	500	500	1000	800	1000	500	1000	500	1000	800	800	800

注) リンクパフォーマンス関数には修正 BPR 関数を用いており、 t_{a0} はゼロフロー時の所要時間、 C_a は容量を示している。

S_g^{rs} と誤差項 ε_g^{rs} との和

$$\tilde{S}_g^{rs} = S_g^{rs} + \varepsilon_g^{rs} = \min_{k \in K_n} \{c_k^{rs}\} - E[\min_{k \in K_n} \{\tilde{c}_{g,k}^{rs}\}] + \varepsilon_g^{rs} \quad (19)$$

となる。 ε_g^{rs} は $MVN(0, S_\varepsilon)$ に従い、その分散は不確実性指標値 S_g^{rs} の値に比例し、セグメント間での相互関係はない、つまり共分散はゼロとするのは自然であろう。

$$Var[\varepsilon_g^{rs}] = \sigma_g^2 = \gamma S_g^{rs} \quad (20)$$

$$Cov[\varepsilon_1^{rs}, \varepsilon_2^{rs}] = \sigma_{12} = 0 \quad (21)$$

このとき、VICS 装着率は、式(2)より、

$$P[2/rs] = \Pr[\tilde{S}_2^{rs} > \tilde{S}_1^{rs}] = \Phi\left(\frac{S_2^{rs} - S_1^{rs}}{\sqrt{\sigma^2}}\right) \quad (22)$$

ここで、 $\sigma^2 = \gamma(S_1^{rs} + S_2^{rs})$ であり、 $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布関数である。前章と同様、ここでも経路選択と VICS 装着選択行動は個々には確率効用理論に基づいて定式化しているが、両者の間には確率効用理論上の整合性があるわけではない。

4. 均衡解の計算フローとモデルの感度

(1) モデルネットワークによる解の挙動分析

モデルから得られる解の特性を分析するため、図-2 にその形状と表-1 に諸元を示すネットワークにおいて、本モデルの解の挙動を確認するための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、OD 構成比は 1/8 : 1/4 : 1/8 : 1/8 : 1/4 : 1/8 とする。各 OD ペア間の有効経路を表-2 に示す。

まず、解の収束状況を確認する。知覚分散パラメータは $\beta_1 = 0.1, \beta_2 = 0.02$ と固定した。また、アップリンク数が増える程、誤差の値が小さくなり、かつ知覚誤差よりも VICS による情報誤差が卓越することがないように、情報誤差分散関数には以下の減少関数を用いた。

$$h_a(x_{a,2}) = \beta_2 \cdot t_a(x_a) / \gamma^{x_{a,2}} \quad (\gamma \geq 1.0) \quad (23)$$

この関数による情報誤差の最大値は $\beta_2 \cdot t_a(0)$ となり、知覚誤差の大きさを超えることはない。また、提供される経路所要時間情報にはその経路に含まれるリンクの特性や情報のアップリンク数によって一定の情報誤差を含むことを表現できる。

均衡解は図-3 に示す計算フローによって計算した。これは Monte Carlo Simulation による確率的ネットワー

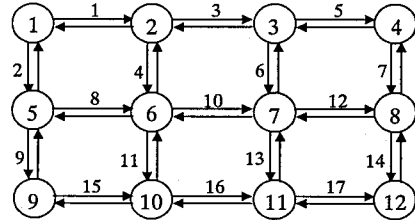


図-2 感度分析に用いたモデルネットワーク

表-2 ODペアとその有効経路数、及び経路

OD ペア	有効経路数	経路
1-6	2	1-2-6
		1-5-6
1-12	10	1-2-3-4-8-12
		1-2-3-7-8-12
		1-2-3-7-11-12
		1-2-6-7-8-12
		1-2-6-7-11-12
		1-2-6-10-11-12
		1-5-6-7-8-12
		1-5-6-7-11-12
		1-5-6-10-11-12
		1-5-9-10-11-12
6-1	2	6-2-1
		6-5-1
6-12	3	6-10-11-12
		6-7-8-12
		6-7-11-12
12-1	10	12-8-4-3-2-1
		12-8-7-3-2-1
		12-11-7-3-2-1
		12-8-7-6-2-1
		12-11-7-6-2-1
		12-11-10-6-2-1
		12-8-7-6-5-1
		12-11-7-6-5-1
		12-11-10-6-5-1
		12-11-10-9-5-1
12-6	3	12-11-10-6
		12-8-7-6
		12-11-7-6

ク負荷と MSA による解ベクトルの更新を組み合わせたアルゴリズムである。この方法は、繰り返し計算を通じて利用される経路集合を同一のものに固定すれば、収束は遅いものの厳密解に至ることが証明されている⁹⁾。

図-4 に VICS 均衡装着率の更新プロセスを示す。ここでは、すべてのリンクにおいてピーコン機器が設置されている状況を想定し、情報誤差分散パラメータは $\gamma = 1.1$ 、VICS 装着率の初期値は 0.5 とし、総トリップ数 4,000 台を上述のネットワークに負荷した。MSA の特徴として知られているように、全体的に収束は緩慢で

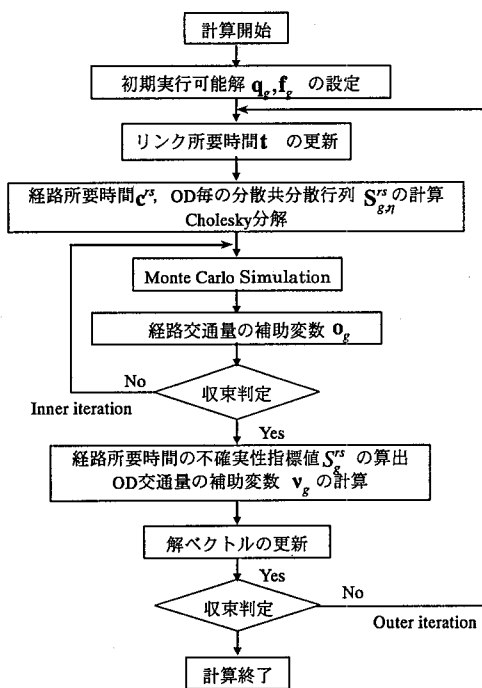


図-3 均衡解の計算アルゴリズム

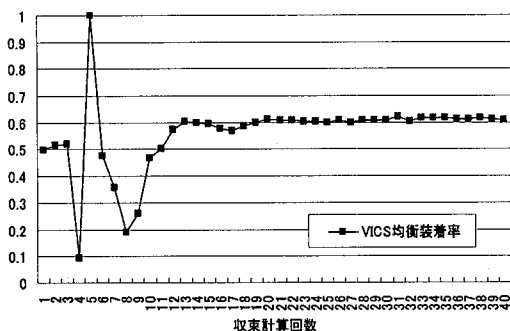


図-4 VICS均衡装着率の収束状況

はあるが、確実に VICS 均衡装着率は均衡解に向かって改善されている。この程度のネットワーク、総トリップ数規模であれば、数十回程度の解の更新で収束すると考えてよいであろう。したがって、以下の各種の感度分析にはこのモデルネットワークと解法を用いる。

(2) 総トリップ数とVICS装着率

図-4 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の度合い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こと分かる。上記の2つの要因は経路所要時間が大きくなることを意味し、それによって VICS 装着者と非装着者の経路所要時間の不確実性指

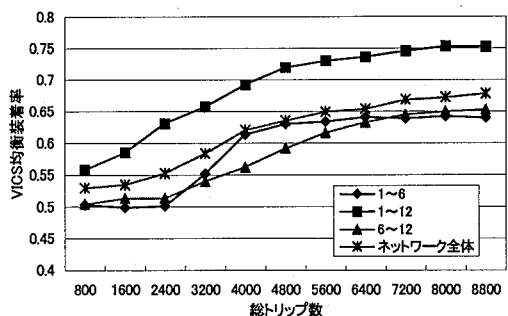
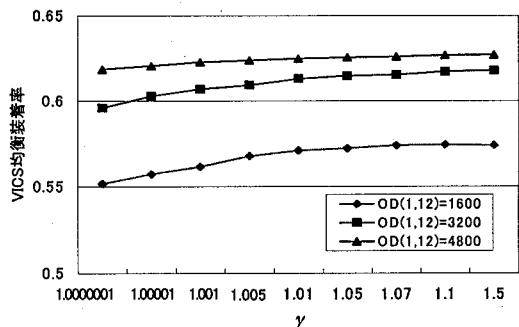
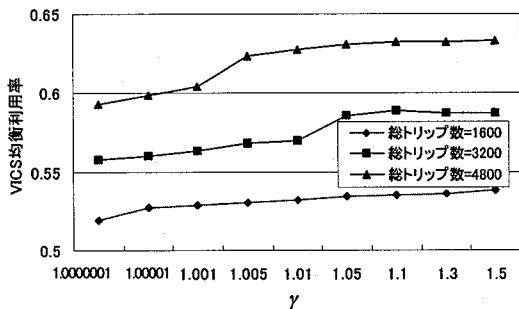


図-4 総トリップ数と VICS 装着率の関係



(a) 1-12 間に負荷した場合



(b) OD 構成比に負荷した場合

図-5 誤差減少パラメータと VICS 装着率の関係

標の差が拡大するためである。また、混雑の度合いが大きくなることによって VICS 装着者に提供される所要時間情報の誤差が減少し、不確実性指標値が減少して VICS 装着時の効用が増加することが、VICS 装着率が急激に押し上げることに寄与している。

(3) 情報誤差分散パラメータ γ と VICS 均衡装着率

それぞれ 1,600, 3,200, 4,800 の交通量を、図-5(a) には 1-12 間にのみ、(b) には当初の OD 構成比で負荷した場合の情報誤差分散パラメータ γ と VICS 装着率の関係を示す。どちらの場合も、 γ が大きくなり情報誤差が小さくなるに従って VICS 装着率は増加する。しかし、

前者は後者に比べて VICS 装着率は大きいものの、分散パラメータの変動に対する感度は小さい。これは、前者は利用可能経路が限定されていて当該経路上の混雑の度合いが高いために、情報誤差が大きくなっても VICS 装着率に対する影響が少ないためである。また、前者では総トリップ数が小さいほど、後者では大きいほど VICS 装着率の変動幅が大きくなっている。前者では、ネットワークの利用可能経路数が少なく、経路上の混雑の度合いが大きくなるために、全体誤差に占める知覚誤差の比率が大きくなり、その傾向は総トリップ数が増加するにしたがってより支配的になるため、情報誤差の影響がほとんど無くなるためである。逆に、後者では、全体誤差の中で情報誤差が占める比率が大きくなるため、総トリップ数が大きい程、ドライバーの経路所要時間の不確実性の改善度合いが大きくなり、VICS 装着率に変動が生じる結果となっている。

これらの結果は、ネットワーク上の混雑の度合いが大きいほど、トリップ長は長いほど、経路所要時間の不確実性指標の差が大きくなって VICS 装着率は高くなるであろうなど、当初想定した解の挙動を示している。情報誤差を含む VICS の社会的便益評価モデルとして本方法は有用であるといえよう。

5. VICSによる提供情報の社会的便益の評価

(1) 便益の評価方法

個々では便益を式(7)、(8)に示した不確実性指標 S_g^{rs} の貨幣換算額で計測する。いま、ATIS 整備前、および整備後の VICS 非装着車と装着車の不確実性指標値を、それぞれ、 $S^{rs(a)}$ 、 $S_1^{rs(b)}$ と $S_2^{rs(b)}$ とすると、ATIS 整備前後の便益は以下式で表すことができる。

$$TS^{(a)} = \varepsilon \sum_{rs} q^{rs} \cdot S^{rs(a)} \quad (24)$$

$$TS^{(b)} = \varepsilon \sum_{rs} \sum_{g=1,2} q_g^{rs} \cdot S_g^{rs(b)} \quad (25)$$

したがって、ATIS 整備によるネットワーク全体の便益は次式より得られる。

$$TS = TS^{(a)} - TS^{(b)} \quad (26)$$

ATIS の整備効果の試算には、同様に図-2のネットワークを用いた。ネットワーク上の混雑の度合いが異なる場合の便益額を比較するため、総トリップ数が 3,000 と 6,000 の 2 ケースで試算した。また、ビーコンが設置されていないリンクには、 $\gamma = 1.0$ として一定値の情報誤差を生じさせている。また、 ε は不確実性指標の貨幣換算係数であり、ここでは $\varepsilon = 1.0$ とした。

表-3 ビーコンの設置数による便益の違い

総トリップ数	Case-1	Case-2	Case-3
3000 台	708.7	755.2	911.2
6000 台	2204.6	2494.0	3209.1

表-4 ビーコンの設置箇所の違いによる便益の違い

総トリップ数	Case-1'	Case-2'
3000 台	596.9	651.2
6000 台	2221.3	2667.9

(2) 便益の評価結果

a) ビーコンの設置数

ATIS の整備水準と便益との関係进行分析するために、

Case-1 : 2 リンク (リンク 10)

Case-2 : 14 リンク (リンク 3, 4, 6, 10, 11, 13, 16)

Case-3 : 34 全リンク

にビーコンを設置する 3 つのケースを想定した。試算値の金額面での評価は意味を持たないが、TS 値の相对比较は可能である。

表-3 に試算結果を示す。これより、ビーコン設置数が多くなるに従って、社会的便益は大きくなることが分かる。また、総トリップ数が大きくなると、いずれのケースでも社会的便益が格段に増加する。この理由として、総トリップ数を 6,000 とした場合、総トリップ数は 3,000 の場合の 2 倍であるが、各トリップの所要時間がその倍率以上に大きくなるために、OD 間の不確実性指標の改善効果が大きくなり、3 倍以上の社会的便益が生じる結果となった。

b) ビーコンの設置箇所

総トリップ数とビーコンの設置数は同じであるが、設置箇所が異なる場合を比較する。比較するのは、ネットワーク中心部にビーコンを設置した先の 3 ケース (Case-1, Case-2, Case-3) と、

Case-1' : 2 リンク (リンク 3)

Case-2' : 14 リンク (リンク 1, 2, 3, 5, 7, 9, 15)

のように、ネットワークの外縁部にビーコンを設置した場合である。

表-4 に結果を示す。総トリップ数を 3,000 とした場合は、ネットワークの外縁部にビーコンを設置した場合の便益の方が小さくなっている。これは、Case-1' のリンク 3 が 1-12 間でしか利用可能経路の中に含まれず、かつネットワークが混雑していない状況ではゼロフロー時の経路所要時間が他の経路と比べて大きいために、たとえ提供される所要時間情報の信頼性が大きくてもその経路が選択されないためと思われる。14 リンクにビーコンを設置するとしても、それが Case-2' のような外縁部の場合には同様の結果となる。しかし、総トリップ数

が 6,000 になると、逆に中心部に設置する場合より便益は大きくなっている。この理由は、ネットワークの混雑の度合いが増すとリンク 3 を含む経路が選択されるようになって、中心部にビーコンを設置した場合よりもネットワーク全体の経路所要時間の不確実性が低減したためと考えられる。つまり、外縁部へのビーコンの設置により、短距離 OD の不確実性の増加よりも長距離 OD の不確実性の低減効果がより高まったため、全体として便益が大きくなったと考えられる。これらの結果より、ビーコンの適切配置を行なうことによって、道路交通情報システムの導入効果をより高めることが可能になる。

6. おわりに

本論では、アップリンク数に依存する提供所要時間の誤差を考慮した道路交通情報システムの評価モデルを構築した。また、仮想ネットワークに対して本評価手法を適用し、総トリップ数や OD パターンの違いによる感度を分析した。さらに、ビーコンの設置数や設置位置の違いにより、便益の発現の度合いが異なることを検証した。以下に結論を列挙する。

- (1) ドライバーの知覚所要時間の誤差項にアップリンク数に依存した情報誤差項を加えることにより、交通量や情報測定機器配置の有無などの外部条件の違いによって生じる情報の価値を評価することが可能な VICS 装着率変動型多種流確率均衡モデルを構築した。
- (2) 本モデルの感度分析を行ない、総トリップ数の増加に伴って生じる混雑の度合いが高い経路や平均トリップ長の大きな経路での VICS 均衡装着率は高くなるといった結果を得ることができた。また、ネットワーク全体の混雑の度合い、利用可能経路数やそのルートによって VICS 均衡装着率に情報誤差分散関数が影響する度合いが異なることも確認できた。
- (3) 不確実性指標値を用いた道路交通情報システムの導入による社会的便益の評価方法を示した。交通混雑の激しい地域での不確実性低減効果は顕著に現れ、社会的便益効果はより高まるという結果となった。
- (4) ビーコンの効率的配置を行なうことによって、道路交通情報システムの導入効果をより高めることができることを示した。

以下には、解決すべき問題点を以下に列挙する。

- (1) 個人の視点から言えば、VICS 情報利用による便益

が VICS 導入コストを上回る場合に VICS を導入すると考えるのが合理的である。また、一旦導入した VICS は、その個人の行う OD ペアが異なる幾つかのトリップでも利用可能である。したがって、個人は 1 トリップしか行わず、VICS 装着率が OD ペアごとに決まるという本研究の想定は現実的ではないかもしれない。

- (2) 経路選択行動も VICS 装着行動も、個々については確率効用理論に基づいて定式化されている。しかし、それらは独立であり、両者の間で確率効用理論に整合的なモデル構造になっている訳ではない。

- (3) 経路選択確率を求める際の多変量正規乱数を発生させる手法として Cholesky 分解を利用した。この手法は正値対称行列でかつ低次元のときには有用であるが、分散共分散の次元が高い場合は繰り返し計算過程で桁落ちエラーなどに遭遇する可能性が高まる。有効経路数が大きくなり、高次元になる場合には、特異値分解 (Singular Value Decomposition/SVD 法) などを用いる必要がある。

- (4) 本モデルを実ネットワークに適用するには利用可能経路をあらかじめ列挙しておく必要がある。その作業は現実的でない上、計算容量の面からも非常に困難である。そのため、利用可能経路の列挙が必要なく効率的に解を求めることが可能な手法を開発する必要がある。

- (5) また、知覚分散パラメータや情報誤差分散関数、不確実性指標の貨幣換算パラメータなどを推定しておかねばならないため、その手法などを検討する必要がある。

参考文献

- 1) VICS センターホームページ : <http://www.vics.or.jp/>
- 2) 警察庁ホームページ : <http://www.npa.go.jp/>
- 3) 溝上章志・本田秀太 : 多種流確率均衡配分理論を用いた VICS 情報の利用率の予測と効果計測の方法, 土木学会論文集 No.709/IV-56, pp.105-115, 2002.
- 4) YOSEF SHEFFI : Urban Transportation Networks - Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods -, pp.262-344, 1985
- 5) CARLOS DAGANZO : Multinomial Probit - The Theory and Its Application to Demand Forecasting -, pp.30-58, 1979
- 6) 円山琢也 : 交通ネットワーク統合モデルを用いた大都市圏における混雑料金政策評価法, 平成 11 年度, 東京大学修士論文

アップリンク数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*

溝上章志**・馬場拓也***

VICS 交通情報の利用者と非利用者に分割されたドライバーの経路選択規範を考慮に入れて、これら 2 種流のネットワーク均衡フローと道路交通情報の均衡利用率を同時推定する VICS 情報利用需要変動型多種流確率均衡モデルを、ビーコンの下を通過する VICS 装着車両数（アップリンク数）に依存した情報誤差を内包したモデルに拡張し、道路交通情報システムの社会的便益を評価する方法を提案した。仮想ネットワークに対して本評価手法を適用し、総トリップ数や OD パターンの違いによる感度を分析した。さらに、ビーコンの設置数や設置位置の違いにより、便益の発現の度合いが異なることを検証した。

An evaluation method of VICS considering a reliance of travel time information depending on the number of uplink*

By Shoshi MIZOKAMI**・Takuya BABA***

The purpose of this thesis is to build the SUE model of demand change types. In the model the reliability of time required information which depends on the VICS installation rate is considered. The main purpose is to show the evaluation method of the VICS by using the model. Time required information that the driver receives has the error which depends on the number of uplink of VICS installation cars moving on the network. In this thesis, the proposed model contains the information error, and the sensitivity and the characteristic of the model was analyzed. Afterwards, when social welfare of the VICS introduction was evaluated by using the proposed model, As a result the introduction convenience was largely was obtained. At the same time, when convenience was provisionally calculated, the difference arose in the size of convenience and it was possible to confirm the installation features by changing installation features of the beacon equipment.
