

# 交通ネットワーク分析を用いた道路交通情報提供システム導入効果の評価

## Assessment for the Advanced Travel Information System by Network Equilibrium Analysis

溝上 章志

by Shoshi MIZOKAMI

### 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 による道路交通情報の提供が開始されている。道路交通情報提供システムの導入便益を評価するには、1) 情報利用前/後、または有/無の経路選択行動実データから推定される需要関数によって消費者余剰を推計する方法、2) 情報利用需要変動型ネットワーク均衡モデルを用いた便益計測法などが提案されている。

本研究では、まず VICS の導入効果に関する意識調査データを元に、仮想的市場評価法 (CVM) を用いた道路交通情報提供システムの便益推計を試みる。

一方で、VICS 情報の利用者と非利用者ごとの経路選択規範を考慮した多種流ネットワークフローを求めると同時に、道路交通情報の利用率を推定する VICS 利用需要変動型確率均衡モデル [MUSE/VICS-Demand] が構築された。本研究では、このモデルを実規模の道路ネットワークに適用するために、観測交通量に最も適合する知覚経路所要時間の分散パラメータと同時に、CVM から得られる支払意思額推計値を用いて VICS 情報利用率モデルのパラメータを推定する方法を提案し、その結果を用いて、西遠都市圏における VICS 導入便益の試算を行った結果を示す。

### 2. VICS 利用需要変動型多種流確率均衡モデル

VICS 導入後 (以後、添え字  $(b)$  で表す) の VICS 利用率を、VICS 情報利用/非利用時の経路所要時間の確実性指標  $S_{rs}^{g(b)}$  によるロジットモデル

$$\Pr[2 | rs] = \frac{\exp[\mathbf{b}_{rs}^{2(b)}]}{\exp[\mathbf{a} + \mathbf{b}_{rs}^{1(b)}] + \exp[\mathbf{b}_{rs}^{2(b)}]}$$

で定義した場合、[MUSE/VICS-Demand] モデルは、その解が VICS 利用と経路の選択行動を Nested Logit モデルで記述する下記の数理最適化問題で定式化できる。

$$\begin{aligned} \text{Min: } & Z(x, f_g, q^g) \\ & = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(\mathbf{w}) d\mathbf{w} + \sum_{g=1,2} \frac{1}{q_g} \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} f_{g,k}^{rs} \ln(f_{g,k}^{rs} / q_{rs}^g) \\ & \quad - \frac{1}{\mathbf{b}} \sum_{rs} \int_0^{q_{rs}^g} \left( \ln \frac{\mathbf{w}}{q_{rs}^g - \mathbf{w}} + \mathbf{a} \right) d\mathbf{w} \\ \text{s.t. } & \sum_{k \in K_{rs}} f_{g,k}^{rs} = q_{rs}^g, \quad \forall r \in R, \forall s \in S, \quad g=1,2 \\ & \sum_{g=1,2} q_{rs}^g = \bar{q}_{rs}, \quad \forall r \in R, \forall s \in S, \quad g=1,2 \\ & x_a = \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{g=1,2} f_{g,k}^{rs} \mathbf{d}_{a,k}^{rs}, \quad \forall a \in A \\ & q_{rs}^g \geq 0, \quad \forall r \in R, \forall s \in S, \quad g=1,2 \\ & f_{g,k}^{rs} \geq 0, \quad \forall k \in K_{rs}, \forall r \in R, \forall s \in S, \quad g=1,2 \end{aligned}$$

ここで、 $x, f_g, q^g$  は解ベクトル、 $\bar{q}_{rs}$  は既知の  $rs$ -OD 交通量である。 $q_g$  は知覚経路所要時間の分散パラメータであり、VICS 情報を利用するドライバー ( $g=2$ ) は各経路に対して確実性の高いな実所要時間情報入手できることから、 $0 < q_1 < q_2 \rightarrow +\infty$  によって非利用ドライバーとは経路選択行動が区別されることになる。

この [MUSE/VICS-Demand] を実道路ネットワークに適用し、都市圏全体における道路交通情報システム導入便益を推計するためには、 $q_g$  と  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  をあらかじめ設定しておく必要がある。

### 3. VICS 導入に対する意識調査と WTP

#### (1) アンケート調査の概要

2001 年 10 月に VICS の導入効果に対する意識調査を行った。調査では、1) 個人属性、2) 自動車の利用状況、3) カーナビの購入、利用状況を質問した後、ナ

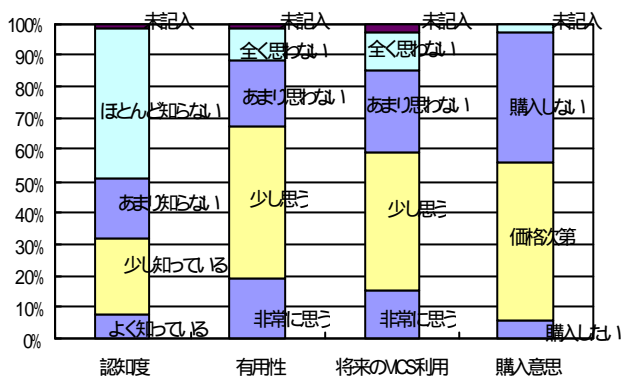


図 - 1 VICSの購入意志などの分析結果

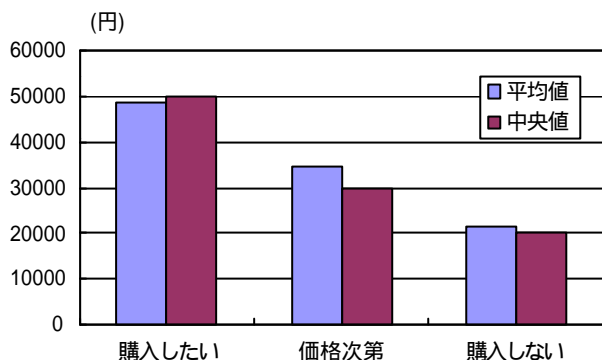


図 - 2 VICSに対する最大支払意思額

以上のVICS情報ディスプレイ画面(レベル2,3)を提示してVICSの機能と拡張の方向性を解説した。その後,4)VICSの利用意向と購入の際の支払意思額を聞いている。質問形式は二段階二項選択方式と自由回答方式である。サンプルはデジタル電話帳より熊本都市圏内の1,190世帯をランダムに抽出し,各世帯で運転免許を持ち,自動車を利用する機会のある人とした。配布,回収ともに郵送方式を用い,各世帯に2票ずつ配布した。回収数は312票,有効回答数は280票であった。

(2) 集計分析結果

VICSの認知度や購入意志などに対する集計分析結果を図-1に示す。当初のVICSの認知度は低いものの,VICS機能の説明後はその有用性の評価や将来の利用可能性に対して高い指示が得られた。また,購入意思に関しては約半数が価格次第という回答であった。別途尋ねた最大支払意思額の平均値,中央値は32,894円,30,000円である。購入意思と最大支払意思額の関係は図-2に示すとおりであり,購入する意識の高い人ほど支払意思額も大きく,分散分

析よりVICSの購入意思別の最大支払意思額には統計的に有意な差(5%検定)があることがわかった。

3. 道路交通情報提供システムの価値推計

(1) CVMによる価値評価モデル

次式に示すように,回答者の効用水準 $U$ を観測可能な部分 $V$ とランダムな部分 $e$ との和で定義する。

$$U = V(d, Y, Q) + e$$

$d$ は提示額に賛成のとき1となるダミー変数, $Y$ は所得水準, $Q$ は道路交通の利便性であり,VICS情報の有無によりその水準が変化する環境変数である。

VICS利用者は, $C$ 円で購入したVICS-unitからのVICS情報を利用することによって,道路交通の利便性を $Q$ から $Q'$ に変化できるとする。このとき,回答者がこの提示額 $C$ に”Yes”と回答する確率は

$$\Pr(\text{Yes}) = \Pr(\Delta V(C) \geq e_0 - e_1)$$

で表される。また,

$$\Delta V(C) = V(1, Y - C, Q') - V(0, Y, Q)$$

である。このとき,効用のランダム項がガンベル分布に従うと仮定すると,提示額 $C$ に賛成する確率は

$$\Pr(\text{Yes}) = 1 / [1 + e^{-\Delta V(C)}]$$

で表すことができる。効用差 $\Delta V(C)$ に対して

$$\Delta V(C) = a - b \ln C$$

を用いた場合,支払意思額は賛成確率分布の中央値

$$WTP = \exp(a / b)$$

から推計される。また,VICSに対する支払意思額は目的地までの所要時間 $t$ に依存していると考えられることから,都市圏全体におけるVICS導入の便益推計の際は, $\Delta V(C)$ に対して次式を用いた。

$$\Delta V(C) = a - b_0 \ln C + b_1 t$$

本調査では,VICS-unitの平均的価格である7万円を初期提示額とし,これに”No”の場合は3万円まで,”Yes”の場合は9万円まで,それぞれ5,000円刻みの価格をランダムに提示する二段階二項選択方式,および自由回答方式によって最大支払意思額を質問している。

(2) VICS情報の価値推計

WTPの推定結果を示す。推定パラメータはすべて5%で統計的に有意であり,OD間の所要時間は支払意思額に影響を及ぼしている。また,尤度比も高く,モデルの信頼性は高い。このモデルによってサン

ルごとに支払意思額を求めた後、その平均値、および中央値を計算したところ、支払意思額はそれぞれ 37,122 円、35,817 円となった。

#### 4. 知パラメータの推定法

##### (1) 分散パラメータの推定

[MUSE/VICS-Demand]モデルを実道路網に適用するためには、 $q_g$ と $a$ 、 $b$ をあらかじめ推定しておく必要がある。 $q_g$ のうち、 $q_2$ については $+\infty$ 、 $q_1$ については VICS が未導入の地域において、Logit 型確率均衡配分結果が実測交通量と最も適合するような $q_1$ 値を設定すれば良い。

$q_1$ を推定するために、Logit 型確率均衡配分をおこなった道路ネットワークは、リンク総数 3,638、ノード数 1,299、セントロイド数 186 で構成される西遠都市圏 PT ネットワークである。リンク交通量が実測されている道路区間数は、国道と県道を合わせて計 50 箇所である。分散パラメータ $q_1$ の変動に対する相関係数と RMSE 誤差値の変動を図-1に示す。これらより、 $q_1=0.26$ の時に RMSE 誤差は最小で相関係数は最大となっており、その他の適合性評価指数も良好な値を示した。

##### (2) VICS 利用率モデルの推定

CVM 調査時のドライバーの VICS-unit に対する事前の支払い意志額 $WTP_{rs}$ は、VICS 導入後の $rs$ -OD 間の満足度水準 $S_{rs}^{2(b)}$ を想定して回答されているから、両者には以下のような関係がある。

いま、ドライバーの $rs$ -OD 間トリップに対するランダム効用の確定項 $V_{rs}$ の関数形として、

$$V_{rs} = v\Omega_{rs} + S_{rs}$$

を仮定する。ここで、 $\Omega_{rs}$ は可処分所得、 $v$ はその限界効用、 $S_{rs}$ は前述した $rs$ -OD 間トリップの確実性指標値である。また、 $v$ は既知としている。このとき、VICS 導入前（以後、添え字 $(a)$ で表す）の $rs$ -OD 間トリップの間接効用 $V_{rs}^{1(a)}$ は下記のようなものである。

$$V_{rs}^{1(a)} = v\Omega_{rs}^{(a)} + S_{rs}^{1(a)}$$

一方、VICS 導入後に、VICS-unit を購入して VICS 情報を利用することによって得られる間接効用 $V_{rs}^{2(b)}$ は、VICS-unit の購入に要する費用 $WTP_{rs}$ を可処分所得から引いた後の所得 $\Omega_{rs}^{(a)} - WTP_{rs}$ と VICS 情報利用

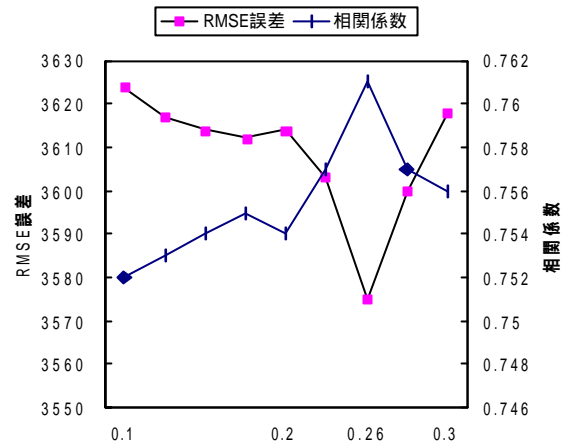


図-1 RMSEと相関係数

時の満足度関数値 $S_{rs}^{2(b)}$ によって

$$V_{rs}^{2(b)} = v(\Omega_{rs}^{(a)} - WTP_{rs}) + S_{rs}^{2(b)}$$

で表される。この $WTP_{rs}$ は VICS 導入前の効用に戻すために家計が支払う貨幣の最大額であり、

$$v\Omega_{rs}^{(a)} + S_{rs}^{1(a)} = v(\Omega_{rs}^{(a)} - WTP_{rs}) + S_{rs}^{2(b)}$$

を満足する $WTP_{rs}$ で定義される。これより、

$$S_{rs}^{2(b)} = v \cdot WTP_{rs} + S_{rs}^{1(a)}$$

なる関係が成立する。この $WTP_{rs}$ は後述する CVM によって得ることができる。また、VICS 導入前の $S_{rs}^{1(a)}$ については、観測、あるいは VICS 導入前の Logit 型確率均衡配分モデルから推計可能である。したがって、[MUSE/VICS-Demand]から得られる $S_{rs}^{2(b)}$ と、CVM 調査の際に被験者が想定した VICS 導入時の右辺の値とが一致するような $a$ と $b$ が存在するはずである。このような $a$ と $b$ を以下の手順で求める。

Step-1:  $a$ と $b$ の初期値 $a^{(0)}$ 、 $b^{(0)}$ を設定する。 $n=0$

Step-2:  $a^{(n)}$ 、 $b^{(n)}$ を用いた[MUSE/VICS-Demand]により、 $S_{rs}^{1(b)}$ や $S_{rs}^{2(b)}$ 、 $P(2|rs)$ を求める。

Step-3:  $\ln \frac{1 - P(2|rs)}{P(2|rs)} = a + b(S_{rs}^{1(b)} - (v \cdot WTP_{rs} + S_{rs}^{1(a)}))$

を得る。この $P(2|rs)$ と $S_{rs}^{1(b)}$ は、 $a^{(n)}$ 、 $b^{(n)}$ の下での[MUSE/VICS-Demand]の解である。また、 $WTP_{rs}$ と $S_{rs}^{1(a)}$ は既知であるから、単回帰分析によって $a$ 、 $b$ の推定値 $\tilde{a}$ 、 $\tilde{b}$ を推定する。

Step-4:  $|a^{(n)} - \tilde{a}| \leq e_a$ 、 $|b^{(n)} - \tilde{b}| \leq e_b$ であれば終了する。そうでなければ $a^{(n)} = \tilde{a}$ 、 $b^{(n)} = \tilde{b}$ 、 $n = n+1$ として Step-2 にもどる。

## 5. 西遠都市圏におけるVIC S導入の便益推計

### (1) [MUSE/VICS -Demand]による便益推計

$WTP_{rs}$  としては、2001年10月に熊本都市圏で実施したVIC S導入に対する市民意識調査データから推計した表-1のモデルを用いた。今回は $a=0$ として $b$ だけを推定したところ、5回の繰り返し計算の結果、 $b=0.0169$ となった。

本モデルを用いることにより、day-to-dayにVIC S情報を参照することで得られる効用によって構築される確率効用理論に整合した便益は

$$S = \frac{1}{b} \sum_{rs} q_{rs} \ln \left[ \exp(a + b t_{rs}^{1(b)}) + \exp(S_{rs}^{2(b)}) \right]$$

によって得られる。また、このときの便益はVIC S導入後の均衡交通需要に対応したものとなっている。本モデルを用いて西遠都市圏におけるVIC S導入後の便益を試算した。試算の対象とした西遠都市圏は人口78.8万人、総トリップ数1,666,002/日である。

試算の結果、1日あたり約15億円、1年間では3,000億円という結果が得られた。ただし、時間価値 $v=25.54$ 円/分、1年間のVIC S利用日数は200日/年としている。

### (2) CVMによる便益推計

推定したVIC S-unitに対する $WTP$ を用いて西遠都市圏におけるVIC S導入の便益推計を行った

都市圏全体のVIC S導入による便益は

$$S = \sum_{rs} q_{rs} \cdot WTP'(t_{rs}) \cdot P(t_{rs})$$

により推定する。ここで、 $q_{rs}$ は $rs$ ODペア間の日交通量、 $WTP'(t_{rs})$ は $rs$ ODペア間の所要時間 $t_{rs}$ に依存した日単位の支払意思額であり、

$$\sum_{n=1}^N \{WTP'(t_{rs}) \cdot d / (1+i)^{n-1}\} = WTP(t_{rs})$$

によって推計された $WTP(t_{rs})$ から変換される。ここで、 $i$ は割引率、 $N$ は使用年数、 $d$ は年間使用日数であり、それぞれ0.02/年、5年、200日を用いた。

$P(t_{rs})$ は $rs$ ODペア間のVIC S利用率であり、VIC Sの導入効果に対する意識調査で、将来のVIC Sの利用意向質問に対して、『非常に思う』、『少し思う』と回答した回答者を利用者として推定した。推定結果を表-2に示す。モデルの信頼性は高いとはいえない。西遠都市圏におけるVIC Sの導入便益は、1日あたり

表-1 支払意思額の推定結果

説明変数	パラメータ値	t値
定数項	2.24	2.93
提示額	0.77	6.14
所要時間	0.026	1.91
WTPの中央値(円)	37,122	
WTPの平均値(円)	35,817	
尤度比	0.52	
サンプル数	113	

表-2 VIC S利用率モデルの推定結果

説明変数	パラメータ値	t値
閾値	0.39	1.37
所要時間	0.0031	0.03
尤度比	0.04	
サンプル数	194	

4,613万円、年間では92億2,627万円となった。

## 6. おわりに

本研究では、VIC Sの導入効果に対する意識調査データを用いたCVMより、西遠都市圏におけるVIC S導入効果の便益試算を行った。さらに、知覚経路所要時間の分散パラメータとVIC S情報利用率パラメータの推定を行った[MUSE/VICS-Demand]モデルによる総便益の試算を行った。