

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 Advanced Traveler Information Systems by Network Equilibrium Analysis*

溝上章志**・竹隈史明***

By Shoshi MIZOKAMI**・Fumiaki TAKEKUMA***

1. はじめに

近年、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（ATIS：Advanced Traveler Information Systems）が開発され、我が国では全国で道路交通情報通信システム（VICS：Vehicle Information and Communication Systems）による道路交通情報の提供が開始されている。社会基盤の一つとしてこれらのシステムを位置付けるのであれば、何らかの方法でその導入効果を事前評価しておく必要がある。ATISの導入便益を評価する方法として、情報利用前／後、または有／無の経路選択行動実データから効用差を直接的に推計する方法や、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。しかし、その適用可能性などについての実証研究は十分にされていないのが現状である。

そこで、本研究では、2001年に実施した「VICSの導入効果に対する調査」から得られたVICSに対する支払い意志額データを用いて道路交通情報提供の価値を評価し、ネットワーク全体における利用者便益の推計を試みる。一方で、著者らによってATISによる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に基づい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道路交通情報利用需要変動型多種流確率均衡モデル（以後、[MSUE/ATIS]：Multiple Stochastic User Equilibrium model with variable ATIS user demand と記す）が構築された¹⁾。しかし、このモデルを実道路ネットワークに適用するためには、モデルに含まれる知覚所要時間の分散パラメータとATIS情報利用率モデルのパラメータをあらかじめ推定しておくかなければならない。本研究では、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、VICSの導入効果に関する調査データから推定される支払意志額

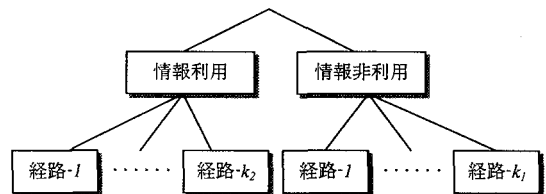


図-1 統合モデルの選択ツリー構造

モデルによるWTP推定値を用いて情報利用率パラメータを特定化する方法を提案する。

これらの結果を用いて熊本市圏道路ネットワークにおけるATIS導入便益の試算を行った。また、どのような交通特性を持った地域により高い道路交通情報の導入効果が生じるのかを検討するために、別途、西遠都市圏道路ネットワークにも適用して、それらの効果の比較・考察を行った。

2. 道路交通情報利用需要変動型多種流確率均衡モデル

[MSUE/ATIS]については文献1)に詳しいが、ここでも簡単に説明する。ATISにより経路所要時間情報を利用するドライバーは各経路に対して実経路所要時間情報を入力することができることから、最短所要時間経路を選択することが可能になる。一方で、情報を利用しないドライバーは幾つかの経路を知覚所要時間に基づいて確率的に経路選択を行うであろう。このような知覚所要時間のばらつきの程度が異なる2種の経路選択主体を経路所要時間の分散パラメータ θ_g の大きさでセグメント化(それぞれ、添え字 $g=2$ と $g=1$ で識別)する。ここでは $0 < \theta_1 < \theta_2 \rightarrow +\infty$ なる大小関係によって識別される。

rs -OD間第 k 経路の効用は経路所要時間 c_k^{rs} だけで代表され、効用の誤差項にIIDGを仮定すると、上記の2種の経路選択確率は以下のLogitモデルで記述できる。

$$P_{rs,k}^g = \exp(-\theta_g c_k^{rs}) / \sum_{k \in K_{rs}} \exp(-\theta_g c_k^{rs}) \quad (1)$$

一方、 rs -OD間のATIS導入後の情報利用率 $\Pr[2|rs]$ は、

*キーワード：ITS、道路交通情報、ネットワーク交通流

**正員、工博、熊本大学工学部環境システム工学科（熊本市黒髪2-39-1、TEL:096-342-3541、FAX:096-342-3507）

***学生員、熊本大学大学院自然科学研究科

ATIS 情報利用時と非利用時の経路所要時間の不確実性指標 S_{rs}^g を効用の変数とした下記の Logit モデル

$$\Pr[2 | rs] = \frac{\exp[\beta S_{rs}^{2(b)}]}{\exp[\alpha + \beta S_{rs}^{1(b)}] + \exp[\beta S_{rs}^{2(b)}]} \quad (2)$$

で表されるとする。ここで、経路所要時間の不確実性指標 S_{rs}^g を、下記のような OD 間の最短所要時間 $\min\{c_k^{rs}\}$ と期待最小所要時間 $E[\min\{c_k^{rs}\}]$ との差で定義するのは合理的であろう。

$$S_{rs}^g = \min_k \{c_k^{rs}\} - \left\{ -\frac{1}{\theta_g} \ln \sum_{k \in K_{rs}} \exp(-\theta_g c_k^{rs}) \right\} \quad (3)$$

この値は、 θ の値が小さいほど、また有効経路集合 K_{rs} の数が多いほど小さくなるので、ATIS 情報の利用/非利用によって異なる θ と K_{rs} の値に依存した OD 間所要時間の不確実性の程度を示す指標として有用であろう。しかし、第 1 項 $\min_k \{c_k^{rs}\}$ は同一 OD 間では ATIS 情報を利用しても利用しなくても同一であるので、以下では

$$S_{rs}^g = -\frac{1}{\theta_g} \ln \sum_{k \in K_{rs}} \exp(-\theta_g c_k^{rs}) \quad (4)$$

とし、以後、その値が大きいほど効用が高くなる確実性指標として定義し直すことにした。

ATIS 所要時間情報の利用/非利用セグメントごとの経路選択モデルを式 (1) で、ATIS 情報利用率モデルを式 (2) で定義したとき、その最適解が ATIS 情報利用行動と経路選択行動とを図 1 のような階層構造を想定した Nested Logit モデルで記述するような以下の等価な数理最適化問題で定式化できる。

Min: $Z(\mathbf{x}, \mathbf{f}_g, \mathbf{q}^g)$

$$= \sum_{a \in A} \int_0^{t_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_{g=1,2} \frac{1}{\theta_g} \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} f_{g,k}^{rs} \ln(f_{g,k}^{rs} / q_{rs}^g) - \frac{1}{\beta} \sum_{rs} \int_0^{q_{rs}^g} \left(\ln \frac{\omega}{q_{rs}^g} + \alpha \right) d\omega \quad (5)$$

$$s.t. \sum_{k \in K_{rs}} f_{g,k}^{rs} = q_{rs}^g, \forall r \in R, \forall s \in S, g=1,2 \quad (5.a)$$

$$\sum_{g=1,2} q_{rs}^g = \bar{q}_{rs}, \forall r \in R, \forall s \in S, g=1,2 \quad (5.b)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{g=1,2} f_{g,k}^{rs} \delta_{a,k}^{rs}, \forall a \in A \quad (5.c)$$

$$q_{rs}^g \geq 0, \forall r \in R, \forall s \in S, g=1,2 \quad (5.d)$$

$$f_{g,k}^{rs} \geq 0, \forall k \in K_{rs}, \forall r \in R, \forall s \in S, g=1,2 \quad (5.e)$$

ここで、 $\mathbf{x} = \{x_a\}$ はリンク交通量、 $\mathbf{f}_g = \{f_{g,k}^{rs}\}$ は ATIS 情報利用/非利用別経路交通量、 $\mathbf{q}^g = \{q_{rs}^g\}$ は ATIS 情報利用/非利用別 OD 交通量を表す解ベクトル、 $\bar{q}_{rs}$ は既知の rs -OD 間交通量である。

しかし、このモデルを実道路ネットワークに適用して都市圏全体の ATIS 導入の便益を推計するためには、 θ_g と α, β をあらかじめ何らかの方法で推定して設定する必要がある。

3. VICS 導入に対する意識調査と支払意思額

(1) アンケート調査の概要

ATIS による提供情報の効果を評価するために、ここではすでに運用を開始してその効果を想定することができ VICS の導入に対する意識調査を行った。交通情報提供システムの利用意向や道路交通提供情報の利用を可能にする VICS-unit 購入に対する支払意思額などを把握するために、2001 年 10 月に熊本都市圏を対象として「VICS の導入効果に関する調査」を行った。アンケート調査で質問した項目と内容の概要を表 1 に示す。本調査では、1) まず、個人属性、自動車の利用状況、カーナビの購入とその利用状況を、2) 次に、主要な自動車利用トリップに関して、その交通目的や頻度、始終発地、通常の所要時間を質問した。3) その後で、日頃の所要時間の変動に対する VICS による提供所要時間情報の有用性を中心にして、図 2 のような説明文により VICS の機能を詳細に解説した。

表 1 質問項目、および質問内容

質問項目	質問内容
1) 個人属性と自動車の利用状況	性別、年齢、職業、収入、運転歴、車の所有など
2) カーナビの利用状況	ナビの装備状況、ナビの利用状況
3) 自動車による主要なトリップ	利用目的、出発時刻、出発地・目的地、目的地までの経路、運転頻度
4) VICS-unit の認知、購入意志など	認知度、有用性、将来の利用意思、購入意思
5) 支払意思額	ダブルバウンド方式による 30,000 円から 90,000 円までのランダムな提示額に対する "Yes", "No" の回答、および自由回答方式による最大支払意思額

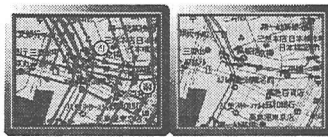
VICS (Vehicle Information and Communication System) ＝道路交通情報通信システムとは

現在、我が国では、高速道路料金所でのノンストップ料金収受システムや自動運転システムなど、高度情報通信技術(IT)を背景として、道路交通に関する様々なシステムやサービスをドライバーに提供する高度道路交通システム(ITS: Intelligent Transportation Systems)の開発が急ピッチで進められています。

その中でも、VICS (Vehicle Information and Communication System＝道路交通情報通信システム)は、VICSセンターで編集、処理された5分おきの交通渋滞や交通規制、駐車場の満/空などの道路交通情報をリアルタイムに車に送信し、カーナビゲーション上に文字・図形で表示する画期的な交通情報提供システムのことです。これらの情報を得るためには、カーナビの他にVICS対応車載機(VICSユニット)を購入・装着する必要があります。

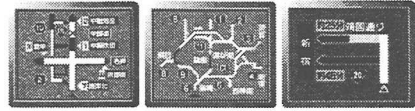
下の右の図はVICS情報のない通常のカーナビ画面です。現在の走行位置と周辺の道路網や施設などが表示されるだけで、目的地までの旅行時間が最も短い経路なども表示できませんが、旅行時間情報はCD-ROMに記憶されているデータを使うので、常に一定です。そのため、たとえ近くで交通渋滞や交通事故が発生したりしても、その時点における最短旅行時間の経路を知ることはできません。

一方、左の図はカーナビに表示されたVICS情報の例です。カーナビのディスプレイの地図表示画面上に、リアルタイムの渋滞情報や、車線規制、高速道路への流入規制などが重ね書きされ、走行している地点だけでなく、渋滞箇所や各種の規制などが一目でわかります。また、時々刻々と変化する道路交通状況に合わせた最短の旅行時間経路の計算と表示ができますので、渋滞を避けた目的地までの経路の選択が可能になります。



注) → は渋滞の渋滞、→ は渋滞を避ける

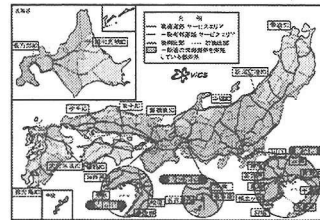
また、次の図のように、ディスプレイにVICS情報を簡単な図形で表示することもできます。パターン化されたシンボルな図形や文字によって渋滞箇所や区間旅行時間が表示されるので、走行地点前方の道路交通状況がひと目でわかり、経路選択の参考になります。



このVICSには以下のような魅力があります。

- リアルタイムの道路交通情報により、渋滞を回避でき、運転時間を短縮できます。
- 最新の交通状況を把握できるので、たとえ避けられない渋滞でも先が見通せることにより、心理的な安心が得られ、安全運転ができます。
- 駐車場の満空情報や交通規制・工事情報の把握により、迷走・誤走を避けることができます。
- 通常のカーナビの他にVICS対応車載機(VICSユニット)さえ購入すれば、上記のような交通情報を無料でご利用いただけます。
- このシステムを拡張することによって、情報提供会社から近隣のレストランやイベント情報などを入手したり、各種問い合わせをしたりする(別途、有料)ことも、今後、可能になります。

このVICSは1996年4月から世界に先駆けて実用化され、国内では高速道路と都市高速道路の全線、および下記の地域で既に供用されています。VICSユニットの累計出荷台数は平成13年度第1四半期には300万台を突破し、カーナビ出荷台数の約1/3がVICS情報の取得が可能になっています。



注) 図や写真は大日本VICSセンターホームページ (<http://www.vics.or.jp>) からの転載です。

図-2 VICSの機能と拡張性の方向の説明内容

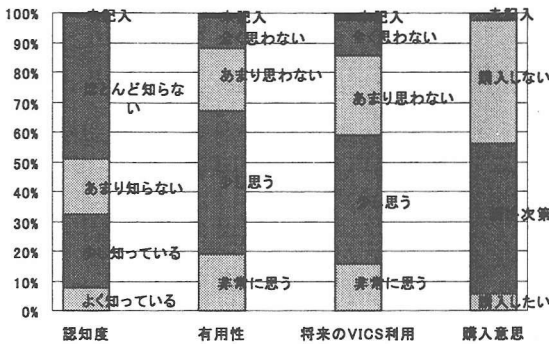


図-3 VICSの購入意思などの分析結果

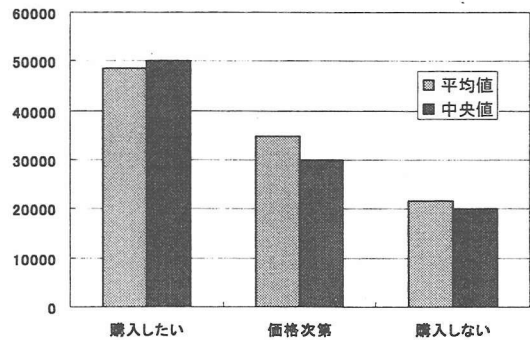


図-4 VICSに対する最大支払意思額 (単位: 円)

4) 最後に、前述の主要な自動車トリップに対する VICS 情報の利用意向と

5) VICS-unit 購入の際の支払意思額を聞いている。支払意思額の質問形式は二段階 2 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ランダムに抽出した熊本都市圏内の 1,190 世帯のうち、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、回答者の属性の偏りを少なくするため

に各世帯に 2 票ずつ配布した。回収数は 312 票、有効回答数は 218 票であった。

(2) 集計分析結果

VICS の認知度や購入意思などに対する集計分析結果を図-3に示す。当初の VICS に対する認知度は低いものの、VICS 機能の説明後はその有用性や将来の利用可能性に対して高い支持が得られている。また、購入意思に関しては約半数が価格次第であり、45%は購入しない

という回答であった。自由回答方式で尋ねた最大支払意思額の平均値、中央値はそれぞれ 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-4 に示すとおりであり、購入する意志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があることが分かった。

(3) 支払意思額データによる道路交通情報提供システムの価値推計

道路交通情報提供システム導入に対する便益を評価する手法としては、i) 何らかの方法で VICS-unit の需要関数を推定した後、消費者余剰を計測する方法、ii) 直接的に VICS サービスに対する支払意思額（以後、WTP と記す）をたずねることにより提供情報の価値を評価する方法、iii) 交通ネットワーク上で行動規範に整合した配分シミュレーションを行って利用者便益を計測する方法などが考えられる。

このうちの ii) は、CVM に代表されるように環境の変化に対する支払意思額や受入補償額を人々に尋ねること、本来は非市場財の価値を直接把握する方法である。VICS-unit はすでに価格が付いている市場財であるが、調査対象地域では 2001 年 9 月に運用が開始されたばかりであり、利用者の大半はその提供するサービスを楽しんでいないこと、VICS-unit をナビに追加的に装備することによって道路交通情報を入手できることから、VICS-unit に対する支払意思額を VICS が提供する道路交通情報の価値と考えてよいであろう。そこで、「VICS の導入効果に関する調査」の 2 段階 2 項選択方式質問によって得られたデータを用いて、VICS-unit に対する支払意思額モデルを推定した。このとき、VICS 情報の解説内容からいって、被験者は自身の経験している代表的な自動車による交通に対し、VICS 情報による OD 間所要時間の不確実性の改善に対する支払意思額を回答していると考えても良い。また、その値は代表的交通の目的地までの現所要時間 t に依存していると考えられる。そこで、都市圏全体における ATIS 導入の便益推計の際は、 C 円で購入した場合に VICS-unit から得られる効用と元の効用との差 $\Delta V(C)$ に対して次式を用いている。

$$\Delta V(C) = \alpha - \beta_0 \ln C + \beta_1 t \quad (6)$$

本調査では、地図表示型のレベル 3 までの道路交通情報を取得可能な VICS-unit の一般的な市場価格である 7 万円を初期提示額とし、2 回目の提示額は初期提示額に対して “No” と答えた場合は 30,000 円から 65,000 円まで、“Yes” の場合は 75,000 円から 90,000 円まで、それぞ

表-2 支払意思額モデルの推定結果

説明変数	パラメータ値	t 値
定数項	36.49	5.65
提示額 (円)	3.56	5.93
所要時間 (分)	0.02	1.82
WTP の中央値 (円)	31,301	
WTP の期待値 (円)	32,091	
対数尤度	-124.707	
サンプル数	200	

れ 5,000 円きざみの価格をランダムに提示する 2 段階 2 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。

WTP モデルの推定結果を表-2 に示す。すべての変数について推定されたパラメータは 10% の水準で統計的に有意であった。この結果から、OD 間の所要時間は支払意思額に影響を及ぼしているといえる。また、所要時間を考慮した支払意思額は、サンプルごとに支払意思額を求めた後にその平均値、および中央値を計算したものであり、それぞれ 31,301 円、32,091 円となった。

4. 未知パラメータの推定法

(1) 知覚所要時間の分散パラメータの推定

[MSUE/ATIS] モデルを実ネットワークへ適用し、均衡フローと同時に ATIS 導入の便益を計測するためには、モデルに含まれる知覚所要時間の分散パラメータ θ_g ($g=1,2$) と ATIS 情報利用率モデルを特定化するパラメータ α 、 β をあらかじめ推定しておく必要がある。

θ_g のうち、ATIS 情報利用者については提供された所要時間情報にしたがって最短所要時間経路を選択するため、 $\theta_2 = +\infty$ と仮定しても良いと考えられる。一方で、ATIS 情報の非利用者の θ_1 については、ATIS が運用されていない地域において、Logit 型確率均衡配分によるリンク交通量の推計値が観測交通量と最も適合する値を設定すればよい。ここでは、 θ_1 を少しずつ変化させながらモデル推定値と観測値が最も適合する値を探索していく方法を用いた。

θ_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を図-5 に示す。リンク総数 5,594、ノード数 2,308、セントロイド数 177 で構成される熊本市圏 PT ネットワークである。リンクはその特性や種別によって 69 種類に分類されており、リンクコスト関数に



図-5 熊本市圏ネットワーク

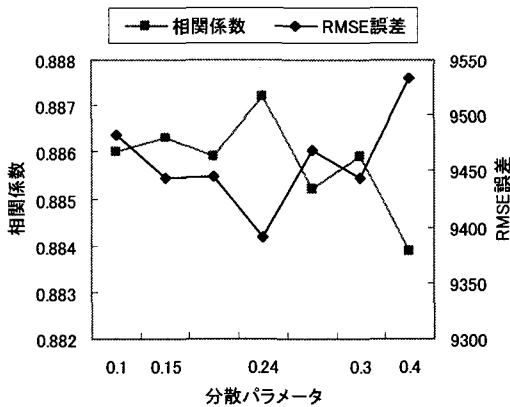


図-6 相関係数とRMSE誤差

はBPR型を採用している。また、リンク交通量が実測されている道路区間数は、国道が36箇所、県道が67箇所の計103箇所である。分散パラメータ θ_1 の変動に対する相関係数とRMSE誤差の値を図-6に示す。これより、 $\theta_1 = 0.24$ の時に実測値と推定値のRMSE誤差が最小、かつ相関係数が最大となっている。また、RMSEを構成する成分比などの適合性評価指数も良好な値を示しており、最適値であるといえる。

(2) ATIS情報利用率モデルの推定

情報利用率モデルのパラメータ α, β は、ATISが既に導入されている地域において、情報利用時/非利用時の有効経路の所要時間 c_k^r とATIS情報利用率 $\text{Pr}[2|rs]$ の実績データが収集できれば、非集計、または集計型のLogitモデルとして推定可能である。しかし、これらのデータの収集は容易でない上、利用可能経路の所要時間データ

の信頼性は高くないと考えられる。そこで、「VICSの導入効果に対する調査」から得られるVICS-unit購入に対する支払意思額データを用いた推定法を提案する。

支払意思額調査時のドライバーのVICS-unitに対する支払意思額 WTP_{rs} は、VICS導入後の改善後の rs -OD間の確実性水準 $S_{rs}^{2(b)}$ を想定して回答されていると考えられるため、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を

$$U_{rs} = V_{rs} + \varepsilon_{rs} \quad (7)$$

とし、その確定項 V_{rs} の関数形として

$$V_{rs} = \Omega_{rs} + \mu S_{rs} \quad (8)$$

と仮定する。ここで、 Ω_{rs} は可処分所得、 S_{rs} は式(3)に示した rs -OD間トリップの確実性指標値、 μ はその限界効用値(貨幣換算値)である。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値 $V_{rs}^{(a)}$ は

$$V_{rs}^{(a)} = \Omega_{rs}^{(a)} + \mu S_{rs}^{(a)} \quad (9)$$

である。一方、VICS導入後(以後、添え字(b))に、VICS-unitを購入して所要時間情報を利用することによって得られる間接効用値 $V_{rs}^{2(b)}$ 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 $\Omega_{rs}^{(a)} - WTP_{rs}$ と情報利用時の確実性水準 $S_{rs}^{2(b)}$ によって

$$V_{rs}^{2(b)} = (\Omega_{rs}^{(a)} - WTP_{rs}) + \mu S_{rs}^{2(b)} \quad (10)$$

で表される。この WTP_{rs} は、図-7に示すようにVICS導入後の確実性水準 $S_{rs}^{2(b)}$ を保持したままで導入前の効用水準 $V^{(a)}$ へ戻すために家計が支払ってもよい貨幣の最大額であり、

$$\Omega_{rs}^{(a)} + \mu S_{rs}^{(a)} = (\Omega_{rs}^{(a)} - WTP_{rs}) + \mu S_{rs}^{2(b)} \quad (11)$$

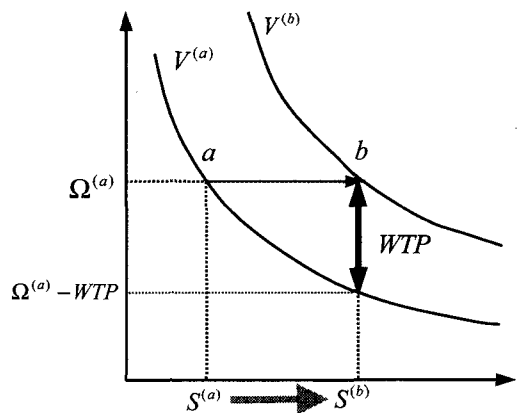


図-7 WTPの定義

を満足する WTP_{rs} で定義される。これより

$$S_{rs}^{2(b)} = \frac{1}{\mu} WTP_{rs} + S_{rs}^{(a)} \quad (12)$$

なる関係が成立する。

この WTP_{rs} の値は表-2の支払意思額モデルより推定することができる。また、VICS 導入前の確実性水準 $S_{rs}^{(a)}$ 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、[MSUE/ATIS] モデルから得られる $S_{rs}^{2(b)}$ と、回答時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 α と β が存在するはずである。

このような α と β とを以下の手順で求める。

Step-1: α と β の初期値 $\alpha^{(0)}, \beta^{(0)}$ を設定する。 $n \rightarrow 0$

Step-2: $\alpha^{(n)}, \beta^{(n)}$ を用いた [MSUE/ATIS] モデルにより、

$$S_{rs}^{1(b)} \text{ や } S_{rs}^{2(b)}, P(2|rs) \text{ を求める。}$$

Step-3: 式(12)を式(1)に代入し、整理すると

$$\ln \frac{1-P(2|rs)}{P(2|rs)} = \alpha + \beta(S_{rs}^{1(b)} - S_{rs}^{(a)}) - \frac{\mu}{\beta} WTP_{rs} \quad (13)$$

を得る。この $P(2|rs)$ と $S_{rs}^{1(b)}$ は $\alpha^{(n)}, \beta^{(n)}$ の下での [MSUE/ATIS] モデルの解である。また、 WTP_{rs} と $S_{rs}^{(a)}$ は既知であるので、重回帰分析によって $\tilde{\alpha}, \tilde{\beta}, \tilde{\mu}$ を推定する。

Step-4: $|\alpha^{(n)} - \tilde{\alpha}| \leq \varepsilon_{\alpha}, |\beta^{(n)} - \tilde{\beta}| \leq \varepsilon_{\beta}, |\mu^{(n)} - \tilde{\mu}| \leq \varepsilon_{\mu}$ であれば終了する。そうでなければ、 $\alpha^{(n)} = \tilde{\alpha}$, $\beta^{(n)} = \tilde{\beta}$, $n \rightarrow n+1$ として Step-2 に戻る。

ここで、 $\varepsilon_{\alpha}, \varepsilon_{\beta}, \varepsilon_{\mu}$ は収束判定基準である。今回は、 $\alpha=0$ として β だけを推定した。7 回の繰り返し計算により $\beta=0.0129$ (t 値=145.6), $\mu=3.818$ という結果が得られた。 β の符号は正となり、確実性指標値が大きいほど ATIS 情報利用率も大きくなるという理論の符号となっている。

5. 熊本市都市圏における ATIS 導入の便益推計例

(1) 支払意思額による便益推計

推定した VICS-unit に対する WTP を用いて熊本市都市圏における ATIS 導入の便益を試算した。試算の対象とした熊本市都市圏は、人口約 92.0 万人であり、平成 12 年度 PT 調査の自動車の総トリップ数は 1,221,683 トリップ/日である。

都市圏全体の ATIS 導入による便益は

$$S = \sum_{rs} q_{rs} \cdot WTP'(t_{rs}) \cdot P(t_{rs}) \quad (14)$$

表-3 所要時間を考慮した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 (万円)	0.77	6.14
所要時間 (分)	0.026	1.91
WTP の中央値 (円)	37,122	
WTP の期待値 (円)	35,817	
尤度比	0.52	
サンプル数	113	

表-4 情報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 (分)	0.0031	0.03
尤度比	0.04	
サンプル数	194	

により計測する。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、支払意思額モデルから推計される $WTP(t_{rs})$ 値から

$$\sum_{n=1}^N \{WTP'(t_{rs}) \cdot d / (1+i)^{n-1}\} = WTP(t_{rs}) \quad (15)$$

によって変換される。ここで、 i は割引率、 N は使用年数、 d は年間使用年数であり、それぞれ 0.02/年、5 年、200 日を用いた。また、 $WTP(t_{rs})$ は VICS の購入意思質問に対して「購入したい」、「価格次第」と回答したサンプルのみを用いて、別途推定した。支払意思額モデルの推定結果を表-3に示す。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。支払意思額の平均値、中央値はそれぞれ 37,122 円、35,817 円となり、前述の結果と比較すると当然ながら、高い値が得られた。

同様に、 $P(t_{rs})$ は rs -OD ペア間の VICS 情報利用率であり、将来の VICS の利用意向質問に対して「非常に思う」、「少し思う」とした回答者を VICS 情報利用者として Logit モデルにより推定した。推定結果を表-4に示す。推定の結果、閾値、所要時間とも統計的に有意ではなかった。所要時間は支払意思額には影響を与えていたが、VICS 利用率には影響を及ぼさない結果となった。しかし、パラメータ値が正となっていることからわかるように、実際には目的地までの所要時間が大きいほど VICS 利用率は高くなると考えられるので、このモデル

を VICS 情報利用率モデルとして用いた。

便益推定の際、ATIS 導入後の OD 間所要時間は予測不可能であるために現況値を用いざるを得ない。すなわち、 $\theta_1 = 0.24$ を用いて Logit 型確率均衡配分を行った際の OD 間の均衡所要時間を用いている。その結果、熊本市圏における ATIS の導入便益は、1 日あたり約 1,832 万円、1 年間では約 36.6 億円という結果が得られた。

(2) [MSUE/ATIS] モデルによる便益推計

ATIS 導入による社会全体の便益は導入前の便益 $TS^{(a)}$ と導入後の便益 $TS^{(b)}$ との差で表すことができる。本モデルを用いる際、day-to-day に ATIS 情報を参照することで得られる社会的便益は、式(3)の定義に従って所要時間情報の利用/非利用ごとの不確実性指標 S_n^g で計測する。そのとき、ATIS 導入前/後の総便益は、それぞれ

$$TS^{(a)} = \frac{1}{\beta} \sum_n \bar{q}_n \ln[\exp(\alpha + \beta S_n^{(a)})] \quad (16)$$

$$TS^{(b)} = \frac{1}{\beta} \sum_n \bar{q}_n \ln[\exp(\alpha + \beta S_n^{(b)}) + \exp(\beta S_n^{2(b)})] \quad (17)$$

となり、ATIS 導入による社会的便益は

$$TS = TS^{(a)} - TS^{(b)} \quad (18)$$

として求めることができる。この便益を金額ベースで表すには、先に推定された確実性指標の限界効用値 $\mu = 3.818$ を乗じて変換すればよい。今回の試算では割引率や使用年数、年間使用年数については、前述した値と同じ値を用いている。[MSUE/ATIS] モデルを用いて熊本市圏における便益を試算した結果、表-5に示すように、1 日当たり約 2.1 億円、1 年間では約 424.4 億円という結果が得られた。

一方、[MSUE/ATIS] モデルを用いて推計される便益は、支払意思額モデルによる便益額の約 10 倍にもなっている。これは、ATIS 導入により、情報利用者だけでなく情報の非利用者にも所要時間の短縮が生じ、不確実性指標値が減少したために、彼らにも便益が生じたためである。一方で、支払意思額モデルによる推計法では情報利用者だけの直接便益しか計測できないために、推計される便益は過小となる。このことから、[MSUE/ATIS] モデルによる ATIS 導入便益の評価法は有用である。

(3) 西遠都市圏の便益との比較分析

ATIS 導入の効果はどのような交通特性を持つ地域でより高いかを検討するために、同様の試算を浜松市を中心とする西遠都市圏でも行った。西遠都市圏は人口約 78.8 万人、自動車の総トリップ数 1,666,002 トリップ/日

表-5 [MSUE/ATIS]モデルによる便益推定結果

	熊本市圏	西遠都市圏
$TS^{(a)} - TS^{(b)}$	55,576,879.9	78,806,894.3
便益額 1 日	212 百万円	301 百万円
1 年	42,438 百万円	60,177 百万円

表-6 両都市圏のトリップ特性

	熊本市圏	西遠都市圏
総自動車トリップ数	998,277	1,224,020
平均トリップ時間	42.70 分	48.22 分
総走行時間/総走行距離	1.069 分/km	1.328 分/km

であり、熊本市圏よりも都市圏人口はやや小さいものの、総自動車トリップ数は約 35%も多い。本来、 $WTP(t_n)$ 、および $P(t_n)$ のモデルは分析対象地域での調査によって推定するのが適切であるが、調査を実行していないので、ここでは熊本市圏で推定されたモデルを用いている。その結果、西遠都市圏における ATIS の導入便益は 1 日あたり約 3,363 万円、1 年間では約 67.2 億円となった。

次に、[MSUE/ATIS] モデルを用いて ATIS 導入便益の推計を行った。西遠都市圏 PT 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 で構成されている。[MSUE/ATIS] モデルの未知パラメータのうち、情報非利用者の知覚所要時間の分散パラメータ θ_1 について熊本市圏と同様の方法で推定を行ったところ、 $\theta_1 = 0.26$ で現況再現性が最も高いという結果が得られた。また、情報利用率モデルは熊本市圏のものをそのまま用いた。限界効用 μ に関しても地域によって著しく値が異なるとは考えられないので同じ値を用いた。その結果、便益額は 1 日あたり約 3.0 億円、1 年間では約 601.8 億円となった。

両都市圏の便益試算結果を比較すると、支払意思額モデルでは約 2 倍の、[MSUE/ATIS] モデルでは 1 日あたり約 9,000 万円、1 年間では約 177.4 億円もの差が生じている。この理由としては、表-6に示すように、都市規模は熊本市圏と同程度であるものの、西遠都市圏の方が総自動車トリップ数だけでなく平均トリップ時間、単位距離当たりの走行時間が大きいために、OD 間の不確実性指標の改善効果がより大きくなったためと考えられる。これらの結果より、交通混雑が激しく、平均トリップ時間の長い地域で ATIS はより高い効果が期待できる。

6. おわりに

以下に、本研究の成果と課題を列挙する。

- 1) 道路交通情報提供システムの導入便益の評価方法を提案した。その一つは支払意思額調査データを用いた推計法であり、その購入によって所要時間の不確実性の改善を可能にする VICS-unit への支払意思額モデルに基づくものである。他の一つは道路交通情報利用需要変動型多種流確率均衡モデル [MSUE/ATIS] を用いた方法である。
- 2) 後者を実際の道路網に適用可能にするために、モデルに含まれる未知パラメータの推定方法を提案した。
- 3) これらの方法を用いて熊本都市圏における ATIS 導入効果の便益試算を行った結果、前者の方法では1年間で約36.6億円、後者では約424.4億円の便益が生じることが分かり、道路交通情報提供システムの価値は極めて高い。また、ATIS 情報の非利用者の便益をも計測可能な [MSUE/ATIS] モデルは ATIS 導入効果の評価モデルとしては支払意思額モデルよりも有用である。
- 4) 西遠都市圏でも同様の試算を行い、両都市圏を比較することによって、ATIS 導入効果が高くなる地域特性を明らかにした。その結果、交通混雑が激しく、平均トリッ

プ時間の大きな地域ほど ATIS 導入はより高い。

5) ここで計測した便益は定常的交通だけを対象にしたものである。しかし、道路交通情報によって突発的な工事や事故による交通混雑を回避できるなど、非日常的な交通に対しての効果も非常に高い。したがって、ここで算出された便益額はまだ過小である。

6) 一方で、全てのモデルは所要時間だけの変数である。より有用な便益評価モデルにするためには、トリップ目的などのトリップ属性や提供情報に対するドライバーの選好の異質性などを考慮したモデルに拡張することが必要であろう。

7) また、道路交通情報の利用の仕方は様々であり、ここで仮定しているように目的地までの最短時間経路を把握するためだけに利用されているわけではない。提供情報の利用のされ方ごとに効果を把握することが必要である。

参考文献

- 1) 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

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*

溝上章志**・竹隈史明***

本研究では、VICS の導入効果に対する調査データによって推定された支払意思額モデルを用いて、道路交通に対する提供情報の価値を評価し、ネットワーク全体における便益推計を行った。一方で、道路交通情報利用需要変動型多種流確率均衡モデルを実道路ネットワークに適用するために、観測交通量に適合する知覚所要時間の分散パラメータを、支払意思額推計値を用いて情報利用率モデルを特定化するパラメータを推定した。最後に、これらの結果を用いて熊本都市圏と西遠都市圏における ATIS 導入便益の試算を行ったところ、ATIS 導入による便益額は非常に高いこと、交通渋滞が激しく、平均トリップ時間も長い地域でその導入効果が高いことが明らかになった。

Assessment for Advanced Traveler Information Systems by Network Equilibrium Analysis*

By Shoshi MIZOKAMI**・Fumiaki TAKEKUMA***

This study proposed the introductory effect of advanced traveler information systems using two methods, WTP and [MSUE/ATIS] model. First, we performed the citizen perception survey to the introductory effect of VICS-unit. We evaluated the value of ATIS by WTP survey, and estimated the benefit. Furthermore, the unknown parameter of [MSUE/ATIS] model was estimated using WTP model. Finally, [MSUE/ATIS] model was applied to Kumamoto Urban Area and Seien Urban Area in order to estimate the benefit. We found that the introductory of ATIS in the area, where traffic congestion is heavy and travel cost is large, is effective.
