

経路誘導のための交通情報システムの経済評価

セントラルコンサルタント(株) 正会員 ○ 日生 健二
鳥取大学工学部 正会員 小林 潔司

1. はじめに

交通情報システムは、公共主体が全ての(一部の)ドライバーに対して経路の走行条件に関する情報を事前に与え、経路選択行動を間接的に誘導することを目的とする。本研究では、路側の変可情報板やラジオを用いた交通情報提供のように、公共主体がある地点を通過する全てのドライバーに情報を提供するような交通情報システムをとり上げる。そして交通情報システムの導入による経済効果を分析するために、ドライバーの学習行動による交通情報の信頼性を内生化したような交通情報システムの経済便益評価モデルを提案する。

2. 経路誘導問題の基本構成

まず経路誘導問題の基本構成について概説してみる。図-1に示すような簡単なネットワークを考えてみる。ドライバーは各経路の内々交通量を事前には知ることができない。彼はA点において公共主体によるメッセージを受け取り経路選択を行う。この際、利用可能なそれぞれの経路に対して経路所要時間の分布に関して主観的期待を形成する。その上で、期待効用を最大にする経路を選択する。A点で提供されるメッセージは、次の2つから構成される情報システムに基づいてドライバーに提供される。すなわち、(1)各経路上のモニタリングセンサーを用いて当該期に実現されるであろう走行時間を予測するメカニズム Γ 、(2)予測メカニズムに基づいてドライバーに提供すべき交通情報の内容(メッセージ)を決定する情報提供ルール Λ である。ここで、情報システムを $\theta = (\Gamma, \Lambda)$ として表す。情報システム θ のもとメッセージ集合を集合 $\eta(\theta)$ で定義する。本研究では以下の3つの情報提供ルールを考える。すなわち、(1)予測される各経路の走行時間を通知するルール Λ_a 、(2)選択を推奨する経路を指示するルール Λ_b 、(3)経路1に関する渋滞情報を通知するルール Λ_c である。

3. 経路選択行動のモデル化

ドライバーの経路選択行動をランダム期待効用モデルを用いて定式化する。経路 i に対する間接効用関数を

$$V_i(Y, \omega_i, t_i, \varepsilon_i) = \gamma Y + v(\omega_i, t_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

に特定化する。ここで、 γ は所得の限界効用(定数)、 ω_i は経路 i に特有な変数、 t_i は経路所要時間を表す確率変数であり、ドライバーがその値を制御する事ができない。一方、 ε_i はその時々状況、気分などにより変動する私的情報であり、 $E[\varepsilon_i] = 0$ を仮定する。ここで、私的情報は需要側の不確実性に相当し、経路走行時間は供給側の不確実性に相当する。このように、これらの確率変数はそれぞれ異なったメカニズムで生起するため、確率変数 ε_i, t_i の独立性を仮定する。また、メッセージ $e \in \eta(\theta)$ が提供された場合ドライバーが予測する経路 i の走行時間

t_i の確率分布(主観的期待)を確率密度関数 $\tilde{\pi}_i(t_i; e)$ で表すと、経路 i に対するランダム期待効用関数は以下のように表現できる。

$$\begin{aligned} EU_i(Y, \omega_i, \varepsilon_i; e) &= \gamma Y + \overline{EU}_i(\omega_i; e) + \varepsilon_i \\ &= \gamma Y + \int_{-\infty}^{\infty} v(\omega_i, t_i) \tilde{\pi}_i(t_i; e) dt_i + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (2)$$

と表せる。ここで、 $\overline{EU}_i(\omega_i; e)$ はメッセージ e が提供された下での経路 i の主観的期待の確定項(以下、確定期待効用と呼ぶ)である。ドライバーは式(2)を最大にする経路を選択する。情報システムの経済効果は情報システムの導入されていない状態 ψ (null情報システム)から導入された状態 θ (情報システム θ)に変化することに対するドライバーの支払意思額として計測できる。しかしながら、ランダム期待効用モデルを用いて経済便益を評価する場合、供給側の不確実性に関するドライバーの主観的期待と需要側の不確実性である私的情報という分析者には観測できない内部情報が存在する。本研究では、ドライバーの主観的期待は学習過程を通じて実際に実現する客観的な走行時間の確率分布に近似的に一致するというRE仮説を用い、確定期待効用 $\overline{EU}_i(\omega_i; e)$ を計測することを可能とする。

4. 支払意思額の定式化

支払意思額を計測する場合、支払意思額の計測時点と不確実性の生起時点の時間的順序関係が問題となる。経路選択においては、以下のような理論的順序関係が存在する。(1)交通情報システムの導入決定、(2)経路情報の提示、(3)私的情報の確定、(4)経路選択の決定、(5)経路走行時間の確定。ドライバーの経路選択は1回のみではなく、時間軸上で経路選択(2)から(5)までが繰り返される。交通情報システムの経済便益評価は交通情報システムが導入される以前において行われるが、理論時間軸上のどの時点の支払意思額に着目するかにより異なった経済便益指標が定義できる。1つには、(5)が終了した時点、つまり供給側と需要側の不確実性が確定した事後の確定効用に基づいて求めた支払意思額を集計化する。これを期待消費者余剰として定義する。また、支払意思額の計測時点を経路情報が提供される以前とすることもできる。この場合、需要側と供給側の双方に不確実性が存在し、この双方の不確実性を含めたシステム全体の不確実性の変化に対するドライバーの支払意思額を計測する。以下では、これをオプション価格と呼び定義する。オプション価格は、交通情報システムの導入により変化する不確実性そのものに対する支払意思額を計測することを目的とする。ここで、 $\zeta_i(e)$ をメッセージ e が提供された相対頻度と定義する。また、需要側の不確実性である私的情報の分布はワイブル分布 $W(0, \pi^2/6\lambda^2)$ に

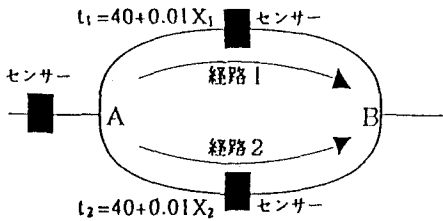


図-1 経路誘導問題

従うと仮定する。このとき、メッセージ e に対する条件付きオプション価格 $OP(e; \theta)$ は以下の様に表現できる。

$$OP(e; \theta) = \frac{1}{\gamma\lambda} \ln \left\{ \frac{\sum_{j_1=1}^m \exp[\lambda \bar{E}U_{j_1}(\omega_{j_1}; e)]}{\sum_{i_0=1}^m \exp[\lambda \bar{E}U_{i_0}(\omega_{i_0}; \phi)]} \right\} \quad (3)$$

さらに、情報システムの導入による経済効果を表すオプション価格は以下の様に表現できる。

$$OP(\theta) = \frac{1}{\gamma\lambda} \sum_{e \in \eta(\theta)} \zeta(e) \ln \left\{ \frac{\sum_{j_1=1}^m \exp[\lambda \bar{E}U_{j_1}(\omega_{j_1}; e)]}{\sum_{i_0=1}^m \exp[\lambda \bar{E}U_{i_0}(\omega_{i_0}; \phi)]} \right\} \quad (4)$$

次に、各メッセージ e が提供された単位期間集合ごとに支払意思額を計測すると、各メッセージの価値を表す指標として条件付き期待消費者余剰 $E[CS(e; \theta)]$ を以下の様に定義することもできる。

$$E[CS(e; \theta)] = \frac{1}{\gamma\lambda} \ln \left\{ \frac{\sum_{j_1=1}^m \exp[\lambda \bar{E}U_{j_1}(\omega_{j_1}; e)]}{\sum_{i_0=1}^m \exp[\lambda \bar{E}U_{i_0}(\omega_{i_0}; \phi)]} \right\} - \frac{1}{\gamma} \left\{ \sum_{i_0=1}^m p_{i_0}(\phi) \{ \bar{E}U_{i_0}^{\theta}(\omega_{i_0}; e) - \bar{E}U_{i_0}^{\theta}(\omega_{i_0}; \phi) \} \right\} \quad (5)$$

ここで、 $\bar{E}U_{i_0}^{\theta}(\omega_{i_0}; e)$ は、 $null$ 情報システム下においてメッセージ e が提供された期間集合に着目したとき、その期間集合における $null$ 情報システム下で定義する事後の確定効用の平均値である。 $p_{i_0}(\phi)$ は $null$ 情報システム下におけるドライバーの経路 i の選択確率であり、ロジットモデルで表現できる。さらに、以上の消費者余剰をすべてのメッセージにわたって集計化して求めた情報システムに対する期待消費者余剰は $OP(\theta)$ に一致する。また、内々交通のドライバーに対する影響を分析するため、内々交通のドライバー1人当たりの期待消費者余剰の平均値は $E[CS(\theta)]_{in}$ 、内々交通のドライバーを含めた全ドライバーの期待消費者余剰の平均値は $E[CS(\theta)]_{all}$ と定義する。

5. 数値実験結果

本研究では、情報提供ルールとして Λ_a を採用しシミュレーションを行った。各経路の走行時間関数 $t_i = t_i + v_i X_i$ を図-1に示す。内々交通は正規分布(10000, 5000)に従う。ドライバー(3000台一定)はA点においてメッセージを受け取り経路選択を行う。 X は各経路の内々交通と通過交通量の和である。

メッセージの種類と経済効果の関係について考察する。表-1に示すように、メッセージの内容が豊富になるにつれて情報システムの経済価値を表すオプション価格は大きくなっていくことがわかる。また、経路特性と交通情報システムの効果とは密接な関係があると考えられる。

	メッセージの内容	$E[CS(e; \theta)]$ 円	$OP(e; \theta)$ 円	$OP(\theta)$ 円	$E[CS(\theta)]_{in}$ 円	$E[CS(\theta)]_{all}$ 円
Λ_a	1 $e=(130,130)$ 経路1が130分 経路2が130分	0.0	2709.9	231.5	64.2	88.5
	2 $e=(130,140)$ 経路1が130分 経路2が140分	107.6	1836.5			
	3 $e=(130,150)$	192.7	1663.7			
	4 $e=(130,160)$	558.9	886.1			
Λ_b	1 経路1を利用せよ	202.4	202.4	202.4	59.9	85.0
	2 経路2を利用せよ	202.4	202.4			
Λ_c	1 経路1が渋滞	119.4	-917.3	111.4	31.7	42.1
	2 null情報	102.7	1059.6			

表-1 情報システムの経済価値

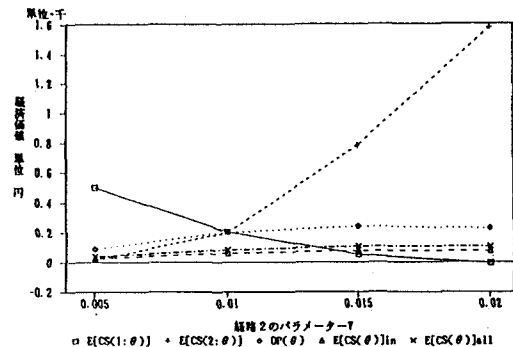


図-2 経路特性と経済便益

ここで、経路2の走行時間関数のパラメーター v_2 の変化による経済効果を分析する。各経路の内々交通量の平均と分散の変化はないものとする。図-2に示すように、経路2のパラメーターが大きくなるにつれてメッセージ2(経路2を利用せよ)の条件付き消費者余剰 $E[CS(2; \theta)]$ は減少する傾向にある。このように、経路特性により提供されるメッセージの価値は変化し、負の経済価値が現れる場合もある。その結果、情報システムの導入が逆効果になることもある。

6. おわりに

交通情報システムによるメッセージの提供が必ずしもドライバーの厚生の上をもちたらずとは限らない場合がありうることが明らかになった。今後は望ましい情報システムの設計方法に関する考察が必要となってくると考える。