経路情報の提供ルールに関する基礎的研究

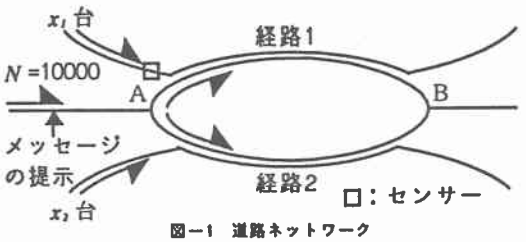
コベルコシステム株式会社　○正員　山下利行　　鳥取大学工学部　正員　多々納裕一
鳥取大学工学部　正員　喜多秀行

1. 研究の目的

今日、大都市圏では、交通混雑が慢性化かつ深刻化してきている。交通混雑を緩和する方法として、ドライバーに経路情報を提供することにより、ドライバーの一部を、交通混雑を起こしている道路から他の代替道路へ誘導することで、交通混雑を解消しようとするものが検討されてきている。経路情報の提供は、ドライバーの走行時間に関する期待を更新させ、選択経路の変化をもたらし、最終的には、ドライバーの厚生水準を改善すると考えられる。

そこで本研究では、情報提供ルールに対応する情報構造を明確に定義し、情報構造が与えられた下でのドライバーの期待形成を合理的期待均衡モデルを用いて定式化する。さらに合理的期待均衡モデルを用いてネットワーク上の交通量の均衡を導出し、ドライバーの厚生水準やシステム導入の便益との関係を分析する。

2. 分析の枠組み



図－1　道路ネットワーク

本研究では、図－1に示すように出発地Aから目的地Bに至る2本の経路（経路1及び経路2）からなる道路ネットワークを想定する。道路ネットワーク上には、合理的でかつ、等質なドライバーが存在するが、これらのドライバーの中には、自らの意志で経路を選択できる(non-captive)ドライバーと、なんらかの理由により選択すべき経路が定まっている(captive)ドライバーがいるものとする。non-captiveなドライバーの数は一定(N)であるが、captiveなドライバーの数(x_1, x_2)は平均$\mathbf{m}_x$、共分散行列Σ_xの二次元正規分布$N(\mathbf{m}_x, \Sigma_x)$に従って確率的に変動するものとする。

現在、情報提供システムの導入が公共主体により計画されているものとする。このシステムは、センサーによって経路1のcaptiveなドライバーの数x_1を計測した後に、メッセージeをすべてのドライバーに提供する。

本研究では、情報提供ルールを経路1を走行するcaptiveなドライバーの数x_1が$\underline{x}$以上のときメッセージ1「経路1混雑」を、そうでないときメッセージ0「経路1非混雑」を、すべてのドライバーに伝えるルールとして特定化する。ここで、メッセージの集合をYとし、センサーによって経路1を走行するcaptiveなドライバーの数x_1を計測した際にメッセージ$e \in Y$が提示される確率を$\lambda(e|x_1)$として表すと、情報構造$\theta = [Y, \lambda]$は、次式で与えられる。

$$Y = \{0, 1\}$$

$$\lambda(e|x_1) = \begin{cases} 1 & (x_1 \geq \underline{x}, e = 1) \\ 0 & (otherwise) \end{cases}$$

従って、望ましい情報構造を決定する問題は、望ましい「しきい値$\underline{x}$」を求める問題に帰着される。

ここで、各経路を走行しているすべてのドライバーが合理的期待を形成していると仮定し、ドライバーの行動を合理的期待均衡モデルを用いて表わせば、情報提供システムによりメッセージeが提示されている場合に、non-captiveなドライバーが経路iを選択する確率$P_i^\theta(e)$は、次の均衡条件式を満たす。

$$P_i^\theta(e) = \frac{\exp(aEU_i^\theta(y|\mathbf{P}^\theta(e)))}{\exp(aEU_1^\theta(y|\mathbf{P}^\theta(e))) + \exp(aEU_2^\theta(y|\mathbf{P}^\theta(e)))}$$

このとき、non-captiveなドライバーの厚生水準$U(y, \theta, \pi^\theta(e))$は、次式で与えられる。

$$U(y, \theta, \pi^\theta(e)) = \sum_{e \in Y} \zeta^\theta(e) a^{-1} \ln\left(\sum_{i=1}^{2} \exp(aEU_i^\theta(y|\mathbf{P}^{*\theta}(e)))\right) - \frac{\gamma}{a}$$

ただし、a：ガンベル分布の分散スケールパラメータ、γ：オイラー定数である。

さらに、経路iを走行するcaptiveなドライバーの厚生水準$W_i(y, \phi, \pi^\theta(e))$も次式で与えられる。

$$W_i(y, \phi, \pi^\theta(e)) = \sum_{e \in Y} \zeta^\theta(e) EU_j^\theta(y|\mathbf{P}^{*\theta}(e))$$

以上の記述より情報提供システム導入後の社会的厚生$SW(y, \theta, \pi^\theta; \phi, \pi^\theta)$は、次式で与えられる。

$$SW(y, \theta, \pi^\theta; \phi, \pi^\theta) = NU(y, \theta, \pi^\theta) + \sum_{i=1}^{2} \mu_i W_i(y, \phi, \pi^\theta)$$

さらに、情報提供システムの導入の便益を定式化する。まず、経路 i を走行する captive なドライバーの便益を等価的オプションプライス OP_i $(i=1,2)$ を定義しよう。

等価的オプションプライス OP_iは、次式の解として与えられる。

$$\sum_{e\in Y}\zeta^{\theta}(e)EU_i^{\theta}(y|\mathbf{P}^{\theta}(e)) = EU_i^{\phi}(y+OP_i|\mathbf{P}^{\phi})$$

次に、non-captive なドライバーの便益を同様に、等価的オプションプライス価格 OPを定義する。

等価的オプションプライス OPは、次式の解として与えられる。

$$U(y,\theta,\pi^{\theta}) = U(y+OP,\phi,\pi^{\phi})$$

したがって、情報システム導入によって生じる総便益 TOPは、次式で与えられる。

$$TOP = N\cdot OP + \sum_{i=1}^{2}\mu_i OP_i$$

3. 数値計算事例

モデル分析を行うにあたりドライバーの 走行時間関数と効用関数を特定する必要がある。そこで、本研究でのドライバーの効用関数と走行時間関数を以下のように特定化する。

まず、ドライバーの経路 i の走行時間関数を $h_i(X_i)$ を準線形と仮定し、次式で与える。

$$h_i(X_i) = a_iX_i + b_i$$

ここで、X_i：経路 i の交通量、a_i, b_i：経路 i のパラメータである。

次いで、ドライバーが経路 i を選択した場合の効用関数 $u(y,z_i,t_i)$ を、次式で与える。

$$u(y,z_i,t_i) = \alpha t_i + \beta(y-z_i)$$

ここで、y:所得、z_i:経路 i の確定走行費用、t_i:経路 i の走行時間 、α,β：パラメータである。　以下では、non-captive なドライバーの数を $N=10000$、効用関数のパラメーターを$\alpha=-0.0246$、$\beta=0.00049$、走行時間関数のパラメーターを $a_1=0.01$、$b_1=40$、$b_2=40$、所得を $y=1000$、経路 1 の captive なドライバーの交通量の平均 μ_1、標準偏差σ_1をそれぞれ 10000、5000 と設定する。この条件のもとで、経路 2 の走行時間関数のパラメーター a_2の異なるケースを設定し、ドライバーの厚生との関係を分析していく。具体的には、表－1 の分析ケースを設定した。

表－1：分析ケース

ケース 1	$\mu_2=10000$	$\sigma_2=5000$	$a_2=0.01$
ケース 2	$\mu_2=10000$	$\sigma_2=5000$	$a_2=0.02$
ケース 3	$\mu_2=10000$	$\sigma_2=5000$	$a_2=0.03$

ケース 1 は各経路を走行する captive なドライバーの数の平均および標準偏差および走行時間関数のパラメーターが等しい場合である。

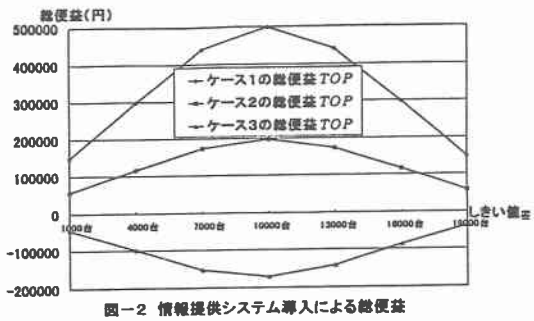
ケース 2、3 では、ケース 1 に比べて経路 2 が狭小な幅員をもつ場合で、ケース 1、ケース 2、ケース 3 の順で幅員の狭小さが増していることを意味している。

結果の一例として、ケース 1、ケース 2、ケース 3 を比較することで、幅員の狭小さが総便益 TOPに及ぼす影響について考察する。

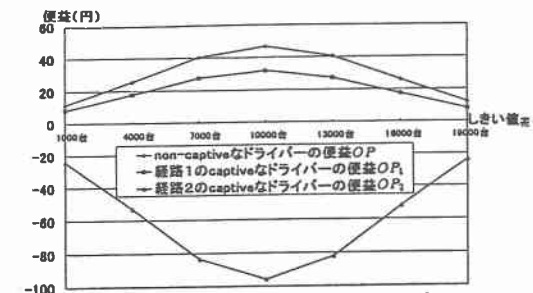
図－2 から、ケース 1、ケース 2、ケース 3 の順に総便益が低下していき、ケース 3 では、総便益が負の値をとっているのが分かる。つまり、ケース 3 では、情報提供システムの導入がかえって、ドライバーの厚生を低下させることが分かる。ケース 3 では、図－3 から、経路 2 を走行する captive なドライバー全体が被る負の便益が、経路 1 を走行する captive なドライバー全体の享受便益を上回ってることが分かる。

4. 分析結果のとりまとめ

最後に、本研究で得られた主な知見をとしては、(1) 多くのケースで経路 1 を走行する captive なドライバーの数の平均をしきい値とすることが望ましいこと、(2) 経路の走行条件（走行時間関数）に極端な違いがある場合には情報提供システムの導入が必ずしも社会的厚生や総便益を高めるとは言えないことを取り上げることができる。



図－2 情報提供システム導入による総便益



図－3 non-captiveなドライバーとcaptiveなドライバーの享受便益(ケース3)