

多種流ネットワーク均衡理論によるVICS対応ナビ普及率予測モデル

○熊本大学 工学部 学生員 本田 秀太
熊本大学 工学部 正 員 溝上 章志

1. はじめに

道路交通状況等の情報提供によりドライバーはより道路状況に対して正確な経路情報を入手することができるので、合理的な経路選択を行うことが可能になる。つまり、情報の有無（本研究ではVICS対応のカーナビを保有か非保有か）によって知覚所要時間のばらつきが異なる2種のドライバーによる経路選択が行われるようになる。本研究では、ドライバーを上記の2つのセグメントに分割し、これらの経路選択規範の相違を考慮に入れた多種流ネットワーク均衡解を求めると同時に、VICS対応ナビ普及率の均衡値を同時推定する数理モデルを構築する。

2. 多種流ネットワーク均衡理論によるフロー

知覚所要費用のばらつきの程度が異なる2種の経路選択主体が存在し、これを経路選択パラメータ θ_{11}, θ_{12} で識別する。両者はネットワーク上の同一のリンクを相互干渉なしに共有する。このような2種の均衡フローは以下の多種流確率均衡フロー問題の解として求めることができる。

$$\min: Z(\mathbf{x}, \mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2) \\ = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(\omega) d\omega + \sum_{g=1,2} \frac{1}{\theta_{1g}} \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} f_{g,k}^{rs} \ln(f_{g,k}^{rs} / q_{rs}^g) \quad (1)$$

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

$$x_a = \sum_{rs} \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{g=1,2} f_{g,k}^{rs} \delta_{a,k}^{rs}, a \in A \quad (3)$$

$$f_{g,k}^{rs} \geq 0, \forall k \in K_{rs}, r \in R, s \in S, g=1,2 \quad (4)$$

ここで、 x_a はリンク交通量、 f_{gk}^{rs} は rs 間セグメント g 別第 k 経路交通量、 q_{rs}^g は rs 間セグメント別OD交通量、 $t_a(x_a)$ はリンクコストである。また、 $\delta_{a,k}^{rs}$ は rs 間第 k 経路がリンク a を含むとき1の値をとるダミー変数である。

3. VICS対応ナビ普及率の定義

2種とは、VICS対応ナビを装備していない主体

(添字1または $uneq$ で表す)と装備した主体(添字2または eq で表す)である。前者は、経路に関する所要費用の情報がないので、より確率的な経路選択を行うであろう。一方、後者はVICS対応ナビによりOD費用に関する情報を取得できることから、より確定的な経路選択を行うことができる。これを、経路選択パラメータの大小関係 $\theta_{11} < \theta_{12}$ で区別する。 $\theta_{12} \rightarrow \infty$ の場合には最短経路選択、つまり確定的均衡配分状態となる。

VICS対応ナビの普及率 $\Pr[eq|rs]$ は、所要費用情報の取得できる場合と情報なしの場合の便益の差 $S_{rs}^1 - S_{rs}^2$ を変数とする以下のようなロジステック関数で内生的に決まると仮定する。

$$\Pr[eq|rs] = \frac{1}{1 + \exp[\alpha + \beta(S_{rs}^1 - S_{rs}^2)]} \quad (5)$$

ここでは便益の差を、1)OD間平均所要費用の節約量¹⁾、2)OD要費用の確実性の増加量の2つの方法で定義したモデルを示す。

1) 平均所要費用の節約量による定義

両者の平均所要費用は以下のように表わされる。

$$S_{rs}^g = \sum_{k \in K_{rs}} P_{rs,k}^g(c_{rs}(f_1, f_2)) \cdot c_k^{rs} \quad (g=1,2) \quad (6)$$

この平均所要費用の算出方法では、経路コストを変数としているため、大規模なネットワークへの適用は困難である。本研究では、以下のようにDial法によって任意の普及率時の確率均衡フローを求める際に得られる rs 別セグメント別リンクフロー $x_{a,rs}^g$ を用いて平均所要費用を算出する方法を提案する。

$$S_{rs}^g = \sum_{a \in A} \sum_{rs} x_{a,rs}^g \cdot t_a(\sum_{g=1,2} \sum_{rs} x_{a,rs}^g) / q_{rs}^g \quad (g=1,2) \quad (7)$$

2) 所要費用の確実性の増加量による定義

両者のOD間所要費用の確実性を表わす指標として、以下に示すOD間の満足度関数値を用いる。

$$S_{rs}^g = -\frac{1}{\theta_{1g}} \ln \sum_{k \in K_{rs}} \exp(-\theta_{1g} c_k^{rs}) \quad (g=1,2) \quad (8)$$

4. 需要変動型確率均衡モデルによる定式化

(1) 等価な最適化問題

VICS 対応ナビ普及率モデルを所要費用の確実性の増加量の関数として定義した場合、VICS 対応ナビの普及率とフローの均衡値は以下の数理適化問題の解として求めることができる。

$$\begin{aligned} \min: & Z(\mathbf{x}, \mathbf{f}_1, \mathbf{f}_2, \mathbf{q}^1, \mathbf{q}^2) \\ &= \sum_{\omega \in \mathcal{A}} \int_0^{\tau_\omega} t_\omega(\omega) d\omega + \sum_{g=1,2} \frac{1}{\theta_{1g}} \sum_{rs} \sum_{k \in \mathcal{C}_{rs}} f_{g,k}^{rs} \ln(f_{g,k}^{rs} / q_{rs}^g) \\ &\quad - \frac{1}{\beta} \sum_0^{\theta_{1g}^2} \left(\ln \frac{\omega}{q_{rs} - \omega} + \alpha \right) d\omega \end{aligned} \quad (9)$$

$$s.t. \quad \sum_{g=1}^2 q_{rs}^g = \bar{q}_{rs}, \forall r \in R, s \in S \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K_g} f_{g,k}^{rs} = q_{rs}^g, \forall r \in R, s \in S \quad (g=1,2) \quad (11)$$

$$x_a = \sum_{rs} \sum_{k \in K} \sum_{g \in \mathcal{I}} f_{g,k}^{rs} \delta_{a,k}^{rs}, a \in A \quad (12)$$

$$q_{rr}^g \geq 0, \forall r \in R, s \in S, g = 1, 2 \quad (13)$$

$$f_{\sigma k}^{rs} \geq 0, \forall k \in K_{rs}, r \in R, s \in S, g = 1, 2 \quad (14)$$

ここで、 $\bar{q}_{rs}$ は既知の rs 間 OD 交通量である。この問題の解が均衡解を与えるのは、その Kuhn-Tucker 条件より明らかなので、証明は省略する。

(2) 計算例

図-1の Hai.Y が用いたものと同じモデルネットワークを用いて、本モデルの感度と数値計算法の有効性を検討した。各リンクの上下（左右）の数字はゼロフロー時所要時間と容量を表す。また、 $t_a(\omega)$ にも Hai.Y のものと同じBPR関数を用いた。パラメータ値は $\alpha=1.75$, $\beta=0.50$, $\theta_{11}=0.01$, $\theta_{12}=0.20$ である。ここでは、普及率の決定に平均所要費用による定義を用いた例を示す。総トリップ数は2000とし、1-12という長トリップと1-7という短トリップが同時にネットワーク上に流れる場合、長・短トリップの交通量の比率の違いによる均衡普及率の変化を示したのが図-2である。短トリップのODが長トリップの経路上にあるため、長トリップの一部は迂回を強いられるが、情報取得の可能なドライバーは短トリップ交通による局所的な渋滞状況の下でもより短い経路を知ることができる。より

確定的な経路選択が可能になるよう VICS 対応ナビの普及率が短トリップより大きくなっている。また、短トリップ比率が増加するほど長トリップにおける普及率の方が短トリップよりも増加率が大きくなっているのが分かるであろう。

5. おわりに

VICS 対応ナビの普及で2種にセグメント化されたドライバーの経路選択規範を考慮に入れた確率的均衡フローと VICS 対応ナビの普及率の予測が可能になった。普及率を定義するモデルのパラメータ α , β を実際のデータからどのように推定するかが今後の課題である。

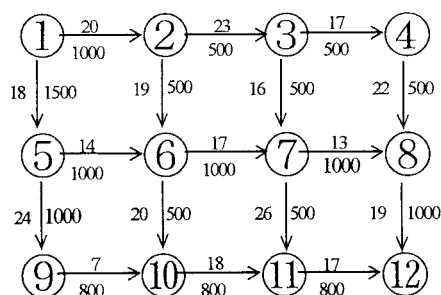


図-1 計算に用いたモデルネットワーク

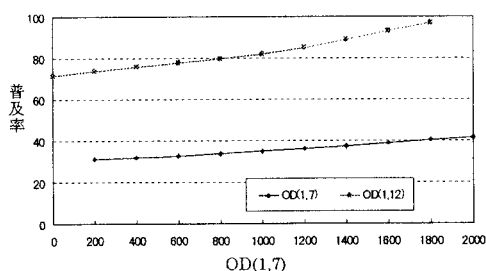


図-2 長・短トリップ比率の増加に伴う普及率の変化

〈参考文献〉

- 1) Yang, H.: Multiple Equilibrium Behaviors and Advanced Traveler Information Systems with Endogenous Market Penetration. *Transpn Res-B*, Vol.32, No.3, pp.205-218, 1998.