

交差点分岐率を用いた均衡状態における経路交通量推定手法に関する一考察

名城大学 学生員 黒川 卓司
 名城大学 正会員 松本 幸正
 名城大学 学生員 堀場 庸介

1. はじめに

利用者均衡配分は、説明責任を有する交通量配分手法として、近年広く用いられるようになってきた。利用者均衡配分の代表的な解法である Frank-Wolfe 法は、リンク交通量を一意に求めることができる。しかしながら、交通網評価などの実務において必要とされる経路交通量は一意に求めることができない。

そこで本研究では、利用者均衡配分から求まる均衡リンク交通量を制約条件とした、ドライバーの経路選択行動を反映可能な経路交通量推定手法を提案する。

2. 均衡条件下における経路交通量推定手法

本研究では、利用者均衡配分時の均衡リンク交通量に一致する経路交通量推定手法として、同時生起確率最大化による手法を用いる。

同時生起確率最大化による方法とは、均衡リンク交通量を制約条件として、経路交通量に関する目的関数を最大にする問題として定式化され、以下の数理最適化問題として表現できる。

$$\max \prod_i \prod_j \frac{q_{ij}!}{\prod_k h_{ijk}!} \prod (p_{ijk})^{h_{ijk}} \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^l h_{ijk} = v_i^* \quad (2)$$

$$\sum_k h_{ijk} = q_{ij}$$

記号の意味は以下のようである。

- v_i^* : リンク l の均衡リンク交通量
 - q_{ij} : ゾーン $i-j$ 間の OD 交通量
 - h_{ijk} : ゾーン $i-j$ 間の第 k 経路交通量
 - p_{ijk} : ゾーン $i-j$ 間の第 k 経路の先験確率
 - δ_{ijk}^l : ゾーン $i-j$ 間の第 k 経路がリンク l を通過する時を 1, その他を 0 とするダミー変数
- 一次の必要条件より以下の式を導くことができる。

$$h_{ijk} = p_{ijk} e^{\sum_l \lambda_l \delta_{ijk}^l} e^{\mu_{ij}} \quad (3)$$

$$\lambda_l = \log \frac{v_i^*}{\sum_i \sum_j \sum_k p_{ijk} \delta_{ijk}^l e^{\sum_{n \neq l} \lambda_n \delta_{ijk}^n} e^{\mu_{ij}}} \quad (4)$$

$$\mu_{ij} = \log \frac{q_{ij}}{\sum_k p_{ijk} e^{\sum_l \lambda_l \delta_{ijk}^l}} \quad (5)$$

λ_l と μ_{ij} は制約条件(2)に対するラグランジュ乗数で、式(4), (5)を収束条件を満たすまで繰り返し計算し、最後に式(3)で経路交通量を求める。

このモデルでは、先験確率の値を適切に与えることで、実際の経路交通量やドライバーの経路選択行動を反映可能な経路交通量を求めることができる。ドライバーの経路選択行動を反映した先験確率を与えるために、実際のネットワークにおいて観測することができる指標の 1 つである交差点分岐率を用いる。目的関数を第 1 項に交差点分岐率の残差平方和、第 2 項に先験確率の関数を付加し、以下のように構成する。

$$\min \sum_l \sum_a \alpha (\gamma_{l,a} - \hat{\gamma}_{l,a})^2 + f(p_{ijk}, \beta) \quad (6)$$

$$\text{subject to } \sum_k h_{ijk} = 1.0 \quad (7)$$

記号の意味は以下のようである。

$\gamma_{l,a}$: リンク l から方向 a に対する交差点分岐率

α, β : パラメータ

$f(p_{ijk}, \beta)$: 先験確率の関数

ここで交差点分岐率は、以下のように定義した。

$$\gamma_{l,a} = \sum_i \sum_j \sum_k \eta_{ijk}^{l,a} h_{ijk} / v_i^* \quad (8)$$

$\eta_{ijk}^{l,a}$: リンク l から方向 a を通過する時を 1, その他を 0 とするダミー変数

なお、パラメータ α, β は 1.0 とした。

式(6), (7)を上位問題とし、式(1), (2)を下位問題とした経路交通量推定モデルを構築した。

3. 先験確率の関数の設定方法

上位問題の目的関数第 2 項の先験確率の関数は、均衡状態のプロープデータが得られる場合と得られない場合の 2 種類に分けて定式化した。均衡プロープデータが得られる場合は、均衡状態における実際のドライバーの経路選択行動が把握できるため、先験確率の関数を先験確率と均衡プロープデータの残差平方和とした。均衡プロープデータが正しく得られればよいが、

誤差が含まれる場合もあると考えられる。そのため、誤差を全く含まない場合(Model1)と誤差を含んだ場合(Model2)の2つの場合を考えた。一方、均衡プローブデータが得られない場合(Model3)は、ドライバーの経路選択行動が総走行距離を最小になるように行われるものと仮定し、先験確率の関数をOD間の総走行距離と最短走行距離の残差平方和とした。以下に、2種類に分けて定式化したものを示す。

- 均衡プローブデータが得られる場合 (Model1,2)

$$f(p_{ijk}, \beta) = \sum_i \sum_j \sum_k \beta (p_{ijk} - \hat{p}_{ijk})^2 \quad (9)$$

- 均衡プローブデータが得られない場合 (Model3)

$$f(p_{ijk}, \beta) = \sum_i \sum_j \beta \left(\sum_k d_{ijk} h_{ijk} - c_{ij} q_{ij} \right)^2 \quad (10)$$

d_{ijk} : ゾーン ij 間の第 k 経路の距離

c_{ij} : ゾーン ij 間の最短距離

式(6), (7)は、一次の必要条件より線形方程式で表現することができる。したがって、このモデルでは(全経路数+OD数)元の連立一次方程式を解くことにより、先験確率を求めることができる。

4. 適用事例

図1に示すようなテストネットワーク(ノード数12, リンク数25)において、提案モデルを適用した。ODペア数は、始点を左端の3ノード、終点を右端の3ノードとする計9ODペアとし、OD交通量を100台ずつとした。リンクコスト関数にはBPR関数を使用した。

まず、先験確率を与えて仮想的に計算し、経路交通量、交差点分岐率を求めた。求めた経路交通量と交差点分岐率を真値とし、このとき与えた先験確率を均衡プローブデータとした。

表1は、収束時における経路交通量、交差点分岐率の真値と推定値とのRMS誤差と相関係数を示したものである。経路交通量において、Model2,3はModel1に比べRMS誤差の値は大きくなったものの、相関係数の値はどれも高い値となった。また、交差点分岐率において、Model2,3はModel1に比べRMS誤差の値は若干大きいものの、相関係数の値はどれも高い値となった。このことから、簡単なテストネットワークにおいて、提案したモデルによって十分な推定精度が得られていることがわかった。

次に、観測された交差点分岐率の値が異なる場合において、経路交通量がどのように異なるかを見た。図2は、Model3における交差点分岐率が異なる場合の経

表1 RMS 誤差と相関係数

		RMS 誤差	相関係数
経路	Model1	8.04×10^{-3}	1.000
	Model2	4.263	0.985
	Model3	4.794	0.981
交差点	Model1	1.19×10^{-4}	1.000
	Model2	3.86×10^{-2}	0.998
	Model3	5.45×10^{-2}	0.987

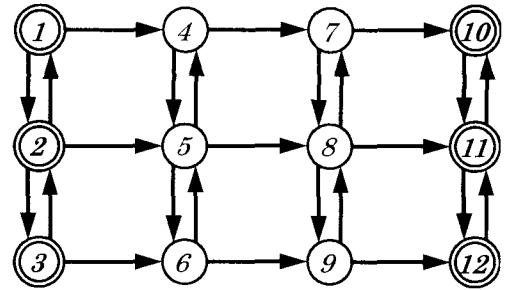


図1 テストネットワーク

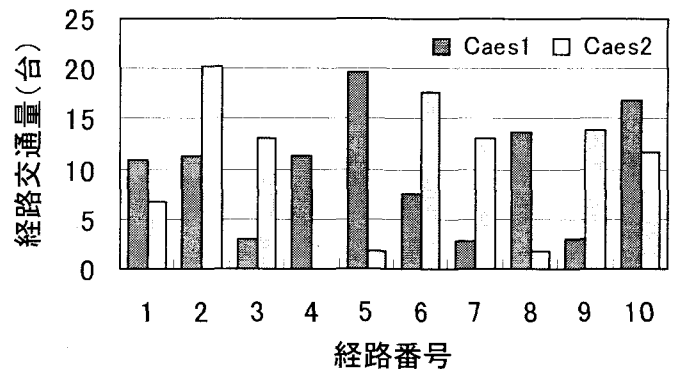


図2 ODペア3における推定経路交通量

路交通量の推定結果を示したものである。図は、その結果のうちCase1とCase2という2つの推定結果である。このことから、観測された交差点分岐率が変化すると、経路交通量も変化することがわかる。なお、この2つの推定結果から算出したリンク交通量は、均衡リンク交通量に一致していた。

5. おわりに

本研究では、経路交通量推定モデルを簡単なネットワークに適用し、そのモデルの妥当性を検証した。その結果、交差点分岐率を用いることで、ドライバーの経路選択行動を反映可能な経路交通量を推定できることがわかった。

今後の課題として、このモデルを用いて交通量予測を行う場合、交差点分岐率をどのような値に設定するかを考える必要がある。また、他の経路選択行動を反映できる指標を明らかにしていく必要もある。