

## 旅行時間のパーセンタイル値に基づく利用者均衡配分モデルの構築

金沢大学大学院 学生員 ○今村 悠太  
 金沢大学環境デザイン学系 正会員 中山晶一郎  
 金沢大学環境デザイン学系 フェロー 高山 純一

### 1. はじめに

実際の道路ネットワークでは、様々な要因により交通需要や旅行時間は変動している。また、ピーク時の交通の多くは通勤・通学などの到着時刻に制約のあるトリップが多く、道路利用者は旅行時間のばらつきを考慮して、目的地までの所要時間を認識していると考えられる。

そこで本研究では、所要時間のばらつきの尺度として、パーセンタイル値（以下、%タイル値）を採用し、前述のような道路利用者の交通行動を表現するモデルとして、所要時間の信頼性を考慮し、旅行時間の%タイル値に基づく均衡配分モデルを構築する。

### 2. モデル概要

#### (1) 交通量の分布

本研究では、正規分布の確率分布を持ったOD交通量をネットワークに配分する。

確定的なOD交通量のデータについては各種調査結果から算出でき、それをOD交通量の平均として捉える。しかし、交通量の分散に関してはデータを得ることが極めて困難であるため、中山ら<sup>1)</sup>の提案した考え方に基づき、以下で示すように、道路ネットワークの経路交通量が互いに独立な正規分布に従い、その分散は平均値の定数倍であると仮定する。

ODペア $rs$ 間のOD交通量を確率変数 $Q^{rs}$ とし、その平均と分散をそれぞれ $E[Q^{rs}]$ 、 $Var[Q^{rs}]$ とする。ここで、 $Var[Q^{rs}]$ は $\eta E[Q^{rs}]$ とし、 $\eta$ は正のパラメータである。

次に、経路交通量は互いに独立であると仮定する。また、ODペア $rs$ 間の経路交通量の平均を $\mu_k^{rs}$ 、分散 $(\sigma_k^{rs})^2$ を $\eta\mu_k^{rs}$ と仮定する。

ODペア $rs$ 間の経路 $k$ の経路交通量の分布は以下の確率分布で示すことができる。

$$F_k^{rs} \sim N[\mu_k^{rs}, \eta\mu_k^{rs}] \quad (1)$$

このような仮定を置くことによって、OD交通量と経路交通量の間には、次式に示すようなフロー保存則が成立する。

$$Q^{rs} = \sum_{k \in K^{rs}} F_k^{rs} \quad \forall r \forall s \forall k \quad (2)$$

$$E[Q^{rs}] = \sum_{k \in K^{rs}} \mu_k^{rs}, \quad Var[Q^{rs}] = \sum_{k \in K^{rs}} (\sigma_k^{rs})^2 \quad \forall r \forall s \forall k \quad (3)$$

また、本来ならばリンク交通量は独立ではないが、実際のネットワークへの適用上、計算量の削減やモデルの簡便性などを考え、各リンク交通量は独立であると仮定する。このとき、正規分布の再生性から、以下の(4)式のようにリンク $a$ の交通量の確率変数 $X_a$ は、正規分布に従う独立な経路交通量 $F_k^{rs}$ の和となり、(5)式のようになる。

$$X_a = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \delta_{a,k}^{rs} F_k^{rs} \quad (4)$$

$$X_a \sim N \left[ \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \delta_{a,k}^{rs} F_k^{rs}, \eta \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \delta_{a,k}^{rs} F_k^{rs} \right] \quad (5)$$

ここで、 $\delta_{a,k}^{rs}$ はODペア $rs$ 間第 $k$ 経路がリンク $a$ を含むときは1、そうでないときは0である。

#### (2) 旅行時間の期待値と分散及び%タイル値

道路リンクの走行時間がBPR関数に従うとすると、自動車のリンク旅行時間 $t_a$ は以下の(6)式で表される。

$$E[T_a] = t_{a0} \left\{ 1 + \alpha \cdot \left( \frac{E[X_a]}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad (6)$$

ただし、 $E[T_a]$ はリンク $a$ の期待リンク旅行時間、 $t_{a0}$ はリンク $a$ の自由旅行時間、 $C_a$ は交通容量、 $E[X_a]$ は交通量、 $\alpha$ 、 $\beta$ はBPR関数のパラメータである。

また、リンク旅行時間の分散は以下の式で算出される。

$$Var[T_a] = E[(T_a)^2] - E[T_a]^2 \quad (7)$$

このように、旅行時間の期待値と分散が算出されるため、旅行時間の%タイル値が計算できるようになる。%タイル値を算出するためには、まず旅行時間が従う分布形を仮定せねばならない。本研究では以下の3つの分布形を仮定してモデルを構築した。

#### (a) 正規分布1

$$T_{k,I_x}^{rs} = E[T_k^{rs}] + I_x \sqrt{Var[T_k^{rs}]} \quad (8)$$

(b) 正規分布2 (テイラー展開)

旅行時間関数を交通量のべき乗として表されるため、正規分布の再生性から旅行時間も正規分布に従うとはいえない。そこで、BPR関数に1次のテイラー展開を施すことにより、交通量の1次式として表現し、交通量が正規分布に従うという仮定に対して、数学的な根拠を与えるものである。このときの旅行時間の%タイル値の算出式は(8)式と同様である。

(c) 対数正規分布 (パラメータ: 平均値, 分散)

正規分布は $-\infty$ まで定義されているが、実際には所要時間が負の値をとることはなく、0以上で定義された対数正規分布を仮定することで、より正確に、またより現実に近い形で分布形を仮定する。

$$T_{k,I_x}^{rs} = \exp(I_x \zeta + \lambda) \tag{11}$$

ここで、

$$\zeta^2 = \ln \left( 1 + \frac{\text{Var}[T_k^{rs}]}{E[T_k^{rs}]^2} \right) \tag{12}$$

$$\lambda = \ln(E[T_k^{rs}]) - \frac{1}{2} \zeta^2 \tag{13}$$

である。

ただし、 $T_{k,I_x}^{rs}$ はODペアrs間のk番目経路の旅行時間の%タイル値、 $I_x$ は標準正規分布表などから得られる標準正規分布のx%タイル値である。

3. 旅行時間が従う分布形の検証

以下の図-1に示すような1OD1Linkのネットワークにおいて、旅行時間の%タイル値を算出し、旅行時間の分布形として最も適切な分布形を検証する。リンクパフォーマンス関数にはBPR関数 ( $\alpha=0.15, \beta=2$ ) を用い、交通量の分散に係るパラメータ $\eta$ は40、道路リンクの自由走行時間は10分、交通容量は1000台である。

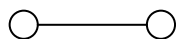


図-1 1OD1Linkのネットワーク

以下の図-2に計算結果を示す。図-2は、交通量と各分布形を仮定した場合の旅行時間の95%タイル値の真値との誤差を示したものである。なお、今回の計算では95%タイル値を用いて計算を行った。

図-2より、真値との誤差は旅行時間の分布形として対数正規分布を仮定した場合が最も小さく、この3つの分布形の中では、対数正規分布が旅行時間の分布形

としては最も近いといえる。

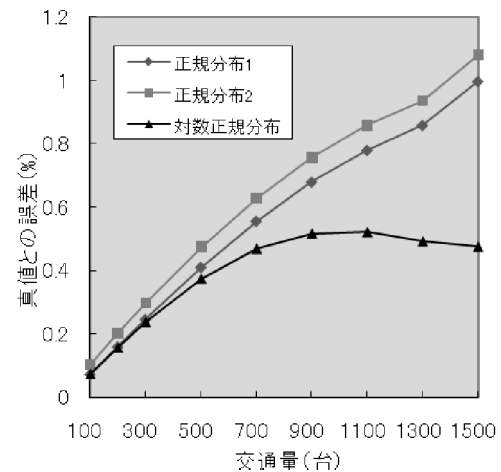


図-2 交通量と旅行時間の真値との誤差の関係

4. 金沢都市圏道路ネットワークへの適用

本研究の均衡配分モデルを金沢都市圏の道路ネットワークに適用し、現況再現性を検証する。

セントロイド数は58、ノード数は178、リンク数は489である。OD交通量の平均は、平成7年第3回金沢都市圏PT調査における平日の朝7時台のデータを基に設定した。OD交通量の分散はリンク交通量の実測値からパラメータ $\eta$ を推定することによって設定するが、金沢市内の交通量の実測値から $\eta=42.0$ とした。

以下の表-1に実際の観測交通量と配分結果の相関を示す。

表-1 配分結果と観測交通量との相関

旅行時間の分布形	観測交通量との相関
正規分布1	0.95708
正規分布2	0.95629
対数正規分布	0.95709
期待値に基づく配分	0.95708

表-1から旅行時間の分布形の違いによる適合度の差は見受けられないが、現況再現性は比較的良いとすることができる。

参考文献

- 1) 中山晶一郎, 高山純一, 長尾一輝, 所俊宏: 現実道路ネットワークの時間信頼性評価のための確率的交通均衡モデル及びそれを用いた情報提供効果分析, 土木学会論文集D, Vol.4, pp.526-536, 2006.
- 2) 中山晶一郎: 交通ネットワークの連結効果と信頼性指標: 統一的な指標としてのパーセントタイル値, 第38回土木計画学研究発表会・講演集 on CD-ROM#302,2008