

信頼性を考慮した利用者均衡配分モデルに関する研究

金沢大学 ○今村 悠太
 金沢大学 正会員 中山晶一郎
 金沢大学 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。特にピーク時には円滑な交通流が妨げられ、目的地までの所要時間は平常時に比べ大幅に増加すると考えるのが自然である。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、道路利用者はその点を考慮し、目的地までの所要時間を少し多めに見積もって行動していると考えられる。

中山ら¹⁾は交通量が正規分布に従う確率分布に従うものとして表現し、旅行時間の不確実性を考慮した配分モデルとして、利用者のリスク態度を考慮した旅行時間に基づく配分モデルを構築した。これにより、所要時間の不確実性(分散)が大きくなる道路に配分される交通量が減少するものとして、利用者の交通行動を表現した。

実効旅行時間は、平均値、標準偏差、標準偏差に関するパラメータから構成されるものであり、確率・統計理論の観点から、ばらつきの指標としての標準偏差は取り扱いが容易である。しかし、分散や標準偏差が必ずしも人が認知するばらつきの尺度と一致するとは限らず、その大きさを直感的に理解することは難しい。

そこで本研究では、所要時間のばらつきの尺度として、直感的な理解が容易なパーセンタイル値(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%タイル値に基づく配分モデルを構築する。

2. モデルの仮定と概念

(1)利用者行動に関する仮定

道路利用者は合理的であり、所要時間に関する情報を十分に持っているものとする。そのため、長期的な経験に基づき習慣的に走行する経路を形成し、敢えて確率的に経路を変更することなく、最小旅行

時間となる経路を毎日選択する。

また、遅刻に対する許容率を5%とする。これより、道路利用者は変動する旅行時間の95%タイル値をその経路の所要時間として認識し、その経路のコストとして換算する。

目的地までの所要時間を日々変動する旅行時間の中央値(旅行時間が正規分布に従うとすると平均値)としてしまうと、場合によっては遅刻する可能性が生ずるが、それよりも大きな%タイル値を用いることで、到着制約のあるトリップに対して時間信頼性を与えることができる。

なお、95%という値が、標準的な道路利用者の認識する誤差を表しているとは限らないため、何%タイル値を用いるべきかについては今後検討が必要である。

(2)交通量に関する仮定

本研究では交通量を確率分布で表し、経路交通量がそれぞれ独立な正規分布に従うと仮定する。ODペア*i*の*j*番目経路の経路交通量が従う確率分布は以下の通りである。

$$X_{ij} \sim N[\mu_{ij}, \eta\mu_{ij}] \quad (1)$$

ここで、 X_{ij} はODペア*i*の*j*番目経路の経路交通量、 μ_{ij} は平均経路交通量、 η は分散パラメータである。したがって、経路交通量の和であるOD交通量も正規分布の再生性から正規分布に従い、以下の式で表される。

$$Q_i = \sum_j X_{ij} \quad (2)$$

ここで、 Q_i はODペア*i*の交通量である。

さらに、各経路交通量は独立と仮定しているので、リンク*a*の交通量 x_a は正規分布に従う経路交通量 X_{ij} の和となり、以下の正規分布となる。

$$N\left[\sum_i \sum_j \delta_{ij} E[X_{ij}], \eta \sum_i \sum_j \delta_{ij} E[X_{ij}]\right] \quad (3)$$

(3)旅行時間に関する仮定

旅行時間は通常の BPR 関数に従うものとする。BPR 関数は交通量の関数であり、交通量が確率分布を持つため、旅行時間も確率分布を持つ。そのため、経路の旅行時間は確率変動し、最小旅行時間となる経路の旅行時間も確率変動する。したがって、本モデルでは、期待旅行時間のほかに旅行時間の分散や標準偏差を算出できる。

先に、OD 交通量と経路交通量、リンク交通量は正規分布に従うと仮定した。リンク a の旅行時間関数を $t_a(x_a)$ とすると、リンク a の旅行時間の確率変数 T_a は $t_a(X_a)$ と表記できる。ここで、 X_a は正規分布に従う確率変数である。 $t_a(x_a)$ が線形関数等となる場合を除いて、一般に、 $t_a(X_a)$ は正規分布には従うとは限らないため、旅行時間の確率分布の特定は行わず、期待値及び分散等によって確率的な旅行時間を捉える。リンク旅行時間の平均は平均の定義から以下の式によって与えられる。

$$E[T_a] = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{t_a(x_a)}{\sqrt{2\pi}\sigma_a} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_a - \mu_a}{\sigma_a}\right)^2\right\} dx_a \quad (4)$$

ここで、 μ_a は平均リンク交通量、 x_a はリンク交通量、 $E[\cdot]$ は期待値を算出する演算子である。また、リンク旅行時間の分散は以下の式で与えられる。

$$\text{Var}[T_a] = E[T_a^2] - (E[T_a])^2 \quad (5)$$

旅行時間の%タイル値を計算するためには、旅行時間の分布形を知る必要がある。既に述べたように交通量は正規分布に従うが、旅行時間は正規分布に従うとは限らない。旅行時間の%タイル値を計算するためには、いくつかの方法が考えられる。ここでは、旅行時間分布をテイラー展開を使い正規分布で近似する方法のみ記載する。以下のように旅行時間関数を交通量の平均値（もしくは95%タイル値）周りに一のテイラー展開をする。

$$t_a(X_a) \approx t_a(\bar{x}_a) + \left. \frac{dt_a}{dx_a} \right|_{x_a=\bar{x}_a} (X_a - \bar{x}_a) \quad (6)$$

ここで、 X_a はリンク a の交通量の確率変数、 \bar{x}_a は平均リンク交通量である。

リンク交通量が正規分布に従うと仮定しているため、それを定数倍、もしくは定数を加えた形である

(6) 式も正規分布に従う。したがって、旅行時間が従う正規分布は以下ようになる。

$$t_a(X_a) \sim N\left(t_a(\bar{x}_a) + \left. \frac{dt_a}{dx_a} \right|_{x_a=\bar{x}_a} (X_a - \bar{x}_a), \left(\left. \frac{dt_a}{dx_a} \right|_{x_a=\bar{x}_a}\right)^2 \sigma^2\right) \quad (7)$$

ここで、 σ^2 はリンク交通量の分散である。

旅行時間が従う確率分布が特定できたので、その95%タイル値を求めるのは容易であり、これをもってリンクコストとして換算する。

3. モデルの定式化

ワードロップ均衡が確定的な旅行時間について均衡を定義しているのに対して、本研究では、2-(1)利用者行動に関する仮定で述べたとおり、旅行時間の%タイル値について均衡を定義しようとするものである。ワードロップ均衡の定義にならえば、利用されている経路の「旅行時間の95%タイル値」はみな等しく、利用されない経路の「旅行時間の95%タイル値よりも小さいかもしくは等しくなる」と表現できる。

これをリンク間に相互干渉やリンク間の共分散がないものとして、定式化すると、以下ようになる。

$$\min. Z = \sum_{a=1}^A \int_0^{\mu_a} c_a(w) dw \quad (8)$$

s.t.

$$\mu_i = \sum_{j=1}^{J_i} \mu_{ij} \quad \forall i \quad (9)$$

$$\mu_a = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \delta_{a,ij} \mu_{ij} \quad \forall a \quad (10)$$

$$\mu_{ij} \geq 0 \quad \forall i \forall j \quad (11)$$

ここで、 c_a はリンク旅行時間の95%タイル値である。

4. 最後に

本研究では信頼性を考慮した利用者均衡配分モデルを提案した。計算結果については、発表会で示す。

参考文献

- 1) 中山晶一郎, 高山純一, 長尾一輝: 道路利用者のリスク態度を考慮した金沢道路ネットワークの均衡分析, 第59回土木学会年次学術講演会講演概要集 on CD-ROM, 2004
- 2) 中山晶一郎, 長尾一輝, 高山純一: 観測地点が少ない交通量変動データを用いた道路ネットワークの時間信頼性指標の近似計算法, 第36回土木計画学研究発表会・講演集 on CD-ROM #235, 2007
- 3) 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