

不確実性を考慮した時間帯別確率均衡配分モデルに関する研究

金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 中山晶一郎
 金沢大学大学院自然科学研究科 正会員 高山 純一
 金沢大学工学部 ○小松 良幸

1.はじめに

現実の交通ネットワークでは、様々な不確実性によって、交通量や旅行時間は変動している。事故や災害などが発生していない通常の交通状況において、不確実性の主要な要因として交通需要の変動が挙げられる。特に、ピーク時においては交通需要の変動により短時間ではあるが渋滞が生じ、円滑な交通流が妨げられてしまう。

また、ピーク時における交通の多くは通勤や業務目的トリップであり、到着時刻制約のある場合が多い。よって、確実に時間内に到着することが求められる。したがって、そのような場合ドライバーは、旅行時間の不確実性を考慮して交通行動を行うと考えられる。また、情報提供などの交通施策の効果分析のためには、道路ネットワーク上で時々刻々と変化する様々な不確実性を計測・評価することが必要であり、不確実性を考慮することができる配分モデルが有効であると考えられる。

以上のことから、道路ネットワークの旅行時間の値そのものだけではなく、日々変化する旅行時間のばらつきがどれほどであるのかを把握することや時間帯別の交通量の変化を正確に表現することは極めて重要であるといえる。しかし、従来の時間帯別均衡配分モデルでは、交通量や旅行時間は確定値として扱っているために交通需要の変動による不確実性を表現することはできない。

そこで、本研究では、時間帯別の交通需要が正規分布に従って確率変動するとともに配分された交通量も正規分布に従う時間帯別確率均衡配分モデルを提案する。そして、提案したモデルを通勤時における金沢市道路ネットワークに適用し、その妥当性や実用性などを確認する。このモデルによって、時間帯によって変化する交通量や旅行時間の把握および交通ネットワークの不確実性や時間信頼性の評価が可能となる。

2.本モデルの基本な考え方

(1)均衡概念

本モデルにおける均衡状態は、「ある時間帯において利用されている経路の平均旅行時間はみな等しく、利用されていない経路の平均旅行時間よりも小さいもしくは等しくなる」というものである。これは、日々の時間帯において実現する交通流は必ずしも均衡状態となっているものではなく、平均的に時間帯別に均衡状態が成り立っていることを表現している。

(2)交通量の表現

本研究では、交通量を確率分布で表現する。ここで、各経路交通量は正規分布に従うと仮定する。よって、本研究で用いる OD ペア ij 間第 k 経路の経路交通量は、次の正規分布に従う。

$$N(F_{ij}^m, \text{Var}[F_{ij}^m]) \quad (1)$$

ここで、 F_{ij}^m は、OD ペア i 間第 j 経路の交通量の確率変数であり、 F_{ij}^m と $\text{Var}[F_{ij}^m]$ はその期待値と分散を表す。また、各経路交通量が独立な正規分布に従っているものであると仮定することにより、その和である OD 交通量も正規分布の再生性より正規分布に従う。よって、次式が成立する。

$$Q_i^m = \sum_j F_{ij}^m \quad (2)$$

$$Q_i^m = \sum_j F_{ij}^m \quad (3)$$

$$\text{Var}[Q_i^m] = \sum_j \text{Var}[F_{ij}^m] \quad (4)$$

ここで、 Q_i^m は m 時間帯における OD ペア i 間の OD 交通量の確率変数であり、 Q_i^m と $\text{Var}[Q_i^m]$ はその期待値と分散である。さらに、リンク交通量は、経路交通量より次式のように表現できる。

$$X_a^m = \sum_i \sum_j \delta_{aj}^i F_{ij}^m \quad (5)$$

ここで、 X_a^m は m 時間帯におけるリンク a の交通量の確率変数である。よって、リンク交通量も正規分布の再生性より正規分布に従い、次式が成立する。

$$X_a^m = \sum_i \sum_j \delta_{aj}^i F_{ij}^m \quad (6)$$

$$\text{Var}[X_a^m] = \sum_i \sum_j \delta_{aj}^i \text{Var}[F_{ij}^m] \quad (7)$$

ここで、 X_a^m と $\text{Var}[X_a^m]$ はリンク交通量の期待値と分散である。

3.本モデルの定式化

(1)定式化の視点

本研究では、以下の2つの視点による定式化が考えられる。

視点 1: 任意の時間帯でネットワーク上に存在する交通量の期待値が道路のパフォーマンスと均衡する。

視点 2: 任意の時間帯でネットワーク上の目的地に吸収される交通量の期待値がネットワークパフォーマンスと均衡する。

(2)視点 1 による定式化

藤田ら²⁾の提案したモデルであるOD修正法による時間帯別均衡配分モデルの定式化を参考に本モデルに適用すると、以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \min . Z &= \sum_a \int_0^{t_a(w)} t_a(w) dw - \sum_i \int_0^{T_w} \frac{2T_w}{Q_i^m} \left\{ \frac{\lambda_i^{m-1}}{T_w} \bar{Q}_i^{m-1} + \bar{Q}_i^m - z \right\} dz \\ \text{s.t. } \quad &\sum_j \bar{F}_{ij}^m = \bar{Q}_i^m, \quad \sum_i \sum_j \delta_{aj}^i \bar{F}_{ij}^m = \bar{X}_a^m \quad (8) \\ &\bar{F}_{ij}^m \geq 0, \quad \bar{Q}_i^m \geq 0 \end{aligned}$$

ここで、 A は m 時間帯における OD ペア i 間の修正交通量であり、 λ_i^{m-1} は $m-1$ 時間帯の OD ペア i 間の最短旅行時間である。また、 T_w は時間帯の幅であり、 $t_a(\cdot)$ はリンクコストを表す。

(3)視点 2 による定式化

宮城ら³⁾の提案したモデルの定式化を参考に本モデルに適用すると、以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \min . Z &= \sum_a \int_0^{E(xa)} t_a(w) dw - \sum_{ij} \int_0^{T_w} \frac{2T_w}{Q_{ij}^m} \left\{ \frac{\lambda_{ij}^{m-1}}{T_w} \bar{Q}_{ij}^{m-1} + \bar{Q}_{ij}^m - \eta \right\} d\eta \\ \text{s.t. } \quad &\sum_j \bar{F}_{ij}^m = \bar{Q}_i^m, \quad \sum_i \sum_j \delta_{aj}^i \bar{F}_{ij}^m = \bar{X}_a^m \quad (9) \\ &\bar{F}_{ij}^m \geq 0, \quad \bar{Q}_i^m \geq 0 \end{aligned}$$

4.不確実性の表現

(1)交通量に関する不確実性の表現

本研究では、交通量の不確実性を表現するために2節(2)で記述した分散を用いる。しかし、本来ならば、OD 交通量について平均及び分散を予見とする必要がある。しかし、平均についてはこれまでの確定的な OD 交通量を用いることで対応可能であるが、その分散の値は分からないことがほとんどである。そこで、交通量の期待値に比例して分散が決定されると仮定し、分散の算定を行う。ここで、式(4),(7)より経路交通量の分散が得られることにより、他の交通量の分散が求められる。よって、以下の式より

経路交通量の分散を算定する。

$$\text{Var}[F_{ij}^m] = \eta^m F_{ij}^m \quad (10)$$

ここで、 η^m は、 m 時間帯における正のパラメータである。これは、時間帯ごとに交通量の変動が同様であるとは考えにくく、特にピーク時には、その変動は大きく変化していると考えられるためである。

(2)旅行時間に関する不確実性の表現

本研究では、旅行時間の不確実性を表現するために旅行時間に関する変動係数を算定する。変動係数を算定するためには、旅行時間の期待値および分散を算定することが必要となる。旅行時間の期待値をBPR 関数によって以下のように表現する。

$$E[t_a^m] = t_{a0}(1 + 0.15(E[X_a^m]^4)/(C_a^4)) \quad (11)$$

ここで、 $E[X_a^m]^4$ に積率母関数を用いると以下の式となる。

$$E[t_a^m] = t_{a0}(1 + 0.15\{3(\text{Var}[X_a^m])^2 + 6\text{Var}[X_a^m](\overline{X_a^m})^2 + (\overline{X_a^m})^4\}/(C_a^4)) \quad (12)$$

ここで、 t_{a0} はリンク a の自由旅行時間であり、 C_a はリンク a の交通容量である。次に、分散を以下のように算定する。

$$\text{Var}[t_a^m] = E[(t_a^m)^2] - (E[t_a^m])^2 \quad (13)$$

ここで、 $E[t_a^m]$ 、 $\text{Var}[t_a^m]$ は m 時間帯におけるリンク a の旅行時間の期待値と分散である。次に、式(12)、(13)より各リンク旅行時間の変動係数を算定する。

$$\nu_a^m = (\sigma_a^m / E[t_a^m]) \quad (14)$$

ここで、 ν_a^m は、 m 時間帯におけるリンク a の変動係数であり、 σ_a^m は、リンク a の旅行時間の標準偏差である。この変動係数によって、各リンク旅行時間に関する不確実性の大きさを評価する。

5.おわりに

本研究では、不確実性を考慮した時間帯別確率均衡配分モデルを提案した。なお、定式化した2つのモデルについての比較や単純なネットワークでの計算例等の結果は講演時に発表する。

参考文献

- 1) 中山晶一郎, 高山純一, 長尾輝: 道路利用者のリスク態度を考慮した金沢道各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要集 on CD-ROM, 2004.
- 2) 藤田泰弘, 松井寛, 溝上章志: 時間帯別交通量配分モデルの開発と実用化に関する研究, 土木学会論文集, No.389/IV-8, pp.111-119, 1988.
- 3) 宮城俊彦, 牧村和彦: 時間帯別交通量配分手法に関する研究, 交通工学 Vol.26/No.2, pp.17-28, 1991.