

旅行時間の不確実性を考慮した確率ネットワーク均衡モデルを用いた時間信頼性指標の提案

○(株)オリエンタルコンサルタンツ 正 員 長尾 一輝
金沢大学大学院 正 員 中山晶一朗
金沢大学大学院 フェロー 高山 純一

1.はじめに

道路の評価指標として、最近「時間信頼性」が注目されている。現在、道路の評価指標として用いられている「渋滞損失時間」は各時間帯の平均旅行速度を用いて算定されている。一方で、実際の旅行速度、旅行時間は日によって、時間帯によって変動しており、道路のパフォーマンスをより適切に評価するためには、そうした変動を考慮した評価指標として、時間信頼性指標の設定が重要と考えられる。

時間信頼性指標を算出するアプローチとしては、プローブカーから旅行時間を取得する方法や日々の交通量データから旅行時間を推定する方法等、様々な方法があるが、ネットワーク全体を対象とした評価や新規道路の開通の効果予測における時間信頼性評価には、交通ネットワーク均衡モデルを用いる手法が適していると考えられる。

そこで本稿では、以前著者らが提案した確率ネットワーク均衡モデル¹⁾を用い、時間信頼性の評価を行うための新たな指標を提案する。そして、金沢道路ネットワークを例に、提案した指標の適用例を示す。

2.旅行時間の不確実性を考慮した確率ネットワーク均衡モデル

以前著者らが提案した確率ネットワーク均衡モデル¹⁾について説明する。

(1)交通量の分布

このモデルでは正規分布のOD交通量を正規分布の交通量として配分する。このときOD交通量について、平均に比例して分散が決まると仮定する。また、経路交通量は互いに独立であると仮定する。このとき、経路交通量は以下の確率分布で表すことができる。

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

ここで、 F_k^{rs} はODペア rs 間の経路 k の(経路)交通量の確率変数、 $N[\mu_k^{rs}, \eta\mu_k^{rs}]$ は平均 μ_k^{rs} 、分散 $\eta\mu_k^{rs}$ を持つ正規分布を表す。また、 η は正のパラメータである。

このような仮定をおくことによって、OD交通量と経路交通量の間には、次式に示すような(確率変数としての)フロー保存則が成立する。

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

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

ここで、 Q^{rs} はODペア rs 間におけるOD交通量の確率変数であり、 $E[Q^{rs}]$ 、 $\text{Var}[Q^{rs}]$ はそれぞれOD交通量の平均と分散である。

(2)期待旅行時間及び旅行時間の分散

リンク走行時間がBPR関数に従うと仮定すると、リンクの旅行時間 t_a は $t_{a0}\{1+\alpha(x/C_a)^\beta\}$ で表される。ただし、 t_a はリンク a の旅行時間、 t_{a0} は自由走行時間、 C_a は交通容量、 x は交通量である。期待リンク旅行時間関数 g_a は μ_a の式で表され、 $\beta=4$ のとき、 g_a は次式となる。

$$g_a(\mu_a) = t_{a0}[1+\alpha\{3(\eta\mu_a)^2+6\mu_a^2(\eta\mu_a)+\mu_a^4\}/C_a^4] \quad (4)$$

リンク旅行時間の分散 $\text{Var}[T_a]$ は $E[(T_a)^2]-E[T_a]^2$ であり、 $E[(X_a)^{2n}]$ 及び $E[(X_a)^n]$ を用いれば計算することができる。そして、それらも積率母関数を用いて計算することができる。

(3)実効旅行時間

期待旅行時間と旅行時間の分散から、以下に示す実効旅

Key Words: 旅行時間信頼性, 交通ネットワーク均衡

連絡先:(株)オリエンタルコンサルタンツ東北支店

〒984-0065 宮城県仙台市若林区土樋 104 OC 仙台ビル Tel: 022-215-5522, Fax: 022-215-5622

行時間を算出することができる。実効旅行時間を用いて配分を行うことによって、利用者の旅行時間の不確実性への態度(リスク態度)を考慮することができる。

$$V_a = E[T_a] + \gamma \sqrt{\text{Var}[T_a]} \quad (5)$$

V_a : リンク a の実効旅行時間

$E[T_a]$: リンク a の期待旅行時間

$\sqrt{\text{Var}[T_a]}$: リンク a の旅行時間の標準偏差

γ : リスク態度を表すパラメータ

(4)定式化

ワードロップ均衡の考え方を拡張し、利用される経路の「実効旅行時間」は皆等しく、利用されない経路の「実効旅行時間」よりも小さいかせいぜい等しい、という均衡が成立するものとする、このモデルは以下のように定式化でき、Frank-Wolfe 法などを用いて解くことができる。

$$\min . Z = \sum_a \int_0^{\mu_a} V_a(w) dw \quad (6)$$

subject to

$$E[Q^{rs}] = \sum_{k \in K^{rs}} \mu_k^{rs} \quad \forall r \quad \forall s \quad \forall k \quad (7)$$

$$\mu_a = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K^{rs}} \delta_{a,k}^{rs} \mu_k^{rs} \quad \forall r \quad \forall s \quad \forall k \quad (8)$$

$$\mu_a \geq 0 \quad \mu_k^{rs} \geq 0 \quad \forall r \quad \forall s \quad \forall k \quad (9)$$

ここで

$g_a(\cdot)$: リンク a の期待リンク旅行時間関数

$E[Q^{rs}]$: OD 交通量

μ_a : リンク交通量の期待値

μ_k^{rs} : 経路交通量の期待値

3.時間信頼性指標の提案

時間信頼性の指標としては、これまでに Planning Time, Buffer Index 等のほか、旅行時間の標準偏差や変動係数等が用いられている。

本稿では、道路の評価指標として一般的に用いられている「渋滞損失時間」との互換性を考慮する観点から、新たに以下に示す「変動損失時間」を定義する。

$\text{変動損失時間} = \gamma \times \frac{\text{旅行時間の標準偏差}}{\text{平均旅行時間}} \times \frac{\text{区間交通量}}{\text{平均乗車人数}}$ γ: リスク態度パラメータ

ここで、リスク態度パラメータ γ は、配分時の実効旅行時間を算出する際に設定された値となる。

渋滞損失時間が、渋滞が無い場合の旅行時間を基準として通常(渋滞がある場合)の旅行時間との差の損失であるのに対し、変動損失時間は、遅刻等のリスクを回避するために余裕を持って早めに出発する分の時間を含めた旅行時間が変動することによる損失と位置付けられる。また、Buffer Index や旅行時間の標準偏差等を用いた信頼性評価との違いとして、渋滞損失時間と同様に、区間の利用者数を考慮した評価が可能となる点が挙げられる。

4.金沢道路ネットワークへの適用

金沢道路ネットワーク(ノード数 140, リンク数 467)を対象に、提案した指標を用いて時間信頼性の評価を行った。

金沢道路ネットワークの郊外から中心部へ向かう主要経路毎の変動損失時間及び渋滞損失時間を算出すると図-1 のとおりとなる。変動損失時間によって時間信頼性の低い経路が把握できるとともに、渋滞損失時間と変動損失時間を併用することによって、経路毎の旅行時間の損失状況を渋滞と旅行時間変動の両面から詳細に把握することが可能となる。

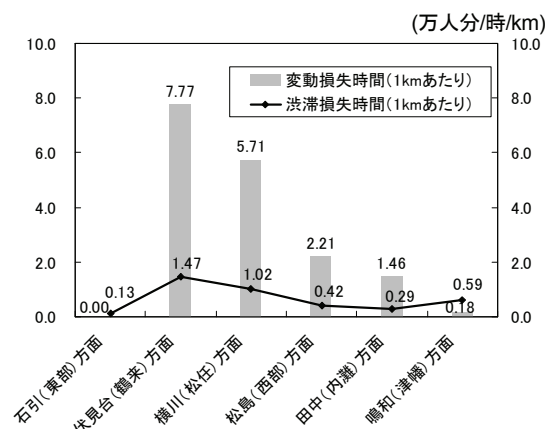


図-1 主要経路毎の変動損失時間及び渋滞損失時間

5. おわりに

本稿では、旅行時間の不確実性を考慮した交通ネットワーク均衡モデルを用い、時間信頼性の評価を行うための新たな指標として「変動損失時間」を提案した。金沢道路ネットワークにおけるより実践的な適用例等について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. 62, No. 4, pp. 526-536, 2006.