

# 信頼性を取り入れた連結性向上に対する便益評価の開発 ：金沢市道路ネットワークへの適用

金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 学生員 ○ 土倉 悟  
金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 正会員 中山晶一郎  
金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 フェロー 高山 純一

## 1. はじめに

今日では、経済・社会の高度化とともに、単なるサービスの向上だけでなく、安定的に道路交通サービスを提供することも求められるようになってきている。程度の信頼性を確保するためにはどれほどの道路整備が必要となるのかなどの評価を実施することが必要となる。

研究の目的としては、まず、信頼性についてどのように評価していくかを確立していく必要がある。また、道路交通の信頼性の分析では、局所的な速度低下や特定 OD の需要増加などはネットワークを通じて広範囲に影響を及ぼすため、ネットワーク全体で評価することが必要となる。

そうして信頼性を評価した後は、信頼性を考慮したモデルを確立する。そして連結の向上に対して道路の便益を評価する。最終的には、金沢道路ネットワークへ適用していく。

## 2. 信頼性について

道路交通の信頼性とは、道路交通のサービスを安定的に提供する能力のことである。本研究では、道路交通の信頼性として分類される時間信頼性と連結信頼性について評価したモデルを形成していく。

### (1) 時間信頼性

時間信頼性については、%タイル値を利用する。%タイル値は道路の時間信頼性を評価する際によく利用される指標であり、分散や標準偏差によるばらつきとして評価するよりも目で見て分かりやすい評価となる。本研究では、旅行時間が 3 つの分布形に従うと仮定し、95%タイル値で評価する。

#### a) 正規分布 1

正規分布 1 とは、旅行時間が正規分布に従うと仮定した場合のものである。旅行時間の期待値と分散および旅行時間の 95%タイル値はそれぞれ以下の通りである。

$$E[T] = t_0 \{1 + \alpha E[X^2] / C^2\} \quad (1)$$

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

$$t_{95} = 1.645 \sqrt{\text{Var}[T]} + E[T] \quad (3)$$

る。このように、旅行時間の不確実な変動を把握・考慮して交通量配分を行うことが重要となる。それらに対処するための手段として、道路整備や道路交通管理による信頼性の向上はどれほどになるのか。逆に、あ

#### b) 正規分布 2

本研究では、リンクパフォーマンス関数として BPR 関数を用いる。正規分布 2 とは、その BPR 関数を 1 次のテイラー展開することで旅行時間が正規分布に従うと仮定した場合のものである。

旅行時間が従う正規分布は以下ようになる。

$$t_a(X_a) \sim N \left( t_a(\bar{x}_a), \left( \left. \frac{dt_a}{dx_a} \right|_{x_a=\bar{x}_a} \right)^2 \sigma^2 \right) \quad (4)$$

ここで、 $\sigma^2$  : リンク交通量の分散  
旅行時間が従う確率分布が特定できたので、その 95%タイル値は標準正規分布の性質から以下の式で求められる。

$$t_{95} = 1.645 \sqrt{\left( \left. \frac{dt_a}{dx_a} \right|_{x_a=\bar{x}_a} \right)^2 \sigma^2} + t_a(\bar{x}_a) \quad (5)$$

#### c) 対数正規分布

旅行時間が対数正規分布に従うと仮定した場合のものである。式で表すと、 $\ln T \sim N(\lambda, \zeta^2)$ となる。ここで、 $\lambda = \ln(E[T]) - 1/2 \zeta^2$ ,  $\zeta^2 = \ln(1 + \text{Var}[T] / E[T]^2)$ である。

このときの旅行時間の 95%タイル値は確率分布関数  $\phi((y - \lambda)/\zeta)$  に  $y = (\ln T - \lambda)/\zeta$  を代入して、 $\phi((y - \lambda)/\zeta) = 0$  を解くことで求められる。最終的に旅行時間の 95%タイル値は以下の通りである。

$$t_{95} = \exp\{1.645 \zeta^2 + (1 + \zeta^2) \lambda\} \quad (6)$$

### (2) 連結信頼性

連結信頼性については、全リンクに連結確率を定義する。そしてそれから OD 間の連結確率を求めていく。

現段階では、OD 間の連結確率はリンクの直列組み合わせ（経路  $k$  にリンク（全て連結確率 0.98）が 4 つある場合、経路  $k$  の連結確率は  $0.98^4$  となる）で求

められる各 OD の最短経路の連結確率としている。

また、後述する OD ペア  $i$  間の最小旅行時間  $\lambda_i$  はリンクの連結により変化する値である。よってネットワーク内のリンクに連結確率を設け、繰り返し計算により  $E[\lambda_i]$  を算出する必要がある。

### 3. 便益評価の式

トリップを行えない場合のコストを含んだ期待総旅行コストは以下のように与えることができる。

$$\sum_{i \in I} q_i \pi_i \lambda_i + \kappa \sum_{i \in I} q_i (1 - \pi_i) \quad (7)$$

ここで、 $q_i$  : 利用者数,  $\pi_i$  : OD ペア  $i$  間が連結されている確率,  $\lambda_i$  : OD ペア  $i$  間の最小旅行時間,  $\kappa$  : 禁止的時間。

禁止的時間とは、連結していない場合のノード間の旅行時間を十分に大きな時間として設定したものである。この推定された  $\kappa$  を用いることでトリップを行えないことに対する不便益を算定できる。

また、式(7)について、最大効用の期待値を  $\ln[e^{-\theta \lambda_i} + e^{-\theta \kappa}] / \theta$  と与えて変形させると以下の式(2)となる。

$$\tilde{C}(\pi) = -\frac{1}{\theta} \sum_{i \in I} q_i \pi_i \ln[e^{-\theta \lambda_i} + e^{-\theta \kappa}] + \kappa \sum_{i \in I} q_i (1 - \pi_i) \quad (8)$$

ここで、 $\theta$  : 正のパラメータ

さらに、利用者が認知できる確率要因ベクトルを  $\mathbf{Z}$  とし、 $\lambda_i$  を 95% タイル値で評価すると、連結性向上便益計算のための総コストは以下の式になる。

$$\tilde{C}(\pi) = -\frac{1}{\theta} \sum_{i \in I} q_i \pi_i(\mathbf{Z}) \ln[e^{-\theta E[\lambda_i^{0.95}(\mathbf{Z})]} + e^{-\theta \kappa}] + \kappa \sum_{i \in I} q_i (1 - \pi_i(\mathbf{Z})) \quad (9)$$

### 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へ適用させて山側環状道路建設前と建設後でのコストを比較して便益評価する。交通量のデータは平成 7 年度第 3 回金沢都市圏 PT 調査より、朝 7 時台のものを用いている。各リンクの連結確率は 0.98, 各 OD の禁止的時間は「各 OD の最小旅行時間  $\lambda_i$ 」 $\times 3$  と設定する。

連結性向上便益計算のための総コストをさらに円換算したものと環状線施工便益を図に示す。グラフについて、期待値とは  $\lambda_i$  を期待値でコストを計算したものであり、その他は  $\lambda_i$  を各分布形における 95% タイル値でコストを計算したものである。計算結果は金沢市道路ネットワーク全体、朝 7 時台の 1 時間におけるものである。

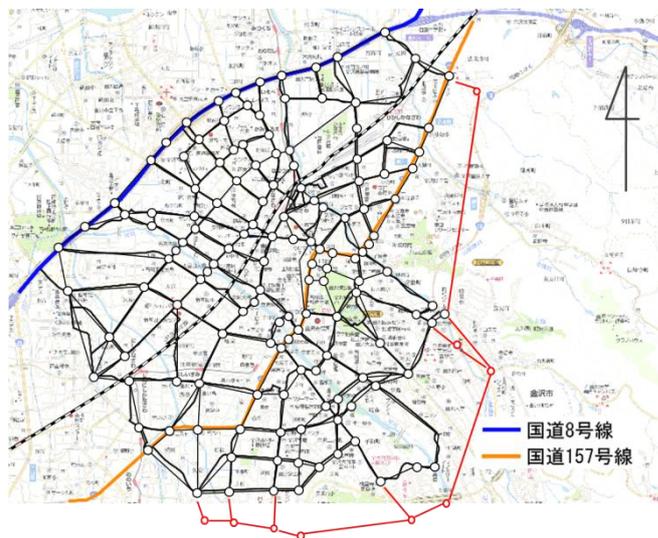


図 1 金沢市道路ネットワーク



図 2 期待総旅行コスト (円換算) および環状線施工便益 (万円)

### 5. まとめ

本研究では、ロジットモデルの確率的利用者配分を用いて、%タイル値やリンク連結確率を導入することで信頼性を評価してコスト計算を行った。それにより、金沢市道路ネットワークについて、外環状道路の建設の前と後の道路ネットワークを比較することで、便益向上性を評価することができた。今後は OD 間の連結確率について、単に最短経路の連結確率とはせず、他の経路も反映できる最小パス法や最小カット法を用いて計算する。

### 参考文献

- 1) 今村悠太：旅行時間信頼性を考慮した利用者均衡配分モデルの構築及びその金沢市道路ネットワークへの適用，平成 22 年度 修士学位論文
- 2) 中山晶一郎：ネットワークレベルでの道路交通の信頼性の諸相・展望とその便益評価の一考察，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol. 67, No. 2, 147-166, 2011
- 3) 飯田恭敬，若林拓史，福島博：道路網信頼性の近似解析手法の比較研究，土木学会論文集第 407 号 IV-11 1989.7