

時間信頼性と連結信頼性を統合した道路評価手法の適用可能性の検討 —石川県道路ネットワークを対象として—

金沢大学 大学院自然科学研究科環境デザイン学専攻
金沢大学 理工研究域環境デザイン学系
金沢大学 理工研究域環境デザイン学系
金沢大学 理工研究域環境デザイン学系

学生会員 ○大澤 脩司
正会員 中山晶一朗
フェロー 高山 純一
正会員 藤生 慎

1. 背景・目的

道路ネットワークにおける信頼性とは道路交通サービスを安定的に提供する能力と考えることができる。このような信頼性は、例えばある地点間が少なくとも1つの利用可能な経路によって結ばれている確率を扱う連結信頼性や、あるリンクにおける旅行時間の変動を扱う時間信頼性などがある。道路ネットワークのサービス水準とこうした信頼性は密接に関係しており、信頼性を取り入れて道路交通サービスを評価することは重要である。

本研究では、連結信頼性と時間信頼性に着目し、これら2つの信頼性を統合した期待総旅行時間コストを定義し、連結信頼性・時間信頼性の統合評価方法を提案する。このために、2つの信頼性を評価可能な確率均衡配分を用いた便益評価方法を構築する。本研究では構築した便益評価法を石川県道路ネットワークに適用し、統合評価法・配分モデルの利用可能性を考察する。

2. 時間信頼性・連結信頼性について

(1) 時間信頼性

時間信頼性は、旅行時間のばらつきの程度に基づいた評価方法であり、道路利用者が最も考慮する項目であると考えられる。ばらつきの指標としては標準偏差や分散が考えられるが、旅行時間のばらつきの指標として用いる場合には人々が認知する旅行時間のばらつきの程度と分散が必ずしも一致するとは限らず、一般的なばらつきの指標が旅行時間のばらつきの指標として適するとは限らない。このため時間信頼性の指標として%タイル値を用いる研究が多くなされている。本研究では時間信頼性の指標として95%タイル値を用いる。このとき、各リンクの旅行時間や交通量に相関があるため、経路旅行時間の95%タイル値を計算するためには経路を構成するリンク全ての旅行時間の同時確率密度関数が既知である必要がある。そこで本研究では次の3つの仮定をおく。

a) 正規分布1

経路旅行時間が通常の正規分布に従うと仮定する。本仮定を本研究では正規分布1とし、以下の式(1)により旅行時間の p %タイル値を求める。

$$t_p = I_p \sqrt{\text{Var}[T]} + E[T] \quad (1)$$

ここで、 $\text{Var}[T]$ ：確率変数 T の分散、 $r[T]$ ：確率変数 T の平均値である。

b) 正規分布2

BPR関数を交通量の平均値 ($E[\mathbf{X}]$) 周りに1次のテイラー展開すると、正規分布の再生性から旅行時間が正規分布に従うと仮定できる。本研究ではこの仮定を正規分布2と呼び、式(2)により旅行時間の p %タイル値を求める。

$$t_p = I_p \sqrt{\left(\left. \frac{dt_a}{dx_a} \right|_{x_a=\bar{x}_a} \right)^2 + t_a(\bar{x}_a)} \quad (2)$$

ここで、 \bar{x}_a ：平均リンク交通量である。

c) 対数正規分布

正規分布は $-\infty$ まで定義されているため、旅行時間が正規分布に従うという仮定は負の旅行時間も想定していることになる。しかし、負の旅行時間は発生しえない。この問題を解消するため、定義域が0以上の対数正規分布を仮定する。本研究ではこれを対数正規分布と呼び、式(3)により旅行時間の p %タイル値を求める。

$$t_p = \exp \left(I_p \sqrt{\zeta^2} + \lambda \right) \quad (3)$$

$$\left(\zeta^2 = \ln(1 + \text{Var}[T]/E[T]^2), \lambda = \ln(E[T]) - 1/2 \zeta^2 \right)$$

(2) 連結信頼性

実際の道路網では、事故や工事、災害といった突発的な事象によってある道路区間が利用不能になることがある。これを道路ネットワークにおいて確率的に発生するリンク機能障害として再現すれば、あるノード間の連結状態はリンク機能障害の発生状況によって決定される。連結信頼性とは、リンク機能障害が生じるネットワークにおいて、目的地までの到達可能確率を評価するものである。本研究では、平常時の道路ネットワークにおける連結信頼性を対象とする。平常時では各リンクには先に述べた事故や工事等を考慮した独自の信頼度、すなわち連結確率を定義できると考えられ、これによりOD間の連結確率が計算可能となる。本研究ではミニマル・パス法の概念を基本としたモンテカルロ法によりOD間の連結確率を計算する。このために、式(4)によりOD間の機能状態を求め式(5)によりOD間の連結確率を算出する。

$$\Phi_{rs}(\mathbf{x}) = 1 - \prod_{s=1}^p \left(1 - \prod_{a \in P_s} x_a \right) \quad (4)$$

$$\pi_{rs} = \frac{\sum_{n=1}^N \phi_{rs}(\mathbf{x})}{N} \quad (5)$$

ここで、 p : パスの総数、 P_s : s 番目のパス、 x_a : リンク a が機能する時1, それ以外の時0をとる構造関数、 N : 繰り返し計算回数である。

3. 信頼性指標を考慮した便益算定式

本研究では、時間信頼性と連結信頼性を統合した期待総旅行コストの算定式を定義し、それを基に道路ネットワークの便益を算定する。

連結信頼性を用いた便益評価では、総旅行コストにOD間が非連結時に利用者がトリップが取りやめることを示すトリップキャンセルコストを含める必要がある。このコストを考慮した期待総旅行コストは次式で求める。

$$\sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q^{rs} [\pi^{rs} \lambda^{rs} + \kappa(1 - \pi^{rs})] \quad (6)$$

ここで、 q^{rs} : ODペア rs 間の交通需要、 π^{rs} : ODペア rs の連結確率、 λ^{rs} : ODペア rs が連結時のコスト、 κ : トリップキャンセルコストである。

ODペア rs が非連結時はトリップを取りやめる選択しかできないが、連結時にはトリップを行うかあえて取りやめるかを選択することができる。このため、便益評価指標は、ログサム変数を用いた期待最小コストにより与える。式(6)にログサム変数を代入すると、式(2)を得る。

$$-\frac{1}{\theta} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q^{rs} \pi^{rs} \ln[e^{-\theta \lambda^{rs}} + e^{-\theta \kappa}] + \kappa \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q^{rs} (1 - \pi^{rs}) \quad (7)$$

次に、トリップを行う場合のコストを考える。本研究ではロジットモデルによる経路選択を行う。また時間信頼性の指標として旅行時間の95%タイル値を用いていることから、ここでも同様の旅行時間を用い、式(3)のようにトリップを行う場合のコストを与える。

$$\lambda^{rs} = -\frac{1}{g} \ln \left[\sum_{k \in K_{rs}} e^{-g c_{rs,k}^{95}} \right] \quad (8)$$

ここで、 $c_{rs,k}^{95}$: ODペア rs 間の経路 k の旅行時間の95%タイル値である。

以上を整理すると、信頼性指標を用いた総旅行コストの算定式は式(4)のように与えられる。この式を用いることで、道路施策の実施前と後それぞれの総旅行コストを算出・比較することで、施策の便益評価が可能である。

$$-\frac{1}{\theta} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q^{rs} \pi^{rs} \exp \left[\exp \left\{ \frac{\theta}{g} \left(\sum_{k \in K_{rs}} e^{c_{rs,k}^{95}} \right) \right\} + \exp(-\theta \kappa) \right] + \kappa \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q^{rs} (1 - \pi^{rs}) \quad (9)$$

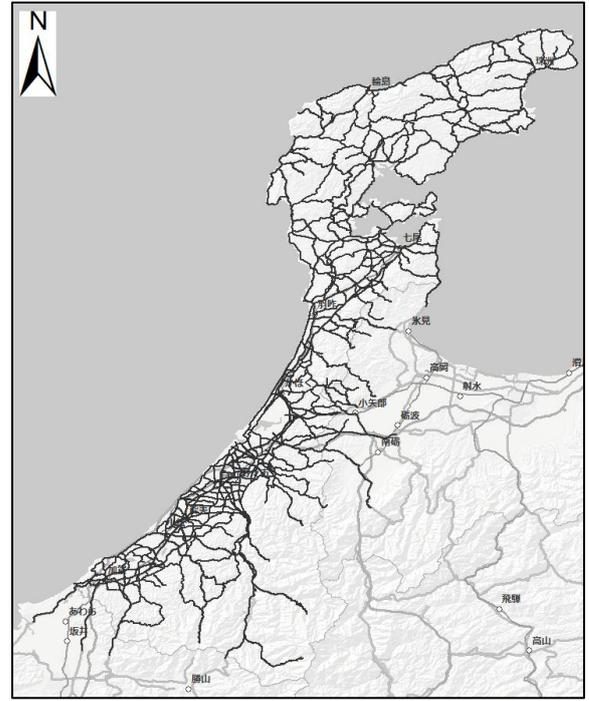


図-1 石川県道路ネットワーク図

4. 石川県道路ネットワークへの適用

3章に示した信頼性統合評価法により、図-1に示すような石川県道路ネットワークにおける便益を算出する。OD交通量は平成22年度道路交通センサスのデータをもとに推定した。式(4)の総旅行コスト算定式を適用するにあたり、連結信頼性を計算するために設定する各リンクの信頼度は一律0.98とした。また、各ODのトリップキャンセルコスト κ はそのODの最小旅行時間の3倍に設定した。詳細な適用結果は講演時に示す。

謝辞

本研究は国土交通省・道路政策の質の向上に資する技術開発の支援を受けて実施したものです。ここに記して、感謝いたします。

参考文献

- 1) 中山晶一郎：道路の時間信頼性に関する研究レビュー，土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.67, No.1, pp.95-114, 2011.
- 2) 今村裕太，中山晶一郎，高山純一：旅行時間のパーセントイル値に基づく利用者均衡配分モデルによる信頼性評価法とその金沢市道路ネットワークへの適用，土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.67, No.5, pp.625-634, 2011.
- 3) 土倉悟，中山晶一郎，高山純一：時間信頼性と連結信頼性を統合した道路評価法の開発および金沢市道路ネットワークへの適用，土木学会論文集D3（土木計画学），Vol.69, No.5, pp.555-562, 2013.