

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420538

研究課題名(和文)信頼性の観点からみた日常・災害時の交通ネットワークの連結性向上の便益評価

研究課題名(英文)Reliability benefit assessment of improving the connectivity of transportation network in the both ordinary and disaster cases

研究代表者

中山 晶一郎 (NAKAYAMA, Shoichiro)

金沢大学・環境デザイン学系・教授

研究者番号：90334755

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：交通量や旅行時間の分布やばらつきを考慮できる確率交通均衡の基礎モデルを既に開発していたが、この基礎モデルを拡張した。さらに、各リンクの途絶・閉鎖を確率的に与えたとともに、交通容量を確率的に変動させることもできる。このモデルを用いた連結信頼性と旅行時間信頼性の統合した評価を行うために、災害時などでノードが孤立化してトリップをあきらめるのか、トリップを行うのかの選択を上位の選択とし、トリップを行う場合はどの経路を選択するのかを下位の選択とするネスティッド・ロジット・モデルにより、利用者行動をモデル化して、ログサムによる統一的な便益計算法の精緻化を行った。

研究成果の概要(英文)：A fundamental model of stochastic transportation equilibrium that considers probability distributions or variances of traffic volumes and travel times had been developed. The fundamental model was expanded in this research project. The model enables to consider stochastic capacities. In order to make a unified assessment of both travel time and connectivity reliabilities, a method of evaluating the benefit using the log-sum of the nested logit model, in which the upper level choice is to decide whether or not to make a trip and the lower level choice is to choose a route.

研究分野：土木計画・交通工学

キーワード：交通ネットワークの連結性

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災や阪神淡路大震災の経験などから、避難や緊急物資運搬のために、交通ネットワークの信頼性が死活的に重要であることは周知の事実である。また、災害時だけでなく、日常でも事故その他の要因で旅行時間(所要時間)が通常よりも超大になることは誰しも経験するところである。道路途絶・閉鎖時では、災害時のみならず日常時でも、迂回路の存在が非常に重要である。道路整備(建設)効果としては、ネットワークの連結性が向上し、迂回路がいくつ増えるのかも考える必要がある。このような道路整備における連結性の向上の便益を考える上では、(平均)旅行時間減少、すなわち、トータルの交通容量が増え、旅行時間が減少すること、孤立化確率の減少、つまり、災害時などに物資が運搬できなくなる地域・ノードの孤立化を防ぐこと、旅行時間信頼性の向上とも言える。日常時でも、より多くの経路・迂回路で繋がるため、ある経路のサービスレベルが低下しても旅行時間の増加が抑えられることが重要と言える。

現在の費用便益分析では、上で述べた(平均)旅行時間減少のみしか考慮されていないことがほとんどである。既存の信頼性研究では、孤立化確率の減少もしくは旅行時間信頼性の向上のいずれか1つのみに着目し、研究対象が狭量なものがほとんどである。厳しい財政下では、災害時のためだけに投資することは困難であり、日常時と災害時の両方で旅行時間減少・孤立化確率減少・旅行時間信頼性向上を統一・総合的に整合性を持って評価することが求められる。

2. 研究の目的

道路整備(建設)などはネットワーク内のリンク密度を高め、連結性を向上させる。避難や緊急物資・食料が運搬できなくなる地域・ノードの孤立化を防ぐには、連結性を高め、ネットワークの信頼性を向上させることが必須である。本研究では、災害時だけでなく、日常時も含めて、旅行時間減少、孤立化確率の減少、旅行時間信頼性の向上の観点から、ネットワークの連結性向上の便益を評価するモデルを構築し、それを現実のネットワークに適用する。

3. 研究の方法

道路整備(建設)などはネットワーク内のリンク密度を高め、連結性を向上させる。避難や緊急物資・食料が運搬できなくなる地域・ノードの孤立化を防ぐには、連結性を高め、ネットワークの信頼性を向上させること

が必須である。本研究では、災害時だけでなく、日常時も含めて、旅行時間減少、孤立化確率の減少、旅行時間信頼性の向上の観点から、ネットワークの連結性向上の便益を評価するような時間信頼性と連結信頼性を統合したコスト算出式を定義して、それを基に環状道路整備による便益の向上を算出する。以下にその統合評価式について述べる。

ある一組の起点と終点(以下、ODと呼ぶ)について、そのOD間が連結されていれば、すなわち、少なくとも1つの経路でそのOD間が結ばれていればトリップを行える。しかし、全ての経路が途絶してしまえば、そのOD間でトリップを行うことができない。また、ある経路について、その経路上のいずれか1つのリンクが途絶してしまえばその経路でのトリップは不可能となる。この場合、利用者は別の経路でトリップを行う・他機関を利用・トリップを行わないのいずれかを選択することになる。OD間が連結しておらず、トリップを行うことができない場合のコストを κ とする。トリップを行えない不利益を意味しており、通常のトリップに要するコストよりも大きなものと想定できる。このトリップキャンセルコスト κ を算入することで、連結信頼性の便益評価が可能となる。トリップキャンセルコストを含んだ期待総旅行コストの基本的な考え方は以下の式の通りである。

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

ここで、 q^{rs} はODペア rs 間の交通需要(の平均値)、 π^{rs} はODペア rs 間が連結されている確率、 λ^{rs} はODペア rs 間が連結されている場合のそのコストである。なお、この式は基本的な考え方を示すための式である。

2項ロジットモデルを用いて推定する場合、トリップを行うのか、とりやめるのか(もしくは他の交通機関を用いるのか)の2項ロジットモデルが考えられる。このようにして(非連結となって)トリップができない不便益を定量的に扱うことが可能である。トリップを行う場合のランダム効用 U^{rs} とトリップをとりにやめる場合のランダム効用 \tilde{U}^{rs} を以下のように定義する。

$$U^{rs} = -\theta \lambda^{rs} + \varepsilon^{rs}$$

$$\tilde{U}^{rs} = -\rho + \tilde{\varepsilon}^{rs}$$

ここで、 θ は正のパラメータ、 ρ は定数項、 $\varepsilon_i, \tilde{\varepsilon}^{rs}$ はランダム項である。

トリップを取り止める場合の定数項について、 $\rho = \theta \kappa$ と考えると、2項ロジットモデルで推定した定数項 ρ とパラメータ θ から ρ/θ として、上述したトリップキャンセルコ

スト κ が得られる．この推定された κ を用いることによってトリップを行えないことに対する不便益を算定できる．なお，ここでは OD に関わらずトリップを行えない場合の不効用は一定としているが，より複雑な設定も可能である．また，震災時などを対象とする場合，震災直後の交通需要は通常時と大きく異なり，また，災害規模が大きくなると人命にも関わるような必要性の極めて高い需要も多く発生する．そのような場合も考慮するときは状況に応じて別々に推定する必要がある．なお，推定のための調査等の手法や技術開発は今後の課題である．

OD ペア rs 間が連結されている場合はトリップを行うのか取り止めるのかの両方を選択できる．一方で連結されていない場合はトリップを行わないしか選択できない．OD 間が連結している場合，その場合でもあえてトリップを行わないこともあり得るため，その場合の便益指標としてのログサム変数，つまり最小コストの期待値は $-\ln[e^{-\theta\lambda^{rs}} + e^{-\theta\kappa}] / \theta$ として与えられる．連結されていない場合，その OD 間旅行時間は無限大と考えると最大効用の期待値は $-\ln[e^{-\infty} + e^{-\theta\kappa}] / \theta = \kappa$ である．連結されている確率が π^{rs} であることを踏まえ，上述の式にログサム変数を代入することで上述のような 2 項ロジットモデルを前提とした評価を行うことができる．

旅行時間の信頼性については，交通需要は正規分布に従って確率変動し，交通量・旅行時間も確率変動すると仮定する．また，道路利用者は，既に述べたように，経路旅行時間の 95% タイル値を用いて行動していると想定する．この時，トリップを行う場合のコストは旅行時間の 95% タイル値を用いるべきである．ロジットモデルによって経路選択を行っていると考えれば，OD ペア rs 間が連結しており，トリップを行う場合のコストは

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

として与えることができる．ただし， $c_{95,k}^{rs}$ は OD ペア rs の経路 k の旅行時間の 95% タイル値， θ はパラメータである．

以上をまとめると，最終的に信頼性向上便益計算のための総コストは以下の式になる．

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

本研究では，上の式を用いて連結・時間信

頼性を考慮した総旅行コストを算出する．この総旅行コストの増減によって交通施策の便益評価が可能となる．以上が本研究で用いる方法論の基本である．

4. 研究成果

これまで確率的利用者均衡 (Stochastic User Equilibrium) モデルがあったが，これはランダム効用理論に基づいた経路選択を用いた交通均衡であり，算出される交通量はその名称に反して確定的である．SUE では交通量や旅行時間の分布やばらつきを考えることは難しく，それが可能となる確率交通均衡の基礎モデルを既に開発していたが，この基礎モデルを拡張した．拡張としては，各リンクの途絶・閉鎖を確率的に与えたとともに，交通容量を確率的に変動させることもできる．このモデルを基礎として，連結信頼性と旅行時間信頼性の統合した評価を行うための総便益の算出法の構築した．つまり，災害時などでノードが孤立化してトリップをあきらめる (移動ができない) のか，トリップを行うのかの選択を上位の選択とし，トリップを行う (移動する) 場合はどの経路を選択するのかを下位の選択とするネスティッド・ロジット・モデルにより，利用者行動をモデル化する．これを用いてログサム (期待最小コスト) による統一的な便益計算法を構築した．日常時等で旅行時間が変動し，事前に旅行時間がわからない場合，遅刻回避のために早めに出発する必要がある．この旅行時間変動のために早めに出発する分の時間損失も考慮した．実務的な利用も視野に入れると，このような旅行時間信頼性の評価法としては旅行時間のパーセントタイル値が適切であり，これを導入した．

上述の道路ネットワークの連結性を考慮するために，リンク途絶がなく，通行可能な道路で地点間が連結される確率の計算を行う必要があるが，リンク途絶のパターンは指数関数的に増加するため，その計算時間を短縮させる必要がある．これまでに研究室にて開発していた計算プログラムを大幅に見直し，その計算アルゴリズムの改良を行った．これによって，実際に連結・時間信頼性を考慮した道路整備等の道路政策の便益評価を行うことが可能になった．また，現実ネットワークに適用して，その適用可能性も確認することができた．

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

Nakayama, S.: Effect of providing traffic information estimated by a stochastic network equilibrium model with stochastic demand, Transportation Research, Part C, Vol. 70, pp. 238-251, 2016.9. (doi:10.1016/j.trc.2015.12.013)

Nakayama, S. and Chikaraishi, M.: Unified closed-form expression of logit and weibit and its extension to a transportation network equilibrium assignment, Transportation Research, Part B, Vol. 81, pp. 672-685, 2015.11. (doi:10.1016/j.trb.2015.07.019)

Nakayama, S. and Watling, D.: Consistent formulation of network equilibrium with stochastic flows, Transportation Research, Part B, Vol. 66, pp. 50-69, 2014.8. (doi:10.1016/j.trb.2014.03.007)

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. I_555-I_562, 2013.12. (http://doi.org/10.2208/jscejipm.69.I_555)

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計1件)

道路交通の信頼性評価, 中山晶一郎・朝倉康夫編著, コロナ社, 2014.9. (編集, 1~7章・13章執筆)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中山 晶一郎 (NAKAYAMA, Shoichiro)
金沢大学・環境デザイン学系・教授
研究者番号: 90334755

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()