

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420509

研究課題名(和文) 移動時間信頼性を反映した道路交通政策評価モデルの構築

研究課題名(英文) Development of a road traffic measure evaluation model considering travel time reliability

研究代表者

内田 賢悦 (UCHIDA, KENETSU)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：90322833

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、時間信頼性を考慮した便益推計モデルの開発を行った。開発したモデルは、マルチユーザクラスの需要変動型利用者均衡配分モデルと同じ均衡条件を有するため、交通需要予測と便益推定が同じフレームワーク上で行うことが可能となる。さらに、ある効用関数を仮定することによって、交通の禁止価格、すなわち交通需要が0となる一般化費用を有限値として推計可能である。したがって、開発したモデルによって自然災害等による交通の途絶による影響評価を行うことができる。開発したモデルでは、ドライバーの時間価値と時間信頼性価値が内生されるため、交通施策によるそうした価値変化も考慮に入れた便益評価を行うことができる。

研究成果の概要(英文)：This study developed a benefit estimation model that considers travel time reliability. The model is based on a network model that is formulated as a utility maximization problem with constraints. Since this utility maximization problem has the same equilibrium conditions as a multi-class user equilibrium traffic assignment problem with elastic demand, both transport demand forecasting and benefit estimation can be carried out in the same framework. By assuming a certain form for the utility function, the road network model can estimate the prohibitive price, so the proposed method is convenient for estimating opportunity loss due to disruption of origin-destination connection in the event of a natural disaster. Furthermore, the values of travel time and travel time reliability are estimated endogenously in the proposed method; thus, changes in these values can be reflected in the benefit estimation. A numerical experiment demonstrates the method presented in this study.

研究分野：交通計画

キーワード：時間信頼性 便益評価 交通ネットワーク 利用者均衡

1. 研究開始当初の背景

公共事業に対して、費用便益分析が広く行われている。道路事業に関しては、「費用便益分析マニュアル」を用いた費用便益分析の実施が義務付けられている。しかし、道路事業の費用便益分析には依然として多くの問題点や解決すべき点が残されていると、研究者と実務者双方から指摘されている。それらの指摘は以下の3つに大別される。

「費用便益分析マニュアル」の経済理論との整合性

便益、費用として今後計上すべき項目
主要なパラメータ・設定値の妥当性

の便益、費用として計上すべき項目として時間信頼性が挙げられる。交通ネットワークは様々な不確実性にさらされており、交通のサービス水準は安定的に供給されない場合がある。経済・社会活動の高度化に伴って交通サービスの“量的”な側面だけではなく、安定的なサービスの提供といった“質的”な側面を考慮した便益推計を行う事が求められている。

移動時間は交通の需要、供給から決定される。これらの要因は、例えば天候不順や、交通事故といった事象で変化し、移動時間を確率的に変動させる。そういった様々な確定的・確率的要因による移動時間の確率的変動の程度を表す指標が時間信頼性である。通常のドライバーは遅着あるいは早着を嫌うため、平均的な移動時間だけではなく移動時間のバラつきも考慮した交通行動の決定を行う。つまり、時間信頼性はドライバーの交通行動に影響を与えていると言える。また、道路の拡張や整備といった交通施策は平均的な移動時間だけでなくそのバラつき具合も変化させる。図1は交通施策による移動時間の確率分布の変化を表している。図1に示されるように交通施策によって移動時間の平均とバラつきがともに減少したケースを考える。平均移動時間の減少による利用者便益は言うまでもないが、バラつきを考慮するドライバーはバラつきの軽減による利用者便益を享受することが分かる。現行の日本における費用便益分析では、道路交通政策による便益が移動時間短縮、移動費用削減、交通事故削減による効果を貨幣換算することによって計上されているが、先述の通り、時間信頼性はドライバーの交通行動に影響を与えるため、時間信頼性の向上による便益を正しく推計する必要がある。

の主要なパラメータ・設定値として時間価値・時間信頼性価値が挙げられる。現行の便益評価には、施策前後における交通の一般化費用の差によって決定される「総交通費用アプローチ」が用いられる。一般化費用とは移動時間、移動費用といった交通の様々な機会費用を単一の単位（通常は貨幣価値）として表した尺度である。つまり「総交通費用アプローチ」では、移動時間短縮便益や交通事故削減便益は、短縮された移動時間と削減

された交通事故の量に対して、貨幣原単位をそれぞれかけることによって定義されている。この貨幣原単位は便益の大きさに直接影響を与えるパラメータであるため、適切な評価が求められている。また、交通の需要予測にも一般化費用が用いられることが多く、貨幣原単位によって結果が異なる。現行の便益項目に移動時間信頼性を加える場合、このような貨幣原単位の適切な設定は必要不可欠であり、多くの研究の蓄積が図られている。

ミクロ経済理論に準拠する費用便益分析においての経済理論との整合性は、必要な性質である。ただし、実務では完全な理論的整合性を備えた便益推計法が必ずしも求められるわけではない。実務に対応可能で、かつ経済理論との整合性も可能な限り備えた便益の推計モデルが必要とされている。

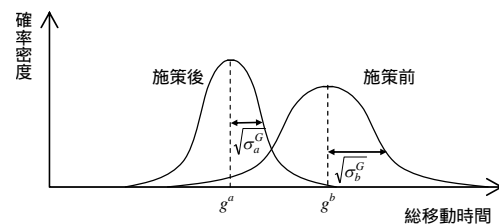


図1 交通施策による移動時間の確率分布の変化

2. 研究の目的

移動時間信頼性向上による便益を精緻に推計するためには、道路ネットワーク上のドライバーが有する時間価値・時間信頼性価値を適切に推計する必要がある。さらに、すべてのドライバーが同質であるという仮定は強すぎると言わざるを得ないため、ドライバーの異質性を考慮した時間価値・時間信頼性価値を推計することが重要となる。

本研究課題では、移動時間信頼性を考慮した道路交通政策評価の実用化を念頭に置き、道路ネットワーク上の交通量データから、ドライバーの異質性を前提とした時間価値・時間信頼性価値を推計する交通均衡配分モデルを構築することを目的とする。理論上あるいは実問題への適用上の問題を解決し、ドライバーの同質性という仮定を緩和した交通均衡配分モデルの構築は、実用面の重要課題であるとともに、極めて学術的価値の高い研究課題でもある。

3. 研究の方法

道路ネットワーク上の交通の起終点ペア (O-D ペア) に対して、それらの交通需要を変数とする効用関数を定義し、ネットワーク上の観測交通量から推計される O-D ペア毎の移動時間、移動費用および時間信頼性に関する制約条件の下で、その効用関数を最大化する問題を設定する(図2)。ここで定式化された問題は、いくつかの式展開を施すことにより、図3に示すマルチクラスの需要変動型利用者均衡配分モデルとして定式化される。

この利用者均衡配分モデルでは、O-D ペア毎に異なる時間価値・時間信頼性価値を有するドライバーが存在し、ドライバーは自己の効用を最大化するように経路選択を行うことになる。利用者均衡配分モデルは、こうしたドライバーの経路選択によって得られる交通状況を推計可能である。ここで、時間価値・時間信頼性価値は、上述した移動時間、移動費用および時間信頼性に関する制約条件の最適なラグランジュ乗数から求めることができる。

図3に示したマルチクラスの需要変動型利用者均衡配分問題において、交通施策実施後に各種制約条件が有効であるという仮定を置くと、図4に示す図3の問題と等価な効用最大化問題が得られる。この等価な効用最大化問題から O-D ペア毎の需要関数と支出関数が推計することが可能となる。したがって、このように推計された需要関数と支出関数からミクロ経済理論と整合する便益、すなわち等価変分や補償変分が得られる。さらに、需要関数が推計されているため、消費者余剰も推計可能であり、便益の3つの指標値が推計可能である。前述の議論と同様に、均衡状態において各種制約条件が有効であるという仮定を置くと、便益評価において必要となる効用関数のパラメータを推計できる(図5)。

図6に示す設定で数値実験を行うことによって、構築したモデルから便益が適切に推計できることが確認できた(図7)。

◆ 効用関数(Primary Problem : PP)

- O-D交通量 q_i に対して単調増加 (i : O-Dペア)

$$u(q_1, \dots, q_I) = \sum_{i \in I} \int_0^{q_i} \frac{\alpha_i}{w+1} \cdot dw = \sum_{i \in I} \alpha_i \cdot \ln(q_i + 1)$$

◆ 時間・費用・時間信頼性に関する制約条件

- 右辺は観測リンク/経路交通量から推計可能

移動時間: $t_i \cdot q_i \leq \phi_i$

移動費用: $\rho_i \cdot q_i \leq \pi_i$

時間信頼性(分散): $\sigma_i^2 \cdot q_i \leq \theta_i$

O-D交通量: $q_i + e_i = \bar{q}_i$

$$t_i = \sum_{j \in I} \sum_{a \in A} \frac{f_{ij}}{q_i} \left(\int_0^{v_a} \bar{t}_a(w) dw \right) \cdot \delta_{ij}$$

図2 制約条件下の効用最大化問題

◆ 均衡条件 = マルチクラスの需要変動型利用者均衡

$$f_{ij} \cdot (c_{ij}(\mathbf{F}) - d_i(q_i)) = 0, f_{ij} \geq 0, c_{ij}(\mathbf{F}) - d_i(q_i) \geq 0$$

◆ 経路コスト (O-Dペア i 間の経路 j)

経路コストの構成要素(経路移動時間, 費用, 分散)

$$c_{ij}(\mathbf{F}) = \lambda_{ij} \cdot E[\Xi_{ij}] + \omega_{ij} \cdot E[\Gamma_{ij}] + \gamma_{ij} \cdot \text{var}[\Xi_{ij}]$$

制約条件に対する最適なラグランジュ乗数

◆ 逆需要関数 (O-Dペア i 間の最小経路コストと需要の関係)

$$d_i(q_i) = \frac{\alpha_i}{q_i + 1}$$

図3 マルチクラス需要変動型利用者均衡

◆ 等価な効用最大化問題(PP-2)

- 均衡条件下でPPと等価

$$\max u(q_1, \dots, q_I) = \sum_{i \in I} \alpha_i \cdot \ln(q_i + 1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i \in I} p_i \cdot q_i \leq \sum_{i \in I} B_i$$

$$\text{where } p_i = t_i + \rho_i + \sigma_i^2 \quad \forall i \in I$$

$$B_i = \phi_i + \pi_i + \theta_i \quad \forall i \in I$$

q_i : 財 i の消費量 B_i : 財 i に関する予算制約
 α_i : 分配パラメータ p_i : 財 i の価格 (≠ 一般化費用)

◆ 仮定 : 交通施策後も予算制約が一定

需要関数, 支出関数が推計可能 便益評価

図4 等価な最適化問題

◆ 仮定 : 均衡状態において制約条件が有効

(* = 均衡状態における値)

$$t_i^* \cdot q_i^* = \phi_i \quad \forall i \in I$$

$$\rho_i^* \cdot q_i^* = \pi_i \quad \forall i \in I \rightarrow \alpha_i = \frac{p_i^*}{\sum_{k \in I} (t_k^* + \rho_k^* + \sigma_k^{2*}) \cdot q_k^*} \cdot q_i^*$$

$$\sigma_i^{2*} \cdot q_i^* = \theta_i \quad \forall i \in I$$

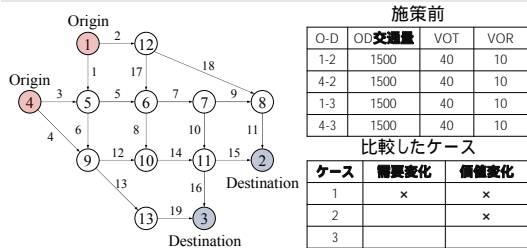
◆ 均衡状態において

$$c_{ij}(\mathbf{F}^*) = d_i(q_i^*) = \frac{\alpha_i}{q_i^* + 1}$$

◆ 仮想価格 p_i と一般化費用 gc_i の対応

$$gc_i = \frac{1}{\omega_i} \left(\frac{p_i^*}{\sum_{k \in I} B_k} \cdot \frac{q_i^*}{q_i^* + 1} \right) \rightarrow \text{一般化費用に基づいた便益評価が可能}$$

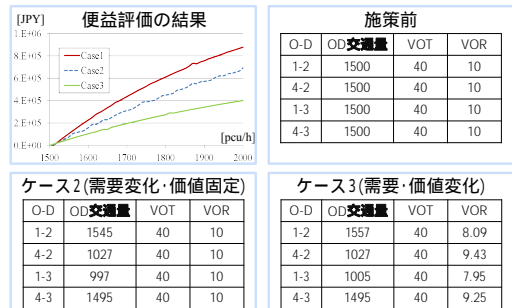
図5 パラメータ推計



◆ 数値計算例

- 施策前ではすべてのリンクの交通容量が1500[pcu/h]
- リンク8の交通容量を2000[pcu/h]まで少しずつ増加
- 需要・価値変化を考慮する/しないケースで結果を比較

図6 数値実験の設定



提案した便益評価手法以外は過大評価

図7 モデルの妥当性検証

4. 研究成果

研究成果として、インパクトファクター付きの国際ジャーナルに2論文を掲載するとともに、国内外の学会で16件

の研究発表を行った。

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 2 件)

Uchida, K., Travel time reliability estimation model using observed link flows in a road network, Computer-aided civil and infrastructure engineering (2015), DOI: 10.1111/mice.12109

Kato, T., Uchida, K., A Study on benefit estimation that considers the values of travel time and travel time reliability in road networks, Transportmetrica A (2017), DOI: 10.1080/23249935.2017.1321695

〔学会発表〕(計 17 件)

加藤哲平, 内田賢悦, マルチユーザークラス配分モデルに基づいた時間信頼性価値推計に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 49, CD-ROM, 2014.

加藤宏祐, 内田賢悦, 水害時の移動時間信頼性を考慮した均衡配分モデル構築に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 50, CD-ROM, 2014.

中尾晴子, 内田賢悦, 劣化と移動時間の不確実性を考慮した道路ネットワークの最適更新計画, 土木計画学研究・講演集, Vol. 50, CD-ROM, 2014.

中尾晴子, 内田賢悦, 杉木直, 混合分布による最適道路修繕計画の評価に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol.70, CD-ROM, 2014.

Kato, T., Uchida, K., A study on benefit estimation considering both value of travel time and of travel time reliability in road network, Proceedings of the 6th International Symposium on Transportation Network Reliability, Vol.6, CD-ROM, 2015.

Nakao, H., Uchida, K., A network model for rehabilitation plan of a road network considering uncertainties of deterioration and travel time, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.11, CD-ROM, 2015.

Uchida, K., A study on impact of stochastic traffic capacity on travel times of a road network, World Engineering Conference and Convention, ポスター発表, 2015.

内田賢悦, 加藤哲平, 実務での活用を念頭に置いた移動時間信頼性解析法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 52, CD-ROM, 2015.

加藤哲平, 内田賢悦, 時間価値・時間信頼性価値を内生化した便益推計手法に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 52, CD-ROM, 2015.

Kato, T., Uchida, K., Tanada, K., A study on

effect of incentive reward institution for a deficit-ridden bus company on economic welfare, Proceedings of World Conference on Transport Research, CD - ROM, 2016.

内田賢悦, 峪龍一, 山田雄太, 加藤哲平, 常時観測データを用いた道路ネットワークの移動時間分布の推定に関する研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 53, CD-ROM, 2016.

松田真宜, 長岡修, 内田賢悦, 有村幹治, オイラー型センサーの効率的な配置に関する考察, 第14回 ITS シンポジウム 2016 講演集, CD-ROM, 2016.

峪龍一, 加藤哲平, 内田賢悦, 対数正規分布による需要・供給の変動を考慮した確率的利用者均衡配分モデルに関する研究, 土木学会北海道支部 平成 27 年度年次技術研究発表会論文集, CD-ROM, 2016.

山田雄太, 加藤哲平, 内田賢悦, 救急自動車の搬送時間信頼性と救急患者の救命率を考慮した消防署の最適配置に関する研究, 土木学会北海道支部 平成 27 年度年次技術研究発表会論文集, CD-ROM, 2016.

加藤宏祐, 加藤哲平, 木村一郎, 内田賢悦, 局所的豪雨による水害時の移動時間信頼性を考慮した河川構造物の最適改修計画に関する研究, 土木学会北海道支部 平成 27 年度年次技術研究発表会論文集, CD-ROM, 2016.

峪龍一, 加藤哲平, 内田賢悦, 道路ネットワークの被災を考慮した確率的利用者均衡配分モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol. 54, CD-ROM, 2016.

山田雄太, 加藤哲平, 内田賢悦, 救急自動車の搬送時間信頼性と呼損率を考慮した最適配置モデル構築に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 査読なし, Vol. 54, CD-ROM, 2016.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

〔その他〕

ホームページ等

<http://labs.eng.hokudai.ac.jp/labo/infrastructure/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 賢悦 (UCHIDA KENETSU)

北海道大学大学院・工学研究院・准教授
研究者番号: 90322833

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし