

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760404

研究課題名(和文) 時間価値・移動時間信頼性価値を内生化する均衡型交通ネットワークモデルの構築

研究課題名(英文) An estimation model of value of travel time and of travel time reliability in road networks

研究代表者

内田 賢悦(Uchida, Kenetsu)

北海道大学・工学(系)研究科(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) 1,600,000円、(間接経費) 480,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、時間価値と移動時間信頼性の価値(以下、移動時間信頼性価値とする)が内生的に決定される交通ネットワークモデルの構築を行った。より具体的には、ミクロ経済学理論と整合的な時間価値・移動時間信頼性価値を内生化する需要変動型利用者均衡配分モデルを構築した。

ミクロ経済学理論における効用最大化行動を想定し、時間価値・移動時間信頼性価値を内生化する交通ネットワークモデルを需要変動型均衡配分モデルとして定式化することによって、従来から指摘されてきた道路交通政策評価法の問題点の一部を解決することができた。

研究成果の概要(英文)：This study proposes two network models which simultaneously estimate the value of travel time and of travel time reliability based on the risk-averse driver's route choice behaviour. The first model is formulated as a utility maximization problem under monotonic and separable link travel times, whereas the second model is formulated as a utility maximization problem under non-monotonic and non-separable link travel times. It is shown that the first model, which addresses independent stochastic capacity, is formulated as an optimization problem with a unique solution. The second model, which addresses both stochastic Origin-Destination (O-D) flow and stochastic link capacity, is formulated as a nonlinear complementary problem. The network models proposed in this study are consistent with those of studies that address the value of travel time and of travel time reliability based on utility maximization behaviour.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 土木計画学・交通工学

キーワード：時間信頼性 便益評価 利用者均衡配分 時間価値

1. 研究開始当初の背景

国内外を問わず、交通ネットワークモデルにおいて時間価値・移動時間信頼性価値を内生化する試みは、これまでなされていない。交通政策評価において時間価値・時間信頼性価値は、便益に大きな影響を与えるため、適切に推計されなければならない。一方、交通ネットワークモデルにおいて、旅行者はリスク回避的な行動をとることが知られている。交通ネットワークにおける利用者が曝されるリスクの1つとして移動時間の不確実性が挙げられる。その結果、移動時間信頼性の低い経路は旅行者に選択されにくくなる。

道路交通施策によって移動時間信頼性が向上する場合、それを便益として計測することができる。その際も、時間価値・移動時間信頼性価値が適切に推計されなければならないのは前述したとおりである。道路ネットワーク上の交通量を推計するための利用者均衡配分モデルでは、移動時間が内生的に決定される。それと同じように、時間価値・移動時間信頼性価値も内生的に決定できれば、別途それらを推計するための調査・分析が不要となる。それだけではなく、時間価値・移動時間信頼性価値の推計法と交通ネットワークモデルとで理論的整合性が確保されることになり、交通施策による便益推計に関わる多くの問題が解決されることが期待される。

また、これまでの道路交通政策評価における便益計測手法がミクロ経済学に基づく理論と整合的でないことによって生じる問題点が指摘されてきた。そのため、ミクロ経済学と整合する道路交通解析モデルの開発は重要課題である。

以上をまとめると、ミクロ経済学と整合し、道路ネットワーク上の交通量と時間価値・時間信頼性価値を同時推計する交通解析モデルの開発は、道路交通政策評価の適切な運用を図る上で必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、時間価値と移動時間信頼性の価値（以下、移動時間信頼性価値とする）が内生的に決定される交通ネットワークモデルの構築を行う。より具体的には、ミクロ経済学理論と整合的な時間価値・移動時間信頼性価値を内生化する需要変動型利用者均衡配分モデルを構築する。

交通ネットワークモデルにおいて時間価値・移動時間信頼性価値を内生化する試みは、国内外を問わずなされていない。それだけではなく、ミクロ経済学理論における効用最大化行動を適用し、時間価値・移動時間信頼性価値を内生化する交通ネットワークモデルを需要変動型均衡配分モデルとして定式化する点は、本研究の特色といえる。従来の交通均衡モデルでは、その目的関数自体には経済学的な意味はなく、最適性条件を求めると交通の均衡状態が表現されていることのみ

意味があった。一方、時間価値・移動時間信頼性価値の推計法には、所得近接法、選好近接法および機会費用法などがあるが、それぞれの手法は交通ネットワークモデルとの理論的整合性がとれていなかった。そのため、推計された価値が対象ネットワークに整合的であるか等の議論が別途必要となるケースは少なくはない。本研究で構築するモデルではこうした議論の必要性は生じず、このモデルを適用することによって、ミクロ経済学理論と整合する道路交通政策評価における便益計測が可能となる。

3. 研究の方法

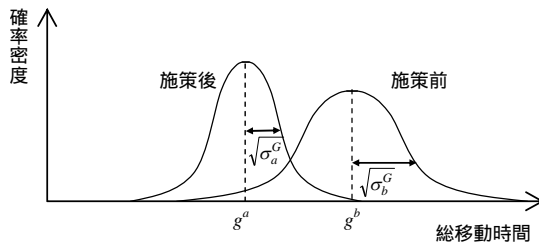
前述したように、道路交通施策によって移動時間信頼性が向上する場合、それを便益として計測することができる(図1)。その場合、ドライバーの経路選択行動を考慮した上で、便益を推計することになる。研究代表者は、これまで平均移動時間だけではなく移動時間の信頼性も考慮するリスク回避的なドライバーの経路選択行動を反映した道路ネットワーク上の時間信頼性評価モデルに関する研究を進めてきた(図2上)。リスク回避的なドライバーの経路選択行動は、非線形相補性問題として定式化され、それと等価な最適化問題を解くことにより、ネットワーク上の各種交通量(経路交通量とリンク交通量)が推計されることになる(図2下)。

本研究で適用した基本的なアイデアは、以下に示す通りである。はじめに、交通の起終点間の交通量(以下、O-D交通量とする)を財とみなした効用最大化問題を考え、そこに平均移動時間、移動時間信頼性および移動費用に関する制約条件を与える。部分双対化により、以上の制約条件を効用関数内で表現することによって、需要変動型利用者均衡配分として問題の再定式化を行う(図3上)。部分双対化を行うためには、それぞれの制約条件に対応するシャドウプライスを推計する必要があるが、これに関しては、対応する均衡制約付き最適化問題を解くことによって推計することができる。このようにして得られたシャドウプライスの比から、時間価値・移動時間信頼性価値は推計される。これと同時に、ドライバーのリスク回避的な経路選択行動を反映したネットワーク上の各種交通量も推計することができる(図3下)。

本研究で開発したモデルは、経路の評価値がリンクの評価値の和として表現できる場合(以下、リンク毎に分離可能な場合と表現する)は、従来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とが示された。このことは、従来の需要変動型利用者均衡配分モデルはミクロ経済学理論と整合的であることを示すものであり、そのことによる意義は大きい。大規模な道路ネットワークを対象とした計算も可能な需要変動型利用者均衡配分モデルのアルゴリズムが既に開発されている。リンク毎に分離可能となるのは、移

動時間の確率変動の要因として互いに独立な確率的交通容量を仮定する場合であり、実務での活用を想定する場合、計算の容易性から、このモデルの適用が妥当であると考えられる。確率的交通容量は、交通観測データ(空間速度と交通密度)にモデル式を当てはめることによって(図4上)推計する方法が研究代表者によって開発されており、こうした方法を適用することによって、確率的交通容量を推計することができる(図4下)。

一方、リンク毎に分離可能とはならない場合は、非線形相補性問題としてモデルが定式化されることになる。リンク毎に分離可能とならない状況は、移動時間の確率変動の要因として、確率的O-D交通量と(または)相関関係を有する確率的交通容量を仮定する場合に生じる。このモデルは、このような一般的な道路交通状況を解析したい場合に適用可能であるが、大規模な道路ネットワークを対象とした場合、効率的に解くためのアルゴリズムは存在せず、その開発は今後の課題となっている。また、確率的O-D交通量を推計する手法は、古くから多く提案されており、それらの手法を適用することによって容易に推計可能であると考えられる。



従来の評価: $b = VOT \cdot (g^b - g^a)$
 移動時間信頼性も考慮した評価:
 $b^* = VOT \cdot (g^b - g^a) + VOR \cdot (\sqrt{\sigma_b^G} - \sqrt{\sigma_a^G})$
 VOT: 時間価値
 VOR: 移動時間信頼性の価値

図1. 移動時間信頼性を考慮した交通施策の評価

■ ドライバーの経路評価値:

- 平均時間, 平均費用, 時間信頼性

$$c_{ij}(\mathbf{F}) = \lambda \cdot E[\Xi_{ij}] + \omega \cdot E[\Gamma_{ij}] + \gamma \cdot \text{var}[\Xi_{ij}]$$

- 時間価値: $\tau = \frac{\lambda}{\omega}$, 時間信頼性価値: $\nu = \frac{\gamma}{\omega}$

■ 均衡条件(相補性条件):

$$E[F_{ij}] \cdot (c_{ij}(\mathbf{F}) - d_i) = 0, E[F_{ij}] \geq 0, c_{ij}(\mathbf{F}) - d_i \geq 0$$

- 利用される経路の評価値($\bar{c}_{ij}(\mathbf{F})$)は全て d_i に等しく, 利用されない経路の評価値よりも小さいかせいぜい等しい。

■ 相補性問題

$$z_i \cdot h_i(\mathbf{z}) = 0, z_i \geq 0, h_i(\mathbf{z}) \geq 0$$

■ 等価な最適化問題

$$\min \text{gap}(\mathbf{z}) = \sum_i \varphi(z_i, h_i(\mathbf{z})),$$

$$\varphi(a, b) = \frac{1}{2} \left(\sqrt{a^2 + b^2} - (a + b) \right)^2$$

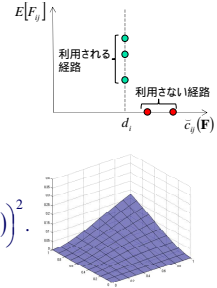


図2. 時間信頼性評価モデルの開発

■ 等価な最適化問題(需要変動型配分):

$$\min \hat{L} = \sum_{a \in A_0} \int_0^{v_a} \chi_a(w; C_a) \cdot dw + \sum_{i \in I} d_i(w) \cdot dw$$

- リンク評価値関数

$$\chi_a(v_a; C_a) = \lambda^* \cdot E[t_a(v_a; C_a)] + \omega^* \cdot E[\rho_a(v_a; C_a)] + \gamma^* \cdot \sigma_a^2(v_a; C_a)$$

- 最適なラグランジュ乗数 = 制約条件のシャドウプライスは制約条件の部分双対化を行うことによって推計可能。(時間価値 & 時間信頼性価値)

■ ドライバーの経路評価値:

$$c_{ij}(\mathbf{F}) = \lambda \cdot E[\Xi_{ij}] + \omega \cdot E[\Gamma_{ij}] + \gamma \cdot \text{var}[\Xi_{ij}]$$

■ 制約条件(相補性条件):

$$\lambda \left(\phi - \sum_{a \in A_0} \int_0^{v_a} E[t_a(w; C_a)] \cdot dw \right) = 0, \lambda \geq 0, \phi - \sum_{a \in A_0} \int_0^{v_a} E[t_a(w; C_a)] \cdot dw \geq 0$$

- アクティブな(等号が成立する)制約のラグランジュ乗数は正の値をとり, そうでない制約のラグランジュ乗数は0となる。

図3. 時間価値・時間信頼性価値の推計

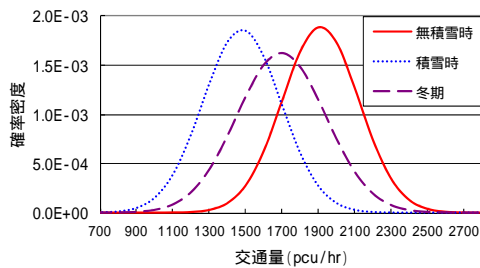
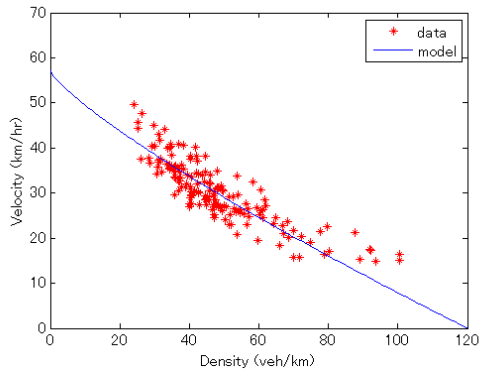


図 4．確率的交通容量の推計

4．研究成果

本研究の基礎をなす研究成果（内田 賢悦：交通容量の確率的変動が道路ネットワークの移動時間に与える影響に関する研究，土木学会論文集 D, Vol. 66, No. 4, pp.431-441, 2010）は，平成 23 年度土木学会論文賞を受賞した（受賞日：平成 24 年 6 月 14 日）．同賞受賞に伴い，平成 24 年 11 月 2-4 日に埼玉大学において開催された第 46 回土木計画学研究発表会の招待講演（平成 23 年度土木学会論文賞）において，「道路ネットワークにおける移動時間信頼性を考慮した便益評価の実用化に向けた課題と展望」と題して本研究課題の成果の一部を発表している．最終的な研究成果は，目標に掲げていたトップレベルのインターナショナルジャーナル（Transportation Research Part B および Journal of Advanced Transportation）に掲載され，広く公表されている．

これまで道路交通政策評価は，移動時間短縮便益，移動費用削減便益および交通事故削減便益の 3 つに基づいて行われる場合が多い．近年，以上の 3 便益に代表される量的な視点からの評価だけではなく，質的な視点からの評価の重要性が認識されつつある．こうした中，質的な評価として捉えることのできる移動時間信頼性向上による便益を計測しようとする試みが学術・実務レベルで活発化している．2013 年 11 月 18 日には，一般社団法人建設コンサルタント協会主催の平成 25 年度政策・事業評価専門委員会セミナーにおいて，「社会資本整備の事業評価手法の課題～道路ネットワークにおける移動時間信頼性を事例として」と題した講演をする機会を頂い

た．また，建設コンサルタント会社と移動時間信頼性便益計測に関する共同研究を進めるなど，学術面だけではなく，実務面からの研究成果の実社会への還元も積極的に行っている．

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 3 件)

- 1) Uchida, K., Estimating the value of travel time and of travel time reliability in road networks. Transportation Research Part B (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2014.01.002> (査読あり)
- 2) Uchida, K., Sumalee, A., Ho, H.W., A stochastic multi-modal reliable network design problem under adverse weather conditions, Journal of Advanced Transportation (2014), DOI: 10.1002/atr.1266 (査読あり)
- 3) 内田賢悦, 移動時間信頼性便益評価の課題と展望, 土木学会論文集 D3, Vol.69, No.5, pp. I_15-I-29 (2013) (査読なし)

〔学会発表〕(計 4 件)

- 1) Kato, T., Uchida, K., Tamura, T., Estimation of value of and travel time reliability for heterogeneous drivers in road network, Proceedings of the 18th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, (2013), 2013 年 12 月 14 日, Intercontinental Grand Stanford Hong Kong
- 2) Uchida, K., A study on estimation methods for values of travel time and travel time reliability in road network, Proceedings of the 5th International Symposium on Transportation Network Reliability Vol.5 (2012) 2012 年 12 月 18 日, Intercontinental Grand Stanford Hong Kong
- 3) 内田賢悦, 道路ネットワークにおける移動時間信頼性を考慮した便益評価の実用化に向けた課題と展望, 第 46 回土木計画学研究発表会(秋大会), 招待講演: 平成 23 年度土木学会論文賞, 埼玉大学 (2012), 2012 年 11 月 2 日, 埼玉大学
- 4) 内田賢悦, 道路ネットワークにおける時間信頼性価値の推計法, 土木計画学研究・講演集 Vol.45 (2012), 2012 年 6 月 3 日, 京都大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ

<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